

高等学校教材

矿物学原理

[美] T. 佐尔泰 J. H. 斯托特

施倪承 马喆生 等译



地质出版社



00489881

058490

高等学校教材

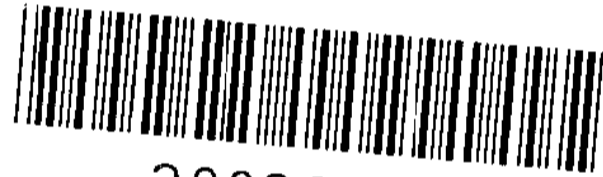
矿物学原理

S927/3/15549

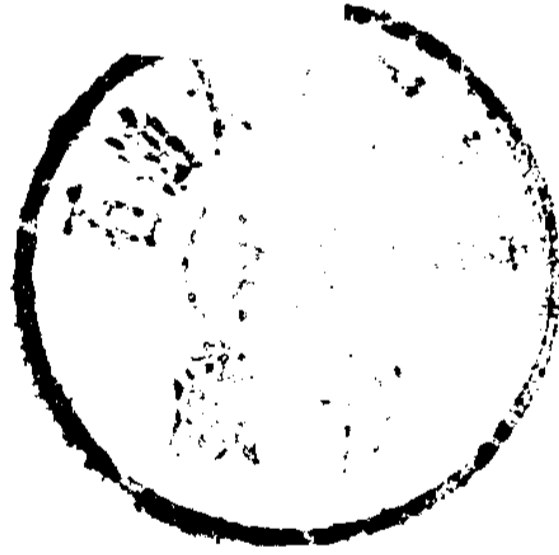
[美] T.佐尔泰 J.H.斯托特

施倪承 马喆生 等译
潘道均 华欣 校

P-57
011



200392869



地质出版社

(京) 新登字085号

内 容 提 要

本书是一本颇有新意的矿物学教材。作者把现代科学中各基础学科的重要进展与矿物学紧密结合起来，特别是使结构矿物学、矿物物理、矿物化学、矿物热力学及成因矿物学等方面的基本理论得到了充实、扩展，使矿物学这门古老的学科充满了活力，并富有魅力。矿物各论部分用列表方式提供了常见及重要矿物的全部矿物学数据。本书图件精确、美观，特别是矿物晶体结构的立体对图尤为突出，你可在立体镜下看到矿物晶体结构的立体构形，形象生动。

本书是从事矿物学教学的师生的重要参考教材。研究人员参考之亦必受益非浅。

MINERALOGY

Concepts and Principles

Tibor Zoltai and James H. Stout

Burgess Publishing Company

1984

高等学校教材

矿物学原理

〔美〕T.佐尔泰 J.H.斯托特

施倪承 马喆生 等译

潘道均 华欣 校

*

责任编辑：杨洪钧

地质出版社出版

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所发行



开本：787×1092¹/₁₆ 印张：35 插页：3页 字数：831000

1992年2月北京第一版·1992年2月北京第一次印刷

印数：1—2000册 定价：9.00元

ISBN 7-116-00587-0/P·499

前 言

近几年来，随着新的测试仪器的发展和现代科学研究的引入，矿物学教学经历了迅速的变革。因而对大学生提出了很高的要求。自本世纪以来，作为一门科学的矿物学更多地是沿着经典化学和物理学的道路发展的。今天学习矿物学的学生必须通晓这样的科学领域，在其中晶体化学和晶体物理是普通的科目。同时，每个矿物学家也应该接触和了解大量的观测资料，这些资料是进行物理学和化学解释的基础。偏向任一极端都是不利的。过分强调矿物学的描述性方面，会给学生留下大量的难以说明的观测资料，因为缺少理解这些资料的理论基础。在另一个极端，是一个不能区分石英和长石的晶体化学家也不能称之为矿物学家。对学生都期望设法让他们首先学习原有的描述矿物学的全部内容，然后再学习大量的当代科学研究认为是重要的内容。

矿物学教学的变革对教师也提出了很高的要求。必须决定可能舍弃哪些旧的内容以便加入新的知识。根据现代科学研究和认识，目前学生对矿物学知识的要求正在发生变化，这一变化趋势看来是不可避免的。本书的内容是在二十多年的集体教学中逐渐形成的，目的是对这些要求做出响应。这是一门大学水平的入门课程，也是学习岩石学或地球化学之前须先学习的一门基本课程。我们强调基本原理的重要性是基于这样一种信念，即学生如果在基本概念方面打好基础，他们就能够在自己的头脑中把大量的描述矿物学的知识更好地融汇贯通和系统化。许多常规的描述性矿物的资料未编入本书。在本书的第二部分中收入了近一百幅矿物结构立体图。我们相信这些图对于理解矿物的化学和物理性质与矿物结构之间的关系是必不可少的。我们希望学生能经常将这些立体图与第一部分中有关的内容结合起来查阅。在本书中，矿物名称之后都给出了包含结构和化学信息的矿物化学式。我们希望通过反复的出现，使学生能更好地将矿物名称和它所表示的结晶物质联系起来。

多年来，我们对如何组织矿物学的内容进行了尝试。在第一部分，我们最后采用的内容顺序是从描述矿物学的概述开始的，其目的部分在于它的历史意义，因为正是这种描述性的资料导致了早期的矿物学家提出对称性的概念，这对本书后面所有章节都是极其重要的。同样，概述的目的也有其实用意义，它使学生从实际矿物的三维概念开始学习，这对于引入晶体结构以及结构与物性的关系具有极大的帮助。在第二、三章，我们将讨论对称性和结晶学的内容。这些内容与第四章中化学键的概念相结合，使学生为第五章中有关晶体结构的讨论做好准备。第六、七章集中讨论晶体物理和晶体生长，第八、九章探讨矿物化学、矿物结构、矿物的稳定性和矿物共生组合之间的关系。第十、十一章叙述X射线矿物学和光性矿物学的鉴定技术。我们将X射线衍射（第十章）和光性矿物学（第十一章）的方法作为在后续课程中使用和精化的常规方法引入矿物学的实验室中。描述矿物学的主要内容包括在本书的第二部分。第二部分是作为第一部分的补充并供实验课使用。

某些章节的内容深度可能超出了中等水平的学生的需要。根据我们的经验，大多数学生由于认识到矿物学包含了比单纯的矿物鉴定更多的内容而有所收益，对于那些更认真的学生，我们则为他们的需求提供了激励和鞭策。

在矿物学领域中，目前正是一个令人振奋的时代。现在我们第一次通过直接的实验来了解单晶在高温高压下的表现，这正是大多数矿物形成的真实条件。我们还正处在能够预测地壳深部和地幔中的矿物的结构和性质的边缘，这种深度也许是人类永远无法达到的。借助于先进的显微镜，我们也正在开始观察矿物中的真实原子，这是矿物学家长期以来梦寐以求但至今未能实现的目标。

本书全部采用了国际计量单位制 (SI)。停止使用了以往惯用的单位卡 (calorie) 和埃 (\AA ngström)，这对美国读者来说可能是一种不必要的苛求，但是抵制这样做只会是推迟这一必定要做的事。我们的经验是改变的阻力更多地来自教育者而不是学生，因为学生们对埃 (\AA) 和纳米 (nm) 同样是不熟悉的。附录1有一张单位转换系数表。

我们诚挚地感谢许多同事和学生，这些年来，他们对本书的最终内容做出了贡献。没有他们的耐心和合作，我们的目标就不能达到。Charles W. Burnham、Robert M. Gates、Guy L. Hovis、Rodney C. Ewing、Edward P. Meagher和Deane K. Smith等教授阅读了全部手稿，我们对他们表示衷心的感谢。最后，我们应感谢Burgess出版公司的Anne E. Heller、Betsey I. Rhame和Wayne E. Schotanus，在他们的帮助下使本书得以出版。

译者序

本书的原作者蒂博·佐尔泰 (Tibor Zoltai) 和詹姆斯·斯托特 (James H. Stout) 是美国明尼苏达大学地质及地球物理系结晶矿物学教授。佐尔泰早年曾从师于美国著名结晶学家伯格 (M. J. Buerger), 在结晶学方面打下了坚实的基础。尔后在矿物晶体结构及石棉矿物研究方面成绩卓著。他曾对葡萄石晶体结构中的有序问题进行过深刻研究, 由此与我室已故的彭志忠教授有过很深的交往和友谊。1985年彭先生获得佐尔泰的赠书时, 对此书十分赞赏, 并嘱咐我们翻译此书。1986年3月我们敬爱的彭先生溘然长逝。为实现彭先生遗愿我们组织和部署了本书的翻译工作, 并于1988年底完成了本书的全部译稿。

本书是一本颇有新意的矿物学著作。历来的矿物学著作一般均由通论和各论两部分组成, 而且把各论作为主要的叙述内容。各论的内容主要是对各矿物种族的物理及化学性质进行具体描述。本书的作者充分考虑了现代科学技术尤其是各基础学科的重要进展对矿物学的深刻影响, 从而用主要篇幅精辟而详尽地叙述了矿物学各重要分支学科的崭新面貌及近年来取得的许多重要的激动人心的最新成果。这样叙述的结果使矿物学这门历史悠久的学科充满了朝气并更富有魅力。本书对结晶矿物学中一些基本概念的阐发方面独具匠心。如给予了“对称”这个概念以很高的地位, 从晶体对称群理论、晶体结构、化学键及波谱学的各个侧面阐明了对称概念的深刻涵义及其发展过程。本书虽是以大专院校教材的形式写的, 但就其第一部分内容的深度来说已远远超出了目前大专院校矿物学教材通论部分。本书的第二部分(描述矿物学)是用表格形式写的, 列出了常见和重要矿物的全部数据, 这对于鉴定和查阅来说有其方便之处。我们希望这本书不仅对矿物学及晶体学者有所助益, 而且能引起其他学者对矿物学的兴趣。

本书采取了集体翻译的方式, 各章节的翻译人员如下, 第一章(包括目录和序言): 韩绍绪; 第二章: 施倪承; 第三章: 韩绍绪; 第四章: 廖立兵; 第五章: 马喆生; 第六章: 潘道均; 第七章: 凌红; 第八章: 施倪承; 第九章: 凌红; 第十章: 李朝晖; 第十一章: 杨慧宁; 第二部分318—348页(指原书, 下同): 韩绍绪; 349—372: 马喆生; 373—399页沈桂梅; 400—419页: 凌红; 420—456页: 施倪承; 附录及常见矿物鉴定表索引: 廖立兵。全书由潘道均(1, 2, 3, 4, 5, 10章)及华欣(6, 7, 8, 9, 11章)校对; 部分章节又经毕立君(7章)、周继荣(8章)、陈书田(9章)等复校。本书附图的全部植字工作均由刘淑贞同志完成的。

本书译稿期间适逢马喆生赴美在佐尔泰教授处合作进行科研工作, 亲自得到了原作者对译书疑难之处的指导和帮助。在全书翻译及校对过程中, 也发现了原文中某些疏漏之处, 经与原作者商讨后作了必要的改正和补充。在译书过程中王濮教授曾给予了大力支持和精心指导, 罗谷风教授曾多次热情来信指正书中的某些疏漏之处, 在此一并致谢。

由于译者水平有限, 译文错误和不妥之处在所难免, 敬请批评指正。

施倪承, 马喆生

1988.12.15

目 录

第一部分 原理和概念

第一章 矿物及其性质	(2)
早期历史.....	(2)
矿物分类.....	(6)
手标本矿物学.....	(8)
晶体形态和习性.....	(9)
光泽和透明度.....	(12)
颜色和条痕.....	(12)
解理、断口和裂开.....	(13)
韧性.....	(14)
密度和比重.....	(14)
硬度.....	(15)
特殊性质.....	(16)
性质小结.....	(17)
矿物学文献.....	(17)
第二章 对称与结晶学	(18)
对称的定义.....	(18)
结晶学.....	(19)
对称操作.....	(19)
基本对称操作.....	(20)
复合对称操作.....	(25)
对称群.....	(28)
平面群.....	(29)
空间群.....	(32)
不含平移的对称群.....	(34)
极射赤平投影.....	(34)
平面点群.....	(35)
空间点群.....	(38)
点阵对称.....	(42)
结晶学坐标系统.....	(45)
复晶胞.....	(48)
对称操作的分析表示.....	(51)
第三章 晶体的对称	(52)
点阵有理性质的指标化.....	(52)

晶面指数.....	(54)
晶面的极射赤平投影.....	(55)
面角的测量.....	(56)
晶类.....	(57)
表观对称.....	(59)
确定晶类的其它准则.....	(61)
晶体形态.....	(62)
同一形态的变化.....	(65)
双晶.....	(67)
第四章 对称性与原子键.....	(72)
元素周期表.....	(72)
原子的玻尔模型.....	(74)
原子的波动模型.....	(76)
电子的空间分布.....	(77)
原子性质的周期性.....	(80)
离子的形成.....	(81)
原子和离子的形状.....	(84)
原子和离子的大小.....	(84)
极化作用.....	(88)
原子和离子间的化学键.....	(88)
离子键模型.....	(90)
离子晶体的能量.....	(92)
对称效应.....	(95)
离子晶体的性质.....	(96)
共价键模型.....	(97)
共价晶体的性质.....	(100)
金属键模型.....	(101)
金属晶体的性质.....	(103)
分子键模型.....	(104)
晶体场理论.....	(104)
过渡金属离子的自旋状态.....	(107)
矿物的颜色.....	(108)
第五章 晶体结构.....	(114)
多面体骨架结构.....	(116)
多面体骨架结构的分类.....	(121)
对称堆积结构.....	(130)
对称层.....	(131)
密集层的对称堆积.....	(133)
开层的对称堆积.....	(135)

混和与扩展的堆积顺序·····	(143)
紧密堆积结构的充填变体·····	(145)
结构符号和化学组分·····	(150)
对称堆积结构的畸变·····	(151)
对称堆积指数·····	(153)
分子结构·····	(154)
第六章 矿物物理学与对称性 ·····	(156)
宏观观点·····	(156)
对称约束·····	(156)
原子论观点·····	(159)
性质的维度·····	(160)
热膨胀·····	(161)
压缩性·····	(166)
压电效应·····	(168)
热电效应·····	(170)
磁性·····	(170)
力学性质和缺陷·····	(172)
解理·····	(174)
第七章 晶体生长与缺陷 ·····	(176)
晶体为什么会生长·····	(176)
晶体生长与晶格几何学·····	(178)
平衡形式·····	(181)
成核作用·····	(182)
缺陷和生长机制·····	(183)
晶体生长与结构·····	(185)
生长方式·····	(187)
成分分带·····	(188)
杂质原子对晶体生长的影响·····	(189)
取向附生·····	(189)
石棉状生长·····	(190)
其它缺陷·····	(191)
第八章 矿物的化学组成及其稳定性 ·····	(192)
成分空间的概念·····	(192)
附加组分的效应·····	(195)
化学式的计算·····	(197)
有序和熵·····	(199)
出溶·····	(201)
有序和对称·····	(203)
压力对有序的影响·····	(205)

矿物的稳定性	(207)
状态方程	(208)
温度对矿物稳定性的影响	(209)
压力对矿物稳定性的影响	(210)
压力和温度的联合影响	(211)
高级有序转变	(212)
第九章 矿物及其共生组合	(214)
岩石——矿物的集合体	(214)
岩石的自由能	(215)
全岩成分效应	(218)
岩石中的反应	(219)
相律	(220)
稳定矿物组合的投影	(221)
固体和液体溶液的作用	(224)
沉积岩及沉积过程	(225)
沉积矿物及其共生组合	(226)
变质岩及变质过程	(230)
变质矿物及其共生组合	(231)
火成岩及其形成过程	(236)
火成矿物及其共生组合	(238)
矿石矿物及其共生组合	(239)
第十章 X射线矿物学	(243)
衍射	(243)
X射线衍射	(245)
X射线的性质	(248)
X射线粉末衍射	(251)
粉末照相机	(252)
特殊照相机	(257)
粉末衍射仪	(258)
能量色散粉末衍射	(259)
粉末图的鉴定	(261)
混合粉末图的分析	(262)
粉末图指标化	(265)
点阵参数的精确化	(270)
粉末图的对称性	(271)
单晶法	(273)
晶体结构	(275)
第十一章 光性矿物学	(279)
样品的制备	(279)

偏光显微镜.....	(279)
光学性质与对称性的关系.....	(280)
光在矿物中的行为.....	(282)
折射率.....	(284)
均质矿物.....	(286)
一轴晶矿物.....	(290)
平面偏光.....	(293)
一轴晶矿物的光学性质.....	(295)
锥光下的一轴晶矿物.....	(301)
二轴晶矿物的光学性质.....	(303)
锥光下的二轴晶矿物.....	(306)

第二部分 描述矿物学

硅酸盐矿物.....	(311)
架状硅酸盐.....	(312)
层状硅酸盐.....	(339)
链状硅酸盐.....	(353)
云辉闪石类.....	(370)
环状硅酸盐.....	(378)
孤立四面体硅酸盐.....	(380)
双四面体结构硅酸盐.....	(396)
双四面体和单四面体结构硅酸盐.....	(396)
自然元素.....	(398)
硫化物矿物.....	(408)
四面体硫化物.....	(408)
八面体硫化物.....	(413)
四面体和八面体混合型硫化物.....	(414)
具异常配位的硫化物.....	(418)
复杂硫化物.....	(421)
卤化物矿物.....	(429)
氧化物矿物.....	(434)
四面体氧化物.....	(435)
八面体氧化物.....	(435)
四面体和八面体混合型氧化物.....	(443)
立方体氧化物.....	(448)
八面体和立方八面体混合型氧化物.....	(449)
异常配位的氧化物.....	(449)
氢氧化物矿物.....	(451)
碳酸盐和硝酸盐矿物.....	(456)

硼酸盐矿物.....	(467)
硫酸盐矿物.....	(470)
铬酸盐、钨酸盐和钼酸盐矿物.....	(477)
磷酸盐、砷酸盐和钒酸盐矿物.....	(481)
附录1 单位与常数	(490)
附录2 矿物硬度及鉴定	(495)
附录3 结晶学表及计算	(498)
附录4 晶体形态图和表	(505)
附录5 有效离子半径	(515)
词汇表.....	(520)
主题汉英对照.....	(529)
立体镜的制作.....	(547)

第一部分 原理和概念

本书的第一部分是矿物学的基本原理和概念，由十一章组成，每一章都多少依赖于前面章节所提供的材料。第一章从介绍一些历史背景开始，接着概述矿物的一般物理性质。第二、三章介绍对称性和结晶学的理论。第四章将二、三章中那些重要的关系与化学键的概念相结合，为进入第五章晶体结构做准备。第六、七章是晶体物理和晶体生长，这部分内容与对称性和晶体结构密切相关。第八、九章讨论矿物的化学组成和晶体结构之间的重要关系以及矿物的稳定性及其共生组合。最后两章是X射线矿物学和光性矿物学的理论和技术。

第一章 矿物及其性质

矿物学作为一门科学可追溯到人类最初对天然晶体的美丽和规则感到惊奇的年代。矿物的应用与文明本身一样悠久。早期文明社会之所以能够生存，是因为他们认识到当某些矿物被制成工具或武器时，能为人类提供食物和保护。当人们逐步依赖矿物时，他们变得更注重于对矿物的各种性质进行选择。矿物作为装饰品甚至作为假想魔力的化身成为人们生活的一个重要部分。人类在寻找某些具有所需性质的矿物方面所产生的聪明才智就是早期形式的描述矿物学的基础。

从那时起，已对近3000种不同的矿物进行了系统的研究并在矿物学文献中加以描述。大量文献资料的积累使得仅依靠个人对所有资料进行阅读、分析和消化的工作变得不可能或至少是不实际的。资料的收集是每门科学所必需的，经过汇集和消化后，就会产生新的概念用以指导进一步的研究。鉴于这一点，在下面章节中所采用的方法即基于这一思想，当学生们掌握了较少的基本概念后，他们就能发现和理解远比大学矿物学课程中所能包含的内容更多的实例和应用。

在开始讨论问题前，让我们看看科学家为什么要研究矿物。一个重要原因就是矿物以各种形式出现在日常生活中的几乎全部无机材料中。最熟悉的是自然金属，它们从地球中取得并被应用到从空间时代的合金到填充牙齿空洞的汞膏等各种材料中。当你看一眼任何一间教室，就会立刻发现几乎所有物品都与矿物有关。窗户的玻璃主要由长石和石英制成，椅子是金属的，甚至木制品和合成塑料制品最终也能追溯到地球中的矿物上去。

许多空间时代的技术直接或间接地起源于矿物学研究。为找到和合成出超纯晶体的探索促进了激光的发展以及构成现代电子学基础的振荡器、半导体和晶体管的发展。空间计划和阿波罗12号飞船从月球上采集的珍贵样品标志着矿物学研究的一个新时代，并取得了许多重要进展。这些研究表明对周围行星的探索可能会揭示出与在地球上遇到的问题相似的矿物学问题。

研究矿物的另一个原因在于矿物是地壳和地幔中岩石的组成成分。近50年来的研究表明某些矿物仅在一个狭窄的温度和压力范围内以稳定的形式出现。采用实验方法确定这一范围使得科学家能确定出岩石中矿物的产出和岩石形成条件之间的关系。这种方法也许在岩石学领域中研究更恰当，它有助于科学家阐明地球的复杂历史。

最后，研究矿物能满足人们关于自然界的事物是如何发生的这种好奇心。科学的最基本的原理以各种形式反映在所有自然现象之中。了解了矿物如何和为什么具有它们所特有的性质，有助于深入认识其它过程，然后将这些认识用于推测不同矿物和物质的特性和状态。

早期历史

矿物学作为一门独立的研究领域的出现是以1556年德国医生Georgius Agricola(也称

Georg Bauer)的著作*De re metallica libris XII*为标志的。Agricola第一次总结了许多世纪以来在民间传说中积累的观察现象,并根据他自己的实际观察,提出了几种矿物性质,包括颜色、透明度、光泽、硬度、挠性和解理。

早在17世纪,人们就根据上述观察试图将矿物的外观和性质与其内部结构联系起来。内部结构究竟如何一直是其后的三个世纪中未能回答的一个基本问题。然而早在原子的存在被证实之前,早期的科学家和哲学家就设想存在着按内部周期性排列的微小构造单元。物理学家和天文学家Johannes Kepler在1611年推测球体的平面排列作为雪花对称性的一种解释。他认识到构成今天紧密堆积结构研究基础的两种特殊的几何排列(见第五章)。其它17世纪的学者如René Descartes、Robert Hooke和Christian Huygens相继为矿物的性质与其内部结构有更基本的关联这一概念做出了贡献。

Niels Stensen(其拉丁文名字为Nicolaus Steno)进一步研究了晶体的外形。Stensen是一个医生,在当时以他对解剖学的贡献而著称。利用他对动植物的生长和它们怎样靠体内液体养育的知识,他认为晶体是由于从外部液体增添微粒而生长的,并由此得出了正确的结论,即晶体的生长过程实际上是有方向性的,晶体的最终形状取决于在不同方向上的生长速度。根据他对天然晶体形貌的研究,1669年Stensen提出了一个普遍关系,即不管晶面的大小和形状怎样,晶体的两个相同的晶面之间的夹角总是恒等的。这一关系后来成为著名的Steno定律。

随着18世纪工业化的兴起,矿物学的发展达到了一个重要阶段。这一时期迫切需要发展鉴定矿物和对矿物性质系统分类的方法。1768年,Carolus Linnaeus提出了一种最初的矿物分类体系。他确信他在矿物王国中发现了与在他的植物学工作中起过重要作用的相同的原理。根据一般的外部性质, Linnaeus体系划分为类(orders)、族(classes)和种(species),其分类的核心在于晶体的外形。他对晶体的描述非常细致,以至于后来的学者称他为结晶学的创立者。

1774年德国Freiburg的矿物学教授Abraham Werner提出了第一个具有综合性和一致性的矿物学体系。在这一包含约三百种矿物的体系中,只有外形是几种性质中唯一需要在鉴定之前加以测定的。Werner的学生将他的学说传播到大部分文明社会中,但他的工作后来被攻击为不科学的,因为它不依赖于当时任何一条已确立的理论。

1784年René Just Haüy在他的*Traité de cristallographie*一书中提出晶体结构是由相同的组成分子所构成的,这是矿物学发展中的一个里程碑。取自Haüy论文的图1.1表明他的思想与现代的空间点阵概念多么相似,他所设想的点阵与晶体外形的关系是多么清晰。Haüy对当时流行的思想所进行的成功综合与他对方解石和其特有的菱面体解理的研究是联系在一起的。因为在人眼的分辨能力范围内能够观察到菱面体,Haüy确信菱面体是构成所有矿物的几种基本构造单元中的一种特征形状。Haüy的理论含蓄地指出每一组成分子都有一特定的化学内容,尽管他的分类更多地依赖于形态而不是化学组成。根据Haüy的观点,组成分子本身就是基本物质,任何进一步的分割都会破坏它本身的特性。

在关于内部结构和外形的关系方面,Haüy的概念所处的领先地位并不完全明确。早在八年前的1773年,瑞典化学家和矿物学家Torbern O. Bergman证明了方解石(CaCO_3)的偏三角面体是如何由具 101.5° 和 78.5° 的菱面体晶核形成的(图1.2)。Haüy显然知道了Bergman的结果,但他只是在论述Bergman错误地企图将石榴石的十二面体晶形与方解石

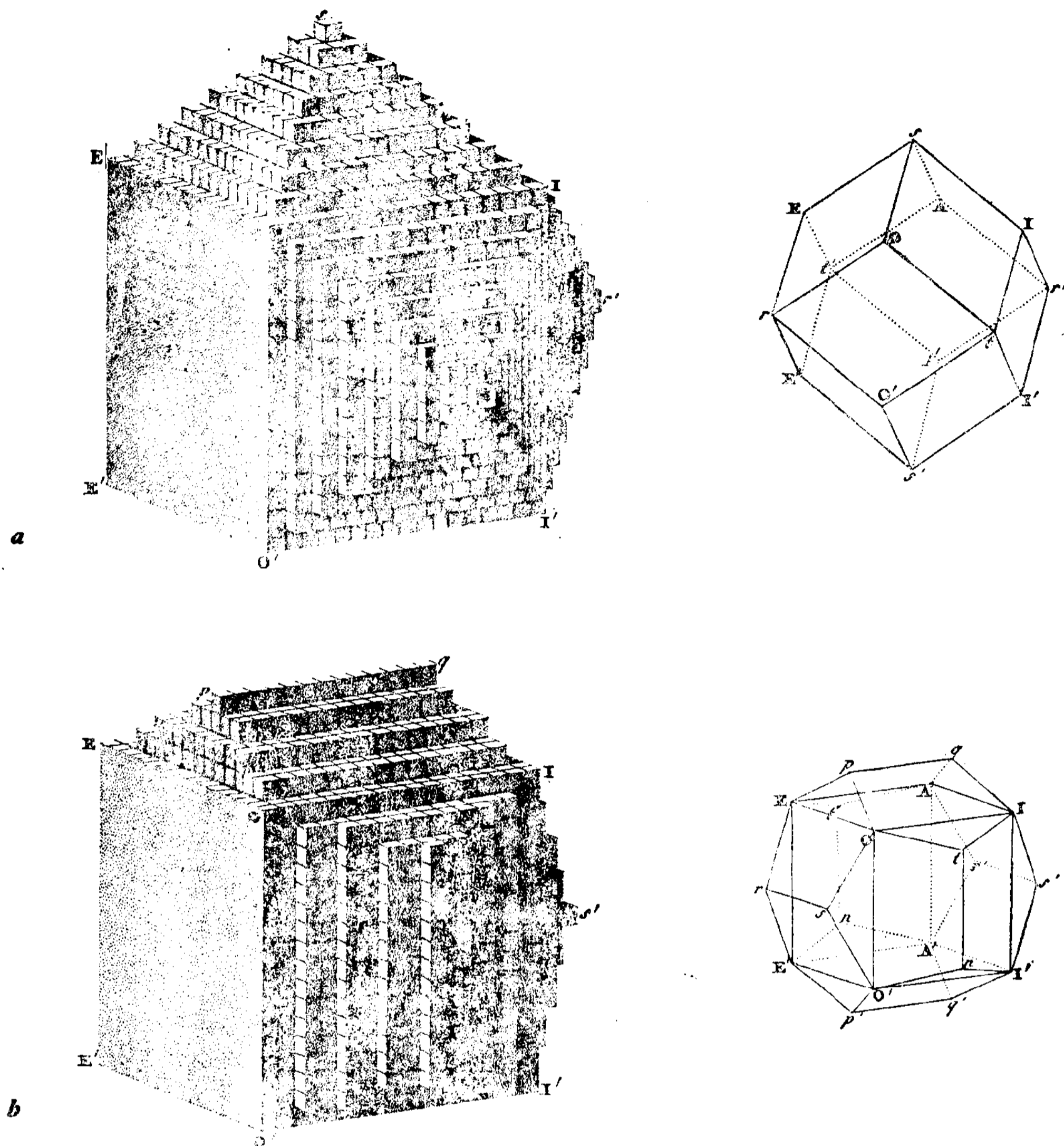


图 1.1

a. René Haüy 对具菱形晶面的十二面体晶体形态是如何从立方核或组成分子推引而来的图解；b. Haüy从立方核推出的具五边形的十二面体
(引自Haüy,R.J., 1801)

的菱面体晶核相联系的文章中提到这些结果。Bergman最重要的贡献是在实验室中对矿物进行化学分析。1779年Bergman详细地叙述了对矿物进行化学检验时吹管的使用。正是用化学方法研究矿物学而不是任何别的方法最终导致了Haüy理论的崩溃。

当化学开始对矿物学做出更多的贡献时，晶体形态的作用变得不再占统治地位了。进入19世纪后，Haüy的一个学生Francois Beudant发现含有不同比例的硫酸铁 (FeSO_4) 和硫酸锌 (ZnSO_4) 的水溶液在蒸发时总是结晶出具有同样特征的菱面体晶体。Haüy理论认为 FeSO_4 和 ZnSO_4 具有不同的晶形，而Beudant的观察得出了矛盾的结果。Beudant认为化学组成的化合物并不象Haüy所认为的那样是由两种不同的组成分子的机械混合物，而是化学混合物，它们表现出在一个连续范围内的物理性质。与此同时，William H.

Wollaston也完成了对方解石 (CaCO_3)、菱镁矿 (MgCO_3) 和菱铁矿 (FeCO_3) 的类似研究, 得出了与Beudant相同的结论, 即这些矿物应该看作是是具有相同晶形的均匀的化学混合物。由于这些结果, 导致了固溶体或类质同象这一现代概念的建立。

当人们认识到虽然方解石 (CaCO_3) 和文石 (CaCO_3) 具有完全不同的物理性质, 但具有相同的化学组成时, 也对Haüy理论产生了类似的疑问。1821年, 瑞典化学家和矿物学家Jons J. Berzelius的学生Eilhard Mitscherlich提出了同质多像的现代概念, 他证明同种数量的同种元素能以不同的方式排列, 产生不同的外形和物理性质。

随着对矿物中化学元素的内部排列具有高度对称性的了解, Christian Samuel Weiss为结晶学开辟了新方向。Weiss是个才华横溢的学者, 20岁就获得了博士学位。他提出了物质的极性理论, 这个理论认为基本微粒是由吸引力而相聚, 由斥力而分离的。1815年, 他提出了结晶轴的概念和结晶轴与三维空间中对称轴的关系。通过研究相互垂直的轴, Weiss确定了等轴、四方和正交晶系。同时他也认识到矿物按具六次旋转对称和三次旋转对称所做的自然划分, 因此产生了六方和三方晶系。1825年, Werner在Freiberg的继任者, 也就是发明硬度表并以他的名字命名的Friedrich Mohs, 通过考察非正交的结晶轴, 证明了单斜和三斜晶系的存在。

结晶学这门科学从此得到了迅速发展。1830年, 德国医生和矿物学家Johann Hessel得出了只有32个晶类以及只有二、三、四、六次旋转对称轴才与平移相容的结论。Hessel的发现基于他对任何几何形状可能具有的各种对称类型的详尽研究。1840年, Gabriel Delafosse正确地指出Haüy的组成分子就是晶体点阵中节点的概括, 即它只是几何要素, 与我们今天所称的单位晶胞这个物理和化学实体不同。这一认识在概念上是个转折点, 因为它剥去了Haüy晶形的任何化学意义。1848年, Auguste Bravais独立地提出了Hessel早些时候推出的32个晶类, 更重要的是Bravais提出了十四种空间点阵。这是空间群理论的先导。Bravais发现十四种空间点阵具有七种不同的点阵对称, 对应于以前所认识

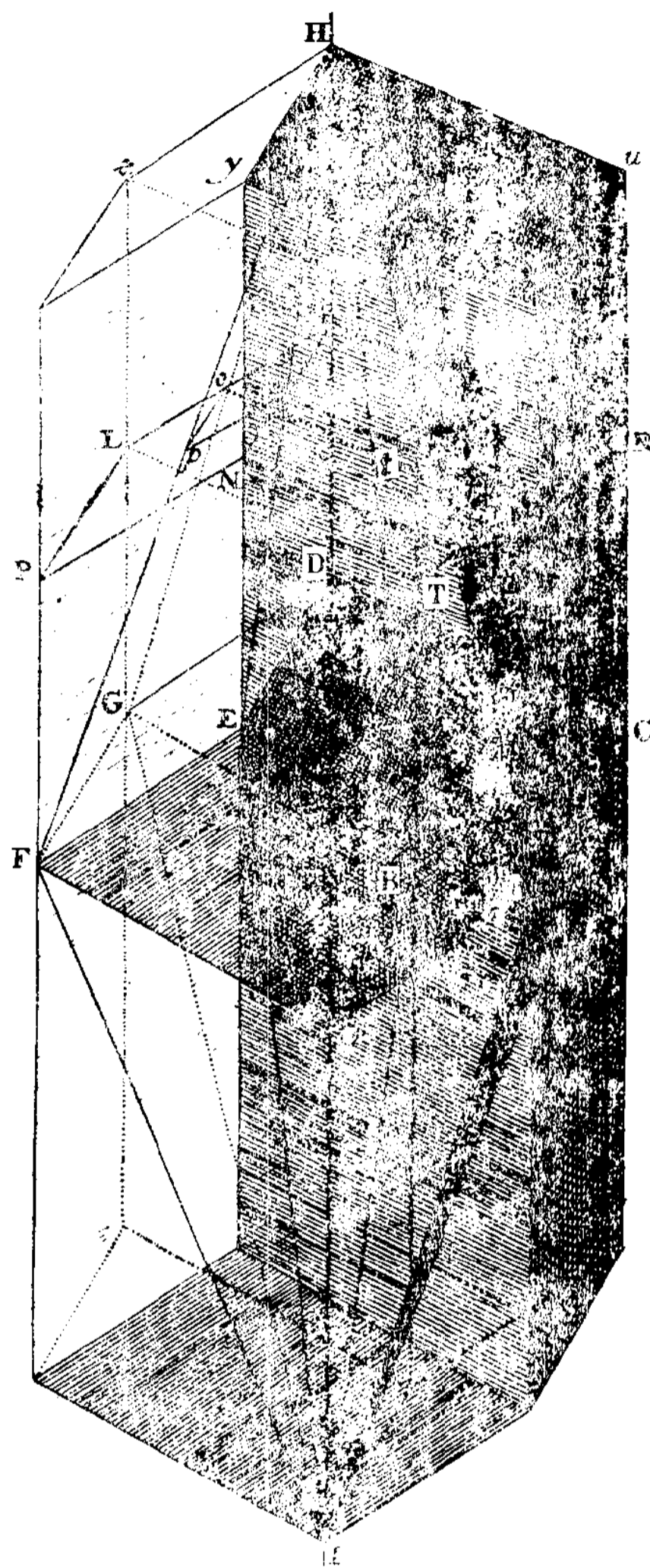


图 1.2 Torbern Bergman对方解石棱柱 (HURCIFP) 和偏三角面体 (HCIF) 是如何从菱面体晶核 (COFD) 推引而来所做的图解 (引自Bergman, T.O., 1773)