

工业矿物和岩石

[捷] 米·库日瓦尔特 著

地 质 出 版 社

工业矿物和岩石

[捷] 米·库日瓦尔特 著

赵 其 渊 等译

地质出版社

内 容 简 介

本书的第一至第五章讲述了工业矿物岩石矿床（即非金属矿床）的成因，并论及主要元素的地球化学。书的主要部分——第六、七、八、九章，分别叙述了48种工业矿物和岩石以及建筑材料等。原书六、七两章的各种矿物和岩石按英文名称顺序排列，译本依旧未改。

以后几章（第十至十五章）讲了物探方法和实验室研究方法。最后讨论了工业矿物和岩石在世界经济中的现状和前景。

本书适于地质普查勘探科研人员特别是非金属矿床的普查勘探科研人员以及有关专业的大专院校师生阅读。

本书原序和第一章至第六章6.9由赵其渊译，第六章6.10—6.13由李上男译，6.14—6.24由沈文彬译，第七章7.1—7.5由杨珊珊译，7.6—7.15由唐祚钧译，王志雄校，7.16—7.19及第八章至第十章由戴鸿麟译，第十一章至第十五章由张怀素译。郑直和卢芳琼进行了部分校订工作。

Czechoslovak Academy of Sciences INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS

Miloš Kužvart

Academia/Praha 1984

工业矿物和岩石

〔捷〕米·库日瓦尔特 著

赵其渊 等译

*

责任编辑：刘乃隆

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆印张：18¹/₈字数：419,000

1987年6月北京第一版·1987年6月北京第一次印刷

印数：1—2,260册 国内定价：4.30元

统一书号：13038·新408

谨以此书奉献给在工业矿物和岩石领域中的两位杰出专家和学者：俄亥俄州立大学荣誉教授 Robert L. Bates 和列宁格勒矿业学院教授 Pavel Mikhailovich Tatarinov。

为寻找石油和贵金属酿成了一种冒险和传奇的气氛；现在围绕铀的寻找，我们再次觉察到了这种气氛。虽然从未有过可与淘金热相比拟的砂和砾石热，然而某些非金属矿在价值上完全可以和更珍贵的金属矿床相媲美。

Robert L. Bates (1969): 《工业矿物和岩石的地质学》

原 序

本书是以作者在查尔斯大学科学系的授课讲义为基础编写而成的。书中考虑了世界上有关本专题的主要文献和自从1952年在捷克斯洛伐克建立全国地质服务中心以来捷克和斯洛伐克的经济地质学家们所完成的工作；这些结果曾发表在科学杂志、成果报告以及有关工业矿物的专著中。

捷克斯洛伐克为工业矿物的矿床学研究提供了特别有利的环境。现在有800多个这样的矿区（包括建筑材料）在进行工作并在近30年来被作为勘探对象。

作者有幸参与完成捷克斯洛伐克各种非金属矿床（主要有滑石、菱镁矿、高岭土和粘土）的勘探实践工作，并访问了国外的一些工业矿物基地。在1956—1976年期间作者有机会对埃及和几内亚的水泥材料矿床，对日本、蒙古、土耳其、伊拉克、尼日利亚、加纳、西班牙、英国、法国、联邦德国、民主德国、波兰、匈牙利和保加利亚等国的陶瓷和其他原材料矿床作了考查研究。

工业矿物的实际重要性在于它们在现代工业中的应用。在原子和核技术、空间研究以及人类环境保护方面的进展常要求新的非金属材料或者导向对已知材料的新用途。工业矿物是第二次工业革命的典型原材料；也将是第三次黄金时代^①的原材料。

① 原文是third millenium，也可理解为“第三个一千年”即从21世纪开始的公元第三个一千年——译者注。

中 译 本 序

我为我的《工业矿物和岩石》在中华人民共和国出版而感到光荣。中国有着世界上最为悠久的四千年的连续的历史，也有着同样悠久的历史、哲学和技术发展史。中国的技术发明，除了其他各个方面的用途之外，对野外地质工作者和对他们理论成果的传播和保存也是非常有用处的。我们不应忘记公元前三世纪造成的第一个指南针和在同世纪造成的探矿钻架，以及分别于二世纪和十一世纪发明的造纸和印刷术。难怪有句拉丁成语说：“光明来自东方”。

中国不仅是对人类有贡献的发明历史很悠久，中国人民与捷克人民的交往历史也很悠久。第一位来中国旅行的捷克人是作为外交使节的波代诺内（Pordenone）的 Odoricus，时间是1318—1330。他在他的拉丁文日记里记述了他的旅行。

矿物原料包括非金属矿物原料的应用历史说明，在一定的历史时期内，凡是在当时的技术条件下能够加工利用的矿物原料，其丰富程度总是与富裕文明的高度发展紧密相联系的。象在古代的尼罗河、美索不达米亚、印度河、黄河、地中海地区等地，就都是这样。在原料缺乏而人口众多的情况下，就难免发生在当时的文明地区以外探险的举动，而更为糟糕的是与矿产资源较富的邻国发生战争。这种情形最近也有。由于世界人口的过度增长，在一些局部地区引起了一些不安定，而整个世界尚未受到影响。

可是今天情形却更复杂了。它与过去不同的是：（1）地球上人口急剧增长，过去用了四十万年才增加到十亿人口，可现在仅用了十五年就增加了这个数目，从三十亿增加到四十亿，（2）穷国愈穷，富国愈富，（3）军备生产负担沉重，现已达每年五千亿美元，也就是全世界产值的百分之十，（4）环境严重污染，（5）由于受教育的机会不足、贫穷和青年的不平等种种原因而使人类的智力潜力远未发挥，（5）人们的不正确的动机和价值观。

解决上述一切问题的关键，从中东和远东对话的结论中可以找到。具体来说，就是用石油换取计算机软件。总的来说，答案就是信息革命，它能让发展中国家从目前的落后状态跳越工业化阶段而臻第三个黄金时代。工业化已不再是人类崇拜的偶像了。新的非工业化口号已经提出，它强调了信息、交流和思维，加上全世界各国的全面合作。如果说工业化意味着国民经济的直线上升，那末信息革命就意味着几何级数上升。这条路线的里程碑是计算机、微型处理机、机器人（机器人英文robot是捷克文，于1920年由 Karel Čapek 在他的剧本 R.U.R. 中创造的，意思是 Rossum = Reason（理性）——全能机器人）。前进的动力是教育、再培训（信息化所创造的就业机会比合理化所取消的要多），为了适应工业分散经营而设立信息大学和数据库。所有这些都服从一个新的最高原则：以创造来代替适应。

解决上述问题的第二个关键，在于把人类生活价值的标准，从不断丰富的物质享受转变到高度的文明和广泛的服务。那时世界就会达到真正的均衡状态。每个人都能充分满足物质需要，一切民族都有同等机会为人类作贡献。国与国之间，将从互相敌对转向互相合作。人类合作的基础，将由国家水平转向世界水平的思想高度。所有这些都需要在每个人

的思想上来一次革命，这恐怕也是人类从未经历过的一次最伟大的革命。

这也将是对哈姆莱特提出的问题“生存还是毁灭”的唯一正确答案。这个问题的意思就是，究竟是把物质财富无限增加，还是把重点放在文化、科学和服务的领域而不仅仅放在物质的消费。阿尔伯特·爱因斯坦说过：“朴素而真诚的生活对任何人的身体和灵魂都是有益的”。爱因斯坦在他的《世界之我见》一书中满怀着同情和希望，引述了东方的哲学思想。

在结束这篇为阐述我们文明的一小部分的物质基础的书而写的序言时，我们引用十七世纪荷兰伟大的人文主义哲学家巴鲁克·斯宾诺莎的话：“幸福是不可分割的”（也就是“没有个人单独的幸福”）。地球上的所有居民都有权利过着真正人的生活。

米·库日瓦尔特

目 录

原序

中译本序

第一章 绪论	1
1.1 “工业矿物和岩石”的定义	1
1.2 工业矿物和岩石的分类和有关的主要参考书	2
1.3 工业矿物和岩石的过去和现在	2
第二章 工业矿物和岩石的成因	6
2.1 岩浆矿床	6
2.2 伟晶岩	9
2.3 矽卡岩和准矽卡岩	11
2.4 碳酸岩	11
2.5 热液矿床	13
2.6 升华物	16
2.7 来自风化作用的矿床	16
2.8 沉积矿床	24
2.9 来自成岩作用的矿床	28
2.10 蒸发岩	34
2.11 变质成因矿床	37
第三章 工业矿物中主要元素在自然界的循环	40
3.1 硼	40
3.2 碳	40
3.3 氮	41
3.4 氟	42
3.5 钠	42
3.6 镁	43
3.7 铝	44
3.8 硅	44
3.9 磷	45
3.10 硫	46
3.11 氯	48
3.12 钾	49
3.13 钙	49
第四章 工业矿物和岩石的成因类型一览表	51
第五章 工业矿物矿床的形态和规模	70

第六章 工业矿物矿床.....72

- 6.1 红柱石 (andalusite) 及其他高铝矿物.....72
- 6.2 石棉 (asbestos)75
- 6.3 斜锆石 (baddeleyite) 和锆石82
- 6.4 重晶石 (barite) 和毒重石84
- 6.5 绿柱石 (beryl)87
- 6.6 硼酸盐 (borate)89
- 6.7 天青石 (celestite) 和菱锃矿91
- 6.8 刚玉 (corundum) 和金刚砂 (emery)92
- 6.9 金刚石 (diamond)94
- 6.10 长石 (feldspar)102
- 6.11 萤石 (fluorite) 和冰晶石.....104
- 6.12 宝石 (gemstones)111
- 6.13 石墨 (graphite)119
- 6.14 菱镁矿 (magnesite)126
- 6.15 云母 (micas)134
- 6.16 独居石 (monazite)、磷钇矿、氟碳铈矿.....138
- 6.17 钠硝石 (智利硝石) (nitratine)139
- 6.18 橄榄石 (olivine)141
- 6.19 石英晶体 (水晶) (quartz crystal)142
- 6.20 海泡石 (sepiolite)146
- 6.21 硫 (sulphur) 和黄铁矿.....146
- 6.22 滑石 (talc) 和皂石153
- 6.23 硅灰石 (wollastonite)160
- 6.24 沸石 (zeolites)161

第七章 工业岩石矿床.....164

- 7.1 铝土矿 (bauxite) 和铝红土.....164
- 7.2 膨润土 (bentonite) 和蒙脱石粘土 (包括漂白土 [bleaching clay] 和漂土 [fuller's earth])170
- 7.3 粘土 (clays) 和粘土岩175
- 7.4 饰面石 (decorative stones)179
- 7.5 硅藻土 (diatomite)181
- 7.6 白云岩 (dolomite).....182
- 7.7 玻璃砂 (glass sands) 和铸模砂.....183
- 7.8 石膏 (gypsum) 和硬石膏.....185
- 7.9 高岭土 (kaolin) 和埃洛石残积层187
- 7.10 淡色千枚岩 (leucophyllite)194
- 7.11 石灰岩 (limestone)194
- 7.12 矿物颜料 (mineral pigments)195

7.13 珍珠岩 (perlite)	196
7.14 铸石用岩石 (petrurgical rocks)	197
7.15 磷酸盐 (phosphates) 和磷灰石	198
7.16 钾盐 (potassium salts)	203
7.17 石英原料 (quartz raw materials)	208
7.18 岩盐 (rock salt) (石盐)	211
7.19 苏打 (soda) (天然碱)	215
第八章 建筑材料矿床	217
8.1 制造水泥和石灰的泥灰质和硅铝土质原料	217
8.2 轻型骨料的原料	218
8.3 制砖的原料	220
8.4 砾质砂和建筑砂	220
8.5 建筑石材	221
第九章 非常规的、有远景的、潜在的和代用的一些工业矿物和岩石	224
第十章 成矿省和成矿时代	228
第十一章 勘查工业原料矿床的地球物理方法	229
11.1 引言	229
11.2 地球物理方法	230
11.3 地球物理测量在捷克斯洛伐克工业矿物和岩石上的应用	233
第十二章 实验室研究	246
第十三章 工业矿物和岩石的开采和选矿	249
第十四章 世界经济中的工业矿物和岩石	254
第十五章 2000年世界工业矿物和岩石的勘探、开采和应用远景	258
附录 世界一些国家工业矿物和岩石1981—1984的产量	261
参考文献	270

第一章 绪 论

矿物原材料地质学从事矿石、工业矿物和岩石、煤、石油和天然气的研究。它与水文地质学、工程地质学、应用地球物理学以及原材料矿床的找矿和勘探一起，是经济地质学的组成部分，后者是以所有地质科学和其他有关科学的理论成果为基础的。经济地质学的理论基础采用了应用数学、物理学和化学的成果。矿床学研究利用了矿物学、地球化学、岩石学、地层地质学和构造地质学、采矿学、大地测量学、经济学、技术科学以及其他分支学科的理论 and 实践成果。

工业矿物和岩石的矿床地质学为采矿工业提供有关矿床地理位置、规模和质量方面的数据，这些数据是为开发利用它们所必不可少的。

工业矿物的利用对于人类文明和文化是极为重要的。在美国，非金属矿物和金属的年开发量在1979年达到每人18吨。美国每个居民的能源消耗相当于12匹马昼夜工作所完成的功。

澳洲土著（通过他们可以获得有关石器时代人类技术知识和文化要求的概念）对于矿物原材料和能源的年消耗仅为若干公斤石头和几捆木柴（在夜晚他们把无毛小狗拥在身边作为提供热量的热源）。

现代世界的主要矛盾——高度工业化国家和发展中国家的差别——也表现在矿物原材料的开发和消耗上。占世界人口30%的工业国家支配了世界经济的80%。发展中国家以其所获得的原材料的15%提供给工业国家。在世界商业中，矿物原材料约占世界总贸易额的1/4。

1.1 “工业矿物和岩石”的定义

“工业矿物”一词的定义不像“矿石”那样严格，后者主要是金属的来源；也不像“矿物燃料”（煤、石油和天然气）那样严格，它们都主要是作为能源。在后两种情况下，即矿石和矿物燃料的基本特征在于它们的化学方面。对于矿石还要涉及它们的杂质含量和可选性等等，而对于矿物燃料则还涉及夹矸含量和硫含量等等。然而工业矿物的基本特征却在于它们的物理性质（如石棉的纤维性、云母的绝缘性、重晶石大的比重等）。因而，在工业矿物的研究中，除地质学评价外，对原料的技术评价也是很重要的。

在本书中，被作为“工业矿物和岩石”考虑的有以下几种类型的原料：

1. 以不同预加工形式直接应用于工业中的矿物原料（如滑石、石棉、金刚石）和岩石（如硅藻土、膨润土、赭石）；
2. 作为非金属元素或其简单化合物来源的原料，前者如黄铁矿是硫的来源，萤石是氟的来源，磷灰石是磷的来源等；后者如硼酸盐是 H_3BO_3 或 B_2O_3 的来源；
3. 具有非金属习性，作为某种金属的来源，而更重要用途则是作为用于非冶金工业中该金属化合物来源的原料（如绿柱石是BeO的来源、菱镁矿是MgO的来源、铝土矿或铝红

土是 Al_2O_3 的来源；这三类氧化物也都属于耐火材料。含镍红土是镍的来源之一，不属于本类别）。

4. 建筑材料（如花岗岩、砾石和砂、砖垆姆等。

在矿物原料的分类中（矿物燃料除外），“非矿石”（non-ore）一词仅见于捷克文献和老的德文和波兰文献中。在英文和俄文文献中，用“非金属的”或“工业矿物或岩石”等名词表示“非矿石”；另一方面，“矿石”（ore）一词也使用在石棉、滑石、菱镁矿及类似的原料中。

有一些原料具有二重性。例如，赤铁矿是一种Fe矿物，但同时又是矿物颜料的组成部分，或者如铬铁矿是一种铬矿石，但同时又是耐火材料和磨料。

1.2 工业矿物和岩石的分类和有关的主要参考书

表1中列出了工业矿物和岩石的分类原则及其优缺点以及主要的教科书。关于非金属矿床成因、它们在工业中的用途以及它们的经济有利性三方面的观点，随着研究方法和技术方法的发展在发生变化。这意味着基于工业矿物成因、用途和经济效益的每一种分类都将是暂时适用的。然而，一种最佳分类应当同时考虑上述三方面的原则或参数。因为这三方面的参数能够适当地表示矿物原料特点，即既考虑到了矿物的地质学（及其化学成分）因素，又考虑到了技术因素，后者决定着它们的经济重要性。

本书采用的分类法类似于Bentz-Martini（1958）和Bates（1969）的经济分类，即分为1.工业矿物和2.工业岩石。给定数量的工业矿物的价格一般高于同等数量的工业岩石。从经济上考虑，工业矿物可以比工业岩石运输更远的距离。属于第三主要类别的建筑材料价格最低，一般都是在产地附近被利用的。

每一主要类别中的各个商业品种，按字母顺序排列。有关成因的方面综述于第二章“工业矿物和岩石的成因”中和第四章“工业矿物和岩石的成因类型概述”的表格中。对某些比较稀有的成因类型仅在涉及该原料的章节里加以叙述。在第六、第七和第八章的表格中以及题为“工业矿物和岩石的开发和选矿”的章节中提供了有关技术程序的资料。区域地质和历史地质条件主要在成矿区域和成矿时代的专门章节里进行讨论。

1.3 工业矿物和岩石的过去和现在

工业原料对于早先的原始人类时代是非常重要的。人类利用的第一种矿物原料无疑是石头。原始工具是不加整饰的石头，它们被利用于狩猎、砸碎骨头或磨尖树枝。在旧石器时代，即20万年以前，他们学会加工石头（最初为燧石、石英岩和角岩）并且从石头中制取颜料（如赭石、钴土和白垩）。在新石器时代，人类用黑曜岩、角闪岩、松脂岩等制造磨光的和穿有孔眼的工具。首先被开采加工的矿物原料是燧石，它从南英格兰和荷兰的白垩中提取出来。燧石是用鹿角铲和燧石压碎器从开挖于若干深度水平上的矿坑和地下平洞中挖掘出来的。

工业矿物和岩石的重要性，甚至在发明了金属处理方法之后仍未降低。除了少数例外（如磨石和手斧，在1066年在诺曼第公爵William和Harold II之间于英格兰黑斯廷斯所

表 1 工业矿物和岩石的分类及基本教科书

分类原则	主 题	世界性文献举例	优 点	缺 点
按字母排列	排列顺序为从A 字头研磨材料(abrasives)开始到Z 字头的沸石 (zeolites) 结束	Ladoo-Myers, 1951; Gillson 编, 1960; Lefond编, 1975;	根据目录和索引易于查找	在顺序排列的原材料之间没有成因、经济和技术方面的联系
化学—矿物学分类	按矿物的化学系统排列(自然元素), 卤化物, 氢氧化物等)	Brana, 1967		把成因上有联系的矿物分在不同的类别中(如重晶石+萤石); 缺乏经济观点
矿物—岩石学分类	将非矿石分为元素晶体、矿物和岩石	Jankovic, Vakanjac, 1969 Vakanjac, 1970	经济的和部分成因的观点	缺乏技术方面
化学—物理学分类	分为化学矿物(元素来源)和物理矿物(以矿物形式被利用)	Klina, 1970	按应用分类	忽略了其他参数
成因—岩石学分类	分为火成岩、沉积岩、变质岩、热液—交代岩石	Kozlowski, 1974		
物理性质分类	分为粘土材料、固体+疏松材料	Morawiecki, 1968		缺乏成因和经济—技术方面
成因分类	将所有矿床类型(矿石、非矿石、煤、石油)分为岩浆成因的, 伟晶岩成因的, 风化成因的, 沉积成因的和变质成因的等等	Tatarinov, 1955; Krajewski等, 1964; Cavinato, 1964; Smirnov, 1969; Borzunov, 1969; Gruszczuk, 1972;	适于划分所有类型矿床	缺乏经济—技术方面
技术经济分类	分为化学和建筑材料, 并分出被大规模加工的普通廉价材料(工业岩石)和被小规模加工的稀少贵重材料(工业矿物)	Burnett, Wright, 1962; Bantz, Martini, 1968 Kulikovskij, 1968 Tatarinov 编, 1969	经济观点	缺乏成因观点
区域—地质学分类	按成矿区域对原材料进行分类		时间+空间(考虑到发展)+成因方面	缺乏经济+技术方面
成因—经济分类	从经济角度分为工业矿物和工业岩石, 在这些类别中再进行成因划分(内生的矿物+岩石, 沉积的矿物+岩石等)	Bates, 1969	考虑了两个重要观点	缺乏技术方面

进行的一场战斗中仍被沿用), 工业矿物和岩石不再用于制造工具, 而被用作建筑材料 (如未煅烧的石砖用于美索不达米亚的亚述古庙塔, 石灰岩和花岗岩用于埃及金字塔) 和宝石 (例如埃及第三王朝时期, 即公元前2778—2723年, 产自西奈半岛的绿松石)。在埃及, 早在公元前3500年, 已能从石英砂制造玻璃宝石; 而在叙利亚附近的古国腓尼基, 在公元前100年就会制造中空玻璃 (hollow glass)。粘土在整个古代世界被用于制作陶质容器。在公元前2000年, 在埃及用钙质粘土制造彩陶。后来, 粘土成为重要的耐火材料, 用于金属冶炼中。石盐远在人们无从记忆的时候起就是食物的必需组成部分。

在中世纪, 工业矿物与岩石的应用形式没有发生重大变化。变化主要发生在近代, 特别是在十九和二十世纪, 这时发现了可应用于农业、化学工业、耐火材料制造业、抗酸、过滤和绝缘制品以及陶瓷、冶金、光学、造纸、橡胶和食品工业的很多新材料。正如矿物燃料之更合理地利用促成了第一次工业革命一样, 现代的第二次科学—技术革命也是与下列因素相联系的: (1) 新的工业原料的应用 (如高级耐火材料镁橄榄石或矽线石、具有高吸附容量的膨胀性珍珠岩或蛭石); (2) 对已知原料的新的利用方式 (如在原子反应堆中用作快中子减速剂的化学纯石墨和在电子计算机和自动化控制等电子设备中用作半导体的硅等); (3) 在此原子和宇宙时代的技术中所有已知工业矿物原料的所有技术性能之被利用。由于火箭的有些部分在发射和重返地面而经过稠密大气层时要经受高温的考验, 所以制造火箭需要用烧蚀陶瓷材料和有机聚合物、 ZrO_2 或粉末金属来制造喷气发动机和热防护罩 (所谓金属陶瓷, 它是一种金属化合物陶瓷)。表面的局部烧蚀能导致下层温度的降低, 这样就可获得更好的耐抗结构和保护火箭不受损坏。在核工业中, 耐火材料是作为中子减速器和中子反射器的结构材料 (如用 B_4C 和 BN 制成的减速棒); 上述材料还用作乘务员和直升飞机的轻质陶瓷防护片。原子能发电站的放射性废物将在具有高吸附容量的岩石中进行处理 (如含有蒙脱石的泥质岩石)。在不同类型激光器的结构中要用到铁铝榴石、磷灰石、萤石和红宝石等矿物; 而溴银矿、硒铅矿和石盐晶体则应用于红外分光光度计中。

采矿和坑道挖掘工业, 将来有可能用新的磨料加以装备, 这可加速在硬岩石中的进尺, 这正像30年前借助岩石学研究曾以高强度材料熔融玄武岩贡献于世的情况一样。

建筑材料业也会由于宇宙飞船和海底研究站的建造而可指望获得新的技术进步。用于此领域的材料, 具有与它们低的单位密度相对比极大的强度, 并且是抗腐蚀的。这两种性质对于建筑工业来说是很重要的, 特别对新型玻璃和陶瓷产品更是如此。对工业矿物深入的技术研究, 可能提供更好的绝缘化合物而在降低燃料消耗上做出贡献。

而且, 在更远的将来, 工业矿物能为化学工业解决由于石油储量耗竭而造成的危机。换言之, 石灰岩或白云岩在高温、高压下与氢气反应可生成碳氢化合物, 同时释出 CaO (生石灰) 或 $Ca(OH)_2$ (熟石灰)。工业矿物和岩石也能帮助保持我们星球未来的可居住性: 膨胀性珍珠岩将是能从大洋表面移去石油的一种工具, 这样将可防止海洋中的生命特别是浮游生物的绝灭, 而地球上最大量的氧是由它们产生的。

工业矿物和岩石的世界储量超过金属矿石资源, 如果算上它们在海洋中的储量那就更大了。石盐、泻利盐、光卤石、溴化物、生产金属镁的镁的硫酸盐等, 是通过海水的蒸发作用而沉淀的。大陆架海底覆盖有砂、水泥材料、磷钙土和含有独居石的沉积物。独居石含有铈、钍等稀有元素。可能成为铝土矿替代物的红粘土产于深海中。

现在, 工业矿物和岩石在所有矿物原料的世界生产量中占据第一位。

建筑材料	9,000,000,000 t
燃料 (煤和石油)	6,850,000,000 t (+ $1500 \times 10^9 \text{m}^3$ 天然气)
工业矿物和岩石	750,000,000t (包括 $88 \times 10^6 \text{t}$ 的铝土矿)
矿石精矿	930,000,000t (Fe, Mn 矿石)
钢	600,000,000t
金属	19,000,000t (不包括Fe, Mn, Al, Ti, Cr, Ta, U, Zr)

甚至在金属矿产很丰富的美国的经济中，在国民总生产中非金属资源相当于矿石总量的二倍，而且这种不平衡还在不断地加剧。

第二章 工业矿物和岩石的成因

“当事实与一种新理论不符合时，这对于理论的提出者来说应该是特别宝贵的，因为事实是理论的最好的批评家，事实在指明理论的弱点和不足的同时，也向作者提出了进一步研究的途径”

J. Bilibin, 1959

2.1 岩 浆 矿 床

玄武岩浆或花岗岩浆的结晶和分异作用，形成了各种类型的火成岩和岩浆的、热液的、碳酸岩的、接触交代的、伟晶岩的各种矿床以及升华矿床。控制岩浆过程的各种规律可用新的全球构造理论给予很好说明（有关此假说的详细论述和有关文献见Kuzvart, Böhmer, 1978）。

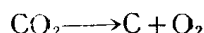
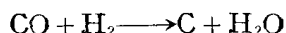
玄武岩浆富含 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 和 CaO ，它起源于地壳深处（深度大约为30—40km）是上挤的地幔物质—上幔岩（Pyrolite，由辉石和橄榄石的英文字头复合而成，二者是上幔岩的主要组成矿物）的分异作用产物。上挤的上幔岩来自地幔的最上层（深度80—300km），它以具有降低的地震波速为特征。因此，可认为该处处于部分的深熔状态（Windley, 1977）。玄武岩浆通过洋中脊中心处的裂谷上升至地表，并导致新洋壳的产生。大洋岩石圈板块处于自洋中脊向外不停的运动之中。在俯冲带，上述大洋岩石圈由辐散运动改变为辐合运动，沿着俯冲带，一大洋板块下降到另一大洋板块之下或下降到大陆板块的边缘带之下（活动的大陆边缘带之下）。发生大洋板块降入上地幔的俯冲带并非该板块完全消失的地方。在俯冲带之中和之上，地壳和地幔物质转变成了岩浆，后者在大洋和大陆板块辐合的情况下，增进了大陆边缘的火山—深成活动性。如果两个大洋板块辐合，将产生火成岩，形成岛弧。钙碱质岩石代表了岛弧和活动的大陆边缘的火山作用的特征性组合。安山岩或英安岩和流纹岩居主导地位。钙碱质岩浆富含 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 和其他亲石元素（K, Rb, Ba, Sr, U, Th, Zr, 等等）以及轻稀土元素，它是由下降的大洋岩石圈（包括其沉积盖层）在超过100—150km深处的部分熔融产物经过多次分异作用产生的（据Ringwood, 1974）。岩石圈板块的辐合作用能够造成大陆之间的碰撞或大陆和岛弧之间的碰撞，而碰撞又可造成大陆壳加厚，导致地壳岩石的部分熔融（Dewey, Burke, 1973）。钙碱质岩浆岩（从闪长岩到石英闪长岩）的部分深熔作用（它们在大陆壳的下层居优势）可产生成分相当于花岗岩的富含碱金属（主要为钾）的熔融体和斜长岩质残留物（Green, 1969）。碱性岩浆与裂谷型的深位断离构造（如东非裂谷）相伴随产出。

岩浆成因的工业矿物（金刚石、石墨、刚玉、镁橄榄石、磷灰石、喷发岩）是在岩浆固结作用的不同相中经结晶作用形成的。金刚石和石墨等早期岩浆矿床有着共同成因，其碳和碳质物质来自地球内部，在深部，从碳化物衍生出碳是可能的。上述两种矿物的生成

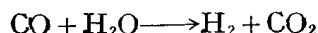
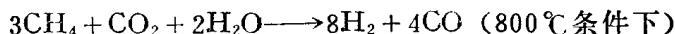
取决于压力，因为高压将导致配位数（即相邻原子的数目）的增大和比重及硬度的增加：石墨（配位数3，比重2.2，硬度1—2），金刚石（配位数4，比重3.47—3.56，硬度10）。

在上地幔（深度大于100 km），碳结晶为金刚石，它与橄榄石、透辉石和镁铝榴石一起是金伯利岩的组成部分。根据包裹体成分的研究，金刚石是在富含 H_2O 、 CO_2 、 CO 、 H_2 、 N_2 以及 CH_4 的液体环境中结晶的，结晶温度为1200℃，压力50kbar，见图1。

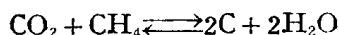
金刚石可在氧分压很低但硫含量很高的条件下生成，金刚石中的磁黄铁矿包裹体可作为证明。 H_2 的存在很重要，它通过对 CO_2 或 CO 的还原作用影响着金刚石和石墨的形成（根据P—T条件）：



氢能通过下述反应被还原（Cavinato, 1964, 第628页）：



理论上讲，金刚石可能是下列反应的产物：



至于形成金刚石的介质的化学成分，那么这些条件在上地幔的石榴石-金云母橄榄岩（金伯利岩）的部分熔融和去气作用下是可以满足的，在该过程中，上述挥发性组分将被释放出来。金刚石胚芽体于大约150km处的温度下开始生长，而当岩浆上升至岩石圈基底，即大约100km时停止生长。以后，流体化作用（fluidization）引起气压的增高和火山通道的形成，含金刚石金伯利岩岩浆就进入了通道。这一过程和岩浆的固化作用逐渐在各个火山筒中完成。这样可说明甚至在空间上很邻近的火山筒在金刚石质量和数量方面的不同（Mitchell, Crockett, 1971）。金刚石是金伯利岩的造岩副矿物（含量0.5 克拉 = $0.1\text{g}/\text{m}^3$ ）；呈均匀分散状，因此其原生矿床不属于分泌类型。含金金刚石的金伯利岩岩筒在构造活动区贯穿了前寒武纪地盾，它伴随着深断裂，有时形成局部隆起，有时形成局部凹陷。这些地盾在不同时期发生构造活化：澳大利亚地盾在晚古生代有构造活动，而西伯利亚地盾、非洲地盾和加拿大地盾在早中生代有构造活动。已知在巴西和印度地盾也产出有含金金刚石的金伯利岩。大多数含金金刚石的金伯利岩是早侏罗世以后的（Smirnov, 1965），以晚白垩世居优势（Danzon, 见 Kennedy, Nordlie, 1968）。金伯利岩通常为斑状的，包裹有它所穿过的围岩岩石（闪岩，片麻岩）和具有相似成分和成因的超基性岩（纯橄榄岩，石榴石橄榄岩，榴辉岩，透辉石榴岩（griquaite）和更老的金伯利岩）。含金金刚石金伯

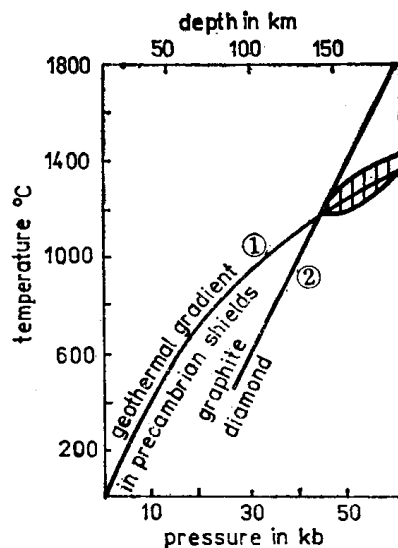


图1 石墨和金刚石的温度、压力的稳定条件：金刚石生成区画有斜线（根据 Mitchell, Crockett, 1971）

纵坐标—温度（℃）；横坐标：上一深度（km），下一压力（kb）；曲线①前寒武纪地盾的地热增温曲线；②石墨与金刚石稳定场界线注：kb（千巴）是非法定计量单位，1巴（b或bar）= 10^5Pa ，1千巴（kb或kbar）= 10^8Pa 或100MPa。