

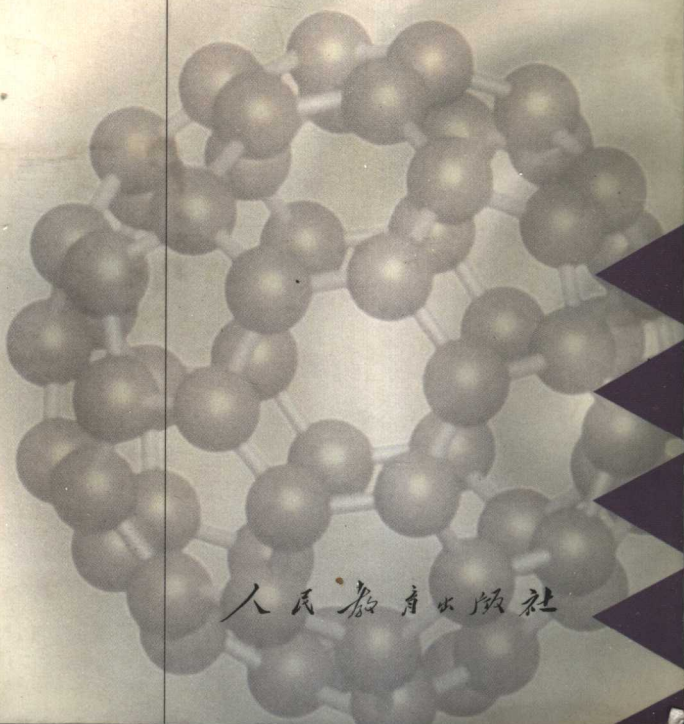
全国中小学教师继续教育

教材

化学进展的启迪

人民教育出版社化学室 组编

教育部师范教育司 组织评审



人民教育出版社

全国中小学教师继续教育教材

化学进展的启迪

人民教育出版社化学室 组编

教育部师范教育司 组织评审

人民教育出版社

全国中小学教师继续教育教材

化学进展的启迪

人民教育出版社化学室 组编

*

人民教育出版社出版发行

(北京沙滩后街55号 邮编: 100009)

网址: <http://www.pep.com.cn>

北京市联华印刷厂印装 全国新华书店经销

*

开本: 890 毫米×1 240 毫米 1/32 印张: 8.375 插页: 1 字数 220 000

2001 年 2 月第 1 版 2001 年 2 月第 1 次印刷

印数 0 001~7 000

ISBN 7-107-14297-6 定价: 13.40 元
G·7387 (课)

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系调换。

(联系地址:北京市方庄小区芳城园三区 13 号楼 邮编: 100078)

前 言

本书是受教育部师范司委托,由人民教育出版社化学室组织编写的全国中小学教师继续教育的教材,是实施继续教育工程的重要组成部分。

本书通过介绍 20 世纪以来化学进展中的典型事例,剖析化学科学发展进程中的科学方法和思维方法,并从中获得启迪,不仅使教师在进行继续教育过程中获得知识教育,同时也加强对教师进行素质教育,培养他们的开拓精神和创新能力。

本书虽着眼于素质和能力的培养,但培养的方法不是通过说教,而是通过具体介绍科学的发展来达到这一目的,因此本书的内容着重知识介绍,主要描述 20 世纪化学发展的成果,其中包括球碳的发现;元素周期表的现在和未来;有机化学的新生;物质研究深入微观;薄膜化学及其应用;化学与农业发展;人工智能和高分子材料;化学与人类社会的可持续发展等。

因篇幅有限,本书不能将所有进展一一介绍,只能择要描述,而且有些内容已非今日化学前沿,但很重要。总之,读者可从其中领略 20 世纪化学领域的重大成果,展望 21 世纪化学发展的前景,对教师的现有知识进行更新,使本书内容可直接用于提高教学质量,帮助广大教师在未来的竞争中把握机遇,迎接挑战。

本书介绍的知识与现行中学化学教材相比有较大的提高和扩展,因此很适合作为继续教育的教材和高中学生的课外读物。

本书的编写者为应礼文。

审阅者为宋心琦、刘尧。

责任编辑为乔国才。

责任绘图为李宏庆。

希望广大化学教师在使用过程中提出意见和修改建议。

人民教育出版社化学室

2001年1月

目 录

第一章 球碳的发现及所引起的思考.....	1
第一节 球碳的发现.....	1
第二节 并不平坦的科学进程.....	8
第三节 碳化学前景	50
第二章 元素周期表的现在和未来	57
第一节 惰性气体并不惰性	58
第二节 周期表再一次延伸	66
第三章 有机化学的新生	97
第一节 催化作用的回顾与展望	97
第二节 有机化学与医药进步.....	114
第三节 药物制造新篇章.....	122
第四节 金属有机化学.....	131
第五节 超分子化学.....	139
第四章 物质研究将深入微观.....	146
第一节 实时观察原子和分子已非梦想.....	146
第二节 跨世纪的纳米材料.....	161
第三节 液晶态.....	178
第五章 薄膜的妙用.....	185
第一节 走近高科技的 LB 膜	185
第二节 膜分离技术.....	194
第三节 微囊化技术.....	203
第四节 富氧膜技术.....	209
第六章 计算机辅助合成路线的设计.....	213

第七章 化学与农业发展	222
第一节 对环境友好的农药.....	222
第二节 能促进丰收的植物生长激素.....	230
第三节 固氮与发展农业.....	233
第八章 人工智能与高分子材料	237
第一节 高分子的智能化.....	238
第二节 形状记忆树脂.....	240
第九章 为人类社会的可持续发展作贡献	242
第一节 21 世纪的中心任务	242
第二节 原子经济化.....	245
第三节 绿色化学.....	249
第四节 化学家创造新分子.....	253

第一章 球碳的发现及所引起的思考

第一节 球碳的发现

一、碳有几种同素异形体

在自然界中，碳元素可以说是多姿多态的，但从分类上来说，主要有两大类，一类是晶形碳（简称晶碳）；另一类是无定形碳。

晶碳中的碳原子按照一定的规律排列成为有序的晶体形式，例如金刚石和石墨中的碳原子都排列有序，它们都属于晶碳。

在无定形碳中，碳原子的排列方式是无规则的，它们呈现出一种无序的无定形的形式。

1985年，球碳（ C_{60} ）的发现开始在化学界激起千层浪。

1985年，英国萨塞克斯大学教授克罗托（H. W. Kroto）、美国赖斯大学教授斯莫利（R. E. Smalley）和科尔（R. F. Curl, Jr）以及他们的两位研究生〔希思（J. Heath）和奥布赖恩（S. O' Brien）〕在英国著名的《自然》杂志上发表论文，宣布他们在赖斯大学的实验室中，利用激光轰击石墨，使石墨中的碳原子气化，然后让气态的碳原子冷却形成固态的碳原子簇，最后用时间飞行质谱仪进行分析，从质谱图上发现了 C_{60} 和 C_{70} 等由偶数个碳原子所形成的一系列的碳原子簇。

这一具有划时代意义的发现以最快的速度在《自然》杂志上发表，《自然》杂志是世界上极有声望的杂志，全世界许多重大的发

现（后来有许多发现都获得了诺贝尔奖金）都是首先在这本杂志上发表的。由此可见， C_{60} 的发现怎能不引起全球化学界的震动？

C_{60} 的发现首先改变了碳只有3种同素异形体（金刚石、石墨、无定形碳）的概念，于是，从1985年开始，一些国家的教科书和科技书刊中都将碳只有3种同素异形体这个概念改为碳有4种同素异形体。

C_{60} 的发现也引起了许多科学家的反思，像碳这样的在19~20世纪已经被化学家详细研究过了的化学元素，居然在它的基本研究领域中还存在着重大的遗漏，应该引起研究工作者的奋起直追。

当然， C_{60} 的发现应该在什么时候产生，对于克罗托、斯莫利和科尔来说是偶然的，但是对于科学的发展则是必然的。对于科学界来说，应该负有早日促成这些划时代发现产生的责任，使科学发展的进程更快一些。

另外一个值得反思的问题是，在我国，介绍球碳发现还不够及时。在1985年以后，我国的教科书中还在介绍碳只有金刚石和石墨这两种同素异形体，因此，在我们的课堂上，也迟迟不能出现 C_{60} ，成为化学教学上的一个空白点。这说明我们在及时跟上时代的步伐和反映科学新发现方面还做得不够，很有必要努力赶上日新月异科学发展进程。

二、碳原子簇研究的新成果

原子簇（cluster）又称团簇，是指由多个同种或同类的结构单元构成的分子或离子，结构巾存在着同种或同类原子之间的化学键。簇状分子可以是简单的，只由少数原子组成，如 P_4 ， S_8 ，但多数簇状分子中所包含的原子比较多，如 C_{60} ， $Fe_3(CO)_{12}$ 。原子簇常具有很多特殊的性质，如催化活性、生物活性以及各种光、电、磁等物理性质。

对原子簇这样一种新的物质形态的研究，有助于了解介于宏观

尺度和微观粒子之间的物质的性质，特别是近年来介观（介于宏观和微观之间的）物理学的出现和纳米技术的发展，使科学界对原子簇研究产生了兴趣。

原子簇研究始于 20 世纪 50 年代，最初采用超声喷注加冷凝的方法，或用稀有气体离子束轰击并溅射出二次离子的方法来产生原子簇。到了 20 世纪 60 年代末，激光技术得到普及，因此，利用激光来激发各种金属原子或合金，在冷却以后都能获得原子簇。

测量原子簇的存在以及它们的形态要用一种特殊的质谱仪，叫做时间飞行质谱仪。

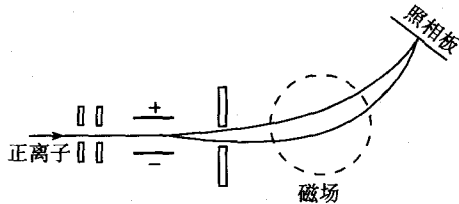


图 1-1 质谱仪

第一台质谱仪是由英国物理学家阿斯顿 (F. W. Aston) 设计的。在质谱仪中，正离子经过两个狭缝来到电场，不同速度的正离子在电场中的偏转程度不同，速度大的正离子偏转的程度小一些；速度小的正离子偏转的程度大一些。一部分正离子经过第 3 个狭缝来到磁场，这个磁场的方向是从纸面透入纸背的（即 N 极在纸上，S 极在纸下），所以正离子在磁场中向上偏转，凡是在电场中偏转程度小的正离子，它们在磁场中的偏转程度也小。结果是不论正离子速度的大小，只要是 e/m （式中 e 是电荷， m 是质量）相同的质点（正离子）就会收敛在一起，在照相板上留下痕迹。如果正离子射线中有 e/m 不同的质点，则它们将被收敛在不同的地方，同样会在照相板上留下痕迹。由于一个元素的各种质点（如质量数不同的各种同位素）的质量是不同的，因此可以在照相板上找到它们留

下的痕迹，从而测定出这些质点的量。

时间飞行质谱仪比一般的质谱仪要灵敏得多，但基本原理相同，因此也可用来测定原子簇的存在以及这些原子簇是由多少个原子组成的。实验结果表明，原子簇中的原子数目不能是随意的，只有包含某一定数目的原子的原子簇才是稳定的，它们能在时间飞行质谱仪上产生特征峰，这一定的数目称为幻数，对于一价碱金属来说，当原子数目为 2, 8, 18, 20, 34, ……时，组成的原子簇较为稳定，能在质谱图上产生显著的峰，成为检测这种原子簇存在的依据。

对碳原子簇的研究大约从 20 世纪 80 年代开始，由于化学家和天文学家认为，他们对于碳在宇宙的形成和发展中所起的作用了解得不如氢、氦、氧等元素那么清楚，因此，碳原子簇便成为宇宙化学中的一个研究课题。

星际空间虽然空空荡荡，但绝非真空，其中分布着极稀薄的气体和极少量的尘埃。研究星际物质不但对于天体演化学、宇宙化学等学科的发展以及了解银河系的结构具有重要意义。而且一些含氢、氧、碳等元素的星际分子通过化学演化，在地球上生成氨基酸、蛋白质，最后导致生命的出现，这些对于研究生命起源也是大有帮助的。

通过阿波罗登月计划所用的箔收集器以及种种空间探测器的测量，已经查明星际空间中的质点主要是电子、质子以及氢、碳、氮、氧和重元素的原子核。陨石产生于星际空间，它共分 3 类，即石陨石、铁陨石和石铁陨石，其中球粒陨石占全部陨石的 84%^①，而碳质球粒陨石的三种类型中，C₁ 型含碳 3%~5%，C₂ 型含碳 0.8%~2.6%，C₃ 型含碳 0.2%~1%。由此可见，碳这种元素和宇宙界有着密切的关系，并由此引发了科学家以“碳与星际空间的

① 本书中出现的“%”，如无特别说明，均指质量分数。

关系”为课题的研究工作。

为了弄清星际尘埃的形成过程，早在 1942 年，因发现原子核裂变反应而获得 1944 年诺贝尔化学奖的德国放射化学家哈恩 (O. Hahn) 通过研究，认为碳在星际尘埃中是以原子簇的形式存在的，他在实验室中模拟星际空间和恒星附近碳原子簇的形成过程，并用质谱法证实了原子数小于 15 的碳原子簇 $C_n (n < 15)$ 的存在。

德国马克思-普朗克研究所的物理学家克列希默 (W. Kratschmer) 和美国亚利桑那大学教授霍夫曼 (D. R. Huffman) 也在进行星际尘埃的研究，他们假设星际尘埃主要是由碳的颗粒组成的，并在实验室模拟这一想法。他们尝试在氦气气氛下用电阻加热的方法，使石墨棒气化成为碳蒸气，当氦气的压力正好合适时，便产生了一种特殊的碳原子簇的光谱，证实了他们的假设。

克罗托和他的合作者则从事星际空间冷暗云中富含碳的尘埃的研究，冷暗云是银河系中不发光的与碳有关的弥漫物质形成的云雾状天体，它们是形成恒星或星群的原始胚胎，研究冷暗云的形成对于了解银河系的演化过程具有重要意义。克罗托等在研究冷暗云中富含碳的尘埃时，意外地发现了其中有氰基聚炔分子。克罗托很想用实验方法来模拟氰基聚炔 (HC_nN , $n < 15$) 分子的形成过程和检测它的存在，但苦于缺少先进的和专门的研究设备。

1984 年，克罗托来到美国赖斯大学参观，经过该校化学系主任科尔的介绍，认识了研究原子簇化学的斯莫利，后者带着克罗托参观了刚刚安装好的用于研究金属原子簇和半导体的激光超声束流发生器，斯莫利和他的研究生利用这台仪器在氦气气氛中用激光使碳化硅变成蒸气的实验。这时的克罗托想到的却是，这台实验装置正是他的研究工作所需要的。

斯莫利安排克罗托于 1985 年 8~9 月在赖斯大学进行实验研究，并由他的两位研究生希思和奥布赖恩协助工作。他们用激光轰击石墨，使石墨中的碳原子气化，并用一股氦气气流把气化后的碳

原子通过一个小喷嘴送入真空室，气态的碳原子膨胀后迅速冷却形成碳原子簇，然后用时间飞行质谱仪对碳原子簇进行检测。

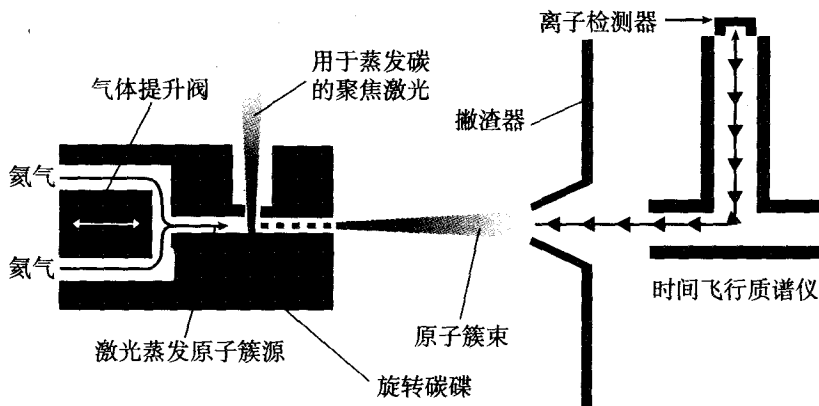


图 1-2 制备球碳的仪器

克罗托、斯莫利、科尔等分析了时间飞行质谱仪的记录纸上得到的图，这里有两张图，是从两次条件不同的实验中得到的结果，图中表明克罗托等所做的实验中产生了一系列碳原子数不同的碳原子簇，在众多代表碳原子簇的峰中，有两个峰比较高，这两个峰分别对应于由 60 个和 70 个碳原子所形成碳原子簇。而从上面的那张图上还可以看到，由 60 个碳原子所形成的原子簇 C_{60} 的峰尤为突出，比其他的峰（由 70 个碳原子形成的 C_{70} 除外）要高出 20~25 倍。对于这两张图的进一步分析表明，这些峰所

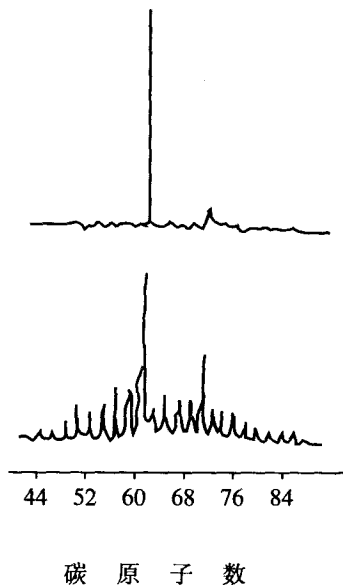


图 1-3 碳原子簇的峰

对应的都是由偶数个碳原子所形成的碳原子簇。由上述实验结果得出的结论是：克罗托等人从质谱图上发现了 C_{60} 和 C_{70} 以及一系列由偶数个碳原子所形成的碳原子簇，这一发现第一次证实了，除了金刚石、石墨和无定形碳之外，碳还存在着第 4 种同素异形体。

也许你会提出这样的疑问，克罗托等人只是从质谱图上证实了 C_{60} 和 C_{70} 以及一系列碳原子簇的存在，他们并未拿到 C_{60} 和 C_{70} 的实物，对于这种看不见和摸不着的发现能够算做科学发现吗？这里面也有一个科学观念转变的问题。

多少年来，科学家们一直遵循着“科学来不得半点虚假”的原则，当然这一原则过去正确，将来也是正确的。可是，这种思想往往使许多科学家在进行科学发现时相信“眼见为实”。但是，这样的观念在某种场合下也要允许改变一下。这里，只要举出一个例子，便足以读者释疑。

众所周知，人造元素是 20 世纪重大的科研成果之一，但是，在发现许多人造元素时，也是看不见和摸不着的。例如，1982 年德国达姆斯塔特重离子研究所的科学家明岑贝格 (G. Münzenberg) 等用加速器加速的铁离子轰击铍靶时，只获得了 1 个 109 号元素的原子，更确切地说，他们是从仪器上检测出这一个原子的。可是，全世界还是公认了他们发现 109 号元素。1984 年明岑贝格等用加速器加速的铁离子轰击铅靶时，只检测出了 3 个 108 号元素的原子的存在，同样被全世界公认为发现了 108 号元素。由此可见，科学发现不一定需要“眼见为实”，因此，克罗托等人的发现也得到了全世界的公认。

由于球碳的发现是从研究星际尘埃中的碳原子簇开始的，因此，后来克罗托在他发表的文章中，多次提出“球从天降”。对于这四个字，我们应该这样的理解，即球碳的发现是化学家和天文学家长期从事宇宙化学研究和宇宙中碳原子簇形成的研究的结果，因此，球碳的发现也具有继承性。我们千万不能将“球从天降”这四

个字理解为“天上掉下馅儿饼”，认为科学的发现常常是依靠偶然性和运气，于是，有人不是脚踏实地的工作，不是努力继承和发展前辈科学家的成就，有所发明，有所前进，而是梦想着“天上掉下馅儿饼”，要知道，这样想，这样做必将一事无成。这便是球碳的发现和克罗托、斯莫利、科尔带给我们的启迪之一。

第二节 并不平坦的科学进程

经过多年的努力，克罗托终于获得了成功，但是，这时的克罗托等却清醒地认识到，在 1985 年，他们仅仅是站在漫长的科学进程的起跑线上，离终点还远得很。作为化学家，当他发现了一种新物质以后，首先关心的是它是一个什么样的分子，也就是说，球碳中的 60 个碳原子是以什么方式和结合力连接成为一个分子的。

研究 C_{60} 的分子结构究竟从何处下手呢？有哪些经验是可以借鉴的？首先应该考虑的一个问题是， C_{60} 与金刚石、石墨同为碳的同素异形体， C_{60} 的分子结构会不会与金刚石、石墨相似呢？

金刚石和石墨都是三维网状结构，它们都是一种巨型的大分子。从某种意义上来说，金刚石和石墨都以无限多的碳原子组成。

然而，组成球碳的碳原子只有 60 个，是一个有限的、确定的数，它是单个有限的碳分子，不是一个大分子，因此，球碳不可能是与金刚石、石墨类似的结构。

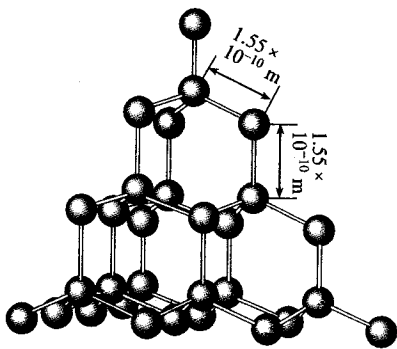


图 1-4 金刚石的结构

从比较这三种同素异形体的稳定性出发，还可以有以下的分析。在金刚石大分子中，分子内部的碳原子与处在分子边缘的碳原子的处境是不同的，在分子内部，每一个碳原子都以共价键与其他四个

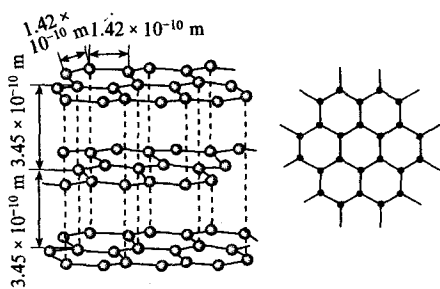


图 1-5 石墨的结构

碳原子相连，它们的结合力已处于饱和状态（因为碳是 4 价的），不会再与其他原子结合。然而，处在分子边缘的碳原子却不同了，与它们结合的碳原子都少于四个，因此，它们的结合力处于不饱和状态，即处于分子边缘的碳原子还有余力可以与其他原子相结合。一般情况下，原子互相结合时形成的化学键是离子键或共价键，而金刚石或石墨大分子上处于边缘的碳原子所具有的剩余的结合力则称为悬键。

由以上分析，可以认为，具有悬键的原子比不存在悬键的原子要活泼。金刚石虽然被称为极其稳定的宝石，但由于它的分子中存在着悬键，因此，在高温下金刚石仍能与氧气、硝酸钠、碳酸钠、重铬酸钾、硫酸发生化学反应。石墨的化学性质要比金刚石活泼，浓硫酸和浓硝酸的混合物加上氯酸钾能将石墨氧化为石墨的氧化物，它是酸性氧化物，被称为石墨酸。熔化的碱金属也能与石墨化合成 MC_8 、 MC_{24} 、 MC_{36} 、 MC_{48} （M 为碱金属）。

C_{60} 与金刚石、石墨不同， C_{60} 分子中并不存在悬键，而且是由有限碳原子（60 个）组成的小分子，因此， C_{60} 决不能是一个大分子，而是一个有限分子。可是， C_{60} 到底是一个什么样的有限分子，它的分子结构的模型究竟怎样，一直使克罗托等人陷入冥思苦想之中。

正当克罗托、斯莫利、科尔等人在热烈讨论 C_{60} 的分子结构时，克罗托忽然想起了他曾经参观过加拿大蒙特利尔市万国博览会

中的美国馆，这是一座外形奇特的穹窿建筑，犹如一个大球。这座建筑物给了克罗托等人很大的启发：“ C_{60} 是不是一种球形分子？”

从那以后，化学和建筑学这两门科学之间架起了一座金桥，而万国博览会美国馆的设计者富勒与 C_{60} 也结下了解不开的姻亲。

一、穹窿建筑体的启迪

1. 一位异想天开的建筑学家

加拿大蒙特利尔市万国博览会美国馆的设计者是美国建筑师巴克明斯特·富勒 (R. Buckminster Fuller)。虽然在 20 世纪末，由于 C_{60} 是用他的姓名来命名的，从而使他成为科学界的名人，但是，你可知道，富勒却有着坎坷的一生。

富勒于 1895 年 7 月 12 日出生于美国马萨诸塞州，1913 年就读于美国哈佛大学，但两次被学校当局开除，以致富勒最终未能完成正规学业，但是，这并不妨碍他成为极富创见的思想家和最有成就的建筑学家之一。

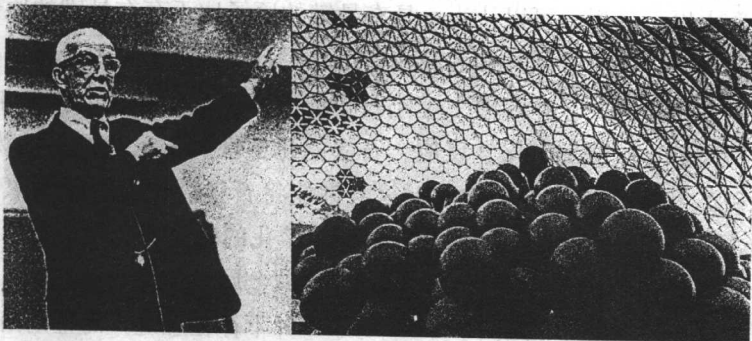


图 1-6 富勒和他的穹窿建筑

富勒在建筑学上的哲学思想是少里求多，而地球便是最突出的少里求多的例子，因为地球以最小的面积包含了最大的体积。富勒由此把这种哲学思想运用在具体的建筑上，谋求以最少的材料建造出最大容积的建筑物，它们的结构被称为多面体穹窿结构。