

粉碎筛分 原理与设备

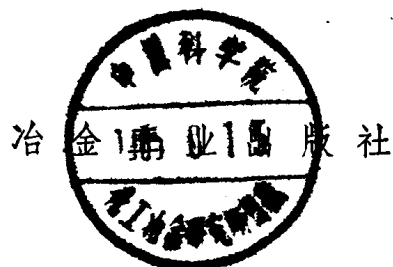


冶金工业出版社

79.7.31
234

粉碎筛分原理与设备

任 德 树 编著



粉碎筛分原理与设备

任 德 树 编著

•

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

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 19 3/8 字数 512 千字

1984年9月第一版 1984年9月第一次印刷

印数00,001~3,500册

统一书号: 15062·4049 * 定价3.55元

前 言

《粉碎筛分原理与设备》从实用角度系统地阐述了粉碎、筛分与分级的基本理论，设备的构造特点、规格与性能，参数的计算或选择，物料性质的试验研究方法以及设备的应用与操作、维修。特别对国外已推广使用的各种新型高效能设备及其零部件，进行了较为详细的介绍。

本书可供冶金、建材、化工等高等院校有关专业的学生、研究生、教师以及厂矿、研究单位从事粉碎、筛分与分级的工程技术人员参考。

在编写过程中，承蒙一些高等院校、科研单位、厂矿以及冶金部情报研究总所的同志们为本书提供了许多宝贵的资料及建议，在此谨致衷心的感谢，并恳切盼望使用本书的同志们对书中的错误、缺点及不足之处提出意见及指正。

编 者

冶金部冶金设备研究所

1982年1月于北京

目 录

前言

第一章 粉碎总论	1
第一节 粉碎的目的和重要性	1
第二节 破碎、磨碎的段数与流程	3
第三节 物料的性质	7
第四节 物料的颗粒形状和粒度特性	13
第五节 粉碎机施力种类和粉碎能耗理论	34
第二章 颚式破碎机	48
第一节 颚式破碎机的工作原理与结构	48
第二节 国外的颚式破碎机	65
第三节 颚式破碎机的参数计算	77
第四节 颚式破碎机的应用、操作与维修	91
第三章 旋回破碎机	98
第一节 旋回破碎机的工作原理及结构	98
第二节 国外的旋回破碎机	108
第三节 旋回破碎机的参数计算	119
第四节 旋回破碎机的应用、操作与维修	124
第四章 圆锥破碎机	130
第一节 圆锥破碎机的工作原理与结构	130
第二节 国外的圆锥破碎机	143
第三节 圆锥破碎机的参数计算	161
第四节 圆锥破碎机的应用、操作与维修	165
第五章 锤式和冲击式破碎机	173
第一节 锤式和冲击式破碎机的工作原理与结构	173
第二节 国外的锤式和冲击式破碎机	184
第三节 锤式和冲击式破碎机的参数选择和计算	209
第四节 锤式和冲击式破碎机的应用、操作与维修	214
第六章 辊式破碎机	223

第一节	辊式破碎机的工作原理与结构	223
第二节	国外的辊式破碎机	232
第三节	辊式破碎机的参数选择和计算	240
第四节	辊式破碎机的应用、操作与维修	246
第七章	球磨机、棒磨机和管磨机	250
第一节	球磨机、棒磨机和管磨机的工作原理与结构	251
第二节	国外的球磨机、棒磨机和管磨机	290
第三节	球磨机和管磨机的参数选择和计算	317
第四节	棒磨机的参数选择和计算	349
第五节	球磨机、棒磨机和管磨机的应用、操作与维修	353
第八章	自磨机	367
第一节	自磨机的工作原理与结构	367
第二节	国外的自磨机	377
第三节	自磨机的参数选择和计算	387
第四节	自磨机的应用和操作	393
第九章	风扇磨、盘磨机、振动磨、射流磨和胶体磨	399
第一节	风扇磨	399
第二节	盘磨机	405
第三节	振动磨	420
第四节	射流磨	433
第五节	胶体磨和涡流磨	435
第十章	物料性质的试验测定方法	437
第一节	可磨性试验	437
第二节	磨蚀性试验	443
第三节	用重力及离心力分级方法测定细粒级的粒度特性	449
第四节	比表面测定	463
第五节	物料抗压强度、韧性、易碎性、硬度及粉末密度的测定	467
第十一章	筛分总论	472
第一节	筛分的用途和筛序	472
第二节	筛面和筛面固定方法	476
第三节	筛分效率	495

第十二章 振动筛和共振筛	503
第一节 具有圆形轨迹的惯性振动筛 (圆振动筛)	503
第二节 具有直线轨迹的惯性振动筛 (直线振动筛)	525
第三节 共振筛	533
第四节 振动筛和共振筛的参数选择和计算	536
第五节 振动筛和共振筛的应用、操作与维修	544
第十三章 其它筛分机械和分级机	546
第一节 弧形筛	546
第二节 概率筛 (摩根逊Mogensen筛)	556
第三节 击振细筛	560
第四节 其它类型细筛	563
第五节 机械分级机	571
第六节 水力旋流器	580
第十四章 粉碎筛分流程	584
第一节 总论	584
第二节 各工业部门的粉碎筛分流程实例	586
参考文献	609

第一章 粉碎总论

第一节 粉碎的目的和重要性

一、粉碎的目的

粉碎是把大粒度物料利用破碎机或磨碎机来破碎或磨碎至较细粒度的过程。粉碎的目的如下：

(1) 使矿石中有用成分解离。由于矿石中有用成分同杂质紧密地结合在一起，只有将其充分粉碎，才能使有用成分释放出来，即所谓“解离”。有用成分只是在充分解离之后，才能用选矿方法将其同杂质分开，以剔除杂质，得到较纯净的所谓精矿。许多金属矿石要在选矿厂粉碎至0.074毫米以下才能解离，以选出品位和回收率都较高的精矿。

(2) 使物料的比表面增加。比表面是单位重量或体积的物料的表面积，物料的粒度越小，比表面将越大。例如，一块边长为1厘米的立方体，比表面为6平方厘米。如果将这个立方体切成边长为0.1厘米的小立方体，则可切出1000个，比表面达60平方厘米，增加到切割以前表面积的10倍。如果继续切割，比表面将继续增加，如表1-1所示。

表 1-1 比表面随粒度的变化

立方体边长 (厘米)	切割后 的个数	比表面 (厘米 ² /厘米 ³)	立方体边长 (厘米)	切割后 的个数	比表面 (厘米 ² /厘米 ³)
1	1	6	10 ⁻¹	10 ³	6 × 10 ²
10 ⁻¹	10 ³	6 × 10	10 ⁻²	10 ⁶	6 × 10 ⁵
10 ⁻²	10 ⁶	6 × 10 ²	10 ⁻³	10 ⁹	6 × 10 ⁶
10 ⁻³	10 ⁹	6 × 10 ³			

物料经粉碎后其产品形状虽然不是立方体，但比表面同粒度之间的关系仍然相似，即比表面同粒度呈反比而增加。增加物

料的比表面的目的有二：

1) 使物料同周围介质的接触面积增大，反应速度增加，例如，催化剂的接触反应，固体燃料的燃烧与气化，物料的溶解、吸附与干燥，以及在化工上利用粉末颗粒流化床的大接触面积来强化传质与传热等。

2) 在水泥工业中提高水泥的标号。水泥熟料同石膏一起磨成粉末状态的最终产品。磨碎的粒度越细，比表面越大，水泥的标号就越高。

(3) 为原料的下一步加工作准备。例如，在炼焦厂、烧结厂、制团厂、陶瓷工业、玻璃工业、粉末冶金等部门中，要求把原料破碎或磨碎至一定粒度以下，供下一步加工处理之用。

(4) 便于使用。例如，在食品工业、化学工业、医药工业、化肥与农药等工业部门中，常将产品磨碎成粉末状态，以便于使用。

(5) 便于贮存和运输。粉碎后的物料便于用风力或水力运输。

(6) 制备混凝土时，不仅石料需要破碎至一定的粒度，而且当天然砂不足时，可用粉碎方法制备人造砂。但人造砂的粒度组成必须符合严格的规定（参见表4-8）。

(7) 用于材料科学与环境保护（将城市垃圾粉碎后进行处理）等部门。

二、粉碎在工业部门中的重要性

在选矿厂和水泥厂，粉碎车间的投资与生产费用占全厂投资与生产费用的比重很大，例如在选矿厂，破碎与磨碎车间的投资约占全厂投资的60%，其生产费用占全厂生产费用的40%。

在其他一些工业部门中，粉碎设备或粉碎车间的工作量占总工作量的比重虽不大，但往往对它有较高的技术要求，否则会影响最终产品的质量与总的经济效益。

首先是减少过粉碎问题：粉碎工序要求把全部或绝大部分产品粉碎至一定粒度以下，但其中小于某一粒度的产品（即小于某

粒度的级别或粒级)应力求减少。产生这种粒度过细的产品称为过粉碎。例如在选矿厂,重选法能够处理的粒度下限约为19微米,浮选法能够处理的粒度下限约为5~10微米;产生小于19或5~10微米的粒级分别为过粉碎。又如用镁法生产的海绵钛,要求把海绵钛破碎至12.7毫米以下,但其中 <0.84 毫米的粒级应该尽量少。这种 <0.84 毫米的粒级即为过粉碎粒级。某铁合金厂要求破碎焦炭至20毫米以下,但其中小于3毫米的粒级(过粉碎的粒级)应尽量少。这些过粉碎粒级有的当作废品处理,有的只能大大减价处理,使经济上蒙受损失。

其次是“超细粉碎”问题。在某些用途中,需要把物料磨得非常之细,即所谓“超细粉碎”。虽然物料量不多,超细粉碎也往往带来技术上的困难,需要采取一些专门措施。有人做过试验,在小型球磨机内将原料长时间研磨,开始时磨碎细度随研磨时间的增加而变细,但经过一定时间之后即达到所谓“磨矿限”,尽管研磨时间继续增加,粒度不再变细或变化很慢,甚至由于粉末表面积增加而出现聚集现象,表现为粒度变粗。

第三是粉碎的能耗与粉碎工具的磨损问题。大型选矿厂用的粉碎机不但尺寸和重量很大,而且消耗功率很多,粉碎工具的磨损费用很高。视物料性质及磨碎细度的不同,磨碎一吨物料通常需要消耗8~20千瓦小时的电力,粉碎工具磨损约50~1000克(称为钢耗)。粉碎的能耗与钢耗占全部生产费用的比重很大。从节能角度看,更应尽量减少磨碎的能耗。

第二节 破碎、磨碎的段数与流程

在本书中用 D 表示破碎机或磨碎机给料的粒度(通常指最大给料粒度,即给料中最大块的粒度), d 表示其破碎或磨碎产品粒度(通常指产品中最大的粒度),用 $i=D/d$ 这一比值表示破碎比,也就是物料经过一次破碎机破碎后其粒度减小的倍数。各种破碎机或磨碎机的破碎比互不相同;破碎坚硬物料的破碎机的破碎比在3~10之间,磨碎机的破碎比可达40~400以上。

在实际应用中，要求总的破碎比往往较大，例如要求把 600 毫米的给料粉碎至 0.2 毫米以下，总的破碎比等于 3000，这往往不是一台破碎机或磨碎机能完成的，而需要使物料经过几次破碎和磨碎来达到最终的粒度，例如先将粒度为 600 毫米的物料送入一台旋回破碎机，破碎至 250 毫米以下；再将 250 毫米以下的物料送入一台中碎圆锥破碎机，破碎至 50 毫米以下。最后将 50 毫米以下的物料送入一台细碎圆锥破碎机，破碎至 8 毫米以下，然后再送入球磨机磨至 0.2 毫米以下，如图 1-1 所示。

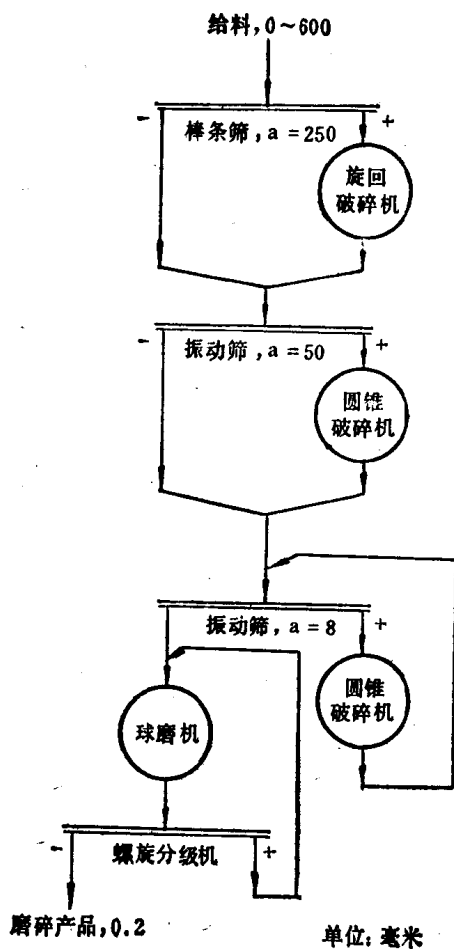


图 1-1 典型破碎筛分流程

物料在送入旋回破碎机和中碎圆锥破碎机以前，先进行过筛（筛分），筛子的筛孔大致等于破碎机排料（破碎产品）的粒度，以分出给料中已经小于破碎机排料粒度的那部分物料。这种筛分称为“预先筛分”。预先筛分的作用，是把破碎机给料中的细粒级（即粒度大致小于破碎机排料粒度的粒级）分出，从而减轻破碎机的负荷。

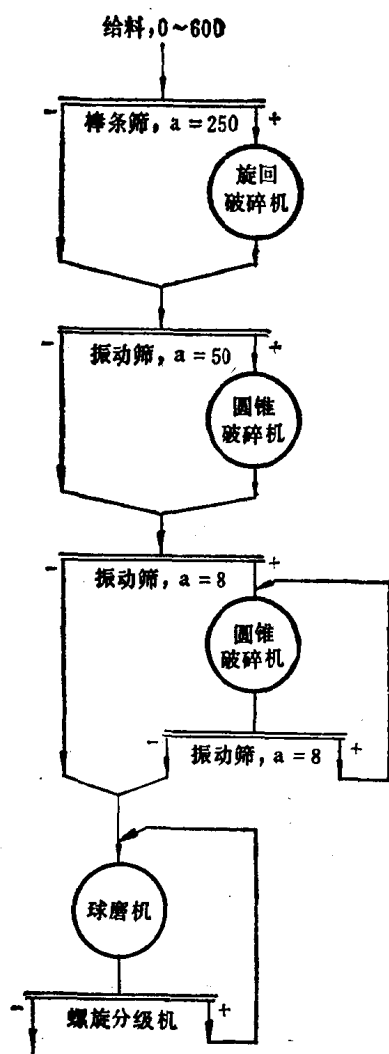
同细碎圆锥破碎机配用的，除“预先筛分”外还有“检查筛分”。检查筛分处理的对象是圆锥破碎机的排料，其筛孔尺寸大致等于预先筛分的筛孔尺寸。筛上产品（粗粒级）为不合格产品，返回破碎机再度破碎；筛下产品（细粒级）为合格产品，即已达到要求的粒度以下，可送往磨碎车间进行磨碎（也可以作为最终产品直接在市场上销售）。

由图1-1可见：（1）破碎机常和筛子配用，组成所谓“破碎流程”；（2）预先筛分是对破碎机的给料进行筛分，检查筛分是对破碎机的排料进行筛分；（3）预先筛分有时同检查筛分合而为一，如图1-2所示。

小于8毫米的碎料送入球磨机，磨碎至0.2毫米以下。球磨机的排料送螺旋分级机进行分级。与破碎段的检查筛分相似，这种分级称作“检查分级”。磨碎流程也有“预先分级”和“检查分级”之分，或把两种分级合起来。检查分级还可以进行两次，第二次检查分级又称作“溢流控制分级”，其目的是把第一次检查分级的溢流再分级，以便得到更细的溢流产品。实际生产中的破碎与磨碎流程，将在第十四章中举例详述。

物料每经过一次破碎机或磨磨机，称为一个破碎段，上述流程中有三个破碎段和一个磨碎段，分别称作粗碎段、中碎段、细碎段和磨碎段。磨碎段有时还分为粗磨段和细磨段。

粗碎段也称作一次破碎，指的是把矿山（特别是露天矿）采出来的原矿进行破碎的工序。中碎段和细碎段也分别称为二次破碎和三次破碎。各段的给料和破碎产品的粒度范围大致如表1-2所示。与此相对应，用于粗碎段的破碎机称为粗碎机，用于中碎



破碎产品, 0.2 单位: 毫米

图 1-2 预先筛分和检查筛分合而为一的典型破碎筛分流程

表 1-2 破碎段的划分

破 碎 段	粗 碎	中 碎	细 碎
给料粒度 (毫米)	300~1500	100(150)~300(350)	19(40)~100(150)
排料粒度 (毫米)	100(150)~300(350)	19(40)~100(150)	4.8(5)~25(30)

段或细碎段的破碎机分别称为中碎机和细碎机。

这种分类法主要适用于颚式、旋回、圆锥、辊式等破碎机。而某些破碎机如冲击式破碎机和锤式破碎机（见第五章），能将近1000毫米的大块物料一次破碎至10~30毫米以下，又如原料自磨机（见第八章）能将600毫米的大块物料，一次破碎并磨碎至0.044毫米以下，即一台机器兼有粗、中、细碎或粗、中、细碎及磨碎的功能。

对于坚硬矿石，常用旋回和圆锥破碎机进行破碎。破碎的目的通常是磨碎作准备（金属矿石通常经过磨矿之后才能充分解离），破碎的段数为两段、三段或四段。小选矿厂常用两段，而日产量达数万吨的大型选矿厂用四段破碎。磨碎视选矿厂规模和磨碎细度而定，一般多为一段或两段。钨锡矿的重选厂有用三段磨碎的。

第三节 物料的性质

破碎机和磨碎机的选型与设计、粉碎的效果、粉碎能耗、粉碎产品的粒度特性、齿板及磨矿介质的磨损、以及在粉碎时必须采取的特殊措施等，都与物料的性质有关，就粉碎而言，物料的下述性质是较为重要的。

一、强度和脆性

强度一般表现为粉碎物料的难易程度。粉碎机械的受力大小、机构设计、性能指标等都同物料的强度密切相关。物料的强度可以用试验室测定物料的抗压强度为标准。抗压强度大于2500公斤/厘米²者为坚硬物料，400~2500公斤/厘米²者为中硬物料，小于400公斤/厘米²者为软物料。

物料的强度同物料的粒度有关，粒度小的物料颗粒，其宏观和微观裂缝比大粒度颗粒的少，因而强度较高。

表1-3列出常见岩石的抗压强度、韧性和易碎性的数据。这些数据的测定方法，将于第十章详述。

普氏硬度系数 f 也用于物料分类。 f 值大致等于抗压强度的

表 1-3 岩石的某些物理性质

类 别	矿石名称	比 重	抗压强度 公斤/厘米 ²	相对韧性	易 碎 性	
					洛 杉 矶 (Los Angeles)	德 瓦 尔 (Deval)
侵入火 成 岩	花 岗 岩	2.63	1760	9	41.5	4.7
	正 长 岩	2.71	1890	14	38.8	4.0
	闪 长 岩	2.87	700	17	—	3.1
	辉 长 岩	2.93	2940	14	14.0	3.4
喷出火 成 岩	流 纹 岩	2.61	2740	18	16.4	3.6
	粗 面 岩	2.66	1760	18	20.7	4.2
	安 山 岩	2.63	1200	18	32.5	3.7
	玄 武 岩	2.84	3310	30	16.7	3.0
硅 质 沉 积 岩	砾 石	2.64	1400	10	—	—
	砂 岩	2.48	1620	12	58.7	5.4
	页 岩	2.66	700	8	—	8.1
钙 质 沉 积 岩	石 灰 石	2.63	1230	8	33.8	5.6
	白 云 石	2.71	1500	8	27.1	5.9
	碳 酸 钙	2.71	377	5	36.3	17.4
接 触 变 质 岩	片 麻 岩	2.68	1680	8	41.1	4.3
	页 岩	2.74	—	9	36.5	5.0
	大 理 石	2.71	960	5	54.2	6.8
	蛇 纹 石	2.63	3030	13	18.5	7.1
	板 石	2.74	1540	18	—	4.4
区域变质岩	石 英 岩	2.68~2.71	1620~2180	13~19	30.3	3.9

百分之一。根据普氏系数 f 的值将岩石按坚固性分为十级，相应的 f 值由0.3到20。 f 值越大，岩石的坚固性也越高，如表1-4所示。

除了静压力外，某些粉碎机以冲击力对物料进行粉碎，因而需测定物料的抗冲击强度。对于粉末物料，磨碎机是以压力、冲击、研磨等多种作用力的综合作用来磨碎物料的。物料的静态抗压强度不能代表物料对磨碎的阻力，因而需要做可磨性试验来测定磨碎物料的性质。可磨性系数高，表示物料易于磨碎；系数

表 1-4 普氏岩石分级表

等级	坚 固 性	岩 石 类 别	f	我国一些选厂处理的矿石的 f 值
1	最坚固的岩石	最坚固、致密的且韧性高的石英岩、玄武岩和其它	20	大孤山赤铁矿(12~18), 大孤
2	很坚固的岩石	很坚固的花岗质岩石, 石英岩, 花岗岩, 砂质片岩, 比上一级坚固性差的石英岩, 最坚固的砂岩和石灰岩	15	山磁铁矿(12~16), 东鞍山铁矿(12~18), 南芬铁矿(12~16), 海南铁矿(12~15), 大冶铁矿(10~16)。
3	坚固的岩石	致密花岗岩和花岗质岩石, 很坚固的砂岩和石灰岩, 石英质矿脉, 坚固的砾岩, 较坚固的铁矿	10	
3a	坚固的岩石	不坚固的花岗岩, 坚固的石灰岩、砂岩、大理石、白云岩, 黄铁矿	8	
4	颇坚固的岩石	一般的砂岩、铁矿石	6	大青山钨矿(10~14), 通化铜矿(8~12), 铜官山(9~17), 寿王坟(8~12), 桓仁铅锌矿(8~12), 新冶铜矿(8~10), 双塔山铁矿(9~13), 因民铜矿(8~10), 凹山铁矿(8~12), 水口山铅锌矿(8~10), 青城子铅锌矿(8)。
4a	颇坚固的岩石	砂质页岩、页岩质砂岩	5	
5	坚固性中等的岩石	坚固的粘土质岩石, 不坚固的砂岩和石灰岩	4	
5a	坚固性中等的岩石	不坚固的各种页岩, 致密的泥灰岩	3	
6	颇软弱的岩石	软弱的页岩, 很软弱的石灰岩, 白垩, 岩盐, 石膏, 冻结的土壤, 无烟煤, 普通泥灰岩, 破碎的砂岩, 胶结砾石, 石质土壤	2	
6a	颇软弱的岩石	碎石质土壤, 硬化粘土等	1.5	
7	软弱的岩石	致密的粘土, 软弱的烟煤, 坚固的冲积层土壤	1.0	
7a	软弱的岩石	轻砂质粘土, 黄土	0.8	
8	土质岩石	腐殖土, 泥煤, 轻砂质土壤, 湿砂	0.6	
9	松散性岩石	砂, 细砾石, 粘土	0.5	
10	流砂性岩石	流砂, 沼泽土壤, 含水黄土及其它土壤	0.3	

注: 1. 风化的、破碎的、经断层挤压过的、接近于地表的岩石, 一般应划分于处于完整状态的同种岩石稍低的等级中。

2. 在分级表中的数值是对某一类岩石中所有岩石而言的(例如, 页岩类、石英岩类、石灰岩类等), 而不是对其中某个别岩石而言的。因而, 在不同的情况下 f 值是不一样的。

低，表示物料磨碎困难。第十章将讨论几种可磨性试验及冲击试验的方法。

工业中需要粉碎的物料，绝大多数呈现脆性，物料在断裂之前的塑性变形很小。但也有一些需要破碎的物料，呈现较高的韧性和塑性。这类物料用惯用的破碎机难以破碎，需要采取特殊措施。例如用镁法生产的海绵钛，在压力作用下能产生很大的塑性变形而不断裂。又如破碎金属切削下来的金属屑，压力只能使其压实成一团，但是不能碎成小片、小条或粉末，海绵钛破碎机和金属切屑破碎机将分别在第五章和第六章介绍。

由于天然物料的性质不均匀，同一物料测出的强度数据往往出入较大。在实际工作中，鉴于物料的硬度也在一定程度上反映物料粉碎的难易程度，因而可用物料的硬度表示其可碎性。

众所周知，矿物的硬度可按莫氏硬度分为下面十级，各种物料的硬度利用与这些矿物相比较来确定：

- (1) 滑石 (2) 石膏 (3) 方解石 (4) 萤石 (5)
磷灰石 (6) 长石 (7) 石英 (8) 黄晶 (9) 刚玉

表 1-5 各种硬度物料的分类

软 质 物 料	中 硬 物 料	坚 硬 物 料	最 坚 硬 物 料
石 棉 矿 石 膏 矿 板 石 软质石膏石 烟 煤 褐 煤 粘 土	石灰石 白云石 砂 岩 泥灰石 岩 盐 杂有石块的粘土	花 岗 岩 石 英 岩 铁 矿 石 暗 色 岩 砾 石 玄 武 岩 斑 麻 岩 辉 绿 岩 辉 长 岩 金属矿石 矿 渣 电 石 烧结产品 韧性化工原料	铁 燧 岩 花 岗 岩 花岗岩砾石 暗 色 岩 刚 玉 碳 化 硅 石 英 岩 硬质熟料 烧结镁砂