

A.F. 塔加尔特 主编

选矿手册

分 册

第二卷 第四分册

冶金工业出版社

选 矿 手 册

第二卷 第四分册

(第七篇 部分)

A.F. 塔加尔特 主編

冶金工业部前有色局編譯科 譯

东北工学院选矿教研室 校



A. F. Taggart

СПРАВОЧНИК ПО ОБОГАЩЕНИЮ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
(ТОМ I)

Металлургиздат (Москва—1952)

选矿手册 (第二卷第四分册)

冶金工业部前有色局編譯科 譯

編輯: 徐敏时

設計: 赵蒼

責任校对: 赵崑芳

1958 年 9 月第一版

1958 年 9 月北京第一次印刷 3,000 册

850×1168 • 1/32 • 154,000 字 • 印张 $4\frac{22}{32}$ • 定价 0.80 元

冶金工业出版社印刷厂印

新华書店发行

書号 0379

冶金工业出版社出版 (地址: 北京市灯市口甲45号)

北京市書刊出版业营业許可証出字第 093 号

选矿手册第二卷是苏联冶金出版社組織波立金等根據塔加爾特主編的英文选矿手册編訂出版的。俄譯本第二卷的學術編輯為С.М.雅修克維奇教授。

中譯本系根據苏联冶金出版社1950年出版的「选矿手册」第二卷並參考英文1945年版本譯出的。

本手册第二卷共包括六篇，由第四篇到第九篇。其中敘述了下列作業过程和採用的設備：破碎、濕式磨碎、干式磨碎、篩分、濕法分級、風力分級和除塵。

本手册的主要讀者對象為：從事选矿工作的工程技術人員；此外對於在各工業部門、科學研究和設計部門及高等、中等工業學校中從事地質、采礦、礦物、冶金、建築、機械、化工等工作的人員亦可作為參考。

本手册第二卷分六分冊出版。

本書為选矿手册第二卷第四分冊，專門闡述有關篩分的問題。譯者為冶金工業部前有色金屬工業管理局編譯科，校者東北工學院选矿教研室王增圖。

目 录

第七篇 篩分

第一章	导論	1
第二章	篩子的生产率与篩分效率	7
第三章	篩面	11
第四章	棒条篩与固定板篩	37
第五章	廻轉筒篩	54
第六章	搖动篩	72
第七章	造成往复运动的振動器	78
第八章	作封閉軌跡运动的振動器	102
第九章	振動篩的工作	131
第十章	可动帶式篩	144

第七篇 篩分

第一章 導論

定义。將不同尺寸的混合顆粒按粒度（即按体积）分成各級的干式或湿式分級作业称为篩分。

篩子①的篩眼能被顆粒通过时，称为极限篩；不能被顆粒通过时，則称为保留篩（Retaining Screen）

窄級分級乃是按粒度的分离，並且在該級別中顆粒尺寸間的差別很小；当极限篩与保留篩的篩眼尺寸相近时，即可达到此种分离。所得产品就是「窄級」产品。

未通过篩眼而留在篩內的物料叫做篩上产品，用正号表示；通过此篩的产品叫做篩下产品，用負号表示。

在循序篩分作业中所采用的一套篩眼尺寸逐漸減小的篩子即构成所謂篩序（Sieve Scale）。

篩序中某一篩眼的直径与下一較小篩眼的直径之比称为篩比（Sieve ratio）。

篩子的效率面积就是篩眼所占面积与篩面总面积之比，以百分数表示。

用篩分方法將松散混合物进行分級就是按粒度分开的过程（见第八、九篇）

篩分作业的类型②

① 今后将要遇到各种术语如：篩子、篩板、篩网，而此处所称的篩子乃是篩分用的机构和部件的总和，即机械本身；直接进行篩分的部件称为篩网；直接冲成大篩眼的篩面叫做篩板。編者。

② 在分类时我們將篩分分为如下各种：1）作为选矿作业的独立篩分，2）预备篩分，3）輔助篩分，4）选择篩分，5）目的在于脱水的篩分。在选煤时，独立篩分能将煤按品种分成最终产品——編者。

1) 預先篩分, 目的是將大塊與產品的主要部分分開, 以便下一步對大塊進行破碎和磨碎;

2) 輔助篩分, 在於先將送入破碎機之物料中的細粒分出, 以便節省能量並避免過碎。

3) 獨立篩分, 用於篩分已碎的岩石, 如: 鋪路碎石、道碴、混凝土用的碎石、砂子等。

4) 預備篩分, 在於獲得能夠進行下一步精選作業的產品, 如跳汰機以前的分級(見第三卷第十一篇第二章)。

篩分原理。篩分過程在於使篩下產品通過篩眼而與篩上產品分離。為了完成這種分離, 顆粒投向篩眼時應有一定的速度和角度, 以便使篩下產品通過篩眼時不受篩孔壁或邊緣的阻礙。

顆粒在下列場合能順利地通過篩眼, 這就是: 1) 一粒一粒地通過篩眼; 2) 運動時無水平分力; 3) 顆粒的水平投影落於篩眼的中心。

大量的物料妨礙顆粒單個而緩慢地通過篩眼; 機械原因, 乃由於顆粒垂直地通向間隔很小的篩眼有困難。顆粒大量地進入篩內並且顆粒在篩眼中不斷地彼此碰撞。此外, 以某種初速進入的顆粒還與篩面平行的運動, 且其橫斷面在篩孔上投影最大的要比投影最小的較快地投向篩眼。而篩眼的深度也常常超過篩下產品最大顆粒尺寸的^①。

篩分时, 單個顆粒以這種方向和按着一定方向或以這種速度接近篩眼時, 當然就不能通過。有些較粗的顆粒由於本身與篩眼壁的摩擦而卡在篩眼中或將篩眼完全堵塞起來。

顆粒向篩眼接近並恰巧落入其中而不錯過的或然率, 與該篩的有效工作面積成正比。上述情況, 以及篩眼與顆粒的相對尺寸, 都是決定接近篩眼的顆粒能否通過篩眼的條件。在數學形式上, 這點可以用下列方法表示。

設用實綫表示的邊長等於1的正方形(圖1)為一篩眼, 而圓是球形顆粒, 其直徑等於 $\frac{1}{n}$ 的值(式中 n 是任一大于1的數值), 則顆粒不碰着篩孔壁通過的或然率, 與邊長為 $1 - \frac{1}{n}$ 正方形的面積對較大正方形面積的比成正比, 即

^① 在英文本文中還有這麼一句「就這樣, 很多篩下產品在相當長的時間內不靠近篩眼」。再下面才接底下一段——校者。

$$P = \left[\frac{n-1}{n} \right]^3,$$

而顆粒于通过篩眼时碰着篩眼一边的或然率之值等于 $1-P$ 。如果顆粒的中心落于內正方形（见图 1）的范围内，它就可以通过，如果顆粒中心是在此正方形之外，它就不能通过。可见， P 即代表由直径 $\frac{l}{n}$ 的顆粒自由通过边长等于 1 的正方形孔的或然率。算式 $\frac{1}{P}$ 在此代表能保证顆粒通过的篩眼数目。

如果顆粒軌跡的方向是与篩眼面积成直角，則上述假定的第一部分，即顆粒的中心落于內正方形范围内，它就能自由通过的假定，是正确的。

按照假定的第二部分，如果顆粒的中心是在內、外正方形的間隔上，顆粒就不能穿过篩眼；但是由于顆粒在向篩眼接近时速度和方向不同，由于篩眼边缘形状和顆粒本身形状的不同，其中有些顆粒的中心仍然会落在內正方形的范围内，它們也能穿过篩眼。

可变因素对篩分过程的影响是不可能用数学表示的，所以上述公式仅是一个假定公式，它只根据顆粒尺寸与篩眼尺寸之間的关系說明篩分效率的概念。

从这一观点看来，根据上述公式所編制的表 1，有极大的示范性。

从表中可以看出，如果顆粒的尺寸接近篩眼尺寸，則顆粒通过篩眼时将非常困难，即使是在沒有任何其他妨碍因素下也很困难。表 2 所示为实验用机械震篩器（第四卷第十九篇第二章）篩分过程的研究結果。此种研究包括：將磨細的脉石裝入篩眼为 4.7 毫米的实验用标准篩，並进行一定時間（2、4、8 秒等）的振动篩分；每次篩分后将所得篩下产品（—4.7 毫米）称量，並用分析法在 6 网目（3.3 毫米）的篩上，計算其中 +6 和 -6 网目的含量。

这样一来，于每次在 4.7 毫米篩眼的篩上进行篩分試驗及对 6 网目篩

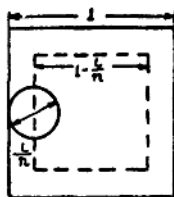


图 1 篩眼与篩分物料顆粒示意图

的篩下級別分析后，获得如下数据：即—4.7毫米篩下級別的重量和其中含有+6网目与—6网目級別的重量。表2中所列的数字是綜合事先在連續試驗中的数据而得出的。

表 1

篩分的或然率

顆粒尺寸，厘米 $\left(\frac{l}{n}\right)$	在1000次当中，顆粒无阻碍篩地穿过尺寸为 l^2 （厘米 ² ）正方形篩眼的或然率	保証顆粒无阻碍地穿过篩眼的必需篩眼个数
0.001	998	1
0.01	980	2
0.1	810	2
0.2	640	2
0.3	490	2
0.4	360	3
0.5	250	4
0.6	140	7
0.7	82	12
0.8	40	25
0.9	9.8	100
0.95	2.0	500
0.99	0.1	10 000
0.999	0.001	1 000 000

这一研究結果，特别是对+6网目一級每秒鐘增加的数据来看，从实践上（即考虑到顆粒速度，顆粒的疏密度及其他因素）証实了上述篩分或然率公式。

在前3个時間間隔內（2、4、8秒），甚至最細顆粒的篩分也要碰到众多的細小物料的阻碍。当达到第5个間隔时（32秒），則原試样中大部分—6网目的物料皆可穿过4网目的篩眼，並且在这个間隔末尾，+6网目中大部分更細的顆粒也都可以通过，即几乎全部应在篩下級別中的物料都已經篩出。随后篩分效率开始显著降低，这完全符合表1中最后的4个数据。由此可见在既定的情况下，穿过篩眼的顆粒尺寸与篩眼尺寸非常相近，大約是它的0.9倍。大小与篩眼尺寸相近的顆粒数量，乃是決定篩分效率（即生产率，和精确度）的一个重要因素。如果篩下产品的顆粒尺寸显著地小于篩眼。

那么它就会像流水般地通过筛眼，并且这种物料数量的变化丝毫不会影响筛分机的生产率。在此情况下比筛眼相当大的颗粒也不会发生有害的影响。

颗粒在筛面上运动时，由于大块之间有很大的空间，所以大块不会阻碍细粒的筛分。

但当有大量接近于筛眼尺寸的颗粒时，情形就不同，因为这些颗粒将有阻止细粒物料通过筛面的可能性。稍大于筛眼的颗粒会使筛眼阻塞；稍小于筛眼的颗粒通过时将感困难，因而较慢。结果就使筛子的生产率降低。

经验证明，「临界颗粒」的尺寸，可取其约比筛眼直径大 $\frac{1}{2}$ ，或比筛眼直径小 $\frac{1}{4}$ 。

颗粒接近筛眼时的运动方向和速度，对筛分速度有很大影响。

如果球形颗粒以一定的速度沿筛面运动，而且筛眼比颗粒直径大几倍（如图2，a所示），则它在离开筛孔的边缘后大致将按照图上所示的路程继续运动，并且穿过筛眼。当筛眼较小时，此一颗粒势将冲撞正对面的边缘，如果颗粒为完整的球形并具有弹性，并且筛眼是长方形，眼壁垂直，则这样的颗粒，如图2，b所示，同样也可以通过；假如颗粒的形状不规则，且筛眼是圆形及筛眼壁是向下收缩，则有根据假定颗粒将按照图上所示的路程运动，不穿过筛孔。最后如果颗粒是由上部以某种角度向筛面运动，如图2，c第1种情形所示，则颗粒的这样方向，特别当它的速度较大时，将会促进颗粒的穿过，如果它正落在筛眼当中的话；如果颗粒不落入筛眼中，如图2，c第2种情形所示，则颗粒会以很大的速度从筛面跳开，使它通过的时间迟延，从而减低了筛分效率。由于筛网的有效面积一般在50%以下，故颗粒跳开的不良作用会大大影响筛分过程的效果。

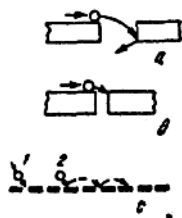


图2 颗粒在筛面上的运动图

进入筛分的物料在筛面上形成若干颗粒厚的物料层，其中粗、细颗粒杂乱地混在一起，同时大部分粗粒与筛面直接接触，而大量的细粒则与筛面并未接触。如果物料不是粘性的，不妨碍颗粒移动，则由于全部物料在筛上运动的结果，颗粒间形成一定的顺序，此时全部物料即分成层次，直接位于筛面上的多半是最细的颗粒，而在上层的则是最粗的颗粒。这样的分层乃是筛分过程的特点，它能预防筛网被堵

塞。但若篩子的运动非常剧烈，就会破坏分层，从而降低了篩分效率。

第二章 篩子的生产率与篩分效率^①

篩子工作效率的标准测定方法尚未确立。通常测定效率^②就是計算篩分所得的篩下产品与原物料中所含此种产品的重量之比。篩下产品含量(产率)的計算，可以采用在同样篩孔的手搖篩上进行，也可以用實驗室中常用的篩析法进行。

在上一情况下可根据篩析数据以內插法計算該篩孔的篩下产率或作出粒度特性曲线图并由之以找出相应的产率。

产率乘以原物料的重量，即得原物料中所含直的篩下产品重量。为了测定篩分效率，只要有原試样和篩上产品的篩析数据就够了，因为公式中不包括重量。

我們用下列符号表示：

f ——原物料中篩下产品的含量，%，

t ——篩上量中篩下产品的含量，%，

C ——篩下产品的重量，

T ——篩上产品的重量，

F ——原物料的重量，

則

$$C + T = F$$

$$C \times 100 + T \times t = F \times f$$

或將第1式乘 t 再从第2式中減去即得：

$$C \times 100 - Ct = F \times f - F \times t$$

或

$$C = \frac{F \times (f - t)}{100 - t} \quad (1)$$

① 苏联学者Л.Б.列文逊和З.В.坎托罗維奇最先找出了計算篩子生产率和篩分效率的方法，並且国立有用矿物机械处理科学研究設計院（安德列也夫，李安多夫，李夫良德，奥烈夫斯基，阿勃拉莫維奇等人）也进行了巨大的实验上和理論上的研究——編者。

② 計算篩分效率或篩分机的有效作用系数，就是計算篩分后获得的篩下級別（产品）与原物料中所含此种級別的重量之比——編者。

依上述定义可得筛分效率(%)为:

$$E = 100 \times \frac{100 \times C}{F \times f};$$

将 C 代入公式 (1), 即得

$$E = 100 \times \frac{100 \times F (f-t)}{F \times f (100-t)}$$

最终得效率公式

$$E = 100 \times \frac{100 \times (f-t)}{f(100-t)}$$

(第四卷第 19 篇, 第二十四章)。

工作很好的振动筛效率为 80~90%, 用 6.3 毫米或更大一些的筛眼的筛网, 效率还可稍高一些。如果筛眼为 10 网目, 当物料湿度不大时, 效率会降到 65~70%, 当湿度增大时, 会显著地降低至 60% 以下。

上述公式未能考虑到这一事实, 即细物料, 例如 1 毫米的物料, 容易通过筛眼 10 毫米的筛网, 而直径 9 毫米的物料穿过此筛网就很困难。

可见, 原物料和筛上产品的筛析效果要依「难筛颗粒」①的数量而定, 而此处的难筛颗粒是指不能通过比实验用的筛眼小 17% 的筛网的颗粒。

根据这些先决条件, 筛分效率可用下式表示:

$$E = \frac{U (F - O)}{F (U - O)},$$

式中 F 、 U 和 O 表示难筛颗粒在原物料、筛下级别和筛上级别中的相对百分含量。

筛分效率, 除了对大小等于筛孔尺寸 0.75~1.5 的难筛颗粒外, 都是可以计算的。上述大小范围以外的颗粒, 其数量只要不致使筛网的过负荷太大时, 对于效率的影响是不大的。

根据以上理由, 对筛下产品的产率, 可按下式鉴定:

$$E_1 = \frac{100 (U - ZC)}{U},$$

① 尺寸为筛孔尺寸(直径)的 0.8 或 0.8 以上的颗粒称为「难筛颗粒」

式中 C ——原物料中难篩顆粒的含量, %;
 U ——原物料中篩下产品的含量, %;
 Z ——篩上产品中难篩顆粒的含量, 以小数計。

上述計算效率的方法已在篩分时应用, 並已在实践中檢驗过。

采用第二个方法(按照移出率)时, 是将原物料中篩上产品的含量, (以百分数計), 除以原物料量即产率(以百分数計)来計算篩分效率^①。

运用上述定义, 並以 O 表示原物料中篩上产品的含量(以百分数計), 就有:

$$E_s = 100 \left(\frac{O}{O + ZC} \right)。$$

此种計算效率的方法, 是当篩分目的在于从粗粒中排除不要的微粒时, 最为常用。

第三个方法是根据篩上产品中的篩下产品含量(以百分数計)来計算的, 这样計算出的效率比較精确。此种方法是在评价各个产物質量的场合下产生的。

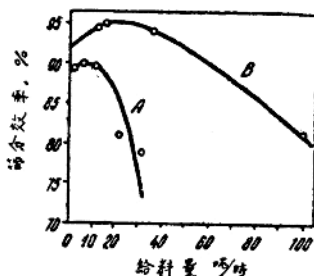
按照此一方法, 效率即为 100 減去粗粒产品中篩下产品的含量(以百分数計), 而且顧及到难篩顆粒, 就是:

$$E_s = 100 \frac{C - ZC}{C} = 100(1 - Z)。$$

当提高生产率, 特别是在給矿中含有大量粗粒和难篩顆粒时, 效率会

图 3 过負荷与难篩顆粒
含量对篩分效率的影响

A—12.7~3.2毫米的顆
粒尺寸, 难篩顆粒占55%;
 B—尺寸为50.8毫米的顆
粒重量, 难篩顆粒的数量
占18%



① 这一句話英文本是「用第二个方法(移出百分数)計算篩分效率, 就是用給矿中真正篩上量百分数除以实际篩上量的百分数」——校者。

大大降低。当筛子过负荷时，细物料难于接近筛面，并易于堵塞筛眼。

图3中所示系过负荷及难筛颗粒含量过高对筛分效率的影响。

如果采用尺寸为6.3毫米的方筛网，则难筛颗粒的尺寸为4.5~9.5毫米。

在振动筛上于同样的条件下用两种砾石进行试验。砾石A，其中约含3倍以上的难筛颗粒，当给矿速度约为砾石B给矿速度的1/2时，显示出最大的效率。

筛子长度对效率的影响列入图4，图中比较了处理粒度为3~75毫米的砾石但仅长度不同的三个振动筛的工作（筛宽915毫米，12.5毫米的方形筛眼，倾角17.5°，速度120转/分，振幅3.9毫米）。

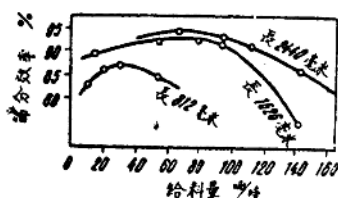


图4 振动筛筛长与筛分效率的关系

给入筛内的物料性质影响筛下产品的产率。物料的性质是指：1) 筛下产品的含量；原物料中它的含量愈少，筛下产品的产率就愈少；2) 难筛颗粒的百分数；难筛颗粒愈多，筛下产品的产率就愈少；3) 水份的含量、由湿度所决定的粘度，及附着于筛网丝上的

的倾向；4) 片状颗粒或针状颗粒。

干矿石筛分，最好是在加热状态下（38~65°C）进行。

筛子的生产率系指筛子能满意地筛出所需粒度的吨数。

随着给料速度的不同，筛分机的生产率有很大的变化。

设在筛孔约等于极限尺寸50%的筛网或筛板上，将产品进行完全分离。则当筛分这种物料时，可以遵循下列两种规范之一：1) 收集与称量从筛分开始起相等各段短时间内穿过筛网的物料，如此就得到筛下产品重量——时间的曲线，如图5,a所示；2) 在一定重量的物料作均匀给矿的一段时间内，将筛下产品留在它穿过筛网的地方，如图5,b的曲线所示。

对在a种情况下所得的一批接一批的物料的研究，和对在b种情况下于沿着颗粒堆的不同地方所得物料的研究，都表明在这两种情况下穿过筛网较早的物料，主要是在筛眼尺寸70%以下的各种尺寸的混合颗粒。延长筛分时间会使筛下产品中的粗粒级增多。

如果所增減的物料比分离篩篩眼大于 150%，篩子給料速度的变化对曲綫沒有影响。

如果所增減的物料小于篩眼尺寸的70~75%，則曲綫变得較陡或較緩，而曲綫b之最高值則將減小。

当变化物料中难篩顆粒的吨数时，則曲綫的变化較小。

如果起先作試驗的物料是完全干的物料，而随后的試驗加3~4%以上的水份进行，則曲綫a的起始部分將會降低，而曲綫b最高值的高度与銳度將會減小。

篩下产品的过篩速度，随物料水份含量而变化，而水份含量取决于物料的矿物性質、粒度与分布程度。含水量达到15~20%时，將會使篩下产品的过篩速度大大降低。

繼續增加水分，最初会使过篩速度迅速恢复到完全像干物料的过篩速度一样，然后視篩孔①尺寸的不同，篩分速度將繼續增大。

可见，篩子的实际生产率乃依其通过难篩顆粒的能力而定。当剩余細粒（在篩孔尺寸0.7以下）十分容易地通过时，則篩子便是过剩篩上产品（大于篩孔1.5的）的运输机。

各类型篩子生产率的数据，在講到各种篩子时將加以叙述。

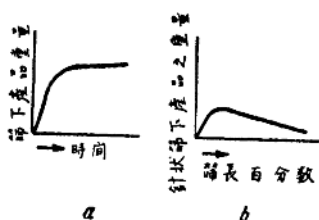


图 5 生产率曲綫

第三章 篩 面

篩面有3种形式：平行的篩棒，冲孔篩板与金屬絲或絲綫編成的篩网②。篩面的篩眼尺寸，以篩板或篩网上篩眼边缘間的最小直綫尺寸來計算。篩

① 選式篩分能在很大的程度上提高篩子的效率。这点在用于处理砂矿筒篩的工作上表現极为明显——備者。

② 在我們采用的術語中和在有用矿物选矿生产实践中，將冲孔或鑽孔的鋼板称为板篩，而用編織网制成的則称为网篩；在矿冶工业中篩网系用金屬絲織成，在粉业或为其它专门目的而用的細孔篩网系由絲綫編織而成——編者。

眼尺寸的表示方法不一，最好用毫米表示；通常，特別对于織网篩，篩眼尺寸常用网目^①表示。但在用网目表示时，必須指明用以編制篩网的篩絲的号数，或引用1种現用的篩比（第四卷、第十九篇、第二章）。如已知篩絲尺寸，則篩眼可用一般的量度单位，如毫米，表示之。如采用标准号碼的篩絲，則需知道篩絲的号数，因为不同工业品种中同一标准篩絲的尺寸往往不同。

設 a —篩孔尺寸， d —篩絲直径， m —网目个数， P —篩网有效工作面%，則其余数值可从下式求出^②：

$$P = a^2 m^2 = \frac{d^2}{(a+d)^2} = (1-md) ; \quad m = \frac{1}{a+d} ;$$

$$a = \frac{1}{m} - d ; \quad d = \frac{1}{m} - a .$$

如果冲孔篩板的篩眼是圆形的，篩眼尺寸用网目数表示，則此网目数不表示25.4毫米直綫尺寸上的篩眼个数，而只是說明此篩眼尺寸接近于相同网目数織网篩的篩眼尺寸。如果取表3—4中所列織网篩篩眼极限范围間的算术平均值作为所需网目数，則它將約符合于冲孔篩板的篩眼。

在欧洲細孔篩网一般用每平方厘米上的篩眼个数来表示。

有时篩眼尺寸也用「針状网目」数值表示，此数值相当于針的穿孔直径（见表11）。

材料。篩板有时是用鑄鉄制造的，但一般常用鋼材制成，也有用高碳鋼、低碳鋼、錳鋼、鉻鎳鋼（不銹鋼）黃銅、磷青銅、蒙乃尔合金^③制造

^① 术语「网目」系指1英寸上的篩眼个数，即指在25.4毫米距离上的篩眼个数。細孔篩网的篩眼尺寸，适于用微米表示。編者。

^② 苏联金屬制品工业管理总局于1938年制定了金屬織絲网的米制标准 № 23/2573；我国标准篩篩眼的尺寸是根据米制原則制定的。采用几何級数的分母 $\sqrt[10]{10} = 1.259$ 作标准篩的篩比。

目前正在研究关于采用下列新的标准篩的算术比率：

$$1.0-0.8-0.6-0.4-0.2-0.1 \text{ (毫米)}$$

$$100-80-60-40-20-10 \text{ (微米)} .$$

毫米篩用12个，微米篩用6个（有色金属1949年第3期，耶列明工程师的論文）——編者。

^③ 銅与鎳的合金（70:30），还含有鉄与錳的混合物——編者。