

— 高等学校教学用书

矿石可选性研究

许 时 胡为柏 合编
崔 琳 姜广大



中国工业出版社

4.1
1.9
2

高等學校教學用書



矿石可选性研究

許 时 胡为柏
崔 琳 姜广大 合編

中国工业出版社

本书概括地介绍了矿石可选性研究的基本方法。

书中对试样的采取和制备、矿石物质组成及物理化学性质的研究、重选、浮选、磁选、电选的试验研究方法都进行了叙述，最后分别介绍了铜、铅、锌、钨、锡、铁几类主要矿石的可选性试验方法。

本书可以作为高等学校选矿专业“选矿研究方法”课程的教学用书，亦可供选矿科学研究和工程技术人员参考。

矿石可选性研究

許 时 胡为柏 合編
崧 琳 姜广大

*

冶金工业部工业教育司編輯（北京前门大街78号）

中国工业出版社出版（北京修鞋厂路西10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本850×1168 $\frac{1}{2}$ ·印张7.15/16·字数207,000

1963年7月北京第一版·1963年7月北京第一次印刷

印数0001—1,610·定价(10-5)1.15元

*

統一书号：K15165·2104(冶金-311)

20528/17
前 言

本书是根据冶金工业部工业教育司1959年制订的选矿专业全国指导性教育计划和“选矿研究方法”教学大纲编写而成的。

考虑到学生在学习“选矿研究方法”时，同时需进行专门化试验，因而本书在取材上不仅考虑到课堂讲授的需要，而且适当地照顾了学生在进行专门化实验时的需要。本书前九章阐述矿石可选性研究的基本方法，可作为课堂讲授的内容；后五章是几类常见矿石的可选性试验方法各论，主要供学生进行专门化试验时自己参考。

本书只讨论矿石可选性研究方法。关于选矿过程基本理论的研究方法，一般属于各有关专业课程的内容，本书仅对浮选可选性试验时会用到的纯矿物浮选试验方法作了简单的介绍，其他均未涉及。

为了适应教学需要，本书特别注意严格控制篇幅，力求简明扼要，在保持本书系统性、完整性的前提下，尽力避免与本专业其他课程内容重复。但也适当地介绍了近年来国内外在选矿科学研究方面所获得的新成就和新发展，使学生能具有较宽广的知识。

本书在编写过程中，承蒙中国科学院矿冶研究所选矿室张学成主任、江第修副研究员、程希綽和湯新命同志，以及中南矿冶学院胡熙庚教授和李浴风副教授等协助校阅并提出了宝贵的意见，特此表示衷心的感谢。

由于编者水平及时间所限，书中遗漏及错误之处在所难免，希读者多提宝贵意见，以便今后改进。

编 者

1962年7月

06412

目 录

前言	1
第一章 緒論	1
§1. 矿石可选性研究的意义	1
§2. 矿石可选性研究工作任务书与计划的编制	4
第二章 可选性研究試样的采取	7
§1. 概述	7
§2. 取样点及取样量的确定	8
§3. 取样方法	10
第三章 研究前試样的制备	14
§1. 試样的加工	14
§2. 試样縮分流程的编制	17
第四章 矿石物质組成及其物理化学性质的研究	22
§1. 概述	22
§2. 矿石物质組成研究的程序	24
§3. 化学組成的研究	26
§4. 矿物組成的研究	28
§5. 矿石构造和結構特点的研究	36
§6. 粒度及比表面的測定	44
§7. 矿石比重、摩擦角、可磨度的測定	60
第五章 重选試驗	63
§1. 概述	63
§2. 重介质选矿試驗	66
§3. 跳汰选矿試驗	77
§4. 搖床和溜槽选矿試驗	87
§5. 螺旋选矿机选矿試驗	94
§6. 試驗結果的計算	97
第六章 浮选試驗	100
§1. 概述	100
§2. 条件試驗	106

§3. 流程試驗.....	116
§4. 半工业試驗和工业試驗.....	121
§5. 純矿物浮选試驗.....	123
第七章 磁选和电选試驗	130
§1. 磁选試驗.....	130
§2. 电选試驗.....	136
第八章 选矿厂試驗	139
§1. 必需磨矿細度的校准.....	139
§2. 影响磨矿机生产率的某些因素的檢查.....	140
§3. 分級机工作的研究.....	141
§4. 尾矿中金属损失性质的查定.....	144
第九章 試驗結果的处理和試驗报告的編制	147
§1. 試驗結果的处理.....	147
§2. 試驗报告的編制.....	156
第十章 銅矿石的可选性試驗	159
§1. 硫化銅矿石.....	159
§2. 氧化銅矿石.....	162
第十一章 鉛鋅多金屬矿石的可选性試驗	168
§1. 硫化鉛鋅矿石.....	168
§2. 硫化銅鉛鋅矿石.....	172
§3. 氧化鉛鋅矿石.....	176
第十二章 鎢矿石的可选性試驗	181
§1. 黑鎢矿类型鎢矿石.....	182
§2. 白鎢矿类型鎢矿石.....	191
第十三章 錫矿石的可选性試驗	197
§1. 原生脉錫矿石.....	197
§2. 简单砂錫矿.....	200
§3. 氧化錫矿石.....	204
第十四章 鉄矿石的可选性試驗	209
附录 1 矿物表	214
附录 2 浮选药剂表	236
主要参考书	247

第一章 緒 論

§1. 矿石可选性研究的意义

矿石可选性研究是研究矿石（有时也可能是选矿或冶金的中間产物）中有用成分和杂质可能分选程度的一門以实验为主的学科。

所谓矿石的可选性，是指在现阶段选矿技术水平上矿石中各种可能利用的矿物依靠其物理、化学性质（比重、粒度、形状、导磁性、导电率、表面物理化学性质等）的差别相互分选或与脉石分选的难易程度，常用实验室乃至工业试验所达到的选别指标度量之。

研究主要通过试验进行。一般是进行实验室试验，必要时尚需扩大规模进行半工业性试验，在个别情况下，甚至需要进行工业性试验。

矿石可选性研究的目的是为了使矿产得到最有效的利用。通过可选性研究，要能推荐出技术上最先进、经济上最合理的选矿方法和工艺流程，确定可能达到的工艺指标，提出有关工艺操作制度的具体建议等。

矿石可选性研究的任务是多种多样的。可以是实践的问题，也可能是带有理论性探索的问题。就目前而论，矿石可选性研究主要应用于下列几个方面：

1. 对矿床进行工业评价 矿床的价值，不仅取决于其中有用矿物的含量的多少，尚要考虑其技术加工过程的难易程度，也就是要考虑其可选性。例如以锌矿而论，一般硫化锌矿较易分选，含锌品位在0.8~1%就能开采；但是氧化锌就难分选，所以有的氧化锌矿品位达3~5%还不能开采利用。有些储量很大的铜锌黄铁矿，由于分选回收率及精矿质量不高，迄今尚在继续研究其选矿方法，还未充分地利用。因此，根据我国矿床勘探规程，对一

个矿床的勘探，必需包括：对勘探工程所截穿的矿体及围岩，采取试样，进行物质组成的研究（包括矿物学、岩石学的研究）、技术加工实验（主要指可选性研究）以及各种参数和物理性质的测定。只有通过这些研究，才有可能进行储量计算和评定矿床的工业品级。

为了对矿床进行初步评价，必须对地质勘探部分所提供的代表性试样完成初步可选性试验研究，其任务为：

（1）得出该矿石的矿物组成及其物理和化学性质的资料。其中包括矿石的外观形态的检查、物理性质的鉴定、化学全分析、各种矿物含量百分比及浸染粒度的测定，矿石中矿物共生组合特性和元素赋存形态的鉴定等。

（2）初步选定选矿方法与原则流程并推定可能到达的技术经济指标。

这种初步评价试验往往是取100~500公斤试样进行。但是，如果要作为计算B级储量的依据，就应该根据具体情况，取一般约0.5~5吨标准试样进行试验室可选性试验，完成下述任务：

1) 根据试验结果选择最合理的选矿方法和选别流程。

2) 确定混合处理不同类型矿石的可能性。

3) 提出预定的工艺指标（回收率及产品质量）。

4) 根据原矿品位与工艺指标间的关系，提出原矿的最低可采品位。

5) 确定该矿石的工艺类型，并提出进一步进行半工业试验的任务和要求。

为了进行A₂级储量计算，往往需要在上述试验基础上，进行半工业性试验。这是对整个矿床或大块开采区有代表性的大量矿样（一般为2~15吨，复杂流程可达20吨或更多）。根据上述试验确定的流程及操作条件方案，进行连续而完整的试验研究，从而更确切地选定处理该矿石所应采取的工业流程及得出具体指标。

只有A₁、A₂和B级的矿床储量才能作为可靠的工业储量，

从而可作为基本建設投資的依据。

2. 提供选矿厂設計所需的原始資料 只有对矿石进行过充分可靠的可选性研究的基础上，才能开始編制选矿厂設計。

可选性研究的任务是与設計的阶段、矿石的复杂性和选矿厂的生产能力等而不同的。如仅供初步設計用，或者矿石简单且所設計的选矿厂規模不大，那么，實驗室研究就够了。如果是供技术設計，或者矿石复杂、流程新穎，或者設計的选矿厂規模很大，就需要做扩大的半工业性甚至工业性的試驗。

通过可选性研究应获得下列資料：

(1) 該矿样的物质組成：即原矿的矿物分析、化学分析（包括矿相分析及物相分析）；主要矿物的粒度、形状、浸染粒度及相互共生的情况；矿样的碎散度、泥化情况、含水量等。这一部分工作往往要与矿物学家、化学家共同合作完成。根据这部分数据，可以推定应采用的选矿方法，原則流程及其复杂程度等。

(2) 按合理的工艺流程方案进行試驗研究的結果，包括对这些方案进行技术經濟比較所需的指标和操作数据。例如：各段破碎的产物粒度特性；各个作业的指标（回收率及品位）；各作业的操作条件（如液固比，加药量等），以及各中間产物的物理化学性质（如粒度分布、化学組成等）。

有时为了便于設計者进行设备的計算，尚需測定某些特殊的数据。例如为了进行浮选机，調和槽的計算，应測定該作业所需的时间。为了选定濃縮机，应进行产品沉降速度的測定。为了进行磨矿机的工艺計算，应測定矿石的可磨性等。

3. 为强化現場生产过程所进行的試驗工作 在选矿厂中，为了提高回收率及精矿质量，提高設備效率及降低成本，有必要經常进行試驗研究工作，其中主要包括：

(1) 現場工艺流程及操作制度的改进試驗。例如必需磨矿細度的校准；尾矿中金属損失的查定；中矿的組成及可浮性的考察并确定中矿处理的合理流程；磨矿因素（如濃度、返砂比、球荷、轉速、分級机效率等）的考察改进等。

(2) 現場設備(或新添設備)性能의試驗。例如濃縮機、過濾機的性能試驗;浮選機充氣量的試驗;破碎篩分機組排礦粒度分布及破碎比、篩分效率試驗等。

(3) 查明影响某一部分選礦過程或機械操作的工藝因素及其作用机理,从而提出改进的建議。例如局部流程的查定;了解所加药剂在全厂各作业中的分布及作用;回水利用等。

总之,選礦厂實驗室必須仔細研究如何使工藝過程不断的完善;更有效地綜合利用礦物原料;使全厂設備的工作協調以提高其效率;并且及时处理指标降低或过程恶化等事故。

§2. 礦石可選性研究工作任務書与計劃的編制

根据前述各种不同的任务,在进行可選性研究时,應該訂立較詳細的工作任務書、工作計劃以及資料、記錄表冊等整套的技术資料档案。

任務書的內容根据具体情况而不同,大致可分为下列几部分:

(1) 題目:例如“某矿区礦石可選性研究”。

(2) 任务范围:如前所述,根据不同的任务要求(例如矿床评价,選礦厂設計或現場試驗),确定工作范围。例如“某矿床初步评价的初步可選性試驗”,“为某矿床計算B級儲量进行的試驗室系統可選性試驗”,“为某矿床計算A級儲量进行的半工业性可選性試驗”;“提供某矿選礦厂初步設計資料的實驗室系統試驗”;“提供技术設計資料的补充試驗或半工业性試驗”;“現場某一局部流程的考察查定試驗”等。对任务范围尚可加以較詳細的說明。例如对流程及指标的具体要求等。

(3) 有关資料、文献、技术标准的情况:例如該矿区的地质勘探資料;取样說明書;国内外类似礦石的可選性研究文献;有关精矿规格、技术經濟指标等标准规范等。这类資料应加以提要并尽可能附有詳細的原始文件。

(4) 对試驗的总的规划及估計:例如对于該礦石選礦方法可

能方案的选定；試驗总的进度估計。可能遇到的問題以及对可能結果的估計等。

研究任务书經討論、批准确定之后，才可以进行編制具体的**工作計劃**。当然，具体計劃是随題目及任务范围而不同的。但大体上可分为四部分工作：

(1) 取样及試样縮分加工：包括在矿区或現厂取样的方法、取样点、取样量的规划。編制取样說明书。然后根据样品的具体情况及对可选性方法的规划估計，編制試样縮分加工流程（詳見第二、三章）。

(2) 矿石物质組成的研究（詳見第四章）。

(3) 可选性研究的試驗工作（詳見第五至第八章）。

(4) 数据处理及报告的編制（詳見第九章）。

在进行具体試驗工作之前或在試驗工作过程中，均应有适当的时间进行文献資料的搜集、閱讀整理和分析的工作。

表1就是一个“某矿区矿石初步可选性研究”的工作計劃典型示例。

根据上述总的工作計劃，尚应編制各部分（或各单元）的更具体的計劃。其中应包括試驗条件、試驗次数、試驗样品的化驗、檢查方法及工作量等。

然后根据試驗內容、性质及工作量，編制专题預算，确定經費、人員以及所需的試驗設備。

在整个工作过程中，要建立严格的記錄及資料档案制度。

一般記錄采用記錄本或一定格式的試驗記錄表。对可选性試驗而論，最好印成一定格式的試驗記錄表，其中应包括：該試驗的編号，試驗具体条件（如粒度、重量、跳汰机型式、冲程、冲次、篩下給水量等）。試驗过程所观察到的現象，試驗所得产品的化驗結果等。

試驗記錄表中的原始記錄經整理計算后誊入記錄本中。

另外还应备有專門的化驗送样登記专冊等。

各項記錄表冊是試驗的劳动成果，必須整洁严格并妥善保管。

表1 “某矿区矿石的初步可选性研究”工作计划

I. 作 项 目	期 限		工 作 量	执 行 及 检 查 人
	开 始	结 束		
1. 编制任务书、工作计划及搜集文献资料。				
2. 取样、编制缩分流程及试样的缩分				
3. 物质组成的研究				
(1) 粒度分析				
(2) 化学分析				
(3) 矿物分析				
(4) 其他分析(如光谱等)				
4. 选矿方法的选择比较及试验(单元试验)				
例如: 1) 实验室重液试验				
2) 跳汰试验				
3) 摇床试验				
4) 浮选条件试验				
5) 磁选条件试验				
6) 其 他				
5. 选矿流程的选择及按选定流程进行检查试验				
6. 数据处理及编写报告				

第二章 可选性研究試样的采取

§1. 概 述

試样采取(或簡称为取样)的目的,是为了获得有代表性的研究对象。根据不同的研究任务,試样可分为下列几种:

1. 矿床初步评价用試样,有时又称为矿床类型或品級試样。其試驗結果可作为对矿床进行初步评价及判定大部分C級矿量的依据,也可以作为确定下一步实驗室小型試驗方向的参考。这类試样的采取应由地质勘探队进行。所得試样的試驗工作主要由地质部門的加工試驗室进行。

2. 实驗室小型試驗試样。其目的是为判定B級矿量和制定选矿厂初步設計提供資料。取样工作主要由地质部門进行,但选矿試驗及設計部門一般也都派人参加。这不仅是为了保証試样的代表性和符合試驗的要求,而且可使选矿工作者熟悉情况,預先考虑矿床具体条件对选矿过程的影响,从而正确地制定选矿方案。

3. 半工业試驗試样。其目的是为制定选矿厂技术設計提供資料并作为鉴定A級矿量的依据。根据我国設計部門的規定,只有在設計大型选矿厂、或矿床特別复杂、或用小型試驗不能定出合理的生产流程时,才采取半工业試样并进行試驗。取样时应由地质、采矿、选矿人員共同参加。

4. 工业試驗試样。这种試驗只有极大型或极复杂的选矿厂設計或开工前調整操作过程时才进行。所需試样量視开工設備或試驗选矿厂的規模而定。因为这种試驗需要消耗大量人力物力,一般很少采取。

取样一般分为三个阶段,即(1)确定取样点。此阶段包括研究了解地质勘探及矿床儲量等有关报告。赴現場实地勘察,了解矿床及矿石情况,然后确定有代表性的取样点及取样方法。(2)取样。清理取样点附近的廢料、表面氧化物、杂草等。按規定方

法取样，将取得样品运集在一起。(3)试样加工及检查。将采得的大量原始试样按一定的加工缩分流程进行缩分至试验所需的量。同时缩分出化学分析用试样，进行品位检查。如合于要求，才能装箱发送给进行可选性研究的单位。

根据取样对象不同，一般可分为(1)地质勘探及为选矿厂初步设计用的坑道取样；(2)钻探岩心的取样；(3)矿床开采时的取样；(4)旧矿堆的取样；(5)选矿厂内工艺过程中的取样。由于可选性研究主要是针对已有确定勘探成果的矿区进行取样，所以下面的叙述以坑道取样为主。当矿床未被坑道揭露时，可以用钻探岩心作为试样。至于已开发的矿床，则可沿各井巷中取样。其他如旧矿堆和选矿厂内部的取样，则另外在“选矿厂取样控制”一课中讲述。有关取样的详细情况，尚可参阅有关的专门著作^①。

§2. 取样点及取样量的确定

试样必须有充分代表性。没有代表性的试样往往使可选性研究结果失去意义。

所谓有代表性的试样，是指合于下列基本要求的：

1. 代表该矿床具有工业价值的各类品级矿量。
2. 代表该矿床生产时采矿的类型比例及出矿的平均品位，其中应该有高、中、低三种品位的矿样。
3. 代表该矿石的矿物组成及化学组成。
4. 代表所有有用矿物的浸染特性和共生结构。
5. 代表该矿石的各项主要物理性质——如粒度、硬度、比重等。至于湿度则在取样时测定，记载于取样说明书中。
6. 代表围岩、夹层、脉石的种类、性质及含量。

① 可参阅：

- ①哈恩：矿物及化工原料的取样，化学工业出版社，1957。
- ②臂：选矿过程的取样控制及自动化，中国工业出版社，1961。
- ③塞尔格：选矿过程的取样控制及自动化，煤炭工业出版社，1960。
- ④普拉克辛：取样与试金分析，冶金工业出版社，1958。
- ⑤雅克仁：固体矿产取样及储量计算，地质出版社，1958。

7.代表該矿石的有害杂质和原生矿泥的含量。

8.对該矿样提出的其他特殊要求。例如对矿区中的氧化矿或硫化矿分别取样等。

取样点的选择原则是：1)取样点应选在矿脉走向正常且今后出矿有发展前途处；2)布置取样点时，应照顾到全面，即在平面上要照顾到全部矿区，在立面应照顾到不同深度，即在上、中、下各中段都有取样点；3)在满足上述两个条件的基础上，选择便于取样的地区进行取样。

取样点数目对試样的精确性有直接的关系。当然取样点愈多，精确性愈好，但过多的取样点会消耗大量的人力物力。取样点的数目，需视具体条件而定，但最少也要4个以上。表2是我国几类矿床的取样点数目。

表2 我国几类矿床的取样点数目

矿床类型	取样点数目	备 注
硫化銅矿：A矿	5	坑道內取样
B矿	14	坑道內取样
錫矿：A矿	14	坑道內取样
B矿	7	坑道內取样
脈錫矿：松树脚	8	坑道內取样
鉬矿：北松树脚	10	坑道內取样
磷矿：A矿	12	坑道內取样
B矿	13	坑道內取样
砂錫矿：A矿	5	淺井內取样
B矿	4	淺井內取样

取样量的确定，取决于矿石中有用矿物的浸染特性和有价成分的含量，也与研究的目的任务、試驗方法和选矿过程所需的粒度有关。

如已确定試驗研究所需試样重量为 Q ，則实际在矿区取样量最少不得少于 $2Q$ 。再根据該矿区开采后生产出矿的类型比例，确定各种类型矿石必需的試样量。最后再考虑到該类型矿石能从

坑道中采取的点数，确定出每个取样点应取的矿石量(q)为：

$$q_1 = \frac{2QT_1}{Tn_1}; \quad q_2 = \frac{2QT_2}{Tn_2} \quad (1)$$

式中 $q_1, q_2, \dots$ ——分别指每种类型矿石的每一取样点的重量；

Q ——所需试样的原始重量；

T ——矿山矿石的总储量；

$T_1, T_2, \dots$ ——每种类型矿石的出矿储量；

$n_1, n_2, \dots$ ——每种类型矿石的取样点数目。

§3. 取样方法

供可选性研究用的工艺试样，一般是各个穿脉坑道穿透的矿体进行全巷取样。每个取样点的取样方法，应根据原始试样量、地质品位、取样点个数以及取样是否可能或方便而定。兹就脉矿和砂矿分述之。

脉矿取样 最常用的是、(1)爆破取样法；(2)方格取样法；(3)刻槽取样法；(4)全面制层取样法等。

1. 爆破取样法 此法实质就是于坑道内穿脉的两壁及顶板或底板上(通常不取底板，但有时顶板取样有困难必须取底板时，应预先仔细清理)，按照预定的取样规格打眼放炮爆破之。此法适用于原始试样量很大且矿石品位非常不均匀的情况。取样规格视具体情况而定。我国采用的规格大致为：

矿石类型	规格(宽×长×深)(米)	备 注
铜 矿	0.8×1×0.5~1	
钨 矿	0.8×1.5×0.5~1	脉矿或细脉矿不足0.8米宽者仍取0.8米。
脉锡矿	1×1×0.7	
钼 矿	0.5×0.2(长×深)	宽度视脉的实际宽度而定。

2. 方格取样法 方格取样法适用于取样面积较大而取样量不多的情况。其方法是在取样的表面上划成格网，在格网的交点处取样。格网的形状可以是菱形的(图 1a)，方形的(图 1b)或长方形的(图 1c)。

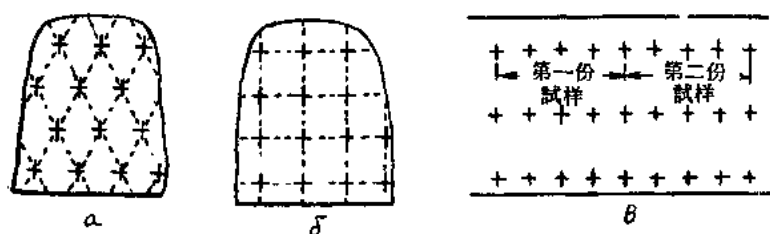


图 1 方格取样法

a—菱形格网；b—方形格网；c—长方形格网。

取样点的数目，根据矿物分布的均匀程度及取样表面的大小而定。若矿化均匀，则取样点可以少一些，交点的距离可大于 2 米。若矿化不均匀，则取样点的数目就要多，交点间的距离就要小。在任何情况下，取样点愈多，试样的代表性就愈高。

但必须注意的是，格网所包括的范围，必须把用现有采矿方法可能落入矿石中的那部分围岩、或平衡表外的矿石也包括在内。

如果想避免因某些原因而造成的贫化现象，则必须分别采取巷道上下两盘的脉石试样。在某些情况下，如果试样的金属品位比矿石中金属的平均品位偏高，则可以混入一定数量的这部分脉石试样，而使其与矿石的平均品位一致。

3. 刻槽取样法 在矿体暴露面积小的情况下，如矿体呈脉状或层状，而且取样点的数目又很多，就应当采用刻槽法。为了使所采的试样具有高度的代表性，刻槽的布置方向应当与矿物组成变化最大的方向相重合，同时还必须使各槽间的距离相等，各槽的断面积一致。

刻槽的方式常根据矿床性质的不同而改变，刻槽的形状则常