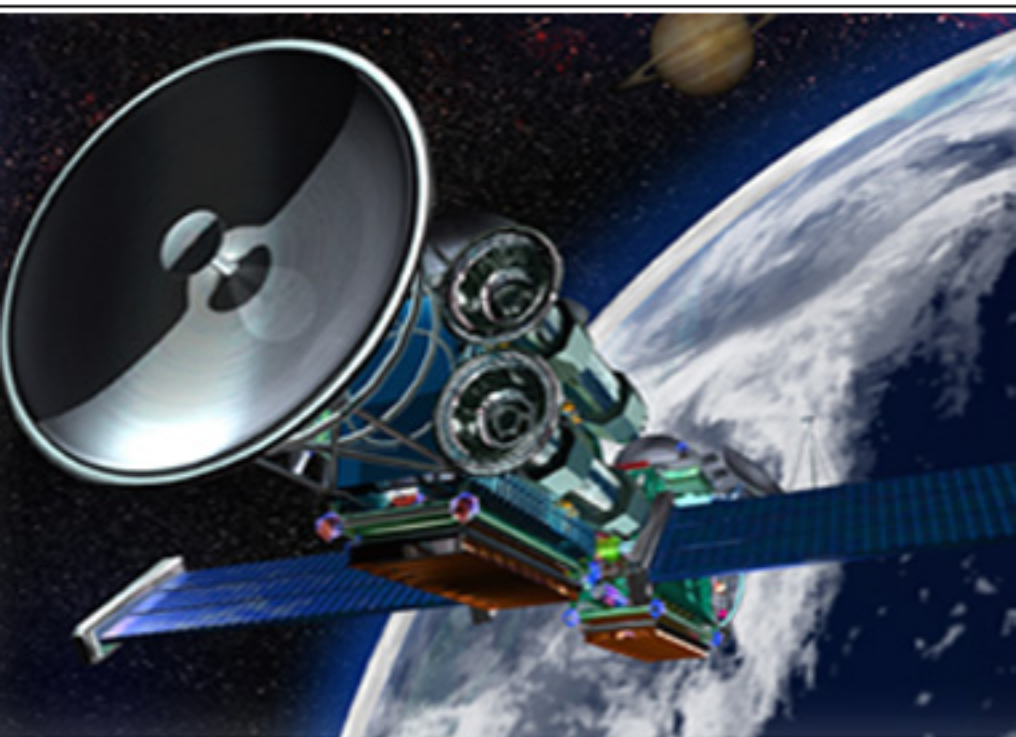


青少年科技知识文库

QINGSHAONIAN KEJI ZHISHI WENKU

海洋生命与物质世界



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

(10)

海洋生命与物质世界

于 明 主编

目 录

海洋生命

一、海洋与人类

海洋,生命的摇篮	3
人类离不开海洋	12

二、希望在海洋

丰厚的馈赠——海洋化学资源	35
海底聚宝盆——海底矿产资源	63
巨大的能量库——海洋动力资源	93
海洋生物资源	132
海洋空间的利用	149

物质世界

引言

三、从 X 射线到夸克

大转折的年代	165
--------------	-----

一朵不祥的乌云	167
爱因斯坦——新观念	169
微观世界的奇遇	176
弱、电原来是一家	230

四、宏观世界

有序、无序之谜	245
人类有序的结构	250

A decorative rectangular border with a repeating floral or scroll-like pattern, rendered in black, framing the central text.

海洋生命

一、海洋与人类

在茫茫的宇宙间,漫游着一颗小小的行星,从别的星球望去,它浑身呈现出迷人的蓝色,就象一位披着淡蓝色轻纱的少女,在灿烂的群星中显得分外的优雅、美丽。这,就是人类赖以生存的地球。而富有诗人气质的天文学家们则赋予它一个美丽的雅号——“蓝色的行星”。

地球表面的 71% 被海洋覆盖着,计 3.62 亿平方公里,其余的 29% 则由大陆和岛屿所组成。全球奔腾不息的海水总体积为 13.70 亿立方公里。有人曾作过这样的假设:如果把地球上的陆地全部削平,并把它填入大洋盆底,那么,整个地球就会被 3000 米厚的水圈所包围。因此,严格地说,地球应该称为“水的星球”,难怪科学家们说,我们是居住在一个被叫错名字的星球上。

美丽而广阔的海洋,以其宏大的气魄,引起了古往今来人们多少遐想,赋予诗人多少灵感。清人张新标在他的《望海》诗中,就写下了这样的佳句:“浑浑原浩浩,脉脉还盈盈,……大海犹涓滴,悲哉井底行。”的确,面对海洋的浩淼烟波,人们莫不惊叹于它的辽阔和深邃。

海洋,生命的摇篮

海洋与人类的联系,不仅仅在于海洋给予人类“鱼盐之利”、“舟楫之便”,海洋与人类还有源远流长、密不可分的关系。

在我国山东省微山县西城山的汉墓群中,出土了一块东汉画像石,画面是鱼、猿、人三者并列。这与我们平时所说的“从鱼到猿”、“从猿到人”的进代历程十分相似。这块画像石,用形象的语言告诉我们:人猿同祖,祖先就是生活在原始海洋中的古鱼类。

当我们顺着生命演化的链条,去追溯生命的发源地,就自然而然地寻到了海洋。

海洋,乃生命的摇篮!

1. 生命从这里起源

现代科学证实,至少在离我们四十亿公里的范围内的茫茫宇宙间,只有小小的地球养育着生命。千百年来,人类一直企盼天外来客,编织着月中嫦娥、火星智慧动物、外星人驾驶飞碟访问地球之类的神话。然而,无论是“阿波罗登月舱”还是“金星探测器”,却至今仍然没有从太空中寻找到生命的任何踪迹,传来令人欣慰的音讯。

那么,为什么地球上会有生命呢?它是从哪里来的?这个地球生命的起源问题,长期来一直是困惑人类的谜。

在科学尚不发达的古代,生命起源于神力的观点一直占据统治地位。在基督教《圣经·旧约全书》第一卷《创世纪》中是这样描述生命起源的:太初时,上帝的圣灵巡视水面。“要有光”,上帝发出了第一道创造天地的命令。然后他将太空下面的水和太空上面的水分开,并下令,天国下面的水汇聚在一起,使干燥的陆地露出来称之为“陆”,汇聚水的地方称为“海”。于是,上帝在海中造出鱼,在空中造出鸟,在陆地上造出牧畜、昆虫和野兽,最后造出了亚当和夏娃,他们繁衍生息,形成了人类。印度教圣书也讲述了一个类似的故事:原始世界是一片混沌,犹如堕入酣睡之中。上帝依靠他自己的力量存在着,用五大要素来显示自己并使黑暗消散。运用他的力量,首先创造出了水,并借助火使水流动不息,还创造出一个象太阳一样光亮的蛋,从中诞生了所有理智的众生之父——婆罗门。在中国,也广为流传着女娲捏泥造人的神话。

当然,现在极少有人还会相信“造物主”的神话。随着科学的进步,涌现出了许多有关生命起源的新理论、新假说,例如“生命的宇宙起源学”,“生命的灾变起源说”等等。不过,目前被许多人普遍接受的一种观点是:生命起源于海洋。

要搞清楚生命如何诞生、如何演变进化,以至于最终产生了超凡脱俗的人类,就得从地球的形成说起。

尽管人们在地球的起源问题上,一直争论不休,按照比较流行的“星云说”来解释,地球和太阳系其它行星一样,原本是一团稀薄的气体埃云,在万有引力作用下,由云团缓慢地团聚而形成。在 50 亿年前,宇宙中有一个比太阳系大几千倍的大星云。这个大星云在万有引力和内部湍涡流的作用下,碎裂成

了许多小星云,其中之一就是太阳系的前身,被称为“原始星云”。由于“原始星云”是在湍涡流中形成的,所以它一开始就不停地旋转。星云旋转使形状变扁,逐渐在赤道面上形成一个“星云盘”。组成“星云盘”的物质,在万有引力的作用下,又不断收缩碰撞、吞并,中心部分形成原始太阳,在原始太阳周围形成行星胎。原始太阳和行星胎进一步演化,从而形成太阳和九大行星,地球便是其中之一。

地球刚刚形成的时候,还是一个接近均质的球体,各种物质混杂在一起。地球在不停的旋转中收缩变冷,在重力作用下,重的下沉,轻的上浮,逐渐地使地球形成比较重的中央内核和比较轻的地球表层。原始地球在这样的不断演化过程中,形成了今天的地核、地幔、地壳圈层结构。同时,岩石和矿物中的水源源逸出。由于地表温度很高,水立即变成蒸汽,弥散并聚积成包围地球的,令辐射线不易穿透的云层。在云层的遮掩下,地表温度急剧下降。地壳也由于凝固、挤压、褶皱、断裂,形成山峰和谷地。随着地球的继续变冷,云层中的蒸汽变成水形成降雨。大雨持续了几千年,雨水填满了地表的洼地,便形成了原始的海洋。

童年的地球,可谓是“天地玄黄,宇宙荒洪”。整个地球没有鸟语花香,没有绿树青草,更没有生命的繁衍。

但在原始的海洋中却蕴含丰富的无机物。它们在太阳紫外线电离辐射和高温高压下,在生命化学演化的漫长历程中,逐渐形成了氨基酸和核苷酸等有机小分子,它们又聚合成生命的基本物质蛋白质、核酸等生物大分子,为原始生命——细胞的出现准备了物质基础。生物大分子又通过蒸发、吸附、团

聚体、冰冻、微球体等作用,浓缩形成了多分子体系。多分子体系在海水和空气的作用下,形成原始的界膜。它吸收补充物质,并排出废物,有了原始的新陈代谢。这种界膜能够自我繁殖,这样就形成了最初的生命!尽管原始生命还不具备细胞的结构,但是它是生命进程的一次质变!

大约在三、四十亿年以前,经过漫长的演化,原始生命内部产生了细胞膜,既而出现了细胞。这种细胞还没有真正的核,核质和细胞质之间没有明显的核膜。这种细胞叫原核细胞。

距今十五亿到十四亿年前,地球上出现了具有真正细胞核的细胞。这种细胞叫真核细胞。

细胞的出现,是生命进化史的一个里程碑,从此,生命的化学进化转变为生物学进化。在此后漫长的地质时期,地球沧桑巨变,生命也开始了其生生灭灭、不断演进的过程。

最早出现的单细胞生物是一种介于植物和动物之间的原始生物,属于微生物。原始单细胞生物的生存环境主要是当时的海洋,由于原始生物不断增多,有机食物不断减少。为适应这种有机食物紧张的环境条件,原始生物就向两种摄食方式分化:一种向加强运动器官和运动机能的方向发展,使它们在争夺有机食物的生存斗争中占优势;另一种向加强光合作用的器官和机能的方向发展,使之可以不依赖现成的有机食物就能生活。前一种,演化为动物;后一种,运动机能衰退,演变为植物。

原生的植物和动物仍然在海洋里生活。当时原生的植物主要是藻类,如蓝藻;原生的动物,如变形虫等,它们都是单细

胞动物,进一步演化,形成了多细胞后生动物,这也是动物进代史上的一次重要飞跃。

后生动物都是没有脊椎的,因此总称无脊椎动物。

无脊椎动物进化到有脊椎动物,又经过了漫长的过程。在迄今四、五亿年前的时候,在无脊椎动物中产生了脊梁骨,也就分化出了脊椎动物。脊椎动物并开始有了中间空腔的脑子。

最早的脊椎动物都在水中生活,仿佛鱼的样子,但没有上下颌,伏在水底,相当被动地摄取食物。

由于造山运动的影响,地球上的水陆分布起了巨大变化,海面大大缩小,大片陆地露出海面。水陆变化又影响了气候,水量不稳定,旱涝不均。这样就导致了海洋中的一部分动物和植物登上了陆地。总鳍鱼爬上陆地后就变成了最早的两栖动物。

动物上陆之后,它们身体中直线状的脊椎开始向上拱起成弧状,第一个脊椎节变成颈椎,两栖类开始有了颈部。两栖类在水中产卵和孵化,幼体用鳃呼吸,在水中生活,经过变态才变成用肺呼吸的在水边生活的成体。两栖动物的肺和四脚是人类的肺和四肢最初的原型。

到大约距今三亿年前,从两栖动物中的一支进化成了爬行类。爬行动物的脊椎已分化为明显的颈、胸、腰、荐、尾五部,这也是有利于陆地生活的重要标志。

爬行动物大约于两亿年前分化出了哺乳动物,稍后又分化出了鸟类。

在距今大约七千万年前,哺乳动物中分化出一支叫做灵长类的动物。它们最初象树鼯似的小动物,以后又分化出猴

和更高级的猿猴。

在迄今一、二千万年前,从古代猿类中分化出一支类人猿,到大约 300 万年前,终于出现了能制造工具的人类。

把极其漫长的生命进化过程,以简短的文字浓缩出来,我们可以看到,人类既不是亚当和夏娃繁衍的,也不是女娲用泥土捏造的。生命是由化学演化到生物学演化,由单细胞到多细胞,由无脊椎到有脊椎,由低级到高级进化演变而来。在这个演化过程中,正是海洋充当了生命的摇篮和母体。

目前,地球上已经居住着五十多亿人口,还有一百多万种动物,三十多万种植物和十几万种微生物。从沙漠到极地,从高空到深海,几乎所有的地方都有生命的活动,构成一派生机盎然、气象万千的景象。而这一切都归功于海洋。

2. 人身上的海洋印记

人类,虽然如今生活在陆地上,但我们仍然可以从自己身上找到许多来自海洋的印记,这,无疑是人类起源于海洋的一个有力的佐证。

(1) 胎儿的“海洋印记”

人们早就认识到,人的胚胎的发育是在母体子宫的“海洋”——羊水中进行的。胚胎漂浮在羊水中,犹如原始生命漂浮在海洋里。胎儿从受精卵开始到离开母体,一直在子宫的“海洋”中游泳。这是生命源于海洋的标志。

人的胚胎发育到大约一个月时,它的形状象鱼,四肢象鱼的鳍,而在其发育过程中,海洋留给胎儿的印记最明显的莫过于“鳃裂”现象了。众所周知,人是用肺呼吸的,只有鳃才是鱼

类在水体中呼吸的通道。

可是,解剖学家却发现了一个有趣的现象:人的胚胎发育一个月左右,在颈部的两侧也长着许多鳃裂。这绝不是偶然现象,而是人类与鱼类有着亲缘关系的明证。它说明人类与鱼类一样,也是起源于水中,人类的远祖也曾经有过鳃,虽然以后逐渐退化了,但仍在人的胚胎早期,留下了鳃的痕迹。

在我国发现极个别的人脖子上长有一对孔隙,就象鱼类的鳃裂。这种返祖现象证明,人类的远祖的确长着鳃裂。鳃裂现象明确地昭示出人类源于海洋,鳃裂是海洋留给人类的标记。

海洋留给胎儿的印记还不仅仅是这些。据科学研究证实,新出生的婴儿具有游泳和潜水的本能。也许是新生儿早就习惯了在母亲子宫的“海洋”中潜泳的缘故,他们不仅能在水中浮动,而且所有的初生儿都有在水中屏气潜游的本能,一下到了3岁左右才完全消失。有这样一个有趣的例子:二十多年前,在法国蒙彼利埃市的一个游泳池边,一位只有9个月的婴儿跌到游泳池里,一下子便没了顶。这个游泳池的安全员布鲁斯得知后,立即游到婴儿身边去抢救。可是,布鲁斯却看到一个奇怪的现象:婴儿没有任何惊慌和挣扎的迹象,相反却在水中自由自在地划动。当布鲁斯游近婴儿并呼出一连串的气泡时,婴儿竟嘻嘻地笑了起来。布鲁斯改变了主意,和婴儿在一起玩了一阵。更令人感叹的是1979年夏季的一天,在前苏联黑海之滨,一个未满月的婴儿和一个刚满周岁的幼儿与海豚在海水中嬉戏。他们时而潜入海中,时而跃出水面,或双双跨在海豚背上玩耍,或一起漂在水面休息。

专家们利用婴儿会游泳的本能,开办了婴儿游泳训练,从婴儿出生 5~7 天便开始进行游泳训练,两三年后,便可使孩子成为出类拔萃的游泳高手。德国的一名受到训练的小女孩,一岁半就能在水中游 20 多分钟。目前,婴儿游泳训练越来越引起人们的重视。在前苏联,婴儿游泳学校多达 3000 所;澳大利亚、挪威、日本的婴儿游泳学校也越来越多,法国、美国、德国的婴儿运动员数以万计。婴儿游泳训练,不仅有利于长大后提高游泳成绩,而且有人还企望通过婴儿游泳,改变这些孩子的呼吸功能,使海洋成为人类新的居住地。这是人类回归海洋的企盼。

而且,因为婴儿的这种本能,在世界上一些国家,开始出现了水中分娩。前苏联、法国、新西兰、比利时等国都相继建立了水中分娩的诊所,美国也正在筹建水中分娩的试验中心。

不过,也许有人担心:水中分娩,婴儿会不会出现意外呢?请看前苏联的一次水中分娩的情景:分娩刚结束,一个新生儿一降临世间——当然,是生在水中——就手脚划动,很象在蛙泳,这个新生儿一会儿扎猛子,一会儿脸朝下游动着,累了,就在水中睡觉。他平静地躺在水中,仿佛仍躺在母体的“海洋”里。呼吸时,他才定时转过头来。新生儿完成的动作,不论他的妈妈,还是医生都感到惊讶。

水中分娩,对于婴儿来说,海洋如同自己的家,没有陌生感,也不会受到惊吓。到目前为止,数百名在水中出生的婴儿还没有一个在生产过程中受到任何伤害,因为在水中生产过程很快。水中分娩,是人类向海洋的回归。

(2) 人体内的“海洋”

每个人都是海洋的缩影。因为人体本身也是一个小小的海洋。人体内部与海水成分相似的血液和有机体中大量的水分,构成了人体内部涌动的“海洋”。据测定,人体血液中化学元素的含量比例与海水十分相似。苏联学者夫·弗·杰尔普戈利茨曾为此作过专门测定,从下表可以明显地看出海洋在人身上的印记:

表 10—1 海水和人血中溶解的化学元素的相对含量(%)

元素	氯	钠	氧	钾	钙	其他
海水	55.0	30.6	5.6	1.1	1.2	6.5
人血	49.5	30.0	9.9	1.8	0.8	8.2

因此,当人体因患病而大量失水时,医生常常为患者注射生理盐水,或在炎热的夏季人们因各种原因出汗过多时,也要喝点淡盐开水,这是为了补充人体内“海洋”中缺失的盐份。

同时,人体内的血液也有海水所特有的咸味,当你不小心咬破舌头时,就会尝到这种味道。人血的含盐度为 10,比一般的海水平均含盐度(30~35)低一些。这是因为人血的含盐度是和人类远祖登陆时海水的咸度近似的。那时的海洋没有今天的这么咸,但经过了漫长的亿万年,由于海水中水分的不断蒸发和盐分在海洋中的日积月累,海水才逐渐变咸起来。

同时,人体的所有生命活动,都是在水的参与下进行的,如消化作用,血液循环,物质交换,组织合成等。人体内部也和海洋一样进行着不间断的水体运动和循环。

近年来,人们还发现生命与海洋中的潮汐有关。一些海洋

动物往往在大潮时集中进行交尾和其他繁殖活动。日本流传着这样一种说法：“人在涨潮时生，在落潮时死。”有人对1985年到1986年日本冲绳岛出生和死亡的一万四千人进行了出生和死亡时间与潮涨落关系的统计分析比较，结果发现，涨潮时出生的人数和落潮时死亡的人数大体一致。

人身上的海洋印记充分揭示了：海洋，是孕育世间生命的温床，是人类的摇篮。

人身上的海洋印记也使人类认识了自身与海洋的源远流长的关系，从而更坚定了人类回归海洋的信念。

人类离不开海洋

1. 海洋，适宜万物的温床

海洋，不仅孕育了生命，也为它创造了适宜的生存环境。

来自宇宙深处的信息告诉我们：太阳表面的温度高达8000摄氏度，足以熔融所有的物质。即使象金星、火星、木星、土星……这些地球的邻居，也因为表面温度有的太高，有的又太低，而无法使任何生命有立足的可能。就连“近在咫尺”的月球也是荒凉一片。只有地球才蕴含着勃勃的生机。这一切都是大海的恩赐。

大海为人类和地球上所有的生灵创造了一个冷暖适宜，干湿相应的气候条件。

海洋是地球上最大的水源地。它面积辽阔，体积庞大，贮存着全球百分之九十八以上的水量，达十三亿七千万立方公

里之多。大海中的水源不断地蒸发到大气中。每年的蒸发量估计约占全部海水的三千分之一,相当于全人类一年农业、工业和家庭生活用水量(约 3000 立方公里)的 150 倍。大气中的水分,在一定的条件下凝结成云、雾,形成降水,通过各种途径重返海洋,同时使空气始终保持一定的湿度。人类早就认识到了这一基本的自然规律。古代科学家亚里士多德在他的《气象学》一书中就曾经如此描述过:“水分从海面蒸发,在空中凝结形成降水,从而形成河川、喷泉、地下水,这些水再次汇入海中。从此反复循环……。”由此可见,海洋既是地球上水循环的发源地,又是它的归宿。它是云、雾、雨、雪的真正“故乡”。

人类的生存和万物的繁衍还必须有适宜的温度。海洋就是地球上最大的温度调节器。由于它的调节作用,使地球上的温度恰好处在生物能够忍受的范围内。这是因为海水的热容量很大,能在白天或夏季把多余的热量贮藏起来,而在夜晚或冬季向外散发,调节着昼夜和季节间空气的温度。而且正由于这样,海水水温的变化也不大,否则大气的状态就会瞬息万变,后果就不堪设想了。

海洋还能通过海流把热带多余的热量输送到两极,调节着高纬度和低纬度地区的温度,使热带不至于过热,寒带不至于过冷。科学家们估计,一年内海流输送的热量大约有 1000 万亿卡,比全人类每年消耗的能量总和还要大几百倍。

因此,假如没有海洋,干燥的空气将凝聚不动,地球表面将到处是沙石尘土,绿色将全部消失,生机将不复存在,风声、雨声、涛声、雷鸣与电闪将被一片死寂所取代……。那样的地球将是什么样子,我们实在无法想象。

2. 源难尽的聚宝盆

人们常以“富饶的海洋”、“资源的宝库”、“蓝色的煤海”、“天然的鱼仓”等美丽的词汇来形容海洋的富有。即使在一些海洋神话故事里,也充满着“贝阙珠宫”、“金碧辉煌”之类的描述,海洋几乎成了无所不包的“聚宝盆”。的确,海洋是美丽的,又是富饶的。在它那宽广的胸怀中,哺育着无数千姿百态、形形色色的海兽、鱼虾和贝藻,向人类提供丰盛而又味美的食品,甚至不久的将来,海洋将成为人类蛋白质的主要来源;在蔚蓝色的海水中,溶解着为数众多的化学元素,以及由此而组成的种类繁多、价值很高的各种盐类;在连绵起伏的海底沉积着各种有用的矿藏,那黑色的乌金——石油沿着钻井的导管喷射而出,那深海采矿船唤醒了沉睡的锰结核、磷钙石和各种金属软泥;还有那滚滚的波涛、永不息止的潮汐、蕴藏在海水体内的巨大热力,简直使海洋能源的开发者心醉神迷。海洋创造了生命和人类,也为养育他们准备了丰富的物质。

“民以食为天”。海洋给人类提供食物的能力相当于世界上所有耕地的一千倍。在不破坏生态平衡的条件下,每年可以提供 30 亿吨水产品,至少可以养活 300 亿人口。生活在海洋中的动物多达二十多万种,总量达到六百至七百亿吨。其中鱼类有近万种,仅仅是生活在大洋中的乌贼、枪乌贼、鱿鱼等头足类就有二亿五千万至七亿五千万吨,每年可捕一亿至三亿吨。还有十多万种藻类,可供人类食用的就有几十种。

海产品的营养价值很高,每一百克鱼肉中含 10.6 克赖氨酸(衡量各种蛋白质质量的一个重要标志),而每百克奶、肉或蛋类中赖氨酸的含量分别只有 7.8、8.5 和 7.2 克。每百克小

麦和大米中则只有 2 克。许多藻类也含有多种维生素,尤其是含有浓度很高的维生素 B_2 和 C,还有一般陆地植物所没有的维生素 B_{12} ,也含有少量人体不可缺少的微量金属元素。

不少海洋生物还是珍贵的药材。古代,我国人民就知道乌鱼鞘可以入药,它的粉末可以止血消炎。《本草纲目》中记载的海洋药物多达七十多种,象海龙、海马、鲍鱼壳、玳瑁、珍珠等都是名贵药材。从海洋生物中还提炼出了降压、治癌的新药。许多海藻还是重要的化工原料,可以提取溴、碘,制造褐藻胶、甘露醇等。

海洋生物资源具有可再生和更新的特点,因此如果不破坏生态平衡,这一财富实际上是取之不尽,用之不竭的。

当然,海洋这个聚宝盆中最大的财富莫过于充满其中的海水和溶解在海水中的各种化学物质。海洋集中了地球上全部水量的百分之九十七以上,总量达 13.7 亿立方公里。全世界每一个人可以分摊到二亿七千多万吨。而其余不足百分之三的淡水又有将近三分之二“冻结”在南极洲和格陵兰的冰层中。因此可供人类利用的江、河、湖泊中的水和埋藏在地下的水少得可怜。而且它们在地区上的分布又很不平衡。海水虽然太咸,不能直接饮用和灌溉,但可以把它淡化。目前,全世界每年已经能从海水淡化中得到四、五百万吨的淡水。

不仅如此,在南极周围和北冰洋漂浮着无数的冰山,它们是海洋中的“淡水库”,可以把它们拖到干旱缺水的地区,得到廉价的淡水。

在湛蓝的海水里,溶解着各种各样的盐类和化学物质。一立方公里的海水中有 2700 多万吨氯化钠(食盐的主要成分),

320 万吨氯化镁,220 万吨硫酸镁和 120 万吨碳酸镁。有些元素尽管在海水中含量微乎其微,比如金,含量只有万亿分之四,铀只有十亿分之三,但溶在海洋里的总量却分别多达五百万吨和四十亿吨。假如把海水中的全部物质都提取出来铺在地球表面,厚度足足有一百五十米。这样多的财富人类也许永远也享用不完。

在琳琅满目的海洋瑰宝中,埋在海底的矿产资源越来越受到人们的注意和青睐。估计地球上一半的石油和天然气埋在海底,其中石油大约 1350 亿吨,天然气 140 亿立方米。八十年代初已经探明的石油储量有 890 亿吨,天然气 77.6 亿立方米。

锰结核是广泛蕴藏在大洋底部的一种很有开采价值的矿物,总量多达 3 万亿吨,其中含锰四千亿吨,铜八十亿吨,镍一百六十四亿吨,钴九十八亿吨,分别是陆地上储量的四千到五千倍,足够人类开采三万多年。在六十年代中期,还在海洋中发现了另一种海洋矿产——热液矿床。现在已知道的就有三十三处,总面积近四千万平方米。仅东太平洋的加拉帕戈斯裂谷中的一处,矿体长 1000 米,宽 200 米,厚 35 米,矿石总量 2500 万吨,总价值达 39 亿美元。由于这种矿中含有金、银等贵金属,因此是名符其实的“海底金库”。

碧波万顷,巨浪涛天的海水,还包孕着数量难以估量的能量。它们具有分布广、用不尽、无污染等优点。在常规能源日益短缺,人们对环境问题强烈关注的今天,海洋能越来越受到重视,人类已经认识到了这种巨大财富的重要价值。

世界海洋究竟蕴含多少海洋能,目前还没有一个确切的

数字。据美国学者估算,理论蕴藏量为 1500 多亿千瓦,其中可以开发利用的约 70 多亿千瓦。有人认为这样巨大的海洋能占世界各种能源总量的百分之七十以上。

世界上还有哪一处宝藏能同海洋这个聚宝盆相媲美呢?!

3. 人类对海洋的探索

早在远古时代,海洋就以它无比丰富的宝藏和神秘莫测的景色吸引着人类的关注。不过那时的人类只是沿海滩采拾海贝和藻类,或以简陋的工具捕食鱼虾,用以果腹充饥。但,想假以舟楫而实现探索海洋的愿望对那时的人类来说,只是一个可望而不可及的蓝色梦想。

人类也许是从自然界中偶然获得了灵感,抑或是不断实践的结果,总之,人类最终“剡木为舟,剡木为楫”,发明了航海的船,从此便开始了“舟楫之利以济不通,致远以利天下”的文明史。在这个漫长的历史长河中,有几颗明珠特别璀璨,它们点缀着人类所创造的蔚蓝色的文明。

(1) 克里特岛人的文明

在地中海西部、爱琴海的南端,有一个海岛——克里特岛。早在公元前 4500~3000 年间,克里特岛上就已开始出现居民,他们可能是从爱琴海西岸渡海而来的小亚细亚人。

克里特岛人精于航海,并以此作为主要生产方式。他们和埃及人之间有过较早的贸易关系,他们把克里特岛变成了欧、亚、非之间的海上贸易的中间站,而自己则充当中间商和航运人,从中获得丰厚的商业与航运利益,以补偿克里特本岛并无丰富矿产资源的缺憾。因此,克里特人的早期航海活动具有这

样的特点——它不象中国人那样在与海打交道时更多地想到“兴渔盐之利”，而是以纯商业性航海利益的获得为目的。他们从精于造船的东地中海比布尔国的乌加里特人手中买来船只，组成船队。克里特的统治者诺期王率领这些海船控制了东地中海，取得了基克拉迪群岛的控制权和航海贸易的垄断权。这些“最初的航海的人们能掠夺就掠夺，到不得已时才从事商业”（韦尔斯《世界史纲》P₁₉₈）。因此，克里特人实际上是一群有组织的海盗兼商人。他们创造的海洋文明，一开始就充满了掠夺与商贸的色彩。正因如此，克里特人才使航海活动较早地摆脱了农牧渔业，成为一种独立的生产方式，并使自己成为真正的航海民族。这一点，与中国航海者长期不能使航海活动脱离农业的母体的情形形成鲜明的对照。同时，也为地中海地区海洋文明重商业利益、富于冒险精神和竞争意识的格调奠定了基础。

大约在公元前 1400 年，克里特岛人被后起的航海民族——腓尼基人、希腊人征服。然而克里特人创造的海洋文明却象接力棒一样被征服者们继承传递下去。

（2）腓尼基人的文明

荷马史诗中的腓尼基人的形象是这样的：

“这些男子汉，把闪闪发光的珍珠玛瑙装进了自己的黑帆船。他们以此为荣，以此为傲。他们机灵过人，然而也有阴险奸诈、贪心不足”。

腓尼基位于地中海东岸，依傍黎巴嫩山。腓尼基人所拥有的土地多山，山上生长着可供建造船只的高大树木，其中尤其重要的是雪松。因为这种树木木质坚硬，纹路细密，抗腐性强，

且有特殊的香气。但腓尼基却没有可供从事大规模畜牧业和农业的平原,只是在山坡和海湾四周生长着橄榄树和葡萄。

先天的自然条件决定了腓尼基人只有向海洋求生存和发展。他们先是以渔业为主,然后就开始把鱼类、橄榄油、葡萄、木材和手工制造的银器、玻璃制品以及各种花色的织物通过海路运往地中海沿岸各地进行贸易,这种航运贸易的利益远远高于渔业之所得,所以很快成为腓尼基人的主要生产方式。这个勇敢的航海民族以伟大的探险精神驾船犁遍地中海的波浪,最后冲出直布罗陀海峡进入大西洋。然后或沿海岸向北,经过葡萄牙海岸、法兰西海岸到达卡西里德群岛。或反向南征,走遍非洲西海岸。

早在公元前 2000 年前后,那时地中海还是克里特人的天下,腓尼基人就开始向更古老的航海民族比布尔人学习造船技术,同时还掌握了星际导航,学会了用水深决定航线的方法。最终,他们取代了克里特人,成为新的海上霸王。他们的航海活动虽然具有商贸的性质,但同样伴随着海上武装劫掠和沿岸的掠夺。他们抢来的金属用于建造船舶和武器,黄金和象牙用来装饰和享乐,而大批被俘获的奴隶被贩卖,强壮者被铁链拴在船上,充当航船的划手。

腓尼基人航海活动的另一特点是海外殖民,在西班牙东南海岸、非洲北部都有他们的殖民地。

这样一个民族创造的海洋文明,自然会更加强调商业利益,更富于掠夺性,更具有冒险精神。“腓尼基”这个词的本意是“红的”、“黝黑的”。这些黑红皮肤的“海上猎人”创造出了杰出的海洋文明。他们懂得在船舷两侧安装草席制成的舷墙以

避免风浪打进船中，他们还在船头安装了雕成了马头的艏柱以为装饰。这种双层甚至三层的大船所到之处，立即使海岸码头变成喧闹的市场。腓尼基商人在市场上出售载来的货物，其中有些是腓尼基人生产的，有些则是在海上抢来的脏物。他们用这些东西换取金银财宝、强壮的奴隶和美女。他们的这种航海活动不仅使欧、亚、非之间的文化得以交流，而且使自己的海洋文化传统流布四方。现在我们提到欧洲文化精神，总有人认为它比世界其他地方的文化精神更富于“进攻性”，甚至认为“海洋文明”的正宗色调就应该如此。然而腓尼基人的航海活动常常伴随血腥。

但是腓尼基人的贡献是值得称道的。他们四出航行探险，永不满足的财欲使他们发现了一块又一块新大陆。有关资料表明，是他们发现了欧洲，也发现了比利牛斯半岛的海岸，并驶进比利牛斯半岛上最大的河流——塔霍河河口上的宽阔海湾。

环绕非洲的航行也是腓尼基人的壮举。公元前六世纪，腓尼基人从南面环绕航行，穿过赤道并在南半球的水域航行，用了三年时间，航行三万公里。

公元前 480 年，腓尼基人在地中海受到希腊人的重挫，此后一蹶不振。人们后来只能从历史的教科书中来寻找它们的辉煌了。

(3) 神秘王国——古希腊

高高盘起发髻、身穿柔软的图尼克裙、赤足裸臂的希腊女神，总是给人以温情、柔美、如诗如画的感觉。希腊人创造的神话、史诗、雕塑是人类艺术中的无价瑰宝。而希腊人作为地中

海海洋文明的创造者之一，他们和克里特人、腓尼基人一样，曾经历了勇毅果敢的冒险和强横霸道的劫掠。

古代希腊位于地中海内巴尔干半岛南部、爱琴海诸岛和小亚细亚沿岸。和腓尼基一样，希腊的土地并不丰腴肥美，它的高山上森林密布，可种粮食的地方却只产大麦，因此没有丰厚的农业利益。于是希腊同样选择了海洋。

希腊人的航海活动除了象克里特人、腓尼基人一样以海上贸易、殖民为目的之外，更加注重领土扩张。那些图谋财富的奴隶主、利欲熏心的商人和失去土地的农民们一起涌向海外，在爱琴海沿岸及岛屿、在色雷斯沿岸、在马尔马拉海、西西里岛和南意大利，到处是希腊人的殖民领土。希腊人从殖民领土上获得国内短缺的农产品和原料，倾销希腊的手工产品。希腊的航海贸易甚至比腓尼基人更具有掠夺性，为了适应海上掠劫的需要，希腊人甚至对传统的腓尼基式船型进行了改造，用坚固、灵巧、操作方便的希腊新船代替了笨重的虽能多装货物但不适应海战的腓尼基船。

古希腊文明中最著名的是盲诗人荷马的英雄史诗《伊里亚特》和《奥德修纪》，这两部史诗从不同角度反映了希腊这个航海民族跨海远征进行战争形式的殖民拓土活动和远海航海活动。《伊里亚特》叙述了希腊远征军跨海攻击特洛伊的十年大战；《奥德修记》的故事紧接在特洛伊之战之后，写战争结束后希腊英雄奥德修十年海上历险活动。奥德修无疑是希腊航海者不畏艰难、勇于冒险和追求财富的精神形象。

(4) 古代中国人的进军

中国人对海洋的探索可追溯到新石器时代。那时，中国人

已在天然的河流上广泛使用独木舟和由两根以上木头连结起来的木筏,从浙江省河姆渡出土的木桨上可以看出。在距今7000多年前,中国人已用桨推进独木舟或木筏出海渔猎了。

《竹书记年》载:夏帝芒“东狩于海,获大鱼”。《庄子》中有“投竿而求诸海”、“投竿东海,旦旦而钓”的记载。这些都是上古时期海洋渔业的见证。事实上,中国海更多的不是作为对外交往的桥梁,而是作为取得“渔盐之利”的蓝色土地。春秋时期,五霸称雄。五霸之一的东方诸侯国君主齐桓公治国时,为了富国强兵,称雄诸侯,积极开发鱼盐之利。管仲当时就提出“官山海”的国策。当时的齐国人,“渔人之入海,海深万丈,就波逆流,乘危百里,宿夜不出者,利在海也。”(《管子·禁藏篇》)。因此,东周时期,齐国已有“海王之国”的美誉。秦26年,秦国完成统一中国大业后,版图遂达于南海,秦人便驾船去西方以货易货,南海诸门户与外国的交往日益频繁。

《汉书·地理志》记载:“(粤地)处近海,多犀、象、毒冒、珠玑、银、铜、果、布之凑,中国往商贾者多取富焉。番禺,其一都会也。”

对于海外贸易的海上航路,《汉书·地理志》中也有描叙:

“自日南障塞、徐闻、合浦船行可五月,有都元国;又船行可四月,有邑卢没国;又船行可二十余日,有谶离国;步行可十余日,有夫甘都卢国。自夫甘都卢国船行可二月余,有黄支国,民俗略与珠崖相类。其州甚大,户口多,多异物。自武帝以来皆献见。有译长,属黄门,与应募者俱入海市明珠、壁流离、奇石异物,赍黄金杂糴而往。所至国皆禀食为耦,蛮夷贾船,转送致之。……自黄支船行可二月,到皮宗;船行可二月,到日南、

象林界云。黄支之南，有己程不国，汉之译使自此还矣。”

这条航行路线是从雷州半岛出发，经过马六甲海峡，沿马来半岛西岸，绕过缅甸，到达印度。

汉代，航海和造船成了专门的学问和技术，著名的“海上丝绸之路”就是这个时期初步形成的。唐代，已经能建造很大的海船；宋代，指南针的应用，大大推动了航海业的发展。明代三宝太监郑和七下西洋，更是在中外航海文明史上谱写了极其光辉的篇章。

郑和七次下“西洋”的人数，每次都在 20000 人以上，每次出航船只总数都在 50 艘左右，大船船身长达 44 丈，宽 18 丈，载重 300000 斤。小一点的船也长 30 丈，宽 15 丈。每船可挂 12 张帆，船上人员完全按军事编制。每当航船顺风顺流航行在大洋上，犹如万箭齐发，势不可挡，真可谓一个空前的浩浩荡荡的海上舰队。他们在外海的时间也很长，一般都在两年以上，第六次时间最短，也达一年半的时间。七次出航之中，第一、二、三次及第六次都到达印度海岸。第四、五次，曾到过波斯湾、红海、阿拉伯沿岸及非洲东岸。在第七次航行中，他们穿过了印度洋和红海，沿非洲东岸前进，发现了马达加斯加岛，那里离好望角已经不远了。七次下西洋究竟到过多少个国家，众说不一，有人说到过 59 个国家。航行范围之广是空前的。国内外海上航行的活动当然并非从郑和始，但郑和下“西洋”计划之周密、组织之严、规模之大、次数之多、行程之远、范围之广、航行时间之久、贡献与影响之大，在当时都是无与伦比的。郑和第一次下“西洋”，比哥伦布的远渡大西洋，发现新大陆，比外国人发现非洲好望角，以及绕过好望角而到印度，都早了

将近一个世纪。郑和确是航海史上的一位伟人。

由此,中国是海洋大国,是古老文明的航海探险先驱,是勿容置疑的。

(5) 哥伦布的探险与麦哲伦的环球航行

提到人类对海洋的探索,我们不能不提到一个人,他就是克里斯多芬·哥伦布,他作为第一个从北半球亚热带和热带地区横渡大西洋的人,作为美洲大陆的发现者,将永远被载入史册。

欧洲文艺复兴时期,古代地圆学说广泛传播,为造船业和航海技术的发展提供了有利的社会条件。在欧洲各国进行海外扩张的背景下,西班牙派出了克里斯多芬·哥伦布向西部航行。

哥伦布取得了国王夫妇的支持,获得了两艘船,第三艘船——圣玛利亚号是哥伦布自己装备起来的。于是哥伦布便开始了他的第一次探险。

哥伦布的第一次探险活动是为了铺平与印度人建立商业联系的道路。但是哥伦布返回西班牙后,却声称在西方已经发现了印度,并从那里带回了一些印度人,其实这些人是印第安人。

哥伦布的第一次远航是经过了三十三天,才穿过大西洋,从戈梅岛来到巴哈马群岛。当哥伦布登上巴哈马群岛的最后一个海岛——伊萨伯拉岛(现在叫克鲁克德岛)之后不久,哥伦布的“圣玛利亚”号脱锚,由于值班员的马虎大意,“圣玛利亚”号遇到落潮期,船歪倒在海面,仓板多处损坏,所有货物、武器落进了大海,于是这次探险便不得不告结束了。

哥伦布一生共进行了四次探险。他的探险活动，可以说只有他本人出于自愿。但无论他探险的目的是为了找黄金，还是为了征服新大陆，哥伦布的行为客观上起到了传播文明和昭示人类力量的效果。他的四次探险，都可以说是伟大的壮举，他的贡献也是不可磨灭的。

然而他的探险，换来的不仅是大自然的风吹雨打，更多的是人们的误解、肉体的疲劳以及精神空虚的海员们因暴动对他造成的生命威胁，还有财产的一贫如洗。1506年5月20日，积劳成疾的哥伦布与世长辞了。

值得一提的是哥伦布“不自量力”的第四次探险，他要完成环球航行。但西班牙的斐迪南国王不喜欢这个冒险者，在哥伦布的再三请求下，国王才勉强同意，但哥伦布探险的资金、船队都是很小规模的。这注定了他的首次环球航行只能以失败告终。

尽管如此，他在最后一次航行过程中却完成了许多新的伟大发现。他发现了古巴以南的大陆，即中美洲。他考察了长约1500公里的加勒比海西南海域，进而证实了在热带广阔的海域有一条巨大的屏障把大西洋与太平洋截然分开了，这是他从印第安人那里听来的。

哥伦布是第一个带来居住在太平洋沿岸和加勒北海西部沿岸某个地区具有高度文明民族消息的人。

他两次航渡加勒比海西部海域，在此之前，无论哪一个欧洲人都从未到过这个海域。

每年10月的第二个星期一，美国人民以各种方式举行纪念活动，这一天，是美国的“哥伦布日”，美国人民虔诚地纪念

这位伟大的航海家，颂扬他发现了“新大陆”。

至于哥伦布环球航行的夙愿则是由麦哲伦实现的。

麦哲伦在青年时代，就喜欢听葡萄牙探险家的故事。迪士亚征服非洲周围的海洋，达·伽马远航印度，带回令西方人难以置信的香料、象牙、珠宝和黄金等。这些令人鼓舞的探险故事，常常使麦哲伦坐立不安、激动不已。他出生在葡萄牙北方荒凉的山村，正是这养成了他坚韧好胜的性格。

1505年，麦哲伦在弗朗西斯科·德·阿尔梅达的率领下，开始了第一次探险。这次探险中，麦哲伦便表现出卓越的领导才能，他的非凡能力和与水手同甘苦共患难的精神，使他赢得了很高的声誉。

第一次探险后，他便埋头于海图、地图的研究。

他了解到，世界上还有一个与大西洋完全不同的新大洋。这个新大洋那时还没有名字。

1517年的10月，麦哲伦离开了他的祖国葡萄牙，来到了西班牙，在这里，他立下了自己的愿望：作环球航行。

1519年8月10日，麦哲伦成了西班牙探险队的领袖。他被授予了西班牙国旗，在这面旗帜下，他将代表西班牙国王查理，对新发现的所有土地提出领土要求。

他宣布，他要在南方寻找从大西洋进入南海（那时太平洋还没有被命名，人们就把太平洋称为南海）的通道。麦哲伦由于急于横渡南海（太平洋），在行进途中，他没有在任何一个港口停靠，也没有补充淡水和生活必需品。这也从另一个方面反映了麦哲伦的信心和决心。

由于淡水和食品携带的不足，船队在辽阔的太平洋水域

上航行,其艰苦的情况是可想而知的。所幸的是,在这片不明海洋的旅途中,竟然没有碰到一次风浪,甚为高兴的麦哲伦就把这片无边无际的海洋称为“太平洋”。

经过 98 天的航行,在行驶了 1.7 万公里之后,探险队终于驶出了平静的太平洋,完成了横渡世界上最大的海洋的壮举。到此,麦哲伦也将完成人类历史的首次环球航行了。

然而,麦哲伦却犯了一个很大的、以至后人为他惋惜的错误:他所到之处,就是征服。

他也正是在率领探险队企图征服拉普拉普岛时,受到 1800 多名不屈不挠的拉普拉普人的英勇抵抗,而战死了。

麦哲伦死后,探险队几经折腾,最后维多利亚号只载着仅存的 30 多名探险队员,于 1522 年 9 月 6 日,抵达瓜达尔基维尔河河口,从而完成了历史上首次环球航行。

麦哲伦是在离完成环球航行只差那么一步时死去的。然而,最终完成环球航行的壮举,却不能不算在麦哲伦的头上,因为,这个功绩加在谁的头上都不合适。

麦哲伦完成环球航行后,人类认识世界的能力一下子来了个大飞跃。从此全世界的海洋成了一个统一的航行体系,海上活动变得更加活跃。

(6)现代人类探索海洋一瞥

当历史的车轮驶入今天的时候,当我们把眼光投到进步的现代人探索海洋的行动上时,就会发现,古人对海洋的开发与现在相比,未免显得相形见绌了。

二十世纪,尤其是近二、三十年来,以现代科学技术武装起来的海洋开发正以空前的规模和速度发展。人类从大海中

获取着空前丰富的各种生产资料和生活资料。

据最新统计,海洋每年奉献给人类的鱼、虾、贝、藻等海产品有 7000 多万吨,海盐 5000 多万吨,石油将近 30 亿吨,天然气 2960 亿立方米,还运输着 30 多亿吨各种货物,并为干旱地区的人们奉献近千万吨的淡水,直接创造的财富超过 3500 亿美元,占整个世界经济总产值的百分之三点五。

就拿美国来说吧,它的对外贸易,有百分之九十通过海上运输,每年有 3000 万人到海滨游泳,4400 万人从事各种航海活动,全国消耗的石油和天然气有百分之十六来自海洋,全部的镁和大部分的溴是从海水中提取的。美国还有八十多万家工厂在生产中采用海水。可以说,海洋在支撑着美国这个“金元帝国”的大厦。

其他许多国家也是如此。日本有将近三分之一的工业原料和一半以上的动物蛋白是由海洋中得到的。英国从 1978 年到 1982 年每年从北海石油生产中得到了 478 亿英镑的收入,而挪威海上石油的开采,为国库创造了将近百分之七十的财富。

建国四十多年来,我国人民也从海洋开发中尝到了更多的甜头,得到了更大的实惠。现在,我们每年可以从大海中获得五、六百万吨的海产品,1200 多万吨的海盐,几百万吨的石油,利用海洋通道运送着四亿多吨货物,所得的直接收入达 200 多亿元。

4. 人类的困顿

“人类的明天”——一个困惑着众多学者和政治家的严肃

话题。明天,地球上人口会增加到多少?食物、水、资源、能源等,能满足未来人口的需求吗?

据统计资料,目前世界人口正以百分之二的速度增长,也就是每年净增 7700 万人,即每天增加 100 万,每秒就增加 5 人。如果以这样的增长速度持续下去,到 2330 年,整个地球表面每平方米就有一个人。

即使持乐观态度的人对此也深怀忧虑。美国兰德公司高级研究员、物理学家赫尔曼·卡恩预测,到公元 2176 年,世界人口将达到 300 亿。而罗伯特和里恩诺在他们合著的著作中又写下了这样一段精采的文字:“每七秒钟就有一个美国人出生。这是一个令人爱怜的小宝贝。但是他一旦呱呱坠地,就要叫唤不止。他的叫声让人一听就是 70 年。他叫的是 2600 万吨水,21000 加伦汽油,10150 磅肉,18000 磅牛奶和奶油,9000 磅小麦,以及大量的其他各种食品、饮料、甚至烟草,这些都是他一生向国家伸手提出的要求。”

当然,预测毕竟是预测。情况也许不至于如此严峻。然而,人类在经历了几千年的文明史之后,现在确实已经面临着复杂而又紧迫的人口爆炸、粮食不足、资源枯竭、能源危机和环境污染等问题。

1950 年,世界人口不到 25 亿,到 80 年代末期,世界人口增长到 50 亿,37 年翻了一番。这是一个令人忧虑的全球性问题。世界上可以开垦成耕地的土地潜力已经不大,如果不注意保护陆地上的资源,随意扩大开垦地,那么,就会造成森林、石油、淡水等重要资源日益紧缺。现在世界有识之士强烈反对人类随便开垦土地问题。被认为人口相对稀疏的非洲和南美

地区虽然还有大片土地可开垦成耕地。但都在热带茂密的森林覆盖之下,如果任意开垦,必然招致严重破坏生态平衡的恶果。城市化和工业化给人类带来的消极因素也不容忽视。城市交通拥挤、环境恶化、第三产业占据较大空间,居民住房越来越紧张等,尤其是交通问题不易解决,一是占地面积大,二是建设费用开支大。工业化的发展,会使土地减少,工业废物污染环境等。

目前,世界存在的严重饥饿问题已经表露出来。联合国世界粮食理事会政策协调和对外关系司司长阿·维·纳奎在 90 年代时分析道,80 年代,世界挨饿人数比 10 年前增加了 5 倍,1984 年营养不良的儿童,比 1975 年的人数也增长了不少。今天,饥饿仍威胁着亿万人的生命,特种营养病继续使人们遭受极大的苦难和死亡。仅 80 年代上半期,饥民总数已达 5.12 亿。据估计每年有 1400 万 5 岁以下儿童死于营养不良。纳奎在分析饥饿的原因时说,粮食紧张是根源。

人口猛增与粮食生产不成正比严重地威胁着人们。

水,人类的“生命之泉”;水,社会经济发展的“血液”。动物体包括人在内,70% 成分是水,人不吃饭可以维持几天,不喝水就维持不了多久。

水是人类生存和社会发展的必需条件,按用量标准最高的国家计算,每人每年需要 1500—1800 吨水,工业上生产一吨合成橡胶需 2500 吨水,炼 1 吨钢要 100 吨水;农业上生产 1 吨稻子要 5000 吨水。但无论生活用水还是工农业用水都必须是淡水。随着工农业生产的发展和人类生活水平的提高,对淡水的需求量不断增加。据统计,从本世纪初到 70 年代中

期,全世界农业用水增长了 7 倍,工业用水增长了 20 倍。到 2000 年,世界淡水用量将为 70 年代的 3 倍多!

据联合国统计,地球总储水量约为 13.6 亿立方公里,但其中 97.5% 为海洋咸水,陆地上的淡水约占 2.5%。淡水中又有约 70% 在南极和北极以及雪山冰川中,实际上可利用的淡水只占淡水总量的 0.34%。地球上的淡水主要来自降雨,而各地的降雨量不均衡,且降雨时间分配也不均匀,雨季降水集中,难以大量贮存,单靠雨水远远不能满足人们的需求。另外,现有的淡水源有不少正在或将要受到污染。据概算,全世界每年有 4200 亿吨污水排入河流。目前,仅我国已有 80% 以上的河流、湖泊和 90% 以上的城市水源受到不同程度污染。从而使本来就紧缺的淡水,又亮了“红灯”。

联合国早在 1977 年 3 月召开的水资源会议上就向全世界发出警告:“水不久将成为一个深刻的社会危机,石油危机之后的下一个危机便是水!”目前已有约 63 个国家和地区面临缺水危机。世界 53 亿人口中有 34 亿平均每人每天只能有 50 升水。美国观察研究所的报告指出,本世纪 90 年代全世界都会面临水源危机! 还有人预言:水将是下次战争的根源。

而人类社会赖以生存的石油和天然气的情形又如何呢? 有人计算,自二次世界大战后,世界石油和天然气资源勘探速度加快,不断翻番。消费情况也大得惊人,自 1950 年到 80 年代初,世界石油消费飞速增长,从年消费 5 亿吨增加到近 40 亿吨,30 年增长了 5 倍多。据美国《石油和天然气》杂志的统计,如果以当前每年世界使用 200 亿桶石油的速度计算。现已探明的石油储量只供人类使用 44.4 年,已探明的天然气储量

可以开采 51 年。

煤炭是人类能源的主要来源,至今仍然是能源的主力之一,50 年代初期,人类 60% 的能源来自煤炭,到本世纪 80 年代,由于石油的广泛开发,已下降到 30%。但是,这并不表明煤炭工业的发展呈下降趋势,相反,煤的开采却日渐增长。据 1986 年 11 月在法国召开的世界能源会议的最新统计,全世界煤炭可采储量有 8380 亿吨,可供人类使用几百年,但是,这种统计仅是以当时的消耗水平为计算基数的,随着第三世界工业的不断发展,煤的消耗量也会逐渐增加,可供人类使用的年限也将大大缩短。

钢铁工业所需的原料,也日益减少,这使许多工业国家忧心忡忡。有色金属的生产也逐渐受到资源的限制,有些工业国家担心自己的资源枯竭,力图从发展中国家进口原料。而稀有金属的生产也难以使工业国家乐观。与此同时,工业落后、生产力不发达的国家,则正悄悄兴起,他们的资源刚刚开发出来,还以来乐观,但是以后呢?

面对如此严峻的形势,出路何在?

5. 海洋,下一个驿站

出路何在?

在海洋。海洋是人类的摇篮,更是人类未来希望之所在。如今,已经有越来越多的人预见到未来世界将是“海洋的时代”。

海洋里生活着上万种动物和植物,在不破坏生态平衡条件下每年可以向人类提供 20 亿吨海产品,而目前利用的还不

到百分之一。海水养殖技术日臻成熟,海洋农牧业已成为现实,用不了太长时间,人类就可以像在陆地上种田那样,在海上耕耘,从而大大增加海洋食物的来源。

海洋里有的是水。海洋淡化将是解决地球上淡水资源危机的重要途径。前苏联学者雅各布·布罗诺夫斯基这样认为:“再过 20 到 30 年……,海水淡化将是对全世界的发展具有极其重要的意义的一大进展。”

海洋里蕴藏着大量的矿物资源,其储量远远大于陆地。仅是太平洋底的锰结核就有 17000 亿吨,其中所含的铜是全球陆地的 17.8 倍,锰是 66.7 倍,镍是 145 倍,钴是 1000 多倍,它们分别可以供给全人类使用 920 年,18200 年,24800 年和 341100 年。海底埋藏的石油和天然气,数量几乎和陆地相等。

海洋能将是人类未来的主要能源。仅潮汐能一种,每年的可能发电量就比人类有史以来的已经消耗的能量总和还大 100 倍。

陆地上拥挤吗?大海本来就是人类的故乡,人类最终还将回归大海。海上城市,海上机场,海下住宅……,不是已经在设计大师们的图纸上“跃然而生”了吗?!实现它也肯定是指日可待了。

根据保守的估计,到公元 2000 年,人类将从海洋中获得 1.43 亿吨水产品,4.3 亿吨盐,25~40 亿吨石油,有 180 亿吨的货物将通过海上运输,海水淡化的日产量可望达到 129000 万吨……。到那个时候,大海奉献给人类的财富将占整个世界经济总产值的百分之十五到十七。

历史到了今天,科学技术获得了突飞猛进的发展。荒凉的

月球上已经有了人的足迹,宇宙飞船正在探索遥远的宇宙,人类对地壳的钻探深度也超过了 1 万米,可以说人类的文明已经达到了较高的境界。遗憾的是,人类开发海洋的工作还刚刚开始,经过人类调查的海底还不到全部海底的 5%。不过,人类毕竟是行动起来了,为了摆脱今天面临的困顿,更是为了人类的未来。如今,包括海洋资源开发在内的海洋工程,作为一门方兴未艾的综合学科,已经与原子能工程、宇宙空间技术并列为当代三大科学技术部门。现在人们正在迈开步伐,开始走出陆地这个狭小范围,深入到海洋的各个领域。有朝一日,海上城市、海底牧场将会建立起来,在几千米的深海,无人或载人潜艇将频繁出动,不断开辟新的生产基地;来自海洋源源不断的电能将供给人们强大的动力……。正如一位海洋学家所说的那样:“人类起源于海洋,总有一天还要回到海洋中去。”人类未来时代将是“海洋的时代”。

海洋,人类生存和发展的下一个驿站。

海洋,人类未来希望之所在!

二、希望在海洋

丰厚的馈赠——海洋化学资源

远望蔚蓝的海水,不时激起团团晶莹的浪花。若顺手舀起一杯,又似乎清彻透明,什么也看不出来,与一杯自来水或井水似乎没有差异。然而凡下海游泳或尝过海水的人都会知道,它又咸又苦,就是因为其中含有大量的食盐及镁、钙等物质的缘故。其实何止这些,陆地上发现的 100 多种化学元素,其中有 80 多种已先后在海水中找到了。海洋是一个巨大的海水化学资源宝库,地球上的海洋平均水深约 3800 米,海水总量约 13.7 亿立方公里。在这些海水中约溶解有 5×10^{16} 吨化学元素,平均 1 立方公里的海水中就含有 35.7 百万吨的化学物质。海水溶解的物质主要是盐,其次是硫、镁、钙、钾、碳、溴和硼。此外,世上最稀有的物质、被当作财富象征的黄金,尽管在海水中含量极微,但总量也有 500 万吨以上;制造威力巨大的核弹的原料铀,陆地上只储存 100 万吨,可海水里却蕴藏 45 亿吨之多;制造飞机、快艇、火箭不可缺少的镁,海水里有 1800 亿吨;此外,海水中还有制造玻璃的芒硝,有制做人造宝石和火箭的高能燃料硼。如果把大洋中的氢能全部提取出来,

按现在地球上对能量的需要计算,可供人类使用 5~10 亿年!再假如把海水中含有的 5 万亿吨盐都晒出来,平铺在陆地上,那么整个陆地就会盖上 150 厘米厚的一层盐。

海水,不愧为“液体宝藏”。

人类从海水中提取化学资源已有悠久的历史。最早是从海水中提取食盐,这可追溯到新石器时代。中国海水制盐历史最悠久,从福建省出土的古物熬盐工具证明,早在仰韶时代(公元前 5000——前 3000 年),当地已有用海水煮盐的;春秋时,管仲为齐国的丞相时,专设盐官管理盐务;到了汉朝,塘沽一带的制盐实况是:“近海之区,预掘土沟,以待海潮浸入,注满晒之。”可见其规模已很大。

利用太阳能对海水进行浅池蒸发制盐,是人类实现的第一个物理化学过程,海盐的生产,导致了近代氯碱工业的建立,诸如氯气、盐酸、烧碱、纯碱等基本化工原料,都是首先从海盐出发制备而且达到工业生产规模的。

从 19 世界中期到 20 世纪 20 年代,出现了盐田卤水综合利用的化学流程和工艺,制得泻盐、芒硝、氯化钾、氯化镁、溴等多种产品。

1930 年前后,开始重点研究直接从海水中提取化学物质,研究并发展了海水提溴的空气吹出法和海水提镁的化学沉积法,分别建立了海水制溴和海水制镁的工业。1935 年进行过用二苦酰胺法从海水中提钾的实验。1952 年后,海水淡化技术已广泛地应用。从六十年代以来,在提取海水资源的研究中引入了一些精密度较高的分析方法,富集和分离的新技术。

目前,除了海水制盐以外,海水淡化、海水提镁、海水提溴等已达到工业规模。

表 10—2 海水中所含各种元素的数量表

元素名称	元素浓度 (每吨海水中 所含元素的 克数,克/吨)	元素总量 (吨)	元素名称	元素浓度 (每吨海水中 所含元素的 克数,克/吨)	元素总量 (吨)
氧(O)		1.174×10^{15}	钒(V)	0.002	2.74×10^9
氢(H)	857,000	148×10^{15}	锰(Mn)	0.002	2.74×10^9
氯(Cl)	108,000	26×10^{15}	钛(Ti)	0.001	1.37×10^9
钠(Na)	19,000	14×10^{15}	锑(Sb)	0.0005	0.68×10^9
镁(Mg)	10,500	1.8×10^{15}	钴(Co)	0.0005	0.68×10^9
硫(S)	1,290	1.19×10^{15}	铯(Cs)	0.0005	0.68×10^9
钙(Ca)	855	0.55×10^{15}	铈(Ce)	0.0004	0.55×10^9
钾(K)	400	0.5×10^{15}	钇(Y)	0.0003	4.1×10^8
溴(Br)	380	0.095×10^{15}	镧(La)	0.0003	4.1×10^8
碳(C)	67	0.035×10^{15}	氪(Kr)	0.0003	4.1×10^8
锶(Sr)	28	$11,000 \times 10^9$	氖(Ne)	0.0001	137×10^6
硼(B)	8	$6,400 \times 10^9$	镉(Cd)	0.0001	137×10^6
硅(Si)	4.6	$4,100 \times 10^9$	钨(W)	0.0001	137×10^6
氟(F)	3	$1,780 \times 10^9$	氙(Xe)	0.0001	137×10^6
铜(Ac)	1.3	820×10^9	锗(Ge)	0.00007	96×10^6
氮(N)	0.6	680×10^9	铬(Cr)	0.00005	68×10^6
锂(Li)	0.5	247×10^9	钍(Th)	0.00004	68×10^6
铷(Rb)	0.18	164×10^9	银(Ag)	0.00004	50×10^6
磷(P)	0.12	96×10^9	钪(Sc)	0.00003	50×10^6
碘(I)	0.06	82×10^9	铅(Pb)	0.0003	41×10^6
铟(In)	0.02	27×10^9	汞(Hg)	0.00003	41×10^6
钼(Mo)	0.01	13.7×10^9	镓(Ga)	0.0002	41×10^6
铁(Fe)	0.01	13.7×10^9	铋(Bi)	0.00001	27.4×10^6
锌(Zn)	0.005	7.0×10^9	铌(Nb)	0.00001	13.7×10^6
硒(Se)	0.004	5.5×10^9	铊(Tl)	0.00001	13.7×10^6
铀(U)	0.0033	4.5×10^9	氦(He)	0.000005	6.8×10^6
锡(Sn)	0.003	4.1×10^9	金(Au)	0.000004	5.5×10^6
铜(Cu)	0.003	4.1×10^9	铍(Be)	0.000006	8.2×10^5
砷(As)	0.003	2.74×10^9	镭(Ra)	1×10^{-9}	2,740
镍(Ni)	0.002	2.74×10^9	氡(Rn)	0.6×10^{-15}	137
钡(Ba)	0.002	2.74×10^9			8.2×10^{-4}
铝(Al)	0.002	2.74×10^9			

1. 淡水的大本营

海洋最重要的化学资源中,首先就是水本身。水是生命之源,它和空气一样重要。动物体包括人在内,有 70% 的成分是

水,人不吃饭可以维持几天,不喝水就维持不了多久。水是人类生存和社会发展的必要条件。按用量标准最高的国家计算,每人每年需 1500~1800 吨水,工业上生产 1 吨合成橡胶需要 2500 吨水,农业上生产 1 块面包所需要的小麦要 140 升水。但是无论生活用水还是工农业用水都必须是淡水,即含盐量小的水。天然水的含盐量一般用 ppm(ppm 表示百万分之一,通常指重量,指体积也可以)来表示,家庭用水要求含盐量在 500ppm,即万分之五左右,含盐量太高就不适于饮用。工农业用水的含盐量有的可以稍高,但也不能高于 3000ppm。而海水含盐量为 35000ppm 左右,因此不能为人们所利用。

全球水量中,淡水仅占 3.74%,淡水中的 68.9%是固态的冰川水,真正可以利用的淡水资源仅占地球总储水量的十万分之一。目前,全世界约 60%的地区面临供水不足。长期以来,人们把水看作是取之不尽,用之不竭的天授之物。事实上,世界的水荒正在不断地加深,威胁着人类的生存。

淡水资源的分布极不平衡,有的地区年降水量超过了蒸发量;有的地区却终年无雨,沙漠一望无际。而南极大陆是一个巨大的冰库,还没有利用。同时,环境对水资源的污染更加剧了淡水供应的不足。

海水淡化是解决一些地区淡水供应不足的重要办法,尤其是对波斯湾沿岸的沙漠国家,例如,科威特、沙特阿拉伯等国家来说,海水淡化更为重要。

(1)海水淡化

所谓海水淡化,就是除去海水中的盐分以获得淡水的工艺过程。又称海水脱盐。

海水淡化的方法目前大约已有 20 多种,主要有蒸馏法、电渗析法、反渗透法、冷冻法等。其中前三种方法已投入工业规模的生产,特别是多级闪蒸、多效竖管蒸馏法和蒸汽压缩法技术工艺比较完善。

蒸馏法。顾名思义,就是将海水加热变成蒸汽,蒸汽遇冷后凝聚、汇集成淡水。蒸馏法海水淡化技术研究历史较长,在供水方面应用最广、起的作用最大。

在蒸馏时,如果把加热到一定温度的海水(即使不到 100°C)引至一个压力较低的设备中,海水便急速蒸发,这叫闪急蒸馏。根据这个原理,人们设计一组连接的蒸馏隔室,这些隔室的压力依次降低,海水流经这些隔室时,依次进行闪蒸。最后,含盐高的溶液从下面流出,隔室上面的蒸汽,冷却汇集成淡水从管道中流出。这种方法叫多级闪蒸法。

因为与其它方法比较,多级闪蒸的优点有:设备结垢轻;燃料和动力费用较少;造水比相当大,淡化水的成本低;结构较简单,操作方便,运行可靠,操作和维修费用较少。因此,多级闪蒸法是目前世界上海水淡化比较成熟可靠的方法,使用最为广泛。据 1977 年统计结果,多级闪蒸法装置,占整个蒸馏法的 45%,造水能力占 84%。

电渗析法。就是利用电渗析的原理,将阴、阳离子交换膜交替地排列成多室电渗槽,并在膜组两端配置阴、阳电子极,阳极一侧以阴离子交换膜开始,阴极一侧以阳离子交换膜终止,当海水通入后,在膜组两端加上直流电压。这样,海水中的阳离子向阴极迁移,阴离子向阳极迁移。由于离子交换膜对离子有选择透过的性质,那么海水中的钠离子和氯离子作为盐

溶液从膜间室中流出,脱盐的淡水也通过专门的管道流出。

反渗透法。这是 50 年代为淡化海水而提出的一种膜分离方法。我们先看看反渗透法的原理。不妨先做个实验。把一个半透膜的袋子(如猪的膀胱膜或其它人工合成膜,这种膜可让水通过而不让盐分通过)盛上盐水,放在盛有淡水的槽中,并使袋中盐水面与槽中水面相平。过一会就会发现袋中盐水面高出槽水面,表明淡水已穿过袋壁进入了盐水中了,这就叫渗透现象。如果在盐水面上加一压力,这个外压又大于淡水进入盐水的渗透压力,那么袋内盐水中的水分子就会自动穿过袋壁回到水槽中。这种在外压作用下的反向渗透现象就叫反渗透。反渗透法就是运用反渗透的原理,用反渗透膜将盐水和淡水分开。反渗透法分离效果好,设备简单小巧,消耗能量少,一出现就受到各方面的重视。现在还在进一步研究改进,提高制造渗透膜的工艺水平,扩大生产规模。

冷冻法。就是降低海水的温度,使海水里的水结成冰块,而让盐分留下来;再把冰融化,就可以得到淡水。据测算,冷冻法使海水淡化所需要的能量,要比用蒸馏法使等量的海水淡化所消耗的能量少得多。所以冷冻法在某种意义上比蒸馏法更有前途。

(2)海洋中的淡水

在南澳岛东南端云澳乡海边,有一座太子楼和一眼宋帝井,相传是七百多年前,南宋末代少帝在这里留下的遗迹。当时他们君臣被元兵追逐,从福建退往新会时途经此地,住在这座小楼里。四周海水茫茫。他们在饥渴难忍之时,偶然在海滩上发现了一个小坑,坑里的水竟是淡的,君臣因此得救。后人

便把它们分别叫做“太子楼”的“宋帝井”。

这眼井的井口有一米见方，四周边上的石板是后人砌上的，井深约二米。平时完全被海水所淹没，不露一点形迹。只有退潮之时才能见到它。井里的水表面看来同普通海水没多大差异，但不带咸味。把水舀出放一、两个小时，便会变得明净清澈，用来泡茶，茶味甚为甘香。云澳人常到这里取水烹茶。据他们说，将水装在瓶子里，可以几年不臭。更为奇异的是，井里的水从未干涸过，经初步化验，也未发现矿物质存在。这确实是一个谜。

那么，海洋中间也有这样的“淡水井”吗？

有。人们发现，美国佛罗里达半岛以东距海岸不远的海面上，有一块直径约 30 米的淡水区。看上去，它的颜色和周围海水不大一样，仿佛是深蓝色的软缎上镶了一块圆圆的绿宝石；摸一摸，它的水温和周围的海水也不一样；掬上一捧尝尝，一点也不咸。

无独有偶，在委内瑞拉的奥里诺河口附近的海面上，以及阿根廷普拉塔河口附近，也各有一块淡水区。

如今，随着遥感技术的发展，人们利用红外航空摄影，又找到了许多海洋大陆架上的淡水源头。如日本若狭湾的高滨附近，千叶县东京湾侧一带海域也有不少“淡水井”。据查，仅太平洋夏威夷群岛附近浅海区就发现了 200 多处淡水渗水点。

大海中的“淡水井”是怎样形成的呢？其实，它和大陆上的地下水一样，都是来自大气降水。当雪水和雨水降落到濒临海洋的陆地表面以后，一部分渗入地下，如果地下的透水岩层或

裂隙向海里倾斜,而且下面又有不透水层,渗下地下的水就会汇成河流,在重力的作用下,沿地下透水层、岩层岩面流入海底。一旦遇到出口,地下水受到水位差的压力,就会象泉水一样涌出来,上升到海面,就形成了奇特的海中“淡水井”。

开发海洋中的淡水资源,要比海水淡化来得经济,特别对干旱缺水地区,有十分重要的意义。这个重要的海洋淡水资源的调查研究工作已经开始。相信,随着陆地水资源的日趋短缺,大海中的淡水资源会做出应有的贡献。

(3) 南极的冰山新贡献

南极,作为“冰雪的家园”,其冰川冰盖面积达 1398 万平方公里,占全球冰川总面积的 86%。南极的总储水量为 2160 万立方公里,占全球淡水总储量的 90%。在南极,约有 20 多万座大小不一、洁白晶莹的冰山漂浮在 3800 万平方公里的海面上,其中最大的冰山面积达 2.6 万平方公里,露出水面部分高达 40 多米。如果南极冰雪全部融化,则全球的海平面将上升 55 米之多。

这么丰富的淡水资源,搁置不用,实在是一种浪费。

对南极冰山最感兴趣的是沙特阿拉伯王国。沙特阿拉伯大部分地区属于热带沙漠,气候的干燥和雨水的奇缺造成了水的危机,这已影响了国家经济的腾飞。虽然它依靠地下蕴藏丰富的石油为它赚取了大量的外汇,并依此建造了许多大型的海水淡化工厂。但地下的石油不会无限制地开采下去,总有耗竭的一天。为了长久之计,沙特阿拉伯开始考虑到南极去牵冰山取甘霖了。可是,迢迢万里,把冰山从南极拖到沙特阿拉伯,谈何容易。沿途汹涌的狂风巨浪会把它打碎,赤道和热带

的骄阳会将它融化。待到冰山拖回沙特,还能剩下多少。所幸的是,经过仔细研究和计算,科学家们认为途中的损耗量不过 20%,并计算出拖运冰山的成本比海水淡化要低,一吨水只需约 50~60 美分,而淡化海水则要 80 美分。于是沙特准备行动了。

美国人也不甘落后,他们也进行了研究,认为把每 1200 立方米的南极冰山运到加利福尼亚只需 30 美分,比建输水管便宜一半。且冰山不仅可以提取淡水,还可以对付热污染。

澳大利亚离南极很近,对南极冰山的利用自然感兴趣。经计算,一座小型冰山拖到阿德莱市,可供该市 81 万人用一年。如果运一座长 17 公里、宽 10 公里的冰山,则可供该市用 30 年!

美妙的前景,自然使人们大感振奋。可是,怎样搬运冰山却是一个难题。因为南极冰山的体积和重量惊人,要拖它走,恐怕还真不容易。因此,有人提出利用温差产生动力的原理驱动冰山,要冰山乖乖地听人的指挥,自己跑。方法就是在冰山一端装上蒸汽涡轮推进器。冰山底下的海水温度要比冰山本身温度高 11°C ,这个温度足以把液态氟里昂变成气体。受热膨胀的气体压力推动发动机,冰山就可以自己行驶了。

也有人提出在冰山尾部和两侧安装以原子能为动力的强力推进器,其功率达 40 万马力,前面用少量船只引导。

不过,拖运南极冰山求取淡水,目前还仅存于人的头脑设想之中,但是相信,随着陆地“水荒”的加剧,南极的冰山终究会在人类的努力之下,做出新的贡献。

2. “化学工业之母”——食盐

在人类的生活中,是须臾也离不开盐的。人的血清中含盐 0.9%,所以浓度为 0.9%的食盐溶液就叫做生理盐水。人必须每天吃盐,以维持体液的这一盐浓度,这样才能正常地进行新陈代谢。成年人每天需要 10~12 克食盐,正在成长发育的儿童需用量更多。盐在人体内的新陈代谢中起着重要的作用,胃液中的盐酸就是由盐产生的,盐酸不仅有消化作用,而且有杀菌作用,它能杀死随食物进入胃里的细菌。所以食盐不仅是重要的调味品,也是人体正常生理活动所必不可少的物质。现在人们往往把食盐当作价钱便宜的极平常的物质,殊不知在人类历史上,很多地方曾经把盐当作非常珍贵的财产,有的用盐作重要的奖品,有的用盐来支付工资,在古代阿比西尼亚还曾以盐砖当作通用货币,用 3~5 块盐砖就能买回一个奴隶。

食盐在工业上的用途更广,用量更大。它是基本化学工业中的纯碱、烧碱和盐酸的基本原料,生产化学肥料氯化铵也离不开食盐。有机合成产品如氯化乙烯、聚氯乙烯、氯丁橡胶等所需要的氯,也来源于食盐。总之,凡是化学工业中用到钠和氯的产品,绝大多数都取源于食盐。此外,在肥皂工业、染料工业、矿业、钢铁工业、皮革业、陶瓷业、以至农业上食盐都有很大用途。

海水中溶解的食盐是非常丰富的,其总量约为 4 亿亿吨。现在全世界约有 60 个国家以工业规模由海水中生产食盐,另有 30 多个国家也在小量生产。实际上,每个临海国家都在生产食盐。但每年全世界提取的食盐总量还不到 1 立方公里海水的含量,所以海水中的食盐是用不尽的。

海水中的盐是从哪里来的呢?大体说来,海水盐分有两条来路:一是地球刚形成时,由于大量降雨和火山爆发,火山喷发出来的大量水蒸汽和岩浆里的盐分随着流水汇流到海洋里,海水就咸了。不过那时的海水并没有现在这样咸。后来,随着海底岩石里可溶性盐类不断溶解,加上海底不断有火山爆发喷出盐分,海水逐渐变咸。另一条来路是,陆地上河流奔向大海的途中,不断冲刷泥土和岩石,把它们身上的盐分带到了大海。据估计,全世界河流每年带入海洋的盐分至少有 30 亿吨。

从海水中制盐大概至今已有 5000 多年的历史了,在埃及(公元前 2850~2550 年)的所谓金字塔文字中,就出现“atr”的文字,它是一种钠盐,是用蒸发海水的方法制取的。在我们这个文明的古国,从海水中取盐,更有悠久的历史。相传炎帝时(公元前四千多年)夙沙氏就教民煮海水为盐。从福建省发掘出土的文物中即有熬盐工具,证明了早在仰韶文化时期(公元前二、三千年)当地人民已用海水煮盐。春秋战国时,位于山东的齐国,专设盐官煮盐,并把鱼盐之利作为富国之本。西汉《盐铁论》记载:汉代盐铁已成为“佐百姓之急,足军旅之费”。约在明朝永乐年间,开始废锅灶,建盐田,改煎煮为日晒,使盐业生产有了新发展。

我国沿海多泥质海岸,海滩平坦辽阔,有大量的土地可以开辟为盐田。沿海气候也适于晒盐。特别是渤海、黄海沿岸,年蒸发量较大,降水量较小,有明显的春季干旱季节;东海、南海沿岸气温高,除雨季外,其它时间可以晒盐。因此我国沿海 12 个省、市、自治区都产海盐。我国是世界上产盐最多的国

家,1980年生产海盐1356万吨,居世界首位。为适应2000年盐业发展的要求,预计盐田面积将扩大60%。我国从北到南都有盐场分布,主要有长芦、胶州湾、南堡、羊口、青岛、淮北、莺歌海、布袋等著名盐场。

目前世界盐业生产主要有三种方法:太阳能蒸发法、电渗析法和冷冻法。

(1) 太阳能蒸发法

太阳能蒸发法又叫盐田法,沿海居民很早就用这种方法从海水中生产食盐,并一直沿用至今。这种方法是在海边滩涂上筑起坎,设立水闸,滩涂上修整出一块块象稻田的阡陌。将海水放入一块块方田里,在太阳下照晒。

它的原理很简单:海水受热,水分逐渐蒸发,盐浓度渐高,各种盐类即可渐次析出。

用太阳能蒸发法生产食盐,其步骤,首先是纳潮,就是把含盐量高的海水积存于水池内。

海水是晒盐的原料,当然以含盐高的海水质量为最好,而海水中的含盐量受到很多因素的影响。如降雨量大,盐浓度就降低,河口附近的海水盐度也低;洪水季节海水会被冲淡,而干旱季节冲淡就较轻;在蒸发量大的地区,如冬季的黄、渤海地区,因西北风加速海水蒸发,海水含盐量就高;海水结冰会增加盐度,融冰时则减少盐度;海水运动对海水盐度也有影响,潮汐可以把外海高盐度海水带进港湾里来;而海水上层一般盐度又比下层为小。

由于地球自转的影响,北半球的潮流向右转,故我国沿海地区的涨潮流,进入港湾以后,偏向其流向的右边。这样,在涨

潮时,潮流右侧的海水是从外海来的,水位高,盐度大;而潮流左侧的海水,渗杂有在港汊停留的海水,盐度较低。同样,北半球的河流流入海港后,偏向河流流向的右边,例如海河的淡水由西向东流入渤海湾,由于在流出的过程中偏向右边,使海河南岸大沽盐场附近的海水混进了大量的淡水,致使海水被冲淡。此外,在涨潮时,一般潮头的盐度大些,因为潮头溶解着较多的海滩中的盐分。

各种海流的含盐量也不同,例如暖流的盐度高,我国台湾近岸的海水盐度大,就是这个原因;寒流海水的盐度低,它所经过的海区盐度也随之降低;上升流又可把海底盐度高的海水带到海面,增加表层海水盐度,如我国海南岛南部有上升流,造成了海南岛三亚等盐厂的优越条件。我国民间流传着:“雨后纳潮尾,长晴纳潮头,秋天纳夜潮,夏天纳日潮”等生产谚语,足见我国沿海盐民对海水含盐量变化规律的掌握程度。

太阳能蒸发法生产食盐,其次是制卤,就是让海水经过一系列的蒸发池,蒸发到“食盐”点,此时的食盐水就是卤水。到了食盐点,海水体积已减少 90%,随后就把它转移到结晶池中。

最后是结晶。卤水在结晶池中继续蒸发。食盐就结晶并沉积在结晶池的池底。

由太阳能蒸发制出盐结晶以后,就是采盐、贮运和加强保管了。

(2)电渗析法

这是二十世纪五十年代开始研究、七十年代成熟起来的一项新制盐技术。日本对此技术应用甚广。历史上,日本也是

利用太阳能蒸发海水的方法来生产食盐的,但由于温度和降雨条件的不利,不适于直接用此法生产,所以近二十多年来,日本所用的大量食盐,主要是电渗析法生产的,年产量超过26万吨,约为日本全国所用食盐的 $\frac{1}{4}$ 。

电渗析法制盐原理已在海水淡化部分作了介绍。电渗析法制盐与盐田法不同,它是利用电力使海水中的氯化钠浓缩。与盐田法比较,它的优点是:不受自然条件影响,一年四季均可生产;占地面积小,生产15万吨盐,盐田法约占地500公顷,而它仅需20~23公顷地面即可建成全套设备;节省劳动力,常备人员只相当于盐田法的 $\frac{1}{10}$ ~ $\frac{1}{20}$;基地投资少,生产每吨盐的基本投资约为盐田法的 $\frac{1}{5}$;卤水的纯度和浓度较高。

(3) 冷冻法

将海水冷却就可以结冰。缓慢地把海水冷却到海水的冰点(-1.8°C),就形成比较纯净的冰,里边很少有盐,基本上是由纯水组成的,对海水淡化来说,把冰晶分开就得到了淡水,而对制盐来说,去掉冰,其效果就等于晒盐法中的水分蒸发,因为水少了海水就受到了浓缩。这就是冷冻法制卤的基本原理。

此方法多用于象前苏联、瑞典这些地处较高纬度地区的国家中。

3. 轻金属——镁

镁和镁的化合物在工农业生产和日常生活中用途广泛,是不可缺少的一种物质。

镁是一种很轻的金属,银白色,外观象磨光的铁。由于它较轻,人们常用它制造合金。镁铝合金又轻又结实,在国防上、工业上都起着重要的作用。镁合金可以制造飞机、快艇,可以制成照明弹、镁光灯,还可以作为火箭的燃料。人们日常用的压力锅及某些铝制品中也含有镁。农业有一种镁肥,其主要成分就是镁。镁是组成植物叶绿素的主要元素,又能促进作物对磷的吸收作用。作物缺镁,光合作用就减少,生长停滞,叶片发黄并出现斑点,镁还是冶炼某些珍贵的稀有金属(如钛)的还原材料。

镁砖是含氧化镁 80~88% 以上的碱性耐火材料,它能耐 2000℃ 以上的高温,对碱性炉渣有高度稳定性,主要用于碱性炼钢平炉和其它碱性冶金炉以及水泥窑的炉衬。镁氧水泥是由轻质氧化镁粉末与氯化镁或硫酸镁溶液调制而成的胶凝材料,硬化快,强度高。可掺和木屑、刨花等为填料,用作建筑材料,也用于制造人造石、刨花板等。氯化镁还可以作凝乳剂。点豆腐的卤水,其主要成分就是氯化镁。在医药上常用硫酸镁作泻药。

镁在海水中的含量很高,其浓度为 1290ppm。仅次于氯化钠,居第三位,虽然它的含量比白云石等镁矿低得多,但海水仍是镁的主要来源。海水中镁的总量为 1800 亿吨。

从海水中提镁,最早始于 1885 年,当时在地中海法国沿岸塞特港附近有小量生产,所用的方法实际上与今天的一样,即往海水中加碱,让它生成氢氧化镁沉淀。

但是这项工作并没有继续下去,原因是陆地上的镁矿生产较上述海水提镁经济得多。直到 1935 年美国才开始从海水

中生产镁,当时找到了一种廉价的原料,即把牡蛎壳烧成石灰作沉淀剂。1936年这种方法又被英国引进,1937年在哈特尔普尔建立了一个小规模工厂,年产10000吨氧化镁。

从1940年起,到第二次世界大战,英国和美国都增加了氧化镁的需要量,主要用作钢铁工业中的耐火材料和生产金属镁,于是海水提镁工业就得到了迅速发展。战后,这些国家钢铁输出日益增加,加之它们用的是碱性平炉法炼钢,就更增加对耐火材料氧化镁的需要,于是海水提镁工业又有进一步发展。

不论是生产金属镁,还是其它化合物,其方法都是往海水中加碱,使其形成沉淀。在实践中,所用的碱几乎都是煅烧石灰石(或牡蛎的壳)所产生的石灰。生产的简要过程是,首先把海水打入沉淀槽,再把粉末石灰添入使之与海水快速反应,经过沉淀、洗涤和过滤,就可得到氢氧化镁沉淀块,再进一步煅烧就可以得到氧化镁。为了制成金属镁,须加盐酸把它变成氯化镁,经过滤、干燥,然后在电解槽中电解,就可以得到金属镁。

海水提镁表面上看来简单,好象加进碱去就可以从海水中收回氢氧化镁沉淀,其实不然。因为海水中并非纯的镁盐溶液,而且,碱也很复杂,在大量生产碱时,根本找不到不含杂质的石灰石和白云石。两种原料——海水和碱都不纯,这就使生产过程复杂化了。因此,在实际生产中,还有许多技术问题需要解决,其中最紧要的是解决海水的杂质。只有先除掉海水中的碳酸、硫酸钙、硼酸等杂质,才能生产出纯净的镁矿。目前,海水提取的镁矿纯度已达到99.7%,可以满足冶金工业的特

殊需要。

当今世界上生产海水镁矿的三个主要国家分别是美、日、英。目前,美国共有 7 家公司 8 个工厂生产海水镁矿,年生产能力为 77.5 万吨,占全国镁矿生产总量的 74%,成为世界上海水镁矿生产最多的国家。

日本生产海水镁矿的能力达到年产 70 万吨,位居世界第 2 位。

目前世界海水镁矿的年产量已达 270 万吨,约占镁矿总产量 1/3。我国由于陆地天然菱镁矿资源丰富,镁及镁的化合物的来源主要靠陆地解决,只是根据需要每年利用制盐卤水生产一些氯化镁。我国海水镁矿的开发,近 10 年进行了一些研究和试生产,研究的内容包括产品种类、海水预处理、沉淀剂、降硼方法等方面,并取得了可喜的成绩。

4. “海洋元素”——溴

溴是 1825~1826 年由法国人巴拉德和德国人卡尔勒维格分别发现和提取出来的。巴拉德用氯处理海水苦卤后,蒸馏而得到溴。1826 年巴拉德向巴黎科学院提出一种新物质——溴,于是这位 23 岁的青年便获得“溴的发现者”这一荣誉称号,今天制溴工业的基本方法,仍然是他当初采用的方法。

1840 年溴被用于照相技术,于是提取溴就急剧发展起来,当时欧注所需的溴全部都是从苦卤和天然浓盐水中提取的。1858 年德国发现钾矿,在制取钾盐剩下的母液中,有大量的溴。1865 年,有人利用这种新的资源,采用二氧化锰和硫酸氧化法,从母液中提溴。1877 年改为连续的氯氧化法。1907 年

德国人库比尔斯基又进行了重大改进,该法直到今天也是仍在沿用的一种工业方法。美国主要是用天然浓盐水和苦卤作原料,1889年提出用电解法,后来又采用空气吹出的新工艺,并被用于直接从海水中提溴,获得了进一步发展。

1921年,发明在汽油中加入四乙基铅作抗爆剂之后,二溴乙烷的用量迅速扩大,从而促进了制溴工业的大发展。世界溴的用量从1920年的500吨,发展到1930年的5000吨,于是出现了海水提溴工业。

图 10—1 海水提溴吹出法流程图

1931年,美国加强了空气吹出法海水提溴的研究。1933年建立了日产7吨的工厂,随后建立了月产几百吨的工厂。此后,英、德、法、日等国也相继建立了海水提溴工厂。这样世界溴产量的60~70%都是由海水中生产的。

最近,美国着重于天然浓盐水的资源开发,海水提溴因成本高而逐渐停止,天然浓盐水法遂居优势。但英、法、日等国缺乏天然浓盐水资源,只得仍以海水为主。有些国家则利用死海的无尽宝藏作原料,溴的生产仍在急速发展。

世界上最大的海水提溴工厂在美国得克萨斯州的弗里波特,该厂年产溴约 13 万吨以上,占世界海水提溴总量的 $\frac{2}{3}$ 。

海水提溴技术,目前主要有两种方法。第一种叫空气吹出法,目前世界各国多采用此法。这种方法就是用氯气氧化海水中的溴离子,使其变成溴,然后通入空气或水蒸汽,将溴吹出来。第二种海水提溴的方法叫吸附法。即采用强碱性阴离子交换树脂作吸附剂,用于海水提溴。这种方法的突出优点是耗电少,并且不受温度影响。

世界的溴主要消耗在汽油抗爆剂的乙基液方面,其次是作农药。但目前使用溴的最大问题是污染环境,因而已被限制使用,这就影响到世界制溴工业的发展,不少制溴工厂已转向于对海水中其它成分的综合利用。只有当发现了溴的更大用量的新用途后,海水制溴工业才能更迅速发展。

5. 海洋中的肥料——氯化钾

氯化钾为植物生长所需的重要肥料,肥效快,并能被土壤吸收,不易流失。钾肥施用适量时,能使作物茎秆长得坚实,防止倒伏,促进开花结实,增强抗旱、抗寒、抗病虫害的能力,因此对农业高产具有十分重要的意义。从海水中提取钾,主要就是用来制造钾肥的。

(1) 海水提钾的历史概况

钾的开采可追溯到古老的年代,当时的来源是草木灰。用于肥料的氯化钾是 1861 年开始生产的。1904 年法国发现了阿尔萨斯矿,1914 年法国和德国都制定了程序,从钾石盐矿中提取钾,当时许多国家都由德国供应钾。第一次世界大战后,来自德国的供应线被切断。美国人为了得到钾,便开始研究盐湖水中的钾资源,并建立了工厂,处理加利福尼亚州的西尔里斯湖和内布拉斯加湖的苦卤。而从死海海水中提钾,则是 1931 年才开始的。

含钾的天然资源中,海水是最大的,其总含量为 500 万亿吨,远远超过钾石盐等矿物的储量,真可谓取之不尽,用之不竭。

我国至今尚未发现大储量的可溶性钾矿,青海湖尚未开发,现在主要是从制盐后的苦卤水中提取钾盐。由于苦卤来源有限,若将每年海盐生产的苦卤全部收集起来,也只能生产近 10 万吨氯化钾。我国有漫长的海岸线,如能从海水中直接提钾,为钾盐生产开辟一条新途径,在政治上、经济上都具有重要的意义。

(2)海水提钾的方法

从普通的大洋中直接提钾,挪威科学家首先于 1938 年采用二苦酰胺沉淀海水中的钾,并完成了室内的工艺试验。但由于二苦酰胺易爆炸,危害工作人员的安全,无法达到工业生产的要求,试验亦被迫中止。

近年来,在海水提钾方面又进行了多路探讨,先后提出很多方法,现就其中有前途的几种加以介绍。其中,除了蒸发结晶法由卤水生产钾盐外,其他方法大都存在一定的问题,有待

进一步研究。

蒸发结晶法

钾的化合物是太阳能蒸发制盐后剩下的浓盐水的主要成分,由于浓盐水的来源较为容易,所以用这种方法生产的钾盐占有很大的比例,也是历史最长的由海水或卤水中提钾的方法。蒸发结晶法有许多流程,一般是先蒸发得到光卤石,然后用适量的水处理,光卤石分解为固体氯化钾和氯化镁溶液。

蒸发结晶法一般用于含钾浓度较高的盐湖水,但由海水直接提取则成本较高。而在死海,其中氯化钾含量高达1%以上,所以采用蒸发法是完全适宜的。它的蒸发池分两部分,第一部分有100平方公里,第二部分有30平方公里。把死海海水抽到第一部分蒸发池中,利用太阳能蒸发,大约去掉50%的水,此时有食盐沉淀。当浓度达到光卤石快要析出的时候,就被抽到第二部分蒸发池中,进一步蒸发,又去掉约20%的水,这时光卤石沉淀出来,并带有一部分食盐。剩下的浓海水里边还有氯化镁和氯化钙,大部分回到海中。把光卤石进一步用水处理,就可以得到氯化钾。

化学沉淀法

这是利用沉淀剂与水溶液中 K^+ 生成不溶于水的钾的化合物,即从海水或海水浓缩物中回收钾。对沉淀剂的要求是,生成的钾的化合物溶解度要极小,沉淀剂的价格要低廉,能大规模生产,回收方便,以及没有毒性和污染问题。常用的沉淀剂有二苦胺的钠盐、钙盐、镁盐或其衍生物、过氯酸钠或过氯酸钙、石膏、磷酸、磷酸钠或过磷酸钙、硫代硫酸钠、四苯硼钠等等。

溶剂萃取法

这是利用一种不溶于水,而又能够提取钾的有机溶剂。当这种溶剂与含钾的水溶液相接触时,钾被浓缩到溶剂中,而与水溶液所含的其它离子分开。这种有机溶剂除了二苦胺的硝基苯液以外,还有聚环醚、有机酸和酚的混合物、异戊醇和正丁醇、异丁醇、七个到九个碳原子的有机酸在煤油中的溶液等等。由于溶剂的价格太贵以及溶解而造成损失等原因,这种方法的经济价值不大。

离子交换法

就是利用离子交换剂,把其中某类正离子与海水中的 K^+ 交换,从而把 K^+ 与海水中的其它离子分离开的一种方法。前述及的二苦胺法,实际上也是离子交换法,即把二苦胺中的 H^+ 换上海水中的 K^+ 。1969 年以来,随着离子交换技术在工业上广泛地利用,用此法分离海水或卤水中钾的研究,日见增多。目前的离子交换剂可以分为三类:即有机离子交换剂,天然或合成沸石,新型无机离子交换剂。

6. 核燃料——铀

众所周知,原子弹和氢弹都是杀伤力很厉害的武器,它里面装的是铀。核潜艇可以连续在水下绕地球航行二、三个月,续航力 12~20 万海里,它既不烧煤也不用油,动力也是铀。功率巨大的发电站,用什么作燃料呢? 铀! 铀裂变能释放出巨大的能量,1 公斤的铀所含的能量约等于 2500 吨优质煤燃烧时所释放的能量,也相当于 20 多万人一天的劳动量。因此铀是极为重要的战略物质,随着核武器和和平利用原子工业的飞

速发展,对铀的需要量与日俱增。然而陆地上铀的贮量是有限的,目前有开采价值的总共不过 100 万吨左右。而海水里,虽然铀的浓度不高,每升海水只有 3.3 微克,但因海洋巨大无比,所以总量还是相当可观的,达 45 亿吨,相当于陆地上总贮藏量的 4500 倍。所以世界上许多国家,特别是缺乏铀的国家如日本、英国和德国等,都是想方设法从海水中提铀。

(1)海水提铀的现状

对海水中铀的研究,可追溯到 1935 年,当时人们测定了海水中的含铀量,但没有进行采集。英国是一个缺铀的国家,因此也是从事海水中提铀研究工作最早的国家。第二次世界大战以后不久,英国就开始着手从事海水提铀的研究。1952 年,英国特丁顿化学研究实验室开始探讨用离子交换树脂从海水中提铀,但效果不明显。1964 年,英国哈威尔研究所又提出了采用吸附法从海水中提取铀的方案。1968 年,英国从利用潮汐出发,考虑在米奈海峡建立年产 1000 吨铀的工厂,但因种种原因没有上马。1973 年“能源危机”后,英国原子能管理局又成立“海水提铀研究会”继续对海水提铀进行研究。

日本是世界上第一个建造海水提铀工厂的国家。日本铀埋藏量仅有 8000 吨,是个缺铀的国家。从 1960 年开始,日本着手海上提铀研究,并于 1986 年 4 月在日本香川县建成年产 10 公斤铀的海水提铀模拟厂。还提出了建立工业规模的海水提铀工厂的计划,预计年产铀 1000 吨。

目前,世界上已有近 20 个国家,如苏、美、德等,都相继进行海水提铀研究,但水平与规模远不及日本。

(2)海水提铀的方法

二、三十年来,国内外从事海水提铀的科技人员为了从海水中回收铀,作了大量的研究工作,先后曾采用过溶剂萃取法、吸附法、离子浮选和起泡分离法,以及生物富集法等等,其中萃取法是早期曾探索过的一种方法,它是以磷酸二丁脂作萃取剂,以煤油作稀释剂,在旋转的圆形萃取柱中与酸化的海水接触进行提铀的。萃取是定量的,从 20 升海水中获得 60 微克铀。但是,这个方法虽然技术上可能,而在大规模的实践中,溶剂的损失很大和试剂的费用高,使这种方法在经济上失去了吸引力。目前还在进行研究的或有希望的提取方法有以下几种:

起泡分离法

将气泡送入溶液中,溶液中的物质被气泡吸附,这种分离方法叫起泡分离法,这是近几年发展起来的一种方法。它的道理就是构成气泡的物质能与海水中的铀发生化学作用,这样海水中的铀就富集在气泡上,而气泡容易与海水分开,于是铀就提取出来了。有人采用磷酸脂作起泡剂,收到好的效果,据说铀的提取率达 80~90%。

这种方法的根本弱点是需要外加捕集剂和用动力鼓泡,这在工程上难以做到。

生物富集法

人们发现许多海洋生物有富集某些化学元素的能力,例如牡蛎体内锌的含量比海水大 33000 倍,一些浮游生物富集铀的浓度比海水大 10000 倍,这个特点可以用在海水提铀上。如果把一种经过筛选和专门培养的绿藻放在海水中,在其生长过程中经 X 光照射,那么铀就可以不断地富集于藻体中。

这种方法的优点是选择性好,获得容易,价格便宜,使用方便,而且没有废物。这是一种新方法,如使其与海水接触,可以制成“海藻过滤笼”,将其下放在海流中,100 平方米过滤笼每天可以处理 100 万吨海水。目前西德正在筹建中间工厂。

吸附法

这种方法吸铀量较高,是最有希望的一种方法,许多国家都在研究。到目前为止,人们已经制备和试验了上百种吸附剂,常用的主要有:水合氧化钛、碱式碳酸锌、方铅矿石、离子交换树脂等。其中水合氧化钛是目前世界上海水提铀研究中最主要的一种吸附剂。制成的水合氧化钛复合吸附剂,每克可吸附 500~600 微克的铀,有的可高达 1000 微克以上。另据报道,美国在 20 世纪 80 年代初研究一种海水提铀新方法,实践证明效果很好。这项技术是让海水以很高流速通过一台置于船上的分离器,分离器中的离子交换“纤维织物”能吸附铀。采用这种方法,收集、公斤铀成本为 330 美元。

我国是利用核能比较广泛的国家。除了在国防军事上利用核能之外,在工农业各生产领域也广泛开发利用核能。我国目前已建造了大亚湾和秦山核电站。随着对铀的需求量的不断增加,对海水提铀的研究也势在必行。我国的海水提铀研究,始于 1967 年。有关单位对铀吸附剂进行了大量的筛选研究工作,取得了可喜的成绩。其中国家海洋局第三海洋研究所研制的钛型吸附剂,每克可从海水中稳定地吸附铀 650 微克;有机离子交换树脂可稳定地吸附 1000 微克以上。华东师范大学海洋资源化学研究室研制的一些海水提铀应用设备和研究方法已达世界先进水平,该室研制的吸附剂吸铀率已超过英

国。

7. 海洋馈赠的其它元素

浩瀚的海水中,除了能提取食盐、溴、镁、钾、铀,以及淡水资源外,它还蕴藏着无比丰富的其它化学资源。其中有被当作财富象征的黄金,有用以制造玻璃的芒硝,有制作人造宝石和火箭高能燃料的硼,以及许多其它微量元素。这些元素目前有的正以工业规模从海水中生产,有的还在研究之中,我们仅就其主要的几种分别加以介绍:

(1)重水——新的能源

重水是一种巨大的能源,可作原子能反应堆的减速剂和传热介质,也是制造氢弹的原料,由重氢的核聚变反应可以释放出巨大的能量。海水中含有 200 万亿吨的重水,因此从海水中提取重水一经实现,世界海洋就能为人类提供尽乎取之不尽、用之不竭的能量。

什么叫“重水”呢?众所周知,水分子是由氢和氧两种元素构成,普通氢原子量为 1,但氢不只是一种,还有两种稳定的同位素:一种叫氘[dǎo],一种叫氚[chuān],它们的原子量都比普通氢大,所以又叫“重氢”。由重氢和氧构成的水叫“重水”。“重水”所含的能量很大,据计算,1 公斤氘燃料,至少抵得上 4 公斤铀、1 万吨优质煤。1970 年,美国在哥拉斯湾建立了一个年产 200 吨的“重水”工厂,但由于腐蚀严重而停产。目前世界各国正在努力从事海水提取“重水”的研究工作。

现在较大规模地生产重水的方法,有蒸馏法,电解法,化学交换法和吸附法。蒸馏法是用于分离重水的最初方法之一,

这种方法建立在轻水(H_2O)、半重水(HDO)和重水的蒸汽压不同的基础上。

(2) 海水“淘金”

海水中金的含量虽然不怎么高,但总量还是不少的,大约有 500 万吨,人们也一直在梦想从海水中提取金。

海水提金的技术设想,差不多与提铀相同,即选择一些吸附剂,希望它从海水中把金吸附上来。选过的吸附剂有木炭、碳、氢氧化铝、泥炭、煤、硅胶、黄铁矿、纤维素、锯末、浮石、沥青以及类似的物质。尽管多次试验,但都未能成功地从海水中提出金来。

德国人哈伯是本世纪二十年代最出名的化学家之一,他曾想用海水提金来支付战争的赔款。大约在 1920 年左右,在哈伯的研究所里,就有许多人投身于这方面的研究工作。哈伯的回收方法是用多硫化钠把金和银先还原为金属,然后在涂硫的砂蕊过滤器中分离出来。1923 年前后他们曾多次出海实验,但结果都是令人失望的。失败的原因之一,就是海水中金的浓度太小了。

哈伯终于停止了自己的实验,他说:“放弃我在干草堆里寻找没有把握的针的工作”。然而,在哈伯之后,仍然有不少人在继续从事着海水提金的研究工作。

(3) 芒硝和石膏

芒硝也叫硫酸钠,可用于造纸、玻璃和制革工业。它还是制造染料、药物和合成纤维的原料。从海水中生产芒硝可以采用冷冻的方法,在冬季到来之前,把卤水灌入冻硝的池子中。在冬季低温的条件下,硫酸钠的晶体就自然析出。

由于陆地上有广泛而大量的石膏矿,所以单独从海水中提取石膏(硫酸钙)是不经济的,但作为副产品或与其它元素一起提取,海水还是一种有竞争力的潜在资源。硫酸钙的提取几乎与食盐完全类似,也建立在结晶蒸发的基础上。近年来为了减少海水淡化设备中的结垢现象,从海水中除去钙和镁是必须的步骤。这样,也可以从中得到一定数量的钙盐。

(4) 硼和锶

海水中的硼以硼酸(H_3BO_3)和硼酸根(H_2BO_3^-)离子的形式存在,总贮量也有 6 万亿吨之多。硼可以用于制造原子反应堆中的控制棒,并用于制造火箭原料和合金钢;硼肥的肥效很快;硼砂可用于制造光学玻璃、人造宝石和焊药,亦可以用于医药等。

海水蒸发时,大部分硼留在溶液中,并在最后阶段以硼镁复杂化合物的形式结晶出来。

海水中锶的浓度为 7.9ppm,总贮量近 11 万亿吨。锶可以用于制造焰火和合金光电管。当海水蒸发浓缩提取石膏时,几乎全部锶以硫酸锶的形式陆续地与石膏一起析出,因此从石膏中可以得到锶。

(5) 多种元素的综合提取

海水中含有的元素多属微量元素,浓度极低。在全球 137 亿亿吨海水中,97%左右是水,各种盐分平均只占 3~3.5%,即约 5 亿亿吨。而在这大约 3%的盐份中,单是食盐就占 78%,镁占 15%,石膏占 4%,钾盐占 2.5%,其余所有元素一共只占 0.5%左右。因此海水提取元素又叫做“稀薄工艺”,需要处理极大量的海水,例如,获得 1 吨食盐要抽取大约 40 吨

海水。提取 1 吨镁要处理 770 吨海水,提取 1 吨溴要抽水约 2 万吨,如提取 1 吨碘和铀,分别要处理 2000 万吨和 4 亿吨海水。因此,人类从海水中提取宝藏的工作正在走综合开发的路子,即一次提取海水,同时提取多种元素。例如把制盐和提镁、溴、钾结合起来,抽取海水之后先脱镁,再制盐、提溴,最后分离钾肥。据有人估算,如果建立一个年耗电 5 万度,抽水量 400 万吨的海水扬水站,每年约可生产 10 万吨氯化钠、3 万吨芒硝、5000 吨镁、5000 吨石膏、2400 吨硫酸钾、250 吨溴和 100 吨硼酸,所抽取的水中还含有近 600 吨“重水”,还可获得 700 公斤锂、200 公斤碘和 100 公斤铀等。当然,要想把海水中这些元素一次性地提取出来,技术要发展到相当水平。相信随着科学技术的发展,海水这个“液体宝库”会赠给人类越来越丰厚的礼物!

海底聚宝盆——海底矿产资源

海洋,不仅覆盖着 71% 的地球表面,也覆盖着极为丰富的海底矿产资源。汹涌澎湃的海浪,肆无忌惮地冲击着犬牙交错的海岸,湍流不息的江河,夜以继日地搬运着大量的泥沙,在海滨形成了丰富的砂矿,有闪闪发光的金、铀,有用途广泛的铁、钛、锆、锡以及那极为贵重的金刚石等。邻接着海岸带的大陆架浅海海域,不仅拥有丰富的生物资源和化学资源,还埋藏着工业上不可缺少的石油、天然气、煤、金、硫、铜、镍、磷和石灰岩等矿产资源。而在深海地带,那里虽是漫漫长夜,但却

沉积着大量富含锰、铁、铜、镍、钴和其它金属的锰结核,以及富含锌、铜、金、银的金属沉积物,深海底下的岩石中还可能含有汞、镍、铬、钼等矿产。

1. “工业的血液”——石油

(1)海底石油资源

埋藏在海底的石油和天然气,不论其生成环境是否属于海洋环境,都被列入海底石油资源。

海底蕴藏着丰富的石油和天然气资源。据 1979 年统计,世界近海海底已探明的石油可采储量为 220 亿吨,天然气储量为 17 万亿立方米,占当年世界石油和天然气探明总可采储量的 24%和 23%。

在世界大洋中,深海洋盆与大陆边缘、小洋盆的油气远景有明显不同。深海洋盆区上覆沉积层一般较薄,有机质含量少,地温偏低,地层多呈水平产状,沉积物粒度细,缺乏良好的储集条件,因此 95%的深海洋底缺乏油气远景。大陆边缘与小洋盆附近陆地,常有大河注入,通常覆有较厚的富含有机质的沉积物,沉积层粒度较粗,具有良好的储层。一些小洋盆海域闭塞,海水循环受阻,环境闭塞有利于有机物质的保存。所以大陆边缘和小洋盆地区蕴藏着丰富的油气资源。目前世界上已发现的海上油气田,大都分布在浅海陆架区。大陆架对石油的生成和聚集具有许多有利条件,目前海底石油资源的勘探和开发主要集中在大陆架区。

1896 年美国首先在加利福尼亚岸处萨莫兰特(Summer——Land)用木栈采油,自从委内瑞拉于 1922 年在马拉

开波湖获得喷油以来,海洋石油工业发展迅速。六十年代初期,世界上只有 25 个国家在海上勘探,有 12 个国家在海上采油,原油产量占全世界石油产量的 11%。到七十年代初期,有 75 个国家从事海上勘探,30 个国家从事采油。八十年代开始,海上勘探的国家已超过 100 个,海上采油的国家超过 40 个。在近 20 年中,海洋原油产量的比重在世界总产量中增加了 1 倍。目前,尽管海上钻井的费用比陆地上高 3~5 倍,勘探费用比陆地高 3~4 倍,但全世界用于海洋勘探的费用仍以每年 18% 的速度增长。据刘易斯·威克斯 1973 年的估计,海洋中 7 亿平方公里的沉积盆地中,石油和天然气的可采储量大约有 3000 亿吨。

目前在世界各地发现的 1600 多个海洋油气田中,已有 200 多个投入了生产,其中 70 多个是巨型油气田。储量超过 1 亿吨的特大油田有 10 个,天然气储量超过 1 万亿立方米的特大气田有 4 个。在特大油田中有 7 个在波斯湾,1 个在美国,1 个在委内瑞拉,1 个在刚果。特大气田中有 3 个在波斯湾,1 个在荷兰。这 14 个特大油气田中,12 个在石灰岩中,仅 2 个油田在砂岩中。可见波斯湾中的石油和天然气储量是极其丰富的。

目前,世界上离海岸最近的油井在美国路易斯安那州岸外 500 公里处,水深 300 米。根据油田所在地理位置,全世界海底油气资源大约可分为以下 8 个大油气区:波斯湾、墨西哥湾、北海、马拉开波、东南亚近海区、苏联近海、中国近海、几内亚湾近海区等(见图 10-2)

图 10—2 世界主要产油、气区分布图

1—北非;2—西非;3—中东波斯湾;4—欧洲北海;5—西西伯利亚;
6—第二巴库;7—加拿大阿尔伯达;8—美国墨西哥湾;9—墨西哥;
10—委内瑞拉;11—印度尼西亚;12—澳大利亚东部;13—大庆

波斯湾

湾内近 150 万平方公里,目前查明储量 120 亿吨油,平均每平方公里 800 吨油,每平方公里的海域有 0.8 公斤的油,可见其石油资源之丰富。目前它是近海石油的主要产地。全世界有 36~40% 的海洋石油产自波斯湾地区,沙特阿拉伯是最大的近海石油生产国,占世界近海石油总产量的 22~23%,其次是阿拉伯联合酋长国。

墨西哥湾

该油区含油、气盆地面积 97 万平方公里,主要分布在密西西比河三角洲区,其中陆架面积为 58 万平方公里。日产原油 14.6 万吨,天然气 3.7 亿立方米,居世界第三位。最近,墨西哥在坎佩湾有了新的发现,探明该湾储量为 55 亿吨,有的专家估计,其最终可采储量可能高达 274 亿吨。

北海

1957 年开始勘探,70 年代兴起的海洋石油区,该海域面积 28.6 万平方公里,探明储量为 28.5 亿吨原油,2 万亿立方米的天然气。北海最活跃的勘探和生产区在北半部,主要油田都在北纬 56° 以北,首先是荷兰和英国在这里发现了几个大油田。目前,已发现油气田 264 个,到 1980 年 6 月,北海水域平均日产原油 30 万吨。

最近,从北非到南欧水域在加快勘探步伐,过去十年中,这里已发现了许多小型油气田,许多石油公司把钻机移入这一地区,整个南欧都忙于在近海找油。

马拉开波湖

位于委内瑞拉西北部的马拉开波湖,是世界上最大的海上油区之一。马拉开波湖面积为 6.1 万平方公里,实际上是与加勒比海相联接的一个半封闭的海湾,目前正在湖外陆架区开始了石油的勘探工作。湖内估计储量在 50 亿吨以上,世界上 10 个特大油田之一的波利瓦油田位于该湖,日喷油 14000 多吨。

东南亚近海区

从暹罗湾到塔斯曼海的东南亚海区是世界海底石油资源丰富地区之一。第二次世界大战前便发现文莱海底油田,目前印度尼西亚是该地区最大的近海石油生产国,1980 年已日产原油 7.4 万吨,1979~1983 年,印尼政府在石油工业方面的投资 11 亿美元,其中绝大部分是用于开发近海石油。

马来西亚已有 14 个海上油田,最近又在沙捞越附近发现了一处天然气田。目前已投资 10 亿美元建厂生产液化天然气,以供出口。泰国最近在暹罗湾发现了 2 个气田,建成后,可

满足本国能源需要的 25%。世界银行已向泰国提供 5 亿美元的贷款,用来建设管线和岸上设施。

澳大利亚最近在西北部大陆架发现了大量的天然气,计划投资 60 亿美元开发 3 个重要的气田。

新西兰近年来对近海石油和天然气的勘探和开采特别重视。新西兰政府投资 10 亿美元,开发毛伊气田,很快达到 0.94 亿立方米天然气和 2880 吨凝析油的水平,这些天然气已超过了新西兰的消费量。

苏联近海石油

苏联拥有 648 万平方公里的大陆架,大部分在北极盆地区,那里可能埋藏着大量的石油。近海石油的潜力是很大的。但是,由于苏联仍有巨大的陆地储量未曾开发,所以对开发北冰洋近海油气资源一直持审慎态度,近年来近海石油产量提高不快。

七十年代中期,苏联与日本合作勘探库页岛东北的鄂霍次克海,某些地质学家认为这儿会成为重要的产油区。日本已投资 1 亿美元,并向苏联提供了 4000 多万美元的出口信贷,用于购买设备。最近,这一地区日产原油 1000 吨。

我国近海石油

我国拥有广阔的浅海水域,其中有 120 万平方公里的大陆架含油气盆地的面积。据挪威石油工业发展公司总经理估计,中国海底石油储量可达到 50~150 亿吨。日本杂志《能》在 1982 年第七期估计中国石油储量为 90~170 亿吨,浅海陆架占 1/2,与伊朗相比,有过之而无不及,可与沙特阿拉伯相匹敌,并可成为东亚的一个重要的海洋石油国家。1964 年,我国

开始在海上打第一口井,至今已有 100 余口,获工业油流的井有 30 多口,1981 年 12 月与日本合作在渤海打出了一口高产井,日产原油 1000 吨。近几年来,在渤海湾、南黄海、东海和南海的珠江口、莺歌海以及北部湾等 6 个大型含油气盆地,已打出高产油气井,证明是个大油气盆地。

几内亚湾近海区油田

从贝宁到卡奔达沿岸,包括尼日尔河三角洲和加蓬、刚果、卡奔达海域的油气田,已探明储量 23.4 亿吨。1963 年发现尼日尔三角洲岸外的奥坎油田。现在海上共有 50 多个油田,尼日利亚的石油产量居非洲第一位。

2. 海底油田的勘探与开采

要开采海底石油,必须先从石油勘查作起,以查明油田的位置、油气储藏的分布和储油数量等。在对海底以及邻近的陆地和岛屿进行普遍的地质调查的基础上,进行海上地球物理勘探,圈出沉积盆地的范围,查明海底地层和岩石的分布,然后确定有利于油气聚集的构造部门,再布设钻井进行钻探。当钻井按预期结果钻到油气层的时候,储藏在岩口孔隙中的油气,由于受到周围压力的作用就流向井中,探井也就变成了采油井,如果打不到油气层,探井就成为废井或干井。天然气的比重小,总是居于油层之上,所以油井总是先喷气,后出油。在油层压力特别大的情况下,石油会自动沿油井喷出井底,但是也有因为油层的压力过低而需要增加压力来进行开采的。这就是海底油田的勘探和开采的大致过程。

海上石油勘探

海底石油勘探一般是采用地震、重力和磁力等地球物理勘探的方法,它们具有成本低、速度快的优点,在油气普查和勘探中占有十分重要的地位。

海上地震勘探多用反射法,即在水下用炸药、压缩空气或电火花瞬时释放能量的方法产生震波,根据震波传到海底岩层后又反射回来的时间长短,计算地层的埋藏深度、厚度、岩性和构造情况(图 10—3)

图 10—3 海上地震反射法示意图

海底岩石在受到震波的巨大压力后,就会发生压缩或膨胀的形变,造成岩石质点振动,从而又形成地震波。当地震波传播到不同物质的分界面时,就发生折射和反射。接收反射波的检波器被密封后悬浮在海水面以下 6~8 米深处,由船拖航并连续记录。接收讯号用磁带记录和贮存,然后将记录信号的磁带用基地回放仪进行回放,再排除干扰波的影响,就可获得反映海底地质构造的地震记录。现在国内外采用的先进的数字地震仪,还配有电子计算机装置,能把接收的信号通过电子

计算机进行数字处理,并自动编绘出各种构造图件。

地震法对寻找海底的储油构造具有良好效果,因而已成为油气勘探中不可缺少的有效手段。

重力法是用重力仪测量因海底岩石密度不同而引起的局部重力异常,以寻找海底的储油构造。

地球对物体的吸引力和地球自转的离心力之合力,称为重力。由于海底分布着各种岩石,它们的结构有疏有密,密度有大有小,而且埋藏深度也不同,这样就会引起局部性的重力异常。根据重力和弹簧伸长之间的关系力学机制而设计重力仪,有很高的灵敏度,能测出 $0.01 \sim 1$ 毫伽的重力变化,特别是在背斜和穹窿的顶部测量,效果更为明显。进行海上重力调查时,可把重力仪置于潜水钟里,放到海底测量,也可以通过陀螺稳定平台装在船上,走航记录。

磁力法是使用地磁仪测定海区地磁场变化的大小,以探测海底的地质构造,寻找有无石油。根据测得的磁场变化,可以大致确定沉积岩的厚度、构造埋藏深度和沉积盆地基底的起伏情况。

海上磁力调查一般是把核子旋进磁力仪装在飞机上航测,或由调查船拖引着,边行进,边测量。为了不使船体影响仪器测量精度,通常是把测量探头放到距船体一定距离的位置上拖航。

钻井

海上石油钻井和陆上石油钻井的钻进方法是相同的,所不同的是需要在海洋环境里把钻机安装在高出海面的平台上进行作业,要经历风浪和海流的考验,因此比起陆上钻探要困

难得多。

目前在海上使用的石油钻井装置有固定式和移动式两种类型。固定式的海上石油钻井装置是一种直接固定于海底的海上平台,平台为钢质结构,甲板由插入海底地层的桩脚支撑,在上面作业,稳定条件很好。但由于耗用的钢材数量很大,一般都在千吨以上,因而通常只用于近岸带浅水区域,可在开采油气时采用。

属于移动式的海上石油钻井装置有坐底式、升降式、半潜水式和船式四种(图 10—4)。

图 10—4 移动式石油钻井装置

坐底式装置是整个平台坐在海底,平台的总高度大于工作区水深,上为甲板,下为浮箱,中连管柱,作业时,用船拖至钻井位置,将浮箱注水,即可沉坐于海底;作业后,排出浮箱中的水又可升起。这种装置一般适用于 5~30 米水深的黏土和沙质黏土底质的近岸带海底。它的最大优点是钻井操作比较稳定。

升降式海上平台是由数根垂直或倾斜的桩柱支撑在海底,平台可根据钻井需要上下升降。一般适合在 10~90 米的

水深区作业。

半潜水式海上平台是由好几个浮箱托着平台,作业时,浮箱进水下沉到一定深度,保持着平台的稳定。移动时浮箱充气就可以航行。它的最大工作水深可达 200 米,在黏土质、砂质浅水区海底也可以坐底。它的优点是受波浪的影响小,比钻井船稳定,但有费钢材、费用高和移动性差的缺点。

船式钻井装置是把石油钻井的设备安装在船上,可以装在船舷的侧方,也可以装在船体的中央,亦可在两条船之间搭设平台进行作业。钻井船一般都有自己航行的动力设备,但也有的不能自航,需要由动力船把它拖航到钻井地点。

上述各种海上石油钻井装置中,以升降式和半潜水式海上石油钻井平台使用比较普遍。

进行海上钻井,还要采取一系列措施,如准确预报暴风 and 冰况,配备强有力的防井喷、防火装备以及通讯、运输、医疗急救和救生等设备,以确保施工的安全。

采油

海上的采油装置有人工岛、固定采油平台和海底采油装置三种。

人工岛是在海里填砂石,围成小岛,再在岛上钻许多采油井,建立集油、输油泵站,铺设海底管线,把油气输送到岸上。此法最大的优点是稳定性良好,但一般只适用于离岸不远,水深 12 米以内的近岸油田开采。

固定采油平台可以利用原来的钻井平台,也可以在一个平台上加钻许多斜井来采油,采油的所有装置都安在平台上,通过海底的集油管线,把油气汇集到一起,最后由海底的输油

或输气管分别将油气输送到岸上,或者将天然气烧掉,石油由油轮运送。

海底采油装置是近年来应用潜水船和自控技术而发展起来的,包括井口装置、油气分离装置和储集油系统等全部没于水下,而由陆地上遥控其油压和油气流量等进行采油。其特点是能避免海上风浪的袭击,但钢材消耗量大,施工、防腐、采油系统等都需要有高度技术水平。海底采油装置曾在波斯湾进行试验,计划用于 200 米水深以内的海底采油。

3. 海滨砂矿

(1)成因及种类

所谓“滨海”,是指海滩、海滨和海涂等地带,即包括高潮线和低潮线之间的潮间带在内的海陆交界地带。滨海区往往具有宜人的风景,同时还有工业经济价值极大的滨海砂矿,其中有火箭发射用的固体燃料含钛的金红石;含有多多种稀有元素的独居石,如用于飞机、火箭外壳的铌,用于反应堆和微电路的钽;能耐高温、抗腐蚀的矿物锆英石。

海滨砂矿是怎样形成的呢?大陆上出露于地表的各种岩石和矿藏,长期经受着雨淋日晒和冰霜风雪的侵蚀,天长日久便慢慢崩解,破碎成有粗有细的碎屑。当岩石中这些易风化的矿物被破坏后,那些不易风化、化学性质稳定、比重大的矿物就分离出来,并被流水、冰川或风搬运到河口和海滩上,又经波浪、沿岸流和潮流日夜不停地反复淘洗、分选,一些硬度低的矿物被进一步磨碎,随着比重轻的矿物一起被卷向远离海岸的地方,而比重大的矿物就在海滩上集中起来,从而形成了

海滨砂矿。

图 10—5 海滨砂矿堆积剖面示意图

重要的海滨砂矿有以下几种：

石英、长石砂砾

主要用于建筑材料。一般由花岗石等风化而成，河流将它们搬运入海，堆放在滨海地带。提纯的石英砂可用于制玻璃的原料，从中可提取多晶硅和单晶硅，做成硅晶片，用于无线电、电子计算机、自动化和火箭技术等方面。目前世界上海滨砂矿的产值较大。据不完全统计，全世界共生产砂矿 8600 多万吨，价值 19000 多万美元，它的勘探和开采技术比较简单，投资也不大，目前每吨的成本约为 44 美分。从事海滨砂矿挖掘的国家主要有日本、英国、丹麦、荷兰。

钙质甲壳矿

主要成分是碳酸钙，是作水泥和农用石灰的原料。1970 年，世界各地沿岸生产甲壳矿价值约 3550 万美元，1977 年 1 亿美元。冰岛的法克萨洛伊、法国的布列塔尼半岛北部和斐济

的苏瓦都有生产。美国主要在得克萨斯州和路易斯安那沿岸, 1977 年产量达 1230 万吨, 3000 多万美元。

磁铁砂矿

采掘规模较小。日本、菲律宾、印度尼西亚、澳大利亚、新西兰等国均有开采, 一般为磁铁矿。菲律宾吕宋岛西海岸有一处含钛的磁铁砂矿床, 使用日本的采矿船进行采掘。日本有明湾大型砂铁矿, 其主要有用成分为钛磁铁矿, 其中含铁 56%, 钛氧化物 12%、钽 0.2%, 为日本铁矿的重要来源。

我国海南岛和山东半岛有钛铁矿的开采, 台湾省北部海区也有一个 30 人的小企业进行开采。

锡矿砂

主要集中在东南亚。目前世界上最大的锡矿砂产地在印度尼西亚的邦加岛、勿里洞岛, 矿物一直延伸到离海岸 8 公里的地方。其次是泰国的普吉岛。

海滨锡矿砂的采掘成本与陆上采掘成本相比, 因地区不同而差别很大。一般在东南亚地区, 海上采掘经济效益比陆地为好。1970~1971 年泰国采掘的锡精矿, 每吨成本 767 美元, 而马来西亚和泰国在陆地上采掘锡精矿平均每吨成本为 1117 美元。在欧洲, 近海采掘的成本较陆地都比较高。六十年代, 英国曾试图在圣艾夫斯湾采掘锡精矿, 终因潮汐和海浪的影响而使挖掘工作难以进展。

重矿物砂

生产砂金矿的有美国阿拉斯加、加拿大、白令海和前苏联等地。生产钛铁矿、金红石、独居石的有印度、澳大利亚、美国 and 斯里兰卡等国家。

我国有绵延的海岸线和滨海地带,砂矿资源十分丰富,辽东半岛沿岸有金、锆英石、钛铁矿和独居石等十余种。山东荣城有以锆石为主的滨海砂矿,海南岛有锆石、钛铁矿、独居石、铬尖晶石等,台湾省西南有独居石、锆石、钛铁矿和磁铁矿等,因此前景比较光明。

2. 海滨砂矿的开采

世界上滨海“淘沙”业已有 200 余年历史,开发技术也不断更新。美国、澳大利亚、加拿大、日本、前苏联等工业国家,由于他们对海滨砂矿开发利用较早,海滨砂矿的研究程度也高,调查范围已扩大到水深 50~100 米的范围。印度尼西亚、泰国、印度、纳米比亚、南非等国,由于具有得天独厚的矿产资源和上百年的滨海砂矿开发经验,开发技术和选矿工艺等方面也比较先进。目前所采用的采矿设备基本上都具有规模大、效率高、机械化和自动化程度高,并能在水下作业等特点,常用的是挖泥船和采矿机。

南非于 1978 年设计了一种泵吸船采矿法,泵吸船可以直接在海底开采金刚石。开采时将船开到已探明有金刚石富集的海底并放在坑穴区,把含有金刚石的砂砾吸到船上,然后再回岸上,经过淘洗、选矿就可以得到金刚石,这种采矿船每天可以回收 500 克拉金刚石。除泵吸船外,南非还有 6 条浮动吸泥船,可在 50 米水深之上作业,生产效率是 15000 吨/日。纳米比亚有类似的船达 10 余艘,也是用于开采金刚石。美国“海洋科学和工程公司”在 1970 年制造的一种人控水底挖泥船,船上只有 2 名工作人员操作,潜水深度 15 米,挖泥机自身功

率 200 马力,机上装有旋转刮刀电动机,功率为 300 马力,生产效率是每小时 200 立方米。美国的“诺斯特伦公司”新制造了一种深水挖泥机,工作深度为 2000 米,潜水时间是 600 小时,由辅助船自动控制,生产效率每分钟 20 立方米。意大利也有一种较先进的挖泥机,机体上面装有特殊的蓄水罐,能自动排水放水。生产时,工作人员在船上打开自动控制装置,使罐装满水,机体便沉入水底,再打开机上刮刀就可开始作业,完工后,罐内的水就可自动排出,机体便可自行浮出水面。这种挖泥机工作深度是 70 米,工作面面积是 5×2.5 平方米,工作速度为每小时 140 米,工作效率一般为 730 立方米/小时。另外,还有一些国家使用斗式挖泥机、泵斗式挖泥机等。

这些工业先进的国家,基本上都相应地建立了选矿厂,多数采用重选—电磁分离、静电分离、浮选分离和电子计算机控制的选矿系统,还有的在采矿的同时,将采到的砂矿,直接在采矿船上进行淘洗和选矿。

海滨砂矿的开发产值,已成为仅次于石油的矿产资源。

中国怎么样呢?

中国砂矿开发历史虽然悠久,但真正形成规模是在本世纪 50 年代初到 60 年代中叶,70 年代以后,有了较大发展,滨海砂矿的调查研究和开发利用出现了新局面。沿海各省市地质、科研和生产部门,相互配合先后进行了海岸带资源调查研究,发现了金、金刚石、砂锡矿等,在浅水区圈出了 40 余个重矿物区。现在已查明的 100 多个大、中、小工业矿床中,已有一大部分进入详查阶段。已经开发利用的有锆石、金红石、钛铁矿、独居石、磷钇矿、砂金和石英矿等。开采的砂矿床有 30 多

处。中国从滨海砂矿中提取的工业矿物,大部分用于本国,出口量很小。钛铁矿主要用于制造钛合金、钛白粉、人造金红石、电焊条和钛板;独居石内的轻稀土元素用于制造各种合金、打火石、防辐射玻璃和陶瓷、电气照明的点火装置和白热炭精;独居石中的钷是原子能的主要能源之一,还可以用来制造优质合金、化学指示剂等。

中国的开采技术以土法开采为主,机械、半机械化的生产方式现在只有一部分。土法生产主要靠人力手工挖掘,并使用淘洗盘、流槽、手摇淘洗船等工具。泵船喷射泵开采,工艺算是较先进的,年产量只有20——30吨。采金船是最为先进的,但是数量极少。

工业选矿工艺一般采用粗选和精选两道工序。粗选工序在开采现场完成,然后再运到选矿厂进行精选分离。选矿厂精选砂矿加工工艺,可分为重选和浮选两种,电磁选常作为重选工艺的辅助手段。机选工艺流程概括有单一重选或重选电磁选流程,浮选流程和重浮流程。

中国的滨海砂矿极其丰富,但是,无论在调查研究方法上还是在开发利用上,都不是很先进的,与工业国家相比,还存在着很大差距。调查范围在近岸,设备仪器也落后,从事海洋砂矿的专业人员少,采选手段和选矿工艺机械化程度低、工艺流程简单,生产效率和综合回收能力都较差,生产范围在近岸,生产能力为中小型。

3. 海底矿山

海底煤矿、海底铁矿、海底锡矿、海底重晶石矿、海底硫磺

矿、海底钾矿和海底岩盐矿等,向人类展现出一个丰富多彩的海底矿物世界。它们在等待人类的开发和利用。

上个世界,海底蕴藏丰富的煤便引起了人类的侧目以注。英国从16世纪就开始了在北海和爱尔兰海海底开采煤。而日本则是从1880年开始的,它们在九州岛海底进行了大规模的采煤作业。现在,这两个国家所需的煤的10~30%是从海底煤矿中获得的。

别的国家也不甘落后。土耳其在科兹卢附近的黑海中采到了煤;加拿大也在新苏格兰附近距岸边450米甚至5000米的海域内开了煤矿。

海底煤矿的开采方法及所用设备与陆地差不多,不过海底煤矿一般是从岸上开口,一直向海底延伸。也有利用天然岛屿和人工岛开井口的。主要的采掘方法有矿柱法、峒室法,长壁采矿法等等。目前各国正在研究开采海底煤矿的一种新方法——汽化法。

海底锡矿中值得一提的是英国的莱文特锡矿,它是世界上唯一的海底基岩锡矿。这是个老矿,它的锡矿脉离岸1.6公里,入口处设在岸边,开凿了岸边竖井,以回采法开采。

在目前还为数不多的海底重晶石矿中,美国阿拉斯加附近的卡斯尔海底重晶石矿格外引人注目,该矿场离岸1.6公里,矿脉在海底下15.2米。它的覆盖层较薄,所以采用了水下暴露开采法。

芬兰港的贾亚萨、克鲁瓦矿和纽芬兰大西洋海底矿是目前世上已开采的两个海底铁矿。贾亚萨、克鲁瓦矿是用地磁的方法发现的,它从芬兰湾陆地开井口,一直向海底延伸,约1.

6 公里。这条道中断后,又在邻近岛上打竖井和水平通道。纽芬兰大西洋海底矿的储量约几十亿吨,从贝尔岛入口开采,已持续开采十九年了。

1963 年,地质学家在波兰波罗的海沿岸发现了一个大海底钾矿,该矿石不用作太大的加工就可以直接作为钾肥。于是波兰人在海底挖了一条 5 公里长的坑道通到陆地,并进行了自动化开采。英国也有一个钾盐矿——纽克郡钾盐矿,该矿离海岸 8 公里,矿脉深度为海底下 1067 米处,开采时在岸口设了竖井,以峒室法和矿柱法进行开采。加拿大戈德里奇岩盐矿是海底基岩中矿床,该矿离岸 760 米,矿脉深度在海底下 356.7 米处。矿层厚度 22.87 米,入口为岸口竖井,挖掘方法采用峒室和矿柱作业法。

海底硫矿也很丰富。早在 1960 年,英国的路易斯安那海滨,距离岸边 10 公里处首先进行了硫的工业化开采。在北美开采流砂层下的硫采用的是弗拉师发明的开采硫的方法。这种方法首先钻一个钻孔,一直到储硫层,然后用一根 25 厘米直径的钢管插进去,在这个钢管里一根直径 15 厘米的钢管插入,钢管内再插入一直径为 7.5 厘米的钢管。通过较外层的管道压入 170 摄氏度的热水,热水进入到硫矿层,使硫熔化。熔化的硫就会流到最底部位,通过管底足的下部开口流进管道,内管通入压缩热空气,用这种压缩热气的力量通过中间管连同水一起从下面压上来。因为这种上升管以及在陆地上输送的管道都是用热水管包着的,所以输送过程中硫一直处于液体状态。这种方法制得的硫纯度高达 99.5%。

世界开采海底硫磺矿场主要在墨西哥湾。开采的国家有

美国和墨西哥。墨西哥的海底硫磺年产量达 2000 万吨,约占墨西哥硫磺总产量的 20%。海底硫磺开采一般采用钻孔,加热熔融后吸取而得到。

4. 深海珍宝

深海底的主要矿产是锰结核和重金属软泥。

(1) 锰结核

深海是一个寒冷、寂静的世界,长夜漫漫,压力很高,既不多戏游的鱼虾,更绝无繁茂的海藻,实在缺少生气。但在坎坷的海底表面,却满布丰饶的矿产资源,其中价值最大的要算锰结核,从而吸引着人们的注意。一个世界性的调查、勘探大洋锰结核的热潮正在兴起。其数量之多、价值之大,实在令人鼓舞。不少人称它是大海献给人类的一份丰厚的礼物,深海采矿机长足直下到万丈深渊,为人类开辟了利用这些深海矿产资源的通途。

锰结核这个名称的来历,是和它的构造紧紧联系在一起的。这种矿产含锰、铁较多,加之每块矿石往往都有一个由生物骨骼或岩石碎片构成的核,所以被称作锰结核或铁锰结核。它最早是在 100 多年前,即 1873 年 2 月由深海考察船“挑战者”号在进行海洋环球考察过程中发现的。

1872 年,英国海洋调查船“挑战者”号,在海洋学家汤姆森教授的率领下从英国希尔内斯港出发,驶向浩瀚的大西洋。1873 年 2 月 18 日,“挑战者”号航行到加那利群岛的费罗岛西南大约 300 公里的海域作业,他们用拖网采集洋底沉积物样品时,偶然发现了一种类似鹅卵石的东西,他们当时还没想

到,沉睡在海底亿万年的深海珍宝让他们发现了。1873年3月7日,他们再次从拖网中发现了这种奇怪的鹅卵石。之所以奇怪,是因为鹅卵石大都分布在海滨和浅滩,四、五千米的大洋底哪来的鹅卵石呢?这一次,引起了汤姆森教授的极大兴趣,他当即作了记录。后来,他们又在大西洋、印度洋和太平洋采得了这种鹅卵石,这些样品被大英博物馆当作海底珍品收藏了起来。1882年,约·雷默爵士和地质学家雷纳教授才系统地对这些样品进行了研究,9年以后,他俩发表了详细的研究报告,把这种鹅卵石正式命名为“锰结核”。

为了更多地得到海洋矿产资源,从七十年代起,许多国家把深海底锰结核的开发研究,列为海洋科学研究的重要课题,并首要进行矿区的结核分布、储藏量、金属含量和开采环境条件方面的调查。通过调查证实,锰结核的储藏量极为巨大,分布面积甚广,根据分析,结核中除有铁和锰外,还含有铜、镍、钴等30多种金属元素、稀土元素和放射性元素,其中锰、铜、钴、镍在目前技术条件下都具有工业意义。从结核中回收金属的试验也取得了成功。美国已设计出特制的冶金炉,用电解法提取铜、钴、镍、锰,纯度达到90%以上。1978年3月,由日本、加拿大等国参加的国际企业集团,用气吸法采矿系统,在太平洋夏威夷东南水深5000米的深海底,采出了300多吨锰结核,从而转入了即将开发阶段。据统计,目前在大洋底发现具有经济远景的锰结核矿区有500多处。

1979年,我国海洋科学工作者在太平洋赤道海域考察中,从4000~5000米水深的深海底取得了锰结核矿样,其中最大的一枚锰结核直径为5厘米,标志着我国研究、利用和开

发海底矿产资源进入了新的阶段。

“海底地毯”

据估计世界深海底锰结核的总储量约有 15,000~30,000 亿吨,仅太平洋 1800 万平方公里的范围内,在表层 1 米厚的沉积物中,结核就有 1 万多亿吨,可提取锰 2,000 亿吨,镍 90 亿吨,铜 50 亿吨和钴 30 亿吨。这四种金属的储量分别相当于陆上储藏量的 200 倍、120 倍、15 倍和 1250 倍,如果按 1970 年世界金属消耗量计算,这些金属足足可以供全世界使用 1000 年之久,而且这种锰结核每年都在继续堆积 1000 多万吨,真可谓取之不尽,用之不竭。

虽然锰结核在世界各大洋都有广泛分布,但是以太平洋的品位最高,储量规模最大。主要集中于中美洲到马绍尔群岛一线、南北宽约 800 公里的地带,总面积约 1800 万平方公里。其中北太平洋地区最为富集,即北纬 $6^{\circ}30' \sim 20^{\circ}$,西经 $110^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 的区域(图 6)。据估计,该地区约有 600 万平方公里的面积内高品位结核特别富集,其覆盖率有时高达 90% 以上,每平方公里有 9000 吨结核。由于锰结核非常密集,彼此迭连成片,因此有人把它形象地称之为“超级海底地毯”,也有人把它叫做世界海底的“锰路”。这里的结核储藏量约有 380 亿吨,其中含有金属锰 110 亿吨,钴 1150 万吨,镍 65000 万吨,铜 52000 万吨,锌 5300 万吨和钼 2300 万吨。

第二次世界大战后,一些工业发达国家对锰、镍、铜和钴等矿产的需求量迅速增加,依赖进口日趋严重。如日本的进口量是:锰 92%,铜 80%,镍和钴 100%。适逢此时,人们发现锰结核是一种很有价值的多金属矿产资源。而现代工业技术和

工艺水平已使锰结核的开采和冶炼成为可能。于是,锰结核就迅速地引起了许多国家的重视,希望早日实现锰结核的商业性开发。一些国家之所以加紧对锰结核的技术研究,并不是陆地矿产资源短缺,而是想寻找一个稳定可靠的资源供应。美国曾将锰结核调查作为“国际海洋研究十年计划”(I-DOE1970——1979)的一个内容。现在全世界已建立起8个跨国集团。约有100多家公司从事调查勘探与试采工作。

锰结核的物理性质和成分

锰结核的形状是多种多样的。有的呈块状;有的呈薄薄一层附在海底岩石上;而大多数都呈结核状,有的浑圆,有的有棱有角,有的许多结核聚集在一起,成为葡萄状或其它更为复杂的形状,这就是通常所说的锰结核。结核的颜色从黑色到黄褐色,一般以土黑色为常见。多数结核的表面模糊不清,但也有的透明度很好,如美国东海岸外采到的结核,就有似玻璃的光泽。

锰结核的个体有大有小,相差十分悬殊。小的如同沙粒一样,直径还不到1毫米,甚至更小,要放在显微镜下才能观察;大的直径可达几十厘米;最常见的是在0.5厘米到25厘米之间,个别巨型结核,直径在1米以上,重达几十至几百公斤。1967年,深海研究潜艇“阿鲁明诺号”采到了一颗90公斤重的锰结核,苏联调查船“勇士号”在第43次航行在夏威夷岛西部水下山脉的斜坡处,于3800米深的海底中发现了一颗至今世界上最大的锰结核块,重达2000公斤。

结核的硬度不大,一般只有摩氏硬度级的1~4度,平均在3度。

锰结核的内部中心有一核。该核可能是一粒海底火山碎屑,或碳酸盐质或磷酸盐质岩屑,也可能是鲨类齿、鲸类耳骨、有孔贝壳或宇宙尘等。核外是清晰的环带状构造。

锰结核的化学成分包括锰、铁、镍、钴、铜等 28 种,它们高出地壳中平均值的 46~27 倍,高出海水中含量的 100 万倍。同一地点的锰结核,其总体成分彼此都很一致。单个结构说来,最外层接触海水的一面,其中铁、钴和铅含量相对较多;被沉积物埋没的一面,则富含锰、铜、镍和钼,而铁、钴和铅含量相对较少。就锰来说,被海底沉积物埋没的半核中含量最高,泥—水界面趋向减少,到接触海水的半核含量最低。铁的分布则与锰相反。这种外层分布的特征,内层并不存在。内层的成分趋向均一。

锰结核的成因

当考虑到锰结核的成因时,首先人们要问,如此多的金属锰和铁等是从什么地方来的?据研究,最主要是从大陆和岛弧上的岩石的风化、分解出来的金属离子,然后由河流搬运入海的;其次是宇宙尘和玻璃陨石之类的外层空间物质;洋中脊地带的海底热水溶液等也是重要来源之一。

由于铁随着海水中的 pH 的增加而先于锰沉淀,所以,自大陆来的铁富集于近岸结核和淡水结核中,而锰输送到更深处。在输送过程中,它是以 MnO_2 和 $FeO(OH)$ 的水化物凝胶状态搬运的,在合适的 pH 值条件下,呈胶体状态沉淀于海底,随底层流在海底流动,遇到有核的地方,便附着于核的表面生长,以每百万年几毫米至几厘米的速度生长。

根据海底照相和盒式取样的研究,锰结核并不是直接暴

露于海底沉积物表面,而是生成于沉积物覆盖之下的软泥层中,这种软泥层厚度小于 10 厘米,当锰离子以钒锰矿形成沉淀之际,它还起着催化剂作用。

有人认为锰结核的生成是吸附作用的结果,当 pH 值较高的环境中, $\text{FeO}(\text{OH})$ 首先沉淀,在 $\text{FeO}(\text{OH})$ 上吸附 Mn^{2+} ,这时,它自身成为催化剂,使 Mn^{2+} 氧化为 Mn^{4+} ,然后这种被氧化的 Mn^{4+} 又吸附 Mn^{2+} 。这时 Mn^{4+} 成为催化剂,使 Mn^{2+} 氧化成为 Mn^{4+} ,它又吸附 Mn^{2+} ,如此循环往复,形成锰结核。埃里希成功地从锰结核中提取出锰还原细菌和锰氧化细菌,他认为锰氧化细菌使正二价锰离子(Mn^{2+})氧化成正四价锰离子(Mn^{4+}),细菌活动促进了锰结核的形成。另外,不少学者用扫描镜研究锰结核,发现了结核中有不少生物结构存在,特别是其中一些管状体是放射虫、颗石藻的残体,这些空管富含铁,这种生物起源的铁构成了二氧化锰的沉淀场所,所以,他们认为生物作用促进了锰结核的形成。

到目前,锰结核的形成尚无一个圆满的解释,有待于进一步从矿物学、化学和生物学等方面作进一步的研究。

锰结核的勘探和开采。

锰结核勘探和开采的一个突出优点是,在海洋底部沉积的表层上,矿物清晰可见,所以可用装有照相机和录像机的水下电视作为了解矿藏分布和厚度的有效手段。前苏联的技术人员已经制造出了一种远距离的可操纵系统,用它来调查和精确估计已了解的矿藏,经实验已取得了显著效果。这个系统是由一部电视机、一个自动装置和两台水动的电子计算机组成,工作起来极其方便。这是一种直接勘探手段。

直接手段虽能获得样品,可准确地测定锰结核的富集度、品位等,但使用这种方法需要大量的时间,工作效率低,因而人们正研究一种新的勘探途径,即间接勘探。比较引人注目的一种方法是最近几年日、德、法等国将声波探测技术用于锰结核的调查。实践证明,这种方法对于查明锰结核的区域性分布是非常有效的,且具有调查速度快的优点。若进一步改进,则属于一种很有前途的勘探方法。这种方法用在那些缺少取样和海底照相资料的海区,对进一步确定调查方向,选择直接勘探区域是完全可行的。

应用这种方法,日本的“白岭丸”在北太平洋进行了声波探测。根据在北太平洋声波探测的结果,发现声波层序和锰结核分布之间有着有机联系。

德国还采用了反射地震调查的方法,用这方法它的锰结核调查船“瓦尔迪维亚”号在北太平洋夏威夷东南、面积约 20×20 海里的地区进行了调查。使用 3.5 千赫的海底浅层剖面仪和人工地震仪,获得了海底沉积层上部 100 米厚的剖面,以及玄武岩基底之上的全部地层剖面的资料。通过分析,结核的富集度与地层厚度密切相关。锰结核富集度大于 10 公斤/米² 的地区,都在厚度小于 50 米的地区;而大于 50 米的地区,锰结核比较贫乏。

科学技术发展到了今天,锰结核的调查和勘探技术日臻完善。从早先的拖网、取样管和抓斗法,发展到现在的光学、电学、声学设备及无缆取样法,的确是一个飞跃。丰富多样的勘探技术促进了人类对锰结核的开发工作。不仅深海照相机、深海电视系统、无缆取样器、无缆照相机、立体照相机和红外摄

影等得到了广泛的应用,近几年来,多量程回声测深仪、3.5KHz 海底浅层剖面仪和人工地震仪旁视声纳等声学探测技术,也开始应用于大洋锰结核的调查中。此外,一些新的调查方法如特殊的声纳装置、新的声——光扫描法、远距离旁视声纳、综合深海调查系统“DSS——125”等正在研究之中。

锰结核的开采正逐步走向成熟。目前一般认为有三种方法比较经济、实用。

一种是空气提升采矿系统,由高压气泵、采矿管、集矿装置等部分构成。高压气泵安装在船上,采矿时,首先在船上开动高压气泵,气泵产生的高压空气通过输气管道向下从采矿管的深、中、浅三个部分输入,在采矿管中产生高速上升的固、气、液三相混合流,将经过集矿装置的筛滤系统选择过的锰结核提升到采矿船内,其提升效率为 30~50%。这种采矿系统已于 1970 年试验成功,它能在 5000 米水深处达到日产 300 吨锰结核的采矿能力。

一种是水力提升式采矿系统。主要由采矿管、浮筒、高压水泵和集矿装置四部分组成。采矿管悬挂在采矿船和浮筒下,起输送锰结核的作用;浮筒安装在采矿管道上部 15% 的地方,中间充以高压空气,以支撑水泵的重量;高压水泵装置在浮筒内,它的功率为 8000 马力,通过高压使采矿管道内产生每秒 5 米的高速上升水流,使锰结核和水一起由海底提升到采矿船内。集矿装置起着挑选、采集锰结核的作用。1975 年采矿试验已获成功,现能达到日产 500 吨的采矿能力。

一种是连续链斗式采矿系统,是在高强度的聚丙二醇脂材料编成的绳上,每隔 25—50 米安装一个采矿戽斗。采矿时,

船上的牵引机带动绳索,使戽斗不断在海底拖过以挖取锰结核,并将其提升到采矿船上,卸入船内储仓。这种采矿法是由日本人发明的,1970年8~9月在希塔提岛以北400公里、水深4000米处进行了试验,并获得了成功。这种装置结构简单、适应性强、采矿成本低。

各国对锰结核的勘探和开发日益活跃。美在深海锰结核勘探、试采和加工处理等技术方面,处于领先地位。美国开发的重点是夏威夷群岛至美国本土之间的海域,其中有的海区的普查工作已经完成,现已进行到详查和开发阶段。日本是从60年代开始了锰结核的调查工作,真正大规模的调查是在70年代以后。前苏联对锰结核的调查则是从50年代开始的,前苏联科学家并在1964年编制了《太平洋底锰结核分布图》,70年代以后,对太平洋锰富矿区进行了勘探。法国人在1974年成立了法国锰结核研究公司,主要进行矿区勘探;法国并与日本全作,在法属社会群岛的塔布堤岛以北进行了多次调查和开采方法的试验。

中国对大洋锰结核的调查工作开展较晚,正式调查是在1983年5~7月进行的。1983年以后,中国又多次派遣“向阳红16”号和“海洋4”号船进行了锰结核的调查,1985年和1986年航次的调查区域从中太平洋扩大到东太平洋,采用了国际上先进的声波探测技术和海底照相,调查研究的程度有了更大的提高,并圈出了数万平方公里的富矿区。现在,中国已正式向国际申请,在太平洋中北部圈定了两块先行投资区,并在国内成立了相应组织。

不过,尽管各国对大洋锰结核的可采储量和极大的开采

价值注目已久了,但由于锰结核的开发是一项高投资多风险的新兴产业,受技术因素和经济因素的限制,其开发进程不可能象海洋石油和天然气那样快。从目前的情况看,最先进行商业性开发锰结核的,可能是美国和日本,其中以美国为主的海洋产业协会准备在 1995 年以后投资 15 亿美元,每年生产 100~200 万吨干锰结核,同时,在加利福尼亚建一座日处理 5000 吨锰结核的加工提炼厂。日本国土资源贫乏,对大洋锰结核抱有极大的希望,已制订出 1994 年前的开发计划,现正在作各项准备工作,以期在 1994 年进行大洋锰结核的商业开发。据估计,在 1990~1995 年期间,全世界商业开发大洋锰结核每年可为 100~400 万吨,1995 年以后可达 1000 万吨,到 2000 年,将会有大的飞跃,到 2025 年后,大洋锰结核将有可能成为世界稳定的矿物来源。

2. 重金属软泥

重金属软泥是深海底的一种富含铁、锰、铅、锌、银和金等多种金属的未固结泥质沉积物。金属在其中以硫化物和碳酸盐等形式出现。取上这种软泥,经过提炼后便能得到人们所需要的金属。这种金属软泥并不是海洋中普遍存在的,而是局限于红海中部深度大于 2000 米的底部和东太平洋海岭中部某些凹陷区以及印度尼西亚外海布努维希海底火山区。在软泥层之上,覆盖有高温和高盐度的海水——热卤水。研究重金属软泥不仅因为它具有潜在的经济意义,而且可以为陆上的层状多金属硫化矿床提供成因上的依据。

重金属软泥的性质和成分

以红海为例,那里的重金属软泥层呈红色,其中主要金属矿物有闪锌矿(ZnS)、黄铜矿、黄铁矿、菱铁矿、菱锰矿、针铁矿、褐铁矿和赤铁矿等。此外,还有粘土矿物铁蒙脱石、有孔虫介壳和颗石藻等。

目前发现,全世界计有 1 亿平方公里分布有重金属软泥。这种重金属软泥也是一种活矿床。据估计,它们以 5 毫米/千年的速率增长。以 1 亿平方公里的面积计算仅铜一项,1000 年可聚集铜 5000 万吨,1 年则为 5 万吨。这是相当可观的。

重金属软泥的成因

关于海底重金属软泥成因的学说主要有 3 种:蒸发说、溶盐说和火山说。

蒸发说。根据氧、碳同位素的测定,表明几万年以来红海出现了浓缩和淡化的变化。当红海与印度洋相互隔离时,红海由于蒸发作用而缩小,形成了几个蒸发盆地,盆地底形成热卤水,从卤水中沉淀出重金属软泥。当印度洋与红海相通后,红海的蒸发盆地中的卤水被冲淡,在比重较大的卤水上覆盖上了一般海水,盆地底部的重金属软泥被保存下来。

溶盐说。根据研究表明,红海海底的岩层中存在着巨厚的蒸发岩层。有人认为,接近海底的海水溶解了蒸发岩层而成为热卤水,由热卤水沉淀出重金属软泥。

火山说。根据海洋地质研究知道,在红海和东太平洋海岭等地区都是海底扩张的深大断裂发育地带,这里有海底火山和热泉发育,热卤水就是来自海底火山和热泉,热卤水中沉淀出重金属软泥。

以上几种学说都有某些不完备的地方。关于重金属软泥

的成因,还有待深入研究。由于已发现的矿床和矿化点有许多共同的特征,如富含多种金属元素,主要是重金属元素;与高温的热卤水有关,多产于火山活动带内等等。因此,一般认为,富含 SO_4^{2-} 的海水,在洋底沿着玄武岩的裂隙下渗,至洋壳深处,水温升高, SO_4^{2-} 还原为低价硫,并将高温洋壳中的多种重金属元素滤出,形成富含重金属离子的热水溶液。由于对流作用,这种酸性的热水溶液沿着洋脊或其他部位的裂隙返回海底。当热液上升时,随着条件的改变,金属沉淀下来,形成重金属软泥。

据 1982 年不完全统计,已确定的海底重金属软泥矿床或矿点有 11 处。按其产出位置分为大洋中脊型、岛弧——边缘海型、热点型和活动断裂型四种。

德国已研制成功一种开采红海重金属软泥的装备,在采矿船下拖曳一根 2000 米长的钢管柱,柱的末端有一个抽吸装置,吸矿管,把含有多金属软泥的海水吸到采矿船上来,然后经过处理并除去水分,最后即可获得含有 32% 锌、5% 铜、0.074% 银的浓缩金属混合物。

巨大的能量库——海洋动力资源

浩瀚无垠、奔腾不息的海洋蕴育着丰富的动力资源。海水处于永不息止的运动中,其中有的是可以看得见的,如波涛汹涌的海浪,有规律地涨落的潮汐,往复或旋转着的潮流,以及朝一个方向奔流不息的海流等;有的用肉眼却不易察觉,如大

气与海洋的热量交换,海水的热运动以及海水因浓度差而引起的运动等。

海洋里蕴藏着各种各样的“能”和“力”,做起功、发出电,可以让人类享用不尽。早在 1847 年,人类还没有海洋能源发电的时候,法国作家儒勒·凡尔纳就以作家的洞察力和想象力,在《神秘岛》一书中预言:“水是热和光的无尽源泉。”

据科学家估算,世界海洋能的蕴藏量为 750 多亿千瓦。其中波能占 93%,达 700 亿千瓦,其他还有潮汐能 10 亿千瓦,温差能 20 亿千瓦,海流能 10 亿千瓦,盐差能 10 亿千瓦。海洋能是目前世界能源总消费量的数千倍,只要开发出一小部分,即可满足人类的需要。海洋能源不仅储量巨大,而且都是属于“再生性资源”,只要大海不干枯,就不用担心海洋能源枯竭;更大的优点是,用海洋能源发电,不必担心二氧化碳、核废料等污染;另外,沿海城市就地就能获得方便的电力,亦可免除用火车、轮船东跑西颠地运煤拉油了。

目前,全世界已投入使用的大型潮汐电站仅有 7 座,到 2000 年将有 20 座,年发电量可达 300~600 亿度。即使这样,也仅仅在庞大的海洋能源宝库中取出一点点。

1. 潮涨潮落生电能——潮汐发电

(1) 潮汐——大海的呼吸

你听说过大海出会象人一样进行呼吸吗?

站在海边上你就会发现,尽管刚才展现在眼前的还是一片沙滩或岩礁组成的美好景致,可几小时以后,那些沙滩或岩礁都不见了,眼前成了一片水的世界,茫茫然,说不清那曾经

留着自己脚印的沙滩已在水下有多深了。但再过几个小时，你又会看到海水退了下去，那沙滩或岩礁组成的美好景致又再现出来，老年人会说，这是大海在呼吸呢。这就是海上的潮汐现象。那为什么说是大海在呼吸呢？让我们听听这其中所流传的故事吧。

我国浙江省有条钱塘江，人们在它的入海口可以看到著称于世界的钱塘江潮，特别是每年农历八月十八日左右，钱塘江的潮头可达八米以上，有两三层楼房那么高，其惊险壮观，堪称天下一绝。

我们的故事也从这里说起。传说在两千多年前，钱塘江口没有汹涌的海潮，江水也好，海水也好，一直非常平静，只是春秋战国时期的伍子胥屈死于吴王夫差的剑下，阴魂不散，怒驱海水而成钱塘江潮的。那是距今两千多年的春秋末期，吴国打败了越国，越王勾践一面求和，一面以柴草为卧具，经常尝胆汁的苦味，卧薪尝胆，立志灭吴，报仇雪耻。这一点被吴国的大臣伍子胥看出来了，他竭力反对吴王同意议和。处在得意之中的吴王骄傲得哪能听得进伍子胥的话。

越王勾践听说伍子胥识破了他的意图，不敢怠慢，加紧贿赂，收买了吴国的太宰嚭（音匹），他在吴王面前，一席谗言就把骄傲的吴王激怒了。公元前 484 年，吴王“赐”剑给伍子胥，令其自杀，同时命令把伍子胥的尸体煮烂装进皮口袋扔进钱塘江。

屈死的伍子胥，漂到海里仍然阴魂不散，他喊冤，他发怒，他把海水变成狂涛涌进钱塘江，要用海涛来为他伸冤。从此，江水不平静了，海水也不平静了，海潮总是定时地涌进江来，

人们说,这是“子胥为涛”,是发怒的伍子胥定时驱赶着海水来为他鸣冤叫屈的。因此称他为“潮神”。

九年之后,越王勾践恢复了元气,一举消灭了吴国。人们怀念伍子胥,建造了许多子胥庙,一方面为了安慰伍子胥含恨的灵魂,一方面是希望他不要再发怒了,因为潮水老是那么“发怒”,老百姓是要倒霉的。可是身为“潮神”的伍子胥,根本不理睬老百姓的疾苦,照样把海水推向钱塘江口,天天如此,连年不断。

一旦钱塘潮来到,首先见远处江水与蓝天连接的地方,滚动着一道弓起的白色水墙,仿佛一群洁白的海鸥,排成一线飞来。渐渐地,潮声传入耳中,声音越来越清晰,越来越响亮,如千军万马奔腾而至。这时你再看那道滚动着的白线,已经不知在什么时候变成了一堵高高的白墙。那白墙高出水面七、八米,被阳光照射着,闪着夺目的光亮,汹涌澎湃,正以排山倒海之势滚滚压来,仿佛是这世界就会在一瞬间被它吞噬掉了。

一忽儿,潮头奔腾而去,江面依然风号浪吼,余波久久不能平息。此时你再看那江水,水位早已猛涨上来。这就是钱塘江涨潮的情景,它与其它海边上见到的潮水所不同的是涨潮时能形成水墙,最为壮观,难怪人们说是伍子胥在发怒呢!

其实,茫茫大海到处都有海潮发生,一个伍子胥即使有三头六臂,哪能管得了那么多?只是这种现象究竟是怎么产生的,倒使不少人烦恼过,得不到科学的解释,只得任凭“传说”泛滥了。

就在伍子胥死后五百年,中国出现了一名著名的唯物论思想家王充(公元 27~97 年),他从小生活在钱塘江南岸,不

但对钱塘江潮发生兴趣，也对“子胥为涛”的传说产生了怀疑。他经过长斯地观察和研究，发现潮汐的涨落和潮汐的大小有着一定的自然规律。

神话的传说，经不住人们的推敲提问，其实伍子胥死时海上早有了潮汐现象，海上潮汐根本就与伍子胥之死无关。

王充在《论衡·书虚篇》中，以所观察到的现象，列举十二点理由，驳斥了“子胥为涛”之说，然后他又正面解释了潮汐现象，提出了潮汐成因的“元气呼吸”学说。他说：“天地之有百川也，犹人之有血脉也，血脉流行，泛扬动静，自有节度，百川亦然。有潮汐（按：即潮汐）往来，犹人之呼吸气出入也。”（《论衡·书虚篇》）

他认为“元气”是万物的原始物质，是世界的本原。“天复于上，地偃于下，下气蒸上，上气降下，万物自生其中矣。”这也就是说，天和地以及天地之间的万物皆由物质的“元气”构成，天和地的“气”在上升和下降的对流中互相聚合，自然而然地产生了万物，因而地上的千条江河就仿佛人身上血管，大海的潮汐也就相当于人在呼吸。王充推倒了“潮神”的传说，为了解释涛水是一种自然现象，他提出了潮汐涨落“随月盛衰”的见解。他说：“涛（按：即‘潮’，古代涛、潮二字通用）之起也，随月盛衰，大小满损不齐同……以月为节也。”（《论衡·书虚篇》）王充道出了海潮现象的真正原因。大海之所以能作“呼吸”，根子还在月亮上呢。

地球每天自转一周。一天之内，地球上任何一个地方总有一次向着月球，一次背着月球。所以地球上绝大部分地方的海水，每天总有因月球的引力作用而出现两次涨潮两次落潮，这

种潮称为“半日潮”。而有些地方一天之内只出现一次高潮和一次低潮,这种潮叫“全日潮”。当月亮、地球、太阳在一条直线上的时候,月亮和太阳的引潮力加在一起,就会出现大潮,这就是每月的朔(初一),和望(一般是十五,有时十六、十七)时;在上弦月(初七、八)和下弦月(初二十二、二十三)时,月球、地球、太阳不在一条线上,太阳的引潮力抵消了一部分月球的引潮力,就出现小潮。

(2)潮汐发电

永不休止的海水涨落运动,蕴藏着巨大的能量,也给人们带来恐惧和灾难。就说那天下一绝的钱塘江潮吧,那潮头虽奇,那气势虽壮,那景致虽美,可那汹涌澎湃的潮水决不象人们所想象的那样循规蹈矩,它的面孔常常狰狞可怕。让我们随手举几个例子看看吧。

雍正二年,也就是公元 1724 年,钱塘江遇上大潮。据记载,海大溢,塘堤尽决,海宁金城(现在盐官镇)只能见到屋顶。在肖山县新湾海塘上,曾经有块体积达 10 立方米的钢筋混凝土块,每块重量大约有 12 吨左右。这么大又这么重的混凝土块,不可能想象有什么大力士会推得动它。可是,就是这么大大又这么重的混凝土块体,人们在 1968 年秋天的一次潮头过后,竟然发现它们被涌潮推着移动了 30 多米的距离。可想而知,海潮的力量该有多大。

还有,1978 年 8 月,钱塘江工程管理局在海宁水文站附近海塘做实验时,在塘脚放置了五只装满石块的铅丝笼,其中最大的一只,所装的石块约 8 立方米,重达 12 吨。没想到,在一次潮头之后,工作人员发现这五只重重的铅丝笼早已没了

踪影。

蕴藏着极其巨大能量的海潮,就是这样常常给人类带来恐惧和灾难。据统计,自 1012 年到 1949 年的 937 年中,钱塘江发生的重大潮患就达 210 次之多。一旦涨大潮期间同时遇上台风,那时,风助长潮威,潮借助风势,海边会形成破坏性很强的暴潮,对人类造成异常可怕的直接威胁。

能不能把潮汐的巨大威力充分利用起来?这是自古以来人们一直在考虑着的问题。一千多年来,我国劳动人民为研究潮汐的利用作出了巨大贡献。

比如,一千多年前,山东蓬莱地区就最先使用了潮汐磨,他们用潮汐来推动磨盘,使繁重的体力劳动得到解放。

还有如今仍然屹立着的福建泉州附近的洛阳石桥,那是宋朝时人们利用潮汐的涨落搬运石头并架设起来的。

发电机问世以来,科学家们自然而然地想到了如何利用潮汐发电的问题。

世界第一座发电厂建立以后仅仅三十年的时间,即 1912 年,德国就在石勒苏益格——荷尔斯太因州的布苏姆建成了世界上第一座利用潮汐能发电的潮汐电站。此后,随着能源需求量的增加,研究潮汐电站的国家也逐渐增多起来。法国、中国、加拿大、前苏联、美国、英国、印度、澳大利亚和阿根廷等国家竞相投入力量。

潮汐所蕴藏的能量实在有着诱人的魅力,有人估算过,如果把地球上的潮汐能利用起来,每年可以发出 12400 亿度的电来。

我国的潮汐动力资源也十分丰富,若按五十年代末的统

计,我国潮汐能的理论蕴藏量达 1.1 亿千瓦。可供开发的约 3580 万千瓦,一旦开发出来,每年可提供电力 870 亿度,相当于 47 个新安江水电站的设计年发电量。

潮汐发电的原理和水力发电差不多,也是利用水的力量,通过水轮机变成机械能,再由水轮机带动发电机变成电能。那么,怎样才能使水变得有力量呢?条件很简单,即要有一定的水量,而且要使这一定的水量具备落差,居高临下,才能使水往低处流去。对于潮汐能来说,落差就是潮差,潮差越大,潮汐的能量也就越大。

在深海大洋中,潮差一般都比较小,因此潮汐能的利用主要多集中在潮差较大的浅海、海湾和河口地区。为了造成供发电用的稳定潮差,保证水往低处流的发电条件,人们就在合适的海湾入口处建造起一座海堤,把大海和海湾分隔开来,仿佛一道大坝在海湾处跨海而过,把海湾围成了人工水库。

海堤上留着一些缺口,建造些可以过水的水闸和装着水轮发电机的发电厂,这样,一座具备发电条件的潮汐发电站就建成了。

潮汐发电的方式,通常根据不同的建站方式和不同的运行方式进行分类,一般分成三类,即:单库单向式,单库双向式,双库式或多库式。

现在,让我们分别来看看它们的工作原理。

单库单向式

图 10—6 是单库单向式潮汐电站的总体布置示意图。涨潮时,打开水闸闸门,让潮水涌进海湾水库,使库水向随着潮位一同升高。到最高潮位时,立即关闭闸门,把库水和大海

分隔开来,不让海湾水库里的水随落潮而退回大海。等到海潮退到一定的水位时,海湾水库的水位就高于大海的水位了,已经形成了水位低处流的条件,具备了做功的力量。这时,再把电厂的闸门打开,让水库的水推动水轮机以后再流回大海。

图 10—6 单库单向式潮汐电站总体布置示意图

这是最古老的一种潮汐发电形式,世界上第一个潮汐电站就是这样工作的。对于每天两涨两落的大海,这种电站每天就可以工作两次,发电 10~12 个小时。

单库双向式

随着时间的推移,人们认识到单库单向式的发电方式并没有把水的力量充分利用起来。须知,具有一定落差和流量的水流,对人类来说实在太宝贵了,它能做功,能够为人类贡献力量,白白让它流掉岂不太可惜了!你看,海湾水库里由涨潮

所积蓄的水,都做了功,发了电,流回了大海。水库空了,在等待下次涨时,再把水闸闸门打开,蓄水装满水库。其实,这种情况下,外海潮位比海湾水库的水位高,外海水向水库流动的过程,同样是水往低处流的过程,同样具备着做功的能力,如果让涨潮蓄水的过程,也变成一个发电的过程,岂不充分利用了水的力量。

不久,一种新型的水轮机问世了。这种水轮机即可以顺转,也可倒转,再给它配上可以正反转的发电机,就成了可以正反向运行的可逆式水轮发电机组。这下,不论海水是涨潮还是落潮,都可以利用潮水发电了。

图 10—7 单库双向式潮汐电站总体布置示意图

图 10—7 是单库双向式潮汐电站的总体布置示意图。这种潮汐电站是怎样工作的呢?首先,假设海湾水库内外海水都处在低潮位上。涨潮时,把电厂的闸门和水闸闸门关闭,水

库水位不动,海水的水面却因潮水的长涨而逐渐上涨着,形成外高内低的局面。一旦内外水位差达到水轮机最小工作水头时,即可打开电厂闸门,让海水推动水轮发电机发电以后再流进水库,这时的水轮发电是反向发电;随着潮水不断进入水库,这时的库水位在不断上涨着,而库内外的水差却在不断地减少着,当库水位将与海水位相平时,虽然比较高的海水仍然向较低水面的水库里流,但落差却越来越小,最后,甚至小到没有气力使水轮机转动了,也就是水位差已经减少到水轮机的最小工作水头时,只好把电厂闸门关起来,停止发电。这时,水闸的闸门仍打开,让海水继续进入水库。

平潮时,标志着即将落潮了,必须赶快把水闸闸门关闭,断绝水库与外界的联系,以保持库水位不变,落潮时,库水位在高位上,而海洋水位则随着落潮而步步下降、形成了内高外低的局面,又创造了水往低处流的条件。等到内外水位差再次达到水轮机最小工作水头时,又可打开电厂闸门,让海湾水库里的水汹涌流回大海,同时推动水轮发电机。这时的水轮发电机是正向发电。随着库水的不断回流大海,水库和大海间的水位差不断减小,当减小到水轮机的最小工作水头时,电厂再次关闭闸门停止发电,而仍保持水闸闸门开着,让剩余的库水继续流回大海。到了停潮的时间,下面又要开始另一个涨落循环了,因而必须立即关闭水闸闸门,断绝水库与外界的联系,以保持库水位处在最低潮位上。

这样的电站,在海潮的一次涨落过程中可以发电两次,用的又是一个水库,因此叫单库双向式。它每天可发电 16~20 小时,效益要比单库单向式潮汐电站明显得多。

双库式

图 10—8 是双库式潮汐电站的总体布置示意图。这种

图 10—8 双库式潮汐电站
总体布置示意图

潮汐电站有两个水库：一个高水库，一个低水库。高库的水位始终保持在高位上，低库的水位始终低于高库水位。水轮发电机做单向运行。高库上建有进水闸一座，低库上则建有一座泄水闸。涨潮时开启进水闸，电站开始工作，高水库的水位随潮

位上升,低水库的水位也因发过电的水进入而上升着。当高潮平潮时,并闭进水闸,高库水位则由于继续发电开始下降,低库水位相应上升。但此时外海已经落潮了。当高低水库水位即将相平时,开启低库上的泄水闸,使低库水位下降,由于高低水库又形成了较大落差,电站仍然工作着。待高水库水位下降至与潮位保持一定落差时,再关闭泄水闸,打开高库进水闸。如此周而复始,水库始终保持着一定落差的水位,电站就可以 24 小时连续发电了。但是这种电站的布置,在地形上要求高些,一般采用较少。

从潮汐发电的原理,我们可以看出,潮汐发电多是间歇性的,而且随着潮水的大小,一个月当中发电能力的变化也比较大。这是潮汐发电的不足之处。但如果把潮汐电站与电力系统中其它电源配合使用,或者与抽水蓄能结合起来,就可以弥补它的不足。对于小型潮汐电站,则可以把潮汐电能用于农业上间歇性灌溉和加工等方面。

其实,看事物应一分为二。比较起来,潮汐发电的优越性却很大。首先,潮汐电站的水库都是以河口和海湾作为天然水库的,完全不必占用耕地,不象河川水电站或火电站那样要淹没或占用大面积肥沃的土地;其次,潮汐电站既不象河川水电站那样受洪水或枯水的影响,也不象火电站那样会污染环境,而且,潮汐电站堤坝不高,单机容量不大,受地震的危害小。

潮汐能是一种取之不尽、用之不竭的天然能源。充分开发潮汐能源,必将给人类带来巨大利益。

(3)潮汐发电的现状和展望

在利用海洋能发电方面,潮汐发电可以称得上是“老大

哥”了。早在 1913 年,法国就在诺斯特兰德岛和大陆之间长达 2.6 公里的铁路坝上,建立了一座潮汐发电站,并且取得了世界上第一次潮汐发电试验的成功。潮汐发电的七十多年来,前五十年进展不大,自六十年代开始的二十多年来,潮汐发电在世界范围内才有了比较迅速的发展。目前潮汐发电处在由试验性发电向商业性发电的过渡时期;潮汐发电站的规模已经开始由中、小型向大型化发展;潮汐发电的研究工作已经跨越了原理性、可行性的研究阶段,重点研究工程中的一些实质性的技术问题,如工程的防腐防污、高效率水轮发电机组的设计,以及以减少发电波动、提高发电质量、降低发电成本、缩减工程投资为中心的各项研究,同时开始进行预后性研究即潮汐发电站建成后存在的一些问题的探讨,如对海洋环境和对生态平衡的影响、潮汐发电站的水库淤积和综合利用等。所有这些研究归结到一点,那就是期望潮汐发电站能够长期地提供优质廉价的电力。这关系到潮汐发电的生存和发展,因而为世界各国所共同关注。

潮汐发电在世界各国中的发展是不平衡的,其中以法国、前苏联、英国和加拿大等国发展较快,并取得了一些成就。我国的潮汐发电也有二十多年的历史了,虽然目前还处在以小型为主、试验性为主的阶段,但是在潮汐发电站的建设和电站运行方面,已经积累了不少经验,为我国大规模发展潮汐发电提供了良好的技术基础。

法国是世界上第一个实现大规模潮汐发电的国家。早在 1956 年就在圣马洛湾建成了一座试验性电站。目前世界上最大的潮汐发电站就是法国的朗斯潮汐发电站,装机容量为 24

万千瓦,它的建成和运行,为世界潮汐发电提供了极其宝贵的经验。目前,法国正在圣马洛湾兴建装机容量为1000万千瓦,年发电量为250亿度的巨型潮汐电站。还计划在圣马洛湾两千平方公里的水域上,修建三道拦水坝,安装世界上最大的贯流式水轮发电机组,涡轮的直径达10米,每台机组的装机容量为5万千瓦,全电站的年发电量估计可达350亿度。这些项目在世界上都是首屈一指的。

前苏联筹建潮汐电站始于三十年代,直到六十年代才正式建成一座潮汐试验电站投产。这座潮汐电站位于摩尔曼斯克的基斯洛湾,装机容量只有400千瓦。可是整个工程经受住了数千个日日夜夜的冰冻、风暴等恶劣环境的考验,坝体安然无恙,发电机组已经正常运行了十多年。在这些经验的基础上,前苏联的潮汐发电准备向大型化发展,已试制成功了直径为7.5米的大容量贯流式水轮机,而目前世界上最大的法国朗朗期潮汐电站的贯流式水轮机直径只有5.35米。前苏联计划建立40万千瓦至100万千瓦级甚至更大容量的潮汐发电站,前苏联有不少海区的潮差在8米以上,所在海域宽广,潮汐能源丰富,具有大规模发展潮汐发电的优越自然条件。

在世界各国处于规划的项目中,最引人注目的是加拿大的芬地湾。那里是世界潮差最大的海区,其地理条件对潮汐发电站的建设十分有利,初步选择,有三十处地方是可供建立潮汐电站的。计划1990年建成两座单库单向式的潮汐发电站,其中一座的年发电量为34亿度,另一座的年发电量126亿度,两座电站将耗资上百亿美元。

我国的潮汐发电站,要数浙江温岭县的江厦潮汐试验电

站为最大。它的装机容量为 3000 千瓦,仅次于法国朗斯潮汐电站,居世界第二位。自 1980 年正式发电以来,它运行正常,情况良好,表明了我国的潮汐发电技术达到了相当高的水平。我国小型潮汐发电站遍布沿海各省,如广东的甘竹滩电站、福建的筹东电站、山东的白沙口电站、浙江的沙山电站、上海的潮峰电站等,总计不下几十处。我国是世界上潮汐能源丰富的国家之一,根据 1980 年的估算,可供开发的潮汐能的装机容量约为 2095 万千瓦,相当于 8 个全部建成后的长江葛洲坝水电站的总装机容量;可开发的年发电量约为 579 亿度,相当于 30 个新安江水电站的年发电量。我国的潮汐能源以浙江、福建两省最为丰富,约占全国的 90% 以上。因为这两个省的海岸曲折、港湾众多、潮差之大居全国首位,适宜于建设潮汐电站的地方很多。

我国有不少海湾河口可以建设潮汐电站。其中最引人注目的有杭州湾潮汐电站方案,计划装机容量 450 万千瓦,约为长江葛洲坝水电站的 1.7 倍,计划年发电量 180 亿度以上,约为我国 1982 年年发电量的 6%。其次是长江北口潮汐电站方案和浙江乐清湾潮汐电站方案,它们的计划装机容量都在 50 万千瓦级以上。总之,我国的潮汐发电具有很大的潜力,加上二十多年来的努力,已有了一支精干的、积累了一定经验的技术队伍,潮汐发电在我国将会得到稳步的发展。

此外,英国、美国、阿根廷、西班牙、澳大利亚等许多国家,都有自己的潮汐发电开发计划。根据联合国 1981 年的统计,全世界大约有 100 个站址可以建设大型潮汐电站,至于能够建设中、小型电站的地方,那就更多了。毋庸置疑,用不了多

久,号称“大哥”的法国朗斯潮汐电站,以及处于“二哥”地位的中国江厦潮汐电站,都只好甘当“小弟弟”的角色了。

展望潮汐发电的未来,人们还有更大胆的设想。加拿大芬地湾所以成为世界上潮差最大的海区,是由于芬地湾的固有振动周期与半日潮波的周期接近引起共振所造成的。这样,人们自然而然地联想到,对于一些潮差较小的海区,是否可以人工造成大潮差,也就是利用某些港湾内的有利的、复杂的地形,经过必要的理论计算,有意识地加以适当改造,使它的固有振动周期与潮汐的振动周期接近,人为地形成共振而产生大潮差。谁也不能预料这个大胆的设想何时成为现实。因为要实现这个设想,不论在理论上还是在实践上都是极为复杂的问题,工程的浩大,投资的惊人也会使人望而生畏。不过倒有一个有趣的事实,可以佐证这个设想的现实性和科学性。在杭州西子湖畔的浙江博物馆里,陈列着一付汉代的铜器喷水鱼洗,花纹异常细致,其形状和大小似一只大号钢精铝锅。当鱼洗内盛上水,用手轻轻摩擦它的双耳,即嗡嗡作声,鱼洗内的水先是产生微波,而后高射尺许。这岂不成了海湾中海水引起共振的一个小小的模拟试验?伟大的科学发现和创举,常常是由看似不可能的事情开始的。人们期等着人工潮汐这个大胆的设想付诸实现,那时潮汐能的利用将进入一个新的阶段。

2. 波能的利用

(1) 海浪的恶作剧

有时,你会在海边看到诗一般的景象。夕阳西下,微风习习,绵绵的沙滩上铺着一层夕阳的金黄;拍卷而来的排排细

浪,轻轻地拍着海岸,或调皮地舔着你走在沙滩上赤裸的双足。海面蓝而清澈,就象一幅巨大的绢沙。远处,水天一色,淡淡的白云点缀着海天,为雄阔的大海凭添些许的妩媚。

然而,大海并不总是很友善的。浪花也并不是永远使人感到浪漫蒂克。海上也时常出现些恶作剧,而这些恶作剧的导演者,正是平时给你带来诗意的“浪花”。

1894年12月的一天,美国西部太平洋沿岸的哥伦比亚河入海口,发生了一件奇怪的事。

那里有一座高高的灯塔,旁边也有一座小屋,那是灯塔看守人的住所。一天,看守人忽然听见屋顶上响声如雷,他吃惊地回过头,还没来得及闹清是怎么回事时,只见一黑色怪物带着劈里叭啦的声响,穿透天花板而坠落地面。

看守人吓坏了,他战战兢兢地走到那黑色怪物的面前,简直不敢相信,这竟然是一块大石头,搬搬感觉挺重,称称足有64公斤。在这人烟稀少的地方,究竟是谁搞的恶作剧呢?

灯塔看守人请来了专家。经过鉴定,断定大石头是被海浪卷到40米的上空,再砸到看守人的房顶上的。恶作剧的导演不是别人,正是与他日夜相伴的海浪。

这位生活在海边的灯塔看守人似信非信的点点头,接着又摇摇头。他虽然看到过不少的惊涛骇浪,也见识过浪尖抛石的场面,可是他怎能相信,海浪竟有如此巨大的力量,会把一百来斤的石块抛到比10层楼房还要高的上空,在他住的房顶上来个飞石霹雳呢?

其实专家们的鉴定是对的。喧嚣不息的海上波浪,确实具有千钧之力。根据观测,海浪拍岸时的冲击力每平方米会达到

20~30 吨,有时甚至达到 60 吨。如此巨大的冲击力,可以毫不费力地把十三吨重的巨石抛到 20 米高的空中。

1952 年 12 月 16 日,一艘美国轮船在意大利西部海面上遭到了巨浪的袭击。虽然,巨大的轮船离岸边不远,船员们仍然十分谨慎小心。突然,在波浪的轰鸣声中,船上发出了一声巨响,震耳欲聋,船员们十分惊慌,不知船体出了什么毛病。正想看个究竟的时候,却看到船体已经成了前后两截,一半已经抛上了海岸,在沙滩上搁着呢;另一半还在大海里,不管上面的十四个船员怎样绝望地叫喊,它还是带着他们随风浪漂去。

这一起重大海难事故,引起了各界的注意。为了查清原因,他们投入了大量的力量,最后的结论是:事故的罪魁祸首是海浪。

法国的契波格海湾,曾经有一个浪头打来,居然把一块三吨半重的东西,象掷铅球似的从墙外掷到了墙内。墙有多高呢?整六米。不知你试过没,假如让你把一个三公斤半的东西抛过六米高的墙,行吗?如果行,那也是相当费力的,何况那重物三吨半呢!

还有,荷兰首都阿姆斯特丹防波堤上,曾经发现过二十吨重的混凝土块。一检查,才知道是波浪把它从海里举到七米多高,再放到防波堤上去的。

还有,苏格兰威克地方,1872 年时一个巨浪竟然把重约一千三百七十吨的混凝土庞然大物搬了个家,移动了十五米之远。

还有,西班牙巴里布市附近的海边上曾经有一块很大的岩石,有人估计起码有一千七百吨重。1894 年的一次狂风巨

浪之后,人们发现这块岩石翻了个身,已经不在原来的位置上了。

还有,巨浪冲击海岸所激起的浪花也很厉害,常常高达六七十米,而且具有较强的破坏力,斯里兰卡海岸上一个六十米高处的灯塔就被海浪打碎过。甚至,位于海面上一百米处的欧洲设德兰岛北岸灯塔窗户,都被海浪举起的石头打碎过。

1931年1月19日,在黑海沿岸附近,一个大浪袭来,把一块名为“和尚”的千年巨石一下子打碎成三块。

其实,非但突然袭来的风浪,具有如此巨大的威力,即使一般的波浪,长期冲击海岸而造成的破坏作用,也是相当严重的。例如,英国某地有一块峭壁悬崖,在波浪的冲击下,以每年剥蚀5~10米的速度破坏着,很快就冲毁了。又有一处,过去曾是高逾25米的峭壁,也是由于波浪的袭击,如今竟成了7米深的海面。

(2) 风与波浪

“有风浪三丈”,风与浪有着不可分割的密切关系,风是引起水面波动的外界因素。风越大,浪就越大。如果我们说得更确切些,海面上风区小,产生的风浪就小,风区越大,风浪越大;而且,风吹的时间越长,风浪也就越大。一句话,风速、风时、风区是决定风浪大小的三个要素。如果这三个要素中的任何一个受到限制,那么其它两个即使很强大,仍然不能产生很大的风浪。以我国的黄海和渤海为例,在冬季时,盛行寒潮和大风,风力虽然很强,风吹的时间也可能很久,但因为这种风是由大陆吹向海洋的,风区不大,所以这两个海域在冬季就较难有大浪产生。而在夏季,信风多由海洋吹向大陆,风区就要

大得多,只要风力很强,尤其遇有台风的情况下,就可能会出现相当大的风浪。

风力达到十级以上时,波浪的高度起码达到十二米,相当于四层楼高,甚至常常到十五米以上呢。一般海上常见的六七级风,它掀起了波浪也足有三至六米高,比人的高度大多了。这些起伏不定的波涛对人类可是个严重的威胁啊!上面的例子就是明证。

(3)波力发电的尝试

那么,能否把巨大的海浪变成有用的力量呢?让它为人类造福一直是人们的一个心愿。

我国浙江的新安江水电站,安装着 66 万千瓦的发电机组,利用水的力量,每年平均发电 18 亿度的电力,供给华东地区广大城乡使用,相当于每年为人类节省了 90 万吨煤炭。源源不断的江水,还大大降低了电力的成本,使每度电的成本连一分钱都用不了。可见水力发电的优点有多大!

因此,科学家就设想,如果把无畏的大海上的波浪全部转换成电能该多好啊!那时,波浪每年所发出的电力将比全人类目前的耗电量不知要大多少倍呢!

波力发电装置不消耗任何燃料和资源,没有任何污染,和水力发电、潮汐发电一样,也是一种干净的发电资源。它不但可以作为航标灯和灯塔的电源,对于那些无法架设电线的沿海小岛来说,这种不占用任何土地,只要有波浪就能发电的方法,更会给岛上居民带来福音。

海上的波浪发电装置,利用的是自行车打气筒的原理。它好似一个倒置着的打气筒漂浮在水面上,活塞连接着浮标。随

着波浪的上下起伏,浮标就带着活塞上下运动,于是波浪的动力就转换成了压缩空气的动力,再让这种力气很大的压缩空气从一个喷嘴里喷发出来,冲动空气涡轮机,使它带着发电机一起转动,这样,波浪的能量就变成电发出来了。

经过了 14 年的努力,1978 年 6 月 25 日,世界上最大的的一座波力发电装置在日本的海上建成了。

远远望去,这座波力发电装置就象一艘停泊在海上的油轮。举起手中的望远镜,你会清楚地看到,船头上“海明”号的大字在阳光下闪着金辉。严格说来,“海明”号并不是船。船有底,“海明”号却没有底,只有一个体长 80 米,高 5 米,宽 12 米的浮动设备,仿佛是一个很大很大的没有盖的箱子,扣在了海面上。

这种箱子就是空气箱,也叫空气室。整个“海明”号,就是由 22 个无底箱子组成的。每两个空气室上装设着一台空气涡轮机,波浪上下起伏着,不断地压缩着箱内的空气,还是象打气筒一样,通过高速喷出的空气使空气涡轮机转动,再带动发电机发电。

“海明”号将有八台发电机为人类贡献电力,每台机组的功率为 125 千瓦,波高 3 米时总发电能力为 2000 千瓦。算算看,如果按每户人家平均用电两百瓦计算,“海明”号就可以供给 1 万户人家用电的需要。一个有 1 万户人家的岛屿,可不算是小岛了。

最近,日本又提出了一个新的“海明”实验计划。他们考虑把“海明”号的长度由 80 米增加到 110 米,把每台发电机的功率由 125 千瓦增加到 250~500 千瓦,比现有“海明”号的发电

能力至少提高一倍以上。人们要让波浪进一步作出贡献。

与此同时,科学工作者正在着手于各种波力发电的新尝试。

直接波力发电就是其中之一。

为了直接利用海浪的冲击力来发电,就必须把天然的浪头提高。人们设想在距海岸 1 公里、水深 10 米左右的海上筑起两道高墙就可以办到了。

这种面向大海建造的高墙叫集波墙,从高空往下看时,象个“V”字形的喇叭。喇叭口外的海上波浪,虽然有时并不高,但当它涌向集波墙时,就会因为喇叭里的断面越来越小,道路越来越窄,而使波浪越挤越高。比如说口外的浪高开始只有 1 米,到了喇叭的后头,一下子就会升高到 10 米左右,把小涛变成了巨浪。

集波墙的尽头,安装着水泵制动杆,靠高大的波浪力推动制动杆,象平时我们见到的机井,把海水提升到高压水槽里贮存起来;或者,象炉口的风箱,把空气压进高压气罐里备用。

有了高处的水,或者有了压缩空气,我们就可以非常方便地用来发电了。而且,这种电力决不会受到波浪低的影响,发电能力稳定,发电设备也无需经受大风大浪的考验。

直接波力发电装置,目前还只是日本科学家的一个设想,他们感以担心的是,在波涛汹涌的海面上,建造长期受波浪冲击的海上建筑物,困难实在太大了,但是,随着海洋建筑技术的发展,这个问题是会很容易解决的。

波力发电的另一个尝试,是环礁式海浪发电站,这是美国科学家提出的新设想。

环礁,是礁石的一种,只不过在海上显现出来的是一个圈儿,宛如沉在海里的一个大大的木盆,只在水面上露出一个圈儿。

你注意过这种现象吗?当我们把水沿着圆桶边倒进去,或者用木棒搅动桶里的水时,就会看到水在沿着一个方向转动,中心部分则形成了一个漩涡。

人们在观察海浪冲击环形礁群时,也发现海浪并不直接拍向环礁的中心,而是绕着整个环礁,从四面八方沿着螺旋形的路线涌到环礁的中心,并且在中心部位形成涡流,仿佛用木棒搅过似的。

这种涡流就是一种能源。它可以推动水轮机的叶片,使水轮机带着发电机一起飞快转动而发出电来。

不过,天然的理想环礁在地球上恐怕是太少了,怎么办呢?美国的两位工程师就根据这个原理设计了人工环礁式的海浪发电站。

人工环礁式海浪发电站的形状很奇特,海面上只看到一个圈儿,直径有 10 米,似乎并不大。当你潜入水下再一看,可不得了,比海面上看到的大多了。它象一个大大的圆形屋顶,又象一个特制的瓷饭碗扣在了水里。这个“瓷饭碗”的边,直径达 76 米,相当于一个正规足球场的大小。它的名字叫导流罩,可以更好地把波浪螺旋式地导向中心。“碗”无底,立着一根空心的圆筒,足有 20 米高,圆筒里装着小轮机,它在筒内涡流的推动下转动,再带动安装在顶部的发电机发出电来。

目前,这种装置的模型试验已经成功,不久的将来,你就会看到海上一座座人工的环礁里源源不断地送出由波浪转换

成的电力。

图 10—9 人工环礁式波力发电装置

图 10—10 鸭式装置(上)及内部结构(下)

在英国,采用是“点头鸭”式波力发电装置,也叫索尔特凸轮式发电装置。这一装置是英国爱丁堡大学的索尔特发明的。图 11 表示了鸭式装置的内部结构,其中:a 是鸭摇摆体;b 是

中空圆筒体；c 是中空圆筒片向外突出的部分；d 是摇摆体向内突出的部分。许多凸轮并排，中间有一根长管串起来，漂浮于海面上随波浪上下起伏跳动，就象水上一排鸭子游动，不断点着头一样。

在波浪作用下，a 以 b 为轴摇摆，在 c 和 d 两突出部分之间的空间形成水压泵。它们产生高压水，冲动水轮发电机而发出电来。鸭的摇摆体和中空圆筒是用钢和混凝土做成的，中空圆筒直径为 10~15 米，一个摇摆体长 30~40 米。1977 年 5 月至 1978 年，英国在内斯湖进行了连续长 60 米的机组实验。实验表明，该装置经受了有记录以来最恶劣的冬季的考验；而且即使在五、六倍力的条件下某个鸭式装置已被冲翻的情况下，还能在水力的作用下翻转过来继续工作；再者，鸭串成功地经受了 11 倍力的考验，并且保证在良好环境中能以较好的效率发电。

根据他们的推算，商业化的“点头鸭”式波浪发电装置可能要串成 1 公里长，在这种情况下，只要能吸取 50% 的波能，就可以发电 4500 千瓦。

目前，除了日本和英国研究波浪发电装置外，美国、法国、加拿大、联邦德国、瑞典等国也参加了研究和发展波浪能发电的行列，到现在已有几百种不同的发电方案提出来了。他们说，为了使波浪能发电均匀，为了使发电成本降低，今后的主攻方向要放在研究多个空气活塞的组合方法、惯性轮法以及收集幅度较大的波浪设备上。

从六十年代起，我国就有单位开始了海浪发电的研究，并已获得海上试验的成功。目前我国的波浪发电装置，在风力

三级,波高 0.2 米的情况下就能发电,一天的发电量就可供航标灯使用三天。虽然,这种波浪发电装置功率很小,只有 60 瓦,但却为我国波力资源的开发展示了美好的前景。

3. 冷热海水蕴育电能——温差发电

进入海洋的太阳辐射能,一部分转变为海流的功能,还有一部分以热能的形式储存在海水中,海水中所含的热能就是海洋热能。一般说来,海洋热能随纬度的变化而变化,纬度越低,海洋热能储藏量越大,反之亦然。

海水中储藏的热能是非常巨大的,估算蕴藏量约 500 亿千瓦,根据实验表明,可能利用的能量约 20 亿千瓦。从理论上讲,如果通过某种方式使热带海洋中的海水温度下降 1°C ,就可以获得 1200 亿千瓦的能量,这比现今全世界发电站的总功率还大近百倍。那么怎样才能利用海洋热能呢?

人们发现进入海洋的太阳辐射能,在通过表层一米的海水时,有 80% 的能量被吸收,大约有 5% 的能量可以透入到海面以下 5 米,因此形成了海水温度的垂直差异:表层海水温度高,越往下海水温度越低。在低纬度地区上下层海水的温差可达到 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$,人们从热电站发电原理中得到启发,有一个热源(锅炉),一个冷源(冷却水),因此可以发电。海洋中表层温度高的海水就是热源,底层温度低的海水就是冷源。上层海水在低压或真空下产生蒸汽,推动汽轮发电机发电,通过汽轮机的蒸气,用底层海水冷却凝结成水,这样可以顺利发电。这种发电称为开式循环。如果用低沸点的物质,如氨、氟里昂等作为工作流体,表层海水使其沸腾,推动汽轮发电机发电,通

过汽轮机以后用底层海水将其冷凝,再送去用热海水加热,如此循环不已,这种方式称为闭式循环。这种利用上下层海水温度差的发电技术称为海水温差发电。

世界上第一个提出利用海洋温差的是法国物理学家德尔瓦松。他认为温差也是一种能源,人类可以从这种温度的差异中提取有用的功推动热机,再用它发电,这就是海水温差发电的最原始的构想。只是因为当时技术条件的限制,无法实现这个构想,才不得不使这个大胆的设想一下子就湮没了接近半个世纪,最后,还是由他的学生克劳德付诸实现的。

图 10—11 克劳德的实验

1926 年 11 月 15 日,在法兰西科学院的大厅里,克劳德和布射罗当众进行了温差发电的实验。他们取来两只烧瓶,在其中一只烧瓶中装入 28°C 的温水,在另一只烧瓶中装入冰块,然后用导管和喷嘴把两个烧瓶连接起来。在导管内装了汽轮发电机,在发电机的输出端接了三只小电灯泡。当克劳德用

真空泵抽出烧瓶内的空气时,不一会儿,28℃的温水在低压下沸腾了,蒸汽从喷嘴喷出,形成一股强劲的气流推动汽轮发电机转动。瞬时,三只小灯泡同时发出了光芒。温差发电的历史,就从这微不足道的三只小灯泡开始了它的第一页。这个只有三瓦输出的温差发电实验只进行了八分钟,当水温降到18℃时,小灯泡就慢慢暗淡下来了。

这三盏电灯的明亮,为人类指明了方向。温热海水已为寻找新型能源的人们带来新的希望。据科学家估计,全球热带海洋的水温只要下降1℃,就能释放出1200亿千瓦的能量。海洋的温差能居于海洋里各种能源之首。

日本的科学家说得就更形象了。他们说,只要把日本海域内的热能利用起来,那么根据1975年日本消耗能量的情况看,这些热能可以够24个日本同时使用,此时,其它形式的发电厂就都可以关门休息了。

当然,科学的道路并非一帆风顺。克劳德实验成功以后,于1930年在古巴海滨按照他实验的方法为人类建造了第一座容量为22千瓦的海水温差电站,获得了10千瓦的输出功率,为实际开发利用海洋温差开辟了道路。遗憾的是,电站只工作了两周的时间,就因为一次狂风恶浪把冷水管冲入海底而不得不中断了。

1934年,克劳德又搞出一个新设计,取名叫“浮标式温差发电站”。他把发电机安装在一条叫“突尼斯”号的驳船上,驳船用锚固定在巴西的一处海边。抽水管垂直地放入海中,它的上端是一个浮标,下端系着重物以保持管子垂直。令人遗憾的是,悬在海中的管子受到海浪的冲击摇来摆去,最终断裂开

了。极度失望的克劳德一气之下,把整个设备沉到了海底。

为了摆脱海浪的干扰,后来克劳德又想到干脆在海底挖一条隧道,把管子放进隧道。结果也没有成功。1948年,法国在非洲象牙海岸首都阿比让附近海边又建立温差发电站,并在抽水管质量上作了改进。由于这个电站仍采用克劳德的方式,有效利用率不大。尽管克劳德的种种努力都未取得理想的结果,但他的尝试给后人留下有益的经验。

由于海洋热能转换技术复杂,设备成本昂贵,加之当时热能发电供需不存在问题,海洋热能发电研究被搁置起来。直到20世纪60年代,世界出现“能源危机”时,海洋热能开发利用又引起了人们的重视。

1964年,美国的安德森父子总结前人成功与失败的经验教训之后,提出了海水温差发电的新方案。他们父子的新方案有两点突破性改进:一是把整个发电设备安装在一个巨大的浮体上,使之浮于海中,这样就可以大大缩短冷水取水管的长度;二是不再直接以海水为工作介质,而采用低沸点的液态丙烷、氨、氟里昂等物质作为闭路系统中的工作介质。这样,可使用小的高压涡轮气体发电机,而不必采用克劳德使用的那种庞大的低压蒸汽涡轮机了。安德森父子的这种工作方式叫“闭路循环方式”。这是相对于克劳德式的“开式循环”而言的。

除了开式循环和闭式循环外,人们已经开始在尝试将两种循环的优点结合在一起的混合循环方式。为了解决深海提取冷海水的种种困难,也有人设法与太阳能利用结合起来,如把海水引进太阳能加温池加温;制造人工海上油膜来提高表层海水的温度;也有人设想利用高山上的积雪来代替深层冷

海水。这样一来,不仅不必到深层去提取冷海水,而且在温带海洋也有可能进行海水温差发电了。更有甚者,有人试图到冰封的极地去进行海水发电。在极地,冰层下的海水温度在 3°C 到 -1°C 之间,而空气温度在 -20°C 以下,它们的温差很大,距离却很近,相距只有几米到几十米,如果利用它们的温差来发电再也方便不过了。

自从安德森发明的闭式循环问世以来,海水温差发电开创了一个新的局面,世界各国纷纷加以研究和试验。这其中要数美国人最热衷了。早在六十年代初,研究海水温差发电的热潮就已经从法国转移到大西洋彼岸的美国了。在短短的二十年来的时间内,美国已经跃为海水温差发电方面最先进的国家。其研究单位之众多,研究内容之广泛,研究经费之雄厚,研究成果之丰硕,都居世界首位。

美国对海洋热能研究的范围简直是无所不包。从原理设计研究到工程总体规划;从海水温差发电装置的研制生产、安装施工,到设备的防污防蚀、操纵维修;从电力的输送、电能的消费对海洋环境的影响,都一一加以研究。甚至已经开始研究海洋热能开发后带来的经济问题和法律问题。

1979年5月29日,世界上第一座海水温差发电站,在美国的夏威夷成功地投入了运行,为岛上的居民、车站和码头供应了照明用电。这座海水温差电站安装在驳船型的海上平台上,平台锚系在夏威夷岛东部约2.4公里的海上。电站运行的机组容量为50千瓦,采用液态氨为工作物质的闭式循环系统,还计划安装几十台50千瓦的机组,总装机容量要达到1000千瓦以上。世界第一座海水温差发电站的建成和正常运

行,不但证明了海水温差发电技术的可行性,以及提供了大量丰富的实践经验,还标志着海水温差发电已经开始从试验性发电转向大规模的开发利用阶段,夏威夷的海水温差发电站也将成为海水温差发电史上的又一里程碑。

近几年来,热衷于海水温差发电的美国人,朝着更高的目标迈进。已经制订出各种浮式的、海底固定式的以及各种循环系统的设计方案,而且这些方案都十分成熟可行。

日本对海洋热能发电的开发也十分重视,提出了 10 万千瓦的温差发电设计,并开始试验使用沸点低的氨或氟作为发电的介质。1975 年,日本完成了闭路循环温差发电装置;此后,又试制了两种温差发电装置。

我国南海海域,处于北纬 20° 左右,表层水温较高,5~8 月表在水温 $26 \sim 28^{\circ}\text{C}$,2 月~11 月也在 $20 \sim 26^{\circ}\text{C}$ 之间。南海水深大部分地区都在 2000 米以上。自表层向下 500~1000 米处,即可获得 5°C 的冷却水。特别是我国南海拥有那么多的岛屿、浅滩、从岛缘向外,很快就可达到 2000 米的水深处,可称得上是温差发电的天然场所。

目前对海洋热能的开发利用尚未进入大规模实用阶段,还有一些技术问题、经济问题、对环境的影响等问题,有待于进一步研究解决。但是,海洋热能发电,在技术上毕竟取得了重大突破,其前景是令人乐观的。

4. 咸水与淡水汇出电能——海洋浓度差发电

人类在利用海水晒盐的同时,发现海水和淡水相交汇的地方,蕴含着一种神奇的能量,这就是浓度差能。于是一个大

胆而新颖的设想出现了：利用海洋浓度差发电。

海洋的盐度差产生的能量源于渗透作用。我们不妨做个实验：在水槽中放入一个半透明膜，一边放盐水，一边注淡水。海水中的盐离子被半透明膜“封锁”住过不到淡水一边，而淡水可以“通行”到放盐水的一边，这就是半透膜的特性。这样，淡水就透过半透明的膜往盐水里渗透。如果原来放入盐水的水位和放入淡水的水位相平，那么过一段时间，盐水的水位就高于淡水的水位了。如果建一座水塔的话，那么在渗透压的作用下，水位就能升高到 250 米，即大约 25 个大气压，海水和淡水的渗透压才会达到平衡状态。这高高在上的 250 米的水，其力量足以带去水轮机来发电了。

渗透压的大小和海水中的含盐度有关。一般的海水含盐 35%。这样浓度的海水，能形成 25 个大气压，即能把水抬高到 250 米。这也就是说，当把 1 公斤淡水混入海水中时，这些淡水实际具有了 250 公斤/米的能量。陆地上的江河，日夜不停地向海里流淌着淡水，可以想见，在江河入海口的地方，蕴含着多么巨大的盐度差能量啊！根据联合国教科文组织 1981 年有关出版物估计，世界上盐度差能约为 30 亿千瓦。

海洋盐度差能发电的设想，是 1939 年美国人提出的。1954 年，美国建造并试验了一套根据电位差的理论运行的装置，最大输出功率为 15 毫瓦。1975 年以色列人建造并试验了一套渗透法装置。美国曾于 1975 年、1976 年两次举行专题研讨会，研究海洋盐度差发电的技术问题。目前，美、日、以色列、瑞典等国均有人进行盐度能发电的研究。其中，日本科学技术厅从 1978 年开始研究，目前又在试制模型设备、高压泵、半透

明膜、耐压容器等,不久将进行发电试验。

盐度差发电较早的设想是利用渗透膜两侧海水和淡水之间的水位差驱动水轮机发电。这种发电方法,存在一些问题:由于海水和淡水之间的渗透压较大,使水压塔中的水柱高达250米,这就使水压塔下面的半透明膜承受很大的压力,容易被压坏,影响使用寿命。另外,由于淡水中的水分子源源不断地向水压塔渗透,会使海水盐度降低,引起水柱高度下降,从而直接影响输出功率。再者,在河口建造一座200多米高的水塔,也决非易事。

为了克服这些问题,R·S·诺曼博士在原有设计的基础上,增加了一个海上导入泵。他把水轮机与水泵联系起来,海水依然从导管中流出,但导管的高度却相当于海水与淡水渗透压差的一半还低,约10~11兆帕。这样,就能延长半透明膜的寿命。同时,海水导入泵把海水打入,使海水维持一定的盐度,不致于使水的渗透压差降低。

以后,美国国家健康学院的约翰·韦因斯坦和内政部的弗兰克·雷兹两位科学家,抓住盐能换能器过程中出现的氯离子和钠离子运动的现象,设计了一种浓差电池,也叫反向渗电池。为了更充分利用电能,这种电池在海水通道两侧,分别设置了阴离子交换膜和阳离子交换膜。这样,氯离子通过阴离子交换膜向一个方向流动,钠离子通过阳离子交换膜向另一个方向流动,使电势双倍增强。另外,为了得到足以供外部用户使用的电力,就把许多个单个的电池串连使用。

盐度差能,是一种神奇的能量,人们对它的认识较晚,对它的特点和规律的认识还不太清楚,需要从基础理论上作些

探讨。另外,实现浓度差能开发利用的关键材料是半透明膜,目前半透明膜的研究质量还不过关。所以离大规模开发盐度差能,还有一道道难关。但是,盐度差能又是充足和强大的,具有远大的开发和利用前景,相信,人们不会对它有所忽视。

5. 海流妙用生电能

(1)由“海上邮递员”谈起

1893年2月11日,英国的一条大型运货船“民粹”号满载着大批货物和300头牛,由罗伯特船长指挥着从利物浦出发了,他们这次远航的目的就是纽约。可是,谁也没有料到这条船一去不复返了,出事了!但谁也不知道“民粹”号在哪里出了事,谁也说不出它是因为什么出了事。

事隔20天后,3月3日有人在纽约附近的海滨浴场发现了一个瓶子,竟然出乎意料地得到了关于这条船的信息。只见瓶子里的一纸条上写着:“‘民粹’号与全体船员正沉向海底。L·温塞尔。”

时间又过了一个月。有一天,在弗吉尼亚州的一个海滨小村附近,人们又发现了一个写有“民粹”号信息的瓶子。这次的消息写的比较详细了,瓶里的纸条上写着:

“1893年2月19日,‘民粹’号急剧下沉,我们没有救生艇。我们的船在白茫茫的大雪天里撞在一座冰山上。船只严重损坏后还坚持行驶了两个小时,早晨3点20分,海水已经齐甲板了……”

纸条写到这里显然并没有结束,但也没有继续写下去,显然,是来不及写了。这样,人们才算是弄清了“民粹”号不明不

白失踪的原因。

也许人们会感到奇怪,这些带着某些信息的小瓶子,究竟是谁神不知鬼不觉地送到岸上来的?这是海流干的,它在悄无声息地充任着“海上邮递员”的角色。

浩瀚无垠的大海里,有着无数大小的河流,这些海中之河就是海流,就象人体中流动的血液一样,海流永不停息地在海洋中向着一定的方向流动。且海流的规模有大有小,一般的情况下长达几千公里,比我们的长江、黄河还要长;宽度很大,把长江最宽的地方放大几十倍甚至几百倍才能与它相比。

世界海流中有两个暖流特别引人注目。其一就是从加勒比海、墨西哥湾开始,横跨大西洋流向寒冷的北极的湾流,这是世界第一大暖流。它以每小时 4 海里的速度快速流动,其流量比世界所有淡水河川的总流量还要大 50 多倍。如果从湾流中仅提取 4% 的能量,就可获得大约 10~20 亿瓦电,这相当于一座核电站的输出功率。

著名的黑潮是世界第二大暖流。它由北赤道发源,经菲律宾,紧贴我国台湾东部进入东海,然后经琉球群岛,沿日本列岛的南部流去,于东经 142°、北纬 35°附近海域结束行程。黑潮总行程达 6000 公里,平均流宽度 150 公里,平均流厚度 300—400 米,最大流速可达 6—7 节,比普通帆船还要快。流量超过世界所有河流总流量的 20 倍。

(2) 海流发电

海流发电要比利用陆地上的河水可靠得多了。河流水量忽多忽少,除了有洪水的威胁,更直接受到枯水季节的影响,因此,河川水电站非但不能全年工作,即使全天工作的时间也

有限。海流则根本不会出现这种问题,那几乎常年不变的水量和一定的流速,完全可以成为人类为之信赖的可靠能源。

图 10—12 轮叶式海流发电装置示意图

海流发电的原理和风车一样,风车是靠风吹着转动的,海流发电则是依靠海流的冲击力使水轮机的螺旋桨旋转,然后再变换成高速,带动发电机发出电来。

海流发电装置基本上有以下几种型式：

轮叶式。

它的发电原理就是海流推动轮叶，轮叶带动发电机发电。轮叶可以是螺旋桨式的，也可以是转轮式的。轮叶的转轴有与海流平行的，也有与海流垂直的。轮叶可以直接带动发电机，也可以先带动水泵，再由泵产生高压水来驱动发电机组。整个装置可以是固定式的，也可以是锚系式的；可以是全潜式的，也可以是半潜式的。虽然形式多种多样，但它们的原理都是相同的，日本设计的这种形式的海流发电装置，轮叶直径达 53 米，输出功率可达 2500 千瓦。美国也设计了类似的海流发电装置，螺旋桨直径达 73 米，在美国佛罗里达海流中进行试验，当流速为 2.1 米/秒时，输出功率为 5000 千瓦。澳大利亚建成了一台试验性的“潮流水车”，可装在锚泊的船上或者海上石油开采平台上，用时放下发电，不用时可以吊起。法国设计了固定的海底的螺旋桨式海流发电装置，直径为 10.5 米，在流速为 3 米/秒时，输出功率可达 500 千瓦。那种先带动水泵，再用高压水驱动水轮发电机的海流发电装置，特别适用于流速小的海区。日本、美国对这种型式的装置正处在研究试验之中。

降落伞式。

整个装置设计独特，别具一格，结构简单，造价低廉，不论流速大小，均能顺利工作。整个装置用十几个“降落伞”组成，它们联在环形的铰链绳上。“降落伞”长约 12 米，每个“降落伞”间隔约 30 米。当海流方向顺着“降落伞”时，依靠海流的力量撑开“降落伞”，并带动它们向前运动；当海流方向逆着“降

落伞”时,依靠海流的力量收拢“降落伞”,结果铰链绳在撑开的“降落伞”的带动下,不断地转动着。铰链绳又带动安装在船上的铰盘转动,铰盘则带动发电机发电。

图 10—13 降落伞式海流发电装置示意图

磁流式。

这种海流发电方式还处在理论性研究阶段。它的基本原理与磁流体发电原理大体相同。磁流体发电是当今新型的发电方式,它用高温等离子气体为工作介质,高速垂直流过强大的磁场后直接产生电流。现在以海水作工作物质,当存有大量离子(如氯离子、钠离子)的海水垂直流过放置在海水中的强大磁场时,就可以获得电能。这种海流发电方式,日本已经着手开始研究。磁流式发电装置没有机械传动部件,不用发电机组,海流能的利用效率很高,如果一旦获得成功,将可以取代别的海流发电方式,成为海流发电的最优装置。

我国近海潮流发达,在渤海海峡、山东成山头附近、苏北沿海、长江口至舟山群岛一带海域,潮流甚大,蕴藏着丰富的

海流运动能量。据估计,我国可开发利用的海流能量约 0.2 亿千瓦。近年来,我国一些省市开始了海流发电的研究。1978 年——1979 年,浙江舟山地区在西垵门港海域进行了 8 千瓦海流发电试验机组的现场试验。1983 年,在该地区马鞍航道进行了作为航标灯电源的 120 瓦海流发电试验。在海流发电基础研究方面也有进展,1981 年以来,哈尔滨研究试验弹簧调节角度的直叶片水轮机,有较高的效率。

海流发电目前处于小型试验阶段。由于大多数地区的海流流速较低,加上海流流速不断变化,发电量很不稳定;另外技术上还有不少问题有待解决,因此,海流发电开发缓慢。但前景毕竟是鼓舞人心的。

海洋生物资源

浩瀚无垠的海洋,到处都充满着生命。无论是水质肥沃的近海,还是波涛滚滚的大洋;无论是碧绿清澈的赤道水域,还是冰山逶迤的两极海区;亦无论是生机勃勃的海洋上层,还是漫漫长夜的万丈深邃之中,都有生物在那里生活。

放眼四海,只见五彩缤纷的藻类随波荡漾,披胃戴甲的虾蟹追逐嬉戏,顶风斗浪的海鸟拍击上空,千恣百态的鱼类翔游浅底,珠光十色的贝类海底漫步,硕大无朋的巨鲸来来去去。这万类竞技、光怪陆离的海洋生物界,犹如一个无比庞杂的大家族,共同生活在这相互连接的同一个海水环境之中,在这里生活、繁衍以至死亡。

1. 丰盛的“粮仓”

地球上 80% 的生物资源在海洋里,海洋是生物资源的宝库,海洋生物约有 17~20 万种。其中,海洋微生物约 70 余种;海洋植物约 25000 种,高等植物约 30 种,低等植物(藻类)约 10000 多种;海洋动物约 17 万种,多毛动物 5000 种,腔肠动物约 9000 种,软体动物 100000 种,甲壳动物 25000 种,鱼类约 25000 种。尽管海洋生物资源的种类很多,但鱼类仍是海洋生物的主体。据粗略估算,如果捕捞能力许可的话,海洋每年可提供 300 亿吨的水产品,足够 300 亿人食用。这些水产品除供食用外,还可作为工业、医药的原料。

海洋中的鱼类约 25000 种,其中有 200 多种可供捕捞。全世界年产 7000~8000 万吨水产品中,80% 来自海水深度不足 180 米的大陆架及近岸水域;辽阔的海洋还有 90% 的水面没有得到充分利用。

自古以来,海洋生物资源就是人类食物的重要来源。海洋给人类提供食物的能力,等于世界上所有陆地耕地面积农产品的 1000 倍。如果从蛋白质的生产力估算,世界各海洋里每年能生产各种海洋动物蛋白质约 4 亿吨,相当于现在全世界动物的年总产量的 8 倍以上,又相当于全世界现有人口对整个蛋白质需要量的 7 倍左右。

海洋,不愧为人类的丰盛“粮仓”。

2. 一分努力,一分收获

人类对海洋生物资源的开发活动,正使人类享受着海洋源源不断的回报所带来的好处。

(1) 获益颇丰的鱼类资源开发

辽阔的海洋里有着极为丰富的鱼类资源。在那万顷波涛之中,金灿灿的黄鱼,银闪闪的带鱼,急驰如箭的旗鱼,成群结队的鲱鱼,广舒双“翅”、凌空滑翔飞鱼,体色斑驳的髯鲷,凶相毕露的鲨鱼,以及其他种类繁多的鱼类,构成了海洋生物资源的主体,它们是人类直接食用的动物蛋白质的重要来源之一。第二次世界大战以来,渔业是世界上增长最快的食品工业,并被誉为“解救人类饥馑的主要武器”。五十年代,世界每年的海洋鱼产量不足 2000 万吨,至 1971 年,鱼类年产量猛增至 7000 万吨,1984 年和 1985 年全世界年产量在 7800 万吨左右。

鱼类浑身都是宝。自古以来,鱼类就是人类餐桌上的佳肴、令人喜爱的美味食品。早负盛名的鲨鱼翅,被誉为三大名菜之一。鱼的营养价值很高。据分析,它含蛋白质 10~30%,其中包括人体所必须的八种氨基酸,还有易被吸收的脂肪和钙、磷等重要矿物质及主要的 B 族维生素。鱼肉和其它动物肉相比,最容易被消化和吸收。

除食用外,鱼类也是重要的工业原料,几乎全身都是宝。鱼磷可以制做鱼磷胶、尿素、磷光粉等。鱼皮可熬胶,作木材加工的粘合剂,鲨鱼皮还可以制革。鱼头、鱼骨及其它废弃物可加工成鱼粉,用作家畜的饲料和农业用肥。鱼油可以制造肥皂和润滑油,并用以鞣制皮革。鱼鳔既可作美味的“鱼肚”,也可以炼制鳔胶或作外科手术的缝合线。鱼肝可以提取鱼肝油,垂体可以提取激素,鱼白可提炼脱氧核糖核酸等。海产鱼类中还有不少可作药用。

鱼的种类很多,但有些种类数量很少,真正成为捕捞对象的约有 200 种,其中年产量不足 5 万吨的占多数,为 143 种,5~50 万吨的 41 种。50~100 万吨的 10 种,超过 100 万吨的有 6 种,即秘鲁鳀鱼、大洋鲱、鲱鱼、毛鳞鱼、狭鳕和大西洋鳕等。

对鱼的捕获量上,不同海域的不同纬度也各不相同。首先被开发的是北半球(20°N 以北)海域,以后热带和南半球的渔获量不断提高。近海区的渔获量大于其它海区的。

太平洋海域辽阔,岛屿繁多,条件特别优异,适于海洋生物生活,所以鱼类资源非常丰富,是世界各大洋中渔获量最高的渔域,占世界海洋总渔获量的 52% 左右。著名的秘鲁渔场,盛产秘鲁鳀鱼,产量曾高达 135 万吨,占世界鱼获量的 1/5。秘鲁渔场长约 1300 公里,宽约 50 公里,海流垂流流动,底层大量的营养物质带到海水表层,浮游生物极为丰富、为鱼类提供良好的饲料条件,生产力很高。北太平洋西部的北海道渔场和我国舟山渔场,盛产重要的鲑、狭鳕、太平洋鲱、带鱼、大黄鱼、小黄鱼等,产量高达 1861 万吨,占世界海洋渔获量的 29.7% 左右,在世界各海区中居第一位。

大西洋的渔业资源也很丰富。主要渔场有挪威沿岸到北海的大西洋东部渔场和纽芬兰渔场等。其中东北海区的鱼产量居世界第二位。

印度洋的渔业资源也很丰富,但由于印度洋国家渔业不发达,所以产量不太高。印度洋地区的底鱼和中上层渔业资源均可大力加以开发。西部的塞舌尔群岛,有广阔的水域可作拖网渔场。如果进一步开发利用,年渔获量可望达到 1400~2000 万吨。

南大洋(环绕南极洲的水域,即三大洋的南部)在 1976 年以前除捕鲸之外,其他资源利用极少。南极洲磷虾丰富,蕴藏量 10~50 亿吨,估计年产量可达 2 亿吨以上。

世界上海洋捕鱼量超过 100 万吨以上的国家和地区共 18 个,占世界渔业总产量的 74%左右,其中日本年产量在 1000 万吨以上,一直居世界首位。其次是前苏联,年产量 900 万吨左右。中国年产量在 500 万吨左右,美国和加拿大都在 350 万吨左右。这五国的鱼产量约占世界总产量的 1/3 强。按人口平均计算,冰岛鱼产量最高,人均每年产 4459.6 公斤,挪威第二,平均 634 公斤。世界最大的鱼产品出口国是加拿大,1984 年向国外销售 65 万吨鱼产品,价值高达 16.8 亿美元。最大的鱼产品进口国是日本,其次是美国。日本拥有世界上最大的渔船队,每年的捕鱼量是整个西欧国家捕鱼量的总和。

世界渔业的增长幅度比其他农业部门都要大,从 1950 年至 1960 年的增长速度平均为 5%,1960 年至 1970 年的增长速度更快,平均为 7%。但从 1970 年以后,由于捕捞过度,所以产量一直徘徊在 0.7 亿吨左右。

(2)“美味佳肴”——无脊椎动物

海洋里除了丰富的鱼类资源外,还有许多其他重要的海洋生物资源,如对虾、海蟹、扇贝、海蛰等,它们都属于无脊椎动物,同样也是人们所熟知和喜爱的佐食佳肴。如果把鸡蛋的营养价值作为 100,那么牛肉为 80,鲑鱼为 78,虾蟹都为 95,干贝为 92,贻贝为 98,龙虾为 86,海参为 95。海洋无脊椎动物的分布非常广泛,从浅海滩到万米深海都有。

海洋中甲壳类动物种类很多,有 2 万种。如对虾、龙虾、螃

蟹等。全世界年产甲壳类 233 万吨,占渔业总产量的 3.2% 左右。我国海域中的甲壳类资源非常丰富,仅南海就有 200 种以上。对虾营养丰富、肉味鲜美,是海鲜珍品,主要分布在南美、中美、欧洲南部、北美太平洋沿岸和中国、朝鲜、日本南部外海等地。龙虾是现代虾中个体最大的一种,最大的可达 20 斤重,堪称“虾中之王”。

在南极还生活着一种虾叫磷虾,外形同龙虾相似,栖息于 100 米以上的水层。南极磷虾体内有一类叫做糖蛋白的物质,能使体液的冰点下降,可抵御严寒,始终在南极的环境里生机盎然。南极磷虾的储量据估计可达 50 亿吨。但是,磷虾世居遥远的冰封王国,与世隔绝,甚至两个世纪以前还被视为幽灵。实际上,磷虾那丰盈的体态,鲜美的滋味完全可以与名贵的山珍海味媲美。它的肉中所含的蛋白质中,蕴藏着人体极容易消化的氨基酸。如果每年捕捞 7000 万吨磷虾,可为全世界四分之一的人口每天提供 20 克蛋白质。虾仁还含有丰富的脂肪、维生素甲、乙和磷钙等矿物质。磷虾可望成为二十一世纪的流行食品。

海参是一种高级滋补品,它营养丰富,含有大量的蛋白质,是“八珍”之一。海参的种类很多,全世界约有 1100 多种,可供食用的约 40 种。我国海域约有 100 多种,北起渤海,南至南海,都有出产,特别是西沙群岛。

海洋中的贝类数量巨大、种类繁多。1977 年世界生产各种贝类 272 万吨,占软体动物总产量的 64% 以上。像牡蛎、鲍鱼等被誉为海中珍品。牡蛎肉含蛋白质 45~57%,脂肪 7~11%,被称为海中的“牛奶”。

头足类在海洋中极为丰富。大王乌贼是最大的种类,身长可达 18 米,重约 30 吨。乌贼与大黄鱼、小黄鱼、带鱼列为我国四大鱼类。大西洋西北海区是世界上捕捞头足类最多的地区。大西洋中东部是第二大捕捞区。我国和日本也是重要的产区。

(3) 海中之兽——海洋中的哺乳动物

海兽是生活在海洋里的哺乳动物,包括鲸目、鳍脚目、海牛目的全部和食肉目中的海獭。

海兽中,鲸类的种类、数量最多,经济价值也最大。它构成了海兽的主体。全世界共有鲸类 90 种,从近海到远洋,从南极到北极,到处都有鲸上下出没的身影。鲸类中以蓝鲸最大,已知最大个体可达 33 米长,190 吨重,比陆地上最大动物——象还要大三、四十倍,堪称“兽中之王”。南极海域是世界上最大的捕鲸渔场,捕鲸量几乎占世界上总捕量的 80~90%。

海狮、海象、海豹也是重要的海洋生物资源,它们分布广泛,世界各海区都有。

(4) 五彩缤纷的藻类

海洋中的藻类种类很多,数量巨大,可分为 11 类,其中浮游藻类最多,几乎占有所有藻类的 99% 以上。藻类对温度的适应范围很宽。有的不怕热,在 80℃ 的高温条件下,可以生活;有的则能适应零下几十度的严寒环境,有的在几乎没有阳光的深海中也照常生长。有的藻类长达 100 余米,重几百公斤。它们生长快、产量高,有些水域每 1 万平方米的范围内,每年平均可收获 5000 公斤海藻干品。全世界海藻产量约 150 万吨,有 70 多种海藻可食用,营养价值很高,含有丰富的蛋白质、脂肪和 20 多种维生素,用途广泛。

海带是沿海人工养殖的主要藻类之一,它是一种营养丰富、价格低廉的海洋蔬菜。海带中含有叶绿素、胡萝卜素、叶黄素,还含有褐藻类所特有的褐藻黄素和黑褐色色素。其叶绿素比一般蔬菜中的叶绿素不易破坏,可制成原汁海带罐头。

海带属低热量食品,仅含脂肪 0.1%,粗纤维和蛋白质均为 8~10%;它能助消化,防止人体肥胖和便秘。它的矿物元素含量高,品种齐全,存在着人体必需的所有常量元素和绝大部分人体必需的微量元素,是其它天然食品所不能相比的。此外,它还含有多种维生素,其中以维生素 B 特别丰富。

紫菜是蛋白质含量较高的藻类,其它元素如钙、碘、钾、磷以及维生素 B₁、B₂、B₆ 等含量都很高;还含有某些可以降低血浆中胆固醇的物质,无怪乎日本人民在食品组成中,紫菜占有很重的地位。

大型经济海藻如海带、紫菜、马尾藻等用作饲料添加剂,对家禽、家畜如鸡、羊、奶牛等的生长发育有着特殊的效果。鸡吃了掺杂着海藻粉的饲料,可使鸡的生长速度加快,鸡肉和鸡蛋内碘的含量大幅度增加,蛋的薄壳率下降,蛋黄色泽加深;在用羊做试验时,饲料中添加海藻粉后,发现羊的产毛率增加而且增加羊毛的光泽,并有效地防止了羊的某些疾病。

褐藻胶是海藻制碘过程中的联产品。它是一种天然高分子有机物,无毒,具有多种性能。在美国、日本、挪威等国,广泛用于食品、印染、铸造、电焊、造纸、橡胶、冶金、建材、陶瓷、水处理、石油、农业、医药等行业。如世界上产量最高的美国凯尔高公司,年产 8000~10000 吨,其中 60%用于食品工业。美国人称褐藻胶为“奇妙的添加剂”,日本称它为“长寿食品”。这些

国家开发的褐藻胶食品种类已有二三百种。褐藻胶所具有的胶粘性、稳定性、增稠性、成膜性、絮凝性、成冻性、耐油性和保健疗效性,对提高现有的食品质量,增加花色品种、改善食品结构是有积极作用的。此外,还可在纺织工业中用于轻纱上浆,提高纺织品的质量,使花色鲜艳,花纹清晰;用于造纸工业,则可提高纸的耐柔性、吸墨性和产品的光洁度。

3. 蓝色保健箱

海洋中有许多生物都有极高的医药价值,在保障人类的身体健康方面有不可估量的作用,因此称海洋是“蓝色保健箱”倒是名符其实的。

我国最早记述海洋药物的,是成书于战国时代的《黄帝内经》,叙术字以乌鲂骨作丸,饮以鲍鱼,可治疗血枯。沿海有许多海洋生物,可以作为药物,往往有奇效;在这方面,还等待着人们去开发。下面举一些例子。

河豚,是产量较高的海底层鱼种,有时进入江河,肉鲜美无比,但有剧毒。特别是鱼籽和肝脏更具剧毒成份,误食微量,也会中毒死亡。它的毒性相当于氰化钾的 1250 倍,但又能以毒攻毒。经适当处理后,在中医治疗上,它有补虚、去湿、理腰、去痔疾、杀虫等功能;在西医中,用此毒素制成的药物,可起到松弛肌肉痉挛和减轻癌症患者的疼痛;临床上应用于止痛、麻醉均有奇效。据说 100 克河豚卵巢中,至少可提取 1 克河豚毒素,而 1 克河豚毒素价值 5~7 万美元,相当于国际市场上几千克黄金的价格。

有一种鲨鱼叫双髻鲨,从来不得癌症。这一特性引起科学

家的注意,他们还发现,当研究人员诱导它患恶性肿瘤时,也不会得病。后来,他们弄明白,这种鲨鱼的细胞能分泌一种化合物。这种化合物的化学结构虽然还没有彻底搞清楚,但是,它不仅能阻止癌细胞的生长,还能使癌变过程逆转以至消失。现在,有关科学家已经试图从双髻鲨的细胞分泌物里提取抗癌药物。

赤鲋,俗称洋鱼。骄横地遨游于我国沿海海底,体色艳丽,尾巴上有一根6厘米长的毒刺。假如不小心惹怒赤鲋,它就会凶狠地向你刺去。一旦被刺中,全身红肿,轻者伤残,重者致死。故渔民对它又恨又怕,捕获后,立即将它打死,并将尾刺敲下,因为它即使死了,尾刺仍然可以伤人。不过,赤鲋的尾刺还有一番妙用呢。原来,赤鲋尾刺虽有剧毒,但是却能入药,即所谓“以毒攻毒”,经过科学工作者的研究,将其尾刺适当处理后,治疗各种癌症,如胃癌、食道癌、肺癌等方面均有一定疗效。目前,医务工作者正深入地进行探索,以期赤鲋的尾刺在征服癌症方面,取得更大的作用。

在我国海南岛和西沙群岛的海域中,生长着种类繁多的珊瑚,珊瑚不仅可供观赏,还有很高的医药价值。早在唐代李珣所著的《海药本草》中就有珊瑚可“去翳明目、安神镇惊、治疗惊痫和吐血”的记载。据统计,世界海洋中的珊瑚大约有600种之多,由于它们的色彩不同,形态迥异,因而所含活性物质和药物作用也不同。珊瑚的主要成分是钙。据测定,含钙率高达90%,与人体十分接近。如今,一些医疗部门已开始使用珊瑚取代过去的接骨材料,实践证明,用珊瑚接骨的巩固期比常规方法植骨期短,且手术方便,无副作用,病人痛苦少。

蟹壳中的甲壳质可用来制作“体内可溶手术线”并可制成酮酸,用于废水处理和回收海水中的铀。目前医疗上使用的用羊肠制作的手术线,容易感染化脓杆菌,消毒处理很麻烦。日本北海道大学理学部高分子化学教研室正在加紧研究用甲壳质生产“体内可溶手术线”。这种甲壳质线消毒简单,可以被体内的一种叫溶菌酶的酵素所吸收,不容易产生排斥反应。此外,蟹壳有一半成份为甲壳质多糖类物质,如果用苛性钠溶液处理,就可以生成酮酸,这种白色物质可用于废水处理。酮酸可以作为凝结剂,清除掉一部分微生物。由于酮酸毒性低,后处理简单,沉淀物干燥后还可用作肥料。此外,甲壳质和酮酸还可降低食用色素的毒性,抑制人体吸收胆甾醇的性能,在这方面的研究也取得了很大的进展。

“活性离子钙”是用海洋生物牡蛎壳作的料,经特殊加工精制而成的药物,有粉、水、片多种剂型,它能有效地补给人体所需的钙质,此外,还含有人体所需的钾、镁、铁、磷以及其它微量元素,比普通食物里的钙易被人体吸收。

牡蛎壳是常用的平肝潜阳药物之一,兼有清肝、安神作用,可治头痛、眩晕。

海带的联产品褐藻胶在药物治疗方面,用褐藻酸钙可制作牙模,并能抑制肠道对放射性锶的吸收。

海螵蛸,俗称“乌鲗船”,为乌鲗的骨骼,是一种功效很好的药物。它的主要成份为磷酸钙、碳酸钙、胶质、有机质及氯化钠等,有收敛、燥湿、制酸、止血等功能,无论内科、外科、妇科都能应用。

带鱼味道鲜美,其鱼磷亦有药效。它含有 20~25% 的磷

脂、丰富的蛋白质及磷、铁、碘等人体不可缺少的微量元素。磷脂又富含多种不饱和脂肪酸,具有降低胆固醇、防止动脉硬化、预防冠心病的作用。

此外,据墨西哥福利研究所的一项研究表明,海洋里有近 20 万种动物和植物产生毒素、激素和其它物质。其中,如水母(海蜇)含有一种蛋白质,能发光,它是一种可用来检测人体内钙变化的一种敏感物质,可以对细胞坏死、癌症、骨骼生长缓慢以及心肌失调等作出早期诊断。同时,在 500 多种海洋生物中,包括珊瑚、海葵、鲨鱼和蟹中发现了抗癌药物。鲎的血清能将癌症患者体内血液中的恶性细胞和白血球分开。鲨鱼肝内含有一种能使人增强抗癌能力的脂类。管海参是最有希望医治心脏病的一种海洋生物,今后可能被广泛用于医治冠状血液循环紊乱方面的疾病。

江蓠属藻类含优质琼脂产量很高,一般为 29~35%,且易于人工养殖。琼脂因其独特的凝胶性能,广泛用于微生物培养、医用轻泻剂、药物胶囊及固相酶载体。而凹顶藻、松节藻、多管藻等海藻,含有较强的抗菌、抗肿瘤生物活性物质,如配合人工养殖,是很有希望的天然药物资源。

此外,还有最近在南方广东省陆丰县沿海人工养殖成功的海马,又名海龙子,属特殊的小海鱼,是一种很珍贵的药品,对人体有滋补的功能,有“海上人参”之称。

总之,海洋生物的药用资源,对它的利用和研究,也刚刚开始,还有着广阔的领域,待人们去发现和挖掘。

4. 人类的“一棋误招”

海洋生物资源虽然无比丰富,但如果开发利用不当,酷渔滥捕的话,会造成渔业资源的严重衰退。我国就有这方面的教训。下面就以我国为例,谈谈因失误而造成的严重后果。

我国的渤海和黄海,是我国北方渔民捕鱼的主要场所,直到 50 年代末,资源仍较丰富。可是,60 年代以来,主要经济鱼类资源,出现了下降的趋势,特别是进入 70 年代以后,资源严重衰退。由于滥捕乱捞,构成黄、渤海主要捕捞对象的小黄鱼和带鱼已经寥寥无几,不能形成渔汛。据 1984 年调查,黄海口浅海渔域的底层鱼资源发生激烈变化。带鱼、鳓鱼均已濒临绝迹,小黄鱼资源严重衰退,其它如真鲷、短鳍红娘鱼、高眼鲷、星鲨、孔鲷等亦处于枯竭前夕。虽然有的小型种如黄鲫和焦氏舌鲷等尚有一定开发潜力,但其可捕量和鱼种质量都较低,其它鱼种如梭鱼、银鲳、鲈鱼等的资源量都很低,只能略加利用。

据辽宁省 1980~1984 年调查,黄、渤海北部辽宁岸段范围内,有经济鱼虾 125 种。其中在黄、渤海北部越冬的,有 15 种(包括鲱鱼、鲈鱼、石鲈、梅童鱼等)。夏季回游进来的种类,有 20 多种(包括对虾、黄鲫、牙鲆、鳕、鳕、鳕等)。调查结果,估计本地区的资源量,冬季不足 3000 吨,夏季可增加到 40000 吨。平均资源量,每平方海里的鱼虾,冬季不足 1 公斤,夏季为 1.4 公斤。由此可以说明,黄、渤海北部的鱼虾资源,已下降到相当贫乏的程度。

位于东海的舟山群岛渔场,四大鱼类产量也远不如过去,本区大黄鱼最高年产量为 13.2 万吨,而 1985 年年产量,仅为 0.55 万吨;小黄鱼最高年产量为 2.9 万吨,1985 年仅为 600 吨;带鱼最高年产量为 20 万吨,1985 年仅为 14 万吨;乌贼最

高年产量为 3.45 万吨,1985 年仅为 0.75 万吨,其它如虾、蟹等产量也严重降低。

渤海名产梭子蟹越来越少。1987 年春汛,山东省沾化县有 130 多条船入海捕蟹,结果许多都空船而回,总共捕蟹才 10 多吨。其直接原因是近海一些省、市不顾捕捞季节的限制,用铁耙拖网滥捕,使梭子蟹资源遭到严重破坏。

由于沿海各地盲目增船,酷渔滥捕的结果,我国海域产量最高的带鱼资源急剧下降。据东海区渔业指挥部统计,带鱼冬汛开捕(1988 年 11 月 1 日到 12 月 10 日),浙、苏、闽的 2.4 万多艘渔船捕捞量比 1987 年同期下降 18.8%,是最近 20 年来产量最低的一年。

鉴于捕捞业是一种采捕自然生物资源的生产,在目前水产资源遭受严重破坏的情况下,如果再盲目增加生产工具,加强近海捕捞强度,势必进一步加剧其恶性循环,后果将不堪设想。为此,必须利用各种渔业水域从事增、养殖业。发展海洋渔业农牧化和外海的捕捞业,同时,加强渔业的管理工作。

5. “海洋牧场”——海洋生物农牧化

长期以来,人们依靠古老的、传统的捕捞自然资源的方式获得鱼、虾等海产品。尽管人类已经掌握了较好的自然规律,但是一网下去一场空的时候还常常令人们失望,在追逐鱼群的过程中,人们常常感叹捕捞之艰难。

也许是一望无边的草原大牧业触发了人类的灵感,有人提出了在海上“放牧”的设想。

六十年代以来,不少国家提出并实施建立了“海洋牧场”、

“海洋农场”、“栽培渔业”和“海洋渔业农牧化”等耕海牧渔方法。

最近,日本提出建立“鲸鱼牧场”的设想:为了保护鲸资源和鲸文化,在和歌山县海湾建立鲸鱼繁殖场所,通过人工受精来养殖鲸鱼。日本政府组织鲸类研究人员和捕鲸公司一起研究鲸鱼的生态特征,收集和研究鲸鱼受精期、子鲸的饲养方法,饵料的种类与数量、饲养场所等基础数据。据认为和歌山县海湾潮流缓慢、浮游动物资源丰富,适合鲸鱼的饲养,为了防止鲸鱼的逃跑和免受损害,将用发射音波的方法,把鲸鱼围在一定海域内。

到 1981 年为止,日本每年人工养殖海生鱼类和海藻 95.5 万吨。前苏联预计到 2000 年海水养殖增加到 250 万吨。

为了提高放养鱼的回收率,科学研究人员设想训练海豚在海洋中放牧鱼群。海豚具有回声定位的特殊本领,能在海中射出 150~300 千赫的超声波,在黑暗的深海中,可以判断出几百米远的目标,发现鱼群。所以,海豚经过驯养,完全可以成为理想的“牧鱼人”。

我国有漫长的海岸线和星罗棋布的岛屿,还有 2000 万亩港湾与滩涂,可以管理和利用的海域面积估计有 22 亿亩以上,又有渤海这半封闭的内海,自然条件无比优越。如果尽快建立海洋牧场,定能解决我国大中城市“吃鱼难”的问题。

但如何开辟海上牧场,会有不少的办法,其中之一就是建造人工鱼礁。

在意大利热那亚沿海,意大利人把 1000 多辆废弃的汽车投到海底,过了一段时间,这些旧汽车周围长满了水下植物,

许多鱼、虾及海洋动物被吸引到汽车周围,这些作为鱼礁的汽车周围,成了人们“高产”的捕捞基地。

1953年,美国在亚拉巴马州的外海墨西哥湾里,投下了一些废旧汽车,造成了一个人工鱼礁,结果,这片海域里出现了意想不到的效果,以前一条鱼也钓不到的地方,如今竟能钓到大鱼,一网下去,也能捞到一些譬如鲈鱼、扁毛鳞鲀、军曹鱼等稀罕鱼类。

在日本和美洲的一些沿海国家,也有利用废弃的工业物品以及水泥柱、桩等建造海底鱼礁,过去没有鱼的地方,捕鱼量现在竟能大大提高了。

墨西哥海湾海底石油资源是无比丰富,但渔业资源却令人失望。然而到这个海湾出现了林立的钻井的平台后,竟将远海的鱼类吸引了过来,想不到钻井平台也成了人工鱼礁。

鱼类寻找人工鱼礁,原因并不深奥,这些人工鱼礁,便于鱼类隐蔽,海中猛兽袭击它们时,有人工鱼礁做障碍,猛兽难以发挥力量,同时,人工鱼礁上,生长出一些藻类,构成了鱼类的丰盛的饵料。

开辟海洋牧场,除了设置人工鱼礁外,还有一种方法就是为鱼类建造一个固定的“家”。

日本四面环海,但大陆架浅海区太狭窄,渔业资源很贫乏。于是日本人从1950年起,就开始为鱼类建造“家”。位于东京湾口的横须贺市鸭居区,从1956年到1958年为鱼类建造了200多间新居,1965年到1968年又增加了715间,结果,日本人达到了预期的目的。目前,日本人已在3300个地点为鱼类建造了78.8万间新居,建造这些鱼类新居,要付出昂

贵的代价,但日本人所收获的价值,远远超过其投资。

不只是鱼类,营养丰富的牡蛎也有自己的海上牧场,因为牡蛎不会象鱼那样游动,因此饲养起来也就较容易,把牡蛎放在吊篮里吊养,或者用绳拴起来系养就行了。

海洋牧场还有一种方法是“移殖”。人类用人工培育鱼的幼苗,待生长到一定大小后,放回到自然水域成长,借以增加资源,提高海洋生产力。对此,日本人称之为“栽培渔业”,欧美则称为“增殖业”。到本世纪 70 年代,这项事业得到了迅速发展。美国每年把 30 亿尾鱼苗放流到海里,现在已经有了 200 多个增殖场。前苏联也有 140 多处增殖场和移植站。增殖方法主要有 3 种:一是自然放养。这种方法是把刚孵化出的幼鱼放流到海水域作为资源增殖的一种方法;二是粗养。即采取自然纳苗,饲养一些河口鱼和洄游性鱼类;三是围养。由人工养殖幼苗,控制产卵和受精。

另外,海水网箱养殖和网围养殖也可看作海上的牧场。

我国开辟“海上牧场”的工作做得也不错。1977 年我国渔产养殖面积约 90 万亩,1982 年就扩大到 243.8 万亩,其中养殖海带 23 万亩,养殖贻贝 4.79 万亩,扇贝 0.38 万亩,紫菜 6.29 万亩,对虾 24.83 万亩。近几年来,我国在大连、山东、浙江、广东和广西沿海地区采用投石和安放人工鱼礁的办法,为海洋鱼类建造了便于栖息的“旅馆”。例如,山东蓬莱投放人工鱼礁后,海参、海蛰、鲍鱼、扇贝丛生,出现了海珍回升的好势头,海洋捕捞量比不设礁的海区要增加两倍多。烟台地区作过比较,搞人工养殖、投放幼参,每平方米水面有海参 1.8 头;不投放幼参的海区,每千平方米水面仅有一头海参。可见发展人

工养殖具有巨大优势。建设海洋牧场是时代发展的需要,是由自然捕集型旧渔业向增殖新型渔业的转变,是人类与海洋打交道“悟出来”的经验。海洋牧场的兴起,将使人类更好开发海洋生物资源,为面临资源衰退的海洋渔业生产带来新的活力。

海洋空间的利用

自古以来,人们就设想在浩淼无边、波涛迭涌的海洋中存在着美好的神仙境界。我国唐代大诗人李白曾用优美的诗句想过海底仙境:“海漫漫,直下无底旁无边,云涛烟浪最深处,人传中有三仙山,山上多生不死药,取之化羽为天仙。”著名的神话小说《西游记》中孙悟空龙宫借宝的故事,更是绘声绘色地描绘了海底东海龙王龙宫的金碧辉煌的建筑及在那里生活的神仙们。在国外,丹麦童话家安徒生所写的《海的女儿》中描写了一位美丽善良的龙王女儿。这些神话伟说,寄托了古代人们开发海洋空间的强烈愿望。

如今,人类在海洋空间的利用方面已经迈出了第一步,已经创造了许多成功的经验。

人们早期利用海洋空间主要是建造海堤和构筑海底隧道,继而是建设人工岛、海上宾馆、海上游动住宅,水下观光台等。

1. 千里长堤映海天

荷兰是有名的“低洼之国”,全国有 $1/4$ 的土地低于海平

面。荷兰人民在与海斗争中表现甚为突出。1932 年以来在须海出口处构筑了一道万米长的海堤,底宽 90 米,堤内水域成了淡水湖,新造耕地 2000 万亩,被称为人造三角洲工程。

荷兰人在十三世纪就注意到了应该保护自己的生存地,他们从那时起就围海造田,目前已增加土地面积达 930 万亩,约等于其国土的五分之一。荷兰人多地少,平均每人占耕地约 1.2 亩,且地势低洼,经常遭受海潮、风暴的袭击。因此,需要加固沿海堤防。筑堤的目的在于保证内陆安全,同时收益的是增加耕地面积。荷兰人围海造田采取的方式是圩田开垦、围海开垦、堵湾开垦。

荷兰人的沧桑之变工程是巨大的。刚提及的 3 万米的海堤,便是他们筑起的世界上最长的海堤。它高出水面 7 米,底宽 70 米不说,就连顶部也宽达 50 米。这条大堤在蓝天大海的映衬下,显得分外雄伟壮观,象一条横卧海面的长龙。目前该大堤已成为欧洲 10 号国际高速公路的组成部分。大堤将拦断的海封闭了起来,成为内湖后,又采取海水淡化方式排除盐分,分片围垦,水抽干后,获得了 2600 平方公里的可耕田,成了荷兰人的粮川。1953 年到 1986 年间,荷兰人又在莱茵河、马斯河、斯海尔德河的三角洲区域筑堤围海,取得了显著的效益。

新加坡的筑堤围海也令人瞩目,这个富裕的国家也面临着人多地少的严重问题,他们以一天一英亩的速度向海区推进,速度之快,前所未有的。到本世纪 80 年代,已围海造田约 230 平方海里。新加坡人计划到 1993 年,填海造田要达到 875 公顷,投资为 8.74 亿新元,填海用土在本国已难以为继,这个

富有的国家将花钱买土填海。

横卧在柔佛海峡上的世界有名的海上长堤,全长 1200 米,全部由花岗岩砌成,把新加坡岛和马来半岛连接起来,使新加坡与大陆的联系畅通无阻,堤顶上火车、汽车穿梭往来,堤下开闸通小船,一派繁忙景象。

朝鲜也借鉴了周围国家的经验,已开始向海涂要良田,计划中的目标是向西海岸围垦,约 447 万亩,这一计划如实现,朝鲜西海岸的 100 多个岛屿将互相连结起来。

我国厦门高崎村至集美镇有一条长达 2122 米的海堤,从集美镇到杏林工业区有一条长达 2800 米的海堤,这两条海堤总长 4942 米,全部用花岗岩砌成,鹰厦铁路穿堤而过,堤上还设有汽车道和人行道。此外,福建省的东山岛筑有 620 米海堤与陆地相连,浙江的玉环岛有 144 米海堤横贯海峡,使这两个岛屿成了“半岛”。

2. 海底隧道一线穿

为了沟通港湾和海峡两岸的交通,不少国家修建了海底隧道。

日本的青函隧道是当今世界上最长的海底隧道。隧道于 1953 年开始勘察,1964 年破土动工,隧道长 53.8 公里,海底部分长 23.4 公里,距海面 240 米,宽 11 米,高 9 米,预计时的投资为 4600 亿日元。为了施工方便,共修建了三条隧道,除通车的主隧道外,还修建了探测地质情况的先导隧道,和运送器材及碎石的作业隧道。津轻海峡最深处为 100 米,海底隧道与海底一样呈弧形,隧道最深处离海底 140 米,距海面 240 米,

作业隧道宽 5 米,高 4 米,它和主隧道是平行的,中间由联络隧道连接。全部工程于 1986 年竣工。过去乘轮船需 4 小时的路程,现在乘海底隧道中的高速列车仅需要 50 分钟。

日本人没有满足,他们已着手建造“日韩对马海峡海底隧道”,这条海底隧道全长 250 公里,预期造价 200 亿美元。对马海峡,位于日本九州西部壹岐岛与对马岛之间,长 200 多公里,水域宽约 50 公里,中部水深在 100 米以上,是东海和日本海之间的交通要道。自 1984 年起,日本政府便组织科技人员开始对对马海峡进行全面调查,他们先是对马西北海域进行了声波勘探;1985 年,又在对马海域四周布置了微型地震仪,以了解海峡的成因和变动情况;1986 年又在对马西海域进行了海洋钻探。3 年的超声波勘探结果表明,对马和朝鲜半岛之间的堆积层厚度超过 1000 米,“日韩海底隧道”能否在这样厚的堆积层中穿过,有关方面是很有信心的。

美国的旧金山湾已经建成了一段 6 公里长的海底隧道,并成为旧金山市高速交通网的一部分。

香港也修建了一条海底隧道。这条隧道在香港九龙之间,长 1400 米,这条隧道由 14 节各长 100 米,直径 5.4 米的预应力混凝土管断联接起来,形成了一条海底隧道,每节重 7500 吨,隧道内铺设了双轨铁道。整个工程动土 50 万立方米。这项工程的完工,使香港与九龙之间的交通大大得到改善。

英吉利海峡是大西洋通往北海的要冲。在英国和法国之间,西连大西洋,东北通北海。从西部的锡利群岛与尤范特群岛的连线至东部的多佛尔海峡,长 563 公里,最宽处 241 公里,最狭窄处 33 公里。这里不仅是重要的渔场,也是世界上最

繁忙的海上要道之一。繁忙的海上交通使人们深感海峡水面之拥挤。据统计,每年通过海峡的大小船只约有 35000 艘之多。1986 年 1 月 20 日,英法两国首脑在法国里尔市正式宣布共建一条长 50 公里的多佛尔海峡海底铁路隧道联结两国。这项堪称本世纪的最大工程将把两百多年来蕴育在两国人民心中的美好愿望变成现实,英吉利海峡把英伦三岛与欧洲大陆分割的历史将宣告结束。这项工程的建成预计耗资 530 亿法郎。隧道建成后预计每年的客流量为 8430 万人次,货运量 1320 万吨。列车可直接抵达巴黎、布鲁塞尔、科隆、阿姆斯特丹等欧洲大城市。目前从多佛尔至加来乘摆渡约需一个半小时,建成隧道后只需半小时。该隧道建成后不仅能促进英法两国的经济发展,而且可以弥补欧洲交通网络中的一个缺口,伦敦将发展成为无季节性旅游胜地。

3. 海上飞虹——跨海大桥

架设海上桥梁是人类的大胆设想和勇敢行为。当然,这种方法只适用狭窄海域区。

世界上最大的海上桥梁是日本濑户内海铁路大桥,海上距离是 9.6 公里,这是座南北大桥,是日本铁路发展计划的一部分。这座海上大桥,使火车可以从本州的东京直达北海道的札幌,还可直达四国岛。

沙特和巴林于 1982 年 11 月联建跨海公路大桥,起点是在沙特哈布城南 6 公里处,到达巴林的贡斯拉村北部。全长 25 公里,有上下 4 个汽车道,两侧还有人行道,非常便捷实用。

在欧洲和亚洲的分界线、黑海出口的博斯普鲁斯海峡两岸座落着土耳其最大的城市伊斯坦布尔。现在已有两座跨海大桥跨越于海峡上空,全长 1560 米,中央跨度 1074 米,始建于 1972 年,到 1973 年 10 月 30 日正式通车,每天的车流量约为 20 万辆。这座大桥联连了被博斯普鲁斯海峡隔断的欧洲和中东,加强了欧亚之间的交通和贸易,而且对土耳其的经济与贸易的发展起到了巨大的推动作用。

“一桥飞架南北,天堑变通途”,的确,雄伟的跨海大桥进一步显示了人类企图征服大海,到海上生活的决心和勇气。

4. 海底电缆穿海过

为让信息穿海而过,使全球间的通信更为便捷、快速,早在 130 多年前,人们就开始利用和建造海底电缆了。1851 年 11 月,英国在多佛尔开始铺设、接通了到达法国加来的世界上第一条国际商业用海底电缆,这条电缆是用来传电报的。这是人类历史上的第一条海底电缆,从此,人类的通信事业便掀开了崭新的一页。

1857 年 8 月,由美英两国筹资 32 万英磅,历经 10 年的磨难,又铺设了一条穿越大西洋的电报电缆。之后,人们又从海中捞起了曾经落入海洋中的电缆,利用它铺设了第二条大西洋电缆。从此,一条条穿越海洋的海底电报电缆把世界各大洲联系成一个整体,世界各地间的距离仿佛立时缩短了不少。

1891 年,在海底电报电缆铺设成功之后,世界上第一条海底电话电缆也在英国和法国之间铺设完毕。到 1983 年,全世界共有 106 条国际海底电缆,总长度为 12.4 万海里,最长

的为太平洋电缆,长度为 8232 海里,电缆线路从加拿大的温哥华到美国的夏威夷、斐济的苏瓦、新西兰的奥克兰、澳大利亚的悉尼。

横穿太平洋的电缆较长的是从日本的二宫到美国关岛、威克岛、中途岛、马卡哈等,这条电缆长度是 5282 海里。横穿大西洋的有 14 条国际海底同轴电缆,总长度是 3.2 万海里,最长的一条是电话电缆,长 3599 海里。

全球电话电缆的建设,从 1961 年开始,第一阶段从苏格兰越过大西洋到达加拿大东海岸;第二阶段则是联结澳大利亚悉尼和加拿大的温哥华之间的“康帕克”海底电话电缆;此后由悉尼经新西兰到香港,折向斯里兰卡、印度、巴基斯坦到非洲,然后返回英国,全长 5 万多海里,形成了环球电话电缆系统。

本世纪以来,由海底同轴电缆传递的国际电话电报的增长率大约为每 10 年增加 10 倍。

中国海底电缆的出现始于 1871 年,那是由丹麦人铺设的,电缆从香港——厦门——上海——长崎一直到荷拉迪沃斯托克。本世纪 70 年代以后,海底电缆的铺设有了一定的发展。1982 年,中国完成了舟山海底电缆通信工程;1985 年,中国敷设的大连市长海县獐子岛海底电力电缆一次送电成功,这是中国最长的 3500 千伏高压的海底电力电缆。

中国与日本在 1976 年 10 月 25 日铺设了中日海底电缆。这条电缆全长 1035 公里,中方登陆局设在上海南汇,日方登陆局设在天草苓北町,电缆容量为 480 条电话线咱。这条电缆是目前中国唯一的一条国际海底通讯线路。

5. 海上飞机穿梭忙——海上机场

飞机,是人类最好的交通工具。随着现代航空事业的发展,人类对机场的需求量越来越大,但是,城市地皮紧张,造价昂贵,且容易产生大量噪音,骚扰附近居民生活,给本来就不太安静的城市带来更大的噪音污染。于是,人类受航空母舰的启发,把目光投向了海洋:为何不建立海上机场呢?在海上建立飞机场,不仅可以节省陆地地皮,而且还可以避免给城市带来的飞机噪音公害,真是一举两得的事。

于是 1934 年,美国人在海洋上建成了纽约至百慕大的海上机场,机场是浮动型的。

1975 年,日本在长崎修建了填海式海上机场。这个机场座落在长崎海滨的箕岛东侧,一部分地基利用自然岛屿,一部分填海造成。机场长度达 3000 米。机场占地 201.5 公顷,共填土石 2470 万立方米。

斯里兰卡的科伦坡机场也是用 840 万立方米的砂石填入 15 米深的海中填成的。

浮动式机场是漂浮在海面上的一种机场。日本计划建造的关西新机场是一座现代化的大型海上浮动机场。该机场位于大阪湾东南部离岸 5 公里的泉州海上,机场占地 1100 公顷,分上下两层。这个机场是世界上最大的浮动式海上机场。日本人计划近年建设 4 个相当于关西浮动机场规模的海上机场。

还有一种围海式机场是在浅海的海滩上修建闭合式的围堤,然后将堤内海水抽干,在海底修建机场,这种机场自然低于海平面,虽然造价低于填海式和浮动式,但人们担心一旦堤

毁水淹,机场就难逃灭顶之灾,因此,这种建机场方式尚在论证之中。

栈桥式机场采取的是栈桥建造技术,将桩打入海底,在钢桩上建造高出海平面一定高度的桥墩,在桥墩上建造飞机场。这种栈桥式机场已开始出现,在美国的纽约拉爪地亚机场的跑道,就是海中用钢管桩建造的一条长栈桥。

6. 海上城市及其它

《山海经·北山经》一书中记载了“精卫填海”的故事:神农氏的小女儿女娃,一天到东海去游泳,不幸被淹死。于是她的灵魂化作一只小精卫鸟,每天到西北衔树木石子,投进东海,以求将东海填平,使之不再兴风作浪,避免淹死别的人。这个世代代流传下来的古老传说是悲壮而感人的。

不过,今天的人类也开始了“填海”的行动。当然,所填的海很少,而且,填海的目的与精卫也不相同,人类填海是为了建设海上城市。

填海造城规模最大的是日本的东京湾,日本人用城市垃圾填出了 18 个小岛,使原面积只有 0.9 平方公里的扇岛,经过填充,现已达到 5.5 平方公里。浦安市的东京迪斯尼乐园,就是填海造出来的,现在这个乐园拥有 2.11 平方公里的陆地,每年接纳游客达 1000 万人之多。千叶市过去弯曲的海岸线不见了,原因是市区陆地不断填扩,向海洋推进,新造陆地 33.7 平方公里,在这块新生活区,居住着 20 万以上的人口。

神户人工岛工程位于神户市南 3 公里、水深 12 米的海面上。该人工岛长 3 公里,宽 2 公里,面积 636 公顷,投资 5300

亿日元,于 1956 年开工,历时 15 年,削平两座山头,用土 8000 万立方米。中心区还有可供 4500 户、2 万人居住的中高层住宅和公寓。这里不仅有商业街、中小学、医院和邮电等生活设施,而且还有 3 个公园和 1 座体育馆。沿岸还建有可同时停泊 28 艘万吨巨轮的深水码头。所以这个人工岛实际上是一座海上城市。

另一座设计面积为 580 公顷的六甲海上城市正在施工中。这个海上城市将建成正方形形状,每边长 5 公里。这是利用高度信息化通讯系统的一座新型的现代化城市,人们称它为“铁岛”。该城市为平层顶的四层建筑物,各层都有各自专用的技能。第一层设有各种机构的办公大楼、贸易中心、废物再处理循环系统、能源供应设施等;第二层是工业区,这里,各种尖端的企业群林立;第三层设有装备齐全的新城市交通系统;第四层设有供超音速飞机起降的设备完善的国际机场。除了飞机运输之外,与外界的联系还可以使用船只。这个海上城市可容纳 100 万人。

日本专家还提出了一个建造海上信息化城市计划。计划的主要目标是由国家、地方政府、民间企业三间联合投资 30 万亿日元在离东京 200 海里的海上建设一座可容纳 50~100 万人口的卫星城,卫星城是一个具有多种用途和各种机能的高度信息化城市,由于它有与高级信息通讯系统相联结的信息通讯设施,所以,它不但能把东京都中心区同位于太平洋沿岸的海上新城连结在一起,还可以把日本全国各地同世界各地相联系。

日本人的长远目标是用 200 年时间在日本周围海域建造

114 万公顷的土地,最近日本人根据这一设想提出了逐步实施的计划方案。

同时,日本人还把它的眼光继续伸向离陆地较远的海域,计划建造海上“石油城”。近来,日本还提出再建造 700 个人工岛的设想,扩大国土面积 1.15 万平方公里,以解决近百年的发展需要。日本国这个设想,聪明人都清楚,那不仅仅是 700 个人工岛问题,还有人工岛以外的海洋权益。总之,战后 40 多年来,日本人新造陆地已达 2000 平方公里,相当于 25 个香港岛的面积。

美国专家也提出了建造海上城市的新设想。美国人所设计的海洋城市呈金字塔形,里面有商店、学校、游戏场所和家庭住宅,人仅靠步行而不用坐车就可到达城市的的任何一个地方,从而避免了交通拥挤;城市的废物可以反复循环利用。这种城市将利用太阳能发电供城市用电,金字塔的两边为产生电流的太阳仓;金字塔前后表面为塔内房舍的凉台,里面为学校、商店、游乐场所和家庭住宅;塔外有工厂和小型机场。

英国现已在南海岸建造了一个用橡皮外壳作构架的锥形人工岛,用于石油勘探、电站、灯塔。美国人则提出在墨西哥湾和大西洋东北部、哈特腊斯角以北建造数个 8 平方公里的人工岛用于建造石油加工厂等。荷兰、法国、瑞典等也计划在北海南部,建造大型海上设施,以供开发海洋时使用。

除了海上城市,还有海上宾馆、水下观光馆、游动住宅、海上工厂等等也都引起了人们的极大兴趣。

海上游动住宅是浮动在海面的近于航空母舰而规模远大于航空母舰,且生活设施完善的居民住宅区。日本的研究小组

指出,计划建造 2500 个海上游动住宅和海上游动城市,每个城市可容纳居民 25 万人。这些游动的建筑物设有加工海洋矿产的生产车间和养殖海洋动植物的养殖场。

韩国有一处“海上宾馆”建立在距西归浦陆地 300 米的海上,水深 16 米,是一座圆锥形建筑物,直径 100 米,水上高度 120 米。这座巨大的宾馆共 62 层,其中水上 55 层,水下 7 层,有 1200 个房间,所有房间的窗户都临海。水上第一层是用特殊的玻璃做的墙壁、供人们观赏海上风暴的大厅。这是一个既有音响又有彩色的空间,水中的第一层是直径为 80 米的圆型大厅。水中的第二层是游乐部,水中第三层是供观赏海底动物活动的水族馆。水上第 55 层是“飘”在海洋上空的“空中起居室”。在五十五层的顶上设有大型风车,利用济州岛的强风发电。

海底风光秀丽、景色宜人,鱼虾遨游,奇异而美丽的珊瑚礁,都强烈地吸引着越来越多的游人,登一登水下观光馆,坐一坐潜艇,是游客们所向往的。1964 年,瑞士首次使用一般大型潜艇进行了 580 次水深达 150 米的水下漫游,使 3800 名水下观光者饱览了日内瓦湖水下景致。1969 年,在大西洋的乌迪内附近下水了一个“大西洋一号”工作站,在水下工作了 28 天。前苏联尼克拉索夫设计的游动旅馆,备有大型餐厅,每年可接纳 250 名度假者。日本人建成了水下观光台,游客可观赏到海下风光。

为了充分开发利用海洋资源,一些国家已开始海上建设工厂,建设电站(如潮汐电站、温差电站、波浪电站等)。例如美国新泽西州大西洋一侧东北 18 公里的海上建起了原子能

发电厂,该厂面积达 285 亩,周围是马蹄形防波堤,堤内有两艘巨大的浮动式平底船。

日本人也建造了海上工厂。在东京湾修建的人工岛钢铁基地离岸 7 公里,周围水深 10 米,采取修建混凝土围堤,中间填土石的办法建筑。这个人工岛设计抗震能力为 8 级,岛上使用面积是 510 万平方米,建有 7 个炼铁炉、3 个钢厂、两个制板厂,年产 600 万吨钢材,人工岛与陆地的联接是海底隧道。在最近几年,日本人又研制成了一种多效浮动海水淡化厂,厂内设备齐全。

展望未来,人们有理由相信,今后的世界,人类将从大陆移向海洋的时代。未来的海下旅行、海下疗养、海下舞厅、海下球场、海下餐厅、海下电影院、海下图书馆等等全新的行业将迅速发展。到那时,海洋和陆地一样,将是充满着勃勃生机的人群的欢乐世界。

A decorative border with a repeating floral or scroll-like pattern, rendered in black, frames the central text.

物质世界

引 言

无声无息的爆炸！

最初是其大小极小，温度非常高，在极短的时间内(10^{-36} 秒)，其体积增加了一百万万亿亿倍(10^{30})，其内部空空如也，什么都没有。接着是其内部从无到有，产生了粒子物质，大约一秒钟后，合成了氢和氦这两种最简单、最基本的元素，稍后产生了光子。——这就是宇宙创生最初三分钟发生的事情。没有任何人看见过，听见过这一静悄悄的爆炸，因为，在宇宙创生以前没有任何东西，没有时间、没有空间。

接下来的故事先是令人吃惊的平淡无奇。宇宙就象脱缰的野马，一发而不可收，不断地膨胀，宇宙变得越来越冷，越来越稀薄，透明。大约在二十——三十亿年后，故事变得丰富多彩，灿烂辉煌。形成了星系，星系团，银河系，恒星和类星体。只有等到一百五十亿年后，才形成我们的太阳系。二百亿年后，我们人类出现在地球上。从此，开创另一个世界的历程开始了，一个文明演进的艰难历程。于是便有数不尽的神奇故事，说不完的风流人物；也有了无数充满掠夺、仇杀、邪恶的历史。毕竟，二百万年的时间和宇宙的历史比起来太缈小了，人类还处在它的幼年时期。

谁能向我们担保这整个故事不是个弥天大谎呢？他是谁，

为什么要编造这个骗局？我们感受到，经历到的一切是不是这一骗局的一部分呢？

我知道，村头那片黝黑黝黑的岩石比我的年龄要久远，它不知经受过多少风风雨雨，那条经流不息的小河不知养育过我们多少祖祖辈辈。我也知道，昨天天空那片美丽的彩云，我再也无法找到它，为它心灵激动，心旷神怡；往事连同那些最美好的东西也渐渐地从记忆中消褪。这一切为什么是这样的呢？这个世界是什么，由什么组成，它从何而来，欲行何方？上帝真的存在，他创造了世界又创造了人类？我们能了解这个世界的一切吗？

有没有一般的原则可循，帮助我们回答这些问题？让我们沿着现代物理学激动人心的发展，看看那些天才的物理学家们是如何回答这些问题的。我们将看到，使人震动的是，在我们智力可理解的范围内，上帝在编造这些故事的时候没有太多选择的余地，即他不能瞎胡乱编。不过，我建议你相信上帝，把他放在你心灵深处。你会发现你藏的是个无为的上帝，这可要好得多，因为什么事情不做的上帝比什么事情都做对或偶尔做错事情的上帝更受人青睐。这样，当你面对这个无为上帝的时候，他可以总以一种淡淡的微笑面对你。

三、从 X 射线到夸克

大转折的年代

一八九五年前后,在西方,主要是领先的英国、德国、法国,这是一个到处充满新的大胆革命思想的时期,是使人激动和变化的时期。文学、绘画、音乐、人文科学都在进行急剧的变化。而物理学则开始了迈向新世纪的革命性转变。四项伟大的发现,X 射线、电子、塞曼效应和放射性,把物理学引向了新世纪。下面,我们的列车打算在其中两项,电子和 X 射线处停一停。

人们研究稀薄气体放电时,发现真空管的阴极放出的东西,使气体产生辉光并能使遮挡物在阴极留下影子。一八九七年,克鲁克斯对这一现象作了深入的研究。人们对这一物质是粒子还是波展开了讨论。随后取得了实质性的进展。

一八九五年,在法国,让·皮兰证实了阴极射线是带负电的粒子。在一个充分抽空的放电管内产生阴极射线之后,他把这些射线引入法拉第笼,证明它带负电,它们能被磁铁偏转。

在电子被发现的时候,J.J·汤姆逊就任剑桥大学卡文迪许教授,时年二十八岁。汤姆逊在剑桥创造了一个极为成功的

学派。接二连三的新发现潮水般地从卡文迪许实验室涌出，电子、云雾室，放射性同位素等。从那里产生了大批著名科学家。

汤姆逊让电子加速，引入磁场，测出了电子的荷质比。用威尔逊云雾室测量了电子的电荷，算出了电子质量。有趣的是，汤姆逊因发现电子获诺贝尔物理学奖，而他的儿子则因证明电子具有波动性也获此殊荣。

在这里，你有机会看到，当物理学家遇到一种新现象时，是如何展开研究的。

一八九八年底，出现了另一项伟大的发现，那就是 W. C. 伦琴发现了 X 射线。

如果我们把放电从一个大的鲁姆科夫来感应圈通过一个希扶夫管或一个被充分抽空了的莱纳德管、克鲁克斯管或类似的设备，用一与管子配合略紧的薄纸板将管子遮起来，在一个全黑的房间里，我们观察到一个涂有氰化钡的纸屏变得明亮起来，发出荧光，不管是涂有氰化钡的一面或另一面朝着发光管，情况都是一样的。

这是伦琴那篇伟大的发现，平静的语气掩盖了兴奋和怀疑。伦琴还附寄了一张手的 X 射线照片。

那些早期收到伦琴论文的人，一读完他的论文立即跑进实验室，重复伦琴的实验，他们都成功了。

到一八九六年元旦，发现 X 射线的新闻已在全世界引起了巨大的轰动。人们对这 X 射线是多么的惊讶；几乎对任何东西都是透明的，用它可以看清自己的骨骼。

一九〇一年，伦琴获得了第一个诺贝尔物理学奖。

塞曼效应是钠原子在磁场中，原来的谱线分裂成两条。放

射性则是一些不稳定的原子可以放出一些粒子来。这一切表明,物质世界是由更基本的东西组成,有着复杂的结构,我们需要新的理论。

一朵不祥的乌云

本世纪之交,一位物理学家曾不无自豪地说,物理学大厦已基本建成,剩下的只是修修补补的零活了。确实,牛顿力学的绝对地位已不可动摇,它已构成了技术的基础,并且它经过拉格朗日、哈密尔顿已成为相当抽象的体系。电磁学已被完美地表达在麦克斯韦方程组中,赫兹用实验证明了电磁波。热力学或许是物理学中最牢固的支柱之一,已被表述成两个最基本定理,一是能量的转化和守恒,另一个是热力学第二定律即,不可能制造一部机器,能从单一的恒热源提取能量全部转为机械能而不产生任何其它变化。热力学的推论是微妙的,都是绝对正确和具有结论性的。这一切的确会让一位物理学家踌躇满志。不过,那位物理学家同时表示了一种忧虑,物理学大厦上空还漂着两朵乌云,一朵是黑体辐射,另一朵是关于以太的实验。其实,那何止是乌云,它荡涤了整个物理学的基础,导致了量子力学和相对论的革命。

自然,我们的列车要稍微停顿一下,看看新的观念是如何引入物理学的,这将成为我们探究上帝问题的基本词汇。

黑体是完全吸收落在它表面的电磁辐射的物体。空腔的开口,就好象一个黑体。黑体的辐射率,即单位面积的辐射功

率,是一个与材料无关仅与温度和电磁波的频率有关的量。统计力学可以推出辐射率作为温度和频率的函数,很多当时著名的理论物理学家,如玻尔兹曼、维恩等都做了这件事,但都以失败而告终,因为他们以预言了一个无限大的总的发射率。

M. 普朗克也在深入思考这一问题。这位德国物理学家是经典热力学的大师。同其他人一样,他得不到与实验一致的结果。他将电磁场的能量写成 $\epsilon = n \cdot h \cdot \nu$, ϵ 是能量, ν 是电磁波的频率, h 是常数, n 是正整数,也就是电磁场的能量是一个个有限的能量量子的集合,而不是象经典力学那样能量可以取任意小的值,普朗克立即发现他的公式完美地与实验结果一致。普朗克的论文发表于一九〇〇年,这个公式里包含有 k , 玻耳兹曼常数, h 普朗克常数, c 光速。根据热力学可以得到 h 和 k , 再用这些值可以计算出电子的电荷和阿伏加德罗常数。这个理论在如此广阔而分散的领域里建立起了美妙的联系。

普朗克首先引入能量不连续的概念,具有深刻的革命性,引起了自然哲学的变革。正如爱因斯坦所说:“我所有使物理学理论基础适应这些新的概念的企图完全失败了,就好象大地已被从一个根本没有坚固基础的建筑物底下移开了一样”。而普朗克,一个保守的物理学家,却一直试图用不革命的想法去理解它。后来,他回忆道,“我徒劳无益的使基本的量子论和经典理论一致的企图继续了许多年,花了我极大的精力。我的同行中的许多人几乎把这看成悲剧,但我对它的看法却不同。因为,我从这个工作中得到的对我的想法的深刻澄清,对我有极大的价值。现在我的确知道,作用量子的基本意义比我原来

所想象的要大得多”。

不过，一开始普朗克就知道他的发现的重要性。据说，在一次散步时，普朗克告诉他儿子，他发现了可以与牛顿的发现相比拟的东西。普朗克以他这一革命性的发现而获得一九一八年的诺贝尔物理学奖。

爱因斯坦——新观念

在人们的心目中，爱因斯坦是物理学的化身。我们小时候就知道这么个伟大人物。爱因斯坦本人直接参与了本世纪的两次科学革命：量子力学和相对论。而且，无疑地他的思想对第三次科学革命——混沌有重要的意义。

爱因斯坦常称呼上帝“老家伙”。在一九〇五年到一九二五年间丰富的创造岁月中，他似乎有一条通向“老家伙”的热线。尽管这条热线在以后的岁月中令人不解地变得只能让他听见“老家伙”的微弱声音了。在我们关于上帝的故事中，我决定为爱因斯坦单辟一节，毕竟，关于上帝的意志，他可能比谁都知道得更多。

一八七九年三月十四日，爱因斯坦出生于德国乌尔姆一个思想开明的犹太人家中。他父亲是电气工程师，但理财却很不成功。他的童年在苏黎世度过。尽管他在家中有聪明过人的种种早期表现，但在学校里的成绩却不出色，经常和老师发生冲突，受到老师的轮番虐待。一八九四年，他家迁至意大利的米兰。一八九六年，经历第一次考试不成功，爱因斯坦进

入了苏黎世工学院。他的数学老师是 H. 闵可夫斯基和 A. 赫尔维茨,都是第一流的数学家。不过,爱因斯坦没有从他们那里学到什么东西,而他们也没有对爱因斯坦予以重视。以至于后来闵可夫斯基说:“真难相信这个小伙子竟会干出这么漂亮的工作”。闵可夫斯基本人后来对狭义相对论有重要的贡献。

此时,爱因斯坦已开始独立地思考现代物理学的重大问题,并通过自学受到启发,积累了知识。那期间,他同 M. 格拉斯曼结为好朋友,他后来成为著名的数学家。多亏了格拉斯曼的笔记,爱因斯坦顺利地通过了大学的毕业考试,不过即使这样,这一次考试也使他厌恶思考一切科学问题,而且达一年之久。

毕业后,爱因斯坦难以找到工作。他登了广告说,阿尔伯特·爱因斯坦持有联邦工学院物理学位,愿对物理学提供最透彻的讲解。他找了个家庭教师的职位。一天,一个名叫索洛文的学哲学的年青人顺着广告找到爱因斯坦,听他讲物理。爱因斯坦后来干脆建议索洛文不用听物理,而一起讨论问题。后来,哈比希特加入了这一行列。他们组成了一个奥林匹亚学院,并结下了终身友谊。他们一起读康德的《纯粹理性批判》,彭加莱的《科学与假设》等大量哲学名著。那时生活很艰苦,只有香肠和奶酪可吃,还得经常由爱因斯坦的小提琴助兴。

一九〇二年,在格拉斯曼的帮助下,爱因斯坦在伯尼尔专利局找到一份工作。这一工作很适合他。这时爱因斯坦已开始写物理文章,并向物理学年鉴投稿。

一九〇五年,爱因斯坦那超人的才华大放异彩。这年,三月、五月、六月,他写了三篇文章,其中每一篇足以使他流芳百

世。只有被瘟疫困在他母亲庄园的年仅二十三岁的牛顿才能有与之相比的春天。爱因斯坦的第一篇论文,是光量子的发现,作为一个小小的应用解释了光电效应。第二篇论文关于原子真实存在的布朗运动。第三篇论文,阐述相对论,由此导出著名的公式 $E=mc^2$ 。

爱因斯坦的文章题材大不相同,却有共同的特点,立志创新,谦虚坦率,所用数学简单明晰,运用不调和的逻辑推理,得到完全出人意料的结果。量子力学,广义相对论是我们的主题,在这本小册子的其他地方会有重要论述,我们这里将不详述。下面,我们来看看上面爱因斯坦的第三篇文章。

绝对时间已成幻影

麦克斯韦方程组解释了光的各种现象,看来还是不能摆脱自惠更斯波动说以来的以太的幽灵——光在一种极其精细的介质以太中传播。如果光在以太中传播,以太必定有某种效应。而迈克尔逊、莫雷以极其精密的干涉实验给出了零结果,光速不变。这是两朵飘在物理学大厦上的不祥的乌云中的一朵。

这一实验也许并没有在一九〇五年前对爱因斯坦产生影响,对他来说光速必定是不变的。还在苏黎世的时候,爱因斯坦就思考过,如果一个人与光一起运动,他会发现什么。他关于相对论的两个假设是:

(1) 相对性原理。

在一切惯性系中,物理定律是等效的。物理学定律无法区分两个相对以恒定速度运动的惯性系。惯性系是没有加速度的坐标系。

(2) 光速不变原理

在任何惯性系中,光速是一样的。

这两个假设导致了时空观念的革命。从这两个假设出发可以推出相对论的所有公式。

设坐标系 $X'O'Y'$ 以匀速速度 V 沿 X 轴方向相对于惯性系 XOY 作直线运动,那么,根据狭义相对论的基本假设可以导出,这两个坐标之间的变换关系。

$$X' = \frac{X - V \cdot t}{\sqrt{1 - (\frac{V}{c})^2}}$$

$$Y' = Y$$

$$t' = \frac{t - \frac{V \cdot X}{c^2}}{\sqrt{1 - (\frac{V}{c})^2}}$$

(c 是光速)

这就是著名的洛伦兹变换。可以看出, $X't'$, (反过来 X, t 一样) 不是互相独立的, 时间和空间通过洛伦兹变换联系起来了。因此, 没有绝对时间和空间, 牛顿的绝对时空观念已被摧毁。在这里, 时间具有相对性, 不同的坐标系中, 同一事件的时间可以不相同。

在相对论的质点动力学中, 能量和动量分别是:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - (\frac{V}{c})^2}}$$

$$\rho = \frac{mV}{\sqrt{1 - (\frac{V}{c})^2}}$$

质量和能量, 按照 $E=mc^2$ 的关系可以互相转换。比如, 一个核反应损失了 Δm 的质量, 相应它释放了 $E=\Delta mc^2$ 的能量。考虑到光速是巨大的, 因此, 核反应获释的能量是巨大的。

这一切太深刻了, 太具革命性了, 完全出乎人们的意料。一次有人对英国天文家 E. 爱丁顿说, 世界上只有三个人懂得相对论, 这位验证过相对论的一个预言的英雄人物不安地回答道: “我在想那第三人是谁呢?”

关于狭义相对论, 我们简单地就此搁笔, 这样, 我们负担就轻得多了。

光量子

爱因斯坦关于光量子的论文无疑是最伟大的科学论文,

它推理的简洁和威力都给人以深刻的印象。爱因斯坦大大推广了普朗克关于能量量子的概念。提出光量子假设,认为量子化是个基本的概念,特别是光即电磁场本身被量子化了。爱因斯坦讨论了光电效应,光化学效应,所有这些都能证实光量子的例证。后来,康普顿通过研究光与电子的散射,证实了光量子。后来在量子力学以后,光与物质相互作用的理论,量子电动力学被提出来了。这些都是物理学上最辉煌的篇章。

其后,爱因斯坦发展光量子概念对固体的应用。关于光量子的概念的发展,到一九一七年爱因斯坦用来阐明原子发光机制那里达到了顶峰。其时,量子力学还没有完成,另一位伟大人物N·玻尔的原子模型已经提出。关于原子如何发光,即光谱,玻尔的理论是含糊不清的。在这篇里程碑式的文章中,爱因斯坦放弃了经典的因果律,引入了概率。它隐含了现代量子力学的观念。其实,爱因斯坦的推理十分简单明了,却拨开了迷雾。爱因斯坦的这一理论成为现代激光技术的基础。而激光被公认为带来了技术的革命。

世界秩序的崩溃

爱因斯坦一发现相对论就试图推广到有相对加速度的系统中去,其间遇到的困难远非一般人能相象,无论是观念还是数学工具,当时没有一个物理学家知晓。好几次,爱因斯坦认为他达到了目的,但后来还是放弃了。

决定性的一九一四年来到了,爱因斯坦终于成功了。这就是广义相对论。同狭义相对论一样,爱因斯坦要寻找某种相对

性原理。他叙述说。

…然后,出现了我一生中最幸福的思想,形式如下。引力场只是以与电磁感应引起的电场相似的方式相对地存在着。因为对于从屋顶自由降落的观察者来说——至少在他的直接环境中——没有引力场的存在。的确,如果观察者落下几个物体,那么这些物体相对于观察者来说是处于静止状态或匀速直线运动状态,与物体的化学特性和物理特性没有关系。(在这个考虑中,空气阻力当然被忽略)因此观察者有权把他的状态解释为“静止”。

因此,爱因斯坦广义相对论中,在局部可以选择一个坐标系,来消除引力,在这一局部坐标系中狭义相对论是成立。不同的局部坐标系之间的相对加速度归结为空间的性质。这就是在广义相对论中,引力场的存在使空间发生了弯曲,引力场越强,时空弯曲得越厉害。平直的时空秩序崩溃了。

同狭义相对论一样,广义相对论是最具革命性的物理理论。你最终会发现,在谈论上帝的时候,我们不得不使用这些最具革命性的东西作为基本词汇。

在以后的岁月中,爱因斯坦来到美国的普林斯顿大学,沿着他的思路构造统一场论。

他认为上帝在创造这个世界的时候,一定会让这个世界显得和谐,美和对称、统一。在构造统一场论的过程中,他卷入了与玻尔之间的关于量子力学的论战。他显然在量子力学的主流之外。同样地他没有跟上四十年代核物理的进展。有人说,从专利局来的新物理学的指路明灯熄灭了,年轻的爱因斯坦已经死去。他的统一场论也从未成功。不过,他的洞察力,

他的思想远远超过了他同时代的人。当他生命快要结束的时候,他感慨地写道:“我完成不了它,但最终会重新记起”。一九五五年,四月十八日凌晨一点十五分,爱因斯坦安静地死去。

微观世界的奇遇

量子力学,经过普朗克、爱因斯坦、玻尔、德布罗意、薛定谔、海森堡、波恩、狄拉克、泡利等这些伟大人物的努力,终于在一九二七年形成了,这是人们在探索物质本原的过程中取得的重大理论突破。量子力学构成现代科学的基础。从物质结构、功能、性质,到新材料、器件的开发,从生命现象到天体过程无不是它应用的领域。我们的列车去追踪那段英雄辈出,激动人心的历史似乎是不太合乎时宜,我们关心的是在关于上帝是如何创造这个世界的问题上,量子力学透露了它什么样的密码。

第一件怪事

在宏观世界中,物体具有确定的空间位置,有限的大小。这对我们来说再熟悉不过了。例如,飞行中的子弹。宏观世界中还有另一种存在形式,它不局限于空间某一点,而延伸在空间中振动,这就是波。最好的例子是水面上的波。在宏观世界中,粒子性和波动性是区分得很清楚的,没有一个东西既是粒子又是波。在微观世界中,情况是怎样的呢?牛顿通过对光的

传播、反射、折射的研究,认为光类似于小球,这就是光的粒子学说。惠更斯通过研究光的衍射,认为光是一种波动。其实,这是微观世界的一种共性,波动性和粒子性的统一。任何只包含粒子性或波动性的努力都以严重的失败而告终,最终,人们接受波动性和粒子性的统一是微观世界的基本属性。一想到,竟有一种东西既象粒子局限在某个地方又象波延伸在空间中,人们心里就会有严重的不安。

物质波的假设最初由德布罗意在它的博士论文中提出。不过物质波思想的唯一父亲仍是爱因斯坦。德布罗意假设,质量为 m , 动量为 p 的粒子对应的物质波的波长是:

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

h 是熟知的普朗克常数。

对任何宏观物质来说, λ 一定很小,而对微观粒子来说,波动性立即显示出来了。一个动能为 10eV 的电子的德布罗意波长

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{\rho} = \frac{h}{\sqrt{2mE}} \\ &= 3.38(\text{\AA})\end{aligned}$$

一个质量为 10 克,以 5m/s 运动的乒乓球的德布罗意波长是:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = 1.33 \times 10^{-22}(\text{\AA})$$

证明微观粒子具有波动性的最著名实验,当数发现电子的汤

姆逊的儿子用电子产生的衍射图案。当你看到电子产生的那动人的衍射图案,一定感到惊奇和兴奋,上帝竟会如此慷慨地向我们展示它心中的秘密。

粒子性和波动性的统一和我们对于宏观世界的经验相去那样遥远,真是让人难以理解。这是许许多多量子世界奇怪事情的开始,上帝可真有两下子。

能准确知道电子在哪里吗?

微观世界的波粒二象性,可以导出一个著名的不确定关系,这就是不可能同时准确地知道一个微观粒子比如电子的位置和动量,写起来就是:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h$$

$\Delta x, \Delta p$ 分别是位置和动量的不确定度。

其实在经典波动力学中,我们知道:

$$\Delta t \cdot \Delta \nu \geq 1, \Delta x \cdot \Delta \lambda \geq \lambda^2$$

t 是时间, ν 是频率。

这一式子表明,为了得到一个孤立的波即位置很确定的波包,那就必须用很多波去叠加,即 Δx 越小, $\Delta \lambda$ 越大。要精确地测定波长 ($\Delta \lambda \rightarrow 0$), 就要等待无限长的距离 ($\Delta x \rightarrow \infty$)。同样,要精确地测定频率 ($\Delta \nu \rightarrow 0$), 就要测量无限长的时间。

在以上关系中,代入物质波的假设,便立即得到了不确定性关系。

你可能会争辨说,这可能是测量过程的缺陷。可能你注意到,我们的论证没有涉及任何测量过程,因此,这是微观世界

的基本特性。海森堡这一著名原理一发表,立即引起人们的热烈讨论。令人遗憾的是象爱因斯坦这样对量子力学作出重要贡献的理论家表示不能接受。

不确定关系那样简单的式子似乎给人一种印象,尽管不确定原理的观念是重要的,但这一关系式也许并没有多大用处。其实,不确定关系已渗透到微观世界的各个领域,是非常重要的和有用的,有时它的结果是人意料不到的。我们愿意看几例子。

对于一个质量为 10 克,正以 10cm/s 前进的小球,我们想知道它的动量不确定度会有大,

$$\frac{\Delta P}{P} \cong \frac{h/\Delta x}{P} = 6.6 \times 10^{-25}$$

我们取了 $\Delta x = 0.0001\text{cm}$,这已是相当好的精度了。可见,宏观物体的动量不确定是可以忽略不计的。

作为对比,我们来看看氢原子中处于基态电子的动量不确定度有多大。

$$\frac{\Delta P}{P} \cong \frac{h/\Delta x}{P} = \frac{hc}{mc^2 \alpha \Delta x}$$

取 $\Delta x = r_1 = 0.53 \text{ \AA}$ (玻尔半径),

$\alpha = \frac{e^2}{hc} = \frac{1}{137}$ 是精细结构常数。代入数值,

$$\frac{\Delta p}{p} = 6.3$$

可见,对于微观世界,不确定性原理多么重要。

我们看看在以下几个例子中,不确定关系是如何发挥作用的。

1. 束缚粒子的最小平均动能。

假设粒子被束缚在线度为 a 的范围内。即 $\Delta x = a$ 。那么，

$$\Delta p_x = \frac{h}{2\Delta x} = \frac{h}{2a}$$

$$\Delta p_x = \sqrt{[(p_x - \bar{p}_x)^2]}$$

(“ $-$ ”表示平均值, p_x 是 x 方向上的动量)

Δp 的定义是动量的均方差。对于束缚在空间的粒子, 其动量的平均值必定为 0。对于三维空间,

$$\overline{p_x^2} = \frac{1}{3} \overline{p^2}$$

于是, 我们可以得到最小平均动能

$$E = \frac{\overline{P_x^2}}{2m} = \frac{3h^2}{8ma^2}$$

可见, 不论束缚的形式如何, 粒子的平均动能决不会为零。事实上, 如果动能为零 $\Delta p = 0$, 不确定关系导致 $\Delta x \rightarrow \infty$, 粒子怎么会被束缚住!

2. 电子不能落入核内。

原子中, 作圆周运动的电子为什么不会辐射能量落核内? 不确定关系可以对此作出回答。

当电子离核越近, 电子的位置不确定度由原子的线度 ($\text{\AA} = 10^{-8} \text{cm}$) 过渡到原子核的线度 ($fm = 10^{-13} \text{cm}$)。根据不确定

性关系,电子的动量的不确定性变大,它的平均动能越来越大。例如,电子的运动范围从 $1\text{\AA}$ 到 $3fm$ 时,它的平均动能将从 $10ev$ 量级增大到 $10Gev(10^{10}ev)$ 。电子从哪里能得到这么大的能量? 因此,电子不能靠近原子核,更不能落入原子核内了。

3. 量子密码

银行、军事、经济部门对某项东西保密,通常的作法是设置一个密码,只有知道如何打开密码才能获得其中的秘密。这通常是一些间谍小说中的精彩片断。你可以这样设想既然能设置密码,对一个不知道密码的人来说,他总有可能解开它。对于通常的密码来说这是对的。可是,对量子密码来说,他做不到这一点。原因是这样的。当他遇到一条量子密码的时候,他不知道如何解开它。象通常的情形一样,他要寻找解开密码的办法,他要对量子密码作一些实验。这时不确定性关系起作用了。除非他准确地知道全部密码,否则他在实验中就破坏了其中的信息,无论他是多么小心都不能避免发生这样的事情。量子密码可以说是绝对安全的密码,目前正在研究如何开发其商业应用。总会有一天,你可以永久地保守一个秘密。

不确定性原理的确是个奇怪的原理,奇怪在于,上帝竟会以这种似乎没有意志的方式来表达它的意志。

硬币的正反面

玻尔为了理解波粒二象性,提出了互补性原理。他认为,波动性,粒子性二种图象不会在同一次测量中同时出现,它们

不会在同一实验中直接冲突。但这两种图象在描述微观现象，解释实验时都是不可缺少的，丢掉任何一个都是不行的，在这种意义上，它们是互补的。

对互补原理比较概括的解释是：我们用经典概念来描述微观世界时，一些经典概念的应用不可避免地排除另一些经典概念的应用，而这些经典概念在另一些条件下又是描述现象不可缺少的；必须将这些互斥又互补的概念综合在一起，才能给出所有现象完整而自洽的描述。从量子过渡到经典现象，只有这些概念互斥的一面留下了，它们不互补地保留在经典现象中。

玻尔经常举一个简单的例子，一个硬币有正、反面，我们每次只能看到某一面，而看不到另一面，当我们看过正反面后，我们对硬币有一个完整的认识。

在中国古代，阴阳互补似乎是个基本的观念，只要你留意一下任何一张太极图，你就会体验到这一点。而在西方，互补的观念似乎是革命性的。

互补性原理，作为对量子力学的哲学观念和方法论的理解，成为以玻尔为首的哥本哈根学派对量子力学解释的一部分。不过，谁也不能肯定这是最后的解释。谈论对上帝所做的事情的时候，我们得小心谨慎。

最富传奇色彩的人

W. 泡利是那个激动人心时代的主要理论物理学家，也是最富传奇色彩的物理学家。他具有严厉的批判眼光。要是哪

个城市的实验出了问题,人们便会开玩笑说,一定是泡利来了。泡利具有深刻的洞察力,他对人的批评经常是不留任何情面,但通常是正确的,而且他的评论是站在整个物理学的高度上。关于泡利的趣事很多,有人针对泡利的这一点编了个笑话,说泡利死了,升入了天堂,上帝考虑到他是位理论物理学家,便恩准泡利见它一面,并允许泡利提几个问题。泡利问上帝,精细常数是怎么回事,

($\alpha = e^2/2\pi\hbar \cdot c = 1/137.0359895(61)$ 这一常数由四个常数 $e \cdot \pi \cdot \hbar \cdot c$ 组成。)上帝毫不犹豫地在黑板上写。起初,泡利还直点头,后来开始皱眉头,最后说:“那不可能是那样”。你看,上帝也会遭泡利的批评。这位聪明绝顶的泡利晚年不无惋惜,在那个轰轰烈烈的时代,他自己做得太少了。

泡利不相容原理说,在原子内部,不可能存在两个完全相同的量子态。因此,电子在原子核外的排布要满足泡利不相容原理。泡利不相容原理是理解物质性质、结构的基础。没有泡利不相容原理,便没有元素周期表,没有中子星,没有多样的物质世界。这确实是上帝使得这个世界丰富多彩的秘密之一。

无所不包的波函数

在宏观世界里,我们知道,描述一个物体的运动,只要知道它在任何时刻的位置和动量,它的状态也就确定了。例如,在抛体或自由落体运动中,由运动学定律,我们可以知道它任何时刻的位置和动量,我们也可以绘出它的轨迹。在微观世界中,由不确定性关系,我们不可能确切地知道,在某一时刻一

个微观粒子在哪里,它运动有多快,因此,谈论一个微观粒子的轨迹是没有意义的。轨迹是个经典的概念。那么,关于微观粒子的状态,我们能说什么呢?那就是,微观粒子的状态是用一个称为波函数的量表示的,知道了波函数便知道了一切。这可真是个奇妙的观念。这个奇妙的波函数究竟是什么呢?

量子力学的第一基本原理。

量子力学的态用波函数表示,波函数绝对值的平方表示概率密度。

设一粒子的波函数是 $\varphi(x, t)$, x 表示位置 t 表示时间。根据这一原理, $|\varphi(x, t)|^2 \Delta x \cdot \Delta t$ 表示在 $[t, t + \Delta t]$ 时间内,粒子处 $[x, x + \Delta x]$ 内的概率。通常将这一概率写成

$\varphi(x, t) \varphi^*(x, t) \cdot \Delta x \cdot \Delta t$, $\varphi^*(x, t)$ 是 $\varphi(x, t)$ 的复共轭。 $\varphi(x, t)$ 在这一意义下也称为几率幅。你可以想象,

画出 $|\varphi(x, t)|^2 - X$ 的图(以 X 为横轴, $|\varphi(x, t)|^2$ 为纵轴)与通常的统计报表上的统计直方图没有两样,表示在某一位置的百分数。

波函数的这一解释归功于德国的物理学家 M. 玻恩。玻恩是格廷根大学的数学物理教授,泡利、海森堡当过他的研究助手。海森堡在他以前获诺贝尔奖。在这以前,薛定谔已得到著名的以他名字命名的方程,他把波函数解释成粒子数,但立即招致了困难。玻恩的解释可以说是量子力学发展过程中的一件最漂亮的事情,是哥本哈根学派量子力学解释的核心部分。这表明量子力学是个彻底的统计理论,单个粒子的行为本质上是统计的。波函数的这一解释使得波函数具有一些很不寻常的性质。首先,波函数必须是单值平方可积的。这就是在

整个空间的每一点上,波函数给出的概率密度必须是一致,没有歧义的。在整个空间里波函数给出的几率是 1。其次,在波函数前面乘以任何一个常数因子或相位因子 e^{ie} ,物理结果完全一样。这是因为,重要的是相对概率,相位因子在绝对值或作复共轭运算时自然消失。这一切使得波函数与经典意义上的机械波有着本质的区别,它不是任何意义上的经典波,而是一种概率密度波。下面的例子是有帮助的。

自由粒子

自由粒子的波函数就是一个自由传播的波,其函数是,

$$\varphi(x,t) = Ae^{\frac{i}{\hbar}[(p \cdot x - E \cdot t)]}$$

A 是任意常数, i 是虚数单位, p 是动量, E 是能量。

自由粒子具有确定的动量 ($\Delta p = 0$), 而其位置完全不确定 (在空间自由传播) $\Delta x = \infty$, 因此, 不确定性关系是满足的。

根据波函数的解释, $|\varphi|^2 = |A|^2$, 粒子出现在各处的几率是一样, 即它的位置是完全不确定的。

盒中的粒子。

把盒子视为在 $x=0, x=a$ 处的一个无限高的壁。粒子不能跑到外面去, 在壁内粒子是自由运动的。

图 10—14

这一例子的波函数和能级是。

$$\varphi = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{n\pi x}{a}$$

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8ma^2} (n = 1, 2, 3, \dots)$$

这一结果还可以由驻波条件推出。

图 10-15

由于在 $x=0, a$ 处是壁, 粒子不可能跑到壁外, 因此, 波函数在此必定是波节。那么粒子的波要存在下去, 必定满足下面的驻波条件。

$$n \cdot \frac{\lambda}{2} = a \quad , (n = 1, 2, 3, \dots)$$

代入德布罗意公式和非相对论的公式

$$p = \frac{h}{\lambda}, E = \frac{P^2}{2m}$$

得到与前面一致的结果。

$$E_n = \frac{n^2 \cdot h^2}{8ma^2}$$

$$E_1 = \frac{h^2}{8ma^2}, \frac{E_n}{E_1} = n^2 \quad \frac{E_n - E_{n-1}}{E_n} = \frac{2n - 1}{n^2}$$

最低能级 $E_1 \neq 0$, 即使在绝对零度, 粒子的动能也不为零, 粒子永远处在运动之中。

在经典领域,束缚的波出现以上的量子化条件即驻波条件,熟悉音乐、吉它、钢琴的人是熟知的,而一旦波与粒子联系起来,便带来了经典力学无法解释的现象。在量子力学中,求解波函数的薛定谔方程,便可立即得到以上波函数和量子化的能级公式,这真是一件奇妙的事。

你可能注意到,这里最低能级公式与用不确定关系得到束缚粒子的最小平均动能是一样的。在那里,我们断言,这一结果与束缚的方式无关。

图 10-16

从能级公式,可以看出,能级以量子数 n 的平方增长,而能级的相对间隔却以 $\frac{2}{n}$ 的方式减小,当 n 很大,可以认为能量间隔是连续的,量子力学回到经典力学。这是一种对应原理。

对应原理在量子力学发展的过程起过一定的作用。但是,有些现象是纯量子力学的,没有经典对应物,我们将在后面遇到。

下面是 $n=1, 2, 3$ 时,波函数 $\varphi(x), \varphi^2(x)$ 的图象。可见, n 不同, $\varphi^2(x)$ 的图像有很大的不同。这和经典的图象完全不同,经典力学认为粒子在盒子中自由运动,各处的概率是一样的。当 n 很大时, $\varphi^2(x)$ 振荡非常厉害,可以认为回到了经典极限。

盒子中粒子是量子力学中一个最本图象,它很简单,却能说明很多问题。这是物理学家思考问题的一个基本方法,你从中受到了启发吗?

波函数的奇妙性质

量子力学的另一条基本原理是态的叠加原理。我们已经知道波函数的统计解释。一个事件发生的概率等于波函数的绝对值的平方。

$$p = |\varphi|^2$$

现在,我们假定,一事件发生,用初始状态 i 到终了状态 f 的跃迁,即:

$$p = |\langle f|i \rangle|^2$$

$\langle f|i \rangle$ 表示波函数。 $\langle | \rangle$ 是狄拉克的创造,这位强调美学观念的物理学家这一发明,给量子力学的运算带来了极大的方便,显得十分对称简洁和优美。

态的叠加原理可以表述为:如果发生在 i 态和 f 态之间的跃迁存在着几种物理上不可区分的方式,则相应的几率幅为:

$$\langle f|i \rangle = \sum_n \langle f|i \rangle_n$$

Σ 表示求和, n 种不可区分的方式。

态的叠加原理是量子力学的一条基本原理,无法从更基本的原理推出它,我们只能用实验来证实。下面的实验是量子力学中最奇妙的实验。

不可思议的双缝

双缝实验是人们百谈不厌的奇妙实验,量子力学的核心观念包含在这里。

双缝干涉实验由英国的杨氏早在一八〇一年作出,并用光的波动说作了满意的解释。

在光源 S 后放两个与 S 等距的小缝,小缝相距很近,使得从 S 发出的光,到达双缝后形成相干光源。屏上将形成明暗相间的色带。

现在,我们在 S 上放一电子枪,一个一个地发射电子。想想看,会有什么结果。我们可以设想,电子作为一个粒子,一次只能通过其中的一个缝。一个电子通过一个缝对下一个电子通过哪一个缝不会有任何影响。这样,得到的结果就应该是单独打开缝 1,缝 2 的叠加,并不存在任何干涉效应。

可是,结果正好相反,出现了干涉图案。这完全出乎人的意料。这说明缝 1 和 2 在同时起作用。一个电子同时穿过缝 1 和 2。到目前为止,人们在 $10^{-16}cm$ 尺度内,尚未发现电子有任何结构,电子的半径至少小于 $10^{-16}cm$,电子岂有分身术?

如果想探测电子从哪个缝穿过,那就不可避免地破坏干

涉图案,这可真让人伤透脑筋!

图 10—17

可用态叠加原理来解释双缝干涉实验。

缝 1, 缝 2 的作用物理上是不可区分的, 那么, 波函数写

为：

$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ 概率是：

$$\begin{aligned} P &= |\varphi_1 + \varphi_2|^2 \\ &= (\varphi_1 + \varphi_2) \cdot (\varphi_1^* + \varphi_2^*) \\ &= |\varphi_1|^2 + |\varphi_2|^2 + \varphi_1^* \varphi_2 + \varphi_2^* \varphi_1 \end{aligned}$$

后面的两项即是干涉项。因此，当缝 1、缝 2 的物理作用是不可区分的时候，不可避免出现干涉图案。当区分缝 1 和缝 2 的作用时，干涉就随之消失。

双缝的干涉实验激起的兴趣还没有完。清晰的电子双缝干涉图案直到一九八九年才得到。现在，还有人研究宇宙尺度的双缝干涉实验，他们用从遥远的星体发出的光作为光源，这些实验都企图来检验量子力学的核心观念，这对下一步物理理论至关重要。

新的语言

我们知道了波函数的解释，也了解到对于微观粒子它在哪儿，运动有多快不可能同时有精确的意义。我们是通过仪器来认识微观世界的，我们仍然希望知道一个粒子的位置，动量和角动量，不过是它们的平均值。知道了波函数，便可求出这些力学量。

$$\begin{aligned} \langle x \rangle &= \int x |\varphi(x, p)|^2 dx \\ \langle p \rangle &= \int p |\varphi(x, p)|^2 dx \end{aligned}$$

$\langle \rangle$ 表示平均值。

这是显然的,既然波函数是几率幅,那么,得到诸如位置,动量等力学量,就是概率论中的求平均。

可见,在量子力学中,由于波函数是最基本的量,要得到一些力学量需要对波函数作一番运算,这远没有经典力学那样直接。我们所需要的任何信息,都可以对波函数作适当的运算而得到。在量子力学发展的时候,对量子力学有用的数学已发展得相当完美,这就是 *Hilbert* 空间理论。*Hilbert* 就是那个提出著名的二十三个问题的大数学家。

人们找到了合适的数学工具,即把以上求力学量等价于对波函数作相应的运算翻译成数学即是力学量用线性厄米算符表示。算符就是对波函数所作的那种运算,积分后正好给出相应的平均值。线性的意思是指下面的性质成立。

$$A(\alpha\varphi_1 + \beta\varphi_2) = \alpha A\varphi_1 + \beta A\varphi_2$$

α, β 是常数, A 是算符, φ_1, φ_2 是被算符作用的东西,这里是波函数。

厄米的意思是力学量都是实数,复数是没有任何意义的。力学量的算符表示我们可以写出:

$$p \rightarrow \hat{p} = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$$

$$T \rightarrow \hat{T} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad (\hat{} \text{ 表示是个算符})$$

$$E \rightarrow \hat{E} = i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$$

有些可能对你来说是奇怪的符号,你立即会弄清是什么意思。

$\frac{\partial}{\partial x}$ 放在一个函数前面表示对它的 X 变量求一阶导数,这时将其它变量视为常量,在求导过程中不变。如:

$$\frac{\partial}{\partial x}(X^2) = 2X$$

$\frac{\partial^2}{\partial x^2}$ 放在一个函数前表示对函数的 X 变量求二次导数。如

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}(x^2y) = \frac{\partial}{\partial x}(2xy) = 2y$$

动量算符写成, $\hat{P} = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ 是因为波函数中必须含有 $\exp[\frac{i}{\hbar} P \cdot X]$ 项,因此,波函数经过动量算符作用后正好出现一个 P ,代入积分公式代入前面的公式正好给出动量的平均值。

动能算符 $\hat{T}$, 是动量算符的平方,即连续两次作用的结果。

能量算符的解释是一样。波函数中含有 $\exp[-\frac{i}{\hbar} E \cdot T]$

项,所以,经 E 作用后给出能量。

量子力学的这种力学量的表示与经典力学有很大的不同。这使得初学量子力学的大学生开始时感到头痛,因为算符的理论只有到了研究生阶段才开始学,这是正确的。其实,在量子力学中,波函数是基本的量,我们从波函数得到力学量的时候,应当对波函数作某种相应的运算,把这个力学量从波函数“投影”出来,积分后就得到了该力学量的平均值。于是,每个力学量都有一个对波函数所作运算的表示,这是相当自然的。

力学量的算符表示立即带来巨大好处, *Hilbert* 空间理论成为量子力学的主要工具。这使量子力学表述起来简洁、优美, 数学基础坚实, 威力巨大。另外, 正是由于量子力学的推动, 算符理论取得了很大的发展。

$$AB \neq BA$$

力学量用算符表示, 有一个重要性质, 即, 对波函数的作用的次序是重要的。例如,

$$\begin{aligned} & (\hat{x} \cdot \hat{p})\varphi(x \cdot p) \\ &= \hat{x}(-i\hbar \frac{\partial}{\partial x}\varphi(x \cdot p)) \\ &= -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}\varphi(x \cdot p) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (\hat{p} \cdot \hat{x})\varphi(x \cdot p) \\ &= -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}(x \cdot \varphi(x \cdot p)) \\ &= -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}\varphi(x \cdot p) - i\hbar\varphi(x \cdot p) \end{aligned}$$

可见

$$(\hat{p}\hat{x} - \hat{x}\hat{p})\varphi(x \cdot p) = -i\hbar\varphi(x \cdot p)$$

我们记:

$$[\hat{A}, \hat{B}] = \hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A}$$

所以有

$$[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$$

这表明算符作用在波函数上的顺序是重要的。 $i\hbar$ 是与任何具体波函数无关的量。这一式子称为量子力学的基本对易关系。对易是交换的意思。如果对易式是零,那么这两个算符是交换的,作用在波函数上的顺序是不重要的。

对易关系表明,位置和动量不可能同时准确地测量。很显然,能同时准确地知道位置和动量,应该与作用在波函数上的次序无关,而这对位置和动量这对量是不可能的。

从基本的对易关系可以立即推出海森堡著名的不确定关系。两个量同时具有精确的值的充要条件是它们互相对易。

对易关系是十分深刻的。在量子场论中起着基本作用,与爱因斯坦的因果律有关。

薛定谔方程

到现在为止,我们还没有对波函数如何随时间变化说些什么。波函数随时间的变化是由薛定谔方程描述的。这是微观世界最重要的方程,一切微观现象如原子结构,原子核结构,激光,都由这一方程描述。

在总的能量等于动能和势能之和中,

$$E = T + V$$

将

$$\hat{E} = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \quad \hat{T} = \frac{-\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad \hat{V}(X) = V(X)$$

代入即有:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t}\varphi = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(X) \right] \varphi$$

这就是著名薛定谔方程。

薛定谔是波动理论的专家,受到爱因斯坦,德布罗意的物质波思想的启发,通过与波动理论的类比得到了这一方程。几乎同时,海森堡发展了量子力学的矩阵形式,后来,薛定谔证明两种形式完全等价。薛定谔的方法更容易为当时的物理学家们所掌握,而象伟大的费米运用海森堡的方法亦感到困难。你别以为这一方程可以从更基本的原理推导出来,物理学家们能做的就是接受它为微观世界的基本方程,通过实验去证实它的正确性。

整个微观世界现象的描述便归结为求解这一方程。令人惊奇的是上帝此时并不慷慨。海森堡在得到他的矩阵力学的那一晚上,先是一系列简单的计算错误,后来竟是上帝慷慨地向他展现原子世界的秘密,深夜的时候,他走到街上,心情说不出的喜悦。薛定谔方程在只有少数情形,如氢原子,量子谐振子,方势阱才有精确解。大多数情形,没有精确解,物理学家只能发展近似方法,用计算机来计算。一想到自然界的一切最终要归结到量子理论,你可以认为,薛定谔方程肯定包含了比我们现在知道的多得多的东西。当你读到后面的混沌革命的时候,你的这种感觉就越发加深。

引人注意的是,尽管量子力学是个彻底的统计理论,但波函数的演化是决定论的,给定了初始条件,波函数就可以由薛定谔方程计算出来。

求解薛定谔方程要用到微分方程的理论和算符的理论。

如果你愿意的话,你将在作为大学物理系的核心课程的量子力学中学习如何求解薛定谔方程。这将成为你探索物理学的基础。

隧道效应

作为一个应用,我们考虑粒子对方势垒的穿透

图 10—18

当入射粒子的能量 E 低于 V_0 时,按照经典力学,粒子不能进入势垒,将全被弹回。量子力学的结论是什么呢?

可以求解薛定谔方程来得到答案,我不打算做这件事,而

是直接给出结果。下图是波函数的图象。

图 10-19

由此可见,在区域Ⅲ,波函数并不为零,最初在Ⅰ区的粒子可能穿过Ⅱ区,跑到无穷远处。可以算出粒子从Ⅰ区到Ⅲ区的穿透几率,

$$P = e^{-\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(V_0 - E)} \cdot D}$$

或者

$$\ln P = -\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(V_0 - E)} \cdot D$$

$\ln P$ 是自然对数

从这一式子可以看出,粒子动能越大, P 也越大,势垒的厚度越大(D), P 越小。 D 和 E 对穿透几率的影响呈指数关

系,十分灵敏。 G . 伽莫夫首先导出了这一关系,并用此解释了原子核发生 α 衰变的实验事实,这是经典力学无法解释的。

量子力学的这一效应称为隧道效应。隧道效应不仅具有重要的理论意义。例如,以上的例子。还有,当粒子在隧道中行驶的时候,发生了什么事情,我们实际上是不知道的,量子力学也不能告知,所以,人们常把隧道效应当成一个例子说明粒子可能在虚时间中行驶,启发人们的想象。

隧道效应具有重要的技术应用,利用这一效应,可以制造出具有原子显象能力的扫描隧道显微镜。

由于隧道效应,金属中电子并不局限于表面以内,在表面以外,电子密度呈指数衰减。当用一个金属探针,对着金属表面,而不接触金属表面,并加电压,就有电流通过探针。根据穿透几率公式, D 以 $\text{\AA}$ 为量级, V 以 ev 为量级。当 D 变化 $\text{\AA}$ 量级,隧道便产生数量级的变化,十分灵敏。当探针在表面扫描时,处理隧道电流,就可以得原子的图象,表面的平台,微结构等的图象。这项成果获得了诺贝尔物理学奖,再次表明物理学是门实验科学,它会带来重大的技术进步。

上帝真的在扔骰子吗?

一个全新关于微观世界的理论已经建成。我们确信,它包含了上帝创造世界的秘密的一部分,也是我们寻找上帝全部秘密的出发点。科学史学家认为量子力学是科学革命的一个典型例子。很难相信,物理学还会有这样的英雄时代。

我们上中学时从教科书上就知道了物理学是一门什么样的学科。其实,物理学是由物理学家形成的。不同的物理学家,他们视域、兴趣、观点、研究风格会有很大的区别。关于这一点,读一读费米、泡利、玻尔、狄拉克、爱因斯坦、费曼、朗道等这些大师的传记、文集,会给你留下深刻的印象。

量子力学的解释,称为哥本哈根解释已是标准的解释。但是,关于量子力学解释的争论从未停止过。

一九二七年九月,在一次国际理论物理学会议上,玻尔第一次正式提出互补原理,当时人们对此理解不深。一个月之后,在第五次索尔维国际物理学会议上,玻尔再次阐明互补原理。爱因斯坦参加了这次会议。玻尔刚讲完,爱因斯坦站起来明确表示他不喜欢这一原理。从此便开始了他们之间数十年的著名论战。他们之间的论战分为两阶段。一九三〇年的第六届索尔维会议标志第一阶段的结束。在这一阶段,爱因斯坦针对不确定关系,互补原理提出了种种非难,力图指出量子力学在逻辑上的矛盾,是一个不自洽的理论。在那次会议上,爱因斯坦提出了著名的光子箱的思想实验,玻尔陷入了高度的紧张,而爱因斯坦似乎胜券在握。当时,他们一同去散步,人们看见爱因斯坦一个高大的身影,而玻尔低着头紧跟其后,还嘟囔着,“你们别相信它,否则,世界的末日就要来了”。玻尔彻夜不眠,当爱因斯坦第二天醒来时,玻尔已能用爱因斯坦的相对论彻底击败爱因斯坦。这样,爱因斯坦承认量子力学是个正确的理论。在第二阶段论战中,爱因斯坦认为量子力学不是一个完备的理论,并非最终的理论,而以玻尔、海森堡为首的人则认为量子力学是一个完备的理论,其数学、物理基础不容作进

一步的修改。

这一争论在六十年中经历了一次小的高潮，八十年中又经历了一次小的高潮。

费曼在他的《费曼物理学讲义》中，说量子力学“非常可能永远如此，非常可能永远无法解释这个疑难，非常可能自然界就是如此”。而狄拉克一九七二年在一次量子力学发展会议上作闭幕词时，这样说：“非常可能，从现在的量子力学到将来量子力学的修改，会像从玻尔的轨道理论到目前的量子力学的修改一样剧烈。当我们作出这样的修改以后，我们用统计计算对理论作出物理解释的观念可能会被彻底地修改”。

由于受到宇宙学、基本粒子物理学，广义相对论的推动，关于量子力学的解释也许会取得大的进展。

这里，你可以看到物理学家眼中的物理学，对物理学如此基础的东西，他们的见解竟如此不同。不过，量子力学无论从什么意义上都是科学的伟大胜利，它确实探及到上帝创造这个世界的秘密的核心部分。我还想说，我无意鼓励你去思考这些问题，毕竟这太基础，太深奥了。

基本粒子

大约一九二七年，量子力学已基本完成。这一理论吸引了当时大部分物理学家。当时，人们只知道原子、电子、 α 射线、 x 射线等这些粒子。还不知道原子核是什么组成的。面对茫茫的大千世界，人们所知竟如此之少。另一方面，爱因斯坦发表了广义相对论。广义相对论是关于引力的经典理论。在星体的形成、宇宙的结构问题中引力的作用是最主要的。提出广义

相对论后不久,爱因斯坦提出了宇宙的静态模型。这个模型断言,宇宙既不会增长,也不会消亡,宇宙从来就有。

你看,关于上帝是谁,它如何创造这个世界的,人们能说些什么呢?大概只能说,上帝创造了宇宙,然后就让它永远在那里。上帝用电子、原子创造物质,这些奇妙的秘密都隐藏在量子力学里,这个物理世界的多样性也隐藏在那里。除此之外,恐怕便别无他言。

人们正热切地期望新的理论会带来意想不到的收获,一个新时代不久就会到来。一九二八年,狄拉克提出了相对论的量子力学,这个不知从哪里飞出来的理论预言了正电子——一个与电子电荷相反,其它性质完全相同的粒子。一九三一年,安德逊在宇宙线中发现了正电子。一九三二年,查德威克发现了中子,海森堡立即提出原子核是由质子和中子组成的,这样,原子的结构便有了完整的模型。一九二九年,天文学家哈勃甚至发现宇宙在膨胀!这几年的发现令人目瞪口呆。新的时代到来了,现代粒子物理学的时代和现代宇宙学的时代。前者探索物质世界的基本组成单元以及它们之间的相互作用,后者研究宇宙的起源和演化。

下面,我们一起去基本粒子世界去漫游,在经历前面几乎压得人喘不过气来的新奇观念的洗礼之后,这次漫游当是别有一种感觉。我们要看看粒子的家谱,它们的奇妙性质,是如何相互作用的,我们还要去聆听大师们的教诲,去看看他们撰写了什么样的上帝的故事。

基本粒子家族

人们希望知道纷繁复杂的世界的基本组成单元是什么。对于我们的问题,则是上帝在创造物质世界的时候,是不是选择比物质世界的各种形态的数目少得多的东西作基本的组元。现在,我们相信基本粒子是组成物质的基本单元。不过。随时间的推移,以前被认为是基本的粒子,可能后来发现不是基本的。如十九世纪,人们认为原子是基本的,不可分的,后来发现原子是由更基本的粒子组成的。可见,在我们断言上帝选择哪些东西作基本单元的时候,是要承担风险的,这和我们的认知水平有关。

从一九三一年到现在,发现的基本粒子很多,物理学家能够对它们进行分类。粒子分成一个一个的家族,这就是光子、轻子、介子和重子,其中介子和重子合称为强子。本书附表给出了现在已知的基本粒子,这里仅是寿命超过 10^{-20} 秒的(这对基本粒子来说算是长命的。),否则,数目将超过八百之多。

光子

光子是我们最熟悉的。我们最初知道的粒子性,波动性,黑体辐射,光电效应都是指光子。我们能看到五颜六色的世界也是光子的性质。光子传递电磁相互作用,其静止质量为零,不带电荷,这使得光子具有特殊的性质。狭义相对论中的一个假设便是,光速在任何惯性系中是相等的。物质和反物质(电

荷与正物质的相反,其它性质相同。)碰在一起消灭后,产生光子。原子内部电子的能级的跃迁,也会释放光子。用光子来传递信息的光计算机可以达到最快的计算速度,最小的能量损耗。激光唱机以其高保真度,清晰无比的音质以及永不磨损的品质成为未来消费的潮流。光子同物质的相互作用是相对论性的,这就是量子电动力学,这一理论在六十年代达到了顶峰,是最成功的物理学理论之一。光子的自旋是 1,泡利不相容原理对它没有限制。

轻子

最初命名是因为它们很轻(如电子的质量 $0.511MeV$)。后来发现 τ 轻子以后,它已不能算是轻的粒子了($\tau:1784.2MeV$)。轻子的含义是它们不参加强相互作用。我们在以后的都分再讨论相互作用。轻子具有半整数的自旋,是费米子,泡利不相容原理是适用的。至今为止,尚未发现轻子具有任何结构。电子是最初发现的轻子,也是一个最基本的粒子。轻子有电子, τ 子, μ 子及各自的反粒子,具有单位电荷。两类中微子 ν_e, ν_μ , 它们的反粒子是自身,不带电荷。 ν_e 是与电子相伴(有电子参与的弱相互作用)的中微子。理论推测还应有 $V\tau$, 至今实验未找到。轻子参与 β 衰变这一类的弱相互作用。

中微子是个非常奇特的粒子。值得我们仔细探究。一九三三年,为了解释原子衰变的能量损失,泡利提出了中微子假设,损失的能量由中微子带走了。中微子的质量很小,被认为是零,以光速传播(中微子的质量不为零有重要的理论后果)。

任何物质对中微子的作用很小,中微子可以毫不损失地穿过地球,因此,探测中微子是困难的。更加令人惊奇是,自然界只有正的左旋中微子和反的右旋中微子,不存在右旋的正中微子。如图,左旋、右旋的意义是十分明确的。

图 10—20

中微子的自旋和动量方向定义了左手螺旋法则;反中微子定义了右手螺旋法则

通常,人们希望在基本粒子领域左、右是对称的,即一个过程如果在自然界存在,那么,这一过程在镜子里的象也应存在,在镜子里右、左是互换的。这就是宇称守恒定律。在中微子,宇称竟然不守恒,这使得大物理学家们感到不可思议。一九五六年,莱恩斯和科恩首次探测到中微子。同年,来自中国的两位青年物理学家杨振宁、李政道提出弱相互作用宇称不守恒。次年华人女物理学家吴健雄用实验证实了 β 衰变中宇称不守恒。同年,杨振宁、李政道登上诺贝尔奖的领奖台。

这一结果给当时的理论物理学家以极大的震动。泡利说:“没有想到上帝竟是个左撇子,可它在做事情的时候却相当对称。”杨振宁回忆说,中国古代阴阳变化的观念给了他极大的启示。

关于中微子的故事还没有结束。太阳内部热核反应会释放大量中微子,超新星爆发时也会产生中微子。这些中微子可以毫无阻挡地到达地球。研究这些中微子可以获得太阳内部或超新星的大量信息,可以得到很多关于宇宙早期的信息。你

可以想象,每次超新星一爆发,世界各地天文台站一片兴奋、忙碌的情景。

关于 μ 子,一九三五年,日本物理学家汤川秀树预言了介子,介子传递核子(质子、中子)之间的相互作用。不久即发现了 μ 子,从质量上考虑, μ 子的确介于电子和质子之间,后来发现 μ 子不参与强相互作用。 μ 子除质量比电子重二百多倍以外(105.66MeV),其余的性质与电子几乎完全一样。它是当今最神秘的粒子之一,人们无法理解它为什么要来到这个世界,起什么特殊的作用。

τ 子,人们的了解则更少,是个更加神秘莫测的粒子。

已发现中微子 ν_e, ν_μ , 从对称性考虑,应该还有 ν_τ , 但至今未找到。从超新星爆发和太阳辐射的中微子的观测数据,人们发现中微子种类或称为代数不会超过 4, 这也印证了关于轻子的理论。

介子

介子的最初的命名的原因是其质量介于电子和质子之间。而介子的真实含义是参与强相互作用的自旋是整数的玻色子。

所有参与强相互作用的粒子称为强子。强子是由夸克组成的。我们将在以后的部分谈论夸克。强子分为介子和重子。介子具有整数自旋,是玻色子;重子具有半整数自旋,是费米子。

$\pi^\pm$ 介子互为反粒子。 π^0 介子的反粒子是其自身。 π 介子就

是汤川秀树预言的传播核力的粒子。汤川秀树是日本自己培养的物理学家,在二次世界大战前后,在与外界几乎完全隔离的情况下,领导日本的物理学走在世界的前沿。日本人把汤川秀树视为民族英雄,他获诺贝尔奖被看作日本的物理学与欧美抗衡的例子。而现在,我们还不敢说,我们已在国际上挣得了一席之地,相比之下,当知努力之所在了。汤川回忆说,当一九二一年爱因斯坦访问日本时,他还是个少年,他从报纸上看到了热烈欢迎爱因斯坦的场面,从此下定决心献身物理。正是在访日途中,瑞典皇家科学院宣布爱因斯坦获得了诺贝尔物理学奖。汤川的获奖对日本的物理有重要的推动,使得日本的物理学在国际上占有重要的地位。

K^+ 、 K^0 介子都有反粒子,因此,有四种 K 介子。 K^0 介子是表内唯一具有两种寿命的粒子,一个衰变较快($0.89 \times 10^{-10}S$)另一种较慢($5.2 \times 10^{-8}S$)。长寿命的 K^0 介子带来了一个意想不到的结果,电荷的绝对正、负是可以区分的。(见对称性原理一节)

η^0 介子的反粒子是其身。 $D^\pm$ 介子互为反粒子。 D^0 介子的反粒子是其身。

我们早已熟悉的质子、中子,属于重子的第一类,核子。其余的重子统称超子,都具有很大的质量。表中质子是稳定的,其半衰期大于 10^{30} 年。质子的半衰期的大小具有重大的理论意义。我们将在后面提到。

在基本粒子表中,你可以看出,有的粒子对之间不存在质量差异,如粒子和反粒子的质量是一样的。有的粒子对之间存在小的质量差异。人们把这些小的质量差异归因于电磁性质

的差异。物理学家引入了同位旋的概念。这一概念源于核子。把质子、中子视为核子的两种状态,把核子的同位旋取为 $I=1/2$,它应有 $2I+1=2$ 个分量, $I_z=1/2, I_z=-1/2$, 分别对应于质子和中子。同样地, Σ 粒子的 $I=1$, 有 $2I+1=3$ 个分量 $I_z=1, 0, -1$, 分别对应 $\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$ 。

表中还列出其它几种量子数,你将有机会弄清它们的含义的。

四种基本相互作用

自然界万事万物之间的复杂相互作用可以归结为四种相互作用,即引力相互作用、弱相互作用、电磁相互作用和强相互作用。这是一个简明的,令人愉快的结论。前面基本粒子的家族分类,就是根据它们参与相互作用的特征进行的。在粒子物理学中,相互作用被描述成粒子间的反应,哪些消失了,哪些粒子产生了,就象化学反应一样。粒子间的相互作用可以费曼图来描述,在费曼图中,反粒子可以视为沿着时间相反方向前进的正粒子。粒子的传播用一条线表示,相互作用发生在几条线的交点叫顶点处。下面是几个费曼图的例子。费曼图是物理学中最有用的技术。相互作用理论就是要画出所有的费曼图,计算出几率幅。

这是弱电统一理论中的两个费曼图。该理论预言的 $W^\pm, Z^0$ 粒子已被发现。

四种相互作用是十分不同的,这些在下面的表格得到了说明。

图 10—21

四种相互作用

名称	引力作用	弱相互作用	电磁相互作用	强相互作用
作用力程	∞	$\ll 10^{-14}cm$	∞	$10^{-13} - 10^{-14}cm$
例	天体之间	β 衰变	原子结合	核力
相对强度	$G \sim 10^{-39}$	$G \sim 10^{-5}$	$e^2 \sim 1/137$	$g^2 \sim 1$
传播子	引力子	中间玻色子	光子	介子、胶子
被作用粒子	一切物体	强子、轻子	强子、 e 、 μ 、 γ	强子
特征时间(S)		$> 10^{-10}$	$10^{-16} - 10^{-20}$	$< 10^{-23}$

首先,相互作用的强度和力程相差巨大。强相互作用强度和引力相互作用的强度之比高达 10^{39} 。在基本粒子发生作用的区域内,引力是可以忽略的,而对星体结构,宇宙起源和演化,引力是最重要的因素,引力的力程是无穷大。从表中的数据,我们简直缺乏想象,哪怕是最大胆的,这些相互作用之间会有什么关系。而爱因斯坦在现代粒子物理学和现代宇宙学到来之前,就试图把所有的相互作用统一起来,他完全依赖他

对上帝创造这个世界的美、和谐和统一的坚定信念,他超越了他的时代。现在这一宏伟愿望成为现代粒子物理学和场论的强大推动。

从表中还可以看出,作用力越弱参与的粒子越多。不同的相互作用引起作用的特征时间是不同。强相互作用的强度最大,其特征时间最短。中性粒子也可以参与电磁相互作用。如 $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$, $\eta^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ 。中微子只参与弱相互作用。

从基本粒子表和相互作用的特征,你会猜想,基本粒子的线度那么小,相互作用的力程那么小,人们是如何从物质结构中分解出基本单元,研究其性质和相互作用的呢?我们用海森堡不确定性原理来理解这件事。在“一尺之捶,日取其半”的实验中,当捶越来越短时,我们用的刀越来越薄,由不确定关系

$$\Delta X \cdot \Delta P \geq h$$

ΔX 越来越小, ΔP 越来越大,也就是,我们用的能量越来越大。原子电离能是 $10eV$,这是化学反应对应的能量级。把原子核分解成质子和中子就需要 $MeV(10^6eV)$ 量级的能量,这是核反应的能量级。可以举出原子弹、氢弹的例子。还有太阳,太阳的热核反应释放的能量,才使地球上万物生长,风雨施行,沧海桑田的变化。再下一个层次,就需要 $GeV(10^9eV)$ 量级的能量;我们尚无感性认识,基本粒子物理的就属于这一能量级。物理学家是通过建造加速器和对撞机来实现这一要求的。

加速器不断地从外场中获得能量,使粒子不断加速,获得高能粒子源的装置。最简单的加速器是回旋加速器。它是由两个隔开的 D 形盒组成,带电粒子在 D 形盒中运动受到磁场的作用,由于这一作用力垂直于粒子的速度方向,粒子并不被

加速,而作匀速圆周运动。当粒子穿过 D 形盒之间的间隔时受到电场的作用不断地加速。只要保证电场的频率与粒子在 D 形盒中运动的频率相等,总能使得粒子穿过电场时被加速。考虑到相对论效应,可以设计成同步加速器。另一种加速器是直线加速器,粒子在其中作直线运动而不断加速。也可以先在回旋加速器中把粒子加速到某一值后再引入直线加速器。

我们来看看目前世界上最大的几个加速器。

美国费米国家实验室(FNL)的质子同步加速器。

加速器园周直径 2.2km 。利用超导磁场,质子能量已近 2000GeV 。

西欧核子研究中心的(CERN)的质子加速器。

质子能量为 400GeV 。

美国斯坦福直线加速中心(SLAC)的电子直线加速器。

加速器长 3km ,把电子加速到 22GeV 。

从加速器出来的粒子,作为高能粒子源,去轰击固定靶。能量有一部分消耗在靶的运动上,剩下的部分称为有效能量,用来打开靶中的物质结构。从加速器出来的粒子的能量越高,有效能量的比例越低。例如, 400GeV 的质子对静止质子相碰时,有效能量为 28GeV ,有效率仅为 7% ,当质子的能量为 1000GeV 时,有效能量为 40GeV ,有效率只有 4% 。

可见,加速器的能量利用率是很低的。提高有效能量的办法就是建造对撞机。碰撞时质心动量守恒,碰撞后质心是静止的。因此,如果 18GeV 的电子与 18GeV 的正电子正碰,有效能量即达 36GeV 。

目前世界上的对撞机举例如下:

西欧核子研究中心(*CERN*),质子反质子对撞机,能量 $270+270\text{GeV}$ 。

美国(*FNL*)质子质子对撞机, $1000\text{GeV}\times 2$ 。

中国(*BEPC*)正负电子对撞机, $2.8\text{GeV}+2.8\text{GeV}$ 。

目前,正在建造的对撞机中最大的当数美国的超导超级对撞机(*SSC*),是质子质子对撞机。能量高达 $20+20\text{TeV}$ 。($T=10^{12}$)。利用一万块超导磁铁,周长 84km 。预算已超过 80 亿美元。我国年国民总产值也不过 2000 亿美元,可见这个工程耗资之巨。难怪在美国经济艰难复苏时期上台的克林顿总统,一上任就考虑削减这一计划。照例,有人出来反对。十几位诺贝尔物理奖获得者和其他一些著名物理学家集会,呼吁总统不要削减这一计划。

你也许会对这样的技术文明和人类智力的结合方式感到莫名的敬畏。你或许会想,是什么原因驱使物理学家们决心耗巨资建造这样的庞然大物?仅仅是基本粒子吗?物理学家则说,基本粒子物理学是探索物质世界的基本组成,又与宇宙的起源、演化直接有关,具有基本的重要性,是上帝对人类的智力的最大挑战。还没有哪门学科能象基本粒子物理学那样对人类的技术和文明起过如此巨大的推动作用。

对称性原理

对称是在某种操作下保持不变的性质,这一操作叫做对称操作。其实,自然界对称性的例子是举不胜举的,以至于你可能认为这是平凡的。通常的对称的美学观念认为匀称、和谐

会带来美感,这在建筑、描画和音乐中是基本的美学观念。

最近,发现 C_{60} 是一个非常有趣的例子。 C_{60} 是六十个碳原子堆在一起形成一个团簇。人们一直弄不清其结构,其发现者叙述说,他从小喜欢建筑,对赖特(美国建筑大师)等人的作品更是十分注意,当他们合成了 C_{60} 的时候,他受到这些思想的启发,终于想到 C_{60} 的结构类似一个足球,60 个碳原子在球面上,具有非常规则的对称性。其实,具有良好美学修养的人,会发展出一套关于物理理论的美学观念,并用这些美学观念引导他的理论探索。狄拉克有一段著名的话:“上帝喜欢美的。”狄拉克提出相对论量子力学,根据对称性的考虑,应该有正电子。狄拉克曾一度想放弃这一理论。外尔,一位普林斯顿的大数学家,正是基于对称性的考虑说“不,不,它太美了。”不久就发现了正电子。中微子的二分量理论是由泡利提出的,外尔基于对称性考虑认定它是正确的,最后证明他是正确的。

你可能觉得,在此来讨论对称性是不是离我们的主题太远了。不,对称性对基本粒子物理学是最宝贵的思想,也是最有力的工具之一。离开了对称性,基本粒子的定义都是难以想象的。这使人想到对称性一定是上帝创造这个世界的一个秘密,它选择了对称性,这和我们关于对称性的朴素观念是否同出一辙呢?

我们先来看连续的对称性。绕对称轴旋转圆盘是一种连续的对称性。你很容易地看出这一点,转动任意角度都是允许的。

对称性对物理学的应用的基本假设是,对称性对应着某种不可观测量,不可观测量常常导致一个守恒量,而守恒量对

运动或相互作用的体系是重要的。你在中学解物理题,大部分是与动量守恒、能量转换守恒有关。转动任意角度的对称意味着绝对角位置是不可观测的,以后我们将看到这一不可观测量导致了什么守恒量。

现在,我们来看看绝对的位置不可观测会导致什么守恒量。

设一相互作用的体系,比方说地球和太阳。现在,它们之间的相互作用能量 $V(r_1, r_2)$ 在空间平移下不变,空间平移是连续的操作。绝对的位置是不可观测的。 $V(r_1, r_2)$ 仅是相对距离的函数 $V(|r_1 - r_2|)$ 。

设想,太阳和地球经历一个小的移动,但不改变 $|r_1 - r_2|$ 。我们知道,一个质点经历一个小的位移时所受的力正比于其能量对位移的变化率。由于 $V(|r_1 - r_2|)$ 不变,可以推出作用在太阳上的力与作用在地球上的力抵消了。这就是牛顿第三定律。

由于动量的变化率等于体系的合力,此时合力为零,于是由空间平移不变性导致了动量守恒定律。

显然,时间平移不变性会导致能量守恒定律。

再看旋转不变性。

绕对称轴一个微小角位置的变化,将导致角动量的一个变化,角动量的变化率等于所受的外力,但没有任何外力,因此,旋转不变性导致角动量守恒。

从以上的例子,你可以看出我们的思路。通常,你会以为对称是个静止的观念,只对静止的东西适用,这是我们经验和审美的感受。对称性远比这要深刻,广泛。这种步骤能够推广

到从物理学的相对论到量子理论的所有对称性原理。这成为我们对自然和理论分析的强有力的工具。仅从非常简单的不可观测量的假设出发,我们得到非常广泛而普遍的结论。这些结论独立于所考虑的特殊系统的细致结构。在所有的智慧追求中,很少有哪一个能和对称性原理的深刻概括性和简洁优美相比。

让时间倒流

分离的对称性是指对称操作不是无限小操作,而是有限大小的离散操作。如沿着对称轴的翻转 180° 的操作,沿着对称面的镜象反射。在粒子物理学中,分离的对称操作有,时间反演,空间反射,粒子反粒子的变换。

时间反演(T),即把时间的符号改变, $t \rightarrow -t$ 。物理规律在 T 下是不变的,那么物理规律没有一个时间的方向。粒子向未来方向行驶时,把时间转向,它以同样的规律向过去行驶。牛顿定律,和粒子物理中的大部分过程在时间反演下是不变的。而在热力学中,物理学规律在时间反演下是要改变的。这里,一个自然的问题是,微观过程是时间可逆的,而为什么宏观世界的规律却有一个自然的时间方向?例如,一滴红墨水滴在一杯清水中,墨水就会慢慢扩散,最后,整个杯子呈均匀的红色,从来没有相反的过程,均匀散布的红墨水会重新聚集在一起。这是物理学中最引人注目的事情,我们将在以后的部分讨论这个问题。

注意,时间反演不变性并不对应一个守恒律。

电荷共轭变换(C),将电荷的符号改变,粒子变成相应的反粒子。将原子中的质子、中子、电子全变成相应的反粒子,原子变成反原子在自然界同样可以存在。

空间反射变换(P)。改变空间的绝对左、右,如果物理过程在这一变换下是不变的,那么,宇称在这一过程中是守恒的。

这三类分离的变换看起来不相关,而在粒子物理学中所有的定理在 CPT 联合变换下是不变的,即在,

左 $\longleftrightarrow$ 右,过去 $\longleftrightarrow$ 将来,粒子 $\longleftrightarrow$ 反粒子变换下是不变的。这是个重要的定理。

不可区分意味着什么

在微观世界里,对于完全相同的粒子,我们无法标记区分它们,比如 1 号粒子,2 号粒子。在宏观世界里,我们可以做到这一点。因此,微观全同粒子是不可区分的。全同粒子体系的波函数在交换任两个粒子的变换下满足一定的对称性。对于自旋是整数的粒子,波函数是完全对称的,即交换任两个粒子,体系的波函数不变。对于自旋是半整数的粒子,波函数是完全反对称的。交换任何两个粒子,波函数变号,即在偶数次交换,波函数是对称的,在奇数次交换,波函数是反对称的。交换对称性是个时间不变量,即如果两个粒子是不区分的,那么不存在一个机制使得这两个粒子在过去或未来变得可以区分。交换对称性是纯量子力学的,没有经典的对应物。交换对称性会引起交换能,是纯粹的量子力学效应。这一项在理解化

学键的形成至关重要,如 H_2 分子的形成,两个氢原子是全同粒子。交换对称还可以引起一些宏观量子效应,如超流、超导现象。氦的超流现象是最有趣的现象之一。处于超流状态的流体,可以没有任何粘滞阻力地相互穿过。容器里的超流体可以自动顺着容器壁向上流出容器。如果安上活塞,插一细的喷管,超流体就会形成喷泉从喷管喷出,这就是著名的喷泉实验。前苏联的著名理论物理学家朗道对超流理论有重要贡献。

隐藏在内部的对称性

我们记得在波函数的几率解释中, $e^{i\theta}\varphi$ 和 φ 给出的几率密度完全一样。 $e^{i\theta}$ (θ 是实数)称为相位因子。在场论中,这一变换和一个称为荷的量构成规范变换,

$$\varphi \rightarrow \varphi e^{iQ \cdot \theta}$$

规范不变性,导致一个守恒量。如果 Q 是电荷,就是电荷守恒;如果 Q 是轻子数,就是轻子数守恒。相应的规范变换是电荷的态空间和轻子的态空间中进行的。

规范变换和规范对称性是现代物理学中最宝贵的思想。杨振宁和米尔斯一九五四年把规范变换从整体的(与时空位置无关)推广到局域(依赖于时空坐标),并要求场论满足局部的规范不变性。这就自动地引入了粒子间的相互作用,并且满足最小作用量原理。从那时以来,规范理论成为物理学中一项轰轰烈烈的运动,吸引了大批最有才华的数学家和物理学家,成果辈出。例如,弱电统一理论是一个规范理论,它的三位作者,格拉肖,萨拉姆,温伯格,都获得了诺贝尔奖。现在,粒子物

理学的主要理论都是规范理论。规范理论的思想对其它学科的影响也是深刻的。例如,有人在神经网络中引入规范理论的思想。有人用规范理论来研究时空的拓扑性质而获得了数学的最高奖——菲尔茨奖。

难怪杨振宁在一次谈话中提到,他再获一次诺贝尔奖是可能的。我们衷心地祝愿他能再获一次诺贝尔奖。

对称破缺

现在我们已知的对称性可以总结在表中。

对称意味着不可观测量,那么任何对称破坏的情形就会出现可观测量。我们碰巧规定了质子带正电,电子带负电,其实,反过来也是对的,那么,是否有一种方式区分电荷的绝对符号,这种区分有什么意义呢?

物理学中对称的例子

不可观测量	数学变换	守恒律和选择规则
绝对空间位置	空间平移 $r \rightarrow r + \Delta$	动 量
绝对时间	时间平移 $t \rightarrow t + \tau$	能 量
绝对空间方向	旋转 $r \rightarrow r'$	角动量
绝对右(或绝对左)	$r \rightarrow -r$	宇 称
绝对电荷符号	$e \rightarrow -e$	电荷共轭
绝对时间符号	$i \rightarrow -t$	时间反演
全同粒子间的差别	置 换	玻色—爱因斯坦或 费米—狄拉克统计
不同电荷态间的相对相位	$\psi \rightarrow e^{iQ\theta} \psi$ (规范变换)	电 荷

这种区分是有意义的。设想,存在一个高度文明生物社会,他们和我们地球人都想互相了解,相约在某个星球上相会。因为,没有一种方式区分他们是由正物质还是由反物质组成的(电荷的绝对符号不可区分),而正反物质碰在一起是要相互湮灭的。因此,这一举动是非常危险的。

现在,人们找到了一种能够区分电荷绝对符号的办法,这真是令人惊奇。奇迹发生在前面提到的 K^0 介子上。 K^0 介子具有两种寿命,长寿命的 K_L^0 介子 K_L^0 ,按以下两种方式衰变。

$$K_L^0 \rightarrow e^+ + \pi^- + V_e$$

$$K_L^0 \rightarrow e^- + \pi^+ + \bar{V}_e$$

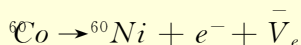
e^+ 正电子, $\bar{V}_e$ 反中微子。这两种衰变方式的衰变率是不同的,

$$\frac{\text{衰变率}(K_L^0 \rightarrow e^+ + \pi^- + V_e)}{\text{衰变率}(K_L^0 \rightarrow e^- + \pi^+ + \bar{V}_e)} = 1.00648 \pm 0.00035$$

利用磁场很容易区分电子和正电子,再把电子的符号和质子的符号相比较,便可以确定物质或反物质。于是,人类与外星文明接触的这一层危险便可以清除了,那些充满幻想,要作星际旅行的人,可以松一口气了。

根据 CPT 守恒定律,现在 C 破缺了,要维持 CPT,必有 P 或 T 破缺。看起来,宇称和时间反演不变是不可动摇的。确实,在基本粒子物理学中,过去和未来,左和右有区别是难以想象的,这有什么后果也是难以想象,这直接涉及到上帝的意志。

在前面,我们讨论过奇妙的中微子。吴健雄,E·安布勒,R·W·海沃德,D·霍珀斯和 R·P·赫德森研究了极化⁶⁰Co 核衰变的电子分布。这些核是极化的,它们的转动是彼此平行的。实验用两套完全相同的设备组成,它们的唯一差别是初始核的自旋方向相反。这样一套设备是另一套设备的镜像。钴按下式衰变,



而实验结果发现,电子的分布不是互为镜像的,这说明宇称在弱相互作用中是不守恒的。

后来,物理学家发现 CP 是破缺的,发现了 T 也是破缺,即在微观领域内,可逆性也遭到了破坏,这有什么意义,还没有弄清楚。

现在,我们发现,只有 CPT 是严格成立的,单独的 C、P、T 都不是严格的守恒。那么,是自然本身是不对称的呢?还是物理规律是不对称的?如果是自然界是严格对称的,那么,这些丢失的对称性到哪里去了呢?对称性原理能补救这些吗?至今为止,我们没有考虑相互作用的容器——无所不在的真空。物理的真空并不是玄学的什么都没有的空虚,而是包含了一切相互作用,粒子、反粒子在那里不断地产生、消灭。现代真空的概念是从狄拉克提出相对论量子力学后发展起来的,是物理思想的一次重要进步。通常,真空的效应是不易显示出来的。例如,狭义相对论的基本假设,就是光速在真空中不变。但是,在相对论性的粒子过程中,真空包含了物质的产生和消灭,这是和海森堡不确定性关系是一致的。(真空的场量不可能严格地是零。)因此,真空就象介质一样影响其中物理过程。

这样,下面的设想是可能的:

破缺的对称+真空的效应 $\rightarrow$ 严格的对称性。

也就是如果同时考虑物质和真空,可能所有的粒子物理学的对称性是严格的。

在著名物理学家中,李政道是非常强调真空作用的一位,也许是唯一的一位。在美国,仅二十几岁时,李政道即以眼光深远、犀利,文风简洁深刻而著称。他甚至预言,关于真空观念的进步,可能导致全新的物理学。这不是偶然的。李政道是位研究对称性的大师。五十年代发现宇称不守恒而与杨振宁共获诺贝尔奖。七十年代,在研究孤立子时,即提出真空的性质对孤立子的影响。他是位研究场论和粒子物理的大师,对真空的性质和其重要性有深刻的见解。在后面,我们谈到看不见的夸克和宇宙起源时会再次遇到真空的概念。的确,所有的物理学定律都在真空中运行,真空的性质必定影响其中的物理学。真空一定隐藏了上帝不可告人的秘密。

对称群

对称性原理对于物理学家的重要性不仅是观念看起来简单,而由此导出的结论都很深刻、广泛和优美;而且,关于对称性,我们已有了非常严格漂亮的数学理论:群论。

群听起来很抽象,我稍加解释,你就会明白群是什么。

群 G 是一系列元素的集合,集合中的元素间还有一种运算,记“ $\cdot$ ”,且满足下列条件。

$$1. \forall a, b \in G, a \cdot b \in G,$$

$$2. a \cdot a^{-1} = a^{-1} \cdot a = e$$

$$a = a \cdot e = e \cdot a, e, a, a^{-1} \in G$$

$$3. a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c \quad a, b, c \in G$$

第 1 条是说,群中任何两个元素在“ $\cdot$ ”下得到的元素,仍是 G 的元素。第 2 条是说,任何元素都有一个逆元素,仅有一个单位元 e 。第 3 条说群运算满足结合律。

我们来看几个群的例子。

整数在加法下运算下构成一个群,记为 Z 。

1. 任两个整数之和仍是整数,
2. 存在单位元 0,任何数和 0 相加仍得这个数。
3. 存在逆元,任何整数都有唯一的逆元,即它的相反数。

同样地,实数在加法下构成一个群。实数除去 0 以外的数,在乘法下构成一个群。单位元是 1,逆元是其倒数。

绕对称轴的旋转也构成群。群的单位元是不进行任何旋转,还是保持原样。任何两个旋转的乘积自然就是先进行第一个群操作,旋转某一角度,再进行第二个群操作,在第一次旋转的基础上再旋转一个角度。显然,这等价于一次旋转一个角度等于前两次旋转角度之和,这个元素仍在群之中。群元的逆元,就等于向相反的方向旋转同一个角度。一个元素和其逆元的乘积等于先旋转一角度再向相反的方面旋转同一角度,这就是单位元。

从上面群的定义和例子,你可能体会到这种高度抽象的东西具有多么大的广泛性和深刻性。你一定想不到,作为群论的创始人伽罗华,在他临死的前一夜,聚集他所有的力量,把他关于群的科学思想整理出来,他一定是对群充满了激情和

深刻的洞察力。第二天,他在一场决斗中死去,年仅二十二岁。现在,群论几乎在所有的科学领域中应用。

图 10—22

群的元素的个数是有限的,称为有限群。群元素个数是无限的,称为无限群。所有的有限群都同构于置换群 S_n 。同构是指可以把这两个群的元素一一对应起来,并且群的运算也是相互对应的。 S_n 是由数字 $\{1, 2, 3, \dots, n\}$ 上的所有排列组成的。比如 S_3 的元素是 $\{123, 312, 231, 213, 132, 321\}$ 共 6 个。因此,有限群可以通过 S_n 加以透彻地研究。

把群的元素对应于一个矩阵,群上的运算对应于群的乘法,显然,矩阵乘法构成群。这就是群的表示论,矩阵是群元的表示。对我们来说,群的表示是最有用的。现在,我们看一个例子,如何得到一个群的表示。XY 平面中,绕原点的旋转。

$$\text{显然, } X' = X \cdot \cos\theta + Y \cdot \sin\theta$$

$$Y' = -X \cdot \sin\theta + Y \cdot \cos\theta$$

写成矩阵形式:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

利用矩阵乘法和三角函数的和角公式,可以证明先后旋转角度 θ_1 和 θ_2 ,表示成矩阵时,上面的形式不变, θ 换成了 $\theta_1 +$

θ_2 。单位元的表示,是 $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

单位矩阵,逆元的表示,把上式中 θ 换成 $-\theta$ 即可。这样,我们便得到了旋对称轴的旋转的一个表示。这个表示有以下性质。

1. 矩阵的行列式是 1,这一点很容易看出

2. 正交性, $S^{-1} = S^T$, 逆矩阵(将 θ 换成 $-\theta$) 等于其转置(将行列互换)

所以,这一群又记为 $SO(2)$ 。S、O 分别对应性质 1、2。2 表示是 2 维空间的旋转。

沿着矩阵表示的思想,我们有下面的群。

$GL(n, R)$, 所有 n 维,在实数上取值的矩阵构成的群。

$SO(n)$, 意义同 $SO(2)$ 一样,只是维数为 n 。

$U(n)$, n 维矩阵, 且其逆矩阵等于其转置共轭(转置后取复数共轭)构成。矩阵元是复数。

$SU(n)$ 在 $U(n)$ 的性质上附加行列式为 1 的性质。

对于连续群, 其性质可由一些无穷小变换来确定, 无穷小变换对应一个生成元, 生成元的个数等于群的独立参数的个数。生成元的性质完全决定了群的性质。例如, $SO(2)$ 只有一个参数, 旋转角度 θ 。生成元由下式确定:

$$e^{i\tau\theta} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

i 是虚数单位。

在无穷小变换($\theta \rightarrow 0$)下, 或者直接展开上式我们有:

$$\tau = \begin{bmatrix} 0 & i \\ i & 0 \end{bmatrix}$$

群及其表示是相当深奥的学问, 通常一个学习理论物理的学生进研究生院才学习它。这对精确地表达对称原理, 充分展示对称性原理的深刻, 优美是至关重要的。而关于对称的朴实观念都来源于我们日常生活和审美的体验, 这同样支配一位理论物理学家对物理美学观念。一个物理理论是美的, 通常指它简洁、深刻、和谐等, 这与我们关于音乐, 建筑, 绘画的美学观念没有两样。从这个角度, 对称性原理是美的。在美学要求和其它标准相冲突时, 物理学家常选择美的, 在前面, 我们已举了两例。对称性原理在探索物质世界的基本组元的追求中得到充分的贯彻, 在探索宇宙的起源和演化, 在一般的动力学系统中都得到了不同程度的贯彻。

相互作用和守恒律

在相互作用中,质能、电荷、动量、角动量都是守恒的。在基本粒子的相互作用中,还有些新的守恒律,这些守恒律某些可作为电荷守恒的推广。电荷守恒是规范不变性的结果。规范变换是在不同电荷态波函数之间的相位变换,把规范变换推广为在其它荷的态的波函数的之间的相位变换,就得到了其它一些守恒律。有轻子数守恒律,重子数守恒律,同位旋守恒律,奇异数守恒律。参见附表。

重子数(B)守恒

重子数在反应前后的重子数 B 的代数和不变。

例如: $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$, $\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^0$

这两个反应前后的重子数 $B=1$, 是实验中观察到的过程。(请参考基本粒子表)

$$p^+ \rightarrow \gamma + e^+$$

反应前重子数 $B=1$, 反应后 $B=0$, 是不可能发生的。

轻子数守恒。

两类轻子数 L_e, L_μ , 在反应前后的代数和是守恒的。

$$e^-, V_e \quad L_e = 1$$

$$e^+, \bar{V}_e \quad L_e = -1$$

$$\mu^-, V_\mu \quad L_\mu = 1$$

$$\mu^+, \bar{V}_\mu \quad L_\mu = -1$$

实验室中观察到的两个过程

$$V_\mu + n \rightarrow \mu^- + p$$

$$\bar{V}_{\mu} + p \rightarrow \mu^{+} + n$$

到现在,还没有发现重子数和轻子数守恒律破坏的事例。

奇异数 S 守恒律

人们发现,产生 k, Λ 介子总是同时的,但是它们单独地衰变

$$\begin{aligned} p + \bar{p} &\rightarrow \Lambda^0 + K^0 + p + \pi^{+} \\ K^0 &\rightarrow \pi^{+} + \pi^{-} \\ \Lambda^0 &\rightarrow \pi^{-} + p \end{aligned}$$

它们产生时是强相互作用,衰变都是弱相互作用;产生是成双的,衰变时却单独行事,这是件奇怪的事情。

一九五三年,盖尔曼和西岛提出,基本粒子除了电荷、自旋,同位旋、重子数等量子数以外,还应有个新的量子数,称为奇异数 S,并假设,在强相互作用中奇异数守恒,在弱相互作用中,奇异数不守恒。

$$K^0, S = 1, \quad \Lambda^0, S = -1$$

因此, Λ^0, k^0 必定是成对产生。

$$\begin{array}{rcccl} & \pi^{-} + p & \rightarrow & K^0 + \Lambda^0 & \\ s & 0 & 0 & 1 & -1 \\ & p + \bar{p} & \rightarrow & K^0 + \Lambda^0 + p + \pi^{+} & \\ s & 0 & 0 & 1 & -1 \quad 0 \quad 0 \end{array}$$

这两个过程奇异数是守恒的,是强相互作用。

$$\begin{array}{rcccl} & K^0 & \rightarrow & \pi^{+} + \pi^{-} & \\ s & 1 & 0 & 0 & \end{array}$$

奇异数不守恒,一定是弱作用过程。

在基本粒子的四个量子数 Q 、 S 、 I_z 、 B 并不相互独立。定义超荷 Y

$$Y = B + S$$

$$Q = I_z + \frac{Y}{2}$$

已知了三个量子数,可以求出第四个量子数。在后面将看到,这一式子展现的对称性将引导人们探索更基本的物质层次——夸克。

守恒律与相互作用 (x 表示守恒律的破坏)

相 互 作 用	守 恒 量											联 合 变 换 CPT
	能 量	动 量	电 荷	电 子 轻 子 数 L_e	μ 子 轻 子 数 L_μ	重 子 数 B	同 位 旋 量 I_z	奇 异 数 S	宇 称 P	电 荷 共 轭 C	时 间 反 演 T	
强相互作用	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
电磁相互作用	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓
弱相互作用	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	✓

弱、电原来是一家

把自然界所有的相互作用统一起来是爱因斯坦的梦想，现在已成为理论物理学的一个潮流。现在，虽然离统一的目标路途遥远，但已取得了巨大进展，这些进展构成了过去二十年物理学的主要成就。一个重要的进展是，电磁相互作用和弱相互作用已统一在一个理论框架之中，这极大地鼓舞了统一场论的构想。不过，这里技术性是如此之强，我无法带你去领略其中的奥妙。

现在，说明相互作用的理论是规范理论。规范场论最早由杨振宁和米尔斯于一九五四年提出。后来发展成为量子场论的一般理论，这凝集了大批最有才华的数学家，物理学家的努力。

空间的每一点对应唯一的数，这数是个物理量，我们便说空间存在一个场。如，房间里温度场，河流的速度场。前者是标量场，后者是矢量场。在量子场论的情形。这样的场量就是波函数，势函数等。

量子场论的一般原则有协变性，定域性和可重整化的要求。协变性的要求是指场论在洛仑兹变换下是不变的，这才能保证对基本粒子的分类，量子数的定义是有意义的。定域性是指在空间隔开的两点发生的事件是相互独立的，一个事件不影响另一个事件。

可重整化的意思是指能够找到一个计算程序，用以消除

场论中出现的无穷大,如电子的自能是无穷大的。证明场论是可重正化是相当繁的。

电磁相互作用中规范变换是,

$$\varphi \rightarrow \varphi e^{iQ\theta}$$

规范不变性导致电荷守恒。电磁相互作用的传播子是光子,光子与物质场发生作用,或者说电磁场只与物质的守恒流发生耦合,耦合的方式显然遵守最小耦合原理,同时保持电荷的守恒。当把以上的整体规范不变性推广到局域规范不变性(与时空坐标有关),这就要求引入规范场,规范场来传递电磁场和物质场的相互作用,这种引入相互作用方式是满足一般的变分原理即引入相互作用是最小的。很显然,规范变换构成群,由于只有一个守恒荷——电荷,规范变换群就是 $U(1)$ 群。因此,麦克斯韦的电磁理论就是 $U(1)$ 规范理论。

在相互作用与守恒律一节,我们知道弱相互作用中电荷,两类轻子数和重子数是守恒的,电磁相互作用这些量也是守恒的。根据规范理论的一般原理,产生这些守恒量的最小规范变换群是 $SU(2) \times (1)$, $SU(2)$ 是三维的,有三个产生元,有三个独立的参数, $U(1)$ 只有一个产生元。

电磁相互作用和弱相互作用可以统一在基于最小的 $U(1) \times SU(2)$ 的规范理论,这最早由格拉肖提出。但这时还有致命的缺点,这一缺点在杨振宁和米尔斯提出规范场时就由泡利指出。当时,泡利还在普林斯顿高等研究所(当今最重要的一个数学、物理中心),他对此表示了兴趣。所以,奥本海默专门请杨振宁为泡利讲规范场。没讲多久,泡利就指出,规范场没有质量,弄得杨振宁无法下台。最后还是奥本海默打圆

场,杨振宁总算讲完。

规范场没有质量是非常严重的缺陷,在规范理论中,规范场是传递相互作用的。规范场没有质量就意味着相互作用的力程是无穷大。这显然是不符合实际情况的。

事情的发展总是惊险曲折,出人意料的。一九六四年,希格斯终于找到了一种机制现在称为希格斯机制使规范场获得了质量。希格斯机制就是真空的对称自发破缺使规范场获得了质量。你看又一次遇到了真空。这确实是一个奇特的机制。

对称性破缺,我们在对称性原理一节中遇到过,这里我愿意再举几个例子。在铁磁体内部由于存在大小不同的磁畴,转动对称性是自发破缺的。在一块无限大的晶体内部由于存在晶格结构(如石墨),空间平移对称性是自发破缺的。下面,我们针对整体的规范变换来看看真空的自发破缺是什么意思。

设粒子在势阱中运动。

图 10-23

在情形 a,能量的最低态是 $\varphi_0=0$,这时,我们说具有一个真空,对称性没有破缺。

在情形 b, 最低能态有两个, 且 $\varphi_0 \neq 0$, 那么在相位变换下, 包含这个 φ_0 的态显然不是不变的。这时, 我们说真空的对称性自发缺破了。在最低能态 φ_0 附近考查 V , 那么 V 可以写成,

$$V = \lambda(\varphi\varphi^* - \varphi_0^2)(\varphi_0 \neq 0)$$

这是个普遍的结论, 在势的极小点附近, 势能可以写成二次函数形式。

最低能态是 $\varphi\varphi^* = \varphi_0^2$

或 $\varphi(x) = \varphi_0 \cdot e^{ia(x)}$

现在设 $\varphi(x) = [\varphi_0 + \eta(x)]e^{ia(x)}$

$\eta(x), a(x)$ 都是实场, 且 $\eta(x)$ 很小。

当把这些实场代入场的能量函数即哈密顿量,

$$H = \int d^3X [\pi^* \pi + \nabla \varphi^* \nabla \varphi + V(\varphi^* \varphi)]$$

$\pi = \frac{\partial \varphi}{\partial t}$ 。* 表示复数共轭。 ∇ 是梯度运算。我们发现, $a(x)$ 仅以两个一阶导数的乘积出现, 没有 $a^2(x)$ 项出现, 这表明 $a(x)$ 场仅有动能项, 而没有质量项。

因此, 整体的规范不变性的自发破缺意味着出现了一个自旋为零, 没有质量的粒子, 称为哥德斯通粒子。

整体的规范不变性的自发破缺产生了没有质量的粒子, 规范场的质量仍是悬而未决。但这是个重要的思想, 在固体物理, 统计物理中有重要的应用。

当希格斯把这一思想推到局域规范变换时, 他给规范理

论带来了极好的消息。这里不存在任何哥德斯通粒子,取而代之是规范场获得了质量。

希格斯机制实际起作用的物理例子是超导。某些材料在温度降到某定值以下时,电阻变为零,内部的磁场为零。超导现象是目前研究的热点。人们预言超导会带来一场技术的革命,如超导磁悬浮列车,超导计算机。超导理论本身在电场的局域相位改变下是不变的。但是,由于两个电子在晶格的相互作用下组成库珀对的凝集,基态(最低能态)在上述变换下不是不变的。结果,光子在超导体内变成有质量的粒子。特别是从外部的磁场只能透入超导体的有限深度,这个深度就等于光子质量的倒数,这就是迈斯纳效应,说明超导体的完全抗磁性。在超导的朗道——金茨堡理论中引入的“序参量”是描述凝集大小的量。

温伯格和萨拉姆利用了对称自发破缺的思想解决了格拉肖理论中质量产生问题,由特霍夫特证明了这个理论是可重整化的。

弱电统一理论预言的中性流被实验证实后,很快被人们普遍接受。一九七九年,格拉肖,温伯格和萨拉姆共同获得诺贝尔奖。

更加令人惊奇的是,这个预言的两个有质量的粒子 $W^{\pm}$ 、 Z^0 粒子已于一九八三年在西欧核子研究中心(CERN)的加速器上发现。自然,一九八四年度的诺贝尔桂冠落入作为中心主任的鲁比亚,这位来自物理学大师费米母校的物理学家手中。

现论预言的希格斯玻色子至今没有被发现。

夸克

传说中一种神秘的鸟,在海滨叫着奇怪的声音“夸克”,故命名为夸克。

一九六四年,加州理工学院的盖尔曼援引詹姆斯·乔依斯的长篇叙事诗“芬尼根的彻夜祭”中的故事给他的理论中的新东西取名为夸克(quark)。

那段描述真实地描述了当时人们对夸克的印象。通常,物理学家发现新的东西,给它命名的时候,总是选择最能激起人们想象,使人产生智力和情感上的快意的名字。这也显示了物理学家的美学观念。

早在弱电统一起来以前,“一尺之捶,日取其半”的实验又进行了一次,这就是去探索强子的内部结构。

八重态

在相互作用一节,我们定义了几个量子数,电荷 Q ,重子数 B ,奇异数 S , Y 超荷,同位旋的第三分量 I_z 。它们之间的关系是。

$$Y = B + S$$

$$Q = I_z + \frac{Y}{2}$$

当把强子的 Y 对 I_z 作图时,就得到了令人惊奇的对称图案。八个介子或八个重子或八个反重子中的两个位于 $Y-I_z$ 平面上的一个正六边形的中心,其余六个介子或重子或反重子位

于这个正六边形的六个顶点上。这就是著名的强子八重态。

强子的内部对称性

符号	量子数	对称群	保持它的相互作用	破坏它的相互作用
I	同位旋	SU(2)	强	电磁、弱
S	奇异数	U(1)	强、电磁	弱
B	重子数	U(1)	所有的	无
Q	电荷	U(1)	所有的	无

强子内部对称性表明强子是有结构的,强子一定是由比它更基本的单元组成的。显然,这是自然向人们透露的最大秘密,决不能轻易放过。这就导致了人们援引那段神话给这个基本单元命名的行动,兴奋,得意之情溢于言表。我国物理学家在那个民族大灾难的时期竟然也提出了层子模型,类似于夸克,他们中几位刚刚去世,如朱洪元,张文裕。当你看到这规则的对称图案有何感受呢?

夸克

现在,人们普遍认为强子是由夸克组成的。夸克具分数的电荷,自旋是 $1/2$,是费米子。夸克的量子数列表如下。

夸克的量子数

夸克				反夸克			
u	d	s		$\bar{u}$	$\bar{d}$	$\bar{s}$	
I	$1/2$	$1/2$	0		$1/2$	$1/2$	0

I_3	$1/2$	$-1/2$	0	$-1/2$	$1/2$	0
Y	$1/3$	$1/3$	$-2/3$	$-1/3$	$-1/3$	$2/3$
Q	$2/3$	$-1/3$	$-1/3$	$-2/3$	$1/3$	$1/3$

B	$1/3$	$1/3$	$1/3$	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$
S	0	0	-1	0	0	1

你当然希望能用夸克排出八重态。用夸克组成强子的方法很简单,只要保证强子的量子数与组成它的夸克的所有量子数之和相等。例如质子和中子分别由以下夸克组成。

$$P = (uud)$$

$$N = (ddu)$$

质子,中子的奇异数是 0,因此,不能含有 S 夸克。重子数是 1,表明应由三个夸克组成。你可验证以上的构成是正确的。

夸克的魅力

格拉肖、依里奥普鲁斯、马尼亚提出除了 u、d、s 夸克之外,还应有一种新的夸克,他们称为 c 夸克。其英文 charm 是魅力的意思。后来在以 J/ψ 为开端的新强子家谱中相继发现,终于十分漂亮地证实了他们的猜测。c 夸克的量子数是。

$$S = -1 \quad B = \frac{1}{3}$$

$$Y = -\frac{2}{3} \quad I = 0$$

$$Q = \frac{2}{3}$$

$$C = 1$$

其中多了一个粲数 $c=1$, u, d, s 夸克的 $c=0$ 。

一九七四年,丁肇中和里希特分别领导的实验小组各自独立地发现了 J/ψ 粒子。这个粒子引起人们注意的地方是它的质量(3.1GeV)是质子质量的三倍多,其寿命却比我们熟悉的那些强子长千倍。用丁肇中的话来说:“好象偶然碰到一个村庄,那里的人能活一万年。”

现在已经认定这一粒子是“粲子素”即 $\bar{C}C$ 的束缚态。

理论上还预言有 t, b 夸克。它们的量子数分别是:

$$t: Q = \frac{2}{3}$$

$$I = I_z = 0$$

$$S = C = 0$$

$$T = 1$$

$$b: Q = -\frac{1}{3}$$

$$I = I_z = 0$$

$$S = T = 0$$

$$B = -1$$

这里 B, T 分别是底数和顶数。 t, b 分别称为顶夸克和底夸克。 b 夸克已有很好的实验支持。一九九二年报道了 t 夸克的质量上限。人们期望美国正在建造的超级超导对撞机(SSC)能

够提供 t 夸克的观测证据。

红、黄、兰三原色

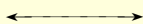
夸克也许是我们这本关于上帝的小册子中最复杂的东西。夸克还有颜色,当然,你看不见夸克的颜色,这是物理学家形象化的说法。我们知道夸克的自旋是 $\frac{1}{2}$,泡利不相容原理是适用的。当夸克组成强子时,你可以想象夸克的排列方式就象原子核外的电子排列方式一样形成壳层。例如,对组成重子的三个夸克而言,根据泡利不相容原理,它们处于不同的态上,即只有一个夸克处在最低轨道态 S 态上。而实验发现,它们都处在 S 态上。物理学家于是设想,夸克有三种颜色,分别是红、黄、蓝,所以,它们是能够处于相同的 S 态上的。使人觉得巧妙之处在于,物理学家安排得使这一规则能起作用,仅能存在“无色”的态,这就是,我们无法看到自由的夸克。

更深的秘密

在相互作用和守恒律一节,我们知道强相互作用中宇称是守恒的。参与弱相互作用的中微子是分了代的,即有电子中微子, μ 子中微子和 τ 子中微子。描写强相互作用,弱电相互作用的理论,必须能够保持这些守恒量。这就意味着,轻子和夸克之间有某种对应性。在发现 C 夸克之后,这种对应性便清楚地显示出来了。

夸克和轻子的内部对称性

家族	味 f	夸克 q_{fn} 色: $n=1, 2, 3$	轻子 l_f	
I	1	$u_1 \quad u_2 \quad u_3$	ν	$\updownarrow \quad SU(2)$
	2	$d_1 \quad d_2 \quad d_3$	e	
II	3	$c_1 \quad c_2 \quad c_3$	ν'	$\updownarrow \quad SU(2)$
	4	$s_1 \quad s_2 \quad s_3$	μ	
III	5	$t_1 \quad t_2 \quad t_3$	ν''	$\updownarrow \quad SU(2)$
	6	$b_1 \quad b_2 \quad b_3$	τ	


 $SU(3)$

根据超新星爆发的观测数据以及宇宙学的结论,这张表格最多只能向外扩张一行,即最多还可能有一代中微子。关于这种对应性,你尽可以发挥想象,尽管物理学家们关于它还不能说更多的东西,只能说,轻子和夸克之间这种对应性是更深层次统一的表现。你看,真是漫漫天涯路,何时能到尽头,上帝的秘密何时才能明了。也许到再把“一尺之捶,日取其半”时,你也加入到这一伟大的冒险行列。

(六)永远的阶下囚?

夸克理论是个漂亮的理论,现在几乎所有的人相信它是正确的,而且,它预言的很多方面得到实验的证实。令物理学家们感到恼火的是,至今没有找到自由的夸克。当盖尔曼引用那

段神话给夸克命名时,也许还没有料到夸克竟是那么神秘。

粒子物理现状

相互作用	参加粒子	传播子	理论
强相互作用	夸克 u d c s (t) b	胶子	量子色动力学 (QCD)
电弱相互作用	夸克(同上) 和轻子 e, ν_e μ, ν_μ τ, ν_τ	光子和中间 玻色子 $W^\pm, Z^0$	SU (2) $\times$ U(1) 包括量子电 动力学 (QED)
引力	所有的人和物	引力子	广义相对论

例如,一个 π 介子由夸克和反夸克组成。人们因此期望如果一个 π 介子被分解开,将出来一个夸克和一个反夸克。在加速器上分解 π 介子是相当容易的,而出现的决不是一个正夸克和一个反夸克,而是更多的 π 介子和其它介子。

这些奇特的现象可以用与磁铁对比来理解。

磁铁有两个极,南极和北极。可是,你想把磁铁从中折断得到磁单极是枉然的。你得到的是更多的磁铁。狄拉克的磁单极理论表明,磁单极具有极高的质量,只要能量足够的高,我们就可以得到磁单极,这在宇宙大爆炸的早期是可以的。(宇宙大爆炸是我们以后的主题)。对夸克,有足够的理由认为是物理上真实的粒子,并且具有很轻的质量,为什么得不到自

由的夸克呢？

这里又要涉及真空的性质。如前所述真空是一种复杂介质，核子和介子被看成这个介质里面的气泡（半径为 10^{-13} cm）。在每个气泡里，对于介子有一对夸克和反夸克，对于核子有三个夸克。这气泡是由夸克从真空产生出来的。真空对气泡施加压力，夸克不能从中跑出来，这就囚禁了夸克。夸克在气泡里作自由的运动，抵消真空的压力，阻止泡的塌缩。这就是夸克囚禁的口袋模型。人们期望这可以通过相对论性的重离子碰撞来检验。如果真的证明了真空象介质一样的奇特性质，那么我们的物理学就要发生革命，因为真空无所不在。

在结束这一部分之前，我们总结一下基本粒子的现状。你会发现，这一次可比前面遇到的一大张表格要简单得多。我们拥有的基本粒子有夸克和轻子以及传递相互作用的粒子。传递强相互作用的粒子是胶子，传递电弱相互作用的粒子是光子和中间玻色子 $W^{\pm}$ 、 Z^0 ，这两粒子已经发现。传递引力的是引力子。

说明相互作用的理论也都列在表中。胶子和引力子都没有直接证实，但物理学家们有充分的理由相信它们都是存在的真实的东西。

在这一部分，我们首先讨论了作为微观世界的基本理论的量子力学，看到了量子世界的奇怪行为，然后进入基本粒子物理学，强调了对称性和规范原理的作用。把自然界的所有相互作用统一起来是现代物理学的主流，目的是要阐明自然界所有物质是如何组成的即物质的本原。我们没有提到近几年

发展起来的超弦理论,在这里把基本粒子视为一根振动的弦的不同状态。令人惊奇的是,当物理学家越来越深入物质的层次的时候,他们越来越迫切地需要回答一个初看起来不相关的问题,这就是宇宙的物质是从哪里来的,是从来就有还是从无到有,这就是宇宙的起源和演化的问题——一个最大尺度的问题。因为,按照统一的构想,所有的相互作用在能量极高时是统一的,只是到了低能范围,引力、电磁力、弱力和强力才分离出来。这种极高的能量只有在宇宙的极早期才有。按照大爆炸理论,宇宙起源于一次极高温度的大爆炸,这时所有的力是统一的。随着宇宙的膨胀,温度降低,四种相互作用便分离出来,形成丰富多彩的宇宙结构。你看,这是不是一种令人意想不到的大小之间的微妙结合呢?你自然会想到我们关于上帝是谁的故事就要进入一个新篇章。不过,你不必太心急,我将把你带进另一个世界,关于这个世界,我们至今什么也没说。我们想看看,上帝创造这个宏观世界的时候,它究竟干了些什么,特别地,我们作为上帝的创造物的人类的思维、认知与其他东西有何共同之处。这对我们弄清上帝的身份和意图同样重要,而且,我相信,对某些读者来说,这更加丰富多彩,更加使人兴趣盎然,因为,这个世界离我们更近。我们将经历另一次科学革命,很有可能是本世纪最后一次,那就是混沌。

四、宏观世界

上帝是万能的,它用两只看起来完全不同的神奇的手创造两个不同的世界。一个是前面离我们感觉经验相去那样遥远的微观世界,这个世界的奇异特性如波动性和粒子性奇妙的统一,不确定性原理,不相容性原理,以及单个量子事件等给我们以深刻的震动。另一个是我们的感觉经验来源于此的宏观世界。上帝一定知道如何将这两世界连接起来,使之天衣无缝。特别令人感到惊奇的是,上帝创造了我们,让我们生存在宏观世界里,赋予我们认知、思维的能力,使我们能够依赖于宏观世界获得的经验来推测上帝创造这个世界的意图,以及上帝是如何将这两个世界连接起来的,它又怎样赋予我们从一个世界到另一个离我们感知范围相距甚远的另一个世界的能力的。这是个永恒的课题。完全有可能,上帝在创造我们和这个世界的时候,同时给我们的能力附加了一个限制,那就是,我们——上帝的儿子,永远不可能弄清楚上帝的意图,上帝是如何创造这一切的。这一忧虑并非毫无道理,但并不能阻止我们对这一课题的探索。

我们最好看看上帝在创造这个世界时究竟作了些什么,哪些是惊人之作,哪些笨拙之举,以及它是如何表现或隐藏它的意图的。

有序、无序之谜

要创造宏观世界,上帝要做的第一件事就是把某些基本的组成单元构造成一个有序的结构,而不是让这些成为一盘散沙。这和你玩积木,把方块放在园块之上,把园块放在方块之上一样,工程师设计飞机、汽车同样要做这样的事情。看看我们周围的世界,花、草、树、木、虫、鸟,还有我们自身,这些都是有着复杂组成规律并有新陈代谢能力的有序结构形式。如果你有机会去博物馆,一定为水晶、方解石、绿柱石、云母这些矿物的规则图象所感动。如果你善于观察,你可能发现,黄昏的时候天空中云排成近似长方形的“天街”,真让人猜想那是不是天国之路呢?或者你曾注意到,家乡小河的沉积物粗细粗细的变化就象凝固的韵律记录了过去年代气候的变化。这些都是无生命的有序结构形式。可见,有序结构无处不在,有序结构是构成宏观世界必不可少的。不过,你千万别以为这是件平凡的事,我想告诉你,正是在做这第一件事情的时候,上帝隐藏了它的意图,这再次使人想起上帝是恶意的猜测。

事情是这样的。物理学中有一个非常奇特的定律,那就是,在一个孤立体系中,有一个被称为熵的物理量随时间永远不减少。孤立体系是指与外界没有物质和能量交换的体系。这就是热力学第二定律。热力学定律有一个重要特征即它的普适性,这就是任何物质体系不论其组成成份是什么,发生过程的细节如何,热力学定律都是适用的。因此,热力学定律对物

理体系,化学体系,生物体系都是适用的。为了看出熵不减会带来什么结果,我们来看几个例子。滴几滴红墨水到一杯清水中,红墨水慢慢地扩散,最后,整个杯子呈现红色。一个事实是,我们从没有听说过有人试图等待足够长的时间,看到红墨水会重新聚集,以便用勺子将其舀出。没有人看到摔碎的玻璃杯会重新组合成一个完好的杯子。工厂排放的烟雾使远处的地方遭受了一场酸雨。还有,童年美好的事渐渐地从我们的记忆里消失。我们无法记住未来的事,那样的话,我们尽可以在股票市场上大发其财。这一切是如此平常,以致于成为我们赖以正常生存的经验的一部分。可是,这一定律是物理学中最不平凡的定律。爱因斯坦就曾慨叹过,没有哪条物理学定律能象热力学第二定律那样让人费尽心机。不仅这一定律的发现充满了艰险,而且对其理解,对其它学科的应用一直是科学的一个中心。

十九世纪,研究气体的性质是个重要课题。其中最杰出的一位是玻耳兹曼。他推广了麦克斯韦分布,即

$$f(v) \sim \exp\left[-\frac{V^2}{2\pi mkT}\right] \quad [K \text{ 玻耳兹曼常数}]$$

阐明了质量为 m 的分子,在一定温度 T 下,处于速度 V 附近的分子占总分子数的百分比。任何人看到这一公式都为其简洁,深刻和优美所感动。这一分布的应用决不限于通常意义下的气体,它在原子物理、天体物理中都有重要的应用。他还导出了气体分子在外力和分子碰撞作用下, $f(v)$ 的变化。下面是 H 定理,又是一个断言不减的定律:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{d}{dt} \Sigma - f \ln f \geq 0$$

式中 d/dt 表示某一量随时间的变化速率, $\ln f$ 是 f 的自然对数, Σ 表示对所有可能速度的求和。玻耳兹曼另一个著名的公式是: $S = k \ln \Omega$

其中 K 是前面出现过的玻耳兹曼常数, Ω 是气体分子所能达到的状态总数。 S 是我们刚遇到的熵。热力学第二定律表述是:

$$\frac{dS}{dt} \geq 0 \quad (\text{孤立体系})$$

我们来看看 Ω 是一个什么样的量。设一个与外界绝缘的盒子中间有一个薄的挡板将盒子分成两半, 一边有数目为 N 粒子。现在把挡板上的缝打开, 经过一段后, 问两边各有多少粒子?

我们有:

开始时: $N_1 = N, N_2 = 0 \quad N_1 + N_2 = N$

终了时: $N_1' + N_2' = N$

这个问题等价地叙述为, 我们在 N 个粒子中, 取出 N_1' 个粒子放在左边, N_2' 个粒子放在右边, 由排列组合理论, 可能的分法有:

$$\Omega = \frac{N!}{N_1'! N_2'!}$$

热力学第二定律断言 S 从而 Ω 达到极大值。对上式求极值, 我们有:

$$\Omega_{\text{极大}} = \frac{N!}{\left(\frac{N}{2}\right)! \left(\frac{N}{2}\right)!}$$

现在两边相同数目的粒子。

玻尔兹曼所做的一切构成了现代统计物理的基础。现代统计物理一直是物理学的中心之一，并不断为物理学其它分支和其它学科学提供新思想，是人类思想的一个重要源泉。不仅如此，这一公式在信息论，计算机科学、生物学等其它领域都有重要的应用。如果你决心读完这本书，你将看到这方面的更多事情，你一定会为这一定律的深刻性所震动，这肯定会拉近你与上帝的距离，OK！祝你好运！

可是，玻尔兹曼的伟大发现不为人们所接受，不断地受到攻击。其中最著名的莫过于庞加莱，庞加莱是二十世纪最伟大的科学家。庞加莱说，对于孤立系统，从任一点出发的轨道，最终会回归到它的出发点的无限小邻域里。爱因斯坦指出，对于一个不大的系统，实现庞加莱回归要等候宇宙的年龄那样长的时间！

最后，玻尔兹曼穷困潦倒，自杀结束了这位伟人的一生。他墓碑上写着 $S = k \ln \Omega$ 。

物理学中只有这一条定律在时间反演下是不成立的，即：

$$\frac{dS}{dt} \geq 0 \text{ 成立,}$$

$$\frac{dS}{d(-t)} \geq 0 \text{ 不成立,}$$

牛顿第二定律在时间反演下是成立的。

$$\frac{d^2s}{dt^2} = a$$

$$\frac{d^2s}{d(-t)^2} = a \quad (s \text{ 是位移})$$

即质心以同样的加速度向过去行驶。微观世界的定律,大部分在时间反演下是不变的。因此,热力学第二定律赋予过程一个时间箭头,即熵增加的方向为时间的方向。

聪明的读者一定早已发现上帝隐藏了的秘密是指什么。那就是,既然上帝创造了有序结构形式和生命,为什么又创造出一条熵增加的定律来摧毁这个世界,上帝是如何协调创造和摧毁的矛盾?如果我们这个世界从过去而来,它一定比现在的熵少,当这个世界走向未来,最终会使它的熵达到最大,那时,不存在任何有序结构和生命形式。我们人类只不过是这一壮丽图景中的一个匆匆过客,怎么能明了上帝的心?

我们还是循着上帝的创造,稍微细致地看看,也许会有新的洞见。

首先,微观客体和宏观客体有一个差别。微观客体大部分是无法标记的,没有方法规定这一粒子走这一条路径,那一粒子是另一路径。而宏观客体是可以标记的,当要求宏观过程是可逆的时候,必须附加额外的信息。例如一个推销员要到五个城市去推销,当在每个城市航班的信息全部知晓时,他可以按原路返回。当他缺少这些信息,他只能以很小机会按原路返回。这是李政道教授的见解。

其次,热力学第二定律叙述中,孤立体系是个理想的条件。多数情况是开放系统即与外界有能量和物质交换的系统,

最好的例子是生命形式。直接断言,热力学第二定律不允许有序结构形式的存在,生命现象不能为物理学解释,是没有道理的。事实上,这正是本世纪六十年代以前大多数科学家的看法。

例如,我们原则上可以在红墨水扩散的实验中,设法使每个墨水分子知道下一步该怎样运动,最后重新聚集。这样我们给系统输入了大量信息,并做了功。

形成结构形式即意味着有一种组织力量,使得大量基本组成单元能彼此通信,协调其行动,我们肯定这种组织的力量是上帝赋予的。

至此,我们对上帝隐藏的秘密已经有了些新的洞察。这给我们一个教训“上帝可能很狡黠,但它并无恶意”。让我们记住,上帝既然创造了这个世界和我们,肯定也会为我们铺下一条可能是很崎岖的路去努力接近它自己。特别是,我们深信,在每个拐弯的地方,上帝会留下指路的标记。

人类有序的结构

我们领悟到,上帝在做创造有序结构形式这第一件事的时候,已经赋予了创造和破坏的力量,正是这两种力量的相互作用,有序结构形式才得以形成、进化和毁灭。因此,描述宏观世界的规律应该是一种动力学。

事实上,一旦抽象出其动力学规律后,我们发现不论其物质的组成如何,其背后的动力学规律具有很多相似之处,即动

力学和热力学一样具有很大的普适性。在许许多多塑造自然之形过程的背后存在一些共同的规律,谁敢断言我们不是在借助上帝的神谕?

动力学是描述一个体系是如何随时间发展变化的。对数学、物理学家来说,动力学即意味着描述物理量随时间变化发展的微分方程或迭代方程。微分方程表示一个量随时间的变化率的方程,迭代方程表示一个状态从上几次到下次的变换规律。于是微分方程和迭代方程成为研究动力学的主要工具。早在发明微积分的时候,牛顿就写道,求解微分方程是有用的。微分方程理论,经过庞加莱、伯克霍夫、斯梅尔、哈默斯、阿诺尔德等这些伟人的发展,已成为数学的一个庞大分支。随着计算机技术的发展,迭代方程变得重要,迭代方程在计算机上更容易实现。实际上,离开了计算机,人们关于动力学几乎没有什么直觉,正是由于计算技术的发展,现代动力学理论取得了巨大进展,形成一个又一个热潮。

既然,上帝选择了动力学,而动力学又具有普适性,我们还是从简单的动力学开始。

守恒系统

我们早已从教科书得知,两个质点碰撞,其总的动量不变,如果是弹性碰撞,则总的动能也不变。我们大多数人都亲自做过这个实验。我相信这种体验是深刻的,解物理题时,当发现诸如动量,动能等是守恒的,问题立即变得简单、透明,守恒的条件是强有力的。

我们来看最简单的守恒系统——单摆

$$H = \text{动能} + \text{势能} = \frac{1}{2}mv^2 + mgl(1 - \cos\theta)$$

H 是能量函数称为哈密顿量。

这一系统是守恒的, $H = \text{常数}$ 。

$$V = l \times \frac{d\theta}{dt} = l\dot{\theta}$$

我们在空间 $(\theta, \dot{\theta})$ 空间里画出 H 的图象就是一系列椭圆。能量高的轨道是外面的椭圆。轨道是封闭的椭圆, 表明运动是周期的。

这里 $(\theta, \dot{\theta})$ 空间称相空间。一般地, 一个动力系统的坐标和动量构成的空间称相空间, 其维数是动量或位置变量的两倍。

谐振子的哈密顿函数是:

$$H = \frac{1}{2}KX^2 + \frac{1}{2}mv^2$$

你可以试着画出它的相图, 你会发现这两个系统的相图都是椭圆, 是可以相互变换的, 这两个系统是等价的。

意想不到的辫子和扭转结

如果有 N 个变量的系统恰好有 N 个守恒量, 那么用 N 个微分方程和用 N 个守恒量的方程描写这个系统是等价的。这样的系统是完全可以积的。它任何时刻的行为(位置、动量)都

可知道。

单摆,谐振子是只有一个守恒量的可积系统。

对于多个方程或者说自由度的系统,可积系统的一个最简单最有用的物理图象是,找到一个适当的坐标系,把这个系统变成一个没有相互作用的一群谐振子。这是统计物理、固体物理和量子场论的一个基本图象。物理学家们非常重视基本的物理图象,这些基本图象具有可转换性,可以以不同的方式出现在不同的地方,而且这些基本图象与我们的日常生活的体验分不开。当你发现能把基本图象转换到其它地方时,你既获得了技术上的成功,又获得了一次美学享受。

喜欢思考问题的读者可能已经猜测,完全可积系统一定是很稀少的。确实,伟大的庞加莱就意识到三体系统(三个由引力相互作用的物体组成的系统)是不可积的,这真令人沮丧。就在这样一个系统中,会出现完全不可预言的行为——混沌,这是我们下一节的主题。如果事情正象你猜测的那样,那么,我们可以说上帝是不是此时有些倦怠,怎么没有在可积系统上露一手?上帝的确露了一手,而且让我们吃惊:存在无限多的完全可积系统。当今理论物理的旗手 E·威顿,说过“可积系统是神秘的。”可积系统一直是理论物理关注的一个中心。可积系统在动力学、统计物理、量子场论都有重要的意义。可积系统的存在预示着自然界存在某种深刻的东西。在这一点上,可以说上帝是智慧的,善意的。

完全可积的条件是相互作用矩阵 S (反映相互作用强度)满足 Yang-Baxter 方程。

Yang 就是对我国的几代青年物理学家和学生具有强大

感召力的杨振宁,他的工作,李—杨相变理论(李政道),宇称不守恒(与李政道合作),规范场论,Yang—Baxter 方程等无一不是理论物理最漂亮的工作,对理论物理理论的各个方面有着深远的影响。Baxter 是当今可积模型方面最优秀的专家。他的专著《统计物理学中的可积模型》对很多优秀物理学家产生过重要影响。

Yang—Baxter 方程是个局域条件,这正是其威力所在。我们讨论场论时曾指出局域性是场论的一般要求。

Yang—Baxter 方程不仅是研究可积模型,而且是研究低维拓扑学的重要工具,如扭结。现在认识到扭结出现在数学、物理学、生物学的各个分支中。

将一根绳子互相缠绕,再把两个端点连接起来。形成一个扭结。如图是两个最简单的扭结。

图 10—24

辫子是这种构形,两根绳子上的一个交叉。

把在两根绳子上生成一个交叉的办法在 N 根绳子上连续使用,并且每次只产生一个交叉,就能产生更复杂的辫子。

女孩子头上的辫子都是这样打的。

一个数学定理叙述说任何一个扭结可以用一组辫子构成。把每根绳子的两端连接起来即构成扭结。

现在,我们把绳子解释成粒子在时空中留下的轨迹,在每个交叉点,我们认为发生了两两相互作用,那么,Yang—Baxter 方程用图表示即是:

图 10—25

向上的方向规定为正时间方向。条件(1)解释起来就是,相距较远的两对粒子发生相互作用的顺序是无关紧要。条件(2)解释为紧邻的三个粒子两两相互作用应该满足的条件。

我们回到扭结。数学家们关心的是,给你一扭结,不允许把绳子剪断,你是如何区分它是一个结还是不是一个结呢?一个结如何可以和另外一个结区分开来?数学家们试图给每个结赋予一个多项式,用这个多项式来区分结。凭经验,我们知道,如果不剪断绳子,把绳子扭来扭去是不会影响已打上的结,因此,表征结的多项式应该是不变的。

数学家和物理学家几乎同时注意到 Yang—Baxter 方程正是表述了一个扭结在上述扭动下不变的条件。这带来了革命性的变化,那就是,场论、统计物理模型、动力系统模型与低维空间的拓扑性质有关,这样一方面我们可以通过研究场论,

或动力学模型等来研究空间的拓扑性质,另一方面,可以通过拓扑性质来研究场论,动力学系统。

Yang—Baxter 方程隐含一种非常重要的对称性。存在一个结不变量要求 CPT 对称性,回想起前面在场的对称性原理的讨论,这真是一件神秘的事情。

可积系统给我们一个启示,在那些看似不同的系统,过程之间,可能存在深刻的联系,而且,场论、动力学的内容与其所在的时空的性质有深刻的联系。

耗散——破坏的力量？

伴随有类似于摩擦的过程,便出现了耗散,能量不可逆地逃逸掉了。因此,熵在耗散系统内增加,耗散便被看成是一种破坏,衰退的力量,这正是经典力学时代的观点。

年轻的柏拉图就意识到永恒和变化都必须是现实世界不可缺少的东西。生命形式都存在耗散,耗散是生命存在的条件。对一个守恒系统,其相空间总的大小是守恒的,每条轨道围成区域的相空间的大小是守恒的。因此,在一条轨道附近给一个小小的扰动,系统会记住这个扰动,即系统会在另一条轨道上运行,(参考单摆的相图),系统是不稳定的。对生命形式,环境的变化、生命过程的变化和生命的进化的时间标度分别以秒、年和百万年计,生命过程必须稳持相对的维定性,即环境改变时,生命过程仍能维持。我们看到耗散在这里起了不可缺少的作用。出现了耗散,相空间的体积不再守恒,直观上可以设想,不同出发点的轨道可以收缩到一个有限的区域内。

稳定性

稳定性是个重要的概念,可以粗略叙述如下:

在某一条轨道给以一个小的扰动,随时间新的轨道和原来的之间的偏离越来越小,便称系统是稳定的。

对一个稳定的极限环,其轨道是相空间中的一个封闭的环。从环外一定区域内发出的轨道最终会吸引到环上,不论其出发点的位置在哪里。极限环是周期吸引子,一旦到达极限环上,每转一圈所用的时间都是一样的。这是一个有趣的现象,当时一位电气工程师发现它的时候,便认为人的心脏的搏动是类似于极限环的运动,其实,心脏的搏动远比极限环复杂。

敞开的道路

耗散是生命形式的条件,这又如何与热力学第二定律协调起来的呢?

我们把系统的熵写成两部分,内部过程产生的熵 S_i 和系统与环境的交换产生的熵 S_e ,称为熵流,热力第二定律可表示为:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt}$$

$$\frac{dS_i}{dt} \geq 0$$

只要 S_i 在非孤立系统不减,不可逆过程就可以在内部发生,

内部会出现耗散。另一方面,由于 $\frac{ds_c}{dt}$ 可以大于零也可以小于零,这使得 $dS/dt < 0$ 是可能的,这就为形成有序结构开辟了道路,系统把熵排到环境中去,或者系统从环境吸进负熵,而维持有序结构。

在这里,我愿意多说几句。熵的定义是和平衡态相联系的,因此,在远离平衡态的非平衡态,热力学第二定律成立条件是受到怀疑的。过去二十年内,远离平衡态系统发现有序结构无疑是最激动人心的进展之一。在远离平衡态的系统内,热寂死是不存在的,你在本书的最后部分将看到膨胀的宇宙就处在远离平衡态,困惑人们一百多年的“宇宙热寂死”从此便烟消云散了。

耗散不仅是维持生命的条件,而且还蕴含着新的有序的种子,系统有可能从一个稳定态过渡到另一个稳定态,出现新的有序结构。

你看,我们最初认为纯粹是破坏、衰退的力量的耗散,现在却变成了具有建设性的力量,这一点,你恐怕没有意想不到吧。

流体力学是人们处理耗散的第一个例子。从这里,人们获得经验,处理耗散更方便的是引入宏观层次的描述,它是一定微观区域的平均化,而不再从单粒子方程出发。平均化的结果,我们得到随时间演化的方程,这就引导我们去研究一般动力学系统理论。

给你一幅几何图象

“几何学一直是数学创造的源泉”，这是数学家丘成桐的一句话。杨振宁研究规范场论时，发现这是一种称为纤维丛的几何学，而这正是数学家陈省身所研究的，所以，杨振宁有“造化爱几何”的诗句。早在古希腊，发现了我们称之为勾股定理的毕达哥拉斯就说过“上帝是几何学家”。看来，上帝确实偏爱几何，而我们关心的是几何学的图象如何能够帮助我们得到动力学系统的结论。我们将拥有一系列动力学系统的基本的几何学的图象。

相空间的概念，我们前面遇到过。粒子的位置和动量构成的空间 $(X, \dot{X})$ 称为相空间。随着时间的推移，系统在相空间内划出一条相轨迹。

关于相空间有两个基本的事实。一个是两条相轨迹永不相交，因为这样的话，从交点出发粒子不知去向何方，这与描述其运动的微分方程是矛盾的。另一个基本事实是，对于守恒系统，相空间的体积是守恒的。随着时间的推移，相空间会拉伸，扭曲但其总体积不变，表现得象不可压缩流体。

稳态解是指时间趋向无穷大时的解，系统跑到这个解上，如果不受扰动将继续留在那里。

上帝选择了什么

为了让你看到具体动力系统的相空间的几何学这图象，

我们举下面最简单的平面线性系统。

$$\dot{X} = a_1x + b_1Y$$

$$\dot{Y} = a_2x + b_2Y$$

你一眼看出原点是稳态解。可是，下面的事实你肯定看不出，这样的系统的解在相空间的图式只能有以下四种。

图中圆点表示稳态解，箭头表示方程的解随时间的变化方向。图中箭头的方向同时表示了解的稳定性，其意义当然也是自明的，当然对于鞍点型，谈论其稳定性是没有意义的。回忆对称性原理的内容，我们现在对这组方程施行 T 变换，把时间反向会有什么结果呢？在这些图中，只需要把时间箭头反向即可。

从这个简单的例子，我们看到几何学给了我们关于动力学的图卡，每个图代表动力学的类型。（是非常直观和直接的）。

我们的例子的确很简单，鉴于这个系统内在的一种性质，我们作出预言，这样的系统对上帝的创造事业——建成有序结构肯定没有贡献。这一性质就是线性性。这样只有变量的一次项的系统满足线性叠加原理，就象你熟知力的独立作用原理一样。如果有两组解 $(x_1(t), y_1(t))$ 和 $(x_2(t), y_2(t))$ ，那么解 $x(t) = k_1x_1(t) + k_2x_2(t)$ ， $y(t) = k_1y_1(t) + k_2y_2(t)$ ，（其中 k_1, k_2 是任意常数，但不同时为零）是原方程的解，你一眼看出这件事情吗？如果没有，就写下这两组解各自满足的方程，分别乘以任意常数再把这两个方程的两端分别相加即可。线性系统不可能出现两个以上的稳态，那样的话，根据线性叠加原

理就会无限多的稳态,这显然是不可能。由于这一点,线性系统是不能描述有序结构形成。要描述有序结构的形成,我们必须求助于非线性动力学。不满足线性叠加原理的系统都称为非线性系统。例如,在上面的系统中引一个二次项, x^2 或 y^2 或 xy ,线性叠加原理立即遭到破坏,系统就会出现新现象。可以认为,上帝就象我们所理解的那样选择了非线性系统。

那是上帝的手

非线性科学直到最近才被正式提出来。在国外,在大学里设立非线性研究小组,开设非线性课程只是八十年代的事,即使如此,这样的大学也不多。对于变量较多(三个以上有时就足也)非线性方程组,我们立即产生了恐惧感,对它的行为我们缺乏直觉,这就是非线性研究起来的困难所在。在这里我们回想起在讨论热力学第二定律时学得的一点教训,让我们面对自然界,聆听上帝的教诲。当我们把注意力集中在有序结构形成点的附近(我们相信在这一点附近是高度非线性的)。我们吸取的教益极有价值。铁磁物质在高温时是没有磁性的。当温度低于某一温度(居里温度)时,它具有自发磁性。在居里点以上,接近居里温度时,铁磁内部形成小小的区域叫做磁畴,在磁畴内,磁场的方向一致。当温度继续降低时,磁场就象一只无形的手,把所有的磁畴磁场的方向拉到同一方向,整块铁磁物质便具有了自发磁性。这一无形的手在大量的从无序向有序的转变过程中都发挥着类似的作用。我们再举一个激光的例子。激光是相干性很强的光,经过很长的距离,能量仍然

集中在很小的区域。激光带来了一场技术的革命。作为一个小小的应用,已经开设了激光美容的服务。

电场的激发,使激光腔中的原子发出光辐射,光辐射和外加电场组成一个复杂的场,当这个场把所有原子发光的步调调到一致时,便产生了激光。

在很多类似的过程中,都存在这个无形的手,这一无形的手使得组成的基本单元之间能够通信,即空间某点的事件会影响到空间另一点。通常的系统也存在空间关联,但那是原子尺度的,某点原子的振动仅会与周围几个原子的振动发生联系,不会影响到远处的原子的行为。当出现了无形的手的时候,这种联系的尺度是宏观的,可以和系统的尺寸相比。越接近转变点,这个尺度越大。下面,你将看到这一无形的手会给我们带来什么好消息。

无形的手在操纵系统的基本组成单元的行为,这给我们提供了一个机会,我们不去研究每个基本单元的行为以及它们的之间的相互作用,而是去研究无形的手是如何操纵系统从一个态到另一个态转变的。具体地,我们可以选取宏观层次的描述,把系统的其他的量表示这一无形的手的函数(它们是被操纵的),然后把这些量代入无形的手的方程中去,我们就得到无形的手的动力学方程。

所谓无形的手,实际是指这物理量可以称为序参量,在临界点(转变点)以上和以下,序参量一边是零,另一边不是零,代表了系统的两个不同的状态。所谓转变即意味着,随着参数的改变,系统失去原有状态的稳定性,到达新的稳定状态,这正和我们的直觉经验相符。设想在转变的过程发生的另一类

事件,这些事件的特点是随时间很快地衰减,就象节日的彩灯一样,很快的闪烁。那么,实际上,这些事件对系统从一个态向另一个态的转变没有贡献。因此,称为无形的手的那些量是相对慢的随时间增长的量,它操纵了转变的过程。记住这些是有用的,当你购买股票时,显然你跟不上股票天天的变化,如果你能抓住股票在一定时间的基本趋势,你就是最后的胜利者。

啊哈!我们得到了数目极少的序参量的方程,不再会因为可怕的非线性而畏缩不前了。你肯定想不到,得到这些认识竟会耗费无数伟大物理学家的`心血,他们中至少有十位获得过诺贝尔奖,如朗道、杨振宁、昂萨格、威尔逊、巴丁、库珀、普里高津等。可见,你要作出贡献,应该努力的程度便可想而知了。

下一步就是求解序参量方程。你可能已经有些熟悉几何图象,你可能禁不住想说,给我一个几何图象,几何实例。

早在六十年代,数学家们在研究微分方程时得到了与物理家的类似的图象,这就是著名的中心流形定理。这一定理断言,微分方程的解在失稳的局部,可以把稳定的变量,不稳定的变量都约化到不变的变量上去,即表示为不变的变量的函数。这样,我们只需处理少量变量的方程就可以了。事实上,自从著名物理学家 H·哈肯在七十年末阐发他的支配原理(我们前面叙述的就是这一原理),中心流形定理才广为学术界知晓。这也许应验了陈省身在回答杨振宁时的那句话。杨振宁发表规范场论之后才弄清,它是纤维丛上的几何学。一次,杨振宁碰到陈省身,便问陈省身是如何创造出纤维丛的几何的,陈省身回答说:“不,不,那是自然界固有”。其实,现代物理对数学的推动是巨大的,这里,物理学家有一种优越的条

件,他直接面对物质世界,有更多的机会去聆听上帝的教诲,去揣摸上帝的心。

在这里,我还应提及约化系统的另一种方法,称为庞加莱截面。在相空里设置一个面,考虑系统的轨迹穿过这一截面时留下的点的运动,这样可以使系统维数降低一维。

上帝的图卡

我们知道,一旦抽象出方程、动力学方法就象热力学方法一样具有普适性。在临界点附近,我们得到序参量的方程。我们自然希望序参量的方程是普适的。由于序参量的个数,外界的参数个数常常很少,我们可以对只有一个、二个、三个序参量的方程进行分类,我们将拥有一系列关于序参量变化的几何学图卡。在这一节,我将给其中的几个,同时我将帮你获得一点数学训练。

$$\frac{dX}{dt} = A - X^2$$

这个方程只有一个序参量 X , 一个外界参数 A 。先求出稳态解, 让 $dx/dt=0$, 求出两个稳态解。

$$X_1 = \sqrt{A}$$

$$X_2 = -\sqrt{A}$$

我们认为物理的量是个实数, $A < 0$ 是没有意义的。现在我们想知道, 两个稳态解的稳定性。先看 $x_1 = \sqrt{A}$ 。设想有一个小小的扰动 δx , $x = \sqrt{A} + \delta x$, 代入原方程。作稳定性分析的要点

是,只保留 δx 的一次项,舍去 δx 的高次项,如 $(\delta x)^2, (\delta x)^3$ 。我们有,

$$\frac{d}{dt}(\sqrt{A} + \delta x) = A - (\sqrt{A} + \delta x)^2 = -2\sqrt{A} \cdot \delta x - (\delta x)^2$$

所以,

$$\frac{d(\delta x)}{dt} = -2\sqrt{A} \cdot \delta x \quad (-2\sqrt{A} \leq 0),$$

即 δx 随时间的增长逐渐衰减。解出上式就是,

$$\delta x(t) = \delta x(0) \exp[-2\sqrt{A} \cdot t]$$

$\delta x(t)$ 是呈指数衰减,这一个解是稳定的。

图 10-27

对另一解, $x_2 = -\sqrt{A}$ 作同样的事,你就会发现它是不稳定的。

$$\frac{dx}{dt} = AX + X^2 \quad \text{你可以作前面同样的事情。}$$

$$X_1 = 0, X_2 = -A$$

稳定性分析分两种情况, $A > 0, A < 0$ 。

$A < 0, X_1 = 0$ 是稳定的, $X_2 = -A$ 是不稳定的。

$A > 0, X_1 = 0$ 是不稳定的, $X_2 = -A$ 是稳定的。

因此, 当参数 A 变化时, 系统将从一个稳定解过渡到另一个稳定解。

图 10-28

$$\frac{dx}{dt} = -X^3 + \lambda \cdot x$$

作前面同样的事情。

$\lambda < 0$, 只有一个稳定解, $X = 0$

$\lambda > 0$, 有三个解, $X_1 = 0, X_2 = \sqrt{\lambda}, X_3 = -\sqrt{\lambda}$ 。其中 $X_1 = 0$ 此时是不稳定的。

同样, 当 λ 从负变到正时, 系统将从一个稳定态过渡到另一个稳定态, 与前一例不同的是, 系统将自由地选择两个稳定

解中的一个 $X = \sqrt{\lambda}$ 或 $X = -\sqrt{\lambda}$ 。参照插图

为了避免引入过多的数学符号,我仅选了以上三个例子供你体会。数学家已能对少数几个序参量和外界参数的情形给出完全的分类供人们应用。

符号里包含了什么

你是否记得我们曾经强调过物理图象的可转换性?你觉得我们的几何学的图象有启发性吗?这一节,我们打算引入一种抽象的描述。这样考虑,约化的动力学具有很大的普适性,在某个参数点附近,其几何学图象的局部是对不同系统中是类似的。现在设想系统仅有两个稳定态 A, B, 你能就系统的动力学说些什么呢?如果你已领会前面的思路,你可能会想,能否根据这两个态给系统的动力学一个完全的分类呢?啊哈!正是如此。这是一个非同寻常,一开始不引人注意的思想,系统的动力学用一个关于 A、B 的符号串如 AAA..., ABABAB... 来表示,对于符号串的分类等价于对系统动力学的分类。

符号串是动力学系统的一个表示,但是,由于符号串是更高层次的抽象,我们可以单独地研究符号串,例如,我们可以作,

1. 给定一个符号集 $\{A, B, C, \dots\}$, 研究由这些符号生成的所有的串的特征,从而得符号串的一个完全分类。如 AB-CAAA..., CABBACABCABC..., 两个串是不同的。如果对应动力学系统,第一串表示经过 ABC 的过渡阶段后,系统稳定在 A 上,第二个串则表示经过过渡阶段 CABAC 之后,

系统进 ABC 的循环上,是周期吸引子。

2. 任给一个符号集 $\{A, B, C, \dots\}$, 再加上一些产生规则, 如

$$AB \rightarrow B, BC \rightarrow A$$

其意义是, 如果一个符号串中出现 AB, 则可以用 B 来代替。

我们可研究由符号集和产生规则生成的串的特征。我们也可研究, 任给一个符号串是否可以有限次应用产生规则由另一个串转换而来。

3. 可以在串上加一些运算, 例如把一个串加到另一个串的前面, 截去串的某一部分。也可以在串上引入一些度量, 如串的长度, 串之间的距离等。

这些研究都不从动力学出发, 是纯代数学的。你也许没有看出这些研究有什么意义, 这并不要紧。这些内容构成了理论计算机的基础。正是由于早期图灵、丘奇、哥德尔、波斯特、克林等伟大数学家的类似研究, 形成了现代计算机科学的基础, 并且直接预言现代计算机技术的一部分。

回到动力学, 我们关心的当然是动力学。我们的问题是如何从动力学得到符号串, 相反的问题是如何由符号串重构动力学。

从动力学得到符号串是容易的。先给动力学的相空间一个分划, 对每个小区以一个符号标记。系统的态落到这个区时就写一个相应的符号。系统的态随时间变化, 我们就得到了一个符号串。研究这个符号串就可以得到大量的动力学的信息。

例如对下面的方程映射。

$$X_{n+1} = X_n(1 - X_n)$$

我们约定当 X_{n+1} 出现在 $X=1/2$ 的左边时记为 L, 在它的右边时记为 R, 这样, 我们便得到了两个字符 L、R 的字符串。现在, 在这样的系统中, 已对所有的串进行了完全的分类, 其动力学行为是完全知道的。从这里可以看出符号动力学的威力。鉴于技术性, 我们不深入讨论。

从符号串构造动力学是粗糙的, 不唯一的。符号串是动力学的粗视化的结果, 而且不同的动力学可能导致相同的符号串。物理学家根据简单性的原则来由符号串构造动力学。

动力学这种抽象的研究正在深入地开展。这有深刻的意义, 那就是在抽象的信息层次上, 宏观的一切过程都表现出某些信息特征。

信息, 包含着多种意义, 并且正在被滥用。通常, 我们从一条信息获得某种东西, 经历了从不知道到知道的过程。我们不知道某个事件是否发生, 当它发生了时, 我们便知道了。因此, 信息反映获得的东西, 这和事件的发生的不确定性有关。事件发生的不确定性不仅与事件发生的可能状态的总数有关, 还与每个状态发生的概率有关。我们要获得一个普遍意义下可比的信息的定义, 要撇开发生的地点, 时间, 内容以及对事件的情感和反应。而只考虑事件发生的状态总数和每个状态发生的概率。例如掷一枚硬币, 正、反面出现的概率各是 $1/2$ 。在事件发生之前, 我们不知道是正面还是反面; 在事件发生之后, 我们知道了。于是, 我们获得了一定量的信息。

信息的度量可用下式表示。

$$S = \sum_i P_i \log \frac{1}{p_i}$$

Σ 表示对所有的状态的求和, 状态 i 发生的概率是 P_i , 对数的底常取为 2, 这时信息的单位叫做比特。

这正是申农四十年代提出的公式。

在扔硬币的试验中

$$S = \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} = 1$$

在扔硬币的试验中包含了 1 比特的信息。我们知道了扔的结果便获得了 1 比特的信息。由上述公式, 对任何确定的事件, 其信息量为零。

比较两组事件包含信息量的大小

$$A: A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 A_8$$

$$\text{概率: } \frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{8} \frac{1}{8} \frac{1}{8} \frac{1}{16} \frac{1}{16} \frac{1}{16}$$

$$B: B_1 B_2 B_3 B_4 B_5 B_6 B_7 B_8$$

$$\text{概率: } \frac{1}{8} \frac{1}{8} \frac{1}{8} \frac{1}{8} \frac{1}{8} \frac{1}{8} \frac{1}{8} \frac{1}{8}$$

$$A_1 \text{ 包含的信息 } S(A_1) = \log_2 \frac{1}{4} = 2$$

$$B_1 \text{ 包含的信息 } S(B_1) = \log_2 \frac{1}{8} = 3$$

$$A \text{ 包含的信息 } S(A) = 2.75$$

$$B \text{ 包含的信息 } S(B) = 3$$

$$S(B_1) > S(A_1), S(B) > S(A)$$

这表明 1, 分布越平均的事件序列中, 所包含的信息量越大,

因为,它包含的不确性的程度越大。2,就单个事件而言,概率越小,信息量越大。因此,小概率事件发生常常引起人们的震惊如超新星爆发,陨石雨。就一个事件集合而言,例如,三支球队都势均力敌,判断谁胜谁负就包含更多的不确定性。

把信息的公式改写,

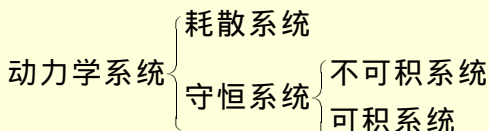
$$S = - \sum P \ln P$$

这正是,热力学中熵的定义。这二者的联系在于都存在一状态数目和与之相应的概率分布。在热力学中,熵与能量的耗散有关,在通信理论和计算机理论中同样如此。其实,在任何系统中,信息的传输伴随有能量的耗散,能量的耗散会增加宇宙的无序,给信息的传输带来误差。因此,可以肯定,信息的传输以及信息的不确定性应满足相对论和量子力学的不确定性原理,信息的传输速度不能超过光速,信息的不确定度满足量子力学的不确定性原理。

正如前面指出的,信息、热力学,理论物理和计算机科学的这一深刻联系的方面正是目前许多研究的出发点。例如,人们希望找到新的计算原理,对人脑的思维和物理规律本身提供新见解,人们也希望最终能够造出量子计算机。

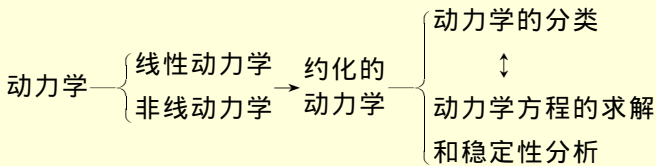
我们来看大数学家图灵的一个观点。生物形态发育是十分令人惊奇的,一切配合得那么精妙,才能发育成一个完美的形态。图灵就曾建议某些化学物质的浓度梯度(浓度沿着某个方向的变化)传递着发育的信息。这里,信息作为一个场储存在整个系统内部。这一观点是有深刻意义的。

在进入下一节之间,我们可以总结一下。我们面对的动力学系统可分为,



在可积系统,我们讨论了 Yang—Baxter 方程,指出了动力学,统计物理模型、量子场论和低维拓扑(结、链环)是如何产生深刻联系的。

在一般的动力学理论中,我们强调了几何学的图象,我们的思路是:



我们又引入动力学的抽象的符号和信息的描述,

动力学 $\rightarrow$ 符号描述 $\rightarrow$ 动力学的信息

最后,我们指出了在信息、热力学、理论物理和计算机科学之间一种联系,这种联系可能导致人们对物理规律,人类思维的新见解。

我们所做的一切都是为了弄清上帝是如何创造这个宏观世界的。正如我们所看到的那样,上帝创造这个世界的时候遵从了我们可以理解的规则,正是这些规则使得这个世界是多样性和统一性的结合体。这些规则又似乎与我们思维有些类似,这使我们深信这些构成了上帝创造的秘密的一部分。在这本小册子的后面,我们将看到这种类比会把我们引向更远。