

胡海祥 编著

矿物加工实验 理论与方法

KUANGWU JIAGONG SHIYAN LILUN YU FANGFA



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

矿物加工实验理论与方法

胡海祥 编著

北京
冶金工业出版社
2012

内 容 提 要

本书主要阐述生产实践中常见的矿物加工实验技术,包括实验的原理、方法、步骤和实验数据处理等内容。全书共8章,包括:物料物性实验分析、筛分与磨矿实验、磁电选矿实验、重力分选实验、泡沫浮选实验、工业生产实用操作技术与方法、矿石测试方法、实验数据处理和实验设计等内容。

本书可供科研单位、工矿企业的工程技术人员、工程管理人员、实验技术人员使用,也可供高等学校采矿、矿物加工等专业的本科生、研究生使用。

图书在版编目(CIP)数据

矿物加工实验理论与方法/胡海祥编著. —北京:冶金工业出版社, 2012. 7

ISBN 978-7-5024-5963-5

I. ①矿… II. ①胡… III. ①选矿—实验 IV. ①TD9-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第133990号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号, 邮编100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 yjcbs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨秋奎 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5963-5

三河市双峰印刷装订有限公司印刷; 冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销

2012年7月第1版, 2012年7月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 14.5印张; 347千字; 218页

45.00元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿信箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街46号(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

本书以矿物加工领域中实验研究的原理与实践为主要内容，紧密结合现代矿山磨选领域中的磨矿、重选、磁选、浮选、电选以及现代高科技测试技术。本书较系统地阐述了实验研究涉及的原理，不仅包括验证性和单项性实验，而且包括综合性、设计性及研究性实验，具有较强的实践性和操作性。内容涉及基本理论、实验内容和步骤、实例分析等，绝大部分实例都是原创性的案例，对地矿类专业的实验技术人员进行实验技能的基本训练，加深他们对所学理论的认识，培养他们的创新精神和实践能力具有重要的参考价值。

本书共分8章。第1章介绍了矿石密度及堆密度、摩擦角、堆积角、物料水分含量、矿物硬度、矿浆黏度的测定；第2~5章分别介绍了筛分与磨矿实验、磁电选矿实验、重力分选实验、泡沫浮选实验；第6章论述了工业生产实用操作技术与方法；第7章简要介绍了矿石测试方法；第8章介绍了实验数据处理和实验设计。

本书由胡海祥（第1~4章、第6章、第8章）、秦磊（第7章）、李广（第5章）编写。全书由胡海祥统稿。书中的部分内容参考了许时、张一敏、王资、刘炯天、于福家等学者编著的书籍，在此一并表示感谢。

由于作者水平所限，书中有不妥之处，敬请广大读者和专业人士批评、指正。

作 者
2012年3月

目 录

1 物料物性实验分析	1
1.1 矿石性质研究的内容及程序	1
1.1.1 矿石性质研究的内容	1
1.1.2 矿石性质研究的程序	14
1.2 矿石密度及堆密度的测定	16
1.2.1 矿石密度的测定	17
1.2.2 矿石堆密度的测定	19
1.3 物料摩擦角的测定	20
1.3.1 测定原理	20
1.3.2 实验仪器、设备和器具	20
1.3.3 测定步骤	21
1.4 物料堆积角的测定	21
1.4.1 测定原理	21
1.4.2 实验仪器、设备和器具	21
1.4.3 测定步骤	21
1.5 物料水分含量的测定	22
1.5.1 物料中水分的分类	22
1.5.2 实验仪器、设备及器具	23
1.5.3 测定步骤	23
1.6 物料硬度的测定	23
1.6.1 测定原理	23
1.6.2 实验仪器、设备及器具	25
1.6.3 测定步骤	25
1.7 矿浆黏度的测定	25
1.7.1 测定原理	25
1.7.2 实验仪器、设备和器具	27
1.7.3 测定步骤	27
2 筛分与磨矿实验	29
2.1 粒度组成分析	29
2.1.1 筛分法	29
2.1.2 沉降法	31
2.1.3 显微镜法	31
2.2 筛分效率与分级效率的测定	32
2.2.1 筛分效率和分级效率的定义及推导	32

2.2.2 筛分效率与分级效率计算	34
2.3 磨矿实验	38
2.3.1 磨矿步骤	38
2.3.2 可磨度实验	39
2.4 闭路磨矿实验	46
2.4.1 闭路磨矿曲线	46
2.4.2 闭路磨矿曲线的制作	47
2.5 闭路磨矿动力学推导与分析	48
2.5.1 闭路磨矿流程	48
2.5.2 闭路磨矿动力学分析	48
2.5.3 用磨矿动力学分析分级效率对返砂组成的影响	50
2.6 实际矿物连续闭路磨矿分析	51
2.6.1 实验设备与条件	51
2.6.2 实验流程	52
2.6.3 实验结果分析	52
3 磁电选矿实验	59
3.1 矿物比磁化系数的测定	59
3.1.1 比较法	59
3.1.2 古依法	61
3.2 矿石中磁性矿物含量测定	63
3.2.1 磁选管法	63
3.2.2 磁力分选仪法	65
3.3 磁选机磁场强度的测定	67
3.3.1 测定原理	67
3.3.2 测定方法	68
3.4 高梯度磁选机分选实验	69
3.4.1 SLon-100 周期式脉动高梯度磁选机简介	69
3.4.2 实验设备、用具及试样	70
3.4.3 实验步骤	70
3.5 磁滚筒磁选实验	71
3.5.1 DCX300 型磁滚筒简介	71
3.5.2 实验设备、用具及试样	71
3.5.3 实验步骤	72
3.6 磁选柱分选实验	73
3.6.1 磁选柱简介	73
3.6.2 实验设备、用具及试样	73
3.6.3 实验步骤	74
3.7 赤铁矿磁化焙烧磁选实验	75

3.7.1 磁化焙烧的目的和原理	75
3.7.2 实验设备、用具及试样	77
3.7.3 实验步骤	77
3.8 锡精矿与石英电选分离实验	77
3.8.1 基本原理	77
3.8.2 实验设备与试样	78
3.8.3 设备操作步骤与实验步骤	79
4 重力分选实验	82
4.1 自由沉降实验	82
4.1.1 测定原理	82
4.1.2 实验部分	84
4.2 淘析法实验	85
4.2.1 测定原理	85
4.2.2 实验部分	86
4.3 连续水析实验	88
4.3.1 测定原理	88
4.3.2 实验部分	90
4.4 跳汰分选实验	91
4.4.1 跳汰简介与工作原理	91
4.4.2 实验部分	93
4.5 摇床分选实验	94
4.5.1 摇床简介与工作原理	94
4.5.2 实验部分	96
4.6 螺旋溜槽分选实验	97
4.6.1 螺旋溜槽简介与工作原理	97
4.6.2 实验部分	99
5 泡沫浮选实验	101
5.1 纯矿物浮选实验	101
5.1.1 实验原理	101
5.1.2 实验部分	102
5.2 起泡剂起泡性能实验	103
5.2.1 实验原理	103
5.2.2 实验部分	104
5.3 捕收剂浮选实验	105
5.3.1 实验原理	105
5.3.2 实验部分	105
5.4 铜矿石浮选分离实验	108

5.4.1	实验原理	108
5.4.2	实验部分	108
5.5	润湿接触角的测定实验	110
5.5.1	实验原理	110
5.5.2	实验部分	111
5.6	物料电动电位的测定	112
5.6.1	实验原理	112
5.6.2	实验部分	113
5.7	浮选闭路实验	114
5.7.1	实验原理	114
5.7.2	实验部分	118
6	工业生产实用操作技术与方法	123
6.1	矿浆浓度、细度的测量	123
6.2	药剂测量、矿浆调控、产品处理	124
6.2.1	药剂配制与使用	124
6.2.2	矿浆调控	127
6.2.3	产品处理	128
6.3	矿样取样、缩分方法	129
6.3.1	采样一般要求	129
6.3.2	矿床采样方法	131
6.3.3	分选过程采样	133
6.3.4	试样加工	138
6.4	紫外分光光度法测量捕收剂浓度	141
6.4.1	波长的选择	141
6.4.2	MA-1 黄药不同浓度的吸光度	142
6.4.3	矿物表面吸附量测定方法	142
6.4.4	矿物表面吸附量测定	142
6.5	选矿产品的考察	143
6.5.1	磨矿产品的考察	143
6.5.2	精矿产品的考察	145
6.5.3	中矿产品的考察	145
6.5.4	尾矿产品的考察	147
6.6	浮选工艺流程控制	148
6.6.1	浮选工艺过程调节	148
6.6.2	浮选操作技术	153
6.6.3	浮选流程结构	156

7 矿石测试方法	159
7.1 显微镜分析	159
7.1.1 反光显微镜分析	159
7.1.2 偏光显微镜分析	161
7.2 X射线衍射分析	165
7.2.1 测定原理	167
7.2.2 物相定性分析方法	168
7.2.3 XRD测定的图片形态	170
7.3 X射线荧光光谱测试分析	170
7.3.1 定性分析	172
7.3.2 定量分析	172
7.3.3 X射线荧光光谱分析	172
7.4 X射线光电子能谱检测	172
7.4.1 X射线光电子能谱法的特点	173
7.4.2 定量分析	174
7.4.3 化学态分析	174
7.4.4 X射线光电子能谱图形态	174
7.5 拉曼光谱测试分析	175
7.5.1 拉曼光谱的应用领域	176
7.5.2 拉曼光谱的图片形态	176
7.6 红外光谱测试分析	177
7.6.1 红外光谱基本原理	177
7.6.2 红外光谱分析	177
7.6.3 红外光谱的图片形态	178
7.7 扫描电镜测试	179
7.7.1 扫描电镜的样品制备	179
7.7.2 扫描电镜的图片形态	180
7.8 透射电镜测试	183
7.8.1 透射电镜的样品制备	183
7.8.2 透射电镜的图片形态	184
7.9 色谱-质谱联用	184
7.9.1 液相色谱-质谱联用	184
7.9.2 气相色谱-质谱联用	185
8 实验数据处理和实验设计	188
8.1 数据误差分析	188
8.1.1 误差的概念	188
8.1.2 误差的表示方法	190
8.1.3 过失误差的舍弃	191

8.2 实验数据处理	191
8.2.1 列表法	191
8.2.2 图示法	192
8.2.3 数学式方程表示法	193
8.2.4 回归计算实例	197
8.3 正交实验设计方法	201
8.3.1 实验设计方法概述	201
8.3.2 正交实验设计方法的特点	201
8.3.3 正交表	202
8.3.4 正交实验结果分析方法	203
8.3.5 正交实验极差分析法举例	205
8.3.6 流程考察报告的编写	209
8.3.7 实验报告的编写	209
8.4 实验设计方法	210
8.4.1 单因素实验方法	211
8.4.2 多因素实验方法	215
参考文献	218

1 物料物性实验分析

矿石物料物性的研究是指指导矿物加工实验研究和工业生产的一项基础性工作，对于矿物选别工艺、工艺故障的分析和资源综合利用等具有重要现实意义。物料物性分析主要研究矿石加工和选别过程中各产品的矿物学，确定矿物加工过程中矿物行为规律，为工艺过程的分析、预测和控制提供理论依据。

矿石物料物性的分析包括很多内容，所用的方法多种多样，并在不断地探索和发展中。本章对物料物性分析的常规内容和基本方法做了阐述，包括矿石研究的内容及程序、矿石密度及堆密度的测定、摩擦角的测定、堆积角的测定、物料水分含量的测定、物料硬度的测定及矿浆黏度的测定等内容。

1.1 矿石性质研究的内容及程序

1.1.1 矿石性质研究的内容

为了合理、正确地制定某种矿石的选矿实验方案，首先应对矿石性质进行充分的了解，同时综合考虑经济、技术等诸方面的因素。矿石性质研究内容极其广泛，所用方法多种多样，先进的矿石性质研究方法不断推陈更新，微观与宏观的检测相互配合，矿石性质的研究内容必须根据多方因素确定，避免不必要的经费开支。矿石性质的研究方法大多是由专业人员承担，并不要求选矿实验人员自己去做。因而，选矿实验人员需要着重掌握四个方面的内容：

(1) 基本掌握矿石可选性研究所涉及的矿石性质研究的内容、方法和程序。

(2) 能够对先进的检测表征图谱进行解读。目前矿石的表征手段已经更加深入、细致和微观，如果不能正确理解和解读各种表征图谱势必造成对矿石形式的误判，所以，当代选矿技术对选矿实验人员提出了更高的要求。

(3) 能够根据选矿实验任务提出对矿石性质研究工作的要求。

(4) 能够参考类似矿石实验方案实例，分析矿石性质的研究结果，并据此选择选矿方案。

矿石性质研究的内容取决于各具体矿石的性质和选矿研究工作的深度，一般大致包括化学组成分析、矿物组成分析、矿石组构分析、单体解离度与连生体特性分析、粒度组成分析等。

1.1.1.1 化学组成分析

化学组成的研究内容是研究矿石中所含化学元素的种类、含量及相互结合情况。一般采用光谱分析和化学元素分析方法。

A 光谱分析

元素分析的目的是为了研究矿石的化学组成，查明矿石中所含元素的种类、含量。光

谱分析能迅速全面地查明矿石中所含元素的种类及其大致含量范围，不至于遗漏某些稀有、分散和微量元素。因而选矿实验常用此法对原矿、中间产品或精尾矿进行普查，查明了含有哪些元素之后，再做化学定量分析。光谱分析的原理是矿石中不同元素经热辐射等能量的作用能够发射不同波长的光谱线，通过记录仪器摄谱仪记录下来，与已知元素的光谱线对比，即可得知矿石中的元素组成及定性含量。光谱分析的特点是灵敏度高，测定迅速，所需用的试样很少（几毫克到几十毫克），所以取样时需磨得非常细，但精确定量时操作比较复杂，一般只进行定性及半定量测定。

有些元素，如卤素和 S、Ra、Ac、Po 等，光谱法不能测定，直接用化学方法测定。有些元素，如 B、As、Hg、Sb、K、Na 等，光谱操作较特殊，一般不做光谱分析，直接用化学法测定。

某铜选厂矿石 X 射线荧光光谱的分析结果见表 1-1。

表 1-1 某铜选厂矿石 X 射线荧光光谱的分析结果

元素	Cu	SO ₃	MoO ₃	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	ZnO
含量/%	0.52	2.81	0.24	23.56	14.94	4.66	30.55	5.23	0.02
元素	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	SiO	TiO ₂	P ₂ O ₅	BaO	烧失量	合计
含量/%	0.12	0.65	1.11	0.03	0.17	0.07	0.03	15.19	99.90

从表 1-1 中可知，矿石中的大部分元素都能分析出来，分析结果以氧化物的形式呈现，并不是表明矿石中都是氧化物，如 SO₃ 不可能存在，一般都是以硫酸盐的形式存在。从表 1-1 中还可知原矿石碱度系数 $(CaO + MgO)/(Al_2O_3 + SiO_2) = 1.09 > 0.5$ ，属于碱性矿石。

关于如何用光谱分析结果指导矿石可选性研究，以表 1-1 分析结果举例说明。

表 1-1 光谱分析结果表明，矿石中主要有用成分为铜，有可能综合利用的为钼，脉石成分主要是 SiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO 等，由此确定矿石中可能含有硅铝酸盐，碱性的钙镁化合物等不利矿物，初步判断有可能利用的为铜、钼金属。

B 化学元素分析

化学分析方法能准确地定量分析矿石中各种元素的含量，据此决定哪些元素在选矿工艺中必须考虑回收，哪些元素为有害杂质需将其分离。因此化学分析是了解选别对象的一项很重要的工作。化学全分析是为了了解矿石中所含全部物质成分的含量，凡经光谱分析查出的元素，除痕量元素外，其他所有元素都作为化学全分析的项，分析的总和应接近 100%。

化学多元素分析是对矿石中所含多个重要和较重要的元素的定量化学分析，不仅包括有益和有害元素，还包括造渣元素。如单一铁矿石可分析全铁、可溶铁、氧化亚铁、S、P、Mn、SiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO 等。金、银等贵金属需要用类似火法冶金的方法进行分析，所以专门称为试金分析，实际上也可看做是化学分析的一种，其结果一般合并列入原矿的化学全分析或多元素分析。化学全分析要花费大量的人力和物力，通常仅对性质不明的新矿床，才需要对原矿进行一次化学全分析。单元实验的产品，只对主要元素进行化学分析。实验最终产品（主要指精矿或需要进一步研究的中矿和尾矿），根据需要一般要做多元素分析。

某铁矿的原矿化学多元素分析结果见表 1-2。

表 1-2 某铁矿的原矿化学多元素分析结果

元 素	TFe	P	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
含量/%	43.26	0.87	0.070	17.70	7.28	4.39	0.85

表 1-2 多元素分析结果表明,该铁矿总铁含量不高,还需进一步分析具体有哪些铁物相,如磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、可溶性铁等;P 的含量较高,不利于后续的冶炼作业,应在选矿作业中降低 P 的品位;该矿石的主要脉石成分为 SiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO 等。

1.1.1.2 矿物组成分析

矿物组成的研究内容是研究矿石中所含的各种矿物的种类和含量,有用元素和有害元素的赋存形态。

光谱分析和化学分析只能查明矿石中所含元素的种类和含量,矿物组成分析则可进一步查明矿石中各种元素呈何种矿物存在,以及各种矿物的含量、嵌布粒度特性和相互间的共生关系。其研究方法主要是物相分析和岩矿鉴定,各种先进的检测手段,如 X 射线衍射物相分析(XRD)、电子探针 X 射线显微分析、拉曼光谱法等都可检测矿物组成,在后续章节中详细阐述。

A 物相分析

物相分析的原理是矿石中各种矿物在各种溶剂中的溶解度和溶解速度不同,采用不同浓度的各种溶剂在不同条件下处理所分析的矿样,即可使矿石中各种矿物分离,从而可测出试样中某种元素呈何种矿物存在和含量。

目前一般可对以下元素进行物相分析:铜、铅、锌、锰、铁、钨、锡、锑、钴、镍、钛、铝、砷、汞、硅、硫、磷、铟、铀、锆、铍等。

与岩矿鉴定相比较,物相分析操作较快,定量准确,但不能将所有矿物区分,并无法测定这些矿物在矿石中的空间分布以及嵌布、嵌镶关系,因而在矿石物质组成研究工作中只是一个辅助的方法,无法代替岩矿鉴定。

由于矿石性质复杂,有的元素物相分析方法还不够成熟或处在继续研究发展中。因此,对矿石形式的判断,应综合分析物相分析、岩矿鉴定或其他分析方法所得资料,才能得出正确的结论。某铁选厂的原矿铁物相分析结果见表 1-3。

表 1-3 某铁选厂的原矿铁物相分析结果

矿 物	磁性铁	碳酸铁	硫酸铁	硅酸铁	赤褐铁	TFe
铁含量/%	—	0.079	0.032	1.43	41.98	43.52
分布率/%	—	0.18	0.073	3.29	96.46	100.00

表 1-3 物相分析结果表明,铁矿石中矿物组成比较复杂,除含有赤铁矿、褐铁矿外,还含有菱铁矿、硫酸铁、硅酸铁等,没有磁铁矿。由于各种铁矿物对各种溶剂的溶解度相近,分离很不理想,结果有时偏低或偏高(如菱铁矿往往偏高,硅酸铁有时偏低)。在这种情况下,就必须综合分析元素分析、物相分析、岩矿鉴定、磁性分析等方法,才能最终判定铁矿物的存在形态,并据此拟定正确合理的实验方案。

B 岩矿鉴定

岩矿鉴定可以确切地知道有益和有害元素存在于什么矿物之中，查清矿石中矿物的种类、大致含量、嵌布粒度特性和嵌镶关系，测定选矿产品中有用矿物单体解离度。

测定方法包括肉眼和显微镜鉴定等常用方法和其他特殊方法。肉眼鉴定矿物时，有些特征不显著的或细小的矿物是极难鉴定的，对于它们只有用显微镜鉴定才可靠。常用的显微镜有实体显微镜（双目显微镜）、偏光显微镜和反光显微镜等。

(1) 实体显微镜只有放大作用，是肉眼观察的简单延续，用于放大物体形象，观察物体的表面特征。观察时，先把矿石碎屑在玻璃板上摊为一个薄层，然后直接进行观察，并根据矿物的形态、颜色、光泽和解理等特征来鉴别矿物。这种显微镜的分辨能力较低，但观察范围大，能看到矿物的立体形象，可初步观察矿物的种类、粒度和矿物颗粒间的相互关系，估测矿物的含量。

(2) 偏光显微镜除具有放大作用外，还在显微镜上装有两个偏光零件——起偏镜（下偏光镜）和分析镜（上偏光镜），加上可以旋转的载物台，就可以用来观察矿物的偏光性质。这种显微镜只能用来观察透明矿物。

(3) 反光显微镜的构造和偏光显微镜一样，都具有偏光零件，所不同的是在显微镜筒上装有垂直照明器。这种显微镜适用于观察不透明矿物，要求将矿石的观察表面磨制成光洁的平面，即把矿石制成适用于显微镜观察的光片。大部分有用矿物属于不透明矿物，主要运用这种显微镜进行鉴定。鉴定表上没有的矿物或单凭显微镜还难以鉴定的矿物等，则要用其他一些特殊方法。

在显微镜下测定矿石中矿物含量的方法主要有面积法、直线法和计点法三种，即具体测定统计待测矿物所占面积（格子）、线长、点子数的百分率，工作量比较大。选矿实验若对精确度要求不高，也可采用估计法，即直接估计每个视野中各矿物的相对含量百分比，此时最好采用十字丝或网格目镜，以便易于按格统计。经过多次对比观察积累经验后，估计法亦可得到相当准确的结果。

应用上述各种方法都是首先得出待测矿物的体积分数，乘以各矿物的密度即可算出该样品中矿物的质量分数。

某铜选厂扫选精矿的样本用 520 胶固结后经电木粉镶嵌制成光薄片，在 NIKON-LV100POL 型反光显微镜下的观察的结果如下：

(1) 标本观察。样品为灰白色砂样，主要为黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、磁黄铁矿等，含部分脉石矿物。

(2) 主要矿物成分。样片中主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、闪锌矿、辉钼矿等，以及脉石矿物。

1) 黄铁矿 (Py)。黄铁矿含量约占 7%，单晶体较少，多被黄铜矿、磁黄铁矿等交代，或被脉石矿物穿切。

2) 黄铜矿 (Cp)。黄铜矿含量约占 10%，单晶体较少分布，多交代黄铁矿、磁铁矿，或分布在脉石矿物裂隙中（图 1-1a），与磁黄铁矿共生，偶见交代闪锌矿或呈细小的乳滴状分布在闪锌矿中（图 1-1b）。

3) 磁黄铁矿 (Po)。磁黄铁矿含量约占 3%，部分呈单晶体分布（图 1-1c），多数与黄铜矿共生，或交代黄铁矿，以及与脉石矿物连晶。

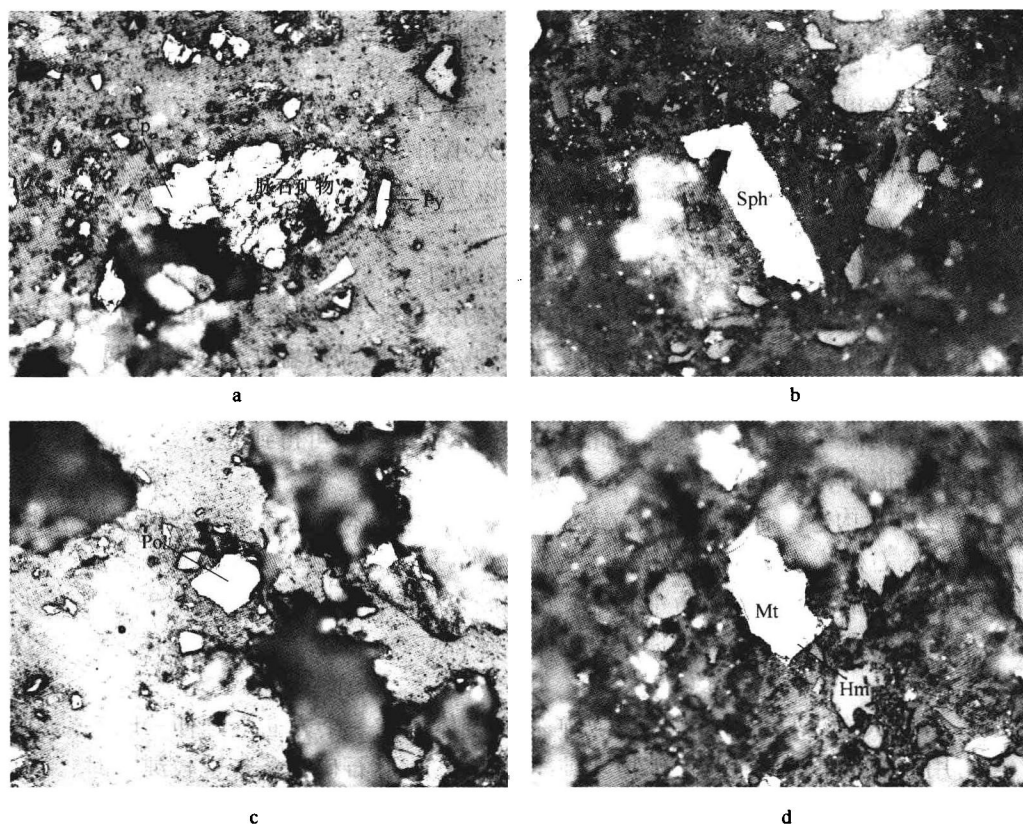


图 1-1 某铜选厂扫选精矿反光显微镜下鉴定图

a, c, d—d=0.22mm; b—d=0.56mm

4) 磁铁矿 (Mt)。磁铁矿含量约占 5%，少部分呈单晶体分布，大多被黄铜矿、赤铁矿交代 (图 1-1d)，部分与脉石矿物连晶。

5) 赤铁矿 (Hm)。赤铁矿含量约占 1%，单晶体极少见，多交代磁铁矿 (图 1-1d)，或分布在脉石矿物中。

6) 闪锌矿 (Sph)。闪锌矿含量小于 1%，单晶体极少见，其中多分布有黄铜矿细小乳滴 (图 1-1b)，或与脉石矿物连晶。

7) 辉钼矿 (Mol)。辉钼矿含量小于 1%，呈鳞片状，部分呈单晶体分布，与脉石矿物连晶。

1.1.1.3 矿石的构造、结构分析

矿石构造是指组成矿石的矿物集合体的形态、大小及空间相互的结合关系等所反映的分布特征。矿石结构是指矿石中单个矿物结晶颗粒的形态、大小及其空间相互的结合关系等所反映的分布特征。矿石构造既可用肉眼观察，也可用显微镜观察。矿石结构主要在显微镜下观察，个别粗大的颗粒也可用肉眼观察。矿石的构造和结构统称矿石组构。研究矿石组构，可以科学地认识矿床成因，对矿床进行正确的工业评价，对矿石开展最佳综合利用，确定选、冶的合理方案。

矿石的结构、构造所反映的虽是矿石中矿物的外形特征，但却与它们的生成条件密切相关，因而对于研究矿床成因具有重要意义。在一般的矿石分析报告中都会对矿石的结构、构造特点给以详细的描述。矿石的结构、构造特点，对于矿石的可选性具有重要意义，而其中最重要的则是有用矿物颗粒形状、大小和相互结合的关系，因为它们决定着破碎、磨碎时有用矿物单体解离的难易程度以及连生体的特性。

A 矿石的构造

矿石的构造形态及其相对可选性可大致划分如下：

(1) 块状构造。有用矿物集合体在矿石中约占 80%，呈无空洞的致密状，矿物排列无方向性。其颗粒有粗大、细小、隐晶质的几种。若为隐晶质者称为致密块状。此种矿石如不含有伴生的有价成分或有害杂质（或含量甚低），即可不经选别，直接送冶炼或化学处理。反之，则需经选矿处理。选别此种矿石的磨矿细度及可得到的选别指标取决于矿石中有用矿物的嵌布粒度特性。

(2) 浸染状构造。有用矿物颗粒或其细小脉状集合体，相互不结合地、孤立地、疏散地分布在脉石矿物构成的基质中。这类矿石总的来说是有利于选别的，所需磨矿细度及可能得到的选别指标取决于矿石中有用矿物的嵌布粒度特性，同时还取决于有用矿物分布的均匀程度，以及其中是否有其他矿物包体，脉石矿物中是否有有用矿物包体，包体的粒度大小等。

(3) 条带状构造。有用矿物颗粒或矿物集合体，在一个方向上延伸，以条带相间出现，当有用矿物条带不含有其他矿物（纯净的条带），脉石矿物条带也较纯净时，矿石易于选别。条带不纯净的情况下其选矿工艺特征与浸染状构造矿石相类似。

(4) 角砾状构造。角砾状构造是指一种或多种矿物集合体不规则地胶结。如果有用矿物成破碎角砾被脉石矿物所胶结，则在粗磨的情况下即可得到粗精矿和废弃尾矿，粗精矿再磨再选。如果脉石矿物为破碎角砾，有用矿物为胶结物，则在粗磨的情况下可得到部分合格精矿，残留在富尾矿中的有用矿物需再磨再选，方能回收。

(5) 鲕状构造。根据鲕状和胶结物的性质可大致分为以下两种：1) 鲕粒为一种有用矿物组成，胶结物为脉石矿物，此时磨矿粒度取决于鲕粒的粒度，精矿质量也决定于鲕粒中有用成分的含量；2) 鲕粒为多种矿物（有用矿物和脉石矿物）组成的同心环带状构造。若鲕粒核心大部分为一种有用矿物组成，另一部分鲕核为脉石矿物所组成，胶结物为脉石矿物，此时可在较粗的磨矿细度下（相当于鲕粒的粒度）得到粗精矿和最终尾矿。欲再进一步提高粗精矿的质量，常需要磨到鲕粒环带的大小，此时磨矿粒度极细，造成矿石泥化，回收率急剧下降。因此，复杂的鲕状构造矿石采用机械选矿的方法一般难以得到高质量的精矿。

与鲕状构造的矿石选矿工艺特征相近的有豆状构造、肾状构造以及结核状构造。这些构造类型的矿石如果胶结物为疏松的脉石矿物，通常采用洗矿、筛分的方法得到较粗粒的精矿。

(6) 脉状及网脉状构造。一种矿物集合体的裂隙内，有另一组矿物集合体穿插成脉状及网脉状。如果有矿物在脉石中成为网脉，则此种矿石在粗磨后即可选出部分合格精矿，而将富尾矿再磨再选，如果脉石在有用矿物中成为网脉，则应选出废弃尾矿，将低品位精矿再磨再选。

(7) 多孔状及蜂窝状构造。多孔状及蜂窝状构造是指在风化作用下，矿石中一些易溶矿物或成分被带走，在矿石中形成孔穴，多为孔状。如果矿石在风化过程中，溶解了一部分物质，剩下的不易溶或难溶的成分形成了墙壁或隔板似的骨架，称为蜂窝状。这两种矿石都容易破碎，但如孔洞中充填、结晶有其他矿物时，对选矿产生不利影响。

(8) 似层状构造。矿物中各种矿物成分呈平行层理方向嵌布，层间接触界线较为整齐。一般铁、锰、铝的氧化物和氢氧化物具有这种构造。其选别的难易决定于层内有用矿物颗粒本身的结构关系。

(9) 胶状构造。胶状构造是在胶体溶液的矿物沉淀时形成的。是一种复杂的集合体，是由弯曲而平行的条带和浑圆的带状矿瘤所组成。这种构造裂隙较多。胶状构造可以由一种矿物形成，或者由一些成层交错的矿物带所形成。如果有用矿物的胶体沉淀和脉石矿物的胶体沉淀彼此孤立地不是同时进行，则有可能选别。如二者同时沉淀，形成胶体混合物，而且有用矿物含量不高时，则难于用机械方法进行选分。

B 矿石的结构

构成矿石结构的主要因素有矿物的粒度、晶粒形态（结晶程度）及嵌镶方式等。

a 嵌布粒度的分类

矿物颗粒的粒度矿物粒度大小的分类原则及划分的类型还很不统一，但是在选矿工艺上，为了说明有用矿物粒度大小与破碎、磨碎和选别方法的重要关系，常采用粗粒嵌布、细粒嵌布、微粒和次显微粒嵌布等概念。

(1) 粗粒嵌布。矿物颗粒的尺寸为 20 ~ 2mm，亦可用肉眼看出或测定，这类矿石可用重介质选矿、跳汰或干式磁选法来选别。

(2) 中粒嵌布。矿物颗粒的尺寸为 2 ~ 0.2mm，可在放大镜的帮助下用肉眼观察或测量。这类矿石可用摇床、磁选、电选、重介质选矿，表层浮选等方法选别。

(3) 细粒嵌布。矿物颗粒尺寸为 0.2 ~ 0.02mm，需要在放大镜或显微镜下才能辨认，并且只有在显微镜下才能测定其尺寸。这类矿石可用摇床、溜槽、浮选、湿式磁选、电选等。矿石性质复杂时，需借助于化学的方法处理。

(4) 微粒嵌布。矿物颗粒尺寸为 20 ~ 2 μ m。只能在显微镜下观测。这类矿石可用浮选、水冶等方法处理。

(5) 次显微（亚微观）嵌布。矿物颗粒尺寸为 2 ~ 0.2 μ m，需采用特殊方法（如电子显微镜）观测。这类矿石可用水冶方法处理。

(6) 胶体分散。矿物颗粒尺寸在 0.2 μ m 以下。需采用特殊方法（如电子显微镜）观测。这类矿石一般可用水冶或火法冶金处理。

有用矿物嵌布粒度大小不均的，可称为粗细不等粒嵌布、细微粒不等粒嵌布等。

b 嵌布粒度特性研究

嵌布粒度特性是指矿石中矿物颗粒的粒度分布特性。实践中可能遇到的矿石嵌布粒度特性大致可分为以下四种类型：

(1) 有用矿物颗粒具有大致相近的粒度（图 1-2 中曲线 1），可称为等粒嵌布矿石，这类矿石最简单，选别前可将矿石一直磨细到有用矿物颗粒基本完全解离为止，然后进行选别，其选别方法和难易程度则主要取决于矿物颗粒粒度的大小。

(2) 粗粒占优势的矿石，即以粗粒为主的不等粒嵌布矿石（图 1-2 中曲线 2），一般