

中等专业学校教学用书

非金屬矿物选矿学

上册

M·A·爱格列斯著



地质工业出版社

72.3
55.2
12

中等专业学校教学用书



非金屬矿物选矿学

上册

M · A · 爱格列斯著

中南矿冶学院选矿教研组译

中国工业出版社

书中論述了非金屬有用矿物选矿的各种方法、設備和流程，并詳細介紹了非金屬有用矿物选矿的實踐。

本书經苏联建筑材料工业部教育司批准作为矿业中等技术学校选矿专业的教科书。本书亦可供矿冶高等学校作为教学参考书，供矿冶及建筑材料工业部門的工程技术人员参考。

中譯本分上下两册出版，上册包括第一篇和第二篇（由第一章至第十七章），下册包括第三篇和第四篇（由第十八章至第二十八章）。

本书上册由中南矿冶学院选矿教研组集体譯校，参加翻譯的有：張洪恩、李云龙、周忠尚、孙仲元、于洪文、張国祥等同志。

М.А.Эйгелес
ОБОГАЩЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ
МОСКВА-1952

* * *

非金屬矿物选矿学
上 册

中南矿冶学院选矿教研组譯

*

中国工业出版社出版（北京辟陽路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可證出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行，各地新华书店經售

*

开本850×1168¹/₃₂·印張11¹/₈·字数286,000

1961年10月北京第一版，1961年10月北京第一次印刷

印数001—540，定价(9-4)1.25元

統一书号：15165·990(理工-200)

目 录

前 言	1
緒 論	2
§ 1 矿物原料及其应用和分类	2
§ 2 对非金属矿物原料的技术要求	5
§ 3 非金属有用矿物选矿的实质和目的	6
§ 4 有用矿物初步加工过程的分类	9
§ 5 矿物的物理性质和选矿方法	10
§ 6 主要术语	11
§ 7 选矿厂和选矿流程	12
§ 8 苏联非金属矿物选矿的发展史	14

第一篇 有用矿物的破碎和磨碎

第一章 破碎和磨碎	21
§ 9 概論	21
§ 10 破碎的物理原理	25
§ 11 破碎与矿石和岩石的力学性能	27
§ 12 破碎和磨碎方法	29
第二章 破碎和磨碎机械	33
§ 13 概論	33
§ 14 顎式破碎机	33
§ 15 圓錐破碎机	41
§ 16 对輥破碎机	46
§ 17 冲击式破碎机和磨碎机	53
第三章 磨矿机	68
§ 18 圓筒型磨矿机 (球磨機)	68
§ 19 胶体磨	89
§ 20 碾碎机和盘磨機	90
§ 21 环式磨矿机	93

§ 22 特殊破碎机器	97
第四章 筛分和筛子	99
§ 23 定义	99
§ 24 筛棒、筛板和筛网	101
§ 25 筛分的规律性	105
§ 26 作为测定不规则形状颗粒尺寸的 基本方法的筛分分析	107
§ 27 工业筛分	112
§ 28 棒条筛	115
§ 29 平面摇动筛和振动筛	116
§ 30 圆筒筛	127
§ 31 作为选矿作业的筛分	130
第五章 水力分级和风力分级	133
§ 32 物体在重力作用下沉降的规律	133
§ 33 水力分级原理	139
§ 34 水力分级设备	145
§ 35 风力分级过程与设备	161
第六章 破碎和磨碎流程	170
§ 36 概论	170
§ 37 粗碎和中碎	171
§ 38 磨矿流程	173

第二篇 有用矿物的选矿

第七章 选矿方法和选矿指标	179
§ 39 各种选矿方法的应用	179
§ 40 选矿指标	181
第八章 洗矿和跳汰	183
§ 41 洗矿	183
§ 42 跳汰选矿原理	186
§ 43 跳汰机	194
§ 44 跳汰选矿	197
第九章 斜面水流选矿	200

§ 45 概論	200
§ 46 搖床	201
第十章 重悬浮液选矿	207
§ 47 概論	207
§ 48 重液和重悬浮液	208
§ 49 比重分析	210
§ 50 重悬浮液选矿	211
§ 51 重介質选矿設備	212
第十一章 磁力选矿和靜电选矿	214
§ 52 磁力选矿原理	214
§ 53 磁选机	217
§ 54 磁选流程和操作制度	224
§ 55 靜电选矿	225
第十二章 浮选的物理和物理化学原理	232
§ 56 概論	232
§ 57 浮选矿漿的組成和性質	236
§ 58 液体和固体的表面性質	237
§ 59 在矿物表面上及在水 气界面上的 吸附作用	241
§ 60 矿漿的稳定、凝聚和絮凝	244
§ 61 空气的弥散	246
§ 62 浮选时固体顆粒向气泡上粘附过程的物理原理	250
§ 63 矿粒向气泡粘着的速度	254
第十三章 浮选药剂	257
§ 64 概論	257
§ 65 浮选药剂的分类	258
§ 66 在浮选过程中油酸作为捕集剂的作用	264
§ 67 矿漿pH值对非金属矿物浮选的影响	267
§ 68 浮选药剂的技术性能	269
第十四章 浮选工艺总論	274
§ 69 矿物按可浮性的分类	274
§ 70 浮选前矿石中矿物的解离和磨矿細度的选择	275

§ 71 提高浮选过程选择性的方法	276
§ 72 浮选速度及其与矿粒大小的关系	278
§ 73 工业浮选流程	278
§ 74 硫化矿石的浮选	283
§ 75 非极性非金属矿物的浮选	286
§ 76 极性非金属矿物的浮选	288
§ 77 硅酸盐的浮选	291
§ 78 可溶性盐类的浮选	293
§ 79 浮选机	294
第十五章 其他选矿法	308
§ 80 手选	308
§ 81 加热选择性破碎(热裂)选矿法	311
§ 82 摩擦选矿法	314
§ 83 湿式螺旋选矿机选矿	317
§ 84 油脂选矿法	318
第十六章 选矿产品的浓缩与过滤	319
§ 85 概論	319
§ 86 浓缩	320
§ 87 过滤	322
第十七章 干燥与除尘	332
§ 88 干燥	332
§ 89 除尘	339

前 言

非金屬矿物选矿学是建筑材料工业部矿业中等技术学校选矿专业教学计划中的主要課程。

按照教学大綱的要求，凡屬非金屬有用矿物的选矿过程和选矿設備均在本書中加以叙述。

在闡述选矿过程的同时列举了許多实例，以巩固学生对各种有用矿物选矿过程的認識。

在編写本书的某些章节时，著者着重向学生介紹了苏联工业中积累的丰富經驗（尽管只是部分地介紹），同时还強調指出了苏联科学技术在建立和发展这个有用矿物机械加工部門及其科学原理方面的杰出之处。

著者用很大篇幅叙述了各种矿物原料的应用和对它們的技术要求。由于产品及对产品的要求是多种多样的，所以这些篇幅对学生研究非金屬矿物原料的选矿，是十分必要的。

苏联机械制造业的发展，使得能够用国产的选矿机械来装备所有企业。为此，本書列举了大量的苏联各工厂制造的設備資料。著者沒打算叙述非金屬矿物原料选矿用的所有机械設備的构造，本書只是对各种主要設備作了概述。

本書在叙述选矿厂的設備时，順便叙述了这些設備的技术操作規程和安全技术規程，这些都有助于学生更好地掌握这些設備。

本書第八、九、十六和十七章的主要部分系由技术科学碩士И·З·馬尔戈林（Марголин）編写，第十和十八章也由他参加編写。

第二十五和二十六章由技术科学碩士И·Д·費凱依什金（Финкельштейн）参与編写。

“不應該怀疑俄罗斯境内矿物的丰富，但应该用勤奋精神去运用必需的知識”。

M·B·罗蒙諾索夫

論地层。1759年。

緒 論

§1 矿物原料及其应用和分类

用于国民經济中的各种原料中，有用矿物起着重要的作用。矿物燃料是获得能量的主要源泉之一。各种各样的矿石給苏联国民經济提供了制造机器和其他制品所需要的金屬。化学工业主要基于非金屬矿物原料的加工而获得各种化学产品。建筑工业主要是大量利用非金屬矿物（石灰岩、砂岩、花崗岩、粘土、砂子以及由它們制成的各种材料）。社会主义农业，如果没有矿物肥料来补充土壤中被吸走的鉀、磷、氮等盐类，則其发展是不可想象的。

用于国民經济中的許多矿石和岩石，可根据其特征进行分类。

对有用矿物进行工艺分类的最适当的根据，不是它們的化学成分，而是其应用的方法，因为应用方法是由有用矿物的物理化学性质及机械性能以及經济要求等因素所决定的。

依此而提出的有用矿物工艺分类如下，此种分类方法在形式上与А·Е·菲尔斯曼(А·Е·Ферсман)院士所提出的稍有不同。

能源矿物

- 1) 煤(烟煤，褐煤，无烟煤)。
- 2) 石油。
- 3) 可燃性气体。
- 4) 可燃性頁岩。
- 5) 放射性元素。

金屬矿石与自然状态的金屬

6) 鉄矿。

7) 制合金的金屬矿石——錳、鉻、鈮、鎳、錫、鉍、鈷等。

8) 有色重金屬矿石——銅、鉛、鋅、錫。

9) 輕金屬矿石——鋁、鎂、鈹。

10) 稀有元素矿石——鈾、鈾、鈾、銻、碲、鉍、銻、銻等。

11) 貴重金屬矿石——金、鉑、銀。

非金屬有用矿物

12) 天然的建筑材料和人造建筑材料的原料(非金屬矿物)——花崗岩、黑花崗岩、斑岩、玄武岩、做屋面用的頁岩、砂岩、石灰岩、石英砂、粘土、石棉。

13) 胶凝建筑材料的原料——泥灰石、石灰石、粘土、菱鎂矿、石膏、瀝青。

14) 做肥料用的原料和化学原料——磷灰石、磷鈣土、鉀岩盐、花鹵石、硫磺、硫鉄矿、食盐、鋁土矿、含硼矿石、重晶石、螢石、石灰石、煤、石油、非可燃性气体。

15) 熔剂原料——石灰石、螢石。

16) 生产陶瓷、玻璃、耐火材料和耐酸材料的原料——粘土、高岭土、長石、偉晶花崗岩、紅柱石、水鋁石、石英、石英岩、菱鎂矿、白云石、滑石質菱鎂矿、石墨、安山岩等。

17) 工业用矿物原料：天然的磨料(磨光用的)——金剛石、剛玉、金剛砂、石榴石、石英砂、硅藻石；热絕緣及电絕緣材料——石棉、云母、硅藻土、大理石等；电工材料——石墨；工业用石材——瑪瑙、石印用的石头等。

18) 充填剂、矿物顏料和吸附剂——白堊、重晶石、滑石、高岭土、石墨、鉄質粘土、海綠石、膨潤土(皂土)、紅土、硅藻土等。

19) 宝石矿石——金剛石、絕緣宝石等。

根据上述分类，凡是不能从其中直接获得能量或金属的各种原料，均属于非金属有用矿物，例如铝土矿可用化学方法制成氧化铝（铝氧土），然后再加工成金属铝，根据这个特征看来，它属于非金属矿物原料。

随着矿物原料在工业上应用的发展，金属矿石与非金属矿物原料之间的区别逐渐消失。譬如，菱镁矿和水铝石一直是典型的非金属矿物原料，近来却当作制造金属的矿石。将水铝石在电炉中直接还原可以得到硅铝合金，而用不同的方法还原菱镁矿则可得金属镁。这样一来，这些典型的非金属矿物就获得了与金属矿石同样的用途。例如，铬铁矿和软锰矿应属于同时用作冶金原料和化工原料的矿物。因此，沿用至今的判别金属矿石和非金属矿石的基本标志：金属矿石用冶金方法处理，而非金属矿石则用化学的或机械的方法处理，在目前只能假定地作为矿物原料的特征。

同样，能源矿物与非金属矿物原料之间的界限也是假定的。煤（更突出的是石油）不仅可做为燃料，而且也是获得化学产品的原料，即化工原料。

大多数非金属有用矿物都具有多种多样的用途，因而分类的假定性就更大一些。譬如，石棉可以用作纺织原料、制造石棉水泥制品和隔热材料等。石灰岩可以用作天然的建筑石材与饰面石材，碎石以及石灰和水泥等胶凝材料的原料，也可作为获得化学产品——碳化钙、碳酸等的原料。

高岭土可用作纸和橡皮的充填剂，也可用作制造陶瓷及耐火制品的材料。金刚石是一种磨料，也常常当做宝石使用。

由于有用矿物在国民经济中得到综合利用，因此分类的假定性有所增加。许多矿石中除了主要成分以外，还含有极其贵重的夹杂物，它们的价值通常不低于主要成分的价值，在某些情况下甚至超过主要成分的价值。按照矿物原料在目前最大的用途将其划为某类别时，应该考虑到被处理有用矿物的全部成分的综合利用问题。

在不久以前就采用“非金属矿物”这一术语来表示非金属有

用矿物。实际上所謂非金屬矿物仅指不必从中提取出有用矿物而可以直接利用的这一类非金屬有用矿物。例如，天然的建筑材料以及建筑材料和胶凝材料的原料就是非金屬矿物。

§2 对非金屬矿物原料的技术要求

由于一种非金屬矿物原料有多种用途，故根据其用途的不同，相应地提出了各种不同的技术要求。

第一个主要要求是，矿物原料中有用成分的含量要足够。非金屬矿物原料中有用成分的品位标准，絕大部分是相当高的。对于被选的螢石、磷灰石、石墨、硫磺、紅柱石等的技术要求規定，商品原料中有用矿物的含量要在90~95%以上。

按照其他一些技术要求，有害雜質的含量也有所限制。极少量的有害雜質（有时仅含千分之几）就会使商品原料虽然在有用成分含量方面是合格的，但却不适宜用来制造重要的制品。譬如，在制玻璃的螢石原料中以及石英砂中，氧化鉄的含量不許超过0.1~0.2%；石墨中金屬鉄的含量要限制在万分之几以内。

此外，对于商品矿物原料的粒度也有一定的技术要求，这决定于它的用途。在某些情况下規定了商品原料的粒度上限和下限或者最适宜的粒級含量。对于熔剂、建筑石材及礫石、磨料等就有这样的要求。在其他情况下，仅規定了粒度上限或下限。許多种矿物充填剂，常常是磨細之后才使用，对它們仅規定了粒度的上限。

在許多情况下，技术要求中对商品矿物原料的含水量有一定的規定。有几种矿物原料，譬如，橡皮的充填剂，只許含有极少量的水分。

除了这些要求以外，对于非金屬矿物原料，还时常提出与其物理性質和物理化学性質有关的各种要求。譬如，充填剂和別种矿物原料常常应具有一定的顏色。耐火材料和其他陶瓷材料在高温下應該具有相当高的稳定性，而有时在高温下还应该具有足够的强度或較小的膨脹系数。对于許多材料也要求具有化学稳定性，

在酸、鹼溶液中具有很小的溶解度，化学惰性。

对于非金属矿物原料提出这样多的技术要求，是由于同一种非金属矿物原料常用于各个不同的工业部門。每个部門都根据加工方法和制成品的特殊需要，对原料提出自己的要求。

許多情况表明，技术条件仅仅适用于某一矿床的矿物原料。技术条件之所以有此限制乃是因为：人們不尽知道，为什么就是这种材料在實踐中最适用于某工业部門；或者是人們往往知道，只有某一矿床的原料具有所需的性能，这些性能沒有必要特別指出来。

对每种非金属矿物原料的技术要求在第四篇中加以說明。

§ 3 非金属有用矿物选矿的实質和目的

国民經济中所利用的有用矿物，在大多数情况下都需要預先加工。預先加工的目的，在于增加原料中~~有用成分的~~含量并改变其物理性質，以便能更有效地利用这种原料。

譬如，仅含石墨5~6%的鱗片状石墨矿石，如果不把其中的石墨含量增加到86~90%，就不能制造熔煉坩堝。如果石墨中含有大量雜質，則制成的坩堝将不能坚固耐久和多次熔煉。在高岭土中石英粒的含量占百分之几十，如果不預先将高岭土中石英粒的含量降至0.5~1.5%以下，則不能用它作为造紙的充填剂。如果不从煤中清除能够形成灰分的雜質，即或是数量不多，但对煉鉄用焦炭的質量也是不能令人滿意的。如果預先将滑石菱鎂矿或銅鋅矿石分选成各个成分，便能更合理地利用它們。純白堊、滑石或磷灰石在沒有預先磨碎以前就不能利用。含有大量微粒的石英砂不适宜用来配制質量好的混凝土。含有大量水分的白堊或高岭土不能用作橡皮的充填剂。

为了提高有用矿物的質量就要进行选矿。选矿是对固体有用矿物的机械加工作业的总称，其目的是为了获得一种或数种有用成分含量高或有害雜質含量低的产品。利用选矿方法，由于除去了不需要的或有害的雜質，而使矿石的組成得到改变。此时，

矿石中有用矿物本身的化学組成并没有变化。在这一点上，选矿同化学处理和冶金处理是有区别的，在进行化学处理和冶金处理时，有用矿物的化学組成发生变化。有时，在处理有用矿物时仅改变其物理性質——如粒度、水分等。矿石的組成不发生变化的加工作业称之为有用矿物的机械加工。

有时“选矿”这个术语所指的范围很广，也用来称呼所有使矿石按矿物組成分开或使其物理性質发生变化的过程（意即指手选和破碎等——譯者）。但是，更确切地说，这些过程应该叫做有用矿物的初步加工。

选矿是这样一些綜合过程的一部分，通过这些过程能从有用矿物中获得有利于国民經济的产品。

为了便于研究这些过程，可以将它們归納为若干个加工处理：

I. 矿物原料的冶金加工处理，例如，把铁矿石加工成金属制品：铁矿石的开采，将其进行机械加工或选矿以除去有害的或不需要的杂质；在高爐中熔煉，将矿石中的氧化鉄熔制成生鉄；将生鉄加工成为鋼，并补加必需的成分；制造金属制品（鑄造，压延，鍛造等）。

II. 矿物原料的化学加工处理，例如，泥灰石的采掘，机械加工，与其他成分混合；煅燒成熟料；磨碎熟料而制成水泥。

III. 矿物原料的机械加工处理，例如，大理石的采掘，进行机械加工并获得飾面石板 and 几种等級的建築盖板。

在許多情况下，如矿物不預先經选矿，一般說来实际上是不能利用的。例如，用含銅0.5~1%的矿石熔煉金属是不合适的，因此必須人为地（利用选矿方法）提高銅的含量，从矿石中获得較富的精矿。

然而，即使天然状态的矿物能够应用，往往还是将矿物进行合理的选矿，因为选矿能带来許多經济利益：

1. 降低运输費用，因为不必运输杂质。
2. 减少矿物原料进行化学处理或冶金处理时的費用，因为被

处理的（有用成分較富的）原料数量縮減，并且获得最終产品的工序也大大簡化。

3.除了主要成分以外，还可以利用其他有用矿物成分，它們是选矿过程中获得的另外的产品。

4.降低矿物原料的消耗定額和廢料（在冶金加工时是爐渣，在化学加工时是滤渣或矿泥）中的損失量，由于除去了一部分雜質而使廢料量减少。

5.由于除去了有害雜質而使产品质量得以提高。

略举数例如下：

1.遵照战后五年计划的法令，灰分超过10%的动力用煤全部要經過选別。

用于发电的一定等級的煤，經选別后其中的雜質含量（煤的灰分）从22%降到10%。假設煤的平均轉运里程为500公里，則一个年产一百万吨的矿井采出的煤經過选別，可节约一笔經費，其数值等于 $1,000,000 \times (0.22 - 0.10) \times 500 = 60,000$ 万吨公里的轉运費用。

同时，若煤的灰分减少1%，則煤的消耗定額就可以大約降低1.5%。

2.大量的螢石（ CaF_2 ）用来制造氟氢酸（ HF ）。制造氟氢酸时，由于生成氟化硅（ SiF_4 ）的副反应，則每含1%的 SiO_2 ，螢石的消耗定額就要大約增加2.5%。

例如，如果經选矿后螢石中石英（ SiO_2 ）的含量可从15%降到1.5%，則能使原料的消耗定額降低 $2.5 \times (15 - 1.5) = 33.75\%$ 。

3.含有大量石英砂的高岭土仅能作为低級的陶瓷原料。将高岭土原料进行选矿，一方面能获得高級高岭土，适用于生产高級耐火材料、細陶瓷、紙和橡皮；另一方面又能获得制造玻璃的石英砂。

4.在制造細陶瓷时，如果所用的長石中有含鉄的云母雜質，則会造成黃色的和帶黑斑（星点）的次品。若采用选矿所得的長

石时，則可获得白色的表面光洁的瓷器。

若用选矿方法处理矿石，則相当貧的矿石也能加以利用。这就大大地增加了許多工业部門的原料基地。由选择地开采富矿改为全面开采并随后进行选矿，这样就使采矿工作便于进行并使开采成本降低。經過选矿的矿物原料中 useful 成分含量保持不变，而限制有害杂质含量具有重要的意义，因为这样能簡化化学及冶金加工过程和降低成本。

在非金屬矿物原料工业中广泛地应用选矿方法比冶金工业稍微晚些。但是，最近几年来非金屬有用矿物选矿厂的数目增加，規模扩大，并且对更多的非金屬有用矿物进行了选矿处理。目前进行工业規模选矿的有：石棉矿、水泥原料、高岭土、陶質粘土、耐火粘土、長石及偉晶花崗岩、玻璃砂、石墨及硫磺矿、滑石及含滑石的石头、磷灰石、磷鈣土、螢石、重晶石、水鋁石矿、紅柱石矿、藍晶岩矿及剛玉矿、鉀盐及許多其他非金屬矿物原料。所有其他不必选矿的非金屬有用矿物，則經過机械加工以获得所需粒度和水分的有用矿物。

§ 4 有用矿物初步加工过程的分类

固体有用矿物的初步加工过程可以分成下列几类：

1. 破碎及磨碎。
2. 用切削方法进行的机械加工（鋸开、銑削、研磨、磨光等）。
3. 在篩板和篩網上按粒度分开。
4. 按顏色、光泽和形状分开。
5. 按照有用矿物在水和空气中，在重力作用下的运动速度分开。
6. 按照有用矿物在磁場和电場中的不同行为分开。
7. 按表面性質分开。
8. 将固体同液体和气体分离。
9. 固体混合。

10. 可塑性物料的成型及松散物料的制团。

这些过程用于从有用矿物中得到一种或几种成分和性质一定的产品，这些过程结合在一起，便构成了有用矿物的加工流程。

有用矿物选矿流程内的全部作业可以分为三大类，第一类作业是将矿块尺寸减小至一定的粒度，或者使矿石中各种矿物解离；另一类作业是使矿物分离，以便从矿石中除去无用的或有害的杂质。第三类作业，则是使最终产品具有所需水分、粒度等性质。据此，选矿的主要阶段是：

1. 破碎，磨碎和分级。
2. 选矿本身，即按矿粒性质的不同而将其分开。
3. 最终产品的处理。

§ 5 矿物的物理性质和选矿方法

为了将矿石中的各种矿物成分分开，可利用它们物理性质上的差别。有时候借助于对矿石的特殊处理而使这种差别增大。矿物的最常用的物理性质及选矿方法列于表1。

将物料按粒度分级以达到选矿的目的，是古时候早已采用过的选矿方法之一，这个方法完全是以难调节的矿物性质（矿石中夹杂物粒度；节理，风化）为基础的，并且在许多情况下效率是不高的。只有在必需利用廉价的选矿方法，或者没有可能采用更完善的方法时才应用这个方法。

手选在许多情况下用于块状滑石、石棉、石灰石、长石等的选矿和分类。这种选矿方法因难以机械化，故其应用受到限制。

重力选矿法是有用矿物初步加工最广泛应用的方法之一，同时也是最广泛应用于非金属有用矿物选矿（如石棉等）的一种方法。

磁力选矿法用于从矿石中选出导磁系数高的含铁矿物、黑钨矿及其他矿物。在选别非金属有用矿物时，磁选的基本任务是除去混杂在矿物原料中的含铁矿物。