

实用冶金技术

曾鹏飞 贺万宁 编著

● 转炉法

● 电炉法

● 平炉法

● 湿法

● 火法

中南工业大学出版社

实用冶金技术

曾鹏飞 贺万宁 编著

中南工业大学出版社

〔湘〕新登字 010 号

实用冶金技术

曾鹏飞 贺万宁 编著

责任编辑：肖特高

*

中南工业大学出版社出版发行

长沙市东方印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本：850×1168 1/32 印张：10.25 字数：404.5千字

1993年12月第1版 1993年12月第1次印刷

印数：001—500

*

ISBN 7-81020-626-5/TF·026

定价：10.50元

内 容 提 要

本书是一本以实用性强的冶金技术和科学选择技术的方法为主体内容的专著。全书共分十一章，分别介绍原料和产品的自然及社会属性；选矿工艺与设备的选择要点；火法冶金相关工艺的选定；湿法冶金领域有关技术的协调，电冶金、化工冶金等各方面内容。

本书以系统工程为指导，取材广泛；用形象的方法论述抽象的原理，启迪性强；在论述相关冶金技术的过程中，高度重视了工艺过程的实用性与经济性，以“原料→ n 途径→产品”的思路贯穿全书，进行技术和经济多方案对比。

本书可供从事选矿、黑色冶金、有色冶金、稀贵金属冶金、化工冶金及其相应的分析、环保专业方面的科研、教学、设计及生产部门科技人员参考。

前 言

我国的冶金事业历史悠久。日迁星移，自产业革命以来，世界的科技事业得到了全方位迅速发展。毫无例外，冶金科技事业及其产业部门也在日新月异地变化着。新发现、新理论、新工艺、新设备等层出不穷、与之配套的取样、分析手段、控制等实用技术也应运而生。一个具体事物的普遍发展规律是：由简到繁，由繁到简，周而复始地变化着。其具体目标是向着“优化”顶峰攀登。

《实用冶金技术》是一本以实用性强的冶金技术和科学选择技术方法为主体内容的专著。全书共分十一章，其中包括原料和产品的社会状况，冶金备料技术的选择要点、根据物料特点和按市场需求的产品结构方案，选定优化的火法，湿法或电冶金技术（包括工艺与设备）……

化工与冶金宛如同胞兄弟，有许多共同之处。然而，在已有的冶金专著或化工专著中往往未相互呼应，形成了它们之间“人为性高墙”，不利于两个领域的技术交流、相互得到裨益。本书特地写了“化工冶金”一章，并在内容上使之与湿法冶金的某些部分相呼应。

取样和分析是整个冶金技术不可分割的组成部分。然而，长期以来，冶金领域著书立说的学者们一直未对“取样与分析”予以足够重视，将其漠然处之。殊不知它们各自有无法取代的功能；过去不少研究成果的推广应用，往往因为研究的样品没有代表性而惨遭失败（因为没有科学取样与按标准方法分析）。为

此，本书安排一章的篇幅专门讨论这些内容。

马克思曾经指出：“一种科学只有她成功地运用数学时，才算到达了真正完善的地步”。我们国家的已有冶金专著中尚未单独谈及过冶金技术的数学模型，国外同类专著中也重视不够。本书已经注意了这片处女地。

在过去的我国冶金专著中，也未曾对“冶金技术分析和方案拟订”、“经济评估”等技术科学与管理科学进行专题探讨。本书以实用冶金技术实例为基础，各自用一章的篇幅加以讨论，意在抛砖引玉。

本书的特点在于：

(1) 本书以系统工程为指导，取材广泛。既含有色冶金内容、又含黑色冶金、稀贵金属冶金技术；既含科研领域的大量研究成果实例，又含有生产企业的大量实践事例。此外，还讨论了冶金环保和二次资源利用。

(2) 本书着重于将基本原理融化在对技术的分析上，既为选择优化技术开辟了思路，又防止了赘述，启迪性强。

(3) 本书以“原料→ n 途径→产品”的思路贯穿全书，进行技术和经济多方案对比，着重讨论了原料特点及产品要求与冶金过程（即途径 n ）的关系，以及它们对评价工艺过程经济效益的影响，即将科学的方法有机地融化于技术的选择之中。

(4) 本书兼融技术与经济、技术与管理于一体，能增强读者的经济观念和管理观念。

本书的“前言、第四章、第七章、第八章、第九章、第十章及第十一章”由曾鹏飞执笔；第一章、第二章、第三章、第五章、第六章由贺万宁执笔。

本书在编写及出版的过程中，从拟订目录到最终定稿，先后得到了陶晋、李尚诤、刘曼朗、刁传仁、王立川、陈正学、马

荣骏（主审）等领导和专家们的支持和指导，并提出了不少宝贵意见。值此出版之际，一一致以衷心感谢。

由于我们在写作过程中，只是一种浅尝辄止的涉猎，求索粗略，造诣不深，缺点错误在所难免，敬请同仁不吝赐教。

编者

1993年于长沙

目 录

1 导 论

1.1 金属和提取冶金	(1)
1.2 工艺流程的选择	(2)
1.3 工艺特征	(5)
1.4 工艺过程成本	(7)

2 原料和产品

2.1 原料和产品对工艺选择的影响	(9)
2.2 原 料	(10)
2.3 产 品	(24)

3 选 矿

3.1 粒度和选矿	(29)
3.2 破 碎	(33)
3.3 选 别	(51)
3.4 固液分离和尾矿处理	(96)
3.5 选矿工艺的经济特性	(99)

4 火法冶金

4.1 火法冶金技术的一般特征	(103)
4.2 选择火法冶金技术的原则	(104)
4.3 常用火法冶金技术	(106)
4.4 焙烧技术的选择	(139)
4.5 熔炼技术	(144)

4.6	温度、气氛等的控制及其所用设备	(160)
4.7	火法精炼工艺	(162)
4.8	连续熔炼工艺的选择	(171)
4.9	渣型的选定	(174)
4.10	反应器的选定	(177)
4.11	火法冶金二次资源的利用	(193)
4.12	火法冶金的经济特征	(199)

5 湿法冶金的特点

5.1	概 述	(202)
5.2	浸 出	(203)
5.3	浸出液的净化	(222)
5.4	金属的沉积	(238)
5.5	湿法冶金的环保问题	(250)
5.6	湿法冶金工艺的经济特征	(257)

6 电 冶 金

6.1	电冶金的特征	(260)
6.2	电化学反应器设计的影响因素	(265)
6.3	电化分离工艺	(269)
6.4	化合物制取工艺	(271)
6.5	金属提炼和精炼	(273)
6.6	电冶金工艺的经济特征	(283)

7 化工冶金

7.1	冶金与化工的关系	(285)
7.2	化工冶金的一般内容及其特征	(286)
7.3	吸 附	(289)
7.4	离子交换	(304)

7.5 液体萃取	(338)
7.6 冶金化工	(348)

8 取样和分析

8.1 取样原理	(363)
8.2 物料的取样与制备	(369)
8.3 金属平衡	(384)
8.4 分 析	(385)

9 冶金技术的数学模型

9.1 引 言	(396)
9.2 两级路线	(397)
9.3 可用的各参数	(399)
9.4 二级路线的优化	(400)
9.5 中间物料的影响	(407)
9.6 中间物料的还原	(408)
9.7 二级熔炼的限制	(408)
9.8 三级熔炼	(409)
9.9 渣的烟化成本	(411)
9.10 成本结构	(413)
9.11 反应速率的操作模型	(414)
9.12 萃取设备的设计模型	(420)

10 冶金技术分析和方案拟订

10.1 对冶金技术分析的一般探讨	(441)
10.2 对已有的工艺途径分析	(442)
10.3 拟定途径的审查	(449)
10.4 工艺途径的选择	(456)
10.5 工艺途径的认定	(457)

10.6	展望未来.....	(459)
------	-----------	---------

10.7	方案及其扼要分析.....	(465)
------	---------------	---------

11 经济评估

11.1	概 述.....	(474)
------	----------	---------

11.2	技术与资金周转率之间的关系.....	(477)
------	--------------------	---------

11.3	投资成本的相关内涵.....	(481)
------	----------------	---------

11.4	与各自技术有关的经济性.....	(486)
------	------------------	---------

11.5	成本估价与可行性研究.....	(489)
------	-----------------	---------

11.6	方案及其扼要分析.....	(494)
------	---------------	---------

参 考 文 献	(500)
----------------------	---------

1 导 论

1.1 金属和提取冶金

“金属”这一名词早就为人所知。人类应用金属的历史已经延续几千年。金属最早用于装饰，并作为财富的标志；之后金属被加工成工具和武器。如今金属器件或零部件广泛应用于社会生活之中，从结构材料、机械装置到电子设备，从首饰、装饰材料到货币等。

Kirk-Othmer 将提取冶金学定义为：“研究从自然界存在的化合物提取金属，并将其精炼到适于工业用途的纯度”。^[1]可是，这个定义过于狭窄，经常只适合于描述提炼金属所进行的化学处理过程。因为，许多冶炼厂所用的原料不局限于自然界存在的化合物，而且并非所有的产品都是金属形态。还有，化学处理过程常常要根据原料经历过的不同物理加工过程来制定。因此，当考虑对冶金原料进行处理，制取包括金属及其化合物在内的产品时，物理过程和化学过程可能同时具有意义。

提取冶金学是材料科学的一个重要组成部分。一般来讲，它位于采矿业之后和机械制造业之前。提取冶金是以矿物为主要原料，生产以金属为主，包括金属化合物的工程材料，满足社会需求的产业部门。

随着科学技术的发展，产业之间互相渗透，学科之间也互相渗透。在许多情况下很难将一个学科与另一个学科截然分开。提

取冶金学的主要理论基础是物理化学，特别是化学热力学和动力学。冶金工程以化学工程学、物料和热量平衡、传热传质学为基础。在某些方面，提取冶金和化工无论在基本原理方面，还是在设备和工艺方面都是相近甚至相同的。为此，本书安排专章对化工冶金加以论述。

在提取冶金工艺中，有各种各样的工艺过程及其组合。本书目的在于和读者一起讨论下面的有关问题。

- (1) 为了生产目标产品可能应用的物理和化学过程类型；
- (2) 能够设计或应用哪些可能的技术路线；
- (3) 影响技术路线选择的因素。

1.2 工艺流程的选择

生产一种金属产品一般要经过一系列物理和化学过程，这些过程的组合俗称工艺流程。

使用流程图常常可以简化对工艺流程的描述。流程图是表明一项工艺操作过程由哪些单元操作及其进行顺序的图解。

如果需要，单元操作的细节，例如，连续操作过程中物料的物理形态和化学组成、过程速度和所使用的设备类型或结构均可能包括在流程图中。例如，铝土矿处理可用图 1-1 所示的流程图表示。

依据作者试图传播的信息类型和信息量的多少，同一工艺过程可用不同的流程图来表示。可以是方框图，也可以是示意的设备连接图；可以只表示物料的走向，也可表示出物料甚至包括能量的平衡。

选择工艺流程必须考虑两个方面：

第一，分析所使用的原料，

第二，分析可能的最终产品。

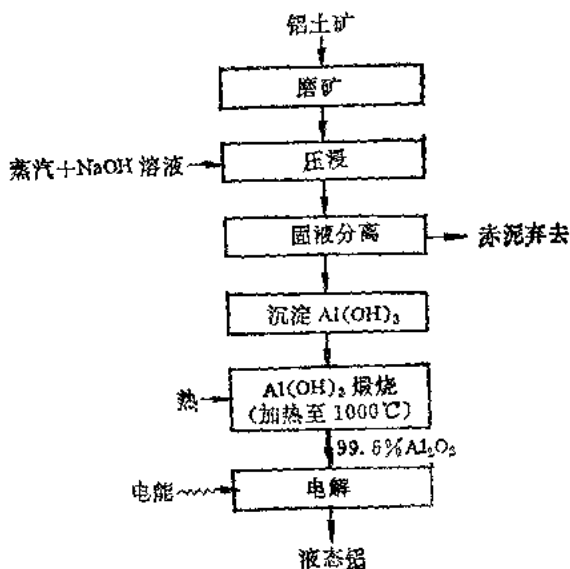


图1-1 从铝土矿生产金属铝的流程图

就一种给定的资源或原料而言，有可能选择不同的工业产品和产品形式（图1-2）。

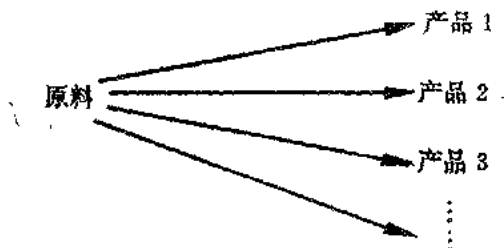


图1-2 提取冶金工艺选择的基本问题之一，
选择可能的产品和产品形式

就某一特定产品而言，其加工方案也可在一定的范围内选

择（图1-3）。

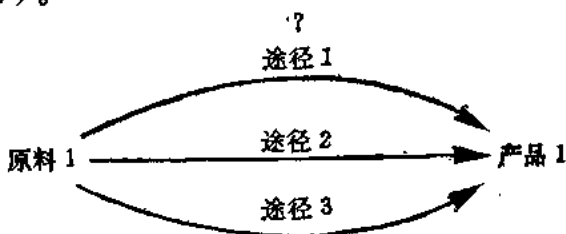


图1-3 提取冶金工艺选择的基本问题之二，选择适宜的工艺途径

通过上面的简单讨论可以设计出用于工艺选择的逻辑框图。首先，提取冶金工艺所使用的原料都不是纯的，总是含有对最终产品或后续加工步骤无用或不希望有的杂质。这些杂质为什么必须除去的确切理由暂时不过多地讨论。问题的主要点是工艺中要采取分离工序。分离工序可能包括物理过程和（或）化学过程，可能一步达到目的或要一系列处理步骤才能完成。

提取冶金中可以有四种不同的工艺目的：

- （1）分离。
- （2）制取化合物。
- （3）金属提炼。
- （4）金属精炼。

（分离是从原料中除去无用的元素或化合物；制取化合物是指生产出物理、化学性质与原料不同的化合态物料；金属提炼指的是制取粗金属产品；金属精炼就是从粗金属中除去无用元素。

如上所述，假如只是除去杂质，那么该工艺的目的就是分离。分离实现之后，物料以精矿形式出售。

如果处理一种不纯原料，其最终目标是生产一种特定的金属化合物，那么工艺目的既是分离，也是制取化合物。

如果该处理过程的最终目标是生产一种粗金属，那么工艺目

的就是分离和金属提炼，也许包括制取化合物。为提炼一种粗金属，不一定需要制取中间化合物。这就是说，工艺目的内涵决定于所选择的特定技术路线。

如果该工艺的最终目标是生产一种高纯金属，那么工艺目的就是分离、金属提炼和金属精炼，或许其中包括化合物制取。

从以上举例可以看出，在一个工艺达到其最终目的的过程中，定能达到其它中间目的。实际上，工艺目的构成一个体系，图1-4说明了这一体系。在完成每一工序目的后，其产品可能出售，或继续进行加工达到更高一级目的。

从上可以清楚地看出，在决定任一操作过程的工艺目的时，既要查明原料条件，也要确定产品种类。

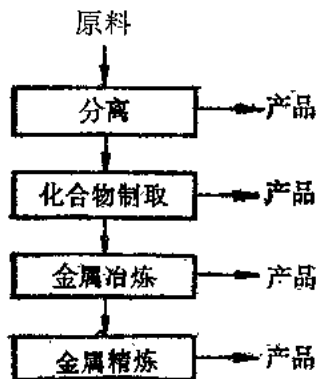


图1-4 冶金工艺目的体系图

1.3 工艺特征

上节提出了流程图和工艺目的体系图两种描述冶金工艺的方法。可以看出，这两种方法有相似之处。事实上，既然二者描述同一特定操作过程，它们就必然直接相关。若要将工艺目的体系图转化为流程图，那就需要有关整个工艺各中间步骤的详细资料。这些详细资料综合起来叫做工艺特征。

为方便起见，将工艺特征分成两类，物料特征和装置特征（或称反应器特征）。表1-1给出的是叙述一个工艺时，常常见

到的工艺特性实例。待实施工艺的类别，所使用反应器或反应装置以及过程的进料和排料等，是描述工艺特征的主要内容。

表1-1 工 艺 特 征

物料特征

物料物理形态 —— 固态/液态/气态

化学特性 —— 所存在的相

—— 各相的化学组成

—— 各相的浓度

物理和化学性质 —— 粒度、形状、密度、孔隙度、微观结构、
强度、粘度、表面能、导热性

—— 温度

—— 压力

—— 化学反应特性、质量传输特性

装置特征（或反应器特征）

反应器类型

工艺操作条件

工艺效率

过程速度

反应剂需要量

能量需要量

按顺序将整个操作过程的工艺特征替换到工艺目的体系图，就可以详细描述一个工艺过程，工艺特征描述可以反映出工艺目的。但是，任何流程图不能，也不试图表示整个工艺的全部特性。

为了成功地开发、设计或选择提取冶金工艺，全面了解工艺特征是必不可少的。只有这样，才能确保工艺畅通，工厂产能得以充分发挥。