

高等学校教学用书

选矿学

C. M. 雅修克維奇著

高等教育出版社

高等学校教学用书



选 矿 学

C. M. 雅修克維奇著
中南矿冶学院选矿系合译
东北工学院选矿教研组

高等教育出版社



本書系根据苏联國立黑色与有色冶金科技書籍出版社 (Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии) 出版的雅修克維奇 (С. М. Ясюкевич) 著“选礦学”(Обогащение руд) 1953 年版譯出。原書經苏联文化部高等教育署審定为礦冶高等学校教科書(选礦專業除外)。本書也可作为礦冶企業中工程技術人員实际工作的指南。

書中敘述了有用礦物精選过程的理論基礎,並描述採用重力选礦、浮选、电力选礦和一些特殊选礦方法时的实际操作法。描述了碎礦磨礦設備、分級設備、浮选設備和磁力选礦設備。对浮选剂的分类及其对礦石可浮选性的影响也作了研究。

参加本書翻譯工作的为中南礦冶学院选礦系和东北工学院选礦教研組各位教师。其中一至二十三章为中南礦冶学院选礦系胡为柏、李浴風、陈大阜、周忠尙、黃樞、鍾熹、許时、徐仲榆、刘永之、張國祥、高培枝、吳輔彬、鄧植生及重工業部設計司翻譯科孙強德、陶紹文等同志譯校,二十四至三十二章为东北工学院王逢尹、王增圖、李成村、李德春、周云、侯先俊、唐典、梁弘、孙玉波、罗蓓等同志所譯。

选 礦 学

C. M. 雅修克維奇著

中南礦冶学院选礦系,东北工学院选礦教研組合譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

書號 15010-115 開本 850×1168 1/32 印張 15 1/16 插頁 4 字數 388,000

一九五六年七月上海第一版

一九五六年七月上海第一次印刷

印數 1-6,500

定價(10) 羊 2.70

目 錄

序.....	9
--------	---

第一篇 總論

第一章 緒論.....	11
§ 1. 选礦的目的和任务.....	11
§ 2. 有用礦物精选方法.....	14
§ 3. 俄國科学家在發展有用礦物精选事業中的作用和意义.....	15
§ 4. 有用礦物精选流程.....	21
第二章 礦物的顆粒組成特性.....	26
§ 5. 篩分分析.....	26
§ 6. 标准篩制.....	29
§ 7. 篩分分析和沉降分析.....	32

第二篇 破碎和篩分

第三章 破碎过程的理論基礎.....	39
§ 8. 破碎和磨礦理論.....	39
§ 9. 破碎机分类.....	44
第四章 破碎机.....	46
§ 10. 顎式碎礦机.....	46
§ 11. 粗碎圓錐碎礦机.....	57
§ 12. 中碎和細碎圓錐碎礦机.....	66
§ 13. 对滾机.....	74
§ 14. 錘碎机.....	82
第五章 篩分(按粒度分級).....	84
§ 15. 篩分的理論基礎.....	84
§ 16. 篩子分类.....	87
§ 17. 格篩.....	88

§ 18.	平面搖動篩	90
§ 19.	平面振動篩	91
§ 20.	筒篩	97
第六章	破碎和篩分流程	99
§ 21.	流程	99
§ 22.	破碎車間的工作技術經濟指標。保安技術	101

第三篇 細磨

第七章	磨礦機	104
§ 23.	球磨機操作的理論基礎	104
§ 24.	磨礦機的种类	109
§ 25.	磨礦機的構造特点	113
§ 26.	磨礦機的生產率	115
§ 27.	碾磨機	118
第八章	細磨分級	123
§ 28.	機械分級機	123
§ 29.	干磨分級	129
第九章	磨礦和分級流程	131
§ 30.	開路和閉路細磨流程	131
§ 31.	技術經濟指標。細磨車間的保安技術	136

第四篇 重力選礦法

第十章	理論基礎	139
§ 32.	物體在介質中的沉落定律	139
§ 33.	等落粒。等落比。切喬特圖解	151
§ 34.	顆粒在介質中的干涉沉落	154
第十一章	水力分級	157
§ 35.	在流水中及在上昇水流中分級	157
§ 36.	水力分級機	160
第十二章	跳汰	170
§ 37.	跳汰理論基礎	170
§ 38.	跳汰機分類	176

§ 39. 固定篩跳汰机	178
§ 40. 鼓动跳汰机	186
§ 41. 可动篩跳汰机	188
§ 42. 跳汰机的操作条件与技術經濟指标	191
第十三章 重液和重浮懸液选礦	192
§ 43. 在重液中选分礦物	192
§ 44. 重浮懸液	195
§ 45. 重浮懸液选煤和选礦	201
第十四章 流膜选礦	204
§ 46. 理論基礎	204
§ 47. 搖床	208
§ 48. 流礦槽	214
§ 49. 洗煤槽	220
§ 50. 洗滌和冲擦。洗礦机	222
第十五章 風力(空气)选礦	226
§ 51. 風力分級机	226
§ 52. 風力跳汰机	229
§ 53. 風力搖床	231
第十六章 重力选礦流程	232
§ 54. 湿式重力选礦流程	232
§ 55. 沙礦选別流程	237
§ 56. 重浮懸液选礦流程	240
§ 57. 風选流程。技術經濟指标。保安技術。	243

第五篇 浮选法

第十七章 概論	246
§ 58. 浮选發展史	246
§ 59. 苏联浮选理論和实践的發展	253
第十八章 浮选过程的理論基礎	255
§ 60. 相界面	255
§ 61. 潤湿現象	259
§ 62. 礦粒在气泡上的附着	265

§ 63. 影响浮选过程的主要因素	276
第十九章 浮选剂	279
§ 64. 浮选剂的分类	279
§ 65. 起泡剂	280
§ 66. 捕集剂	281
§ 67. 抑制剂	288
§ 68. 活性剂	291
§ 69. 矿浆调整剂	293
第二十章 浮选机	294
§ 70. 浮选机的分类	294
§ 71. 机械搅拌式浮选机	297
§ 72. 气升式浮选机	304
§ 73. 特殊用途的浮选机	306
§ 74. 浮选机型式与大小的选择	308
§ 75. 调槽和矿浆分配器	311
§ 76. 给药机	313
第二十一章 浮选实例	314
§ 77. 浮选流程	314
§ 78. 自然元素的浮选	317
§ 79. 硫化矿(铜矿及多金属矿)的浮选	318
§ 80. 有色重金属氧化矿石的浮选	334
§ 81. 金矿浮选	337
§ 82. 稀有金属矿石浮选	339
§ 83. 非金属有用矿物的浮选	342
§ 84. 技术经济指标	344

第六篇 电力选矿法

第二十二章 电磁选矿法	346
§ 85. 理論基礎	346
§ 86. 磁选机分类	355
§ 87. 强磁性矿石用的磁选机	355
§ 88. 准备作业及磁化焙烧	364
§ 89. 强磁性矿石用磁选机	367

第二十三章 靜电选礦	373
§ 90. 理論基礎和机器	373

第七篇 有用礦物的其他选礦法

第二十四章 特殊选礦法	379
§ 91. 手选	379
§ 92. 裂碎法, 或热裂法	382
§ 93. 按照粒度, 形狀及硬度选礦法	833
§ 94. 摩擦选礦法	384
§ 95. 利用湿润性选礦法	388

第八篇 脫水

第二十五章 脫水位業	391
§ 96. 脫水作業的分类	391
第二十六章 濃縮	391
§ 97. 濃縮的理論基礎	391
§ 98. 濃縮机	397
第二十七章 過濾	401
§ 99. 過濾的理論基礎	401
§ 100. 过滤机	405
第二十八章 干燥	417
§ 101. 作業的理論基礎	417
§ 102. 干燥机	419
§ 103. 集塵	421
第二十九章 脫水流程	425
§ 104. 流程	425
§ 105. 輔助設備	426

第九篇 选礦厂工作的控制与組織

第三十章 选礦过程的控制	430
§ 106. 选礦厂控制与自动管理組織的任务	430

§ 107. 有用礦物物質組成的控制·····	431
§ 108. 礦石和選礦產品的取样·····	432
§ 109. 水分含量的控制·····	436
§ 110. 重量的控制·····	440
§ 111. 礦漿 pH 值的控制·····	442
§ 112. 選礦過程控制的其他形式·····	444
第三十一章 計算·····	445
§ 113. 金屬平衡·····	445
§ 114. 技術操作指標與技術經濟指標·····	448
第三十二章 選礦廠的建廠條件與工作組織·····	450
§ 115. 選礦廠廠址的選擇·····	450
§ 116. 尾礦堆積場的組織·····	451
§ 117. 選礦廠與礦山及冶煉廠之聯系·····	452
§ 118. 廠內運輸·····	453
§ 119. 礦倉業務·····	454
§ 120. 供水、供電與修理場·····	457
§ 121. 選礦廠各車間的構成形式·····	458
§ 122. 選礦業發展的遠景·····	462
參考書刊·····	464
中俄名詞對照表·····	474

序

这本“选礦学”与第一版不同之处，是敘述較為簡潔、名詞已經确定，同时主要根据苏联选礦科学与实践方面的成就对个别章節作了修改。

机械选礦領域的最新技術成就、各种現代优先浮选法和提高选礦过程技術經濟指标的更完善的选礦机器与器械的应用，使我們可以按照新的方式提出關於可开探和可加工的有用礦物的地質儲量問題。

苏联冶金工程师、地質学家、探礦工程师和从事於礦冶工業的經濟專家都应掌握關於有用礦物精选的理論和实践的基礎。因此，礦冶高等学校及工程經濟高等学校在这些專業的教學計劃中給“选礦学”这一課程以極大的注意。

本書系供选礦学一課作教科書之用，並且是按照教學大綱为高等学校冶金、經濟和金屬礦床开探等專業的学生編寫的。

C. M. 雅修克維奇

第一篇 总論

第一章 緒論

§ 1. 选礦的目的和任务

第十九次党代表大会关于苏联發展的第五个五年計劃的指示，提出進一步發展探礦工業的巨大任务。譬如，指示中規定：要应用新的生產力量來开探鉄礦，在第五个五年計劃中，把鉄礦开探量增加为第四个五年計劃的三倍，提高礦石中金屬的綜合採收率，改善煤的質量，以及在五年計劃中增加选煤量約到 2.7 倍。

苏联人民，在第十九次党代表大会決議的鼓舞下，为了創造共產主义的物質基礎，正在为爭取祖國生產力的進一步發展，为爭取經濟实力的增長和祖國無窮尽的財富的充分利用而奋斗。

現已开始發電的齐姆良海水力發電站和命名为列寧运河的伏尔加——頓运河，苏联人民創建的許多其他巨大發電站和灌溉水渠網的偉大工程，护田林帶等，所有这些都是我們現时代最偉大的建筑。

在世界技術發展的歷史上，从未有过規模如此偉大的建設，这些建設的完成，大大地發展了我國(苏联)社会主义工業和農業的动力装备。

在採用先進技術的基礎上，在用机械和自动化代替繁重劳动和改善劳动組織的基礎上，在提高工人文化技術水平的基礎上，國民經濟各部門的劳动生產率，都獲得了提高。工業和農業的發展，要求增加黑色金屬，有色金屬和稀有金屬的生產。

有用礦物精选，是極重要的一門技術科学。选礦科学的任务，是研

究將有用礦物按它的礦物組成分为貴重成分和脈石的規律性，也研究生產过程，总结生產过程，揭露和分析它們的規律性，还制訂管理生產过程的方法和新的更完善的生產方法，以及設備和藥剂等。

这門科学依据於力学、物理学、化学、物理化学和膠体化学、电工学、礦物学和地質学的現代成就。

有用礦物精选在技術上和实践上的任务，是要由加工原料中按其礦物成分尽可能將有用成分完全地並且綜合地选出來。

* * *

从礦体中採出來的礦石，通常是嵌佈着有价礦物的岩石。在选礦厂，先要把礦石破碎得很細，使它成为含有有用成分的松散礦物混合物及廢石。

原礦品位以后用 $\alpha\%$ 表示。例如，对含銅(Cu)1.5%的礦石，以 $\alpha_{Cu}\% = 1.5\%$ 表示。已破碎的礦石經過选別之后，即用机械按其礦物組成將之分离后，得到兩種產品：

(a) 精礦，其中大部分是有用成分；

(b) 尾礦，其中大部分是脈石。

精礦產量百分数以 γ_k 表示，而尾礦產量百分数以 γ_x 表示，因而進厂的原礦量为 $\gamma_k + \gamma_x = 100\%$ 。若礦石含有几种有用成分，例如，銅、鉛、鋅时，則以 $\alpha_{Cu}\%$ ， $\alpha_{Pb}\%$ 和 $\alpha_{Zn}\%$ 表示其品位。

精礦品位也用百分数表示，例如 $\beta_{Cu}\%$ ， $\beta_{Pb}\%$ 和 $\beta_{Zn}\%$ 。

有用礦物机械选礦，在大多数情況下都能完全而經濟地从天然原料中取得質量很高的精礦。

在歷屆五年計劃年代中，选礦在苏联有色冶金工業中具有特別重大的意义。开探的鉛、鋅、銅、鎳、鈷、鎬、錫、鎢、鉬、銻以及其他金屬，在新式的礦石技術加工流程中，於冶煉之前都要先行选別，然后將选出的合格精礦送去冶煉。

有用成分(金屬)採收率一向以 $\epsilon\%$ 表示，同时精礦中的金屬含量

以 $\frac{\alpha \cdot \varepsilon}{100}$ 公斤表示。另一方面，精礦中金屬含量亦可以 $\frac{\gamma \cdot \beta}{100}$ 公斤表示。而這兩個數值是相等的，因為它們都表示有用成分在精礦中的同一含量。在選礦中，各主要參數之間有如下關係：

$$\alpha \cdot \varepsilon = \gamma \cdot \beta. \quad (1)$$

冶煉前要对礦石進行選別，其在經濟上的優越性從處理品位低的礦石和成分複雜的礦石的例子就可以看出。例如，若銅礦中含銅 1% 礦物的黃銅礦 (CuFeS_2)，如不先行浮選則冶煉很不經濟。有用成分黃銅礦約佔原礦量 3%，97% 的大部分原礦則都是石英、長石、礬土、絹雲母等脈石。

火法冶金時，97% 的脈石全都要熔化，這就消耗極多的燃料，加在運輸時除 3% 的黃銅礦之外，還要从礦坑多運 97% 的脈石。所以運輸費用和加工費用都很大，因此，如不採用現代化的選礦方法，那末這一類礦床就被認為是沒有開採價值的。

現在含 1% Cu 的硫化銅礦可以很有把握地用來煉銅，但是礦石先要進行選別。實踐證明，經過選別後可以从這樣的礦石中得到品位不低於 20% Cu 的精礦而採收率不低於 95% Cu。

依照公式 (1) 進行計算，礦石的精礦產量百分數是：

$$\gamma_{\pi} = \frac{\varepsilon_{\text{Cu}} \cdot \alpha_{\text{Cu}}}{\beta_{\text{Cu}}} = \frac{95 \times 1}{20} = 4.75\%.$$

即每 100 噸礦石中只要運 4.75 噸銅精礦往冶煉廠，这样就大大降低了運輸費用。

經過選礦所得銅精礦，在冶煉時，金屬銅的採收率就會高些，因為降低了在冶煉時爐渣中的損失。

選礦比 系指原礦重量與所得精礦重量之比。這個比值表示選出 1 噸精礦，需要多少噸原礦，如用百分數表示，則為： $100 : \gamma_{\pi} = k_c$ 。

富礦比，系指精礦中有用成分含量百分數和原礦中有用成分含量百分數之比即 $\beta : \alpha = K_0$ 。

这个比值表示，精礦中有用成分的含量比在原礦中有用成分的含量增加了多少倍。

§ 2. 有用礦物精選方法

所謂選礦就是指以得出含有原礦中大部分有價成分的精礦為目的的一系列連續的作業。

將含有有價成分的礦物，由作為選礦廠廢棄物的脈石（尾礦）中分離出來，是依照該礦石的礦物性質採用適當的機械方法來進行的。

表 1 列出以礦物特性為根據的最通用的選礦方法。

表 1. 選 礦 法

礦 物 性 質	選 礦 方 法	最 常 用 的 例 子
顏色和光澤 硬度 粒度 顆粒形狀 摩擦係數 比重, 密度	手選 按硬度的選礦法 按粒度的選礦法 按形狀的選礦法 按摩擦的選礦法 重力選礦法	按外表特征(顏色和光澤)的選礦法 分級 篩分 按形狀的篩分 用斜面或螺旋分離器選別 (a) 洗礦; (б) 分級; (B) 粗粒跳汰和細粒跳汰; (r) 重液和重懸浮液選礦; (л) 搖床選礦; (e) 流礦槽選礦; (ж) 溜槽選礦; (3) 風力選礦。
電磁性質: 導磁係數	電磁選礦法	用直流和交流電的強磁性和弱磁性礦物的磁選
電性: 導電性和電容 礦物的化學性質和物理化學性質及浮選藥劑的性質	靜電選礦法 浮選法	靜電選礦 (a) 泡沫浮選; (б) 薄膜浮選; (B) 多油浮選; (r) 浮選重力法; (A) 固體表面浮選。

在選別有色金屬礦石時，浮選和重力選礦法具有特別重要的意義。但在分離鎢錳鐵礦和錫石時，也應用電磁選礦法。

浮選在有色冶金工業中，得到特別廣泛的發展。此法系利用磨細的礦石經過特殊藥劑處理後，有價礦物和脈石之間所發生的不同潤濕性。重金屬硫化物，經藥劑處理後，便向氣泡附着而形成泡沫精礦。

重力選礦法 是以礦石中有價礦物的比重不同為基礎的。此法對於選別含有鉑、金、錫、鎢和其他重礦物的礦石具有特殊成效，因為這些礦石的有價成分和脈石的比重差別很大。

電磁選礦法 當礦物具有高導磁系數時應注意這一方法。例如含磁鐵礦的鐵礦，可以有效地同無磁性的脈石如石英、石灰石、高嶺土等分離。電磁選礦法有效地用在鎢錳鐵礦與錫石的分離和其他某些有價礦物的選別上。

§ 3. 俄國科學家在發展有用礦物精選事業中的作用和意義

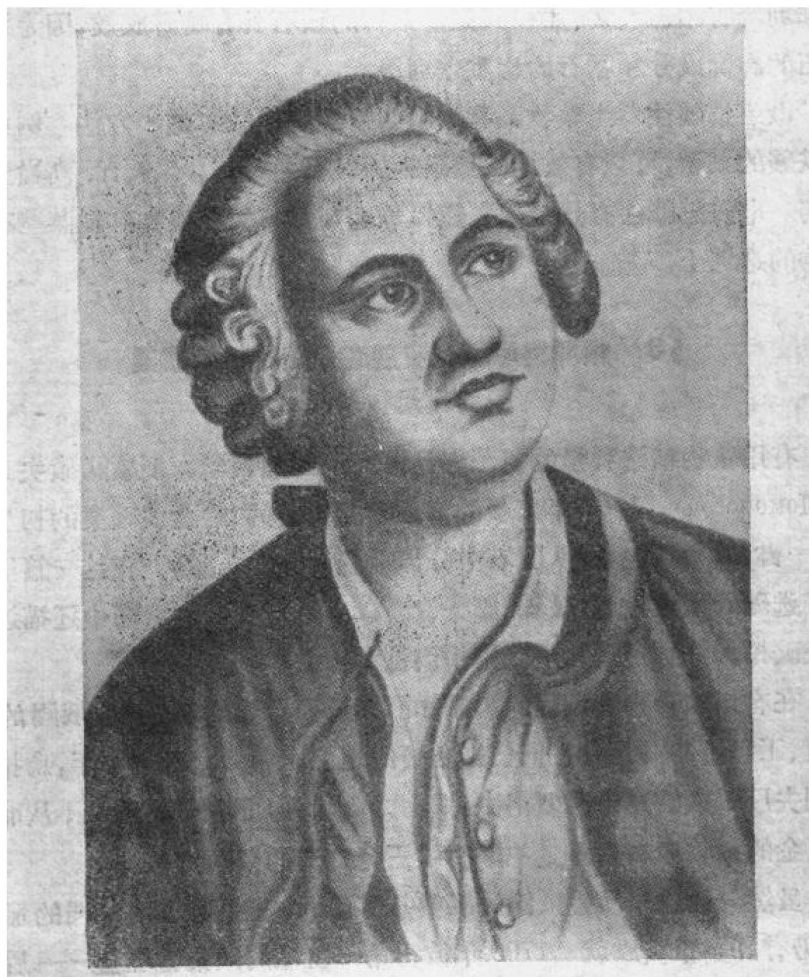
有用礦物精選科學的奠基者是偉大的俄國科學家羅蒙諾索夫 (M. B. Ломоносов)。1763年出版的羅蒙諾索夫著的“冶金或礦業的初步原理”一書，其中就包括“從礦石中分出金屬和礦物”一篇。在這一篇里敘述了選礦的主要過程：破碎、篩分、磨礦、手選。在個別章節中還描述了用流礦槽的濕選過程和洗礦槽中淘洗的方法。

在有用礦物精選過程的編制和許多選礦器械的製造上，俄國的技術員、工程師和“識礦者”們佔據首要的地位。例如，在1757年，烏拉爾波列夫廠工人的兒子弗羅洛夫 (И. Д. Фролов) 設計了淘金機，從而提高了金的採收率和生產量並減少了三分之二的勞動力。

雖然一般說來沙皇俄國的工業是落後的，但是在礦冶部門的發展中，仍有許多重要成就。1700年彼得第一組織的礦業管理廳——後來改名為礦業局——調整了俄國當時正在發展着的採礦工業。

在世界採选事業的科学与实践發展上，俄國人作了巨大的貢獻。很多新的选礦方法和选礦过程，是由俄國科学者和工程師們創造和研究出來的。

世界上第一所高等礦業学校就是於 1773 年建立在俄國，並取名为礦業書院——后來又改名为礦業学院，即現在的列寧格勒採礦学院，現今在这所学院中，选礦的理論和实际正在迅速而富有成果地發展着。



M. B. 罗蒙諾索夫 (1711—1765)