

有色金属矿山

重金属污染控制与生态修复

Pollution Control on Heavy Metals and
Ecological Remediation
in Nonferrous Metals Mine

赵永红 周丹 余水静 陈明 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

国家自然科学基金项目(51064007)资助
江西理工大学优秀学术著作出版基金资助

有色金属矿山 重金属污染控制与生态修复

赵永红 周 丹 余水静 陈 明 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2014

内 容 简 介

本书以有色金属矿山资源开采过程中产生的生态环境问题为核心,从污染产生的源头进行分析,概括总结了有色金属矿山废水、尾矿、矿区土壤中重金属污染的现状与治理技术;从生态修复的角度,论述了矿区生态环境综合治理的方法和技术。同时,结合近年来有关矿山重金属污染治理及生态环境修复的研究成果,全面概括、总结了目前有色金属矿山生态环境治理和恢复技术及应用现状。

本书可作为环境科学与工程、生态学、土壤学等学科普通高等学校本科生和研究生的课程教材,也可供有关专业科研工作者、工程技术和管理人员,政府、矿山企业负责环境保护工作的人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

有色金属矿山重金属污染控制与生态修复/赵永红等编著. —北京:冶金工业出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-5024-6499-8

I. ①有… II. ①赵… III. ①有色金属矿床—金属矿开采—重金属污染—污染防治 IV. ①TD862 ②X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 004810 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 刘小峰 李维科 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6499-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京慧美印刷有限公司印刷

2014 年 1 月第 1 版, 2014 年 1 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 12.5 印张; 241 千字; 189 页

34.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

有色金属是航空、航天、汽车、机械、电力、通讯、建筑、家电等行业中不可或缺的基础材料，是提升国家综合实力和保障国家安全的关键性战略资源。我国有色金属矿产资源丰富，有色金属年产量稳居世界首位，有色金属资源的开发和利用在国民经济和社会发展过程中发挥着举足轻重的作用。然而由于在资源开采过程中对环境保护问题重视不够和开采技术相对落后，到目前为止已经产生了一系列的生态环境问题，如地表土层和植被的破坏，尾矿占用大量土地而破坏原有生态系统，采矿和选矿过程中产生大量粉尘并排放酸性或碱性矿山废水，矿区及周围土地、水体和大气的重金属污染等。其中，有色金属矿山开采引起的重金属环境污染问题已经引起社会的广泛关注，并成为制约行业发展的重要因素之一。因此，开展有色金属矿山重金属污染产生机制的分析，并探讨相关污染控制技术与原理，对解决行业污染问题，实现行业持续性发展具有重要意义。

本书以有色金属矿山资源开采过程中产生的生态环境问题为核心，从污染产生的源头进行分析，概括总结了有色金属矿山主要的环境污染问题，包括矿山废水、尾矿、矿区土壤重金属污染的现状及治理技术。在此基础上，分析和总结了有色金属矿山目前面临的生态环境问题，从生态修复的角度，论述了矿区生态环境综合治理的方法和技术。本书对近年来有关有矿山污染治理及生态环境修复的研究成果，以及工程应用进展进行了分析和梳理，结合作者在该领域的研究成果，总结了目前有色金属矿山生态环境治理和恢复的研究内容、治理技术及



应用现状。

本书由赵永红、周丹、余水静、陈明负责编写。在编写过程中，王春英、成先雄、艾光华、张静、王春晖参与了部分内容的修订和录入工作，在此表示感谢！

本书的出版得到国家自然科学基金项目（51064007）、江西省矿冶环境污染控制重点实验室和江西省博士后科研择优资助项目的资助，谨表谢忱！

由于作者水平所限，书中难免有错误或者不当之处，敬请指正！

编著者
2013年12月

目 录

1 有色金属矿山重金属污染现状	1
1.1 我国有色金属矿山资源开发利用现状	1
1.1.1 我国有色金属资源的现状	1
1.1.2 我国有色金属资源开发利用概况	3
1.1.3 我国有色金属资源开发利用存在的主要问题及对策	4
1.2 我国有色金属矿山重金属污染概况	7
1.2.1 有色金属矿山开采环境特点	7
1.2.2 有色金属矿产资源开发造成的环境问题	8
1.2.3 我国有色金属矿山重金属污染问题	10
1.2.4 重金属污染评价	11
1.3 有色金属矿山重金属环境地球化学问题研究现状	15
1.3.1 环境地球化学的概念	15
1.3.2 矿山重金属的污染源	15
1.3.3 重金属环境地球化学研究进展	15
1.3.4 矿山重金属污染物的迁移与环境地球化学效应	18
1.4 结语	20
参考文献	21
2 有色金属矿区重金属的迁移与转化	22
2.1 有色金属矿山重金属污染的源与汇	22
2.2 矿区重金属在介质中的赋存形态及其对迁移转化的影响	24
2.2.1 矿区重金属在土壤中的赋存形态及其迁移转化的影响	24
2.2.2 矿区重金属在水中的赋存形态及其迁移转化的影响	30
2.2.3 矿区重金属在大气中的赋存形态及其迁移转化的影响	35
2.3 不同重金属的相互关系及转化过程	38
2.3.1 铜在不同介质中的迁移	38
2.3.2 铅在不同介质中的迁移	39
2.3.3 砷在不同介质中的迁移	41



目 录

2.3.4	汞在不同介质中的迁移转化	43
2.3.5	镉在不同介质中的迁移转化	45
2.4	矿区重金属迁移和转化过程中的生态影响	47
2.4.1	重金属对植物生长发育的影响与危害	48
2.4.2	重金属对土壤的影响与危害	54
2.4.3	重金属对土壤酶活性及微生物的影响	54
	参考文献	55
3	有色金属矿山废水污染与控制	58
3.1	有色金属矿山酸性废水概况	58
3.1.1	矿山废水的来源及分类	58
3.1.2	矿山酸性废水的形成机理	59
3.1.3	矿山酸性废水的特点	61
3.1.4	矿山酸性废水的危害	62
3.2	国内外矿山酸性废水(重金属)治理工艺研究进展	64
3.2.1	沉淀法	65
3.2.2	氧化还原法	68
3.2.3	电解法	68
3.2.4	蒸发法	69
3.2.5	离子交换法	69
3.2.6	溶剂萃取法	69
3.2.7	生物法	70
3.2.8	铁氧体法	71
3.2.9	膜分离技术	72
3.2.10	其他方法	78
3.3	工程实例	78
3.3.1	小岭硫铁矿酸性废水处理工程实例	78
3.3.2	凡口铅锌矿人工湿地处理系统工程实例	82
	参考文献	85
4	有色金属矿区固体废弃物污染与控制	88
4.1	矿山固体废弃物处理处置现状	88
4.1.1	矿山固废概述	88
4.1.2	矿山固废的性质	91



4.1.3	矿山固废的危害	92
4.1.4	矿山固废的处置技术	94
4.1.5	我国在金属矿山开发中存在的主要问题	97
4.2	矿山固体废弃物引发的重金属污染与治理技术	98
4.2.1	化学法	98
4.2.2	物理化学法	99
4.2.3	生物法	100
4.3	矿山固体废物综合利用	101
4.3.1	有色金属矿山废石、尾矿综合利用	101
4.3.2	赤泥综合利用	105
4.3.3	冶炼渣综合利用	107
	参考文献	113
5	有色金属矿区土壤重金属污染及修复技术	116
5.1	矿区土壤重金属污染概述	116
5.1.1	矿区土壤重金属污染的现状	116
5.1.2	矿区土壤重金属污染的来源	119
5.1.3	矿区土壤重金属污染的特点与危害	122
5.2	矿区土壤重金属污染评估方法	125
5.2.1	总量法	125
5.2.2	实验模拟法	125
5.2.3	环境地球化学法	126
5.2.4	化学形态分析法	126
5.2.5	植物指示法	129
5.3	矿区重金属污染土壤物理化学修复	129
5.3.1	物理修复技术	130
5.3.2	化学修复技术	132
5.4	矿区重金属污染土壤生物修复技术	134
5.4.1	重金属污染土壤植物修复技术	135
5.4.2	重金属污染土壤微生物修复技术	144
5.4.3	重金属污染土壤植物—微生物联合修复	148
5.5	湖南某厂铬渣堆场污染土壤微生物修复技术构建	158
5.5.1	铬渣堆场污染土壤微生物修复特征	158
5.5.2	铬渣堆场污染土壤微生物修复工艺优化	158



5.5.3 土著微生物修复铬渣堆场污染土壤动力学	159
参考文献	159
6 有色金属矿山废弃地生态修复技术与实践	162
6.1 有色金属矿山废弃地治理与生态修复现状	162
6.1.1 国内外矿山废弃地治理现状	162
6.1.2 有色金属矿山废弃地生态恢复的主要问题	166
6.2 矿山废弃地生态修复的理论基础	169
6.2.1 生态学基础	169
6.2.2 土壤学基础	170
6.2.3 植物修复与植被恢复基础	171
6.3 废弃地的土地复垦与土壤改良	172
6.3.1 矿山废弃地的复垦	172
6.3.2 土壤改良	176
6.4 有色金属矿山废弃地生态修复设计与实践	179
6.4.1 矿山废弃地生态修复设计	179
6.4.2 北京首钢铁矿植被恢复规划设计与实践	182
6.4.3 山东铝业公司氧化铝厂1号赤泥堆场生态修复工程	184
6.4.4 水龙山酸性废石堆场边坡生态修复工程实践	185
参考文献	188

1 有色金属矿山重金属污染现状

1.1 我国有色金属矿山资源开发利用现状

矿产资源作为国土资源的重要组成部分，是经济建设的物质基础，也是能源和原料的基本来源。随着人类社会的发展和生产力的进步，人类对矿产的认识在不断加深，使其应用的范围也在不断扩大，充分显示了人类利用和改造自然的主观能动作用。新兴工业的崛起，尤其是原子能工业、新材料工业、微电子工业的迅猛发展，对矿产资源提出了大量新的要求。因此，如何最有效地开发和利用矿产资源则是国民经济持续发展的关键问题。新中国成立以来，特别是改革开放以来，我国有色金属工业得到了长足的进步，但同时又面临着严峻的挑战，如果对出现的各种问题不认真加以解决，势必会影响我国有色金属矿产资源的合理开发利用和有色金属工业的继续发展。

1.1.1 我国有色金属资源的现状

中国地大物博，矿产资源丰富。世界已发现的各类矿产有 160 多种，中国已发现 150 多种，探明储量的矿产有 137 种，发现矿产地 20 多万处，其中 25 种矿产储量居世界前列，45 种主要矿产探明储量的潜在经济价值在 10 万亿元以上，居世界第三位。现已查明我国的主要有色金属矿产资源如下。

铜矿：我国已探明储量居世界第三位，仅次于智利、美国。除天津、香港以外，全国各省、市、自治区都有铜矿生产，但集中分布在赣东北、西藏昌都、四川会理、云南东川和易门、甘肃金昌和白银、湖北大冶及山西中条山等 7 个地区，占总储量的 3/4 以上，但品位较低。我国探明的铜资源储量中，平均品位为 0.71%，品位大于 1% 的仅占 1/5；有色金属工业系统尚待建设的铜矿山品位只有 0.62%。而国外，智利四大矿山的平均品位为 1.68%，赞比亚为 3.5%，前扎伊尔达到 5%，澳大利亚为 1.8%。而且我国探明的铜矿体开采条件复杂，大多为小而薄的矿体。可以想象，我国铜资源所面临的形势是多么严峻。

铝土矿：冶炼铝金属的主要原料。铝在金属中的用途之广，用量仅次于钢铁。我国铝土矿储量十分丰富，探明矿藏储量在 10 亿吨以上。主要分布于山西、贵州、河南、广西 4 个省区，其储量占全国总储量的 85% 以上。我国铝产量居世界第 6 位。但是矿石类型不够理想，氧化铝厂建设投资大、周期长、成本高。



铅锌矿：保有储量居世界第一、二位，主要分布在云南、内蒙古、广东、湖南、甘肃、四川、广西、江西、陕西9个省区，依次为云南609.71万吨、广东412.97万吨、内蒙古335.24万吨、甘肃274.40万吨、江西263.09万吨、湖南246.75万吨、四川200.56万吨、广西181.22万吨、陕西175.78万吨、青海171.30万吨。今后主要的工作是增加后备资源，解决老矿山资源接替问题。

镍矿：储量主要集中在甘肃和新疆，其中最著名的是金川。

钨矿：钨为我国优势矿产，储量占世界钨总储量的50%以上。但开采品位下降，黑钨减少。

锡矿：储量居世界前列，资源形势一般，但易采易选的砂锡资源日见枯竭；品位高、开采条件好的锡资源不多。如我国著名的锡金属产地大厂，也将面临着上部富矿即将采完，下部贫矿必须尽快接替上去的生产局面。

钼矿：钼资源贫矿多，富矿少，大多为单一钼矿，开发利用尚大有潜力。

稀土、稀有金属：我国在已探明的稀有金属矿产中，锂、钽、铌居世界前列。稀土金属资源占世界第一位，在全国广泛分布。

我国有色金属矿产资源的特点如下：

(1) 多矿种共生在一起的矿多，单一矿少。有色金属在已探明的矿产储量中能占总储量50%以上的单一矿产形式只有汞矿和锑矿，其他金属矿产绝大部分为多矿种共生的矿床。据统计，我国铜矿单一矿产占总量5%，铅锌矿均为共(伴)生矿，锡矿单一矿产占总量12%，作为主矿产占6%，钨矿单一矿产占总量8%，作为主矿产占46%，钼矿共(伴)生的有用组分的储量占探明储量的85%。

(2) 贫矿多富矿少。我国有色金属矿产资源中贫矿占的比重很大，这是资源利用相当不足的一面。据统计，铜矿品位大于1%的只占探明总量的36%，其中单个矿床规模大于100万吨的不及铜总量的1%，铝土矿98.5%为铝硅比值偏低的一水硬铝石，其中还有一部分储量不能进行露天开采；铝矿石的平均含量大于0.2%的仅占总储量的3%。

(3) 大、中型矿床占有储量比例大，而且有一批世界级的超大型矿床。甘肃金川白家嘴子铜镍矿、湖南柿竹园钨锡钼铋矿、湖南锡矿山锑矿、广西大厂锡多金属矿、云南个旧锡矿、云南兰坪铅锌矿、甘肃成县厂坝铅锌矿、河南栾川钼矿、陕西金堆城钼矿等，这些大型和超大型的矿床都已成为或将要成为我国重要的矿物原料基地。

(4) 我国有色金属人均资源占有量严重不足。我国虽然是有色金属生产大国，但不是资源大国，有色金属资源禀赋较差，人均资源占有量严重不足。铜矿、铝土矿和镍矿等资源的人均拥有量分别仅为世界平均水平的13%、10%和9%。占有色金属产量94%的铜、铝、铅、锌、镍等金属品种的资源储量严重



不足。

1.1.2 我国有色金属资源开发利用概况

1.1.2.1 我国有色金属发展规模

当今人类社会 95% 的能源、80% 的工业原材料、70% 的农业生产资料都取自于矿物资源，人类现实生活的衣食住行、生活日用、医疗保健等各方面都离不开矿物资源。矿业是人类文明进步、国民经济发展和科学技术革命的基础。

随着我国经济的发展和人民生活水平的提高，矿物资源需求量越来越大，有色金属生产规模不断扩大，我国已建成矿山、冶炼、加工和辅助企业的完整的生产体系；近年来，随着经济持续快速发展，中国有色金属工业得到快速发展，已跨入世界生产大国行列。2002 年 10 种主要有色金属产量首次突破 1000 万吨，居世界第一位，到 2011 年，我国十种主要有色金属产量达到 3438 万吨，连续多年居世界第一位。其中铝、铅、锌、锡、镁、锑产量居世界第一，铜居第二。成为名副其实的世界矿业大国，除铜有较大缺口外，铝供需基本平衡，铅锌自给有余。然而，我国有色金属工业的发展与国民经济对有色金属工业的需求还很不适应。随着我国对矿产资源的开发与利用规模的扩大，一方面增加了巨额的社会财富，促进了经济和社会的发展；另一方面又带来了日益严重的环境和灾害问题。

1.1.2.2 有色金属综合利用水平

我国有色金属资源总的特点是储量较丰富，伴生元素较多，矿石类型复杂，单一矿石很少，许多有色金属矿中硫含量很高，并且一些矿石含有大量的砷矿物，从而增加了回收的难度。我国有色金属资源中共（伴）生的有用元素达 50 多种，常见的主要共（伴）生元素有 Cu、Ag、Au、Sn、S、Cd、Ti、Ge、Bi、Ga、Sb、Hg、In 等，其共（伴）生元素具有极大的综合利用价值。

目前我国在共（伴）生元素的回收方面取得了很大的进展。Cu、Sn、Sb 等元素的回收工作在 20 世纪 50 ~ 60 年代就已经开展，现已取得了很好的回收效果，尤其是在新药剂和新工艺上取得了很大的进展。例如，铅锌矿石中金的回收是在主要载体矿物回收的同时加以回收的，铅锌矿中金的主要载体为铜矿物、黄铁矿。

但是，我国矿产综合回收利用发展不平衡，绝大多数矿山资源回收工作已展开，但开展资源综合利用的科研工作的深度、广度不够，多数矿山对资源综合回收没有形成系统的科学管理体系，缺乏从矿物原料到加工利用各环节的综合利用研究。我国有色金属矿山共（伴）生元素综合回收利用水平不高，这就意味着大量的共（伴）生重金属元素进入了废弃物中，从而污染矿山环境。



1.1.2.3 有色金属回收利用现状

我国有色金属资源开发回收利用程度与企业规模、采矿方法和技术力量等有关。例如,我国铅锌采选能力达到100万吨/年以上的大型矿山,管理机制比较完善,技术力量雄厚,重视企业技术改造,重视新技术的开发和利用。铅锌的加权平均入选品位分别为2.96%和9.66%。铅的加权平均选矿回收率达到77.58%,锌的加权平均选矿回收率达到78.51%。采选开发利用水平铅锌分别为67.85%和68.66%。而采选能力介于30万~100万吨/年的中型矿山大部分为20世纪50~60年代建立的老矿山,据调查统计,我国中型矿山铅锌入选品位分别为3.67%和5.41%,精矿品位分别为59.92%和47.99%,回收率分别为87.97%和84.07%,铅锌综合利用水平分别为59.92%和55.56%。小型矿山由于资源枯竭、技术水平较低,铅锌入选品位分别为2.68%和6.55%,精矿品位分别为61.52%和52.56%,回收率分别为85.80%和89.94%,铅锌综合利用水平分别为55.44%和58.12%。

我国从采矿方法、采矿成本到回采率均与世界其他国家相差不大,主要差距在矿物加工领域,矿物加工从破碎技术到选矿药剂均存在一定的差距。在一定程度上制约了我国矿物加工领域的发展,使我国的回收水平与国际水平有一定的差距。

由于有限的利用水平,矿产资源开发不可避免地产生大量的废弃物。目前我国积存的尾砂、废渣约60亿吨,占用了大量的农田土地,给当地自然生态环境、社会经济生活带来了较大的负面影响。而尾砂、废渣中的重金属元素又不断向周边环境释放迁移,通过植物、水生生物等食物链长期危害人类健康。因此,就目前来说,考虑到已经存在有大量废弃物的前提下,控制与治理矿产资源开发所引起的重金属污染问题,不仅在于采选本身技术的跟进,关键还在于对废弃物的处理和综合利用。

1.1.3 我国有色金属资源开发利用存在的主要问题及对策

我国有色金属资源开发利用存在的主要问题可以概括为:

(1) 资源保障程度不容乐观。虽然近两年我国在找矿和勘探方面的力度逐年加大,部分有色金属资源储量也有所增长,但是较目前矿山开发力度和冶炼能力的发展速度来说,资源保障程度仍旧较低,铜资源严重不足;铝铅锌镍资源保障程度不高,对国外的依赖度增加;钨锡铋资源过度开采,势在下降;只有镁和稀土资源相对丰富。

如美国地调局2007年统计数据揭示,2007年我国铅锌储量均居世界第二,在总量上确实具有比较优势。但事实上,我国铅锌资源储量已连续几年呈减少的



态势，铅锌储量已经步入严重短缺的资源行列。截至 2007 年底，全国铅储量（金属）只有 747 万吨、锌储量（金属）2424 万吨，若分别以 2008 年铅锌精矿（金属）产量 114 万吨及 315 万吨计，在不考虑采矿、选矿损失，而从静态角度计算，它们的供应保障能力严重不足，是大宗有色矿产资源中保障能力最差的矿种。

而储采比较高的镍资源形势也不容乐观。截至 2007 年底，全国镍储量只有 227 万吨，比 2006 年净减少 5 万吨。根据当前地质工作基础，近期在国内进一步发现金川矿区这样大型镍矿资源的可能性已经不大，由于没有新的大型矿床资源支撑，我国镍资源短缺矛盾将日益突出。如果考虑以后的扩能增产，估计其保障能力将进一步降低。

目前处于开发利用状态的铜矿占全国资源总量的 67%，铝土矿占 50% 以上，铅矿占 68%，锌矿占 72%，钨矿占 79%，钼矿占 60%，锡矿占 89%，锑矿占 87%，可供利用的后备资源不多。

(2) 资源对外依存度越来越高。有色矿山经过多年的高强度开采（表 1-1），资源供应日趋吃紧，冶炼产能远远超过矿山开采能力，供需矛盾凸显，除了镁、钼、稀土金属等少数品种外，基础金属的生产严重依赖进口原料供给。

表 1-1 2000 ~ 2004 年中国有色金属矿山生产状况 (万吨)

项 目	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	年均递增率/%
采掘剥总量	21414	20912	26342	38447	32367	10.88
其中：采矿量	9588	9939	11285	12328	13846	9.62
剥离量	9655	9400	13514	14439	16323	14.03
出矿量	10506	10233	11610	12690	14358	8.12
铜精矿含量产量	59.3	58.7	56.8	60.4	74.2	5.76
铅精矿含量产量	65.9	67.6	64.1	95.5	99.7	10.91
锌精矿含量产量	178.0	169.3	162.4	202.9	239.1	7.66
镍精矿含量产量	5.0	5.1	5.4	6.1	7.6	11.04
锡精矿含量产量	9.9	9.3	6.2	10.2	11.8	4.49
锑精矿含量产量	9.9	9.7	6.0	1.0	12.5	6.0
钨精矿含量产量	4.5	5.3	7.0	7.0	11.6	26.71
钼精矿含量产量	6.4	6.3	6.7	7.2	8.5	7.35

资料来源：中国有色金属工业协会。

(3) 有色金属矿山关闭加快，开采难度加大。全国县级以上国有有色矿山 900 余座，2/3 进入开采的中晚期，可采储量急剧下降。在九大有色金属资源基地中，资源接近枯竭的矿山数占 56%，有保障的仅占 19.5%。



(4) 经营风险逐渐传导到上游矿山企业, 矿山企业的盈利能力也在严重恶化。受 2008 年全球金融危机的影响, 有色金属价格出现全线暴跌, 其中, 国内铜期货价格由 2008 年初的 70000 元/吨下跌至 2009 年 2 季度的 22000 元/吨, 累计跌幅达 70%; 铝期货价格由 21000 元/吨下跌至 2009 年 2 季度的 11000 元/吨, 跌幅接近 50%; 氧化铝价格也已于下跌至 1800 元/吨; 同期, 国内铅、锌、镍市场价格跌幅也均超过了 50%。2009 年 2 季度铜、铅锌、镍等有色金属价格已跌至低品位矿山开采生产成本线以下, 正逼近全行业生产成本。据统计显示 (表 1-2), 截至 2008 年 11 月, 有色金属矿山亏损企业由 2007 年的 211 家, 上升至 371 家, 亏损企业亏损额由 2007 年的 511 亿元, 上升至 815 亿元。其中铅锌矿山亏损企业达 201 家, 亏损面积已超过 50%; 亏损额达 4 亿元, 占总亏损额的 47%。铜、镍等其他矿山行业亏损额和亏损企业也成扩大趋势。自金融危机以来, 全球经济持续处于低迷状态, 有色金属矿山行业亏损面积呈不断扩大趋势。

表 1-2 2008 年部分有色金属矿山亏损情况 (快报数) (亿元)

项 目	亏损企业亏损额		亏损企业家数	
	1~11 月	上年同期	1~11 月	上年同期
有色金属采选	8.5	5.1	371	211
其中: 铜矿采选	0.8	0.5	42	33
铅锌矿采选	4	1.3	201	79
镍矿采选	0.17	0.05	9	4
铝土矿采选	0.025	0.084	2	2

中国正处于工业化发展的中期阶段, 随着工业化、城市化进程的推进, 国民经济发展对有色金属的消费需求还将继续增长。为解决资源瓶颈问题, 保障国民经济持续、稳定、健康发展, 应做好以下方面:

(1) 继续加强国内有色金属资源的勘查, 摸清资源家底, 努力提高国内资源的保障程度。

(2) 充分利用国外资源, 降低国内资源的消耗速度。从国际市场进口资源是中国目前利用国外资源的主要方式, 曾帮助实现了有色金属产量的快速增长, 在此方面已积累了相当丰富的经验。今后应加强和巩固进口渠道的建设, 进口国别和地区应适当分散, 避免突发事件和紧急情况下供应中断。此外, 进口品种应多元化, 如铜, 铜精矿、废杂铜、粗铜、精炼铜、铜材等应全方位进口, 铝则应同时鼓励铝土矿和氧化铝进口, 镍应鼓励进口红土镍矿、镍精矿等, 以此规避市场风险。同时, 鼓励国内企业走出去, 以多种方式参与全球矿产资源的勘查开发, 尽可能在全球范围内控制更多的有色金属资源, 逐步建立稳定的国外原料供应基地, 以增强抵御各种供应风险的能力。总之, 充分利用国外资源, 降低国内



资源的消耗速度，是提高国内资源保证程度的重要方式。

(3) 稳定国内矿山的供应。通过对现有矿山、拟建矿山及后备资源基地的合理规划和布局，保证国产原料能按一定比例持续稳定地供应。

(4) 加大科技投入，加强自主创新的能力。针对中国的资源特点，研发更适合中国国情的采选冶技术工艺及设备，提高国内有色金属采选冶的技术水平和资源综合利用能力，通过科技进步达到高效利用资源和节省资源消耗的目的。

(5) 大力发展循环经济，加大资源再生利用。铜、铝、铅、锌等大宗有色金属具有良好的再生利用性能，国家应鼓励发展再生产业，完善再生资源的回收、加工、利用体系，特别要加强再生资源领域的科技研发，尽快提高再生资源的回收利用水平。

1.2 我国有色金属矿山重金属污染概况

有色金属是国计民生及国防工业、高科技发展必不可少的基础材料和主要的战略物资，有色金属矿产资源是国民经济建设和社会发展的物质基础。矿产资源大规模开发利用一方面为国民经济建设提供了资源保障，另一方面大大改变了矿区生态系统的物质循环和能量循环，造成了严重的生态破坏和环境污染。

1.2.1 有色金属矿山开采环境特点

(1) 占地面积大。有色金属矿山一般由采矿工业场地、露采场（坑采）、选矿工业场地、废石场及尾矿库等组成。据统计，一座大型矿山平均占地达18万~20万平方米，小矿山也达几万平方米。由于我国有色矿山贫矿多、富矿少，以国民经济中应用最广的铜为例。我国铜矿石的平均品位仅有0.87%，其中含铜1%以上的矿石储量只占35.9%。位居亚洲前列的特大型铜矿江西德兴铜矿原矿含铜仅为0.41%，为全国最低，但其储量占全国可采1/5。因此，获得1t金属需产生大量废石和固体废物，不仅露天开采（或坑采）会直接毁坏地表土层和植被，而且矿山开采过程中的废弃物（尾矿、废石等）需要大面积的堆置场地，从而导致对土地的过量占用和对堆置场原有生态系统的破坏，引起水土流失。

(2) 固体废物产生量大。采矿活动因大量剥离或开拓，会产生大量废石。每采出1t矿石平均产出1.25t废石，露天开采1t矿石通常剥离510t覆盖的岩土，选矿会产生大量尾矿，约0.92t/t。这些固体废物因受地形、气候条件及人为因素的影响，可能发生崩塌、滑坡、泥石流等。例如矿山排放的废石常堆积在山坡或沟谷内，这些松散物质在暴雨诱发下，极易发生泥石流。近几年来，尾矿库溃坝事件时有发生造成人员及严重的经济损失。2008年山西襄汾“9·8”重大尾矿库溃坝事故造成直接经济损失961.2万元，过泥面积30.2公顷，277人死亡。

(3) 影响时间长。矿山项目属建设生产性项目，大型项目服务年限一般几



十年，破坏的植被和固废堆置得不到及时治理，就会造成长期的水土流失。

1.2.2 有色金属矿产资源开发造成的环境问题

矿山开发对生态环境影响具有明显的时空变化特征，随着时间的推移，矿山开发对生态环境影响逐渐形成，在矿山整个生产期是动态变化的。最明显的是露天采场、废石场（排土场、排矸场）、尾矿库、地下采空区、塌陷地、地下水降落漏斗，影响范围、影响程度逐步扩大，对地表水、地下水、土地的污染也是逐步形成的。

矿山开采引起的生态破坏有三个过程：（1）开采活动对土地的直接破坏，如露天开采会直接破坏地表层与植被，造成地表裸露，土质疏松，水土流失加剧，尤其在山区更为严重；地下开采可导致地层塌陷等。（2）矿山开采过程中产生大量的尾矿等固体废弃物，尾矿和采矿产生的废石废渣是矿产资源开发利用过程中产生的两大类废弃物，它们的堆积需占用大面积的堆置场地，从而导致对原有生态系统的破坏。（3）矿山开采过程中的废水、废气和固体废弃物中的有害成分，通过径流、大气交流等方式，可对矿山周围地区的大气、水体和土地造成污染，其污染影响空间远远超过矿区本身。

1.2.2.1 对地面环境的影响

A 地表景观破坏

矿山开采包括露天和地下开采两种方式：露天开采以剥离挖损土地为主，破坏地被，以及堆放尾矿和冶炼渣等，明显地改变了地表景观；地下开采将矿物采出后，其上覆岩层失去支撑，岩体内部应力平衡受到破坏，从而导致采空区上覆岩层发生位移、变形直至破坏。矿山开采前一般多为森林、草地等自然植被覆盖的山体。开采后砍伐森林，压覆、毁坏土地，山体遭到破坏，废石与垃圾堆置，严重破坏地表自然景观、影响景观的环境服务功能。

B 对土地资源的影响

矿产资源开发不仅破坏和占用大量的土地资源，日益加剧了我国人多地少的矛盾，而且引起周围地区地下水位下降，造成表土缺水，许多地方土壤养分短缺，土壤承载力下降，造成土地贫瘠、植被破坏，导致水土流失加剧、土地沙化、荒漠化，加速土壤侵蚀。一般来说，有色金属在矿石中的含量相对较低，生产1t有色金属可产生上百吨甚至几百吨固体废物。我国有色金属业固体废物年排放量为6590万吨，占全国固体废物总排放量的10.6%，且利用率很低，约为8%。许多有害物质长期堆放并经过雨淋、风化、渗流等作用渗入土壤，使土壤基质被污染，土壤结构变差。金属矿床的开采、选冶，使地下一定深度的矿物暴露于地表环境，致使矿物的化学组成和物理状态改变，加大了金属元素向环境的释放，影响地球物质循环，导致环境污染。矿业开发所造成的土壤污染，量