

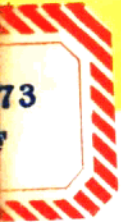
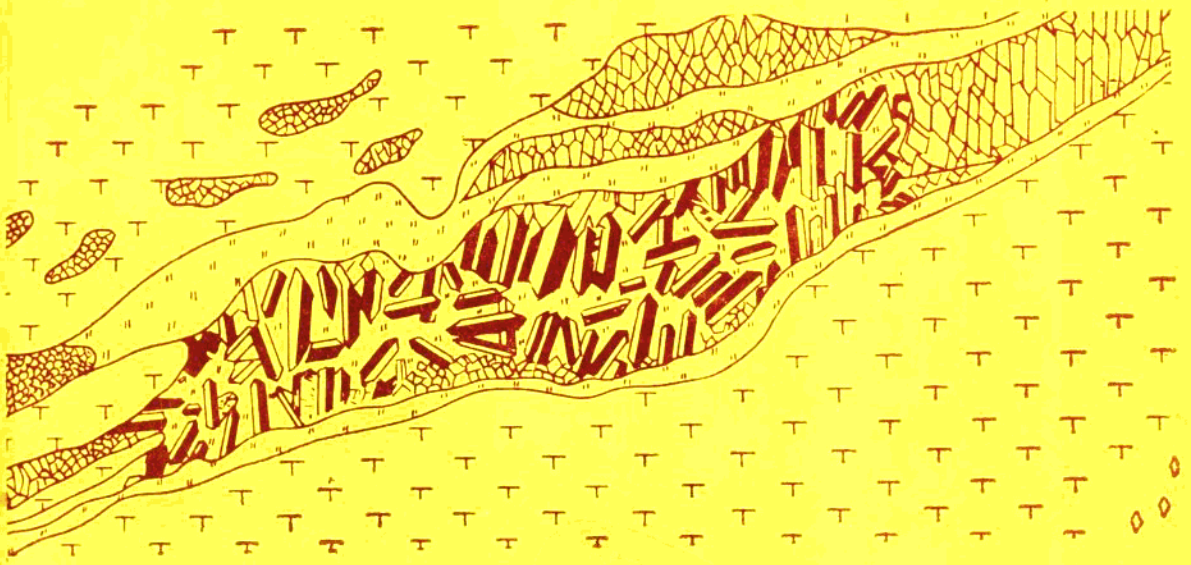
603325

地质

高等学校教学参考书

非金属矿床

林东甫 周永智 主编



地质出版社

高等学校教学参考书

非 金 属 矿 床

长春地质学院矿床教研室

赵东甫 冯本智 主编

地 质 出 版 社

内 容 简 介

本教材简要而较系统地阐述了非金属矿床的概念与特点、主要非金属矿床类型地质特征和国内外典型矿床实例、各类非金属矿石组成、技术性能与工业要求,以及所述各类非金属矿床的形成条件和国内外分布概况。

全书共分二十五章,每章附有参考文献。

本书可作为各地质院、校的有关地质专业教学参考,也可供从事地质专业的生产、科研人员参考。

※ ※ ※

本书由海恩慈、刘云从主审,经地质矿产部矿床学教材编审委员会于1984年4月召开的第四次全体会议审稿,同意作为高等学校教学参考书出版。

※ ※ ※

高等学校教学参考书
非 金 属 矿 床
长春地质学院 矿床教研室

赵东南 冯本智 主编

责任编辑:陈磊

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: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: $18^{2/4}$ 字数: 438,000

1986年10月北京第一版·1986年10月北京第一次印刷

印数: 1—3,470册 定价: 2.95元

统一书号: 13038·教263

前 言

为了培养符合现代化建设所需要的地质人材，编者受地质矿产部矿床学教材编审委员会的委托，根据地矿部第二批（1981—1985）教材编审规划的要求，编写矿床学教学参考书的“非金属矿床”部分，供有关地质院校教学参考。亦可供生产单位、科研单位有关人员和研究生使用。

本书是在长春地质学院矿床教研室编写的《矿床工业类型》非金属矿床（1964年修订本）的基础上，参照有关地质院校近年来编印出版的教材及生产、科研单位的报告重新编写的。在内容方面，以各类型非金属矿床特征并结合国内外矿床实例的阐述为主，适当地讨论了矿床形成条件与国内外分布概况，加强了非金属矿石工艺性能和工业要求以及矿床评价的论述。增加了一些近年来引起重视的新非金属矿床类型及实例，并引用了不少有关新技术新方法的资料。

本书编写前，编者制定了详细编写提纲，曾分送全国地质院校以及科研单位征求意见，承蒙这些单位的指导和帮助，为本书编写奠定了基础。地矿部矿床教材编审委员会第四次会议（合肥）曾评审了部分初稿，编者根据会议的意见进行了修订。初稿完成后，长春地质学院曾组织了校内专家审阅，编者再次修改后才提请主审人西安地质学院刘云从同志、合肥工业大学海恩慈同志对全稿评审，主审人详细审阅后提出了进一步修改意见，编者对全部书稿又进行了一次全面与认真的修改和补充，最后定稿。

本书经长春地质学院矿床教研室参加编写的教师集体讨论、分章编写而成。具体分工如下：赵东甫 第一（部分）、二、六、十三、十七、十九章；冯本智 第一（部分）、三、四、七、十、十一、十二、十六章；沈能训 第十八章；兰心俨 第八、九、二十、二十一、二十二、二十三、二十五章；朱国林 第十五、十四章；卢静文 第五、二十四章。最后由主编赵东甫和冯本智统一修改、定稿。

在编写过程中，始终得到地质矿产部教材编辑室和矿床学教材编审委员会的关心和指导，长春地质学院教材科、绘图室等单位的大力支持。特向上述各单位和同志们致以深切的谢意。限于编者水平，在内容取舍和章节安排上，错误和不妥之处恐难避免，诚恳希望读者批评指正。

编 者

1985.11于长春

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 非金属矿产的概念.....	1
第二节 非金属矿产在国民经济中的意义.....	1
第三节 非金属矿床的特点.....	3
第四节 非金属矿床的找矿与评价.....	3
第五节 非金属矿产的分类.....	4
第二章 磷矿床	6
第一节 概论.....	6
第二节 磷的地球化学与磷矿床的形成条件.....	8
第三节 矿床类型.....	10
第四节 矿床国内外分布概况.....	22
第三章 盐类矿床	25
第一节 概论.....	25
第二节 矿床的形成条件.....	29
第三节 矿床类型.....	33
第四节 矿床国内外分布概况.....	62
第四章 硼矿床	65
第一节 概论.....	65
第二节 硼的地球化学.....	67
第三节 矿床类型.....	67
第四节 矿床国内外分布概况.....	75
第五章 硫矿床	77
第一节 概论.....	77
第二节 硫的地球化学.....	79
第三节 矿床类型.....	79
第四节 矿床国内外分布概况.....	86
第六章 明矾石、刚玉和高铝矿物矿床	88
第一节 概论.....	88
第二节 矿床类型.....	90
第三节 矿床国内外分布概况.....	96
第七章 石棉矿床	98
第一节 概论.....	98
第二节 矿床的形成条件.....	101
第三节 矿床类型.....	102

第四节 矿床国内外分布概况.....	111
第八章 石墨矿床.....	113
第一节 概论.....	113
第二节 矿床的形成条件.....	114
第三节 矿床类型.....	114
第四节 矿床国内外分布概况.....	120
第九章 金刚石矿床.....	121
第一节 概论.....	121
第二节 矿床的形成条件.....	122
第三节 矿床类型.....	125
第四节 矿床国内外分布概况.....	128
第十章 云母矿床.....	130
第一节 概论.....	130
第二节 矿床的形成条件.....	133
第三节 矿床类型.....	134
第四节 矿床国内外分布概况.....	140
第十一章 电学与光学原料矿床.....	142
第一节 概论.....	142
第二节 水晶矿床的形成条件.....	145
第三节 水晶矿床类型.....	146
第四节 冰洲石矿床类型.....	151
第五节 矿床国内外分布概况.....	152
第十二章 宝石和玉石矿床.....	154
第一节 概论.....	154
第二节 宝石和玉石的矿床类型.....	160
第三节 矿床国内外分布概况.....	168
第十三章 重晶石矿床.....	170
第一节 概论.....	170
第二节 钡的地球化学与富集条件.....	172
第三节 矿床类型.....	172
第四节 矿床国内外分布概况.....	176
第十四章 滑石矿床.....	178
第一节 概论.....	178
第二节 矿床的形成条件.....	179
第三节 矿床类型.....	180
第四节 矿床国内外分布概况.....	183
第十五章 菱镁矿矿床.....	185
第一节 概论.....	185
第二节 矿床的形成条件.....	186

第三节	矿床类型·····	187
第四节	矿床国内外分布概况·····	193
第十六章	萤石矿床·····	195
第一节	概论·····	195
第二节	矿床的形成条件·····	196
第三节	矿床类型·····	197
第四节	矿床国内外分布概况·····	202
第十七章	粘土矿床·····	204
第一节	概论·····	204
第二节	矿床的形成条件·····	211
第三节	矿床类型·····	213
第四节	矿床国内外分布概况·····	227
第十八章	叶蜡石矿床·····	230
第一节	概论·····	230
第二节	矿床的形成条件·····	231
第三节	矿床类型·····	232
第四节	矿床国内外分布概况·····	235
第十九章	沸石矿床·····	236
第一节	概论·····	236
第二节	矿床的形成条件·····	238
第三节	矿床类型·····	240
第四节	矿床国内外分布概况·····	242
第二十章	硅灰石矿床·····	244
第一节	概论·····	244
第二节	矿床的形成条件·····	245
第三节	矿床类型·····	246
第四节	矿床国内外分布概况·····	249
第二十一章	硅石矿床·····	250
第一节	概论·····	250
第二节	矿床的形成条件·····	252
第三节	矿床类型·····	252
第四节	矿床国内外分布概况·····	255
第二十二章	长石矿床·····	256
第一节	概论·····	256
第二节	矿床的形成条件·····	257
第三节	矿床类型·····	257
第四节	矿床国内外分布概况·····	261
第二十三章	石灰石和白云石矿床·····	262
第一节	概论·····	262

第二节	矿床类型.....	265
第三节	矿床国内外分布概况.....	267
第二十四章	硅藻土和硅藻石矿床.....	269
第一节	概论.....	269
第二节	矿床的形成条件.....	271
第三节	矿床类型.....	272
第四节	矿床国内外分布概况.....	276
第二十五章	建筑用石材及天然轻质骨料.....	277
第一节	一般建筑石材.....	277
第二节	装饰性建筑石材.....	278
第三节	建筑用天然轻质骨料.....	284

第一章 绪 论

第一节 非金属矿产的概念

固体矿产一般分为三类：金属、非金属、燃料矿产。由于科学技术的发展，非金属矿产利用范围的扩大，它所包含的矿种不断增加。

非金属矿产指的是除金属矿石、矿物燃料以外的具有经济价值的任何种类的岩石、矿物或其它自然产出的物质。这个定义虽然比较严谨，但还有一些特殊情况未包括在内，例如，某些主要作为金属开采的矿产，如铝土矿、铬铁矿、钛铁矿和锰矿石，也是非金属原料的重要来源。

地壳中能产出非金属矿产的地质体被认为是非金属矿床。《非金属矿床》一书专门论述非金属矿床的经济技术条件、矿床类型、地质特征以及矿床的形成作用和分布规律。通过这些研究，对非金属矿产资源能有较为全面的了解和认识，从而指导生产实践，更好地为找矿勘探、矿床评价以及工业应用等方面服务。因此，非金属矿床学基本上属于应用科学的范畴。非金属矿床的理论知识对任何一个从事实际工作的地质学家来说都是必不可少的，一个地质学家在非金属矿产领域所遇到的问题要比在金属矿产领域更为复杂。

第二节 非金属矿产在国民经济中的意义

非金属矿产是为人类最早利用的一种矿产，石器时代的石刀、石斧，或新石器时代仰韶文化（公元前五千—三千年）的彩陶，都充分说明了这一点。至二十世纪初所利用的主要非金属矿产约六十种，目前竟达二百种以上。随着现代工业的发展，可供工业利用的矿物和岩石种类还将继续增长。非金属矿产产销量较大的多半是一些工业发达的国家，如西德按人口平均非金属原料消费量每年约15 t，美国约9.5 t，日本和西欧国家也接近美国水平。

目前，非金属矿产利用比较广泛的是在以下几个方面。

1. 建筑材料方面

建材用矿物原料占整个非金属矿产量的90%。仅石灰岩一项，一年的消耗量近二十亿吨。随着现代城市建筑向高层、超高层发展，要发展轻质骨料和轻质板材，使人们注意研究和寻找具有轻质、高强、隔热、隔音、防震等性质的非金属原料。为保暖和装饰，国外不少建筑外墙采用两层或三层玻璃，无疑大大增加了原料的需求。

2. 冶金工业的辅助材料方面

随着冶金工业高速度的发展，需要大量的非金属矿产，用以制造耐火材料、熔剂、球团矿粘合剂的原料。

3. 陶瓷工业方面

传统的陶瓷原料诸如高岭土、叶蜡石等均属铝硅体系，而硅灰石、钙长石、透闪石、透辉石等均属钙硅体系。钙硅体系的几种陶瓷原料，生产陶瓷时其优点在于节约燃料，提高成品质量和降低产品成本。尤其是节约能源这一点，对陶瓷工业来说更具有现实意义。

4. 处理三废、保护环境方面

环境污染是各工业发达国家的一大公害，促使采用某些非金属矿产来消除污染，清洁环境。各国在三废处理中投入试用的有沸石岩、珍珠岩、海绿石砂岩、硅藻土、硅质岩及白云岩等，尤其是天然沸石在环保方面得到较为普遍的利用。

5. 农业方面

大量使用磷、钾矿石生产磷肥、钾肥。由于矿产分布极不平衡，各国还开展了含钾岩石（粗面岩、霞石正长岩等）和含钾矿物（钾长石、明矾石、金云母等）的研究，有的已用于工业生产钾肥。为了提高肥效，改良土壤，还直接利用诸如海绿石、沸石岩、蛇纹岩、珍珠岩和硅藻土等。

6. 其它工业方面

诸如玻璃、化工、化纤、造纸、橡胶、食品、医药、电气、电子、机械、飞机、雷达、导弹、原子能、尖端技术工业以及光学、钻探、玉器等方面也需要品种繁多，有特殊工艺技术特点的非金属矿产。

由上看出，非金属矿产在整个国民经济中占有相当重要的地位。在美国，非金属矿产产值近年来要高出金属矿产的一倍，如在1977年，金属和非金属矿产产值分别为58.1和117.01亿美元，1978年分别为68.87和128.42亿美元。据美国政府预测，世界非金属矿产的需求量（按1977年价格），将由1977年的700亿美元增至2000年的2000亿美元。可以说，非金属矿产是现代建设的重要物质基础，随着现代化工农业的发展，必然会对非金属矿产提出更多的要求。为了满足现代工农业对非金属矿产日益增长的需要，世界各国十分重视非金属矿产的科学研究和普查勘探工作，采用各种技术手段来研究和发现早先工业上未被利用的矿物和岩石，不断扩大非金属矿产的种类及利用领域。

我国是世界上非金属矿产种类比较齐全的少数国家之一，目前已探明储量的非金属矿产约八十种，产地四千五百多处，其中硫铁矿、石墨、重晶石、高岭土、叶蜡石、石膏、硅藻土、玻璃原料、水泥原料、大理石和花岗岩等二十多种在国际上占优势。沸石、珍珠岩、蛭石、硅灰石、凹凸棒石、海泡石、粘土等十几种非金属矿产可望成为国际优势矿产。金刚石、蓝宝石、天然碱和钾盐也有较好的发展前景。因此，我国非金属矿产开发利用的潜力是巨大的。近年来我国在非金属矿床地质工作方面已取得巨大成绩，但也应该看到非金属矿床地质工作还不能满足国民经济发展的需要，主要表现在：至今还有不少非金属矿产资源的情况不清；有些重要矿种储量不足或无可利用的储量，供需矛盾日趋突出；非金属地质工作队伍不大，地质科研和测试能力薄弱，这种状况与四化建设的需要很不适应。加强非金属矿产地质工作，已是当务之急。

我国需要加强非金属矿产的普查找矿工作，充分发挥非金属矿产资源的优势。要积极寻找国家短缺的钾盐、金刚石、天然碱、高中档宝石等矿产；对有重要用途而地质工作做得很少的钠质膨润土、海泡石和高铝矿物原料等矿产要加强工作，提供产地。国际市场销

售颇有发展前途的石墨、石棉、优质高岭土、重晶石、滑石、硅藻土、萤石、优质大片云母、优质石料等应积极安排找矿工作。要开创寻找非金属矿产工作的新局面，加强对非金属矿物的物理、化学性能研究，扩大矿产的应用范畴。总之，我国应全面加强非金属矿产的地质工作，尽快把非金属矿产资源搞清，把我国的优势矿种资源转变为巨大的社会财富。

第三节 非金属矿床的特点

1. 矿床的组成元素

非金属矿床主要由O、Si、Al、Fe、K、Na、Mg等元素组成，它们是构成地壳的主要成分，其克拉克值都较高，如O、Si、Al三者之和占地壳重量的82.58%。因此，由其组成的非金属矿床种类繁多，分布广泛，使我们有可能大量地加以利用。

2. 矿石的矿物组成

构成非金属矿床的矿石矿物主要是含氧盐类，特别是以硅酸盐、硫酸盐、碳酸盐最为主要，磷酸盐、硼酸盐次之，氧化物、卤化物和某些自然元素也可以形成矿床。

3. 矿石的利用方式

非金属矿石的利用方式和金属矿石不同。在工业上，只有少数非金属矿石是用来提取和使用某些非金属元素或其化合物，如硫、磷、钾、硼等，这些矿石的工业价值主要取决于有用元素的含量和矿石的加工性质。而对大多数非金属矿石则是直接利用其中的有用矿物、矿物集合体或岩石的某些物理、化学性质和工艺技术特性。例如金刚石大多利用它的硬度和光泽；云母是利用其绝缘性和透明度，可作为电子工业的重要原料；水晶是利用其光学和压电性能；大理岩则是利用其美丽的颜色、花纹、良好的绝缘性能，制作建筑饰面材料及电气绝缘材料等等。

4. 矿床的一矿多用的特点

非金属矿床可一矿多用，因为有的非金属矿物或集合体具有多种用途的性能。如膨润土、高岭土等粘土矿物，既可作耐火材料，又可作陶瓷原料，还可作填充、漂白、涂料等用，其应用范畴在不断扩大，它们已成为国民经济中重要矿产之一。再如石灰岩，可依据其不同性能，用作电石、水泥、化工、熔剂、建材等原料。但对不同用途的非金属矿物或集合体，应有不同的工业要求。由于许多非金属矿往往可以一矿多用，它们的经济价值和使用价值将随着现代科学技术的发展而变化。

第四节 非金属矿床的找矿与评价

由于非金属矿床种类繁多，用途广泛，矿石的工业要求差别较大，因此，非金属矿床的找矿与工业评价比较复杂，实际工作中应注意以下几点：

1. 寻找非金属矿床时应注意综合找矿和评价

非金属矿床虽有各自的成矿地质条件，但也有些种类不同的矿床可产于相似或相同的地质环境，因此，应注意综合找矿。如在石油普查中注意寻找钾盐、自然硫等矿床；在早前寒武纪变质岩分布地区注意寻找磷矿、滑石、菱镁矿、石墨、硼、高铝矿物、宝石

等多种矿床；在盐类矿床中往往伴生有碘，因此要注意综合评价。有些非金属矿床，如珍珠岩、沸石、钙质膨润土、钠质膨润土等矿床，虽然成矿的物理、化学条件不同，但成矿的围岩都是相同或相似的，所以它们在空间分布上往往有密切的关系，可出现于同一矿区的同一层位或相邻层位中，找矿时应综合考虑。

2. 评价非金属矿床时，应注意有用矿物的工业技术特点

与金属矿床不同，许多非金属矿物的物理性质或工业技术特点经常成为评价其经济价值的决定因素。甚至同一种工业矿物或岩石，由于其物性的某些差别，便具有不同的用途，因而对它们的工业要求也将是极其不同的。

例如，光彩夺目、完美的金刚石大晶体，可作为贵重宝石；具有良好半导体或导热性能的Ⅱ型金刚石，可作为高级半导体器件及激光微波的散热片等重要元件；而普通的Ⅰ型金刚石，工业上只能利用其高硬度的性能而作为磨料、磨具的矿物原料。

石棉纤维的良好可纺性、高的抗张强度以及隔热、保温、绝缘、防腐等特性，使其广泛应用于机械、化工、建材及国防等工业，因此石棉的工业技术性质是决定其工业价值的重要因素。

工业上利用膨润土的粘结性、吸水膨胀性、高度悬浮分散性、吸附有色离子以及矿物成分中蒙脱石含量高、杂质低等特性而应用于机械铸模、钻探泥浆以及石油化工等工业方面。评价膨润土矿石时，对其技术特性和有益、有害成分的含量一般都有一定的要求。当其技术特性与化学成分含量要求有矛盾时，只要其技术性能良好，经工业试验，证明亦能为工业所利用，则以技术特点的指标作为评价矿床的主要因素。

3. 加强物化探方法在找矿中的应用

相当多的重要非金属矿床地表出露越来越少，用一般手段已难以发现，必须重视找矿中物化探方法的利用。如加拿大萨斯喀彻温钾盐矿床的突破，归功于物探方法（伽马测井技术）的利用。利用航空和地面磁法查明与矿化有关的断裂构造、岩浆岩体等，可帮助寻找石棉、金刚石、水晶等矿床。国外，利用航空照片、航磁测量配合地面磁测、电阻率测量等综合方法普查原生金刚石矿床很有成效。近年来，苏联应用中子活化测井法成功地测定了萤石矿脉的厚度。

利用化探（Br/Cl）方法寻找钾盐也很有成效。苏联几个大型钾盐矿床的发现，水化学分析起了重要作用。在西方国家普查萤石矿床时，还利用了土壤和河流冲积物中的Pb、Zn、Hg等异常。最近，意大利利用水化学方法发现了皮阿契洛萤石矿床，其储量达 4×10^7 t，品位为56~60%，矿层厚10~40m。

第五节 非金属矿产的分类

非金属矿产的分类，世界各国多按用途进行划分。如美国分为十四类：磨料、陶瓷原料、化工原料、建筑材料、电子及光学原料、肥料矿产、填料、过滤物质及矿物吸附剂、助熔剂、铸型原料、玻璃原料、矿物颜料、耐火原料及钻井泥浆原料。苏联分为：化学原料、粘结原料、耐火—陶瓷原料和玻璃原料、集合原料和晶体原料五类。我国则分为化工原料、建筑材料、冶金辅助原料、轻工原料、电器和无线电电子工业原料、宝石类和光学材料六类。

但是, 由于多数矿产具多种用途, 所以按用途分类并不确切, 往往造成一种矿产同时属于几个分类。近年来, 苏联又提出一种新的分类方案, 即以工业用途与矿石加工技术相结合的分类方案, 详见表1—1。

上述分类比只按用途分类前进了一步, 但仍较粗略, 有许多不足之处。如自然元素中只列出硫一种, 显然不够全面。矿物集合体与其它三类都同属一大类, 也未必合适, 因其使用、矿石的加工、工业要求都有很大的差别。总之, 有关非金属矿产的分类至今仍不完善, 有待于今后进一步研究。

表 1—1 非金属矿产工业分类

大类	分 类	原料类别	矿 产 种 类	大类	分 类	原料类别	矿 产 种 类
矿物	1. 自然元素	化学原料	自然硫	岩石	1. 原矿直接利用或经机械加工后利用	彩石、玉石和装饰砌面石料	碧玉、角闪岩、天河石、花岗岩、蛇纹石大理岩、蛇纹石、寿山石、蔷薇辉石等
	2. 晶体	宝石原料	金刚石 (宝石级)、祖母绿、红宝石、电气石、黄玉、绿柱石、青蛋白石、紫水晶等		建筑和砌面石料	花岗岩、拉长石岩、闪长岩及其它火成岩、灰岩、白云岩、大理岩、凝灰岩等	
		工业技术晶体原料	金刚石 (工业级)、压电石英、冰洲石、白云母、金云母、石榴石等			混凝土填料、建筑及道路建筑材料	砾石、碎石、细砾、建筑砂
	3. 独立矿物	半宝石、彩石和玉石原料	玛瑙、蛋白石、玉髓、孔雀石、绿松石、绿玉髓、赤铁矿 (血滴石) 等		2. 经热加工或化学处理后利用	陶瓷及玻璃原料	玻璃砂、长石和伟晶岩、易熔及耐熔粘土、高岭土
	4. 矿物集合体 (非金属矿石)	化学原料	磷灰石、磷块岩、天青石、含硼硅酸盐、钾盐、镁盐等		制取粘结剂的原料	耐火材料	耐火粘土、石英岩、橄榄岩、纯橄榄岩
		磨料	刚玉、金刚砂、铝土矿			铸石材料	玄武岩、辉绿岩等
		耐火、耐酸原料	菱镁矿、石棉、蓝晶石、红柱石、矽线石、水铝石			颜料原料	赭石、土红、铅丹等
		隔音及绝热材料	蛭石			综合性原料	灰岩、白云岩、白垩、砂、粘土、石膏等
		综合性原料	萤石、重晶石、石墨、滑石、石盐、硅灰石等				

主要参考文献

1. 长春地质学院矿床教研室 《矿床工业类型》(上册) 非金属矿床 (修订本) 中国工业出版社 1964
2. 王家枢 国外非金属矿产资源和勘查技术发展的基本动向 安徽地省质局科技处编 地质科技动态 总第八期 1981
3. 俞永刚 国外非金属矿资源利用现状 建材地质 第一期 1981
4. 俞永刚 有关非金属矿的概念与分类 非金属矿 第三期 1983

第二章 磷矿床

第一节 概 论

一、工业矿物

自然界中已知含磷矿物大约有一百二十多种，分布广泛。但是按其质和量都能达到可以开采利用的含磷矿物则不过二、三种，在工业上作为提取磷的主要含磷矿物是磷灰石。

磷灰石的主要化学成分是磷酸钙，其中还含有氟(F)、氯(Cl)等元素。至于铁、铝、锰、镁的磷酸盐矿物仅占含磷矿物的5%。常见的几种含磷矿物如表2—1。

表 2—1

矿 物 名 称	化 学 式	P ₂ O ₅ 含 量 %
氟磷灰石	Ca ₅ (PO ₄) ₃ F	42.24
氯磷灰石	Ca ₅ (PO ₄) ₃ Cl	40.91
氢氧磷灰石	Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH	42.41
碳磷灰石	Ca ₅ (PO ₄) ₂ (CO ₃) ₂ (F, Cl, OH)	35.97
细晶磷灰石	Ca ₁₀ P _{5.2} Co _{0.8} O _{72.2} F _{1.8} (OH)	37.14
独居石	(Ce, La)(PO ₄)	24.8~26.35
蓝铁矿	Fe ₃ (PO ₄) ₂ ·8H ₂ O	31.8
天蓝石	MgAl ₂ (PO ₄) ₂ (OH) ₂	26.5

磷矿石按其成因不同，可分为两种：磷灰(石)岩和磷块岩。

磷灰(石)岩是指磷以晶质磷灰石形式出现在岩浆岩和变质岩中的磷矿石，磷灰石晶体多种多样，从重达几十公斤的巨大晶体到在普通显微镜下也观察不到的微晶。这类矿石一般品位较低，P₂O₅含量3~20%左右，但可选性较好。

磷块岩是指以含胶磷矿为主的磷矿石，主要是沉积成因或风化淋滤成因的磷矿石。

胶磷矿是指在高倍显微镜下也分辨不出晶体的那些磷酸盐矿物的统称。以前人们在镜下观察其具有许多胶体结构，所以认为它是非晶质物质，而后经A·B·卡查可夫(1937年)进行伦琴射线的研究，证明其为结晶质的，只是结晶体非常细小，一般不易观察。在目前的研究条件下已能确定胶磷矿包括几种不同的磷灰石。

我国磷矿石，除上述两种外，在南海诸岛尚产鸟粪磷矿。它是一种很好的含氮、磷、钾的混合有机肥料。

二、用途和矿石的工业要求

(一) 磷矿的用途

加工氮磷复合肥料或氮磷钾复合肥料时, 要求矿石中 $P_2O_5 > 28\%$, MgO 的含量可大于2%。

3. 热法加工 用磷矿石和硅石、含镁岩石配成适当比例, 在高炉或电炉内经高温熔融后, 经水淬制成钙镁磷肥等。

钙镁磷肥所需的磷矿石的 $P_2O_5 > 20\%$, $Al_2O_3 < 10\%$ 。

此外, 化学工业部门, 以从磷矿石中萃取磷酸最为重要, 它对磷矿石的要求是: 磷的含量不能太低, P_2O_5 应在30%以上, Fe_2O_3 与 P_2O_5 之比不大于8%, Fe 、 Mg 、 Mn 等杂质不能过高, 否则影响质量。

自然界所产出的磷矿石有些达不到各工业部门的要求, 利用这些矿石时必须经过选矿。在找矿阶段, 可以参照表2—3中所提出的工业指标对矿床进行初步评价。

表 2—3 磷矿一般工业要求

项 目	磷灰(石)岩矿床	磷块岩矿床
边界品位 P_2O_5 (%)	5~6	8~12
最低工业品位 P_2O_5 (%)	10~11	12~15
最低可采厚度 (m)	0.7~2	0.7~2
最大允许夹石厚度 (m)	1~2	1~2

(国家地质总局磷矿地质勘探规范(试行), 1978)。

当前工业生产对磷矿石中能综合回收的伴生元素, 其含量要求: 铀 $>0.02\sim0.03\%$, 碘 $>0.004\sim0.005\%$ 。考虑到磷矿石的加工方法, 在磷矿床附近应注意综合寻找黄铁矿、蛇纹岩、焦煤等矿产, 以便能提供就地加工磷矿石的辅助原料。

第二节 磷的地球化学与磷矿床的形成条件

磷是次要的造岩元素之一, 同时是生物体中重要的组成元素。因此, 费尔斯曼叫它为“生命和思想的元素”。

磷常以 P^{5+} 离子出现, 与氧结合成稳固的 $[PO_4]^{3-}$ 络阴离子, 而 $[PO_4]^{3-}$ 易与钙化合形成磷灰石。

按克拉克(1924)的计算, 火成岩中 P_2O_5 的平均含量为0.29%, 沉积岩中 P_2O_5 平均含量为0.13%。可见沉积岩中, 磷的克拉克值低于火成岩, 在海水中含磷更低, 其原因之一是生物吸收了一部分磷。

磷在不同的地质作用下迁移和富集的规律不同, 在岩浆阶段磷可以在基性岩或碱性岩中富集成为有工业价值的磷灰石矿床。热液时期, 磷为较不活动的组分(Л. С. 柯尔任斯基), 很少富集成有工业价值的矿床。

在表生条件下, 生物活动对磷的迁移与富集起着很大作用, 磷质为生物吸收, 集中到生物体内, 生物死亡后沉入水盆地或海底, 它腐烂分解后, 磷质又回到水体中。磷从溶液中沉积, 明显受介质的物理化学条件的控制, pH 值不同时, 磷酸盐的饱和度不同, 一般认为磷沉积所需要的 pH 值条件与镁近似。W.E. 克鲁班等认为磷块岩的沉积是在 $pH=7.0$

~7.5的介质条件下形成的,因为在这样的条件下, CaCO_3 不能在溶液中形成,而磷酸盐则在溶液中慢慢富集,以至形成沉积。另据李玲娜等的 $\text{P}_2\text{O}_5\text{—CaO—H}_2\text{O}$ 系统平衡实验表明:pH值近于8时,磷沉积最完全。

溶液中氧化还原电位(Eh)的变更,不直接影响 $[\text{PO}_4]^{3-}$ 的沉积,在自然界还原及氧化条件下都可有磷酸钙沉积。

磷质在不同类型的沉积物中,在成岩过程中进行着程度不同的富集与分异作用。富含有机质的软泥中,因有机质分解,形成还原环境,Fe、Mn的氢氧化物还原为低价盐类,其溶解度加大,而把有机物及氢氧化物中的P等转入溶液。通过软泥的吸附作用和富磷溶液对泥质的交代作用,从而使磷质富集。

在粗碎屑岩中,有机质少,吸附稀有元素的氢氧化物少,所以磷的含量比淤泥中的含量大大降低。这很好说明页岩中磷的克拉克值比砂岩中高。

磷质除了从真溶液状态下沉积外,还有一部分是以胶体方式沉积,并受胶体化学因素的控制。

由上述可知磷在内生条件下可富集成磷灰(石)岩矿床,而在表生条件下可沉积富集成磷块岩矿床。

关于磷块岩矿床的成因机理问题,目前地质学家们尚未得到统一见解,似乎无一种学说能够完整无缺地解释磷块岩的形成和分布规律。

A.B.卡查柯夫(1937—1938)根据北美二叠纪磷矿等资料和现代海洋资料分析研究,提出了生物化学成因说。他认为磷块岩不形成于淡水陆相盆地,而生成于浅海陆棚带,其深度不超过200m,在潮汐带及深海区均不生成磷块岩。这一假说虽解释了一些地质现象,如古代磷矿床主要产在地槽和地台之间的斜坡带,滨海和深海环境中无磷块岩生成,但这种成矿理论近年来经进一步研究和发展之后,才在区域找矿和预测中加以运用。

对晚第三纪和第四纪磷块岩矿床区域分布的研究表明,它们大多数分布于纬度低于 40° 的温暖气候带,对比古代磷块岩的分布其古纬度也限于低纬度地区,与现在磷块岩矿床的分布规律完全吻合。

谢尔登等(1964—1968)在一些新资料的基础上补充和发展了卡查柯夫假说,形成了磷块岩洋流成矿理论。

洋流成矿论的核心是洋流上升,上升洋流将深部富含磷的冷水带到大陆架, P_2O_5 以无机的或生物化学方式沉积下来。主要的成矿作用发生在赤道两侧的低纬度地区。

众所周知,洋流上升与大洋循环有关。而大洋循环又是太阳热和地轴自转所引起的大气循环的反映。在理想大洋中,赤道地带的暖流流向两极,而两极的冷水沿大洋东缘流向赤道,在这种洋流循环体系中,深部富含磷的海水可以因洋流辐散或其他动力原因而上升。

洋流辐散现象通常出现在低纬度($5^\circ\sim 30^\circ$)的信风带地区(图2—2)。信风是一种风力十分强大的定向风,在北半球自东北吹向西南,南半球由东南吹向西北。由于信风和克氏力的联合作用,将海洋表层水吹走,从而造成沿海岸流向赤道的深部富磷寒流上升以

* 克氏力是地球自转所产生的一种力,它的水平分力在两极最大,在赤道上减至0。在北半球克氏力垂直于运动方向偏向右方;在南半球则偏向左方。它不能使静止的海水发生运动,但却能在极大程度上使原作用力(如风、气压的改变、潮汐力以及地球重力场、盐度、温度分布不均匀等)引起的海水运动发生改变。