

ICS 73.020

CCS 点击此处添加 CCS 号

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T XXXXX—XXXX

选矿试验技术方法 第2部分：磨矿分级

Technical methods of mineral processing test—Part 2: Grinding and classifying

(报批稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 目的任务	1
5 试验样品	2
6 试验设备	2
6.1 称量设备	2
6.2 磨矿设备	2
6.3 分级设备	2
6.4 辅助工具	2
7 试验方法	2
7.1 试验条件	2
7.2 测定矿石可磨度	3
7.3 测定矿石相对可磨度	3
7.4 常规磨矿分级试验	4
7.5 试验操作	4
8 试验记录	5
8.1 记录规则	5
8.2 试验数据分析	5
8.3 试验误差	5
附录 A (资料性) 实验室部分常用设备型号	6
附录 B (资料性) 邦德功指数球磨试验方法	7
参考文献	9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是DZ/T XXXX《选矿试验技术方法》的第2部分，DZ/T XXXX已经发布了以下部分：

- 第1部分：破碎筛分
- 第2部分：磨矿分级
- 第3部分：重选
- 第4部分：磁选
- 第5部分：浮选

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（TC93）归口。

本文件起草单位：中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所、福州大学、华北理工大学、北京科技大学、中国地质科学院水文地质环境地质研究所、昆明理工大学。

本文件主要起草人：张亮、李作敏、冯安生、吕振福、左蔚然、丁国峰、柳林、杨卉芄、吴彬。

引 言

DZ/T XXX《选矿试验技术方法》是选矿试验操作的标准化和规范化指引，以保证试验数据的准确性和试验结果的可靠性。DZ/T XXX《选矿试验技术方法》拟由9个部分组成。

- 第1部分：破碎筛分；
- 第2部分：磨矿分级；
- 第3部分：重选；
- 第4部分：磁选；
- 第5部分：浮选；
- 第6部分：焙烧；
- 第7部分：球团；
- 第8部分：浸出；
- 第9部分：拣选。

本部分为DZ/T XXXX的第2部分，明确了实验室选矿试验中的磨矿分级试验技术方法，其中包括相关的术语与定义、目的任务、试验样品、试验设备、试验方法及试验记录等，与相关技术标准配套使用。

选矿试验技术方法 第2部分：磨矿分级

1 范围

本文件给出了固体矿产实验室磨矿分级试验相关的术语和定义，明确了目的任务、试验样品、试验设备、试验方法和试验记录等要求。

本文件适用于固体矿产实验室选矿试验中的磨矿分级试验。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

磨矿 grinding

在机械设备中，借助于介质和矿石本身的冲击和磨剥等作用，使矿石的粒度减小的过程。

3.2

磨矿浓度 grinding slurry concentration

矿浆中所含固体物料质量的百分数。

3.3

磨矿细度 grind product fineness

磨矿产品的粒度分布特征。

注：一般用物料中-0.074mm（或其他粒度）质量的百分比表示。

3.4

连生体矿物 combination composite particle

含有两种或两种以上矿物的复合颗粒。

3.5

单体解离度 liberation degree

矿物单体解离的颗粒数与含该矿物的全部颗粒数的质量百分比。

3.6

邦德磨矿功指数 Bond grinding work index

将“理论上无限大的矿石颗粒”磨碎到80%可以通过100 μm 时所需的功。

注：单位为每吨千瓦时（kW·h/t）。

3.7

可磨度 grindability

矿石由某一粒度磨碎到规定粒度的难易程度。

注：对于指定的磨矿方法，一般用单位容积生产能力或单位耗电量的绝对值度量。

3.8

相对可磨度 relative grindability

已知可磨度的某标准矿石与待测矿石在同样测定方法和测定条件下磨到要求的细度所需磨矿时间的比值。

注：用K表示。

4 目的任务

通过矿石可磨度试验，确定矿石的可磨度，为磨矿机选型提供依据。确定磨矿细度与磨矿时间的关系，为后续分选提供合适粒度的样品。确定磨矿细度与矿石中主要有用矿物（有用组分）解离度的关系，结合后续分选试验，确定最佳磨矿细度。

5 试验样品

- 5.1 矿样应单独存放在固定储存场所内，确保矿样不与其他物品混合或反应。易氧化矿样应密封保存。
- 5.2 矿样应具有统一的编号。
- 5.3 试验样品应充分混匀缩分后取样使具有代表性。
- 5.4 试验样品质量应满足切乔特公式，见 DZ/T XXX《选矿试验技术方法第 1 部分：破碎筛分》附录 A。
- 5.5 测定邦德磨矿功指数试验样品粒度范围为 0mm~12.7mm。
- 5.6 测定矿石相对可磨度试验应称固定质量的样品，样品粒度宜为 0.15mm~2mm。
- 5.7 实验室常规试验样品粒度宜小于 2mm，含水量一般小于 2%。

6 试验设备

6.1 称量设备

- 6.1.1 称量设备宜用于磨矿分级前后矿样的称重。
- 6.1.2 根据矿样质量选择合适的称量设备，称量 1kg 以下的矿样宜选择电子台秤；称量 1kg 以上的样品宜采用台秤或案秤，最大量程和最小刻度的对应关系应符合 DZ/T XXX《选矿试验技术方法 第 1 部分：破碎筛分》表 1 要求。

6.2 磨矿设备

- 6.2.1 宜参考邦德功指数磨矿试验结果选用合适的磨矿设备。常用磨矿设备有球磨机、棒磨机、塔磨、雷蒙磨等。
- 6.2.2 当用于确定矿石选矿性能时，宜按以下原则选择磨矿设备：
 - a) 磨矿产品粒度范围宽时宜选用球磨机。间断磨矿试验宜选用锥形球磨机；连续磨矿试验宜选用格子型球磨机和溢流型球磨机，粗磨宜使用格子型球磨机，细磨宜使用溢流型球磨机。参数见附录 A。
 - b) 磨矿产品要求粒度均匀时宜选用棒磨机。间断磨矿试验宜使用棒磨机、三辊四筒棒磨机；连续磨矿试验宜选用格子型棒磨机和溢流型棒磨机，其中粗磨宜使用格子型棒磨机，细磨宜使用溢流型棒磨机。参数见附录 A。
 - c) 需要避免污染的非金属矿磨矿宜选用陶瓷型球磨机，石墨、云母等片状结构的矿物细磨宜选用搅拌式球磨机、塔磨等。有特殊要求的可采用自磨机、砾磨机等试验。参数见附录 A。

6.3 分级设备

- 6.3.1 间断磨矿试验宜选用振筛机和标准筛分级；连续磨矿试验宜选用高频细筛、螺旋分级机、水力旋流器分级，参数见附录 A。
- 6.3.2 使用螺旋分级机时，溢流产品细度 0.15mm 以上粒级矿样分级宜使用高堰式螺旋分级机，0.15mm 以下粒级矿样分级宜使用沉没式螺旋分级机。参数见附录 A。
- 6.3.3 水力旋流器一般适用于要求产品浓度 35% 以下的矿浆分级。

6.4 辅助工具

- 6.4.1 秒表、毛刷、扫帚、洗耳球、量杯、量筒等。

7 试验方法

7.1 试验条件

- 7.1.1 磨矿分级试验宜在实验室内进行。
- 7.1.2 磨矿分级试验前应清理磨矿设备、分级设备以及混匀缩分设备（工具），防止样品受到污染。
- 7.1.3 磨矿分级实验室应配备除尘装置、降噪装置。
- 7.1.4 实验室内应配备完善的排水系统。
- 7.1.5 试验人员应配备安全帽、防尘护目镜、防尘口罩、手套等防护工具。

7.2 测定矿石可磨度

- 7.2.1 取矿样数份，矿样质量根据入磨粒度确定，在固定的磨矿条件下依次进行不同时间的磨矿。
- 7.2.2 将各份磨矿产品用套筛筛析，或使用指定（一般为-0.074mm）的标准筛筛析。
- 7.2.3 绘制磨矿时间与产品中各筛下（或筛上）级别累计产率的关系曲线，找出将试样磨到所要求的细度（按-0.074mm 含量计入）所需要的磨矿时间 T。
- 7.2.4 磨矿机的单位容积生产能力为矿石可磨度，按照给矿量计算为：

$$q = \frac{60p}{V \cdot T} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

q ——在指定的给矿和产品粒度下，按给矿量计算的单位容积生产能力，单位为每小时每升千克（kg/L·h）；

p ——试样原质量，单位为千克（kg）；

V ——试验用磨矿机体积，单位为升（L）；

T ——磨到指定细度所需时间，单位为小时（h）。

按新生-0.074mm产品计算应为：

$$q^{-0.074} = \frac{60 \cdot p \cdot \gamma^{-0.074}}{V \cdot T} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

q^{-0.074} ——按新生-0.074mm产品计算的单位容积生产能力，单位为每小时每升千克（kg/L·h）；

γ^{-0.074} ——按新生-0.074mm含量，%。

7.3 测定矿石相对可磨度

- 7.3.1 标准矿石应从已生产矿山中选择性质稳定且与待测定矿石性质相近的矿石。
- 7.3.2 一般取不少于 10 份试验样品，选择相同磨矿设备，在同等条件下分别对标准矿石和待测定矿石进行磨矿试验。
- 7.3.3 将各磨矿产品分别用指定筛孔尺寸（一般为 0.074mm）的标准筛筛分，称量筛上产品质量并记录。
- 7.3.4 计算待测矿石在不同磨矿时间条件下，粒度小于指定筛孔尺寸的产品质量占总质量的百分数，按照表 1 格式填写。

表1 矿石可磨度试验筛分结果表

磨矿时间（min）	质量分数（%）	
	标准矿石	待测矿石
	0.00	
	>99.00	

- 7.3.5 根据结果绘出磨矿时间与各产品中筛下（或筛上）级别累积产率的关系曲线，即可磨度曲线。

7.3.6 在可磨度曲线上，找出将试验样品磨到所需细度的磨矿时间 t 和将标准矿石磨到相同细度的磨矿时间 t_0 。

7.3.7 按照式(3)计算待测矿石的相对可磨度：

$$K = \frac{t_0}{t} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

K ——待测定矿石的相对可磨度，计算数值保留到小数点后2位，%；

t_0 ——标准矿石磨到要求的细度所需要的磨矿时间，单位为秒（s）；

t ——测定矿石磨到要求细度所需要的磨矿时间，单位为秒（s）。

7.3.8 根据可磨度大小确定试验物料的可磨性（易磨、难磨等）。

7.3.9 用于测定实验室已有磨矿设备的工作状态、为磨矿设备选型以及测定矿物可磨度可用邦德功指数磨矿试验，试验方法见附录 B。

7.4 常规磨矿分级试验

7.4.1 制定的磨矿试验流程应使连生体矿物充分解离，且为后续的选矿试验提供最佳矿石粒度。单体解离度是判别磨矿产品质量的主要标准，计算公式如式（4）。

$$C = \frac{A}{A+B} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

C ——某矿物的单体解离度，%；

A ——该矿物的单体质量，单位为千克（kg）；

B ——含有该矿物的连生体质量，单位为千克（kg）。

7.4.2 处理含有 15% 以上合格产品的细粒矿物，或含有可溶性盐类的矿物需预先分级单独处理时，应预先分级。

7.4.3 当需在一次磨矿得到较细的产品或需利用目的矿物进行阶段选别时，宜采用磨矿和控制分级相结合。

7.4.4 实验室磨矿分级试验中宜采用一次性磨矿分级作业，特殊情况下应根据目的矿物的粒度范围要求进行判别。

7.4.5 进行磨矿分级连续试验时，应根据磨矿细度、磨矿设备处理能力、分级设备分级效率等确定磨矿段数与返砂比。磨矿细度为-0.074mm 含量小于 65% 时，宜用一段磨矿；磨矿细度-0.074mm 含量大于 65% 时，宜用多段磨矿。进行磨矿分级连续试验时，调试稳定后宜稳定运行 4 小时。

7.5 试验操作

7.5.1 磨矿试验操作

7.5.1.1 设备启动前应检查设备电气线路是否安全可靠、所有紧固件是否完全紧固、设备各润滑部位是否良好。对于锥形球磨机和小棒磨机应检查三角皮带的松紧程度是否合适，若发现有破损现象时，及时更换；对于连续排矿球磨机和棒磨机应检查减速机、齿轮、联轴器等传动部件是否正常可靠。

7.5.1.2 设备使用前应空转 2min~3min，必要时清洗。

7.5.1.3 使用间歇型磨矿设备时，根据磨矿浓度要求，用量筒量取清水，所需清水体积应按公式（5）计算，使用连续型磨矿设备时，根据给矿速度、磨矿浓度确定补加水流量。

$$V = \frac{Q \cdot (1-R)}{R} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

V ——清水体积，单位为毫升（mL）；

Q ——样品干矿质量，单位为克（g）；

R ——矿浆浓度，%。

7.5.1.4 用三辊四筒棒磨机时，应按照少量清水—矿石—剩余清水的顺序加入滚筒内，确认密封后再放置在橡胶辊上。

- 7.5.1.5 使用间歇型磨矿设备时，应拧紧排矿口端盖，偏转筒体后向筒体内加入少量清水检查是否漏水，确保排矿口拧紧后再加入矿石以及剩余清水，拧紧给矿口端盖；将筒体恢复至水平状态。
- 7.5.1.6 使用连续型磨矿设备时应待设备运转平稳后再连续均匀给矿，待磨矿浓度、返砂比稳定后定时取样。
- 7.5.1.7 设备运转中应注意听磨矿过程的声音，声音应连续且规律，否则应注意是否存在夹棒或粘球的现象，应及时停机调整使之恢复正常。
- 7.5.1.8 磨矿结束应倒出矿石清洗介质和设备，再往磨矿设备腔体内注入石灰水防止生锈。
- 7.5.2 分级试验操作
 - 7.5.2.1 手工湿筛时，筛上产品经复筛后，质量变化小于 1% 视为作业完成。使用振动筛时应空载 2min~3min，待设备运转正常再连续均匀给矿，待筛上物料与筛下物料全部排出，方可关闭电源。
 - 7.5.2.2 螺旋分级机运转过程中，定时取样测浓度、细度，根据需要调整给矿量和补加水量。
 - 7.5.2.3 水力旋流器工作过程中应保持压力稳定，密切观察溢流口、沉砂口和压力表，有异常情况，应及时处理。

8 试验记录

8.1 记录规则

- 8.1.1 磨矿分级记录规则参见 DZ/T XXX《选矿试验技术方法 第 1 部分：破碎筛分》8.1。

8.2 试验数据分析

- 8.2.1 磨矿分级试验数据分析参见 DZ/T XXX《选矿试验技术方法 第 1 部分：破碎筛分》8.2。

8.3 试验误差

- 8.3.1 磨矿分级试验物料的质量损失宜不大于 1%；若分级次数较多，质量损失不应大于 2%。

附 录 A
(资料性)
实验室部分常用设备型号

实验室部分常用磨矿机型号见表 A. 1。

表A. 1 实验室部分常用磨矿机型号

设备类型	设备名称	设备型号	最大给料粒度 (mm)	处理量 ((g/h)/(L))	磨筒容积 (L)
球磨机	锥形球磨机	MQ-Φ150×50	3	200	-
		MQ-Φ240×90	3	1000	-
		MQ-Φ350×160	3	4000	-
	格子型球磨机	MQ-Φ420×450	5-10	-	60
		MQ-Φ420×900	5-10	-	120
	溢流型球磨机	MQ-Φ420×450	5-10	-	60
		MQ-Φ420×900	5-10	-	120
	陶瓷型球磨机	MQ-Φ180×200	2	250	5.1
		MQ-Φ280×190	2	3000-5000	17.9
	搅拌式球磨机	MQJ-5	-	2.5	5
MQJ-100		-	50	100	
棒磨机	棒磨机	MB-Φ160×200	2	300-800	-
		MB-Φ200×240	3	500-1000	-
		MB-Φ240×300	3	1000-5000	-
	三辊四磨棒磨机	MB-1L	1	100-200	1
		MB-2L	2	250-400	2
	格子型棒磨机	MB-Φ420×600	6	-	80
溢流型棒磨机	MB-Φ420×600	6	-	80	

实验室部分常用分级设备型号见表 A. 2。

表A. 2 实验室部分常用分级设备型号

设备名称	设备型号	振动幅度 (mm)	振动速度 (r/min)	筛孔尺寸 (mm)	进料粒度 (mm)
振筛机	300×600	2	1400	0-3	<0.3
高频细筛	800×1200	2	1200-1500	0-0.15	<0.15
设备名称	设备型号	螺旋直径(mm)	螺旋转速(r/min)	水槽深度(mm)	参考尺寸(长宽高/mm)
螺旋分级机	FG-5	500	8.5-15.5	≤4500	5430×680×1480
	FC-7	750	4.50-9.90	≤5500	6720×980×1820
设备名称	设备型号	溢流粒度(mm)	给矿口尺寸(mm)	溢流口尺寸 (mm)	排矿口(mm)
水力旋流器	FX-25	<0.1	3×11	Φ25	Φ2.5-Φ4
	FX-50	<0.25	20×3/20×6/20×10	Φ50	Φ5-Φ6
	FX-75	<0.25	26×5/26×10/26×15	Φ75	Φ6-Φ8

附录 B
(资料性)
邦德功指数球磨试验方法

B.1 试验设备

B.1.1 邦德功指数球磨试验应采用邦德功指数球磨机，筒体规格为 $\phi 305\text{mm} \times 305\text{mm}$ ，内表面为光滑表面。

B.1.2 筒体内装有285个钢球，总质量为20.125kg，钢球直径规格如表B.1所示。

表B.1 钢球直径规格

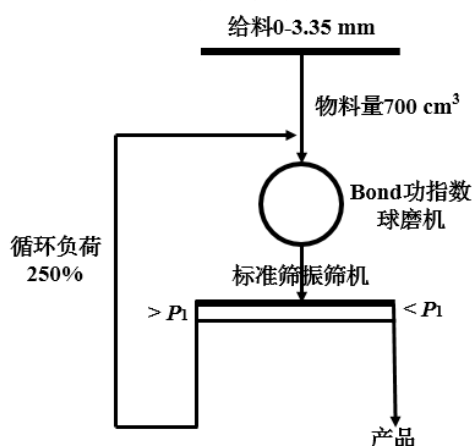
钢球直径 (mm)	36.8	30.2	25.4	19.1	15.9
钢球数(个)	43	67	10	71	94

B.1.3 筒体转速为70r/min，临界速率为91.4%。

B.2 试验方法

B.2.1 试验前应调整设备至正常工作状态；检查钢球规格和数量是否符合要求；检查筒体转速以及控制器是否正常工作。

B.2.2 通过多个循环的分批试验逐渐逼近稳定状态模拟连续球磨过程，相当于图B.1的试验流程。



图B.1 邦德功指数球磨试验流程

B.2.3 试验样品粒度范围应为0mm~3.35mm。

B.2.4 试验产品粒度应为生产或设计要求的最大产品粒度。

B.2.5 若需过筛矿物的粒度尺寸与标准筛尺寸不一致，可取与之相接近的筛孔尺寸；若矿物粒度与标准筛尺寸差距较大，宜取与之最接近的较细的筛孔尺寸；试验使用的标准筛筛孔应为方孔。

B.2.6 试验步骤一般遵循以下原则：

- a) 将物料样品在 100℃~110℃ 的温度下烘干，混匀、缩分，取少量样品进行筛分，求出样品中小于目的粒度产品的质量分数和 80%通过的粒度值。
- b) 将 700cm³ 物料样品加入功指数球磨机，其质量记为 m。
- c) 第一个循环的转数根据矿石性质、筛孔尺寸以及经验值设定，按照图 B.1 的闭路流程进行试验。
- d) 第一次磨矿结束后利用目的粒度相匹配的筛子筛分，称量筛上质量，并计算出筛下质量。

- e) 将筛上物料与补加的新矿一起倒入磨机，作为第二次磨矿的给矿，新补加物料的质量应等于筛下质量，使矿物总质量不变，球磨机转数应按照上一个循环的 G_{bp} 计算而得出，其数值是使循环负荷为 250% 时磨机可能达到的转数。

$$n_i = \frac{m_u - m_q}{G_{bp(i-1)}} \dots\dots\dots (B. 1)$$

式中：

- n_i ——第*i*个周期的转数，单位为圈（r）；
 - $G_{bp(i-1)}$ ——第*i*-1个周期球磨机每一转新生成的筛下物料的质量，单位为每圈克（g/r）；
 - m_u ——磨矿平衡时的筛下物料质量，单位为克（g）；
 - m_q ——新给矿种筛下物料质量，单位为克（g）。
- f) 第二次磨矿结束后，同样将磨机内物料倒出并筛分，计算出筛下产品质量。称取与该质量相同的新矿并与筛上物料一起倒入球磨机中，进行第三次磨矿试验。
- g) 按照上述方法反复试验，直至磨机作业的循环质量稳定在 250%±5% 为止。
- h) 求出稳定时最后两次的 G_{bp} 平均值。

B. 2. 7 应从第三次试验开始计算循环质量，一般进行10次以内可达到稳定。

B. 2. 8 G_{bp} 的最大值与最小值的差不能超过平均值的3%，同时循环质量保证在250%±5%。

B. 2. 9 达到稳定后，对闭路磨矿的产品进行粒度筛分分析，并求出 P_{80} ，按照公式（B.2）计算出邦德球磨功指数。

$$W_{ib} = \frac{49.04}{P_1^{0.23} \cdot G_{bp}^{0.82} \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)} \dots\dots\dots (B. 2)$$

式中：

- W_{ib} ——邦德球磨功指数，单位为每吨千瓦时（kW·h/t）；
- P_1 ——试验筛孔尺寸，单位为微米（ μm ）；
- G_{bp} ——磨矿平衡时球磨机每一转新生成的试验筛孔以下粒级物料的质量，单位为每圈克（g/r）；
- P_{80} ——产品中80%颗粒都能通过的方形筛孔的孔宽，单位为微米（ μm ）；
- F_{80} ——给料中80%颗粒都能通过的方形筛孔的边宽，单位为微米（ μm ）。

参 考 文 献

- [1] GB/T 25708-2010 球磨机和棒磨机
 - [2] DZ/T 0193-1997 实验室用240×90锥形球磨机技术条件
 - [3] YS/T 3002-2012 含金矿石试验样品制备技术规范
 - [4] YS/T 3023-2014 金矿石相对可磨度测定方法
 - [5] JB/T 9035-2015 水力旋流器
 - [6] JB/T 1992-2010 螺旋分级机
 - [7] QB/T 2012-95 陶瓷工业用球磨机
-