

SHENBIAN DE WULI

身边的物理

苏 湛

科普教育精品
青苹果电子图书系列

身边的物理学

前 言

太阳每天东升西落，江河日夜不停地奔流入海，沉重的飞机可以翱翔于九天之上，小巧的电视让你把五湖四海乃至外太空尽收眼底。面对眼前的一切，你是不是曾经像婴儿那样感到好奇，还是像个大人似的认为这都是天经地义？

如果你感到好奇，那么恭喜你，你已经具备了一个物理学家最重要的天份，接下来要做的就是认真的观察和分析。

假设有一天你看到一个苹果从树上坠落，你会想到什么？它成熟了、甜了、可以吃了……还有什么？你会不会感到好奇，为什么它会坠落？

曾经有一个年轻人，他就提出了这样的问题，为什么苹果会落到地下？不要笑，当然我们知道那是因为它熟了，如果用篮子接着它还会落到篮子里。但是，为什么它不像月亮那样挂在天上？以后经过无数的试验和研究，这个年轻人终于得到了自己满意的答案，并且由此总结出—条定律。在中国，我们习惯称这条定律为万有引力定律。

这个年轻人名叫伊萨克·牛顿，他后来成为了世界上最伟大的物理学家，时至今日，科学家中能与他相提并论的也不超过三个人。而万有引力定律则与牛顿的另外三个运动学定律一起成为经典力学的基石。今天，经典力学依然作为自

然科学中最完美的理论体系照耀着人类文明,为了纪念伊萨克·牛顿在物理学方面不可替代的贡献,人们也称早期的经典力学为“牛顿力学”。

作为一个热爱物理学的人,我可以毫不客气地说,物理学是一切自然科学中最基本、最广泛的学科。物理学不一定能解释生活中的一切现象,但生活中一切现象,其最本质的原因最终都要归结到物理学上来。因为物理学的一切分支:力学、热学、光学、电磁学等等,归根到底都是在探究物质运动的规律和物质间的相互作用。物理就是要研究物质之理,在英文里“物理(physics)”这个词就是从“物质的(physical)”这个词派生出来的。

物理学又是一切自然科学中最简单、最实用的,经典物理的每一个基本定理都直接源自对日常生活的观察,而物理学上每一个最新的发现都会在第一时间被应用于生产,并且由此引发人类生活方式的又一次革命。

如果你决定开始研究物理,记得我们说过什么吗?要学会好奇。就是现在,注意你的周围,无数自然之谜等待你去破解。

你不一定会成为一名物理学家,但注定成为智者。

目 录

第一章 擦亮你的眼睛	1
——生活中的物理现象	1
第一节 小球落向何方	1
第二节 刹车时身体为什么向前倒	6
第三节 小球为何跳起	12
第四节 从数千米高空跳下	14
第五节 苹果和月亮	20
第六节 套环棒与哟哟	26
第七节 泰坦尼克的悲剧	31
一、托起巨轮的力	31
二、压强和浮力	35
三、大气压强和铜半球的秘密	37
第八节 吊桥倒塌之谜	40
一、振动	41
二、共振	45
三、揭开吊桥的秘密	47
第九节 声音如何被听到	49
第十节 我们的乐队	54
一、打击乐器	55
二、弦乐	57
三、管乐	59
四、声乐	63

五、“浴室歌唱家”	64
第十一节 “我是那种力”	69
一、不可或缺的“力”	70
二、电压和电流	71
三、摩擦“起电”	73
四、“反向流动”的电	75
第十二节 危险的淋浴	77
一、浴室里的电场	77
二、静电感应	79
三、导体在电场中	82
四、与静电握手	86
五、静电屏蔽	88
第十三节 几个电学试验	90
一、起电机	90
二、验电器	92
三、电流计	93
四、静电喷泉	95
五、电动风车和避雷针	96
第十四节 电线上的鸟	100
一、电的“运动”	100
二、电的“阻力”	103
三、“不死鸟”和高压线	107
四、安全用电	110
第十五节 说好不分手	113
一、神奇的磁铁	113
二、电流和磁场	118
三、电磁感应	124
第十六节 看不见的电话线	128

一、电磁波的产生	128
二、电磁波与收音机	133
第十七节 小孔和日食	138
一、小孔成像	138
二、影子和日食	142
第十八节 颠倒的影像	144
第十九节 天上街市	149
一、奇特的海市蜃楼	149
二、折射	151
三、折射率和全反射	155
四、彩虹与分光镜	157
第二十节 从我们的眼睛说起	162
一、透镜成像	162
二、视力的矫正	167
第二十一节 波动的光	169
一、光的干涉	170
二、光的衍射	170
三、红外线和紫外线	172
第二十二节 蓝天和海	173
第二十三节 冷和热	177
第二十四节 温度到底是什么	178
第二十五节 温度的测量	180
第二十六节 温度计的工作原理	181
第二十七节 被子和保温瓶	184
第二十八节 内能和热	185
第二章 魔术师的伎俩	189
——物理学大揭秘	189
第一节 下油锅和吞炭火****	190

一、下油锅	190
二、吞炭喝油	191
第二节 弯钥匙	193
第三节 一指禅**	197
第四节 叼车**	199
一、叼摩托	199
二、叼汽车	201
第五节 悬浮的脸盆	205
第六节 油锤贯顶和胸口碎石 ***	207
一、油锤贯顶	207
二、胸口碎石	211
第七节 汽车过身****	213
一、单侧过身	215
二、双侧过身	217
第八节 玻璃杯碎砖*	218
第九节 手抓红铁棍***	220
一、抓铁棍	220
二、再一次“下油锅”	223
第十节 开水浇头***	225
第十一节 缝气球	227
第十二节 神奇的小勺	229
第十三节 灯管悬人**	231
第十四节 杯子的魔术	234
一、倒不出来的水	234
二、盐水振荡器	235
第十五节 电磁铁的魔术	237
一、跳跃的金属环	237
二、铜盘的转动	238

第十六节 用小球变魔术	239
一、用光托住的小球	239
二、飞车走壁	241
三、单摆的魔术	242
四、流水的引力	243
第十七节 五雷神掌	246
第三章 没有物理学世界将会怎样	249
第一节 电度表的构造原理	249
第二节 限流器和安全器	251
第三节 日光灯的构造原理	252
第四节 电热器	254
一、小电炉	254
二、大电炉	255
三、电饭锅	255
四、电熨斗	256
第五节 用马达的电器	257
一、吸尘器	257
二、电冰箱	258
三、洗衣机	259
四、电扇	260
第六节 磁悬浮列车	260
第七节 蒸汽机的故事	264
一、蒸气压力	265
二、蒸汽机的工作	266
三、变往复为旋转	267
四、蒸汽涡轮	268
第八节 内燃机	270
一、内燃机	270

二、内燃机的工作原理	272
四、活塞发动机	274
五、涡轮机	276
第九节 电话和留声机	277
一、电话	277
二、留声机	280
三、新式电唱机	283
四、磁带	284
五、立体声	285
第十节 电子技术	286
一、电子管	286
二、栅极	288
三、半导体晶体管	290
第十一节 飞机	293
一、飞行的梦想	293
二、滑翔机	294
三、动力飞行	295
四、推进器	296
五、一飞冲天	297
六、方向控制系统	298
七、直升飞机	299
八、反作用力发动机	299
九、声障	303
十、超音速飞机	304
十一、热障	305
第十二节 显微镜和望远镜	306
一、显微镜	307
二、电子显微镜	308

三、望远镜	310
四、射电望远镜	312
第四章 危难之刻显身手	314
——物理学助你脱离险境	314
第一节 提防自行车翻车	314
第二节 地铁站台上一定不要越过安全线	318
第三节 煤气漏气时的对策	320
第四节 车祸求生	321
一、系紧安全带	322
二、跳车	322
三、车辆落水	322
第五节 野外生存的工具	324
第六节 生火	328
一、火种	330
二、引火物	330
三、点火的方法	331
第七节 辨别方向	334
一、利用自然地貌	334
二、利用星星和太阳	335
三、利用地磁场	337
第八节 取水	339
第九节 在特殊的环境下	343
一、渡河	343
二、穿越沼泽	346
三、火灾	346
四、地震	351

第一章 擦亮你的眼睛

——生活中的物理现象

第一节 小球落向何方

——牛顿第一定律

我们都看过动作片，看没看过主人公在车顶上和坏蛋殊死搏斗的镜头？特别是在香港的动作片里，飞驰的列车和令人眼花缭乱的拳脚功夫交相辉映，真是酷毙了。可是不知有没有人注意过他们的脚下，演员们在列车顶上打斗的时候总是窜蹦跳跃进退自如，和在平地上没有什么两样，而且面向车尾的人出招时似乎也不会比面向车头的人更吃力，这是什么道理呢？

好，稍候再来回答这个问题。现在看这儿，假设我们正坐在一列火车中，这列火车正以每小时 200 公里的速度飞速行驶。我手里有一个小球，现在我把它抛向空中。那么猜一猜，等一会儿它落下来的时候会落在哪里？车厢前部？或者尾部？还是落回我手里？

有的朋友认为它会落到车厢的尾部，相信大多数人都会

支持这个说法，因为列车正在不断前进，当小球在空中的时候它已经走过了很长一段距离，所以看起来就好像是小球正向后运动。但是你能肯定吗？在没有经过实验的情况下，不应该轻易下这个结论的。

曾经有一个叫伽利略(1564~1642)的意大利物理学家，他是牛顿以前最重要的物理学家之一，并且为物理学界开创了重视实验的传统。

当然伽利略的时代火车还没有发明，所以他的实验是在船上做的，除了伽利略本人，参加实验的还包括：几只苍蝇、一缸鱼、一个水瓶。

伽利略把自己、苍蝇和鱼关在船舱里，让水瓶里的水一滴一滴地流出来，滴进下面的容器。他发现，只要船在平稳地运动，不管速度多快，也不管朝着哪个方向，苍蝇始终可以随便地到处飞行，并不会向船尾集中；鱼也悠闲地游向鱼缸中的任何一个角落，它们游向鱼缸前部时并不比游向鱼缸尾部费力；水瓶里的水仍然笔直地滴下，不会溅出一滴；而伽利略也发现当他自己向四周跳的时候，无论朝着哪个方向，花同样的力气，跳过的距离都相等，当扔东西给助手时，无论对方站在船头还是船尾，他都不用花更多的力气。

手中的小球与伽利略水瓶里的水滴道理是一样的，所以只要抛球的方向的确是竖直向上的，小球最终都会回到我们手中。

也许有人还不相信，因为他们明明观察到，小球在空中时没有受到任何水平方向力的作用，小球怎么会与列车同步移动呢？正因为小球不受任何水平力的作用，所以它才会落

回我们手中。

古希腊大科学家亚里士多德(公元前 384 ~ 公元前 322)认为力是维持物体运动的原因,这个结论也是通过对生活的观察得出的,他发现,用力推车,车才会前进,停止用力车就会停下,不继续用力,车就不再走了。

在批判亚里士多德的观点以前要插一句,虽然他在物理方面的学说现在被证明大多都是谬论,但他就好比是那根在黑暗的房间中引导我们找到电灯开关的火柴,他为后世提供的是一种科学的精神,所以他做出的一切谬论都无损于他作为一切自然科学家——特别是一切物理学家祖师爷的地位。

亚里士多德对自然科学的最大贡献,我认为莫过是“吾爱吾师,吾更爱真理”的精神。没有这种精神,今天就不会有这些名字:伽利略、牛顿、爱因斯坦……所以现在我们就来以“吾爱吾师,吾更爱真理”的精神批判亚里士多德的错误。

假设我们面前是一段光滑的水平路面——这样的路现在到处都是,在北京,任何一条马路上都可以进行这个实验,如果在长安街或者平安大街上效果会更明显。现在我们在这条路上推车,当推得很快时,突然放手。放手以后我们对车的推力已经消失了,可是注意,车还要向前走一段距离才会停。这用亚里士多德的学说是无法解释的。

现在想增加这段距离,我们该怎么做?我们可以在车轮上涂油,也可以把实验场搬到高速公路上,因为那里的路面更平滑……而我们所做的所有的一切,最终只有一个效果,就是减小外部作用对车的影响,以后我们会说到,这个作用

就是著名的摩擦阻力。

其实会骑自行车的朋友都有这种经验,但我们正在水平的马路上高速行驶,这时停止蹬车,自行车依然会以原来的速度向前滑行,然后逐渐减速直到停下,除非捏闸,否则这段滑行的距离一般都不会很短。

由此可见,物体的运动并不依赖于外力。你何时见过射向球门的足球突然静止在空中?按照亚里士多德的观点,足球离开球员脚以后就不会在水平方向上受力了,所以它必然停止运动。

然而事实上,如果守门员不把它拦住,它就会一直射入球门。而子弹一旦离开枪口,就不再受力的驱动了,但它依然会忠诚地射向目标。

有一部美国电影叫《火狐狸》,记得里边有一个镜头,伊斯特伍德饰演的主角驾驶飞机经过一段惊险的飞行后,终于让追击他的导弹耗尽燃料,笔直地坠向地面。但是我告诉你那是胡扯,耗尽燃料的导弹只会以平抛运动飞向地面,在一段时间内,它仍然可以保持原来的飞行速度追击敌人,而不会笔直地坠落,除非他们发明了什么新技术为导弹装上刹车。

实际上我们推车的时候之所以要用力就是为了抵消阻力的作用,子弹和足球同样也会受到阻力的作用,只不过在空气中阻力的作用要小得多,如果进行精确的测量就会发现,子弹的初速比它击中目标时的速度高得多。

现在可以看出,力只是改变物体运动状态的原因,一个物体只要不受力的作用就会一直保持它原来的速度沿着直

线运动下去，直到世界末日。物体这种保持自己运动状态的性质即被称作惯性。

牛顿总结了伽利略等人的研究成果，用自己的语言对物体保持自身运动状态的规律做出了表述，这个表述被沿用至今：

一切物体在不受外力的条件下总保持匀速直线运动或静止状态。

这就是著名的三大运动学定律之一：牛顿第一运动定律，习惯上也称此定律为惯性定律。

现在让我们回过头来看那个至今没有落地的小球。当它拿在我们的手里，没人会怀疑它具有和火车一样的速度 v ，用 t 代表小球从抛起到落下这段时间，所以列车在小球停在空中这段时间里走过的距离就是 $s=vt$ ，而这段时间里小球在水平方向上通过的距离也是 $s=vt$ 。事实证明，它们的运动是同步的。

现在可以回答最初的那个问题了，演员站在车顶时本身也具有了和列车一样的速度，所以从他们的角度出发，行驶中的列车和静止的列车没有什么区别，他们的武打动作依然可以像在平地上一样，不会受到车速的任何影响。不过列车行驶的时候静止的空气相对车厢就是运动的，站在车顶就会感觉到刮风，如果车速特别快，感觉到的风也会非常大，这时站在车顶就很危险了。

还有一个镜头是动作片里经常出现的，就是演员从飞驰的火车里往外跳——或者是汽车，道理都一样，不过这就危险多了。由于演员本身具有和火车相同的速度，在落地后还

要向前滚一段。

摔一下并不可怕，我们从停着的火车里跳出来的时候不会受任何伤，当然除非笨得不可救药，那兴许就会把脚崴了。可是滚这一下情况就不同了，因为落地时初速极高，很容易造成擦伤。即使受过专业训练的特技演员，懂得在落地时用特定的姿势保护自己的人，也不会轻易尝试跳车的。所以坐出租的时候一定要把门关紧。否则在汽车高速行驶的时候门突然打开把自己摔出去，那就不太妙了，我们可没学过玩特技。

现在还有谁有什么怀疑吗？如果还不相信，那么只有自己跳起来试试了——不过最好不要在车顶，那太危险，在车内也是一样的。至于跳车，希望非专业人士不要轻易尝试。

第二节 刹车时身体为什么向前倒

——牛顿第二定律

常坐公共汽车的朋友都有这种经验，急刹车的时候，站着的乘客都会不由自主地向前倒去，坐着的乘客身体也会向前倾。这时一定要小心，否则因为急刹车的时候脑袋撞在车厢上，会撞得鼻青脸肿的。

不只刹车的时候，汽车启动时车上的人也会向后倾倒，如果不站稳同样会摔跤。可是按照我们在第一节里说的，一个物体如果没有受到力的作用就会永远保持匀速直线运动或静止运动，所以理论上乘客应该一动不动站得很稳才对。

但是我们的确感觉到有一个力在推自己,可是谁也没有碰到我们,究竟谁在推我们呢?如果没有人推我们,我们为什么还会摔倒呢?

请相信,实验是解决问题的最好方法。还记得那个小球吗?当列车行驶的时候我们把他抛向空中,它依然会落回我们手里,如果是在行驶的公共汽车上,结果也一样。但是如果在汽车刚启动的时候我们就把它抛出去,又会如何呢?

有人会说:“那还不是一样?它还是落回我们手里。”但是大家别那么早下结论,因为一个真正的物理学家从不会忽视外部条件的任何一点细微变化。

注意,现在的条件是汽车刚刚启动,换句话说它正在向前加速。如果驾驶员踩下离合器的时候我刚好抛出小球,那么这一瞬间小球和车的速度都是零,经过一段时间 t , 小球落下来, 它的速度依然是零,可是车已经加速到 v 了。

这种情况,物理学中用一个专门的量来代表单位时间内速度的改变,我们称这个量为加速度,习惯上用 a 来表示。加速度的定义是速度改变量与时间的比值,如果在时间 t 内速度的变化量为 $v_2 - v_1$, 且加速度是恒定不变的,那么加速度就可以写作: $a = (v_2 - v_1) / t$

刚才抛球的时候,汽车的初速度是 0 , 球落下来的时候汽车的速度是 v , 假设在这期间车的加速度恒定不变,那么加速度就是: $a = v / t$

我们称加速度恒定不变的的运动为匀加速运动,物体的加速度方向与它的速度方向成一直线,那么物体运动的方向也不会变,我们称这种运动为匀加速直线运动。我们可以证

明，以加速度 a 作匀加速运动的物体，它在时间 t 内运动的距离为 $s = (v_2 - v_1) t / 2$ 。其中 v_1 代表初速度， v_2 代表末速度。要严格的证明这个公式比较复杂，但我们可以用 $v-t$ 图表示：

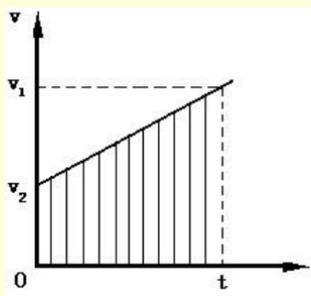


图 1-2-1 $v-t$ 图

图 1-2-1 横轴代表时间，纵轴代表速度，直线的斜率即加速度 a ，阴影部分的面积就等于时间 t 内走过的路程 s ，现在根据梯形的面积公式，路程的值就是：

$$s = (v_2 - v_1) t / 2$$

具体到刚才的汽车，它的初速度为 0 ，末速度为 v ，所以小球在空中的时候它已经前进了 $s = vt / 2$ ，而小球却没有前进。这样看，它落到车厢后面去了。

那么现在如果当急刹车的时候我们抛出小球，会出现什么情况呢？对，它会保持汽车原来的速度 v 前进，所以坐在我们的位置看，它向前飞去了，而且因为是急刹车，车很快就停下了，所以……希望不要打破玻璃。

现在我们已经知道了加速度的概念，但是这还不够，因为我们并不是每次刹车时都摔跤的，当汽车慢慢加速或慢慢减速的时候通常没人会摔跤，因为我们感觉到加在我们身上

的那个不知名的力很小。

不止如此，前一节里我们举过推车的例子。实际上，如果在推着车前进的时候我们突然站住，而且不松开车把，那么车在停下来的同时反而会给我们一个拉力。当然我们推车的速度不必很快，但是速度越快，车给我们的力越大，直到又一次差点被它带倒。

而且如果车上装的东西越多，我推动它的时候固然要用更多的力，而让它停下来的时候也会更加困难，另外如果我们想让它拐弯，也比让一辆空车拐弯困难。

这种现象可用牛顿第二定律解释，它的内容是：

物体的加速度跟物体所受的外力成正比，跟物体的质量成反比，加速度的方向与外力的方向相同。

用公式表示就是：

$$a=F/m \text{ 或者 } F=ma$$

有一个实验可以证明这个定律，把一个小车放在光滑平面上，前端拴细绳，细绳跨过定滑轮，下面吊一个沙桶，桶里有沙子，车后固定一条穿过打点计时器的纸带。关于打点计时器的原理以后我们会提到，现在只要知道它每隔 0.2 秒就会在纸带上打一个点，所以是研究运动学问题时很好的计时器。

在桶和沙的总质量远小于车的质量时，我们可以近似的认为车受到的拉力等于桶的重量。打开打点计时器，让桶自由落下，车后的纸带上会打下一系列点，通过研究这些点就可以算出加速度 a ，分别改变桶的重量——也就是拉力 F 和车的质量 m 就可以验证牛顿的结论了。

有兴趣的朋友可以做一做这个实验，小车和沙子很容易找到，而打点计时器如果买不到的话，可以参见这本书后面有关电磁学的部分，自己尝试着设计一个。别害怕，不难的，作为物理学家，另一个必备的素质，就是自信。

正因为牛顿第二定律，所以在推车的时候，不要跑得太快，因为装满垃圾的车质量很大，一旦有了一个速度就不太容易改变；而且要慢慢停下来。突然站住？那太愚蠢了，不但我们自己可能被车带倒，车上的东西也可能因为惯性而保持它们原来的速度飞出去，那样就糟了。

说到现在，又提到了惯性，现在我们可以把刚刚的牛顿第二运动定律和牛顿第一定律统一起来了。

我们说过物体都具有惯性，也就是保持自己运动状态的性质，要想改变它的运动状态必须给它一个力，而运动状态改变的幅度就是我们刚才提到加速度。把相同大小的力施加在两个物体上，根据牛顿第二运动定律，质量小的物体获得的加速度大些，事实上质量小的物体运动状态更容易改变。

在生活中，对于这种现象，我们通常会说：这个物体惯性小些，或那个物体惯性大些。但是在物理上，为了不造成混淆，通常只说：这个物体质量小些，那个物体质量大些，因为事实上，质量就是标志物体惯性大小的量度。

好吧，到现在我们也没有说把人推倒的究竟是什么力。也许有人已经猜到了，它就是大名鼎鼎的惯性力或者叫惯力。

但是准确地说，惯力并不是一个真实存在的力，只是由于我们所在的系统——在物理上我们叫它参照系——在作

加速运动，而我们由于自己的惯性，仍然保持原来的速度，因此看上去就好像是受到了一个与参照系加速度相反的力——也就是惯性力。根据牛顿第二运动定律，惯性力的大小等于我们的质量乘以加速度，即：

$$f^* = ma$$

之所以为 f 加上星号是为了提醒大家这个力实际并不存在。

坐电梯上楼的时候，当电梯一起动，会觉得有一个力向下压你，当它停下的时候，又会觉得有一个力向上拉；下楼时就刚好反过来。这也是惯性力在作怪。如果在电梯里放一台磅秤，当电梯开始上升，会发现我们的体重增加了，别担心，不是因为最近缺乏运动脂肪增多了，而是因为磅秤的示数中有一部分是属于惯性力的。用磅秤的示数除以我们的真实体重，减去 1，再乘以重力加速度 g ，这就是电梯的加速度。

如果朋友们正在减肥，电梯一开始下楼时就让站在磅秤上，保证会心情舒畅，不过最好马上就下来，否则电梯开始减速时心情会比进来前还糟。

另外根据牛顿第二运动定律，显然质量越小的物体行动起来越灵活。因此，歼击机在战斗前总要扔掉备用油箱以降低自己的质量。

这也是反对骑车带人的原因，两个人的质量显然比一个大，所以出现险情时就不能及时地采取措施，特别是在车速很快的情况下。所以请记住，不要骑车带人。

第三节 小球为何跳起

——牛顿第三定律

物理学家大多都比较喜欢球类。阿尔伯特·爱因斯坦（1879~1955），他是20世纪最伟大的物理学家，足以与牛顿相提并论的人，他很喜欢排球。但这次我们不谈排球，还是从小球说起，不过这次不是在火车上，也不是在汽车上，而是坐在家裡，另外也不会把它抛到空中，而是把它扔向地面。

谁都知道，落地后它会立刻跳起来。但是它为什么会跳起来呢？

还是先看看，如果我们想让小球跳得更高些，我们该怎么做。我们可以改变地板的性质，在地上铺一层胶皮或者油毡；我们也更换小球，可以用橡胶球或者乒乓球，网球更好，不过网球会比较贵。说到底，我们刚才所作的都是为了达到一个效果，就是增加地板或者球的弹性。

顺便说一句，物体受力后会都会产生弹性形变，当它恢复原状时会产生一个力，这就是通常说的弹力。一个物体，它受力后产生的弹性形变越大，恢复原状所用的时间越短，它产生的弹力就越大。所以普通的岩石和玻璃弹性很小，因为它们的弹性形变一般都很小；而毛毯的弹性也很小，虽然它很容易产生形变，但却极难恢复原状，这种形变不是弹性

形变。

这样就很容易理解为什么增加地板的弹性会使小球跳得更高。因为地板弹性很大，所以只需要一个很小的力就可以让它产生较大的弹性形变，产生很大的弹力。

但如何解释更换小球会让它跳得更高呢？当然，球的质量是一方面，但如果用同样质量的玻璃球和橡胶球做实验，我们会发现橡胶球跳得远比玻璃球高。如果按照牛顿第一运动定律和牛顿第二运动定律，这两个球显然都受到向上的力作用，而且作用在橡胶球上的力远比作用在玻璃球上的大。显然，作用在球上的是弹力。然而地面是相同的，受到相同的撞击后产生的弹力也相同，橡胶球上多出来的力是从哪里来的呢？

现在就要引出本节的主人公牛顿第三运动定律了：

两个物体间的作用力和反作用力总是成对出现，大小相等，方向相反，作用在同一直线上。

所谓作用力和反作用力，其实是相对而言的。比如在研究甲物体对乙物体的作用时，称甲物体施与乙物体的力为作用力，那么乙物体施于甲物体的就称为反作用力，反过来我们也可以称乙物体施于甲物体的力为作用力，甲物体施与乙物体的力为反作用力。听起来有点像绕口令，不过你只要记住第一句：作用力和反作用力是相对而言的。

实际上研究任何力学问题，都必然涉及到两个以上的物体，因为力本身就是物体间的相互作用，孤立的物体是无所谓力的。但是在研究的时候我们通常都只注意研究对象和作用在它身上的力，而忽略其他物体。

所以，在小球跳起的问题上不但要考虑地板的弹力，还要考虑小球的弹力。橡胶球的弹性当然比玻璃球强，所以他弹得自然比较高。

和前两条定律相比，第三定律可能会更实用，关于它的具体应用，后面的章节里将会作更详细的说明。我只提示一下，如果没有第三定律，也许就没有神舟号飞船的发射升空，而日本的柔道也是受牛顿第三运动定律的启发而发明的。

主说：如果一个人打了你的左脸，你要把右脸伸过去给他打。然而对于一般的基督徒来说很难做到，除非是修养极高的基督徒。但是这对一个物理学家却很容易，因为根据第三定律，物体间力的作用是相互的，虽然看起来是他用手打了我的脸，但是凭什么不能说是我用脸打了他的手呢？也许物理学家还会偷笑：笨蛋，把手伸过来给我打。

第四节 从数千米高空跳下

——动量定理

有没有试过从几千米的空中往下跳？不过我们知道一般人从四楼跳下来就摔死了，而伞兵们从飞机上往下跳却能安然无恙。

伞兵摔不死是因为身上背着降落伞，但是特技演员在表演坠楼的镜头时身上可没带降落伞，《致命武器 I》中就有一场戏演梅尔·吉布森从高楼上跳下来。当然特技演员也有很多保护措施，最重要的部分是地上的气囊，演员跳下后落

在气囊上，气囊里的气体会迅速溢出。没有气囊保护，就算是最好的特技演员也不敢从高楼上向下跳，那无异于自杀。

一般人会认为，气囊的保护作用来自它的弹性，弹力抵消了演员下坠时的力，就像蹦床的原理。我们也有一些常识，如果要把困在高处的人救下来，第一步措施就是在他的正下方绷紧一张床单，这样他落下来时受到的伤害就会轻一些。消防员也有一个类似的专用工具来救助困在屋顶的人。

但是请注意，上一节里提到过弹力的成因。一个物体在受力后产生弹性形变，并迅速地恢复原状，这个过程中产生的力就是弹力，而且弹性形变越大、恢复原状越快，弹力就越大。

注意那个气囊，它确实在短时间内产生了极大的形变，但与此同时它体内的气体急速溢出，直到特技演员落地，气体已经一点不剩了，所以根本不可能恢复原状，前面也用毛毯的例子说明过，这种形变根本不是弹性形变，弹力更无从说起。

如果我们把气囊改进一下，不让气体溢出，气囊的弹性当然会好起来，但事实上，我还是劝你不要做这样的尝试，因为如果从高处跳下的特技演员落在这样一个气囊上，那他非死不可。

伞兵从飞机上往下跳的原理和特技演员跳楼的原理本质上是一样的，要说清这个原理首先要引入一个新的物理量，这个量的中文名称是动量，英文符号是 p ，动量的定义是质量乘以速度，即：

$$p=mv$$

由牛顿第二运动定律可知， $F=ma$ ，又根据加速度定义 $a=(v_2-v_1)/t$ ，所以动量、力和时间的关系为：

$$m(v_2-v_1)=Ft \text{ 或 } p_2-p_1=Ft$$

$m(v_2-v_1)$ 代表动量 p 在时间 t 内的改变量，而 Ft 这个量也有一个专门的名称，叫做冲量，用 I 表示，刚才的公式就可以写作：

$$p_2-p_1=I$$

这就是有名的动量定理：物体的动量变化等于它所受合外力的冲量。

演员在下落的过程中会受到重力的作用，所以当他接近地面的时候就会具有一个向下的动量 p 。用 G 代表重力， t 代表下落的时间，则动量就是：

$$p=Gt$$

当演员跌落在气囊上，气囊受到演员给它的压力，根据牛顿第三运动定律，它会给演员一个反作用力。但这个力不是让演员停住甚至弹起来，而是增加向上的力作用在演员身上的时间。用 t' 代表向上的力作用在演员身上的总时间，当然这个向上的力可以来自地面也可以来自气囊。

根据动量定理，要使演员停住，向上的力 F 就必须给演员一个与 p 大小相等、方向相反的动量，用公式表示：

$$p=Ft'$$

如果高度相等，演员的质量也不变，则动量 p 恒定不变。可见，如果 t' 越长，作用在演员身上的力 F 越小，反之 t' 越短， F 越大。

我们一般习惯把 F 和它的反作用力统称为冲力。如果

没有气囊，演员的身体直接与地面接触， t 就非常小，基本趋近于 0，而演员受到的冲力也就趋近与无穷了。这就是为什么从高空坠落的物体撞击地面时的冲力远大于它自己重量的原因。

所以在高楼下走的时候一定要当心，万一哪个冒失鬼浇花时不小心碰掉了花盆，而花盆的冲力又刚好全部作用在某个人头上——天哪，不敢想象了。当然，基本上我们被高空坠落的花盆砸到的几率还是很低的，一个数学家会告诉你究竟有多低。我们还是来继续我们的物理问题。

当演员落在松软的气囊上，他就已经开始受到冲力 F 对他的作用，当他落回地面时他的动量基本上已经变成 0 了，对他而言 t 就很大。

但是如果气囊太软，他落到地面时依然保持很大的动量，那么地面对他的冲力就仍然很大。不过这种情况一般不会发生，因为特技演员用的气囊都很大，通常在特技演员到达地面以前他的动量就已经减为零了，他能继续下降完全是由于重力的作用。

所以特技演员们倒是更担心另一种情况，那就是气囊太硬了，他的动量很快降为 0，那么加在他身上的冲力依然会达到难以忍受的水平，用著名的特技英雄达·罗宾逊的话说：“就像落在砖堆里一样。”

如果下落的高度比较小，普通的床垫、或者蹦床也能起到保护作用，但这不是因为它们的弹性——起码不是完全因为它们的弹性。事实上，它们具有保护作用只是因为它们能够产生较大的形变。

但是如果从数千米的高空落下，不管气囊还是床垫，肯定都无能为力了。所以，伞兵们需要一个降落伞。降落伞张开后，空气会给伞一个比较大的阻力 f ，这不难理解。从效果上说，降落伞与气囊是一样的，同样是为了增加 t' 。

不过在降落伞打开后，整个下落期间飞行员都会受到向上的力，在实际中这个阻力与重力 G 是相等的，所以在降落伞张开后的下落过程中伞兵的动量增加为 0。细心的朋友会发现，我们强调“降落伞张开后的下落过程中伞兵的动量增加量为 0”，因为在伞张开前的一段时间中伞兵已经具有了一定的动量。

这部分动量是很有必要的，没有它们，伞兵就会悬在空中，无法落下。当然这只是个理论，实际如果没有向下的速度，阻力 f 就不会存在，所以伞兵仍然会不断下降。但我可以告诉大家，如果伞兵从飞机上跳出以后马上打开降落伞，他下落的速度会非常小，坦率地讲是到了令人无法容忍的地步。

就跳伞运动而言，下落的速度问题不大，但是在军事上就生死攸关了。因为如果速度太低，空投的伞兵就等于是给敌人预备的一个个活靶子，他们的结局只能是全军覆没。

伞兵们会希望打开降落伞之前自己能具有一个比较高的速度，可是如果速度太高，与速度成正比的动量也会非常大，落地时的冲击力同样会令伞兵一命呜呼。所以真正的空降兵，跳出机舱到打开降落伞，这段时间的长度都有严格规定。

另外伞兵着陆时动量仍然很大，如果以 10 米/秒的速度下降，伞兵的动量相当于从三层楼上跳下来时那么大，所以

伞兵们有一套专门的着陆动作用以延长他们接受冲力的时间。着陆时他们的双脚先着地，但他们不会就此站住，他们还要继续倒下去，依次让膝盖、腰、背、肩先后着地。

现在真相大白，并不是每个人背上降落伞都可以像士兵那样从飞机上跳下来，即使一名训练有素的士兵，如果他没受过专门的空降训练，让他执行空降任务仍然很危险，如果是普通的老百姓当然更危险，比如：落地时一不小心就会下肢骨折。

不过即使没有受过跳伞训练，从高处落下的时候我们也会本能地用一个下蹲的动作保护自己。学过动量定理以后，这个动作就不难理解了。我们可以等效地认为人体的重量全部作用在一点上——这一点也就是人们常说的重心，而地对人的冲力也可以认为是通过我们的下肢作用在重心上的。

如果身体绷直，双脚沾地后重心的速度立即降为零，换句话说人体的全部动量立即降为零，那么双脚受到的冲力就会非常大。但是如果有一个下蹲的动作，冲量就会慢慢降为零，我们脚上的负担就小多了。

现在很多豪华汽车都装有气囊，汽车在行驶中如果遇到意外而突然停下——比如撞到隔离墩，气囊就会弹出来保护车内的乘客，这道理与特技演员用的气囊是一样的。

不过经过多年统计，警方发现乘坐豪华汽车的人中，个子比较矮的人死亡率大大超过个子高的人。通过进一步调查他们得出了结论：因为四肢较短，为了迁就方向盘、油门、刹车和离合器，矮个子的人只好坐在座位的前半部分，因此死亡率大大增高。乍一听还是让人觉得莫名其妙，原因是这

样的。

假设我们正开着一辆装有安全气囊的汽车行驶在高速公路上，车速为 v_1 ，我们身体的速度当然也是 v_1 ，我们的质量为 M ，所以动量为 Mv_1 。现在急刹车，我们的身体保持动量 Mv_1 继续向前运动，按照设计，气囊弹出，在我们的脸撞到方向盘以前给一个冲量 Ft 。

但是如果坐得很靠前，气囊还没来得及完全打开就已经和我们接触了，设它的充气速度为 v_2 ，可想而知，为了让气囊及时打开， v_2 必然很大，而且气囊在接触到我们的身体后还会继续固执地以 v_2 这一速度充气，并且在时间 t' 内也使我们具有 v_2 的速度。由于 v_2 与 v_1 方向相反，所以我们受到的总冲量实际等于：

$$Ft' = m(v_2 + v_1)$$

可以证明， t' 非常小，所以作用在我们身体上的冲力反而比没有气囊时还高。死者尸体的解剖结果也证明了我们的推断，他们中很多人的内脏都被气囊撞碎了。

谢天谢地，汽车生产商已经注意到这一点，据说一批为矮子们量身订做的汽车正在设计中。

第五节 苹果和月亮

——万有引力定律

牛顿和苹果的故事，相信很多朋友也早有耳闻。但是到现在我们仍然没有说明，苹果究竟为什么会落下来。如果我

们向多数人提出这个问题，每个人都会告诉我：“我知道，是因为万有引力。”但是想作物理学家就不能满足于这样浅尝辄止的解释了，因为如果再问万有引力究竟是个什么东西，很少有人能给出满意的答案。

刚才提到牛顿看到苹果坠地因而想到月亮为什么不会坠落，对于一个优秀的物理学家，这是很自然的。当然不是说任何人都有能力产生这种联想，只有对生活充满好奇的人——比如一个物理学家——才具有这样的能力。

但光是能注意到月亮和苹果的联系也还远远不够。亚里士多德也曾经注意到，抛出的石块会立刻落地，而日月星辰却可高挂苍穹，他对此做出的解释是：石块接近地面，所以自然趋向下落，日月星辰高高在上，所以自然稳稳地悬在空中。

亚里士多德的错误在于他把地面物体的运动和天体运动割裂开来，而牛顿正相反。

早在牛顿之前，丹麦天文学家第谷·布拉赫（1546～1601）就对行星运动的规律作了大量观测和研究。第谷死后，他的学生德国天文学家开普勒（1571～1630）对老师留下的观测资料作了细致的分析，在1609年提出了关于行星运动的两条定律，也就是开普勒第一定律：所有行星分别在大小不同的椭圆轨道上围绕太阳运动，太阳在椭圆的一个焦点上。和开普勒第二定律：太阳和行星的连线在相等的时间内扫过相等的面积。

简单地说，也就是行星离太阳近的时候运动得快一些，离太阳远的时候运动的慢一些。

1619年，开普勒又发表了开普勒第三定律：所有行星椭圆轨道的半长轴的三次方与公转周期平方的比值都相等。

开普勒三定律是天文学定律，牛顿能提出万有引力定律，这三定律却功不可没。

牛顿还在思考苹果与月球的关系时，像当时的每一个物理学家，他十分熟悉亚里士多德的学说，但那只有徒增他的困惑，因为当时已经知道月亮是地球的卫星，它一刻不停地围绕地球作圆周运动。

但是如果像亚里士多德说的，月亮与地球间没有力的作用，它为什么如此忠诚地守卫着地球，而不离我们远去呢？但是如果地球对月亮有力的作用，这个力是什么呢？牛顿相信，这个力如果存在，那么它应该就是使苹果下落的那个力。但是这就又回到了最初的问题上，为什么月亮不会落下来呢？

远在牛顿的时代，人们已经认识圆周运动了。不知大家有没有掷链球的经验。链球是一个铜或铁打造的质量很大的球体，上面有弹簧链子和手柄。掷链球时双手握住链球的把手，人和球同时旋转，最后用力使球脱手而出。旋转时链球作的运动就是圆周运动。

如果试过掷链球，我们一定知道，如果转得越快，手上感觉到的拉力就越大，如果一撒手，它就会向前飞去。换句话说，正是手给了球一个约束力，链球才会保持圆周运动，而且圆周运动的速度越大，链球需要的约束力就越大，这种约束力叫向心力。而在我们看来，就好像是有一个力在向外拉链球，这个力就像前面讲过的惯力一样，其实并不存在。

这个力的方向与向心力相反，所以俗称离心力。

在讲牛顿第二运动定律的时候我们引入了加速度的概念，如果加速度的方向与速度方向垂直，它当然就不会改变速度的大小，而只改变速度方向。如果加速度随时与速度方向垂直，那么物体就会作圆周运动，而这个加速度称作向心加速度。用微积分的方法可以很容易算出向心加速度的大小应该是：

$$a=v^2/r$$

v 是物体运动的速度， r 是圆周运动的轨道半径。用 m 代表作圆周运动物体的质量，根据牛顿第三运动定律，向心力就应该是： $F=ma=mv^2/r$

所以月亮会围绕地球旋转，也一定有一个力在充当向心力。牛顿指出，这个力就是万有引力，它存在于任何两个物体之间，不但苹果落地、月亮围绕地球旋转都是由于万有引力的作用，使行星围绕太阳旋转的向心力也是万有引力。并且根据开普勒三定律证明了万有引力大小与距离的平方成反比。1678年他正式提出了万有引力定律：

任何两个物体都是相互吸引的，引力的大小跟两个物体质量的乘积成正比，跟它们距离的平方成反比。

用公式表述就是： $F=Gm_1m_2/r^2$

不必记住这个公式，只要有一个概念就可以了。上式中 G 是一个恒定不变的数，它很小，大约在 10^{-11} 量级，所以虽然万有引力正像它的名字说的，无处不在，也就是说两个人面对面站着的时候彼此之间正在相互吸引。

但是这个引力非常之小。小到什么程度？这么说吧，如

果两个人体重大约是 60 公斤,那么两人相距一分米的时候,彼此之间的引力大约相当于质量为两克的物体受到的重力,所以虽然它无时无刻不存在,我们却根本感觉不到这个力。

但是因为我们脚下的地球质量非常大,所以它给我们的万有引力就不能忽略,这就是通常说的重力,也就是那个让苹果下落的力。月球同样要受到这个力的作用,但是它不会落地,现在就来解释这其中的原理。

设想一下——或者干脆试着做一下,在地面上高度是 h 的一点,以初速度 v 向水平方向抛一个物体,它会沿抛物线轨道落在地平面上。这就叫平抛运动,讨论这种运动时,我们认为地球表面是一个理想的平面,重力加速度的大小和方向都恒定。

但这只适用于初速度比较低、射程比较小的时候,实际上地球是一个球体,如果初速度和射程都足够大,就不能笼统地说地面是平的,要考虑它的弧度。当抛出物沿曲线轨道下落,地面也沿球面向下弯曲,重力的方向也跟着改变了。

牛顿提出,站在高山上用不同的水平初速度抛出一个物体,初速度越大物体的落点离山脚越远,如果速度足够大,物体就会环绕地球运转,成为一个人造卫星。

这也是今天我们使用的所有人造卫星共同的原理,显然这也是月亮不会落下来的原理,很明显它的速度足够大。根据万有引力定律和向心力公式我们很容易算出这个速度:

$$v = \sqrt{GM/r}$$

在地球表面,近似地认为 r 等于地球半径 6400 千米,代入上式, v 等于 7.9 千米/秒。这个速度是人造地球卫星

在地面附近环绕地球作匀速圆周运动必须具有的速度,叫第一宇宙速度,也叫环绕速度。

在法国科幻作家凡尔纳的作品《蓓根的五亿法郎》中描写了一门超级大炮,人们本想用它攻击远方的目标,但是由于炮弹的速度太大,已经超过了第一宇宙速度,因此它射出炮口后就再也没能落回地面,成为了地球的一颗人造卫星。

当然,用大炮发射人造卫星是不可能的,所以虽然牛顿在 17 世纪初就提出了人造卫星的原理,但直到二百多年以后,火箭的发明才使人造卫星的梦想才变成现实。

空间站可以看成是好多可以载人的卫星串联起来的大型人造卫星,它作匀速圆周运动的向心加速度,等于卫星高度处的重力加速度,所以空间站里的宇航员都处于失重状态。

实际上宇宙中其他的天体对我们也有引力作用,但是由于它们离我们太远,所以它们的作用基本可以忽略不记。不过如果到了宇宙空间,地球对我们的引力也随距离增加变得很小,这时各方向的引力基本平衡,所以宇航员也会处于失重状态,这和空间站里的情况不完全相同,但同样表现为失重。

在地球上,我们放开手让一个物体不受任何约束地自由下落,这种运动叫自由落体运动。设地球质量为 M , 根据万有引力定律,作自由落体运动的物体受到的重力是 GMm/r^2 , 根据牛顿第二运动定律,重力加速度 g 为:

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

可见, g 仅与地球质量有关,与物体的质量无关。那么

为什么我们平时看到羽毛比石头落得慢呢？这是因为石头密度大，空气对它的阻力与它所受到的重力相比基本可以忽略，但是对于羽毛而言，阻力的作用却不可以忽略。如果在真空中，它们就会以相同的速度下落。月球表面基本可以看作是真空的，美国的阿波罗号飞船登月的时候，宇航员们进行了这个实验，事实证明羽毛和石块确实是同步下落的。

第六节 套环棒与哟哟

——动能定理、机械能守恒定律

上一节里讲了太多开普勒、牛顿等老人家的事情，实在闷得慌，让我们轻松一下，玩一会儿，物理学家有时也得休息一下不是吗？

有一种玩具叫套环棒，这是一种非常简单而又逗人喜爱的玩具，它是由一个塑料环套在一根棒上组成（塑料环的内径比棒的外径大些）。用手指轻拨塑料环使它旋转后立即将棒直立起来，塑料环便开始从棒上下落（下落速度比预期的要慢）。在环下落的时候，它转得愈来愈快，而下降却愈来愈慢（图 1-6-1）。

在塑料环即将到达棒的下端时，将棒倒过来，上述过程就可以长时间地重复。可是如果只考虑牛顿第三定律和动量定理，这完全是不合逻辑的，尤其环的下落速度，按照以上两条法则，应该是越来越快才对。那么，塑料环下落时，旋转速度为什么会加快？塑料环实际的下落加速度为什么比

重力加速度小？

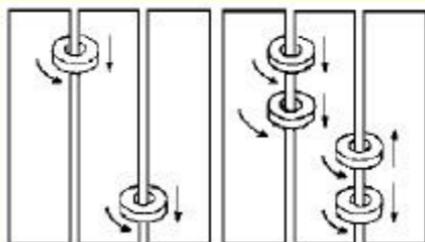


图 1-6-1

现在，同时套上两个塑料环。这种结构不仅更好玩，而且往往会发生令人惊奇的现象。上面的塑料环可以下降得比下面的塑料环快，因此可能撞到下面的环。若发生这种情况，两个环就会被弹开，上面的环就会往上升，这是什么道理？

要说明这个问题，我们不得不引入能量的概念。对能量，朋友们大概都有一定的认识，生活中大家常说电能、热能……但究竟什么是能？

如果我们对一个物体施一个力，物体前进一段距离，在物理学上就说这个力对物体作了功。做功必须有力和物体两个因素，力的作用停止后，物体虽然仍向前移动，但已经没有力对它做功了。功的大小表示为：

$$W=Fs$$

其中 s 表示物体在力的方向上前进的距离。

如果一个物体能对外界做功，这个物体就具有能量。这个解释当然很不严密，但比较容易理解，就我们目前讨论的问题也够用了。

我们知道一个运动的物体具有动量，如果它撞击另一个

物体——比如我们曾经说过，打台球时母球撞击子球，它对子球就有了一个力的作用，在此期间子球前进了一段微小的距离，然后与母球分开继续向前滚动，所以母球对子球作了一定量的功。对于正碰的母球和子球，撞击后母球静止，不再具有做功的能力，而子球却由静止转为运动，获得了对外做功的能力。我们可以说，母球对外做功后损失了能量。

实际上，物体对外做功后必定损失能量。如果打英国的“小球抢8”，母球的型号与我们平时用的相同，但子球却小得多，母球和子球的质量并不一致，因此，发生正碰后母球的速度并不会减为零，但它的速度必然显著下降。由此可知，母球的能量必然与速度有关，并且随速度增加而增加。

由于母球具有的这种能量与运动密切相关，因此这种能量被称为动能。我们曾经证明，初速为0的作加速运动的物体，在一定时间内前进的距离是 $s=vt/2$ ， $v=at$ ，而 $F=ma$ ，因此，母球对子球作的功为： $W=Fs=matv/2=mv^2/2$

$mv^2/2$ 这个量就是子球得到的动能，物理学中用 E 表示能量，动能则用 E_k 表示。一个速度为 v_1 的物体本身具有一定动能，如果外力对它做功，它的速度将改变为 v_2 ，也就是说它的动能将改变。通过代数计算，可以证明：外力对物体做的总功等于物体动能的改变量。这就是动能定理。

在自由落体运动中，做功的力是重力，动能的改变量就是 $Gh=mgh$ ，可见，一切处在高度 h 的物体也具有一个能。与之类似，拉满的弓可以使箭带着一定的动能飞速射出，说明拉满的弓也具有一个能。这两个能有一个共同点，它们都是使静止的物体具有运动的趋势，所以叫势能，用 E_p 表示。

由重力产生的势能称为重力势能，而弓的势能呢，当然就是弹性势能。势能与动能统称机械能，重力势能的大小为：

$$E_p = mgh$$

现在拿重力势能来说，研究动能与势能的相互转化。很容易看出，做自由落体运动的物体，势能减少了多少，动能就增加多少。再来研究一下重力势能我们就会发现，同一个物体，重力势能的改变量只与下落的高度 h 有关，而与它运动的轨迹无关。

以后还会提到，电场力也有与重力相同的性质，电子电势能的改变只与它在电场力方向上移动的距离有关。这种力统称保守力，我要向你介绍的机械能守恒定律就是：只有保守力做功情形下，物体的总机械能保持不变。

现在，我们已经了解了动能定理和机械能守恒定律，那么动量守恒定律一节里遗留的问题我们已经可以找到答案了。不过我们依然在为套环棒而迷惑，因为对于做自由落体运动的物体，由势能转化成的动能都由向下的速度表现出来，所以本应下落得越来越快才对，套环棒恰恰相反。

但是注意，对于套环棒来说，由于圆环与棒之间存在摩擦，因此圆环不能简单地自由下落。圆环围绕棒旋转，与棒垂直的摩擦力使圆环稳定。圆环一边转动一边向下，由于有一部分重力势能转化为转动动能，所以圆环越是向下转得越快。

另一方面，圆环的转速越快，它产生的离心力越大，它对棒的压力也越大，因此与正压力成正比的摩擦阻力也越大，因此它下落得就越来越慢了。如果拿算盘作一简单的试

验,手指转动算珠,它围绕套棒下落。你会发现算珠在下落过程中下落得较慢,越是向下转得越快,而下落得越慢。

还有一种我们喜欢的玩具,也非常简单,但物理学的知识却被十分巧妙地运用在它身上,这种玩具叫哟哟。它是由一枚绕上线的针把两块小圆盘连接而成。这种小玩具在西方很流行,近代才传到中国,“哟哟”两字也是英文“yo-yo”的音译,很遗憾,至今没有找到合适的中文意译。

把哟哟扔下后它会停留在线的末端旋转,直到你把线轻轻一提,它又会返回上行。倘若停留在线的末端旋转的哟哟碰到地面,它会沿着地板行走,这就是“走狗”游戏。

更有趣的一个特技表演是,先使哟哟停留在线的末端旋转,然后把线从你的手指上卸下,捏在大拇指和食指中间,此时猛拍一下这只手,哟哟就开始向上回来走完整个线的长度,哟哟自己会把松开的线很好地卷起来。待线卷接住哟哟,把它放入口袋。那么哟哟停留在线的末端旋转是怎么一回事?

这当然难不倒我们,因为我们已经了解机械能守恒定律了,消耗的机械能必然转化成动能。这样就可以理解哟哟返回上行的原因,因为机械能之间是可以相互转化的,重力势能可以转换成动能,动能当然也可以转化重力势能。但是仔细想一想,你又不会这样想当然了,因为我们所说的一切都只停留在理论上,这一切转化过程我们还是一无所知。

说出来也许你不信,这个让哟哟上行的力竟然是摩擦力。不错,摩擦力通常会以阻力的面貌出现,所以我们总习惯说“摩擦阻力”,但摩擦力也并不总是充当阻力,有时它

也会成为驱动力，哟哟上行就是一个例证。

当哟哟在线的末端旋转时，在线和与线接触的哟哟底部之间的动摩擦力很小。突然把线向上拉动会增加哟哟和线之间的接触力，由于摩擦力突然增加就有可能使滑动中止。由于静摩擦力比动摩擦力大，于是哟哟不再滑动而又恢复滚动，这样哟哟便会自己绕线。

第七节 泰坦尼克的悲剧

——压强和浮力

一、托起巨轮的力

1912年4月11日，英国昆士敦港，一艘巨轮正在起锚，准备迎接它横渡大西洋的首次航行。这艘巨轮船体长达270米，重达46328吨，这就是举世闻名的“泰坦尼克”号。

泰坦是古希腊神话中一个巨人的名字，船如其名，泰坦尼克号是当时由人类建造的最大的移动物体。出了自身的重量，它还载着1316名乘客和891名船员，“白星”轮船公司的老板布鲁斯·艾斯枚亲自上船督阵，62岁的爱德华·史密斯担任船长。

史密斯是个老航海家，在海上跑了大半辈子，富有航海经验，是“白星”公司的一大宝贝。由于岁数大了，史密斯提出退休，并已与公司签了退休合约。但为了保证“泰坦尼克”首航成功，艾斯枚还是请出史密斯，让他最后一次担任船长，并答应跑完这一趟后便让他退休。

这艘船的结局，也许大家都知道了，但我们并不甘心它的结局，会有人问，是什么使这个庞然大物能够漂浮于水面？每当我们想到这一点，不能不倾倒于人类的智慧，不能不折服于大自然的神迹。46328 吨，这是一个怎么样的概念，是怎样一只巨手才能把它擎起？

这只巨手就是浮力。这个词并不陌生，鸿毛、落叶这些轻小的物品可以轻易飘浮于水面，木头、竹子，也可以，我们的先民就利用它们的这种性质制造出独木舟、竹排，驾驶着它们踏上了征服大自然的旅程。直到后来，木质的货转、客船、战船一直统治着中国的航运事业，直到近代。

当然并不是随便什么东西都可以浮于水面的，钢铁和石头就不可以。一般人解释这种现象时会说：“木头的重量比水小，所以浮在水面；钢铁重量比水大，所以沉到水底。”以物理学的眼光看，这个解释并不严密，但还可以接受，因为这句话的前提条件应该是：相同体积的水、木头和钢铁。所以物理学家更喜欢用密度这个量来代替上面那句话中的“重量”二字。密度是质量与体积的比值，用 ρ 表示：

$$\rho = m/V$$

其实不只是水，所有液体都有使密度比自己小的物体飘浮的能力。让我们做一个实验，把一个鸡蛋放入装有淡水的杯中，这时，鸡蛋很快就沉到水底，同时杯中的水位便升高了。注意，水位上升的体积与鸡蛋的体积相等，这不难理解，但是这很重要，所以记住这一点。

当我们把多出的这些水取出来称时，会发现这些水的重量比鸡蛋轻，当然这是因为鸡蛋的密度比水大。然后，我们

再把一个鸡蛋放入装有盐水的杯,这时你看到什么?鸡蛋浮起来了。再倒出与鸡蛋体积相等的盐水称一下,就会发现盐水比鸡蛋重,这说明盐水的密度比鸡蛋大。

淡水的密度比鸡蛋小,所以鸡蛋就会下沉;而盐水的密度大于鸡蛋,当然鸡蛋就浮起来了。这个实验可以很好地说明物体飘浮的条件。

木质的船只可以很容易地浮在水面,对于这一事实,没人会有什么意见,但是密度比水大的钢铁制造的船只为什么也能飘浮呢?

我们知道木头在水中会受到浮力,其实铁在水中也会受到浮力作用。用弹簧秤将铁球吊起来,然后再将铁球放入水中,你会发现,弹簧秤的读数变小了,就好像铁球变轻了。而铁球减少的重量正是它所排开的水的重量。这就是阿基米德定律的内容:沉物体于液体中,物体减轻之重量,等于所排除液体之重量。

阿基米德(公元前 287 ~ 前 212)是古希腊著名的物理学家和数学家。传说他是在洗澡时发现阿基米德定律的,这又一次证明了开始说的,物理学家异于常人的地方,就是他们会随时注意身边的小事,保持着自己的一份好奇。并不是每一件小事里都包藏着什么秘密,但是每一个秘密都隐藏在小事背后。

明白了阿基米德定律,我们就可以明白了,铁船之所以能浮在水面,是因为船体的重量等于其浸入水中部分所排开的水重。事实上我们不应忽视铁船与铁块的区别,铁块中间是没有空隙的,但铁船不同,在它铁皮的船壳中间,还留有

巨大的空间作为船舱。一艘铁船的体积，远比与它相同重量的铁块大。所以，铁船飘浮的原理与木头飘浮的原理没什么不同。

泰坦尼克之所以能够飘浮，奥妙正在于此，它不但具有一般轮船具备的巨大船舱，还有一整套由 16 个防水舱构成的系统，该系统由多扇巨门隔离，并可以随时通过一个电钮或是水传感器触发。再加上一英寸钢板构成的双层船壁，如此让人惊异不已的先进的安全技术使当时的报界开始称之为“不可沉没”的轮船。

然而这正是悲剧的开始，正因为泰坦尼克号出色的安全系统，使得人们放松了对海难的警惕。首先是救生艇，泰坦尼克号在原始设计时要求有 32 艘救生艇，然而，白星的管理人员认为这样会让甲板显得拥挤，于是把救生艇的数目降到 20，只能容纳 1178 人。其次，失事前泰坦尼克号不止一次接到过前方有冰山的警告，但“白星”轮船公司的老板艾斯枚和船长史密斯，船上最重要的两个人物，一直对冰山漫不经心。

要知道，冰的密度是 0.9 克/立方厘米，而水的密度是 1 克/立方厘米，冰的密度略小于水的密度。所以根据阿基米德定律，冰山的大部分都浸在水中，只有约十分之一浮出水面。

终于，1912 年 4 月 14 日晚上 11 时 40 分，泰坦尼克号与冰山遭遇，虽然船员们在尽可能早的时间里发现了冰山，并采取了相应措施，但还是为时已晚。轮船移动得太快，而冰山又太近了，巨大的质量也使泰坦尼克号的惯性作用远大

于普通轮船。尽管船员们全力以赴，泰坦尼克号只是微微的改变了方向。37 秒钟后，右舷的船头撞上了冰山。

尽管数吨冰块山崩似地落在前甲板上，船只轻轻地抖了抖，继续向前滑行，几分钟后才停下来，船头的五个舱被撞坏。“泰坦尼克”号的船体由 15 道横向防水舱壁分成 16 个空间。根据设计，这 16 个空间中任何两个进水，船都照样能浮。而且，即使前面 4 个空间都进水了，船也不会沉。但如果前面 5 个空间进水，船体受到的浮力就再也不能支撑船的重量，船非沉不可。

以后的事情大家都知道了，在这场历史上最严重的海难中，705 人获救，1502 人罹难，而许许多多的传奇故事也由此诞生。

泰坦尼克号的故事讲完了，但关于浮力的故事却还要继续。阿基米德定律可以告诉我们物体受到浮力的大小，但是，他并没有阐明浮力的成因。

二、压强和浮力

要说明浮力的成因，必须从压强谈起。

我们都听说过“头悬梁，锥刺股”的故事，用自己的腿实验就太辛苦了，所以我们可以用一块后臀尖来做实验。拿一把锥子顶在上面，微微用力，锥子很容易地就刺进了肉里。现在换一根粗铁棒，但是任我怎么用力，铁棒也不能深入肉中。锥子施在肉上的压力显然远小于铁棒，但锥子可以刺进肉里，铁棒却不能，这是因为铁棒和肉之间的作用面远大于锥子。

但是如果用相同的一把很钝的锥子，我们会发现，用力

小一点，它就无法刺进去，用力大一点，就可以把它刺进去了。显然存在一个量，它与物体的受力大小成正比，与受力面积成反比，这个量就是压强，用 P 表示： $P=F/S$

现在我们看看液体的压强。液体是有重量的，所以它对容器的底部必然有压力，液体的重量除以容器的底面积就是液体对容器底部的压强。现在忽略易拉罐底面的弧度，和罐内气体的作用，设 S 为底面积， m 为可口可乐的质量， h 为易拉罐的高度，那么一罐可口可乐对罐底的压强是多大呢？

当然是： $P=mg/S$

因为易拉罐一般都做得很标准，基本可以看作是完美的圆柱体，所以 m 可以改写成： $m= \rho V= \rho hS$

所以，罐底受的压强也可写作： $P= \rho gh$

以上就是通用的液体压强公式，可以证明，不管容器的形状如何，一定深度处的液体压强只与深度 h 、重力加速度 g 及其自身的密度 ρ 有关。

另外根据牛顿第三定律可以推测，当一定深度处的液体对它下方的液体施加一定大小的压强，下方的液体也必向上施加一个反方向的压强，事实上，在液体内部的某一点，向各个方向的压强，都相等。

现在我们把一个方形的物体比如方盒什么的，放在水里。方盒的上下表面面积都是 S ，厚度是 h 。假设上表面位于水下深为 h_1 的地方，下表面位于水深为 h_2 的地方，那么上下表面受到的压力就分别是 $F_1= \rho gh_1S$ 和 $F_2= \rho gh_2S$ ，那么上下表面的压力差就是： $F=F_2-F_1= \rho gS(h_2-h_1)$
 $= \rho gSh = \rho gV=m \rho g$

上式中 V 就是那方盒的体积，也就是被排开的水的体积， $m_{\text{水}}g$ 就是被排开的水的重量。如果用圆柱形的易拉罐实验，也会得到相同的结果。而且不管用什么奇形怪状的玩艺做这个实验都会得到相同的结果。而将上面的式子稍加改进，我们就可以得到阿基米德定律的公式表达法： $F = \rho_{\text{液}} g V$

当浮力 F 等于物体所受的重力 G 时，物体就可以漂浮于水面。

三、大气压强和铜半球的秘密

不单液体，其实气体也是有压强的，因为尽管气体很轻，但它依然有一定的重量。气体的密度大约是液体和固体的 1000 分之一倍。

气体的压强就叫大气压强，也就是我们平时说的气压。它的算法与液体大致相同，所以越往高处，气压会越低，在北京住惯了的人，冷不丁跑到拉萨去，就会因为气压变化太大而受不了，也就是所谓的高原反应。

对于空气是否有重量和真空是否可能存在的两个问题，历史上曾长期争论不休，但亚里士多德的“大自然厌恶真空”的说法始终占上风。

伽利略曾发现，抽水机在工作时，不能把水抽到 10 米以上的高度，他把这种现象解释为存在有“真空力”的缘故。但是直到意大利物理学家托里拆利（1608 ~ 1647），才真正解决这两个问题。

在总结前人理论和实验的基础上，托里拆利进行了大量的实验，实现了真空，验证了空气具有重要的事实。从 1643 年起托里拆利曾先后采用多种液体，设计了多种实验方式进

行研究，如海水、蜂蜜、水银等都是他选用的对象。大量的实验证实了抽水机提升液体的高度，决定于液体的比重。

托里拆利选用的水银实验，取得了最成功的结果。他把装满水银的玻璃管一端封闭，开口端插入水银槽中，发现无论玻璃管长度如何，也不管玻璃管倾斜程度如何，管内水银柱的垂直高度总是 76 厘米。后来人们称这一实验为“托里拆利实验”，完成实验的玻璃管为“托里拆利管”。

水银柱上端玻璃管内显然是真空的（接近真空，有少量水银蒸汽存在），称“托里拆利真空”，这是世界上首次人工获得的真空状态。

托里拆利根据这一实验得出结论：空气具有重量，空气重量所造成的压力与管内水银柱的高度所造成的压力相等，才使水银柱具有某一确定高度。托里拆利根据自己的实验，提出了可以利用水银柱高度来测量大气压，并于 1644 年同维维安尼（1622 ~ 1713）合作，制成了世界上第一具水银气压计。

根据托里拆利实验，可以计算出地表附近的大气压强为 1.01×10^5 牛顿/平方米。这是一个怎样的概念呢？也就是说，当我们轻松地躺在床上安然入梦，身上其实正压着重达几吨的东西。

不要摇头，一定有人在想：“别神侃了，身上压着几吨的东西，那还能活吗？再说，我怎么没感觉？”我可不是神侃，我们身上的压力是客观存在的，但是之所以我们依然活得好好的，是因为我们在受到上方的空气挤压时，下方的空气也会给我们一个几乎是同样大小的压力。

记得那个方盒吗？我们的处境与它差不多，只不过我们把它浸在水中，而我们自己却被浸在空气中。于是，来自四面八方的压力相互抵消，我们基本上就感觉不到什么压力了。另外，我们体内本身也有压力，这时我们不会被压扁的原因。

如果还不相信空气会又如此之大的压强，那么只好在再来做一个实验。

把两个边缘很光滑的金属半球，对接上，把球内抽成真空。我们用一根坚固的绳子把其中一个半球挂在房顶，然后把一个个铅砵子挂在另一个半球上。结果怎样？两个半球分开了？不对！我们把所有的铅砵子都用光了，最后还加上我们自己，可是两个半球却仍然严丝合缝，挂半球的绳子若是断了，倒是会把我们摔了下来。

把两个半球压紧的力正是大气的压力。没有抽气的时候，球内外的压强是一致的，压力也一致，所以看不出大气压的威力。但是当球内抽成真空，球内的气压为零，球外大气的压力就把球紧紧地亚在了一起。

其实，早在 300 多年以前，德国物理学家居里克（1602 ~ 1686）就设计过一个比我们的实验精彩一百倍的实验。居里克当时也是德国马德堡市市长，所以这个实验被称作马德堡半球实验，它戏剧性地演示了真空的存在和大气压的大小。

所谓马德堡半球是两个铜制的半径约为 45 厘米的半球，在垫圈上涂油脂后对接上，再把球内抽成真空。然后用两个马队分别拉一个半球。1645 年居里克在德皇和国会议员们面前演示了这个实验，一直用到 16 匹马，分成两队，

才把两个半球拉开。自此以后，真空和大气压力的概念就深入人心了。

气体与液体一样有压强，所以阿基米德定律也同样适用于气体。由于氢气的密度远小于空气，所以，氢气球可以很轻易地飞向高空。但是用来做载人飞行的气球可不是用氢气的，因为氢气实在太贵，很不划算，另外再好的气球也不能完全杜绝漏气，如果用氢气的话，在飞行中氢气无法得到有效的补充，当然会越飞越低，最后落下来。

载人飞行用的是热气球，后面我们要讲到热胀冷缩，热的空气经过膨胀密度要比同质量的冷空气小，这就使它能够带着吊篮飘浮在天空。

第八节 吊桥倒塌之谜

——振动

1831年，骑兵们正在列队通过英国曼彻斯特附近的一座吊桥，突然一声巨响，吊桥突然倒塌，大多数官兵还没反应过来就掉进了河里，骑兵队损失惨重。

刚刚说完泰坦尼克号的故事，原本不想再提这些惨剧。但是这件事实在很有意思。因为倒塌的那座桥可不同于我们现在的那些豆腐渣工程，它是当地重要的交通枢纽，在平时，更多的人、更重的货物压在上面都没事，那么为什么骑兵们通过的时候它会突然倒塌呢？

要说清这个问题，我们就不能不先弄清楚什么是振动。

一、振动

物体或物体的一部分在平衡位置附近来回做往复运动，这种运动就叫振动。所谓平衡位置，顾名思义，是物体静止时所处的位置，在这里，物体受的合力为零。

振动有两个条件，第一个就使物体离开平衡位置后就会受到一个力，使它回到平衡位置。根据这个力的效果，我们称它为回复力。第二个条件是阻力足够小，因为如果阻力太大，物体第一次回到平衡位置时速度基本就等于零，也就不会再产生什么振动了。

最典型的振动是弹簧振子和单摆。

把连在一起的弹簧和小球穿在水平杆上，弹簧左端固定在支架上，小球可以在杆上活动。杆非常光滑，小球滑动时的摩擦力可以忽略。弹簧的质量比小球的小得多，也可以忽略。这样就成了一个弹簧振子。

振子静止在 O 点时，它受的重力和杆的支持力互相平衡。弹簧没有形变因而对它没有弹力作用，O 点就是振子的平衡位置。把它拉离平衡位置再放开，它就沿水平杆左右振动。

单摆的结构更简单，更容易制作。我们只需要把一个重物挂在一根细线下，再找个地方把线和重物挂起来，这就是一个单摆。当单摆静止不动时，接线竖直下垂摆锤 m (质点) 受的重力 $G=mg$ 跟摆线对它的拉力 T 互相平衡。

使摆锤偏离平衡位置，然后放开，摆锤就在重力 G 和拉力 T 的作用下，沿着以平衡位置 O 为中点的一段圆弧左右振动。研究摆锤沿圆弧运动的位置变化时不需要考虑向心

力，而只考虑重力沿圆弧切线方向的分力 F ，因为正是这个分力 F 是使摆锤振动的回复力。

任何振动的物体，不管单摆还是弹簧振子，它们做的都是一种往复运动。也就是说，它们离开平衡位置一定距离后就要回去，它们离开平衡位置的最大距离叫做振幅。

振动的另一个特点是重复性，或者叫周期性。物体振动的时候，它的位置和速度都要不断变化，但经过一定的时间后，它总要回到原来的位置和速度。我们把一次摆动过程叫作一次全振动，这期间花费的时间叫做周期，周期时表示振动快慢的物理量。

还有另一个表示振动快慢的物理量，这就是频率，频率代表 1 秒内完成振动的次数。周期和频率之间可以进行换算，频率等于周期的倒数。

正在做振动的物体，它的周期是固定不变的，而且物体做简谐运动的周期只与其自身的性质有关，所以这个周期叫做一个物体的固有周期。要说明振动物体的这一性质，单摆是最好的标本。现在我们不但知道单摆运动的周期性，而且还可以根据摆长算出周期的数值。但是伽利略以前的人们则根本没注意过这个现象。

伽利略偶然看到悬挂在教堂中央上空的吊灯，被教堂一边敞开的窗子吹进的风刮得左右摇摆。他赶紧把窗关上，心想，这样，灯马上就不会动了，可是灯仍然有规律地摇摆着。这时他突然感觉到：“这灯在摇动时的距离虽然不相等，可是它所需要的时间或许是相等的。”于是他马上接着自己的脉搏，口中默默数着数儿，经过多次验证，得知：灯左右摇

摆一次所需要的时间是相等的。后来，伽利略把这种摇摆特性称为：摇摆的等时性定律。

这个灯在教堂里不知摇摆了多少年，而看见的人有几千几万，谁也没有发现什么秘密，然而，伽利略却因此开发思路。后来他利用这一定律，造了一个适当长度的摆锤，用来测量脉搏的速度和均一性。后来又制造了钟表，发明了天文钟。在他双目失明、遭受教会迫害幽禁，已经风烛残年的最后日子里，还在利用他 50 年前发现的定律，研究利用摆锤测量时间。

单摆的运动更丰富，所以也更好玩，不像弹簧振子，好像就是专为科学研究而生的，别无它用。

我们小时候，一般的公园里都安装着一个或两个非常巨大的单摆——现在我们称它们为单摆，不过好像一般人更喜欢叫它们秋千。不过这没关系，反正在十几年，这是一种很不错的玩具，在“过山车”和“海盗船”出现以前，它就是最刺激的了。

直到今天，在同类的玩具中，秋千也是很好玩的。“海盗船”的运动其实也是摆动，但它的结构要复杂些，而且也不是严格意义上的单摆。

不知现在的孩子还喜不喜欢荡秋千。荡秋千时，必须先使劲摆动到一定的高度，然后只要继续保持这个运动就行了。当然，可以叫同伴帮着把秋千推起来，但是那就没意思了，必须自己坐在上面，通过自身的动作让它摆起来，这就需要一定技术了，而且还要比谁摆得高，那才够味。

大家一定还记得牛顿第一运动定律，现在来看看秋千的

运动，在没有水平推力的情况下，从静止开始荡秋千，我们应该怎样做才能让它左右摆动呢？而且要摆动到一定高度，那就意味着秋千具有了一定的机械能，这些能量是从哪里来的呢？坐着或站着时，动作是不是要有区别？在光滑的秋千架上，能够转上整整一圈吗？或者，能达到的高度有极限吗？

秋千的机械能是由我们自己做的功转化来的。每当荡秋千荡到最低点时，我们可以用升高质心（例如伸直你的腿）的办法来增大秋千的摆动。这样，你所做的功就会把能量加到秋千上，使秋千的幅度增大。

关于能量转化的过程，可以用机械能守恒定律来解释。当秋千运动到最低点，它只有水平向的速度，所以这时我们提升质心，就不会对速度有任何影响，也就是说，秋千的动能不变。但是质心提升的同时，势能却增加了，所以总的机械能也增加了。再多做几次，秋千就会越荡越高。

不过秋千从静止开始摆动的现象还是较难解释，简单地说，那是由于我们的身子向后倾和瞬时地下蹲动作获得了动能并把角动量传给了秋千。我们和秋千像一个双摆那样动作。当秋千荡到手臂的长度时，停止我们的下蹲动作，然后同秋千一起作简单的复摆而摆动，直到有机会再蹲下向回走为止。

现在，我们可能会想到把秋千悬挂在坚固的横木上、链条上或绳子上。那么请想一想从以上三种情况看，从静止荡到最高点，你做了多少功？我不准备回答这个问题了，你可以自己试着算一下，不过如果条件允许，最好的办法当然还

是作个实验。

另一种有一种很好玩的东西。西班牙的坎泼斯特拉的圣地亚哥有圣詹姆斯的神龛，圣詹姆斯是何方神圣我们不知道，但是他们烧香用的香炉倒是却是比我们中国的香炉有意思得多。他们把香和木炭装在从天花板上悬挂下来的一只银香炉中。使香炉以小振幅摆动，然后大约由六个人使劲摆动它直至摇动角度达到 180° 。

对香客们来说，这样摆动会使木炭烧得旺盛，摆动香摆是很有趣的动作：每次当香摆通过竖直线时，香客们把绳索缩短约 1 米，当香摆达到最高处时再放出与缩短了了的长度等长的绳索。

想一想，这样缩短和放长绳索的动作怎么会使振幅增加的？可以给点提示，想一想我们是怎样荡秋千的。

二、共振

现在我们来看看，把两个单摆连在一起会出现什么情况。

我们知道教堂的钟和庙里的不同，庙里的钟其实就是一个空心的铜块，挂起来，旁边还挂着一根很粗的木头，用木头以撞，钟就响。而教堂的钟是有钟锤的，用绳子一拉，钟就像一个单摆那样运动起来，重锤也会跟着摆动，撞击钟，发出声音。

钟是一个单摆，而钟锤也可以看作一个连在钟上的单摆。这样的一个系统，通常被称为双复摆。

两个单摆组合在一起，可以形成双复摆。那么，为什么不能把弹簧振子和单摆组合在一起——比如把摆锤吊在弹

簧下，而造出一种新的机械呢？事实上，如果对弹簧和摆锤作适当的选择，就能得到一个很好玩的玩具。因为是弹簧与单摆的组合体，我们可以把它叫做弹簧摆。

不出所料，当我们把摆锤沿竖直方向一拉，就产生竖直振动；不过竖直运动很快就停止了，摆锤开始像摆一样地来回摆动。过一会儿，它又作竖直振动了。这就是它的有趣之处，不管怎样，这个系统的能量在两种振动方式之间转变来转变去，并且只要还有能量留在这个系统中，这种情况就会一直延续下去。

那么应该怎样选择摆锤的质量以及弹簧的质量和长度才能得到这种振动的交换？究竟为什么会发生这种交换？摆锤从一种振动方式换成另一种振动方式的周期是多少？

通过实验，我们发现，选择质量和长度，应该本着这样一个原则，必须使得弹簧的振动频率与摆的振动频率接近于完全相同。这样，一旦系统中的一种振动形式开始发生，弹簧的扭弯就会把能量传递给另一种振动形式，直到能量全部转移过去。接着转移方式又反过来进行，能量又传回给另一种振动形式。

显然，在弹簧摆的振动中，最重要的就是振动频率。那么设想一下，如果用两个普通的单摆，把它们挂在一根紧张的绳上，让其中的一个摆摆动，另一个摆会怎么样？实验证明，另一个摆会按照第一个摆的频率摆动，而且，第二个摆的摆长与第一个相等时，它的振幅比我们用来做实验的其他几个摆大得多。

第二个摆之所以会摆动，是因为第一个摆通过连接它们

的绳子给了它一个力，这个力叫做策动力。

实验证明，策动力的频率等于振动物体的固有频率时，振幅最大；策动力的频率跟固有频率相差越大，振幅越小。当策动力的频率跟物体的固有频率相等的时候，受迫振动的振幅最大，这种现象叫做共振。

三、揭开吊桥的秘密

不知不觉中我们开始接近主题了。大概朋友们已经猜到，那座吊桥之所以会倒掉，就是因为发生了共振。虽然脚每踏一下重步只把一点点能量加给振动，但是如果在重步行走和桥的振动之间发生共振的话，能量会贮存和逐步积聚起来，这就可能导致振动的振幅极大地增大，从而使桥倒塌。在吊桥倒塌的悲剧中，就是因为军队的步伐与桥的固有频率合拍，所以桥就倒塌了。从此以后，部队通过桥时就传令，不准齐步走。

火车过桥的时候情况与部队过桥时相似，车轮对铁轨接头处的撞击也是周期性的策动力，如果它的频率接近于桥梁的固有频率，就可能使桥的振幅大到桥梁断裂的程度。火车过桥要慢开，以便策动力的频率远小于桥的固有频率。

轮船航行的时候，也会受到周期性的波浪的冲击而左右摇摆。船的摇晃通常不过使人感到不安而已，但是如果波浪以船的共振频率冲击船，那么这时船的摇晃就可能是非常危险的，激烈的共振甚至可以使轮船倾覆疆。

所以，有时要改变轮船的航行方和向航行速率，使波浪冲击的频率远离轮船摇摆的固有频率。另外，有些船备有部分灌以水的水舱，以减小这种危险性（图 1-8-1）。

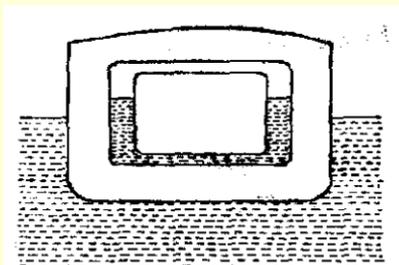


图 1-8-1：船内减摇水舱的横截面图

这种水舱的尺寸是经过精心选择，从而使水舱内的水的共振频率与船体的共振频率相同……但是等等，这里有没有弄错什么问题？既然共振条件是相同的，那么减摇水舱怎么能使船身摇晃的共振聚积停止下来呢？

船的摇晃比冲击船的海浪要晚四分之一周期。这并不是一个科学的表述，但却是我们能找到的最简单的说法。还记得图 1-11-2 的单摆吗？把船和波浪想象成两个这样的单摆，假设它们从 C 点出发开始摆动，那么也就是说，当代表海浪的单摆第一次移动到 O 点的时候，代表船的单摆刚刚离开 C 开始运动。

水舱振荡时它的共振频率与船身的共振频率相同，但是它又比船的摇晃慢四分之一周期。因此，水舱的振荡比外界波浪整整慢了半个周期，恰好与波浪的运动方向相反，它将反抗船的摇晃。

物理学中有一个描述振动的概念叫做相，在这里，要明确地说清这个概念不是很容易。但是可以这样理解，一个振动的物体，在它做振动的一个周期中，对应于每一个时刻，都有一个位置，这个位置就可以反映出此时此刻的相。相又叫

相位或周相,如果用弧度来对应周相,那么每落后一个周期,周相就落后一圆周,即 360° 。在减摇水舱的问题中,也可以说船舱摇晃的周相比海浪的周相落后 90° 。

总之,周相的概念比较复杂,朋友们有一个大致的印象就可以了,在讨论比较简单的振动问题时,还不需要引入相的概念,但是以后我们要讨论波动等比较复杂的运动,这时引入相的概念就比较方便了。

在动画片里,常常看到卡通人物用高亢的尖叫把所有的玻璃震碎,有一篇获得诺贝尔奖的小说叫《锡鼓》,小说里的主人公就有这样的本领。作者不完全是夸张,现实中确有其事,不过这跟什么气功或者特异功能可完全没关系。当歌剧演员尽力放声唱到某一个高音的时候就可能出现这种情况,那是因为歌声的频率刚好达到了玻璃的固有频率。但是歌剧演员唱到这个音的时候,玻璃也不会马上碎,只有用这个音唱拖腔的时候,才会把玻璃震碎。因为在刚刚达到固有频率的时候,振动的强度并不大,在声音延续的这几秒钟里,振动才能逐步增大到足以使玻璃破碎的程度。

第九节 声音如何被听到

现在我们知道,声音的本质是振动,而且要依靠声波——一种纵波来传播。但它是怎样一种振动,我们又为什么会听见它呢?

在历史上,为了弄清这个问题,人们思索和试验了几千年。也就是在一多百年以前,对于声音的研究才取得了一些

成就，并且从此飞速发展起来。当然，这二百年来，人类在物理学以及其他科学方面取得的进展，要比过去五千年还多，所以对声音的研究虽然发展的很快，却还不是最快的。

还记得“吾爱吾师，吾更爱真理”的亚里士多德吗？他对声音的本质曾作过很杰出的猜想。他指出，物体撞击空气，空气一涨一缩，产生声音。但许多世纪来，证明或反驳他的理论的工作，都做得很少。直到十九世纪，物理学家们才重新对这项研究产生了兴趣，许多人开始研究和试验声音。德国的欧姆、范·赫尔姆霍兹和英国的卡尔文爵士等物理学家提出了“声学”的许多基本定律。赫尔姆霍兹还解释了我们耳朵察觉声音的方法，即我们怎样听到声音。

现在我们就来看看“声音”究竟是怎么一回事。比方说我正坐在球场边看一场棒球赛。投球手挥动手臂，把球掷出，击球手马上把球引至左侧一击。当球棒碰到球时，会发出尖锐的“咻”的一声。这声音是怎样来的呢？它又是如何到达耳朵的呢？

在回答这些问题之前，必须对空气多一些了解。声音借空气传播，而空气是由不同的气体（例如氮和氧）的分子或原子组成的。这些分子迅速地向四面八方运动，互相撞击。在每立方厘米空气中，就含有数十亿个这样的分子。

球棒击球的时候，它们之间的空气被挤出去。如果用一具超级显微镜来观察这个动作，我们会看到，当球棒向球接近，它们之间会有好多小球被驱逐到四面八方——当然，这些小球就是空气分子，而最后的那些分子必定会走得非常快。如果有一把锤子，再有一滩人行道上的积水，我们就能

对上述过程有个概念了。如果用锤子敲击水潭，水就会溅得老远。水从落下的锤头底进出，向各方喷射。

同样的道理，当球棒与球相接触的时候，球棒与球之间的空气分子因为受到挤压而迸发出来。这些分子的高速运动使它们撞击它们前面的分子。这些分子又撞击更远的分子。于是，速度在分子间不断传递，形成一个逐渐扩大的圆形。最后，我们耳朵里的空气也受到撞击，它们又接着撞击我们的耳朵，于是耳朵就会报告我们，已经“听到”球棒击着球儿那“啪”的一声了。

如果把球、球棒与耳朵之间的分子当作一排小球，把它们被吊起来，彼此相隔几厘米——有点像图 1-5-1 的两个小球之间再加上几个小球，我们就更容易直观的理解这个问题了。当然，这次我们要选择弹性比较好的小球——最好是比较柔软的橡胶球，而且小球静止的时候也不要相连。

当球棒和球碰在一起，它们之间的分子被推斥，也就像第一个小球被推动。接着第一个撞击第二个，第二个撞击第三个，这样一路下去。当冲击向前传递，两球暂时地碰到一起。在它们与那较分散的一排球儿当中，有一段空间，它们密集的地方，被叫做“高压区”，而分散的地方，则被称之为“低压区”。

“高压”与“低压”的说法，实际上是指空气的压力。因为当空气分子挤在一起，空气压力自然会比周围高一些。正如把许多水蒸气分子一起压在蒸汽机汽缸内，产生高度的蒸汽压力一样。

高压区也就是我们所说的波峰，而所谓低压区就是波

谷。就是这些高压区和低压区波动，经过耳朵，使耳鼓振动，“听到”声音。在普通温度下，声波从声源出发，每秒钟可以走 340 米。因此，如果一个离我们 1 公里的地方发生爆炸，我们就要在差不多 3 秒钟之后才能听到声音。

哈，一公里，那可是一段长途旅行了。然而我们的声波还没有开始它们真正的冒险呢！你知道，我指的是它们在我们耳道中的这一小段旅程。相对于耳朵外面的一公里，耳朵里这一段短短的距离简直微不足道，然而却具有最决定性的意义。因为如果耳朵出了问题，声波就算走上 2 万 5 千里，我们还是听不到。

有人会喜欢安静的环境，但是这里有没有人感受过真正绝对安静，也就是听不到任何声音的环境吗？不管是谁，只要试过就会明白，那真不是人待的地方！可想而知，我们能拥有健康的耳朵是多么幸福，而听不到音乐、听不到语言的聋哑人又何等痛苦呀！

看，又把话说远了。闲言少叙，现在就来关心我们身上这个神奇的机构——耳朵吧。

我们平时看见的那个被称之为“耳朵”的东西，其实只是真正的耳朵的一小部分。它的真实名称应该叫“耳廓”。耳廓的存在有助于聚拢声波。

我们有体会，当我们想听到隔壁屋子里的低语，我们可以把一个酒杯的杯口贴在墙上，再把耳朵贴在杯底，声音就会清楚一点，这就是因为，杯子协助耳廓聚拢了声音。

耳孔里面的外耳道和耳廓共同构成了“外耳”。外耳虽然对听力有影响，但却远不如内耳和中耳。如果外耳受到轻

微的伤害——甚至于整个耳廓都没有了，人还是可以听到声音——当然效果会受到一定程度的影响。

外耳道的末端紧贴着耳鼓——一块有弹性的皮膜。耳鼓背后是一个小腔，就是中耳——也被称为鼓室，它连接着外耳与内耳。鼓室中有三块小骨头：锤骨、砧骨、蹬骨，之间有关节连接。这些骨头中有一块是附在耳鼓上的，还有一块附着耳蜗。耳蜗是一个深凹的结构，形状有点像蜗牛的壳，部分装有液体。

当一个高压区经过耳朵，耳鼓会略略地被压进去。而低压区经过的时候，耳鼓就被略略地拉出。耳朵的这种内内外外的运动或振动，使锤骨、砧骨、蹬骨一齐动作——因为它们是连在一起的。它们的运动使耳蜗的一端振动，于是耳蜗中的液体泛起阵阵微澜。在液体上面有一排排细小的绳状的纤维，纤维内有很多小细毛。液体的波动使纤维起伏，而毛发则在另一块固定的薄膜下前后移动。

如果这些毛长在体外，在你的皮肤上，你一定会感觉到有什么东西搔得你发痒。但是由于这些毛是长在耳朵里，并且由听觉神经连接到脑子的不同部位，我们就把这种搔痒解释为声音了。

用手指，也能真实地感觉声音的振动。用双手抓紧一张大纸贴近嘴唇。如果大声唱歌，当唱到一定的音符时，抓着纸的手指就会有一种被爬搔的感觉。这就是手指感觉到的声音了——或者手指正的“听到”声音。之所以唱到一定音符才出现这种现象，那是因为每个音符实际上代表了一定频率的声音信号，当声音的频率与纸张的固有频率相同，就会发

生前面讲的共振，纸就会很剧烈地振动起来，让手指感受到它的振动。

第十节 我们的乐队

——声学的一些知识

真得很羡慕蟋蟀等秋天鸣叫的昆虫，虽然一般只是雄性的才会鸣叫，但是它们没有声带，怎么能发出如此悦耳动听的声音呢？

原来，它们的歌声不是用嘴唱的，而是从腹部发出来的。在蟋蟀等雄性昆虫的腹部，有一对双层的前翼翅，其上翅背面有锯齿纹，此纹与下翅根部的摩擦片互相摩擦发出声音，并经过下翅摩擦片旁边的发音膜将音量放大，声音就很洪亮了。

另外，在雄蟋蟀的翼翅和腹部之间有一个气囊，能起到共鸣箱的作用。当雄蟋蟀振翅摩擦时，所发出的声音经过放大、共鸣，变得既洪亮又悦耳。如果用小提琴作比喻，锯齿纹相当于弓，摩擦片相当于琴弦，发音膜和翼翅下面的气囊相当于共鸣箱。昆虫利用这样的装置和不同的摩擦速度，能发出各具特色的叫声。

它们真是天生的音乐家，生来就有随身携带的乐器，走到哪里都可以走出最有个性的乐曲。我虽然也有自己随身的乐器——口哨，可是就远不如它们的乐器精妙了。

我们虽然没有蟋蟀那样天生的乐器，但是现在我们已经

学过了一些波动和声的基本知识，为什么不自己动手来做几件乐器呢？说不定我们还能用这些乐器组成一只物理学家的乐队。名字已经想好了，很酷的，就叫“落体定律”，大家说怎么样？

一、打击乐器

根据我所受的音乐训练，节奏应该是一首乐曲的灵魂，所以，打击乐当然必不可少。

鼓是最流行的打击乐器，可是大家注意过没有，如果敲击一个双面鼓的一面，例如敲击印第安人所称的汤姆-汤姆鼓的一面，那么两个面都会振动起来，尽管在某一任意的瞬间不是两个面都振动。

显然，振动是从一个面传送到另一个面，而每一个面几乎有周期性地停止运动。为什么会出现这种现象呢？鼓膜会因共鸣而振动吗？能量前后传递的频率是由什么决定的？

假定一面鼓膜在振动，而另一面没有振动。运动的鼓膜由于推动着两个膜之间的空气，开始激励起另一面鼓膜发生振动。但是，当第二面膜开始振动时，由它所推动的空气阻止了第一面膜的振动，最后使第一面膜的振动停止。到了空气使第二面鼓膜的振动达极大值，而使第一面鼓膜完全停止振动的时候，情况就相反了，然后空气把振动传送回第一面鼓膜。

这就是双面鼓的振动情况，不过别忘了，我们关心的是如何做一面鼓。

有人听到过一种用汽油桶做成的乐器吗？这种乐器名叫“钢鼓”，也叫它“锡鼓”或“铁皮鼓”，记得有一部文学

叫《锡鼓》的文学作品，最近在国内出版时就被译成了《铁皮鼓》。

可是用汽油桶怎么能做成乐器呢？这是我们最关心的。因为知道了这个道理，我们就可以自己动手做一只了。

一九四五年，特立尼达和多巴哥人民庆祝第二次世界大战胜利结束的狂欢游行中，把炼油厂扔弃的五十五加仑汽油桶截开当作乐器来喧闹气氛。其不平凡的音色引起人们极大兴趣和注意。后来，经过进一步试验，制成了这种出色的敲击乐器——“钢鼓”。

这种“钢鼓”是截取汽油桶底部的一节，使桶底朝上并把它弄成锅形，再在上面开凿线槽，并把锅面分成面积和凹度不等的若干小块。这样，有几个到二十多个音的“钢鼓”就初步做成了。

“钢鼓”的鼓槌是顶端裹有橡皮的两根小木棒。用这两根小木棒在鼓面上按着一定的部位顺序敲击，同时改变击奏的力度，就可获得各种不同的完整音阶，并可使“钢鼓”从低音到高音配成乐队。“钢鼓”的音色明亮甜美，包含丰富的泛音和颤音。因此，一个技巧娴熟的钢鼓乐队完全能够奏出弦乐、木管、铜管或管风琴的音响效果来。

汽油桶应该不是很难找，没有的话用油漆桶也可以，至于如何调整鼓的音色，那就看我们自己的智慧了。

如果做铁皮鼓觉得麻烦，这里有个简单的乐器。

谁都知道水杯是一种很好的打击乐器。同样的酒杯，分别注入不同量的水，用筷子敲击，就会发出高低不同的音调。如果注入的是其他液体，音调又会不同，把这样几个酒杯排

列在一起，就是一架音色优美的编钟，声音还挺动听的哩。

普通的玻璃杯也行，但高脚葡萄酒杯效果更好。高脚杯回声大，用手指一敲杯口，就能发出悦耳的声音。有时声音很大，连整个屋子都听得见。这是为什么呢？原来，当我们用手指敲高脚杯缘时，杯子就会发生振动，这个振动和玻璃杯原来就容易产生的振动（叫固有振动）相配合，其振动就愈来愈大了。如果此时向杯中注入半杯水，你就会看到水面因振动而形成的波纹。

可以用玻璃杯做个试验，也可以试试用酒杯能不能演奏出动听的乐曲。但要记住，如果要使试验成功，必须在试验前用肥皂水把玻璃杯洗干净。

二、弦乐

有了打击乐部分，还要有管乐和弦乐才算得上一只完整的乐队。几乎每支摇滚乐队都少不了吉他和贝斯这两种拨弦乐器，贝斯其实也就是低音吉他。玩吉他的右手指甲都要留得很长，用来拨弦，但这也不很绝对，不喜欢留指甲的可以用拨片来弹琴，一定程度上效果比指甲还好。

弹吉他时，只要绷紧弦线，它的音调就升高了。同样，假如使大姆指和食指间张拉着的一根橡皮筋绷紧，那么会发生什么现象呢？当橡皮筋绷得更紧时，它的音调会变化吗？不，音调几乎保持不变，或者说，如果有变化的话，音调变得更低而不是更高。为什么橡皮筋和吉他弦线之间存在这种差异呢？

要知道，弦线振动的频率与弦线的密度、长度和张力有关。如果前面两个参数不变，绷紧弦线增加张力，就导致振

动频率的升高。但是，如果拉长橡皮筋，那么三个参数都发生改变，因而频率基本上仍保持不变。所以，用橡皮筋，我们是做不成乐器的。

吉他在大学里很流行，每个人都能玩，可是同为拨弦乐器，竖琴就不这么下里巴人了。

吉他会产生蹦蹦、蹦蹦的拨弦声，而竖琴就柔和悦耳多了。这是因为演奏这两种乐器的方法是不一样的，吉他用指甲或拨片拨弦，而竖琴用手指弹奏。当用手指甲拨动或甩一个尖利的拨片活动时，所激励出的较高谐振频率比用手指弹弦时发出的多。这些较高的频率必然使吉他奏出的曲调具有蹦蹦声。

竖琴还好理解，可是小提琴和胡琴就奇怪了。吉他手拨动一根弦，是直接拨弦使之产生振动。但是，显然平滑的运弓又是怎样激发小提琴弦线振动的呢？原来，乐弓交替地触及弦线并接着滑动，使弦线在滑动的居间时间里发生振动。那么想一想，音调的高低是否有赖于运弓的压力或速度？

还有一种更奇怪的乐器，叫风鸣竖琴，古希腊有这种东西，琴置于风中会发出歌唱般的声音。现在这种琴虽然不多见，但我们还是有耳福听到这种声音的，刮的大风一碰到电线或树枝那样细的东西，就会发出这种“嗖嗖”的响声。不过这声音毕竟不如琴发出的优美，却和用力甩鞭子时发出的声音一样刺耳。这是为什么呢？

一般认为这是因为在空气中强烈振动像鞭子一类细棒状的东西时，棒状物的后面就会出现空气的旋涡，引起空气振动而发出的响声。一般称这种旋涡为“卡曼旋涡”。空气

流中一旦碰到棒状的物体，气流被打扰，气流就出现错位，于是就形成了涡旋。风在锐角处或缝隙的后测也会形成这种涡旋而发出来类似的声音。风的大小不同，声音的高低也不同。

三、管乐

1. 哨音的产生

传说人类最早制造的乐器就是一种管乐器，产生于8000年前，是在中国发现的，样子像今天的箫，而且在生产上还有一定的用途。

不管8000年前的人用管乐器做什么，今天的我们可是离不开它，例如水壶的盖子上装的一个双层的哨子，就是家庭中的管乐器。

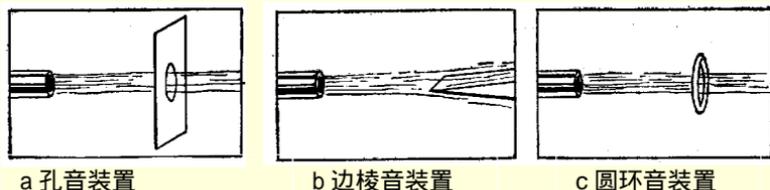


图 1-10-1

这种哨子我们可以自制。材料是用清凉油盒，在壶盖上打

个洞，再用钉子把清凉油盒凿穿，把凿出的孔对准壶盖上的孔，固定好。这样，哨子的上下有两个小孔，其间有一个腔室。用这种加工过的水壶烧水，当水快烧开时，会发出一种啸声。

这声音是怎样产生的？这与气流穿过平板中的小孔时

的情况(图 1-10-1a)很相似。

气体经过小孔时,受到小孔的扰动而发声。声音的一部分返回气流源,改变气流的速度,以致形成环形的气流旋涡,与吸雪茄烟时喷出的烟环相仿。当这些旋涡再到达小孔时声音又被加强了……

水壶中的气流先穿过第一个小孔,再到达第二个小孔。穿过第一个小孔的气流,成为第二个小孔的气流源。气流在两孔之间的腔室来回流动时,像气流穿过中板中的小孔一样,声音得到加强,但还不会发出啸声。

水没有开时,气流经过第二个小孔时的速度较小,气流也比较稳定,到水快煮开时,流经第二个小孔的气流速度加快了,气流的不稳定度加大了,气流就发生了我们所听到的啸声。

图 1-10-1 中列出了另外两种装置,它们都是在气流通过的路线上放置一个障碍物而产生哨音。例如,气流直对着尖劈就产生边棱音(图 1-10-1a)。同样,把一个圆环放在气流流程中,就产生圆环音(图 1-10-1b)。当然还有刚才说过的茶壶发出的哨声,在气流的通路上有一个孔,产生的声音就叫做孔音。在每一例子中,哨音都与障碍物有关,但关系是怎样的呢?

在产生边棱音的装置中,当空气流冲出边棱时,从它那儿散发出涡旋。于是边棱的反作用力就产生出我们所听见的声音。有些声音回到气流的发源处,引起气流的不稳定,这种不稳定性产生出更多的顺着气流的涡旋。

当涡旋到达边棱的时候,将产生出更多的声音,整个过

程又将周而复始。在产生孔音的装置中,就像我们刚才说的,回到气流发源处的声音改变了气流的速度,从而促使许多涡旋环的形成。当这些环冲击孔时就会产生出更多的声音,整个过程也将周而复始。

之所以要反复强调这些,是因为一切管乐器的原理几乎都与这三种装置有关。

吹可口可乐瓶口时,瓶所发出的嗡嗡声是此类哨音的一个例子。这里不仅有障碍物,即瓶口边缘,而且紧接着障碍物的还有一个空腔。长笛、录音机和管风琴也是这类哨声的例子。

可口可乐瓶与上面三个装置的区别,就在于紧接着障碍物处附加了一个可以产生不稳定性的共振腔,长笛与唱片也有这个共振腔。边棱或孔处产生的声音有一定的频率范围,孔强从这些频率中选择它的共振频率来加强,这个频率就是所听到的频率。

2. 用胶卷盒制作笛子

管乐器里,笛子就最常见了,结构也最简单。笛子有两种,一种是带簧片的笛子,一种是贴笛膜的笛子。它是一种用于独奏、合奏和伴奏的重要的管乐器,一般有一个吹孔和六个指孔。

此外,在靠近吹孔处还有一个膜孔,常以芦膜或竹膜作笛膜。当用嘴吹带簧片的笛子时,空气使簧片产生振动发出声音。当用嘴吹横笛时,空气在吹孔里形成一个旋涡,这种旋涡也是一种振动,并通过对笛膜的振动使笛子发出悦耳的声音。

下面就是最精彩的，让我们来用胶卷盒做一个笛子吧。现在市面上卖的胶卷一般都是 135 的，外面套着一个有盖的黑色塑料盒，我们就用这个空胶卷盒做笛子。当然首先要去卖一盒胶卷。

在胶卷盒的侧面沿着母线（就是与胶卷盒这个圆柱体的中心线平行的线）开一个长方形的孔。另外在盒底上也开一个小孔，把一根线穿进盒底的小孔里，在盒里面系上一个结。盖上盖后，拿着伸在盒外的线头把盒子回转挥动起来，就会发出一种难以描述的“叩叩叩……”声音（图 1-10-2）。

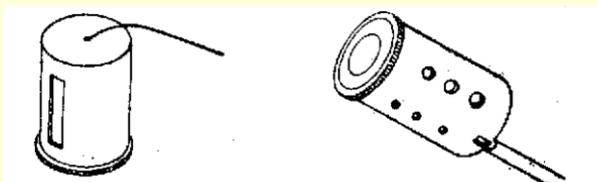


图 1-10-2：胶卷盒做的哨子 图 1-10-3：胶卷盒做的笛子

这声音是怎么产生的，原因是它在空气中高速运动，空气斜着撞上侧面开的孔就发出这种声音。至于声音为什么不是连续的，原因可能是由于胶卷盒回转吧。

如果让长方形孔在圆周方向的边长保持为 5 毫米不变，而把母线方向的边长作种种改变，结果会是怎样呢？是孔的边愈长声音就愈高呢？还是相反，边愈长音高就愈低呢？还是音高保持不变？

如果找来很多胶卷盒，一个一个地分别开成长度不同的孔，那是太麻烦了，只用一个胶卷盒就可以作这个实验。办法是先把孔开得很长，作完实验之后，再用胶带把孔粘位一

部分再作孔长更短一点的实验,这样就可以用一个胶卷盒作很多次实验,也就会立刻得到这个问题的答案。

不过这只是一个哨子,像图 1-10-3 那样的才勉强算是个笛子。

3. 口哨

最后,还有一种管乐器,就是我们一开始提过的口哨。可别小看口哨呀,它是所有哨声中最普遍的而又可能是最难阐明的。这个声音是怎样产生的,我们真的能说清吗?当然,简单地说,口哨可以看作是孔音,嘴唇就是那个孔,而我们的口腔可以看作那个共振腔。

四、声乐

一支好的乐队很有必要有主唱。国内乐队一般都用男主唱,但是国外有很多乐队用女主唱。一般来说,女子的嗓音会比男子高,这是因为,声带的长度和张力决定嗓音的音调:当气管内的气压增加时,声带突然受力而离开,然后再回到它原来的位置。声带不断地振动使气压产生变化,从而激励出口腔和鼻腔的共振谐音。男人的嗓音一般比女人低,这是因为男人往往有较厚和较长的声带,因此会产生较低频率的振动。

在喉部迅速发育的时期,男孩的嗓音会发生“突变”。这时,声带从短而薄变到成年人的声带,喉咙可能会不太适应,会觉得说话时放不出声音。所以正在变声的朋友,平时不要大声喊叫或用嗓过度。

在低语的时候,声带在喉部放松地来回移动。声音的频率既与气流中其他障碍物所产生的振动有关,又与口腔和鼻

腔的共振频率有关。

五、“浴室歌唱家”

有些人固执地认为,只有在浴池里才能最好地展现他的歌喉。这也不奇怪,因为我们中的很多人也喜欢在淋浴时唱歌,而且觉得自己唱得比帕瓦罗蒂也不差,这是为什么呢?

如果在很大的一块空地上唱歌,就只能听到我们所发出的噪音。在淋浴分隔间里,每个声音都会被近处的墙壁反射许多次,因此声音听起来有拖长的感觉,这样就增添了我们歌声的活泼性(高频音的延续)和丰满性(低频音的延续)。

所以,只在浴池里当歌唱家当然不行,只有音乐厅能体现音乐家的真实水平。可是,音乐厅通常都造得高而窄长,假如不希望有回声,那么墙壁和天花板不是应该以接近听众为好吗?这样听众就不能区分直接声和反射声了。

如果要消除回声,为什么墙壁和天花板不用吸音材料覆盖呢?就算只考虑音响不考虑美观,音乐厅的设计仍然不是基于消除全部声反射上。事实上墙壁和天花板可以用对声波有漫反射效应的具有凹角和裂隙的材料来覆盖,看上去就好像墙壁刚出过麻疹。无反射效应的音乐厅其音响效果据说是令人窒息的,在那里举行的演出简直令人无法忍受。

原来为了得到清晰的回声,反射声至少应比直接声晚到50毫秒。消除了墙上的反射声,会使音响效果大为降低。墙的设计是为了使声音漫射到室内各处。为了散射短波长(高频波),墙上的一些散射体应该小一些;而为了散射较长的波长(较低频的波),墙上另一些结构轮廓应该较大一些。为了消除室内相消干涉的无声点,散射必须具有足够的

漫射性。

提到回声，不能不提到北京天坛的回音壁。低声耳语，一般离开几米远就听不见了，可是在回音壁却不然。面向墙壁说话，即使离开 45 米远也能听清楚；靠墙越近，听起来越清楚。

英国伦敦的波尔—中特拉尔大街有一个巨大的圆形屋顶，里边有一个圆形的“私语走廊”，直径 34 米。私语者不管站在走廊的什么地方面向墙壁说话，站在走廊上都能听清楚，如果私语者靠墙很近，则听起来就好像私语者站在自己身边一样。

为了解释这个现象，先看一个模型（图 1-10-4）。在模型的一端放一支鸟笛，另一端相对处放一支燃着的蜡烛，笛声即能使蜡烛的火焰晃动。



图 1-10-4

有人可能会认为，这是声音直接传播的结果。但是，若在回音壁模型内任意处竖一块屏，火焰就不摇晃了！可见，蜡烛火焰的晃动决不是笛声直线传播造成的。

那究竟是怎么一回事呢？

一块狭窄的屏就能使蜡烛的火焰不摇晃，这不仅说明了

笛声不是沿着直线传播的,而且也说明了笛声不是经过空中(或者圆形屋顶)传播的。声波是沿着墙壁附近一个很窄的区域传播的。听者站在这个区域里,就可听见低声耳语。如言者离开墙壁远了,声音削弱了,听者就不容易听清楚。

北京天坛的回音壁,和伦敦的私语走廊一样,都是由于声音不断地在围墙上反射的结果。整个围墙都很光滑,反射时声音比空气中传播时减弱得慢。因此,声音能顺着围墙,经过多次反射而传播很远。而且,私语声中含着较高的频率,这比普通讲话更能听清楚。

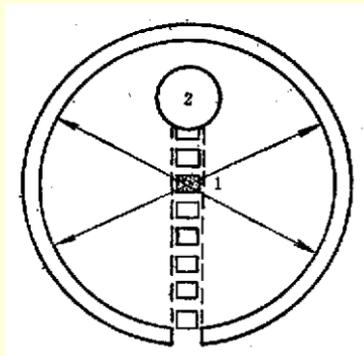


图 1-10-5: 回音壁
1 三音石 2 皇穹宇

回音壁其实只是皇穹宇的围墙,皇穹宇是皇帝祭祀的地方,回音壁的设计也完全是为音响效果服务的。从皇穹宇的台阶到大门,有一条白石铺的路,从台阶数起第三块石头就是三音石(图 1-10-5)。如果站在这块白石上鼓一下掌,就可以连续听到“啪、啪、啪”三响。因此人们把这块白石称作“三音石”。这不仅让人想到三潭映月,可是,难道声音也会有倒影吗?

让我们看一看回音壁的建筑结构,三音石在以围墙为圆周的圆心上。站在三音石上鼓掌时,声音传到围墙的各个部位,反射后都经过圆心,并继续沿着圆的直径方向传播,碰到了对面的围墙又依然沿着直径反射回来。这时,我们听到的是第二次回声。声音往返于围墙之间,接着就可以听到第三次回声。如果鼓掌鼓得响一些,由于围墙很光滑,所以留心听可听到更多次回声。围墙的半径是 32.5 米,声音在半径长度上往返一次约需 0.2 秒。如果零声较响。则在一秒钟内还可连续听到啪、啪……五响。

如果我们是在混凝土建造的长涵洞前急剧地拍手,那就更有意思了,不仅会听到拍手的回声,还会听到一种“嘶啰”声,它以高音调开始,在几分之一秒内就降到了低音调。这时,通过涵洞时被增强的声音必须以一定的角度从壁上反射,而这个角度又与声音的波长有关。

与较短的波长相比,较长的波长必须以更大的角度反射,才能得到加强以及最终被听到。因此,波长较长的波在每次反射之间,沿涵洞洞长前进的行程较短,结果达到洞口用的时间就较长。这样,在洞口的人,最初听到较短波长的声音(高频音),然后逐渐地听到较长波长的声音(低频音)。

还有一些房间以其奇妙的音响效果著称,其中有的甚至可形成声音的聚焦。显然,在古代锡拉丘兹地牢中的所谓“酒神之耳”,就是利用了声音聚焦的原理,通过隐蔽管道的音响效果,暴君可听到地牢中囚犯们的谈话甚至耳语。

还有一个近代的例子,在华盛顿国会大厦中,旧众议院大厅上的圆屋顶可以通过反射将声音从一侧传到对侧,甚至

连私语也可听见。据说不止一次，有的议员为在低语时不知不觉地泄露了党派的机密而感到困恼。

在西西里的吉尔根蒂大教堂里，发生过更具有讽刺性的使人窘迫的事。教堂的形状是一个旋转椭球体，在椭球的一个焦点处发出的声音，在另一个焦点处听起来几乎一样响。教堂建成后不久，人们无意中选择了一个焦点作为忏悔地点。

后来另一个焦点偶然被人发现了。发现者去听忏悔者对神父单独的忏悔言词只是为了取乐，有时他还带他的朋友们去听。据说，有一天他的妻子前往忏悔，这样他和他的朋友都知道了秘密，弄得此人啼笑皆非。

不过这就不是回声在作怪了，这是因为在一个椭圆形房间内，从一个焦点位置发出的声音射线，都会经过另一个焦点，因而使得在第二个焦点处可以听到第一个焦点处的谈话声。

我们说了半天回声，有人可能把回声解释成是远处的某个物体对声波的反射，可是对吗？请解释一下，为什么有些回声折回到发声者那儿其音调比原来的高？而为什么高音调声往往比低音调声产生更响和更清晰的回声？能听到回声的发声者到反射墙的最短距离是多少？

根据很多前辈的实验和计算，声音被小物体（比声音波长小的物体）的散射与波长的四次方成反比。因此，较短波长（较高频率）的散射比较长波长（较低频率）的散射要强。叫喊声中回声音调较高是由于频率越高反射回来越强。

哎呀，本来谈音乐，不知不觉聊起回声来了，不过好在

离题还不远，回声也可以奏乐的。不信吗？当我们在一个栅栏或一段楼梯的近旁发出一个声音时，有时就可听到音乐般的回声，原因何在呢？

如果我们面对着栅栏，从左边某一根栅条处反射的声音，比从左边更远的一条栅条处反射的声音回到你这里要稍快一些，因为更远的那一根栅条离我们稍远些。返回的声音开始来自较近的一些栅条，然后来自一次逐渐原理的栅条，从而使回声产生了音乐般悦耳的调子。音调的频率与相邻两栅条反射时间的间隔成反比。

声学的问题比较复杂，所以我们只列举了一些现象，可是还有好多东西没说呢，比如把海螺放在耳边为什么会听到哗哗的声音，小时候，家里人告诉我们说那是大海的声音。如果把空瓶子之类放在耳边，也会听到类似的声音。这声音究竟是怎么来的，根据我们前面讲过的那些知识，朋友们大约也能推测个八九不离十。不过总之，再复杂的声学现象也不过是空气的振动，我们只要研究这振动是怎么产生的。

第十一节 “我是那种力”

——电的本质

人生来就离不开声音，因为有了语言之后才产生了真正意义上的人，有一种东西，古人是没有的，但现代人却离不开，这就是电。可以说，人类学会用电以后才有了真正意义上的现代科技。

一、不可或缺的“力”

魔鬼梅菲斯特说：“我是那种力，总想作恶，却总去行善。”

电就是这种力，它是洪水猛兽，任何人只要稍有不慎，轻则皮肉受苦，重则送命。在过去那些蛮荒的年代，人类只认识可怕的闪电，他们认为那是天神最可怕的武器，西方人认为那是宙斯的宝剑，而中国人也以“天打雷劈”作为最毒的誓言。

但是物理学家找到了驯服它的方法，现在，它原本只能用来作恶的强大威力已经被人类牢牢地控制住，用来行善了。

第一个降服电的科学家是美国的本杰明·富兰克林（1706~1790），他第一次把天空中桀骜不逊的闪电凭借人力禁锢在了小小的莱顿瓶中，并且发明了对抗雷电的盾牌避雷针。而另一位美国人托马斯·阿尔发·爱迪生（1847~1931）发明的电灯，真正使电力成为每个普通人都可以享用的资源，把人类带入了电气化的时代。

这两个人是美国科学家的骄傲，也是全世界科学家的骄傲。富兰克林是至今为止在政治上最有作为的物理学家，但是以物理学的眼光来看，他在科学上的成就远远超过他在政治上的作为，虽然美国人大多不这么看。

爱迪生是诺贝尔以外另一位凭借科学发明而崛起的百万富翁。自从爱迪生发明了电灯，人类就再也离不开电了。今天，做饭用的微波炉、电饭煲，洗澡用的热水器，我们亲密的朋友——电视和音响，当然还有家用电器的鼻祖——电

灯，没有这些电器，真不知道日子该怎么过。

电不是万能的，可没有电是万万不行的。这么说没人会反对吧？可是有没有人怀着这样的疑问：电是从哪里来的？我们平时用的电力和闪电、静电究竟有什么关系？

二、电压和电流

电究竟是什么呢？为了说明电通过的情况，我们把电比作水。你可以看到水流的情况，和低处（或浅的）水桶相比，在同样多的时间内，贮水桶的位置越高（或者水桶越深），水流就越强，（喷出来的水又多又远）。电也是高低，强弱之分的。

我们曾经讲到过水压的问题，由于水有重量（也就是地球的引力），所以具有压力。当水装入水桶中时，这种压力时刻都想把水从四面八方推出桶外。水桶放的位置越高，这种水压就越强，把水推（压）出去的力也就越强。

电要想流动，也因为有一种“把它推出去的压力”，这种压力来自电的“发源地”（干电池、发电机等）。由于它是一种“电的压力”，所以叫做“电压”。为了说明电压是强是弱，用“伏特”作为进行比较、计算和测量的单位（就像说明质量大小用“千克”，长短多少用“米”作单位一样）。比如我们身上的 BP 机里所用的干电池，电压是 1.5 伏特（简称为：“伏”）；家里用的电，它的电压是 220 伏；小半导体收音机用的是 3 伏、4.5 伏或 6 伏等等。

正如把水的流动叫做“水流”一样，我们把电在灯泡、电炉等电器用具等物体内部通过的现象，叫做“电流”。为了比较和计算电流的大小（或强弱），用“安培”作为计量单

位，简称为“安”。

凡是要用数值说明电压或电流时，必须同时注上单位。如把长度单位的米写成“m”，重量单位的千克写成“kg”。为简化起见，也把伏特写成“V”，安培写成“A”。但是在念的时候，请把V读成伏特，A读成安培。

在比较电压的时候，往往要说电压的“大小”或“强弱”，准确的说法应该是电压的“高低”。比如，“高电压”不说成“大电压”或“强电压”，更不能说成“大压”或“强压”。正如天气预报中所说的“高气压”、“低气压”，又比如“高血压”、“低血压”，“高水压”、“低水压”一样，电压当然也应该以高、低来区分了。

古代有水车，现在水电站，都是利用水力作能源的，一个风平浪静的湖泊，水再多也不能提供能源，只有在大江大河里，当水流动起来的时候，才可以提供能量，所以提供能量的并不是水本身，而是水流。电也是如此，我们通常所说的电其实指的都是电流，电不流动是不会提供能量的。

现在我们知道了，我们平时使用的电准确地说应该叫电流，是电的运动。但是到目前为止，我们还是不知道电究竟是什么东西。相信大家都知道，物质是由原子构成的。可以把原子分为两部分，这两部分分别是原子核与核外电子。原子核与核外电子有着截然相反的两种性质，这就是正电性和负电性，显正电性的物体就叫带正电荷或带正电，显负电性的物体就叫带负电荷或带负电。所以，可以说世界上所有的物体都是时时处处带着电的。

三、摩擦“起电”

所谓“起电”或“生电”，不如说成“取电”，因为，任何地方本来都存在着电，关键在于用什么高明的办法把它取出来。明白了这个道理，以后再读到参考书上写的各种产生电的方法，不要把它理解成是制造出来的，而应理解成是“取出来的”。

人体内是有电的。可尽管这么说，要是和小电灯泡联接起来，也不会发光。这是什么道理呢？刚才说了，电有正电和负电。在世界万物中，这两种电总是同时对等地呆在一起。因此，从表面上看不出有电的样子，也就是不发生电的作用。比如，这本书里有 10 个正电，又有 10 个负电，那么，加在一起就变成 $+10-10=0$ 。也就是变成没有啦！这和小学算术中的，得到 10 个，又给出 10 个，结果一个不剩的意思差不多。

但是，应当特别指明：用这种计算方法作为便于理解的例子是可以的，用来解释电的本质可就错了。算术计算的结果确实是“一个不剩”或“没有了”；可是，正电和负电却明明还一动不动地呆在那里。只不过在正常情况下，物体内（应该说原子内）带负电的电子数和原子核带的正电数是完全相等的。所以，看上去好像没有电一样。

另外，原子核里面还有一种不带电的粒子。带正电的粒子叫“质子”，不带电的粒子叫“中子”。不过这些问题，是原子物理研究范畴，在电学里就不一一讲解了。对于显电中性的物体，可以这样理解，这就好比有两个人在家里睡着了，你去敲门时，没人搭理。你能说“家里没有人”吗？

如果摩擦物体，就会自然地“唤醒”无数正在沉睡着的

带电粒子，它将飞出去吸附在别的物体上。不过，由于带正电的原子核质量大，不能自由移动，所以飞出去的总是带负电的电子。因此，电的运动方向通常是一定的，比如，用毛皮摩擦瓷器时，总是毛皮上的负电跑到瓷器上去了。这样一来，由于瓷器上负电增多，成为起负电作用的物体；而毛皮由于失去了负电，使正电变多，成为起正电作用的物体。它们就变成了“带电体”。

不过这种带电的状态是很不稳定的，正负电荷总是想重新结合，组成完整的原子，所以正负电荷之间总是会相互吸引，而同种电荷之间则会相互排斥。所以比如，当积聚了许多负电的物体，靠近纸屑时，纸屑上的正电和带负电的物体相互吸引而拉到一起。在一般的物理教科书中，都把这样由摩擦产生的电叫做“静电”。

另外还要强调一点，电荷是可以传递的，两个物体的接触的时候，电荷会从电压高的物体上流到电压低的物体上，最后两个物体的电压达到平衡，就像船只通过船闸时，打开闸底的活塞，河水就会从水位高的一侧流向水位低的一侧，直到闸门两边水位持平。换句话，也可以理解成电荷会从电荷多的地方流到电荷少的地方。

所以，用带电体吸引纸屑时，一开始纸屑都吸在带电体上，但是过不了多久，纸屑就会纷纷从带电体上弹开。

带电的物体，如果电压较低，只能吸住纸屑等轻物体；如果电压较高，就会发生放电，还能打出火花和“啪、啪”的声响来。我们穿脱尼龙或晴纶毛衣时，经常会遇到这种情况。

打雷就是两块带着极高电压的乌云相遇产生的放电现象，它能发出耀眼的闪电和轰隆的巨响。所以，一提到静电，似乎还是挺可怕的。当然，打雷也可以看作一种特殊的导电现象——气体导电，这在以后还要具体讲。

现在，我们明白了摩擦产生静电的道理。以前，做这种实验大多用毛皮和琥珀摩擦，现在，用化学纤维布和塑料相互摩擦也能生电了。在物理课上，最常见的使用毛皮摩擦橡胶棒使橡胶棒带负电，或用丝绸摩擦玻璃棒使玻璃棒带正电。

四、“反向流动”的电

平时使用干电池的时候，我们总说电是从干电池的正极出发，通过用电器，再流回负极的。也就是说，“电流的方向是从正到负。”可是，随着电学研究的进步，人们逐渐认识到：“电流就是电子流动。”这是一个很大的变化，因为，最早人们认为是“正电在流动”，而实际却是“负电在流动”，这岂不是完全相反吗？

而且，电学上几乎所有的定律或法则，当初许多学者在发现它们时，都是按照“从正到负”流动来考虑的。假如现在要把它纠正过来，也就是说，要按电流的真正流动方向——电子从负到正的流动，那么，所有这些定律或法则也必须全都反过来重新考虑，不然就都不能成立。

这样一来，影响就太大了。所以，把电从正到负的流动方向，作为一种规定保留下来。事实上，电子的流动方向，恰恰和规定的电流方向是相反的。只要记住和懂得这一点就可以了。不过不管事实上是负电荷向左移动还是正电荷向右

移动，在位置上的相互关系是一样的。因此，把正电从正到负规定为电流的方向，和电子从负到正的实际电流方向，虽然意义不同，但效果是一样的。不过，必须强调一点：不论什么时候，大家都要按照一致规定的电流方向讨论问题。如果没有或不遵照统一的标准，那就非乱套不可。

现在，电学书籍中都写着“电源的方向和电子流动的方向相反”，学校里老师也是这样教的，因为这符合国际上公认的统一规定。

不过最后再补充一点，电子流动形成电流并不是绝对的。通常在金属导体里只有自由电子可以比较自由地运动，所以在金属导体里，也只有电子流动才能形成电流。但是如果是在酸、碱、盐等化合物的溶液里，由于水的作用，化合物就变成带电的正负离子了，这时，正离子就向我们规定的电流方向流动，而负离子就像导体中的电子一样，逆着电流方向移动。

解决一般的电学问题这当然也无所谓，但如果电流的成因对电路有影响的时候，就要注意了。所以，具体分析电流的形成时候，还要注意电荷的载体是哪种粒子，它能不能自由移动。

第十二节 危险的淋浴

——关于静电

一、浴室里的电场

淋浴，有多危险？很危险！我们知道触电会要人的命，人如果触电的话，并不是一定会死，但是基本上只有 36 伏以下的电压才是真正安全的，如果加在人身上的电压高于这个数值，虽然未必立刻就死，但肯定很难受。

当你在淋浴时，飞溅的水会使室内空气带负电，产生这些电场的原因是什么，详细情况迄今还未了解清楚，但是在十九世纪，德国物理学家勒纳德（1862~1947）曾指出，在飞溅附近悬浮在空气中的较大水滴带正电荷，而较小的水滴则带负电荷。由于大水滴沉降得比小水滴快，使空气中留下了许多带负电的水滴和一个颇强的电场。这个电场的电场强度可达每米 800 伏。

在天然的瀑布附近，也发现有类似的负电场。另外，当巨大的油轮用高速水喷注清洗时，产生的电场强度可高达每米 300 千伏。而且超级油轮发生的情况不仅仅是一个学术上的问题，因为清洗这些油轮时已发生过数起大爆炸事件。

啊，太可怕了！

按照人类的身高，在洗澡的时候，加在我们身上的电压至少有 1000 伏！说不定哪天我们洗澡的时候会突然被烧成

焦炭；甚至还会引起爆炸，弄得身上的窟窿比影片中的周润发还多。

不要害怕，因为这是不可能的。所以如果有人不把这一节看完，就匆匆忙忙扔下书，而且从此拒绝淋浴，甚至由此造成了什么严重的后果，我都概不负责。

事实上，淋浴不但没有危险，而且如果我们进入一个空气带有负电的环境中（例如上面讨论过的浴室），会感到愉快。带负电会使我们愉快，带正电会使你不适。因此，很可能你洗澡后的愉快感觉既与清洁有关，也同样与浴室中的负电荷有关。

我们应该有这样的体会，一阵雷雨过后，会感到空气清新；尤其在海滨、山泉、瀑布等风景区，我们更会感到心旷神怡。这是因为空气中的气体分子在催离素（地壳的轻微辐射、太阳紫外线和外层空间宇宙线的照射）的作用下，原子的外层电子会摆脱原子核的束缚而跳出。于是，这种失去电子的原子成了正离子，而获得电子的原子则成为负离子。发生这种电离的空气，就成为离子化空气。

雷雨时，闪电会促使大量空中离子的形成；海浪拍岸和瀑布冲击也会导致空气电离，从而形成离子化空气，其原理与浴室里空气的电离差不多。

离子化空气与生物机体又有什么关系呢？生物机体中的每一个细胞都是一个微型电池，细胞膜内外有 50~90 毫伏的电势差，只有在细胞电池不断充、放电的作用下，机体的神经系统才能快速准确地把视觉、听觉信息等传绘大脑，然后由大脑把命令下达到各有关器官去执行任务。

血液中的红、白血球等血细胞的正常生理功能，离不开负电荷的排斥作用。而细胞的电活动，也要靠负离子的不断补充来维持。此外，负离子还有改善肺的换气功能的作用。因此，在负离子丰富的山泉、瀑布、海滨等地，就会使人感到空气格外新鲜。

以上是生物学家的研究成果，算是道听途说，不过淋浴很舒服这倒不假。另外，泡澡的时候皮肤的血管扩张，会导致头部供血不足，对于年轻人来说，会影响思维，对有脑血管病的老人家就更不安全了——不过这是医生的研究范围，不多说了。还是淋浴优越一点。

可是为什么人类在这样强大的电场中仍然毫发无伤呢？我们不是医生也不是环保学家，而是学物理的，所以我们就来关心这件事。

二、静电感应

我们在前一节提到过金属和酸、碱、盐溶液等可以导电的物体，这些物体统称为导体。导体的特征就是它的内部有大量的可以移动的自由电荷。对于金属导体来说，这种自由电荷就是自由电子。金属原子的最外层电子跟原子核的联系很弱，在其余原子的作用下会脱离原来的原子而在整块金属中自由“游荡”，成为自由电子。失去了外层电子的原子变成带正电的离子，在平衡位置附近做热振动。所以，整块金属就是由做热振动的正离子和在它们之间做无规则的热运动的自由电子组成的。

与导体相对的是绝缘体，比如普通的橡胶和玻璃之类的。其实绝缘体也是原子核与电子组成的，但是由于它们的

微观结构比较稳定，电子就很难移动，所以在摩擦橡胶棒使之带电的时候，被摩擦的一端出现了负电荷，但手握着的一端还是中性的，甚至，还可以上棒的两端带上异种电荷。

但是也许有的朋友会产生怀疑，上一节里明明说用丝绸摩擦玻璃棒会使玻璃带正电——显然那是因为它失去了电子；可是从来没听说过，用丝绸摩擦金属棒会使金属失去电子的。这不是说明玻璃比金属更容易失去电子吗？玻璃显然是绝缘体（只听说用玻璃做光纤，谁也没听说过用玻璃做电线的），组成它的电子应该与原子核结合得更紧密才对，为什么它会比作为导体的金属更容易失去电子呢？

其实摩擦导体看不出电荷产生并不是因为它不容易失去电子，恰恰相反，它应该比玻璃更容易失去电子。事实上，在摩擦的瞬间，金属棒上一定有电荷产生。

我们说过，电荷会从电荷多的地方流到电荷少的地方，金属里的电子是可以自由流动的，当一端失去了电子，另一端的电子立刻就会流到失去电子的地方。于是，被手握住的一端也失去了电子，这时，手上的电子就会流到金属棒上，所以就看不出来有电荷产生了。而在玻璃棒上，正因为电子不能自由移动，所以棒另一端的电子和手上的电子就不会流过来补充失去的电子了。

如果把一个不带电的金属导体放到电场中，导体内部的自由电子受到电场力的作用，将向电场的反方向做定向移动。这样，在金属的一侧会聚集起负电荷，而另一侧将出现正电荷。这种导体里的自由电荷由于受到外电场的作用而重新分布的现象叫静电感应。

利用静电感应,可以得到另一种常见的使物体带电的方法,这种方法叫感应起电。取一对用绝缘柱支持的金属导体 A 和 B,导体上都贴有金属箔,让 A 和 B 彼此接触,这时 A 和 B 上的金属箔闭合,表示它们都没有带电。把另一个带正电的金属球 C 移近导体 A),这时 A、B 上的金属箔都张开了,表示它们都带了电。

实验表明,靠近 C 的导体 A 带的电荷与 C 异号,远离 C 的导体 B 带的电荷与 C 同号。如果把 A 和 B 分开,然后移去 C,则发现 A 和 B 仍带有电荷。如果再让 A 和 B 重新接触,它们就呈现中带电的状态。这说明 A 和 B 分开后所带的异种电荷是等量的,重新接触后等量异种电荷相互抵消。

利用感应起电的原理制成的感应起电机是静电演示实验中连续产生静电荷及高电压的常用仪器,它是由两个绝缘盘和两个互相垂直并分居盘的两侧的金属杆组成的,盘边均匀地粘有锡箔条,杆两端带有金属刷子(电刷),摇动摇柄可使两盘反向转动。

当摇动摇柄使电压足以使空气击穿时,演示器中球间出现强烈的火花放电,就像一个人造的微型闪电。我想我曾经提到过富兰克林把闪电收集到莱顿瓶里的事,莱顿瓶是最古老的一种电容器,实际上就是一个内外表面贴有锡箔的玻璃瓶。有时为了储存更多电荷而不放电,就可在感应起电机的金属球间连接两个莱顿瓶。

世界上最早的科幻小说是英国玛丽·雪莱的《弗兰肯斯坦》,也有译成《科学怪人》的。书中弗兰肯斯坦博士进行

实验所用的电能就是由感应起电机提供的,当然这在现在看起来有些可笑,因为用感应起电机做电源,即使把胳膊摇断了,也不可能提供最够强大的较稳定的电流。不过我们应该理解玛丽·雪莱,她虽然是一位才华横溢的女性,对于物理却一窍不通,再说她写书的时候离法拉第(1791~1867)发现电磁感应现象还有12年,再后来才有人发明了今天使用的发电机。

三、导体在电场中

由于静电感应,电场中的导体会显示出一些特殊的性质。

静电平衡状态。导体两端出现的正负电荷在导体内部形成反方向的电场,这个电场与外电场叠加,就会使导体内部的场强减小。但是,只要导体内部的场强不等于零,自由电子就继续移动,两端的正负电荷就继续增加,导体内部的电场就进一步削弱,直到导体内部各点的场强都等于零时为止。这时自由电子的定向移动停止。这种导体中(包括表面)没有电荷定向移动的状态叫做静电平衡状态。

导体处于静电平衡状态时,它表面的场强方向一定跟它的表面垂直。假如不是这样,场强就有一个沿导体表面的分量,导体上的自由电子就会发生定向移动,这就不是平衡状态了。所以,处于静电平衡状态的导体,表面上任何一点的场强方向跟该点的表面垂直。

处于静电平衡状态的导体,内部的场强处处为零。带电导体可以认为它处于本身所带电荷形成的电场中,它在静电平衡状态时内部的场强也一定处处为零。假如不是这样,

导体内部的自由电子就会发生定向移动。既然导体内部的场强处处为零，导体内部就不可能有未被抵消的电荷。这是因为，假如在导体内部某处有电荷，在它的附近的场强就不可能为零。所以，处于静电平衡状态的带电导体，电荷只能分布在导体的外表面上。

请注意，第一条性质尤为重要，前面的叙述也就是为了阐明这一定理，所以介绍它的时候一定要隆重一点。为了表示我们对这条定理的尊敬，我们用下述的法拉第圆筒实验来验证它。

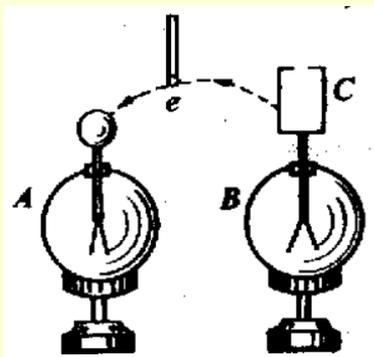


图 1-12-1：法拉第圆筒实验

如图 1-12-1 所示，取两个验电器 A 和 B，在 B 上装一个几乎封闭的空心金属圆筒 C（叫做法拉第圆筒）。使 B 和 C 带电，B 的箔片张开。用有绝缘柄的金属小球 e 先跟 C 的外部接触，再把 e 移到 A 并跟 A 的金属球接触。

经过若干次以后，可以看到 A 的箔片张开，同时 B 的箔片张开的角度减小。这表明 e 把 C 的一部分电荷搬运给了 A。可见法拉第圆筒的外表面是带有电荷的。如果让 e

不接触 C 的外部，而接触 C 的内部，重做上述实验，不论重复多少次，且的箔片都不张开，B 的箔片张开的角度也不减小。这表明 e 并没有把 C 的电荷搬运给 A，可见法拉第圆筒的内部不带电。

我们下面还得提到一个概念叫电势，还是拿水作为参照物。前面我们讲过重力势能，再高处的水会受到重力，有向下流的趋势，所以具有这个能。那么电场中的电荷因为电场的作用，也会受电场力，因而具有向电场力方向移动的趋势，所以也有一个对应于水的重力势能的能，就叫电势能。

在某个位置，同样的电荷具有的电势能更多些，就说这里的电势更高些；就像研究水的重力势能时，水的位置高些，水具有的重力势能就高些，所以电势这个量在电学中也叫电位。两点之间电位的差值叫电位差，也就是平时说的电压。事实上，前面有很多地方我们说的“电压”，用词并不确切，应该是“电势”才对，只不过因为没讲电势的概念，所以再不致引起迷惑的情况下用电压这个词代替。

导体在静电平衡状态时内部场强处处为零，在导体的任意两点间移动电荷时电场力所做的功等于零，因此导体内各点的电势相等，所以称它为等势体。处于静电平衡状态的导体是一个等势体，而它的表面就是一个等势面，离导体表面越近，等势面的形状与导体表面的形状越相似。

淋浴时产生的电场，场强可达每米 800 伏，但这只是一个静电场。

人体皮肤的电阻，其范围大约在湿皮肤的电阻 1000 欧姆至干皮肤的电阻 500000 欧姆之间，可以说比较大了。但

是躯体内电阻较小，只有 100 至 500 欧姆。所以我们的身体可以算是一个较好的良导体，就像其他处在静电场中的导体一样。

我们的身体是个等势体，身体各部分的电势基本上相同，所以根本不存在触电的问题。并且由于处于静电平衡状态的带电导体，电荷只能分布在导体的外表面上，你的身体里多余的电荷——比如因为淋浴而带上的负电荷，也只会集中在我们的表皮上，不会影响身体内部的生理活动。

事实上，即使不洗澡，在室外，我们鼻子的高度与脚的高度之间也有 200 伏特的电位差。为什么我们没有被这个电位差所电击呢？这个电场是什么原因造成的？

第一个问题的答案当然与淋浴的问题相同，在脚的高度和鼻子的高度之间可以有 200 伏的电位差，但是我们的身体是一个较好的良导体，因而身体各部分的电位基本上相同。所以，身体上头和脚之间不存在明显的电位差。

第二个问题就比较复杂了。地球的电场位于带负电的地球表面和带正电的高层大气之间，它是由于宇宙线和地球天然放射性的活动，造成了空气分子持续不断地电离而形成，它应该每个 5 分钟或不到 5 分钟就发生放电。

电离产生的一些电子向高层大气移动，在海拔高度约 50 公里处，大气的导电性非常好，以致这部分大气基本上是一个球形导体。上升的电子会中和这个带正电的导体。同样，电离产生的一些正离子下降到带负电的地面使地面中和。这样就因物体高度不同而产生了电势。

四、与静电握手

关于触电的问题,以后还要仔细地说明——因为毕竟生死攸关。但是在这里,虽然我们平时说“安全电压”、“高压危险”什么的,但事实上,对人造成伤害的并不是电压,而是电流。只要没有电流,我们的身体与周围环境间的电压(也就是电位差)再高也没关系。

研究电学的那些家伙,就总喜欢玩一个看上去挺唬人的实验,用起电机使某位观众的身体带上大量电荷。这时,观众的身体与周围环境的电势差就非常高,甚至高达上千上万伏,但是大家可以看到,这位观众除了头发一根根都竖起来,形成了一个很酷、很前卫的发型以外,他的健康并不会受到任何影响。实验者的发型是因为他的每根头发都带了同种电荷,相互排斥的缘故。我曾经想过,如果能发明一种“静电摩丝”,可以让头发长时间带有同种电荷,那一定即不损伤发质又环保。

实际上,只要带电的人不随便乱摸周围的东西,特别是不随便接触不带电的人,这个实验是很安全的。当然安全和不安全都是相对的,即使他们不听劝告,在电荷没有释放完毕的时候就去和别人握手,也不会有生命危险,只不过感觉“被静电打了一下”。

“被静电打了一下”,这是我们常说的一句话。的确,静电会给我们带来不快,特别是风和日丽、空气干燥的时候,我们和别人接触时经常会感觉到静电。

不过老实说,以内行的观点看,静电是不会给人带来不快的,带来不快的是电流。因为接触的两个人其中一个身体

带着静电，或者两个都带着静电，他们之间存在很高的电位差，所以接触的时候，电荷就要从电势高的地方流向电势低的地方，于是就产生了瞬时的电流。

事实上，通常每个人身上无时无刻都携带着多余的静电荷，当他们相互接触时都有瞬时电流产生，如果人能够感觉出这个电流，那说明他们之间的电位差已经非常之高。但是正因为是瞬时电流，维持的时间极短，所以并不会损害健康。

但因为被静电打一下的滋味并不好受，所以还是要千方百计防止静电。身上的静电一般是由于衣服间的摩擦产生的，理论上讲，纯棉的衣物不容易产生静电。不过这年头纯棉的衣服很贵，一身两身还行，所有衣服都要纯棉的就穿不起了，更别说就算有银子也未必买得着真货。

还有一个办法，空气潮湿的时候，导电性会增强，所以如果走在绵绵细雨之中，你身上就不会积聚大量电荷。不过雨中漫步虽然看上去浪漫，这年头肯淋雨的人却也不多了。

最后一着，看上去很没创意的，不过可操作性最强，那就是勤洗手，水流会带走手上多余的电荷，再说一双干净的手也能挣不少印象分呢。

除了我们的身体可能带有负电，轮胎与路面接触使轮胎带负电。当轮胎因转动而变得均匀地带电时，金属车箱和车架上的负电被轮胎排斥，靠近轮胎的车身部分就会带正电。因而车子的个别部分与附近的地面间或与带相反电荷的物体之间，就有可能发生火花放电。

这种火花放电几乎没有什么多大的妨害，就运送汽油的

卡车来说则要除外，因为在那里可能会使气态的汽油着火。过去人们认为链条会使卡车不断地把电放掉，因此从车身上拖下几根链条到地面上。链条会从车身上排放一些电子。但是这样并不能使卡车保持中性而得到安全，仍然容易发生火花放电。所以最保险的办法还是调节空气湿度，不过可操作性又不是很好。

当然静电也未必就一无是处，在互联网诞生以前，静电对于文档的传送起过非常大的作用，即使在今天，虽然我们已经有了互联网，它不再是不可替代的了，但是它被应用的次数却在不断增加。

怎么说呢？因为过去，所有商业或政府的文件，都要依靠复印和传真来进行传送，而这些机器就是依靠静电进行印刷的。印刷的具体过程，以后还会讲，简单地说，就是让墨粉和纸张带上异种电荷，靠静电力让它们粘在一起。由此也可看出，静电力是一种多么强大的力！

现在激光打印机的印刷原理也和复印机一样，激光打印机是民用打印机里打印效果最好的了。

五、静电屏蔽

刚才我们说过静电中的导体有几个性质？还记得最重要的那一条吗？处于静电平衡状态的带电导体，电荷只能分布在导体的外表面上。现在我们来看看这会带来多么奇妙的影响吧。

把一只金属笼放在绝缘支架上，里面放进一只青蛙，然后把静电起电机的一极接在金属笼上，另一极连接一个带绝缘柄的金属球。

起电机开动之后，金属笼和金属球之间就产生了高压；当金属球接近时，两者之间就会迸发出绚丽的火花，当金属球沿笼面移动时，到处都有火花出现。这时，青蛙会怎样？成烤田鸡了吧？往笼里一看……啊！不可能！

笼里的青蛙，尽管极度惊骇，却平安无事。这是为什么呢？

刚才说了，处于静电平衡状态的带电导体，电荷只能分布在导体的外表面上。这对金属容器也适用，所以封闭的金属容器上的电荷分布达到平衡后，电荷总是分布在容器的外表面，金属内部和被金属所封闭的空腔内的电场总是等于零，这在法拉第圆筒实验里也可看出。因此，外面的电荷不会对里面产生影响。我们把这种现象称为静电屏蔽。

不仅封闭的金属容器，就连编得较密的金属笼，也有静电屏蔽效应。所以，青蛙在金属笼里，并不因为金属球与金属笼之间有高压而发生危险。

所以，有的电学仪器和电子设备的外面套有金属罩，通讯电缆的外面包一层铅皮，都是用来防止外界电场的干扰起屏蔽作用。

闪电闪击飞机是常有的事，但是除了可能造成机身上的几个小洞以外，几乎没有任何其他的损坏。小汽车、公共汽车和其他类型的车辆也有免受破坏的能力。在阿波罗 12 号发射后不久，曾受到两次闪电的闪击，但未对飞船和航天员造成明显的威胁。在上述的每种情况下，为什么运载工具未遭破坏，乘员未受伤害？

事实上，乘坐者甚至永远也不会感觉到闪击。就像金属

球与金属笼之间的放电对青蛙没有影响，闪电闪击的高额电流穿透不过汽车、飞机和同类物体的金属壁，只能停留在金属的外层。除了穿孔后触及到燃料而引起爆炸以外，在这类金属封闭舱中的乘员甚至可能根本不知道他们已被闪电闪击过。这个比喻可能不太恰当——就像金属笼里的青蛙一样。

第十三节 几个电学试验

我们好像好久没做什么有意思的试验了，电学这么好玩，没理由不做几个试验玩玩呀。

一、起电机

要做静电的实验，又一种必不可缺的道具叫起电机，前面讲过感应起电机，不过这种起电机结构比较复杂，一般人家肯定不会有，如果专门去买一个可就不划算了。不过没关系，有一种起电机，在厨房里就可以做。

这种非常有趣的起电机是英国的凯尔文勋爵设计的，叫滴水起电机（图 1-13-1），顾名思义，它显然是利用水滴来起电的。最上边是两根滴水管，管口大小使得流出的水刚好形成水滴而间隙又不过长。水滴从水管流出来，穿过金属薄壁管后滴入下方的金属水箱。薄壁管与水箱用导线交叉地连接起来。水滴滴了一会之后，一个水箱带了正电，而另一个带了负电。但是该起电机的两边是完全对称的，为什么两只水箱带了不同的电荷呢？

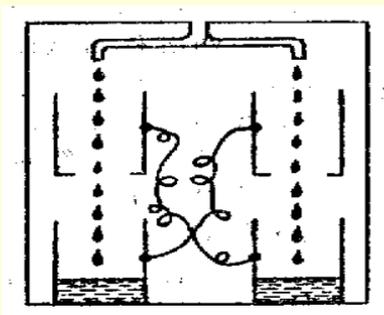


图 1-13-1：滴水起电机

滴水起电机是根据感应起电的原理设计的。

在周围的无线电波、宇宙射线的作用下，两个金属水箱都带了负电。但是，两个水箱所带的电量一般是不等的，至于哪一个容器带的负电荷多，则完全是偶然的。

现在假设，左下角的水箱带的负电荷较多，因为它与右上角的金属薄壁管是用导线连接起来的，所以带电情况相同。由于静电感应，带负电的金属薄壁管把水中的正离子召唤过来，右边的滴水管口便出现了正电荷。当水滴下落时，就把正电荷带到右边的金属水箱里。这样，与右边水箱相连的左上角的金属薄壁管也带上了比开始时为多的正电荷；同样，由于静电感应、左边的滴水管口则出现了负电荷，当水滴下落时，左边的水箱中负电荷就增加了。

俗话说：“积少成多，滴水成河”，我们在滴水，不过没成河，倒是确实实起了电。随着两只水箱的正负电荷积多，两个金属薄壁管上的电荷越来越多，两个滴水管口的感应电荷也就越来越多。于是，每滴水所携带的电荷不断增加，电荷分离的速度逐步加快。

这样，一会儿就能在两金属箱之间建立起 1 万 5 千伏以上的高压。由起电过程可见，两金属水箱相当于起电机的两个电极而金属薄壁管起着感应器的作用。

水滴中蕴藏那么大电量，真使人惊讶。其实，计算一下就可以知道，假如从一升水中的每一个分子取下一个电子，那么，即使这些电子和剩下的水离子分别放到地球的南极北极，它们之间的静电引力也相当于六十五万吨重物的重力。

那么，滴水起电机为什么不能建立起更高的电压呢？这是由于高压下的电晕放电电压是限制在一定范围内的缘故，这一电压叫作电晕极限电压。不过 1 万五千伏对我们来说已经足够了。

二、验电器

现在起电机是有了，可一个物体是不是带了电？带的是正电还是负电？人们是没法直接判断的，必须凭借仪器的帮助。所以，我们还需要一个验电器。

找一小块泡沫塑料（如果找得到晒干的高粱秆芯或玉米秆芯当然更好）做成一个小球，然后用一段丝线把它接在一个支架上。如果在小球外面包上一层锡箔，效果会更好些。

拿一支塑料钢笔杆靠近小球，小球一点也不动；把钢笔杆在头发上摩擦以后，再靠近小球，就会发现，小球先是被吸引到钢笔杆上，接着又分开了。

塑料钢笔杆在没有摩擦以前不能吸引小球，说明它是不带电的；钢笔杆跟头发摩擦以后能吸引小球了，说明它已带了电。但是，小球和钢笔杆接触后，很快又分开了，又是为什么呢？

记得前边的章节里说过带电的物体吸引纸屑的事,情况与此相仿,纸屑也是先被吸过去,然后又纷纷弹开。其实这个道理很简单。因为在接触的时候,钢笔杆把它带的电传给了小球,小球和钢笔杆带上了相同的电荷,同种电荷互相排斥,所以小球和钢笔杆分开了。

用这种方法只能知道一个物体是否带电,到底带的是哪种电荷,还确定不了。要想知道带电体上是哪种电荷,事先必须给验电器的小球带上已知的电荷。

把玻璃棒在丝绸上摩擦一会儿,再去接触一下验电器的小球(在接触前必须用手摸一下小球),这时小球就带上了正电荷。然后把要测的带电体靠近小球。如果小球被吸过来,说明带电体带的是负电荷;要是小球被排斥开,说明带电体带的是正电荷。

三、电流计

检验静电,验电器就足够了。可是电学不只是研究静电的,在更多的时候,我们要研究电流,这就需要电流计。下面我们做一个最简单的电流计。

用直径 0.2 毫米的漆包线在火柴匣的两端各绕 50 圈,两个线圈中间的连线不要断开。再在火柴匣的上面开出一个圆孔,匣中心放一个指南针,并且固定住,一个最简单的电流计就作成了。

使用的时候,转动火柴匣,使指南针眼两端的线圈平行。然后把它接入要测试的电路里,如果有电,磁针就立即转动,没有电就不动。它能比较灵敏地测出电路中是否存在电流。

下面再作一个直流电流检验计,它不但能判断出电路中

有无电流，而且还可以测出电极的正负和电压的大小。

先作磁针部分。找一块 0.5 毫米厚的钢片，做成一个宽 4 毫米、长 10 毫米左右的长方片。再找一根直径 1 毫米、长 20 毫米左右的钢丝，把它的两端磨尖，尖顶磨圆滑。然后把长方形钢片垂直地焊在钢丝的中间，同时在钢丝四分之一处的相反方向上，焊一根细铜丝作为指针。最后把钢片磁化。

再做一个支架。找一块厚 2 毫米、宽 5 毫米、长 50 毫米的铜片或铝片，在它两端的相应位置各打一个半深的孔（不能打透了），要收拾得比较光滑。把铜片（或铝片）弯曲成槽形，使两端的孔对正（尺寸见图 1-17-2）。把钢丝轴装上，使它既不能脱出，又能灵活地转动。

用 0.1 到 0.2 毫米直径的漆包线，绕成直径 10 毫米、高 5 毫米的线圈，约绕 300 圈。把它压扁后，用胶布包好，固定在槽形架内，使磁钢片能在线圈中自由摆动。然后把槽形架装在一块小方木板上。

在硬纸板上，以铜丝指针长度为半径画一个 60 度的弧，把弧的左端定为 0 点。把硬纸板固定在指针后面。把线圈两端的漆包线引出来。

最后用一个前面装有玻璃的无底盒子盖在木板座上，直流电检验计就作成了。

为了使用起来方便，还要对检验计进行测试，标出正、负端和刻度盘。

在不接电池的情况下，先把指针调到零点，即把指针向左拆一个适当的角度，使它静止的候指到圆弧左端的 0

点。然后给检验计接上两节电池，观察指针偏转的情况，如果指针向左偏转，就把电池的正负极调换一下，让指针向右偏转，这时给接电池正极的接线柱标上“十”号，接电池负极的接线柱标上“一”号。这样就可以用它测定未知电极了。

要是能找到一个准确的伏特表，可以用它做标准来划出电压的刻度，方法是用伏特表量出 1.5 伏、3 伏、6 伏……的电池，把它们分别接到检验计上，在指针偏转的相应位置上标出 1.5、3、6 等数字，再根据需要在大刻度之间均匀地划出若干小格，调试工作就算完成了。

这个检验计比较灵敏，很小的电流就能引起指针偏转。但因为表针是依靠磁钢片的重力返回原位，容易左右摇摆，不大稳定，所以量出的数字不很准确。不过这种误差对我们做的一般实验来说影响不大。

验电器是研究电路学的最基本工具。有了它，我们就可以通过串联或并联若干电阻，而得到实验室必备的的安培表、伏特表、欧姆表了。

四、静电喷泉

现在有了最基本的道具，可以开始我们的实验了。在桌子上面放一块塑料板，板上再放一只装满水的白铁皮桶。取一根尖嘴玻璃管（尖嘴直径约 0.3 毫米），平的一端插入橡皮管中；将橡皮管灌满水后，橡皮管的另一头放入白铁皮桶内的水中。这时，由于水的压强，一股水流即从玻璃尖嘴中射出，这叫虹吸现象，用我们学过的液体压强的知识可以解释这种现象。

不过今天我们研究的是电学，所以我们再用导线将白铁

皮桶连接到感应起电机的一个电极上。接着，让起电机起电。这时就可以看到从玻璃管的尖嘴处射出一股美丽的“喷泉”——“静电喷泉”。这时如用灯光照射——特别是彩色灯光，哇，美极了！

如果起电机的工作不停止，这时用一支点燃的蜡烛火焰去烧尖嘴前的水流时，“喷泉”顿时消失而又成为一股细水流；当点燃的蜡烛从水流旁移开时，水流就又变成“喷泉”了。这是怎么一回事呢？

这现象的秘密在于，当铁皮桶与感应起电机的电极连接以后，摇动感应起电机会产生静电感应，使白铁皮桶和桶内的水都带上了大量电荷。带上电荷的细水流，从尖嘴中射出时，由于同性电荷互相排斥，因此带同性电荷的水涌流也互相排斥，这样就形成了向四周散开的喷泉。而火焰会把空气分子电离成许多正离子，当蜡烛火焰去烧细水流时，水流附近空气中的离子与水流中的电荷相互中和，“静电喷泉”便随之消失。

真美呀，让我们，继续吧。

五、电动风车和避雷针

高压直流电，可以使玩具风车旋转，就像图 1-13-2 那样。为什么会发生这个现象，最近两个世纪以来争论的一个问题，但近年来这个装置或多或少地被人忽视了。可是究竟为什么呢？在真空或无尘环境中它还能旋转吗？为什么放电的颜色取决于风车的极性？为什么风车的端部必须是尖的？最后，你能否计算风车在已知条件下能旋转多快？

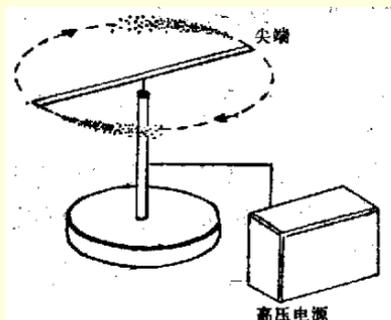
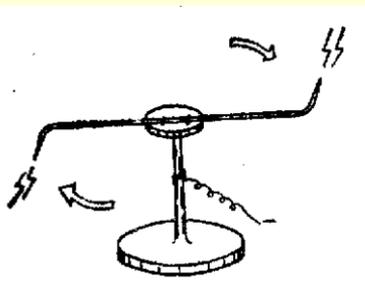


图 1-13-2：放电使玩具风车旋转



图：1-13-3：电轮

把风车简化一下，做一个更能揭示出实质的电轮。电轮的构造很简单，把一根两端磨尖的钢丝弯成图 1-13-3 所示的形状，并固定在一块金属圆片上，再安装在一根有绝缘底座的针轴上。这时，只要使起电机的负极连接针轴，正极接地，开动起电机，电轮就会转动起来。

电轮为什么会转动呢？显然，明白了这个道理，也就明白了风车为什么会转。

那是因为，在高电压下，电轮的两个尖端部位，电场强度很强，以致使其周围的空气发生电离而引起强烈的放电，生成大量离子。这些离子，和电轮极性相同，受到强烈排斥而离开尖端。它们的运动带动周围空气分子，形成了电风。电风的向前运动造成了电轮向后转动，就像喷气式飞机向后喷气得到了向前运动的反作用力一样。现在，电风在净化空气等方面已得到了应用。

可是也许有朋友还是会问，为什么无论电轮还是风车，它的端部一定必须是尖的呢？

实验证明,电荷在导体表面的分布不但与自身形状而且与外界条件有关。只有孤立导体的电荷分布才能由自身的形状及电量决定。大致说来,在孤立导体表面,向外突出的地方电荷较密;比较平坦的地方电荷较疏;向里凹进的地方电荷最疏。

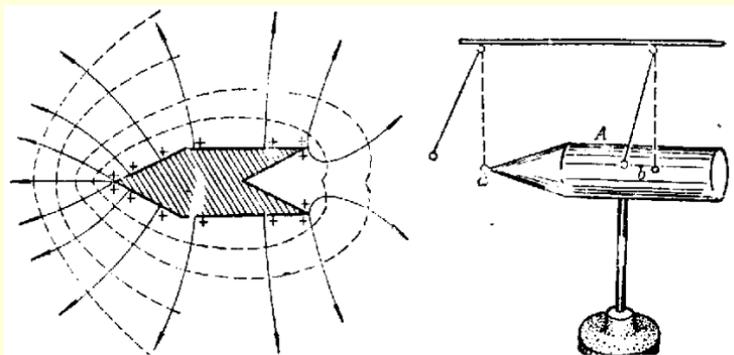


图 1-13-4 : 尖形导体的电荷分布 图 1-13-5 : 尖端电荷密度大的演示

图 1-13-4 是由实验测得的尖形导体等位面、电力线及电荷分布图,图 1-13-5 是验证尖端电荷密度大的一个演示。令悬在丝线下的通草小球与带电导体 A 接触使之带电。将球靠近导体尖端 a 处,球因受斥力而张开某一角度。再将球靠近曲率较小的 b 处,张开的角度会小些。可见尖端附近场强较大,因而电荷面密度较大。

由于尖端附近场强较大,该处的空气可能被电离成导体而出现尖端放电现象。夜间看到高压电线周围笼罩着的一层绿色光晕(电晕),就是一种微弱的尖端放电形式。尖端放电导致高压线及高压电极上电荷的丢失,因此凡对地有高压的导体(或两个互相有高压的导体),其表面都应尽量光滑。

另一方面，在很多情况下尖端放电也可资利用，例如感应起电机的喷电针尖及集电针尖就是尖端放电的应用。

此外，避雷针也是应用尖端放电的一个例子。避雷针有一个尖端，上端高出房子数英尺，下端埋入地下数英尺。为什么要求具备这些特性呢？事实上，避雷针应该达到什么目的？自从富兰克林发明避雷针以来，关于这个问题仍有许多争论。有人声称避雷针有助于当云越过针上方时的放电，因而避免了闪电引起的严重破坏。其他一些人认为，避雷针仅仅为任何接近它的闪光提供一条安全到达地面的途径。

有关避雷针的作用和设置还有许多错误的观念与争论。在避雷针开始应用后不久，对顶端做成金属圆头或做成玻璃圆头就引起过激烈的辩论。当时欧洲大部分避雷针都修得很矮，而且头部做得很钝，结果，想必大多数朋友猜到了，效果根本不好——因为避雷针用的是尖端放电的原理嘛。

也有一些令人信服的论据表明避雷针底部只要接触泥土表面层即可，因为闪光引到深层潮湿的泥土中可能会引起爆炸。最近还有人在避雷针的顶端装上一个放射源，放射源有助于空气电离，因而进一步诱使闪光闪击到避雷针上，而不闪击到被保护的建筑物上。放射源真的会起作用吗？

使用避雷针的目的是为了给电流提供一条传到地面的安全通路。尖端周围有很强的电场，因此能开出一条向上的通道，与向下行闪击相遇。一旦接触发生电流就从电离通道流往避雷针到达埋入避雷针的地下。因此闪击击中与避雷针相连的建筑物的可能性就减少了。避雷针不能使经过的云发生大到可以避免闪电的放电，这是因为避雷针的放电太慢的

缘故。打算在避雷针上放置放射源是没有效用的。如果闪电击破了放射源的话，可能会造成危险。

第十四节 电线上的鸟

——电的流动

一、电的“运动”

风筝是中国人一项值得骄傲的发明，我们已经知道它在电学发展史上的功绩了。如果有人喜欢放风筝，但是请记住：不要在雨天放风筝，另外，离高压线远点！

可能有人不以为然：明明看见麻雀停在电线上悠哉游哉，难道我们的身体还不如麻雀结实？

如果触不触电是由个人体质决定的，那看来我们确实不如鸟结实。我们经常可以看到成群的麻雀或乌鸦停落在几万伏的高压线上，它们不仅没有触电，而且一个个显得非常安闲。但是，如果有人不小心碰到高压电线就会触电身亡。同样一根高压电线，为什么小鸟不会触电而死呢？

前面说过，对人造成伤害的是电流，如果电流足够大，就会致命。导体中存在持续电流的条件，首先是保持导体两端存在一定电压。我们通常把提供这个电压的东西叫电源。为了标识电源提供电压的能力，物理学家们定义了一个专门的量，叫电动势，它在数值上与开路时电源两端的电压是一致的。

干电池就是最常见的一种电源。干电池的前身——“勒

“克朗谢”电池是一位叫勒克朗谢的人发明的。图 1-14-1 表

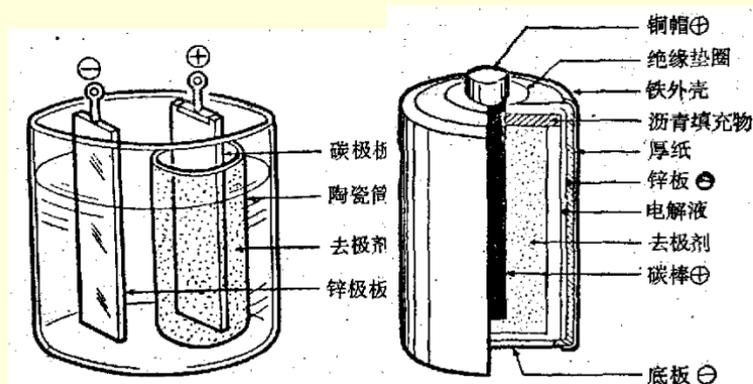


图 1-14-1：勒克朗谢电池

图 1-14-2：干电池的结构

示了这种电池的结构，它用碳棒和锌板作电极。碳棒放在一个没上过釉的陶瓷圆筒内，碳棒周围塞满了碳末和二氧化锰粉，它们一起叫做“去极化剂”。

把这样装配好的炭棒和锌板一起插入氯化氨溶液中，就能产生电动势，电压为 1.5V。陶瓷筒里的炭末和二氧化锰粉末的混合物，预先用氯化氨溶液浸泡过，它的作用是使由化学变化产生出来的氢被二氧化锰变成水，免得它包围碳棒，妨碍电流流动。没上过釉的陶瓷具有半可渗透性（里面充满微孔），电解液里面的氨离子和氯离子可以自由通过，而碳末和二氧化锰粉末跑不出来。由于二氧化锰能使氢变成水，改善电极的工作情况，所以叫“去极剂”。

图 1-14-2 表示的是干电池的结构。干电池是在勒克朗谢电池的基础上加以改进的。锌板改成了圆筒，作为负极。正中心放碳棒，作为正极。碳棒周围是用氯化氨溶液浸湿过的碳末和二氧化锰粉末。然后再用淀粉调成糊状，与氯化氨、

氯化锌等化学物品混匀填满其余的空间。为了防止蒸发，用沥青封好锌圆筒的筒顶。

当电池用旧后，锌皮可能穿孔，里面的液体会溢出。为防止这一点，有的干电池外面还包一层硬塑料皮或铁皮。在安装中，切忌使中间的碳棒与外表的锌皮接触。而在使用中，为使接触良好，碳棒顶端要套上一个小铜帽。

那么电流究竟是如何在导体中流动的呢？以金属导体为例，负极每流出 1 个电子进入导体后，就要把导体另一端的自由电子挤走 1 个。挤走的电子进入正极被中和。所以，电流实际是电子一个一个的“移动”。和电子移动的距离相比，导线是非常长的，而电通过的时间却极短。因此，从电池出来的电子，在经过导线的途中，只是走了非常非常短的一段距离。

位于导体中的电子，和从电池里出来的电子，是完全相同的，它们简直比孪生兄弟还相象，因为，它们根本就是同一种东西。所以，我们把导体中的自由电子流进正极，就看成是从电池出来的电子流进正极一样。前面说过，电流就是从电池中出来的电子在流动。更简单一点说，“电流就是电子流动”。

既然自由电子走得这样慢，为什么一合上电门，电灯立刻就亮了呢？当 1 个电子刚从负极出来，立刻有另一个电子进入正极。如果 1 个电子要从负极一直走到正极，那可就不不知道要走多久哩！电子的移动速度和电流流动的速度是两回事。

就电流总体来说，它的流动速度是非常神速的，1 秒钟

可以飞过 30 万公里，换句话说，电流的速度与光速是一致的，这可以通过公式证明，不过证明过程会很复杂，有兴趣的朋友自己去找参考书吧。

在实际的导线中，同时移动的电子是非常多的，远远不只是 1 个。比如，1A（安培）电流的意思是，在 1 秒钟内，同时有 6.25×10^{18} 个电子流过。

二、电的“阻力”

讲运动学的时候，我们提到过摩擦阻力，物体要运动就总会遇到阻力。电也是一样，它要流动，一定会遇到阻力。就像我们刚才说的，从电池出来的电子，进入导体，导体中的电子（注意，这个电子不是从电池出来的那个电子）立刻流出。这话好像有点绕脖子，如何理解呢？

当一个电子要进入导体时，它将使入口处遇到的第 1 个原子中的自由电子被排斥飞走，它自己却留在第 1 个原子上。被赶走的自由电子，又去排斥第 2 个原子上的自由电子；同样，把别人赶走，自己留下来。

以此类推，电子依次从一个原子飞向相邻的另一个原子，前一个原子的自由电子挤走后一个原子的自由电子。这就是“电流”。也就是说，从导体的出口处流出的电子，早已不是从电池进入导体的那个电子了。

如果来自电池的电子进入导体以后，想自己一直穿过导体，那是很困难的。它将四处碰壁，到处受阻。也就是说，由于“导体内存在阻力”，它将感到寸步难行。因为这是对于电的阻力，所以我们称它为“电阻”。

为了更容易理解，不妨再打个比方：电影散场了，观众

必须穿过一条胡同。当我们刚进胡同口时，前面已经挤满了先出场的观众。在胡同出口处，立刻就可以看到人流出来，而我们还是跟在人流的后面一步一步地移动。如果想绕过人流，抢先穿出胡同，必然不是碰到这个，就是撞到那个。真着急啊！也许，还不如跟在别人后面会更快一些哩！

电子也是这样，一个跟一个，鱼贯而行。从电池出来的那个电子，自然最后总要穿出导体的。不过，那要等到后面还有电子继续排斥它，并取代了它的位置，还要等到它把前面所有的自由电子都挤到正极里去了以后，才能走出导体。

人如果不走动，就不会感到有阻力。可是，即使没有电流出来，我们也能知道阻力的存在。因为，阻力高的地方，电流小阻力低的地方，电流大。自行车遇到阻力时会变慢，而当电遇到阻力时，速度不受影响，只是“电量变小”。

导体的电阻是由导体本身决定的。那么，决定导体电阻大小的因素究竟有哪些呢？

实验表明，用同一种材料制成的横截面积相等而长度不相等的导线，其电阻跟导线的长度成正比；长度相等而横截面积不相等的导线，其电阻跟导线的横截面积成反比。导线的电阻跟它的长度成正比，跟它的横截面积成反比。如果用长度、截面积都相等，但是材料不同的导线，电阻也不同。

显然，导体的电阻除了跟导体的形状有关，跟材料自身的性质也有关。反映材料导电性好坏的物理量，就叫做材料的电阻率。导体的电阻跟它的长度和电阻率成正比，跟它的横截面积成反比。

这条定律叫电阻定律。

实验表明，纯金属的电阻率小，合金的电阻率较大。金属中银的电阻率最小，但银的价格昂贵，通常很少用银做导线，只在特殊需要时使用。导线一般都用电阻率较小的铜或铝来制作，铝比铜便宜，因此铝导线用得很多。电炉、电阻器的电阻丝一般都用电阻率较大的合金来制作。

各种材料的电阻率都随温度而变化。金属的电阻率随温度的升高而增大，因此金属导体的电阻也随温度的升高而增大。利用金属电阻的这种性质可以制作电阻温度计。如果已知导体电阻随温度的变化情况，那么，测出导体的电阻，反过来就可以知道温度。

常用的电阻温度计是用铂丝或铜丝制作的。铂在温度变化时性质稳定，测温范围宽，可靠性好，但是价格昂贵。铜电阻温度计装置简单，灵敏，在某些特殊条件下，有独特的优点。有些合金，例如康铜和锰铜的电阻率随温度的变化特别小，用这些合金制作的电阻受温度的影响很小，因此常用来作标准电阻。

当温度降低到绝对零度附近时，某些金属、合金和化合物的电阻率会突然减小为零，这种现象叫做超导电现象，处于这种状态的导体叫做超导体。超导体的电阻为零，它还具有一系列其他独特的物理性质，有很重要的实用价值。

目前，超导体需要的温度很低，使它的应用受到限制。我国和其他各国现在都在积极进行研究，寻找较高温度下的超导体，探索把超导体应用到实际中去的可能性。

从表面看来，阻力似乎是个“坏东西”，研究超导就是为了消灭它。可是，人又不能没有电阻。

一方面，电流过导体时，因为有电阻存在，所以就会发热，发热的多少与电流强度的平方和电阻的大小分别成正比。用这个原理，人类制造了各种电热器，比如电炉子、电暖气、电烙铁，另外传统的白炽灯也是利用电流发热，使灯丝的温度升到很高，从而进入可以发光的白炽状态。

另一方面，根据欧姆定律，我们还可以通过改变电阻的串联、并联状态，达到分配电压、电流的目的。

导体中的电流强度跟导体两端的电压成正比。

这就是欧姆定律，是德国物理学家欧姆（1787～1854）发现的。

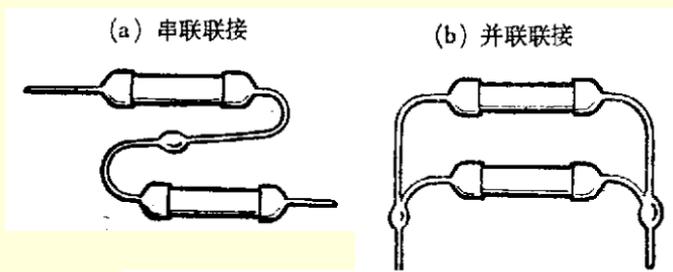


图 1-14-3：串联联接和并联联接

把两个电阻像图 1-14-3 中 (a) 那样连接，就叫串联联接，(b) 那样就叫并联联接。

串联电阻时，就相当于增加了导体的长度，所以总电阻比参加串联的任何一个电阻的阻值都大。事实上，根据电阻定律，两个导体串联的总电阻等于它们各自阻值的和。

并联电阻时，就相当于增加了导体的横截面积，所以总电阻比参加并联的任何一个电阻的阻值都小。大家也根据电阻定律，推测一下两个导体并联的总电阻。

不难看出，在串联电路中，流过串联电路各电阻的电流强度相等。根据欧姆定律，各电阻两端的电压跟它的阻值成正比，而它们的端电压之和就等于加在整个电路两端的总电压。串联电路的这种作用叫分压作用。

在并联电路中，相等的是两个导体的端电压。根据欧姆定律，各电阻中流过的电流跟它的阻值成反比，而电路中的总电流就等于流过它们各自的电流之和。并联电路的这种作用叫分流作用。

在线性电路中，在复杂的电路也不过是若干个小的串联电路和若干个小的并联电路组合在一起；在非线性电路中，虽然加入了三极管、二极管等非线性元件，但归根到底也还是离不开串联电路和并联电路的分压和分流作用。

三、“不死鸟”和高压线

现在，我们再来解释电线上的鸟为什么电不死就水到渠成了。

就像电荷分正负，电线也分火线和零线。看看你家的所有家用电器你就会发现，所有电器上的导线至少是两股，而插头至少是两相。这两根导线就分别接零线和火线。功率大的电器，比如电冰箱、微波炉还有我的电脑，在零线和火线之外一般还要接出一根线，这根线叫零线，一般接在电器的机壳上，用来导走多余的静电荷，保证安全。

在中国，家用的照明电压是 220V，也就是说，零线和火线之间的电压是 220V。如果是几万伏的高压线，那么意味着，电线与地面之间的电压是几万伏，也意味着火线与零线之间电压是几万伏。

我们说过,对人造成损伤的是电流,但是根据欧姆定律,要产生足够大的电流,第一,电阻要足够小,第二,电压要足够大。

我们说过人体皮肤的电阻较大,而体内的电阻很小。一般来说,240V的电压就可以击破表皮,是极度危险的。但是如果只接触一根线,并且身体的其他部分与大地之间是绝缘的,一般来讲就不会形成电流,所以不至于有生命危险。

但是如果我们以任何形式接触到了高压线,由于我们的身体与大地相连,高压线与地面间的电压极大,于是,身体就成了高压线与大地之间的“导线”,强大的电流会穿过我们的身体。即使穿着绝缘性能良好的鞋,高压电的能量也足够击穿它,到达地面,如果出现这种情况,恐怕要死无全尸了。如果同时接触零线、火线二条电线,那更活不了。

但是小鸟只接触了一根电线,而且它高高在上,距离大地非常之远,不会成为高压线与大地间的“导线”,所以它们不会触电。

当然,电线上的鸟身上也有电流通过。当它站在电线上的时候,它的两脚之间有一定的距离,所以可以把它,和它脚下的那段电线看作两个并联的电阻。但是,与那一小段电线的电阻相比,鸟身上的电阻非常大。根据并联电路分流的原理可以知道,虽然鸟的体内有电流流过,但是这个电流非常的小。

也可以用电压考虑。鸟停在电线上,由于它的电阻与电线相比非常大,所以可以不考虑它脚下那段电线的电阻。显然,这一段电阻与整条电线的电阻相比,小得简直微不足道,

所以，它两端的电压和总电压比也小得微不足道。因此，鸟两脚间的电压并不足以在鸟的身上产生足够强大的电流。

基本上没人听说过有鸟因为停在电线上而触电，但是有时会出现这种情况，某些鸟在与蛇等爬行动物搏斗的时候把那些家伙带到了空中，然后刚好把它们掉在了高压线上。这是就危险了。蛇的身体较长，掉到电线上时常会将零、火两根线连在一起，这样不但蛇会触电死亡，而且还会造成短路，引发火灾。钻进变电室的老鼠也常被电死，并且造成机器故障。乌鸦和喜鹊等鸟类喜欢在电线杆子上垒窝，这也同样是十分危险的，这样很容易形成短路。

可是为什么输电时一定要用高压呢？

讲机械能时介绍过功的概念。我们知道电流也可以做功，叫电功。电流在单位时间内做的功就叫电功率，电功率等于电路两端电压乘以电路中的电流强度。我们的家用电器消耗电能的多少，都在于它们的额定功率；而电线输送电能的多少，也在于功率，即火线与零线间的电压乘以输电线中的总电流。

我们说过，电流流过时，导体会发热，发热会消耗电能，在单位时间内，消耗的电能与导线的电阻成正比，与导线中电流的平方也成正比。

如果要减少输送途中损失的能量，一个办法是减小电阻，但这很难做到，因为那就需要使用更贵的材料，或增加材料的用量，很不经济。另一个办法是减小电流，但是如果要想在减小电流的同时仍然输送等量的电功率，那么就要提高电压。

如果用照明电路的 220V 输电，那么现有的输电网络，电能基本都要损耗在半路身上，如果用高压输电，损失就少多了。

四、安全用电

现在我们来讨论一下安全用电的问题。

如果我们接触到一根通有电流的金属线，那么究竟会发生什么事？我们不止一次地说，使我们受伤或死亡的因素是电流，但电流流过身体时究竟会产生什么效果呢？是否会被灼伤？是否会发生心律紊乱？

我们可能不会因触电而立即死亡，但是倘若继续握住带电的元件，那最终就会导致死亡，即接触时间越长，我们身体的电阻就变得越小，因而通过的电流量越接近致死量。

为什么我们身体的电阻会随时间而变化呢？当然我们还不会傻到明知已经触电，还死抓着带电元件不撒手，事实上，我们是被“粘”在上面了。为什么会粘住呢？

当一根金属导线上的电流足够大而引起手部肌肉收缩时，触电者往往有紧抓此线的现象。起初，电流的大小并不是致死量，但因皮肤的电阻随时间增加而减少，电流最后达到致死量 0.1 安培。如果我们发现某人“冻结”在一根通电的金属线上但仍旧活着，在不危害自己的情况下，应该尽快使这个人与导线分离，不然他就会死亡。

至于人为什么会被粘在金属线上，还是让我们先看一个实验。这是一个处理神经和肌肉性质的经典实验。

在一根镶入铁制底座上的黄铜横支杆上悬挂一条蛙腿，看起来有点像一种新式的烧烤架是吧？不过即使有这样的

烧烤架我也不希望大家用来烤田鸡，因为动物是人类的朋友。

接着的蛙腿也可以接触到部分底座，但是它每接触一次就会收缩而即刻进入痉挛状态。当痉挛解除时，蛙腿就会下垂，又接触底座，因而再一次发生痉挛。这种反应是什么原因引起的？

由于各金属中传导电子的能级不同，在两种金属接触时，它们之间就会存在一个电位差。当蛙腿碰到底座时，通过横支杆、底座和蛙腿形成一个闭合回路，电（即那些传导电子）就流过这个回路。电流刺激了蛙腿的肌肉，使蛙腿迅速地收缩。

同样，金属导线并不是用电力抓住我们的手，而是手部肌肉经电流流过时产生了收缩，使我们的手紧握住导线。因此，电工在工作时往往用手背或指背来移动通电的导线或火线，要是这种接触会引起电流的话，那么肌肉收缩就使手脱离导线。如果一定要用手心去碰导线，那结局很可能是被“粘”在导线上了。

明白了这个道理，以后再去碰带电的导线，千万记住用手背。当然如果能不碰最好别碰。

大体上讲，电流通过人体所产生的影响如下：

小于 0.01 安培：麻刺感或无感觉

0.02 安培：疼痛以及被带电元件粘住而脱不开身

0.03 安培：呼吸紊乱

0.07 安培：呼吸极度困难

0.1 安培：因心肌纤维震颤而死亡

大于 0.2 安培 : 无心肌纤维震颤 , 但有严重烧伤及呼吸停止

通常 , 电流强度在 0.1 到 0.2 安培之间是最致命的 , 因为这个电流量引起心肌纤维震颤 , 这种颤动是一种心肌失去控制的痉挛性颤搐 , 其结果是血流停止 , 并导致迅速地死亡。

但是 , 非常奇怪的是超过 0.2 安培的电流只造成心脏停跳 , 经过常规急救措施就能使心脏重新跳动。而另一方面 , 有控制的电击是使心肌纤维震颤停止的惟一方法。因此 , 0.1 到 0.2 安培范围内的电流强度 , 与较大的电流温度相比 , 更易引起死亡。

前面也说过 , 表皮的电阻比体内电阻大得多。所以通过遇难者的电流量 , 一般来说是取决于皮肤的电阻。240V 的电压就足以击破皮肤了。

另外 , 雷击也会使我们触电。关于遇到闪电后的防护问题 , 以后的章节里会更仔细地介绍。不过 , 被闪电直接或间接击中的人中有许多存活下来的例子 , 甚至有些人在闪击后呼吸停止达 20 分钟之久 , 但完全恢复了 , 没有因电休克 (电震) 或缺氧所造成的明显大脑损伤。有人提出 , 这类休克暂时地改变了大脑对氧的至关重要的需要。

无论如何 , 是否受害者不能有严重的灼伤和心跳停止 ? 在这样一个受害者身上吸收了多少能量 (或电力) ?

如果大量电流进入受害者的躯体 , 此人极其可能因内部烧伤而死亡。但是 , 如果一个人淋湿了 , 那么闪电就可能穿透不进躯体 , 于是大那分电流通过躯体外的水层而往下流。湿透的树木受闪电闪击可以完整无缺 , 也是因为此。

在这种情况下，受害者的呼吸和心跳可能因电击而停止，不过迅速地施行人工呼吸可以使受害者复活。在闪电中许多受害者并没有被闪电直接击中，而是被直接受击体的侧向爆裂物击中或被闪电产生的地面电流所击倒。

有一篇文献中提及，好多因闪击而身亡的人，仅仅是由于抢救者认为他们已死而过早的放弃抢救所造成的。因此，对于被闪电击中的人一定全部都要施予常规急救。

另外，过去没有有线电视的时候，打雷时看电视，图像很不稳定，干扰大，心情总是有些害怕，担心机毁人亡。

其实，只要不接室外天线，电视机又在室内使用，一般用不着心惊胆颤。因为雷电虽然强大，但在进入室内之前雷雨云早已与大地放电。在短暂的放电过程中，其巨大的能量绝大部分转为热、光等能量，所以不会形成危害。

通常，打雷时在室内收看电视，屏幕上和伴音里出现的干扰大都是雷电的辐射能量，并非直接感应或放电的能量。这种辐射能量，一般是不会损坏电视机的。现在安装了有线电视，连这个问题都没有了。

但是，必须强调，打雷时使用室外天线或在室外收看电视都是有危险的。如若收看，必须采取防雷措施。

第十五节 说好不分手

——电与磁

一、神奇的磁铁

小时候，胡同里的每个孩子都有一大堆个人收藏品，有

弹球、骨牌、贴画什么的，这当中，如果谁能弄到一大块完整的磁铁，那可以算是非常炫的一件收藏品了。

指南针是中国人引以为荣的四大发明之一，有了指南针，才有了后来的大航海时代，才有了西方工业文明和美洲大陆的发现。可是，磁铁为什么能吸引铁、钴、镍等金属呢？为什么对于铜、铝等金属，磁铁就不起作用呢？指南针又为什么能指向南方？这其中有什么联系吗？

磁铁靠近铁钉或镍币时，会把它们吸住，这我们早就知道了。这种吸引力就叫磁力，磁力作用的范围叫做磁场。能够被磁铁吸住的物体叫做“磁性体”，它本身也能变成磁铁或具有磁性。

同电池生电一样，磁力是磁铁产生的。由于磁力是从磁铁的两端产生出来的，所以，叫做“磁极”。在电池上，把流出电流的一端叫正极；进入的一端叫负极。而磁铁的两端，一头叫北极，另一头叫南极。不过北极上没有北极熊，南极也没有企鹅。

我们并不是随便给它们命名的。用线把磁铁悬吊起来，这时，磁铁总有一端指南，一端指北，指北的一端当然是北极，那指南的，就是南极了。在英语里，“North”这个词表示北方，“South”这个词表示南方，所以通常用 N 表示北极；用 S 表示南极。

如果没有导线把电池的两端连起来，是不会有电流通过的。而磁力不需要导线，它可以直接穿过空间。而且，和电的流动相同，它也一定要走过一圈（从 N 到 S），决不中途停顿或断开。磁走过的路线是看不见的，我们用磁力线来表

示。磁力线是一个抽象出来的概念，它本身并不存在，但磁场是存在的，我们用磁力线的方向来表示磁场的方向，用磁力线的疏密来表示磁场的强弱，磁力线越密，表示磁场越强。

磁场是一种物质，它虽然看不见摸不着，但是它确实客观存在。如果在磁铁的上方放一块有机玻璃板（或塑料板）并撒上铁粉，然后轻轻弹振塑料板，我们会看到，铁粉有规则地排列成一圈一圈的形状，这就是磁力线的分布情况，也就是磁场的情况。

电极会同性相斥，异性相吸，磁极也一样，南极与南极、北极与北极接触时会相互排斥，可是南极与北极不用接触，只要一接近，就会相互吸引。

磁铁之所以有南北指向，正因为地球本身是个大磁铁。如果从磁铁的角度看，那么地球的北极附近是 S 极；南极附近是 N 极。所以，磁铁的 N 极指向北、S 极指南。

之所以用英文符号而不用中文是为了不引起混乱，希望这样大家可以理解。这件事如果仔细解释就会像绕口令一样。

磁力线喜欢定捷径，在它经过的途中，如放一块铁（磁性材料），它就不绕大圈子，而是穿过铁块。而且，尽力把铁块拉到自己身边，离得越近越好。这就是“吸引”作用。

要想判断方位时，可以使用指南针。它其实上就是个很轻的磁铁。由于地球的北极是 S 极，它要吸引指南针的 N 极，所以，指南针的 N 极指向北方；同理，地球的南极是 N 极，它要吸引指南针的 S 极，所以指南针的 S 极指南方。地球和指南针的磁力线是一致的，但方向相反。如果把

指南针放在地球的南极或北极，就应该把指南针立起来放置。

因为指南针既可以指南，也可以指北，就简单地叫它“磁针”。当磁针放在其他磁铁附近，也就是磁场内时，它的方向就会改变，从而发生旋转。如果磁铁的磁力较弱，磁针偏转角就比较小，如果磁铁磁力较强，磁针偏转角就会比较大。

传说，大海中有座岛屿，美人鱼在岛上唱歌迷惑过往的水手。谁要是听到歌唱，一定会被迷惑，等待他的就是船毁人亡。可是，据说大海中真的就有这么一座岛，任何靠近它的船只都会义无反顾地以“撞沉吉野”的速度向它驶去，粉碎在岸边陡峭的礁石上。

后来有一艘船重蹈覆辙的时候，船长果断地下令弃船，船员们才得以坐着小艇生还。据生还者讲，当时船上所有的罗盘都失灵了，而船也失去了控制，不顾一切地撞向悬崖。

当然，其实这岛上根本没有什么美人鱼。不过，却有另一样更致命的东西：磁场。原来岛上富含磁性矿物质，因此整座岛变成了一个巨大的磁铁，铁壳的船只一靠近它，自然会被它吸过去，而罗盘——也就是指南针，当然也会在强磁场的干扰下失灵。

我们说过，磁场的强弱，用磁力线表示。如果，将两根磁棒，串联放置时，穿过单位横截面积的磁力线数目不会改变；并联放置时，穿过单位横截面积的磁力线数目增多，也就是磁力线变密了。数目不变的，磁场的强度不变；数目增多的，磁场增强。不过，并置时必须把2根磁棒压紧，否则不会增强。

如果把两块强弱不同的磁铁并置在一起，强磁铁的磁力线将强行通过弱磁铁，使弱磁铁的磁力线被抵消。本来，它们是同极并置在一起的。这样一来，当它们离开时，弱磁铁的 S 与 N 就互相调换了位置。原来的 S 极变成 N 极，原来的 N 极变成 S 极。

大家都玩过用磁铁吸引铁钉或曲别针之类的小东西的游戏吧？如果没玩过，请准备一些这样的物品做下面的实验。到商店买 3~5 块铁氧体材料的磁铁和 10 米长、0.4 毫米直径的漆包线。买磁铁时要挑表面平整光滑些的，当把它们串置在一起时，能互相吸得牢固，这样的磁铁可当磁棒使用。

用磁铁把小铁钉吸上来以后，小铁钉也变成磁铁了。当然，比起磁铁来，它们的磁力是很微弱的。虽然弱，也是具有了磁性。所以如果用小铁钉靠近它附近的其他铁钉时，就会一个连一个地吸上来，吊成一串。

不论什么形状的铁，它里面都有磁铁的“成分”，这成分究竟是什么，稍后我们再探讨，可以把它们暂且看成是一个个微型的小磁体。平时它们是杂乱无章地排列的，所以显示不出磁性。假如把铁放到磁场内，小磁体们整齐一顺地排列起来，于是，磁性就能够显示出来了。

弱磁铁在强磁铁的作用下，体内小磁体的取向就改变了，所以像刚才说的，它就改变了原来磁力线的方向。

我们还有一个问题没回答呢，就是为什么磁铁吸引铁、钴、镍等金属？

事实上，我的问题就是错误的，因为实验表明，任何物

质在磁场中都能够或多或少地被磁化，只是磁化的程度不同。物质被磁化以后，就成为了一个磁体，与磁化它的磁铁间发生同性相斥异性相吸的作用。但是，像铜、铝这些金属，磁化非常弱，受到的磁力也就很弱，基本看不出来。

像铁、钴、镍那样能够被强烈磁化的物质，叫做铁磁性材料。磁化后的铁磁性物质，它们的磁性并不随磁场的消失而完全消失，仍然剩余一部分磁性，叫做剩磁。铁磁性物质按剩磁的情形分为软磁性材料和硬磁性材料。软磁性材料的剩磁弱，而且容易退磁。

硬磁性材料的剩磁强，而且不易退磁，适合于制成永久磁铁，应用在磁电式仪表、扬声器、话筒、水磁电机等电器设备中。

还有一种磁性材料，叫做铁氧体，它是由氧化铁和二价金属（如 Ni、Co、Mn、Mg 等）的氧化物组成的，在电性能上与半导体相似，在磁性上与铁磁性材料相似。铁氧体在电子技术中已经成为不可缺少的磁性材料。在电子计算机中利用铁氧体作记忆元件在电子线路中广泛利用铁氧体作电感线圈的磁心。

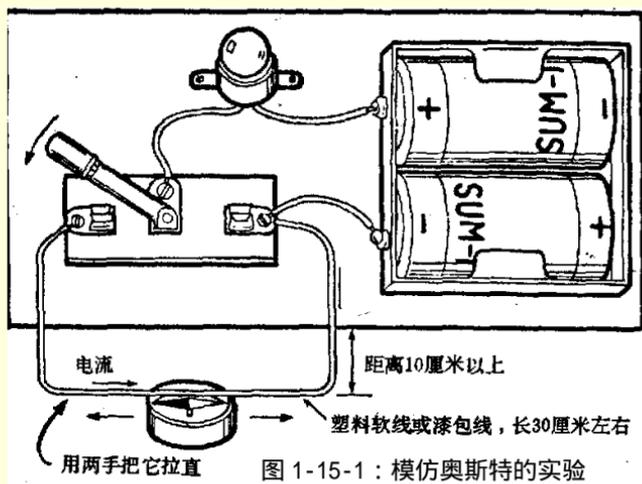
有一个有趣的现象，一块永久磁铁，不论把它切成多少块，每一小块都是磁铁，都有自己独立的南极和北极，这是什么道理呢？不要着急，接着往后看，我们会解开这个谜。

二、电流和磁场

我们常说“电磁学电磁学”，那电和磁是不是有什么关系呢？我们来试试看。

请准备一个指南针，旅行用的袖珍罗盘就可以。如果没

有,可以用一根磁化过的缝衣针代替,用细线缚住它的中间,把它悬吊起来,要远离仪器或铁器 1 米以外,并使它指向南北方向。



照图 1-15-1 那样接线,并使电流流动。位于磁针上方的电线要离开桌面 10 厘米以上。于是,你会看到,磁针摆动起来并发生偏转。前面我们说过,当磁针靠近磁铁附近时,才会发生偏转。可是,在这里并没有其他磁铁,只有通过电流的导线。这就证明,通过电流的导线周围,同样产生了磁力线。

做这个实验的,我们不是第一个。很遗憾不是吗?据我们所知,第一个做这个实验的是丹麦的奥斯特(1777~1851),所以我们说,是奥斯特第一个发现了通电的导线周围可以产生磁场。

不过,第一个发现这一现象的却未必是奥斯特,只是奥

斯特第一个注意到了这种现象——也只有一个真正的物理学家才会注意这些不引人注目的现象。其他那些人，不是把这当成一种天经地义的事，就是把它当成是一种偶然的误差。奥斯特以前，有多少人见过这种现象，已经不得而知了，因为物理学史上，是不会给这些庸才留座位的。

记得我们曾经说过的吗？物理学家，要时刻保持着一份婴儿的好奇。这件事说起来很容易，但真正做起来却很难，即使那些伟大的科学家，也未必能时时刻刻保持着这份好奇，他们经常把实验中这些他们没见过的现象当成是事故或误差。在实验室中，什么事情都可能发生。

我们会看到各种各样奇特的现象，通过这些现象发现物理学新定理的机会只有百分之一，但是作为一个物理学家，如果放过一次，那么就百分之百地失去了这个发现。更重要的是，这种草率地对待实验现象的人，即使再获得更多的机会，他也不可能有更多的发现。

好了，还是让我们把奥斯特的实验再做一次看看吧。

特别要指出的，途中的小灯泡千万不能省略，虽然看起来它对研究电流的磁效应没什么影响，但它作为一个电阻，起到了限制电流的作用。如果不用小灯泡，用别的电阻代替也可以。在有的教科书里画着的电路图，也是为了研究通电导线产生磁力线的，但是没有小灯泡。用这种联接方法流过的电流大，虽然偏转明显、摆动大，可是，干电池容易很快耗光。另外，也不安全，电流会使细漆包线发热，把手烫伤。所以，请不要这样做实验。

电流产生的磁场方向也符合右手螺旋法则：

以大拇指代表电流的方向，其余四指握住电线，其余四指自然田曲的方向即磁力线的方向。

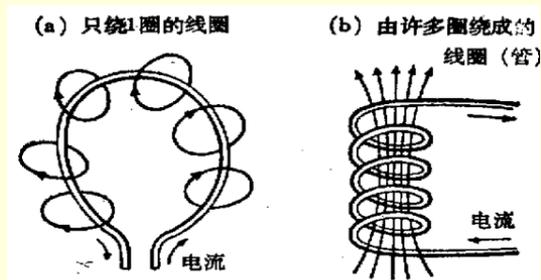


图 1-15-2：线圈通电产生磁力线

这就是判断电流磁场方向的右手安培定则。

把电线一圈一圈地绕起来的東西，叫做“线圈”。当线圈通过电流时，也会产生出磁力线。下面我们就来考察一下。图 1-15-2 (a) 是只绕了 1 圈的线圈。按箭头指示的方向，使导线内通过电流时，产生的磁力线方向，仍然符合右螺旋法则。图 1-15-2 (b)，是绕了许多圈的线圈，呈管状。由于圈数增多，其中每一圈产生的磁力线都叠加在一起，就成了图中的样子。这样一来，线圈（也叫“螺线管”或“螺旋管”）就如同一根“磁铁棒”一样。不过，它是用电线绕成的，又是靠电产生强力线的，所以叫它为“电磁铁”。在实际应用中，为增强磁力，在线圈管的中心还真的要放进铁棒哩。

磁力线永远都是要闭合的（从 N 极出发，回到 S 极）。图中只画了磁力线的出入的情况，中间走过的道路未画。但是，请不要认为线圈产生的磁力线就是这样的。另外，线圈中电流和磁力线的方向关系，也是符合右螺旋法则的。所以，也可以用右手来判断：

右手握住“螺线管”，以四指自然弯曲，代表电流在每一圈导线中的流动方向；大拇指伸出就是它产生的磁力线方向。

要想自己做个永久磁铁棒，可以找一根磁性材料的铁棒，插入线圈内，然后通电。经过一段时间以后，铁棒里面的磁分子会像图 1-15-2 (b) 那样，整齐地排列起来（即使露在线圈管外面的部分也是这样）。于是，它就变成磁铁了。

磁极和电流同样能够产生磁场，磁场对磁极和电流同样有磁场力的作用。通电螺线管和条形磁铁又那么相似。这些现象使我们想到：磁极的磁场和电流的磁场是不是有相同的起源？

这个问题现在已经有了明确的回答。这个相同的起源就是电荷的运动。导体中的电流是由电荷的运动形成的，因而不难理解通电导线的磁场是由电荷的运动产生的。那么，能不能进一步用实验直接证实：原来静止的电荷，当它运动起来的时候就会产生磁场呢？

这个问题早在一百多年以前就提出来了。1876 年美国的罗兰（1848 ~ 1901）用实验证实了这一点。他把大量的电荷加在一个橡胶圆盘上，然后使盘绕中心轴高速转动。在盘的附近用小磁针来检验运动电荷产生的磁场。

结果他发现：当带电盘转动时，小磁针果然发生了偏转，而且改变盘的转动方向或者改变所带电荷的正负时，小磁针的偏转方向也改变，磁针的偏转方向跟运动电荷所形成的电流方向间的关系同样符合安培定则。这个实验证明了运动电荷确实产生磁场，进一步揭示了磁现象的电本质。

磁铁的磁场是否也是由电荷的运动产生的呢？法国科学家安培（1775—1836）从奥斯特实验得到启示，提出了著名的分子电流的假说。他认为：在原子、分子等物质微粒内部存在着一种环形电流，叫做分子电流，分子电流使每一个物质微粒都成为一个微小的磁体，它的两侧相当于两个磁极，这两个磁极跟分子电流不可分割地联系在一起。

安培的假说能够解释各种磁现象一根软铁棒，在未被磁化的时候，内部各分子电流的取向是杂乱无章的，它们的磁场互相抵消，对外界不显磁性。当软铁棒受到外界磁场的作用时，各分子电流的取向变得大致相同，软铁棒就被磁化了，两端对外界显示出较强的磁作用，形成磁极磁体受到高温或猛烈的敲击会失去磁性。这是因为在激烈的热运动或机械运动的影响下，分子电流的取向又变得杂乱了。

在安培所处的时代，人们对物质内部为什么会有分子电流还不清楚。直到二十世纪初，人类了解了原子的结构，才知道分子电流是由原子内部电子的运动形成的。这样看来磁极的磁场和电流的磁场，它们的来源相同，都来源于电荷的运动。运动的电荷（电流）产生磁场，磁场对运动的电荷（电流）有磁场力的作用。所有的磁现象都可以归结为运动电荷（电流）之间通过磁场而发生的相互作用，这就是磁现象的电本质。

但是坦率的讲，分子环形电流的证据到目前为止还并不充分，所以，只能也作为一种假说——一种非常完美的假说。用这个假说，也可以解释为什么无论多小的磁体都一定有南极和北极。

也有一些物理学家提出了磁单极子的理论，顾名思义，磁单极子就是一种只有南极或北极的磁体。这同样是个美妙的理论，如果能找到磁单极子，以前那些物理学家们终其一生也摸不着头绪的很多问题就都迎刃而解了。1982年，美国一所大学的科学家宣布，他的实验仪器里通过了一个磁单极子，而且实验数据与理论符合得很好。

不过正因为事实与理论符合得太好了，而且以后再也没有人能成功地重复这个实验，所以很多严谨的科学家都对卡布莱拉的成果表示怀疑。

三、电磁感应

电可以生磁，运动的电荷产生磁场。反过来，磁也能生电。

产生电流首先要有“导体”，在这个导体的附近，如果使磁场急剧变化，导体内就能产生出电来。也就是说，当磁场变化时，可以认为导体内的自由电子发生了移动。

如图 1-15-3，只要导线和磁场发生相对运动，不论是导线运动，还是磁铁运动都可以产生电流，但是，如果运动太

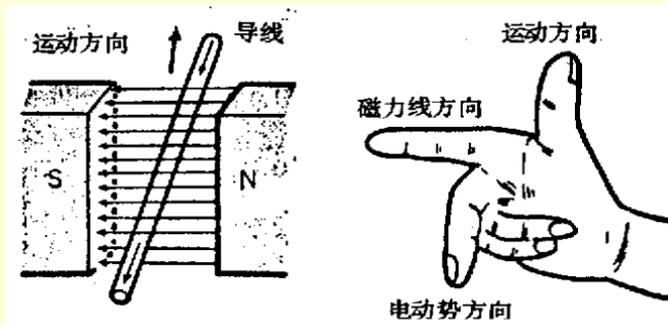


图 1-15-3：磁力线、运动、电动势之间的关系

慢，这个电流就小得几乎察觉不了，必须快速运动（使磁力线急剧变化），才能生电。

图 1-15-3 中所示的，导线在磁场中运动的情况，叫做“切割磁力线生电”，也就是“由磁生电”。它产生电压的方向（电动势的方向），可以用右手的三个手指来判断：伸出你的右手，使大姆指、食指和中指互为直角，摆成图 1-17-3 右图那样（好像有点难受）。如果姆指代表导线的运动方向，食指代表磁力线由 N 极到 S 极的方向，那么，中指就代表电动势的方向。

这个规律通常叫右手法则，同样，它与我们前面说过的右手螺旋法则也是统一的，这个道理本身很容易证明，但是因为涉及到一些比较复杂的数学概念，在这本书里就不再深入讨论了。其实物理学里很多问题都是统一的，所以往往我们学得越多，越会感觉到物理学的简单和精炼。就比如我们正在探讨的磁学，以前它与电学是分裂开的，后来人们电和磁认识的更多了，这才把电和磁统一起来。

通过实验还可以知道，即使导体和磁场都不动，只要穿过闭合电路的磁力线数量发生变化，电路中就产生电流。这种由于磁力线变化，而在导线内产生电的现象，叫做电磁感应，称电动势（电压）为感应电动势（感应电压），产生的电流叫做感应电流。

电磁感应现象是英国科学家法拉第 1831 年发现的，至今已经成为了现代电工学的基础。现在一切的发电机都是根据电磁感应制成的。

导体在磁场中运动时可以产生电流，通电的导线放在磁

场里也会导致运动。由我们以前讲过牛顿的三条运动学定律可以知道，静止的物体决不会平白无故地运动，要从静止转为运动状态，必然要受一个力。显然，这个力是由磁场产生的。对于通电的导线而言，这个力叫安培力，安培力与导线中的电流强度、磁场场强和磁场中导线的长度分别成正比。

安培力描述的是电流在磁场中的受力情况，而电流在磁场中受力的本质实际上是运动的电荷在磁场中所受磁场力的叠加，运动的电荷在磁场中受的力叫洛伦兹力。洛伦兹力的概念是荷兰物理学家洛伦兹（1853~1928）首先提出的，并因而得名。

通电的线圈因为受安培力作用，会在磁场中转动，这就是电动机的原理。

磁场和电流相互作用会得到一些好玩的结果。

比如，一块马蹄形的磁铁会吸引铝吗？不会，通常是不会吸引的。但是，有一种特殊的装置，其中的磁铁会使铝移动。用线把一块马蹄形磁铁悬挂在铝盘上方。用某种方法使盘悬空，因而它可绕其中心自由旋转。如果磁铁旋转了，那么铝盘也会旋转。铝盘的转动方向是否与磁铁的转动方向相同？为什么铝只有在这种情况下才会受到影响呢？

还是做一个实验。把一个金属环挂起来，把一块条形磁铁迅速地移近或插入金属环。这时，你会看到，金属环就像逃跑似的，不等金属环碰到它，就迅速地弹开了。觉不觉得这种现象有点眼熟？如果把一块条形磁铁挂起来，用另一块磁铁去接近它。如果相互接近的是同性磁极，挂起来的磁铁就会弹开。可是，金属环没有磁性，也没通电，为什么会显

示出与磁铁相同的现象呢？

把磁铁的一极移近或插入金属环时，穿过环的磁力线条数增加，所以就会产生感生电流，这个感生电流又会产生一个磁场。刚才的实验证明，感生电流的磁场方向跟磁铁的磁场方向相反，阻碍原来磁力线条数的增加。同理，当磁铁离开环或者从中拔出时，穿过环的磁力线条数减少。也可以验证，这时感生电流的的磁场方向跟磁铁的磁场方向相同，阻碍原来磁力线条数的减少。

在其他电磁感应现象中，也有相同的规律。凡是由磁力线条数的增加引起的感生电流，它所激发的磁场就阻碍原来磁力线条数的增加；凡是由磁力线条数的减少引起的感生电流，它所激发的磁场就阻碍原来磁力线条数的减少。

德国物理学家楞次(1804—1865)概括了各种实验结果，在1834年得到如下结论：

感生电流具有这样的方向，就是感生电流的磁场总要阻碍引起感生电流的磁力线条数的变化。

这就是楞次定律。它还有另一个表述方法：

导体在磁场中运动时，导体中由于出现感应电流而受到的磁场力必然阻碍导体的运动。

在上一个实验中，铝盘虽然没有主动运动，但磁铁旋转导致磁场运动，同样使铝盘与磁场间发生相对运动，与使铝盘的感生电流必然产生磁场，阻碍这一运动。这时电磁学中一个重要的实验，通常被称作阿拉涡圆盘实验。

这就是汽车速度计如何工作的基本原理，只是在汽车里，转动的磁铁装在一个铝罐的内部，铝罐上安有一根指针，

铝罐用弹簧约束着。

第十六节 看不见的电话线

——电磁波

一、电磁波的产生

有谁没用过手机？据说手机对健康有害，话虽如此，可是手机真的很神奇呀，就那么四四方方巴掌大的一块玩艺，却能让你和远在天涯的朋友聊天。

电话现在已经很普及了，我们也知道它大致的原理，是把声音转换成电信号，然后用电话线传出去。手机的原理当然与电话大同小异，它也是把声音转换成某种信号。但是手机可没跟电话线连在一起，它是怎么传递信号的呢？

其实，手机上也连着一根“电话线”，不过那时一根看不见的“线”。

如果有人问万箭穿身是什么感觉，你能想象出来吗？但是不用想象，只要去感受。无时无刻，当我们正蒙头大睡，当我们正看这本书时，当我们正躺在山顶呼吸新鲜空气，正有无数利箭穿过我们的身体，各奔前程？不过不用害怕，这箭不是普通的弓箭，也不是“命运的暴虐的毒箭”，而是各种各样的电磁波——就是它们，充当者手机的“电话线”。

很久很久以前，电磁波就像幽灵一样在世间游荡，那时它的来源主要是宇宙射线。不过在以前那些与地球共存的岁月里，电磁波从没像今天这样充斥于地面和天空的每一个角

落,到了现在,甚至连原本是一方净土的地下和水底也不放过。不过好在,大多数电磁波对人体是没有害的,只有满足一定条件的电磁波会损害人类。在过去的几千年里,人类也一直依赖着电磁波,但依赖程度从没像今天这样高。

那么电磁波是怎么产生的呢?

上一节里,我们介绍了法拉第,它发现的电磁感应现象最终使电学和磁学联系在一起,为现代的电磁学奠定了基础。在法拉第工作的基础上,另一位英国科学家麦克斯韦(1831~1879)完善了电磁场理论。

我们已经知道,电荷的运动可以产生磁场,而磁场与导体的相对移动也会产生电流。麦克斯韦则进一步揭示了电场与磁场的关系。变化的电场产生磁场,变化的磁场产生电场。

这就是麦克斯韦电磁场理论的核心内容。从此理论可以知道:如果在空间某处发生了不均匀变化的电场,就会在邻近的空间引起变化的磁场,这个变化的磁场又会在较远的空间引起新的变化的电场,接着又在更远的空间引起新的变化的磁场这样,变化的电场和变化的磁场并不局限于空间某个区域而要由近及远向周围空间传播开去。电磁场这样由近及

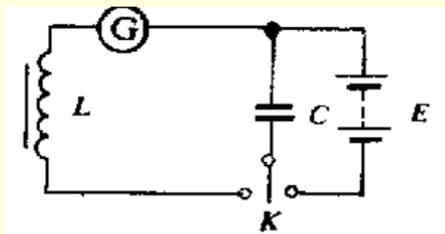


图 1-16-1: 振荡电路

远地传播就形成电磁波。

那么如何用人工手段得到电磁波呢？最常规的方法是电磁振荡。图 1-16-1 是一个基本的振荡电路。L 是一个线圈，通电时就相当于一个磁铁。C 是电容器，顾名思义就是“装电的容器”，前几节我们提到的莱顿瓶就是最原始的电容器。

电容器的功能是储存电荷，典型的电容器一般都以一个正极和一个负极，物理老师们做实验用的平行板电容器其实由两个金属板组成的，每个板分别是电容器的一极。当两板上聚集了一定量的电荷，两板间就产生电压。

不同的电容器，携带同样多的电荷，两极间的电压却未必相同，为此，要定义一个物理量叫电容，携带等量电荷，电容越大，两极间的电压越低。我们可以想象一下茶杯装水的问题，两个茶杯，装入等量的水，截面积比较大的那个杯子的水位自然就会比较低。使电容器带电的过程叫充电。

现在接通电路，先把开关扳到电池组一边，给电容器充电。稍后再把开关扳到线圈一边，让电容器通过线圈放电。我们会看到电流表的指针左右摆动，表明电路里产生了大小和方向作周期性变化的交变电流。通常把这样产生的交变电流叫做振荡电流能够产生振荡电流的电路叫做振荡电路，简称 LC 回路。

用示波器来观察振荡电流，可以看到，在 LC 回路里产生的振荡电流也是按正弦规律变化的。

下面分析 LC 回路里产生振荡电流的过程：

在开关刚扳到线圈一边的瞬间，已被充电的电容器尚未放电，电路里投有电流，电路里的能量全部是电容器里储存

的电场能。电容器开始放电后，线圈里会产生磁场，并逐渐增大。

根据楞次定律可知，这时，线圈里会另外产生一个感应电流，感应电流磁场会阻碍这个磁场增大，因此电路里的电流不能立刻达到最大值，而是由零逐渐增大。

放电过程中，线圈周围产生磁场，并且随着电流的增大而增强，电容器极板上的电荷逐渐减少，电容器里的电场逐渐减弱。这样，电路里的电场能逐渐转化为磁场能。到放电完了时，电流达到最大值，电容器极板上已经没有电荷，电场能全部转化为磁场能。

电容器放电完了后，由于线圈的自感作用，电路里的电流并不立即减小为零，而是保持原来的方向继续流动，使电容器在反方向上重新充电。

在反方向充电过程中，随着电流的减小，线圈周围的磁场逐渐减弱；电容器两极板带上相反的电荷，电容器里的电场随着极板上电荷的增多而增强。这样，电路虽的磁场能又逐渐转化为电场能。

充电完了时，电流减小到零，电容器极板上的电荷达到最大值，磁场能全部转化为电场能。此后电容器再放电，再充电，这样不断地充电和放电，电路中就有了振荡电流，同时电场能和磁场能发生周期性的转化。这种现象叫做电磁振荡。

电磁振荡跟机械振动类似，最初给电容器充电，相当于使单摆的摆锤偏离平衡位置，给摆锤一定的重力势能。电路中电场能和磁场能的相互转化，相当于单摆中重力势能和动

能的相互转化。

当然我们说的是理想状况，实际上电路中会存在一定大小的电阻，这与机械振动中的阻力很相似，最终会使电磁振荡停止。另外，线圈中产生的磁场变化和电容其中产生的电场变化会影响到周围电磁场随之变化，并向更远的空间扩散，这就是电磁波，这也会损耗很大一部分能量。

所以，如果要持续产生电磁波，必须在电路中提供一个电源，随时补充能量。这很像机械波传播的情况，而整个振荡电路就是波源。实验证明，电磁波也具有干涉、衍射等一切波的特性。

但是电磁波也有其自己的几个特点。首先，电磁波的频率同机械波一样，只取决于波源，但是任何一个作为波源的振荡电路，它的频率则取决于线圈的自感系数和电容器的电容。

如果说电容代表电容器储存电荷的能力，那么自感系数就代表线圈产生感应电流的能力，在电阻相同的线圈里，磁力线条数以相同的速度变化，自感系数大的线圈，产生的感应电流就大。自感系数的单位是亨利，电容的单位是法拉，振荡频率的平方跟自感系数和电容的积成反比。

电磁波的波速是恒定的，用麦克斯韦提出的麦克斯韦方程组可以证明，无论电磁波的频率如何，它们的波速都是 3×10^8 米/秒。因此，频率不同的电磁波，波长也不同。

是不是看着 3×10^8 米/秒这个值有点眼熟？不错，这就是光速，因为光就是一种电磁波。有人说光是一种特殊的电磁波，这个观点不大准确。光——准确地说是可见光——与

别的电磁波相比本来没有什么不同,只不过人体与生俱来的电磁波接受器——眼睛,只能识别从红光到紫光这一频率范围的电磁波。而可见光却因此在电磁波领域里一枝独秀,物理学也在电磁学以外单开了一个学科叫光学。光学问题,将集中在以后几节讨论。

二、电磁波与收音机

1. 自制的收音机

电磁波在空间传播,遇到导体,就会把自己的一部分能量传给导体,使导体中产生感生电流。如果改变电磁波的振幅、频率等,感生电流的强度、频率等也会随之变化。利用这一原理,就可以通过电磁波传输各种信息,就像我们利用电话线中电流强度的变化来传输信号。

按照波长,我们把电磁波分为几组,用来传递信号的主要是无线电波,无线电波又分成长波、中波、短波、微波。顾名思义,长波就是波长特别长(几公里到几十公里),短波就是波长比较短(几十米),比短波长比长波短的就是中波,微波波长特别短(1毫米以上,10米以下)。

不但手机的语音信息,广播和电视的信号也是靠电磁场来传播的。但是,就像我们说的,天空中已经充满了电磁波,我们怎样分辨哪一列是我们需要的呢?

矿石收音机的结构很简单,只有一根天线,一个电容器,一个长线圈,一副耳机以及最后是一块矿石晶体。移动线圈上的接触点就可以变换电台。其中的矿石晶体很重要,这是为什么呢?时时有些关于人们通过补牙填料、床的弹簧等等听到地区性无线电台广播的传说。这些传说是否真实?如果

是真的话，那么在这些奇妙的无线电收音机中，是什么东西代替了矿石机中的矿石晶体？好，现在让我们来看一看矿石收音机的工作原理。

接收电路在特定频率处共振，这个频率取决于（电容器的）电容量和（线圈的）电感量。通过改变线圈的接触点可以改变电感，从而改变电路的共振频率。在讲机械振动时，曾经提到过共振的问题，如果策动力的频率与振动装置的固有频率相等，振动装置的振幅就会达到最大。

在收音机的电路中，情况也很类似，电磁波对于电路的影响就起到了机械振动中策动力的作用。所以，符合共振频率的信号就会远强于其他信号，从而被我们分辨出来。如果是手机，那么它的共振频率是固定的，服务台用符合它的频率的电磁波发送信息，它就会接收到，而其他手机就接收不到，呼机的原理也是如此，不过它只有接收电路，而且要比手机简单。

还是看矿石收音机，它的输入的信号是正弦形的（不熟悉正弦函数的朋友请参阅代数方面的书籍）。因为从正弦信号中吸收的平均功率等于零，因此，如果不改变信号，听众就会什么也听不见。

在金属的“触须”与矿石晶体之间的接触小，只允许电流单向流动。这样，因为去除了正弦波形的一半（例如负值部分），信号就被检波了。由于在电路中只有一半正弦波形，吸收的平均功率不再为零，因此听众就可以听得见信号。

如果是对电子线路少有接触的朋友，一定看出来，矿石表现出的限制电流流动的作用，很像二极管。在真正的收

音机中，我们也正是利用二极管、三极管等器件辅助电容、电感工作的。

在真正的发射、接收广播信号的过程中，还会涉及到调制、检波等比较复杂的过程，这就留待有兴趣的朋友自己去钻研了。

2. 关于收音机的几个问题

是不是很有成就感？不过恕我直言，有广播信号的时候能在收音机里听到声音还不算什么本事，没有广播信号的时候把收音机弄响才算本事。

有人会说：“又吹牛，你也说了，现在到处充斥着电磁波，根本不可能完全没有信号嘛。”当然可以，把收音机放在上回装青蛙的屏蔽笼子里，在打开开关，你会发现，收音机不响了。

为什么呢？并不是电池用完了，而是因为笼子屏蔽掉了电场。这一点在讲静电的时候我们已经谈过了，而电场既然恒定为0，磁场也就无从谈起了。所以，金属的外壳可以屏蔽掉电磁波，这就是为什么在封闭的汽车、火车，乃至钢筋水泥的建筑物中收不到广播或者收听广播的效果极差的原因。

在把磁谱仪送入太空的过程中，指挥小组就驻扎在这样一座建筑物中，而且建筑物的墙壁还额外使用了一些材料，以阻挡任何频率的电磁波。这完全是为了防止磁谱仪和其他重要实验在进行的过程中泄密。当时在场的科学家也没有人带呼机和手机，打电话都要出来才行，因为里面的电磁波传不出来，外面的也进不去。

还有地铁里也收不到广播,这是因为土壤和水分会吸收电磁波的能量。所以现在一些寻呼台想出了办法,在地下建立发射站,这样,我们在地铁站里候车时,也能收到朋友的寻呼了。

真的能在没有广播信号的时候把收音机弄响吗?回答是肯定的。

我们需要一座能屏蔽电磁波的实验室、照明电源和一个台灯,当然,还有一架收音机。把收音机放在台灯旁,先把收音机打开,然后打开台灯,这时收音机里就会发出“喀啦”声,再关掉台灯,同样可以听到“喀啦”声。但是这“喀啦”声是如何产生的呢?

开关台灯时,电流发生了变化。这变化是在极短的瞬间(几十毫秒、几毫秒甚至几微秒)发生的。这电流突变过程,包含了频率从零到频率很高的各个频率分量的电流,其中也包括收音机能收到的中、短波的频率分量。这时,台灯就成了辐射无线电波的无数个小电台。台灯附近的收音机就可收到其中一个小电台的“喀啦”声。也就是说当我们用改变调谐回路频率的方法接收不同电台的广播时,由于台灯的关闭而在收音机中产生的“喀啦”声,粗心听似乎是一样的,但实际上是有差别的。

与台灯的关闭中一样,马达的启闭、电火花、雷电等,只要存在电流的突变,都能对收音机的收听产生影响。

还有几件事情值得我们研究。例如,为什么在夜间接收调幅(AM)广播电台的范围比白天要大得多?有时,在一架便宜的晶体管收音机中,能接收到千里以外的一个电台,

甚至是外国电台，有人在日本收到过 FM97.4 北京音乐台！按说调频（FM）电台与电视台的接收范围几乎不能越出它们所在的城市。当然也不排除一些特殊情况，例如在有流星雨时，这些信号也会传播惊人的远距离；然而在另一些场合下，例如在太阳有大耀斑时，它们的传播距离则大大地减少，世界范围的通讯联系几乎中断。

当意大利的马可尼首次播送的无线电信号跨越大西洋的时候，曾使许多人惊愕不已。为什么这些信号不是直线地进入太空而是沿着地球弯曲的表面传播呢？

另外，为什么在以电视台和调频电台为一方的接收范围和以调幅电台为另一方的接收范围之间有这种差别存在？为什么电视台和调频电台的接收范围中偶尔会有如此突如其来的变化呢？

无线电波穿通电离层的深度取决于波的频率，对于电视台和调频无线电台所用的频率较高的波来说，电离层是可穿透的。然而，调幅无线电传递所用的频率较低的波则被电离层反射。因而为了接收某个特定的电视台节目或调频台节目，接收机必须靠近发射台，以便收到直接信号、或至少是接收自环境（建筑物等）反射而来的信号。

在调幅的情况下，接收器可以离得很远、因为它可以利用从电离层反射来的信号。偶尔，电离层会反射较高频的信号，而在惊人的远处收到这些信号。这种反射可能是由于流星雨使电离层中的电离增大所致。

后者所致的电离增大迄今尚未完全了解，但是这可能与太阳辐射的增大有联系。调频信号的反射水平在夜间上升，

因为太阳光的不足减少了电离层下部的分子电离。出于反射水平较高，调幅信号就绕着地球的弯曲而传播得较远。

由于受地球的椭圆形或山峰等因素的影响，使我们难以收到遥远的调频电台的信号。当我们利用流星反射的电液接收调频广播时，就能够收到了。而用调频收音机寻找流星也是这个道理。

在房顶上垂直架起一副调频接收天线(电视用的天线就行)，将天线接在收音机上，然后再用振荡器将频率调到100~200公里远的电台发射的波长上，音量会提高许多。这时收音机里出现的全是杂音。但有时会出现一种奇特现象：收音机的杂音一下子消失了，短时间内可以听到清晰的音乐和广播。这种现象说明流星正从上空飞过。

第十七节 小孔和日食

——光的直线传播

一、小孔成像

晴朗的夏日，在茂密的树林里散步，鸟儿在枝头鸣叫，太阳透过透过浓密的树叶，从树顶上投射下来，在地上形成一片树影。可是，总觉得有点不对劲，哪里不对劲呢？

仔细看，树下的影子可不一般。在这里，找不到任何一片树叶的影子，却只有一些圆形的光斑。光斑随着树叶的晃动时隐时现，但是，不管树叶怎样晃动，每一个光斑都永远是圆的。既然太阳是从树叶的缝隙里透射出来的，缝隙是什

么形状，光斑也应该是什么形状才对嘛，就像我们平时看到的，如果窗户是圆的，窗户的影子就是圆的，如果窗户是方的，窗户的影子也是方的。

那么究竟错在哪里呢？我们用老办法——实验。

找三块硬纸板，在每块硬板的中心，挖一个小洞。别挖成一样的，一个挖成圆的，一个挖成三角形，一个挖成方形。这三个小洞的面积都在5平方毫米左右。

先把带有圆孔的板放在太阳光下，观察纸板的影子，你会看到阳光在地面上投射出一个亮圆斑。你也许会觉得很自然的事。因为小孔是圆形的，所以它的影子也是圆形的。但当小孔是三角形、方形的时候又如何呢？这才是我们关心的。

继续实验会使我们惊讶：在三角形、方形孔后，地上的亮斑还是圆的！如果再有创意一点，把小孔挖成五角形、六边形等各种形状，只要这些小孔不很大，地面上的亮斑都是圆形的。这是什么道理呢？

原来，纸板下的圆斑并不是小孔的影子，而是太阳的像。这种现象叫小孔成像。我们在树下看到的那些光怪陆离的圆形光斑，也正是太阳的像，它们是阳光经过树叶的缝隙形成的。

现在有一种土豆片，装在一个圆纸筒里，利用这个圆纸筒，可以做一个有趣的实验。

先在筒盖的中心挖一个手指粗细的圆洞，再用一张薄纸（高丽纸最好，描图纸也不错）蒙在筒的口上，然后套上盒盖子。在筒的另一个底面的正中心处，用锥子扎一个小孔，

直径大约 3 毫米，这就做成了一个小孔投影器。利用它可以观察小孔成像。

当把小孔对准室外阳光比较充足的地方，另一端朝向室内，从圆洞中我们会看到，毛屏（即薄纸上）出现了一个彩色的画面，那是一个缩小的倒立的户外景色。如果你把小孔对准一支点燃的蜡烛，在毛屏上就会出现一支亮的烛焰形象。这个像不但倒立，而且左右也是颠倒的。

以前我们介绍的那些物理学家都是外国人，其实我们中国也有物理学家的。我们中国的第一位物理先驱叫墨翟（约前 480 ~ 前 420），被尊称为“墨子”。

墨翟以小孔成像的实验闻名，特别是他还利用光的直线传播规律成功地解释了这个现象。在《墨子·经说下》中他这样写道：“景光之人照若射。下者之人也高，高者之人也下。足敝下光，故成景于上；首敝上光，故成景于下。”

意思是说，光线就像射出去的箭一样，通过小孔，人脚上的光成像在上面，而人头上的光，成像在下面，所以成一个倒像。当然，这也只是最流行的一种翻译方法，1999 年初时候，北京师范大学国学所曾经联合本校一些理科专业，专门对《墨子》中《经》和《经说》的部分进行过研究，也提出了一些观点，但是其中涉及的物理学的原理还是八九不离十的。

北宋时期的沈括，也对小孔成像做了精彩的记录。他在《梦溪笔谈》中记叙了这样一个有趣的现象。有一天，一只老鹰在天空飞翔，老鹰的影子透过窗户的缝隙投射在屋里的墙上，老鹰从来飞到西，而影子却从西移向东，这就是小孔

成像的左右互易性。

利用这个原理，可以自制一台针孔照相机。事先将感光片贴在一个封闭的纸盒内，（注意这要在暗室内进行）然后把纸盒固定在我们拍的景物前，在感光片面对的盒壁中心，用锥子刺一个直径约为 1 毫米的圆孔，使小圆孔对准要拍的景物，掌握一定的曝光时间，也可以拍出比较满意的照片来。

这种没有镜头的针孔照相机曾一度在中世纪的欧洲相当流行呢。不过，如果你想用这台照相机给自己照个相的话，由于小孔透过的光线太弱，需要很长的感光时间，必须一动不动地在这台相机前坐上长长一段时间才行呢。

显然，要想出现小孔成像的效果，孔必须开的足够小，为什么呢？

所有物理老师在提到电磁波的时候都会说：“电磁波看不见、摸不着，但它是客观存在的。”然而搞笑的是，偏偏就是又这么一种电磁波，它是看得见的，这就是可见光。

既然是电磁波，就会有干涉、衍射等波的一切性质。所以，当孔非常小的时候，准确地说当孔的大小接近光波的波长时，光波就会发生衍射。

不过以电磁波来看，可见光的波长范围在 3.9×10^{-7} 米（紫光）~ 7.7×10^{-7} 米（红光）之间。换成中国话说，光波的波长还不到千分之一毫米。所以，想挖这么小的一个孔也不是很容易。

历史上，关于光究竟是波还是粒子，物理学家们曾经打过很长一段“内战”。以牛顿为首的一派科学家坚持认为光

只是一种粒子，而以荷兰的惠更斯（1629～1695）为首的另一派则针锋相对地提出了“波动说”。这两派都有自己的实验依据，牛顿的依据是刚才讲的光的直进性和光的反射，这在日常生活中都很常见，但是“粒子说”却不能解释同样很常见的光的折射。而“波动说”却很容易解释折射现象，但是由于当时惠更斯等人无法知道光的波长，所以在解释光的直进性时就很难。后来发现了光电效应，波动说的困难就更大了。

后来有人提出了“波粒二象性”。看起来这是一种和稀泥式的学说，但是请注意，科学家并不是为了和稀泥才提出波粒二象性的，他们事先经过了大量的论证，广泛听取双方的意见，这才集大成地提出了这一学说。

在研究波的直进性和反射、折射等几何光学的内容时，可以不考虑光的波动性，因为这对结果不会有什么影响，但是研究干涉、衍射等问题时就要把光当作电磁波来处理了。

二、影子和日食

正因为光有直进性，所以在光的通路上，如果有什么障碍物，光就会被挡住，形成影子。日食和月食就分别是月亮和地球分别挡住了太阳射向地球和月亮的光。

在晚上，我们可以利用灯光观察一个皮球的影子。假若用的光源很小，比如用蜡烛或小灯泡，皮球在墙上的影子很清晰，它是黑白分明的，如果我们的眼睛在影子里，就看不到光源了；如果你用的光源比较大，比如用带灯罩的大灯泡，皮球的影子就不那么黑白分明了。在影子的中心区域是全黑的，叫做本影。在本影的周围，影子逐渐变淡，这个区域叫

做半影。你的眼睛若在半影里，就只能看到光源的一部分。

我们都知道，地球绕着太阳旋转，每三百六十五天转一周；月球绕着地球旋转，每二十七天转一周。既然它们都在不停地运动，月亮就有机会转到地球和太阳之间，当它们在一条直线上的时候，月亮的影子就会落到地球上。

如果我们恰在本影里，会完全看不到太阳，这就是日全食；如果正在半影里，就只能看到太阳的一部分，这就叫日偏食。根据同样的道理，当地球转到了太阳和月亮之间，三个星球在一条直线上的时候，照向月亮的太阳光被地球挡住了，月亮就会变暗，这就叫月食。

说到这里，有人也许还有疑问，月亮每二十七天转一圈，为什么不是每月发生一次日、月蚀呢？如果地球绕太阳转动的平面跟月亮绕地球转动的平面恰是一个平面的话，那每个月都要发生一次日、月食。但是，事情并不那么凑巧，这两个平面不在一起，所以使三个星球碰巧在一条直线上的机会就不那么多了，根据它们各自的运行规律，日、月食的准确时间和地点可以精确的计算出来。

在许多情况下，很有必要消除某些影子，比如医生做手术的时候，影子的出现就会妨碍医生的操作，为了消除手术中的影子，制成了“无影灯”。

如果点一支蜡烛，我们的身后会出现一条影子，如果在影子里再点上一支蜡烛，由于背景变亮，影子就谈多了。如果在我们周围点上许许多多的蜡烛，自然影子就消失了。所以墨翟说：“光至影亡”，意思是说，光线到了，影子也就没有了。

无影灯正是根据这个道理制成的，它由许多水银灯组

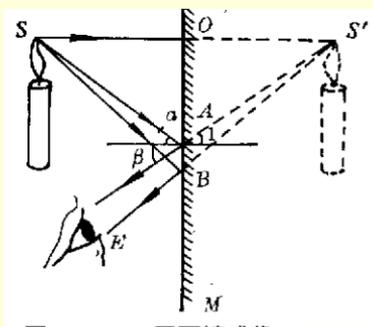


图 1-18-1：平面镜成像

成，安装在一个巨大的圆盘形灯座上，各个水银灯从不同的角度照射，影子就消失了。

第十八节 颠倒的影像

——光的反射

利用小孔成像的原理可以制作一台针孔照相机，当然，这种古董货现在早被淘汰了，只有一些物理学家和好事之徒偶尔会弄一两个来玩玩。

现代照相机都是用透镜的，但同样能起到小孔的聚光效果，如果把小孔成像公式和凸透镜成像公式相比较，就会发现，两个公式几乎一模一样。

我们在照镜子的时候会发现，像的右手，实际上是我们的左手，而像的左手，却是我们的右手；当我们抬起左手时，像却抬起了右手。

这是什么道理呢？看来还得顺便提到反射定律：

反射光线因入射光线和法线在同一平面上，反射光线和入射光线分居在法线的两侧；反射角等于入射角。

法线是为了方便地研究光学问题，而在画光路图时添加的一条线。它通过光线的入射点，垂直于镜面。入射角和反射角就是入射光、反射光与法线的夹角。

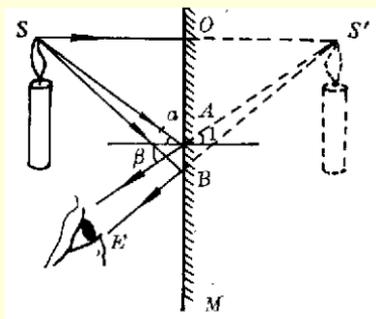


图 1-18-1：平面镜成像

请看图 1-18-1，M 是平面镜，一支蜡烛位于镜前为了研究蜡烛所成的像，我们先来研究烛焰上的一点 S 在镜中的像。从 S 射向镜面的光线中，任取两条光线 SA 和 SB，这两条光线被镜面反射后，分别沿着 AC 和 BE 的方向进入眼睛发光点虽然在 S，但是我们根据光沿直线传播的经验，认为光线 AC 和 BE 是从它们的反向延长线的交点 S' 射来的。从 S 点发出的其他光线经镜面反射后，反向延长线也通过 S' 点（有兴趣的话自己证明一下），S' 就是 S 在平面镜中的像。

因为光线实际上不是从 S' 发出的，S' 并不是光线的实际交点，而是光线的反向延长线的交点，所以光学中把这样的

像叫做虚像。

照相术刚发明的時候，照出的像也是左右颠倒的，后来利用小孔成像的原理解决了这个问题。从理论上讲，在平面镜的成像中，找不到左右不互易的像，因为如果左右不互易，上下就应该是颠倒的，事实上，小孔成像的实验中我们看到的就这这种结果，照相时，在镜头后面的底片上留下的也是倒像。

有一种镜子，相信大家也都见过，叫哈哈镜，不过不知道现在还有人玩这种东西没有。在哈哈镜前，我们会发现，镜中出现了一个“丑八怪”。圆圆的脸蛋，变成了一个拉长的冬瓜，中间配有一个肥大的鼻子，翻着鼻孔，像掏了两个洞的窝头；本来一双明亮的大眼睛不但变得很小，而且还亲密地挤在一起，活像比目鱼；躯干又短又粗，配上两条歪七扭八的蜘蛛腿。当稍微移动一下身体，还会看到更多的丑相，一会儿歪着脸，一会儿撇着嘴，一会儿大犄头，一会儿小短腿。

为什么在哈哈镜前，我们会照出丑相呢？问题就在于镜面不平，所以反射成像时放大率的不同。假若反射成像时，我们身体各部分或镜面上各个方向的放大率都一样，照出来的像就不会变形——平面镜的放大率就恒为1；假若它们不一样，甚至相差很远，照出来的像就会严重地被歪曲而失去了原形。

如果镜面不平，而且不平得比较特殊——具体说，是球形的，就叫球面镜，球面镜有凸面镜和凹面镜两种。从球面镜我们也能更好的理解其他曲面镜的工作原理。

球面镜可以想象成是无数的小平面镜组成的,球面镜上每一点的法线也就是每一个小平面的法线,这条法线先垂直于该点的切平面。球面镜反射同样遵从反射定律,所以就会出现图 1-18-2 的情况。

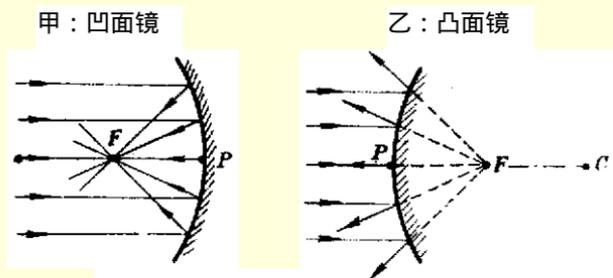


图 1-18-2 : 球面镜

凹镜对光线起会聚作用,射到凹镜上的平行光线,被反射后会聚于一点,这一点叫做凹镜的焦点,通常用 F 表示。如果把一张纸放在焦点,纸上会出现一个很亮的光点。凹镜的焦点是反射光线的实际会聚点,是实焦点。

凸镜对光线起发散作用,射到凸镜上的平行光线,被反射后变得发散。把反射光线反向延长后,它们将会聚于一点,这一点叫做凸镜的焦点。凸镜的焦点不是反射光线的实际会聚点,是虚焦点。

镜面的中心点 P 叫做球面镜的顶点,连接球心 C 和顶点 P 的直线叫做主光轴,简称主轴。靠近主轴射向镜面的光线叫做近轴光线。严格说来,只有平行于主轴的近轴光线经球面镜反射后,才能会聚于一点。我们这里研究的只限于近轴光线。焦点到顶点的距离叫做焦距,通常用 f 表示。对于近轴光线,球面镜的焦距等于球半径 R 的一半。

利用凹镜对光的会聚作用，人们制造了生活中用的太阳灶和工业上用的太阳炉，这是利用太阳能的一种重要方法。因为反射时光路是可逆的，所以如果把光源放在凹镜的焦点，那么从光源射向凹镜的光线，反射后将平行射出。探照灯、汽车头灯、手电筒等射出的光束比较集中，能够照亮远处的物体，就是利用了凹镜的这一性质。

凸镜可以用来扩大观察范围，对于口径相同的平面镜和凸镜，观察者离镜同样远时，从凸镜观察到的范围要比平面镜大。用一个口径不太大的凸镜，就能观察到比较大的范围内的景象。因此，汽车上的观后镜都用凸镜。

球面镜也可以使物体成像。物体离球面镜的距离不同，所成的像也不同。把一支蜡烛放在凹镜前二倍焦距以外的地方，用一张透明纸作光屏，在蜡烛和凹镜之间移动光屏，直到在光屏上出现清晰的蜡烛的像。

可以看到，这时的像是倒立缩小的。这个像是由反射光线实际会聚而成的，能用光屏接收到，所以光学中把这样的像叫实像。把蜡烛向凹镜移近，同时使光屏远离凹镜，当蜡烛位于二倍焦距以内焦点以外时，从光屏上可以看到倒立放大的实像。

使蜡烛进一步靠近镜面，当蜡烛位于焦点以内时，无论怎样移动光屏，都得不到蜡烛的像。这时向镜里看去，可以看到一个正立放大的像。这个像不是由反射光线实际会聚而成的，用光屏接收不到，是虚像。

而把蜡烛放在凸镜前的任何位置上时，用光屏都接收不到蜡烛的实像，只能从镜中看到蜡烛的正立缩小的虚像。

第十九节 天上街市

——光的折射

一、奇特的海市蜃楼

灼热的太阳烘烤着一望无际的沙漠。天空没有一丝云彩，也没有一点风，只有一阵阵的热浪迎面扑来。一支干渴的骆驼商队艰难地行进着。

突然，在远处的地平线上，奇迹般地出现了一个大湖，湖面闪烁着耀眼的银光，在湖边还有一些苍翠的棕榈树，它们在水面下映出秀丽的倒影，这是一幅多么迷人的景色呀，它驱散了人们的疲劳，给人们带来了希望。

正当人们怀着狂喜的心情向它奔去的时候，它又奇迹般地消失了。于是，民间就传说，这是一个名叫莫尔甘的妖怪在玩弄法术，他企图诱骗人们误入迷途。使他们最终葬身在沙漠腹地。

莫尔甘还会用另一种花样捉弄人们。有时，在沙漠的地平线上，还会出现各种各样的野兽形象，它们有的卧着，有的立着，有的正在逃开，有的又向着人们张牙舞爪地扑来。这些形象十分怪异又大得惊人，使看到它们的人非常害怕。这些传说中的神秘的幻景就是海市蜃楼。

这种幻景也常常出现在海面上，如水手们常常传说的“荷兰飞船”的故事中说：当人们在海上航行的时候，在海

面上突然出现一只飘忽不定的船队。它有时在你的一侧并行，似乎在暗中悄悄地监视着你；有时它又忽然神秘地远离而去；有时，它又张帆对准你驶来。它不理睬你的信号，也没有一点声息，就在马上要和你相撞的时候，它又忽然消失得无影无踪了。使人听了毛骨悚然。有人说凡是见到它的人都要在海上遭到厄运。其实这种幻景也是一种海市蜃楼。

这种幻景并不总那么吓人，有时还会在天空中浮现出一座城市，亭台楼阁完整地显现在空中，来往的行人、车马清晰可见。在无风的条件下，这种幻景能持续数小时之久。传说在报早以前，有一次在海面上出现了这样一幅幻景，当时看到它的人正在海上航行，有些人误以为“天堂”出现了，为了尽早进入理想中的“天堂”，他们纷纷跳下大海，向着这个幻最游去，结果都葬身在大海里了。

这样的幻景，在我国东部沿海也常常可以看到。在古代，我们中国的前辈学者认为，这是一种海中的怪兽吐出的气化成的，这种怪兽叫蜃，大约是一种龙系的动物，长得又像蟒又像鳄鱼，大概还有点像泥鳅吧，而且体型非常巨大。所谓海市蜃楼，指的就是海中的街市和蜃气结成的楼宇。

许多年来，这种幻景不断地出现，并在人们中间流传着。由于缺乏科学知识，又被一些人渲染、夸大，因此在人们的心目中对这种现象感到十分神秘而可怕。

这种幻景是怎么出现的？是妖怪在施展法术吗？是天堂的再现吗？都不是。海市蜃楼只不过是一种简单的光学现象。远方的景物因为空气对于光线的折射作用而映入我们眼中。可是由于习惯，我们仍然认为光是直线传播的，所以就

产生了那些街市在天上的幻觉。所以说，海市蜃楼也并不是莫须有的，你看到的景象，一定存在于地球上的某个角落。

那么这种折射又是怎么发生的呢？

二、折射

我们知道一般情况下光是直线传播的。所谓“一般状况”就是指在同种、均匀的透明介质中传播。如果光从一种透明介质进入另一种透明介质，就会改变方向，这种现象叫折射。

反射有一个反射定律，折射也有折射定律：

折射光线在入射光线和法线所在平面上，折射光线和入射光线分居在法线两侧；入射角的正弦跟折射角的正弦之比为一常数。

正弦的概念以前也提过一次，那次说的是“正弦曲线”，正弦的概念任何代数书都有介绍，我们只需要定性地知道，在 90° 以内，角度越大，正弦的值越大。

我们可以在盆里放上一枚硬币，往后退，直到看不见它为止。然后站在那里不要动，叫同伴把水灌在盆里，硬币好像随水面的上升也向上漂了起来，又能看见它了。

水真能把硬币浮起来吗？不是，这也是因为光的折射。从硬币发出来的光线经过水面时远离法线偏折，经这一偏折，从硬币上发出来的光线就能进入我们的眼睛，所看到的硬币只是硬币的像，这个像比实际硬币的位置要高。

站在水潭边，向水下望去，潭水清澈见底，我们估计潭水最多也只有三、四尺深，但当我们跳下去的时候，却发现潭水深得足以没脖子。为什么用眼睛估计的深度和实际有这样大的差别呢？这个道理和前面的例子是一样的，也是光的

折射现象在作怪。

把一支筷子插在水里，筷子好像被水弯折成两段，可是把筷子提出水面，它仍然是笔直的。原来，我们所看到的那段弯筷子是真实筷子的像。从真实筷子的每一点上发出来的光线，经过水面的折射，都偏离了原来的方向。每一点的像的位置都比原来提高了一些。这些点组合成一段向上折起的筷子的像，看起来好像是筷子折断了一样。

因为光经过水面，总要偏折，所以不管从水上向水下看，还是从水下向水上看，所看到的一切物体都离开了原来的似置。所看到的只是折射后的像，并不是真实的物体。比如，站在岸上看水下的鱼，是鱼的像。

如果想用鱼叉捉鱼，不能把叉向看到的那个像投去，因为鱼并不在像的位置上。所以在捉鱼的时候，要警惕不要受光的欺骗。一个有经验的渔人是知道怎样纠正这个偏差的。

现在可以解释海市蜃楼了。

根据热胀冷缩的原理可以知道，空气的密度是随着温度变化而变化的。当温度升高的时候，空气膨胀，密度比较小；温度降低的时候，空气收缩，密度跟着变大。由于空气密度大小的变化，也会引起它对光的折射率发生变化。

在炎热的夏天，灼热的太阳烤热了地面的沙石，使得贴近地面的一层空气很热，接近地面的空气密度比上层空气的密度小。而空气是热的不良导体，在无风的时候，这种温度不均匀的现象能持续一段时间。

为了使讨论简单，我们设想将地面以上的空气分成许多平行层，它们都和地表面平行，因为各层空气的温度不同，

所以密度不同，折射率也就不同。当光线从空气密度较大的上层射向下层的时候，根据光的折射定律，这支光线向空气密度较大也就是折射率较大的方向偏折。

如光线射到某一层，入射角大于临界角时，它将发生全反射再度向上偏折，最后射到人们的眼里。如果你的眼睛接受了这支光线，就会感觉到它好像从一面“镜子”上反射出来的一样，这面“镜子”就是最后反射光线的那层空气。我们所看到的景物，就是地面上的物体在这面“镜子”下的虚像。

远远看去，就像是平地上泛起的一连湖水，地面上景物的倒影映在湖水之中当被太阳晒热的大气微微地颤动时，就更加深了错觉，使我们感觉到湖面上的水被荡漾，与真正的湖水很难区别。这种幻景比现在真实景物之下，叫做“下现幻景”。在下层空气的温度高于上层空气的温度，观察者在离地面不很高而距离景物又较远的地方常常可以看到这种“下现幻景”。

有时，特别是在海边可以观察到另一种幻景。在海面上的温度较低，而上方的空气温度较高时，由实际景物发出来的光线将向下弯曲，于是出现的幻景比实际景物高，这叫做“上现幻景”。

不管“上现蜃楼”也好，“下现蜃楼”也好，能不能在这个幻景的附近找到实际景物呢？有时是不能的。大气对于光线的这种偏折作用，有时可以把很远的景物浮现在人们的眼前，人们不知道这个景物是什么地方来的，这也是使人感觉到奇怪的原因。

1920年，在美国的巴格达车站，许多人突然看见地平线上出现了一个城镇，城镇被一个大湖环绕着，它的轮廓非常清晰，忽然在场的一个人告诉大家这个城镇是加利福尼亚州的一个地方，离这个车站竟然有800公里远，中间还相隔好几条山脉呢！

不要以为只有在海上或沙漠中才能常见到海市蜃楼，平时并不多见。其实不然，这种奇景在日常生活中也可以观察到，在大马路上就可以看到这种奇景。

在炎热的夏天，如果那天无风，我们在马路上行走时，可能会看见前面大约百米左右的路面上积了许多水，像是刚刚下过一场大雨。水面光亮如镜，前方过往的行人、车辆似乎都在水面上来回穿行，它们的倒影映在水里。

但是，我们走到那儿的，会惊异地发现，刚才出现积水的地方根本就没有水，地面是干的，似乎水一下子消失了。我们若再往前看，这片积水又会出现在前方，它像是在和我们捉迷藏，又像是网你赛跑。这种奇异的景象就是一种“下现幻景”。

有时，在山坡、峭壁旁或某些高大的建筑物的旁边，也会有温度和密度不同的空气层，这些空气层可能垂直地面或同地面夹一定的角度。如果我们正和同伴行走，同伴走在前面，当他进入这些空气层，我们将有可能看到一个更为奇异的幻景，这个幻景呈现在你同伴的侧方，当幻景被歪曲、放大而失去了原形的候，会使你以为是妖怪出现在眼前了。这不是什么妖怪，而是你同伴的虚像，它叫“侧现幻景”。

三、折射率和全反射

光线以同样的入射角入射，在不同介质中，产生的折射角是不同的，这与不同介质的折射率有关。折射率在数值上等于入射角与折射角正弦的比值，但决定折射率的，其实是光在两种介质中速度的比值。这空中的光速为 c ，也就是 3×10^8 米/秒，真空中的光速与某种介质中光速的比值叫这种介质的绝对折射率。

对于两种媒质来说，光在其中传播速度较小的，绝对折射率较大，叫做光密媒质；光在其中传播速度较大的。绝对折射率较小，叫做光疏媒质。光密媒质和光疏媒质是相对面言的。例如水跟空气相比，水是光密媒质，水跟玻璃相比，水是光疏媒质。

光从光密介质进入光疏介质，折射角大于入射角，如果入射角大到某一个值，折射角就会达到 90° 。入射角的这个值，叫做“临界角”。可是，如果入射角超过临界角，会怎样折射呢？恐怕大家拿起笔来也不知怎么画这个光路图。

实际上，这时就不会出现折射了，光线会全部反射回去，这种现象叫全反射。平时光线从一种介质射入另一种介质的时候也会有一部分光反射，但发生全反射时，光只有反射，没有折射。

1870年，英国的物理学家丁达尔（1820~1893）做了一个很有趣的实验。他在一只大桶的侧壁上开了一个小孔，然后，大桶内装满了水，让水从容器侧壁的小孔流出，形成一股弯弯的水柱落到地面。接着，从桶里用一束光把小孔照亮。

当把屋子里的灯关掉以后，人们看到一件非常奇怪的事，从小孔里射出来的光束竟然也随着弯弯的水柱一起落到地面上。在水流落地的地方，出现了一个亮亮的圆斑。光为什么能随着水流动呢？难道光在水中的行踪不再是一条直线了吗？

在上面这个实验中，光在水中是沿直线传播的，因为水流很细，它不断地遇到水和空气的界面，所以不断地发生偏折。入射到这股水流里的光，几乎沿着切线方向射入，它的人射角很大，水相对与空气是光密介质，光线在水和空气界面上发生全反射，又回到水里。经过多次全反射以后，最后落在地上。

对于这束光来说，透明的水变得不透明了。水柱变成了一支传光的管子，这个小小的实验，引起了人们的极大兴趣。他们想到，既然水流可以传光，玻璃丝也一定可以传光，能不能用玻璃丝做传光的导线呢？

用玻璃丝代替水流做同样的实验很容易就成功了，而且与水流相比，效果更好一些。因为可以把玻璃丝做成任意粗细，弯成任意形状，传光的效果也更明显。

100多年以前的一个实验，彻底改变了今天的通讯方式——虽然当时连电话都还没发明。今天那些学文科的外行们津津乐道的所谓信息高速公路，就是用光导纤维来构架的通信网络。用光导纤维作为信号线，不会像金属线那样由于电阻而导致信号损失，而且玻璃显然比金属便宜。

为了使玻璃丝能弯成任意形状，需要把它们做得很细，然后，把这些细丝捆起来，扎成一把，这样就做成了一束传

光的导线。但是把它们扎起来以后，问题就来了，在玻璃丝相互接触的地方，光线可以从这一根串到那一根，发生了串光现象。为了避免“串光”，常常在玻璃丝的外面再套上一层玻璃皮，皮的折射率介于空气和芯的折射率之间。穿上了这层外衣以后，光线就在心里传来传去，使串光现象大大减弱。

给玻璃丝穿上外衣并不难，先把一个皮料的玻璃管套在芯料的玻璃棒上，套好之后，把它们一起加热，一边加热一边拉伸，就可以拉出合格的纤维来。

这样的纤维很细，大约只有头发丝的十分之一，把它们扎起来，不但可以制成传光的导光管，还可以制成传输图像的导像管，由此又可以制成做手术用的内窥镜，医生把内窥镜从病人的食管、气管、血管、淋巴管送进去，不用开膛破肚就把体内的情况毫无隐私地一览无余了。

四、彩虹与分光镜

夏天，在一场大雨之后，天空常常出现彩虹，那是一道横跨半个天空的七色光带，红、橙、黄、绿、青、蓝、紫，像一道圆拱形的彩桥飞架在天空。这道光灿灿的彩桥的出现，为雨后的天空增添了异彩。有时在彩虹的旁边，还伴随着一道相似的彩桥，它叫做霓。虹和霓像一对双生的姐妹，它们相依相随，结伴在天空。

为什么雨后的天空会出现彩虹呢？它的五颜六色是怎么形成的？为什么在虹的旁边有时还有霓伴随？霓的颜色顺序又为什么与虹相反呢？

在大雨之后，天空中还残留着许多小水滴，这些小水滴

的直径大约有 1 毫米左右，它们悬浮在空中，由于水的表面张力和地球的引力作用，每个小水滴近似是个小长椭球。这些小水滴密密麻麻地悬浮在空中，给形成彩虹准备好了条件。当太阳光照射在这些水滴群上时，出现了规则的折射和反射效应。

当光线入射到小水滴上，折射光线靠近路线偏折，进入到水滴里的光线，在发生一次全反射以后，又钻出了水滴，回到空气中，这时，它就发生了色散。

因为太阳光是平行光，每个小水滴又以相同的方式悬浮着，出射光线的方向取决于太阳光的入射部位。太阳光在水滴的不同部位入射，出射光的方向就不相同。经过实验可以知道，只有在某一个部位入射的光，出射光最强，如果我们迎着这支出射光看去，小水滴最明亮，我们把它叫做小水滴的闪耀方向，这个方向就是我们观察虹的方向。

若是用角度表示这个方向的话，这个角度是这样的，把你的头和太阳连成一条直线，小水滴的闪耀方向和这条直线的夹角大约是 40° 。在其他的方向上，虽然也有光线入射到你的眼睛里，但是它们太弱了，在明亮的天空背景中，你很难察觉到它们。

所以，我们观察到的虹，一定是在小水滴的闪耀方向上。这样的小水滴绝不是少数，而是有许多，这许多水滴的位置都在一条圆弧带子上，这条圆弧带与太阳到我们头顶连线的夹角约 40° ，在我们的眼中看来，只有在这条圆弧带子上的小水滴，才闪闪发亮。这就是为什么只能在 40° 角的方向上看到虹的原因。

为什么虹具有五颜六色呢？

我们看到的太阳的白光，其实是由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种不同颜色的光组成的。光的颜色不同，是因为它们的波长不同，红光波长最长，其他几种光的波长依次减小。如果按照光子说，可以把光子看成一个个能量球，那么，波长最短的光，相应的，每个光子所含的能量也就越多。因此，虽然在真空中，它们的速度都是 c ，但是在介质中它们的速度就不同了。由此，每种光线的折射率也不同，波长越长，折射率越小。

光学仪器中常用一种横截面为三角形的三棱镜，通常简称为棱镜。让一束单色光从空气射向玻璃棱镜的一个侧面，可以看到，光线通过棱镜，从另一个侧面射出来时，方向发生了明显的变化。

光线向棱镜的底面偏折，这是因为光线在棱镜的两个侧面上发生折射时，两次向底面偏折所造成的。让一束白光射向玻璃棱镜，可以看到，白光通过棱镜后，在光屏上形成一条彩色的光带，叫做光谱。红光在最上端，紫光在最下端，中间是橙、黄、绿、蓝等色，这表明各种色光通过棱镜后的偏折角度不同。红光的偏折角度最小，紫光的偏折角度最大。这种现象就叫色散。这种现象就是因为棱镜材料对红光的折射率小，紫光的折射率大。

横截面为等腰直角三角形的玻璃棱镜对光能起全反射作用，这种棱镜叫做全反射棱镜。通常用的反光镜背面都镀有一层银膜，靠这层银膜来反射光，这种镀膜的反光镜不能使光全部反射，大约有 10% 的光被吸收掉。全反射棱镜能

够把人射光全部反射出去，所以在一些精密的光学仪器中都用全反射棱镜代替镀膜的平面镜。例如，潜水艇的潜望镜中就使用全反射棱镜。

水像玻璃一样，对于不同颜色的光线，它的折射率不一样，因此可以起到棱镜的作用。白光进入到水滴以后，经两次折射，红光和紫光就分开了，红光的倾斜角度是 42° 多，紫光的倾斜角度是 40° 多，其他颜色的光线夹在这两个角度之间。

这时即使我们的眼睛恰在彩色的出射光带之间，也不可能同时看到七种颜色的光。因为我们的眼睛只能在一个位置上，盯着一个方向看。七种颜色的光虽可同时从一个小水滴发出来，但它们出射的方向不同，照射到的位置也不一样，我们只有把眼睛移动一下，才能分别接受不同颜色的光，小水滴的颜色也会由红到紫发生变化，但在同一个位置上看去，它决不会有七种颜色。

然而天空中有许多小水滴，每一个小水滴接受太阳光后，它们也都沿着 40° 左右的倾斜角度射出最强的光线，每一支光线都会分成七种不同的色光，这时，我们的眼睛在一个位置上可以接受到不同方向射来的光，他们发自不同的小水滴，我们可以看到发自最上面的一些水滴的红光和发自最下面的一些水滴的紫光，当然也可以看到这两部分水滴之间的各水滴发出来的橙、黄、绿、青、蓝等色的光。所以你看看到的小水滴分别是七种颜色之一，它们从上到下依次按红、橙、黄、绿、青、蓝、紫排列。这就是我们看到的彩虹。

那么霓又是怎么出现的呢？原来，在空中的小水滴还有

另一种折光的方式，按这种方式，也可以在一定的角度上出射较强的光线。这种方式是光线在水滴里发生两次全反射，最后，大约以 50° 角出射。

因为有多次全反射，光强被吸收得多一些，出射光线就显得弱多了，红光的倾斜角度大约是 50° ，紫光的倾斜角度大约是 63° ，和前面虹的情况对比一下，就可以发现：霓的红光出射倾斜角度小，而紫光出射倾斜角度大；虹的红光出射倾斜角度大而紫光出射倾斜角度小。不管红光还是紫光出射的倾斜角度霓都比虹的要大 10° 左右。所以我们抬头望去，霓在虹的外侧，颜色的排列顺序恰恰和虹正好相反。

能不能看到整个的虹呢？人站在地面上，虹的另一半被地平线淹没，人的视野受到限制，只能看见一半。太阳的位置越高，所看到的虹就越低，反之，太阳的位置越低，所看到的虹就越高。因为虹必须成在一定角度上，而这个角度又和太阳的位置有关。

在空中的飞行员常常可以看到整个的虹，这时的虹是一个封闭的彩色光环，有时又把它叫做宝光，如果这个彩色的虹圈以云层做背景的话，还可以把飞机的影子映在云层上。飞机的黑影，被一个七色的彩圈环绕着，是一幅非常美丽的景象。

为了更进一步观察虹，我们不妨造出一道彩虹来。选择阳光比较充足的时候（下午两、三点钟最为合适），我们背对着太阳，口里含着一口水，朝向与太阳和我们眼睛的连线成 40° 角的方向，将水喷出，水珠喷得越细越好。沿着喷水的方向看去，就会在人造雾中看到一道美丽的人造虹。如果

阳光很充足，你还可以在雾中同时看到它的姐妹——霓呢。由于形成虹的水珠距你很近，虹圈的半径就小多了，虽然相对角度并没有变。

第二十章 从我们的眼睛说起

——透镜和助视仪

人为什么会的近视眼呢？这要从眼睛的结构说起。

一、透镜成像

眼睛的主要构造如图 1-20-1 所示，最外层的无色透明部分叫做角膜，中间的透明囊状物叫做晶状体，晶状体和前面的角膜之间充满着无色透明的液体——水样液，晶状体和后面的视网膜之间充满着无色透明的胶状物质——玻璃体。角膜、水样液、晶状体和玻璃体都对光线产生折射，它们的共同作用相当于一个凸透镜。

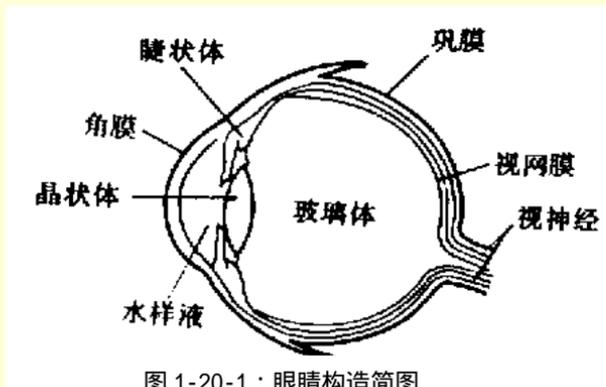


图 1-20-1：眼睛构造简图

所谓透镜，就是折射面是两个球面，或者一个是球面另一个是平面的透明体。透镜是光学仪器中经常使用的基本元件，分为两类。一类是中间厚、边缘薄的，就是凸透镜。凸透镜对光线起会聚作用，又叫做会聚透镜。另一类是中间薄、边缘厚的，叫做凹透镜。凹透镜对光线起发散作用，又叫做发散透镜。

凸透镜为什么能使光线会聚，凹透镜为什么能使光线发散呢？其原理可用棱镜对光线的偏折作用来说明。如图 1-20-2 所示，透镜可以看作是由许多棱镜组成的。凸透镜上部的棱镜底面朝下，光线通过时都向下偏折，下部的棱镜底面朝上，光线通过时都向上偏折因此，凸透镜使光线会聚。与此相反，凹透镜上部的棱镜底面朝上，光线通过时都向上偏折；下部的棱镜底面朝下，光线通过时都向下偏折。因此，凹透镜使光线发散。

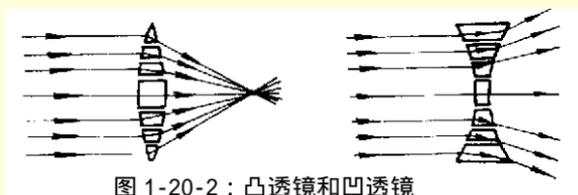


图 1-20-2：凸透镜和凹透镜

透镜的两个球面都有自己的球心，我们把通过两球心的直线叫做透镜的主光轴，简称主轴。通常把厚度比球面的半径小得多的透镜，叫做薄透镜，我们在后面讨论的都是薄透镜。

主轴跟透镜的两面各有一个交点，对于薄透镜来说，这两个交点可以看作是重合在一起的，这一点叫做透镜的光心，用 O 表示。透镜的中央部分相当于两面平行的薄玻璃

板，通过光心的光线相当于通过这个薄玻璃板，因此，不管从任何方向通过光心的光线，传播方向都不改变，这是光心的重要性质。

平行于主轴的光线，通过凸透镜后会聚于主轴上的一点，这个点叫做凸透镜的焦点。平行于主轴的光线通过凹透镜后变得发散，这些发散光线看起来好像是从它们的反向延长线的交点发出来的，做凹透镜的焦点。凸透镜的焦点是实焦点，凹透镜的焦点是虚焦点。

从透镜的焦点到光心的距离，叫做透镜的焦距，用 f 表示。透镜的两侧各有一个焦点，只要透镜两侧的媒质相同，两个焦点对光心是对称的，两个焦距相等。

利用透镜可以使物体成像，这是透镜的一个重要应用。透镜所成的像跟物体离透镜的距离有关系，下面我们用实验来研究透镜成像的情况。

像图 1-20-3 那样，把蜡烛和光屏放在光具座的两端，把焦距已知的凸透镜放在蜡烛和光屏之间。调整凸透镜和光屏的高度，使烛焰的中点、凸透镜的光心、光屏的中点一样高，以使烛焰的像能成在光屏上。

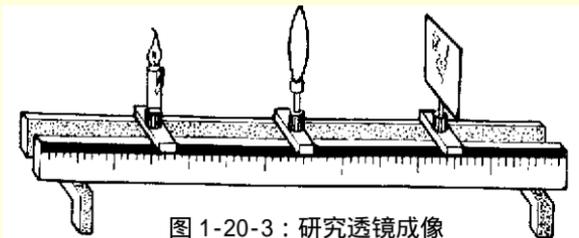


图 1-20-3：研究透镜成像

先使蜡烛到透镜的距离——物距 u ，大于 2 倍焦距 ($u > 2f$)，移动光屏，直到在屏上出现清晰的蜡烛的像。可以

看到，这个像是缩小、倒立的这时光屏到凸透镜的距离——像距 v ，小于 2 倍焦距 $2f$ 。这个像是蜡烛发出的光通过凸透镜后会聚而成的，是实像。

缩短蜡烛到凸透镜的距离，移动光屏，使像仍成在光屏上。可以看到，像变大。当物距等于 2 倍焦距时、像的大小跟蜡烛相同。这时像距也等于 2 倍焦距。继续缩短蜡烛到凸透镜的距离，使 $2f > u > f$ 。可以看到，这时所成的像大于蜡烛，像距 $v > 2f$ 。

如果再缩短物距，使 $u = f$ ，则无论怎样移动光屏，也得不到像了。进一步减小物距，使 $u < f$ ，光屏上仍得不到蜡烛的像，但是，如果从光屏这边朝着透镜看去可以看到一个正立、放大的像，与蜡烛位于凸透镜的同侧。这个像是由通过凸透镜的光线的反向延长线会聚成的，是虚像。

总结以上凸透镜成像的情况，可以看出：当 $u > 2f$ 时，成倒立、缩小的实像；当 $u = 2f$ 时，所成的倒立的实像跟物体大小相等；当 $2f > u > f$ 时，成倒立、放大的实像；当 $u < f$ 时，成正立、放大的虚像改用凹透镜来做上面的实验，可以看到，无论怎样改变蜡烛到凹透镜的距离 u ，在光屏上都得不到蜡烛的实像，而只能通过凹透镜看到一个与蜡烛位于同侧的正立、缩小的虚像。

平时我们使用的放大镜就是一个凸透镜，把它放在报纸上方时，它与报纸间的距离显然小于焦距，所以我们会看到放大的虚像。

就眼睛这个凸透镜而言，前焦点约在角膜前 15 厘米处，后焦点约在角膜后 2.0 厘米处，用眼睛观察的物体，距离都

大于二倍焦距，所以从物体射进眼睛里的光线经过这个凸透镜折射后，在视网膜上形成倒立、缩小的实像，刺激分布在视网膜上的感光细胞，通过视神经传给大脑，产生视觉，于是我们就看到了物体。不过视网膜上显示的虽然是倒像，由于大脑有纠正作用，你感觉到的像却是正的。

为了证实大脑的纠正作用，1897年心理学家斯特拉顿用一只倒像望远镜做了一个很有趣的实验。因为它有倒像作用，当用它看物体时，视网膜的像就正了过来。可是，因为大脑纠正倒像已经形成习惯，明明这时网膜上的像已经正了过来，人们反而感觉是倒的。

斯特拉顿把这架望远镜套在右眼上，并设法堵住眼的周围，不使光线从旁边进入，同时他又把左眼完全捂住，这样，他要观看物体，只能通过这个望远镜了。开始，他看什么全是倒的，他想拣地上的东西，手却伸向了天花板，他不敢往椅子上坐，因为他觉得椅子腿正朝天，他想把门打开，用手去抓门把手，却把手伸向了门轴上，当他写字的酬候，总觉得自己在从右向左写，感到非常别扭……总之，用围的一切全颠倒了。为了找到实验结果，他耐心地训练着、适应着。

三天以后，情况有了好转，他似乎开始摸到了规律，等到了第八天，情况就大为改观，倒的感觉消失了，手、脚的行动也自如了。只要想拿什么，手就能自动地伸到准确的位置上。说明在这时他的大脑已经放弃了纠正作用，它产生的视觉和网膜上像的正倒一致了。就在这时，斯特拉顿撤去了眼上的望远镜。当他睁开眼一看，啊，一切又混乱了，屋子里的桌子和椅子的腿又朝了天，左、右的位置又颠倒了起来。

这就是在大脑放弃了纠正作用之后，他所感觉到的倒像。又经过了几天的训练，他的视觉才恢复了正常。

二、视力的矫正

眼睛要看见物体，必须使物体成像在视网膜上。视网膜的位置是固定不变的，而物体到眼睛的距离却远近不同，眼睛是怎样使远近不同的物体都在视网膜上成清晰的像呢？

原来晶状体是有弹性的，它的弯曲程度可以靠周围的肌肉——睫状体来调节。在观看远处物体时，由于周围肌肉的作用，晶状体的弯曲程度变小，晶状体变得扁平，眼睛的焦距变大；在观看近处物体时，由于周围肌肉的作用，晶状体的弯曲程度变大，晶状体变凸，眼睛的焦距变小因此，无论是远处的物体还是近处的物体都能在视网膜上成清晰的像。

可见，眼睛是一个精巧的变焦距系统，在物距改变时，它能靠改变晶状体的弯曲程度来改变焦距。眼睛的这种作用叫做眼睛的调节。

眼睛的调节是有限度的，晶状体变得最扁时能够看到的最远点，叫做眼睛的远点。正常眼睛的远点在无限远处，就是说，从无限远处的物体射入眼睛的平行光线，它们的像恰好能成在视网膜上。晶状体变得最凸时能看清的最近点，叫做眼睛的近点。

正常眼睛的近点随着年龄增加逐渐变远，幼年时在眼前7~8厘米处，到了中年就在眼前25厘米处，到了老年，近点可就远了，距离眼睛能达到1~2米，那就是老花眼了。在合适的照明情况下，正常的眼睛看距眼睛25厘米远的物体，不容易感到疲劳，因此把距眼睛25厘米的距离叫做明

视距离。

如果不好好保护眼睛，结果就会近视。所谓近视眼，就是视网膜到晶状体的距离过远，或者晶状体比正常眼睛凸一些，从无限远处射来的平行光线不能会聚在视网膜上，而会

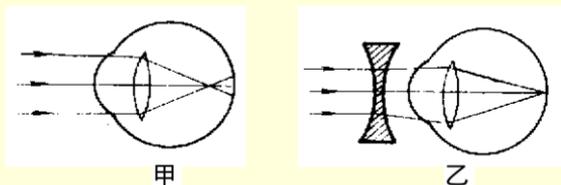


图 1-20-4：近视眼及其矫正方法

聚在视网膜前（图 1-20-4 甲）所以近视眼的远点不在无限远处，不能看清远处的物体，只能看清一定距离内的物体。换句话说，近视眼就是眼睛的近点变近了。

为了矫正近视眼，使它能像正常眼那样把无限远处射来的平行光线会聚在视网膜上应该用凹透镜做眼镜，使入射的平行光线先经过凹透镜变得发散些，再进入眼睛会聚点就后移到视网膜上。

顺便告诉一个计算眼镜度数的方法，很简单。如果眼睛的远点距离是 0.5 米，那么需要焦距为 0.5 米的近视镜。因为近视镜是凹透镜，在光学里，我们习惯用负数表示凹透镜的焦距，用正数表示凸透镜的焦距，以便区分两种透镜，所以眼镜的焦距就是 0.5 米。它的倒数再乘以 100，着就是眼镜的度数。所以刚才说的那副眼镜度数就是 200° 。

除了近视眼以外，还有远视眼，远视眼就是视网膜到晶状体的距离过近，或晶状体比正常眼扁些，平行射入眼睛的

光线将会聚在视网膜的后面（图 1-20-5 甲）。远视眼的近点比正常眼的远，所以视力范围比正常眼小。矫正远视眼的方法是用凸透镜做眼镜，使射入的光线先经过凸透镜变得会聚一些，再进入眼睛会聚点就前移到视网膜上（图 1-20-5 乙）。

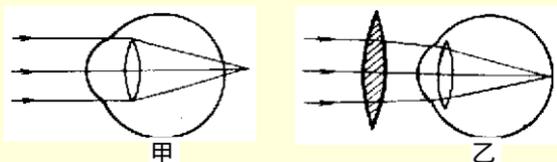


图 1-20-5：远视眼及其矫正方法

计算远视镜焦距的方法就比较麻烦了，可以用下面的公式： $1/f=1/d-1/s$

f 就是眼镜的焦距， d 是刚才讲的明视距离， s 是眼睛的近点距离。已知，明视距离是 25 厘米，即 0.25 米，如果眼睛的近点是 0.5 米， $1/f$ 就是 2 米^{-1} ，因为凸透镜焦距为正值，眼镜的度数就是 $+200^{\circ}$ 。

至于散光，是眼球各方向的曲率不同，看到的景象就会扭曲。散光也可以用眼镜校正。

眼镜是最简单的助视仪，其他那些助视仪，比如望远镜、显微镜，也都是的透镜的组合，它们是帮助正常人把这个世界看得更清楚。

第二十一节 波动的光

——光的干涉和衍射

我们说光是一种电磁波，这么说有证据吗？

一、光的干涉

在一场大雨之后，马路路面上常常会有许多积水。如果我们留神观察，在积水之上，会看到一片片红红绿绿的彩膜，它们比用颜料涂出来的更艳丽，更为动人。这是原来无色透明的汽油，在水面上展成薄膜以后现出的彩色。

在摔裂的玻璃器皿上，也可以看到这种彩色，那是空气渗入玻璃裂痕形成的空气薄膜的颜色。在你吹肥皂泡时，请你看一看肥皂泡的颜色，它们最初还是无色透明的，当肥皂泡变大膜变薄时，皂泡也逐渐出现了彩色，这就是水在形成薄膜以后显出的颜色。

为了更清楚地观察薄膜的颜色，可以做一个小实验。准备一盆清水，在平静的水面上，滴上一滴万能胶，它在水面上迅速展成一片薄膜，这个薄膜红绿相间，极为美丽。我们可以用事先做好的铁丝框将它从水面上捞起，在强烈的阳光下它闪现出绚丽无比的彩色，这就是薄膜的颜色。

为什么透明的薄膜会显出绚丽的五颜六色呢？这就是因为光的干涉效应。因为薄膜有两层，在上层反射的光和在下层反射的光向干涉，结果就形成了干涉条纹。

二、光的衍射

光的衍射效应也很容易在实验中看到。

找一张硬纸片，用刀片在它的上面划一条口子。然后我们隔着这条长缝去观察蜡烛的火焰，会看到美丽的烛焰变成了一条明暗相间的光带，在每条亮条纹的周围，还镶着彩边，非常好看。

这种景色在夜晚的马路上也能看到。如果眯起眼睛，向

远处开来的汽车大灯或远处的路灯看去,这时被合上的眼帘和彼此交叉的睫毛像一条条细小的狭缝,通过这些狭缝,可以看到,在灯光四周,也出现了许多明暗相间的辐射彩条,它们像一道道的光芒,向四面辐射出去,越是比较强的光源,这种光芒四射的现象就越明显。

有时,在一些反光的物体上,也能看到类似的现象。假若把一只玻璃瓶子中只瓷茶碗或一块光亮的金属片放在阳光下,当太阳光从它们的表面上反射时,眯着眼睛迎着反射光看去,也会看到这种光芒四射的反光。

是不是这些烛焰、路灯或强烈的反光面本身就有光芒四射的特性呢?不是。这些光芒四射是光线经过小缝以后所造成的衍射现象,如果没有衍射现象,我们只能看到烛焰、路灯或反光面本身。凡是光源上亮的部分,我们看到它们就是亮的,凡是不发光的部分,看到就是暗的,因此不可能看到它们的外面还有什么光芒伸展出来。这些光芒实际上是光经过我们的眼缝以后衍射的结果。

为什么能出现衍射呢?原因在于光是一种波动,波的传播和质点的运动浑然不同,它服从惠更斯原理。按照惠更斯原理,波在传播过程中,它所到的任何一点都可以看成果一个新的波源,由这个新的被源,再向前发出次波。为区别于原来的波源,我们把这些新波源叫做次被源,波向前传播的过程,就是由次波源所发出来的这些次被彼此叠加的过程。

烛光通过狭缝时,在狭缝上的任何一点,都是一个次波源,这些次波在不同角度上叠加的结果不一样,有的地方加强,就是亮纹,有的地方削弱,就是暗纹,这样就形成了一

条明暗相间的彩带。如果这条狭缝是我们的眼帘，那么这条彩带就会形成在我们的视网膜上，我们就看到一个向歪彭射着彩色光芒的蜡烛了。

仔细研究就会发现，光波的性质和机械波中的横波是非常相似的，因为光波本身就是一种横波，一般的电磁波，都是横波。

三、红外线和紫外线

除了可见光，还有两组电磁波，它们的波长与可见光十分接近，因此性质也比较接近。着两种光一种波长比红光长一点，所以叫红外光；一种波长鼻紫光短一点，所以叫紫外光。

我一说你就知道了，着两位虽然从未谋面，但也都是老熟人了。

我们说过，波长越短的光线，能量越强，所以，紫外线的能量远比可见光强，长时间照射，会导致皮肤烧伤，甚至会得皮肤癌。

至于红外线，虽然我们看不见它，但是凡是有热源的地方都会随时发出红外线，而红外线本身也携带着一定量的热能。

在夜间，士兵们可以借助夜幕掩藏行迹，但身上发出的红外线是无法掩藏的，利用红外夜视仪，就可以及时地发现敌情。

红外夜视仪的前方是一只透镜，它把看不见的红外线汇聚在光电管的阴极上。红外线在光电管阴极上打出电子流，这些电子流经过电子透镜的聚焦，最后在荧光屏上成像，就

像我们在电视机的荧光屏上看到的物像是一样的，目标就浮现在面前了。如果夜视仪灵敏度高，还能直接接收由目标中身发出的红外线，这叫做被动式夜视仪。显然这对保密和减轻仪器重量都有重大意义，这是一个很有发展前途的监测手段。

第二十二节 蓝天和海

——光的散射

歌德说：世界上最博大的是海洋，比海洋更博大的是天空，比天空更博大的是人的心灵。

当我们抬头仰望天空时，那辽阔的天空是那样清澈，那样的洁净，就像一大块蓝宝石……可是物理学家不是诗人，他们会问：天空为什么是蓝的呢？唉，有时候我们会觉得学物理的人很煞风景，总是以过于理性的眼光来对待这个世界，所以就少了很多浪漫，对于一些天赐的美景也熟视无睹，只会关心：这是为什么？

不过探索大自然的奥秘却也别有一番风味，就好像天为什么是蓝的这个问题，也不失为一个有意思的问题。

所谓天空，就是地球周围的大气层。空气是无色透明的，那为什么天空却是蓝的呢？原来这是空气分子对太阳光散射的结果。

我们学习过光的反射和折射，它们是光线遇到不同介质的分界面时所发生的现象。当光线在介质中传播，而仅仅是

介质本身不均匀时,情况就不相同了。比如光线经过空气时,空气中含有大量的空气分子和悬浮在空气中的一些其他微小颗粒。这时候一部分光线就不能照直前进了,它向四面八方散射开来,我们把这个现象叫做光的散射。

实验证明,波长越短的光,散射能力越强;颗粒越细小,散射短波光的能力也越强,只有一些像水珠等较大的颗粒,才能散射波长较长的光。

当天空很洁净又很干燥时,大气中水汽很少,也少有灰尘,只有空气分子悬浮着。空气分子的大小与光的波长相比要小得多。光线照在成群的空气分子上,短波长的光就容易朝四面八方散射开来。根据计算,射的紫光强度是散射红光强度的16倍以上。我们所看到的天空颜色就是这些波长比较短的散射光的综合色,呈现的是蔚蓝色。天空越是洁净,干燥,这种蔚蓝色越深、越艳。

在日常生活里,我们可以观察到其他一些类似的现象。如大海的蔚蓝色也是大量水分子对阳光散射的结果。点燃的香烟所冒的烟有些发蓝,也是光线在成群的炭粒上散射的结果,它们都和天空呈现蓝色的道理是一样的。

为了观察天空的蓝色,我们来做一个小实验。找一个大的玻璃水槽,将它装满清水,在清水里加上几克海波(即硫代硫酸钠),搅动水溶液,等海波完全溶解以后,加上一滴浓硫酸,只见滴入浓硫酸的地方像发出烟雾一样,这是反应生成的硫的微小颗粒,清水变得混浊了,若把它再度搅匀,用灯光从一侧照去,从侧面观察水溶液,它显出像天空那样的淡蓝色,这就是光线在含有细小颗粒的水中散射的结果。

距离地面越高，空气密度越低，散射光波长也就越短，光线也越暗。在没有空气的外太空，天空就全黑了。这种黑色的天空后来曾经被一个宇航员描写过，他是这样形容的：“太阳在高空悬挂着，像于个金色的大圆盘，而天空却像一面黑色天鹅绒的幕布，那一颗颗的星星就像镶在黑幕布上的宝石一样，闪闪发着光。”

这样壮丽的景色也可以在月亮、火星上看到，在这些星球上没有散射光线的大气层，即使是白天，也不会看到发亮的天空，如果那里有“人”的话，他们绝对不懂什么叫“天亮了”，他们要是到地球上来，看到这蔚蓝色的天空还会感到恐惧得很呢。

即使在地球上，天空的颜色也并不总是蔚蓝的，只有在晴朗干燥的天气里，才呈现蔚蓝的颜色。但是当天空充满水汽或颗粒较大的尘埃时，由于阳光中，长波长的光也开始大量被散射，天空就呈现灰白色了，在污染情况严重的城市上空，天空常常是灰白的，那是一种大气污染较严重的危险信号。

近几年北方一些地区连续发生了好几次沙尘暴，抬起头，天都是黄的。通常，人们都认为那是因为天空充满了黄土，其实这并不是主要的原因。

发生沙尘暴的时候，这时天空中充满着一种颗粒较小的灰尘，它们除了散射被长较短的光以外，还能散射一部分波长更长的光，这些散射光的总和就呈现一种黄的颜色。

在大风天或雾天时，为了防止和对面的来车相撞，汽车司机必须打开雾灯，这种灯是桔红颜色的。因为波长短的光

线很容易被空气里的灰尘或雾散射掉,使它们的透过能力大大的降低。要想使信号传播得远一些,必须选择波长偏长一些的光,这就是汽车上的雾灯是桔红色的原因。

海上的灯塔、陆地上指示飞机航线的航标灯、较高的建筑物如电视发射塔顶上的指示灯大多是桔红色或红色的,道理和雾灯一样,都是为了使它们的光线不被大气中的小尘埃散射,而传播得更远。

不只是在特殊的天气里,其实每天一早一晚,日出和日暮的时候,天空的颜色都是红彤彤的。有人说那是因为红色的太阳染红了天空,但是,日出和日暮时的太阳都是红红的,中午的太阳却是白色的。为什么在一天里太阳要换上几种颜色呢?

原来,在日出和日落时,太阳光要穿过很厚的大气层才能射到你的眼里,这个厚度是太阳在头顶上直射时大气厚度的35倍。太阳光进入大气以前还是白色的,穿过这么厚的大气层以后,波长短的紫光、蓝光以致于绿光,几乎被空气分子散射殆尽。最后到达我们的眼里时,只剩下波长较长的光线了,所以我们看到的太阳就变成了赤红色。要知道,这并不是太阳本来的颜色。

在前面所做的天空蓝色的小实验里,也可以看到这种“红太阳”。透过散射光的水槽向发光的灯看去,会看到灯是红色的,它像一轮红日,而水槽中的水就是浓缩了的大气。

第二十三节 冷和热

——关于温度

“今天真冷”，“饭怎么不热了”。我们每天都在用到热或冷这样的话，以便说明天气、饭菜或饮料的冷热。像冷和热这样的概念在日常生活中虽然我们总能切身感受到，但它们并不准确，就像我们所认知的视错觉那样，在冷和热的感觉方面，我们会有更多的错觉存在。

因纽特人人把北极的夏季说成是热天气，但对南太平洋的塔布提人来说，北极的夏季就是冷天气。还有一个极有趣的例子：寒冷的冬天，把我们的左右手分别捂在户外的铁和木头上，感觉会有很大差异，但实际上手和铁的温度是一样的，当然，这一过程还有其他的情况发生。总之，简单的靠感觉，我们并不能确切知道一个物体的冷热。

大家可能早就听说了温度，更知道温度是反映物体冷热的物理量，这时，大家就已经有温标的概念了，比直观的感觉精确了一大步。

物理学讲究实验性，或者叫操作性。大家已经知道摄氏度的定义，在一个标准大气压下，冰水混合物的温度定义为 0°C ，水沸腾时的温度定义为 100°C 。而且还假设温度的变化是均匀的，即 $0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 之间有 100 个相互间隔的 1°C 。我们可能已经自然而然的接受了这一观点，而且还用摄氏度

来说明气温,体温等各种各样不同物体的冷热情况,像众所周知的人的正常体温为 37°C 。

可是这里面有一些问题,问题之一就是为什么用水这种物质定义的温标,可以用来量各种各样的其他物质的温度。温压的尺子放到哪都一样,这样做有什么理由。实际上温度的更本质的定义可以这样表述:温度反映了处于热平衡时的各种不同物体的共同性质。这样的话,我们如果再问两个物体是否是温度相同,就不用依赖于它们分别是多少度,而只要让它们接触,各自没有冷热的变化的话,它们就处于相同的温度。

这种操作方法可以推广到所有物体(或体系),从而就使温度具有了普遍的意义,而不依赖于我们用来作温标尺子的具体物质(如水)。实际上,愿意的话我们可以用你想要的任何一种物质来做温度的标准,只是看是否方便。

第二十四节 温度到底是什么

——温度的微观解释

为什么化糖水时要用热水?为什么一般物体会热胀冷缩?温度作为处于热平衡状态的物体的共性,其背后又隐藏着什么更重大的秘密呢?

大家可能已经接受了物质具有微观结构这一看法,知道物质由分子或原子等微观粒子构成,结构还存有什么疑问的话,可以动手做一个小实验:在清水中滴入一滴墨汁,然

后在放大镜下观察小碳粒的奇特行为吧!小碳粒的行为实际上是由于水分子的碰撞造成的。

实际上,温度相同的物体,它们中的微粒的平均动能是相同的。我们肯定有这样的体会:当雨下得很大的时候,如果撑着伞站在雨中,并不能感觉到每一个雨滴的冲击所带来的下压的感觉,而是感到一个总的向下的压力效果。

这从一个侧面向大家展示了微观粒子的行为特征:单个粒子的行为没有宏观上的物理意义,大量的粒子行为才决定了我们可以观测到的物体的性质。这一点很容易理解,要知道一滴水力大约就有 10 万亿亿 (10^{21}) 个水分子!这对人们来说绝对是一个天文数字。

那么这时我们说温度所标志的微粒的平均动能对单个微粒来说是没有意义的。本来嘛,温度就是一个针对物体来言的,而物体由大量粒子构成。说到这里,我们就可以这么说:温度高的物体中的微粒的平均动能大,相对来说,分子运动的就越频繁,温度低的物体中微粒的平均动能小,分子运动平均较慢一些。结合碳粒的行为以及所观察到的墨汁的扩散,我们就可以给第一个问题一个解释了。

另外,我们已经相信了物体的微观组成一想法,那么就可以得到这样的结论:物体的体积决定于微粒的数目,微粒的堆积方式和微粒的间隙。

大家在生活中都有这样的体会:看起来那么大一堆衣服居然可以塞进那么小一个箱子里。为什么呢?衣服之间的平均间隙变了,就这么简单。物体的热胀冷缩说明了在温度升高的时,微粒间的平均间隙一般会变大;温度降低时微粒间

的平均间隙一般会变小。

第二十五节 温度的测量

——温度计

有人问你：“今天多少度？”你可能会说：“看一下气温计就知道了。”医生想知道你的体温是多少以判断你是否发烧时通常也会用一种叫体温计的东西来测量一下。温度计作为温度测量所用的基本一起，也成了我们生活中不可缺少的东西，这次我们就来说一说温度计。

许多温度计装有水银，它在一般的温度下是银白色液体。随着温度的升高或降低，装在温度计玻璃管里的水银发生膨胀或收缩。玻璃管旁边的刻度表示出水银膨胀或收缩的量，这就测量了温度。

实际的问题是刻度上的数字是怎样标注的呢？温度计上的刻度是用“度”作单位来表示温度。度的数值随单位制的不同而不同。在英制单位中，冰水混合物的温度是 32 （ F 代表华氏），水的沸腾温度则是 212 。在上述的两个温度之间，在度盘上插入等距离的刻度。在高于或低于上述的温度极值处，刻度盘可以稍加延长，以提供实用的温度计。

国际单位制温度导出单位是摄氏度（ $^{\circ}C$ ）。在该温度制中，水的冰点温度定位 0 ，水的沸腾温度定为 100 。在上述的温度间隔内，也采用等距离刻度。

在摄氏温标中，当温度低于水的冰结温度时，该温度的

数值是负的。多种实验表明，可能的最低温度是 -273.15 。该温度是台地了，以执行在任何实验中都没有达到过。人们认为，这么低的温度是达不到的（在研究低温的一些实验室，人们作了许多实验，不料都是稍高于 273.15 。人们只能认为，没有办法把物质准确地冷却到 273.15 这个温度）。

为了消除摄氏温标中存在的负数值，人们制定了另一种名叫开氏温标的国际单位标准它的一度与摄氏温标相同，但所标定的数值不同，而且不采用度的符号。在开始温标中，把可能的最低温度（ -273.15 ）定位零，称为绝对零度。

于是，水的冻结温度在开氏温标中为 273.15K ，水的沸腾温度则是 373.15K 。开氏温标在日常生活中不像摄氏温标中那样通用，经常用于科研实验中的低温测量。

第二十六章 温度计的工作原理

——膨胀和收缩

当物体的温度升高时，该物体通常会发生膨胀。让我们想想各种金属导线和棒材，它们沿着长度方向的膨胀是最为显著的。比如，烘炉内的金属炉丝变成赤热状态后，金属丝发生膨胀，其长度大于室温下的长度。烘炉断电后，导线冷却，降到室温时金属丝又收缩到原始长度。如果我们把烘炉通宵置于冷冻状态，则收缩后的导线长度要比室温下的长度还短。正如一个大家通常的说法，提高物体的温度会使它膨胀，而降低物体的温度会使它收缩。

一些大型结构，像桥梁和建筑物，在夏季也要膨胀，在冬季也要收缩。为了使桥梁在长度上有变化的余地，防止发生损坏，在桥梁上没有伸缩缝。

在温度变化时，各种物体的膨胀量或收缩量是不同的。计算膨胀量时，有两个重要的因素。不同材料的化学成分，是影响膨胀或收缩的一个因素，比如，铝材比相同尺寸的钢材的长度要大。

由于不同材料的膨胀量不同，人们用热膨胀系数这个参数来表示材料的这种性质。在一些尺寸相同的物体中，热膨胀系数的值越大，其膨胀量或收缩量也就越大。

影响膨胀或收缩的另一个因素，是导线或棒材的原始长度。长的导线或棒材与短的导线或棒材相比，长的物体膨胀或收缩要大些，由于物体的每个分子都参与了长度上的变化，所以物体越长，它在长度上的变化也越大。

普通家用温度计是借助于水银柱的膨胀或收缩来测量温度的。温度计是一根细玻璃管，下放接一个小玻璃球。这个小玻璃球内装有水银，玻璃管内只是下方这一段充有水银。当温度升高时，水银和玻璃两者都膨胀。然而，水银比玻璃的膨胀量大的多。因此，水银就沿玻璃管向上移动。玻璃管上有刻度，表示出温度的读数。

正如我们在水银温度计部分所作的说明，一切材料的膨胀都不大一样。比如，铝的膨胀是铁的两倍。双金属片正是利用了不同材料在膨胀方面的差异。

在室温下，把两个不同金属的包片装置在一起，并在沿其整个长度的范围内加以焊接。如果温度上升，一重金属的

膨胀大于另一种金属，结果就会造成双金属片弯曲。温度上升得越高，金属片弯曲得越厉害。如果温度回降，则金属片的弯曲变得愈来愈小。室温下，双金属片会再度伸直。温度下降到低于室温时，双金属片向相反方向弯曲。

双金属片既用于温度计也用于恒温器。双金属片温度计适用绕成螺旋形的双金属片做成，以便把片的弯曲加以放大。随着温度升高，双金属片曲率发生变化，从而带动了指针转动。在指针的后面，装有标着温度的刻度盘。双金属片恒温器是一种能把温度保持在一个固定值的装置，比如，冷冻机、汽车冷却系统和建筑物中的恒温器都有这种作用。

恒温器中的金属片，是整个电路中的组成部分，随着温度的变化，可以把加热炉送风机或空气调节设备的电路接通或断开。

至此，我们主要讨论仍在长度方面的变化。但是，当一个物体被加热时，它在各个方向上都在变化。因此，加热一个平面体，它的面积会增大。而加热一个三维物体，它的体积会增大。

汽车油箱里的汽油可以作为说明体积变化的一个例子。如果汽油温度上升（比如把汽车停在阳光下），那么，汽油就会膨胀。汽油的各个部分体积都增大了。如果汽油并未充满整个油箱，则膨胀的汽油将把空气排出油箱。如果油箱里装满了汽油，那么，温度升高时汽油会从油箱中溢出。

根据同样的道理，我们也可以考虑有关水银温度计的问题。随着温度的升高，水银的体积也在增大。于是，增大了体积的水银，就从细小的玻璃管中挤了上去。当我们读出温

度计的读数时，大概只注意到水银长度的变化。其实，水银的体积已经增大了。

第二十七节 被子和保温瓶

冬天气温低了，大家都知道要穿保暖的棉服和羽绒服。问了防止开水很快地变凉，我们使用了保温瓶，这说明物体的温度通常来说会由于各种原因而不断变化，而我们可以采取各种措施来阻碍或加快这种变化。这一节我就向大家谈谈温度变化的问题。

首先，我们来看看怎样提高物体的温度。要提高物体的温度，基本上有两种方法：一种方法是通过摩擦是物体温度升高，

例如，冬天使劲擦双手来取暖，擦火柴头使火柴燃烧，最著名的“钻木取火”；另一种方法是把物体与另一个高温物体接触例如，把双手放进一盆温热的水中，双手温度就提高了，而不需要采取什么看得见的活动。

这两种根本不同的活动方式，都能使我们的双手感到暖和。在这两种过程中，双手提高了温度，增大了手的分子平均动能。这是为什么呢？

在双手相互摩擦的情况下，两个手掌上的一个个微小的突起相互交错，先是相碰，然后又脱离开。小突起相碰时被拉伸，放松时又缩回去，结果，双手的分子都更强烈地震动起来。我们利用双手的大幅度（宏观）运动，提高了我们双手分子的小规模（微观）运动。当摩擦双手时，就在对分子

做功，增大了分子的平均动能，双手也就觉得温暖。

当我们的双手浸入热水时，在热水分子和手分子之间存在着碰撞。于是，动能就从运动得较快的热水分子传递给运动得较慢的双手的分子上。热水分子的小规模运动，增大了我们的双手分子的小规模运动。这里，我们双手分子的平均动能也增大了。

通常在生活中，我们需要各种不同的温度，如室温要二十多度，体温是三十多度，冰箱是零下十几度，烤箱是上百到几百度。若不采取任何措施，那么上述物体的温度很难维持。我们可以消耗其他形式的能量来维持它的温度，如人要吃饭，冰箱要耗电，另外，我们还可以阻碍或减缓温度通过接触的方式改变，人要穿衣，睡觉要盖被，开水用保温瓶都是这个道理。

第二十八节 内能和热

对一个物体做功或向一个物体传热，这两种过程的效果都会是提高该物体的能量。但是，通过向一个物体传热而提高该物体能量的结果，是使物体的温度有变化，而不是位置和速率有变化。这样，就引进了一种新的区别于动能和势能 的能量，我们称它为内能。

通过对物体的原子或分子的研究，就可以深入地了解内能的概念。物体的原子和分子既具有势能又具有动能。我们可以对单个粒子的能量进行讨论，但要对其能量作实际的计算和测量，则是一项困难的工作。因此，我们要做出如下的

想象：所有的单个粒子的时能和动能都“组合”在物体的内能中了。内能代表所有的单个粒子的贡献的总和。总之，所有的原子和分子的势能和动能都提供了物体的内能。

内能是由物体的原子或分子的势能和动能这两者所组成的物体的能量，通常用符号 U 表示。说到这里，很自然地会产生一个问题，即内能和温度之间有什么区别，因为这两者都和物体的原子性质有关。一方面，内能涉及物体原子的势能和动能，这两者是相当抽象的概念。内能虽易于讨论，但却难于计算。另一方面，物体温度易于用温度计来测量。而温度计仅仅对应于物体原子的动能。

上述情况，相似于位置和势能的关系，以及速率和动能的关系。位置和速率是易于测量的物理量，但是，势能和动能则多少有点抽象。同样，温度是易于测量的物理量，但内能则是个抽象的概念。虽然我们不准备在这里详细的介绍内能的计算公式，但要告诉大家的是，内能是可以计算的。

现在，让我们回到“热”这个词和它的应用上来。用普通的话来说，热是存储在或可以存储在物体之内的。平常人们说“把水加热”，或“热水壶会烫着你”，这些家常话认定，在水里可以存储热。

这在物理上来说是错误的。我们知道，水里有的只是内能。而且，也只有内能才能提供有关一个物体的状态，或情况的信息。但是，有两种作用，即做功的作用或传热的作用，它们能够改变一个物体的状态或情况。所以，加热能够改变物体的内能。

试想想看，当我们把手放到热水里的时候，水的内能和

手的内能各发生了怎样的变化。水的内能减少了，手的内能增加了。如果我们的手和水都保持静止不动，就没有做功。然而你的手却变得暖和了。这样，我们所说的“加热”，就是内能从水转移到你手上的一种简化说明。

热，是借助于原子或分子的作用而实现的内能的流动。当内能从一个位置流到另一个位置而没有功随之产生时，那么这个过程可以叫做“热的传递”，或者简称“加热”。

如果认为热是存储在热物体内部，那就错了。在物体内部并没有存储热，而只有大量的内能。

做功提高了物体的内能，此时可以觉察出物体的温度升高了。热也是通过提高物体的温度来增加物体内能的。

功和热都具有传递能量的作用。能量传递就是把能量向着一个物体传输，或接受来自另一物体的能量，在能量传递完成后，功和热就不再具有什么意义。但物体的内能则发生了变化了。热力学第一定律就说明了这一问题。

热力学第一定律讲的是：物体内能的改变，是做功和传热的结果。

热力学第一定律可以认为是能量守恒的一种表达方式。我们实在能量守恒的条件下，来考虑内能和做功以及热的传递这两种作用之间的关系。上述的三个量值是关联在一起的。我们不能改变他们当中的两个而不影响到第三个。热力学第一定律就叙述了内能、功和热之间的关系。

热力学第一定律也可用下式来表示：

$$U=W+Q$$

式中 U 代表内能变化量， W 表示外界对物体作的功， Q 表示

外界传递给物体的热。

热力学第一定律概括了上述三个量之间的关系。例如，如果对一个物体做功，并把热传递给该物体，那么，该物体的内能必然增大。

第二章 魔术师的伎俩

——物理学大揭秘

现在，物理学中经典的力学、热学、电磁学和光学知识，我们已经基本了解了。在这一章里，我会介绍一些物理魔术。现在也有些人硬把这其中的一些魔术说成是奇功或者是特异功能，四处招摇撞骗。

看过这一章大家就会知道，那些看起来令人啧啧称奇的行为，其实你也可以做到。不过可以做到是可以做到，这些实验都带有一定危险性，请不要盲目模仿。另外我们会以*标志每个实验的危险系数：

(无)	危险系数 0，没有危险，任何人可以轻易操作
*	危险系数 1，轻度危险，16 岁以下人士在成年公民监护下操作
**	危险系数 2，中度危险，16 岁以下人士严禁操作，18 岁以下人士在成年公民监护下操作
***	危险系数 3，重度危险，18 岁以下人士严禁操作，非专业人士谨慎操作
****	危险系数 4，极度危险，非专业人士严禁操作

第一节 下油锅和吞炭火****

北京有个地方叫天桥，老早以前，那里有很多打把式和变戏法的。现在还有天桥这个地方，但是早没有打把式的了。过去那些艺人，他们也可以算一些物理学的实验家了，如果把他们表演的经验总结起来，那将是很好的物理学的实验记录。不过戏法就是戏法，现在有人故意把他们神秘化，与什么超自然的、玄学的东西硬拉上关系，那就不好了。其实这些戏法都有其科学依据，有化学的，也有物理的，但是我们只说物理的。

“吞炭喝油”、“下油锅”，这是天桥的把式们常练的——也别说人家光说不练。

一、下油锅

一锅滚开的油，表演者把手伸进去，一分钟、两分钟……再把手拿出来——没事！

表演令人咋舌，别说滚开的油了，就算是一锅开水，把手伸进去也得烫破皮。表演者敢于这么干，原因只有一个，那就是油根本不是滚开的。那为什么看起来它确实在上下翻腾呢？

我们知道，液体的沸点是不同的，有的液体，比如说食用油，沸点很高，可以达到上千度；而另一些液体，沸点很低，只略高于体温。这种液体，在厨房里也可以找到，酱油就是这样一种低沸点的液体。

滚开的酱油，把手伸进去，其实跟伸进普通的热水没什么区别。很多人洗澡时喜欢很热的洗澡水，特别是洗脚水，最好是感觉到稍微有点烫，那才是最合适的温度。滚开的酱油，也只不过比洗澡水稍微热一点，经过训练，人体完全可以承受。

现在，在酱油上倒一层油，油比酱油轻，所以会浮在酱油上，随着酱油的翻腾而上下翻腾，从表面看，就好像是一锅滚开的油。

另外，表演时最好在锅底放一些碎瓷片之类的。这是为什么呢？因为液体气化以后，是分散在液体内部各处的，不会马上析出。而瓷片等物体表面有少量空气吸附着，这就为溶解在液体内的蒸汽析出提供了一个表面，从而使水蒸汽迅速聚集，形成气泡。因此，加入瓷片以后，就能防止液体的温度超过沸点很多，但是仍然没有滚开的迹象。

听说扒手们练功的时候要从开水里夹肥皂条，我想他们要表演从油锅里夹肥皂条也一定很棒。不过一般人没受过专门训练，酱油的温度对于手来说仍然有点烫，所以希望各位不要轻易尝试。

二、吞炭喝油

另外就是“吞炭喝油”，喝油喝的自然也是这种食油和酱油的混合物，当然酱油也是油嘛，也不算说谎。至于吞炭，那就要一点真功夫了。

首先，这块炭不是煤炭，而是木炭。要把煤炭烧红，没几千度是不行的，几千度的东西放在嘴里，谁也受不了。而且那不是一般的木炭，而是特制的木炭。虽然不论什么木质

的炭，烧红了放到嘴里都会烫人，但是木质不同，制作方法不同，其温度对人的伤害也是不一样的。

放到嘴里的木炭，是用最轻质的木头烧制的。木质轻，也就是说木的结构松散，木质软。先把这种木头劈小块放入炉中烧红、烧透，然后取出放入冷水中浸泡，红木炭就变黑了。

表演时，将这种木炭投入炉火中去，待其外表出现明红火时挟出，用嘴一吹，火光闪闪，火星直溅。那火光不是炭火发出的，而是竹筷子的火。木炭表面是红火，其内里却是黑心，所以挟在手上看一会，红火渐退，再放入口中，用力一抿，事先多准备一点唾液，虽然也感到烫，但是可以忍受，而且烫只是一瞬间的事，木炭的黑心还是潮的，至少是没有热量。大口嚼起来，没什么大问题。

嚼完一块红火炭之后，满口皆是湿炭灰，再吃第二块，这些湿炭灰自动充当了保护层；所以，吃余后几块时，就感觉不到烫了，只有一股热气。

嚼碎的炭灰不必吐出，咽下去可以治疗胃病——当然，这是化学和医学方面的问题了。

表演这个节目，有三个环节最为重要：

一是木质选择，一定要是最轻的木头，且要有一点糟才好。

二是加工要到家，不烧透不行，否则一见了火，上次没燃尽的部分又烧起来，温度太高就没法演了；烧过了又不行，发白不见红，演出效果又不好。

烧好的炭，要迅速放入水中，拿出来，不得暴晒，以防

龟裂。只有加入炉中的炭是湿的情况下，这种炭才经得住炉火烧，否则立刻化为灰烬，就没了吃了。

三是要胆大心细，舌尖上尽可能多攒一点唾液，放入口中那一瞬间，上腭与舌及牙齿一齐开动，动作越突然越用力越好，倾刻将外红内黑、外热内潮的火炭抿成碎末，余下的事情就好办了。如果试试探探，用舌尖一舔，烫人，一吐口，非失败不可。

另外有的表演者还会事先用石榴皮煎水漱口，据说能收缩血管，使口腔神经暂时麻痹。

这个表演，表演者要熟练掌握，也非得有几天的反复揣摩和操练才成，所以非专业人士尽量不要尝试。另外，据医生说，如果经常烫伤口腔和食道，会引发口腔癌，所以大家千万要当心。

其实如果手在锅里停留的时间不长，下油锅还可以有另一个更方便的表演方法，这在后面会提到，本节里就不说了。

第二节 弯钥匙

引文一：鲍勃·迈克阿里斯特尔负责纽约 WNEW 电视的旺德拉玛节目。他讲了盖勒在那里所发生的一次意外。

盖勒要把钥匙，迈克阿里斯特尔绘了他 1 把。我们在凹室外边的控制间，盖勒说让我们从这里出去，他把钥匙朝上拿着以便我能看得见，然后掉过他的背去，当他开门时，钥匙通过股腹口接触到了他的身体前方，然后当他走过门的时候，另一只手复原到那个位置上。他立即说到：“你想拿钥

匙吗?那挺好的,还是我拿吧。”——这几乎是个声明,他只把钥匙一角给我看了一下,然后跟一大群人进了1个房间迈克阿里斯特尔说,(盖勒出门后)把钥匙放到某个人手里,弄“弯曲”了它。而事实上,就在尤拉·盖勒出门的当儿,就已经把钥匙搞弯了。

引文二:尤拉建议我们转移到角落里,坐在一只低咖啡桌子后的软沙发上。拍纳德·乔克逊被派去把盖勒的夹克取回来。盖勒首先坐下,我绕着桌子走,正要去坐下时,伯纳德拿着盖勒的夹克正打算走过来。这样,我们二人没有切近地注视盖勒,盖勒突然朝地一个踉跄,腿伸得太迅速,以致于撕破了他的裤子,他的两只手落在了我的面前。

取笑了扯破裤子后,他从尖的一端拿着钥匙,用他的手把钥匙把手的大部分都围起来,继续努力去弯曲它。然而,盖勒的手成微型的拱形,我可以看到钥匙已经被轻微地变曲了。突然,他说钥匙正在弯曲,并慢慢挪开他的手以便把钥匙暴露出来。弯曲并不大,他把钥匙放在咖啡杯上以显示弯曲——细心地把它放在一个“V”形的位置上,这样两端离开了桌子。他还多次重复钥匙正在仍然弯曲着。为了证明这一点,他把它又放到桌子上。这次采取了一个“L”形姿势,用全平的一边挨在桌子上,这样另一边就比第一次更高地离开了桌子。然而,在我目力所及的范围内,钥匙并不比我首次在他手中所见到的更弯。

包括我在内的任何人,都可以在椅子边缘上弯曲1把钥匙。两腿稍微前伸地坐在1把椅子上,伸手到椅子的底部,你将会感到椅架的部分。用两手握住钥匙的大头,把尖的一

头放在椅子架端部向下压。你将会因钥匙多么容易就弯了而感到惊讶。随着实践你就能在 1 个快速、偶然的动作中完成这一切，这个动作便是把椅子朝桌子拉的动作。

对于我来说，最有说服力的假设是：知道我和伯纳德那一会都没有集中注意力，光拉把钥匙放在沙发前的金属钉子上（他的手在右边放着），然后，突然朝前滑去，因为办咖啡桌子离沙发太近，他不得不迅速伸开自己的腿，结果扯破了他的裤子。

以上两段介绍以色列“超人”的故事同出自 1974 年 10 月 17 日美国《新科学家》杂志。翻译者李昆峰。

上文中提到的尤拉·盖勒是一位以色列魔术师，但是他不好好变魔术，非说自己有什么特异功能，并且以“意念弯钥匙”、“意念弯勺子”红极一时。但是从上面两则故事里我想大家已经明白尤拉·盖勒是怎样变这个魔术的了。

美国著名魔术师兰迪在把“意念弯钥匙”、“意念弯勺子”的秘密教给 1 个曾对尤拉·盖勒崇拜的年轻心理学家安德鲁韦尔之后，说过一段话：“我所需在的只是片刻，在此期间你的注意力被分散了。我把钥匙挤在我的椅子上弯曲成功，我把弯了的东西拿出来，正像我显示钉子所做的那样”。

但这并不是惟一的方法，其实只要用一根本来就弯过的钉子和观众提供的直钉子调包。一根弯曲的钉子从某一角度看，不会看出一点弯曲，这个角度你也找得到。当表演者假装用意念改动的时候，只要十分缓慢几近不动地转动钉子的角度，1 颗愈来愈弯的钉子便会呈现在人们面前。

儿戏般的简单，神话般玄乎。同样的原理也被魔术师们

用来表演从铁笼子里逃生的魔术，挺粗的铁条，笼子里的魔术师一拉就弯了。其实原本就是弯的，只不过从正面看不出来，魔术师把铁条一转，看起来就好像是他把铁条拉弯了。

如果用勺子表演，就很难利用人们的视差作弊。但实际上，用勺子表演其实更容易。

一个勺子柄，用力反复弯几次，这时你会发现，勺子柄软了。

这种现象叫金属疲劳，是由于反复形变，应力集中而导致的。所谓应力，也就是物体形变时，因形变而产生的一个力，以前说过的弹力就是一个应力。反复形变以后，在金属物品的局部，应力就会增大——即应力集中，从而使金属物品在这里产生无数肉眼不可分辨的微小裂纹和其他损伤，这就是金属疲劳。

这时，想把勺子拧成麻花状依然不太容易，因为勺子柄太细了，使不上劲。但是如果先把勺子折成 90° 的直角，不用太大的力，便可成功地将勺子拧成麻花状。这是因为有了一个较长的力臂，力矩加大的缘故。如果学过杠杆原理，就可以很轻易地理解。考虑到小学的自然课上就介绍过这一原理，所以我也不再罗嗦了。

从理论上讲，弯勺子这个魔术或者叫实验没有任何危险，只不过比较费勺子。只要你家有的是金属勺，做多少次都没关系。一般来说，弯钥匙的实验基本上也没危险，只要用的是废钥匙，否则把钥匙弄弯了开不开锁，大概也算是一种危险。

第三节 一指禅**

20世纪80年代的时候，四川出了一位高僧，叫海灯法师，据说也是一位武林高手，他的看家绝学就是一指禅。这一指禅是一种点穴的武功，类似于一灯大师的一阳指，说白了就是他那一个指头比你两只拳头都有劲。据说海灯法师能用一个指头拿大顶，可见武功了得。

这里说的一指禅不是武功，与海灯法师无关，更与一灯大师或者大理国王段誉无关。

《中国青年报》上曾经介绍过这样一位同志，他有一门绝招儿，一个指头插进正在高速旋转的电风扇叶片间，硬是凭着一个指头的力量把铁扇叶停下来，憋得电扇马达“吱嘎、吱嘎”直响，据说，这种功夫也叫一指禅，也有人叫肉铁相搏术。

凡看过这种表演的人，一定会啧啧称奇：“平常谁敢把手往电扇里伸啊，一伸进去，还不把手指切掉！”——人们习惯性思维就是这样。

但是不要忘记，直觉是会骗人的，再上一章里，我们不是经常被自己的直觉欺骗吗？手伸进电扇真的手会受伤吗？大概人们试过的不多。不过，在正式实验以前，应谨慎地研究一下电风扇的构造，然后就立刻放心大胆的尝试了。只要用来做实验的是一台可以正常工作的电风扇，我们的手指就不会断。

一指禅秘诀如下：

找一台电扇，新式老式、中国造外国产、名牌杂牌都可以。但要能转起来。

选中自己十指中一个指头。点穴的一指禅必须练的是哪个指头，就使哪个指头。但是因为我们不用训练就能学会，所以任意一个指头均可。若恐怕右手受伤影响写字、拿筷子，可以在左手中造一指头；若恐怕左手中小拇指、无名指反应迟钝、力量不足被击伤，可以从左手中食指、中指中选一个；或依然心中恐惧，可以左手中指食指一块上（那就不是高层次的“一指禅”了，充其量是“二指弹”，不过在自己家里玩就没关系了）。

打开电扇上面的网盖，这个步骤的用处在于便于躲闪，有备无患。

打开电扇。虽然有人已经试过，即使风力最强，手指也不会受伤，但为了保险，可以把控制旋钮调到在最低档（弱风）位置上。

手从电扇正面插入，要果断、坚决、有力，像那些前辈科学家们一样，抱定献身科学事业的精神，这样，胜利就一定是属于我们的。因为电扇的特点是：你进它退，你软它硬，你弱它强。

逐渐加快转速，反复练习，巧从熟中来。另外如果还是不放心，可以先从离轴最远的地方入手，因为叶片的角动量不变，离轴远的地方力臂长，所以，只要个很小的力就可以产生很大的力矩，使它的角动量减为 0。

试一试就会发现，“一指禅”的功夫原来并非有甚高妙，

只要照着上述窍门练，完全可以无师自通，练成时间不过10分钟。

其实仔细的看一看电扇的叶片，此中的奥秘就一目了然了，叶片是一个斜面，所以只要把手从电扇正面推进去，手指并没有插在扇叶之间，而是与扇叶的斜面相磨擦，所以，手指没有切断之可能，看似惊险，其实是人就能做到。

此实验危险系数2，中度危险，16岁以下人士严禁操作，18岁以下人士在成年公民监护下操作。另外必须切记以下三条：

一定要从正面插入，如果从反面插入，从图上你也看得出来会有什么结果了。

一定不要触摸叶片的边缘，如果因此而割破手指就不好了。

点到为止，差不多就行了，别烧坏了电扇上的电机。因为电流提供的电能大部分是用来使电机转动的，如果电机不能转，电能就会全部转变成热能，烧断电机里的线圈。

第四节 叼车**

一、叼摩托

一辆已发动起来，嗷嗷叫着的摩托车，上边坐着一位驾驶员，看样子，随时准备冲出去。表演者拿一条手巾上场，把手巾拴在摩托车后边，然后用嘴叼住手巾的另一边，示意摩托车驾驶员向前开进。只见摩托车拼命地往前冲了几下，最多不过挪动了半尺便被拽住，动弹不得了。油门已踩到最

大，摩托车尾冒出了股股黑烟。

表演者寸步不让，他用力向后拉，身成弓状，脸色紫红，青筋暴露，摩托车一步步被拉了回来，一直向后拖了五六米，他才罢休。当他吐出口中的手巾时，人们见到上边有斑斑血迹、大概是用力的牙床出的血吧。大家不由得为这样的精彩表演鼓起掌来。

这个表演任何一个健康的小伙子都可以胜任，如果诸位有兴趣，不妨先用一个小轻便摩托车试一次。叼住拴在车尾的手巾时，摩托车轰鸣着就像无雨的雷，一二次下来，我们就有信心了。进而，可以找大一点的摩托车做试验，看看自己牙齿的力量究竟有多大。

口腔里的牙齿有门牙，犬牙和槽牙，它们都固定在颌骨上。如果单靠长在口腔前面的几个单牙根的门牙，是不可能咬住一百多斤重物的。磨牙长在口腔的两边，而且多牙根的，它由分叉很大的根牢固地固定在颌上。

另外，控制张口、闭口的咀嚼肌是人体中最强的一对肌肉。据测量，咀嚼肌收缩时可以负担八十公斤的重量。经过艰苦锻炼的人，在咬紧牙关时所能承担的重量远远超过一个人的体重。所以，在一般的杂技表演中，我们也经常可以看到，一个演员衔着另一个演员作各种惊险的表演。当然，叼东西的前提是牙齿健康，否则，再大的咬合力也没用。

一辆轻便型小摩托，其挂三档时爬踩最大油门所产生的拉力不超过 20 千克。二档、一档的拉力大一些，也在一般人咬合力的范围以内。坐过这种车就能知道，上去坐好，三档起步，往往起不来。

如果你真打算试试叼摩托车,为安全起见,请注意四条:

手巾要塞满嘴,用全部的牙齿来咬合,只用前边的几颗门牙是危险的。我们说过,门牙是单牙根的,很不结实,而且肉眼就能看出来,原本门牙就比槽牙单薄得多,所以一定要用上槽牙的力量。咬住后,不要放松,越是感到力量大时,越不可松口,宁肯人被车拖在地上,也不得松口。

摩托车的一档是最有劲的,若可以叼一档前进的摩托,那么叼二楼、三档前进的摩托,不会有任何问题。反过来,就不行了。与驾驶员的配合很重要,特别是挂三档时,若叼不住,摩托车突然失控,会箭一样飞出去,前边的人或物及驾驶员都有可能受伤,我们的牙齿也有危险。所以,叼车之前,应当先用手去试,体会力量大小不要轻易放手,叼时,一定要做到心中有数。

不可让生人或没配合过的熟人驾驶摩托。不可随使用不了解其性能的摩托。

表演前注意活动全身关节,以防拉伤踝,关节、腰关节、颈椎部位最需小心。头尽力向后仰,脖子要绷住劲。

总之,健康身体,表演勇气,操作细心,这三条具备了,理论上都能胜任口叼摩托车的表演。掌握叼摩托车的全部秘密并上场表演,半个小时的功夫足矣。如果用木材、金属或塑料制作两块上、下颌夹板,表演时戴在牙上,虽然不能增加咬合力,但也多少可以起到保护牙齿的作用。

二、叼汽车

还有一种表演,拉的不是摩托,而是汽车。

通常的表演是这样的,汽车发动起来,徐徐前进,气功

师于车尾部向后用力，只见他拼尽力气向后拉，果然，汽车没走几步便停了下来。形成“相持”的局面，气功师使出更大的爆发力，汽车司机似乎也把油门加到了最大，气功师的吼叫声与汽车的轰鸣声交织在一起，很有些撼人心魄的力量，加大油门后排出废气中夹杂的焦糊味，越发使人感到惊心动魄。

“相持”后，气功师终于把汽车拉动了，向后一米二米五米……一头钢铁的庞然大物，像一只被骑手驯服了的野马，低眉顺眼地任气功师牵着鼻子走。你会说：“这可不是假的了把？你说摩托车拉力小，汽车拉力也小吗？”

我确实不能用任何一个物理学的原理解释这件事，一辆发动的汽车，别说人，就是一匹马也拉不动。这里边惟一的奥妙是气功师与司机联合作弊，司机其实也是演员。

当叼车的演员准备好后，司机挂挡，踩油门，汽车前进。这时，演员在后边拖着，当然拖不动，只有跟着向前走。片刻，车停下了，观众以为是演员的力量使汽车停下，其实是司机踩了离合器，使齿轮空转、整个汽车处于没有动力驱动的状态。这时，司机空踩油门，汽车轰鸣声很大，尾部冒出许多呛人的黑烟，而整个车身停在那儿。这时的车没有下闸，司机再把挡摘了，就等于是四个胶皮轮支承。

可能还有朋友不相信，他们会说：“即使没有发动机的力量，汽车本身也是很重的，比摩托重得多，能拉动汽车仍然是很了不起的。”请先别这么说。

记得很久以前电视台里演过一位“大力士”——当然后来证明是个骗子，与他相比，叼一辆空车可就是雕虫小技了。

这位大力士不但可以将一辆停在那的汽车用嘴叼走,而且汽车驾驶室中没人,排除了司机作弊的可能性;汽车上边还坐了些人,说明叼力比一辆车自重还要重。这位大力士还看上并不费力地将这辆车拖着走几十米。

曾经有一篇文章记述这个场面,记者这样写道:

一辆汽车有多重呢?少说一点也至少有 2 千公斤吧?大师的牙齿该承受多大的重量啊!

这位记者其实是靠想当然一拍脑袋妄加论述,这位先生很少了解科学是什么东西的,更不了解物理学,他对于科学的认识完全是凭着直觉——而在这本书里我们不止一次说过,直觉是会骗人的,过分相信直觉,是物理学家的大忌。

当然,我们也不必指望那些先生们去促进科技发展,但是说实在的,自然科学家们摄取知识的广博性远比人文科学家强。很少有人文科学家明白动量是什么东西,但是我们却知道不少在文史方面造诣很深的自然科学家。

研究文史的人因为不懂物理学而闹的笑话,到了这位记者这里可以算登峰造极了,他根本就把汽车的自重与牵动汽车所需力量混淆了。

很早我们就学过牛顿三个运动学定律,我们知道,要让一个静止的物体朝某个方向运动,就必须使物体受的合力指向这个方向。汽车是很重,但是重力是竖直向下的,而所需的牵引力是水平的,两个力根本就是井水不犯河水。

当然也不能说重力对于牵引力一点影响都没有,但是起码没有直接的影响。我所说的间接的影响就是摩擦力,摩擦力作用于水平方向,与牵引力方向相反,而且与汽车的重力

成正比，它们之间的比值称为摩擦系数。但是，在光滑的路面上，摩擦系数一般都非常小，更何况汽车通过轮子与地面接触，它们之间的摩擦就是滚动摩擦，而滚动摩擦力比同样条件下的滑动摩擦力小得多。

因此，一辆不下闸的中型汽车，如果质量 1 吨的话，它所受的摩擦力最多不会超过 75 千克力！要从静止拉动它，只要稍稍超出这个力。更何况，在有了一个初速度以后，只要使牵引力与摩擦力相等，就足够维持汽车的运动了。

这其实是很简单的道理，即使不懂物理学，通过简单的分析也能明白，可是观众们就是不往那想。

正因为某些观众仅凭简单的联想，而错误地估计拉动一辆汽车所需要的力量，所以，“大力士”才能巧妙地利用人们判断失误而表演成功。

如果那位朋友想表演这个节目，尽可以在心理上把它想成一个大玩具，四个胶皮轮子的大玩具，选路面光滑一些，稍稍借用一点斜坡，连孩子也可以推动它，所以一般人用牙齿都可以拉动。

知道了这些，演员只是把汽车拉停下又拉回来，就比“大力士”轻松多了。

口叼摩托车和叼发动的汽车，危险系数 2，中度危险，16 岁以下人士严禁操作，18 岁以下人士在成年公民监护下操作。如果是拉没发动的汽车，危险系数只有 1，轻度危险，16 岁以下人士请在成年公民监护下操作。

第五节 悬浮的脸盆

他（魔术师）随手摘下我的手表放在桌面上，将手摊成掌，离3公分远近对准手表，手掌往上一提，哈，那手表便随着他的手掌悬空而起，上不挨手，下不靠桌面，浮于空中。

——摘自《炎黄子孙》1988年创刊号，作者郭绍贵

上面的这个魔术，在原文中被称作“汤瓶功”，据说是回族人发明的。中央电视台1988年春节联欢晚会上，也有人表演过类似的“意念提物”的魔术，将空脸盆或装着半盆水的脸盆凭空提起，或者用拳头“吸”起来。

据我所知，这种表演方式20世纪初的上海、北京等地也有，不过名字不一样，当时，被称之为“灵力提物术”。当时有一本书叫《新灵子论》，在中国流行一时，还有人故弄玄虚，扬言要创立一种新的学说，叫灵理学，与心理学和物理学三足鼎立，分一片江山。

不过魔术终究是魔术，一切魔术都是可以用科学道理解的。而且在开篇的时候我们就说过，自然科学的东西，除了数学本身是物理的基础，剩下所有的科目最终都逃不出物理学这座五指山，所谓“灵力提物术”这种小把戏当然更不在话下，当然也没有什么自成一派的灵理学。不过学会了这个小魔术，没事在别人面前炫耀一下也是挺有意思的。

那么这种所谓的“灵力”是一种什么力呢？电磁力、万有引力、强相互作用还是弱相互作用？所谓的“灵力”，在

物理学的各种作用力中的确有迹可寻，它就是大气的压力。

我们家的下水道如果堵了，用什么办法可以捅开呢？如果堵得厉害，那就得请管工，但是如果堵得不厉害，用一种叫揣子的工具就可以摆平了。

揣子是什么东西我不用解释了，它是由木柄和橡胶碗制成，把前端的橡胶碗贴在下水道口用力把空气挤出去，再一拽木柄，下水道里的空气压力就会把污秽推出来。不过一般人都习惯说那些脏东西是揣子吸出来的，这种说法非常不确切。揣子是卫生间、厨房里的常用家什，一般的日用杂品店都可以买到。

自由市场上或者早市上可以买到一种挂东西的小钩子，后面有一个橡胶碗，把它按在玻璃上，大气压力就会把它压住，它就掉不下来了。这种小钩子百货商店杂品部或玻璃器皿部也买得到，而且都很便宜，顶多块八毛。

把小钩子搞掉，将其喇叭形的边剪下一圈儿。再用烧红的针在原来装小钩子的塑料底座上烫个孔，穿入一根细铁丝或细绳，全部成本大概也就一两块钱。

把揣子藏在手指缝里，假装运气，把拳头按在盆上，这时，手中的揣子就贴在盆底了。把揣子里的空气挤出去，这一小块地方的大气压强就是 0 了，而其他地方的大气压仍然是一个大气压（ 1.01×10^5 帕），而盆底的大气压也是一个大气压。盆底和盆上的面积差就等于橡胶碗的面积，如果橡胶碗的面积每增加 1 平方厘米，就可以多提起 10 牛顿的重量，也就是大约 1 公斤的重物。

用手拽住揣子后面的细绳，就可以慢慢把盆“吸”起来

了。如果把绳子放长一点，但起来就好像是你靠意念让盆浮在空中了。因为绳子很细，如果再加上光线的角度选得好，观众不会发现你手中的绳子。

如果在盆里加半盆水，看起来好像提的重量增加了，但是因为水的作用，橡胶碗不容易漏气，所以效果会更好。

一般一个小揣子的面积大约有十几到二十平方厘米，理论上可以很轻松地提起 10 公斤以上的重物。但事实上，由于漏气等因素，事实上不可能达到这个重量。不过提起五六斤的东西不成问题。

表演这个魔术还有一个注意事项，就是揣子一定要贴在盆的正中央，而且要掌握好平衡，因为只要稍微一歪，盆就会整个扣过来，水也会全部洒出来。

除了表演时盆有可能掉下来砸到脚，基本上没有危险。

第六节 油锤贯顶和胸口碎石 ***

这是两个大家比较熟悉的硬气功表演项目。

一、油锤贯顶

油锤贯顶，通常情况是一位表演者在运过气后，双手抬起一摞砖，一般是四块，五块，也有六块的，七块以上很少见，放在自己的头顶，以双手固定，一位助手抡一把大锤上场，朝着表演者头上砸下去，只听“嘣”的一声，砖被打碎了，而蹲在地上的人却安然无恙。

偶有失误，主要是二种情况，一是砖碎以后，表演者头上流血，头被蹭破了皮；二是砖只碎了一层，下边的完好无

损；三是锤打偏了，伤了人。

第一种情况是因为用力不当造成的，与表演者缺乏锻炼也有一定关系；第二种是力太小造成的，也与事先准备不足有关；第三种的责任全在打锤人身上。所以现场表演很少有人当场请生人上来主锤。有时看上去是当场从台下找了个人上来打，其实那是早选好的了。

油锤贯顶看起来可是够玄的，而且也确实有点技术含量和危险性，要不怎么能值三颗星呢？但是，我还是要说，油锤贯顶的确具有一定的危险性，但并不像你想象的那么危险。随便一个健康的成年人，包括女士，经过训练都可以做这个表演。看上去很吓人的大铁锤，落到砖上以后，人的头所感受到的力量是很弱的，完全可以承受得了。

请注意观察一下瓦工师傅在砌墙时用瓦刀打砖的情形，被敲开的砖就放在手上，可以任意切成几块，瓦工师傅的手没有任何不适。

你也可以找一块砖头放在手上，然后用一把铁锤击打一下试试，手上只有一点可以忍受的振动，砖却碎了。然后，可以把一块砖放在自己的脚上、大腿上，同样用锤子上去打，如果不出意外，也一定会成功。下面就该用头了。

找一块红砖放在头上，注意不要放在正中间，按照武侠小说的说法，这里叫百会穴，也叫泥丸宫，是头盖骨合拢的地方，把它震裂了可不是闹着玩的；更不能放在后脑勺上，那里骨头极薄，如果受到剧烈振荡，死不了也要变傻瓜。

放砖的位置在额头至百会穴中间为好，这里骨头最厚，足球运动员头顶球用的也是这个位置。头上最好铺一块布，

以免砖头碎片掉进头发里，回头还要洗头，另外最好不要弄乱了发型，会影响我们美好形象的。

左手把住砖，右手持铁锤，对着镜子、轻轻击打砖头。您会惊讶地发现，当您远未耐受极限时，那块砖头已经碎了。到了这一步，您就可以请助手挥锤上来打了。

打一块砖表演者受的力比打四块砖并不差，换句话说，能打一块的人，打四块砖五块砖也可以。

如果减少一块砖，换句话说，直接用锤子敲脑袋，那是不是也没事呢？我劝你趁早别试，不但你，只要是人，被这么敲一下也得把红的白的都一块敲出来。即便是经常表演油锤贯顶的“武林高手”，被这么敲一下也活不了。

为什么垫上一块砖，人的头颅可以承受铁锤的冲击力，而直接用铁锤上去打却不行呢？

您是否注意到，用一个小球去打一个桔子，小球力量不小，可桔子只晃了一下，没挪地方，没产生运动。头顶开砖与这个例子是一个道理，而且并不神秘，都是在前一章里我们接触过的基本的运动学定理。

前一章里说过，物体在运动的时候具有动能和动量，而且遵从动能定理、动量定理和各自的守恒定律。

设锤的质量为 m ，砖的质量为 M ，锤的初速度为 v_0 ，则锤的初动量为 mv_0 ，初动能为 $mv_0^2/2$ 。因为砖的初速为 0，所以动能和动量都是 0。

根据动量守恒定律有：

$$\begin{aligned}mv_0+0 &= (m+M) v \\ v &= mv_0 / (m+M)\end{aligned}$$

v 就是砖受到打击以后的瞬时速度，根据动能定理，这时砖和锤的总动能就减为：

$$(m+M)v^2/2 = m^2v_0^2/[2(m+M)]$$

可见，经过砖以后，动能就减小了 $(1+M/m)$ 倍。通常砖的质量 M 都比锤的质量大得多，而且有上式也可以看出来，垫得砖越多，其实对人越安全。

砖和锤继续向下运动，力就作用在头上了。如果是用锤子直接打，受力的只有一点，压强就非常大，那说什么也得把脑壳砸漏。但是垫了砖以后，受力面积就是脑壳上和砖接触的全部面积，压强就小多了。

而且不等砖的速度减为 0，它就已经碎了，所以即使剩下这部分动能，大部分也都被落下的碎砖带走了，人体承受的只是很少的一部分动能和动量。

不过砖垫多以后，就不是很容易打碎了，所以也不能像书呆子似的，仅凭一个公式就认为砖垫得越多越好。经过训练的演员，一般一次击碎四块砖不成问题。而且，掌锤人是十分关键的，必须做到力度适中，点到为止，瞎使蛮劲可能会坏事。

经过一段实践，您会感到自己的水平还是比台上表演的演员差一点，譬如，他可以一锤子打碎四块砖，而您只能打碎二块。这不奇怪，他比您多了一个东西：一是技巧，二是锻炼。

技巧之一就是头顶上四块中的底层二块经过了一点“加工处理”，其方法是上边两块用质量好些的砖，下边用一块质量特次的砖。

演员经常表演，比一般人耐受力是强一些，这一点应该得到肯定。但这没什么惊人之处，总打沙袋的人，出拳就不练的人有力，泰森打一拳就肯定比你我都有劲。另外，头部经常受到打击，头皮上也会磨出胼胝（俗称老茧），可以防止由于操作失误造成的擦伤。

传说过去天桥有个打把式的，练铁头功。人家都不用我们这套动能定理的窍门，直接那大棒子往脑袋上砸，没事！后来他攒了几个钱，也教了不少徒弟，就退隐江湖了。

有一回他上天桥溜弯，正碰上一个徒弟正练铁头功呢。徒弟一看师傅来了，就请师傅给露一手，他还就真应了。结果一棍子下去，你猜怎么着，还没出人命，就只打了个头破血流。其实，这就是没有勤加练习的缘故。当然这与物理就没多大关系了。

不过说实在的，你如果不打算平这混饭吃，也不必费心去练。我老觉着，不管怎么说，老让脑袋受到击打一定会影响智商的，要不怎么阿里头天刚说要重上拳台，第二天就记不得了呢？如果你真想玩，我也教你一个不伤脑子的玩法，搞科学的，脑子可是最宝贵的本钱。这个玩法——没错，就是腹上破石，也有叫胸口碎大石的。

二、胸口碎石

多半你也看过这类表演，表演者仰面朝天，躺在地上，也有人横躺在二条长凳之间，腰背部不着凳子，腹上放一块大石头，通常是五六个、七八个小伙子“吭哧吭哧”指上来的。然后，由一名助手挥起十八磅大锤猛力击打石块，在石头应声而切断，表演者从地上蹦起来，安然无恙。表演是激

动人心的，一般人难以理解，为什么人的身体会承受那么大的力，连石头都碎了，人都没事。不过既然我们已经弄清楚油锤贯顶的窍门了，胸口碎石也不过是大同小异，这其中的原理我就不重复了。

不过还是要记住几件事：

石头的选择。不是什么石头都能砸开，有一种北方石匠称之为“混蛋石”的石头，二个小伙子擂十八磅大锤打得火星四溅，直到精疲力尽，石头还是老样子，摊上这种石头，表演者可要倒霉了。

因此，表演这个节目的人用的石头均是行家事先选好的。一要脆，容易断裂，二要宽厚合适，宽大为好，厚度宜在 10 厘米左右，三要重量适宜。我们也已经用公式推导过，石头越沉，对于表演者越安全，但也不能太沉，否则压都压死了，还用砸吗？所以石块一般不超过 180 公斤。那种软质，发糟的石头，看上去好打，其实不爱断开，所以，表演者多弃之不要。

据一些老石匠的经验，凡是做墓碑刻字时，感觉石质细腻，刻出的字见棱见角效果好的石头，往往就是刚而脆的，用来表演最合适。

击打的方法。以短促有力为主，力要大，要猛，击到石面后，迅即收回，即行家们常说的点到为止。这里的核心是“力”和“短”。在表现形式上，使观众感到掌锤人用尽了全身的力气，其实那是艺术夸张，锤子落下去多大的力量合适，执锤者心里和手下是有准的。

表演者的技巧。在锤子落下来之前的一瞬间，表演者

应凹腹挺胸，用力向上拱，锤子落下时，更要挺住。这个表演项目的道理与头顶开砖的道理是一样的，当石块突然受击时，虽然速度很快但作用力时间短，当石块的动能还未传递到人体时，石块已经断裂了，所以，铁锤的力量几乎没有传递到人身上。

第七节 汽车过身****

亲眼见汽车过身的人不多，从电视台播放的节目和杂志报纸的介绍中知道汽车过身这种功夫的人可不少。而且不管中国人、外国人，都有表演这种武功的，记得有一次看电视，有一个外国的大胖子表演这项“绝技”，一辆大卡车从他身上开过去，好像还上了吉尼斯世界纪录。

我也很佩服这些演员，倒不是因为他们功夫有多高，而是因为，对于普通人，能够想出这么个招数还是有点难度的。同时也说明，发明这种表演形式的人智商不是很低。而且，即使他不懂物理，起码也一定是一位不错的实验家。

现在，我就告诉朋友们，汽车过身的表演是怎样做假的。

汽车过身分为二种，一为单侧车轮过身，二为双侧车轮过身。

单侧过身，通常的表演场面是这样，表演者运气发功过后，躺到地上，仰面朝上。助手们抢来一块木板（长约 2 米半，宽约半米，厚约 2 至 3 厘米）置于表演者胸腹之上，助手们三五个上去走走、跳跳，向躺在下边的表演者示意没事。

这时，助手招手，一辆汽车开了过来，一侧车轮徐徐开上木板，由低至高，再由高至低，从表演者腹胸之上的木板上压过了过去。此间，只见表演者牙关紧闭，有时还叼着一个手巾，脸色憋得通红，全身的肌肉绷得像铁疙瘩一样。待汽车一过，表演者被助手从地上拉起来，略显疲惫，但是身体无伤，迅即恢复了活力，又开始表演别的节目。

这种表演，一般以小汽车居多，也有人表演用大货车，甚至在车上还站了一些人，颇热闹一气，也很令人信服。没练过这种功夫的人难以置信，人的血肉之躯怎么能承受那么大的重量？

双侧过身，即汽车一侧轮胎从表演者腹胸之上走过，另一侧从表演者的脚上、腿上压过。这个表演场面比起前一种来更惊险。这种表演除了与上述单侧过身相同的情形之外，表演者的腿上、下身乃至全身要覆盖一块大布，一般用苦雨用的帆布，在乡下表演的一些表演者也有用大被的。

木板，这回是二块相同的木板放在表演者身上，腹胸之上的一块，脚膝之间一块。汽车徐徐开上木板，尺寸要正正好好，木板间距与汽车二轮间距不可有半点差失，汽车由低至高，再由高至低。当汽车开到人身之上时，观众无不在那一刹那把心提到了嗓子眼儿，胆子小的人甚至不敢看这一场面。毫无疑问，每次表演必是成功的，至今还没听说有人表演这种节目而伤了身，送了命，这就愈发使人佩服起表演者的高超技艺来了。

表演者究竟靠什么承住了几吨的重量而身体无损伤呢？这里可否有一点窍门儿？这种表演过去江湖上的话叫

“使腥”，意思是小花招骗人，没真本事，旧社会过来的老艺人中很多人都知道这个把戏的秘密。

一、单侧过身

先说单侧过身。单侧过身可以一点“门子”（江湖、魔术术语、意思是暗道机关）也不加。常人不解其意更没人去尝试，所以一看人躺在车轮下本能地紧张。其实，这是一种不需要经过任何训练，即可以表演的节目。

道理就在于，表演者头朝外，胸上横压一块盖房建筑工程队用的大跳板，当汽车开到上边时，那轮子比其余三个轮子高出许多，当一个重物一角抬高，三角落地时，其重量大部分都在落地的三角上。汽车过身也是如此，看似庞然大物，其实，开始高了其中一角，放在一个人身上，完全擎得住。有人说，那一个人可以抬起汽车的一个轮子了？不是这个意思，一个人是抬不起停在平地汽车的一个轮子的，但汽车单轮过身的重量远远小于抬起一只汽车轮子的力。

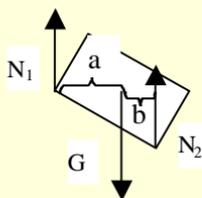


图 2-7-1：汽车过身受力分析

也许我这么说还不足以服众，但是不要着急，我马上就从物理的角度解释这件事。

单侧过身的情况可以简化成上图，重力 G 可以看成是作用在车的质心（即重心）上，来自人体的支撑力 N_1 和来

自地面的支撑力 N_2 分别作用在左右两侧的轮子上。根据牛顿运动定律： $G=N_1+N_2$

事实上， N_1 远大于 N_2 ，如何证明呢？我们已经知道，这个世界上还有一种东西叫做杠杆，因此我们对于力矩和转动也会有一定的概念。

事实上，如果没有支点，作用在一个物体上的力也总能产生使物体旋转的效果。好在作用在物体上的力也只有两个作用，一个是使物体作普通的直线运动之类的运动，这在物理学上叫平动；另一个就是使物体转动。

要产生转动就必然有力矩，力矩等于力乘以力臂。力有了，但是力臂呢？在研究杠杆的时候，力臂是力的作用线与支点或轴之间的垂直距离，那么在无支点的情况下呢？

设想一个轴，穿过质心，我们把它称作质心轴，力臂就是力的作用线到质心的距离。质心轴是一个虚拟的轴，但我们并不是平白无故地选择质心这一点为轴。我们选择质心轴，正是因为，质心本身的性质。对于一个物体，总能找到一点，力的作用线不管从哪个方向穿过它，都不能使物体发生转动，这一点就是物体的质心，在研究重力的时候，也有人称之为重心。

正因为质心的这个性质，所以飞行员跳伞的时候，机座对飞行员的弹射力对人质心的合力矩应为零，或者说诸弹射力的总效果为作用线通过质心的力。否则，飞行员将在对质心的力矩下旋转不已，造成危险或动作的困难。宇航员离开空间站在空中行走需助推小火箭的推力，该推力也需要过质心，否则，绕质心无休止的转动足以使他无法工作。

找到了力臂，就知道力矩怎么计算了， N_1a 是 N_1 的力臂， N_2b 是 N_2 的力臂。根据杠杆原理，要想让物体不转动，必须满足： $N_1a = N_2b$ 因此，作用在演员身上的力就是：

$$N_1 = N_2b/a = Gb / (a+b)$$

由图 2-7-1 可知，相对于 a ， b 非常小，所以车的重量大部分都落在了另一边的轮子上了，人体承受的非常小。实际上汽车都是立体的，有四个轮子的，情况要比图 2-7-1 复杂得多，但是多了两个轮子，只会分走更多的力，使人身上承受的力更小。

据专业演员说，板子要长，太短了不成，汽车后边要跟人，七八个小伙子，等车轮快到人身上的时候，一拥而上，推过去，这样，一防止车走太慢，二防止车突然熄火。这是经过实践得来的经验，另外，从理论上，也可以解释为什么板子要尽量长一些，有兴趣的朋友可以试着自己画图分析一下。

二、双侧过身

双侧过身比单侧过身复杂一点，要使一个“门子”，这个“门子”就是在往身上盖帆布的时候，同时把一根尺把长、略高于腿的圆木一同放入。这样腿上横的那块木板实际就横在那块圆木上，表演者的两条腿插圆木与木板二侧缝隙里，一点也压不着。

上身这块木板，与单侧过身时放法一样，只是稍向上一点。表演者的肘着地，托住木板，小臂务必与地成直角，同时，身下垫一点东西，使隆起的胸与立肘的两手处于同一水平线，共同擎住木板。演员们也只说是经验，说不出什么所

以然来。但是，从力学角度分析，我想应该是为了增加车的倾角。从图 2-7-1 也可以看出，车的倾角越大， N_1 就越小。

事实上，如果倾角大到一定程度， N_2 的作用线穿过质心， N_1 就会减为 0，这时，用两个轮子就可以开车了。这也是电影力常用的一个特技。

接着说汽车过身。双侧过身一般用小汽车，一是体轻，二是两轮间距离短，大概也是为了增加倾角。另外，这个表演一般是在晚上进行，这样木板下的圆木就不会穿帮了。

不过理论归理论，理论上这种表演是没有危险的，但是一般人没有受过训练，对于这里的一些细节上的窍门也不了解，比如：车厢的倾角需要多大，才不至于对人产生伤害，更不要说事故、意外这些不确定因素对于安全系数的影响。所以，我把一句很真诚的忠告摆在您面前：非专业人士，不要轻易尝试进行此类危险的实验。

第八节 玻璃杯碎砖*

表演者手持玻璃杯上场。“请大家看看，这是一只玻璃杯，就是普普通通的杯子，我现在要用这只杯子，把地上的砖打碎”。说着，表演者从地上又拾起一块红砖。“对，您没听错！我说的是用玻璃杯打碎砖头。要是用砖打碎玻璃杯，还要什么功夫？”

“是钢化玻璃吧？”——台下不知是谁喊了一声，引来一片不大的笑声。

表演者略沉思了一下。“这样吧，请讲话的那位观众上

来，试试是不是钢化玻璃。”说话间他从右手兜里又掏出一个杯子，放在桌上。一位观众上了台，从二杯子中自选了一个，又操起地上的砖，可僵在那，不知怎么打。

“打呀，打呀”台下直喊人们笑个不停。

这位观众像是壮了壮胆子，端着玻璃杯朝红砖砸过去，玻璃杯应声而碎，红砖安然无恙，台下哗然。

表演者踱步上前，双手伸出来，朝桌上另一个杯子发了一会“气”，而后操起这个杯子，缓缓地举起，朝着这块红砖猛地砸了一下，红砖应声掉了一块。杯子完好无损。表演者倒吸一口气，连续朝砖砸下去，噼哩叭啦，眨眼功夫，砖被打得粉身碎骨，玻璃杯仍然完好无损。观众们信服地鼓起掌来。

表演者故意把玻璃杯扔到水泥地上，只听“叭”的一声，玻璃杯碎了，观众又报以热烈掌声。

奥秘在哪呢？那位喊“钢化玻璃”的观众，其怀疑态度是对的，可因为不了解其中的奥妙，反倒当场帮助表演者的忙（也不排除是表演者的助手）。这个表演，玻璃杯和红砖没有假，奥妙全在技巧上，或者说得文雅点，要到力学中寻找。

玻璃杯本没有什么特殊，碎与不碎，完全取决于砸杯子的人。这个技巧主要是三条：

砸砖的时候，只能用玻璃杯的底，手把着玻璃杯的帮儿，这种杯子虽是街上买来的普通杯子，却是选的底儿较厚的。帮儿不结实，底儿很结实。

砸的角度很重要，最佳角度是竖起来的杯底儿与击打

的砖面成 70 至 80 度的角，即根底斜打在砖面上，只以杯底外沿突出的部分与砖相接触，这样，砖虽硬，却抵不住更硬的厚玻璃杯底。

着力点有讲究，一块砖拿在手里，最容易打的部位不在中间，而在边上。有过北方农村劳动经验的人都知道，刨冻土时，大镐下的位置很关键，光有力气不行，玻璃杯打砖与此同理。要从里向外打，找最佳着力点，用心揣摩，不难学会。至于后来玻璃掉到地上摔碎了。这没有什么好说的，就与您不小心打碎了一个杯一样。表演者向玻璃杯发功，“表演”而已，全是用来蒙人的。

这个魔术非常简单，而且基本没有任何危险。而且即使不变魔术，你也可以去卖杯子，生意会很不错的，不过不要卖给学物理的人。

但是如果真的不小心把玻璃杯打碎，尖利的玻璃就有可能刺破手指。所以，尽量不要让孩子单独做这个实验，虽然手指不算什么大伤，但十指连心，刺破了也是很疼的。

第九节 手抓红铁棍***

一、抓铁棍

红铁棍，不是红色的铁棍，而是烧红的铁棍。一根手指粗的铁棍，放入炉火中烧，直至与炉火一色。拿出来，一见空气，炽白色顿成暗红色，其上的火星噼噼叭叭直溅。

只见表演者凝视铁棍，做了一个亮相般的动作，左右手交错在额上发际处捋了一下，然后，大喝一声“哈”，右手

钳住铁夹子，左手在铁棍上一捋。只听“滋啦”一声，红色的铁棍颜色立刻暗了下来，青色的油烟直冒。紧接着，他又左手钳住铁夹子，右手在铁棍上一捋，又是“滋啦”一声，青白色的油烟又现出一片，空气中隐约弥漫一股焦糊味。

表演者伸出双手给大家看，大家俯身上前，只见除了手心和四指中间处有一些黑色之外，手上竟没有一点烫烧伤的痕迹——太神了！有好事者，从地上拾起刚才那个烧红的铁棍让人们去摸。“还烫呢！”“太热了！”这么半天了还这么热，刚才的温度得多高啊！

我们专攻冶金的朋友说，铁棍烧红需要 800 ，而到了发白的程度，铁棍温度即在 1000 。人们的窃窃议论，更增加了对表演者的神秘感。

其实，手捋红铁棍表演起来再容易不过了，只要您有胆量，按我说的方法去做，90%会成功。

先把手在水里沾一下。当烧红的铁棍从炉子里钳出，将右手拇指以外的四指并拢，然后抓住红铁棍一端，以极快的速度捋向另一端，这一瞬间过后，你一定会惊喜得合不拢嘴，因为成功了，合不拢嘴那是成功喜悦在脸上的标志。

反过来，再以左手从一端捋向另一端，照例平安无事。除了手心有点烫，沾上了一些黑色之外，没有忍受不了的痛苦。原来，这种惊险的表演竟是如此容易。常言道，“看似容易做起来难”。可现在倒过来了，“看似难来做来易”。

注意，拇指以外的四指在捋的过程中一定要并拢，不得分开，否则会失败。因为捋起的四溅的火星藏到手指缝里，手指缝的细皮嫩会承受不住的。

如法尝试者会发现,虽然自己敢用手捋红铁棍了,可是,没有人家表演时那“滋滋啦啦”的响声和灰白色的油烟四起的效果。加上这些也容易,可以事先将自己鬓角抹点凡士林,临上捋之前,做一套亮相动作,很自然地用手分别捋一下鬓角,这样,手心里抹了一层凡士林,当凡士林与烧红的铁棍相接触后,“滋啦”的声音和呛人的油烟味自然会出来。凡士林同时具有保护手的作用。

做过这个实验的人就会知道,这种表演,任何一个正常成年人都可以表演,当然也有些朋友因为手部皮肤保养得特别好或由于意志力方面的原因可能会做不成。

常人也可以手捋红铁棍。道理何在呢?

我们的手上,并非每一个细胞都可以感受到热刺激,只有某些神经细胞单元才能感觉到,并把这种讯号迅速馈绘大脑。这些神经单元细胞密布在人们的身体当中,人与热源接触面积越大,神经细胞单元进入工作状态的就越多,反之亦然。

烧开水的水壶,我们可以外边触摸,而手伸进滚开的水里就不行了,这就是热源刺激面积大小不同之故。个别人手上胼胝比较厚,敢把手伸到烧开的水中去。在感觉上,入水的手指与触摸水壶外边的手指感觉上也是不同的,开水刺激更大一些。

红铁棍虽然很热,但人的手与之相接触时,接触面积并不大,因此,热刺激尚可以忍受。况且,由于接触只是一刹那的事情,热源还未及传导入皮下,已脱离了接触,这也是很关键的。此外,人的四指上边凸起的部分,由于经常摸东

西，角化层也比较厚，比其他部位的耐受力要强。

但这还不是主要的，关键是在表演前要把手先在水里蘸一下，这样就万无一失了。因为铁棍的温度远高于水的沸点，手上沾的水一遇到铁棒立刻会化成水蒸气。水变成蒸气时会带走一部分热量，但这只是极小的一部分热量。气体的导热性能极差，通常比液态水差一个数量级，比铜一类的金属差几个数量级，这样就等于短时间内在手掌表面形成一层蒸气的保护膜。

数量级这个词，物理、化学的计算中都经常出现，每增加一个数量级就相当于增加十倍。

二、再一次“下油锅”

以前我们说过，还有一种方法，表演“下油锅”这个戏法，就是指这个，把手蘸湿。这样即使进入真正的油里，由于蒸气膜的保护，短时间内也不会被烫伤。但是记住，千万别停留太长的时间，一旦蒸气膜离开你的手，那么直接与滚油接触的就是你的皮肤了。

其实制糖工人为了试探糖浆的温度，经常要把湿手指伸到融化的高温糖浆里去，“下油锅”的表演，他们每天要做好几次。

过去看过一部片子，里面有个侦探遇到了麻烦，因为在作案现场发现了一只蜡质的人手模型，看上去是有人把手蘸满液态的蜡，然后又放在水中冷却后制成的。可是侦探做了无数次实验，无论如何也不能把蜡模完整地取下来。当然后来证明那只人手模型是用充气的胶皮手套做的。但我关心的是，侦探在实验的时候一次次把手放在溶解的蜡里，

他怎么能承受住蜡的温度呢？

后来自己试过才知道，其实蜡的熔点并不是很高，手还是能承受的。要知道，液态的蜡和滚开的蜡是两个不同的概念，如果是滚开的蜡，温度就高多了。

另外，在把手放进蜡里以前先蘸些水，在温度不太高的时候，水本身对于手的保护就已经足够了；如果温度很高，我们刚才说的蒸气保护层也可以保证手不至于受太大的伤害。

法国科幻小说家凡尔纳有一篇小说《迈克尔·斯特罗哥夫》，国内习惯的译法是《沙皇信使》。

书中写到主人公斯特罗哥夫奉沙皇之命，到西伯利亚去给沙皇兄弟下一封密诏，中途被入侵的鞑靼人俘获而被判处警刑。鞑靼人上警刑的办法是用一把烧红的大刀在受刑人的眼前一晃，大刀辐射出来的灼热就会使双目永远失明。

临到斯特罗哥夫受刑时，他母亲扑到他的跟前，斯特罗哥夫也不禁凄然泪下，因为这是他见母亲的最后一面了。但奇怪的是这痛哭的泪水却意外地保护了他的双眼。原因在于，斯特罗哥夫的泪水在烧红的大刀前形成了蒸气保护层，挡住了辐射热，从而保护了他的双眼。

还有人会表演光着脚走在炽炭或凝固了的高温熔岩上，脚板未灼伤，这也是因为脚上的湿气起了保护作用。开始每跨一步，脚板上的某些部位与炭火相接触，这些部位的湿气部分气化形成蒸气层起了瞬间保护作用，而汗水则补偿了部分湿气。但最后当绝大部分湿气都耗尽时，脚板就会感到灼痛。所以，如果你是汗脚，做这个表演就最好了。

不过还是那句话，以上这些实验虽然理论上是安全的，但是没有受过专门训练的人来做，难免发生意外，因此未成年人千万不要尝试，成年公民实验的时候也千万小心。

第十节 开水浇头***

神棍这玩艺，不独中国有，外国也不少，刚才的犹太人尤拉·盖勒就是一例。然而盖勒再怎么折腾始终只是个人行为，小打小闹。日本那里却有一些家伙，总是进行一些有组织的装神弄鬼。名目是多种多样的，像什么“真理教”、“法之华”、“神道教”。而且如果是不太熟悉物理学知识的人，还真有可能被他们蒙倒呢！

神道教最喜欢玩的一个把戏是“开水浇头”。这个仪式就是先煮一大锅开水——注意，一定要用锅，而且口径越大越好，深度无所谓。

等水煮开了，神棍就拿着法器（有点像两根特大号的筷子）插进锅里，然后用力地往上一扬，水就溅得老高老高。他们也有点本事，用两根棍儿就能扬上去一升水。连溅带撒，落下来的也得有半升，一古脑全都浇在神棍头上了。

半升水，那就是半公斤，半公斤开水呀！一下子全都砸到头上。那还不烫死吗？可是演员却毫发无损，由此人们就不得不佩服神棍的法力。

事先的训练是必不可少的。首先要多洗热水澡，最好把水温调到稍微高于体温，以锻炼自己对高温的承受能力，这对身体健康也不无裨益。但这只是一个保险措施，即使不做

也没问题。关键是要熟练掌握扬水的技术。扬起来的水少没关系，关键要高，越高越好。注意，一定要高！这可是生死攸关的。

如果能把水扬得像那个日本神棍那么高，那就可以表演了。当然，我希望在正式表演以前大家也多用凉水练一练，省得出现不必要的失误，弄伤自己。更重要的是，这有助于克服心理障碍，不会在表演的时候临阵退缩，躲开浇落的“开水”。

现在，把“筷子”伸进开水锅里，下定决心使劲把水往空中一扬，就可以闭上眼睛等待着100℃的沸水淋在头上的那一刻了。可是你会很吃惊的发现，淋在头上的水并不很热，甚至比我们平时的洗澡水还凉。

这是何道理？

说到这里我必须提到物态变化的一些知识。我们知道所有物质都会根据温度的不同分别以固、液、气三种状态存在。当物质的状态发生变化，就会吸收或放出一部分热量。固体变成液体、液体变成气体时，要吸收热量，从而使周围的温度降低，反之就要放出热量。

也可以这样理解。第一章说过，温度是物质分子平均动能的宏观显示。相同温度的气体分子总是比液体分子运动更剧烈，所以，当液体分子变成气体分子溢出，它就带走了较多的动能，从而使液体的温度降低。

液体变成气体的过程就是我们平时说的蒸发。正因为蒸发要带走热量，所以液体的蒸发会受温度影响，越是热的液体，蒸发越剧烈，凉得也就越快。当然了，100℃是常压下

水的极限温度，所以开水是最容易蒸发的。

同时，液体的蒸发还要受液面面积的影响，与空气接触的面积越大，水蒸气分子溢出的速度也就越快。而我们把水高高扬起的时候，它实际在空中形成了一个单独的小水珠，呈现出雾装，这个时候所有小水珠的总表面积无疑是最大的，因此它们飞速的蒸发。

由此我们可以看出，在水浇到头上以前，它的大部分热量实际上以被溢出的水蒸气带走，温度也远远低于我们想象的 100℃，实际上能达到 40℃ 已经算很高的温度了。这也是一定要把水高高扬起的原因，可以保证它在空中期间得到充分的冷却。如果把那一锅开水直接浇到他头上，不烫死他才怪！

这个原理，倒有一个很现实的作用，夏天，特别口渴的时候，只想喝白开水，可是暖壶里的水又太烫，怎么办呢？我们可以用两个杯子，把这个杯子里的水倒进那个杯子，再到回来。这样来回倒几次，可以加速开水的冷却。道理当然和刚才的“开水浇头”一样了。

第十一节 缝气球

魔术师手持几个气球上场。“今天为大家表演缝气球。”魔术师道。“气球外边是薄薄的一层，一捅就破，这是人所共知的。现在，我要用一根针和线，从气球的中间穿过去，量一量气球的直径。在我做之前，先请一位观众上来做一下，看能不能成功。如果观众都能表演成功，我就不演这个，改

演别的。”

“哪位观众上来？”应招上来一位。魔术师把针和气球递到他的手里。

“怎么缝啊？”这位勇敢的观众拿着针和气球不知如何下手。

“随你怎么缝。”魔术师道。

只见这位观众把针尖往气球一插，“哧”的一声，气球就瘪了，引得台下一片哄堂大笑。

“还是我来吧。”魔术师接过针线，把一只气球放到桌子上比划了好一阵子，这才左手持球，右手拿针，小心翼翼地在气球上戳了一下。

说也奇怪，气球居然没破，针从气球的另一端探出头来，整个气球被针缝了个“一个贯通”，气球依然完好无损，丝毫没有要瘪的意思。人们热烈地鼓起掌来。

魔术师用力挤碎了气球，把碎片递了过来。“有人说，这只球上有什么手脚，请不放心的朋友检查一下，看看不否真有手脚。”魔术师在台上将气球抛向空中，又接住，用手拽住线头，做踢口袋的动作，气球成了小学生脚下的毽子，任魔术师怎么踢，既不爆，也不瘪。

你是不是觉得很神秘？其实，我只要告诉你其中的窍门，你也可以照样缝气球。

魔术师在缝气球的时候，不是随意的，而是有专门的“下针处”。

当气球被扎破的时候，球内的气体在球壁的挤压下迅速从破口处溢出，因此也进一步使破口迅速扩大，造成气球炸

裂。

但是不知大家是否注意过，一个吹得不是十分满的气球，其上绷起的球皮薄厚不匀。其中，靠近吹气孔和与吹气孔相对的顶端（魔术界朋友戏称“百会”穴）皮最厚。如果从这两个地方下针，由于厚的球皮弹性极强，所以球皮被扎破后，会立即收紧，使气来不及明显外漏。当然也总要漏出一些，因此，这个球被“缝”好了以后，就要迅速挤破，让观众看其中有没有手脚。观众不知窍门，找做手脚的痕迹，当然找不到。

第二次“缝好”的气球，为什么充盈那么长时间，怎么打，踢也不爆不瘪呢？

第二个气球里边是事先做了手脚的。办法是吹气球前用橡皮膏在气球的内壁上选两处各贴一块，缝衣针线就从这两块橡皮膏上过，因为橡皮膏上有厚厚的不干胶，会自动填补针与球皮之间的空隙，球充盈的持续时间会明显延长。而且，即使漏气，由于橡皮膏没有弹性，针孔也不会扩大，因此，即使漏气，气球也不会破裂。

第十二节 神奇的小勺

一杯水能切开一块石头吗？一般情况下不可以，但是在寒冷的冬季，就不难做到。先把水烧热，然后倾倒在室外的岩石上，岩石就会“嘎吧”一下裂开。

说道这里有的朋友笑了，因为他们知道，我用的是热胀冷缩的原理。岩石表面受热膨胀，可是因为石头导热性能差，

外面虽然很热了，里面去还是冰冷的，不会随着表面的一层膨胀，因此石头就裂开了。当然，如果把石头烧热，再投入冷水中，效果也一样，但那是因为表面收缩，而内部无法马上收缩造成的。

冬天往杯子里倒开水的时候，如果杯子的温度太冷，就会裂开，俗话说，就说杯子“炸了”。有的朋友不明就里，以为是因为杯子不够结实，就换了玻璃壁更厚的杯子，结果炸得更快。这是因为玻璃导热性能极差，倒上热水后，内壁受热膨胀，但是外壁却还是冷的，不会立即膨胀。而杯子壁越厚，导热性能就越差，因此也更容易炸裂。所以如果真的想换玻璃杯，也应该换成薄壁的。

有这样一个魔术。台上并排放着一对玻璃杯，魔术师请志愿者上台，将从炉子上刚拎下来翻开的水往玻璃杯里倒。水刚倒进去，只见“喀吧，喀吧”直响，水杯炸裂了，滚烫的开水洒了一地。桌子上只剩下一个杯子。魔术师手持一小勺上。

“大家看到了，玻璃杯由于受不了突然的热刺激（这话说得透着不懂物理），全炸了。能不能找个办法来防止这种情况发生呢？”魔术师扬起手中的小铁勺给大家看，“现在，我对这把小勺发功，再放进杯子里杯子就不会炸了。”说罢，魔术师左手持勺，右手不停地朝小勺抖动，约一分钟后，魔术师将小勺轻轻放入桌上的水杯里。

倒水的人又端起滚开水朝杯子浇下去，水徐徐注入，一秒、二秒、三秒……十秒。没炸，真的没炸！台上，是魔术师自情地微笑，台下，是观众钦佩惊异的目光和热烈的掌声。

当然，魔术师并不会什么法术，而小勺上，也没做什么手脚。实际上，这是个谁人皆可做成功的实验。

刚才说过，滚开的水入杯后，杯子受热膨胀。由于玻璃的导热性能极差，内壁受热膨胀，但是外壁却还是冷的，不会立即膨胀。在这种作用下，外壁的压力在瞬间骤然增大，压力超过杯子的强度，于是杯子就炸裂了。

可是放入小铁勺为什么就不炸呢？主要原因有两个：

一是水先浇到了勺子上，勺子吸收了一部分热量，间接地减小了玻璃受热膨胀的程度。但一把小勺也吸收不多少热量，所以这不是主要原因。

关键是第二个原因。热水先倒在铁勺上，铁勺的导热性能很好，因此，一接触到热水，他马上就把热量传到杯底。这就等于给杯子提前预热，外壁的温度可以事先得到提高，杯子就不炸了。

如果有哪位朋友怀疑，可以把铁勺换成塑料勺试试。因为塑料勺不能很好地导热，所以你会发现，玻璃杯仍然会炸裂。

第十三节 灯管悬人**

把两个纸环挂在一根固定好的横杠上，下面穿一根日光灯的灯管，表演者抓住灯管，一使劲，双脚离地，身体就悬在灯管上了。

日光灯管怎么可能承受住一个人的重量呢？更何况这根灯管是吊在纸上。现在我来揭穿这个小把戏的秘密。

请注意我是怎样固定日光灯管的。这并不是在一个正常装置的日光灯，而是经过了一点特殊的安装。

首先，在日光灯管上方，用人力固定住一根粗铁棍（木棍也行），然后，将已套好的纸环连在这根铁棍与灯管上。抽出灯管给众人看，灯管上是没有什么秘密，就是一般的日光灯管。再拿出一张纸，随手撕下一块。观众只听得“唻唻”的撕纸声，于是也信以为真，以为纸环就是一般的白纸做的。其实，纸环确实就是这种纸做的，这个假不了，但这是一种强度（抗拉）很高的白纸板。它的纤维很很坚韧，撕的时候顺着纤维，所以很容易，但拉的时候就不容易拉断了。如果怎的想把它拉断，一个人都不够，除非两个人使足力气才能把这块纸板拉断。

这个纸板连成纸环，工作是事先做好的，若当场胶水不干，就会误事。用胶粘合的时候，纸板接头处重合的部分一般在3至5厘米宽，这样，用力拉的时候，这个地方才不容易断开。

仅仅解决了纸的问题，人上去还是经不住，表演也会失败，这中间还有另外两个更重要的奥妙处。

一是气功师将双手攥住灯管用力时，攥的位置大有学问。攥在两头或中间，都不行，灯管会因吃中住劲而断裂，最佳的位置是纸板的旁边，在靠近纸板的这个位置，灯管所能承受的力量最大。

这不难理解，比如，我们想折断一根棍子，可是用双手的力量又不够，那该怎么办呢？很简单嘛，用腿在棍子中间垫一下就行了。因为，用腿一垫，中间那一点承受的向上的

力就等于作用在棍子两端的两个力的和。而且，棍子两端受向下的力，有向下运动的趋势，而腿却阻止了这个运动。但是由于力的作用点间存在距离，木棍就会发生剪切形变，也就是两个力的作用点间发生平行的相对移动，剪切形变发展到一定程度，超过棍子的弹性限度，棍子就会断裂。

也可以把棍子看成一个杠杆系统，以腿为支点，作用在两端的两个力分别对杠杆系统施加了一个力矩。但是这两个力矩方向相反、大小相等，又使整个杠杆系统无法转动。为了使棍子转动，加在棍子上的力最终会使棍子从中间折断，棍子的两端就可以分别做自己的运动了。

用手抓灯管时也是这个道理。如果把手放在灯管中央，由于两个纸环的支撑，作用在灯管的中心点的力就会分别以两个纸环为轴，产生两个很大的力矩，使中心点具有向下转动的趋势，最终会使灯管折断。

然而在很靠近纸环的地方，以纸环为轴，力臂就等于0，所以根本不存在使灯管转动的力矩，人体的重量，只给灯管一个压力，而灯管的圆形结构是可以承受很大压力的。用剪切形变的观点分析也可以看出，这两个方向相反的力作用于同一点，所以根本不存在剪切形变。

二是双手攥住灯管双脚离地之前，一定要慢慢加力，越慢越好，初次演示时，失败者多在这个环节失手。因为根据牛顿第二运动定律，要产生加速度，物体必须受一个力，加速度越大，需要的力也越大。这个力也是灯管和纸环给人的支撑力提供的，根据牛顿第三运动定律，也可以说，灯管和纸环就要额外受到一个力，人离地的加速度越大，这个力也

就越大。

若控制得法，表演者身体重量转移到灯管上以后，还可以做转体动作。体重在 120 斤以内的朋友，采用上述方法，可以很从容地表演这个节目，超出 120 斤在 150 斤以内，就困难一些了，若体重在 150 斤以上，这个节目就不适合他表演了，除非再采取一些“技术措施”。什么技术措施呢？通常是在纸里“加料”，说白了就是把纸揭开两层，中间夹上丝麻，就是修水管时缠在接头上的那种，这种纤维非常坚韧，能承受很大拉力。自古就被广泛应用的麻绳、麻袋，也是用同一种纤维做成的，只不过加工的方法与丝麻不同。

用日光灯管还可以做另一钟表演，把日光灯管当坐棍荡秋千，就是坐在拴在二根绳子上的日光灯管上荡秋千。其实那更容易，重量全在手上，根本没往日光灯管上用力。说白了，不放日光灯管都可以，二只胳膊能承受住全身的重量就成。不过要做这个表演，首先要有好体格，起码臂力要好，只要达到能玩吊环的水平就可以；还要掌握好平衡，否则也会控制不好平衡而坐碎了灯管。

这个戏法惟一的危险是灯管破碎，把手掌割伤，所以表演时最好能加一些保护措施，比如戴上手套，或者在手上垫一块布。

第十四节 杯子的魔术

一、倒不出来的水

拿一个玻璃杯，倒上一部分水，在杯口上盖一张纸。用

手将纸按住,把装上水的杯子倒过来,然后手从纸片上离开,水并没有流出来。

为什么会这样呢?

这是因为,水与纸片和杯边之间,水的表面张力使纸片保持在原来位置上。在较大的玻璃杯里的水柱有些下降,这就减少了保留在杯子里的压力的压力。水柱顶部与底部之间的空气压力差也使得杯里的水流不出来。

平衡时,压强差恰好能维持水的重量。我们可作一下估算如果杯子里的水高 5 厘米,则杯外比杯里的气压只需要约 $1/200$ 个大气压。这就是说,杯里的空气只需要比原来的体积增加 $1/200$,就足以维持液重。如果杯里气柱高也是 5 厘米,则在杯子反转后,水只需溢出少许,使水面下降 $1/4$ 毫米,就可产生上述的压强差。

二、盐水振荡器

这不是一个观赏性很强的魔术,但是你却可以根据这个制造一个观赏性很强的装饰品。

在一个高而洁净的玻璃容器里装满自来水。再找一个纸杯或塑料杯,用别针在杯底戳一个小孔。用约一茶匙的食盐与冷的自来水制成盐水溶液(盐水溶液的体积约为杯子的一半)。为了分清咸水和淡水,可在盐水里加点食用染料。

把杯子放到玻璃容器里,同时把盐水倒进杯子里。要把杯子放到使杯外的淡水上升到约半杯高深度的地方,并让杯里的盐水溶液与杯外的淡水大约处于同一平面上,再将杯子固定。这样就构成了盐水振荡器。

有人可能会想:开始时,杯里的盐水与杯外的淡水处于

同一高度，但是咸水的密度比淡水大，小孔处咸水的压力大于淡水的压力。因此，咸水通过小孔流下去，直到两种水的压力相等为止。于是，咸水流变得越来越细小，最后，就停止不流了。这种想法有一定道理，但不全面。因为停止流动的咸水，稍侯片刻，就又会重新开始流动起来！

从这时起，每隔一会儿（如 15 ~ 20 秒），咸水流就有一个从突然流动到变得细小、不流动乃至再次突然流动的循环过程。

这是因为，小孔处盐水、淡水两种液体的压力虽然趋于均衡，但由于存在两个流体层，位于上面的盐水层密度较大，下面的淡水层密度较小，因而这种均衡是不稳定的。任一轻微的偶然扰动，都会在两种流体的界面上激起一个小波。由于密度存在差异，波幅随着时间很快地增大。

结果，一部分密度小的淡水越过界面向上凸出，另一部分密度大的咸水向下凸出。这种对轻微扰动的不稳定性，以及由此造成的两种流体互相侵入对方区域的情况，就是盐水振荡器振荡的原因。

向上凸出的淡水加速流过小孔，因为它的密度比小孔里面同样水位的咸水要小。显然，此后淡水很快挡住了咸水流，接着就只有一股上涌的淡水流过小孔，杯子添加水后，杯内流体的高度逐渐增加，小孔处的水压也随之增加。然而，因为玻璃容器比杯子大得多，所以玻璃容器中减少的水几乎没有使它的水平面降低。

最后，小孔处的咸水压力大到足以压制并挡住上涌的淡水流。这样，又回到了循环的初始阶段。杯里的水太多了，

咸水流就按下流。等到小孔处的压力再次趋于均衡时，流量就逐渐减少。这时，偶然的扰动又在两种水的界面上激起波动，使淡水再次向上流动。两种水流上下交替流动的速度取决于小孔直径、杯子直径和水的粘度。而振荡周期主要由孔的大小决定，与杯里的盐水浓度关系不大。

第十五节 电磁铁的魔术

一、跳跃的金属环

在螺线管外套上一个金属环。螺线管与交流电源接通的瞬间，金属环就向上跳跃。使金属环向上跳跃的力是如何产生的呢？

通过螺线管线圈的交变电流产生交变磁场。这交变磁场又在金属环里产生感应电流。而感应电流的磁场与交变电流的磁场方向相反。这两个磁场相互作用，因而引起金属环向上跳跃。

在交变电源与螺线管线圈刚接通的瞬间，螺线管线圈中电流剧增，在金属环中产生更大的感应电流，从而建立起更强的磁场，结果金属环跳得更高。

必须指出：只有在穿过金属环的交变磁通随时间而增加，且感应电流的磁场方向和螺线管的磁场方向相反时，金属环才会受到一个排斥力。而当穿过金属环的交变磁通随时间而减小，且金属环中感应电流的磁场方向和线圈中电流的磁场方向相同时，金属环则受到一个吸引力。

由此可见，在交变磁通变化的一个周期内，有半个周期吸

引力的平均效果来考虑。

在交变磁场的一个周期中,排斥力的平均值与吸引力的平均值是不相等的。为什么呢?因为金属环所在的地方,存在变化的磁场,并且金属环本身不仅有电阻,还有电感,所以,金属环内产生的感应电流比感应电动势落后一个位相,排斥效果占优势,金属环就能跳起来(如果金属环是电容性的,则只够受到吸引,而跳不起来)。

二、铜盘的转动

一个通以交流电的螺线管的上侧,有一个可以转动的铜盘。在铜盘和螺线管之间,夹放了铜片(只是盖住螺线管顶的一半)后,原先不转的铜盘就会转动起来。这是为什么?

交变磁场在铜盘里感应出涡电流。涡电流的磁场,总是反对螺线管磁场的变化,这两个磁场互相排斥。由于涡电流有对称性,所以不会产生转矩,铜盘也不会转。如果螺线管与铜盘之间,如图所示夹放了铜片,且没有把螺线管全部遮盖,而是只盖了一半,则情况就不同了。涡电流的对称性遭到了破坏,铜盘就会转动起来。这样,就构成了一部电动机。

铜盘的转动,基于两个涡流效应。首先,在铜片中的涡电流反抗穿过它的磁通量的变化,因而在这块铜片上面的磁场就总合落后于那不受遮盖的一半之上的磁场。这就是所谓磁极“隐蔽”效应:在“被隐蔽”区中会产生一个变化如同“非隐蔽”区中的磁场,只不过被延迟了一定的时间。整个效应,就像只有一半宽的一块磁铁不断从非隐蔽区移到隐蔽区似的。于是,这些正在变化着的磁场就与铜盘中的涡电流相互作用,而产生一个作用在铜盘上的转矩,使铜盘转动起

来。

这是感应电机的一种形式。由于它的效率低，故不能用在生产上，只能用来说明原理，作示教用具。

第十六节 用小球变魔术

一、用光托住的小球

侯宝林说过一个关于醉鬼的段子，有一个醉鬼为了证明自己没罪，掏出一个手电，要另一个醉鬼顺着光柱爬上去。别说我没醉，就是真的醉了，我也爬不上去。

但是一个小玻璃球确实可以停在光柱顶端，当然，首先球要很小，直径大约 20 微米，也就是 0.02 毫米。另外光柱也不是普通的光，而是很强的激光。所以，虽然这个魔术没有什么危险，却需要专门的装备，不是一般人能够表演的。

我们知道，水柱或气流可以将小球稳定地托在空中。要把小球托在空中，必须有一个与重力相反的力作用在小球上，那么光托住小球的这个力是怎样产生的？光束为什么能将小球托在空中？

大气的压力是大气中的分子不断碰撞接触界面造成的。

我们说过，光可以看成是光子流，也就是一种能量流，它也有光压施加在物体上。对于普通光源来说，光压是非常小的。例如把 100 瓦电灯所发出的全部光功率集中在一平方厘米的一小块面积上，则这块小面积上所受到的总压力也只有 3×10^{-8} 千克力左右。而一只蚂蚁拖东西时的力也不止 1×10^{-6} 千克力。可见，光压是多么微弱，人们身上是感觉不

出光给予的额外压力的。

激光与普通光源不同，普通光源发出的光是射向四面八方的，而激光可以把光的能量在时间和空间上高度集中起来。目前，激光器的输出功率可以达到每平方厘米 $10^{13} \sim 10^{14}$ 瓦的水平。光压是与光功率成正比的，因此，可以想像，由此产生的光压是很大的。例如，常见的红宝石激光器可以获得 10^{10} 瓦的输出功率，假设光束半径为 1 厘米，经过聚焦就可以获得几十微米直径的光斑。

在这个小范围里将受到十亿（ 10^9 ）个大气压的超高激光光束中，中心的密度比周围的大。如果小玻璃球偏离光束的中心，则光束对小球的作用力，向里偏的力大于向外偏的力。因此，光束不仅对小球作用了一个向上的力，还强迫小球跑入光束的中央。这样，较强的激光不但能把小玻璃球托在空中，而且能使之稳定在光束的中央。

太阳每个时刻都会抛出大量可见光等粒子流，这些粒子流对物体也会造成光压。风是一种空气的流动，风吹到风车或者帆上，造成一个压力，推动风车转动、帆船向前进，这个压力是即使气体的压力。太阳抛出的粒子流很像风，所以被称作太阳风。

英国科幻小说家和科学家阿瑟·克拉克曾经写过一篇《太阳帆船》，描写了一种靠太阳风驱动的太空飞行器。第二年，美国政府就开始着手研究太阳风，并且把太阳风帆用在了旅行者号太空探测器上，但至今为止，太阳风帆只用来控制飞行方向，距离作为动力装置的水准还差得很远，但是就像克拉克说的：“他的太阳帆船终将成为宇宙中最快的物

体。”

二、飞车走壁

曾经有一部电影叫《飞车世家》，写的就是表演这项杂技的演员的生活。这种惊险的表演每次都会使观众替演员捏一把汗：

演员在木制的大圆筒壁上高速地骑自行车或摩托车，一圈又一圈地转着。

这项表演对普通人来说可是“****”——四星级难度，但是我们可以不冒任何风险的情况下，用小球模拟这一表演。找一个圆柱形的罐子——最好是玻璃的，这样就可以看到罐子内部的情况。罐子里面放一个小球，然后让罐子有慢到快围绕一个圆心做圆周运动，渐渐地，小球也开始沿着罐子内壁做圆周运动。现在把罐子倒过来——注意，不要让罐子停止圆周运动。这时你会发现，小球并不会落下来，而是仍然贴着罐子内壁做圆周运动。

但是，如果稍一停止转动，小球就会落下来。所以，表演飞车走壁的演员，要在陡峭的筒壁上即使静止一秒钟，那也是绝对不允许的。在电影里，导演异想天开地让演员在平直的墙壁上开车，但事实上，这时不可能的。这是为什么呢？是什么神奇的力量在起作用呢？

如果演员和自行车只受到重力作用的话，则毫无疑问要往下摔。演员之所以能一圈圈地沿着筒壁高速飞行，是因为有一个向上的力，而且这个力至少与重力相等。那么，这个向上的力是怎样产生的呢？

演员和车若以速度 v 沿着半径为 R 的筒壁作四周运动，

就要求筒壁提供一个向心力，其大小为：

$$F=mv^2/R$$

m 表示演员和车的质量。根据牛顿第三定律，演员和车有一个等值反向的力作用在筒壁上。我们知道，摩擦力与物体表面的正压力成正比，并且等于正压力与摩擦系数的乘积。如果车和筒壁的摩擦系数为 μ ，则车就受到一个向上的摩擦力：

$$f=\mu mv^2/R$$

正是这个摩擦力使飞车能够走壁的，这一摩擦力至少要和演员和车的重力相等。在摩擦系数 μ 、圆筒半径 R 一定的情况下，速度有一个最小值，即：

$$v_{\text{最小}} = \sqrt{gR/\mu}$$

如果低于此速度，摩擦力不足以平衡重力，就会发生危险。

有上面的公式也可以看出，相同的速度下，筒的半径越大，受的摩擦力越小。平直的墙壁可以看作是半径无限大的圆筒的筒壁，因此，他对人和车的摩擦力为 0，不管演员有多高的本领，也不可能在这种墙壁上开车。另一方面，根据以上的公式，为减小最小速度的数值，也可以减小圆筒半径，增大摩擦系数。

三、单摆的魔术

把一个小球系在绳子上，构成单摆。要求摆出时，不与瓶子相碰；而返回时则要与瓶子发生碰撞。

看起来不难，但只要试过就知道，这几乎是不可能的。但魔术师却有办法。窍门在哪儿？

单摆围绕瓶子作圆周运动时,在与小球的圆形轨道平面垂直的方向,没有受到力矩的作用。根据动量矩守恒定律,小球只能作圆周运动,决不会与瓶子发生碰撞。

要使小球在单摆返回时与瓶子相碰也不难,魔术师在把小球松手之前,只是把小球的悬线捻转了一下。

四、流水的引力

拿一个玻璃杯,装水后再放入乒乓球。将玻璃杯放在水龙头下,打开水龙头,流水由小慢慢增大。龙头开大到一定程度,乒乓球会上升,下流的水好像磁铁一样把乒乓球吸了起来。

乒乓球受重力的作用,再加上流水的压力,理应下沉,为什么结果却相反呢?表面上看,这好像不可思议。其实,乒乓球所受的力,除了下冲力和重力外,还有一种上下压力差造成的升力。

如果把一张二指宽的小纸条,贴在自己嘴唇下方,当你用力向前吹气时,会发生什么呢?试一试你会发现,这纸条不是向下飘,而是向上飘。

如果向两个并排的气球中间吹气,又会发生什么?你一定认为两个气球会向两边弹开,让出一条路让气流通过。但事实上,你看到的是两个气球紧紧地贴在了一起。

最后再看看这个实验。将一张明信片沿着其长边弯成弧形放在桌上,弧心朝下。你可能会以为当沿水平方向用力朝它吹气时,明信片会跑开的。让我们来试试看。无论你怎么用力吹,明信片都不离开桌面。相反它却紧紧地贴着桌面。

十八世纪瑞士科学家丹尼尔·伯努利(1700~1782)根

据以上实验和其他一些实验，提出了伯努利原理，这个原理的全部内容比较复杂，所以这里只简述它的主要思想：随着速度的增加，气体的压力减小。真正的伯努力原理，涉及的条件还要更多，了解它的主要思想对于解释上面的几个问题已经足够。

根据伯努利原理，流体的流速越大，静压就越小。快速流下的水，它的内压比乒乓球下面的压力小，因而乒乓球受到压力差造成的升力。另外，快速流不的水，其内压比它周围的静止空气的压力小，因此，较大的空气压力就把乒乓球推向压力较小的水流里面。即使把杯子稍稍移动，乒乓球也依然不离开水流。

纸条和气球都是被静止处的空气压向空气快速流动处的。在明信片的实验中，明信片下方气流快，它的压力小于外界气压，因此明信片被紧紧地压在桌面上。

这里还有几个有意思的小实验帮你更好的理解伯努利原理，看看，它有多神奇。

还是一个乒乓球，把它放在漏斗里，使漏斗喇叭嘴稍微倾斜向上。然后你在漏斗的另一端向内用力吹气。你会发现，无论怎样使劲吹气，都不能把乒乓球从漏斗里吹跑。

气流不是像我们想象的那样能以很大的力全都作用在乒乓球上，而是绕过乒乓球，沿着乒乓球和漏斗壁之间的缝隙挤出去的。根据伯努利定律，乒乓球和漏斗壁之间气压减小，外界大气压把乒乓球紧紧地注漏斗喇叭嘴里压。因此，不管你多么用力吹气，乒乓球都不会被吹跑。

下面用硬币来玩，在一块木板平面中心处插三根大头

针，在针头上放一枚五分钱硬币。然后你吹吹看，试着把硬币吹下来。如果你吹不下来，那也不用再费劲了，因为如果你从水平方向吹气，就算憋死也吹不动它。

大头针针头又小又光滑，金属硬币便紧紧贴在它上面。硬币和大头针的接触面小，之间没有空隙，气流也就无法通过。当你从水平方向吹气时，气流从硬币下面穿过，由于气流速度快而减小了压力。相反硬币上方大气压大于下边压力，因此将硬币紧紧压在大头针上。如果你把下额紧贴着桌面朝硬币下面吹气，气流则直接吹在硬币的底面，硬币就会被吹掉了。

现在把硬币放在离桌边 10 厘米处，然后在离桌边 20 厘米处放一平底盘。请问，你能把硬币吹进盘里去吗？

如果你以为朝着硬币吹气，就可以把硬币吹进盘子里，那就错了。实际上，你应该在硬币上方约 5 厘米的地方，沿着水平方向用力吹气，使气流在硬币上方通过。这样，硬币上方的气压减低，周围空气的压力从各个方向作用于硬币。把硬币卷起，带进了盘里。

用半张明信片一大小的硬纸片，中心按进一颗图钉，然后用手掌托住纸片，在其上面放一个线轴，使图钉尖正好对准线轴中心的圆孔。如果你这时用力从线轴孔的上方向下吹气，并挪开托着纸片的手，你将看到的是，硬纸片非但没有掉下来，相反却牢牢地悬浮在线轴下面。

这个有趣的现象还是可以运用伯努利定律解释。由于气流以很快的速度从线轴和硬纸片之间穿过，就产生了一个低气压，而外界大气压将硬纸片从下往上紧压向线轴，因此硬

纸片不会落下来。

点燃一支蜡烛，将漏斗的喇叭口对着烛焰并稍留空隙，然后用力吹气，你可以看到烛火不仅没有熄灭，反而倒向漏。

当你在吹气时，漏斗中的空气流速大，气压降低，因而周围的空气从漏斗的喇叭口中间流进去，可你吹出的气却沿着喇叭口壁跑掉。这样一来烛焰不但不会熄灭，反而被流入的空气压向漏斗喇叭口。假如你把漏斗倒过来，从漏斗的喇叭口向里吹气，气流便在窄小的管颈中积聚并跑出，烛火会立即熄灭。

第十七节 五雷神掌

这是武侠小说中一种很神奇的武功，可现实中竟然也有些家伙自称会使五雷神仗。他们的手能冒烟，甚至还能让报纸着火——抽烟倒是方便了，省了火柴和打火机。

其实他们只不过在指甲和报纸上涂了白磷，而白磷的性质，大家可以去请教化学家。

如果用一张报纸，视觉效果好看多了，而且和雷电还真有点关系呢！

首先，要把报纸烤一烤。因为我们需要绝对的干燥，而报纸，无论放在多么干燥的地方，总会从空气中吸收一部分水分。着一点点的水分我们是感觉不出来的，但足以让任何一个试验失败。

把报纸贴在光滑平整的门板上——当然，门板也必须干燥，然后用扫床的刷子来回刷它。注意，不要用草或者竹子

编的笤帚，最好用塑料的。不一会儿，你就会发现，即使我把双手都拿开，报纸也能粘在门板上。

关上灯，把报纸揭起一半一只手拎着，另一只手伸开五指靠近了报纸。这时，奇妙的景像出现了，手指缝里冒出了火花，还是蓝白色的。

当然，也得见好就收，否则不一会儿，火花就暗淡下去并迅速消失了。但是，只要我继续用刷子在报纸上刷，长长的火花就会重新出现。

如果注意看，就会发现，其实手指根本没挨着报纸，离报纸还有好几厘米呢。而手与报纸间的火花则形成了一道细细的弧线，优美地弯曲着。

大家一定都想自己试试。可是手指被火花烧伤了怎么办呢？其实，只要试过就知道，这种火花根本不会伤到人，甚至你都感觉不到一点热量，只是会感到指尖有点麻。

如果还是不放心，我们可以做个实验。用火柴代替手指去靠近报纸。我们看到，火柴头上也产生了一圈火花。火柴头着了吗？到亮的地方仔细看看，火柴头安然无恙。要知道，火柴头是燃点极低的红磷制作的，连火柴头的点不着，看来这火花确实是冷的。

现在再把实验材料换成剪刀。把张着口的剪刀尖凑近一半贴在门板上的报纸。这一回，我们会看到一个新现象：从剪刀尖那里冒出了一些蓝中带红的短线，同时发出轻微的吱吱声。

刚才我们看到的，其实并不是真正的火花，而是电火花。报纸经过刷子的摩擦带上了大量的电荷，这就是我们曾经提

到过的摩擦起电。于是，在报纸和手指间产上了很强的电压，以至于击穿了空气，产生电火花。

古时候，帆船在海上航行的时候，船员们经常在桅干顶上看到这种火花。当然，那火花比剪刀尖儿上的火花大得多了，而且桅杆顶上也并没有带电的报纸。可是天空中有带电的云彩，云彩离桅杆顶比较近的时候，就会发生火花。

不光海上有这种火花，有时候，山里也有这种火花。这种火花甚至会出现在人的头发和耳朵上。去安第斯山区旅游的人经常会看到一种现象，在登山者的头顶或肩上闪现出火花。当地人称之为“圣火”。有时候，当地导游为了取悦登山者，会故意从腰间拔出金属的斧子，向着云层挥舞。由于第一章里提到过的尖端放电的原理，在锋利的斧刃上更容易产生电火花。强壮彪悍的印第安导游，高举战斧，笼罩在时隐时现的电光中，真会使人产生一种天神下凡的感觉呢！

第三章 没有物理学世界将会怎样

第一节 电度表的构造原理

电度表是用来测量电消耗量的仪器，我们都叫它“电表”。它是应用“阿拉涡圆盘”的原理，当圆盘旋转时，带动涡轮—涡轮减速器旋转，减速器再带动数字盘旋转，显示出耗电量多少。

表示了电度表中有个铝圆盘，在铝圆盘的上、下方，装有套入线圈的铁芯。上面铁芯的磁场线圈直接与电源相并联，加上的是电源的电压。所以叫“电压线圈”。下面铁芯的磁场线圈，是先与负荷串联以后，再并联在电源上，已里面流过的是负荷所需要的电流，也就是使用电流。所以叫“电流线圈”。

由于圈数多，在“电压线圈”中，加上电压以后，要稍稍经过一段时间，才有正常值的电流流动。因为，根据楞次定律，线圈内一旦有电流流动，就有反方向的电压产生。仿佛它要阻止电流流动一样。如果电流要变小时，由于感应电压还很高，电流不可能立刻小下来。也就是说它不能像用开关切断电流时那样，电流立刻变成零。

另外，电度表的电压线圈小，加的是交流电压，由于电

流比产生它的电压稍稍落后，所以在电压趋向最高值时才开始流动。当电压降低趋近零时，由于电流仍然保持落后，逐渐趋向最大值。并且，磁力线也随着电流的变化而产生。

“电流线圈”的导线较粗，圈数也少。由于它同负荷（也就是用电的器具）串联，所以，它里面流过的是负荷电流，也叫使用电流。当负荷是电热器和白炽电灯等利用电流热效应工作的电器时，负荷电流并不落后于电源电压，而且，这时的磁力线也是随着负荷电流变化而同时产生出来的。

总而言之，在“电压线圈”中，电流落后，磁力线也落后。所以，上面的电磁铁产生的磁场落后；在“电流线圈”中，负荷电流不落后，它产生的磁力线也不落后。所以，下面的电磁铁产生的磁场不落后。这样一来，下面的磁场永远是比上面的磁场先产生出来。

现在，假定电源电压达到最高值，负荷电流也就达到最大值，从电流线圈中就有磁力线产生出来。当电源电压趋向零，由于负荷电流出变小，电流线圈的磁力线也减少。而电压线圈中的电流变大，磁力线就从它里面产生。由于电源电压有正、负极性变化（交流），所以，接下去磁力线又从电流线圈中出来。这样一来，就相当于有一个磁铁作旋转运动。于是，铝盘旋转起来。

要是只有电压线圈，或者只有电流线圈，圆盘是无法转动的。另外，磁力线越强，圆盘转得越快。也就是说，由于电压和电流成正比，所以，消耗的电量越多，圆盘转得越快，也就是说，圆盘转得越快，表明消耗的电能越多。

电度表中的永久磁铁起制动作用。当负载电流为零（停

止用电)时,由于惯性,圆盘不能马上停下来。这就要靠它在圆盘旋转时,产生反方向的电动势和反方向的磁场,使圆盘能尽快停止下来。

第二节 限流器和安全器

当使用的电流超过了允许值时,由于磁铁的作用,电流限流器能自动切断电路。所谓允许值,即供电部门要求生产单位核实际需要制作的电气元部件,具有一定的数值规定,以便约束或限制使用者的用电情况。比如,15A 允许值的限制器,对 15A 以下的使用电流不起作用,一旦超过,它立即切断电路。

限流器在工作时,通过的电流较大,应该远离它,平时,限流器的开关按钮是朝上的。当需要一下子全部切断用电时(比如发生地震了),可以用软绳系在按钮上,通过滑轮拉到某处。需要时一拉软绳,开关就朝下了。

根据使用场所的需要,有时也不要装限流器,而用安全器,或配线用断电器代替。它们和限额器的作用基本相同,都是电流超过允许值时,自动切断电路。不同的是,限流器限制的是总电流。如果没有安全器,当电器用具本身的电流突然增大(比如短路了)时,就会烧毁。因为,一个电器用具电流增大,总电流不一定超过允许值,所以尽管有限流器,它也不起作用。

现在,大功率电器的电路中一般都接有安全器。另外,在北京,每家每户的电表后面一般都要接一个安全器,俗称

叫“保险盒”，入户以后的支路中，酌情安装一到两个安全器也是很常见的。

其实所谓安全器，就是里面装 1~2 根保险丝的闸盒。当电流增大时，温度升高，保险丝被熔断。由于它装在电器的电路中，电路因此被切断。有两根保险丝（分别与火线和地线联接）的安全器，熔断时总是断 1 根。

更换保险丝时，要打开盒盖，先拧松压紧螺钉，套好保险丝，并保持中间部分卧入槽内并适当张紧。整个安装过程中，不得与另一根保险丝相碰。不许用其他金属丝（如铁丝等）代替保险丝（通常是经过处理的铅丝），因为保险丝是经过反复试验和论证过的材料做成的，具有合适的电阻率和熔点，可以保证在电流超过额定值得时候立即熔断。保险丝熔点低，所以可以在引起火灾之前及时断开过载的电路。

限流器、安全器和断路器，都是起开关一样作用的东西。只是构造、具体任务、安装部位有些不同。其次，当电流超过 1.2 倍允许值时，如果在 30~60 分钟以内没有冒烟，就不会切断电路。而如果超过了两倍以上，那么在两分钟以内，电路就会切断。

第三节 日光灯的构造原理

日光灯由荧光管、镇流器、起辉器（又名“起动器”，俗名叫“憋火”）等联接起来以后组成。

起辉器（也有叫“启辉器”的）外面是一个铝壳或塑料壳圆筒，里面有一只氖管和一只纸质电容器。氖管里充进氖

气，还有 2 个电极，一个是固定的；另一个是 V 形双金属片，它的一端固定，另一端可自由伸缩或向一定方向变形。

平时，两个电极是离开的。当接通电源时，两极之间产生火花放电。双金属片受热膨胀，自动张开，使两极闭合。电流就通过镇流器、灯丝、起辉器形成电气回路。起辉器里的双金属片在闭合期间，火花放电停止，双金属片变冷，两极又重新断开。

这一刹那间，电流切断，镇流器（前面讲过，它是个高压感应线圈）产生很高的电压，这个电压加在灯丝上，使灯丝发热，产生大量的电子流去冲击日光灯管内的气体（氙气），并使水银气化，形成看不见的紫外线。紫外线射到涂在灯管内壁的荧光粉上，于是，发出像日光的光线。所以，它既叫荧光灯，又叫日光灯。

起辉器的作用，是使电路接通和自动断开。和氖管并联的电容器，是为了减少日光灯对无线电的干扰。镇流器除产生高压脉冲电流外，还起限流作用，所以又叫“扼流圈”。

日光灯管内充有稀薄的惰性气体（如氙气等），还装有少量的水银。它的两端是灯丝，一头是绕成螺圈形的钨丝，已是阳极；另一头是触角状的钨丝，它是阴极。上面还涂有氧化钡和氧化锶的金属盐，作为电子发射物质。当废日光灯打碎时，请注意观察它的灯丝结构。

假如把日光灯管直接接在 220V 电源上，会产生什么后果呢？

日光灯管是一种“充气放电管”，它的特性之一，就是电流流过时电阻变低；电阻变低时，电流就变大；结果电阻

更低，电流更大……。这样恶性循环下去，灯管很快就会烧毁。

为了防止这一点，必须串联镇流器。由于它里面有绕在铁芯上的线圈，当加上交流电压时，由于有反电动势产生，它会限制过大的电流流过。因此，它起着和电阻一样的作用它好像把电流镇住了，所以叫镇流器。

电工们必备的氖管验电器，俗称试电笔。在它的电路中串联着一只电阻，大约是 1 百万欧姆。如果没有它而直接同电源接触时，也会烧毁。由于电阻的阻值大，所以氖管里流过的电流很小，只有 $0.2 \sim 0.44\text{mA}$ 左右。

使用时，把金属探头插在要检查的部位，用手按住试电笔尾部的金属帽。探头和金属帽和内部电路相连，这就在电源、试电笔和人体间形成了一个回路。如果要检查的部位与人体间存在着电位差——也就是所谓的有电，氖管就亮了。因为通过电路的电流非常小，所以对人体一点影响也没有。如果手不与金属帽接触，试电笔的电路就处于短路状态，所以氖管自然不会亮。

可是，日光灯管里的电流比它至少大 100 倍以上，如果也用电阻，将由于过分发热而损失太大。同时，电阻器也不能起辉，因此，必须用镇流器来限制电流。

第四节 电热器

一、小电炉

这是使用较为普遍的电热器，功率一般为 $500\text{W} \sim$

600W。图 3-4-1 表示 2 根电热丝并联，用 1 根时为 300W；2 根同时使用时，变成 600W。

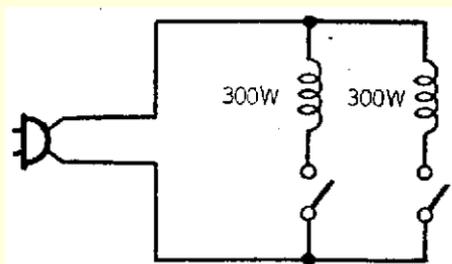


图 3-4-1 小电炉原理图

二、大电炉

如图 3-4-2 所示，用石英玻璃管把电热丝（镍铬丝）封装起来，防止热丝氧化（烧毁）。这是大电炉与小电炉不同的地方，后者只是把电热丝直接烧成螺旋形使用，其他与小电炉一样。也可以分别使用 300W 成 600W。



图 3-4-2 用石英玻璃管密封电热丝的发热器

三、电饭锅

电饭锅有用电热丝直接加热容器（铸钢筒）的，属直接方式；在电热丝与内容器之间隔着一层水，属于间接加热方式。前者是煮饭，后者是蒸饭。

两种锅都是用双金属片自动控制时间的。饭煮（蒸）熟

了时，内部温度达到一定值，双金属片将自动切断电路。如果双金属片失常，饭要么烧糊了，要么就还是生的。只要保证它不失效，就能烧出美味的饭来。

就我的经验而言，电饭锅不但无损我煮饭的水准，相反，对我的厨艺还有促进作用。所以说，做厨师也和作物理学家一样，要不断地学会使用新的工具，并且最大限度地开发它的潜能，就一定会有突破。

四、电熨斗

这也是家庭用得最广泛的电器之一。从前，电熨斗没有调温器，靠拔插销（也就是停止供电）来调节。加热器是用带状镍铬丝绕在云母板上的。现在的加热器是在铁管内装满氧化镁，密封起来，成为“套式加热器”。另外，还有双金属中调温器以及喷雾装置等。图 3-4-3 是一种构造比较简单的电熨斗，从图中可以看出内部的大致结构。

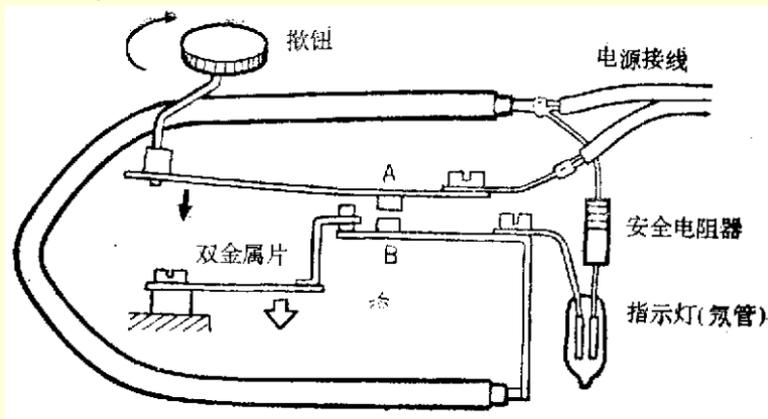


图 3-4-3 电熨斗构造图

当旋钮（露在熨斗外面）向右旋转时，触点 A 下移，同触点 B 形成良好的接触，电流通过。当温度升高时，双

金属片向下弯曲，带动触点 B 下移，离开触点 A，于是，切断电路。当温度下降时，双金属片冷却，恢复原状，触点重新闭合，电流重新通过。这样，由于触点重复地断开、闭合，使温度大体保持恒定。

如果希望熨斗的温度更高一点时，可以把撇钮再向右转一点。这样，触点 A 下移距离会更大一点。也就是说，A 压 B 更紧一些。这时，要想 B 离开 A，双金属片必须再弯曲一些。这只有当温度更高时，才能实现。因此，调节触点 A 下移的距离大小，可以改变熨斗温度的高低。这是调温的关键。

其他电热器的构造原理和调温装置和上面几种大同小异，就不再一一说明了，有兴趣的话，自己拆开几个电热器看看呀——当然，首先要确定它处于断电的状态。

第五节 用马达的电器

一、吸尘器

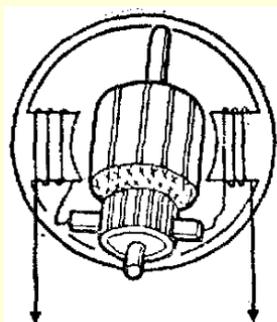


图 3-5-1 吸尘器马达

它是马达的电器中比较简单的一种，因为只要转得快就

行了。如图 3-5-1 所示，磁场线圈同电机转子（电枢）成串联联接，这就处“换向器（也叫整流器）马达”。它是直流马达的一种，用交流电也能使它转动。

这种马达的缺点是，电刷和换向器之间，特别在不光滑时，容易打出火花来。这时，就会有高频率的电流流过，形成收音机或电视机的杂音干扰。为了防止这种现象，要在两个电刷之间并联一只电容器。

另外，清扫机内装有变压器，当电压变低时，通过电磁继电器，控制电源的接通或切断，成为远距离控制开关。

二、电冰箱

电冰箱使用的是“感应马达”（电动机），它的电源是单相交流 220V。利用电容起动。一旦起动后，由于电磁铁作用，断开了辅助线圈（通向电容器）的回路。电流流经主线圈，使马达转动起来。

冰箱的冷制原理：冰箱内放有致冷剂，通常都用氟里昂，不过氟里昂污染环境，从本世纪起，人类将逐步淘汰氟里昂冰箱，而我国政府也在积极向这方面发展，这是一件非常令人振奋的事。

氟里昂在常温、常压（如 20℃，1 大气压）下，便会沸腾（蒸发、挥发）吸热。目前，它还是冰箱制冷的主要物质。马达是保持制冷循环的动力，由它带动压缩机（一种像聊筒或泵一样的东西）。

压缩机首先吸入来自蒸发器的冷剂（这时它是低压气体），进行压缩后变成高压高温气体，送往冷凝器（在冰箱外面）。这时，冷剂通过管壁间外散热，本身冷却变成液体，

经压缩机送控过滤器，滤掉污物和水分。再通过毛细管降压。回到蒸发器，吸收箱内的热量，使温度下降。

马达不断地高速转动，上述过程很快地循环发生。使冰箱内温度迅速下降到 $3\sim 5$ ，好的冰箱可降到零下 6 、 12 、 18 。

三、洗衣机

洗衣机使用的也是交流感应马达，在家用电器中，它的结构比较复杂，它可以洗涤衣物，还可以甩干。甩干比较简单，只要把洗好的衣物，放在脱水筐内，使它快速旋转，靠离心作用把水甩出去，正如下雨时旋转雨伞，会把雨点甩出去一样。

当打开脱水筐盖时，安全开关切断电路，脱水筐停止旋转；这时，定时器开关合上，准备起动。盖好筐盖以后，安全开关闭合，接通电源，甩干机开始工作。

要洗的衣物放入贮衣筒内，由马达带动它旋转，还有一种改良型洗衣机，贮衣筒不转，马达带动安装在贮衣筒底部的圆盘旋转，圆盘上有凸起的叶片，使水和衣物一起旋转翻滚。在控制盘上，有定时器开关，控制洗衣机的时间长短；有强、中、弱洗开关，还可正转反转。

当开关转向弱洗位置时，磁场线圈串联了一个电抗器，它起相当于镇流器一样的作用。它对交流电产生阻抗，使电流变小，加在马达上的电压降低，转速变慢。开关转向强洗时，电抗器不起作用，电流恢复变大，转速变快。

此外，有的洗衣机还安装了蜂鸣器，当马达停转时，它可以报告主人。这种蜂鸣器利用交流发声，不需要触点。可

以从线圈直接取得电压。

四、电扇

电扇也是利用电容器起动的交流感应马达，它利用辅助线圈的一部分作电抗器。例如，从辅助线圈的中间，抽出几个头来，利用开关实现转换。在强转位置时，由于主线圈和辅助线圈全部参加工作，转速最快；在其他位置时，辅助线圈中的一部分起电抗器作用，同主线圈串联，使主线圈电压降低，转速变慢。对于辅助线圈来说，由于圈数减少（即电阻减小），电流会变大。但有电容器的限制，电流不会太大。

另外，还有采用晶体三极管和电位器（收音机的音量开关）做成的调速控制器，它可以使转速连续变化。

人如果碰到电扇的隔离网（金属保护网）时，马达应立即停止转动。金属保护网和由晶体三极管、电磁继电器和制动闸组成的安全电路连通。当手触摸金属网时，就有感应电流流过，经过三极管放大器放大，使继电器发生作用，并使制动闸产生动作，进行制动。

制动闸是一种机械的东西，像自行车闸一样。实际上用得较多的是电气制动，前面已讲过，当磁场线圈内有直流电流通过时，马达产生电气制动（变成发电机）。

第六节 磁悬浮列车

日本的新干线号称是世界上最快的列车线路，日本人引以为荣。那么新干线为什么能这样快呢？因为它采用的是一种完全不同于传统火车的新型技术——磁悬浮列车。

磁悬浮列车是一种新型列车,是铁路技术中一项新兴的技术成果。传统火车提升速度的最大的瓶颈,在于铁轨与车轮间的摩擦。我们知道,火车的重量是很大的,因此对铁轨的压力就很大,然而减轻火车的重量显然是不现实的。因此要降低摩擦力,还是要在降低摩擦系数上下功夫,而我们又找不到一个经济合理的方法,把铁轨的摩擦系数降得更低。

在做运动学实验的时候,也有这个问题,要尽量减小实验用的重物与平面间的摩擦。在今天的实验室里,我们用气垫导轨解决这个问题。光洁的铝制导轨上布满了气孔,喷出气体,在实验用的滑块与导轨间形成了一层薄薄的气垫。滑块与导轨不接触,摩擦力基本就等于0了。

但是气垫导轨的方法对火车显然并不适用,因为经济上非常不划算,而且技术上,也很难把喷气孔的功率提升到可以支撑火车重量的程度。怎么办呢?

先来看看这个实验。

氦气在 -269 时会变成液氦,如果再降 2 (通常靠蒸发液氦获得,因为液氦蒸发时会带走一部分气化热),投入铅碟,再用磁棒靠近它。这时,若你的手脱离磁棒,则磁棒不会因为重力作用向下运动而是悬浮在半空中。这是什么缘故呢?

1911年,荷兰物理学家卡曼林·昂尼斯(1853~1926)发现,汞在 -269 以下电阻降为0,它将这种现象称为超导性,将具有这种性质的物体称为超导体。后来发现很多物质在低温下都具有超导性,现在最先进的的超导材料在 -200 以上就可以显出超导性了。

铅碟在液氦中变成超导体。在用磁棒靠近铅碟的过程中，越来越多的磁力线穿过铅碟，于是就产生感应电动势，并产生强大的感应电流。在没有任何阻力时，电流使整个铅碟转变为一个强有力的电磁铁，从而将磁棒支撑在半空中。

少量电能可使超导线圈产生极强磁场和完全排斥外来磁力线的两个特性是很令人兴奋的，因为利用超导体的这两个性质，就能够使列车悬浮。

在高速悬浮列车的下部，装置了多组超导线圈，通电后即会产生强磁场。这一磁场在列车前进时与路基上一连串的矩形铝环（铝轨）相切割，使环形铝轨产生感应电流，此感应电流所产生的磁力线与车上超导线圈中电流产生的磁力线方向相反，因而被完全排斥。只要列车时速超过 150 公里，多组超导线圈的铝轨间的斥力，就足以克服列车的重量，使列车悬浮在离铝轨约 10 厘米的上方腾空运行。这就是磁悬浮列车的基本原理。

磁悬浮列车的另一个核心零件，是直线电机。

一般电动机工作时都是转动的，但是用旋转电机来驱动的交通工具有要做直线运动，用旋转电机来驱动的一些部件也要做直线运动。这就需要有把旋转运动变为直线运动的一套装置。能不能直接利用直线运动来驱动，而省去这套装置呢？几十年前人们就提出了这个问题，现在已制成了利用直线运动的电动机，这就是直线电机。

直线电机的原理并不复杂。设想把一台旋转感应电动机沿着一条半径的方向剖开，并且展平，就成了一台直线感应电动机。在直线电机中，相当中旋转电机定子的，叫初级；

相当于旋转电机转子的，中次级。初级中通以交流电，次级在电磁力的作用下就沿着初级做直线运动。这时初级要做得很长，延伸到运动所需要达到的位置，而次级不需要那么长。

实际上，直线电机既可以把初级做得很长，也可以把次级做得很长；既可以初级固定、次级移动，也可以次级固定、初级移。

直线电机是一种新型电机，近年来应用日益广泛，比如我们正在讲的磁悬浮列车就是用直线电机来驱动的。为什么一定要用直线电机呢？

我们刚才说过，传统的列车由于车轮和铁轨之间有摩擦，所以速度已经达到了极限，它所能达到的最高远行速度为 300 千米/小时左右。要超过这个速度，一方面我们已经用磁悬浮轨道解决了摩擦问题；另一方面，用旋转电机来驱动列车就不理想了，但是用直线电机来驱动却很合适。

直线电机的一个级固定于地面，跟导轨一起延伸到远处，另一个级安装在列车上。初级通以交流电，列车就沿导轨前进。

实际上，我们刚才说过要利用磁悬浮使列车跟导轨脱离接触，减小摩擦，而列车上装有磁体，有的就是兼用直线电机的线圈。线圈随列车运动时，使设在地面上的金属板或线圈中出现感生电流，利用磁体和感生电流之间的电磁力把列车悬浮起来。

日本已经建立了几千米的磁悬浮列车试验线，运行速度高达 500 千米/小时以上，据说欧美等国也有部分磁悬浮列车试验线。原来人们预计，20 世纪末磁悬浮列车可达到实

用化的阶段，在日本似乎已经实现了，但是在中国目前还只是探索阶段。

据说前一段时间我国列车提速，磁悬浮列车也是考虑的方案之一，但是最后由于种种原因，似乎没有采纳，大概技术和经济上的原因都有。

另外，直线电机除了用于磁悬浮列车，还可广泛地用于其他方面，例如用于传送系统、电气锤、电磁搅拌器等。在我国，直线电机也逐步得到推广和应用。直线电机的原理虽然不复杂，但在设计、制造方面有它自己的特点，产品还不如旋转电机那样成熟，有待进一步研究和改进。

第七节 蒸汽机的故事

有一个关于苏格兰孩子詹姆士·瓦特（1736~1819）的故事。

水壶在火上，水沸腾着。当瓦特坐着凝视水壶，他注视到那沉重的壶盖被它下面的力量推起。据说他曾表示如果水蒸气能推起水壶的盖子，它应可做更吃力和更有用的工作。以后，故事演变下去变成瓦特“发明”了蒸汽机。

但这种说法并非完全正确。因为人类任何伟大的发明，很少是只由一个人的天才创造的。在瓦特诞生前许多年，其他的人们已在试验由沸腾的水所产生的蒸气的动力。这些人们所做的工作，他们所建造的简陋的引擎奠下了基础。以后瓦特等人沿着这条路走，把简陋的引擎改进使它能够工作。再后，其他的人们再进一步改良这引擎。

今天，蒸汽机是工程方面的奇迹。蒸汽机直接地或间接地转动许许多多工业用的轮子，并且推动巨大的发电机生产我们的大部分电力。

一、蒸气压力

蒸气借产生压力而工作。我们已经知道，当我们用力推一些东西，实际就是我们向它施加了压力。蒸气也施出压力。当水沸腾，水分子活动得很快，以致它们之中许多脱离液体飞去。这些自由飞舞的分子就是我们提到过的“蒸气”或“蒸汽”。当许多快速活动的分子被关禁在一个密闭的空间，可想而知，这个小空间里的蒸气压力会很高。而且分子数量越多，它们活动得越快，压力越高。

假使我们拿一个金属瓶，装半瓶水，塞住瓶口，然后把它放在火上。不久水沸腾了，水分子飞到瓶子上半部的空气中，这些飞舞的分子撞击瓶壁和瓶塞。当水继续沸圃，更多的分子离开水，轰击瓶壁和瓶塞。最后，成亿上兆个分子都不断的轰击着瓶壁和瓶塞，蒸气压力变得非常高。

少量分子敲打瓶塞的底部是没有多大效果的，但是当数目惊人的分子重重撞击着瓶塞时，它们很快会把它撞脱，使它“膨”的一声飞起。如果塞子塞得太紧，不能撞脱，蒸气压力会继续增高。最后压力变得很高，以致瓶子爆炸了——被分子撞得粉碎。爆炸力之大足以损伤站在附近的人。

这是一个危险的试验。虽然它可以很好地说明蒸气压力的威力，但我希望你不要在家里做这个实验。如果一定要做，小心玻璃窗一类易碎的东西——包括你在内，穿厚点儿的衣服，作为保护。

二、蒸汽机的工作

试想像一只洋铁罐，它的一端被切去。再想像一只较短和略略小些的罐子，紧系着一条棍子。较小的罐子放在较大的罐子里面。推拉着棍子，我们可以使小罐在大罐中前后滑动。

如果我们这样做，那么我们就已装成了一个简陋的蒸汽机的模型。因为蒸汽机有一个汽缸（较大的洋铁罐）和一个活塞（较小的洋铁罐）。蒸气压力用来使活塞在汽缸中前后移动。

蒸汽机要有一个锅炉，这是一个密闭的小室，水在其中被煮沸。蒸气经过一条管子到蒸汽机去，使活塞移动。要明白蒸气怎样使活塞移动，只要想一想构成蒸气的无数水分子怎样在汽缸内撞击着活塞的一端。这猛烈的轰击使活塞移动。

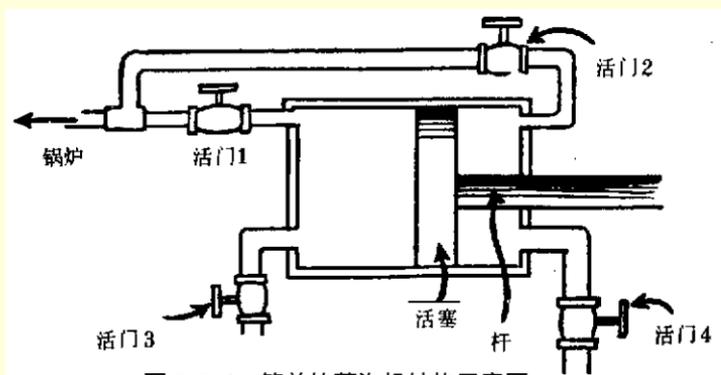


图 3-7-1：简单的蒸汽机结构示意图

如果没有办法顶住活塞，它会被吹掉，离开汽缸，就像塞子被吹走，离开瓶子那样。但图 3-7-1 所示的结构，防止

了这情形的发生。汽缸两侧，除了那让活塞杆可前后运动之开口处外，都是封闭的。再连四条管子到汽缸去，每条管子各有一活门。这些活门很像厨房的水龙头。扭开水龙头，水流出来，关上它，水停了。

如果我们扭开活门 1，从锅炉来的蒸气进入汽缸的左面，把活塞推向右。同时扭开活门 4，让汽缸右侧的空气放出（排泄）到大气中去。

在活塞移到右端之后，关上活门 1 和 4，打开活门 2 和 3，使活塞移到左侧。打开活门 2，让蒸气进到汽缸右侧，于是活塞被推向左，而打开活门 3 是让汽缸左面的蒸气离开汽缸（排泄）。

这样，利用图示的安排，并由两个敏捷的青年人快速地扭开和关闭这些活门，我们可使活塞快速地前后进退。但是对于任何人，这都是件枯燥乏味的差事，而且也毫无必要。因为活塞和活门可以连接起来，使活塞前后移动时自动地开闭活门。自然，上图所示的活门就不能用了。在蒸汽机中，代之而有用特别装插进去的活门。

三、变往复为旋转

在研究活门之前，咱们还是先看看活塞前后进退的运动（往复运动）怎样使车轮旋转。

如图 3-7-2，活塞有一条杆连着。这条杆通过汽缸一侧的孔。当活塞前后移动，杆就在孔内前后滑动。

活塞杆连到一个“十字头”去，它是一个金属架，在一个金属框内滑来滑去。“十字头”接着一条连杆，它又连接到一个有轴的曲柄栓上去。车轮或齿轮就装在这轴上。

当蒸气推活塞向右，十字头也移向右。于是十字头推动连杆，使它推动曲柄栓。这迫使轴转动，如图 3-7-2 (1) 箭头所示。当活塞已移至右端，如图 3-7-2 (2) 所示，蒸汽机活门关闭止住输到汽缸左面的蒸气。在这同时，活门引导蒸气进入汽缸的右面，活塞被推至左，如图 3-7-2 (3) 所示。接着，在活塞移到左端后，如图 3-7-2 (4) 所示，它又开向右。

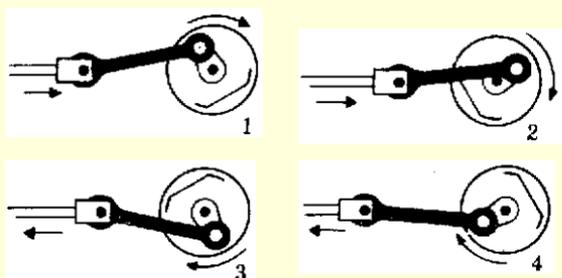


图 3-7-2：当十字头前进后退推着，拉着曲柄使它在一个围绕轴的圆形路径上移动，使轴转动。

当活塞前后移动，连杆被拉着或推着，使曲柄栓作圆周运动，所以轴转动。活塞的往复运动于是被变为旋转运动。而车轮或齿轮的旋转运动，通过皮带或啮合齿轮，带动引擎的大轴，就可以开动几乎任何种类的机器。

四、蒸汽涡轮

一项发明在人们发现它的实际应用的方法以前，经常会被冷落许多世纪，这里就有一个例子——蒸汽涡轮。在两千多年以前，埃及亚历山大城有一个名叫希路的人，他制造了第一个蒸汽涡轮。

这是一个产生旋转运动的蒸汽机。它不像前面讲的那种

蒸汽机，用活塞和汽缸，而是把从锅炉取得的蒸气放在有一对弯管的球中。蒸气由这些管子喷出，迫使圆球在它的支架上旋转。

近两千年以来，人们并没有注意到这个想法。他们看不出怎样使这机器做任何工作。几百年前，善于思考的人们开始重新审视希路的发明，陆续做了一些关于这类机械的研究和试验，但是对于实际应用的问题，他们仍然感到无能为力。

终于，大约在 1890 年的时候，瑞典的特·拉维尔和英国的柏逊，沿着不同的途径独立地工作，提出了实用的蒸汽涡轮的设计。他们的工作，以及其先驱者与后继者的工作，最终又导致了现代蒸汽涡轮的产生，这种蒸汽涡轮的功率能达到 40 万马以上，换算成我们熟悉的国际单位制，就是大约 3 亿瓦。也就是说，这种神奇机器，一部就能做四十万匹马所做的工作。

图 3-7-3 表示出一部简单的蒸汽涡轮。转子装在一根轴

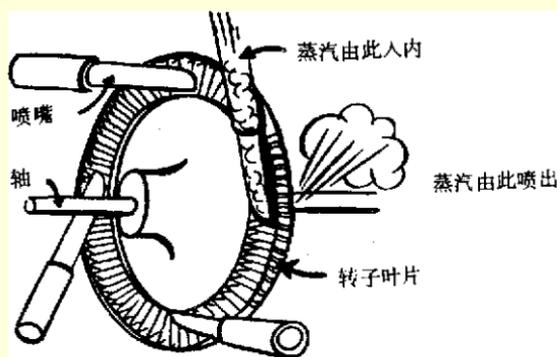


图 3-7-3：简单的蒸汽涡轮

上，它的外围有许多细小弯曲的叶片。喷嘴直接向叶片喷射

蒸气使转子以高速旋转,旋转运动借齿轮由转子轴上转移出来,驱动其他机器或发电机。

现代蒸汽涡轮通常不只用一个带时片的圆盘,而是用一整排的圆盘,一起构成转子。它们全体安装在一条轴上,所以一同旋转。在每对圆盘间,有一个固定的圆环,里面装着一列弯曲方向与转子相反的叶片。

在蒸气通过第一个圆盘,将转子重重地推一下,以后改变了方向。接着它通过固定圆环弯曲的叶片,它的方向再改变,所以它能再去推动第二个圆盘的叶片,这样,蒸气在涡轮中弯弯曲曲地走着,推动转子叶片,改变了方向,再在固定的叶片中变换方向,一路继续下去。经过这个过程,蒸气中的大部分能量就都可以被利用了。

在现代蒸汽涡轮中,进入的蒸气的压力达到每平方厘米180千克力。这表示,蒸气分子轰击着每平方厘米的转子叶片表面,推力强度相当于180千克重物在地表上的受的重力。转子旋转很快,有时可以达到每分钟一万转的速度。

第八节 内燃机

一、内燃机

蒸汽机和蒸汽涡轮是“外燃”机,因为给它们提供动力的燃烧作用发生在机器的外面。相反,现代汽车的引擎,使用的是一种“内燃”机,因为给它提供动力的燃烧作用发生在引擎内部。

汽油或其他燃料在引擎的气缸内混合,点燃后,体积会

膨胀上千倍，因此在气缸内产生巨大的压力，推动活塞。这种运动转化为动力，转动车轮，使汽车行走。

有案可查的第一座内燃机，在当时是一台非常危险的机器。因为，它不是用汽油或相类的燃料，而是用火药。

这台引擎大约是在 1680 年建造的。试验它的勇敢的科学家叫做克里斯汀·霍金斯，是一个荷兰人。当然，他的引擎是一件玩物，没有什么实际用途。因为要将它装上火药，又反复地点燃机器，使活塞开动并在气缸中进前后退，是既困难又危险的。

事实上，大约十年后发明家丹尼斯·柏宾认为，如果使用易于控制的蒸气，而不用危险的火药，机器会运行得好些。但以后不久，往复运动——活塞式的蒸汽引擎被造出来，而且可以使用了。这里又是另一个例子，一个极端重要的发明，刚一着手，又被搁置了很长一段时间。

大约两百年后，人们再一次把他们的发明天赋转向内燃机。于是，在一段不足一百年然而却多姿多彩的时间内，这种引擎机的性能发展到高度完美的地步，成为我们现代世界的必需品。今天，成千上万的人在公路上日夜飞驰，在天空自由翱翔，这一切都是内燃机气缸内快速的反复爆炸，产生的结果。内燃机还可以供给动力，用来耕地、开采地下水和石油，发电、建造公路和建筑摩天楼……一句话，内燃机对人类的贡献，列成一张表，可以印满几页书。

在 19 世纪 90 年代前后，许多国家的人们都在狂热地研究这种新的机器——内燃机。不久，在二十世纪初，运用内燃机最大的汽车工业开始成长。在美国，人所周知的名字，

如福特、柏加特、凯迪拉克已经出现在汽车的铭牌及车名版上。欧洲的引擎及汽车制造业先驱，如戴勒、奔驰及莱斯，也已鼎鼎大名。这些汽车制造商以及其他一些工厂，不仅是内燃机的大用户，也是今天的我们必须感谢的。正因为这些工厂中的技术人员所作的许多改进，才使内燃机的性能不断完善，最终成为人类今天最可靠的仆役之一。

二、内燃机的工作原理

内燃机在某些方面非常像活塞——汽缸式蒸汽机。它们两者都是由汽缸内的压力迫使活塞移动，产生推力。而这种推力又由连杆递送到轴上的曲柄，使轴旋转。但在蒸汽机中，压力来自燃料在机器外面燃烧而产生的蒸气，而在内燃机中，压力因燃料在发动机气缸里面燃烧而得到。

要看看内燃机是什么样子，只要掀起附近汽车的车盖就行了。但仅仅观察这种引擎的外表，并不能让我们很清楚地了解它怎样运转。为此我们必须深入看看机器的内部。

先从单个的汽缸和活塞开始谈吧。多数汽车发动机有六个或八个气缸，但所有汽缸都是一样的，只要研究一个汽缸，就能了解整部机器。

发动机汽缸可以比作一个底部被切去的空洋铁罐。活塞比汽缸略小，恰巧装入汽缸里面。当活塞被推入汽缸，它禁闭住里面的空气并压迫它们。现在假设这被压缩的空气中包含汽油蒸气，这时如果有一点点火星出现，会发生什么事是显而易见的了。那里将有一下爆炸，把活塞向下推去。这一连串的事件都关系着汽缸内的状态。活塞向上移，压迫空气和汽油蒸气的混合物。火花出现，导致爆炸而推动活塞向下。

在内燃机中，使活塞的上升下降变为旋转运动，所用的方法和蒸汽机极相似。活塞连着连杆，杆的另一端接到发动机曲柄轴的曲柄栓上。当活塞被汽缸内的爆炸推向下，这一推力经连杆传递到曲柄，使曲柄轴旋转。当曲柄轴继续转动，曲柄再将活塞推回汽缸内。

为了维持活塞的上升和下降，汽缸必须一次又一次地补充空气和汽油蒸气。这些补充物必须一次又一次地由火花点燃爆炸。还有，爆炸后燃烧过的废气必须排出汽缸。

对汽缸的反复补充以及燃烧后气体的排除，是由活门来完成的。在汽缸的顶上，有两个活门：一是输入活门，它引入汽油蒸气和空气，一是排气活门，它打开让废气离开（即被排出）汽缸。

每个活门是一个有金属长柄的扁平钢圆盘。圆盘装入汽缸内与之相配合的洞里。当活门就位，它盖住这个洞，而当它升起，洞被打开，于是油气或空气能通过。

当活塞向下移，汽缸内充满了汽油蒸气和空气。接着，当活塞到达底部，输入活门关闭。活塞开始向上而混合气体被压缩。在活塞再次到达最顶位置的时候，汽油蒸气和空气的混合气体被挤压在一起，体积只有它原来的八分之一。

第二步，在汽缸顶的火花塞产生电火花。汽油蒸气爆炸（或如工程师说的：点火）。这是一个快速燃绕过程，就像第四章讨论过的那与空气中的氧，构成二氧化碳分子和水分子。这些分子快速活动着（燃烧温度很高）它们猛烈地撞击活塞顶。对活塞顶的下推力甚至可以超过 2000 千克力——就好比两吨的重物突然加在活塞上。由此我们可以看出，分

子的撞击何等厉害。

活塞的推力通过连杆传递到曲柄栓上,使发动机曲柄轴旋转。在汽车里,旋转运动通过轴和齿轮传递给汽车车轮,于是车轮旋转,汽车行走。

在活塞到达底部并再开始上升以后,排气活门打开。向上移的活塞把废气排出汽缸外。

当活塞到达顶部时,排气活门关上而输入活门打开。于是整个动作的循环——输入、压缩、爆炸和排气——再度发生。在发动机的整个运行期间,这四件事一件跟着一件连续不断。

四、活塞发动机

这是一种典型的内燃机,已经被广泛使用了许多年,而且还有数百万部正在运行着。为了使它们运转,必须向这发动机供给混和着空气的汽油气,又必须有电火花将混合气体点燃。又因为燃烧产生热,发动机还必须有一个冷却系统加以冷却,以免它过分热,而机器的活动部分必须加润滑油,使它们不致磨损太快。

总之,一台完整的活塞发动机,已经不仅仅是一个简单的内燃机了。为了使它更实用,在内燃机的基础上还增加了许多其他的附件。

把汽油和空气混和起来的工作是由发动机顶上的汽化器完成的。液体状的汽油和空气混合在一起,成为机器运行所需的可燃烧的混合气体。

首先,装在机器旁边的燃料唧筒,把汽油从原料箱汲出,送到汽化器去。汽油到达汽化器旁的浮子筒内。当这浮子筒

被装满，一块金属的浮子把一针形活门提起，塞入一个开口处，把它关闭住。这就阻止了更多汽油的流入，直至汽油面再降低为止。

汽油从浮子筒出来，向上流，通过一条小管，即燃料喷嘴，到达汽化器的喉管。这条喉管仅仅是一条圆管，空气通过它进入发动机的汽缸。当空气冲过燃料喷嘴的一端，液体汽油就被抽出来，变成微细的点滴。汽油的点滴迅速气化（转为气体），当它们通过开启着的输入活门进入发动机汽缸，就与空气混合起来了。

节气活门位于喉管的下部，控制着发动机所能发出的动力。节气活门由杠杆和连杆等连接到汽车驾驶座的加速踏板，通常老百姓都习惯称这块踏板为“油门儿”。当司机要得到更快的速度或更大的动力，就需要“加油”或者叫“踩油门儿”，也就是说踩下加速踏板。

节气活门打开，更多的汽油气和空气能通过它进入发动机汽缸。当这种混合气体被点燃，压力加大，于是在每一个动力冲程中，都有较强的推力施加在活塞上。结果得到更大的动力和更高的速度。当司机把他的脚从加速踏板提起，节气活门关闭，发动机就慢下来了。有经验的司机管这个动作叫“回油”。

汽油蒸气和空气的混合气体在汽缸中由火花点燃。这中火花是由“点火系统”产生的。“点火系统”实际上是发动机上的一个神妙而细小的高压电力站。这个点火系统从车上的蓄电池取得低电压（6伏特或12伏特），并提高到2万伏特。在压缩冲程刚结束时，高电压加到发动机汽缸的火花塞

去。高电压引发火花，点燃汽油蒸气和空气的混合气体。

在发动机内，燃烧着的燃料产生热。为了防止发动机过热，就需要设置一个冷却系统，热一产生就被散发出去。围绕着发动机汽缸的是一个水套。水套是汽缸与发动机外壳间的敞开区域。

水在这个区域循环，吸收由汽缸而来的热量。热水再被汲出，通过发动机的散热器有一些空气通道。水经过某些通道，而空气通过其他通道。当汽车行驶时，发动机风扇使空气轻快地流动。于是当热水流过散热器时被冷却，再回到发动机水套去，准备把更多的热量吸收并且散发。

另外为了延长机器的寿命，还要对机器进行润滑。机器的磨损是无法防止的，但好的润滑可以把磨损的速度降得非常低。

五、涡轮机

刚才我们所描述的汽油发动机内部结构比较复杂，它有活塞、连杆、活门、活门挺杆以及许许多多其他附件。和它相比，涡轮机就简单得多了。现在，涡轮机正逐渐被用于货车和载客汽车里。有的工程师认为，在不远的将来，大多数的新汽车将用涡轮机，以代替活塞发动机。

涡轮机有一个压缩器。它以高速旋转。压缩器的叶片在回转时把空气压入一条大管中，或者把它送入涡轮部分。在空气进入涡轮之前，燃料已被喷入该部。燃料可以是汽油、煤油或重油，它在机器中燃烧，火焰稳定，产生高温和高压。

这种灼热的、高度压缩的气体流过涡轮机的转轮，使它回旋。这种动作很像蒸汽涡轮机。一个涡轮机的转轮带动压

缩器，而另一个转轮则驱动一套齿轮，带动连接汽车车轮的轴。这样涡轮机转轮的旋转，使汽车行走。热的废气在通过涡轮机后，在空气导管外面环流而过，于是热废气把输入的空气加热。把压缩的空气加热，能增进涡轮机的效率。

当然，有许多人对内燃机造成的空气污染，非常担心的。因为引擎开动的时候，会产生一些令人不快的气体，像一氧化氮等。然而这并不完全是内燃机的错，其中也有燃料的问题，这就是物理学解决不了的。我们能做的，只是不断提高内燃机的效率，减少有害气体的排放量。另外，在开发新的清洁能源的战斗中，物理学家也和其他学科的工作者一起，进行着不懈的努力。

第九节 电话和留声机

一、电话

在今天，对于很多中国家庭而言，电话已经成了习以为常的一种“电器”。只要拿起话筒，输入一串数字，我们就可以轻而易举地和千里之外，甚至地球被面的朋友交谈。然而，这小小的一台机器，细细一根电线，是如何千里传音的呢？

可能很多朋友小时候都跟我一样，做过所谓的“土电话”。也就是用一根线把两个纸杯的底部连起来，把线拉直以后，一个人站在很远的地方对着纸杯说话，另一个人只要把自己手里的纸杯罩在耳朵上，就能清楚的听见。

记得电影《地道战》里，我们的人就是用这个法子在各

个地道里进行联系的。这是因为声音的本质就是振动，而通过线绳传递的振动，损失要比在空气中传播时受到的损失小。所以只要通过绳子，声音信号就可以清晰地传播了。

然而，电话经常要把信号传到千里以外，这就不能用绳子来直接传播振动了，否则传不了多远，振动的信号就全都会损失殆尽。

幸亏这世界上还有一种东西叫做“电”，这玩意每秒能走 3×10^5 公里，比真正的声音还快，只要有一根电线，你指哪儿它到哪儿，而且还是高保真，用来传输信号再合适不过了。不过声音并不是现成的电信号，还需要把机械波转化成电流的波动，电话就是做这个用的。

当我对着话筒讲话，我说地每一句话都将成为——电信号。这些信号在电线上行走，然后在对方的听筒里变回声音。说得轻巧，把理论变成可操作的实际方法可着实费了不少劲呢！

事先，物理学方面的新进展已经为电话的最终发明做了大量的理论准备。伏特、安培等人已经提出了关于电的基本性质定律，而卡尔文、赫尔姆霍兹等人也从声学的角度出发，解释了声音的产生和人类的听觉过程。戏台已经搭好，现在只需要有一个人把两方面的知识融合在一起，声音就能在电线上传递了。

这个人就是苏格兰裔美国人阿历山大·贝尔（1847～1922）。1876年，经过多年来的艰苦劳作与试验，他终于获得了成功，电话问世了。

他的试验和成功，又为其他科学家的工作打下基础。留

声机、无线电、电视以及其他电子设备的发明者可以说都得了贝尔的恩惠，正如贝尔也得了那些生在他之前的科学家们的恩惠一样。

在第一章里，我们已经得到了一些声学 and 电学的基础知识。现在，我们就可以用它们来解释阿历山大贝尔推理的线索了。

声音是一串行走在空气中的高压和低压波。当它们经过我们的耳鼓，耳鼓受到振动。这振动转化为神经信号，进到脑中，告诉我们：我们正在听着声音。那末为什么不能制造一个机械的耳鼓，把声音的脉冲转化为电信号，也就是转为电的波动呢？这些电信号可由电线传递，然后由某种机械的发声装置转变为声音。

经过许多困难后，贝尔研制出了机械耳鼓。这是一块小膜片做成的，在膜的后面装着许多小碳粒。这些碳粒具有一定量的电阻，如果接往电池的话，将只容许有限的电流（或有限数目的电子）通过。

但如果膜片被推入，碳粒将挤在一起，于是在它们之间，接触点增多。这些增加的接触点就将容许更多的电子（即更多的电流）通过。如果膜片被拉出，碳粒将有较多的空间，而在碳粒之间接触点就少了，于是能够通过电子也就少了。

这就是电话的话筒，你对它讲话的部分。当高——低压区（即声波）冲击膜片，它进进出出，先让较多电流通过后，又让较少电流通过。这表示高——低压区已被转变为忽强忽弱的电信号。

在听筒中，这些电流强度不同的电信号变回成为声音。听筒含有一块薄铁片（膜片），在它下面有一个绕着磁铁的小小的电线卷。从送话器来的电流，通过电线卷，使磁铁的磁力变化。当电流强时，磁力强些，当电流弱时，磁力弱些。当磁力强，膜片被拉入，当磁力弱，膜片被推出。

这样，当电流的强弱转化（它随着话筒膜片的运动而变），听筒的膜片进进出出。听筒膜片撞击空气分子，使它们运动，产生高压区和低压区。这高——低压区正是那振动话筒膜片的高——低压区（声音）的可靠的复制品。当我对着电话的话筒叫一声“喂”，在电线另一端的听筒中的膜片将振动起来，说出一声：“喂”。而且，即使不吃口香糖，电话另一边的人也不会觉得你的口气不够清新。

二、留声机

亚历山大·贝尔的想法是，他能够把声音变为电信号，然后再把电信号变回声音。电话的发明，已经证明这个想法是可行的。

而前面提到过的托马斯·阿尔发·爱迪生——这个伟大的美国发明家，想法却不大一样：既然可以把声音变成转化成电信号，那么为什么不能把声音转化成其他的某种可以记录的信号呢？如果可以，那我们就可以随时记录下我们喜欢的声音，并且在想听的时候再放送出来，把声音重现。

这本来是个很简单的概念，但在爱迪生的“说话机器”变成实物前，却经过了许许多年的试验和研究。

早期的说话机器和我们今天的留声机或唱机看来不很相同，甚至唱片的形状都不同。最初的唱片是圆梭形的，而

现代的唱片——众所周知，是扁平的。

当时唱片制造者（录音师）使用一种机械的“耳鼓”，它随着任何声音而振动。一支尖锐的针插在“耳鼓”（膜片）的中央。当膜片振动时，针端前后移动。唱片由塑胶材料制成，放在可旋转的圆桌上，针端置于其表面。当唱片旋转，针在它上面刻一条沟。随着唱片不停旋转，针向着唱片中心移动。所以沟纹向唱片中心盘旋。

任何声音都使会膜片振动，而这种振动又使针端轻微地前后移动。结果，沟纹并不是均匀一致的，而是有些轻微的不规则，亦即是波浪形的。

如果凑近唱片的一条沟纹去观察，就可看到沟纹的起伏。在记录强大的声音时，这种起伏比记录微弱的声音时要显著。这是因为声音强大时，空气分子互相撞击得厉害些，于是它们把膜片撞得厉害些，使得那支针在较阔的范围移动，也就是“振幅”大些。

因此波浪的振幅，即波浪的顶部与底部间的距离，是由声音的响度来决定。大的幅度表示强音，小的幅度表示弱音。实际上，所谓声音的响度反映的也正是声波的波幅。只不过声波是纵波，而且它的波幅在空气中表现为其波峰和波谷所处区域的空气密度。

当唱片放入唱机，唱片旋转时，针沿着沟纹走。在早期的唱机中，针也是插在一块膜片中，情形和在录音机器中一模一样。针端沿着沟纹的波浪前进，它的急速振动使膜片振动起来。膜片振动，撞击空气分子，把原来的声音重现。在镌刻唱片时，正是这个声音造成沟纹的起伏。当原来的声音

大，波纹幅度大，唱针和膜片振动得厉害些，产生出较大的声音。

把一张纸卷成圆锥形，在它的顶端插一枚针，我们就能感到和听到这种振动。把针尖放入在唱机上回转的唱片的沟纹中，手执着圆锥时，手指就会感到一阵轻微的震痛，并且耳朵也能听到声音。

还有一件事，大家一定会想到，就是声音的“调子”。如果扣动竖琴的一条短弦，我们就能听到一个高调的单音；如果扣动一条长弦，就会听到一个低调的单音。两者之间的差别在于弦振动的速度。短弦振动得较快，也就是说，它前后摆得较快，因而撞击空气较为频繁些。一条中等长度的弦，一秒钟能振动 256 次（也就是音阶中的 do）。这表示它在每秒内来来回回地摆动了 256 次。

它又怎样由唱片沟纹所刻划的波形表现出来呢？如果能贴近一条沟纹观察，就可以看到，当一个高调子的音被录下，波形的顶峰是挨在一起的；而当录下一低调子的音时，它们会互相远离。

如果每秒振动 256 次的弦所发的声音被刻入唱片沟纹中，我们会发现，在 1 秒钟内，出现了 256 个波形。音响调子更高，每秒出现的波形更多。音响调子低些，每秒出现波形较少。我们知道，每秒钟波的数目称为频率。在高调的场合，波的出现较频繁。因而这些波具有“高频率”，而低频率的波产生低音调。

当一张唱片在录音机器中制成之后，就可以生产千万张复制品。我们从唱片公司买到，拿回家后在自己的留声机上

播放的就是这些复制品。先录好一个模子——唱片公司管这叫“母带”，把原始唱片的沟纹反过来刻在模子上，就可以制造那些复制品了。把模子压在塑胶片上，就制成了唱片，需要复制多少，就压多少。

三、新式电唱机

新式电唱机像古代的电唱机一样，也要用一支唱针在唱片沟中行走。只是在这里，唱针的振动不是直接变成声音，而是变为电信号，这和电话中的振动情形有些相似。在许多唱机中，唱针被机械地连接到一个特种的晶体上去。晶体是很常见的，因为许多化合物都具有晶体形状：水的晶体是冰和雪，糖和盐是晶体，唱机一般用的是酒酸钾钠晶体。

这些晶体具有一种非常有趣的性质。当它们被挤压和松弛时，它们发出微弱的电流——物理学上称之为压电效应。于是，当唱片前后移动，唱机晶体受到不同的压力，强度不同的电就由晶体中流出。这种变动着的电流通过电子线路（包括电子管），最后会导致扬声器膜片振动，就形成了我们听到的声音。

实际上即便这种作为的“新式”电唱机也已经很少使用了。甚至连传统的胶木或塑料唱片现在都很少有人买了。

现在，我们一般都使用激光唱机，它是把声音信号转化为光信号记录下来，通过光的强弱来反映声音信号的频率和振幅。与传统的螺纹唱片相比，激光唱片——也就是我们平常说的 CD，在播放中基本没有磨损，所以更易保存。而且在同样的面积上，CD 存储的信息会多得多。

但是 CD 也有它的缺点，由于它记录的不是直接的振

动,所以有些频率的声音就会损失掉。这些声音人耳是分不出来的,但却会对我们的神经产生微妙的影响,而胶木唱片却可以忠实地记录下所有这些声音信号。又因为胶木唱片基本已经不再生产,所以,现在有些怀旧的人反而掀起了收集胶木唱片的风潮。现在,一张好的胶木唱片可以值很多钱呢!

四、磁带

在今天,CD和CD唱机已经很普及了。不过还是离不开另一种比较便宜的东西——录音带。

一般的录音带是用塑胶材料制成的,上面包了一层含有无数磁性微粒的材料(例如氧化铁)。为了把音乐(或其他声音)录在带子上,它被以恒定速度拉着,经过一个录音头。这个录音头经过几个扩音器和控制器,再连接到一个微音器上去。

当不同的声音进入微音器,录音头就相应地产生不同力量的磁场。这种变动的磁场反应在它下面的快速移动的带子上,使带子上有些磁性粒子被磁化。换句话说,一幅声音的磁性“图画”就被画在带子上了。

现在,让我们看看把这些带子放在录音机的放音器上时,这幅磁性图画是怎样使人听见声音的。带子被拉着经过放音头(即唱头),后者反应出带子上变化的磁性图画,在放音头上引起一个变动的电流。当磁性强时,电流就强;当磁性弱时,电流就弱。这种变化着的电流被放大,送入扬声器,就会使膜片振动放出声音。

这是否能令人想起电话的实用原理呢?理所当然,因为这两个系统在许多方面都很相似。

五、立体声

到现在为止,我们所讨论的声音放送系统还只是用到了—具微音器和—具扬声器。

欣赏这些系统放送的音乐,有点像掩住一只耳朵听音乐。请试着掩住一只耳朵来听“活”的音乐(即在舞会中和音乐会中演奏的音乐),那么你就会注意到:要说出音乐从什么方向来,是有点困难的,而且音乐显得呆板。如果能走动,最好试着在乐队的一侧听听音乐,然后再跑到另一侧去听。当然的,最接近你的乐器,声音最响。

所有这些现象都已经被研究立体声系统的科学家考虑过了。事实上,他们造出了两个独立的声音系统——也就是两个声道,每一个都专为一只耳朵而设。所以,当我们收听从立体声系统放送的音乐时,音乐显得更自然,更真实。它具有声学工程师所称的“实感”。

立体声录音带的录音和放音过程其实并不复杂。录音时—具双重录音头在带子上产生两行独立的磁性图画,在放送时,又有一具双重放音头分别把这两幅“图画”输送给两个扩音器和扬声器系统。

立体声唱片系统,和立体声录音带系统很相似。在唱片中,唱片沟的两侧用作两条声道。刻沟纹的刀由两个独立的录音系统控制着。反应于一个系统它向右振动,而反应于另一系统它向左振动。这样唱片沟的两侧变成两条声道,就像立体声录音带上有两条独立的声道那样。

要放送立体声唱片,需要一个特制的唱头。这唱头感受着唱针在两个不同方向的振动,反应着唱片沟内的刻纹。有

两条独立的电路通过这种特制的唱头，就像录音带系统一般。

录音技术产生之初，所有的唱片和电影配音都是单声道的。又兴趣的朋友可以找些老唱片来听，或者去看看解放前的影片。以我们现在的审美感来说，那音色简直没法听。因为单声道的缘故，就连“金嗓子”周璇的唱片我们现在听来效果也大打折扣。

可是现在，除了特别简陋的一些小型收音机为了减小体积和降低成本而采用单声道以外，双声道已经成了人们可以接受的最低配置。

而家庭影院和音响的放音系统可就不只双声道，特别是“发烧”音响，我都搞不清楚它们有几个声道。“发烧”音响使用特制的“发烧”碟，又是每个声道播放的声音都不同，缺了任何一个声道都不行。发烧音响的效果实在太棒了——不过它的价格也实在太贵了。

在录音中，双声道更是只有业余者才用的。无论音乐唱片还是电影配音，一般都要录好几轨（声道）的声音。而且并不是同时录的，而是各种乐器、人声和特殊效果分开录，最后再缩混在一起。

第十节 电子技术

一、电子管

在贝尔发现了怎样通过电线由一地 toward 另一地传送声音之后，第二步，就是找寻方法以期不用电线而把声音传到远

处，这就是无线电。

法国的科幻小说家凡尔纳早就预测到了“广播”这回事。在他的很多部小说都有这方面的描写，比如通过电话线传送音乐会、播讲小说。然而当时无线电还处在探索阶段，马可尼刚刚完成用无线电把电报送到大洋彼岸的工作，凡尔纳当然想不到这种东西还可以传送语音了。

无线电的历史还不到五十年。虽然如此，无线电所用的电与声的基本原理在数百年前已经知道了。福兰克林、伏打、安培等人发现电学的基本原理。欧姆、赫尔姆霍兹、贝尔及其他人对声音作了重要的研究。接着，1883年，托马斯·阿尔发·爱迪生在他的一个早期的电灯泡里，发现一个奇异现象。大约30年后这种现象被称为“爱迪生效应”。现在无线电机的运用，就是基于这个效应。

众所周知，爱迪生发明了成本较低的电灯泡。但灯丝总不能令他满意，因为它们不能维持很长时间。为了分析灯丝寿命短促这种现象，爱迪生把一块金属板封在电灯玻璃泡之顶内，把该板连接至电池，然后打开电灯。令他惊异的是，他看见电流越过空间，从灯丝飞到金属板。换句话说，电在灯丝与金属板之间流动，虽然在它们之间并无电的联系——也就是并无电线。

事实是这样的：当电流通过电灯灯丝，灯丝内拥挤着电子。而金属板则连至电流的正极。所以，灯丝中的电子比金属板多。还记得吗？相同的电荷互相排斥，而相反的电荷相互吸引。换句话说，许多带负荷的电子在灯丝中推来推去，而带正电荷的金属板则吸引它们。结果，许多电子离开灯丝，

越过空间飞到金属板去。也就是说电流从灯丝流向金属板。

爱迪生没有继续研究这个有趣的现象,因为他致力于另一件重要的事——改良电灯泡。但二十年后,英国人约翰·佛莱明爵士利用爱迪生效应造出第一具实用的电子管。和后来的电子管比较,它还很粗糙的,但它已经能在早期的无线电机中实际应用了。在当时,人们就是用这些无线电机作实验的。

1906年,美国人李·德·法列斯特博士在电子管中加入第三部分。他称这第三部分为栅极,而这种管子称为三极管。这三极就是灯丝(阴极)、屏极和栅极。加上栅极后,电子管变得有用多了,因为栅极能非常快地改变在灯丝与屏极之间通过的电子数目。它能让许多电子通过,然后瞬即停止这种流动。

以后我们会发现在实际应用中这种灵活性极端重要。这样的管子常被称为“真空管”,因为空气已从管子内抽出,里面是真空的。

二、栅极

我们知道听筒的工作原理。电流强度的变动使线卷周围的磁场发生变化,磁场的变化又使膜片振动,产生声音。但是如果输入的讯号弱,这种变化就不能使膜片充分地振动,不能使我们听到任何声音。

如果一个信号太弱,或者在我们收到以前已经走了很长的路,成了强弩之末,就难以使电话听筒中的膜片振动,令人听见。

三极电子管可用来放大电讯号,也就是增强电讯号 使

膜片的振动强有力些。只要把输入信号连接到电子管的栅极就行了。如果输入端没有电流，栅极上的电子不太多。结果大量的电子从灯丝飞到屏极。但是，如果电流从输入端来到栅极，栅极上就会有許多电子。现在，当电子离开灯丝前往屏极，接近栅极时，栅极上的电子就会排斥它们，使它们不能通过，结果它们就不能到达屏极了。

要产生这个效果，并不需要有许多电子在栅极上。举一个简单的例子，假设在栅极上，输入电流的变化是从 10 个电子增加到 100 个电子。当有 100 个电子在栅极上时，这一秒内只有 1000 个电子可从灯丝到板极。也就是说，除去这 1000 个电子外，其他电子都被这 100 个栅极电子所排斥。

但是，当栅极电子数目降至只有 10 个，能够通过的电子就多得多了。在某种电子管内，每秒有数目高达 200 万的电子通过。这样，输入讯号——它每秒的电子数在 10 至 100 之间变化——被电子管放大了，每秒电子数目变化在 1000 与 200 万之间。

这对我们有什么好处呢？

电讯号都是用电流的强弱变化来表示的。所以如果输入信号很微弱，也就是说它每秒只能把 10 个至 100 个电子放到栅极上去，我们就需要让它通过三极管，这样输出讯号就会变得很强大，每秒钟可以有 1000 至 200 万个电子由灯丝流向屏极。它们通过听筒，这时讯号就强至足以振动膜片，使人听到声音了。如果讯号仍不够大，还可以用第二个电子管作进一步的放大。

电子管可用以放大由电唱机晶体来的讯号。亦即使电流

的变化增大，足以振动电唱机扬声器的膜片。扬声器的构造和电话听筒极为相似。它有一个线卷，当电流通过时，电流强度变化，引起磁场变化，使膜片动作（振动），于是产生声音。

三、半导体晶体管

电子管是一种神奇的设备。它们被广泛地用在无线电和电视机中。此外它们还做了许多其他的工作，比如它们被用在雷达和电影机内，还有早期的电脑。各式各样的控制装置依靠电子管发挥作用。

但真空管有一些缺点，其中一点，就是它们浪费数量可观的电。在真空管中，必须把灯丝加热使它放出电子。加热要用电，它又产生无用的热来。我们可以从经验得知：无线电收音机里面是相当热的。那么想像一下在超音速喷气飞机的电子控制室里，数百个真空管会产生出怎样巨量的热罢。所以这种飞机必须使用特别的冷却设备来驱散那些热量。

科学家们发觉电子管的这个缺点和其他缺点，就开始研究别的办法来执行电子管的工作。于是，一种新的装置——半导体晶体管由贝尔实验室宣布发明。

习惯上，一般把半导体晶体管将成为晶体管。实际上它并没有管状结构，之所以称它为“管”，只是沿袭了电子管的名字。

1948年，贝尔实验室的两位科学家，白列坦和巴甸经过数年的研究，研制出了最早半导体晶体管。它们看来并不引人注目——事实上，它太小了，必须仔细观察它。因为许多晶体管比铅笔一端的橡皮头还要小。可是有些晶体管却能

代替比它们大数百倍的电子管。和电子管相比，晶体管需要的电流少得多，产生的热也少得多。

但半导体晶体管是怎样工作的呢？

半导体晶体管是由锗晶体的小切片做成的。锗是一种元素，就像铜、氧和氢一样（这是化学家的问题）。它是一种结晶体。用在典型的半导体晶体管中的锗晶体的切片，面积有时甚至小于 1 平方厘米，厚度小于 1/4 平方厘米，找把尺子比量一下看看，就知道有多小了。

图 3-10-1 是用晶体三极管放大电话讯号的接线图。顾名思义，晶体三极管的功能与三极管的功能相同，可以放大电流。它有三个电极，称作集电极、基极和发射极，分别对应于电子管的屏极、栅极和阴极。实际上现在日常提到的三极管都是晶体三极管。

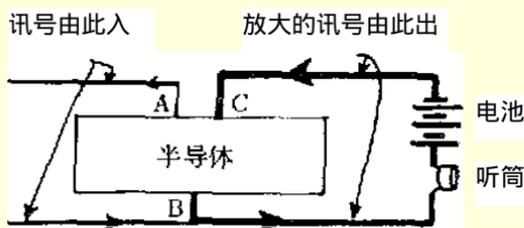


图 3-10-1：晶体三极管接线图

如图所示，讯号来自 A 与 B。听筒经过电池接到 B 和 C。没有讯号时，没有电流从电池通过听筒流出。但当讯号进入，半导体就把它放大。正如前面所解释过的，讯号由电流或电压的强弱变化组成。电子由 B 进入由 A 流出。当电子离开锗晶体，它们会留下一些正电荷（也就是说，有的锗原子失去了电子），从 B 来的电子中和了一些正电荷，但

其他的正电荷则被来自电线 C 的电子中和。

可以这样来想像发生在锗片内的情形，在晶体内，围绕 A 处产生了正电荷。这些正电荷可想像为一个个的洞穴，因为穴中的电子不见了。当讯号由 A 和 B 传来，在锗内就会出现许许多多洞穴。接着由 C 来的电子填满这些洞穴，也就是说电流流过电线 C 和 B。就是这个电流使听筒工作。而这一过程中，只要从电线 A 和 B 输入很小的电流（即讯号），就能产生许多洞穴，在 C 与 B 之间，也就是锗晶体内部，产生巨大的电流。换句话说，讯号被人为增强了。

当然，还有其他种类的晶体管。由于性能优越，现在，除了极少的几个地方，它们基本已经完全取代了电子管，而电子管差不多已经没人用了。现在我们用的收音机、电视机内，都大量使用了晶体管。因此，这些电器比它们用电子管的祖先们可要秀气多了。

晶体管还有一个功德无量的用途，那就是用在助听器上。听力已经衰退的老年人和那些听觉上有残疾的人士佩戴助听器以后，就能够听见声音了。当然它的原理是把较小的声音转化成电流，再把电流放大，驱动耳机发出声音。

这种助听器刚发明的時候，同样是用微型电子管来做的，主机是个盒子，藏在上衣里，伸出一根电线接在耳塞机上。而现在用半导体的最小型的助听器，外观上就是个耳塞，可以直接放在耳朵里。

第十一节 飞机

一、飞行的梦想

飞行是人类诞生以来的梦想。古代的人们看到鸟类轻松地拍动它们的翅膀，悠闲地翱翔于蓝天，他们想，为什么人类不能也装上翅膀飞行呢？当时许多杰出的人都相信，只要人们能设计出某种活动的翅膀，也一定能飞上天空。我想你小时候也一定这样想过吧？

希腊神话中，伊卡洛斯用蜡制的翅膀自由飞翔。但是他得意忘形，飞得离太阳太近，结果翅膀被融化，终于坠海身亡。生活在公元一世纪左右的罗马诗人奥维德也曾写过一个传奇故事，叙述两个人用羽毛制成翅膀，从监狱里飞出逃跑。

十三世纪时的英国科学家路查·贝康或许是用科学态度研究飞行的第一人。他模仿鸟类的翅膀，计划一个扑翼机械。他认为手脚的活动可以操纵翅膀，使人飞起来。

后来，人们才发现，人的肌肉不够强壮，不足以操纵这样的翅膀实现飞行。但多少世纪以来人们仍沿这条路线从事试验。他们没有想到，要成功地造出飞行机器，必需有一种动力来源——比如汽油发动机。

莱昂那多·达·芬奇，这位十五世纪的意大利天才提出过好几种扑翼机设计图。他的艺术成就之高是世人皆知的——油画《蒙娜丽莎》和壁画《最后的晚餐》就是代表作。一直以来，人们只把他当成一位著名的画家、雕刻家，然而实

际上，他更是一位超越时代的工程师和发明天才。

达·芬奇提出过好几种飞行器的设计方案，但是和前人一样，大多失败了。终于，他意识到扑翼机的路走不通，于是，他提议用一系列旋转的翅膀以实现飞行。这就是我们现代的直升飞机，而达·芬奇在四百年前就预言了它。

达·芬奇被认为是第一个想像出飞机推进器的人，并享有发明降落伞的荣誉，不久前，还有人照他的图纸用木头和麻布造出一架降落伞，而且还系着它从几千米的高空跳下来——谢天谢地，落地时他还活着。

在十九世纪初，许多人都在试验飞行器，试完一种又一种。但他们的工作只是形成了一串痛苦失望的漫长历程。虽然他们奠定了固定机翼（相对于扑动翼）的设计方案，但始终没有得到功率足够强大的发动机。此外，他们还不明白稳定与控制的原理。

二、滑翔机

19 世纪初，英国科学家乔治·凯利爵士用他的小滑翔机试验模型协助奠定固定机翼的原理。

1842 年，英国人威廉·汉森在自己的祖国为一种飞行器注册了专利。这是一种很简陋的制品，计划用蒸汽机作动力，那时内燃机还未发明。汉森甚至组织了一家公司，准备用他的飞行器定期往返于欧洲各城市间。可是最终，他竟连一架能飞的飞机也没有造出来，所以终于放弃了飞机的研究。

但汉森的合作者约翰·斯特连费罗却并没有放弃。他继续用模型飞机作试验，并且在 1848 年，造出了一架模型飞

机。这架“飞机”的机翼长3米，以蒸汽机作动力，试飞时在空中飞行了近20米。这是模型飞机的第一次动力飞行，飞机的研究因此向前跨进一大步。

但是一切仍然有待努力。此后，越来越大的模型滑翔机被造出来了。大约在1855年，一个名叫利·布里斯的法国人造了一架大滑翔机，使他在空中航行了大约200米。

其他人，包括德国的利尔扬台尔兄弟、美国的蒙哥马利以及陈纽特继续进行滑翔机试验。到了19世纪末期，滑翔机几乎已经成为平凡无奇的事了。

把一张纸折叠，也能做一只最简单的滑翔机，用来作试验。在底边加两只曲别针，并且前后移动，直至滑翔机平衡为止。这样它飞起来就会很顺畅，不致失速冲下。这其中的原理，在下边几节还要提到。

三、动力飞行

真正热爱飞行的人们经常梦想给滑翔机加一副发动机，使它能升降自如，作有动力推进的飞行。英国的夏林·马先爵士、法国的克里门·艾德和美国的撒母耳·P·郎格勒博士全都作过试验——前两人用由蒸汽发动的飞机，而郎格勒则使用了一架内燃发动机推动飞机。在三人中，郎格勒可能最接近成功，但在1903年，他的两次试飞都失败了。

就在同一年，美国俄亥俄州戴顿市的莱特兄弟——韦伯（1867~1912）和奥威（1871~1948），目睹郎格勒的失败后，没有退缩，顽强地进行自己的实验，终于获得了成功。

1903年12月17日，在北卡罗来纳州的吉提·霍克，奥威控制着他们自制的由拙劣而笨重的汽油发动机推动的

飞机，由地面升起了 36 米之高。在那一刻，他们多年来的艰苦工作终于达到成功的颠峰，而其他痴迷于飞行器设计研究的人们的梦想也终于获得了实现。

四、推进器

在飞机起飞之前，必须拉着它穿过空气向前飞驰。飞机所撞击的空气作用在机翼上，也就是给机翼一个升力，飞机就会上升——或者更形象地说：被空气抬起来。

很明显，要了解飞机怎么飞，第一步就得了解飞机为什么能冲破空气的阻力向前走。有两种不同的装置可以推动使飞机。其一是用推进器，它由内燃机转动；另一种是用喷气发动机，或称反作用力发动机。这里我们想看看推进器如何工作。

飞机的内燃机的工作原理和汽车发动机相同，但飞机内燃机必须造得尽可能轻。而且，它们通常是“辐射”式的，每一个汽缸都放置在同圆的半径上。

推进器装在发动机的轴上，因此当发动机运行时，推进器就会旋转起来。而当推进器旋转，它在空气上就会发生作用，于是就会推动飞机迅速前进。

推进器可以有两块、三块或四块叶片。每一块叶片可被看作一种类似机翼的羽翼。当推进器在空气中转动时，它会“铲起”的空气，把它们放到后面去。从分子的观点来看，这时空气的分子在推进器叶片后面时刻地推着挤在一起。换句话说，叶片铲的力量使叶片后面形成了一个高压区，所以空气分子撞击叶片的背面比叶片前面凶猛得多。

如果说的通俗一点，推进器可以看成是一个大功率的电

扇，虽然二者间区别很多，推进器的动力也不是电，但基本原理都是用叶片来推动空气。只不过电扇使用叶片推动空气，而推进器是让叶片背后的总压力把叶片推向前，于是推进器拉着飞机通过空气前进。

五、一飞冲天

提到飞机，任何人都会首先想到那个最令人困惑的问题：飞机是怎么飞起来的呢？

对于我们来说，牛顿三定律和万有引力定律早已滚瓜烂熟了。所以我们知道，如果没有一个力来克服重力，别说向上飞了，就是悬在空中都不可能。用比空气轻的热气球飞行时，这个力是浮力。那么现在比空气重的飞机，是什么力把它举起来的呢？

举起飞机的力同样是空气的压力，只不过这个压力是当机翼在空气中向前移动时产生的。

注意一下机翼的形状。它在顶部略微弯曲，在前端厚些，后端逐渐减削成为薄尖。机翼向前移动时把空气向两边推开。滑过机翼上面的空气就只好沿着弯曲的路径跑。因为弯路径较为长些，空气分子就会略为扩散。

于是，在机翼正上方的空气分子就会比较少，而在机翼正下方的空气分子就会比较多。在任何表面上，空气的压力都决定于在该表面上的空气分子数目。因为在机翼下的分子多一些，所以机翼下的空气压力就会大于机翼上的压力。

这样，当机翼通过空气向前移动时，机翼就会受到一个向上的推力。正是这个力提供了向上的升力抬着飞机飞到空中，就像灯中的妖怪抬着阿拉丁的飞毯飞到空中。

六、方向控制系统

飞机光能飞起来还不行，就好像车光等走还不行，还得会拐弯，要不不是真成了不撞南墙不回头了。特别是战斗机，全靠着会拐弯呢，要不纯粹就是飞上去给人当靶子打，再说还得返航呢。

飞机的方向控制系统比汽车可复杂多了。一辆汽车只在平地上走，能向左转向右转就可以了。可是对于飞机，必须让它不仅能向左转向右转，而且能向上向下。

对于方向的操纵是借助于飞机机翼和尾部的活动控制板实现的。这些控制板分别叫做副翼、升降舵和尾舵。

飞机的尾部有一块鳍板和两块稳定板，当飞机飞行时，它们可以使飞机平衡。和稳定板连接的是两块活动板，叫做升降舵。当驾驶员推动驾驶杆或舵轮时，升降舵就会上下移动。当它们移下，在它们下面的空气压力比在它们上面的大，于是，飞机尾部被推高。飞机的头部就会略向下倾，即“俯冲”。相反，如果升降舵移上，飞机尾部就降低，飞机爬升。

用前面做的纸制滑翔机，可以证明这些作用。把翅膀的后边折下，滑翔机就会俯冲。然后把后边折上，滑翔机的鼻子就会翘起来了。

副翼是机翼后缘的可动部分。每一机翼有一块副翼，它们由杠杆和缆索连结起来，使一边向下翻时；另一边向上翻。副翼使飞机能够侧飞。这是一个重要的动作，特别是在要转弯的时候。因为当一块副翼向上移，在它上面的空气压力就会逼着机翼下降。与此同时，另一块副翼向下翻，于是机翼被逼上升。于是，飞机就根据副翼的移动方向，转向左方或

转向右方。

尾舵的作用是协助转向。驾驶员通过踏板操纵尾舵向右摆或向左摆。如果向右摆，尾舵上的空气压力就会使飞机尾部转向左边。这个动作配合副翼的运动，使飞机倾侧或回旋。单单控制尾舵，要转向是很困难的。飞机向前运动时，虽然尾舵已经把尾部推向一侧或另一侧，但由于惯性，飞机还会继续前进。也就是说，飞机在开始转弯前，会沿它的原有方向朝前滑一段距离。但如果飞机利用副翼同时倾侧，整架飞机就能轻易地掉过头来了。

我们这样随便说说当然是很容易了，然而在巨大的飞机上，驾驶员可没有那么大的力气自己来推动控制板，它们太大了，要用很大的力量。因此，需用电动机或者类似的设备。驾驶员发动电动机，它们就会推动副翼、升降舵和尾舵，控制飞机转向。

七、直升飞机

利奥那多·达·芬奇在四百年前所提出的直升飞机，是一部有旋转机翼的设备。它转动着一具三叶片或四叶片的推进器，以产生必需的升力。略略倾侧叶片，使它们在一边产生的升力，较在另一边所产生的大些，就能进行操纵。举例来说，叶片向前侧，直升机将被拉向前。但是，如果叶片不倾斜，直升飞机将悬在空中，一动也不动。

八、反作用力发动机

前面已经介绍过牛顿第三定律：两个物体间的作用力和反作用力总是成对出现，大小相等，方向相反，作用在同一直线上。

然而,如果牛顿本人看到火箭或喷气飞机以每分钟数公里的速度穿过天空,以证明这一基本物理定律时,他又会作何感想呢?

用在喷气式飞机中的就是反作用力发动机,平常我们也习惯称之为喷气发动机。

1. 反作用力的产生

如果有一个长圆筒,形状像一个密闭的洋铁罐,里面充满高压空气,那么空气的分子一定会撞击圆筒的侧围及其两端,这一点我们是知道的。可是为什么圆筒不会有任何移动的趋势呢?原来,同等数量的分子撞击着它的两端可筒壁。所以个方向的受力都是相等的,合力就等于0,自然不会移动。

但是,如果突然揭开圆筒的一端,那么圆筒就要移动了,而且运动的方向一定是朝着封闭的一端。原因是在打开的一侧没有什么东西可供空气分子撞击了,但那它们仍然撞着密封的一面,于是分子的轰击就要使圆筒移动了。换句话说,撞击着圆筒一端的分子的作用力,产生了使圆筒运动的反作用力。

实际上,因为空气泄得太快,所以圆筒实际的移动很少。但如果能在圆筒内保持高压,它就会继续被撞击封闭一端的分子所推动。这是反作用力发动机内发生的情形。为了维持高压,就必须燃烧燃料,结果得到一个持续的推力。

用一条香肠形的橡皮球,就可以制成一具“反作用力发动机”。吹大这个气球,把它放在你的手掌上,然后把气球口打开。不要在客厅内,或在有东西会被打破的地方做这个

实验(我记得这话我说过不止一遍了,所以如果打坏了东西我可概不负责),因为气球会飞起来,并在一两秒钟内极快地窜来窜去,直到空气被排尽为止。注意,气球的移动并非因为空气从气球口冲出,而是因为在气球内压缩空气的分子正撞击着它的封闭着的前端,它们推着气球向前走。

2. 两种反作用力发动机

反作用力发动机有两种。它们彼此的基本差异,在于它们除携带燃料外,是否自备氧。要知道,任何燃料的燃烧都需要氧。

第一种反作用力发动机叫做化学燃料反作用力发动机,或称火箭发动机,是自备氧供应的。

烟花也许是化学燃料反作用力发动机的最著名的例子,它自己携有氧。这些氧并不是我们常见的游离态的氧气,而是附在某些化合物(例如火药)的分子里。

烟花里填装的是传统的黑色火药,由硫、碳和硝酸钾组成的。后者的分子式是 KNO_3 , 每个分子有 1 钾原子, 1 个氮原子和 3 个氧原子。

当火药被点燃,氧和碳化合成二氧化碳(CO_2)。并且由于硝酸钾分子解体,氮被释放出来。二氧化碳和氮都是气体。它们的分子急速运动,撞击烟花圆筒的封闭空间。因为圆筒的后端是打开的,分子可以自由地从该端飞出。因此,分子撞击圆筒封闭的前端,产生的反作用力就会推动烟花前进。

第二种反作用力发动机叫做气流式发动机,由空气供给所需的氧。气流式反作用力发动机有三种:喷射机、压缩喷

射机和涡轮推进器式喷射机。在所有这些发动机中，燃料燃烧所需氧气，都是由周围的空气中取得的。

压缩喷射机是三种中最简单的。它实际是一条长管，装有空气开关闸和燃料扩散系统，在它的前端装有火花塞。当压缩喷射机以高速向前进，它把空气“压”入输入端。然后燃料扩散在空气中，火花把它们点燃。

燃烧产生高压，使空气开关闸暂时关闭。高压气体不能从前方逸出，只好冲向管子后方。由于前面保持着高压而后面却喷出空气，压缩喷射机便被驱向前。一旦高压消失，机体向前的运动就使空气开关闸打开，另外的空气进入，燃料再扩散在空气中，再一次发生燃烧。这些动作一次又一次地重复下去，飞机就会高速前进。

喷射发动机和涡轮喷射发动机对飞机最合适，因为它们可以提供一个均匀的推力。而压缩喷射发动机虽然可以发出一连串强大推力，但各个推力的强度会周期性下降。

许多喷射机装有“后燃器”。这种装置装在喷射机尾部，另外散播一些燃料在热气流中，提供附加的前进推力。

涡轮推进器式发动机和喷射发动机非常相似。它有一个附加部分——推进器。推进器和排气喷射发动机都用以推动飞机。前者由涡轮旋转。在涡轮推进器发动机中，涡轮较大且较重，足以负起这外加的任务。由此种发动机作动力的飞机，速度虽不及由喷射发动机推动的快，但效率较高。

喷气机最初出现于战场上，俄国的米格系列战机是世界上最早采用喷气引擎的飞机之一。而世界上最早的喷气机之间的空战，就发生在抗美援朝战争期间，是驾驶米格机的中

国空军和驾驶 F 系列战斗机的美国空军间的一场决斗。

现今三种比较常用的发动机：活塞式发动机、喷射发动机和涡轮推进器式发动机中，后二者较新。一般来说，对于低速和短程的飞行，活塞式发动机效率较高，而对于较长的旅程，涡轮推进器式较好，因为它能以较高速度推动飞机，而从各方面看，它又较为简单。对于越洋飞行——比如跨越太平洋，喷射发动机是最妙的了，它能以每小时达 1000 公里的速度推动飞机。

九、声障

随着活塞式发动机、喷射机和火箭的改良，飞机越飞越快。到了第二次世界大战前后，人们已经到达了一个限度，在一段时间内限制了速度的进一步提高。这个限度出现在每小时约 1200 公里的速度上。当飞机达到这个速度，就会突然开始振动和跳荡，好像它正撞向一包包的压缩空气。有时这打击十分猛烈，飞机的机翼竟被扯断了。

飞机到达“声障”时，究竟发生了什么事呢？

这个界限之所以被称为声障，正是因为它和声音的速度直接相关的。事实上，细心的读者可能已经发现了，每小时 1200 公里正是声音在空气中的传播速度（即 340 米/秒）。前面已经提到了，声波实际上是一系列压缩的波，空气分子被推着挤在一起，而这些压缩区是从声源扩展开来的。

如果飞机飞得比声音慢，飞机发出的声波走在飞机前面，问题倒不大。但当飞机速度增加到等于声速，它就和声波齐步前进了。这时，压缩波不能走到飞机前面去，于是就堆在飞机的机翼、机身前。这就如有一堵高压空气墙挡在飞

机前面一样。现在，如果飞机企图飞快些，它就必须撞穿这堵“墙”才行。由此可见，对飞机来说要撞破这障碍是如何的不易。

非但如此，由于飞机与空气的振动是同步前进的，振幅不断叠加，最后就会把飞机震碎。

当速度超过声速，飞机把声波抛在后面，没有被震碎的危险了。但是由于飞机先于声波到达，静止的空气来不及振动就被推开，同样会给飞机造成强大的阻力。因此，功率较低的活塞式发动机是无法完成超音速飞行的，只有喷气发动机发明后，人类才研制出了超音速飞机。

十、超音速飞机

现在，飞机已经不难超越音障了。这样的飞机叫做“超音速”飞机。超音速意思是比声音更快。有些国家很早就为空军建造了超音速战斗机。欧洲的协和式客机是世界上惟一的超音速客机。不过可惜，前两天有一架协和式飞机飞着飞着没飞好它就掉下来了，从此人们谈“协和”色变，现在这种飞机已经被停用了。当然，这只不过是一次偶然事件，并不是喷气式发动机的错。

超音速飞机之所以引起不少反对之声，倒不是因为飞着飞着会掉下来。主要的原因还是超音速飞机会带来声震。

超音速飞机的声震极其强烈，形同爆炸，会把人吓得整个跳起。窗户有时会震破，建筑物也会震坏，出现裂痕。声震是超音速飞机穿越空气将空气猛然分开时造成的。声震带来的震波，在飞机后面构成一个静锥区，而飞机则在静锥区的顶点。因为震波传到人耳时，人们会听到的爆炸音响，故

此叫做声震。

虽然超音速飞机震声的起因和可能清除的方法仍继续在研究，但一时也并无解决的良方。目前的惟一方法，就是飞机的速度先不超过声障，飞到高空时才全速飞行。因为在高空飞行的飞机造成的声震，比较不容易在地面听见。

十一、热障

当物体达到更高速度的时候又会遇到另一个问题，这就是热的问题。

前文书说过，热是分子运动速度的现象。当分子运动得慢，物体是冷的；而当分子运动得快，物体是热的。

当飞机在空气中移动，越来越快，会出现什么情况呢？特别是它超过了声速而到达——比如说每小时 5000 公里的速度。在这一速度下，空气分子以高速擦过机翼。也就是说，空气分子很猛烈而又频繁地撞击机翼。这时的机翼，有点像火炉上的水壶。水壶被火焰中快速运动的分子不断撞击着，变得非常热。同样，当空气分子撞击飞机翼和机身，也会使它们发热。飞机越飞得快，机翼和机身越热。在高速度下，机翼会变得十分热，甚而把它的金属变软和损坏。这是极高速飞机的一个大问题。

有一个方案是使飞机在非常高的高度上飞行，因为在那里，扫过机翼并使之发热的空气比较稀少。但如果空气很少，又怎样给机翼足够的上升力，把飞机抬起来呢？

当然还有其他解决办法，比如说人工冷却机翼，以及用在极高温中仍保持坚硬的金属。当然，要有效地冷却机翼，需要精密而沉重的设备，而飞机所能担负的载荷又不过如

此。使用在高热下仍保持坚硬的金属，可行性虽然强一点，但是一定会提高造价，这又是我们不希望的。人就是这样，总喜欢便宜又好用的东西。

好在一般的飞机也用不着这么高的速度，只是航天飞机在穿越大气层或从空间返回地面时，才有这个问题存在。因为万有引力的作用，航天飞机要进入轨道，速度必须达到一个很大的值。

我们现在的方法是先用火箭把飞机带到大气层之上，然后再让航天飞机独立飞行。因此，热量不会影响发动机和其他重要零件的工作。而航天飞机外表，可以用耐热的陶瓷纤维等材料覆盖，相对于全部使用耐热材料的方案，自然经济多了。

第十二节 显微镜和望远镜

一看这两种仪器的名就知道它们是作什么用的。显微镜是把微小的影像放大，令它明显可见（好像是语文的解词），借着显微镜可看到极细微的东西。而望远镜是把远方的影像放大，让人把远处的东西看清楚。借着显微镜和望远镜，人类可以发现宇宙里很多东西。

显微镜让人能够研究细菌之类的微小有机体以及生物的细胞，从而更好地了解人类的身体，以及动物和植物怎样进行它们的功能。它帮助医学家和科学家们克服许多疾病，并改良了人类用来作为食物的许多植物和动物。

望远镜不但可以使天文学家们看到遥远的“天边”发生

的事情，还是物理学家研究宇宙运行规律的好帮手。说实在的，要不是第谷和开普勒用望远镜观测出开普勒三定律，牛顿还不一定能创立万有引力定律呢。现在我们还用它来研究原子。原本，望远镜是用来研究宏观天体的，看来和微观的原子八杆子打不着。不过，最新的资料表明，宇宙中可能存在着一些奇特的天体，比如脉冲星和类星体。对它们的观测，可能会带来原子物理学研究的重大突破。

真难以想象，如果没有显微镜和望远镜，我们的科学研究将会是一个什么样子。就好像无法想象，没有电脑，我的生活将会是个什么样子。但是显微镜和望远镜，它们是如何工作的呢？

一、显微镜

显微镜有很多种，它可以使微小的物体形成放大很多倍的像。有人会说，这算什么，放大镜不是也可以吗？

不错，但是如果用放大镜来看书报上的小字还差不多，用来研究微小的细胞就不行了。因为放大镜顶多只能把一件东西放大到它实际尺寸的10倍左右。而那些细胞之类的东西，必须放大几百倍或几千倍才看得清。

一架光学显微镜有好几个透镜，把受到观察的物体发出的光线散布开，好将它放大很多很多倍。典型的光学显微镜有个镜台，受观察的东西（通常叫做标本）可以放在上面让人研究。

镜台上有一个洞，标本放在洞中央，镜台下有一盏灯或一面镜子作为光源，光线穿过镜台上的洞照亮标本。通常，标本给放在或“安置”在一片正方的平玻璃上，名叫“承物

玻璃片”(简称“载玻片”)。标本必须极薄,因为光线必须透过它,使标本的像进入透镜。标本之上的一整套透镜就散布光线,使这个影像放大。

光学显微镜能够放大的最大倍数约为 2000 倍。这似乎是放得很大了——也确实很大了,还有许多发现是在比这小的放大倍数上作出的呢。

光学显微镜自出现以来逐渐改进,可是随着显微镜的用途日益广泛,光学显微镜越来越难以满足科学家们的要求了。因为它的能力有限,无法把物体放大到 2000 倍以上,但科学研究涉及的东西经常是极为渺小的。因此,人们研究制成了电子显微镜,用来研究那个为光学显微镜所看不见的几乎无限小的世界。

二、电子显微镜

在讨论电子显微镜之前,先看看光学显微镜还有什么不足的地方。上文说过,光学显微镜利用光,令它透过受研究的标本,又穿过一整套的玻璃透镜。这种显微镜的缺点来自光的一种特性,这就是光的波动性。

前文说过,光是一定频率的电磁波,因此具有一切波的共性:衍射和干涉。由于衍射,如果一个物体的任何细节若是小于光的波长,光学显微镜将无法分辨。

但电子显微镜却使用一束电子而不是一束光。电子比光的波长小得多,所以能放大到一百万倍。电子显微镜用来作为透镜的是一整套的磁圈。首先,从发射阴极射线的电子枪射出一束电子,被一个磁圈集中到一个焦点上。这股聚焦了的电子流穿过标本。

由于电子质量太小，无法与原子核抗争，因此它会受到标本原子的影响，也就是说，电子总是绕过原子前进，而不是穿透原子。于是，电子透过标本时，就会表现出一种型式，代表标本的样子。这时，电子流穿过另一个磁圈，并且由于磁磁力作用而散布开来。但这束放大的电子流仍然表现着它所通过的标本的样式。

就这样，这束电子流又经过第二道甚至第三道磁圈，再三扩大，最后，电子流射到一幅照相底板上，把标本的极度放大的影像拍摄下来。

应该提到，磁圈所在和电子流所经过的真空管必须保持高度的真空状态。如果存在着空气或别的气体的任何原子，就会扰乱电子的流动，使整个系统失效。

可以把电子显微镜改装一下，连接到电视系统，把受到研究的标本放大的影像显示在电视幕上。这个系统包括一个电视摄影机真空管，电子干脆就落在上面，还有一具信号放大器和带有阴极射线真空管的一套电视机，把放大的影像显示在真空管幕上。此外，这个系统还有一架电视录影机，把影像留在录影带上，以供将来研究。

借助电子显微镜，细胞之内的结构全都被看得清清楚楚，就连光学显微镜看不见的病毒也已清楚地显示出来。人们甚至已经能给针尖上的金属原子拍照了。

电子显微镜已打开了知识的整个新世界，让人知道周围环境里一切东西的基本构造。而这种新知识正在导致科学上和工程上的一场革命。

三、望远镜

望远镜是用来就近细察遥远物体的，办法是把影像放大，这有点像光学显微镜。不过用光学显微镜观察的物体本来就很很小，而用望远镜观察的都是本来很大的东西，只不过离得远，所以看起来小——近大远小嘛。

最简单的望远镜有个管子，一端是一块接物透镜（物镜），另一端是一块接目透镜（目镜），还有一种装置改动两块透镜之间的距离。物镜较大，可从观察的目标物收集较多的光。物镜把这光集中起来，令它通过目镜，在眼睛所在的位置上聚焦为一点。物镜越大，影像就放得越大。这种望远镜中最大的，物镜直径可达1米。比这更大的透镜就不完善了，因为它们受本身重量的影响老是会歪曲，从而显不出清楚的影像。

使用这两种透镜的望远镜但略有改动的望远镜叫做折射望远镜，因为形成影像的光在穿过物镜和目视时会受到折射或弯曲。在实际的望远镜里，透镜是复合的。这就是说，它们由两块或多块单独的透镜粘合而成，必须用这种办法才可使透镜的备部分都能形成清楚的影像。

天文学上用的大望远镜却是反射式的。也就是说，在望远镜的下端有一面弧形的镜子把由观察的目标发出的光收集并聚焦。有两种方法从望远镜管里取得影像。一种是在镜管的上端使用一片小的弧形镜子，它会完成聚焦，把集中了的光线从弧形镜中央的小孔射出来。另一种方法是使用一块平面镜，令它向某个角度倾斜，好让形成影像的光线由望远镜管侧边穿出来。

反射望远镜的好处是光线不穿过镜子,而反射镜可以制造得比折射望远镜的透镜大得多——装在美国加利福尼亚州帕洛马天文台的反射望远镜里的弧形反射镜直径长达5米。这里在成为天文台以前,早就被凡尔纳设想为科学家们观测登月飞船的地点,写进小说《环绕月球》中。而10几年前美国发射的哈勃望远镜,更大得无法安装在地球任何一个天文台上。我们的对策是把它放在太空。

把反射镜造得那么巨大,目的在于增加望远镜收集光线的的能力,好让人们看见宇宙中更遥远的物体。借着地球上的望远镜,天文学家们已经能看见距离地球几十亿光年的物体,并拍摄照片了。而通过哈勃,我们视野甚至已经拓展到了宇宙的尽头。

天文学家的工作可不光是坐在那儿仰望星星,他们大部分时间都在照相。这就不仅需要把照相设备装置在望远镜的接目透镜上,而且要有一种器械自动移转望远镜,令它始终对准拍摄中的目标。地球是不断旋转的,因此,看上去星星也不断地闪过天空。

喜欢看星星的朋友都知道,上半夜和下半夜看到的天空是不一样的,而冬天和夏天看到的也不一样,好像整个天空都在不停地转动。为了纠正这种情形,地球上的天文望远镜都有电动的发动机,使望远镜与星空同步转动,抵销地球运动所引起的变化,是望远镜永远指向正确的方向。

这很重要,因为由极遥远的物体发出的光线极度微弱,若是照相底片只作短时间的曝光,可能什么都拍摄不到;但假如望远镜一直对准那个遥远的目标不变动,照相底片持续

曝光好几个钟头，微弱的光线就会在底片上形成影像，所以有些照片要拍摄好多个钟头才摄得到，这就要求必须做到极端精确。

另外在天文学中还必须用到很多别的仪器——当然，主要是光学仪器。

其中一种是分光镜。它把传来的光线依不同的波长加以分离。人眼能够分辨的可见的白光是由好多种不同波长的光——由红到紫——组成的。由星星传来的光也是由这些不同的波长组成的。但这些各种不同的波长依星星的化学成分而有的强，有的弱，有的缺乏。因此，只要用分光计研究星光，就可以断定十亿光年以外的一颗星含有一些什么化学成分了。

四、射电望远镜

天文学家们使用的另一种仪器是射电望远镜，或无线电望远镜。这种望远镜有些特别，它不用透镜来收集光线，而是用一种表面呈弧形的，或“碟”形的天线收集肉眼看不见的电磁波。

宇宙中的恒星等遥远天体不但发出可见的光，也发出放射线——和可见光一样，这也是一种电磁波，只不过肉眼看不见，当然也就也拍摄不到照片。

而射电望远镜却可以把这种射线侦察到并纪录下来。研究“射电”天体发出的放射线，碟形的天线——也就是北京老百姓所说的“锅”，是必不可少的。这种“锅”现在被广泛地用于卫星通讯和电视广播，但与射电望远镜上的“锅”相比，个头上就不可同日而语了。射电望远镜上用的“锅”

都是些庞然大物，有的直径达 80 米，而且可以朝各个方向倾斜，好精确地指向所要研究的目标。

望远镜收到信号的波长和强度可以告诉我们目标物的成分以及“正在”进行的活动。我们说“正在”，其实，我们看到的已经是很久很久以前发生的事了。因为光并非一种超距作用，它具有一定的速度。虽然它走得很快，但宇宙中那些天体动辄距离地球几光年几十亿光年，一光年就是光走一年的距离。等光从自己的故乡赶到地球，无数的岁月已经过去了。

从射电望远镜得到的情报，加上由光学望远镜取得的情报，可以透露目标物的大部分情报，包括目标的运动速度及其成分。此外，根据各种天文仪器所取的情报，可以计算出这颗星与地球间的距离。现在凭着这些各式各样的仪器，我们已能够测绘出银河——也就是我们生活的这个星系的地图了。将来，我们还要观测其他的那些银河，直到这些银河共同构成的整个宇宙。

第四章 危难之刻显身手

——物理学助你脱离险境

灾难来临之前，你不可能事先就能预料一切，但必须有心理准备，能迅速针对意外之险和潜发性灾难作出理智而适当的反应。每当意外发生时，人们很容易变得惊慌失措。你必须征服这类恐慌，针对不同境况采取有效的行动。

另外，熟练的掌握我们提到过的那些物理常识是很重要的，它们的优点在于，它们提供的是一种思想，而不是具体的方法，你可以根据这些思想举一反三，确定你行动的方向。也正因为此，对于物理概念的死记硬背是没有用的，关键在于可以即时应用。

下面我们列举一些情况，看看我们所学的知识，是如何在生死攸关的时刻助我们脱离危险的。

第一节 提防自行车翻车

大家有没有想过，用力蹬脚蹬子，车为什么就会向前运动？

我们可以不关心自行车的原理，但是一定要注意，如果自行车骑得很快，刹车时，就不要只捏前闸。因为单刹前闸

时，后轮就会上抬甚至有翻车的危险，这又是什么缘故？

让我们先从自行车的运动原理谈起。

自行车有两个轮子，后轮是主动轮，前轮是从动轮。骑自行车时，脚踏踏脚，通过齿轮、链条的传动，使得后轮相对于地面来说有一个向后滑动的趋势。由于摩擦力总是与相对运动趋势相反，所以地面作用在后轮上的摩擦力方向是向前的。这个摩擦力就是前进的动力。

可是，前轮与地面之间的摩擦力情况却与后轮不同，地面施加在前轮上的摩擦力方向是向后的。因此，这个摩擦力是自行车前进的阻力。这样看来，自行车运动是后轮受到的摩擦力作用克服了前轮摩擦力的结果。

有人可能会问，只要后轮不是更省力吗？当然有道理，杂技团表演的单轮自行车运动自如，就是很好的例子。可是一般未经训练的人去骑的话，就会寸步难行。这说明，自行车的构造设计不单是从省力角度出发的。

骑车时，如果突然急刹前闸，不让前轮运动，而这时，人和车身还有继续保持向前运动的能力，即存在向前运动的惯性，这样，车身和入就要围绕前轮与地面的接触点这个中心旋转。假如我们骑得飞快，则会导致后轮上抬，甚或使自行车向前翻倒。

关于自行车，还有一个很多人关心的问题，那就是在骑车的时候，为什么不会向两边倒？

有人说，自行车所以不倒，是因为自行车车轮在回转的时候有陀螺效应的原因为，因为就像第一章所讲的那样，陀螺回转起来是难以倾倒的。

如果果真如此,那么装有粗而重的轮胎并且高速行驶的汽车,它的车轮的陀螺效应就更大,对汽车的安全行驶就应该起良好作用。是这样吗?议会我们会专门讨论汽车,现在,让我们先看看自行车吧。

说起自行车,也有很多种类。既有轮胎粗而重的载重自行车,也有轮胎细而轻并且车轮很小的轻便车。车轮的转动惯量与车轮角速度的乘积,就是车轮的角动量。而所谓陀螺效应,与角动量守恒定律密切相关。

前面讲过,转动惯量: $I=mr^2$

也就是说轮胎轻(m 小)、半径小(r 小)的车轮,转动惯量就小。再加上自行车骑得很慢时,车轮的角速度也就很小。总而言之,自行车轮胎的转动惯量很小,就根本不可能有多大的陀螺效应。其实,陀螺效应只有在保持站立姿态的、高速回转着的物体上,才能发挥作用的。所以,把自行车不倒的原因,归结为在于车轮有陀螺效应的说法是站不住脚的。

另外,我们也曾听说过,自行车所以不倒是因为车轮与地面之间有摩擦,理由是它在冰上很难骑行。如果可以这样立论,那么,我们也按照这种逻辑,还可以说自行车所以不倒是由于自行车是在行走着的原因,因为停着的自行车是要倒的。

如果真是只要地面有摩擦,并且自行车是在行走着的,自行车就应该不倒了。可是,为什么大家在开始学自行车的时候,都有摔跤,甚至于摔破过几次膝盖的经验呢?我们同样满足了摩擦和前进的条件呀。

实际上,要自行车不倒,最根本的是骑车的人灵巧地操

纵车把(有的地方称为“龙头”)。地面摩擦也好,自行车在行走也好,这些都是灵巧地操纵车把所必要的条件。如果这些必要条件都已具备,那么在這些必要条件之间存在什么关系时,自行车才能不倒呢?

也许看看滑冰的人用一只脚悠然自得地转弯、前进,对我们思考自行车的问题会有所启发。滑过冰的人会有体会,最难的那一刻,是我们穿着冰鞋从冰面上站起来的时候,那时我们是静止不动的;但是一旦真的开始滑,反而更容易掌握平衡,不容易摔倒,这与自行车的情况是非常相似的。

事实上,如果在自行车原来装前后轮的位置上各装一滑雪板来代替车轮,并且设法让这两个滑雪橇在冰上滑行起来,那就能够操纵车把了,只要是会骑自行车前人骑在这上面,并且他认真地操纵车把,这个自行车形雪橇都不会倒。如果你确实做了这项试验,就会发现,在这项实验里完全没有车轮,这就说明了把自行车不倒的原因说成是车轮的陀螺效应显然是站不住脚的。

自行车不倒的关键在于控制重心位置。具体地说,骑车的人和自行车作为一个整体,作用在重心上的重力和离心力合成一个合力,如果骑车的人操纵着车把,能让上述合力的作用线贯穿于地面的点,始终位于前后车轮接地点联结线上,自行车就不倒。这和手掌上竖一根棒,随着棒的倾斜灵活地移动手掌,使棒竖着不倒的游戏是很相似的。

过去天桥有一项杂技叫“耍幡”,艺人们可以把一根二十米长的粗毛竹立在手上、肩上、头上,甚至指尖和鼻尖上,还要让它保持直立状态,在自己身上跳来跳去。实际表

演中，一根光溜溜的毛竹只是一根竹子，没人会耍那种东西。艺人们耍的幡都是用五颜六色的布匹制成，挂在幡竿上，幡竿有多长，幡就有多长。在幡上，往往还要加大量的小型装饰物，更加大了幡的重量。

现在，春节庙会上大概还有耍幡的，这是一门了不起的本事，不过耍幡艺人的功夫再高，其本质，与在手掌上竖铁棒的原理是一样的。

骑自行车的时候，不必担心前后倒，只须考虑侧向的平衡就行了，所以说比玩竖棒要轻松一些。

第二节 地铁站台上一定不要越过安全线

地铁站台上，距离台边半米的地方，都画着一条白线。这条白线叫安全线，提醒候车的人，不要越过它。

为什么呢？一定有朋友对此不以为然：“我又不会往下跳，还能掉下去不成？”老实说——虽然有点不吉利，但是答案是肯定的，之所以还没掉下去，是因为还没有车来，车一来，离倒霉就不远了。

有的朋友会说：“放心吧，我才不做那种傻事。我知道，车来了会使空气流动，造成很大的风，把人刮倒。不过即使偶尔站得离列车近些，我也能站稳，不会摔倒的。”

你最好能听我的建议，你对危险的认识还不够深刻。另外，如果地铁列车经过时，你刚巧（对不起，应该是刚不巧）站在离台边非常非常近的地方，那么我想你自己已经帮不了自己了，除非你连过少林寺的千斤坠，不过我一直对这种武

功的效用持怀疑态度。

我之所以这样苦口婆心地告诉你，是因为，带来危险的并不是火车行驶时造成的“风”，而是火车行驶时造成的“吸引力”。

伯努利原理说：随着速度的增加，气体的压力减小。或者一种表述方式：流动气体的压强比静止气体压强小，气体流速越大，压强越小。

在快速行驶的列车旁边的空气，也跟随着列车以很高的速度在流动，而离列车较远处的空气基中上还是静止的。因此，远离列车处的空气压强大，而靠近列车处的空气压强小。如果人站在列车路轨附近，身前受到高速流动空气的压强，小于身后所受静止空气的压强，人体就会被推向列车。当列车以每小时 50 公里的速度前进时，大约就有 8 千克力的力量推着站在车旁的人，因此列车快速前进的时候，千万不能站在离路轨很近的地方

即使不在地铁站里，只是在普通的铁路上，当快速开行的列车向你所在的方向开来的时候，你也千万不能站在靠近铁轨的地方。

除了和地铁一样，出于伯努利原理的考虑，还有一个重要的原因。地铁上的窗子是打不开的，而普通列车上，除了软卧和餐车，几乎所有窗子都能打开。因此，搞不好什么时候就会从窗子里掉出一个重物来，把人打伤。

第三节 煤气漏气时的对策

如果没有留神，煤气泄漏了，该怎么办呢？开换气扇？不不不，那太蠢了。

每个人家里都有换气扇，你家的厨房里有，我家厨房里也有。在厨房里炒菜的时候，只要一打开换气扇，污浊的油烟便会全部被排到室外，方便极了，不但增加了烹饪的乐趣，对厨师们的健康也大有好处。

但当厨房里的煤气发生漏气时，可千万不要使用换气扇。这是因为煤气漏气后厨房里充满了煤气，只要有一点火星，就会引起爆炸。此时，你如果想用换气扇来将室内的煤气排掉那就很危险了。

我们知道，空气是电的绝缘体，所以当我们切断开关，电就不会继续流动了。但是在开关的两端，依然保持这很高的电压，就民用电网而言，也就是 220v 电压。在我们重新接通开关的时候，也就是开关的两端相距很近但却还没有连接到一起的那一个瞬间，因为开关两极间的空气层变得很薄，电流就会冲破空气的阻挡，形成电弧，也就是我们平时说的击穿。

这种击穿能量很小，基本上是无害的，但是因为伴随着击穿会产生电火花，所以在充满煤气的室内，你打开换气扇开关的一刹那，开关中所产生的小火星就会成为引爆的火种。

有时夜里发生厨房煤气爆炸事故就是由电冰箱自动开关启动时所产生的小火星引燃泄漏的煤气的缘故。所以，一旦厨房里的煤气出现了漏气现象，应首先打开门窗通风，千万不要使用换气扇，以免发生爆炸引起火灾。

当然，这些建议都只治标，关键还是在于预防。煤气泄漏主要是由于以下几个原因造成的：

忘记了煤气灶上烧的水，开水教灭煤气灶。

认错阀门的方向，自以为关上了，其实阀门正开到最大。

阀门被弄坏。

输气管道失修，造成破损。

所以，为了不发生煤气漏气，要注意，烧水时一定要及时把水从灶上拿下来，如果实在记不住，请上闹钟。

其次，用完煤气后一定要将阀门关上，夜里入睡前要对煤气炊具进行仔细检查，看是否有漏气现象。

再就是，一旦发生异常，一定致电专业维修人员来修理。

如果你家用的是罐装气，还要记住，搬动时一定要小心，尽量不要造成碰撞。另外一定要遵守专业人员告诉你的安全守则，因为对付煤气罐，他肯定比你更有经验。尤其不要把煤气罐倒过来或者放倒，那样也很危险。

第四节 车祸求生

如何预防车祸。首先，当然是遵守交通法规。自救和预防同样重要，下面介绍几条注意事项。

一、系紧安全带

现在有规定，不系安全带是会罚款的。有些人老大不愿意，要他系安全带就好像是上刑。其实这都是为了朋友们自己的安全。

根据牛顿的理论，任何物体都具有惯性，你的身体也不例外——这么说大概没人会反对。如果车突然停下，比如急刹车时，车虽然停下了，可是人体由于惯性还会向前移动，所以会撞到前方，造成重伤。有人曾经统计过某国一年的车祸死亡人数，发现 80% 都是没系安全带的。

二、跳车

在第一章第一节里我们说过，跳车是很危险的。所以除非你是特技演员或者车辆即将冲出悬崖，留在车上必死无疑，否则不要随便企图从急驶的车辆中跳下。跳车前做好必要的准备，打开车门，脱开安全带，身体抱成团——头部紧贴胸前，脚膝并紧，肘部紧贴于胸侧，双手捂住耳部，腰部弯曲。

从车上滚出，应为滚动摩擦力，比较小，可以减轻你身体的擦伤。可以顺势滚动，不要与地面硬抗。因为从车上跳到地面，质心的位置变化不是很大，你受到的向上的冲力比起从高处往下跳时受到的冲力要小得多，基本不会造成什么直接的伤害。所受伤害主要是因为与摩擦力结合，造成擦伤。所以在保护好各个要害部位，并且采取滚动等措施之后，基本可以把伤害降到最低。

三、车辆落水

在车辆沉没前如果有可能应弃车逃出，在充满水之前它

不会立即沉没。换句话说，等它沉到底，再想出来怕也没机会了。水的压力会使车门很难打开，但是你可以摇下窗玻璃，从中逃出，因为控制窗玻璃升降的力与水的压力垂直，不会受到影响。

当然，在这种时候，要镇定自如地做到这一切，确实也不容易，这就要看个人自己的心理素质了，牛顿可帮不上忙。

如果车内有小孩，尽量先推出一名。其他都是身外之物，就随他去好了。如果来不及救人或自救，应紧关车窗，让孩子站起来，婴儿举近车顶。然后松开安全带，告知每位车门边的乘客作好准备，用手握住车门把手，同时松开所有自动门锁。它们可能已经被水压挤坏了。这时暂时不要尝试开门。

当水逐渐进入车内，把空气压向车顶，气压升高将逐渐趋近于车外的水压，车子逐渐停止，这时车内基本上也充满水了。这时再让每人做一次深呼吸，打开车门，游上水面。从同一车门出来的人应该相互挽着手。如果你需要等别人在前先逃，那你的肺活量最好大一些。

对于各种车祸的处理办法，主要是动量定理和动能定理的运用，但是会不会背诵这两条定理却毫无意义，关键是要知道，如何降低车速、如何减小车身和人体所受的冲力。

有时撞车或其他事件会在毫无预示下发生。但大多数意外发生前的几分钟人们都会有所预感或察觉。在这瞬间的本能反应有可能就救了自己的命。

有些事件在发生之前，会有相当长的时间知道或意识到潜在的灾难在发展这时，恐慌可能是最危险的反应。

当然，有些处境是可以预见的，拥有相应的技能与知识

会使你化险为夷，或者将所冒风险降至最低限度。丰富的知识也会增强你的胆量，比如等待确切的时机，以便在车辆沉水时从车中逃离。

第五节 野外生存的工具

自从有物理学以来，物理学家们就担负起了自己制造工具的工作，从伽利略的望远镜片，直到今天丁肇中的磁谱仪。而野外生存所需的工具，虽然不像科学研究的工具那么精密，却同样的有用。

人类在发现金属、学会使用金属之前，使用的工具多取材于树干或石头——特别是燧石、黑曜岩、石英等较坚硬的岩石，以及骨头和其他天然材料。今天，随着材料物理学的发展，我们已经可以生产出武侠小说中神话一般削铁如泥的宝刀宝剑了，但是，在野外，这些传统材料仍然是最容易取得的。

石头可制成效果不错的锤子，可以单独使用，如果外形易于固定，也可绑上一个手柄。色泽明亮的岩石通常都比较坚硬，可以通过敲击、削或以其他方式在它的边缘造出刃口。其他石块，如板岩，石质较软，不容易形成锋利的刃口，而且不够结实耐用，但也可以产生刀一般的薄片。

鉴定石头硬度的方法很简单，把两块石头相互划一下，较软的身上就会留下划痕。或者可以用小刀一类的金属物品进行实验，如果留在石头上的划痕不是很明显，就说明它的硬度还不太低。

一块裂开的卵石是制作石器的最佳材料。这种裂开的卵石在河床上可以找到，或者用两块平滑坚硬的卵石相互撞击也可以得到。撞击时的方向应尽量垂直于卵石表面，一则保证冲击力完全被卵石吸收，二则，如果不能保证垂直撞击，就会出现一个切向分力，造成石块间的滑动，不当浪费力气，而且容易砸伤手。把卵石砸开后，再用另一石块击打卵石边缘，清除覆在光滑平面边缘的薄片。进行精细制作时可用质地软一点的材料如鹿角击打和按压。如果产生了光滑的平面，连续击打即可产生锋利的刀片。

不仅石头可制作成工具，鹿角或其他动物角和骨头也可用来挖坑或制成凿子、锤子。制作时，可用石器切割或在粗糙的岩石上磨擦。在这一点上，应该像我们的祖先学习，模仿他们的技巧。如有个小刀或其他金属工具，雕刻骨头就方便多了。

说到工具，斧子是一种所有船舶飞机上常备的工具，在斧头上安装一个合适简易的斧柄将利于携带与使用。斧子的优点是厚背薄刃，厚背使斧子具有较大的质量，因此很容易得到较大的动量，使得作用在目标物上的冲力比刀子大得多；而薄刃的目的与刀子一样，在于减小接触面积，因此可以增大压强。理想的斧子质量应该在 0.5 ~ 0.7 千克左右。

如果没有现成的金属斧头，这里介绍一种制作石斧的技术。首先将一石块劈开，使部分边缘成形，在一边用锐利石片连续垂直敲击，可产生一个“平台”。用较软的岩石或一片鹿角或硬木块击打、压制石块使其成形。

有斧头了，现在我们需要制作一根斧柄。

适合用作斧柄的木材要平直、无疤结、质地坚硬。树木和山核桃木都相当理想。在热带地区根肿树的肿根的弧，制作斧柄相当合适：微有弧度、平直的纹理、加工简易。

制作方法是在一个肿根上切两个槽口，长度与斧柄相当。在切口附近沿着肿根边缘敲击。木材都是由无数的长纤维构成，每一根纤维都很结实，但纤维之间的结合力相对小得多。我们这样做，可以使肿根从切口处沿着纤维的方向裂开，比我们自己劈就省力多了。

如果是金属斧头，斧头上会有一个现成的安装斧柄的孔。将斧柄一端削成合适的形状，且在上面挖出一个凹槽，然后将斧柄塞入斧头之中，在凹槽上加一合适的楔子加固。

将楔子适度钉入凹槽，然后将斧头浸泡在水中过夜。木质的斧柄经过浸泡将会膨胀，使斧头斧柄间结合得更牢固。

如果是石斧，就应该选择一质地坚硬的树枝作斧柄，在距离一端点约 23 厘米的地方用绳索缠绕几圈，系紧，然后从端点处将其劈开，裂口延伸至绑带处为止(此时可利用小刀、楔子或一片制斧头时余下的燧石)。将斧石插入斧柄裂口，再将末端用绳索缠好固定结实。此斧可劈木头，但效果并不十分理想。

如果斧刃过钝，使用起来无异于一把不太有效的锤子。使斧子保持锋利可以节省体力。我们可以用锉刀除去斧口上的毛刺，如果能找到一块磨刀石会更完美。磨刀石一定要选择粗糙并且坚硬的石头，光滑的石头摩擦系数太小，不会产生足够的摩擦力；而质地柔软的石头在你把斧子磨快以前，自己已经严重磨损了。另外要注意，使用挫刀时只能按一定

的方向运动——只可使用推力而不可以回拉，否则你就不是在磨掉毛刺，而是制造更多的毛刺。

磨斧子时可以用木桩和圆木将斧子撑住，打磨刀口时要在刀口的内侧用力，同时注意不要产生毛刺。先用挫刀或质地粗糙的磨石打磨斧子刀口的皱褶和毛刺，然后再用磨石进一步打磨。打磨时，磨石应作圈状运动，不要拉动。

注意，根据我们学过的物理学原理，摩擦力不但与接触面的粗糙程度有关，而且与接触面上的压力有关，所以手指按压刀片的力量一定要适度，并且要有一定的角度，以产生一个切向分力，推动刀片旋转磨擦。然后将斧头翻过来，按相反的方向重复打磨。如果还想使刃口更精致，可以进一步抛光，这时就可以用表面比较光滑的磨刀石了。

劈圆木时，要站在大圆木的后面，两脚分开，砍伐的一面远离自己。不要从上往下垂直砍伐，这与打制石器时不同，斧子经过长距离的加速，劈到木头时的冲力很大，如果直直地砍下去，木头给斧子的反向冲力会全部作用到你手上。这样不但费力，而且手会很疼。

你完全可以利用惯性定理，把斧子抡起来，使它完全凭借惯性砍向木头。这时斧子做圆周运动，你只要给它一个与冲力垂直的向心力，这样反作用力就不会伤害到你的手了。

如果要劈开一根细木棒，可以将棒的一端放在圆木上，这时木棒下方是空的，它的中部只受斧子的力，所以很容易折断，也可以参见第二章的有关章节。不过，千万不要将它放在脚面上，那样斧子的作用力会全部传到脚上，即使不受伤，也会很疼。

如果斧柄松了，可以把斧子掉过来，将斧柄在石头上使劲墩几下，这样斧子头就重新安牢了。这是因为当斧柄受到石头的阻挡而停止运动时，斧子头却因为惯性而继续向下运动，直到它与斧柄结合的十分紧密，斧柄给它的摩擦阻力让它停下为止。

在野外，你最好能随身带着几根钢制的缝衣针，不但可以缝缝补补，还可以用来挑出木刺、医治水泡，最重要的是，可以用来制作指南针。

但是，如果实在没有钢针，也可以制作一些骨针。骨针不能用来做指南针，但钢针的前几项功能，骨针完全可以胜任。

第六节 生火

火可以遏制死亡、增添生机。它不仅可以将食物煮熟，而且有更广泛的用途。火苗释放热量产生暖意，会节省体内能量散失，这些能量可以产生热量，保持体温；火还可以烘干衣服使人穿着舒适；火可以吓跑危险的野兽，还可锻烧金属打制工具、削尖木棍、煮水烧饭，烟雾则可驱走害虫。所以对于火一定要充分利用。

请牢记这个三角：三条边分别代表空气、热量和燃料。如果其中任意一边缺失，三角形构架就会坍塌，火势也就烟消云散了。所以生火时，要确保有良好的通风条件、足够的燃料和必备的热源。

为了让火堆维持燃烧，温度须维持在某一点，使氧气和

燃料不断产生反应。获得的氧气越多，火烧得越旺；如向火中鼓风或在其中埋进一根通风管道，火会烧得更旺。达到一定的高温点时，火焰就会极速点燃燃料，如果通风得到抑制，火势自然就会减弱。余火也会激发热量，但是需要的燃料更少。

如果了解了这些道理，就可避免火苗释放浓烈烟雾。冒烟是由于不充分燃烧引起的，多一分小心，实际操作中就会少冒一些烟。

有人说，燃烧本来是化学问题呀。对于生火而言，用物理的方法往往更直接。

火对于生存至关重要，它用以提供热量、用来防卫、作为信号、将水煮沸、煮熟和保存食物。所以必须学会在任何条件下、任何地方生火。光知道各种办法是不够的，在这方面，你必须成为一个专家。

千万不要在火堆边放置潮湿或带孔隙的石头，尤其是曾经浸泡在水中的岩石更要小心。受热时，它们内部储存的水分会迅速气化。如果热力学的常识一定知道，液体气化时体积会急剧膨胀，这一点即使不懂物理也一定猜得到。不过你绝对想象不到它膨胀得有多快，在你反应过来以前，它已经膨胀了几千倍。然后，“砰”的一声……

也要避免使用板岩和较脆的岩石——通过岩石间彼此猛烈撞击就可以检验出来，一切有裂隙、高度中空或表面易剥落的岩石都不可使用。如果它们含有水分，则膨胀速度更快，极易爆裂，迸溅出危险的碎片。

一、火种

火种泛指仅需一点热量即可点燃的材料。优质火种只需一个火星即可引着。

桦树皮、干草、细木屑、鸟绒、蜡纸和衣服上露出的蓬松的棉花都是很好的火种。干燥的真菌可以精研细磨成粉末用作火种，烤焦的棉花和亚麻、昆虫如树黄蜂钻孔打洞留下的粉末，以及粉末状的鸟类和蝙蝠排泄物，鸟巢里鸟儿落下的一行行排列的羽毛都易于点燃，适合作火种，甚至干燥的田鼠窝也可以。

无论用什么作为火种，一定要保持干燥。热力学的理论和实践告诉我们，液体在气化时要吸收大量的热，水蒸气蕴含的热能要比同等温度的热水更多，把手伸进 100 的热水和把手伸进 100 的水蒸气，伸进水蒸气的手伤得更重。所以如果火种中含有水分，水在气化时就会带走大量热能，就很难点燃了。随身携带防水容器，将火种收集在里面，这样就可以保证火种干燥。另外平时也应该多注意采集火种。

二、引火物

引火物是指那些可将燃着的火种火势增大的本质材料。最好的引火物是干燥的小树枝；质地松软的木柴也不错，因为它们燃烧迅速。特别是含有松脂的木柴，最易于燃烧。软木柴的缺点是容易冒火花，且燃烧过快，所以需要准备更多的主燃料。如果用软木材作为主燃料，很快就会消耗殆尽。

不要直接从地面收集引火物，它们会多少含点水分。可从一株未伐倒的死树上取材，如其外表潮湿，可以刨去，仅

留下干燥易燃的中心部分。

三、点火的方法

1. 火柴

火柴是点火的最便利工具。多携带一些标有“非安全”、“可以在任何地方划着”标记的火柴，把它们扎成一捆放在防水容器内，防止它们相互磨擦，意外自燃，另外也可防止火柴自身变潮。

万一不小心火柴弄湿了，也有办法。如果头发干燥并且不油腻，将潮湿的火柴放在头发里磨擦一番，头发产生的静电会使它干燥。

通过在火柴上滴蜡可防止火柴变潮。点火时，用指甲将蜡层剥除就行了。

划湿火柴时要将火柴头放在火柴皮上斜划下去，而不是沿着火柴皮来回刮擦。

无论携带多少引火物，尽可能多的火柴都必不可少。所谓耐用火柴，可以一而再、再而三地使用，但迟早会不灵，因此也要携带普通火柴。就其重量和占据的空间算算哪种更方便可行。

2. 使用凸透镜

记得关于光学的章节里提到过凸透镜和它的焦点吗？强烈的阳光通过凸透镜聚焦后可以产生足够的热量点燃火种。日常生活中，强光透过破裂的瓶碴片可使树叶或牧草变干，继而引发意外的火灾。

在你的备用工具箱中，放大镜或者望远镜和照相机凸透镜都可以代替凸透镜为你服务。如果你或者你的旅伴中有远

视或老花眼，他们的眼镜也非常好用。

如果在寒冷地带，可以把冰雪放在圆底容器中化开，再结成冰，这样你就可以得到一面冰制的凸透镜。或者直接把水装在透明的圆底容器中，也可以充当凸透镜。如果你身边有透明塑料袋也可以，把水装进去，由于张力作用，袋子壁会自动变成球形，这种凸透镜也是很方便的。用水和冰生火，以前你没想过吧？

使火种避开风，将太阳光线聚焦，形成一个最小最亮的光点。保持不动，当火种开始冒烟时，用嘴吹气助燃。

3. 打火石和打火镰

可作为打火石的石头在世界上许多地分都能找到。当两块火石撞击，会有一些碎石屑脱落，同时，石块的动能全部转化为热能，随着石屑四处飞溅，这些炽热的石屑也就是我们看到的火花。在一块钢制的打火镰上用力敲击，四溅的火花将会点燃干燥的火种。条边缘带齿的钢锯比普通小刀可产生更多的火星，工具箱中应该备有这种锯条。通常的方法是将刀背抵在打火石上敲击，或者在打火石背面横拉钢锯，靠近火种好让火星落在上面。

如果将镁片与打火石起使用，效果更好，镁片着火点低，燃烧剧烈。首先从镁块上刮磨下镁片，落在火种上，然后用锯拉出火星。

4. 电池生火

电火花应该是一种比较剧烈的放电现象，当电位差很大的两个导体靠近时，就有可能发生火花放电。这在本章第二节里曾经提到过。

车辆中的电池也可发出火花,并且可用来点火,手电筒、收音机中的电池也有同样的功能。

取两根长的导线,将其连在电池接线柱(正负极)上;如果没有电线,可取出两个扳手或其他金属工具应急。如果导线长度不够,可将电池从车中取出。

将两根导线裸露的末端慢慢接触。在即将接触前会迸出火花,必须让它们落在火种上。一小块沾了点汽油的布是最好的火种。

5. 火弓

下面我们要做的,是把机械能转化成热能。这是一种简易的生火技巧,但需要大量的实践练习。用一块坚硬的纺锤状木头在一块软木底座上摩擦钻孔,起初会落下细碎的木屑(可用作火种),而后摩擦处会变热。松树、白桦树、竹子是典型的软木材;栎树等可作硬木材。硬木、软木都必须干燥。

在靠近软木底座末端处挖一小洞,在下面凿一窝坑,里面放上火种。制一个规则的纺锤。将一根易弯曲的嫩树枝弯成弓状,可取材于榛树或竹子。

弓弦可用兽皮、细绳或皮靴带子。另外,还需要一块被凿空的石块、木块或一个小坛来稳固纺锤木的顶部,以便向下施以压力。

将弓弦在纺锤下缠一圈,将纺锤木插入底座小孔中,将稳固的一端握牢,向下轻轻用力,另一只手来回拉动木弓,这样纺锤木就旋转运动。当纺锤要穿透底座软木时,加快转动速度,当开始钻进凹坑时,压力加大,并且用力使弓弯曲,不停用力,直到不能再弯曲为止。

如果一切顺利,像烟头一样炽热的纺锤木顶端会直钻至火种上。轻轻向上吹气,火舌会迅速腾起。必须保持纺锤垂直,不晃动。曲起一条腿将木板底座踩住,将纺锤棒抵在这条腿上,同时,用另一只手拉弓,且保持弓来回拉动,均匀有节奏。

6. 手钻

这是火弓点火技巧的一种延伸,在湿度低、雨量少的干燥区域尤其有用。

在一块硬木板的底部凿一个 V 字形切痕,用来盛放火种,但仍要留出空间使空气透进来。在切痕附近凿一小洞,用一根较柔软的带有髓的树茎作为纺锤。

将纺锤木放在两手掌间搓动,持续用力使它向下渐渐钻深。磨擦使纺锤木发热发红;轻轻吹气,点燃火种。在纺锤孔放一小撮沙可以增大摩擦力,摩擦力增大的结果是只要钻很少的几下就可以做很多功,并且全部转化为热能;在纺锤下方弄一凹坑,就像使用火弓那样也可以。

第七节 辨别方向

在野外,迷失方向是一件很可怕的事,那就意味着……。即使在城市里,迷失方向也是很麻烦的。所以,学会辨别方向很重要。

一、利用自然地貌

在野外,当你迷失方向的时候,沿着河走会是个不错的主意。沿着水流向前,无论它是多小,沿途一般都有可维持

生存的资源，最终你将回归文明世界。大多数江河最终通向大海或湖泊。除了在很少的情况下河流突然间会消失于地下，绝大多数都会为你提供清晰明确的路线。

在相对较平坦地带，沿着河走会相对容易。你也可以利用河岸两边的动物的足迹辨别前进的方向。在热带地区河流两边小型植物茂密——因为阳光可以更多地透过树林照向地面，河岸两边可能会难以前行。如果河流足够宽广，可以考虑修建木筏。

在平原地区，河流蜿蜒曲折，因为流体力学的缘故，河的里弯流速较慢，会导致大量砂石沉积形成沼泽，易于暴发洪水——你可以在这类湿地中观察到葱翠的草木和灯芯草类植物。如果可以，应该尽量避免这种沼泽地，直接穿过河湾。

但是，在找不到河流的地方，又该怎么办呢？比如在沙漠里。

二、利用星星和太阳

地球是太阳系中的一颗行星，利用夜空中其他星星的位置，也可以帮助你辨别方向。地球围绕轴线自转产生昼夜交替，围绕太阳公转产生四季变化，因为地球围绕太阳公转时倾斜一定的角度，由北向南逐渐靠近，最近点位于南北回归线处。太阳于6月22日位于北回归线正上方(北纬 23.5°)，12月22日位于南回归线正上方(南纬 23.5°)，位于赤道正上方的时间为3月22日和9月21日。

每天太阳东升西落——但也不是正东和正西方。有一些季节性的偏差。太阳位于午时最高点时，在北半球，太阳所

处位置为正南；在南半球时，为正北。南北半球的区分可以通过树影的移动来确定：北半球沿顺时针、南半球沿逆时针方向移动。树影既可用于确定方向又可确定时间。

这里介绍两个用太阳判断方向的方法。

1. 影钟法

在一块平地上，竖直放置 1 米长的垂直树干。注明树影所在位置，顶端用石块或树棍标出。15 分钟后，再标记出树干顶端在地面上新的投影位置。两点间的连线会给出你东西方向——首先标出的是西。南北方向与连线垂直。这种方法适用于任何经纬度地区、一天中的任何时间，只是必须有阳光。用它，可以检测你移动的方向。

如果你有时间，还可以用另一种更精确的方法——在早晨标出第一个树影顶点，以树干所落点为圆心，树影长为半径作弧。随着午时的来临，树影会逐渐缩短移动，到了下午，树影又会逐渐变长，标记出树影顶点与弧点的交点。弧上这两点间的连线会为你提供准确的東西方向——早晨树影顶点为西。

2. 表法

传统的机械手表有时针和分针，可用来确定方向。当然，前提是它表示的是确切的当地时间——也就是它所在时区的真实时间，而且没有经过夏时制调整。越远离赤道地区，这种方法会越可靠，因为如果阳光几乎是直射的话，很难精确确认方向。

将表水平放置。如在北半球，那么将表的时针对准太阳，时针和 12 点刻度线的夹角平分线的方向为南北方向；如在

南半球，就将表的 12 点刻度线对准太阳，时针和 12 点刻度线的夹角平分线的方向为南北方向。

三、利用地磁场

以上那些方法都是依靠太阳，但是阴天的时候怎么办呢？地磁场是不会受天气影响的，所以说到底，最简单和最可靠的方法还是用指南针。

我们知道，指南针其实就是一枚小磁针，利用磁铁永远指向地球南北极的性质，就可以判断出方向。至于为什么会指向南北极，在前面有关电磁的章节提到过，这里就不重复了。

用一截铁丝(缝衣针即可)反复同一方向与丝绸摩擦，会产生磁性，悬挂起来可以指示北极。这是因为与丝绸摩擦产生静电，使铁丝内的分子环形电流极化，规则的排列起来，于是铁丝就成了一个小磁体。但是这样的磁针，磁性不会很强，隔段时间需要重新摩擦，增加磁性。

如果手边有一块磁石，就可以直接用磁石内的分子环形电流把铁丝磁化，这样会比用丝绸更有效——注意一定要沿同一方向将铁丝不断与磁石摩擦。

如果手头没有现成的磁石，也可以自己做一块。找一根钢棍，在正午时分，把它朝着太阳照射的方向倾斜地钉入地里，然后用锤子反复敲打钢棍，钢棍就会被磁化。这是因为地球本身就是个大磁铁，我们周围布满了磁力线。但由于地球是圆的，在不同的纬度，磁力线都以不同的角度与地面相交，这个角度称为地磁角，刚好与当地的纬度是相同的。比如北京位于北纬 40° ，这里的地磁角就是 40° 。

多次敲打钢棍，分子环形电流在地磁场的影响下朝地磁极方向整齐地排列，这样钢棍就有了磁性。所以，有时钢制工具会莫名其妙地自己具有磁性，但是这也没有什么坏处，只要让他们远离电脑、电视等精密的电器就行了。如果把磁化后地钢棍朝着东西方向钉入地下，并敲打它，钢棍就会失去磁性。

用一根绳将磁针悬挂起来，以便不影响平衡，这样就制成了一个简易指南针。但是注意，不要用有扭结或绞缠的绳线。

在迁移中，这种悬吊式的简易指南针相当实用，但在宿营地或行进间暂停休息时，还有一种更好的方法：把磁针平放在一小块纸或树皮或草叶上让它们自由漂浮在水面上，这样就制成了一个漂浮式指南针。

记得我们讲过怎么制作电磁铁吗？如果你有电压为 2 伏以上的干电池或其他电源，利用电流也可以磁化金属（铁针），你得准备一小截金属线，最好外包绝缘皮。将外包绝缘皮的电线绕成线圈让铁针穿过线圈。如果电线外没有绝缘胶皮，可以首先把铁针外缠几层纸或一块卡纸。

将线圈两端连上电流至少五分钟，铁针就可以磁化。

另外薄而平的刮胡刀片也可用来指示方向，因为它是由两类金属粘合而成。小心在手掌上摩擦刀片就可使它带上磁性，这于用丝绸摩擦铁丝的原理是一样的，然后把刀片悬吊起来，这就是一个刀片指南针。

你可以用其他方法确定哪个方向为北极，然后检测你新制各式指南针的南北极，并作好标记。

使用指南针时还要注意，应该不时地给你的指南针充实磁力。同时最好把检测出的方向与观测日影得出的方向作对照，因为如果附近有大量的含铁金属或矿圈，你的结果可能会偏差得离了谱。

正确选择了方向后，应尽可能沿着它向前。在远方选好特征物，迎着它走。穿越森林时要保持方向相当困难，这时指南针就会大有用处。

第八节 取水

生存的基本需要是食品、火、藏身处和水，它们的重要程度取决于你所处的环境。沙漠地区水是最首要的问题，在极地圈中避寒场所和水是最首要的。在获得幸存的努力中，第一就是要确定你的首要需求。

只有历经长时间的饥饿，才会导致一名健康者死亡，因为人体贮存的糖类、脂肪和蛋白质足够维持很长一段时间的生理活动。毫无掩蔽地暴露在风雨与寒冷之中，即便在温带地区也是致命的。而浸在极地冰水中几分钟就会玩完，所以泰坦尼克才会死那么多人，并不是因为他们不会游泳。

通常食物不会成为首要问题，因为即便在不毛之地，食物也会比其他几样东西来得容易。

在极端条件下，首要的是蔽身之所——不仅是指身处天寒地冻的极地或者酷暑沙漠，还包括寒冷潮湿的山区。同时，这些地区火源也是至关重要的。

前面已经介绍过了生火的方法，那么如何获得与火同等

重要甚至更重要的水呢？

对于海难或洪灾之后的幸存者来说，尽管四周被水包围，却得不到可以饮用的水。水对于普天下万物都是最重要的，生命离不开水，所有生物都依赖于水，所有的生物也都含有水。没有食物，正常人平均能活三周，但没有水三天也活不了。

水需要优先考虑，不要等到水都用光了才想到去找水。保留你珍贵的存水，尽最大努力去寻找水源。流动的水源最理想，尽管将水煮沸或者利用化学净化剂都可以杀菌消毒，但流动水还是更好一些。

正常人平均每天耗水 2~3 升，即使静卧者每天也要消耗大约 1 升水。正常呼吸会从人体带走水分，随着工作强度加大和气温的升高，深度呼吸和出汗也会促使人体失去水分，病人的呕吐和腹泻更会增加水分丧失，必须不断补充水分以维持正常水分平衡。通过饮水和食用含水食品可以补充水分。

如果真的想从根本上解决问题，就必须寻找水源。

俗话说：人往高处走，水往低处流，这是恒古不变的真理，除非经典物理的大厦崩塌。所以寻找水源首选之地是山谷底部地区：如果谷底见不着明显的溪流或积水池，要注意绿色植物的分布带，试着向下挖，很可能植被之下就有水源。

在干涸河床或沟渠下面很可能会发现泉眼，尤其是沙石地带。在高山地区寻水应沿着岩石裂缝去找。在海岸边，应该在最高水线以上挖坑，尤其是在沙丘地带，很可能会有—层厚约 5 厘米的沉滤淡水，因为它的密度远小于海水，因此

可以浮在海水层以上。这层水可能会稍有盐味，但可以饮用。

除了工业化城市（比如北京、兰州和沈阳）中出现的会增加土壤污染的酸雨外，大多数雨水都能饮用，你所做的只不过是收集而已。尽可能选取大面积的集水区，利用各种可能的容器收集。

在地面上挖个洞，四周用粘土围住很大一块地方，可以有效地收集雨水、但要防止洞里的水渗走。如果没有防渗的薄片材料，金属材料或者帆布材料都可以很好防渗。如果对水的安全性有所怀疑，可以在饮用前烧开。

在日夜温差相当大的地区，会有很多露水。当它凝结在金属体上时，可以揩抹下来或者直接舐吸。你也可用衣服浸透水，然后再拧出来。一种方式是将干净衣服系在腿上在湿的植被中穿行，然后将水拧出来或者吮吸。棉布或其他天然纤维的布料里有丰富的毛细管，是很好的吸水材料，而尼龙布中基本没有这些毛细管，所以它的吸水能力极差，基本上它没有任何吸水能力。

植物根部可从地下吸收水分。有的树木根部可延伸到地下 15 米或更深处获得水分，个人就是费力也挖不了那么深。当然，你也不必如此，可以让树来帮你。在一段树木的嫩枝叶上套一只塑料袋，叶面蒸腾作用会在袋内产生凝结水。甚至将刚砍断的新鲜植物枝叶放在大塑料袋里，温度升高时，也会产生凝结水。

传说有人在沙漠中或大地震中，凭着饮用自己的尿液活了下来；还有人说，日本一些人曾经尝试没有淡水的情况下在海上漂流，只靠鱼的体液和海水补充水分。但是请不要相

信，以上那些无稽之谈，无论何时也不要饮用海水和尿液！但是，通过蒸馏，两者都可用来产生可饮用水——海水的残余物同时还能提供人体必需的盐分。

在沙漠中，还可以把塑料条换成塑料薄膜，把它的边缘都埋在沙土中。在塑料薄膜下的沙坑里放一个空容器，一会儿，薄膜背面就会有水滴出现，而且越聚越多，最后流进杯里。这是由于阳光照射，薄膜下的沙子很快受热。沙子里的水分就要蒸发，薄膜下面的空气逐渐饱和，碰到冷的薄膜凝成了水滴。

蒸馏器皿是救生装置的一部分，如果没有也可以就地取材。为了蒸馏能顺利进行，需要找到一些能替代实验室里曲颈瓶工作的东西。将软管，一端插入一只盛满水的密闭容器顶部，另一端插进封闭的冷却皿中。给盛水的容器加温，水沸腾产生的蒸汽经管子散发到冷却皿中遇冷凝结成洁净的水。

管子也可以因地制宜、就地取材——比如背包的中空框架等。为了避免蒸汽散出，可以用泥或湿沙封闭管道与容器之间的接合缝隙。

管子一端插入盖口容器里，容器里装有待沸腾的污水、盐水甚至尿液，另一端插入一只日光蒸馏器里。用金属板或树皮盖住容器口。用作冷却皿的日光蒸馏器口甚至可以用卷成圆锥形的树叶来覆盖，这样有助于收集蒸汽。

第九节 在特殊的环境下

一、渡河

河流上游通常水流湍急，河道狭窄。两岸可能陡峭崎岖、怪石林立，不过一般还是能够找到适于渡河的地点的。

河流三角湾处通常波涛汹涌，河面也很宽，有些河流甚至会受潮汐影响，所以不要选择在这里渡河。除非有木筏或浮艇，要不还是继续向上游前进，寻找适合穿越的河段。

即使有木筏，在宽阔河面，尤其是在靠近入海口处渡河也是很不明智的，很可能被河水冲走，离理想的彼岸越来越远。不过这也得根据实际情况——水流和风浪对航行的影响程度而定。

不过一般情况下，趟水过河都应该是可行的。因为即使河流相当宽广，也会有相对狭窄的某段河道，适合趟过河去。但首先要确定河水很浅仅会弄湿鞋袜。

决不要低估了趟水的难度。砍一根木棍，以帮助你维持平衡，直接面对水流方向穿过河，这样只会正面受力，没有任何侧向力，被河水冲走的可能可以降到极小。

人的皮肤是很光滑的，与水流间的摩擦力远比衣物小，所以渡河时应该将裤腿卷起，高出水面，或者直接脱下来，这样可以减少前进时的阻力，也可以减少侧向的冲击力。

但是一定要穿着靴子，因为靴底与河底的摩擦力更大一些，这时摩擦力就是有用的了，增大摩擦力可以是你在河里

站得更稳。另外靴底的面积比光脚大得多，摩擦力虽然与面积无关，但是增大鞋底的受力面积更有助于维持平衡。

记得解开背包的腰绳，当你滑倒时，立即挣脱它，否则它会增加你身体受到的河水的冲击力。但不要放弃背包，它的密度比水小得多，可以像救生圈一样帮你游向岸边。

团队成员集体趟水过河时，应由能力最强者领队，大家沿线依次前行后者抓住前者腰部衣物，慢慢向前移动，尽可能减少水流的阻力。

另外，所有队员可以手拉手排成一列，共同抓住一根长篙或棍木以保持队列。可以面对着河岸向前移动，只有第一位成员身侧直接阻挡水流，这样只有他一个人会受到水流的冲击力，而集体也可以帮他保持平衡。

由于流体力学的缘故，河面上水流的运动能提供许多有关水底的信息。从理论上当然可以推算出来，但是很麻烦，所以最好的办法还是多积累一些经验：

水下有岩石或其他物体阻碍时，水流会形成“v”字形波纹。某处波纹总是凸起，表明水底常有巨砾或圆石，使得水流向上偏斜。

靠近水面的水下障碍物会在其下游产生旋涡。如果一块巨型圆石挡在向下倾斜的河床上，这些涡流会产生强有力的回旋，将下游的物体包括游泳者吸住——它们是相当危险的。如果你真的落入漩涡，应该尽量减小自己的质量，因为在漩涡中越是质量大的东西，落得越快。

还有，知道这一点可能会对你有帮助，弯曲的河道上，内侧可能要比外侧浅一点。为什么呢？让我们做个实验。

一杯茶水，它的底部有少量的茶叶。搅拌时，茶叶将怎样运动？你可能会想，茶水围绕茶怀中心轴旋转产生的离心力，会把杯底的茶叶往外推向怀壁。可是，实际上并非如此，而是集中在杯底的中心。这又是怎么回事呢？

假定有一部分水，它绕杯子中心轴线旋转，离轴越远，它所受到的离心力越大。离心力要把茶叶推向杯壁，而茶水的压强则由轴往外随着离心力的增加而增大。在某种意义上，这压强与离心力互相抗衡。这样，转动中的茶水应该没有径向运动。

然而，事实上，由于茶水的底层与杯底之间的摩擦，径向运动产生了。底层茶水转动的衰减说明，在底层靠近杯壁的茶水和靠近杯心的茶水之间的压强差，比在表面茶水的压强差小；这也说明：在杯壁附近，顶层茶水的压强比底层茶水的压强大。这样，就迫使茶水沿杯壁向下流动，然后径向地往内流向杯底中心，再沿中心轴线上升，到顶层再径向往外流动。

茶水的这种运动，就是通常所说的二次流。在茶水沿中心轴线上升时，它带动茶叶沿杯底流动并沉积在杯底中央。这种现象与我们曾经提到过的伯努利定理有关。

这种二次流原理，就是河水曲折流动的原因之一。河水流过弯曲河道时，即产生了与茶杯中情况相似的二次流。这是因为，河底附近水流的阻力、河湾内外侧的河面水与河底水的压强不等造成的。河湾外侧河面水的压强大，迫使河水沿外岸向下流动，到达河底后，河水被迫流向河湾内侧，然后向上流动，最后沿着水面流向河湾外侧。

这时，河湾外侧的水平速度比河湾内侧的高。而且，外侧堤岸不断地被冲蚀而内侧堤岸不断地扩大。结果，河流变得越来越弯曲。在任何新的直河道中，二次流都会加强它在河床中的扰动，从而形成小小的弯曲。这些小小的弯曲又进而增大，成为更大的弯曲。如果河流已变得非常弯曲，则它将把两段河湾之间的河岸冲蚀掉而使之变成一片浅滩。

所以，如果选择河湾处过河，特别是从内侧走向外侧的时候，一定要格外小心。

二、穿越沼泽

如果你不可避免要穿越沼泽地带，尽量把落脚点选在簇生草木上。陷入泥沼时，别试图向上跳。因为人类的跳跃动作实际是基于牛顿第三定律的，脚猛地蹬踏地面，给地面一个很大的压力，使地面产生弹性形变，所以地面才会给人一个反作用力，把人弹起来。可是沼泽地里地面是软的，它产生的形变不是弹性形变，无法立即恢复原状，所以，使用跳跃的动作使劲蹬地，只会使你陷得更深。

正确的方法是：应迅速采取俯泳姿势，靠向牢固地点。身体贴着地表展开，可以将体重的承受面积大大增加，减轻身体对地面的压强，然后在抓住一个可靠的物体，比如挂在树上的藤条或者岸上的石头等，把自己拉上岸。

三、火灾

燃烧是个化学问题，但热量的传播却是个物理问题。热量是火灾中对生命威胁最大的三个因素之一，其他两个因素分别是烟尘和有毒气体。热量以传导、对流和辐射三种方式传播，其中对流是最主要的。

未熄灭的烟头和火柴是诱发火灾的最主要原因,电器使用不当也是诱发火灾的一个重要原因。所以一定要养成认真的习惯,随时消灭烟头等火灾隐患;也应该知道如何正确的操纵各种电器了,既可以避免触电,又可以防止火灾。

另外,废弃的瓶子和破损的玻璃也有可能引发火灾。是不是觉得有些难以理解?其实说破了,不管什么样的碎玻璃,表面都会有一定的弯曲,它们就要像一个个小透镜——尤其是玻璃瓶,它们基本上都可以看作凸透镜。当阳光穿过这些凸透镜,聚焦于下面干燥的枯草和苔藓上,就会点起熊熊大火。所以,郊游的时候千万不要乱丢垃圾,尤其是玻璃类垃圾。

不过,有时候虽然没有玻璃,大自然却有它自己的透镜。在热带地区,每一滴清晨的露珠都好像是一个凸透镜,如果阳光透过它,刚巧落在干燥的枝叶或茅草上,就会引发森林大火。不过这种机会还是不太大的,因为热带地区很湿润,本身就不容易发生火灾。事实上,绝大部分森林火灾是因为人类活动而引发的。

假如火势正在蔓延,但大火离自己距离相当远,有时间逃脱险境。就不必慌不择路、掉头就跑,除非大火逼近,已无从选择。尽管身上的衣服可能妨碍行动,但千万别把它脱掉,衣服可以提供一定庇护,使身体免受猛烈的辐射热的侵袭。

浓烟的方向预示着风向,同时也向你表明火势蔓延最快的方向。如果人在火中,则只能顶风逃出火海。寻找天然的防火带,例如树林中的一条开阔平地就可以阻挡火势。河流

是最理想的防火带——即使火苗能够越过河流，它的热量也会近数被水和水蒸气吸收。

不要慌不择路、四处乱跑，应选择好脱险的路径，注意观察周围的地形以及风向，估计火势扩展的趋势。如果大火随风迎面扑来，注意，大火的推进速度可能比你预计的更快——火苗可以跳跃式前进，所以最好能绕道避开大火。不过如果大火在前面绵延数公里，你既不能绕过去也不能将大火抛在身后，那么就寻找一个宽大开阔的深谷、水道或峡谷暂时躲避。

有些时候，脱险的最佳方式就是穿过火场快速奔跑，但如果火势很大或者大火覆盖大片地域，这种做法是下策。在开阔地带或荒地，可以穿过火势较弱的地方到已经烧光的地面避难。尽可能遮蔽体表，如果有水，将衣服浸湿，头发及覆盖不到的体表也弄湿，这样就等于形成了一层吸收热量的保护层。用潮湿的衣服捂住鼻和嘴，以防吸入有害气体。

如果条件许可，比如无法脱离火势或穿越火场，但大火仍有一段距离，这时可以采用以火攻火的办法。

方法是在大火到来前点燃一片地，使其没有残留可燃物，火苗自然无法前进，这样就给自己提供了一个避难所。注意，前提是与大火必须间隔一段距离，有时间烧出一块空地。

点燃的火带尽可能宽：至少宽 10 米，它将同火灾火势向同一方向燃烧，产生一条足以避难的隔离带。风向一定要正确。

注意，风有可能旋转变向，因为由于火的缘故，局部的

空气密度会发生改变，产生对流，火势大的时候甚至会造成漩涡，把人吸进去。因此必须做好准备，一旦发现势头不对，赶紧冲出自己点起的火。火灾火势必须离自燃火有相当的距离，不能低估火苗的前行速度，它或许比我们跑得更快。

另外如果可能是由于错误用电引起火灾，就更要小心，不能用水，先切断电源，最好是切断总开关，煤气管也要关掉，同样关闭总管道最好。如是电视机或计算机起火，不能用水，即使已经关闭了电源，残留的大量电荷也会给我们重重一击，甚至致命。

冰水可能造成显像管爆炸，所以尽量使用隔绝空气的方式灭火。虽然显像管可能会爆炸，但显像管里面是真空的，爆炸时碎片一般都会向内部飞溅，所以不必担心它造成什么额外的伤害，只要稍加小心就可以了。

刚才我们讲的逃命方法基本上只适用于野外火灾——特别是山火。在人工建筑物——尤其是高层建筑中，如果火势太旺，手中的工具已不可能扑灭大火，跑依然是惟一个活命的方法。与旷野中不同，在这里，要疏散物品，关闭干线电路，关上火能穿过的门窗。疏散完毕后，最好将火势控制在一处，以便在消防人员或营救人员到来之前阻止火势的扩展。

因为对流的缘故，热空气总是向上走的，所以火势向上扩展的速度远比向下快。尽管坍塌的地板或墙壁会携着火苗落下来，但是能待在楼下尽量就不要往楼上跑。

如果要从房间里冲出，开门之前查看房门边缘的烟，试试门的温度，用手背碰一下金属门上的拉手，如果太烫就不

能打开屋门，抓住拉手会引起烫伤。结实坚固的屋门可以抵挡火势达半个小时或更长时间(但不要指望现在的薄板门有这么高的质量——除非是防火门)。

如果必须进入着火的房间。用脚将门抵住，留出一条小缝——以防止屋内干热的空气膨胀引起的压力将门冲开，弯腰进入。门只能开得很小，使火势很少可能蔓延过来。走出屋子后，要关闭屋门。阻止火势扩展。

如果自己孤立无援，不能消除危险，那么躲到一个离火势尽可能远的房间。如高度合适，可以跳出房间，但应选择松软的地面——这可以用动量定理解释。草坪、花园、甚至有些砾石的道路比圆石块地面、混凝土制或砖铺的路面更加松软，地面最好没有围栏。

如果屋内有床单或窗帘，用它们结成一根绳索。如果必须跳到坚硬的混泥土地面时，一个斜坡造成的伤害会更小。

紧闭屋门，用窗帘、垫子或其他厚东西塞紧门周围的缝隙。如果可能，用水浸湿。火灾发生之后如一直无法报警，可打开窗户引人注意。用一些器具将窗子敲破，也可以用脚踢破，但不可迅速将脚抽回——要小心破玻璃。如用手，要把手包裹好，用拳猛击。身上如穿着厚夹克，用肘部撞击效果也很好。

短时间内不可能获得营救时，设法向下滑落。将床单、毛毯、松软的覆盖物和其他结实的东西系成一根绳，即使不能垂到地面，也可以降低你跳下的高度。连接时使用平结，拉动每一个系好的平结检查牢固胜；将笨重的家具推倒在窗前，把“绳子”在上面固定好，或者系在暖气管道上，或者

击碎玻璃，系在厚实的窗框上。如果“绳子”长度不够，将坐垫、枕头、被褥等一切比地面更软的东西从窗口扔下。

如果没有东西可结成绳子，可爬出窗口，悬在窗台上；如没有窗台，则抓住窗框的底部。

不要往下跳，除非一群消防队员用毛毯在地面接着。要学会利用地面能阻碍下落的东西，而不要径直跳上坚硬的地面。汽车顶棚就可起到缓冲作用，落在上面可减轻损伤。

树木可以阻止下落之势。但同时也相当危险，可能被挂在树枝上。从高处滑落采取各项措施，尽量延长受力的时间。理由我不想再重复了，相信你已经非常熟悉动量定理。要注意保护头部，摩托车的防撞头盔最理想，用运动衫、毛巾像头巾一样裹住头部同样有所帮助。

当滑到绳端时，准备下跳；首先用一只脚将自己推离建筑物，这样松手下落时就不会撞击墙壁；弯曲膝盖，用手护住头部。落地时，膝盖进一步弯曲，滚向一侧，用背部着地滚动（仍然注意护住头，脚伸向空中）这样可以增加受力面积，也可以延长受力时间。

下落时，面对斜坡，两脚并拢，膝盖轻微弯曲，头部低至胸前，肘部在两侧并拢，手护住头部；落地的一刹那，脚面保持水平，让膝盖充分下弯，向前滚一个筋斗，就像伞兵那样。

四、地震

地震或许是自然界中最可怕的灾害——毫无迹象就会突然发生。它与别的自然灾害如洪水、火灾等不同，很少能对它采取防范措施。地震震幅范围很大，小的震动仅精密的

测量仪器才能探测出，大的地壳隆起可以将整个山体撕开。

小的地震处处都能发生，但大多数地震主要集中在所谓的地震带上。那里的建筑物都作了抗震设计，如果倒塌，也损失也不会很大——比如日本的传统建筑。现代化的城市很少考虑这种因素。

地震是由地壳中聚集的张力突然释放引起，在地下 700 公里深处发生，但仅在地壳上层数十公里的破裂才有可能产生影响地表的运动。

如果你已收到可能发生地震的警告，除了继续保持收听当地电台最新的报告和建议，还应该关掉液化气、电源；将大而重的物体从高的搁架上拿走；将瓶子、玻璃、瓷器和其他易碎的东西放进低橱内，搁板应有挡手，以防止物体下落；橱门应紧闭，移走悬挂物体。

准备好新鲜淡水和应急食物、手电、灭火器，远离那些可能砸着你的东西。在户外，树木可能会被连根拔起，一些小型建筑物即使不会被摧毁，破碎的砖头瓦块也可能滑落。逃到空旷处最理想，但如果没有足够的时间，呆在屋内可能更安全，在大街上的话，破裂的煤气管道或电线会增加危险性。进进出出的人最危险，极易被建筑物上的砖石击伤。

当地震发生时，如果在户内，就呆在里面，将火熄灭，远离玻璃——特别是大的窗户(包括镜子)。屋中的角落或有好的支撑的内部门道是好的避难处，较低的地面或地下室也不错，因为它不可能倒塌。如果实在来不及，那么躲进桌底或别的坚固的家具下，这不仅能给你提供防护，而且也有较大的呼吸空间。这种方法对于正在办公室办公的人，和正在

上课的学生特别适用。

如果有条件，尽量躲近卫生间之类面积相对狭小的房间，根据结构力学，面积狭小的房间里，单位面积内的可以承重的墙壁相对多一些，会更加安全。

此外还要注意：远离高大建筑；不要往地下走或进入坑道，这会导致被困。

总之，如果地震来临，速度至关重要，很少有时间去把其他人组织起来，如果必要的话，可以使用暴力将他们推倒在地面上使其安全。