

● 周乐光 主编

工艺

(第2版)

矿物学

学

冶金工业出版社

工艺矿物学

(第2版)

东北大学 周乐光 主编

北 京

冶金工业出版社

2002

图书在版编目 (CIP) 数据

工艺矿物学/周乐光主编. —2 版. —北京: 冶金工业出版社, 2002. 4
ISBN 7-5024-2946-8

I. 工… II. 周… III. 工艺矿物学 IV. P57

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 006536 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 赵玉学 方茹娟 美术编辑 李 心 责任校对 栾雅谦 责任印制 李玉山

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1990 年 5 月第 1 版; 2002 年 4 月第 2 版, 2002 年 4 月第 3 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 17.5 印张; 423 千字; 268 页; 4051-6550 册

32.00 元

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 (100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

第 2 版前言

1990年出版的第1版教材，目的是为了满足不同金属矿物选矿专业的教学需要。所以天然金属矿物，成为全书编撰时内容取舍的主要依据之一。这次修订教材，增加了“矿物的偏光显微镜鉴定”，介绍了人工合成矿物与非金属矿物的镜下鉴定特征。这样做的目的，是为了使选矿、冶炼、陶瓷、建材、化工等相关专业的学生，都能依靠这本书学到自己需要的知识。

工艺矿物学是20世纪70年代兴起的一门新兴边缘应用学科。其后有关的新技术、新理论不断涌现。其中是“矿物的粒度测量”、“矿物解离”等方面更是有了长足的进展。为此，教材修订时，对那些已为实践认可的新成果均都作了比较全面的介绍和补充。

修订教材的另一较大改动是，用一章的篇幅专门介绍了“矿物研究的其他常用测试技术”。目的是使学生能够：(1) 根据需要解决的问题，选取适宜的测试方法；(2) 为测试工作提供合乎要求的样品；(3) 能够基本正确地判读和使用测试工作所提供的数据、资料信息。

参加这次教材修订的有：东北大学周乐光（第1、7章），北京科技大学李建平（第2章2.1~2.5节），武汉工业大学毕晓平（第2章2.6~2.7节），昆明理工大学宋焕斌（第3章），南方冶金学院钟盛文（第4章），西安建筑科技大学吕宪俊（第5、6章），武汉冶金科技大学程寄皋（第8章）。

编 者

2000年12月

第 1 版前言

自 1979 年起工艺矿物学已被列为选矿专业必修课。编写这本教材既是为了满足本科教学的需要，又是对有关高校十年来教学实践的总结。教材内容按 50 课时编排。

全书对工艺矿物学的基本概念、任务，反光显微镜下矿物的光学性质和鉴别方法，工业矿石及其选矿产品的矿物组成、含量、嵌布特征、元素赋存状态、有用组分的单体解离度，工艺矿物流程图以及工艺地质填图等方面的基本理论与研究方法，作了全面系统的介绍。既可作本科教学用书，也可供在工艺矿物学、选矿、地质等部门工作的科技人员参考。

教材共分 6 章、两个附录。其中第 1、5、6 章由东北工学院周乐光编写，第 2 章及附录一由北京科技大学李前懋编写，第 3、4 章及附录二由西安冶金建筑学院周国华编写。由东北工学院、北京科技大学、西安冶金建筑学院、南方冶金学院、昆明工学院、唐山工程技术学院和鞍山钢铁学院有关教师组成的教材编写小组，曾于 1987 年 10 月和 1988 年 5 月先后两次审定和讨论了书稿内容。1988 年 8 月初稿完成后，又由主编周乐光统一进行了修改和润色。

工艺矿物学正处于内容及方法不断更新的发展时期，为了推动学科的进一步完善与提高，衷心期望使用本书的读者提出批评指正。

编 者

1989 年 3 月

目 录

1 总论	1
1.1 工艺矿物学的发展概况及其地位与作用	1
1.2 工艺矿物学研究内容与教材使用说明	3
1.2.1 工艺矿物学研究内容	3
1.2.2 教材使用说明	7
1.3 取样	8
1.4 误差控制	11
1.4.1 参数标志量的分布函数	11
1.4.2 方案设计的理论基础	13
1.4.3 方案设计	14
1.4.4 镜下观测的最佳颗粒数	15
1.4.5 抽样方案实际应用举例	15
2 矿物的偏光显微镜鉴定	19
2.1 晶体光学基本知识	19
2.1.1 自然光与偏振光	19
2.1.2 光在均质体与非均质体中的传播	20
2.1.3 光率体	20
2.1.4 光性方位	26
2.2 偏光显微镜	26
2.2.1 偏光显微镜的构造	26
2.2.2 偏光显微镜的调节与校正	28
2.2.3 偏光显微镜的保养	30
2.3 透明矿物在单偏光镜下的光学性质	31
2.3.1 矿物晶体的形态	31
2.3.2 解理及其夹角的测定	32
2.3.3 颜色和多色性、吸收性	33
2.3.4 薄片中药物的边缘、贝克线、糙面及突起	33
2.4 透明矿物在正交偏光镜下的光学性质	35
2.4.1 正交偏光镜间矿片的消光现象及消光位	35
2.4.2 正交偏光镜间矿片的干涉现象	36

2.4.3	干涉色和干涉色色谱表	39
2.4.4	补色法则和补色器	41
2.4.5	正交偏光镜间主要光学性质的测定和观察	42
2.5	透明矿物在锥光镜下的光学性质	45
2.5.1	一轴晶干涉图的形象特征和光性正负	46
2.5.2	二轴晶干涉图的形象特征和光性正负	50
2.6	油浸法测定折射率	53
2.6.1	浸油的配制及其折射率值测定方法	54
2.6.2	浸油薄片的制备	55
2.6.3	在碎屑油浸薄片, 比较矿物与浸油折射率值大小的方法	56
2.6.4	油浸法测定矿物折射率值的步骤	57
2.7	常见透明矿物鉴定表	59
3	反光显微镜下的矿物鉴定	77
3.1	光片与反光显微镜	77
3.1.1	光片	77
3.1.2	反光显微镜	77
3.1.3	光片的安装	80
3.2	矿物的反射率与双反射	81
3.2.1	反射率与双反射的概念	81
3.2.2	反射率与双反射的测定	82
3.2.3	影响反射率和双反射的因素	83
3.3	矿物的反射色与反射多色性	83
3.3.1	反射色与反射多色性的概念	83
3.3.2	反射色与反射多色性的测定	83
3.3.3	影响反射色和反射多色性的因素	84
3.4	矿物的内反射	85
3.4.1	内反射的概念	85
3.4.2	内反射的测定	85
3.4.3	影响内反射测定的因素	86
3.5	矿物的均质性与非均质性	86
3.5.1	均质性与非均质性的概念	86
3.5.2	均质性与非均质性的测定	87
3.5.3	影响均质性与非均质性的因素	87
3.6	矿物的偏光图	87
3.6.1	概述	87
3.6.2	均质矿物的偏光图	88
3.6.3	非均质矿物的偏光图	88
3.7	矿物的硬度	89

3.7.1	刻划硬度	89
3.7.2	抗磨硬度	89
3.7.3	抗压硬度	90
3.8	矿物的结构	90
3.8.1	晶形	91
3.8.2	解理	91
3.8.3	双晶	91
3.8.4	环带	92
3.9	矿物的浸蚀鉴定	92
3.9.1	浸蚀鉴定的概念	92
3.9.2	浸蚀鉴定的试剂、用具及操作	92
3.9.3	影响浸蚀鉴定的因素	93
3.10	矿物的其他鉴定特征	93
3.10.1	磁性	93
3.10.2	导电性	93
3.10.3	脆性和塑性	94
3.11	矿物鉴定表	94
4	矿物研究的其他常用测试技术	104
4.1	电子与固体物质的相互作用	104
4.1.1	电子与物质作用的过程	104
4.1.2	产生的各种物理信号及其作用	106
4.2	X射线衍射分析	110
4.2.1	X射线的产生和性质	110
4.2.2	X射线在晶体中的衍射	113
4.2.3	粉晶和多晶体的研究方法	116
4.2.4	X射线衍射定性物相分析	119
4.3	透射电子显微镜	123
4.3.1	电子光学基础	123
4.3.2	透射电镜的工作原理与结构	127
4.3.3	试样的制备	128
4.3.4	透射电镜电子显微像的形成	129
4.3.5	电子衍射花样的特点与分析	130
4.4	扫描电子显微镜	134
4.4.1	扫描电镜的工作原理及构造	134
4.4.2	扫描电镜的主要性能	135
4.4.3	样品的制备及图像分析	136
4.5	电子探针微区分析	137
4.5.1	原理及构造	137

4.5.2	波谱仪及能谱仪使用范围的比较	139
4.5.3	试样制备	139
4.5.4	电子探针的分析应用	139
4.6	俄歇电子能谱表面微区分析	140
4.6.1	基本分析原理	141
4.6.2	俄歇电子能谱仪的组成及俄歇电子能谱图	141
4.6.3	应用实例	142
4.7	热分析方法	143
4.7.1	差热分析法	144
4.7.2	热重分析法	146
5	原料与产物中组成矿物的定量	151
5.1	分离矿物定量法	151
5.1.1	重力分离法	152
5.1.2	磁力分离法	156
5.1.3	介电分离法	158
5.1.4	高压静电分离法	159
5.1.5	选择性溶解法	160
5.2	显微镜下矿物定量	161
5.2.1	显微镜定量法的原理	161
5.2.2	显微镜下目估定量	162
5.2.3	面测法	163
5.2.4	线测法	164
5.2.5	点测法	164
5.3	化学多元素分析矿物定量	165
5.3.1	化学分析矿物定量原理	165
5.3.2	硫化矿物的计算	166
5.3.3	碳酸盐及含水矿物的计算	166
5.3.4	不含水硅酸盐矿物的计算	168
5.4	自动图像分析法矿物定量	170
5.5	X射线衍射矿物定量	171
5.5.1	纯样标准法	171
5.5.2	二相系标样对比法	171
5.5.3	内标法	171
6	原料与产物中元素的赋存状态	174
6.1	元素在原料与产物中的存在形式	174
6.1.1	独立矿物	174
6.1.2	类质同象	175

6.1.3	吸附形式	176
6.2	元素赋存状态研究方法	176
6.2.1	重砂分离法	177
6.2.2	选择性溶解法	177
6.2.3	电渗析法	178
6.2.4	矿物微区分析法	179
6.2.5	激光显微光谱法	180
6.2.6	数理统计法	182
6.3	元素的配分计算	187
6.3.1	元素配分计算的方法和步骤	187
6.3.2	配分计算	187
6.4	元素赋存状态研究实例	190
6.4.1	金的赋存状态研究	190
6.4.2	大洋锰结核中的元素赋存状态研究	194
6.4.3	铈的赋存状态研究	197
7	矿物颗粒的粒度测量	202
7.1	矿物嵌布特征与颗粒粒度	203
7.1.1	有用矿物嵌布特征	203
7.1.2	矿物颗粒粒度	204
7.1.3	颗粒的视粒度与平均粒度	205
7.1.4	粒度测量用样品和颗粒粒级划分	208
7.2	粒度测量基础	210
7.2.1	基本符号	210
7.2.2	基本公式	211
7.2.3	基本量的测量	212
7.2.4	目镜测微尺的格值标定	213
7.3	矿物粒度测量	213
7.3.1	概述	213
7.3.2	基本关系式—— $(N_V)_j$ 的计算公式	214
7.3.3	测量和计算方法	215
7.4	测量误差与粒度分布图示	226
7.4.1	测量误差	226
7.4.2	粒度分布图示	228
7.5	嵌布特征在矿物分选中的意义	229
7.5.1	矿物嵌布特征分选类型	230
7.5.2	嵌布特征工艺性分析举例	231

8 矿物的单体解离	234
8.1 矿物的解离与连生	236
8.1.1 矿物的解离方式与连生体类型	236
8.1.2 矿物解离的影响因素	238
8.1.3 T.P. 梅洛依连生定律	241
8.2 矿物解离数学模型	245
8.2.1 高登模型及赛 (Hsieh, 1994) 对模型的改进	245
8.2.2 威格尔模型	247
8.2.3 钦模型	252
8.3 矿物单体解离度测定	254
8.3.1 测定方法	254
8.3.2 测定程序	255
8.3.3 测定误差及其误差来源	257
8.4 解离度测定体视学误差校正	258
8.4.1 巴巴 (K. Baba) 等的校正方法	258
8.4.2 乔尼斯 (M. P. Jones) 等的校正方法	260
8.5 工艺矿物流程图	263

1 总 论

1.1 工艺矿物学的发展概况及其地位与作用

人类对矿物原料的利用,已有数千年历史。不过,大规模地开发和采掘则还是 20 世纪初叶的事。随着近代大工业的建立,各国正以前所未有的规模和速度消耗着地下资源。资源危机,已成为当今世界一个普遍性的社会问题。加强资源综合利用,提高有用组分回收率,是应付这一挑战的有效途径。据 H. Φ. 切里谢夫统计,目前地球上已知的 3300 余种矿物,被利用的仅 140 多种。而由于选冶工艺原因,这为数有限的矿种资源,又有相当大的一部分被白白丢失,其中黑色金属是 20%,有色金属是 40%,稀有金属的损失则高达 50% 以上。工业生产的迅猛发展,一方面是使越来越多的低品位、细颗粒、共生组合复杂的矿石进入选冶工业部门;另一方面是对回收指标的要求日趋增高。因而矿石工艺处理水平必须要以相应的速度提高,以适应这一社会技术要求。工艺矿物学,即是在工业生产和技术进步的有力推动下,应运而生的一门新兴边缘学科。

和所有其他学科的萌芽、生长和发展一样,工艺矿物学的出现可以追溯到工业社会之初,甚至更早一些。20 世纪 40 年代后,随着实际资料的极大丰富,相邻基础学科与测试技术的进步,特别是概率论、数理统计和体视学的引进;光学显微镜、X 射线衍射、电子显微镜、电子(离子)探针的应用,使学者们有可能从理论体系、基础知识、研究方法、基本内容等方面进行系统地总结和论述,追寻它的学术发展方向,阐明它在社会发展和国民经济中的地位和作用。而 A. H. 金兹堡和 H. T. 亚历山大罗娃,1974 年《工艺矿物学——新的矿物学分支》的问世,则标志着工艺矿物学,作为一门独立而成熟的技术科学,稳步而成功地跨进了现代科学之林。

前苏联是工艺矿物学研究起步较早的国家。H. M. 费多罗夫斯基在论述矿床地质-经济综合评价原则时,即蕴含着对矿石进行工艺矿物学分析的观念。以前全苏矿物原料研究所为代表的一系列研究机构,从战前开始即陆续组建了一批以矿石工艺矿物学性质为其研究对象的矿物学组。当时的主要任务,是向分选工艺人员提供所需要的矿物含量、元素配分,嵌布特征及产品单体解离度等项参数。这一时期的工作,在 1946 年 B. B. 多利沃-多布罗沃利斯基和 B. A. 格拉兹科夫斯基的专著中有过系统的总结。1983 年 12 月,在列宁格勒召开的“工艺矿物学对于苏联原料基地发展的意义”讨论会上,强调指出了提高工艺矿物学理论水平 and 加强实验基础的意义。近年来,由于矿石工艺处理方法的进步。矿物原料利用范围的扩展,矿产资源综合利用程度的提高、新型测试技术的应用,加之工艺矿物学研究方法的发展,在俄罗斯,工艺矿物学已成为地质、选矿、冶炼等部门技术进步的重要依托。

我国早在 20 世纪 50 年代即开始了这方面的工作。选矿、冶金、建材等相关部门都有

专门从事研究的人员和设备。进入 20 世纪 80 年代后,为了使各自分散的学术研究成果能及时得到交流,1979 年召开的中国金属学会选矿专门委员会决定成立隶属于它的工艺矿物学学组。之后于 1980 年 11 月 20~25 日在四川峨嵋召开了中国首届工艺矿物学学术交流会,会上提交论文 150 篇,与会代表近 200 人。自此各种形式的学术交流活动持续不断,到 1998 年,已先后召开了 14 次不同领域的全国性学术会议,其中有 3 次是“显微镜测定粒度和解离度”、“金银矿石工艺矿物学”与“中国非金属矿利用”等方面的专题讨论会。1983 年创办的《工艺矿物》期刊,既为从事这方面研究的学者开辟了一个总结成果,交流经验,切磋问题的学术园地,又向世界敞开了—扇“工艺矿物学”窗口。

美国的“工艺矿物学委员会”成立于 1979 年 4 月。初期它隶属于冶金学会,1981 年上半年扩大为冶金学会和采矿工程师学会的一个下属联合委员会。并于 1981 年芝加哥年会上,召开了工艺矿物学首届专题讨论会。

工艺矿物学学科在国际上的代表人物有:A. H. 金兹堡、B. 3. 布利斯科夫斯基、P. F. 凯尔、W. 帕克、A. M. 高登、R. P. 钦。前苏联全苏矿物原料研究所、日本东北大学选矿制炼研究所应用矿物研究室、德国洪堡-维达克选矿研究所岩矿室、中国北京矿冶研究总院,都是世界上从事这项工作较有成效的机构。

传统的地质勘探工作,大多是在金属平均含量的基础上,期望提交更多的储量。因此,找矿阶段的地质人员对矿床的研究,大多集中于矿物组成、结构构造、矿物生成顺序、矿物世代、共生组合关系、元素含量等。对于影响矿石工业利用价值的工艺矿物学性质一般涉及甚少。所以矿业生产中那种“储量很大,采出不多,得到更少”的事件时有发生。20 世纪 70 年代后,随着工艺矿物学研究工作的进步与加强,矿产资源综合利用水平有了明显的提高。我国 1986 年的黄金生产中,15% 的黄金产量即来自于其他矿种里的伴生金。至于选冶工艺加工水平,由于工艺矿物学的帮助,得以迅速提高的事例更是比比皆是。江西淮乐锰矿,矿石组成矿物有钙菱锰矿(34.65%)、赤铁矿(14.85%)、锰方解石(36.00%)、石英(9.0%)以及 5.5% 左右的水锰矿、褐锰矿和软锰矿。赤铁矿以 1~5 μm 的粒度与钙菱锰矿共生。由于原始资料将紧密共生的钙菱锰矿和赤铁矿误认为是一种硬锰矿,并将锰方解石定名为普通方解石。因此,决定采用手选、重介质分选、跳汰及强磁选等手段,进行锰的选别和铁锰分离。结果是,当锰的品位由原矿的 20% 提高到 26% 时,锰的损失率已高达 15%,经济效益极差。后经认真的工艺矿物学研究,比较准确地查明了矿石中各种矿物状况,这样就完全改变了矿石的工艺处理方案,对矿石工业评价也有了新的认识,不仅不再进行铁锰分离的机械分选,而且锰方解石也不再属于舍弃对象,因为它正是高炉冶炼所需要的炉料。

此外,工艺矿物学的研究成果在冶金、建材、陶瓷、化工等行业的生产工艺中,同样也发挥着重要的作用。Y. Oho 关于由回转窑烧制的硅酸盐水泥熟料强度计算公式中,即是以熟料组成矿物的晶体光学常数、晶体形态、颗粒大小和煅烧温度等与工艺矿物学有关的因子组成的。又如我国西北某钢铁公司的高炉生产,自开工之日起,就长期为炉内结瘤所困扰。后经过对炉瘤的工艺矿物学研究,查明入炉精矿粉中霓石、钠辉石、钠长石,锂云母等矿物的过多残留,是导致高炉结瘤的根本原因。为此,高炉生产改而采用低碱度酸渣冶炼,使高炉炉渣中能有大量碱金属硅酸盐矿物生成,以提高终渣的排碱率。由于措施得当,具有良好的针对性,所以钾、钠等碱金属在炉内循环富集的可能性受到有效扼制,从

而对炉瘤的生长起到了明显的防范作用。

综上所述可以看出，工艺矿物学的研究对象，都是由用物理手段无法进一步分割的单一无机晶体所组成的集合体。这些集合体中的组成晶体，不论是地壳中生成的天然矿物，抑或工业生产中的合成矿物，都具有由其元素组成和晶体结构所决定的物理与化学性质。因而它们的性质和加工时的性状，也就必然成为监督、预测和控制相关行业生产工艺的重要依据。工艺矿物学，即是以工业固体原料与其产物的矿物学特征和加工时组成矿物性状为研究目标的边缘性科学。因为工业固体原料与其产物的矿物组成和加工时的性状，主要由行业的生产工艺所决定，而组成晶体的性质与研究方法，又都来自于矿物学。所以工艺矿物学属于矿物学与相关加工产业间的边缘学科。

工艺矿物学，作为一门服务于现代工业生产的应用学科，研究内容覆盖到无机材料的大多数领域，在矿产资源评价、选冶加工、产成品质量分析等方面，更是有着其他学科难以替代的作用。并且，这些相关部门随着生产工艺控制精度的加强，生产技术指标的迅速提高，对工艺矿物学研究成果的依赖性愈显突出。为了实现学科的预期目的，工艺矿物学研究的基本任务是：

(1) 研究工业固体原料与其产物的矿物组成及其分布；

(2) 对影响或制约生产工艺运行质量的矿物性状进行分析。这些性状包括几何、物理、化学等方面的表现与特征。

1.2 工艺矿物学研究内容与教材使用说明

1.2.1 工艺矿物学研究内容

作为一门独立的学科，工艺矿物学所要研究的内容是广泛而深刻的。同时随着矿产资源综合利用程度的不断深化和工业技术水平的提高，研究领域将会继续延伸和拓宽。但是，从学科的历史发展和今后可以预见的一个时期来看，它的研究领域主要有以下 10 个方面。

1.2.1.1 原料与产物中的矿物组成

这是工艺矿物学的一项基础性工作。其主要任务是：查清原料与产物里的所有矿物种（亚种）属；判明各主要矿物成分的变化规律；考察伴生物质特征；确定各组分的含量。矿物组分既是生产工艺运行质量的重要体现，又是制造加工时参与物理、化学作用的直接对象。因而在一项具体的工艺矿物学研究里，对它的考察，是关系到整个研究工作成功与否的关键，也是难度最高的一项工作。

高炉生产用的烧结矿，“强度”是它最重要的质量指标之一。然而自溶性烧结矿的强度，通常就不如非自溶性烧结矿好。原因就是它们两者的胶结相有不同的矿物组成。非自溶性烧结矿的胶结相，主要是由铁橄榄石、铁钙橄榄石、钙铁辉石以及少量玻璃体所组成。而在自溶性烧结矿里，磁铁矿晶粒间的胶结相主要为钙铁橄榄石、硅酸钙，铁酸钙和硅酸二钙。其中尤以硅酸二钙相变时体积的膨胀，对烧结矿强度的破坏性最为严重。

选矿工业生产中的矿石，由于是天然矿物集合体，因而它的矿物组成研究更为复杂和困难。矿床中的矿物，数量上有多少之分；经济上有价值高低之别；性质上有稳定与否之差；成分上有变化程度的不同；加工利用时更是利弊各异。同时上述性质往往相互矛盾彼此制约。如鲁南一砂卡岩型含铜磁铁矿床，矿石中磁铁矿含量最多；黄铁矿在工业利用时

危害性最大；而经济价值又以细粒黄铁矿中的银金最高。显然，为了对矿床做出综合利用的正确评价，使矿石的工艺处理方案尽可能趋向合理，对组成矿物的方方面面必须要有一个正确而全面的认识。

进行组成矿物研究时，对矿床中的矿物，不能只着眼于当前有用的那些矿石矿物，对脉石和可能混入的围岩矿物同样也要加以认真考查。地质探矿储量计算时，尽管仅考虑对矿石矿物的回收，但选别加工时，作为与之相伴的脉石矿物同样要参与全部分选过程。对脉石矿物一无所知或所知甚少，都将影响矿石矿物的有效回收。此外，今天认为是无用的脉石矿物，随着工业技术的进步，成为矿石矿物的事例也是很普遍的。铂，早在 200 多年前就被发现，但当时人们却不会利用它。1735 年西班牙政府颁布的一项法令中，明文规定铂为有害杂质，责令除去从砂矿中与金一起开采出来的铂。故当时根本就无“铂矿石”可言。直到 19 世纪，人们发现了干式冶炼制取铂的方法，并探明了铂的可贵性质后，铂才成为工业上的贵金属。含有一定数量铂的矿物集合体，构成为“铂矿石”。

另外，自然界矿物、元素组成多数起伏不定。这对矿物自身的经济价值或加工方式都有影响。例如某一含铌-钽铁矿的花岗岩矿床，矿物中 Ta_2O_5 与 Nb_2O_5 比值因部位不同而异。花岗岩顶部的铌-钽铁矿中，两元素的比值为 $1.5:1 \sim 1:1$ ；到了深部，由于 Nb_2O_5 含量的增高，其比值改变为 $1:1.5 \sim 1:2$ 。至于对伴生物质的考查，则应无一遗漏地逐个查清。有害的成分（如钽-铌矿石中的黑钨矿）在分选时要设法除掉；有益的成分（像绿柱石和祖母绿矿石中的金云母）则要考虑回收。

1.2.1.2 原料与产物中的矿物粒度分析

粒度，是矿物的一种几何形体特征。它对产品质量和生产工艺都有重要影响。

矿石分选时，矿物特别是有用矿物的粒度大小，既是确定磨矿细度和破碎方法的关键因素，又对流程方案的选择有影响。例如当从金矿石中提取含金矿物（多数为银金矿）时，如含金矿物是 $0.25 \sim 5.0\text{mm}$ 以上的粗粒，宜采用重选的跳汰机予以回收；对于 $10 \sim 74\mu\text{m}$ 的金矿物则多用浮选法回收；当粒度在 $5 \sim 10\mu\text{m}$ 以下时，氰化法是最有效的方式。

由精矿粉制作成的烧结矿，如果其中的磁铁矿晶粒是粗大的自形晶，并形成等粒变晶结构，这类烧结矿必定具有良好的还原性；反之要是磁铁矿为硅酸盐玻璃所包裹，且孔隙度又不高时，由此构成的烧结矿通常就不会有好的还原性。

而硅酸盐水泥熟料的标号，主要就是由其中 A 矿、B 矿的晶粒状况所决定的。

1.2.1.3 原料与产物中的元素赋存状态

所谓赋存状态，是指元素在原料或产物中的存在形式及其在各组成物相中的分配比例。一种元素可以有多种不同的存在形式，而加工工艺通常是随矿物相的不同而改变。

有一热液型稀土矿床，所含稀土元素在氟碳酸盐（钇氟碳钙铈矿，氟碳铈矿）、氟化物（萤石、钇萤石）、磷酸盐（独居石，磷钇矿）和硅酸盐（水锆石，铁钽石）中均有存在。然而以上各矿物不仅稀土含量不同，选别性质也不一样。为了建立一个适宜的分选方案，并对可能回收的稀土元素量作出预测，在工艺流程设计之前，对矿石中稀土元素的赋存状态及其有关问题，都必须予以查清，否则必将使今后的生产难以高效运行。

辽南某化工厂采用浸取工艺从高炉硼渣中提取硼时，一个时期里硼的浸出率仅 $30\% \sim 40\%$ 。后经过对硼元素赋存状态的研究，了解到出现这种结果的原因，是由于硼渣中除了含硼矿物遂安石外，尚有一半左右的硼存在于硼玻璃之中。而这后一部分硼目前尚无法通

过浸取而回收。

1.2.1.4 矿物在工艺加工进程中的性状

矿物在生产工艺中受到既定的物理或化学作用时，所呈现的状态形式与改变，即为它的性状。

选矿工艺中，矿石受到破碎、磨矿作用时，原来相互紧密聚集的各种矿物，由于矿石分裂成小体积的碎粒，使得部分矿物解离为单体（即一个独立的破碎颗粒中仅含有一种矿物）。矿物由共生改变为单体即为矿物的一种性状。

烧结矿里的硅酸二钙，当烧结矿自高温冷却时，它就会由 β 型转变为 γ 型，随之其自身体积将膨胀10%。

含有沥青铀矿的铁精矿，进入高炉冶炼时，铀矿中的6价铀将不复存在而转变为4价铀。

1.2.1.5 矿物工艺性质改变的可能性和机理

按分选要求使矿物工艺性质朝预定方向作某种程度的改变，浮选中早已普遍采用这一作法。矿浆里添进捕收剂后，矿物表面的疏水性增强，矿粒就易于为气泡所捕收。相反，使用抑制剂，矿物表面将为亲水性的薄膜所包围，阻止了捕收剂与矿物表面的作用。然而，由于缺少对矿物与药剂作用机理的深入研究，工艺中这一成功的作法，大多仍旧停留在经验性积累和机械模仿上。至于用其他手段对工艺性质作更大范围的变动，这方面的研究就更少了。实际上，受到各种外力作用的矿粒，工艺性质都会有程度不同的改变。经超声波处理后的矿粒，不仅表面的污垢被清除，而且晶体内部结构缺陷也要发生变化。化学药剂可使矿物表面层的过渡型离子电价升高或降低。加热和放射性辐射，同样会对矿物工艺性质产生影响。

为了抑制烧结矿的粉化，增加烧结矿强度，可在烧结矿生产时加入0.1%左右的 P_2O_5 。由于 P^{5+} 取代 Si^{4+} 后，增大了正、负离子团半径差，从而使硅酸二钙由 β 型向 γ 型转变的可能性下降。硅酸二钙高温冷却时不发生相变，体积不膨胀，烧结矿的整体强度自然得到了提高。

前面1.2.1.3小节所述硼渣，由于硼玻璃含量过高，致使渣中硼的浸出率波动于30%~40%附近。为了抑制渣中硼玻璃的生长，后来高炉冶炼时，使其中的 $MgO : SiO_2 : B_2O_3$ 由40 : 30 : 30调整到55 : 25 : 20，采用同样的工艺浸取，结果从新硼渣中浸出的硼，竟占到渣中硼含量的90%以上。

1.2.1.6 判明尾矿和废渣综合利用的可能性

废渣包括各种冶金炉渣、燃煤锅炉渣、火电站的煤灰渣等。据统计每冶炼1t铁，会有300~1000kg的高炉渣；锅炉每消耗1t煤将产生150~450kg煤渣。这些废渣不仅堵塞场地，河流，交通，而且还污染空气。因此工业上一直在寻求对它们的综合利用。其中一种方式是将其用来制作水泥。为了生产出好的水泥，就要求对废渣的工艺矿物学性质有清楚了解。当生产的是无熟料水泥时，废渣组成应以钙铝方柱石为主。如果待处理废渣的硅灰石，硅酸二钙含量高，那么适宜的用途是将其加工成矿渣硅酸盐水泥。

选矿厂出来的尾矿和废渣相比，不仅数量多，而且组成复杂，有用成分价值也高。像选金厂的尾矿，除了可提取出金、银等元素外，高含量的硫化矿物又是生产硫酸的好原料。

1.2.1.7 矿物的工艺性质与元素组成和结构的关系

一般认为矿物具有一系列固定不变的性质，但分选实践确凿无疑地表明：不仅不同矿

区，即使是同一矿区的同一种矿物也往往呈现出不同的工艺性质。

自然界完全一样的矿物是没有的。由于组成元素的不同，晶体结构的差别，矿物的物理、化学性质在基本一致的前提下，呈现出程度不同的波动。沉积变质含铁石英岩中的磁铁矿，比磁化系数为 $(75000\sim 100000)\times 10^{-6}\text{cm}^3/\text{g}$ 。而接触交代和岩浆矿床中的磁铁矿，由于含有较多的Mg、Ti、V、Mn和Al等元素，比磁化系数降到 $(50000\sim 77000)\times 10^{-6}\text{cm}^3/\text{g}$ 。有趣的是，连它的生长大小对分选性质也有影响。个体较大的磁铁矿单晶，碎矿、磨矿时，磁畴结构遭到破坏，从而使得剩磁强度增高的微细颗粒，呈现出强大的絮凝性。此现象导致大量脉石颗粒受到捕获而被带入精矿，成为提高精矿品位的重要障碍。

一般来讲，随着杂质元素的增多、晶体结构对称性的下降、均一性的破坏，矿物浮选时与药剂的作用就愈是活跃。所以，就可浮性而言，白铁矿比黄铁矿差；辉铜矿的等轴变体就比斜方变体强；单斜晶系的磁黄铁矿与六方晶系的磁黄铁矿相比，不仅磁性强，可浮性也要好得多。

因此，为了具体准确地指导矿物分选，工艺矿物学就必须深入到矿物内部组成和微观结构中，查明它们与矿物分选性质间的因果关系。编制“矿物成分与工艺性质”、“矿物结构有序度与工艺性质”之类的图解，用以指导和预测矿物分选工作。

1.2.1.8 查明矿石的工艺类型空间分布规律，编制矿物工艺图——工艺地质填图

这是工艺矿物学中涉及相邻学科最多、工程最为庞大的一项工作。其目的是为矿山采掘、选厂生产的合理高效运行提供依据。

本溪南芬露天铁矿，进入20世纪80年代后，选矿指标要求由原来的精矿品位64%、回收率80%，分别提高到68%和82%。初始阶段，他们沿用以往的“矿石性质单一”的概念来组织生产。结果很长一段时间也未能实现这一目标。近来，他们按照矿物成分，嵌布特征并结合小型试验的结果，将矿区各地段的矿石分别划分为条带状磁铁矿石、透闪石磁铁矿石、块状磁铁矿石和赤铁磁铁矿石等4种工艺类型，并据此组织开采、进矿和分选。结果，无论是在稳定选厂生产还是在提高选矿指标上，都收到了良好的效果。

1.2.1.9 研究工业固体原料加工前的表生变化

出露地表和构造断裂带附近的矿床，由于风化作用，其矿石常有一系列物理的、化学的改变。变化结果一般表现为：矿石疏松多孔、金属含量增高、矿物种类增加，原生矿石中类质同象元素形成新的独立矿物，大量元素以胶体吸附方式附着于细分散的赭色产物上，矿物表面覆盖上各种薄膜或者薄壳等。矿石的这种表生变化除了大家熟知的硫化矿物外，对于含矿的碱性岩、碳酸盐岩、磷灰石-磁铁矿、碳酸盐-重晶石-萤石-氟碳铈矿、含日光榴石的长石以及含稀有金属的伟晶岩中均有发生。风化作用形成的表生产物，无论是开采、分选，还是冶炼都和原生矿石有着明显差别。因此，工艺矿物学必须在查明表生变化性质的基础上，准确圈定表生产物边界，对其经济技术价值、储量和处理工艺进行单独的评价和研究。

辽南某含硼铁矿，原生矿石系由磁铁矿（少量）、硼镁铁矿（主要矿石矿物）、橄榄石和少量板状硼镁石所组成。受到风化作用后，橄榄石蚀变为蛇纹石，硼镁铁矿分解成磁铁矿和纤维硼镁石。矿物组成的改变，加之硼镁石、磁铁矿、硼镁铁矿三者又嵌连紧密，使得从矿石中极难分选出合格精矿。为了使矿石在后期确定的“选冶-浸取”联合工艺中，能有效地得到综合利用，工艺矿物学研究就必须提供：硼镁铁矿的分解数量；后期磁铁矿、硼