有色金属清洁冶金

任鸿九等　编著

中南大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目(CIP)数据

有色金属清洁冶金/任鸿九等编著. —长沙:中南大学出版社,2006.12

ISBN 7-81105-453-1

Ⅰ.有… Ⅱ.任… Ⅲ.有色金属冶金—无污染技术 Ⅳ.TF8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 151201 号

有色金属清洁冶金

任鸿九 等编著

□**责任编辑** 秦瑞卿
□**责任印制** 文桂武
□**出版发行** 中南大学出版社
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083
发行科电话:0731-8876770 传真:0731-8710482
□**印 装** 长沙理工大印刷厂

□**开 本** 850×1168 1/32 □**印张** 10.75 □**字数** 265 千字
□**版 次** 2006 年 12 月第 1 版 □2006 年 12 月第 1 次印刷
□**书 号** **ISBN 7-81105-453-1/TF·009**
□**定 价** **26.00 元**

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容提要

为促进清洁冶金和循环经济的教育和宣传，为纪念我国清洁冶金的先导者赵天从教授100周年诞辰，我们编写了此书。

全书共十一章，第一章主要论述了清洁冶金——21世纪冶金工业发展的新模式；第二章至第十章用九章篇幅重点介绍了发展中的有色金属清洁冶金，精选了国内外经生产实践检验的清洁生产工艺实例，包括铜精矿的三菱连续熔炼和吹炼工艺、铜冶炼的闪速吹炼技术、镍精矿的闪速熔炼直接生产高镍锍工艺、高镍锍的选择浸出—电解(氢还原)提取工艺、从氧化镍矿生产镍铁、锡精矿的澳斯麦特熔炼和烟化处理、硫化锌精矿的加压氧浸工艺及其与传统工艺的链合、直接炼铅过程同时处理锌浸出渣、钨矿物原料加工的清洁生产工艺的开发；第十一章展望了我国有色金属清洁冶金和循环经济发展中的几个重大技术问题。

全书内容丰富，取材有一定的新颖性和实用性。本书可作高等学校冶金工程专业、环境工程专业本科高年级学生或研究生的选修课教材，也可供相关专业的科技人员和管理人员参考。

前　言

2003 年 1 月 1 日我国开始实施《中华人民共和国清洁生产促进法》，该促进法第十五条明确规定“应当将清洁生产技术和管理课程纳入有关高等教育、职业教育和技术培训体系”。中南大学冶金学院已将《有色金属清洁冶金》课程纳入冶金工程专业和环境工程专业本科生的教育计划，但是缺乏与时俱进的清洁冶金新教材。在中南大学教务处和中南大学出版社的大力支持下，经过反复酝酿修改的《有色金属清洁冶金》教材，2005 年框架，2006 年初开始正式编写。

本来在不到一年的时间内拿出一本基本反映当代有色金属清洁金进展的新教材对我们来说是有困难的。但是出于对我国清洁冶金的先导者赵天从教授的崇敬、纪念赵教授的 100 周年诞辰的需要，开我国有色金属国清洁冶金的先河，与此同时，海内外广大校友给予了多方面热情支援，如远在加拿大的张永柱博士，安徽铜陵的金隆铜业有限公司技术总监周俊教授级高工，福建师范大学的郑晓虹教授，他(她)们在工作十分繁忙中应约亲自撰稿，频繁地通信讨论，不少校友将最新的相关信息及时通报我们，从而使本书得以如期出版。

仅以这本抛砖引玉的《有色金属清洁冶金》来表达弟子们弘扬赵天从教授清洁冶金学术思想的一点心意。

参加本书编撰工作的有任鸿九、郑晓虹、周俊、王立川、张永柱、李洪桂等；全书由李洪桂、赵中伟主审。编审分工详见各章结尾。

本书教学大纲第一稿由中南大学冶金学院冶金原理教研究室

于 2004 年提出，当时是针对本科高年级学生提出的，学时为 32 学时。后来考虑到新教材应当与时俱进地反映当代有色金属清洁冶金的新进展，将读者对象扩展到研究生和相关专业的科技人员和管理人员，因而篇幅和深度均有所增加。

这本书利用了国内外许多公司、冶炼厂和生产实践成就和许多专家学者的研究成果的基础数据和图表资料，在此谨向有关参考文献的作者们和提供资料、参予讨论的校友们，表示诚执的谢意。

由于我们水平有限，知识面较窄，时间仓促，错误不足在所难免，恳请读者批评指正。

编　者

2006 年 12 月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目 录

1 清洁冶金——21 世纪冶金工业发展的新模式

1.1 先生产、后治理的工业发展模式不适时宜 …… (1)
1.2 清洁生产应运而生…… (12)
1.3 大力发展循环经济是促进清洁生产的有效途径…… (15)
1.4 发展中的清洁冶金…… (20)
1.5 本章小结…… (27)
参考文献 …… (27)

2 铜精矿的三菱连续熔炼和吹炼工艺

2.1 三菱法半个世纪的发展…… (29)
2.2 三菱法对铜冶炼技术的独特贡献…… (31)
2.3 三菱法的工艺流程、设备、典型生产数据…… (42)
2.4 三菱熔炼过程的物料衡算与热量衡算…… (51)
2.5 三菱吹炼过程的物料衡算与热量衡算…… (57)
2.6 三菱熔炼过程富氧鼓风的优化…… (59)
2.7 三菱吹炼炉取代 P-S 转炉周期性吹炼…… (63)
2.8 三菱法的特点…… (64)
2.9 典型的三菱法工厂配置和设计参数估算…… (66)
2.10 本章小结 …… (69)
参考文献 …… (70)

3 铜冶炼的闪速吹炼技术

3.1 概述…… (72)
3.2 闪速吹炼的基本原理…… (75)
3.3 闪速吹炼技术的工业实践…… (93)
3.4 闪速吹炼技术的工业应用前景 …… (102)
3.5 值得注意的几个问题 …… (115)
3.6 本章小结 …… (122)
参考文献…… (123)

4 镍精矿闪速熔炼直接生产高镍锍

4.1 高镍锍的传统生产方法 …… (124)
4.2 闪速熔炼直接生产高镍锍 …… (126)
4.3 本章小结 …… (133)
参考文献…… (133)

5 高镍锍的选择浸出—电解(氢还原)提取工艺

5.1 硫酸选择浸出 …… (134)
5.2 氯化浸出 …… (148)
5.3 镍(铜)锍湿法提取方法的比较 …… (161)
5.4 本章小结 …… (162)
参考文献…… (162)

6 从氧化镍矿生产镍铁

6.1 氧化镍矿的类型及其火法冶金处理方法 …… (163)
6.2 镍铁生产单元过程及关键工艺参数的选定 …… (164)
6.3 国外镍铁冶炼厂的实践 …… (170)
6.4 本章小结 …… (180)

参考文献…… (180)

7 锡精矿的澳斯麦特熔炼和烟化处理

7.1 锡精矿的炼前处理制备清洁原料 …… (182)
7.2 熔池中气体喷吹的混合现象和传输现象 …… (184)
7.3 锡精矿的澳斯麦特熔炼过程 …… (194)
7.4 锡炉渣和低锡物料的烟化处理 …… (210)
7.5 本章小结 …… (232)
参考文献…… (233)

8 硫化锌精矿的加压氧浸工艺及其与传统工艺的链合

8.1 加压氧浸法的发展 …… (233)
8.2 加压氧浸过程的热力学及动力学 …… (234)
8.3 加压氧浸出的工业实践 …… (237)
8.4 加压氧浸出与常规黄钾铁矾法的技术经济比较 …… (244)
8.5 本章小结 …… (246)
8.6 建议 …… (247)
参考文献…… (247)

9 直接炼铅过程同时处理锌浸出渣

9.1 锌浸出渣及其处理现状 …… (248)
9.2 锌浸出渣处理的新进展——直接炼铅过程同时处理锌浸出渣 …… (256)
9.3 本章小结 …… (277)
参考文献…… (278)

10 钨矿物原料加工的清洁生产工艺的开发

10.1 强化反应速度以降低试剂的消耗，减少现行工艺三废排放量……（279）
10.2 开发新的清洁生产工艺……（289）
10.3 本章小结……（297）
参考文献……（297）

11 有色金属清洁冶金与循环经济展望

11.1 根据我国铝土矿资源的特色开发低排放渣量的新工艺……（299）
11.2 伴生铁——抛弃还是回收……（305）
11.3 积极开发低浓度 SO_2 烟气脱硫产品的新市场……（325）
11.4 本章小结……（328）
参考文献……（329）

1　清洁冶金——21 世纪冶金工业发展的新模式

1.1　先生产、后治理的工业发展模式不适时宜

20 世纪的科技进步大大地提高了社会生产力，创造了巨大的物质财富。但是在工业发展的同时也产生了一系列危及人类生存的环境问题，人们赖以生存的空气、水以及各种食物都受到不同程度的污染。这些污染超出了自然环境的自净能力，从而不断地酿成一系列危及人类生存发展的公害如烟雾、酸雨、臭氧层破坏、温室效应等众所周知的生态环境恶化问题。这种大量生产、大量消费资源、能源大量废弃的工业发展模式已经不能适应人类生存和经济的持续发展的需要。冶金工业界和冶金工程技术人员往往片面追求生产的发展，甚至陶醉生产大国的地位，对生态环境被破坏及其危害的认识不足。这突出地反映在要求：大气中的污染物不允许超过环保规定的极限浓度，实施污水深度处理和逐步实现“污水零排放”，以及固体废弃物的“无害化处理”及其“资源化”等三大问题的控制与治理，这里将结合有色冶金过程的某些典型实例来讨论三个问题的紧迫性。

1.1.1 大气中的污染物、污水以及固体废弃物的污染威胁人类的生存

(1)大气中污染物的危害和影响

现以砷和二氧化硫的危害为例[1]。美国曾出现有色金属生产厂家在法院对美国职业安全与保健局(OSHA)颁发的将生产场所无机砷的极限由1971年的500 $\mu g/m^3$ 降至10 $\mu g/m^3$ 提出异议。美国第九届巡回法院命令进一步研究砷的危险。1982年美国OSHA提出的选择鉴定表明，10 $\mu g/m^3$ 标准使雇员职业接触砷的肺癌发生率较之500$\mu g/m^3$ 标准减少98%。1983年1月14日美国OSHA公布了最终评定，重申职业接触无机砷的允许含量为10 $\mu g/m^3$，以便从根本上降低肺癌的危险。美国环境保护局(EPA)1980年6月将无机砷列为空气的危险污染物。1983年7月11日EPA根据纽约地区法院1月规定的期限采取行动，提出了管理砷排放的条例。条例规定了处理高砷物料(铜精矿含砷0.7%或更高)的原生炼铜厂及处理低砷物料(铜精矿含砷低于0.7%)的原生炼铜厂和玻璃生产厂的排放砷量。据EPA估算，1200 t/a砷排放物，85%以上来自这三个污染源。EPA强调要采用最有效技术来控制排放物，因此估计所提出的标准，可使砷的总排放量降低约20%，地面渗漏的排放物(EPA认为它对公众健康威胁最大)降低约65%。标准要求美国14座玻璃炼炉，6家处理低砷物料的炼铜厂和唯一的一家处理高砷进料的美国熔炼与精炼公司(ASARCO)的塔科马炼铜厂加强排放物的控制。由于超出EPA对高砷进料炼铜厂提出的标准，为降低砷泄漏量预计要求约300万美元，为满足硫的排放标准(当时环保标准仅要求硫的捕集率达到90%)，需要对传统的反射炉造锍熔炼进行改造，新建闪速熔炼炉估计要花1.5亿美元。美国熔炼与精炼公司决定

需要全本请访问 www.ertongbook.com

在 1985 年 6 月 30 日关闭塔科马炼铜厂。然而美国一直是世界白砷产品的主要消费国家，直到 2003 年美国进口白砷量仍占世界白砷总产量的 35 .3%[2]，2004 年才降到 12 .4%（历史上的最低进口水平）[3]。塔科马炼铜厂曾经是美国铜、铅、锌冶炼厂中回收砷的唯一工厂，也是世界主要的白砷精炼厂之一，其特殊地位也未能存在下去。这是由于该厂进料中有 37% 的菲律宾高砷铜精矿（含砷 9% ～12% ）与低砷铜精矿混合后，入炉精矿平均的含砷量也有1% ～4%[4]，高砷进料面临的困难加上落后的反射炉熔炼工艺无法满足砷、硫的排放标准，注定是非被淘汰不可的。

因为传统的造锍熔炼工艺不能满足硫的排放标准，而进行现代化改造企业又担心经济上不合算，致使美国在 1970～1995 年的 25 年间关闭了 10 家老炼铜厂[5]，即苏必利尔冶炼厂（1971 ）、阿纳康达蒙大那冶炼厂（1980 ）、雷冶炼厂（1982 ）、麦吉尔冶炼厂（1983 ）、莫伦西冶炼厂（1984 ）、阿霍冶炼厂（1985 ）、塔科马冶炼厂（1985 ）、道格拉斯冶炼厂（1987 ）、科珀希尔冶炼厂（1987 ）和铜山冶炼厂（1995 ）等 10 家铜厂。值得一提的是：美国最后一台炼铜反射炉 1995 年 3 月在铜山冶炼厂关闭。这 25 年间美国有远见的企业新建了 5 家闪速熔炼炼铜厂[5]：伊达尔戈冶炼厂奥托昆普闪速炉（1976 ）使原料中硫捕集率达到 95% ，海登冶炼厂因科闪速炉（1983 ）使原料中硫捕集率达到 94% ，奇诺冶炼厂因科闪速炉（1984 ）使原料中硫捕集率＞95% ，马格马冶炼厂奥托昆普闪速炉（1988 ）使原料中硫捕集率达 95% ，犹他冶炼厂奥托昆普闪速熔炼炉和肯尼科特—奥托昆普闪速吹炼炉（1995 ）使原料中硫捕集率＞99% ；新建了 2 家熔池熔炼炼铜厂[5]——犹他冶炼厂 1978 年新建 3 台诺兰达反应炉，但 1995 年又将其改造为更先进的闪速熔炼——闪速吹炼炼铜厂，塞浦路斯迈阿密冶炼厂的艾萨熔炼炉（1992 ）使原料中硫捕集率达到 97% 。

30 年前美国铜工业界与环保局产生分歧和对抗，甚至认为

环保局的“铜冶炼厂依照标准须回收原料中 90% 硫的政策相对技术和经济的可行性来说是一个错误”[5]，这一纠纷已经由历史做出了裁定。铜工业的技术革命、氧气的应用双转双吸制酸工艺的采用，使得新建的现代铜冶炼厂的原料中硫的捕集率高于 95%。被誉为“真正的 21 世纪工厂”的三菱连续熔炼和吹炼工艺，原料中硫的总捕集率超过 99%（印度尼西亚 PT 公司的 Gresik 铜冶炼厂达到 99.7%[6]）。奥托昆普闪速熔炼——肯尼柯特－奥托昆普闪速吹炼工艺，原料中硫的捕集率也高于 99%[5]。

现代医疗常识告诉我们，若每天吸入浓度为 0.1 mg/m^3 的二氧化硫气体 8h，支气管和肺部会出现明显的刺激症状，并使肺和肝脏受损。正如 2000 年 5 月，由世界资源研究所、联合国环境署和世界银行共同编写的一份题名为“世界资源：1998～1999”的报告指出的那样，环境因素是导致人类生病和死亡的主要原因。该报告指出发达国家和发展中国家一样面临环境被破坏后所产生的问题、所带来的生存威胁；如美国就大约有 8000 万人的健康受到空气污染的威胁。而在世界的贫穷地区，与环境有关的疾病每年夺去 1100 万儿童的生命，其中有 400 万儿童死于空气污染引起的呼吸道疾病。

我国为了控制二氧化硫对大气的污染，要求重有色金属新建的铜、铅、锌、镍冶炼厂的工业废气中二氧化硫排放标准值为0.05%（GB491－385），这就要求新建冶炼厂烟气制酸（硫的回收率达 95%）后的尾气或其他低浓度二氧化硫烟气需进一步进行脱硫处理后方可达标排放。国内外已开发多种低浓度二氧化硫烟气的治理技术可行，若因地制宜选择得当时，往往也能经济合理地运行。按照环境保护是我国的基本国策和国家大力发展循环经济的指导思想，主动、积极开发回收脱硫副产品的应用市场，千方百计使相关的治理技术做到技术可行、经济合理，使其不至于因脱硫副产品的堆存而造成新的二次污染，或者因过不了经济关而处于困境。

(2)污水对环境的危害和影响

水是构成生命细胞的基础，所构成的体液占人体重量的60%，是机体的重要组成部分，为生命活动所必需。如以细胞膜为界限，体液有细胞内液和细胞外液之分。细胞内液为每个细胞所必有，其总量较细胞外液为大，是细胞的内在环境。细胞内在环境的更新和稳定，以维持生命活动。细胞外液的总容量比细胞内液略小，但细胞外液的流动性大，尤其是血浆因心脏泵力而具有很大的流速，故每个细胞所接触到的细胞外液要比细胞内液大许多倍，适合于迅速与细胞交换物质，达到更新和稳定细胞内在环境的目的。细胞外液的成分，尤其是水和电解质含量的比较恒定性以及缓冲体系的存在，也是稳定细胞内在环境的关键。在日常生活中，细胞中代谢的持续性以及饮食摄入和吸收的间断性都势必反映到细胞外液，使其发生相应的变动；但是这些变动是短暂的，很快就恢复原状。所以，水和电解质平衡是一错综复杂的全身性原状稳定的生理过程。任何病理情况，任何器官或系统疾病都会在不同程度上影响体液的变化，造成水和电解质平衡的失调；了解这些失调的动向和规律可以指引临床医务人员进行适宜的补偿和有效的纠正，对防治疾病有很大的好处。各人的体质不同体液量亦有差异，体内脂肪的含量(脂肪含水较少)不同，含水分量则不同，非脂肪组织部分大致为 22%。例如，普通男人的脂肪占 18%，水占 60%；肥胖男人的脂肪占 35%，水只占 43%；消瘦男人脂肪只占 8%，水却占 70%。一个肥胖的人对失水性疾病难于耐受而能较好地耐受慢性消耗性疾病，而非肥胖的人则比较能耐受失水性疾病[7]。

在完全断水的情况下，人体每日耗失的水量仍达 1500 mL，约合一般体重的 2.5%。当失水量达体重的 15% 时，患者即不能支持，会导致死亡，这种情况一般发生在断水后的 7～10 日[7]。

由于细胞脱水，缺水的临床表现最早的症状是口渴(尚无其他

症状)，一体重 60 kg 的人，缺水量约为体重的 2%，即大约缺水 1200 mL。中度缺水，往往在断水 3d～4d 时，患者烦渴、口干、尿少、软弱、重病容、性格改变，但仍能从事轻度的体力或脑力劳动。此时缺少量约等于其体重的 6%，即大约为 3600 mL。重度缺水时，体力或脑力劳动能力显著减低，不可从事任何工作，往往会出现幻觉、谵语、躁狂。缺水量约为体重的 7%～14%，即 4～8L[7]。

当人体失水超过体重的 15% 时，可以导致死亡。人如果长期饮用被污染或不良品质的水，将会引起多种疾病的发生和发展，这时水就成为影响人的健康的隐形杀手。丁朝模等[8]引用联合国环境署发布的资料，说明以牺牲环境为代价的工业发展模式是不可取的，最终将危及人类自身的生存与发展。“亚洲经济奇迹的代价是污染日益严重，水是全世界最脏的，空气是污染最严重的，在全球污染最严重的 15 个城市中，亚洲占 13 个，严重的污染灾难在亚洲徘徊”。“农业用水较 20 世纪初上升了 5 倍，工业用水增长了 26 倍，市政用水增加了 18 倍，人类活动造成的水污染又加剧了淡水资源危机，每年仅城市向江河湖海倾泻的污水就高达 500 亿 m^3，而每滴污水将污染数倍乃至几十倍的水体，致使全球目前约有 15 亿人缺少可供饮用的干净水，在发展中国家 80%～90% 的疾病和 1/3 以上死亡者的死因都与受细菌感染或受化学污染的水有关，每天有 2.5 万人死于通过水传染的疾病”。

众所周知的“骨痛病”和“水俣病”便是镉和汞污染水源的公害病。“骨痛病”首先发生在日本富山省神通川流域，由于镉慢性中毒，导致镉代替了骨骼中钙而使骨质变软，患者长期卧床，营养不良，最后发生废用性萎缩，并发性肾功能衰竭和感染等合并症而死亡[9]。“水俣病”最初发生在日本熊本县水俣市，是由于汞积存在鱼蚧类的体内形成有机汞，人食后引起的一种神经系统疾病[10]。当汞作用于中枢神经系统、周围神经系统及植物神经系统时，结果出现汞毒性脑病，四肢麻木、疼痛、肌无力、视力模

糊，心悸、血管运动神经功能失调等症状[11]。由于受到“水俣病”事件的影响，1978 年日本已将水银法电解食盐工厂全部改造为隔膜法[10]。

台湾林光常博士分析引发癌症等慢性病的多种原因时[12]，强调了水质的恶化原因，并引证了一些重要数据和论述。联合国环境规划署分析全球环境发展趋势时指出，21 世纪困扰人类的七大难题包括人口、粮食、能源、臭氧层损耗、森林退化、酸雨增多和水资源等。并特别提到，目前世界上有 1/3 的人口面临中等或重度用水压力。如果没有严厉的水资源保护措施，这一数目将增加一倍。

世界卫生组织也指出，人类疾病 80% 与水有关。据统计，每年世界上有 2500 万以上的儿童因饮用被污染的水而死亡。联合国环境计划执行长托普佛指出，水质不断恶化，全球人口的两成，也就是 12 亿人喝不到干净的水。2003 年 3 月召开的第三届世界水资源论坛，联合国教科文组织“世界水评估计划”主管杨格说：“全世界约有 20% 的人无法取得安全饮水，我国居然视为理所当然。”他还大声疾呼，每年有 220 多万人因误饮受到污染的水或卫生不良而病死，问题之所在铁证如山，可是世人却漠视如故！

2003 年 6 月 5 日由国务院所发布的“2002 年中国环境状况公报”，指出长江与黄河正面临严重的污染危机。中国各大河川的水质监测站，监测出其水质有 41% 未达国家标准；七大河可净化为饮用水的河段不足 30%。剩余的亦已遭受重金属和其他化学物质的污染，其他的主要大江如汉江、松花江的水质，也远高于国家标准，河川最主要的污染源大多来自日常生活用水的肥皂水，以及农民用的化学肥料，造成严重的氮污染和磷污染。

钢铁和有色金属的采选、冶炼是用水大户，据 1989 年统计，我国有色冶金行业年用水量为 21.32 亿吨，占全国用水量的 3.5%；当年有色冶金工业向环境排放的重金属量如下：汞 56 t，占全国排放量的 16%；镉 88 t，占全国排放量的 48.8%；砷 173t，

占全国排放量的11.3%；铅226 t，占全国排放量的20%。这些重金属污染物基本上都是通过废水排放的，虽然废水重金属浓度不高，但废水量大，向环境排放量的绝对量大[9]。

近年来我国广东的北江及湖南的湘江局部水域出现过短期水质含镉超标现象（生活饮用水水源水质标准是含镉量≤0.01 mg/L），引起各方面的严重关注。对此政府也采取了有力措施，以保护江河饮用水的安全。例如2006年湖南长沙、株洲、湘潭三市签署了《长株潭环保合作协议》，环境同治锁定七大内容包括：水污染防治、大气污染防治、危险固废污染防治、生态环境保护合作、环境监测合作、环境保护科技和产业合作，共同构建三市环境保护融资平台，且以保护湘江饮用水安全为重点。“湘江流域将严格控制排污总量和达标排放标准”，并指出株洲是长株潭“环境同治”的焦点，仅治污的预算达94亿元。从去年起，株洲重点抓了湘江重金属污染的治理，株冶投入7000多万元进行技术改造。同时加强涉镉企业以及砷的矿源管理，重金属超标排放的问题基本得到了解决。目前重点推进镉、铬、汞等重金属污染治理。2006年，长株潭环境同治的目标是三市工业废水排放达标率达到84%，城市污水治理率达到47%，工业固体废弃物综合利用率达到77%，城市生活垃圾无害化处理率均达到100%[13]。我们调查了解到有关企业正在与科研单位及高校大力协作，正在朝着污水深度净化和生产污水“零排放”的目标努力。

（3）固体废弃物的危害和影响

在色金属工业固体废弃物是指采矿、选矿、冶炼、加工过程以及附属生产过程排出的固体状和泥状废弃物。主要包括采矿废石、选矿、尾矿、赤泥、冶炼炉渣、煤灰渣和其他工业固体废弃物。有色金属矿石种类多，含主金属品位低（例如硫化镍矿含镍为0.3%～2%，硫化铜矿含铜为0.5%～2%），因而开采量大，生产过程废物排放量大，生产1吨金属往往要开采数十吨到上千

需要全本请访问 www.ertongbook.com