



北京市科学技术委员会科普专项经费资助

美丽化学
BeautifulChemistry.net

美丽的化学结构

梁琰 著

清华大学出版社

美丽的化学结构

梁琰 著



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书历史部分从原子结构、晶体结构、生物大分子结构等10个方面,比较全面地展示了化学家在认识物质微观结构过程中的重要历史事件。欣赏部分用细腻的图像风格展示了58种化学结构,另外还包括了化学结构CG动画的截图。最后的注释部分对58种化学结构进行了简要的介绍。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

美丽的化学结构/梁琰著.—北京:清华大学出版社,2016

ISBN 978-7-302-42377-5

I. ①美… II. ①梁… III. ①化学结构—普及读物 IV. ①O6-0

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第296351号

责任编辑:袁 琦

装帧设计:梁 琰

责任校对:刘玉霞

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京雅昌艺术印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:215mm×226mm

印 张:7.5

字 数:159千字

版 次:2016年1月第1版

印 次:2016年1月第1次印刷

定 价:55.00元

产品编号:065396-01

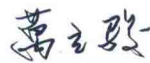
献给我的父母

序 言

化学研究物质的组成、结构、性质及变化规律,与生命科学、医学、材料科学、环境科学、天文学等学科紧密关联,通常被视为自然科学的中心学科。化学也是创造新物质的科学,这些新物质满足了国家的重大战略需求,也极大地丰富和改善了人们的日常生活。同时,对人类未来发展至关重要的新能源、新药物、环境保护等研究,也都与化学科学密切相关。

由清华大学出版社出版的《美丽的化学结构》和《美丽的化学反应》两本书以生动形象和引人入胜的语言,通过介绍化学结构和化学反应,展现了化学科学的发展历程和研究内容,显示了化学的美丽和独特魅力。例如,在《美丽的化学结构》一书中,作者借助最新的电脑图像技术,展现了众多既有美感,又具有科学意义的化学结构。用精美的图片和精炼的语言,描绘了人类在认识物质微观结构过程中10个重要研究方向的发展历程。《美丽的化学反应》一书中,作者用特殊的摄像技术,将化学反应中和反应产物的绚丽色彩和多姿形态呈现给读者。用精心制作的图像,再现了1660—1860年期间,波义耳、拉瓦锡等著名化学家使用的重要化学实验仪器,并介绍了相关知识和研究的历史背景。

科学研究与科技传播是科技工作的一体两翼,科技传播对国民科学素养的提升以及对国家经济发展和社会进步都具有重要的意义。中国科学技术大学历来重视科技传播工作,这两本书的出版,必将激发读者对化学的兴趣,吸引更多的年轻人投身于化学科学研究事业,为国家和人类作出贡献。



中国科学院院士
中国科学技术大学校长

前 言

关于“美丽化学”前期网站 BeautifulChemistry.net

“美丽化学”是由中国科学技术大学先进技术研究院（简称中科大先研院）和清华大学出版社联合制作的原创网络科普项目，其主旨是将化学的美丽和神奇传递给大众（中文版网址 <http://BeautifulChemistry.net/cn>）。在“美丽化学”中，我们使用 4K 高清摄像机捕捉化学反应中的缤纷色彩和微妙细节；在分子尺度上，我们使用先进的三维电脑动画和互动技术，展示近年来在《自然》（*Nature*）和《科学》（*Science*）等国际知名期刊中报道的微观化学结构。

“美丽化学”网站英文版于 2014 年 9 月 30 日上线，中文版于 2014 年 10 月 31 日上线。截至 2015 年 11 月底，有超过 31 万人访问“美丽化学”网站（其中中国用户占 28%，美国用户占 22%，其他国家用户占 50%），网站页面点击量超过 630 万次，在线视频播放次数超过 520 万。“美丽化学”网站上线后得到了世界各地主流媒体的关注，并获得多个国内外奖项，参加了多个强调科学与艺术融合的国内外展览，包括英国广播公司（BBC）、探索频道、麻省理工学院（MIT）、哥伦比亚大学、腾讯 WE 大会等都通过授权使用了“美丽化学”的素材（详细成果见第 VIII 页）。

本书作者梁琰是“美丽化学”项目中科大先研院一方的负责人，也是项目的作者、摄影兼科学可视化指导。项目的其他主要成员包括：化学反应指导陶先刚（中国科学技术大学化学系副教授），化学反应指导黄微（中国科学技术大学化学实验教学中心副主任、高级实验师）。

关于“美丽化学”书籍

在编写“美丽化学”时，我们希望在之前网站的基础上更进一步，在内容和形式上更好地向公众展示化学独特的美丽。为了适应不同读者的需求，我们规划了两本书——《美丽的化学反应》和《美丽的化学结构》（以下简称《反应》和《结构》）。《反应》适合所有读者，即使没有化学基础的读者，也可以从书中感受到化学反应呈现出的绚丽色彩和多姿形态。《结构》展示了大量美妙的微观化学结构，适合有一定化学基础和对化学感兴趣的读者阅读。

为了提升书中化学知识的广度和深度，每本书中都增加了超过 50 页的“历史”部分。我们希望通过介绍一些相关的历史知识，让读者更好地体会化学的美丽。在《反应》的历史部分，我们选择了 1660—1860 年间波义耳、普利斯特里、拉瓦锡等 12 位著名的化学家，在认真调研他们原始著作的基础上，用精致的手绘图片和简洁的文字对他们使用过的重要化学装置进行了展示和介绍。我们希望从化学实验装置的演变这一全新的视角，展示化学革命前后这一段最有代表性的化学史。在《结构》的历史部分，我们从原子结构、晶体结构、生物大分子结构等 10 个方面，比较全面地展示了化学家在认识物质微观结构过程中的重要研究成果。虽然两本书的历史部分篇幅都不是很长，但却花费了我们大量的时间和心血。希望我们的努力可以让看似枯燥的化学史变得更生动、有趣。

除了历史部分，两本书中还包括了精美的“欣赏”部分。在《反应》的欣赏部分，我们用国际一流水准的 CG 图像复原了历史上 15 套重要的化学反应装置；另外也包括了我們拍摄的化学反应 4K 视频的截图，每张截图都为印刷进行了优化，其中一些截图也是在之前网站中没有出现的。在《结构》的欣赏部分，我们用更为细腻的图像风格，展示了 58 种化学结构，另外还包括了化学结构 CG 动画的截图。此外，《结构》还包括“注释”部分，其中对上述 58 种化学结构进行了简要介绍。

在书籍编写的过程中我们追求的一个目标是确保每一张图片的原创性，而且将每一张图片的质量都做到极致。在文字方面，我们力求用简明扼要的文字与图片一起高效地传

递科学知识。我们希望读者通过阅读我们的书籍不但可以学到化学知识，也可以得到美的享受。最后，书中难免会有错误和不足之处，恳请读者给予指正 (scivis @ uustc. edu. cn)，我们会在新的版本中及时修正。

这两本书目前得以完稿，是很多人共同努力的结果。《反应》和《结构》的创意、文字创作、文献调研、封面设计、版式设计均由梁琰完成。《反应》历史部分的图片，科学家肖像、装置手绘图：陈磊。《反应》欣赏部分的图片，装置CG复原：上海映速（建模：刘晨钟、陈易嘉、邝江俊、宗梁；灯光、材质、渲染、后期：宗梁）；化学反应摄像：梁琰（化学反应在陶先刚和黄微指导下完成）。《结构》历史部分的图片，矢量图：梁琰；手绘图：陈磊。《结构》欣赏部分的图片，结构图像：梁琰；CG动画：梁琰（创意、3D模型），上海映速（动画：宗梁、刘帅、邝江俊；材质、灯光、后期：宗梁）。书籍的排版由陈磊完成。

作者梁琰的致谢

对于“美丽化学”网站的致谢 首先要感谢中科大先研院和清华大学出版社使制作“美丽化学”项目成为现实。另外，要感谢中国科学技术大学科技传播系的周荣庭系主任和王国燕老师，因为二位的支持和帮助，我才能来到中国科学技术大学这个优秀的平台上施展才能。感谢中国科学技术大学化学实验教学中心为拍摄化学反应提供场地和药品。感谢秦健博士（芝加哥大学）、Felice Frankel（MIT）、江海龙博士（中国科学技术大学）、马明明博士（中国科学技术大学）、王顺博士（上海交通大学）、张一帆（中国科学院化学研究所）、Charles Xie 博士（Concord Consortium）、吴扬博士（清华大学）、孙晓明博士（北京化工大学）、李峰博士（中国科学院金属研究所）在网站制作过程中提出的宝贵意见和建议。另外特别感谢中国化学会，在第29届学术年会上邀请我们介绍“美丽化学”项目（当时网站还没有上线）。感谢国内外媒体对项目的关注和报道，帮助我们吧“美丽化学”传递给更多人。最后要衷心感谢所有关注过“美丽化学”的朋友，我们收到了很多热情的支持、鼓励和指正，这些都是我们继续努力工作的动力。

对于“美丽化学”书籍的致谢 首先要感谢我的家人对我的支持和理解，尤其是我的妻子在家庭方面的巨大付出。感谢我的朋友陈磊在手绘图像和排版方面的巨大贡献。感谢上海网晟网络科技有限公司的刘辉先生为“美丽化学”项目捐款 10 万元人民币，协助我们可以用最高水平完成化学史部分的内容。感谢上海映速为我们精心制作国际一流水准的历史化学仪器 CG 复原图像。感谢清华大学吴扬博士和王寅分别为书稿文字和封面设计提出的宝贵意见。感谢北京市科学技术委员会对书籍出版的经费支持。最后要衷心感谢责任编辑袁琦在书籍编写过程中给予的巨大帮助，也衷心感谢清华大学出版社各位领导对“美丽化学”书籍的大力支持。

附：“美丽化学”项目成果一览

获得奖项

- 2015 年 2 月获得由美国国家科学基金会 (NSF) 和美国《大众科学》(Popular Science) 杂志举办的 Vizzies 国际科学可视化竞赛视频类专家奖 (Experts' Choice)。
- 2015 年 4 月获得由浙江省科技馆和果壳网举办的菠萝科学奖菠萝 U 奖。
- 2015 年 5 月获得由上海科技馆举办的上海科普微电影大赛最佳摄影奖。
- 2015 年 7 月获得第六届中国数字出版博览会 2014—2015 年度创新作品奖。

媒体报道

- 国内媒体：《中国青年报》、《中国科学报》、《环球人物》杂志、《扬子晚报》、新华网、果壳网、《环球企业家》杂志、《新安晚报》等。
- 国外媒体：《时代周刊》官网、探索频道、《赫芬顿邮报》等 10 多个国家的主流媒体。

参加展览

- 2014 年 12 月，中国电脑美术 20 年（北京中华世纪坛）。
- 2015 年 7 月，自然与艺术之谜特展（中国台湾“国立自然科学博物馆”）。
- 2015 年 8 月，上海国际科学与艺术展（上海中华艺术宫）。
- 2015 年 9 月，英国皇家摄影学会国际科学图像展（英国巡展）。

授权情况

- 2014 年 10 月 7 日，加拿大探索频道《每日星球》（*Daily Planet*）栏目对“美丽化学”项目进行报道。
- 2015 年 3 月，“美丽化学”中的一段视频被电影《对称》（*Symmetry*）采用。《对称》是在欧洲核子物理研究所（CERN）中，以宏伟的粒子对撞机为舞台背景拍摄的一部歌舞剧。
- 2015 年 3 月，授权 Red Beard 品牌在梅赛德斯-奔驰时装周（伊斯坦布尔站）上使用“美丽化学”视频，用于 T 形台背景视频。
- 2015 年 3 月 11 日，“美丽化学”视频出现在英国广播公司（BBC）《新闻之夜》（*Newsnight*）节目中，用来比喻英国当前的联合政府。
- 2015 年 4 月 22 日，“美丽化学”视频出现在由 2013 年诺贝尔和平奖得主“禁止化学武器组织（OPCW）”为化学武器第一次大规模使用 100 周年制作的纪录片《牢记伊普尔》（*Remembering Ieper*）中。
- 2015 年 11 月 8 日，“美丽化学”视频出现在 2015 腾讯 WE 大会的开场视频中，表现大会“向未来，共生长”的主题。包括 LinkedIn 联合创始人 Reid Hoffman 和 MIT 媒体实验室总监 Joi Ito 等重量级人物都在这次盛会上发表了精彩演讲。
- 其他授权包括：MIT 慕课课程、哥伦比亚大学化学系主页、剑桥大学出版社、HTC 等。



美丽化学公众号



原点阅读公众号

目 录

历史 1

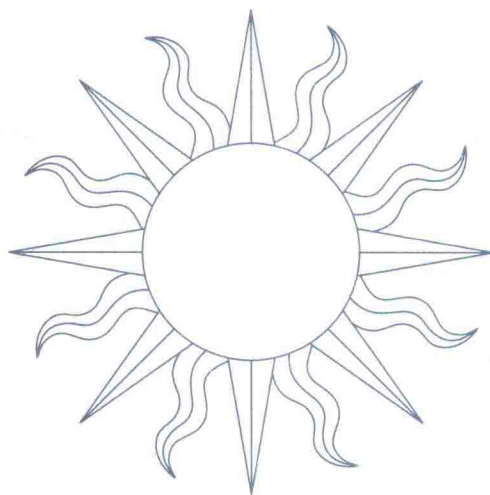
化学符号——化学语言的一部分	2
原子结构——从原子论到量子理论	6
化学键——一切化学结构的基础	12
晶体结构——从宏观形状到微观原子排列	16
有机分子结构——碳原子的无限可能	24
聚合物——高分子概念的建立	30
生物大分子——精密的分子机器	34
纳米粒子——即古老又时髦	40
碳纳米结构——引发一次又一次研究热潮	44
表面原子结构——从看见原子到移动原子	48

欣赏 53

分子	54
生物大分子	66
晶体	80
从有序到无序	102
CG 动画静帧欣赏	110

注释 127

历史



炼金术时期代表黄金的太阳符号

化学符号——化学语言的一部分

化学物质的名称和符号是化学语言的两个重要组成部分。早期的化学物质命名完全是经验性的，这就导致某些物质的名称与其化学性质之间存在分歧。到了 18 世纪中叶，化学的快速发展导致大量新物质被发现，之前陈旧的命名法已经无法满足化学家的要求。终于在 18 世纪末，拉瓦锡发起了现代化学革命，而革命的一项重要内容就是用建立在物质化学性质上的现代化学命名法取代之前的经验命名法。

化学符号的使用最早可以追溯到古希腊时期的手稿或者更早的埃及象形文字。专家认为，一小部分化学符号可能是由埃及象形文字演变而成，而另外一些化学符号是从古希腊手稿中的符号和文字缩写演变而来的。而在 17—18 世纪欧洲炼金术时期所使用的符号，大部分是由炼金术士创造的：一些符号是反应装置的图形化表示，而一些符号是完全随机的几何图形。使用化学符号的主要目的是减少文字，提高阅读效率，但很多炼金术士认为在化学符号中书稿作者隐藏了将廉价金属转变成黄金的奥秘。正是因为炼金术符号的神秘属性，以及这些符号特别容易引起混淆（很多符号非常类似，而且同一种符号可能代表不同的物质），一些学者在 18 世纪末建立了新的符号体系。拉瓦锡提出化学符号应该包含物质的化学信息。1808 年道尔顿发表的符号体系是一个巨大的进步（见第 8 页）。道尔顿为每个元素都设计了一个独特的圆形符号，而化合物的符号则由元素符号组合而成，并包含元素比例信息。但道尔顿的符号和炼金术符号一样不易书写和记忆。我们目前使用的现代化学符号系统（如钠：Na，食盐：NaCl，水：H₂O）要归功于贝采里乌斯。虽然贝采里乌斯并不是第一个使用化学元素首字母作为元素符号的科学家，但 1813 年前后他首次把这一符号系统应用到当时所知的几乎所有化学物质。



火 △



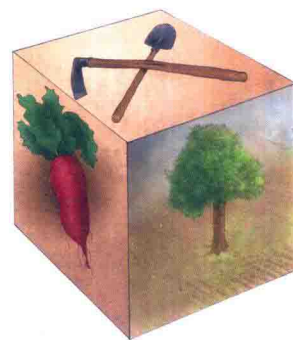
水 ▽



气 △

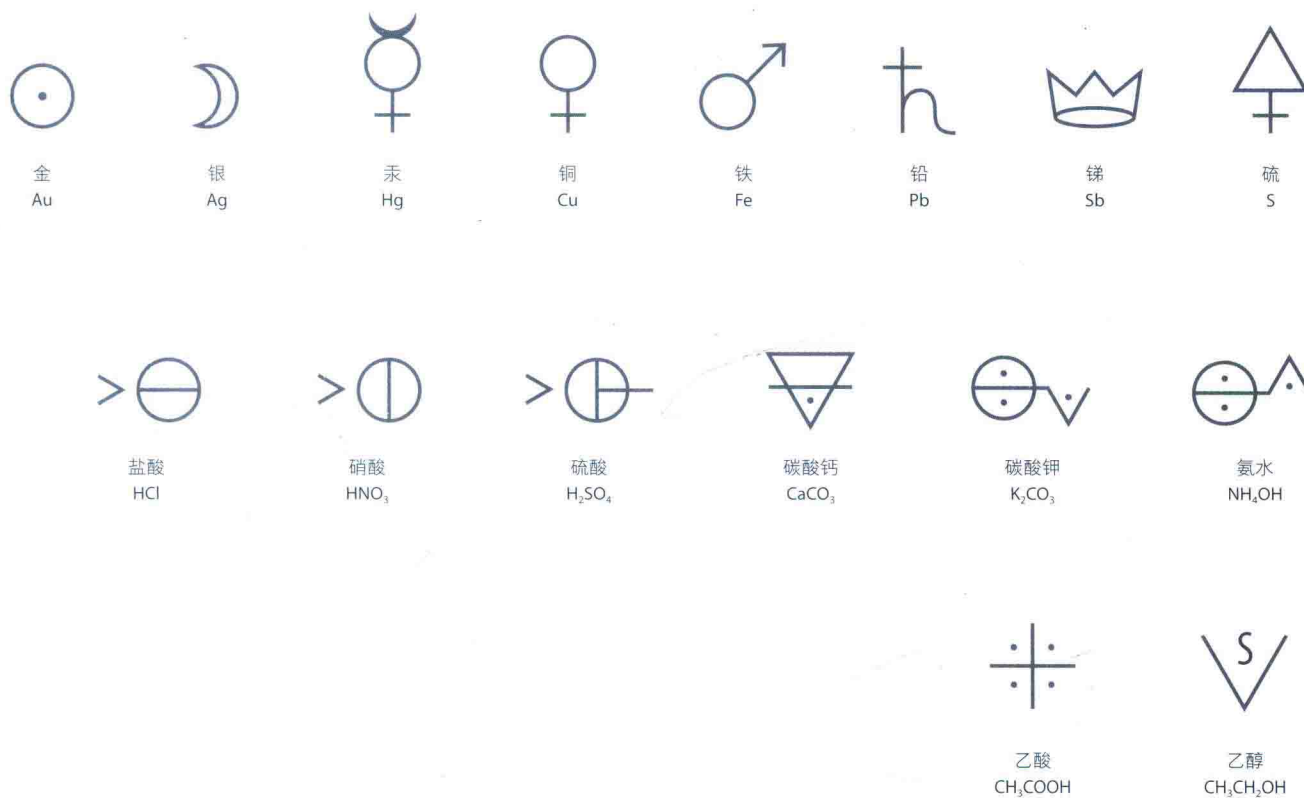


以太

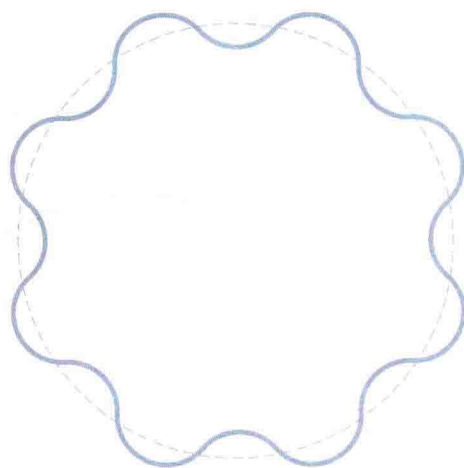


土 ▽

开普勒的五元素。我们熟知的现代元素概念是由拉瓦锡在18世纪末提出的。在此之前，包括“火”、“水”、“气”、“土”的四元素说，或者另外包括“以太”在内的五元素说一直是西方学者认识物质世界的主导理论。在1619年出版的《世界的和谐》（*Harmonice Mundi*）一书中，开普勒又将五元素与柏拉图多面体联系在一起。按照开普勒的说法，火是最具有“穿透力”的元素，因此和柏拉图多面体中最为尖锐的正四面体相对应；以太不同于其他元素，没有冷、热、干、湿的性质，所以和最接近球体的正十二面体相对应。上图中“火”、“水”、“气”、“土”汉字旁边的图标是各元素对应的符号。【绘图依据：Kepler, J. *Harmonice Mundi* (1619)】



炼金术时期的化学符号。上图是若弗鲁瓦在 1718 年发表的“化学亲和力表格”中所使用的一部分炼金术符号。文艺复兴后的炼金术时期，类似的符号被广泛使用，而若弗鲁瓦的亲和力表格也促进了炼金术符号流行。若弗鲁瓦认为表格中的炼金术符号可以使各种物质之间的化学反应关系一目了然。但是因为炼金术符号的神秘主义色彩以及难于记忆、易于混淆的缺点，炼金术符号的使用在 18 世纪末受到越来越多学者的抵制。1813 年贝采里乌斯提出现代化学符号系统（贝采里乌斯符号与现代符号唯一不同之处是：对于表示元素比例的数字，他使用上角标，而现在我们使用下角标）。和炼金术化学符号相比，现代化学符号（上图汉字下方）不但容易记忆和书写，而且包含更多信息，比如物质的化学元素组成和比例，以及有机物的基本分子结构。【绘图依据：Geoffroy, É. F. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (1718)】



德布罗意波