

矿石可选性半工业试验

〔苏〕 Г.С.别尔格尔 等著

方 群 英 等译

(31480/23)

21480/06

一九八六年十月

本书系根据苏联矿产出版社（Недра）出版的别尔格尔（Г.С.Бергер）等所著的《矿石可选性半工业试验》（Полупромышленные испытания руд на обогатимость）一书1984年版翻译的。原书评阅人为科学技术硕士库茨涅佐夫（В.П.Кузнецов）。

本书是一本系统而全面地论述矿石可选性半工业试验的专著。书中阐述了矿石可选性半工业试验前的准备，研究了各种选别作业和辅助作业，介绍了有色金属和稀有金属矿石，贵金属矿石，非金属矿产，复合矿石，以及加工矿物原料的尾矿利用的半工业试验流程，对半工业试验中污水的净化、回水供水、过程中取样和自动化控制也作了阐述。该书对从事地质勘探，矿产开发利用，矿石选矿试验研究，选矿厂设计等有关人员和大专院校师生，中小型选矿厂的生产技术人员均有参考价值。

参加本书译校的有：李正忻、肖至培、田淑艳、方群英、聂良田、李英堂、康玉身、张鸿源、王韩生等同志，全书由赵涌泉高级工程师审校。

图34，表37，参考文献51条。

前 言

在《1981—1985年及1990年前苏联经济和社会发展的基本方向》中明确规定，必须充分保证国民经济各部门对有色金属和黑色金属以及其它原料的需求。在完成这项任务中新矿床的勘探和开采具有重要的作用。

半工业试验是对所勘探矿床的矿石进行工业评价的重要阶段。它们通常是在完成矿床详细勘探后进行的，详细勘探的结果是苏联国家矿产储量委员会确定储量和编制采选企业设计的依据。

在选矿厂设计之前，应当对具体矿床中的矿石先制定出进行试生产的选矿工艺。这对建设大型企业是非常重要的。建设试验厂或试验站，最终可能节约上亿卢布。

目前，苏联许多选矿试验厂（格拉尼托戈尔、因吉奇金、瑞列夫等）均已投产，同时进行了大量的各种矿物原料的选矿试验。

选矿试验厂能以较少的费用解决建立原料基地和改善矿物原料加工工艺的重要问题。尽管在试验厂所进行的试验是半工业性的，但这些工厂处理大量的样品（例如，格拉尼托戈尔试验厂达到5000吨/昼夜），这不仅可以完成上述任务，而且在许多情况下还可以获得一些商品精矿。

在文献中，对半工业试验厂的工作经验和所处理矿样的特点报导得很少。

作者试图通过系统地叙述选矿主要作业和辅助作业的研究方法和计算方法，总结进行半工业试验的经验，进而为进行半工业试验的工程技术人员提供一些系统的参考资料。

目 录

前 言

第一章 半工业试验的准备	(1)
第一节 半工业试验的任务.....	(1)
第二节 试验室试验.....	(2)
第三节 半工业试验计划.....	(2)
第四节 半工业试验对样品的要求.....	(4)
第二章 选矿的主要作业和辅助作业的研究	(6)
第一节 破碎和磨矿.....	(6)
第二节 预选.....	(12)
第三节 选矿的主要作业.....	(20)
第四节 选矿流程中的化学冶金工艺.....	(41)
第五节 选矿的辅助作业.....	(59)
第三章 选矿工艺流程的研究	(67)
第一节 有色金属和稀有金属矿石.....	(67)
第二节 贵金属矿石.....	(78)
第三节 非金属矿产.....	(86)
第四节 复合矿石.....	(103)
第五节 选矿尾矿的利用.....	(111)
第四章 回水供水流程的研究	(113)
第一节 试验室研究.....	(113)
第二节 污水的组分及其净化方法.....	(118)
第三节 半工业试验过程中污水的净化和回水流程的制定.....	(123)
第五章 半工业试验的取样和控制	(132)
第一节 工艺过程的取样.....	(132)
第二节 半工业试验工质的控制.....	(135)
参考文献	

第一章 半工业试验的准备

第一节 半工业试验的任务

进行半工业试验的目的是各种各样的。根据对科研工作者提出的任务，确定试验工作的规模、试验期限、以及所获得资料的用途。

为了取得选矿厂设计的原始资料或者为论证所勘探矿床的矿产储量和计算工业指标提供原始资料而进行的试验，是最困难的和需时最长的。

在进行半工业试验之前，应当查明和圈定（利用工艺取样和填图方法）矿石的工业类型和等级，详细研究矿石的物质组成、物理和化学性质，制定出在试验室条件下矿石加工工艺流程，并应考虑到原料的综合利用。

为了选择最佳的选矿质量流程，除了要有有用矿物的物质组成资料外，还必须有如下资料：矿物的浸染特性、矿物在自然环境作用下被破坏的程度、粘土和原生矿泥的含量、次生矿化过程发展程度、水分的含量、粒度特征和最大粒度、根据最有前途的流程进行矿石可选性试验的结果，为了对这些流程进行技术经济对比所必须的指标和用最佳选矿流程获得的选矿工艺指标（产率、品位和回收率）之间的关系，在不同段数和不同的粒度下采用不同流程选别矿石的试验结果。

为了计算数量流程和矿泥流程必须具备的资料有：破碎产品的粒度特征、个别作业的产品中有用组分的含量、个别作业的产品中有用组分的作业回收率和总回收率、给矿和某些作业产品中最佳的液固比、补充到某些作业中的新鲜水的单位消耗量。

为了确定设备的生产率，必须要有试验结果或者可以确定单位生产率的实际资料。为了选择浮选机、搅拌槽和脱水槽，就必须掌握每项作业中产品的处理时间。这些资料都应包括在科研报告中。

制定矿石选矿工艺流程，应当预先考虑到原料的综合利用及最大限度地利用回水或排往露天水系的污水净化问题。所制定的流程，无论是用新鲜水或是用回水都必须能进行试验。

在某些情况下，半工业试验阶段可以完成其它一些任务，例如，新药剂的研究，制取系列精矿以便下一步将其试制成成品，新选矿设备工作制度的研究，选矿主要作业和辅助作业的研究。与试验室试验不同，在半工业条件下有可能进行选矿的闭路循环试验，并能获得更可靠的资料。半工业试验与工业试验也不同，半工业试验不需要大量的经费开支，对矿石的处理量和商品精矿的生产也没有不良的影响。

第二节 试验室试验

半工业试验前，首先要进行试验室研究。通过试验室试验可以制定出处理矿石的原则流程，并确定某些作业的指标。但是，在许多情况下，间断给料的试验室设备的工作制度不同于连续运转设备的工作制度，从而降低了选矿工艺指标的重现性。众所周知，通常在试验室条件下，磨矿作业是不带控制分级的，具有中矿返回的浮选流程也纯粹是连续浮选过程的模拟。此外在绝大多数情况下，试验室工艺样品的物质组成也不同于半工业试验的矿石成分。

半工业试验的任务是验证和确定试验室条件下制定的工艺制度和选矿流程。为避免试验过程中的误差，减少样品的数量和缩短试验时间，应从进入试验厂的矿石中取代表性的样品，并在试验室条件下，利用当地水配制的工业药剂重新验证为试验所推荐的工艺流程。在试验室研究结果重现性较差的情况下，建议进行某些系统的短期扩大性试验或使全部流程呈闭路循环，以调整工艺过程及确定某些作业的操作制度^[42]。

在试验室试验过程中，应为试验厂的分析工作做好准备，以便对试样的组分进行分析。

第三节 半工业试验计划

科学研究单位（推荐工艺流程的制定者）所制定的半工业试验计划应当包括：

1. 试验的目的、任务和期限；
 2. 对所探讨问题的研究程度；
 3. 试验室对矿石物质组成和选矿工艺研究的主要成果，其中包括：该矿样的物质组成特征；选矿的质量流程，在该流程中标有选矿产品的产率及浓度、工艺过程中的给水点、流程中各作业的药剂制度和选矿指标；回水供水和污水净化流程；中矿化学冶金处理的工艺制度和指标；
 4. 根据设备类型、标准设备的改进和非标准设备的制造，推荐半工业设备配置流程；
 5. 工艺过程中的取样顺序（标明有取样点和控制参数、取样间隔、每昼夜必须分析的项目和数量）；
 6. 对选矿精矿和化学冶金处理的最终产品质量的要求；
 7. 药剂和稀缺物质申请单，注明在整个试验期间的用量；
 8. 所需要的工程技术人员、工人及其装备；
 9. 流程试验方案的初步评价；
 10. 注明完成试验期限和必备矿石量的试验工作计划一览表；
- 矿石工艺样品的配料和取样，代表性样品的加工；
- 矿石代表性样品物质组成的研究；

试验企业（作业班的技术人员、分析室、技术检验科、机修和动力室等）进行试验前的各项准备工作；

根据所推荐流程用当地水和工业药剂对代表性样品进行重现性试验室研究，确定流程的某些关键环节，半工业试验产品精选作业制度、难选中矿的处理方法和伴生金属（稀有和分散元素）的回收方法；

推荐流程的试验室扩大试验（包括在试验室条件下流程重现性较差时的工作计划）；

工艺流程的配置：应确定保证最佳给矿量的设备生产能力、工艺过程和闭路循环的连续性、矿浆达到最大自流量的条件、对矿石及其选矿产品进行准确取样的可能性；

设备调试；

工艺过程的调整，即根据流程中的某些工序和关键环节调整药剂制度和机械参数，以及在必要的情况下改变所推荐的流程（指出调整的目的、工艺过程可能变化的主要方向、工艺制度的大致方案、工艺指标所要求的最终产品的特征等）；

药剂配制组，应注明所用药剂一览表、工艺过程中的给药点、药剂用量、制备方法、控制试验溶液中活性物质含量和矿浆中药剂的剩余浓度；

选矿最终产品和尾矿液相的浓缩性、过滤性及离子成分的研究；

回水和污水净化的流程试验；

在用回水和净化后的污水进行试验时，取全流程取样取得的和成批精矿累积试验取得的平衡指标；

对选矿精矿和中矿进行化学冶金处理的半工业试验以获得合格产品；

11. 半工业试验成果；

完成工艺样品和污水的各项分析；

根据委托单位的要求，为进一步处理应对选矿合格产品进行干燥、包装；

矿石综合处理工艺指标的计算和最终试验记录的整理；

12. 分析所获得的试验数据，编写科学研究报告。

半工业试验总的持续时间为4—12个月，这与试验工作计划和处理矿石所采用工艺的复杂程度有关，同时也取决于完成某些阶段试验所必须的时间。在这种情况下，试验企业在试验前（1—2个月）的准备时间及完成试验准备（半个月—1个月）的时间，都由该企业领导决定；而设备调试时间（0.5—1.5个月）和流程调整时间（1.5—6个月），其中包括水的循环和平衡（0.5—1.5个月）试验，由科学研究单位的领导决定。

在半工业试验计划中，应当考虑到国家矿产储量委员会或设计单位对获得的试验资料总的要求，并应详细列出工业企业设计所必须的资料一览表。根据上述建议所编制的半工业试验计划应当以一定方式与委托单位和设计单位达成协议，并由科学研究所和试验企业的领导批准。

根据所批准的计划，委托单位和试验企业签订工艺试验的合同，同时试验企业与选矿流程设计单位也要签订合同。试验计划、标明中间试验阶段的日程安排及基本费用的财务预算都应附在主要合同书中。在合同书中委托单位应注明完成试验的期限、矿石工艺样品发送的条件。

试验企业的责任是：

将运来的矿石卸下来，再将其运到贮矿场，进行配矿和取样；

根据已批准的数质量流程图，与研究单位的代表共同编制设备联系图，

购置必要的材料、设备和药剂；

按工艺流程对设备进行安装和调试；

分析室、技术检验科和辅助科在试验前的准备工作；

主要设备和辅助设备的连续运转，及时地排除出现的机械故障；

与检查员一起，按统一的取样流程图进行工艺过程的取样和检查；

分析选矿产品，完成内检和外检；

在检查员的指导下，为进行确定工艺参数的试验室研究创造条件；

在研究单位代表的辅导下，计算包括金属量平衡的主要的选矿指标；

根据委托人的要求，要及时准备和发送批量试验的精矿和选矿厂的产品。

试验单位应对已定的工艺制度和所取得的成果负责。对已确定的工艺流程，必须有充分的根据，才能进行原则性更改。

委托人的责任是：

按规定的期限发送附有必要技术资料的工艺样品，这些资料包括：取样单，在矿坑的平面和断面的取样编录，样品的光谱、化学和矿物学初步分析结果，并注明所使用的方法。矿石工艺样品（粒度不超过300毫米）的主要有用组分的含量和造岩岩体物质组分应基本符合试验室所研究的样品；同时这种工艺样品对于矿床中每种已查明的工业类型的矿石来说都应具有代表性，矿石工业类型的划分已考虑了在矿床开采时所设计的矿山开采条件；

在装车和将矿石从取样点发送到指定地点时应保证样品的完整性，即样品无损失和不受其它物质（煤、盐、油、试剂等）的污染；

保证及时拨给试验经费，并根据签定的合同将足够的劳动定额转交给试验企业。

检查工艺试验的科学研究单位，为了组织试验必须及时地研究向试验单位提交原始资料，要保证检查员对试验设备的检查，以实施对试验的科学指导；参加编制设备联系图并根据装配图提出安装建议；参加工艺过程调整工作，在必要时还要参与试验室研究；与试验单位的工作人员一起作好试验记录及整理有关资料并编写试验报告。

科学研究单位应对在半工业试验和扩大试验条件下试验室研究结果的重现性承担责任。

第四节 半工业试验对样品的要求

对半工业试验来说，矿石取样，是总的试验计划中最重要的一环。在取样过程中应当考虑到所进行的地质和工艺研究（其中包括工艺制图）的综合成果。样品的物质组成和工艺性质应当符合送到选矿厂的实际矿石，同时应考虑对矿床进行工业开采时矿石的贫化率。

对于半工业试验样品的取样，地质部门应当编写专门的设计书〔41〕。设计书应与完成工艺研究的科学研究单位和进行固定标准计算和设计工业企业的设计院商定。

取样的技术条件应考虑到下列问题：

样品的物质组成（有价值组分和主要造岩组分的含量及其浸染程度等）对于已查明的每种工业类型的矿石都具有代表性；

取样应当根据已确定的贫化率进行；

不论所采用的取样方法如何，样品中应包括用于研究自磨、洗矿、预选（放射选矿、跳汰选矿、重介质选矿）作业所必须的粗粒级（ $-300+25$ 毫米）及细粒级（ $-25+0$ 毫米）矿样。在混样和装卸样品时，应当避免粉矿损失，因为有价值矿物和其它组分往往富集在这种粉矿中，它们对矿物原料处理工艺具有重要的影响；

所需样品最小重量的确定，在每种具体情况下，取决于矿石的物质组成、有价值组分的含量和工艺流程的复杂程度、试验计划及试验时间、手选试验的必要性、大块矿石的选别、大量精矿和中矿的自磨和分选。

用于含金矿石试验的最小矿样量的计算实例列于表1-1。

用浮选或重浮流程进行工艺试验的含金矿样最小数量的计算实例

表1-1

标准计划试验阶段	试验（不计算停工和休假日）期限（昼夜）		必需的矿石量（吨）		其它条件
			用扩大试验设备	用半工业规模设备	
主要工艺样品取样	试验前的准备阶段		2—4	25—50	根据矿石粒度，金浸染不均匀程度
设备调试	5—7		8—10	125—175	根据流程的复杂程度
推荐流程的试验室试验或扩大试验	5—10		平均试样数据		
工艺过程调整：					
用新鲜水	5—10		8—22	125—375	根据流程的复杂程度
用回水	5—10	8—15	125—250		同上
取批量精矿试验所获得工艺指标：					
用新鲜水	8	12	200		
用回水	8	12	200		
合 计	36—58	50—75	850—1250		

注：1. 试验室设备生产能力为1.5吨/昼夜；半工业试验设备生产能力为20—50吨/昼夜。

2. 试验的总期限包括计算准备期、流程安装（30—45天）、因设备修理和流程改动停工（15—30天）、分析生产结束、精矿系列试验的准备（10—15天）和休假日为4—5个月。

3. 在这种情况下，如果工艺矿样试验量达到计划规定的最小量时，对进行试验合理性的问题应在委托单位代表的参加下决定。

含金矿石的取样工作，要求严格地遵守一系列条件，并应具有较高的准确性。在样品制备过程中，必须避免可能引起金的损失和矿石工艺性质发生改变。

破碎样品时，在形成的粉末中往往有金和硫化物富集。为了不使粉末损失，对样品的加工（干燥、搅拌、缩分）必须在无缝、平滑的平面上进行。对于大样来说，应修筑平整的水泥地坪、精致的木质垫板和用铁皮铺衬的场地。最好是用聚乙烯铺盖的场地。在帆布上制备样品有可能造成游离金的损失。制备少量样品的工作台应该用漆布、铝板或玻璃板铺衬。

设备（破碎机、磨矿机、缩分机等）不应该有能够聚集金的“死角”。对于样品的贮存和干燥，最好使用釉质的、铝质的或不锈钢的器皿。

当在矿石中对有用组分浸染不均匀的矿床中取样时，往往发现样品和矿床中的有用组分含量有较大差别，当其中的一种组分差值超过15—20%时，必须向配好的样品中再添加一些矿石或重新取样。

第二章 选矿的主要作业和辅助作业的研究

工艺样品应附有取样说明书和取样单。取样单应注明：样品的重量、最大矿块粒度、主要价值组分含量及其化学和物相分析结果、矿物成分、矿石物理性质、取样地点等。

有色和稀有金属矿石的特点是成分复杂，即其中含有多多种有用组分。选矿最重要的任务是尽可能充分地分选出矿石中含有的主要有用组分并制取同名精矿。在大多数情况下，处理复合矿石需要采用复杂的联合流程。

采用复杂的流程，往往需要进行单元试验，或对某些作业进行单独试验。

单独试验的作业或为单独试验分出的流程，应当考虑到试验临时中断对工艺指标的影响[7]。例如，在磨矿和浮选之间，浮选和浮选产品氰化之间，在复合矿石选矿时矿石各种价值组分浮选作业之间都不允许有长时间的中断，因为矿石细磨颗粒的氧化（例如，硫化物）和药剂分解，矿泥长时间存放都可能使下一步的作业指标发生根本性的变化。

在流程进行单元试验后，还要对全流程进行合理性试验。

试验前应测定矿石的物理性质：体重、密度和硬度（按М.М.Прото́дьконов刻度）等。

第一节 破碎和磨矿

有用矿物选矿时，**破碎和磨矿**作业的任务是解离连生体中的矿物颗粒，以及制备一定粒度的物料。选矿前的碎矿和磨矿是高度降低矿块粒度的作业，对于重选破碎比为30，对于浮选为15000。破碎机和磨矿机只有在破碎比较小的情况下才能有效地工作，因此将矿石从原始粒度破磨到所需要的粒度往往需要经过几段破碎。

通常试验厂都具有预先制定好的碎矿流程，该流程适合于用试验厂现有磨矿机磨矿。例如，在格拉尼托戈尔试验厂，矿石分两段破碎：第一段在颚式破碎机中进行开路碎矿；第二段在带有振动筛的短锥破碎机中进行闭路碎矿。进入破碎作业的矿石粒度为250—0毫米。第一段将矿石破碎到50—0毫米，第二段将矿石破碎到15—0毫米。

在因吉奇金试验厂，以相似的方式进行碎矿。被破碎矿石的最终粒度为5—15毫米。

在半工业试验条件下，对于矿石的破碎很少作为独立的作业进行研究。在必要的情况下，可用由矿仓、槽式给矿机、颚式破碎机和振动筛组成的专门设备对矿石的破碎过程进行研究[7]。用这种设备可以对破碎和筛分流程的各种方案进行试验。

为了破碎和缩分工艺样品，苏联有色金属和贵金属矿山勘查科学研究所研制了一种机械化设备，该设备由下列各部分组成：样品卸料台、容量1.5吨的矿仓、ПJI-2型带式加料器、250×400毫米的颚式破碎机、带式运输机、容量2吨的矿仓、ПJI-350-250型带式加料器、175×250毫米的颚式破碎机、ЭП-160型链式提升机、400×250毫米的辊式破碎机、扇形缩分机、容量5—6吨的矿仓、ДВ-200型辊式破碎机、ГЖК-1型筛孔为4毫米的筛分机、由4和8

—10吨两单元组成的矿仓、ГЖ-1型筛孔为2毫米的筛分机、ЭУ-5.6型层叠式提升机、直径为2.4和6毫米的排料管〔7〕。这种设备的生产能力为500公斤/时，能将粒度250—0毫米的矿石破碎到30—0毫米，以便用于重介质选矿；将矿石破碎到6.4和2毫米；从中取出代表性样品，其重量可占矿样总重量的4—20%。上述设备包括半工业试验设备。

进行矿石破碎时，一般不供水。湿式破碎只是在下列情况下采用：破碎物料含有粘土，力求在破碎的同时清洗粘土。例如，在破碎粘土质铁和锰矿石时，需要进行洗矿。洗矿水给入破碎机的工作空间。在某些情况下，为了湿润破碎物料及减少灰尘，用喷水器将少量的水喷入粗碎机的装料漏斗。

应当考虑到，粘土在一定的湿度下会粘附在破碎机、运输皮带、矿仓和排料管的内壁上，这样将造成排矿口堵塞和使第二或第三段矿石破碎困难。对于粘土矿来说必须规定湿度和粒度，这样就不会出现矿石破碎、运输和入仓的困难。

大多数试验厂，粗碎阶段使用的上动型颚式破碎机，具有排矿口宽度不变的优点，但其生产能力受到一定限制。应当考虑到，上动型颚式破碎机与下动型破碎机相比，破碎产品的装卸要困难一些，当超负荷时破碎机可能堵塞。由于试验厂定期地进行矿石破碎，因此这个问题就不太重要了。

中碎和细碎圆锥破碎机要求均匀给料。在生产能力较小的试验厂，破碎产品可直接进入中碎而不用专门的给料机（皮带运输机）。在破碎机前面安装有筛分机，以便筛去不需要破碎的矿粉。

在半工业试验中，磨矿和分级是个重要的环节。磨矿和分级设备的最佳工作参数的确定，主要在于选择磨矿机的装球量，钢球的粒度组成，根据破碎矿石及其磨矿和分级产品的筛析和分散分析资料确定固液比。

为了对比磨矿机的工作效率及便于计算，在试验过程中必须确定磨矿机的单位生产率，即1米³磨机容积的生产能力。

在其它工作条件（装球量、转速等）相同的情况下，直径相同长度不同的磨矿机生产能力，与其长度成正比。这就是说，同一直径的磨矿机生产能力，可用磨机容积来表示。不同直径的磨矿机，在矿石和装球量相同时，其单位生产能力是不同的。

磨矿机的生产能力取决于给入磨矿机的矿石粒度，磨矿机的生产能力随着矿石粒度的减小而提高，磨矿效率是随着磨矿比的降低以及原矿中合格粒级含量的提高而提高。磨矿效率的提高与矿石的物理性质有关，对于不同粒度的磨矿产品磨矿效率也是不同的。在半工业试验过程中一般不测定这些参数，因为原矿粒度是由试验厂的破碎流程决定的。当需要从含有大量单体颗粒的较粗物料中分选有用矿物时，重选流程例外。在这种情况下，在第一段磨矿中使用棒磨机是合理的。

返砂量是磨矿作业的重要参数。返砂量可根据磨矿产品的筛析结果或这些产品的稀释度（液：固）来计算

$$S = 100(c - a) / (a - b),$$

式中 S—返砂量，%；a—磨矿机排矿的固体物料中某一粒级（例如，—0.074毫米级别）的含量，%；b、c—同一粒级分别在分级机的返砂和溢流中的含量，%。

按某一粒级进行计算，而后求其算术平均值。

根据稀释度计算返砂量的公式如下：

$$S = 100 (r_3 - r_1) / (r_1 - r_2),$$

式中 r_1 、 r_2 、 r_3 —分别为进入分级机的矿浆及分级机返砂和溢流中的液固比(按重量计)。

当返砂量按矿石计为100—500%时，磨矿机的生产能力可提高20—30%。如果生产能力继续提高，返砂量可能达到一个使磨矿过程不能正常进行的值，这是由于磨矿机和分级机的返砂量过负荷所致(不能保持规定的溢流粒度)。当返砂量提高到400—500%时，获得的溢流基本上比较粗，减少了矿石的过磨现象。最佳的返砂量为300—400%。

磨矿机生产能力、溢流中固体含量和返砂量之间的关系是用试验方法确定的。

因为，在试验室条件下，一般对不分级矿石进行浮选，而在试验厂就必须详细测定连续浮选工段所需要的磨矿粒度，这与所研究矿石的质量、加药制度、矿浆流速、充气条件等因素有关，因此调整磨矿系统应在整个工艺回路或者是在与磨矿作业有直接关系的流程中某一作业同时运转的条件下进行。

磨矿粒度的变化可通过改变磨矿机的生产能力、分级机溢流中的固体含量、磨矿机的装球量及返砂量来调整。

在提高矿石生产能力和降低矿浆浓度(固体含量)的情况下，可增加矿浆通过磨矿机的速度和体积，合格产品随之排出，减少了物料在磨矿机中停留时间，从而减少了物料的泥化量，提高了磨矿产品的粒度。

在浓矿浆中粘度和研磨作用增加了，使按粒度分级的作业恶化，从而导致严重泥化和应排出的粒级产率(例如，浮选时粒级-0.02+0.074毫米)下降。

在不增加矿石处理能力时，可以提高矿石通过磨矿机的速度，通过细磨(分级机的工作作相应的调节)使返砂量增加，从而减少有价矿物与脉石连生体的含量。

在重选流程中，棒磨机往往与筛孔为2—1.5毫米的筛分机呈闭路循环。在这种情况下，通过利用筛孔更细的(例如，用1.5代替2毫米)筛子来提高返砂量。

通过调整磨矿机的生产率和给入磨机的水量来控制磨矿机排矿矿浆的浓度。实际上磨矿机的矿浆浓度介于34—83%。为了获得磨矿机的最高生产率，在原矿粒度较粗(13毫米以上)时，矿浆中的固体含量必须在65—75%，在原矿粒度较细时应为50—70%。

磨矿机用水量的变化是由磨矿机排料或分级机溢流中的固体含量来度量的。有时用水量可根据磨矿机杂音或排出的矿浆温度变化来控制的。

在固体含量为75—80%的矿浆中，用水量的变化对磨矿机的工作将产生不同的影响(有时是不良影响)。随着固体含量的提高，矿浆的输送能力增加，也就是矿浆越浓，粗粒物料流向磨矿机排料端的量越多。

在中心排矿的磨矿机中，排出粗粒物料，因此，所获得的磨矿产品中有大量的筛上产品。在格子磨矿机中，粗粒物料被格子挡住，从而降低了磨矿溢流中筛上产品的含量。

在矿浆浓度很低时，矿浆迅速地通过磨矿机，而在格子磨矿机中获得的磨矿产品很粗。在这种情况下，对于中心排矿磨矿机来说磨矿产品中细粒级含量可能很高。

在矿石中粘土矿物含量很高及矿浆浓度较大的情况下，磨矿时会形成致密的粘滞泥料，它不能通过或很难通过磨矿机。所磨矿石的流动性随着磨矿浓度的降低而提高，因此对于粘土矿浆必须提高稀释度。

在格子式排矿磨矿机中，通过格子关闭或打开排矿挡板上的溢流口调节矿浆面。

在研究装球量的影响时，首先是选择最佳的球径比例。它是由矿石的物理性质和粒度组成、磨矿机转数、装球量和矿浆中的固体含量决定的。计算最大球径(毫米)可用下列公式：

$$D = 6 \lg d_K \sqrt{d}$$

式中 d_K —成品粒度，微米； d —原矿粒度，毫米。

根据-0.074毫米粒级的含量，大致评价产品的粒度可以利用浮选厂累积的下列资料：

磨矿粒度*, 毫米	0.3	0.2	0.15	0.1	0.074
-0.074毫米粒级含量, %	45—50	55—60	70—75	85—90	95

*在相应粒度的磨矿产品中筛上粒级的含量为5%。

所磨矿石的物理性质、球的粒径和临界速度之间的关系可用以下实例说明。

在610×610毫米的磨矿机中，磨碎角页岩时，球径为75和62毫米、磨机筒体的转速为临界速度的75和80时可获得最佳结果。对于同样粒度的白云石来说，当转速为临界速度的72和75%、球径为62和50毫米时，获得最佳结果。在中心排矿磨矿机中，钢球的体积应当是以钢球不能从磨矿机中滚出为限。在格子式排矿的磨矿机中，装球的体积约为磨机筒体容积的50%。根据分级机返砂的筛析结果可判断一定大小的钢球装入量是否够；如果在返砂中聚集有粒径接近溢流排出的细粒级别，则说明小球为装入量不足；如果聚集有粗粒级，则说明需要补加一些大球。

耗球量是以处理1吨矿石和耗能量1千瓦·小时来确定。在磨矿机工作过程中钢球被磨损。因此，为了保持装球量接近最佳的状态，必须及时将新球装入磨矿机。这种最佳状态可用试验或计算方法确定。

钢棒的装入量应到磨矿机轴线以下100—200毫米的地方，即占磨矿机容积的35—45%。物料在棒磨机中停留的时间一般低于球磨机，棒磨机的转速也低(为临界速度的50—75%)。磨矿机的转数一般不超过临界速度 n_{KP} ，此时筒体中的球停止下落。

$$n_{KP} = 42.4 / \sqrt{D-d},$$

式中 D —磨矿机筒体内径，米； d —球的直径，米。

球磨机的转速一般为临界转速的79—90%。

选矿厂的工作实践表明，为了得到最高指标的浮选精矿，通常必须将矿石磨至-0.074毫米达到85—95%，而有时-0.044毫米达到90—95%。这可采用两段或三段磨矿。

第一段磨矿通常采用棒磨机(例如，MCP-1200×2400)，以保证在最小过磨的情况下获得粒度均匀的产品；第二段磨矿采用球磨机(例如，MIIIИ-1200×1200)，以获得细磨产品。为了在半工业设备上进行球磨试验，建议安装两台MIIIИ-1200×1200型的磨矿机和1台用于中矿细磨的MIIIИ-900×900型的磨矿机。

在对含有自然金和银矿石的磨矿工艺进行调整时，应当使用特殊的方法，以防止自然金聚集在磨矿机和分级机中。磨矿机内常聚积有贵金属，尤其是在磨矿机刚换衬板不久的情况下更是如此。

这是从磨矿产品中金含量低于原矿时发现的。在这种情况下很难进行金的平衡计算。

在破碎的矿石中含有大量的含金粉末时，在磨机之前安装筛分机或其它形式的筛子是合理的，以便使这些金直接选出。用这种方法可以消除在磨矿机中被压扁的金粒，保持其自然

形态,提高下一步重选指标。

为了对磨碎的含金矿石进行分级,建议使用直径50或75毫米的短锥水力旋流器、弧形筛等。在从矿石中分选出自然金之前,由于自然金大量地聚集在分级机底部,所以在流程中不允许使用螺旋分级机。

对于不含重有价自然金属的其它矿石分级,可以利用1KCH-5型和1KCH-7.5型的分级机,以及水力旋流器。

螺旋分级机有两种型式:一种是高堰型,一种是浸没型。后者用于细粒级分选,粒度可在0.1毫米以下。

螺旋分级机的工作取决于分级带中矿浆的浓度(固体含量)、矿浆面的面积、螺旋转速、分级机槽底坡度。

螺旋分级机槽底倾角一般在 14° — $18^{\circ}30'$ 。在文献中这种倾角有时用百分比表示〔为水平距离1米分级机上升高度(厘米)〕。决定分选效果的分级机矿浆面面积取决于倾角大小。因此,在分选溢流中的细物料时,应使分级机槽底倾角很小。在分选细砂时槽底倾角也要小,这种细砂经不住急倾槽底的螺旋旋转。根据溢流的粒度可使用下列槽底倾角:

溢流的粒度, 毫米	槽底倾角, %
小于0.4	$18^{\circ}30'$ (33)
0.6—0.3	$17^{\circ}15'$ (31)
0.4—0.2	$16^{\circ}10'$ (29)
0.9—0.15	$15^{\circ}10'$ (27)
0.2—0.1	14° (25)

因为螺旋的搅动作用可使矿粒处于悬浮状态,所以应按分选粒度选择螺旋的转速。同时转速应当是足以能输送沉砂而防止沉砂在分级机中聚集。螺旋的圆周速度一般不超过23—30米/分。当溢流粒度为0.075—0.2毫米时,螺旋转速为5—13米/分。

为了减少原矿浆流速对分级的影响,原矿浆通过导槽进入分级机入口的位置至少要低于分级机中矿浆水平面50毫米,而对大的分级机则应低于150—200毫米。

在闭路磨矿循环中分级机停机时,必须停止磨矿机的给矿,并给以足够的时间使矿石从该循环中排出,然后同时关闭磨矿机和分级机。

在分级机突然停止运转时应当慢慢地提升螺旋,因为在螺旋分级机内会集中大量的矿石。在分级机再次起动时螺旋要慢慢放下(最好是间歇停车)至投入正常的工作状态。

在分级机工作过程中,分级机的调整主要是根据进入分级机的矿浆浓度变化来进行的。

分级机溢流的浓度和粒度组成与磨矿机工作状态的调整、进入分级机的水量、溢流堰的高度和位置有关。这些参数必须在试验过程中选择。应当考虑到,分级机中矿浆稀释度将对溢流生产率产生不同程度的影响:向浓矿浆中加水可使生产率提高,矿浆太稀时生产率可能降低。如果矿浆中固体含量为10—15%,再稀释时将使溢流中的矿石粒度下降,而在矿浆很稀时继续给水会使溢流量增加。在一定溢流粒度的条件下得到最大生产率的矿浆浓度称为临界浓度。临界浓度的变化与溢流的粒度、矿石特征和矿浆粘度有关。在这种情况下,粘土混合物在矿浆中的含量具有重要意义。粘土含量越高,矿浆的粘度越大。

实际上分级机是在矿浆较浓(这对下一步过程更需要)的情况下工作,但是在这种情况下

下分级机的生产率比在临界稀释度时还低。

如果矿石中的矿泥含量很高，矿浆呈粘稠状，那么分级必须在低浓度的情况下进行。当矿浆脱泥时，分级则应在矿浆浓度大的情况下进行。对脱过泥的矿浆进行分级，分级过程是不稳定的。

应当避免向冷矿浆中加入热水，因为加热水会使矿浆粘度发生急剧变化，可能破坏分级过程。

颗粒沉降速度随着矿浆粘度的降低而急剧增加，这可能导致颗粒迅速下降和分级机超负荷。

加到磨矿循环中的药剂对分级过程有明显的影响。这类药剂多半属于调整剂：石灰、苏打、硫化钠、水玻璃、氰化物和皓矾。药剂可以促使易沉淀的细粒形成凝聚体，即发生絮凝作用，因而难以使细粒级组分分出。在某些情况下，石灰具有这种作用。水玻璃往往导致矿浆分散，即促使水中悬浮颗粒稳定，并可改善矿浆的分级效果。在添加硫化钠时较大的颗粒呈悬浮状态聚集于分级机中，并进入溢流，而得不到所需要的磨矿细度。

众所周知，如果不向磨矿循环加入氰化物，就得不到具有一定浓度和粒度的溢流，只有在加入石灰之后才能使分级过程恢复正常。

因此，调整剂对分级过程有好的影响，也有不良影响。这与矿石的特点和分级机中矿浆的性质有关。在分级细粒或粘土物质（或矿泥）含量高的矿浆时，药剂的影响更明显。很少在磨矿过程中添加捕收剂（黄原酸盐、黑药）。通常它们对分级过程没有什么影响。

如果在水力旋流器中进行物料分级，溢流的粒度和浓度可通过水力旋流器的给矿压力、沉砂口或溢流管的直径来调节。对于粗分级矿浆浓度应该大些，水力旋流器给矿压力不能太大（40—60千帕），水力旋流器的直径和隔板孔的直径也应大些。给矿浓度高能促使粗颗粒进入溢流。对于这种分级必须是矿浆浓度低才有相应的水力旋流器溢流；水力旋流器给矿压力应较大（70—350千帕）；水力旋流器的直径和隔板孔的直径应较小；以及沉砂的浓度应较小，以防止粗颗粒进入溢流。在给料口的面积等于水力旋流器筒体部分面积的 $1/90$ 或等于隔板孔面积的 $1/64$ 时，可达到最佳分级效果。用两个串联配置的水泵，有时会提高压力。在某些情况下，为了得到细粒溢流要安装一组水力旋流器。

最近，磨矿机中的自磨工艺已用于半工业试验，自磨机直径与长度之比大于3。根据矿石中大块物料（+100毫米）的含量和矿石硬度 f （М.М.Прото́льяконов刻度），可初步评价预先进行自磨的可能性。对于抗拉强度系数大于14的坚硬矿石，在矿石中+100毫米级别的含量应当是45—50%；硬度较小的其它矿石（ $f=8—13$ ），在矿石中该级别含量为30—35%，而粘土含量高的软矿石则为15—20%。

调整无介质磨矿机的磨矿作业，可将磨矿机转速由临界转速的50%变到150%，在低转速（临界转速的50—60%）情况下进行细磨，在磨矿机转速高的情况下进行粗磨。

为了评价首先使用自磨的可能性和按成品粒级确定磨矿机单位生产率，必需的样品重量为400—1000吨。

通过试验来选择磨矿机的最佳装矿量。装矿量一般是磨矿机容量的35—40%。磨矿机中矿浆的最佳浓度应当适合于获得磨矿机对成品粒度的最高单位生产率。为了测定重新产出的粒级（一般—0.074毫米）的生产率 Q_d （吨/昼夜），必须测定下式中的参数：

$$Q_{-d} = 0.01 (Q \beta_{-d} - Q \alpha_{-d}),$$

式中 Q —矿石生产率, 吨/昼夜; β_{-d} 、 α_{-d} —分别为排矿和给矿中 -0.074 毫米粒级的含量, %。

可通过排出中等粒级的矿块提高磨矿机生产率。为此, 在磨矿机的排矿格子板上切开排料口, 口的大小以保证一定粒度通过为限。这些物料粒度一般不超过 100 毫米; 其粒度的下限由圆筒筛的孔径来控制, 一般为 25—50 毫米。中等粒级的产率受排料口的个数及其配置控制。为了加速中等粒级矿块的磨矿, 可向磨矿机中添加少量的钢球 (占筒体容量 3—8%)。

在试验时应当确定将矿石预先分成 +100 和 -100 毫米粒级的合理性及配料的最佳比例。

在直径 900—1500 毫米的格子型磨矿机中进行砾磨试验。再在破碎过程中通过筛分分出砾石。

在试验开始之前, 将计算好粒度的砾石装入磨矿机, 砾石装填量要占磨矿机容量的 50%。

在试验过程中要确定下列数值: 砾石在磨机中的最佳充填量、砾石的磨损率、磨矿机中的矿浆浓度及其对单位生产率的影响、分级设备的排料浓度、磨矿机的生产率。

在磨矿机转速为临界转速 70—100% 的情况下, 砾磨最有效。

对含金矿石预先进行湿式自磨的可能性取决于这种矿石的粒度组成和硬度。曾有这样的报道, 在许多情况下, 将球磨换为自磨, 可进一步使处理含金矿石的指标得到改善: 通过浮选和氰化使金的回收率得到提高, 降低了浮选药剂的消耗, 可浮性和浓缩性得到改善。要证实这一点, 必须对两种细磨的矿石进行工艺对比试验。

在试验厂, 包括矿石自磨在内的磨矿系统, 要合理地安装在单独的房间或专门的场所, 因为该系统的生产能力要比选厂其它主要设备的生产能力大得多, 并很难使它们直接配套。

第二节 预 选

重介质选矿法 用于处理粒度为 $-150 + 15(5)$ 毫米的大块物料是最有效的。重介质选矿主要用于分选多金属矿、白钨矿、萤石矿、重晶石矿和煤。重介质选矿可作为重选或浮选前的预选作业; 重介质选矿可分选出不需要进一步处理就可利用的产品, 并且可将矿石分为几种工艺品级。

重介质选矿过程的控制并不复杂, 首先在于悬浮液的密度和粘度这两种因素的变化。主要是要使选矿时易被矿粒和矿泥污染的悬浮液的质量保持不变。

扩大的试验室试验和半工业性试验所需的矿石量分别为 1—2 吨和 1000—3000 吨, 矿石的粒度为 $-150 (100) + 0$ 毫米。对矿石在重悬浮液中的可选性的评价包括两个阶段: 影响重介质选矿的矿石性质的研究; 在重介质选矿设备中进行选矿。

在采用重介质选矿工艺时, 主要有价组分和有害杂质的含量、粒度组成、样品的密度、孔隙度、对比率的研究都具有重要意义。

选择选矿流程时应当考虑有价组分和伴生组分的分布以及选矿产品中有害杂质的分布。在某些情况下, 可以直接分选出最终尾矿, 而在另一些情况下, 则只能分选出某种产品。例如, 在对单一的萤石矿选矿时应当分选出最终尾矿, 而在选别金-钨矿时则只能得到一种混合

产品，进一步处理这种产品才能获得最终精矿。

在有大块物料存在的情况下，测定有用组分和有害杂质的含量是很困难的，因为必须取出大量的样品。

用于分析的最小试样重量，一般用下列公式确定：

$$Q = kd^2$$

式中 Q —样品的最小重量，公斤； k —与矿石特点、金属矿物分布的均匀程度及其粒度和矿石中金属含量有关的系数； d —矿粒的最大直径，毫米。

在大多数情况下 k 值介于 0.02（金属含量极为均匀的矿石）到 0.5（金属含量极不均匀的矿石）之间。

为了减少所分析的粗粒物料数量，要选取代表性样品，代表性样品有如下几种形式：

分散和混合的组合样品；

选取几个分析样品（块）。样品数目取决于不均匀系数（ $n \approx 100$ ）；

样品进行破碎，仔细地混匀，细磨并进行分析。

在许多情况下，有用组分的粒度分布决定着重介质选矿的工艺指标。因为细粒级组分（5—15毫米）在重悬浮液中很难分选，因此在重介质选矿之前要将其除去。矿石中存在的矿泥和细粒粘土是不容忽视的。它们可以导致悬浮液的流动性恶化，因此在重介质选矿之前必须将其洗去。粒度组成的测定一般是采用筛析法。

通过对样品的密度、孔隙度及其对比率的测定，可以对这种样品在重悬浮液中选矿的可能性进行初步评价。

从分散的样品中取出颜色和结构特殊的样品（ $n \geq 10-20$ ），并测定它们在空气中的密度，然后再测定它们在水中的密度。这种测定可使用马尔格林天平。

密度（无孔而致密的物体质量与其体积之比）可用比重计测定，事先需将物料进行细磨。

密度 D_0 （克/厘米³）（在很大程度上影响重介质选矿的一个特性）的测定按下列公式进行：

$$D_0 = m / (m - m_1)$$

式中 m —样品在空气中的重量，克； m_1 —样品在水中的重量，克； $m - m_1$ —排出液体的量，等于样品的体积，厘米³。

在测定有孔隙岩石的密度时需要预先用石蜡涂抹其表面。为此将在空气中称重过的样品装入盛有熔融石蜡容器中。第二次在空气中称重后才确定石蜡层的重量。用石蜡密度除以后者，可得出石蜡的体积，样品沉入水中的体积减去石蜡体积，即可得出样品的体积。

矿块按密度分级。

矿石物理性质测定的结果可按下面的形式列成表格（表2-1）。

矿 块 登 记 表				表2-1
样品……		级粒……		
矿 块 标 号	重 量 (克)	体 积 (厘米 ³)	密 度 (克/厘米 ³)	组 分 含 量 (%)