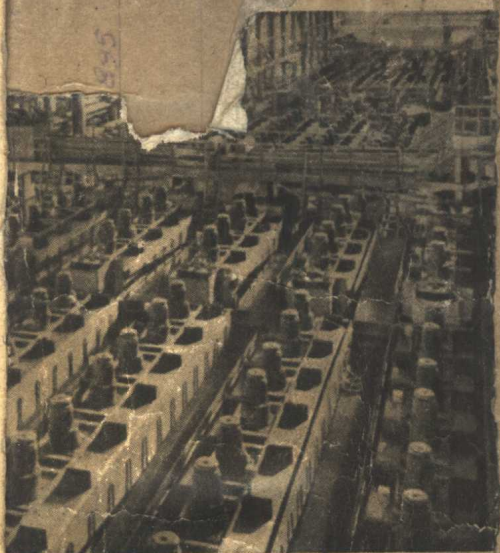




的至知识

任德树

科学普及出版社



选矿的基本知識

任 德 树

科学普及出版社

1958年·北京

本書提要

选矿是矿山企业中必不可缺又十分重要的一个生产环节，系统和浅近地介绍整个选矿过程，对于水平較低的选矿工人和初級技术人員閱讀

本書正是一本有关选矿的初級技术人員、初級技术人員、有关选矿工作的入门书。介绍了我国的情况，介绍了选矿的几个基本知识、选矿的种类、选矿的机械以及选矿的富矿，能够供初級技术人員参考。

书中比較專門的数学公式可供技术人員参考

总号：595

选矿的基本知識

著者：任

科学

(北京市)

北京市書刊出版

發行者：新

印刷者：北京市

(北京市西)

开本：787×1092

1958年3月第1版

1958年3月第1次印刷

統一書号：

定 价：(9)元

目 次

第一章 緒言	1
1. 选矿是矿石的准备过程	1
2. 选矿在国民經济中的重要性	2
3. 我国选矿事业的概况	4
4. 选矿工序	4
5. 常用的选矿术语	5
第二章 破碎和磨碎工序	7
1. 破碎和磨碎的目的	7
2. 破碎比和多段破碎	9
3. 破碎和磨碎的方法与矿石的性质	10
4. 破碎和磨碎过程的功耗	11
5. 主要的破碎机和磨碎机	
6. 破碎和磨碎的新技术	
第三章 筛分 and 分级工序	
1. 什么是筛分工序	25
2. 筛面和筛面的有效面积	27
3. 矿石的粒度特性和标准筛	
4. 筛序和筛分效率	29
5. 主要的筛分设备	31
6. 什么是分级工序	37
7. 不同粒度矿石的下沉速度	39
8. 分级设备	40
第四章 按粒度的选别工序	43
1. 什么是按粒度的选别工序	43
2. 洗矿机	49
第五章 按比重的选别工序	52

1. 什么是按比重的选别工序	5
2. 按比重选别的机械	52
第六章 浮游选别工序	73
1. 浮选工序的优点	73
2. 浮选过程的基本原理	73
3. 捕集剂	74
4. 起泡剂	76
5. 调节剂	76
6. 浮选机	78
第七章 按导磁系数的选别工序	81
1. 磁选法的工作原理	81
2. 开式系统和闭式系统的磁极	83
3. 磁选机	85
第八章 静电选别工序	90
1. 静电选矿法的工作原理	90
2. 正反向、负反向和无反向	92
3. 静电选矿机	93
第九章 脱水工序	97
1. 脱水的目的	97
2. 脱水的工作原理	97
3. 液固比	98
4. 脱水设备	99
5. 干燥	105
6. 干燥设备	106
第十章 给矿机和运输、提升设备	107
1. 给矿机	107
2. 矿石的运输和提升设备	111
3. 矿浆的运送设备	113
第十一章 矿仓和露天贮矿场	116
1. 矿仓和露天贮矿场的作用	116

2. 矿倉	117
3. 露天貯矿場	118
第十二章 选矿工艺流程和选矿厂控制	120
1. 选矿的精矿質量	121
2. 选矿的工艺流程	122
3. 选矿厂控制	126
4. 自动皮帶秤	128
5. 取样	129
6. 取样設備	130
7. 縮样	132
8. 矿样的化驗	134

第一章 緒 言

1. 选矿是矿石的准备过程

刚从矿山中开采出来的矿石叫做原矿。原矿不仅含有我們需要的有用矿石，同时还含有大量的杂质。在冶金、化学工業上，一般不能直接使用原矿来做原料，而必須將原矿中的杂质尽可能地分离出去。用来分离杂质和矿物的方法就是所謂选矿方法。它对刚从矿山中开出来的各种金屬矿、非金属矿和可燃性矿进行机械加工，加工的结果，把原矿分成两部分：一部分是含杂质少的精矿，它几乎集中了原矿中全部的有关矿物；另一部分是尾矿，它的主要成分是杂质，可以拋棄不用。聚集有用矿物的过程，在选矿过程中叫做富集。

原矿中有用矿物的含量我們叫做品位。原矿的品位一般是較低的，但如果經過选矿过程的富集作用而变成精矿，則它的品位就可以提高得很多。例如在选有色金屬矿石时，精矿的品位就比原矿提高了几十倍甚至一百多倍。因此可以說，选矿的主要作用就是使原矿中有用矿物富集在精矿中。富集的程度愈高，就表示选矿的效果愈好。在处理含有多種有用矿物的矿石（我們叫这种矿石为复金屬矿石）时，选矿除了有富集作用外，还有使原矿中各种有用矿物互相分开的作用。选矿把复金屬矿分成数种精矿，使每一种精矿中富集了一种或几种有用矿物，每種有用矿物都可用适当的冶煉方法分別单独回收。把原矿分离成若干精矿的作用，在选矿过程中叫做綜合回收。它在国民經济中有很重大的意义。

重工業的系統中，选矿是介乎采矿和冶煉或化学工業之間

的一个工業部門。选矿的原料就是采矿工業的产品——**原矿**；选矿的产品——**精矿**，就是冶煉或化学工業的原料。为了滿足冶煉或化学工業对矿物原料的要求，选矿时除了要很好地富集有用矿物以得到高品位精矿外，还要对精矿的水分和粒度作很好的处理，使它們更适合冶煉或化学工業的要求。因此我們可以說，选矿是矿石很重要的一个准备过程。

2. 选矿在国民經济中的重要性

选矿在国民經济中的重要性可从下列几点看出：

(1) 矿石經過选矿过程后，能减少冶煉或化学加工的成本。我們知道，在冶煉或化学加工时，如果用原矿来作原料，則由于原矿中含有大量的杂质，有用矿物的含量很低，因而要提煉少量的金屬或其他矿物，也需要用大量的原矿来冶煉，使冶煉的費用增高。如果矿石先經過选矿过程，則由于有用矿物富集在少量精矿中，因而在提煉同量的金屬时，只需要冶煉少量的精矿就够了，冶煉的費用也因此降低。

(2) 矿石經過选矿过程后能节省矿石的運費。原矿中一般都含有大量的杂质（例如有色金屬的原矿中杂质的含量达90%以上），如果要把原矿从矿山运到冶煉厂或化工厂去，一定要把無用的杂质一起运走，因此就增加了运输費用。如利用选矿方法来分离杂质，在运输时我們只要运送数量很少的精矿就可以了，因此運費就相应地降低。

(3) 如果有了选矿，就可以利用贫矿作原料。所謂贫矿，就是有用矿物含量很低的矿石。例如我們把含銅少于2%的銅矿、含鉄少于45%的鉄矿、含鉛少于10%的鉛矿、含鋅少于2%的鋅矿等等，都叫做贫矿。由于贫矿中的杂质太多，作为冶金等工業的原料太不經濟，如果用选矿过程把它們富集，就能把品位提高到能够加以利用的程度。

我国有很多銅、鉄、鉛、鋅、鋁、錫和鎳的貧矿，假如可以用选矿方法把它們的品位足够地提高，則我国的矿产資源就将大为扩充，从而解决了某些矿石的供应問題。

(4) 经过选矿过程后，冶炼工业就可以综合利用复金属矿石作原料。很多有色金属或稀有金属的矿石都是复金属矿石（或称数种金属共生的矿石），也就是一种矿石中含有不止一种的有用矿物。例如含銅、鉛、鋅、金、銀的复金属矿石，含錫、鎢、鉬、鈦、鋳、鈾、釷的砂矿等。在冶炼工业中是不能利用这种矿石冶炼金属的。如果利用了选矿的方法，就可以从这类矿石中得到（或回收）数种精矿，每种精矿富集了一种或几种有用矿物（即綜合回收），从而可以对各种精矿分别冶炼，回收其中的有用矿物。例如从銅鉛鋅复金属矿石中可以得到銅、鉛和鋅三种精矿，把每一种精矿分别送去冶炼，就可以从銅精矿中得到銅，从鉛精矿中得到鉛等。有很多复金属矿石，例如鎢錫复金属矿石，含銅、鈷的和含稀土元素的鉄矿，含鉬的銅矿，含稀有金属的鎢矿和錫矿等等，只有采用綜合回收其中各种有用矿物的方法，才能充分利用这些矿产資源。目前世界各先进国家都在大力研究利用选矿以及选矿和冶金的联合方法，来更好地达到回收矿石中各种有用矿物的目的。

(5) 选矿能分离原矿中对冶炼或化学加工有害的杂质。原矿中常含有对冶炼或化学加工有害的杂质成分，例如銅矿中的鋅，鉄矿中的硫和磷，鉛矿中的銻、铋、砷，石英砂（制玻璃的原料）中的鉄等等。它們对产品的质量及加工过程都有很坏的影响。选矿可以把这些有害杂质分离出去，从而保证了冶炼或化学加工的工艺过程和产品的质量。

(6) 选矿过程能使冶炼或化学工业得到适宜粒度及質和量稳定的精矿。例如在选择送入高爐的鉄矿时，粒度最好在5—

75公厘之間。我們可以用選礦過程中的破碎工序，把太大的礦石破碎，然後利用篩分工序，把粒度為5—75公厘的礦石分離出來，就可以供應高爐煉鐵的需要。選礦過程還有所謂貯存和混勻的設備，它們可以把原礦在質和量上的波動均勻化，從而得到質量和數量都穩定的精礦。

3. 我國選礦事業的概況

選礦的目的看來是很簡單的，但由於礦石的性質和使用部門多種多樣的請求，因而使選礦成為一種非常複雜的技術。它需要運用力學、電學、磁學、物理化學及光學等許多原理，才能夠達到預期的選礦目的。最近幾十年來，選礦的技術發展得很快，它已經成為一個獨立的科學部門。我國在解放以後，選礦技術隨著重工業的發展也得到了很大的進步。除了新建了好些個選礦廠，不斷地改進原有選礦廠的設備和生產管理技術外，並且在近几年還設立和擴充了若干研究和設計機構。例如在北京設立的三個有色金屬和黑色金屬選礦的研究機關，對我國各種礦石的選礦問題進行着廣泛的研究；在長沙的中國科學院冶金陶瓷研究所，正在進行選礦理論和某些選礦技術的研究；在設計方面，北京有色金屬選礦研究設計院已經具有設計選礦廠和選礦設備的能力，給我國今後建立新的選礦廠奠定了良好的基礎。此外，全國還有四所高等學校和好些中等技術學校，它們將培養出大批的選礦技術幹部，來適合選礦各部門的需要。雖然目前我國的選礦技術、設備都還落后，但從解放後几年的發展情況來看，今後我國選礦事業、選礦技術的發展和提高，是完全可以預期的。

4. 選礦工序

選礦過程是由一系列所謂選礦工序組合而成的，礦石要陸續經過這些工序的處理。每一個選礦工序各起不同的作用，而

各种工序综合起来,就达到选矿过程的最终目的。这些工序是:

(1)破碎和磨碎工序。这个工序的作用是把大粒度的矿石破碎到较小粒度或磨碎到粉末状态。

(2)筛分和水力分级(简称分级)工序。这个工序的作用是把含有粗粒、细粒和粉末的一堆矿石按粒度大小分做好些“组”。这些“组”就叫做级别。例如把粗颗粒的一组叫做粗级别,细颗粒的一组叫做细级别等。

(3)选别工序。这个工序的作用是把有用矿物和杂质,或数种有用矿物互相分离。

(4)脱水工序。这个工序的作用是分离湿矿石中或选矿产品中的水分,或者沉淀矿浆中的细粒矿石,使矿浆成为可以再送到选矿厂使用的清水。

上述这些工序必须很好地配合起来,才能有效地达到选矿的目的。各种选矿工序的配合的方式叫做选矿工艺流程。我们在下面几章将详细地介绍各个选矿工序。当我们了解了各种选矿工序以后,才开始讨论选矿工艺流程。

5. 常用的选矿术语

为了帮助读者容易了解以后所讲的内容,我们先把最常用的几个选矿方面的术语简单地介绍一下

原矿 从矿山送到选矿厂的矿石。也就是选矿厂的原料。

精矿 选矿厂或选别机的一种产品,它富集了原矿中有用的矿物。平常用字母 K_m 表示。

中矿 也是选矿厂或选别机的一种产品,它虽然也富集了一种或几种有用矿物,但富集程度不高,也就是它的品位不高。一般不宜直接送去冶炼或化学加工。平常用字母 $\Pi\Pi$ 表示。

尾矿 选矿厂或选别机所排出的杂质。平常用字母 XB 表示。

給矿 送入选矿厂或选矿厂各种机器设备的矿石。

产品 选矿厂内任意一种机器把給矿分成的若干部分（一般是兩部分），它們都叫产品。在选矿流程上，各产品用阿拉伯字母表示。

生产量 單位時間內給矿或产品的重量，叫做給矿或产品的生产量。用字母 Q 表示。

实收率 某一个产品中有用矿物或金屬的重量和給矿中該有用矿物或金屬重量的比值。这个比值有时也叫做采收率。平常用字母 ε 表示。

出量 某产品的生产量跟給矿或原矿生产量的比值。平常用字母 γ 来表示。

含量或品位 某产品或給矿中有用矿物或金屬的重量和該产品或給矿全部重量的比值。平常用字母 β 来表示。

水分含量 湿产品或給矿中水分的重量和該产品或給矿全部重量的比值。平常用字母 W 来表示。

固体含量 矿漿中固体的重量和全部矿漿重量的比值。平常用字母 G 表示。

了解了这些术语后，我們可以开始介紹选矿的各个工序和一些有关的知識。

第二章 破碎和磨碎工序

1. 破碎和磨碎的目的

送到选矿厂的原矿的粒度一般是很大的。露天矿山中开采出来的原矿,最大粒度有 1,200—1,300 公厘;地下矿山中开采出来的原矿的最大粒度有 300—500 公厘。这样大的矿石不但无法送到冶炼厂或化工厂去进行加工,同时也无法送到选矿机械中进行选别,因此,就需要把这些大粒度的矿石加以破碎。而从选矿的角度上来看,破碎和磨碎更重要的目的是使矿石“解离”,因此我们先详细地讨论一下解离的问题。

所谓解离就是把由有用矿物的颗粒和杂质的颗粒结合在一起而组成的大块矿石加以破碎,从而使其中有用矿物和杂质的颗粒互相分开,呈单体存在的状态。假如矿石解离得不完善,则不论选别工序的效率多么高,我们也不能得到良好的选矿效果。因为解离得不完善,就意味着有用矿物和杂质的颗粒还结合在一个颗粒之中。如果把把这个颗粒当做精矿选出来,则精矿中含有许多杂质,富集作用就不显著,精矿品位也不会高。如果把这个颗粒当作尾矿抛棄,则尾矿中含有较多的有用矿物,使精矿中的有用矿物或金属的实收率降低。因此,不管是那一种情况,都会降低选矿的效率。假如采用适当的破碎和磨碎方法,矿石中大多数的有用矿物就可以得到较好的解离。解离的完善程度一般用所谓“解离度”来表示。其方法就是统计完全解离的和部分解离的颗粒数目,并列成表格,然后分析表格中的数据(这种把数据列成表格加以分析的方法在选矿过程中常常遇到,例如在筛分工序中我们常常使用“筛分表格”,在重力选

礦中常常使用所謂“浮沉試驗表格”等等。所以選礦工作者應該了解如何從有關表格中看出問題。統計解離的顆粒數目時，我們要对破碎的產品（即較細小的顆粒）進行觀察（當顆粒很細時，可以在顯微鏡下面觀看）。例如我們要研究含石英的銅礦時，先把破碎的細小礦粒在一張紙上散開，然後數一下完全不含石英的銅顆粒的數目，有 $\frac{3}{4}$ 是銅而 $\frac{1}{4}$ 是石英的顆粒數目，銅和石英各 $\frac{1}{2}$ 的顆粒的數目， $\frac{3}{4}$ 是石英的顆粒的數目（後 3 種可以叫中間顆粒），完全是石英的顆粒的數目，幷把這些結果列在一張表格上。顯而易見，假如銅和石英的顆粒愈多，礦石解離得就愈好，假如中間顆粒愈多，則解離程度就較差。這種方法雖然可以使我們了解解離的程度，但是做起來是相當費事的。它非但要把幾千幾萬個顆粒一個個地數一遍，同時當一般礦石含有多種有用礦物時，還要考慮每一種礦物的解離情況，使問題更加複雜化。這種方法的準確度也不一定很高，有許多礦物用肉眼是很難精確鑑定的。

礦石的解離度一般受下列幾個因素影響：

（1）破碎或磨碎的細度。一般礦石被破碎或磨碎得愈細小時，解離得愈完全。因此從解離的角度來考慮，我們希望礦石弄得愈細愈好。不過要把礦石磨得愈細小，破碎和磨碎的基本生產費用就愈高。例如在浮選廠，我們一般要把礦石的粒度磨到 0.1 - 0.2 公厘以下，在該種情況下破碎和磨碎的生產費用就要占到選礦全部生產費用 60% 左右。因此，為了減少破碎和磨碎的生產費用，就不宜過細。

（2）礦石的嵌布特性。嵌布特性就是有用礦物在礦石中存在的顆粒的大小。根據礦物的嵌布特性就可以決定礦石的破碎程度。例如有用礦物是呈較大的顆粒形態存在於礦石中（即粗粒嵌布），則礦石可不必要破碎得太細。反之，如果礦物是呈較

細的顆粒形态存在于矿石中（即細粒嵌布），則矿石要磨得較細。矿石的这种嵌布特性在‘矿岩学’上叫做矿石的構造，也就是矿石中各种矿物的結晶集合体的大小和它們的相互关系。这个問題也是矿岩学上一个很重要的研究問題。

（3）矿石中**有用矿物的品位**。当矿石的品位愈高，則解离愈容易，因而不必把矿石磨得太細小。反之，就要磨得細一点。例如釩矿和錳矿的品位高，粗嵌布，因而不必破碎得太細；又如錳矿一般破碎到25—10公厘左右就够了。而鉛鋅矿由于品位低，是細嵌布，因而要破碎得細小一些，大約在0.2—0.05公厘之間。

2. 破碎比和多段破碎

由于原矿粘度一般較大，而要求的破碎或磨碎产品的粒度一般較小，因而破碎或磨碎常常不是一次就可以完成的。生产單位一般把它分做若干次来进行，我們叫它多段破碎。

为着使讀者了解多段破碎，我們首先要介紹破碎比的意義。破碎比是破碎前矿石的最大粒度和破碎后矿石的最大粒度的比值。假如原矿最大粒度是500公厘，今拟破碎到0.1公厘，則破碎比 $=\frac{500}{0.1}=5,000$ ，也就是說把矿石破碎到原矿 $\frac{1}{5,000}$ 的大小。

在目前常用的破碎机中，每个破碎机在破碎时只能完成某一定的破碎比。多数的破碎机能达到的破碎比在5左右，錘碎机的破碎比最高只能达到50，磨碎机可以达到100以上。但是我們要求的破碎比常常是很高的（如5,000），显然只用一个破碎机或磨碎机是完成不了任务的。因此，我們常采取的方法是連續使用二、三个破碎机和磨碎机来破碎矿石。例如原矿粒度为500厘米，要求的破碎比是5,000，那我們就用第一个和第二个破碎机把原矿自500公厘破碎到10—20公厘左右，然后把

10—20 公厘的矿石顆粒送到球磨机磨碎到 0.1 公厘。这种連續使用多个破碎机来达到較大破碎比的方法,就是多段破碎。假如用三个破碎机(三段破碎),則第一段叫粗碎,第二段叫中碎,第三段叫細碎。粗碎后矿石粒度在 80—300 公厘之間,中碎后矿石粒度已减小到 10—15 公厘,細碎后矿石粒度則减小到 2—10 公厘,經过細碎后的矿石,就可以送到球磨机繼續处理。球磨机可以把矿石磨到 0.2 公厘以下,我們把这个过程叫磨碎。有时磨碎也分做兩段或三段进行,就是所謂多段磨碎。

我国有色金屬选矿工業在 1956 年大力推广了多段选矿的一种先进技术,这种技术和多段破碎或多段磨碎也有关联。它就是把初步磨碎(第一段)的矿石送去选別,得到一种成品和一种半成品后,再把这些半成品磨碎(第二段)到更小的粒度,然后再度送去选別,从半成品中得到精矿和尾矿。換句話說,就是每段磨碎的产品在送到下一段磨碎以前,要經過一次选別工序,把一部分成品分离,而只把另一部分半成品送到下一段去进一步磨碎。这种多段选矿的方法,在一定条件下可以减少磨碎的費用和提高精矿的品位与实收率。

3. 破碎和磨碎的方法与矿石的性質

工業上的破碎和磨碎一般是利用力的作用。不論那一种作用力,如拉力、压力、劈碎、冲击、打击、磨剝、扭轉力等,只要达到一定的数值(所謂物体的强度極限),都可以使受作用的物体破碎。不过在选矿技术上,拉力和扭轉力是不使用的。一般只使用其余的几种作用力中的一种或几种。破碎粗粒矿石时,我們常利用压力、冲击、打击、劈碎等作用力,而破碎細粒矿石(磨碎)时,我們常利用更有效的冲击和磨剝等作用力。在生产費用上,利用压力的破碎費用最为低廉,而利用磨剝的破碎費用最貴,它要消耗很多动力,而且还会使工作机件

(如球磨机的襯板和鋼球 磨損得厉害)

各种矿石的極限强度很不相同,强度小的矿石易于破碎,而强度大的矿石难于破碎,所以研究破碎就会联系到矿石的强度問題。在选矿技术上,按矿石强度的大小有兩种分类方法:一种是按矿石的極限强度来分,極限强度大于1,000 公斤/公厘²的矿石叫做硬矿石,極限强度等于100—1,000 公斤/公厘²的叫做中硬矿石,極限强度小于100 公斤/公厘²的叫做軟矿石。在选择适宜的破碎机时,我們可以根据矿石强度的类别来选择。另一种是按矿石种类来分类,也就是把石英質脉石、岩漿岩和沉积岩中的礫岩当做硬矿石,把沉积岩中的石灰石、石筍和海相生成的石鹽等当做中硬矿石,把煤、某些鹽类和風化的矿石当做軟矿石。这种分类的目的,也是为了提供选择和設計破碎机的依据。

矿石的極限强度有时变化很大。一般說来,細粒矿石的强度較粗粒大,其原因是粗粒矿石中常常有些缺陷,容易沿着这些缺陷發生破裂。例如細粒結晶的花崗岩,在粗粒时極限强度为1,200 公斤/公分²,而在細粒时强度达到2,600 公斤/公分²,即高了一倍多。矿石的强度还受其比重的影响 比重大的就意味着矿石內顆粒之間靠得近,因而强度較大 例如比重为1.5的石灰岩的强度为50公斤/公分²,而比重为2.7的石灰岩的强度达1,800 公斤/公分²。又如比重为1.87的砂岩的强度为150 公斤/公分²,而比重为2.57的砂岩的强度达900 公斤/公分²,即是前者的6倍。

4. 破碎和磨碎过程的功耗

前面說过,为了使矿石破碎,我們要把力作用到矿石上,对矿石做功。但是如何計算破碎矿石所需要的功(即破碎功耗)的問題,我們还没提到。这个問題也同样引起許多科学家的兴