

中等专业学校教学用书

破碎与磨矿

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

破 碎 与 磨 矿

沈阳黄金专科学校 徐志明 主编

*

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 5 3/4 字数 148 千字

1979年12月第一版 1979年12月第一次印刷

印数：00,001~4,500册

统一书号：15062·3512 定价**0.59元**

前 言

本书是依据一九七八年冶金部中等专业学校教材会议制订的选矿专业教学计划编写的。本书比较详细地阐述了金属矿石选矿生产中常用的破碎、筛分、磨矿和机械分级设备的构造，及其工作原理、工艺性能和应用范围，并对主要设备和工艺过程的操作和调节方法做了简要的介绍。书中还包括金属矿石破碎、磨矿、筛分和机械分级的基本理论和影响其工艺过程的主要因素；常见的破碎筛分流程和磨矿分级流程的类型、结构特点和应用实例；破碎筛分流程考查的方法和步骤等内容。

本书可作为冶金中等专业学校金属矿石精选专业的教学用书，亦可供冶金、化工、建筑和煤炭等部门有关的工程技术人员参考。

参加本书编写的有昆明冶金工业学校吴承启、长沙冶金工业学校雷纯季、沈阳黄金专科学校徐志明。徐志明任主编。

由于时间短促和编写人员水平有限，错误和不当之处在所难免，请读者批评指正。

编 者

一九七九年四月

绪 论

钢铁、有色金属、燃料、化学、建筑材料等工业都需要使用大量的矿物原料。

对于冶金工业来说，由矿山开采出来的矿石，往往都含有大量脉石，而其中有价值的金属含量很低，不能直接进行冶炼，或者需要花费很高的成本才能从其中冶炼出合格的金属，所以在冶炼之前有大部分矿石需要经过选别提高矿石中有价值的金属含量。另外，还有许多矿石，其矿物组成是很复杂的，往往含有几种有价值的金属，而这些有价值的金属，有些在冶炼过程中，是相互影响的，使冶炼不能正常进行，甚至不能冶炼。因此，对于这类矿石，在冶炼之前都必须经过分选。

由于选矿技术的发展，大大地扩大了矿物原料的来源，使那些原来认为金属含量太低或者成分复杂而不能利用的矿床变为可以利用的了。因此选矿不仅能使矿石中有价值的金属含量满足冶炼的要求，而且可以降低成本，扩大资源界限。

从矿山开采出来的矿石，由于其生成情况、物理性质及开采方法的不同，其最大块度可达250毫米到1500毫米。就矿物原料中有价值的金属含量来说，即便不需要选别就可以应用的话，但其块度如此之大，也是不合乎冶炼要求的，何况在绝大多数的情况下，开采出来的矿石是各种不同矿物成分的连生体。如果把矿石分选成单一矿物或单一成分的产品，不首先使各种矿物或成分彼此解离是不可能的。因此，开采出来的矿物原料，几乎都须经过破碎，甚至磨矿。

开采出来的矿物原料，如不经过分选就可以直接应用，那么它的破碎或磨矿在加工过程中，便占着主要的或独立的地位。

对于那些必须经过分选方能应用或方能得到合理应用的矿物

原料来说，破碎或磨矿就是为下一步的选别作业做准备的工序。破碎和磨矿的主要任务，是保证不同矿物彼此间达到最大程度的解离，而又使其不至过度粉碎。因为机械选矿方法对于过细的矿粒无法回收。矿物原料在分选前的最终破碎粒度，应根据矿物的浸染粒度而定，对于细粒浸染的矿石，往往需要磨至 -0.074 毫米占95%以上，甚至更细。

在选矿厂中，破碎和磨矿是费用较高的作业，其生产费用占全部生产费用的40~60%。其基建费用亦占全部基建费用的60%左右。因此，应对破碎和磨矿给予极大的重视。此外，破碎和磨矿作业（尤其是磨矿作业）工作的好坏，也直接影响选别作业的技术及经济指标。总之，破碎与磨矿作业在选矿厂中是占有很重要的地位的，也是在其他许多工业中不可缺少的一环。

目 录

绪论	III
第一章 筛析	1
第一节 粒度及其表示方法	1
第二节 标准筛	3
第三节 筛分分析	4
第二章 筛分	18
第一节 概述	18
第二节 固定筛	19
第三节 细筛	24
第四节 振动筛	28
第五节 筛分效率	42
第六节 影响筛分作业的因素	45
第三章 破碎	53
第一节 概述	53
第二节 颚式破碎机	55
第三节 圆锥破碎机	67
第四节 对辊破碎机	91
第五节 反击式破碎机	95
第六节 影响破碎机生产率的因素	98
第四章 破碎筛分流程	103
第一节 流程结构的一般概念	103
第二节 常用的破碎筛分流程	105
第三节 破碎筛分流程考查	109
第四节 破碎筛分设备的操作	119
第五章 磨矿	121
第一节 概述	121
第二节 球磨机	122
第三节 棒磨机	130

第四节	磨矿过程的基本理论	131
第五节	磨矿机的主要工作指标	139
第六节	影响磨矿过程的主要因素	141
第七节	无介质磨矿（自磨）	154
第六章	机械分级机	162
第一节	分级过程及其原理	162
第二节	螺旋分级机	163
第三节	影响分级过程的因素	167
第七章	磨矿分级流程	171
第一节	常用磨矿分级流程	171
第二节	磨矿分级作业的操作	173

第一章 筛 析

第一节 粒度及其表示方法

破碎、磨矿和选别过程中所处理的物料都是大小不同的各种矿粒的混合物。从外表看来“杂乱无章”，但它本身按粒度分布来说，都有一定的规律性。矿块（或矿粒）的大小称为粒度。将矿粒混合物按粒度大小分成若干级别，这些级别叫做粒级。物料中各粒级的相对含量叫做粒度组成。物料粒度组成的研究对选矿厂设计、生产和试验研究都具有重要意义。在生产中物料粒度的大小、形状及其分布规律对各作业指标有重大影响，有时物料的粒度大小是构成选别方法、设备和流程的先决条件。因此，每个选矿工作者必须掌握粒度组成的测定方法。确定粒度组成的方法有：（1）筛分分析——粒度大于0.04毫米的物料采用筛分分析（简称筛析）；（2）沉降分析——粒度为0.04~0.005毫米的物料采用沉降分析法（简称水析）；（3）显微镜分析——适用的粒度范围是0.04~0.0001毫米。在选矿生产和试验研究中经常采用的粒度分析方法是筛析和水析。这里我们只介绍筛析，水析将在“重力选矿”课中介绍。

矿块（或矿粒）一般都具有不规则的形状，因此，它们的真实粒度难于测定，通常是采用近似的表示方法，根据研究对象和目的不同采用不同的方法。

一、单个矿块（或矿粒）的粒度

当矿块粒度很大时，一般是直接进行测量，测出矿块的长度和宽度，然后取二者的算术平均值。如果要求准确度高一些，则可再测矿块的厚度，取长、宽、高（厚）三者的算术平均值。当矿块刚好通过边长为 b 的正方形筛孔时，其粒度为：

$$d=b \quad (1-1)$$

如果矿块通过长为L宽为b的长方形筛孔时，其粒度为：

$$d=\frac{L+b}{2} \quad (1-2) \textcircled{1}$$

当用毫米刻度尺或游标卡尺测量出矿块的长L、宽b和厚t时其粒度为：

$$d=\frac{L+b+t}{3} \quad (1-3)$$

应当指出，这里算出的d只是表示矿块的平均直径。

与矿块等体积的球体的直径称为矿块的等值直径 d_* ，用来表示细小矿块的粒度。如已知矿块的体积为V，而球的体积为 $\frac{\pi d^3}{6}$ ，则在等体积的条件下， $V=\frac{\pi d^3}{6}$ 可求出它的等值直径 d_* ：

$$d_*= \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = 1.24 \sqrt[3]{V} = 1.24 \sqrt[3]{\frac{G}{\delta}} \quad (1-4)$$

式中G为矿块的重量， δ 为矿块的比重。

例如 重量G等于1.5克，比重 δ 为2.6的石英矿块的等值直径为：

$$d_*= 1.24 \sqrt[3]{\frac{G}{\delta}} = 1.24 \sqrt[3]{\frac{1.5}{2.6}} = 1.04 \text{厘米}$$

二、混合物料（矿粒群）的粒度

1. 粒度范围窄的混合物料 最常用的是“上下限表示法”，即将矿粒群进行筛分，通过筛孔为 a_1 的筛面而留在筛孔为 a_2 的筛面上的这部分矿粒群的粒度为 $-a_1 + a_2$ （或者 $a_1 \sim a_2$ ），“-”表示小于，“+”表示大于。则其平均直径为：

$$d_{\text{平均}} = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (1-5)$$

① 在显微镜下观察到晶体颗粒的长宽两方向尺寸时，其粒度也可用此公式求得。

例如通过筛孔为10毫米的筛面而停留在筛孔为6毫米的筛面上的矿粒群，其粒度可表示为-10+6毫米（或10~6毫米），其平均粒度为：

$$d_{\text{平均}} = \frac{10+6}{2} = 8 \text{毫米}$$

2. 粒度范围宽的混合物料 常用筛析法将粒度范围宽的物料按粒度大小分成几个粒度范围较窄的级别。如已知窄级别的平均直径分别为 $d_1, d_2, d_3, \dots$ ，其相应的产率为 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots$ ，则其算术平均直径为：

$$D_{\text{平均}} = \frac{d_1\gamma_1 + d_2\gamma_2 + d_3\gamma_3 + \dots}{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \dots}$$

即
$$D_{\text{平均}} = \frac{\sum \gamma d}{\sum \gamma} \quad (1-6)$$

第二节 标准筛

标准筛是筛析的主要工具，它是特制的套筛，上层筛子的筛孔比下层筛子的筛孔大，从上而下各层筛子的筛孔尺寸具有一定的比例关系。套筛是用一个筛子套在另一个筛子上而叠成的，另外还有一个上盖（防止样品在筛析时损失）和筛底（用以接取底层筛子的筛下产物）。如图1-1所示。筛框是圆形的，用黄铜或塑料制成。筛网是用金属丝编织成的，筛孔大的也有用冲孔筛板的。

标准筛的筛制由两个参数决定：（1）筛比（相邻两个筛子的筛孔尺寸之比）；（2）基筛（作为基准的筛子）。只要知道筛比和基筛就可以算出该系列标准筛的各个筛子的筛孔尺寸。根据筛比和基筛筛孔尺寸大小的不同，有各种不同的标准筛制。世界各国的标准筛制是不统一的，选矿工业中常用的是泰勒标准筛制。

泰勒标准筛是以每一英寸（等于25.4毫米）筛网长度内所具有的筛孔数目作为各号筛子的名称。每英寸筛网长度内的筛孔数

目称为网目，简称“目”。例如每一英寸筛网长度内有 200 个筛孔，这种筛子叫200号筛（或200目筛）。每一英寸筛网长度内有 150个筛孔则为150目筛等等。泰勒标准筛有两个序列，一个是基本序列，其筛比是 $\sqrt{2}=1.414$ ，另一个是附加序列，其筛比是 $\sqrt[3]{2}=1.189$ 。基筛是200目，其筛孔尺寸等于0.074 毫米（即 74 微米）。

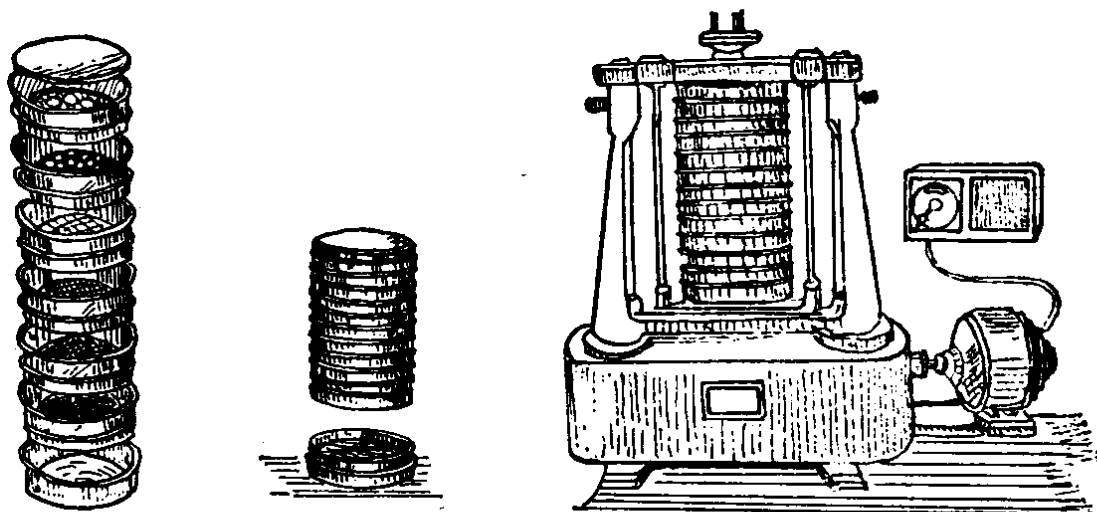


图 1-1 实验室标准筛及振筛器

从 200 目的基筛为起点，在基本筛序中，比它粗一级的筛子的筛孔尺寸为 $0.074 \times \sqrt{2} = 0.104$ 毫米（150 目），更粗一级的筛子的筛孔尺寸为 $0.074 \times \sqrt{2} \times \sqrt{2} = 0.147$ 毫米（100 目）。而比200目细一级的筛子的筛孔尺寸为 $0.074 / \sqrt{2} = 0.053$ 毫米（270目），其余类推。一般选矿产物的筛析只采用基本筛序就够了。只有为了做更精确的试验，需要更窄粒级的筛析时，才使用附加筛序。常见标准筛筛制见表1-1。

第三节 筛 分 分 析

筛分分析是在实验室中利用标准筛进行的。将一定重量的物料放入一套筛孔尺寸不同的标准筛中筛分成若干粒级，然后称量各个粒级的重量，并计算出各粒级的重量百分数（部分产率）和累积百分数（累积产率），从而确定出物料的粒度组成（或 粒 度

表 1-1 常 见 标 准 筛 制

泰勒标准筛		美国标准筛		上 海 筛		沈 阳 筛		日本 T15	国 际 标准筛
网目 (孔/ 英寸)	孔 (毫米)	筛号	孔 (毫米)	网目 (孔/ 厘米)	孔 (毫米)	网目 (孔/ 厘米)	孔 (毫米)	孔 (毫米)	孔 (毫米)
2.5	7.925	2.5	8					7.93	8
3	6.68	3	6.73					6.73	6.3
3.5	5.691	3.5	5.66					5.66	
4	4.699	4	4.76	4	5			4.76	5
5	3.962	5	4	5	4			4	4
6	3.327	6	3.36	6	3.52			3.36	3.35
7	2.794	7	2.83					2.83	2.8
8	2.262	8	2.38	8	2.616			2.38	2.3
9	1.981	10	2					2	2
10	1.651	12	1.68	10	1.98			1.68	1.6
12	1.397	14	1.41	12	1.66			1.41	1.4
14	1.168	16	1.19	14	1.43			1.19	1.18
16	0.991	18	1	16	1.27			1	1
20	0.833	20	0.84	20	0.995	20	0.92	0.84	0.8
24	0.701	25	0.71	24	0.823			0.71	0.71
28	0.589	30	0.59	28	0.674			0.59	0.6
32	0.495	35	0.5	32	0.56			0.5	0.5
35	0.417	40	0.42	36	0.50			0.42	0.4
42	0.351	45	0.35	42	0.452	40	0.442	0.35	0.355
48	0.295	50	0.297	48	0.376			0.297	0.3
60	0.246	60	0.25	60	0.295	60	0.272	0.25	0.25
65	0.208	70	0.21	70	0.251			0.21	0.2
80	0.175	80	0.177	80	0.2	80	0.196	0.177	0.18
100	0.147	100	0.149	90	0.18	100	0.152	0.149	0.15
115	0.124	120	0.125	110	0.139	140	0.101	0.125	0.125
150	0.104	140	0.105	130	0.114	160	0.088	0.105	0.1
170	0.088	170	0.088	180	0.09	180	0.08	0.088	0.09
200	0.074	200	0.074	200	0.077	200	0.066	0.074	0.075
230	0.062	230	0.062	230	0.065			0.062	0.063
270	0.053	270	0.052	280	0.056			0.053	0.05
325	0.043	325	0.044	320	0.05			0.044	0.04
400	0.038								

特性)。根据筛析的资料，可以比较破碎机的工作情况，检查磨矿和破碎筛分产品的质量，检验选矿技术的成就等等。

进行筛析的方法有 干式筛析法；干湿联合筛析法；快速筛析法。一般对于粗粒含泥少的干物料进行干式筛析；当物料含水含泥且要求筛析的精确度高时应采用干湿联合筛析法。而快速筛析法常用在生产现场快速检查磨矿产品的粒度。下面我们将分别介绍。

进行筛析首先必须取得有代表性的试样。为了使样品有代表性，而重量又最少(以便于操作)，应该按照与化学分析时相同的办法进行取样。代表性样品的最小重量与试样中最大块的粒度有关，可参照表1-2确定。

表 1-2 筛析试样最小重量与试样中最大粒度的关系

矿块最大粒度 (毫米)	0.1	0.3	0.5	1	3	5	10	20
试样最小重量 (公斤)	0.05	0.10	0.25	0.50	0.90	2.5	5	20

干式筛析可用手工操作或在振筛器（图1-1）上进行。为了防止筛网损坏，每次筛析试样允许重量一般不多于100~250克，如果样品超过250克，应当分几次进行筛析。

在筛析前根据物料粒度选择好套筛的筛孔尺寸，并作好记录。把各个筛子按筛孔大小依次套好，最下面放筛底，将试样倒入最上层筛上，并加筛盖。将盛好试样的套筛装在振筛器上并固定牢靠以后，开动振筛机（同时记时间）进行筛分，筛析时间越长，筛析结果越精确。但过长的时间将增加筛网磨损或使脆性物料产生不必要的附加破碎改变试料的粒度特性，因此一般筛析时间为15~20分钟。可用下述方法判定筛析终点：将套筛从振筛机上取下，然后将最下层筛子在铺有油布或光面纸上进行手筛，如果在一分钟内通过筛孔的物料重量不超过筛上物料重量的1%，即认为筛分已到终点，否则要继续筛析。

到达筛析终点后，将筛分后的各级别产物（即留在各层筛子

上以及筛底内的物料) 分别在天平上称重, 所得重量填入筛析结果记录表中 (如表1-3)。

为了检查筛析过程的准确性, 应按下式计算筛析过程中物料的损失率:

$$\mu = \frac{Q - \sum_{i=1}^{n+1} q_i}{Q} \times 100\% \leq 1\% \quad (1-7)$$

式中 μ ——筛析过程中物料损失率, %;

Q ——筛析前试样总重量, 克;

$\sum_{i=1}^{n+1} q_i$ ——筛析后各粒级累计重量, 克;

i ——表示粒级号码;

$n+1$ ——表示粒级个数 (n 为筛子个数)。

满足上式要求即认为在筛析过程中物料的损失在允许范围内, 否则要重新取样进行筛析。

为了便于根据筛析结果研究问题, 应将筛析数据按一定的表格加以整理, 计算并绘制粒度特性曲线, 最常用的筛析记录表如表1-3所示。

表中第1、2栏填写各粒级的粒度范围, 第3栏为筛析后称得的各粒级的重量, 第4栏为计算出的部分产率 (该粒级的重量占全部试样的重量百分数, 常以 γ 表示), 第5栏是累积产率 (即将各粒级的部分产率逐级相加, 常用的是从上往下逐级相加, 这种累积法叫筛上累积法。常用 $\Sigma \gamma$ 表示)。

现根据表1-3中第2、3栏所列数据, 将产率计算方法介绍如下

$$\gamma_a = \frac{q_a}{\sum_{i=1}^{n+1} q_i} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 q_a ——某粒级的重量;

$\sum_{i=1}^{n+1} q_i$ ——筛析后各粒级的累积重量 (因筛析前后物料损失率

小于1%,所以在计算各部分产率时, 可用 $\sum_{\lambda=1}^{n+1} q_{\lambda}$ 代
表Q, 这样可使筛析后各粒级累积产率 $\sum \gamma = 100\%$);

Q——筛析前物料总重量。

表 1-3 筛 析 结 果 记 录 表

粒 级		重 量 (克)	产 率	
网 目	筛 孔 尺 寸 (毫米)		部分产率 ($\gamma\%$)	累积产率 ($\sum \gamma\%$)
+ 3	+ 6.68	29.5	14.75	14.75
- 3 + 4	- 6.68 + 4.699	64.24	32.12	46.87
- 4 + 6	- 4.699 + 3.327	36.68	18.34	65.21
- 6 + 8	- 3.327 + 2.362	22.10	11.05	76.26
- 8 + 10	- 2.362 + 1.651	14.26	7.13	83.39
- 10 + 14	- 1.651 + 1.168	9.66	4.83	88.22
- 14 + 20	- 1.168 + 0.833	6.66	3.33	91.55
- 20 + 28	- 0.833 + 0.589	4.60	2.30	93.85
- 28 + 35	- 0.589 + 0.417	3.42	1.71	95.56
- 35 + 48	- 0.417 + 0.295	2.66	1.33	96.89
- 48 + 65	- 0.295 + 0.208	1.88	0.94	97.83
- 65 + 100	- 0.208 + 0.147	1.40	0.70	98.53
- 100 + 150	- 0.147 + 0.104	1.04	0.52	99.05
- 150 + 200	- 0.104 + 0.074	0.66	0.33	99.38
- 200 + 0	- 0.074 + 0	1.24	0.62	100.00
合 计	—	200.00	100.00	—

例如 +6.68毫米的部分产率 $\gamma = \frac{29.5}{200} \times 100\% = 14.75\%$

-6.68 + 4.699 毫米的部分产 率 $\gamma = \frac{64.24}{200} \times 100\% = 32.12\%$

依此类推, 可以计算出其它各粒级的部分产率。

累积产率表示大于某一粒级的各粒级的部分产率的总和, 即
+6.68毫米的累积产率 $\sum \gamma = 0 + 14.75\% = 14.75\%$

+ 4.699毫米的累积产率 $\Sigma\gamma = 14.75\% + 32.12\% = 46.87\%$
+ 3.327毫米的累积产率 $\Sigma\gamma = 14.75\% + 32.12\% + 18.34\%$
 $= 65.21\%$

依此类推可以计算出大于任何一粒级的累积产率。到最后一级别的累积产率应为 100%（因为所有各粒级的粒度都大于 0，所以 $\Sigma\gamma_0 = 100\%$ ）

由于图形比表格更形象，更便于分析问题，因此常将 表 1-3 所列的数据绘成曲线。这种曲线称为物料的粒度特性曲线。它反映出筛析物料的任何粒级与产率之间的关系。根据用途的不同，粒度特性曲线有很多种画法。一般是绘在直角坐标（产率为纵坐标，粒度为横坐标）系统中。依据各个粒级的部分产率（ γ ）绘制的曲线，称为部分粒度特性曲线；依据各个粒级的累积产率绘制的曲线，称为累积产率粒度特性曲线。应用最广泛的是后一种。它是以筛上累积产率为纵坐标，粒度为横坐标绘成的曲线。如图1-2所示。

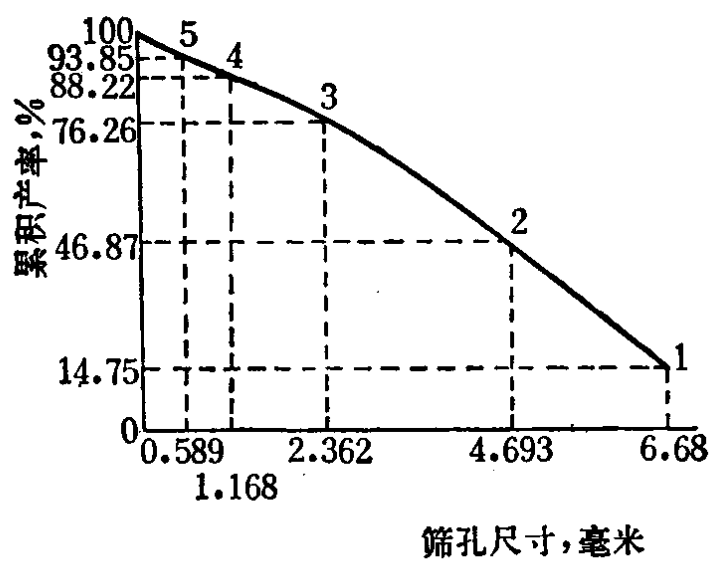


图 1-2 累积产率粒度特性曲线

具体绘法如下：

应用表1-3第 2 栏和第 5 栏的数据，在横坐标轴上取表示粒度为6.68毫米的一点引垂直于横坐标的直线，在纵坐标轴上取累积产率等于14.75%的一点引垂直于纵坐标的直线，两直线相交

于点1。同样，再在横坐标轴上取表示粒度为4.699毫米的一点，在纵坐标轴上取累积产率为46.87%的一点，分别过这两点作垂线，得两垂线的交点2。由此类推，可得到相应的交点3、4、5、6……。将各点平滑地连接起来即为筛上累积产率粒度特性曲线。因为大于零毫米的累积产率等于100%，所以曲线与纵坐标轴必定相交于100%处。

在使用累积产率粒度特性曲线时应注意：从曲线上直接查出的累积产率（如从下往上读数）是大于该粒级的累积产率。如果要求的是小于该粒级的累积产率时，要用100%减去大于该粒级的累积产率。或者是在读数时，以纵坐标100%处当作0从上往下读数亦可。

累积粒度特性曲线具体的用途可归纳为以下几方面：（1）由曲线可以求得任何粒级的相应累积产率。例如，要求大于3毫米粒级的累积产率，就在横坐标上找到3毫米的点，通过该点作垂直于横坐标的直线，则直线与曲线的交点的纵坐标（70%）即为所求。而小于3毫米的粒级的累积产率为 $100\% - 70\% = 30\%$ 。反之，也可以由规定的累积产率查出相应的粒级。此时，首先在纵坐标上找到表示规定累积产率的点，通过该点作垂直于纵坐标的直线，则直线与曲线交点所对应的横坐标即为所求。从曲线查

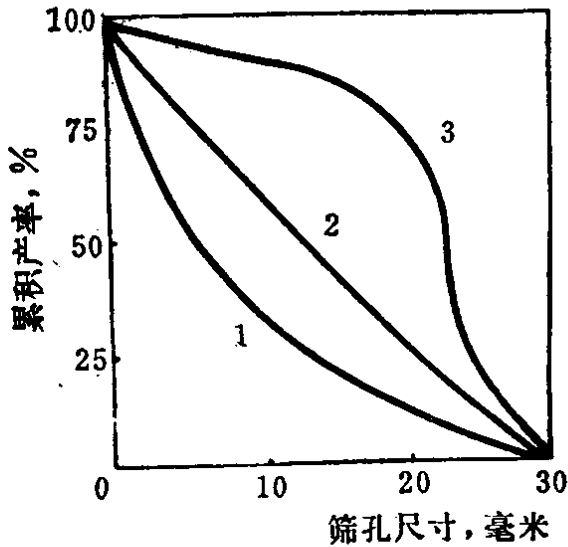


图 1-3 筛析曲线

得90%累积产率的粒级都是大于1毫米。（2）由曲线形状可判别整个物料的粒度组成，是粗粒多还是细粒多。当曲线向下凹时（图1-3曲线1）表示整个物料中细粒级占多数（属于易碎性矿石）；当曲线向上凸时（曲线3）则表示粗粒级含量高（属难碎性矿石）；如果曲线近于直线（曲线2）则表