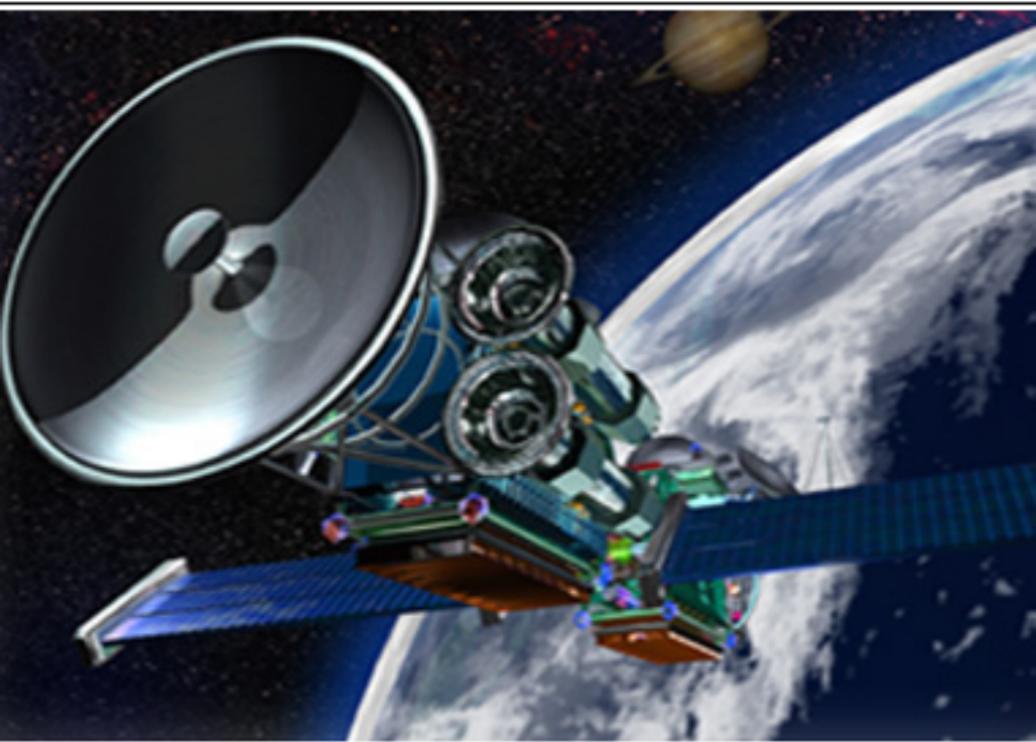


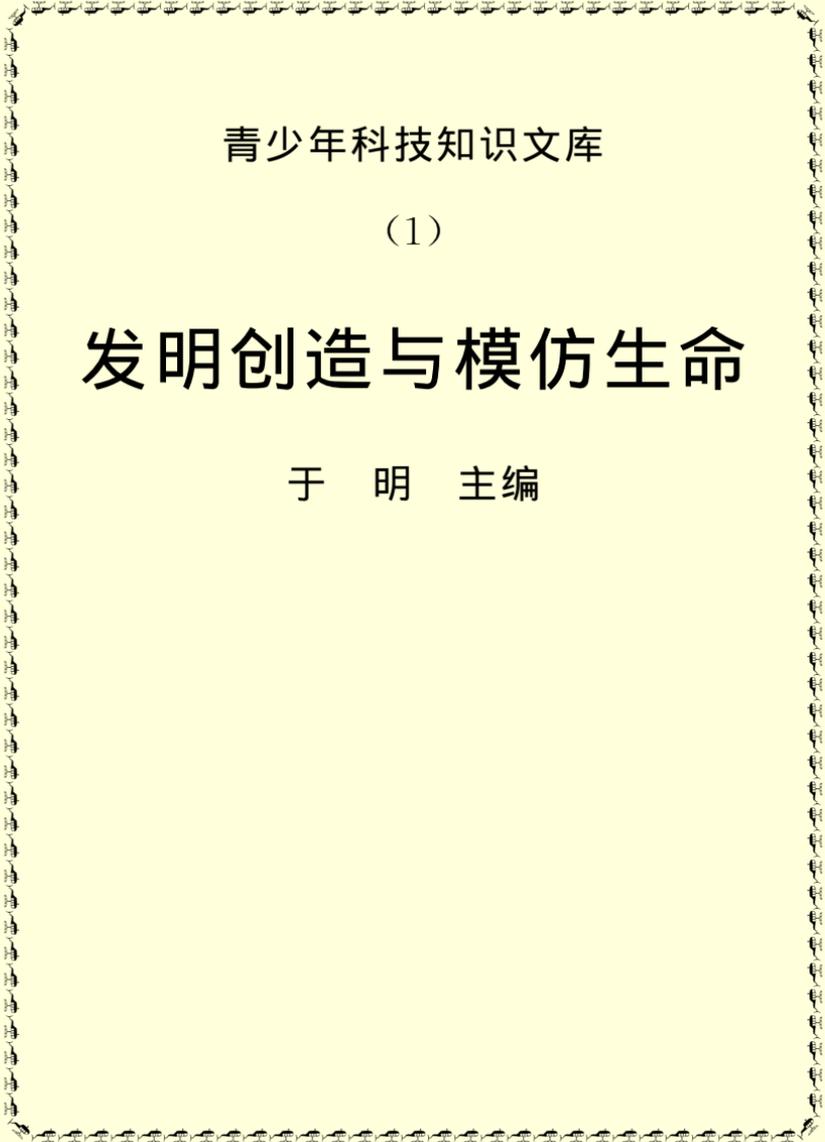
青少年科技知识文库

QINGSHAONIAN KEJI ZHISHI WENKU

发明创造与模仿生命



科普教育与艺术修养
青苹果电子图书系列



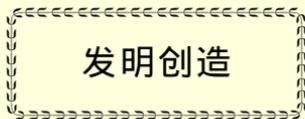
青少年科技知识文库

(1)

发明创造与模仿生命

于 明 主编

目 录



一、发明创造

发明创造与人类进步	2
创造型人才的特点	5
发明创造的一般过程	9
发明创造的方法	13

二、发明创造的准备

发明主题的选择	17
观察是发明创造的开端	21
学习方法	25
资料积累	28

三、发明创造中的思维

实验设计	31
归纳法的作用	34
演绎法	37
类比的作用	41
谈联想	46
仿生学与发明创造	49

谈发明创造中的想象·····	52
发明创造中的猜想·····	55
逻辑(抽象)思维的作用·····	58
逆向思维·····	62

四、影响发明创造成功的因素

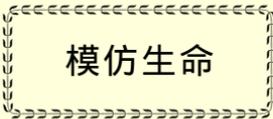
灵感·····	65
洞察力·····	69
发明创造活动中的独立思考·····	72
经验的作用与局限·····	74
谈理论的作用与局限·····	77
机遇·····	81
偶然发现与必然发现·····	85
发明创造与审美情趣·····	89

五、发明创造的曲折性

认识的曲折上升性·····	93
科学预言的检验·····	96

六、常用的发明创造方法

发明创造方法之一——智力激励法·····	100
发明创造方法之二——检核表法·····	103
发明创造方法之三——联想、类比法·····	108
发明创造方法之四——组合法·····	112
发明创造方法之五——“七步法”和“六色帽”·····	115
发明创造方法之六——信息交合法·····	119



模仿生命

七、模仿生命

人类仿生历史	123
人类仿生的历史弯路	125
连接生物与技术的桥梁	130
一门崭新的学科	134
内容丰富的仿生学	135
如何模仿生命	137

八、感觉器官的模仿

视觉模拟	139
反应迅速的蛙眼	142
感觉敏锐的热眼	145
明察秋毫的鸽眼	148
高空侦察的鹰眼	149
眼观六路的鱼眼	152
多如牛毛的虫眼	154
棋高一着的鲿眼	157
结构完善的人眼	159
听觉的模拟	161
能“听见”电场的鲨鱼	164
能“听穿”海水的食鱼蝠	165
水母的“顺风耳”	167
电子计算机上的“人耳”	168

嗅觉的模拟	170
电子鼻	171
电子警犬	173
苍蝇的贡献	175

九、生物机械原理的模仿

高效率的人造肌	177
奇特的车辆	180
航速之谜	182
自由地飞翔	185
大自然完美的设计	188

十、动物定向与导航系统的模仿

活雷达——蝙蝠	191
夜蛾的反雷达战术	194
海豚的声纳系统	197
远距离定位	200
生物通信	205

十一、生物化学原理的模仿

海水淡化器和“人工鳃”	210
生物光源	212
生物电池	216
高效催化剂	219
绿色化工厂	221
化学武器	224
特种粘合剂	227

十二、大脑与电子计算机

大脑和计算机	230
可靠的精巧模型	233
未来的工具	235
发展新技术的钥匙	241

A decorative border with a repeating floral or scrollwork pattern surrounds the central text.

发明创造

一、发明创造

发明创造与人类社会进步

地球上,人类和其它动物的根本区别是什么?研究人类起源的科学家早已得出结论,这种根本区别就是人类通过劳动,在改造客观世界的同时也改造了自己,而核心问题是人能制造和使用工具。动物靠自身器官、肢体作“工具”,但人有思维活动,人能通过思维活动总结经验,按照自己的意愿制造器官、肢体以外的工具。这种活动就称为技术活动,技术活动的成果就叫“发明”。从考古学家发现的古人骸骨化石周围总是堆放着原始工具和器物来看,发明创造活动与人类社会进步是密切相关的,人们生活的改善、社会生产的发展、社会文明的进步的直接原因就是“机械技术上的发明”,正如十七世纪英国思想家培根指出的那样,技术发明与创造是社会进步的动力,“知识就是力量”。

回顾人类社会发展的历史,发明创造给人类社会带来的变化是十分惊人的。十九世纪以前,人们外出旅行时,陆上是步行或骑马,水上则乘帆船,其行进速度与几千年前没有很大区别。但十九世纪末以来,人类社会进入了“技术世纪”,火车、

轮船、汽车、飞机等相继发明,使交通工具大大改善,现在,人们可以在 24 小时内到达世界的任何一个城市。这样,地球各地之间的距离“缩短了”,人们之间的交往方便了。本世纪每一个重大社会变革都显示了发明创造对社会进步的巨大作用。人类社会发展的历史进程表明,重大的发明创造必然带来社会的巨大变革,使人类社会进入更新的时代:

原始社会进入新石器时代,人们利用钻具的磨擦,成功地制造了火,钻木取火是人类历史上第一项伟大的发明创造。有了随时可以制造火的技术,人类的生产和生活就大大方便了。生活上,火可以用来照明、取暖、烧煮食物,从而扩大了食物的范围;在生产上,火可以用来烧制陶器、铜器、铁器,从而使人类社会由石器时代进入到铜器、铁器时代,产生了有阶级的社会——奴隶社会。

有了金属冶炼技术以后,人类改进和发明工具的创造活动就随之活跃起来了。人们用自己发明的金属用具以及驯化的牛马进行农业生产,使人类由迁徙不定的游牧生活进入稳定的农业生活。在农业生产中,劳动者发明了许多农业生产技术,例如用犁翻耕土地,用牛、马等牲畜拉犁,用水车抽水浇地等,从而大大提高了劳动效率。发明创造使社会生产力提高,社会生产力发展使人类社会进入封建社会。

人类社会发展到一定时期,就出现了社会分工,手工业成为重要的行业,技术的发明与创造使手工业作坊的规模不断扩大,同时生产出现专业化,使生产效率提高,手工业生产的发展使机器生产成为迫切需要,从革新发明纺织机开始,蒸汽机、发电机的发明和使用,使人类社会由一家一户的小作坊生

产变成集体的大工业化生产,从而使人类社会进入资本主义社会。

人类社会发展到今天,以微电子学和电子计算机的发明为中心,正进行第四次技术革命。从当代社会生活实际中我们可以看到,电子计算机的威力是巨大的,它已进入到人类社会生活的各个角落。它使人手扩大了,也使人脑延长了;它使人的体力放大了,也使人的智力放大了。电子计算机使地球上出现了“无人工厂”、“无人农场”,整个工农业生产过程都可以通过电子计算机来控制,由机器人来完成,从而不但提高了劳动效率,而且还提高了产品的质量。电子计算机对人类的家庭、社会、文化、教育、工业、农业、商业等各方面的影响将是十分巨大的。可以说,依靠电子计算机,人类将能办到一切想办的事。

从以上简明的阐述中读者不难看出,发明创造与人类社会进步具有这样的关系:人类社会的发展向人们提出了科学技术上的迫切需要,这种迫切需要促使人们努力进行发明创造;相应的,发明创造的成果又反过来促进了人类社会的发展;人类社会新的发展又向科学技术进步提出了新的需要,这又促使人们进行新的发明创造活动,……。这样,社会进步与发明创造相互依存、相互促进,从而推动了人类社会不断向前发展。

创造型人才的特点

1543年，哥白尼发表《天体运行论》，创立了“日心说”，正式向崇教神学宣战。“日心说”把地球从宇宙中心的宝座上拉下来，还了它绕太阳旋转的本来面目，因而对“上帝创世说”是一个沉重的打击。这样，新生的哥白尼学说被控为异端邪说，著作被列为禁书，日心说的信仰者受到残酷迫害。然而，崇尚真理者并不会被吓倒，他们甚至随时准备为真理而献身。布鲁诺就是一个例证。

布鲁诺是意大利人，由于家境贫寒，在他14岁时被送进修道院，然而布鲁诺却相信哥白尼的日心说。他写了一篇题为《诺亚方舟》的短文。对《圣经》提出种种质疑。这件事惹怒了教会，布鲁诺的行动受到了监视。为此，布鲁诺毅然脱去袈裟，开始了逃亡的生活。

在他的逃亡生涯中，布鲁诺的足迹踏遍整个欧洲，所到之处都留下他宣传哥白尼学说的声音，他还撰写了《论原因、来源和统一》、《论无限性、宇宙和诸世界》等著作，从各个方面补充哥白尼学说。布鲁诺提出，太阳是太阳系的中心，而不是宇宙的中心；宇宙是无限的，是没有中心的；地球只是宇宙中一个微小的颗粒。这些“无法无天”的行为和言论，真正激怒了反动教会。于是，布鲁诺被监禁了八年，在折磨、凌辱中他仍不屈服，为了真理没有退缩半步。

1600年2月17日，罗马教会鲜花广场上对布鲁诺作了

最后裁判,他被押上了火刑架。宗教裁判官威胁说:“再过一会儿你就要站到你的创造者面前了,赶快放弃你那异端邪说,向上帝忏悔吧!”但布鲁却回答:“我不能够,我不愿意放弃!”当烈火熊熊燃烧起来的时候,布鲁诺坚定地说:“火并不能把我征服,未来的世界会了解我,知道我的价值!”

布鲁诺的精神代表了发明创造者的个性,他们崇尚真理,不屈服于统治者,也不被权威所吓倒。勇敢地面对真理是他们共同的特性,他们能对人们习以为常、举世公认的东西表示怀疑,他们敢于想象,敢于提出常规难以想象的目标,不怕与多数人的见解对立,而且为了实现目标,他们会全力以赴,不顾一切。

发明创造型人才的第二个特点是他们的独创性,他们决不人云亦云,对任何事物都要问个为什么,用独立思考去逐个审查。爱因斯坦创立相对论,正是从他对传统的、权威的牛顿绝对时空观表示怀疑开始的,而伽利略发现自由落体运动定律,也是从怀疑亚里斯多德的理论开始的。

亚里斯多德是古希腊的一位杰出的哲学家、自然科学家,他的学说历来被人们奉为圣典,从来没有人敢怀疑亚里斯多德学说的正确性。亚里斯多德根据生活经验断言,物体从高处下落时,其下落的速度与其重量成正比,如一块石头和一片羽毛同时从房顶下落,石头将先落地。一千多年来,人们视这一断言为天经地义,从来没有人对此提出过疑问。但伽利略却想,如果亚里斯多德的论断正确,即 A 物体比 B 物体重时, A 将先落地,现把 A 与 B 两件物体捆在一起,显然 A+B 就比 A 重, A+B 应先于 A 落地,但是由于 A 快 B 慢,因此 B 应起

减慢 A 的下落速度的作用,这时 A+B 又应比 A 后落地,这样就导致了矛盾。这说明亚里斯多德的断言是错误的。1590 年,伽利略在意大利的比萨斜塔上做了著名的自由落体实验,证实了他自己的论断:在一个完全没有阻力的介质中,所有物体以同一速度降落。这样,他就推翻了亚里斯多德的错误理论,获得了自由落体运动定律。最近,为了纪念伽利略逝世 350 周年,人们再一次在比萨斜塔上作了自由落体运动实验,结果得到了与伽利略完全一致的结果。

“见人之所皆见,思人之所未思”,怀疑公认的东西,思考谁也不去思考的问题,绝不轻易地相信“不证自明”,不回避任何情况下的任何事实,不自欺欺人,这是发明创造型人才的与众不同之处。

专心致志,全力以赴是发明创造型人才的又一共同特点。牛顿在谈到使他成功的秘诀时说:“很简单,我只是无时无刻不在思考这个问题”,巴浦洛夫也说:“不停地思考”是重要成就的前提。为了追求发明创造的成果,他们会拼尽全力。例如,伟大的无产阶级革命导师马克思之所以能创立马克思主义学说,写出影响人类社会历史进程的《资本论》,是因为他具有伟大的革命信念,并为此付出了毕生精力。马克思在写作《资本论》时,每天都要到英国的大英博物馆读书,查阅文献资料,当他看到高兴之处时,就习惯地用脚磨磨地,久而久之,大英博物馆里马克思用过的书桌底下的地面竟磨出了深深的凹痕。这深深的凹痕就是马克思著述《资本论》,创立剩余价值理论时所付出的艰辛劳动的见证;我国数学家陈景润为了摘取“哥德巴赫猜想”这颗数学皇冠上的明珠,日以继夜,竟至废寝忘

食的境地,他为解决哥德巴赫猜想而进行的演算,用去的算稿可以装好几麻袋。

一丝不苟,绝不放过任何细支末节又是发明创造型人才的一个特点。例如帕金发现苯胺染料、伦琴发现 X 射线、戴维发现化学元素钾、钠等,都与他们一丝不苟的科学态度有关。发明创造的成功,正是严肃认真、精益求精的必然结果,任何一个发明创造型人才都是精细的测算和严密的逻辑推理方面的能手。

当然,发明创造型人才的精神特点不是天生的,而是靠后天培养的。有志于发明创造的人,应当学习科学家、发明家们的精神,从小注意培养自己坚韧不拔的意志,严谨求实的科学态度,坚持真理,不屈从于传统、权威的勇敢精神,树立起为科学不惜牺牲一切的远大志向。

附:

创造型人才的十个特征

有人通过对大量科学家的科学研究历程的分析研究,总结出了判断一个人是否具有丰富的想象力、卓越的创造力的十条标准:

1. 具有发明创造才能的人都是探索者,他们把旧的知识与新的意念很好地结合起来,探索所有的可能性;
2. 他们通常拒绝承认各种问题的答案只有一种,遇到问题,他们会想到很多答案和解决问题的方法;
3. 他们通常不怕被人取笑。有相当一部分人总是爱取笑

那些有丰富想象力的人,认为他们的想法尽是一些傻主意。然
而,有创造才能的人并不介意别人取笑他们古怪;

4. 他们通常是不太讲逻辑的,想东西时,既用脑,又用心,
十分依赖直觉与信念;

5. 他们总是富有好奇心,对什么事情都感兴趣,喜欢亲身体
验没有认识到的事物;

6. 他们不轻易感到彷徨失措。虽然面前没有明确的去路,
但有信心从不同的途径去谋求突破点;

7. 很有决断性,很容易为自己作出选择;

8. 愿意接受失败的挑战,深信只要经过努力,前面尽是
新机会;

9. 有创造性的人也是斗士。当他们提出了一个新的想法
时,便会锲而不舍地追求,直至达到目的;

10. 有创造性的人通常身体内部都有一些艺术细胞,喜欢
诸如绘画、写诗、听音乐、弹奏乐器之类。

发明创造的一般过程

中松义郎生于1928年6月26日,是日本著名的发明大
王。几十年来,他获得了近两千四百多项发明专利。

中松义郎成为发明大王的诀窍在哪里呢?爱动脑筋、善于
思考、坚韧不拔是他获得成功心理条件。在他还是一个五岁
的孩子时,他发现他的玩具飞机的重心不稳,机翼摆动,飞行
很不理想。当然,他当时还不懂得重心的概念,但他能凭经验

对玩具进行改进。在玩具飞机上安装了一只重心稳定装置,虽然这种装置很简单,但出自一名五岁孩子之手,则是非同凡响。这一件小事表明,中松义郎从小就养成了爱动脑筋的习惯。在他读小学时曾发明了一种不会倒的酱油瓶子,为了让他母亲在做饭时能轻松愉快些,他发明了一种带收音机的烤箱。到中学时代,他学习了机械原理、试制了一种水泵,这种水泵结构简单,而且效率很高。中学时代他还获得了第一项专利——无燃料暖气装置。

大学毕业后,他开办了一家出售专利的发明公司。在发明公司开办三十七年里,他发明的项目多达 2300 多项,平均每年 63 项,这种成绩令人惊叹不已。

中松义郎认为,发明成功的因素中,合理、灵感和实用是最为重要的三项因素。合理就是要使自己的发明设想与构思基本上符合科学道理,不能违背科学基本原理。发明要有扎实的科学技术知识作为基础,这样才能使工作有较强的目的性,取得事半功倍的效果。灵感是发明成功的翅膀。但灵感不是凭空而来的,只有进行了大量的实验,积累了丰富的经验,才有可能产生灵感。事实上,中松义郎的勤奋是公认的。实用是发明成果的一项重要属性,任何一项发明如果没有实用价值,就会失去它的意义。

中松义郎总结了她的发明创造经验,他将发明创造过程分为十步:

第一步,抛弃一切陈腐观念,切不要使自己的思路被旧思想所束缚,要让自己的思想自由奔放,如果以固定不变的理念来思索,那么所有一切都会被禁锢,发明创造决不会成功。

第二步,要做细致深入的调查,其中市场调查特别重要,只有这样才能做到心中有数,不致于盲人骑瞎马,乱撞乱闯。

第三步,要有一定的科学理论基础,掌握与发明对象有关的科学知识。一个发明家应具有各种基础知识,要有边缘学科知识,并能融会贯通。同时要有正确理解实验结果的能力。

第四步,要善于捕捉自己的灵感,并认真分析灵感出现的实际意义,努力使之实现。

第五步,根据自己头脑中的印象进行实际试验。

第六步,对试验中取得的数据,进行认真的讨论。

第七步,了解是否实用,如果实用性强,那么在社会上肯定会引起巨大的反响,发明就会一举成功。但在多数情况下,发明不可能一下子实现完美无缺,这时就应集中思想,反复寻找新的发明。

第八步,再试验,如仍不行,则再寻求新的发明。

第九步,一旦得到了有实用价值的发明,就要使它日臻完善。

第十步,使发明成为一种具有实用价值的商品,为大家逐步认识,并被接受使用。

中松义郎十分注意发明创造与文学艺术的结合。例如在他专用于发明创造的工作室内,挂着各种山水画,还放有各种音响装置。他在工作室内每天都要呆上二、三个小时,思考他的发明课题。然后听音乐,先放轻音乐,再放古典室内乐,最后放交响乐,这样就形成一种轻松愉快的环境,在艺术与创造的氛围中,思索发明的方案。方案一旦成熟,就付诸实践。

中松义郎还注意体育锻炼和饮食习惯,他不吸烟,不饮

酒,这些良好的习惯对于他的发明创造活动是极有帮助的。

中松义郎总结的发明创造经验是值得借鉴的,因为这些经验带有普遍性。有人从历史上最成功的几百位世界名人(包括科学家、政治家、发明家、教育家等)的终身经验中,总结提炼出了十七条成功原则,读者可以看到,这些原则与中松义郎的经验在很多地方都是吻合的:

十七条成功原则

1. 积极的心理态度;
2. 确定的目的;
3. 多走些路;
4. 正确的思考;
5. 自制能力;
6. 集思广益;
7. 应用信心;
8. 令人愉快的个性;
9. 个人的首创精神;
10. 热情;
11. 集中注意力;
12. 协作精神;
13. 总结经验教训;
14. 创造性的见解;
15. 预算时间和金钱;
16. 保持身心健康;

17. 应用普遍规律的力量。

发明创造的方法

任何一项有价值的发明创造都是先要付出艰辛的劳动然后才能获得的,但是,并不是所有艰苦劳动都能得到回报、获得成果的。有些人长年累月勤勤恳恳,从早到晚苦思冥想,但到头来却收效甚微;而有的人却能在发明创造活动中驾轻就熟,以较少的劳动换来最大限度的成果。那么,他们之间的差别到底在哪里呢?影响这种差别的原因很多,但其中最基本的、恐怕也是最重要的是从事发明创造活动时对面临问题的见识,也就是对发明创造活动的基本认识。

伽利略是近代物理学的首创者、勇于为科学事业献身的时代先驱,也是打开近代科学大门的开拓者。伽利略成为近代科学的奠基者决非偶然,他的业绩充分说明在科学研究活动中注意树立科学的观念和态度的重要性。伽利略的科学研究活动具有如下一些特点:

重视观察。

伽利略对各种自然现象有着浓厚兴趣,对一些司空见惯的现象也要认真观察,非看个究竟不可。这一基本态度对他的帮助极大,是他在物理学上取得巨大成就的重要保证。他的第一项发明创造是发现钟摆的等时性原理,而这一发现就是对人们习以为常的摆动现象进行实际观察而得出的结论。后来他在天文学上的一系列重大发现也是与他的这一基本素质密

切相关的。

重视实验。

伽利略在近代科学上的重大发现都是通过实验得到的。例如他的自由落体运动定律就是通过著名的“比萨斜塔实验”获得的。

重视数学方法的应用。

数学方法在伽利略的创造发明活动中的应用可以下面事例来说明：当时意大利造船事业比较发达，他们在造船的过程中，首先根据模型放大原理做出小船，再经过实验、改进，直到认为已经达到性能最好后，再放大尺寸、造出大船。但在实际应用中，这样造出的船常常发生事故。这到底是什么原因呢？伽利略应用数学方法作了探查。通过计算，他揭开了这个谜底，原来，在从小船到大船的放大过程中，尺寸放大一倍，则船体自重增加八倍。由于强度增长速度低于尺寸增加所带来的自重增长速度，船就比较容易破裂。由此，伽利略得出结论，用“放大尺寸法”造船是不科学的。从此以后人们不再用这种方法造船了。伽利略有一句格言，叫做“能工巧匠不能成为科学家，是因为不懂数学”。

重视学习现代知识。

伽利略不仅善于学习已有的科学技术知识，从前人那里吸取知识经验，而且还注意向现代人学习。他能发明很多科学研究仪器，与他虚心学习当代人制造机器的经验有直接关系。如望远镜、两脚规、三棱镜、天平等都是在学习别人经验的基础上制造成功的。

重视科学与技术的结合。

伽利略自幼受数学老师里奇的影响,喜欢看科学与技术相结合的书,从而使他从小受到科学理论与技术实践两方面的严格训练,他有科学家的头脑,又有能工巧匠的制作才能。他在天文学和物理学上的重大成就都与他能亲自发明机器和仪器有关,他从研究生产实际中的粉碎机、抽水机、起重机等机械中总结规律,从而创立了当时的带头学科——力学理论。他把生产经验理论化所用的方法叫“分解法”,即先把现象分解,用数学方法表示诸要素之间的关系和过程,然后把这些要素的变化与关系的总体情况用数学语言描述出来,再进行推理运算,最后再把数学推理演算的结果用实验来验证。

重视方法论。

伽利略曾说:“我在自然加速运动研究中……从自然界运动一切过程中选择最普通、最简单、最容易的手段。”这句话的意思就是在从事研究工作时,要注意从一般原理的高度来认识事物,要抓住那些看似简单但却反映问题本质的现象,从中找出规律,提出新见解。

伽利略的这一思想是具有伟大的方法论意义的。在伽利略之前,人们不太注意从具体的发明创造中去归纳引导出定律、法则,而伽利略则能注意到这些,特别是他的把自然现象分解为单一因素,通过实验确立因果关系,再用数学语言加以描述作为假说,再进一步通过实验加以验证,使之逐步贴近自然的科学思想,给科学方法论带来了革命。

科学发展史的实践表明,凡优秀的科学家都特别重视方法论,笛卡尔、爱因斯坦等甚至把方法论作为专题进行研究,数学家拉普拉斯说:“认识一位天才的研究方法,对于科学的

进步……并不比发现本身更少用处。科学研究的方法经常是极富兴趣的部分。”

二、发明创造的准备

发明主题的选择

人们在干任何事情时都必然碰到两个问题：干什么和怎样干。“干什么”的问题实际上就是明确当前的任务是什么。在发明创造活动中，就是要确定创造的主题，只有清楚地知道自己将要进行一项怎样的发明创造，才能使自己的工作在一种自觉的状态下进行。

要想使自己正确地选择发明创造的主题，首先要能发现和提出问题，而发现和提出问题又建立在对问题的基本观点上。正如伟大的科学家爱因斯坦所说的：“提出一个问题往往比解决一个问题更重要，因为解决问题也许仅是一个数学上或实验上的技能而已。而提出新的问题，新的可能性，从新的角度去看旧的问题，却需要有创造性的想象力，而且标志着科学的真正进步。”著名数学家希尔伯特也曾说过：“某种问题对于一般数学进展的深远意义以及它们在研究者个人的工作中所起的重要作用是不可否认的。只要一门科学分支能提出大量的问题，它就充满着生命力，而问题缺乏则预示着独立发展的衰亡或中止。”具有创造力的人总能在工作、生活、学习的过

程中不断地发现问题和提出问题。

希尔伯特是德国著名的数学家,他在数学的许多领域都取得了丰硕成果,作了开创性的工作。1900年,世界上的数学家聚集在巴黎,召开国际数学家大会,讨论新的世纪里数学发展的方向。会上,希尔伯特发表了《数学问题》的演讲。其中提出了23个被希尔伯特认为会影响二十世纪数学发展进程的数学问题。这次大会之后,世界上大批数学家都投入到解决“23个问题”的激流中去。当年,希尔伯特的学生,22岁的麦克斯·戴恩获得了第一个重要结果,他给出了希尔伯特第三问题——两个等底等高的四面体的体积相等问题的部分解答,次年,戴恩完全解答了这个问题。将近一个世纪以来,数学家们付出了艰苦卓绝的劳动,使“23个问题”的一半获得解决,另有一些问题也取得了很大进展。我国数学家陈景润在希尔伯特第8问题(素数问题)上取得了世界领先地位,在第16问题上也作出了一些贡献。希尔伯特“23个问题”对于数学发展的意义,正如数学家韦尔在希尔伯特的悼词中所说的:“希尔伯特就象穿杂色衣服的风笛手,他那甜蜜的笛声诱惑了如此众多的老鼠,跟着他跳进了数学的深河。”希尔伯特23个问题果然引导数学家们发现了许多新的数学分支,达到了他预期的目的。

维纳提出“控制论”思想的创造过程也能说明正确选择研究主题的重要性。维纳是美国数学家,他的数学成果享有很高的声誉。但他对物理学等学科也有极大兴趣,在研究随机物理现象——布朗运动时,逐步确立了统计理论思想,控制论研究对象的特点恰恰在于根据随机性的环境来决定和调整自己的

行动。他在研究电滤波器的噪声与信息问题时,形成了信息量的概念,这是控制论的重要思想。在三十年代末期,他参加了哈佛医学院的罗森勃吕特博士主持的科学方法讨论会,从中得到许多重要的思想启发。在这样的条件下,维纳意识到,科学发展中最有前途的领域是边缘学科和交叉学科,这就是维纳为自己确定的研究主题,也是维纳创立控制论的战略思想。维纳模糊地感觉到在动物、人体之中存在着某种和自动机共同的东西,这就是控制论思想的雏形,在以后的研究机器的有关问题时,就特别注意研究动物和机器的通讯与控制的共同规律问题,他在研究成功高射炮自动瞄准装置时,发现人和机器有惊人的相似之处。他发表文章论述了机器模拟人动作的机制,把工程学“反馈”概念赋予了生物学内容。1949年他发表了《控制论》,控制论正式诞生。

当然,影响发明创造主题选择的因素不是单一的,有时在发明创造的过程中,随着工作的深入,发明创造的主题会随之得到修订。在学习、生活和生产的实践中会碰到这样那样的问题,对这些具体问题进行归纳、抽象,也可以形成发明创造的主题。另外,随着社会文明进步的要求,也会给我们提出许多发明创造的主题。

例如,发明内燃机的主题就是在蒸汽机应用于生产实际的过程中提出来的。瓦特发明了蒸汽机以后,人们认识到蒸汽机的潜力很大,于是受到人们的重视。当时蒸汽机的实际热效率只有2—3%,因此人们把研究改进的主题放在提高蒸汽机的效率上。另外,煤和锅炉的体积、重量也影响了蒸汽机的推广,蒸气机的操作也不方便,安全问题也十分严重。为了解决

这些问题,人们从理论上进行研究,于是产生了新的发明主题——热力学。法国科学家卡诺在研究过程中提出,提高热机效率的最基本原则是加大温差,而限制效率提高的根本原因是热源在外面,只有热源在内部,才有可能改善,这样就又产生发明“内燃机”的主题。

由这一事例我们可以看到,积极地亲身参加社会生产、生活实践,对于我们确定发明创造的主题是十分重要的。

电话的发明则是与发明者贝尔的职业有关的。贝尔是美国聋哑学校的一名教师,出于职业的需要,在研究人们听与说的生理功能时,对电传播信息特别注意。他在研究如何用一条电线同时传送几封电报的技术时,发现了电话原理:音叉在线圈前振动时,线圈电磁感应产生与音叉振动节奏变化一致的连续性电流,此电流流到电线另一端的线圈时,能使线圈前音叉发生振动,从而使授话器发出与授话器一样的声音。这样,贝尔就从他的职业需要出发,确定了发明电话的主题。经过多次失败后,最后终于获得成功,使人能在相距 3.2 公里的距离内用电话自由交谈。此后,电话迅速普及,成为社会生活中不可缺少的东西。现在,电话在人们的社会交往、信息传递中更是发挥了不可替代的作用。为适应当今社会对信息传递的方便、快捷的需要,人们又发明了无线电话(即所谓的“大哥大”)。

从以上的论述我们可以看到,确定发明创造的主题是十分重要的,而发明主题的确定有多种多样的渠道:既可以在总结已有的科学成就的基础上对科学发展方向作出推测,从而确定发明主题;又可以将不同的学科领域进行交叉,在不同学

科的相互启发中发现发明主题；还可以通过分析社会生产、生活的实际需要而获得发明主题……。但是，不管怎样，亲身参加实践活动是我们获得发明主题的最重要的途径。

观察是发明创造的开端

达·芬奇出生于意大利佛罗伦萨，是文艺复兴时期最伟大的画家，他的杰作《蒙娜丽莎》等十二幅名画一直流传至今，受到历代各国艺术家的喜爱，“蒙娜丽莎的微笑”已经成为赞美妇女的代名词。那么，达·芬奇为什么能创造出如此受世人喜爱的传世杰作的呢？事实上，达·芬奇的艺术成就与他对大自然的细致入微的观察是分不开的。

达·芬奇具有当时的进步思想，他认为自然界的各项事物都是有规律的，要掌握这种规律，就必须对大自然进行观察。他通过人体解剖，对人体结构进行细致的观察和分析，得出结论：人体结构符合“黄金分割”的规律，根据这一规律创作的《蒙娜丽莎》给人以赏心悦目的艺术享受。另一次，达·芬奇为了雕刻一个大型的斯浮赛将军青铜骑马像，对马群进行了认真细致的观察，把各种马的姿态绘成草图，并对马进行解剖，整整花了十六年时间才创作完毕。

艺术创造依赖于观察，科学技术的发明创造更是从观察开始的。伽利略从小就十分注意对各种自然现象的观察，他的第一项科学发现——摆的等时性原理（即在摆长固定时，不管摆的摆动多大，所需时间是相等的），就是他在教堂看到灯在

风中摆动的现象,然后进行实地观测而得出的结论,后来惠更斯根据这个原理制成了钟表。

事实上,任何科学技术的发明创造都是从观察开始的,通过观察来积累发明创造的第一手资料,使人们对事物的感性知识增加。例如,十六世纪有代表性的大天文学家第谷·布拉赫,就是一个非常出色的观察能手,他用了三十年的时间来精密地观察行星的位置。特别是他在弗恩岛上的福堡天文台工作期间,他在那里观察天象达二十年之久,每天细心观察,认真记录,把上千年星表中的错误一个个地纠正过来。正是这长年累月的细心观察,使他积累了大量的关于行星运动的第一手资料,使他成为天文学泰斗,近代天文学的奠基者。他的学生开普勒经过整理、分析这些资料,终于发现了天体运动的三大定律。这里,如果把第谷·布拉赫的观察活动称为直接观察的话,那么开普勒分析第谷·布拉赫的观察资料,利用这些资料来进行发明创造活动则可称为间接观察。

当然,自然界的现象并不一定都象行星运动一样可以直接观察得到,有些现象是难于观察到的。例如,组成原子的成份之一——电子,人们就无法直接观察到,这时人们就通过实验来创造一种便于观察的环境,例如,把阴阳两极封闭的真空玻璃管两端通电之后,可以观察到由阴极向阳极流动的明亮光线,这就是电子流;再例如,放射性现象也是“看不见摸不着的”,但人们通过实验不但可以观察到这种现象,而且还可以对放射线进行分解,英国物理学家卢瑟福就在1902年把放射线分解成了 α 射线、 β 射线和 γ 射线。因此,实验也是为了观察。

以上我们认识了观察对于发明创造的重要性。那么,如何才能进行有效的观察呢?我们认为,在进行观察实践时,以下几点是需要注意的:首先观察时必须注意集中全部精力于研究对象之上,以防止其它无关因素的干扰和影响。第二,还要注意用正确的思想来指导观察和实验。没有正确的指导思想,即使得到了正确的观察和实验结果,也很难认识它的价值,从而使原来可以获得的发明创造失之交臂。正如恩格斯指出的那样,“从歪曲的、片面的、错误的前提出发,循着错误的弯曲的不可靠的途径行进,往往当真理碰到鼻尖上的时候还是没有得到真理。”科学发明创造史上,由于指导思想不正确而导致触到了真理又让它“溜”掉的事例不胜枚举。例如,英国人普列斯特列在1774年通过加热氧化银(当时叫水银灰)把水银还原的办法取得一种不溶于水的气体,他发现动物生活在这种气体中比生活在空气中要活泼,从而知道这种气体能助燃,也有助于呼吸。事实上,他已经发现了一种新的元素——氧,但由于他是个燃素论^①者,受燃素说思想束缚,虽然发现了氧,但仍把它说成是“脱燃素空气”,即吸干了燃素的空气,从而失去了发现的机会。当他看到氢气与空气混合后遇到火花会爆鸣一声化成水的现象后,没有想到水是由氢和氧两种元素组成的,结果把这一重要发现让给了英国人卡文迪什和法国人拉瓦锡。

^① 燃素论:把物质受热而燃烧的原因解释成是因为物质中有一种没有重量的可燃因素(灵气)与物质分离,而燃烧以后剩下的是没有灵气的灰的一种理论。

观察实验中,要注意的第三个问题是,观察必须要有明确的目的。瓦特发明蒸汽机的过程有力地说明了明确的观察目的对于发明创造活动的重要性。1757年,21岁的瓦特被聘为英国的格拉斯哥大学的仪器制造工人,在1763—1764年期间,他从一位教授那里接受了纽可门蒸汽机的修理任务,这使他有了创造并改进蒸汽机的机会。在创造活动中,他首先给自己明确了观察实验的目的:寻找压力和温度等之间的因果关系。利用模型实验的方法他发现了大的蒸汽机单体容积的效率比小蒸汽机高的问题,结合别人发现的潜热现象,瓦特找到了原因:小蒸汽机单体容积的汽缸表面积要比大蒸汽机大,因此在冷凝之后加热汽缸所消耗的热量比例也大。

据此,瓦特决定将冷凝这道工序交由与汽缸脱离的单独的冷凝器来完成,从而使燃料节省了75%,效率提高了五倍。

我们知道,蒸汽机中活塞运动是往复式运动,要使蒸汽机当成动力机使用,就必须解决如何使往复式运动转化为旋转运动的问题。带着这一目的,经过认真的观察实验,瓦特终于发明了一端作往复运动,一端作回转运动的曲轴,即火车头上的曲柄。由于没有做好保密工作,瓦特的这一发明被一个工人泄了密,而且被别人抢先登记了发明专利。因此,瓦特不得不放弃这项发明。但是,瓦特是一个困难挫折吓不倒的人,后来瓦特又发明了“行星轮机构”传动装置,引进了离心调速器和惯性轮技术,完成了近代机械体系的发明。

谈学习方法

科学技术发展的历史表明,任何发明创造、技术革新都是在原有科学成果的基础上产生出来的,都是人类已有知识的继承和发展。因而,要想有所发明,有所创造,就必须具备相应的基础知识。这里的基础知识包括专业基础知识和其它方面的基础知识。

先说专业基础知识。所谓专业基础知识,指的是与发明创造者所从事的事业直接相关的基础知识。例如,要进行数学方面的发明创造,具备必须数学方面的专业知识,不难想象,不懂得数学运算,不懂得函数、集合、微积分等数学基本概念的人,是不可能数学上作出发明创造的。同样,如果没有机械制造方面的基础知识,是不可能对机器进行改造革新的,没有化学方面的基础知识,要想发明新的化工材料也是不可能的,……对于专业基础知识要求能学得深刻、透彻,基础要打得扎实、牢固。除此以外,还要注意及时更新知识,努力追踪本学科的先进水平,站在本学科的前沿,把握本专业的发展现状和发展方向。要学好本专业的基础知识,就必须下苦功认真读几本本专业领域内的最基本的、较全面的专业书,最好选那些本专业内公认的权威著作。权威著作,因为它逻辑严密、见解深刻,因此读起来比较费劲,但读懂了可以使人终生受益。好书应精读,应循序渐进地进行研究,对其中包含的深刻思想应反复理解,要做到融会贯通,切忌贪多求快,囫囵吞枣,做夹生饭。可

以同时选几套好书,对照着读,通过比较它们的思想差异,帮助理解。另外,要注意向过来人和名师学习。过来人、名师有丰富的知识和宝贵的经验,他们的洞察力、鉴赏力是经过长期磨炼得来的,他们的意见对于刚刚步入发明创造行列的人来说是“金玉良言”,向他们学习,可以达到“与君一席谈,胜读十年书”的效果。正象牛顿所说的那样,我们的发明创造是“站在巨人的肩膀上”而获得的。

再说其它方面的基础知识。科学发展的历史表明,凡有成就的科学技术研究者,他们的兴趣往往是非常广泛的。古希腊著名哲学家亚里斯多德,不仅研究过天文学、物理学、生物学,而且也是逻辑学、心理学、历史学、伦理学、美学等方面的专家;达·芬奇是画坛巨匠,但他也是数学家、建筑师和力学家;我国古代著名数学家祖冲之,在文学、哲学、音乐、天文等方面都有很深的造诣。十七世纪以后,科学技术的发展使专业分工越来越细,于是有人就终身在自己的专业范围内“刨根问底”,但人们发现,科学技术分工虽然细致了,而学科之间的综合性却增强了。学科与学科之间的相互渗透越来越多,科学研究、发明创造越来越向边缘学科方向发展。因此,没有宽厚、广博的知识基础,既不能纵观科学技术发展的趋势,又很难把握本专业发展的方向,因而发明创造活动很难开展。

事实上,由于自然界各种事物之间具有内在的相互联系性,因而别的学科的思想、方法有时会对专业工作带来很大的启发和帮助。科学技术发明创造中,由别的学科启示而导致发明创造的事例是很多的。例如,十八世纪中叶,奥地利的奥恩布鲁理格医生在给一个患者看病时,总是查不出什么毛病,患

者不久就死去了。他在解剖尸体时发现患者胸腔早已化脓，满腹脓水。这时，他想起他父亲在经营酒业时，用手敲叩木制酒桶，凭着叩击的声音来估计桶内剩余的酒量方法。这一方法启发了奥恩布鲁格，导致了他发明医疗门诊上的叩诊法。再例如，1864年，李斯特从法国微生物学家巴斯德那里得知有机物腐败和发酵是由于微生物猖狂活动引起的。由此他大受启发，由有机物腐败、发酵的原因联想到他在进行外科手术时伤口化脓的原因，“伤口化脓难道不是一种有机体的腐烂现象吗？”是否也是微生物——病菌在作怪呢？通过实验他提出伤口感染是外界细菌侵入的结果，因此，只要防止细菌侵入伤口，就可防止伤口感染。在这一思想的引导下，经过反复实验，他终于发明了用石炭酸作为消毒剂的“无菌手术消毒法”。

以上我们分别谈了深厚的专业基础知识与宽广的其它学科知识对发明创造的重要意义。事实上，要想使自己在发明创造中取得成功，必须注意在平时的学习中做到广博与专一相结合。正如我国著名科学家茅以升所说的：“专精是需要的，但专精不能孤立，专业越精，发生关系的方面也就多，……如同建宝塔，塔越高，则塔的基础应愈广大，专精需要广博的知识，扩大了的知识在提出问题的同时，也提高了专精的水平”。现代科学技术的现实表明，有成就的人是那些既有一门专业知识，又有广博知识、基础扎实、思想活跃的人。这些人既懂得自然科学知识，又懂得较多社会科学知识，既有理论修养，又有实践经验，他们是专与博相结合，专与博集于一身的人才。

资料积累

科学发明创造,没有扎实宽厚的基础知识不行,不掌握大量的第一手资料也不行。纵观科学发展历史,凡有发明创造者,都曾为收集资料作出过艰苦的努力,日积月累、辛勤劳动方结出丰硕的创造成果。

其实,我们平时学习的过程就是一个积累资料的过程。在积累资料的过程中,应做个有心人,对于自己感兴趣的東西平时就应注意搜集整理,做成笔记,到了一定的时候,可把这些资料分门别类,进行整理。也许最后就可以在这些资料中整理出一条脉络清晰的“资料之路”,它可以引导人们摘取发明创造之果。

资料的收集整理是一项艰苦细致的工作。我国明朝末叶杰出的地理学家和旅行家徐霞客为了探索大自然的奥秘,“不避风雨,不惮虎狼,不计程期,不求伴侣”,“旅泊岩栖,游行无碍”,经历了千辛万苦,他从 22 岁起到 56 岁逝世止,34 年中持续旅行考察了 16 次,足迹踏遍江苏、安徽、浙江、山东、河北、河南、山西、陕西、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、贵州和云南等 16 个省(区),对我国岩溶地貌进行了详细考察,积累了大量第一手资料。

例如,岩溶地区由于地表水和地下水沿缝隙逐渐流入,进行溶蚀,造成地下裂隙和空洞,后来地面崩塌成圆洼地,积水就成了池塘。圆洼地按大小不同和底部有无池塘,分成各种类

型。徐霞游经贵州普安,记述过这些现象:“从岭头升陟,其上多中洼之岩,大者盘壑为田,小者堕穴为阱”。在云南嵩明的梁王山考察时写道:“风头多中陷之坎洼地,枯者成罨(音 yuān, 干枯井),潴(音 zhù, 积水池)者成天池。”他还考察过一百多个石炭岩溶洞,对每个洞的调查都很仔细,从倒悬洞顶的钟乳石到耸立洞底的石笋,都有生动描绘,有时还采取岩石标本作进一步研究,对考察过的岩洞大都记有方向和高深宽窄的数字。

正因为徐霞客深入实际考察,掌握了大量的第一手地质地貌资料,才使他写成了不朽著作《徐霞客游记》。《徐霞客游记》是我国最早的野外考察记录和优秀的地理著作之一,它以优美的文字生动地描述了各地的自然景色、山川源流和风土人情,并试图探索揭示自然界发展变化的规律,其中许多考察记录和重要发现,直到目前仍可供地质工作者在研究岩溶地貌时作对比参考。这是我国历史上一部内容十分丰富的文化典籍,在世界科学史上也占有重要地位。

读者也许看过电影《李时珍》吧?这部电影就记叙了我国明朝末年著名的医药学家李时珍为了搜集民间药方,研究中草药的药性而历尽千辛万苦的事迹。李时珍从青年时代起就随同他父亲全力从事医学工作,对医药学刻苦钻研,精益求精,积累了丰富的临床经验。为了积累资料,他用了十多年时间远出旅行,对我国的中草药宝藏进行调查研究,历尽千辛万苦,走访过现在的湖北、江西、安徽、江苏、河南等省。每到一地,他都注意向当地的樵夫、药农和猎户等学习,从农民那儿他学到了如何区别萍、苹和蓬草,从渔民和牧民那儿他知道了

各种鱼类、兽类的生活习性和繁殖状况,从矿工那儿他学会了矿物的采集和制炼,知道了铅中毒、煤气中毒等疾病,……他还从民间征集了很多单方和验方。为了了解各种药材的药性,他经常以自身作为试验体,亲自尝试各种药材,为此他经受了难以想象的痛苦,有时甚至是冒生命危险。例如他为了了解贵重药材白花蛇的特性,置生命于度外,不畏艰险,几次攀登高山,观察白花蛇的活动情况,并捕捉解剖。

经过实际考察,再加上总结医学前辈的经验,李时珍终于积累了大量的第一手资料,经过整理,将各种药物进行分类、比较,历经十几年,最终写成了药物学巨著——《本草纲目》。《本草纲目》全书共 52 卷,分为 16 部 62 类,共载药物 1892 种,其中新增加 374 种,附方 11096 个,并附图 1160 幅,规模之巨大令人叹为观止。书中对每味药物均有集解、叙述、产地、形态、气味、主治、说明以及附方,并有正误、栽培方法和生产过程。不难想象,如此工程浩大的药物学巨著需要掌握多少材料。事实上,李时珍不但注意总结医疗实践经验,而且还精心钻研了经、史、子、集各种书籍,尤其是医书、药书等达八百多种,积累了大量的单方、验方和自己写下的医案、读书札记等,这些都是李时珍写成《本草纲目》的先决条件。

丰富详实的资料,是我们进行发明创造活动的必要条件,但积累资料也有个过程,荀子说:“不积跬步,无以至千里;不积小流,无以成江海”。只有平时注意从各方面搜集信息,注意积累有关的资料,才有可能作出高水平的创造发明。

三、发明创造中的思维

实验设计

发明创造一定要经过实验,因为要使发明创造能为社会生产、生活服务,就必须使它符合实际,而做到这一点的唯一办法就是实验。

科学发展历史上有许许多多著名的实验,例如伽利略的自由落体实验、测定光速的实验、测定电子电荷的密立根实验、测定各种粒子性质的加速器实验等等。这些实验都大大推动了科学事业的发展,其实验设计之精巧,令人叹为观止。考察这些实验设计的思想,对有志于发明创造的人们是十分有益的。

十九世纪初,蒸汽机已被广泛地用在工业生产和交通运输上。根据应用中提出的问题,人们要设法改进它。在此过程中,如下问题就自然地被提出来了:从一定量的热所得到的功是否有个限度?消耗一定量的热可以做多少功?热和功之间是否有确定的数量关系?反过来,做一定量的功可以产生多少热?这些问题的解决对于理论和实践都是具有重大意义。

英国的科学家焦耳在他年轻时,恰逢电动机刚刚问世,他

想用实验来测定一下这种新机器的效率,看看它在经济上是否合算。这一想法导致他今后发现能量守恒和转化定律。

1840年,焦耳作了一个通电导体发热的实验。他把电阻丝放入水中,通以电流,使水加热。实验中他分别测出了电阻丝的电阻、电流强度、通电时间,以及水的质量和温升(包括所用的量热器),然后算出电流做了多少功,水的热量有多大变化。经过多次实验,他发现了如下规律:电流通过导体产生的热量,与电流强度的平方成正比,跟导体的电阻成正比,跟通电时间成正比。这样,焦耳就由实验得出电能转化为热能时,它们之间存在着一定的关系。以后,他又进行了各种实验,探讨各种能量之间转化的关系,如热能与化学能之间的转化,磁场作的功和产生的热之间的关系等。通过种种实验,焦耳得出:自然界的热量(即能)是不能毁灭的,哪里消耗了能量,哪里就能得到相当的热量,这就是说,热是能量的一种形式。以后,焦耳用一系列的实验来测量热功当量的值。1843年,焦耳做了把水压入毛细管中的实验,通过摩擦作用,测得热功当量值 $J=424.9$ 千克米/千卡;1844年,焦耳研究了压缩空气所做的功以及空气温度升高之间的关系,测得热功当量值 $J=443.8$ 千克米/千卡。

焦耳获得这一系列科学发现,除了借助于他极强的科学思考能力以外,巧妙的实验设计也是他成功的重要因素。例如,焦耳于1847年用如下实验装置做了测量热功当量值的实验,获得了十分满意的结果:实验时,先把套轴提高一点,使它与转轴脱开,转动套轴使两重锤升高,从而使这个装置系统增加了势能。然后再把套轴压下跟转轴相连。这时如果不再受

到其他干扰,便可把它作为一个封闭系统看待。接着让重锤下降,下降的过程中,带动翼轮转动,容器中的水由于翼轮转动发生摩擦,温度就逐渐升高。实验可以重复多次。在这个过程中,重锤势能转变为翼轮的动能,并由动能使水变热,使水的温度升高。焦耳测量了温度的改变,并且借助于已知的水的比热,算出它所吸收的热量。通过这一实验装置的实验,焦耳得出了如下结论:1、物体(无论是固体还是液体)相互摩擦所产生的热量与所消耗的力成正比(这里的力实际上是指能);2、要产生可以把一磅水(在 55°F 和 60°F 之间的真空中秤定)的温度升高华氏一度的热量所需要费去的机械力(能),可以用 772 磅重的物体在空中下降 1 英尺来代表。换用米制单位表示,就是要产生可以把 1 千克水(在 14°C 和 15°C 之间的真空中秤定)的温度升高 1°C 的热量所需要费去的机械力(能),可以用 427 千克的物体在空中下降 1 米来代表。换句话说,把 427 千克的物体在地面上升高 1 米的势能,等于把 1 千克水从 14°C 升高到 15°C 所需要的热量。即热功当量 $J=427$ 千克米/千卡。

值得指出的是焦耳没有上过学,他是完全靠自学而成才的。他从小跟父亲在酿酒厂里工作,在实践中认真琢磨一些实际问题,并带着这些问题去向书本求教。由于他有实践经验,在酒厂里从事化验、测量等工作,因而使他具备了进行科学实验的熟练技巧,这是焦耳获得成功的必不可少的条件。由此我们可以得到启发,我们在平时学习时不但要重视理论学习,而且还要重视实践。

实验是发现真理的有效途径,同时也是检验真理的重要

方法,科学的预见只有经过实验的检验才能认为是正确的,才能使人信服。而实验的成功在很大程度上要靠巧妙的实验设计。例如,对于“空气是有压力的”这一预言的检验,就依赖于托里拆利的实验设计。1643年,托里拆利为了推翻亚里斯多德的“自然界憎恶真空”的说法,做了一个实验:把水银注入一头封闭的玻璃细管内,用手指压住开口一端,然后把玻璃管倒过来,使开口的一头插入盛有水银的杯子里,当把手指松开时,水银并不是全部流到杯里,而是在降落一段后,便稳定地保持在一个高度,再也不继续下降了。这一实验装置非常简单,但它却证明了这样一个事实:有一种外力使水银保持在玻璃管内,这种外力就是空气的压力。这一实验解决了自伽利略以来许多人绞尽脑汁而不得其解的难题。这个实验不但驳倒了亚里斯多德的“自然界憎恶真空”的观点,证明了空气压力的客观存在,而且还取得了测定空气压力的具体数值——玻璃管中水银柱高是76厘米,从而使人们对空气的认识大大前进了一步。

归纳法的作用

归纳法作为一种科学研究方法,用于发明创造,其过程一般是这样的:通过对观察结果和实验资料的整理、分析,提出有一定事实根据的假设,如果实践证明这种假设是正确的,就会导致新的发现。正如哲学家赖欣巴哈所说的:“归纳法是这样一种科学方法的工具,它旨在发现某种新东西,某种超出以

前观察的总结以外的东西；归纳推论是预言新知识的工具。”归纳法是对科学事实进行概括的恰当形式，也是科学认识中不可缺少的一个步骤，而且往往是发明创造的源泉。达尔文创立进化论学说的过程就能够很好地说明归纳法的作用。

达尔文从小喜欢采集动植物的标本，在他上学期间就经常与一些好朋友一起捕捉昆虫，制作标本，一起讨论生物进化论先驱拉马克的进化论思想。1831年，22岁的达尔文以博物学家的身份参加了“贝格尔”号军舰的环球旅行。在长达五年的旅行中，他历尽千辛万苦，爬山涉水，出没在崇山峻岭之中，收集了各种动植物标本，采集了大量的生物化石和矿物标本，发现了大量新的物种，对生物、地质和人类历史作了广泛而深入的考察。这样，他获得了大量的第一手资料。

在分析与整理资料的过程中，有三件事特别引起他的重视：第一件事，在他收集的美洲大陆的标本中，通过分类他发现，沿美洲大陆向南，同类动植物的物种之间有非常密切的联系，但又递相不同，稍有差异，而且每种生物又都和谐地适应了周围的环境。第二件事，南美洲一种年代久远的动物化石与活着的一种叫犰狳的动物十分相似。第三件事，在太平洋上的加拉帕戈斯群岛上，不同地点的动植物都有共同的特征，但又有明显的差别，甚至各小岛之间的动物也稍有差别。这些现象使达尔文意识到，物种是受环境影响而发生变化的。为了搞清生物变异的秘密，达尔文一方面认真整理自己的标本，另一方面翻阅了大量的当时很受重视的育种资料，并亲自参加养鸽俱乐部的良种收集、选育和杂交试验。通过实践他认识到，在人工干预下，物种是可以改变的；具有不同特征的品种可以起

源于共同的祖先。于是达尔文就想：既然有人工选择，那么自然界是否也有选择呢？通过分析资料他发现，一切生物的繁殖力都是很强的，即使是繁殖较慢的大象，一生也要生六只小象，如果繁殖出来的小象都能存活，那么过不了多久，一对大象会变为几千头大象，照此发展下去，大象很快会充满地球，但事实并非如此。这到底是什么原因呢？通过归纳他终于发现，原因在于自然界有优胜劣汰、适者生存、弱者灭绝这样的“自然选择”规律在起作用。这样，通过分析考察已有资料，达尔文用归纳法获得了优胜劣汰的进化论点：生物为了生存要互相竞争，只有那些具备有利变异的生物才能得以保存和繁殖。在他的花费了二十年时间写成的《物种起源》一书中，达尔文全面阐述了他的理论，基本原理有以下四个方面：第一，世界上的事物是发展变化的，处于不断进化的过程之中；第二，进化过程是逐步的、连续的，不是突变的、间断的；第三，相似生物起源于一个共同祖先，一切生物最终起源是单一的；第四，生物发展变化是自然选择过程，普遍存在的变异是通过生存斗争而实现的自然选择，适者生存。

达尔文的进化论给人类社会带来十分巨大的影响。《物种起源》的出版标志着十九世纪的一场生物学革命。达尔文的变化、发展的进化论思想成为十九世纪自然科学的三大发现之一，为马克思主义理论宝库提供了自然史的理论基础。

从达尔文创立进化论的过程我们还可以发现，开展发明创造活动时，通过对已有资料的分析 and 归纳，可作出正确的假设。事实上，如何找到正确的假设，正是发明创造活动中最困难的一步，它涉及到指导思想、洞察力、思维能力等一系列问

题,涉及到如何由感性认识上升到理性认识的问题。另外,归纳法必须与演绎法相结合,正如恩格斯所说的:“归纳和演绎,正如分析和综合一样,是必然互相联系着的。不应当牺牲一个而把另一个捧到天上去,而应当把每一个都用到该用的地方。而要做到这一点,就只有注意它们的相互联系、它们的相互补充。”科学发展历史也证明了这一点。人们依靠归纳,从观察中找到公理,再对公理进行演绎推理,才能获得比较深刻的结果。例如,利用万有引力定律作为演绎的前提,再加上某一天体的初始状态(初始速度、初始位置、质量等等)就计算出该天体任一时刻在天空所处的位置、运动轨迹、某一时刻的速度等等。历史上很多行星的发现、哈雷彗星的发现等都是有力的见证。

演绎法

在进行发明创造活动时,经常采用的方法是:首先进行观察和实验,然后对从观察和实验中获得的事实、经验进行分析,用归纳法获得一般性结论;这种一般性结论是否真的具有普遍性呢?为此人们就把它应用于实际,去解决具体问题,以检验它的正确性。在以上过程中,前一步是归纳——从特殊事例推导出一般结论,后一步是演绎——把一般原理应用于特殊事物。归纳的方法是人们进行科学发明和创造的有力武器,而演绎的方法对于解释和预见事实也具有重要意义。我们可以以一些定律、定理、公理、假说为理论前提,再加上一些其它

条件,通过演绎法推导出一系列新的成果,预见未知的事实。例如,利用万有引力定律为前提,再加上其它一些条件,天文学家们用演绎法预见了海王星,并被后来的天文观测所证实;哈雷预言了哈雷彗星,同样也被后来的天文观测证实。

下面我们用伽利略发明“伽利略小秤”的过程来具体说明演绎法的作用。

伽利略从小养成了爱思考的习惯,对于一些被人们认为是理解当然的、不证自明的问题,也要追根问底,非将其中的原因弄个水落石出不可。他在了解了阿基米德解决“皇冠之谜”的故事以后,思考了如下问题:利用阿基米德定律,可以查出皇冠中掺了银子,但到底掺了多少银子呢?能否更进一步地查出做皇冠的金子到底有百分之几的重量被偷换成了银子?这样,伽利略就为自己提出了一个需要解决的问题。

伽利略想,用排水法测皇冠中的金、银百分比肯定是不够精确的,那么到底应该用什么方法呢?伽利略特别注意到当时阿基米德发现的“浮力定理”和“杠杆原理”,从这两个原理出发也许能解决问题。阿基米德说:作用于水中物体上的浮力,同作用于该物体同体积(如果物体有一部分露出水面,则只算水面以下那部分体积)的水的地心引力大小相等。这样,如果测出皇冠在水中的浮力的大小,则不用量筒也能测出皇冠的体积。

据此,伽利略设想,要是有一杆“秤”能够精确地测得皇冠在水中的浮力,就能精确地测得皇冠的体积,皇冠之谜就能精确查清。那么如何来制造这杆“秤”呢?伽利略想到了“杠杆原理”。他先在秤臂的右端 B 上挂上皇冠,左端 A 上放砝码,使

它与皇冠的重量平衡,然后把皇冠放进水中,由于浮力的作用,小秤的 A 端便向下倾斜。这时把砝码盘从 A 点朝支点 O 慢慢移动,当移到 Z 处时,小秤重新达到平衡。然后看一下 XY 上的分度,由 ZY 和 XY 的长度比,就查出皇冠中金子与银子的比例了。

那么,X、Y 的位置到底怎样来定呢?伽利略仍然用了杠杆原理。先说 X 的位置,取下皇冠,在 B 点挂上一块纯金(重量任意大小)在 A 点挂上砝码 W_1 ,使其与纯金块平衡,然后把纯金块浸入水中,并把砝码悬点朝支点 O 的方向移动,移动到恰好能平衡的一点,这一点就是要找的 X。

这里,值得注意的是伽利略用杠杆原理推得了 X 的位置与纯金重量大小无关。例如,假如选用的纯金块重量为 193 克,用相应的砝码 W_1 与它平衡。然后把纯金块放入水中。纯金块受浮力的作用,B 点受力减小,原有平衡被破坏。这时受的浮力大小有多少呢?约有 10 克(纯金在常温下的比重为 19.3 克/厘米³),这样,砝码需向支点 O 方向移动到某一点,才能重新得到平衡,假设这点为 X,则由杠杆原理,应有

$$OB:193=OX:183$$

如果 $OB=60$ 厘米,那么 $OX \approx 56.9$ 厘米,即砝码盘向内移 3.1 厘米,这就是 X 的位置。

如果换一块大的纯金,例如增大 10 倍,为 1930 克,那么浮力会增大到 100 克,B 点受力为 $1930-100=1830$ (克),这时

$$OB:1930=OX:1830$$

故比值仍没有改变。所以 OX 的长度也不变,这就说明 X 的位置是固定的。

用同样的方法确定 Y 点。在 B 点处挂上纯银, A 处挂砝码 W_2 , 使其平衡, 然后将银块浸入到水中, 把砝码 W_2 从 A 向 O 方向移动到一点, 使其重新达到平衡, 这一点就是 Y 。同理, Y 点也与银子重量无关。

定出 X 、 Y 以后, 可以用来秤皇冠的伽利略小秤就制成了。

接下来的问题是分度段 XY 的划分问题, 虽然这与浮力定理和杠杆原理无关, 但伽利略所采用的技术也很值得我们学习。显然, 分度越细, 测量的精度越高。伽利略不象通常那样用笔和尺划分分度, 而是采用了以下的方法: 选一根尽量细的金属丝, 把细金属丝紧紧地依次密缠在 XY 之间那段秤臂上, 每匝之间既不留空隙, 又不让线与线重叠, 而且牢牢地缠紧, 这样就做出了同等间隔的分度。

于是, 制得的小秤就可以用来秤皇冠了: 先在 A 、 B 点上分别挂上砝码和皇冠, 调整砝码, 使与皇冠相平衡。然后把皇冠放入水中, 再将砝码朝支点方向移动, 直至秤臂达到新的平衡。如果砝码的位置 Z 恰在 X 处, 则说明皇冠与纯金一样, 没掺入银子; 如果 Z 恰在 Y 处, 则皇冠完全是银做的; 如果 Z 在 X 、 Y 之间, 则掺有银子, Z 愈靠近 X , 皇冠里所掺银子越少。如果 XZ 的长度与 XY 的长度之比为三分之一, 则皇冠中有三分之一的重量是银子。这样, 就能十分精确地测得掺假的数量了。

以上我们比较详细地介绍了伽利略小秤的发明经过。从

以上过程我们可以看到这一发明从主题的确立一直到发明的完成,都是用演绎法来进行的。这表明,在正确的前提之下利用正确的逻辑思维方法,可以导出正确的结果来,而且许多时候往往能引出重大的发明创造。例如,现代数学、自然科学普遍采用的一种研究方法——公理法,就是从少量的公理出发经过演绎而得到一系列的定理、法则、公式等等,进而建立起相应的学科大厦的。

类比的作用

当我们在学习或生产、生活实际中发现了发明创造的课题、确定了发明创造的目标以后,应采取什么方法来具体实施我们的发明计划呢?获得了发明创造的基本素材,积累了资料以后,如何去分析这些材料呢?实践表明,联想、类比等思维方法在发明创造中是十分有用的。

哈维是十七世纪英国科学家,受维萨留斯解剖生理学和伽利略实验物理学的影响,热衷于血液循环理论的研究。他认真阅读了维萨留斯的著作《人体结构》。他想,血液循环是以心为中心的,那么血液又是在什么力量的推动下才循环起来的呢?血液循环对人体有什么作用呢?他受当时提水器具的启发,通过类比,终于找到了血液循环的本质,对血液循环作出了动力学的解释。1616年,他发表了自己的研究成果,阐述了血液循环的原理、作用,回答了多少年来人们不能回答的许多问题,例如人被毒蛇咬伤后如果不及时治疗为什么会死亡等

等。1660年,意大利人马尔比基用显微镜观察蛙肺,验证了血液循环原理。血液循环理论意义重大,它推动了医学和生理学的发展。

值得指出的是哈维的发现与他的为科学事业不惜牺牲生命的精神很有关系。在他的那个时代,宗教势力十分强大,他的前辈由于在生理学、解剖学的研究中说了真话,受到了宗教法庭的审判,有的被流放,有的被判入狱,有的竟被活活烧死。但哈维没有畏惧,他先后解剖了八十多种动物,画出血液循环图,并公开发表了他的学术成果。哈维还十分注重实践,注意向大自然学习,他说:“应该向自然请教。把自然给我们的启示大胆实践,借助于我们的感觉的帮助,从低水平向高水平迈进,我们就会接近自然界最神秘的核心。”

从哈维发现血液循环的过程我们可以看到,哈维之所以能在血液循环与提水器之间产生联想,是因为这两者之间在结构上存在相似性。一般的来说,在科学研究的过程中,对事物的结构、处理问题的方法等进行类比,往往能导致令人满意的发现。

例如,电报是由美国发明家莫尔斯在1832年发明的,他创造了一种“莫尔斯电码”,就是用点(短时电流)、线(较长时电流)和空(没有电流)的适当搭配来代表字和数字,这种电码在当今的电报通信中仍在应用。在他发明的过程中,遇到的最大困难是如何解决远距离传输时,信号的衰减问题。开始,他采用了放大原始信号的方法,但没有成功。一次,他搭乘驿车从纽约到巴尔的摩去。他在旅途中注意到,驿车每到一个驿站就要更换一次拉车的马。突然他想到,如果在电报线路沿途设

置一些“驿站”来放大信号，不断将衰减的信号重新放大，那么就能解决电报信号长途传输时的衰减问题。通过类比，莫尔斯终于解决了电报信号的衰减问题。

事实上，运用类比的方法作出发明创造的例子是很多的，例如英国工程师布鲁内尔观察到船上的蠕虫在木头里自己开辟道路而向前运动。就在 1818 年提出建造水下隧道的技术设想。他发明的“布鲁内尔沉箱”是一种金属圆筒，工人在里面可象船上的蠕虫一样地向前运动。法拉第为了解释静态电与动态电之间的差别，联想到瀑布的情境，取瀑布为模型，把电压比作落差，电荷比作水量，瀑布的水量不一定很大，远不及宽阔的江河，然而它降落的强度随瀑布的落差增大而增加，所产生的能量则为平缓的江河所不及。于是法拉第推断，瀑布的能量为瀑布落差同水量的乘积，类比可得电压乘以电荷便可得出电能。

再看一个运用类比方法的例子。

牛顿时代，数学家们对无穷级数的研究较少。杰出的瑞士数学家雅克·伯努利不会计算级数

$$1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{9} + \frac{1}{16} + \dots$$

的和，而且直到他逝世也没有人给出解答。几十年后，数学家欧拉对这个问题发生了兴趣，并且用类比三角方程和代数方程的方法得出了准确答案：

假如一个一元 n 次方程

$$a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n = 0$$

有 n 个不同的根

$$x_1, x_2, \dots, x_n,$$

则应有

$$a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n = a_n(x - x_1)(x - x_2)\dots(x - x_n)$$

如果方程没有零根, 即 $x_i \neq 0 (i=1, 2, \dots, n)$

$$\text{则 } a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n = a_0\left(1 - \frac{x}{x_1}\right)\left(1 - \frac{x}{x_2}\right)\dots\left(1 - \frac{x}{x_n}\right)$$

特别的, 对只含偶次项的 $2n$ 次代数方程

$$b_0 - b_1x^2 + b_2x^4 - \dots + (-1)^nb_nx^{2n} = 0 (b_n \neq 0)$$

假设它有 $2n$ 个互不相同的根, 两两互为相反数:

$$x_1, -x_1, x_2, -x_2, \dots, x_n, -x_n,$$

则有

$$b_0 - b_1x^2 + b_2x^4 - \dots + (-1)^nb_nx^{2n} = b_0\left(1 - \frac{x^2}{x_1^2}\right)\left(1 - \frac{x^2}{x_2^2}\right)\dots\left(1 - \frac{x^2}{x_n^2}\right)$$

比较二次项系数, 有

$$b_1 = b_0\left(\frac{1}{x_1^2} + \frac{1}{x_2^2} + \dots + \frac{1}{x_n^2}\right)_0$$

接着, 欧拉研究了三角方程

$$\frac{\sin x}{x} = 1 - \frac{x^2}{3!} + \frac{x^4}{5!} - \frac{x^6}{7!} + \dots = 0$$

把它看成只含偶次项的无限次代数方程, 则它应有无数个根, 事实上

$$\pi, -\pi, 2\pi, -2\pi, 3\pi, -3\pi, \dots$$

都是方程的根。

于是, 欧拉大胆地采用类比法, 即仿上述 $2n$ 次多项式分

解成乘积的形成,可得到

$$\frac{\sin x}{x} = 1 - \frac{x^2}{3!} + \frac{x^4}{5!} - \frac{x^6}{7!} = \left(1 - \frac{x^2}{\pi^2}\right) \left[1 - \frac{x^2}{(2\pi)^2}\right] \left[1 - \frac{x^2}{(3\pi)^2}\right]$$

...

比较两边二次项系数,可得

$$\frac{1}{3!} = \frac{1}{\pi^2} + \frac{1}{4\pi^2} + \frac{1}{9\pi^2} + \dots$$

于是,

$$1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{9} + \dots = \frac{\pi^2}{6}$$

这样,欧拉运用类比的方法解决了雅克·伯努利级数和的问题,而且是完全正确的。

不过,从现代数学的观点来看,这个解法是不严格的,因为这里运用了从有限次方程过度到无限次方程的类比,而这种从有限到无限的类比并不可靠。但不管怎样,类比不失为一种有启发性的思想方法。在科学研究中,严格是必须的,但只有严格又是不行的,有时要善于“不严格”,先用不严格的方法对问题的答案提出初步结论,再用严格的方法予以论证,这是发明创造常用的方法。

类比得到的结论不一定可靠可以用以下事例来说明:

法国天文学家勒威耶曾经成功地根据天王星轨道的摄动现象,预言了海王星的存在。后来,他又发现水星轨道近日点的进动。在考虑了所有已知天体的摄动影响后,仍出现无法解释的偏离。于是,他通过类比海王星的发现过程,作出了可能又有一颗未知行星摄动这样的推理。以后,许多天文学家花费了几十年时间,寻找这颗猜想中的行星,有人还热情地给它起

名叫“火神星”。但这颗行星却始终没能发现,最后人们不得不承认这颗行星是根本不存在的。爱因斯坦建立了广义相对论以后,人们才认清了产生水星近日点的进动现象的真正原因。

类比所得的结论之所以不一定可靠,主要是任何两个相似的对象之间,总有一定的差异,人们根据同一属性进行类比时,如果推测出的属性正好体现了它们之间的差异性,那么类比的结论就会发生错误。

谈 联 想

在发明创造过程中,由于某件事物的启发,产生联想,往往也能导致发明创造。十九世纪中叶,外科手术后的伤口感染对病人的生命产生极大威胁,英国外科医生李斯特为这个问题做了许多工作,但仍然没有解决这个问题。有一次,他在阅读法国细菌学家巴斯特的著作时,从“细菌是腐败的真正原因”受到启示,联想到细菌可能是伤口感染的原因,经过试验,李斯特确认这一想法是正确的。于是他发明了外科手术消毒法,这一发明拯救了千千万万的生命。

鲁班是我国木匠的始祖,他发明的木工工具,如锯子、墨斗等延用至今。相传,鲁班为建一座宫殿而带徒弟们去山上砍树,当时所用的工具是斧头,一连十几天过去了,砍得的木料还是不够,而且人也疲劳得很。一天他又带徒弟上山,不小心被茅草拉了一道口子,鲜血直流,鲁班对伤口稍作处理后,便对茅草为什么能拉破手指的原因研究了起来。他发现茅草边

缘上长着错落有致的锋利细齿,显然,这就是茅草割破手指的原因。这时他联想到,能否也象茅草一样,在铁条的边缘打出细齿,用来锯木料呢?经过实验,他发现这一想法是可行的,后来又经过改进、加工,终于制成了锯子。这里,鲁班从一次偶然的故事中联想到自己的工作,发明了锯子,事实上这一发明仍然是建立在他丰富的木工经验之上的。

由联想而引起发明创造的另一个例子是灭菌药的发明。十九世纪后期,细菌被发现了,而且人们知道它是传染病的元凶。于是,人们设法寻找消灭传染病细菌的新药。联想到物质对染料的选择性——有的染料能染毛料,有的染料能染棉布而不能染毛料,人们认为,应该可以找到一种能杀死细菌而对人体细胞没有伤害的药物。德国人艾立希为了实现这个目标,对给细菌染色的颜料很感兴趣,于是他进行了种种试验,终于使他找到能杀死各种细菌而又不伤害人体的药。二十世纪初,他发现一种叫“锥虫红”的染料能将锥虫染色,而锥虫是当时非洲很可怕的昏睡病原体。在人体内注入适量的锥虫红就可杀死锥虫,于是发现了可以杀死锥虫细菌的药。这样,艾立希用染料作杀菌剂的想法实现了。在灭菌药的发明过程中,目标是要发明一种“有选择”的药物,而这种要求正好与染料染色的选择性相吻合。这样,在灭菌药与染料之间就容易发生联想。

麻醉药的发明也是借助于联想而实现的。1844年,美国化学家考尔顿在研究笑气的过程中发现它对人体有催眠作用,于是他带了笑气到各地作旅行讲演。并作笑气催眠示范表演。在一次表演中,出现了一个意外情况,表演者在吸入笑气

后,由于药效开始后的兴奋作用,突然从半昏睡中一跃而起,大叫着追逐观众,在追逐中划破了腿部,伤口流血不止。但受伤者却没有痛苦的感觉,这给在场的威尔士医生留下深刻印象。

威尔士是一名牙医,当时正在思索如何在拔牙手术中减轻患者痛苦的问题,催眠表演引起了他对笑气(氧化亚氮)可能具有麻醉作用的联想。于是立即进行实验,但是,没有成功。当时,有一个医学院牙科的二年级学生摩顿正利用学习间隙在威尔士那里实习,这位年轻助手仔细分析了老师的实验过程,发现氧化亚氮确有麻醉作用,但药效太小,因而没有引起预想的效果。摩顿又联想到化学家杰克逊对乙醚的研究,决定采用乙醚来作麻醉剂试验,经过多次反复试验,终于获得了满意的效果。他在美国马萨诸塞州总医院进行了临床实验,结果获得成功。美国诗人、医生霍尔姆斯为这种镇痛药起名叫“麻醉药”。这一发明为广大患者解除了手术的痛苦。

从以上发明过程我们可以看到,发明过程中的联想并不仅仅是偶然的,它是以发明者对他的发明对象的广泛深入的了解为基础的。而且联想一般都发生在两个意义、功能或形状具有某种类似性的事物之间。因此,在发明创造过程中,一定要注意积累知识,善于寻找事物的共同特点,善于发现事物之间的联系方式,这样才能使自己做到有物可联,有事可想。否则,基础苍白,知识贫乏,是不可能产生联想的。另外,提高观察能力也是十分要紧的,因为观察力强的人可以更容易地抓住事物的形象特征,而形象特征正是引起联想的关键所在。

仿生学与发明创造

人是世间万物的主宰。人为什么能够成为世界的主宰呢？这主要是人有思维，人能用意志控制自己的行动，而地球上的其它动物却只能靠本能来控制自己的行动。其它动物的一切行动都只为了一个目的——生存；而且这种行动是被动的，而人类行动的目的除了生存以外，更主要的是要求得发展。人可以创造世界，人的行动是主动的。

但是，人能主宰世界依靠的是他们的综合能力，人比其它动物高级之处是他们在行动之前能计划好自己的行动。如果从单项功能来看，则动物有人所望尘莫及的优异功能。例如，不少动物的耳、鼻、眼等感官极为灵敏、细巧，人们几乎无法做到这种精度。如有的鱼对任何微弱的电场都很敏感；狗能闻到千万分之一浓度的有气物质；响尾蛇能感觉到 0.001 摄氏度的温差变化；一种身长只有 35 厘米的极燕鸥，营巢北极而在南极过冬，每年飞行四万多公里，方向准确无误；绿色海龟从巴西“远航”2200 公里到南太平洋上一个只有几公里的小岛上产卵，不到三个月又返回到巴西；蜜蜂有精密的测时钟，还能精确测定太阳的方位；螳螂能在 0.05 秒的瞬间计算出掠过眼前的小昆虫的速度、方向和距离，并一举抓获，使上吨重的跟踪系统也相形见拙……。自然界的所有这些奇妙现象人们虽然已经认识到了，但还没有被人们完全掌握，如何学习仿制，就成了人们追求的一门新的学问，即仿生学。

通过研究生物系统的结构性质、能量转换以及信息过程,搞清其中的奥妙,可将获得的知识用来改善现有的或创造新的机械、仪器、建筑结构和工艺流程。例如,大自然创造了许多方法,使自然界的生物能够赖以生存活动、保持生态平衡、控制当地的环境条件。海豚在水中行进速度很快,这同海豚的表皮是波浪形有关,因为这样可以减少摩擦阻力;蝙蝠即使被蒙住眼睛,也能从一排间隔很密的垂直导线之间飞过去,因为它们能够发射一系列超声波信号,由体内计算网络来处理反射信号,不断地给出距离信息;体内血液的流量由精巧的测量系统来计算和控制,简单的说,电解质在某一处被注入到血液中,电解质从注入点到达某一固定点的时间,由导电率检测器测定。然后,血液中的电解质被除去,随时可以向血液中再注入电解质,计算系统根据含有电解质的血液的流通时间求出速度,然后调节心脏的跳动。这种自然流量测量系统是极其精巧的,现在许多工业生产过程都采用了循环液流,例如锅炉、润滑装置、空气调节系统等,如果能把上述测量系统应用上来,那么就能大大改进循环液流工艺。同样的,如果能把蝙蝠的导航系统用于航空事业,将使航空工业产生一场革命。

在粘合剂方面,大自然也是极好的教师。自然界存在的物质中,各种结构单元之间的粘结情况,种类繁多,强度各异。聚合物的链交联在一起,可以从液体产生固体塑料,这一原理早已为大自然所运用,用于使血液凝固、使树木慢慢流出的汁液凝结成坚固的树胶。木材有纤维素长链,牢固地交联在一起。附着在水中岩石或船底的甲壳动物藤壶之类的海洋生物所使用的粘性物质,在水中就可以凝结,几乎可以粘结到任何物体

的表面上。这种粘性物质灵活性很大,似乎是触变性的——每当用力想把藤壶挪开,它就会粘得更牢固,而不用力时它就粘得不太牢固了。如果能解开这个谜,把这种物质分离出来,那么就可以得到一种新型粘合剂,这种粘合剂用来镶补牙齿是很理想的,在工业生产上也将会有很大作用。

仿生学已经成为当今科学家们进行科学研究的热门课题。“向自然学习”,利用自然界的各种生物原理来改进我们的生产、生活,将是今后科学研究的一个方向。自然能为我们提供许多解决工农业生产难题的好方法,例如,种子从树上落下来,由于巧妙地运用空气动力学原理,因此,下落速度很慢。椴树种子呈双翅形结构,能够作螺旋运动,旋转可以使下落速度放慢,这样,风就可以把种子吹散开来。

臭椿树种子的下落运动也很有趣。用一张薄纸条,把两端折一下,就可以制成臭椿树种子的模型。如果两端折得一样,那么纸条就会绕着它的纵轴迅速旋转,沿着 45° 度角的直线落向地面。如果一端折得多,另一端折得少的话,就会观察到两种运动情况。纸条不仅会象上述情况一样绕其纵轴旋转,而且还会盘旋降落。有的科学家就提出,可以用塑料“种子”帮助扑灭森林火灾。塑料“种子”内装上灭火粉剂,用飞机把成千上万粒塑料“种子”投向大火。人造“种子”盘旋而下,会向火势最猛烈的地方落去。这些“种子”一到,塑料遇火溶化,粉剂即可撒出。这种结构还可用来帮助在沙漠地区植树造林,在渔场投放鱼饵等等。

谈发明创造中的想象

原子甚小,即使高倍放大镜也无法看到,卢瑟福却“发现了原子的核式模型”,波尔也“提出了原子结构的量子化轨道理论;”宇宙之大,即使用射电天文望远镜也看不到它的尽头,但天文学家们却要研究宇宙的起源,宇宙的结构和最终状态。美国天文学家埃得温·哈勃提出整个宇宙都处于有规律的膨胀状态之中,而且星系距离我们越远,它离开我们向更远处前进的速度就越大。那么,科学家们是如何得出这些科学结论的呢?我们的答案是:想象。

爱因斯坦曾说过:“想象力比知识更为重要,因为知识是有限的,而想象力概括着世界的一切,推动着进步,并且是知识进化的源泉。严格地说,想象力是科学研究中的实在因素。”而狄德罗则进一步指出,“想象,是一种特质,没有它,一个人既不能成为诗人,也不能成为科学家,成为有思想的人,有理想的人,真正的人。”作为一个发明家,他的力量和多产,在很大程度上应归功于想象力给他的激励。历史上的杰出科学家都是借助于想象的翅膀才取得卓越成就的。哥白尼提出“日心说”、开普勒创立行星运动三大定律、哈维发现血液循环、普朗克创立量子力学、人类实现宇宙航行等等都是以想象为先导的。爱因斯坦提出相对论,更是依靠他那非凡的想象力。首先,爱因斯坦提出光是由不连续的微小颗粒或者叫做光量子的微粒所组成的,“这些光量子运动时不能再被分裂,它只能作为

一个单位被吸收或发射。”这种思想,在1905年以前,“量子”这个概念还只不过是引起人们好奇心的理论玩意儿时,甚至连量子的发现者普朗克都反对光是由量子所组成的理论,而爱因斯坦却把量子原理从抽象概念变成了实用的物理学工具,这需要多么惊人的想象力。接着,爱因斯坦又提出,时间和空间是可变的,也就是说,时间和空间可以随着物质的运动形式而改变。设想人乘坐航天飞机在太空旅行,航天飞机飞行的速度极快,达到光速,则在航天飞机上,时间就停止了,几十年后,此人返回地面,人们看到的他仍象刚出发时那么年轻,而且,如果飞行速度超过光速,则时间便会倒流,人在这种超光速飞行器上会返老还童,“简直难以想象!”但是,爱因斯坦却在二十世纪初就已想象到了。再后来,爱因斯坦又提出,当光线所受到的引力足够大时,它会发生弯曲!这又是一次“难以想象”。确实,平常见惯了光线的直线传播现象,如何能想象得到光线也会弯曲呢?我们不得不承认,爱因斯坦的想象力太惊奇了!

想象确实重要,它不但可以帮助科学家进行发明创造,而且还可以帮助人们在头脑中“看到”那些无法加以亲自观察的事物。例如,古人类学家、考古工作者,他们研究的对象都是很久很久以前的事物,有的甚至是几十万年前的东西,这些对象根本无法直接观察到,他们靠什么来作出科学的结论呢?唯一的途径就是利用有关资料,通过想象的作用,去“设想出研究对象的各种可能的情况”。想象在文学艺术创造中也是不可或缺的,高尔基曾说“文学家的工作或许比一个专门学者,例如一个动物学家更为困难。科学工作者研究公羊时,用不着想象

自己也是一头公羊,但文学家却不然。他虽然慷慨,却必须想象自己是一个吝啬鬼;他虽然懦弱,但却必须令人信服地描写出一个意志坚强的人。”

那么,想象又是怎样产生的呢?

一种想象是在有意识的状态下产生的,这种情况下,任务在肩,目标明确。例如,有人曾设想牛顿发现万有引力定律的经过。当时,牛顿正在思考宇宙中的行星靠什么力量绕着太阳旋转的问题,忽然,苹果从树上掉下来了。为什么苹果会下落而不会飞到天上去呢?如果苹果树长得很高,苹果还会落到地上来吗?回答是肯定的,即下落与高度无关。如果苹果树长在很高的地方,譬如说长在月球上,是否也会落到地球上来?回答仍应是肯定的。那么,月亮为什么不落到地球上来呢?它不就是一个“大苹果”吗?这个问题当时无法想下去,出现暂时中断。牛顿又从另一个问题想开去:在山顶上平射一颗炮弹,炮弹将以曲线轨道落到远处。如果发射速度非常快,炮弹可能经过大半个地球,如果发射速度再增大,则炮弹会绕地球旋转,永远不落到地面上,这时炮弹就很象月亮。炮弹和月亮围绕地球转,显然是离心力使它们不落到地球上。但为什么又不飞开地球去呢?一定是在它与地球之间还存在着相互吸引的未知力,这种力与离心力相平衡,所以月亮总能长久地围绕地球运行。同样的,水星、金星、火星、木星……,它们围绕太阳旋转,也是由于那种相互吸引的力的作用。这种吸引力就是万有引力。在以上的过程中,一连串的“如果”就是在“行星靠什么力量绕太阳旋转”这一目标下所进行的想象。

还有一种想象是在无意识状态下进行的,例如大陆飘移

说就是威也纳在观看地图时,通过无意想象而形成的。

想象力是可以培养的。首先,为了使自己具有丰富的想象力,应积累更多的知识和经验,知识越渊博、经验越丰富,想象力就越强;第二,要锻炼记忆力,因为想象是在记忆的基础上产生的,记忆越丰富,想象的余地就越大;第三,要有好奇心,强烈的好奇心能驱使人们去学习新知识,研究新问题,好奇心越强,对事物的敏感度就会越高。

想象是发明创造的动力,想象是发明创造的源泉,想象是发明创造的翅膀,想象是发明创造的先导。只有那些具有丰富想象力的人,才有可能成为发明创造的佼佼者。

发明创造中的猜想

所谓发明创造,是指人们运用自己的聪明才智制作出前所未有的物质产品和精神产品。这里,新产品的提出是为了解决原有理论不能解决的问题,在这种情况下,人们总是要根据不完全的知识背景,不充分的数据进行工作,这就必然需要猜想,牛顿曾说过“没有大胆的猜想,就做不出伟大的发现。”而他本人正是从已知的事实出发,想出一个符合于事实而又能用数学表达的理论,从这个理论得出数学和逻辑的推论,又把这些推论与观测和实验得来的事实进行比较,并发现其完全符合。而这里的“想出一个理论”就是猜想。爱因斯坦也认为,在科学基本关系和概念的创造性选择上,多少有点象一个人在猜一个设计很巧妙的字谜那样,因此发明创造必然包含猜

想。

数学研究中,猜想的作用也十分巨大。例如,虚数的引进就与大胆的猜想有关。十六世纪前,人们习惯于在实数范围内进行数学研究,因为实数是看得见摸得着的,它有明确的几何意义,而且从代数规则来看,不论是正数还是负数,其平方一定是正数,所以作为平方运算的逆运算开方,只能对正数进行。这样,要对负数开平方,就显得有些荒谬,让人不可想象了。然而,十六世纪的科学家卡尔丹诺却不顾这些,他考虑起“把 10 分成两个部分,使两者的乘积等于 40”这类问题来,并大胆地引进“虚构数”的概念,从而把数分成为:

{ 正实数:正整数、正分数和无理数;
 虚构数:负数和负数的平方根。

卡尔丹诺引进的“虚构数”引起了人们的争论,数学家韦达就认为这只是“思想上的东西”,毫无实际意义。但数学发展的历史却表明,它就象明灯,“照亮了整个数学”,给数学带来了根本性变革。整个数学如果离开了虚假,则势必没有今天的发展。卡尔丹诺是个十分了不起的人物,他之所以能引进“虚构数”,不是出于逻辑因果发现,而是出于“狂热的想象”,这与他从小养成的爱幻想的习性是相吻合的。

物质之谜,古代科学家、哲学家都把它作为一个重大课题来研究。物质到底是由什么组成的?古希腊的德谟克利特早在公元前四世纪就猜测物质是由原子构成的,到二十世纪初,英国化学家道尔顿提出从原子概念出发来解释化学变化的原子论,重新提出物质是由微粒组成的原子说猜想,并经过一系列认真细致的研究,证实了这一猜想。物质由原子构成的猜想

被证实以后,科学家们又提出,原子又是由什么构成的呢?科学家们为解决这个问题又进行了一系列的研究,提出了各种各样的猜想。1910年,英籍新西兰人卢瑟福等以 α 粒子束注射金属时发现,有些粒子的轨道发生了大角度的散射,于是猜想存在原子核,从而提出了原子结构的行星系模型,并用数学方法计算出了散射所应遵循的定律,发现沿着一定角度散射的粒子数目应同散射箔的厚度、同原子核电荷的平方成正比,同速度的四次方成反比。这些猜想被后来的实验所证实。

从揭开物质之谜的过程可以看到,科学发现与猜想之间存在着一种十分紧密的关系,可以说没有猜想就没有科学的进展,就不可能有发明创造。

当然,并不一定所有猜想都能立即被证实(错误的猜想被否定,正确的猜想被证实),例如数学发展史上非常著名的“费马猜想”就是一个长期未被证实的猜想。费马是法国人,是一位业余数学家(正式职业是律师),但他在十七世纪数学史上却是独占鳌头。古希腊数学家丢番图曾提出方程

$$x^2 + y^2 = z^2$$

的一般正整数解的问题,并得出一般解是

$$x = 2mn, y = m^2 - n^2, z = m^2 + n^2 \quad (m, n \text{ 是任意正整数})$$

那么,对于 $n > 2$, 方程

$$x^n + y^n = z^n$$

有没有正整数解呢?费马猜想,方程没有正整数解,从而得到著名的“费马大定理”:

当 $n > 2$ 时,方程 $x^n + y^n = z^n$ 没有正整数解。

那么,这个猜想到底对不对呢?费马在丢番图著作中叙述

“ $x^2 + y^2 = z^2$ 的正整数解”这一页的边缘空白处写道：“将一个立方数分为两个立方数，一个四次幂分为两个四次幂，或者一般地将一个高于二次的幂分为两个同次的幂这是不可能的。关于此问题，我确信已发现一种美妙的证法，可惜这里空白的地方太小写不下。”

费马死后，人们才发现了他写的这段文字，可是没有找到证明。这个猜想引起了数学家们极大兴趣，从费马提出这一猜想至今，大批才华横溢的数学家被吸引到证明这一猜想的工作上来，但都没有成功。布鲁塞尔和巴黎科学院曾设奖金悬赏数次，也没能得到结果。三个世纪过去了，费马大定理依然没能得到完全的证明或被推翻。不过，费马大定理就象一只下金蛋的母鸡，人们在证明费马大定理的过程中获得了许多“副产品”，得到了许多定理本身以外的东西。

广博的知识基础、高超的观察、实验能力、丰富的想象力以及正确的方法是发明创造的四大法宝。

逻辑(抽象)思维的作用

通常，人们认为发明创造需要更多的非逻辑思维——灵感、直觉等等，有人还认为，灵感、直觉等是发明创造的先导，然后再通过逻辑思维对已作出的发明创造进行整理加工。似乎逻辑思维只是在建造了发明创造的大厦以后对它进行装修时才起作用。但事实并非如此。我们可以用门捷列夫发现元素周期律的过程来说明，逻辑(抽象)思维在发明创造活动中

同样有重要作用,它同样能导致发明创造。

经过广大科学家的努力,到 1869 年,人们已经发现了 63 种元素,并且对这些元素的物理及化学性质的研究资料也积累得非常丰富了。例如,1815 年英国医生普劳特提出各元素原子量中最轻的是氢,原子量为 1;1850 年德国药学家培顿科菲发现各元素原子量之差常为 8 的倍数;1853 年,英国人弗兰克兰特提出原子价概念;1860 年意大利的坎尼柴罗提出准确测定化学元素的原子量的新方法,使人们对元素化合价与原子量的确定有了统一认识,这对元素周期表的发现有重大意义;1865 年,英国的纽兰兹在按原子量顺序排列化学元素时,发现从任意一个元素起,每到第八个元素就有和第一个元素相近的物理性质、化学性质出现,这说明化学元素的性质具有周期性变化的规律等等。所有这些,都为俄国科学家门捷列夫的重大发现创造了条件。但是,人们对各个化学元素的性质的认识是彼此孤立的,只看到它们的个性,而对它们的共性、各元素之间的联系性则缺乏研究。那时,每出现一种新的元素,就象突然从天而降的天外来客,完全出乎意料。

门捷列夫却与众不同。他在收集、整理前人已经得到的成果的基础上,对那些已被证明是正确的资料进行分析、比较和综合,对种种化学元素分类方法进行研究,对氢和氧的关系、金属与非金属的关系、元素化学活性顺序、元素原子价、元素综合化学性质等都进行深入细致的研究。通过研究原子量和原子价,他发现一种特别现象,不同元素的原子量是不同的,但不同元素的原子价却有可能相同,如果把元素按原子量从小到大的顺序排列成表,将原子价相同的元素排在同一列,则

位于同一列的元素(即原子价相同的元素)化学性质基本相同,例如一价元素都是典型的金属元素,七价元素都是典型的非金属,四价元素介于金属与非金属之间。因此,只要抓住原子量这个元素的基本特性,就能获得对元素性质的规律性变化的认识。

1869年,门捷列夫在俄罗斯化学学会上发表论文,公布了他对元素周期律的研究成果。他指出:按原子量大小顺序排列起来的元素具有明显的周期性;所有元素都不是孤立的,原子量决定元素的特性,元素性质与原子量之间有内在联系;从排列顺序可以明显看出有的元素人们还没有发现;知道了某元素的同类元素的原子量以后,就可以判定该元素的原子量。

门捷列夫做了元素系统化工作,他把63个元素全部列入表格,留有四个空位,在修订周期表过程中,预言有15种(一说21种)未知元素,并指出了这些元素的性质。以后的科学研究表明,门捷列夫的预见是正确的,人们根据元素周期表显示的规律,发现了一系列新元素,而且在元素周期表中,二十世纪发现的放射性元素,二次大战后出现的人工元素等都有预定位置。

门捷列夫发现元素周期表,充分显示了在科学发明创造过程中,逻辑思维的重大作用。门捷列夫根据前人积累的大量关于元素的知识 and 资料,由现象入门而揭示了物质的本质规律。根据大量的、足够的数据资料的“量”,通过深入细致的分析、综合,从而发现事物真正变化规律的“质”,这是进行科学研究、发明创造活动时常用方法,这就是量变到质变的辩证法。正如恩格斯指出的:“门捷列夫不自觉地应用黑格尔的量

转化为质的规律，完成了科学上的一个勋业”。

当然，在运用逻辑思维进行科学发明创造时，思想观点也是举足轻重的，因为正确的思想观点能指导人们正确地利用已有资料，从杂乱无章的材料中找出其中的规律来。门捷列夫在发现元素周期律时的指导思想是：一切化学元素之间一定存在着内部联系。根据这一思想，他综合了前人对元素性质的认识，经过深思熟虑以后，得出了元素的原子量是元素之间相互联系的纽带。正如门捷列夫自己所说的：“人们不止一次问我，根据什么、由什么思想出发而发现并肯定了周期律？让我尽力来答复一下吧！……当我在考虑物质的时候，……总不能避开两个问题：多少物质和什么样的物质？就是说两种观念：物质的质量和化学性质。而化学这门研究物质的科学的历史，一定会引导人们——不管人们愿意不愿意——不但要承认物质质量的永恒性，而且也要承认元素化学性质的永恒性。因此，自然而然就产生出这样的思想：在元素的质量和化学性质之间，一定存在着某种联系，物质的质量既然最后成为原子的形态，因此就应该找出元素特性和它的原子量之间的关系。而要寻找某种东西——不论是野蕈也好，或是某种关系也好，除了看和试之外，再没有旁的办法了。于是我就开始来搜集，将元素的名字写在纸片上，记下它们的原子量和基本特性，把相似的元素和相近的原子量排列在一起……。”“因此，一方面寻求元素的性质和其原子量之间的关系，而在另一方面寻求其相似点与原子量之间的关系，要算是最简捷和极自然的想法了。”

门捷列夫在他的正确思想指导下，利用原子量的关系，找

到了互不相似的元素之间的联系。

逆向思维

法拉第是十九世纪最伟大的物理学家,他发现了感应电流而成为发电机原理的发明创造者,电力事业的奠基人。考察法拉第的“磁能生电”思想的形成过程是很有启发性的。

1820年,丹麦人奥斯特经过长期探索后发现了电流可以使磁针偏转的磁效应,反过来他又发现磁铁可以使电流发生偏转,从而揭示了电与磁的关系,同时,他根据这一关系提出了测量电流强度的手段。奥斯的发现对电磁学的形成有着特别重要的意义。

奥斯的发现给欧洲科学界以很大震动。法国人安培根据这一发现作了两个导线中电流磁力相互作用的实验。1822年,他提出了电流产生磁力的基本定律:当两根平行的金属线通以同向电流时,二者相斥;通以反向电流时,则互相吸引。接着,通过实验他又发现在磁石作用范围内电线切割磁力线时发生微弱电流,据此他提出了分子电流学说。1820年,法国人阿拉戈和英国人戴维分别发现了通电金属线圈所缠绕的铁变成了磁铁。1822年,法拉第根据前人的工作提出:既然能电生磁,为什么不能磁生电呢?如果这种方法可行,那么用这种办法来发电,就可以得到很大的发电量,而且将大大降低发电的成本。这里,法拉第用了一种与常规思维不同的逆向思维方法,在法拉第之前,人们研究电磁学主要想把电磁学还原为力

学,而法拉第采取了相反的方法,从而使他打开了电力学的大门。经过九年的努力,1831年8月29日,他终于发现感应电流。当他把8.5英寸长,0.75英寸直径的圆柱形磁铁插入他用230英尺铜线绕成的线圈时,电流表的指针动了,这表明电流产生了。从此,电力时代的黎明到来了又经过三个月的工作,他提出了发电机的原理。到此,电磁学作为一个独立的学科体系正式诞生。

在法拉第之后,1866年,德国人西门子发明了自馈发电机,完成了实用电机雏形。1880年,爱迪生改进并完善了西门子发电机,从此,发电机可以用在照明和动力上了。电机得到广泛应用,由电磁学进入到了电动力学,迎来了世界第二次工业革命。

法拉第对人类文明的贡献是很大的,英国让他继大科学家戴维之后当了皇家学会会长,世界人民也很尊敬他。他一生从英国和其他国家获得奖章、勋章、称号、学位等共计95次。

法拉第的科学发明是伟大的,而这种伟大的发明得益于他善于用逆向思维来进行科学研究,得益于他有与众不同的思想方法。他能够将人们思考问题的常规思路反过来,从与常规方法相反的方向来寻找发明创造的突破口,这种逆向思维方法在发明创造活动中经常能出奇制胜。不妨再看几个例子。

众所周知,数学是以它的逻辑结构严谨性,推理论证的严密性而著称的,数学中没有模棱两可的东西,对就是对,错就是错,毫不含糊。但是,1965年,美国加利福尼亚大学伯克莱分校教授、系统科学专家扎德发表了一篇与众不同的论文,它离开了科学中传统的精确的方法,而专门讨论其反面的模糊

性,由此开创了一门新兴学科——模糊数学。短短二十多年,模糊数学获得了迅速发展,在众多领域内找到了自己的用武之地。例如在人工智能、临床诊断、工程技术等领域中都有模糊数学大显神通的地方。模糊数学的创立就是应用逆向思维的结果。

再例如,圆珠笔的漏油问题一直是一个悬而未决的问题,用很小的圆珠作笔尖的设想,是1938年匈牙利人拉德依斯拉奥·丁·拜罗发明的,这一发明中采用的是活塞式笔芯,有油墨经常外漏的缺点。这使得曾风行世界的“拜罗笔”在四十年代几乎被消费者抛弃。为了解决漏油问题,人们都采用了这样的思路来思考漏油问题:圆珠笔漏油的原因是因为圆珠在书写过程中被磨损而变小后引起的,因而只有解决了圆珠的耐磨性问题,漏油问题才能彻底解决,于是,许多圆珠笔厂商都投入资金对笔珠的耐磨性进行研究。人们在研究过程中曾用耐磨性很好的钻石、不锈钢等材料做笔珠,但很快发现,笔芯头部内侧与笔珠接触的部位仍被磨损,从而使两者间的空隙增大,漏油问题仍未解决。

到1950年,正当人们对解决漏油方法无计可施时,日本发明家中田藤三郎却找到了一个绝妙的方法:既然圆珠笔写到两万多字就漏油,那么控制圆珠笔中的油量,使之写到一万五千字左右就刚好用完,这不就可以避免漏油了吗?经过试验,中田藤三郎终于解决了圆珠笔漏油这一长期未能解决的问题。而他采用的正是逆向思维的方法。中田藤三郎利用逆向思维方法使一个十几年来令人头痛的问题,用一种十分简单的方法就解决了。

四、影响发明创造成功的因素

灵 感

大家在学习、工作、生活中也许曾经碰到过这样的事情：为了解决一个难题，已经花费了许多的精力，搜集了很多的材料，进行了艰苦的探索，但仍是不得要领，无法解决。忽然有一天，由某本书中的一句话，某人的一个动作或是某种周围环境而受到启发，灵机一动，“原来是这样！”于是大彻大悟，难题迎刃而解。真可谓是“万事具备，只欠东风”，“东风”一起，思路大开，思维如离弦之箭，直奔研究的主题。科学发展史上，这样的例子也是比比皆是。

英国约克夏西部在十六世纪成了农村毛纺织工业区。出于竞争的需要，人们十分重视棉纺业的技术革新，飞梭的发明使织布的速度提高了一倍，从而使纺线落后于织布，因此急需发明一种高速度的纺车。当过木工的织布工人哈格里沃斯也投入到这一发明活动中，但经过长时间的思索，仍是一无所获。1764年的一天，下了班的哈格里沃斯又动起发明纺纱机的脑子。当他感到疲倦，打算暂时丢开这个恼人的问题时，由于不小心，他踢翻了女儿珍妮的纺车，这时一个现象使他看呆

了：原来水平放置的纺锤倒过来以后变成竖直了，却依旧在那里飞快地转动着。哈格里沃斯突然想到，如果把几个纺锤同时竖起来，其效率不是要比一个横放着的纺锤的效率高几倍吗？于是，他成功地发明了效率高八倍的八个竖锭的纺车。为了纪念他女儿的纺车所给予的启示，他把新发明的纺车命名为“珍妮纺车”。“珍妮纺车”的发明成了英国产业革命的先声。

英国数学家汉密尔顿，在十九世纪中叶澄清了复数概念。我们知道，复数可用复平面内的向量来表示，反之，平面内的向量也可用复数表示。类似的，在空间里，是否也可以用某种东西来表示向量呢？汉尔顿对这个问题进行了深入研究，但很长时间内没有获得进展，“1843年10月16日，当我和妻子步行去柏林途中来到勃洛翰桥的时候，它们（指四元数）就来到了人世间，或者说出生了，发育成熟了。这就是说，此时此地我感到思想的电路接通了，而从中落下的火花就是I、J、K之间的基本方程；恰恰就是我此后使用它们的那个样子。我当场抽出笔记本，它还在，我将这些作了记录，同一时刻，我感到也许值得花上未来的至少10年（也许15年）的劳动。但当时已完全可以说，这是因我感觉到一个问题就在那一刻已经解决了，智力该缓口气了，它已经纠缠住我至少十五年了”。

怎样解释这种“灵感”现象呢？事实上，当人们长时间地思考某一问题时，积累了与这一问题有关的许多材料，掌握了与之有关的大量信息，这些信息储存在大脑之中。同时，大脑在思考这一问题时，会调动已经掌握的知识。当研究工作进入到一定阶段时，新材料、新信息之间，新材料、新信息与原有知识之间建立起了千丝万缕的联系。但总体上的联系还没有形成。

一旦遇到某种情境,受到启发,思维“开关”突然打开,全部“线路”突然接通,从而使问题得到解决。因此,“灵感”并不是什么神秘的东西,而是人们经过长期艰苦的探索实践之后,注意力完全集中在思考的问题上,思想处于高度紧张状态下,受到某种启发而产生的解决问题的新思想。

关于“灵感”问题,法国数学家彭加勒有他独到的见解,他以自身的工作实践为基础作出的分析特别具有说服力。他说他在数学发明中遇到的那种“突然彻悟”,常常是在经过自觉的思考与“不自觉的工作”之后发生的。他在巴黎心理学会上的著名讲演中讲过自己的亲身体会。那时,他正在研究关于非欧几何变换的问题。经过一段时间紧张的研究之后,想松弛一下紧张的神经,于是到乡间去旅行。“就在我把脚放到马车踏板上的一刹那,一个思想突然闪现在我脑海中,而在此以前,我还从来没有想到过,这个思想就是,我用以定义富克斯函数的变换与非欧几何的变换是等价的。”“此后我就把注意力转移到与此有关的一些算术运算问题上去,但没有取得什么成功,并且看起来也不象与我以前的研究工作有什么联系。由于对自己的失败感到厌烦,我到海边去度过了几天,并且考虑了一些其他的事情。有一天早上,当我正在悬崖上散步时,一种新思想在我脑海中又和上一次同样地突然闪现出来,而且同样是一种简捷而确定的思想,这个思想就是不定三元二次型的算术变换与非欧几何变换是等价的。”

这里,彭加勒强调了灵感的作用,他说,“最令人惊奇的首先是这种‘顿悟’的出现,这种‘顿悟’,乃是在此以前的一段长时间内潜意识工作的结果。在我看来,在数学的发明中,这种

潜意识工作的作用确实是无容置疑的”。他认为这种灵感不受理智之条条框框的约束,因为比有意识活动过程更为深刻和奏效。另一方面,彭加勒的事例也正说明了有意识工作的准备作用,正是因为他作出了艰苦努力,才能在“踏上马车踏板”时产生灵感。正如彭加勒自己所说的,“这些出奇不意的灵感,只是经过了一些日子,仿佛纯粹是无效的有意识的努力之后才产生的。在做出这些努力的时候,你往往以为没有做出任何有效的工作,似乎觉得选择了完全错误的道路。其实正相反,这些努力并不象原来认为的那样是无益的,它们推动了无意识的机器。没有它们,机器不会开动,也不会产生出任何东西。”

由彭加勒的实践我们可以看出,灵感大多是在经过艰苦努力,思维长期紧张以后而暂时松弛时出现的。这是因为紧张的思想使思维高度集中在一点上,对单点深入很有效,但对全面贯通则不够,而暂时的神经松弛有利于消化、利用和沟通已得到的全部资料,有利于全面考察过去的工作,分析以往的得失,有利于恢复大脑的疲劳。因此,不付出艰巨的劳动是不可能产生什么灵感的。人们经常以凯库勒发现苯环结构的梦境为例说明灵感的发生情况,似乎凯库勒的运气特别好,在梦中受到了“仙人”的点拨,醒来时就发现了苯的环状结构,这其实是把灵感产生过程神秘化了。事实上,凯库勒的灵感并不是神授的,而是有其内在的主客观条件的。首先,凯库勒所处的时代正是有机化学理论大发展的时期,在化学理论方面已经有了许多重要的成果,这为凯库勒的发现提供了理论准备;第二,凯库勒本人致力于苯的结构的研究已有 12 年之久,已经积累了大量的有关信息,这为他的发现奠定了坚实的基础;另

外,凯库勒还学过建筑,他对物体的空间形式的感知能力较强。所有这些潜在的因素的结合,才形成梦中的那条“环形的蛇”。

顽强的、孜孜不倦的刻苦劳动,是灵感的火花在头脑中闪现的前提,但实践表明,注意科学研究方法,也是灵感出现的重要条件。一般的,人的思维有一种“还原”的倾向,长期地在一种没有进展的情况下思考同一个问题,会不自觉地使思想走回原来的老路,引起思路的无效循环,跳不出老路也就不可能有发明创造成果的出现。这时可考虑暂时丢开问题,或者换一个问题,或者调换一下环境,或者把自己的问题以及对问题的见解与别人交谈,或者再去搜集一些新的资料。这些措施将有利于打破原来思维的局限,促进新思想的出现。

洞 察 力

在科学研究、发明创造活动中,往往会出现这样的情况:有的人碰到一个问题,稍事观察思索,便能迅速地透过现象而抓住事物的本质,表现出能迅速地找出一些表面上看来不同的事物的共同特征或彼此间相互联系方式的能力;但另一些人却如坠云雾之中,费九牛二虎之力仍不知问题关键之所在,不知该如何着手来处理问题。两者比较,说明前者具有较高的智力灵敏度,眼力高超,或说有较强的洞察力。

我们在学校学习的过程中也可以发现洞察力的作用。上课时,老师对某一概念或命题进行讲解,还没等老师讲完,有

的同学就已经领悟到了、懂了,而有的同学则需要教师详细讲解,花费很大精力才能搞清概念或命题的实质。在解数学题时,有的同学读了题目以后就说“有了!”“应这样做!”然后经过一番思路的整理,抓住主要的论据,逐步深入,一气呵成;而有的同学,拿到题目后没有明确的思路,东一榔头西一锤子,解题时处于一种盲目状态,偶然碰到一种有用的解题方法,却又不能清晰准确地将其表达出来,废话连篇,词不达意。有时一位同学解出了一道题目,自以为新颖独特,但在另一位同学看来却并不新鲜,其实质仍然是某一常规方法。这说明在我们的学习过程中,确有洞察力高低之分。

关于洞察力,发明微积分原理的莱布尼茨曾讲过,依靠洞察力,人们“往往一眼就能看出我们靠推论的力量在花了许多时间精力以后才能找出的东西。”人们赞扬爱因斯坦时说,他“能够一眼看穿那疑难重重、错综复杂的迷宫……给那黑暗笼罩的领域突然带来清澈的光明”。人们借助以往的经验,对当前出现的某些类似事物的性质可以作出判断,尽管他们对对象的情况了解还不多,但他们可以凭洞察力对事物的本质作出推测,“以心击之,深穿其境”。

发明创造活动中的这种例子是不胜枚举的,伽利略的洞察力就是一个很好的例子。亚里斯多德告诉人们,物体下落的速度是和它的重量成正比的,由于亚里斯多德的权威,再加上人们的经验上确是鹅毛比石块下降速度慢,于是两千多年来人们相信亚里士多德结论的正确性。但伽利略却凭着他的惊人洞察力提出,鹅毛与石块下落速度一样快,于是才有那次世界著名的比萨斜塔实验,结果证明自由落体的速度与物体质

量无关。达·芬奇也是一个具有非凡科学洞察力的人，凭借他那杰出的洞察力，他预见到了惯性定律，这一定律超越了时代100年，后来才由伽利略用实验加以证明。德国的兰伯特凭借洞察力发现宇宙结构是无限的，是由无穷个等级不同的体系构成的：第一级体系是太阳系，包含太阳的星团是第二级，银河系为第三级，许多银河系共同组成第四级，再上去还可能有第五级、第六级等等。他的卓越见解为后来两百多年的天文观察所证实。

爱因斯坦的洞察力也是惊人的，而且他十分相信自己的洞察力。爱因斯坦凭着他的洞察力预见到物体在高速运动（接近光速）下时间、空间的相对性，从而创立了狭义相对论。狭义相对论刚刚问世，德国物理学家考夫曼在《物理学纪事》上发表论文，公布他从实验中所得数据与洛伦兹——爱因斯坦的基本假设不相符合，这对狭义相对论来说无疑是一个严重的挑战，爱因斯坦本人也详尽地分析了考夫曼的实验，也不曾觉察到其中有什么问题。尽管如此，他仍没有轻易地放弃自己的假设，而是相信自己的洞察力，“究竟是由于还没有考察到的误差，还是由于相对论的基础不符合事实，这个问题只有在有了多方面的观测资料以后，才能足够可靠地解决。”后来，人们果然发现考夫曼的实验装置有错误。1918年，人们对他的广义相对论表示怀疑，但爱因斯坦却说，“对于辐射中的量子实在性，我不再怀疑，尽管至今只有我一个人有这种信念。”1919年的日蚀观测证实了广义相对论关于光线经引力场发生弯曲的结论，全世界都为之轰动，爱因斯坦却处之泰然。他说，“要是这件事情没有发生，我倒会非常惊讶。”

洞察力是发明创造活动中非常重要的一种能力。洞察力也不是天生的,可以在长期的实践中锻炼培养。为了提高洞察力,在认识事物的过程中,要注意学习如何从纷繁复杂的事物表现形式中“一眼看穿”事物本质的方法,要注意提高从貌似相同的事物中发现不同点的能力,还要注意培养观察能力,使自己能看到别人看不到的东西,认识别人认识不到的特点。

发明创造活动中的独立思考

面对纷繁复杂、千姿百态的自然界,人们对它的认识也是各式各样、千差万别的。这些认识孰是孰非?应由谁来检验其真理性?是经典、权威吗?不!权威不是真理的化身!

科学发展史证明,某些权威人士的错误理论,或者由于当时认识水平的局限,或者是受当时科学条件的限制,或者是因为受当时的统治者的强烈支持,长期以来被认为是“真理”,一般人,甚至是某些大科学家都受这些“真理”的束缚,不敢越雷池半步,从而阻碍了科学事业的发展。只有那些勇敢的、善于独立思考的人,才能以为真理献身的精神,冲破权威的错误理论的障碍,推进科学事业的发展。

科学史上以“权威”压制新生力量,以传统理论否定新的正确思想的事例屡见不鲜,反观这些新生力量与“权威”斗争的历史,对我们将是很有启发的。

祖冲之是我国历史上著名的数学家、天文学家。他生活的南北朝时代,采用的历法是何承天的“元嘉历”。“元嘉历”虽然

比以前的历法先进,但祖冲之经过深入研究,发现它有许多地方不够精密,于是他决心“更造新法”。经过细心计算和多年实践观测,并借鉴已有的成果,祖冲之编成了一本新历法——“大明历”。

祖冲之的大明历是一部推陈出新的先进历法,公元462年,祖冲之向皇帝上表,要求采用新制的大明历。但当时有一个皇帝的宠臣戴法兴,身居高位,以“善历者”自居,摆出一副权威的架势,对大明历横加压制,攻击祖冲之“削闰坏章”、“诬天背经”,利用权势将大明历打入冷宫。就这样,科学的大明历被权势压制,直到祖冲之去世仍未被采用。

真金不怕火炼。经过祖冲之的儿子祖恒的努力,通过实际观测,终于使人们认识到大明历的先进性,到公元510年,大明历被采用。

我国当代著名科学家李四光不迷信权威,提出“新华夏系沉降带有石油”的科学论断也是一个很好的事例。过去,一些外国专家权威们曾经断言:“中国贫油”!例如,美国人克拉普、美系石油公司经理弗勒等,都来中国找油,但他们的共同结论是中国永远不能生产大量的石油。但是李四光不迷信权威,经过认真分析我国的地形地貌,根据形成石油的条件,李四光明确指出,我国有三条主要的石油远景地带:东西的黄海、东海、台湾海峡和南海,是第一条石油远景带;中间的松辽平原、渤海、华北平原、江汉平原和北部湾是第二条石油远景带;西北的呼伦贝尔、陕甘宁盆地和四川盆地是第三条石油远景带。根据地质力学的分析,李四光提出,在新华夏系带与其它构造体系的复合部位或在盆地中受到过地应力的作用而发生扭动的

地方，一定能找到丰富的石油。根据李四光的理论，五十年代末，我国在新华夏系的第二沉降带上，发现了著名的大庆、大港、胜利等大油田；黄海、东海、南海也被探明蕴含有丰富的石油资源。李四光的理论完全被证实，外国权威的断言也不攻自破。

以上两个事例说明，在发明创造过程中，要向传统的理论学习，但又不能迷信“权威”，必须注意独立思考，否则不可能作出发明创造。我们说，真理的长河没有止境，任何人，不论他如何正确，总是生活在一定的历史条件之下，其见解肯定会带有历史的局限性。因此，我们要勇于破除迷信，向科学权威的错误挑战。历史上，哈维经过严密的科学实验，提出血液循环理论，从而否定了被写进宗教教义的盖伦的“心血潮流运动说，”向权威提出了挑战；伽利略经过实验证明了自由落体的速度与重量无关，从而否定了统治人们一千多年的亚里斯多德的权威理论；美国科学家迈克尔逊在化学家莫雷的帮助下进行的“迈克尔逊——莫雷实验”，否定了“以太说”这一被认为是不可动摇的真理，动摇了牛顿古典物理学，……所有这些都表明，科学发明创造不能依靠权威的指点，而要依靠自己的独立思考。对于陈腐观念要敢于怀疑，敢于斗争。只有这样，才能作出较大成绩。

经验的作用与局限

相传，春秋战国时期，齐国的卿大夫管仲跟随国君齐桓公

讨伐孤竹(古代国名,在今河北卢龙南)。齐国的军队春天出发,消灭了孤竹以后,在冬天返回齐国。由于气候变迁导致沿途景色的变化,齐国的军队在中途迷失了方向,在一个山坳里转了好几天,转来转去总是转回到原来的地方。这时,管仲对齐桓公说,可以让老马带路。于是解下老马的缰绳,任由老马自由行走,部队则跟在老马后头。果然,老马帮助部队找到了回国的道路,后来人们便以“老马识途”来比喻富于经验的人能在工作中起引导作用。

从“老马识途”的故事我们可以领悟到经验对于各种工作的重要性,在发明创造活动中也不例外。正如爱因斯坦说过的那样,“一切关于实在的知识都是从经验开始,又终结于经验。”他的创造原理的模式就是“经验——直觉——概念或假设——逻辑推理——理论。”

“经验之中有规律。”科学发展历史上,凡有重大贡献的科学家都十分重视经验的作用。当代著名的自然科学哲学家波普尔认为:“科学奠基于经验基础之上。”我国著名科学家钱学森称经验为“前科学”,他说:“我们谈信息,或者说知识,说人类的精神财富,包括两大部分,一部分是现代科学体系,还有一部分是不是叫前科学,即进入科学体系前的人类实践经验。”经验是科学理论产生的一个必不可少的基础,例如中学里学习的几何,是从公理出发经过逻辑推理,演绎而来的。而公理就是由经验知识经过选择确定下来的。

注意学习前人的经验,是发明创造活动少走弯路的重要保证,认真学习实践经验是科学发明创造的智慧源泉。虚心学习社会实践经验是我国科学工作者的优良传统。汜胜之是我

国汉朝的农学家,他的著名农书《汜胜之书》就是在总结劳动人民的生产实践经验的基础上写成的。明朝末年科学家宋应星写的《天工开物》也是作者长期深入生产实际、学习劳动人民的生产经验写成的。李时珍能成为医学大师,也与他重视实践经验有关,他不但阅读了大量的医书、资料,攻读了 800 多种医书、药书,记下几百万字的读书笔记,而且还走遍大江南北,千辛万苦地采集药材和搜集传统的药方。在这样的理论与实践相结合的基础上,经过整整二十七年的努力,终于完成了 190 万字的 52 卷巨著《本草纲目》。李时珍的《本草纲目》至今还受到世界各国的重视,被译成许多种外国文字,广为流传。

经验是重要的,但是,由于经验来源于个人的社会实践,因而会受到个人认识能力、当时的环境背景的限制,使经验带有局限性。

公元前三百年,欧几里德在总结前人经验的基础上写出了著名的《几何原本》,这是人们凭借自身的直觉经验可以感觉到的现实空间的抽象模型。例如:两点确定一条直线、两条直线相交时只有一个交点、两个平面相交时交于一条直线、两条直线平行时,则永远没有交点等等。正因为凭经验能感觉到,因而从欧氏几何问世以来,人们都认为“欧氏几何是现实空间唯一正确的模型。”尽管在长达两千年的历史进程中,数学家们经过研究,产生了非欧几何的思想萌芽,但由于类似于“同一平面内的两条直线至少有两个交点”的思想与人们感觉到的实际经验相距实在有些遥远,因此人们总是不愿承认它,即使是象高斯这样的数学王子,世界历史上最伟大的数学家之一,虽然经历了长时间的思索而构想了非欧几何,也因怕

“引起某些人的喊声”，怕触犯传统势力而一直不敢公开自己的思想。到了十九世纪二十年代，俄国的天才数学家罗巴切夫斯基在推导欧几里德第五公设时，发现不用“过直线外一点只能引一条直线与已知直线平行”而改用“过直线外一点能引两直线与已知直线平行”，并以此为基础之一，同样能推导出内部没有矛盾的几何体系。1826年2月11日，年轻的罗巴切夫斯基不顾众人的反对，公开发表了他的研究成果。囿于感觉经验的限制，在罗巴切夫斯基公开了他的非欧几何以后的半个世纪之内，人们还是不承认它。后来，有人找到了非欧几何的空间模型，特别是爱因斯坦借助于非欧几何来阐述他的相对论，使人们看到了非欧几何的巨大力量，人们才逐渐地承认它。

罗巴切夫斯基不被经验所束缚，“摧毁了冻结着几何基础的坚冰”，使他成为非欧几何的创立者。他的冲破旧的习惯势力的大无畏勇气也十分令人钦佩，“没有任何力量可以动摇他的信心，他象屹立在大海中的灯塔，一生始终为新思想而斗争。”

谈理论的作用与局限

海王星的发现是天文学史上最大的成就之一，它是在牛顿力学理论的正确指导下发现的。这件事有力地说明了正确的理论对发明创造、对科学发现的重大作用。

海王星的发现和天王星的发现有密切的关系。天王星是

1781年3月13日由英国人赫舍尔发现的。此后,德国人波德对历史上星体观测记录和1690—1756年观测的记录进行综合研究,提出了天王星轨道的计算方法,并以此为根据预测未来将发现的行星位置。1772年,波德发现行星和太阳距离的规律:

$$\text{距离} = 4 + 3 \times 2^n (n \geq 0)$$

当上式距离为4时,是水星的位置; $n=0$ 时,距离为7,是金星的位置;接着是地球、火星的位置; $n=6$ 时正是计算出来的天王星数据196,与实际值192很接近,后来人们又以计算为依据搜索到了 $n=3$ 时的那颗小小的行星“谷神星”。

人们很快注意到,天王星的运行轨道总是与根据万有引力定律计算出来的运动轨道不相符合。这时有人根据万有引力定律提出天王星之所以“偏离”轨道,是因为受一颗尚未发现的行星的吸引的结果。为了证实这一猜想,英国剑桥大学的一位年轻学生亚当斯不顾艰难险阻,进行了长达两年的科学研究,他利用引力定律和对天王星的观测资料,反过来推算这颗未知行星的轨道。经过努力,在1843年10月21日,他把计算结果寄给英国格林威治天文台台长艾利。但艾利不相信“小人物”的工作,把它扔到一边置之不理。幸亏,两年后法国天文学家勒威耶把他的计算结果告诉了柏林天文台助理员卡勒,卡勒根据这一结果终于在1846年9月23日晚发现了海王星。后来,在1915年,美国人洛韦尔又根据天王星与海王星运动的不规则性,预测出这两颗行星之外还有新的行星。1930年,美国人汤波发现了冥王星。所有这些科学发现都证明正确的理论对科学发明创造的巨大作用。因此,我们都应注意努力

学习知识,打好进行发明创造的理论基础。

但是,我们还必须注意到,任何理论都有局限性,或者说,理论对发明创造活动的指导是有一定范围的,如果在任何情况下都沿袭理论,那么理论不但不能成为发明创造活动的指导者,而且还可能成为阻碍力量。

十九世纪末,物理学家们在进行科学研究时,遇到了物质和能量这两个方面出现的一些无法解释的现象,而且在时间和空间这个最基本的概念上也遇到了困难。

十九世纪的物理学家认为光是波动的,光是借助一种被称为“以太”的媒质传播的。人们认为“以太”充满宇宙,人无法感觉到它,但它是能传递光、电、磁、力的球形无重物质。事实上,“以太”这一概念在此之前被物理学家们广泛地应用着,牛顿等科学家都假设以太存在来解释一些自然现象。随着光的波动理论和电磁理论的建立,以太就成为物理学家研究的对象。人们认为,既然以太是存在的,是绝对静止的,那么运动的地球一定会与绝对静止的以太产生一个相对运动,显然这个相对运动是可以测量的。1887年,美国物理学家迈克尔逊与莫雷为了证明“以太飘移”现象的存在,进行了一次世界有名的试验,但是这次试验没有达到预期的结果,反而说明了绝对静止的以太是不存在的。这次实验成了推翻牛顿经典时空观的起点。但是,人们受牛顿的时间、空间绝对化的理论影响太深,仍用绝对静止的观点来解释新的现象,从而阻碍了科学上的重大突破。例如,1904年荷兰物理学家罗伦兹为了解释电磁作用与观察者在“以太”中的运动无关,提出了时空座标的罗伦兹变换理论。同年,法国物理学家彭加勒提出了电动力学

的相对性原理,并根据观测记录认为物体运动的速度不可能超过光速。1904年9月他很有远见地预言,一种全新的动力学必定产生。这时,罗伦兹和彭加勒已经在敲响相对论的大门了,可惜的是他们都是牛顿绝对时空观的忠实信徒,因而未能作出根本性的理论突破。事实上,牛顿绝对时空观只适用于低速运动下的物质,如果物质运动的速度接近光速或达到光速(光的速度为 3×10^8 米/秒),那么牛顿的力学理论就不适用了,这时如果仍然用牛顿的理论来解释所发生的现象就一定会发生困难。在这样的情况下,就要有冲破传统理论的束缚,不迷信权威理论的勇气。

爱因斯坦承担起了这一重任。德国人爱因斯坦是历史上最杰出的科学家,1905年,他在总结前人经验的基础上,发表了《狭义相对论》,提出了相对论的观点,否定了时间和空间是绝对的论点,爱因斯坦的理论既适用于低速运动的物质,又适用于光速运动和接近光速运动的物质,从而使物理学理论达到了自牛顿以来的一个新的理论高度,并由此引发了一场思想与科学的革命。1916年,爱因斯坦又把“狭义相对论”推广到“广义相对论”。如果说狭义相对论是在等速运动范围内的物理法则的话,那么广义相对论则是把这一理论扩展到能适应有加速度的更为广泛的范围。根据广义相对论,物体在地球上下落可使地球周围空间发生变形。时间和空间是随着物质的存在或运动的不同而有所变化,即空间不是均质的,时间也根据场合与物体存在状态的不同而有快慢之分,这就完全打破了牛顿的绝对时空观。狭义相对论成为现代物理学不可缺少的基础理论,而广义相对论在二十世纪运用到天体物理上

取得了丰硕的成果。

由以上事例我们可以看到,学好基础知识是进行发明创造活动的前提,没有雄厚的基础理论修养,就不可能得到重大的发明创造。但是,在学习基础知识时,又要注意独立思考,不被传统理论所左右,不做权威人物的奴隶。只有这样,才可能在传统理论对创造活动产生阻碍时,勇于冲破阻力,建立起全新的理论。

机 遇

“出乎意料”,这在科学研究过程中是经常出现的一种现象,如果能及时抓住这些点滴机遇,深究其原因,则可能得到始料不及的突破,实现发明创造。

由于机遇是一种前所未有的新现象,因而它常常能吸引人们去研究现象中所包含的意义和作用,这样人们就可能调整自己原有的研究主题,确立新的发明目标。例如“波尔多液”就是由机遇引起的发明目标。法国的波尔多城是一个盛产葡萄的地方。一家园主为了吓唬小偷,往葡萄藤架上喷洒了既有颜色又有难闻怪味的石灰和硫酸铜混合液。然而,令人惊奇不解的现象发生了,这一年,许多家的葡萄都得了葡萄露菌病,收成告吹,可这家园主的葡萄却长势喜人,获得了丰收。这件事引起了波尔多大学植物学教授米勒德特的注意,他以此为线索,进行了认真的调查研究,发现这家园主与别的园主种植和管理葡萄的唯一区别是在喷洒石灰和硫酸铜混合液上,

米勒德特由此作出判断：石灰和硫酸铜混合液也许是阻止葡萄霉菌病的新式农药。于是，他就形成了一个比较明确的发明目标：将石灰水和硫酸铜按比例混合，寻找一种防治葡萄霉菌病的新式农药。经多次试验，他终于发明了以“波尔多”这个城市名字命名的农药。

这个例子说明，分析偶然出现的一些现象的背后可能存在的本质和规律，判断这种规律的可利用价值，就有可能形成发明目标。

由于机遇发现的意外性和新颖性，往往对发明创造活动有启发作用，在机遇的启发下，发明创造者可以找到新的思路，从而达到既定目的。例如，1921年，戴顿工程实验室的C·F·凯特利和他的雇员T·米奇利一起着手研究消除燃料“爆震”的方法。经过分析，他们首先排除了点火源是构成“爆震”原因的可能，提出在燃料中添加某种元素有可能找到防爆的方法，并且添加剂的颜色可能具有重要意义。经过多次试验，未能找到合适的添加剂。在一次偶然的时机中，他们读到了威斯星大学教授V·伦纳的论文，受此论文的启发，他们意外地发现氯化硒有很好的防爆性。这样，他们就把原来通过利用合适染料作添加剂来寻找防爆方法的思路，转移到研究利用各种金属进行防爆的新方向上来。实现思路转换以后，米奇利根据元素在周期表中的位置预言了各种金属元素的防爆效果。通过各种对比试验和筛选试验，终于在1921年12月研制成功防爆效果较好的四乙基铅。

利用机遇达到发明创造目的的例子还有很多。十九世纪三十年代前后，人们根据橡胶的不透水性和不透气性，把它制

成了雨衣等橡胶制品。但是这些橡胶制品有一个难以容忍的缺点：它们靠近火源或在酷暑季节会变得又软又粘，而在隆冬季节又会变得很硬。为了克服这些缺点，改良橡胶的性质，美国人古德伊尔坚持了多年研究，进行了多方探索，但都没有获得满意结果。1839年2月的一天，他仍象往常一样进行研究工作，由于操作不慎，他把一种橡胶和硫黄的混合物掉到了热得发烫的炉子上。按常规，这块橡胶本应在受热后熔化。但古德伊尔发现，这块橡胶非但没有熔化，反而保持原来的状态烧焦了。这一偶然的发现给古德伊尔以很大启示。他想，这种烧焦过程，如果能在适当的时候予以控制，那一定会形成不粘的橡胶混合物。按照这一想法，他进行了多次反复试验，最后终于发明了橡胶硫化法。

有时，在为了达到某一发明创造进行的试验中，意外地出现了另外一种完全不同的现象，对这种现象的原因的分析也可能导致新的发明创造。这种“射獐得马，擒龙得鲸”的机遇在发明创造活动中也十分普遍。例如，英国科学家纳特曼、桑顿、夸斯特尔等人，在研究苜蓿的根瘤菌和植物生长的刺激剂时，试图用实验证明一下当时已经发现的这些根瘤菌分泌物使植物根毛变形的现象。但是，当他们试验这种分泌物对各种植物的作用时，却惊奇地发现，这种物质对植物的发芽和生长起着阻碍作用，这说明这种物质具有毒性。在进一步的试验中，他们又发现，这种毒性是有选择性的，对大多数杂草等双叶植物毒性较大，而对谷物等单叶植物毒性较小。这样，他们试验了一些化合物，发现了选择性除草剂。

科学发明创造的历史表明，机遇虽然在发明创造中起着

极其重要的作用。但是,并非所有碰到机遇的人都能从中作出科学发现,并由此导致技术发明的。要使机遇在发明创造中起作用,必须具备一些先决条件。首先要有敏锐的观察力。因为机遇的出现是意外的,所以容易被人看作是与自己课题无关的事而视而不见、失之交臂;或者把它当作实现预定目标的某种干扰因素而简单地加以抛弃,坐失良机。而具有敏锐观察力者,往往能抓住实验中的每一意外事件或现象进行研究。发现青霉素的弗莱明在谈到他由机遇而发现青霉素时说,我的唯一功劳是没有忽视观察。第二,要有把握事物真谛的思维洞察力。因为有些机遇的重要性并不十分明显,有些看上去甚至是一些微不足道的小事,只有具有较强洞察力的人,才能透过现象,抓住本质,领悟到机遇发现的潜在意义和价值。例如,日本的三岛德七教授和他的助手藤岛发明的永磁合金就得益于他们所具有的思维洞察力。当时,由于加热和冷却铁镍合金时出现了异常现象,为了研究在添加其它元素后,对此异常现象有何影响,藤岛在三岛德七教授指导下做了实验,他先把铁、镍、铝做成各种各样的三元素合金。但在研磨各样品时却发现,飞散的研磨粉末都粘在附近的铁片上。“奇怪,莫非是永磁合金?”他们的脑海里立刻闪现出这个念头。他们凭思维洞察力敏锐地感觉到这个实验中的发现的重要意义。经过进一步的试验,他们终于研制成功永磁合金。

机遇青睐勤奋者。机遇不是运气,只有经过刻苦钻研,对事物有深刻的理解,才能发现机遇的意义,捕捉到机遇并导致发明创造。

偶然发现与必然发现

人类科学技术发展历史表明,有时人们会在一种偶然的情况下得到发明创造成果。这种偶然性发明似乎很神秘,它只属于那些“运气”好的人。但事实上偶然性发明并不象人们想象的那样神秘,当我们对问题的研究进入到这样一种境界:对问题已经进行了大量的研究,对问题的性质已经有了许多具体认识,但还没有形成一种条理清晰、深刻精确的认识,这时就有可能作出一些出乎意料的发明创造。真可谓是“踏破铁鞋无觅处,得来全不费工夫”。

由乙烯聚合而成的聚乙烯塑料的发明过程就是一个很好的偶然性发明的例子。本世纪二十年代,英国的制碱部门与荷兰的科学家们建立起了合作关系。英国的吉布森和佩林被派往荷兰的米歇尔教授处学习能影响物质物理性质的压力效应技术,米歇尔把自己设计的装置给了英国人,同时,英国人自己还从美国哈佛大学的科学家那里了解到了高压对聚合反应具有明显的影响。1932年1月,佩林等人决定系统研究高压对化学反应的影响。1933年3月,吉布森在进行乙烯和一氧化碳的混合物实验时发现了丙烯醛固体聚合物,在包含乙烯和苯甲醛的实验中,又制成了可能是乙烯聚合物的白色腊状物质,但由于害怕高压乙烯爆炸而中断了研究工作。后来,安全问题解决了,佩林和吉布林决定再次研究乙烯和一氧化碳的高压反应,但又由于装置不能保持高压而失败。不过在拆卸

装置时他们发现了少量白色粉末,它具有比较优良的性质,可制成细丝和薄膜,并有化学稳定性和绝缘性,事实上他们发现的正是聚乙烯塑料——一种新的塑料。

显然,聚乙烯塑料的发明并不是佩林和吉布森他们按预定的目标,有计划、有步骤地作出的,正象佩林自己说的那样:“是完全意外的,结果产生于研究之中,而研究中偶然的因素又起到重要作用。”

天然放射性的发现也带有偶然性。1895年,德国人伦琴在进行阴极射线实验时,偶然在阴极射线放电管附近放了一包密封在黑纸里的未显影照相底片,当他把底片显影时,发觉它已经跑光了。这对于一般人来说,可能不会认为有什么异常,因为底片跑光完全可能是由技术失误所造成的。但伦琴却不轻易地放过这一线索。经过再次实验他发现,从阴极中发射出了一种奇异的射线,它具有穿透物质的能力。由于伦琴对这种射线还没有多少了解,因而他为它取名叫 X 射线。

在伦琴发现 X 射线的影响下,法国人贝克勒对玻璃管壁发出荧光的物质产生了兴趣,他决心研究这个放射出 X 光的物质到底是什么东西。他做了如下一个实验:将一种能在太阳光下发磷光的物质(硫酸钾铀)和没有感光的底片一起放在暗箱里,几天以后他发现底片竟然跑光了。但硫酸钾铀在黑暗里是不会放光的,这说明其中有的元素会自然放射 X 射线。经过多次实验以后,在 1896 年,贝克勒终于发现了铀的天然放射性。这一消息被居里夫妇获悉以后,他们对铀矿石和其它元素进行分析,不久,他俩终于从铀矿石中分离出了比铀放射性还强几百万倍的元素镭,接着又发现了钋,1905 年发现了钷

和钢,1907年发现了镭,1917年发现了镤……。

这段传奇性的历史确实是非常有趣的。如果贝克勒不是用硫酸钾铀来做实验,那么铀的放射性也许就不会那么早地被发现。这样的话,原子物理的研究、原子能的发现也许会向后推迟一些年。

染料大王帕金也是在偶然的情况下发明苯胺紫染料的。帕金在英国皇家理科学院学习化学的时候,接受了他的老师霍夫曼交给的一个任务:研究如何用氧化苯胺衍生物制造奎宁。奎宁是一种治疗疟疾的药。当时疟疾横行,而人们已经知道奎宁是疟疾的克星,帕金当时只有18岁,他还不能定向合成,因此只能在摸索中前进,在总结经验的过程中继续实验。有一次,当他把焦油中的苯胺和重铬酸钾与硫酸进行化合时,得到了一种黑色的物质,再加入酒精则得到了一种紫红色的物质。经过试验,证明这种紫红色的物质用来染毛料织品、棉纺织品都能得到很好的效果。这样,帕金就在偶然情况下发明了制造染料苯胺紫的方法。帕金利用他自己的发明专利与家人共同筹办了世界上第一个染料厂,并因此而致富,23岁时他就成为英国的染料权威和大企业家。

在偶然的情况下作出发明创造的例子还可以举出许多。例如,为了研究胰的消化功能,科学家用狗作试验,给狗切除了胰。结果这只狗的尿引来了许多苍蝇,科学家就对这种尿进行了化验,发现尿中有许多糖份,于是想到胰与糖尿病之间有密切的关系;再例如,二次大战期间,英军为了防止德国空军的空袭,发明了雷达,但雷达信号常被一些莫名其妙的噪声所干扰,而且早晨的干扰最大,这就引起研究人员的注意。研究

结果表明,这些干扰噪声来自太阳,并且发现不仅太阳能发射宽频带的电磁波,而且星云间也能发射电磁波,这一偶然发现导致了后来的射电天文学的研究。

那么这些偶然性发现是不是真的只靠“运气”呢?答案显然是“不是!”事实上偶然性里包含着必然的因素。

英国圣码利学院的细菌学讲师弗莱明发现青霉素的过程也是一个偶然性发明的例子。1928年,弗莱明正在对葡萄球菌进行研究。一天早上,他发现工作台上的葡萄球菌培养皿中掉进了一颗小土颗粒,颗粒周围的葡萄球菌被杀死了,形成了一个空圈。这一偶然的发现使弗莱明联想到当时人们已经知道的眼泪中的“溶菌酶”的杀菌作用,从而他断定土颗粒中含有杀菌物质,而且他确认这种物质就是绿色霉菌的产物。经过研究,弗莱明证实了他的发现,这就是能杀菌的青霉素。

然而,弗莱明的偶然发现中却包含着必然性。因为在他发明青霉素之前,人们已经知道了土壤中含有大量的微生物,据估计,每公顷土壤里有 22.6 公斤霉菌,11.3 公斤细菌,2.3 公斤原虫等等,这些都是弗莱明熟知的;而且眼泪中的“溶菌酶”的杀菌作用也是他熟知的,这些都为他的发明创造提供了先决条件。试想如果他对这些一无所知,对于杀死细菌的现象没有什么印象,那就不可能产生联想,甚至会对所发生的事情视而不见。这一事例说明,偶然性发明的背后其实是以发明者的辛勤劳动,对问题的长期苦心钻研,在研究工作中下过巨大功夫作为后盾的。高度的科学敏锐感来源于扎实刻苦的劳动。

发明创造与审美情趣

发明创造是选择,而选择是由人们的美感支配的,人人都希望选择能给人以美的享受的东西。可以说,没有美感的人是不可能作出发明创造的。

为什么美感那么重要呢?因为“美是一切事物生存和发展的本质特征。”对于这一点,我们可以从蜜蜂房的构造得到证明。

蜜蜂房的结构不仅有条理,而且具有对称性,更使人称奇的是蜜蜂用了最少的材料来营造它的蜂房,似乎它们懂得如何解答蜂房这个极值问题。历史上有不少学者注意到蜂房的奇妙结构。蜂房是由一些蜂巢组成的,而蜂巢是正六角形的柱体,上底是由三个全等的菱形组成的。早在公元 300 年前后,亚历山大的巴普士就研究过蜂房,他认为三棱柱是巢的最经济结构。开普勒曾说过,这种充满空间的对称的蜂房的角应和菱形 12 面体(各个面都是菱形的 12 面体)的角一样。十八世纪,法国天文学家马拉尔第经过仔细测量后指出,蜂巢顶部菱形的两角分别是 $109^{\circ}28'$ 和 $70^{\circ}32'$ 。法国自然哲学家列俄木猜测用这样的角度来建造蜂房,在相同的容积下最节省材料,于是请教瑞士数学家克尼希。克尼希证实了这一猜想,但通过计算他发现,根据蜂房的构造方法,要使表面积最小,其上底中两个菱形的角度应为 $109^{\circ}26'$ 和 $70^{\circ}34'$,这一结果和实际测量的数值有 $2'$ 之差!当时人们认为,蜜蜂解决这样一个复杂的

极值问题只有 $2'$ 之差,已属难以置信了,但事情并没有就此终结。在一次调查轮船失事原因的过程中,人们发现船上使用的对数表错误是致命原因,而克尼希进行蜂房计算时用的也是这种表。于是,1743年,美国数学家麦克劳林重新从理论上研究蜂巢的极值问题,发现两个菱形的角度应是 $109^{\circ}28'16''$ 和 $70^{\circ}31'44''$,与实际测量值一致。 $2'$ 之差竟然是数学家克尼希的错误!

正因为自然界的一切事物都是以一种美的方式存在,因而要作出发明创造,就必须要有对美的感受力,“科学美感,这种特殊的美感,是我们必须信任的向导。”因为唯有美感才能预示将来的研究结果是否会富有成果。爱因斯坦曾说过,“照亮我的道路,并且不断地给我新的勇气去愉快地正视生活的理想,是善、美和真。”事实上,他提出的科学思想,有许多是出于美学而不仅仅是逻辑的考虑。正如物理学家霍夫曼所说:“爱因斯坦的方法,虽然以渊博的物理学知识作为基础,但是在本质上是美学的,直觉的”。

美的感受力作为科学家的一种心理素质是十分重要的。事实上,许多杰出的科学家都热爱音乐和艺术。维克多·雨果说:“音乐是思维者声音”。我国著名地质学家李四光能演奏一手好提琴,物理学家钱三强喜欢古典文学、唱歌、作画,数学家苏步青爱好写诗、阅读古典文学名著、欣赏音乐、戏曲和舞蹈。爱因斯坦更是与音乐有不解之缘,他的音乐造诣之高令一些专业音乐工作者也自愧不如。爱因斯坦曾说:“音乐并不影响我的研究工作,而且出于同一的渴望源泉,滋生成长,而它们的轻快又互相补充。”“伟大的科学家与伟大的作曲家两者在

这一点上是相同的——他们都是伟大的诗人。”爱因斯坦能作出那震惊世界、影响整个二十世纪科学的相对论发现，是与他同大自然美的极强感受力分不开的。

对美的感受力不但能引导人们进行有效的发明创造活动，而且对美的追求还能直接导致发明创造，这种例子在科学史上并不鲜见，其中最有可能的是麦克斯韦的电磁场基本方程式（世称“麦克斯韦方程”）的发现。麦克斯韦是十九世纪继牛顿、法拉第之后的又一位大物理学家，他在法拉第建立电磁学理论以后，用流体力学模型导出电磁场方程式，并在高度概括的基础上，以基本实验事实为基础把全部电磁现象归结为一组偏微分方程，起先他把方程写为

$$\operatorname{rot}E = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\delta H}{\delta t}, \quad \operatorname{rot}H = 0$$

出于一种美的考虑，麦克斯韦认为这两个方程不对称，为此，他把第二个方程改成了

$$\operatorname{rot}H = \frac{1}{c} \cdot \frac{\delta H}{\delta t}$$

这一改动，当时来说纯粹是出于使电磁场基本方程式具有更优美的数学表达形式，而没有任何实验上的依据。但是后来的实验证明，改写后的方程是完全正确的。麦克斯韦的电磁理论中决定性的一步就这样迈出了！

麦克斯韦极强的美感，使他成了功勋卓著的伟大物理学家，他的理论预言了电磁波的存在，预言了电磁波的速度等于光速，而光只不过是一种特殊的电磁波。从此，光学、电学和磁学就成了一个统一的理论。

人的心灵深入感受到的美的东西，后来竟然在外部自然

界中得到证实,这是科学发明创造中最令人称奇的现象之一。美感之所以在发明创造中起到如此巨大的作用,主要是因为真与美之间存在着一种内在的统一关系。美的感受能很深刻地反映未知真理的本质特征。科学家们凭着他们坚实的理论修养,对世界之美有比一般人更强的感受力,因而能在理智抓住了真理之前领悟到其中显现的美,并以美为向导而现实地获得致真。

“美是真理的光辉”,发明创造者就是借助于这种光辉,借助于它的照耀来认识真理的。

五、发明创造的曲折性

认识的曲折上升性

人们认识客观世界的规律性,有一个曲折的过程,这种认识进程不是一蹴而就、直线上升的,而是一个螺旋上升的过程,对真理的认识是逐步逼近的。科学技术发展历史上,这种例子也是不胜枚举的。

人类社会诞生以来,人们看到日出东方、日落西方的自然现象,从而直观地认为太阳绕着地球转动。公元前六世纪,古希腊最著名的学者之一毕达哥拉斯提出地球悬在空中,并且围绕着一个火球转动,这可称为是地动说,但还不是日心说,因为他不承认火球就是太阳。到公元前四世纪,古希腊著名学者亚里士多德发表了《天论》,正式提出地球是宇宙中心的理论。公元前三世纪,古希腊人亚里斯塔克提出了太阳是宇宙中心和地球环绕太阳运转的主张。恩格斯曾说过,“亚里斯塔克早在公元前 270 年就已经提出哥白尼的地球和太阳的理论了。”从上述历史可以发现,毕达哥拉斯首先提出了地动说,而真正提出“太阳中心说”的第一人却是亚里斯塔克。公元二世纪,古希腊天文学家托勒密发表了《伟大论》,用本轮和均轮的

夏杂系统,详细阐述了“地球中心说”,这比亚里斯多德在《天论》中阐述的地球中心说要全面系统得多。它对亚里斯塔克是个否定,而对亚里斯多德则是一个再肯定。之后,地球中心说占据统治地位,而且被教会所利用,写进教义之中。到公元十五世纪,奥地利人波尔巴哈和他的学生德国的缪勒重新研究了托勒密的天文学说,但仍然不能推翻地心说。为什么地心说能够牢固地统治欧洲达一千三百年之久呢?一方面是宗教势力的影响,另一方面也是由于托勒密等古希腊科学家已经把“地心说”的学问做得比较精细,用数学方法精确地计算出了太阳、月亮和其他大行星的运动轨迹,以及日蚀、月蚀的出现。到了十六世纪初,哥白尼致力于天文学研究,他长时间地进行天文观测,三易其稿,在1643年5月24日出版了《天体运行论》,彻底推翻了地心说,恢复了客观事物的本来面目。但是由于日心说违背教义,因而《天体运动论》被列入禁书,直到七十年以后才解禁。而且《天体运行论》并不令人满意,不能解答诸如“地球是运动的,那么为什么高塔上的东西不掉下来?”“为什么上抛的石子还落回原地,而不向运动相反的方向飞去?”等等问题,这些问题直到伽利略才作出了比较完满的回答。

从古希腊毕达哥拉斯开始的“地动说”到哥白尼“日心说”的确立,再到伽利略为“日心说”而奋斗,使“日心说”取得决定性胜利,中间经过了二千多年时间。这一过程中,“地动说”经历了两次大的理论上的肯定和否定,而且每次肯定与否定都有本质上的区别。这说明,在人们认识客观世界的过程中,认识路线不是笔直的,而是在肯定与否定的交替过程中形成一条螺旋上升的曲线。太阳中心说就是在这种与传统、错误的反

复较量中取得最后胜利的。哥白尼学说作为真正科学的出现就象电闪雷鸣,划破了中世纪黑暗欧洲的上空,惊醒了沉闷的学术界,为欧洲文艺复兴运动吹响了号角。

人们对于引起物质运动、生物进化等自然现象的原因的认识也经历了一个螺旋上升的过程。过去,由于科学技术水平的限制,人们对于引起自然界各种变化的原因难以认识,于是将这些变化涂上神秘的色彩,认为世界万物的变化,诸如生老病死、电闪雷鸣等等都是由主宰世界万物的神操纵的,因而科学技术不发达时,宗教便统治了整个世界。随着人类社会的发展,人们认识世界的能力增强了,逐渐地认识到客观世界并不神秘,其规律是可以认识清楚的。到了牛顿时代,科学进入重大变革时期,牛顿把科学推进到了前所未有的高峰。但是,牛顿在解释万有引力的原因时,却又回到了神秘论的怀抱,他说:“这最美丽的太阳、行星、彗星的系统,只能从一位智慧的与无所不能的神的计划与控制中产生出来……。”“神是永远存在的,而且无所不在的,由于永久存在及无所不在,他就成为时间与空间。”这样,牛顿从神的手中夺回了科学,但又把科学还给了神。

牛顿把宇宙看成大机器,万物是小机器,一切运动都是外力作用,一切变化都只是数量增减,这样就忽视了物质内部的作用,从而就搞不清运动产生的根源。他把“为什么行星会围绕太阳转”回答成“是神的第一推动”,从而使科学重新套上神的枷锁,而且这把枷锁又统治了人们的思想一百多年。

到十八世纪末,天体、生物的起源与演变研究中产生了进化论思想,康德在 1755 年提出了太阳系的星云假说,指出一

切都在生长与毁灭,地球也要衰老,他反对上帝插手,反对神的推动。最后达尔文确立了进化论学说,提出了生物进化思想,彻底否定了神的主宰作用。

由以上事例我们可以看到,对事物的认识有一个螺旋上升的过程。同样的,完满的发明创造也需要有一个逐步改进,逐渐完善的过程,需要我们在实际工作中不断总结经验,不断改进提高。

科学预言的检验

在发明创造活动中,经常采用逻辑证明和逻辑推理的方法,根据已知的科学知识和事实,通过逻辑推理而导出一些假说、预言。这些假说和预言是否正确呢?这就需要对它们进行检验,而检验的标准就是实践。在科学的历史进程中,有许多著名的检验假设的实验,例如伽利略在比萨斜塔上作的检验自由落体运动的速度与物体重量无关的实验,对海王星的观测实验,对门捷列夫元素周期律的检验,……这些实验无疑为我们提供了许多很有益的历史经验。

在现代物理学中,中微子从预言到被实验证实,历时 20 多年。从上个世纪末开始,科学家们的视野一步步地迈进了一个奇妙的物质世界——微观世界。卢瑟福根据实验,提出了原子的核式结构说,指出原子是由原子核和绕原子核旋转的电子组成的,就象行星绕太阳旋转一般。接着,科学家们又闯进了原子核王国,1932 年,英国物理学家查德威克在人工核反

应的研究试验过程中发现了与质子质量相同的不带电的中子,从而确认:原子核是由中子和质子组成。后来人们又搞清了它们之间的一些变化关系:中子发射一个电子就变成质子;质子又可发射一个正电子变成中子。当时已经发现一些元素的 β 衰变过程中,原子核内中子衰变成质子而失去的能量,应该等于它所放出的电子所带走的能量。但是,人们在实验过程中却发现,电子所带走的能量,总比原子核放出的能量小得多。这说明,原子核所释放的能量有一部分“丢失”了。

物理学家们被这一事件震动了,围绕实验中出现的现象,他们提出了种种设想,展开了一场激烈的争论。有的物理学家认为,能量守恒定律已经不再成立, β 衰变就是第一个证据;另一些物理学家则疑虑,要是能量守恒定律被推翻,整个物理理论大厦就会毁于一旦,这将是一场灾难。物理学权威们为此而困惑、悲叹。

就在这一紧要关头,在著名物理学家玻尔领导的哥本哈根理论物理研究所里,青年物理学家、奥地利的泡利于1933年提出了一个崭新的理论:在微观世界里,存在着一个“窃能者”,它把原子核内释放的一部分能量“偷”走了。泡利预见,这个“窃能者”可能不带电,质量也比较小,同周围的相互作用力很弱。所以在测量仪器中不易发现,被偷偷溜走了。泡利的这一假设实在太大胆了,简直有些令人难以相信。但泡利的同事、意大利青年物理学家费米却给予极大关注,对此大加赞赏。费米用泡利的理论成功地解释了原子核的 β 衰变现象,提出了一种新的自然力——弱力理论。他还给“窃能者”起了个十分风趣的名字,叫“中微子”,意思是“微小的中性小家伙。”

中微子的预言在理论上是成功的,用它可以明确清楚地说明 β 衰变过程中“丢失的”能量去向何处,能圆满地解决一些矛盾。然而,这种微观世界中的小小粒子到底是不是真的存在呢?为了证明预言的正确性,必须在现实中真真实实地捕捉到中微子才能令人信服。

捕捉中微子的工作十分艰难。由于中微子与其它粒子之间的相互作用非常微弱,它穿过地球,就和光线穿过极透明的玻璃一样。据推算,一个中微子要穿透 1000 光年厚的铁板才有与其它粒子发生相互作用的可能。

科学家们把捕捉中微子的实验场地设在地下深达 1.5 公里的一个金矿里(因为宇宙射线不能穿透这样深的地层,剩下的射线只有一个来源,那就是太阳),安放一个庞大的钢箱,箱内盛了 38 万公升的 CCl_4 溶液,如果中微子穿进钢箱时,就可能发生预想的核反应。捕捉中微子的工作实非易事。经过 30 余年的苦战,1968 年才被逮住,泡利的预言终于被实验证实了。

后来,人们突然发现太阳中微子比预料的要少得多。“中微子短缺”现象,在天文学界、原子物理学界引起了强烈震动。这种现象使人困惑。人们猜测,也许是人类对太阳的内部结构和物态了解有严重差错,也许是现有核反应理论有重大破绽,也可能是对中微子的认识还不全面……。这样又引发了几十种解释和预言。科学发明创造中,众说纷云,意见众多是好事,因为这众多的想法会给科学研究带来新的途径,为科学发明创造提供更多的机会。通过研究,终将使事实水落石出,这样就可带来科学技术的新突破。

革命导师恩格斯曾说过，“只要自然科学在思维着，它的发展形式就是假说。……进一步的观察材料会使这些假说纯化，取消一些，修正一些，直到最后纯粹地构成定律。”所以，科学研究中的预言或假说，只有经过实践的检验，才能成为科学的理论。

六、常用的发明创造方法

发明创造方法一——智力激励法

智力激励法又叫头脑风暴法、集思广益法、智囊团式讨论等。它是在短时间内能调动起极大创造力的一种方法,这一方法最初由美国纽约 BBDO 广告公司副经理 A·F·奥斯本所发明,半个多世纪以来被人们广泛采用。

采用智力激励法进行发明创造,一般是通过研究或处理某个特殊问题的会议的形式进行。会议时间一般为 20 分钟到一小时,参加人数 5 至 15 人。针对某一问题,大家集体思考,相互启发,相互激励,相互补充,在短时间内最大限度地调动大家的创造力,引起创造性设想的连锁反应,产生众多的创造性设想,获得最佳的方案或方法。

智力激励法的应用不是随意进行的,它对“智力激励会议”的开法有许多具体的要求,对参加会议的人有许多明确的规定。其中主要有:人员的专业构成合理,要求大多数与会者都是对议题熟悉的行家,但并非局限于同一专业,而是应注意全面多样的知识结构。大家的知识水平应大致相当,并且要有实践经验。

为了最大限度地刺激智力,要求参加会议的人共同遵守一些规则:

严禁批评。会上不允许对别人的设想加以批评,与会者人人平等,没有权威。

自由奔放。提倡任意自由地思考,设想越新奇越好,甚至是无聊的、古怪的、荒唐可笑的也应允许发表。

目标统一。每次讨论应有一个中心议题,参加者必须针对问题的方向,集中注意力进行思考。发言应集中,不允许私下交谈。

会议应当鼓励参加会议的人提出新方案、新方法,而且数量越多越好。因为数量越多,从中选出最佳方案和最有效的方法的可能性就越大。另外,对同一种意见和方案,人们提的设想或意见越多,其科学性、实用性也会越大。参加会议的每一个成员都应对其它与会者提出的设想或意义进行综合归纳,利用他人的设想或意见来建立、发展和补充自己的设想。要善于归纳,不要轻易地否定别人的设想,也不要过早地下定论,其中的道理就在于通过综合归纳变更自己已经产生的方案,并使之不断地导出新方案。

智力激励法是促进发散性思维的有效方法,容易在短时间内把人们的思维从一种事物联系到其它事物上去,从而跳出人们原有的思想框框。利用智力激励法进行发明创造的实例,在中外发明史上是很多的,例如:

日本有一家儿童玩具店,专卖玩具狗,由于狗的花样品种欠佳,销路很不理想。商店老板邀请日本发明学会的丰泽丰雄为商店出主意。丰泽丰雄应用智力激励法,把有关人员集中起

来,召开一次专门讨论儿童玩具狗的会议,就“玩具狗能与其它什么东西进行组合,制成人们喜爱的产品,”让与会者发表自己的看法。与会者提出了许多新颖的方案,如:“今年是狗年,可做一只用嘴衔日历的玩具狗”;“做两只小狗把它们放在一个塑料提篮里”;“做个小狗把它放在人造卫星玩具模型里”;“做一个哈巴狗大小的玩具狗人们最喜欢”……丰泽丰雄从中挑选了几个方案。由于狗的品种花样变了,结果销售额比原来提高了三倍,从而救活了这家玩具店。

在 1983 年上海市少年科普促进会举办的中小學生小发明实验班上,30 名学生分成三个组,在不到一个小时的时间里,利用智力激励法,共产生 505 个选题设想,其中合适的设想 49 个,约占设想总数的 10%。

还有许多实例能说明运用这一创造技法的效果,如:

丹佛市八家邮政局的“如何减少劳动时间”智力激励会,12 名与会者半小时内提出 121 个新观念。据统计,经 9 周实验,使人们实际上节省了一万两千多个小时。

克利夫兰广告俱乐部的“如何改进每周歌剧院广告形式,提高上座率”智力激励会上提出 124 个设想,29 个被采用,使演出座无虚席,场场暴满。

某学院修改校舍需开支 85 万美元,以“在不影响质量的前提下,如何节省开支”为题讨论,结果节省了 11.5 万美元。

澳大利亚悉尼市在培训商店经理时出了个题目,用智力激励法,在 40 分钟内收集到 163 个设想,经理们认为,16 个是完全可行的。

智力激励法的适用范围是很广泛的,各行各业都可应用。

中学生在做练习时,如果练习需要较大的创造性才能完成,那么就可以采用智力激励法,几个同学一组各抒己见,相互启发,这样就很可能产生出解决问题的众多方法来。

发明创造方法二——检核表法

检核表法是根据发明创造的对象或社会上需要解决的问题,对资料进行分析、综合,并列出提纲式表格,然后一条条进行核对讨论,从中得到解决问题的方法和创造发明的设想。这种方法可以有意识地为我们提供科学的思考步骤。它是一种能大量开发创造性设想的创造技法,它几乎适用于任何类型与场合的创造性活动。

检核表法的具体做法很多,但它的基本做法还是源自 A·F·奥斯本创造的检核表。奥斯本的检核表原有 75 个问题,可归纳解决六类问题的九组提问:

- (1)由现状到目的: 转用
- (2)由目的到现状: 代替
- (3)量的变化: { 增扩
 { 减缩
- (4)质的变化: 改变
- (5)组合排列: { 变位
 { 颠倒
 { 组合
- (6)借助其它模型: 启发

例如：

(1)能否用于其它方面。这是指现有的发明创造还有没有其他的用途，或稍加改变就可扩大它的用途。

人们从事创造活动时，大体有两条途径：一种是根据某一目标寻找要达到目标的方法；另一种是由某一已知事实出发，思考它还有什么别的用途。事实上，后一种方法更为常用，例如，按常规的用途，电灯用来照明，电吹风用来吹干头发、美化发型，保暖瓶用来盛开水。但经过功能开发，扩展它们的用途，能带来意想不到的用途。改变光线的波长，发明了紫外线灭菌灯，红外线加热灯，萤光捕蛾灯……；一位日本妇女根据电吹风吹干头发的原理，经改造发明了一种被褥烘干机；把保暖瓶的瓶口适当加大，可用作棒冰瓶，而棒冰瓶又能用作食物保暖器……。

通过检查、改造现有的发明创造，可以重新发明出变一用为两用、三用乃至多用的新技术，从而极大提高产品原有的功能和使用价值。

(2)能否借鉴、模仿。这是指现有的发明创造是否可以借鉴其它的创造性设想，或者通过模仿相似的发明创造，等等。触类旁通，移花接木，可以发明出新的东西来。例如，气球在气象科学上一般用来作高空气象测量，人们也用热气球作空中旅行。而医生却用之以疏通人的血管。有些人的血管被脂肪阻塞，形成血栓，使血液循环受影响。医生就借助于一个很小的气球，把它系在一个特制导管的一端，插入病人的动脉血管。当它随血液循环到达血栓处时，医生便通过导管给气球充气，利用气球膨胀挤开沉积的脂肪，从而恢复正常的血液循

环。

(3)能否变动。现有的发明创造能否在形态、颜色、味道、音响、动作等上作适当变动,等等。例如原来的钢笔尖没有小孔和小沟、这使钢笔在书写时经常流不出水来。美国的沃特曼对笔尖作了改进,在笔尖上开了个小孔和小沟,从而使书写流畅,这使他成了美国第一流的钢笔大王。眼镜过去只有无色近视眼镜和老花镜,后来,改变了一下玻璃的颜色便得到太阳镜,再后来,人们根据光的折射原理,在玻璃中加进适当材料,用以改变不同强度光线的折射率,从而发明了变色眼镜。音乐门铃、音乐闹钟、音乐生日卡、音乐牙刷等都是应用这一发明方法的结果。

(4)能否扩大。现有的发明能否扩大使用范围,能否延长其使用寿命,或是增加次数、价值、强度、速度、数量等。例如,牙膏中掺入一些药物,可制成防酸、脱敏、止血、抗龋齿等保健药物牙膏。再如,采用强化技术,可使某一食物的营养价值不断完善丰富,如强化麦乳精,是对维生素 A、B、D 进行强化,使一百克麦乳精的维生素 A 达到 1500 国际单位,B 达到 500 国际单位,D 达到 1000 国际单位。它含有足够量的蛋白质、脂肪和酶类,营养价值比一般的高得多。

(5)能否缩小。现有的发明创造可不可以在体积、重量等上缩小,使其更便于携带、收藏等。实践证明,这种方法可以解决不少问题。例如,最初的收音机、电视机、电子计算机等体积都比较大,世界上第一台电子计算机,用了 76 万个活动部件,其中包括 50 万个按头,1.7 万只电子管,7 万只电阻,1 万只电容,耗电 200 千瓦,占地面积 1800 平方英尺,有十间普通用

房的大小,重量为 30 吨。借助于“缩小、分解、省略”等思想,经过不断的努力,现在的袖珍收音机、袖珍电视机、袖珍电子计算机不但功能齐全,而且携带非常方便,有的电子计算机只有火柴盒大小。

(6)能否用别的物品替代。现有的发明可不可以用别的原理、别的能源、别的方法、别的材料、别的工艺等来代替。例如,汽车所用材料习惯上都是钢、铝等,我国青年唐锦生,却用塑料代替,发明了世界上第一辆全塑汽车。这种汽车车体轻、耗油少、噪音小、材料抗疲劳强度高、耐腐蚀性好、操作简便、造价低廉,塑料占全车重量的 80%,这项发明已在世界上七个国家登记了专利。再例如,传统的家俱材料是木头,最近一些年来,人们用强度高的有机玻璃来代替,做出了新颖别致的玻璃家俱。还有的人用一些纸家俱代替木制家俱。它由硬纸筒代替角铁作支撑,由硬纸板作面板、壁板。纸家俱造型平整、摆放灵活、轻便廉价,色泽漂亮,符合现代人求新的消费心理,用一段时间后可丢弃更新,而且废物处理也方便。也有用纸作餐巾、拖鞋、衬衣等。

(7)能否重新安排。现有的发明能否作些变换,如改变布局、改变顺序、改变因果关系、改变型号等等。重新安排往往会形成许多创造性设想。例如,莱特兄弟发明的世界上第一架飞机,发动机在飞机中部,螺旋桨在飞机后部,以推力使飞机飞行。现代的喷气发动机又把螺旋桨放在翼后产生推进力。而将螺旋桨置于飞行器的上方则为直升飞机;又有人把螺旋桨做成可转至前方,飞机起飞时螺旋桨转至上方,飞机到达空中后螺旋桨又转至前方,从而发明了垂直起落的飞机。据研究,

苏联米格 25 飞机所用的零件与技术基本上是米格 23 的,只是作了不同的安排和组合便产生了奇异的改进。

(8)可否颠倒应用。现有的发明可否颠倒应用,如阴阳颠倒、前后颠倒、主次颠倒、上下左右颠倒。这实际上是一种反向思维方式。例如,火箭是向空中发射的,但人们为了了解地下的情况,将火箭发射方向改为向地下发射,从而发明了地下火箭。传统的造房技术是从地基到房顶的顺序,而现在建筑中用升板法技术,先造顶层,再依次往下建,这样就大大方便了施工,使楼面的浇制及部分安装工作都可在地面施工,此后各层还可立体施工,节省材料,既快又方便,质量也有保障。

(9)能否组合。现有的发明能否组合成为一个整体,如材料组合、形状组合、功能组合、方法组合等等。如生活中随处可见的橡皮头铅笔、多用刀、收录机、合金、组合家俱、复合材料等等,都是组合的结果。

根据检核表法的基本思想,结合我国的具体情况和少年儿童的特点,下面几条“聪明的办法”在发明创造活动中不妨一试:

1、加一加:可在这件东西上添加什么?加高一些、加厚一些怎么样?增加频率的效果会怎样?把几样东西组合到一起会有什么结果?

2、减一减:可把这件事物作减化处理吗?减少些时间或次数如何?可省略、取消些什么东西?

3、扩一扩:将这件东西放大、扩展会怎样?

4、缩一缩:将这件东西压缩、缩小会怎样?

5、变一变:改变一下形状、颜色、音响、味道会怎样?改变

次序呢？

6、改一改：这件东西还存在什么缺点或不足之处需要改进？使用时会给人带来不便或麻烦吗？

7、联一联：某个事物的结果与其它起因有什么联系？把某些事物联系起来，能帮助我们达到什么目的？

8、学一学：有什么事情可以模仿、学习？模仿其形状、结构，会有什么结果？学习它的原理、技术又会有什么结果？

9、代一代：有什么东西可代替这件东西？在材料、零件、方法等上用别的东西替代行吗？

10、搬一搬：把这件东西搬到别的地方，还能有别的用处吗？这个想法、技术搬到别的地方能用得上吗？

11、反一反：把一件东西、一个事物的因果、上下、左右、前后等颠倒一下，会有什么结果？

12、定一定：为了解决某个问题或改进某件东西，为了提高效率、防止事故，需要规定些什么？

发明创造方法三——联想、类比法

世界上的一切事物都是以各种不同的方式直接或间接地联系着的，它们之间往往存在着某些共同点或相似性，这种联系性可引导人们进行由此及彼、触类旁通的思考，这种联想可以引发人们发明创造出许多新的东西来。

典型的联想有如下几种：

1、相似性联想。这种联想是由事物之间在性质上或方式

上存在相似性而引起的。在日常生活中,由江河想到湖海、由树木想到森林、由汽车想到火车,都是由于相似性联想的作用。科学研究中,常常出现由相似联想引发创造。例如,我国广东省海康县医药公司的科技人员,通过相似性联想,发明了用人工培植牛黄的新技术。他们在解剖中发现,牛黄是因为在牛的胆囊里混进了异物,然后又以它为核心,周围凝聚了许多胆囊分泌物,日积月累,形成牛的胆结石——牛黄。联想到珍珠也是由于沙子进入到蚌壳中,蚌分泌出的粘液包住了沙子,时间长了就育成了珍珠。人们将少量异物塞入河蚌内,在异物的刺激下,蚌内果然慢慢长出珍珠来。如果在牛胆囊里埋入异物,是否也能育出牛黄来呢?经过试验,果然获得了成功,结果使牛黄的产量大大提高。

2、接近联想。这种联想是由事物间在时间和空间上相互接近而形成的。日常生活中,提到甲会想到乙,由今天会联想到昨天或明天,这都是接近性联想。在科学创造中,接近联想是从已知探索未知的有力武器。例如在研究物质组成中,由分子到原子再到质子又到中子……都是以由此及彼的联想为引导的。卢瑟福在研究原子核时提出可能存在一种质量与质子相近的中性粒子。他的学生查德威克把中子假说与新辐射联系起来,以实验证实了卢瑟福的假说,发现了一种新的粒子——中子。查德威克因此获得了1935年的诺贝尔物理学奖。

3、对比联想。这是由于事物的相反特征或相互对立的关系而引起的联想。这种联想可以引导人们打破常规,取得一些别出心裁的新颖设想。日常生活中,美与丑、善与恶、黑与白、水与火等都是对比性联想的事例。有位医生为了向众人说明

酗酒的危害性,向众人展示了一个把小虫放到酒精里很快死去的实验,接着他问众人:“这意味着什么?”在短暂的寂静后,有一个人回答道:“我看,人要是喝了酒,肚子里就不会长虫子了!”这一有悖常理的回答引导这位医生发明了酒精消毒法。

4、关系联想。由于事物之间的联系是错综复杂的,因此反映事物各种联系的关系联想也是多种多样的。例如由事物发生的因果关系而引起的联想促使发明创造成功的例子就很多。澳大利亚甘蔗种植者发现了有一片田的甘蔗产量意外地提高了50%,究其原因,想起了在种植甘蔗前一个月,曾有一些水泥洒落在这片田里。进一步的科学实验证明是水泥中的硅酸钙使这片酸性土壤得到了改良,提高了产量。于是,科学家们发明了一种新型的肥料——“水泥肥料”。

类比与联想颇为相似。类比发明方法是通过两个或两类不同的对象进行比较,找出它们之间在某些方面相同点或相似点,然后推想它们在其它方面也可能相同或相似的一种方法。常用的类比方法有如下几种:

1、拟人类比。进行创造发明活动时,常常将发明创造对象加以“拟人化”,即发明者把自己设想为所讨论的问题中的某个因素,然后从这种处境出发,设身处地的进行想象。例如机器人的发明设计者就是通过拟人类比,发明了具有人类部分动作的多功能机器。今天,机器人已被大量而广泛地应用于空间、海洋、工业等领域,特别是一些劳动强度大的、有较大危险性的工作,机器人的应用更多。

2、直接类比。从自然界或者已有的成果中寻找与创造对象相似的东西。例如,英国医生爱德华·詹纳发明接种牛痘预

防天花的方法就是应用直接类比法获得的。詹纳医生学习过中国古代医术——人痘接种法预防天花。詹纳医生又在他的医疗实践中了解到,牧场里的挤奶工是不会患天花的,其原因是挤奶工都受过牛痘的感染。于是他就把这两件事情作了直接类比:人痘能预防天花,受过牛痘感染的人不会患天花,那么牛痘是不是也有预防天花的作用呢?经过临床试验,詹纳医生终于发明了预防天花的方法——牛痘接种法,使世界免除了天花的灾难,挽救了无数生命。

3、因果类比。两种事物的某些属性之间可能存在着同一种因果关系,因而人们可以根据一个事物的因果关系推出另一个事物的因果关系。例如,气泡混凝土的发明,就得益于因果类比法。科学家们发现,在合成的塑料中加入发泡剂,就能使其布满无数的微小孔洞。这样的泡沫塑料制品具有用料省、重量轻的特点,又有良好的隔热、隔音性能。由此,应用因果类比法,日本人铃木在水泥中加入发泡剂,使水泥制品也变得省料、轻巧,也具有隔热、隔音的性能,从而发明了一种有重要经济价值和实用价值的气泡混凝土。根据这一原理,发明家又进一步发挥,发明了一种具有同样功能的轻型建筑材料——空心砖。

4、对称类比。这是根据事物的属性之间所具有的对称关系,并通过这种对称性关系进行类比,从而创造出新的东西来的方法。例如,英国物理学家狄拉克从描述自由电子运动的方程中,得出正负两个能量解。一个能量对应着负电子,那么另一个能量对应着什么呢?当时人们已经知道电荷有正负的对称性,狄拉克用对称类比法,大胆提出了存在正电子的见解,

后来这一见解被实验所证实。自然界中对称现象是普遍存在的,根据这种对称性,人们可以大胆地提出未知世界存在的可能性,从而达到发明创造的目的。

5、综合类比。从事物属性的多种因素或复杂关系出发,综合它们的相似性,有可能作出新的发明创造。由于综合类比是综合了多种因素关系,因此综合类比方法得出的发明创造的可靠性比较大。例如,要设计新型飞机、轮船、汽车等,先做个模型,进行模拟试验,最后形成的方案就是综合类比的结果。

6、象征类比。用具体的事物来表示某种抽象的概念或思想感情,进行类比思考,导致发明创造。这种方法较多用于建筑设计。例如设计桥梁要赋予“虹”的象征格调,设计纪念碑或纪念馆时要赋予“宏伟”、“庄严”的象征格调等等。

发明创造方法四——组合法

组合法指的是按照一定的技术原理或功能目的,将现有的科技原理或方法、现象、物品作适当的组合或重新安排,从而获得具有统一整体功能的新技术、新产品的创造技法。创造发明并不是凭空产生的,它往往是通过把现有的知识成果进行适当的组合,从而产生具有新的结构、新的功能的产品或技术。组合的具体做法很多,我们可将它们大致归结为如下几种方式。

1、命名组合。把各种科学现象与现场实际操作结合起来,可组成一种新技术或新产品。实际工作中,工程技术人员和工

人凭借丰富的实践经验,有许多独特的、具有创造性的新方法、新工艺,但它们往往得不到归纳总结,其理论价值得不到挖掘,因而应用范围也不广泛,有的甚至连什么技术或方法也不知道。例如,“摩擦焊接法”和“放电烧结法”等,都是过去谁也未曾用过的技术名称,而这些技术方法在工业生产技术领域中被工人经常实际应用。后来,工程技术人员就把物理学上的“摩擦”、“放电”等名词与实际操作中的“焊接”、“烧结”这些现场技术组合在一起,并在理论上进行总结,使之更加精细、准确,从而提出了“摩擦焊接法”、“放电烧结法”这样的新技术。

2、同物组合。若干相同事物的组合,可以在保持事物原有功能或原有意义的基础上,通过数量的增加来弥补不足的功能,或获取新的功能、新的意义。

3、异类组合。两种或两种以上具有不同领域的技术思想的组合,两种或两种以上具有不同功能的产品的组合,可以综合它们的优点,取长补短,得到新的产品。例如电子表笔、香味橡皮、音乐贺卡、多功能旅行刀等都是异类组合的产品。而材料的组合可以制造出满足人们多种需求(有时甚至是矛盾需求)的产品,例如钢筋混凝土、混纺毛线、玻璃纤维制品都可达到不同材料取长补短的作用;有一种新型牙刷,其中心为硬尼龙毛,四周为软尼龙毛,它兼有刷净牙齿和保护牙龈的好处。

有时,如果把两种以上不同的方法组合起来,也有可能产生出另外效果来。例如,激光或超声波对水都有灭菌作用,但单独使用两种方法,都只能杀死部分细菌。如果两种方法同时

使用,那么就能把大部分细菌消灭掉,这就是通常人们说的“声——光效应”,达到了“ $1+1>2$ ”的效果。

4、综合。综合是更高层次的组合。在当代知识爆炸的条件下,综合方法显得尤其重要,有人就提出:“综合就是创造”。综合的方法在科学技术发明创造史上所起的作用是极其巨大的。例如牛顿综合了开普勒的天体运行三定律和伽利略的物体垂直运动定律、水平运动定律,创造了经典力学体系;门捷列夫从原子属性与原子量、原子价的关系入手,系统综合了已有的关于元素性质的资料,终于发现了元素周期律;笛卡尔综合了几何方法与代数方法,在引进坐标系的基础上,创立了解析几何……。在一般的发明创造中,综合也会获得极好的结果。例如,有位画家在作画时常用橡皮擦去铅笔的笔迹,但他为人粗心,经常忘了橡皮放在什么地方。为此,他想了个办法,把橡皮栓在铅笔的末端,这样一来,手中握着铅笔,橡皮也不会丢失了。这件事被画家的一位朋友看到后,刺激了这位朋友的思想,经过综合思考,他发明了一种把橡皮安装在铅笔上的带橡皮铅笔。这项发明使画家的朋友获得了一大笔专利转让费。

应用组合法进行发明创造时,要注意以下要领:第一,组合法是由两个或两个以上的特殊技术组合在一起的;第二在组合成的新技术中,所有特殊技术都是为单一的目的服务,它们共同起作用,相互支持,相互补充;第三,经过组合,最终达到一个新的总体技术效果。

发胆创造方法五——“七步法”和“六色帽”

成功地进行发明创造的人,在发明创造活动中是如何进行思考的?有没有思维诀窍?回答是肯定的。许多在科学技术发明创造中卓有成效的科学家对这个问题都进行过反思、研究,并总结出了一些具有普遍意义的思维方法。英国思维学大师爱德华·德博诺提出的“水平思考法”就是典型的事例。

德博诺教授 1933 年出生于英国,博学多才、头脑灵活,曾先后获得牛津大学的医学博士学位和剑桥大学的哲学博士学位。他对“思考的技术”很感兴趣,经过十多年的研究,发表了近 30 种有关思考技术方面的著作,其中许多被译成 20 多种文字,他的关于思考技术的理论在世界上广为流传。

德博诺是一名教育工作者。在长期的教学工作中,他经常为学生缺少思考能力而感到忧虑。对一些复杂的问题和概念,学生往往习惯于被动思考,也就是习惯于循着常规的、已有的思路进行思考,缺乏主动地、创造性地进行思考的能力。但是,德博诺坚信,人脑的潜力是十分巨大的,只要方法得当,这种潜力是可以得到开发利用的,于是他开始了如何进行创造性思维的研究。经过认真细致的观察和实验,他发现思考是可以直接当成技能、技巧来传授的。他认为,智力是一种潜力,它必须加上头脑的操作能力(包括目的、重点、选择、结果),即思考的技术,才能充分发挥作用。因此,掌握思考技术是十分重要的。经过多年悉心研究,他提出了“水平思考法”这一思考技

巧。

人们面对问题进行思考时,可以循着纵横两个方向来思考。所谓纵向思考,就是直线式的、循序渐进的、每一环节都沿着最大可能性路线前进的思考方式;而横向思考则是多方向的、多角度的、摆脱已有思维模式的、抛弃习惯思维方式的思考方式,德博诺把后一种思考方式称之为“水平思考方式”。他说,纵向思考犹如在一个地方挖一个深洞,而水平思考则好似在不同的地方挖洞。

水平思考法实际上是另找出路的思考方法。德博诺在年轻时是个舞迷,经常外出跳舞。但校方在校门上贴着布告:超过晚上 11 点校门关闭,不得入内。于是在他跳摆尽兴而归时,经常翻墙而入。有一次,舞罢归来有点累,翻墙不过,于是他就走到校门前,不抱希望地推推校门,谁知,校门轻轻一推就开了,原来,告示仅起威慑作用,校门从来就没有锁上过。这件事给了他极大的启示:做任何事都应多想几种办法。

水平思考法在日常生活中不乏其例。读者肯定看过“腰锯美女”这一魔术节目。明明看见一位漂亮小姐走进箱子并从两端伸出头和脚,但当魔术师用钢板把悬空的箱子拦腰切断时,小姐虽然身首易处却仍在微笑。只懂得纵向思考的人是很难相信这件事情的,而用水平思考法则能比较容易地理解其中的奥妙:原来箱底和放置箱子的舞台上都有一道活动暗门,当小姐进入箱子关上箱门后,她立即将自己的整个身子卷到半箱之内,另一位小姐则迅速通过暗门钻入箱子的另一半内。伸出的头和脚并不是同一个人的!在第二次世界大战中,有一架轰炸机因发动机漏水而熄火,但飞机上已经没有水了。有人想

起了用别的液体——人尿代替，终于使飞机转危为安。

德博诺提出，在运用水平思考法进行思考时，要注意以下几点：

1. 要养成寻求尽可能多的探讨问题的不同方法的习惯，而不要死抱住似乎最有希望解决问题的方法不放。必要时可以给自己规定一个可供选择的方法数的定额。

2. 要对各种假定(包括权威者提出的论断)提出质疑。

3. 不要急于对头脑中涌现出来的想法加以批判，不要轻易放弃任何一种方法。

4. 使问题具体化，使之在头脑中构成一幅图像，并可通过改变其成分进行重新组合。

5. 把问题分解成独立的几部分，对各部分进行鉴别，重新排列(尽量颠倒和混合)构成问题。

6. 从问题之外寻求偶然刺激，包括闲逛、翻阅其它读物，进行文娱、体育活动等，在头脑中保留空白处，并随时准备接纳某种新事物。

7. 参加各种产生新观念的启发性集会。

德博诺十分重视日常事务的处理。他指出：“天才，正是从解决日常生活问题中见之伟大。而我们每个人都能从小事做起，改善自己的思维能力”。为此，他提出了一套处理问题的“七步思维法”：

1. 正面、反面、有趣——PMI。旨在开阔视野、打开思路，在思维方面兼收并蓄；

2. 全部因素——CAF。旨在提高思维的全面性，瞻前顾后，巨细无遗；

3. 结果与后果——CS。旨在充分发挥想象,预测各种后果;

4. 目标、目的、任务——AGO。详细列表,明确做某事的目的和任务;

5. 最要紧的重点——FIP。在多种可能中,分清主次,权衡轻重缓急;

6. 可能、可取、审慎——APC。如果运用前面几步思维方法仍未奏效,就要努力超越常规思维模式,寻找别的可能性;

7. 他人的观点——OPV。转换观察、分析问题的角度,以他人的观点看问题,可能会柳暗花明。别人的意见(包括反对意见),不仅能产生令人惊讶的主意,而且还能领悟问题的解决方法。

在发明创造活动中,为了使人们提出更多更好的创造性设想,德博诺提出了一种简单易行的思考工具——“六色帽子”——把不同的思维方式想象成六顶不同颜色的帽子,不断转换思考角度,使思考更客观、全面、准确:

1. 白帽子代表考虑信息和数据;

2. 红帽子代表感情、热情,解释从何而来,为什么?

3. 黑帽子代表否定,从消极方面来分析不利的因素、结果及其原因;

4. 黄帽子代表肯定,从积极方面分析有利的因素、结果及其原因;

5. 绿帽子代表创造,提出所有新的、创造性的设想,提供发挥创造性的时间和空间;

6. 蓝帽子代表评价,对思考过程的计划、控制等进行综合

考虑。

掌握了正确的思考技巧,学会了正确的思维方法,就为我们有效地进行发明创造活动提供了锐利的武器。德博诺总结的思考技巧和思维方法是值得借鉴的。

发明创造方法六——信息交合法

信息交合法是一种运用信息概念和灵活的手法进行多渠道、多层次的推测、想象和创新的发明创造方法。应用信息交合法进行发明创造,就是把某些看似孤立、零散的信息,通过相似、接近、因果、对比等联想手段联系起来,将信息交合成一项新的发明创造。信息交合有三个需要遵守的原则。

第一,整体分解。把整体分解为部分之和,再把部分分解为因子,直至不能再分解为止。然后再一个部分一个部分地、一个侧面一个侧面地进行信息研究,并按照它们的物理性质、化学性质、理论层次、方法意义等分解出信息元素。

第二,信息交合。在整体分解的基础上,通过推测、对比、想象等创造性思维活动,在分解出的信息元素之间进行“本体性的信息交合”,在能联络到的其它信息元素之间进行“边缘性信息交合”,通过这些信息交合,探求出对研究课题项目的解决方法。通过信息交合所获得的解决方法,并非只限于一种,可以是两种或三种,也可以是以一种为核心,另外几种作为备用。

第三、结晶筛选。通过信息交合产生的新方法往往是很多

的,所以,必须对这些新方法进行评估、筛选。筛选是按实用性、易生产性、经济性、市场需求等原则,经过反复实践、比较,选择出一种最佳方法来。

例如,门捷列夫发现元素周期表就是通过信息交合的思维方法而获得成功的。为了探索化学元素的性质,门捷列夫对前人所提供的资料信息进行了深入细致的剖析和比较,主要是对种种分类方法进行研究,对氢、氧关系,金属与非金属关系,化学活性顺序,元素原子价,元素综合化学性质等进行分析。在整体分解的基础上,紧紧把握住元素的原子量与元素性质之间的关系,对当时已经知道的 63 种元素进行信息交合,最后他终于得出了一个科学论断:原子量的大小决定了元素的特征。运用这一基本思想,门捷列夫进行了元素系统化工作,他把 63 个元素全部列入表中,并预见了一些未知元素的存在及其性质。

应用信息交合法,要注意课题的基本特性。例如,日本有位发明家在研制新型拖鞋时,通过查阅资料,得知了多孔橡胶和合成树脂的信息:弹性比已有的商品大一倍,经久耐用,重量轻,不怕酸碱腐蚀,气泡是一个个独立的、不会吸水,能隔音,绝热性好。将每一条属性与自己所研究课题有关的特性进行比较,最后选定,把“气泡一个个独立、不会吸水”这一特性用在自己研制的新型鞋底上,结果发明了泡沫塑料底的新式拖鞋。

关于发明创造的方法,目前国内外学者已经开发出许多,这些方法对于发明创造活动都是具有积极意义的,有兴趣的读者可以参看有关工具书。

A decorative border with a repeating floral or scrollwork pattern surrounds the central text.

模仿生命

七、模仿生命

读者朋友,你们是不是都很喜欢小动物呢?世界上有许许多多的动物,有的凶恶,有的可爱,有的温文尔雅,有的滑稽可笑……。我们常常可见到小猫、小狗、小鸟、小金鱼等,可是你们想过这些天上飞的,地上爬的,水里游的生物同现代的科学技术有什么关系呢?

我们说,关系可大着哩。你们看,飞机不是很像蜻蜓吗?还有很多机械并非完全依照生物的外形,而是借鉴生物的某一部分器官或某一种功能。事实上,某些生物的器官所具有的奇特功能,不仅令人惊叹不已,而且给人以启发。

那令人十分讨厌的苍蝇,声名狼藉,凡是污秽肮脏的地方,它总是闻臭而至。可是你们知道吗?苍蝇的在远距离发现微乎其微的气味的这种功能,正被应用在宇宙航行上。

那小小的夜蛾,人们总是以“飞蛾投火”来讽刺它有眼无珠,自投火坑,却不知道它追逐火光是为了利用月亮来辨别正确的航向,只是被火光所迷惑了。也许更不知道它还有一套“反雷达”、抗干扰的奇特本领,连素有“活雷达”之称的蝙蝠也逮它不着。

还有那小小的放屁虫,也是十分有趣的。一按脊背,便“啪”的一声从后窍喷出一团白色的烟雾。殊不料,就是这小小的放屁虫“放屁”的原理造就了现代人们谈之色变的化学武

器。

.....

要说的还多着哩！这本书就是介绍生物特性与各种现代科学技术的关系，介绍科学家们怎样模仿生物的各种各样的奇特本领来制造各种仪器、设备和武器，以满足人们的需要。科学家们给这种模仿生物的科学起了个名字，叫“仿生学”。那么仿生学到底是怎么回事呢？

仿生学也叫仿生技术，意思是模仿生物的科学，是生物学渗入数学、物理学和化学领域的一门边缘学科。它的研究目的是分析模拟生物体的结构和形状，生物体内能量转换、物质变化和信息传送控制的过程，以便改进和创造机械设备、工艺流程和提供新的能源。从仿生学诞生、发展到现在的三十多年间，它的研究成果已极为可观。仿生学的问世开辟了独特的技术发展道路，这就是向生物界索取设计蓝图的道路，它大大地开拓了人们的眼界，显示了极大的生命力。

人类仿生历史

自然界是人类赖以生存的物质环境，是人类一切思想，包括各种技术思想、工程原理及重大发明的源泉。种类繁多的生物经过漫长的进化过程，使它们能适应环境的变化，从而得以生存和发展。劳动创造了人类。人类以自己直立的身躯、能劳动的双手、交流情感和思想的语言，在长期的生产实践中，促使神经系统尤其是大脑得以高度发达。因此，人类以无与伦比

的能力和智慧远远超过生物界的所有类群。人类通过劳动运用聪明的才智和灵巧的双手制造工具,从而在自然界里获得更大的自由。人类的智慧不仅仅停留在观察和认识生物界,而且还运用人类所独有的思维和设计能力模仿生物,通过创造性的劳动增加自己的本领。自然界中生物的形形色色的奇异本领,自古以来一直吸引着人们。人们很早以前便开始了模仿生物的活动。

古时候,人们看到鱼在水中自由自在地游来游去,就千方百计地去模仿。先是用木材依照鱼的体形做成船体,继而又依照鱼的胸鳍和尾鳍,制成了双桨和单橹,因而人们便可以像鱼儿一样在水上自由地行动。从古代的独木舟逐渐发展到现代化的船舶,这就使人类在占地球表面约百分之七十的海洋上得以通行无阻。

相传两千多年以前,我国著名的工匠鲁班上山砍树时,不小心被一种茅草拉破了手,经过仔细地观察,他发现草叶边缘上长有许多小齿,因而得到启示,发明了木匠用的锯子。

鸟儿展翅可在空中自由飞翔。据《韩非子》记载鲁班用竹木作鸟“成而飞之,三日不下”。然而人们更希望模仿鸟儿的翅膀使自己也能在空中飞翔。早在四百多年前,意大利人列奥那多·达·芬奇(Leonardo da Vinci, 1452—1519)和他的助手对鸟类进行仔细的解剖,研究鸟的身体结构并认真观察鸟类的飞行,设计和制造了一架扑翼机,这是世界上第一架人造飞行器。

几百年以前,阿拉伯的医生们在眼科手术的实践中,发现在两个不同的透明介质交界面上光线会产生折射。对人眼晶

状体的研究,导致了应用“透镜”的设想。后来,人们真的研制出了用水晶和玻璃制成的光学透镜。利用透镜制成了各种现代光学仪器,如放大镜、望远镜、显微镜、照相机等。

“生命的火花”这一说法,是对生命活动的确切描述。古罗马时就已经知道生物有电,罗马医生就曾用电鳗的电击来治疗精神病人。十八世纪,意大利人伽伐尼发现,在用金属物体与蛙腿接触时,蛙腿就会收缩。另一个意大利人伏打在解释这种生物电现象的过程中,发明了第一个人造电池——伏打电池。

公元前四世纪,古希腊的亚里士多德对数学和动物学进行综合研究,并根据他的逻辑思想,逐步简化了对人的思维过程的认识。此后一千年后,又不断有人继续研究人的思维过程,他们以各自特有的逻辑思想将这一过程简化为机械步骤,使思维过程便于在机器上进行人工模仿。这就为设计人工“生物计算机”打下了基础。

由以上事实可以看到,仿生物的研究是由来已久的,其历史甚至可以追溯到两千多年以前。这些模仿生物结构和功能的发明与尝试,可以认为是人类仿生的前驱,也是仿生学的萌芽。

人类仿生的历史弯路

人类仿生的行为虽然早有萌芽,但是在二十世纪四十年代以前,人们并没有自觉地把生物作为设计思想和创造发明

的源泉。科学家对于生物的研究也只停留在描述生物精巧的结构和完美的功能上。而工程学专家们更多地依赖他们卓越的智慧、辛辛苦苦的努力,进行着人工发明。他们很少有意识地向生物界学习。但是,很多事实说明,人们在技术上所遇到的某些难题,生物界早在千百万年前就曾出现,而且在进化过程中已经解决了。然而人类却没有从生物界得到应有的启示。走了很大的弯路,浪费了大量的人力、物力和财力。

在第一次世界大战期间,由于军事上的需要,为了使舰艇能隐蔽地在水下作战而设计制造潜水艇。专家们首先想到的是一些简单的方法,他们先用大石块或铅块装上潜艇使之下沉,需要上浮时,再将携带的生物扔掉。这种方法当然是既费力,效果又不好。要使舰艇下沉,需要大量的重物,装卸极为麻烦,而且潜水艇只能潜水一次。若要第二次下潜,则需靠岸之后,重新装上石块或铅块。还有一个问题就是潜入水中的速度极慢。后来,人们不断研究,不断改进,以水代替石块或铅块。用浮箱交替充水或排水来改变潜艇的重量,使之上浮、下沉。这种方法不断被加工、完善,后来改进成压载水舱。在水舱的上部设有放气阀,下面设注入阀,当水舱灌满海水时,潜艇重量增加而潜入水中。在这种潜艇上,人们还解决了快速潜水问题。需要紧急下潜时,运用速潜水舱,待潜艇全部潜入水中后,再将速潜水舱中的海水放出。如果潜艇需要上浮,则由放气阀将压缩空气注入压载水舱排出海水,使潜艇重量减轻。另外,如果,压载水舱的部分充水,而另一部分空着。则潜水艇处于半浮状态。至此,人们终于实现了潜艇的自动沉浮。可是人们后来的研究表明,鱼类的沉浮系统比人们发明的要简单

得多。鱼类的沉浮系统仅仅是一个鳔。鱼不是通过肌肉控制鳔收缩、舒张来达到沉浮目的的,而是通过向鳔内分泌氧或是重新吸收鳔内的一部分氧气来调节鳔中气体的含量,促使鱼体自由沉浮。当人们清楚了鱼鳔的结构和功能时,对于潜水艇的研制与发明已经没有多少帮助了。

声音是人类生活中不可缺少的要素,人们通过声音交流思想和感情,通过声音获知一定的外界信息。随着潜艇的出现,人们就开始研究如何确定潜艇在水下的位置,以及潜艇如何确定在水上航行的船只的位置。在第一次世界大战期间,在海洋上,水面与水下的敌对双方的斗争采用了各种手段。其中声学系统是一个重要的侦察手段。最早采用的是水听器(噪音测向仪),通过测知敌舰在航行中发出的噪音来发现敌舰。但是由于本身舰只在航行中也会发出很大的噪音,在航行中,一般测得的只是本身舰只,要想测到敌舰的位置,就必须减速甚至完全停下来,这样极不利于战斗。不久法国物理学家郎之万(Paul langcrin, 1872—1946)成功地利用超声波反射的性质来探测水下舰艇,即所谓的声纳系统。利用一个超声波发射器,向水中发出超声波后,如果遇到目标便反射回来,由接收器收到。根据接收回波的时间间隔和方位,便可测出目标的方位和距离。人造声纳系统的发明以及在侦察敌方潜水艇方面获得的突出成就,曾使人们赞叹不已。殊不知远在地球上出现人类之前,蝙蝠、海豚早已对“回声定位”声纳系统运用自如了。生物在漫长的年代里就是生活在被声音包围的自然界中,利用声音寻食、逃避敌害和求偶繁殖是它们生存下来的一个重要手段。早在 1793 年意大利人斯帕兰赞尼(Spallanzani)发

现蝙蝠能在完全黑暗中任意飞行,甚至瞎眼的蝙蝠其飞行本领也毫不逊色。但是如果塞住蝙蝠的双耳,他们在黑暗中则寸步难行了。面对这些事实,斯帕兰赞尼提出了一个当时使人们难以接受的结论:蝙蝠能用耳朵“看”东西。1920年哈台(Hartridge)认为蝙蝠发出声音信号的频率超出人耳的听觉范围,并提出蝙蝠对目标定位的方法与第一次世界大战时郎之万所发明的用超声波定位的方法相同。遗憾的是,哈台的揭示并未受到重视,而且工程师们对于蝙蝠具有“回声定位”的技术难以相信。一直到1936年,电子测量仪器测定人类可以听到的音频范围是16—20000周/秒,而蝙蝠发出的音频可达2—20万周/秒。至此,完全证实蝙蝠就是以发出超声波来定位的,但是这对于早期雷达和声纳的发明,已经不能有所帮助了。

另一个事例是人们对昆虫飞行为时过晚的研究。在列奥那多·达·芬奇研究鸟类飞行而制造出第一个飞行器的百年之后,人们经过长期的实践,终于在1903年发明了飞机,使人类实现了飞上蓝天的宿愿。由于不断改进,二十年后人们制造出的飞机不论在速度上、高度上还是距离上都超过了鸟类,显示了人类的智慧和才能。但是在继续研制飞行更高更快的新型飞机时,设计师们又碰到了一个新的难题,这就是气体动力学中的颤振现象。当飞机飞行时,机翼产生有害的振动,飞行越快,机翼的颤振越剧烈,甚至使机翼折断,造成飞机坠落,许多试飞的飞行员因而丧生。飞机设计师们因而花费很大的精力研究消除有害的颤振现象。经过长时间的努力才找到解决这个难题的方法,就是在机翼前缘远端上安放一个加重装置,

这样就把有害的振动消除了。可是，昆虫早在几亿年就飞翔在空中了，它们也毫不例外地受到颤振的威胁，经过长期的进化，昆虫早已成功地获得防止颤振的方法。生物学家在研究蜻蜓的翅膀时，发现在每个翅膀前缘的上方都有一块深色的角质组织使蜻蜓飞行的翅膀消除了颤振的现象。这与设计师高超的发明何等相似。假如设计师们先向昆虫翅膀学习翼眼的功用，获得有益于解决颤振的设计思想，就可以避免长期的探索和人员的牺牲了。

以上三个事例发人深省，使人们受到很大的启发。早在地球上发现人类之前，各种生物已经在大自然中生活了亿万年，在它们为生存而斗争的长期进化过程中，获得了与大自然相适应的能力。人们在生产实践中遇到不少的难题。而生物界则早已以人们还不十分清楚的方式完善地解决了。生物学的研究可以说明，生物在进化过程中形成的极其精确和完善的机制，使它们具备了适应内外环境变化的能力。表现在它们有经济而精巧的结构，可靠而协调的功能，最高效率地使用能量。生物界具有许多卓有成就的本领，如体内的生物合成、能量转换、信息的接受和传递、对外界的识别、导航、定向、计算和综合等，显示出许多机器所不可比拟的优越之处。生物的小巧、灵敏、快速、高效、可靠和抗干扰等特性实在令人惊叹不已。

过去，工程师们发展技术的道路基本上是根据当时科学技术水平提供的理论，发挥力所能及的生产条件，选择各种人造装置的优点，进行逻辑的综合，以创造和发展新工艺、新机器。但是人们越是希望新的技术装置有完善的功效，装置的结构也就越加复杂和庞大，操作也越加困难。而且复杂的结构使

组成的元件极其众多,如果少数甚至一个元件的损坏就会使整个装置停止工作,使效率和可靠性都受到很大的威胁。到本世纪中期,科学技术的发展和生产实践的要求,期待着可靠、灵活、高效和经济的技术设备,这就需要寻求新的系统设计原理和开辟新的技术发展途径。回顾生物界对人们有益的启示,人们悟出一个新的努力方向。生物界长久以来所走过的道路,已经受到了一些工程技术人员的重视,他们把注意力转向生物界,踏上模仿生物的道路。当然人类绝不会愚蠢地重踏生物进化的漫长历程,而是以科学技术为手段,发掘出生物界中蕴藏着的极其巧妙的工程技术原理,应用到为人类造福的实践之中。

连接生物与技术的桥梁

自从瓦特(James watt,1736—1819)在 1782 年发明蒸汽机以来,人们在生产实践中获得了强大的动力。在工业技术方面基本上解决了能量的转换、控制和利用等问题,从而引起了第一次工业革命,各式各样的机器如雨后春笋般地出现,工业技术的发展极大地扩大和增进了人的体能,使人们从繁重的体力劳动中解放出来。随着技术的发展,人类在蒸汽时代之后又经历了电气时代,并向着自动化时代迈进。

人们从制造简单的机器发展到制造复杂的自动控制装置,积累了极其丰富的知识和宝贵的经验。人们在生产实践和科学实践中所表现出的巨大智慧和能力发生了质的飞跃。

二十世纪四十年代电子计算机的问世,更是给人类科学技术的宝库增加了可贵的财富,它以可靠和高效的本领处理着人们手头上数以万计的各种信息,使人们从汪洋大海般的数字、信息中解放出来。使用计算机和自动装置可以使人们在繁重的生产工序面前变得轻松和省力。它们准确、高速地控制着生产程序,使产品规格精确。但是,自动控制装置是按照人制定的固定程序进行工作的,这就使它的控制能力具有很大的局限性。自动装置对外界缺乏自动分析和进行灵活反应的能力,如果发生意外的情况,自动装置就要停止工作,甚至以发生事故而告终。这就是自动装置本身所具有的严重弱点。要克服这种弱点,无非是使机器各部件之间、机器与环境之间能够“通讯”。也就是使自动控制装置具有适应内外环境变化的能力。要解决这一课题,在工程技术中就要解决如何接受、转换、利用和控制信息的问题。因此信息的利用和控制就成为工业技术发展的一个主要矛盾。而生物界则在这个矛盾的解决中给予人类以有益的启示。

人类要从生物系统中获得启示,首先就需要研究生物和技术装置是否存在有共同的特性。1940年出现调节理论,将生物与机器在一般意义上进行对比。到1944年,一些科学家已经明确了在机器和生物体内,在通讯、自动控制与统计力学等一系列的问题上都是一致的。在这样的认识基础上,在1947年一个新的科学——控制论产生了。“控制论”(Cybernetics)希腊文的意思是“掌舵人”。按照控制论的创始人之一维纳(Norbert Wiener, 1894—1964)给予控制论的定义是:“关于在动物和机器中控制和通讯”的科学。虽然这个定义过

反应←效应器←离中联系

通过以上对比可以看出：机器与生物体内的控制系统有许多共同之处，于是人们对生物自动控制系统产生极大的兴趣，并用采用物理学的、数学的甚至是技术的模型对生物系统开展进一步的研究。因此，控制论成为联系生物学与工程技术的理论基础，成为沟通构成生物系统与技术系统连接的桥梁。

生物体和机器之间确实有很明显的相似之处。这些相似可以表现在对生物体研究的不同水平上。由简单的单细胞到复杂的器官系统（如神经系统）都存在着各种调节和自动控制的生理过程。我们可以把生物体比作一个自动化的工厂，它的各项功能都遵循着力学的定律。它的各种结构协调地进行工作。它们能对一定的信号和刺激作出定量的反应，而且也像自动控制装置一样，借助于专门的反馈联系组成自动控制的方式进行自我调节。例如我们身体内恒定的体温、正常的血压、正常的血糖浓度等都是机器体内复杂的自动控制系统进行调节的结果。控制论的产生和发展，为生物系统与技术系统的连接架起了桥梁，使许多工程技术人员都自觉地向生物系统去寻求新的设计思想和原理。于是出现了这样一个趋势，工程师们为了和生物学家在共同合作的工程技术项目中获得成果，就主动学习生物科学知识。

一门崭新的学科

随着生产的需要和科学技术的发展,从五十年代以来,人们已经认识到生物系统是开辟新技术的主要途径之一。自觉地把生物界作为各种技术思想、设计原理和创造发明的源泉。人们用化学、物理学、数学以及技术模型对生物系统开展深入的研究,促进了生物学的极大发展。对生物体内功能机理的研究也取得了迅速的进展。此时模仿生物不再是引人入胜的幻想,而成了可以做到的事实。生物学家和工程师的积极合作,开始将生物界获得的知识用来改善旧的或创造新的工程技术设备。生物学开始跨入各行各业技术革新和技术革命的行列,而且首先在自动控制、航空、航海等军事部门取得成功。于是生物学和工程技术科学结合在一起,互相渗透孕育出一门新兴的科学——仿生学。回顾仿生学从孕育到诞生和发展的全部过程,正如恩格斯所指出的那样,“科学的发生和发展一开始就是由生产决定的”。仿生学的发生和发展正是适应生产发展的需要,才应运而生。

仿生学作为一门独立的科学,于1960年十月正式诞生。由美国空军航空局在俄亥俄州的空军基地戴通(Dayton)召开了第一次仿生学会议。会议讨论的中心议题是“分析生物系统所得到的概念能够用到人工制造的信息加工系统的设计上去吗?”斯梯尔(Jack Ellwood Steele)为新兴的科学命名为“Bionics”,这个字来自希腊文“Bion”,字意是“生命的单位”。

而拉丁文“Bios”意思是“生命的方式”，其字尾“ic”是“具有……的性质”的意思。因此“Bionics”意味着研究生命系统的功能的科学。1963年我国将“Bionics”译为“仿生学”。其中字尾“ics”与“Electronics”（电子学）的字尾相同，因此曾使不少人将仿生学理解为“Biology”（生物学）与“Electronics”的复合字，曾一度译为“生物电子学”，这是不恰当的。斯梯尔给予仿生学的定义为“仿生学是模仿生物系统的原理来建造技术系统，或者使人造技术系统具有或类似于生物系统特征的科学”。简而言之，仿生学就是模仿生物的科学。确切地说：仿生学是研究生物系统的结构、性质、功能、能量转换、信息控制等各种优异的特性，并把它们应用到技术系统，改善自己的技术工程设备，并创造出新的工艺过程、建筑构型、自动化装置等技术系统的综合性的科学。从生物学的角度来说，仿生学属于“应用生物学”的一个分支。从工程技术方面来看，仿生学是根据对生物系统的研究，为设计和建造新的技术设备提供了新原理、新方法和新途径。仿生学的光荣使命就是为人类提供最可靠、最灵活、最高效、高经济的接近于生物系统的技术系统，为人类造福。

内容丰富的仿生学

仿生学是生物学、数学和工程技术学互相渗透而结合成的一门新兴的边缘学科，它的研究内容是极其丰富多彩的，因为生物界本身就包含着成百万的种类，它们具有各种优异的

结构和功能供各行各业来研究。自从仿生学问世以来的二十年内,仿生学的研究得到迅速的发展,而且取得了很大的成果。就其研究范围可包括电子仿生、机械仿生、建筑仿生、化学仿生等。随着仿生学研究工作的深入开展,自然而然地出现了仿生学的各种分支。截至目前为止,仿生学大致已具有以下五个分支:

1. 信息仿生 {
 - 感觉器官仿生
 - 智能仿生
 - 信息存储及动物通讯
2. 控制仿生 {
 - 运动控制
 - 动物定向与导航
 - 人—计算机系统
3. 医学仿生

随着现代工程技术的发展,学科分支越来越多,在仿生学中相应地开展对口的技术仿生研究。例如:航海部门对水生动物运动的流体力学的研究;航天部门对鸟类、昆虫飞行的模拟、动物的定向与导航的研究;工程建筑对生物力学的模拟;无线电技术对于神经细胞、感觉器官和神经网络的模拟;计算机技术对于脑的模拟以及人工智能的研究等。在第一届仿生学会议上发表的比较典型的课题有:“人造神经元有什么优点?”,“设计生物计算机中的问题”,“用机器识别图像”,“学习的机器”等。可以看出是以电子仿生的研究比较广泛,即动物的感觉器官、神经元、神经系统的整合作用。以后在机械仿生和化学仿生方面也随之开展起来,近些年来又出现新的分支,

如人体仿生学、分子仿生学和宇宙仿生学等。

总之,仿生学的研究内容,从模拟微观世界的分子仿生学到宏观的宇宙仿生学包括了何等宽广的天地。而当今的科学技术还是处在一个各种自然科学高度综合和互相交叉、渗透的新时代,仿生学通过模拟的方法把对生命的研究和生产实践结合起来,同时对生物学的发展也产生了极大的推动作用。在其他学科的渗透和影响下,使生物科学的研究在方法上发生了根本的变革。在内容上也从描述和分析的水平向着精确和定量的方向深化。生物科学的发展又是以仿生学为渠道向各种自然科学和技术科学输送宝贵的资料和丰富的营养,加速科学的发展。因此仿生学的科研实践显示出无限的生命力,它的发展和成就将为我国科技的发展作出巨大的贡献。

如何模仿生命

在第一届仿生学会议上为仿生学确定了一个有趣而形象的标志:一个巨大的积分符号,把解剖刀和电烙铁“积分”在一起。这个符号的含意不仅显示出仿生学的组成,而且也概括地表达了仿生学的研究途径。仿生学的任务就是要研究生物系统的优异能力及产生的原理,并把它模式化,然后应用这些原理去设计和制造新的技术设备。仿生学的主要研究方法就是提出模型,进行模拟。其研究程序大致有以下三个阶段:

首先是对生物原型的研究。根据生产实际提出的技术问题,选择性地研究生物体的某些结构和功能,在此基础上,将

研究所得的生物资料予以简化,吸收对技术要求有益的内容,取消与生产技术要求无关的因素,得到一个生物模型。第二阶段是将生物模型提供的资料进行数学分析,并使其内在的联系抽象化,用数学的语言把生物模型制造出可以在工程技术上进行实验的实物模型。当然在生物模拟的过程中,不仅仅是简单的仿生,更重要的是在仿中有创新。经过实践——认识——再实践的多次反复,才能使模拟出来的东西越来越符合生产的需要。这样模拟的结果,使最终建成的机器设备将与生物原型不同。在某些方面甚至超过原来生物模型的能力。例如今天的飞机在许多方面超过了鸟类的飞行能力,电子计算机在复杂的计算中要比人的解题能力迅速而可靠。

仿生学的基本研究方法使它在生物学的研究中表现出一个突出的特点,就是整体性。从仿生学的角度来看,它把生物体看成是一个能与内外环境进行联系和控制的复杂系统。它的任务就是要研究复杂系统内各个部分之间的相互关系以及整个系统的行为和状态。生物最基本的特性就是生物的自我更新和自我复制。它们与外界环境的关系是密不可分的。生物从环境获得物质和能量,才能进行生长和繁殖。生物从环境中接受信息,不断地调整 and 综合,才有适应和进化。长期的进化过程使生物获得结构和功能的统一,局部和整体的协调统一。仿生学要研究生物体对外界刺激(输入信息)引起反应(输出信息)之间的定量关系。即着重于数量关系上的统一性,才便于进行模拟。为达此目的,采用任何局部的分析方法都不能获得满意的效果。因此,仿生学的研究方法必须着重在整体。

八、感觉器官的模仿

感觉器官是生物体接受外界各种信息的器官,并依靠它对外界“通讯”。经过亿万年来长期进化和自然选择的结果,各种动物的感觉器官对外界的刺激都有特殊的反应,而且表现出极高的灵敏度和十分特异的本领。这些往往为人类的感觉器官所不及。地震前不少种类的动物表现出的各种前兆反应就可以说明这一点。有些鱼可以嗅出水中的浓度只有 1×10^{-11} 毫克/升的物质;另一些鱼可以感觉到梯度为 0.003 微伏/毫米的电场强度变化;响尾蛇的温度感受器是一个热敏器官,它可以测出在 0.1 秒内增加或减少 10^{-11} 卡的热量,即相当于可察觉出摄氏千分之一度的温度变化等。对于动物感觉器官的研究和模拟,将为人们提供许多新的设计思想,改善现有的计算机和自动机的输入装置,创造出性能优异的技术部件。此外,对感觉器官进行结构和功能的模拟,制造出近似的生物模型,还可为人类补装丧失的感觉器官开辟新的途径。

视觉模拟

眼睛,是动物赖以生存的重要器官。靠着眼睛,就可以看到周围的一切,就可以找到食物、逃避敌害、聚会同类,得以生

存和发展。对于人来说,眼睛是最重要,也是最完善最精巧的感觉器官。据研究,从外界进入人脑的信息至少有 90% 是来自眼睛的。人脑从外界获得的信息,不仅比耳、鼻、舌、皮肤等感觉器官的多,而且也是其他感觉器官所不能获得的。俗话说:“听景不如看景”,就是这个道理。眼睛的基本功能是感受光刺激,识别图像。外界景物的光线,通过眼的光学系统成像并投射到视网膜的感觉细胞上,感觉细胞经光化学反应,把光的刺激转换成电脉冲信号,而后经神经传到大脑,完成一个完整的视觉过程。然后再经过大脑对视觉信号的综合、分析和翻译,人和动物便“看到”了物体的形状、运动及颜色。有些生理学家认为眼睛是脑的一部分,只是为了便于看东西,才从头颅里移到外面,对人的头部胚胎发育过程所进行的研究表明,后来发展成眼睛的视囊是从前脑部分生长出来的,而前脑在发育过程中逐渐变成大脑。

动物的种类不同,眼睛的构造和视觉机能也不大相同。单就成像而言,人、脊椎动物、某些软体动物和蛛形纲动物的眼睛与照相机是十分类似的。它们的眼睛是一种“透镜眼”,也叫“照相机眼”。因为这类眼睛的成像系统——晶状体,形状和作用都像一块光学透镜,从整体来看,晶状体相当于照相机的镜头,由感觉细胞组成的视网膜相当于感光胶片。透镜眼呈球形,叫眼球,眼球能够灵活地转动。它的晶状体能够变长变薄,或变短变厚,这样就改变了曲率,使远处和近处的物体都能看清楚。

但是从整个视觉过程来说,人及脊椎等动物的眼睛与照相机却有很大的差别。眼并不是把投射到视网膜上的图像“完

整无缺”地传给大脑,而是先对图像进行信息加工,抽提出诸如线段、角度、弧度、反差运动、色度等简单特征,并将它们分别编制成神经脉冲密码传给大脑,最后经过大脑的综合,再将眼睛所见到的影像复原,即产生视觉。

另外,还有一些动物,像甲虫、蜜蜂、苍蝇、蜻蜓、萤火虫、虾、蟹等节肢动物,它们的眼睛别具一格。这些动物的长在头部两侧的眼睛,没有眼球,而呈半球形,也不能转动,它们是靠整个头部的转动而使眼睛朝向物体的。更特别的是,它们的每只眼睛竟是由几十、几百以至成千上万只小眼组成的。例如,一种萤火虫的眼睛中有四千多只小眼,而一种蜻蜓则有两万八千只小眼。这些小眼的表面呈六边形或四边形,都自成体系,都有自己的成像系统和感觉细胞。在生物学中,把这类由许许多多小眼组合成的眼睛叫做“复眼”。生有复眼的动物,都是一些比较小的动物,但复眼的大小占身体的比例,要比大动物的透镜占身体的比例大得多。

复眼的构造,尤其是复眼成像系统(由“角膜晶体”和“晶锥”构成)的光学特性,要比晶状体复杂得多。复眼的机能特点,它对视觉信息的加工方式,与透镜眼比起来都有它的独到之处。这些我们将在后面做详细介绍。

除这些眼以外,特别的还有蛙眼、鱼眼等,都有各种不同的特点,使我们人类能够研究,并加以利用,最终造福于人类。

反应迅速的蛙眼

蛙眼，凸凸地长在青蛙的头上，它是青蛙赖以在地球上生存两百万年之久的一个重要器官。

你瞧，池塘边上蹲着一只青蛙，一动也不动。它那凸眼凝视着远方，仿佛沉醉于幻想之中。在它眼前的禾杆上停着一只蛾子，它竟熟视无睹。人们常被青蛙这种泰然自若的假象所迷惑。其实它却像卷紧的发条那样紧张，随时准备“蹦”向飞虫，或躲避敌害。看，那只蛾子刚一展翅起飞，青蛙就以迅雷不及掩耳之势，向上猛地一跳，张开大口，翻出舌尖，一下子粘住蛾子，“勾”进嘴里。眼快腿快嘴快，真叫人佩服得五体投地。

与人一样，青蛙主要通过眼睛获得关于周围世界的信息。由于蛙眼构造不太复杂，而且与脑子的神经联系也比较简单，整个信息加工系统仅由视网膜和顶盖组成，所以人们往往把它作为研究对象。

实验者用外科手术将蛙眼通过脑子的视神经暴露出来，分离出其中一根神经纤维。将比头发还细的微电极插在上面，用导线把微电极与示波器和扬声器联系起来，使得沿神经传导的电信号不仅可以“看见”，而且可以“听到”。

在进行实验时，把一个小的黑色立方体置于屏上，此时，扬声器缄默无声，示波器荧光屏上也没有信号出现。甚至当借助磁铁使立方体沿屏移动时，蛙也没有反应。当立方体代之以小圆形体时，它同样表现出漠不关心的样子。但当圆形体刚开

始沿屏移动时,蛙就对其跟踪不舍。此时,扬声器获得一系列脉冲,发出一阵阵“普特特—普特特”的声响;示波器屏上也有信号出现。甚至换上微呈圆形轮廓的极小物体沿屏移动时,神经纤维也发放脉冲。物体越圆,蛙眼所起的反应也越大。此外,物体的急速和突然的运动,较之沿屏平稳和均匀的运动,能在视神经中激起更多的脉冲。

对于青蛙来说,“前端圆圆的、快速移动着的物体”意味着什么呢?答案只有一个:“昆虫!”而什么样的昆虫最理想呢?当然是苍蝇——青蛙喜欢吃的食物。因此,研究者们将这类的视神经纤维恰如其分地叫做“昆虫检测器”。这个称呼是毫不夸张的。要知道,青蛙只有在昆虫运动的情况下才能袭击它们。苍蝇即使与青蛙并排呆着,也绝不会引起青蛙的注意。但是,只要苍蝇一动弹,就有立即陷入蛙腹之险。所以,蛙即使蹲在死蝇堆里,也有饿死的可能。

蛙眼具有怎样的结构特点,因而使它有了这奇异的本领了?科学工作者们经过深入地研究,发现蛙眼具有四类感觉细胞,即四种“检测器”,它们分别负责辨认、抽取视网膜图像的不同特征。这样,就把一个复杂的图像分解成了几种易于辨认的特征,同时传送到大脑的视中枢——视顶盖。在视顶盖,视神经细胞按自上而下的顺序也分成四层:上层的“反差变化检测器”神经元,抽取图像的暗前缘和后缘;其次是“运动凸边检测器”,检测朝视野中心运动的暗凸边;再下面是抽取静止和运动图像边缘的“边缘检测器”;最下层的“变暗检测器”抽取运动图像暗前缘。每一层都产生图像的一种特征,这四层里的特征叠加在一起,经过综合,青蛙便看到了原来的完整图像。

根据蛙眼的视觉原理,借助于电子技术,人们制成了多种“蛙眼电子模型”。其中最简单的是所谓“昆虫检测器”的模型。它是一个由7个光电管组成的阵列及一个人造神经元构成的。当受到光照时,外周的6个光电管向人造神经元提供正的兴奋输入,中心光电管则提供负的抑制输入。当一个小圆盘作为运动物体(模仿苍蝇)向光电管阵列(模仿蛙眼)运动时,其阴影如果只遮住一个外周光电管,人造神经元的总输入就是负的(受到抑制),此时人造神经元输出为零(即蛙无反应);待小圆盘运动到中央位置而遮住中心光电管量,向神经元提供的输入信号的总和为正,人造神经元的输出最大,发生“兴奋”(青蛙蹦向目标)。这一装置可用于“中心对准装置”的控制线路里:只有当中心对准时,系统的输出才达到最大值。

蛙眼电子模型还可以像真蛙眼那样,准确无误地识别出特定形状的物体。这种图像识别能力是雷达系统所需要的。雷达工作时,往往受到各种干扰,使显示屏上的影像看不清楚。依据蛙眼分别抽取图像特征的工作原理而改进的雷达系统,能够在显示屏上清晰地从强背景噪声中分出目标来,因而提高了雷达的抗干扰能力。这种雷达系统也能快速而准确地识别出具有特定形状的飞机、舰船、导弹等,特别是能够根据导弹的飞行特性,将真假导弹区分开来,从而不被作为诱饵的假导弹所迷惑。它还可以有效地把预定要搜索的目标与其他物体分开,特别是把目标与背景分开。

模仿蛙眼的工作原理,制成了另一种“电子蛙眼图像识别机”,它可以成为机场飞行调度员的出色助手。这种装置可以监视飞机的起飞与降落、班机是否按时到达。若发现飞机将要

发生碰撞,能及时发出警报,防止相撞。在这个模型的基础上,人们又研制成功一种“人造卫星自反差跟踪系统”。这真是:青蛙跟踪空中的飞蝇,电子蛙眼跟踪天上的卫星。

模拟蛙眼的自动机比电子计算机优越得多。计算机只“懂”得自己特有的语言,这样,输给计算机的信息首先必须译成机器语言,再以一定的方式送给机器。因此,尽管机器本身的工作速度很快,但整个工作过程相对说来是慢的,而且容易出现错误。与此相反,蛙眼自动机利用的是视觉信息,送给它的信息不需要译成特殊语言,它几乎立即就能进行信息加工。所以,电子蛙眼不同于数字和模拟计算机,能立即接收图像,直接进行工作,并找出其中的意义——实现图像的识别。

感觉敏锐的热眼

人们常常惊叹猫头鹰灵敏的视觉,因为它能在漆黑的夜晚捕捉鼠类,一夜的捕获量竟达几十只之多!蛇与猫头鹰一样,也能在黑夜进行捕食。不过它们不是利用视觉。比如响尾蛇,蛇眼虽然又圆又亮,但炯而无神,视力很差,加上夜间漆黑一团,蛇是看不到东西的。然而,田鼠千真万确是被蛇发现后捕捉到的,只不过响尾蛇是靠它的“热感受器”来发现田鼠的。田鼠、小鸟和青蛙等小动物都会散发出一定的热量。有热量,就有一种人眼看不见的光线——红外线。热量不断,这种红外线就不停地向四面八方辐射出去。蛇的热感受器接收到这些红外线之后,就可以判断出这些小动物的位置而一举把它捕

获。所以，人们就把蛇的热感受器叫做“热眼”。

响尾蛇和蝮蛇一类的蛇，它们的“热眼”都长在眼睛和鼻孔之间叫颊窝的地方。颊窝一般深五毫米，只有一粒米那么长。这个颊窝是个喇叭形，喇叭口斜向朝前，其间被一片薄膜分成内外两个部分。里面的部分有一个细管与外界相通，所以里面的温度和蛇所在周围环境的温度是一样的。而外面的那部分运动却是个热收集器，喇叭口所对的方向如果有热的物体，红外线就经过这里照射到薄膜的外侧一面。显然这要比薄膜内侧一面的温度高，布满在薄膜上的神经末梢就感觉到了温差，并产生生物电流，传给蛇的大脑。蛇知道了前方什么位置有热的物体，要验证这一点很容易，在动物园里你把一块烧到一定热度的铁块放到蛇的附近，蛇会马上去袭击这块铁的。

实验告诉我们，蛇的“热眼”对波长为 0.01 毫米的红外线的反应最灵敏、最强烈，而田鼠等小动物身体发出的红外线的波长正好是在 0.01 毫米左右，所以蛇很容易发现和逮着它们，哪怕在伸手不见五指的黑夜。

实际上，人创造的红外检测器要比蛇的灵敏几十万倍。那么，研究蛇的“热眼”就完全没有意义了吗？这个结论下得未免有些过早。第一，蛇的热定位器尽管体积很小，但与人造仪器相比却有精确的方向性。在蛇“热眼”里，1 平方毫米的感受表面就有 1000 个接受元件，比最小型化的仪器还要多几百倍。第二，虽然说这种定位器没有人造的灵敏，但不要忘记在它和脑神经之间没有任何放大器。有趣的是，若能揭示响尾蛇将热能转变为电化能的全部奥秘，我们就能设计不带放大器的“蛇眼”型红外线定位器。这种定位器将比蛇的定位器有更大

的优点。

蛇的“热眼”给军事科学家们很大的启示。经过研究仿制响尾蛇导弹问世了。这种导弹装有“热眼”——红外线自动跟踪的制导系统。一旦发射上天,它专门寻找喷气式飞机尾部喷出来的热气流中的红外线,飞机拐弯,热气流拐弯,导弹上的“热眼”也就自动追着热气流拐弯,直到撞上目标而爆炸。可是这种导弹只认热气流而不认飞机,不辨敌我,有时,可能出现误伤我方飞机的情况。

现在,这种响尾蛇导弹的威力更大了。由于使用了新的光学和电子设备,“热眼”的灵敏度,比响尾蛇要高出几十万倍。它能敏锐地“看见”发动机尾喷气管喷出高温热气流的红外辐射,还可以“看见”喷出的二氧化碳废气的红外辐射(在6千米以内的目标);还可以判断出是真正的目标还是干扰的信号,从而自动地锁住目标,使目标无法逃脱被歼的命运。正因为如此,有人叫它是“魔术导弹”。

目前,“热眼”的应用也越来越广泛了。把它装在飞机上或者人造卫星上,可以及时发现森林火灾,还可以监视地震,监视火山爆发。因为“热眼”看到的是红外线,各种不同的物体反射和辐射的红外线不同,绿色的森林辐射的是某一种波长的红外线,而正在燃烧的大火是另一种波长的红外线,灵敏的“热眼”一眼就可以发现。地震之前,地壳内部的温度发生变化,有些“热眼”能把地面各部分温度变化的情况尽收眼底,帮助人们预报地震和预报火山爆发。还有的“热眼”可以用于军事侦察,可以识破敌人的各种伪装,发现敌方军事目标;可以感觉到海水 0.1°C 的变化,从而发现海面下四十米深处所隐

藏的潜水艇。

明察秋毫的鸽眼

鸽翔千里，蜂鸟悬空，河乌潜引。鸟类的生活方式要求它们的感觉器官小巧、灵敏。蜂鸟的眼睛虽小（整个鸟也只有1.8—8克重），但却具有完美的光学系统的一切优点，迄今技术中尚无相应的模仿品。河乌和隼的眼睛的分辨本领也是很高的。在这方面，鸟类超过了其他动物。

鸽子也有一双神目。它能在人眼不及的距离上发现飞翔的鹰，并能区分吃腐肉的兀鹰和食活物的鹰。这种“一夫一妻制”的鸟，能从几百只鸽子中认出自己的配偶。在长期离巢后，一旦返回故居，它能从许多鸟巢中认出自己的巢。如果已年久失修，它还会找来适当的材料进行修理。

鸽子的眼神如此敏锐，怪不得一家制药厂特地委派它为“检验员”呢！它们把鸽子笼放在传送带旁，让小药盒依次通过鸽眼前，每当鸽子啄出包装不合格的药盒时，都给予食物以资“奖励”。这样训练几天后，再把鸽子放在传送带旁边，它便迅速地把废品挑捡出来，甚至连很小的包装缺陷也不放过。

仿生学家们已经研究明白，鸽眼的这些本领是因为它的视网膜上有六种类型的神经节细胞，有的管亮度，有的管普通边，有的管凸边，有的管方向边，有的管垂直边，有的管水平边，分工明确，各负其责，互不干扰。作为废品检验员的鸽子，只不过利用了管方向边的那一类神经节细胞的作用。什么叫

方向边呢？就是朝着某个固定方向运动的物体全部边缘。这类神经节细胞对外界环境的光线强弱、物体的颜色都“熟视无睹”，不发生反应，只看到向某一固定方向运动的物体的边缘，而向另一个方向运动的物体边缘则不发生反应。传送带上的药盒总是朝着一个固定的方向运动的，所以，在鸽子眼里，药盒的好坏当然是看得既快又准确。

根据鸽眼的构造原理，已经模拟出电子鸽眼了。起先研制成功的模型由一百四十五个光电元件和五十个人造神经元组成，可以发现运动着的斑点和一定取向的边缘。为了研制检测单方向运动物体的指示器，科学家们把模型扩大，使它的感受域扩大到两百个光电管，神经“细胞”增加到一百七十五个。当然，它跟真实的鸽眼相比，还差“十万八千里”。要知道，鸽眼视网膜内有一百多万个神经元。

鸽眼的电子模型有助于图像辨认方面的研究。利用鸽眼发现定向运动的性质，可以装备一种警戒雷达，布置在国境线上或机场边缘，它只“监视”飞进来的飞机或导弹，而对飞出去的却“视而不见”。此外，电子鸽眼还可以应用于电子计算机系统，使计算机自动消去对解题无关的所有数据。

高空侦察的鹰眼

俗话说，“道高一尺，魔高一丈”。仿生学里还有比鸽眼更高明的电光鹰眼系统，简直可以称为“魔眼”，哪怕是离它两三千米远的目标，都可以看清楚。

“电光鹰眼”一听名字便可猜出一定是模仿老鹰的眼睛制造出来的。的确如此。老鹰的眼睛可不简单。老鹰常常飞在两三千米的高空，两眼虎视眈眈地扫视着地面，几十平方公里以内的景物它都看得一清二楚。它可以从许多相对运动着的景物中区别出哪些是自己可吃的食物，如兔子、野雉之类。你们可以想象一下，在两三千米的高空，对于人眼来说，一只兔子比蚂蚁还要小，何况它还在不停地快速运动。为何唯独老鹰可以判断无误地俯冲下来，用锋利的两爪直取狡兔呢？这是因为鹰眼具有特殊结构的缘故。

与人的视网膜不同，鹰眼有两个中央凹：正中央凹和侧中央凹。前者能敏锐地发现前侧视野里的物体，后者则接收鹰头前面的物体像，在鹰头前方有最敏锐的双眼视觉区，系由两个侧中央凹的视野交盖而成。这样鹰眼的视野便近似球形。在大部分视网膜上能得到聚焦好的像。鹰眼中央凹的光感受器——视锥细胞的密度高达每平方毫米一百万个左右。而人眼只有十四点七万。由于动物视网膜的分辨率在理论分析上，正等于光感受器密度的平方根，所以鹰眼约比人眼敏锐 1—2 倍。鹰眼的瞳孔直径为人眼瞳孔直径（3 毫米）的 2 倍左右。在一定范围内，瞳孔越大，分辨率越高，从这一点来说鹰眼也要比人眼灵敏。同时，鹰也和别的鸟一样，眼内有梳状突起，它是从视神经进入点突入眼后室的特殊折叠结构。其功能可能是减弱眼内的散射光，使视像清晰，或起滤光器的作用，以减低光感受器接受的光强，使得在不缩小瞳孔直径的情况下，既不晃眼又能达到高的灵敏度。此外，鹰眼还具有对运动目标敏感、调节迅速等特点，其滤色系统也有助于识别目标。

正由于以上这些特点，鹰眼具备了在空中能够迅速而又准确地发现、识别地面目标，并判断出目标的运动方向、速度大小的能力。这种能力对于空军驾驶员来说简直是太重要了。新的飞行员最感困难的就是无法迅速而准确地发现地面目标。即使是经验丰富的老飞行员，单凭眼睛来发现和识别目标也是困难的。因为人的眼睛的视野和灵敏度都有限，飞得越高越看不清楚，飞得越快越来不及分辨地面的景物。

人们曾经想依靠雷达来解决。可是雷达发射的是无线电波，靠地面目标反射回来的无线电波来显示图像，分辨物体，往往分辨率很差。所以，人们就渴望用可见光波来代替无线电波显示目标图像。

人类求助于生物界，向鹰眼学习，于是制造出一种电光鹰眼系统。这是一种对地面的视野所受限制小，视敏度很高的电子光学观测装置。它带着装有望远镜的电视摄像机，同时配备显像用的电视屏。飞行员在高空飞行时，只要盯住电视屏，就可以看到飞机下宽阔的视野中的所有物体，就像老鹰在高空扫视地面一样。一旦发现可疑目标，使用望远镜放大，形成光学图像，由摄像机拍摄下来，然后在电视屏上显示出同实物一样的图像来，供飞行员分析。电光鹰眼这种搜索目标的能力，是模仿鹰眼视网膜外周的低分辨率、宽视野的本领；放大和分辨目标的能力是模仿鹰眼视网膜的中央凹的窄视野、高分辨率的本领。“电光鹰眼”成了飞行员的得力“助手”。飞行员还可以把“电光鹰眼”接收到的图像信号发送到地面，指挥员不用上天就可以及时掌握第一手情报了。

如果把电光鹰眼系统装置在空对地导弹上，导弹几乎可

以百发百中。要是我们怀疑某区域有我军的打击目标,就把这种导弹发射到该区域上空,它就能像老鹰抓兔子那样,自己寻找目标,识别后自动跟踪,直至击中目标。因为通过电光鹰眼的电视摄像机,飞行员可以寻找目标,操纵导弹,对准攻击目标直至击中。这样,飞机不用飞临攻击区域的上空,就避免了对对方制空火力的攻击,因而大大减少伤亡。

这种“电光鹰眼”系统得到的图像还可以保存在录像带上,以后可以多次在电视屏上显示,以供分析研究。

眼观六路的鱼眼

前面说的几种动物眼睛都只能看到眼睛前方的景物,也就是说视野较小,像场角比较小,而鱼眼却能“眼观六路”,前后左右都能看得见。

你看,下图是美国费城市政厅庭院的情景。这张图是仿照《美国概况》上发表的一张照片画出来的。从图上可以看出,原照片把这个院子四面的楼房和正在走路的人都拍了下来,天空在照片的中间,房顶和人头都朝向中间,房基和人脚都照向四周。这么一张奇特的照片同我们常规的视觉习惯很不一致。原来它是用鱼目镜头照相机拍摄的。显然,以照片的中心点作为坐标原点,就可以测量出来所摄景物的方位角,并按比例尺算上景物的距离。那张照片是把相机仰放,镜头朝上拍摄而得的。如果用普通照相机也这样拍摄的话,只能摄得天空几朵白云而已。

鱼目镜头是仿照鱼的眼睛结构来制造的。鱼在水中看东西时,眼的像场角很大,可达二百二十度,不仅可以看到面前一百八十度内的景物,还可以“拐弯”,看到两侧往后的一些景物。

现在这种鱼目镜头照相机已经使用在飞机和人造卫星上了。在高空用一般相机拍摄地面照片,像场角不过五六十度,改用鱼目镜头相机,像场角扩大三四倍,可以拍摄几十平方公里面积的景物。不仅费用低、效率快,而且可以测量景物的方位角和距离,在军事上,是有很高价值的。

其实,鱼眼的高明处还不仅这一点,还在于它的视觉和运动系统的协调达到了相当完美的程度。

如果把快速拍摄下来的鱼吃食物的一段影片,用慢镜头放映出来,就可看见:鱼在发现食物后,鱼眼马上就快速运动着向目标瞄准,接着就是胸鳍和腹鳍开始摆动,身体也转向目标,再摆动尾巴,从量短的路途向目标快速接近,上下颌一啣,食物便进入鱼腹了。所有这一切都发生在一眨眼的工夫,几乎是“同时”发生的。鱼是怎样使自己的视觉和运动系统达到如此协调的地步呢?动物学家们花费了几十年的心血,终于发现:指挥鱼的精巧协同动作的指挥部就设在脑干前部视顶盖的下方。“指挥官”是几十个网状细胞,每个网状细胞与几万根次级感觉神经元连接。这些感觉神经元,有的来自听觉系统,有的来自视顶盖(即视觉系统),有的来自前庭器官,鱼靠这些部门的情报来判断情况。网状细胞得到这些“情报”之后,就会发生“指令”,让运动系统采取适当的动作来协调。

网状细胞可以收集整个鱼眼视野中的信息,并指挥眼肌

瞄向目标,同时指挥运动系统。这种根据环境的变化,能够独立地作出判断并作出适应环境变化决定的能力,早已为仿生学家们看中了,这种能力在军事上非常重要。要是一只潜艇上装上这么一只自动机,那么潜水人员就不用担心会遭到敌人的袭击了。要是在宇宙航行中,在人造卫星或行星探测器上,也装上这种自动机,不是可以不费力地去进行宇宙考察了吗?这种自动机虽然现在还没有造出来,将来是会造出来的。

多如牛毛的虫眼

昆虫如苍蝇、蜻蜓、螳螂之类,它们的眼睛是由小眼组成的,小眼的数目可达成千上万只,多如牛毛,蜂窝般地连在一起,一只小小的蜻蜓,它的一只复眼竟然由两万八千只小眼组成。这些小眼都自成系统,是独立的视觉单位,都有自己的屈光系统和感觉细胞,都能看见东西。这些小眼虽然空间分辨率比不上人眼,但却具有很高的时间分辨率,甚至还是特别的速度计。

下面我们来观察一下螳螂捕虫,就知道复眼的妙用了。

夏天,在树荫草丛中,隐蔽着浑身绿装的螳螂。它两只锯齿形的大前臂,放在胸前,好像是合掌念经的和尚一样,一动不动地呆在那里。突然一只小蛾子从螳螂面前飞过,只见螳螂凶相毕露,前臂猛然一击,就把蛾子一举捕获。这个过程非常短,只有二十分之一秒。螳螂是凭借什么器官在极短的时间里把目标的大小、飞行方向和速度等情况报告给大脑的呢?就是

它那特有的复眼和本体感受器。

螳螂的复眼是由几千个视觉单位(小眼)组成的,小眼的中心轴互成一至三度的角,一个一个连在一起,组成了一个蜜蜂窝一样的半球状视野。当昆虫在空中飞行时,地面上景物的景像在复眼里急速地移动,但是每一个小眼看到的不是景物的连续运动,而是一个一个的单镜头,因为运动的景物从一个小眼到另一个小眼,留下的影像就好像电影胶片上那一个一个单镜头一样。运动的物体由各个小眼轮流感觉它,就是在时间上先后分辨物体的运动,大脑自然可以感知物体的运动速度了。电影片是由许多单个镜头构成的,如果每秒钟放映 25 幅画面,我们就感觉是连续动作了;但要有复眼的昆虫感到是连续动作,每秒钟要映出几百个镜头才行。复眼的时间分辨本领是很高的:物体摆在眼前 0.05 秒才能看清轮廓,而苍蝇或蜜蜂只要 0.01 秒就够了。因此,对人来说只不过是一晃而过的运动物体,而蝇子则可能已辨别出其形状和大小了。

螳螂的另一个测速器官就是位于颈部的本体感受器,它是由两组数百根弹性纤维组成的感受垫。当螳螂的复眼跟踪飞虫时,把头转向右边,则右感觉垫的纤维被压弯。头部旋转的角度越大,被压弯的弹性纤维就越多。相应的左感受垫里就有同样根数的纤维伸直了。这些弹性纤维通过感觉细胞在大脑中形成不同的兴奋信号,而不同兴奋信号的差别总是和头部旋转的角度相对应的。就是说,旋转的角度有多大,兴奋的差别总是一个固定的数。同样,大脑得到这么一个固定的信号,就知道旋转了多大的角度,于是也就测出了运动物体的速度。

现在,模仿昆虫复眼制造的速度计已经安装在飞机上了,用来测量飞机相对于地面的速度。两个成一定角度的光电接受器,顺序地接受地面上同一目标发来的光学信号,这样将接收到的两个信号的夹角、时间差、飞机的飞行高度等数据送入计算机计算,就可以得出飞机相对于地面的速度。飞机有了这种“眼睛”,在进行着陆时就比较稳当,既不会因飞得太慢而失速,也不会因飞得太快而过头。

这种速度计也可以测量出火箭攻击各种目标时相对于目标的速度,以提高命中率。

有人通过苍蝇的复眼照相,一次拍得几千张重复的照片。现已模仿蝇眼制成了一种新的照相机——“蝇眼”照相机。其镜头由 1329 块小镜头粘合而成,一次可拍摄 1329 张照片,一厘米宽的地方通过四千条细线它也能分辨开来。这种照相机可以用来大量复制电子计算机精细的显微电路。

有些昆虫的眼睛不仅能感受可见光,而且能够感受我们人眼看不见的光线。现已查明,蜜蜂、蝇类、蚂蚁和蝴蝶等都可以清楚地看见紫外线。许多夜间活动的昆虫还能发射“紫外雷达”来探索周围的环境。在昆虫的眼中已经发现了对紫外光敏感的视色素,这更进一步证明了昆虫能看见紫外线。实践表明,紫外线对一些昆虫有很大的诱惑力。我国农村曾用“黑光灯”(发出紫外光)诱杀害虫,收到显著成效。同时,因为人看不见紫外线,热敏元件又探查不到它,因而具有很好的隐蔽性,研究和模仿昆虫的“紫外眼”也就具有一定的军事意义。

此外,人们发现昆虫眼睛的角膜不是平滑的,上面覆盖着大量高约 0.25mm 的小结。而大多数光学仪器由于透镜光

滑表面对光的反射,效率受到一定的影响。因此,看来昆虫眼表面比光学仪器用的特殊覆盖层更为有效。揭示昆虫眼角膜的结构和功能,可为人造透镜制造出更好的覆盖层,也可作为设计弱反射表面的微波仪器的借鉴。

棋高一着的鲎眼

C₁₁型摄像机,即鲎眼电视摄像机,是仿生学家们模仿鲎的眼睛制造出来的。

鲎是一种节肢动物,在我国东南沿海,北自浙江省的宁波,南至广东省的汕头,都有这种动物,人称“中国鲎”。这种动物是自然界真正的奇迹,早在四亿多年前,在硕大无比的恐龙尚未崛起,古代海洋中的首批鱼类还没出现之前,它就已经存在了。但尽管漫长的岁月流逝,鲎在进化上的变化却不大,故有“活化石”之称。它的模样很古怪,有点像蟹类,又和蜘蛛、蝎子是近亲,长着坚硬的马蹄形甲壳和剑形长尾巴,所以俗称“马蹄蟹”。

它的眼睛比它的模样还要怪。鲎有四只眼睛,前面的是两只小眼,直径只有 0.5 毫米左右,但都有自己的晶状体和视网膜,视网膜中有 50—80 个感光细胞。它们对近紫外辐射最敏感,但在刺激停止后,小眼的反应很快降为零。因此,人们认为这种小眼是感受紫外线突然增多的感受器。对鲎的行为影响最大的是它两侧的复眼。鲎眼电视摄像机就是仿照复眼的构造来制造的。

鲎的一只复眼是由 1000 只小眼组成的。这些小眼相互之间由侧向神经联系在一起,当一个小眼受到光照而产生神经兴奋时,周围的小眼便受到抑制。就是说,周围这些小眼对光的刺激的反应要比正常情况下兴奋性减低,发生的神经脉冲减少,这种现象叫侧抑制作用。这种特殊的作用,可以把眼睛接受到的视觉信号抽出加工,增强物体边缘影像的反差,省去了所看到的物体的细节而突出图像的轮廓,从而使图像看起来更加清晰。

必须指出,在鲎眼里发现的侧抑制作用是普遍存在的规律,就是人的眼睛也具有侧抑制作用,因为人眼虽然不是复眼,但视网膜内的神经和鲎眼神经一样存在着神经网络,可以产生侧抑制作用。这个在近 30 年才搞清楚的生物机制,艺术家们在几百年前就已经知识应用了。中国的水墨画是用得最好最早的,比如一张明月的夜风景画,画家用淡墨绘出夜空和云彩。留出一个圆形的白色空间,虽没有用线勾出月亮的轮廓,却给人一轮皎洁明月之感。这就是略去细节而突出边框的侧抑制作用造成的效果。人们在观察物体时,眼睛并不把看到的全部景物的信号送往大脑,只是把经过加工的主要信息送给大脑。由于人眼的侧抑制作用,物体的轮廓部分得到了加强。长期以来,人脑已经习惯于接受这种加工之后的图形,把轮廓看成是物体的主要信息,看到轮廓,就宛如感知了物体的全部。

同样,鲎眼电视机给人提供的也是一种清晰的轮廓图像,而人眼看上去却等于看到了景物的全部实体。现在的鲎眼电视机得到了比较广泛的应用。用它可以把模糊不清的 X 光照

片看得更清楚。用它来进行航空摄影,照片上的图像十分清晰,即使是拍摄火星或月球表面的照片,也可以用它来加工成轮廓清晰的图像。类似鹰眼的功能的电子系统还被用于提高雷达的显示灵敏度,即使在微弱的光线下,也可以提供清晰度较高的影像。

结构完善的人眼

前面我们介绍了很多种高明的眼睛,模仿这些眼睛制造出来的仪器设备给我们帮了大忙。但是,它们有一个共同弱点,就是本领太单一,只有那么一种能耐。从多种性能来看,生物界最完善最精巧的眼睛还是人的眼睛。人眼可以确定看到的目标的深度、距离、物体的相对形状和大小,以及其他一系列参量。

人眼是人最重要的感觉器官。虽说人有六类感觉,一为视觉,二为听觉,三为嗅觉,四为触觉,五为味觉,以及对于疼痛、冷热、振动、平衡、饥饿、口渴等感觉的第六类感觉,但是人的大脑所接受到的外界信息,百分之九十以上是通过眼睛的视觉得来的。其实,人眼本来是大脑的一部分,只是为了便于看东西,才从大脑壳里移到了外面。我们在前面已经有了这方面的认识。

同时,我们已经知道了眼睛并不是“完整无缺”地传送全部信息,而是经过特征抽取之后,经大脑的综合,产生视觉。

人眼视网膜对光线的适应性很强,无论是在黑暗的室内

或者在强烈的太阳光下都可以进行工作。在黑暗中已经适应了的人眼,能够感受五到十四个光量子的光能。这是多大能量的光能呢,它只有亿亿分之一(10^{-17})焦耳。要使技术装置达到人眼的灵敏度,需要在液氮的极低温度下,即周围的热噪声几乎等于零的条件下才能做到。人眼可以分辨一万九千种不同的色调,这是任何技术装置望尘莫及的;人眼可以一目了然地看到视野内的景物,而现代光学图像识别装置大多数是进行机械扫描而获得景物的信息。所以,模仿人眼来创造的仪器,将意味着测量技术的革命。

人眼是生命界最完善的眼睛,它能确定深度、距离、物体的相对形状和大小,以及一系列其他参量。生理学和心理学专家们大致查明了眼睛是怎样感受和估量这些参量的,而数学家和工程学方面的专家们则把这些研究成果“翻译”成数学语言,并进而创造了“人造眼”。这种人造眼用光导摄像管模仿眼睛的某些功能,如接收物像、进行测量并传递信息。安装在自动车上的人造眼,能判明障碍,并改变小车的行进方向以避免碰撞。这一装置的进一步完善可安装在飞往月球和其他行星的无人驾驶航天飞船上。当这艘飞船抵达目的地时,这种电子眼可以自己选择最适宜的着陆地点。如果把它安装在自动行驶的探险车上,可在人迹从未到过的地方长途巡行。人们还在研究人的空间视觉,以创造一种景深自动测量仪,用来分析航空照片,或自动绘制立体地形图。

除此之外,现在已有一种探测器,是模仿人眼视网膜制成的,它不需要进行机械扫描,能连续盯住整个视野,所以叫做“凝视”探测设备。在跟踪多个目标的同时,它还能搜索其他一

些目标。因此,这种探测设备会有重要的军事应用,如探测和跟踪导弹或对付激光制导的武器。这种探测设备的分辨率和灵敏度都很高,由于没有机械扫描探测设备的运动部分,可靠性也大为提高,这就为今后研制非扫描探测装置开辟了新的途径。

听觉的模拟

眼明查秋毫,耳聪探微音。听觉与视觉一样,也是很重要的高级感觉。人的耳朵是异常灵敏的声音接收器。我们刚能听到的最微弱的声音,对耳膜造成的压强只有 2.9×10^{-4} 达因/厘米²,接近空气分子不规则运动的“热噪声”的压强。这个压强只相当于标准大气压的一百亿分之三!

人耳是仅次于眼睛的重要器官。人和动物的耳朵是一个换能器,可以将声能转变为电化学能,以刺激神经引起听觉。听觉系统的研究和模拟,目前已集中到语言的自动识别领域,这是研制语言翻译机、语音打字机、声控机和人—计算机“对话”以及改善通信系统的需要。但是从目前的水平来看,这些装置与人的听觉相比较要相形见拙得多了。

下面我们简单了解一下生物的听觉机制。

耳分为外耳、中耳和内耳三部分。外耳包括耳廓和外耳道。外耳和中耳是把外界的声音传送给内耳中的转换器的装置。外耳起集音作用,然后把声音传给中耳。某些动物的眼睛有趋光现象,也有一些动物的耳朵有趋声现象。例如兔和狗,

它们的耳廓会随着音源的移动而转动,以便最大限度地搜集声波。外部声音进入外耳道后振动鼓膜。鼓膜的振动传导给位于中耳鼓室内的三块听小骨(锤骨、砧骨、镫骨),从而引起位于中耳与内耳边界上的卵圆窗的振动。三块听小骨是起着不使鼓膜的振动减弱的作用。

内耳中有耳蜗。耳蜗内部被基底膜和前庭膜分隔成三个部分。在这三个部分都充满着淋巴液。当卵圆窗振动时,通过前庭阶中的淋巴液传递,使前庭膜产生振动,再通过蜗管中淋巴液的传递,使基底膜也产生振动。在基底膜上的螺旋器,振动由螺旋器中的称作毛细胞的转移器检出。于是,声音信息由约三万根耳蜗神经以编码脉冲的形式传往大脑领域。

上面我们所讲的耳是指大多数较为常见的哺乳动物。如人、兔、狗、老虎、狮子、猩猩等。另外,鸟类、鱼类等的耳则与之有所不同。

鸟类是有耳无廓的。鸟类的耳一般都长在眼的后方,松散的耳羽覆盖在圆形的耳孔上。鸟类的耳由中耳和内耳组成,没有完整的外耳,更没有耳廓。只有猫头鹰、马鸡等少数鸟类有成簇的耳羽起帮助收集声波的作用。

鸟的耳孔是外耳道的雏形。有的鸟类有一个不大的漏斗形的凹陷部分,这个不大的凹陷就是外耳道的萌芽。多数鸟类鼓膜处在略微陷入皮肤的下方,夜间活动的鸟类,凹陷部分较深,又伴有皮肤褶皱膜,故增加了听觉的灵敏度。鼓膜里面是鼓室,即中耳。鸟类的中耳内只有一块听小骨,听小骨将鼓膜和耳蜗的卵圆窗连起来。鸟类的中耳同兽类一样起着传递和放大声波的作用。鸟的内耳是主要的感声器官,其耳蜗较发达,

隔膜和耳囊分开。耳蜗壁上分布有感觉细胞。声波传来,使鸟耳的鼓膜引起相同的振动,经中耳传递放大,感受给内耳,刺激感觉细胞,传输给中枢神经,产生听觉。

鱼类的耳的结构比鸟类更为简单,没有外耳,也没有中耳,只有内耳。鱼耳的构造较兽类、鸟类简单,一般鱼类的听力只及人耳的十分之一。鱼的内耳位于头骨里。内耳上面的部分叫椭圆囊,上面布满了感觉的细胞;下面的部分叫豆状囊,豆状囊后面有个突出的部分叫耳壶。豆状囊和耳壶的内壁上皆有一条条突起,听神经即分布在这上面,是鱼类的听觉中心,内耳里贮满了淋巴液。水中单频的纯声,不同声强的混频或不同声压的声波(振动的水波)传到鱼体时,内耳中的淋巴液就发生相同的振荡。这种振荡的液波刺激椭圆囊的感觉细胞和豆状囊、耳壶的听神经,并传输给大脑,产生了听觉。

鱼耳的结构如此简单,为什么对外界声波的感受能力还较强呢?鱼类生理学家经过长期研究,发现鱼类不是完全依赖耳的听觉功能,还有它独特的感声器官——侧线。在这里我们不作详细的讨论。

我们研究各种类型的耳,无非是希望模拟出一些对人们有益的东西。在这方面语言的机器辩识是个非常重要的问题,因此,人们正在积极开展这方面的研究。它不仅能改善机器的输入装置,而且有助于研制有效的通信系统。例如:已研制出由五百个电子神经元和十五个滤波器构成的“电子耳”,模拟了人耳的频率特性。据称,这项研究的最终目的,是把六百个电话通路压缩成一个通路,从而大大改进目前的通信系统。

有的动物有奇特的听觉。某些夜蛾在胸腹之间有一对特

殊的听觉器官,叫做鼓膜器,这是专门截听天敌蝙蝠的“超声雷达”波的,它是夜蛾逃避敌害的报警器。一种海洋漂浮生物水母(也叫海蜇),能听到由快速流动的空气与海水波浪相摩擦而产生的一种“次声波”(比声音频率低,每秒钟振荡8—13次)。这是由于次声波冲击水母“耳”(细柄上的小球)中的听石时,受到冲击的听石便使神经感受器受到刺激,于是水母便可预知风暴的来临。

下面将对各种“耳”作一详细的介绍。

能“听见”电场的鲨鱼

海洋生物还告诉我们,不少鱼类可以利用超声波来发现目标。但是,对于埋在海底沙子里面的比目鱼,用超声波来发现目标的鱼类根本逮不到它,然而,比目鱼却每每葬身于鲨鱼之腹;纵然它把身子全部藏在沙里,鲨鱼也有办法把它找出来。这是什么原因呢?因为任何动物身体周围都有一个微弱的生物电场,比目鱼也不例外。而鲨鱼身上长着几百个电感受器,专门侦察这种微弱电场,比目鱼终于成了鲨鱼的美餐。

这是一种能够“听见”电场的电耳!鲨鱼、鲛鱼、魮鱼、鳎鱼等水中的动物是根据周围环境的电流来分辨食物和敌害,鲨鱼的电感受器是罗伦氏囊,它的底部有感觉细胞,以其电阻率很高的管道壁与皮肤上的小孔相通,管内充满电阻率极低的胶状物。鲨鱼身上有几百个这样的电感受器,开口朝着不同的方向。(1)正是借助这些电感受器,鲨鱼才能准确地发现埋在

沙子里的比目鱼——它产生的微弱电场把自己出卖了；(2)如果用不透明但能通过电场的琼脂盒把比目鱼罩上，鲨鱼照样进行攻击；(3)但若再盖上一层绝缘的塑料薄膜，使电场透不过来，鲨鱼便旁若无物地游了过去；(4)鲨鱼也“捕食”埋在沙子里的电极，如果它们产生和比目鱼差不多的电场的话；(5)即使旁边有一块食物，鲨鱼仍首先冲向沙里的电极。据研究，一个人在海水里产生的电场，几十厘米外的鲨鱼就发现。人身上的伤口能显著增加电位梯度，即使很小的抓伤，也使人附近海水中的电位梯度加倍，而被一米外的鲨鱼检测到。或许，鲨鱼能感觉每厘米 0.01 微伏的电场，为相当于一节 1.5 伏干电池在 1500 公里长度上造成的电位梯度。

鲨鱼的电感受器启发了仿生学家。带有发电机的潜水艇不也像比目鱼一样，不停地其四周产生电场么？为什么人们不可以像鲨鱼发现比目鱼那样，去发现深藏不露的潜水艇呢？显然，关键是制造一种在海水中能发现微弱电场的仪器。当然，刚刚问世的电场检测分析仪，还不十分理想，有待于改进。但是，这种研究工作的前景是乐观的。

能“听穿”海水的食鱼蝠

自从第一次世界大战时期发明潜水艇以来，由于它在战争中发挥着不可忽视的作用，因而各国船舶制造家、军事家们都十分关注潜水艇的完美和发展。六十年代后期，潜水艇的发展进入一个新阶段。美国，前苏联、英国和法国都已经生产出

了一批核潜艇。这种核潜艇以原子核反应堆为动力,携带着可以在水下发射的中、远程导弹,或为可以移动的战略攻击武器。核潜艇的动力大,使用期长,一次带足燃料和物资,可以长期潜在海底,甚至可以潜伏在南、北极冰山下面的水中。它的航行速度高达每小时 74 公里,并且具有优良的水下机动性。

核潜艇的出现摧毁了现在水面舰艇执行反潜任务的系统。水面舰艇上使用声纳或电场检测分析仪往往侦听不到核潜艇的活动,即使侦听到了核潜艇,可是航行速度比不上核潜艇,无法实行跟踪追击。人们这时自然就想到了飞机。飞机飞得高,速度快,视野广阔,可以监视大片的海域,一旦发现潜艇,就可以追击歼灭。尤其是直升飞机,能快、能慢、能升、能降、能进、能停,机动灵活,使用方便,是反潜战最理想的工具。

可是,人们在飞机上依靠什么仪器能发现和跟踪核潜艇呢?这个问题在生物界中又找到了答案。仿生学家们模拟食鱼蝠耳制造了机载超声波雷达,它就能够透过海水,听到水面下的声音。

食鱼蝠是生活在热带的一种以吃鱼为生的蝙蝠。它在飞掠水面时,向水里发射超声波,碰到鱼的身体,超声波反射回来,被食鱼蝠的耳朵所接收,从而探测出水中的鱼踪。本来鱼在水中几乎不反射声波,只有充满了空气的鱼鳔能反射一点,食鱼蝠的超声波进入水中后,能量被水吸收一些,再从小小的鱼鳔上反射回到空中的食鱼蝠耳朵里时,声音的能量几乎损失了百分之九十九点九。即使是声音垂直入射水面时,也只有百分之零点一二反射回来。又由于声音两次经过空气和水的界面,声音的强度也只有原来的千万分之六点七。就是如此微

弱的信号,食鱼蝠还能准确地掌握鱼踪,迅速降至水面,用粗大的后脚和发达的曲爪伸入水中,把鱼抓住,边吃边飞。这是因为食鱼蝠的耳朵不仅是一个超声波接收器,而且是一个共振器,可以把微弱的信号增强。它的耳朵还能转动一定的角度,以便朝着回声最强的方向来收集信号。

机载超声波雷达既要有强大的超声波发射机,又要有非常精密而又灵敏的收听回波的装置,它要像食鱼蝠那样通过其振来提高回波的强度,然后输入飞机上的电子计算机进行计算,以便迅速地、准确地判断潜艇在水中的位置。这种装置还须在研究的基础上不断完善,以便在未来的反潜战中赢得主动权。

水母的“顺风耳”

海洋常常是风暴骤起,呼啸而至,惊涛骇浪,汹涌澎湃。但是,它并不是没有预兆,次声波就是大海风暴这支宏伟交响曲的前奏。

次声波和超声波正好相反,它的频率是每秒种只振动八至十三次,也是人耳听不到的声音。空气和波浪在风暴中发生摩擦时发出的就是次声波,它传播的速度比风暴和波浪都要快,在空气中的速度为每小时 1200 公里,而在水中的速度则高达每小时 6000 公里,并且强度在千里之外也只有少许减弱。因此那些能听到次声波的海洋生物,早就知道了风暴即将来临。

水母(又叫海蜇)就是能听到这种次声波的海洋生物之一。水母是一种极古老的腔肠动物,在五亿年前的寒武纪时代的海洋中就已经有它的行踪了。亿万年之后,人类才出现。而在人类远未出现之前,水母就已经使用一套简便易行的方法来预测风暴了。水母有一种特殊的“耳朵”,即细柄上的一个小球。风暴产生的次声波冲击着漂浮在水母“耳”中的小小听石,听石刺激“球”壁内的神经感受器,一进水母就隐约听到了正在来临的风暴的隆隆声。这时,水母便立即离开岸边,游向大海,以免被暴风激起的巨浪砸碎。人们设计了“水母耳”式风暴预测仪,相当精确地模拟了水母感受次声波的器官。这种仪器由喇叭、接受次声波的共振器和把这种振动转变为电脉冲的压电变换器,以及指示器组成。把这套设备安装在舰船的前甲板上,喇叭作 360° 旋转。一旦接收到次声波,旋转便自行停止——喇叭所指示的方向,就是风暴将来临的方向;指示器则指示风暴的强度。这种仪器可提前 15 小时作出预报。

电子计算机上的“人耳”

随着电子计算机的普及,电子计算机在科研、生产以及人们的日常生活中日益发挥着越来越重要的作用,人们也就希望计算机的操作能简便易行,最好能实现计算机按人的口授指令执行程序。目前科学家正在朝这个方向努力,并且已经取得了卓有成效的成果。

前面我们已经简要介绍了人及其他哺乳动物产生听觉的

机制,那么计算机怎样才能产生听觉呢?仿生学家们就仿照人的外耳功能制造了微音器;仿照耳的功能制造了声频放大器、声音压缩器、限制器和噪声遏制器;仿照内耳的功能制造了带通滤波器组成的频率分析器和幅度鉴别器,这样人造的内、中、外耳就组成了一个人造的耳朵。

有了这种耳朵,计算机还是只听到声音并不懂得说些什么,就和我们不懂西班牙语的人,能听到对方说西班牙语的声音,却并不知道说些什么意思一样。我们知道,计算机的语言中只有两个“字母”:0和1。只要我们设计一种和人脑、听神经一样的“设备”,能够把声音全部翻译成由0或1组成的计算机语言,计算机就不但能听到,而且可以听懂了。

说起来容易,做起来却很难。有人提出频谱法,有人指出音素法。音素法告诉我们:人的语言中,大多数字和音节都包含有若干个音素——语言的最小单位一个字或音节是由构成这个字或音节的音素组来辨别识认的,而不是由单个音素来识认的。所以,对应一个字和一个音节的音素组就构成了一个固定的一组数,而且对应于同一个字(或音节)的各种不同发音也是确定的一组数,这样人的语声就可以用数字来表示了,那么也就可译成计算机语言了。

计算机要听你的话,它总要先熟悉你的声音,把你的语声特征“记”下来,就是把你的语声各种音素的特征值存入机内的语声单词存贮器。以后,在计算机听到你的话声时,它就可以把听到的声音和先存入的各音素组作比较,进行判别,得出正确的信号作为指令送到计算机进行计算,然后输出,通过打字机反映出来。现在,有些计算机已经能够直接和计算机对

话。不过,现在这种“耳朵”还是初级的,一旦达到高级程度,将使许多方面获得巨大的收益。在失重条件下,宇航员的活动颇受限制,为了解决这个问题,人们在研制一种宇航员声控仪。如果这种机器能够投入使用,将会使宇航员腾出双手运送货物,进行修理、安装等操作。另外,轮椅是残废病人的代步工具,但若病人全身瘫痪,则连普通的轮椅也不能驱动。为了帮助这种病人,人们设计了一种语言控制轮椅,它能按照人的口令行动。同时,也在研制另一种语音控制系统,按病人的命令开关电灯、收音机、电视机或为病人翻开书报等。此外,在军事方面,还可以用眼睛看,用嘴来制导导弹去攻击预定的目标。总之,即将是人类的一次重大发明。

嗅觉的模拟

人和动物眼观形象,耳听声音,用嗅觉感官分辨周围的化学成分。对视觉和听觉过程人们已经进行了较为深入的研究,但嗅觉的机理尚不十分清楚。

人和哺乳动物的嗅觉器官,就是存在于鼻腔上端的嗅细胞,它们分布在嗅上皮内。嗅上皮主要包括嗅细胞,支持细胞和基底细胞,这个区域对人来说只有五平方厘米大小,却含有五百万个嗅觉细胞,并以其淡黄色区别于鼻腔的其余部分。嗅觉细胞是一个双极型细胞,向外周突出的一极称为嗅树突,其末端呈圆形称为嗅小胞,并由此小胞向外伸出许多嗅纤毛,它们也没有一定的方向性。嗅细胞的另一极为细长的轴突,它穿

过头骨的筛板,进入大脑前方的嗅球。由嗅球内的第二级神经元发出的树突组成嗅神经进入大脑的嗅觉中枢。当外界的气味物质分子作用于嗅细胞时,可以在嗅上皮引导出电位变化,而且随着气味物质的浓度增加对嗅细胞的刺激强度加大,所产生的电位变化也加大。

其他动物的嗅觉机制与哺乳动物有所不同,但还不十分清楚,有待进一步的研究。

电子鼻

动物的嗅觉器官是非常灵敏的。人的鼻子能辨别出 4×10^{-9} 毫克/升浓度的乙硫醇。但是,狗的嗅觉比人灵敏一百万倍,它能感觉二百万种不同浓度的物质。根据气味,狗几乎可以找到任何要找的东西。一种鳗鱼可以在 6×10^{-20} 的酒精稀溶液中,嗅出酒精的气味。这相当于在北京颐和园的昆明湖中混入几微克酒精的浓度。猪的鼻子也不逊色,它能准确地嗅出 6 米以外,25 厘米深的地下生长的一种珍贵的黑块菌。

动物嗅觉器官的这种惊人的能力,给研制新型自动分析仪提供了原型,能使自动分析仪更灵敏、快速和小型化。我国研制成功的嗅敏仪就是这样的一种仪器。

嗅敏仪有一个嗅敏半导体探头,它是由二氧化锡和氯化钯等烧结而成,遇到某些气体,其电阻就发生变化,通过电子线路便可作出指示,或用灯光及蜂鸣器报警。嗅敏仪,能“嗅”出丙酮、氯仿等四十多种气体,嗅苯比人的鼻子还灵,还能发

现人鼻嗅之无味的一氧化碳(煤气),它已被成功地用于煤气管、氢气管和冷冻机等检漏,虽然有的煤气管埋在地下半米多深,但用嗅敏仪,只在地面上就能查出漏气的地方。

还有两种电子鼻。一种是根据接触电位来测定,另一种是根据吸热原理制成的。前者的接触电位决定于吸附表面的材料和气体物质的性质,因此,易受气体混合物的湿度和温度的影响,但它没有动物嗅觉器官的嗅觉疲劳现象。使用这种电子鼻以检测丙酮、吡啶等气味物质。后者与人的嗅觉分析器相比,我们发现模型感受的物质种类有限,但灵敏;人鼻能感受多种化合物,但需要的浓度高。模型对丙酮等一系列物质有比人鼻高的灵敏度,对几种花(玫瑰、接骨木等)味也有相当的灵敏度,而对硫醇的灵敏度是不及人鼻的。当然模型与人鼻也有许多相似点:

- (1)、对气味物质反应迅速;
- (2)、撤除气味物质,反应即刻消失;
- (3)、都很灵敏,能区别不同物质的气味;
- (4)、空气在感受表面上的流动是必须的;
- (5)、有疲劳现象;
- (6)、对强烈刺激显示极限反应。

人造鼻不仅可用来帮助医生辨病,检验化学物品,预告食物腐败,测定空气的污染,而且可用来分析潜水艇、高空飞机和航天飞船里的气体。

电子警犬

一讲到嗅觉灵敏,人们不由自主地就会联想到狗。不错,狗以其鼻子灵敏而著称,它能感觉二百万种物质和不同浓度的气味。一立方厘米空气含有二百六十八亿亿个气体分子,只要其中有九千个油酸分子,狗就能嗅出味来。这时,油酸的浓度只有一亿亿分之三点三六。看来狗感受油酸的灵敏度已达到单分子水平。实验表明,狗除了混淆同卵双生子外,几乎可以根据气味找到任何要找的东西。

狗的嗅觉比人灵敏得多,这已经被组织学研究所证实,人的嗅觉细胞只有五百万个,覆盖着鼻腔上部粘膜的一小部分——五平方厘米大小;而一种牧羊犬竟有两万两千万个嗅觉细胞,在鼻腔里占的面积达一百五十平方厘米。嗅觉测量结果表明,狗的嗅觉比人灵敏一百万倍。虽然狗比人具有更锐敏得多的嗅觉,但是它不能辨别在人看来是各种东西的特定标志的气味的百分之一。人类通过感觉反映世界的深度和广度远胜于动物。

狗对人脚汗中分泌的脂肪酸非常敏感。据计算,如果每天人的每只脚分泌的汗液为十六立方厘米,其中千分之一穿过鞋底透出来的话,则在每个脚印上就留下 2.5×10^{11} 个脂肪酸分子。这对狗嗅出人的踪迹已是足够的了。经过训练的警犬能够正确无误地判断出不同人、不同气味的脂肪酸分子,执行跟踪追捕的任务。

但是,生物也有不足之处,训练一只警犬需要很长时间,携带也不方便。同时,嗅觉还有“疲劳”现象,碰到难以查觉的细微踪迹时,警犬就无能为力了。比如,如果人有河水中游一段距离,警犬的鼻子就失去了作用。所以人们必须千方百计地造出比生物更灵敏的“嗅觉”仪器来,于是电子警犬也就应运而生了。因为不同物质的气体都对紫外线有选择性的吸收,有的吸收得多,有的吸收得少。电子警犬就利用不同气体对紫外线的吸收多少不同这个特性来分辨气味。仪器里装有特殊的紫外灯,它的射线被聚集在灵敏的检测仪上,当气体通过检气探头进入紫外灯和检测仪之间的空间时,紫外线的部分辐射就要被气体所吸收,检测仪所接收的能量就减少了。通过检测仪上辐射能量的变化就可以判断所受检查的气体是哪一种气体。它比狗鼻子还要灵敏一千倍。它识别脂肪酸分子已经达到单分子水平,即在一亿亿个分子中,只要有一个凶手的脂肪酸分子,它就可以辨别出来。一旦同类脂肪酸分子多起来,仪器就会发出警报,告诉人们离气味源不远了。

当然,“电子警犬”只不过是一种气体检测仪而已,用在军事、公安部门,叫它“电子警犬”。在民用方面,它也可以大显神通。把它安装在化工厂,它可以及时发现空气中的过氯乙烯毒气,哪怕浓度只有一千万分之一,它也会向人们报警。它还可以发现苯、染料、漆、氨、树脂、瓦斯以及新鲜苹果、香蕉的气味。输送氨的管道漏气了,车间或矿井里瓦斯气过多,全仓里包装破损,染料漏出等等,它都能立即发现,向人们报告,以便人们采取措施,加以处理。

苍蝇的贡献

一看到这个题目,读者可能就开始犯嘀咕:苍蝇还能有什么贡献?苍蝇是声名狼藉的“逐臭之夫”,凡是腥臭污秽之处,它们无不逐味而至。更可恶的是,苍蝇满身病菌,到处放毒。有时你正在享受佳肴,一只苍蝇“嗡嗡”而至,真扫兴!可是正是苍蝇的特殊嗅觉,使其在尖端的航天事业中做出了贡献。

在宇宙飞船里为什么要安装一只苍蝇的鼻子呢?这还得从飞船讲起。

宇宙飞船是由多级火箭发射上天的,为了减少火箭的负担,飞船在设计时总是不可能太大,只要宇航员能在其中生活、工作就行了。在那么小的飞船舱里,要生活两三个宇航员,不仅要有充足的氧气,而且不能有丝毫的有毒气体,否则,在密封飞船舱里的宇航员是会被毒死的。

所以,必须在飞船舱内安装高效率、高灵敏度的气体分析仪,以便及时、准确地分析飞船舱内的气体成分,从而保证宇航员的安全和科研工作的顺利进行。

这一任务无可辩驳地应由仿生学来承担。

由于这是装在飞船上,各种要求都很高,不仅要高效率、分析要快;高灵敏度、分析得准;而且要超小型、袖珍型才行。什么样的生物原型符合这个要求呢?苍蝇。

原来,苍蝇头部的触角上分布着许多“鼻孔”——嗅觉感受器。每一个“鼻子”只有一个“鼻孔”,与外界相通,里面含有

上百个感觉神经元,非常灵敏。有气味的气体进入“鼻孔”之后,这些神经立即把气味刺激转变成神经电脉冲,送往大脑,不同的气味物质所产生的电脉冲不同,从而可以区别出不同气味的物质。

根据这个道理,人们造出了一种气味检测仪,它的“探头”竟然就用活的苍蝇。把微电极插到苍蝇嗅觉神经上,将引导出来的神经电信号经电子线路放大,送给分析器;分析器一经发现气味物质特有的信号,便能发出警报。应用苍蝇嗅觉器官的这种本领造出来的小型气体分析仪已经安装在宇宙飞船的座舱里,用来分析舱内气体成分了。

从苍蝇的鼻子,我们可以看出,任何东西我们都应从两个方面来看。苍蝇利用鼻子作坏事,我们很讨厌它。可正是苍蝇的鼻子,又对人们的科研作出了成就。因此,我们要用辨证的眼光来看问题。

九、生物机械原理的模仿

运动是动物的最明显特征：陆生动物能够行走和奔跑，水生动物是“游泳能手”，鸟类和许多昆虫又都是空中的“飞行家”。生物界完成种种运动，采取了许多精巧的机械原理。经过生物千百万年漫长的进化发展过程，所有这些都发展成为了最省时，最省力的装置。

生物界除了使用球窝关节、铰链和杠杆之类的天然“机械装置”之外，还广泛地使用了水力学、结构力学和流体动力学原理。所有这一切，都是力学仿生学的研究范围。

高效率的人造肌

人和动物的肌肉，是最简单的生物机械装置。

人的肌肉占了人体重量的 40%。活的肌肉，是一台没有齿轮、活塞和杠杆的神奇“发动机”。它具有惊人的动力，能提起比它自身重许多倍的重物。任何现代机器都要由“动力设备”（内燃机、电动机等）和“工作机械”两部分所组成。然而在活肌肉里，这两者却是合为一体的。人造机器结构复杂、高速运转，磨损和维修是个大问题，因此是“短命”的机器。而活肌肉则是“自我维修”的机器，因而是“长命”的。

仿生学最感兴趣的,是肌肉在把化学能转变成机械能时只需一步:在神经信号的刺激下,肌肉收缩变短变粗,直接把食物的能量转变为机械的力,牵引肌腱而使动物运动。这里,肌肉是把食物的化学能直接变成了机械能,效率高达 80%。而人造机器则必须先把燃料的能量变成为热或电,然后再转换为机械能,产生运动。显然,能量的转换每增加一个步骤,就必定要损失掉一部分,从而降低了机械的效率。涡轮机是一种高效率的热机,但它的效率只有 40%。

人们模仿活肌肉的这种优异特性,用聚丙烯酸等聚合物,制成了“人工肌肉”。把它放在不同的介质(酸、碱等)之中,便会有效地收缩或者松弛。这种可以直接把化学能转变成机械能的机器,我们把它叫做“机械—化学机”。如再配合以一定的机械装置,它就能提起重物,或者实现机件的往返运动。

更有趣的是用胶原蛋白做成的“肌肉发动机”。胶原蛋白是皮肤和皮革的主要成分,其分子有螺旋状结构,类似螺旋弹簧。胶原蛋白浸入溴化锂溶液则迅速收缩,同时完成一定的功;然后用纯水将溴化锂洗去,胶原蛋白又恢复原来的长度。“肌肉发动机”就是根据这个原理工作的由胶原蛋白纤维构成的“主动皮带”通过溴化锂溶液池时收缩,然后经过蒸馏水池,它又恢复原来的长度。当它收缩时,“皮带”旋动左面的小轮,它又通过滑轮使右面的小轮转动。只要有溴化锂溶液和纯水,这个过程就能一直进行下去。这种机械—化学机能直接把化学能转变为连续转动的机械能,效率高达 65%。

可以预料,将来模拟肌肉的聚合物“发动机”能以淡水和咸水作“燃料”,从中获取大量的机械能。事实上,淡水和海水

之间化学能的差别是值得注意的。这种目前还是无益的能量，将由人造肌来加以应用。

活肌肉是一种新型的机器。人们模仿肌肉的工作原理，用包在纤维编织成的套筒里的橡胶管，或用含有纵向排列的纤维(钢丝、尼龙丝等)的橡胶管，制成了“类肌肉装置”。它可以带动残废者的假肢，也能开动其他机器。此外，目前人们还制成了一种“肌飞器”——扑翼机；并且模仿人的膝关节和肌肉系统制成了“液压运动模型”，它将有可能使“机器人”像真人那样行走。

人体的大多数肌肉都是以“颞颥肌”的形式成对地排列的。就是说，一束肌肉生长在牵引肢体向上运动的位置，而另一束肌肉则生长在牵引肢体向下运动的位置。例如，在身体前侧向下拉的那些肌肉阻止身体后仰，而后面向下拉的那些肌肉则阻止身体前倾，这种成对排列的肌肉组成了保持人体直立的颞颥肌。研究表明，生物界的这种用两个产生提力的“单向力装置”组成的双向运动机械系统，要比工程技术上惯用的一个推拉“双向力装置”组成的系统优越得多。只要在成对的颞颥肌上施加不同的张力，就能使人和动物体的骨架(机械杠杆)在任何位置保持稳定。颞颥肌的杠杆，能够承受从最轻到最重的各种压力。对吉颞肌的模拟，可以圆满解决各种“机器人”、“步行机”等的行走机构的设计。人们研制了一种“步行机”，它有强有力的手臂和两条长腿，能越野行走，搬运重物。这种“步行机”腿长 3.6 米，能走斜坡、转弯、横向跨步，能跨越障碍，步行速度可达 56 公里/小时。操作人员做一定的动作，“步行机”就跟着做近似的动作。

当然,目前,这些机械的研究尚处在初级的阶段,有待于进一步的发展。

奇特的车辆

人类的社会生活,特别是人们的生产实践,都离不开各种各样的车辆。除了气垫车和磁悬浮列车等新型车辆之外,不论其发动机种类、运行方式怎样,现代车辆都有一个最重要的部件——车轮。如汽车的橡胶轮胎,火车的钢轮,坦克的履带轮等等。车轮所以能够转动。一个重要的原因是因为它与地面间存在着足够大的摩擦力。一旦摩擦力变小,车辆的前进就将成为问题。在南极,举目皆是铺天盖地的冰雪。探险家们来到这里,运输可是个很大的困难。普通牵引车,拖拉机和汽车都不能发挥足够大的速度,它们常常在雪地里空转,形成很深的车辙。人们只有设法寻找使车辆在疏松雪地上前进的新方法。

企鹅是南极最古老的动物,它们祖祖辈辈在那里生活了一千五百——二千万年的漫长岁月。在水下,企鹅游动的速度最大可达三十六公里/小时,能轻而易举地超过一般潜水艇。在陆地上,它们通常蹒跚而行。但一遇到紧急情况,它们却能以三十公里/小时的速度在雪地上飞跑。人们观察了企鹅的运动方式。原来,它们的运动方式极其特殊,扑倒在地,用肚子贴在雪表面,蹬动双脚,俨如使用雪杖的滑雪者,在雪地上快速滑行。在企鹅的启示下,人们设计了新型的汽车——“企鹅”牌极地越野汽车。这种汽车用宽阔的底部贴在雪面上,用转动的

“轮勺”扒雪前进。它重一千三百公斤，行驶速度可达五十公里/小时。这样，不仅解决了极地运输问题，而且也可以在泥泞地带行驶。

带轮的汽车在沙漠上行进，同样困难。但生活在广阔草原和沙漠地区的一种哺乳运动——袋鼠却有一套快速运动的本领。它的运动方式也是很寻常的：用强有力的后肢跳跃前进。这种方式使它的运动速度得到提高，每小时可跑四五十公里，便于寻找食物和迅速躲避敌害。模仿袋鼠这种运动方式的无轮汽车——“跳跃机”已经研制成功，它在坎坷不平的田野或沙漠地区均可通行无阻。

为了提高坦克的通行能力，有人模仿尺蠖一屈一伸前进的方式，提出了一种带有行走部分的轻型坦克的新颖设计方案。这种坦克能够越过较大的障碍物。当它隐蔽在掩体里时，能升起炮塔射击，射击后再隐蔽起来。

有的设计人员还模仿双壳贝壳，设计了具有较好流线型的炮塔，并大大降低了坦克高度。这种坦克车内的武器装备排列得十分紧密，是模仿软体动物消化器官的排列的。像软体动物吃食物那样，炮弹从弹药盒进入炮塔，而后沿类似于食道的送弹槽被送到类似于胃的炮的后部，周围的类似于消化腺的药室则可收集和排出射击时产生的火药气体。在像贝壳的顶盖下面，有两个供坦克乘员半躺的座椅。这一方案，是为解决现代坦克在重要设计问题上的一种卓有成效的尝试。

为了设计能在松软土地上通行无阻的汽车，也有人根据对毛虫运动方式的研究，设计了一种车身窄长，具有“环节”的“爬行车”。

总之,在不同的环境中,研究相应于该环境中生活的生物体,就必定能解决在该环境下的通行问题。

航速之谜

海阔凭鱼跃,天高任鸟飞。我们都知道,鸟类是天空的霸主,而鱼类则是海洋的霸主。水中,有一万多种鱼都是游泳的行家里手。就连游速很慢的鱼也能轻而易举地击败世界游泳冠军,更不用说那些每秒钟能游二十多米的鱼类了。

鲸类(包括海豚)是更优秀的游泳能手。有“海上霸王”之称的虎鲸,每小时能游五十五公里,斑点海豚的游泳速度也高达每小时五十三公里。每当它们受到惊扰,或追捕海中动物的时候,其速度还能增加一倍以上。显然,它们的游泳速度比船舰和潜艇的航速大。此外,这些海洋动物能在几秒钟内从静止达到全速,也能“嘎然而止”,这更是船舰和潜艇所望尘莫及的。

鲸、海豚以及各种鱼类之所以具有如此高的游泳速度和游泳效率,是因为它们在漫长的进化过程中所形成的适应航行生活的特殊结构。毫无疑问,解开这“航速之谜”,必定会给快速舰船的设计提供新的原理。

常识告诉我们,飞机比舰船快,海洋动物的游泳速度也很难赶上鸟类的飞行速度。这是因为水的密度要比空气大七八百倍,在水中运动受到的阻力要比在空中大得多。由流体动力学可知,水中运动物体所受阻力的大小,与物体周围的液流结

构有关。如果运动物体具有很好的流线型体形，水就可以很平滑地从物体表面流过，形成所谓“层流”，而不产生漩涡，这时水的阻力最小。如果物体不是很好的流线型，水从物体表面流过时就出现不平滑的粗糙运动，产生“湍流”，阻力大大增加。

由此不难看出，舰船速度的快慢不但取决于动力的大小，还取决于所受水的阻力的大小。鲸和海豚所以能够达到那种惊人的游泳速度，正是因为它们的体形使之所受的阻力最小，已经达到了流体动力学中所说的层流。由于水的阻力减少，鲸的动力利用率就高了。按照船舶设计师的标准来看，动力的有效利用率要比人造船只高出六七倍。因此，目前国外已经按照鲸的体形来改进船壳设计。传统的船舶设计，其水下部分呈刀形。在日本有人设计的客、货船的水下部分取鲸体形状，从而使船体所受阻力减少了 20%。一种新式核潜艇，则是仿照海豚的体形轮廓和身体各部比例而建造的，航速提高了 20—50%。

但是，“航速之谜”至此还没有完全解开。有人曾制作过一只钢质“海豚模型”，用无线电控制它的活动。这只海豚模型的橡胶尾鳍每秒钟摆动四—五次，各种动作极像真的海豚，但它每小时却只能游三点五公里。由此可知，海豚所以游得快，不只是因为有一个理想的流线型体形，一定还另有原因。

经过研究，人们发现海豚的皮肤是由两层组成的，外层较薄而富弹性；内层生有许多乳头状突起，突起下面有稠密的胶原纤维和弹性纤维，交错排列的纤维之间充满脂肪。这种结构就构成了一个性能良好的“消振器”，它能有效地减弱体表水流的振动，防止湍流的发生。同时，海豚皮肤具有疏水性质，能

使与皮肤接触的表层水分子集合成无数环状结构。这样，水在皮肤表面的运动就变得像球状轴承的滚动，使摩擦力减到最小程度。

当海豚的运动速度很大，涡流已不能靠皮肤的消振和疏水性去消除时，皮下肌肉便作波浪式运动。这么一来，沿海豚身体表面“奔跑”的波浪就消除了因高速运动而产生的漩涡，减小了水的阻力，使海豚能够飞快地前进。当然海豚的游泳速度也取决于它的整体及其各部分的流线型体型。在海豚身上，一切干扰运动的东西——毛覆盖层、耳壳和后肢都消失了。而位于额部的弹性脂肪垫，显然是很完美的消振器，它消除了前面的湍流，使湍流层流化。因此，海豚在游动时，其身体周围的水流极小，大大减少了它所遇到的水阻力。而一艘潜水艇在水里航行时，则会造成巨大的湍流，由此产生的水阻力非常大，以致克服这种阻力竟需螺旋桨推动力的 90%。

第二次世界大战后，美国海军研究部门应用仿生学研究方法，根据海豚皮肤的结构特点，仿制成了“人工海豚皮”。这种人造海豚皮厚 2.5 毫米，由三层橡胶薄膜组成；外层质地光滑柔软，模仿海豚的表皮；中间层具有许多乳头状突起，突起之间的空隙里充满粘滞的硅树脂缓冲液，其特点是富有弹性，模仿海豚真皮层的功能；里层作为与船壳接触的支持板。把这种人造海豚皮包敷在鱼雷表面，鱼雷所受到的水的阻力可减少 50%。也就是说，即使鱼雷的形状、大小和动力都不变，其前进速度此时也可增加一倍。这种人造海豚皮也已用于小型船只，使其显著地提高了航速。

可以设想，如果能找到一种更接近于海豚皮肤的人造材

料,用它更逼真地模仿海豚皮肤的真实结构;同时,若能设计出一种结构,使它和真海豚皮一样,在快速行驶时作波浪式运动以有效地消除湍流;那么它减少流体阻力的作用就会更有效。这种新型人造海豚皮就不但可以用于大型舰船,甚至可望用于飞机,以大大提高航速。

自由地飞翔

鸟儿展翅可在空中自由飞翔,人们也希望能像鸟儿那样,使自己自由地在空中飞翔。不少古人怀着这种想法和希望,曾经做过种种大胆的试验。

一千九百多年前,西汉的一位“飞行家”曾在当时的京长安,举行了一次飞行表演,这个人“取大鸟翮(翅膀)为两翼,头与身皆着毛”,结果“飞数百步”。这是一次滑翔飞行,在当时真算得是一件了不起的创举。国内外还有不少人曾制作了各种各样的翅膀,将其绑在自己的手臂上,试图完全像鸟那样飞翔。然而,其结果不是飞不起来,就是翼破人亡。事实证明,靠人的臂力扇动翅膀是飞不上天的。那么靠腿呢?四百年前,由达·芬奇设计了一种像人那样大小的“扑翼机”,试图用人脚的蹬力扑动翅膀而飞行,然而也没成功。那么为什么人不能像鸟儿那样飞翔在空中呢?经过对鸟的结构的研究,人们发现了鸟的许多适合飞翔的特点。

人们发现鸟类能飞,不只是因为它们有翅膀,还由于它们经过了亿万年的自然演化,整个身体结构都适应于飞行的需

要。鸟的翅膀构造十分精巧,有一套完整的气动力装置。像鹰一类的鸟,它的翅膀一般分四部分:1、小羽翼,只有几根羽毛,起着前缘缝翼的作用,可以使气流在临界结合处不致分离,防止那里失速。2、开缝翼尖,是几根大羽毛,在降低翼尖尾涡强度方面,效果非常显著。3、前缘襟翼是一种增加升力的装置。4、旋涡发生器,防止失速。整个鸟的翅膀是前缘厚,后缘薄,这种断面在飞行时可以产生升力。前缘襟翼一打开,增加翅膀的弯度,又可以提高升力。鸟的翅膀的这些构造原理,都已经应用到各种大型飞机上了。旋涡发生器也用到波音 707 大型喷气客机上,对飞机的安全起到很大的作用。

此外,鸟类具有符合流线型的体型,飞行阻力很小。它的骨骼中空,同样长的一段腿骨,鸟骨只有兽骨重量的三分之一,张开翅膀,翼展达两米的巨大军舰鸟的骨骼总重只有一百克。鸟类的“天然发动机”——肌肉集中于胸部,胸肌约占体重的五分之一。鸟类有特别发达的大片胸骨,以附着胸肌并作为翅膀的基座。按单位体重来计算,鸟的“发动机”功率是相当可观的。例如,一只鸽子约重三百四十克,实际发出的总功率约为零点零二五六马力,折合每公斤体重零点零七五马力。

由于人们对鸟类飞行的观察和研究,从中获得了启示,经过多次的试验和失败,甚至牺牲了生命,终于制成了滑翔机。既然人可以在空中滑翔,那么是否可以在天空中飞行呢?随着科学技术的发展,人们在吸取滑翔机飞行经验的基础上,经过艰苦的努力之后,在 1903 年 12 月,由莱特兄弟创造的第一架由发动机驱动飞机,终于在天空中自由的飞行了。之后,于 1912 年飞行速度超过了鸟的飞行速度,1916 年超过鸟

的飞行高度,1924年又超过了它们的飞行距离。现代飞机已比任何一种鸟都飞得更高、更快、更远,实现了鸟类望尘莫及的超音速飞行。但是,为了更快地发展航空技术,仍需要深入研究鸟类和昆虫的飞行,以便从中获得新的启示。

比如,飞行动物并不因为没有螺旋桨而感到不便。对长有四翅的一种沙漠蝗虫所做的“风洞实验”表明,它的翅膀所做的优美而复杂的“8”字形运动,能够产生惊人的推进效率。沙漠蝗虫的神经系统可以控制它的翅膀,连续不断地改变角度,以便和飞行速度、气压最佳地协调起来。这是一种比目前人所能建造的最好的自动驾驶仪还要精巧得多的自动控制系统。

鸟类能拔地而起,几秒钟就达到了最大的飞行速度。鸟类在高速飞行中,能嘎然收羽,平稳地降落在它想降落的地方。蚊、蝇和蜜蜂等昆虫,还会做到现有的任何飞机都做不到的各种灵活机动的飞行:向上飞升,垂直下降,陡然起飞,掉头飞行以及定悬空中等。

昆虫的翅膀是柔软而单薄的。例如:蜻蜓的翅膀一般长约5厘米,面积约4.6平方厘米,仅重0.005克。然而它却能有足够的强度和刚度,每秒钟可扑动16—40次,使蜻蜓的飞行速度达到每小时五十多公里。昆虫的翅膀真是一种超轻型结构。

鸟类的飞行是极其节省“燃料”的。有一种小鸟叫做金色鹬,从加拿大越海连续飞到南美洲,行程三千九百公里,而体重只减轻60克。若能赶上这种效率,那么一架轻型飞机飞行三十公里,只需耗用0.5升汽油,仅相当于目前用量的九分之一。

一般鸟类在飞行时都产生噪声,其中还包括超声波成分。但猫头鹰却得天独厚,即使在万籁俱寂的深夜,也能静悄悄地飞行,出其不意地将小动物抓住美餐一顿。这是因为猫头鹰的翅膀羽毛表面遍布绒毛,相互滑动时无声无息;羽毛的前缘和后缘都有细齿梳状的缝,用以消除噪声。如果飞机上有这些装置,就有可能减少或消除高速飞行时令人讨厌的噪声。

鸟类和昆虫的飞行,还有其他许多优异特性是现代化飞机所不具备的。因而是未来进行飞机设计时可以借鉴的,其发展前景十分引人注目。

大自然完美的设计

生物界经过亿万年漫长岁月不断进化的结果,使机体的机械结构有了极其完善的设计,可说是达到了精益求精,非常完善的地步,远远超过了人类所设计的种种机械装置。

如果我们从力学和建筑学的观点去研究各种动物的骨骼结果,测量它们的应力,就会发现,动物的骨骼是多么完善的“建筑物”,不论是小到重量只有零点一二的蜂鸟骨,还是大到千百斤重的鲸骨;不论是一副美丽的蛇骨,还是一架粗壮的象骨,它们不但是精雕细刻的上等艺术品,而且骨架的结构,以及每根骨头的形状、长短、粗细、厚薄、接榫等,几乎都符合建筑结构中的设计原理,甚至比人们的设计还要高明。

人们通常把房顶叫做“屋脊”。是的,那块人字形的屋盖,就跟牛、马一些动物的脊背有点相像。那些屋梁和桁桷又恰似

牛、马的椎骨和肋骨。还有，人们在盖房时，把立柱、架梁等工作，叫做搭骨架子。现代建筑物里的钢筋也叫钢骨，这是因为它们在建筑物中的作用，跟骨骼在动物身体中的作用一样。

就拿世界闻名的“艾菲尔铁塔”来说吧。人们发现这座铁塔的结构并不新颖，只是一座重复着人体的小腿骨（胫骨）的建筑，甚至两者的表面角度都相符。艾菲尔呕心沥血创造出来的建筑物，不过是大自然沿用已久的东西。

人们现在都比较熟悉一种“薄壳结构”的建筑。它的特点是即使很大，也不需要支柱，它受力均匀，节省材料，外形美观。这就跟鸡蛋一样。为什么我们用手使劲去握鸡蛋，但握不碎呢？因为蛋壳是天然的薄壳结构。像鸡蛋这样的物体，当它承受压力时，力量向四周均匀扩散，所以能受得住较大的外力的作用。同样道理，宏伟壮丽的“薄壳”大屋顶，虽然没有一根柱子支撑，却十分牢固，不会下塌，也是因为压力向四周均匀扩散开了的缘故。

还有桥梁。大多数动物都是四肢着地，前后肢好像一座桥的桥墩，脊椎又恰似桥梁。少数的动物由于生活习性不一，又各有特点，如靠后脚跳跃和站立的跳鼠，就跟单桥墩的悬臂桥很相像；终年在树上悬挂的树懒就好像吊桥一样。我们人体内也有一种类似拱桥的结构，那就是肋骨。这种“拱形”能大大改善受力状态，把外力散开，因此具有良好的力学性能。

寻找既轻便又结实的建筑材料，是建筑科学工作者的心愿。近年来，他们创造了一种很轻的特种结构的塑料板。板的内部是六角形的格子，两面各覆以强度较高的塑料板，这种板不但强度高，不易变形，隔音隔热，而且重量很轻，只有木材的

四分之一左右。这种塑料板的结构,在自然界中也可以找到,它跟蜜蜂建造的“蜂窝”结构很相像,也跟飞鸟骨骼的结构类似。

在人和动物的血管系统中,管道排列、管径匹配的精巧设计,存在着对水力工程师极有用处的设计诀窍,它们的原理可以用于改进各种水力管道系统的设计。植物绿叶叶脉的配水系统,也是水力和输油管道系统很好的设计模型。

在技术系统中,人类通常采用诸如螺旋桨等旋转式推进装置。而一些鱼类和水生动物,用的则是一种摆动式推进系统——尾鳍。鱼的这种运动方式的生物力学原理,启示人们设计了一种“摆动板”推进系统。装有这种推进器的船只,可以十分灵便地拐弯和避开障碍物,还可以顺利通过浅水域或沙洲而不搁浅。人们用“摆动板”系统做成的水泵——振荡泵,能够抽取含有杂质的水,而不会被其中的泥沙、杂物损坏或堵塞。

辛勤的蜜蜂除了精于采粉酿蜜,还是技术高超的“建筑师”。它们用蜂蜡一昼夜就能建造出几千间“房子”,而且每间的体积几乎都是 0.25 立方厘米。蜂巢是极规则的等边六角形,壁厚也十分精确,严格保持在 0.073 ± 0.002 毫米范围之内。蜂窝建成六角形更是十分奥妙,这样不但以最少的材料获得最大的居住空间,而且能以单薄的结构获得最大的强度。生物机体的结构如此科学,如此巧妙,是生物长期适应环境条件,在自然选择这个伟大的自然规律的支配下形成的。大自然是伟大的“匠师”。如果能经常看看大自然的实验室,向生物界讨教,可以广开思路,对许多问题的解决是大有裨益的。

十、动物定向与导航系统的模仿

蝙蝠的眼睛很小,视力不佳,在漆黑的夜晚它是怎样准确地发现和捕捉蚊虫的呢。候鸟迁徙千里仍然可以准确地到达目的地,海龟游行几千公里而不迷航,其中奥秘何在?许多动物成群活动,其群体随时随地都保持一定的队形,这又是靠什么?

原来,在长期进化过程中,动物形成了能准确地进行空间定向与导航的特殊本领。动物体本身就是一个自定向、自导航系统。关于动物定向与导航本领的结构、功能特点的研究,对于研制新型的,并改进现有的航空、航海仪器以及通讯系统将是十分有益的。

活雷达——蝙蝠

夏天,每当夜幕降临,在繁星点点的天空中,总可以看到翩翩飞舞的蝙蝠,这个唯一生有翅膀的兽类习惯过夜生活。在漆黑的夜间,它能够准确地猎取昆虫,灵敏地绕过各种障碍物
.....

有一位生物学工作者做了一个很有趣的实验。他捉到了一只蝙蝠,然后放在布满铁丝网的小屋里,拉上窗帘,并且把

能透光的窟窿和小缝儿都堵上。结果发现,在布满重重“埋伏”的黑屋里,这个蝙蝠竟能钻着空子灵活地飞着,从不碰到障碍物上,而使障碍物上的铃铛发出声响。这位工作者用两块黑膏药把它的两只眼睛蒙住,结果蝙蝠仍在飞翔,就像根本没有发生什么事儿一样。也许是蝙蝠的嗅觉特别灵敏,闻出了铁丝网的气味吧?可是,当用蜡把它的鼻子堵住,破坏了它的嗅觉机能后,蝙蝠照样飞得很好,还是碰不到任何东西。但是,一旦堵住它的耳朵,或者扎住它的嘴,蝙蝠就毫无办法,“踉踉跄跄”地到处瞎撞了。

仿生学家经过研究才明白:蝙蝠是利用超声波来“看”东西的。

什么叫超声波呢?我们知道,声音的音调,取决于声波振动的次数,在一秒钟内声波振动的次数称为频率,频率越高,音调也就越高。我们的耳朵能够听见每秒钟振动二十次到大约两万次范围内的声音。超过这个范围就听不见了。频率高于两万次的声波,人们管它叫作超声波。

蝙蝠一边飞一边不断吱吱地叫着,叫声非常尖细,是人耳听不见的超声波。如果在蝙蝠前边什么也没有,那么超声波就会自由地向前扩展着,如果遇到障碍物或飞虫,它像普通声波一样,也会以回声的方式反射回来。蝙蝠警觉的耳朵能够听到人耳听不见的回声,所以能知道,前面有没有障碍物或飞虫了。

蝙蝠发出的超声波是由喉部产生的。喉部很大,喉内侧面有一组非常有力的肌肉,喉头很像普通的“哨子”,肺部呼出的空气,从这个天然哨子中旋转着通过了,于是就产生了超声

波,再通过小嘴或鼻孔发射出去。蝙蝠小嘴的宽度约为一个半厘米,发生超声波的波长约为半厘米,嘴宽与波长的这种比例,使得发出的超声波具有极好的方向性。

蝙蝠发出的超声波,频率一般是每秒六万到十二万次,超出了人的听觉范围,所以即使它在不停地叫着,人们一点也听不见。

我们知道,普通的声波一旦发出之后,就像散场的电影观众,拥出大门,向四面八方走散了。超声波却不然,它的波长要比普通声波的波长短得多。因此性质也不一样,它集中成一束,向一定的方向前进,传到较远的距离,当遇到障碍物后,又能顺着原来的道路反射回来。超声波这种特性,蝙蝠却先于人类巧妙地加以利用。

现在明白了,蝙蝠在飞行中是利用超声波来“导航”的。在捕捉飞虫时,蝙蝠口中发出的超声波遇到飞虫便反射回来,被蝙蝠的耳朵所接收。蝙蝠根据回声来判断物体的种类、大小和距离,区别是敌人,是食物,还是障碍物,然后从容不迫地决定自己的行动:躲避还是追捕。

蝙蝠这种根据回声来探测物体的方法叫回声定位法。蝙蝠的耳朵很大,内耳特别发达,能够接收频率很高的超声波和低密度的回声。令人吃惊的是,蝙蝠竟然能在一秒钟内捕捉和分辨二百五十组的回声,而且分辨率很高。就是极其微弱的回声信号,它也可以据以区别各种物体。蝙蝠还具有很强的抗干扰的能力。一个岩洞里,千百只蝙蝠同住一起,都是使用超声波回声定位,却不互相干扰。正因为如此,蝙蝠捕虫有着惊人的灵活性和准确性,不愧为“活雷达”。

还在第二次世界大战前,英国科学家勒姆·马克西制成了声雷达系统。声雷达,通常叫声纳,是英文缩写字“Sonar”的音译,原意是“水声测距仪”。它就是利用发射超声波,并接收反射回波来进行工作的。

我们知道,在第一次世界大战期间,出现了潜水艇。英、美的舰队多次遭到德国潜水艇的袭击,造成了极大的损失。经过一段时间的研究,声纳应运而生。声纳发射机发出的超声波,碰到水中物体便被反射回来形成反射回波,为接收机所接收。掌握了从超声波发出到返回的时间,知道了超声波的传播速度,就可以推算出物体的距离——即敌潜艇所在的位置。

根据蝙蝠的超声定位的原理,现在还研制出了盲人用的多种探路仪。其中有一种叫“超声波眼镜”。在眼镜的鼻梁架上装了一个超声波发射器,在五十五度的立体角内,辐射出每秒振动 49,000—90,000 次的超声波;障碍物反射回来的超声波信号由装在发射器下面的两个传感器所接收,然后再转变成人耳可以听得见的声音,通过两条眼镜腿(一种特制的耳机),传到盲人的两只耳朵里去。经过一段训练,盲人戴上超声波眼镜就可以判断出障碍物的方位和距离了,人的耳朵也能“看”得见东西了。

夜蛾的反雷达战术

知道了“活雷达”蝙蝠的奇特的本领之后,大家一定很佩服它。它有这么高超的本领,捕捉飞虫恐怕是百发百中了吧。

然而,大自然却不单单偏爱蝙蝠。道高一尺,魔高一丈。蝙蝠爱吃的一些飞虫,比如夜蛾,为了生存,便逐渐形成了一套反雷达战术。这是符合达尔文进化论的“适者生存”原理的。

夜蛾的耳朵,有一套精巧、可靠、高超的反声纳系统,这种特殊的听觉器官处于夜蛾的胸腹之间,叫做鼓膜器。它专门接收超声波信号,甚至连超声波信号的变化都能感觉出来。正因为如此,素有活雷达之称的蝙蝠,想逮一只夜蛾是相当困难的。蝙蝠的超声波一到达夜蛾身上,夜蛾马上就感觉到了。蝙蝠发现了夜蛾,叫声频率会突然升高,就像扫描雷达捕捉到目标后也会自动增加发射的脉冲数一样,以便把目标控制在探测范围内。可是夜蛾也立即“听”到了频率突然升高的蝙蝠声,并且迅速作出判断,乘蝙蝠离自己还远,就从容逃走了;要是夜蛾感到鼓膜神经脉冲达到了饱和频率,知道蝙蝠近在咫尺,生命危急,便会兜圈子,翻筋斗,曲折飞行,或者干脆收起翅膀一头栽到地面,逃之夭夭。

经研究表明,夜蛾可以从很强的背景噪声中分辨出距它六米高,三十米远的蝙蝠发出的超声波。而令人惊奇的是,它的这种听觉机能却只是由仅有的两个听觉细胞来完成的!进一步搞清夜蛾鼓膜器的结构原理,将给人们制造结构简单,选择性能良好的微音器以有益的启示。

夜蛾还有另外一种发音器——长在足部关节上的一种振动器。硬硬的甲壳质覆盖着一个气孔。上面有一排平行的凹凸痕,能随着腿部肌肉的收放而发出一连串的超声,还在蝙蝠听得见的超声频率范围内。当蝙蝠听到这种超声的干扰信号时,使它不能确定目标,从而放弃快要到口的食物,错向别处

扑去。夜蛾的这种技巧与现代飞机的反雷达战术真是不谋而合。飞机为了躲避对方雷达的探测,在空中撒下无数锡片,把对方的雷达波反射回去,使对方雷达站的荧光屏上弄得一片模糊,这样就难以找出真正的目标。

还有的夜蛾身上有厚厚的一层绒毛,能吸收超声波,使蝙蝠收不到足够的回音,从而大大削弱了蝙蝠声雷达作用。这就好像在大会堂、电影院、歌舞剧院里采用多孔材料制成的墙壁和用柔软帷幕吸收声音的道理一样。可见,夜蛾对超声信号的干扰能力是多方面的。

夜蛾不仅能探测超声波,还能接收电磁波。夜蛾的羽毛状触角像是无源雷达探测装置,它上面的锥形感受器可接收气味物质分子发出的窄频带红外线,腔锥形感受器可以探测到其他蛾子飞行时体温升高所发出的宽频带红外线。在这种“电磁波雷达”的导航下,夜蛾可以找到配偶或某些植物,能探知目标的方向、距离和高度。

人类已经仿照夜蛾的反探测系统,制成了反雷达系统,以获知自己被对方雷达发现的信息。但是还需要进一步地研究和改进。

正因为夜蛾具有如此特异的反雷达战术,因此它堂而皇之地成为英国皇家空军的三六〇中队队徽的中心图案。三六〇中队是执行电子干扰任务的特种部队,他们的许多战略战术都学自夜蛾,或者说,他们根据夜蛾的反雷达战术来制订自己的战略战术。

但从另一方面来说,夜蛾是糟踏庄稼的害虫,我们应想方设法来消灭它。为了保护庄稼,人们把模仿蝙蝠的声音在庄稼

地里不停播送，夜蛾信以为真，就退避三舍了。有人作过统计，在玉米试验田里采取“假蝙蝠声驱玉米钻心虫”，可使受害损失降到 14%，而原来的受害损失为 23%。同样的原理，还被用来驱赶机场上空的飞鸟，播送飞鸟天敌的声音，使飞鸟以为危险来临，纷纷逃走，从而避免飞机和飞鸟相撞的事故。模仿鱼类召唤同类的“语言”，在水中播放，可以招来鱼群，使渔业丰收，等等。

由此我们可以看出，向生物学习，不仅是模仿生物特殊本领制造仪器为人类服务，还包括了解和研究生物的声音和语言，来为人类服务，这也是仿生学的重要内容。

海豚的声纳系统

蝙蝠是陆上的哺乳动物，它能发出超声波。在静静的海洋中，同样有“超声专家”——那就是海豚。

人们在饲养海豚时发现，无论是白天，还是黑夜，海豚都能成功地捕到鱼吃。海豚分辨目标的本领也是很高的。如果我们用橡皮吸杯蒙住海豚的眼睛，动物仍能准确辨认物体的大小和形状——每次都冲向它的食物——鱼，而不是冲向同样大小和形状的充满水的塑料瓶子。令人吃惊的是：海豚竟能分辨三公里以外的鱼的性质——它喜食的石首鱼，还是厌恶的鲑鱼！海豚还能识别不同的金属，甚至当不同金属有同一强度回声时，也能区别出来。用吸杯蒙住海豚的眼睛，可以训练它判断两个镍钢球中哪个大。例如，一个球直径 5.2 厘米，另

一个为 6.1 厘米,判断对的百分率为 100%;若一个球直径为 5.5 厘米,另一个为 6.1 厘米,则判断对 77%。

我们再来做一个“迷宫”实验,把两只海豚放在一个大水池子里,池中的水很混沌,半米之外就看不清了。试验者在池底竖立了许多金属杆,只要轻轻一碰,这些金属杆就会发出响声。第一次试验,两只海豚游了二十分钟,只碰了四次,而且很可能是在躯干游过后,尾巴碰到金属杆的。第二次试验,碰到的次数比第一次少。最后,它们就是在黑暗中游来游去,也不会碰到金属杆了。

由此,我们可以知道,海豚和蝙蝠一样,也可以不用眼睛来认路的。经研究得知,海豚也是以超声波来导航的。

海豚的全部声音落在 250~300000 赫的范围,而定位是用 120~200 千赫的超声波完成的。我们知道,海豚没有其他动物那样的声带。目前,科学家们的意见是海豚回声定位的声音源,是其头部具有的瓣膜和气囊系统。这些薄膜和气囊沿呼吸孔至肺部的呼吸道排列。海豚把空气吸入气囊系统,连接它们的瓣膜关闭时,空气流过它们便发出声波。这时,瓣膜边缘发生的振动,就像我们闭住双唇,由嘴里往外吹气时嘴唇产生的振动那样。于是,空气没有被海豚的发声器官挥霍掉;它在气囊系统中简单地循环着,周而复始地用于声音的发放。产生的超声波是通过海豚头的前部发出去的,因为如果食物位于海豚嘴水平面以上,蒙住眼睛的海豚也能轻而易举地发现它;如果食物在嘴水平面以下,就不能一下子发现。海豚头前部有个“脂肪瘤”,它紧靠在产生声音的瓣膜和气囊前面,它大概起“声透镜”的作用,把回声定位脉冲束聚焦后定向发射出去。海

豚发射超声信号时,经常摇晃着脑袋($20\sim 30^\circ$)。当超声信号遇到目标时,形成的低频反射信号,被耳或头部其他部分接收。

看来,海豚优先发展了听觉。它的大脑听觉区域里的组织很复杂,由耳发出的听神经也很粗大。海豚用 $7\sim 20$ 千赫的脉冲探测较远距离的目标,以避开岸边、暗礁和船只,探测近距离物体和觅食时则用短的脉冲组(每秒 $5\sim 100$ 个,频率为 $20\sim 170$ 千赫)。当海豚朝向看不见的目标时,往往压低或抬高头部,这大概帮助它用超声波“探索”物体,并且忽而用这只忽而用那只耳朵转向回声信号源,这样就能更有效地捕捉到它们。海豚声定位系统的这些优点,正是声纳的研制者们所要努力借鉴的。

目前,侦察敌人的潜水艇,鱼雷寻找攻击的目标,还部分地使用声学方法。可是海洋里有很多生物发声(生物噪声),会影响攻击的效果。在第二次世界大战中,美国海军用深水炸弹攻击的大部分“敌潜艇”,竟然都是生物噪声造成的虚假目标;而日本人却使鱼雷发动机的音响宛如一定海域里的生物噪声,借此深入港湾一举击沉几艘美舰,弄得美国人茫然不知其由。现在看来,海豚的主要军事价值就在于反潜战中:或训练海豚在敌潜艇活动区游泳,发出类似潜艇的声响,以提供假目标欺骗敌人,当然海豚在这里要作自我牺牲;或使我方潜艇发出海豚声,使敌误为假目标。另外,海豚已被训练用来寻找和回收鱼雷和水雷。如果用专门的套具把刀子固定在海豚鼻子上,那就可与蛙人(戴蛙蹼的潜水员)搏斗一番。也可以应用海豚在敌水域中侦察,收集敌潜艇的信号,甚至携带炸药进攻敌

人的潜水艇。

蝙蝠、海豚等动物的这种声纳系统结构小巧,分辨率高,灵敏度高,以及具有优异的抗干扰能力和稳定性,这一点早已引起了声纳、雷达等定位器的设计人员的极大兴趣。而仿生学的研究工作,将可以把人们模仿生物的这种本领,制造先进技术装置的愿望付诸实现。

远距离定位

在一些“历险记”之类 的故事中,常常可以读到在森林中迷路的旅行者和在密雾浓云里迷失了方向的海轮或飞机,历尽艰辛才脱险归来。

为了确定方向,人们利用复杂的导航仪器、航线图、灯塔、罗盘、电台……,有时,还求助于天文、地理上的标志。自然界动物里,也有大大小小的旅行家,它们需要确定方向,以便到达预定的目的地。

对于动物旅行家来说,它们当然不会使用什么导航仪器、罗盘之类的东西,更说不上通晓天文地理,可是它们辨向识路的本领,并不比经验丰富的领航员差多少。

随着季节变化而迁徙的候鸟、洄游水生动物以及某些善于飞行的昆虫,它们的远距离定向本领,也是非常惊人的。鸟类经过几千、甚至一两万公里的长途旅程,常能以几米的准确性到达目的地。这是因为它们体内有着一套完备的“天然导航仪”。

有一种叫短尾海鸥的小鸟，在每年的迁徙飞行中，两次跨越赤道：它在四月离开大洋洲南部的产卵地，经印尼、菲律宾、台湾、日本、阿留申群岛和美洲西部海岸，在太平洋上兜了一大圈，九月又可准确地飞回产卵地。

体长仅 30 厘米左右的极燕鸥，在北极营巢而在南极越冬，每次迁徙飞行两万多公里，都能准确地飞越冬地和营巢地。

生活在我国西沙群岛的鲣鸟，每天天亮飞向大海，傍晚回岛栖息，成为引导渔船出海、回岛的“导航鸟”。

鱼类和海龟迁徙的准确性也不逊色。一种鳗鱼从内河游入波罗的海，横过北海和大西洋，而后便准确地到达百慕大和巴哈马群岛附近产卵。生活在巴西沿海的绿色海龟，每年三月便成群结队地游向两千二百公里之外的产卵地——大西洋中仅几公里的阿森岛，在岛上产卵后，六月间又游回巴西沿海。

动物远程导航的奇异本领，以及它们精巧的天然导航仪，长时间以来一直吸引着许多研究工作者。人们逐渐弄清楚，许多鸟类和其他动物体内都有精确计算时间的“生物时钟”，可以根据时间确定太阳或星星等天体的方位，因而能够利用太阳或星星等天体作为定向标；而另外一些种类的动物则可以利用海流、海水化学成分、地磁场、重力场等进行导航。

我们首先来看看生物是怎样利用太阳或星星等天体来定向的。下面我们看一个实验。这个实验是用一种属于莺科的北欧小鸟来做的。这种小鸟在欧洲北部的城市中时常可以看到，形状有点像麻雀，体轻，善于歌唱，喜欢在夜间飞行。每年

九月和十月，它们从北方迁来，在欧洲中部盘桓几天，然后就向非洲飞去。科学家们把小鸟放在天文馆天象厅的人造星空里进行观察。当天象厅内的“假天”布满点点繁星时，这些小鸟就开始向东南方向飞去。而东南方向恰好是小鸟飞迁的地方。这时，试验者突然把假天的位置倒转一百八十度时，小鸟立刻就慌乱起来，困惑地望着这突然改变了的“星空”，可是在一、二分钟之后，它们居然也会掉转头来，向相反方向飞去。假天的位置一连变换好几次，小鸟总是朝着它们过冬的方向飞去。

通过一系列的试验，科学工作者认为：某些候鸟在长途飞行中，在白天是依靠太阳，在夜晚是根据星斗的位置来辨别方向的。就是说，它们具有天文导航的本领。

有趣的是夜出活动的飞蛾，居然也能利用天文导航。晴朗的夏夜，如果在旷野上点上一盏灯，就会有很多的飞蛾飞来。它们绕着灯火打转，常常扑到灯火头上，双翅被焚，因而死去，

究竟是什么引诱飞蛾扑向火光，自寻死路呢？原来，飞蛾喜欢夜间活动，它在摸索飞行的方向时，是以月亮作为“灯塔”的。飞蛾的眼睛是由很多单眼组成的复眼。它在夜间飞行的时候，总是使月光从一个方向投射到它的眼里。这样，如果飞蛾要转弯，以便绕过一棵树或者逃避蝙蝠的追逐，它就能很容易地找到以前的方向：为此只要身体转动一个弯，使所找到的月光仍然从原先的方向射来，角度仍同原先一样就行了。这就是原来前进的方向，从而又继续飞行下去。

如果旷野上出现了灯火，在一定范围内，飞蛾会误把灯当作是月亮。然而月亮远在天空，飞蛾可能飞了几百米，而月亮仍然是在同一个方向上，可是灯却近在咫尺，只要飞蛾稍微绕

过灯一点点,就会觉得灯光射来的角度改变了——从侧面或者从后面射来的了。飞蛾不可能分辨出这是灯,不是月亮,于是只好又转回来,直到所看到的灯光仍在以前那个角度为止。所以当飞蛾在灯光近旁活动的时候,只要稍稍离开灯火一点,就不得不转回来面对着灯火。于是飞蛾就不停地对着灯火转来转去。绕着灯火作螺旋状的盘旋,直到投入火中。

现在明白了,原来,飞蛾竟是利用天文(月亮)“导航”的飞行家哩!可惜的是,它误把近在咫尺的灯光,当成了远方的月亮。

在黑夜迷失道路时,人们早就利用北斗七星和北极星来识别方向;历代的航海家们曾花了多少个不眠之夜,来观察天文……。但是人类把天文导航应用到飞行器上来,却是最近十来年的事。有一种自动控制的远程导弹,就是利用天文来导航的。

科学家们在这种远程导弹的头部,安装了由光电仪器和望远镜组成的一双像夜莺、飞蛾那样可以观看四面八方的“眼睛”。在起飞前,不但要确定飞行的时间和飞行的速度,而且还要选择好航线和两颗明亮的星星,让星光以一定的角度投射到导弹的“眼睛”里,起飞时,导弹的两只“眼睛”就专门注视着那颗星,当导弹沿着预定航向飞行时,两只“眼睛”都能看到那颗星,星光投射过来的角度是正确的,始终保持在焦点上。在这种情况下,操纵舵不发生作用。如果导弹偏离了原定的航向,那么,星光投射到“眼睛”里的角度不符合预先的规定,这时,“眼睛”内的光电仪器就感受到了一定的偏差,这种偏差迅速地通过导弹的“脑子”——电子计算机,精确地算出,然后命

令操纵舵修正航向,直到两只“眼睛”接受的星光恢复到原定的角度为止。此时,导弹也回到正确的航线上来。

可以这样说,装在近代火箭上的天文导航仪器,是根据夜莺、飞蛾眼睛的工作原理制造的。不过,夜莺只能在晴天的夜晚飞行,飞蛾还有时误入歧途,投火自焚,而科学家们创造的自动火箭却不管黑夜是晴是阴,都能够看到星光而准确地飞行。

那么生物(比如鸟类)又是怎样利用地磁场导航呢?有人假定鸟的身体是一个具有一定电阻的半导体,在它振翅飞行时,两翼尖端之间便产生一定的电动势。地磁场是具有一定方向的,当鸟在不同方向上飞行时,由于切割磁力线的情况不同,产生的电动势也各不相同。当体内具有相应的感受电动势的器官时,鸟类便可根据所感受到的电动势的变化而确定自身的方位了。目前,人们正在深入研究鸟类利用地磁场导航的本领,以便找到这种“磁场检测器”的工作原理。

许多动物可以利用天空偏振光来导航。所谓偏振光,就是在某个一定的方向上振动,或某一方向的振动占优势的光。人眼必须借助检偏镜,才能观察到光的偏振现象。但是,蜜蜂靠它复眼里面的“偏光检测器”却能准确无误地找到蜜源和回巢。由此,人们制成了用于航空和航海的“偏光天文罗盘”。这种罗盘的优越之处在于,即使乌云遮日、或者太阳处于地平线以下时,仍然可以利用天空偏振光定向。在不能使用磁罗盘的高纬度地区,就更显出用这种罗盘的好处。

苍蝇等双翅目昆虫后翅的痕迹器官——楫翅,不但能使昆虫不用跑道而直接起飞,而且是使昆虫保持航向的天然导

航器官,因此又称为平衡棒。人们根据昆虫楫翅的导航原理,研制成功了“振动陀螺仪”。经发展和改进,又制成“振弦角速率陀螺”和“振动梁角速度陀螺”。这些新型导航仪现已用于高速飞行的火箭和飞机,能自动停止危险的“翻滚飞行”,自动平衡各种程度的倾斜,可靠地保障了飞行的稳定性。

生物通信

地球上的动物,如果在其个体之间不能交流寻找食物、逃避敌害和选择配偶等重要信息,它们就不能生存。因此,每种动物都有一套通信联系的独特办法。动物通信使用的“语言”是各种各样的。有气味语言、声音语言、运动语言、色彩语言,甚至超声波和电场也被生物用来传递信息。

对于声音语言,我们在前面已有所了解,机场上空以飞鸟天敌的声音来驱赶飞鸟,渔业以鱼召唤同类的声音引诱大量鱼群等,都是利用了动物之间的声音语言。

昆虫之间使用的是“气味语言”。昆虫发出的有味化学物质,可以用来标明地点、鉴别同类与敌人、引诱异性、寻找配偶、发出警报或者集合群体。我们称这种利用物质传递信息的方式为“化学通信”。那些携带信息的化学物质叫做“传信素”,它是一种外激素。由于所起的作用不同,传信素又可以分为许多种类。

当一只蚂蚁或蚜虫,受到伤害或将要丧命之时,它们会立即放出一种叫做“警戒素”的传信素,以警告同类赶快逃跑或

者奋起自卫。有些昆虫在一些植物果实上产卵之后,便随即放出一种传信素,警告其他虫子不要在此产卵,以备幼虫将来有足够的食物。

白蚂蚁的工蚁,在行进过程中会沿途洒下一种“追踪素”,用来给同伴建立“路标”,以便引导它们觅食或回巢。铺设这种“化学路标”,只需极微量的传信素,每公里只用 0.01 毫克,即使围绕地球赤道转一圈,也只需 400 毫克。

昆虫用来吸引异性的“性引诱素”,是最有效的传信素,这是保证昆虫延续后代的重要手段之一。借助于性引诱素,雄舞毒蛾能被半公里外的雌蛾所吸引;雄蚕蛾则可找到两公里半以外的雌蛾。而天蚕蛾、枯叶蛾的雄蛾,则能被四公里以外的雌蛾引诱去进行交配。

性引诱素是一种极其微量的化学物质。一只雌舞毒蛾仅分泌 0.1 微克性引诱素,但这已足够诱来一百万只雄蛾。三十个性引诱素分子便能促使一只雄美洲蟑螂产生性兴奋。一只关在笼子里的雌松树锯蝇,其气味能招引约 1 亿只雄锯蝇。由此可见,雄虫的性引诱素接收器是极其灵敏的。雄虫的接收器就是触角上的嗅觉感受器。就作用距离、精确性和反应敏捷等方面来说,昆虫触角要比目前的机载雷达的性能好。可以设想,昆虫触角的结构特征和功能原理将为新型的航空雷达提供设计原理。

经过多年的研究,人们终于搞清了家蚕蛾、舞毒蛾、棉铃虫等昆虫性引诱素的结构,并人工合成了多种“人造性引诱素”。这就给人类提供了一种新型捕杀害虫的有效方法。只要把一种昆虫的人造性引诱素置于涂有虫胶的捕虫器中,这种

昆虫的雄虫便会兴冲冲地飞来自投罗网。还可采用一种“扰乱法”来消灭害虫,就是使性引诱素充满有害虫危害区域的空气中,雄虫便无法辨别单个雌虫放出的性引诱素了。雄虫找不到雌虫交配,害虫也就断子绝孙;用这些方法防治害虫,可以避免长期使用化学杀虫剂(农药)所引起的许多不良后果。因此,它同绝育素、拒食素等人工合成的昆虫激素一道,被人们称为先进的“第三代农药”。

螽斯、蟋蟀、蝗虫、老鼠等都用超声波通信。第一个被发现使用超声波的动物不是蝙蝠,也不是海豚,而是螽斯。它用的频率范围相当宽,从几百赫到十一万赫。螽斯的鸣声分三种,功能各异:“婚曲”是多音节或单音节构成的唧唧声。“单身汉”螽斯是不知疲倦的夜歌手,往往一唱就是好几个小时,如果这歌声被另一个“单身汉”听到,它们便此起彼伏地对唱起来。雌螽斯听到这歌声,便赶过来,选中歌声洪亮者,哪怕它是人工信号源。两只雄螽斯相遇便高唱“战歌”,面对面摆好架子,摇动着触角,大有一触即发之势;双方只有后撤了事。当周围出现异常或危险时,螽斯便发出“警鸣”。一只一叫,其他螽斯闻之噤若寒蝉,以收到销形敛迹的效果。螽斯的鸣声由翅膀擦刮产生。它们在第一对腿上有裂缝状的“耳”——鼓膜器。

海豚也能够相互“交谈”。一只海豚能用适宜频率的声音把情况通知给另一些海豚,比方说,它能够描述在多远的地方有一条鲨鱼,有多大。往往有这样的情况,如果海豚受伤,不能升到水面上呼吸空气,它就发出求救信号。这种信号似乎由两部分组成:起初吱吱声调升高,而后降低。附近的海豚听到此信号,立即前来抢救。最先赶到现场的海豚,首先把受伤的海

豚轻轻推向水面,吸一口气后,蒙难者复又沉入水中。同时,拯救者和蒙难者用简单的吱吱声语言“交谈”着。

海豚的脑子是相当大的。从相对重量、大小和复杂性等方面来看,海豚的脑是很发达的。它的大脑半球主要由所谓灰质组成,为许多沟回所覆盖,其貌似核桃仁。所以,现在有人认为海豚比猴子还聪明,是海洋中的“智能动物”。世界上已经有过许多关于海豚救人的报道,这主要是因为它喜欢推一下在水里发现的物体。因此有人提出了一个应用海豚的巧妙办法:在飞行员的飞行服里装上带有海豚求救信号录音的小型发报机,如果一旦飞机失事飞行员坠落海上,放送这个录音便能召来附近的海豚,而海豚则能吓退凶恶的鲨鱼。这样,坠落海上的人就能避免鲨鱼的伤害。

另外,已经能训练海豚来照料人工饲养的海鱼。有实验表明,受过训练的海豚可参加水下救生,或给潜水员传送工具和信件。可以预料,海豚将协助人类征服海洋,特别是近海的开发。海豚也能像鹦鹉那样模仿人的声音。有一种“频比声音鉴别器”,能记录、分类和保存海豚发的声音,也可以记录模仿海豚的人的声音。仪器能自动比较人和海豚发出的声音,指出它们的相同点。然后,再把人的这些声音重新放送给海豚听,试图与它建立某种形式的声音信号联系。一旦这种人—海豚信号联系建立起来,就可以训练海豚去执行复杂的任务了。

十一、生物化学原理的模仿

当代生物学在物理学、化学等学科的推动和渗透下,非常迅速地发展起来,逐渐由观察生命活动的现象深入到认识生命活动的本质。以生物大分子作为生物原型进行深入研究,阐明其功能特性,必将为化学各领域内寻求新的技术原理,创造新的化学工艺开辟十分有效的途径。于是,在分子生物学迅速发展的推动下,在化学和生物学之间又产生了一门新的边缘科学——化学仿生学。化学仿生学是在分子水平上模拟生物的功能,将生物的功能原理用于化学,借以改善现有的和创造崭新的化学原理和工艺。

化学仿生学是一门新兴科学,它的研究不仅渗透到分子生物学的各种研究对象,而且最终是对各种生物过程的化学模拟,尽管人们对于化学仿生学的研究范围、意义和发展有不同的认识,但是已经有越来越多的化学工作者以原来的化学学科基础为出发点,进行探讨模拟生物过程的各种可能性。就目前已经开展的工作范围和设想,化学仿生学的研究大致包括以下几个方面:

- 1、生物体内化学反应过程的模拟;
- 2、生物膜的模拟;
- 3、生物体内能量转换的模拟。

海水淡化器和“人工鳃”

古老的传说讲，鳄鱼在吞食牺牲品时总是流着悲痛的眼泪。所以，早就有了众所周知的谚语“鳄鱼的眼泪”，并常常用这句话来形容那些伪君子。近年来的研究发现，鳄鱼的“泪水”是很丰富的，但这并不是怜悯，也不是多愁善感，而是排泄出来的盐溶液。鳄鱼“眼泪”秘密的揭示，是近年来生理科学的一个发现。我们知道，有些动物的肾脏是不完善的排泄器官。为了从体内排除多余的盐类，它们就发展了帮助肾脏进行工作的特殊腺体。对于鳄鱼来说，这种排泄盐溶液的腺体正好位于眼睛附近，所以当它吞吃牺牲品时排泄盐溶液，竟被误认为在淌“痛苦”的眼泪了。

此外发现，海龟、海蛇和海蜥蜴身上也有类似的盐腺。在一些海鸟，如海鸥、信天翁和海燕等身上，也有盐腺。它们的盐腺位于眼睛附近。盐腺排出的盐液经过鼻孔流到鸟喙，又从喙尖上滴落下来，看上去就好像把海水喝进去再吐出来。

这些动物的盐腺构造差不多一样：当中有一根管子，向周围辐射出几千根细管，好像洗瓶刷子那样。这些细管子与许多血管交织在一起，它们把血液中多余盐分离析出来，经过当中的那根管子排到身体外面去。盐腺除去海水中的多余盐份，动物得到的是淡水。所以盐腺是动物的天然“海水淡化器”。

随着海洋资源的不断开发，人类和海水打交道的机会越来越多。海上作业或者远洋航行时，人们都要储存大量淡水，

以供食用。因为周围的海水虽多,但由于其中含有大量的氯化钠(食盐)和其他多种元素,人却不能饮用。因此,人们一直在寻找淡化海水的方法,特别是研制结构简单、体积小、重量轻、效率高的海水淡化器设备。这对于航海事业和海洋开发具有十分重要的意义。在这个问题上,人们完全可以向生物界学习。

现在人们已经模仿鱼类制作出了“人工鳃”,这样,人们就可以像鱼类一样,能够长时间在水中活动,自由呼吸,而无须背负笨重的氧气瓶。

鱼类之所以能够长期呆在水里,是因为它们具有特殊的呼吸器官——鳃。生在鱼类头部的鳃,由紧密排列着的鳃丝组成。鳃丝两侧是突起的鳃小片,鳃小片上密布着微血管。因此,鱼鳃一般都呈红色。鱼类不停地把水从口中吞入,经过鳃丝,而后从鳃孔排出。当水通过鳃丝时,鳃小片上的微血管能摄取水中溶解的氧气,并向水中排出二氧化碳,完成呼吸过程。

人们模仿鱼鳃的结构,用两层硅橡胶薄膜做成了一种具有类似鱼鳃功能的半透膜。它只允许溶解在水中的氧气通过,而不透过水和其他气体;在相反的方向上它只允许二氧化碳通过。如果把一只老鼠放进用这种半透膜作壁的容器,然后将此容器放入水中,这只老鼠在其中仍能正常生活。老鼠呼吸所需要的氧气,是通过薄膜从水里进来的(水里溶解有氧气)。它呼出的二氧化碳则通过薄膜进入水中。用这种人造薄膜可以做成人在水中呼吸使用的“人工鳃”。

生物细胞的细胞膜,对不同物质也具有选择性通透。由于细胞膜能够调节细胞内外物质按一定方向有秩序进出,因而

保证了细胞代谢的正常进行。

模拟各种生物膜以制造工业用“人工膜”，已成为一门新技术——膜技术。具有特定性质的“人工膜”，可以用于液体或气体的分离、海水淡化、污水处理以及某些物质的分离、净化和浓缩。“人工肺”和“人工肾”的制造也离不开“人工膜”。

前面我们说生物具有排泄多余物质的能力，除此之外还有浓集某些元素的能力。海参血液中钒的浓度达到 10%，海带的含碘量为海水的一千到十万倍，海蜗牛收集铁，大海虾和某些软体动物则浓集铜、镍、锌、锡、铅等金属。植物的根系也能浓集多种分散的元素。模拟生物的这类功能，将为人们提取和浓集分散状态的元素提供新的技术。

生物光源

谈到生物发光，人们首先就会想到萤火虫。每到夏秋，当夜幕降临的时候，总可以看到萤火虫三三两两在池畔草原飞来飞去，它那银色的光辉，是那么柔和、悦目，就像天上掉下来的小星星。如果你捉到一只萤火虫，摸摸它的发光部分，就会发现它是冷的。

自然界中能够发出“冷光”的生物很多，海洋里发光的生物要比陆地上多得多。在海洋里，某些悬浮在海水上的细菌、甲藻、放射虫和某些鱼类，以及一些甲壳类动物和软体动物如乌贼、章鱼、糠虾等，都有发光的性能。

在我国辽阔的海洋里，乃至一些咸水湖中，都广泛地分布

着一些发光的生物，它们所发出的荧光，渔民们叫做“海火”。

有一种称作“钓鱼者”的鱼，又叫蛤蟆鱼。它生活在几十米至几千米深的海底，几乎完全失去了游泳能力。背鳍的第一棘特化为长长的丝状“钓杆”，顶端有一个像盏小灯笼的膨大的发光器。游过的鱼类常把在水中摆动着的这盏小灯笼误认为是食物，上去就是一口。这时就把大口一张，周围的水突然形成一股下陷，随即又把“钓杆”往口中一甩，便坐食美餐了。

生物发光，是“化学发光”的一种特殊形式。不同的生物，发光的方式也不尽相同，一般说来有三种。

一种是由细胞内发光。这种发光过程是在生物体内专门发光器官里进行的。萤火虫的发光属于这一种。在萤火虫腹部的末端有一个特殊的器官，叫作发光器官。它的结构很像一架精密的光学仪器，里面分透明层、发光层和反射层三部分，透明层在发光层之后，相当于反射镜。发光层内有几千个发光的细胞。发光细胞的主要发光物质是荧光素与荧光酶。荧光素是一种点不完的“灯油”，它是由碳、氢、氧、氮所组成的耐高温物质，很容易氧化。荧光酶是一种不耐热的、分子量也不很大的结晶蛋白。它是催化剂，又是辐射体，当荧光素和氧气接触的时候，在荧光酶的催化作用下，荧光素在细胞内水分参与的情况下，与氧化合并同时发出荧光来。这种氧化了的荧光素有个特点，能够“死灰复燃”，当它与水化合以后，又还原成荧光素，因此可以反复使用。氧气的供应是由气管输送来的，它的调节又是由神经来控制。氧气充足，光就亮；氧气少，光就暗。正因为这样，萤火虫的光有时忽明忽暗，好像天空中不时

在眨着眼睛的星星。

萤火虫的发光是为了生存而进化来的。荧光是萤火虫的“求婚书”，是为了寻找配偶、繁殖后代而发出的信号。雄萤在一两米高的空中飞舞，先发出短暂的闪光。一段时间后，附近草地上的雌萤便发出回答的闪光，雄萤得到信号便飞向雌萤，同时继续发放信号，直到会合在一块。

另外一种是在细胞外发光。即生物把发光物质排出体外而引起发光现象。如海洋里的一种小动物——海萤，就是这样发光的。

海洋里生物所以能发光，和萤火虫一样，也是由于它们体内有发光器。但它与萤火虫的发光器不同，里面不是荧光素和荧光酶，而是存在一种细胞，它能分泌出一种含磷质的粘液，在氧化酶的作用下，磷经过氧化而发出荧光。也有少数高等海洋生物，能向体外分泌出一些发光的液体和粘液，从而在它的周围，也能形成美丽的光环。

还有一种是“共栖细菌发光”， 的发光属于此种。的那盏小灯笼里窝藏着一些发光细菌，它们靠 供给养料， 以它们为钓饵。二者互相依存，形成一种特殊的共栖关系。

有趣的是，许多发光生物在通常情况下，并不发光，只在外界条件的刺激下，才发出光来。刺激发光生物发光的外界条件，包括海水的流泻、波浪的冲击、发光生物之间的相互碰撞、船舶的行驶、鱼类的游泳，以及其他物体引起海水的搅动等等。在有发光生物存在的海洋中，当它们穿过水层浮升水面的时候，就像从水下射出一束束焰火；当水蚤在水面跳动的时候，

候,就像整个水面都闪动着点点火珠;当凶猛的鲨鱼穿水追猎食物的时候,就像一颗流星划过天空;当鱼群在水中前进的时候,海面上就像漂浮着一张金光灿烂的席子;当海水被风搅成旋涡的时候,海面上就会出现许多个“风车形”的海火。这些变幻多端、转瞬间即逝的景色,往往叫人眼花缭乱,赞叹不已。

与人工光源相比,生物发光有着许多优点。电光源在发光过程中,灯丝一般要烧到 3000°C 的高温,90%以上的电能变成热浪费掉了,因此叫做“热光”。如普通的电灯泡(白炽灯)的发光效率不到 10%,荧光灯也不过 25%。而生物发出的是一种不放出热量的“冷光”,发光效率几乎是 100%,可将化学能全部转变成光。

后来,人们利用荧光材料制成了日光灯(荧光灯)。这种灯与普通的白炽灯不同,看上去,是一根白色的管子,你会以为它是磨砂玻璃制成的吧?其实,这是因为玻璃管的内壁涂有一种荧光物质;透过这层物质,你还能看到一点蓝幽幽的水银蒸汽,此外管内还有看不见的氩气,管子两端有两个电极,上面涂有能够发射电子的物质,当加上电压后,即发出电子,撞击水银蒸汽与氩气的粒子,使水银蒸汽和氩气发射出大量的看不见的紫外线。荧光物质在紫外线的激发下,就发出一种柔和悦目的光。这也是一种“冷光”。各种不同的荧光物质,发出各种不同颜色的光线。如钨酸镁可以发出淡青的颜色,钨酸钙发出青蓝色,矽酸锌发出绿色,矽酸铍发出淡黄色,硼酸镉发出淡红色的光等。采用不同的荧光粉,和充入不同的气体,可以制造各种颜色不同、鲜艳夺目的霓虹灯。也可以用几种荧光物质,按不同的比例配合起来,发出和日光一样的光线,更适合

照明。由于日光灯点燃时温度不高,所以它比一般电灯省电,它的发光效率大约是白炽灯的四倍,寿命也比白炽灯长七到十倍。

此外,城市街道上的高压水银灯也是同日光灯的道理相同。能发“冷光”的东西很多。有些小闹钟和手表字盘指针,就能发出绿荧荧的光。这是由于它伞面涂有一种硫化锌或硫化钙等荧光物质,在飞机和大炮的仪表盘数字上,也涂有荧光物质,所以飞行员和炮兵就是在夜间也能操作。电视机、X射线仪器、电子显微镜和无线电探测仪的荧光屏上也涂有荧光物质。

近年来,许多研究者正在深入对生物发光的机理进行研究,以求制造新型高效人工冷光源。人类大规模使用冷光源照明的日子,已经为期不远了。到那时,室内涂有特殊发光物质的墙壁,白天接受阳光照射储存能量,夜晚便可“大放光明”!

生物电池

动物界是千奇百怪的,有五百多种鱼,其体内还具有专门的发电器官,能够发出电流。有一种非洲电鳐能产生 350 伏的电压,可以击死小鱼,可将人畜击昏。北大西洋的巨电鳐,则能产生 60 伏、50 安培的电脉冲,功率高达 3 千瓦,足以电死一条大鱼。南美洲的电鳗是电鱼中发电功率最高的,电压可达 800 多伏。世界上的第一个人工电池——伏打电池,就是根据电鳐和电鳗发电器官的原理制成的。

另一种生物电池,叫做“生物化学燃料电池”,则是利用细菌传递电子的原理设计的。在新陈代谢过程中,细菌能产生一种副产物——热。有机物腐败时产生热,这是因为分解物质的细菌从氢中夺取电子并转交给氧,即氧化的缘故。人们利用细菌的这种传递电子的本领,找到了一种使细菌直接产生电流,而不产生热的有效方法。

1911年,英国人波特制成了一种用活的酵母菌产生电的生物化学燃料电池,这个电池由大、小两个容器组成。小容器的壁是用具有单向通透能力的“半透膜”做成,里面装有活酵母菌和葡萄糖的混合液。这只小容器浸在装着溶有氧气的葡萄糖溶液的大容器中。在两个容器中各插一根白金电极。由于酵母菌传递电子的作用,使两种溶液具有不同的电位,因而两电极间便存在一电位差,构成一个电池。用这样六个酵母生物电池组成一个电路,可产生1.25毫安的电流。这说明微生物在分解有机化合物时,可以释放出电能。

这种生物电池比起普通电池有许多优点:它不放热、不损坏电极、工作可靠、寿命长。更重要的是,生物电池能够利用许多废物如海洋沉积的有机物、阴沟污物、垃圾、锯末、树叶等作燃料。这一点引起了人们极大的兴趣。

目前,生物电池作为电源,已试用于信号灯、航标和无线电设备,其中许多虽然经过长期使用,却仍像刚开始那样有效。用细菌、海水、有机物质供电的无线电发报机的工作距离已达到几十公里,生物电池作动力的模型船也已在海里游弋。

载人航天飞船的一个大问题,就是食物、水、空气和燃料的重量和它们所占的空间问题。例如,4个人进行一次往返金

星的宇宙旅行,路上 8 个月需要的食物、水、空气的重量将等于或超过航天飞船本身的重量。怎么办?设计师们只有向自然界寻求答案。飞船上的生活系统叫“密闭循环”或“密闭生态”系统。在这里,除了太阳光外,东西不会增加也不会减少,空气、水和其他物质必须一次又一次地利用。由于生物电池可以利用生态循环中的产物,人们自然就想到请它来帮忙了。

这个自给自足的“密闭生态”系统,可以形象地叫做“宇宙的绿洲”。它包括生物电池、氧、水、藻类和尿素。氧和尿素供给生物电池作“燃料”,生物电池则供给飞船用于通信和控制的电能。生物电池同时也提供新鲜的水饮用,和作为空气成分供呼吸用的氮气。在光合作用转换器中,通过太阳对藻类的作用,二氧化碳和一些水形成有营养的碳水化合物,并放出氧气。航天飞行员呼出的二氧化碳和身体排出的废物供给光合作用转换器,而尿液则给了生物电池。结果,太阳光能变成了飞船用的电能和人体消耗的各种能量。就是这样一种“密闭生态”系统的设计方案。

向宇宙进军的同时,一场征服海洋的战斗也正在激烈地进行着。一望无际的海洋是一个巨大的天然生物电池;在海底层,细菌分解硫酸盐和海底沉积物中的动植物残骸时,形成了多余的氢离子(H^+);而在海洋表层,藻类的光合作用则产生过多的氢氧根离子(OH^-),于是电位差形成了。可以预料,人们将会在海上建立起大型的天然生物电站,以从海洋中取得大量电能。

高效催化剂

早在四千多年前,我国劳动人民就掌握了酿酒技术。其中所用的酒曲,实际上起的就是催化剂的作用。催化剂是能大大促进化学反应进程的一类化学物质。现在,许多基本化学工业、食品工业和制药工业都用到它。没有它,整个化工行业的生产就成了空中楼阁。

目前,工业上用的催化剂一般是金属和它的氧化物、络合物等。在食品、制药等工业部门,还应用另一类生物催化剂——酶,它们是从生物体里提取出来的。

生物的活细胞,是天然化工厂。生物在进化过程中,获得了能经济而有效地合成生命活动所必需的一切有机物的惊人本领。

生物的活细胞,是一个“反应堆”。在细胞中,可同时发生一千五百到两千个化学反应,而且完成这些反应的速度极快。例如,由缬氨酸开始,合成一条由一百五十个氨基酸组成的肽链仅需一分半钟。尤其惊人的是,只需在常温、常压下就能完成这些反应。相比之下,现代的化学合成技术是何等的“笨拙”,不但必须在几百、上千度的高温和几百个大气压的高压下才能进行反应,而且最多只能同时进行几十个反应。

二者的差别为什么会这样大?最根本的原因就在于,在活细胞的化学反应中,起着支配和调节作用的是生物酶。

据估计,一个活细胞中往往含有几千种生物酶,它们的催

化效率比化学工业上应用的无机催化剂要高得多,而且有很强的选择性,一种酶仅仅催化一种特定的反应,并且往往只是一个反应。这也大大加强了生物酶的催化作用。例如,过氧化氢酶只催化过氧化氢的分解反应,对其他任何反应都不发生作用,像一把钥匙只开一把锁一样。同时,一个过氧化氢酶分子一秒钟能分解一千万个过氧化氢分子,效率比无机催化剂高出许多倍。

因此,人们还在努力寻找把酶反应应用到化学工业和化学分析中去的有效方法。但是,生物活细胞中酶的含量极少,要提取和纯化它们是十分困难的。因此,要在化学工业和化学分析中广泛采用生物酶去催化化学反应,几乎是不可能的。而人工模拟,合成生物酶,才是可行的途径。不过,生物酶本身是一种蛋白质,是由一连串氨基酸组成的,其化学结构远比无机催化剂复杂,因而要用非生物学方法完全严格地模拟酶也相当困难。

经过对酶的深入研究发现,简化酶结构和在一定范围内减少蛋白质链的长度,并不影响酶的活性。例如,将木瓜蛋白酶分子减少 70%,仍不失其活性。这说明酶的活性中心——催化过程发生的地方,是大分子化合物的某一小部分。这就意味着,即使我们不能模拟酶的全部结构和功能,如果能建造酶的活性中心,那么,我们至少也能成功地模拟某种酶。因此,研究酶的活性点的结构是模拟生物酶的一个重要途径。

对生物固氮酶的生物化学研究和化学模拟,是生物酶研究的一个例子。氮肥是植物生长发育必不可少的养料。氮是人工化学合成的氮肥。如果按每亩施用二十公斤氮计算,我国

的十六亿耕地每年就需要三千二百万吨氮。而目前全世界氮的年产量不过几千万吨,远远不能满足人类的需求。因此,寻找合成氮的简易方法,自然就成了举世瞩目的重要研究课题。

高等植物不能直接利用空气中的氮气作养料。但豆科植物根上的一种微生物——根瘤菌,则可以通过体内固氮酶的作用,从空气中取出氮,从水中取出氢,并将二者合成氮,被植物的根部吸收。固氮微生物合成氮的过程,是在常温、常压下以极高速效率进行的。

化学模拟生物固氮的最终目标,是要模仿固氮微生物所特有的固氮酶的作用原理,以使用水和空气作原料,在常温常压下直接合成氮。在科学家的努力下,这项研究工作已经取得了可喜的成果。只要冲破通往大规模生产道路上遇到的某些具体困难,就可最终达到实用的地步。到那时,不但农业生产可以得到充足的廉价氮肥,而且对化学工业的发展也将产生深远影响。

绿色化工厂

地球上生活着由二百万种生物和我们人类共同组成的生命系统,而开动这个庞大系统的是太阳的光能。生命系统对光能的利用,靠的是绿色植物的光合作用。

在地球和生物进化过程的初期,海洋植物通过光合作用,在把太阳能固定在有机化合物中的同时,向空中不断地释放出氧气。正是靠了亿万年累积这些氧气,才使氧在空气中的含

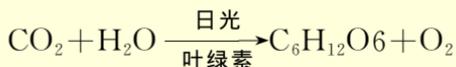
量从 0.05% 逐渐增长到 21%，从而建立了地球的大气层，在地球上为生命系统创造了一个合适的生活环境。

光合作用是在绿色植物中进行的，那么为什么植物是绿色的？光合作用又是如何进行的呢？

原来，叶子之所以发绿，是因为它含有一种绿色的色素，叫做叶绿素。同它一起存在的还有一些其他色素，如：花青素、叶黄素、胡萝卜素等。不过这些色素的含量都比较少，在植物生长发育时期叶子里的叶绿素最多，于是把其他各种色素的颜色盖住了，所以看起来叶子都是绿色的。

绿色植物叶子的上下表面——表皮，有很多小孔——气孔。在表皮下有許多圆柱或椭圆柱形叶肉细胞，其中含有許多绿色颗粒。这些含有叶绿素的颗粒就是叶绿体。叶绿体的体积很小，只有一粒米的万分之一那么大。光合作用就发生在叶绿体内。

叶绿素分子在太阳光的照射下，经过一系列复杂的化学反应，把从空气中吸收的二氧化碳与水化合生成葡萄糖，同时放出氧气：

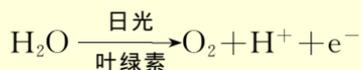


依靠光合作用，太阳的光能转移成了有机化合物的化学能，也可以说把太阳能固定在化合物之中了。地球上固定在光合作用中的能量，约为到达地球表面的 81 万亿千瓦太阳能的千分之一。

光合作用不仅可以制造出由大量葡萄糖分子失水缩合而成的淀粉，而且能在生物酶的作用下合成蛋白质、脂肪、维生

素等有机物质。植物的绿叶,实在是一个奇妙的“绿色化工厂”。人类如果能成功地模拟叶绿体中的生物催化反应及其调节功能,就将导致有机合成化学工业的深刻变革。

模拟光合作用的机理,还将为人类提供获取新能源的技术。因为光合作用的初期阶段发生着水的光解过程。在这个过程中,水分子(H_2O)被太阳的光能分解为氧气(O_2)、氢离子(H^+)和电子(e^-):



只要我们能够设法使 H^+ 与 e^- 结合成氢气,并将其收集在一起,便可构成一种“氢气发生器”。氢气是可以代替石油和天然气的好燃料。如果我们能够设法取出电子,还可制成“光化学电池”,为人类提供廉价的电能。

由于人们对光合作用的探索,找到了提高农作物产量的途径。假如,你留心一下生长得较好的水稻、小麦、高粱、玉米、大豆、棉花或蕃茄,就会发现,它们的叶子都长得很有秩序,像排好队一样。如果,从顶上俯视下去,叶子就像分布在平面上一样,很均匀地生在茎杆的周围,上层的叶子很少遮盖下层。从来也没有见过叶子像一本书那样叠在一起长的植物。植物叶片这样配置,就是为了充分吸收阳光。

在长期的农业生产实践之中,人们早已觉察到,农作物南北方向播种的收成,要高于东西方向播种的。有人作过统计,马铃薯可多收百分之二,亚麻可多收百分之五以上。这是因为,南北方向播种的作物,在早晨和傍晚,由于太阳斜射,可多得到一些阳光。

近年来,国外一些科学工作者正在探索夜间用灯光照射植物、促进植物生长的新方法。因为植物一般在夜间生长比白天快,往往在夜间连续照射四小时就抵得上白天照射八小时。而且,他们还发现,如果采用周期性人工光照的方法,那么,所需要的光照时间就会更加缩短。人工光照的研究,还在进行中。

由于在光合作用过程中,植物还需要很多的二氧化碳,而大气中二氧化碳的浓度还是有限的,仅为百分之零点三四,这对植物来说,是不大充裕的。如果能提高大气中二氧化碳的含量,也可以使植物生长得更快更好。

总之,农作物增产的潜力十分巨大,就看人们有没有本事把它挖掘出来。

不过,研究光合作用的全部意义,还不止是这一点。人们还有一个美好的理想:模仿植物的光合作用过程,在工厂里用二氧化碳、水和太阳能来生产粮食。

当然,“绿色工厂”有许多地方还向我们“保密”哩。要完全了解它的详细情况,还有待人们作更多的努力。

化学武器

你知道什么叫化学武器吗?

它指的是装有有毒物质的炸弹、炮弹、火箭弹或导弹头等。这种武器通过爆炸,散发出有毒物质来杀伤对方的人畜,毁坏庄稼,污染水源。这些有毒的物质,有的毒害人眼,引起烧

灼、刺痛、怕光、流泪,以至眼球、眼眶或头部剧烈疼痛;有的经鼻腔和嘴,进入肺部,使人既不能吸收氧气,又呼不出二氧化碳而憋死;有的使人昏睡,有的使人瘫痪……。

由于化学武器能大量地屠杀人类,因此它遭到了全世界爱好和平人民的强烈反对。国际上曾作出过禁止使用化学武器、细菌武器的决议。但是,就目前国际形势来看,战争仍然在或大或小的范围内持续进行着,化学武器的使用也就存在着可能性,因此我们必须懂得制造化学武器的原理,从而更好地保卫和平,反对侵略战争。那么,化学武器是怎么造出来的呢?那是从放屁虫的肚子得到的启示。

放屁虫,学名叫气步,是一种很有本事的小昆虫。放屁虫一旦遇到对自己有威胁的对手时,就转过身来,尾巴一撅,放出十几“炮”,熏得对手仓皇逃窜。放屁虫使用这一招,仗的是它有一套“先进的化学武器”。

放屁虫的肚子里有一个能进行化学反应的反应室,反应室的一端有个开口直通肛门;另一端几个开口,有专门的管道通向几个腺体。这些腺体里,专门生产并储存着过氧化氢、对苯二酚和过氧化氢酶等原料。平时,这些原料在各自的腺体里,互不相干;各管道的“闸门”不开,不会相互接触,十分安全。就连极易分解而发生爆炸的高浓度过氧化氢,也可以存在肚子里安然无恙。一旦放屁虫感到自己受到威胁而需要抵抗时,它就猛然收缩肌肉,储存在腺体内的各种原料就一起被挤到反应室里。这时,在过氧化氢酶的作用下,对苯二酚则被氧化成有毒的醌。由于这些反应放出大量的热,使醌水混合物达到沸点,在气体的压力下喷射出来,发出噼噼啪啪的爆炸声,

并形成一团烟雾。这就是放屁虫的化学武器,它不但温度高而且还有一定的毒性。

现代火箭、泡沫灭火器以及各种化学武器,都是从放屁虫尾巴一撅而得到启示制造出来的。

火箭先把液态的氢气和液态的氧气分别存放,用管道通向反应室,一旦点火之后,进入反应室的氢和氧发生剧烈的化合反应,生成水,在高温下变成水蒸气猛烈从尾喷管向后喷去,推动火箭前进。

泡沫灭火器的原理也是如此。灭火器钢壳里面是一种双层结构,上方一个小玻璃瓶,里面放的是硫酸铝,小瓶和钢壳之间是碳酸氢钠溶液。正放的时候,这两种药口互不接触,不会发生化学反应。救火时,把灭火器一倒过来,碳酸氢钠溶液就流进小瓶,小瓶里的硫酸铝也会流出来,立即发生反应,有大量的二氧化碳气体和白色的氢氧化铝泡沫生成,壳内气体和泡沫越多,压力越大,二氧化碳和氢氧化铝泡沫一齐从喷口里喷出来,盖在燃烧的物体上,隔住了氧气,使物体不能燃烧,达到灭火的目的。

化学武器也不是把有毒物质一开始就放在炸弹里的,如果那样做炸弹,工人不是首先中毒了么。而是先把无毒的有关物质分别存在几个容器里,在爆炸前,使这些物质进入反应室,反应生成有毒物质,利用炸弹爆炸的冲击波把有毒物质扩散出去。

特种粘合剂

我们平常使用的胶水、浆糊,只能将纸张粘在一起。在有些情况下,人们需要将钢板粘合在一起,如船在航行中发生漏水时,就需要一种特殊的粘合剂。现在这种粘合剂已研制成功,它是在研究了茗荷的附着机理后研制成功的。

茗荷,又名石砌、藤壶,是一种海洋甲壳动物。它生活在近岸地带,固着在峭壁上,故能经得起海浪的猛烈冲击。它也常固着在船身上,致使船速变慢,所以必须设法防除。数年前,人们在研究船身的抗附着生物的材料时,开始对它引起了注意。

原来,这种小动物在成熟初期,能分泌一种粘液,以把它终生固定在一个地方。粘液把它固得非常牢靠,以至于要把它从船壳上除掉时,往往会把钢屑也带了下来。因此,人们预料,这种粘液必然会有许多用途,所以便着手进行分析研究和人工合成。

现在已经采用特殊的薄层色层分析法鉴定,茗荷儿粘液由 24 种左右的氨基酸和氨基糖组成。类似茗荷儿粘液的“特种粘合剂”适用在 $0\sim 205\text{C}$ 的温度范围内,且具有很高的抗张强度。因此,用来粘连建筑结构单元,可以说是“超级水泥”。同样,也可用于造船和机械制造业,甚至航天。进行电气安装时,有的电子元件不耐热,不宜焊接,但用这种粘合剂却是非常理想的。尤其是这种粘合剂用于海船补漏再合适不过了,只要 5—10 分钟的时间,便可在水下将钢板粘在漏洞和裂缝上。

这种粘合剂与现在的几百种粘合剂相比,还有一个优点,即不一定需要“清洁而干燥”的表面,它能粘接除铜和汞外的任何东西。这一点在医疗上也很有用处。因为现在虽已制造出用来止血和代替手术线的粘合剂,但类似茗荷儿粘液的粘合剂更加优越:如果皮肤划破了口,像粘接纸张一样,用它一粘即合,迅速极了。

此外,人们发现海洋动物海盘车也能分泌特殊的粘液,以帮助它栖息在水下岩石上。在弄清这种粘液的化学成分后,人们也将会模仿合成新型的粘合剂。

十二、大脑与电子计算机

在二十世纪四十年代至五十年代初期,一些科学和工业技术发达的国家,在工业生产和军事技术方面已开始采用各种自动调节器、伺服系统及有关的电子设备,实现生产操作的自动化或半自动化。尤其是在四十年代末期电子计算机问世,对自动化技术的发展和应用以很大的影响。电子计算机能够自动进行快速的大量数字计算,不仅计算的精确度高,还能进行某些判断的推理工作。作为一种能计算、有记忆、“会思考”的自动机器,为人们提供了脑力劳动自动化的技术工具。因此,自动化科学技术的出现,就使人们从繁重的体力劳动和大量的重复的脑力劳动中解放出来。

高等动物的神经系统,尤其是人脑,作为控制系统乃是世界上最完善的自动控制系统。电子计算机的构造和工作过程的不断改进,在一定程度上是对神经系统和神经活动过程进行模拟的结果。正是由于电子计算机与大脑在机能上有许多相似之处,因此借助于计算机,人们就可以很好地去研究大脑的思维活动及其工作原理;而计算机的设计师们则可以通过仔细研究大脑这部“天然计算机”的工作原理,去改进现有的,或创制新型电子计算机。

大脑和计算机

电子计算机是人类的一大发明。它的出现,使信息加工实现了自动化。

随着电子计算机性能的不断改进,它的应用范围也在逐渐扩大。今天,人的任何脑力活动,只要能够将其转换成算术算法,写成明确的计算机程序,原则上都可以用现代数字电子计算机去完成。因此,电子计算机已被人们誉为“电脑”。

通用性,是数字电子计算机最突出的特点之一。同一架电子计算机能进行加法计算,也能进行其他各种复杂的数学计算,还能够处理数据、控制自动化过程、解逻辑问题、翻译语言、诊断疾病、下棋、作曲,写诗,以及完成其他许多本来是只有人才能完成的工作。因此,计算机已被广泛应用于工业、农业、商业、军事、科技、文化教育、医疗卫生各个部门以至于用于家庭生活等各方面。

除了通用性,计算机的另一特点是运算速度快。现代的快速数字电子计算机,每秒钟能够完成十几位数字的上亿次运算。它在几分钟里完成的计算工作,需要一个人用尽毕生的时间才能完成。因而用电子计算机就可以去解要花费成千上万人的一生才能精确计算的、极为困难的复杂问题;也只有用它才能去控制诸如火箭、宇宙飞船等快速运动的系统,以及原子反应堆、化学反应等快速过程。在这些方面,电子计算机确实比人有着无比优越之处,是人们得心应手的工具。

但是,计算机也并非十全十美,它在许多方面,与人脑相比,仍存在天壤之别。比如,可靠性和记忆等方面。在这里,我们着重讨论一下有关记忆方面的差别。

记忆,是思维活动和数学运算的基础。记忆的过程就是信息的储存过程。

人的记忆,或者说信息存储机构的容量和灵活性,在很大程度上使得人体具有了复杂的行为。同样,计算机的逻辑性能以及解题速度的快慢、范围的大小,在很大程度上也是取决于它的信息存储部件的特性。因为每完成一个基本操作或计算,都伴随着信息的存储,所以计算速度将直接受着存储器存储时间的限制。一般说来,人脑可以储存 10^{15} 比特(比特是信息量的计量单位)的信息,信息存储密度达到每立方厘米 10^{12} 比特;而最好的人造信息存储系统,信息存储密度不过每立方厘米 10^7 比特,仅为人脑的十万分之一。信息存储的容量要大,信息的恢复也要特别快。因为如果对所记忆的信息不能迅速而有效地利用,那么记忆的信息再多,用处也不大。可是,容量大和恢复快,这两项要求是互相矛盾的。存储器的容量越大,要寻找能读出或记入相应信息的存储单元的地址,就变得更加复杂,所需要的时间也就随之增加。

在现代大型通用数学计算机里,利用磁带转盘装置储存信息,可以保存 10^6 —— 10^7 或更多个数字。但是,要从这种磁带转盘装置里寻找一个存储单元,往往需要几秒钟的时间。这个时间与计算机的运算速度是极不协调的,因为它完成一次运算只需要百分之一秒或更短的时间。

为了寻找与现代计算机的运算速度相匹配的信息存取机

构的设计原理,深入探讨大脑的机能原理,是一条极好的研究途径。要提高包括计算机在内的机器的记忆性能,特别要从探讨人的记忆与技术系统的存储器之间的质的差别入手。

在计算机里,每个数字或者他种信息,是严格地按顺序固定在具有确定的号码或地址的存储器单元里的。而且,从存储部件选取信息的过程,则严格服从计算过程的逻辑,与信息内容本身无关。而我们人,从记忆中选取信息的过程,则总是与一定的联想相联系。如果一个人说到“树木”这个词的时候,他很快就会由此联想到树干和枝叶的形状、颜色,联想到各种树木以至森林等有关的信息。这种不凭明确指定的地址,而凭联想选取信息的机制,就大大便利和加速了信息的选取过程。生物系统的这一机制,将为“逻辑信息机”等技术装备提供一种再好不过的设计原理。

生物记忆还有一个优点。现在一般认为,生物的记忆器是神经元的直接组成部分。而电子计算机的存储器则位于直接利用它的区域之外——机器的内存储器和外存储器把信息与运算器交换,在运算器里进行数据的交换运算。

毫无疑问,随着电子计算机的发展,它们的“脑”会越来越接近我们人的神经系统。例如,控制我们身体各部分的神经纤维,是从脊髓中央干发出来的。脑接受信号,加工随之而来的信息,并记忆它们。电子计算机也完成类似的工作,但这是较狭窄的专门的工作。

这里,要特别强调指出的是,计算机永远不会完全具备人脑的功能。无论计算机的功能如何高强,它都是由人所设计和制造,并被人作为工具使用的。

可靠的精巧模型

研制自动适应系统,现在是技术上的当务之急。一台技术装置(计算机或自动控制机),当其任何一个部件、甚至任何一个元件损坏或发生故障,线路发生断路或短路时,整个装置就不能工作了。因此,在用电子计算机驾驶的电气机车驾驶室里,总要有人“以防万一”。也就是说,控制机越复杂,组成的元件数目越多,发生故障的机会也就越多,机器的可靠性也就大成问题。

另外,在广泛运用自动调节和自动控制时,往往碰到一些特性不完全确定,或变化方式事先不知道的对象。当电子计算机碰到未料到的变化时,由于机器里的算法是固定的,不能“随机应变”,因而常常使控制过程终止,或发生间外事故。情况是在不断变化着的,制造计算机时不可能把全部工作算法都存入其中。因此,这种机器应根据某些变化的条件,独立调整自己的工作以适应当时的情况。

与此形成鲜明对照的是,尽管人和动物脑的组成“元件”——神经元的数目远远超过任何机器,而它们都有着任何人造机器所不能比拟的高度可靠性。

人脑有一百亿到一百五十亿神经元。在人的一生中,每小时约有一千个神经元发生障碍,一年之内就有的九百万神经元丧失机能。对于八十岁的老人来说,他的大脑已经约有八亿神经元不起作用了,差不多占神经元总数的8%。最近更有人

估计,人活到 80 岁时,大脑神经元将可能死去 30~40%。然而,此时大脑几乎仍能保持其全部的工作能力。

损失了相当一部分神经元,人脑仍能正常工作,这并非由于神经物质的再生,而是因其在保存下来的神经组织中有着特殊的结构特点。首先,是生物体结构的“多余度”,也就是有大量的备份元件,同一种机能由许多个元件去完成,只要不是执行同一功能的全部元件同时损坏,就不会中断工作。这种结构上的“多余度”,也是人和动物在学习过程中具有自组织能力以及实现正常思维机能的物质基础。其次,是神经元交错联接,构成了神经网络。在神经网络里,一个神经元甚至联系着上百个其他的神经元,使它们在机能上产生了共济作用。这样,尽管单个神经元的可靠性比电子管、晶体管等元件低得多,而其整体却具有高度的可靠性。在这一点上,人造技术系统恰恰相反,是用可靠性较高的元件组成了可靠性较差的整机。

动物大脑的这些优异特征,引起了工程技术人员的极大兴趣。人们为了研制高度可靠的控制机,正在深入地研究神经元及其神经网络,并已制成了多种“电子神经元”。

利用人造神经元可以模拟大脑的多种功能,并已制成了自动识别机、自组织机、阅读机、语言分析器等。还可用人造神经元作元件连接组成“人造神经网络”,以实现某一特定功能,如图像识别等。有人研制了一种“飞行器控制系统”,其主要组成部分是一个由二百五十个人造神经元构成的大型网络。和目前的电子计算机不同,这是一种新型控制系统,它能对事先未列入程序的新情况作出正确反应,将可用于高性能的飞机和宇宙飞船上,其可靠性要较计算机系统高十倍。

此外,还有一种可靠性较高的电子线路。在这种线路中,为保证与普通线路同样的可靠性,只要求原来二百分之一的元件,而且每个元件的可靠性可低至原来的十分之一。据说,这个试验线路有一半元件发生故障时仍能正常工作。

人脑不仅是一个最完善的、而且还是一个极其精巧、经济的信息处理与控制系统,人脑有一百几十亿神经元,其体积仅1.5立方分米,所需能量不过十瓦左右。假如我们建造一台计算机,使其半导体逻辑元件的数量和人的大脑神经元的数量一样多,而且每个逻辑元件的体积为一立方厘米,耗能0.1瓦,那么这台计算机的体积就要达到一万立方米,是大脑体积的六百万倍,所需能量竟高达一百万千瓦,相当于一座现代化大型水电站的发电量。由此不难看出,就元件的微小程度和工作的经济性而言,人脑以及其他生物系统都远远胜过一切技术装置,是技术系统可以模拟的最好的原型。

未来的工具——人和机器

随着生产和科学技术的发展,人们会创造出越来越多的机器以适应不同的需要。在一些场合人们常常需要在对人体有危险的条件下工作。这些危险条件是高真空、放射性、高压和高温等。存在这些不利因素的空间区域叫反常(危险)区,例如宇宙空间、深海、燃烧室、放射性室、化学上活性的环境等。

于是,人们开始了新的尝试——创造一种能模拟人部分功能的机器,这样一类自动机也就应运而生了,我们通常称之

为机器人。此外,人类还研制了一些方便人类活动的机器。比如,在失重的条件下,为方便航天飞行员的活动,人们研制了声控机;为了使盲人也能像正常人一样行动自如,人们研制了人工视觉等等。人们充分利用已有的科学技术知识,创造出大量的有利于人类的机器,以便更快地发展科技,提高人类的文明水平。这里,我们着重介绍一下机器人。

起初由于试图模拟人的功能和外表,并且的确又能完成人的部分功能,自然就用了科学幻想故事中的称呼,把它们叫做“机器人”。但随着“机器人”设计的完善化,和它所执行动作的复杂化,“机器人”在外观上与人的差异愈来愈大,可以说绝大多数根本不像人,如有的像螃蟹,有的似恐龙,然而其操作功能却更接近人了,因此仍然沿用“机器人”这个名字。

在实用工业机器人发展中,主要的指标是可靠性和有经济收益。目前全世界工厂里使用的机器人已数以万计。笼统地称为机器人的装置,一般比较简单,只有最基本的操作能力。它们很少或根本没有感知外界环境状况的能力,只要打开开关,它们就执行一系列的预定操作。机器每一关节的运动都有机械制动器规定动作的限度,而动作的每一细节又受到控电盘所产生的电力或气动力所支配。如果在机器上加入电子记忆和数字控制线路,就能达到更复杂的控制水平和提高机器人的能力。美国工业中最常用的一类机器人就是使用了数字伺服机构,并装贮存程序的电镀丝记忆,机器人的工作程序是按照人们要它所通过的位置序列来编制的。指导人使用手提控制盒,盒上装有控制机器人的每一关节的速率控制按钮,经过指导人的“示范教学”后,机器人按照固定程序进入生

产线操作,可以做冲压加工、铸造、电焊电镀、喷漆等工作。电子记忆使机器人可以贮存几个程序,并根据不同的输入信号或外部传感器的反馈,选择这一种或那一种。例如:机器人在点焊汽车体就可以按程序处理装配线上各种各样的混在一起的汽车模型。上述工业机器人达到这种水平的性能,对很多工业应用来说,足以完成许多不同的任务。

机器人的出现可以代替进行体力繁重或危险的工作,如高压、高温的工作环境,进行放射物质的操作,污染物处理,海底探矿和打捞等操作,都可以由机器人来承担。例如:1966年美国军用飞机在地中海上空失事,掉入海中的氢弹就是由机器人下海打捞上来的。这个能下海捞东西的机器人,身上装有两个平衡箱,使它在水中保持平衡,身后的螺旋桨推动机器人在水中的行动。身体的前面安装有摄像机、声波探测器、位置测定器以及信号灯等各种仪器,构成了机器人眼、耳等感觉器官。它有一只能拿取物体的强大的铁“手”,虽然机器人的体重已达到一吨,但是它的手却能拿取重达几吨的东西。机器人在海底看到的一切都可以反映到控制船的电视荧光屏上,工作人员在船上通过电子计算机对机器人进行监控,使它在水中可以朝着“前后”、“左右”、“升降”三个方向灵活自如地游走。就是这个机器人,从它“诞生”以来已进行过几十次沉入几百米的海底打捞武器的工作。真不愧是一个出色的“潜水员”。又如日本设计和制造了可以灭火的机器人,它的双脚是可以滚动的履带,好似坦克一样。它的眼睛是红外线立体电视摄像机,头上还装有温度计、照明灯和一门高压水枪。在火灾现场,消除人员在指挥车上通过机器人的眼睛(摄像机)观察火情,

并指挥机器人向火势凶猛的地方用水枪喷射强大的水流灭火。美国进行月球科学考察时,在月球上还使用了宇航机器人,它具有摄像机、机械手、土壤化学分析仪等设备,以太阳能电池为能量来源。1967年由“阿波罗12号”飞船送上月球的宇航机器人在空中实验室工作人员的控制下,可在2.23平方米范围内,挖掘月球表面46厘米深处岩土样品,并立即在现场对样品进行化验,然后把分析结果发回地球。现在改进的宇航机器人有两台电视摄像机作眼睛,有两只手臂可以钻探和挖掘,还有两只可以自行走动的脚。

机器人在自动化科学技术的研究中,主要集中在力图给机器人配备智力,这是人工智能应用的一个方面。随着自动化科学技术的飞速发展,将在更大程度上模仿人的智能。可以说自动机器能在多大程度上模仿或代替人,这是衡量自动化水平的尺度。目前的电子计算机虽然已经有了很大的本领,它的应用已达三千多种,并且还在不断发展,但是电子计算机和人的大脑相比,它的智能在许多方面还赶不上一个小孩子的水平。为了提高电子计算机的智能水平,需要研制新型的智能自动机。

模拟智能或称人工智能,是探索和模拟人的感觉和思维过程规律的科学,它是在控制论、计算机科学、仿生学、心理学等学科的基础上发展起来的一门新的边缘科学。它的主要研究内容包括:感觉和思维模型的建立,即研究人的学习、探索、联想等活动的过程和机制;用机器进行图像识别和物体识别;用计算机求解问题,证明定理,理解人的语言等。尽管目前对于人类思维、学习和记忆等复杂的神经生理过程的认识还很

不清楚,真实的模拟还有困难,但是人的思维也是物质运动的一种形式,最终是可以被人们逐步认识的,也是能模拟的。

在神经解剖学、神经生理学和电生理学研究的启发下,研究大脑内各种神经细胞在空间和时间上的联系,对大脑进行电子技术性模拟,将为设计各种新的电子计算机开辟新的途径。目前利用人工神经元来模拟大脑的机器已经取得很大的进展。已经制成学习机、识别机、翻译机等等智能计算机。例如:学习机可以模拟人的学习能力,经过一个时期的“学习”能自动分辨海豚和潜水艇的声波;翻译机在六十年代中期即已问世,可以对情报资料进行自动翻译、编排。香港中文大学的中译英翻译机已将我国的数学学报、物理学报译成英文,翻译一页只需要15秒钟。1982年4月19日前苏联发射的礼炮—7号空间站安装了一个新型的自动导航系统。虽然在外形上丝毫不像幻想小说中所描绘的机器人那样,但是它每天在电传打字机纸带上打下航行的信息。例如空间站在运行中进入与离开阴影的时间、无线电通信时间、轨道运行周期、空间站通过地球赤道上空时间,此外还承担控制站内电源和航行定位的工作,这样,就大大地减轻了宇航员的工作量。

有些智能电子计算机可以证明几何定理、下棋、制定作战方案、自动诊断疾病等。总之,随着仿生学和电子技术的发展,各种类型的智能机肯定会不断地向高级形式发展。可以预见,在不久的将来,将会出现进一步模拟人脑智能的“电子脑”,模仿人的视觉和听觉的“电子眼”和“电子耳”以及模拟触觉和本体感觉的、具有动作灵活协调的“机械手”和行走自如的“机械脚”。

那时将会出现比现在工业机器人高明得多的“智能机器人”，它们能直接看图识字，会分辨五颜六色，可以听懂人的语言，它们能够自己识别工作环境和控制对象，可以做出判断和决策，能够适应环境条件的变化。它们可以在人发出的各种口令的指挥下，替人到深海里去探矿、采油，也可以到宇宙空间的各个星球上去进行科学考察，毫无疑问，智能机器人的广泛应用，将把自动化科学技术提高到一个新的阶段。并将极大地提高劳动生产率。但是，还必须指出，不管“智能机器人”有多么高明的本领，也只不过是人的助手，所谓“智能”是指人脑的思维能力，它绝不能脱离人脑而存在，人的智能也不是人脑中自生自长的，而是在实践中产生的。人类自己创造出的“电子脑”如果不给予它输入或储存信息，那么这个电子脑也就只是一个人脑的电子模型而已，它本身绝不能产生什么“智能”，智能机器人仅仅是能够延长人的手和脚或代替人的部分思维活动，因为它是按照人的指令进行工作的。机器人所具有的智能，可以说仅仅是人类智能在机器上的投影而已。人类在实践中所获得的适应于实践所需要的高度能动性、灵活性及精细的适应能力是任何机器所望尘莫及的。

因此，在自动化科学技术高度发达的未来，人类认识和控制自然的本领大大地加强了，各种自动机器成了人类的“能干的助手”和“驯服的工具”，人们将有更多的时间和精力去从事创造性的劳动。

发展新技术的钥匙

今天,我们生活在科学技术飞速发展的时代,学习和利用生物系统的优异结构与功能特点,已经成为技术革新、技术革命的一个新方向。许多事实证明,仿生学是发展新技术的一把“金钥匙”!

那么,仿生学前进的道路应是怎样的呢?

首先,与生物体系统的复杂性相比,我们所掌握的知识还是很贫乏的,所以,生理学家们应和技术工作者一块儿进行生物体系统的研究计划。研究单位应把研究人员和设备集中到最有效的研究方向上去,仔细选定研究课题和实验方法。其他领域的研究开发均已逐步地走上近代化和合理化的轨道,仿生学的研究也必须站在国家的立场上迅速建立起系统的计划。

作为研究方法,采用微电极的研究方法看来已到达它的极限了,必须尽快确立新的研究方法。另外,必须利用电子计算机的联机数据处理以及无人实验迅速地搜集大量的数据。

其次,在仿生学的应用领域中,我们也不能完全拘泥于生物体。因为构成生物体的要素与我们制作机器时使用的部件有很大的差别,另外,生物体各器官的目的与机器的使用目的自然也不一样。

并且,生物体的各种器官也并非十全十美,因此可以说,生物体系统并不是万能的,我们只是采用它的长处,来改进现

有的技术系统和创造崭新的技术系统。

还有,制作与人脑工作能力相同的信息处理系统有可能吗?在人脑中据认为约有一百多亿个的脑细胞,要用如此庞大数量的人工神经原构成一个系统,目前是不可能做到的。

但如从运算能力方面来考察,则出现了不同的数字,神经细胞的响应速度在 1 毫秒($1/10^3$ 秒)左右,而最近的计算机的响应速度已接近 1 毫微秒($1/10^9$ 秒)。计算机的运算速度比人脑运算速度约快一百万倍,所以认为计算机的一个元件可代替一百万个神经原的工作。如果这样的话,元件的数目只要达到一百万个左右,就有了实现的希望。当然,要圆满地达到目的需要克服许多困难。不过,把众多的元件串并连起来使用的系统将是今后的重要研究课题。

为了开发像人工头脑一般的大型信息处理系统,元件开发是不可缺少的。所幸的是计算机用大规模集成电路技术正在迅速发展之中。像一个晶体管大小的容器里,可容纳上千个的三极管和其他电子元件,这对于实现人工神经网络十分有用。已有可能试制大规模先进的人工神经系统。例如:据日本《日经产业新闻》1993 年 5 月 14 日报道:日立都柏林研究所开发了人工光神经网络,可用于光信号控制结构复杂的人工神经网络的运算。这项技术如果用于视觉系统,能够高度精确地识别图像。今后的研究任务是研制成视觉条纹,能够在移动机中识别图像,成为机器人的眼睛。可见,大规模先进的人工神经系统的研究已取得了突破性进展。

但是,这些人工神经原应如何连接才能获得与人脑相同的性能,现在还很不清楚。所以,今后要继续进行元件开发是

不言而喻的。但更主要的是要研究系统构成技术。可以说,我们已经进入了开始向头脑系统挑战的时代。

在整个工业发展的历程上,从蒸汽机发明到今天,机器的能量的利用、转移及控制问题已经基本上得到了解决。机器越来越先进,人们也就逐渐从繁重的体力劳动和脑力劳动中解脱了出来。现在,对于整个工业技术的进一步发明,主要矛盾已不是作为开动机器的动力的能量,而是实现自动控制的信息。也就是说,主要矛盾是要解决使机器实现高度自动化,使机器与环境、机器内各部分之间能够“通信”,从而能够自行适应内外环境的变化。经过漫长的自然发展过程,生物界早已实现了对信息的有效利用、转移和控制,它们以独特的方式十分完美地进行着自动控制过程。在控制论和信息论的基础上,配合以各技术学科的努力,仿生学将把生物界的信息加工、信息存储与提取等优异原理逐步移植于技术系统,圆满地解决技术系统中的信息的利用、转移和控制问题,创造出具有“人工智能”的机器,从而根本改变生产面貌,并有可能引起又一次工业革命。

一些科学家对仿生学的发展持相当乐观的态度,他们作出了许多现在看来几乎是不可能的设想:现有的一些机器将被“智能机”所取代;未来的电子计算机将是具有生物原理的,同它相比,现在的电子计算机就只能比作算盘;未来的能源的获得,有可能要依靠对植物光合作用的研究;今后,将有许多人生活在太空、海底,有新型的舒适的空间站、海底乐园,可以缓解由于人口巨增带给地球的巨大压力……。

仿生学有着极为广阔的发展前景,各个学科、各个领域都

可以为仿生学的发展做出贡献,同时它们也都可以从研究成果中得到促进。我们深信,随着仿生学研究工作的开展,对促进国民经济和科学技术的发展,必将产生很大的影响,做出它应有的贡献。而我们呢,则应努力学好各种理论知识,今后为仿生学的发展尽一份力量,使我们的国家经济繁荣,国力昌盛,跻身于世界发达国家之列。让我们一起努力吧!