

中国科普原创经典

走近化学 | ZOUJIN HUAXUE |

化学是这样的一门科学：茫茫宇宙中浩瀚的物质世界，在化学家看来，不过是千百万种化合物的存在与组合，而且是由为数不多的几十种常见元素所组成的。

化学是这样的一门科学：它与其他学科和新技术的发展提供了必要的物质条件，但在社会对新技术成就的一片赞扬声中，它却甘于默默无闻。

柴之芳○著

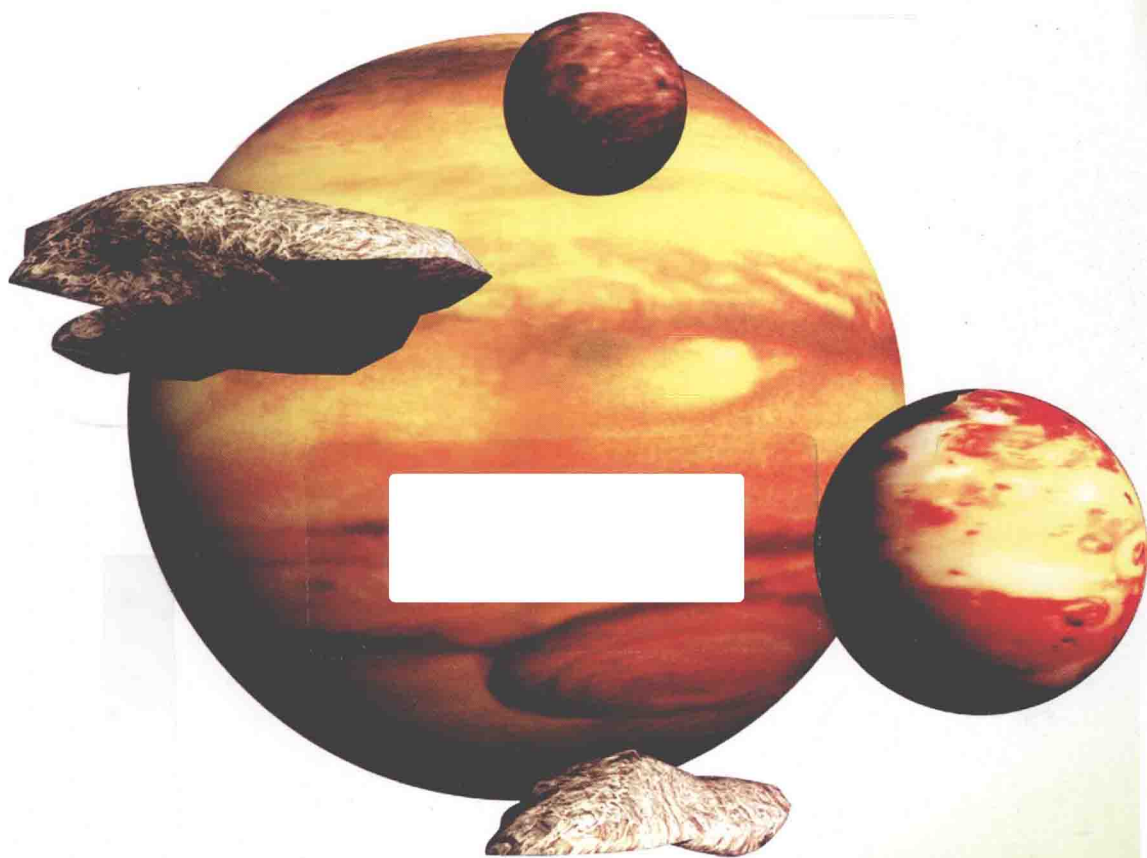
# 从宇宙大爆炸谈起

CONG YUZHOU DABAOZHA

TANJI

YUANSU DE QIYUAN YU HECHENG

## ——元素的起源与合成



CIS 湖南教育出版社

中国科普原创经典

走近化学 | ZOUJIN HUAXUE |

化学是这样的一门科学：茫茫宇宙中浩瀚的物质世界，在化学家看来，不过是千百万种化合物的存在与组合，而且是由为数不多的几十种常见元素所组成的。

化学是这样的一门科学：它与其他学科和新技术的发展提供了必要的物质条件，但在社会对新技术成就的一片赞扬声中，它却甘于默默无闻。

柴之芳○著

# 从宇宙大爆炸 谈起

CONG YUZHOU DABAOZHA

TANJI

YUANSU DE QIYUAN YU HECHENG

## ——元素的起源与合成

图书在版编目 (CIP) 数据

从宇宙大爆炸谈起——元素的起源与合成/柴之芳著.  
—2版.—长沙:湖南教育出版社,2012.4  
(走近化学/宋心琦主编)  
ISBN 978-7-5355-2640-3

I. ①从… II. ①柴… III. ①化学元素—普及读物  
IV. ①0611-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 066577 号

---

|       |                                                                                                                   |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 丛 书 名 | 走近化学                                                                                                              |
| 书 名   | 从宇宙大爆炸谈起——元素的起源与合成                                                                                                |
| 作 者   | 柴之芳 著                                                                                                             |
| 责任编辑  | 阮 林 李小娜                                                                                                           |
| 责任校对  | 李立中                                                                                                               |
| 出版发行  | 湖南教育出版社出版发行 (长沙市韶山北路 443 号)                                                                                       |
| 网 址   | <a href="http://www.hneph.com">http://www.hneph.com</a> <a href="http://www.shoulai.cn">http://www.shoulai.cn</a> |
| 电子邮箱  | 228411705@qq.com                                                                                                  |
| 客 服   | 电话 0731-85486742 QQ228411705                                                                                      |
| 经 销   | 湖南省新华书店                                                                                                           |
| 印 刷   | 湖南贝特尔印务有限公司                                                                                                       |
| 开 本   | 710×1000 16 开                                                                                                     |
| 印 张   | 9                                                                                                                 |
| 字 数   | 90 000                                                                                                            |
| 版 次   | 2000 年 8 月第 1 版 2013 年 5 月第 2 版第 2 次印刷                                                                            |
| 书 号   | ISBN 978-7-5355-2640-3                                                                                            |
| 定 价   | 15.30 元                                                                                                           |

---

20 世纪 90 年代，在新的全球性科学技术发展高潮和随之而来的激烈竞争初现端倪之时，湖南教育出版社的《科学家谈物理》、《科学家谈生物》、《走近化学》、《化学·社会·生活》等丛书陆续出版，在当时为数不多的原创学科科普中，其内容的新颖、作者阵容的强大、语言文字的生动堪称首屈一指。这套学科科普凝聚了当时物理学、生物学、化学领域的大家们的远见卓识和汗水心血。以“大科学家写科普”的严肃认真的态度和细腻别致的情怀，为当时的青少年——21 世纪的主人们在接受基础教育的同时，扩展科技视野，了解学科现状和发展趋势提供了一条最权威、最前沿、最贴近的通道。大家们字里行间所流露出来的对科学世界的向往与痴迷、对科学事业的热爱和虔诚，也深深地感动和影响了一代青少年。

二十余年之后，我们选择以“中国原创科普经典”的名义再次整理出版这套科普则有着非凡的意义。其一是原创的弥足珍贵。这么多大科学家的学识、思想、精神汇聚于此实属不易。时至今日，这其中的许多人已经离开我们，但他们的所著所言却是具有恒久长远的生命力的。这些原创于今时今日的我们，其珍贵是不言而喻的。其二是经典的不可复制。科学技术的发展日新月异，这套科普所展现的有些内容也许不是如今最前沿的知识，但它所记录的是这个发展过程中不可或缺的一步或几步，它已经成为经典。因此除了将某些符号和计量单位与现在的规定接轨外，我们没有做大的改动，选择尽量保留它的原貌。其三是精神的代代传承。这些著名的科学家不仅深入浅出地讲解了科普知识，更自然由衷地表达着对科学的热爱与敬畏，这些精神的甘露润物细无声。我们真心期待 21 世纪的青少年朋友们也能悉心来感受和传承，向伟大的科学和伟大的科学家们致敬！

需要说明的是，时隔多年，有些作者如今已经离世，有些作者现在已经联系不上，但我们一直在努力寻找中。如果有作者或作者的家人、朋友获悉我们再版这套书的情况，请跟我们联系，我们一并付酬致谢。

约 150 亿年前的宇宙大爆炸合成了元素周期表的前两种元素氢和氦，在随后的星际演化过程中，通过热核聚变燃烧反应和中子俘获核反应等作用，人类合成了氢、氦以后直到原子序数为 92 的铀的所有重元素。本书深入浅出地叙述了元素的各种起源，同时对发生在地球上的核合成现象以及现代核科学对元素合成的贡献作了简明介绍。本书适合于具有高中以上文化程度的读者阅读。

20 世纪即将过去，日益临近的 21 世纪的脚步声已经清晰可辨。世界各国为迎接新世纪而制定的种种规划即将逐一付诸实施，新的全球性科学技术发展高潮和随之而来的激烈竞争已初见端倪，“山雨欲来风满楼”是世纪之交的科技发展与竞争态势的最佳写照。为了帮助青少年朋友在未来的竞争中迎接挑战，把握机会，继《科学家谈物理》、《科学家谈生物》等丛书之后，湖南教育出版社又推出了一套《走近化学》丛书。这套丛书，对于帮助今天的青少年——21 世纪的主人们在接受基础教育的同时，扩展科技视野，了解化学的现状和发展趋势，明确化学家的任务和责任，是大有裨益的。因此，湖南教育出版社的这一远见卓识，理所当然地得到中国化学界的广泛响应和支持。中国化学会的积极参与和丛书编委会的组成，则保证

了这套科普读物出版计划的顺利实施。

化学是这样的一门科学：茫茫宇宙中浩瀚的物质世界，在化学家看来，不过是千百万种化合物的存在与组合，而且是由为数不多的几十种常见元素所组成的。它们之间的差别，仅在于元素的种类、原子的数目和原子构建成分子（或构建成晶体等）时方式的不同而已。

化学是这样的一门科学：化学反应，其机理几乎是各有千秋，而且对反应条件又极其敏感，以致对于一些化学现象，人们有时不免众说纷纭，莫衷一是。但是化学反应所遵循的最基本的物理定律，却屈指可数，简单明了。

化学是这样的一门科学：它与其他学科和新技术的发展提供了必要的物质条件，但在社会对新技术成就的一片赞扬声中，它却甘于默默无闻。

化学是这样的一门科学：它和其他学科的相互交叉与渗透日益深化，新的化学分支学科层出不穷，但是化学的理论基础却离不开化学元素论、元素周期律、化学键理论和物质结构理论。

化学是这样的一门科学：除非你已经学会透过宏观现象辨析原子、分子行为的思维方法，并熟悉化学所用的语言和语法规则，否则尽管在实际生活中化学和人的关系是如此的密不可分，可是在很多人的心目中，化学却显得那

么的陌生和遥远。以致有些人在充分享受化学对现代物质文明所作的种种贡献的同时，会不公平地把现代文明社会中的失衡与灾难的责任，归之于化学！

统计资料表明，世界专利发明中有 20% 与化学有关；发达国家从事研究与开发的科技人员中，化学与化工专家占一半左右；化工企业产品的更新换代依靠化学的进步，而化工产品的产值和出口比例在国民经济中一直保持着领先的地位。这些数据足以证明，化学对社会发展和提高人民生活质量具有重要作用。

因此，这套《走近化学》丛书的任务是，通过向广大青少年读者介绍生动有趣的化学现象、引人入胜的化学成就和辽阔无垠的化学前景，消除广大读者对化学的陌生感和因此产生的畏惧心理。作者们在字里行间有意或无意流露出来的对科学世界的痴迷和对科学事业的虔诚，都会引起读者的共鸣。你会和作者一样，产生出一种在知识海洋中遨游时清风拂面、心旷神怡、与大自然融为一体的快感，使自己的聪明才智得到进一步的培育，使自己的志趣得到进一步的提炼和升华。这套丛书取名为“走近化学”，正是呼唤我们向化学走近！

经过三年的努力，《走近化学》丛书的第一辑终于和广大青少年朋友见面了。丛书共分三辑，预计在 2000 年

全部完成。

编委会衷心感谢中科院院士、原中国科学院院长、著名化学家卢嘉锡教授及中科院院士、著名化学家张青莲教授慨允为丛书题词。衷心感谢中科院院士、原中国科学院副院长、著名材料科学家严东生教授代表中国化学会为丛书作序。对湖南教育出版社的领导及担任责任编辑和编委的李小娜、阮林，以及中国化学会的领导及办公室工作人员为丛书所作的指导和支持，在此一并表示谢忱。

亲爱的青少年朋友们，如果这套丛书能够有助于你摆脱常年在题海和应试的桎梏下产生的几丝无奈，为迎接明天而主动地学习，从而使你的生活与学习走向一片更加灿烂与广袤的天地，我们将会感到无比的欣慰。我们坚信，科学可以使人变得更加聪明而坚强，“欲与天公试比高”将是 21 世纪中华青少年的风采！

**《走近化学》编委会**

(宋心琦执笔)

1997 年 8 月

# 序 言

---

严东生

由中国化学会和湖南教育出版社共同组织、约请著名化学家撰写的《走近化学》丛书，是我国近年来为满足青少年读者了解化学和学习化学的需要而出版的一套科普丛书。其内容覆盖面之广，作者阵容之强，是多年来罕见的。丛书的选题不仅紧密结合科学技术发展的实际，更着重于作者和读者之间思想和体会的交流。加以文字流畅，内容新颖并富有趣味，我相信它必将成为广大青少年的良师益友。对于有志于从事科学技术工作的青少年，则更有启迪和激励的作用。

21 世纪即将来临，目前尚处于发展中国家之列的中国，在未来几十年里世界高新科技的发展与竞争中，将面临极其严峻的挑战。化学不仅会和其他学科一样，保持着自 20 世纪 50 年代以来的迅猛发展势头，而且和生命、信息、材料与环境等科技领域的相互渗透也会日益

深入。了解化学和应用化学的水平将对社会生产力的发展和人民生活质量的提高起着关键的作用，化学基础知识也将成为充实新世纪公民基本素质的重要内容之一。因此，《走近化学》丛书的问世所起到的积极作用，一定会得到社会各界的支持和肯定，也一定会受到广大青少年读者的欢迎。

《走近化学》丛书涉及现代化学的多个侧面，介绍了人们在这些领域内的最新成就，反映了作者对该领域未来发展的精辟见解。它有利于广大青少年读者开阔视野，激起他们对科学技术的兴趣，提高他们对科学技术推动社会发展的重要作用的認識。对于有志于从事科学技术工作的青少年读者则更能起到启蒙的作用。当然，科学技术事业的发展，要依靠千百万科学技术人员的辛勤劳动和杰出科学家的殚精竭虑与艰苦实践，不可能一蹴而就。我们应当由丛书中所展示的前辈科学家所经历过的失败与成功的史实中吸取经验，以增强我们积极参与国际科学技术领域竞争的信心和力量。

光阴荏苒，岁月蹉跎，在新的世纪里，振兴中华、造福人类的历史责任已无可推卸地落在今天青少年一代的肩上。年轻的朋友们，先进的科学技术像明日的朝阳一样，将由你们用双手高高托起！

1997年9月

# 前言



人类居住的地球、赖以生存的环境（水、土壤、空气等）以及人类自身是由什么组成的？我们仰望星空，那炽热的太阳、闪烁的星斗、若隐若现的银河、美丽的彗星，又是由什么组成的？如此丰富多彩的物质世界尽管其外表形形色色、变化无穷，但其内部是统一的，一切物质都含有相同的一些最简单的组成部分，这就是本书要涉及的元素。

元素周期表中所列已知元素的数目，据最新资料已达 112 种，其中稳定的约有 80 种，其余都是不稳定的，或称为放射性元素。元素的性质有很大差异，从物理形态讲，有气体元素，例如氢、氮、氧等，也有熔点极高的钨、钨、钼等；从化学性质讲，有极活泼的钠、氟等，亦有呈惰性的氦、氖、氩等。更重要的是，元素之间可以有极其复杂的结合方式，自然界如此生动的多样性，实质上就是元素之间不同结合的体现。这些元素构成了我们五光十色的物质世界。正像英文的 26 个字母，既可以组成莎士比亚的不朽诗篇和剧本，也可以孕育出马克·吐温的讽刺幽默作品。乐谱的 7 个音符既可以谱出柴可夫斯基的“天鹅湖”等一批旋律优美动人的交响乐，也可以表现出节奏强烈的迪斯科或摇滚乐。

元素的英文名词是 element，据说这一名词来自拉丁文中的字母 l、

m、n 和 t，它们的发音是“el”、“em”、“en”和“te”。科学家用这种方法产生“元素”一词，大概是想说明，如同一个词是由字母组成一样，世界万物也是由元素组成的。

从科学术语讲，“元素”是某一种原子的总体，是一群带有相同核电荷的原子（很遗憾，在《中国大百科全书》的化学卷和物理卷中，都未列入元素这一基本词条）。也就是说，原子是组成元素这一集合名词的单元。1808年，道尔顿提出了原子是元素最小单元的概念，不同元素的原子各不相同。另一个与元素这一概念密切相关的术语是“核素”（nuclide）。与元素是一种原子的总体相对应，核素是一种原子核的总称。例如，氢是一种元素，含有1个质子，元素氢即为氢原子的总称。然而氢有3种核素， $^1\text{H}$ 、 $^2\text{H}$ 和 $^3\text{H}$ ，分别称为氢核、氘核和氚核。氢核是一切质子数为1、中子数为0的核的总称，氘核和氚核则代表质子数为1、但中子数分别为1和2的核的总称。我们之所以要介绍核素，是因为元素的起源实质上是核素的起源。读者可以从本书中看到，在宇宙、星系和恒星中通过各种核反应形成的是核素，然后由核素组成了我们所要讨论的元素。

多少年来，人们从理论和实验两方面探讨元素的起源。这不仅仅因为“起源”这类研究总是一件令人着迷的事，更重要的是，元素起源与宇宙起源及生命起源等重大自然科学问题密切相关。元素起源研究得益于宇宙学、核科学与核技术、化学、物理学等一级学科的交叉渗透，同时这一课题的研究也促进了上述学科的发展。近年来，反应堆、加速器、天文望远镜、宇宙飞船、光谱学技术等研究手段的发展，已使我们大体上可描绘出元素起源的整个过程，尽管其中不少环节还存在这样或那样的疑点和含糊不清之处。

当中国化学会和湖南教育出版社要我为《走近化学》丛书写一本“以高中文化程度为读者对象，内容科学严谨、思想活泼，文字表达通

俗流畅、浅显易懂”的读物时，我很自然地就想到了“元素”这一内容。其理由之一是，元素是化学研究的主要对象，化学学科“是一门研究物质的性质、组成、结构、变化和应用的科学”（《中国大百科全书·化学》，大百科全书出版社，上海，1982，第1页），而元素则是构成物质的基本单元。另一个理由是考虑到这套丛书的性质，谈谈“元素的起源与合成”是会引起读者兴趣的。

扪心自问，我不是一个能把“元素的起源与合成”这个问题讲得既科学严谨、又浅显易懂的称职作者。这是因为元素起源的时间跨度逾一百几十亿年，上溯至宇宙大爆炸之初，近到当代的高能重离子核反应；其知识面更涉及化学、物理学、核科学、天文学和宇宙学等学科，写作难度可想而知。然而，编写这本书的念头一旦涌现，就紧紧缠住了我，奉献这样一本书给广大青少年读者，是一项多么重要的任务。如果通过阅读本书，某个青少年朋友对元素起源与合成问题产生了兴趣，并在将来踏上了这条艰险道路，那么作者就感到莫大的欣慰。当然，诚如一位加拿大核化学家哈维在他著作的前言中所写的，“一本书的最大受益者不是别人，而恰恰是作者自己”。确实，在写作本书的过程中，为了讲清楚某一个环节，阐明某一个核过程，必须翻阅众多文献资料，这使笔者自己获益匪浅。

本书不是一本描述元素是如何被发现的书，因为这方面的内容在崔浣华和郑同两位翻译的《化学元素发现简史》（苏联，Д. Н. 特立丰诺夫和 В. Д. 特立丰诺夫著，科学技术文献出版社，北京，1986）一书中已有详尽介绍。本书是讲述自然界中元素的起源和演化过程以及人工合成的元素，从元素周期表的前两种元素氢和氦是如何在宇宙大爆炸的过程中诞生的开始，依元素的原子序数叙述它们的起源，直至最新合成的第112号元素。

全书共分9章，前3章介绍元素起源的古代、中世纪和近代学说。第4、第5两章分别为了解元素起源科学理论所需的天文学背景知识以及宇宙的元素丰度。第6章则为全书的核心，系统介绍元素的核合成起源。第7、第8两章则分别讨论地球上元素的核合成过程及人工合成新元素。最后一章简要介绍元素的最终命运。书末附录有两个表，表二实际上是对所有元素核合成起源的概括。

考虑到读者对象，在写作过程中基本上回避了数学公式以及核反应截面、速率和产额的计算，甚至连一些常用的单位，如核科学中的MeV和天文学中的 $M_{\odot}$ ，也都换成了兆电子伏和1个太阳质量等这类易于为读者理解的语言。然而这并不意味着这是一本容易读的书，因为本书要讨论的毕竟是“元素的起源与合成”这样一个如此重要且涉及知识面很广的命题，因此读者不要期望像看一本科学幻想小说那么轻松，而是应有充分的思想准备，去仔细琢磨元素起源与合成中涉及的天文学和核科学中的基本原理。这些知识对一个刚涉足于此领域的青少年读者很可能开始是苦涩无味的，然而当您能跨过这一门槛，克服种种困难，了解到元素原来是这样产生的时，您就会体验到极大的科学享受。

本书的写作得到了许多专家同仁的指教和帮助，这里我特别要提到的是刘元方先生，他读了本书的某些章节，并作了许多重要修改。此外，我要感谢日本东京都立大学的中原道弘教授、荷兰能源基金会的达斯教授和荷兰反应堆研究所的德·胡伊教授，他们分别给我提供了学术休假时间，保证了本书的写作时间。

最后还要感谢中国化学会和湖南教育出版社的督促和鼓励，没有他们的推动，本书是不可能如期脱稿的。

# 目 录

走近化学 · 从宇宙大爆炸谈起

前言/001

1 元素起源的古代学说 /001

2 中世纪炼金术 /004

3 元素起源的近代学说 /006

4 元素合成的天文学背景 /011

---

4.1 宇宙的起源和演化 /011

4.2 银河系的构造和演化 /016

4.3 恒星的类型和演化 /020

4.4 超新星 /025