

选 矿 手 册

第二卷

第二分册

冶金工业出版社

选矿手册

第二卷

第二分册

《选矿手册》编辑委员会

冶金工业出版社

(京)新登字036号

选 矿 手 册

第 二 卷

第 三 分 册

《选矿手册》编辑委员会

冶金工业出版社出版发行

(北京北三环中路66号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 13.5 字数 348 千字

1993年10月第一版 1993年10月第一次印刷

印数 00,001 ~ 1500 册

ISBN 7-5024-1169-0

TD·188 定价 17.40元

《选矿手册》编辑委员会

主任委员：张卯均

副主任委员：胡为柏 童国光

编委：（按姓氏笔划排列）

王 岚 王永德 石大鑫 丘继存 刘广泌

刘正适 朱家骥 余兴远 沈志诚 沈建民

汪淑慧 李毓康 罗中兴 苏仲平 吴威孙

胡熙庚 夏珠荣 陶 敏 黄大雨 赵涌泉

秘 书：赵涌泉（兼）

责任编辑：黄淦祥 王迺琳

本分册主编、副主编

第八篇 分 级

主 编：张 炯

副 主 编：陈雨田 罗志德

第九篇 磨 矿

主 编：陈炳辰

本 分 册 序

为了提高我国在选矿科研、设计、生产方面的水平和总结经验，推动选矿事业的进一步发展，中国金属学会选矿学术委员会于1983年8月决定组织编写我国第一部选矿专业大型工具书——《选矿手册》，由选矿学术委员会组成《选矿手册》编辑委员会主持编写工作，并成立了相应的编写组。参加撰写工作的有国内具有几十年教学、科研、设计、生产经验的专家、教授、高级工程师、工程师几百人。在整个编写过程中，实行了三级审核规定，严格贯彻“主编责任制”和“编辑委员会最终审定制”。

《选矿手册》共分八卷、三十七篇，按十四个分册陆续出版。全套书约为450万字。考虑到选煤方面另有专著，本《手册》不包括煤的洗选。《选矿手册》的内容有：总论、选矿前准备、选矿方法及选矿药剂、产品处理及辅助作业、取样、试验技术与选矿过程检测、数模和工艺过程控制、选矿厂设计、选矿实践等。

《选矿手册》是一部供中级以上程度的选矿工作者及有关人员使用的工具书，编入了较成熟的选矿理论、方法、工艺、药剂、设备和生产实践经验，内容丰富、实用性强。编写时，参阅了国内外上万篇文献、收集了上千个厂、矿的生产实践资料，理论与实践兼备，以实践为主，选材以国内为主，同时辅以典型的国外资料，体现了近代选矿学科技术水平。

第二卷为选矿前准备，内容包括：配矿、洗矿、筛分、破碎、分级和磨矿。

本书为《手册》第二卷第二分册，内容包括《手册》第二卷第八篇分级、第九篇磨矿。分级篇系统地阐述了分级的基本概念、颗粒在介质中的沉降规律以及各种分级设备；磨矿篇系统地介绍了各种磨矿设备及其应用，磨矿理论——介质在磨机中的运动规律、磨机功率计算、磨矿动力学及矿石可磨度，磨矿流程的类型、应用及计算，磨机的选择和计算，磨矿介质及磨机衬板，

磨机的操作、维修及安装等。

本分册除主编、副主编外，参加编写的人员有：（磨矿篇）吴振祥、杨忠高、徐元正。杨忠威对全稿作了整理。胡力行翻译目录英文。

本分册编写过程中，得到了有关科研、设计院所、大专院校、生产厂矿的大力支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢！

编 者

第二卷 第二分册目录

8 分 级

8.1 基本概念.....	3
8.2 颗粒在介质中的沉降规律.....	8
8.2.1 颗粒在介质中的自由沉降	8
8.2.1.1 颗粒在静止介质中的自由沉降.....	8
8.2.1.2 颗粒在运动介质中的自由沉降.....	19
8.2.2 颗粒在介质中的干涉沉降	19
8.2.2.1 均匀粒群的干涉沉降.....	19
8.2.2.2 非均匀粒群的干涉沉降.....	21
8.2.2.3 颗粒沉降的等降比.....	23
8.3 重力水力分级设备	24
8.3.1 机械分级机	24
8.3.1.1 螺旋分级机.....	24
8.3.1.2 其他型机械分级机.....	35
8.3.2 圆锥分级机	35
8.3.2.1 分泥斗.....	35
8.3.2.2 自动排料圆锥分级机.....	38
8.3.2.3 胡基圆锥分级机.....	39
8.3.2.4 虹吸排料圆锥分级机.....	41
8.3.3 箱式和槽式水力分级机	41
8.3.3.1 云锡式水力分级箱.....	42
8.3.3.2 机械搅拌式水力分级机.....	44
8.3.3.3 筛板式槽型水力分级机.....	46
8.3.3.4 斯托克斯水力分级机.....	47

8.3.3.5 水冲箱和倾斜板水力分级箱	48
8.3.4 倾斜板浓缩箱	53
8.3.4.1 普通倾斜板浓缩箱	53
8.3.4.2 萨拉型倾斜板浓缩箱	54
8.3.5 其他水力分级设备	56
8.4 离心力水力分级设备	60
8.4.1 水力旋流器	60
8.4.1.1 概 述	60
8.4.1.2 水力旋流器的分级原理	60
8.4.1.3 影响水力旋流器分级的参数	64
8.4.1.4 旋流器的配置和分级实践	67
8.4.1.5 其他型水力旋流器	72
8.4.2 卧式离心分级机	79
8.5 风力分级	83
8.5.1 基本概念	83
8.5.2 风力分级设备	84
8.5.2.1 重力风力分级设备	84
8.5.2.2 离心力风力分级设备	86
参考文献	91

9 磨 矿

9.1 引 言	95
9.2 磨矿设备及应用	99
9.2.1 圆筒型磨矿机	99
9.2.1.1 圆筒型磨机分类和工作原理	99
9.2.1.2 球磨机	101
9.2.1.3 棒磨机	110
9.2.1.4 管磨机	111
9.2.1.5 自磨机	119
9.2.1.6 砾磨机和块磨机	126

9.2.2 其他类型磨机及超细磨机	127
9.2.2.1 盘式磨机	127
9.2.2.2 振动磨机	133
9.2.2.3 介质搅拌式磨机	143
9.2.2.4 行星磨机和回转磨机	151
9.2.2.5 行星振动磨机	154
9.2.2.6 离心磨机	155
9.2.2.7 胶体磨机	160
9.2.2.8 喷射磨机	161
9.3 磨矿理论	180
9.3.1 研磨介质在磨机中的运动规律	180
9.3.1.1 概 述	180
9.3.1.2 介质在磨机中运动形态分析	183
9.3.2 磨机功率的计算	192
9.3.2.1 概 述	192
9.3.2.2 磨机有用功率的计算	193
9.3.2.3 计算磨机功率的经验公式和半经验公式	195
9.3.2.4 磨机功率计算公式的对比与评价	212
9.3.2.5 磨矿环境对磨机功耗的影响	213
9.3.3 磨矿动力学	215
9.3.3.1 批次磨矿动力学	215
9.3.3.2 连续磨矿动力学	217
9.3.4 矿石可磨度	219
9.3.4.1 邦德功指数法	220
9.3.4.2 容积法求可磨度	232
9.3.4.3 汤普森比表面法	241
9.4 磨矿流程的类型、应用及计算	246
9.4.1 磨矿流程的类型及应用	246
9.4.2 磨矿流程选择	267
9.4.2.1 磨矿流程选择的影响因素	287
9.4.2.2 常规磨矿流程	269
9.4.2.3 自磨流程	272

9.4.2.4 砾磨流程.....	282
9.4.3 磨矿流程计算	287
9.4.3.1 磨矿流程计算需用的原始资料.....	287
9.4.3.2 磨矿流程计算.....	290
9.5 磨机的选择和计算	297
9.5.1 磨矿设备的选择.....	297
9.5.1.1 磨机的选择原则.....	297
9.5.1.2 磨机类型的选择.....	298
9.5.2 适宜磨矿细度的确定	299
9.5.3 棒磨机、球磨机生产能力计算方法	300
9.5.3.1 容积法.....	301
9.5.3.2 邦德功指数法.....	326
9.5.3.3 汤普森比面积法.....	334
9.5.3.4 能量效率法.....	340
9.5.4 自磨机生产能力计算方法	340
9.5.5 砾磨机生产能力计算.....	341
9.6 磨矿介质及磨机衬板.....	357
9.6.1 概 述	357
9.6.2 研磨介质的选择和计算	357
9.6.2.1 研磨介质形状.....	357
9.6.2.2 研磨介质尺寸.....	359
9.6.2.3 研磨介质的合理补加.....	362
9.6.2.4 研磨介质材质.....	363
9.6.3 磨机衬板	369
9.6.3.1 衬板类型及应用.....	370
9.6.3.2 磨机衬板材质.....	373
9.7 磨机的操作、维护及安装.....	393
9.7.1 概 述	393
9.7.2 磨机的操作	393
9.7.2.1 给矿速度.....	394
9.7.2.2 矿浆浓度.....	394

9.7.2.3 磨矿产品粒度.....	395
9.7.2.4 磨机的转速.....	395
9.7.2.5 磨矿介质添加制度.....	395
9.7.3 磨矿机组的自动控制.....	397
9.7.4 磨机的维修	402
9.7.5 磨机的安装	407
参考文献.....	409

Volume 2--Part 2

Contents

8 CLASSIFICATION

8.1	Fundamentals	3
8.2	Laws of Settling of Particles in a Medium	8
8.2.1	Free Settling of Particles in a Medium	8
8.2.1.1	Free Settling of Particles in a Stable Medium.....	8
8.2.1.2	Free Settling of Particles in a Flowing Medium.....	19
8.2.2	Hindered Settling of Particles in a Medium.....	19
8.2.2.1	Hindered Settling of Homogeneous Particle Group	19
8.2.2.2	Hindered Settling of Heterogeneous Particle Group	21
8.2.2.3	Settling Ratio.....	23
8.3	Gravitational Hydraulic Classifiers	24
8.3.1	Mechanical Classifiers.....	24
8.3.1.1	Spiral Classifier.....	24
8.3.1.2	Other Types of Mechanical Classifier.....	35
8.3.2	Conical Classifiers.....	35
8.3.2.1	Settling Cone	35
8.3.2.2	Settling Cone with Automatic Discharge.....	38
8.3.2.3	Hukki Conical Classifier.....	39
8.3.2.4	Conical Classifier with Siphon Discharge.....	41
8.3.3	Box-and Launder-Type Hydraulic Classifiers	41
8.3.3.1	Yun-Si Hydraulic Classifier	42
8.3.3.2	Hydraulic Classifier with Mechanical Mixing	44
8.3.3.3	Screen-Type Hydraulic Classifier.....	46
8.3.3.4	Stokes Hydraulic Classifier.....	47
8.3.3.5	Washing Box and Tilting Lamella Hydraulic	

Classifier	48
8.3.4 Tilting Lamella Thickeners	53
8.3.4.1 Common Tilting Lamella Thickener	53
8.3.4.2 Sala Tilting Lamella Thickener	54
8.3.5 Other Hydraulic Classification Equipment	56
8.4 Centrifugal Hydraulic Classifiers	60
8.4.1 Hydrocyclone	60
8.4.1.1 Introduction	60
8.4.1.2 Principle of Classification	60
8.4.1.3 Factors Affecting Hydrocyclone Classification	64
8.4.1.4 Arrangement and Practice of Hydrocyclones	67
8.4.1.5 Other Types of Hydrocyclone	72
8.4.2 Horizontal Centrifugal Classifier	79
8.5 Pneumatic Classification	83
8.5.1 Introduction	83
8.5.2 Pneumatic Classifiers	84
8.5.2.1 Gravitational Pneumatic Classifier	84
8.5.2.2 Centrifugal Pneumatic Classifier	86
References	91

9 Grinding

9.1 Introduction	95
9.2 Grinding Equipment and Its Application	99
9.2.1 Tumbling Mills	99
9.2.1.1 Types of Tumbling Mill and Their Operation Principles	99
9.2.1.2 Ball Mill	101
9.2.1.3 Rod Mill	110
9.2.1.4 Tube Mill	111
9.2.1.5 Autogeneous Mill	119
9.2.1.6 Pebble and Rock Mills	126
9.2.2 Other Types of Mill and Ultrafine Mill	127
9.2.2.1 Disk Mill	127
9.2.2.2 Vibratory Mill	133
9.2.2.3 Agitation Mill with Medium	143
9.2.2.4 Satellite and Rotary Mills	151

9.2.2.5	Satellite Vibratory Mill	154
9.2.2.6	Centrifugal Mill.....	155
9.2.2.7	Colloid Mill	160
9.2.2.8	Injection Mill.....	161
9.3	Grinding Theory.....	180
9.3.1	The Law of Motion of Grinding Medium in a Mill	180
9.3.1.1	Outline	180
9.3.1.2	Analysis of Medium Motion in a Mill	183
9.3.2	Calculations of Mill Power	192
9.3.2.1	Outline	192
9.3.2.2	Theoretical Calculation of Mill Used Power.....	193
9.3.2.3	Empirical and Semi-empirical Equations for Calculation of Mill Power	195
9.3.2.4	Comparison and Evaluation of Equations for Calculation of Mill Power	212
9.3.2.5	Effect of Grinding Environment on Mill Energy Consumption.....	213
9.3.3	Kinetics of Grinding	215
9.3.3.1	Kinetics of Batch Grinding.....	215
9.3.3.2	Kinetics of Continuous Grinding	217
9.3.4	Grindability of Ores.....	219
9.3.4.1	Bonds Work Index Method.....	220
9.3.4.2	Volumetric Method for Determination of Grindability	232
9.3.4.3	Tompson's Method for Determination of Specific Surface	241
9.4	Types of Grinding Flowsheet, Their Application and Calculation.....	246
9.4.1	Types and Application of Grinding Flowsheet.....	246
9.4.2	Selection of Grinding Flowsheet.....	267
9.4.2.1	Factors Affecting Selection of Grinding Flowsheet.....	267
9.4.2.2	Conventional Grinding Flowsheets	269
9.4.2.3	Autogeneous Grinding Flowsheets.....	272
9.4.2.4	Pebble Grinding Flowsheets	282
9.4.3	Calculation of Grinding Flowsheets	287

9.4.3.1 Initial Data Necessary for Calculation of Grinding Flowsheets.....	287
9.4.3.2 Calculation of Grinding Flowsheets.....	290
9.5 Selection and Calculation of Mills	297
9.5.1 Selection of Grinding Equipment	297
9.5.1.1 Principles of Mill Selection	297
9.5.1.2 Selection of Mill Type	298
9.5.2 Determination of Optimum Fineness of Grinding	299
9.5.3 Methods for Calculation of Throughput of Rod and Ball Mills.....	300
9.5.3.1 Volumetric Method	301
9.5.3.2 Method of Bond's Work Index.....	326
9.5.3.3 Tompson's Method for Determination of Specific Surface	334
9.5.3.4 Method of Energy Efficiency.....	340
9.5.4 Calculation of Throughput of Autogeneous Mill	340
9.5.5 Calculation of Throughput of Pebble Mill.....	341
9.6 Grinding Media and Liners	357
9.6.1 Outline	357
9.6.2 Selection and Calculation of Grinding Media.....	357
9.6.2.1 Shape of Grinding Media	357
9.6.2.2 Dimensions of Grinding Media.....	359
9.6.2.3 Sound Charge of Grinding Media.....	362
9.6.2.4 Materials for Grinding Media	363
9.6.3 Mill Liners	369
9.6.3.1 Types of liner and Their Application	370
9.6.3.2 Materials for Grinding Liners	373
9.7 Operation, Maintenance and Installation of Grinding Mills	393
9.7.1 Outline	393
9.7.2 Operation of Mills.....	393
9.7.2.1 Feed Rate	394
9.7.2.2 Pulp Density	394
9.7.2.3 Particle Size of Grinding Product.....	395

9.7.2.4	Rotation Speed of Mills	395
9.7.2.5	Regime of Addition of Grinding Media	395
9.7.3	Automatic Control of Grinding Mill Set	397
9.7.4	Maintenance of Grinding Mills	402
9.7.5	Installation of Grinding Mills.....	407
References		409

8 分 级