

有用矿物的

YOUYONG KUANGWU DE

破碎、磨碎

POSUI 、 MOSUI

和筛分

HE SHAIFEN

77.4
189

C. E. 安德列耶夫 B. B. 茨維列維奇 B. A. 別洛夫著

有用矿物的破碎、磨碎和篩分

北京矿业学院选矿教研組譯

202/05

中國 1964 年 1 月 出版 社

本书阐述破碎、磨碎和筛分过程的理论基础；介绍各型破碎机、磨矿机、筛子的工作原理，结构特征，运用条件，计算方法，操作要领，主要技术经济指标以及破碎、磨碎、筛分作业的典型流程。

本书可作为矿业学院有用矿物精选专业学生的教科书，对选矿厂、选煤厂、建筑材料厂、水泥厂的工程技术人员也有很大的参考价值。

参加本书翻译工作的有：第一篇——冯绍灌、崔越昭同志；第二篇——吴式瑜、孙维约同志；第三篇——欧泽深、孙维约同志。全部译稿由冯绍灌同志统一校订。

С.Е.Андреев В.В.Зверевич В.А.Перов
ДРОБЛЕНИЕ, ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ И ГРОХОЧЕНИЕ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
ГОСГОРТЕХИЗДАТ 1961

* * *

有用矿物的破碎、磨碎和筛分

北京矿业学院选矿教研组译

*

煤炭工业部书刊编辑室编辑（北京东长安街煤炭工业部大楼）

中国工业出版社出版（北京修睦园路丙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·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{2}$ ·印张 $11\frac{3}{4}$ ·字数304,000

1963年11月北京第一版·1963年11月北京第一次印刷

印数0001—1,585·定价(10-7)1.95元

*

统一书号：15165·2598(煤炭-137)

原 序

《有用矿物的破碎、磨碎和篩分》是为矿冶学院有用矿物精选专业高年级学生编写的教科书。

虽然学习本书的学生已经学过“选矿学基础”课程，并在洗选厂进行过认识实习，但他们只是概括地了解了破碎、磨碎和篩分过程，一般地接触了各该作业所用的设备。

根据这种情况，本书将详细地阐述这些作业的有关理论问题。当然，对专家来说，这些问题可能是多余的，但对于学生，特别是函授生，却是完全必要的。

本书是培养选矿工程技术人员的教科书，因而以许多篇幅叙述了破碎、磨碎和篩分工艺的理论基础。同时，详细介绍了破碎机、磨矿机和篩子，使学生能够清楚地了解它们的图形、构造和工作原理，熟悉其操作要领。但每类机械只叙述其中的一种主要型号，同类机械的其它结构特点就不再介绍了。因为作者认为，学习本书之后，学生已经得到了足够的知识，他们在生产实践中足能详细地研究其它机械的构造及其工作情况。

本书叙述目前正在使用的破碎机、磨矿机和篩子，也介绍了即将在洗选厂使用的一些新型设备，如无偏心的破碎机等。现在已不使用的捣碎机和碾碎机等设备，则不再介绍。

在阐述破碎、磨碎和篩分理论基础的各章节中，作者力图提供更多的资料，以使未来的选矿技术人员能够在洗选厂中实际利用它们，掌握生产过程；比较顺利地阅读各种技术文献；能够从事科学研究工作。对理论性较强的粒度特性学说、篩分和磨矿过程动力学、破碎定律等问题，除详细论述外，还列举了以动力学方程式分析磨矿机和篩子工作过程的实例。

为了缩小篇幅，书中未列计算实例，因为这样的例题一般都

比較簡單，其計算也不過是把幾個已知數字代入公式而已。

本書第一篇由B.A.別洛夫編寫，第二篇由B.B.茨維列維奇執筆，第三篇的編寫人是C.E.安德列耶夫。

И.М.維爾霍夫斯基教授、Г.И.帕列依蓋爾松副教授、К.Г.魯登科副教授、技術科學副博士B.A.奧列夫斯基幾位審閱人，給本書提出了許多寶貴意見，作者謹向他們表示衷心的感謝。作者還衷心希望讀者指出本書的缺點。來信請寄到榮獲列寧勳章和勞動紅旗勳章的列寧格勒礦業學院有用礦物精選教研組。

目 录

第一篇 篩 分

第一章 基本概念	1
§1 定义	1
§2 篩分作业的任务	2
第二章 篩子的工作表面	3
§1 金属絲篩网	3
§2 篩板	9
§3 棒条篩面	10
第三章 粒度組成	11
§1 粒度分析的方法	11
§2 篩分分析	13
§3 粒度特性	15
§4 粒度特性方程式	19
§5 分布曲綫	23
§6 用累积粒度特性方程式計算顆粒的表面和数目	25
§7 碎散物料顆粒平均直徑的計算	30
第四章 篩分过程	34
§1 篩分效率	34
§2 易篩粒、难粒及阻碍粒	37
§3 顆粒透过篩孔的或然率	38
§4 各种因素对篩分过程的影响	41
§5 在篩分过程中分出各級別的顺序	46
第五章 篩分过程的动力学	48
§1 篩分效率与篩分時間的关系	48
§2 篩分效率与篩子生产能力(負荷)的关系	53
§3 各級別篩分效率与总篩分效率的关系	55

第六章 篩子	61
§1 分 类	61
§2 固定棒条篩	61
§3 滾軸篩	64
§4 滾筒篩	67
§5 平面搖动篩	70
§6 半振动篩(陀螺篩)	85
§7 篩框作直綫振动的振动篩	91
§8 篩框作圓振动的振动篩	98
§9 陀螺篩和振动篩生产能力的計算	106
第七章 篩子的使用	110
§1 篩网的固定和拉紧	110
§2 篩子的安装	115
§3 电热篩网	117

第二篇 破 碎

第一章 破碎和磨碎过程	119
§1 基本概念	119
§2 破碎和磨碎作业的任务	121
§3 破碎和磨碎的阶段和流程	122
§4 破碎定律	127
§5 破碎方法、破碎机和磨矿机的分类	139
第二章 顎式破碎机	141
§1 顎式破碎机的工作原理、分类和应用范围	141
§2 顎式破碎机的构造	142
§3 顎式破碎机的工艺参数	149
§4 顎式破碎机的使用	157
第三章 圓錐破碎机	160
§1 圓錐破碎机的工作原理、分类和应用范围	160
§2 粗碎圓錐破碎机的构造	165
§3 粗碎圓錐破碎机的工艺参数	172
§4 粗碎圓錐破碎机的使用	177

§5 中碎和細碎圓錐破碎机的构造	181
§6 中碎和細碎圓錐破碎机的工艺参数	190
§7 中碎和細碎圓錐破碎机的使用	194
第四章 輥式破碎机	198
§1 輥式破碎机的工作原理、分类及应用范围	198
§2 輥式破碎机的构造	199
§3 輥式破碎机的工艺参数	203
§4 輥式破碎机的使用	206
第五章 錘式破碎机和鼠籠式破碎机	208
§1 錘碎机的工作原理、分类和应用范围	208
§2 錘碎机的构造	209
§3 錘碎机的使用	215
§4 鼠籠式破碎机的工作原理、构造和使用	216

第三篇 磨 矿

第一章 圓筒型磨矿机	219
§1 圓筒型磨矿机的工作原理、分类和应用范围	219
§2 球磨机和棒磨机的构造	220
第二章 球磨机破碎介质力学	231
§1 球磨机的工作状态	231
§2 球磨机的临界轉速	234
§3 球在球磨机中运动的拋物綫軌迹及圓軌迹方程式	237
§4 各特殊点在球运动的拋物綫軌迹上的座标	239
§5 球在球磨机中的周轉率	242
§6 球在磨矿机中的下落速度	245
§7 球的运动轉折点的几何位置	249
§8 参数 k 及磨矿机最內球层的极限脫离角	251
第三章 球磨机的有用功率	255
§1 破碎介质的重量	255
§2 球磨机在泻落式工作状态下工作的有用功率	256
§3 球磨机在拋落式工作状态下工作的有用功率	263
第四章 球的磨損	271

§1 球的磨損規律及其粒度特性	271
§2 球磨机的合理装球	276
第五章 磨矿动力学	284
第六章 循环負荷	288
§1 磨矿循环	288
§2 阶段磨矿	291
§3 循环負荷形成的过程	293
§4 矿浆	298
§5 循环負荷的測定	300
第七章 圓筒型磨矿机的生产率	306
§1 磨矿机生产率的計量单位	306
§2 影响磨矿机生产率的因素	308
§3 磨矿机生产率的确定	322
第八章 圓筒型磨矿机的使用	330
第九章 选矿厂破碎和磨矿車間的安全技术	340
附 录	345
参考文献	365

第一篇 筛 分

第一章 基本概念

§1 定 义

碎散物料通过一层或数层筛面而分成不同粒度级别的过程，称为筛分。

在筛分过程中，大于筛孔尺寸的物料颗粒留在筛面上，小于筛孔尺寸的物料颗粒则透过筛孔分出①。

进入筛分过程的物料称为筛分原料，留在筛面上的物料称为筛上产物，透过筛孔的物料称为筛下产物。

依次在几个筛面上进行筛分时，可以得到 $n+1$ 种产物。在这种情况下，前一次筛分的筛下产物，就是后一次筛分的原料。

筛分过程所用筛面的筛孔绝对尺寸，按从大到小依次排列起来的序列，称为筛序。

上层筛面的筛孔尺寸与下层筛面的筛孔尺寸之比，称为筛比。筛比是一个常数。例如，筛序为 100:50:25:12.5:6.25 毫米时，筛比就是 2。

筛下产物的最大粒度和筛上产物的最小粒度 d ，可以假定都等于所用筛面的筛孔尺寸 l ，也就是说， $d=l$ 。

因此，可以用下列符号表示各种产物的粒度：筛下产物—— $-l$ 或 $-d$ ，筛上产物—— $+l$ 或 $+d$ 。

透过筛孔为 l_1 的筛面而留在筛孔为 l_2 筛面上的物料($l_2 < l_1$)，称为筛分级别。筛分级别的粒度可以用下列三种方法表示： $-l_1 + l_2$ 或 $-d_1 + d_2$ ， $l_1 \sim l_2$ 或 $d_1 \sim d_2$ ， $l_2 \sim l_1$ 或 $d_2 \sim d_1$ ；

① 任何粒度的物料，包括大块和最细的微粒，都可用《颗粒》这一术语来表示。

例如， $-25+10$ 毫米級； $25\sim10$ 毫米級； $10\sim25$ 毫米級。

在上述表示級別粒度的方法中，第一種和第三種方法用得最廣泛。在煤的篩分中，規定採用這兩種方法（蘇聯國家標準 ГОСТ 2093-59）。

在篩分級別中，最大塊物料的粒度 d_1 總是小于篩孔尺寸 l_1 ，最小塊的粒度 d_2 總是大于篩孔尺寸 l_2 。因此，表示篩分級別粒度的符號 $-d_1+d_2$ 或 $d_1\sim d_2$ ，只能代表物料依次在篩孔尺寸為 $d_1=l_1$ 和 $d_2=l_2$ 兩個篩面上進行篩分時所得到的篩分級別。

篩分所用的機械和裝置稱為篩子。每台篩子都有一層或幾層工作（篩分）表面，這種表面稱為篩面。篩面裝在一個或幾個能夠振動或搖動的篩框上。有些篩子的篩面是由平行排列成幾行的回轉圓盤（滾軸）構成。篩分粗粒物料時，也可使用棒條篩面。棒條篩面是由傾斜安裝的各種形狀的棒條組成，棒條的傾角應保證篩上物料能自由地滑動。

§2 篩分作業的任務

篩分作業廣泛用于選礦廠、煤磚廠及篩選廠，也廣泛用于建築材料、化學、磨料及其他工業部門。在選礦工藝流程或有用礦物加工前的準備過程中，篩分作業可以分為獨立篩分、準備篩分和輔助篩分。

獨立篩分。獨立篩分在篩選廠中進行，篩分級別就是直接供給用戶的最終產物。煤、鐵礦石、建築和筑路用的石料、磨料等都要經過篩選廠加工。

準備篩分。準備篩分在選礦廠中進行，它的作用，是將需要進一步分選的物料預先分成不同的粒級。在重力選、電磁選和其他選礦作業以前，準備篩分往往是必需的作業。

輔助篩分。這種篩分作業和破碎作業配合使用，或在破碎機前分出粒度已符合要求的合格產物，或用以檢查破碎產物的粒度。前一種篩分方式通常稱為預先篩分；後一種篩分方式通常稱為檢查篩分。

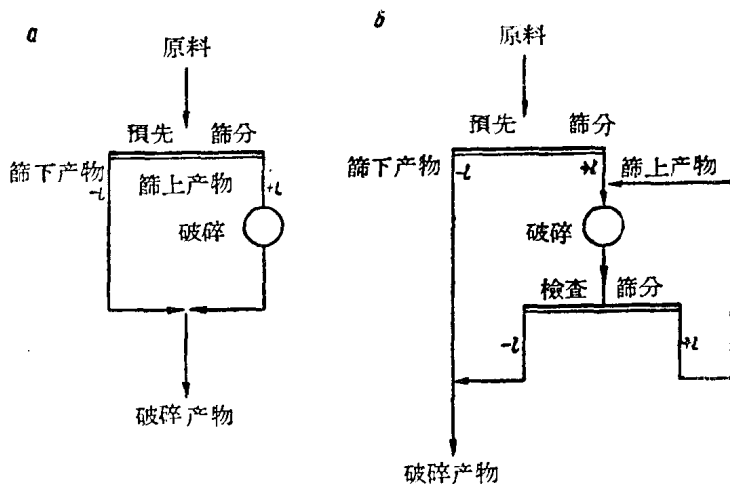


图 1 破碎和篩分流程

a—預先篩分；b—預先及檢查篩分。

破碎过程中的典型篩分流程见图 1。

在某些情况下，篩分产物的粒度不同，其中所含的有用成分也不一样。这时，篩分作业也起到分选有用矿物的作用。这种篩分作业通常叫做选择篩分。选择篩分的依据是原料中各种成分在物理性质上的差别；例如有用成分和脉石在硬度、强度及形状上的差别等。在采掘、运输和破碎过程中，原料的这些差别可能使粒度不同的产物含有不同的有用矿物成分。

篩分也用来脱除粒状物料中的水分或分离矿浆，如选煤和洗矿产物的脱水及重介质选矿产物的脱除介质等。

第二章 篩子的工作表面

篩子的工作表面可以是金属絲篩网，也可以是冲孔的鋼板（篩板）或棒条篩面。

§1 金属絲篩网

金属絲篩网的篩孔，可以編成正方形或长方形，篩孔尺寸一

一般为100~0.040毫米。

金属丝筛网系用钢丝(合金钢或不锈钢)、黄铜丝、铜丝、青铜丝或镍丝等编织而成。

筛网上的筛孔面积与筛网总面积之比,称为筛网的有效面积或有效面积系数。筛网的有效面积一般以百分数表示。

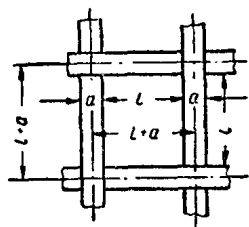


图2 正方形的筛孔

正方形筛孔的筛网(图2)的有效面积

$$L = \frac{1}{\left(1 + \frac{a}{l}\right)^2} \cdot 100, \% \quad (1)$$

式中 a ——筛丝直径,毫米;

l ——筛孔直径,毫米。

尺寸为 $l \times b$ (宽 $\times$ 长)的长方形筛孔的筛网,其有效面积

$$L = \frac{lb}{(b+a)(l+a)} \cdot 100, \% \quad (2)$$

长方形筛孔的筛网的有效面积,在 l 值和 a 值相同的情况下,总大于正方形筛孔的筛网的有效面积。

筛网的特征也可用致密系数表示:

$$K = 100 - L. \quad (3)$$

筛网的致密度,根据 K 值可分为下列几种:

K 值	
低致密度	25%以下
中等致密度	25~50%
高致密度	50~75%
特别高的致密度	超过75%

物料透过筛网的能力,随筛网有效面积的增加(随筛丝直径的减小)而提高;但是,筛网的牢固性和使用期限,则随致密系数的增加而增高。

筛网有三种:编织筛网、组合筛网和焊接筛网。组合筛网由弯成沟状的(波纹状的)筛丝或冲压的筛丝织成,在焊接筛网上,

篩絲的交点是焊接的。

編織篩網(图3)。这种篩網可以用普通的編織方法(麻布的編織法)及斜紋布的編織方法制做。如用普通的編織方法,每根經絲(纵向的)与每根緯絲(横向的)相互交錯地編織;但是如用斜紋布的編織方法,每隔两根經絲与两根緯絲相互交錯一次。篩孔为0.074~0.040毫米的細孔篩網,大多是用斜紋布編織法制做。

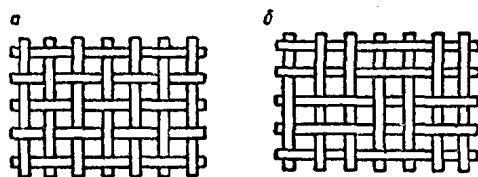


图3 編織篩網

a—普通編織篩網; b—斜紋布編織篩網。

組合篩網。这种篩網可以防止篩絲錯动,从而保持篩孔尺寸不变。組合篩網由各种弯成沟状的篩絲織成。在联合式組合篩網上,只是横向篩絲有弯沟(图4)。用普通編織方法織成的組合篩網,經絲和緯絲均有弯沟(图5),以保証篩絲間互相連結的强度,防止篩絲錯动。篩絲很小而篩孔很大时,为了增加篩網的强度,在篩絲各交点之間也作成弯沟(图6)。

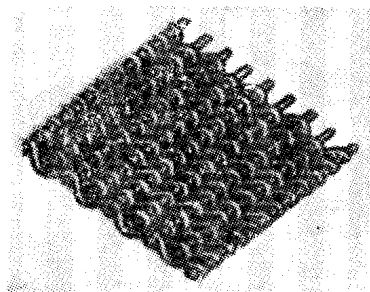


图4 用波紋狀篩絲織成的
联合式組合篩網

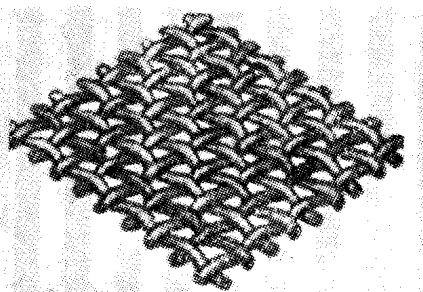


图5 用波紋狀篩絲織成的
普通編織篩網

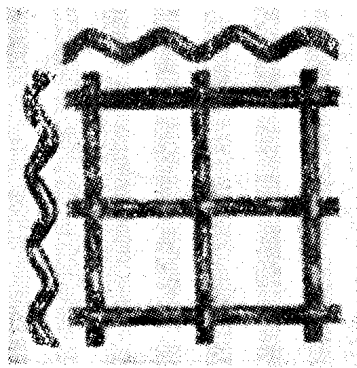


图6 用各交点間有弯沟的
波紋狀篩絲織成的篩網

长方形篩孔的篩網（縫条篩網），常用三根成組的緯絲与經絲編成（图7）。

用波紋狀篩絲編織的篩網的表面不平坦，因此，篩分时篩面的磨損程度就不一样，篩絲凸出的部位首先磨損，篩網牢固性降低，終至損坏。为了得到光滑的表面，可将經絲和緯絲的弯沟都向一边凸出，或用冲压方法把篩網表面压平。如果篩網上的篩孔很大，篩絲的交点往往是焊接的。

煤和其他有用矿物的选分产物脫水时，多使用縫条篩面。篩面上的縫隙寬度一般为0.25~1毫米。篩絲是梯形截面的黃銅絲，黃銅絲的狹边朝下，并繞在連接鋼条上（图8）。

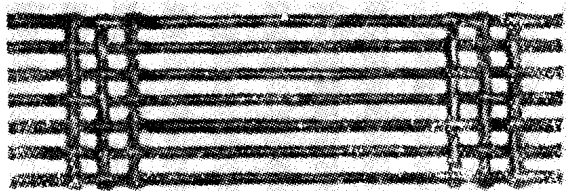


图7 用波紋狀篩絲織成的縫条篩網

篩網的篩孔尺寸（篩孔大小），決定于篩絲之間的最小距離。篩孔尺寸用長度單位（毫米或微米）表示。在美國，廣泛採用以「網目」數表示篩孔尺寸的方法；蘇聯在生產實踐中有时也採用這種方法。所謂網目，是指每吋（25.4毫米）長的篩網上所包括的正方形篩孔的數目。不過，按照德國標準，網目是指每平方厘米篩網所包括的篩孔數目。因為篩孔尺寸還與篩絲的粗細有關，所以這兩種方法都不能直接確定篩孔的大小。

篩網的篩孔尺寸已經標準化了。篩孔尺寸的標準是根據機械

制造工业的标准序列规定的（表1）^①。基本系列是其中的第二十号标准序列，其公比为 $\sqrt[20]{10}=1.122$ 的级数；附加系列是第四十号序列，其公比是 $\sqrt[40]{10}=1.059$ ，但把基本系列已经具备的数项省略。筛孔尺寸标准的范围，是0.04~150毫米。

根据用途的不同，金属丝筛网分为工业用和试验用两种。对试验用的筛网，在筛孔尺寸容许误差上的要求将更严格些。

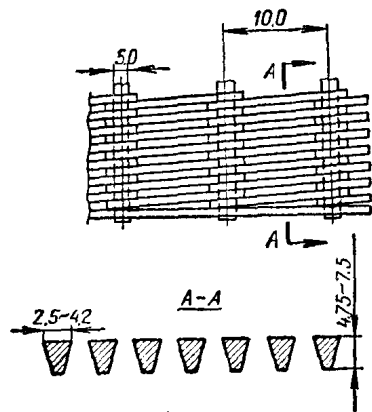


图8 用梯形截面的筛丝编成的缝条筛网

金属丝筛网的筛孔的边长
(根据苏联国家标准ГОСТ2851-45)

表1

筛 序 (毫米)									
基本筛序	附加筛序	基本筛序	附加筛序	基本筛序	附加筛序	基本筛序	附加筛序	基本筛序	附加筛序
0.04		0.225		1.2		6		32	
0.045	0.042	0.25	0.235	1.4	1.3	7	6.5	35	34
0.05	0.048	0.28	0.265	1.6	1.5	8	7.5	40	38
0.056	0.053	0.315	0.3	1.8	1.7	9	8.5	45	42
0.063	0.06	0.355	0.335	2	1.9	10	9.5	50	48
0.071	0.067	0.4	0.375	2.2	2.1	11	10.5	55	52
0.08	0.075	0.45	0.42	2.5	2.3	12	11.5	60	58
0.09	0.085	0.5	0.475	2.8	2.6	14	13.0	70	65
0.1	0.095	0.56	0.53	3.2	3	16	15	80	75
0.112	0.105	0.63	0.6	3.5	3.3	18	17	90	85
0.125	0.118	0.7	0.67	4	3.8	20	19	100	95
0.14	0.132	0.8	0.75	4.5	4.2	22	21	110	105
0.16	0.15	0.9	0.85	5	4.8	25	23	120	115
0.18	0.17	1	0.95	5.5	5.2	28	26	140	130
0.20	0.19	1.1	1.05		5.8		30		150
	0.21		1.15						

① 按照苏联国家标准ГОСТ6636-60的规定，在机械制造业中，第五号、第十号、第二十号、第四十号直径和长度序列，分别是公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 的几何级数，最基本的尺寸是0.012毫米。

在美国, 广泛使用国家标准局规定的試驗篩网和泰勒制的試驗篩网。根据国家标准局的规定, 試驗篩网的篩序的基篩篩孔为 1 毫米, 篩比为 $\sqrt[4]{2}$ 。完整的泰勒制篩序, 基篩篩孔是 0.074 毫米(200 网目), 篩比与国家标准局的规定相同。但是, 通常使用的是, 篩比为 $\sqrt{2}$ 的不完整的泰勒制篩序。这种篩序是从完整篩

試驗用篩面的特性

表 2

苏联国家标准篩面 ГОСТ3584-53		基篩篩孔0.074毫米, 篩比 $\sqrt{2} = 1.414$, $\sqrt[4]{2} = 1.189$ 的篩面			德 国 标 准 篩 面		
篩孔尺寸 (毫米)	金屬絲直徑 (毫米)	网目数	篩孔尺寸 (毫米)	金屬絲直徑 (毫米)	每1厘米 ² 的篩孔数	篩孔尺寸 (毫米)	金屬絲直徑 (毫米)
—	—	3	6.680	1.78	—	—	—
—	—	4	4.700	1.65	—	—	—
—	—	5	3.960	1.12	—	—	—
—	—	6	3.330	0.915	—	—	—
—	—	7	2.790	0.834	—	—	—
2.5	0.5	8	2.360	0.813	—	—	—
2.0	0.5	9	1.980	0.839	—	—	—
1.6	0.45	10	1.650	0.890	—	—	—
1.25	0.40	12	1.400	0.710	16	1.500	1.00
1.00	0.35	14	1.170	0.635	25	1.200	0.80
0.900	0.35	16	0.990	0.596	36	1.020	0.65
0.800	0.30	20	0.830	0.437	—	—	—
0.700	0.30	24	0.700	0.358	64	0.750	0.50
0.630	0.25	28	0.590	0.318	100	0.600	0.40
0.560	0.23	—	—	—	121	0.540	0.37
0.500	0.22	32	0.495	0.30	144	0.490	0.34
0.450	0.18	35	0.417	0.310	196	0.430	0.28
0.355	0.15	42	0.351	0.254	256	0.375	0.24
0.315	0.14	48	0.295	0.234	400	0.300	0.20
0.250	0.13	60	0.246	0.178	576	0.250	0.17
0.200	0.13	65	0.208	0.183	900	0.200	0.13
0.180	0.13	80	0.175	0.142	—	—	—
0.140	0.09	100	0.147	0.107	1600	0.150	0.10
0.125	0.09	115	0.124	0.097	2500	0.120	0.08
1.00	0.07	150	0.104	0.066	3600	0.102	0.065
0.090	0.07	170	0.088	0.061	4900	0.088	0.055
0.071	0.055	200	0.074	0.053	6400	0.075	0.05
0.063	0.045	250	0.061	0.041	10000	0.060	0.04
0.056	0.04	270	0.053	0.041	—	—	—
0.040	0.03	325	0.043	0.036	16900	0.046	0.03