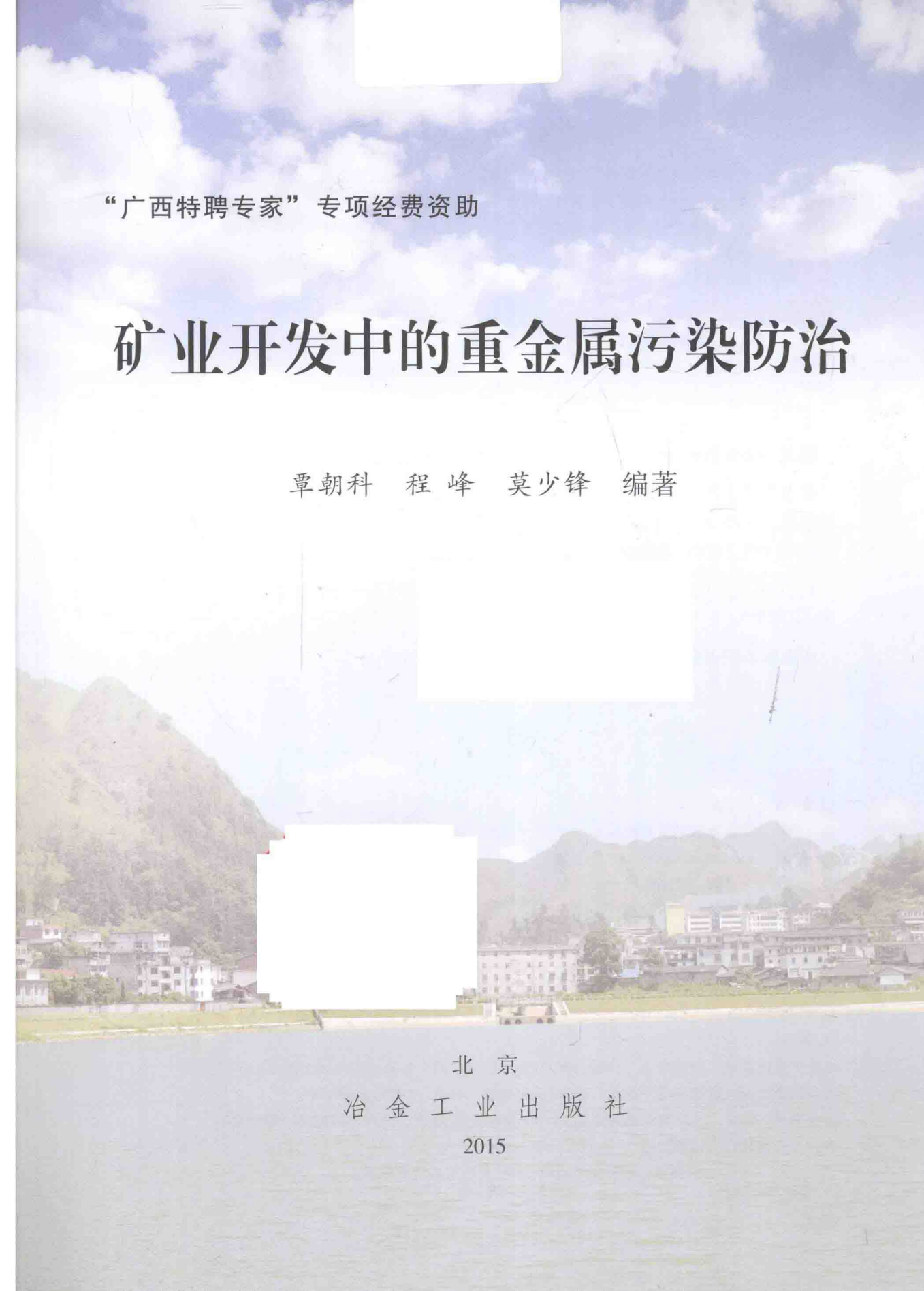


矿业开发中的 重金属污染防治

KUANGYE KAIFAZHONG DE
ZHONGJINSHU WURAN FANGZHI

覃朝科 程 峰 莫少锋 编著

The background of the book cover is a photograph of a scenic landscape. In the foreground, there is a calm body of water, likely a lake or a wide river. In the middle ground, a small town or village is visible, with several buildings and houses. The background is dominated by steep, green mountains under a blue sky with scattered white clouds. There are some white rectangular redaction marks on the cover, notably one at the top center and a larger one in the middle left area.

“广西特聘专家” 专项经费资助

矿业开发中的重金属污染防治

覃朝科 程 峰 莫少锋 编著

北 京

冶金工业出版社

2015

内 容 提 要

本书从近年来我国矿业发展的趋势着眼,在总结多年重金属污染防治的科研与实践的基础上,全面阐述了矿业开发过程中重金属污染的基本概念、污染机理、防治措施以及治理实践,叙述了重金属污染与矿业发展的内在联系,总结了近年来我国矿业发展中的重金属污染治理经验。

本书可供矿业工程及污染治理的技术人员参考,也可作为高校相关专业的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

矿业开发中的重金属污染防治/覃朝科等编著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-5024-7031-9

I. ①矿… II. ①覃… III. ①矿业开发—重金属污染—污染防治
IV. ①X75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 199575 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmp.com.cn

责任编辑 曾 媛 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7031-9

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2015 年 8 月第 1 版, 2015 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16.5 印张; 4 彩页; 409 千字; 254 页

79.00 元

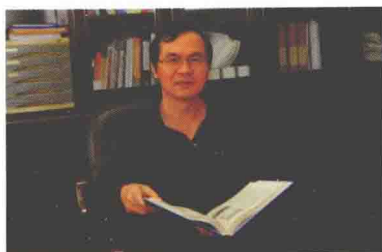
冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)



覃朝科 1962 年生，广西桂平人，教授级高级工程师。国家环境影响评价工程师、注册咨询工程师、清洁生产审核师、中国有色矿业集团“科技带头人”。现任中国有色桂林矿产地质研究院资源环境研究所总工程师，兼任重金属污染防治中心主任。广西特聘专家、广西环境保护厅专家咨询委员会咨询专家、广西环境影响评价审查专家、广西环境保护厅环境应急专家、广西科技项目评估咨询专家，广西环境科学学会第七届理事会理事、广西工程咨询协会理事、《矿产与地质》杂志编委会编委。长期从事环境保护、资源综合利用、重金属污染防治领域的科研和技术咨询服务工作。获省部级科技奖二等奖 1 项和三等奖 4 项、广西优秀工程咨询成果二等奖 1 项和三等奖 1 项，广西优秀环评报告二等奖 1 项；发表论文 20 多篇。



程峰 1981 年生，江苏徐州人，高级工程师，博士，中国有色矿业集团“科技骨干”。现任中国有色桂林矿产地质研究院工程公司灾害防治研究室主任、桂林市环境突发事件应急处理专家。长期从事重金属污染防治和地质灾害防治等技术的研究和项目管理工作。近年来主持或参与国家“863”科技支撑项目、省市自治区自然科学基金等多项研究课题，其中 3 项通过省部级鉴定，获得省部级科技进步二等奖 1 项，三等奖 5 项，广西社会科学优秀成果奖 1 项；申请国家发明专利 2 项，发表论文 25 篇，参编专著 1 本。



莫少锋 1983 年生，湖南邵东人，在职博士。2011 年作为主要骨干参加了广西壮族自治区重点科研项目“广西重金属污染的现状及对矿业可持续发展影响的研究”，并获广西社会科学优秀成果三等奖及中国有色金属工业科学技术三等奖；主持完成了桂林市基金项目“重金属污染对阳朔县兴坪镇思的村人体健康影响的研究”。发表论文 5 篇，获实用新型专利 1 项。

序

改革开放以来，我国国民经济迅速发展，工业化进程逐步加快，需要大量的基础原料作为强有力的支撑，给高强度矿业开发带来了巨大空间。与此同时，矿业开发中长期积累的重金属污染已经严重影响我国人民身体健康和社会经济的正常发展。

众所周知，我国有色金属矿床种类多、分布面积广。采矿、选矿、冶炼企业较多，重金属污染已成为制约我国矿产资源开发的重大问题。目前，如何进一步提高矿产资源综合利用水平，减少重金属污染，实现矿业开发与环境保护协调发展等问题已受到国家和各级政府的高度重视，习近平总书记已明确提出：“要像保护眼睛一样保护生态环境，像对待生命一样对待生态环境”。值此之际，《矿业开发中的重金属污染防治》的编写，对于解决未来矿业开发所带来的重金属污染问题以及社会、经济的可持续发展具有重要的意义。

编著者在全面、系统地收集国内相关采、选、冶矿冶企业以及重金属污染区域等资料的基础上，综合研究并介绍了矿业开发过程中重金属污染的来源、特点、种类以及典型金属矿山重金属污染治理经验，系统阐述了矿业开发与重金属污染防治的最新成果，同时论述了重金属污染与矿业发展的内在联系以及对矿业可持续发展的影响。

总之，本书有针对性地论述了矿业开发过程中重金属污染防治的重大问题，涉及内容丰富、实践性强、综合研究水平较高。我相信，本书的出版将对我国矿业开发与环境保护具有较好的借鉴与指导作用。

中国工程院院士



2015年2月10日

前 言

近年来,随着我国工业化进程的不断加快,所带来的重金属污染问题也不断出现,其已经成为影响我国环境比较严重的问题之一。尤其是矿业工程的开发过程所产生的重金属污染问题更为严重。由于重金属元素多为非降解型物质,不具备自然净化能力,一旦进入环境就难以去除,对大气、水系、土壤、生物造成既有暂时性的污染,又有潜伏性和长期性污染危害,因此,重金属污染成为了影响生态环境最重要的因素,也是影响矿产开发及可持续发展的主要因素,对于重金属污染的防治也是科技工作者面临的研究难题之一。我国要实现矿业可持续发展,所面临的问题就是首先要做好重金属污染综合防治工作,特别是必须加强重金属污染治理,切实维护群众利益和社会和谐稳定发展,这就要求各级环保部门需明了重金属污染的概念、特点、类别、危害性以及产生重金属污染的原因,科学做好控制、预防及治理工作。

众所周知,我国重金属污染已经影响到各领域的正常发展。国土资源部、农业部曾公开表示,我国每年有 1200 万吨粮食遭到重金属污染,这些粮食足以养活 4000 多万人,每年造成的直接经济损失超过 200 亿元。我国人多地少,土地、粮食安全关系到国计民生问题,重金属污染问题容易造成社会恐慌与动乱。党中央、国务院高度重视重金属污染防治问题,对加强重金属污染防治工作作出了一系列重要部署。《国务院办公厅转发环境保护部等部门关于加强重金属污染防治工作指导意见的通知》(国办发[2009] 61 号)、《国务院关于重金属污染综合防治“十二五”规划的批复》(国函[2011] 13 号)和《重金属污染综合防治“十二五”规划》(环发[2011] 17 号)等文件的颁布、实施,说明重金属污染的治理已经上升到新的国家战略层面。

种种情况表明,重金属污染已具有严重性和普遍性。因此,要扎实做好重金属污染综合防治工作,做好综合防治工作意义重大。为此,本书从重金属污染的概念、来源、特点,以及矿业重金属污染的现状、产生原因及其危害性等

方面,综合阐述了重金属污染防治与矿业可持续发展的关系,并通过典型矿区的治理案例,全面总结了重金属污染治理的方法、措施,以及治理重金属污染的宏观政策,为我国重金属污染防治工作以及制定相关政策提供参考。

我国著名地质学家陈毓川院士,多年来始终对我们的工作给予大力的支持,对本书的写作也给予热情的关注,提出了很多宝贵的意见,并拨冗为本书作序,在此谨致谢忱。本书编写过程中,还得到中国有色桂林矿产地质研究院莫时雄书记等领导的关心、支持,在此一并表示感谢。

在此还要特别感谢广西壮族自治区政府政策研究室主任白松涛,广西环境保护厅邓超冰教授级高级工程师、钟兵高级工程师、陈继波高级工程师、韦韩博士、黄勇高级工程师,桂林医学院尹友生教授,柳州钢铁股份有限公司潘世庆高级工程师,中南大学陈科平教授、王星华教授、汤井田教授,北京矿冶研究总院周连碧教授级高级工程师、杨晓松教授级高级工程师,环境保护部环境规划院温丽丽博士,桂林理工大学陈亮教授、王杰光教授、蒙剑坪讲师,桂林电子科技大学蔡翔教授、王鹏讲师,中国有色桂林矿产地质研究院郑跃鹏教授级高级工程师、张玉池教授级高级工程师、徐文炘教授级高级工程师、张静教授级高级工程师、孙伟教授级高级工程师、黄伟高级工程师、刘静静高级工程师、梁文寿高级工程师、苏夏征高级工程师、全洪波高级工程师、谢廷勇高级工程师、姚柏华高级工程师、黄江波高级工程师、何娜工程师、黎朝工程师、农泽喜工程师、余谦工程师、董丽娟工程师、陈斌强工程师、雷金勇工程师、莫斌工程师、王利国工程师、周洁军工程师、唐名富工程师、肖海平工程师、罗国峰工程师、段娜工程师、刘芳工程师、何辉工程师、毛志新工程师以及广西南丹县三鑫环境治理有限公司冯光超、莫锌等同志的支持与帮助。

由于水平所限,书中难免存在疏漏和错误,敬请读者指正。

编著者
2015年2月

目 录

1 重金属污染概述	1
1.1 重金属污染的概念	1
1.1.1 重金属	1
1.1.2 重金属污染	1
1.2 重金属污染的来源、特点与类别	1
1.2.1 重金属污染的来源	1
1.2.2 重金属污染的特点	2
1.2.3 重金属污染的类别	3
1.3 重金属对环境的污染及其危害	4
1.3.1 对大气环境的污染	4
1.3.2 对土壤环境的污染	4
1.3.3 对地表水环境的污染	5
1.3.4 对地下水环境的污染	5
1.3.5 对植物的危害	6
1.3.6 对水生物的危害	6
1.3.7 对人群的危害	7
1.4 重金属污染问题研究现状	9
1.4.1 国外重金属污染问题研究现状	9
1.4.2 国内重金属污染问题研究现状	10
1.4.3 研究重金属污染问题的意义	11
2 我国矿业开发及重金属污染概况	14
2.1 我国矿产资源开发现状	15
2.1.1 金属矿产资源分类	15
2.1.2 我国矿产资源特点及开发现状	16
2.1.3 我国矿产资源的综合利用水平	20
2.1.4 矿业重金属污染产生的原因	21
2.2 矿业开发重金属污染源的来源	22
2.2.1 矿石共生、伴生的重金属污染	22
2.2.2 作为生产原料的重金属导致的污染	23
2.2.3 废水、废气、废渣中的重金属污染	23

2.3 矿业重金属污染的途径	23
2.3.1 采矿过程中重金属污染	23
2.3.2 选矿过程中重金属污染	24
2.3.3 冶炼过程中重金属污染	25
3 矿山重金属污染的影响机理	27
3.1 矿业开发过程的重金属污染途径	28
3.1.1 开发过程的重金属污染泄漏	28
3.1.2 固体废物堆放引发的重金属污染	30
3.2 矿业重金属污染的理论基础和研究方法	32
3.2.1 矿山重金属污染研究的理论基础	32
3.2.2 矿山环境重金属污染的研究方法	33
3.3 矿业开发引发重金属污染机理	33
3.3.1 矿区地表水与地下水污染机理	33
3.3.2 矿区岩土体重金属污染机理	34
4 典型区域矿业开发与重金属污染	41
4.1 广西矿产资源开发概况	41
4.2 广西重金属污染主要类型及产污行业	43
4.3 广西重金属污染概况	43
4.3.1 广西重金属排放状况	44
4.3.2 水体环境质量状况	44
4.3.3 广西土壤重金属状况	45
4.3.4 重金属污染环境事件	52
5 重金属污染防治对策及措施	54
5.1 重金属污染综合防治路线	54
5.1.1 重金属污染防治思路	54
5.1.2 重金属污染治理对策	54
5.1.3 重金属污染防治建议	55
5.2 矿业开发重金属污染的防控内容	55
5.2.1 对土壤重金属污染的控制	56
5.2.2 对水体重金属污染的控制	56
5.2.3 对大气重金属污染的控制	57
5.2.4 重金属污染风险防范途径	57
5.3 重金属污染防控的技术措施	57
5.3.1 减少或切断重金属污染源	57
5.3.2 植物修复在矿区土壤重金属污染中的应用	57
5.3.3 工程治理	58

5.3.4	土壤中天然矿物治理	58
5.3.5	固体废弃物的利用	59
5.3.6	加强防治污染的监督管理	59
5.4	重金属污染土壤的治理技术	60
5.4.1	重金属污染土壤修复治理	60
5.4.2	重金属污染土壤工程治理	65
5.4.3	重金属污染土壤治理的新方法	65
5.4.4	镉污染土壤修复试验研究案例	66
5.5	重金属废水处理技术	70
5.5.1	重金属污染水体的修复技术	70
5.5.2	重金属废水治理方法	71
5.5.3	重金属废水治理其他技术	75
5.5.4	主要重金属污染物治理技术	81
5.5.5	矿冶重金属废水深度处理试验案例	83
5.6	重金属污染岩土体固化技术	90
5.6.1	土体固化剂的应用技术	90
5.6.2	生态固化的应用技术	92
5.7	重金属污染检测新技术	96
5.7.1	环境污染检查生物技术	96
5.7.2	重金属免疫检测技术	96
5.7.3	重金属检测新方法	97
5.7.4	大气重金属污染检测技术	102
6	重金属污染治理实践	104
6.1	关闭矿山重金属污染治理	104
6.1.1	矿区重金属污染基本情况	104
6.1.2	废水综合整治技术路线	113
6.1.3	固体废弃物综合整治技术路线	136
6.1.4	项目实施的环境影响评价	139
6.2	典型铅锌矿矿区重金属污染治理	141
6.2.1	矿区基本情况概述	141
6.2.2	矿区重金属污染现状调查与分析	144
6.2.3	矿区重金属污染土壤治理技术比选	167
6.3	历史遗留多金属复杂尾矿污染治理	183
6.3.1	治理区域环境质量和重金属污染现状	183
6.3.2	固体废弃物集中堆场工程	189
6.3.3	尾矿废渣处理中心工程	201
6.3.4	环境效益与社会效益分析	216
6.4	典型多金属矿选厂尾矿库溢流水处理方案	217

6.4.1 矿厂性质及选矿工艺	217
6.4.2 选矿工艺流程	217
6.4.3 尾矿及废水	218
6.4.4 尾矿库溢流水处理方案	218
7 重金属污染防治与矿业可持续发展	222
7.1 矿业可持续发展概述	222
7.1.1 矿业可持续发展内涵	223
7.1.2 矿山可持续发展模式	223
7.2 矿业重金属污染对可持续发展的影响	224
7.3 矿业可持续发展测评指标体系	226
7.3.1 体系建立的原则	226
7.3.2 测评指标体系的建立	226
7.4 矿业生态可持续创新战略	227
7.5 重金属污染防治的可持续发展规划	228
7.5.1 重金属污染防治的可持续发展趋势	228
7.5.2 重金属污染防治工作总体部署	229
7.5.3 可持续发展规划主要政策措施	230
7.5.4 可持续发展规划重点治理领域	240
参考文献	245

1 重金属污染概述

1.1 重金属污染的概念

1.1.1 重金属

对于重金属目前尚无准确的定义。化学上通常将相对原子质量大于 64 的金属元素称为重金属元素。按密度来分类,金属则分为重金属和轻金属,一般把密度大于 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 的金属称为重金属,其种类大约有 45 种。《辞海》中重金属一般指比重在 $5\text{g}/\text{cm}^3$ 以上的金属,有铜、镍、钴、铅、锌、镉、铋、锡、锑、汞、铌、钽、钨、钼等。在工业上真正划入重金属的为 10 种金属元素:铜、铅、锌、锡、镍、钴、锑、汞、镉和铋。在环境污染方面所说的重金属主要是指汞、镉、铅、铬以及类金属砷等生物毒性显著的元素,次要的包括具有毒性的锌、铜、钴、镍、锑、钒等。

1.1.2 重金属污染

重金属污染是指由重金属或其化合物所造成的环境污染。主要是人类活动导致环境中的重金属含量增加,超出正常范围,并造成环境质量恶化。重金属污染物是一类典型的优先控制污染物。环境中的重金属污染与危害取决于重金属在环境中的含量分布、化学特征、环境化学行为、迁移转化及重金属对生物的毒性。

1.2 重金属污染的来源、特点与类别

1.2.1 重金属污染的来源

人类从事工业生产活动是一个复杂的过程,不同的生产过程所带来的重金属污染也不尽相同,它包括自然因素、人为因素等方面。但纵观整个人类活动与工业生产过程来看,重金属污染来源主要有以下几个方面:

(1) 从人为和天然来划分,重金属污染源有人为的污染源及天然源之分。人为污染源主要有工业污染源,农业污染源和生活垃圾污染源等。天然污染源表现在岩石矿物经地质侵蚀风化后,重金属以天然源形式保留在土壤中,或进入水体,造成土壤及水体重金属污染。

(2) 从行业属性来划分,重金属的污染源有工业污染、农业污染源和生活垃圾污染。工业污染又分为矿业、加工、冶炼、化工、制造等,大多通过废渣、废水、废气排入环境,在人和动物、植物中富集,从而对环境和人的健康造成很大的危害;农业污染源是指

化肥农药的过度使用带来重金属污染。化肥中品位较差的过磷酸钙和磷矿粉中含有微量的 As、Cd 重金属元素。含铅及有机汞的农药发挥作用的同时也为土壤重金属污染埋下了祸根,造成土壤的胶质结构改变,营养流失,对农作物的产量及品质都造成极大的不良影响。目前的饲料添加剂中也常含有高含量的 Cu 和 Zn,这使得有机肥料中的 Cu、Zn 含量也明显增加并随着肥料施入农田;生活垃圾污染源主要是一些含重金属的生活垃圾造成的污染,如废旧电池、破碎的照明灯、没有用完的化妆品、上彩釉的碗碟等。

第一次全国污染源普查公报各类源废水排放总量为 2092.81 亿吨,废气排放总量为 637203.69 亿立方米。重金属(镉、铬、砷、汞、铅,下同)污染物排放总量为 0.09 万吨。工业废水中重金属产生量为 2.43 万吨,工业废水中重金属排放量如下:1) 厂区排放口排放量为 0.21 万吨;2) 厂区排放后,再经城镇污水处理厂及工业废水集中处理设施削减,实际排入环境水体的为 900t。农业污染源畜禽养殖业重金属排放情况为铜 2397.23t, 锌 4756.94t。水产养殖业重金属排放量为铜 54.85t, 锌 105.63t。

(3) 从重金属种类来划分,主要重金属污染物主要来源见表 1-1。

表 1-1 重金属污染物主要来源

重金属污染物	来 源
铅	主要来自工业废气、废水、废渣,如矿山开采、冶炼、橡胶生产、染料、印刷、陶瓷、铅玻璃、焊锡、电缆、制造铅蓄电池、铸字、铅管、铅弹、轴承合金、化学反应器(内壁)电极等生产的企业,尤其是含铅矿的开采和冶炼。含铅汽油的废气、以氧化铅作为食品添加剂的传统皮蛋(松花蛋)制作,含铅生活、学习等用品和玩具都可能产生铅污染
镉	主要来自工业废气、废水、废渣,如矿山开采、冶炼、电池生产、电镀、硫铁矿石制取硫酸、由磷矿石制取磷肥、含镉废弃物的处理、含镉塑料制品的焚化、含镉废电池等
汞	主要源于化石燃料燃烧,尤其是煤炭的燃烧,而燃煤电厂是大气中汞的全球最大排放源。其他污染源还包括电厂以外的各种燃煤工业锅炉、废物燃烧、水银法氯碱生产、水泥生产、有色金属生产(特别是含汞金属矿物的冶炼和以汞为原料的生产)、钢铁生产、电池和电子产品生产等
砷	主要来自砷化物的开采和冶炼、有色金属的开发和冶炼、硫铁矿石制取硫酸等,此外,砷化物的利用,如含砷农药的生产和使用,玻璃、木材、制革、纺织、化工、陶器、颜料、化肥等工业的原材料、煤的燃烧等可致不同程度的砷污染
铬	铬污染主要来自铬矿的开采和金属冶炼、电镀、制革等工业废水、废气和废渣
镍	主要污染来源于冶炼镍矿石、冶炼钢铁以及镍化工产品的生产等
铜	主要污染来源是铜锌矿的开采和冶炼、金属加工、机械制造、钢铁生产等。冶炼排放的烟尘是大气铜污染的主要来源。电镀工业和金属加工排放的废水中含铜量较高
锌	采矿、冶炼加工、机械制造以及镀锌、仪器仪表、造纸等工业的排放

1.2.2 重金属污染的特点

其他有机化合物可以通过自然界本身物理的、化学的或生物的净化,使有害性降低或解除,而重金属不但很难在环境中降解,而且具有富集性,可以通过植物、动物、微生物将其累积富集,甚至转化为毒性更大的形态。所以重金属的开采、选矿、冶炼、加工过程中所产生的铅、汞、镉、铬、砷、镍等进入土壤、水体、大气、生物体中,会通过迁移转化和食物链的生物放大作用引起严重的环境污染,危害生态环境。因此,长期以来从对环

境和人类造成危害的主要重金属污染,如铅污染、镉污染、汞污染、砷污染、铬污染、铜污染、锌污染、镍污染等,以及其他类金属所造成的污染来看,重金属污染具有隐蔽性、潜伏性、富集性、不可逆性、长期性、地球化学循环性、生态风险性、污染危害性、持续时间长、治理成本高等特点。

1.2.3 重金属污染的分类

从环境要素来看,重金属污染主要有土壤重金属污染、水体重金属污染、大气重金属污染和生物重金属污染等,具体类别如下。

1.2.3.1 土壤重金属污染

土壤重金属污染是指人类活动造成重金属迁移到土壤中,导致土壤中重金属的含量明显高于原有含量,并产生土壤环境恶化的现象。土壤中重金属的来源是多途径的,首先是成土母质本身含有重金属,不同的母质、成土过程所形成的土壤含有重金属量差异很大。此外,人类工农业生产活动产生的废水、废渣、废气等直接或间接的增加土壤重金属的含量,对土壤环境造成污染。研究认为隐蔽性和滞后性是土壤重金属污染的显著特点。其隐蔽性只有通过对土壤样品分析和对农作物的残留进行析测才能发现;具有生物积累性,显著的地域性限制,同时有食物链累积特点;对土壤的污染基本是一个不可逆转的污染过程,很难通过稀释和自净化来消除。

1.2.3.2 水体重金属污染

水体重金属污染,就是水体中的重金属含量超过了标准允许的浓度。在没有人类活动干预情况下,水体中重金属的含量取决于水与土壤、岩石等陆地表层物质的相互作用,其含量一般很低;由于人类活动造成的地表破坏及产生的“三废”排放,河流或湖泊等水体重金属含量明显升高,导致水体污染。

水体中金属有利或有害不仅取决于金属的种类、理化性质,而且还取决于金属的浓度及存在的价态和形态,即使有益的金属元素浓度超过某一取值也会有一定的毒性。含有有机汞、铅、砷、锡等金属有机化合物比相应的金属无机化合物毒性要强得多;可溶性的金属又比颗粒态的金属毒性要大。

受重金属污染的河流、湖泊经过疏浚处理后产生的固体沉淀物质——疏浚污泥,其堆置处理可能会对环境产生重金属污染。

水体的底泥往往是重金属的保存库,当环境变化时,底泥中的重金属形态可能发生转化并释放造成环境污染。

1.2.3.3 大气重金属污染

大气重金属污染主要是因人类社会生产、生活活动而将带有重金属的颗粒物释放到大气中,重金属含量超过了一定的浓度就造成了重金属污染。大气颗粒物中的重金属污染物也具有不可降解性,既可以通过呼吸作用随气体进入人体,也可以沿食物链通过消化系统被人体吸收,造成各种人体机能障碍,甚至引发各种疾病,对人类健康的危害很大。

1.2.3.4 生物体重金属污染

动植物在受到重金属污染的环境中生存和繁育,通过直接或食物链吸收、富集重金属,导致生物体中重金属含量超过了食品安全卫生标准,可以称为生物体重金属污染,如重金属超标的蔬菜、稻米、鱼类等。重金属可在生物体的某些器官中富集。生物体中的重

金属含量低于某一个值时,生物体可能没有表现出中毒现象,只有超出极限值时重金属在生物体内部与蛋白质及各种酶发生强烈的相互作用,使它们失去活性,造成生物体中毒。重金属污染的生物体有可能通过食物链进入人体,给人体带来伤害。

1.3 重金属对环境的污染及其危害

人类活动极大的加速了重金属的生物地球化学循环,使环境系统中的重金属呈增加趋势,加大了重金属对人类的健康风险,当进入环境中的重金属容量超过其在环境中的容量时,即导致重金属污染的产生,重金属污染物为持久性污染物,一旦进入环境,就将在环境中持久存留。由于重金属对人类和生物的可观察危害出现之前,其在环境中的累积过程已经发生,而且一旦发生危害,就很难加以消除。重金属污染引人关注之处还在于它的环境危害持久性、地球化学循环性和生态风险性。重金属污染物对大气、水系、土壤、生物造成既有暂时性污染,又有潜伏性和长期性污染的危害,严重者直接危害人类生存。

1.3.1 对大气环境的污染

随着矿业快速的发展,矿区生产过程中有毒元素的排放及泄漏,废弃物的任意堆放,使废渣中的重金属物质挥发到大气中,形成空气污染;土壤受到污染,土壤中重金属元素可挥发到大气中;尾矿库的尾砂暴露于大气中,氧化可形成酸性废水,废水中富集的重金属元素也可以挥发到大气中;矿山企业在开采中排放的烟尘,烟尘中重金属元素可污染大气环境。

大气重金属污染对人体的危害主要表现为呼吸道疾病;对植物可使其生理机制受抑制,生长不良,抗病抗虫能力减弱,甚至死亡;大气污染还能对气候产生不良影响,如降低能见度,减少太阳的辐射(据资料表明,城市太阳辐射强度和紫外线强度要分别比农村减少10%~30%和10%~25%)而导致城市佝偻发病率的增加;大气重金属污染物能腐蚀物品,影响产品质量,使河湖、土壤酸化,鱼类减少甚至灭绝,森林发育受影响,这些都是与大气重金属污染有密切关系的。

由于大气重金属污染中的污染物是无形无色的,比水中的重金属污染物更易被人忽视,但实际上,根据第一次全国污染源普查结果,2007年全国大气中上述铅、汞、镉、铬、砷污染物年排放量已达约9500t。这些重金属污染物可能通过呼吸,或迁移至水、土壤后,经食物链进入人体。

对于空气的重金属污染,世界卫生组织认为:空气污染是对人类健康的一大危害,并估计这项污染因素每年导致全球约200万人过早死亡,空气污染也是心脏病高危因素。

1.3.2 对土壤环境的污染

重金属中特别是汞、锡、铅、铬等具有显著的生物毒性,当大量的有毒金属进入土壤后,在物质循环和能量交换过程中分解,很难从土壤中迁出。重金属污染具有长期累积效应和交互作用,尽管土壤对重金属污染有重要缓冲作用,但因重金属具有可迁移性差、不能降解等特点,使其逐渐对土壤的理化性质、土壤的生产力产生明显不良影响,进而影响土壤生态结构和功能的稳定。土壤中重金属的含量很大一部分是由污水灌溉引起的,随着污水灌溉而进入土壤的重金属,以不同的方式被土壤截留固定。据研究,95%的汞可被土壤矿质胶体和有机质迅速吸附,一般累积在土壤表层,自上而下递减;污水中的砷可和

铁、铝、钙、镁等生成复杂的难溶性砷化合物；铅很容易被土壤有机质和黏土矿物吸附；污水中的铬也很容易被土壤吸附固定，并在土壤中逐年积累。土壤受重金属或类金属毒物污染后，常常通过农作物和水进入人体，造成毒害，如铅、汞、镉、砷、铬、铊等污染后都会对人体健康造成各种危害。

1.3.3 对地表水环境的污染

水体是人类赖以生存的主要自然资源之一，又是人类生态环境的重要组成部分，也是物质生物地球化学循环的储库，对环境具有一定的敏感性。由于人类活动的影响，进入水体环境中的污染物质越来越多，这些污染物给环境和人体健康造成了许多问题。特别是随着采矿、冶炼、化工、电镀、电子、制革等行业的发展，以及民用固体废弃物不合理填埋和堆放，重金属污染物事故性排放以及大量化肥、农药的施用，使得各种重金属污染物进入水体。重金属污染物难以治理，它们在水体中具有相当高的稳定性和难降解性。重金属在水体中积累到一定的限度就会对水体—水生植物—水生动物系统产生严重危害，并可能通过食物链直接或间接地影响到人类健康。因此可以说水体重金属污染已经成为当今世界上最严重的环境问题之一。

重金属汞、镉、铅、铬等在水体中不能被微生物降解，而只能发生各种形态转化和分散、富集过程（即迁移）。重金属对水体污染的特点是：（1）除被悬浮物带走的外，重金属会因吸附沉淀作用而富集于排污口附近的底泥中，成为长期的次生污染源；（2）水中各种无机配位体（氯离子、硫酸离子、氢氧离子等）和有机配位体（腐殖质等）会与其生成络合物或螯合物，导致重金属有更大的溶解度而使已进入底泥的重金属可能又重新释放出来；（3）重金属的价态不同，其活性与毒性不同，其形态又随 pH 值和氧化还原条件而转化。

国内受重金属污染最严重的河流主要有湖南的湘江、广西的刁江等。在这些流域内有有色金属矿业都很发达，因此如何防控有色矿业开发过程中重金属对水体的污染已刻不容缓。

1.3.4 对地下水环境的污染

地表以下地层复杂，地下水流动极其缓慢，因此，地下水污染具有过程缓慢、不易发现和难以治理的特点。地下水一旦受到污染，即使彻底消除其污染源，也得十几年，甚至几十年才能使水质复原。至于要进行人工地下含水层更新，问题就更复杂了。

地下水重金属污染与地表水重金属污染有一些明显的不同：由于污染物进入含水层，以及在含水层中运动都比较缓慢，污染往往是逐渐发生的，若不进行专门监测，很难及时发觉；发现地下水污染后，确定污染源也不像地表水那么容易。更重要的是地下水污染不易消除。排除污染源之后，地表水可以在较短时期内达到净化；即使排除了污染源，已经进入地下含水层的污染物仍将长期产生不良影响。

地下水污染方式可分为直接污染和间接污染两种。直接污染的特点是污染物直接进入含水层，在污染过程中，污染物的性质不变。这是对地下水污染的主要方式。间接污染的特点是，地下水污染并非由于污染物直接进入含水层引起的，而是由污染物作用于其他物质，使这些物质中的某些成分进入地下水造成的。例如，污染物引起的地下水硬度增加、

溶解氧减少等。间接污染过程复杂,污染原因易被掩盖,要查清污染来源和途径较为困难。

地下水污染途径是多种多样的,大致可归为四类:(1)间歇入渗型。大气降水或其他灌溉水使污染物随水通过非饱水带,周期地渗入含水层,主要是污染潜水。淋滤固体废物堆引起的污染,即属此类。(2)连续入渗型。污染物随水不断地渗入含水层,主要也是污染潜水。废水聚集地段(如废水渠、废水池、废水渗井等)和受污染的地表水体连续渗漏造成地下水污染,即属此类。(3)越流型。污染物是通过越流的方式从已受污染的含水层(或天然咸水层)转移到未受污染的含水层(或天然淡水层)。污染物或者是通过整个层间,或者是通过地层尖灭的天窗,或者是通过破损的井管,污染潜水和承压水。地下水的开采改变了越流方向,使已受污染的潜水进入未受污染的承压水,即属此类。(4)径流型。污染物通过地下径流进入含水层,污染潜水或承压水。污染物通过地下岩溶孔道进入含水层,即属此类。

地下水埋藏在地下一定深度内,缺氧、温度低、无光照、流动缓慢、水交替周期长,一旦受到污染,污染物、水和介质间的相互作用过程很复杂。即使经济上承担得起治污成本,清除污染源也需要十几年、几十年甚至数百年。

1.3.5 对植物的危害

大气中的重金属污染物主要通过气孔进入叶片并溶解在叶肉组织中,通过一系列的生物化学反映对植物生理代谢活动产生影响,所以植物受害症状一般都是出现在叶片。污染物不同,植物受害的症状也是有差异的。

土壤受到重金属污染后,首先是对土壤微生物的生理、生化性能及土壤理化性质产生影响,从而影响土壤微生物多样性,进而影响农作物产量及质量。重金属元素在土壤中总是不断地发生时空迁移和价态、形态转化,这不仅影响了土壤养分的转化等生化过程,同时影响着植物的生长质量。重金属离子能够抑制植物体内的某些保护酶的活性,产生大量的活性氧自由基,造成植物重金属伤害。当土壤中铜、锌达到 $100 \sim 200 \text{ mg/kg}$ 可造成植物中毒。铜、铅、锌、镉污染对白菜根部的生长具有明显的抑制作用,使其根基微生物数量明显减少,群落结构发生变化,特别对粮食生产影响很大。国土资源部曾公开表示,我国每年有 1200 万吨粮食遭到重金属污染,直接经济损失超过 200 亿元。

1.3.6 对水生生物的危害

重金属通过矿山采、选、冶、加工,人类施用农药、化肥和生活垃圾等污染源以及地质侵蚀、风化作用等天然源形式进入水体,造成水体中重金属污染严重,从而导致对水体、水生生物的危害。如用含铅 $0.1 \sim 4.4 \text{ mg/t}$ 的水灌溉农田,水稻、小麦等作物中铅含量会明显增加,直接影响作物的质量、产量;用含镉的 0.04 mg/t 的水灌溉农田时,土壤和作物会受到明显污染,用含镉大于 0.04 mg/t 的水养白鲢鱼会影响鱼的安全生存;进入水体的无机汞离子可转变为毒性更大的有机汞,一般要求天然水中含汞不超过 0.1 mg/t ;地面水中含砷量是因水源和地理条件不同而有很大的差异,淡水平均为 $0.05 \mu\text{g/t}$,海水为 $3.7 \mu\text{g/t}$,超过标准会产生毒性;铬对水中生物也会产生严重污染,也会影响生物的安全。其他重金属对水体、水生生物的危害也要加以重视。