

高等学校教学用书

选矿导论

冶金工业出版社

高等学校教学用书

选矿导论

(新西兰) E. G. 凯利 著

(美) D. J. 斯波蒂斯伍德

胡力行 傅维义 张国祥 陈祥涌 等译

李松仁 王淀佐 审校

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街福顺里39号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 37 1/2 字数 896千字

1989年11月第一版 1989年11月第一次印刷

印数00,001~2,000册

ISBN 7-5024-0580-1

TD·98 (课) 定价7.25元

译 本 序

《选矿导论》(Introduction to Mineral Processing)一书由新西兰奥克兰大学E.G.凯利(Kelly)和美国科罗拉多矿业学院D.J.斯波蒂斯伍德(Spottiswood)合著,约翰·威利父子出版公司(John Wiley & Sons)1982年出版发行。全书共分7篇,25章,并有附录9个及索引。译本中索引已删除。

根据作者原序,《选矿导论》主要用作大学选矿专业的教材。为了完整起见,该书收入了数量可观的、通常只见于较高层次的教科书中的材料;开列了广泛的参考文献,使书的内容在必要时易于扩充。

此外,该书不同于以往出版的教科书,它没有把选矿的工艺作为重点,而是着重阐述选矿的基本原理;设备的描述比较简明,但对基本的设备型式选用了不少一目了然的示意图和照片。作者力图论述自A.M.高登(Gaudin)所著《选矿原理》(Principles of Mineral Dressing)1939年问世以来40余年间选矿科学技术的重大进展;对某些领域内同时并存的若干同等可信的分析见解,并非舍此取彼,而是兼容并蓄,以利读者进一步探索。此外,书内还列出大量的实际算例,介绍选矿厂实践,有助于提高学生解决实际问题的能力。总之,该书既是一部国外优秀教材,又是一部内容精、深、新、广的选矿专著,既可供我国高等院校选矿专业教学使用,亦可作中级以上选矿工作者的参考书。

本书由胡力行(序言,术语表,第1~3章,第8章,第17~22章,第24~25章以及附录C~I)、傅维义(第11~15章,第23章及附录A~B)、张国祥(第4、5、7章)、陈祥涌(第9、10章)、唐林生(第6章)和伏雪峰(第16章)翻译。全书最后由李松仁、王淀佐审校。

在组织本书的翻译出版工作中,汪英俊同志曾给予了热情支持,谨在此致谢。

序 言

本书的主要意图是用作大学选矿专业课程的普通教科书，但为完整起见，收入了相当篇幅通常归于大学较高级课程的材料。因此，书内提供广泛的参考文献，以使内容易于扩展延伸。故而本书对于从事实际工作并感到需更新选矿知识的工程师们亦有裨益。

本书不同于大多数业已出版的若干选矿教科书，对选矿“工艺”方面注意甚少。欲了解设备如何操作或者具体矿石如何处理等资料的读者，可参考手册或过去的教科书。这类资料虽然有用，但就透彻理解选矿基本原理而言，其重要性是第二位的，而选矿基本原理正是本书注意力所在。甚至机械设备的描述也比较简短，我们充分信赖，对基本类型设备提供有限的但一目了然的图片。这些图片实际上均取自制造厂商的产品样本，样本是当今的一个宝贵信息源。我们认为，大学生在学习期间研讨样本的重要性并不亚于参观工厂。

高登 (Gaudin) 的著作对选矿科学作出宝贵贡献，距今已 40 余年。他那启蒙性著作中的某些原理甚至在今天也既未得到验证，亦未遭到反驳。40 年来我们的知识有了长足的进步，我们试图将新的进展加以归纳考察。尽管如此，在某些领域却同时存在着似乎同样有理的分析和见解；在这类场合，我们并不只择取一种论点，而是综述整个领域，相信这样做能更好地为读者服务。

必须承认，在许多情况下现今仍无可能对选矿作出定量分析。然而，半定量计算往往也是需要的，而且常常是可能的。为此目的，我们收入了许多计算实例，用以说明可取得何种数量级的解。

选矿界的新手应该学会评估不同单元作业之间的相互关系。为有助于此，本书汇总了数量可观的计算例子。为避免冗长重叠，使算例篇幅保持在合理范围内，有时不得不施加一些并非完全现实的假设条件。然而，这无损于这些算例的主要价值。

为了同当前世界惯例保持一致，本书采用国际单位制 (SI)。简明的换算系数表列于附录 I。

我们在编写此书的过程中得到了多方面的帮助。向我们提供图片的制造厂商，已在另处致谢；在此我们还应感谢提供多种样本的所有制造厂商，从这些样本中我们最终选用了一小部分。

正如参阅已发表的材料而撰写出的所有著作一样，我们也不得不选用多种来源的图表、数据。凡选用的插图均经出版者同意，并在图注内指明^①。引用的表格材料亦经许可，并在正文或《谢言》^②中标引出。每章章题下引用的名人名言^③和附录材料亦已在《谢言》中说明^④。

我们对科罗拉多矿业学院、奥克兰大学和密执安工业大学在我们离职和出差期间给予的帮助，深表谢意。

我们同世界各国工业部门、研究院所和高等院校的朋友们和同行们进行了讨论，受益匪浅。D.F.凯尔萨 (Kelsall) 和 W.沙普 (Schaap) 分别对第 10、25 章提出了有益的批

● 原著中的“谢言”、各章题下的名人名言以及插图来源，在本译本中均已删去。——译注

评意见。他们的意见非常宝贵，但这两章内若有差错，责任仍归我们。作者凯利本人得感谢E.沃林 (Volin)，沃林的长远友情和支持引发了本书的写作计划。

我们还感谢打字人员，特别是波林·鲁滨逊 (Pauline Robinson) 和尼娜·伊兹 (Nina Eads)，她们不辞辛苦打出了样稿。

我们各自的妻子简·凯利 (Jan Kelly) 和艾琳·斯波蒂斯伍德 (Irene Spottiswood) 在本书写作期间自始至终地宽容和理解，对此难以充分表达谢忱。

最后但远非最不重要的，说实在话，倘无简·凯利的协助，本书未必问世。她不仅编制了全部图表，而且在制作样稿的各个方面给予了帮助。我们谨致衷心的谢意。

新西兰奥克兰 埃罗尔 G. 凯利 (Errol G. Kelly)

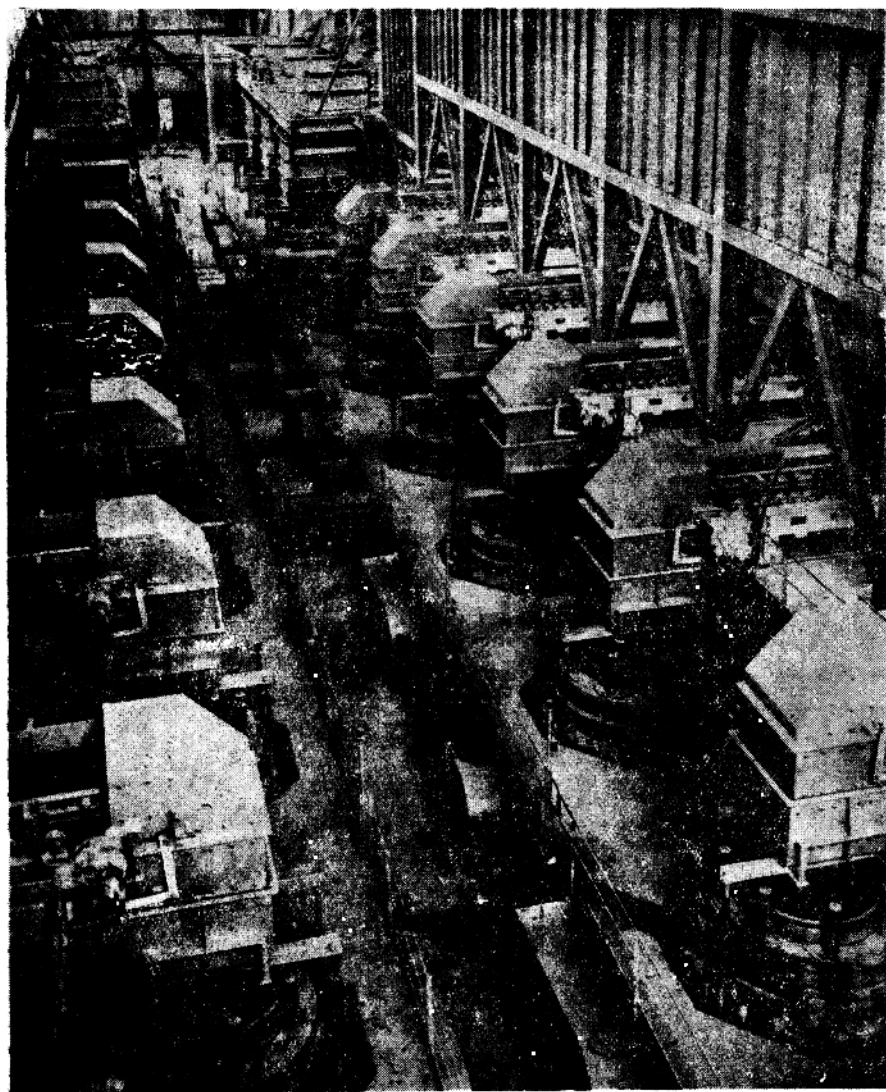
美国科罗拉多

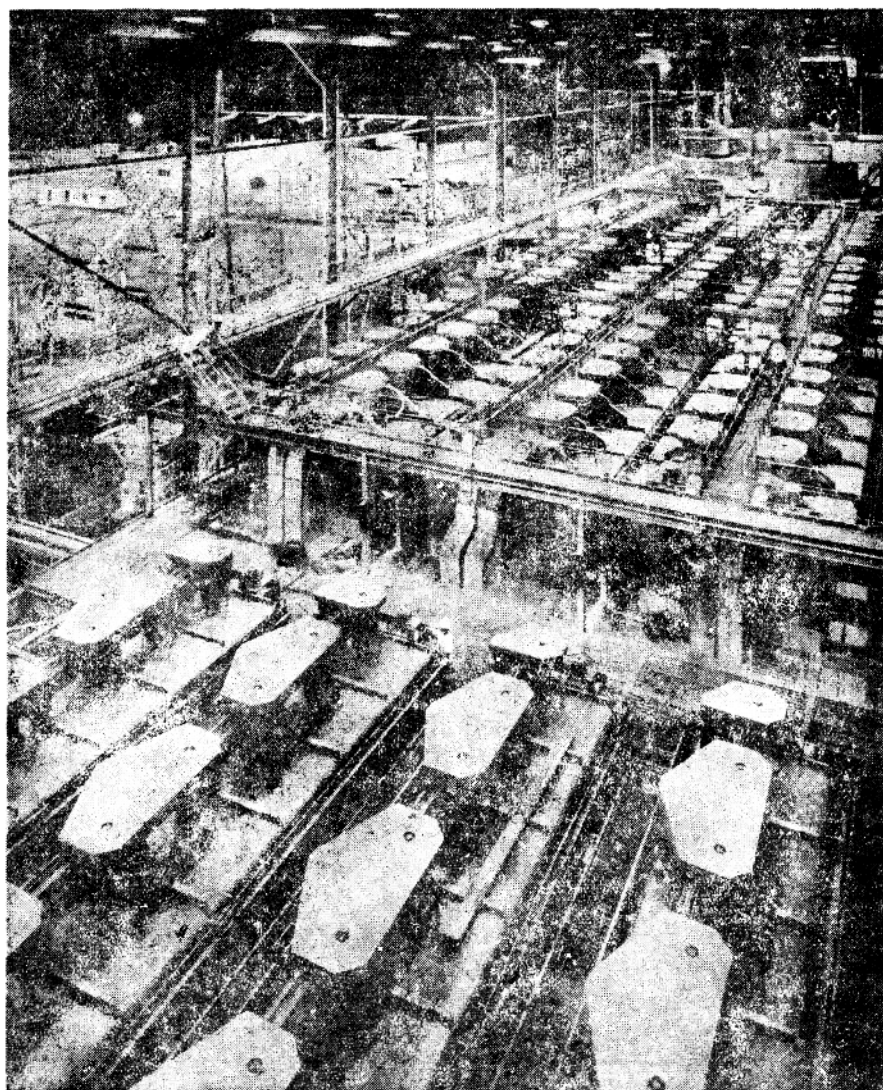
州戈尔登

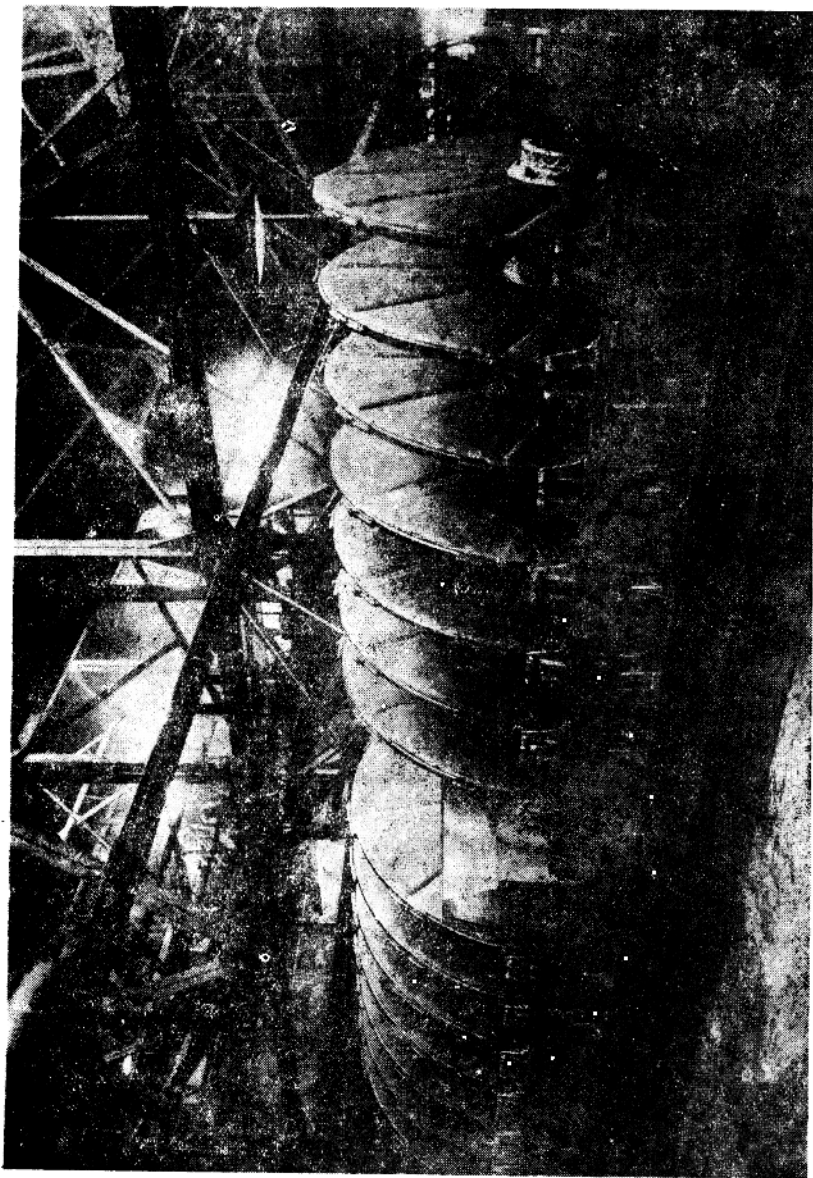
戴维 J. 斯波蒂斯伍德

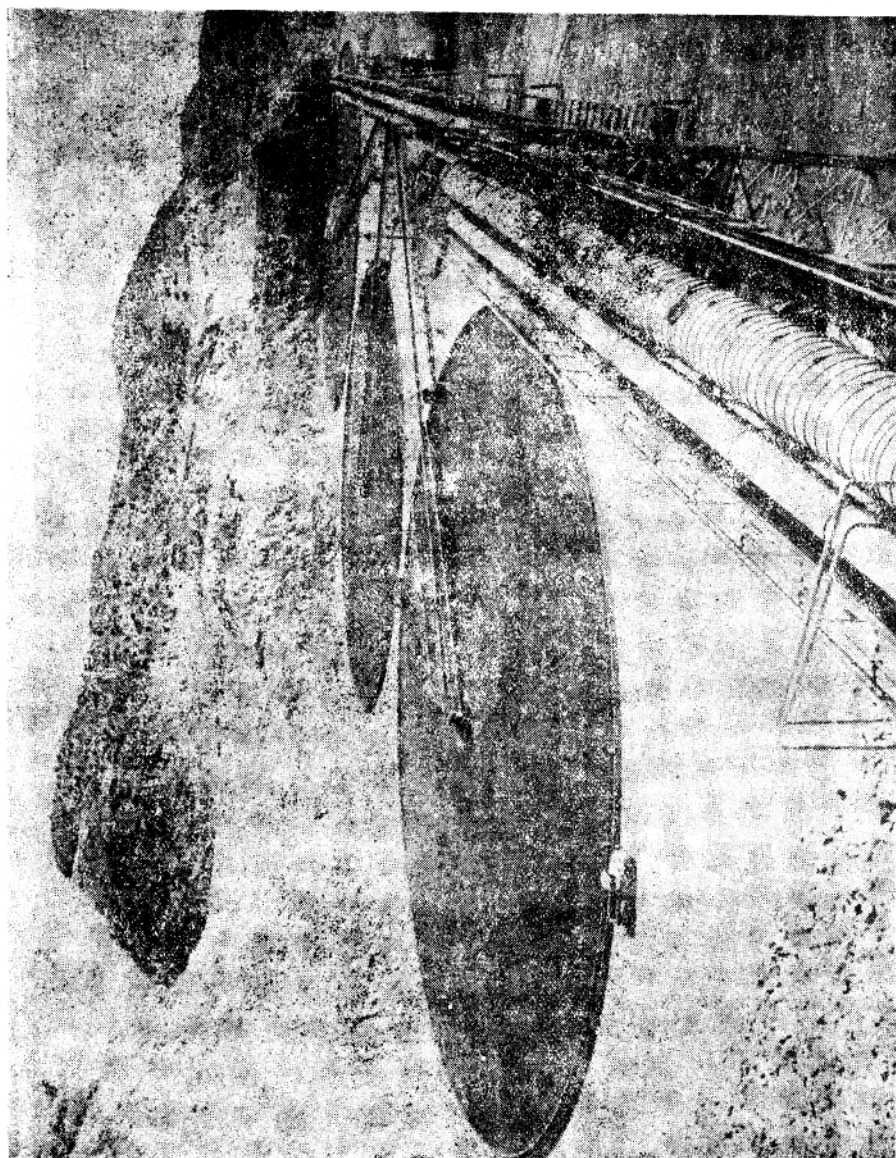
(David J. Spottiswood)

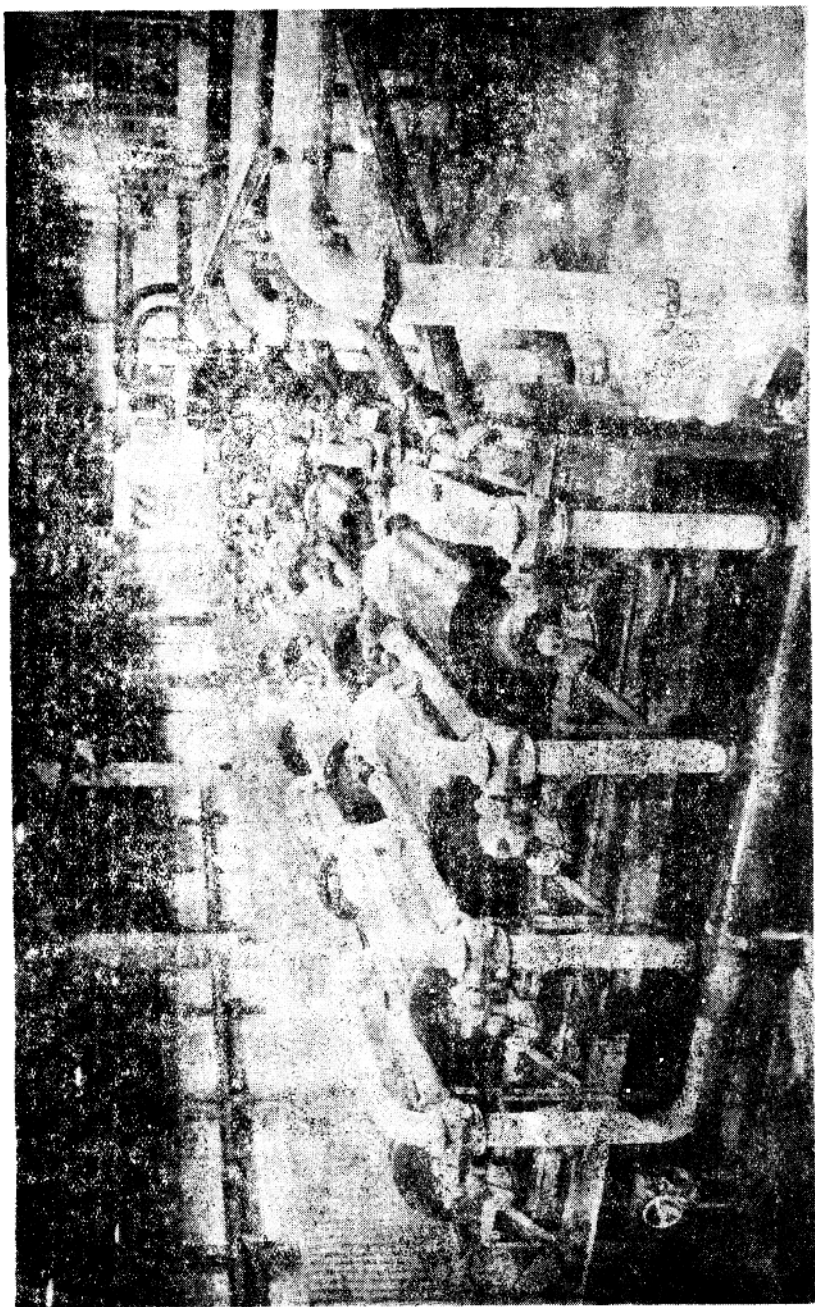
1982年1月











目 录

术语表.....	1
I 基本理论	15
1 矿石、选矿厂和精矿	15
1.1 经济判据.....	16
1.2 流程.....	19
1.3 物料平衡.....	20
1.4 矿石.....	26
1.5 矿物学.....	30
2 颗粒特性.....	35
2.1 颗粒粒度.....	35
2.2 粒度分布数据表述.....	36
2.3 平均直径.....	42
2.4 颗粒形状.....	46
2.5 解离.....	49
2.6 颗粒特性的测定.....	55
2.7 完全颗粒分析.....	63
3 分选过程分析.....	66
3.1 平衡分选.....	67
3.2 动力学：分选速率.....	71
3.3 混合型式.....	73
3.4 分选曲线的确定.....	76
3.5 分选效率.....	79
4 流体动力学.....	85
4.1 用雷诺数表示流动特性.....	85
4.2 流体流变学.....	88
4.3 摩擦系数.....	90
4.4 圆管中的流动.....	90
4.5 物体在流体中流动.....	94
4.6 通过填充床的流动.....	103
4.7 流态化和沉降.....	106
4.8 搅拌、混合及颗粒悬浮.....	114
4.9 液体层流.....	117
5 颗粒分选过程与机理	121
5.1 干涉沉降.....	121
5.2 差动加速度.....	122
5.3 钻隙.....	122
5.4 流膜内的差动速度.....	123

5.5 剪切.....	124
5.6 干颗粒的析离.....	127
5.7 重心.....	127
5.8 分选极限与混合.....	129
5.9 综合评述.....	129
6 表面和界面.....	131
6.1 界面热力学.....	132
6.2 界面粘附机理.....	147
7 破裂机理.....	154
7.1 单颗粒破裂.....	154
7.2 破裂环境.....	164
I 粉碎	169
8 破碎和磨矿.....	170
8.1 设备.....	170
8.2 滚磨机的特性.....	181
8.3 回路.....	190
8.4 理论.....	191
8.5 设备处理能力.....	211
II 按粒度分离	222
9 筛分和筛样.....	222
9.1 试验室筛分.....	222
9.2 工业筛分.....	224
9.3 筛面.....	228
9.4 辅助零件和设备.....	233
9.5 筛子性能的测定.....	235
9.6 影响筛分的因素.....	237
9.7 常规筛分和筛析的理论.....	242
9.8 概率筛分理论.....	249
9.9 弧形筛理论.....	252
9.10 筛面尺寸.....	253
10 分级.....	261
10.1 设备.....	261
10.2 分级机性能.....	264
10.3 沉降式分级机.....	271
10.4 用于分级的水力旋流器.....	279
10.5 流态层(水力)分级机.....	290
10.6 处理能力.....	292
10.7 闭路磨矿.....	293
10.8 分级机操作.....	297
IV 富集分离	302
11 矿石拣选.....	303
11.1 拣选机及其应用.....	303

11.2 拣选机理	304
11.3 矿石的可拣选性	307
12 重介质分选	311
12.1 设备和用途	311
12.2 介质的控制和回收	314
12.3 性能曲线	315
13 重力选矿	317
13.1 设备和用途	317
13.2 重选设备的理论	330
13.3 性能曲线	336
14 磁选	343
14.1 设备和用途	343
14.2 磁选原理和机理	351
14.3 磁选机性能	360
15 静电分选	367
15.1 设备和用途	367
15.2 操作环境	373
15.3 静电分选机理	374
16 浮选和其他表面分选法	381
16.1 浮选设备	381
16.2 浮选化学	388
16.3 浮选力学	398
16.4 浮选操作	403
16.5 其他表面分选法	406
▼ 脱水	411
17 沉降	412
17.1 沉降设备	412
17.2 沉降特性	416
17.3 连续浓密机的稳态操作	422
18 过滤	433
18.1 过滤设备	434
18.2 过滤计算	439
19 脱水系统和各种脱水方法	449
19.1 离心分离	449
19.2 机械脱水系统	451
19.3 热力脱水(干燥)	452
Ⅴ 物料贮运	458
20 干固体贮运	458
20.1 料场	458
20.2 料仓和料斗	459
20.3 给料机	467
20.4 松散固体的运输	468

20.5 取样	472
21 矿浆贮运	475
21.1 泵和泵送	475
21.2 搅拌槽	481
21.3 矿浆输送	485
22 尾矿处理	489
22.1 尾矿池和尾矿坝	489
22.2 尾矿水	491
VII 选矿厂实践	495
23 过程连结和流程分析	495
23.1 流程实例研究	495
23.2 不同类型分选设备的选择	498
23.3 粗选、精选和扫选	498
23.4 选矿厂设计	504
24 选矿厂控制	508
24.1 控制目标	508
24.2 过程自动控制原理	509
24.3 测试仪表	515
24.4 控制应用	517
25 经济	525
25.1 基本投资	525
25.2 流动资本	531
25.3 经营和生产费用	532
25.4 投资价值	534
25.5 最佳生产能力	537
25.6 结语	539
附录 A 矿物及其特性	541
附录 B 选矿厂流程选例	553
附录 C 标准筛尺寸	568
附录 D 罗辛-拉姆勒(韦伯尔)绘图纸	571
附录 E 矿物的磁性	572
附录 F 矿物的分选特性	575
附录 G 运输胶带设计资料	576
附录 H 泵选择图	580
附录 I 标准国际单位及换算系数	581

术 语 表

⇔ 给矿

→ 正响应

——→ 负响应

A = 面积

A_c = 滤饼面积

A_e = (薄板) 浓密机有效面积

A_f = 水力旋流器入口截面积

A_p = 不规则颗粒的投影面积

A_T = 槽或池的(表面) 面积

$\mathcal{A}_i$ = 组分 i 在溶液中的活度

a = 加速度

a_x = 外加速度

B = 宽度

$\mathcal{B}$ = 磁感应

b_i = 破碎参数

$[b]$ = 粒级 j 因破碎而出现于粒级 i 中的质量分数

C = 质量浓度

C_A, C_K = 分别为 A 和 K 层的质量浓度

C_c = 每单位体积收集的滤液呈滤饼沉淀的固体质量

$C_{crit.}$ = 在浓密机中引起临界通量的临界浓度

C_f, C_z = 分别为(沉降时)自由沉降和区域沉降的极限质量浓度

C_i = 初始浓度 (对矿浆为质量/单位体积)

C_i = 溶液中组分 i 的浓度

C_j = 浓密机内的低共轭浓度

$C_{j,crit.}$ = 相当于临界浓度的共轭浓度

C_L = 线性浓度 (方程 5.14 a ①)

C_N = 第 N 个装置在时刻 t 的排出浓度

$C_v, C_{v,i}, C_{v,o}$ = 分别是体积浓度, 初始 (或输入) 体积浓度和输出体积浓度

$C_{v,c}$ = 湿滤饼中固体体积浓度

C_2 = 参见图 17.12

$C_{(+),crit.}$ = 浓密机中发生临界浓度时的底流 (正响应出口) 的浓度

$C_{(+)}, C_{(-)}$ = 分别是正、负响应排出的浓度 (分别为浓密机的底流和溢流)

C_{uso} = 水力旋流器特征数

① 原文有误, 应为 (方程 5.12)。——校译者

$\mathcal{C}, \mathcal{C}_e, \mathcal{C}_n, \mathcal{C}^*$ = 分别为成本, 现有厂成本, 新厂成本, 参比成本

$C_g, C_{gi}, C_{gl}, C_{gh}$ = 分别表示重心, 初始重心, 轻、重部分的重心

CI_e, CI_n = 分别为现有项目和新项目建设日期的成本指数

$\Delta C_{v,i}, \Delta C_{v,o}$ = 分别为 $C_{v,i}$ 和 $C_{v,o}$ 的稳态偏差

$\mathcal{D}$ = 比传导率

C = 常数

D = 直径

D_A = 筛孔直径 (如果是方孔, $\square$ 为边长)

D_o = 搅拌器直径

D_e = 旋流器直径

D_e = 筛子的有效筛孔

D_I = 水力旋流器入口的内径 (非圆形入口为 $\sqrt{4A_I/\pi}$)

D_I, D_m = 分别为大、小磨矿机的内径

D_M = 磨矿机衬板内直径

D_m = 磨矿介质直径

D_p = 管道的直径或对角线

D_T = 槽子直径

D_w = 筛丝直径

$D_{(+)}, D_{(-)}$ = 分别为正、负响应出口的内径 (水力旋流器的沉砂口和溢流口)

$\mathcal{D}$ = 扩散系数

$\mathcal{D}$ = 干燥速率, 固体表面单位面积上单位时间内蒸发的液体量

$\mathcal{D}_c$ —— 恒速期的干燥速率

d = 微分算子

d = 颗粒直径

d_A = 细筛 (标称) 直径

d_a = 投影面积 (标称) 直径

d_d = 刮板 (标称) 直径

d_F, d_M = 分别为 Feret 和 Martin 统计直径

d_f = 自由沉降 (标称) 直径

d_G = 矿物结晶粒度

d_{max}, d_{min} = 分别代表颗粒的最大和最小粒度

d_{n3I} = 给矿的质量中值直径

d_n = 标称直径

$\overline{d}_a, \overline{d}_g, \overline{d}_{nh}$ = 分别表示算术、几何及调和平均标称直径

d_{nmu}, d_{nu} = 据 u 测定的标称中值直径 (表 2.4)

$\overline{d}_{nqc}$ = 统计平均标称直径 (方程 2.8 和表 2.4)

d_r, d_0 = 分别为参比球和球的直径

d_s = 表面标称直径

d_t = 时间 t 内沉降的颗粒直径 (方程 2.25)

d_{st} = 斯托克斯 (标称) 直径
 d_v = 体积 (标称) 直径
 d_{vs} = 比表面 (标称) 直径
 d_{50} = 分离粒度; 在正、负响应出口等量分配的分级颗粒粒度
 $d_{50,a}$ = 未校正性能曲线上的 d_{50} 粒度
 $d_{80,l}$, $d_{80,o}$ = 分别为给矿和产品中 80% 通过筛网的颗粒直径 (实际上是 $d_{A,0.80,l}$ 和 $d_{A,0.80,o}$, 80% 通过筛孔的质量)
 d^* = 分布方程中的粒度模数
 E = 能量
 E_i = 初始位能
 E_p = 作用于颗粒上的能量
 E_s = 总表面能
 E_r = 析离后的位能 (方程 5.28)
 E_0 = 引起破裂所需的表面能 (通常假定为新表面的表面能)
 ΔE = 可引起析离的位能
 $\mathcal{E}$ = 电场强度
 $\mathcal{E}_s$ = 流动电位
 $\mathcal{G}$ = 表面熵 (单位面积)
 e^+ , e^- , $e^{\pm}$ = 电荷
 F = 力
 F_a , F_c , F_g , F_x = 分别为加速力、离心力、重力和外力
 F_b = 浮力
 F_d , F_f = 分别为曳力和摩擦力
 F_e , F_l , F_m = 分别为电力、光电力和磁力
 F_0 = 破裂施加的负荷
 $\mathcal{F}$ = 法拉第常数
 $\mathfrak{F}_{b1}$ = 按机理 1 破碎的物料份数
 $\mathfrak{F}_{cv}$ = 成饼所占周期时间份数
 $\mathfrak{F}_v$, $\mathfrak{F}_{sl}$ = 分别为体积份数和矿浆中固体的体积份数
 $\mathfrak{F}_{(+/-)}$ = 水力旋流器中体积流量的分配
 f_c = 松散固体的无侧限屈服强度
 f_l = 流动系数
 f_p , f_{sl} = 分别为 (管道) 矿浆所占断面份数系数和 (管道) 摩擦系数
 f_b , f_s = 分别为填充层和沉降流态化的修正摩擦系数
 f_d = 阻力系数 (一个颗粒的摩擦系数)
 FI = 液流或泵送数
 FI_g = 气流数
 Fr , Fr_{sl} = 分别为矿浆的弗劳德数和修正弗劳德数
 f_n = 函数 (...)