

非金属矿物工学

吉本文平

科学出版社

56.88
205

非 金 属 矿 物 工 学

吉 木 文 平 著

张 綬 庆 译

科 学 出 版 社

1965

吉 木 文 平
鉍 物 工 学
技 报 堂
1959

內 容 簡 介

本书讲述非金属矿物的产状、性质和用途，共分四部分：第一部分总论，讲述矿物资源、结晶化学、相律、矿物合成和矿物处理；第二、三、四部分分别阐述了单元系—— SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 MnO_2 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 ThO_2 、 UO_2 、 B_2O_3 、 P_2O_5 ，二元系—— Al_2O_3 - SiO_2 、 MgO - SiO_2 、 CaO - SiO_2 、 XO - Y_2O_3 、 RO - SO_3 ，三元系—— K_2O - Al_2O_3 - SiO_2 、 Na_2O - Al_2O_3 - SiO_2 、 Li_2O - Al_2O_3 - SiO_2 、 MgO - Al_2O_3 - SiO_2 、 CaO - Al_2O_3 - SiO_2 各系统的矿物原料、物理化学基础和工业用途。在工业用途方面，全面地介绍了各有关系统的矿物原料在陶瓷、耐火材料、玻璃、水泥等硅酸盐工业和金属陶瓷、铁电体、铁磁体、超高温材料等新型硅酸盐材料，以及无机物工业等方面的利用情况。

本书可供硅酸盐、地质勘探、岩石矿物、冶金、无机物制造工业等方面的科学技术工作者，及高等学校有关专业的师生参考之用。

非 金 属 矿 物 工 学

吉 木 文 平 著
张 绥 庆 译

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 117 号

北京市书刊出版业营业许可证出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1962 年 8 月第 一 版 开本：787×1092 1/18

1965 年 11 月第二次印刷 印张：37 插页：3

印数：1,871—2,370 字数：753,000

统一书号：15031·76

本社书号：2548·15—2

定价：[科六] 5.30 元

3K574/30
原序

一个国家的经济发达与否，同它拥有的天然资源条件和利用这些资源的科学技术水平密切有关。在天然资源中，特别重要的是地下资源。煤炭、石油等燃料资源，铁矿、石灰石等矿物资源，构成了近代工业的基础是众所周知的事实。然而单是说矿物资源，经常容易理解为冶炼金属用的原料即金属矿物资源，对于非金属矿物，似有被看成是土石类而不加以重视之感。

但是，如黏土的利用，早在人类历史的原始时代，即用它制造了各种器皿和建筑材料，由此而发展成现代的陶瓷工业。又在有史以前即已发现的玻璃和水泥，是用硅砂和石灰石制成的，它们对人类的文化曾有过重大贡献，并推动了硅酸盐工业的发展。这样，非金属矿物资源，对硅酸盐工业的重要性固不待言，同时也是肥料、电石等无机制造化学所赖以发展的基础。特别以第二次世界大战为起点迅速发展起来的航空工业、电子工业、高温工业和原子能工业，也多有恃于非金属材料工业的进步而获得发展的。因此，我们今天对非金属矿物的重要性必须有足够的估计。

另一方面，矿物学是以自然界出产的矿物为研究对象的学科。在初期，主要以描述天然矿物的晶体形态和性质为目的。然而，自从有了偏光显微镜和发现了X射线之后，又对矿物的光性和晶体结构进行了研究，大大丰富了矿物学的内容。于是乃以矿物学为基础发展了结晶物理学和结晶化学。另外，建筑在这个基础上的矿物合成研究，近年来也获得了很大成就。阐明了水晶、云母等在水热条件下的生长机理，并还在高压条件下合成出了翡翠、金刚石等贵重矿物。今天，以往的科学家们所梦想过的许多珍贵矿物的人工合成已经实现，并正在逐渐实现工业规模的生产阶段。

从研究天然矿物出发而发展起来的结晶化学，还推动了固体物理和固相反应的研究。它们的研究成果，对各种新材料的发现起了很大的启示作用。例如通过对尖晶石族矿物的晶体结构研究，发现了各种铁氧体磁性材料；由于对钙钛矿特性的了解，制成了各种铁电体材料。目前，这些材料的应用正在不断地扩大。无线电、电视等近代电讯工业之所以能象今天这样以惊人的迅速步伐向前发展，说成是因为有了这些新材料的结果，亦不谓之过言。

非金属矿物资源，一方面供给了近代工业以各种原料；另一方面，通过对它们的研究，还为矿物的人工合成和有效利用提供了有价值的参考资料。所以，对现

代的非金属矿物工业来说，只有将矿物的物理化学知识和工艺技术紧密地结合在一起，才能更有力地促进它向前发展。非金属矿物工学即是把这两个方面结合在一起而形成的一门学科。作者在1950年访问美国时，看到在一些大学里，把以矿物资源为对象的陶瓷和冶金等矿物工业合并成为矿物工学部；又美国的国家标准局，专为进行一般矿物材料研究工作设置了矿物制品部。深深地体会到由矿物工学将矿物物理化学和应用连贯到一起的必要性。

作者原是在日本东北大学专门学习矿物学的，出校后曾在恩师神津博士的指导下，从事非金属矿物的基本研究工作约十年；以后又转职于旭玻璃公司，在该公司的研究所担任耐火材料和玻璃方面的研究工作约二十年。在这期间，作者为了工作上的需要，对国际上的非金属材料发展动态和有关非金属矿物的物理化学研究情况经常加以注意。由这期间收集到的文献资料，加上自己的贫乏研究工作，经整理写成的便是这本“非金属矿物工学”。这本书自着手开写以来已经过了几年时间，现总算告成付诸出版。本书在问世之后如能给予从事这方面工作的读者们以某些帮助的话，则是作者所引以为幸的。

作者在执笔编写本书期间正身患重病，仓卒间脱稿，因此遗漏或错误之处在所难免，敬希读者见谅并予指正，一俟以后有机会改写时加以补充和修正。

最后，在本书出版之际，谨对平时给予了很多帮助和鼓励的旭玻璃公司各位同事致以谢忱。

作者 1958年12月

譯 序

本书是由日本东京技报堂 1959 年出版的吉本文平著“矿物工学”一书譯出。

本书是以硅酸盐工业所接触的非金属矿物为对象,論述了它們的原料、性質和用途,从內容来看,是把普通硅酸盐工学和硅酸盐物理化学結合到一起的一本专著。讀者对象主要是硅酸盐方面的科学技术人員。

本书的取材充分反映了硅酸盐科学和工业的新近成就和发展趋势。对于到 1956 年为止的研究成果大都已收集了进去;并以相当大的篇幅介紹了新型硅酸盐材料的性能和用途。

但也必須指出,本书还存在有若干缺点,主要表现在以下几方面:一,对我国和苏联的研究成果介紹的很少;二,关于日本的資源情况講的过多;三,对于某些矿物的矿物学問題談的过多过专,不尽符合本书內容的要求;四,在某些問題的观点上还有值得商榷之处。为了弥补以上的不足,譯者在个别重要的地方适当作了注解,并删节了一些无关紧要的論述。此外,原书中有个別显然是錯誤之处或排印上的差錯,在翻譯时也均加以改正。

书中引用的专业名詞和矿物名詞是根据中国科学院編譯出版委员会名詞室修訂的詞彙譯出的。对于尚无确定中譯名的某些新矿物和商品名,一般是按音意結合的原則譯出,不能兼顧的則按音譯。

由于譯者的水平所限,翻譯錯誤和缺点在所难免,希望各位讀者提出指正。

張綬庆 1961 年春于上海

凡 例

1. 本书是以非金属矿物为对象,对于供冶炼金属为目的所谓金属矿物未加叙述。对不是以金属状态使用的磁铁矿、铬铁矿、钛铁矿等金属矿物,是当成非金属矿物处理的。
2. 本书是以主要氧化物为组元,按被利用的氧化物成分将矿物原料分成为一组分系、二组分系和三组分系。因此对于在加热中散失的成分未加以考虑。
例如,把 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 MgCO_3 看成是一组分,又 CaSO_4 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等看成是二组分矿物。
3. 对于近年来在硅酸盐工业上作为陶瓷材料看待的碳化物、氮化物、硼化物、硅化物、硫化物等人工化合物,为了叙述方便起见均列入在有关元素的氧化物项内。
例如 SiC 、 BN 、 UC 、 ThS 等分别是作为 SiO_2 、 B_2O_3 、 UO_2 、 ThO_2 等的有关化合物处理的。
4. 本书的第二、三、四篇,每一章均分为三节,在矿物原料一节内只简述了各种矿物的产状、矿物学性质和化学成分,对细节未加详述而列出了有关文献。
5. 化学分析结果有旭玻璃公司研究所分析的,和由文献中摘录出来的,对于后者的出处和分析人未一一注明,希各原作者见谅。
6. 每篇的文献统一集中在该篇的后面,可由正文中标记的方括号内的号码查出。

目 录

一、总 論

1. 矿物资源

1.1 矿物	1	1.4 非金属矿物	10
1.1.1 矿物的定义	1	1.4.1 矿物原料	10
1.1.2 矿物学的发展	2	1.4.2 矿物材料	11
1.2 地壳	3	1.4.3 稀有元素矿物	11
1.2.1 地壳的构成	3	1.5 矿物资源的开发	13
1.2.2 地壳的化学成分	4	1.5.1 矿物资源的勘探	13
1.2.3 矿物的集合状态	7	(i)详细勘探 14 (ii)初步勘探 14 (iii)普查 14	
1.3 经济矿物的产状	8	1.5.2 经济矿物的勘探	14
1.3.1 矿石	8	(i)物理探矿法 14 (ii)化学探矿法 16	
1.3.2 矿床	8	1.5.3 劣质资源的利用	16
(i)岩浆矿床 8 (ii)沉积矿床 9 (iii)变质矿床 10		1.5.4 未利用资源的有效利用	17

2. 結 晶 化 学

2.1 物质结构	18	2.3.4 架状硅酸盐	30
2.1.1 原子的性质	18	2.3.5 羣状硅酸盐	31
2.1.2 原子间的结合	20	2.3.6 环状硅酸盐	31
2.1.3 配位	22	2.4 多形现象(同质多形)	31
2.2 氧化物的晶体结构	23	2.4.1 变体	31
2.2.1 岩盐 (NaCl) 型	24	2.4.2 转变现象	32
2.2.2 萤石 (CaF ₂) 型	24	2.5 同形现象(异质同形)	33
2.2.3 闪锌矿 (ZnS) 型	25	2.5.1 固溶体	33
2.2.4 金红石 (TiO ₂) 型	25	2.5.2 模型结构	34
2.2.5 刚玉 (Al ₂ O ₃) 型	26	2.6 不完整晶体	35
2.2.6 钙钛矿 (CaTiO ₃) 型	26	2.6.1 晶格的缺陷	36
2.2.7 尖晶石 (MgAl ₂ O ₄) 型	26	2.6.2 晶体的位错	37
2.2.8 二氧化硅 (SiO ₂) 的结构	27	2.7 晶体结构与物理性质	38
2.3 硅酸盐的结构	28	2.7.1 熔点	39
2.3.1 岛状硅酸盐	29	2.7.2 力学性质	40
2.3.2 链状硅酸盐	29	2.7.3 光学性质	40
2.3.3 层状硅酸盐	29	2.7.4 热膨胀性	41

3. 相 律

3.1 緒論	41	3.3 单元系	43
3.2 相律	42	3.3.1 熔点	44

3.3.2 轉变点.....	46	3.4.5 液相不混合型平衡.....	50
3.4 二元系.....	46	3.5 三元系.....	50
3.4.1 共熔型平衡状态图.....	46	3.5.1 含有二元共熔物的系統.....	51
3.4.2 化合物型平衡状态图.....	47	3.5.2 含有二元化合物的系統.....	52
(i)生成稳定化合物的場合 47 (ii)生成异元熔融化合物的場合 48		3.5.3 生成三元化合物的系統.....	53
3.4.3 无限溶解固溶体型平衡状态图...	48	3.5.4 生成固溶体的系統.....	54
3.4.4 有限溶解固溶体型平衡状态图...	49	3.6 固相反应的相平衡.....	54
(i)共熔型有限溶解固溶体 49 (ii)包晶型有限溶解固溶体 50		3.7 模型系統的相平衡.....	56
		3.7.1 氟化物模型系統.....	57
		3.7.2 模型玻璃.....	58

4. 矿物合成

4.1 概論.....	59	4.6.1 中間化合物.....	68
4.2 由溶液中沉淀合成.....	60	4.6.2 反应机理.....	70
4.3 由水溶液培育单晶.....	61	4.7 水热合成.....	71
4.4 干熔法.....	64	4.7.1 水热反应裝置.....	72
4.4.1 熔融合成法.....	64	4.7.2 矿物的水热变化.....	74
4.4.2 尖底坩堝法.....	65	4.7.3 水晶的水热合成.....	76
4.4.3 抽拔法(庫罗泡洛斯法).....	66	4.8 高压合成.....	77
4.5 火焰熔融法.....	67	4.8.1 硅酸盐矿物的高压合成.....	78
4.6 固相反应合成.....	68	4.8.2 金刚石的合成.....	80

5. 矿物处理

5.1 机械处理.....	81	5.3.3 烧成.....	95
5.1.1 粉碎.....	81	(i)再結晶 95(ii)变体的稳定化 96(iii)高密度矿物的稳定化 97	
5.1.2 粉碎机.....	82	5.3.4 熔融.....	97
5.1.3 粒度測定.....	83	(i)单一成分的熔融 97 (ii)复合成分的熔融 98	
(i)篩分析 84 (ii)显微镜分析 85 (iii)沉降分析 85 (iv)水簸法 86 (v)混浊計法 86 (vi)吸附法 87		5.4 陶瓷处理.....	99
5.2 选矿处理.....	87	5.4.1 泥浆浇鑄法.....	99
5.2.1 重力选矿.....	88	5.4.2 干压成形法.....	100
5.2.2 磁力选矿.....	88	5.4.3 燒結.....	102
5.2.3 浮游选矿.....	90	(i)純氧化物的燒結 103 (ii)半导体的燒結 104 (iii)磁性体的燒結 104 (iv)金属陶瓷的燒結 104	
5.2.4 伟晶花崗岩的选矿.....	91	5.4.4 热压成形.....	105
5.3 热处理.....	93	5.4.5 电熔鑄造.....	107
5.3.1 热分析.....	93	5.4.6 陶瓷涂层.....	108
(i)試样杯 93 (ii)热源的調节 93 (iii)溫差記录法 93		(i)金属材料用塗层 109 (ii)原子反应堆材料用塗层 110 (iii)火箭用塗层 111	
5.3.2 热分解.....	94	5.4.7 胶結.....	111
(i)热分解 94 (ii)碳酸盐矿物的分解 95 (iii)分解熔融 95		(i)防射线混凝土 112 (ii)耐火混凝土 112	

二、单 元 系

1. 二氧化硅

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1.1 矿物原料118 | 1.2.3 SiO_2 的变体与衍生物.....134 |
| 1.1.1 石英(水晶).....118 | 1.2.4 SiO_2 变体与同形体.....136 |
| 1.1.2 硅石.....121 | 1.2.5 石英的溶解度.....137 |
| (i)硅岩 121 (ii)球磨用卵石 123 | 1.2.6 SiO_2 的射线辐照损伤.....139 |
| 1.1.3 硅砂.....124 | 1.2.7 硅的低氧化物 (SiO)141 |
| (i)玻璃原料用硅砂 124 (ii)铸造用硅砂 125 | 1.2.8 碳化硅 (SiC)142 |
| 1.1.4 非晶质二氧化硅.....126 | 1.3 工业用途143 |
| (i)蛋白石质原料 126 (ii)硅藻土 127 | 1.3.1 水晶振荡片.....143 |
| 1.2 物理化学基础128 | 1.3.2 石英玻璃.....144 |
| 1.2.1 SiO_2 的变体.....128 | 1.3.3 硅质耐火材料.....146 |
| (i)W二氧化硅 131(ii)基泰石 131(iii)克赛石 131 | (i)硅砖 146 (ii)天然硅质耐火材料 147 |
| 1.2.2 变体膨胀.....132 | 1.3.4 硅藻土材料.....149 |
| | (i)隔热砖 149 (ii)过滤材料 151 |
| | 1.3.5 制造平板玻璃用硅砂.....151 |

2. 氧 化 铝

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 2.1 矿物原料152 | 2.2.4 氧化铝的烧结.....167 |
| 2.1.1 刚玉.....152 | 2.2.5 氧化铝单晶.....169 |
| 2.1.2 一水铝矿.....153 | 2.2.6 纯氧化铝的制法.....170 |
| (i)一水硬铝石 153 (ii)一水软铝石 157 | (i)干法 170 (ii)铝酸钙法 170 (iii)碱石灰法 171 |
| 2.1.3 三水铝石.....157 | 2.3 工业用途172 |
| 2.1.4 铝土矿.....158 | 2.3.1 人造红宝石.....172 |
| 2.1.5 矾土矿.....159 | 2.3.2 烧结氧化铝火花塞.....173 |
| 2.2 物理化学基础160 | 2.3.3 陶瓷工具.....175 |
| 2.2.1 Al_2O_3 的变体160 | 2.3.4 氧化铝金属陶瓷.....176 |
| 2.2.2 加热脱水变化.....163 | 2.3.5 刚玉磨料.....177 |
| (i) $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的变化 163(ii) $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的变化 164 | 2.3.6 氧化铝质铸造耐火材料.....180 |
| 2.2.3 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 系.....165 | |

3. 氧 化 铁

- | | |
|--|----------------------------------|
| 3.1 矿物原料181 | 3.2.1 氧化铁系的相变化.....187 |
| 3.1.1 磁铁矿.....181 | 3.2.2 Fe-O 系189 |
| 3.1.2 赤铁矿.....183 | 3.2.3 FeO 的结晶变体.....190 |
| 3.1.3 褐铁矿.....184 | 3.2.4 碳酸铁的分解.....191 |
| (i)露天残存矿床 184 (ii)湖沼沉积矿床 185 | 3.2.5 含磷、含砷褐铁矿.....193 |
| 3.1.4 硫化铁矿.....185 | (i)含磷褐铁矿 193 (ii)含砷褐铁矿 193 |
| (i)块状硫化铁矿 186 (ii)含硫的块状硫化铁矿 186 (iii)块状含铜硫化铁矿 186 (iv)块状磁黄铁矿 186 | 3.3 工业用途195 |
| 3.2 物理化学基础187 | 3.3.1 氧化铁颜料(色料).....195 |
| | 3.3.2 亚铁酸盐铁磁性材料.....197 |
| | 3.3.3 γ 射线屏蔽材料.....198 |

4. 氧化鈣、氧化鎂

4.1 矿物原料	201	4.2.6 石灰石的煅烧.....	216
4.1.1 石灰石(方解石).....	201	4.2.7 氧化鎂的硬烧.....	218
4.1.2 白云石.....	202	4.2.8 抗水化性白云石(稳定白云石).....	220
4.1.3 菱鎂矿.....	204	4.3 工业用途	222
4.1.4 水鎂石、海水鎂	204	4.3.1 CaCO_3 的物理性质利用.....	223
(i)水鎂石 205 (ii)海水鎂 205		(i)偏光鏡 223 (ii)碳酸鈣粉 223	
4.2 物理化学基础	206	4.3.2 水泥.....	224
4.2.1 碳酸盐矿物的同形体.....	206	4.3.3 冶金炉渣.....	227
4.2.2 碳酸盐矿物的热分解.....	207	4.3.4 碳化鈣.....	228
4.2.3 碳酸盐矿物的热膨胀.....	209	4.3.5 鎂质耐火材料.....	229
4.2.4 碱土金属氧化物.....	211	(i)鎂砖 229 (ii)熔融氧化鎂坩埚 230	
4.2.5 氧化铍(BeO)的特性.....	212		

5. 氧化錳

5.1 矿物原料	231	5.2.2 低价氧化錳.....	238
5.1.1 氧化錳矿.....	231	5.2.3 氧化度的变化.....	239
5.1.2 含水錳矿.....	233	5.2.4 碳酸錳的焙烧.....	240
5.1.3 碳酸錳矿.....	234	5.3 工业用途	241
5.1.4 硅酸錳矿.....	234	5.3.1 黑色冶金用原料.....	241
5.2 物理化学基础	235	5.3.2 錳干电池.....	242
5.2.1 MnO_2 的变体	235	5.3.3 高錳玻璃.....	242

6. 氧化鈦

6.1 矿物原料	244	6.2.7 偏鈦酸盐的介电特性.....	256
6.1.1 金紅石.....	244	6.2.8 碳化鈦(TiC)	258
6.1.2 鈦铁矿.....	245	6.3 工业用途	259
6.1.3 榍石(紅鈦铁矿).....	246	6.3.1 氧化鈦矿渣.....	259
6.2 物理化学基础	246	6.3.2 氧化鈦顏料.....	261
6.2.1 TiO_2 的变体	246	6.3.3 金紅石单晶.....	263
6.2.2 低价氧化鈦.....	247	6.3.4 氧化鈦瓷器.....	264
6.2.3 TiO_2 半导体	249	6.3.5 鈦酸鋁瓷器.....	265
6.2.4 TiO_2 介电体	250	(i)电容器材料 265 (ii)压电材料 267	
6.2.5 鈦酸盐化合物.....	252	6.3.6 鈦珐瑯.....	268
6.2.6 鈣鈦矿型化合物.....	254	6.3.7 鈦砖.....	269

7. 氧化鋇

7.1 矿物原料	271	7.2.1 ZrO_2 的变体	273
7.1.1 斜鋇石.....	271	7.2.2 ZrO_2 的稳定化	274
7.1.2 鋇英石.....	272	7.2.3 鋇英石的变种(异形体).....	276
7.2 物理化学基础	273	7.2.4 鋇英石的离解与再結合.....	278

• x •

7.2.5 氧化鋁	279	7.3.2 鋁英石耐火材料	288
7.2.6 氧化鋁的反應性	280	(i) 小型特殊耐火材料 289 (ii) 鋁英石磚	289
7.2.7 鋁酸鹽化合物	283	(iii) 塑化耐火材料	290
7.2.8 碳化鋁 (ZrC)	284	7.3.3 電熔氧化鋁磚	290
7.3 工業用途	287	7.3.4 鋁珐瑯	292
7.3.1 氧化鋁耐火材料	287		

8. 氧化鈦

8.1 礦物原料	292	8.2.3 氧化鈦的高溫特性	297
8.1.1 獨居石	293	8.2.4 獨居石的化學處理	298
8.1.2 稀土礦物	294	8.2.5 稀土硫化物	298
8.1.3 鉍、鉍礦	295	8.3 工業用途	299
8.2 物理化學基礎	295	8.3.1 氧化鈦耐火器材	299
8.2.1 氧化鈦的性質	295	8.3.2 氧化鈦熱電子陰極	300
8.2.2 氧化鈦的燒結	296	8.3.3 含稀土玻璃	301

9. 氧化鈾

9.1 礦物原料	303	9.2.3 UO_2 氧化物系	308
9.1.1 鈾礦	303	9.2.4 鈾的冶煉	310
9.1.2 鈾礦床	304	9.2.5 裂變物質的製造	311
(i) 偉晶花崗岩型 304 (ii) 熱液脈型 305		9.3 工業用途	312
(iii) 沉積岩型 305 (iv) 特殊型 305		9.3.1 氧化鈾顏料	312
9.2 物理化學基礎	306	9.3.2 氧化鈾耐火材料	312
9.2.1 氧化鈾 (UO_x)	306	9.3.3 陶瓷核燃料	313
9.2.2 氧化鈾的燒結	307		

10. 氧化硼

10.1 礦物原料	315	$Al_2O_3 - B_2O_3$ 系 324	
10.1.1 硼硅酸鹽礦物	315	10.2.3 碳化硼與氮化硼	324
10.1.2 無水硼酸鹽礦物	317	(i) 碳化硼 (B_4C) 325 (ii) 氮化物 (BN) 325	
10.1.3 含水硼酸鹽礦物	318	10.2.4 硼化物	327
10.2 物理化學基礎	319	10.3 工業用途	328
10.2.1 氧化硼 (B_2O_3) 的性質	319	10.3.1 硼硅玻璃	328
10.2.2 B_2O_3 —氧化物二元系統	320	10.3.2 中子屏蔽材料	330
(i) $B_2O_3 - SiO_2$ 系 320 (ii) $CaO - B_2O_3$		(i) 控制棒 330 (ii) 中子屏蔽材料 331	
系 320 (iii) $BaO - B_2O_3$ 系 321 (iv) $MgO -$		10.3.3 硼系金屬陶瓷	332
B_2O_3 系 322 (v) $ZnO - B_2O_3$ 系 323 (vi)		10.3.4 氮化硼耐高溫材料	333

11. 氧化磷

11.1 礦物原料	335	11.1.3 磷酸鋁礦	338
11.1.1 磷灰石	336	11.1.4 磷酸鈣礦	339
11.1.2 磷鈣石 (磷礦)	336	11.2 物理化學基礎	340

11.2.1 P_2O_5 的变体	340	11.3 工业用途	347
11.2.2 $CaO - P_2O_5$ 系	341	11.3.1 熔制磷肥	347
11.2.3 $CaO - SiO_2 - P_2O_5$ 系	343	11.3.2 磷酸盐玻璃	349
11.2.4 与磷灰石有关的物质	345	11.3.3 骨灰瓷	350
11.2.5 $Al_2O_3 - P_2O_5$ 系	346	11.3.4 磷酸结合剂	352

三、二元系

1. $Al_2O_3-SiO_2$ 系

1.1 矿物原料	370	(i)高岭族矿物的结构 398 (ii)蒙脱石族矿物结构 398 (iii)伊利石族矿物结构 399 (iv)长周期粘土矿物 399
1.1.1 硅线石族矿物	370	1.2.5 热性质
1.1.2 莫来石(富铝红柱石)	374	(i)差热分析(D.T.A) 400 (ii)加热失重变化 403 (iii)热膨胀收缩 404
1.1.3 粘土矿物	376	1.2.6 高岭土的高温变化
(i)高岭族 376 (ii)蒙脱石族 382 (iii)伊利石族 384		(i)成分离解 407 (ii)偏高岭石 408
1.1.4 蜡石(叶蜡石)	385	1.2.7 粘土—水系
1.1.5 含挥发分的特殊矿物	386	1.3 工业用途
(i)黄玉 386 (ii)四面硅矾石 388 (iii)蓝线石 389		1.3.1 酸性白土与膨土岩
1.2 物理化学基础	390	(i)酸性白土 412 (ii)膨润土膜 413
1.2.1 $Al_2O_3-SiO_2$ 系平衡	390	1.3.2 $Al_2O_3-SiO_2$ 系耐火材料
1.2.2 硅线石族矿物的相变化	392	(i)腊石砖 414 (ii)粘土砖 415 (iii)浇灌耐火材料 416 (iv)玻璃熔化用坩埚 417 (v)硅线石质耐火材料 417 (vi)高铝质耐火材料 421
1.2.3 $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 系	394	1.3.3 陶瓷
(i)高岭族矿物 ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) 396 (ii)叶蜡英石 ($2Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$) 396 (iii)Al 蒙脱石 397 (iv)叶蜡石 ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$) 397		1.3.4 轻质泡沫骨料
1.2.4 粘土矿物的晶体结构	397	1.3.5 坡索里岩(活性材)

2. $MgO-SiO_2$ 系

2.1 矿物原料	430	(i)差热分析 446 (ii)热天平分析 447 (iii)热膨胀分析 448
2.1.1 橄欖石	430	2.2.5 热化学变化
2.1.2 蛇紋石	432	2.2.6 石棉的合成
2.1.3 滑石	433	(i)温石棉的合成 451 (ii)閃石棉的合成 452
2.1.4 綠泥石	434	2.2.7 蛇紋石的化学处理
2.1.5 石棉	436	2.3 工业用途
2.1.6 海綠石	440	2.3.1 鎂橄欖石耐火材料
2.2 物理化学基础	441	2.3.2 块滑石瓷
2.2.1 $MgO-SiO_2$ 系平衡	441	2.3.3 熔制鎂磷肥
2.2.2 $MgSiO_3$ 的变体	442	2.3.4 石棉紙(无机紙)
2.2.3 $MgO-SiO_2-H_2O$ 系	444	
2.2.4 热性质	446	

3. CaO—SiO₂ 系

3.1 矿物原料	461	3.2.4 硅酸钙的水化性	467
3.1.1 硅灰石	461	3.3 工业用途	469
3.1.2 甲型硅灰石	461	3.3.1 硅灰石质介电材料	469
3.2 物理化学基础	462	3.3.2 CaSiO ₃ 磷光体	470
3.2.1 CaO—SiO ₂ 系平衡	462	3.3.3 硅酸钙系耐火材料	471
3.2.2 Ca ₂ SiO ₄ 的变体	463	3.3.4 镁蔷薇辉石耐火材料	472
3.2.3 镁蔷薇辉石	465		

4. XO—Y₂O₃ 系

4.1 矿物原料	474	4.2.7 尖晶石的合成	489
4.1.1 尖晶石	474	(i) 尖晶石单晶 489 (ii) 尖晶石多晶体 490	
4.1.2 铬铁矿	474	4.3 工业用途	491
4.2 物理化学基础	479	4.3.1 尖晶石轴承	491
4.2.1 尖晶石系的相平衡	479	4.3.2 尖晶石颜料	492
4.2.2 尖晶石结构	481	4.3.3 铁氧体磁性材料	493
4.2.3 铁氧体的铁磁性	483	4.3.4 尖晶石质瓷绝缘体	496
4.2.4 尖晶石的导电性	484	4.3.5 铬砖	497
4.2.5 铬铁矿的加热变化	485	4.3.6 铬镧砖	499
4.2.6 剥落	488	(i) 结合铬镧砖 499 (ii) 电熔铬镧砖 500	

5. RO—SO₄ 系

5.1 矿物原料	503	5.2.3 石膏的合成	511
5.1.1 重晶石族矿物	503	5.2.4 石膏的热分解	513
5.1.2 石膏	504	5.2.5 明矾石的热分解	516
5.1.3 明矾石族矿物	506	5.3 工业用途	518
(i) 明矾石 506 (ii) 黄钾铁矾 507		5.3.1 烧石膏(灰泥)	518
5.2 物理化学基础	508	5.3.2 水泥用石膏	519
5.2.1 无水硫酸盐的变体	508	5.3.3 模型石膏	521
5.2.2 CaSO ₄ —H ₂ O 系平衡	509	5.3.4 黄钾铁矾钾肥	522

四、三元系

1. K₂O—Al₂O₃—SiO₂ 系

1.1 矿物原料	535	1.2 物理化学基础	540
1.1.1 钾长石(正长石)	535	1.2.1 K ₂ O—Al ₂ O ₃ —SiO ₂ 系平衡	540
1.1.2 钾长石岩	537	1.2.2 碱长石系	542
1.1.3 白云母	538	1.2.3 正长石的分解	544
1.1.4 絹云母	539	1.2.4 白云母的合成及其变体	545

1.2.5 白云母的热分解.....	547	1.3.3 长石质钾肥.....	551
1.3 工业用途	549	1.3.4 絹云母在陶瓷方面的利用.....	553
1.3.1 长石质瓷器.....	549	1.3.5 絹云母在耐火材料方面的利用.....	554
1.3.2 平板玻璃用长石.....	550	1.3.6 白云母絕緣体.....	555

2. $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系

2.1 矿物原料	557	2.2.4 翡翠的稳定度与合成.....	569
2.1.1 鈉长石.....	557	2.2.5 霞石的变体与固溶体.....	570
2.1.2 硬玉(翡翠).....	561	2.3 工业用途	571
2.1.3 霞石.....	562	2.3.1 低碱玻璃.....	571
2.2 物理化学基础	563	2.3.2 陶瓷原料用鈉长石.....	573
2.2.1 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系平衡	563	2.3.3 鈉长石砖.....	574
2.2.2 鈉长石的变体.....	565	2.3.4 沸石(人造沸石).....	576
2.2.3 斜长石系.....	566		

3. $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系

3.1 矿物原料	578	3.2.3 $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ 、 LiAlSiO_4 的負热 膨胀性.....	584
3.1.1 鋰輝石.....	578	3.3 工业用途	585
3.1.2 透鋰长石.....	578	3.3.1 陶瓷熔剂.....	585
3.1.3 鋰云母.....	579	3.3.2 鋰云母玻璃原料.....	587
3.1.4 磷鋰石.....	580	3.3.3 感光玻璃(光敏玻璃).....	587
3.2 物理化学基础	581	3.3.4 微晶玻璃.....	588
3.2.1 $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系平衡	581	3.3.5 无膨胀瓷.....	591
3.2.2 $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ 、 LiAlSiO_4 的变体	582		

4. $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系

4.1 矿物原料	593	4.2.3 石榴石的分解与合成.....	605
4.1.1 堇青石.....	593	4.2.4 金云母的水热合成.....	606
4.1.2 鋁系石榴石.....	594	4.3 工业用途	608
4.1.3 金云母.....	596	4.3.1 堇青石瓷.....	608
4.1.4 蛭石.....	598	4.3.2 合成氟云母.....	609
4.2 物理化学基础	599	4.3.3 蛭石隔热材料.....	611
4.2.1 $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系平衡	599	4.3.4 磨料用石榴石(金刚砂).....	613
4.2.2 堇青石的变体.....	603	4.3.5 鋼錠的夹杂物.....	615

5. $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系

5.1 矿物原料	616	5.2.4 $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 的变体	625
5.1.1 鈣长石.....	616	5.2.5 鈣鋁榴石的稳定度.....	626
5.1.2 鈣系石榴石.....	617	5.3 工业用途	627
5.2 物理化学基础	418	5.3.1 鋁长石砖.....	627
5.2.1 $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系平衡.....	618	5.3.2 高鉄水泥.....	628
5.2.2 $\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系平衡.....	620	5.3.3 煤灰.....	630
5.2.3 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 的变体	623		

一、总 論

1. 矿物資源

1.1 矿 物

1.1.1 矿物的定义

按已有教科书的定义,矿物是天然存在的无机质物质,具有均质的化学组成,以晶体状态产出,且具备特有物理性质的聚合体。但是上述这个定义还有不少例外和矛盾,目前,要给矿物一词下一个严密的定义是尚有困难的。

首先,矿物是指天然产出的无机质物质而言,在实验室合成或在工业上制造出来的,在本质上虽然与天然产的相同,却属于人造矿物以与天然的有所区别。另一方面,由生物的作用形成的贝壳或珍珠等矿物质,虽为天然产的,因结晶状态不明显并未将它们包括在矿物里面;而由鸟粪形成磷矿或由硅藻的遗体形成的硅藻土则以矿物看待。石油或矿油是碳氢化合物,既非无机质又不成结晶状态,即不是矿物;而琥珀或瀝青类虽为有机质,也当作正式的矿物看待。还有,水银虽不是结晶状态,也算是矿物。这些矛盾是有待于加以统一的。

其次,矿物是均质的物质,取其任何一部分都必须具有一定的化学组成。但如玄武岩从外观来看虽是均质的,而在显微镜下观察是好几种结晶物质的聚合体;还有黑曜石,本质上虽为均质的,却不是结晶状态。不管是那一个,它们在成分上都不是均质的,所以被当成岩石加以分类。不过,真正的矿物也不尽是具有一定化学组成的,常常看到这样的例子:同一种矿物按各个晶体,或同一个晶体按其部位而有不同的化学组成。此时的杂质是通过机械的作用夹杂进去的当另作别论,由类似性质的成分取代,或在晶体的生长过程中固溶在结构内的,在自然界并不是罕见的现象。这种组成变化的限度决定于晶体的内部结构。微小的组成变化虽只引起结构内原子位置的稍许移动,但显著的变化会破坏结构,变为另外一种结晶状态。所以矿物组成的均匀性并非绝对的,按目前结晶化学的角度来看,一定范围的变化是必然会发生的。

第三,矿物是以结晶状态产出的,如在生成时能自由地生长,应是生成外形完整的良好晶体;但如晶体的生长受到阻碍,或发育不充分时,则不易看出它的外观晶形。

不过,虽然在这种情况下,内部结构仍是呈很好的结晶状态。还有,即使是微细的矿物,也多是由完整的晶体构成。例如,外形完整的六方柱状水晶,块状的硅石,粒状的硅砂,在结构上都完全是石英晶体并无区别。另外,在显微镜下观察是否为结晶质并不十分明显的粘土矿物,用电子显微镜放大来看则为完善的晶体,并且由X射线分析也证实其为明显的结晶质。这样,天然产的矿物几乎全部是结晶质,但也有极小一部分以无定形态存在。

随着科学技术的发展,过去只有天然产的水晶和云母已能以人工方法在工业上合成出来,进而在自然条件下不能存在的许多矿物,今天也都能以人工方法合成出来,所以矿物的定义,自然也必随着科学的发展而有所改变。

1.1.2 矿物学的发展

早期的矿物学,是作为从外观上对天然产的矿物进行分类记述的学问发展起来的。从这个意义上来看,矿物学同动物学和植物学一样,是以分类学为目的的博物学或自然史的一个分科。但不同之处是,动植物学是以生理学为背景发展起来的;而矿物学则是同结晶学平行发展起来的。

结晶学原是由研究天然矿物的形态发展起来的一门学科,在早期是考察晶体外形的结晶形态学。随后在1895年,伦琴发现了X射线,1913年,布拉格用X射线进行了晶体结构分析为开端,结晶学有了新的发展,阐明了晶体结构同化学组成以及物理性质之间的关系。由此奠定了结晶化学^[1]的体系,这反映到矿物学上就促使矿物化学的概念发生了新的变化。

另一方面,天然矿物的鉴别是矿物学上分类的基础,最初只是根据外观的特征,以后由于发明了偏光显微镜,利用晶体的光学性质进行检定的方法有了很大进步,于是发展了光性矿物学。这对于阐明以硅酸盐矿物为中心的透明矿物的光性常数同化学组成的关系,起了很重要的作用,所以显微镜的研究方法,对岩石学和硅酸盐工学的发展作出了很大的贡献。在这以后发展起来的X射线晶体分析法,对于用显微镜无能为力的微细矿物的鉴定是一种有力的工具,现已被广泛地应用于矿物的研究上。

这样,矿物学的发展,一方面促进了天然产矿物的物性的研究;另一方面,还通过实验方法探索了天然矿物的生成条件,对矿物相随着环境的变化也进行了研究。自十九世纪末叶以来,以法国科学家道伯(Daubrée)、佛库(Fouqué)和米希尔·勒维(Michel Lévy)等为中心开展了矿物合成的研究;在德国,伏格特(Vogt)^[2]进行了硅酸盐矿物的熔融合成实验,特别是对炉渣矿物着重进行了研究。当这些合成研究正在兴起之际,1905年,在美国华盛顿建立了卡乃其研究所地球物理研究室,开展了以研究火成岩成为目的的硅酸盐系统的相律研究。经过半个多世纪的劳动已取得了不