

非 金 属 矿 床 学

〔苏〕И.Ф.罗曼诺维奇 著

池顺都

译

郑伯让

校

中国地质大学出版社

致中国读者

在本书中，作者尽可能地借鉴了各国在研究非金属矿床方面的经验，其中，不仅有苏联的经验，还有其它国家的经验。非常遗憾的是，引用中国非金属地质学家的经验太少了，因为这一方面的著作，只是在最近才在苏联见得多一点。

在此书决定将在社会主义中国出版之际，谨向中国的同行们问候。我希望本书对于我们伟大邻邦在扩大矿物原料基地的事业上有所裨益，并希望有助于巩固我们两个伟大国家之间的和睦关系。

非金属矿产在发展世界经济潜力中意义深远。属于非金属矿产的有“建筑的食粮”——水泥，“面包的食粮”——矿物肥料以及“化学的食粮”——硫酸。属于非金属矿产的还有在冶金工业中应用的原料（熔剂、耐火材料、型砂等）和制造美化我们生活的制品的原料（宝石和玉石）。近年来非金属的意义与日俱增。如超坚固陶瓷、激光技术、半导体工业等需要非金属原料的新部门在发展。

本书只总结了在1984年以前（包括1984年）发表的资料，因此新公布的，包括有关在苏联发现钙交沸石等矿床，在书中未予叙述。作者尝试用压缩的形式叙述，这样做使得有些地方资料处理困难，例如，建立矿床成因分类原则阐述不足。读完全书后，也许对这点会更明了。

作者感谢池顺都，他为翻译本书付出了大量劳动，并发现俄文版中的许多印刷错误。

И. Ф. Романович

1987年10月25日

目 录

致中国读者

绪论	(1)
----------	-------

第一编 元素及其化合物

第一章 化肥原料和化学原料	(8)
---------------------	-------

§1-1 硫	(8)
--------------	-------

§1-2 磷	(15)
--------------	--------

§1-3 钾、钠、镁、氯	(26)
--------------------	--------

第二章 工业原料和化学原料	(35)
---------------------	--------

§2-1 硼	(35)
--------------	--------

§2-2 硒、砷、锑	(42)
------------------	--------

第三章 元素和矿物	(47)
-----------------	--------

§3-1 氟和萤石	(47)
-----------------	--------

§3-2 钡和重晶石	(53)
------------------	--------

第二编 矿 物

第四章 应用化学成分的矿物	(58)
---------------------	--------

§4-1 长石及其替代物	(58)
--------------------	--------

§4-2 高铝矿物	(65)
-----------------	--------

§4-3 菱镁矿和水镁石	(66)
--------------------	--------

第五章 应用物理性质和化学成分的矿物	(73)
--------------------------	--------

§5-1 滑石和叶蜡石	(73)
-------------------	--------

§5-2 硅灰石和橄榄石	(81)
--------------------	--------

第六章 应用物理性质的矿物	(83)
---------------------	--------

§6-1 晶体工业原料(1)——云母	(83)
--------------------------	--------

§6-2 晶体工业原料(2)——石棉	(95)
--------------------------	--------

§6-3 晶体工业原料(3)——冰洲石	(106)
---------------------------	---------

§6-4 宝石和工业原料	(112)
--------------------	---------

金刚石	(112)
-----------	---------

贵刚玉	(121)
-----------	---------

压电石英和光学石英	(123)
-----------------	---------

彩色石英晶体	(128)
--------------	---------

贵绿柱石	(129)
------------	---------

电气石	(132)
-----------	---------

贵尖晶石	(134)
------------	---------

§6-5 宝石原料	(134)
-----------------	---------

贵石榴子石	(134)
-------------	---------

金绿宝石	(136)
------------	---------

蓝柱石	(137)
-----------	---------

贵透辉石	(137)
贵铈辉石	(138)
黄玉	(138)
贵橄榄石	(139)
虹彩长石	(140)
天河石	(142)
制作首饰的其它矿物	(143)
第七章 应用物理性质的矿物集合体和非晶质物质	(146)
§7-1 矿物集合体和非晶质物质工业原料	(146)
石墨	(146)
刚玉	(153)
沸石	(154)
§7-2 矿物集合体和非晶质物质的工业和宝石原料	(157)
玛瑙	(157)
琥珀	(158)
孔雀石	(160)
§7-3 矿物集合体和非晶质物质的宝石原料	(162)
绿松石	(162)
贵蛋白石	(164)
绿玉髓	(165)
猫眼石、鹰眼石、虎眼石	(166)
石化木	(166)
赤铁矿血滴石	(167)
第三编 岩 石	
第八章 应用化学成分的岩石——石膏和硬石膏	(169)
第九章 应用物理性质和化学成分的岩石	(173)
§9-1 粘土岩	(173)
§9-2 碳酸盐岩	(182)
§9-3 硅质岩	(190)
§9-4 火成岩和变质岩	(193)
§9-5 碎屑岩	(195)
§9-6 砂岩、石英岩、脉石英	(201)
第十章 应用物理性质的岩石	(205)
§10-1 用作工业和宝石原料的岩石	(205)
矿物颜料	(205)
黑曜岩	(206)
碧玉	(207)
§10-2 用作宝石原料的岩石	(209)
硬玉岩(翡翠岩)	(209)
软玉	(211)

玫瑰石英	(212)
青金石岩	(212)
淡紫蓝宝石岩	(213)
煤玉	(214)
大理岩质缟玛瑙	(215)
蔷薇辉石岩	(215)
用作宝石原料的其它岩石	(217)

第四编 收藏宝石

结束语	(225)
-----------	---------

绪 论

在苏共二十七次代表大会上，把进一步加强和扩大国家的矿物原料基地，提高矿产勘探储量的采准效益和采准质量的任务提到了地质工作者面前，其中就包括提出要特别注意矿物肥料原料和建材生产原料的普查和勘探*。

属于非金属矿产的是那些不从其中提取金属，也不作为矿物燃料的矿物和岩石。

矿石非金属原料是在加工的过程中从中提取元素及其化合物，或者提取矿物（例如石棉、金刚石、硼、钾的矿石）的矿物集合体。属于非矿石非金属原料的有粘土、砾-砂混合物和其它工业用岩石。有一些岩石不是利用其全部，而是在加工过程中取其最有用的部分（例如建筑石料和饰面石料的岩块）。这种原料属于半矿石类型。

由于历史的原因，出现了这样一种情况：划归非金属原料类型的不仅有从中提取非金属（硫、铍、磷、砷等）的矿产，还有许多提取金属（钾、镁、钠等）的矿产。但是非金属矿产与金属矿产不同，这些元素不是用来制作合金，而只是作为元素（少量的）和各种化合物而利用。有一些原料类型（铈、钽、锂、铍等）既可属于金属矿产，也可属于非金属矿产。例如，在国外的分类系列中将铝土矿、钽、锂、铍、锆和钪的矿石划归非金属类型。A.E. 费尔斯曼认为铀、钍和稀有金属系列的矿石属非金属原料。

在苏联地质部的分类系统中，将非金属矿产划分为如下原料类型：矿物-化学原料（硫、硼、磷等）；矿物技术原料（石棉、滑石、石墨、沸石、长石、瓷土等）；建筑材料（陶土、水泥材料、砂、卵石、方英石-蛋白石岩等等）；宝石和压电光学原料（水晶、冰洲石、玛瑙、软玉、蔷薇辉石岩、硬玉岩等）。非金属原料类型系列还包括用于黑色冶金和有色冶金的原料（型砂、菱镁矿、耐火粘土等）。

A.E. 费尔斯曼拟订了按部门的非金属原料分类，以后他又使这个分类更加完善。该分类为：

1. 化学和化肥工业原料：钾、硼、磷、钡、铈、砷、苏打、溴碘水、明矾石、海绿石、石灰石、白云石、萤石、蓝铁矿凝灰岩混合物、惰性气体、空气的氮和氧等。
2. 陶瓷工业和玻璃工业原料以及制造矿物棉的原料：粘土、长石、瓷石、脉石英、霞石、滑石、叶蜡石、硅灰石、萤石、玻璃砂、石灰石、白云石、透辉石、玄武岩、黑曜岩、珍珠岩、硫酸钠、硼矿石、硅藻土、长英角岩、碱性高岭土、高岭土、贫铁透闪石、顽辉石、镁橄榄石等。
3. 用于合成晶体和合成矿物集合体的原料：萤石、脉石英、铝土矿、铍、铬、钽的矿石等。
4. 用于合金和熔合金属的原料：钡、铈、硼、磷的矿石等。
5. 熔剂：石灰岩、萤石、长石、霞石、硼的化合物、石英岩等。

* 苏联共产党第二十七次代表大会材料。莫斯科，政治出版社，1986。

6. 耐火材料：菱镁矿、水镁石、石墨、耐火粘土、红柱石、矽线石、蓝晶石、蓝线石、石英岩、纯橄橄榄岩、黄玉、苦闪橄橄榄岩、砂岩、白云石、橄橄榄岩、滑石岩、铝土矿、铬铁矿、石棉、锆和铍的矿石。
7. 铸造材料：砂、膨润土、苦闪橄橄榄岩、浅蛇纹石化的纯橄橄榄岩和橄橄榄岩。
8. 铸石材料：玄武岩、辉绿岩、辉长辉绿岩、角闪岩。
9. 耐酸材料：石英岩、角闪石石棉、滑石、酸性火山岩（石英斑岩、流纹岩等）。
10. 用于生产粘合物的材料：石灰岩、粘土、石膏、亚粘土、泥灰岩、菱镁矿、粗面凝灰岩和白榴凝灰岩、天然煅烧粘土、板状硅藻土、蛋白土、硅藻土、海绵硅质岩、放射虫岩、硅鞭藻、风化的辉绿岩、硬石膏、长石、铝土矿、铁矿石等。
11. 电绝缘材料：云母、石棉、硅灰石、滑石-绿泥石岩、大理岩、房顶板岩等。
12. 隔热、隔音材料：硅藻土、板状硅藻土、石棉、蛭石、珍珠岩、浮石、火山岩滓、贝壳石灰岩、生产矿物棉的原料（镁铁岩、白云石、泥灰岩、透辉石等）等。
13. 高吸附材料：膨润土、山软木粘土和海泡石粘土、沸石、碱性石棉、水蛇纹石、硅藻土、高岭石、脆性纤维蛇纹石石棉等。
14. 研磨材料：金刚石、刚玉、金刚砂、砂岩、砂、粉状石英、柎榴石、浮石、板状硅藻土、硅藻土、长石、硼的化合物、石英、十字石、黄玉等。
15. 加重剂：重晶石、铁矿石等。
16. 充填剂：高岭石、粘土、石灰石（包括白垩）、滑石、叶蜡石、云母、沸石、水镁石、石膏、石棉、泥质片岩等。
17. 填料和生产填料的材料：卵石、砂、尼戈泽尔岩（нигозерит）*、浮石、重晶石、火山岩滓、碳酸盐岩、火成岩和变质岩（花岗岩、片麻岩、辉长岩、闪长岩等）、硅藻土、板状硅藻土等。
18. 建筑材料：火成岩和变质岩、砂岩、石英岩、砂-卵石混合物、卵石层、碳酸盐岩、石膏和硬石膏、泥质片岩、滑石岩等。
19. 饰面石料：花岗岩、拉长石岩、大理岩质缟玛瑙（мраморный оникс）、蛇纹岩、大理岩、砂岩和石英岩、钙华、大理岩化石灰岩、全部碳酸盐岩、方沸粗玄岩、辉长岩、碧玉、房顶板岩等。
20. 宝石材料和技术材料：金刚石、祖母绿、琥珀、贵刚玉、尖晶石、透辉石、柎榴石、孔雀石、绿玉髓、绿松石、青金石岩、蔷薇辉石岩、软玉、硬玉岩、玛瑙、天河石、透石膏、硬石膏、碧玉、大理岩质缟玛瑙、石化木、贵橄橄榄石等。
21. 矿物颜料：含铁赭石和高锰铁质赭石、铬岭石、辰砂、重晶石、石墨、滑石、叶蜡石、硅灰石、天然碳黑、碳酸盐岩、蓝铜矿、海绿石等。
22. 用于原子工业和防止放射性射线及清除放射性废物的材料：硼、重晶石、铯和钠的矿石、石墨、沸石、蛇纹石、角闪石石棉、膨润土粘土等。
23. 用于无线电、电视技术、无线电电子学、计算机技术、全息照相、激光和微波激光生产以及半导体技术的材料：白云母、冰洲石、水晶、红宝石、祖母绿、贵尖晶石、硒、砷、硅的矿石等。

* 尼戈泽尔岩为黑色和暗灰色细粒含半石墨的岩石，其成分主要为斜长石-绿泥石或石英-斜长石-绿泥石。——译者注。

现在，如下的非金属矿床分类在很大程度上已自发地确定了下来：(1) 建筑材料（主要是岩石矿床）；(2) 工业矿物（云母、石棉等）；(3) 宝石原料（а. 宝石，б. 玉石，в. 收藏标本）。在建材矿床学科中独立分出了饰面石料这个新类型。此外，金属原料矿床习惯上称作矿石矿床（рудное месторождение），没有考虑工业矿物矿床（金刚石、石棉等）和非金属元素矿床（硼、磷等）也应当属于矿石矿床。

我们的意见，最恰当的是将所有的矿物原料类型，其中包括金属矿产和可燃性矿产，划分为三类：(1) 元素及其化合物；(2) 矿物；(3) 岩石。鉴于这一情况，在第一类非金属矿产中（提取元素及其化合物的原料）划分出两个族：(а) 化肥和化学原料（硫、磷、钾、氯、钠、氮等）；(б) 工业原料和化学原料（硼、硒、砷、锑、镁、惰性气体、氧）。第一类矿床的勘探和评价特点非常接近于金属矿床。

在第二类非金属矿产中（提取工业矿物的原料）划分为三个亚类：应用化学成分的矿物（长石、高铝矾土原料、菱镁矿）；应用物理性质和化学成分的矿物（滑石、叶蜡石、硅灰石、高岭石等）；应用物理性质的矿物。最后一个亚类的原料又细分为晶体、矿物集合体和非晶质物质。原料的晶体类型划分出三个族：(а) 工业原料（云母、石棉、冰洲石）；(б) 宝石工业原料（金刚石、贵刚玉、绿柱石、尖晶石、压电石英和光学石英、电气石等）；(в) 宝石原料（贵榴榴石、透辉石、锂辉石、金绿宝石、蓝柱石、黄玉等）。提供矿物集合体和非晶质物质的原料，同样细分为三个族：(а) 工业原料（石墨、刚玉、沸石）；(б) 工业-宝石原料（玛瑙、琥珀、孔雀石）；(в) 宝石原料（绿松石、贵蛋白石、绿玉髓等）。

在第三类非金属矿产中（工业岩石）同样划分为三个亚类：应用化学成分的岩石（石膏和硬石膏）；应用物理性质和化学成分的岩石（粘土岩、硅质岩、碳酸盐岩、火成岩、变质岩及其它岩石）；应用物理性质的岩石。最后一个亚类的岩石细分为三个族：(а) 工业-宝石原料（矿物颜料、黑曜岩、碧玉）；(б) 宝石原料（煤玉、硬玉、软玉等）；(в) 饰面材料（大理岩质缟玛瑙、蔷薇辉石岩、蛇纹岩等）。

有许多原料类型能同时属于不同的族，甚至属于不同的类（亚类）。例如，钾盐矿床既可看作是岩石——钾盐的来源，也可看作是元素的来源。

非金属矿床的形成条件十分多样，在这一方面，比起金属矿床来更为丰富多彩。许多矿床的成因类型对于非金属是特征的，金属矿床还不知有这些类型。例如，由于地下的煤着火而形成的“烧过的粘土”（天然煅烧粘土）的高热变质矿床。借助共生围岩迁出组分而形成的青石棉累积变质矿床。作为构造作用的结果，在超镁铁岩中形成纤维蛇纹石石棉矿床或石墨矿床。由于复杂的生物化学作用和在一定程度上接近于地表（“外生断裂”），由石膏和硬石膏形成硫矿床。许多矿床（菱镁矿、纤铁闪石石棉等）的成因一直不清楚，经常是激烈争论的对象。大型硝石矿床的成因至今还有许多尚难以确定。

由于许多矿床的成因还不够清楚，因此划分矿床工业类型比较合适的不是在成因的基础上，而是在建造的基础上。但是应当注意到，某种建造特征是与其成因有关的。Е. Е. 扎哈罗夫发展了С. С. 斯米尔诺夫和其他苏联的和外国的研究者的观点。据他的见解，矿床的化学成分和矿物成分（主要的有用矿物，它们的数量比例，伴生矿物，主要的杂质元素），矿物的共生组合，典型地质环境（围岩成分，近矿蚀变等），原料的工艺特点，矿床的结构-构造特点，还有矿化范围、矿体形态和矿化分布规律性等是建造的主要标志。

本教材采用的矿床成因分类（表1），考虑到了如下基本因素：①人在矿床形成中（它

表1 非金属矿床成因分类

类	亚 类	族	亚 族	种	原 料 类 型 及 矿 床 实 例
自 然 系 统					
内 生 系					
岩 浆 的	侵 入 的	外深成的	化学的(岩浆阶段的砂卡岩)		透辉石、硅灰石、顽辉石
			机 械 的		石墨(Ботокольское)
		内深成的	完全结晶的		纯橄榄岩、橄榄岩、花岗岩、辉长岩等岩石(Шкурлатовское); 金刚石(苏联)
				熔 离 的	硫、硒(Талнахское)
			分 异 的	早岩浆的	蓝宝石(柬埔寨的Bo-Keo), 铬(南非的Бушвельд)
				晚岩浆的	铂、钽
	喷 出 的	熔 岩 的	熔 岩 流	酸 性 岩	珍珠岩(Артеви), 黑曜岩(Араганское)
				超镁铁岩	硫(澳大利亚)
			岩 墙		珍珠岩(Паратунское)
			喷 溢 的	酸 性 岩	浮石(Ильинское)
		爆 炸 的		暗色火成岩	火山岩滓(Ключевское, Кармрашен—Мастаринское)
岩浆—后岩浆的	伟晶岩的	深度小的			压电石英、黄玉(苏联、巴西)
		中等深度的			长石、白云母、铍
	碳酸岩的	岩 浆 的			苦闪橄榄岩、霞石、金云母、重晶石、萤石、磷(Ковдорское)
		交 代 的			
后岩浆的	钠长岩—云英岩的	钠 长 岩			冰晶石、铍、锆
		云 英 岩			萤石、铍
	砂卡岩的	钙质砂卡岩			硼、石榴石、硅灰石、石墨、磷(苏联的Дальнегорское和Босагинское, 美国的 Уисборо和 Айрон-Маунтин, 加拿大的 Блек Дональд)
					硼(Тажное)
	砂卡岩—云英岩的				萤石、铍
	热 液 的	深 成 的			重晶石、硫、硒(苏联); 滑石(Светлоключское)
		火山成因的			硫、砷、硒、重晶石(Новое); 瓷石(苏联的Гусевское, 中国的南坑(译音); 冰洲石(苏联); 刚玉、红柱石(Семиз-Бугу); 膨润土粘土(Саригяхское); 高岭土(Береговское)

续表1

类	亚 类	族	亚 族	种	原料类型及矿床实例
变 质 的	非活动的	有限分异的	伟晶岩的		长石、白云母 (苏联卡累利阿-科拉成矿省)
		不分异的			石墨、蓝晶石、硅线石 (Петровское和Кейвское)
	活 动 的	热 液 的			重晶石 (极地乌拉尔)
		构造—热液的			萤石 (外贝加尔)
	有限活动的	分 异 的	构造—热液的	不 深 的	水晶(瑞士)、纤维蛇纹石石棉 (苏联的Баженовское和Молодежное)
			构造成因的	很 深 的	铬 (苏联Кимперсайская组)
		重结晶的		中深和很深的	石墨 (斯里兰卡Богала)
			构造—交代的	不 深 的	滑石 (Пугачевское)
				很 深 的	透辉石、金云母 (苏联阿尔丹组)
			体重量结晶的		青石棉和铁石棉 (南非)
后岩浆—变质的					水晶 (雅库梯自治共和国)
外 生 系					
大气盆地的					氧、氮、惰性气体 (大气圈)
	机械风化的				白云石粉、砂 (苏联的Окско-Цинская组)
外生岩石风化的		残 余 的	中等风化的		磷块岩、风化的烟煤 (Ашинское)
			强风化的		盐丘顶盖中的石膏和 硼 (Индерское) 沿含黄铁矿粘土发育的赭石 (捷克斯洛伐克的Горны Лукавиче)
	化学风化的	淋 滤 的	物质弱迁移的		硼 (Индерское)
			物质中等迁移的		贵蛋白石 (澳大利亚); 磷块岩 (美国Данеллон)
水盆地的	海洋水的				钾、镁、钠、氯 (红海、太平洋)
	泻 湖 的				钠、镁、锂的硫酸盐, 氯化钠
	河湖水的				
沉积矿床的	沉积物的	海 洋 的			粘土软泥和硅藻泥, 贝壳
		湖 泊 的			硅藻泥、粘土软泥和腐植泥, 盐鸟粪石
		地 表 的			
	沉积岩的	机 械 的	河流、湖泊、湖沼、海、冰川、冰碛、风成、坡积、洪积的		金刚石、刚玉、砂、粘土、卵石、卵石层等
		化 学 的	沉 积 的		石膏、氯化钠、石灰岩、白云岩
			成岩作用的		磷块岩、铍、钡

续表1

类	亚 类	族	亚 族	种	原料类型及矿床实例
		生物化学的	海、湖泊、沼泽的	原生矿层	泥炭、泥炭-蓝铁矿肥料(西伯利亚、白俄罗斯); 磷块岩(Каратауское); 白云岩(捷克Хоч Долomit); 黄铁矿(捷克Хвалетине); 硅藻土(Кисатибское); 板状硅藻土(Фокинское); 蛋白土(Алексеевское); 海绵岩(Рава-Русское)
				再沉积矿层	磷块岩(美国Броун-Велли建造)
地下水和油气的	地下水的				钾、镁、溴、碘
	渗 流 的	溶液沉积的	地 表 的		石灰粘土混合物(苏联Пермская组)
			沿地表的		硝石
		生 物 的	沿地表的		洞穴磷块岩
			近地表的		硫(Язовское)
	油 气 的	天然气的			硫、氮(Астраханское)
		石 油 的			硫
宇宙撞击的					伏尔塔瓦玻璃石、Лансделит
高热变质的					天然煅烧粘土
外 生 — 内 生 系					
内生富集 表生风化的	机 械 的	砂 矿 的	残积、坡积		金刚石、水晶、宝石(巴西、刚果)
			洪 积 的		
			崩 积 的		青金石
	化 学 的	无重要物质分异			蛭石(苏联Ковдорское, 美国Ли-бби); 石墨(马达加斯加的Тама-ровинци); 风化辉绿岩
		有重要物质分异	残 留 的		高岭土(Просьяновское); 多水高岭石粘土(捷克 Михаловец); 铝土矿、磷(法国Соклин)
			渗 滤 的		菱镁矿(波兰Забковец)
内生岩石风 化壳再沉积的	近源再沉积的				次生高岭土(Пологское); 多水高岭石粘土(捷克 Михаловец); 长石(捷克 Хламки); 菱镁矿(古巴 Роденсон); 赭石(Малкинское)
	远源再沉积的				山软木粘土和膨润土粘土(Черкасское)
受变质矿床的	形态稳定的				磷块岩(越南Мау-Рок)
	变 形 的				石墨(Ногинское); 刚玉(Чай-нитское); 金刚砂(苏联Приирт-яшская组)

续表1

类	亚 类	族	亚 族	种	原 料 类 型 及 矿 床 类 型
火山沉积的	单阶段的	地表火山碎屑			火山凝灰岩、浮石
		湖相火山的	火山口湖的		硫、天然碱和其它苏打矿物
			近火山湖泊的	湖泊卤水	硼、钾、锂
				湖泊沉积物	硼、苏打矿物（美国Крамер）
	海相火山的			重晶石、黄铁矿	
	多阶段的	具机械再沉积阶段			浮石
		具化学再沉积阶段			膨润土粘土（苏联Огланлинское, 美国布罗肯希尔）;沸石(Айдагское)
	人 类 活 动 系 统				
天 然 系					
机 械 的 （物理的）	废石堆的				石棉
	尾矿的				重晶石
	燃烧残留的				冶金炉渣、热电站烟灰
化 学 的					
生物化学的					
目 的 系					
机 械 的 （物理的）	燃烧残留的				
	爆 炸 的				
化 学 的					
物理化学的					
生物化学的					
自 然 — 人 类 活 动 系 统					

既是人类活动的对象，又是自然对象的作用；②在整个作用（外生的、内生的）中的特点；③形成矿床的介质特点（空气介质、地下水介质、水介质、熔融体）；④在形成矿床时有益组分的迁移程度；⑤岩浆过程的作用及其特征；⑥构造过程的作用；⑦物理-化学条件；⑧在成岩作用和变质作用过程中矿质的演化程度；⑨物质的分异和累积特点；⑩复生过程的作用。

第一编 元素及其化合物

第一章 化肥原料和化学原料

§1-1 硫

一、概况

根据A.Π.维诺格拉多夫的资料,在地壳的岩石中硫的分布情况如下:超镁铁岩 1%,镁铁岩 3%,中性岩 2%,酸性岩 4%,沉积岩 30%,硫的克拉克值 4.7%。自然硫由四种同位素—— ^{32}S 、 ^{33}S 、 ^{34}S 和 ^{36}S ——的混合物所组成。同位素 ^{32}S 和 ^{34}S 分布最广。 ^{34}S 对于原生岩浆产物较为特征,而 ^{32}S 则对于沉积的有机成因产物较特征。显然, $\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S}$ 这样一个转变循环导致 ^{34}S 同位素的贫化。

硫经常与硒、砷、亲铜元素共生,也和锶、钙、钡共生,有时与碲和铊共生。

如下的一些硫矿物具有工业意义:自然硫(S),其中包括 α -硫(斜方硫)、 β -硫(单斜硫)和 μ -硫(非晶质硫);铁的硫化物——黄铁矿和白铁矿(FeS_2),磁黄铁矿($\text{Fe}_{1-x}\text{S}_2$);有色金属的硫化物——黄铜矿(CuFeS_2)、方铅矿(PbS)、闪锌矿(ZnS)、斑铜矿(Cu_5FeS_4)以及其它矿物;硫酸盐——石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、硬石膏(CaSO_4)、明矾石($\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$)。

可燃性天然气的硫化氢是硫的巨大来源。硫还可以从硫化石油、各种油页岩以及地下水的硫化氢中提取。

α -硫在95—96.6℃以下稳定,随后转变为 β -硫,最后在114℃—119℃时熔化。在自然界中,胶硫矿是 μ -硫的代表。这种矿物形成于热泉及火山作用带中,呈现为乳渣状的物质。天然的 μ -硫是非晶质硫和结晶硫的混合物。非晶质硫可比较快地转变为 α -硫。

自然硫是电和热的不良导体。摩擦时带负电。硫的深色调与沥青的存在有关。硫容易燃烧,并在燃烧时产生硫化氢和硫硬石膏。可以见到Se含量较高(达5.2%)的硫——硒硫。 α -硫易溶于二硫化碳、苯、苛性碱、三氯甲烷中。

二、原料类型

硫的原料类型划分如下:(1)自然硫;(2)硫化物(黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿等等);(3)可燃性天然气的硫化氢;(4)硫化石油;(5)沥青砂岩;(6)焦炭化学生产产生的气体;(7)冶金产生的气体;(8)硫酸盐的硫(石膏、硬石膏、明矾石);(9)含油页岩;(10)地下水的硫化氢;(11)火力发电站排放的气体。

自然硫矿石划分为富矿(S含量大于25%),中等矿(10—25%)及贫矿(5—10%)。

根据自然硫矿石中脉石矿物成分,可划分出:石灰岩矿石(硫-方解石矿石、白云岩矿石、泥质矿石、泥灰质矿石、石膏质矿石、砂岩硫矿石,硫蛋白石岩、硫石英岩、硫明矾石石英岩、硫高岭石石英岩、细脉浸染硫高岭石矿石和松散的升华交代矿石、硫软泥,还有泉华矿石、泉华集块岩矿石、砾岩矿石、明矾石化硫矿石以及其它类型的不同矿石。

石灰岩矿石对于前喀尔巴阡山含硫成矿省是特征的。矿石中90—92%由方解石和硫所组成。硫的平均含量为25%。根据А.Г.Трухачева的资料,前喀尔巴阡山石灰岩矿石可以划分出浸染、巢状、细脉、巢状-浸染、巢状-细脉、巢状-细脉浸染和角砾状等不同结构的矿石。矿石中的硫既有隐晶质的,也有显晶质的。显晶质硫中可以划分出细晶(颗粒直径从0.001—0.1mm)、中晶和粗晶的硫矿物。中晶硫和粗晶硫(颗粒直径0.1—15mm以至更大)一般形成矿物集合体和晶簇(在晶洞中)。

隐晶硫(颗粒直径小于0.01mm)形成矿巢和浸染体,它们由含有细粒方解石、泥质物质及沥青混入物的硫所组成。显晶硫的形成晚于隐晶硫。

白云岩矿石比起石灰岩矿石较少见到。在伏尔加河流域的一些矿床中有这类矿石。硫在矿石中的含量变化在百分之几到十二间。与在石灰岩矿石中一样,孔洞被方解石和硫所充填。硫常被沥青染上色彩,矿石经常具有带状结构。

泥质矿石的发育相当局限,且为贫矿石(含硫5—10%)。硫形成细脉,也有呈带状的。

泥灰岩矿石与石灰岩矿石相近,但矿石中硫的含量较低。

石膏矿石可以在伏尔加河流域和前喀尔巴阡山见到。矿石属于贫矿那一类。硫主要呈石膏中的一些细脉产出,也有呈和碳酸盐共生的包裹体。

砂岩矿石形成浸染体、透镜状堆积和细脉,也常作为砂岩的胶结物。

上述矿石是典型硫的原生矿石,它们与石膏-硬石膏层有关。经氧化后的矿石呈团粒结构的和多孔状结构的集合体。硫的含量相当低(1—10%)。氧化的石灰岩矿石由细粒方解石、粘土物质,还有石英、云母、明矾石、石膏、长石及其它矿物的碎屑所组成。

硫蛋白石岩的硫含量为20—80%。硫赋存于细小的与蛋白石的联晶中,其颗粒直径小于0.001mm。在硫石英岩中硫含量达80%。二氧化硅主要为石英和蛋白石方石英。在硫明矾石中硫含量一般为18—25%。硫形成细小的细脉,也有与石英、明矾石紧密连生的。硫高岭石石英岩相对较少,硫含量变化在百分之几到十五之间,很少有更高的。除了硫和高岭石以外,还有石英、蛋白石、明矾石及铁的硫化物。

细脉浸染硫高岭石矿石发育在高岭土化的岩石中,其分布相当广。硫含量变化在百分之几至十之间。

松散的升华交代矿石(“散砂”)成分变化很大,硫的含量从8%至80%。矿石发育较广,但其聚集的量并不大。

现代火山口湖的硫软泥含有水滴状的、球粒的、半球粒的硫颗粒,还有一些形状不规则碎屑和硫的双锥状晶体。除了自然硫,在软泥中还有火山玻璃(中性或酸性成分)、多水高岭石、高岭石、明矾石、石膏、铁的硫化物(胶黄铁矿、白铁矿)和数量不多的有机质。硫含量在较宽的区间内变化(25—60%)。软泥的湿度达50%,具细层结构。致密的(成岩的)硫软泥含35—50%的硫。此外还有蛋白石、明矾石、石膏、高岭石、白铁矿、黄铁矿和重晶石。

泉华矿石一般含硫80—90%。可见到作为混入物的蛋白石。泉华集块岩矿石,硫作为胶

结碎屑的物质。矿石中含硫40—60%。在升华沉积物中硫的含量为85—98%，而硫流中硫含量达95%，在集块状矿石中硫的含量减少。

在硫化物硫矿石中划分出硫黄铁矿类矿石（含硫矿物——黄铁矿、磁黄铁矿、白铁矿）和有色金属（铜、多金属等）的含硫矿石。

属于硫化物矿石的既有块状、浸染状、斑点状等矿石，这些矿石常含石英、绿泥石、绢云母、重晶石和碳酸盐，还有含黄铁矿的烟煤、褐煤、砂岩和泥质页岩。在硫化物矿石中硫经常是顺便利用的组分。

在许多情况下可燃性天然气中 H_2S 的含量较高。例如，在加拿大的一些矿床中， H_2S 含量占可燃性气体体积的1—33%，有时竟达87%。在法因（Лак矿床）， H_2S 含量达16.3%。在一些国家已发现有硫化石油，这类石油硫的含量一般为1.3—5.4%。

石膏、硬石膏、明矾石、硫镁矾、白钠镁矾、无水芒硝、芒硝以及其它矿物可看作是潜在的硫来源。

自然硫矿床既可用露天的方法开采，也可用地下方法开采。地下开采时，沿着钻孔将过热水（150—160℃）在压力作用下压入硫矿层，高压过热水翻腾并熔解矿层中的硫，在熔融的状态下将其抽到地表。

三、应用

硫主要用于制造硫酸（“化学工业的食粮”）。在生产矿物肥料、人造纤维、制酸、塑料、水法冶金及其它生产中硫酸得到广泛的应用。硫及其化合物应用于造纸、橡胶、化学制药工业部门，应用于生产炸药、火柴及许多合成原料，还用于淀粉、糖浆、糖、酒、果汁糖浆等的脱色。

在农业上，硫是杀虫剂的成分，也用于家畜的治疗。硫的化合物在石油工业中，用以生产超高压仪器润滑剂，制取抗震剂，生产装饰剂。在油漆和颜料工业中，用以生产萤光粉，还用于制造焰火，以及生产硫沥青、混凝土及硫的被覆材料等。

国民对硫及其化合物的平均需求量是国家经济发展最重要的指标之一。对许多生产部门来说，砷、硒和沥青是硫中的有害杂质。

四、原料质量要求

硫的品级与产品中硫的含量是相应的。例如，在9995品级中硫的含量不低于99.95%。苏联国家标准局规定了如下自然硫品级——9995、9990、9950、9920；以及气体硫品级——9998、9985、9900（见表1-1）。

商品硫有六种类型：成块的、成粒的、成粉的、成鳞片的、灌铸的和液态的。

五、经济信息

自然硫和含硫化氢可燃性气体矿床的分布极端不均匀；硫化物和硫酸盐矿床的分布较为均匀。按硫矿床的储量，可将矿床规模划分如下（以百万吨为单位）：自然硫——极大型（大于50），大型（10—50），中型（1—10），小型（小于1）；含黄铁矿矿床——大型（大于5），中型（0.7—5），小型（小于0.7）。

根据美国矿业局的资料，1983年世界硫开采量约5000万吨。其中地下熔化的硫980万吨，自然硫270万吨，黄铁矿硫990万吨，来自冶金工业生产的硫700万吨，来自可燃性气体的硫

表1-1 工业对硫原料质量的要求(杂质元素限量%)

品级	溶胶	As	Fe	Mn	Cu	Se
自 然 硫						
9995	0.03	0	0.02	0.001	0.001	0
9990	0.05	0	0.02	0.001	0.001	0
9950	0.2	0	0.02	0.001	0.001	0
9920	0.4	0.003	—	—	—	0.04
气 体 硫						
9998	0.02	0	—	—	—	—
9985	0.1	0.01	—	—	—	—
9900	0.4	0.05	—	—	—	—

表中“—”为未作规定,以下各表同。

表1-2 发达资本主义国家1983年硫开采量(单位:百万吨)

国 家	总 共	其 中 包 括				
		地下熔融硫	冶金硫	天然气硫	石油硫	黄铁矿硫
美 国	9.2	3.2	0.8	2.4	2.6	—
加 拿 大	6.6	—	0.8	5.3	0.2	<0.01
日 本	2.6	—	1.3	—	1.1	0.2
法 国	2.1	—	—	1.7	0.3	—
墨 西 哥	1.6	1.1	0.1	0.4		—
联邦德国①	1.5	—	0.7	?	0.2	0.2
西班牙	1.2	—	0.1	—	0.01	1
南 非	0.6	—	0.1	—	0.03	0.5

① 1990年10月3日 联邦德国和民主德国统一为德国,下同。

1150万吨,来自石油、天然气的硫(来源未分)160万吨(见表1-2)。

1980年世界硫酸生产量为1.15亿吨单水化合物:美国3920万吨,日本680万吨,法国490万吨,联邦德国480万吨,英国340万吨,意大利和加拿大300万吨,西班牙290万吨,南非260万吨,墨西哥240万吨,印度和比利时230万吨,巴西和澳大利亚220万吨,荷兰180万吨,捷克斯洛伐克130万吨,南斯拉夫120万吨,民主德国100万吨,保加利亚90万吨。1980年国民平均的硫酸生产量为(单位公斤):美国176,保加利亚97,法国92,捷克斯洛伐克84,波兰83,联邦德国80,罗马尼亚79,英国61,日本58,匈牙利57,民主德国57,南斯拉夫53,意大利53。

1980年美国硫价格为120—160美元/吨。

六、矿床形成条件

硫矿床,包括综合的含硫金属矿床和硫酸盐矿床,是在不同条件下形成的。对于硫化物矿床,岩浆建造和热液建造具有较大意义,碳酸盐建造、矽卡岩建造和沉积岩建造意义较小。而硫酸盐矿层主要与干旱气候的沉积物有关,还与盐丘顶盖、碳酸岩以及其它类型有关。

硫化物硫建造和硫酸盐硫建造已在金属矿床工业类型课程中予以探讨。石油、天然气硫的形成条件,还有烟煤硫的形成条件,属于可燃性矿产理论范畴。

本教科书主要探讨的是自然硫的形成条件。最近已经查明在火山活动时硫对岩石酸性变化所起的重要作用。与形成硫的火山矿床有关的射气元素主要气态组分有硫化氢和游离硫（Г.М.Власов, О.Г.Борисов等）。陨石硫的同位素成分与火山成因硫化氢的同位素成分相似，这证明了硫是深源的。Г.М.Власов和О.Г.Борисов指出，所有自然硫矿床成因的总特点是硫在还原条件介质和氧化条件介质的界面上沉淀，这也是火山矿床的本质。地表水作为含硫化氢上升火山射气的氧化剂。

产生升华硫积聚是由于硫质喷气作用。橙色硫和棕色硫的形成温度要比黄色硫高（随着硫含量的提高）。泉华硫从酸性硫酸盐热泉和相对较冷的硫酸盐硫化氢泉沉积出。泉华硫的形成与温度接近100℃的喷气泉的活动有关。В.В.Иванов认为，这时对硫化氢氧化并形成硫起很大作用的不单是生物作用（В.В.Иванов），还有化学氧化（М.В.Иванов）。在形成泉华矿床的第一阶段产生非晶质硫，非晶质硫结晶较快。

在研究火山机构中的自然硫矿床时，应当考虑到硫有一系列不同氧化程度的离子： $S^{2-} \rightarrow [S_2]^{2-} \rightarrow S^0 \rightarrow S^{4+} \rightarrow S^{6+}$ 。大约在400℃时硫化氢按反应方程式 $H_2S = 2H^+ + S^{2-}$ 发生分解。看来，早期溶液的pH值接近于7，为氯化物-碱性成分（О.Г.Борисов）。随后溶液上升，进入离地表500—250m的近地表裂隙带内，温度为350—250℃。据Х.Мукаям, Е.Д.Петраченко等人的资料，此时溶液沸腾并伴有气相（ H_2O 、 H_2S 、 CO_2 等）分离，pH值提高到8—9。这些作用造成了岩石的背盘岩化和（沿剖面上部）蒙脱石化。蒙脱石化岩石分布在硫矿层的底板。硫矿层的形成既以交代方式，又以矿染作用（充填空洞）实现。硫的强烈氧化导致出现硫酸盐明矾石（在pH=5—3时），然后在剖面较高的地方出现含有自然硫的蛋白石岩和石英岩（pH=1—3），更接近地表则形成没有硫的石英岩和蛋白石岩。

因此，自然硫的火山矿床有垂直分带性，特征的分带自上至下为：①单一的石英岩和蛋白石岩；②含硫的石英岩和蛋白石岩；③明矾石石英岩；④高岭石化火山岩；⑤蒙脱石化火山岩；⑥青盘岩；⑦原生火山岩。大部分自然硫赋存在第二带。在第三带有较少硫充填。在第四带硫主要为铁的硫化物。

由于湖底的硫质喷气活动，在具有强矿化水的热火山口湖中形成硫工业矿层。含硫气体的温度一般为100—120℃，其成分包括水蒸气、 CO_2 、 H_2S 、 SO_2 和HCl。硫形成深度从几米到30米，很少有更深。有一部分硫产生于近岸喷气孔，然后由风带到湖中。在硫软泥中不仅存在 α -硫，还有 μ -硫。当然，火山口湖活动时间并不长久（50—100年）。只有由相邻的火山或火山口所提供的火山碎屑物质将矿层埋藏起来时，所形成的硫矿层才得以保存。

由矿染-交代或者火山湖所形成的矿层，在火山活动活化时能够熔化而形成硫流（火山口硫熔融体）。

自然硫矿床还能在含石膏、硬石膏的沉积岩层中形成。这时有硫的层位恰与硫酸盐岩石和碳酸盐岩石的接触带相吻合。早在1863年，Г.皮肖夫（Г.Бишоф）就提出自然硫借助于有机碳由硫酸盐形成的假说。这个假说由В.И.维尔纳茨基，А.С.Уклонский以及其它一些研究者的著作加以发展和论证。他们确定了在沉积岩层中的硫矿床与含油地区有着紧密的成因联系。最早的一些研究者（Г.皮肖夫，Р.Гуалтери等人）认为，石膏与碳氢化物的直接化学反应是可能的。晚些时候，Х.Гофман, В.Мостович和А.С.Уклонский等人指出，在正常的条件下，这个过程是不可能的。同时，温度不高并有细菌参与的情况下，硫化氢和方解石能转变为石膏（М.В.Иванов, А.С.Соколов, Н.П.Юшкин等）。

矿床赋存在正地质构造（背斜、穹窿等）和断裂破坏区〔Г.И.Теодорович, А.А.Ко-