普通高等教育“十三五”规划教材

有色、稀有与贵金属冶金

◎ 贺永东　等编著



非外借

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

普通高等教育“十三五”规划教材

有色、稀有与贵金属冶金

贺永东　等编著

昆明理工大学 藏書 图書馆

机械工业出版社

本书作者长期工作在有色金属冶金科研、生产和教学第一线，既有扎实的理论功底，又有丰富的生产实践经验，本书则是作者多年科研、教学成果和生产实践经验的总结。本书涉猎广泛，内容丰富，编写简明扼要，注重理论联系实际，主要介绍了锂、铪、铯、铍4种稀有金属，有代表性的6种有色金属，8种贵金属，着重论述了它们的冶金原理、生产方法、工艺技术、生产装备和生产实践，并结合产业现状对生产过程的关键技术的发展趋势进行了阐述。对稀有金属、有色金属、贵金属生产过程的资源循环利用、贵金属综合利用、再生金属回收利用以及冶金过程“三废”处理、毒性防护也做了适当介绍。本书可作为有色冶金工程、冶金热能工程、环境工程、材料科学与工程、材料成型及控制工程等专业的教学用书，也可供有色、稀有与贵金属冶金领域的科研人员、工程技术人员及其他从业人员参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

有色、稀有与贵金属冶金/贺永东等编著. —北京：机械工业出版社，2019.3

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-111-62000-6

Ⅰ.①有… Ⅱ.①贺… Ⅲ.①有色金属冶金-高等学校-教材

Ⅳ.①TF8

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第028499号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：丁昕祯 责任编辑：丁昕祯

责任校对：郑 婕 封面设计：张 静

责任印制：李 昂

唐山三艺印务有限公司印刷

2019年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 24.25印张 · 602千字

标准书号：ISBN 978-7-111-62000-6

定价：68.00元

电话服务 网络服务

客服电话：010-88361066 机 工 官 网：www.cmpbook.com

010-88379833 机 工 官 博：weibo.com/cmp1952

010-68326294 金 书 网：www.golden-book.com

封底无防伪标均为盗版 机工教育服务网：www.cmpedu.com

前　言

本书所指的有色、稀有与贵金属包括：有代表性的6种有色金属（铝、铜、镍、钴、铅、锌），4种稀有金属（锂、铷、铯、铍），8种贵金属（金、银、铂、钯、钌、铑、铱、锇）。本书介绍了这些金属及其典型化合物的性质、应用与市场，以及相关矿石与矿产资源储量、分布，主要论述了冶金原理和生产实践，对其生产过程的资源综合利用和再生金属的资源循环利用进行了较系统的论述，对生产过程中的“三废”处理、毒性防护也做了适当介绍。

铝是仅次于钢铁的第二大金属，铜是仅次于铝的第二大有色金属，两种金属在工业、农业、国防和航空航天领域均有着极为广泛的应用。锂是近年来研究的热点材料，是极其重要的储能材料，也是21世纪的新能源材料。锂、铷、铯为稀有碱金属，它们在盐湖和矿产资源中往往伴生在一起。铍是稀有碱土金属，锂、铍在科技和军事领域均有着极其重要的应用。铜镍硫化矿中往往伴生钴和金、银、铂、钯等贵金属，铅、锌矿中也伴生金、银等贵金属，因此，在进行金属锂的冶炼提取时，也进行铷、铯的冶炼分离；在进行铜、镍、铅、锌冶炼时，同时进行钴和金、银、铂、钯等贵金属的冶金提取。我国砂金资源已经枯竭，铜、镍、铅、锌矿产伴生金银等贵金属冶炼提取，是我国金、银、铂、钯等贵金属的主要来源。

基于上述原因，本书在编排内容时，体现了冶金材料领域当前的研究热点，兼顾了十种常见有色金属中的六种，重点讲述了多金属伴生矿产资源的综合冶金利用等问题。本书第1章介绍了冶金发展简史、金属分类、冶金方法、有色金属矿产、选矿与资源循环利用。第2章阐述了锂、铷、铯稀有碱金属的资源、国内外发展现状及发展趋势，着重论述生产原理及工艺技术。第3章阐述了稀有碱土金属铍的资源、性质、市场、冶金原理、生产方法、工艺技术以及毒性防护。第4章阐述了铝的性质，在现代交通和航空航天领域及节能减重领域应用，氧化铝、原铝、精铝和高纯铝的冶金原理、生产方法、工艺技术、生产装备和生产实践，铝土矿伴生稀散元素的综合利用。第5章、第6章分别着重论述了铜、镍冶金造锍熔炼的原理、方法、工艺、技术、装备和生产实践，高镍锍分离原理、方法和生产实践，阳极铜、硫化镍、高镍锍、红土矿的湿法冶金原理和生产实践，伴生金属冶金过程的综合利用。第7章阐述了钴及其化合物的性质、钴资源及应用领域，着重论述了钴的火法冶金，湿法冶金原理、方法、工艺、装备和生产实践，对钴冶金的“三废”处理也进行了系统介绍。第8章、第9章简述了铅、锌及其化合物的性质、用途，硫化矿的烧结焙烧原理、方法、工艺、装备和生产实践，焙烧、烧结矿的火法冶金原理、方法和生产实践，铅、锌的湿法冶金原理、方法和实践，铅锌矿伴生金属的综合利用和再生资源的循环利用。第10章阐述了金、银及铂族金属的性质、用途与资源特性，着重论述了金、银及铂族金属的生产原理、方法、工艺、装备和生产实践，对混汞法、氰化法、从矿石中提取金银、从阳极泥中提取金银、从废料中回收金银，铂族金属原料的富集处理、分离、精炼、提纯的原理方法和生产实践进行了系统阐述，对贵金属综合回收利用也做了适当介绍。

本书由新疆大学、金川镍钴设计研究院贺永东等编著；贺永东编写第1、4、5、6、8、9、10章，新疆有色金属研究所支红军、刘力编写第2、3章，贵州轻工职业技术学院胡敏艺编写第7章，金川镍钴设计研究院张鹏参编第5、6、7章。丁汉芹、陈楚参与第2、4章，陈艳华、王兆军、张敏、吴刊锋参与3、5、6、7、8、9、10章的稿件修订工作。全书由贺永东统稿。

由于编者水平所限，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

编　者

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

前言

第 1 章　绪论 …… 1

1.1　金属与冶金技术发展简史 …… 1

1.1.1　古代冶金技术 …… 1

1.1.2　近代冶金技术 …… 2

1.2　金属及其分类 …… 2

1.3　有色金属与人类文明 …… 4

1.4　有色金属的资源 …… 4

1.4.1　矿产资源与金属矿产 …… 4

1.4.2　再生资源 …… 5

1.5　有色金属矿物、矿石、选矿与精矿 …… 7

1.6　有色冶金的概念及冶金方法分类 …… 8

1.6.1　火法冶金 …… 9

1.6.2　湿法冶金 …… 9

1.6.3　电冶金 …… 10

复习思考题 …… 10

第 2 章　锂、铷、铯冶金 …… 11

2.1　概述 …… 11

2.1.1　锂、铷、铯的性质和用途 …… 11

2.1.2　锂、铷、铯的主要化合物 …… 12

2.1.3　锂、铷、铯市场与用途 …… 14

2.1.4　锂、铷、铯资源 …… 17

2.2　锂、铷、铯冶金的基本原理 …… 20

2.2.1　概述 …… 20

2.2.2　锂冶金原理 …… 21

2.2.3　铷、铯冶金原理 …… 22

2.3　从锂矿石生产锂盐 …… 22

2.3.1　从矿石生产碳酸锂 …… 22

2.3.2　其他锂盐的制备 …… 24

2.4　从盐湖卤水中提取锂盐 …… 26

2.4.1　概述 …… 26

2.4.2　从盐湖卤水中提取碳酸锂 …… 27

2.5　金属锂的生产与提纯 …… 30

2.5.1　金属锂的生产 …… 30

2.5.2　金属锂的提纯 …… 31

2.6　铷、铯盐类的生产 …… 32

2.6.1　从铯榴石中提取铯 …… 32

2.6.2　从锂云母中提取铷和铯 …… 32

2.6.3　其他铷、铯盐的制取 …… 32

2.7　金属铷、铯的制取 …… 34

2.7.1　金属铷的制取 …… 34

2.7.2　金属铯的制取 …… 35

2.7.3　高纯金属铷、铯的制取 …… 36

复习思考题 …… 36

第 3 章　铍冶金 …… 38

3.1　概述 …… 38

3.1.1　铍及其化合物的物理化学性质 …… 38

3.1.2　氧化铍陶瓷的性能与用途 …… 42

3.1.3　铍及其合金的市场与用途 …… 44

3.1.4　铍资源的形成及分布 …… 52

3.1.5　铍工业的现状与发展趋势 …… 56

3.2　铍矿的冶炼 …… 58

3.2.1　从矿石中提炼氧化铍 …… 58

3.2.2　氧化铍的提纯 …… 62

3.3　金属铍的冶炼与加工 …… 63

3.3.1　金属铍的冶炼 …… 63

3.3.2　金属铍粉末冶金 …… 66

3.4　铍铜合金的冶炼与加工 …… 70

3.4.1　铍铜中间合金的冶炼 …… 70

3.4.2　铍铜合金的加工 …… 71

3.5　铍金属的毒性与防护 …… 74

3.5.1　铍的毒性 …… 74

3.5.2　铍的职业接触限值 …… 75

3.5.3　铍毒的防护 …… 76

复习思考题 …… 77

第 4 章　铝冶金 …… 79

4.1　概述 …… 79

4.1.1　铝的性质、性能与用途 …… 79

4.1.2　炼铝原料 …… 81

4.1.3　铝的生产方法 …… 81

4.2　铝冶金原料——铝土矿 …… 82

4.2.1　铝土矿分布 …… 82

4.2.2 铝土矿选矿 …… 83
4.2.3 铝土矿脱硫和除铁 …… 84
4.2.4 高硅铝土矿选矿 …… 86
4.2.5 尾矿综合利用 …… 87
4.3 氧化铝生产 …… 87
4.3.1 铝电解生产对氧化铝的质量要求 …… 87
4.3.2 氧化铝生产特点 …… 88
4.3.3 拜耳法 …… 89
4.3.4 碱石灰烧结法 …… 95
4.3.5 拜耳-烧结联合法 …… 99
4.4 金属铝生产 …… 102
4.4.1 概述 …… 102
4.4.2 铝电解理论基础 …… 105
4.4.3 电解槽的结构 …… 112
4.4.4 铝电解的电极过程 …… 114
4.4.5 电解铝生产操作 …… 117
4.5 铝的精炼与提纯 …… 121
4.5.1 铝液精炼 …… 121
4.5.2 铝的提纯 …… 125
复习思考题 …… 128
第5章 铜冶金 …… 130
5.1 概述 …… 130
5.1.1 铜及其化合物的性质 …… 130
5.1.2 铜的合金 …… 131
5.1.3 铜的用途 …… 131
5.1.4 铜冶金原料 …… 132
5.1.5 铜冶金方法 …… 132
5.1.6 国内外铜冶金技术进展 …… 132
5.2 铜精矿造锍熔炼的基本原理 …… 133
5.2.1 造锍熔炼的基本原理 …… 133
5.2.2 造锍熔炼产物 …… 135
5.2.3 造锍熔炼的方法 …… 138
5.3 铜精矿的闪速炉熔炼 …… 138
5.3.1 闪速熔炼的原理 …… 138
5.3.2 奥托昆普闪速炉熔炼 …… 140
5.4 诺兰达熔池熔炼 …… 145
5.4.1 诺兰达熔炼原理 …… 146
5.4.2 诺兰达熔池熔炼工艺 …… 147
5.4.3 诺兰达反应炉结构 …… 147
5.4.4 诺兰达熔池熔炼生产实践 …… 149
5.4.5 诺兰达炉生产过程的物料平衡及热平衡 …… 150
5.4.6 诺兰达炉生产控制过程自动化 …… 151
5.4.7 诺兰达炉熔炼主要技术经济指标 …… 151
5.4.8 诺兰达熔池熔炼的特点与不足 …… 152
5.5 铜精矿的艾萨/奥斯麦特熔炼 …… 153
5.5.1 艾萨/奥斯麦特熔炼原理 …… 153
5.5.2 艾萨/奥斯麦特熔池熔炼工艺 …… 153
5.5.3 艾萨/奥斯麦特反应炉结构 …… 153
5.5.4 艾萨/奥斯麦特熔池熔炼生产实践 …… 155
5.5.5 艾萨/奥斯麦特炉生产过程的物料平衡及热平衡 …… 156
5.5.6 艾萨/奥斯麦特熔池熔炼的特点 …… 156
5.6 其他熔炼新方法 …… 157
5.6.1 白银炼铜法 …… 157
5.6.2 瓦纽科夫炼铜法 …… 158
5.6.3 特尼恩特炼铜法 …… 159
5.6.4 三菱法连续炼铜 …… 159
5.6.5 北镍法（氧气顶吹自热熔炼） …… 160
5.7 传统炼铜方法 …… 161
5.7.1 铜精矿密闭鼓风炉炼铜 …… 161
5.7.2 铜精矿反射炉炼铜 …… 162
5.8 铜锍的吹炼 …… 165
5.8.1 转炉吹炼的原理 …… 165
5.8.2 转炉吹炼工艺 …… 166
5.8.3 转炉结构 …… 166
5.8.4 转炉吹炼实践 …… 167
5.8.5 其他吹炼方法 …… 168
5.9 粗铜的火法精炼 …… 169
5.9.1 粗铜火法精炼的原理 …… 169
5.9.2 粗铜火法精炼的实践 …… 170
5.10 铜的电解精炼 …… 172
5.10.1 电解精炼的原理 …… 172
5.10.2 电解精炼设备 …… 173
5.10.3 电解精炼实践 …… 173
5.10.4 永久阴极电解 …… 174
5.11 湿法炼铜 …… 176
5.11.1 概述 …… 176
5.11.2 矿石浸出的原理 …… 176
5.11.3 铜的电积 …… 178
复习思考题 …… 180

第6章　镍冶金 …… 181
6.1　概述 …… 181
6.1.1　镍的性质和用途 …… 181
6.1.2　镍资源与炼镍原料 …… 182
6.1.3　镍的生产方法 …… 182
6.2　造锍熔炼 …… 183
6.2.1　造锍熔炼概述 …… 183
6.2.2　镍锍熔炼的理论基础 …… 183
6.2.3　硫化镍矿的造锍熔炼方法 …… 184
6.3　低镍锍的吹炼 …… 191
6.3.1　低镍锍吹炼原理 …… 192
6.3.2　低镍锍吹炼的生产实践 …… 193
6.3.3　转炉渣的电炉贫化 …… 193
6.4　高镍锍的磨浮分离 …… 194
6.4.1　铜、镍分离与提取精练的方法 … 194
6.4.2　磨浮分离法应用 …… 195
6.5　硫化镍电解精炼 …… 197
6.5.1　镍电解精炼方法 …… 197
6.5.2　硫化镍电解精炼电极反应 …… 197
6.5.3　硫化镍电解精炼的工艺技术 …… 198
6.5.4　硫化镍电解阳极液的净化 …… 202
6.5.5　造液过程 …… 203
6.6　高冰镍的湿法精炼 …… 204
6.6.1　硫酸选择性浸出生产方法 …… 204
6.6.2　氯化浸出电解精炼生产方法 …… 206
6.6.3　高压氨浸法 …… 208
6.7　镍的汽化冶金 …… 210
6.7.1　羰基法的基本原理 …… 210
6.7.2　羰基法生产实践 …… 210
6.8　红土镍矿炼镍 …… 214
6.8.1　红土镍矿的火法冶金 …… 214
6.8.2　红土镍矿的湿法冶金 …… 215
复习思考题 …… 218
第7章　钴冶金 …… 220
7.1　概述 …… 220
7.1.1　钴的物理性质 …… 220
7.1.2　钴的化学性质 …… 220
7.1.3　钴的化合物 …… 220
7.1.4　钴的用途 …… 223
7.2　钴原料及钴的生产 …… 225
7.2.1　钴矿及炼钴原料 …… 225
7.2.2　钴的生产方法 …… 226
7.2.3　钴产量与消费结构 …… 228
7.3　火法炼钴 …… 229
7.3.1　硫化镍矿提钴 …… 229
7.3.2　含钴黄铁矿提钴 …… 230
7.3.3　砷钴矿提钴 …… 230
7.3.4　铜钴矿提钴 …… 231
7.3.5　从含钴转炉渣中提钴 …… 231
7.3.6　从红土镍矿中提钴 …… 231
7.3.7　锌冶金含钴料提钴 …… 232
7.4　湿法炼钴 …… 232
7.4.1　浸出 …… 232
7.4.2　萃取除铜 …… 236
7.4.3　除铁 …… 237
7.4.4　P204 萃取除杂 …… 242
7.4.5　P507 萃取分离镍、钴 …… 246
7.5　电钴的生产 …… 249
7.5.1　电钴生产方法 …… 249
7.5.2　电积钴生产设备 …… 249
7.5.3　钴电积影响因素 …… 250
7.5.4　电钴生产中常见故障及消除措施 …… 252
7.6　钴冶金生产中的三废处理 …… 253
7.6.1　粉尘 …… 253
7.6.2　酸雾 …… 253
7.6.3　有机挥发物 …… 253
7.6.4　萃取除杂液 …… 253
7.6.5　氯气 …… 254
复习思考题 …… 255
第8章　铅冶金 …… 256
8.1　铅冶金概述 …… 256
8.1.1　铅的性质和用途 …… 256
8.1.2　铅冶金原料 …… 257
8.1.3　铅的生产方法 …… 258
8.2　硫化铅精矿的烧结焙烧 …… 260
8.2.1　硫化铅精矿烧结焙烧目的与方法 …… 260
8.2.2　硫化铅精矿烧结焙烧的原理与过程 …… 261
8.2.3　硫化铅精矿烧结焙烧实践 …… 263
8.2.4　硫化铅精矿烧结焙烧的主要技术经济指标 …… 265
8.3　含铅原料的熔炼 …… 265
8.3.1　铅烧结矿的鼓风炉熔炼 …… 265
8.3.2　硫化铅精矿的直接熔炼法 …… 269

8.3.3 湿法炼铅工艺 …… 273
8.4 粗铅精炼 …… 275
8.4.1 粗铅的火法精炼 …… 275
8.4.2 粗铅的电解精炼 …… 280
8.5 铅资源再生与物料综合利用 …… 283
8.5.1 铅再生原料 …… 283
8.5.2 铅再生方法 …… 284
8.5.3 从废铅蓄电池再生铅 …… 285
复习思考题 …… 287
第9章 锌冶金 …… 288
9.1 锌冶金概述 …… 288
9.1.1 锌的性质和用途 …… 288
9.1.2 锌的主要化合物 …… 288
9.1.3 炼锌原料和资源 …… 289
9.1.4 锌冶炼的主要方法 …… 289
9.1.5 锌的再生 …… 290
9.1.6 锌产品牌号分类 …… 290
9.2 硫化锌精矿的流态化焙烧 …… 291
9.2.1 硫化锌精矿沸腾焙烧原理 …… 291
9.2.2 沸腾焙烧流程及主要设备 …… 292
9.2.3 硫化锌精矿流态化焙烧的主要技术经济指标 …… 293
9.3 湿法炼锌 …… 293
9.3.1 湿法炼锌浸出原理、流程、设备与技术指标 …… 293
9.3.2 硫酸锌溶液净化 …… 298
9.3.3 锌电解沉积技术 …… 303
9.4 火法炼锌 …… 306
9.4.1 火法炼锌原理 …… 306
9.4.2 火法炼锌的生产方法 …… 307
9.4.3 锌的火法精炼 …… 309
9.5 锌冶金新技术与物料综合利用 …… 310
9.5.1 锌冶金新技术 …… 310
9.5.2 锌冶金物料的综合回收 …… 311
复习思考题 …… 313
第10章 金、银及铂族金属冶金 …… 314
10.1 金、银及铂族金属概述 …… 314
10.1.1 贵金属的发展历史 …… 314
10.1.2 贵金属元素种类划分 …… 314
10.1.3 贵金属产品与应用领域 …… 315
10.2 金和银的性质与资源概述 …… 316
10.2.1 金和银的性质 …… 316
10.2.2 金、银资源概况 …… 318
10.3 金、银生产概况 …… 319
10.3.1 混汞法 …… 319
10.3.2 氰化法 …… 323
10.3.3 从矿石中提取金银 …… 333
10.3.4 从阳极泥中提取金银 …… 337
10.3.5 从废料中回收金银 …… 344
10.4 铂族金属的提取 …… 349
10.4.1 铂族金属概述 …… 349
10.4.2 铂族金属原料与富集处理 …… 352
10.4.3 铂族金属分离 …… 356
10.4.4 铂族金属精炼与提纯 …… 366
复习思考题 …… 374
参考文献 …… 375

第1章 绪 论

1.1 金属与冶金技术发展简史

1.1.1 古代冶金技术

人类发展的历史大致可分为两个时代：石器时代和金属时代，金属时代又分为铜器时代和铁器时代。大约在100万年前，人类进入旧石器时代；一万年前，进入新石器时代。人类由石器时代进入金属时代是以青铜的创造和使用作为重要标志的。铜是人类发现、使用最早的金属之一，考古发现表明：公元前8000~公元前9000年前，伊朗境内就出现铜制饰物；在土耳其恰塔尔许于克发现了公元前6000~公元前7000年前的铜炉渣。1970年，在伊朗的泰佩叶海亚发现了公元前3800年前的铜制小铲、凿子、钻子。1965年，在以色列的特姆纳遗址发现了公元前3500年的炼铜炉，炉渣分析表明：当时已采用氧化铁作为熔剂，以增加炉渣的流动性，炉内温度高达1180~1350℃，说明已采用鼓风设备。大约在公元前3000年，西亚的两河流域地区出现了青铜，西亚出现黄铜的时间晚于中国。公元前1800~公元前1400年前，在巴勒斯坦和塞浦路斯境内出现含锌3%（质量分数）左右的铜器；公元前1400~公元前1200年前，有了含锌23.4%（质量分数）的黄铜。埃及于公元前30年前出现黄铜，这以后黄铜生产很快在罗马世界发展起来。

纯锡的出现比黄铜晚得多，目前发现最早的锡器是公元前1580~公元前1350年前；汞的出现最早发现于公元前1500年前的埃及古墓中，公元前400年，人们开始汞矿开采。

在古老的金属中，铅是最容易冶炼且出现最早的金属之一，1964年，英国考古学家在土耳其发掘出公元前6000年的铅制物品，是迄今发现的最早的铅冶炼产品。金也是人类最早认识和利用的金属之一，远在新石器时代，人们就采集黄金作为装饰品，埃及境内发现公元前4000年前的镶金石刀、金项链等。世界上发现最早的银器是公元前4000年的器物，大约在公元前800年起，印度河至尼罗河广大地区，已用银制作饰物、器皿和货币。在公元前2000年时，乌尔、迈科普等地区就已掌握了灰吹法炼银。据记载，在罗马时期，当铅矿中银含量达到100g/t时，即可提取银。

我国出现最早的青铜器是甘肃马家窑遗址出土的青铜刀，锡含量为6%~10%（质量分数），年代约为公元前2750年。1974年，在山东胶县三里河发掘出黄铜锥，锌含量为23.2%（质量分数），年代约为公元前2400~公元前2000年前。在公元前1652~公元前1066年，我国已出现了高度的青铜文化；公元前722~公元前481年已能熔炼铸铁；公元前403~公元前221年，出现白口铸铁、展性铸铁、麻口铸铁和钢，并用退火、淬火、渗碳改善钢的性能。根据考古发掘，我国其他几种有色金属出现的年代如下：

金、银、铅：公元前21~公元前16世纪；锡：公元前12~公元前11世纪；汞：公元前5~公元前3世纪；锌：公元10世纪（北宋）。

现已发现的大量古代文物表明，我国古代就掌握了精致的冶炼、铸造、锻造和焊接技术，惊人的热处理技术，已经相当准确地掌握了许多金属材料的冶炼方法、工艺性能和使用性能。先秦时代的《考工记》、宋代的《梦溪笔谈》、明代的《天工开物》都是举世公认的、世界最早或者较早的系统的科学技术著作。《考工记》中记载了六种铜合金的配比、性能和用途，与现代青铜几乎一致。据中国冶金史考证：我国在商朝即开始采用退火方法处理金箔，战国时开始用各种方法热处理铸铁，铸铁的热处理柔化技术比之西方早 2300 年。

1.1.2 近代冶金技术

我国在商代采用大口尊炼铜，周代已采用鼓风炉冶炼。大冶铜禄山古矿区发现 10 余座春秋早期的炼铜炉，铜的纯度已经达到 93%~94%。湿法炼铜源于我国，早在西汉《淮南万毕术》中就有铁置换铜的记载。我国在先秦时期即开始汞的熔炼，宋代周去非《岭外代达》载有汞的冶炼方法。北宋时期，湿法炼铜产量每年已超过 500t（100 万斤）。明代宋应星《天工开物》载有炼锡炉图和炼锡方法，金、银淘洗方法和锌的冶炼方法。明代陆容《菽园杂记》中记有硫化铅矿、含银铅矿冶炼铅和银的方法。

西方很早就采用硫化矿炼铜，奥地利在公元前 1200 年就开采硫化铜矿，到 14、15 世纪时采用“德国法”竖炉炼铜。瑞典采用竖炉焙烧-熔炼方法炼铜，粗铜品位达到 90%，是当时产铜最多的国家。1698 年，英国采用反射炉炼铜，并用煤炭代替木炭作燃料以降低生产成本。1880 年，采用贝塞麦转炉吹炼铜锍，使炼铜冶金进入了新时期。12 世纪初期，欧洲锻造业采用氧化熔炼——插树还原的方法提纯铜，与现代反射炉氧化精炼——插树还原的原理一致。16~17 世纪时，英国人采用木炭-坩埚-鼓风熔炼方法精炼粗铜，熔炼周期 1.5h，每次产出 40kg 精铜，铜的纯度达到 99%。1869 年，欧洲出现铜的电解精炼方法，铜的纯度达到了一个新的高度。13~17 世纪，欧洲人采用升华法、焙烧法、沉淀法冶炼砷、铋、锑。

1.2 金属及其分类

金属是一种具有光泽、可塑性和优良导电、导热性能的物质。金属的上述特质都跟金属晶体内含有自由电子有关。在自然界中，绝大多数金属以化合态存在，少数金属如金、铂、银、铋以游离态存在。金属矿物多数是氧化物及硫化物，其他存在形式有氯化物、硫酸盐、碳酸盐及硅酸盐。

在目前已发现的 109 种化学元素中，金属元素有 86 种，非金属元素有 20 多种。现代工业习惯把金属分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属是指以铁、铬、锰三种元素为基的金属。黑色金属的单质为银白色，这类金属及其合金氧化后，表面常有一层灰黑色的氧化物，故此得名。有色金属是指除黑色金属以外的所有金属（在国外，通常把黑色金属称作含铁金属，而把有色金属称作非铁金属），其中除少数有颜色外（铜为紫红色，金为黄色），大多数为银白色。有色金属全世界还没有统一的分类标准。在我国，习惯将现有的 83 种有色金属按密度、价格、在地壳中的储量及分布特性等，分为重金属、轻金属、贵金属、稀有金属和半金属五类。

（1）重金属　一般指密度在 4.5kg/cm^3 以上的有色金属，包括铜、铅、锌、镍、钴、锡、锑、汞、镉、铋。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

（2）轻金属 一般指密度在4.5kg/cm^{3}以下的有色金属，包括铝、镁、钠、钾、钙、锶、钡。这类金属的共同特点是密度小（0.53~4.5kg/cm^3），化学性质活泼，与氧、硫、卤素生成化学性质稳定的化合物。

（3）贵金属 贵金属包括金、银和铂族金属（铂、钯、钌、铑、铱、锇）。它们化学性质稳定，且在地壳中含量少，开采和提取比较困难，故价格比一般金属贵，因而得名贵金属。贵金属的特点是密度大（10.4~22.4kg/cm^3），熔点高（916~3000℃），化学性质稳定。除金、银、铂有单独矿物，可从矿石中生产一部分外，大部分要从铜、铅、锌、镍等冶炼厂的副产品（阳极泥）中回收。贵金属广泛应用于电气、电子工业、航空航天工业以及高温仪表和接触器件。

（4）稀有金属 稀有金属通常指那些发现较晚，在工业上应用较迟，在自然界中含量很少，分布稀散或难以从原料中提取的金属。在80多种有色金属元素中，大约有50种被认为是稀有金属。稀有金属这一名称的由来，并不是由于其在地壳中的含量稀少，而是历史遗留下来的一种习惯性的概念。事实上，有些稀有金属在地壳中的含量比一般普通金属要多。例如，稀有金属钛在地壳中的含量占第九位，比铜、银、镍以及许多其他元素都多；稀有金属锆、锂、钒、铈在地壳中的含量，比普通金属铅、锡、汞多。当然，许多种稀有金属在地壳中的含量确实是很少的，但含量少并不是稀有金属的共同特征。由于稀有金属在现代工业中具有重要意义，有时也将它们从有色金属中划分出来，单独成为一类。而与黑色金属、有色金属并列，成为金属的三大类别。

根据金属的密度、熔点、分布及其他物理化学特性，稀有金属在工业上又可分为：

① 稀有轻金属。包括锂、铷、铯、铍。这类金属的特点是密度小（仅为0.53~1.859kg/cm^3），化学活性大，其氧化物和氯化物都很稳定，一般都用熔盐电解法或金属热还原法制取。

② 稀有高熔点金属。包括钛、锆、铪、钒、铌、钽、钼、钨、铼，共同特点是熔点高，如钛的熔点1668℃、钼的熔点2620℃，钨的熔点3410℃；硬度高，耐蚀性强以及可与一些非金属生成非常难熔的稳定化合物，如碳化物、氮化物、硅化物和硼化物。这些化合物是生产硬质合金的重要材料。在生产工艺上，一般都是先制取纯氧化物或卤化物，再用金属热还原法或熔盐电解法制取金属。

③ 稀散金属。包括镓、铟、铊、锗。这类金属的共同特点是极少独立成矿，在地壳中几乎是平均分布的，一般都是以微量杂质形态存在于其他矿物的晶格中。如镓存在于铝土矿中；铟存在于有色重金属硫化矿中；锗在地壳中的含量为0.0007%，比金、银、碘等元素要多。在自然界中没有锗矿，锗以分散状态存在于各种金属的硅酸盐矿、硫化物矿以及煤中。因此，它们多富集在有色金属生产的副产品、烟尘和尾渣中，品位一般在0.1%以下，需要采用复杂的工艺进一步富集后才能冶炼成金属。

④ 稀土金属。包括钪、钇及镧系元素（从原子序数为57的铈到原子序数为71的镥），共17种元素。共同特点是物理化学性质非常相似，在矿物中多共生，分离困难。冶金上一般先制取混合稀土氧化物或其他化合物，再用溶剂萃取、离子交换等方法分离成单一化合物，最后还原成金属。

⑤ 放射性稀有金属。包括天然存在的钫、镭、钋和锕系元素中的锕、钍、镤、铀，以及人工制得的镎、钚、锕系其他元索和周期表中104~109号元素。这类金属的共同特点是

具有放射性，它们多共生或伴生在稀土矿物中。

（5）半金属　半金属又称似金属或类金属，包括硼、硅、砷、碲、硒、钋、砹、锗、锑。半金属性脆，呈金属光泽，导电率介于金属和非金属之间，半金属大都具有多种不同物理、化学性质的同素异形体，广泛用作半导体材料。

1.3　有色金属与人类文明

人类最早利用的金属是铜、金等自然金属，金属的生产和使用开创了人类文明的历史。但是自然金属十分稀少，只有掌握了冶炼技术，能够大量生产金属之后，社会才发生了重大变化。冶炼金属需要高温、还原气氛两个条件。从技术的发展角度看，炼铜是在烧陶的基础上产生的。纯铜强度很低，无法替代石器，只有当冶炼技术发展到一定程度，能够利用各种矿石组合、配比，才能冶炼出强度高、硬度大、铸造性能好的青铜。用青铜制造各种生产、生活工具和武器，改变了人类的生活面貌，推动了氏族社会解体、奴隶社会诞生。在青铜时代，人们掌握铜、锡、金、银、铅、汞的冶炼方法，这些有色金属的开发、利用，使得人类古代青铜文化和生产力水平得到了极大提高。

随着青铜冶炼技术的日益成熟和技术的不断进步，铁的冶炼开始了。西亚两河流域的赫梯民族在公元前 1300 年左右开始炼铁，我国在公元前 600 年左右开始炼铁。进入铁器时代以后，有色金属继续得到稳步发展，产量稳步增加，陆续掌握了锌、砷、锑、铋的生产方法，并配制了多种合金。进入 18 世纪，欧洲发生的产业革命极大地促进了有色金属的发展，新的有色金属元素不断被发现，新的冶炼技术、方法和设备不断被开发、应用，推动着人类社会进入近代、现代文明发展阶段。

1.4　有色金属的资源

1.4.1　矿产资源与金属矿产

矿产资源（Minerals）是指经过地质成矿作用形成的，埋藏在地下（或分布于地表、或岩石风化、或岩石沉积）可供人类利用的天然矿物或岩石资源。矿产资源可分为金属矿产资源、非金属矿产资源、可燃有机矿产资源等类别，是不可再生资源。

金属矿产指从中提取某种供工业利用的金属元素或化合物的矿产。根据我国矿产储量统计分类，将金属矿产分为：黑色金属矿产、有色金属矿产、贵重金属矿产、稀有金属矿产和稀土金属矿产，以及分散元素金属矿产。

黑色金属矿产包括铁矿、锰矿、铬矿、钒矿、钛矿。

有色金属矿产包括铜矿、铅矿、锌矿、铝土矿、镍矿、钨矿、镁矿、钴矿、锡矿、铋矿、钼矿、汞矿和锑矿。

贵重金属矿产包括金矿、银矿和铂族金属（铂、钯、铱、铑、钌、锇）。

稀有金属矿产包括铌矿、钽矿、铍矿、锂矿、锆矿、锶矿、铷矿和铯矿。

稀土金属矿产包括钪矿、轻稀土矿（镧、铈、镨、钕、钷、钐、铕）、重稀土矿（钆、铽、镝、钬、铒、铥、镱、镥、钇）。

分散元素金属矿产包括锗矿、镓矿、铟矿、铊矿、铪矿、铼矿、镉矿、硒矿和碲矿。

金属矿产资源是国民经济、国民日常生活及国防工业、尖端技术和高科技产业必不可少的基础材料和重要的战略资源。钢铁和有色金属的产量往往被认为是一个国家国力的体现。常见有色金属地壳丰度-储量与排序见表1-1。

表1-1 常见有色金属地壳丰度-储量与排序

金属	铝	镁	镍	钴	铜	铅	锌	锡	钛	金	银
丰度/$\times10^{-4}$	83000	27640	99	29	68	13	76	2.1	6320	0.005	0.1
地壳丰度排序	3	6	23	31	26	37	25	50	9	—	—
中国储量/万 t	22.7	5×10^4	784	47	6243	3572	9384	407	3.57	0.4265	11.65
中国储量排序	6	—	9	—	4	2	2	1	1	7	6
世界总储量/万 t	250×10^4	24×10^4	1.1×10^4	720	6.41×10^4	1.5×10^4	1.15×10^4	1014	27×10^4	5.58	27

世界有色金属矿产资源分布极不均衡，一半以上储量分布在亚洲、非洲和拉丁美洲，大约40%的储量分布于工业发达国家，而美国、澳大利亚、加拿大和俄罗斯占据这部分储量的80%。日本、欧洲的有色金属消费量很大，其资源储量却很少。澳大利亚、美国、中国、智利、几内亚、秘鲁等国的铜、铝、铅、锌矿产储量丰富，智利铜储量占世界铜储量总量的38%；越南、澳大利亚、几内亚铝土矿储量占世界储量的60%；铅、锌资源主要集中在澳大利亚、美国、中国、哈萨克斯坦、加拿大、秘鲁、墨西哥等国家；钨、锡、钼、镍资源主要分布在澳大利亚、巴西、加拿大、俄罗斯、美国、南非、印度尼西亚、菲律宾、中国等国家。

我国有色金属矿产资源品种齐全，储量丰富，分布广泛，已探明储量的矿产有54种。其中，钨、锡、钼、锑、钛、稀土等资源的探明储量居世界第一位，铅、锌资源储量居世界第二位，铜矿储量居世界第四位，铝土矿储量居世界第六位，镍矿储量居世界第9位。我国有色金属矿产资源分布特点如下：①我国有色矿产资源总量虽然很大，但由于人口众多，人均占有资源量却很低，仅为世界资源量的52%；②贫矿较多。我国钨、钼、锡、锑、稀土等小金属矿产资源较丰富，资源质量较高，储量居世界前列，而需求量较大的铜、铝、铅、锌、镍等大宗金属矿产资源储量占比较低。总的来看，我国有色金属矿产贫矿较多，富矿少，开发利用难度大。如铜矿平均地质品位只有0.87%，远低于智利、赞比亚等世界主要产铜国家。品位高于2%的铜矿仅占资源总量的6.4%，品位高于1%的铜矿不足资源储量的36%。资源储量超过200万t的大型铜矿，品位基本都低于1%。铝土矿虽有高铝、高硅、低铁的特点，但几乎全部属于难选冶的一水硬铝土矿。③共生、伴生矿床多，单一矿床少。我国80%的有色矿床中都有共、伴生元素，其中尤以铜、铝、铅、锌矿产多。我国有色矿产资源中，虽然共、伴生元素多，但若能搞好综合回收，可以提高矿山的综合经济效益，同时由于矿石组分复杂，势必造成选冶难度大，建设投资和生产经营成本高。④分布范围广，区域不均衡。各省、市、自治区均有产出，但区域间不均衡。铜矿主要集中在长江中下游、赣东北和西部地区；铝土矿主要分布在山西、河南、广西、贵州地区；铅、锌矿主要分布在广西、湖南、广东、江西、云南、内蒙古、甘肃、陕西和青海等地区；钨、锡、锑主要分布在湖南、江西、云南、广西等地区；钼矿主要分布在海南、吉林和陕西等地。

1.4.2 再生资源

有色金属再生资源是指有色金属生产与应用过程中形成的废品、废气、废水、废渣、废

石和尾矿，包括：暂难利用的矿产资源，生产过程排出的废石、废水、尾矿和二氧化硫烟气，铜、铝、铅、锌、镍等再生金属资源，具有再回收利用价值的各种废弃物等。

再生资源是仅次于矿石资源的有色金属重要来源。再生有色金属是有色金属再生资源中极其重要的一类资源。有色金属的废料回收、再生、利用，有利于环境保护和资源的利用，具有投资省、能耗少、冶炼成本低、经济效益显著的特点。世界工业发达国家对“二次资源”利用十分重视，再生有色金属产量在各国总产量中的比重逐年上升。近10年来，世界再生铜产量占原生铜产量的40%~55%，其中美国约占60%，日本约占45%，德国约占80%。世界再生铝产量占原铝产量的35%~50%，其中美国约占50%，日本约占90%，德国约占45%。世界再生铅产量占原生铅产量的40%~60%，其中美国约占75%，日本约占60%，德国约占55%。有色金属冶炼厂排放烟气在工业发达国家受到特别重视，二氧化硫烟气普遍用于制造硫酸，回收利用率95%以上，经济效益和社会效益都十分可观。

再生金属回收利用在我国一直受到重视，根据有色金属行业协会再生金属分会提供的最新数据显示，2015年，我国再生金属铜、铝、铅、锌总产量约为1235万t，2016年，再生金属铜、铝、铅、锌总产量达到1370万t。

有色金属再生资源来自四面八方，往往是多种黑色金属、有色金属、塑料、橡胶以及其他有色金属混杂在一起，在进行再生利用前，需要先进行分类、拆解、分拣、清洗，甚至要进行破碎、焚烧、脱脂处理。不同种类的废金属需要采用不同的方法进行回收、处理。以废杂铜的回收为例，废铜在回收前，先要按照废铜标准进行分类。工业生产过程中产生的一次废铜，如不合规格的阳极、阴极和坯料，对于阳极废品等，这些废料不能进行深加工或出售，通常是将其返回上一步工序，不合规格的铜通常重新返回转炉或阳极炉进行电解精炼，有缺陷的坯料则进行重熔和重铸。

加工过程中产生的边角料或工艺废料，消费者使用后产生的旧废铜等，目前国内外采用两类方法处理：第一类是将高质量的废杂铜直接冶炼成纯精铜或铜合金后供用户使用，称作直接利用；第二类是将废杂铜冶炼成阳极板后经电解精炼成电解铜后供用户使用，称为间接利用。其中间接利用又可分为三种方法，一段法、二段法和三段法。

（1）一段法　它是将杂铜直接加入阳极炉精炼成阳极板后再经电解精炼成电解铜的方法。一段法的优点是流程短、设备简单、投资少，缺点是处理成分复杂的杂铜时产生的烟尘成分复杂，难于处理，同时精炼操作的炉时长，劳动强度大，生产率低，金属回收率低。该方法适合回收紫杂铜、残极、黄铜杂铜。

（2）二段法　第一段将废杂铜投入鼓风炉进行还原熔炼，或投入转炉进行吹炼，产出粗铜；第二段在反射炉内精炼粗铜，产出阳极铜。含锌高的黄铜杂铜、白铜杂铜适用于鼓风炉熔炼，反射炉精炼工艺处理，含铅、锡高的杂铜宜先在转炉中吹炼，使铅、锡进入转炉渣，所产次粗铜入反射炉精炼。该方法适合回收板头、铜线、铸造铜垃圾和含铜废品。

（3）三段法　它是将杂铜加入鼓风炉炼成黑铜，黑铜加入转炉炼成次粗铜，次粗铜再加入阳极炉炼成阳极板后电解精炼成电解铜的方法。三段法具有原料的综合利用好，产生的烟尘成分简单、容易处理，粗铜品位较高，精炼炉操作比较容易，设备生产率也比较高等优点，但又有过程复杂、设备多、投资大且燃料消耗多等缺点。该方法适合回收难于分类或混杂的纯铜杂铜、黑铜。

国家《铝工业“十二五”发展专项规划》明确提出：要大力发展循环经济，发展废杂

铝回收再生产业，降低消耗，减少污染，提高铝资源利用率。由废铝再生所耗能源仅相当于电解铝冶炼过程中耗能的 5%，国外的回收率大约为 80%。电解铝的使用年限平均为 15 年，2016 年，我国电解铝产量 3187 万 t，铝加工材产量 5796 万 t，这部分原铝、铝材将在 15 年后达到使用寿命，作为废铝资源回收利用。废铝回收再利用，不仅解决了电解铝高耗能的问题，同时有利于发展循环经济。废杂铝再生利用省去了繁杂的采矿过程，而且避免了原生铝生产过程中大量赤泥的产生，也不会破坏生态环境。能耗方面，再生铝所使用的主要燃料为煤、重油和天然气等，几乎没有以电力作为熔炼能源的再生铝企业，再生铝的综合能耗只有电解铝的 5%。目前国内外的再生铝熔炼技术包括反射炉、坩埚炉、双室炉、高效循环反射炉、水平回转炉、倾斜式回转炉及感应炉等熔炼技术。使用较普遍的为双膛天然气熔炼炉，这种炉型使有机物在炉内碳化、燃烧，放出的热量导入熔炼过程，避免环境污染并降低熔炼金属烧损。整套设备包括：天然气熔炼炉、静置保温炉、熔体转注与流槽系统、烟气处理与污染物净化系统、工艺过程自动控制系统等。熔炼炉设有预热室与熔化室，从熔炼室流出的热烟气间接加热预热室。静置炉用天然气加热，炉门的开关与炉体倾斜均由液压系统控制，能保持熔体流量与水平稳定，可铸出高质量的铸锭。典型废铝熔渣回收工艺流程如图 1-1 所示。

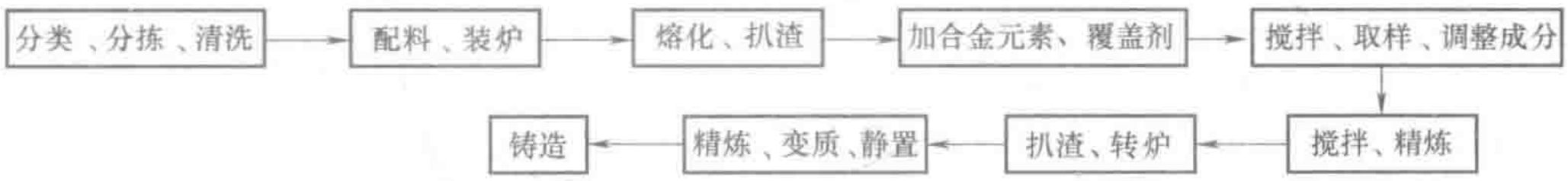


图 1-1　再生铝回收工艺流程

1.5　有色金属矿物、矿石、选矿与精矿

矿物是地壳中由于自然的物理化学作用或生物作用，所生成的自然元素（如金、碳、硫磺）和自然化合物（如磁铁矿、黄铜矿、红土镍矿、金红石、绿柱石等）。在自然界中，除少数矿物为液态（如汞、石油）或者气态（如天然气）外，多数矿物为固态。在现代技术经济条件下，能够以工业规模提取国民经济发展所必需的金属或者矿物产品的矿物集合体称为矿石。矿石由有用矿物和脉石矿物组成，能够为人类利用的矿物称为有用矿物，按照目前的工业技术水平，尚不能经济地利用的矿物称为脉石矿物。有用矿物在地壳中的分布是不均匀的，由于地质成矿作用，它们可富集在一起，形成巨大的矿石堆积。在地壳内或地表上矿石大量积聚具有开采价值的区域称为矿床。

一般根据矿石的物质成分、品位的高低、物理性质、结构、构造或氧化程度等不同因素对矿石进行分类，工业上针对不同类型的矿石采用不同的技术方法进行加工。在金属矿石中，按金属存在的化学状态和氧化程度不同可分成自然矿石、硫化矿石、氧化矿石和混合矿石。有用矿物是自然元素的矿石称为自然矿石，例如，自然金、银、铂、元素硫等。硫化矿石的特点是其中有用矿物为硫化物，例如，黄铁矿（FeS_2）、黄铜矿（$CuFeS_2$）、方铅矿（PbS）、闪锌矿（ZnS）等；氧化矿石中有用矿物是氧化物，例如，赤铁矿（Fe_2O_3）、赤铜矿（Cu_2O）、锡石（SnO_2），一般含氧的矿物，如硅酸盐、碳酸盐、硫酸盐等也包括在氧化矿内；混合矿石内则既有硫化矿物，又有氧化矿物。根据矿石结构、构造，可将矿石分为浸染状矿石、致密块状矿石和粉矿等。

矿石是根据从其中得到的金属而确定的，例如，铜矿石、镍矿石、铁矿石、铝土矿、铅锌矿、锡矿石等。只产出一种金属的矿石称为单金属矿石；可提取两种以上金属的矿石，称为多金属矿石，如我国攀枝花的钒、钛磁铁矿，金川铜、镍、钴伴生矿，兰坪金顶铅、锌矿等，都是国内有名的多金属矿石。

矿石中有用成分的含量称为矿石品位，常用质量百分数表示。例如，品位10%的铜矿石，就是矿石中金属铜的质量分数为10%；品位为50%的铁矿石，就是矿石中金属铁的质量分数为50%。对于贵金属，由于它们的含量一般都很低，矿石品位常以每吨矿石中含有贵金属的克数来表示。

按品位高低，金属矿石可分为富矿和贫矿。以磁铁矿为例，品位为50%~55%的为高炉富矿；品位为30%~50%的为贫矿。铜矿石的品位>1%为富矿，<1%为贫矿。矿石品位的下限由资源储量、冶炼技术和经济因素确定，资源枯竭、冶炼技术进步和经济发展需求，使矿石的下限品位不断降低。过去抛弃的尾矿，由于技术进步和国民经济日益增长的需要，尾矿资源得到再生利用。

从矿山开采出来的原矿的品位一般较低，直接冶炼原矿不仅技术困难，在经济上也不可行。在原矿冶炼前需要进行选别处理，选矿不仅能够提高矿石品位，降低冶炼成本，而且可以富集、分离原矿中伴生的多种有用成分，得到伴生金属的精矿，方便进一步利用。通过选矿的方法可以脱除矿石中伴生的有害杂质，以利于简化后续的冶炼流程，提高冶炼产品质量。

选矿是用物理或化学方法将矿物原料中的有用矿物和脉石与有害矿物分开，或将多种有用矿物分离开的工艺过程。选矿的主要任务是：分离矿石中的有用矿物和脉石矿物，除去有害杂质，并尽可能地回收矿石中各种有用成分。选矿产品中，有用成分含量较高、适合于冶炼加工的最终产品称为精矿，如铜精矿、镍精矿、锡精矿、铁精矿等。选矿过程中得到的、尚需进一步处理的矿石产品称为中矿；有用矿物含量很低、不需要进一步处理的矿石产品称为尾矿。

矿石中各种矿物都具有固定的物理性质和物理化学性质，如粒度、形状、颜色、光泽、密度、摩擦系数、磁性、电性和表面润湿性等。选别作业就是根据各种矿物的不同性质，采用适当的选别手段，使有用矿物与脉石矿物分选的工序。选矿方法主要分为两大类，即物理选矿与化学选矿，其中物理选矿包括磁选法、重选法、静电选矿法、摩擦选矿法、粒度选矿法、形状选矿法、手选法等。化学选矿包括浮选法、焙烧法、浸出法等。目前应用最多、最广的选矿方法有重力选矿法、浮选矿法和磁选法。

1.6 有色冶金的概念及冶金方法分类

冶金是一门研究如何经济地从矿石或者其他原料中提取金属或者金属化合物，并用各种加工方法制成具有一定性能的金属材料的科学。用于提取各种金属的矿石具有不同的性质，提取金属要根据不同的原理，采用不同的方法和设备，从而形成冶金的专门学科——冶金学。冶金学以研究金属制取、加工和改进金属性能的各种技术为重要内容，是专门研究冶金过程的理论、工艺、技术、装备、环保与经济等问题的技术学科。研究内容包括：原料的配备与处理；冶金过程的物理化学理论；金属的组织结构、力学性能、物理化学性能；金属冶炼、铸造、加工、热处理和产品质量控制的工艺技术基础；冶炼装备设计、制造、安装、运行与维护技术；冶金过程中间产品与冶炼三废（废气、废水、废渣）综合利用技术；冶炼

需要全本请访问 www.ertongbook.com