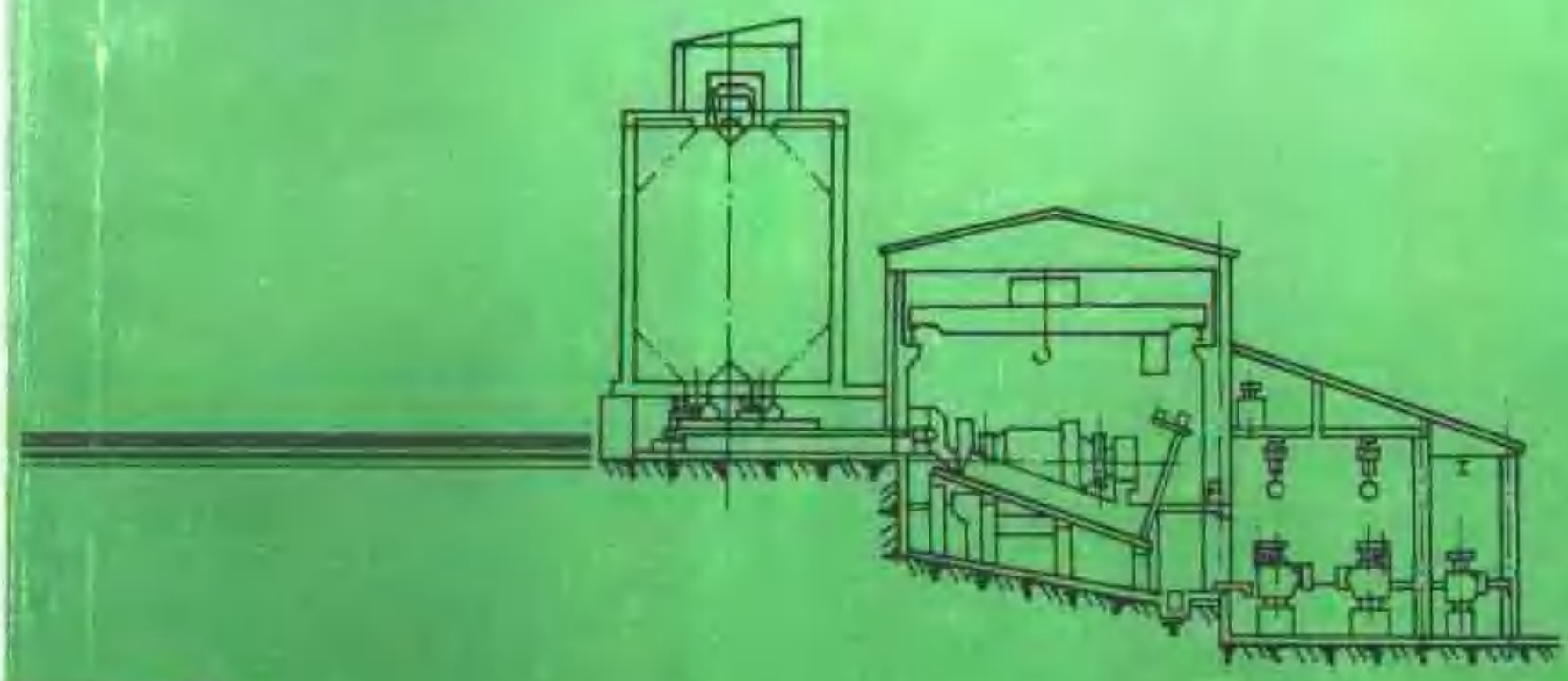
中国有色金属工业系统“九五”规划教材

高等学校教学用书

选矿厂设计

周龙廷　主编



49
49

中南工业大学出版社

中国有色金属工业系统“九五”规划教材

高等学校教学用书

选矿厂设计

周龙廷　主编

中南工业大学出版社
1999·长沙

选矿厂设计
周龙廷　主编
责任编辑：肖　洒
*
中南工业大学出版社出版发行
中南工业大学出版社印刷厂印装
新华书店总店北京发行所经销
*
开本：787×1092　1/16　印张：14.5　字数：360千字
1999年1月第1版　1999年3月第1次印刷
印数：0001—2000
*
ISBN 7-81061-180-1/TD·002
定价：20.00元

本书如有印装质量问题，请直接与承印厂家斡换
厂址：湖南长沙　　邮编：410083

序

这是一本很有特色的高等学校选矿专业教学用书。书中凝聚了编者多年从事选矿厂设计教学和实际工程设计的丰富经验和成果。本书博采了国内外同类教材之所长，在重视选矿专业基础知识的同时，特别重视吸收了近年来国内外选矿厂设计的最新研究成果和设计构思。

该书改革了同类教材中以基础理论和典型工艺流程及设备等为主干的传统讲授模式，突出了系统性和实用性，紧密与工业设计接轨，并精选了大量例证，将选矿专业的有关基础课程和专业课程的内容联系起来，使读者更容易理解和掌握，以达到融会贯通的效果。此外，从学科扩展角度出发，书中系统地编入了选矿厂计算机辅助设计内容，并提供了大量实用的源程序实例。本书内容丰富，反映了该领域新的研究成果和学科前沿趋向。

全书共8章，前呼后应，构成有机的整体。在内容的安排和布局上独具一格，系统性和逻辑性很强，层次深且有广度，论述深入浅出，并增加了适量的精选思考题和习题，以便巩固学习内容。该书文字精练，层次分明，图文并茂，的确是目前国内少有的一本好的选矿专业教学用书。在此，特向矿冶类高等院校、设计和科研院所以及生产厂矿等单位推荐使用。

陈　荩　　（教授、博士生导师）

1998年11月10日

前　言

《选矿厂设计》是根据冶金高等院校选矿专业教学计划和《选矿厂设计》教学大纲编写的，可作为高等院校教学用书，亦可供厂矿和设计单位工程技术人员参考。

本书系统地介绍了选矿厂设计的步骤、内容及方法。其主要内容包括：选矿工艺流程的选择和计算、主要选矿设备的选择和计算、选矿厂设备配置和计算机辅助设计等。此外，书中还适当地叙述了与选矿工艺有关的辅助设备和设施等的选择和计算，并在各章末附有思考题和习题。

本书第一（第一节和第二节）、二、四、八章由周龙廷编写；第一（第三节）、五章由周贤渭编写；第三章由邓瑞麟编写；第六章由周龙廷、王毓华和邓瑞麟编写；第七章由王毓华编写。本书由周龙廷任主编，王毓华协助对全书作了统一整理和修改定稿。此外，周贤渭也协助参加了部分章节的修改工作。

本书在编写过程中，得到了长沙有色冶金设计研究院、昆明有色冶金设计研究院、南方冶金学院等单位的大力协助和热情支持。南方冶金学院谢家钊、长沙有色冶金设计研究院严立德、中南工业大学郭昌槐等参加了全书的审稿，提出了许多宝贵的意见，昆明有色冶金设计研究院提供了大量的图纸资料，藉此深表谢意。

限于编者水平，书中难免有错误、疏漏之处，敬请批评指正。

编　者

1998 年 8 月

目　录

第一章　绪论 …… (1)
　第一节　选矿厂设计的意义、目的和要求 …… (1)
　第二节　选矿厂设计的步骤和发展趋势 …… (2)
　第三节　选矿厂规模的确定 …… (3)

第二章　选矿厂设计前期工作 …… (5)
　第一节　企业建设规划 …… (5)
　第二节　项目建议书 …… (5)
　第三节　可行性研究 …… (6)
　第四节　设计任务书 …… (6)
　第五节　厂址选择与尾矿设施 …… (7)
　第六节　设计对地质勘探和选矿试验的要求 …… (9)

第三章　设计工作 …… (12)
　第一节　初步设计 …… (12)
　第二节　施工图设计 …… (15)

第四章　工艺流程的选择和计算 …… (17)
　第一节　选矿厂工作制度、设备作业率和处理量的确定 …… (17)
　第二节　破碎流程的选择和计算 …… (18)
　第三节　磨矿流程的选择和计算 …… (30)
　第四节　选别流程的选择和计算 …… (39)
　第五节　矿浆流程计算 …… (56)

第五章　选矿设备的选择和计算 …… (64)
　第一节　选矿设备的选择和计算原则 …… (64)
　第二节　破碎设备的选择和计算 …… (65)
　第三节　筛分设备的选择和计算 …… (69)
　第四节　磨矿设备的选择和计算 …… (73)
　第五节　分级设备的选择和计算 …… (79)
　第六节　浮选设备的选择和计算 …… (82)
　第七节　重选设备的选择和计算 …… (86)
　第八节　磁电选设备的选择和计算 …… (92)
　第九节　脱水设备的选择和计算 …… (95)
　第十节　主要辅助设备、矿仓的选择和计算 …… (99)

第六章　总体布置与设备配置…… (119)
第一节　总体布置…… (119)
第二节　厂内设备配置…… (124)
第三节　选矿厂辅助设施…… (154)

第七章　选矿厂设计 CAD 应用 …… (158)
第一节　概述…… (158)
第二节　程序设计基础…… (159)
第三节　选矿工艺计算基础…… (165)
第四节　计算机绘图基础…… (173)
第五节　选矿工程图设计基础…… (180)

第八章　工程概算和经济评价…… (192)
第一节　工程概算…… (192)
第二节　选矿厂精矿设计成本…… (195)
第三节　选矿厂劳动定员…… (198)
第四节　经济评价和技术经济指标…… (200)

附录一　常用 AutoCAD 的 DXF 接口函数 HTHSK．C …… (207)
附录二　常用主要工艺设备技术性能表…… (209)
参考文献…… (222)

第一章 绪 论

在矿物加工工业发展的漫长历史进程中，选矿厂设计任务始终与矿物加工工业的发展相适应，并不断满足矿物加工工业的新要求。

随着矿产资源开发利用的深化，到20世纪60年代末，人们发现矿产资源的特性日益向贫、细、杂方面转移。所谓“贫”，即原矿品位日趋降低，不仅大量的矿石需要选矿加工才能利用，而且冶炼对精矿质量的要求越来越高，如我国钨矿经过20年的开采，原矿WO_3含量由0.5%～0.7%降低到0.1%～0.27%；铁矿原矿品位由40.65%降低到31.72%。所谓“细”，即原矿嵌布粒度越来越细，如我国一些尚待开采的红铁矿需磨至100%小于40μm；美国铁燧岩絮凝浮选要磨至80%小于25μm，才基本上达到单体解离。所谓“杂”，即矿床组成复杂，多金属复合矿、难选矿愈来愈多，要求综合回收的元素越来越多。虽然我国矿产资源丰富，但贫矿多，富矿少，嵌布粒度细，伴生元素多，矿床类型复杂。因此，对资源的开发利用难度增大，对选矿厂设计和建设的要求也更高。

第一节 选矿厂设计的意义、目的和要求

一、选矿厂设计的意义

选矿厂设计是矿山建设中极其重要的关键环节。矿山建设项目确定之前，它为项目决策提供科学依据；项目确定之后，又为项目提供设计文件。同时，它也是将科学技术转换为生产力的枢纽，生产中的先进经验、先进技术以及科研新成果，都要通过设计推广到生产中。因此，做好设计工作，对节约投资、建成投产后迅速达到设计规模和取得经济效益都起着决定性的作用，对提高选矿科学技术水平也有重要的现实意义。

二、选矿厂设计的目的

选矿厂设计的目的是：设计出体现国家工业建设有关方针政策、切合实际、技术设备先进可靠、经济效益好的选矿厂。也就是说，根据矿石特性、选矿试验成果和要求：确定合理的工艺流程；选择适宜的工艺设备；进行合理的设备配置；设计合理的工艺厂房；配备必要的劳动定员。

这几项既是设计的目的，也是设计的任务和主要内容。此外，对综合回收、环境保护、辅助设施、厂房结构等进行精心设计，使选矿厂基建投资发挥最大的效益，并为新建选矿厂生产获得较高的技术经济指标创造良好的条件。

三、选矿厂设计的要求

选矿厂设计的要求是：

(1) 设计必须按国家工业建设规定的基本程序进行，所需条件必须具备，所需资料必须齐全，设计文件必须符合相应设计阶段的内容和深度；

(2) 设计原则和方案的确定应符合国家工业建设的有关方针、政策和规定，以及规程和规范；

(3) 设计工艺流程和指标应具有一定的先进性和可靠性，并注重矿产资源的综合利用；

(4) 尽量采用高效率、低能耗的系列化设备；

(5) 注意环境保护和生产安全。

第二节　选矿厂设计的步骤和发展趋势

一、选矿厂设计的步骤

选矿厂设计按工作步骤可分为：设计前期工作；设计工作；竣工总结工作3个阶段。

按现行基本建设程序，设计工作阶段分两步设计和三步设计。两步设计指初步设计和施工图设计。三步设计指初步设计、技术设计和施工图设计。

对矿石性质特别复杂的大型选矿厂，或采用新工艺、新设备的选矿厂，或援外设计的选矿厂，为保证设计质量，多用三步设计。对矿石性质简单，工艺流程可靠，并有类似选矿厂的生产实践作参照时，多用两步设计。

二、选矿厂设计的发展趋势

为了解决矿产资源的贫、细、杂问题和满足国家对金属量日益增长的需求，选矿厂设计面临着扩大选矿厂生产能力和更新选矿技术的任务。在20世纪50～60年代，我国日处理原矿量1000～5000t的选矿厂已属大型选矿厂，进入70年代以来，已建成日处理原矿量超万吨到数万吨甚至超十万吨的选矿厂。这给选矿厂设计提出了一个新任务——选矿厂现代化，即：设备能量低耗化；设备规格大型化；生产过程自动化；设计过程电脑化。

1. 设备能量低耗化

选矿厂是能量消耗较多的工厂之一，其中又以破碎和磨矿设备最为突出，约为选矿厂能耗的40%～70%。根据格林（W.R.Green）等人的调查，选矿厂的单位能耗（kW·h/t）分别为：破碎1～3.5，磨矿5～12，浮选1～6，精矿处理0.5～1。日本金石选矿厂能耗分别为：破碎4.4%，磨矿32.8%，磁选6.3%，浮选28.8%，精矿处理10.2%，尾矿处理11.6%，用水3.1%，其他2.8%。可见，降低选矿厂设备能耗，特别是降低磨矿设备能耗是非常突出的任务，因而提出了“多碎少磨”的原则。针对这种情况，出现了节能破碎机（即改进的传统破碎机和新型破碎机，如JC56型、A－1型、冲击式、PEX系列、S－T型等颚式破碎机；美国液压型、Rexnord重型、Fuller－Traylor型、前苏联Y3TM型等旋回破碎机；惯性式、旋回式、液压支承式等圆锥破碎机以及高压辊磨机）和节能磨矿机（即改进的传统磨矿机和新型磨矿机，如无齿轮传动、QSG－2836型等球磨机以及ZQM球磨机）。

2. 设备规格大型化

20世纪60～70年代，选矿设备设计，特别是磨矿机设计的趋势，始终是发展大型化磨矿机，以满足矿产资源日益贫、细、杂和日益增大的金属量消耗而不断扩大选矿厂规模的需要。然而，从70年代末，由于世界能源价格上涨，磨矿机不再向大型化发展，而是以节能为中心，改善磨矿机的结构和性能，如提高易损件寿命、设备的可靠性、耐久性，以及减小设备重量等。目前，最大的球磨机是挪威西瓦兰格公司基尔内克斯铁矿选矿厂安装的

8100kW 无齿轮传动 6.5×9.65m 球磨机、我国永平铜矿及德兴铜矿三选厂安装的 5.49×8.54m 球磨机，此外还有 1.5×2.1m 颚式破碎机、1.83m 旋回破碎机、2.5m 圆锥型破碎机、39m³ 浮选机等。

3. 生产过程自动化

生产过程自动化是设计现代化选矿厂的重要标志，对于改善选矿作业条件、保持生产稳定、提高技术经济指标，起着十分重要的作用。近年来，由于计算机的发展和应用以及选矿设备大型化，使生产过程自动化达到了新的水平。根据选矿过程的特点和我国的国情，各选矿厂目前主要采用分散自控，并将逐步实现全盘自动化。

4. 设计过程电脑化

选矿厂设计过程电脑化是指在选矿工艺设计中，用计算机进行计算和绘图。其主要内容包括：工艺流程计算、实验数据处理、CAD 绘图等。

计算机在矿物加工工程中的应用始于 20 世纪 50 年代末期。早期的应用在于建立过程的模型和工厂的最佳化，而后发展到选矿厂控制。70 年代末和 80 年代初，计算机开始用于工艺流程计算和绘图。由于它具有速度快、质量高，且可使设计内容深化等特点，特别是国家有关文件指出，国家甲级设计院的计算机工作要实现“八二”要求，即 80% 的计算工作量、20% 的绘图工作量要由计算机承担，因而掀起了一个选矿工艺流程计算电脑化、CAD 绘图的研究高潮。各设计院、高等院校先后出现了各式各样选矿设计软件，包括破碎、磨矿、选别等数质量流程和矿浆流程的计算程序及其各车间绘图软件，特别是开发出了从设备选择、计算、方案比较到绘出磨浮主厂房平、断面图的“一体化”通用程序包。目前，已开始专家系统在选矿厂设计方面的应用研究，并取得了显著效果。尽管如此，但设计过程的电脑化仍处在发展中，有待进一步完善和提高。

第三节　选矿厂规模的确定

一、确定选矿厂设计规模的原则

选矿厂的设计规模是根据国家、地方和企业的建设需要，经可行性研究论证，最后由上级主管部门下达的设计任务书确定。确定选矿厂设计规模应充分考虑以下原则。

1. 产品需要量

根据国家和用户对产品的需要，考虑地质资源、矿床赋存情况、选矿厂建设条件（如厂址、运输、供水、供电等）以及选矿工艺技术上的可能性和经济上的合理性来综合确定。

2. 一次建厂与分期建厂

中、小型选矿厂可一次建成。大型选矿厂（特别是由地下开采的矿山供矿）一般要充分考虑分期建设，分系列建成投产，以便在短期内形成生产能力，尽快发挥投资效果。

3. 分散建厂与集中建厂

选矿厂的设计规模要与采场的供矿能力相适应，应充分考虑矿产资源的分散与集中性。对于资源多而矿点相距较远的矿区，一般考虑分散建厂；矿点相距较近，矿石性质基本相同时，可考虑集中建厂。选矿厂的分散或集中建厂需根据具体条件进行技术经济比较确定。

4. 选矿厂服务年限

选矿厂服务年限由矿床工业储量和选矿厂规模决定。

二、选矿厂规模的划分

一般工业企业的规模，通常用一年中所生产的成品数量表示。但选矿厂的规模，一般用选矿厂年（或日）处理的原矿数量表示。这是因为虽然矿石中有用成分的种类和品位不同，所得精矿数量也不同，但只要处理的原矿数量相同，选矿厂就具有大致相同的主要设备（如破碎、磨矿、选别设备）、辅助设施和管理机构。

在设计不同规模的选矿厂时，为了在确定生产和生活设施标准、技术装备水平和基本建设投资等方面有章可循，根据我国资源情况和矿石类型，将选矿厂的规模划分为大、中、小三种类型，见表 1－1。

表 1－1　选矿厂规模的划分

类型	黑色金属矿选矿厂		有色金属矿选矿厂		化工矿山选矿厂	
	$\times 10^4$t/a	相当于 t/d	t/d	相当于 $\times 10^4$t/a	$\times 10^4$t/a	相当于 t/d
大型	＞200	＞6000	＞3000	＞100	＞100	＞3000
中型	60～200	1800～6000	600～3000	20～100	20(磷矿 30)～100	600(磷矿 900)～3000
小型	＜60	＜1800	＜600	＜20	＜20(磷矿 30)	＜600(磷矿 900)

注：黑色金属矿及冶金辅助原料矿的破碎筛分厂（如铁矿、石灰石矿、白云石矿、镁砂矿等）的规模划分可根据相应规模的黑色金属矿选矿厂确定为大型、中型、小型破碎筛分厂。

三、选矿厂服务年限

选矿厂的服务年限按矿山可靠的矿床工业储量进行计算。它与选矿厂的规模有密切的关系，一般可参照表 1－2 确定。

表 1－2　不同规模选矿厂的服务年限

选矿厂规模	大型	中型	小型
服务年限（年）	≥20	≥15	≥10

下列情况经上级主管部门批准，可以缩短选矿厂的服务年限：

（1）国家迫切需要的金属或矿物；

（2）需要快速回收的矿床；

（3）简易的小型选矿厂；

（4）小富矿、开采条件较好的富矿和矿床远景贮量较多的矿山。

思 考 题

（1）简述选矿厂设计的目的和步骤。

（2）选矿厂规模的表示与一般工业企业的表示有什么不同？为什么选矿厂的规模能使用这种特殊的表示方法？

（3）阐述划分选矿厂规模的依据和原则。

第二章　选矿厂设计前期工作

选矿厂设计前期工作，从有色金属工程项目来看，其内容主要包括：

(1) 参加工业指标制订、地质勘探总结报告审查、选矿试验矿样采样设计和有关协议签订；

(2) 编制企业建设规划、项目建议书、可行性研究和设计任务书；

(3) 进行建厂条件调查和厂址选择；

(4) 委托选矿试验任务、参加选矿试验研究；

(5) 收集设计有关基础资料。

上述内容，在实际做法上不尽相同。按目前现有规定，只有项目建议书和可行性研究（或设计任务书）需要编制正式设计文件，其他内容视具体情况而定。

第一节　企业建设规划

一、规划的目的与任务

目的：规划的主要目的是，为国家、地区、部门的规划、项目建议书、可行性研究提供依据。

任务：规划的主要任务是，初步提出选矿厂建设规模、服务年限、选矿方法、原则流程、产品方案、产品用户，以及集中建厂与分散建厂的可能方案；初步估算建设投资；初步评价建厂经济效益。

二、规划的内容

规划的内容包括：规划的必要性和依据；资源情况简述；选矿试验结果评价；选矿厂建设规模、原则流程、产品方案、产品用户，以及关键设备设想；选矿厂外部建设条件简评；选矿厂建设投资、职工人数等初步估计；问题与建议；厂区布置简图和交通位置图；改（扩）建选矿厂要补充原选矿厂生产现状、改（扩）建理由和依据。

第二节　项目建议书

一、建议书的目的与任务

目的：凡拟列入长期计划、或建设前期计划的项目，都应编制项目建议书。其主要目的是为项目初步决策提供依据。

任务：建议书的主要任务是在企业建设规划的基础上，通过调查研究，对拟建项目的主要原则问题（如市场需求、资源情况、外部条件、产品方案、建设规模、基建投资、建设效果、存在问题等）作出初步论证和评价，据以说明项目提出的必要性和依据。

二、建议书的内容

建议书的内容是，除了达到企业建设规划的内容外，还需补充：引进技术和进口设备的项目要说明国内、外技术差距和概况，进口理由，利用外资的可能性和偿还能力；建设地点可能的初步方案；资金筹措设想；项目进度安排的初步意见以及经济效果和社会效益的初步估计。

第三节　可行性研究

一、研究的目的与任务

目的：可行性研究按其研究的内容范围和深度不同，通常分为：投资机会研究、初步可行性研究、详细可行性研究等3个主要阶段。投资机会研究，其投资和成本的估算，允许误差可达±30%；初步可行性研究，其投资和成本的估算误差约为±20%；详细可行性研究通常也叫最终可行性研究（简称可行性研究），其允许误差在±10%以内，它是投资决策前的一个关键步骤。其目的是为投资决策提供依据。

任务：可行性研究的基本任务是，对拟建项目的技术、工程、经济指标进行深入细致的调查研究、全面分析和多方案比较，从而对拟建项目是否应该建设，以及如何建设作出论证和评价。

二、研究所需基础资料与内容

1. 基础资料

主要基础资料包括经审批的矿床地质详细勘探总结报告；经鉴定的选矿试验报告；采矿有关资料（如逐年出矿量、矿石类型、品位等）；水、电、交通等外部条件资料；经济评价资料（如国内、外价格）；其他有关资料（如地形测量、气象、改建或扩建项目补充资料）。

2. 研究内容

可行性研究内容与深度，根据国家有关规定，企业可行性研究包括总论、建设规模、地质资源、厂址方案、采矿、选矿及尾矿设施、冶炼、总图运输、公用辅助设施及土建工程、环境保护、企业生产组织、劳动定员及培训、项目实施计划、总投资估算、建设资金筹措、成本估算、财务分析、经济效果分析、国民经济分析、综合评价等。选矿专业可行性研究包括：原矿概述、选矿试验、设计流程及指标、生产能力和工作制度、主要设备选择、厂房布置和设备配置、辅助设施、尾矿设施等。

第四节　设计任务书

设计任务书是编制初步设计文件的主要依据。所有新建、改建、扩建项目，在编制初步设计之前，都要编制设计任务书。

设计任务书编制有两种情况：一种是拟建项目经过了可行性研究阶段。这时的设计任务书由上级主管部门对可行性研究报告审查批准，并对工程建设的主要原则问题（如规模、产品方案、流程、投资、建设进度、水电供应等）进行批复，其批复文件就是设计任务书。另

一种是拟建项目未经可行性研究，设计任务书是在项目建议书（甚至企业建设规划）基础上进行编制的。这种编制又有两种方式：一种是由上级主管部门主持编制，设计单位参加；另一种是由上级主管部门委托设计单位代行编制，然后经审查批准，以上级正式下达的设计任务书为准。其文件有正文和附件，正文是一些原则问题，附件是正文的详细说明，它的内容、深度和所需基础资料与可行性研究报告一致。

设计任务书的下达，标志着设计前期工作基本结束，设计条件基本具备，设计工作即将开展。因此，设计任务书编制必须慎重对待，认真研究。

第五节　厂址选择与尾矿设施

一、厂址选择

1. 厂址选择的意义

选矿厂的厂址选择（含尾矿库、水源地和生活区等），是设计前期工作中一项政策性强、考虑因素多、工作细致的综合技术经济工作。它不仅要贯彻工业建设中有关方针、政策，满足工艺要求，充分体现生产与生活的长期合理性，而且还要考虑原矿及精矿运输、供水、供电、交通、尾矿堆存、工程地质、土石方工程量、施工建设等合理条件，以及对农业的影响。因此，在选择厂址时，设计人员必须进行现场踏勘，听取多方面的意见，收集充分的基础资料，提出多个可能的厂址方案进行综合技术经济比较，推荐最佳方案。

2. 厂址选择的基本原则

（1）尽量靠近矿山，特别是精矿量小、原矿量大的选矿厂。靠近矿山建厂时，应避免建在矿体上、磁力异常区、塌落界限和爆破危险区内。

有下列情况者可远离矿山：

①处理富矿或精矿产率大的多金属矿；

②用户与矿山距离近、或限于水、电、燃料供应等原因；

③某些贵金属，为避免精矿在运输中损耗或某些精矿需要用户的废热干燥；

④矿山资源分散而集中建厂，以使其运输费最低等。

（2）有足够的场地面积（含扩建余地、生活用地）、矿浆自流、或半自流地形条件，如破碎厂房，其地形的自然坡度约25°左右，主厂房15°左右。

（3）有足够的尾矿库容积、尾矿自流或半自流。

（4）有较好的供水、供电、交通条件。

（5）有理想的工程地质条件。避开断层、滑坡、溶洞、淤泥等不良地段，以及不占或少占耕地、果园、茶山，不拆或少拆建筑物等。

3. 厂址选择的步骤

（1）准备工作。包括人员、资料、物资等3方面的工作。即：

①成立厂址选择工作组。一般由政府有关部门领导组织，会同设计单位各个专业的工程技术人员，以及当地建委、城建、施工、建设等单位人员参加。

②初步拟定有关技术经济指标资料。根据建设规模，用扩大指标定出，即各主要车间轮廓尺寸，厂房占地面积，水、电、材料消耗量，原、精矿运输量，基建材料需要量，职工人数等。

③物质条件准备。它主要包括：地形图、专用手册、专用仪表以及工作人员的生活、工作条件等。

(2) 现场踏勘。准备工作就绪后，工作组去现场进行调查踏勘，这是厂址选择的关键环节。其目的是，通过实地调查和踏勘，深入细致地进行比较研究，具体落实建厂条件，收集充分的厂址选择基础资料（一般有收集提纲）。

(3) 方案比较与论证。根据踏勘结果和收集的资料，从技术条件、建设费用、经营费用等进行多方案和全面的技术经济分析，然后，提出较为理想的推荐方案及其推荐的理由。方案比较包括技术条件与基建投资、经营费两部分。具体内容参阅《选矿设计手册》。

(4) 编写报告。完成方案比较与论证后，即可编写厂址选择报告。其内容是：主管部门和建设单位的意见、依据的基础资料、选矿厂规模与生产工艺、组织工作的进行情况等；各厂址方案主要情况；各厂址方案比较情况；综合分析与推荐最佳方案；当地有关部门对推荐方案的意见。

二、尾矿设施

选矿厂尾矿主要是指细粒含水尾矿。处理细粒含水尾矿的尾矿设施系统，是由尾矿库、尾矿输送系统、回水输送系统、尾矿水净化系统等 4 部分组成。图 2－1 表示了尾矿设施构筑物系统。

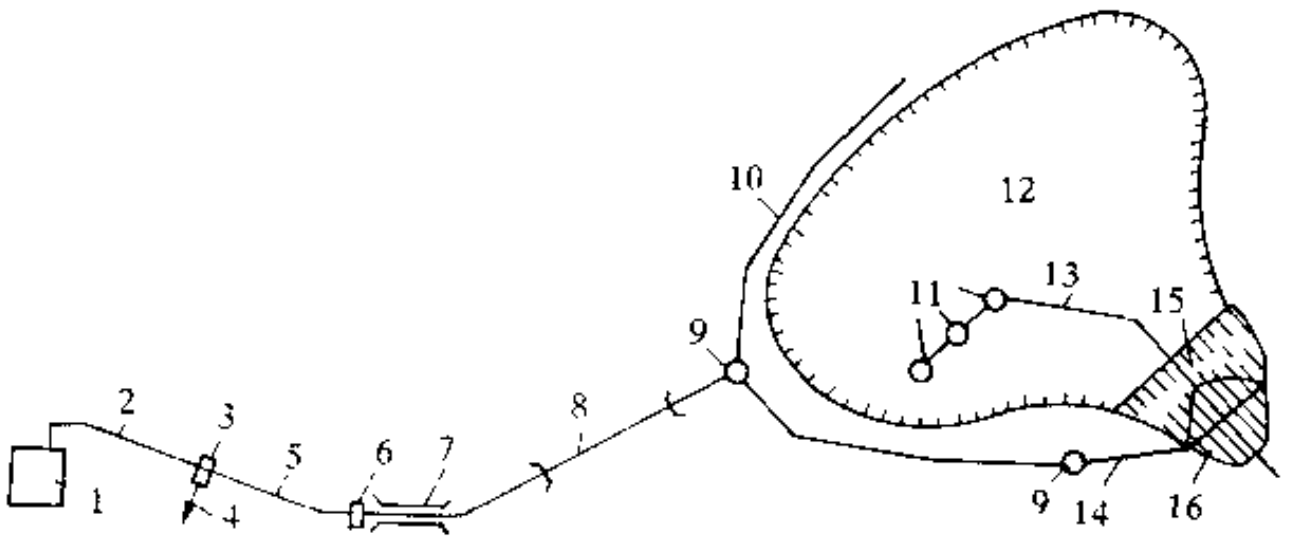


图 2－1　尾矿设施构筑物布置平面图

1——选矿厂；2——自流尾矿输送流槽；3——砂泵站；4——自流尾矿事故排出管；5——压力尾矿输送管；6——矿浆池；7——管桥；8——管道穿越山岭的隧洞；9——静压力矿浆池；10——尾矿沉淀池后岸分散流槽；11——尾矿沉淀池排水井；12——尾矿沉淀池；13——尾矿沉淀池排水管；14——静压力尾矿管及尾矿分散管；15——尾矿堆积坝；16——尾矿沉淀池初期坝

1. 尾矿库

尾矿库是贮存尾矿的场所，是尾矿设施中的主要组成部分。它的基建费约占尾矿设施总基建费的一半以上。它由沉淀池、初期坝、堆积坝、排水井、排水管道、截水沟或排洪道等组成。尾矿库设计正确与否，不仅影响选矿厂持续正常生产、周围环境卫生，而且还影响周围居民安全和农业生产。因此，设计时，必须十分重视，认真研究。设计尾矿库需考虑的问题是：库址选择基本原则、尾矿库形式、尾矿库所需容积等。

(1) 基本原则。尽量不占、少占或缓占农田，不搬迁或少搬迁村庄，有条件时应做到占地还地；尾矿库容积应满足生产要求，可一次建设或分期建设，每期使用年限不少于 10 年；尽量位于工业企业和居民区的下游，常年主导风向的下方；尾矿输送距离短，尽可能自流输送或扬程小；汇水面积小；避开有价矿床和采矿场安全区；库区、坝址工程地质条件好；初

期坝、堆积坝的工程量小。

(2) 尾矿库形式。一面筑坝。优点是容积大、堤坝短、排放尾矿方便，缺点是三面靠山，受水面积大；三面筑坝。优点是受水面积小些，缺点是堤坝长，操作和维护不方便；四面筑坝。优点是受水面积很小，缺点是堤坝特长，操作和维护复杂。一般选第一种形式。

(3) 尾矿库所需容积。尾矿库所需容积，可按下式计算：

$$V = \frac{QN}{\gamma\varphi} \tag{2-1}$$

式中 V—— 尾矿库所需总容积(m^3)；

Q—— 尾矿排出量(t/a)；

N—— 选矿厂服务年限(a)；

γ—— 尾矿松散密度(t/m^3)；

φ—— 尾矿库充满系数，$\varphi = 0.6 \sim 0.85$。

2. *尾矿输送系统*

尾矿输送通常采用水力输送系统。其输送方式有：自流输送；压力输送；两者联合输送。

自流输送最简单、最经济；压力输送最复杂、最花钱；联合输送介于两者之间。具体采用何种输送方式要根据尾矿特性、总体布置、地形条件、技术手段、装备水平等因素，经技术经济比较后确定。不管采用哪种输送方式，都应考虑以下原则：

(1) 尽量采用自流输送或局部自流输送。

(2) 线路短，土石方、桥涵、地沟等工程量小。

(3) 尽量不占或少占农田。

(4) 尽量避开市区、居民区、工程地质差、洪水淹没区、采矿崩落带。

(5) 施工、维修方便和设置备用管道。

3. *回水输送系统*

在选矿工艺许可的条件下，尽量回收和利用尾矿水。尾矿水的回收方式有：浓缩机(池)的溢流回水；尾矿库的澄清回水；两者的混合回水。其中尾矿库的澄清回水较好，回水率可达50%，高的可达70%～80%。它的取水构筑物形式有固定水泵站、浮船水泵站、库内缆车等三种。回水输送系统的管道设计与一般供水管道设计相同。

4. *尾矿水净化系统*

尾矿库澄清水排入公共水源（如江、河）时，必须符合《工业企业设计卫生标准》的规定。若超过标准，必须采取净化措施。其方法有：自然沉淀；物理化学净化；化学净化。

若回水供选矿厂生产用水时，则以不影响工艺指标为原则。

第六节　设计对地质勘探和选矿试验的要求

经上级领导机关鉴定和审批的矿床地质详细勘探总结报告与选矿试验报告，是选矿厂设计的主要依据。其深度和内容应符合国家工业建设有关规范的要求。因此，设计人员应认真审查、分析，如有不符合设计要求的，应提请有关单位进行补充。

一、地质勘探工作的深度与要求

地质勘探工作的深度，最终表现在提供矿石储量的等级上。矿石储量，根据勘探工作深

度和工业用途，分为以下几个等级：开采储量 —— A 级；设计储量 —— B、C 级；远景储量 —— D 级；预测储量。A、B、C 三级称为工业储量。

各级储量的要求条件，如表 2－1 所示。

表 2－1 各级储量的要求条件

储量级别	要求条件				各级别储量的允许绝对误差（%）	各级储量的用途
	矿体产状、形态、厚度构造、内部结构、空间位置	矿石物质组成结构、构造、有用与有害成分含量及变化规律，自然类型、工业类型技术品级、空间分布	折皱、断层和破碎带构造的性质、特征和分布情况，对主要矿体的影响和破坏程度	矿石加工技术条件、矿床开采技术条件、水文地质条件		
A	准确确定	精确查明		详细查明	≯±10	准备采出
B	已经查明	已经查明	已经查明	–	≯±20	采准设计
C	基本查明	基本查明	基本查明	–	≯±40	矿山设计
D	大致查明	初步了解	大致查明	–	不限制	远景规划

在地质勘探期间，要求获得一定比例的 B 级储量，以满足矿山初期开采的需要，同时验证 C 级储量的可靠程度。B 级储量的比例，应根据矿床地质条件、矿床储量大小、矿山建设规模、开采技术条件等综合考虑。大、中型有色金属矿山为 5%～10%。此储量应分布在矿体上部地段，即矿山初期开采地段。

二、选矿试验工作的深度与内容

选矿试验资料是确定选矿工艺流程、选别指标、产品方案的主要依据。试验结果不仅直接影响设计的技术、经济指标，而且也影响选矿厂投产后能否顺利达到设计指标和获得经济效益。因此，为设计提供依据的选矿试验结果，必须具有绝对的可靠性、权威性。所谓权威性，即选矿试验必须由专门试验研究单位承担，其试验报告应按有关规定进行鉴定和审批；所谓可靠性，即试验矿样代表性；试验规模；试验工作本身质量（即人员水平、经验、设备和测试手段）三个方面。

1. 矿样代表性

试验矿样的代表性，是试验结果可靠性的基础。所谓代表性，是指试验矿样能代表选矿厂投产后若干年内所处理的矿石性质，有色金属矿山为 3～5 年，黑色金属矿山为 5～10 年。矿样代表性的内容包括：化学组成、矿物组成、矿物结构构造、有用矿物嵌布粒度和嵌布特性、含泥、氧化等。因此，矿样采取之前，必须进行详细的采样设计，并按规定的程序进行采样，采取的矿样按矿石类型不同分别装箱，以便采用单个矿样或者混合矿样进行选矿试验。

2. 试验规模

试验规模直接体现试验工作的深度和要求。试验规模按有关规定分为：可选性试验；实验室试验；实验室扩大连续试验；半工业试验；工业试验等。

试验规模的确定取决于矿石性质、工艺方法和选矿厂规模。具体确定条件见表 2－2。

表 2-2　试验规模确定条件

序　号	条　　件	试　验　规　模
1.	矿床评价、中、小型选矿厂可行性研究、编制设计任务书	可选性试验
2.	中、小型易选矿石选矿厂初步设计、大型选矿厂可行性研究和设计任务书	实验室试验
3.	大型易选、中、小型难选矿石选矿厂初步设计	实验室扩大连续试验
4.	大型难选、中型极难选矿石选矿厂初步设计	半工业试验
5.	大型极难选矿石选矿厂初步设计	工业试验

各种试验规模，在试验中均应注意以下几点：

(1) 新建选矿厂，必须进行矿石相对可磨度测定试验。

(2) 矿石中粘土和细泥含量多、水分高并难以松散时，应做洗矿试验，必要时还应进行泥、砂分选试验。

(3) 矿石适合自磨工艺时，应进行自磨试验。

(4) 矿石中含脉石或开采过程中混入围岩量大于 25% 时，宜做预选试验。

(5) 对浮选流程应做回水试验、产品沉降和过滤试验。

(6) 排放产物中，有害组分超标时，应做治理或防护试验。

(7) 最终产品，应进行密度、浓度、粒度、矿物组成、有害药剂含量、化学成分等测定。

3. 试验报告内容

选矿试验报告包括以下内容：矿石性质；推荐的选矿方案；最终的选别指标与流程计算有关原始数据；计算设备生产能力的有关数据；计算水、电、材料消耗等的有关数据；影响工艺操作的一些规律说明；产品性能；新工艺、新技术、新设备的使用说明；结论与某些特殊问题有待研究的说明。详细内容参阅有关专著。

思 考 题

(1) 选矿厂设计前期工作的内容是什么？

(2) 简述厂址选择的意义、原则及步骤。

(3) 尾矿设施组成包括哪些内容？

(4) 尾矿库选择的原则是什么？

(5) 尾矿库的形式有哪几种？

(6) 尾矿输送方式有哪几种？

(7) 可行性研究分为哪几个阶段？

(8) 选矿试验规模类型及其适应条件如何？

(9) 矿石储量分哪几个等级，划分等级的依据是什么？高级储量是指什么储量？

(10) 什么是最佳设计？

第三章　设计工作

第一节　初步设计

初步设计是设计工作中极其重要的阶段。它的任务是将可行性研究报告（或设计任务书）经审批后的原则、方案加以具体实施的一项设计工作，并确保在施工图设计阶段，无重大方案变化。

一、设计所需的原始资料

设计工作是在具备充足而又可靠的原始资料的基础上进行的。设计前资料收集得不充分，则将拖延设计完成的期限；收集的资料不可靠，则可能作出错误的决定，影响设计质量。因此，在开展设计工作之前，设计人员必须深入现场，进行深入的调查研究，以便收集充足而可靠的原始资料，然后，加以审慎的鉴定和选取，作为设计的依据。

选矿厂设计用的原始资料包括：

（1）经上级机关审批下达的有关文件和协议书。如：可行性研究报告（或设计任务书）、企业建设规划、项目建议书、厂址选择报告、以及与选矿厂建设有关的水、电、交通、机修、燃料供应、征地、拆迁等外部协作的协议书或意见书。

（2）经储委批准的矿产储量、地质勘查资料、以及选矿试验报告。即：

①经国家或地方储委审查批准的详细勘探地质报告、工程地质、气象、地震、以及地形测绘图资料。

②经过鉴定或上级主管单位审查批准的选矿试验报告、岩矿鉴定、采样设计、以及伴生元素选矿试验等有关资料。

（3）由环保部门提供的选矿厂建设前的环境背景和建设后的环境评价和要求报告。如对选矿厂排出的尾矿、污水、粉尘、有害气体、噪声和放射性物质等达到排放标准的要求。

（4）规范资料和专业之间的周转资料。

①规范资料，是指国家制定的法令、规定和规则，如有色金属选矿厂工艺设计规范、设备和精矿的国家标准、建筑设计的防震、防火规定、水质的卫生规定和要求、国家或地方环境保护的标准和规定以及安全技术方面的规定；设备价格和安装价格的计算标准、建筑物和构筑物的概算（预算）指标，矿石、精矿、燃料及材料的价格、运输费用及运杂费的定额、折旧计算规定和工资等级的规定等。

②专业之间的周转资料，是指设计过程中相关专业，必须互相提交给对方的设计条件（参阅《选矿设计手册》）。

（5）改、扩建选矿厂，除应具备上述新建选矿厂资料外，还应收集的资料有：

①原企业的供矿资料、处理矿石性质、最大粒度、废石混入率、含水含泥率、密度与松散密度、化学分析结果、主要产品的筛析资料等；

②原企业工艺流程及近期各项平均生产指标、生产消耗、劳动定员及生产组织和工作

制度；

③原企业主要设备名称、规格、台数、作业率、处理量及操作条件等；

④原企业辅助设施，如机修、试验室、化验室、药剂制备、尾矿设施、仓库等的装备和使用情况；

⑤原企业“三废”处理及环境保护情况；

⑥原企业图纸，如选矿厂厂房设备配置实测图、交通位置图、厂区总体布置图以及隐蔽工程竣工图；

⑦原企业经济资料，如固定资产总额、设计投资总额、施工决算、年经营费、原矿及精矿成本和成本分析、企业经济效益盈亏情况等；

⑧原企业技术革新及生产技术总结资料；

⑨原企业的经验总结以及对改、扩建选矿厂的意见。

二、初步设计的内容和深度

1. 初步设计的内容

初步设计是在工程总负责人（亦称工程项目总设计师）的组织下，各专业分别编写专业说明书、绘制设计图纸、提出设备清单，概算专业编制概算书，技术经济专业作出技术经济论证。然后，由工程总负责人汇总编制成初步设计文件。

初步设计文件包括：第一部分工艺设计说明书；第二部分环境保护、安全卫生、消防和节能说明书；第三部分设计图纸；第四部分设备表；第五部分概算书。一般合并为设计说明书、设计图纸和各种表格等3部分。

设计说明书分以下各章：

（1）总论和技术经济部分。包括简述企业地理交通位置，隶属关系和区域经济地理特点，设计依据及主要设计基础资料；扼要论述企业的外部建设条件，设计的基本原则、设计规模、企业组成及重大设计方案，企业综合经济效益及评价，问题及建议等。

（2）工艺部分。包括原矿供矿情况、矿石性质、选矿试验结果、原则流程和产品方案的评述；设计流程和指标、设备选型计算、厂房布置和设备配置特点；设备检修、药剂设施、试验室、化验室、技术检查站等辅助设施的设计说明。

（3）土建部分。包括主要生产车间、厂房建筑结构的确定；特殊构筑物结构型式和建筑用材的选择；行政生活福利设施项目和建筑标准的确定；职工住宅的规划，定额指标，建筑标准，建筑面积，绿化面积及占地面积的计算。

（4）总体布置部分（原总图运输部分）。包括区域概况、厂址及总体布置；工业厂地总平面及竖向布置；行政福利及生活区总平面布置；仓库以及企业内、外部运输等的设计。

（5）给排水、尾矿和采暖通风及热工部分。给排水包括给水量、水源、输水系统及净化设施、排水量、排水系统及污水处理。尾矿设施包括尾矿库址选择、尾矿坝的筑坝方式、尾矿输送系统的设计、尾矿水的综合利用。采暖通风包括主要生产厂房、辅助厂房及生活福利设施内的采暖、通风、除尘、空调、制冷系统的设置标准及其主要设施的设计。热工包括工业锅炉房和热力管网的设计等。

（6）电力、自动化仪表及电信部分。电力包括供电、电力传动及电力照明。自动化仪表包括生产工艺主要环节的控制、检查、监视方式、装备水平、仪表类型等的设计。电信包括确定对外通信方式、通信制式及容量，阐明设置电视共用天线系统、工业电视系统、火灾报

警系统、广播系统、电声系统等的原则及设备选型；确定调度系统。

（7）机修、汽修及电修部分。包括确定机修、汽修和电修的任务、规模、组成、工作制度、装备水平、车间场地面积及劳动定员等。

（8）环境保护、安全卫生、消防及节能部分。环境保护包括废水、废气、废渣、废石及尾矿等的治理工艺过程和噪声、震动防治措施。安全卫生包括通风防尘检测及化验设施、人员配备、防火、防水以及生产安全措施等；选矿工艺过程中降低粉尘，缩小扩散范围，净化空气的综合措施；厂区公共福利、卫生绿化设施。此外还要评价企业建设前的环境背景和企业建成后对环境的影响；说明选矿厂的环境保护管理机构，环境监测体制、手段，主要仪器及当地环境保护部门的意见。新建选矿厂的节能措施是，全面贯彻精料方针；积极采用先进技术、先进工艺；推广使用新的耐磨材料和新设备；建立和健全能源管理制度。

（9）概算部分。包括编制各项工程概算、综合概算及总概算；进行投资分析，说明投资的合理性等。

设计图纸：包括工艺流程图（必要时增加原则流程图）、选矿厂数质量流程图、矿浆流程图、取样及检查流程图（工艺流程简单时，可与工艺流程图合并）、设备形象联系图、工艺建筑物联系图、选矿厂主要厂房设备配置图等。全部图纸应符合选矿厂设计制图规范。

设计表格：包括主要技术经济指标表、主要设备订货表、劳动定员表、主要原材料、动力、燃料消耗表、工程量表等。

选矿专业在初步设计中负责选矿工艺设计，即上述设计说明书中的工艺部分及其图纸和表格等。选矿专业与其他专业的关系，是互相影响，互相促进的过程。设计时，选矿专业需要先接受地质、采矿、矿机等专业提供的设计条件；而后，根据选矿专业工艺设计方案，向各有关专业提供必要的设计条件（图纸资料）；收到返回条件或经各有关专业共同协商确定后，方可进行正式的设计工作。在初步设计中，互换设计条件的专业和资料内容参阅《选矿设计手册》。

2. 初步设计的深度

编制初步设计，必须遵照国家规定的基本建设程序，批准的可行性研究报告的内容和要求；必须遵守国家和上级主管部门制定的法规和技术政策；必须执行有关的标准、规范、规定以及履行设计合同规定的有关条款。

初步设计的深度是，为主管部门或委托单位（人）提供可供选择比较的方案，尤其是要推荐最优方案供建设单位选择；为控制基建投资、开展工程项目投资包干、招标承包以及编制基建计划提供依据；为主要设备订货提供依据；为土地征购和居民搬迁签订协议、指导和编制施工图设计、开展施工组织设计、施工和生产准备提供依据。

技术设计是介于初步设计和施工图设计之间的设计阶段。它是在已批准的初步设计的基础上进行的。它的目的是对工艺流程、设备配置和基建投资进行更详细的审查。

第二节　施工图设计

一、施工图设计内容

1. 施工图设计图纸

在正常情况下，施工图设计的设计文件，主要是施工图纸。选矿专业施工图纸是进行选矿工艺设备和构件（包括管道、溜槽）配置、制作、安装，编制工程预算和施工组织设计的依据。一般包括下列7种图纸：

(1) 选矿厂数质量、矿浆流程图。该图反映工艺流程中各作业间的相互联系和作业产品的数量、质量、水量平衡关系。

(2) 设备形象联系图。该图按工艺流程的顺序，采用典型的设备形象图，通过物料指示线清晰地表示出全厂各车间工艺部分的相互关系。

(3) 工艺建（构）筑物联系图。该图反映选矿厂各工艺建筑物之间的相互关系。

(4) 设备配置图。该图按工艺要求、正确地按比例绘制出各车间设备的配置关系；确定设备之间和设备与建（构）筑物之间的布置关系及定位尺寸。

(5) 设备或机组安装图（含各类主要设备、带式运输机、集中润滑系统、两种以上设备组成的机组等）。该图按工艺要求和设备配置图准确地表示设备与构（零）件安装关系。

(6) 金属结构（零）件制造和安装图。该图表明选矿厂内所安装的漏斗、溜槽、闸门、支架、容器、安全罩、楼梯等金属结构件的结构形状，制作要求及安装关系。

(7) 管路图（含各种矿浆、药剂、抽风、压气等管路的配置、安装等）。该图表示输送各种介质的管道与设备及安装部件等的关系和管路的空间位置。

2. 施工图设计说明书

在施工图设计阶段，凡对初步设计中非原则方案问题有所修改或补充的部分；用图纸尚不能充分表达的设计意图；或者某些设计内容没有必要采用图纸表达的内容等，均应编制施工图设计说明书。

3. 施工图设计补充设备和材料订货表

初步设计阶段的设备和材料表，一般只编入主要设备和材料，因此在施工图设计阶段还应编制补充设备和材料订货表。

二、施工图设计条件

施工图设计的条件是，初步设计已经主管部门（或建设单位）审查批准；对于设计中遗留或审查中提出的具体问题已经解决；主要设备订货落实，并索取到设计所需的设备图纸和说明书资料；外部供电、供水、运输、机修及征地等协议已签订；施工图设计所必需的地形测量、水文地质、工程地质的详勘资料已具备；对施工单位的技术力量和装备水平已经了解等。

三、施工图设计要求

施工图设计的要求是，满足设备、材料订货；满足非标准设备和金属结构件制作；满足施工单位编制预算、制定施工计划和进行施工；同时也是竣工投产与工程验收时的依据。

思 考 题

(1) 设计工作包括哪几个阶段？为什么说初步设计是重要的设计阶段？

(2) 初步设计的主要依据是什么？主要原始资料有哪些？

(3) 初步设计的设计文件包括哪几部分？选矿专业应完成哪几部分工作？

(4) 施工图设计阶段的内容、条件和要求是什么？

第四章　工艺流程的选择和计算

第一节　选矿厂工作制度、设备作业率和处理量的确定

一、选矿厂工作制度和设备作业率

选矿厂工作制度是指选矿厂各车间的工作制度。设备作业率是指选矿厂各车间设备年作业率。

各车间的工作制度是根据各车间设备年作业率确定的。所谓设备年作业率，是指各车间设备全年实际运转小时数与全年日历小时数（即365×24h）之比。可见，设备年作业率是衡量设备运转时间长短的标志，是影响选矿厂处理量的一个重要因素。设备全年实际运转小时数，一般取决于设备的质量（即材质与制造技术）、设备的装备水平、生产管理水平、原矿供应、水电供应，以及检修能力等因素。

破碎车间的工作制度，一般应和采矿供矿工作制度一致。有连续工作制度与间断工作制度两种情况，特别是小型选矿厂。

磨矿车间、选别车间是选矿厂的主体车间，通称主厂房。其工作制度采用连续工作制度，即一天工作三班，每班工作8h。

精矿脱水车间，一般和主厂房一致，若精矿量很少（如有色金属矿、稀有金属矿等选矿厂），或脱水车间选用的设备能力大时，亦可采用间断工作制度，即一天工作一班或两班。

根据我国选矿厂生产实践统计，选矿厂各车间的工作制度与设备年作业率，如表4－1所示。

表4－1　主要设备作业率和作业时间

车间名称	年作业率（%）	年工作日（d）	每班作业时间（h）
破碎及洗矿	57～73.5	330	5～6.5
自磨及选别	80～85	290～320	8
球磨及选别	85～90.4	320～330	8
精矿脱水	68～90.4	250～330	6～8

二、处理量的计算

选矿厂的处理量是指各车间年、日和小时处理量，即破碎车间和主厂房指年、日和小时处理原矿量，精矿脱水车间指年、日和小时处理精矿量。主厂房（指磨矿、选别车间）年或日处理原矿量，称为选矿厂规模。有色金属矿选矿厂，常用日处理原矿量表示选矿厂规模；黑色金属矿选矿厂，常用年处理原矿量表示选矿厂规模。要特别注意的是，重选厂的规模是指日处理合格原矿量（即选出部分废石后的原矿）。

有色金属矿选矿厂的破碎车间和磨矿车间的处理量，包括年处理量、日处理量及小时处

理量。其确定方法如下：

1. 年处理量

年处理量以选矿厂规模为计算依据。

(1) 无手选或洗矿等预选作业时，破碎车间年处理量与磨矿车间年处理量相同，即：

$$Q_a = Q_d \times T \tag{4-1}$$

式中 Q_a——破碎车间或磨矿车间年处理量（t/a）；

Q_d——选矿厂规模（t/d）；

T——磨矿车间年工作天数。

(2) 有手选或洗矿等作业时，破碎车间年处理量大于磨矿车间年处理量。破碎车间年处理量为：

$$Q_a = Q_d * T/(1-r) \tag{4-2}$$

式中 r—— 手选等预选作业丢弃的产率（小数代入）；

其他符号同前。

2. 日处理量

破碎车间和磨矿车间的日处理量可能相同，也可能不同，取决于其车间的年处理量和年工作天数。

$$Q_d = Q_a / T \tag{4-3}$$

式中 Q_d——破碎车间或磨矿车间日处理量（t/d）；

T——破碎车间或磨矿车间年工作天数；

其他符号同前。

3. 小时处理量

由于破碎车间和磨矿车间的日工作小时数不同，因此，两者的小时处理量总是不同的。

$$Q_h = Q_d / t \tag{4-4}$$

式中 Q_h——破碎车间或磨矿车间小时处理量（t/h）；

t——破碎车间或磨矿车间日工作时数（t = 每日班数 × 每班小时数）；

其他符号同前。

第二节　破碎流程的选择和计算

一、破碎流程的选择

破碎作业（含筛分作业）的主要任务是，为磨矿作业准备最适宜的给矿粒度；为粗粒矿物选别作业（如跳汰、重介质等）准备最佳的入选粒度；为高品位铁矿、冶炼熔剂等生产合格的产品。

1. 破碎流程类型和常用破碎流程

破碎流程类型　破碎流程的基本作业是破碎和筛分两个作业。筛分作业有预先筛分和检查筛分。破碎流程中，有时有洗矿作业。据此，组成破碎流程的可能单元流程有以下（a），（b），（c），（d）四种，如图 4－1 所示。以此单元流程可组合成各种破碎流程类型。如两段破碎流程可能的类型总数为 $4^2 = 16$ 种、三段破碎流程可能的类型总数为 $4^3 = 64$ 种。

常用破碎流程　破碎流程可能的类型很多，但根据预先筛分，检查筛分设置条件，以及

实际生产中的原矿最大粒度和破碎最终产物粒度，常用的破碎流程有以下四种，如图 4－2 所示。

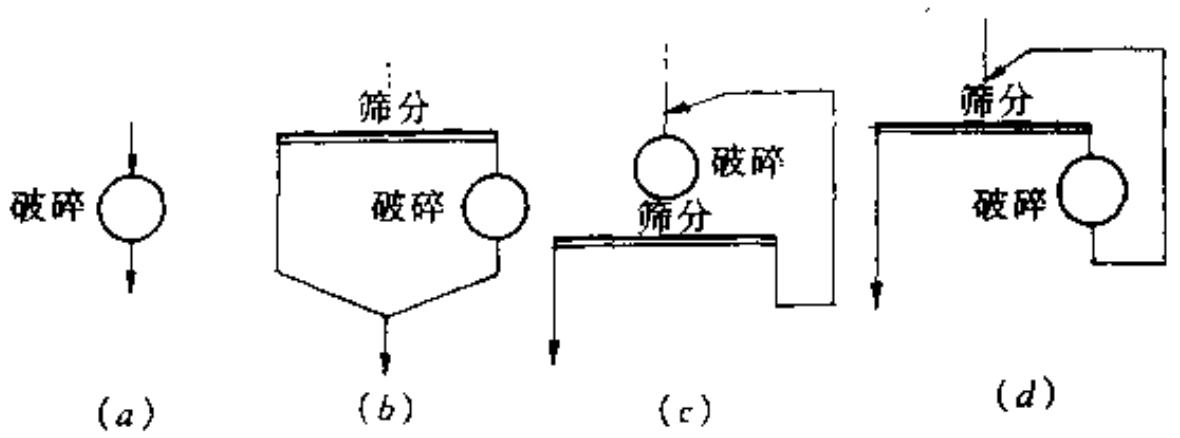


图 4－1　破碎单元流程

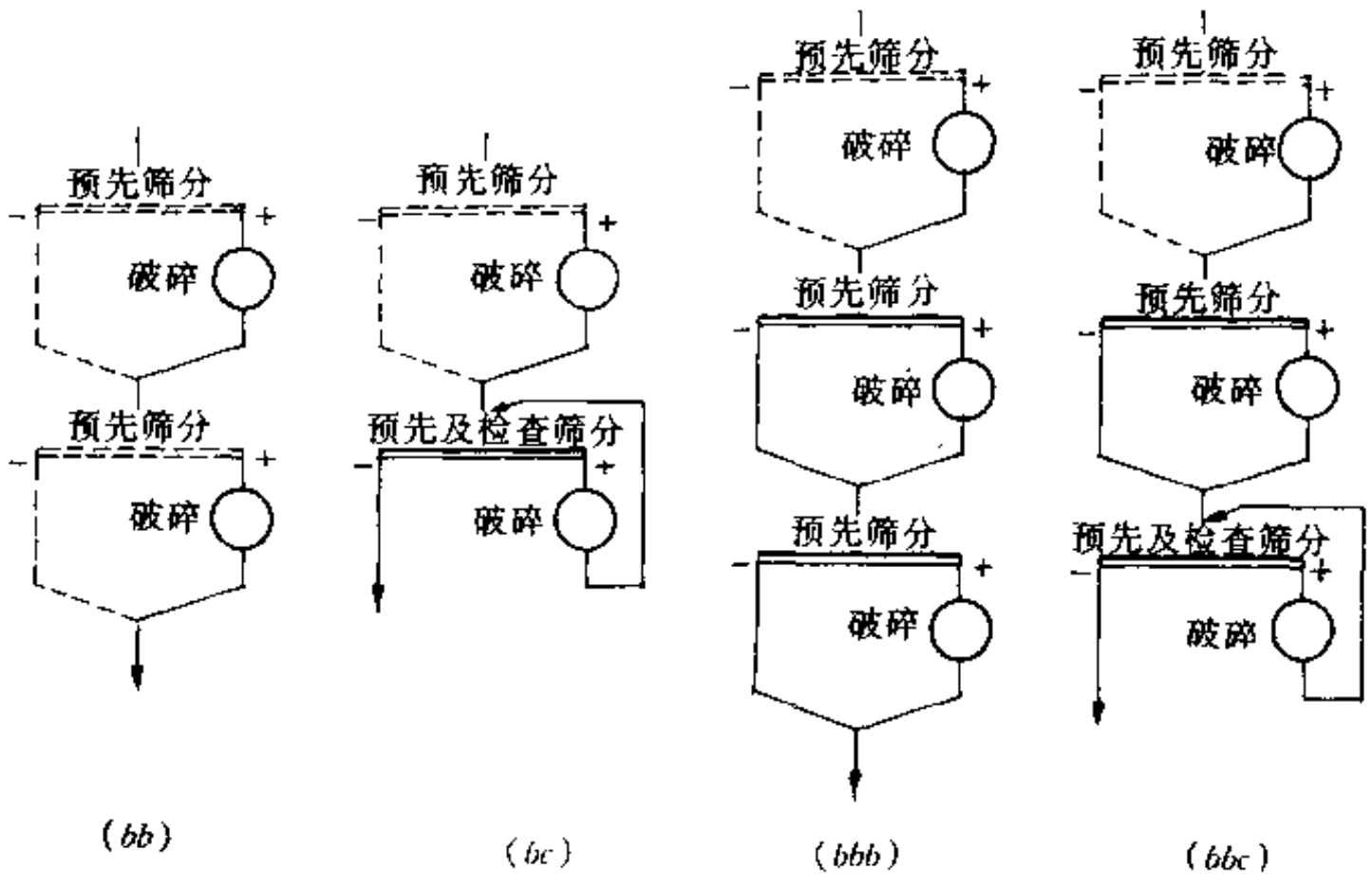


图 4－2　常用的破碎流程

2．破碎流程的选择

破碎流程的选择，主要解决 5 个问题：即确定破碎段数；预先筛分必要性；检查筛分必要性；洗矿必要性；手选必要性等。

（1）破碎段数的确定。破碎段数取决于选矿厂的原矿最大粒度与破碎最终产物粒度，即取决总破碎比（S）。总破碎比等于原矿最大粒度（D）除以破碎最终产物粒度（d）。即

$$S = \frac{D}{d} \tag{4-5}$$

原矿最大粒度的确定　原矿最大粒度与采矿有关，即与矿床赋存条件、矿山规模、采矿方法、装运设备等有关。它们之间的关系，如表 4－2 所示。

表 4－2　原矿最大粒度与采矿方法的关系

选矿厂规模	露天开采		地下开采	
	铲斗容积（m^3）	原矿最大粒度（mm）	采矿方法	原矿最大粒度（mm）
大　型	3～6	1200～1400	深孔采矿	500～600
中　型	0.5～2	600～1000	深孔采矿	400～500
小　型	0.4～1	450～800	浅孔采矿	200～350

所谓最大粒度，是指95%的矿量通过某一筛孔尺寸的粒度。从表4－2看出，原矿最大粒度范围为200～1400mm。

破碎最终产物粒度的确定　破碎最终产物粒度视选矿厂规模、磨矿细度和选别的工艺要求而定。由于磨矿作业电耗占选矿厂总电耗的50%～60%，而破碎作业仅占10%～15%。因此，设计时要尽可能减小破碎最终产物粒度。目前，最适宜的给矿粒度范围：球磨机为10～20mm；棒磨机开路时为15～20mm，含泥含水较多时，可增到20～25mm；砾磨机需要部分破碎最终产物作磨矿介质时为40～100mm；自磨机为200～350mm；跳汰机给矿粒度小于20mm；重介质选矿为－25～＋3mm。

根据上述原矿最大粒度范围（即200～1400mm）和破碎最终产物粒度范围（即球磨机为10～20mm），常用破碎流程的总破碎比范围为：

$$S_{max} = \frac{D}{d} = \frac{1400}{10} = 140$$

$$S_{min} = \frac{D}{d} = \frac{200}{20} = 10$$

式中　S —— 总破碎比；

S_{max}——最大总破碎比；

S_{min}——最小总破碎比；

D——原矿最大粒度（mm）；

d——破碎最终产物粒度（mm）。

总破碎比等于各段破碎比之乘积，即 $S = S_1 \times S_2 \times S_3$。各段破碎比与各段破碎机的型式、流程类型和矿石性质有关。各种破碎机在不同条件下，其破碎比范围，如表4－3所示（难碎性矿石取小值、易碎性矿石取大值）。

表4－3　各种破碎机在不同工作条件下的破碎比范围

破碎段	破碎机型式	工作条件	破碎比范围
第Ⅰ段	颚式破碎机和旋回破碎机	开　路	3～5
第Ⅱ段	标准圆锥破碎机	开　路	3～5
第Ⅱ段	中型圆锥破碎机	闭　路	4～8
第Ⅲ段	短头圆锥破碎机	开　路	3～6
第Ⅲ段	短头圆锥破碎机	闭　路	4～8
第Ⅲ段	对辊机	闭　路	3～15
第Ⅱ、Ⅲ段	反击式破碎机	闭　路	8～40

根据总破碎比范围（10～140）和表4－3中各种破碎机在不同工作条件下的破碎比范围看出，采用常用破碎流程，总破碎比即使达到最小值10，一般情况下，一段破碎流程也不可能实现。最大的总破碎比为140，只能用三段破碎流程，如（$S_{max} = S_1 \times S_2 \times S_3 = 4.5 \times 5 \times 6.2 = 140$）。所以，破碎段数的结论是：常用破碎流程应是两段或三段。特殊情况可考虑四段破碎流程（如难碎性矿石的大型选矿厂）。

（2）预先筛分的必要性。预先筛分是矿石进入破碎机之前的筛分作业。其目的是，预先筛出给矿中的细粒物料，防止矿石过粉碎，减少进入破碎机的给矿量，从而提高破碎机的处理量，根据矿石中水分的含量，可将矿石分为：干矿石（水分＜3%）；润湿矿石（水分3%

~4%）；较湿矿石（水分 4%～6%）；湿矿石（水分>6%）等。

水分在破碎时的有害程度，视矿石中矿泥含量而定。当矿石含泥多，水分高时，采用预先筛分可以减少破碎机的堵塞现象。生产实践证明，大多数情况下，原矿中均含有一定数量的细粒物料，特别是易碎性矿石，其细粒含量较多，如图 4－3 所示。所以，粗碎前的预先筛分总是有利的。

粗碎、中碎排矿产物中，其细粒含量更多，破碎产物的粒度特性曲线总是呈凹型的，如图 4－4，图 4－5，图 4－6，图 4－7，图 4－8，图 4－9 所示。所以，中碎、细碎前的预先筛分也总是有利的。设置预先筛分的缺点是：增加厂房高度，增加基建投资和设备配置较复杂。因此，在下列情况下，可以不设预先筛分：难碎性矿石，细粒含量少；破碎机有富余的生产能力；受地形限制，难于设置预先筛分；大型选矿厂的粗碎机给矿采用车厢直接倒入，即所谓挤满给矿等。

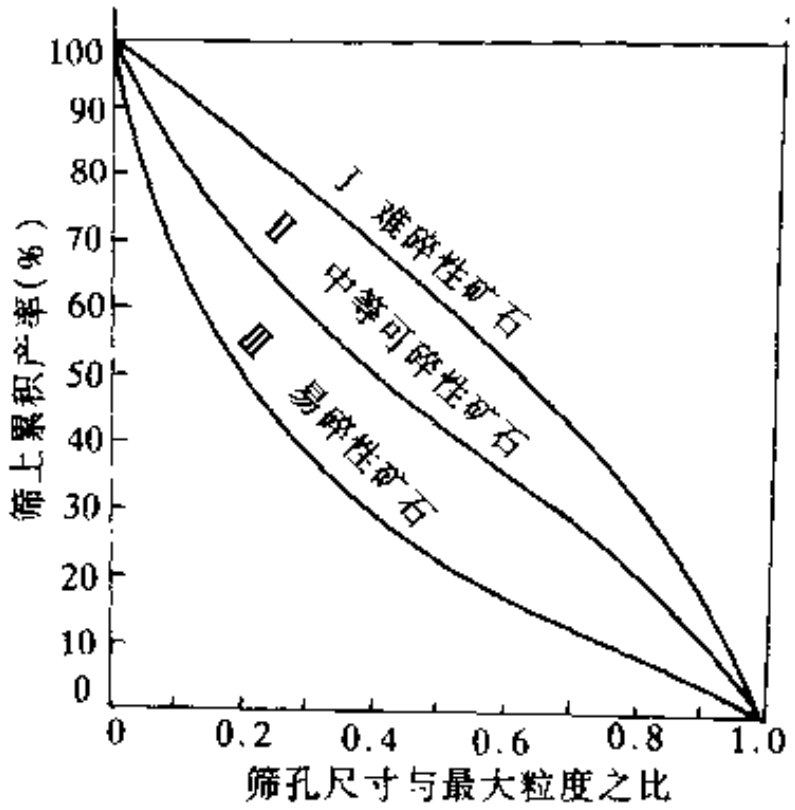


图 4－3　原矿粒度特性曲线

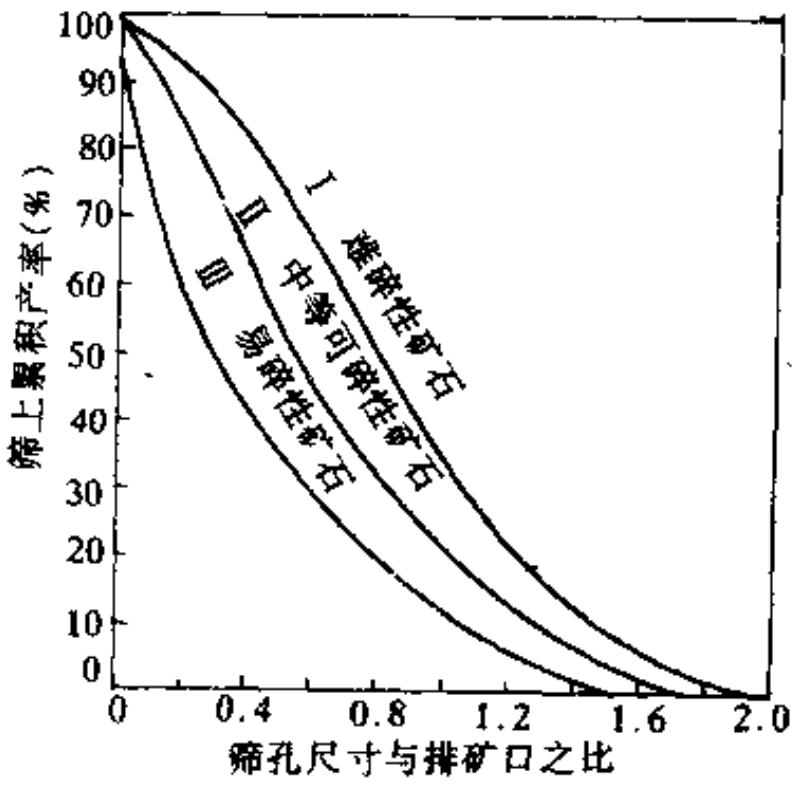


图 4－4　旋回破碎机破碎产物粒度特性曲线

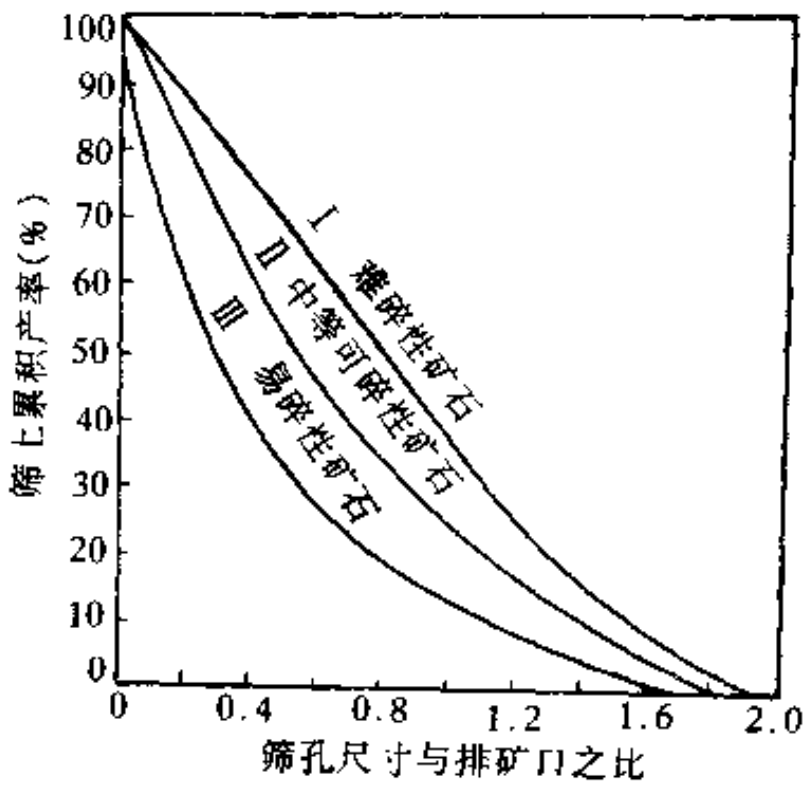


图 4－5　颚式破碎机破碎产物粒度特性曲线

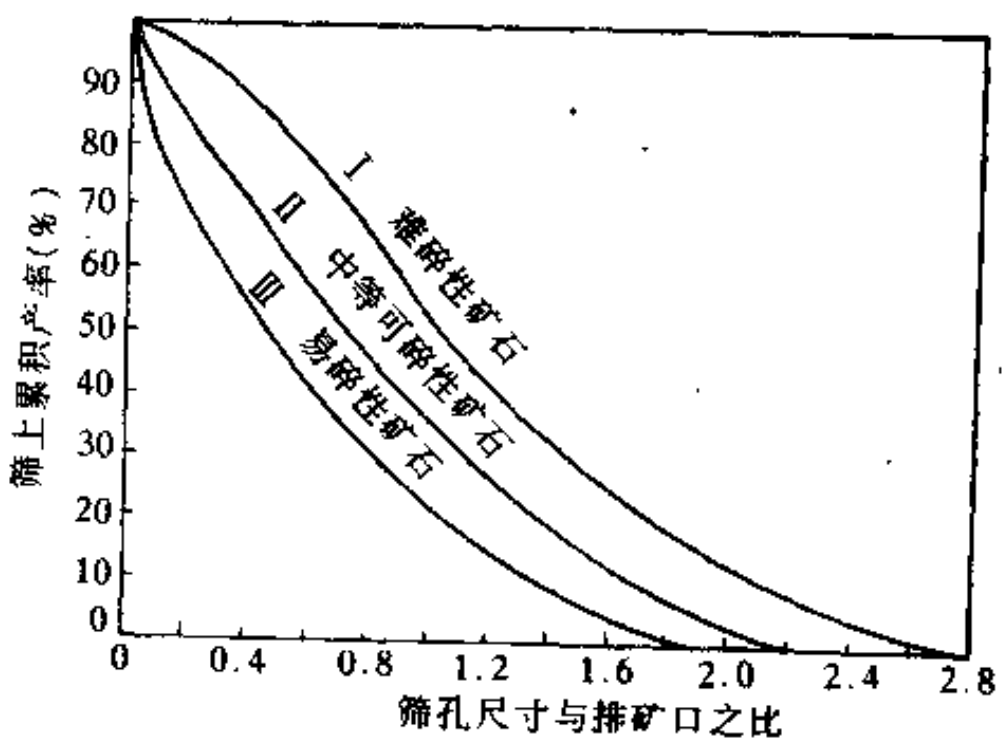


图 4－6　标准圆锥破碎机破碎产物粒度特性曲线

（3）检查筛分的必要性。检查筛分的目的是，控制破碎最终产物粒度和充分发挥细碎机的生产能力。

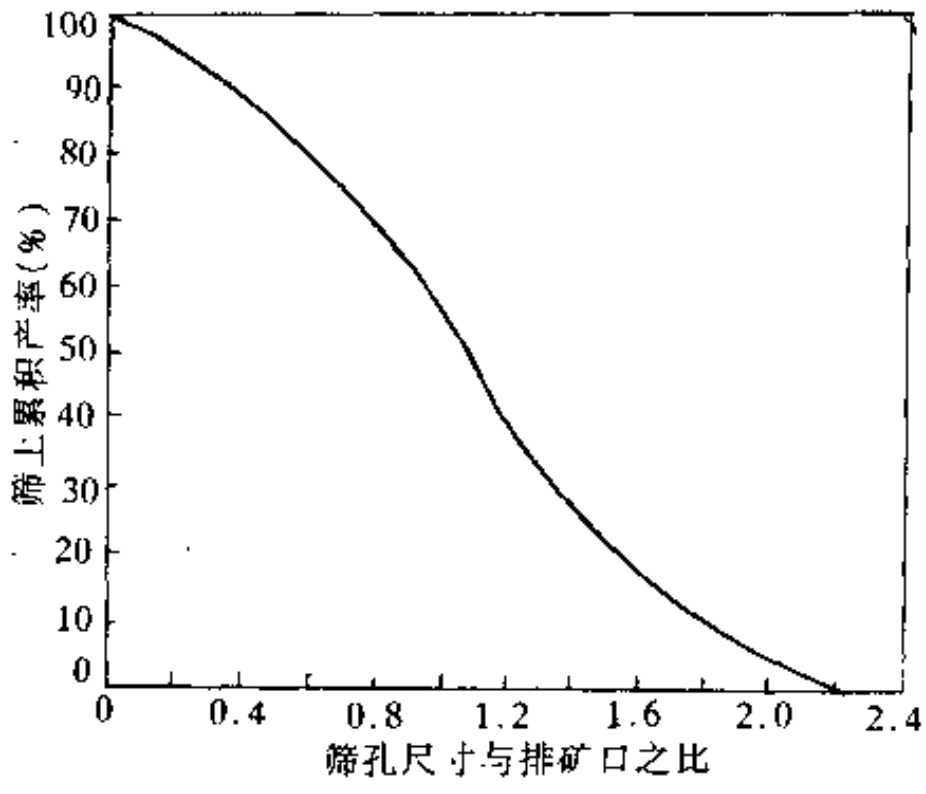


图 4－7　中型圆锥破碎机闭路破碎产物粒度特性曲线

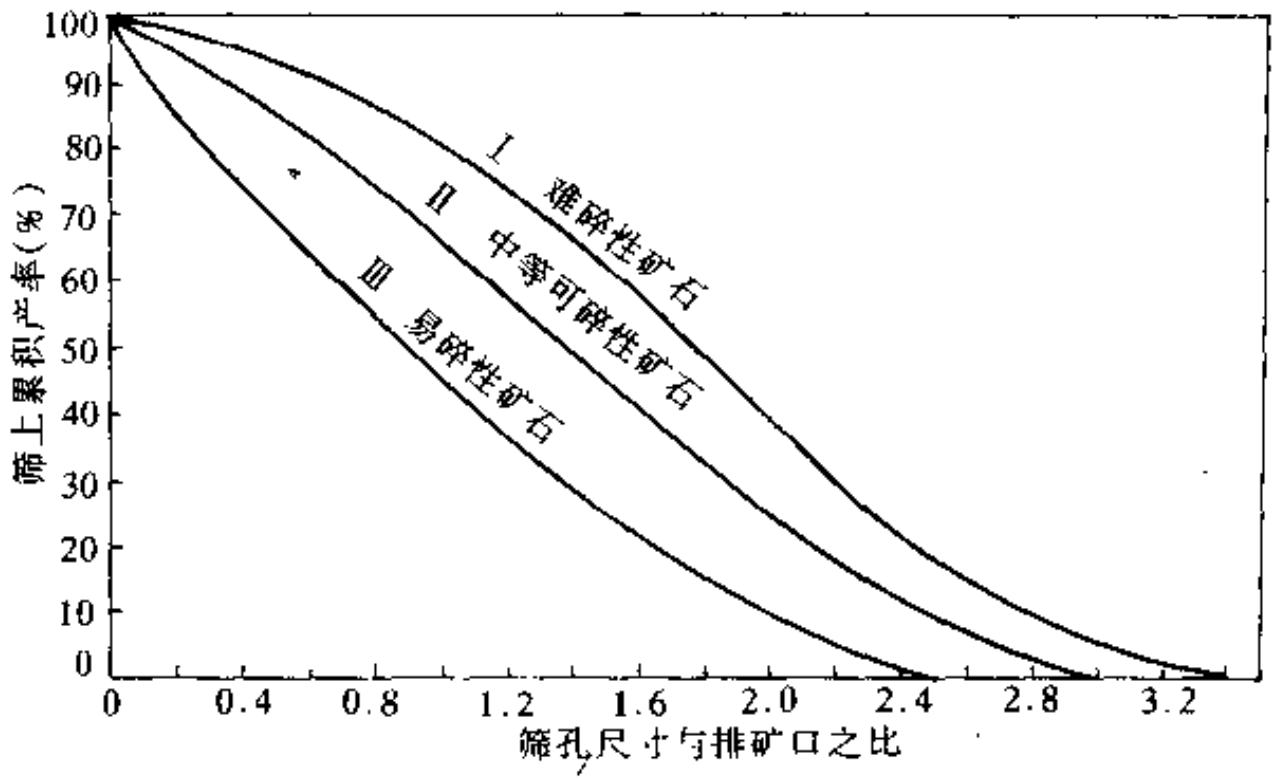


图 4－8　短头圆锥破碎机开路破碎产物粒度特性曲线

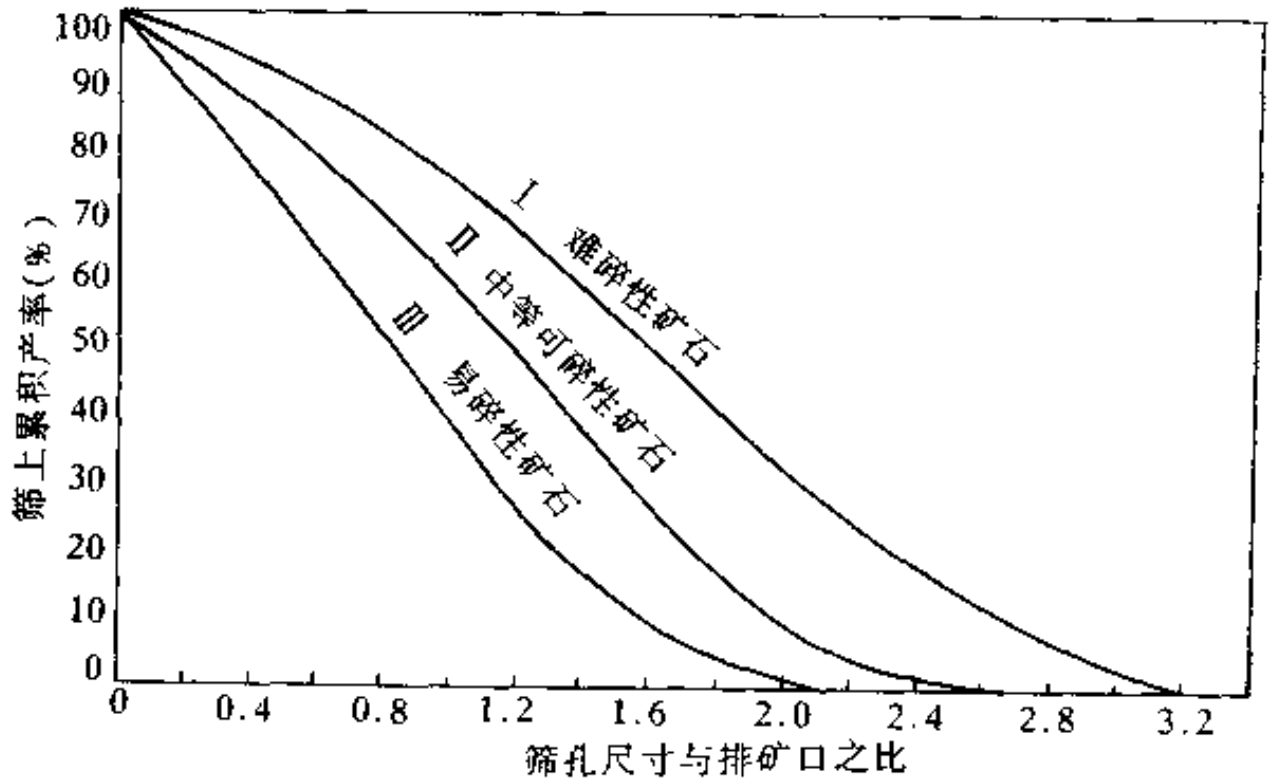


图 4－9　短头圆锥破碎机闭路破碎产物粒度特性曲线

所谓检查筛分是与破碎机（主要是细碎机）构成闭路的筛分作业。各种类型破碎机不管是开路破碎，还是闭路破碎，其排矿产物中都含有小于排矿口宽度的产物和大于排矿口宽度的产物（或称过大颗粒），如图 4－8，图 4－9 所示。小于排矿口宽度的产物，设置预先筛分是有利的，大于排矿口宽度的产物，设置检查筛分是必要的。破碎机排矿产物中最大粒度与排矿口宽度之比，称为最大相对粒度 Z_{max}。同理，排矿产物中某一粒度（对应于某一筛孔尺寸）与排矿口宽度之比，称为某一相对粒度 Z。排矿产物中，大于排矿口宽度的过大颗粒含量 β（%）与最大相对粒度 Z_{max}，如表 4－4 所示。

表 4－4　破碎机排矿产物中过大颗粒含量 β 与最大相对粒度 Z_{max}

矿石可碎性等级	破碎机型号							
	旋回破碎机		颚式破碎机		标准圆锥破碎机		短头圆锥破碎机	
	β（%）	Z_{max}	β（%）	Z_{max}	β（%）	Z_{max}	β（%）	Z^*_{max}
难碎性矿石	35	1.65	38	1.75	53	2.4	75	2.9～3.0
中等可碎性矿石	20	1.45	25	1.6	35	1.9	60	2.2～2.7
易碎性矿石	12	1.25	13	1.4	22	1.6	38	1.8～2.2

* 闭路时取小值，开路时取大值。

从表 4－4 可以看出，各种类型的破碎机的排矿产物中都有过大颗粒，而且过大颗粒的含量很高，如短头圆锥破碎机破碎中等可碎性矿石时，排矿产物中过大颗粒含量高达 60%，最大粒度为排矿口宽度的 2.2～2.7 倍；破碎难碎矿石时更为严重，$\beta=75\%$，$Z_{max}=2.9\sim3.0$。所以，在破碎流程中的最后一段破碎作业设置检查筛分是非常必要的。应当指出，从技术上讲，各段排矿产物中均有过大颗粒，都可设置检查筛分，但由于设置检查筛分会增加投资，并使车间设备配置复杂化。因此，只在最后一段破碎设置检查筛分，以控制破碎最终产物粒度，前面各段破碎不设置检查筛分。

（4）洗矿的必要性。选矿厂处理含泥量较多的氧化矿，或含泥多、水分高的矿石时，必须设置洗矿作业。一般认为原矿含水大于 5%、含泥（－0.074mm）超过 5%～8%，就应考虑洗矿；有些需要预选（如手选、光电选、重介质选等）的矿石，预选前需设置洗矿。所以，洗矿要视具体情况而定。

洗矿方法和设备，取决于矿石的可洗性。它与矿石所含粘土的种类、比例、可塑性、膨胀性及渗透性等有关。

洗矿的典型流程，如图 4－10，图 4－11 所示。洗矿后的矿泥有单独处理和矿砂、矿泥合并处理两种方案，采用哪种方案，视矿泥和矿砂的性质而定。

（5）手选的必要性。有些矿石（如黑钨矿等），由于矿脉薄，在开采中，废石混入率高达 80% 左右，这样使原矿品位降低，不能直接入选，必须进行手选，以提高原矿品位和获得部分合格产品。所以，手选虽然劳动强度大、效率低，但对这类矿石，仍然非常必要。

根据江西、广东、湖南等省选矿厂的生产实践统计，废石选出率为 35%～70%，手选工效约 3t/人·班，手选回收率为 96.5%～99.0%。手选定额如表 4－5 所示。

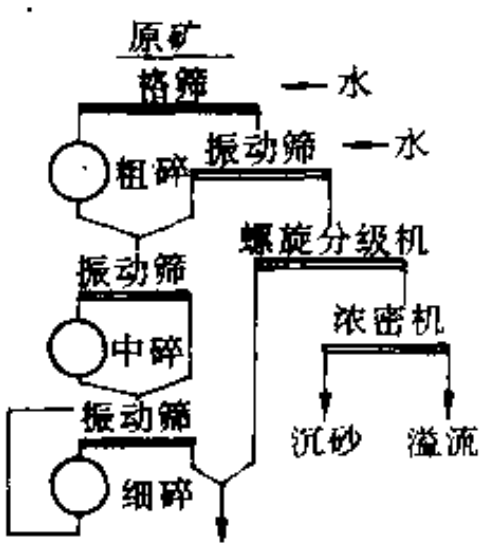


图 4－10　粗碎前洗矿流程

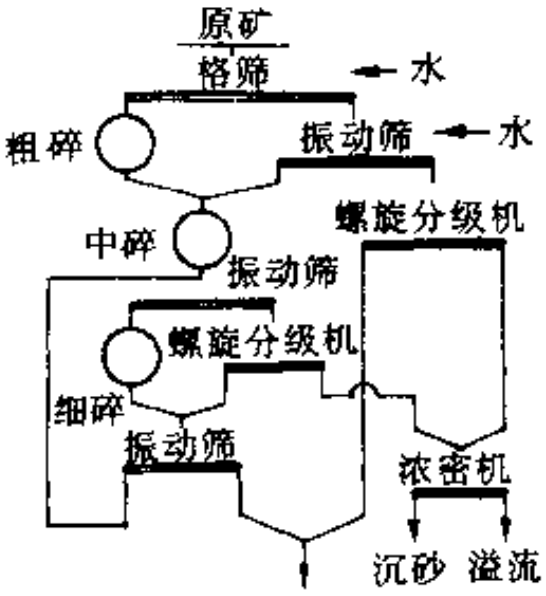


图 4－11　粗碎后洗矿流程

表 4－5　手选定额

矿石粒级（mm）	需要拣出部分（废石或合格矿石）含量（%）		
	6～10	10～20	>30
	手选定额（t/人·班）		
150～60	2.5～2.0	3.0～2.5	4.5～3.0
60～35	1.5～1.0	2.0～1.5	2.5～2.0
35～18	0.5～0.2	1.5～0.5	2.0～1.5

二、破碎流程计算

1. 计算的内容、目的及原理

计算内容　在破碎筛分作业中，只考虑矿石粒度和粒度组成的变化，不考虑品位和回收率的变化（洗矿、手选除外）。所以，计算的内容是，计算各破碎产物和筛分产物的重量 Q（t/h）和产率 γ（%）。如果破碎流程中有手选、洗矿或重、磁选作业时，则还应计算手选、洗矿或重、磁选作业等产物的品位和回收率。

计算的目的及原理　破碎流程计算的目的是，为选择破碎、筛分及辅助等设备提供依据。计算的原理是，各产物的重量（或产率）按平衡方程式求出，即进入作业的重量（或产率），等于该作业排出的重量（或产率）。在计算中，不考虑破碎过程的机械损失和其他流失。

2. 计算所需原始资料

破碎流程计算时，需有下列原始资料：

（1）破碎车间的处理量（t/h）。

（2）原矿最大粒度和破碎最终产物粒度。

（3）矿石的物理性质。主要指矿石的可碎性、含水、含泥量和矿石松散密度。

（4）原矿、各段破碎机破碎产物粒度特性曲线。可以通过工业性试验直接测定，也可以参照类似矿石选矿厂的实际粒度特性曲线。如果原矿和各段破碎机破碎产物粒度特性无法进行实际测定，又无类似矿石选矿厂的实际粒度特性曲线可供参考，则可使用图 4－3 至图 4－9 所示的粒度特性曲线进行破碎流程计算。

（5）各段筛分作业的筛孔尺寸和筛分效率。筛分效率应参考实际生产资料合理确定。粗碎和中碎使用固定条筛时，其筛分效率为 50% ～60%，中碎和细碎的预先筛分使用振动筛时，其筛分效率为 80% ～85%，细碎用的检查筛分，其筛分效率按筛分工作制度（即常规筛分和等值筛分两种工作制度）确定。可见，筛分效率与筛分设备有关。同时，筛分效率与筛孔尺寸也有关系，筛孔尺寸和筛分效率的正确选择与否，对筛子的生产能力影响很大。

预先筛分的筛孔尺寸（a），应在本段破碎机排机口宽度（e）与排矿产物中最大粒度（d_{max}）之间选取。即：

$$e \leqslant a \leqslant d_{max} \quad (\text{或 } a = e \sim d_{max}) \tag{4-6}$$

式中 e——排矿口宽度（mm）；

a——筛孔尺寸（mm）；

d_{max}——排矿产物中最大粒度（即 $d_{max} = Z_{max}e$）（mm）；

Z_{max}——最大相对粒度，查表 4－4 得。

检查筛分的筛孔尺寸，可由两种筛分工作制度确定，即常规筛分工作制度（即检查筛分筛孔尺寸（a）、排矿口宽度（e）与破碎最终产物粒度（d）相等，筛分效率（E）为 85%）和等值筛分工作制度（即增大检查筛分筛孔尺寸、降低排矿口宽度和检查筛分效率）。这两种筛分工作制度，就筛下产物的粒度特性和对磨矿机的生产效率而言是等效的。例如，破碎最终产物粒度为 $10mm$ 时，其检查筛分有两种筛分工作制度：常规筛分工作制度，其筛孔尺寸为 10mm，排矿口宽度为 10mm，筛分效率为 85%；等值筛分工作制度，其筛孔尺寸取 12mm，排矿口宽度取 8mm，筛分效率为 65%。经研究证明，这两种筛分工作制度的筛下产物有着相同的比表面积，即相同的平均粒度。

两种筛分工作制度算术表达式为：

常规筛分工作制度：

$$a = d,\ e = d,\ E = 85\% \tag{4-7}$$

等值筛分工作制度，又有 3 种情况：

（1） $a = 1.1d,\ e = 0.8d,\ E = 73\%$； (4－8)

（2） $a = 1.2d,\ e = 0.8d,\ E = 65\%$； (4－9)

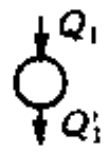
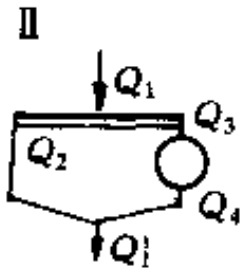
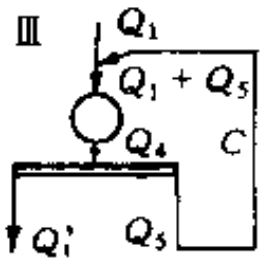
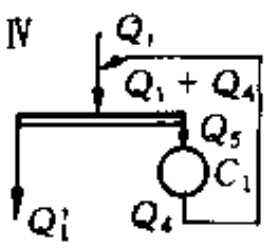
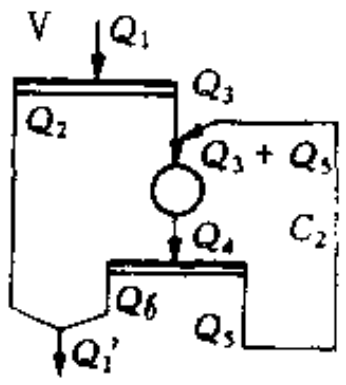
（3） $a = 1.3d,\ e = 0.8d,\ E = 60\%$。 (4－10)

等值筛分工作制度，一般适用于大、中型选矿厂，特别是大型选矿厂。由于增大筛孔尺寸（比破碎最终产物粒度大 10% ～30%）和降低筛分效率（比常规筛分工作制度降低 12% ～25%，即借助于加大筛子安装角度实现），从而提高筛子的生产能力，减少筛子的台数。这样既节省了投资，又简化了筛分车间的设备配置，对大、中型选矿厂是非常有利和必要的。

3. 各种基本破碎流程的计算

各种基本破碎流程的计算公式，如表 4－6 所示。

表 4-6　破碎筛分流程的类型及计算公式

流程类型	计算公式	符号说明
Ⅰ 	$Q_1 = Q_1'$	Q_1——流程的给矿量(t/h)； Q_1'——最终产品矿量(t/h)； Q_2, Q_6——筛分作业的筛下矿量(t/h)； Q_3, Q_5——筛分作业的筛上矿量(t/h)； Q_4——破碎机排矿量(t/h)； α_1——给矿中小于筛孔级别含量(小数代入)； E——筛分效率(小数代入)； β_4——破碎机排矿中小于筛孔级别的含量(小数代入)； C, C_1, C_2——循环负荷率(%)。
Ⅱ 	$Q_2 = Q_1\alpha_1 E$ $Q_3 = Q_1(1-\alpha_1 E)$	
Ⅲ 	$Q_5 = CQ_1$ $C = \dfrac{(1-\beta_4 E)}{\beta_4 E} \times 100\%$	
Ⅳ 	$Q_4 = C_1 Q_1$ $C_1 = \dfrac{(1-\alpha_1 E)}{\beta_4 E} \times 100\%$	
Ⅴ 	$Q_5 = C_2 Q_3$ $C_2 = \dfrac{(1-\beta_4 E)}{\beta_4 E} \times 100\%$	

4. 破碎流程计算步骤

(1) 计算破碎车间处理量；

(2) 计算总破碎比；

(3) 初步拟定破碎流程；

(4) 计算各段破碎比；

(5) 计算各段破碎产物的最大粒度；

(6) 计算各段破碎机的排矿口宽度；

(7) 确定各段筛子的筛孔尺寸和筛分效率；

(8) 计算各产物的产率和重量；

(9) 绘制破碎数量流程图。

详细内容见计算实例。

5. 破碎流程计算实例

设计已知条件为：选矿厂规模为 1500t/d，无手选和洗矿作业，原矿最大粒度为 500mm，破碎最终产物粒度为 10mm，矿石松散密度 $\gamma=1.9\text{t/m}^3$，中等可碎性矿石，破碎车间工作制度为每日三班，每班 5.5h。

(1) 计算破碎车间小时处理量。

$$Q=\frac{1500}{5.5\times3}=91\ (\text{t/h})$$

(2) 计算总破碎比。

$$S=\frac{D}{d}=\frac{500}{10}=50$$

(3) 初步拟定破碎流程。

根据总破碎比，选用三段一闭路破碎流程，如图 4－12 所示。

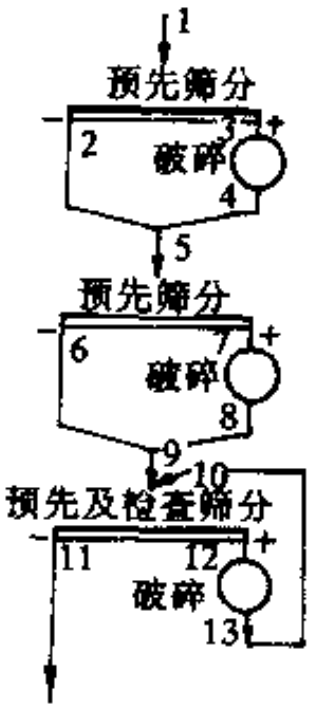


图 4－12

(4) 计算各段破碎比。

平均破碎比 $S_a=\sqrt[3]{50}=3.68$，

取 $S_1=S_2=3.5$，略小于 S_a。

根据总破碎比等于各段破碎比的乘积，则第三段破碎比 S_3 为：

$$S_3=\frac{S}{S_1S_2}=\frac{50}{3.5\times3.5}=4.08$$

(5) 计算各段破碎产物的最大粒度。

$$d_4=\frac{D}{S_1}=\frac{500}{3.5}=143\ (\text{mm}),\qquad d_8=\frac{d_4}{S_2}=\frac{143}{3.5}=40.8\ (\text{mm})$$

$$d_{11}=\frac{d_8}{S_3}=\frac{40.8}{4.08}=10\ (\text{mm})。$$

(6) 计算各段破碎机排矿口宽度。

破碎机排矿口宽度与破碎机型式有关，即与最大相对粒度有关。初步确定粗碎用颚式破碎机，中碎用标准型圆锥破碎机，细碎用短头型圆锥破碎机，排矿口宽度为：

$$e_4=\frac{d_4}{Z_{1\max}}=\frac{143}{1.6}=89.4\ (\text{mm})，\text{取 }90\text{mm}$$

$$e_8=\frac{d_8}{Z_{2\max}}=\frac{40.8}{1.9}=21.5\ (\text{mm})，\text{取 }22\text{mm}$$

e_{13}根据筛分工作制度确定。若采用常规筛分工作制度，$e_{13}=d_{11}=10\ (\text{mm})$，若采用等值筛分工作制度，$e_{13}=0.8d_{11}=0.8\times10=8\ (\text{mm})$。

(7) 选择各段筛子筛孔尺寸和筛分效率。

粗筛：筛孔尺寸在 $e_4\leqslant a_1\leqslant d_4$ 选取。

亦即在 $90\leqslant a_1\leqslant143$ 之间，取 $a_1=100\text{mm}$，$E_1=60\%$

中筛：筛孔尺寸在 $e_8\leqslant a_2\leqslant d_8$ 选取。

亦即在 $22\leqslant a_2\leqslant40.8$ 之间，取 $a_2=40\text{mm}$，$E_2=80\%$

细筛：检查筛子筛孔尺寸和筛分效率，按常规筛分工作制度或等值筛分工作制度确定。

常规筛分工作制度：$a_3=d_{11}$，即 $a_3=10\text{mm}$，$E_3=85\%$。

等值筛分工作制度：

①$a_3=1.1d_{11}$，即 $a_3=1.1\times10=11\ (\text{mm})$，$e_{13}=0.8d_{11}=8\ (\text{mm})$，$E_3=73\%$。

②$a_3=1.2d_{11}$，即 $a_3=1.2\times10=12\ (\text{mm})$，$e_{13}=0.8d_{11}=8\ (\text{mm})$，$E_3=65\%$。

③$a_3=1.3d_{11}$，即 $a_3=1.3\times10=13$（mm），$e_{13}=0.8d_{11}=8$（mm），$E_3=60\%$

本实例采用等值筛分工作制度的第二种情况，即 $a_3=12$（mm），$e_{13}=8$（mm），$E_3=65\%$。

(8) 计算各产物的产率和重量。

①粗碎作业。

$$Q_1=91\text{t/h},\quad \gamma_1=100\%$$

$$Q_2=Q_1\beta_1^{-100}E_1=91\times0.31\times0.6=16.93\ (\text{t/h})$$

$$\gamma_2=\frac{Q_2}{Q_1}\times100=\frac{16.93}{91}\times100=18.6\ (\%)$$

$$Q_3=Q_4=Q_1-Q_2=91-16.93=74.07\ (\text{t/h})$$

$$\gamma_3=\gamma_4=\gamma_1-\gamma_2-100-18.6=81.4\ (\%)$$

$$Q_5=Q_1=91\ (\text{t/h}),\quad \gamma_5=\gamma_1=100\%$$

式中 β_1^{-100}——原矿中小于100mm的粒级含量。

在实例中，粗筛的筛孔尺寸与原矿最大粒度的比值 $Z_1=\frac{100}{500}=0.2$，从图4－3中，查中等可碎性矿石，得 $\beta_1^{-100}=0.31=31\%$。

②中碎作业。

$$Q_6=Q_1\beta_5^{-40}E_2=91\times0.432\times0.8=31.45\ (\text{t/h})$$

$$\gamma_6=\frac{Q_6}{Q_1}\times100=\frac{31.45}{91}\times100=34.56\ (\%)$$

$$Q_7=Q_8=Q_5-Q_6=91-31.45=59.55\ (\text{t/h})$$

$$\gamma_7=\gamma_8=\gamma_5-\gamma_6=100-34.56=65.44\ (\%)$$

$$Q_9=Q_5=Q_1=91\ (\text{t/h})$$

$$\gamma_9=\gamma_5=\gamma_1=100\%$$

式中 β_5^{-40}——产物5中小于40mm粒级含量。其数值等于原矿中小于40mm粒级含量与产物4中小于40mm粒级含量之和，即：

$$\beta_5^{-40}=\beta_1^{-40}E_1+\gamma_4\beta_4^{-40}\tag{4-11}$$

在实例中，中筛的筛孔尺寸与原矿最大粒度的比值 $Z_1=\frac{40}{500}=0.08$。从图4－3中，查中等可碎性矿石，得 $\beta_1^{-40}=0.15=15\%$。中筛的筛孔尺寸与粗碎机排矿口宽度的比值 $Z_2=\frac{40}{90}=0.44$。从图4－5中，查中等可碎性矿石，得 $\beta_4^{-40}=0.42=42\%$，故：

$$\beta_5^{-40}=\beta_1^{-40}E_1+\gamma_4\beta_4^{-40}=0.15\times0.6+0.814\times0.42=0.432=43.2\ (\%)$$

应当指出，在设计中，为了简化计算，也采用以下两种方法求得 β_5^{-40}：

〈1〉设原矿中小于40mm的粒级含量全部通过粗筛，即 $E_1=100\%$，故：

$$\beta_5^{-40}=\beta_1^{-40}+\gamma_4\beta_4^{-40}=0.15+0.8\times0.42=0.492=49.2\ (\%)$$

〈2〉直接用粗碎机排矿产物（即产物4）中小于40mm的粒级含量，即：

$$\beta_5^{-40}=\beta_4^{-40}=0.42=42\ (\%)$$

显然，3种方法有差别，但不影响中碎机的选择，基本上均可采用。

③细碎作业。

根据平衡关系，细碎作业可以列出以下平衡方程式：

$$Q_{11} = (Q_9\beta_9^{-12} + Q_{13}\beta_{13}^{-12})\ E_3$$

即 $$Q_1 = (Q_1\beta_9^{-12} + Q_{13}\beta_{13}^{-12})\ E_3$$

$$\therefore\quad Q_{13} = \frac{Q_1\ (1-\beta_9^{-12}E_3)}{\beta_{13}^{-12}E_3} = \frac{91\times\ (1-0.3591\times0.65)}{0.68\times0.65} = 157.85\ (\text{t/h})$$

$$\gamma_{13} = \frac{157.85}{91}\times100 = 173.46\ (\%)$$

$$Q_{12} = Q_{13} = 157.85\ (\text{t/h})$$

$$\gamma_{12} = \gamma_{13} = 173.46\%$$

$$Q_{10} = Q_9 + Q_{13} = 91 + 157.85 = 248.85\ (\text{t/h})$$

$$\gamma_{10} = \gamma_9 + \gamma_{13} = 100 + 173.46 = 273.46\ (\%)$$

$$Q_{11} = Q_1 = 91\ (\text{t/h})$$

$$\gamma_{11} = \gamma_1 = 100\%$$

式中 β_{13}^{-12}——产物 13 中小于 12mm 的粒级含量。在实例中，细筛的筛孔尺寸与细碎机排矿口宽度的比值 $Z_3 = \frac{12}{8} = 1.5$。从图 4－9 中，查中等可碎性矿石，得：$\beta_{13}^{-12} = 0.68 = 68\%$。

β_9——产物 9 中小于 12mm 的粒级含量，其数值等于原矿中小于 12mm 粒级含量、粗碎机排矿产物中小于 12mm 粒级含量和中碎机排矿产物中小于 12mm 粒级含量的三者之和。即：

$$\beta_9^{-12} = \beta_1^{-12}E_1E_2 + \gamma_4\beta_4^{-12}E_2 + \gamma_8\beta_8^{-12} \qquad (4-12)$$

在实例中，细筛的筛孔尺寸与原矿最大粒度的比值 $Z_1 = \frac{12}{500} = 0.024$。从图 4－3 中，查中等可碎性矿石，得 $\beta_1 = 0.04 = 4\%$。细筛的筛孔尺寸与粗碎机排矿口宽度的比值 $Z_2 = \frac{12}{90} = 0.133$。从图 4－5 中，查中等可碎性矿石，得 $\beta_4^{-12} = 0.13 = 13\%$。细筛的筛孔尺寸与中碎机排矿口宽度的比值 $Z_3 = \frac{12}{22} = 0.55$。从图 4－6 中，查中等可碎性矿石，得 $\beta_8^{-12} = 0.39 = 39\%$。故：

$$\beta_9^{-12} = \beta_1^{-12}E_1E_2 + \gamma_4\beta_4^{-12}E_2 + \gamma_8\beta_8^{-12}$$
$$= 4\times0.6\times0.8 + 0.814\times13\times0.8 + 0.6544\times39 = 35.91\ (\%)$$

同理，为了简化计算，也可以用以下两种方法求得 β_9^{-12}：

〈1〉设原矿中小于 12mm 的粒级含量和粗碎机排矿产物中小于 12mm 的粒级含量均全部通过粗筛、中筛，即 $E_2 = E_1 = 100\%$。故：

$$\beta_9^{-12} = \beta_1^{-12} + \gamma_4\beta_4^{-12} + \gamma_8\beta_8^{-12}$$
$$= 4 + 0.814\times13 + 0.6544\times39 = 40.1\ (\%)$$

〈2〉直接用中碎机排矿产物中小于 12mm 的粒级含量，即：

$$\beta_9^{-12} = \beta_8^{-12} = 0.39 = 39\ (\%)$$

显然，3 种方法有差别，但不影响细碎机的选择，基本上都可采用。

(9) 绘制破碎数量流程图。

将计算结果，按产物编号分别填在流程图上即可得破碎数量流程图，如图 4－13 所示。

应当指出，破碎流程计算，必须结合设备选择和计算同时进行。原因是：

①在计算破碎流程时，需要所选破碎机的破碎产物粒度特性曲线和最大相对粒度 Z_{max}。所以，在破碎流程计算之前，首先要确定破碎机的类型，如粗碎可用旋回和颚式；中碎可用标准型和中型；细碎可用短头型、中型和对辊等；

②根据各段已确定的排矿口宽度计算破碎机的生产能力和负荷系数（一般为 60% ~ 100%）时，可能会出现各段破碎机的负荷不平衡，即某段负荷系数太高，某段负荷系数又太低。所以，必须要进行各段负荷系数的调整，使各段负荷系数基本接近。调整方法是：

〈1〉改变排矿口宽度（e）（即在产品目录中，所选破碎机可调的范围内改变）；

〈2〉改变筛孔尺寸（a）（预先筛分在 $e \leqslant a \leqslant Z_{max}e$ 或 $a = e \sim d_{max}$ 之间改变，检查筛分按筛分工作制度调整）；

〈3〉改变筛分效率（E）；

〈4〉决定某段筛分作业是否需要；

〈5〉改变破碎车间工作制度（即改变破碎车间的小时处理量 Q）；

〈6〉改变破碎机型号和规格（即改变破碎机的生产能力）等。

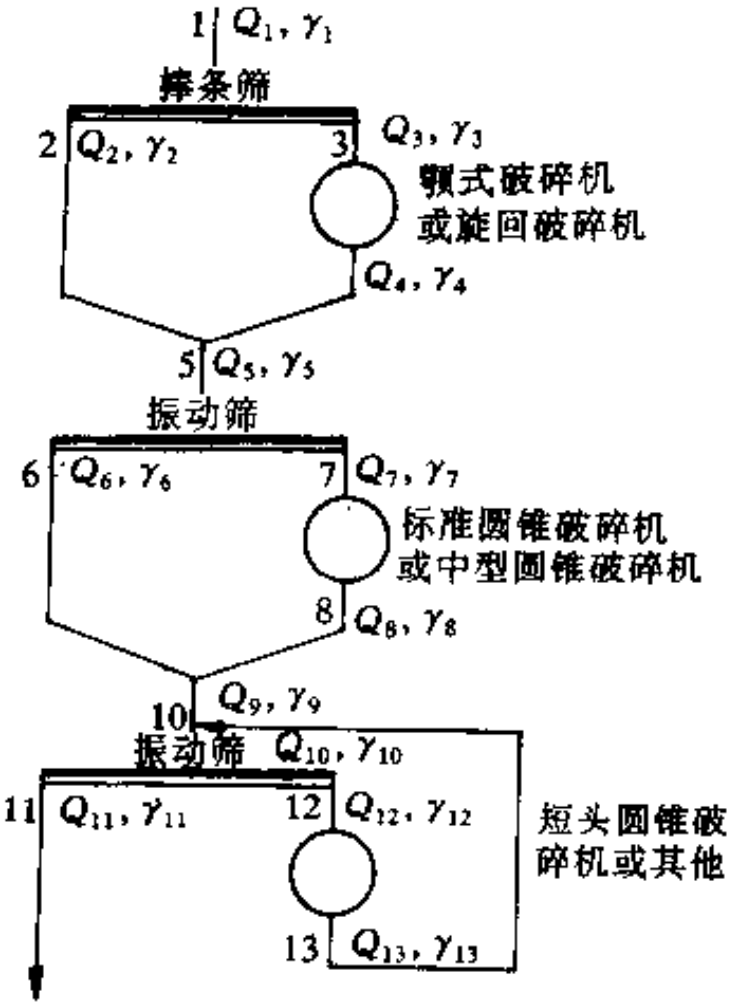


图 4-13 破碎数量流程图

显然，不管采用哪一种或哪几种办法调整，都会涉及到流程计算的某些参数（如 a、e、β、E、Q），某些参数一改变，破碎流程就得重新计算（一次或者多次），只有这样，破碎流程计算才能达到满意的结果。

第三节 磨矿流程的选择和计算

一、磨矿流程的选择

1. 磨矿流程类型和常用磨矿流程

磨矿流程类型 磨矿流程的基本作业是磨矿和分级两个作业。分级作业有预先分级、检查分级和控制分级。据此，可将磨矿与分级组合成各种类型的磨矿流程，有一段、两段和多段磨矿流程；有开路、闭路磨矿流程等。各种类型的磨矿流程，如图 4-14，图 4-15 所示。

常用磨矿流程 磨矿流程的类型虽然很多，但根据磨矿细度和预先分级、检查分级、控制分级设置的条件，常用的磨矿流程有以下四种，如图 4-16 所示。

2. 磨矿流程的选择

常用磨矿流程选择，主要解决 4 个问题：确定磨矿段数；预先分级必要性；检查分级必要性；控制分级必要性等。

（1）磨矿段数的确定。磨矿是选矿厂的关键生产过程之一。它不仅直接影响选别效果，

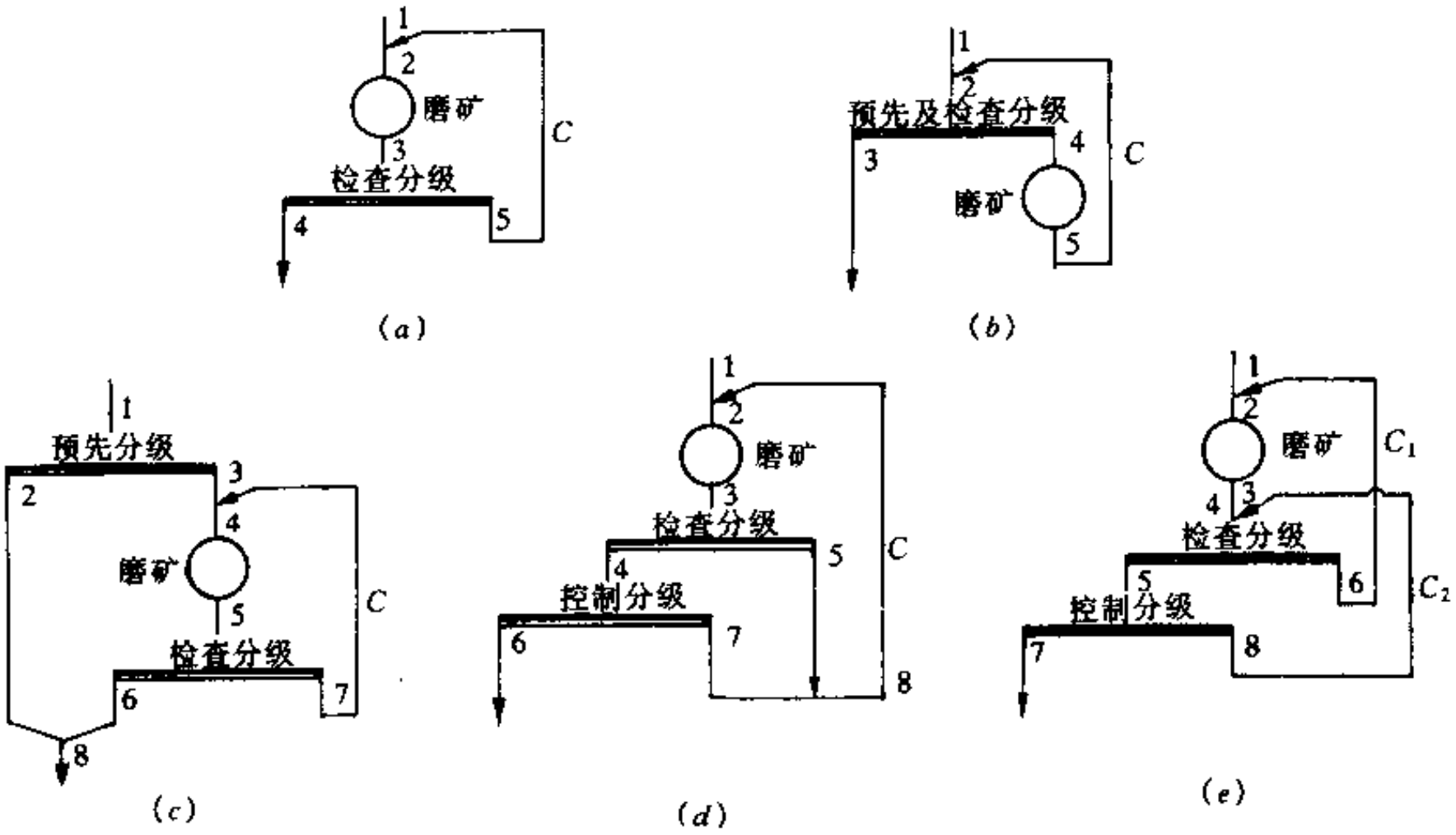


图 4－14　一段磨矿流程类型

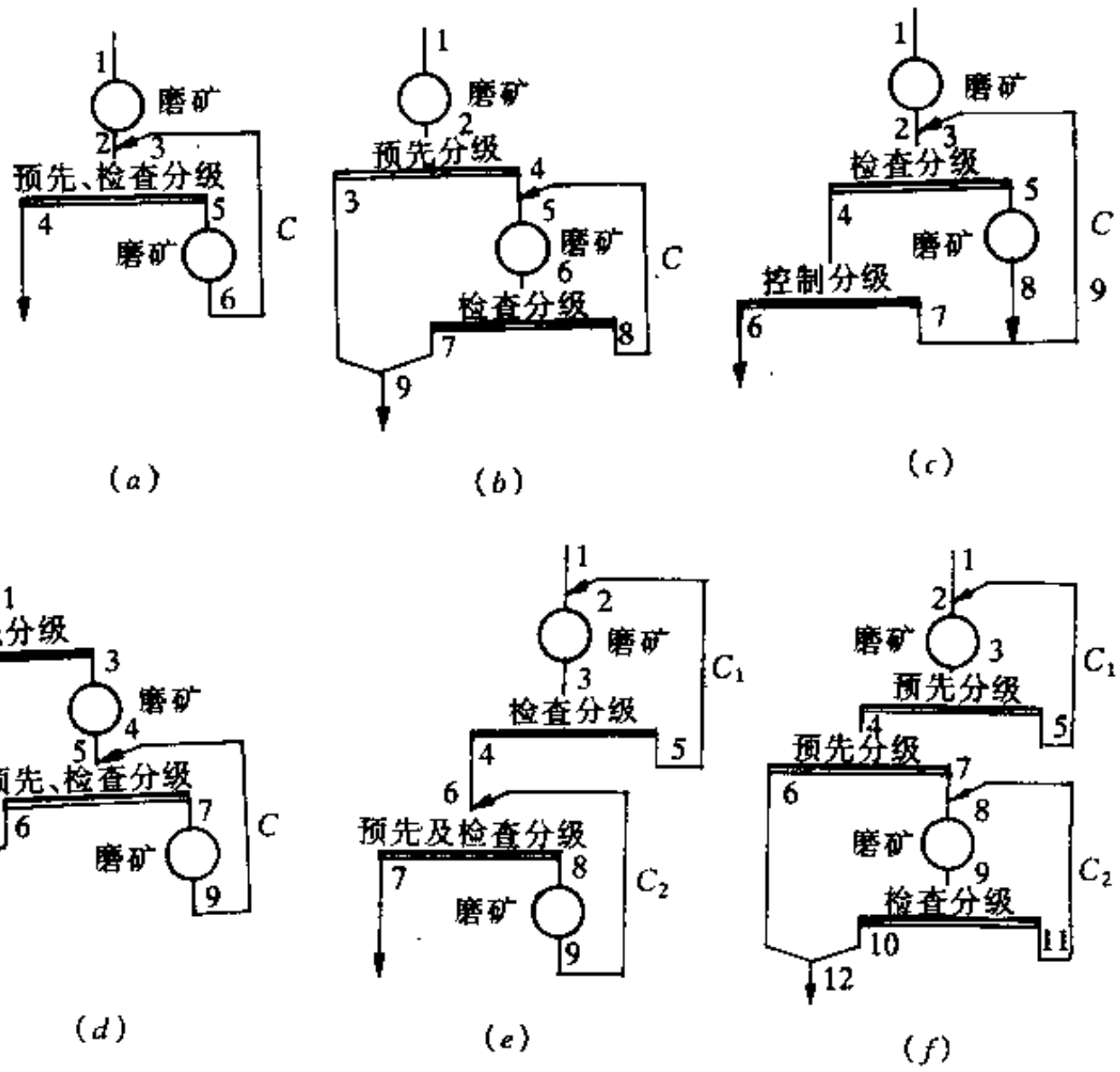


图 4－15　两段磨矿流程类型

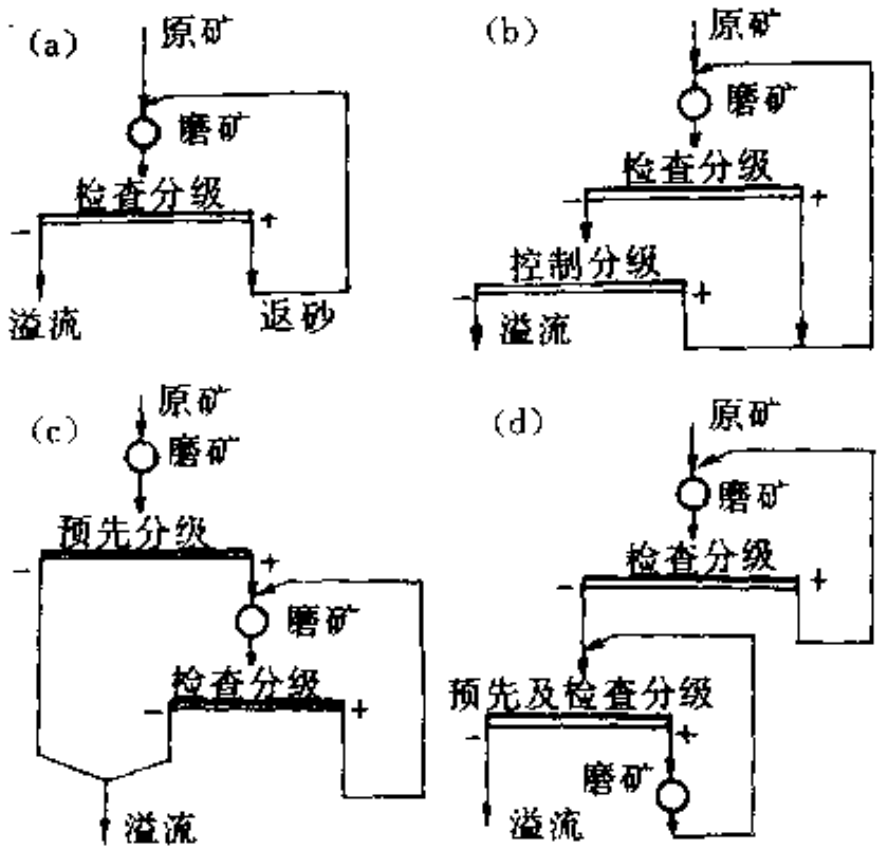


图 4－16　常用磨矿流程

而且还影响基建投资和电能消耗。所以，在设计之前，必须由研究单位进行磨矿细度与选别指标（主要指精矿品位和回收率）的关系试验，以此作为磨矿段数的设计依据，也就是说，磨矿细度是确定磨矿段数的主要依据。根据技术经济比较和生产实践，磨矿细度不超过 72% 小于 0.074mm（相当于<0.15mm），宜采用一段磨矿。但个别小型选矿厂，为了简化流程，在检查分级溢流之后增加控制分级，即使磨矿细度超过 72% 小于 0.074mm，也采用一段磨矿。如果磨矿细度要求 72%～80% 小于 0.074mm，甚至更高时，则多采用两段磨矿，特别是大、中型选矿厂。所以，磨矿段数大多数采用一段或两段，特殊情况下可考虑多段。应当指出，在两段磨矿中，各段磨矿细度的分配要确定得合理，使两段磨矿机的负荷基本平衡，以达到高效率磨矿（关于如何分配，见两段磨矿流程计算）。

（2）预先分级的必要性。预先分级是矿石进入磨矿机之前的分级作业。其目的是：预先分出给矿中已经合格的粒度，从而提高磨矿机的生产能力；或者预先分出矿泥、有害的可溶性盐类，以利于分别处理。生产实践证明，大多数情况下，给矿中均含有一定数量的合格粒级。要合理地进行预先分级，必须是给矿中合格粒级含量不小于 14%～15%，其最大粒度不大于 6～7mm。所以，预先分级，不是在任何情况下均可采用，而是根据上述条件确定。

（3）检查分级的必要性。所谓检查分级，是与磨矿机构成闭路的分级作业。其目的是保证合格的磨矿细度，同时将粗粒返回磨矿机，形成合适的返砂量（即循环负荷），从而提高磨矿效率，减少矿石过粉碎。可见，在任何情况下，检查分级在磨矿流程中，是非常必要而有利的。

（4）控制分级的必要性。控制分级是用在一段磨矿检查分级溢流之后或阶段选别尾矿之后的分级作业。其目的是在一段磨矿条件下，获得更细的溢流细度。所以，控制分级，也不是在任何情况下都采用。

综上所述，在生产实践中，最常用的磨矿流程是：

①磨矿与检查分级构成闭路的一段磨矿流程，如图 4－16（*a*）所示；

②两段全闭路的两段磨矿流程，如图 4－16（*d*）所示。

3. 自磨流程

生产实践证明，以上所述破碎、磨矿流程，能保证选矿厂正常生产。但它们存在流程复杂、设备过多、基建费大、经营费高等缺点。自磨流程最大的优点是简化破碎、磨矿流程。因此，在设计时，可考虑采用自磨流程的可能性。

选矿厂常用的自磨流程是湿式自磨流程（干式自磨流程，只在干选和缺水地区采用）。根据生产要求，可采用一段自磨流程或两段自磨流程。给矿粒度为 200～350mm。为了解决难磨粒子，可在自磨机内添加少量钢球，一般不超过自磨机容积的 10%（常在 5%～8%），即所谓半自磨流程。

自磨流程有开路和闭路流程。开路流程简单，处理量大，但排矿粒度难以控制，影响下一步作业，所以很少采用。闭路流程是选矿厂常用的自磨流程。常用的湿式自磨流程有：

①自磨机与螺旋分级机构成闭路。优点是分级机操作稳定，易于管理，配置简单。缺点是分级效率低，返砂量大。

②自磨机与振动筛构成闭路。优点是流程简单，但只适宜粗磨。

③自磨机与水力旋流器构成闭路，适宜于细磨。

以上 3 种组合闭路，均可在自磨机排矿端安装圆筒筛，分出过大矿石，以减轻分级设备负荷和保护分级设备。

常用湿式自磨流程，如图 4－17 所示。

应当指出，影响自磨的因素很多，特别是矿石性质、矿石结构和构造的影响更大。因此在采用自磨流程前，尤其是设计大型选矿厂，必须进行试验研究（包括半工业性和工业性试验）。此外，自磨机存在作业率低、电耗高和配套设备多等缺点，所以，设计时必须与常用破碎、磨矿流程做对比试验，为设计提供可靠数据。

二、磨矿流程计算

磨矿流程计算与破碎流程计算一样，仍然根据各作业物料平衡关系，计算出各产物的重量 Q（t/h）和产率 γ（%），以供磨矿和分级设备进行选择与计算。同时为矿浆流程计算提供基础资料。

1. 磨矿流程计算所需的原始资料

磨矿流程计算时，须有下列原始资料：

（1）磨矿车间的处理量。浮选厂或磁选厂的磨矿车间的处理量，一般为原矿处理量，即选矿厂规模（t/d 或 t/h）。重选厂的处理量，一般为合格原矿处理量，即经手选或重介质分选后的原矿量。如果是某些阶段选别流程、联合流程的选矿厂，磨矿车间的处理量，则是流程中实际进入磨矿的矿量。

（2）要求的磨矿细度。磨矿细度为试验单位推荐的最佳磨矿细度。

（3）最合适的循环负荷。最合适的循环负荷能使磨矿获得最佳效果，由工业性试验确定，或采用类似矿石选矿厂的实际资料，或按表 4－7 所示资料选取。

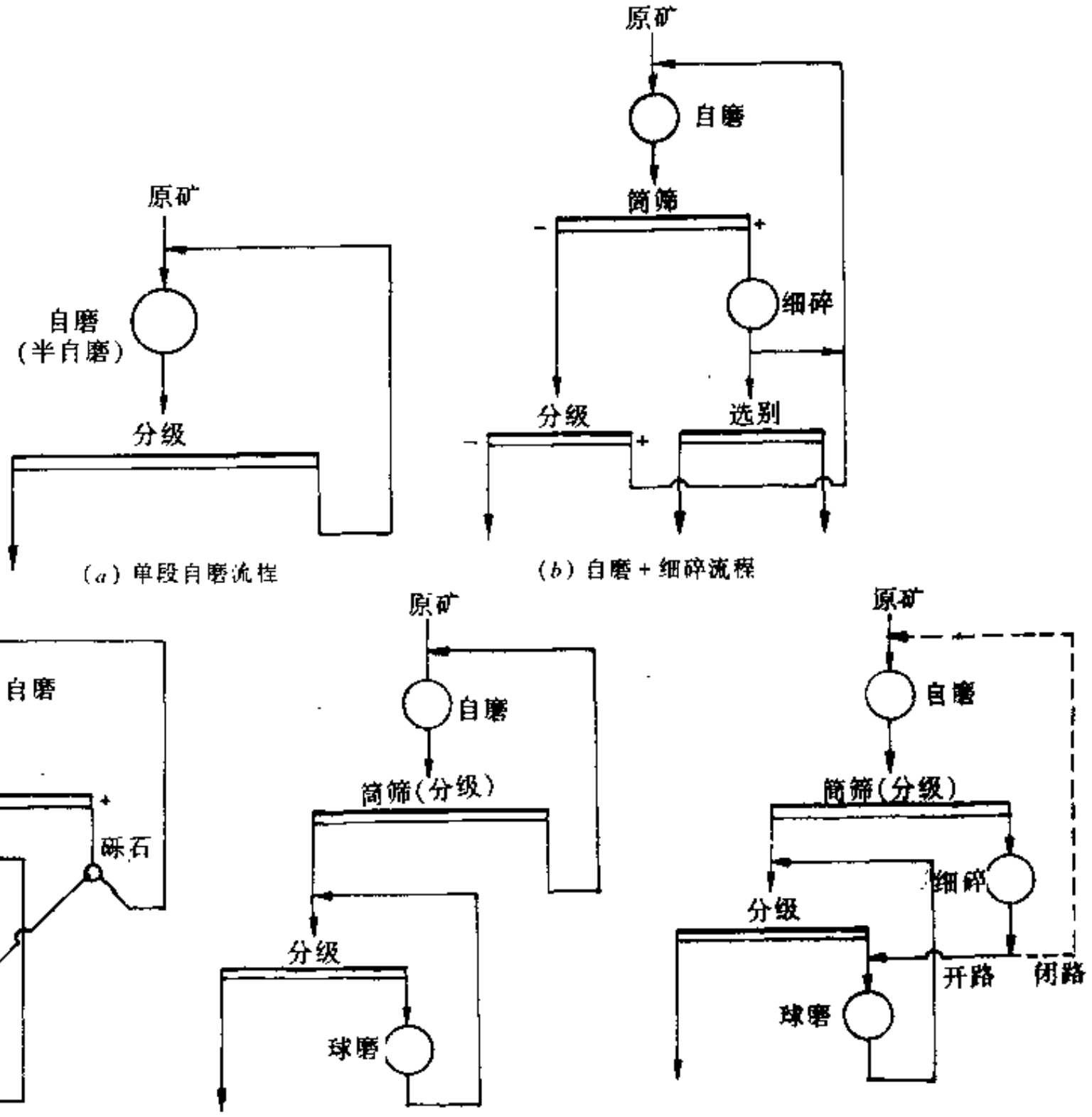


图 4－17　常用湿式自磨流程

表 4－7　不同磨矿条件下最合适的循环负荷

磨　矿　条　件	$C_{合适}$值（%）
磨矿机和分级机自流配置(第一段)：粗磨至 0.5～0.3mm	150～350
细磨至 0.3～0.1mm	250～600
(第二段)：由 0.3mm 磨至 0.1mm 以下	200～400
磨矿机和水力旋流器配置（第一段)：磨至 0.4～0.2mm	200～350
磨至 0.2～0.1mm	300～500
(第二段)：由 0.2mm 至 0.1mm 以下	150～350

应当指出，最合适的循环负荷选定之后，还必须用磨矿机允许的最大通过量进行校核，即磨矿机单位容积的小时通过量（新给矿＋返砂）不得大于 $12t/m^3 \cdot h$。否则，磨矿机会被矿浆过分充塞，而导致不能正常工作，此时应减少所选定的循环负荷。

(4) 磨矿机给矿、分级溢流和分级返砂中计算级别的含量。所谓计算级别，就是参与磨矿流程计算的某一粒级，设计中，通常以小于 0.074mm 粒级作为计算级别，但细磨作业一般以小于 0.043mm 作为计算级别。但要注意，计算时，磨矿机给矿、分级溢流和分级返砂

的计算级别，应是同一个计算级别。

①磨矿机给矿中计算级别的含量。给矿中计算级别的含量，一般通过筛析测得，或采用类似矿石选矿厂的实际资料，或按表 4－8 所示资料选取。

表 4－8　磨矿机给矿中小于 0.074mm 粒级含量（%）

给矿粒度（mm）	40	20	10	5	3
难碎性矿石	2	5	8	10	15
中等可碎性矿石	3	6	10	15	23
易碎性矿石	5	8	15	20	25

②分级溢流中计算级别的含量。溢流中计算级别的含量，即要求的磨矿细度。由选矿试验单位做磨矿细度试验确定。如用其他计算级别计算磨矿流程，可参考表 4－9 资料。该表说明溢流中小于 0.074mm 粒级的含量与其他计算级别的含量的大致对应关系。

表 4－9　溢流产物中不同级别含量之间的对应关系

溢流产物中不同级别的对应含量（%）	溢流产物中最大粒度（mm）									
	－	－	－	0.43	0.32	0.24	0.18	0.14	0.094	0.074
0.074mm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
0.04mm	5.0	11.3	17.3	24.0	31.5	39.5	48.0	58.0	71.5	80.5
0.02mm	－	－	9	13	17	22	26	35	46	55
0.2mm	－	46	62	75	85	92	96	－	－	－

③返砂中计算级别的含量。分级设备返砂中计算级别的含量与分级溢流产物的粒度有关，如表 4－10 所示。

表 4－10　返砂中计算级别含量与溢流产物粒度的关系

产物中－0.074mm 级别的含量（%）	分级机溢流产物的粒度（mm）					
	－0.4	－0.3	－0.2	－0.15	－0.1	－0.074
分级机溢流中	35～40	45～55	55～65	70～80	80～90	95
分级机返砂中	3～5	5～7	6～9	8～12	9～15	10～16

表中所列级别含量，是对密度为 2.7～3.0g/cm^3 的中等可碎性矿石而言。若密度大的矿石，返砂中级别含量要增大 1.5～2.0 倍。若为预先分级或控制分级，其给矿中级别含量超过 30%～40%，返砂中级别含量应取上限。若为水力旋流器，返砂中级别含量，要比表中所列数据高 15% 左右。

（5）两段磨矿机单位生产能力之比值 k。在两段磨矿流程中，第一段磨矿机按新生成计算级别计的单位生产能力（q_1）与第二段同一计算级别计的单位生产能力（q_2）有差别。一般说，给矿中一切最易磨碎的矿石，在第一段磨矿机中首先被磨碎，而较难磨碎的矿石进入第二段磨矿机。因此，第二段磨矿机生产能力小。故它们之间的关系为：

$$k=\frac{q_2}{q_1}=0.8\sim0.85$$

(6) 两段磨矿机容积之比值 m。如上所述，在两段磨矿流程中，两段磨矿机的生产能力不同，也必然影响两段磨矿机的容积（即 V_1 和 V_2）有差别，特别是两段一闭路流程中，其两段磨矿机容积差别更大。它们之间的关系为：

$$m=\frac{V_2}{V_1}$$

两段一闭路：$m=2$，或 $m=3$；

两段全闭路：$m=1$。

2. 常用磨矿流程的计算步骤

(1) 带检查分级的一段磨矿流程。流程如图 4－18 所示。产物 1 的重量 Q_1 为已知。

计算的内容是：产物 2，5 的重量及其相应产率。

计算的重点是，确定合适的循环负荷 C。

计算步骤：

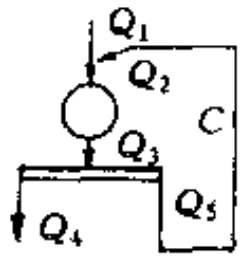


图 4－18

$$Q_4=Q_1$$

$$Q_5=CQ_1$$

$$Q_2=Q_3=Q_1+Q_5$$

根据各产物的重量，除以原矿重量 Q_1，则得各产物的产率 γ_n（以下计算均同，故略）。

实例 1：已知 $Q_1=200$t/h；中等可碎性矿石；分级溢流粒度 0.2mm，查表 4－7，确定 $C=350\%$。

$$Q_4=Q_1=200\ (\text{t/h})$$

$$Q_5=CQ_1=3.5\times200=700\ (\text{t/h})$$

$$Q_2=Q_3=Q_1+Q_5=200+700=900\ (\text{t/h})$$

(2) 带控制分级的一段磨矿流程。流程如图 4－19 所示。产物 1 的重量 Q_1，检查分级和控制分级溢流中计算级别的含量 β_4，β_6 为已知。

计算的内容是，产物 2，4，5，7，8 的重量及其相应的产率。

计算的重点是，算出产物 4 的重量和确定合适的循环负荷 C。

计算步骤：

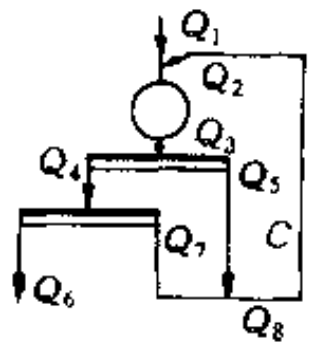


图 4－19

$$Q_6=Q_1$$

按平衡关系，列出控制分级的联立方程式求 Q_4。

$$\begin{cases}Q_4=Q_6+Q_7\\ Q_6\beta_6+Q_7\beta_7=Q_4\beta_4\end{cases}$$

解联立方程得：

$$Q_4=\frac{Q_6\ (\beta_6-\beta_7)}{\beta_4-\beta_7}=\frac{Q_1\ (\beta_6-\beta_7)}{\beta_4-\beta_7}\qquad(4-13)$$

式中 β_7——控制分级返砂中计算级别含量（由表 4－10 查得）。

$$Q_7=Q_4-Q_6=Q_4-Q_1$$

$$Q_8=CQ_1$$

$$Q_5=Q_8-Q_7$$

$$Q_2 = Q_3 = Q_1 + Q_8$$

实例 2：已知 $Q_1 = 200$t/h；中等可碎性矿石；检查分级溢流粒度为 0.3mm，即 $\beta_4 =$ 50% 小于 0.074mm；控制分级溢流粒度为 0.15mm，即 $\beta_6 = 75\%$ 小于 0.074mm；据此查表 4－7，确定 $C = 450\%$，查表 4－10，确定 $\beta_7 = 12\%$。

$$Q_6 = Q_1 = 200 \ (\text{t/h})$$

$$Q_4 = \frac{Q_1 \ (\beta_6 - \beta_7)}{\beta_4 - \beta_7} = \frac{200 \times \ (75 - 12)}{50 - 12} = 331.58 \ (\text{t/h})$$

$$Q_4 - Q_1 = 331.58 - 200 = 131.58 \ (\text{t/h})$$

$$Q_8 = CQ_1 = 4.5 \times 200 = 900 \ (\text{t/h})$$

$$Q_5 = Q_8 - Q_7 = 900 - 131.58 = 768.42 \ (\text{t/h})$$

$$Q_2 = Q_3 = Q_1 + Q_8 = 200 + 900 = 1100 \ (\text{t/h})$$

(3) 两段一闭路磨矿流程。流程如图 4－20 所示。已知原始指标是：

①产物 1 的重量 Q_1；

②产物 1，3，7，9 中计算级别的含量 β_1，β_3，β_7，β_9；

③两段磨矿机容积之比值 m；

④两段磨矿机按新生成计算级别计的单位生产能力之比值 k。

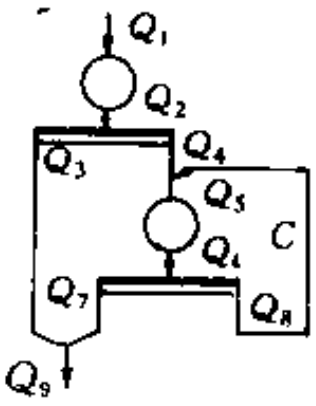


图 4－20

计算的内容是：产物 3，4，5，6，7，8 的重量及其相应的产率。

计算的重点是，算出第一段磨矿排出产物中计算级别的含量 β_2，产物 3 的重量和确定第二段磨矿合适的循环负荷 C。

计算步骤：

$$Q_9 = Q_2 = Q_1$$

$$\beta_2 = \beta_1 + \frac{\beta_9 - \beta_1}{1 + km} \tag{4-14}$$

按平衡关系，列出预先分级的联立方程式求 Q_3。

$$\begin{cases} Q_2 = Q_3 + Q_4 \\ Q_2\beta_2 = Q_3\beta_3 + Q_4\beta_4 \end{cases}$$

解联立方程得：

$$Q_3 = \frac{Q_2 \ (\beta_2 - \beta_4)}{\beta_3 - \beta_4} = \frac{Q_1 \ (\beta_2 - \beta_4)}{\beta_3 - \beta_4} \tag{4-15}$$

式中 β_4——预先分级返砂中计算级别含量（因 $\beta_3 = \beta_7 = \beta_9$，故查表 4－10 可得）。

$$Q_7 = Q_4 = Q_2 - Q_3 = Q_1 - Q_3$$

$$Q_8 = CQ_4$$

$$Q_5 = Q_6 = Q_4 + Q_8$$

实例 3：已知 $Q_1 = 200$t/h；中等可碎性矿石；给矿粒度 10mm，查表 4－8 得 $\beta_1 = 10\%$；预先分级溢流粒度、检查分级溢流粒度和最终溢流粒度均为 0.1mm，即 $\beta_3 = \beta_7 = \beta_9 = 85\%$ 小于 0.074mm；据此，查表 4－10，得 $\beta_4 = 12\%$，查表 4－7，得 $C = 300\%$；$k = 0.82$；$m = 2$（因第一段为开路）。

$$Q_9 = Q_2 = Q_1 = 200 \ (\text{t/h})$$

$$\beta_2 = \beta_1 + \frac{\beta_9 - \beta_1}{1 + km} = 10 + \frac{85 - 10}{1 + 0.82 \times 2} = 38.41 \ (\%)$$

$$Q_3 = \frac{Q_1\ (\beta_2 - \beta_4)}{\beta_3 - \beta_4} = \frac{200 \times\ (38.41 - 12)}{85 - 12} = 72.36\ (\text{t/h})$$

$$Q_7 = Q_4 = Q_1 - Q_3 = 200 - 72.36 = 127.64\ (\text{t/h})$$

$$Q_8 = CQ_4 = 3.0 \times 127.64 = 382.92\ (\text{t/h})$$

$$Q_5 = Q_6 = Q_4 + Q_8 = 127.64 + 382.92 = 510.56\ (\text{t/h})$$

（4）两段全闭路磨矿流程。流程如图 4－21 所示。其展开形式如图 4－22 所示。

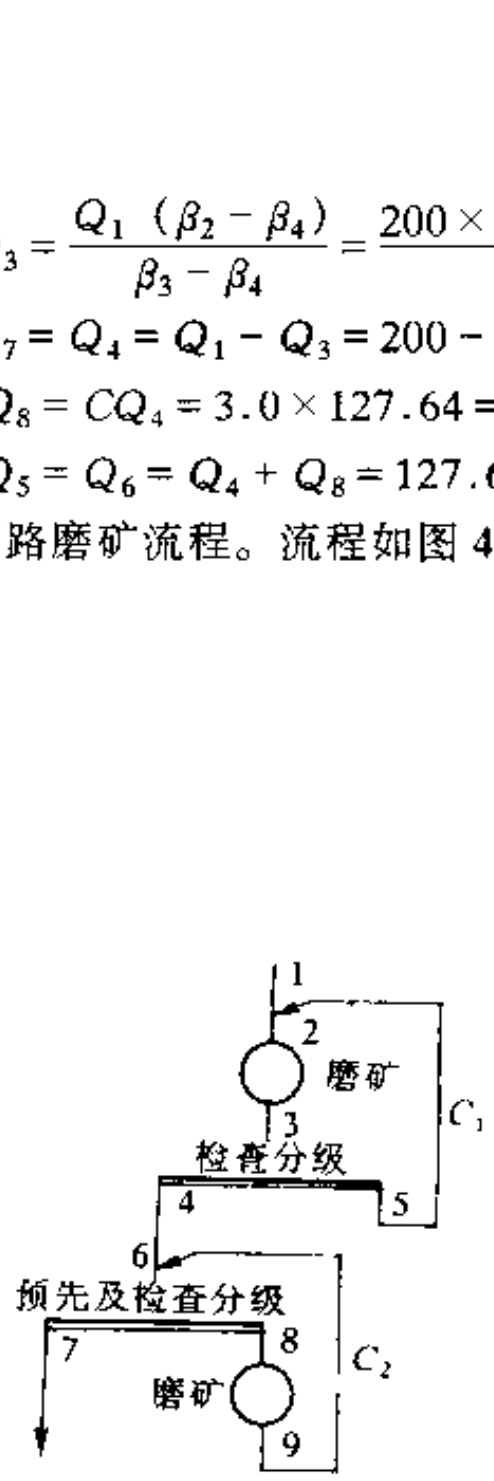


图 4－21

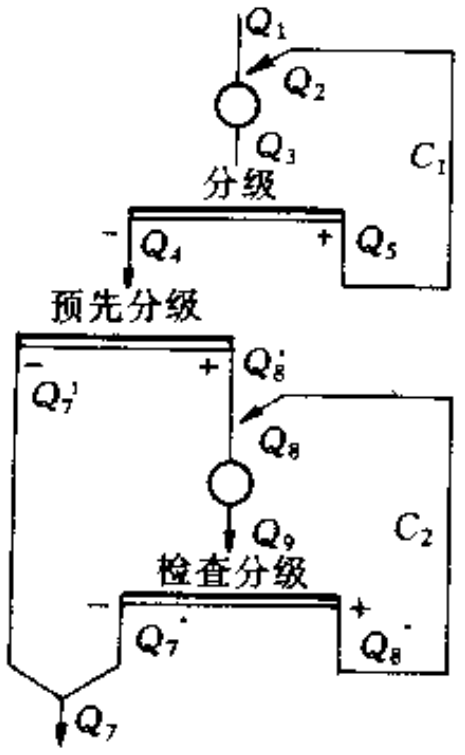


图 4－22

从展开形式可以看出：

①第一段与带检查分级的一段磨矿流程完全相同；

②第二段与两段一闭路的第二段磨矿流程完全相同。因此，它们的已知条件、计算内容、计算重点与计算步骤等；均与上述相同。即：

一段：　　$Q_4 = Q_1$　　$Q_5 = C_1 Q_1$　　$Q_2 = Q_3 = Q_1 + Q_5$

二段：　　$Q_7 = Q_4 = Q_1$

$$\beta_4 = \beta_1 + \frac{\beta_7 - \beta_1}{1 + km}$$

按平衡关系，列出预先分级的联立方程式求 Q_7'。

$$\begin{cases} Q_4 = Q_7' + Q_8' \\ Q_4\beta_4 = Q_7'\beta_7' + Q_8'\beta_8' \end{cases}$$

解得：

$$Q_7' = \frac{Q_4\ (\beta_4 - \beta_8')}{\beta_7' - \beta_8'} = \frac{Q_1\ (\beta_4 - \beta_8)}{\beta_7 - \beta_8} \qquad (4-16)$$

在图 4－21 中预先分级与检查分级是合一的，故 $\beta_7' = \beta_7'' = \beta_7$，$\beta_8' = \beta_8'' = \beta_8$。同时按表 4－7，查得 C_2，按表 4－10，查得 β_8'。

$$Q_7'' = Q_8' = Q_4 - Q_7' = Q_1 - Q_7'$$

$$Q_8'' = C_2 Q_8'$$

$$Q_8 = Q_9 = Q_8' + Q_8''$$

实例 4：已知 $Q_1=200$t/h；$\beta_1=10\%$；$\beta_7=85\%$，$k=0.82$；$m=1$（因第一段是闭路）；$C_1=350\%$；$C_2=300\%$；$\beta_8=12\%$。

一段：

$$Q_4=Q_1=200\ (\text{t/h})$$

$$Q_5=C_1Q_1=3.5\times200=700\ (\text{t/h})$$

$$Q_2=Q_3=Q_1+Q_5=200+700=900\ (\text{t/h})$$

二段：

$$Q_7=Q_4=Q_1=200\ (\text{t/h})$$

$$\beta_4=\beta_1+\frac{\beta_7-\beta_1}{1+km}=10+\frac{85-10}{1+0.82\times1}=51.21\ (\%)$$

$$Q_7'=\frac{Q_1(\beta_4-\beta_8)}{\beta_7-\beta_8}=\frac{200\times(51.21-12)}{85-12}=107.42\ (\text{t/h})$$

$$Q_7''=Q_8'=Q_1-Q_7'=200-107.42=92.58\ (\text{t/h})$$

$$Q_8''=C_2Q_8'=3.0\times92.58=277.74\ (\text{t/h})$$

$$Q_8=Q_9=Q_8'+Q_8''=92.58+277.74=370.32\ (\text{t/h})$$

$$Q_6=Q_4+Q_8=Q_1+Q_8=200+370.32=570.32\ (\text{t/h})$$

第四节　选别流程的选择和计算

一、选别流程的选择

1. 选别流程选择的依据

选别流程是选矿厂的关键工艺过程。它选择得是否正确，关系到选矿厂能否选出合格精矿和能否给选矿厂带来最大的经济效益。因此，在设计之前，必须进行选矿试验以确定最合理的选别流程。所以，选矿试验推荐的选别流程是确定选别流程的主要依据。

鉴于矿山开采前采样困难，以及试验条件与生产过程的差异，设计者要根据自己的经验和类似矿石选矿厂的生产实践和精矿销售情况，对选矿试验进行评价，以确定合理的选别流程和产品方案。

2. 选矿试验的评价

所谓评价，主要评价选矿试验是否满足设计要求，是否要做补充试验，对选择的原则流程是否正确，以及流程内部结构某些重要部分（如中矿返回地点）是否合理等。因此，评价的内容包括：试验矿样代表性（详见第二章第六节）；试验规模和深度（详见第二章第六节）；试验选别流程；产品方案；选别指标（指重复性，稳定性和先进性）；浮选药剂（指种类、来源、用量和危害性）；综合回收；三废处理等。

下面重点讨论流程方案和产品方案的确定。

3. 流程方案的确定

选矿试验流程不仅要评价流程本身的可靠性和先进性，更重要的是，首先要评价试验原则流程的正确性，如湖南黄沙坪 Pb－Zn 矿选矿试验有直接优先浮选、全混合浮选和等可浮原则流程方案；湖南柿竹园多金属矿选矿试验有先重后浮和先浮后重原则流程方案。为了便于评价，对常用选别原则流程的类型和选择归纳如下：

（1）浮选原则流程。浮选原则流程有单金属矿浮选原则流程和多金属矿浮选原则流程两种。各种浮选原则流程的主要区别在于：选别段数、选别循环、精、扫选次数和中矿返回地

点，其中选别段数、选别循环是区别浮选原则流程最重要的特征。

①单金属矿浮选原则流程。

类型　常见的单金属矿浮选原则流程类型有：

〈1〉一段浮选原则流程（含一段一循环和一段两循环两种），如图 4－23 所示。

〈2〉两段浮选原则流程（含粗精矿再磨、尾矿再磨和中矿再磨三种），如图 4－24 所示。

〈3〉三段浮选原则流程（含富尾矿再磨再选＋中矿再磨再选、以及富尾矿再磨再选＋尾矿再磨再选两种），如图 4－25 所示。

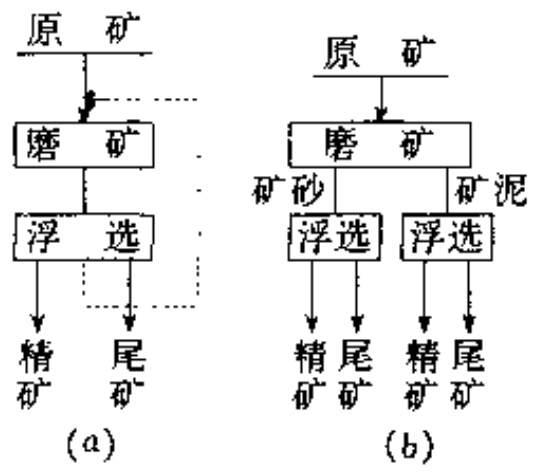


图 4－23　一段浮选原则流程

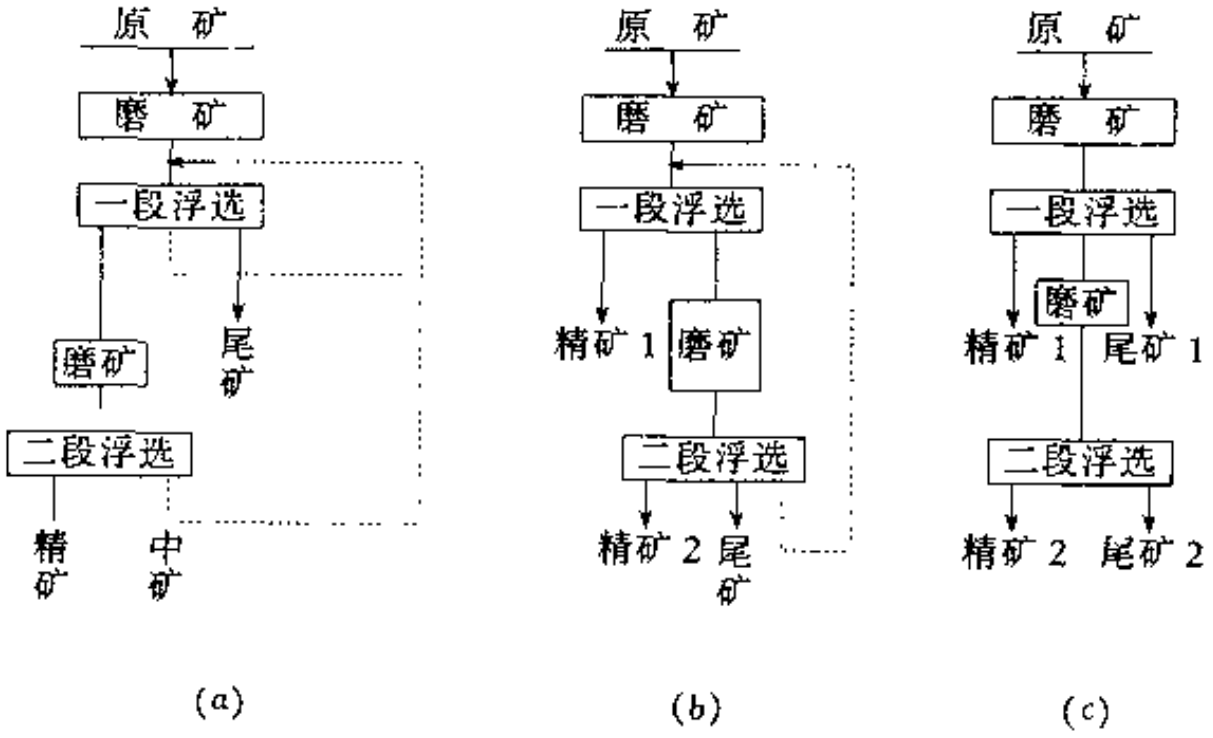


图 4－24　两段浮选原则流程

选择　单金属矿浮选原则流程的选择，主要取决于有用矿物的嵌布粒度特性和泥化特性。嵌布粒度有粗粒嵌布、细粒均匀嵌布、粗细不均匀嵌布、复杂不均匀嵌布和集合嵌布等 5 种。

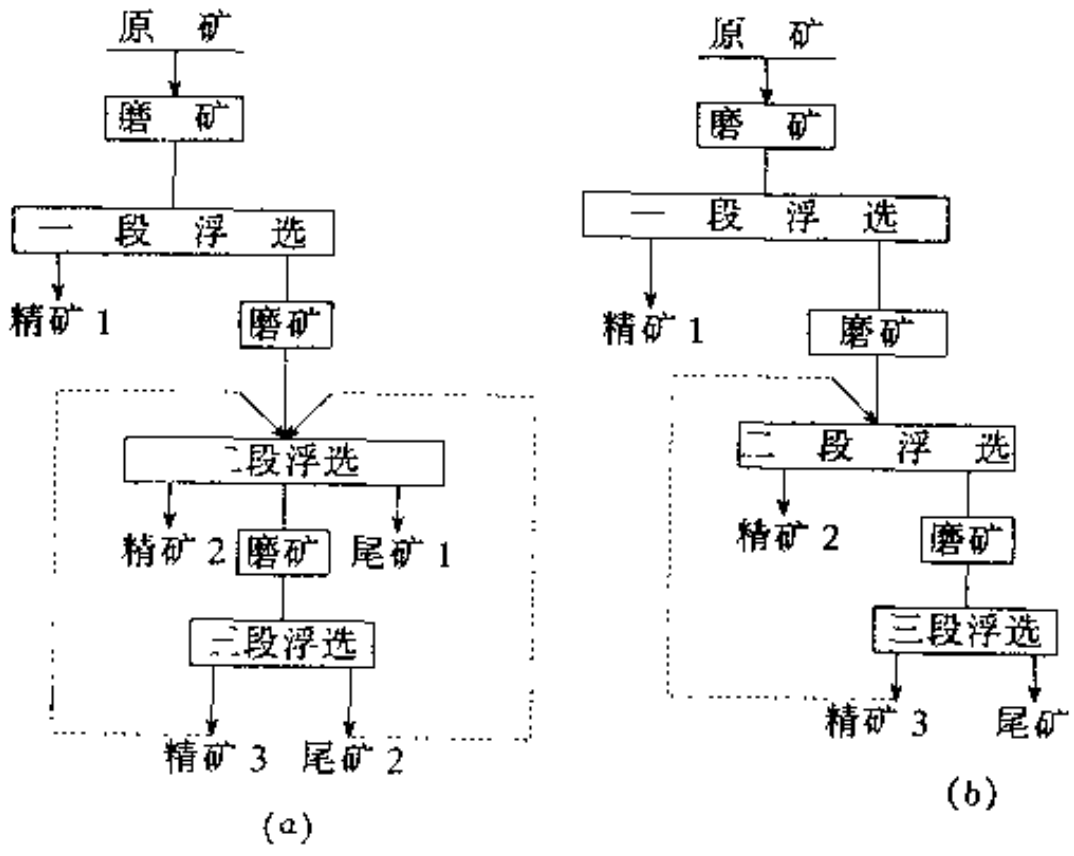


图 4－25　三段浮选原则流程

〈1〉 粗粒嵌布矿石。因嵌布粒度粗，易使有用矿物与脉石分离，宜用一段一循环流程，如图 4－23（*a*）所示。

〈2〉 细粒均匀嵌布矿石。因嵌布粒度细而均匀，一段只能分出部分解离体，大部分呈连生体存在，宜用中矿再磨两段浮选原则流程，如图 4－24（*c*）所示。

〈3〉 粗、细不均匀嵌布矿石。因嵌布粒度既有粗粒，又有细粒，一段可以得出部分粗粒合格精矿，细粒连生体再磨再选，宜用尾矿再磨两段浮选原则流程或三段浮选原则流程，如图4－24（*b*)和图 4－25 所示。

〈4〉 复杂不均匀嵌布矿石。因嵌布粒度极不均匀，而且解离范围很宽，宜用三段浮选原则流程，如图 4－25 所示。

〈5〉 集合嵌布矿石。因有用矿物都包含在较大的集合体内，粗磨时容易使集合体与脉石分开，宜用粗精矿（即集合体）再磨两段浮选原则流程或中矿再磨两段浮选原则流程，如图 4－24（*a*），（*c*）所示。此流程能得到较高的选别指标，已成为目前世界上处理斑岩铜矿的典型流程。

〈6〉 泥化及可溶性盐类矿石。因矿泥与矿砂的选别工艺常有差别，宜用泥、砂分选的一段两循环浮选原则流程，如图 4－23（*b*）所示。

②多金属矿浮选原则流程。

类型 常见的多金属矿浮选原则流程类型有：

〈1〉 直接优先浮选原则流程，如图 4－26（*a*）所示。

〈2〉 全混合浮选原则流程，如图 4－26（*d*），（*e*），（*f*），（*g*）所示。

〈3〉 部分混合（含“等可浮”）浮选原则流程，如图 4－26（*b*），（*c*）所示 。

选择 选择多金属矿浮选原则流程时，除了要考虑嵌布粒度特性对流程的影响外，还要注意各种矿物的可浮性及其他因素对流程选择的影响。

〈1〉 原矿品位高、脉石含量少、粗粒嵌布；或矿石性质简单、有用矿物的可浮性差异大、易于分离；或含有大量致密的多金属硫化矿等三种矿石，宜用直接优先浮选原则流程，如图 4－26（*a*）所示。

〈2〉 原矿品位中等；或贫而粗的集合嵌布；或含有少量多金属硫化矿等 3 种矿石，宜用全混合浮选原则流程，如图 4－26（*d*），（*e*），（*f*），（*g*）所示。

〈3〉 具有“等可浮”的复杂多金属矿石，宜用部分混合浮选原则流程，如图 4－26（*b*），（*c*）所示。

③浮选流程内部结构。浮选流程内部结构，是指粗选、精选、扫选次数和中矿返回地点等。

〈1〉 粗选次数。取决于有用矿物含量和可浮性的差异，在通常情况下只有一次粗选。但个别的有二次或三次。

〈2〉 精选次数。取决于原矿品位、矿物可浮性和精矿质量要求。一般是一次以上，如果原矿品位低、可浮性好、精矿品位要求高，精选次数可达 8 次以上（如钼矿、萤石）。

〈3〉 扫选次数。也取决于原矿品位、矿物可浮性和精矿质量，一般是一次以上，如果原矿品位高、可浮性差、精矿质量要求不高，为了保证高回收率，往往增加扫选次数。

〈4〉 中矿返回地点。有四种可能方案，即中矿顺序返回、中矿任意返回、中矿集中返回和中矿单独处理。何种方案最佳，应由选矿试验决定。一般说，可浮性差、精矿质量要求不高时，宜用中矿顺序返回方案，反之，宜用中矿任意返回和中矿集中返回方案；如果中矿含

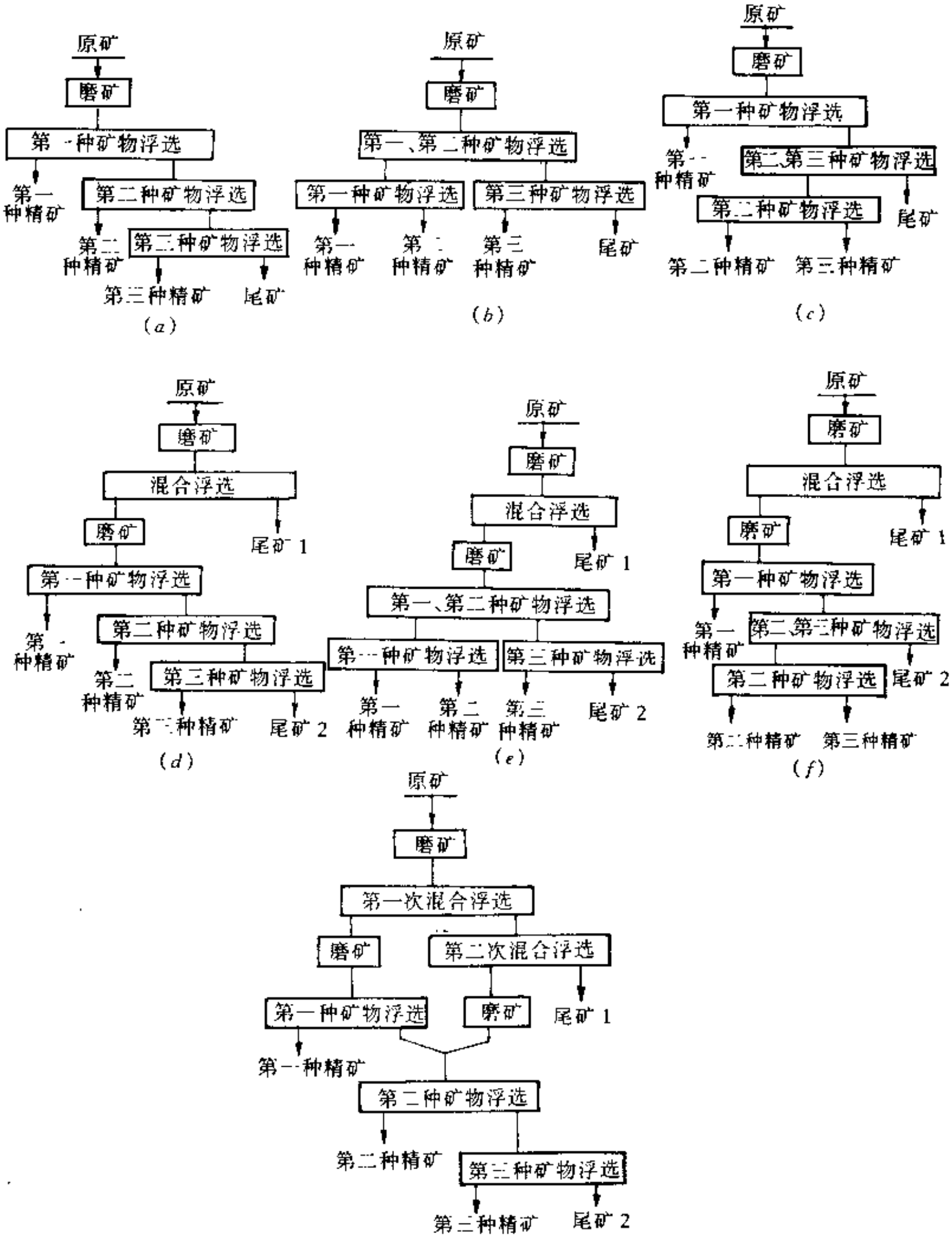


图 4－26　多金属矿浮选原则流程

水、泥及药剂多，可浮性差，有局部氧化，连生体多等，宜用中矿单独处理方案，否则会破坏浮选全过程，降低回收率。

(2) 重选原则流程。重选流程主要指钨、锡矿选别流程。钨、锡矿的共同特点是伴性矿物多、性脆、易过粉碎、贫化率高、原矿品位低。因此，在流程上尽可能综合回收，早收多收，该丢早丢，细粒归队，阶段磨矿，分级选别。其原则流程复杂，一般由预选、重选、精选和细泥处理等四个部分组成。

预选　钨、锡矿，特别是黑钨矿，在开采中，其废石混入率高达 60% ~80%。因此，在选别前应尽可能进行预选丢弃废石，以减少磨矿和重选的处理量，同时提高原矿的入选品位（即所谓合格原矿）。

预选有手选、光电选、重介质选矿、磁滑轮选等方法。

重选　钨、锡矿重选（即俗称粗选），一般实行泥、砂和贫、富分选流程。矿砂常以三级（或两级）跳汰、四级（或三级）摇床、跳汰尾矿进棒磨再跳汰，其尾矿和摇床中矿返回双层筛，构成大闭路循环的重选流程。黑钨矿重选的通用原则流程，如图 4-27 所示。

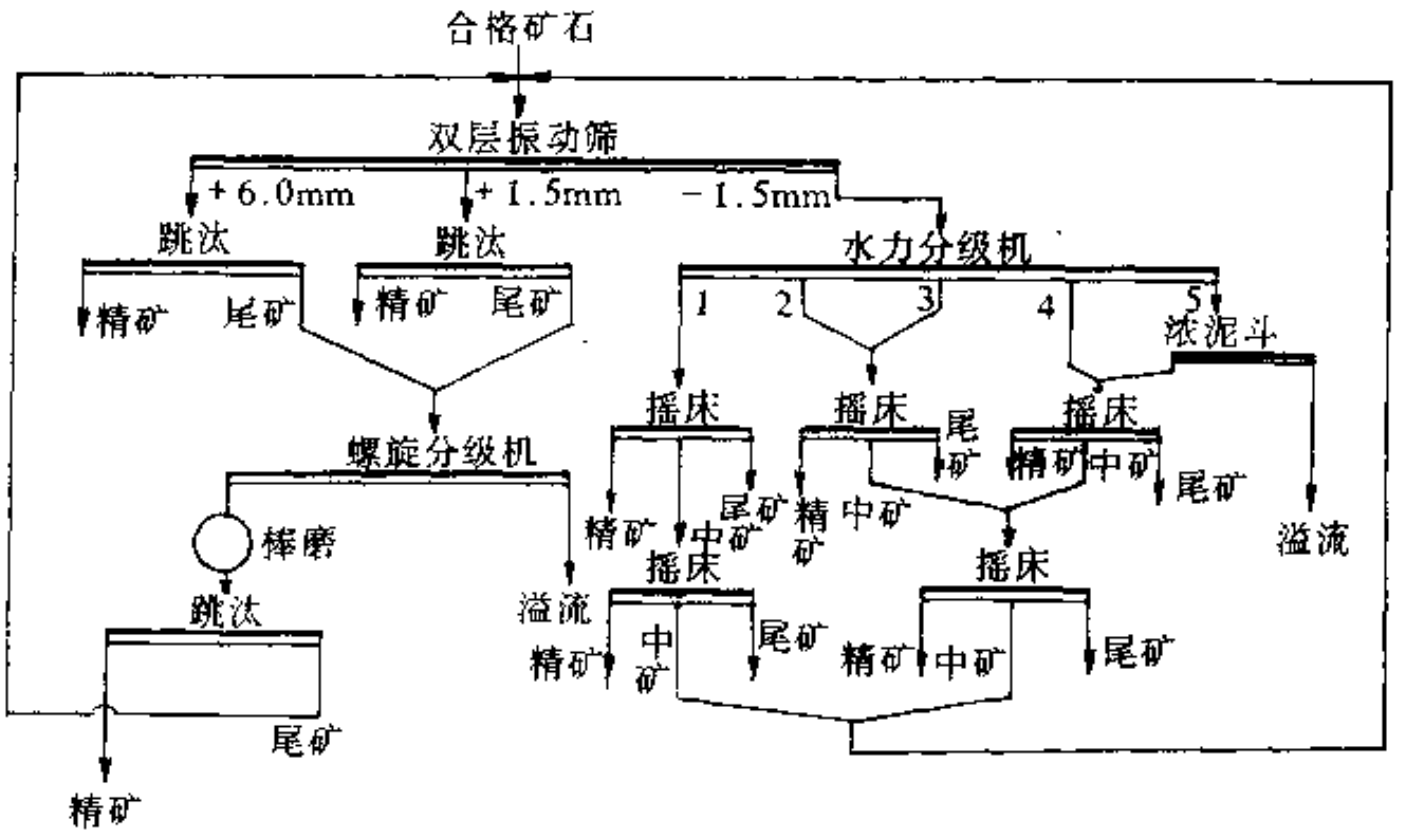


图 4-27　黑钨矿重选通用流程

其作业技术指标为：矿砂回收率为 85% ~95%，平均为 89.2%；细泥回收率为 50%，粗精矿品位为 24.8%；尾矿品位为 0.0616%；富集比为 47.6。

锡矿重选通用原则流程与黑钨矿基本类似，仅仅是多采用按粒度分段磨矿选别、次精矿集中分选、溢流单独处理的重选流程。尤其是严格按粒度分级，贫、富分选和难易分选的原则，具有特殊的意义。

细泥处理　细泥常用单一重选、重选 + 浮选、湿式强磁选 + 浮选等流程。

精选　钨、锡矿常伴生多种有用矿物。选矿厂均设置有精选作业车间，常用重选、浮选、磁选、电选和湿法冶金等方法，组成不同的联合流程，综合回收伴生有用矿物。

(3) 金矿选别原则流程。

类型　金矿原矿品位、嵌布粒度特性变化大，伴生有价成分多，所以，金矿选别原则流程复杂。常见的有：单一浮选、单一混汞、混汞 + 重选、重选 + 氰化、混汞 + 浮选、浮选 + 氰化、浮选 + 重选、以及炭浆法、堆浸法等多种流程。

选择　在选择金矿选别流程时，必须十分注意及早回收粗粒金。

虽然选金方法多，但可以归纳为以下两大类：

①粗粒嵌布脉金矿和砂金矿，宜用以重选为主的联合流程。

②细粒嵌布含金硫化矿物，宜用以浮选为主的联合流程。

应当指出，混汞法、氰化法和炭浆法等，都有毒性，严重污染环境，所以，其应用受到一定的限制，不少国家正在寻求新的方法。

4. 产品方案的确定

(1) 产品方案确定的意义。所谓产品方案，就是研究和确定选矿厂生产的精矿种类（如广东凡口 Pb－Zn 矿选矿试验有 Pb－Zn 混合精矿和 Pb 精矿、Zn 精矿两个产品方案)、精矿规格、精矿质量等问题。它是设计工作中的一项重要内容，是研究和确定选别流程、生产措施和装备水平的重要环节，也是一项技术经济很强的工作。

(2) 产品方案确定的原则。确定产品方案应遵守以下基本原则：

①重视市场预测。在研究产品方案时，要重视精矿产销情况的调查，即精矿消费量和价格变化情况，以保证精矿产销对路。有时，从技术上可以回收某种金属，但销路不好，或成本过高，不宜马上回收，而在设计上留有一定的余地。

②进行综合经济分析。在制定精矿质量标准时，充分考虑用户要求。不要认为精矿质量越高越好，更不是精矿售价越贵越好，而是要在精矿质量与回收率、销售利润、冶炼生产成本等复杂关系中，进行综合经济分析后，再确定精矿质量标准，以便使选矿厂获得最佳的经济效益。

③最大限度地综合回收资源。一般说，有色金属矿常常伴有多种有价金属，尽量回收这些金属，是增加精矿产量和提高经济效益的重要途径。

(3) 精矿质量标准。按国家标准化管理条例规定，有色金属矿的精矿质量标准分为国家标准（*GB*)、部颁标准（*YB*）和企业标准三级（内容详见有关标准)。在上述三种标准前提下，供需双方还可协商精矿质量的具体要求。

二、选别流程的计算

1. 计算的内容、目的及原理

计算内容　在选别作业中，不仅有数量的变化，而且还有质量的变化。所以，计算的内容是：各产物的产率 γ（%）、重量 Q（t/h)、金属量 P（t/h)、回收率 ε（%）、作业回收率 E（%)、品位 β（%）等。重量、产率统称矿量分配指标；金属量、回收率、作业回收率统称金属量分配指标；品位称为计算指标。有时为了某种特殊需要，还个别地使用补充指标，即富集比 i、选矿比 K。

计算目的及原理　选别流程计算的目的是，通过流程计算，求得各产物的产率（r）和重量（Q)，为选择选别设备（如浮选机)、辅助设备及矿浆流程计算提供基础资料。在设计中，不考虑选别过程的机械损失和其他流失，认为各作业进入和排出产物的重量不变。所以，流程计算的原理是，进入各作业的矿量或金属量，等于该作业排出的矿量或金属量，即物料平衡原理。

2. 原始指标的确定和选择

任何一种工艺流程，都必须知道一定的已知条件（即计算用的已知条件)，才能进行全流程计算。这些已知条件包括：原始指标数、原始指标数的分配以及原始指标数值的选择

等。在破碎、磨矿流程计算中，由于流程简单，只计算产率和重量，故需要的原始指标少，所以，没有必要详细讨论这些问题。但选别流程不同，一是流程复杂，二是需要计算的项目多（特别是多金属矿更为明显），计算前如果不解决这些问题，就无法正确地进行选别流程计算。

（1）原始指标数的确定。流程计算是通过解联立方程式的方法进行的。根据代数学中的有关理论，要解联立方程式，已知数（即原始指标数）不能多，多了就可能会成为矛盾方程式；反之，已知数也不能少，少了就会成为不定方程式。从数学上讲，计算结果可以是负值，但在生产上是不可以的。因此，流程计算前，确定必需的原始指标数就显得十分重要。

原始指标数可按下式确定：

$$N_p = C\ (n_p - a_p) \tag{4-17}$$

式中 N_p——原始指标数（不包括已知的给矿指标）；

C——计算成分（参与流程计算的项，若流程只计算产物重量，如破碎，磨矿流程，则 $C=1$；若流程既要计算产物重量，又要计算产物中各种金属的含量，则 $C = 1 + e$）；

e——参与流程计算的金属种类数；如单金属矿 $e = 1$，两种金属矿 $e = 2$，……，依此类推；

n_p——流程中的选别产物数（不含混合产物数）；

a_p——流程中的选别作业数（不含混合作业数）。

由上式得知，已知给矿指标时，计算流程所需原始指标数，等于计算成分乘以流程中的选别产物数与选别作业数之差。

（2）原始指标数的分配。从流程计算的可能性来看，原始指标数可以采用流程中的任何指标，即 Q、γ、β、ε、E、i 和 P 等。但为了计算方便，实际上最常用的是 γ、β、ε、E 和给矿量 Q。

如果原始指标采用 γ、β、ε 计算流程，原始指标数的分配为：

①单金属矿。

$$N_p = N_\gamma + N_\beta + N_\varepsilon \tag{4-18}$$

式中 N_p——原始指标数；

N_γ——参与流程计算的产率指标数；

N_β——参与流程计算的品位指标数；

N_ε——参与流程计算的回收率指标数。

由上式得知：各类指标数（即 N_γ、N_β、N_ε）之和，必须等于原始指标数 N_p。否则，在流程计算时，不是出现矛盾方程式，就是出现不定方程式。而且，N_γ，N_β，N_ε 的个数，也不能任意确定，各有一定的范围，即：

$$N_\gamma \leqslant n_p - a_p \tag{4-19}$$

$$N_\varepsilon \leqslant n_p - a_p \tag{4-20}$$

$$N_\beta \leqslant 2\ (n_p - a_p) \tag{4-21}$$

②多金属矿。

$$N_p = N_\gamma + N_\beta + N_\varepsilon + N_\beta' + N_\varepsilon' + \cdots \tag{4-22}$$

式中 β，ε——分别为第一种金属矿的品位、回收率；

β'，ε'—— 分别为第二种金属矿的品位、回收率；

其他符号同前。

同理，各类原始指标数也有一定的范围，即：

$$N_\gamma \leqslant n_p - a_p \tag{4-23}$$

$$N_\varepsilon \leqslant n_p - a_p \tag{4-24}$$

$$N_\varepsilon' \leqslant n_p - a_p \tag{4-25}$$

$$N_\beta \leqslant 2\ (n_p - a_p) \tag{4-26}$$

$$N_\beta' \leqslant 2\ (n_p - a_p) \tag{4-27}$$

……

对多金属矿，还应满足下列条件：

$$N_\gamma + N_\beta + N_\varepsilon \leqslant 2\ (n_p - a_p) \tag{4-28}$$

$$N_\gamma + N_\beta' + N_\varepsilon' \leqslant 2\ (n_p - a_p) \tag{4-29}$$

$$N_\gamma + N_\beta'' + N_\varepsilon'' \leqslant 2\ (n_p - a_p) \tag{4-30}$$

……

在选别流程计算中，特别是浮选流程，γ 一般不作为原始指标，因浮选是连续作业，很难测得产率（γ）值，即难测得各浮选产物重量（Q），而且也难测准。所以，通常全部用 β（特别是选矿厂的流程考查），或 β，ε（如工业设计）的组合作为原始指标。只有重选厂某些作业才有可能选取 γ 作为原始指标，因为重选厂有间断作业和某些作业（如摇床）需要稳定的中矿返回才能正常生产，故预先把中矿产率（γ）作为已知指标加以确定。但不管取舍如何，各类指标数之和必须等于原始指标数 N_p。

（3）原始指标数值的选择。各类原始指标数值的选取，应以选矿试验报告提供的数值为主要依据，同时参考矿石性质相似的选矿厂的生产资料。选择时应注意以下几点：

①所选原始指标，应是生产中最稳定、影响最大而且必须控制的指标。如：

〈1〉2 种产物的选别作业，应选择精矿品位和回收率，特别是最终精矿的品位和回收率；

〈2〉3 种产物的选别作业，除选择精矿品位和回收率外，还要选择中矿的产率和品位；

〈3〉4 种产物的选别作业，除选择精矿品位和回收率外，还要选择次精矿品位和回收率、中矿的产率和尾矿的回收率等。

②脱泥、水力分级等作业，在流程中只有粒度组成变化，而无品位变化，所以不能按金属平衡计算产率。只能通过筛析或水析得出各产物的产率和相应的品位。

③在一个选别产物中，不能同时采用 γ，β，ε 为原始指标，只能是 γ，β 或 β，ε 为原始指标，因为三者互为函数关系（即 $\gamma = \frac{\alpha\varepsilon}{\beta}$，$\alpha$ 为已知原矿品位），知其二，则可求出第三。

④在确定原始指标数值时，应认真、全面地分析选矿试验报告提供的数值。如果试验矿样的原矿品位与采矿设计提供的原矿品位有误差，并超过 10% ～15% 时，首先要复查试验矿样的代表性，仅发现原矿品位有误差，其他代表性均好（如粒度特性、围岩性质、矿物种类等），则试验报告提供的数值仍可作为选择原始指标数值的依据，只是最终精矿品位和回收率须适当加以调整。否则，要重新采样进行选矿试验。

⑤试验流程的内部结构，允许做某些局部修改。如增加精选或扫选次数或改变中矿返回地点等。其新增加作业的原始指标数值，可利用作业富集比 i、作业回收率 E 加以确定。各

作业富集比和作业回收率，由试验流程得出，再参考类似矿石选矿厂实际生产资料，确定新增加作业的作业富集比和作业回收率。新增作业的精矿品位和回收率由下式计算：

$$\beta_k = i_k \beta_n \tag{4-31}$$

$$\varepsilon_k = E_k \varepsilon_n \tag{4-32}$$

式中 β_k——新增加作业的精矿品位（%）；

i_k——新增加作业的精矿富集比；

β_n——新增作业的给矿品位，即上一选别作业的精矿品位（%）；

ε_k——新增加作业的精矿回收率（%）；

E_k——新增加作业的精矿作业回收率（%）；

ε_n——新增加作业的给矿回收率，即上一选别作业的精矿回收率（%）。

新增加作业的尾矿（即中矿），应返回到与它性质相似的选别作业中，并按上述办法确定其原始指标数值。

3. 选别流程计算步骤

选别流程类型繁多，内部结构复杂，很难归纳成常见的几种类型。但是，不管哪种选别流程，都是由两种、三种或四种产物的单个选别作业组成。

（1）单金属矿流程计算。

①两种产物选别作业。

流程如图 4－28 所示。

〈1〉计算原始指标数（已知给矿指标）。

$$N_p = C\ (n_p - a_p)\ = 2 \times\ (2\ -1)\ = 2$$

〈2〉原始指标数的分配。

$$N_p = N_\gamma + N_\varepsilon + N_\beta = 2$$

$$N_\gamma \leqslant n_p - a_p \leqslant 2 - 1 \leqslant 1$$

$$N_\varepsilon \leqslant n_p - a_p \leqslant 2 - 1 \leqslant 1$$

$$N_\beta \leqslant 2\ (n_p - a_p) \leqslant 2 \times\ (2-1) \leqslant 2$$

常用的分配方案有二：

方案Ⅰ：β_2，β_3；　　方案Ⅱ：β_2，ε_2

〈3〉计算各产物的产率。

按方案Ⅰ计算：

$$\begin{cases} \gamma_1 = \gamma_2 + \gamma_3 \\ \gamma_1 \beta_1 = \gamma_2 \beta_2 + \gamma_3 \beta_3 \end{cases}$$

解联立方程式得：

$$\gamma_2 = \frac{\gamma_1\ (\beta_1 - \beta_3)}{\beta_2 - \beta_3} \tag{4-33}$$

按方案Ⅱ计算：

$$\gamma_2 = \frac{\beta_1 \varepsilon_2}{\beta_2} \tag{4-34}$$

$$\gamma_3 = \gamma_1 - \gamma_2 \tag{4-35}$$

〈4〉计算各产物的重量。

$$Q_2 = Q_1 \gamma_2; \qquad Q_3 = Q_1 - Q_2$$

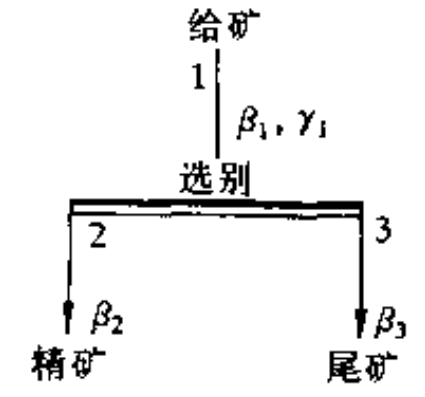


图 4－28　单金属矿两种产物选别流程

〈5〉 计算各产物的回收率。

方案Ⅱ的 ε_2 为已知，只计算方案Ⅰ的 ε_2，即：

$$\varepsilon_2 = \frac{\gamma_2 \beta_2}{\beta_1} \tag{4-36}$$

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \tag{4-37}$$

②3 种产物选别作业。流程如图 4－29 所示。

〈1〉 计算原始指标数。

$$N_p = C\ (n_p - a_p)\ = 2 \times\ (3-1)\ = 4$$

〈2〉 原始指标数的分配。

$$N_p = N_\gamma + N_\varepsilon + N_\beta = 4$$

$$N_\gamma \leqslant n_p - a_p \leqslant 3 - 1 \leqslant 2$$

$$N_\varepsilon \leqslant n_p - a_p \leqslant 3 - 1 \leqslant 2$$

$$N_\beta \leqslant 2\ (n_p - a_p) \leqslant 2 \times\ (3-1) \leqslant 4$$

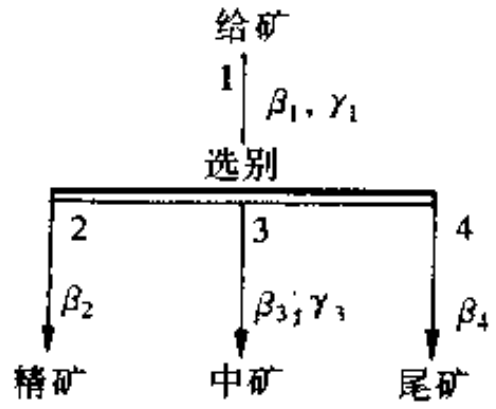


图 4－29 单金属矿 3 种产物选别流程

常用的分配方案有二：

方案Ⅰ：β_2，β_3，β_4，γ_3；方案Ⅱ：β_2，β_3，β_4，ε_2

〈3〉 计算各产物的产率。

按方案Ⅰ计算：

$$\begin{cases} \gamma_1 = \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 \\ \gamma_1 \beta_1 = \gamma_2 \beta_2 + \gamma_3 \beta_3 + \gamma_4 \beta_4 \end{cases}$$

解联立方程式得：

$$\gamma_2 = \frac{\gamma_1\ (\beta_1 - \beta_4)\ - \gamma_3\ (\beta_3 - \beta_4)}{\beta_2 - \beta_4} \tag{4-38}$$

按方案Ⅱ计算：

$$\gamma_2 = \frac{\beta_1 \varepsilon_2}{\beta_2}$$

$$\begin{cases} \gamma_1 = \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 \\ \gamma_1 \beta_1 = \gamma_2 \beta_2 + \gamma_3 \beta_3 + \gamma_4 \beta_4 \end{cases}$$

解联立方程式得：

$$\gamma_3 = \frac{\gamma_1\ (\beta_1 - \beta_4)\ - \gamma_2\ (\beta_2 - \beta_4)}{\beta_3 - \beta_4} \tag{4-39}$$

$$\gamma_4 = \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3 \tag{4-40}$$

其他步骤同两种产物计算。

单金属矿流程计算，除上述常见的两种产物、3 种产物选别作业外，还有 4 种产物选别作业。计算 4 种产物选别作业，一般选择精矿、次精矿的品位和回收率、中矿的产率和尾矿的回收率为原始指标，故计算非常简单，只须按 $\alpha\varepsilon = \gamma\beta$ 公式便可算出相应的未知数（式中 α 为原矿品位）。

（2）两种金属矿流程计算。

①两种产物选别作业。流程如图 4－28 所示。

〈1〉 计算原始指标数。

$$N_p = C\ (n_p - a_p)\ = 3 \times\ (2-1)\ = 3$$

〈2〉 原始指标数的分配。

$$N_p = N_\gamma + N_\varepsilon + N_\varepsilon' + N_\beta + N_\beta' = 3$$

$$N_\gamma \leqslant n_p - a_p \leqslant 2 - 1 \leqslant 1$$

$$N_\varepsilon \leqslant n_p - a_p \leqslant 2 - 1 \leqslant 1$$

$$N_\varepsilon' \leqslant n_p - a_p \leqslant 2 - 1 \leqslant 1$$

$$N_\beta \leqslant 2\ (n_p - a_p) \leqslant 2 \times\ (2 - 1) \leqslant 2$$

$$N_\beta' \leqslant 2\ (n_p - a_p) \leqslant 2 \times\ (2 - 1) \leqslant 2$$

常用的分配方案有二：

方案Ⅰ：β_2，β_2'，β_3；　方案Ⅱ：β_2，β_2'，ε_2

〈3〉计算各产物的产率。

按方案Ⅰ计算：

$$\begin{cases} \gamma_1 = \gamma_2 + \gamma_3 \\ \gamma_1\beta_1 = \gamma_2\beta_2 + \gamma_3\beta_3 \end{cases}$$

解得：

$$\gamma_2 = \frac{\gamma_1\ (\beta_1 - \beta_3)}{\beta_2 - \beta_3}$$

按方案Ⅱ计算：

$$\gamma_2 = \frac{\beta_1\varepsilon_2}{\beta_2};\qquad \gamma_3 = \gamma_1 - \gamma_2$$

〈4〉计算各产物的重量。

$$Q_2 = Q_1\gamma_2;\qquad Q_3 = Q_1 - Q_2$$

〈5〉计算各产物的回收率。

按方案Ⅰ计算：

$$\varepsilon_2 = \frac{\gamma_2\beta_2}{\beta_1};\ \ \varepsilon_2' = \frac{\gamma_2\beta_2'}{\beta_1'}$$

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2;\ \ \varepsilon_3' = \varepsilon_1' - \varepsilon_2'$$

〈6〉计算产物中第二种金属品位。

$$\beta_3' = \frac{\beta_1'\varepsilon_3'}{\gamma_3} \qquad (4-41)$$

式中　β_n'，ε_n' —— 分别为各产物中第二种金属矿的品位和回收率。

②3 种产物选别作业。流程如图 4－29 所示。

〈1〉计算原始指标数。

$$N_p = C\ (n_p - a_p)\ = 3 \times\ (3 - 1)\ = 6$$

〈2〉原始指标数的分配。

$$N_p = N_\gamma + N_\varepsilon + N_\varepsilon' + N_\beta + N_\beta' = 6$$

$$N_\gamma \leqslant n_p - a_p \leqslant 3 - 1 \leqslant 2$$

$$N_\varepsilon \leqslant n_p - a_p \leqslant 3 - 1 \leqslant 2$$

$$N_\varepsilon' \leqslant n_p - a_p \leqslant 3 - 1 \leqslant 2$$

$$N_\beta \leqslant 2\ (n_p - a_p) \leqslant 2 \times\ (3 - 1) \leqslant 4$$

$$N_\beta' \leqslant 2\ (n_p - a_p) \leqslant 2 \times\ (3 - 1) \leqslant 4$$

常用的分配方案有三：

方案Ⅰ：β_2，β_3，β_4，β_2'，β_3'，γ_3

方案Ⅱ：β_2，β_3，ε_2，β_2'，β_3'，γ_3

方案Ⅲ：β_2，β_3，β_4，β_2'，β_3'，β_4'

〈3〉计算各产物的产率。

如果采用分配方案Ⅰ或方案Ⅱ，其计算方法同单金属矿3种产物的计算一样，即按一种主金属计算产率。而方案Ⅲ是两种金属均参与产率计算，即：

$$\begin{cases} \gamma_1 = \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 \\ \gamma_1\beta_1 = \gamma_2\beta_2 + \gamma_3\beta_3 + \gamma_4\beta_4 \\ \gamma_1\beta_1' = \gamma_2\beta_2' + \gamma_3\beta_3' + \gamma_4\beta_4' \end{cases}$$

用下列符号代表各品位之差：

$$\beta_1 - \beta_4 = A,\quad \beta_2 - \beta_4 = A_1,\quad \beta_3 - \beta_4 = A_2;$$

$$\beta_1' - \beta_4' = B,\quad \beta_2' - \beta_4' = B_1,\quad \beta_3' - \beta_4' = B_2。$$

解联立方程式，得：

$$\gamma_2 = \frac{\gamma_1 (AB_2 - A_2B)}{A_1B_2 - A_2B_1}\% \tag{4-42}$$

$$\gamma_3 = \frac{\gamma_1 (A_1B - AB_1)}{A_1B_2 - A_2B_1}\% \tag{4-43}$$

$$\gamma_4 = \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3 \tag{4-44}$$

式中符号的物理意义、各产物重量、回收率、未知品位等计算方法与两种金属矿两种产物计算完全相同。

（3）两种以上金属矿流程计算。两种以上金属矿的两种（或以上）产物选别作业的流程计算，用繁琐的代数方法计算，工作量太大，可用主元素消去法求解或编制计算机程序计算。

4. 流程计算综合应用实例

已知条件：原矿含 Cu－S 两种金属。$Q_1 = Q_4 = 45.5$t/h，$\beta_1 = \beta_4 = 0.9$，$\beta_1' = \beta_4' = 8.98$，$\gamma_1 = \gamma_4 = 100$，$\varepsilon_1 = \varepsilon_4 = 100$，$\varepsilon_1' = \varepsilon_4' = 100$，流程为一粗二精二扫浮选流程，如图 4－30 所示。最终产物为铜精矿和含硫尾矿。

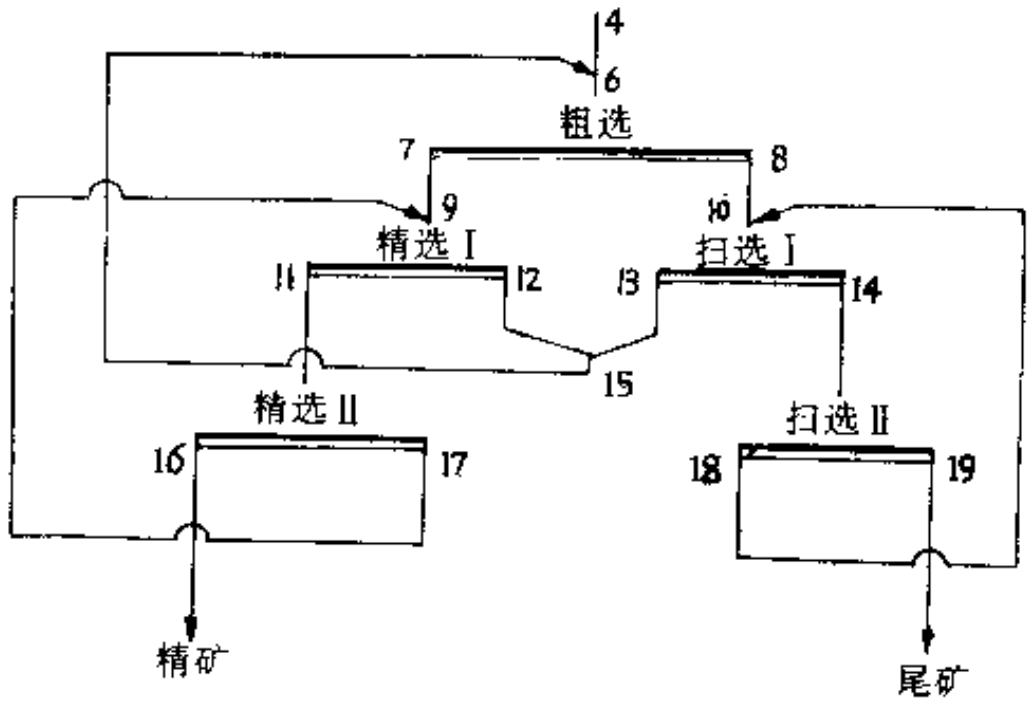


图 4－30　浮选流程

β_n——Cu 品位（%）；β_n'——S 品位（%）；ε_n——Cu 回收率（%）；ε_n'——S 回收率（%）。

解：

从已知条件得：$C = 3$，$n_p = 10$，$a_p = 5$。

(1) 计算原始指标数。

$$N_p = C\ (n_p - a_p)\ = 3 \times\ (10 - 5)\ = 15$$

(2) 原始指标数的分配。

$$N_p = N_\gamma + N_\varepsilon + N_\varepsilon' + N_\beta + N_\beta' = 15$$

$$N_\gamma \leqslant n_p - a_p \leqslant 10 - 5 \leqslant 5$$

$$N_\varepsilon \leqslant n_p - a_p \leqslant 10 - 5 \leqslant 5$$

$$N_\varepsilon' \leqslant n_p - a_p \leqslant 10 - 5 \leqslant 5$$

$$N_\beta \leqslant 2\ (n_p - a_p) \leqslant 2 \times\ (10 - 5) \leqslant 10$$

$$N_\beta' \leqslant 2\ (n_p - a_p) \leqslant 2 \times\ (10 - 5) \leqslant 10$$

常用分配方案有二：

方案Ⅰ：$\beta_7, \beta_8, \beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{14}, \beta_{16}, \beta_{17}, \beta_{18}, \beta_{19}, \beta_7', \beta_{11}', \beta_{16}', \beta_{13}', \beta_{18}'$

方案Ⅱ：$\beta_7, \beta_{11}, \beta_{16}, \beta_{13}, \beta_{18}, \varepsilon_7, \varepsilon_{11}, \varepsilon_{16}, \varepsilon_{13}, \varepsilon_{18}, \beta_7', \beta_{11}', \beta_{16}', \beta_{13}', \beta_{18}'$

(3) 原始指标值的选择。根据选矿试验结果得：

$\beta_7 = 6.854$，$\beta_8 = 0.162$，$\beta_{11} = 12.653$，$\beta_{12} = 0.668$，$\beta_{13} = 0.831$

$\beta_{14} = 0.120$，$\beta_{16} = 17.190$，$\beta_{17} = 2.866$，$\beta_{18} = 0.915$，$\beta_{19} = 0.100$

$\beta_7' = 21.999$，$\beta_{11}' = 34.507$，$\beta_{16}' = 38.380$，$\beta_{13}' = 13.563$，$\beta_{18}' = 20.641$

$\varepsilon_7 = 95.19$，$\varepsilon_{11} = 96.30$，$\varepsilon_{16} = 89.39$，$\varepsilon_{13} = 8.14$，$\varepsilon_{18} = 2.42$

为了计算方便，把这些原始指标值填入流程图 4－30 中。

(4) 计算各产物的产率（按方案Ⅰ）。

①计算产物 16，19 产率。

$$\begin{cases} \gamma_4 = \gamma_{16} + \gamma_{19} \\ \gamma_4\beta_4 = \gamma_{16}\beta_{16} + \gamma_{19}\beta_{19} \end{cases}$$

解联立方程式得：

$$\gamma_{16} = \frac{\gamma_4\ (\beta_4 - \beta_{19})}{\beta_{16} - \beta_{19}} = \frac{100 \times\ (0.9 - 0.1)}{17.19 - 0.1} = 4.68\ (\%)$$

$$\gamma_{19} = \gamma_4 - \gamma_{16} = 100\% - 4.68\% = 95.32\ (\%)$$

②计算产物 11，17 产率。

$$\begin{cases} \gamma_{11} = \gamma_{16} + \gamma_{17} \\ \gamma_{11}\beta_{11} = \gamma_{16}\beta_{16} + \gamma_{17}\beta_{17} \end{cases}$$

解得：

$$\gamma_{11} = \frac{\gamma_{16}\ (\beta_{16} - \beta_{17})}{\beta_{11} - \beta_{17}} = \frac{4.68 \times\ (17.19 - 2.866)}{12.653 - 2.866} = 6.85\ (\%)$$

$$\gamma_{17} = \gamma_{11} - \gamma_{16} = 6.85 - 4.68 = 2.17\ (\%)$$

③计算产物 7，12 产率。

$$\begin{cases} \gamma_7 + \gamma_{17} = \gamma_{11} + \gamma_{12} \\ \gamma_7\beta_7 + \gamma_{17}\beta_{17} = \gamma_{11}\beta_{11} + \gamma_{12}\beta_{12} \end{cases}$$

解得：

$$\gamma_7 = \frac{\gamma_{11}\ (\beta_{11} - \beta_{12}) - \gamma_{17}\ (\beta_{17} - \beta_{12})}{\beta_7 - \beta_{12}}$$

$$= \frac{6.85 \times\ (12.653 - 0.668) - 2.17 \times\ (2.866 - 0.668)}{6.854 - 0.668} = 12.50\ (\%)$$

$$\gamma_{12}=\gamma_7+\gamma_{17}-\gamma_{11}=12.50+2.17-6.85=7.82\ (\%)$$

$$\gamma_9=\gamma_7+\gamma_{17}=12.50+2.17=14.67\ (\%)$$

校核 $\gamma_9=\gamma_{11}+\gamma_{12}=6.85+7.82=14.67\ (\%)$

④计算产物 14，18 产率。

$$\begin{cases}\gamma_{14}=\gamma_{18}+\gamma_{19}\\ \gamma_{14}\beta_{14}=\gamma_{18}\beta_{18}+\gamma_{19}\beta_{19}\end{cases}$$

解得：

$$\gamma_{18}=\frac{\gamma_{19}\ (\beta_{14}-\beta_{19})}{\beta_{18}-\beta_{14}}=\frac{95.32\times\ (0.12-0.1)}{0.915-0.12}=2.38\ (\%)$$

$$\gamma_{14}=\gamma_{18}+\gamma_{19}=2.38+95.32=97.70\ (\%)$$

⑤计算产物 8，13 产率。

$$\begin{cases}\gamma_8+\gamma_{18}=\gamma_{13}+\gamma_{14}\\ \gamma_8\beta_8+\gamma_{18}\beta_{18}=\gamma_{13}\beta_{13}+\gamma_{14}\beta_{14}\end{cases}$$

解得：

$$\gamma_{13}=\frac{\gamma_{14}\ (\beta_8-\beta_{14})\ +\gamma_{18}\ (\beta_{18}-\beta_8)}{\beta_{13}-\beta_{14}}$$

$$=\frac{97.7\times\ (0.162-0.12)\ +2.38\times\ (0.915-0.162)}{0.831-0.12}=8.82\ (\%)$$

$$\gamma_8=\gamma_{13}+\gamma_{14}-\gamma_{18}=8.82+97.70-2.38=104.14\ (\%)$$

$$\gamma_{10}=\gamma_8+\gamma_{18}=104.16+2.38=106.52\ (\%)$$

校核 $\gamma_{10}=\gamma_{13}+\gamma_{14}=8.82+97.70=106.52\ (\%)$

$$\gamma_{15}=\gamma_{12}+\gamma_{13}=7.82+8.82=16.64\ (\%)$$

$$\gamma_6=\gamma_4+\gamma_{15}=100+16.64=116.64\ (\%)$$

校核 $\gamma_6=\gamma_7+\gamma_8=12.50+104.14=116.64\ (\%)$

(5) 计算各产物的重量。

① $Q_{16}=Q_1\gamma_{16}=45.5\times0.0468=2.13\ (t/h)$

$Q_{19}=Q_1+Q_{16}=45.5-2.13=43.37\ (t/h)$

② $Q_{11}=Q_1\gamma_{11}=45.5\times0.0685=3.12\ (t/h)$

$Q_{17}=Q_{11}-Q_{16}=3.12-2.13=0.99\ (t/h)$

③ $Q_7=Q_1\gamma_7=45.5\times0.125=5.69\ (t/h)$

$Q_{12}=Q_7+Q_{17}-Q_7=5.69+0.99-3.12=3.56\ (t/h)$

$Q_9=Q_7+Q_{17}=5.69+0.99=6.68\ (t/h)$

校核 $Q_9=Q_{11}+Q_{12}=3.12+3.56=6.68\ (t/h)$

④ $Q_{18}=Q_1\gamma_{18}=45.5\times0.0238=1.08\ (t/h)$

$Q_{14}=Q_{18}+Q_{19}=1.08+43.37=44.45\ (t/h)$

⑤ $Q_{13}=Q_1\gamma_{13}=45.5\times0.0882=4.01\ (t/h)$

$Q_8=Q_{13}+Q_{14}-Q_{18}=4.01+44.45-1.08=47.38\ (t/h)$

$Q_{10}=Q_8+Q_{18}=47.38+1.08=48.46\ (t/h)$

校核 $Q_{10}=Q_{13}+Q_{14}=4.01+44.45=48.46\ (t/h)$

$Q_{15}=Q_{12}+Q_{13}=3.56+4.01=7.57\ (t/h)$

$$Q_6 = Q_4 + Q_{15} = 45.5 + 7.57 = 53.07\ (t/h)$$

校核 $Q_6 = Q_7 + Q_8 = 5.69 + 47.38 = 53.07\ (t/h)$

(6) 计算各产物的回收率。

① $$\varepsilon_{16} = \frac{\gamma_{16}\beta_{16}}{\beta_1} = \frac{4.68 \times 17.19}{0.9} = 89.39\ (\%)$$

$$\varepsilon_{16}' = \frac{\gamma_{16}'\beta_{16}'}{\beta_1'} = \frac{4.68 \times 38.38}{8.98} = 20.0\ (\%)$$

$$\varepsilon_{19} = \varepsilon_4 - \varepsilon_{16} = 100 - 89.39 = 10.61\ (\%)$$

$$\varepsilon_{19}' = \varepsilon_4' - \varepsilon_{16}' = 100 - 20.0 = 80.0\ (\%)$$

② $$\varepsilon_{11} = \frac{\gamma_{11}\beta_{11}}{\beta_1} = \frac{6.85 \times 12.653}{0.9} = 96.30\ (\%)$$

$$\varepsilon_{11}' = \frac{\gamma_{11}\beta_{11}'}{\beta_1'} = \frac{6.85 \times 34.507}{8.98} = 26.32\ (\%)$$

$$\varepsilon_{17} = \varepsilon_{11} - \varepsilon_{16} = 96.30 - 89.39 = 6.91\ (\%)$$

$$\varepsilon_{17}' = \varepsilon_{11}' - \varepsilon_{16}' = 26.32 - 20.00 = 6.32\ (\%)$$

③ $$\varepsilon_7 = \frac{\gamma_7\beta_7}{\beta_1} = \frac{12.5 \times 6.854}{0.9} = 95.19\ (\%)$$

$$\varepsilon_7' = \frac{\gamma_7\beta_7'}{\beta_1'} = \frac{12.5 \times 21.999}{8.98} = 30.62\ (\%)$$

$$\varepsilon_{12} = \varepsilon_7 + \varepsilon_{17} - \varepsilon_{11} = 95.19 + 6.91 - 96.30 = 5.80\ (\%)$$

$$\varepsilon_{12}' = \varepsilon_7' + \varepsilon_{17}' - \varepsilon_{11}' = 30.62 + 6.32 - 26.32 = 10.62\ (\%)$$

$$\varepsilon_9 = \varepsilon_7 + \varepsilon_{17} = 95.19 + 6.91 = 102.10\ (\%)$$

校核 $\varepsilon_9 = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{12} = 96.30 + 5.8 = 102.10\ (\%)$

$$\varepsilon_9' = \varepsilon_7' + \varepsilon_{12}' = 30.62 + 6.32 = 36.94\ (\%)$$

校核 $\varepsilon_9' = \varepsilon_{11}' + \varepsilon_{12}' = 26.32 + 10.62 = 36.94\ (\%)$

④ $$\varepsilon_{18} = \frac{\gamma_{18}\beta_{18}}{\beta_1} = \frac{2.38 \times 0.915}{0.9} = 2.42\ (\%)$$

$$\varepsilon_{18}' = \frac{\gamma_{18}\beta_{18}'}{\beta_1'} = \frac{2.38 \times 20.641}{8.98} = 5.47\ (\%)$$

$$\varepsilon_{14} = \varepsilon_{18} + \varepsilon_{19} = 2.42 + 10.61 = 13.03\ (\%)$$

$$\varepsilon_{14}' = \varepsilon_{18}' + \varepsilon_{19}' = 5.47 + 80.0 = 85.47\ (\%)$$

⑤ $$\varepsilon_{13} = \frac{\gamma_{13}\beta_{13}}{\beta_1} = \frac{8.82 \times 0.831}{0.9} = 8.14\ (\%)$$

$$\varepsilon_{13}' = \frac{\gamma_{13}\beta_{13}'}{\beta_1'} = \frac{8.82 \times 13.563}{8.98} = 13.32\ (\%)$$

$$\varepsilon_8 = \varepsilon_{13} + \varepsilon_{14} - \varepsilon_{18} = 8.14 + 13.03 - 2.42 = 18.75\ (\%)$$

$$\varepsilon_8' = \varepsilon_{13}' + \varepsilon_{14}' - \varepsilon_{18}' = 13.32 + 85.47 - 5.47 = 93.32\ (\%)$$

$$\varepsilon_{10} = \varepsilon_8 + \varepsilon_{18} = 18.75 + 2.42 = 21.17\ (\%)$$

校核 $\varepsilon_{10} = \varepsilon_{13} + \varepsilon_{14} = 8.14 + 13.03 = 21.17\ (\%)$

$$\varepsilon_{10}' = \varepsilon_8' + \varepsilon_{18}' = 93.32 + 5.47 = 98.79\ (\%)$$

校核 $\varepsilon_{10}' = \varepsilon_{13}' + \varepsilon_{14}' = 13.32 + 85.47 = 98.79\ (\%)$

$$\varepsilon_{15}=\varepsilon_{12}+\varepsilon_{13}=5.80+8.14=13.94\ (\%)$$

$$\varepsilon_{15}'=\varepsilon_{12}'+\varepsilon_{13}'=10.62+13.32=23.94\ (\%)$$

$$\varepsilon_6=\varepsilon_4+\varepsilon_{15}=100+13.94=113.94\ (\%)$$

校核$\varepsilon_6-\varepsilon_7+\varepsilon_8=95.19+18.75=113.94$（%）

$$\varepsilon_6'=\varepsilon_4'+\varepsilon_{15}'=100+23.94=123.94\ (\%)$$

校核$\varepsilon_6'=\varepsilon_7'+\varepsilon_8'=30.62+93.32=123.94$（%）

(7) 计算各产物未知的品位。

① $\beta_{17}'=\dfrac{\beta_1'\varepsilon_{17}'}{\gamma_{17}}=\dfrac{8.98\times 6.32}{2.17}=26.157\ (\%)$

② $\beta_{12}'=\dfrac{\beta_1'\varepsilon_{12}'}{\gamma_{12}}=\dfrac{898}{7.82}=12.197\ (\%)$

③ $\beta_{19}'=\dfrac{\beta_1'\varepsilon_{19}'}{\gamma_{19}}=\dfrac{8.98\times 80}{95.32}=7.538\ (\%)$

④ $\beta_{14}'=\dfrac{\beta_1'\varepsilon_{14}'}{\gamma_{14}}=\dfrac{8.98\times 85.47}{97.7}=7.857\ (\%)$

⑤ $\beta_{10}'=\dfrac{\beta_1'\varepsilon_{10}'}{\gamma_{10}}=\dfrac{8.98\times 98.79}{106.52}=8.329\ (\%)$

⑥ $\beta_{15}'=\dfrac{\beta_1'\varepsilon_{15}'}{\gamma_{15}}=\dfrac{8.98\times 23.94}{16.64}=12.92\ (\%)$

⑦ $\beta_8'=\dfrac{\beta_1'\varepsilon_8'}{\gamma_8}=\dfrac{8.98\times 93.32}{104.14}=8.048\ (\%)$

⑧ $\beta_6'=\dfrac{\beta_1'\varepsilon_6'}{\gamma_6}=\dfrac{8.98\times 123.94}{116.64}=9.543\ (\%)$

⑨ $\beta_9'=\dfrac{\beta_1'\varepsilon_9'}{\gamma_9}=\dfrac{8.98\times 36.94}{14.67}=22.615\ (\%)$

⑩ $\beta_{10}=\dfrac{\beta_1\varepsilon_{10}}{\gamma_{10}}=\dfrac{0.9\times 21.17}{106.52}=0.179\ (\%)$

⑪ $\beta_{15}=\dfrac{\beta_1\varepsilon_{15}}{\gamma_{15}}=\dfrac{0.9\times 13.94}{16.64}=0.754\ (\%)$

⑫ $\beta_9=\dfrac{\beta_1\varepsilon_9}{\gamma_9}=\dfrac{0.9\times 102.10}{14.67}=6.264\ (\%)$

⑬ $\beta_6=\dfrac{\beta_1\varepsilon_6}{\gamma_6}=\dfrac{0.9\times 113.94}{116.64}=0.879\ (\%)$

(8) 绘制选别数质量流程图。将计算结果按产物编号分别填在流程图上，则为选别数质量流程图。如图 4－31 所示。

通过实例计算，重点掌握以下几点：

(1)原始指标数的计算，主要是如何确定计算成分 C 值、选别产物数 n_p 和选别作业数 a_p。

(2) 原始指标数的分配原则和分配方案，应加倍注意，特别是多选别作业、多金属矿选别流程的分配方案，它比单个选别作业、单金属矿选别流程要复杂得多。

(3) 流程的计算步骤。尤其是产率的计算步骤，从实例计算看出：

①首先从原、精、尾开始，通过物料平衡关系，先算出流程或某一循环的最终精矿和最终尾矿的产率，然后分别计算其精选作业和扫选作业，即精选作业从下至上计算到粗选作业的精矿止，扫选作业从下至上计算到粗选作业的尾矿止。决不能从上或从中间开始；或者不

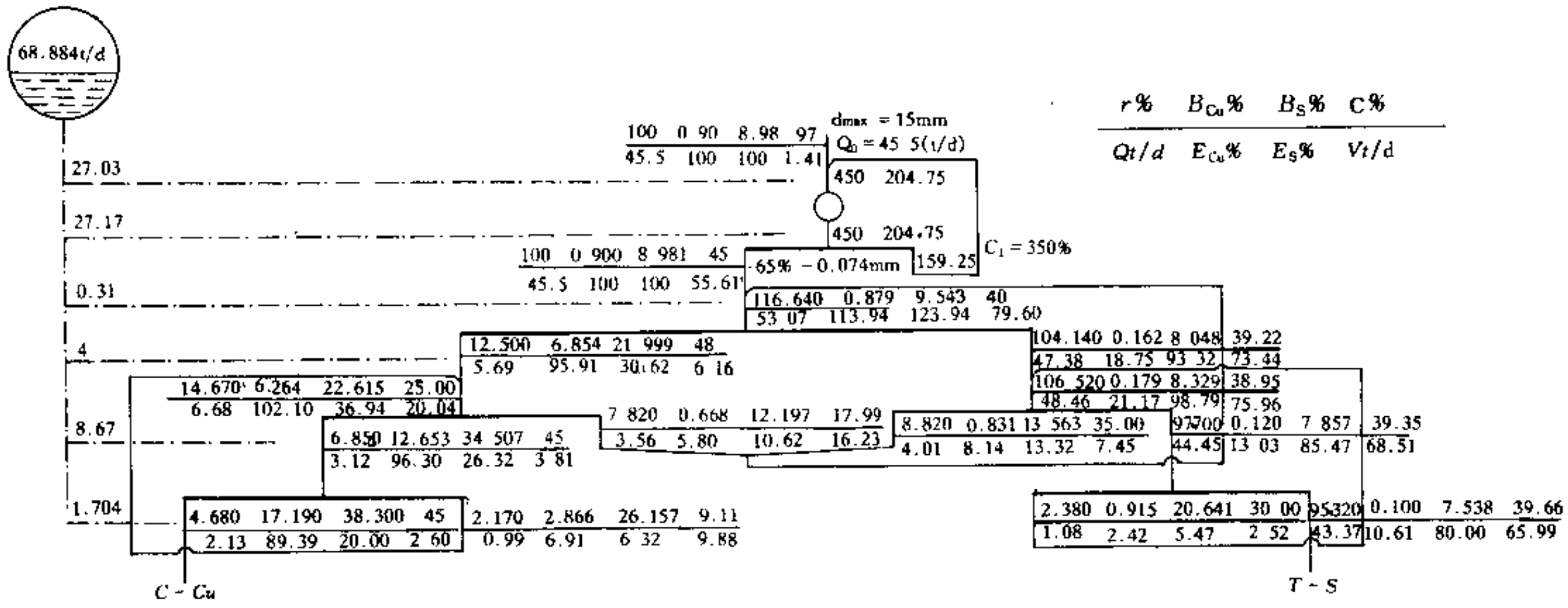


图 4－31　数质量及矿浆流程

根据已知条件，随意列出某个无法进行计算的选别作业联立方程式。

②多金属矿选别流程计算，在不用计算机的情况下，一般按选别流程（或某一选别循环）中的一种主要金属计算各选别产物的产率，不参加产率计算的其它金属的原始指标（如 β'_n，ε'_n）均分配在选别作业的精矿中。

③计算任何一个选别作业的产率，一般按联立方程式计算精矿产率，而尾矿产率是通过减法求出。其产物重量、回收率的算法也是如此，否则，难于保证作业的 γ、Q、ε 平衡。

④混合产物的产率要进行校核，验证计算无误。

第五节　矿浆流程计算

一、计算的内容、目的及原理

计算内容　矿浆流程计算是在磨矿流程和选别流程计算之后进行的。所以，计算的内容是：磨矿和选别流程中各作业或各产物的水量 W_n（m^3/d）、补加水量 L_n（m^3/d）、矿浆体积 V_n（m^3/d）和单位耗水量 W_g（m^3/t）。

计算目的及原理　矿浆流程计算目的是：为供水、排水、脱水、扬送和分级的设计计算、设备选择提供依据。计算原理是：进入某作业的水量之和，等于该作业排出的水量之和；进入某作业的矿浆量（即体积）之和，等于该作业排出的矿浆量之和（在计算中，不考虑机械损失或其他流失）—— 即水量平衡原理。

二、计算所需原始指标

矿浆流程计算需要一定的原始指标，原始指标应取在操作过程中最稳定、且必须加以控制的指标。这些指标，可以分为以下 3 类：

（1）必须保证的浓度（按重量计）。所谓必须保证的浓度，就是指对一些作业和产物来说，为了生产正常进行，具有一个必须保证的浓度，如磨矿作业、浮选精选作业以及机械分级机溢流和水力旋流器溢流等。所有这些浓度，均要求在生产过程中予以保证。因此，在矿浆流程计算时，应预先确定其浓度为原始指标。

（2）不可调节的浓度。所谓不可调节的浓度，就是指在选别流程中，有些产物浓度通常是不可调节的，如原矿水分、分级机返砂浓度、浮选精、扫选精矿浓度以及重选、磁选精矿浓度。尽管这些作业的补加水量有变化，但对其精矿浓度影响很小，计算时，也应作为原始指标。

（3）生产过程中，某些作业的补加水量，如跳汰机补加的上升水、摇床的冲洗水、洗矿的冲洗水、浮选精矿冲泡沫水等，都是在生产过程中必需的用水。这些按单位矿量计算的用水量也是比较稳定的。因此，也应作为原始指标。

上述 3 类指标，应根据对流程的分析、选矿试验资料以及类似矿石选矿厂的生产资料来确定，也可参考表 4－11 和表 4－12 确定。

由于条件不同，同类产物的浓度也有很大差别。因此，在确定时要考虑以下因素：

①密度大的矿石，其浓度应大些。

②块状和粒状（即粒度粗的）的矿石，其浓度应大些。

③品位高而易浮的矿石，其浓度应大些。

④洗矿用水，应根据矿石的可洗性决定。

应当指出：

〈1〉 扫选作业和所有选别作业的尾矿浓度，不能作为原始指标；

〈2〉 一般而言，精选作业浓度应依精选次数增加而适当降低，精选精矿浓度应依精选次数增加而适当提高。

三、计算步骤

（1）根据选矿试验资料和类似矿石选矿厂的生产资料，或参考表 4－11，表 4－12 的数据，确定最合适的各作业和各产物的浓度 C_n、各作业补加水的单位定额。

表 4－11　某些作业和产物的浓度范围

作业及产物名称	作业浓度（%）	产物浓度（%）
棒磨机、球磨机磨矿：	65～80	–
分级机溢流：0.3mm 以下	–	28～50
0.2mm 以下	–	25～45
0.15mm 以下	–	20～35
0.10mm 以下	–	15～30
螺旋分级机返砂	–	80～85
水力旋流器：		
ø500mm：给矿（分离粒度－74μm）	–	15～20
沉砂	–	50～75
ø250mm：给矿（分离粒度－37μm）	–	10～15
沉砂	–	40～60
ø125mm：给矿（分离粒度－19μm）	–	5～10
沉砂	–	35～50
ø75mm：给矿（分离粒度－10μm）	–	3～8
沉砂	–	30～50
浮选：		
粗选作业	25～45	–
精选作业	10～25	–
扫选作业	20～35	–
粗选精矿	–	20～50
扫选精矿	–	20～35
精选精矿	–	30～50
跳汰作业：给矿	15～30	–
精矿	–	30～50
摇　床：给矿	25～35	–
精矿	–	40～60
中矿	–	30～45
水力分级作业：给矿	30～50	–
沉砂	–	20～50
离心选矿机给矿	15～25	–
磁选机：给矿	20～25	–
精矿	–	25～35
磁力脱水槽给矿	20～30	–
浓缩机：给矿	15～35	–
排矿	–	50～70
过滤机：给矿	40～60	–
排矿	–	85～90

(2) 根据上述浓度，按下式算出其液固比 R_n。

$$R_n = \frac{100 - C_n}{C_n} \tag{4-45}$$

(3) 按下式算出各作业、各产物的水量 W_n。

$$W_n = Q_n R_n \tag{4-46}$$

(4) 按各作业水量平衡方程式，算出各作业的补加水量 L_n。

$$L_n = W_{作业} - \Sigma W_n \tag{4-47}$$

(5) 按下式算出各作业的矿浆体积 V_n。

$$V_n = Q_n \left(R_n + \frac{1}{\delta}\right) \tag{4-48}$$

(6) 按下式算出选矿厂总排出水量 ΣW_k（含最终精矿 ΣW_c、尾矿 ΣW_z、溢流 ΣW_t 等，见表 4-14）。

$$\Sigma W_k = \Sigma W_c + \Sigma W_z + \Sigma W_t \tag{4-49}$$

表 4-12 某些作业必要的补加水定额

作业名称	补加水定额	作业名称	补加水定额
浮选泡沫精矿溜槽冲洗水	0.8m³/t 矿	粒度为 2～0.5mm	2～4m³/t 矿
圆筒筛洗矿	3～10m³/t 矿	粒度为 0.5～0.2mm	1.2～1.8m³/t 矿
圆筒擦洗机洗矿	3.0m³/t 矿	粒度为 0.2mm	0.8m³/t 矿
槽式洗矿机洗矿	4～6m³/t 矿	2. 处理锡矿时：	
在固定筛上冲洗脉矿	1.0m³/t 矿	第一段	40～50m³/d·台
在固定筛上冲洗砂矿	1～2m³/t 矿	第二段	25～30m³/d·台
在振动筛上冲洗脉矿	1～2m³/t 矿	第三段	25～30m³/d·台
在振动筛上冲洗砂矿	2.5m³/t 矿	一次复洗	60～70m³/d·台
水力洗矿床洗砾石	0.7～0.8m³/t 矿	二次复洗	50～55m³/d·台
双层筛湿式筛分	1～2. 5m³/t 矿	中矿复洗	35～40m³/d·台
四室水力分级机上升水	0.5～1.5m³/t 矿	泥矿	20～25m³/d·台
云锡式多室水力分级箱上升水：		跳汰机上升水：	
第一段每箱	50～60m³/d·台	粗级别（76～12mm）	4.0m³/t 矿
第二段每箱	40～50m³/d·台	中级别（6～12mm）	3.0m³/d·台
第三段每箱	30～35m³/d·台	细级别（1.5 或＜3.0mm）	2.5～3.0m³/t 矿
复洗	50～60m³/d·台	ø850mm 螺旋选矿机处理	
摇床冲洗水：		0.02～0.04 级别冲洗水	0.5～1.8m³/h·台
1. 处理钨矿时：		ø1000mm 螺旋选矿机冲洗水	1.0～1.5m³/台·d

(7) 按下式算出选矿厂工艺过程耗水量 ΣL（即补加总水量）。

$$\Sigma L = \Sigma W_k - W_0 \tag{4-50}$$

如果选矿厂利用回水 W'，则按下式计算补加新水量 L'

$$L' = \Sigma L - W' \tag{4-51}$$

(8) 上述计算只考虑工艺过程用水量，还要增加洗地板、冲洗设备、冷却设备等用水。一般为工艺过程耗水量的 10% ~15%，按下式计算选矿厂总耗水量 ΣL_0。

$$\Sigma L_0 = (1.1 \sim 1.15)\ \Sigma L \tag{4-52}$$

(9) 按下式算出单位耗水量 W_g。

$$W_g = \frac{\Sigma L_0}{Q} \tag{4-53}$$

式中 W_0——原矿含水量 (m^3/h)；

δ——矿石密度 (t/m^3)；

Q——处理矿石量 (t/h)；

其他符号同前。

矿浆流程的计算结果，可用表格或流程图表示。表格形式如表 4－13 及表 4－14 所示。

表 4－13 矿浆平衡表

作业名称	作业和产物编号及名称	产率 γ (%)	矿量 Q (t/h)	浓度 C (%)	液固比 R	水量 W (m^3/h)	矿浆量 V (m^3/h)

表 4－14 全厂总水量平衡表

进入流程的水量 (m^3/d)	由流程排出的水量 (m^3/d)
原矿水量：W_0	精矿产物水量：ΣW_c
各作业补加水量：ΣL	尾矿产物水量：ΣW_z
…	其它产物排出水量：ΣW_t
…	…
总计：	总计：

在工程设计中，计算结果常用流程图表示法，即在流程图上分别注出各作业、各产物的 Q_n，R_n，W_n，V_n，L_n 等数值。这样的流程图，称为矿浆流程图。有时，矿浆流程图与数质量流程图合为一张图纸，如图 4－31 所示。

四、计算实例

(1) 磨矿流程。流程如图 4－32 所示，$Q_1 = 45.5$t/h。

①确定浓度 C_n。

〈1〉 必须保证的浓度。

磨矿作业浓度 $C_m = 75\%$，分级溢流浓度 $C_c = 45\%$。

〈2〉 不可调节的浓度。

原矿水分 3% (即原矿浓度 $C_0 = 97\%$)、分级返砂浓度 $C_s = 80\%$。

②按 $R_n = \dfrac{100 - C_n}{C_n}$ 计算液固比 R_1，R_4，R_5 和 R_m。

$$R_1 = \frac{100 - C_0}{C_0} = \frac{100 - 97}{97} = 0.031$$

$$R_4 = \frac{100 - C_c}{C_c} = \frac{100 - 45}{45} = 1.222$$

$$R_5 = \frac{100 - C_5}{C_5} = \frac{100 - 80}{80} = 0.25$$

$$R_m = \frac{100 - C_m}{C_m} = \frac{100 - 75}{75} = 0.333$$

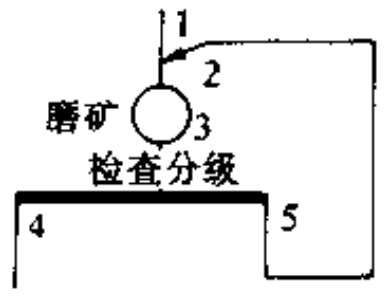


图 4-32 磨矿流程

③按 $W_n = Q_n R_n$ 计算水量 W_1，W_4，W_5 和 W_m。

$W_1 = Q_1 R_1 = 45.5 \times 0.031 = 1.41$ (t/h)

$W_4 = Q_4 R_4 = 45.5 \times 1.222 = 55.61$ (t/h)

$W_5 = Q_5 R_5 = Q_1 C R_5 = 45.5 \times 3.5 \times 0.25 = 39.81$ (t/h)

$W_m = Q_m R_m = (Q_1 + Q_5) R_m = (45.5 + 159.25) \times 0.333 = 68.25$ (t/h)

④按 $L_n = W_{作业} - \Sigma W_n$ 计算补加水 L_m 和 L_c。

$L_m = W_m - W_1 - W_5 = 68.25 - 1.41 - 39.81 = 27.03$ (t/h)

$L_c = W_4 + W_5 - W_m = 55.57 + 39.81 - 68.21 = 27.17$ (t/h)

磨矿流程不计算矿浆体积，故从略。

(2) 选别流程。流程如图 4-31 所示。

①确定浓度 C_n。

〈1〉必须保证的作业浓度。

粗选作业浓度 $C_r = 40\%$；

精选Ⅰ作业浓度 $C_{k1} = 25\%$；精选Ⅱ作业浓度 $C_{k2} = 20\%$

〈2〉不可调节的选别精矿浓度。

粗选精矿浓度 $C_7 = 48\%$

精选Ⅰ精矿浓度 $C_{11} = 45\%$；精选Ⅱ精矿浓度 $C_{16} = 45\%$

扫选Ⅰ精矿浓度 $C_{13} = 35\%$；扫选Ⅱ精矿浓度 $C_{18} = 30\%$

②按 $R_n = \frac{100 - C_n}{C_n}$ 计算液固比 R_r，R_7，R_{k1}，R_{k2}，R_{11}，R_{16}，R_{13} 和 R_{18}。

$$R_r = \frac{100 - C_r}{C_r} = \frac{100 - 40}{40} = 1.5$$

$$R_7 = \frac{100 - C_7}{C_7} = \frac{100 - 48}{48} = 1.08$$

$$R_{k1} = \frac{100 - C_{k1}}{C_{k1}} = \frac{100 - 25}{25} = 3$$

$$R_{k2} = \frac{100 - C_{k2}}{C_{k2}} = \frac{100 - 20}{20} = 4$$

$$R_{11} = \frac{100 - C_{11}}{C_{11}} = \frac{100 - 45}{45} = 1.222$$

$$R_{16} = \frac{100 - C_{16}}{C_{16}} = \frac{100 - 45}{45} = 1.222$$

$$R_{13} = \frac{100 - C_{13}}{C_{13}} = \frac{100 - 35}{35} = 1.86$$

$$R_{18} = \frac{100 - C_{18}}{C_{18}} = \frac{100 - 30}{30} = 2.33$$

③按 $W_n = Q_n R_n$ 计算水量 W_r，W_{k1}，W_{k2}，W_7，W_{11}，W_{16}，W_{13} 和 W_{18}。由数质量流程图得知：$Q_r = Q_6 = 53.07$，$Q_{k1} = Q_9 = 6.68$，$Q_{k2} = Q_{11} = 3.12$，$Q_7 = 5.69$，$Q_{11} = 3.12$，$Q_{16} = 2.13$，$Q_{13} = 4.03$，$Q_{18} = 1.08$，从而得：

$W_r = Q_6 R_r = 53.07 \times 1.5 = 79.60$ (m^3/h)

$W_7 = Q_7 R_7 = 5.69 \times 1.08 = 6.16$ (m^3/h)

$W_8 = W_r - W_7 = 79.60 - 6.16 = 73.44$ (m^3/h)

$W_{k1} = Q_9 R_{k1} = 6.68 \times 3 = 20.04$ (m^3/h)

$W_{11} = Q_{11} R_{11} = 3.12 \times 1.222 = 3.81$ (m^3/h)

$W_{12} = W_{k1} - W_{11} = 20.04 - 3.81 = 16.23$ (m^3/h)

$W_{k2} = Q_{11} R_{k2} = 3.12 \times 4 = 12.48$ (m^3/h)

$W_{16} = Q_{16} R_{16} = 2.13 \times 1.222 = 2.60$ (m^3/h)

$W_{17} = W_{k2} - W_{16} = 12.48 - 2.60 = 9.88$ (m^3/h)

$W_{18} = Q_{18} R_{18} = 1.08 \times 2.33 = 2.52$ (m^3/h)

$W_{10} = W_8 + W_{18} = 73.44 + 2.52 = 75.96$ (m^3/h)

$W_{13} = Q_{13} R_{13} = 4.01 \times 1.86 = 7.45$ (m^3/h)

$W_{14} = W_{10} - W_{13} = 75.96 - 7.45 = 68.51$ (m^3/h)

$W_{19} = W_{14} - W_{18} = 68.51 - 2.52 = 65.99$ (m^3/h)

④按 $L_n = W_{作业} - \Sigma W_n$ 计算补加水 L_r，L_{k1} 和 L_{k2}。

$L_r = W_r - W_4 - W_{12} - W_{13} = 79.60 - 55.61 - 16.23 - 7.45 = 0.31$ (m^3/h)

$L_{k1} = W_{k1} - W_7 - W_{17} = 20.04 - 6.16 - 9.88 = 4.00$ (m^3/h)

$L_{k2} = W_{k2} - W_{11} = 12.48 - 3.81 = 8.67$ (m^3/h)

⑤按 $V_n = Q_n (R_n + \frac{1}{\delta})$ 计算矿浆体积 V_r，V_{k1}，V_{k2} 和 V_n。

$V_r = Q_6 (R_r + \frac{1}{\delta}) = 53.07 \times (1.5 + \frac{1}{3.0}) = 53.07 \times 1.83 = 97.15$ (m^3/h)

$V_{k1} = Q_9 (R_{k1} + \frac{1}{\delta}) = 6.68 \times (3 + \frac{1}{3.0}) = 6.68 \times 3.33 = 22.24$ (m^3/h)

$V_{k2} = Q_{11} (R_{k2} + \frac{1}{\delta}) = 3.12 \times (4 + \frac{1}{3.0}) = 3.12 \times 4.33 = 13.51$ (m^3/h)

$V_7 = Q_7 (R_7 + \frac{1}{\delta}) = 5.69 \times (1.08 + \frac{1}{3.0}) = 5.69 \times 1.41 = 8.02$ (m^3/h)

$V_8 = V_r - V_7 = 97.15 - 8.02 = 89.13$ (m^3/h)

$V_{18} = Q_{18} (R_{18} + \frac{1}{\delta}) = 1.08 \times (2.33 + \frac{1}{3.0}) = 1.08 \times 2.66 = 2.87$ (m^3/h)

$V_{10} = V_8 + V_{18} = 89.13 + 2.87 = 92.00$ (m^3/h)

$V_{13} = Q_{13} (R_{13} + \frac{1}{\delta}) = 4.01 \times (1.86 + \frac{1}{3.0}) = 4.01 \times 2.19 = 8.83$ (m^3/h)

$V_{14} = V_{10} - V_{13} = 92.00 - 8.83 = 83.17$ (m^3/h)

$V_{19} = V_{14} - V_{18} = 83.17 - 2.87 = 80.3$ (m^3/h)

⑥按下式计算某些作业和产物中的未知浓度 C_n。

$$C_{12} = \frac{100}{1 + \frac{W_{12}}{Q_{12}}} = \frac{100}{1 + \frac{16.23}{3.56}} = \frac{100}{5.56} = 17.99\ (\%)$$

$$C_{17} = \frac{100}{1 + \frac{W_{17}}{Q_{17}}} = \frac{100}{1 + \frac{9.88}{0.99}} = \frac{100}{10.98} = 9.11\ (\%)$$

$$C_{10}=\frac{100}{1+\frac{W_{10}}{Q_{10}}}=\frac{100}{1+\frac{75.96}{48.46}}=\frac{100}{2.57}=38.95\ (\%)$$

$$C_{14}=\frac{100}{1+\frac{W_{14}}{Q_{14}}}=\frac{100}{1+\frac{68.51}{44.45}}=\frac{100}{2.54}=39.35\ (\%)$$

$$C_{19}=\frac{100}{1+\frac{W_{19}}{Q_{19}}}=\frac{100}{1+\frac{65.99}{43.37}}=\frac{100}{2.52}=39.66\%$$

$$C_{8}=\frac{100}{1+\frac{W_{8}}{Q_{8}}}=\frac{100}{1+\frac{73.44}{47.38}}=\frac{100}{2.55}=39.22\ (\%)$$

⑦按下式计算工艺过程补加总水量 ΣL。

$$\Sigma L=\Sigma W_k-W_0=W_{16}+W_{19}-W_4$$
$$=2.6+65.99-55.61=12.98\ (m^3/h)$$

校核　　$\Sigma L=L_r+L_{k1}+L_{k2}=0.3+4.01+8.67=12.98\ (m^3/h)$

⑧按下式计算选矿厂总耗水量 ΣL_0。

$$\Sigma L_0=(1.1\sim1.15)\ \Sigma L=1.13\times12.98=14.67\ (m^3/h)$$

⑨按下式计算选别流程单位耗水量（未含磨矿流程）W_g。

$$W_g=\frac{\Sigma L_0}{Q}=\frac{14.67}{45.5}=0.32\ (m^3/t\cdot h)$$

思　考　题

(1) 选矿厂各车间处理量计算的依据是什么？各车间年、日、时处理量是否相同，为什么？

(2) 常用破碎流程有哪些？

(3) 洗矿应用条件及常见的洗矿流程是什么？

(4) 何谓等值筛分工作制度及其内容和应用条件？

(5) 何谓最大相对粒度系数 Z_{max} 及其表示法？

(6) 破碎流程计算的目的、内容和步骤是什么？

(7) 计算破碎流程需要的原始资料有哪些？

(8) 预先筛分筛孔的选择范围是什么？

(9) 如何调整各段破碎机负荷不平衡问题？

(10) 影响破碎流程结构的因素有哪些？

(11) 某有色矿山的 B 级储量为 450 万吨，C 级储量为 550 万吨，D 级储量为 850 万吨。其选矿厂服务年限为 20 年，根据选矿工艺要求，破碎车间手选废石率为 15%，试确定破碎车间及磨矿车间工作制度；计算各车间年、日、时处理量；并指出选矿厂规模。

(12) 根据图一已知条件，列出产率、筛分作业循环负荷和破碎机循环负荷的计算步骤。

(13) 决定磨矿流程的主要因素是什么？

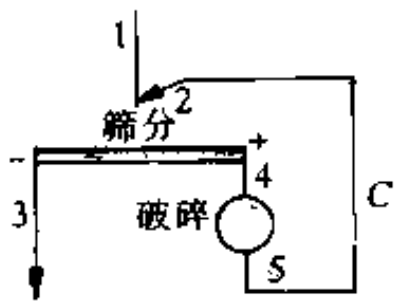
(14) 计算两段磨矿流程需要的原始资料有哪些？

(15) 何谓计算级别？常用的计算级别是哪些？

(16) 如何使两段全闭路磨矿的负荷平衡？

(17) 常用的自磨流程及其闭路组合形式如何？

(18) 根据图二已知条件列出磨矿流程产率计算的步骤。



图一

(19) 选别流程选择的依据是什么?

(20) 从设计角度如何审查选矿试验报告?

(21) 单金属矿和多金属矿浮选原则流程及其选择有何异同?

(22) 重选流程的特点及决定流程时应考虑的原则?

(23) 何谓产品方案及其确定的原则?

(24) 何谓分配指标、计算指标、计算成分?

(25) 原始指标数的分配原则和分配方案，以及数值选择时应注意哪些问题?

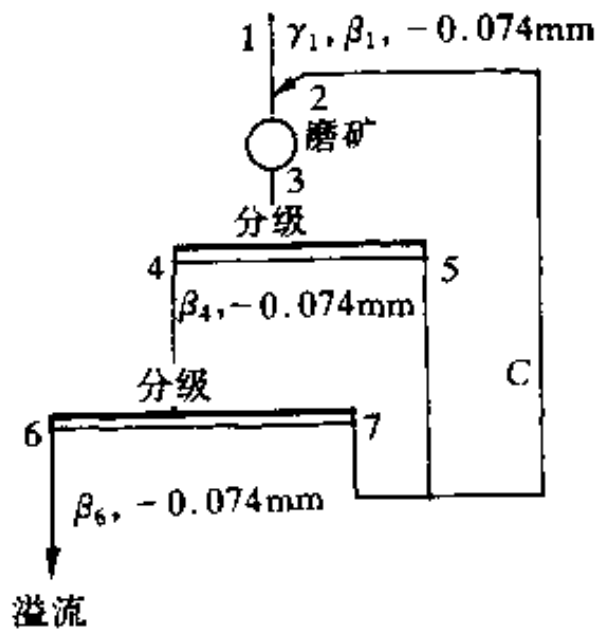
(26) 浮选流程计算常用的原始指标是什么?

(27) 计算矿浆流程所需原始指标有哪些?

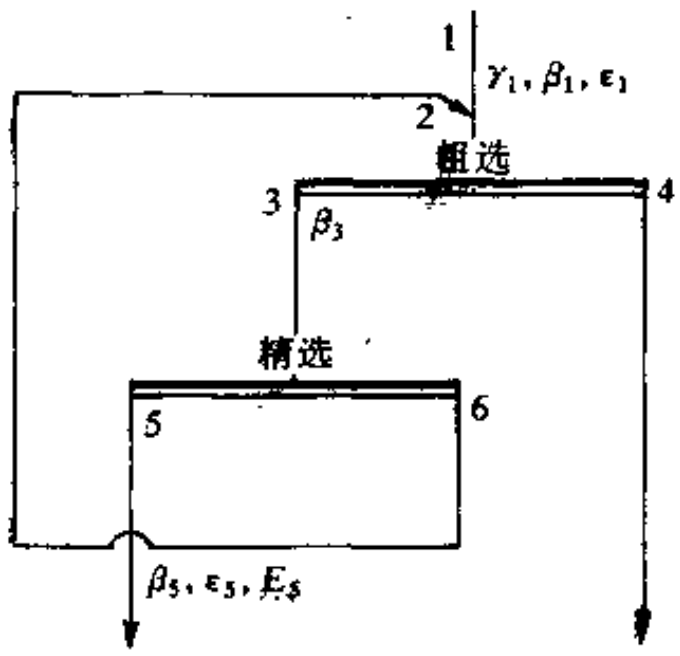
(28) 矿浆流程计算的内容、目的及步骤是什么?

(29) 根据图三中已知条件列出产率的计算步骤（E——作业回收率)。

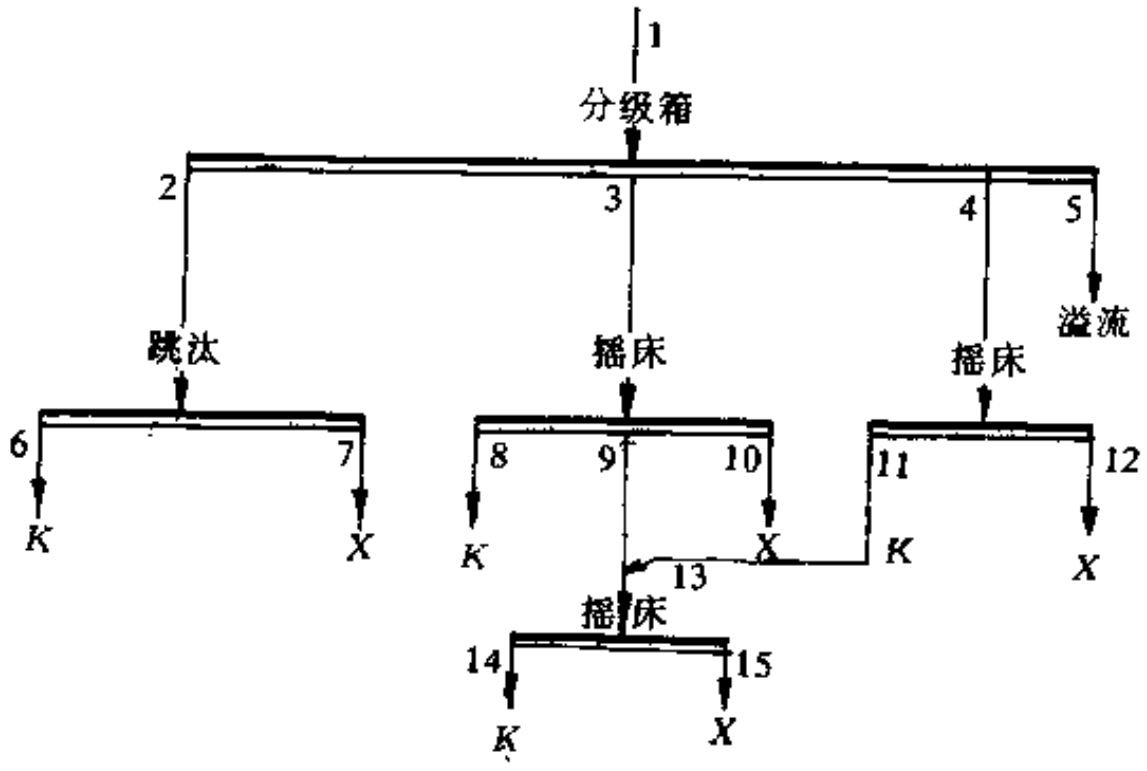
(30) 计算图四重选流程中单金属所需原始指标数及其分配方案。



图二



图三



图四

第五章　选矿设备的选择和计算

第一节　选矿设备的选择和计算原则

设备选择和计算是选矿厂设计的一项重要任务。在选择和计算设备时必须遵循以下原则：

(1) 设备生产能力必须满足选矿厂规模要求；

(2) 设备必须便于操作，工作可靠；

(3) 尽量采用国产定型化先进设备。

选矿设备分为两大类，即主要设备和辅助设备。主要设备包括：破碎机、筛分机、磨矿机、分级机、浮选机、跳汰机、摇床、磁选机、浓缩机、过滤机和干燥机等。辅助设备包括：胶带运输机、砂泵、给矿机、吊车等。

选择主要设备时，只需选出设备型式和尺寸（即型号和规格）。在同一作业中，如有几种不同形式的设备可供选用时，必须通过技术经济方案比较加以确定。

选矿设备生产能力的计算，可采用以下方法：

(1) 按理论公式计算生产能力。按理论公式近似计算生产能力的设备有：颚式破碎机、旋回破碎机、圆锥破碎机、对辊破碎机、水力分级机、水力旋流器、水力分选机、浓缩机、沉淀离心机等。

这些设备分为两类：第一类是依据通过破碎腔破碎物料的质量（容积）进行计算的破碎机；第二类是矿浆在分级过程中，在重力或惯性力作用下，依据固体物料在流体中运动的理论进行计算的分级设备。按理论公式计算的生产能力，其结果与实际生产资料有一定偏差，但却能表明影响设备生产能力的主要相关因素。

(2) 按经验公式计算生产能力。按经验公式计算生产能力的设备有：固定筛、振动筛、螺旋分级机等。经验公式是选用某设备在处理指定物料（称之为标准物料）时的生产能力。因此，它有一定的适应范围。在处理其他非标准物料时，必须考虑某些修正系数。经验公式与理论公式一样，反映了设备生产能力与待处理物料性质和工作条件的函数关系。

(3) 按综合公式计算生产能力。综合公式也叫半经验公式，即综合模型。它既有理论推导的因子，又有经验修正系数。旋回破碎机可用这类公式计算生产能力。

(4) 按单位负荷计算生产能力。这种计算方法是根据设备的单位容积、单位面积或单位长度计算生产能力。按单位容积计算生产能力的设备有磨矿机、浮选机等。按单位面积计算生产能力的设备有筛分机、真空过滤机等。

单位负荷的测定可以任意选择一种已知其单位生产能力的矿石作为标准矿石，然后将标准矿石与待测矿石在试验室中进行试验，得出其生产能力的相对系数，则可求出待测矿石的单位负荷。

(5) 按单位能耗计算生产能力。按处理单位重量或单位体积矿石所耗电量计算生产能力，如磨矿机、洗矿机等可用这种方法计算生产能力，单位能耗的测定方法与单位负荷的测

定方法相同。

(6) 按矿石在设备中的停留时间计算生产能力。为使某作业顺利进行，必须使被处理矿石在该作业（设备）具有一定的停留时间。这类设备的有效容积是根据单位时间的容积生产能力与处理矿石需停留的时间之积而确定。这种方法需要预先确定各作业处理该种矿石的停留时间，如浮选机、搅拌槽可用这种方法计算生产能力。

(7) 按产品目录确定生产能力。齿式对辊机、摇床等可直接通过制造厂的产品目录计算生产能力。但必须对矿石性质和工作条件设置某些修正系数。

设备数量取决于所选设备的型号和规格。选用小型设备，将增加建筑面积和管理、维护的困难，采用大型设备有利于减少基建投资，降低生产成本，并能促进选矿厂自动化管理，但要增加厂房高度和起重设备的起重能力。因此，必须根据主要技术经济指标进行方案比较，确定合理的方案。其主要指标包括设备总重量、总投资、总安装功率、厂房总面积和体积等。一般情况下，某作业的同类设备台数大于 4～6 台时，改用大型设备较为有利。

为了保证选矿厂的正常生产，必须考虑备用设备。破碎机和筛分机的备用台数取决于破碎作业的工作制度、原矿仓和中间矿仓的容积。第一段破碎，不考虑备用设备。第二段和第三段破碎，每 2～3 台破碎机考虑 1 台备用破碎机，每 3～4 台筛分机考虑 1 台备用筛分机。磨矿、选别和浓缩作业不考虑备用设备，精矿过滤和干燥设备应考虑备用设备，输送矿浆的砂泵，每台考虑 1 台备用砂泵。

第二节　破碎设备的选择和计算

一、破碎设备的选择

破碎设备的选择与处理矿石的物理性质、要求破碎的生产能力、破碎产品粒度以及设备配置有关。矿石物理性质包括：矿石硬度、密度、水分、粘土含量和物料最大粒度。根据矿石极限抗压强度，矿石分为难碎性矿石、中等可碎性矿石和易碎性矿石 3 种类型。

所选破碎设备，除保证满足产品粒度和生产能力外，还必须保证给入最大矿块。给矿中的最大矿块，对粗碎机为 $0.8\sim0.85B$（B——为给矿口宽度）；对中、细碎机为 $0.85\sim0.9B$。

1. 粗碎设备的选择

粗碎设备主要有旋回破碎机、颚式破碎机。它的选型主要考虑给矿最大粒度、生产能力和矿石可碎性 3 种因素。大、中型选矿厂既可用颚式破碎机，也可用旋回破碎机。中、小型选矿厂常用颚式破碎机。

颚式破碎机按传动肘的结构和运行形式可分为双肘简单摆动型和单肘复杂摆动型两类。根据功能及内部结构分类，有普通型、分段启动型、液压传动型、深破碎腔型、负支撑式和移动式。大型选矿厂选用简摆颚式破碎机，中、小型选矿厂选用复摆颚式破碎机。颚式破碎机的规格一般以给矿口宽度和长度表示，移动式颚式破碎机的规格以给矿口宽度表示。颚式破碎机的主要优点是：结构简单，重量轻，价格较低廉，便于维修，外型高度小，调节排矿口方便，破碎湿度较大和含粘土较多的矿石不易堵塞，工作可靠。主要缺点是：衬板易磨损，生产能力比旋回破碎机低，破碎产品粒度不均匀，过大块多时要求均匀给矿。

旋回破碎机是一种破碎能力较大的设备。优点是：破碎单位质量矿石时电耗少，破碎腔

连续工作，生产能力大，破碎腔内衬磨损分布均匀。产品过大块少，粒度均匀，破碎腔内不易堵塞矿石，不要求均匀给矿，可以“挤满给矿”。主要缺点是：调节排矿口困难，设备构造复杂。机身重，要求坚固的基础。机体高，增加厂房高度。因此适用于大型选矿厂。

2．中、细碎设备的选择

中、细碎设备的选型除了需要考虑确定粗碎设备选型的因素外，还要考虑上段破碎产品的最大粒度和该段破碎要求（或设计）的产品粒度。

大、中型选矿厂破碎难碎性矿石和中等可碎性矿石时，中碎和细碎常选用圆锥破碎机，按圆锥破碎机破碎腔的形状和平行带长度可分为标准型、中型和短头型3类。这3类设备的减震和保险装置大多为弹簧式，也有液压式。中碎设备常选用标准型圆锥破碎机或中型圆锥破碎机，细碎设备常用短头型圆锥破碎机。若采用两段破碎流程时，第二段可选用中型圆锥破碎机。圆锥破碎机的规格以破碎锥（动锥）底部直径（mm）表示，其型号以“B”、“Z”和“D”分别代表标准型、中型和短头型。圆锥破碎机给料最大粒度应小于给料口宽度的0.85倍。圆锥破碎机的生产能力大，破碎比大，适于破碎硬矿石和中硬矿石。缺点是不适宜处理含粘土多的矿石，排矿口不能太小。悬盘圆锥破碎机是一种新型的超细碎设备。小型选矿厂第二段破碎设备，一般选用反击式破碎机、锤式破碎机、辊式破碎机以及中型（或短头型）圆锥破碎机，也可选用深腔颚式破碎机。碎石厂的破碎作业大多采用全颚式破碎机方案。

反击式破碎机适用于破碎中等可碎性矿石和脆性矿石。它有单转子（PF）和双转子（2PF）两种型式。其规格以转子直径和长度表示。与其他型式破碎机相比，设备重量轻，体积小，生产能力大，构造简单，维修方便。单位产量能耗低，能耗比颚式破碎机节省1/3。破碎产物粒度均匀，细粒含量多，有利于提高磨矿机的效率。能选择性地破碎矿石，过粉碎少。破碎比大，能一次完成中碎机和细碎机的要求，因此可简化流程，节省投资。缺点是：打击板和反击板容易磨损，需要经常更换；工作噪音大，粉尘多。

辊式破碎机也称对辊破碎机，它有平辊和齿辊两类。规格以辊子直径和长度表示。辊式破碎机适于破碎含粘土多和要求产品粒度均匀的中等可碎性以及脆性矿石，破碎产品粒度可小于1～2mm。它的特点是构造简单，破碎比大，过粉碎少。缺点是：生产能力低，占地面积大，辊面磨损不均匀。高压辊式破碎机产品粒度细而且均匀，能有效地降低磨矿作业的能耗。

二、破碎设备生产能力的计算

破碎机的生产能力与被破碎物料的性质（矿石硬度、密度、湿度、粘结性、粒度组成等），破碎机结构参数和工艺要求（破碎比、开路或闭路作业、设备负荷系数、给矿均匀度）等因素有关。由于影响因素多，生产能力的计算方法也较多，且各具特点。因此，在设计中多采用经验公式概略计算生产能力，并根据实际资料对计算结果加以校正。

1．颚式破碎机、旋回破碎机和圆锥破碎机生产能力的计算

（1）开路破碎时，颚式破碎机、旋回破碎机、圆锥破碎机的生产能力计算：

$$Q = K_1 K_2 K_3 Q_0 \tag{5-1}$$

式中 Q——在设计条件下破碎机的生产能力（t/h）；

Q_0——在标准条件下破碎机的生产能力（t/h）；

$$Q_0 = q_0 e \tag{5-2}$$

q_0——破碎机在开路破碎排矿口宽度为 1mm 时，破碎标准状态矿石的单位生产能力（t/mm·h）（见表 5－1～5）。

表 5－1　颚式破碎机 q_0 值

破碎机规格（mm）	250×400	400×600	600×900	900×1200	1200×1500	1500×2100
q_0（t/mm·h）	0.40	0.65	0.95～1.0	1.25～1.30	1.90	2.70

表 5－2　旋回破碎机 q_0 值

破碎机规格（mm）	500/75	700/130	900/160	1200/180	1500/180	1500/300
q_0（t/mm·h）	2.5	3.0	4.5	6.0	10.5	13.5

表 5－3　开路破碎时标准型、中型圆锥破碎机 q_0 值

破碎机规格（mm）	∅600	∅900	∅1200	∅1650	∅1750	∅2200
q_0（t/mm·h）	1.0	2.5	4.0～4.5	7.0～8.0	8.0～9.0	14.0～15.0

注：排矿口小时取大值，排矿口大时取小值。

表 5－4　开路破碎时短头型圆锥破碎机 q_0 值

破碎机规格（mm）	∅900	∅1200	∅1650	∅1750	∅2200
q_0（t/mm·h）	4.0	6.5	12.0	14.0	24.0

表 5－5　开路破碎时单缸液压圆锥破碎机 q_0 值

破碎机规格（mm）		∅900	∅1200	∅1650	∅1750	∅2200
q_0	标准型	2.52	4.6		8.15	16.0
（t/mm·h）	中　型	2.76	5.4		9.6	20.0
	短头型	4.25	6.7		14.0	25.0

e——破碎机排矿口宽度（mm）；

K_1——矿石可碎性系数（见表 5－6）；也可按下式校核。

$$K_1 = \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_S}\right)^{0.11} \tag{5-3}$$

σ_B——标准矿石的抗压强度，$\sigma_B = 160$（MPa）；

σ_S——设计矿石的抗压强度（MPa）。

K_2——矿石密度修正系数，按下式计算：

$$K_2 = \frac{\gamma}{1.6} \tag{5-4}$$

或

$$K_2 = \frac{\delta}{2.7} \tag{5-5}$$

γ——设计矿石的松散密度（t/m^3）；

δ——设计矿石的密度（t/m^3）。

表 5－6　矿石可碎性系数 K_1 值

矿石性质	极限抗压强度 [MPa（kgf/cm²）]	普氏硬度	K_1 值
硬	156.9～196.1（1600～2000）	16～20	0.9～0.95
中　硬	78.45～156.9（800～1600）	8～16	1.0
软	＜78.45（＜800）	＜8	1.1～1.2

表 5－7　粗碎设备的给矿粒度修正系数 K_3 值

给矿最大粒度 D_{max} 和给矿口宽度 B 之比 $\frac{D_{max}}{B}$	0.85	0.70	0.6	0.5	0.4	0.3
K_3	1.00	1.04	1.07	1.11	1.16	1.23

表 5－8　中碎与细碎圆锥破碎机破碎比修正系数 K_3 值

标准型或中型圆锥破碎机		短头型圆锥破碎机	
$\frac{e}{B}$	K_3	$\frac{e}{B}$	K_3
0.60	0.90～0.98	0.40	0.90～0.94
0.55	0.92～1.00	0.25	1.00～1.05
0.40	0.96～1.06	0.15	1.06～1.12
0.35	1.00～1.10	0.075	1.14～1.20

注：①e——开路破碎时，指上段破碎机排矿口宽度，B——指本段破碎机给矿口宽度；

闭路破碎时，$\frac{e}{B}$ 指闭路破碎机的排矿口宽度与给矿口宽度之比。

②设有预先筛分时，K_3 取小值，不设预先筛分时取大值。

K_3——给矿粒度修正系数（见表 5－7，表 5－8），表 5－7 的数据可由下式计算：

$$K_3 = \left(\frac{\alpha_\beta}{\alpha_s}\right)^{0.2} \tag{5-6}$$

α_β——标准条件下给矿最大粒度与粗碎机的给矿口宽度之比，$\alpha_\beta = 0.85$；

α_s——设计的给矿最大粒度与选用粗碎机的给矿口宽度之比。

公式（5－1）由于考虑了矿石性质、破碎机排矿口宽度、破碎比和流程结构等因素，因此，计算结果与实际情况相近。

（2）闭路破碎时，破碎机生产能力按下式计算：

$$Q' = KQ \tag{5-7}$$

式中　Q——开路破碎时，破碎机的生产能力（t/h）；

Q'——闭路破碎时，破碎机的生产能力（t/h）；

K——闭路破碎系数，$K = 1.15 \sim 1.4$，易碎性矿石取大值，难碎性矿石取小值。

2. 反击式破碎机生产能力的计算

$$Q = 60K_1c(h + e)bdn\gamma \tag{5-8}$$

或

$$Q = 3600\mu vle\gamma \tag{5-9}$$

式中 Q——生产能力（t/h）；

K_1——校正系数，一般取 0.1；

c——板锤个数；

b——板锤宽度（m）；

h——板锤高度（m）；

e——排矿口宽度（m）；

d——转子直径（m）；

n——转子转速（n/min）；

γ——矿石的松散密度（t/m^3）；

μ——矿石的充满系数 $\mu=0.2\sim0.7$；

v——打击板锤的线速度（m/s）；转子圆周速度范围为 12～70（m/s），一般取 15～45（m/s）；

l——转子长度（m）。

3. 光面辊式破碎机生产能力的计算

$$Q = 60\pi\mu ndle\gamma \tag{5-10}$$

或

$$Q = 3600\mu lev\gamma \tag{5-11}$$

式中 Q——生产能力（t/h）；

π——圆周率；

μ——破碎机排出口的充满系数，$\mu=0.2\sim0.4$，难碎性碎石、粗粒矿石取大值；

v——辊筒圆周速度（m/s）；

n、d、l、e、γ 意义同前。

4. 需要破碎机台数的计算

$$n = \frac{KQ_0}{Q} \tag{5-12}$$

式中 n——设计需要的破碎机台数（台）；

Q_0——需要破碎的矿量（t/h）；

Q——所选破碎机的生产能力（t/h·台）；

K——不均匀系数，$K=1.1\sim1.2$。

破碎机生产能力的计算，还有其他的计算方法，如欧美国家广泛采用的邦德（Bond）功指数计算法。

第三节　筛分设备的选择和计算

一、筛分设备的选择

选择筛分设备时，应考虑的主要因素有：

（1）被筛物料的特性。如筛分物料的粒度、筛下粒级的含量、物料的形状、密度、物料含水量和粘土含量等。

（2）筛分机的结构参数。如筛分机运动形式、振幅、振频、筛分机筛面倾角、筛网面积、筛网层数、筛孔形状和尺寸、筛孔面积率等。

(3) 筛分的工艺要求。如生产能力、筛分效率、筛分方法等。

1. 固定筛的选择

固定筛适用于大块物料的筛分。固定筛有格筛和条筛两种类型。

格筛用于原矿受矿仓和粗碎矿仓的上部，用作控制矿石粒度，一般为水平安装。条筛用于粗碎和中碎的预先筛分，倾斜安装，倾斜角一般为 40°～50°，含泥、含水量大时，应增大 5°～10°。条筛筛孔宽度为设计要求的筛下粒度的 1.1～1.2 倍，筛孔尺寸一般不小于 50mm。

固定筛的主要优点是：结构简单，坚固，不需要动力，价格便宜。缺点是：筛孔易堵塞，条筛需要高差大，筛分效率低，一般为 50%～60%。

2. 振动筛的选择

选矿厂常用的振动筛按其结构、作用原理分类，如表 5－9。

表 5－9 振动筛分类表

类　型	型　号	最大给矿粒度 (mm)	筛孔尺寸 (mm)	用　途
惯性振动筛	SZ	100	6～40	适用于中、细粒物料的分级与脱水
自定中心振动筛	SZZ	150	6～50	广泛用于中、细粒物料的筛分分级
重型振动筛	H	300	10～100	广泛用于大块物料的筛分分级
圆振动筛	YA	400	6～50 30～150	用于大块及中、细粒物料的筛分分级
单轴振动筛	ZD	100	6～50	适用于中、细粒物料的筛分分级
双轴振动筛	DS、ZSD	300	0.5～13 13～50	用于筛分大块及中、细粒物料
直线振动筛	ZKX、ZKB	30 300	0.15～13 3～80	适用于大块及中、细粒物料的筛分、脱水、脱泥及湿式筛分分级
共振筛	SZG	150	12～20	用于中、细粒物料的筛分分级
高频振动筛	—	—	—	用于细粒物料的筛分分级、脱水
电磁振动筛	—	—	5～60	用于筛分并可作给矿设备

惯性振动筛的型式有座式和吊式、单层筛和双层筛。它的振动器安装在筛箱上，皮带轮中心线随振动器的上下振动也产生空间运动。因此，惯性振动筛仅适于处理中、细粒物料，且要求均匀给矿。

自定中心振动筛克服了纯惯性振动筛皮带轮中心线在空间运动的缺点，其皮带轮中心线在空间能自定中心而保持不动，因而广泛用于大、中型选矿厂的中、细粒物料的筛分。它的优点是构造简单，操作调整方便；筛面振动强烈，物料不易堵塞筛孔；筛分效率高，一般在 85%以上。缺点是给矿量的波动影响振幅的变化，因而影响筛分效率；筛子在启动和停车过程中，经过共振状况时，振幅增大，对建筑物有影响。

重型振动筛结构坚固，能承受较大的冲击负荷，适于筛分密度大、大块度矿石，筛分物料尺寸可达 400mm。该机可代替易堵塞的条筛，作为中碎前的预先筛分，亦可作为大块矿石的洗矿设备，如果采用两层筛网，既可起到洗矿作用，减少粉矿对破碎作业的影响，又可筛出最终产物，提高破碎机的生产能力。

圆振动筛有轻型和重型、座式和吊式之分。该筛结构新颖，强度高，耐疲劳，寿命长，

维修简单，振动参数合理，噪音小，筛分效率高。可用于各种粒度物料的筛分。

直线振动筛的运动轨迹是直线，筛面水平安装，物料在筛面上的移动不依靠筛面的倾角，面取决于振动的方向角。该筛结构紧凑，强度高，耐疲劳，使用寿命长，维修方便，可靠性好。振动参数合理，振动平稳，噪音小，筛面各点运动轨迹相同，有利于物料的筛分、脱水、脱泥、脱介质。作为分级时，分级效率高于螺旋分级机。

二、筛分设备生产能力的计算

1. 固定筛

固定条筛的筛分面积，可按以下经验公式计算：

$$F = \frac{Q}{qa} \tag{5-13}$$

式中 F——条筛的筛分面积（m^2）；

Q——给入条筛的矿量（t/h）；

q——按给矿计的1mm筛孔宽的固定条筛单位面积生产能力（$t/m^2 \cdot h \cdot mm$）（见表5-10）；

a——条筛筛孔宽度（mm）。

表5-10 每1mm筛孔宽的固定条筛单位生产能力（$t/m^2 \cdot h$）

筛孔宽 a (mm) / q 值 ($t/m^2 \cdot h \cdot mm$)	25	50	75	100	125	150	200
筛分效率($E=70\%\sim75\%$)的 q 值	0.53	0.51	0.46	0.40	0.37	0.34	0.27
筛分效率($E=55\%\sim60\%$)的 q 值	1.16	1.02	0.92	0.80	0.74	0.68	0.54

注：q值是按矿石松散密度为1.6t/m^3计算出来的。

算出筛分面积后，确定筛子的宽度（B）和长度（L）。在设计中，固定条筛的宽度和长度常按实际经验确定，即：$B=(2.5\sim3)D_{max}$，[D_{max}——给矿中最大粒度（mm）] $L=(2\sim3)B$。在确定宽度和长度时，要注意兼顾给矿机和破碎机的受矿口宽度和配置情况。

2. 振动筛

影响振动筛生产能力的主要因素有：矿石粒度特性（如粗粒级含量、细粒级含量和难筛颗粒含量），矿石的形状、密度、湿度和粘土含量，要求的筛分效率，筛子面积，筛分机的工作参数，给矿的均匀性，筛面物料层厚度以及筛分方法等。

振动筛生产能力，通常按以下经验公式计算：

$$Q = \varphi K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 F \gamma q \tag{5-14}$$

式中 Q——振动筛的生产能力（t/台·h）；

φ——振动筛的有效筛分面积系数；单层筛或双层筛的上层筛面 $\varphi=0.8\sim0.9$；双层筛作单层筛使用时，下层筛面 $\varphi=0.6\sim0.7$；作双层筛使用时，下层筛面 $\varphi=0.65\sim0.7$；

F——振动筛几何面积（m^2/台）；

q——振动筛单位面积的平均容积生产能力，（$m^3/m^2 \cdot h$），见表5-11；

γ——筛分物料松散密度（t/m^3）；

K_1、K_2、K_3、K_4、K_5、K_6——修正系数，见表 5－12。

表 5－11　振动筛单位面积的平均容积生产能力 q 值

筛孔尺寸（mm）	0.15	0.2	0.3	0.5	0.8	1	2	3	4	5	6	8
q $(m^3/m^2 \cdot h)$	1.1	1.6	2.3	3.2	4.0	4.4	5.6	6.3	8.7	11.0	12.9	15.9
筛孔尺寸（mm）	10	12	14	16	20	25	30	40	50	60	80	100
q $(m^3/m^2 \cdot h)$	18.2	20.1	21.7	23.1	25.4	27.8	29.6	32.6	37.6	41.6	48.0	53.0

表 5－12　修正系数 K_1，K_2，K_3，K_4，K_5，K_6 值

修正系数	影响因数	筛分条件和各修正系数值									
K_1	细粒	给矿中小于筛孔之半的颗粒含量（%）	<10	10	20	30	40	50	60	70	80	90
		K_1 值	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
K_2	粗粒	给矿中过大颗粒（大于筛孔）的含量（%）	<10	10	20	30	40	50	60	70	80	90
		K_2 值	0.91	0.94	0.97	1.03	1.09	1.18	1.32	1.55	2.0	2.36
K_3	筛分效率	筛分效率（%）	40	50	60	70	80	90	92	94	95	98
		K_3 值	2.3	2.1	1.9	1.6	1.3	1.0	0.9	0.8	0.6	0.4
K_4	颗粒形状和矿石种类	颗粒形状	各种破碎后的物料（除煤外）			圆形颗粒（海砾石）			煤			
		K_4 值	1.0			1.25			1.5			
K_5	湿度	物料的湿度	筛孔小于 20mm						筛孔大于 25mm			
			干　的		湿　的		成　团		视湿度而定			
		K_5 值	1.0		0.75～0.85		0.2～0.6		0.9～1.0			
K_6	筛分方法	筛分方法	筛孔小于 25mm						筛孔大于 25mm			
			干　的			湿的（附有喷头）			任意的			
		K_6 值	1.0			1.25～1.40			1.0			

在工程设计中，常用公式 5－14 反过来计算需要的振动筛总几何面积。此时，式中的 Q 为给入振动筛的总矿量，F 为待计算的振动筛总几何面积。根据此式求出振动筛总几何面积，然后再确定振动筛的规格和台数。

双层筛的生产能力可按上层筛计算，需要的几何面积可按下层筛计算，然后取其大值选择筛分机。

第四节　磨矿设备的选择和计算

一、磨矿设备的分类和选择

磨矿机有四种类型：棒磨机、球磨机、自磨机和砾磨机。以钢棒为磨矿介质的叫棒磨机，以钢球为磨矿介质的叫球磨机，以矿石自身为磨矿介质的叫自磨机，以砾石为磨矿介质的叫砾磨机，球磨机是磨矿作业中应用最广泛的磨矿机。

1．棒磨机

棒磨机的磨矿介质与矿石呈线接触，因而具有一定的选择性磨碎作用，产品粒度均匀，过粉碎矿粒少。因此，常用于脆性矿石或需要进行选择性磨碎矿石的粗磨。在粗粒磨矿，产品粒度为 1～3mm 时，棒磨机生产能力大于同规格的球磨机；棒磨机的给矿粒度一般为 15～25mm；当棒磨机直径大于 2400mm 时，给矿粒度可达 40～50mm。

2．球磨机

球磨机有格子型球磨机和溢流型球磨机两种。格子型球磨机又分为短筒型和长筒型两类。短筒型用于粗磨，长筒型用于细磨。

格子型球磨机的排矿端设有格子板。它的矿浆液面低，能及时排出合格产品，减少了矿石的过粉碎；装球量大，且适于合理装球；磨矿效率高，单位生产能力比溢流型球磨机高 15%左右。缺点是构造复杂、格子板易磨损、重量大、价格较高。格子型球磨机磨矿产品粒度上限为 0.2～0.3mm，用于第一段磨矿，常与螺旋分级机构成闭路。

溢流型球磨机构造简单，易于维修，磨矿产品较细（一般小于 0.2mm），但是它的排矿液面高，矿浆在球磨机中停留时间长，单位容积生产能力低，排矿粒度不均匀，易产生过粉碎，适用于两段磨矿流程中的第二段磨矿和中间产品的再磨。

3．自磨机

自磨机有干式和湿式两种。干式自磨机适用于对物料干法加工或干式选矿工艺。干式自磨机的风力分级和除尘系统设备多，粉尘大，且选矿生产指标不佳。湿式自磨机的辅助设备少，粉尘少，物料输送方便，因此在大型选矿厂中，特别是黑色金属选矿厂中应用广泛。湿式自磨机通常采用筛分机、螺旋分级机或水力旋流器作分级设备。

在选用自磨机时，应对被磨矿石进行介质性能试验，评价被磨矿石充作磨矿介质的数量和质量，以证明被磨矿石用作自磨的可行性。

自磨机的给矿粒度一般为 200～400mm，经一次磨矿后，排矿粒度可小于几毫米以下。因此，破碎比大，能取代中、细碎及一段磨矿，简化碎磨流程，磨矿过程具有选择性碎磨作用，过粉碎矿粒少。磨矿中可补加少量钢球，用以消除“难磨粒子”。

4．砾磨机

砾磨机常用于第二段的细磨作业。磨矿介质主要用砾石场的卵石，也可以用破碎后的部分块状矿石，或自磨机中的“难磨粒子”。由于不用金属介质，降低了磨矿作业的钢耗，特别是对稀有金属矿选矿，减少了铁对选别过程的影响。其主要缺点是生产能力低。

二、磨矿设备生产能力的计算

磨矿设备生产能力的计算有容积法和功耗法两种。功耗法是英美等国采用的方法，其计

算步骤参阅《选矿设计手册》。容积法是我国广泛采用的方法，它用于球磨机和棒磨机生产能力的计算。此法是按磨矿机中新生成计算级别计的单位容积生产能力计算法。其计算步骤是：

（1）q 值的计算。设计磨矿机按新生成计算级别计的单位容积生产能力（q），一般取工业性试验或同类选矿厂的磨矿机实际生产指标 q_0，此时，$q \approx q_0$。若条件有差异，则须引入校正系数，按下式计算：

$$q = K_1 K_2 K_3 K_4 q_0 \tag{5-15}$$

式中 q——设计磨矿机按新生成计算级别（如 -0.074mm 粒级）计的单位容积生产能力（$t/m^3 \cdot h$）；

q_0——现厂生产磨矿机按新生成计算级别（-0.074mm 粒级）计的单位容积生产能力（$t/m^3 \cdot h$），按下式计算。

$$q_0 = \frac{Q'(\beta'_2 - \beta'_1)}{V'} \tag{5-16}$$

Q'——现厂生产磨矿机生产能力（t/h）；

β'_1——现厂生产磨矿机给矿中小于计算级别的含量（小数代入）；

β'_2——现厂生产磨矿机产品中小于计算级别的含量（小数代入）；

V'——现厂生产磨矿机的有效容积（m^3）；

K_1——被磨矿石的磨矿难易度系数，参考表 5-13 确定；

K_2——磨矿机直径校正系数，查表 5-15 确定，也可按下式计算：

$$K_2 = \left(\frac{D - 2b}{D' - 2b'}\right)^n \tag{5-17}$$

D'——现厂生产磨矿机直径（m）；

D——设计磨矿机直径（m）；

b'——现厂生产磨矿机衬板厚度（m）；

b——设计磨矿机的衬板厚度（m）；

n——可变指数，n 值与磨矿机直径、型式的关系，查表 5-14；

K_3——设计磨矿机的型式校正系数，查表 5-16；

K_4——设计与现厂生产磨矿机给矿粒度、产品粒度差异系数，可近似按下式计算：

$$K_4 = \frac{m}{m'} \tag{5-18}$$

式中 m—— 设计磨矿机按新生成计算级别计的不同给矿粒度、产品粒度条件下的相对生产能力，查表 5-17；

m'—— 现厂生产磨矿机按新生成计算级别计的不同给矿粒度条件下的相对生产能力，查表 5-17。

（2）磨矿机生产能力计算。

$$Q = \frac{qV}{\beta_2 - \beta_1} \tag{5-19}$$

式中 Q——设计磨矿机的生产能力（不包括闭路磨矿的返砂量）（t/台·h）；

V——设计磨矿机的有效容积（m^3）；

q——设计磨矿机按新生成计算级别计的单位容积生产能力（$t/m^3 \cdot h$）；

β_1——设计磨矿机给矿中小于计算级别的含量（小数代入）；若无生产资料参考，β_1可参照表 4－8 取值；

β_2——设计磨矿机排矿中小于计算级别的含量，即要求的磨矿细度（小数代入），由选矿试验决定。

表 5－13　矿石的磨矿难易度系数 K_1

矿石性质	普氏硬度	K_1 值
易碎性矿石	5 以下	1.25～1.4
中等可碎性矿石	5～10	1.0
难碎性矿石	10 以上	0.85～0.7

表 5－16　磨矿机的型式校正系数 K_3[①]

磨矿机型式	格子型球磨机	溢流型球磨机	棒磨机
K_3	1.0	0.9～0.85	1.0～0.85

注：①当磨矿机产品粒度大于 0.3mm 时，取大值，反之，取小值。

表 5－14　n 值与磨矿机直径及型式的关系

磨矿机直径 D　(m)	n 值	
	球磨机	棒磨机
2.7	0.5	0.53
3.3	0.5	0.53
3.6	0.5	0.53
4.0	0.5	0.53
4.5	0.46	0.49
5.5	0.41	0.49

表 5－15　磨矿机直径校正系数 K_2 值

K_2 值　D (mm) / D' (mm)	900	1200	1500	2100	2700	3200	3600	4000	4500
900	1.00	1.19	1.34	1.66	1.85	2.07	2.10	2.26	2.41
1200	0.84	1.00	1.14	1.40	1.63	1.74	1.76	1.91	2.04
1500	0.74	0.87	1.00	1.22	1.45	1.52	1.55	1.69	1.80
2100	0.60	0.71	0.81	1.00	1.17	1.25	1.30	1.41	1.49
2700	0.51	0.61	0.70	0.85	1.00	1.09	1.17	1.23	1.30
3200	0.47	0.57	0.64	0.80	0.92	1.00	1.07	1.12	1.19
3600	0.46	0.55	0.62	0.76	0.86	0.94	1.00	1.06	1.12
4000	0.44	0.52	0.59	0.71	0.81	0.89	0.95	1.00	1.06
4500	0.42	0.49	0.56	0.67	0.77	0.84	0.89	0.93	1.00

（3）磨矿机台数的计算。

$$n = \frac{Q_0}{Q} \tag{5-20}$$

式中　n——设计磨矿机需要的台数（台）；

Q_0——设计流程中需要磨矿的矿量（t/ h）；

Q——设计磨矿机的生产能力（t/台·h）。

（4）磨矿机负荷系数（η）的计算。

$$\eta = \frac{Q_0}{nQ} \times 100\% \tag{5-21}$$

式中符号同前。

表 5－17　不同给矿和排矿粒度条件下的相对生产能力 m、m' 值

给矿粒度 (mm)	产品粒度，(mm)						
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.15	0.10	0.074
	产品中小于 0.074mm 粒级含量（%）						
	30	40	48	60	72	85	95
40～0	0.68	0.77	0.81	0.83	0.81	0.80	0.78
30～0	0.74	0.83	0.86	0.87	0.85	0.83	0.80
20～0	0.81	0.89	0.92	0.92	0.88	0.86	0.82
10～0	0.95	1.02	1.03	1.00	0.93	0.90	0.85
5～0	1.11	1.15	1.13	1.05	0.95	0.91	0.85
3～0	1.17	1.19	1.16	1.06	0.95	0.91	0.85

三、再磨机生产能力的计算

选矿厂常处理一些细粒或微细粒浸染状矿石，经粗选后得到的混合精矿或中矿需要再磨再选，一般需要再磨到小于 0.043mm，矿物才可能单体解离。再磨机生产能力的计算，目前尚无成熟的完善方法。因此，设计中要按实际生产资料或试验资料确定，如无此类资料，可参考下式计算再磨机容积。

$$V_b = r_b\ (V_2 - V_1) \tag{5-22}$$

式中　V_b——再磨所需要的磨矿机容积（m^3）；

V_1——把原矿全部磨到再磨前的磨矿产品粒度时需要的磨矿机容积（m^3）；

V_2——把原矿全部磨到再磨后的磨矿产品粒度时需要的磨矿机容积（m^3）；

r_b——再磨的矿石量占原矿量的重量百分率，即再磨给矿产率（小数代入）。

再磨机的计算基础是假定再磨的矿石与原矿的可磨性相同，然而，实际上其可磨性是有差异的，所以这种计算仅为近似计算。当再磨的 r_b 很大时，计算结果与实际情况误差较小；当再磨的 r_b 不大时，则计算结果误差较大。

四、两段磨矿机生产能力的计算

采用两段磨矿时，由于各段磨矿机被磨物料的可磨性有明显的差异，目前尚无适当的方法进行准确的计算，但可近似地用一次计算法计算磨矿机的总容积，也可用分段计算法计算每段磨矿机的容积。

1．一次计算法

一次计算法适用于第一段磨矿产品粒度无特定要求的两段连续磨矿作业。计算步骤是，首先计算两段磨矿所需的总容积，然后是两段磨矿机的容积分配，最后计算每段磨矿机所需台数和规格。

$$V_\Sigma = \frac{Q\ (\beta_3 - \beta_1)}{q} \tag{5-23}$$

式中 V_Σ——两段磨矿所需的磨矿机总容积（m^3）；

Q——设计流程中磨矿作业的给矿量（t/h）；

β_1——第一段磨矿给矿中小于计算级别的含量（小数代入）；

β_3——第二段磨矿产品中小于计算级别的含量（小数代入）；

q——设计磨矿机按新生成计算级别计的单位容积生产能力，按公式（5－15 计算）（$t/m^3 \cdot h$）。

当两段磨矿中第一段为开路磨矿，第二段为闭路磨矿时，两段的容积分配比为：

$$\frac{V_2}{V_1} = 2 \sim 3 \tag{5-24}$$

式中 V_1、V_2——分别为设计的第一段和第二段磨矿机所需要的有效容积（m^3）；

当两段磨矿全为闭路时，两段磨机的容积相同，即：

$$V_1 = V_2 = \frac{V_\Sigma}{2} \tag{5-25}$$

当第一段磨矿机为格子型，第二段磨矿机为溢流型时，两段容积分配关系为：

$$V_\Sigma = V_1 K \left(\frac{D_1 - 0.15}{D_2 - 0.15}\right)^{0.5} + V_2 \tag{5-26}$$

式中 D_1、D_2——分别为选用的第一段和第二段磨矿机的有效直径（m）；

K——磨矿机型式差别系数，将第一段格子型磨矿机折算为溢流型磨矿机时，$K = 1.10 \sim 1.15$。

当第一段为开路棒磨，第二段为闭路球磨时，两段磨机容积比为：

$$\frac{V_2}{V_1} \geqslant 1.5 \sim 2.0 \tag{5-27}$$

在一定范围内，V_2/V_1 的比值愈大，磨矿机组的工作效率愈高，同时，棒磨机的生产能力也相应增加。但应注意，棒磨机的极限生产能力一般为 $8 \sim 10 t/m^3 \cdot h$。

根据上述所得的 V_1 和 V_2 即可得第一段和第二段磨矿机所需台数：

$$n_1 = \frac{V_1}{V'_1} \qquad n_2 = \frac{V_2}{V'_2} \tag{5-28}$$

式中 n_1、n_2——分别选用的第一段和第二段磨矿机所需台数（台）；

V'_1、V'_2——分别为选用的第一段和第二段磨矿机单台有效容积（m^3）。

为了控制两段磨矿机负荷均衡和粒度的不均匀性，往往需要计算出第一段磨矿产品的粒度（即计算级别含量）。

$$\beta_2 = \beta_1 + \frac{\beta_3 - \beta_1}{1 + Km} \tag{5-29}$$

式中 β_1——第一段磨矿机给矿中小于计算级别的含量（%）；

β_2——第一段磨矿机排矿中小于计算级别的含量（%）；

β_3——第二段磨矿机排矿中小于计算级别的含量（%）；

K——两段磨矿机单位容积生产能力比值，粗略计算时，$K = 0.80 \sim 0.85$；

m—— 两段磨矿机容积之比，两段均为闭路，$m = 1$；当第一段为开路，第二段为闭路时，$m = 2 \sim 3$。

2. 分段计算法

分段计算法适用于矿石泥化度较高，选别作业对第一段磨矿产品粒度有特定要求的两段磨矿流程。计算步骤首先通过试验或参考类似选矿厂的生产指标分别确定各段磨矿按新生成计算级别计的单位容积生产能力 q_1 和 q_2，以及各段磨矿产品中小于计算级别的含量 β_2 和 β_3，然后按设计流程中磨矿机的给矿量 Q 计算各段磨矿机的有效容积，并确定各段磨矿机的台数。

$$V_1 = \frac{Q\ (\beta_2 - \beta_1)}{q_1} \tag{5-30}$$

$$V_2 = \frac{Q\ (\beta_3 - \beta_2)}{q_2} \tag{5-31}$$

式中 q_1、q_2——分别第一段、第二段磨矿机按新生成计算级别计的单位容积生产能力，按公式（5－15 计算）（$t/m^3 \cdot h$）；

其他符号同前。

根据 V_1 和 V_2，选择和计算各段所需磨矿机的台数。

五、自磨机生产能力的计算

自磨机的生产能力与被处理矿石性质、产品粒度和磨矿操作条件等因素有关。生产能力一般是根据半工业试验为基础确定。根据试验用自磨机和设计拟用自磨机的直径和长度差异对比，求出设计用单台自磨机的生产能力。

$$Q_d = Q_r\ (\frac{D_d}{D_r})^n \frac{L_d}{L_r} \tag{5-32}$$

式中 Q_d——设计拟选用自磨机的生产能力（t/h）；

Q_r——试验用自磨机的生产能力（t/h）；

D_d、L_d——设计拟选用自磨机的筒体直径和长度（m）；

D_r、L_r——试验用自磨机的筒体直径及长度（m）；

n——放大系数，湿磨时，$n=2.6$；干磨时，$n=2.5\sim3.1$，粗磨时取大值，细磨取小值。

国外在使用这种方法时，为了更准确地确定自磨机的生产能力，对放大系数 n，通过试验数据推算出来，并对筒体长度比也设置放大系数，同时，为了修正磨矿条件的影响，计算时引入了磨矿条件（给矿粒度、产品粒度、矿石密度、磨机转数、充填率、矿石含水量及矿浆浓度等）修正系数。

六、砾磨机生产能力的计算

砾磨机生产能力常用比较法计算。比较法的基础是假定砾磨机的磨矿效率与球磨机相似，而用球磨机的生产能力以适当的比例系数推算砾磨机的生产能力：

$$Q_p = K_p Q_b \tag{5-33}$$

式中 Q_p——砾磨机的生产能力（t/台·h）；

Q_b——球磨机的生产能力（t/台·h）；

K_p——比例系数，即砾磨机与球磨机生产能力之比；

$$K_p = \frac{\delta_p L_p}{\delta_b L_b}\left(\frac{D_p}{D_b}\right)^n \tag{5-34}$$

式中 L_p、D_p——分别为砾磨机的筒体长度和直径（m）；

L_b、D_b——分别为球磨机的筒体长度和直径（m）；

n——指数、$n=2.5-2.6$

δ_p——砾磨机介质密度，一般 $\delta_p=2.6\sim4$ (t/m^3)；

δ_b——球磨机介质密度，$\delta_p=7.8$ (t/m^3)。

第五节　分级设备的选择和计算

一、分级设备的选择

1. 螺旋分级机

螺旋分级机主要用于选矿厂磨矿回路中的预先分级和检查分级，也可以用作洗矿和脱泥作业。优点是，设备构造简单，工作可靠，操作方便，能与大型磨矿机自流联结构成闭路。但分级效率较低，在细粒分级时，溢流浓度太低，不利于后续的选别作业。

螺旋分级机有高堰式（含单、双螺旋）和沉没式（含单、双螺旋）两种。高堰式螺旋分级适用于粗粒分级，分级溢流粒度一般大于 0.15mm。沉没式螺旋分级机适用于细粒分级，分级溢流粒度小于 0.15mm。

2. 水力旋流器

水力旋流器可单独用于磨矿回路的分级作业，也可与机械分级机联合作控制分级，还常用于选矿厂的脱泥、脱水作业以及用作离心选矿的重选设备——重介质水力旋流器。水力旋流器在分级细粒物料时，分级效率比螺旋分级机高。它结构简单，造价低，生产能力大，占地面积小，设备本身无运动部件，容易维护，但若采用砂泵给矿时，需较大的功率。

水力旋流器的分离粒度为 0.3～0.01mm，给矿方式多采用恒压给矿，也有采用变速泵将矿浆直接给入旋流器。水力旋流器的进口压力通常为 0.05～0.16MPa。

选择水力旋流器的规格取决于需要处理的矿量及要求的溢流粒度。当处理量大，要求溢流粒度较粗时，应选择大规格旋流器；反之选择小规格旋流器。当处理量大，要求溢流粒度很细时，则采用小规格水力旋流器组。

3. 细筛

细筛是最近才发展起来用作细粒物料分级的设备。筛孔一般小于 1mm，分级效率比螺旋分级机高得多。细筛有固定细筛、机械振动细筛和旋流细筛三大类，固定细筛生产能力小，筛分效率低（一般为 25%～40%）。机械振动细筛的单位面积生产能力比固定细筛高 3～3.5 倍，分级效率高 1 倍。旋流细筛是在旋流器内安装一筒形筛网，因此兼有水力旋流器和弧形筛两者的优点。分级效率可达 65%～87%，生产能力是水力旋流器的 2 倍多，沉砂中夹杂细粒含量比水力旋流器低，浓度大。

二、分级设备生产能力的计算

1. 螺旋分级机

计算螺旋分级机的生产能力与分级机的规格、安装坡度、溢流粒度及组成、溢流浓度、

矿石密度和矿浆粘度等因素有关。

按溢流中固体重量计的处理量，求出螺旋直径，则：

①高堰式螺旋分级机。

$$D = -0.08 + 0.103\sqrt{\frac{Q}{mK_1K_2}} \tag{5-35}$$

②沉没式螺旋分级机。

$$D = -0.07 + 0.115\sqrt{\frac{Q}{mK_1K'_2}} \tag{5-36}$$

式中 Q——按溢流中固体重量计的处理量（其值等于与该分级机成闭路的磨矿机的给矿量）（t/d）；

m——分级机螺旋个数；

K_1——矿石密度校正系数，按下式计算：

$$K_1 = 1 + 0.5\ (\delta_2 - \delta_1) \tag{5-37}$$

式中 δ_2——设计的矿石密度（t/m^3）；

δ_1——标准矿石密度，一般取 2.7（t/m^3）；

K_2、K'_2——分级粒度校正系数，见表 5－18；

D——分级机螺旋直径（m）。

按上述方法求出螺旋直径后，还需要验算按返砂中固体重量计的处理量是否满足设计要求，否则改变螺旋转数或磨矿机循环负荷 C。计算式为：

$$Q_1 = 135mK_1nD^3 \tag{5-38}$$

式中 Q_1——按返砂中固体重量计的螺旋分级机处理量（t/d）；

n——螺旋转数（r/min）；

其他符号同上。

表 5－18 分级粒度校正系数 K_2、K'_2 值

分级溢流粒度（mm）	1.17	0.83	0.59	0.42	0.30	0.20	0.15	0.10	0.074	0.061	0.053	0.044
K_2	2.50	2.37	2.19	1.96	1.7	1.41	1.00	0.67	0.46			
K'_2						3.00	2.30	1.61	1.00	0.72	0.55	0.36

2. 水力旋流器

（1）初步确定水力旋流器直径 D。根据溢流中最大粒度和处理量，按表 5－19 初步确定水力旋流器的直径 D。

（2）根据确定的水力旋流器直径 D，按下面经验公式，计算给矿口直径 d_n、溢流口直径 d_c 和沉砂口直径 d_h。

$d_n = (0.15 \sim 0.25)\ D$；　$d_c = (0.2 \sim 0.3)\ D$；　$d_h = (0.07 \sim 0.10)\ D$。

一般 $d_h/d_c = 0.3 \sim 0.5$ 时，水力旋流器分级效率较高。

（3）确定给矿压力 P。水力旋流器进口压力通常在 0.05～0.16MPa。大规格旋流器选用小压力值；小规格旋流器选用较大的压力值。一般进口压力与分离粒度的关系，见表 5－20。

水力旋流器的分离粒度，可通过要求的溢流粒度（即溢流中最大粒度）按下式反算。水力旋流器的溢流粒度一般为0.3～0.1mm，溢流粒度比分离粒度大0.5～1倍，即：

$$d_{max} \approx (1.5 \sim 2.0)\ d \tag{5-39}$$

式中 d_{max}——溢流粒度（μm）；

d——分离粒度（μm）。

表5-19 水力旋流器主要技术参数

水力旋流器直径 D (mm)	锥角 α (°)	处理量 V (m^3/h) ($P_0=0.1MPa$)	溢流粒度 (μm) ($\delta=2.7t/m^3$)	给矿管直径 d_n (cm)	溢流管直径 d_c (cm)	沉砂口直径 d_h (cm)
25	10	0.45～0.9	8	0.6	0.7	0.4～0.8
50	10	1.8～3.6	10	1.2	0.13	0.6～1.2
75	10	3～10	10～20	1.7	2.2	0.8～1.7
150	10，20	12～30	20～50	3.2～4.0	4～5	1.2～3.4
250	20	27～70	30～100	6.5	8	2.4～7.5
360	20	50～130	40～150	9.0	11.5	3.4～9.6
500	20	100～260	50～200	13	16	4.8～15
710	20	200～460	60～250	15	20	4.8～20
1000	20	360～900	70～280	21	25	7.5～25
1400	20	700～1800	80～300	30	38	15～36
2000	20	1100～3600	90～330	42	52	25～50

表5-20 进口计示压力与分离粒度一般关系表

进口压力 P (MPa)	0.03	0.05	0.04～0.08	0.05～0.10	0.06～0.12	0.08～0.14	0.10～0.15	0.12～0.16	0.15～0.20	0.20～0.25
分离粒度 (d) (mm)	0.59	0.42	0.30	0.21	0.15	0.10	0.074	0.037	0.019	0.010

（4）验证溢流粒度。根据上述确定的技术参数，按下式验证溢流粒度，其值应小于或接近设计要求。否则应调整参数（如 d_c、d_h、P 等）重新计算。

$$d_{max} = 1.5\sqrt{\frac{Dd_c\beta}{d_h K_D P^{0.5}\ (\delta - \delta_0)}} \tag{5-40}$$

式中 β——给矿中固体含量（%）；

d_c——水力旋流器溢流口直径（cm）；

d_h——水力旋流器沉砂口直径（cm）；

D——水力旋流器直径（cm）；

P——水力旋流器进口压力（MPa）；

δ——矿石密度（t/m^3）；

δ_0——水的密度（t/m^3）；

K_D——水力旋流器直径修正系数。

$$K_D = 0.8 + \frac{1.2}{1 + 0.1D} \tag{5-41}$$

（5）计算水力旋流器处理量。通过得出的各参数，按下式计算出一台水力旋流器的处理量。

$$V = 3K_\alpha K_D d_n d_i \sqrt{P} \tag{5-42}$$

式中 V——按给矿矿浆体积计的处理量（$m^3/h\cdot$台）；

d_n——水力旋流器给矿口直径（cm）；

K_α——锥角修正系数。

$$K_\alpha = 0.799 + \frac{0.044}{0.0397 + \mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}} \tag{5-43}$$

式中 α——水力旋流器锥角（°）；

其他符号同前。

（6）计算水力旋流器所需台数。

$$n = \frac{V_0}{V} \tag{5-44}$$

式中 V_0——按给矿矿浆体积计的设计处理量（m^3/h）。

第六节 浮选设备的选择和计算

一、浮选机的类型

生产中使用的浮选机按充气及搅拌方式分为3种类型：机械搅拌式浮选机、充气机械搅拌式浮选机和充气式浮选机。

1. 机械搅拌式浮选机

这类浮选机靠机械搅拌器来实现矿浆的充气（自吸气）和搅拌。搅拌器结构有离心式叶轮、棒型轮、星形轮和笼型转子。这类浮选机的优点是通过转子高速旋转，在高速搅拌区内形成负压，导致自吸空气和矿浆。因此，不需要外加充气装置；中矿返回时易实现自流；设备配置整齐，操作方便。缺点是充气量小，能耗高，磨损较大。这类浮选机主要有：

（1）XJ型浮选机。俗称“A”型浮选机。目前国内应用较广。它的叶轮为辐射状，空气弥散不充分，泡沫稳定性差，易产生“翻花”现象，不利于实现液面自动控制。浮选槽为间隔式，矿浆流速受闸门限制，流速减低，浮选速度较慢，密度大或粒度粗的矿粒易于沉淀。充气量不易调节，难以适应矿石性质的变化。大型浮选厂的粗、扫选作业应尽量避免使用这种浮选机，对于大型浮选厂的精选作业以及某些易浮矿物要求充气量不大的中、小型浮选厂可考虑选用。

（2）JJF型和XJQ型浮选机。这两种浮选机分为深槽型和浅槽型两种。矿浆在槽内下部

形成大循环并有自吸能力。与 XJ 型浮选机比较，叶轮直径小，转速低，安装深度浅，电耗低。叶轮和定子间隙较大，磨损小。吸气量大并可在一定范围内（0.1～1$m^3/m^2 \cdot min$）调整充气量。槽体下部设有假衬和导流管，可引导矿浆以固定路线进行大循环，使气泡充分弥散。矿浆液面稳定，便于自动控制。缺点是不能自吸矿浆。该浮选机适于大、中型浮选厂粗、扫选作业。

（3）SF 浮选机。这种浮选机具有带后倾式双面叶片，槽内矿浆形成双循环。比 XJ 型浮选机吸气量大，功耗低，叶轮转速低，叶轮与盖板磨损小。如果将 SF 型与 JJF 型组成联合机组，前者作为首槽，可自吸矿浆，后者作为直流槽，则可发挥各自优点，提高选别指标。

（4）棒型浮选机。这是一种浅槽式浮选机，棒式叶轮的旋转搅拌矿浆并吸入空气，矿浆的吸入由吸浆轮来实现。该机搅拌力强，充气量大，一般为 1～1.2$m^3/m^2 \cdot min$。矿浆运动轨迹呈 W 型，气泡弥散度高，浮选速度快。结构简单，操作方便，耗电量小。该机适于中、小型选矿厂处理粗粒易选矿石。

（5）环射式浮选机。该机的特点是采用特殊旋转叶轮，甩出的环状矿浆流从叶轮下部中心吸空气，因而具有二次吸气作用，增加了矿浆循环量及混气面积，该机设备结构简单，搅拌力强，浮选速度快，单位容积处理量大。

某矿采用该机与 XJ－11 型浮选机对比，精矿品位提高 1％以上，浮选时间仅为 XJ－11 型浮选机的 30％～60％。

近年来，国外也出现了一些结构完善，性能良好的浮选机，如美国的维姆科（Wemco）浮选机，布斯（Booth）浮选机，德国的洪堡－韦达格（Humblddt－Wedag）浮选机和克努伯（Krupp）浮选机，设计时可参阅有关文献。

2．充气机械搅拌式浮选机

这类浮选机靠搅拌器旋转来搅拌矿浆，充气则另设压风装置。其主要优点是，充气量大，空气量可调节，磨损小，电耗低，但浮选槽无吸气吸浆能力，需增设压风机及矿浆返回泵，设备配置不方便。这类浮选机主要有：

（1）CHF－X 型和 XJC 型浮选机。这两种浮选机采用了锥形循环装置，矿浆垂直向上进行大循环，使浮选槽下部搅拌力强，适合于要求充气量大、矿石性质复杂、密度大、粗粒难选矿石的浮选，浮选效果优于“XJ”型浮选机。适用于大、中型浮选厂粗、扫选作业。

（2）KYF－16 型浮选机。该机槽体容积为 16m^3，槽体断面呈“U”型；叶轮为高比转速离心泵轮型式，呈倒锥台形，带有后向叶片，叶轮中部设有空气分散器并通过中空轴充气，叶轮直径小，转速低，叶轮周围装有辐射板式定子。该机结构简单，设备重量轻，维护方便，磨损件少，使用寿命长，功耗极低（与 XJ－28 型浮选机比较，可节省 35％），液面平稳，易子操作，选矿效率高，用子大、中型有色、黑色及非金属选矿厂的粗粒矿物的粗、扫选作业。

某矿对该机与改造型 XJ－28 型浮选机进行对比试验，浮选精矿品位提高 0.26％，回收率提高 0.97％，节省电力 42.97％，叶轮和定子寿命延长 1 倍，易磨件节省 78.12％，占地面积节省 44.50％。

（3）XJCQ－80 型浮选机。该机槽体容积为 8m^3，其特点是充气装置采用橡胶充气环，可产生很小的气泡，气泡弥散均匀，有利于浮选。JC 公司用该机与 XJ－58 型浮选机比较，精矿品位提高 0.40％，回收率提高 3.88％，功耗约降低 20％。

3. 充气式浮选机

这类浮选机的特点是结构简单，无机械搅拌和传动装置，矿浆充气由外部压缩空气经充气器完成，如浮选柱。其中，充气器的工作性能直接影响充气量和气泡的弥散程度以及浮选柱工作效率。充气器的结构型式有炉条式、竖管式、床石式、旋流式和水气喷射式等。其材质有帆布管、橡胶管和微孔塑管等，充气式浮选机的缺点是，当使用石灰作调整剂的高碱度矿浆中，结钙物易堵塞充气孔，影响选别指标。由于无机械搅拌装置，高浓度、密度大的粗粒矿石难以上浮，选别效果较差。目前国内采用浮选柱选矿厂多为矿物组成简单的细粒高品位易浮硫化矿。

二、浮选机的选择

浮选设备类型、规格的选择与原矿性质（矿石密度、粒度、品位、含泥量和可浮性等）、设备性能、选矿厂规模、流程结构、浮选系列等因素有关。

1. 矿石性质的影响

对密度大的粗粒矿石，为减少矿粒沉积，宜采用高浓度浮选方法，应选用强机械搅拌式浮选机。如：CHF－X 型、XJC 型和 KYF－16 型以及棒型和环射式浮选机。浮选氧化矿宜选用高搅拌强度，低充气量浮选机。低速充气过程对选别低品位硫化矿较为有利，不宜选用高充气量的浮选机。对于易产生粘性泡沫的矿石，则应选用高充气量的浮选机。如，XJCQ－80 型等充气机械搅拌式浮选机。精选作业旨在提高精矿品位，泡沫层应薄一些。因此，不宜选用大充气量浮选机，应选用自吸气机械搅拌式浮选机。

2. 浮选机规格的影响

为使矿物得到充分地选别，必须保证矿浆在浮选槽内有一定的停留时间，否则，会出现“短路”现象。所谓“短路”，即指有用矿物通过浮选槽的时间小于其上浮时间，未及时分选就被排出。因此浮选机的规格必须与选矿厂的规模相适应。大型浮选机（如 $10m^3$ 以上）电耗比一般浮选机节约 40%，占地面积减少 30%～35%，节约安装费 40%左右。所以大型选矿厂采用大型浮选机较为有利。

三、浮选机的计算

1. 浮选时间的确定

浮选时间以有用矿物得以充分选别为基础来确定。通常根据选矿试验结果，再参照类似矿石选矿生产实际确定浮选时间，试验的浮选时间比工业生产的浮选时间短些。因此，设计中应考虑修正系数 K_t：

$$t = K_t t_0 \tag{5-45}$$

式中 t——设计浮选时间（min）；

t_0——试验浮选时间（min）；

K_t——浮选时间修正系数，$K_t = 1.5 \sim 2.0$。

如果设计的浮选机充气量与试验用浮选机充气量不同，应按下述计算公式调整：

$$t = t_0 \sqrt{\frac{q_0}{q}} + \Delta t \tag{5-46}$$

式中 q_0—— 试验室浮选机充气量（$m^3/m^2 \cdot min$）；

q——设计浮选机充气量（$m^3/m^2 \cdot min$）；

Δt——根据生产实践增加的浮选时间，或 $\Delta t = 0.5K_t t_0$（min）；

其他符号同前。

2、浮选机槽数计算

浮选机槽数有两种计算方法：一种是先计算后分系列，即先计算粗选、扫选和精选等各作业的矿浆体积和浮选机槽数，然后根据磨矿系列再分成若干浮选系列；一种是先分系列后计算，即根据磨矿系列先分成若干浮选系列，然后再分别计算各浮选系列粗选、扫选、精选等各作业的矿浆体积和浮选机槽数。两种方法无利弊之分，而且步骤完全一样。下面介绍前一种计算方法。

（1）浮选矿浆体积计算：

$$V = \frac{K_1 Q\ (R + \frac{1}{\delta})}{60} \tag{5-47}$$

式中 V——进入作业（如粗选）的矿浆体积（m^3/min）；

Q——进入作业的矿石量（t/h）。

R——矿浆液固比；

δ——矿石密度（t/m^3）；

K_1——给矿不均匀系数，当浮选前为球磨时，$K_1 = 1.0$；当浮选前为湿式自磨时，$K = 1.3$。

（2）浮选机槽数计算

$$n = \frac{V_t}{K_v V_0} \tag{5-48}$$

其中 V_0——所选浮选机的几何容积（m^3）；

n——作业所选浮选机槽数；

K_v——浮选机有效容积与几何容积之比，机械搅拌式浮选机 $K_v = 0.75 \sim 0.85$；

t——作业浮选时间（min）；

其他符号同前。

各作业浮选机槽数确定以后，再考虑浮选系列数，浮选系列数最好与磨矿系列数一致，两者系列数相同，便于技术考查和操作管理，有利于各系列浮选机轮换检修。各系列的粗、扫选作业槽数各自不应少于 4 槽，以免矿浆产生“短路”现象。

四、搅拌槽的选择和计算

搅拌槽有药剂搅拌槽和矿浆搅拌槽两种。药剂搅拌槽用于药剂制备作业，搅拌槽容积按药剂制备作业制度选定。矿浆搅拌槽用于浮选作业前，使矿浆与药剂充分混合，矿浆搅拌槽分压入式和提升式两种，提升式除具有搅拌作用外还有提升矿浆（吸浆）作用。

搅拌槽容积按下式计算：

$$V = \frac{K_1 Q\ (R + \frac{1}{\delta})\ t}{60} \tag{5-49}$$

式中 V——所需搅拌槽的容积（m^3）；

K_1—— 给矿不均匀系数，该作业前为球磨机时，$K_1 = 1.0$；为自磨机时，$K_1 = 1.3$；

Q——进入搅拌槽的矿石量（t/h）；

t——搅拌时间（min），由试验确定，一般 $t=5\sim10$min；

其他符号同前。

第七节　重选设备的选择和计算

重选设备是依据有用矿物与脉石矿物密度差异分选的设备。除矿物的密度差异以外，矿物的粒度大小、形状和介质的性质对分选效果也有较大影响。各类重选设备的分选粒度范围及应用特点，见表 5－21。

一、重介质选矿设备

重介质选矿的目的是，在碎磨过程中预选丢弃废石（或尾矿），以提高入选品位。重介质选矿设备有静态式和动态式两类。静态式有圆锥形分选机、鼓形分选机、还有角锥形分选机、浅槽分选机和圆筒分选机。动态式有重介质振动溜槽、重介质旋流器和重介质涡流分选器。重介质选矿设备的生产能力大、分选粒度粗、对给矿量变化的适应性强、选别精度高、选矿成本低。但入选前需洗矿或筛出细粒，需配置介质制备和净化回收系统。

表 5－21　金属矿山主要重选设备的应用特点及分选粒度范围

设备类型			分选粒度（mm）			应用特点
			一般	最大	最小	
粗粒重选设备	重介质选矿设备	振动溜槽	75～6	100	3	分选粒度粗，生产能力大，分选精度高，适于预选贫化率高的矿石。介质制备及其回收工艺系统复杂。
		鼓形分选机	100～6	300	5	
		圆锥形分选机	50～6	75	1.5	
		涡流分选机	35～2	75	0.5	
		重介质旋流器	20－2	35	0.5	
	矩形大粒跳汰机		50～10	70	0.074	分选精度较差，生产能力较大，工艺过程简单。分选精度不如重介质选矿。
中粒重选设备	跳汰机	旁动隔膜跳汰机	12～0.1	18	0.074	生产能力较大，富集比高，可用于粗选及精选作业。
		侧动隔膜矩形跳汰机	12～0.1	18	0.074	
		复振跳汰机	12～0.1	18	0.074	
		圆形跳汰机	12～0.1	18	0.074	
		下动圆锥跳汰机	6～0.1	20	0.052	
		广东 I 型跳汰机	6～0.1	10	0.074	
		梯形跳汰机	－0.074	10	0.037	
	柏　浮		5～0.2	6	0.074	能分离出粗粒硫化矿物，产品多、分选效率高，生产能力小。

续上表

设备类型		分选粒度（mm）			应用特点
		一般	最大	最小	
砂矿重选设备	摇　床	2～0.037	3	0.02	生产能力小，富集比高，可得多种产品，多用于精选。
	螺旋选矿机 螺旋溜槽 扇形溜槽	2～0.1 0.6～0.05 1.5～0.074	3 1.5 2	0.074 0.037 0.037	生产能力较摇床大，省水省电，结构简单，富集比低，用于粗选作业。
	圆锥溜槽	1.5～0.074	2	0.037	生产能力大，省水电，占地面积小，富集比低，用于粗选作业。
矿泥重选设备	离心选矿机	0.074～0.01			生产能力大，富集比低，用于矿泥粗选作业。
	各种皮带溜槽	0.074～0.01			生产能力小，富集比高，用于矿泥精选作业。

1．圆锥形重介质分选机

圆锥形重介质分选机是矿物在锥形槽中，通过重悬浮液实现自然沉浮而分离的设备，轻矿物从溢流中排出，重矿物借助压缩空气提升排出。该机有单锥和双锥两种，双锥式的重产物质量更高。

圆锥形重介质分选机的优点是槽体深、分选而大、分离精度高。缺点是介质循环量大，要添加细粒加重剂，介质制备和净化回收工作量大，需配置压气设备和提升器。这种设备适于处理轻矿物含量较高的矿石，分选粒度为 50～6mm。

圆锥形重介质分选机的生产能力，依据类似选矿厂并参照表 5－22 中的数据确定。

2．鼓形重介质分选机

鼓形重介质分选机，在分选过程中除有水平悬浮液流外，还有上升悬浮液流和叶片搅动等作用，适用于分选粗粒及重产物多的易选矿石。该设备构造简单、操作方便、介质分布均匀、能耗低。但单位生产能力低、分选精度低、且需要密度大的加重剂。

3．重介质振动溜槽

这是一种利用重悬浮液作介质，在往复振动的溜槽中分选粗粒矿石的设备。其生产能力大，需要一定压力的补加水。常用于分离铁、锰矿石的围岩和夹石。

4．重介质旋流器

这种设备结构简单，可使用密度小的加重剂，分选效率和分选精度高，可分选矿物密度差仅为 0.2～0.3t/m^3 的矿石。该设备有单锥体和双锥体两种，适宜的给矿粒度为 2～20mm，分离粒度上限可达 35mm，下限可达 0.5mm。重介质旋流器的规格与给矿粒度、生产能力的关系，见表 5－23。

表 5－22　圆锥形重介质分选机生产能力参考表

矿石种类	分选机规格（mm）	入选粒度（mm）	生产能力（t/h）	单位生产能力（$t/m^2 \cdot h$）	重介质密度（t/m^3）	加重剂名称	轻产物产率（%）
铅锌矿	Ø6400	30～1.6	50	2.1	3.0	硅铁	75
磁铁矿	Ø6100	30～4.8	150	5.2	2.9	硅铁	—
铅锌矿	Ø6000	40～4	400	14	2.75	硅铁	60
萤石矿	Ø4300	39～1.65	35	2.45		硅铁	50
萤石矿	Ø4000	26～1.5	100	8	2.84	硅铁	63
多金属锡矿	Ø3500	100～4	90	9.4	2.75	硅铁	60
萤石矿	Ø3000	19～3	13	2	2.73	硅铁	25
锌矿石	Ø2750	38～12	75	12.7	2.8	方铅矿	85.5
赤铁矿	Ø2100	42～5	150	40	3.1	硅铁	40
单一锡矿	Ø2100	18～5	24	7	2.8	硅铁	70
含锡砷黄铁矿	Ø2000	30～6	25	8	2.8	砷黄铁矿	64
红柱石矿	Ø1530	35～1.6	8.5	4.5	2.95	硅铁	38
石榴子石矿	Ø1530	25～3	20	1	3.2	硅铁	—

表 5－23　重介质旋流器的规格与给矿粒度、生产能力的关系

旋流器规格（mm）	Ø300	Ø350	Ø400	Ø450	Ø500
分选最大粒度（mm）	12	15	20	30	35
生产能力（t/h）	10	20	30	40	50

5．重介质涡流分选器

重介质涡流分选器形状似倒置的旋流器，与重介质旋流器相比，锥比大，介质循环平衡快，相对稳定性好，生产能力大，入选上限粒度大，可采用粗粒加重剂，介质回收容易，对给矿粒度的变化适应性强。其规格与生产能力及粒度上限的关系，见表 5－24。

表 5－24　涡流分选器规格与生产能力及粒度上限的关系

规格（mm）	Ø300	Ø350	Ø400	Ø450	Ø500
分选最大粒度（mm）	30	40	60	70	75
生产能力（t/台·h）	20	30	45	60	80

6．DWP 旋涡分选器

DWP 旋涡分选器是一种圆柱形动态重介质预选设备。用于煤、非金属和金属矿石的预选。与重介质旋流器相比有许多优点，如 DWP 的给矿和介质给入系统是分别独立的，因此

可以单独控制和调整介质及给矿。排矿粒度大，可提高入选上限的粒度。分选粒度范围宽，粒度下限可达 0.2mm，预选丢废率高。矿介比为重介质旋流器的2/3～1/2，给矿（介质）口压头为重介质旋流器的 1/4～1/10，因而离心力小，对器壁磨损少。但对于处理原矿性质经常发生剧烈变化的矿石，分选效率不稳定。

二、跳汰机

跳汰机是广泛应用于金属矿的重选设备。具有选别粒度范围宽、生产能力大、占地面积小、劳动生产率高、易于操作和维护等特点。常用的隔膜式跳汰机有三种类型：上（旁）动隔膜跳汰机、下动圆锥隔膜跳汰机和侧动（含外、内）隔膜跳汰机。

1. 旁动隔膜跳汰机

旁动隔膜跳汰机多用于粗选和精选作业，分选粒度为 12～0.1mm。其特点是床层较稳定、选别效果好、维护方便，但占地面积和设备重量较大、能耗高。

2. 下动圆锥隔膜跳汰机

下动圆锥隔膜跳汰机的隔膜位于跳汰室槽体圆锥和可动锥之间，故能耗少、重产物排出通畅，但床层松散度差。

这类跳汰机有 3 种类型：

（1）LTA－1010/2 下动圆锥隔膜跳汰机。一般用于 6mm 以下矿石的粗选作业。

（2）复振跳汰机。是在垂直交变水流中，附加高冲次、小冲程的辅助脉动而形成复振条件。这种复合脉动能使床层处于松散状态，加速矿粒的分层和细粒矿石的沉降。其回收粒度较宽，但生产能力较低。处理粒度可小于 2mm。

（3）圆形跳汰机。由若干梯形跳汰室组成圆形床面。优点是生产能力大，配置灵活，处理未分级的细粒砂矿效果好，回收粒度下限可达 0.052mm。缺点是传动机构复杂，跳汰室的水脉动不均匀，多用于采金（锡）船的粗选作业。

3. 侧动外隔膜跳汰机

侧动外隔膜跳汰机的隔膜设置在槽体外侧壁，其结构简单，维护方便，但工作中振动较大。外形上有梯形和矩形两大类。

（1）梯形跳汰机。梯形跳汰机有 2LTC－6109/8T 跳汰机和工革形跳汰机两种。2LTC－6109/8T 跳汰机的跳汰室横截面为梯形，双列八室，沿矿流方向由窄变宽，矿浆流速逐渐减缓，有利于重矿物的回收。该机为两个独立单元，各跳汰室的冲程、冲次可分别调节。给矿粒度范围为 5～0.074mm。

工革梯形跳汰机为单列三室跳汰机，与其他梯形跳汰机相比占地面积大，冲程调节范围小。给矿粒度小于 3mm。

（2）矩形跳汰机。矩形跳汰机有 2LT－79/4 矩形跳汰机和大粒跳汰机（含 AM－30 型和 LTC－70 型）两种。2LT－79/4 矩形跳汰机比梯形跳汰机结构简单，维护方便，配置灵活，既可单机（双列四室）使用，又可双机串联（双列八室）。其处理粒度上限较大，单位面积生产能力大。它有选别粗粒级 12～3mm 和细粒级 3～0mm 矿石的两种槽体结构。

AM－30 和 LTC－70 型跳汰机分选粒度大，采用筛上、筛下联合排矿。前者冲程为 50～0mm，入选最大粒度为 30mm。后者冲程为 100～0mm，入选最大粒度可达 50～70mm。

4. 侧动内隔膜（即广东Ⅰ型）跳汰机

侧动内隔膜跳汰机的隔膜装在槽体内部两跳汰室之间，隔膜运行方向为横动。广东 I

型跳汰机就是这种结构。其生产能力大、能耗少、适于处理低品位砂矿，但不便于检修，更换隔膜困难。该机分为甲、乙、丙3种型号。甲型用于粗选，乙型用于粗选或精选，丙型用于精选作业。

跳汰机的生产能力是根据单位定额计算的，即根据单位时间、单位筛面的生产能力而定，如表5－25。而单位定额则随矿石种类、粒度、形状、矿浆浓度以及对选别产物的工艺要求的不同而差异很大。设计时往往根据试验资料和同类选矿厂生产指标确定。

表5－25　跳汰机在不同工作条件下的平均单位生产能力

跳汰机类型	矿石类型	给矿粒度(mm)	冲程(mm)	冲次(次/min)	生产能力		精矿回收率(%)	补加水压力(MPa)	补加水水量(m^3/台·h)
					(t/台·h)	(t/m^2·h)			
上(旁)动型隔膜跳汰机(300×450 mm)	原生钨矿	18(16)～8(6)	19～25	280～290	2.7～3.24	10～12	65	0.176～0.2	15
	原生钨矿石	8(6)～2(1.5)	12.5～16	300～310	2.16～2.7	8～10	73～66	0.176～0.2	12
	原生钨矿石	2(1.5)～0	9.5～1.3	340～350	4.86～6.75	18～25①	34～40	0 176～0.2	5～7
	砂锡矿	20～0	18～20	250～280	3～4	11～15		>0.098	8～10
	砂锡矿	6～2	12～16	320～350	1.5～2.0	5.5～7.4		>0.098	6～8
	砂锡矿	2～0	15～18	280～320	1.0	3.7		>0.098	6～8
	锡精矿精选	5～1.5(2)	7～12	320～360	1.7	6.3	65～50	0.098～0.147	6
	锡精矿精选	1.5(2)～0	4.5～7	320～360	1.2	4.45	65～50	0.098～0.147	6
下动圆锥隔膜跳汰机	原生钨矿	8～4.5				3.8～5			
	原生钨矿	4.5～1.5				4.5～1.5			

①该跳汰机仅用来先回收部分粗精矿(选别磨矿以后的产品)，其尾矿经水力分级后再到摇床选别，故生产能力大。

三、摇床

摇床是重选厂最常用的选别设备，按床面来复条形状、尺寸分为矿砂摇床和矿泥摇床。刻槽床面多用于矿泥分选，其有效选别粒度可达0.037mm，床面分带明显，操作方便，一次能得出多种产品，但单位面积生产能力低。

摇床种类较多，常用的有云锡摇床、6－S摇床、CC－2摇床、弹簧摇床，以及云锡六层矿泥摇床、悬挂多层(三层、四层)摇床。

1．云锡摇床

云锡摇床采用凸轮杠杆床头，床面涂刷生漆，抗腐蚀性强，床面平整，不易变形。来复条顶面与精选带在同一水平面上，尖灭线区无急流现象，可减少重矿物的损失。重矿物在沟槽内向精矿端移动时，要爬坡，有利于良好的分选。该摇床分为粗砂摇床、细砂摇床和矿泥摇床3种。

2．6－S摇床

6－S摇床采用偏心连杆式床头，床面铺设薄橡胶板，易变形，床面横向坡度调节范围大(0°～10°)，有矿砂床面和矿泥床面两种。

3．CC－2摇床

CC－2摇床为凸轮杠杆式床头，床面铺设薄橡胶板，床面易变形。许多选矿厂已使用环氧树脂和水泥床面。

4．弹簧摇床

弹簧摇床的床头结构简单、重量轻、能耗少，选别指标比6－S矿泥摇床高，但工作噪音大。

5．云锡六层矿泥摇床

云锡六层矿泥摇床有座式和悬挂式两种。床头与云锡单层摇床相同，选别指标相近，但生

产能力高 2 倍左右。该摇床适于回收 0.074～0.019mm 的细粒重矿物。其结构合理，易于拆装、维修，但工作时易产生摆动和纵向跳动。

摇床的生产能力，一般按试验资料或处理同类矿石的生产数据确定，如表 5－26。

表 5－26　云锡摇床在不同阶段及粒度的生产定额

选　别　阶　段		给矿粒度范围(mm)	摇床生产能力(t/d·台)
矿砂系统	第 1 段摇床	2～0.074	20～25
	第 2 段摇床	0.5～0.074	15～20
	第 3 段摇床	0.2～0.074	10～15
矿泥系统	粗 泥	0.074～0.037	5～7
	细 泥	0.037～0.019	3～5

注：1. 复洗摇床生产能力比表中数字相应降低 40%～50%。

2. 矿砂系统各段摇床在配置中粗砂、细砂、矿泥 3 种床面均有，故给矿粒级较宽。

6. 枱浮

枱浮全称为枱浮摇床。枱浮是在摇床上同时实施重选和浮选两种分选作业的设备。枱浮较其他浮选设备容易操作，可产出多种产品，选别指标稳定，分选效率高，能耗少，广泛用于分离 5～0.2mm 的多金属硫化矿物。

枱浮的生产能力与物料粒度、矿物密度差、产品质量、矿物的可浮性有关，设计时参照同类矿石生产指标或通过试验确定。

四、溜槽

溜槽有两大类：一种是螺旋溜槽和螺旋选矿机，另一种是皮带溜槽。

1. 螺旋溜槽和螺旋选矿机

螺旋溜槽和螺旋选矿机的特点是：结构简单、工作可靠、维护方便、占地面积小、单位生产能力高。螺旋溜槽横截面倾角小，适于分选 0.6～0.05mm 物料；螺旋选矿机的溜槽横截面倾角大，适于分选 2～0.1mm 物料。

螺旋溜槽和螺旋选矿机的生产能力，可按下式近似计算：

$$Q = \frac{3}{R}\delta D^2 d_{cp} n \qquad (5-50)$$

式中　Q——螺旋溜槽(螺旋选矿机)生产能力(t/h)；

R——给矿矿浆液固比；

δ——矿石密度(t/m^3)；

D——螺旋槽直径(m)；

d_{cp}——入选矿石平均粒度(mm)；

n——螺旋的个数。

2. 皮带溜槽

皮带溜槽是适用于矿泥精选的设备。它分为普通皮带溜槽、振摆皮带溜槽、横流皮带溜槽。

普通皮带溜槽结构简单、富集比高，除单层皮带溜槽外，还有双层和四层皮带溜槽。其分选粒度为 0.074～0.010mm。

振摆皮带溜槽是在普通皮带溜槽上增加了振摆机构。由于振摆作用，促进了矿层的松散，同时增加了横向水流的分选效果，该设备生产能力低，适用于矿泥精选作业。分选粒度为0.20～0.01mm，最有效回收粒度为0.074～0.02mm。振摆皮带溜槽有三种规格，带宽分别为600mm、800mm、1200mm，前两种为单层振摆皮带溜槽，后一种为双层。

横流皮带溜槽，又称横流皮带选矿机。它是利用横流流膜的剪切作用，促进矿粒粒群的松散、分层，有利于大密度矿粒的沉降。有效回收粒度为0.1～0.01mm。生产能力较同规格普通皮带溜槽大，富集比高，能产出多种产品，可简化精选流程，是目前较先进的矿泥重选设备。

皮带溜槽生产能力的计算是依据单位定额来确定的，设计时通过类似选矿厂生产资料确定。

五、离心选矿机

离心选矿机是矿泥的粗选设备。对微细粒回收效率高，有效回收粒度为0.074～0.010mm。生产能力大，但不能连续作业，耗水量大，水压要求高。离心选矿机有单转鼓和双转鼓两类，转鼓有单锥度、双锥度和多锥度三种。

第八节　磁电选设备的选择和计算

一、弱磁场磁选设备

弱磁场磁选设备有：湿式永磁筒式磁选机、干式永磁筒式磁选机、磁力脱水槽、磁力滚筒、除铁器、预磁器和脱磁器等。

1. 湿式永磁筒式磁选机

湿式永磁筒式磁选机是选别强磁性矿物的常用磁选设备。它有顺流式、逆流式、半逆流式三种型式。顺流式分选粒度为－6mm；逆流式分选粒度为－1.5mm；半逆流式分选粒度为－0.5mm。该机的生产能力可根据类似选矿厂生产指标确定，也可通过单位生产能力来计算：

$$Q = qnL_p \tag{5-51}$$

式中　Q——磁选机的干矿生产能力(t/h)；

q——磁选机的单位生产能力(t/m·h)；

n——首筒数目(一般为1)；

L_p——圆筒的工作长度(m)；

$$L_p = L - 0.2$$

L——圆筒的几何长度(m)。

2. 干式永磁筒式磁选机

干式永磁筒式磁选机磁感应强度一般为105～125mT，分选粒度上限为5～0.5mm，适宜含水量小于3%。其型号主要有CTGR－69双筒型和CTG双筒型、单筒型。生产能力为10～20t/h。其生产能力与转速的关系如下：

$$Q = 1.2 \times 10^{-4} \pi R n b d \delta \tag{5-52}$$

式中　Q——干式永磁筒式磁选机生产能力(t/h)；

R——滚筒半径(cm)；

n——滚筒转速(r/min)；

d——矿粒直径或滚筒上料层厚度(cm)；

b——滚筒宽度(cm)；

δ——矿石密度(g/cm^3)。

3. *磁力脱水槽*

磁力脱水槽是一种磁力和重力联合作用的磁选设备。它能分离出大量细粒尾矿，并有脱水作用。常用于阶段磨矿阶段选别流程中第一段磨矿后或第二段磨矿磁选前的脱泥和预选作业，以及过滤前的浓缩作业。

磁力脱水槽的磁感应强度为 30～50mT，给矿粒度为 1.5～0mm。有电磁和永磁两种类型。磁力脱水槽结构简单、操作方便，但配置高差大，耗水量大。

磁力脱水槽的生产能力，按下式计算：

$$Q = 3.6Fv \tag{5-53}$$

式中 Q——按溢流计的生产能力(m^3/h)；

F——磁力脱水槽溢流面积(m^2)；

v—— 溢流速度(mm/s)。给矿粒度小于 0.15mm 时，$v = 5mm/s$；小于 0.074mm 时，$v = 2mm/s$。

4. *磁力滚筒*

磁力滚筒又称磁滑轮，结构简单，可直接安装在带式运输机的头部，也可单独配置成干式磁选机。与带式运输机匹配，其滚筒直径为 600～1200mm(皮带宽为 650～1400mm)。磁力滚筒有永磁和电磁两种，适于粗粒强磁性物料的干式磁选，分选粒度一般为 75～10mm，有些磁力滚筒给矿粒度上限可达 350mm。

磁力滚筒适用于破碎流程中的预选作业，闭路焙烧作业中剔除焙烧生矿，以及剔除自磨机排出的顽石和低品位废石；对于富磁铁矿的分选，可提高入炉矿石的品位。

萨拉国际公司研制了两种形式的磁力滚筒——圆筒式和带式。前者与国内的产品类似，后者整个设备安装在机架上，有一个头轮和尾轮，尾轮作驱动轮。筒体内部有一个永磁磁系，筒体直径有 760mm、916mm、1200mm、1500mm 等不同规格。

5. *除铁装置*

除铁装置用来清除带式运输机上夹杂在矿石中的铁块，以保护后续作业设备的安全。常用的除铁装置有悬挂式电磁分离器、悬挂带式电磁分离器和电磁滚筒。

悬挂带式电磁分离器是一种静态式分离器，能吸出带式运输机上夹杂在堆积厚度为 50～100mm 物料中的铁件。安装方便，耗电量少，当堆积物料较厚时，则难以吸净底部的铁件，其型号依带式运输机宽度选定，电磁分离器距胶带面的高度为 300～350mm，要求带速不超过 2m/s。

悬挂带式电磁分离器是一种传动式去铁器。通过传送带运动，将吸出的铁件送出。如果配有金属探测器，则分离器效果更好。

6. *预磁器和脱磁器*

预磁器有电磁式和永磁式两种。磁感应强度为 40～50mT，它能增强磁性矿物的磁团聚作用，以利磁力脱水槽的分选。

脱磁器只有电磁式一种。其磁感应强度为 65～80mT。它的作用是破坏磁性矿物的磁团聚，以利于分级、细筛和过滤作业。脱磁器有工频脱磁器和中频脱磁器两种。前者磁感应强度低，约为 50mT；后者磁感应强度较高，脱磁效果好。

二、强磁场磁选机

强磁场磁选机有干式和湿式两类。磁源有电磁和永磁两种。结构形式有盘式、辊式、平环式、立环式和感应辊式等。

1. 干式圆盘强磁选机

干式电磁圆盘强磁选机有单盘、双盘和三盘3种。适于分选弱磁性矿物，入选粒度小于2mm。其特点是结构紧凑、体积小，重量轻，磁场调节方便，每个分选区，头部有一个弱磁性滚筒。因此，若有三圆盘，最多可有7种不同的磁场，可获得7种不同磁性的产品和一种非磁性产品。磁选前给料需干燥和分级，干燥后的物料水分应小于1%，分级的级别数愈多，分选指标愈高。

2. 辊式强磁选机

辊式强磁选机有永磁和电磁两种磁源。CGR－54为永磁对辊强磁选机，CGDR－34为电磁对辊强磁选机。这类磁选机可获得多种产品，可用来分选含有多种金属的矿石。磁感应强度为1500～2300mT，生产能力为1～2t/h，适于处理小于3mm的矿石。

3. 湿式平环强磁选机

湿式平环强磁选机常用的有两种型号，一种是SHP型双盘平环强磁选机，一种是SQC型强磁选机。

(1)SHP型双盘强磁选机，上、下盘重叠，可以靠矿浆自流组成粗选、扫选等两种作业流程。该机选别指标高、生产能力大、生产费用低、噪音小。给矿粒度小于1mm，浓度为30%～35%，要求给矿中强磁性矿物小于3%。

(2)SQC型强磁选采用环式链状闭合磁路。该机常用于中、小型矿山的褐铁矿、赤铁矿和钽铌矿等细粒弱磁性矿物的分选，最大给矿粒度0.5mm，分选粒度大于20μm，分选效果优于其他类型磁选机，但价格较贵。

4. 湿式双立环强磁选机

湿式双立环强磁选机采用"日"字型闭路磁系。磁系本身取代钢架，因此，结构紧凑、重量轻、磁路短、漏磁少、磁感应强度高。磁介质为铁球，不易堵塞。最大给矿粒度为0.6～1.0mm，选别粒度下限20μm。

5. 高梯度磁选机

高梯度磁选机是在背景磁场不太高的条件下，顺磁性物料在不均匀磁场中，受到一个与外加磁场强度和磁场梯度之积成正比的磁力。因此，借助于高梯度不均匀磁场，可分离磁性极弱的微细粒物料。这类磁选机分选粒度下限可达1μm。其型号有：

(1)LG－1700－190－IT高梯度磁选机，分选介质由70～90片不锈钢构成导磁网叠加成感应介质堆，并置于分选环的每个分选腔内。

该机分选环直径1700mm，无极变速，背景磁感应强度0～1200mT，生产能力为2～8t/h，适于处理细粒赤铁矿和锰矿泥等。

(2)CHG—10高梯度磁选机，分选环直径1000mm，背景磁感应强度0～1000mT，分选粒度小于0.5mm，生产能力为0.5t/h，适于处理比磁化系数不小于$4\times10^{-7}cm^3/g$的物料，也用于剔除非磁性物料中的弱磁性杂质。

(3)Sala480高梯度磁选机，是瑞典萨拉国际公司研制的设备，转环平均直径4800mm，磁感应强度1500mT，单磁头生产能力50～200t/h。

三、电选机

电选机广泛用于白钨矿、锡石、钛铁矿、锆英石、金红石、独居石和钽铌矿的精选作业。

电选机有静电选矿机、电晕电选机和复合电场电选机等多种类型。

ø1200×1500mm 双辊电选机利用电晕电极和偏向电极产生复合电场进行矿物分选。其工作电压可达 22kV，分选粒度小于 3mm，生产能力为 0.3～5t/台·h。由于电场强度较低，对钽铌矿等稀有金属矿的选矿效果较差。

高压电选机的工作电压可达 60kV。这类电选机电晕电场区域大、电场力强，对分选稀有金属矿效果显著。ø370×600mm 高压电选机入选粒度为 2～0.074mm。生产能力为 120～150kg/h。YD－3、YDC－4 型是目前我国最大的高压电选机，规格为 ø300×2000mm。YD－3 的分选粒度为 1.0～0.04mm，生产能力为 0.5～2.5t/h·m。

第九节　脱水设备的选择和计算

一、脱水设备的选择

湿法选矿作业的精矿含有大量的水分，需要进行脱水。有时选别过程中为了提高后续作业的给矿浓度，对中矿也要进行脱水。对粗、中粒精矿常采用自然脱水法进行脱水。细粒精矿脱水视精矿水分含量及对产品水分的要求，一般采用浓缩和过滤两段脱水作业，或浓缩——过滤——干燥三段脱水作业，其常用设备为浓缩机、过滤机和干燥机。

1. 浓缩机选择

浓缩机有中心传动式和周边传动式两种。中心传动式浓缩机的浓缩池内径有 1.8m、3.6m、9m、12m 和 15m 多种规格。周边传动式浓缩机有辊轮传动式和齿轮传动式两种类型，辊轮传动式的浓缩池内径有 15m、18m、24m 和 30m 等 4 种规格。齿轮传动式有 15m、18m、24m、30m、38m、45m、50m 和 53m 等 8 种规格。

高效浓缩机(如 GX－3.6 型)，实质上并不是仅仅通过沉降达到浓缩目的的脱水设备，而是结合泥浆沉积层的过滤特性的新型脱水设备。因此，脱水效率远比一般浓缩机高，其特点是：

①添加絮凝剂，增加固体颗粒的粒径，加快沉降速度；

②设置倾斜板，缩短矿粒沉降距离，增加沉降面积；

③发挥泥浆沉积层的絮疑过滤、压缩作用，提高处理量；

④配置有自动控制装置。

选择浓缩机的类型和规格，既要满足后续作业对精矿(或中矿)含水量的要求，又要严格控制和降低金属量的流失。因此，在设备选型时，应通过生产性试验或模拟试验确定浓缩机的有效而积；或进行矿浆静止沉降试验，参照类似选矿厂的生产指标进行计算。

浓缩机的规格，主要根据给矿量和溢流中最大颗粒(或絮团)在水中的沉降速度来确定。故选择浓缩机时，必须考虑影响沉降速度的诸因素：如给矿和排矿的液固比、给矿的粒度组成、矿浆的粘度、浮选药剂和絮凝剂类型和矿浆温度等。

浓缩机的排矿浓度取决于物料的密度、粒度及矿物组成及其在浓缩机的停留时间。

2. 过滤机选择

过滤机有真空过滤机和压滤机两大类。真空过滤机是常用过滤设备。它分为3种类型：筒型过滤机(包括内滤机、外滤机、折带式、永磁外滤式)、圆盘过滤机和平面过滤机(扇形、转盘形、带式)。压滤机是近年来为解决粘度大的微细粒精矿的脱水问题生产的一种新型过滤设备，机型有间歇式板框压滤机、连续自动板框压滤机和带式压滤机等。

筒型内滤式过滤机，适于过滤密度较大、粒度较粗或磁团聚现象严重的细粒物料，例如过滤磁铁矿精矿，其缺点是操作、维护不方便。

筒型外滤式和折带式过滤机，适于过滤要求水分低、密度小的细粒有色金属和非金属精矿产品。过滤粒度要求以固体颗粒沉降速度不大于18mm/s为宜。该设备过滤细粒物料时，在脱水区设置拍打和压辊装置，以降低滤饼含水量。

筒型外滤式真空永磁过滤机，是过滤粗粒铁精矿的高效过滤机。过滤粒度为0.8～0mm，生产能力为3t/m^2·h；过滤粒度为0.15～0mm时，生产能力降低一倍。该设备的缺点是滤饼水分较高。

圆盘式过滤机的特点是过滤面积大、占地面积小，但滤饼含水量高。

扇型过滤机结构简单、机型小，适用于小型选矿厂。转盘翻斗式过滤机适宜于过滤密度大、浓度高的物料。

带式压滤机是一种结构简单、操作方便、性能优良的连续压滤机。广泛应用于过滤精煤污泥、冶金残渣等。

自动板框压滤机工作压力大、滤饼水分低、生产能力大。该机过滤的滤饼水分比真空过滤机滤饼水分低1/3左右。

自动箱框式压滤机为间歇式过滤设备。采用弹簧橡胶隔膜对滤饼进行挤压，故滤饼水分比带式压滤机滤饼低10%～20%。

3. 干燥机选择

选矿厂常用的干燥设备有圆筒干燥机、蒸气螺旋干燥机、电热螺旋干燥机、电热干燥箱、塔式干燥机和干燥坑等。按加热方式有直接加热和间接加热两种形式。选矿厂多采用直接加热圆筒干燥机。它的热效率高，但操作复杂、附属设备多、金属损失较高。间接加热圆筒干燥机常用于稀有金属和钨、钼、锡等选矿厂。它的金属损失少，可避免煤灰对精矿的污染，但热效率较低。干燥坑由于生产能力小、热效率低、劳动条件差、仅用于精矿量少的钨、锡选矿厂及小型选矿厂。

二、脱水设备的计算

1. 浓缩机浓缩面积计算

浓缩机浓缩面积的计算方法有两种：按单位面积生产能力计算；按溢流中最大颗粒的沉降速度计算。

(1)按单位面积生产能力计算。

浓缩作业所需浓缩机面积，按下式计算：

$$F = \frac{Q}{q} \tag{5-54}$$

式中 F——所需浓缩机面积(m^2)；

Q——给入浓缩机的固体量(t/d)；

q——单位面积生产能力($t/m^2 \cdot d$)。一般根据工业试验或模拟试验选取，也可参照类似选矿厂生产数据确定；无资料时，可参阅表 5－27。

浓缩机直径由下式确定：

$$D = 1.13\sqrt{F} \tag{5-55}$$

式中 D——所需浓缩机直径(m)。

(2)按溢流中最大颗粒的沉降速度计算。

浓缩作业所需浓缩机面积为：

$$F = \frac{Q(R_1 - R_2)K_1}{86.4 v_0 K} \tag{5-56}$$

式中 R_1——浓缩前矿浆的液固(重量)比；

R_2——浓缩后矿浆的液固(重量)比；

K_1——矿量波动系数，$K_1 = 1.05 \sim 1.20$，视原矿量波动而定；

v_0——溢流中最大颗粒的沉降速度(mm/s)；一般由试验确定，也可按下式计算：

$$v_0 = 545(\delta_r - 1)d^2 \tag{5-57}$$

式中 δ_r——精矿的密度(g/cm^3)；

d——溢流中允许的最大颗粒直径(mm)，精矿、中矿浓缩机溢流中目的矿物最大粒径约 5μm，脉石矿物最大粒径约 10μm。

K——浓缩机有效面积系数，$K = 0.85 - 0.95$，直径大于 12m 以上取大值。

选定浓缩机面积后，还要验算目的矿物流失量和溢流水的浊度；并校正浓缩机上升水流速度 v，应使 $v < v_0$。浓缩机上升水流速度，按下式计算：

$$v = \frac{V}{F} \times 1000 \tag{5-58}$$

式中 v——浓缩机上升水流速度(mm/s)；

V——浓缩机的溢流量(m^3/s)；

F——浓缩机面积(m^2)。

表 5－27 浓缩机单位面积生产能力 q 值

被浓缩产物名称	$q(t/m^2 \cdot d)$	被浓缩产物名称	$q(t/m^2 \cdot d)$
机械分级机溢流(浮选前)	0.7～1.5	浮选赤铁矿精矿	0.5～0.7
氧化铅精矿和铅－铜精矿	0.4～0.5	磁选铁精矿	3.0～3.5
硫化铅精矿和铅－铜精矿	0.6～1.0	白钨矿浮选精矿及中矿	0.4～0.7
铜精矿和含铜黄铁矿精矿	0.5～0.8	萤石浮选精矿	0.8～1.0
黄铁矿精矿	1.0～2.0	锰精矿	0.4～0.7
辉钼矿精矿	0.4～0.6	重晶石浮选精矿	1.0～2.0
锌精矿	0.5～1.0	浮选尾矿及中矿	1.0～2.0
锑精矿	0.5～0.8		

注：① 表内 q 值系指给矿粒度－0.07mm 占 80%～95% 的数值，粒度粗时取大值。

②排矿浓度对方铅矿、黄铁矿、铜和锌的硫化矿精矿不大于 60%～70%；其他精矿不大于 60%。

③对含泥多的细泥氧化矿，所列指标应适当降低。

2. 真空过滤机计算

真空过滤机台数，按下式计算：

$$n=\frac{Q}{Fq} \tag{5-59}$$

式中 n——过滤机台数(台)；

Q——需过滤的固体精矿量(t/h)；

F——选择的过滤机面积(m^2)；

q——过滤机单位面积生产能力($t/m^2 \cdot h$)。

单位面积生产能力(q 值)一般应从工业试验、半工业试验直接测得或按过滤试验资料计算得到。无试验数据时，可参考类似选矿厂生产指标选取，也可参阅表 5－28。

表 5－28 过滤机单位面积生产能力 q 值

过滤物料	$q(t/m^2 \cdot h)$	备 注	过滤物料	$q(t/m^2 \cdot h)$	备 注
细粒硫化、氧化铅锌精矿	0.1～0.15	氧化矿精矿，粒度很细时，取偏小值	硫化钼精矿	0.1～0.2	
硫化铅精矿	0.15～0.20		锑精矿	0.1～0.2	
硫化锌精矿	0.2～0.25		锰精矿	1.0	
硫化铜精矿	0.1～0.2		萤石精矿	0.1～0.15	
氧化铜、氧化镍精矿	0.05～0.1		磁铁精矿	1.0～1.2	粒度 0.2～0mm
黄铁矿精矿	0.2～0.5		磁铁精矿	0.8～1.0	粒度 0.12～0mm
含铜黄铁矿精矿	0.25～0.3		焙烧磁选精矿	0.65～0.75	
硫化镍精矿	0.1～0.2		浮选赤铁矿精矿	0.2～0.3	粒度 0.1～0mm
磷精矿	0.4～0.5		磁浮选混合精矿	0.4～0.6	

注：表中数值是按真空过滤机(滤布为棉织帆布)的生产指标选取的。

3. 干燥机容积计算

所选干燥机的总容积，按干燥过程需要蒸发的水量算出：

$$V_0=\frac{W_0}{A} \tag{5-60}$$

式中 V_0——干燥机的总容积(m^3)；

W_0——干燥过程蒸发的水量(kg/h)；W_0 可通过下式近似算出：

$$W_0=W_1-W_2 \tag{5-61}$$

式中 W_1——给入干燥机前精矿含水量(kg/h)；

W_2——干燥机排出的精矿含水量(kg/h)；

A——干燥机蒸发强度($kg/m^3 \cdot h$)，根据试验资料或参照类似选矿厂的生产指标选取。也可按表 5－29 中的数据确定。

根据计算求得的干燥机总容积，再选定干燥机的台数：

$$n=\frac{V_0}{V} \tag{5-62}$$

式中 n——干燥机台数（台）；

V_0——干燥机的总容积（m^3）；

V——选用的单台干燥机容积（m^3）。

表 5－29　干燥机的汽化强度 A

干燥精矿种类	汽化强度 A ($kg/m^3 \cdot h$)	干燥机加热形式
细粒氧化铜精矿	25～35	直接加热
一般铜精矿	40～50	同　上
铅精矿	35～40	同　上
锌精矿	35～40	同　上
硫化铁精矿	40～60	同　上
磁选铁精矿	50～55	同　上
磷精矿	50～55	同　上
锡精矿	18～25	间接加热
钼精矿	25	同　上
钨精矿	20～30	同　上

注：精矿粒度粗时取大值。

第十节　主要辅助设备、矿仓的选择和计算

一、给矿设备

选矿厂常用的给矿机有：

1．板式给矿机

板式给矿机是破碎厂房粗碎机常用的给矿设备，它有重型、中型和轻型三种。重型板式给矿机的最大给料粒度可达 1500mm，生产能力一般为 240～480t/h，最大可达 1000t/h。中型板式给矿机最大给矿粒度为 350～400mm，轻型板式给料机给矿粒度小于 160mm，板式给矿机的生产能力主要取决于链板宽度、链板速度和给矿粒度，可按下式计算：

$$Q = 3600\varphi bhv\gamma \qquad (5-63)$$

式中　Q——生产能力（t/h）；

φ——充满系数，一般 $K=0.8$；

b——两侧壁间钢板带宽度（m）；

h——料层厚度（m）；

γ——矿石松散密度（t/m^3）；

v——带速（m/s）。

2．槽式给矿机

槽式给矿机适于 0～250mm 的中等粒度矿石的给矿，最大给矿粒度可达 450mm。它可以架设于地面，也可以吊装在矿仓出料口上，槽式给矿机的生产能力，按下式计算：

$$Q = 120\varphi bhnr\gamma \tag{5-64}$$

式中 φ——充满系数，$\varphi=0.8$；

b——槽宽（m）；

n——冲次（次/min）；

r——偏心距（m）。

其他符号同前。

3. 摆式给矿机

摆式给矿机广泛用于磨矿矿仓下的排矿。给矿粒度一般为0～50mm。属间歇式给矿。其结构简单，管理方便，但给矿准确度小，均匀性差。摆式给矿机的生产能力，按下式计算：

$$Q = 60\varphi bhln\gamma \tag{5-65}$$

式中 b——排矿口宽度（m）；

h——阀门与阀体间隙高度（m）；

l——给矿机摆动行程（m）；

n——偏心轮转数（r/min）；

φ——充填系数，$\varphi=0.3\sim0.4$。

其他符号同前。

4. 电磁振动给矿机

电磁振动给矿机是一种新型的给矿设备。它结构简单，体积小，适用粒度范围广（0.3～500mm），给矿均匀，给矿量调节方便；但不适于粘性物料的给矿，噪音大，易产生粉尘。它的生产能力，一般按产品目录中所列数据选取，亦可按下式计算：

$$Q = 3600\varphi bhv\gamma \tag{5-66}$$

式中 b——槽宽（m）；

h——槽内料层高度（m）；

v——输送速度（m/s）；一般 $v=0.1\sim0.2$（m/s）；

φ——充填系数，$\varphi=0.6\sim0.9$。

其他符号同前。

5. 圆盘给矿机

圆盘给矿机适用于20mm以下磨矿矿仓下的排矿。当物料细粒含量高时，宜使用封闭式圆盘给矿机，一般情况下，均采用敞开式圆盘给矿机。

敞开式圆盘给矿机的生产能力，按下式计算：

$$Q = 60\frac{\pi hn\gamma}{\mathrm{tg}\rho}\left(\frac{D}{2}+\frac{h}{3\mathrm{tg}\rho}\right) \tag{5-67}$$

式中 h——套筒离圆盘高度（m）；

n——圆盘转数（r/min）；

D——套筒直径（m）；

ρ——物料堆积角°。

其他符号同前。

封闭式圆盘给矿机生产能力，按下式计算：

$$Q = 60\pi n\ (R_1^2 - R_2^2)\ h\gamma \tag{5-68}$$

式中 R_1、R_2——排矿口内、外侧距圆盘中心距离（m）；

h——排矿口开口高度（m）；

其他符号同前。

二、起重设备

随着选矿厂机械化、自动化程度的不断提高，保证机械设备正常运转，提高装备水平，加快检修速度，减轻工人的重体力劳动，为安全生产创造良好条件。为此，厂内必须设置相应的检修起重设备。

1. 起重设备类型

厂内常用的起重检修设备有：

(1) 固定滑车（即手动葫芦）。为定点起吊设备。需要时，将它固定在支架或房梁上，只能作上下单向运动，最大起重量可达 20t。优点是，根据需要可随意改变起吊位置，缺点是起吊速度太慢。选矿厂的胶带运输机头部和板式给矿机尾部的起吊检修，常用这种起吊设备。

(2) 电动滑车（即电动葫芦）。它安装在工字形钢轨上，钢轨悬挂在屋架（或屋面大梁）的下弦上，可布置成直线或曲线（转弯或跨越）。安装时，吊车轨道最好对准设备中心线，以利检修部件垂直吊装，弯曲部分必须满足最小曲率半径的要求。被吊起的物件上下运动，并在单轨上前后移动或同时两向运动。起重量可达 10t，选矿厂多用 1～5t。

(3) 单梁起重机。根据厂房长度和提升高度及检修工作的频繁程度，单梁起重机有手动和电动两种。起重量一般不超过 10t。工作人员可在地面或在吊车上的司机室内操作吊车。单梁起重机与电动葫芦的区别在于，前者在服务区的任意点均能起吊，后者只能起吊沿轨道布置的设备。因此，电动单梁起重机多用于选别厂房和仓库作检修和吊运物件用。

(4) 电动双梁桥式起重机。电动双梁桥式起重机有单钩和双钩两种。按工作频繁程度，一般分为轻级、中级和重级三种工作制度。电动双梁桥式起重机与单梁起重机的区别在于，前者采用了结构复杂的双梁架，因此，起重量大（可达 100t），服务范围宽（跨度可达 30m）。

(5) 电动桥式抓斗起重机。该起重机供精矿装车之用，结构类同桥式起重机，将吊钩更换成抓斗。起重量有 5t、10t、15t、20t 等 4 种，服务范围宽（可达 31.5m）。

2. 起重设备的选择

选矿厂检修起重设备的选择与被检修设备的类型、规格、数量、配置条件和对检修工作的要求等因素有关。它主要根据被检修设备的最大件或难以拆卸的最大部件重量来决定其型式和台数。因此，起重设备的选择必须满足起重设备的起重量、起重设备的服务范围和起重设备的起吊高度 3 个条件。

选矿厂主要设备的检修起重设备选择，参考表 5－30 进行。

表 5－30　选矿厂主要设备的检修起重机选择

设备名称	规　格	台数	起重机			备　注
			起重量（t）	型　式	台数	
颚式破碎机	400×600		3	手　动	1	
	600×900		10	手动或电动	1	
	900×1200		15/3	电动桥式	1	
	1200×1500		30/5	电动桥式	1	
	1500×2100		50/10	电动桥式	1	
旋回破碎机	*PX*500/75		10	电动桥式	1	
	PX700/130		20/5	电动桥式	1	
	PX900/150		50/10	电动桥式	1	
	PX1200/180		75/20	电动桥式	1	
圆锥破碎机	Ø900		3	手　动	1	
	Ø1200		5	手　动	1	
	Ø1750		10	电动桥式	1	
	Ø2200		20/5	电动桥式	1	
球磨机	Ø1500×1500		3	手　动	1	
	Ø1500×3000		5	手动或电动	1	
	Ø2100×2200		10	电动桥式	1	
	Ø2100×3000		10	电动桥式	1	
	Ø2700×2100		15/3	电动桥式	1	
	Ø2700×3600	≤4	20/5		1	
		≥5	30/5	电动桥式	1	
		≥10	30/5、5		各 1	5t 为电磁桥式起重机
	Ø3200×4500	≤4	30/5		1	
		≥5	50/10	电动桥式	各 1	
		≥10	50/10、5		各 1	5t 为电磁桥式起重机
	Ø3600×4000	≤4	50/10		1	
		≥5	50/10、5	电动桥式	各 1	5t 为电磁桥式起重机
		≥10	75/20、5		各 1	5t 为电磁桥式起重机
	Ø3600×5500		100/20、5	电动桥式	各 1	5t 为电磁桥式起重机
湿式自磨机	Ø5500×1800		30/5	电动桥式	1	
浮选机	XJ－3		0.5	手动或电动	1	
	XJ－6～28		1	手动或电动	1	起吊叶轮
	XJ－58		2	手动或电动	1	
圆筒内滤式真空过滤机	GN－8　GN－12		5	电动单梁	1	
	GN－20、30、40		10	电动单梁或桥式	1	检修筒体用
圆筒外滤式真空过滤机	GW－3、5、20		2、3、5	电动单梁	1	
	GW－30、40、50		10	电动单梁或桥式	1	检修筒体用
圆盘过滤机	GP－9、10、27		11、2	电动单梁	1	
	40、60、120m²		3、5、5	电动单梁	1	检修筒体用

注：棒磨机检修起重机吨位和台数的选择，可参照此表选用。

3. 起重设备（即桥式起重机）服务范围和安装高度的确定（详见图 5－1）

（1）厂房地面至轨道顶的高度（h）。

$$h = K + Z + L + f + c$$

（2）地面至屋架下弦凸出结构件底部的高度（H）。

$$H = h + a + m$$

(3) 起重设备跨度（L_k）等于厂房跨度（L）减去 $2t$。

$$L_k = L - 2t$$

(4) 起重机服务区间的宽度（L_0）。

$$L_0 = L_k - (d_1 + d_2)$$

式中 K——吊运最大部件过程中，超越平台栏杆最高点与地面之间的距离；

Z——安全距离；$Z \geqslant 300$mm；

f——吊钩至被吊部件上缘的距离，一般为 1～1.5m；

m——起重机最突出部分与屋架下弦间的距离，供电滑阻线配在厂房一侧时，$m \geqslant 100$mm；供电滑阻线配在屋架下弦时，$m \geqslant 400$mm；

t——厂房跨度柱子中心线与吊车轨道中心线之间的距离，15t 以内的起重机 $t = 0.5$m；20～100t 起重机 $t = 0.75$m；

a、c、d_1、d_2——起重机有关尺寸，按设备图查对；

L、L_K——厂房及起重机的跨度。

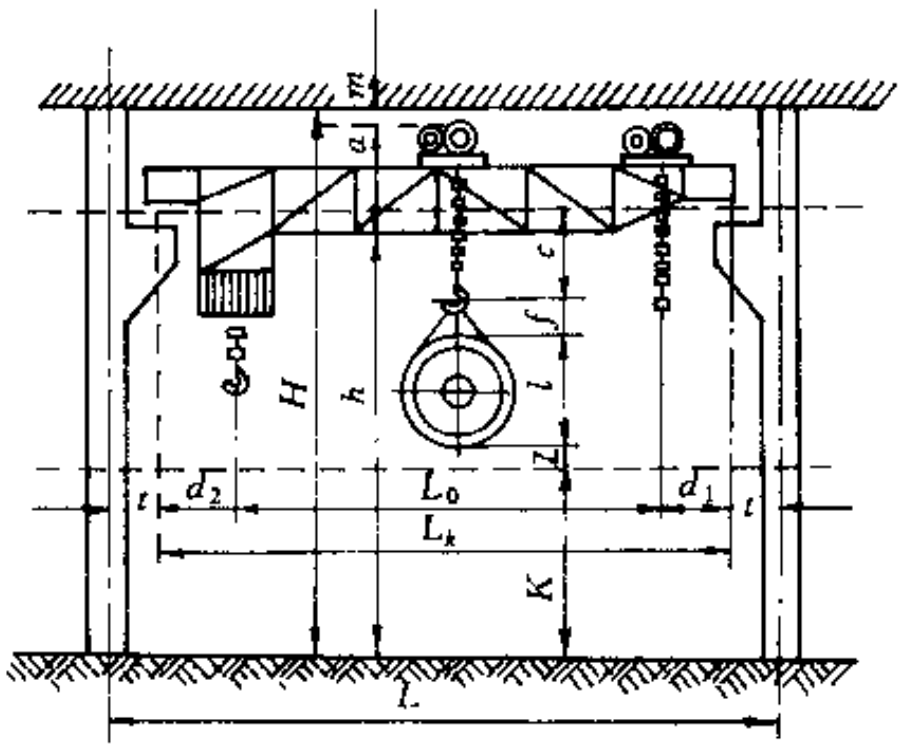


图 5－1 桥式起重机服务区计算图

三、胶带运输机

胶带运输机是一种应用广泛的物料运输设备。它有固定式和移动式两种。材质有橡胶带、塑料带、钢绳芯带 3 种。我国已定型的产品有：TD75 固定带式运输机，胶带用棉织或尼龙帆布做芯体，适用子水平或倾斜短距离物料运输，倾斜向上运输时，不同物料所允许的最大倾角 β 如表 5－31；倾斜向下运输时，为表 5－31 所列值的 80%。GH69 带式运输机的胶带表面呈凸起花纹，适宜子大倾角物料运输；DX 带式运输机的胶带用钢丝绳做芯体，适于长距离物料运输。

根据工艺要求，胶带运输机要计算的内容很多，主要包括工艺参数计算（如带宽、带速、功率、张力等）和几何参数计算（如胶带长度及安装参数）。下面主要介绍胶带运输机工艺参数计算。

计算所用原始数据：

(1) 运输能力 Q（t/h）；

(2) 物料性质（即粒度、松散密度、动堆积角、湿度、温度、粘性、磨损性）；

(3) 工作条件（即给卸料点数目和位置、装卸方式等）；

(4) 运输机的布置形式（即水平、倾斜、凸弧、凹弧和凸凹混合等五种形式）。

表 5－31　胶带运输机所允许的最大倾角

物料名称	最大倾角（°）	物料名称	最大倾角（°）
0～350mm 矿石	10°～16°	0～3mm 焦炭	20°
0～170mm 矿石	16°～18°	筛分后的块状焦炭	17°
0～75mm 矿石	18°～20°	块　煤	18°
0～10mm 矿石	20°～21°	粉　煤	20°～21°
筛分后矿石 10～75mm	16°	原　煤	20°
干精矿粉	18°	湿高炉尘及轧钢皮	20°
湿精矿粉	20°～22°	混有砾石的砂子及干土	18°～20°
水洗矿石	12°	干　砂	15°
烧结混合料	20°～21°	湿砂及湿土	23°
0～75mm 焦炭	18°		

1. 胶带宽度的计算

$$B=\sqrt{\frac{Q}{k\gamma vc\xi}} \qquad (5\quad 69)$$

式中　B——带宽（m）；

Q——运输量（t/h）；

γ——矿石松散密度（t/m^3），见表 5－32；

v——带速（m/s），见表 5－33；

k——断面系数，见表 5－34；

c——倾角系数，见表 5－35；

ξ——速度系数，见表 5－36。

表 5－32　各种物料的松散密度与动堆积角

物料名称	γ（t/m^3）	ρ	物料名称	γ（t/m^3）	ρ
煤	0.8～1	30°	小块石灰石	1.2～1.6	25°
煤　渣	0.6～0.9	35°	大块石灰石	1.6～1.7	25°
焦　炭	0.5～0.7	35°	烧结混合料	1.6	30°
锰　矿	1.7～1.8	25°	砂	1.6	30°
黄铁矿	2.0	25°	碎石和砾石	1.8	20°
富铁矿	2.5	25°	干松泥土	1.2	20°
贫铁矿	2.0	25°	湿松泥土	1.7	30°
铁精矿	1.6～2.5	30°	粘　土	1.8～2.0	35°

注：①物料松散密度和堆积角随物料水分、粒度等的不同而异，正确值以实测为准，本表供参考。

②表中数值为动堆积角，一般为静堆积角的 70%。

表 5－33　推荐带速（v）

带宽 B（mm）		500 650	800 1000	1200 1400	物料特性
带速 v（m/s）	TD75 型 GH69 型	0.8－2.5	1.0～3.15	1.0～4.0	无磨损性或磨损性小的物料，如煤、原盐、粉矿
		0.8～1.6	1.0～2.0	1.0～2.0	
	DX 型	2.0～5.0			
	TD75 型 GH69 型	0.8～2.0	1.0～2.5	1.0～3.15	有磨损性，中小块物料，如矿石、砾石、炉渣
		0.8～1.25	1.0～1.6	1.0～2.0	
	DX 型	2.0～4.0			
	TD75 型 GH69 型	0.8～1.6	1.0～2.0	1.0～2.5	有磨损性，大块物料，如矿石
		0.8～1.25	1.0～1.6	1.0～1.6	
	DX 型	2.0～3.15			

注：①使用环境要求不产生粉尘时，应选用低速；　②下运式运输机应选低速；
③采用卸料小车时，带速不宜超过 2.5m/s；　④采用犁式卸料器时，带速不宜超过 2.0m/s；
⑤手选胶带运输机的带速一般为 0.2～0.4m/s；　⑥其他条件下，带速一般为 0.8～1.6m/s；常见带速为 1.25m/s。

表 5－34　断面系数 K 值

K \ ρ / B	15°		20°		25°		30°		35°	
	槽　形	平　形	槽　形	平　形	槽　形	平　形	槽　形	平　形	槽　形	平　形
500，650	300	105	320	130	355	170	390	210	420	250
800，1000	335	115	360	145	400	190	435	230	470	270
1200，1400	355	125	380	150	420	200	455	240	500	285

表 5－35　倾角系数 c 值

β	≤6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°	25°
c	1.0	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88	0.85	0.81	0.76	0.74	0.72

表 5－36　速度系数 ξ 值

v（m/s）	≤1．6	≤2．5	≤3．15	≤4．0
ξ	1.0	0.98～0．95	0.94～0.90	0.84～0.80

根据上式计算所选用的带宽，还要用运输物料最大块度来校核，如表 5－37，或按下式计算：

未筛分矿石：$B \geqslant 2D_{max} + 200mm$

筛分矿石：$B \geqslant 3.3d_{cp} + 200mm$

其中：D_{max}——物料的最大粒度（mm）；

d_{cp}——物料的平均粒度（mm）。

表 5－37　标准带宽及允许输送最大块度

带宽 B（mm）		500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
TD75 型		✓	✓	✓	✓	✓	✓			
GH69 型		✓	✓	✓	✓	✓	✓			
DX 型				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
最大块度（mm）	经筛分物料	130	150	210	260	350	400	450	500	550
	未经筛分物料	180	230	280	380	450	520	600	700	800

注：表中“✓”表示有此带宽。

2. 传动滚筒轴功率简易计算

$$N_0 = (K_1 L_h v + K_2 L_h Q \pm 0.00273 QH) K_3 K_4 + \Sigma N' \qquad (5-70)$$

式中　N_0——传动滚筒轴功率（kW）；

L_h——运输机水平投影长度（m）；

H——运输机垂直提升高度（m），如有卸料车时，应加卸料车的提升高度 H'（见表 5－38）；

Q——运输量（t/h）；

v——带速（m/s）；

K_1——空载运行系数，它与托辊阻力系数 ω 有关，见表 5－39 和表 5－40；

K_2——物料水平运行功率系数，它与托辊阻力系数 ω 有关；见表 5－39 和表 5－41；

K_3——附加功率系数，见表 5－42；

K_4——运输带改向功率系数，$K_4 = 1.03 \sim 1.15$；

N'——犁式卸料器和导料拦板长度超过 4m 时的附加功率，见表 5－43。

表 5－38　H' 值

B(mm)		500	650	800	1000	1200	1400
H'（m）	卸料车	1.7	1.8	1.96	2.21	2.37	2.62
	重型卸料车	–	–	–	2.42	2.52	3.02

表 5－39　托辊阻力系数 ω 值

工作条件	槽形　ω	平形　ω
清洁，干燥	0.020	0.018
少量灰尘，正常湿度	0.030	0.025
大量灰尘，湿度大	0.040	0.035

3. 电动机功率计算

（1）水平和提升运输时：

$$N = K \frac{N_0}{\eta} \qquad (5-71)$$

式中 N——电动机功率（kW）；

N_0——传动滚筒轴功率（kW）；

K—— 功率备用系数，$N<10$kW 的 Y 系列电机，$K=1.2$；其他情况应进行起动验算；

η——传动效率，ZL 型减速器，$\eta=0.94$，IZHLR 型减速器，$\eta=0.85$。

(2) 倾斜向下运输时：

$$N = KN_0\eta \tag{5-72}$$

式中符号同前。

表 5-40 K_1 值

ω	B（mm）					
	500	650	800	1000	1200	1400
	K_1					
0.018	0.0061	0.0074	0.0100	0.0138	0.0191	0.0230
0.020	0.0067	0.082	0.0110	0.0153	0.0212	0.0255
0.025	0.0084	0.0103	0.0137	0.0191	0.0265	0.0319
0.030	0.0100	0.0124	0.0165	0.0229	0.0318	0.0385
0.035	0.0117	0.0144	0.0192	0.0268	0.0371	0.0446
0.040	0.0134	0.0165	0.0220	0.0306	0.0424	0.0510

表 5-41 K_2 值

ω	0.018	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040
K_2	4.91×10^{-5}	5.45×10^{-5}	6.82×10^{-5}	8.17×10^{-5}	9.55×10^{-5}	10.89×10^{-5}

表 5-42 K_3 值

K_3 L_A(m) / β(°)	15	30	45	60	100	150	200	300	>300
0	2.80	2.10	1.80	1.60	1.55	1.50	1.40	1.30	1.20
6	1.70	1.40	1.30	1.25	1.25	1.20	1.15	1.15	1.15
12	1.45	1.25	1.25	1.20	1.20	1.15	1.15	1.14	1.14
20	1.30	1.20	1.15	1.15	1.15	1.13	1.13	1.10	1.10

表 5-43 N'值

带宽 B（mm）		500	650	800	1000	1200	1400
N'（kW）	犁式卸料器	$0.3n$	$0.4n$	$0.5n$	$1.0n$	$1.4n$	~
	导料栏板	$0.08L$	$0.08L$	$0.09L$	$0.10L$	$0.115L$	$0.13L$

注：表中 n 为犁式卸料器个数，L 为超过 3m 长度的导料栏板长度，即 L 等于导料栏板总长减 3m。

4. 输送带最大张力简易计算

(1) 水平输送。

$$S_{max} = K\frac{N_0}{v} \tag{5-73}$$

式中 S_{max}——最大张力 (N)；

K——传动摩擦系数，$K = \dfrac{102e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha}-1}$ (5-74)

e——自然对数的底；

μ——输送带与传动滚筒的接触摩擦系数；

α——输送带在传动滚筒上的包角（弧度），$e^{\mu\alpha}$值见表 5-44。

N_0——传动滚筒轴功率 (kW)；

v——带速 (m/s)。

(2) 倾斜输送时：

$$S_{max} = K_1\delta \pm K_2H + K_3N_0 \tag{5-75}$$

式中 H——运输机垂直提升高度 (m)；

K_1、K_2、K_3 为修正系数，其选值见表 5-45、表 5-46；

其他符号同前。

表 5-44 $e^{\mu\alpha}$值

驱动滚筒① 表面情况	摩擦系数 μ	胶带绕驱动滚筒包角 α (°)												
		110	120	140	160	170	180	190	200	210	220	300	400	500
		$e^{\mu\alpha}$												
极湿粘污	0.15	1.33	1.37	1.44	1.52	1.56	1.60	1.64	1.69	1.73	1.78	2.63	3.03	4.56
较湿粘污	0.20	1.47	1.52	1.63	1.75	1.81	1.87	1.94	2.01	2.08	2.16	3.64	4.04	7.57
湿粘污	0.25	1.62	1.69	1.84	2.01	2.10	2.19	2.29	2.39	2.50	2.61	5.03	5.73	12.56
粘　　污	0.30	1.78	1.87	2.08	2.31	2.44	2.57	2.70	2.85	3.00	3.16	6.94	8.12	20.81
干　　的	0.35	1.96	2.08	2.35	2.66	2.82	3.00	3.19	3.39	3.61	3.83	9.95	11.51	34.57
干清洁	0.40	2.16	2.31	2.66	3.06	3.28	3.51	3.77	4.04	4.33	4.65	13.24	16.32	57.35

① 滚筒表面衬胶或带有沟槽。

表 5-45 K_1、K_2 值

B (mm)	500	650	800	1000	1200	1400
K_1	260	430	570	880	1200	1600
K_2	6.5	9.0	12.0	18.0	25.0	30.0

表 5-46 K_3 值 ($\frac{v}{102}$)

v (m/s)	0.8	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15	4.0
K_3	128	102	82	64	51	41	33	26

运输机其他参数的计算，参阅《选矿设计手册》。

四、砂泵

1. 常用砂泵的性能及选型

砂泵的选型是根据所输送矿浆的性质（物料粒度、密度、矿浆浓度、硬度、粘度和矿浆的磨蚀性等）来确定砂泵的类型，然后根据输送的矿浆量、扬程和管道损失选定砂泵的规格。

（1）PS 型砂泵。它是选矿厂最常用的砂泵，为卧式侧面进浆离心砂泵。用于输送矿浆和重介质加重剂。输送矿浆浓度可达 60%～70%。采用压入式给矿，工作时需通入少量清水进行润滑、冷却。

（2）PH 型砂泵。它是卧式单级单吸悬臂式离心灰渣泵，最大粒度不大于 25mm，可允许微量 50mm 左右的砂石间断通过。工作时需注入高于工作压力 0.1MPa 的轴封清水。

（3）PN 型砂泵。它是卧式单级单吸悬臂离心泵，输送矿浆浓度 50%～60%。工作时也需注入高于工作压力 0.1MPa 的轴封清水。

（4）PNL 型泵。它是立式单级单吸离心泵，输送矿浆浓度为 50%～60%。

（5）PNJA 型和 PNJFA 型泵。是单级单吸离心衬胶泵。PNJFA 型泵专供输送含腐蚀性矿浆。这两种泵输送矿浆最大浓度为 65%，温度不超过 60℃，采用压入式给矿。

（6）PW 型泵。是卧式单级悬臂离心污水泵。适于输送温度为 80°以下含有纤维或其他悬浮物的液体。PWL 型属于同类的耐腐蚀性清水泵。该泵工作时需注入高于泵工作压力 0.05～0.1MPa 的清水进行润滑和冷却。

（7）长轴泵。全称为长轴立式离心泵，可输送选矿厂各类矿浆和液体。这种泵的箱体有 3 种型式：A 型为单箱体，放置 1 台泵，B 型和 C 型为双箱体，可放置两台泵。

（8）泡沫泵。属立式离心泵，具有消泡作用，消泡率在 75% 以上。它还可作一般水泵使用。

（9）瓦曼（Warman）泵。是澳大利亚瓦曼公司生产的离心砂泵。它具有世界最先进的技术水平。用途广泛，结构先进，运转可靠，使用寿命长。瓦曼泵主要有重型、轻型、液下渣浆泵以及挖泥泵、砂砾泵和溶液泵、泡沫泵。

砂泵的性能，通常用特定转速下的流量与扬程、流量与功率、流量与效率的清水性能曲线表示。它能够反映出当流量变化时，扬程、功率、效率的变化规律。不同类型的砂泵有不同的性能曲线，设计时可参阅有关资料。

2. 砂泵的计算

（1）计算砂泵出口管径。砂泵出口管径按下式计算：

$$d=\sqrt{\frac{4KV}{\pi v}} \tag{5-76}$$

式中 V——所需输送的矿浆量（m^3/h）；

K——矿浆波动系数，$K=1.1\sim1.2$；

d——砂泵出口管径（m）；

v——矿浆临界流速（m/s），参见表 5-47 选用。

计算出的砂泵出口管径往往不是标准管径。当选用管径比计算管径小时，则流速较大，水头损失和管壁磨损增大；当选用管径比计算管径大时，则会产生局部沉淀。为了使管道流畅，在确定标准出口管径后，必须对矿浆临界流速按公式 5-76 进行验算，且不得小于表 5

-48 中规定的压力管内矿浆最小流速。

表 5-47　压力管内矿浆临界流速值（m/s）

矿浆浓度（%）	密度≤2.7 的矿石平均粒度 d_{cp}(mm)				
	≤0.074	0.074～0.15	0.15～0.4	0.4～1.5	1.5～3.0
1～20	1.0	1.0～1.2	1.2～1.4	1.4～1.6	1.6～2.2
20～40	1.0～1.2	1.2～1.4	1.4～1.6	1.6～2.1	2.1～2.3
40～60	1.2～1.4	1.4～1.6	1.6～1.8	1.8～2.2	2.2～2.5
60～70	1.6	1.6～1.8	1.8～2.0	2.0～2.5	—

注：密度（δ）>2.7 时，需乘以校正系数 β_1 或 β_2；

当 d_{cp}≤1.5mm 时，$\beta_1=\frac{\delta-1}{1.7}$；

当 d_{cp}≥1.5mm 时，$\beta_2=\sqrt{\frac{\delta-1}{1.7}}$。

表 5-48　压力管内矿浆最小流速概略值

矿石粒度（mm）	矿石密度（t/m^3）	矿浆量（L/s）	矿浆浓度，%				
			15	20	30	40	50
			最小流速，（m/s）				
1.0	3.4～3.5	30～45			1.85	1.95	2.05
	4.0～4.2	30～45		1.85	1.95	2.05	2.15
		60～80		1.90	2.0	2.1	2.2
	4.2	60～130		1.95	2.05	2.15	2.25
0.6～0	3.4～3.5	13.0～20		1.6	1.7	1.8	1.9
		30～45		1.65	1.75	1.85	1.95
	4.0～4.2	30～45		1.75	1.85	1.95	2.05
		60～80		1.80	1.90	2.0	2.1
0.4～0	3.4～3.5	13～20			1.6	1.7	1.8
		30～45			1.65	1.75	1.85
0.15～0	3.7～3.8	30～45	1.5	1.55	1.65		
		60～85	1.55	1.6	1.7		
	4.4～4.6	30～45		1.65	1.75	1.85	1.95
		60～80		1.70	1.8	1.9	2.0

（2）计算砂泵扬送矿浆需要的总扬程。

$$H_j \geqslant (H + Li)\frac{\delta_p}{\delta_w} + h \tag{5-77}$$

式中　H_j——砂泵扬送矿浆，折合为清水后所需总扬程（m）；

H——需要的几何高差（m）；

L——包括接头、弯头、阀门、三通管等阻力损失折合为直管的总长度（m），查表 5-49。

i——管道清水阻力损失，$i=AV^2$；

δ_p——矿浆密度（t/m^3）；

δ_w——水的密度（t/m^3）；

A——比阻系数查表 5－50；

V——矿浆流量（m^3/s）；

h——剩余扬程（压头）（m），一般 $h=2$。

表 5－49　各种管件折合长度

名　称	管　径　(mm)							
	50	63	76	100	125	150	200	250
弯　头	3.3	4.0	5.0	6.5	8.5	11.0	15.0	19.0
普通接头	1.5	2.0	2.5	3.5	4.5	5.5	7.5	9.5
全开闸门	0.5	0.7	0.8	1.1	1.4	1.8	2.5	3.2
三　通	4.5	5.5	6.5	8.0	10.0	12.0	15.0	18.0
逆止阀	4.0	5.5	6.5	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0

表 5－50　比阻系数 A 值

内　径 (mm)	A	内　径 (mm)	A	内　径 (mm)	A	内　径 (mm)	A
9	2255×10^5	106	267.4	305	0.9392	850	0.00411
12.5	3295×10^4	131	86.23	331	0.6088	900	0.003034
15.75	8809×10^3	156	33.15	357	0.4087	950	0.002278
21.25	1643×10^3	126	106.2	406	0.2062	1000	0.001736
27	4367×10^2	148	44.95	458	0.1098	1100	0.001048
33.75	93860	174	18.96	509	0.06222	1200	0.0006605
41	44530	198	9.273	610	0.02384	1300	0.0004322
53	11080	225	4.822	700	0.01150	1400	0.0002918
68	2893	253	2.583	750	0.007975		
80.5	1168	270	1.535	800	0.005665		

注：表中所示系铸铁管指标，钢管指标为表中值的 75%。

由于砂泵的性能曲线是以清水表示的，因此，应将砂泵扬送矿浆的总扬程折合成清水总扬程。按下式计算：

$$H_k=(H_wK_hK_m)\frac{\delta_p}{\delta_w} \tag{5-78}$$

式中　H_k——砂泵由扬送矿浆折合成清水的总扬程（m）；

K_h——扬程降低率，$K_h=1-0.25C_w$；

C_w——矿浆重量浓度（小数代入）；

K_m——扬程折减系数，一般取 0.8～0.95；

H_w——由砂泵性能曲线或性能表查得的清水扬程（m）。

其他符号同前。

计算结果，必须是供选择的砂泵 $H_b \geqslant$ 所需的 H_j。

(3) 计算砂泵所需功率。

①泵的轴功率。

$$N_0 = \frac{VH_\omega \delta_p}{102\eta_1} \tag{5-79}$$

式中 N_0——泵的轴功率（kW）；

V——扬送的矿浆量（L/s）；

η_1——泵的效率（查泵的清水性能曲线）。

其他符号同前。

②电动机功率。

$$N = K\frac{N_0}{\eta_2} \tag{5-80}$$

式中 N——所需电动机功率（kW）；

N_0——泵的轴功率（kW）；

η_2——传动效率，皮带传动 $\eta_2 = 0.95$，直接传动 $\eta_2 = 1.0$；

K——安全系数，$N_0 \leqslant 40$kW，$K = 1.2$；$N_0 > 40$kW，$K = 1.1$。

(4) 砂泵性能调节。当泵的扬程、扬量不能满足设计要求时，可通过改变泵的转数（或出口管径）进行调节，但调节范围不能超过产品样本给定的允许范围。

①泵的扬量与转数成正比。

$$V_2 = V_1\frac{n_2}{n_1} \tag{5-81}$$

式中 V_2——所需扬送矿浆量（m^3/h）；

V_1——泵在转数为 n_1 时的扬量（m^3/h）；

n_1——性能曲线的工作转数（r/min）；

n_2——当泵的扬量为 V_2 时，所需调整的转数（r/min）。

②泵的扬程和转数的平方成正比。

$$H_2 = H_1(\frac{n_2}{n_1})^2 \tag{5-82}$$

式中 H_2——泵转数为 n_2 时的总扬程（m）；

H_1——泵转数为 n_1 时的总扬程（m）；

n_2、n_1——符号意义同前。

③泵功率同转数的立方成正比。

$$N_2 = N_1(\frac{n_2}{n_1})^3 \tag{5-83}$$

式中 N_2——泵的转数为 n_2 时所需功率（kW）；

N_1——泵的转数为 n_1 时的功率（kW）；

n_2、n_1——符号意义同前。

五、矿仓

矿仓的主要作用是，调节矿山与选矿厂、选矿厂与冶炼厂以及选矿厂内部的生产平衡，

保证整个系统的正常运行，提高设备的作业率。此外，还有脱水，矿石混合，矿石分配和转运的功能。

1．矿仓的类型及形式的选择

（1）矿仓类型。

①按结构形式。有地下式、半地下式、地面式、高架式、抓斗式和斜坡式等矿仓。如图5－2至图5－7。

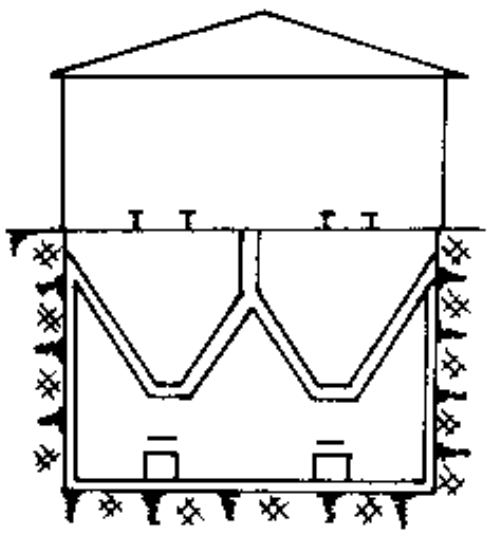


图5－2　地下式矿仓

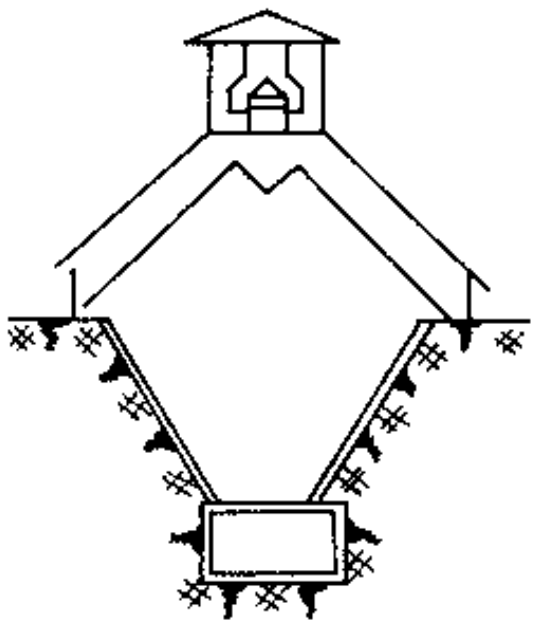


图5－3　半地下式矿仓

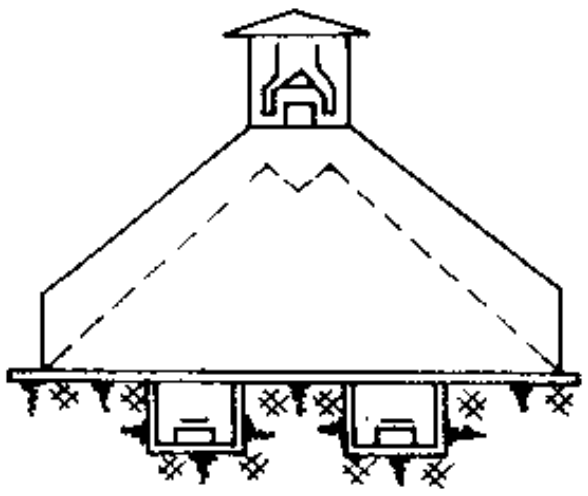


图5－4　地面式矿仓

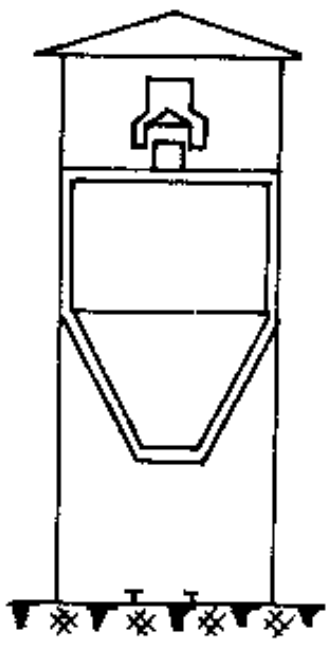


图5－5　高架式矿仓

②按几何形状。有方形、矩形、槽形和圆形等矿仓。如图5－8至图5－11。

③按用途。有原矿贮矿仓、原矿受矿仓、中间矿仓、分配矿仓、磨矿矿仓和精矿矿仓等。

（2）矿仓的选择。

①原矿贮矿仓或矿堆。当选矿厂距矿山较远或运输系统、自然条件较复杂或同一系统处理多种矿石时，为解决采选间的生产平衡，则考虑在粗碎作业前设置较大的贮矿设施（含矿仓和矿堆），但由于原矿粒度大，投资多，生产费用高，设计中很少采用。

②原矿受矿仓。为解决原矿运输和选矿厂之间的生产衔接面设置。矿仓的型式应根据粗碎设备的型式、规格、原矿运输及卸矿的型式、地形条件等因素选定。一般多采用矩形漏斗仓。

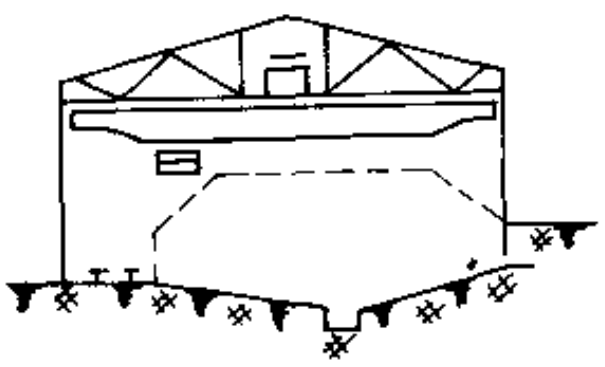


图 5－6　抓斗式矿仓

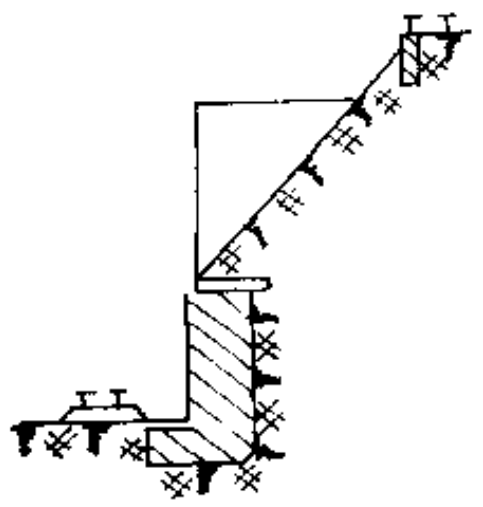


图 5－7　斜坡式矿仓

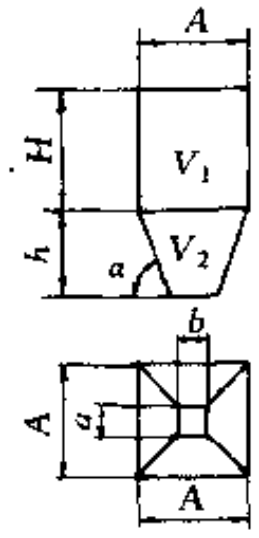


图 5－8　方形矿仓

仓底四面倾斜

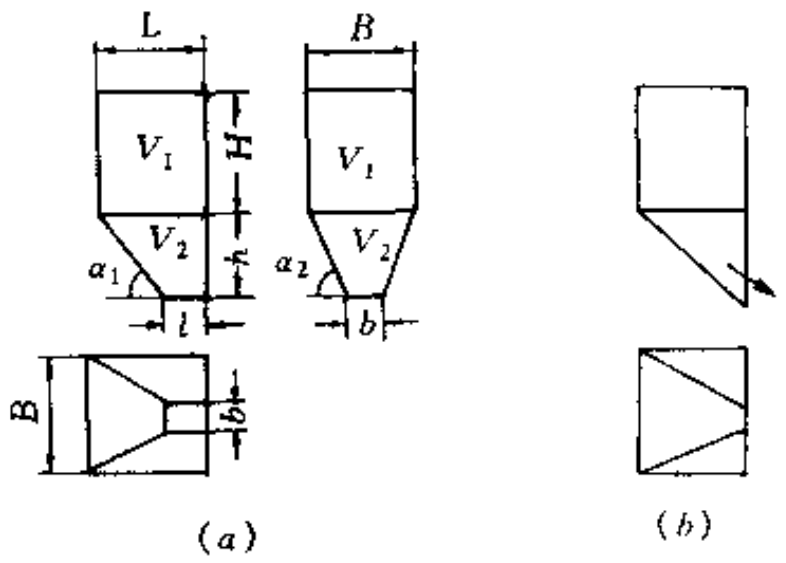


图 5－9　矩形矿仓

(a) 仓底三面倾斜，底部排矿；

(b) 仓底三面倾斜，侧面排矿。

③中间矿仓（或矿堆）。常用于大型选矿厂，设置于粗、中碎之间或细碎之前，多采用地面、半地下式结构，受地形限制的情况下，有时也采用高架式矿仓结构。

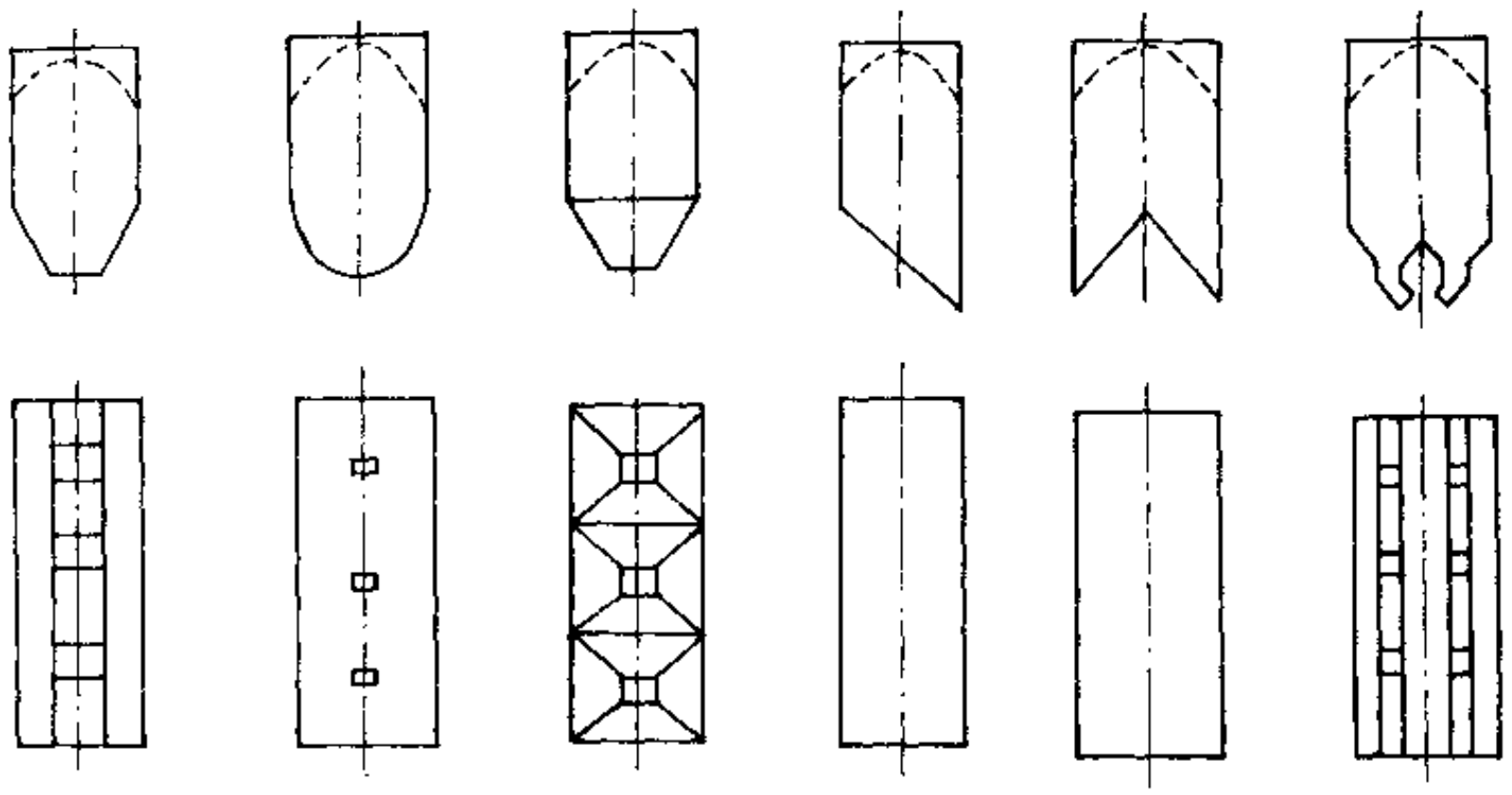
④缓冲及分配矿仓。主要为解决相邻作业的均衡生产问题。一般多采用槽形矿仓，大块矿石常采用平底槽形矿仓。粒度小、粉矿多的矿石采用三面或四面倾斜的漏斗矿仓。

⑤磨矿矿仓。调节破碎与磨矿作业制度的差别，并兼有对各磨矿系列分配矿石的作用。一般采用高架式圆形平底、或槽形锥底矿仓。自磨机给矿多采用地面或半地下式矿仓。

⑥精矿矿仓。为解决选矿厂精矿贮存和外运而设置的矿仓。当使用火车外运时，多采用槽形平底、锥底或高架式圆形平底仓。粘性物料多、含水量大时，则采用抓斗式矿仓。当使用汽车外运时，则采用高架式矩形或圆形矿仓。

2. 贮矿时间的确定

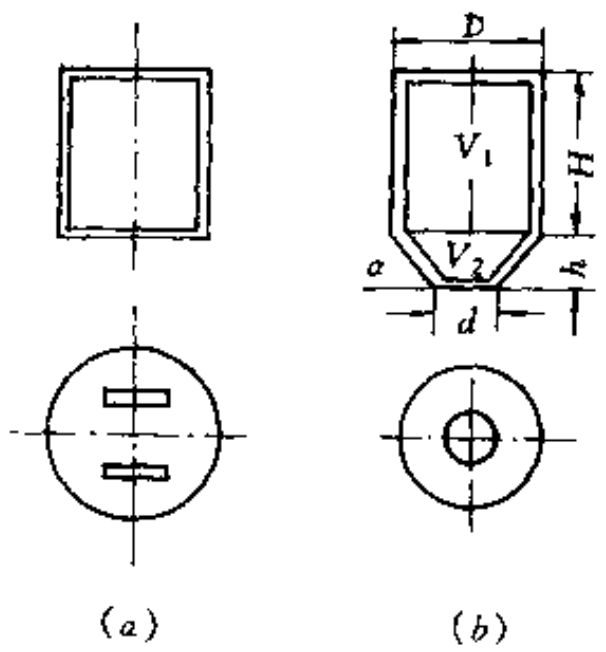
①原矿贮矿仓（或矿堆）的贮矿时间，主要根据原矿运输系统的可靠程度和粗碎设备作业率决定，见表 5－51。



(a)　(b)　(c)　(d)　(e)　(f)

图 5－10　槽形矿仓

(a) 梯形的；(b) 抛物线形的；(c) 四坡漏斗形的；(d) 单坡的；(e) 双坡的；(f) 有两行排矿口的。



(a)　(b)

图 5－11　圆形矿仓

(a) 圆形平底仓；(b) 圆形锥底仓

表 5－51　原矿贮矿仓及矿堆贮矿时间

运　输　条　件	贮矿时间 (d)	备　注
铁路专用线或专用车	1～1.5	包括汽车运输
国家铁路和个辆	1.5～2	
索　道　运　输	1	

②原矿受矿仓的贮矿时间与厂外运输条件和破碎机的型式、生产能力有关。见表 5－52。

③中间矿仓贮矿时间，主要根据原矿运输条件，各作业间的工作制度而定，一般贮存1～2天。大型选矿厂运输条件较好时可取0.5～1天。

④缓冲及分配矿仓的贮存时间，取决于运输系统能力及设备生产能力之间的差额，当两者能力接近时，贮矿时间取小值。各作业的缓冲和分配矿仓贮矿时间，见表5－53。

表5－52　原矿受矿仓贮矿时间

工　作　条　件	贮　矿　时　间　(h)	备　　注
采用规格大于900的旋回破碎机时，应设有挤满给矿的受矿仓	贮矿时间按运输设备每次卸入量考虑，一般应大于一个车箱容量	采用小矿车运矿时，700旋回破碎机也可采用挤满给矿方式
采用箕斗、索道、小型汽车、汽车运输原矿时，破碎前应设有给矿机	大型厂　0.5～2 中型厂　1～4 小型厂　2～8	按破碎机实际生产能力计算

表5－53　缓冲及分配矿仓贮矿时间

矿仓位置	挤满给矿旋回破碎机的排矿仓	倒装和转运矿仓	中破碎前矿　仓	细破碎前矿　仓	闭路筛分机机组前矿仓	单独筛分前矿　仓
贮存时间(min)	按大于两个给矿车箱的装载量计算	按大于一次装入量或其输出量计算	10～15	15～40	15～40	15～40
备　注		输出系统的事故时间另计，按小时能力增加贮量			细碎机与筛子配为一组	

⑤磨矿矿仓的贮矿时间，一般为24～36h。选矿厂规模小，设备情况差，可适当增加贮矿时间。当设置了中间矿仓时，贮矿时间可适当减少，但一般不小于24h。

⑥精矿矿仓的贮矿时间，根据生产情况及外部运输条件而定。具体时间参照表5－54选定。

表5－54　精矿矿仓贮矿时间

外部运输条件	国家铁路局	企业专用线	内河船舶	汽　车	海运船舶
贮矿时间（d）	3～5	2～3	7～14	5～20	15～30

注：①国家铁路承受运输业务，空车来源不足时，贮矿时间取上限值；

②汽车运输，运距远、气候条件差，或产品数量少时，贮矿时间取上限值；

③产品畅销，运输条件好时，贮存时间取下限；

④选矿厂距冶炼厂很近时，精矿矿仓应与冶炼厂的原料矿仓合并，其贮存时间可在冶炼厂设计中统一考虑。

3．矿仓有效容积计算

矿仓需要的有效容积按下式计算：

$$V' = \frac{Q}{\gamma} \tag{5－84}$$

式中　V'——矿仓需要的有效容积（m^3）；

Q——需要的贮矿量（t）；

γ——矿石松散密度（t/m^3）。

确定矿仓需要的有效容积后，按下式计算矿仓的几何容积：

$$V = \frac{V'}{K} \tag{5-85}$$

式中 K——矿仓的利用系数，一般 $K \approx 0.9$；

V——矿仓的几何容积（m^3）；

V'——矿仓的有效容积（m^3）。

4. 选矿厂常用矿仓几何容积的计算

(1) 方矿仓。如图 5－8 所示。

$$V_1 = HA^2 \tag{5-86}$$

式中 V_1——矿仓上部几何容积（m^3）；

H—— 矿仓上部高度（m）；

A——矿仓上部内壁长度（m）。

当卸料口为矩形时（$b < a$）

$$V_2 = \frac{A-b}{12}(2A^2 + Aa + Ab + 2ab)\ \mathrm{tg}\alpha \tag{5-87}$$

式中 V_2——矿仓下部几何容积（m^3）；

a、b——分别为矿仓下部卸料口长和宽（m）；

α——矿仓下部斜壁倾角（°）。

当卸料口为方形时（$a = b$）：

$$V_2 = \frac{A-a}{6}(A^2 + Aa + a^2)\ \mathrm{tg}\alpha \tag{5-88}$$

其他符号同前。

总容积 $V = V_1 + V_2$

有效容积 $V' = KV$

(2) 底仓三面倾斜矩形仓。这种矿仓有底部排矿和侧面排矿两种。底部排矿的三面倾斜矩形仓容积计算如下：

如图 5－9（a）所示：

$$V_1 = HLB \tag{5-89}$$

式中 L——矿仓上部长度（m）；

B——矿仓上部宽度（m）。

$$V_2 = \frac{h}{6}[BL + (B+b)(L+l) + bl] \tag{5-90}$$

式中 h——矿仓下部高度（m），$h = (L-l)\ \mathrm{tg}\alpha_1$；

l——矿仓下部卸料口长度（m）；

b——矿仓下部卸料口宽度（m）；

其他符号同前。

总容积 $V = V_1 + V_2$

有效容积 $V' = KV$

(3) 圆仓。如图 5－11（b）所示：

$$V_1 = \frac{1}{4}\pi D^2 H \tag{5-91}$$

式中　D——矿仓上部直径（m）。

$$V_2 = \frac{1}{12}\pi h\ (D^2 + Dd + d^2) \tag{5-92}$$

式中　h——矿仓下部高度（m）；h 可通过下式计算：

$$h = \frac{D-d}{2}\mathrm{tg}\alpha \tag{5-93};$$

d——矿仓下部排矿口直径（m）。

其他符号同前。

总容积　　$V = V_1 + V_2$

有效容积　　$V' = KV$

对其他形式的矿仓，同样根据其矿仓的几何图形计算几何容积，然后在考虑利用系数的基础上计算出矿仓的有效容积。

思考题

（1）磨矿矿仓排矿常用的给矿机有几种？

（2）简述矿仓按几何形状和按用途的分类。

（3）简述格子型球磨机最适宜的磨矿粒度范围。

（4）阐述设备选择的主要原则。

（5）选择破碎机应满足哪几个基本要求？

（6）磨矿机型式选择的依据是什么？

（7）阐述选矿设备生产能力的计算方法。

（8）破碎设备、磨矿设备生产能力计算为什么要乘上一些修正系数？

（9）简述破碎磨矿设备方案比较的主要指标。

（10）试述跳汰、摇床、螺旋选矿机、离心选矿机和皮带流槽最适宜的选别粒度范围。

（11）已知磨矿机给矿中 -0.074mm 含量为 6%，磨矿细度 -0.074mm 为 60%，磨矿机的有效容积为 $9m^3$，每台处理能力 16.6t/h，计算该磨矿机按 -0.074mm 粒级计的 8 小时生产能力。

（12）已知磨矿机给矿中 -0.074mm 含量为 10%，磨矿细度 -0.074mm 含量为 90%，系数 $k=0.82$，$m=1$，$q=1.1$，按一次计算法计算两段全闭路磨矿流程磨矿机的总容积，各段容积以及第一段磨矿细度。

第六章　总体布置与设备配置

第一节　总体布置

总体布置是选矿厂设计中的重要组成部分。一个建设项目没有总体设计，就会使总体布置分散、紊乱、不合理，造成无计划的盲目建设，既影响生产和生活的合理组织，又影响建设的经济效果和建设速度，也破坏了建筑群体的统一和完整。所以，新建选矿厂，必须在已确定厂址的用地范围内，合理地、经济地进行总体布置。

选矿厂总体布置是在国家工业建设有关政策指导下，根据选矿厂建筑群体的组成内容和使用性能要求，结合地形条件和工艺流程，综合研究建筑物、构筑物以及各项设施之间的平面和空间关系，正确处理厂房布置、交通运输、管线综合、绿化等问题，达到充分利用地形、节约土地，使建筑群的组成和设施融为统一的有机整体，并与周围环境及其它建筑群体相协调。

通常，一个选矿厂的总体布置，在综合考虑各种因素之后，可用平面和剖面（竖向）设计图纸表示出来，如图 6－1 和图 6－2。

总体布置涉及多方面的知识，是一项技术性、政策性很强的工作，需要与有关专业密切配合才能正确进行总体布置。不同类型选矿厂总体布置，同设计对象的性质、规模、使用性能和当地条件（如地形、地质、气象、水文、周围环境、城市或农村规划要求）有密切的关系。因此，总体布置必须处理好局部与整体、工业与农业、生产与生活、建设与自然、设计与施工、近期与远期等关系。

一、总体布置的原则及一般规定

1. 总体布置的原则

（1）总体布置必须贯彻国家工业建设有关方针、政策。认真贯彻十分珍惜和合理利用每一寸土地，切实保护耕地和防止污染，保护环境的国策，做到合乎国情、安全适用，技术先进，经济合理。

（2）总体布置应符合所在地的地区规划，或城镇、农村规划的要求。宜以现有城镇为依托，对辅助生产、废料加工、交通运输、维修服务和生活服务等方面进行广泛协作，如厂址附近无城镇可依托时，应按国家工业建设有关规定进行总体规划。

2. 总体布置一般规定

（1）总平面布置须进行多方案比较，确定合理的布置方案。

根据工艺流程、运输条件、安全卫生、施工管理等因素，结合场地自然条件，进行多方案比较。即：

①满足生产、生活的使用性能，分区组合建筑群和道路。总平面布置应以主要工业场地为主体，全面规划，统筹安排，如出入口的位置、交通线路的走向、建筑物的平面组合等，应按相互之间的性质关系和特点进行布置，使其紧凑合理；确定各性能区的外形时，其面积

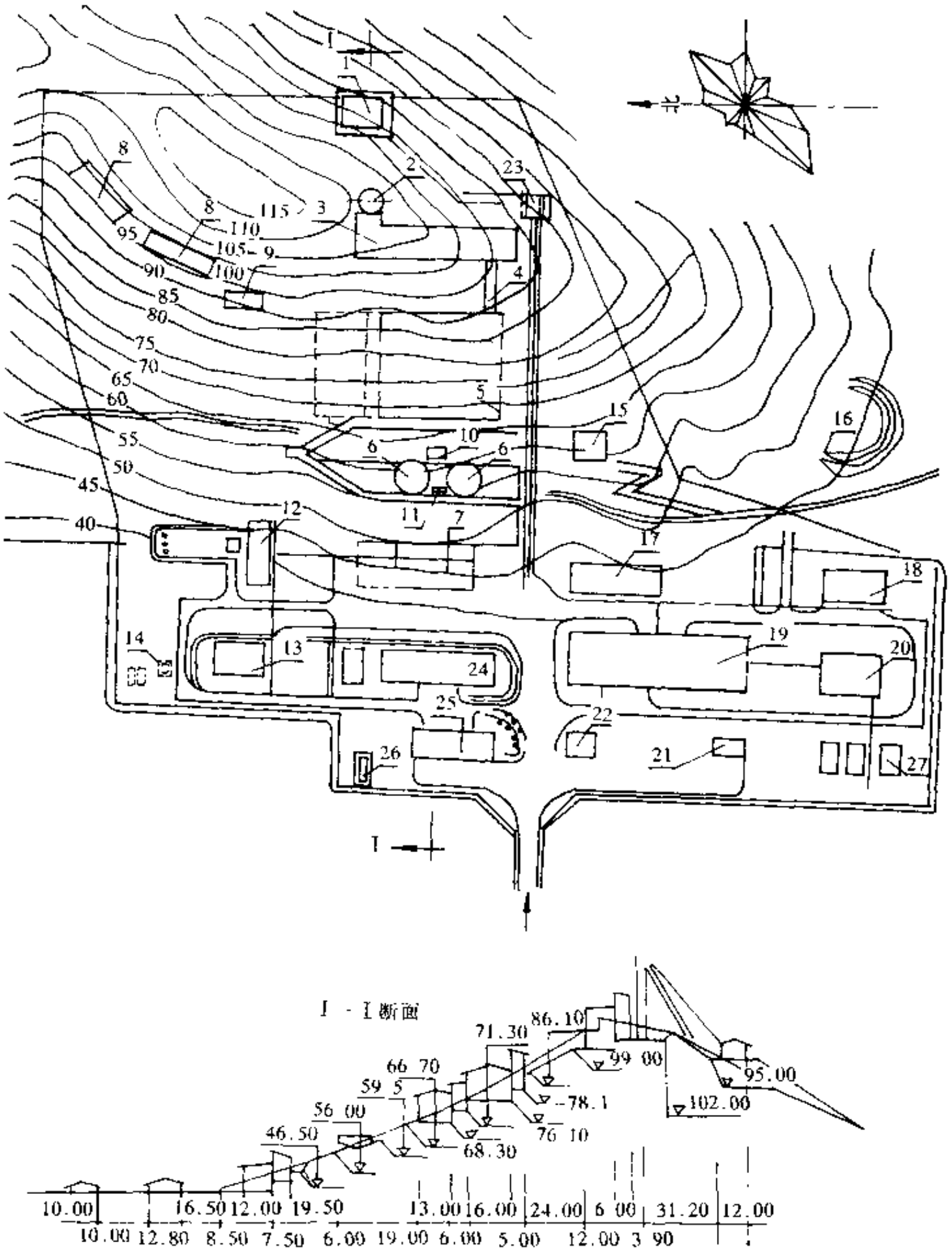


图 6－1　设在斜坡上的浮选厂总平面图

1——竖井卷扬机房；2——竖井；3——破碎车间；4——皮带通廊；5——磨浮车间；6——浓缩池；7——脱水车间；8——选矿厂高位水池；9——净化站及防火加压水泵房；10——精矿回水池；11——浓缩机溢水池；12——总降压变电所；13——柴油发电机房；14——燃料油库；15——尾矿第一砂泵房；16——尾矿事故沉淀池；17——材料仓库；18——石灰仓库；19——机修车间；20——铸造车间；21——油库；22——汽车库；23——斜坡卷扬机房；24——试验室、化验室；25——行政福利室；26——堆煤场；27——露天堆放场。

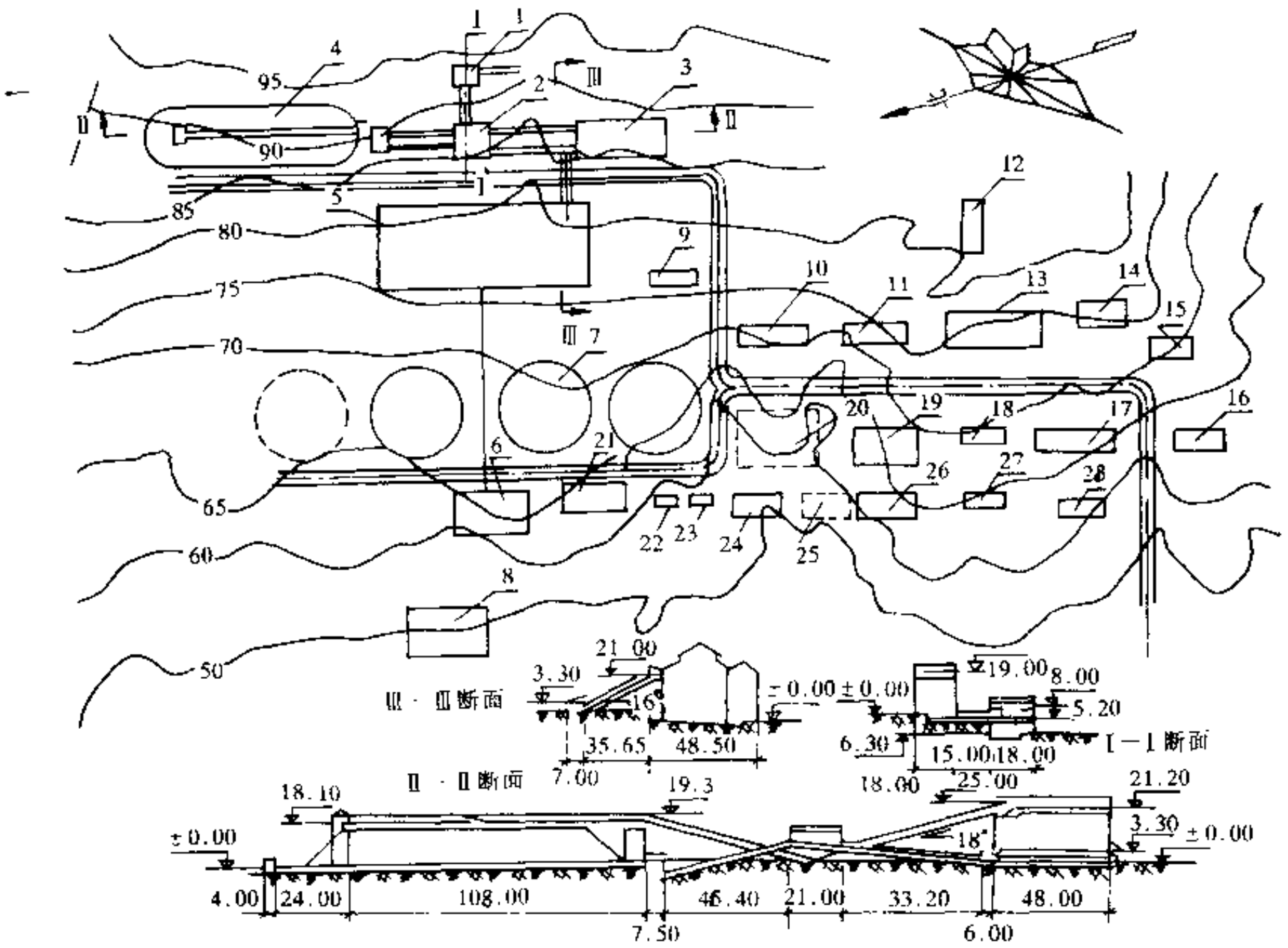


图 6－2　设在缓坡上的磁选厂总平面图

1——中碎车间；2　—中间转运站；3——细碎车间；4——中间矿槽；5——磨矿磁选车间；6——过滤车间；7—　浓缩池；8——尾矿事故沉淀池；9——车间办公室；10——食堂；11·　铆锻车间，12——变电所；13——·机钳车间；14—·　电修车间；15—·—电机车修理间；16——坑木加工厂；17——采矿、选矿联合办公室；18·　—检修车间；19　·—铸造车间；20——体育运动场地；21——钢球车间；22——浴池；23　—锅炉房；24·　·—堆煤场地；25——材料堆置场；26——材料仓库；27　—油库；28—··汽车库·

不宜过小，通道的数量不宜太多，并与周围环境协调统一。生产上做到流程畅通，生活上使用方便。

②节约用地，做到技术、经济上合理，尽量利用荒地、劣地，不占或少占耕地、好地，少拆迁民房，结合当地条件因地制宜地进行总平面布置；充分利用和保护天然排水系统及山地植被；注意避开滑坡、塌陷、滚石、泥石流等不良地质地段、烈度为 7～9 度的地震区、湿陷性黄土地区、膨胀土地区；亦应避开在国家规定的风景区、自然保护区、历史文物古迹保护区、生活饮用水水源地卫生防护带内、有开采价值的矿床上、不能确保安全的水库、尾矿库、废料堆场的下方以及圈定的军事设施范围等。

③满足卫生、防火、安全等有关技术规范。建、构筑物之间的间距应结合通风、防火、防震、防噪声等要求综合考虑，合理确定。在常年盛行风向的同一延长线附近，不宜布置有多个污染源的工业场地，避免各个场地的互相影响，对散发烟尘、有害气体的建、构筑物，应布置在工业场地和居住区常年最小频率风向的上风侧，并采取措施避免各个场地的相互

影响。

(2) 充分注重选矿厂工业场地的竖向布置。

竖向布置应与平面布置统一考虑，并与场地外现有的和规划的运输线路、排水系统、场地标高等相协调。在满足生产、安全运输、排水、卫生等要求的同时，应注意全厂环境的立体空间美观。

①在江、河、湖、海沿岸地带场地的设计标高，应高出设计水位加波浪侵袭高和壅水高，再加0.5m；矿井（含竖井、斜井、平硐等）的井口标高再加1m。当所在地区无计算洪水资料时，选矿厂的最低设计标高，可采用调整核定的历史洪水位加0.5m进行设计。

②选矿厂的竖向布置一般采用台阶式布置。台阶宽应满足建、构筑物和运输线路的布置、管线敷设、场地绿化和施工要求。台阶高度按生产工艺要求、物料运输联系、地形及地质条件等因素确定（以1～4m为宜，但不宜大于6m），当有特殊要求并能确保台阶稳定时，可适当提高。建、构筑物至边坡脚或挡土墙的最小净距宜为4m，困难条件下不得小于2m。

③场地平整的土石方及地下工程余土的总填、挖量应力求平衡，此时工程费用最少。填、挖方边坡、填方压实、填方基底处理、填方土料要求等，应符合《工业与民用建筑地基基础设计规范》的有关规定。

④场地排雨水，应根据场地工程地质条件与使用要求，可采用自然排水、明沟排水、暗沟（管）排水或混合排水方式。管沟出口段应与天然水道或原有排水系统衔接。建、构筑物周围场地的最小整平坡度不宜小于0.5%，最大不宜大于6%。

(3) 管线综合布置合理。

①管线综合布置应满足安全使用、维护检修和施工要求，并需满足最短敷设长度要求和扩建时所需的最小合理间距，并按地上、地下管线的具体规定敷设。

②管线的敷设方式，应根据地区自然条件，管内介质的特性、空间利用的要求、道路宽度、施工和检修等因素确定。在符合技术、经济和安全的条件下，宜采用共架、共杆或共沟布置。

③管线应与道路和建筑物平行敷设，干管应布置在靠近主要用户或支管较多的一侧，尽量减少管线之间、管线与运输线路间的交叉。当相互交叉时，宜成直角通过，在条件困难时，其交角不得小于45°。

④各管线相互位置的关系应符合以下原则：有压力管线让自流管线，管径小管线让管径大管线，可弯曲管线让不可弯曲或难弯曲管线，无管沟管线让有管沟管线，新设计管线让原有管线，临时性管线让永久性管线，工程量小管线让工程量大管线，施工检修方便管线让施工检修困难管线。

(4) 满足交通运输要求。

①厂外主要货物运输，采用单一的运输方式为宜，必要时也可采用不同运输方式的联合运输，但必须处理好不同运输方式的衔接；厂内运输可采用多种运输方式，按计划在规定线路上均衡运输，应避免多次倒运，精简运输中转层次。

②物料运输线路的布置要短捷、畅通，避免重复交叉，避免人流、货流线路相互干扰。厂内运输线路应符合《工业企业厂内运输安全规程》的规范；厂外运输线路应符合《工业化标准轨距铁路设计规范》和《厂矿道路设计规范》的规定。

③装卸运输设备的选择类型与规格不宜过多，保证运输和装卸作业的连续性，确保企业的最小库存量及设施。

(5) 合理进行绿化布置，加强环境保护。

①绿化布置要与建、构筑物、道路、管线的布置统一考虑，充分发挥绿化在改善小气候、净化空气、防火防尘、美化环境方面的作用，有色金属新建厂绿化占地率不得小于15%，矿山与选矿厂则以保护当地生态环境，减少植被破坏为主。

②注意绿化结合生产，生产区的树木种植应不影响厂房的采光和通风要求，选矿厂周围已有树木和绿地应保留，空地及防护地带应绿化。

③绿化植物的选择与建、构筑物的最小水平距离应符合有关规定，使绿化布置与建筑群体、空间环境协调一致，形成层次丰富、环境优美的景观。

(6) 合理考虑发展和预留改、扩建用地。

在处理近期建设和远期发展的关系上，应根据批准的可行性研究报告中有关发展的要求，本着远近结合、以近为主、近期集中、远期外围、自内向外、由近及远的原则进行布置，达到近期紧凑、远期合理，预留地应设在工业场地之外。对于改、扩建工程项目要在原有基础上挖潜革新、填空补实，正确处理好新建工程与原有工程之间的新老关系。本着“少花钱、多办事”和“充分利用、合理改造”的原则，通过全盘考虑，作出经济合理的远期规划布局和分期改、扩建设计。

二、选矿厂总平面组成及厂房布置要求

1. 选矿厂总平面组成

选矿厂总平面组成可分为四个不同性能要求的建筑群，即主要生产厂房、辅助生产厂房、公用工程设施、行政管理及生活福利设施，亦即主要工业场地、辅助工业场地及居住场地。

(1) 主要工业场地。应布置选矿厂的主要生产厂房和辅助生产厂房，包括破碎厂房内的原矿仓、粗碎、中间矿仓、中碎和细碎；主厂房内的磨矿矿仓、磨矿和选别；脱水厂房内的浓缩池、过滤、干燥、精矿贮存和装运；连接各厂房、设施的胶带运输机通廊、转运站等建筑物；直接为生产服务的维修站、药剂贮存制备及给药、选矿试验室、化验室、技术检查站、备品备件及材料仓库、锅炉房及燃料堆场、以及选矿厂职能办公室等。

(2) 辅助工业场地。应布置矿山、选矿厂或其它企业共用的工程设施及厂房，包括靠近主要用户的总降压变电所及设施、机修和汽车修理及外部运输设施、位于工厂或生活区上游的水源地和供水设施、以及下游的污水处理场和在地势较低地区设置油库等。

(3) 居住场地。应布置居住区的生活福利设施，包括职工住宅、公用食堂、浴室、医务所、子弟学校和托儿所、文娱场所及行政办公室等。

2. 厂房布置要求

(1) 主要生产厂房的平面位置，应布置在以挖土为主的地段；选矿厂外部运输道路的路面标高应高于洪水位0.5m以上；场地平整标高应高于地下水位0.5m以上；厂内地面应高于厂外地面0.15～0.3m。

(2) 厂房之间的布置，应根据工艺流程特点和技术发展要求，充分利用地形，贯彻自流、紧凑的原则，合理确定预留场地。

(3) 选矿厂排出的尾矿、污水、粉尘、有害气体、噪声和放射性物质等，应有妥善处理设施，并符合国家现行标准、规范的规定，如建筑设计防火规范、防震及交通安全规定、工业安全保护规定、环境保护规定等。

(4) 选矿厂辅助生产厂房及设施，应尽量靠近主要生产厂房，但必须符合有关规范标准。如试验室、化验室应与破碎、磨矿厂房保持必要的距离，一般不小于 50m；技术检查站宜设在主厂房内等。

三、选矿厂厂房布置方案及建筑形式

1. 厂房布置方案

所谓厂房布置方案，即按厂房的外形（即厂房配置的平面和剖面形式），在满足工艺流程要求、地形特点、施工技术条件下的布置方法。厂房布置方案分山坡式和平地式两种。山坡式布置，实现选矿厂工艺流程自流较经济，如破碎厂房的地形坡度为 25°，主厂房的地形坡度为 15°左右。平地式布置，对地形坡度无严格要求，但为解决厂区排水问题，其厂区自然坡度以 4°～5°为好。

2. 厂房建筑形式

(1) 多层式厂房。对地形坡度小于 6°的平地和大于 25°的陡坡地形，宜建造多层式厂房。平地地形的厂址，其原矿仓设在地下，将原矿一次提升到足够的位置后借助重力，自流至各层加工处理；陡坡地形的厂址，其原矿仓设在最高位置，而后按工艺流程由上至下逐层布置厂房，这样，厂房内机组之间的落差较大，因此，多用于物料自流坡度要求较大、流程中返回作业少的工艺过程。如破碎筛分厂、重介质选矿厂、洗煤厂及干式磁选厂。多层式厂房的优点是，厂房占地面积小，操作联系方便。缺点是厂房高度大，结构复杂，基建费用大。

(2) 单层阶梯式厂房。在 10°－20°的山坡上，按工艺流程顺序，由高至低将厂房布置在几个台阶上。厂房的长度方向基本平行于地形等高线，各台阶的厂房均为单层厂房，设备则安装在各台阶地面上。当台阶数不能满足布置厂房的场地数时，可沿等高线方向两端相邻场地布置厂房进行横向联系，则物料流动线作相应的平行移动，并垂直于下一个台阶的厂房长度方向，即所谓的错台式竖向布置。优点是能确保选矿厂主矿流实现自流，厂房结构简单，造价低，厂房内无中间楼面，自然采光好，尤其是对大、中型浮选厂和以摇床为主的重选厂，厂房面积大显得更为合理。但在土地征用费昂贵的地区需权衡利弊。

(3) 混合式厂房。设计中常用的布置形式。特别对处理多金属矿石的大、中型选矿厂，工艺流程复杂、地形条件利用有限，采用混合式厂房尤为有利。一般将主要设备按单层阶梯式布置，返回物料量小的作业布置在多层式厂房内，既减少了占地面积，又方便生产管理。平缓地区，采用提升运输设备和多层式厂房，以实现选矿厂主矿流的自流布置。

第二节　厂内设备配置

厂内设备配置的任务是按工艺流程的要求，确定设备在厂房内平面与剖面的合理位置；保证流程的畅通和设备的正常运转；具有操作方便、安全、卫生的工作环境。

一、设备配置的主要原则

(1) 设备配置必须满足选矿工艺流程要求。即设备配置应严格按照工艺流程结构进行，保证工艺流程的正确性。

(2) 确保工艺流程基本自流。即应尽可能地按物料流动方向和运输方式配置，实现或基本实现主矿流自流，不用或少用砂泵。这不仅可以节省电能和大量经营费用，而且还有利于

作业稳定和生产正常。

(3) 注意流程具有灵活性。即对同一作业的多台同型号、同规格的设备或机组，尽可能配置在厂房内同一标高，以便变革流程时设备具有互换性。

(4) 配置时，除考虑其他专业设施留出必要的平面和空间位置外，力求配置紧凑，生产安全，操作、管理、检修方便。

(5) 随着选矿厂自动化程度的提高和计算机在选矿过程中的应用，协同相关专业考虑局部集中控制或中央集中控制。

二、设备配置方案

厂内设备配置，实际上是按机组进行的（特别是破碎厂房）。所谓机组，即把两个以上的设备（包括标准设备中的工艺设备、辅助设备和非标准设备中的部件及构筑物等）配置在一起，并通过自流或短距离运输机联结所形成的机械组合。标准设备具有准确的联结形式、规格和尺寸，设计者只需确定出机组中非标准部件和构件的连接形式和尺寸，即可计算出该机组进、出矿流空间位置。然后结合厂房布置场地大小选择运输机械，并考虑操作条件和建筑标准，以决定相邻两机组是配置在同一厂房还是分设厂房。

两机组配置在同一厂房的基本条件是：

(1) 在确保物料流动畅通的前提下，厂房的长宽尺寸能布置在平整的场地内；

(2) 选用运输机械连接两个机组后，厂房的空间利用系数合理，能节省建筑面积；

(3) 两个机组配置在同一厂房后，其检修设备起重量大致相同，可节省检修吊车。

破碎厂房设备机组配置图，如图 6－3、图 6－4 和图 6－5 所示。

1. 颚式破碎机配置机组图

图 6－3 为颚式破碎机设备配置机组主剖视图。其矿流方向是：原矿从矿仓经板式给矿机 1，由溜槽给入颚式破碎机 2。因此该配置图可以看作是由矿仓、板式给矿机 1、粉矿集矿漏斗及胶带运输机 3 和颚式破碎机 2、排矿漏斗、胶带运输机 4 两个机组，通过颚式破碎机前的溜槽连接在同一跨度厂房内。在作此图时，既可先确定前一机组，也可先确定后一机组，再将两个机组借助于溜槽，使矿石从前一机组自流到后一机组，然后再按生产操作条件，设备检修，通道要求，地面排污设施和建筑规范要求等完善和核查该配置图。

2. 旋回破碎机挤满给矿配置机组图

图 6－4 既可看成 PX1200/180 型旋回破碎机挤满给矿配置机组图，也可视为由挤满矿槽、1200/180 旋回破碎机 1 和重型板式给矿机 2、胶带运输机 3 两个机组，通过缓冲矿仓的上下连接形成粗碎厂房的配置图。

3. 细碎机配置机组图

图 6－5 是以闭路振动筛 5 和细碎机 8 为主体设备的两个机组，按矿流进出方向配置在同一跨度（A、B 柱）内。振动筛 5 的机组是由电振给矿机 4、筛下产品导料漏斗和胶带运输机 7 组成。细碎机 8 的机组是由排料溜槽和下面的胶带运输机 10 组成。连接两个机组的是振动筛筛上产物的导料溜槽，它也是细碎机 8 的给矿漏斗。

两个机组能否设置在同一厂房，一般应考虑以下因素：

①机组本身的高差和重叠后的高度、以及连接它们之间的水平距离等是否可能和合理；

②选用中间运输设备使用技术条件的可能性（如提升角度等）；

③两个机组同设一厂房后，建筑面积、空间利用系数及结构等是否符合建筑规范；

④同时必须结合场地考虑能否布置下一厂房；

⑤在一厂房内共用检修设备的经济性、操作维修是否方便，以及共用排污设施的可能性等方面加以比较。

三、破碎厂房的设备配置

1. 设备配置方案

常用破碎流程有两段开路、两段一闭路、三段开路和三段一闭路。每种流程可根据场地、设备类型、规格和数量，给、排矿方式，矿仓位置、形式以及筛分与破碎设备是共厂房、或分厂房等可配置成若干方案。常用两段破碎和三段破碎流程的设备配置方案示意图，见图 6－6。可见，影响破碎设备配置方案很多，但根据厂址地形坡度归纳为 3 种方案：

(1) 横向配置方案，即物料流动线平行地形等高线；

(2) 纵向配置方案，即物料流动线垂直地形等高线；

(3) 混合配置方案，即横向配置与纵向配置并用。

前两种配置方案常用于开路破碎流程，如图 6－7、图 6－8、图 6－11 和图 6－12 所示；

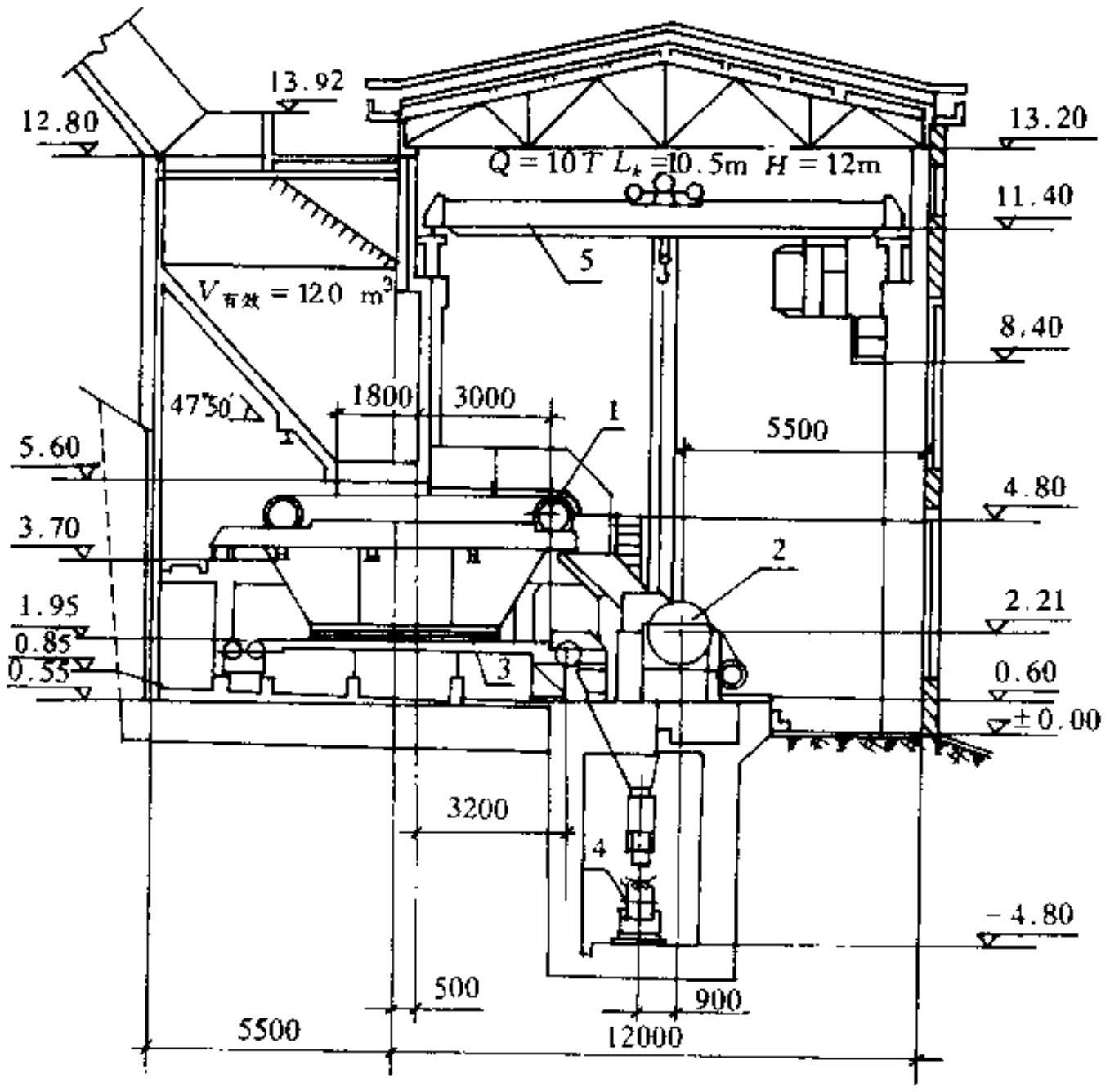


图 6－3　颚式破碎机机组连接图

1——1200×6000 重型板式给矿机；2——PEF600×900 颚式破碎机；3——TD75－5050 胶带运输机；4——TD75－6050 胶带运输机；5——10t 电动双梁桥式起重机。

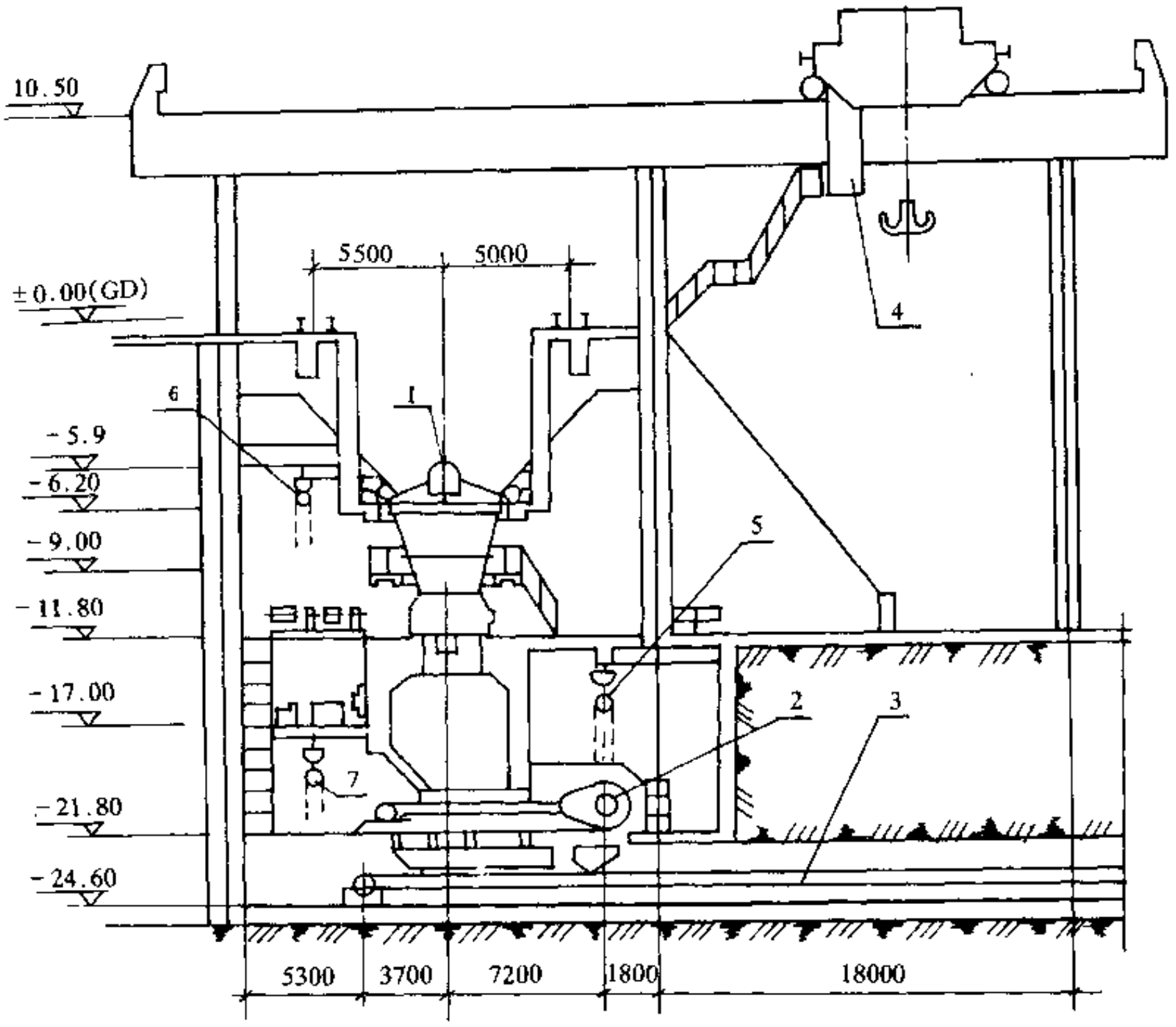


图 6－4　PX1200/180 型旋回破碎机挤满给矿配置机组图

1——1200/180 旋回破碎机；2——2400×10000 重型板式给矿机；3——TD75－1400 胶带运输机；
4——75/20 电动双钩桥式起重机；5——10t 手动葫芦及手动单轨小车；
6——5t 手动单轨小车及手动葫芦；7——2t 手动单轨小车及手动葫芦。

后一种配置方案常用于闭路破碎流程，如图 6－9、图 6－10、图 6－13 和图 6－14 所示。

2. 设备配置要点

(1) 开路破碎宜采用方案 2，闭路破碎宜采用方案 1 和 3。

(2) 破碎、筛分等主要设备，应采用单系列配置；对大、中型选矿厂的破碎、筛分机组，宜分别单独设置厂房；破碎流程中如有洗矿及重介质选别等作业，亦单独设置厂房。

(3) 破碎机等大型设备宜配置在坚实地基上，以减少基建投资。

(4) 细碎机和筛分机台数超过 2 台时，应设置分配矿仓，确保给料均匀。

(5) 中、细碎机前应设置除铁装置，以保证中、细碎机的工作安全。

(6) 连接破碎、筛分机组的胶带运输机通廊，应采用封闭式结构。在气象条件较好的地区，可采用活动防护罩式结构。通廊的地下部分应采取通风、防水和排污设施，通廊地下部分至地上交接处，应设置平台及通行门。

(7) 破碎厂的露天矿堆及石灰堆场，应设在厂区最大风频的下风向，并与主要生产厂房

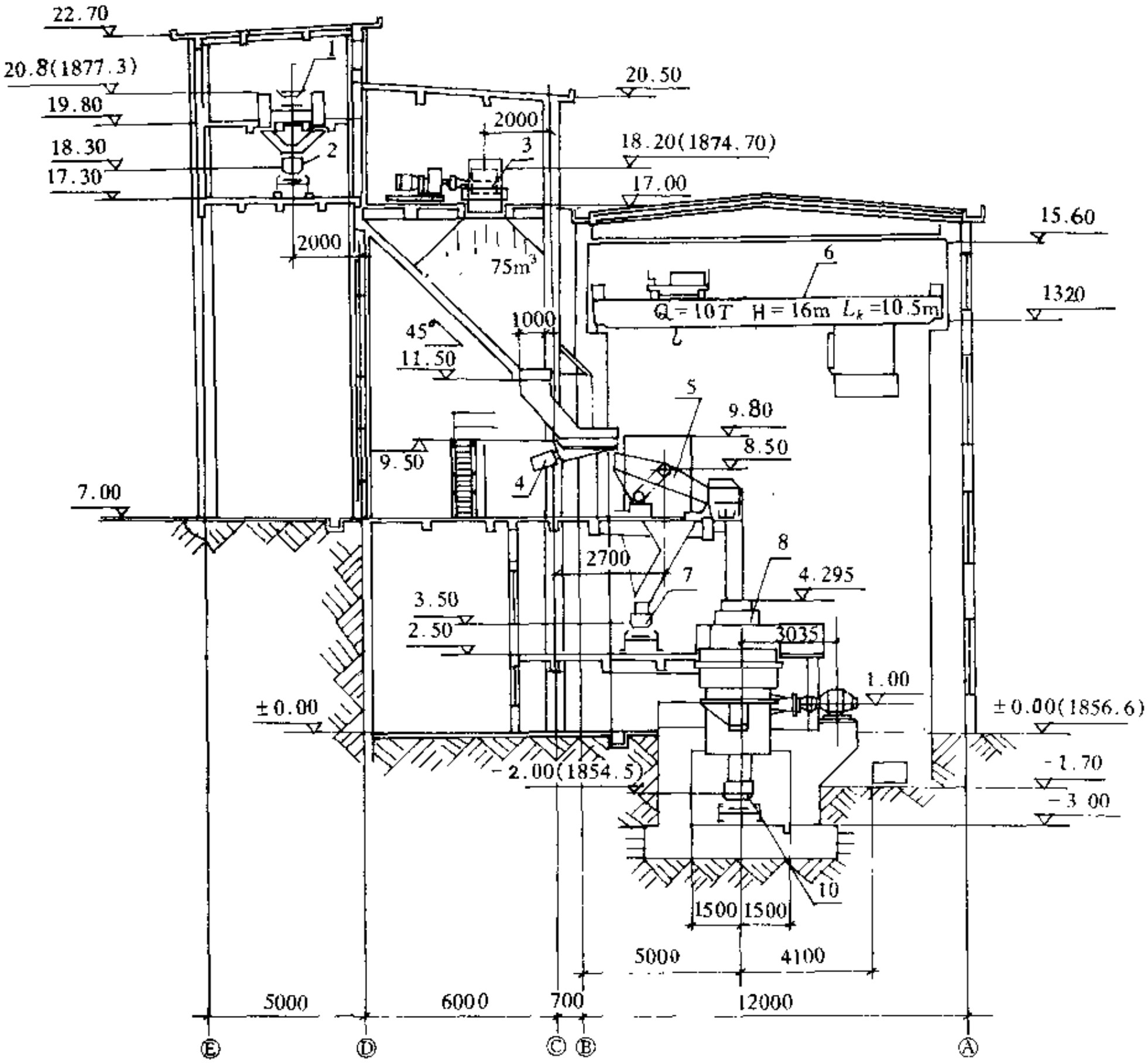


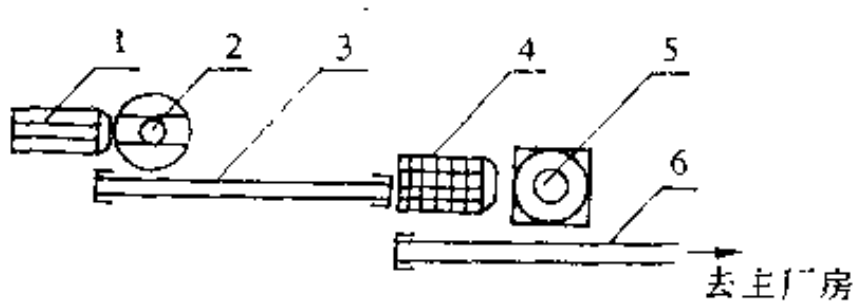
图 6－5　振动筛与细碎机机组配置图

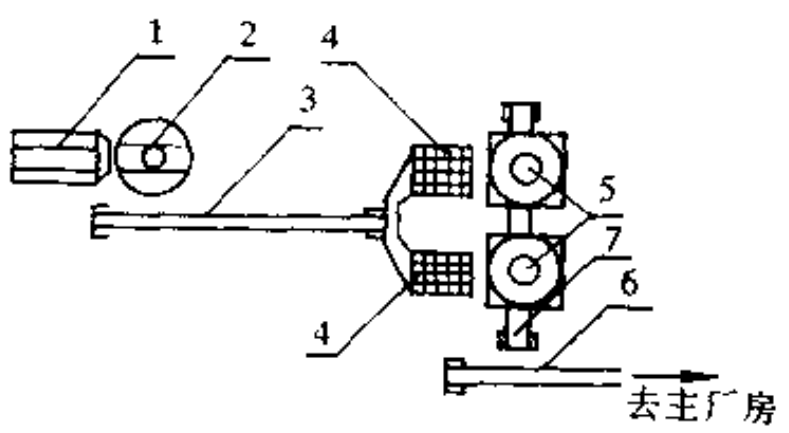
1——B800 胶带运输机（手选胶带）；2——B650 胶带运输机；3——B800 胶带运输机；
4——GZB 电磁振动给料机；5——SZZ1500×3000 自定中心振动筛；6——10t 桥式起重机；
7——B800 胶带运输机；8——PYD1750 短头圆锥破碎机。

保持一定距离。否则必须采取有效的防尘措施。

3. 设备配置实例

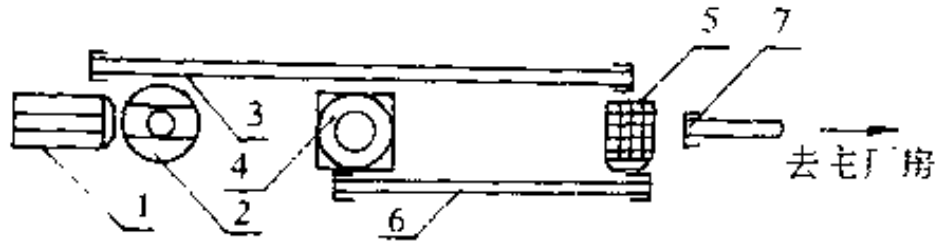
(1) 两段开路破碎厂房的设备配置。两段开路破碎常用于中、小型的建筑材料破碎厂、洗煤厂、冶炼熔剂厂等对产品粒度无特殊要求的工厂。近年来由于小型超细破碎旋盘破碎机和细碎深腔颚式破碎机的出现，一些 100～300t/d 的小型选矿厂，在原料含泥不大时亦采用两段开路破碎流程。由于设备台数少而便于配置，结合厂房布置的地形，其设备配置可分为：两段分厂房的纵向配置和两段共厂房的横向配置。如图 6－7 和图 6－8 所示。

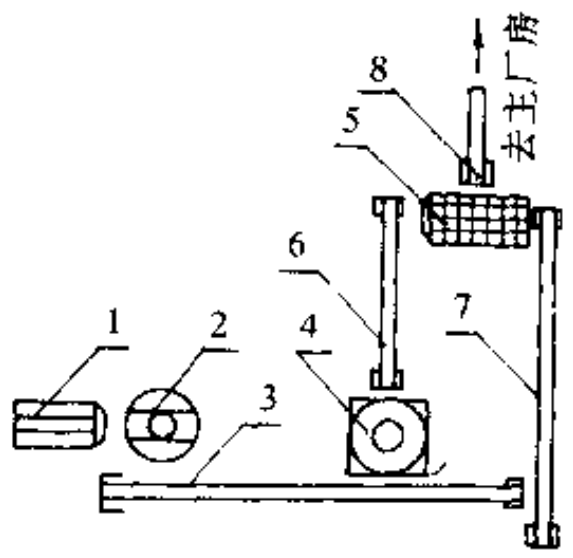




1—给矿机； 2—第一段破碎机； 3,6,7 ——胶带运输机； 4—筛分机； 5—第二段破碎机

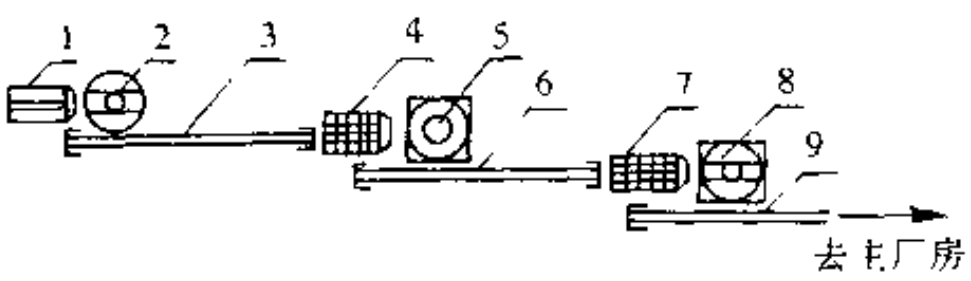
(a) 两段开路破碎流程

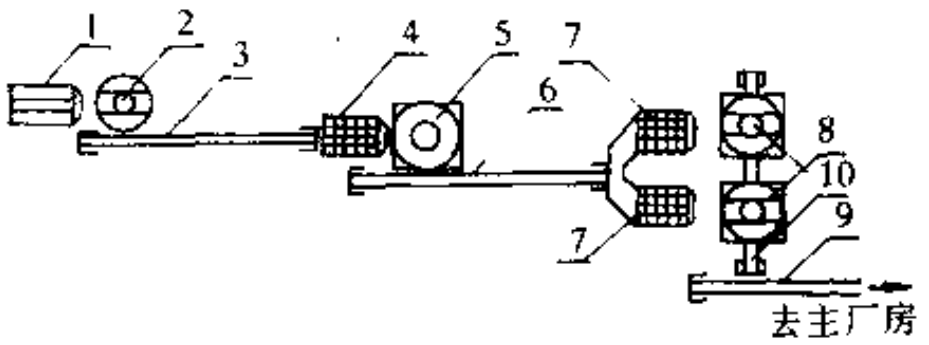




1—给矿机； 2—第一段破碎机； 3,6,7,8-胶带运输机；4—第二段破碎机； 5—闭路筛分机

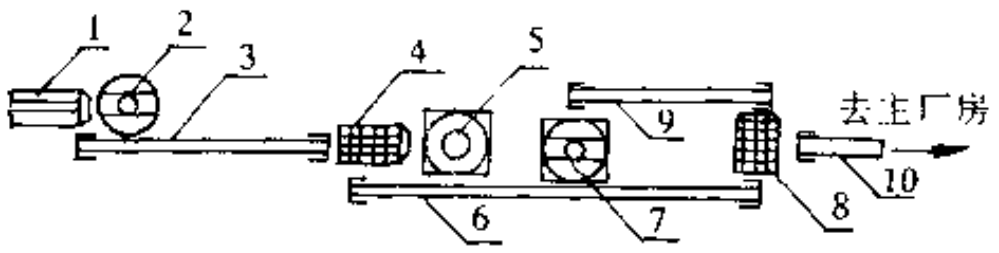
(b)两段一闭路破碎流程

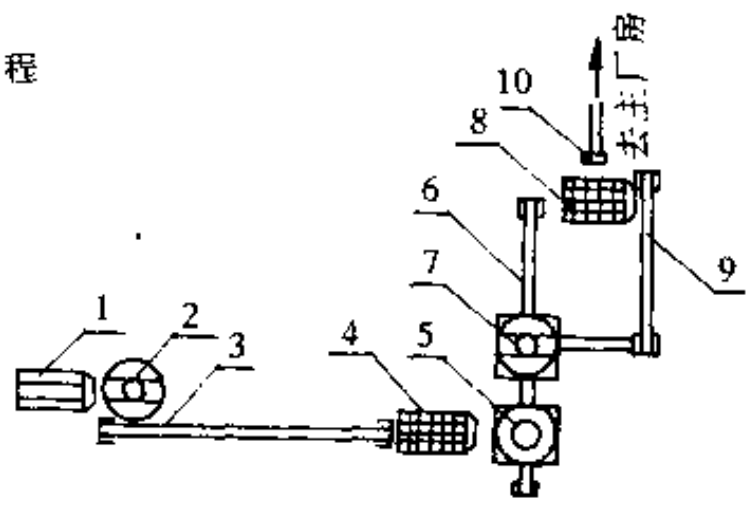




1—给矿机； 2—第一段破碎机； 3,6,9,10—胶带运输机； 4—中碎前预筛； 5—第二段破碎机；
7—细碎前预筛； 8—第三段破碎机；

(c) 三段开路破碎流程





1—给矿机； 2—第一段破碎机； 3,6,9,10—胶带运输机； 4—中碎前预筛； 5—第二段破碎机；
7—第三段破碎机； 8—细碎闭路筛分机；

(d)三段一闭路破碎流程

图 6-6 常用破碎流程的设备配置方案示意图

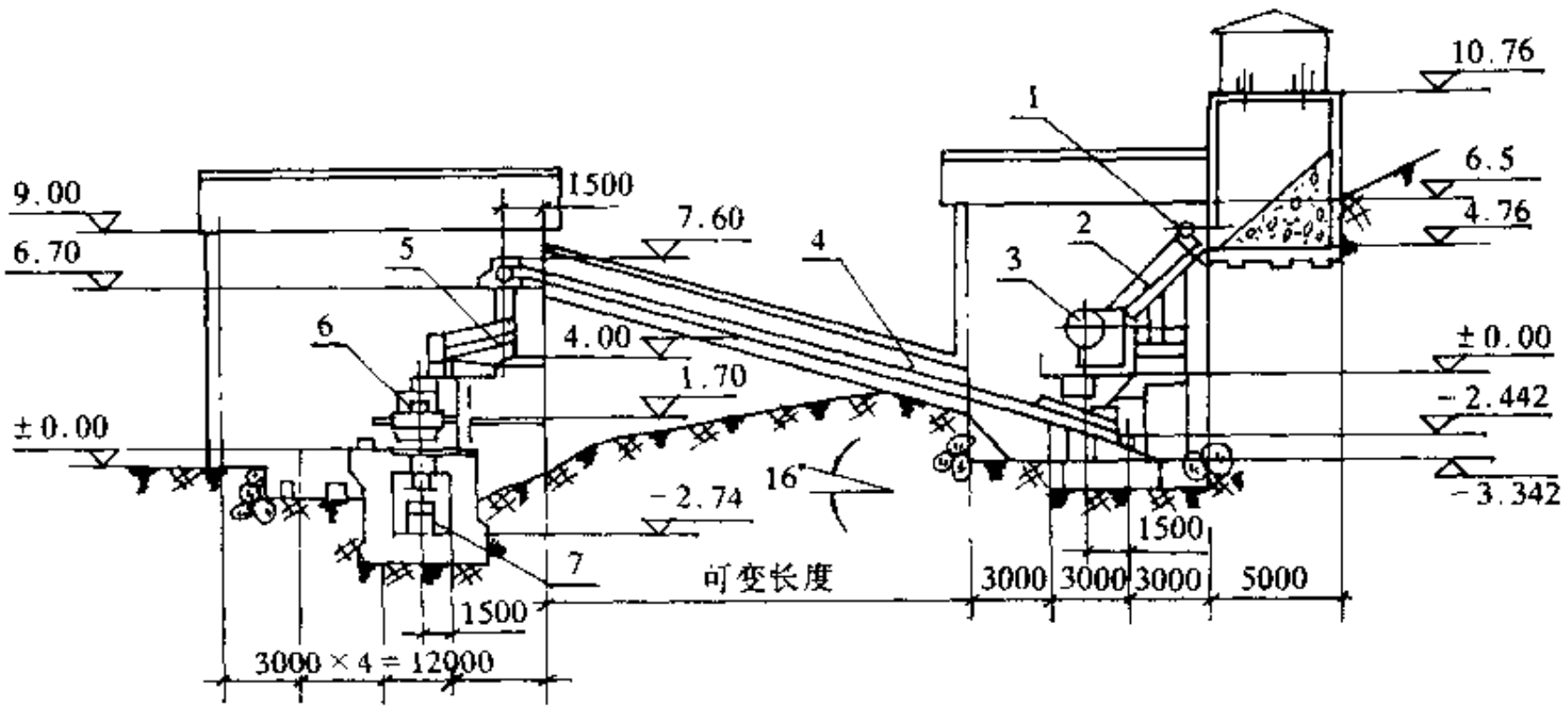


图 6-7　两段开路破碎分厂房的纵向设备配置图

1——3B 锁链给矿机；2——1150×2000 斜格筛；3——400×600 颚式破碎机；4——B500 胶带运输机；5——1250×2500 万能吊筛；6——Ø1200 中型圆锥破碎机；7——B500 胶带运输机。

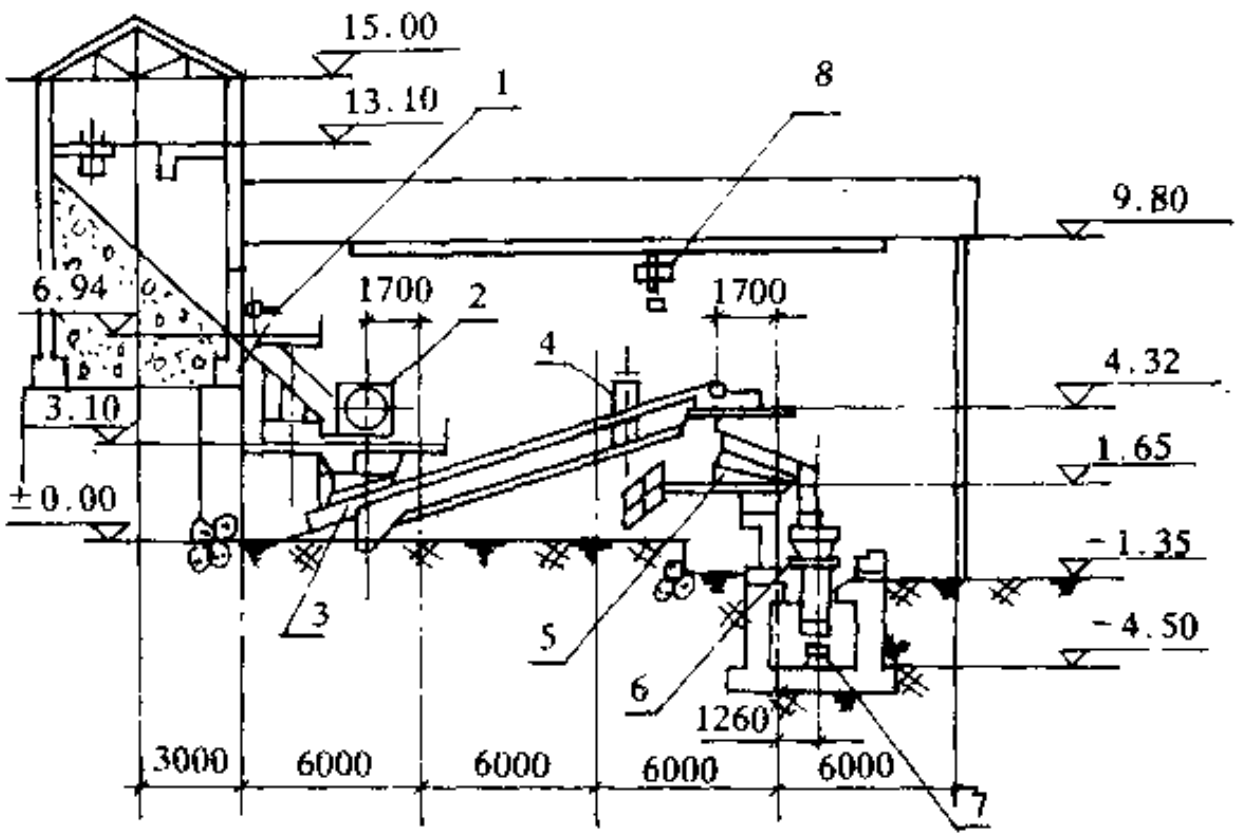


图 6-8　两段开路破碎共厂房配置图

1——3B 锁链给矿机；2——400×600 颚式破碎机；3——B500 胶带运输机；4——Ø700 悬垂磁铁；5——1250×2500 万能吊筛；6——Ø900 中型圆锥破碎机；7——B500 胶带运输机；8——3t 电动葫芦。

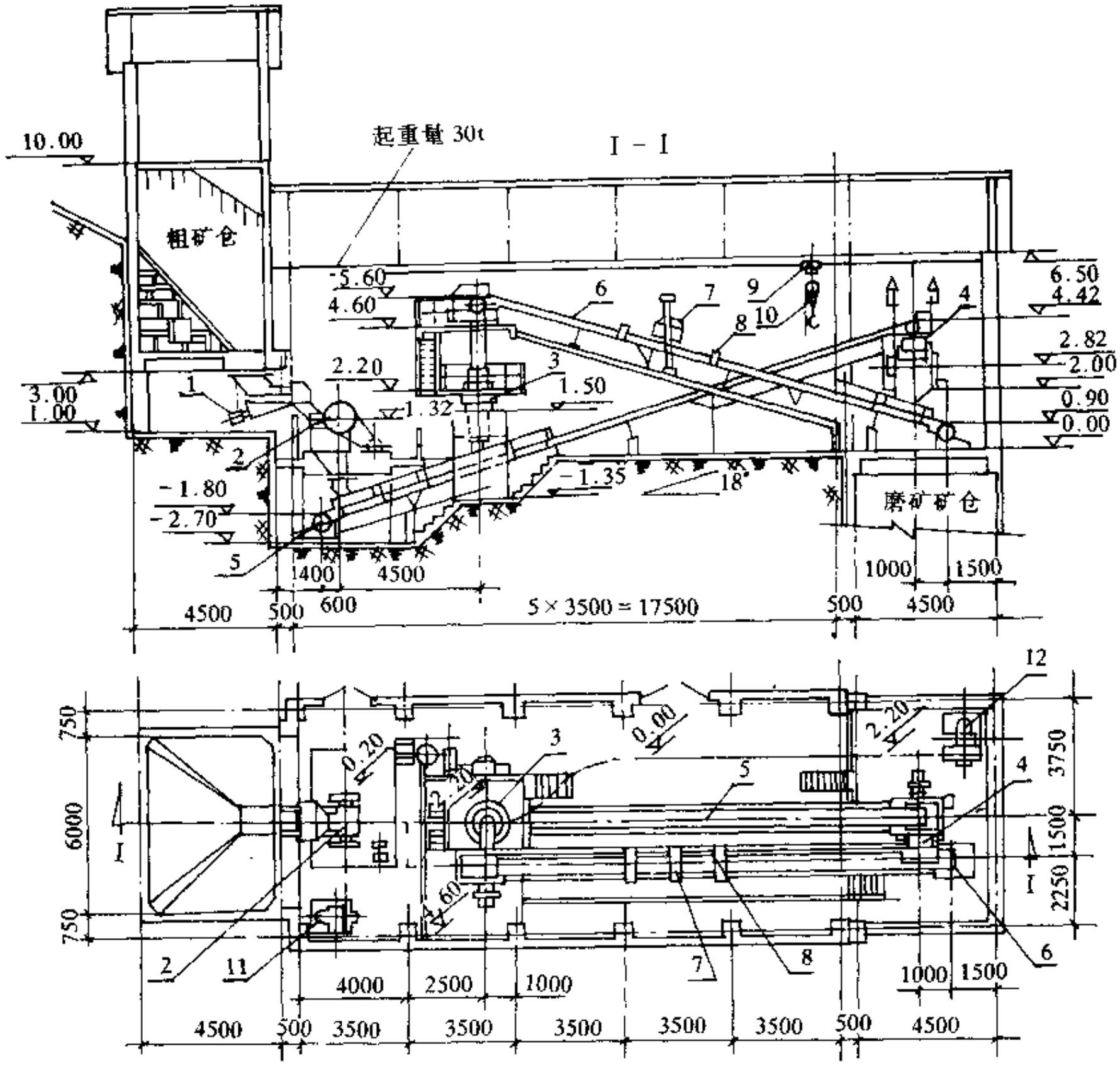


图 6－9　两段一闭路破碎与筛分设备共厂房的平剖面配置图

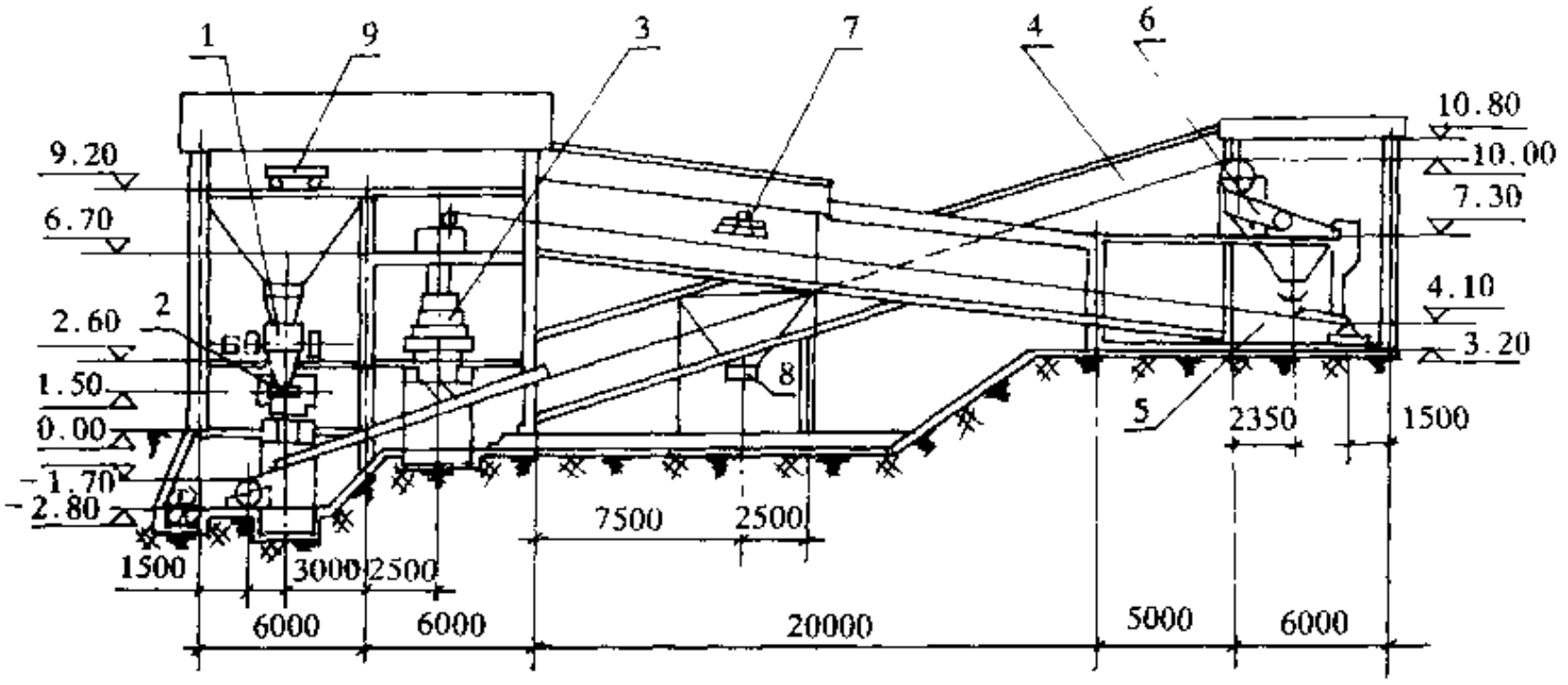
1——DZ_5 电振给料机；2——400×600 颚式破碎机；3——Ø600mm 标准圆锥破碎机；

4——$SZZ_2$900×1800mm 自定中心振动筛；5、6——B650 胶带运输机；7——MW1－6 悬垂磁铁；

8——B500 金属探测器；9——1t 手动单轨起重机；10——1t 环链手动葫芦；11、12——水力除尘器组。

图 6－7 为两段开路破碎分厂房的纵向设备配置，因地形平缓使连接两段的胶带运输机过长，而不得不分设厂房，以避免较长的胶带运输机配置在厂内而造成厂房面积、空间利用不合理。第一段破碎采用普通复摆颚式破碎机，不设预先筛分；第二段破碎采用中型圆锥破碎机，两个厂房分别配有 2t 手动葫芦。

图 6－8 为两段开路破碎共厂房的设备配置，因地形为缓坡地形，两段破碎之间所需高差较小，因而连接两段破碎的胶带运输机 3 的长度较短，可不分设厂房。这种配置的优点是操作联系方便，适于较缓地形，厂房内设有 3 个不同标高的地面，相应降低了厂房高度，空间利用较合理。该种配置既要考虑厂房空间利用的合理性，又要保证正常生产而设置必要的检修设备。从两段开路破碎设置预先筛分的必要性考虑，如采用超细碎的旋盘式破碎机代替



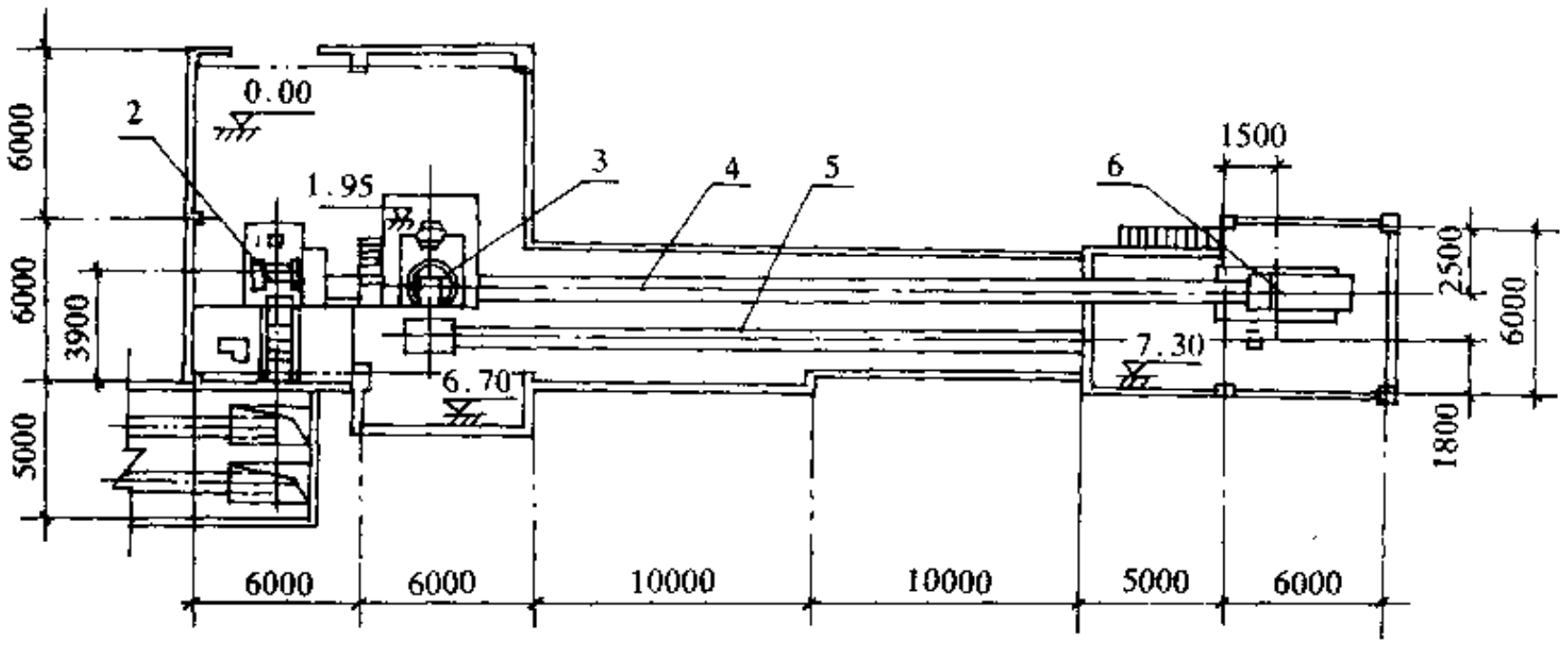


图 6－10　两段一闭路破碎与筛分设备分厂房的平剖面配置图

1——1200×4500 板式给矿机；2——400×600 颚式破碎机；3——Ø1200 中型圆锥破碎机；4、5——B650 胶带运输机；6——1250×4000 万能悬挂振动筛；7——B650 螺旋刮板卸矿机；8——500×500 双颚式扇型闸门；9——5t 手动单梁起重机。

中型圆锥破碎机，则可取消预先筛分，从而降低厂房高度。设置共用的单梁电动吊车确保生产，同时还可改善破碎厂房内的工作环境。

(2) 两段一闭路破碎厂房的设备配置。为控制破碎产品的最终粒度，两段一闭路破碎是中、小型选矿厂常用的流程，其基本配置形式有以下两种：

① 破碎与闭路筛分设备共厂房配置。这种配置类似两段开路破碎共厂房横向配置方案，如图 6－9。配置是将两段破碎设备靠近设置在厂房的一端，闭路筛子设置在厂房的另一端，以适应闭路胶带运输机所需的距离，两机组设备高差愈大，厂房空间利用愈不合理，其优缺点类同两段开路破碎共厂房配置。

② 破碎与闭路筛分设备分厂房的纵向配置，如图 6－10 所示。与上述配置方案的区别在于：闭路筛分单独设置厂房，有利于破碎厂房内工业卫生条件的改善，并使两条胶带运输机形成的交叉走廊置于厂房外，减少了破碎厂房面积且建筑结构简单而节省建筑费用。常为

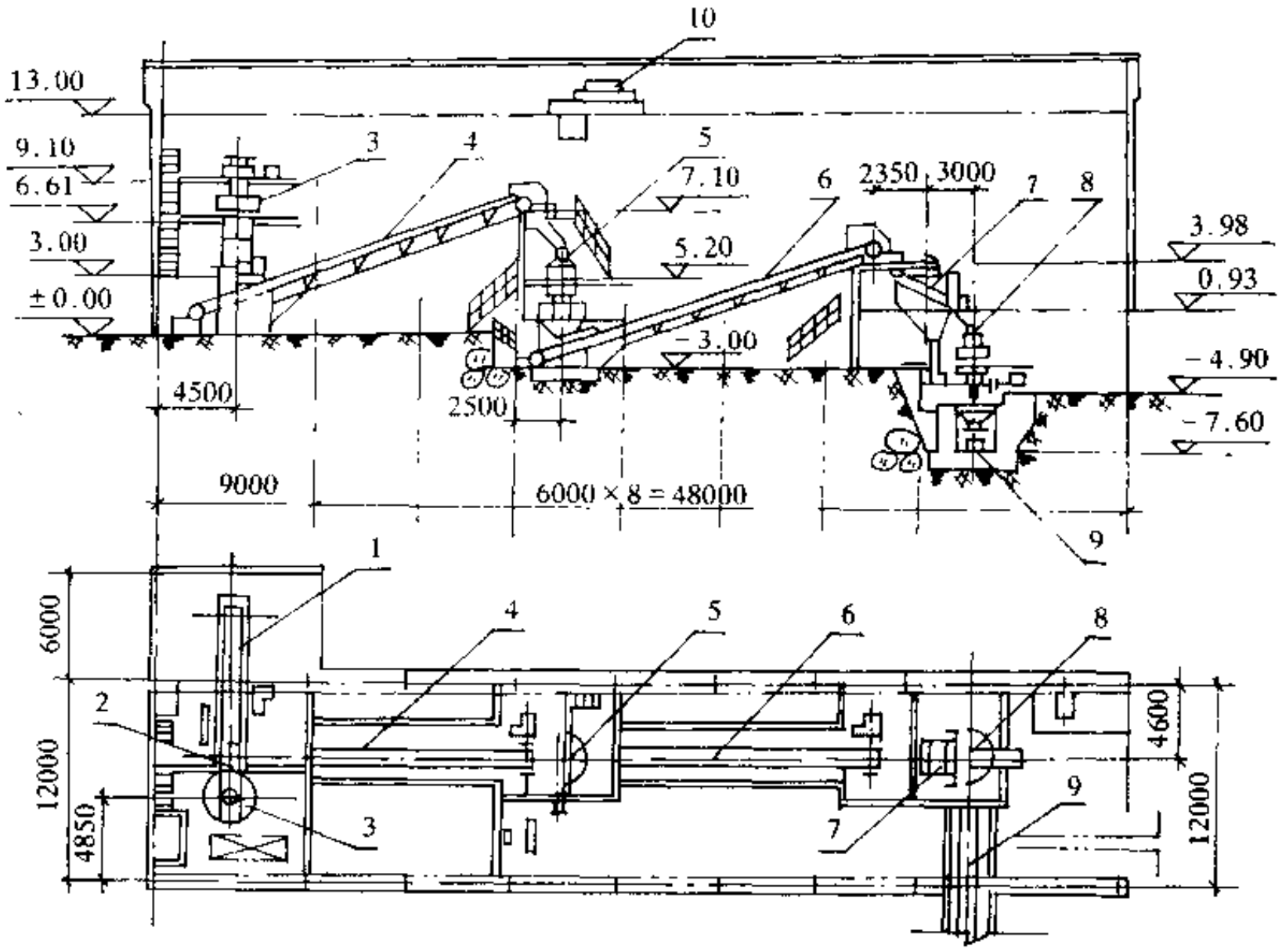


图 6－11　三段开路破碎设备共厂房横向配置图

1——1200×7000 板式给矿机；2——1200×2600 悬臂清扫条筛；3——Ø500 旋回破碎机；4——B650 胶带运输机；5——Ø1650 标准圆锥破碎机；6——B800 胶带运输机；7——1500×3000 振动筛；8——Ø1650 短头圆锥破碎机；9——B650 胶带运输机；10——15/3t 电动桥式起重机。

中、小型选矿厂采用。

为了获得小于 10mm 的最终破碎产品，可把细碎用的中型圆锥破碎机 3 换成超细碎机，将闭路单层振动筛换成双层振动筛，这样，可扩大两段一闭路破碎流程的应用范围，即所谓的两段半破碎流程。其设备配置类似图 6－10，但筛子、排矿溜槽、胶带运输机等的配置尺寸应作一些调整。

③ 三段开路破碎厂房的设备配置。根据建厂地形，可配置成两种基本形式。一种是三段开路破碎设备共厂房的横向配置，如图 6－11。该配置适合于厂房横向布置较长、设备台数少、规格小的情况，其优点是生产管理方便，可共用吊车，但因胶带运输机通廊和筛子均在厂房内，使厂房面积和空间利用率低，同时导致厂房防尘卫生条件较差而不够合理。如果机组之间的胶带运输机受提升角度限制而使胶带运输机过长，则应考虑分段设置厂房，用胶带运输机联系各段，以节省建筑费。

三段开路破碎设备纵向配置（呈阶梯式配置），如图 6－12。它属于充分利用陡坡地形的典型纵向配置形式，相对于图 6－11 配置而言，其优点是设备配置紧凑，占地面积小，物料运输距离短。缺点是增加检修吊车，检修场地不能共用而增加建筑面积。

④ 三段一闭路破碎厂房的设备配置。三段一闭路破碎流程是大、中型选矿厂常用的流程。对大型或特大型破碎筛分厂来说，随着破碎机规格的增大，台数的增多及地形条件的限制，其破碎厂房的配置形式及设备配置方案是比较复杂的。同时，当细碎机台数超过两台以

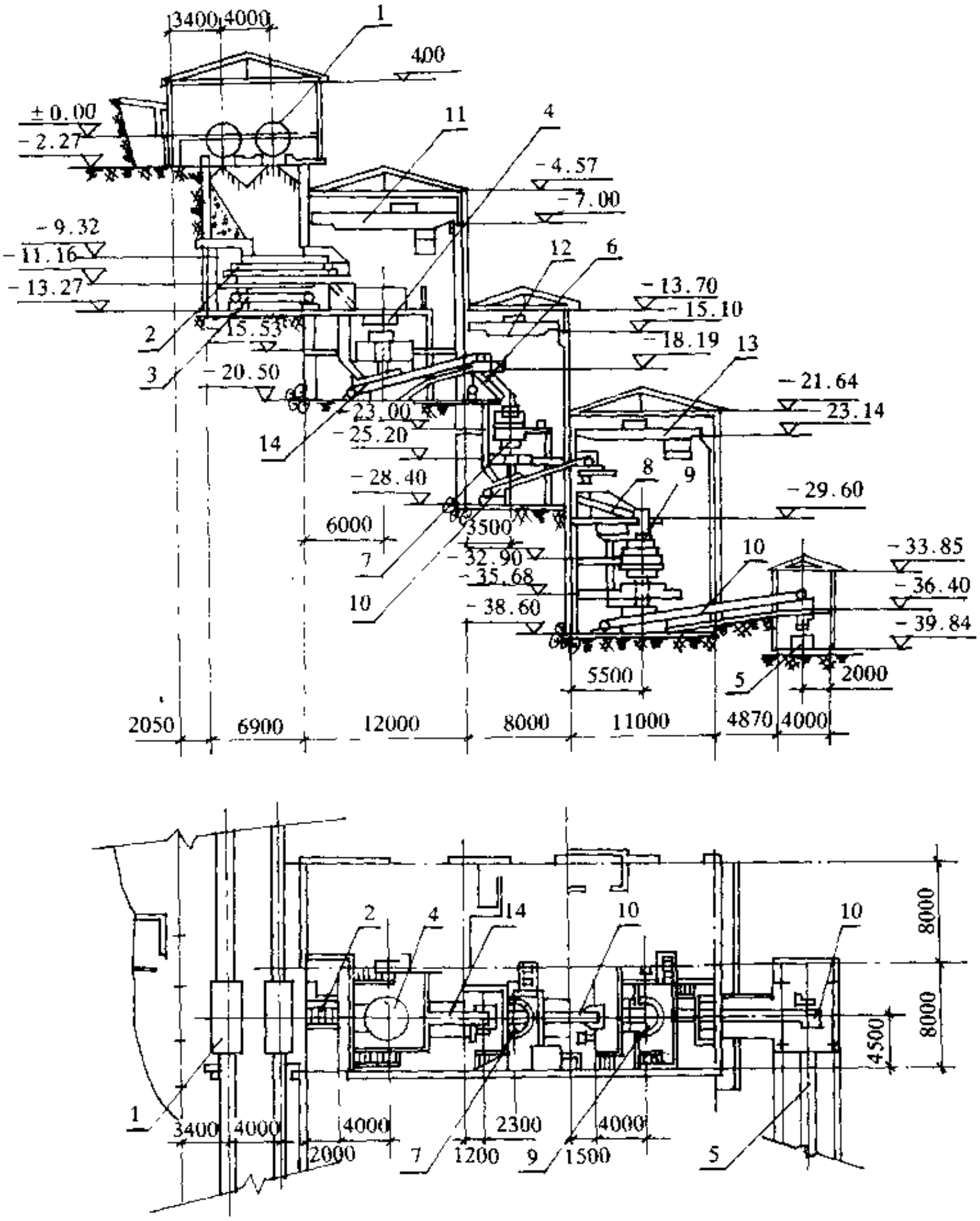


图 6－12　三段开路破碎设备分厂房的纵向配置图

1——2m³ 翻车机；2——1200×7000 铁板给矿机；3——B500 胶带运输机；4——Ø700 旋回破碎机；5——B1000 胶带运输机；6——1200×2600 悬臂条筛；7——Ø1650 标准圆锥破碎机；8——1800×3600 振动筛；9——Ø1200 短头圆锥破碎机；10——B800 胶带运输机；11——20/50t 电动桥式起重机；12——10t 电动桥式起重机；13——15/3t 电动桥式起重机；14——B1000 胶带运输机。

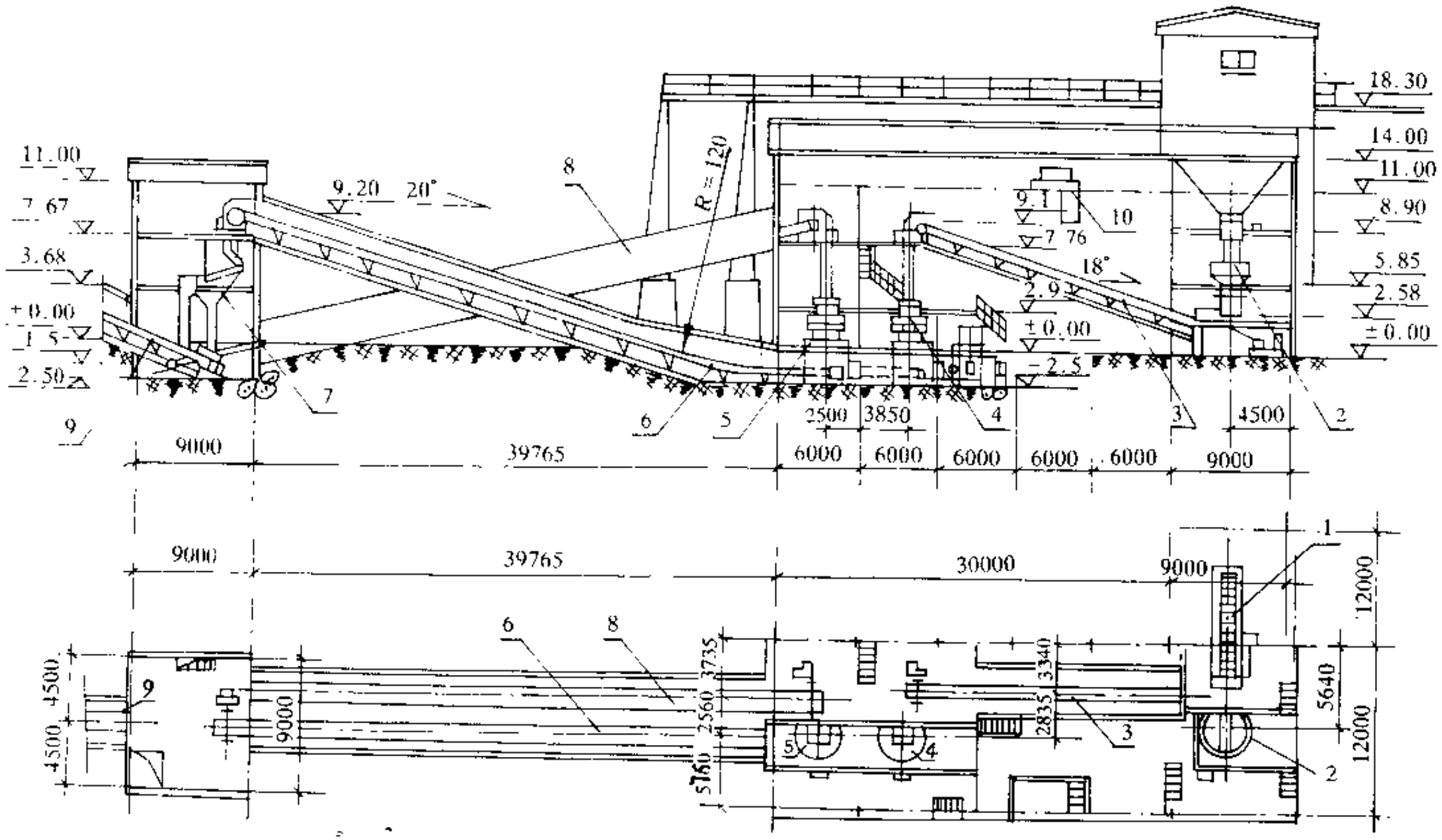


图 6-13　三段一闭路破碎共厂房和筛分独立横向配置图

1——1200×8000 板式给矿机；2——Ø500/75 旋回破碎机；3——B650 胶带运输机；
4——Ø1650 标准圆锥破碎机；5——Ø1650 短头圆锥破碎机；6——B800 胶带运输机；
7——1500×3000 振动筛；8、9——B800 胶带运输机；10——10t 电动桥式起重机。

图 6－14　三段一闭路破碎设备呈“L”型平面配置图

1——DZ1500×2400mm 电磁振动给料机；2－－ PEF600、900mm 颚式破碎机；

3——∅1200mm 标准圆锥破碎机；4——∅1200mm 短头圆锥破碎机；

5　-ZD1540 矿用单轴振动筛；6——B650　1⁼胶带运输机；7－－B650　2⁼胶带运输机；

8——B650　3⁼胶带运输机；9－　H800 金属探测器线圈；10——B650　4⁼胶带运输机·

11－　除铁小车；12——MW1－6 悬挂磁铁；13——8ｔ电动桥式起重机；14－－　B650　4⁼胶带运输机·

上，或是矿山离选矿厂较远，原矿采用索道运输矿石时，由于矿石最大块尺寸受到限制，还会出现粗碎与中、细碎厂房分开设置的配置方案。有关这些方面的设备配置，可参阅相关的配置图集。下面仅就中型有色金属选矿厂常用的粗、中、细碎设备共厂房和分厂房的设备配置举例分述。

(1) 破碎设备共厂房和筛分设备独立的横向配置，如图 6－13。

这种配置形式，是中型选矿厂破碎厂房典型的横向配置，其特点是三台破碎机设置在同一厂房内，共用一台 10t 电动桥式起重机。但当振动筛 7 为二台以上时，应考虑设置分配矿仓，确保振动筛 7 的正常工作。

(2) 破碎厂房与筛分厂房呈“L”型配置，如图 6－14、图 6－15 和图 6－16。原矿仓、粗碎机 2、中碎机 3、细碎机 4 呈纵向配置，并且中、细碎机配置在同一厂房内，筛分厂房单独设置，与中、细碎机呈横向配置。该种配置方案较适合于纵向坡度为 25°左右，且纵向较狭窄，而横向较开阔的地形。这是三段一闭路破碎筛分设备的典型配置。

四、主厂房的设备配置

由于选矿厂磨矿设备与选别设备在生产操作上联系较多，所以这些设备应配置在同一厂房内，成为整个选矿厂的主要部分，故有主厂房之称。在主厂房的设备配置中，磨矿矿仓、磨矿分级、选别以及联结三者的辅助设备和设施必须同时结合考虑。按厂房布置的地形，分为平地式和山坡式两种配置方案。无论是浮选厂、磁选厂或重选厂主厂房的配置，一般多利用山坡台阶式布置厂房，即使是平地地形，为了矿浆自流，在磨矿厂房与选别厂房之间也要造成一定的坡度。磨矿设备多配置在单层厂房内，选别设备可配置在单层或多层厂房内。同时，由于磨矿分级设备是重型设备，选别设备是轻型设备，所以两者多配置在不同跨度的厂房内，以便采用不同起重量的吊车和厂房结构，以及保证矿浆自流。

1. 磨矿厂房的设备配置

(1) 设备配置方案。

①纵向配置，即磨机中心线与厂房纵向定位线互相垂直的配置（所谓厂房纵向定位线，即标注厂房或车间跨度的柱子中心线，下同）。这种配置是闭路磨矿常用的最佳方案。优点是配置整齐、操作和看管方便。它既适用于一段磨矿，也适用于两段磨矿，即将第二段磨矿机组与第一段磨矿机组配置在同一个台阶上（即同一个跨度内），以便共用检修吊车和检修场地。一段磨矿的分级机溢流用砂泵扬至第二段磨矿的分级机或旋流器给矿口。如图 6－17。

②横向配置，即磨矿机中心线与与厂房纵向定位线互相平行的配置。它具有厂房跨度小的优点，但操作、管理上不及纵向配置方便，且厂房空间利用系数也低。如图 6－18。

(2) 设备配置要点。

①大、中、小型选矿厂，一般都采用纵向配置方案。主要优点是操作方便，有利矿浆自流及矿浆分配。

②磨矿厂房长度尽量与选别厂房长度基本一致，如选别厂房过长，地形许可时，可考虑选别作纵向配置，或磨矿作横向配置。

③多段磨矿的磨矿机，可配置在同一跨间内，也可配置在两个跨间内。配置在两个跨间内的优点是，若选别流程长，则矿浆输送距离短、高差小、生产成本低。若选别流程短，磨机台数不多，则应配置在一个跨间内比较经济。

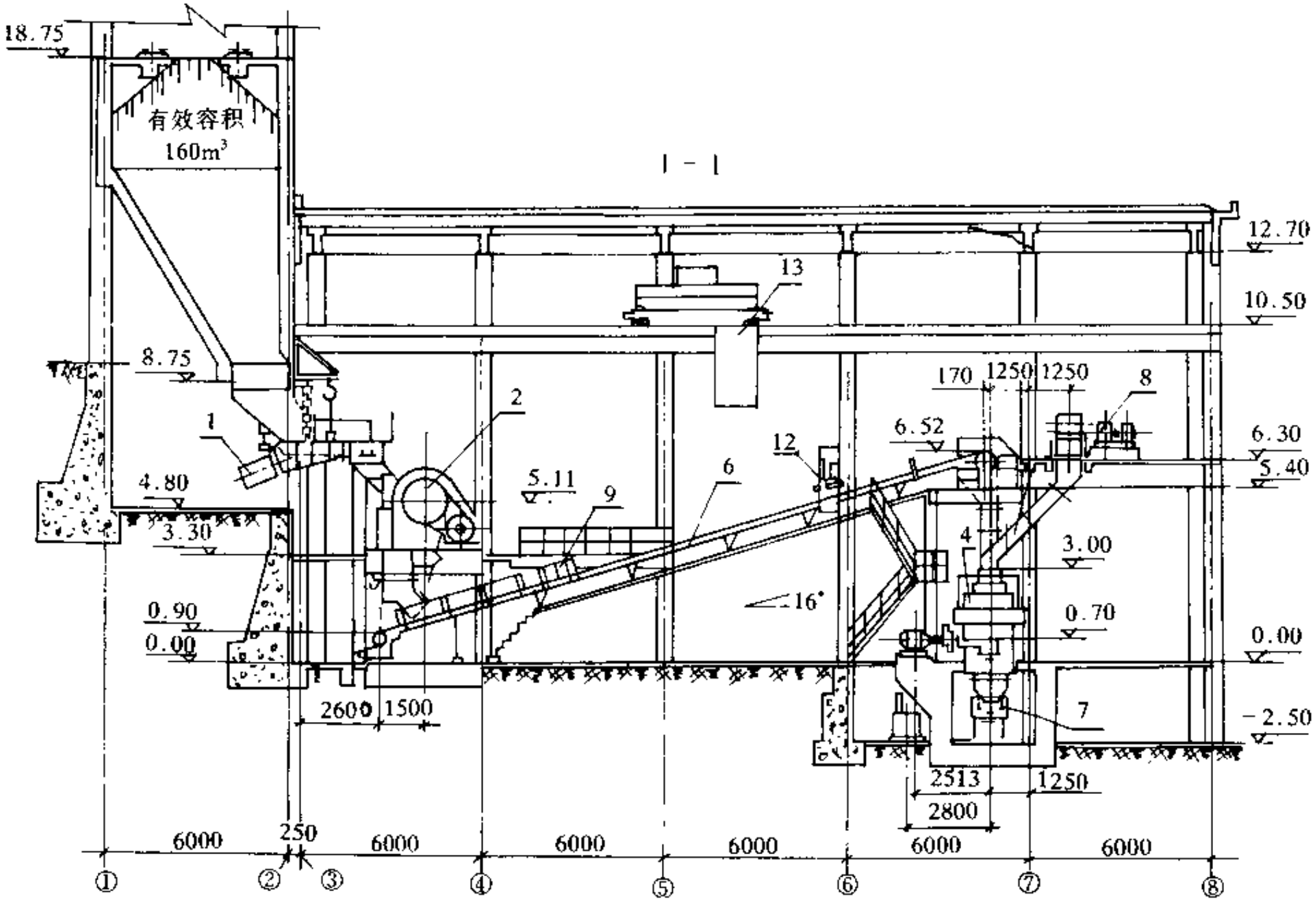


图 6－15　三段一闭路破碎设备呈“L”型配置Ⅰ－Ⅰ剖面图（图注同图 6－14）

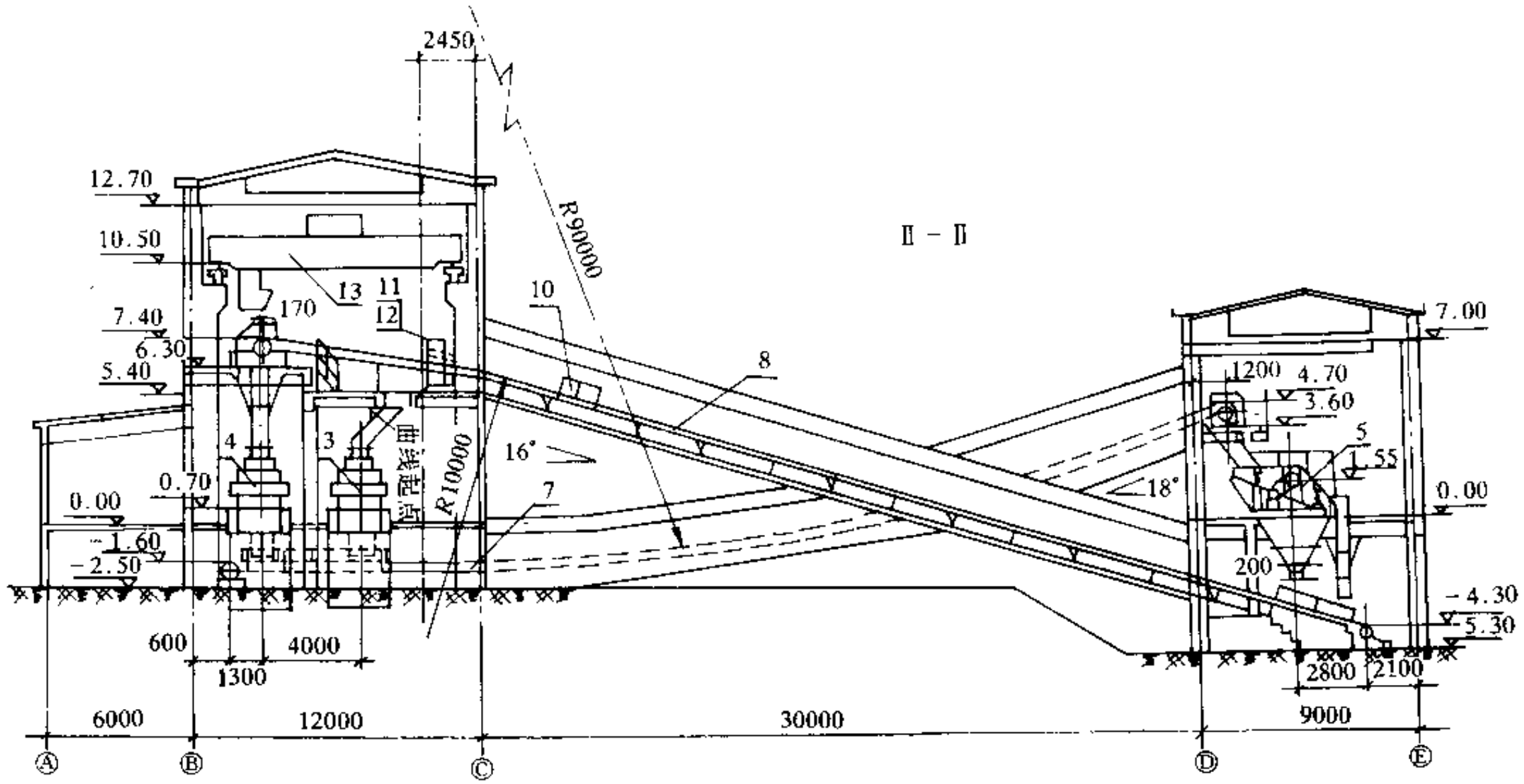


图 6－16　三段一闭路破碎设备呈“L”型配置Ⅰ－Ⅱ剖面图（图注同图 6－14）

①多系列磨矿要注意设备配置的同一性。即各系列设备从上至下相互平行对称配置。当各磨矿系列的矿石品位波动较大，或单一磨矿与多系列选别作业配置时，容易实现先集中磨矿产物，再分配至多系列选别作业选别。

⑤磨矿矿仓的容量一般为16～36h，当选矿厂规模小、或规模大并设有中间矿仓时可取16h。磨矿矿仓多采用圆柱型矿仓，若矿仓直径大，为了提高矿仓有效容积，仓底可增加卸矿口以减少矿仓死角。磨矿机给料常用胶带运输机，其角度不宜过大，一般应小于18°，胶带运输机的受料点应保持平稳，胶带运输机的长度取决于电子秤安装要求，受矿点至电子秤的最小距离，一般不应小于8m。为确保电子秤的精度，最好采用重锤尾部拉紧装置，使胶带保持一定的张力。

⑥吊车起重量按第五章第十节表5－30选取。

⑦磨矿厂房的地面应有5%～10%的坡度，并设置良好的排污排砂及回收矿砂系统，以保证符合环境要求，减少金属流失。

⑧钢球仓应设置在检修场地附近，并结合地形考虑运输方便。为改善清理钢球的条件，在检修场地应设置废球仓，以便及时装车外运。

⑨磨矿机排矿溜槽坡度和分级机返砂溜槽坡度与分级溢流粒度有关，按表6－1选取，并按厂家对不同规格、不同型号的磨矿机与分级机自流联结机组的相关尺寸要求，作出正确的配置。

表6－1　不同磨矿细度的磨矿机排矿及分级机返砂溜槽的坡度

分级机溢流粒度（mm）	－0.074	0.1－0.15	0.2－0.3	－0.4	－0.6	－0.8	－1.2	－2
磨矿机排矿溜槽坡度（%）	10	13	15	17	20	22	23.5	24.5	25	27
分级机返砂溜槽坡度（%）	25	28.5	31.5	34.5	3.5	40	43	45.5	47	50

注：本表数据适用于密度为2.85的矿石，对密度较大的矿石，坡度应适当增大15%～30%。

2．浮选厂房设备配置

（1）设备配置方案。

①横向配置，即每列浮选机槽内矿浆流动线与厂房纵向定位线互相平行的配置。这种配置是浮选厂房常用方案，陡坡地形更为常用。当采用机械搅拌式浮选机时，大部分浮选机可配置在一个或几个台阶上。若用充气机械搅拌式浮选机时，在同一地面标高上，每个作业浮选机之间应留有300～600mm的自流高差，浮选机操作平台的高差也随之相应地变化，见图6－17。

②纵向配置，即每列浮选机槽内矿浆流动线与厂房纵向定位线互相垂直的配置。这种配置是平地、或地形坡度小、或浮选机规格小的常用方案。如我国白银厂铜选矿厂的主厂房（见图6－18），即属此种配置。若流程复杂、返回点多、中矿返回量大时，则厂内横向交错管道多、生产操作不方便；或地形坡度大（即陡坡），则土石方量大、基建费高。所以，纵向配置在选矿厂不常用。

（2）设备配置要点。

①为使矿浆流量符合浮选机允许的通过量，需要划分浮选系列，并与磨矿系列合理地进行组合，特别是大、中型选矿厂。因此在主厂房配置时，应首先合理划分系列和作业区。作业区是由一个或几个系列组成，常见的组合是一对一，即一台磨矿机与一个浮选系列组合，它既利于操作调整，技术考查，也利于系列轮换检修。

②每排浮选机的槽子数或总长度力求相等，当每排浮选机前设有搅拌槽时，其总长度（包括搅拌槽）应尽量相等。每排浮选机之间尚需配置砂泵时，砂泵机组应与搅拌槽相互对应，使行列配对整齐，以利于厂房面积的合理使用和操作看管方便。

③浮选回路力争自流，回路变动应具灵活性。对几个作业的机械搅拌式浮选机（即 XJ 型浮选机），应配置在同一标高上，以利于同一作业的泡沫产物向前一作业返回，每排总槽数不能过多，否则，难以实现自流，浮选机槽数与泡沫槽坡度、管道坡度见表 6－2 和表 6－3。

如采用充气机械搅拌式浮选机时，因泡沫产物设置了泡沫泵输送，则不受此限制，但为了保证槽内矿浆自流，每排浮选机的槽数也不能过多，而且每个作业之间应保持 300～600mm 的高差。

表 6－2　XJ 型浮选机槽数与其泡沫槽坡度的关系

浮选机容积（m^3）	同一坡度泡沫槽所连接的浮选机槽数										吸浆管中心至槽底距离（mm）	泡沫槽宽度（mm）
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0.13	36.5	29.1	15.6	12.1	10.0	8.4	7.3	6.4	5.8	5.2	188	100
0.23	36.5	29.1	15.6	12.1	10.0	8.4	7.3	6.4	5.8	5.2	224	100～150
0.35	35.0	19.7	14.3	11.0	9.0	7.6	6.6	5.8	5.2	4.7	243	150～200
0.62	34.8	20.8	14.9	11.6	9.5	8.0	6.9	6.1	5.5	5.0	265	200～250
1.10	27.2	16.3	11.6	9.1	7.4	6.3	5.4	4.8	4.3	3.9	321	250～300
2.8	19.8	11.8	8.5	6.6	5.4	4.5	3.9	3.5	3.1	2.7	406	300～350
5.8	14.6	8.8	6.3	4.9	4.0	3.4	2.9	2.6	2.3	2.1	515	350～400

注：泡沫槽起坡点一般低于浮选机泡沫唇 50mm。

表 6－3　浮选车间自流管道最小坡度

输送产物	矿浆中固体重量百分数（%）	自流管道坡度（%）	最大溜槽坡度（%）
经粗磨含有大量黄铁矿的硫化混合精矿，不加水时	40	10	15
同上，送去精选，补加清水	25～30	7	10
送去浓缩的铜、铅、锌和其它最终精矿，补加水冲洗后	20～25	4	7
同上，精矿浓缩之后	50～70	7	

④浮选回路中必须采用砂泵扬送时，应使泵的扬量，扬程最小。为节省砂泵数量，返回到同一地点的中间产物应使其汇集于适当地点，然后用泵集中返回。回路中应选用低扬程的泡沫泵或长轴泵以便减少能耗。

⑤浮选机配置应便于操作及维修。泡沫槽宽度应根据浮选机规格、数量以及泡沫产率来决定。双排配置的浮选机泡沫槽应相向对称（即泡沫槽对泡沫槽），三排配置的浮选机，其中靠柱子的一排浮选机泡沫槽不宜面向柱子。泡沫槽距操作台的高度，一般为 600～800mm，最小不得低于 300mm。泡沫槽宽度一般为 100～500mm，泡沫槽始端的坡点宜低于

浮选机泡沫溢流堰50mm以上，泡沫槽末端（包括溜槽接管在内）接管坡度可以小一些，因下一个作业浮选机进矿口有一定吸力，一般有1.5%的坡度即可。

⑥浮选厂房内必须保证照明条件和检修吊车，以便操作人员观察泡沫情况和检修方便。检修吊车应根据浮选机的规格和台数选取。一般选用电动葫芦或电动单梁起重机。

⑦浮选厂房内必须考虑给药设施位置。给药设施一般配置在高于浮选机的平台上，即常设置在浮选厂房的楼上，以保证药剂自流输送。药剂管道的坡度均不应小于3%，其架设路线不得妨碍浮选机的吊装检修。规模小的选矿厂，多采用集中给药方式，规模大的选矿厂多采用集中制备与分散给药相结合的方式。如必须用泵输送时，管道布置应保证一定的倒流坡度。各种管道涂以不同的颜色以示区别查找，对剧毒及强腐蚀性药剂更应注意，严格遵守有关规定。

⑧浮选机操作平台应设有排水孔洞，或制成格栅式盖板。地面应有3%～5%的坡度以便冲洗地面，排污系统地沟应与全厂排污系统相适应。浮选机放矿应接以引流管道排至事故放矿的泵池以便回收。

⑨取样系统数应与生产流程相适应，在设置取样点的地方应留有足够的高差。

3. 主厂房设备配置实例

(1) 一段磨矿的浮选厂主厂房配置。规模2000t/d，回收一种矿物。磨矿机组呈纵向配置；浮选机呈横向配置。矿浆自流输送，检修场地集中在厂房的一端，给药室配置在浮选厂房的楼上，如图6－17。该配置中，磨矿机与浮选机的系列搭配是，粗、扫选作业采用一对一。精选作业合并在一起。

(2) 带控制分级的两段磨矿的主厂房配置。规模10000t/d，回收两种矿物。两段磨矿机组均为横向配置，浮选机系列为纵向配置。如图6－18。其配置特点是，一、二段磨矿机组之间保持2m高差，使一段分级机溢流自流，浮选厂房长度减少，各组浮选机之间的高差降低。但磨矿厂房跨度大，空间利用率低。浮选的生产操作和看管不便。因此，该配置只在流程结构简单的浮选厂采用。

(3) 阶段磨矿、阶段选别铜浮选厂主厂房配置。规模14000t/d，回收一种矿物。矿浆自流输送。由于系列数多，两段磨矿机各自有7台2700×3600球磨机和Φ2400双螺旋分级机闭路，分两个不同标高的台阶配置，且均呈纵向配置，浮选机系列对应于一、二段磨矿系列区间呈横向配置。由于设备型号、规格一致，既利于操作调试和技术考查，也利于系列轮换检修。给药室集中在第一段浮选厂房的楼上，如图6－19。该配置如采用大型球磨机和浮选机代替原球磨机和浮选机，第二段分级机采用水力旋流器代替螺旋分级机，则生产系列数和厂房面积将大大减少，更符合规范要求。

五、重选厂房的设备配置

重选厂由于处理物料密度差大、入选粒度较粗、流程结构复杂、且多为阶段磨选流程、选别设备种类多、台数多（特别是细粒重选）、耗水量大、矿浆流量大、水回收设施复杂等特点。因此，重选厂的设备配置比浮选厂和磁选厂的设备配置要复杂得多。

1. 设备配置方案

(1) 单层阶梯式配置。类同浮选厂的阶梯式配置，基本是按作业设备归类合并后配置在单层厂房内实现物料自流。矿浆流向非常清楚，便于重型、大型、振动等设备的配置。如图6－20的剖视图，对中、小型选矿厂，尤其是处理砂矿的重选厂，鉴于其服务年限短、厂房

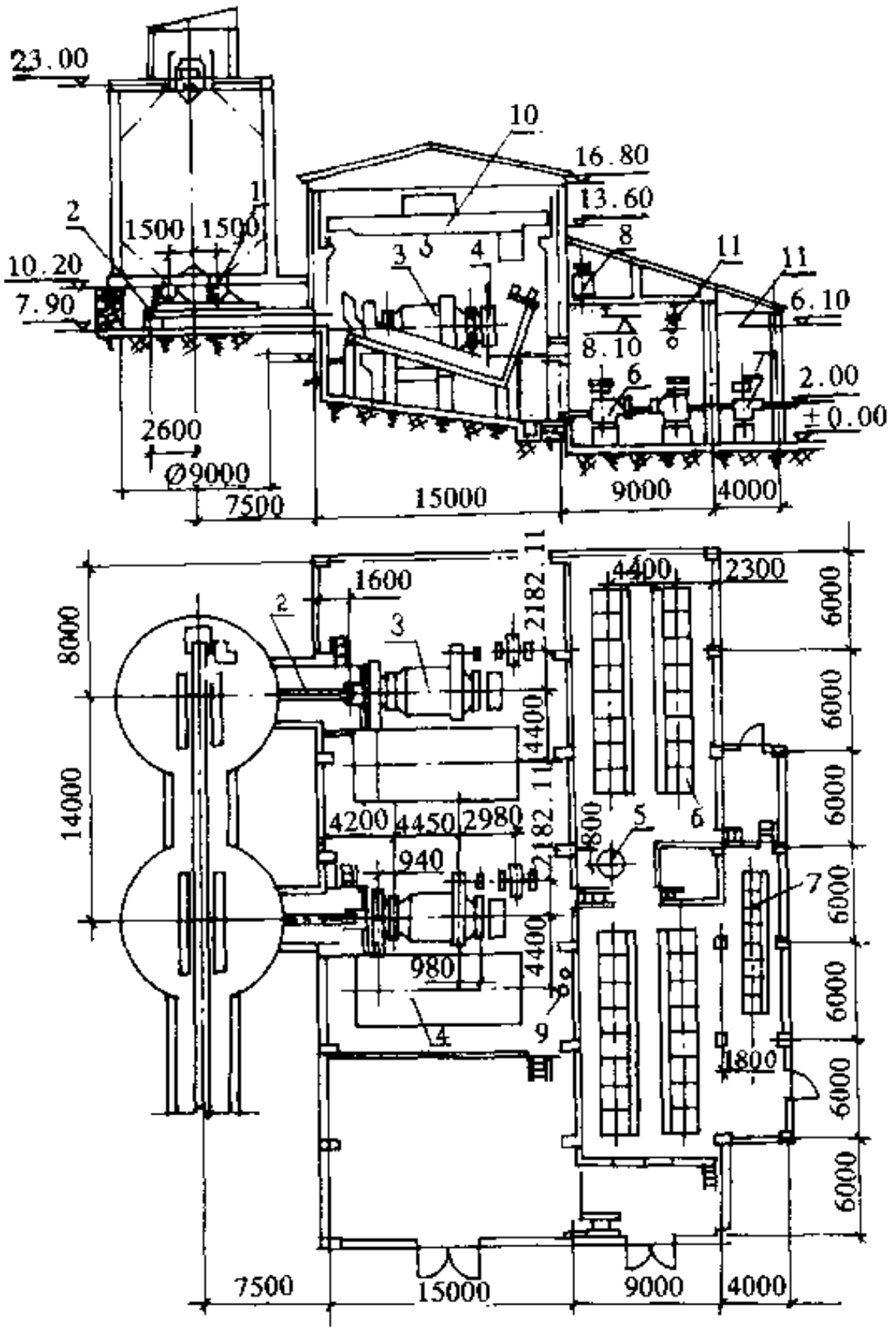


图 6－17　一段磨矿的浮选厂配置图

1——600×600 摆式给矿机；2——B500 胶带运输机；3——Ø2700×3600 格子型球磨机；4——Ø2000 高堰式双螺旋分级机；5——Ø2500×2500 搅拌槽；6——XJ－28 浮选机；7——XJ－6 浮选机；8——药剂搅拌槽；9——给药机；10——20/5t 电动桥式起重机；11——1t 手动链式起重机。

结构简单、投资省、建设快，可从简建厂。厂房适宜地形坡度是：选细粒嵌布矿石为 10°～20°，粗粒嵌布矿石为 20°－30°。这种配置的特点是占地面积大、地沟系统较复杂。

（2）多层－单层阶梯式配置。这种配置用于两种情况：一是重选厂某些作业（如重介质旋流器分选作业）机组需要较大高差，要求将设备安装在有足够高度的楼层上，而有些作业的设备占地面积大、振动较强，宜采用单层阶梯式配置在地面上（如摇床）；二是因受场地限制，为减少占地面积，部分重量轻、振动小的设备，可配置在楼上，适宜地形坡度为 15°－20°。如图 6－21。

2．设备配置要点

（1）结合地形特点，按流程要求和物料自流确定合理配置方案。分级与粗粒选别作业配

置在较高处，细粒物料作业配置在较低处。除返回矿流外，尽量实现矿浆自流；对占地面积小、机体轻、振动强度不大的设备配置在上层，反之配置在下层或地面。

(2) 均匀给矿，均匀分矿，确保体积流量稳定、均衡，浓度、粒度稳定，对重选厂的设备配置是至关重要的。它必须有良好的给矿和分矿设备、矿浆计量装置（即自动取样机），以及它们所需的高差。

(3) 中间产品输送泵，根据返回点多且分散的特点，应局部集中配置，不宜采用全厂大集中的方式，以避免造成自流管、沟的复杂化而使管理困难。选用砂泵种类，规格要少，少用或不用 Φ25mm 砂泵。根据需要选用变速泵，尽量不用地下吸入式砂泵配置，采用单泵配单管。同时要设置必需的检修设施和场地，以保证筛网、筛板、砂泵叶轮、泵壳等易损件的更换。

(4) 管路布置尽量减少弯曲，方便操作和检修，不得妨碍起重机运行。

(5) 地沟系统坡度的种类不宜过多，以便适应矿石性质波动和流程变动。地沟及溜槽宽

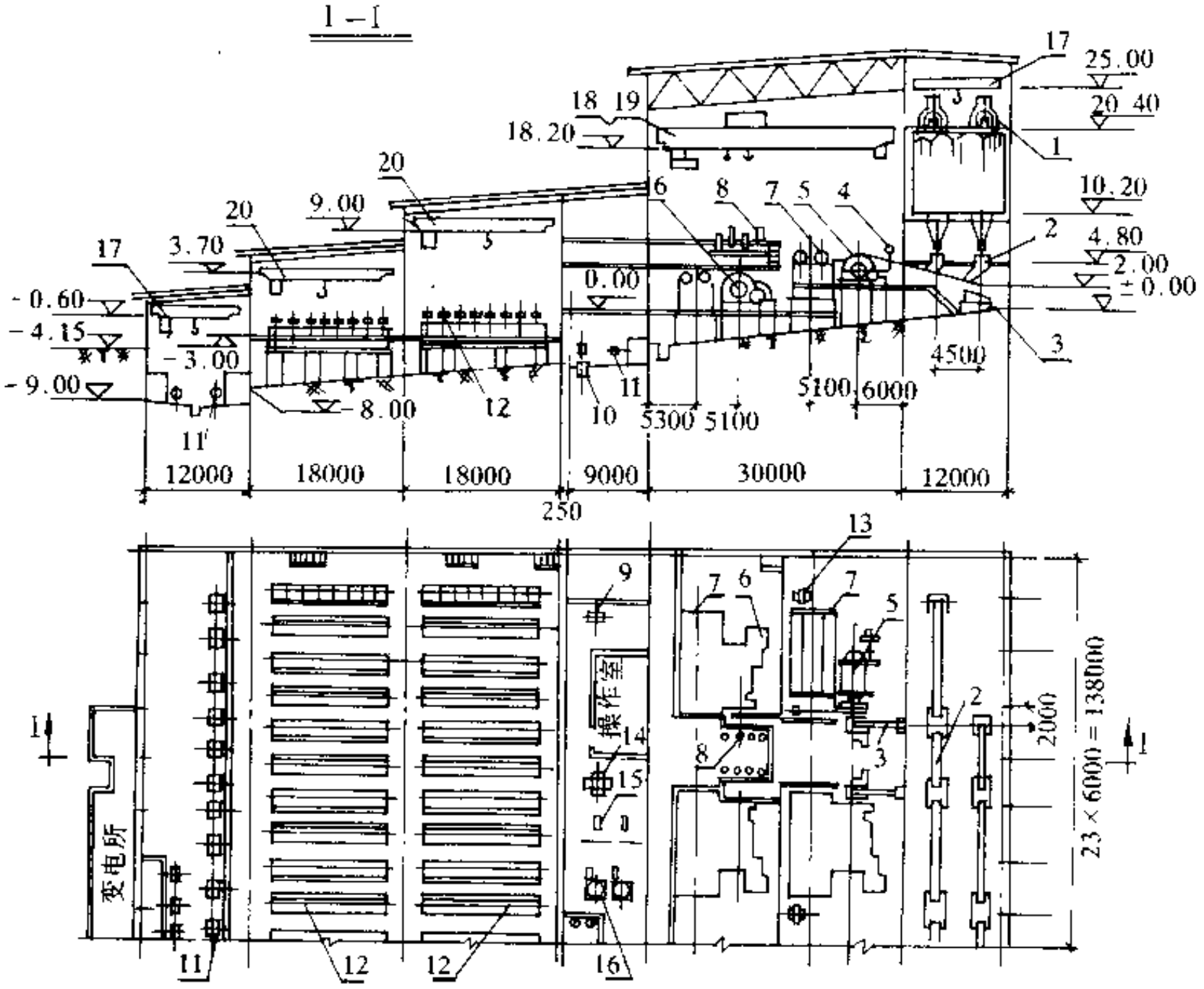


图 6－18　带控制分级的两段磨矿的主厂房配置图

1——B1400 带式运输机；2、3、4——B800 带式运输机；5——$\varnothing 2.7\times 3.6$m 格子型球磨机；

6——$\varnothing 2.7\times 3.6$m 溢流型球磨机；7——$\varnothing 2.4$m 双螺旋分级机；8——$\varnothing 750$ 旋流器；9——分配器；

10——立式砂泵；11——砂泵；12——XJ－28 浮选机；13——取样机；14——矿流分配器；15——给药机；

16——贮药桶；17——5t 电动单梁起重机；18——15/3t 电动桥式起重机；

19——125/20t 电动桥式起重机；20——2t 电动单梁起重机

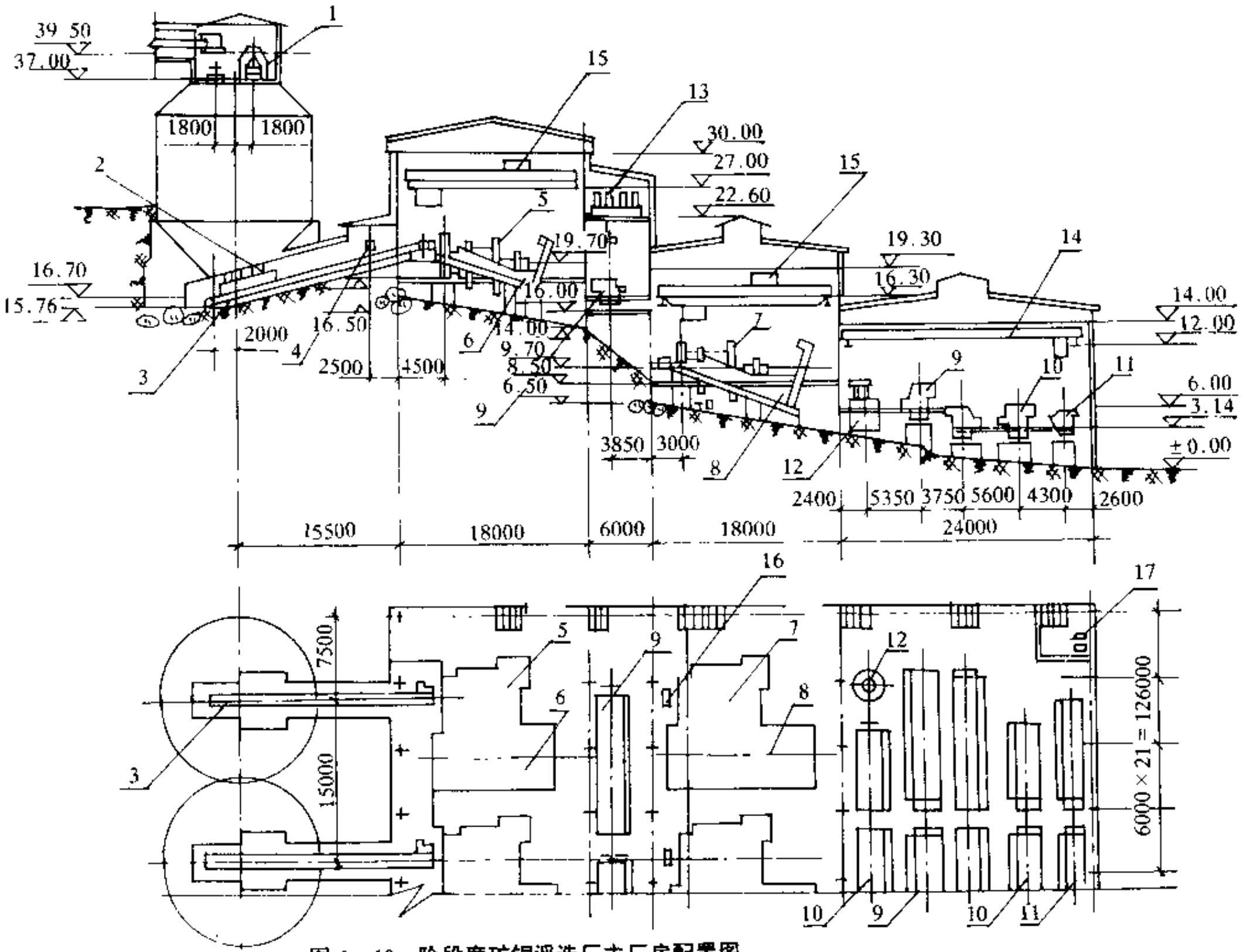


图 6－19　阶段磨矿铜浮选厂主厂房配置图

1——1000 卸矿小车 2 台；2——600×600 摆式给矿机 21 台；3——B650 胶带运输机 7 台；4——B650 自动秤 7 台；5——Ø3200×3100 球磨机 7 台；6——Ø2400 双螺旋分级机 7 台；7——Ø2700×3600 球磨机 7 台；8——Ø2400 沉没式双螺旋分级机 7 台；9——XJ－58 浮选机 21 台；10——XJ－58 浮选机 14 台；11——XJ－28 槽浮选机 7 台；12——Ø3000 搅拌槽 7 台；13——给药机；14——2t 电动单梁起重机；15——30/5t 电动桥式起重机 2 台；16——Ø500 旋流器；17——AⅡ－1 型自动取样机。

度不小 300mm，坡度不宜过大，地沟拐弯应避免直角，入口处应设置格栅，地沟应敷设活动盖板或格板，以满足自流输送和便于清理维修，妥善安排好事故排浆系统。

(6) 摇床采用操作面相向配置，并特别注意整齐、紧凑，便于操作看管。

(7) 重选厂耗水量大（高达 15～30m^3/t），而且污染较小，需重视回水利用和回收设施。

3. 设备配置实例

(1) 单层阶梯式重选厂配置。如图 6－20 的平、剖面图所示。设备配置按流程顺序沿地坡线从高至低地进行。其特点是：全厂按单系列设备配置成较明显的生产区，磨矿机（包括返回产物磨矿机 6）集中配置在地坡较高处。分级设备采用分泥斗及分级箱构成闭路磨矿作业。二段磨矿前设置 Φ3000mm 分泥斗 5 控制给矿浓度。然后按先粗后细的选别顺序，依次逐台配置选别设备，这样保证了选别流程主矿流自流的要求。

(2) 多层－单层阶梯式大型重选厂配置。如图 6－21 的平、剖面图所示。配置特点是，粗粒级物料的洗选设备按多层式配置，原料经由胶带运输机提升到多层建筑的顶部，重量大、振动较大的设备（如摇床等）按单层阶梯式配置。设备按流程顺序进行配置，即从上至下为：来矿胶带运输机 4，分配矿仓、给矿机 6、振动筛 8、跳汰机 9 及水力分级机等，第二跨为单层配置，设有棒磨机 1 和脱泥用双螺旋分级机 2；第三跨为多层式配置，第四跨至第九跨均属单层阶梯式配置，安装占地面积大的摇床 14 共 144 台；第十至十二跨为多层式配置，如第十跨，上层设置振动小的搅拌槽、贮药桶及给药机，下层配置砂泵。

六、磁选厂房的设备配置

随着永磁、强磁磁选机等新的高效设备的不断出现，使磁选流程更加简化，选别设备配置也简化。因此，常用湿式磁选厂的设备配置，基本上类同浮选厂的设备配置。有时它是联合流程中的一个选别循环，配置时，根据选用磁选机的类型、台数和附属设施，就近配置在厂房的某一跨间或单独跨间内。设备配置要点基本上也按浮选厂、重选厂的设备配置要求考虑。

七、脱水厂房的设备配置

精矿脱水是选矿工艺过程中最后一个环节。精矿脱水作业常用浓缩、过滤两段脱水或浓缩、过滤、干燥三段脱水。精矿脱水段数的确定，取决于被脱水物料的性质（包括粒度、密度、浓度及物料表面的药剂影响等）和用户对精矿含水量的要求，以及高效浓缩机和全自动压滤机的推广应用。此外，精矿贮存和运输方式与气候条件对脱水的段数也有影响。脱水厂房的设备配置，应根据已确定的脱水段数及选择的设备类型、台数、占地面积大小，结合地形条件作出不同的设备配置方案。

1. 设备配置方案

(1) 浓缩机和过滤机配置在厂房内，并与主厂房连为一体。这种配置方案，浓缩机的直径不要超过 15m，否则影响厂房跨度过大而显得很不合理。它适用于精矿产量较少的中、小型选矿厂，或贵金属与稀有金属选矿厂，尤其是在高寒地区更具有防冻的优点，见图 6－22。

(2) 浓缩机配置在露天，过滤机与精矿仓按单层阶梯式配置在厂房内，如图 6－23。主要特点是，浓缩机底流可自流到过滤机，过滤机的滤饼可直接卸入精矿仓。生产作业线短、操作方便、配置紧凑，多见于中、小型有色金属选矿厂。当地形条件不能满足自流时，浓缩

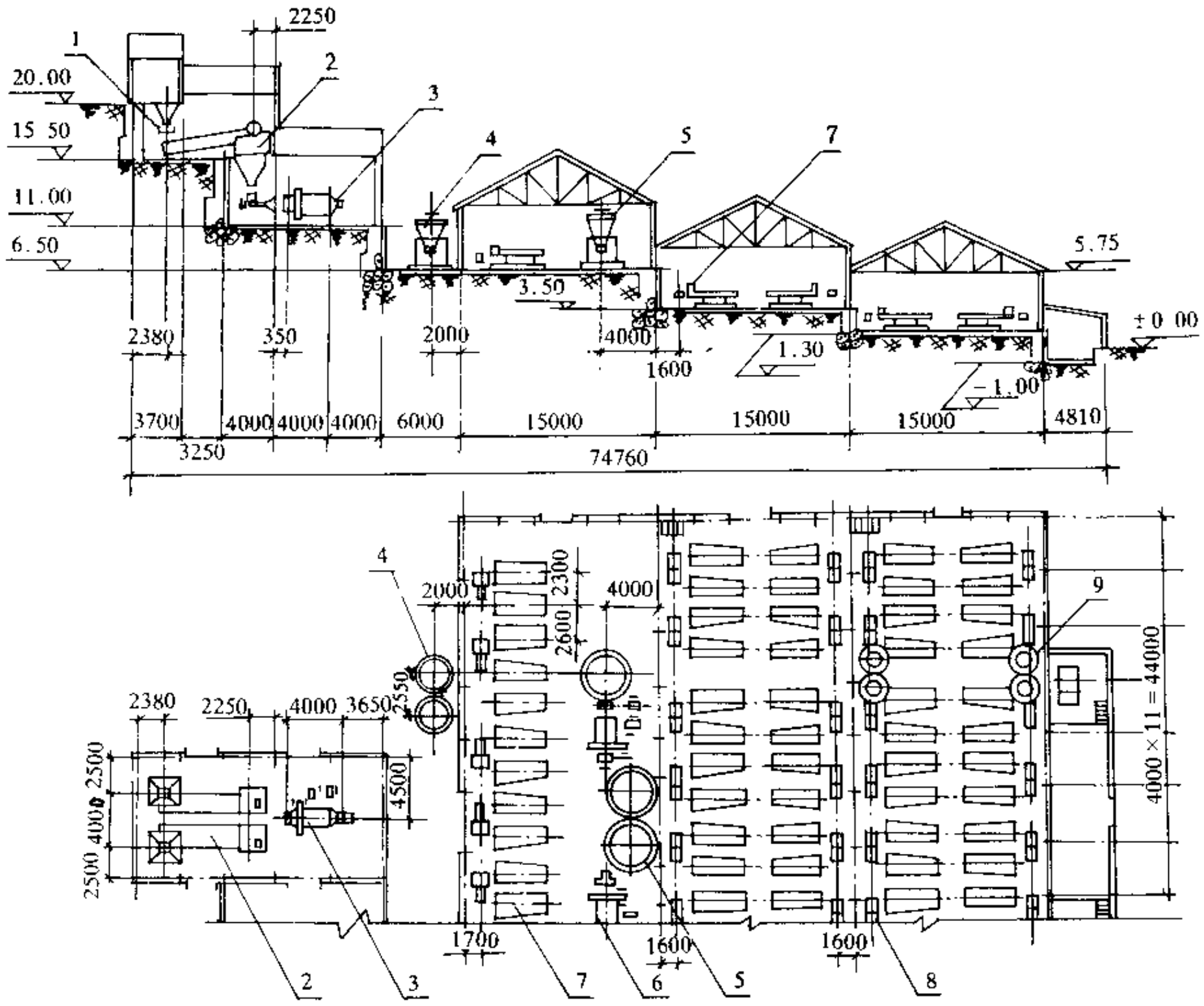


图 6－20　单层阶梯式重选厂配置图

1——400 振动给矿机；2——1500×6700 搅拌洗矿机；3——Ø1500×3000 棒磨机；4——Ø2000 分泥斗；5——Ø3000 分泥斗；6——Ø1500×2400 球磨机；7——1800×4400 摇床；8——分级箱；9——Ø1000 分泥斗。

机底流用砂泵扬送至配置在楼上的过滤机，滤饼直接卸入精矿仓，真空泵、压风机等布置在楼下。后者多用于精矿量较大的大中型选矿厂。

(3) 干燥机配置方案有两种：

①干燥机与过滤机配置在同一厂房内，过滤机安装在楼上，干燥机安装在楼下，干燥后的精矿用胶带运输机转运至精矿仓，如图 6－24；

②干燥机安装在独立两层厂房的楼上，精矿仓设置在楼下，干燥后的精矿直接卸入精矿仓。

2. 设备配置要点

(1) 浓缩机位置应与主厂房精矿排出管位置相适应，最好紧接主厂房，以免弯管过多，保证自流时管长最短，并以露天配置为主。山坡建厂多采用半地下式配置，其底部排矿口不应少于两个。当浓缩机泵房建在地下时，为减少地下深度，浓缩机排出管可考虑直接与泵进口相接，取消泵池所占高差，泵房污水应设置专用泵排出送至浓缩机给矿箱，地下泵房应配置良好的检修设备。

(2) 过滤机前应设置调节闸阀或缓冲槽，以保证给矿均匀稳定。楼板或操作台地面应低于矿浆槽顶边，地面应有 3% 左右的坡度。当采用活塞式真空泵时，必须严格防止气水分离器中滤液串入真空泵活塞缸中，气水分离器高度必须大于 10.5m。当采用水喷射泵时，喷射泵的尾管高度必须大于 10m，水箱、风包及水泵位置应相互适应，真空罐高度应留有放水阀的位置，喷射泵尾管应与水箱保持垂直，以防止气体与水射流直接冲击管壁，风包位置不宜距水箱过远，以减少管路损失。

(3) 对两段脱水流程，滤饼最好直接卸入精矿仓；对三段脱水流程，滤饼最好直接卸入干燥机。

(4) 干燥厂房内应留有通风、收尘、干燥产品堆存的场地。当采用原煤为燃料时，应考虑相应的供煤设施，如煤仓、给煤装置等，还应考虑排灰渣设施。针对干燥厂房内烟气较大的特点，还必须加强通风防尘和收尘措施。

(5) 精矿仓与精矿包装场地应与装车方式结合考虑，尽量减少二次运输。对含水少而又松散的物料，可采用高架式装车仓装车。对含水大于 8% 而又较粘的物料，则以抓斗仓为宜。水分为 4% 左右的干燥后精矿，一般应采取装袋或装桶后外运。

(6) 精矿出厂前应设置计量设备及相关的取样检测仪表。地中衡、电子秤、取样机等设备，应按操作过程选定设置位置。

(7) 对价格昂贵的精矿，设计中应考虑较完善的回收系统。浓缩机溢流应设置回收细粒精矿的沉淀池；过滤机地面的排污应与滤液返回设施合并；收尘系统排出气体不允许含有过量精矿粉。

(8) 积极推广应用自动压滤机、陶瓷过滤机等新设备，以便节省能耗，降低滤饼水分。

八、检修场地、通道和操作平台

1. 检修场地

检修场地一般设在厂房与外部运输通道相连接的一端，运输车辆可直接进入厂内吊车服务区间，只有少数厂房设于中部或两端。场地主要用于检修、堆存设备零部件及某些检修工具，场地面积参照表 6－4。

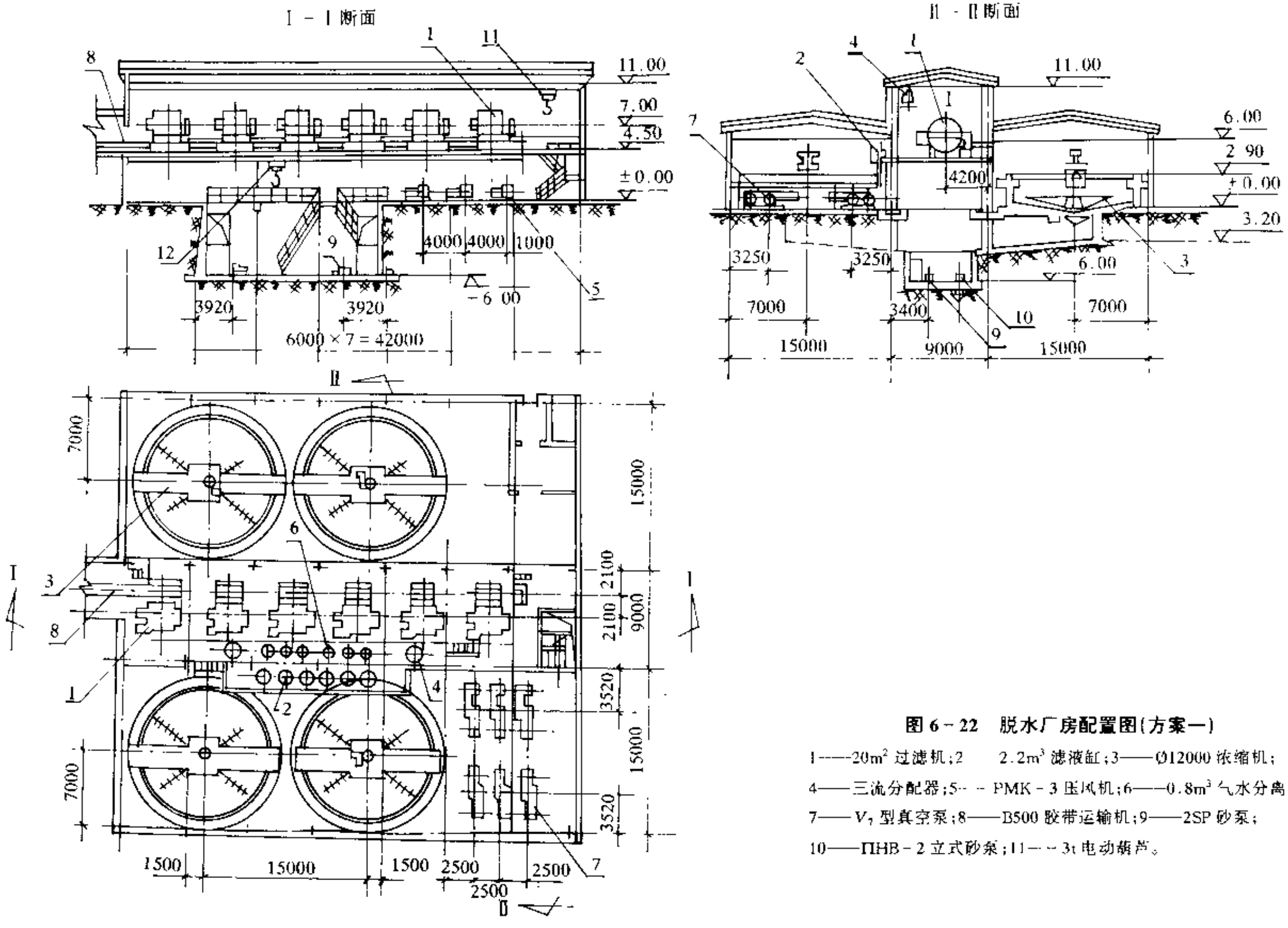
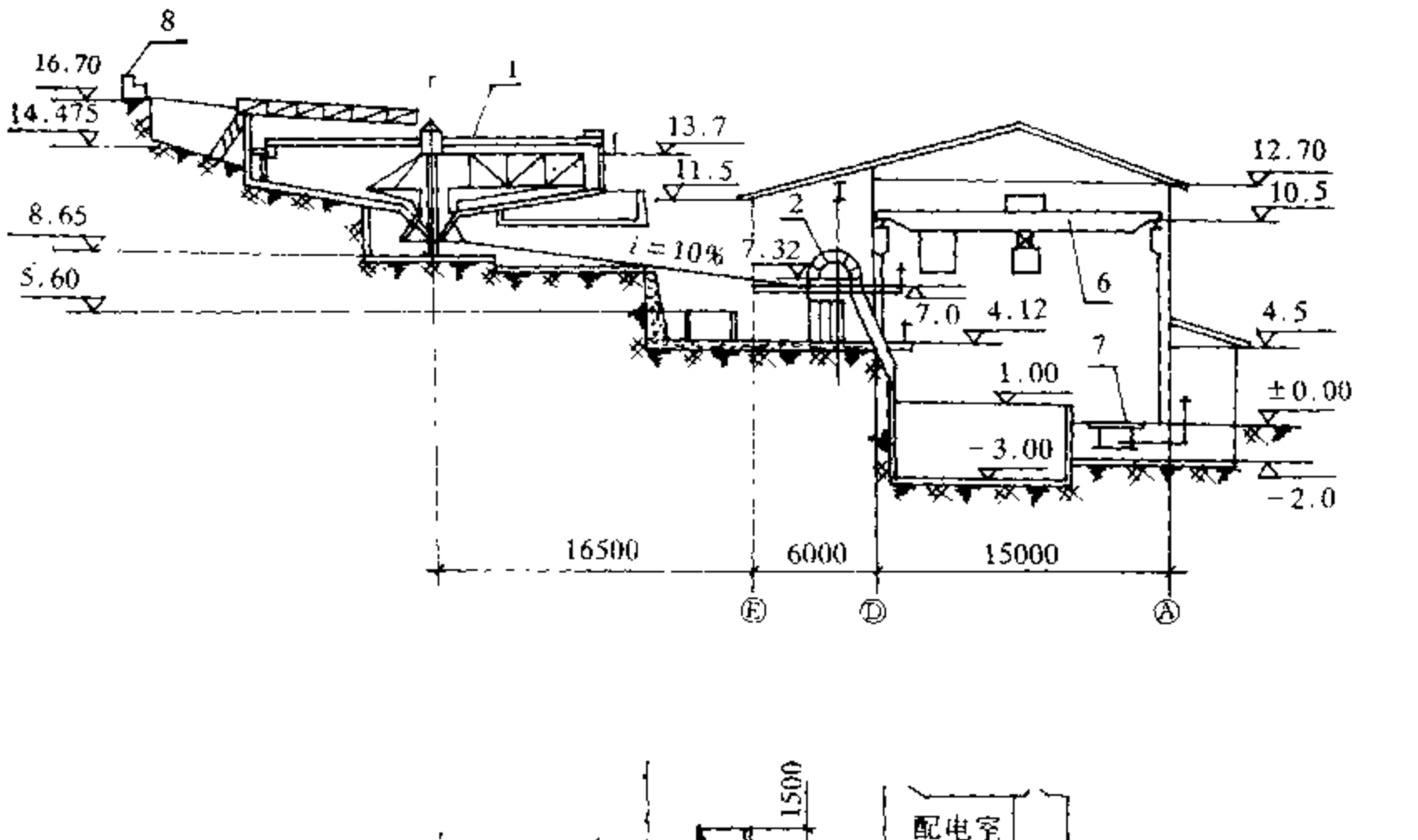


图 6－22　脱水厂房配置图(方案一)

1——20m² 过滤机；2　　2.2m³ 滤液缸；3——Ø12000 浓缩机；
4——三流分配器；5－－PMK－3 压风机；6——0.8m³ 气水分离器；
7——V_7 型真空泵；8——B500 胶带运输机；9——2SP 砂泵；
10——ПНВ－2 立式砂泵；11－－3t 电动葫芦。



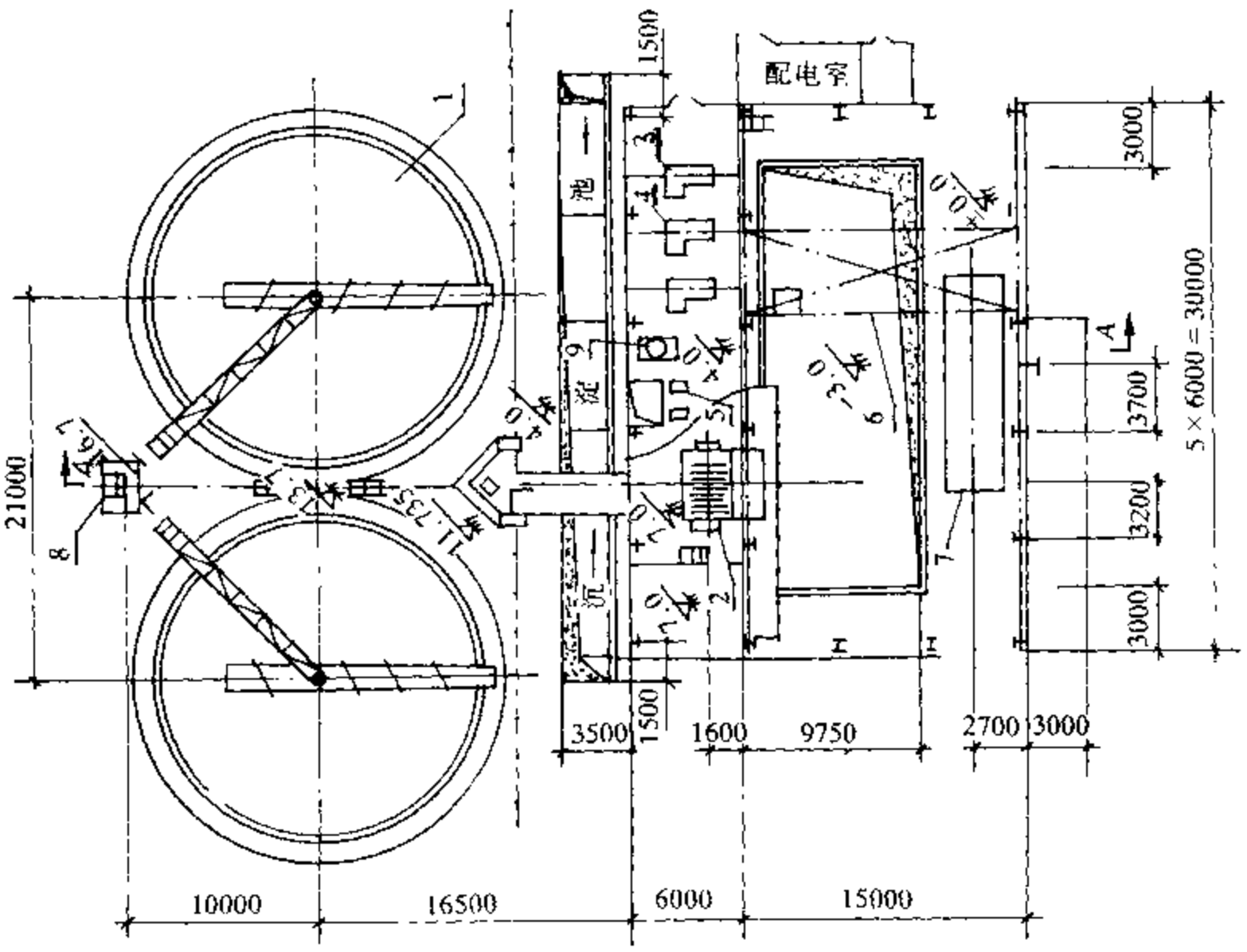


图 6－23　脱水厂房配置图（方案二）

1——TNB－18 周边传动浓缩机；2——nY68··2.5/8 圆盘真空过滤机；

3——SZ－3 水环式压缩机；4·－－PMK4 水环式真空泵；5－—2PN 污水泵；

6——5t 抓斗桥式起重机；7·－－30t 地中衡；8—— 矿浆分配器；9－—自动放水滤波缸。

表 6－4　各类主要设备检修场地参考表

设备名称及规格		台数	场地柱距数	柱距尺寸（m）
400×600	颚式破碎机	1～2	1	4～6
600×900	颚式破碎机	1～2	1	6
900×1200	颚式破碎机	1～2	1	6
1200×1500	颚式破碎机	1	1	6
1200×1500	颚式破碎机	2	2	6
1500×2100	颚式破碎机	1～2	2	6
500	旋回破碎机	1～2	1～2	6
700	旋回破碎机	1～2	2	6
900	旋回破碎机	1～2	3	6
1200	旋回破碎机	1～2	3～4	6
1500	旋回破碎机	1～2	4	6
Ø900	圆锥破碎机	1～2	1	6
Ø1200	圆锥破碎机	1～2	1	6
Ø1750	圆锥破碎机	1～2	1	6
Ø1750	圆锥破碎机	≥3	2	6
Ø2200	圆锥破碎机	1～4	2	6
Ø2200	圆锥破碎机	≥5	3	6
Ø4000×1400	干式自磨机	2～6	1～2	6
Ø6000×2000	干式自磨机	2～8	2～3	6
Ø5500×1800	湿式自磨机	2～8	2～3	6
Ø5500×1800	湿式自磨机	≥9	4	6
Ø7500×2500	湿式自磨机	2～8	3～4	6
Ø1500×1500	磨矿机	2～6	2～3	6
Ø1500×3000	磨矿机	2～6	2～3	6
Ø2100×2200	磨矿机	2～6	2～3	6
Ø2700×3600	磨矿机	2～6	2～3	6
		(>7)	(3～4)	6
Ø3200×4500	磨矿机	2～6	4～5	6
Ø3200×4500	磨矿机	≥7	4～5	6
Ø3600×3900	磨矿机	2～6	4～5	6
Ø3600×3900	磨矿机	≥7	4～5	6
Ø5030×6400	磨矿机	>2	4～5	6

注：① 旋回、圆锥破碎机的检修场地，包括熔锌炉、备件架、锥体存放坑等位置；

② 井下破碎站的场地不受柱距限制，应根据硐室情况确定，不宜过大；

③ 磨矿厂房的检修场地是按分级机设备配置考虑的，如采用旋流器时应扣除分级机占地面积；

④ 过滤厂房一般不设专门的检修场地，只有在设备数量多、检修工作量大，才考虑 1～2 柱距。

2．通道和操作台

为满足生产和方便操作及安全，在厂房内应设置必要的通道、操作平台，留出设备安装

及零部件吊运孔洞等。设置时应做到既经济，又满足生产与安全需要的面积和高度。

厂房主要大门及通道位置设于检修场地一端，门宽应大于设备及运输车辆最大外形尺寸的 400～500mm；当设备比较大不经常更换时，不设专用大门，在墙上预留安装洞，洞宽最好与柱间尺寸相同，洞高大于拖车运组装件最高点 400～500mm，设备安装完毕后再封闭；为解决多层建筑中设备或零部件的运输，各层楼板应留有必要的安装孔，开孔尺寸应大于设备及零部件外形尺寸的 400～500mm；对利用率较高的安装孔周围应设置安全栏杆；栏杆可设计成活动式，利用率低的安装孔应设置活动盖板，以利于生产安全和厂房采暖；安装临时起重设备的地方，应留有足够的高度和面积，厂房结构应有足够强度，以满足安装临时起重设备的需要。

选矿厂各层操作平台的设置，应以设备操作、检修、维护时拆卸安装方便为原则。当同一位置或同机组需要设置几层操作平台时，层间净高高度一般不应小于 2m；上层平台不可妨碍下层设备的操作和吊装检修；平台的面积大小和形状应满足生产操作和检修，临时放置必要的检修部件及工具所需的面积。

厂内主要通道的设置，如表 6－5 所示。

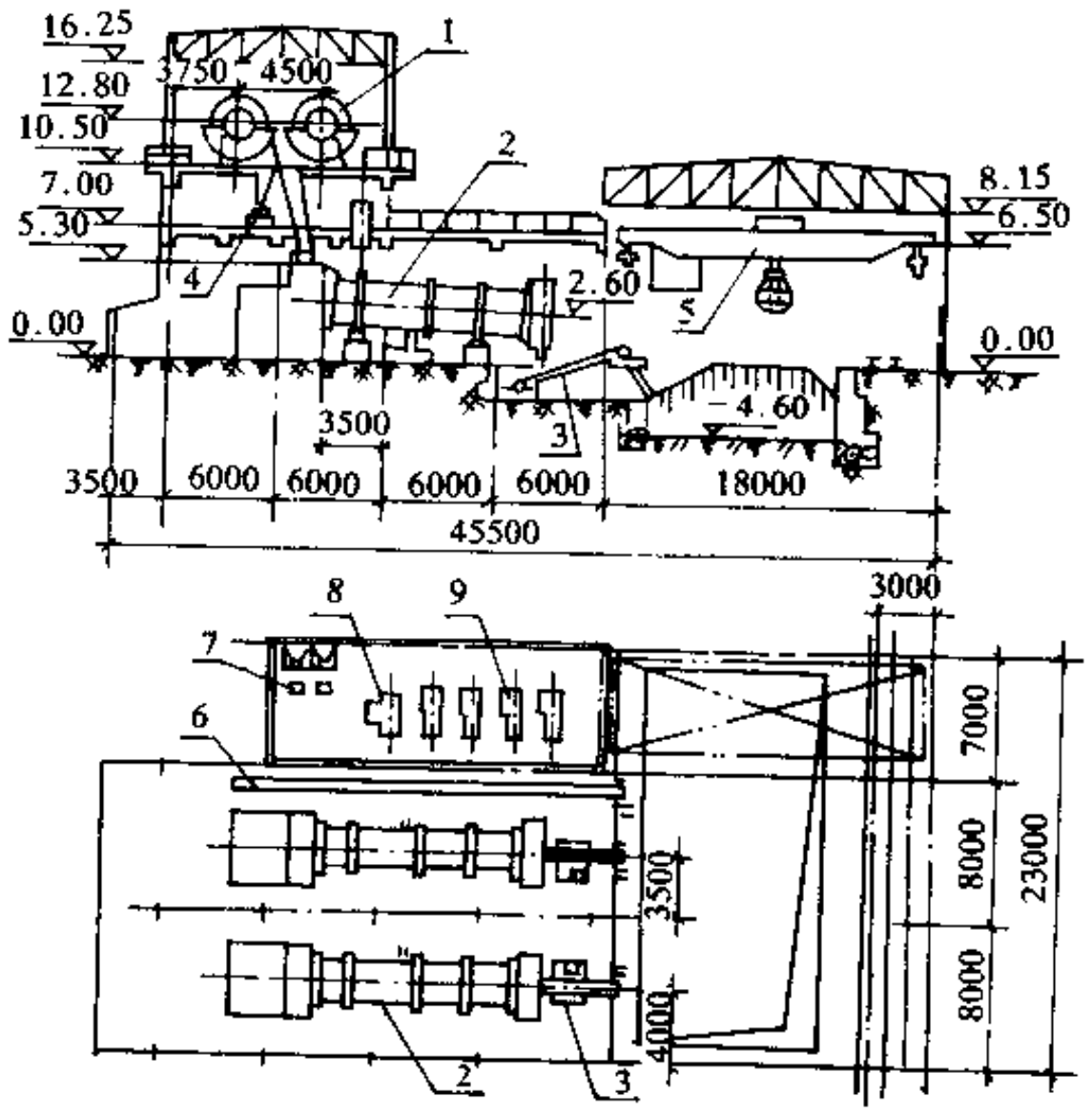


图 6－24　脱水厂房配置图（方案三）

1——40m^3 外滤式圆筒过滤机；2——$\varnothing 2200\times 12000mm$ 圆筒干燥机；3、4、6——$B500$ 胶带运输机；5——5t 电动桥式抓斗起重机；7——水泵；8——真空泵；9——空气压缩机。

表 6－5　通道平台界限尺寸参考

名　称	宽　度（m）	服　务　性　质
主要通道	1.5～2.0	供人员通行、小件搬运用
操作通道	0.9～1.2	供操作人员经常性流动、观察、检查、调整用
维修通道	0.6～0.9	专供设备局部维修用
操作平台		平台面积除满足操作要求外，尚须考虑维修时方便，并留有存放小型物件的面积
检修平台		考虑存放大型部件及检修工具，由于荷重较大，一般较少采用。

注：① 通道坡度 6°～12°时应设防滑条，12°以上应设踏步；

② 设置的通道、平台、通廊其下弦的净高应大于 2m；

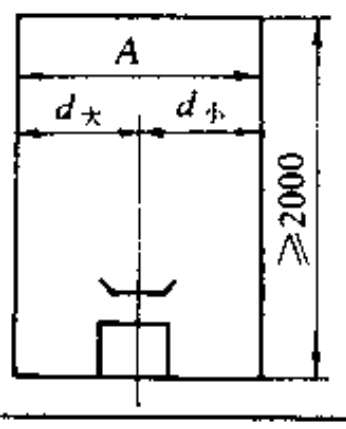
③ 平台高出地面 500mm 以上时应设栏杆，栏杆高度为 1.0～0.8m；

④ 通道、操作台与地面之间应设钢梯，梯子角度以 45°为宜，经常有人通行及携带重物处楼梯角度应小于 40°，不经常通行的可大于 45°。

⑤ 胶带运输机通廊尺寸按表 6－6 设置。

表 6－6　胶带运输机通廊尺寸

带宽（mm）	500	650	800	1000	1200	1400
A	2500	2500	3000	3000	3500	4000
$d_{大}$	1500	1450	1750	1700	2000	2300
$d_{小}$	1000	1050	1250	1300	1500	1700



九、污水处理

在选矿厂生产过程中，有生产污水、收尘污水、药剂污水产生，设计中应根据不同性质分别处理。

1．设置地面排污系统

根据污水性质不同，分别设置不同系统。生产污水（地面污水、事故池放矿污水），一般不宜直接向厂外排放，应通过地沟汇集于污水池，利用污水泵返回生产系统中；收尘污水（破碎及精矿干燥）不得向外排放，应通过管道，溜槽或地沟汇集于泵池和沉淀池中；经过处理分别将矿砂和水返至各自回收系统，不能利用的废水、废砂应送入尾矿系统。

2．排污沟结构形式

便于施工一般采用矩形断面。地沟宽度一般为 300～600mm，考虑清理方便，宽度不宜过窄过深。地沟始点深度可取 50～100mm。地面坡度不应小于地沟坡度。破碎厂、磨浮厂、磁选厂则按 3%～5%考虑。重选厂粗粒、大密度物料自流输送的地沟坡度，可大于 7%，一般为 4%～6%。地沟表面应设格栅或盖板确保安全。

3．事故池容积及返回措施

事故放矿池的容积，原则上按一次性事故的矿浆量考虑。当矿量特别大时，可考虑扣除部分水量来计算所需事故池容积。返回措施多用高压水先行造浆，再用砂泵返回适当地点，

返回量要控制均衡，以不造成生产波动为原则。

4. 污水沉淀池形式及清理方法

沉淀池一般位于厂房外最低处，为清理方便，最少应分为工作区、沉淀区、清理区三个区，按不同要求轮换使用。沉淀池的溢流水与污水池的溢流水一并纳入尾矿库，以便统一处理。沉淀池可采用移动式吊泵。

5. 选矿厂“三废”排放，应遵守有关标准及规定

如水的环境保护标准，大气的环境保护标准，废渣的环境保护要求，防暑、防寒规定，工业企业噪声卫生标准，放射性防护规定以及空气中粉尘含量标准等都应遵守执行。

第三节　选矿厂辅助设施

选矿厂辅助设施，包括机修、试验室、化验室、技术检查站、药剂设施、备品备件和材料仓库、选矿厂办公室以及锅炉房、燃料堆放场地等。在选矿厂主要生产工程项目设计后，常以单项工程列出作专项设计。选矿专业负责除机修、仓库堆场、办公室之外的设计，在编制初步设计文件中应按设计选矿厂的性能要求分项，并说明项目设置内容，绘制配置图和计算它们的单位投资。在方案比较和可行性研究中，则多根据类似企业的统计资料，该项目的投资占选矿厂各生产项目（车间）投资的百分数进行估算。

一、机修设施

选矿厂机修设施的装备水平及其规模，应根据选矿厂的规模、主要设备规格、部件及零件的自给率、年检修工作量确定。一般大、中型选矿厂可设机修厂，承担矿山和选矿厂的部分大中修任务，大型选矿厂还可设适当的电修设施，小型选矿厂仅设维修站，承担选矿设备的日常维修和小修。随着我国机械工业布局的日趋合理和设备制造水平的不断提高，以及市场经济繁荣，机修工作量可逐渐减少，协作条件日渐良好，机修将以部、零件更换办法取代机修设施的设置。选矿厂机修设施装备标准按有关矿山机修与汽修设施工艺设计标准执行，有色金属矿选矿厂按《有色金属矿山机修与汽修设施工艺设计标准》YSJ016－92 执行。新建有色矿山企业应贯彻机修以修理为主、汽修以维护为主的原则。

二、选矿试验室、化验室及技术检查站

为统一选矿厂试验室、化验室及技术检查站的工艺设计技术要求，提高设计质量和效率，新建选矿厂的试验室、化验室及技术检查站的设计，必须符合有关选矿厂试验室、化验室及技术检查站工艺设计标准，有色金属选矿厂须符合《有色金属选矿厂试验室、化验室及技术检查站工艺设计标准》（YSJ007－90）。

1. 试验室

选矿厂试验室的任务，是通过条件试验提出工艺措施，为指导选矿厂日常生产服务。选矿厂工艺流程可分为浮选、浮磁联合选、重浮联合选和重磁浮联合选四类。试验室的规模，则根据选矿厂的生产规模及工艺流程的复杂程度确定。大型或工艺复杂的有色金属选矿厂，应设中型试验室，中、小型或工艺流程简单的选矿厂应设小型试验室。

2. 化验室

选矿厂化验室应承担采场、选矿厂提供的各种样品的分析检验工作；化验室的分析样品

应包括选矿日常生产样、快速分析样、地质样、采矿样、外销产品样、选矿试验样、生产考查样和内检样等。

3. 技术检查站

其任务是对选矿厂生产过程进行技术检查和技术监督。技术检查站按每班样品数量划分为中型和小型两种规模。大型和工艺复杂的选矿厂，应设中型技术检查站；中、小型选矿厂则设小型技术检查站。

三、药剂设施

药剂设施是浮选厂不可缺少的辅助设施，它包括药剂贮存、制备和给药 3 部分。

1. 药剂贮存

药剂贮存方式随药剂性质、种类及包装形式的不同而异。散装液体药剂设置贮液槽，袋装或桶装的药剂则应设置仓库。药剂贮存量是计算贮存仓库的主要依据，一般应以药剂供应点的远近，交通运输和用药量的多少来决定，一般按 1～3 个月的生产用药量考虑仓库面积。计算药剂堆存仓库面积时应注意：药剂堆放高度、铁桶包装可用吊车立放，堆放 2～3 层，麻袋或编织袋包装可多层叠放；不同品种药剂应分别堆放，剧毒药品应单独存放；设计仓库时要考虑通风、防火、防腐、防潮等措施。

2. 药剂制备

在主厂房设计中必须考虑药剂制备及给药设施所具备的条件。

(1) 药剂制备地点。药剂用量少、品种也少的选矿厂，可将药剂制备室和给药室集中设置在主厂房内。药剂品种多、用量大的选矿厂，可把药剂制备设在靠近主厂房较高的位置，以便药剂能自流至给药室。

(2) 药剂浓度。以方便给药、贮存及计算为原则。用药量小的采用低浓度制备，用药量大的采用高浓度制备。制备浓度一般在 5%～20% 之间，剧毒的氰化物配成 1% 为宜。

(3) 药剂制备量。需加水溶解的药剂采用药剂搅拌槽。不需溶解的药剂设置贮存槽。药剂制备量的大小，以每班溶解一次较适宜，用药量大的可每班溶解两次，剧毒药剂采取专人配制，并与其它药剂制备室分开。

3. 药剂添加

首先是给药方式，小型选矿厂用集中给药方式，便于操作管理；多系列大、中型选矿厂用分散给药方式；剧毒药剂应单独设置给药室，以确保安全。其次是给药装置，目前除老选矿厂仍使用斗式、杯式和轮式给药机外，已普通采用虹吸给药机，在虹吸给药机前，可设置微机控制加药机装置、负压加药装置等。此外，还可用小型定量泵加药。干式添加的给药设备，常选用盘式或带式给药机。

4. 设计注意事项

(1) 选矿厂给药室应以集中配置为主。小型选矿厂给药室可与制备间合并设置；

(2) 药剂添加室应设有视野广阔的观察窗。药剂种类、数量较多的大、中型选矿厂，添加室中应增设操作人员工作室；

(3) 药剂室应采取防腐措施，气味较大的黄药、硫化钠等贮药槽及给药机处，应设置独立的机械排风系统；

(4) 药剂添加及制备室排出的污水，可通过尾矿管输送至尾矿库；

(5) 药剂管道不宜与电缆、电力线、自动控制管线共架敷设，各种药剂管道应涂以不同

颜色，剧毒药剂管道应有醒目标志；

(6) 药剂管道与标高，应保证起重设备正常起吊与运行，不得影响生产操作人员的操作；

(7) 石灰乳及易沉淀的药剂贮槽，应增设搅拌装置，槽底应安装排渣活门；

(8) 石灰乳用量大时，宜采用压力循环管添加，循环管中石灰乳流速不小于 3m/s；

(9) 大、中型浮选厂宜采用数控给药机或药剂定量泵，小型选矿厂宜采用机械或虹吸给药机。

四、自动控制、检测与计量装置

(1) 选矿工艺复杂、生产规模较大的选矿厂，应相应提高自动化水平。中、小型选矿厂可采用局部自动控制方式。

(2) 选矿厂破碎筛分系统开停车顺序，宜采用集中联锁控制，系统复杂、设备数量较多时，可采用程序控制。

(3) 大、中型选矿厂磨矿机给矿，宜采用恒定给矿，磨矿产品浓度和细度应采用自动控制。

(4) 自动化水平要求较高的大型选矿厂，应设集中控制室，并在设备附近设置就地控制仪表盘。

(5) 选矿厂取样点的设置，应符合工艺流程特点及生产检测需要。取样方法应机械化、自动化。

(6) 需要配矿的原矿与精矿，宜设干式取样装置及其制备系统，原矿取样装置应设在磨矿矿仓附近，精矿取样机应设在过滤与干燥作业线上。

(7) 矿浆量过大时，应先经缩分再给入取样机。样品缩分比应根据矿浆量与取样机允许流量确定。

(8) 选矿厂的原矿、破碎产品、磨矿机给矿、最终精矿和重选系统给矿，应设置计量装置。设置计量装置的带式运输机，应与计量装置的技术要求相适应。

(9) 各种检测与计量仪表，应符合产品安装要求。

五、备品、备件及材料仓库

在采选联合企业内的中、小型选矿厂，一般不单独设计设备及材料仓库，从总库（一级库）中直接领用。但对独立选矿厂或大型选矿厂，维修工作量大的中、小型选矿厂，应在选矿厂区域内设置专用仓库。仓库位置应选择在交通方便与大量消耗备品、备件厂房接近处。有条件时应设计成高栈台、低货位的仓库。仓库的结构形式可以是露天、料棚、封闭式等形式。仓库面积按材料贮存量、单位仓库面积堆存量及面积利用系数来确定。并按设备、备件、材料重量、数量、大小设置相应的水平运输及提升装置。

思考题

(1) 选矿厂设计中总体布置的意义和主要内容以及达到的要求是什么？

(2) 影响总体布置的因素和应处理好哪些方面的关系？

(3) 总体布置应遵循的主要原则是什么?

(4) 选矿厂总平面的组成及主要工业场地包括哪些?

(5) 选矿厂厂房布置的基本方案及厂房建筑形式有哪些?

(6) 影响厂房剖面形式的主要原因是什么?

(7) 设备配置应遵循的主要原则是什么?

(8) 设备配置如何进行? 需解决什么问题?

(9) 破碎厂房设备配置的基本方案是如何确定的?

(10) 主厂房设备配置的基本方案及常用配置方案是哪种?

(11) 脱水厂房设备配置方案有哪些? 常用配置方案是哪种?

(12) 选矿厂的生产辅助设施包括哪几个方面的内容?

第七章　选矿厂设计 CAD 应用

第一节　概　述

一、CAD 简介

所谓 CAD，即 Computer Aided Design 的缩写。它是指以计算机作为主要技术手段，运用各种数字信息与图形信息进行产品或工程设计。通俗地说，就是利用计算机进行方案设计、数据计算和工程绘图。

CAD 的应用，有利于缩短设计周期、提高设计工作效率和设计产品质量。由于计算机具有高速、准确运算及自动绘图功能，一方面，能在较短的时间内完成产品设计和更新，使得设计工作效率显著提高，同时也提高了产品的市场竞争能力，加快了工程建设进度，从而可显著地增加经济效益；另一方面，计算机能方便快速地完成设计过程中间结果的计算、分析、比较和优化等繁琐工作，使设计者能将精力放在设计的创造性工作中，无疑有利于提高设计质量。

二、CAD 系统硬件及软件组成

1. 硬件组成

普通型 CAD 系统由图 7－1 所示几部分组成。

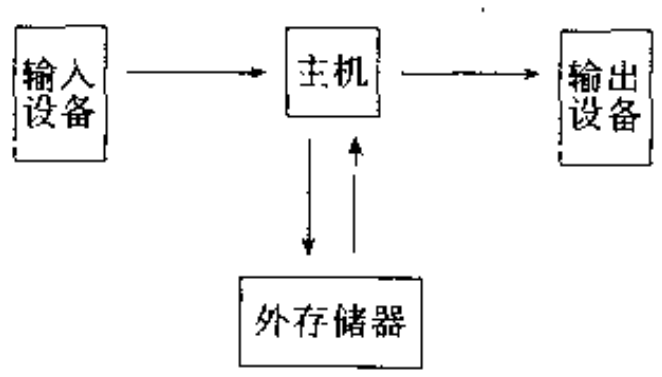


图 7－1　普通 CAD 系统硬件组成

(1) 主机。它是 CAD 系统的核心，它控制和指挥整个系统。大、中、小型或微型计算机均可采用，主要根据 CAD 系统要完成的任务确定。目前，微型计算机由于体积小、功耗低、价格便宜，因此，微型计算机 CAD 系统应用较广。

(2) 输入设备。它是向计算机输入数据、程序及图形信息的设备。主要包括键盘、鼠标器（Mouse）、数字化图形输入板、光笔及扫描仪等。

(3) 输出设备。它是将计算结果、工程图形形成“硬拷贝”输出的设备。主要包括绘图仪和打印机。

(4) 外存储器。它是存放大量数据、程序和图形的装置。主要指硬磁盘和软磁盘等。

2. 软件组成

一般 CAD 系统的软件组成主要包括以下 3 大类：

(1) 通用商业化 CAD 系统软件。这类软件具备了完善的图形处理、图形输入和输出、用户接口等功能，具有很强的通用性，可用作众多工程领域图形处理的开发环境。最著名的主要有 AutoCAD 软件包、3DS Studio 等。

(2) 程序设计语言。利用程序设计语言，用户可完成各种工程计算和图形处理的应用程序开发，同时，实现与商业化 CAD 软件包的接口。主要包括各种高级语言，如 BASIC 、

FORTRAN、PASCAL、C 语言及数据库语言等。

(3) 应用程序。它指用户根据设计要求，利用高级语言开发的软件，或基于商业 CAD 软件包的实用程序，用户可利用它们直接进行工程设计。

第二节　程序设计基础

一、程序设计的基本过程及要求

程序设计是指按一定规范编写计算机能够直接或间接识别与执行的程序的过程。程序设计的基本过程大致包括以下 3 个阶段：

(1) 针对实际工程问题建立数学模型；

(2) 根据解析数学模型的逻辑过程设计程序框图；

(3) 借助高级语言，用适当的算法编写程序代码。

程序设计的基本要求是：计算结果的精度和误差要满足要求；在完成相同计算和绘图功能时，程序的运算量小，速度快；对计算机内存的占有量要小；程序的结构必须清晰、简明，便于阅读和理解。

二、方程组求解

选矿厂 CAD 中，方程组求解主要指线性方程组和矛盾方程组的求解。

1. 线性方程组求解

常用的求解方法很多，高斯主元素消元法是其中之一。

高斯主元素消元法的基本思想是，对方程组 $AX = B$ 进行一系列的初等变换，减少方程中的变量数，直到将原方程 $AX = B$ 转化为等价的倒三角形方程组 $A''X = B''$，然后通过回代求解。即：

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \cdots + a_{2n}x_n = b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \cdots + a_{3n}x_n = b_3 \\ \quad\vdots \qquad\quad \vdots \qquad\quad \vdots \qquad\qquad \vdots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \cdots + a_{nn}x_n = b_n \end{cases} \tag{7-1}$$

将式 7－1 中的常数项移至等式左边，则其增广系数矩阵为：

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3n} & b_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & a_{nn} & b_n \end{bmatrix} \tag{7-2}$$

将式 7－2 中第 2 至第 n 行分别减去第 1 行 $\times a_{ij}/a_{11}$，可得：

$$\begin{bmatrix} a_{11}^1 & a_{12}^1 & a_{13}^1 & \cdots & a_{1n}^1 & b_1^1 \\ 0 & a_{22}^1 & a_{23}^1 & \cdots & a_{2n}^1 & b_2^1 \\ 0 & a_{32}^1 & a_{33}^1 & \cdots & a_{3n}^1 & b_3^1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \\ 0 & a_{n2}^1 & a_{n3}^1 & \cdots & a_{nn}^1 & b_n^1 \end{bmatrix} \tag{7-3}$$

再将第 3 至第 n 行分别减去第 2 行 $\times a_{ij}/a_{22}$，…如此变换至第 n 行止，可得：

$$\begin{bmatrix} a_{11}^1 & a_{12}^1 & a_{13}^1 & \cdots & a_{1n}^1 & b_1^1 \\ 0 & a_{22}^2 & a_{23}^2 & \cdots & a_{2n}^2 & b_2^2 \\ 0 & 0 & a_{33}^3 & \cdots & a_{3n}^3 & b_3^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & a_{nn}^n & b_n^n \end{bmatrix} \tag{7-4}$$

变换过程中，令 $R = a_{ik}^{k-1}/a_{kk}^{k-1}$，则式 7－4 中元素可用以下通式表示：$a_{ij}^k = a_{ij}^{k-1} - Ra_{kj}^{k-1}$，$b_i^k = b_i^{k-1} - Rb_k^{k-1}$，式中，$k$ 为消元次数；i 为行数；j 为列数。

对式 7－4 采用回代法即可求出方程组的解。即：

$$x_n = b_n^k/a_{nn}^k \quad x_k = (a_{k,n+1}^{k-1} - \sum_{j=K+1}^{n} a_{kj}^{k-1}x_j)/a_{kk}^{k-1}$$

式中，$k = n-1$，$n-2$，…，3，2，1

以上求解过程中，如果出现 $a_{ii}^i = 0$ 时，计算将无法进行，因此，在实际计算中常采用选主元素消元法。即在消去 x_k 的一些系数之前，先从其对应的列中选出绝对值最大的系数为主元素，交换第 k 行和此主元素所在的行，然后按上述消元法消去 x_k 的一些系数（$k = 1, 2, \cdots, n$），只要方程组的系数行列式不等于零，逐步选出的主元素都不等于零，消元过程一定能进行到底。

高斯主元素消元法的 C 语言函数参考源程序如下：

a [i] [j]：线性方程组的系数增广矩阵

x [i]：线性方程组的解

N：线性方程组方程式个数

```
void gauss (void)
{int   i, j, p, k;
  float   T, R, eb;
  for (i=0; i<n; i++) x [i] =0.0; /*数组初始化*/
  for (k=0; k<n-1; k++) {/*重复 N-1 次*/
        p=k; eb=a [k] [k];
        for (i=k; i<n; i++) /*选绝对值最大的为主元素*/
            if (abs (a [i] [k]) >abs (eb)) {eb=a [i] [k]; p=i;}
        for (j=0; j<n+1; j++) {/*行交换*/
           T=a [k] [j]; a [k] [j] =a [p] [j]; a [p] [j] =T;}
        for (i=k+1; i<n; i++) /*消元变换*/
           {R=a [i] [k] /a [k] [k];
```

```
                if (a [i] [k] ==0) continue;
                for (j=k; j<n+1; j++)
                a [i] [j] =a [i] [j] -a [k] [j] *R;
                 }
                }
    x [n-1] =a [n-1] [n] /a [n-1] [n-1]; /*回代过程*/
    for (k=n-2; k>=0; k--) {
        for (j=k+1; j<n; j++) x [k] =x [k] +a [k] [j] *x [j];
        x [k] = (a [k] [n] -x [k]) /a [k] [k];
        }
return;
}
```

2. 矛盾方程组求解

求解线性方程组时，通常要求未知数的个数与方程式的个数相等。如果方程式的个数多于未知数的个数，就往往无解，这样的方程组就叫矛盾方程组。

在选矿流程计算中，对单金属的浮选流程计算，由物料平衡所得到的线性方程的个数等于未知数的个数，利用物料平衡公式进行计算即可得到满足平衡要求的解。但对多金属浮选流程计算，由物料平衡所得到的线性方程的个数多于未知数的个数，因此，得到的联立方程组为一矛盾方程组，因而得不到满足平衡要求的解。但利用最小二乘法原理，对矛盾方程组进行变换，即能求出使各线性方程式近似成立的最优解。对矛盾方程组：

$$\sum_{j=1}^{m} a_{ij}x_j = b_i \qquad (i = 1,2,\cdots,n) \text{ 其中 } n > m \tag{7-5}$$

按最小二乘法原理，利用各方程式误差的平方和

$$Q = \sum_{i=1}^{n} R_i^2 = \sum_{i=1}^{n}[\sum_{j=1}^{m} a_{ij}x_j - b_i]^2 \tag{7-6}$$

作为衡量一个近似解的近似程度（或优劣程度）的标志。则可定义：

如果 x_j（$j=1$，2，…，m）的一组取值，使得误差的平方和 Q 达到最小值，则这组值为矛盾方程组式 7－5 的最优近似解。

误差平方和 Q 可以看成 m 个自变量 x_j 的二次函数，因此，求解矛盾方程组式 7－5 的问题归结为求二次函数 Q 的最小值问题。由于二次函数 Q 是连续函数，

且 $Q = \sum_{i=1}^{n} R_i^2 \geqslant 0$，则一定存在一组 x_1，x_2，…，x_m 使得 Q 达到最小值。

将式 7－6 两边对 x_k 求偏导（$k=1$，2，…，m）：

$$\frac{\partial Q}{\partial x_k} = \sum_{i=1}^{n} 2[\sum_{j=1}^{m} a_{ij}x_j - b_i]a_{ik}$$

$$= 2\sum_{i=1}^{n}[\sum_{j=1}^{m} a_{ij}a_{ik}x_j - a_{ik}b_i]$$

$$= 2[\sum_{j=1}^{m}(\sum_{i=1}^{n} a_{ij}a_{ik})x_j - \sum_{i=1}^{n} a_{ik}b_i]$$

令$\frac{\partial Q}{\partial x_k}=0$,则有:

$$\sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{i=1}^{n}a_{ij}a_{ik}\right)x_j=\sum_{i=1}^{n}a_{ik}b_i \qquad (k=1,2,\cdots,m) \qquad (7-7)$$

式7-7是具有 m 个未知数，m 个线性方程式的线性方程组，该方程组存在 m 个解。式7-7所示方程组为矛盾方程组（式7-5）的正规方程组，其解为矛盾方程组的最优近似解。

对正规方程组（式7-7）的求解，可采用高斯主元素消元等方法进行。

矛盾方程组最小二乘法变换的C语言函数参考源程序如下：

```
/*G [i] [j]：矛盾方程组系数矩阵*/
/*G1 [i] [j]：变换的中间矩阵*/
/*BB [i]：常数矩阵*/
/*M：矩阵的行数*/
/*L：矩阵的列数*/
void change (void)
{ int  i, j, k;
  float  s;
       for (i=0; i<=M; i++) /*转置矩阵*G→G^-T/
          for (j=0; j<L; j++) G1 [j] [i] =G [i] [j];
       for (j=0; j<L; j++) {/*求G*G^-T*/
          for (k=0; k<L; k++) {s=0.0;
          for (i=0; i<=M; i++) s=s+G1 [j] [i] *G [i] [k];
              G [j] [k] =s;}
              }
       for (i=0; i<L; i++) { s=0.0; /*求BB*G^-T*/
           for (j=0; j<=M; j++)    s=s+G1 [i] [j] *BB [j];
          BB [i] =s;
              }
  return;
}
```

三、实验数据处理

设计中，有些参数之间的关系很难用一个理论公式来表达，只有根据试验测得的一组离散数据来表达它们之间的关系。在CAD中，对于这些数据的处理有两种方法，一是根据这些离散数据建立经验公式，作为计算的数学模型；二是直接将数据编入程序，供设计计算时检索与调用。

1. *数据公式化*

数据公式化，就是利用曲线来拟合某些离散点，从而获得与一组离散点近似的函数表达式。通常用一个 m 次多项式来拟合一组离散数据（x_i，y_i），$i=1$，2，3…，n。即用 $P_m(x)=a_1+a_2x+\cdots+a_{m+1}x^m$ 近似地表达这组离散数据之间的函数关系 $y=f(x)$。

用 m 次多项式拟合离散点就是确定待定常数 a_1，a_2，…，a_{m+1}，确定待定常数的方法有平均法和最小二乘法。

(1) 平均法。用平均法确定待定常数时，假定一组数据相对于拟合曲线正负偏差出现的机会相等，则要求离散点与拟合曲线偏差的代数和最小。平均法确定待定常数的步骤是：

①选定拟合方程。通常选一次或二次多项式，次数越高，解线性方程组的计算量越大。

②将 n 组数据代入多项式，得 n 个线性方程式。

③根据拟合方程的形式（即次数 m）确定待定常数（a_1，a_2，$\cdots a_k$）的个数 k（$k=m+1$，且 k 必定小于 n），然后将 n 个线性方程式分成 k 组。

④将每组的方程式相加，可把 n 个线性方程式合并为 k 个线性方程式。

⑤联立 k 个方程式求解，得 k 个待定常数（a_1，a_2，$\cdots a_k$），从而获得具体的拟合方程。

(2) 最小二乘法。用平均法确定待定常数时，有时因正负偏差相互抵消，因而不能保证很好地拟合离散点。最小二乘法能较好的解决这一问题。最小二乘法确定待定常数是假定离散点与拟合曲线偏差的平方和为最小。最小二乘法确定待定常数的步骤是：

①选定拟合方程的形式；

②设 $y'_i = a_1 + a_2 x_i + \cdots + a_{m+1} x_i^m$ 是根据已定常数 a_1，a_2，$\cdots a_{m+1}$ 计算的函数值，则各离散点与曲线之间偏差的平方和为

$$Q = \sum_{i=1}^{n} (y'_i - y_i)^2$$

③根据偏差平方和最小原则，计算待定常数 a_1，a_2，$\cdots a_{m+1}$，即可获得拟合曲线的方程。

最小二乘法多项式拟合的 C 语言参考源程序如下：

```
/*a [i] [j]：线性方程组的系数增广矩阵*/
/*x [i]：线性方程组的解*/
#include <stdio.h>
#include <math.h>
void gauss ();
float  a [60] [10], x [10];
int  N, M; /*N0, N：多项式的次数；M：实测数据点个数*/
main ()
{int  i, j, k, N0;
float  s [10], b [10], P [60], Gama [60], x [10], t [60], y [60];
printf ("输入 N0, M: \n"); scanf ("%d, %d", &N0, &M);
for (i=0; i<M; i++) {
   printf ("输入 t [%d], y [%d]: \n", i+1, i+1);
   scanf ("%f, %f", &t [i], &y [i]); /*输入实测点数据*/
      }
N=N0+1;                          /* M*/
for (k=0; k<2*N-1; k++) {/*计算 ∑ t_n^i, n=1, 2, …, 2*N-1  */
   s [k] =0;          /*    i=1*/
```

```
        for (i=0; i<M; i++) s [k] =s [k] +pow (t [i], k);
        }
    for (i=0; i<N; i++) /*组成系数矩阵*/
      for (j=0; j<N; j++) a [i] [j] =s [i+j];
    for (k=0; k<N; k++) {/*计算 ∑ t_n^i y_i, i=1, 2, …, M; n=1, 2, …, N-1
*/
      b [k] =0;
      for (i=0; i<M; i++) b [k] =b [k] +y [i] *pow (t [i], k);
      a [k] [N] =b [k]; /*形成增广矩阵*/
          }
    gauss (); /*见高斯主元素消元法子程序*/
    for (i=0; i<M; i++) {/*按求得的解计算各实测点偏差*/
      P [i] =0;
      for (j=0; j<N; j++) P [i] =P [i] +x [j] *pow (t [i], j);
      Gama [i] =fabs (P [i] -y [i]);
          }
    for (i=0; i<N; i++) printf ("X [%d] =%f\n", i+1, x [i]);
    }
```

2. 数据程序化

将数据编入程序中有两种方法：一种是把数据以数组形式，结合数据检索直接编在程序中；二是将数据编成数据文件，供计算程序随时检索和调用。

在数据检索中，如果参数值介于已知数据之间时，就不可能直接得到要求的数据，此时，应采用函数插值法解决。函数插值的基本思想也是构造一个函数 $y=P(x)$ 作为离散点 (x_i, y_i) 的近似表达式，然后按 x 值计算 $P(x)$ 的值作为 (x_i, y_i) 的近似值。

常用的插值方法有线性插值、拉格朗日插值和分段插值 3 种，下面主要介绍前两种。

(1) 线性插值。线性插值（即为两点插值），是通过两点的一直线来近似表示两结点参数间函数关系。所以，两结点间任一点函数值为：

$$y=y_{i-1}+(y_i-y_{i-1})\frac{(x-x_{i-1})}{(x_i-x_{i-1})}$$

线性插值仅用到两个点的信息，因此，计算精度较低。

(2) 拉格朗日插值。拉格朗日插值是 $(n-1)$ 次多项式插值。它是通过 n 个结点，用 $n-1$ 次多项式来近似表达参数间的函数关系。其公式为：

$$y=\sum\frac{(x-x_1)(x-x_2)\cdots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\cdots(x-x_n)}{(x_i-x_1)\cdots(x_i-x_{i-1})x_i-x_{i+1})\cdots(x_i-x_n)}y_i$$

$$=\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n}\frac{(x-x_j)}{(x_i-x_j)}\right)y_i$$

当结点数 $n=2$ 时，为线性插值：

$$P_2(x)=y_1(x-x_2)/(x_1-x_2)+y_2(x-x_1)/(x_2-x_1)$$

$$=y_1+(y_2-y_1)(x-x_1)/(x_2-x_1)$$

拉格朗日插值计算的C预言参考源程序如下：

```
#include <stdio.h>
#define  DN 20   /*数据点个数*/
main ()
{ int  i, j, k, N;
  float  x [DN], y [Dn], Y, X, T;
  printf ("输入插值多项式的次数: \n"); scanf ("%d", &N);
  printf ("输入插值点已知变量的值: \n"); scanf ("%f", &X);
  printf ("输入已知插值结点 (x, y) 的值: \n");
  for (i=0; i<N; i++) {
       printf ("输入 (x [%d], y [%d]): \n", i+1, i+1);
       scanf ("%f,%f", &x [i], &y [i]);
                    }
  Y=0;
  for (k=0; k<N; k++) {
       T=1;
       for (j=0; j<N; j++)
          if (j!  =k) T=T*  (X-x [j]) / (x [k]  -x [j]);
       Y=Y+T*y [k];
            }
  printf ("Y=%f\n", Y);
}
```

四、曲线处理

曲线是函数的另一种表达方式，它的特点是直观，能够清晰地看出函数的变化趋势，但曲线本身无法直接参与计算机运算，计算时，参与运算的是根据曲线图查得的有关数据，因此，需要将曲线转换成相应的数据形式或数学表达式，供程序使用。

实现曲线的程序化分为两步：第一步是将曲线变成相应的数表，即将曲线数表化；第二步是将数表按前面介绍的方法公式化或程序化。

第三节　选矿工艺计算基础

选矿工艺计算主要包括工艺流程计算和主要工艺设备计算。工艺流程计算包括破碎磨矿流程、选别流程和脱水流程。工艺设备计算包括破碎、筛分、磨矿、分级、选别及脱水等设备。

一、破碎及磨矿流程计算

破碎磨矿流程由以下五种单元流程组合而成，如图7-2。

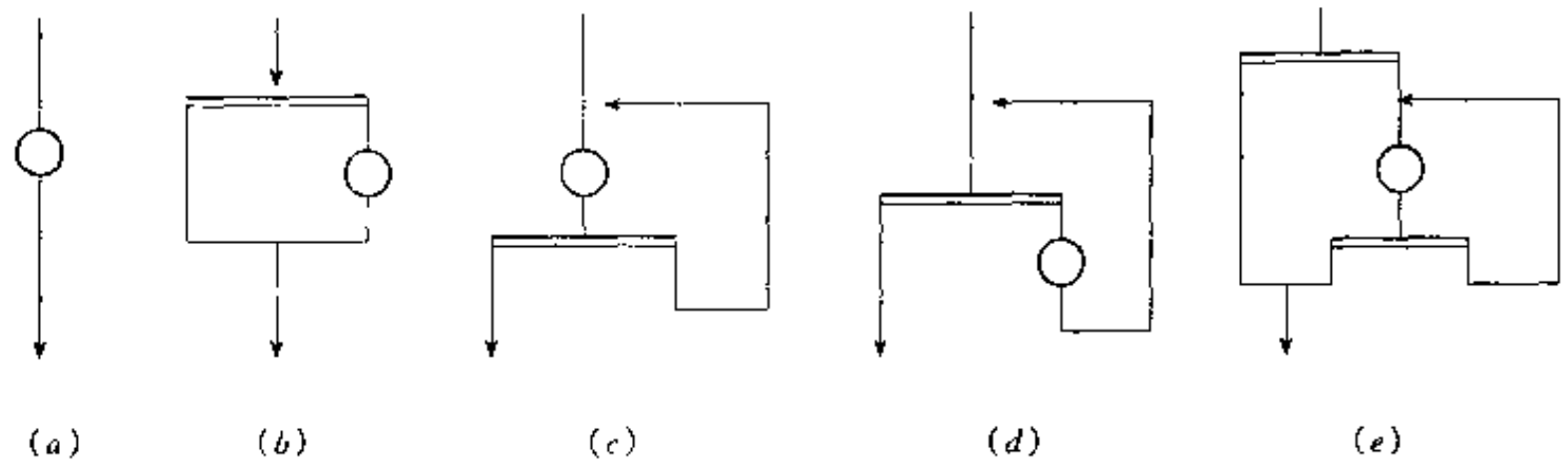


图 7－2　破碎磨矿单元流程

以上五种单元流程都有相应的计算方法及公式，因此，只需对每一种单元流程编制计算子程序，并通过子程序的组合调用来完成特定破碎、磨矿流程的计算。

破碎、磨矿流程计算的关键问题是：

（1）计算过程中需要查找各种表格和曲线数据。程序编制时，对表格数据的处理宜采用建立数据库方法；对各种曲线的处理宜采用曲线拟合方法。

（2）破碎流程计算中，涉及设备选型问题，宜采用建立相应的破碎及筛分设备数据库方法。

（3）流程计算和设备计算须同时进行，以获得各段破碎设备负荷率基本平衡。

二、浮选流程计算

浮选流程计算的关键是：浮选流程的表达；计算采用的数学模型；计算方法。

1．浮选流程的表达

浮选流程的表达方法种类较多，其中常见的主要有模块表达和结构矩阵表达两种。

（1）模块表达。根据浮选流程的结构特点，将结构相近的作业归为一类，用同一个模块来表达。按模块划分原则，浮选流程可划分为以下几个模块，如图 7－3：

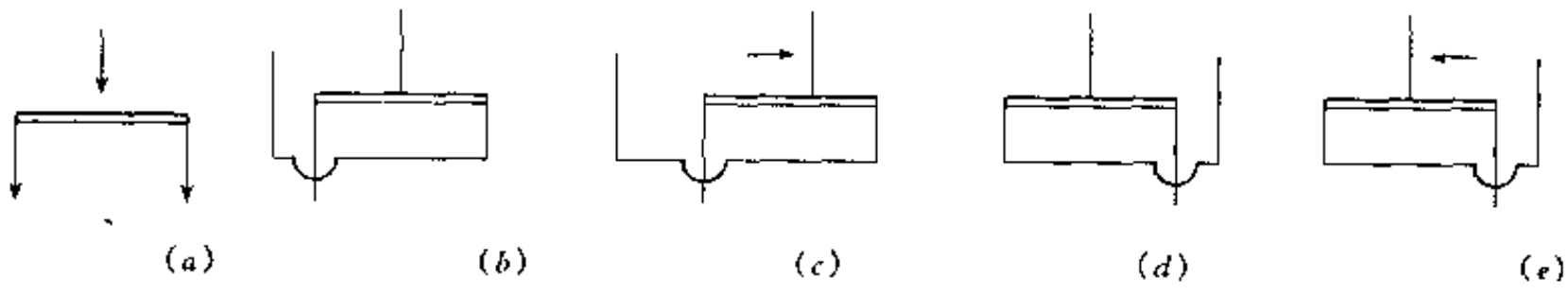


图 7－3　浮选流程模块类型

原、精、尾计算模块（a）；最后一次精选作业计算模块（b）；中间精选作业计算模块（c）；最后一次扫选作业计算模块（d）；中间扫选作业计算模块（e）。

在此基础上，可将模块进一步简化为图 7－4 所示简化模块，其中产物 2 和产物 3 应设置判断是否为返回产物的标志，对模块中给矿 f_1，f_2，…，f_n 的个数按流程具体情况确定。

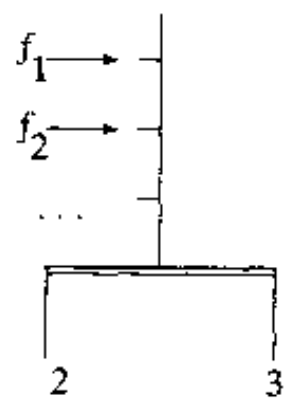


图 7－4　浮选流程简化模块

模块表达法具有直观易懂、类似手工计算、对中矿顺序返回的浮选流程容易实现通用的特点。

（2）结构矩阵表达。对浮选流程的每一个选别作业，设进入该作业的选别产物代码为 1，该作业排出的选别产物代码为 －1，与该作业无关的其它选别产物代码为 0。此外，对浮选

流程中的中矿汇集点，看成是只有一个出料、多个进料的作业，其编码原则同上。这样，可得到 p（作业数）$\times n$（产物数）的关联矩阵，称之为流程的结构矩阵。若用拓扑矩阵表示结构矩阵，所占内存将大为减少（请参阅相关资料）。

根据上述原则，图 7－5 所示的浮选工艺流程可用式 7－8 的结构矩阵表达。

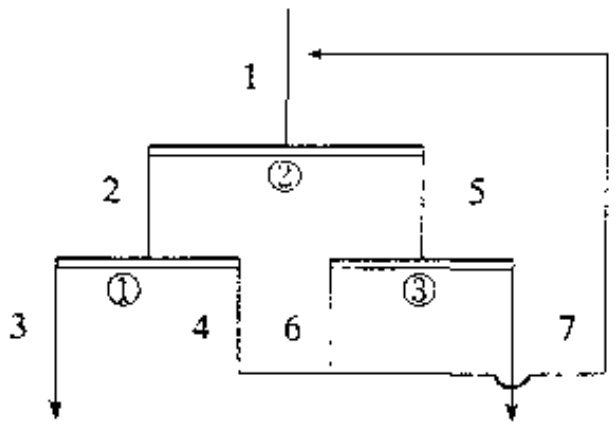


图 7－5　举例流程图

$$L=\begin{array}{c}\\ \text{选别作业编号}\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{ccccccc}1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7\end{array}\\ \text{选别产物编号}\end{array}\begin{array}{c}①\\②\\③\end{array}\begin{bmatrix}0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1\end{bmatrix} \tag{7-8}$$

结构矩阵表达具有流程表达准确，无二义性；通过对结构矩阵维数的扩充则可完成复杂流程计算；计算通用性强的特点。

2．浮选流程计算的基本方法和数学模型

（1）基本方法。

①对单金属浮选流程，各浮选作业均直接根据物料平衡进行计算。即：

$$\begin{cases}\gamma = \sum_{i=1}^{n}\gamma_i\\ \gamma\alpha_j = \sum_{j=1}^{m}\gamma_i\beta_{ij}\end{cases}$$

②对多金属浮选流程，既可采用选取主金属（即视为单金属）法计算，也可使多金属参与计算。如是后者，各浮选作业的物料平衡方程组为一个矛盾方程组，应采用最小二乘法进行计算。

③计算步骤：根据第四章中浮选流程计算步骤进行，并对计算结果进行物料平衡检查。

（2）数学模型。

①物料平衡方程。

$$\begin{cases}r_0 = r_1 + r_2 + \cdots + r_j\\ r_0\alpha_1 = r_1\beta_{11} + r_2\beta_{21} + \cdots + r_j\beta_{j1}\\ \quad\vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots\\ r_0\alpha_i = r_1\beta_{1i} + r_2\beta_{2i} + \cdots + r_j\beta_{ji}\end{cases} \tag{7-9}$$

式中：r_0——给矿产率；　　α_i——给矿品位；

r_j——选别产物产率；　　β_{ji}——选别产物品位。

②数学模型。数学模型主要包括：线性方程组求解（包括高斯主元素消元法、迭代法等）；矛盾方程组求解（最小二乘法）；对计算结果进行优化的数学模型（有关优化数学模型的内容请参阅相关资料）。

3．浮选流程计算程序设计

对于一个功能较完善的浮选流程计算软件，至少应包括以下七个功能模块，见图 7－6。图 7－6 中，计算及优化模块是最主要的部分。下面以中矿顺序返回的典型浮选流程为

例（不含矿浆流程计算）介绍浮选流程计算程序的编制。

（1）模块表达法。

①程序功能。适用于单金属，中矿顺序返回，精、扫选作业次数大于0的单循环浮选流程的数质量指标计算。

②程序框图。图见7－7。

③源程序结构。根据程序框图，可以确定源程序应由以下几部分组成：

〈1〉 源程序名称及可完成的功能；

〈2〉 各种变量定义；

〈3〉 原始数据输入；

〈4〉 流程计算；

〈5〉 结果输出；

〈6〉 程序结束。

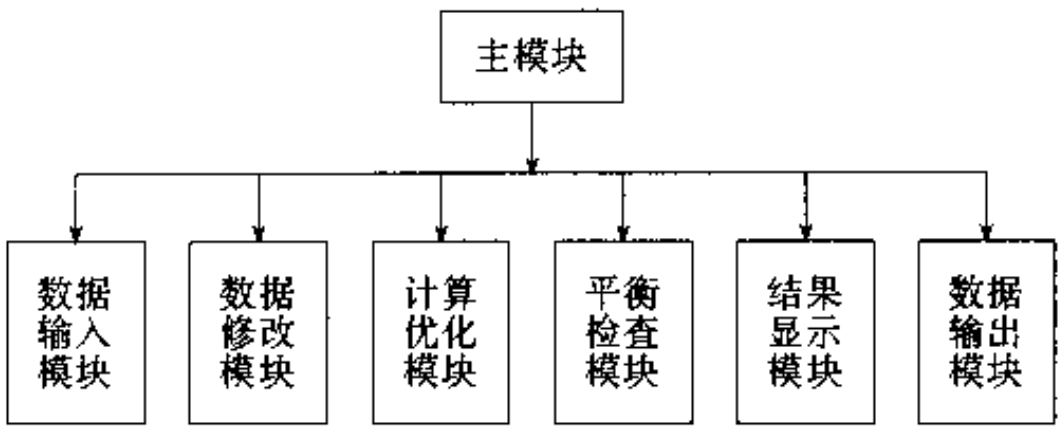


图7－6 浮选流程计算软件模块结构

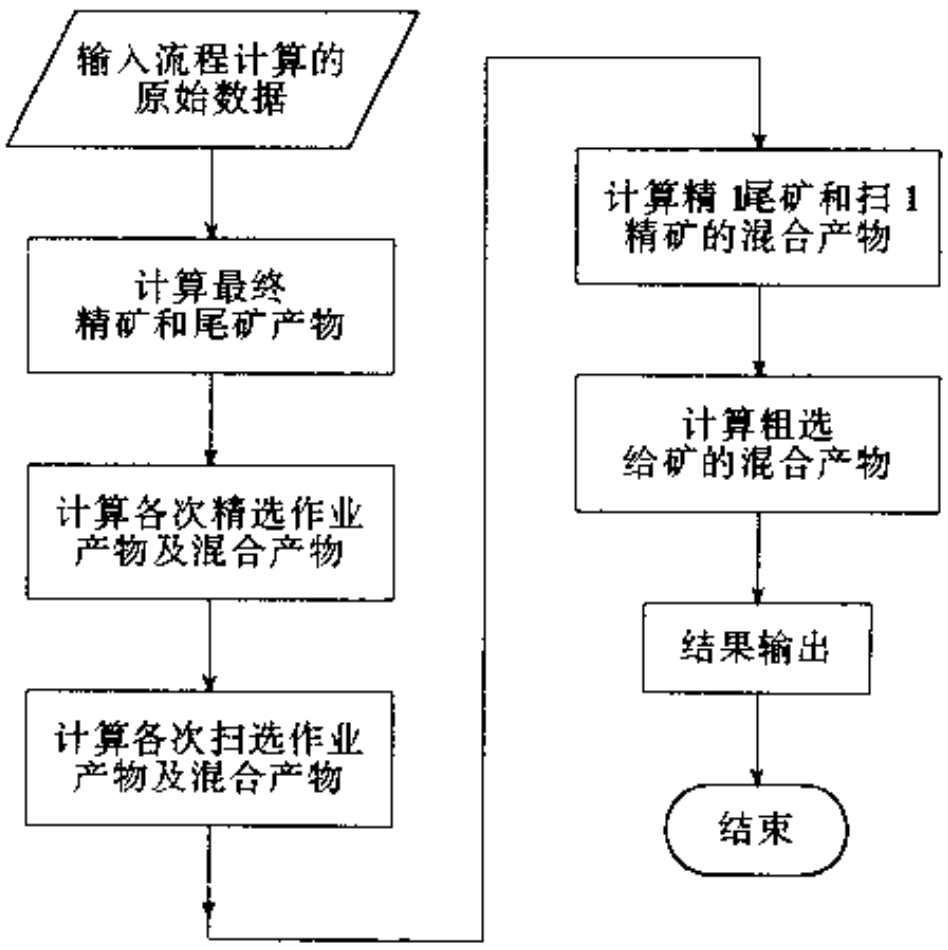


图7－7 典型浮选流程模块法计算程序框图

④模块法计算C语言参考源程序示例

```
/* 文件名--LCJS.C
变量说明：
    Q——产物重量(t/d 或 t/h)；
    R——产物产率(%)；
    B——产物品位(%)；
    E——产物回收率(%)；
    N——精选作业次数；
    M——扫选作业次数；
下标：V——混合产物 */。
    #include <stdio.h>
    float  R[60],Q[60],B[60],E[60],Q0,B0;
    float  RV[20],QV[20],BV[20],EV[20];
    void tem(int i);

    main()
    {float  R0,E0,BC,BT,RC,QC,EC,RT,QT,ET;
     float  RR,QQ,EE,BB,RP,QP,EP,BP;
     int  i,N,M;
/* 原始数据输入 */
    printf("\r1 输入处理量 Q0(t/d)          :");scanf("%f",&Q0);
    printf("\r2 输入原矿产率 R0(%)          :");scanf("%f",&R0);
```

```
printf("\r3 输入原矿品位 B0(%)          :");scanf("%f",&B0);
printf("\r4 输入原矿收率 E0(%)          :");scanf("%f",&E0);
printf("\r5 输入最终精矿品位 Bc(%):    ");scanf("%f",&BC);
printf("\r6 输入最终尾矿品位 Bt(%):    ");scanf("%f",&BT);
printf("\r7 输入精选次数      N          :");scanf("%d",&N);
printf("\r8 输入扫选次数      M          :");scanf("%d",&M);
for(i=0;i<(N+M)*2;i++)|
printf("\r9 输入产物 %d 品位 B(%) :",i+1);scanf("%f",&B[i]);|
/* 最终精矿和尾矿计算 */
RC=R0*(B0-BT)/(BC-BT);
QC=(RC*Q0)/100.0;
EC=RC*BC/B0;
RT=R0-RC;QT=Q0-QC;ET=E0-EC;
/*最后一次精选计算 */
R[0]=RC*(BC-B[1])/(B[0]-B[1]);
Q[0]=(R[0]*Q0)/100.0;
E[0]=R[0]*B[0]/B0;
R[1]=R[0]-RC;Q[1]=Q[0]-QC;E[1]=E[0]-EC;
/* 倒数第二次精选至精选 I 的计算 */
for (i=2;i<N*2;i+=2) tem(i);
/*最后一次扫选计算 */
for(i=N*2;i<(N*2+2);i+=2)|
R[i]=RT*(BT-B[i+1])/(B[i]-B[i+1]);
Q[i]=(R[i]*Q0)/100.0;
E[i]=R[i]*B[i]/B0;
R[i+1]=R[i]-RT;Q[i+1]=Q[i]-QT;E[i+1]=E[i]-ET;|
/*倒数第二次扫选至扫选 I 的计算*/
for(i=(N*2+2);i<(N+M)*2;i+=2) tem(i);
/*精 I 的尾矿和扫 I 的精矿混合产物计算 */
RR=R[N*2-1]+R[(N+M)*2-1];
QQ=Q[N*2-1]+Q[(N+M)*2-1];
EE=E[N*2-1]+E[(N+M)*2-1];
BB=B0*EE/RR;
/* 粗选给矿的混合产物计算 */
RP=R[N*2-2]+R[(N+M)*2-2];
QP=Q[N*2-2]+Q[(N+M)*2-2];
EP=E[N*2-2]+E[(N+M)*2-2];
BP=B0*EP/RP;
…
结果输出(显示或打印)(略)
```

```
    }

void tem(int i) /* 精、扫选中间作业计算 */
{float   F,H,P;
 F=R[i-2]*(B[i-2]-B[i+1]);
 H=R[i-1]*(B[i-1]-B[i+1]);
 P=B[i]-B[i+1];
 R[i]=(F-H)/P;
 Q[i]=(R[i]*Q0)/100.0;
 E[i]=R[i]*B[i]/B0;
 R[i+1]=R[i]+R[i-1]-R[i-2];
 Q[i+1]=Q[i]+Q[i-1]-Q[i-2];
 E[i+1]=E[i]+E[i-1]-E[i-2];
    /* 各混合产物计算 */
 RV[i]=R[i-2]+R[i+1];
 QV[i]=Q[i-2]+Q[i+1];
 EV[i]=E[i-2]+E[i+1];
 BV[i]=B0*EV[i]/RV[i];
 }
```

(2)结构矩阵法。

①程序框图,见图 7-8。

②结构矩阵法计算 C 语言部分参考源程序示例。

p:按结构矩阵表达定义的浮选作业数;

n:按结构矩阵表达定义的物料总数;

m:金属种类数。

zy[i][j]:浮选流程的结构矩阵。

r[i]:物料的产率。

x[j]:高斯法求得的解。

B[i][j]:物料的品位。

G[i][j]:各作业物料平衡矛盾方程组及最小二乘法变换后的正规方程组系数矩阵。

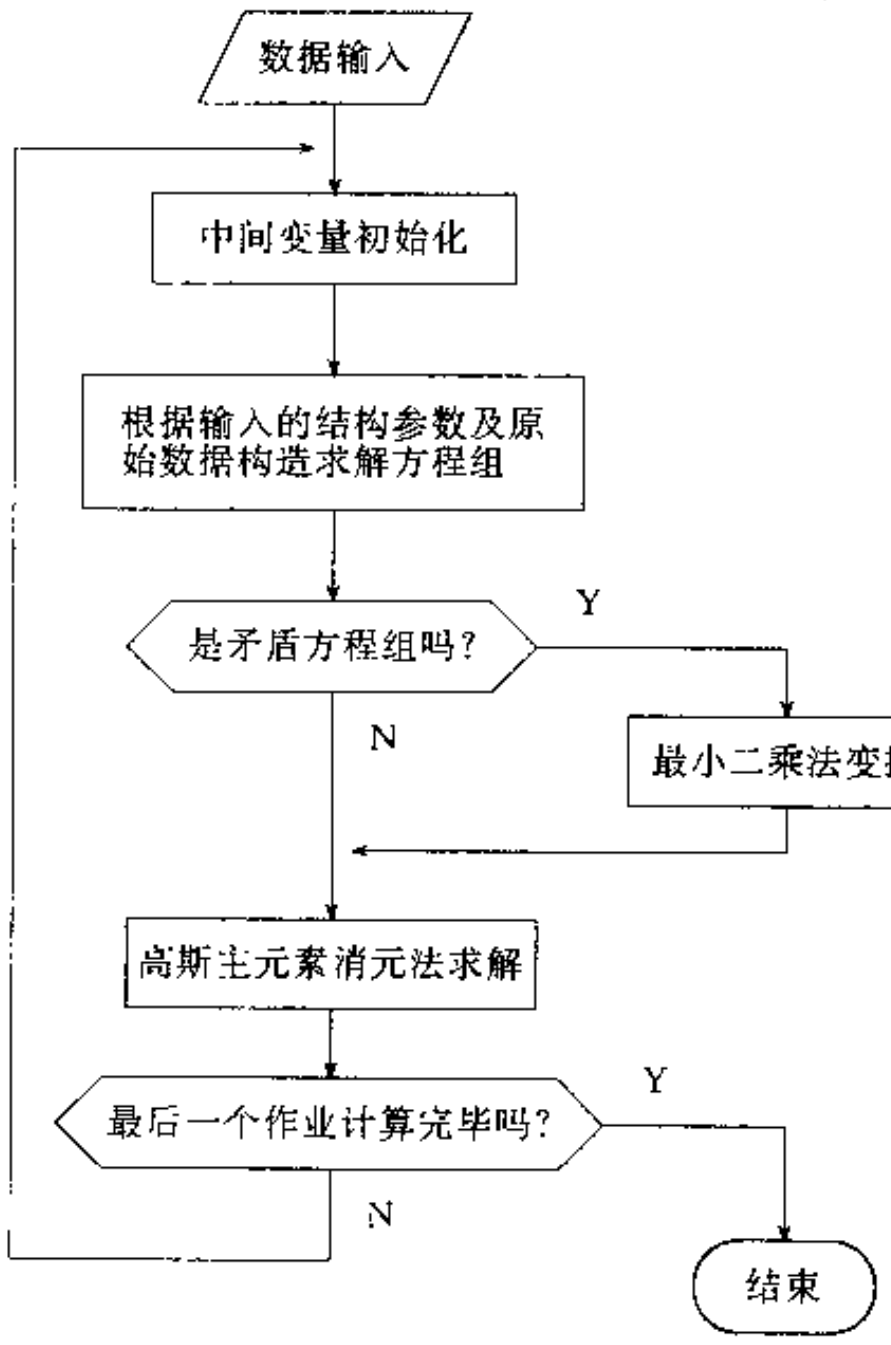


图 7-8 结构矩阵法计算主程序框图

BB[i]:各作业物料平衡矛盾方程组及最小二乘法变换后的正规方程组常数矩阵。

```
…/* 数据输入部分略 */
for(i=0;i<p;i++) {/* 从第一作业开始计算,并对变量初始化 */
  l=0;s=0;s1=0;s2=0;s3=0;ll=0;lm=0;
```

```
  for(k=0;k<m;k++) {S3[k]=0;S4[k]=0;S5[k]=0;}
for(j=0;j<n;j++){ /* 确定该作业中给矿物料个数 s1 及编号最大的物料编号 kk */
    if(zy[i][j]==0) continue;
    if(zy[i][j]==1) { ++s1;kk=j;}
                }
for(j=0;j<n;j++) { /* 建立正规或矛盾方程组 */
    if(zy[i][j]==0) continue;/* 与本作业无关的物料 */
      if(zy[i][j]!=0) {
        if(r[j]!=0) { /* 该物料产率为已知时 */
            if(zy[i][j]==-1) { /* 排出物料产率累加置于 s2,物料个数为 lm */
                    s2=s2+r[j];lm++;
                          }
                    else s3=s3+r[j]; /* 给矿物料产率累加置于 s3 */
        s=s+zy[i][j]*r[j];ll++; /* 产率已知物料产率累加置于 s,
                                                物料个数为 ll */
        for(k=0;k<m;k++) { /* 各物料金属量累加 */
                    if(zy[i][j]==-1) S3[k]=S3[k]+B[j][k]*r[j];
                        else S4[k]=S4[k]+B[j][k]*r[j];
                    S5[k]=S5[k]+zy[i][j]*B[j][k]*r[j];
                        }
                  }
if(r[j]==0) { /* 该物料产率为未知时 */
if(s1==1 && r[kk]!=0){ /* 当该作业给料为 1 个,且其产率已知时 */
        G[0][1]=abs(zy[i][j]);
        for(k=0;k<m;k++) G[k+1][1]=abs(zy[i][j])*B[j][k];
                    }
        else { /* 当该作业给料数多于 1 个,或其产率为未知时 */
            G[0][1]=zy[i][j];
            for(k=0;k<m;k++) G[k+1][1]=zy[i][j]*B[j][k];
                    }
        wz[l]=j;l++; /* wz[l]:存放该作业未知产物编号,l:统计未知产物个数 */
                  }
        }
    }
if(l==1){r[wz[l-1]]=fabs(s);continue;} /* 当未知产物数为 1 时,进行作业计算 */
if(l>=2){ /* 当未知产物数为 2 个以上时,确定常数矩阵 BB[i] */
    if(ll<3){
        BB[0]=fabs(s);
        for(k=0;k<m;k++) BB[k+1]=fabs(S5[k]);
            }
```

```
else      {if((s2<s3) && lm>0) BB[0]= -s; else BB[0]=s;
               for(k=0;k<m;k++)
                    if(fabs(S3[k])<S4[k] && lm>0) BB[k+1]=(-S5[k]);
                        else BB[k+1]=S5[k];
               }
          }
  if(l<=m) change();/*当 l<=m 时,得到矛盾方程组,需经最小二乘法变换,*/
                    /*得矛盾方程组的正规方程组,系数放于 G[i][j]中*/
    for(j=0;j<=l;j++) G[j][l]=BB[j];
    N=l;
  /*高斯主元素消元法解正规方程组*/
    gauss();
    for(j=0;j<l;j++) r[wz[j]]=fabs(x[j]);
    }
for(i=0;i<n;i++) {/*计算各产物的矿量及回收率*/
        Q[i]=r[i]*Q[0]/100;
        for(j=0;j<m;j++) E[i][j]=B[i][j]*r[i]/B[0][j];
                }
…/*其他部分略*/
```

三、工艺设备选择计算

选矿工艺设备选择计算的一般步骤是：

(1) 根据工艺要求及特点选择合适的设备类型及规格范围；

(2) 根据设备能力计算公式，计算每台设备处理能力；

(3) 计算所需设备台数及负荷率等；

(4) 计算不同方案设备的总重量、总价格和总功率；

(5) 根据设备台数、设备负荷率、总重量、总价格及总功率，选择最佳方案。

设备选择计算程序的编制应按上述步骤进行。其中，第 1 步的内容可由设计者完成或编制专家系统程序由计算机完成。第 2 步和第 3 步的内容根据相应的计算公式编制程序，其中，经验数据、表格数据及曲线的处理应采用第二节介绍的方法进行。第 4 步及第 5 步的设备方案比较是根据设备投资（总价格）、能耗（总功率）和设备负荷率等进行的。因此，对每一方案，在设备负荷率合适时，计算其总费用（包括设备投资和电费），并对总费用进行比较，即可得到最佳方案。

设备选择计算程序一般应包括图 7－9 所示的功能模块。

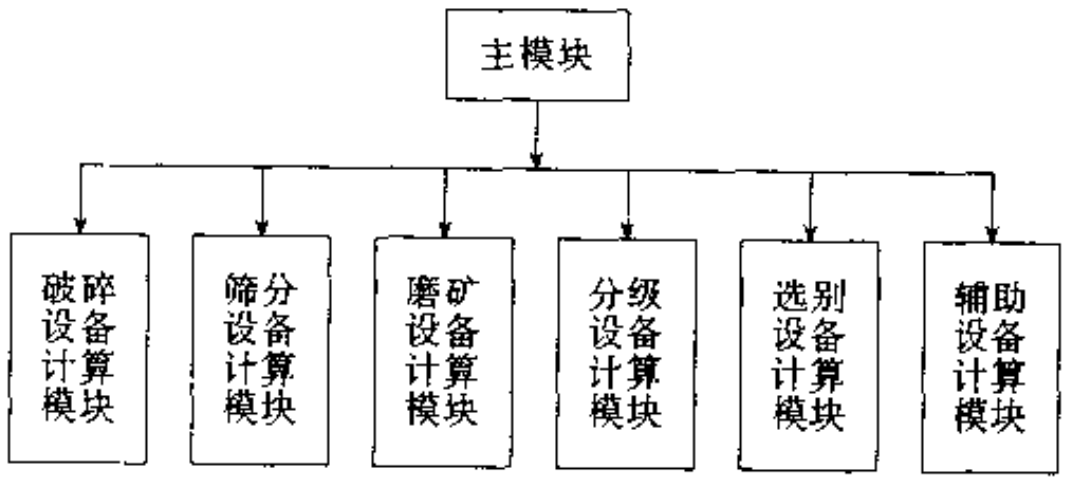


图 7－9　设备选择计算软件功能模块

图 7－9 中，选别设备及辅助设备计算模块还应包括多个下级功能模块。其中，各功能模块均具有相似的结构，如图 7－10 所示。

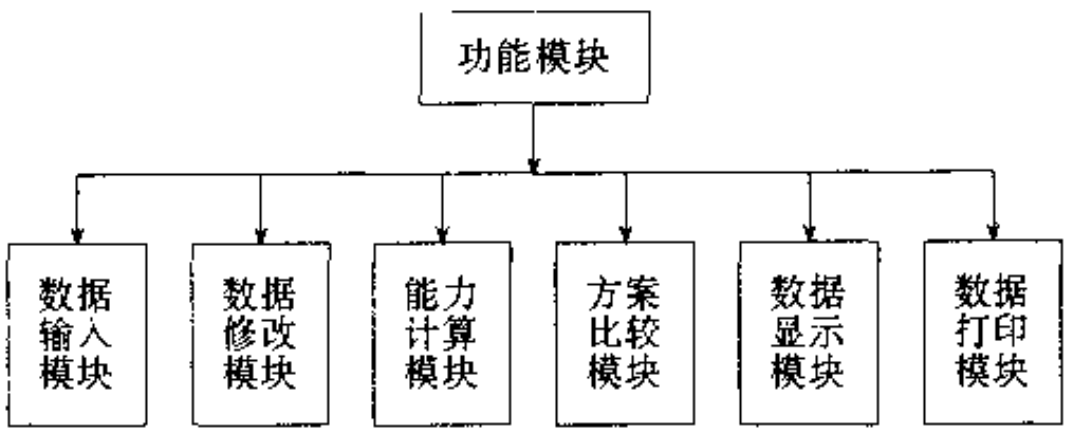


图 7－10　设备计算各功能模块的结构

第四节　计算机绘图基础

一、图形程序设计的基本方法

图形程序设计一般包括图形处理、程序框图设计及图形程序编制 3 个阶段。

1. 图形处理

图形处理有下面四种方法：

(1) 几何相交图形处理。几何相交图形主要是直线与圆、直线与圆弧、圆弧与圆弧等相交的图形，对这类图形处理主要是通过数学公式计算其交点或切点的坐标。

(2) 几何组合图形处理。这类图形一般是由简单的、基本的图形组合而成。相反，复杂的几何图形可以分解为若干个基本图形，将这些基本图形用简单的参数编成相应的绘图子程序，然后以组合的方法调用这些子程序，从面实现复杂图形的自动绘制。

(3) 对称图形的处理。对称图形的绘图程序，编制一半图形就行了，然后再根据其是轴对称还是中心对称，变换其相对的 x 或 y 坐标，画出另一半图形。

(4) 参数化图形处理。对于标准化或规格化的零件或设备，只要用少数几个主要参数，就可以确定各部件的尺寸。这类图形本身只有大小相似的区别，用计算机绘制时，根据主要参数和数学公式计算其他各部分的尺寸和点的坐标。

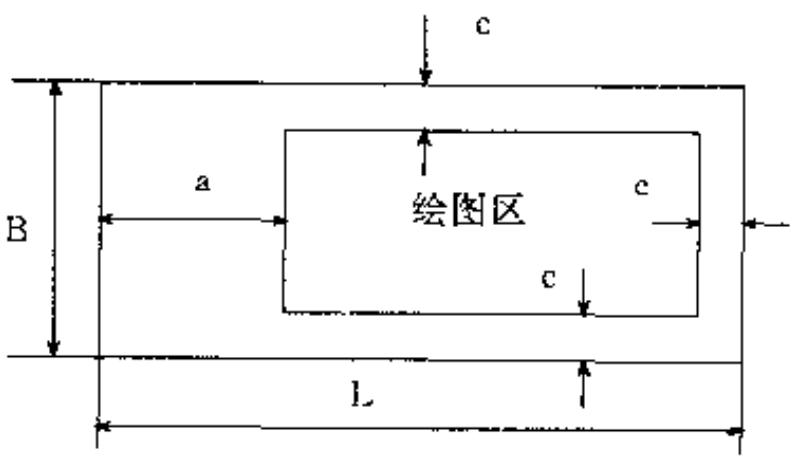
2. 程序框图设计

根据图形设计的计算和绘图全过程，编制相应的程序框图，作为程序编制的依据。

3. 图形程序编制

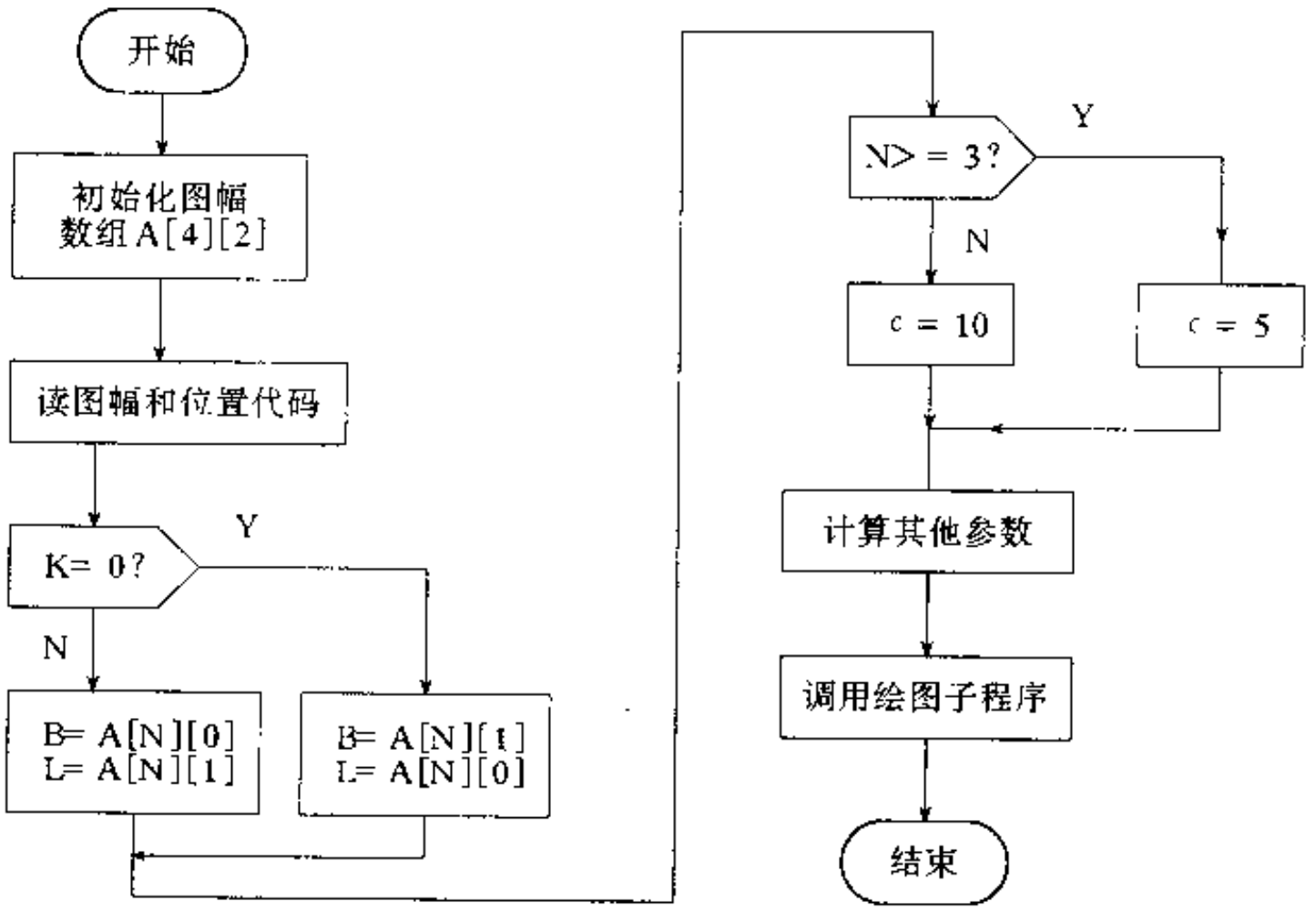
图形程序编制方法和要求与计算程序编制相似。下面以标准图幅绘制程序加以介绍。设计中采用的图纸标准如下表。表中各参数含义见右边示意图。

图号	$B \times L$	c	a	图幅
0	841×1189	10	25	2.0
1	594×841			1.0
2	420×594			0.5
3	297×420	5		0.25
4	210×297			0.125



要编制一个适用于各号标准图幅和不同位置（横放或竖放）的通用程序，必须考虑三个方面的问题：不同图幅的尺寸不同，用 $N=0$，1，2，3，4 表示；横放或竖放应设置代码控制，用 $K=0$（横放）和 $K=1$（竖放）表示；边框必须根据图幅大小确定。

根据上面分析，绘图程序框图如下：



C 语言参考源程序如下：

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>
#include "hthsk.c"/*DXF 文件的接口函数,见附录一*/
FILE *fp;
main()
{int tufu[4][2]={1189,841,841,594,594,420,420,297,297,210};
int K,N,B,L,a,c,h,j;/*K=0:横放;K=1:竖放;N:图号*/
printf("请输入图号:\n");scanf("%d",&N);
printf("请输入图纸布置形式:\n");scanf("%d",&K);
if(K==0) {L=tufu[N][0];B=tufu[N][1];}
    else  {B=tufu[N][0];L=tufu[N][1];}
if(N>=3) c=5;else c=10;
a=25;h=B-c;j=L-a;
fp=fopen("tufu.dxf","wb");
line("0",0,0,0,B);line("0",0,B,L,B);line("0",L,B,L,0);line("0",L,0,0,0);
pline("0",a,c,0.3,a,h);pline("0",a,h,0.3,j,h);pline("0",j,h,0.3,j,c);
pline("0",j,c,0.3,a,c);
fprintf(fp,"%d\n",0);
```

```
fprintf(fp,"\r%s\n","EOF");
fclose(fp);
}
```

二、AutoCAD 绘图软件包简介

AutoCAD 绘图软件包的内容极为丰富，完全介绍需要占用大量篇幅。下面主要介绍 AutoCAD 软件包 12.0 版本的有关内容（详细内容请参阅 AutoCAD12.0 版本使用指南）。

1. AutoCAD 的工作方式

AutoCAD 的工作是基于一个图形编辑器来进行。用户在编辑器中，利用软件包提供的绘图命令构造所需几何图形，并可对图形进行修改、缩放、保存等操作，能非常方便地完成图形设计工作。

此外，AutoCAD 还为用户提供了丰富的接口功能，用户可通过编写一些外部程序来扩展其现有的功能，或实现专业化绘图的需要。用户一般可通过三个途径开发应用程序：一是使用 AutoCAD 内部提供的 AutoLISP 语言；二是在 DXF 接口下使用各种高级语言编程；三是在 ADS 接口（12.0 版本以上）下，使用 C 语言编程，该部分内容请参阅有关资料。

2. AutoCAD 常见文件类型

.dwg－绘图文件	.dxf－绘图交换文件	.lin－线型库文件
.mnu－菜单文件	.scr－命令文件	.drv－设备驱动文件
.shp－形状/字体定义源文件	.shx－形状/字体定义已编辑文件	.plt－图形输出文件

3. 实用命令

HELP	显示求助信息命令	命令格式：Command：Help Command name (Return for list)：
SAVE（ qsave 或 saveas）	保存绘图文件（扩展名为 .DWG）	命令格式：Command：Save File name<current>： [12.0 版则出现对话框]
QUIT	退出 AutoCAD 环境	命令格式：Command：Quit
END	创建绘图文件	命令格式：Command：End <12.0 版出现创建文件对话框>
LIMITS 设置绘图工作区		命令格式：Command：Limits Reset model space limits： ON/OFF/< lower left corner > < 0.0000, 0.0000>：点 Upper right corner <12.0000, 9.0000>：点

4. 实体绘图命令

LINE	细实线绘制	命令格式：Command：Line From point：点 To point：点
CIRCLE	圆的绘制	命令格式：Command：Circle 3P/2P/TTR/<center ponit>：

该命令有以下几种供用户选择的画圆方式：

-3P　圆上三点　-2P　圆上两点

-C，R　圆心，半径　-C，D　圆心，直径

-TTR　切点，切点，半径

ARC　圆弧的绘制　命令格式：Command：Arc

Center/＜Start point＞：

该命令有以下几种供用户选择的画弧方式：

-3 P 弧上三点

-S，C，E 起点，圆心，终点

-S，C，A 起点，圆心，包角

-S，C，L 起点，圆心，弦长

-S，E，R 起点，终点，半径

-S，E，A 起点，终点，包角

-S，E，D 起点，终点，起始方向

-Continue 与上一条线或弧的平滑连接

PLINE　绘二维多义线　命令格式：command：Pline

From point：点

Current line-width is 0.0000

Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width/＜Endpoint of line＞：

该命令有以下几种供用户选择的作图方式：

-A 置于绘弧方式　-C 产生闭合图形

-H 指定线的半宽　-L 绘制指定长度直线

-U 取消上一次绘图操作　-W 指定线段的宽度

TRACE　绘指定宽度直线　命令格式：Command：Trace

Trace width ＜current＞：宽度值

From point：起点

To point：到某点

TEXT　绘制文字　命令格式：Command：Text（或 Dtext）

Justify/Style/＜Start point＞：

Hight ＜default＞：文字高度

Rotation angle ＜default＞：旋转角

Text：文字

5. 编辑命令

COPY　复制图素到指定位置　命令格式：Command：Copy

Select objects：选中图素

＜Base point or displacement＞/Multiple：

MIRROR　产生指定图素的镜象图形　命令格式：Command：Mirror

Select objects：选中图素

First point of mirror line：镜象线上第一点

Second point：第二点

Delete old objects? <N>：

MOVE　移动图素到指定位置　命令格式：Command：Move

Select objetcs：选中图素

Base point or displacement：基点

Second point of displacement：第二点

ROTATE 旋转指定的图素　命令格式：Command：Rotate

Select objects：选中图素

Base point：确定基点

<Rotate angle>/Reference：旋转角或参考点

SCALE　改变指定图素的比例　命令格式：Command：Scale

Select objects：选中图素

Base point：确定基点

<Scale factor>/Reference：比例系数或参考点

ERASE　擦除选中的图形　命令格式：Command：Erase

Select objects：选中图素

UNDO　取消前面已操作的命令　命令格式：Command：Undo

Auto/Back/Control/End/Group/Mark/<Number>：

REDO　取消 U 或 UNDO 命令　命令格式：Command：redo

6. 显示命令

REDRAW　重画当前屏幕，消除辅助制图点　命令格式：Command：Redraw

ZOOM　控制屏幕上图形的显示　命令格式：Command：Zoom

All/Center/Dynamic/Extents/Left/Previous

/Vmax/Windows/<Scale (X/XP) >：

7. 图层和线型命令

LAYER　图层控制命令　命令格式：Command：Layer

? /Make/Set/New/ON/OFF/Color/Ltype/Freeze

/Thaw/Lock/Unlock：

LINETYPE　线型控制命令　命令格式：Command：Linetype

? /Create/Load/Set：

8. 图块命令

BLOCK　定义图块　命令格式：Command：Block

Block name (or?)：图块名

Insert base point：插入基点

Select objects：选中图形

INSERT　插入图块　命令格式：Command：Insert

Block name (or?) <default>：块名或 * 块名

Insert point：插入点

X scale factor <1>/Corner/XYZ：X 方向比例

Y scale factor (default = X)：Y 方向比例

		Rotation angle <0>：旋转角
WBLOCK	建立图块文件	命令格式：Command：Wblock
		Block name：块名（.dwg）
		Insert base point：插入点
		Select objects：选中定义的块

9. 尺寸标注命令

DIM	启动尺寸标注	命令格式：Command：Dim
		Dim：输入各种尺寸标注命令
		Dim：Exit（退出尺寸标注）
HOR (HORIZONTAL)	水平尺寸标注	命令格式：Dim：Hor
		First extension line origin or RETURN to select：选择第一条标注线起点
		Second extension line origin：选择第二条标注线起点
		Dimension line location <Text/Angle>：尺寸线位置
		Dimension text <default>：尺寸数据
VER (VERTICAL)	垂直尺寸标注	命令格式：Dim：Ver
		First extension line origin or RETURN to select：同上
		Second extension line origin：同上
		Dimension line location <Text/Angle>：同上
		Dimension text <default>：同上
ANG (ANGULAR)	角度尺寸标注	命令格式：Dim：Ang
		Select arc, circle, line, or RETURN：选择弧、圆或线
		Second line：第二条线
		Dimension arc line location <Text/Angle>：标注位置
		Dimension text<default>：尺寸数据
		Enter text location (or RETURN)：尺寸数据书写位置

几种常用尺寸标注系统变量的含义：

DIMTAD 当状态为“ON”时，尺寸文字写在尺寸线上方；为“OFF”时，尺寸线分为二段，尺寸文字注在它们中间。缺省时为“OFF”。

DIMTIH 当状态为“ON”时，任何情况下，尺寸文字总是水平书写；为“OFF”时，尺寸文字的旋转角度与尺寸线相同。缺省时为“ON”。

DIMTSZ 指定尺寸标注中，代替箭头的斜线的长度，为零则画箭头，缺省为“0”。

DIMTXT 指定尺寸文字的高度，缺省为“0.18”。

10. 其他命令

DXFOUT	以当前图形产生 .DXF 文件	命令格式：Command：Dxfout
		File name：文件名
DXFIN	装入 .DXF 文件到编辑器并生成图形	命令格式：Command：Dxfin
		File name：文件名
PLOT	图形输出命令	命令格式：Command：Plot
		(12.0 版出现图形输出对话框)

11.DXF 接口文件

DXF 接口文件是 AutoCAD 软件包提供的主要用户接口文件之一。它是一个以 .DXF 为扩展名，并具有专用格式的 ASCII 码文本文件。DXF 接口文件的一般结构如下：

```
0
SECTION
2
HEADER   } 标题节，存放有关该图的一般信息。
…
0
ENDSEC
0
SECTION
2
TABLES   } 表节，包含线型表、图层表、式样表、视图表等的定义。
…
0
ENDSEC
0
SECTION
2
BLOCKS   } 块节，存放有关该图的图素块的定义。
…
0
ENDSEC
0
SECTION
2
ENTITIES } 实体节，存放有关该图的绘图图素。
…
0
ENDSEC
0
EOF      } 结束
```

DXF 接口文件是由许多个组构成的，每个组占两行。一个组的首行为组的代码，第二行是组值。常用组码如下：

2	一个名字，属性标记或块名字等。	8	图层名（固定的）
10	初始 x 坐标	11～18	其他 x 坐标。
20	初始 y 坐标	21～28	其他 y 坐标。
40～48	浮点值（文字高度、比例因子等）	50～58	角度
66	“图素跟随”标记（固定的）		

值得指出的是，一个有效的 DXF 接口文件，可仅由实体节和结束组码构成。通常，在 DXF 接口文件程序编制中，可只考虑实体节的内容。

DXF 接口文件的接口函数见附录一。

第五节　选矿工程图设计基础

选矿工程图包括工艺流程图（含数质量流程图和矿浆流程图）、设备配置图、设备安装图及金属结构件制造图等。其中，最主要的是工艺流程图和设备配置图。

一、常用的基于 AutoCAD 的绘图函数

选矿厂设计中，常用的绘图函数主要包括（存于文件 HTHSK.C 中）：细实线、粗实线、圆、弧和文字书写五大类函数，详见附录一。

二、典型工艺流程图的绘制

选矿工艺流程包括破碎磨矿、选别、脱水等工艺流程。对工艺流程的绘制，最关键的是要确定流程的结构表达形式，以便实现计算机绘图。

1. 破碎磨矿流程

破碎磨矿流程的绘制较为简单，都是由图 7－2 中五种基本图形组成。对图 7－2 中 5 种基本图形分别编制相应的子程序，并设置相应的代码（依次为 1，2，3，4，5），通过给定不同的代码，即可绘制所要求的破碎磨矿流程。其中单元流程（C）的 C 语言绘制参考函数如下：

```
/* X,Y: 绘图的起点坐标 */
/* r:   圆的半径 */
/* l:   X 方向绘图长度;ln: Y 方向绘图长度 */
/* M:   金属种类数;C: C=1,为有矿浆部分,C=0 则无 */
void pmlc3(int x, int y,int r,int l,int ln,int M,int C)
  {
    line("0",x,y,x,y-ln+r);
    circle("0",x,y-ln,r);
    line("0",x,y-ln-r,x,y-ln-ln/2);
    pline("0",x-l*(1+M+C),y-ln-ln/2,x+l*(1+M+C),y-ln-ln/2);
    line("0",x-l*(1+M+C),y-ln-ln/2-1,x+l*(1+M+C),y-ln-ln/2-1);
    line("0",x-l*(1+M+C),y-ln-ln/2,x-l*(1+M+C),y-2*ln);
    line("0",x+l*(1+M+C),y-ln-ln/2,x+l*(1+M+C),y-2*ln);
    line("0",x+l*(1+M+C),y-2*ln,x+2*l*(1+M+C),y-2*ln);
    line("0",x+2*l*(1+M+C),y-2*ln,x+2*l*(1+M+C),y-ln/2);
    line("0",x+2*l*(1+M+C),y-ln/2,x,y-ln/2);
    arrow left(x,y-ln/2);/*箭头←绘制函数*/
  }
```

2. 选别流程

根据选别工艺不同，其流程结构较为复杂，下面介绍典型浮选工艺流程的绘制。浮选流程绘制主要有模块法和“二叉树”法两种。

(1) 模块法。对浮选流程的模块描述与浮选流程计算相同。所谓模块法，就是将浮选流程按结构相似原则划分为不同的模块，通过模块的不同组合，即可获得所要求的工艺流程图。

(2)“二叉树”法。浮选流程结构无论多么复杂，都存在一个共同的特点，即每个浮选作业均具有一个进料、两个出料的结构，任何浮选流程都是由这些结构相同的作业组合而成。浮选流程结构的这一特点，使得借用“数据结构”中的“二叉树”原理能很好地进行描述。

“二叉树”是一种数据结构，它的特点是，每个结点至多只有二棵子树（“二叉树”中不存在度大于 2 的结点），其子树又有左右子树之分，次序不能任意颠倒。

根据浮选流程的特点，图 7－11 的浮选流程可以用图 7－12 的“二叉树”描述。

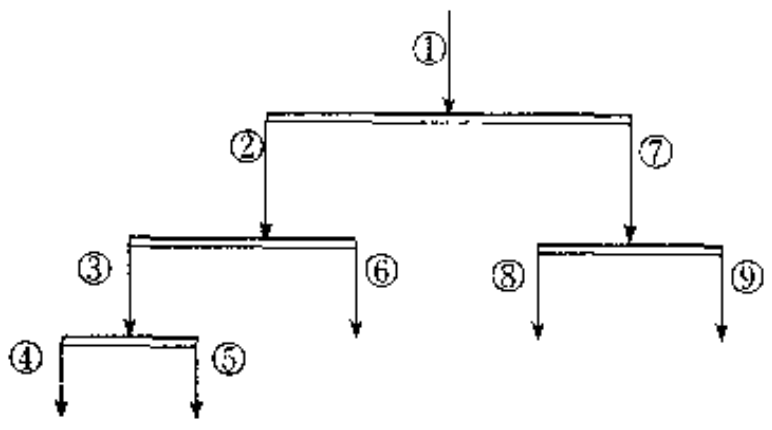


图 7－11　举例的浮选流程

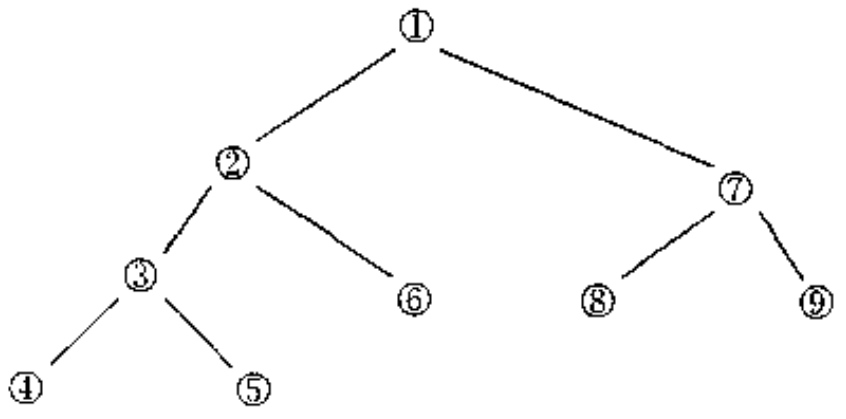


图 7－12　图 7－11 对应的“二叉树”描述

虽然，利用“二叉树”能准确地描述确定结构的浮选流程，但是，要能方便地在计算机上实现浮选流程图的绘制，还必须对浮选流程中的所有物料，按一定的原则进行编码才能实现。首先，浮选流程中的所有物料均应按先序遍历“二叉树”的操作顺序进行编号；同时，各物料按如下原则进行编码：

①按先序遍历操作，其左子树不为空的产物，编码设定为 0；

②按先序遍历操作，左子树为空的产物，且该产物不是返回产物时，其编码设定为－1；

③按先序遍历操作，左子树为空的产物，且该产物是返回产物时，其编码设定为所返回地点的产物的编号。

根据上述编码原则，图 7－11 的浮选流程相应的编码见表 7－1。

表 7－1　图 7－11 的浮选流程相应的编码

产物编号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
编　　码	0	0	0	－1	－1	－1	0	－1	－1

3. 浮选流程绘图程序设计

浮选流程图的绘制程序一般应包括：主模块、数据输入模块、数据修改模块、流程图初始化模块、原则线流程生成模块、指标标注模块及 AuotCAD 接口模块组成。见图 7－13。

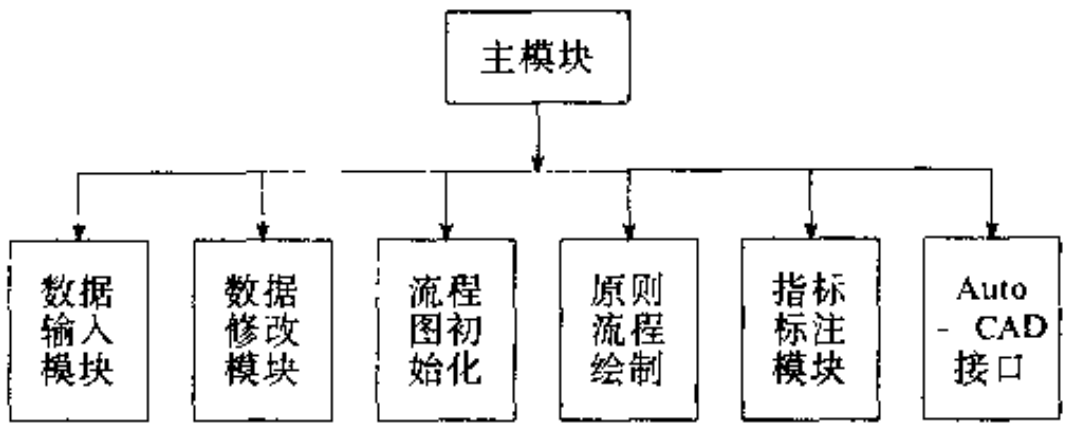


图 7－13　浮选流程绘图软件模块结构

其中，流程图初始化、原则流程绘制及指标标注为重要部分，以典型浮选流程的原则线流程绘制为例加以介绍。

(1) 模块法 C 语言参考源程序。

```
#include <stdio.h>
#include "hthsk.c"/*DXF 文件的接口函数,见附录一*/
float   X0, Y0, XX, YY, XE, YE, YE1, YE2, XS, YS;
float   L1, L2, L3, L4, L5, L6;
float   A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8;
float B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8;
float   X[100], Y[100];
int   M, N, L, I, K, U, T, F;
char   A[18];
FILE *fp;
void jinsaoxuan(void);
void jinxuan(void);
void huizi(void);
void saoxuan(void);
void line1(void);

main()
{ clrscr();
  printf("\r1. 输入绘图文件名   :");scanf("%s", A);
  printf("\r2. 输入金属元素个数:");scanf("%d", &M);
  printf("\r3. 输入精选作业个数:");scanf("%d", &N);
  printf("\r4. 输入扫选作业个数:");scanf("%d", &L);
  strcat(A, ".DXF");
  fp=fopen(A, "wb");
  X0=50.0; Y0=70.0;
  L1=16; L2=15+12*M; L3=6+6.7*M; L4=6; L5=8; L6=L2-L3;
  /* 绘粗选作业 */
  X[0]=X0-L2/2; Y[0]=Y0-L1; X[1]=X[0]+L2; Y[1]=Y[0];
```

```
X[2]=X[0];Y[2]=Y[0]-.4;X[3]=X[1];Y[3]=Y[2];
XS=X0;YS=Y0;XE=X0;YE=Y0-L1;line("0",XS,YS,XE,YE);
XS=X[0];YS=Y[0];XE=X[1];YE=Y[1];line("0",XS,YS,XE,YE);
XS=X[0];YS=Y[0]-.1;XE=X[1];YE=YS;line("0",XS,YS,XE,YE);
XS=X[2];YS=Y[2];XE=X[3];YE=Y[3];line("0",XS,YS,XE,YE);
XS=X[0];YS=Y[0];XE=X[0];YE=Y[0]-L1;line("0",XS,YS,XE,YE);
XS=X[1];YS=Y[1];XE=X[1];YE=Y[1]-L1;line("0",XS,YS,XE,YE);
/* 绘精选作业 */
for (I=4;I<((N+1)*4);I+=4) {XX=4;jinsaoxuan();}
for (K=1;K<=N;K++) jinxuan();
/* 绘扫选作业 */
U=1;
for (I=((N+1)*4);I<((N+L+1)*4);I+=4){
  if (I==((N+1)*4)) XX=((N+1)*4-1); else XX=3;
  jinsaoxuan();}
  for (T=2;T<=L;T++) saoxuan();
  fprintf(fp,"%d\n",0);
  fprintf(fp,"\r%s\n","EOF");
  fclose(fp);
}

void jinsaoxuan(void)
{/* 绘精选.扫选作业子程序*/
  X[I]=X[I-XX]-L3/2;Y[I]=Y[I-XX]-L1;
  X[I+1]=X[I]+L3;Y[I+1]=Y[I];
  X[I+2]=X[I];Y[I+2]=Y[I]-.4;
  X[I+3]=X[I+1];Y[I+3]=Y[I+2];
  XS=X[I];YS=Y[I];XE=X[I+1];YE=Y[I+1];line("0",XS,YS,XE,YE);
  XS=X[I];YS=Y[I]-.1;XE=X[I+1];YE=YS;line("0",XS,YS,XE,YE);
  XS=X[I+2];YS=Y[I+2];XE=X[I+3];YE=Y[I+3];
  line("0",XS,YS,XE,YE);
  if (U==1) YE1=Y[I]-L4;  else YE1=Y[I]-L1;
  if (U==1) YE2=Y[I+1]-L1; else YE2=Y[I+1]-L4;
  XS=X[I];YS=Y[I];XE=X[I];YE=YE1;line("0",XS,YS,XE,YE);
  XS=X[I+1];YS=Y[I+1];XE=X[I+1];YE=YE2;line("0",XS,YS,XE,YE);
}

void jinxuan(void)
{/* 绘精选作业顺序返回产物 */
  A1=X[K*4+1];B1=Y[K*4+1]-L4;
```

```
    A2 = A1 - L3 + 1; B2 = B1; A3 = A1 - L3; B3 = B2 + 1;
    A4 = A3 - 1; B4 = B2; A5 = A4 - L5; B5 = B4;
    A6 = A5; B6 = B5 + L4 + 1.5 * L1;
    if (K = = 1) YY = L2/2; else YY = L3/2;
    A7 = A1 - L3/2 + YY - 1; B7 = B6;
    A8 = A7 + 1; B8 = B7 - 1;
    if (K = = 1) A1 = A1 + L6;
    huizi();
}

void huizi(void)
{
    XS = A1; YS = B1; XE = A2; YE = B2; line("0", XS, YS, XE, YE);
    XS = A2; YS = B2; XE = A3; YE = B3; line("0", XS, YS, XE, YE);
    XS = A3; YS = B3; XE = A4; YE = B4; line("0", XS, YS, XE, YE);
    XS = A4; YS = B4; XE = A5; YE = B5; line("0", XS, YS, XE, YE);
    XS = A5; YS = B5; XE = A6; YE = B6; line("0", XS, YS, XE, YE);
    XS = A6; YS = B6; XE = A7; YE = B7; line("0", XS, YS, XE, YE);
    XS = A7; YS = B7; XE = A8; YE = B8; line("0", XS, YS, XE, YE);
}

void saoxuan(void)
{/* 绘扫选作业顺序返回产物 */
    L6 = 0;
    A1 = X[(N + 1) * 4 + (T - 1) * 4]; B1 = Y[(N + 1) * 4 + (T - 1) * 4] - L4;
    A2 = A1 + L3 - 1; B2 = B1; A3 = A1 + L3; B3 = B2 + 1;
    A4 = A3 + 1; B4 = B2; A5 = A4 + L5; B5 = B4;
    A6 = A5; B6 = B5 + L4 + 1.5 * L1;
    A7 = A1 + 1; B7 = B6; A8 = A1; B8 = B7 - 1;
    huizi();
}
```

(2)“二叉树”法C语言参考源程序。

```
/* 程序只考虑了任意次精、扫选,顺序返回的典型流程 */
#include <stdio.h>
#include "hthsk.c"/* DXF 文件的接口函数,见附录一 */
#define   l    25 /* x 方向的绘图长度 */
#define   ln    20 /* y 方向的绘图长度 */
#define   cl    14 /* 粗选作业长度增量 */
FILE   *fp;
```

```
main()
{float  x0, y0, x1, y1, xi, yi, c[50][2];
  int   M, C=0, t, i, N, p, q, a[50], tm;
  char  fname[20];
  printf("\r 请输入绘图文件名        :");scanf("%s", fname);
  printf("\r 请输入绘图原点(x, y)    :");scanf("%f, %f", &x0, &y0);
  printf("\r 请输入金属个数          :");scanf("%d", &M);
  printf("\r 请输入作业个数          :");scanf("%d", &p);
  N=2*p+1;x1=x0, y1=y0;
  printf("\r 请按"二叉树"原理输入各产物编号:\n");
  for (i=0;i<N;i++){scanf("%d", &q);a[i]=q;}
  strcat(fname, ".dxf");
  fp=fopen(fname, "wb");i=0;tm=l+5*M+5*C;
  while(i<N){
    if (a[i]==0){if (i==0){ xi=x1;yi=y1;line("0", xi, yi, xi, yi-ln);}
        if (i==1){xi=x1-c1/2-tm;yi=y1-ln;
                  line("0", xi, yi, xi, yi-ln);
                  }
    if (a[i-1]==0 && a[i-2]==0 && (i-2)>=0) {
                      xi=x1-tm;yi=y1-ln;
                  line("0", xi, yi, xi, yi-ln);
                      }
    if (a[i-1]!=0 && a[i-2]!=0 && (i-2)>=0){
            xi=x1+c1+tm;yi=y1+ln;
            pline("0", x1-tm, yi, 0.2, xi, yi);
            line("0", x1-tm, yi-2, xi, yi-2);
            line("0", xi, yi, xi, yi-ln);
                          }
    if(a[i-1]!=0 && a[i-2]==0 && (i-2)>=0){
                    xi=x1+2*tm;yi=y1;
                pline("0", x1, y1, 0.2, xi, yi);
                line("0", x1, y1-2, xi, yi-2);
                line("0", xi, yi, xi, yi-ln);
                    }
    }
if (a[i]<0) {if (a[i-1]==0 && (i-1)>=0) {
                    xi=x1-tm;yi=y1-ln;
                    line("0", xi, yi, xi, yi-ln);
                                    }
        if (a[i-1]!=0 && a[i-2]==0 && (i-1)>=0) {
```

```
            xi = x1 + 2 * tm; yi = y1;
            pline("0", x1, y1, 0.2, xi, yi);
            line("0", x1, y1 - 2, xi, yi - 2);
            line("0", xi, yi, xi, yi - ln);
                                    }
if (a[i-1]!  =0 && a[i-2]!  =0 && (i-1)>=0) {
            xi = x1 + tm; yi = y1 + ln;
            pline("0", x1 - tm, 0.2, yi, xi, yi);
            line("0", x1 - tm, yi - 2, xi, yi - 2);
            line("0", xi, yi, xi, yi - ln);
                                }
    }
if (a[i]>0) { t = a[i] - 1;
        if (a[i-1] = =0 && (i-1)>=0) {
            xi = x1 - tm; yi = y1 - ln;
            line("0", xi, yi, xi, yi - ln/2 + 2);
            if((i-2) = = t) line("0", xi, yi - ln/2 + 2, xi - c1, yi - ln/2 + 2);
                else {
             line("0", xi, yi - ln/2 + 2, xi + 2 * tm + 1, yi - ln/2 + 2);
             line("0", xi + 2 * tm + 1, yi - ln/2 + 2, xi + 2 * tm + 1, c[t][1] - ln/2);
             line("0", xi + 2 * tm + 1, c[t][1] - ln/2, c[t][0], c[t][1] - ln/2);
                        }
                                }
if (a[i-1]<0 && a[i-2] = =0 && (i-2)>=0) {
            xi = x1 + 2 * tm; yi = y1;
            pline("0", x1, y1, 0.2, xi, yi);
            line("0", x1, y1 - 2, xi, yi - 2);
            line("0", xi, yi, xi, yi - ln/2);
            line("0", xi, yi - ln/2, xi - (2 * tm + 1), yi - ln/2);
            line("0", xi - (2 * tm + 1), yi - ln/2, xi - (2 * tm + 1), c[t][1] - ln/2);
            line("0", xi - (2 * tm + 1), c[t][1] - ln/2, c[t][0], c[t][1] - ln/2);
                                    }
if (a[i-1]>0 && a[i-2]!  =0 && (i-2)>=0) {
            xi = x1 + tm; yi = y1 + ln;
            pline("0", x1 - tm, yi, 0.2, xi, yi);
            line("0", x1 - tm, yi - 2, xi, yi - 2);
            line("0", xi, yi, xi, yi - ln/2 + 2);
            if(i<t) line("0", xi, yi - ln/2 + 2, xi + c1, yi - ln/2 + 2);
               else {
            line("0", xi, yi - ln/2 + 2, xi - (2 * tm + 1), yi - ln/2 + 2);
```

```
                    line("0", xi - (2 * tm + 1), yi - ln/2 + 2, xi - (2 * tm + 1), c[t][1] - ln/2);
                    line("0", xi - (2 * tm + 1), c[t][1] - ln/2, c[t][0], c[t][1] - ln/2);
                        }
                    }
                }
    x1 = xi; c[i][0] = xi;
    y1 = yi; c[i][1] = yi;
     + + i;
  }
  fprintf(fp, "%d \ n", 0);
  fprintf(fp, " \ r%s \ n", "EOF");
  fclose(fp);
}
```

三、设备及其配置图绘制

1. 交互式绘图

交互式绘图是在 AutoCAD 环境中，利用其提供的丰富绘图命令，完成选矿厂设计图纸的绘制工作。在绘图过程中，常采用图层、线型及用户坐标（UCS）系统设置技术，按照绘图实体的实际尺寸和绘图比例绘制，完成的设计图纸可存盘或用绘图仪输出。目前，选矿专业的大部分图纸均采用这种方式完成，其缺点是，图形绘制速度慢，精度差。

2. 建立图块库

选矿厂设计中，破碎机、筛分机、球磨机等标准定型设备，是配置图或机组图中较为固定的绘图单元。可利用 AutoCAD 的图块功能建块，形成选矿厂设计的专用图块库。所谓专用图块，主要指常用选矿设备或机组三视图的图块文件。

为适应设备配置图、机组图的需要，一般应建立设备图块、配置图块及工程图块三大类。设备图块包括单体设备和标准设备机组，配置图块的内容与设备图块基本相同，但绘图比例大，线条简单。工程图块包括一些标准设备配置图或实际工程设计配置图。

为了提高图块的利用效率，减少图块的建立工作量，在建立图块时，应充分利用图层设置功能，根据设计的不同需要，在相同图块的不同层上绘制不同的内容（即具体图形、线型、比例等），在图块调用时，通过对不同图层的冻结或解冻，满足不同图形设计的需要。

图块库的建立，既可用 AutoCAD 软件提供的交互方式，也可采用高级语言编程的方法实现，通过参数化，能显著提高图块库的建立速度。

AutoCAD 软件包的用户菜单编制方法如下：

（1）菜单文件建立。在 DOS 的 EDIT、Wordstart 和 WPS（N 方式）等环境下编写。以屏幕菜单为例：

```
* * * SCREEN
选矿设备                                    { 主菜单 }
[破碎设备] ^C^C$ S= 破碎设备
[磨矿设备] ^C^C$ S= 磨矿设备
[浮选设备] ^C^C$ S= 浮选设备
```

```
[重选设备] ^C^C$S=重选设备
[磁选设备] ^C^C$S=磁选设备
[脱水设备] ^C^C$S=脱水设备
[其他设备] ^C^C$S=其他设备
[AutoCAD] ^C^CMENU ACAD          | 返回 AutoCAD 主菜单|

** 破碎设备                      | 子菜单 |
破碎设备

[颚式机] ^C^Cinsert *espsj       | 插入图块文件 |
[旋回机] ^C^Cinsert *xhpsj
[圆锥机] ^C^Cinsert *yzpsj
[对辊机] ^C^Cinsert *dgpsj
[反击机] ^C^Cinsert *fjpsj
[锤式机] ^C^Cinsert *cspsj
[返回  ] ^C^C$S=                 | 返回“选矿设备”主菜单|
……
```

(2) 菜单文件使用。在 AutoCAD 中启动用户菜单的格式为：

Command：menu <用户菜单名><Enter>

启动用户菜单后，即可像 AutoCAD 的内部菜单同样使用，Menu 命令在调入用户菜单的同时，在指定路径中产生一个 .MNX 的菜单编译文件。

3. 参数化绘图

在设备配置过程中，经常要对某些设备图形进行各种几何变换，以得到满足设计要求的几何图形。专用设备图块难以实现图形灵活变换的要求。只有采用参数化绘图才能有效解决这一问题。实践证明，对设备图形的直接操作不如对相应的设备图形数据的操作方便。设备图形数据库的建立，不仅是满足图形绘图过程的需要，也是满足图形的几何变换的需要。

任何图形的信息一般都包括几何信息和拓扑信息两个方面。所谓几何信息，即指几何形体在空间的位置和大小；拓扑信息则指组成几何形体的各点、边和面的数目及其相互之间的连接关系。

二维图形的几何信息表现为定义形体的所有特征点（如直线的两端点和圆心点等）的二维坐标；拓扑信息则表现为定义所有特征点、轮廓线的数目及相互间的关系。在图形的参数绘图过程中，对形状相似，大小不同的几何图形，其拓扑信息往往保持不变，即所有的特征点和轮廓线的数目和关系不变。只是几何图形的特征点的坐标值发生了变化。因此，对几何图形的定义可归结为对图形几何信息的定义。

二维图形的尺寸是形体大小和位置的自然描述。尺寸包括形体的几何外形尺寸和形体在平面上的定位尺寸。一个结构复杂的几何图形往往有许多几何特征点，但是用于定义这些特征点所需的尺寸并不会太多，因此，尺寸是表达形体几何信息，进而定义几何形体的最佳方式。

既然用尺寸约束能定义几何形体，那么通过尺寸的改变来驱动图形的变化则是完全可能的。其实，用尺寸约束定义几何图形，就是通过尺寸定义图形的特征点的坐标。尺寸对图形

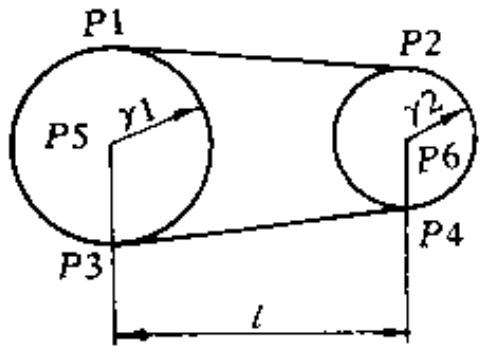


图 7－14　尺寸约束法图例一

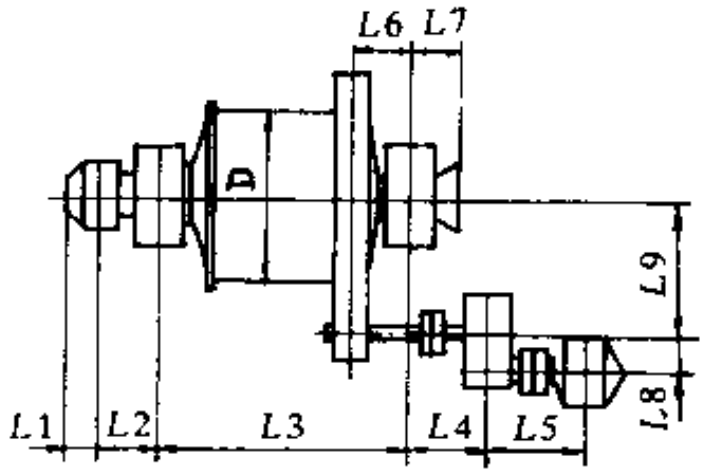


图 7－15　尺寸约束法图例二

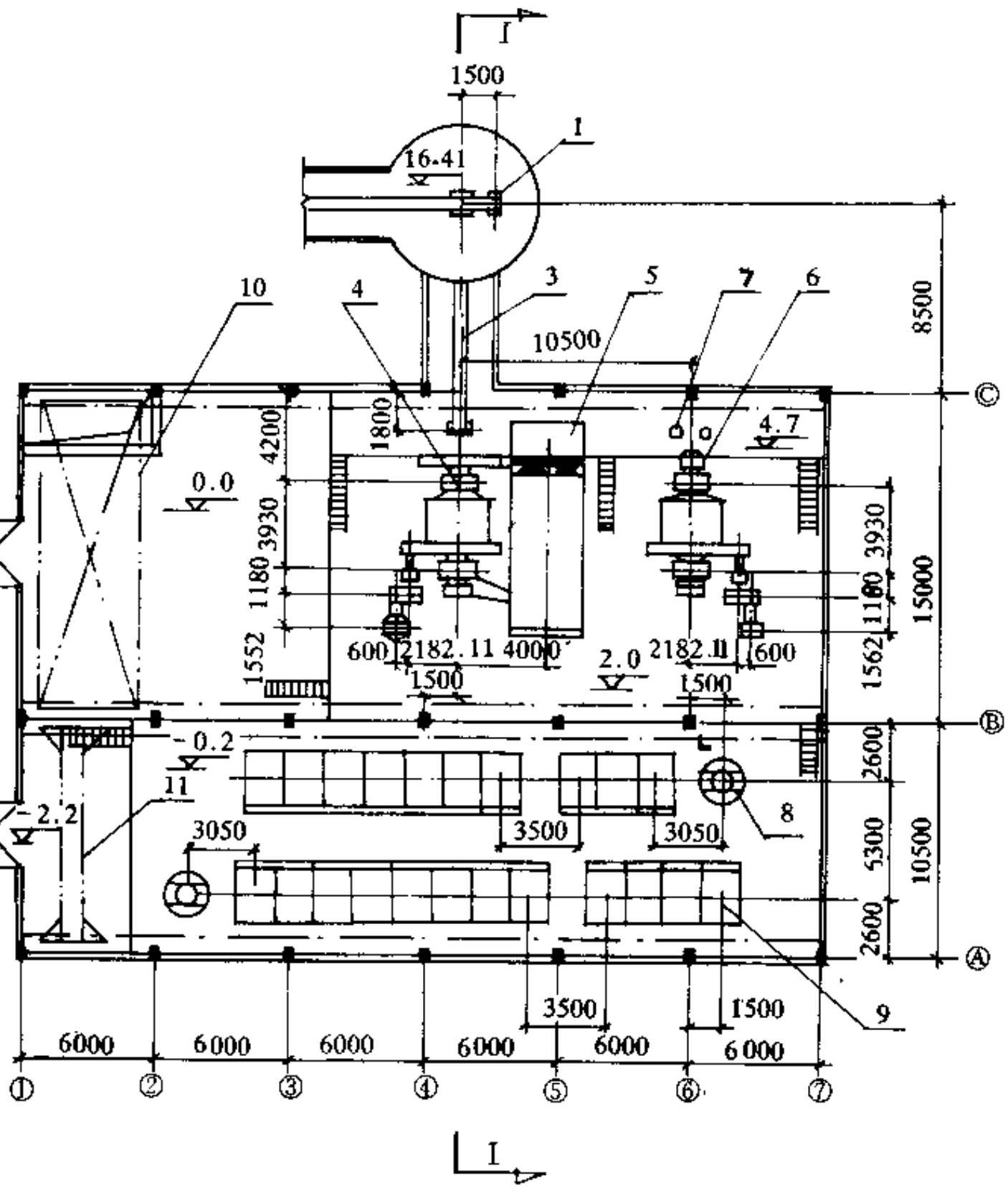


图 7－16　平面图

1——TD75 胶带机（B＝650mm）；2——摆式给矿机（400×400）；3——TD75 胶带机（B＝500mm）；
4——MQG2721 湿式格子型球磨机；5——2FG－15 高堰式双螺旋分级机；
6——MQY2721 湿式溢流型球磨机；7——水力旋流器（D＝500mm）；8——XB－2000 搅拌槽；
9——XJ－28 浮选机；10——10t 桥式起重机；11——3t 电动单梁起重机。

的定义可以分为显性定义和隐性定义，即图形中的特征点的坐标可以从尺寸的标注中直接得到时，称其定义是显性的。反之，若其特征点的坐标须从图形的拓扑关系中演算出来，则称其定义是隐性的。隐性定义往往存在于几何交切、平行和垂直等关系中。对图形中的隐性定义特征点的求解，首先必须确定各图素间的拓扑关系，然后根据拓扑关系计算得到。如图 7－14 所示几何图形，其中P1～P6为图形的几何特征点，P1～P4为隐性定义特征点，P5～P6为显性定义特征点，按尺寸定义，只需知道 r1、r2 和 l3 个参数，即可绘出此几何图形。

根据尺寸约束法定义几何图形的原理，在建立选矿工艺设备图形数据库时，只需将定义设备的几何形状的尺寸存贮在图形数据库中，设备的所有几何特征点的坐标值，在参数绘图过程中，由外部绘图子程序经过各种几何变换临时生成，不仅大大减少了图形数据库的建库工作量，而且加快了绘图的速度和灵活性。对图 7－15 中所示的球磨机，若采用几何特征点描述，则需要存贮 90 个特征点的数据，而用尺寸约束法描述，则仅需 L1～L9 和 D 共 10 个参数即可，其所有的特征点坐标数据根据其拓扑关系演算而得，从而使得所有球磨机的图形数据可共用同一数据库，其扩充和修改极为方便。

在建立图形数据库的基础上，编制相应的绘图程序来实现配置图的自动生成。采用参数化绘图原理，开发出了磨浮车间设备配置图的绘制软件。采用该设计软件绘制的主厂房设备配置平、断面图如图 7－16 和图 7－17 所示。

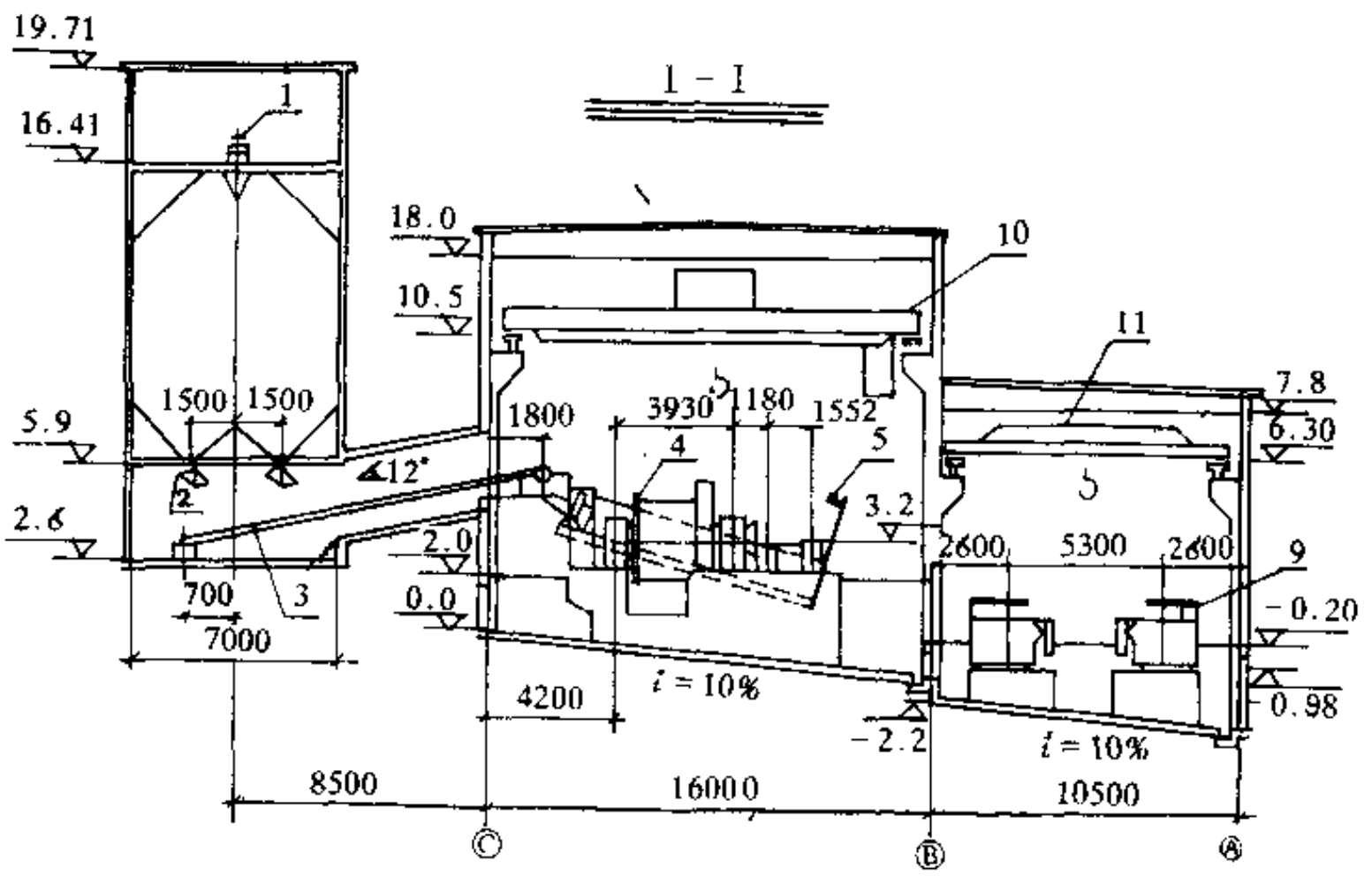


图 7－17　断面图

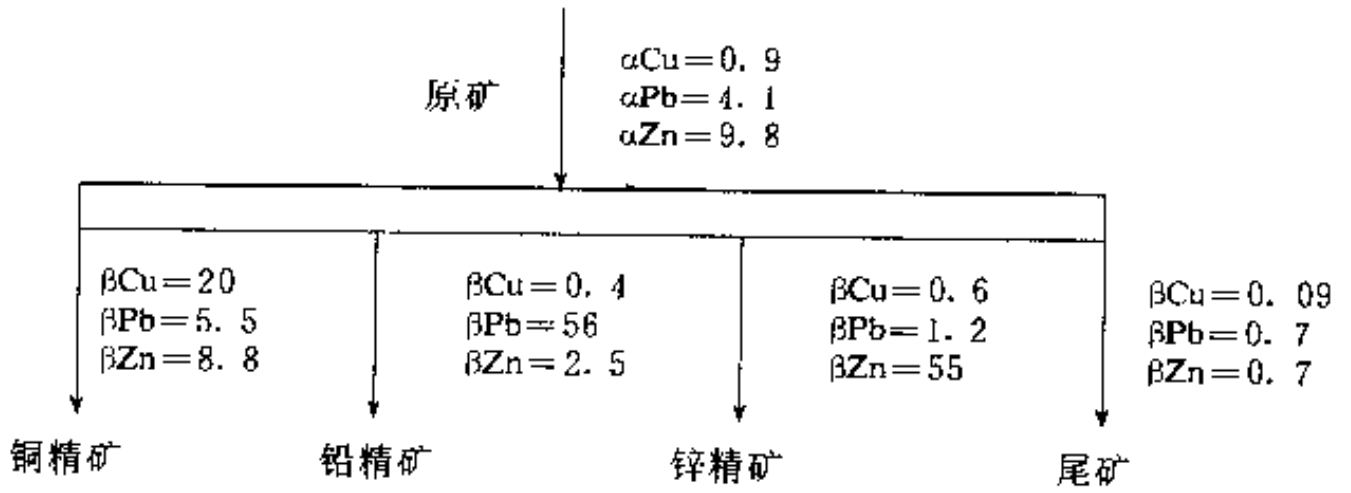
思考题

(1) 流程计算程序一般由哪几部分组成，各部分应完成什么功能？

(2) 某铅锌选矿厂日处理原矿 2000T/D，原矿产率为 100%，原矿中各金属回收率均为 100%，各金属品位见下图，试编程计算下图流程的数质量指标，并将计算结果保存在数据文件中。

(3) AutoCAD 环境中，选矿工程图纸绘制的方法主要有哪些？各自的特点是什么？

(4) 在 AutoCAD 环境中，利用 DXF 接口编程绘制下图流程图，并将第 2 题计算的数质量指标标注在流程图中。



铜铅锌产品方案流程图

第八章　工程概算和经济评价

第一节　工程概算

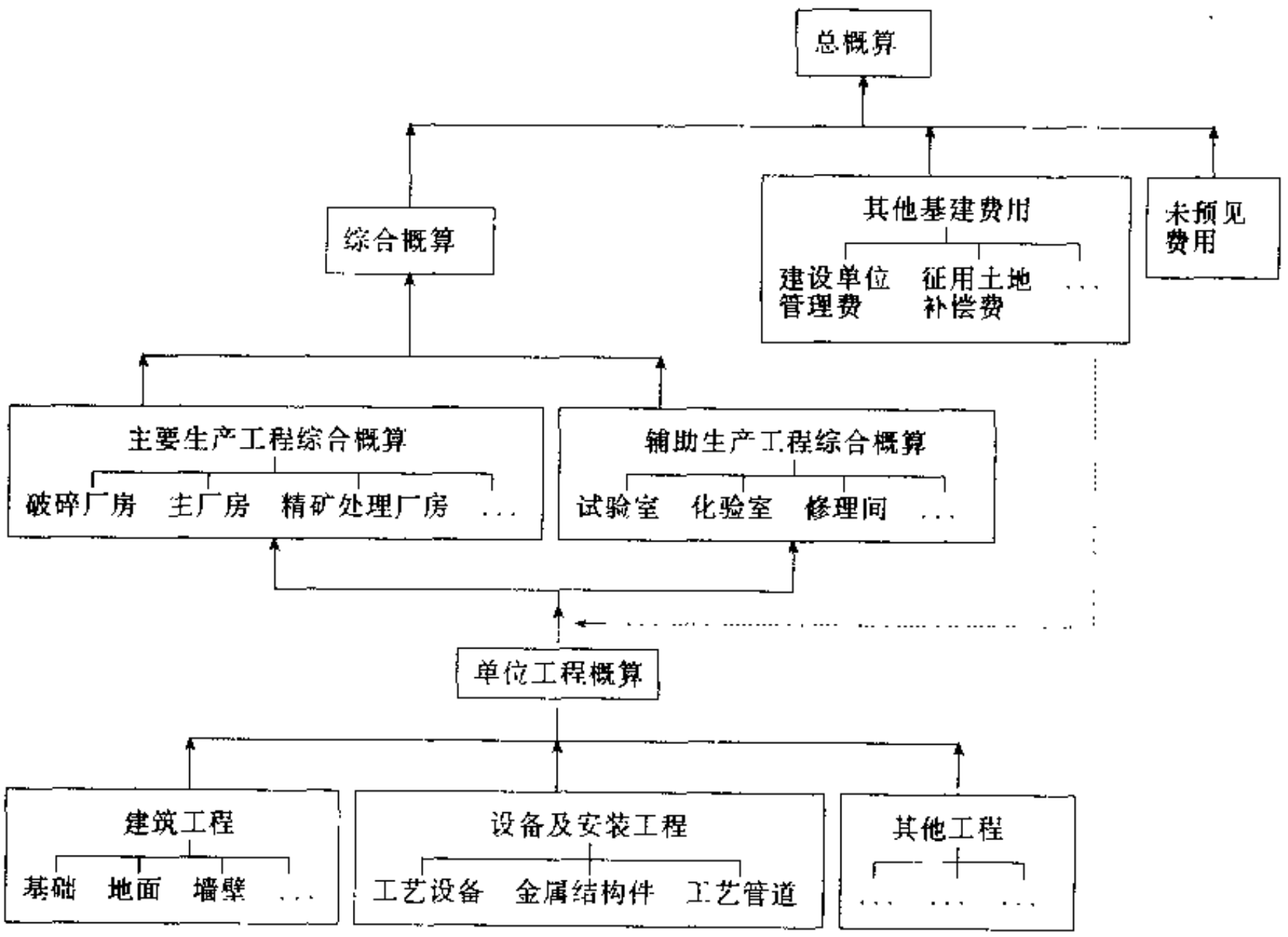
工程概算是控制建设项目基建投资、提供投资效果评价、编制固定资产投资计划、筹措资金、施工招标和实行投资大包干的主要依据，也是作为控制施工图预算的主要基础。

根据有关规定，初步设计编制概算，施工图设计编制预算，施工结束后编制决算。概算和预算由设计单位编制，决算由生产单位编制，设计单位参加。

编制工程概算要严格执行国家有关方针政策，如实反映工程所在地的建设条件和施工条件，正确选用材料单价、概算指标、设备价格和各种费率。

一、工程概算结构形式与组成

1. 工程概算结构形式



2. 工程概算组成

根据工程概算的结构形式和功能范围不同，工程概算由单位工程概算、综合概算和总概算等 3 部分组成。

（1）单位工程概算。从工程概算结构形式看出，单位工程概算是单项（即子项）工程概算的组成部分，是编制综合概算的原始资料。根据概算编制要求，单项工程设计者单独编制本专业的单位工程概算，然后送交概算专业人员汇总。选矿专业人员只编制选矿专业的单位工程概算。

（2）综合概算。综合概算是各专业单位工程概算的汇总，即选矿、土建、供排水、供电等专业单位工程概算的汇总。它是编制总概算的基础。由于它的项目编制齐全、费用开列详细，便于投资决策者查阅和分析各项基建投资的组合情况。凡是独立设计的建设项目，都必须由概算专业人员编制综合概算。

（3）总概算。总概算是按基建费用的性质和用途，分项汇总的工程概算价值表。总概算表见表 8－1。它概括了从项目筹建到竣工验收的全部费用。由于总概算项目简明扼要，费用用途清楚，便于投资决策者掌握基建工程投资去向。凡属于独立设计的建设项目，如矿山企业或选矿厂，都必须由概算专业人员编制总概算。

表 8－1　总概算表

序号	工程费用名称	概算价值（万元）						技术经济指标		占投资总额（%）
		建筑工程费用	设备购置费用	安装工程费用	工器具及生产家具费	其它费用	总价值	数量单位	单位价值（元）	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

二、选矿专业单位工程概算编制

选矿专业设计人员在初步设计接近完成时，最后一项工作是编制选矿专业单位工程概算，即破碎、筛分、主厂房、精矿处理等生产车间以及试验室、化验室等各单项工程费用中的单位工程概算，主要是“设备及安装工程概算表”，内容包括选矿工艺设备、金属结构件和工艺管道三个部分的概算价值。

1．工艺设备概算价值

工艺设备概算价值＝设备原价＋设备运杂费＋设备安装间接费

式中：设备原价包括标准设备价值和非标准设备价值。

标准设备价值——按制造厂最新年度定价，或按现行机电产品出产目录中的价目。

非标准设备价值——凡未定型或需要单独设计和特殊订货的设备均属非标准设备。其价值等子非标准设备净重“吨”数乘以相应的估价指标计算。估价指标（元/t）参照表 8－2（设计时，参考当时新的单价指标。以下各表均同）。

表 8－2　非标准设备参考估价指标

设备类别	单位	估价指标（元/t）
一般钢结构设备	t	2500 ～ 3000
普通起重机	t	3500～4000
带式运输机	t	5000

注：此表根据《选矿设计手册》的估价指标。

设备运杂费＝设备原价×运杂费率

设备安装间接费＝设备原价×安装间接费率

运杂费率见表 8－3；安装间接费率见表 8－4。

表 8－3　国内设备运杂费率

序号	工　　程　　所　　在　　地　　区	设备运杂费率（%）
1	北京、天津、上海市、辽宁、吉林	4
2	黑龙江、江苏、浙江、河北	4.5
3	内蒙古自治区、山西、安徽、山东省	5
4	湖北、江西、河南省	5.5
5	湖南、福建、陕西省	6
6	广东省、宁夏回族自治区	6.5
7	甘肃、四川省、广西壮族自治区	7
8	云南、贵州、青海省	8
9	新疆维吾尔自治区、西藏藏族自治区	10
10	海南省	15

注：①对于地处偏僻，远离铁路运输线的矿山基建项目，可按上述费率适当增加 0.5%～1%。

②自制及库存设备运杂费率可取 0.5%。

表 8－4　设备及金属结构件安装间接费率

工程类别	设备名称	费率（%）	应用范围
破碎筛分厂	破碎、筛分、卸矿		独立破碎筛分厂、采矿
	贮矿、起重运输等	2～2.5	场破碎筛分站
选矿厂	破碎、选矿及其他	3	小型选矿厂
	辅助设备	2.8	中型选矿厂
		2.5	大型选矿厂
选矿试验室		4.4	
工艺金属结构	支架、漏斗、矿浆		选矿厂及破碎厂
件及工艺管道	管道	2.2	

2．金属结构件概算价值

金属结构件概算价值＝金属结构件重量×单价＋安装及间接费

式中：金属结构件重量，应根据初步设计图纸，或参考类似企业实际指标和扩大指标确定。选矿厂工艺金属结构件估重扩大指标见表 8－5，单价见表 8－6。

金属结构件安装及间接费＝金属结构件价格（即金属结构件重量×单价）×安装间接费率（见表 8－4）

表 8－5　工艺金属结构件扩大指标

项　　目	选矿厂规模	
	大、中型	小型
金属结构件重量占标准设备重量百分比（%）	5～8	7～9

表 8－6　工艺金属结构件单价（参考用）

名　称	单　位	参考单价	名　称	单　位	参考单价
漏斗	元/t	1600	矿浆分配器	元/t	2500
螺旋溜槽	元/t	2700	缓冲槽	元/t	2700
支架	元/t	1500	电动机滑座	元/t	1560
各种导轮、叶轮	元/t	1700	管座及伸缩接头	元/t	1600
固定筛	元/t	2500			

3. 工艺管道概算价值

工艺管道概算价值＝工艺管道长度（或重量）×单价＋安装及间接费

式中安装及间接费＝工艺管道价格［即管道长度（或重量）×单价］×安装间接费率（见表 8－4）

第二节　选矿厂精矿设计成本

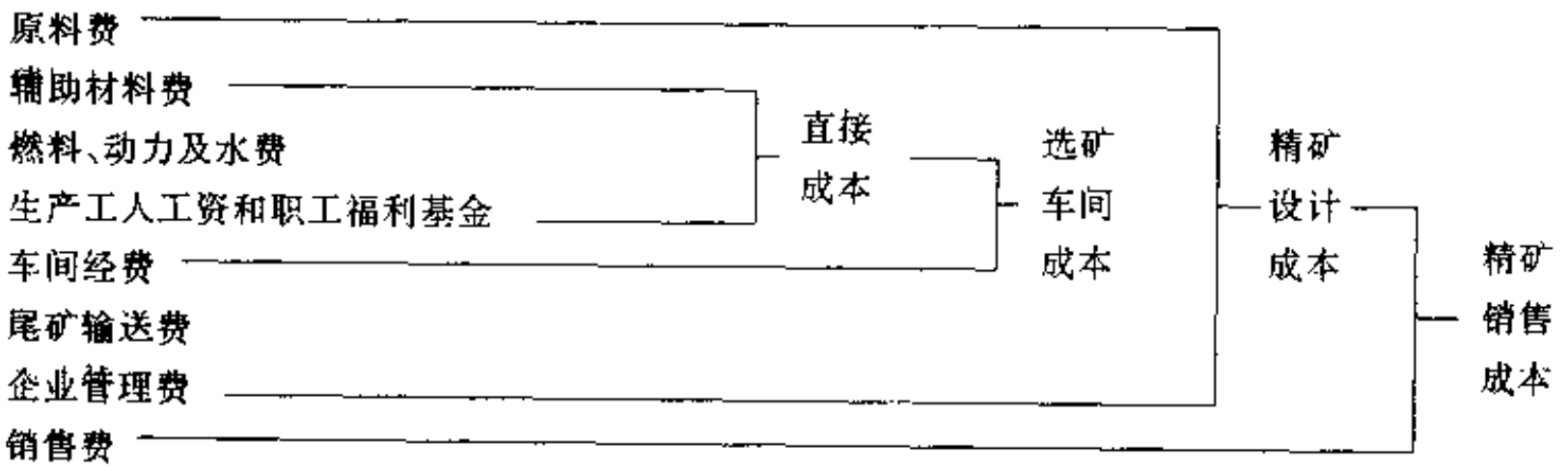
精矿成本是反映企业生产劳动消耗水平的一项综合性经济指标，是评价基本建设项目经济效果的基础数据。凡列入产品方案的商品产品，应分别编制精矿设计成本和精矿销售成本。

精矿设计成本是指选矿厂达到设计规模的正常生产成本。若条件有显著差别时（如矿石品种、原矿品位、可选性、工艺流程及矿石量等），应根据变化分别进行成本计算。

采选联合企业的选矿厂，只编制选矿车间成本。独立选矿厂应编制精矿设计成本和精矿销售成本。并列出其中选矿车间成本（即选矿加工费）。对大、中型选矿厂，应单独计算尾矿输送费，以便考核选矿本身的成本。

一、成本分类及精矿设计成本

1. 成本分类



2. 独立选矿厂精矿设计成本

精矿设计成本如表 8－7 所示。

表 8－7　精矿设计成本

序号	成　本　项　目	单　　位	单位用量	单价（元）	金额（元）
1	原料费：				
	矿石费	元/t			
	运费	元/t			
2	辅助材料费：				
	破碎衬板	kg/t			
	磨矿衬板	kg/t			
	钢球	kg/t			
	钢棒	kg/t			
	钢材	kg/t			
	药剂	kg/t			
	油脂	kg/t			
	滤布	m^2/t			
	胶带	m^2/t			
	其它（占以上费用 5%～10%）				
3	生产用水	m^3/t			
4	动力：电	kW·h/t			
5	生产工人工资和职工				
	福利基金	元			
6	直接成本（即 2、3、4、5 项）	元/t			
7	车间经费				
	管理人员工资和福利基金	元			
	折旧费	元			
	大修理和中、小修理费	元			
	其它车间经费	元			
8	车间成本（即 6、7 项）	元/t 矿			
9	尾矿输送费	元/t			
10	企业管理费	元			
11	精矿设计成本（即 1、8、9、10 项）	元/t 精矿			
12	销售费	元			
13	精矿销售成本（即 11、12 项）	元/t 精矿			

二、成本计算

1. 原料费

购买矿石费和矿石运输费，元/t 矿。

2. 辅助材料费

生产过程中，耗用的衬板、筛网、钢球、钢棒、浮选机叶轮盖板、胶带、各种药剂以及润滑油脂等材料费。其费用 = 材料单位消耗 × 材料单价。材料单价应含运杂费和运输损耗费，设计中可按辅助材料厂出厂单价加 10% 计。其他材料费可按辅助材料费总额的 5% ～ 10% 估算。

3. 水费

它指生产用新鲜水与回水（或称循环水）两种水费。水费 = 用量 × 单价（元/m^3）（新鲜水和回水要分别计算）。

4. 动力和燃料费

生产过程中，耗用的电、风、蒸气、煤和燃料油等费用。外购水、电、蒸气和燃料的计价数量均应包括运输损耗。用电量指生产用电量和生产照明用电量（如果供水、供风和供汽的单价采用单位成本作价计算时，其用电量不应计入生产用电量中，以免重复）。产品设计成本中的电费单价根据电源确定，即企业自建发电站供电，按供电成本计算电费；由区域供电网供电时，采用水电部门规定的二部电价法计算电费；属电力网供电系统大宗工业用电供电，按表 8－8 规定计算电费。

表 8－8　大宗工业用电电价

地区	基本电价			电度电价（元/KW·h）		
	用电设备装机容量（元/kW·月）	变压器容量（元/kVA·月）	最大需量（元/kW·月）	不满 1kV	1～10kV	大于 35kV
东北电业管理局	3.5	3.5	5.0	0.040	0.036	0.030
全国各地	3.5	4.0	6.0	0.063	0.058	0.055

注：本表取自《选矿设计手册》。设计时，参考当时新的电价计算。

选矿厂年用电费计算公式：

年用电费 =（年基本电价费 + 年电度电价费）×（1 + 用电附加费率）+ 用电管理费

式中　①年基本电价费 = 12 × 用电设备装机容量[kW(或变压器容量,kVA)] × 基本电价(元/kW·月)(或元/kVA·月)(由表 8－8 查得)；

②年电度电价费 = 选矿厂年耗电量 × 电度电价(元/kW·h)(由表 8－8 查得)；

其中，选矿厂年耗电量 = 用电设备装机容量(或变压器容量) × 用电需要系数 × 年工作小时数；

用电需要系数，选矿厂为 0.6～0.7；年工作小时数，连续工作制为 6000～6500h，间断工作制为 5000～5500h；

③用电附加费率，即上交给地方财政用于地方能源建设的费用，取 8%；

④用电管理费 = 选矿厂年耗电量 × 单位用电管理费(元/kW·h)；

其中，单位用电管理费，规定为 0.002～0.003(元/kW·h)。

5. 生产工人工资和职工福利基金

生产工人工资，是指生产车间内直接从事生产的生产工人和辅助生产工人的基本工资和

辅助工资。即包括标准工资、各种工资性津贴、以及允许计入成本的奖金(如原料节约、技术改进和合理化建议等,但不包括其他各种奖金),超过标准工资的计件工资、浮动工资以及专业机修、维修人员的工资,设计时,按新的现行工资政策计算。

职工福利基金,主要用于职工集体福利事业(如福利补助、医药卫生补助、医务人员工资及医务经费、以及浴室、理发室、、托儿所和幼儿园等工作人员工资等各项支出的专项基金)。设计时,按选矿厂生产工人工资总额的 11% 近似计算。

6. 车间经费

(1)管理人员工资和职工福利基金。包括选矿厂(或车间)管理人员、工程技术人员、服务人员等的工资和福利基金,这些人员的平均工资可参照类似选矿厂同类工资水平确定。职工福利基金按管理人员工资总额的 11% 计算。

(2)折旧费。选矿厂固定资产的折旧采用直线折旧法计算,即以固定资产原值乘上基本折旧率得年折旧费(基本折旧率由主管财务部门统一规定)。

(3)大修理费和中、小修理费。选矿厂大修理费和中、小修理费是根据主管部门下达的大修理提成率和实际发生的维修费用确定。目前,有色金属选矿厂的大修理费和中、小修理费率,分别按固定资产原值的 2% ~3% 和 2.5% ~3.5% 提取。

(4)劳动保护费。选矿厂职工所发生的劳动保护费。

(5)其他车间经费。除去前 4 项费用外其它各项车间经费(如办公费、差旅费等),所占比重较小。一般按选矿车间成本的 1% ~2% 确定。

7. 尾矿输送费

参考类似选矿厂的成本扩大指标计算。

8. 企业管理费

它指独立选矿厂的主管部门,为管理和组织企业生产所必要的管理和经营费用(含销售费)。企业管理费用分行政管理费、一般管理费及非生产性费用 3 种。可参考类似选矿厂的实际资料选取,或按单位产品(精矿)成本的企业管理费率提取,见表 8-9。

表 8-9 处理单位原矿或单位精矿企业管理费率参考表

项目名称	大型企业	中型企业	小型企业
处理单位原矿或单位精矿企业管理费率(%)	1.7~2.5	2~4	3.5-5

企业管理费 = 选矿厂处理原矿量(或年产精矿量)的成本 × 企业管理费率。

第三节 选矿厂劳动定员

1. 劳动定员

选矿厂设计的劳动定员,应根据国家有关部门制定的劳动人事政策和规定,结合具体生产特点和条件进行编制。

(1)生产工人。指在选矿厂内直接从事生产的岗位操作工以及从事厂外供水、供热、运输、房屋维修以及生产工段中的勤杂人员,但不包括服务人员中的工人。该类人员按表 8-10 选矿厂劳动定员明细表格式定编。

表 8-10　选矿厂生产工人劳动定员明细表

序号	工种	实际定员额定标准			合计人数	在册系数(%)	在册人数	备注
		一班	二班	三班				
1	2	3	4	5	6	7	8	9

表中　①在册系数 $=\dfrac{\text{全年工作日总数}}{\text{每个职工全年实际出勤日数}}$

②在册人数 = 出勤人数 × 在册系数

在册系数是根据所采用的工作制度和职工的正常出勤率来确定，与采用的工作班次无关。选矿厂的工作制度有连续工作制(一年工作 365 天)和间断工作制(休息日及法定假日停产休息)两种。在工人出勤率为 92% ～94% 的情况下，连续工作制的在册人员系数取 1.26～1.28，间断工作制取 1.06～1.08，在册人数均应按各个工段不同工种的定员人数分别计算。

(2)工程技术人员。指在选矿厂职能机构和生产工段中担负技术工作的人员，包括已取得技术职称的主管生产的厂长，车间主任以及计划生产、工程管理、机动能源、安全技术、质量检查、运输、调度、科研、环境保护等单位工作的技术人员。约占表 8-10 第(6)栏中生产工人合计人数的 15%。

(3)管理人员。它指在选矿厂职能机构和生产工段中从事行政福利、经营财务、劳动工资及人事教育等管理工作，亦包括从事党群政治工作的人员。约占同表中生产工人合计人数的 10% ～12%。

(4)服务人员。它指从事选矿厂职工生活福利工作和间接服务于生产的人员。包括文教卫生、生活福利、消防、住宅管理与维修、打字、通讯、清扫、生活用水、门卫和行政电话和维修等部门的工作人员。约占同表中生产工人合计人数的 10% ～13%。

2. 劳动生产率

它指劳动者在一定时间内创造出一定数量的合格产品的能力。即产品数量与所消耗的劳动时间的比例，通常称效率。效率越高经济效益就越好，能全面反映企业的生产技术水平和管理水平，是一个综合性指标。

选矿厂劳动生产率有实物劳动生产率和货币劳动生产率。

(1)实物劳动生产率。

①选矿厂全员实物劳动生产率 $=\dfrac{\text{年原矿(精矿)总产量}}{\text{选矿厂全部在册人数}}$(t/人·a)；

②生产工人实物劳动生产率 $=\dfrac{\text{年原矿(精矿)总产量}}{\text{生产工人在册人数工作日数}}$(t/人·d)；

(2)货币劳动生产率。

①选矿厂全员货币劳动生产率 $=\dfrac{\text{年选矿厂产品总产值}}{\text{选矿厂全部在册人数}}$(元/人·a)；

②生产工人货币劳动生产率 $=\dfrac{\text{年选矿厂产品总产值}}{\text{生产工人在册人数工作日数}}$(元/人·d)；

劳动生产率是由选矿厂生产规模、工艺特点、工序繁简、装备水平、自动化程度、操作和管理水平等各种因素决定的。新建选矿厂应与类似选矿厂劳动生产率进行对比分析，说明其高低原因，指出提高劳动生产率的具体措施和有效途径。

第四节　经济评价和技术经济指标

一、经济评价

在设计中，必须把经济作为非常重要的因素予以高度重视。实践证明，加强设计中的经济评价，是提高工程建设速度和经济效益的重要措施。

1. 经济评价指标与评价方法

技术经济评价的目的是，对工程设计项目的可行性进行全面的比较。经济评价是通过评价指标来体现，不同评价指标有不同的评价方法。目前，常用的两类评价方法有动态法和静态法。

(1)动态法是以方案或建设项目在整个经济年限内的生产经营活动情况为基础，进行全面经济计算，用来观察它的投资效果的一种"动态"分析方法。它的主要特点是：

①考虑了资金的时间价值，资金投入后，随着时间的推移，在生产流通领域中能产生增值，如利息、利润和税金等；

②考虑了建设期和生产过程中的现金流量，从而能清晰地反映出方案或建设项目的逐年现金流量的积累和平衡状态；

③可以求出方案或建设项目的净现值和内部收益率指标，用以权衡其经济效果，为投资决策者提供重要决策依据。它的评价法参阅工业企业经济专著。

(2)静态法是未考虑时间因素的方法。常用于投资少、单一中、小型选矿厂，或者着眼于社会效益、风险性较小的企业。静态法采用简单投资收益率、投资回收期和贷款应付利息等评价指标，对建设项目进行经济评价和分析，以说明建设项目的经济可行性。

①简单投资收益率。它是反映项目获利能力的静态指标，它反映正常生产年份的净收益与初期投资之比。

②投资回收期，也称返本期。它是反映项目清偿能力的重要指标。指选矿厂投产后逐年累计的净收益来偿还全部基建总投资所需的时间，即：

$$T = P/\Sigma R_j$$

式中　T——投资回收期(a)；

P——基建投资额(不包括贷款利息)(元)；

R_j——选矿厂投产后第 j 年的净收益(包括产品税金、销售利润、流动资金利息和折旧费等)(元/a)；

j——1,2,3,……,n；n 为还清投资时的截止年份。

投资回收期的倒数就是投资效果系数，它是单位投资额所获净收益。用下式表示：

$$E = 1/T$$

式中　E——投资效果系数。T 越小，或者 E 越大，说明经济效果越好。

2. 资金来源及贷款偿还

(1)资金来源。建设项目总投资包括固定资产投资和流动资金。固定资产投资对新建或改、扩建工程称基本建设投资；对技改工程称技术改造措施投资。

①基本建设投资。资金来源可采纳下面的一种或几种形式：

〈1〉属于国家预算安排的基本建设项目投资，由建设银行贷款。有色金属项目贷款的年利

息，按较低的信贷利率 3.6% 计息并计复利。借款期包括建设期和还款期，一般不超过15 年。

〈2〉银行固定资产贷款，属于既列入国家信贷计划，又必须列入国家基本建设计划的一种贷款。按差别利率计算，归还利息时给于宽限期。现行规定小型项目贷款期限最长不得超过 10 年，贷款期限包括项目建设期和还款期。按调整后的银行固定资产贷款利率分为 3 档：1～3 年(含 3 年)年利率为 5.76%；3～5 年(含 5 年)年利率为 6.48%；5 年以上年利率为 7.2%。同时，对新建项目的贷款利息(不含贴息部分)，改为贷款项目建成投产后付息。小型项目的贷款期限最长不得超过 5 年，大、中型项目最长不得超过 10 年。

〈3〉自筹资金。是由地区、部门和企业、事业单位，用地方财政款项，各种专项基金以及其它资金(折旧基金、维修费等)筹集的资金。建设银行规定：建设项目中要有不少于总投资的 10% ～30% 的自有资金(包括技术改造措施贷款)，不足部分才能向银行贷款。且自筹资金部分应提前半年专户存入银行，监督拨付。

〈4〉利用外资。外资来源有出口信贷、银行信贷(商业信贷)、国外政府贷款以及国际金融机构贷款等形式。外资贷款利率和贷款期限，按贷款合同规定执行。

②流动资金。它是企业购买原材料、辅助材料、支付工资、存储产品、以及其它生产周转需要的资金。新建项目只计算企业正常生产所需的定额流动资金，不考虑非定额流动资金。定额流动资金既可按销售收入的 20% ～30% 计算，也可按年产品工厂总成本的 30% ～50% 估算。若有自筹资金，则自筹不低于 30% 的流动资金，银行方能给于贷款。

(2)贷款偿还。建设项目所借贷款，应按贷款协议或合同规定还本付息。根据有关规定，偿还贷款的资金来源有两种：

①自有资金。它包括基本折旧基金、基本建设收入、投资包干结余和其他自有资金。

②税后利润。即上缴所得税后的利润总额。新税制取消国有企业在所得税前偿还贷款的政策。新建企业用于还贷的利润为每一年的净收入，亦即应纳税所得额。

3. 税金

现行设计矿山企业要缴纳增值税、所得税、城市维护建设税和教育费附加。按国家规定，各税的税率如下：

(1)增值税。采、选企业产品(采矿为原矿，选矿为精矿)的税率为 17%；

(2)所得税。应纳税所得额的税率为 33%(企业年度的收入总额减去允许扣除项目的余额为纳税所得额)；

(3)城市维护建设税。城市维护建设税的计税依据是企业销售收入，税率为 0.5% ～1%；

(4)教育费附加。税率为 2%。

4. 利润

(1)产品销售利润。

$$R_x = X - S - C_x - J$$

式中 R_x——产品销售利润(元)；

X——产品销售收入(元)；

S——产品销售税金，$S = S_z + S_y + S_g + S_j$(元)；

S_z——增值税(元)；

S_y——所得税(元)；

S_g——城市维护建设税(元)；

S_j——教育费附加(元)；

C_x——产品销售成本，$C_x = C_1 + C_2$(元)；

C_1——产品工厂成本(元)；

C_2——销售费(元)；

J——技术转让费(元)。

(2)利润总额。

$$R_r = R_t + R_o + Y_t - Y_c - S_j$$

式中 R_r——利润总额(元)；

R_o——其它销售利润(元)；

Y_t——营业外收入(元)；

Y_c——营业外支出(元)；

S_j——资源税(元)(已计算在产品工厂成本内)。

产品销售收入 系指当年产品全部销售的货币收入。产品的销售价格：凡产品属国家计划的，应使用国家计划调拨价格；属自销产品的可用当地市场价格。

有色金属精矿产品销售量应扣除运输损耗。运输损耗率可根据运输方式，装卸次数和是否包装等条件决定。一般为：火车散装 0.5%～1.0%，汽车散装 1.0%～1.5%；汽车转火车散装 1.5%～2.0%，轮船转火车散装 2%～3%，袋装 0.1%～0.3%。

营业外支出 包括企业搬迁费、劳动保险费(职工退休金和医药费、退职金、职工丧葬抚恤费、离休干部经费等)、编外人员生活费、子弟学校经费、技工学校经费、"三废"治理支出、新产品试制失败损失、特殊原因补发工资和生活困难补助费等。目前可按在册职工 300～500 元/(人·a)估算。

营业外收入 系指企业出租固定资产、回收包装物押金、收回调入职工欠款以及其它收入，设计中可忽略不计。

(3)企业留利。新建项目在贷款偿还期内，企业留利水平按国家税制改革后的规定提取。新税制是以增值税、企业所得税为中心的流转税和所得税并重的复合税制结构模式。企业经营所获净收入即利润总额，既是计算企业所得税的应纳税所得额，也是企业的偿还能力。新建矿山企业的留利，一般按利润总额 15% 计算，或按国家"利改税"规定实施。

(4)贷款偿还能力。新建矿山企业贷款偿还能力为：

偿还能力(C) = 利润总额(R_r) − 企业留利

或 $C = R_r(1-0.15)$(元)；

式中 0.15——为利润总额中提取 15% 作企业留利。

二、技术经济指标

技术经济指标在选矿厂设计中常用表格形式，将项目的主要经济指标、技术指标综合后以数量或质量、实物量或货币的形式表达出来，如表 8－11 所示。它既完整概括了设计各有关专业的主要指标，又能简明扼要地描绘出项目的概貌和特点。

表 8－11　选矿厂设计的主要技术经济指标

序号	指　标　名　称	单　位	数量	备注
1	2	3	4	5
1	选矿厂设计规模： 年处理矿石量 年产精矿量 年输送尾矿量	 10^4t/a 10^4t/a 10^4t/a		
2	选矿工艺指标： 原矿品位 精矿品位 尾矿品位 选矿回收率 精矿产率 选矿比 选矿方法及工艺 磨矿细度：一段 二段	 % % % % % 		
3	选矿主要设备及型号： 粗　碎 中　碎 细　碎 磨矿（几个系列及台数） 选矿（几个系列及台数）	 台 台 台 台 台		
4	选矿辅助材料及消耗量： 钢　球 衬　板 浮选药剂 滤布、胶带 其　他	 t/a t/a t/a m^2/a t/a		
5	供电： 用电设备安装容量 用电设备工作容量 选矿厂用电量 总降压变压器容量 单位矿石加工耗电量 单位精矿耗电量	 kW kW 万度/a kVA kW·h/t kW·h/t		

续上表

序号	指　　标　　名　　称	单　　位	数量	备注
1	2	3	4	5
6	供　　水： 选矿厂年耗水量 其中：新水 回水 循环水 每吨矿石耗水量	 $10^4m^3/a$ $10^4m^3/a$ $10^4m^3/a$ $10^4m^3/a$ m^3/t		
7	总图运输(总体布置)： 选矿厂占地面积 其中：工业占地面积 民用占地面积 选矿厂外部运输量 其中：输入量 输出量 选矿厂外部运输方式	 m^2 m^2 m^2 $10^4t/a$ $10^4t/a$		
8	土建： 选矿厂建筑总面积 其中：工业建筑面积 民用建筑面积 构筑物:矿仓 选矿厂基建工程三材消耗量 钢材 木材 水泥	 m^2 m^2 m^3 t m^3 t		
9	机修： 选矿厂机械设备总重量 备品、备件年消耗量	 t t/a		
10	尾矿： 尾矿库总库容量 尾矿库使用年限 尾矿运输距离 尾矿坝土石方量	 10^4m^3 a km 10^4m^3		

续上表

序号	指　标　名　称	单　位	数量	备注
1	2	3	4	5
	劳动定员及工作制度：选矿厂在册职工总人数	人		
	其中：工人	人		
	管理人员	人		
	服务人员	人		
	选矿厂年工作日	d		
	实物劳动生产率			
11	全员：矿石	t/a·人		
	精矿	t/a·人		
	生产工人			
	矿石	t/a·人		
	精矿	t/a·人		
	货币劳动生产率			
	全员	万元/a·人		
	生产工人	万元/a·人		
	成本指标：			
12	选矿厂原矿加工费	元/a		
	选矿厂精矿成本	元/a		
	投资指标：			
	固定资产总投资	万元		
13	基建期贷款利息	万元		
	流动资金	万元		
	单位矿石固定资产投资	元/t·a		
	投资效果指标：			
	销售收入	万元/a		
14	利润总额	万元/a		
	投资利润率	%		
	投资回收期	a		

思考题

(1) 设计人员加强经济观念的意义何在?

(2) 选矿厂的主要综合性技术经济指标有哪些?

(3) 选矿厂技术经济与工程概算的主要基础资料有哪些?

(4) 基本建设中“三算”作何解释?

(5) 初步设计总概算项目划分的原则由哪几项工程费用组成?

(6) 总投资的资金由哪几部分构成，其用途何在?

(7) 何谓选矿车间成本、产品工厂成本，各由哪几部分费用组成?

(8) 什么叫折旧、折旧率，折旧基金包括哪些费用?

(9) 选矿厂建设资金来源和贷款偿还资金来源有哪几种?

(10) 投资回收期的计算及符号意义?

附录一

常用 AutoCAD 的 DXF 接口函数 HTHSK.C

细实线绘制：

```
void line(char s[ ], float XS, float YS, float XE, float YE)
{ fprintf(fp,"%d\n",0);      fprintf(fp,"r%s\n","SECTION");
  fprintf(fp,"r%d\n",2);      fprintf(fp,"r%s\n","ENTITIES");
  fprintf(fp,"r%d\n",0);      fprintf(fp,"r%s\n","LINE");
  fprintf(fp,"r%d\n",8);      fprintf(fp,"r%s\n",s);
  fprintf(fp,"r%d\n",10);      fprintf(fp,"r%f\n",XS);
  fprintf(fp,"r%d\n",20);      fprintf(fp,"r%f\n",YS);
  fprintf(fp,"r%d\n",11);      fprintf(fp,"r%f\n",XE);
  fprintf(fp,"r%d\n",21);      fprintf(fp,"r%f\n",YE);
  fprintf(fp,"r%d\n",0);      fprintf(fp,"r%s\r\n","ENDSEC");
}
```

粗实线绘制：

```
void pline(char s[ ], float x1, float y1, float w, float x2, folat y2)
{ fprintf(fp,"%d\n",0);      fprintf(fp,"\r%s\n","SECTION");
  fprintf(fp,"\r%d\n",2);      fprintf(fp,"\r%s\n","ENTITIES");
  fprintf(fp,"\r%d\n",0);      fprintf(fp,"\r%s\n","POLYLINE");
  fprintf(fp,"\r%d\n",8);      fprintf(fp,"\r%s\n",s);
  fprintf(fp,"\r%d\n",66);      fprintf(fp,"\r%d\n",1);
  fprintf(fp,"\r%d\n",40);      fprintf(fp,"\r%f\n",w);
  fprintf(fp,"\r%d\n",41);      fprintf(fp,"\r%f\n",w);
  fprintf(fp,"\r%d\n",0);      fprintf(fp,"\r%s\n","VERTEX");
  fprintf(fp,"\r%d\n",8);      fprintf(fp,"\r%s\n",s);
  fprintf(fp,"\r%d\n",10);      fprintf(fp,"\r%f\n",x1);
  fprintf(fp,"\r%d\n",20);      fprintf(fp,"\r%f\n",y1);
  fprintf(fp,"\r%d\n",0);      fprintf(fp,"\r%s\n","VERTEX");
  fprintf(fp,"\r%d\n",8);      fprintf(fp,"\r%s\n",s);
  fprintf(fp,"\r%d\n",10);      fprintf(fp,"\r%f\n",x2);
  fprintf(fp,"\r%d\n",20);      fprintf(fp,"\r%f\n",y2);
  fprintf(fp,"\r%d\n",0);      fprintf(fp,"\r%s\n","SEQEND");
  fprintf(fp,"\r%d\n",0);      fprintf(fp,"\r%s\r\n","ENDSEC");
}
```

圆的绘制：

```
void circle(char s[ ], float x, float y, float r)
{ fprintf(fp,"%d\n",0);      fprintf(fp,"\r%s\n","SECTION");
  fprintf(fp,"\r%d\n",2);      fprintf(fp,"\r%s\n","ENTITIES");
  fprintf(fp,"\r%d\n",0);      fprintf(fp,"\r%s\n","CIRCLE");
  fprintf(fp,"\r%d\n",8);      fprintf(fp,"\r%s\n",s);
  fprintf(fp,"\r%d\n",10);      fprintf(fp,"\r%f\n",x);
  fprintf(fp,"\r%d\n",20);      fprintf(fp,"\r%f\n",y);
  fprintf(fp,"\r%d\n",40);      fprintf(fp,"\r%d\n",r);
  fprintf(fp,"\r%f\n",0);     fprintf(fp,"\r%s\r\n","ENDSEC");
}
```

弧的绘制：

```
void arc(char s[ ], float x, float y, float r, float as, float ae)
{ fprintf(fp,"%d\n",0);      fprintf(fp,"\r%s\n","SECTION");
  fprintf(fp,"\r%d\n",2);      fprintf(fp,"\r%s\n","ENTITIES");
  fprintf(fp,"\r%d\n",0);      fprintf(fp,"\r%s\n","ARC");
  fprintf(fp,"\r%d\n",8);      fprintf(fp,"\r%s\n",s);
  fprintf(fp,"\r%d\n",10);      fprintf(fp,"\r%f\n",x);
  fprintf(fp,"\r%d\n",20);      fprintf(fp,"\r%f\n",y);
  fprintf(fp,"\r%d\n",40);      fprintf(fp,"\r%f\n",r);
  fprintf(fp,"\r%d\n",50);      fprintf(fp,"\r%f\n",as);
  fprintf(fp,"\r%d\n",51);      fprintf(fp,"\r%f\n",ae);
  fprintf(fp,"\r%d\n",0);     fprintf(fp,"\r%s\r\n","ENDSEC");
}
```

文字的书写：

```
void text(char s[ ], float x, float y, float h, char str[ ])
{ fprintf(fp,"%d\n",0);      fprintf(fp,"\r%s\n","SECTION");
  fprintf(fp,"\r%d\n",2);      fprintf(fp,"\r%s\n","ENTITIES");
  fprintf(fp,"\r%d\n",0);      fprintf(fp,"\r%s\n","TEXT");
  fprintf(fp,"\r%d\n",8);      fprintf(fp,"\r%s\n",s);
  fprintf(fp,"\r%d\n",10);      fprintf(fp,"\r%f\n",x);
  fprintf(fp,"\r%d\n",20);      fprintf(fp,"\r%f\n",y);
  fprintf(fp,"\r%d\n",40);      fprintf(fp,"\r%f\n",h);
  fprintf(fp,"\r%d\n",1);     fprintf(fp,"\r%s\n",str);
  fprintf(fp,"\r%d\n",0);     fprintf(fp,"\r%s\r\n","ENDSEC");
}
```

附录二　常用主要工艺设备技术性能表

2.1　破碎设备

附表 2－1　颚式破碎机

类　型	型号及规格	进料口（长×宽）(mm)	最大给矿粒度(mm)	生产能力 (t/h)	排矿口调节范围(mm)	主轴转速 (r/min)	传动电动机			最重件重量(t)	外形尺寸（长×宽×高）(mm)	重量① (t)
							型　号	功率(kW)	电压(V)			
复　摆	PE400×600	600×400	320	25～64	40～100	260		30	380	7.55	2575×3723×2375	16.08
	PE600×900	900×600	500	56～192	75～200	250		75	380	20.86	5000×4471×3280	44.13
	PE900×1200	1200×900	750	180m³/h	130±25	225		110	380	20.86	5000×4471×3280	44.13
复摆(细碎型)	PEX250×750	750×250	210	13～35	15～50		Y225M－6	30	380		1400×1751×1565	6.01
	PEX250×1200	1200×250	210	40～85	20～50	300		60	380		2380×1920×1800	13.22
简　摆	PJ900×1200	1200×900	750	180～270	100～180	180		110	380	27	4754×4768×3221	55.363
	PJ1200×1500	1500×1200	1000	310m³/h	150±40	160	YR500－12	160	600	32	6273×4580×3715	110.380
	PJ1500×2100	2100×1500	1300	550m³/h	180±45	120	YR500－12	250	6000	45	7390×5790×4460	187.66

注：P——破碎机；E——颚式；J——简单摆动；X——细碎型。　①不包括电动机。

附表 2－2　旋回破碎机

类　型	型号及规格	进料口宽度 (mm)	最大给矿粒度 (mm)	生产能力 (t/h)	动锥转数 (r/min)	排矿口调节范围 (mm)	动锥直径 (mm)	传动电动机			最重件重　量 (t)	外形尺寸（长×宽×高）(mm)	重量① (t)
								型号	功率 (kW)	电压 (V)			
液压重型	PXZ－700/100	700	580	310～400	140	100～130	1400		155	380	21	3400×3400	4315
	PXZ－900/90	900	750	380～510		90			145	3000			
	PXZ－900/130	900	750	625～770	125	130～160	1650		210	380	34	4060×4060×5130	141
	PXZ900/170	900	750	815～910	125	170～190	1650		210	380	34	4060～4060～5130	141
	PXZ1200/160	1200	1000	1250～1480	110	160～190	2000		210	380	34	4060×4060×5130	141
	PXZ1200/210	1200	1000	1640～1800	110	210～230	2000		310	6000	70	4670×4670×6255	228.2
	PXZ－1400/170	1400	1200	1750～2060	105	170～200	2200		310	6000	70	4670×4670×6255	228.2
									430	3000	93	5360×5360×8710	314.5
									400	6000			
液压轻型	PXQ－700/100	700	580	200～240	160	100～120	1200		130	380	9.5	2740×2740×3685	45
	PXQ－900/230	900	750	350～400	140	130～150	1400		145	3000	20	4935×3510×4935	87
	PXQ－1200/150	1200	1000	600～680	125	150～170	1650		155	380			
									210	380	38	4530×4530×6000	145

注：P——破碎机；型号及规格项中的 X——旋回、Z——重型、Q——轻型。　①包括电动机。

附表 2－3　圆锥破碎机

类型		型号及规格	进料口宽度 (mm)	最大给矿粒度 (mm)	排矿口调节范围 (mm)	生产能力 (t/h)	传动电动机			最重件重量 (t)	外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	重量 (包括电动机) (t)
							型号	功率 (kW)	电压 (V)			
单缸液压	标准	PYY1200/190	190	160	20～45	90～200	JS125－8	95	380	5.08	3950～1900～3140	19.33
		PYY1650/285	285	240	25～50	210～425	JS137－10	155	380	9.25	4765×2600×4090	37.82
		PYY2200/350	350	300	30～60	450～900	JSQ1510－12	280	6000	21.85	6500×3680×5400	74.5
	中型	PYY1200/150	150	130	9～25	45～120	JS137－10	155	380	9.25	4765×2600×4040	
		PYY1650/230	230	195	13～30	120～280	JS137－10	155	380	9.25	4765×2600×4040	35.7
		PYY2200/290	290	230	15～35	250～580	JSQ1510－12	280	6000	21.85	6500×3680×5300	78.94
	短头	PYY1200/80	80	70	5～13	40～100	JS125－8	95	380	5.08	3950×1900×3060	17.6
		PYY1650/100	100	85	7～14	100～200	JS137－10	155	380	9.25	4765×2600×3990	35.6
		PYY2200/130	130	110	8～15	200～380	JSQ1510－12	280	6000	21.85	6500×3680×5300	73.4
弹簧	标准	PYB－1200	170	145	20～50	110～168	JS126－8	110	380	5	5100×5300×2300	25
		PYB－1750	250	215	25～60	280～430	JS128－8	155	380	10.83	6020×5200×5900	50.3
		PYB－2200	350	300	30～60	590～1000	JSQ 1510－12	280	6000	18.512	12800×4700×4100	84
							JSQ 158－12	260	3000			
	中型	PYZ－1200	115	100	8～25	42～135	JS126－8	110	380	5	5100×5300×2200	25
		PYZ－1750	215	185	10～30	115～320	JS128－8	155	380	10.83	6020×5200×5900	50.5
		PYZ－2200	275	230	10～30	200～580	JSQ 1510－12	280	6000	18.512	128×4700×4100	85
							JSQ 158－12	260	3000			
	短头	PYD－1200	60	50	3～15	18～105	JS126－8	110	380	5	5100×5300×2300	25.7
		PYD－1750	100	85	5～15	75～230	JS126－8	155	380	10.83	6020×5200×5900	50.5
		PYD－2200	130	100	5～15	120～340	JSQ 1510－12	280	6000	18.512	12800×4700×4100	85
							JSQ 158－12	260	3000			

注：在型号及规格项中，P——破碎机；第一个 Y——圆锥；第二个 Y——液压；B——标准；Z——中型；D——短头。

2.2 筛分设备

附表 2-4 筛 分 机

类型	型号及规格	几何面积 (m^2)	筛网层数 (层)	最大给料粒度 (mm)	生产能力 (t/h)	筛孔尺寸 (mm)	双振幅 (mm)	振 次 (次/min)	筛面倾角 (°)	电动机 型 号	电动机 功率 (kW)	外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	重 量 (t)
自定中心振动筛	SZZ 1250×2500	3.13	1	100	150	6～40	1～3.5	850	15～20	Y132S－4	5.5	2762×1714×680	1.021
	$SZZ_2$1250×2500	3.13	2	150	150	6～50	2～6	1200	15	$Y132M_2$－6	5.5	2635×1997×1450	1.26
	$SZZ_2$1250×4000	5	2	150	120	3～60	2～6	900	15	Y132M－4	7.5	4100×2076×2050	2.5
	SZZ 1500×3000	4.5	1	100	245	6～16	8	800	20～25		7.5	3320×1638×787	2.234
	$SZZ_2$1500×3000	4.5	2	100	245	6～40	2.5～5	840	15～20	Y132M－4	7.5	3433×2089×1907	2.511
	SZZ 1500×4000	6	1	75	250	1～13	8	810	20～25	Y160L－4	15	4350×1975×1000	2.582
	$SZZ_2$1500×4000	6	2	100	250	6～50	5～10	800	20		15	4080×2800×2768	3.412
	SZZ 1800×3600	6.48	1	150	300	6～50	8	750	25		17	3750×3060×2541	4.626
	$SZZ_2$1800×3600	6.48	2	150	300	6～70	7	820	20		15	3750×3060×3570	3.6
惯性振动筛	SZ 1250×2500	3.1	1	100	70	6～40	4	1450	15～25	YB132S－4	5.5	3325×1970×950	1.092
	$SZ_2$1250×2500	3.1	2	100	70～200	6～40	4.8	1300	15～25	YB132S－4	5.5	3325×1970×1115	1.387
	SZ 1500×3000	4.5	1	100	70～150	6～40	4.8	1300	15～25	YB132S－4	5.5	3865×2220×950	1.388
	$SZ_2$1500×3000	4.5	2	100	100～300	6～40	6	1000	15～25	YB132S－4	5.5	3865×2220×1115	1.797

续上表

类型	型号及规格	几何面积 (m^2)	筛网层数 (层)	最大给料粒度 (mm)	生产能力 (t/h)	筛孔尺寸 (mm)	双振幅 (mm)	振次 (次/min)	筛面倾角 (°)	电动机 型号	电动机 功率 (kW)	外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	重量 (t)
直线振动筛	ZKX936 900×3600	3.4	1	100	20～35	0.5～13 3～80	8.5～11	890		Y132M－4	7.5	3933×1637×1791	4.375
	2ZKX936 900×3600	3	2	300	20～35	0.5～13	8.5～11	890		Y132M－4	7.5	3933×1637×2455	5.494
	ZKX1236 1219×3658	4.4	1	100	30～50	0.5～13 3～80	8.5～11	890		Y132M－4	7.5	3933×1937×1930	4.510
	2ZKX1236 1219×3658	4	2	300	30～50	0.5～13	8.5～11	890		Y132M－4	7.5	3933×1937×2510	5.283
	ZKX1248 1226×4880	4.5	1	300	33～53	0.5～13 3～80	8.5～11	890		Y132M－4	7.5	5150×1937×2057	5.700
	2ZKX1248 1226×4880	4.5	2	300	33～53	0.5～13	8.5～11	890		Y160M－4	11	5150×1937×2638	7.285
	ZKX1536 1500×3600	5	1	300	35～55	0.5～13 3～80	8.5～11	890		Y132M－4	7.5	3933×2242×1917	5.091
	2ZKX1536 1500×3600	5	2	300	35～55	0.5～13 3～80	8.5～11	890		Y132M－4 Y160M－4	7.5	3933×2242×2609	7.114
	ZKX1548 1500×4800	6	1	300	42～70	0.5～13 3～80	8.5～14.5	890		Y160M－4	11	5153×2242×2089	7.443
	2ZKX1548 1500×4800	6	2	300	42～70	0.5～13	8.5～14.5	890		Y160M－4	11	5150×2242×2650	8.789
	ZKX1836 1800×3600	7	1	300	45～85	0.5～13 3～80	8.5～14.5	890		Y132M－4	7.5	3933×2547×1942	5.428
	2ZKX1836 1800×3600	7	2	300 300	45～85	0.5～13 3～80	8.5～14.5	890		Y160M－4	11	3933×2547×2634	7.780
重型振动筛	H－1735, 1750×3500	6.1	1	300	300～600	25～100 上 25～100	8～10	750	20～25	Y160L－4	15	3390×3035×2377	3.994
	2H－1735, 1750×3500	6.1	2	300	400～700	下 20～50	7～8	750	22～25	Y160L－4	15	3650×3067×3019	5.28
	2H－2460, 2400×6000	14.4	2	300		22～50	8～10	735	15～25	Y280S－4	37	6000×4700×3800	15.8
	YH－2836, 1800×3600	6.48	1	300	900	150	6～8	970	20		10	3806.5×3520×2751.7	4.935

续上表

类型	型号及规格	几何面积 (m^2)	筛网层数 (层)	最大给料粒度 (mm)	生产能力 (t/h)	筛孔尺寸 (mm)	双振幅 (mm)	振次 (次/min)	筛面倾角 (°)	电动机		外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	重量 (t)
										型号	功率 (kW)		
圆振动筛	YA1236	4	1	200	80～240	6～50	9.5	845	20	Y160M－4	11	3757×2386×2419	4.890
	2YA1236	4	2	200	80～240	6～50	9.5	845		Y160M－4	11	3757×2386×2419	5.184
	YA1530	4	1	200	80～240	6～50	9.5	845		Y160M－4	11	3184×2691×2419	4.480
	YA1536	5	1	200	100～350	6～50	9.5	845		Y160M－4	11	3757×2691×2419	5.092
	2YA1536	5.6	2	400	100～350	6～50	9.5	845		Y160L－4	15	3757×2670×2419	5.588
	YAH1536	5	1	400	160～650	30～150	9.5	755		Y160M－4	11	3757×2714×2437	5.461
	2YAH1536	5.6	2	400	160～650	30～200(上) 6～50(下)	11	755		Y160L－4	15	3757×2670×2437	5.919
	YA1542	5.5	1	200	110～385	6～50	9.5	845		Y160M－4	11	4331×2691×2655	5.308
	2YA1542	5.5	2	200	110～385	30～150	9.5	845		Y160L－4	15	4331×2691×2655	6.086
	YA1548	6	1	200	120～420	6～50	9.5	845		Y160M－4	15	4904×2713×2854	5.918
	2YA1548	6	2	200	120～420	6～50	9.5	845		Y160L－4	15	4904×2713×2854	6.321
	YAH1548	6	1	400	200～780	30～150	11	755		Y160L－4	15	4904×2736×2922	6.650
	2YAH1548	6	2	400	200～780	30～150	11	755		Y160L－4	15	4904×2736×2922	7.317
	YA1836	7	1	200	140～220	3～50	9.5	845		Y160M－4	11	3757×2995×2419	5.205
	2YA1836	7	2	200	140～220	3～50	9.5	845		Y160L－4	15	3757×3018×2419	5.713
	YAH1836	7	1	400	220～910	30～150	11	755		Y160M－4	11	3757×3019×2437	5.700
	2YAH1836	7	2	400	220～900	30～200(上) 5～50(下)	11	755		Y160L－4	15	3757×3020×2437	6.198

2.3 磨矿设备

附表 2-5 磨矿机技术性能

类型	型号及规格	有效容积 (m^3)	筒体转数 (r/min)	最大装球(棒)量(t)	传动电动机			最重部件重量(t)	重 量 (t)	外形尺寸 (长×宽×高)(mm)
					型 号	功率(kW)	电压(V)			
湿式格子型球磨机	MQG1500×3000	4.4	18.5	10		95	380	6.918	18.00	7800×3200×2700
	MQG1500×3000(低速)	4.4	18.5	10		95	380	6.918	18.00	7800×3300×2700
	MQG2100×2200	6.5	23.8	15		155	380	10.23	43.15	800×4700×4400
	MQG2100×3000	9	23.8	20		210	380	13.77	45.47	8800×4700×4400
	MQG2700×2100	10.1	20.6	23		260	3000	14.9	61.0	9480×5687×4675
	MQG2700×2700	14	20.6	29		310	3000	18.70	64.0	
	MQG2700×3600	18.5	20.6	39	TDMK400-32	400	6000	24.7	69.0	9765×5826.61×4674.5
	MQG3200×3000	21.8	18.5	46	TDMK500-36	500	6000	27.0	108.0	
	MQG3200×3600	26.2	18.5	54	TDMK630-36	630	6000	32.0	139.5	11600×7200×5700
	MQG3200×4500	31	18.5	65	TDMK800-36	800	6000	52.44	136	13000×7300×5700
	MQG3600×3900	36	17.5	75	TDMK100-36/240	1000	6000	42.7	145.0	15200×7700×6300
	MQG3600×4500	41	17.3	87	TDMK1250-40/3200	1250	6000	49.3	152.0	15200×7700×6300
	MQG3600×6000	57	17.8	120	TDMK1600-40	1600	6000	63.5	189.0	17000×8800×6800
湿式溢流型球磨机	MQY1500×3000	5	26	8		95	380		43.0	8800×4700×4400
	MQY2100×2000	6	23.8	18		210	380		43.0	8800×4700×4400
	MQY2100×3000	9	23.8	18		210	380	13.77	43.78	8800×4740×4420
	MQY2100×4500	13.5	23.8	18		210	380	20.96	55.53	10300×4830×3790
	MQY2700×2100	10.4	21.8	24		280	6000	18.59	63.85	9400×5600×4700
	MQY2700×3600	18.5	20.6	35	TDMK400-32	400	6000	24.7	69.0	9765×5827×4675
	MQY2700×4000	20.6	20.6		TDMK400-32	400	6000	28.9	71.1	
	MQY3200×4500	32.8	18.5	61	TDMK630-36	630	6000	39.5	115	12700×7267×5652
	MQY3200×5400	39.3	18.5	77	TDMK800-36	800	6000	47.3	119.0	
	MQY3600×4500	41	17.5	76	TM1000-36/2600	1000	6000	49.3	153	15010×7230×6326
	MQY3600×6000	55	17.5	102	TM1250-40/3250	1250	6000	67.5	154	17440×7755×6326
湿式棒磨机	ø1500×3000	5	26	8		95	380	6.92	18	7635×3341×2766
	ø2100×3000	9	20.9	25		210	380	13.77	42 18	8600×4700×4400
	ø2100×3600	18.5	18	46	TDMK400-32	400	6000	24.7	68.00	9735×5757×4675
	ø2700×4000	20.6	18	46	TDMK400-32	400	6000	28.9	73.3	
	ø3200×4500	32.8	16	82	TDMK630-36	630	6000	39.5	108	12700×7232×5652
	ø3600×4500	43	14.7	110	TDMK1250-40	1250	6000	46.84	159.9	15200×8800×6800
	ø3600×5400	50	15.1	124	TM1000-36/2600	1000	6000	60.7	150	15910×8040×6726

续上表

类型	型号及规格	有效容积 (m^3)	筒体转数 (r/min)	最大装球(棒)量(t)	传动电动机			最重部件重量(t)	重　量 (t)	外形尺寸 (长×宽×高)(mm)
					型　号	功率(kW)	电压(V)			
湿式自磨机	ø4000×1400	16	17			245	380	43.43	63.94	9862×5222×4200
	ø5500×1800	41	15		TDMK800－36	800	6000	110.88	159.4	11600×7200×4630
	ø7500×2500	102	12		TM2500－16/2150	2500	6000	258	456.82	18130×13400×11090
	ø7500×2800	115	12		TM2500－16/2150	2500	6000	265	463.82	18432×13404×11090

注：M——磨矿机；Q——球磨机；G——格子型；Y——溢流型。

2.4　分级设备

附表 2－6　螺旋分级机

类型	型号及规格	螺旋转速 (r/min)	生产能力(t/d)		螺旋规格(mm)			水槽坡度 (°)	电动机功率(kW)	溢流粒度 (mm)	外形尺寸 (长×宽×高)(mm)	螺旋重 (t)	重　量 (t)
			按返砂	按溢流	直径	长度	导程						
高堰式单螺旋	FG－12ø1200	5～7	1170～1870	155	ø1200	6150	600	12	5.5	0.15	8180×1570×3130(右) 8230×1592×3100(左)	3.544	9.537 8.565
	FG－15ø1500	2.5～6	1830～2740	235	ø1500	7940	750	14～18.5	7.5	0.15	10410×1920×4070	4.613	11.167
	FG－20ø2000	3.6～5.5	3290～5940	400	ø2000	8105	1250	14～18.5	11 15	0.15	10788×2524×4486	8.975	20.464
	FG－24ø2400	3.64	6800	580	ø2400	8940	1500	14～18.5	15	0.15	11562×2910×4966	11.473	25.647
高堰式双螺旋	2FG－12ø1200	6.0	2340～3740	310	ø1200			5.5×2			8290×2780×3080		15.841
	2FG－15ø1500	2.5～6	2280～5480	470	ø1500	7940	750	14～18.5	7.5×2	0.15	10410×3392×4070	4.613	22.110
	2FG－20ø2000	3.6～5.5	7780～11880	800	ø2000	8105	1250	14～18.5	22	0.15	10995×4595×4490	8.975	35.341
	2FG－24ø2400	3.67	13600	1160	ø2400	8900	1500	14～18.5	30	0.074	12710×5430×5690	11.473	45.874
	2FG－30ø3000	3.2	23300	1785	ø3000	12225	1800	18～18.5	40	0.15	16020×6640×6350	19.971	73.027
沉没式单螺旋	FC－12ø1200	5～7	1170～1870	120	ø1200	8100	600	15	7.5	0.074	10371×1534×3912	4.600	11.022
	FC－15ø1500	2.5～6	1830～2740	185	ø1500	10190	750	14～18.5	7.5	0.074	12670×1810×4888	4.670	15.340
	FC－20ø2000	3.6～5.5	3210～5940	320	ø2000	12605	1250	14～18.5	13 10	0.15	15398×2524×5343	13.060	29.056
	FC－24ø2400	3.64	6800	490	ø2400	13940	1500	14～18.5	17	0.074	16700×2926×7190	17.940	38.410
沉没式双螺旋	2FC－12ø1200	6.0	2340～3740	240	ø1200			5.5×2			10190×3154×3745		17.600
	2FC－15ø1500	2.5～6	2280～5480	370	ø1500	10190	750	14～18.5	7.5	0.074	12670×3368×4888		27.450
	2FC－20ø2000	3.6～5.5	7780～11880	640	ø2000	12605	1250	14～18.5	22.30	0.074	15760×4595×5635		50.000
	2FC－24ø2400	3.67	13700	910	ø2400	10940	1500	14～18.5	30	0.074	14701×5430×6885		67.860
	2FC－30ø3000	3.2	23300	1410	ø3000	14025	1800	18～18.5	40	0.074	17091×6640×8680		84.870

注：F——分级机；G——高堰式；C——沉没式；2(型号及规格栏最前边的数)——双螺旋。

2.5 重选设备

附表 2-7 隔膜跳汰机

类型	型号	跳汰室截面形状	跳汰室					冲程系数	隔膜		最大给矿粒度(mm)	生产能力(t/h)	耗水量(t/h)	电动机		总量(kg)
			长×宽(mm)	单室面积(m^2)	列数	总室数(个)	总面积(m^2)		冲程(mm)	冲次(次/min)				型号	功率(kW)	
旁动式	LTP-34/2	矩形	450×300	0.135	单	2	0.27	0.58	0~25	320~420	12	2~6	4~10		1.1	750
下动式	LTA-1010/2	矩形	1000×1000	1.0	单	2	2.0	0.5	0~25	250~350	5	5~15	10~20		2.2	1520
	DYTA-7750	圆形	ø7750	1.0		6;9;12	19.8;29.7;39.6	0.37	20;25;30	0~90	25	100~150			7.5	10000
侧动式	2LTC-79/4	矩形	900~700	0.63	双	4	2.52	0.48	0~50	160~250	12	5~15	20~90		2	2450
	2LTC-912/4	矩形	1200×900	1.08	双	4	4.32	0.49	0~50	160~250	12	7~15	60~120		3	3500
	2LTC-6109/8T	梯形	900×(600~1000)	0.58~0.86	双	8	5.76	0.52~0.35	0~50	120~300	5	10~20	80~120		2.2×2	4650
	AM-30 型(大粒)	矩形	2647×2380	0.6435	双	4	2.574	0.47	0~50	130;160	30	10~50			3	2200

附表 2-8 摇 床

型号		床面面积(m^2)	最大给矿粒度(mm)	给矿体积(m^3/d)	给矿量(t/d·台)	给矿浓度(%)	床面				床条断面形状	传动电动机		床面尺寸(长×宽)(mm)	外形尺寸(长×宽×高)(mm)	重量(kg)
							冲程(mm)	冲次(次/min)	清洗水量(t/d)	横向坡度(°)		型号	功率(kW)			
云锡摇床	粗砂	7.4	2	100~150	30~60	25~30	16~22	270~290	80~150	2.5~4.5	矩形	Y100L-6	1.5	4395×1825	5446×1825×1242	1045
	细砂	7.4	0.5	40~80	10~20	20~25	11~16	290~320	30~60	1.5~3.5	锯齿形	Y100L-6	1.5	4395×1825	5446×1825×1227	1030
	矿泥(刻槽)	7.4	0.074	20~40	3~7	15~20	8~11	320~360	15~30	1~2	刻槽	Y100L-6	1.5	4395×1825	5446×1825×1203	1065
6S一摇床	矿砂	7.6	3		粗选 15~30 精选 15~22	20~30	18~24	250~300	17~24	2~3.66	矩形			4520×1832		1326
	矿泥	7.6	0.074		粗选 7~15 精选 5~10	15~25	8~10	300~340	10~17	1~2	三角形			4520×1832		1326
弹簧摇床	4500×1800(四层)	每层7					12~36	315					0.6			
悬挂摇床	9YC 三层	17.8	0.5		0.6~3.5t/h		8~22	270~340		0~10			1.5	3500×(1600~1800)	5725×2020×2950	2700
	8YC 四层	23.8	0.5		0.9~4.5t/h		8~22	270~340		0~10			1.5	3500×(1800~2000)	5685×2020×3150	3200

①当矿石粒度为 0.037~0.019mm 时，给矿值为 9t/d·台，当矿石粒度为 0.074~0.037mm 时，给矿量为 15t/d·台。

2.6 浮选设备

附表 2-9 浮选机的技术性能

类型	型号	单槽有效容积(m^3)	叶轮 直径(mm)	叶轮 转速(r/min)	泡沫刮板转速(r/min)	充(吸)气 充(吸)气量($m^3/m^2 \cdot min$)	充(吸)气 计示压力(kPa)	处理矿浆量(m^3/min)	电动机 传动 型号	电动机 传动 功率(kW)	电动机 泡沫刮板 型号	电动机 泡沫刮板 功率(kW)	电动机 电动闸门 型号	电动机 电动闸门 功率(kW)	外形尺寸(mm) 长	外形尺寸(mm) 宽	外形尺寸(mm) 高	质量(kg)	制造厂
机械搅拌式浮选机	XJ-1	0.13	200	593				0.05~0.16		2.2		0.6			见附表	1120	1140		
	XJ-2	0.23	250	504				0.12~0.28		3.0		0.6				1260	1238		
	XJ-3	0.36	300	483				0.18~0.4		2.2		0.6				1350	1327		沈矿、焦群、诸矿、个冶、辽重
	XJ-6	0.62	350	400				0.3~0.9		3.0		1.1				1740	1831		
	XJ-11	1.10	500	330				0.6~1.6	$Y132M_2-6$	5.5	从13槽起用2台	1.1				1970	2040		
	XJ-28	2.8	600	280		0.6~0.8		1.5~3.5	Y160L-6	11	从12槽起用2台	1.1			2~15	2450	2295	见附表	沈矿、诸矿、辽重
	XJ-58	5.8	750	240				3~7		22 30	从10槽起用2台	1.5		0.5		3250	2485		沈矿、辽重
	XJQ-20	2	330	350;380	16	0.1~1		1~2.5		7.5		1.1		0.6					
	XJQ-40	4	400	290;315	16	0.1~1		2~5	Y160L-6	11	Y90L-6	1.1	Y801-4	0.55	3224(双槽)	2628	2803		
	XJQ-80	8	570	205;220	16	0.1~1		4~10		22		1.1		0.6				2-15	沈矿、辽重
	XJQ-160	16	700	170;180	16	0.1~1		8~20		30		1.1		0.6	2820(单槽)	4040	3670		
	JJF 4	4	410	305	16	0.1~1		2~6	Y180L6	15	Y100L-6	1.5			3228	2443	2626		
	JJF 8	8	540	233	16	0.1~1		4~12	$Y200L_2-6$	32	Y100L-6	1.5			4440	3266	2920		沙机
	JJF 16	16	700	180	16	0.1~1		5~16	Y280M-8	45	Y100L-6	1.5			5748	4283	3336		
	JJF 20	20	700	180	16	0.1~1		5~20	Y280M-8	45	Y100L-6	1.5							
充气机械搅拌式浮选机	XJC-40	4	700	170	18	2.3~3.5	8~12	3~6		10		1.1						5890(双槽)	沈矿
	XJC-80	8	900	170	18	4~8①	10~15	4~8		22		1.1		0.6				7712(双槽)	
	BS-X4	4	700	190	18	3.0~3.5①	8~12	0.8~4		10		1.5			3418(双槽)	2349	2980	4486(双槽)	
	BS-X8	8	900	170	18	6-7①	10~15	2~8		22		1.1		0.6	4432(双槽)	2608		7670(双槽)	
	CHF-X3.5	3.75	750	180	16	1.5~1.3	12.75	2~7	Y180L8	11	Y100 6	1.5			1700(双槽)	1700	1300	3000	沙机
	CHF-X7	7	900	150	16	1.5~1.8			Y225S 8	18.5	Y100L6	1.5			2000(双槽)	2000	1800	5000	
	CHF-X14	14.4	900	150	16	1.5~1.8	24.03	6~15	Y225S 8	18.5	Y100L6	1.5			同上	4000	1860	8500	

①充气量单位是 m^3/台·min

附表 2－10　XJ 型浮选机的长度及重量

型　号	2 槽		4 槽		6 槽		8 槽		10 槽		12 槽		14 槽		16 槽		18 槽		20 槽	
	长度 (mm)	质量 (kg)	长度 (mm)	质量 (kg)	长度 (mm)	质量 (kg)	长度 (mm)	质量 (kg)	长度 (mm)	质量 (kg)	长度 (mm)	质量 (kg)	长度 (mm)	质量 (kg)	长度 (mm)	质量 (kg)	长度 (mm)	质量 (kg)	长度 (mm)	质量 (kg)
XJ－1			2200	1272	3208	1882	4220	2437	5223	3039	6236	3747	7243	4203	8256	4011	9264	5418		
XJ－2			2680	1455	3888	2096	5096	2820	6304	3450	7512	4088	8720	4820	9928	5445	11136	6125		
XJ－3			3012	1720	4420	2565	5828	3360	7236	4200	8644	5035	10052	5830	11460	6675	12868	7500		
XJ－6	2282	1701	3934	3020	5586	4326	7244	5676	8896	6989	10548	8304	12206	9653	13858	10956	15510	12275	17168	13590
XJ－11	2791	2893	4991	5661	7191	8218	9391	10893	11591	13518	13791	19046	18191	21569	20568	24184	22768	26820		
XJ－28			4795	8452	10995	12526	14495	16600	17995	20713	21800	24964	25300	28800	33062	32300	27206	35800	41974	
XJ－58	4672	7066	9072	13597	13472	20122	17872	26651	22442	33474	26842	39498	31242	46533	35642	55189				

附表 2－11　搅拌槽

类　型	型　号	槽　子			叶　轮		传动电动机			总重，t	
		直径 (mm)	深度 (mm)	容积 (m^3)	直径 (mm)	转数 (r/min)	型　号	功率 (kW)	电压 (V)	平底	锥底
浮选用	XB－1500	1500	1500	2.2	400	320	Y132S－6	3.0	380	1.083	1.108
	XB－2000	2000	2000	5.46	550	230	$Y132M_2$－6	5.5	380	1.671	1.842
	XB－2500	2500	2500	11.2	650	280		17	380	3.454	
	XB－3000	3000	3000	19.1	700	210	Y225S－8	18.5	380	4.613	
	XB－3500	3500	3500	30	850	230		22	380	7.282	20000
药剂用	BC⌀1000×1000	1000	1000	0.65	250	530		1.5	380	0.476	
	BC⌀1500×1500	1500	1500	2.3	380	320		2.2	380	0.708	
	BC⌀2000×2000	2000	2000	5.5	570	258		4	380	1.212	
	BC⌀2500×2500	2500	2500	11.2	650	216		7.5	380	3.207	
	⌀3000×3000	3000	3000	19.1	750	176;190;207		7.5;10;13	380	4.032	
提升或加温	⌀3500×3500	3500	3500	27.5	870	179;195		17;22	380	7.000	
	⌀1000	1000	1500	1.0		502		4.0	380	0.947	
	⌀1500	1500	1800	3.0		402		7.5	380	1.595	
	⌀2000	2000	2300	7.5		353		17	380	3.400	
	⌀2000	2000	2400	6.0		175		10	380	5.8	

2.7 脱水设备

附表 2-12 浓 缩 机

类型	型号	浓缩池(m)		浓缩面积(m^2)		提耙部分					传动电动机		生产能力	轨道圆直径	齿条圆直径	重量
		内径	深度	池底	倾斜板水平投影	方式	高度(m)	每转时间(min/r)	电动机		型号	功率(kW)	(t/h)	(m)	(m)	(t)
									型号	功率(kW)						
中心传动	NZS-12	12	3.5	113	244	手动	0.25	5.2			Y132S-6	3	2.3~10.4			8.5
	NZS-12Q	12	3.5	113	244	手动	0.25	5.2			Y132S-6	3	15~20			12.75
	NZ-15Q	15	4.4	176	800	自动	0.2	10.4	Y112M-6	2.2	JTC752A-44	5.2	33			32.375
	NZ-20	20	4.4	314	1400	自动	0.4	10.4	Y112M-6	2.2	JTC752A-44	5.2	20.8			24.504
	NZ-20Q	20	4.4	314	1400	自动	0.4	10.4	Y112M-6	2.2	JTC752A-44	5.2	60			43.20
	NZF-20		20	4.4	314		自动	0.2	10.4		2.2					
周边辊轮传动	NG-15	15	3.5	177				8.4			$Y132M_2-6$	5.5	3.6~16.25	15.36		9.12
	NG-18	18	3.5	255				10			$Y132M_2-6$	5.5	5.6~23.3	18.36		9.918
	NG-24	24	3.7	452				12.7			Y160M-6	7.5	9.4~41.6	24.36		23.986
	NG-30	30	3.6	707				16			Y160M-6	7.5	65.4	30.36		26.415
周边齿条传动	NT-15	15	3.5	177				8.4			$Y132M_2-6$	5.5	16.25	15.36	15.568	10.935
	NT-18	18	3.5	177				10			$Y132M_2-6$	5.5	23.3	18.36	18.576	12.117
	NT-24	24	3.7	452				12.7			Y160M-6	7.5	9.4~41.6	24.36	24.882	28.273
	NT-30	30	3.6	707				16			Y160M-6	7.5	65.4	30.36	30.868	31.215
	NT-38	38	5.06	1134				24.3			Y160L-8	7.5	66.6	38.383	30.629	59.82
	NTJ-45	45	5.06	1590				19.3			Y60L-6	11	100	45.383	56.629	58
	NT-50	50	4.524	1964				21.7				10		51.779	50.025	60.183
	NTJ-50	50	4.503	1964				20				13×2		50.2	50.439	109
	NT-53	53	5.07	2202				23.2			Y160L-6	11	141.6	55.16	55.406	69
	NTJ-53	53	5.07	2202				23.2			Y180L-6	15	260	55.16	55.406	80

注：N—浓缩机；Z—中心传动；G—周边辊轮传动；T—周边齿条传动；S—手动提起；Q—倾斜板；J—精矿用。

附表 2－13　筒型内滤式真空过滤机

型号	过滤面积(m^2)	筒体				真空计示压力(MPa)	抽气量($min \cdot m^2$)	鼓风计示压力(MPa)	鼓风量($m^3/min \cdot m^2$)	生产能力(t/h)		传动电动机		电动滚筒皮带卸料		外形尺寸(长×宽×高)(mm)		重量(t)	
		尺寸	转速(r/min)							磁精	浮精	型号	功率(kW)	型号	功率(kW)	溜槽卸料	皮带卸料	溜槽卸料	皮带卸料
			高速	中速	低速														
GN－8	8	ø2956×1020	0.72, 1.00, 1.43	0.49, 0.69, 0.96	0.34, 0.47, 0.68	0.06～0.08	1～1.5	0.03	0.2～0.4	6～12	2.5～5	Y112M－3	2.2	YD·15－100－5032	1.5	2490×3176×3367	3200×3176×3367	6.5	6.9
GN－12	10	ø2956×1370								9～18	3.5～7					2840×3176×3367	3200×3176×3367	7	7
GN－20	20	ø3668×1920	0.42, 0.56, 0.84, 1.04, 1.40, 2.18		0.12, 0.17, 0.25, 0.31, 0.42, 0.66					15～30	6～12		3.5	YD－22－100－5040	2.2	3928×3900×4050	5120×3900×4050	12.7	13
GN－30	30	ø3668×2720								24～45	9～18		4.0			5015×3900×4050	6220×3900×4050	14	14
GN－40	40	ø3668×3720	0.42, 0.56, 0.84, 1.04, 1.40, 2.18		0.12, 0.17, 0.25, 0.31, 0.42, 0.68					30～60	12～24		5.0	YD－30－100－5050	3.0	6830×3900×4050	6830×3900×4050		17

附表 2－14　筒型外滤式真空过滤机

型号	过滤面积(m^2)	筒体			真空计示压力(MPa)	抽气量($min \cdot m^2$)	鼓风计示压力(MPa)	鼓风量($m^3/min \cdot m^2$)	生产能力(t/h)	电动机				外形尺寸(长×宽×高)(mm)	重量(t)
		尺寸(mm)	转速(r/min)							筒体		搅拌器			
			Ⅰ组	Ⅱ组						型号	功率(kW)	型号	功率(kW)		
GW－5	5	ø1750×970	0.13～0.49		0.06～0.08	1	0.01～0.03	0.2～0.4	2		1.1			2975×2570×2092	5.5
GW－10	10	ø2000×1680	0.16, 0.26, 0.39								2.2		2.2		5.91
GW－20	20	ϕ2500×2650	0.27, 0.38, 0.34	0.14, 0.19, 0.27					8		2.5 4.0	Y112S－6	2.2	4480×4085×2890	10.6
GW－30	30	ϕ3350×3000	0.12, 0.16,	0.11, 0.14,	0.06～0.08	1	0.01～0.03	0.2～0.4	12		3.5	Y132S－6	3	5200×4910×3443	17.2
GW－40	40	ϕ3350×4000	0.23, 0.29,	0.21, 0.26					16		4.0			6200×4910×3743	19.5
GW－50	50	ϕ3350×5000	0.39, 0.59,	0.34, 0.56					20		5.0	$Y132M_1－6$	4	7200×4960×3743	21

注：G——真空过滤机；W——外滤机；Y——永磁。

附表 2－15　折带式真空过滤机

型号	过滤面积(m^2)	筒体		真空计示压力(MPa)	抽气量(m^3/min·m^2)	冲洗水计示压力(MPa)	给矿浓度(%)	生产能力(浮选有色金属)(t/m^2·h)	电动机				外型尺寸(长×宽×高)(mm)	重量(t)
		尺寸(mm)	转速,(r/min)						筒体		搅拌器			
									型号	功率(kW)	型号	功率(kW)		
GD－5	5	1600×1120	0.1～2	0.06～0.08	0.8～1.2	>0.3	>60	0.2～0.4		1.5		2.8	2637×2940×2050	4.6
GD－12	12	2000×2000	0.1～2							1.5			3843×3510×2370	5.96
GD－20	20	2500×2770	0.075,0.105,1.149,0.150,0.209,0.298							2.5,4		2.2	4480×5025×3190	11.1
GD－30	30	3350×3015	0.1～0.6							3			4905×5546×3743	17.8
GD－40	40	3350×4015	0.11,0.14,0.213 0.26,0.34,0.50							3.5,4.5		3	6224×5606×3755	20.3

附表 2－16　盘式过滤机

型号	规格(m^2)	过滤盘			电动机				外型尺寸(长×宽×高)(mm)	重量(t)
		直径(mm)	转数(r/min)	盘数(个)	传动机		搅拌器			
					型号	功率(kW)	型号	功率(kW)		
GP－9	9	1800	0.08～1.89	2		1.1		1.1	2650×2410×2160	3.4
GP－18	18		0.135～0.607;0.254～1.14	4					3450×2410×2160	4.2
GP－27	27		0.08～1.89	6					4250×2410×2160	5.1
GP－39	39		0.135～0.607;0.254～1.14	4		1.5		1.5	4250×2300×2160	6.0
GP－58	58		0.15～0.67	6					3930×3355×3275	8.0
GP－78	78	2700	0.254～1.44	8		2.2		2.2	4730×3355×3275	9.0
GP－97	97		0.148～0.66;0.285～1.285	10					5530×3355×3275	10.0
GP－116	116		0.44～1.98	12		4.0		4.0	6330×3355×3275	12.0

参考文献

[1]《选矿设计手册》编委会编　选矿设计手册。冶金工业出版社，1988.7。
[2] 周忠尚主编。选矿厂设计。冶金工业出版社，1984.11.
[3] 刘常诗主编。选矿厂设计。冶金工业出版社，1994.6。