



〔美〕 罗伯特 D. 佩克 著

提取冶金单元过程

冶金工业出版社

提取冶金单元过程

〔美〕 罗伯特 D.佩克 著

黄桂柱 冯冀燕 译
彭济时 易 瑛
易 瑛 校

冶金工业出版社

提取冶金单元过程

〔美〕 罗伯特 D. 佩克 著

黄桂柱 冯冀燕 译

彭济时 易 瑛

易 瑛 校

*

冶 金 工 业 出 版 社 出 版

(北 京 灯 市 口 74 号)

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

冶 金 工 业 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

*

787×1092 1/16 印张 18 1/4 字数 427 千字

1982 年 1 月第一版 1982 年 1 月第一次印刷

印数 00,001~2,100 册

统一书号: 15062·3747 定价 1.90 元

译者说明

本书译自美国密执安大学罗伯特 D.佩克教授(Robert D.Pehlke)著《Unit Processes of Extractive Metallurgy》(1975年第二版)一书。该书系给大学三、四年级(四年制)或初入学的研究生作提取冶金课程的教科书。全书内容包括四部分:第一部分为火法冶金,介绍焙烧、烧结、煅烧、氧化-还原反应、熔炼及吹炼,并论述了火法精炼过程;第二部分湿法冶金;第三部分电冶金;第四部分是计算机在提取冶金中的应用。每章后均附有讨论题和习题。附录A列了冶金中常用的有关金属热力学数据表。附录B包括10个例题,介绍利用计算机解提取冶金中常遇到的问题,如铁水在运输罐内的冷却,炼铜转炉风口周围的热流及温度分布等等。

参加本书翻译工作的有黄桂柱(第一、二、三、四章);冯冀燕(第五章);彭济时(第六、七、八章);易瑛(第九章及附录)。全书译稿由易瑛审校。

本书可供冶炼专业(包括钢铁冶炼和有色冶炼)在校学生、研究生、教师及有关科技人员和工程技术人员参考。

翻译过程中承西安冶金建筑学院外语、数学、化学、钢铁、金相采矿、选矿及工企等教研组有关老师大力协助,特此致谢。

由于我们外文及专业水平不高,译校中难免有差错,希读者予以批评指正。

序 言

十余年来一直要求有一本高等院校适用的关于提取冶金教科书，在该书中应反映冶金工程领域的工艺和科学的进展。特别是由于化学热力学已广泛用来描述冶金过程的行为，并且目前已成为过程分析的工程方法组成部分之一。同时，计算机在工程实践中的应用已日益重要。本教科书非常强调这两项工程工具在提取冶金方面的应用。

提取冶金领域的教育工作者大多数已经认识到，课题按单元过程论述，较现行以逐个金属提取为基础的叙述，具有更多的优点。本书以单元过程为基础，并且着重基本原理而不侧重实践的细节。尽管如此，还是收集了一些叙述性的资料，给学生们提供一些基础知识以及对工程历程的了解。在强调本书所引述的基本原理的同时，教师可利用讲课和指定阅读材料以补充对工业实践的认识。本书试图在考虑整个提取过程系统设计中引用单元过程概念。

毫无疑问，今后的冶金过程工程不仅包括冶金科学的进展，而且还吸取化学工程、仪表、计算科学、经济学、运筹学以及其他有关领域的技术。冶金工程师应熟悉这些方面，至少应能够就有关领域的专业人员对冶金过程作业所作的贡献给以评价。理想的是让有素养的冶金学家担任工程组的领导，处理冶金过程设计以及操作等多方面的问题。本书力求详述提取冶金的教学重点，同时介绍对冶金过程系统中有重要意义的其他领域。除了介绍冶金单元过程的分析方法之外，本书所介绍的资料尚包括冶金工程中计算机的应用，以排队论或线性规划模型来处理系统行为的运筹学，以及过程系统的数学模拟。

由于本书的目的是给大学三、四年级（四年制）的学生或初入学的研究生提供一本提取冶金教科书，这就使内容受到限制，这些限制妨碍了对广阔的冶金领域内每一科目的更多的引伸。另一方面，为了强调整个工程的严谨性和完整性，又对某些课题作了详细的叙述。

本书的编写是以金属提取和精炼可选择使用的三种方法为基础：火法冶金，湿法冶金及电冶金。这些方法在生产上的选择使用是根据物理化学方面的考虑，但要涉及许多有关领域。再者，提取冶金这三个主干部分并不是单独的，往往在提取和精炼系统中联合使用。在开始几章中很详细地叙述了火法冶金单元过程，其后几章是湿法冶金和电冶金过程。随后的一章是熔化、浇注及凝固，它虽然是火法冶金的课题，但仅着重讲半成品。最后一章是提取与精炼系统应用计算机分析的原理及技巧。

习惯上冶金工程的讲授从问题出发。某些工程问题已有确切的解答。而另一些问题则有多种解答，其中有一些解答较另一些优越。此两种类型的问题在工程实践中均会遇到，因此两者均收集在课文之内。并且对全部问题都着重于基本原理。

例题是学习课程材料有效的补充，课文中包括一些像工作实例一样的问题。每章中都提供了练习题及讨论题。课文与习题是紧密配合的。讨论题虽以课文所介绍的资料为基础，但却提供了进一步研究的途径。

附录中包括带有计算机解的文件的例题，用以说明这种现代技术工具的应用。例题及

其解法表明用数字计算机可以求解各种数值方法，例题的选择是以有关工程实践为基础的，并希望能在学校课堂之外得到应用。

我对在编写本书中给予帮助的全体人员表示感谢。本书的编写包括了几年来在密执安大学讲授高年级的“冶金过程设计”课的时间。那些班级的学生以及许多有关的研究生对于课文的编写作了很多的工作。许多在企业中和高等院校的同事们慷慨地提出建议、评论和鼓励。特别感谢Ralph D.Higgins 代为校阅初稿，Elaine Galoit 打印出最后定稿，以及Robert E.Marrone，他协助编写计算机附录；这里仅举出许多作出贡献的人员中的一部分。感谢我的学生们的鼓励以及我的家庭的帮助、支持和谅解。

Robert D.Pehlke

目 录

序言

第一章 绪言	1
1-1 金属来源	1
铁	1
铜	1
铝	1
铅	2
锌	2
锡	2
钛和锰	2
1-2 矿物工程	2
1-3 提取冶金	2
1-4 金属提取中的化学冶金	3
第二章 火法冶金 I：焙烧-烧结-煅烧	5
2-1 硫化矿焙烧	5
焙烧反应热力学	5
焙烧过程中的挥发	8
2-2 工业焙烧过程	9
炉膛焙烧	9
飘悬焙烧	9
沸腾焙烧	9
烧结焙烧	11
2-3 烧结	12
燃料要求	13
烧结作业设计的工程关系	13
控制	13
2-4 球团	13
2-5 煅烧	15
煅烧热力学	16
动力学-煅烧机理	16
第三章 火法冶金 II：氧化-还原反应	19
3-1 无机化合物的热力学稳定性	19
氧化物热力学稳定性	20
碳-氧平衡——布多尔反应	22
硫化物热力学稳定性	23
氯化物还原性	24
碳化物和氮化物稳定性	28

3-2 涉及有液态金属溶液的氧化-还原反应	28
金属溶液热力学	28
自由能与活度	28
非理想溶液	28
稀溶液性质	29
一种标准状态到另一标准状态的转变	30
稀溶液中溶质间的相互作用	32
3-3 还原反应的工业应用	33
Kroll法	33
钨的生产	34
Pidgeon法	35
镁和铝的碳热还原法	35
锌的提取	36
镉生产	39
汞生产	39
Mond法(羰基法)提镍	39
铁矿石直接还原	39
铁矿石直接还原的几种工业方法	42
第四章 火法冶金Ⅲ：熔炼和吹炼	46
4-1 反射炉熔炼	46
锡熔炼	47
铜熔炼	47
4-2 鼓风炉熔炼	48
铅鼓风炉	48
炼铁高炉	49
高炉炼铁的化学过程	50
高炉化学计算	54
能量平衡	54
高炉操作改进	54
4-3 自热熔炼	55
4-4 铜吹炼	55
4-5 炼钢	58
Bessemer转炉炼钢法	60
平炉炼钢	60
氧气炼钢	61
氧气转炉气体回收法	64
Kaldo法和Rotor法	64
喷雾炼钢	65
电炉炼钢	65
第五章 火法冶金Ⅳ：精炼过程	71
5-1 液相精炼	71
脱氧平衡	71
钢的加铝脱氧法	71

脱氧资料汇总	73
沉淀的化学计算	73
铁水脱硫	74
Parkes法	75
分离相的成核动力学	76
分离相的长大和浮动	78
液相分离	78
铅-银系的工艺操作	78
铅-铜系	78
液相分离法回收锌	78
工程设计	79
过程产量	79
产品纯度	80
需热量	80
过程动力学	80
氧化精炼	81
区域精炼	84
二次金属精炼	87
5-2 蒸馏过程	88
克劳修斯-克拉珀龙方程	89
相对挥发度	90
平衡蒸馏	92
分子蒸馏	93
除银粗铅的真空脱锌	95
液态铁合金的短评	95
5-3 脱气作业	96
气体-金属反应原理	96
双原子气体	96
化合物气体	97
惰性气体吹洗脱气法	101
平衡过程	101
界面层模型	103
停留时间的计算	103
真空脱气	105
其他脱气方法	110
脱气期间熔体的温度降	112
第六章 湿法冶金	118
6-1 湿法冶金过程	118
浸出	118
浸出工艺	119
溶液中金属的回收	120
水溶液中金属还原热力学	121
电极电位	121

氢电极	121
金属-金属离子电极的电位	122
金属离子的氢还原	122
水溶液中气体还原动力学	124
其他回收方法	126
6-2 工业湿法冶金作业	129
铜的湿法冶金	129
金和银的湿法冶金	129
铀的湿法冶金	129
锌的湿法冶金	130
镍和钴的湿法冶金	130
铝的湿法冶金——拜耳法	131
第七章 电冶金	135
7-1 电解原理	135
半电池反应	135
法拉第定律	135
可逆电池电势	136
槽电压	137
欧姆电阻	137
可逆电池的电势	137
极化	138
超电压	139
7-2 熔盐电解	139
铝	139
Hall (Heroult) 法	140
槽电压	140
镁	141
钠	144
7-3 电解精炼	144
铜的精炼	144
阳极制备	144
精炼电路系统	146
电解车间实践	147
不溶渣的处理	149
阴极铜的精炼	150
镍和铅的精炼	151
从浸出液中电积金属	151
第八章 熔化、浇注 凝固	154
8-1 熔化实践	154
熔化所需热量	154
熔化设备	154
金属的显热	157
熔炼设备的显热	157

热损失	157
熔炼设备的物料平衡和能量平衡	159
8-2 浇注作业	163
浇注速率	163
温度降	163
8-3 浇铸与凝固	164
凝固速率	164
铸锭结构	166
散热速率对锭结构的影响	166
金属成分的影响	166
收缩的影响	167
溶解气体的影响	168
锭中的缺陷	169
8-4 连续浇铸	170
8-5 其他的浇铸方式	172
第九章 计算机在提取冶金中的应用	176
9-1 数字计算机及模拟计算机的一般性能	176
数字计算机	176
模拟计算机	178
9-2 电子计算机的应用	178
模拟机与数字机的比较	179
提取冶金与系统工程	179
9-3 资料处理-排队论方法	179
排队论	180
单站排队问题	180
单站排队例题	181
多站排队问题	182
多站模型例题	182
排队问题的其它方法	183
9-4 线性规划	183
线性规划的应用	185
9-5 过程模拟	186
附录 A	193
表A-I 自由能方程式表	193
表A-II 在炼钢温度下化合物的标准生成自由能	194
表A-III 元素在液态金属中无限稀时的活度系数	198
表A-IV 各种元素在液态铁中的标准溶解自由能	200
表A-V 1600°C时元素溶于液态铁时的相互作用系数 $e_i^L \times 10^2$	201
表A-VI 有色金属相互作用参数	202
表A-VII 液态金属的蒸气压	205
表A-VIII 25°C时氧化反应的标准电极电位	206
表A-IX 几种金属的焓	207
表A-X 误差函数值	208

附录 B	例题及利用计算机的解	210
例题 1	热化学数据——焓增量的计算	210
例题 2	焦炭鼓风炉风口处绝热火焰温度的计算	213
例题 3	铁水在运输罐内的冷却	226
例题 4	氧气炼钢所需废料量的推算	231
例题 5	炼铜转炉风口周围的热流及温度分布的数字计算机分析	240
例题 6	炉顶的热损耗	246
例题 7	底浇注包的数字计算机模拟	249
例题 8	不稳定态热流——板坯的冷却	256
例题 9	线性回归分析——BOF炼钢的化学	263
例题 10	线性规划——化铁炉装料最优化	268
参考书目		275

第一章 绪 言

在广阔的金属科学和技术领域内，初始处理步骤是提取与精炼。本课程的主题——提取与精炼过程，以化学冶金原理为依据。化学冶金是用物理化学、还涉及无机化学、电化学及有机化学的某些方面来描述冶金体系（化学冶金不同于物理冶金，后者是研究金属材料的固体状态、结构与性质）。本课程着重介绍提取冶金单元过程的化学冶金原理。

1-1 金属来源

所有的金属均源出于地壳，其内有金属矿床，矿床一般以称之为矿石的各种硫化物和氧化物形态存在。从矿石中便可提取金属。某些情况下，诸如金、银等贵金属，有时铜，以自然形态或单质形态出现。矿石很少以单一化合物组成，而通常由数种、其中包括所需的金属化合物以及另外一些称之为脉石的杂质化合物组成。最常见的重要金属矿物名称及化学式列于表1-1。

矿石出现于地壳各个部位和不同深度。可用地下开采法或露天开采法（如露天采矿和剥岩采矿）采出矿石。而镁则主要从海水提取。

地壳中大量的铁、铝、硅、钙、钠和钾，正反映出它能无穷尽地提供各种常见金属元素。就镁而言，由于每立方英里海水含有数百吨镁，故有极大的储量。

铁是很重要的金属元素，它已成为最大的金属工业。铁主要来源于如下矿物：磁铁矿（ Fe_3O_4 ），赤铁矿（ Fe_2O_3 ），褐铁矿（ Fe_2O_3 加一些结合水）；直接进行熔炼的高品位的铁精矿可高至60%，但含量仅25%的矿石亦用于熔炼。在美国高品位矿石的主要来源，是上密执安和明尼苏达的苏必略湖地区。其他重要矿床有法国的洛林盆地，英国米德兰，苏联的顿涅次盆地以及乌拉尔山脉和北瑞典。目前正在开采的重要矿床有北魁北克，拉布拉多，巴西以及委内瑞拉。直至最近，能得到的含铁矿物都有足够高的品位，因此不大重视它们的选矿方法。但是，由于高品位矿床的耗尽，因而迫使研制一些对低品位矿石的选矿技术。其中之一是铁燧石，它是一埋藏量大而品位低的矿石，含铁量约30%，此铁燧石的氧化铁高度分散于其整个硅石基体。经磨选提高铁燧石品位，随之制成高炉球团，作为炼铁高炉炉料。

铜在自然界存在的形态有纯金属，硫化物，氧化物以及碳酸盐。仅密执安的上半岛有相当大量的纯金属铜，但此“湖铜”几乎已采尽，现已不再是铜的重要来源。铜最常见的形态是硫化矿物，如：辉铜矿，黄铜矿或蓝铜矿。地面水作用于铜的硫化矿物而引起其氧化，因而铜矿床的上部一般都含较高的氧化铜。铜矿石一般含铜量都很低，小于5%，但甚至含铜低至0.5%通常仍能加工处理获得利润。这些低品位矿石的运输费用决定了选矿厂设在矿山。铜的主要产地在美国西部的科尔迪列拉、南美、南罗得西亚的中非高原，扎伊尔的加沙省以及加拿大舍利特。世界上最大最富的铜矿在智利的丘基卡马塔，第二大矿在美国犹他州宾汉谷。

铝为最丰富的金属元素之一，约占地壳8%，呈现为氧化物。虽有几种矿石铝含量相

当高,但唯一能在工业上应用的是铝土矿,它是铝的水合氧化物的岩矿,主要为:三水铝矿和一水硬铝石。此等矿石通常存在于热带或亚热带气候区。最重要的工业铝土矿产地:苏里南、圭亚那、牙买加以及印度尼西亚。其他开采的矿床为美国南部和欧洲南部一些地区。

铅在自然界中以方铅矿存在,但地面水常将铅矿床上部转变成硫酸盐铅矾或转变成碳酸盐白铅矿。铅矿中除含有闪锌矿外(见后),通常还有可回收的铜、银、金、铋、铊。最大的产铅国为美国,澳大利亚,苏联,加拿大及墨西哥。南美也生产相当数量的铅,主要为秘鲁,玻利维亚,阿根廷。

锌最重要的锌矿物为闪锌矿。闪锌矿与方铅矿二者几乎总是共生的,从表报中可以看出,凡是产锌地区,亦即为产铅地区。唯一例外是新泽西的富兰克林弗内斯地方的锌矿床,该锌矿床无明显数量之铅,而为红锌矿和一含铁含锰矿物锌铁尖晶石的混合矿。

锡是较稀少之金属,地壳内含量少于0.001% (重量),最重要矿物为氧化物的锡石。由于氧化锡是一重矿物,常由于水的物理与化学作用崩裂火成岩使重矿物富集。此等富集砂积矿床,主要位于马来西亚和印度尼西亚,在那里应用水力采矿技术回收锡,并常使用配置有选矿设施的挖泥船。玻利维亚有丰富锡矿床,以黄锡矿存在于脉状矿床中,用露天法开采。

钛和锰是较常见的金属,地壳内含量约0.1~1.0% (重量)。钛以钛铁矿或金红石存在,美国、加拿大、印度、澳大利亚、巴西均有此种矿床。锰主要以软锰矿出现,主要生产国有苏联,其产量约占世界之一半。其他重要生产锰的国家为加纳、南非、巴西及摩洛哥。

其他一些金属,诸如金、银、镉、铋、砷等,为生产铜和铅之副产品。大部分其他金属的含量少而矿藏品位低,其矿物形态列如表1-1。

1-2 矿物工程

矿物工程为提取金属的第一个主要环节,它包括矿石分离与富集。此主要由物理或机械分离而富集的方法,称之为选矿。这些富集方法的详细讨论,业已超出本课程范围。但需指出,冶金工作者必须注意金属熔炼与精炼过程最优化条件的经济性,而此很大程度上取决于使用之原料,此等原料正是选矿产品。

1-3 提取冶金

继选矿之后,除去余下的脉石,分解矿物以产出金属及进一步将其精炼,便是提取冶金的任务。提取冶金可分为下列三个主要领域或过程类型:

1. 火法冶金:在高温下进行熔炼与精炼反应及熔化作业。
2. 湿法冶金:采用液态溶剂,通常为水溶液以分离出欲提金属。
3. 电冶金:应用电能,主要电解提取和精炼金属。

采用哪种方法,按怎样的顺序进行,很大程度上取决于所用的原料(即精矿)及要求的产品。选用某一特定方法,也取决于当地经济条件,包括现有之设备、动力和燃料价格以及其他诸如水源情况,运输费用及市场销售等因素。此等条件,结合不同产品的需求以及矿石利用率及成本,便决定了今日世界冶金工业状况。表1-2列出1969年世界和美国主要金属生产,提出了冶金工业之概貌。

表 1-1 常见金属矿物

金属	矿 物	化 学 式	金属	矿 物	化 学 式
铁	磁铁矿	Fe_3O_4	锰	菱锰矿	MnCO_3
	赤铁矿	Fe_2O_3		蔷薇辉石	MnSiO_3
	褐铁矿	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$		铬铁矿	FeCr_2O_4
	菱铁矿	FeCO_3	钛	钛铁矿	$\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$
铜	自然铜	Cu		金红石	TiO_2
	辉铜矿	Cu_2S		斜锆石	ZrO_2
	铜 蓝	CuS		锆英石	ZrSiO_4
	黄铜矿	CuFeS_2	钒	绿硫钒矿	$\text{V}_2\text{S}_5 + \text{硫}$
	赤铜矿	Cu_2O		钒钾铀矿	$\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
铝	一水硬铝石	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$		钒铅矿	$3\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2\text{PbCl}_2$
	三水铝石	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	钼	辉钼矿	MoS_2
	高岭石	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		钼华	MoO_3
铅	方铅矿	PbS	钨	黑钨矿	FeWO_4
	白铅矿	PbCO_3		白钨矿	CaWO_4
	硫酸铅矿	PbSO_4	银	自然银	$\text{Ag}^\oplus$
锌	闪锌矿	ZnS		辉银矿	Ag_2S
	红锌矿	ZnO		角银矿	AgCl
	锌铁矿	$(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Mn})\text{O}$	金	自然金	Au
镁	菱镁矿	$\text{MgCO}_3^\oplus$		碲金矿	AuTe_2
	白云石	$\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$		针碲金(银)矿	$(\text{AuAg})\text{Te}_2$
锡	锡石	SnO_2	铍	绿柱石	$3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
	黄锡矿	$(\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS} \cdot \text{SnS}_2)$	汞	朱 砂	HgS
镍	针镍矿	NiS		沥青铀矿	复杂氧化物
	硅镁镍矿	NiMg 的水合硅酸盐	镉	硫镉矿	CdS
	镍黄铁矿	$(\text{FeNi})\text{S}$		辉铋矿	Sb_2S_3
锰	软锰矿	MnO_2	钴	辉钴矿	CoAsS

① 原书误写为 MgO 。(译注)

② 原书印漏。(译注)

表 1-2 1969 年世界和美国主要金属产量①

金 属	世界产量, 千吨 (短吨)	美国产量, 千吨 (短吨)	美国占世界 %
铁			
生铁及铁合金	459697	97593	21
钢锭及铸件	633431	141262	22
铝	10019	3793	38
铜	7304	1585	21
锌	5586	1041	19
铅	3671	639	17
锡	252	<0.5	—
镍	222	100	45

① 引自 *Minerals Yearbook, Vol. I and II, Metals, Minerals and Fuels*, U. S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, U. S. Government Printing Office, 1971.

1-4 金属提取中的化学冶金

继采矿和选矿之后, 再应用化学冶金原理以三种提取冶金方法(火法冶金、湿法冶金、

电冶金)中的某一种来完成金属提取。下面几章,将详细讨论这些课题。有关火法冶金是先讨论焙烧矿石使硫化物转变为易于处理的氧化物。介绍焙烧反应的物理化学及讨论烧结技术,以矿石还原熔炼成金属或熔融硫化物(冰铜),或炼成半精炼金属来阐述氧化和还原原理,然后根据热力学和动力学的条件,定量地研究火法冶金精炼过程,蒸馏,液相精炼和脱气作业。本书将评述湿法冶金和电冶金。随后,阐述熔化、浇注、铸锭及凝固的火法冶金过程。最后,引述计算机在提取冶金方面应用,并介绍示例程序。

讨 论 题

1. 叙述常见金属目前市场价格与其生产水平或使用之间的关系。建立此等关系之主要因素是什么?
2. 与常见工程金属的锭料或原材料对比, 废金属之现行价格该是多少? 论述二次金属在各金属市场之作用?
3. 回收主金属所用主要开采方法要求矿物达到何种富集程度?
4. 提取和精炼铝、铜、锌、铅、汞、镍、钨和镁时, 使用一关键性单元过程。考虑到金属和它的最常见矿物的化学和物理性质, 阐明各该金属所适用的单元过程, 并阐明为什么采用这一特定的单元过程。

第二章 火法冶金 I：焙烧-烧结-煅烧

从矿石获得的矿物，对冶炼成金属而言未必总是具有适宜的物理状态或化学状态。氧化物常比硫化物易于还原；金属以硫酸盐、氯化物或氧化物形态存在则易于从矿石中浸出。因此，以化学方法将矿物转化为需要的形式，常常是提取过程的一个组成部分。例如，常将硫化矿于氧化气氛中加热（焙烧），使其转变为氧化物或硫酸盐。

某种矿石，对于作为某一过程的炉料来说，其物理形态可能太细。通常，粉矿在加入炼铁、炼铅主要设备高炉和鼓风炉之前要烧结成团块。就铁矿石而言，另一非常重要的烧结方法就是球团，此法最近已在钢铁工业上应用。球团过程首先将氧化铁细粉球团成小球，然后烧成适于投入高炉的氧化物小球团矿。

下面几节将讨论焙烧和烧结的几种工业技术。此外，还研究硫酸化焙烧热力学，介绍煅烧热力学和动力学。

2-1 硫化矿焙烧

许多重要金属，如铜、铅、锌多以硫化物存在于自然界中。古时候，人们发现将硫化矿置于空气中加热，此硫化矿会转变成另一种物体，它易于被木炭还原成金属。在现代工业中，有大量的粉矿从低品位矿石经选矿生产出来，因而已广泛使用几种焙烧设备。如在多膛焙烧炉用耙动层床进行焙烧；在飘悬焙烧炉使硫化矿暴露于氧化性气体中，进行焙烧，此时矿石是由上而下穿过热空气，还有在沸腾炉中焙烧；或矿石在填充床内以控制气流进行焙烧，如Dwight-Lloyd烧结机。硫化矿是部分硫酸化焙烧还是全氧化焙烧由焙烧条件决定。

焙烧反应热力学

硫化物焙烧时发生许多反应。现以焙烧方铅矿为例，列出其总化学反应式，同时也包括铅的含氧硫酸盐的几种其他中间反应。

大多数焙烧进行到完全程度（称之为“死烧”或“全脱硫焙烧”），根据总反应



最大限度地脱除硫。对锌、铜和铁亦能写出类似反应。温度较低时形成硫酸盐：



温度较高时，氧化物可被硫化物还原得出金属，



可使用控制温度和氧势（压力）以得到所需的氧化态。就锌精矿而言，因为最后要用碳还原，所以需要氧化焙烧尽可能将硫除尽。对需浸出之铜矿石，其目的是形成尽可能多的水溶性硫酸盐。

研究焙烧热力学时，应注意在气相中生成三氧化硫，其反应如下：