

517

# 成因矿物学概论

上册

靳是琴 李鸿超 编著

(1)

吉林大学出版社

# 成因矿物学概论

上册

——成因矿物学基本问题

靳是琴 李鸿超 编著

吉林大学出版社

责任编辑：杨连生  
封面及出版设计：温仲华

**成因矿物学概论**

(上册)

靳是琴 李鸿超 编著

吉林大学出版社出版 吉林日报印刷厂印刷

787×1092 16开本 13.13印张 305,000字

1984年12月第1版 1984年12月第1次印刷

印数 1—5000

统一书号：13323.3 定价：2.80元

# 前 言

成因矿物学是现代矿物学的一个重要分支学科，自费尔斯曼于本世纪初提出以来，已取得很大的发展。随着科学的发展和人们知识的不断丰富，成因矿物学必定从最初发展阶段的论述矿物形成条件的一般概念转向定量讨论这些条件和解释决定矿物存在范围的物理化学参数。在现阶段，最重要的是获得关于成矿过程中的一切条件（温度、压力、介质的酸碱度、氧化电位、挥发分等），关于成矿介质的成分和相态（熔融体、溶液、气体），以及物质来源等等的客观资料。这些资料是成因矿物学深入发展的基础。

成因矿物学是在生产实践和其他科学发展的基础上发展起来的，因而具有很强的生命力，它在解决基础地质问题和找矿勘探工作中的作用已日益引起人们的注目。

为了在我国推进这一新兴分支学科的发展，我们将尚不成熟的本书献给读者。本书分为上、下两册。上册讨论了矿物的发育史、矿物的标型、矿物地质温—压计、矿物共生组合和共生分析，以及工作方法等成因矿物学基本问题；下册则介绍了几种常见矿物的成因矿物学。上册第一章、第三章、第四章及第五章的二、三节由李鸿超执笔；第二章、第五章的第一节、第六章及第七章由靳是琴执笔。下册的金刚石、黄铁矿、磁铁矿、石英和长石由李鸿超执笔；橄榄石、石榴石、辉石、角闪石和云母由靳是琴执笔。

本书是在参阅了国内外有关文献并结合作者研究工作的基础上编写的，因此书中除有一般性的原理阐述外，多有实例加以说明。

本书的编写是在院、系的领导下，教研室的直接支持下完成的。院内外的许多同志为本书的编写提出了宝贵意见和资料，特别是杨先觉副教授为本书的编写翻译了大量资料，在此一并表示衷心的感谢！

由于笔者水平有限，本书无论在内容和资料组织上，都可能存在错误和不足之处，殷切希望读者批评指正，以便使本书得到不断的充实和提高。

## 本书常用的矿物代号

Ab	钠长石	Ilm	钛铁矿
Af	碱性长石	Kf	钾长石
Alm	铁铝榴石	Ky	蓝晶石
And	红柱石	Mi	微斜长石
Andr	钙铁榴石	Ms	白云母
Am	角闪石	Mt	磁铁矿
An	钙长石	Ne	霞石
Bi	黑云母	Ol	橄榄石
Cc	方解石	Opx	斜方辉石
Cord	堇青石	Or	正方石
Chl	绿泥石	Pl	斜长石
Chr	铬铁矿	Phl	金云母
Cpx	单斜辉石	Px	辉石
Gtd	硬绿泥石	Py	黄铁矿
Di	透辉石	Pyr	镁铝榴石
Dol	白云石	Q	石英
En	顽火辉石	Sill	硅线石
Fa	铁橄榄石	Sp	尖晶石
Fo	镁橄榄石	St	十字石
Fs	斜方铁辉石	Spe	锰铝榴石
Gro	钙铝榴石	Sph	闪锌矿
Gt	石榴石	Spe	蛇纹石
Hb	普通角闪石	Ser	绢云母
Hem	赤铁矿	Tal	滑石
Hd	钙铁辉石	Ura	钙铬榴石
Hy	紫苏辉石		

# 目 录

## 本书常用的矿物代号

<b>第一章 绪 论</b> .....	( 1 )
第一节 成因矿物学的概念.....	( 1 )
第二节 成因矿物学的研究内容与研究方法.....	( 2 )
第三节 成因矿物学发展简史.....	( 4 )
第四节 成因矿物学与其它学科的关系.....	( 8 )
<b>第二章 热力学基础</b> .....	( 11 )
一、基本概念.....	( 11 )
二、热力学第一定律、内能和焓.....	( 13 )
三、热力学第二定律、熵、自由能和化学位.....	( 14 )
四、化学平衡、逸度和活度.....	( 17 )
五、能斯特分配定律.....	( 18 )
六、相律和相平衡.....	( 19 )
<b>第三章 矿物的发育史</b> .....	( 22 )
第一节 矿物发育史的基本概念.....	( 22 )
第二节 矿物个体发育史.....	( 23 )
一、矿物的发芽—成核作用.....	( 23 )
二、矿物的生长.....	( 26 )
三、晶体生长中的晶间界面平衡.....	( 33 )
四、矿物个体发育史研究举例.....	( 36 )
第三节 矿物系统发育史.....	( 39 )
一、矿物界的形成、演化的概念.....	( 39 )
二、矿物系列发育史.....	( 39 )
<b>第四章 矿物的标型</b> .....	( 41 )
第一节 标型的概念.....	( 41 )
第二节 标型矿物、标型矿物组合及标型组构.....	( 43 )
一、标型矿物.....	( 43 )
二、标型矿物组合.....	( 49 )
三、标型组构.....	( 50 )
第三节 矿物的标型特征.....	( 52 )
一、成分标型.....	( 52 )
1. 微量元素和主要元素标型性研究.....	( 52 )
2. 稳定同位素的标型性.....	( 55 )

3. 包裹体研究的成分标型意义 .....	( 58 )
二、结构标型 .....	( 59 )
1. 晶胞参数的变化 .....	( 59 )
2. 配位数 .....	( 60 )
3. 多形与多型 .....	( 61 )
4. 有序—无序 .....	( 63 )
三、形态标型 .....	( 63 )
1. 晶形变化的标型性 .....	( 64 )
2. 双晶及出溶页片 .....	( 67 )
3. 集合体形态和组构方面的标型 .....	( 68 )
四、物性标型 .....	( 69 )
1. 颜色 .....	( 69 )
2. 晶体光学性质 .....	( 70 )
3. 硬度 .....	( 72 )
4. 裂开 .....	( 73 )
5. 比重 .....	( 73 )
6. 热电系数 .....	( 73 )
7. 磁性 .....	( 74 )
8. 发光性 .....	( 76 )
第四节 标型研究的方法 .....	( 77 )
<b>第五章 矿物地质温度计和压力计</b> .....	( 79 )
第一节 矿物中元素分配地质温压计 .....	( 79 )
一、与辉石有关的地质温压计 .....	( 79 )
(一) 二辉石地质温度计 .....	( 79 )
(二) 单辉石 (Opx或Cpx) 地质温压计 .....	( 87 )
(三) 斜方辉石占位系数地温计 .....	( 91 )
(四) 单斜辉石地温计 .....	( 91 )
(五) 单斜辉石—石榴石地温计 .....	( 93 )
(六) 斜方辉石—石榴石地压计 .....	( 95 )
(七) 橄榄石—钙长石—单斜辉石—斜方辉石—尖晶石组合, 石榴石—橄榄石 —单斜辉石—斜方辉石组合中 $Al_2O_3$ 的含量地质温压计 .....	( 98 )
(八) 单斜辉石—橄榄石的Ni地温计 .....	( 101 )
(九) 单斜辉石—角闪石地温计 .....	( 102 )
二、与长石有关的地质温度计 .....	( 103 )
(一) 二长石地温计 .....	( 103 )
(二) 斜长石地温计 .....	( 107 )
三、与其它硅酸盐矿物有关的地质温压计 .....	( 110 )
(一) 石榴石—橄榄石地温计 .....	( 110 )

(二) 石榴石—堇青石地温计 .....	(111)
(三) 石榴石—角闪石地温计 .....	(111)
(四) 石榴石—黑云母地质温压计 .....	(113)
(五) 石榴石—斜长石—石英— $Al_2SiO_5$ 组合地质温压计 .....	(115)
(六) 石榴石—黑云母—白云母—斜长石组合地质温压计 .....	(116)
(七) 角闪石—斜长石地质温压计 .....	(117)
(八) 白云母—绿泥石地温计 .....	(119)
四、硫化物和氧化物地质温压计 .....	(120)
(一) 闪锌矿地质温压计 .....	(120)
(二) 铁—钛氧化物地温计 .....	(122)
五、矿物地质温压计的应用及评述 .....	(125)
第二节 稳定同位素地质温度计 .....	(127)
一、硫同位素地质温度计 .....	(128)
(一) 黄铁矿—方铅矿同位素测温 .....	(128)
(二) 闪锌矿—方铅矿同位素测温 .....	(129)
(三) 黄铁矿—黄铜矿同位素测温 .....	(131)
(四) 黄铁矿—磁黄铁矿(或闪锌矿)同位素测温 .....	(131)
二、氧同位素地质温度计 .....	(131)
(一) 氧同位素外部测温 .....	(131)
(二) 氧同位素内部测温 .....	(134)
三、稳定同位素测温的检查及地质判别举例 .....	(136)
1. 图解判别 .....	(136)
2. 相关关系判别 .....	(137)
3. 同位素共生顺序判别 .....	(137)
第三节 包裹体测温及有关研究简介 .....	(138)
<b>第六章 矿物共生组合和共生分析</b> .....	<b>(142)</b>
第一节 各种地质作用中的矿物共生组合 .....	(142)
一、岩浆作用中的矿物共生组合 .....	(142)
(一) 深成岩浆岩和岩浆矿床的矿物共生组合 .....	(142)
(二) 伟晶岩与伟晶岩矿床的矿物共生组合 .....	(145)
(三) 热液作用与热液矿床的矿物共生组合 .....	(146)
(四) 火山作用的矿物共生组合 .....	(147)
二、外力作用中的矿物共生组合 .....	(149)
(一) 岩石风化壳和金属矿床氧化带的矿物共生组合 .....	(149)
(二) 沉积岩和沉积矿床的矿物共生组合 .....	(154)
三、变质作用中的矿物共生组合 .....	(157)
(一) 接触变质作用的矿物共生组合 .....	(158)



(二) 区域变质作用的矿物共生组合 .....	(161)
第二节 矿物的共生分析 .....	(164)
一、封闭体系的矿物共生分析 .....	(165)
二、开放体系的矿物共生分析 .....	(168)
三、金属矿物共生分析 .....	(174)
四、矿物共生分析实例——北京密云群变质作用的矿物共生分析 .....	(177)
<b>第七章 成因矿物学的工作方法 .....</b>	<b>(182)</b>
第一节 准备工作 .....	(182)
第二节 野外工作 .....	(182)
第三节 室内工作 .....	(183)
一、初测与矿物分选 .....	(184)
二、系统的光薄片研究 .....	(184)
三、矿物测试方法的选择 .....	(185)
四、测试数据的综合整理 .....	(185)
五、综合分析, 专题总结 .....	(194)
六、成岩成矿模拟实验 .....	(194)
第四节 实例 .....	(194)
<b>主要参考文献 .....</b>	<b>(201)</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 成因矿物学的概念

成因矿物学是研究矿物成因的基础地质学科，是现代矿物学三个发展分支——晶体化学、矿物物理和成因矿物学中，与国民经济结合最为紧密的一个分支学科。

成因矿物学研究矿物的形成（发生、成长）演化（存在、变化）的过程和条件，以及反映该过程和条件的标志和信息；与其它地质学科相配合，从阐明矿物的形成演化机理入手，解决基础地质研究及找矿勘探工作中的理论和实际问题。

其中，矿物个体（和集合体）发育史、矿物系统发育史的研究，是矿物成因研究的开始，也是研究的终结。即成因矿物学先是研究一个个矿物在自然地质历史发展中的起因：从它产出的具体地质环境开始，研究它发芽、成长过程，直到它的形成条件的判定等。而只有在各种矿物及其共生组合的形成、演化条件明确后，才能得出该地区、该地质事件及其后地质事件中矿物的演化规律，作出地区性矿物系统发育史的结论。在综合各地区矿物发育史的规律后才能得出地壳的矿物系统发育史。

矿物形成条件的研究，则是成因矿物学任一专题研究的重点内容。通过矿物本身及其属性来剖析矿物及其共生组合的形成、变化条件，即矿物标型性的研究，也是贯彻矿物成因研究全过程的。宏观的标型包括肉眼及镜下所能观测的形态、物性及组构特征的研究，微观的标型，依靠近代多学科的研究手段，可深入研究矿物本身的主成分、微量及痕量成分、同位素组合特征；研究空间群、晶胞参数的微细变化、原子配布的微细变化、有序—无序、结构缺陷、出溶页片和超显微双晶等；研究各种物性或及离子交换性等；揭示能反映成岩—成矿过程中温度、压力、组分浓度、酸碱度、氧化还原电位、挥发分逸度等的成因信息和标志。其中还包括近年发展很快的、众多的地质温压计的研究。

上述研究内容是将矿物个体、集合体连同其共生矿物一并进行的。即在共生矿物组合的范畴内进行矿物发育史和标型研究，得出的成因结论不仅是一个个矿物种的，而且是它在共生序列中所处的时间、空间位置和具体物化条件的结合。即成因矿物学必须研究矿物的共生规律，作出共生分析，才能说明其中某一矿物的成因。

最后，根据各地区、不同地质体的成因矿物学资料，可综合出地区性的、或更广范围的矿物空间分布规律。

所以，成因矿物学研究，既包括具体地质体中矿物成因的研究，也包括地球以及天体间矿物分布的矿物成因研究。既有针对具体地质问题的研究课题，也有矿物学—地质学基础理论课题的研究。

## 第二节 成因矿物学的研究 内容与研究方法

不同学者对成因矿物学的研究内容有不同的概括，但都包括以下列出的几个方面，这些方面，在具体课题的研究中并不是、也不可能全部纳入，以某一内容为主而涉及相关的其它内容时，其研究顺序等又因已有的矿物学资料的完善程度而异。也就是说，任一成因矿物学研究都需有本地区的地质基础研究资料——尤其是矿物学资料，而针对研究目的借鉴其它地区的资料只能是辅助性的。

几个主要研究方面是：

### 一、矿物发育史

### 二、矿物标型

### 三、地质温压计

### 四、矿物共生组合与共生分析的研究（以上详见本书相应章节）

### 五、矿物空间分布规律的研究

区域矿物学是区域上矿物空间分布规律研究的一个侧面；矿床矿物学则是着重于成矿作用中矿物空间分布规律研究的又一个侧面。不同区域、不同矿区地球化学背景不同，地质作用条件不同，矿物分布当然不同。例如内蒙白云鄂博富集稀土元素矿物，辽宁赛马也富集稀有一稀土元素矿物，二者在成矿母岩等方面仍有差异。而我国赣南、湘南、粤北地区富集不同成因类型的钨锡矿物则说明了在共同的地球化学背景下，成矿作用地质条件的差异。

成因矿物学的这一研究范畴近代已扩展到研究地壳以外的矿物分布规律。例如，壳下层、地幔的矿物分布，在矿物种数上少于地壳，在矿物结构紧密度上、比重上大于地壳……等地球矿物学模型的提出；又如陨石矿物有它独特的矿物种，月岩矿物在成分—光性上不同于地壳上的同种矿物等，均与其形成、存在条件有关。地壳以外的矿物分布规律及其成分、结构、性状的成因矿物学研究，将为地球演化提供更多的信息和依据。但目前资料较少，更有待系统整理；本书未列出其相应章节。

### 六、矿物成因模拟研究

将天然产物和人工模拟产物相比较来阐明矿物形成作用的机理，利用各种成分体系的成岩—成矿实验来模拟形成矿物的物理化学过程，探讨矿物及其组合的形成条件和变化规律，对解释矿物的形成、演化具有重要的理论意义。而利用自然界形成矿物的知识，来探索、指导合成矿物的方法、改革其工艺流程，为人类提供所需的无机材料，则具有重大的实用意义。我院成岩成矿研究实验室已编有讲义，本书从略。

### 七、系列矿物成因矿物学与成因矿物族研究

将自然界产出的矿物以及人工矿物、合成矿物\*按成分—结构分类进行成因研究

\* 笔者将自然界有对应矿物的人工合成物称为人工矿物，如人工合成的红柱石、金刚石等。而将自然界无与其对应矿物的人工合成矿物称为合成矿物，如钇铝榴石等。

是近代系列矿物学发展的一个方向，而把矿物化学成分—晶体结构—形成演化做为矿物分类基础的研究已在国内外个别先驱学者的论述中有所总结。这一研究范畴包括了以上全部成果的综合，目前较明确的两个综合方向是系列矿物成因矿物学研究与成因矿物族研究。二者都研究如何将众多的矿物予以科学的成因分类。

本书下册介绍的矿物族（系列）的成因矿物学，即按上册阐述的原理和方法来讨论不同矿物族（系列）的成因特征、讨论在不同地质—地球化学作用过程中，多（复）成因的矿物种、亚种的成分、结构、性质特征与形成、演化条件的关系，讨论一个地区或一个大块构造单元中、一个矿床或建造中矿物的形成演化特征。

成因矿物族，按其创建人陈光远教授的定义，则是“以同族矿物晶体化学上的成因标志为基础的矿物晶体化学—成因分类”。显然，这一矿物分类全面反映了矿物——一定成因条件下化学成分按一定形式稳定存在的客体——的本质。其研究必须有矿物族的晶体结构—晶体化学的详尽资料，包括结构参数微细变化与主次成分占位情况及其成因机理的典型资料，要有足够的代表其复成因性涉及的各种各样的共生组合的研究资料和与此相应的代表性样品的各项测试资料，尤其是化学全分析资料。其研究所必须的基础资料正是系列矿物学研究所提供的全部成果。

某些学者将成因矿物学涉及的领域做了归纳。据陈光远教授（《成因矿物学》——专门章节，1981）的归纳分列为20个方面，笔者试将其归并于上述研究范畴内，大体为：

个体发生史、矿物种发生史、矿物共生组合发生史、矿物成因年代学，大部分研究内容属矿物发育史研究范畴，也涉及共生组合和共生分析的研究范畴。

成因标型矿物学、成因信息矿物学、成因形态学、地质晶体化学、成因矿物物理学主要属矿物标型的研究范畴。

地质作用的成因矿物学、矿床成因矿物学、区域成因矿物学是共生组合—共生分析与矿物空间分布规律的研究范畴。

地壳成因矿物学、地球深部成因矿物学、宇宙成因矿物学是属矿物空间分布规律研究的范畴。

模拟成因矿物学属矿物成因模拟研究范畴。

以上各项研究又都与地质温压计研究密切相关。

矿物种的成因矿物学、矿物族的成因矿物学、成因矿物分类学则是系列矿物学—成因矿物族研究的范畴。

可以认为，目前所有成因矿物学课题都能纳入上述粗略划分的七个主要研究范围或详细划分的二十个研究方面。进行这些研究所凭借的方法则可归纳入以下四个方面：

### 1) 野外地质学—矿物学方法

除一般的地质学研究方法外，成因矿物学研究要着重搜集矿物学资料，不但要作矿物成因产状、共生伴生等方面的观察、记录和取样以满足地质构造学、地层学、岩石学、矿床学等方面的要求，成因矿物学研究，常要作出几条矿物学剖面详尽地对比所研究的各方面的变化，准确地标明样品的地质、地理位置。野外得到的矿物及其共生组合的宏观分布、生成顺序、结构构造特征等资料是极为重要的基础资料，尤其是地质分布

和地理分布规律是室内研究无法得出的。

## 2) 室内测试方法

包括一般的矿物学研究法和微量、微区成分研究、结构精细测定甚至超精细结构的研究、形貌研究、物性专项测试等涉及的几十种方法手段。结合课题需要使用显微镜、X射线分析等常规手段后，针对性地引用微束分析、电镜、各种谱学手段时，不仅要满足探求成因信息和成因标志的需要，还要尽可能注意到机理研究所必须的数据；既要重视解决地质体成因、找矿勘探的要求，也要重视成因矿物学学科理论研究的要求。

## 3) 实验矿物学方法

将天然产物和人工模拟相对照、相比较：对矿物平衡进行实验研究、对自然过程进行模拟，以解决矿物形成作用的机理和得出矿物共生组合的规律，并查明形成具体矿物个体或其组合的有利条件用到无机材料工业上去。

## 4) 理论计算和数学模拟

不仅利用以上成果并可引用其它地质学科提供的资料，确定不同成因类型的数学模型。可以用归纳法建立的经验公式，也可以是从热力学理论计算得出的各种平衡条件的理论公式，或用电算技术综合研究这些经验归纳的、实验合成的、理论计算的成果，探索矿物及其共生组合的形成条件和形成规律；并在野外实地观察分析中、人工合成实验中检验所作出的计算和模拟的真实性，以预测、探索未知的矿物组合和有用矿产。

从上述研究内容、研究方法的概略介绍中，不难看出，各项内容、各项方法是互相渗透、彼此交叉、相辅相成的。单单一个方面的研究，仅仅强调某一方面的方法，是不能完成成因矿物学研究任务的。因为任一地质体的形成过程都是我们无法直接研究的，只能从既存结果回溯其形成的自然化学作用过程、查明控制其形成的物理化学条件、判定矿物及共生组合的形成顺序和分布规律；人为地简化这些自然体系的影响因素、假设某些因素是主导的、某种地质作用是起决定作用的；再加上人类对自然界认识手段的局限、地质体的地区地质背景的多样性；所得结论必须有各方面的论据作为坚实的基础方能较真实地重现矿物成因的一些细节，籍以回答所研究地质体的成因问题。

在研究过程中，不仅要注意避免野外观察和室内分析的片面性，引用资料时要注意它们是否有地区限制，综合处理数据时则要注意它们的多解性。也就是说，综合求解时，研究的方面越多，观测的标型性内容越广，参考的相似地区、类比的资料越丰富，筛选出的判断依据就越准确、可靠，所得结论也越趋近于真实。

# 第三节 成因矿物学发展简史

从人类祖先利用自然矿物资源开始，就已在注意积累这些利用对象（石块、尤其是燧石等人类用火后煨之碎裂呈尖棱角的石块）的产状。当大量需求冶炼（铜、合金、

铁)原料时,已在积累、在研究这些矿物原料的成因、产状和分布规律了。所以说,成因矿物学,作为矿物学的基本内容之一,是和矿物学同时孕育于人类的生产实践中。直到矿物学基于生产实践和化学、物理学、地学等科学的发展形成为一门独立科学为止,成因矿物学的基本内容——标型性和共生规律——始终是矿物学中一个组成部分;在描述矿物学中,成因、产状叙述占有相当篇幅,尤其是对矿石矿物而言,积累了大量资料。在古典矿物学向现代矿物学发展的过程中,借助于化学、物理学的近代理论和手段,晶体化学、矿物物理学,是把矿物作为一个自然产出的、具有相对均一结构的实体来研究。研究它的质点排布规律、键性和能量状态,以及这些规律、状态在各种谱学上的反映,揭示出有关矿物成份、结构、晶形、物理和化学性质及其应用的基本规律。同时,也揭示了成份、结构、性能和形成条件间的依存关系。成因矿物学则把矿物及其共生组合作为一个地质实体来研究;把它们看作是自然物理化学体系的产物;不仅被动地依赖化学、物理学、热力学等理论及其结果,更主动地从矿物及其共生组合的各方面特点去探索其所能反映的地质—地球化学过程,恢复其形成的物理化学条件,再现其形成演化历史,并查明其分布规律。因而其形成、发展与地质学、岩石学、矿床学、地球化学等形成、发展关系更为密切。

## 一、国外成因矿物学的发展概况

现代矿物学中的成因矿物学分支从本世纪初A·E·费尔斯曼(1912)倡导后已有70多年的发展历程。在此之前虽经历了漫长的酝酿与资料(尤其是标型与共生资料)积累过程,但多从岩石学、地球化学、结晶学、矿物学本身角度来对待这些资料。

将此前积累的有关矿物形态,矿物种或矿物组合与成因、产状间关系的经验资料,从标型、共生规律角度,总结出矿物属性与成因间的相互关系是标型学说的建立过程,也是成因矿物学的建立过程。费尔斯曼明确提出成因矿物学(Генетическая Минералогия)这一名称,总结了矿物本身的属性与成因的关系,也归纳了从采矿事业总结出的《矿物的共生》、变质岩研究中提出的《标型》等思想。B·N·维尔纳茨基认为成因矿物学应涉及矿物共生组合发生、存在和破坏的各个方面,是矿床成因学的理论基础……,反映了当时成因矿物学研究与矿床成因研究联系极为紧密这一事实。

此后,直到五十年代,主要是在形态标型、成分标型、物性标型、固溶体出熔点、多形转变及矿物熔(沸)点测定、实验矿物学等方面的研究,以及在地表岩石和矿床研究领域应用这些成果的过程中发展了成因矿物学。

五十年代初,苏联矿物学家讨论了成因矿物学的任务,明确了必须从一般性了解矿物形成条件,转变为确切地说明矿物产生和存在、变化的定量的物理化学参数。从当时理论和实践发展提出的这一思想,尽管已明确矿物——具体的矿物、不是纯的物质,有结构缺陷,其物理性质和化学特征、组合特点、分布特点能反映物理化学条件。可是,真正定量地确定它们则有待近代测试技术的高度发展。

五十年代以后,成因矿物学综合应用各种方法使其研究进入现代化阶段。首先是从宏观属性研究进入微观属性的研究,如精确测定矿物的微量、痕量元素、原子占位有序

性及配位特点等精细结构的测定、超显微页片及双晶的观测和微形貌研究。再是从大陆地壳上部地质体的研究扩展到地壳下部、地幔、月岩、陨石、海洋的研究。三是既重视资料积累，也重视引用晶体化学、物理化学等现代理论和实验结果对这些资料进行机理探讨，试图从地区性的经验规律、上升为学科的理论性总结，推广应用上述研究成果，尤其是应用到找矿勘探实践中去。一些学者将这一发展阶段的成因矿物学称为近代成因矿物学。地质温压计、个体发育史研究就是在这一有利的形势下开展起来的。

六十年代，各国学者在一些地区性矿物学、矿床矿物学、系列矿物学以及矿物标型性、指示矿物、温压计的专著、论文或教科书中总结了这方面的发展；但以成因矿物学学科名称出现的代表作只有Е. К. Лазаренко的《成因矿物学原理》(1963)。

七十年代，近代物理学、结构化学和多元体系热力学研究的进展，微束分析、电镜及各种谱学方法的发展，从理论和手段上进一步武装了成因矿物学。使更多标型变量的研究趋向量化。地质温压计，尤其是包裹体、同位素温压计，不仅用于岩体，也用到矿体成因研究中。与此同时，成因矿物学本学科的专著从不同方面作出了归纳。例如，有的书虽仍遵循成矿地质作用及其产物的描述体系来编写成因矿物学，但突出了红外吸收光谱等近代方法在成因矿物学中的应用(В. Ф. Барабанов, 1977)及矿石矿物或宝石矿物属性的晶体化学—地球化学机制研究(В. Ф. Барабанов等, 1976)。有的从矿物学标型特征、共生组合、实验研究、个体发育史等方面论述成因矿物学研究及其应用(А. И. Гинзбург主编, 1976)。有的专论矿物个体发育史(Д. П. Григорьев, 1975; А. Г. Жабин, 1979)。有的书综述了地质温压计和同位素研究在矿床学方面的应用(Park和 Mac Diarmid, 1975)。有的进行了矿物成因分类的尝试(Е. К. Лазаренко, 1979)。在专刊中如《Материалы по генетической и экспериментальной минералогии》，《Contributions to Mineralogy and Petrology》以及各国的涉及矿物学的期刊中，都有了大量的成因矿物学内容的论文。

八十年代的几年中，磁铁矿标型及其在普查找矿和矿床评价中应用的专著(Л. В. Черныцава等, 1981)及评价包括成因矿物学在内的、阐述地质勘探工作实践中矿物学研究方法和意义的专著(А. И. Гинзбург等, 1981)以及大量关于热液矿床分类、花岗岩成因及分类的讨论、层控矿床研究、前寒武地质研究……等成因矿物学研究资料，纷纷涌现在应用地质学及基础地质学研究领域中，更推动了成因矿物学向成熟阶段发展。

## 二、我国成因矿物学的发展现状

成因矿物学在我国发展的经历和许多自然科学的经历是一致的，因为它们是一个民族、国家的生产实践发展面貌的共同反映。我们可在先秦著作《山海经·五藏山经》关于几十种矿物和金、银、铜、铁、锡、汞等金属矿物产地的记载中；在公元前百多年《淮南子》讲述冶炼技术时提到的矿物不稳定性、易变性及其周围环境的性质中；在公元二百年前后《管子·地数》及多本炼金术、炼丹术书中讲到的，包含有辰砂与金沙、磁铁矿与铜金矿石、赭土等与多金属矿石及铁矿等的共存规律和前者对后者存在空间的指示作

用, 包含有铜与金银的共生关系及铜由原生矿物经漫长演化转变成孔雀石等铜绿的存在与变化思想中, 看到成因矿物学的一些原始资料和可贵的思想萌芽。而后, 在历代本草关于矿物药的记载中看到对矿物共存、演化规律的资料和见解, 反映了我国古代矿物学发展的一个侧面。其中一些, 例如盐类矿物形成、转化条件的记述; 丹药“升”、“降”炼制方法中, 物化条件与生成物组份、物相的关系; 对研究多相集合体成因很有启迪作用。

封建社会、半封建半殖民地社会中, 生产发展的停滞使所有科学发展停顿不前, 也影响了我国矿物学的进展; 其主体内容始终停留在描述矿物学范畴。一些标型资料, 科学的共生规律的认识, 在五十年代以前的我国期刊、专著中很少提到。生产力和学术思想的禁锢也只有在新中国成立之后才得到解放。而国外, 此时已步入近代成因矿物学的发展阶段。

五十年代开展了大规模的普查勘探和大量的岩矿鉴定工作; 不仅要为已知矿种进行矿床评价、还要为新矿种找矿提供资料, 并进行矿产预测、研究矿物分布规律。这势必突破描述矿物学范畴, 进入成因矿物学研究。

近代成因矿物学是五十年代, 由陈光远教授引进我国矿物界的; 1960年开始采用成因矿物学方法, 解决铁矿成因与找矿勘探问题, 并向中国地质界提出成因矿物学研究方向。而后, 六十年代已在不同地质作用的成因矿物学方面出有专著, 如《凤城矿物志》在区域地质、区域地球化学特点基础上, 阐述了地区碱性杂岩体中矿物在各岩相阶段、一些岩相带中的分布及生成顺序、共生组合; 《白云鄂博矿物志》则在区域地质、矿床地质和矿化特征基础上, 首先引述矿物产状和共生矿物, 而后描述各世代该矿物种特征;

《西藏地区的超基性岩及其铬尖晶石类矿物特征》则着重研究了各超基性岩体铬尖晶石的成份特征; ……《角闪石成因矿物族》、《绿泥石成因矿物族》、《黑云母成因矿物族》的研究, 建立了“成因矿物族”按晶体化学特点和成因特点进行分类这一原则和各族的分类体系, 提出了不同成因矿物种成分—成因区的鉴定图表。

与此同时, 随着晶体结构、晶体化学、热力学和新技术的采用, 七十年代以来, 我国造岩矿物的研究也进入到三大岩类以及地幔岩岩石中主要造岩矿物成分、岩性与稳定条件、变化特征的研究。也从宏观的属性研究进入到微区、微量和微观的研究。标型特征、地质温压计、变质作用指示矿物等的研究日益受到重视; 封闭体系共生分析方法也得到了广泛的应用。在金属矿物的矿物系列、共生组合、标型及地质温压计应用的可能性方面也都有所研究并为探讨矿床成因提供了信息。六十年代已打下研究基础的稀有稀土元素矿物的研究, 更进入到时间、空间演化规律的研究阶段。

在实验矿物学方面, 六十年代开展了辉石、锡石的合成实验, 七十年代以来进行了铈钽矿物、斜长石、微斜长石、碱性长石等的合成及蚀变条件实验, 还开展了硫化物合成、高压下硼铁矿的合成、 $\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  体系矿物组合的研究等; 并在铸石学研究中, 探讨了过冷却结晶效应理论和硅酸盐熔体中橄榄石和辉石的发育过程。此外, 还分析了实验过程中某些矿物的热力学性质, 探讨了矿物热力学地质温压计的理论计算。

到八十年代, 我国整个矿物学水平的提高, 使成因矿物学研究进入一个新的发展阶



段，从宏观成因矿物学进入微观成因矿物学阶段。做为成因矿物学进入现代化的四个标志：一是现代设备：除包裹体、同位素、矿物谱学方法外，70年代的电镜技术已引入成因矿物学领域，使其得以用到矿物结构测定、相变和出溶研究、晶体生长、晶体缺陷、位错、双晶及成矿介质的成因研究，使成因矿物学得以向微观发展。二是现代理论：除现代物理化学理论外，晶体场等现代化学键理论已开始引进成因矿物学领域，用以解释验证用谱学方法所测定的微观信息的特征。三是现代成果：从地壳到地幔；从大陆到海洋；从单矿物到矿物系列；从无机矿物到有机矿物；从天然矿物到人工矿物，涉及的矿种既有黑色、有色、贵金属、稀有放射等金属矿石，也包括铝土矿、粘土及蒸发盐类外生矿石与石棉、金刚石等非金属矿石。在深度上，从成因矿物学角度探讨了一些铁矿及其它矿床的成因。在造岩矿物中，探讨了一些岛状、环状、链状、层状、架状硅酸盐矿物的成因以及它们与成岩成矿作用的关系，其中包括油田陆相海绿石、表生霓石、多种成因类型石榴石及其标型特征，金属硫化物与区域变质型铀矿的标型特征，古断裂带上磁铁矿双晶的形成机理，盐类沉积地热变质作用的相平衡规律，铜铅锌与钨锡矿床的成因矿物学等也进行了较详细的研究。由于研究的广度与深度的不断提高，获得了许多新的认识，解决了许多过去没有解决的问题。所采用的方法手段已从常规的方法手段到采用了现代方法手段，包裹体、碳同位素、氧同位素、与矿物谱学等方法的应用较前更为普遍，并有所发展（例如利用红外光谱研究铁镁硅酸盐的类质同象，在穆斯堡尔谱中提出了强度不对称参数）。四是现代队伍：被十年浩劫打散了的成因矿物学队伍重新集结，新的成因矿物学队伍不断诞生，其中有的已开始用现代理论和现代技术武装起来，逐渐形成一支走向现代化的队伍。这个队伍不仅出现在全国地学的研究机构，学校院系，而且广泛出现在各生产部门的地质队和一些主要矿山；室内鉴定人员，野外工作者也日益重视成因矿物学工作，使成因矿物学研究在生产、科研、教学部门中步调统一地在普及和提高。

成因矿物学的研究成果，在1980年11月全国第一届矿床矿物学及成因矿物学学术会议上进行了交流之外，国内各地质期刊、内部刊物陆续刊载了其中一部份，使成因矿物学研究的理论意义、应用价值得到了更广泛的宣传、更普遍的重视。近三年来，大量的新成果、新资料在各有关期刊中涌现；全国各地地质院校已开设或准备开设成因矿物学专题课或选修课，并招收研究生，一些局、大队或学会举办成因矿物学讲座。为了教学需要，内部印发、交流了许多本教材：除本书1981年10月版之外，《成因矿物学——专门章节》（陈光远，1981. 10），《成因矿物学讲义》（白学让，1982. 3），《成因矿物学简明教程》（薛君治，1982. 5），《成因矿物学》（陈武，1983. 1），从不同侧面总结了近代成因矿物学在我国的一些研究成果，也推动了学科的发展。

#### 第四节 成因矿物学与其它学科的关系

从以上各节所述内容，可归结出：成因矿物学是以众多地质学科为其基础，并反过来又为这些学科的研究课题服务的。其理论基础则是与晶体化学、物理化学（尤其是热力学）关系最为紧密的标型学说和共生演化。下图可简明地表达出它与各学科之间的相