



《环境影响评价法》颁布十周年
中国地质大学（武汉）建校60周年
环境保护部环境工程评估中心成立二十周年



国家自然科学基金(41210304033) 资助



金属采掘·冶炼环境影响评价

国际研讨会论文集

主 编 ◎ 任洪岩 程胜高



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

国家自然科学基金(41210304033)资助
环保公益性行业科研专项(201109034)课题资助

金属采掘·冶炼环境影响评价 国际研讨会论文集

主 编：任洪岩 程胜高
副主编：苏 艺 周连碧 杨晓东
委 员：王柏莉 李时蓓 马 腾
翟圣佳 许红霞 李 飒
刘大钧 张希柱 赵春丽
陈植华 王 琼 林星杰
马倩玲 祝怡斌 罗朝晖
黄 磊 张 红 肖 莹
关晓东 师 懿 卢炎秋



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

图书在版编目(CIP)数据

金属采掘·冶炼环境影响评价国际研讨会论文集/任洪岩,程胜高主编. —武汉:中国地质大学出版社
有限责任公司,2012. 11
ISBN 978 - 7 - 5625 - 2982 - 8

- I. 金…
- II. ①任…②程…
- III. ①金属矿开采-环境影响-评价-国际学术会议-文集②冶金工业-环境影响-评价-国际学术会议-文集
- IV. X820.3 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 261123 号

金属采掘·冶炼环境影响评价国际研讨会论文集		任洪岩 程胜高 主编
责任编辑:王凤林		责任校对:张咏梅
出版发行:中国地质大学出版社有限责任公司(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)		邮政编码:430074
电 话:(027)67883511	传真:67883580	E-mail:cbb@cug.edu.cn
经 销:全国新华书店	http://www.cugp.cug.edu.cn	
开本:88 毫米×1 230 毫米 1/16	字数:970 千字	印张:30.625
版次:2012 年 11 月第 1 版	印次:2012 年 11 月第 1 次印刷	
印刷:武汉中远印务有限公司	印数:1—1 000 册	
ISBN 978 - 7 - 5625 - 2982 - 8		定价:135.00 元
如有印装质量问题请与印刷厂联系调换		

代 序

在金秋送爽的美好季节,由环境保护部环境工程评估中心与中国地质大学(武汉)共同主办的“金属采掘·冶炼环境影响评价国际研讨会”在武汉隆重召开。本次研讨会是中国环境影响评价法颁布十周年暨环境保护部环境工程评估中心成立二十周年系列活动之一,也是中国地质大学建校 60 周年校庆系列学术活动之一,会议获得了教育部的支持和国家自然科学基金委员会的资助。

2012 年 11 月 7 日,我们隆重庆祝了中国地质大学 60 年华诞。六十年不过漫长地球历史的短暂一瞬,但经过六十年的艰苦奋斗,我校已建设成为以地球科学为主要特色,理、工、文、管等学科协调发展的多科性大学。一代代地大人历经磨难而不弃,始终心持家国情怀,始终勇于担当兴国重任,将学校打造成为国家地学人才的重要培养基地。从学校走出的 20 余万名毕业生,在各自的岗位上勤奋工作、建功立业、报效祖国,他们中先后涌现了以 29 位中国科学院、中国工程院院士为代表的科技精英,涌现出了以温家宝总理为代表的治国雄才。

办好环境学科,是我校几届领导班子矢志不移的战略选择,建设一流环境学科是实现我校“建设地球科学领域世界一流大学”办学目标的核心任务之一。早在“211 工程”一期建设计划中,环境学科就被列为“地质环境保护与地质灾害防治”重点学科建设项目。在建设环境学科过程中,我们认识到,必须进一步加强我校环境学科的地学特色,靠特色来入主流。立足于发挥我校在地球物质科学研究和地球探测、模拟技术等方面的基础和优势,紧密结合科学问题(污染物迁移转化、全球环境变化机理)和国家目标(水污染防治、土壤污染防治),我们凝练出了:地下水污染与防治、水-土界面污染物环境化学行为、沉积物环境记录与全球变化、环境过程实验模拟技术与应用、污水土地处理和环境系统评价与管理等研究方向。以地下水污染和全球环境变化研究为重点,以水-土(沉积物)环境问题研究为特色,6 个方向紧密关联、相互支撑,涵盖了环境领域的基础研究、应用研究和技术方法研究。

以第一方向——地下水污染与防治方向为例,我校的研究特色是从地下介质的空间分布、地下水的流动和污染物的性质入手,借助于现代先进的地球物理技术、分析测试技术、分子生物技术等,查明污染物的来源与途径,重点研究污染物在地下迁移过程中发生的物理、化学与生物作用,以及由此导致的污染物存在形态、迁移性质、生物毒性等方面的变化

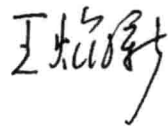
规律,建立地下水污染评价与预测的计算模式,制定地下水资源保护方案,开发水质改良与污染修复的关键技术,构建以水岩相互作用为基础的地下水资源保护理论与污染修复技术方法体系,形成以地下水污染敏感性分析、地下水污染内在净化作用、固体废弃物的地质处置与资源化、地下水污染原位修复研究为特色的研究方向。围绕这一方向,我校取得了一些重要科技成果,解决了一些重要科学问题,培养了大批的优秀人才,形成了稳定且具创新精神的学科科研队伍,与国际学术界建立了密切的合作与交流。

经过努力,我校的环境学科在过去的12年内完成了历史性跨越:2000年,获得环境工程学科博士学位授权点;2003年,获得环境科学与工程博士后流动站;2005年,获得环境科学与工程学科博士学位授权点。其后陆续获得国家级精品课程、国家级教学团队、国家级特色专业,并与生物地质学科交叉、联合,于2011年建成生物地质与环境地质国家重点实验室。

近年来,我国环境保护事业得到积极稳定的发展:环境保护科研体系初步形成,环境污染防治取得重要进展,生态环境保护 and 建设进一步加强,城市环境综合整治力度加大,以及环境法律体系的建设。值此《环境影响评价法》颁布十周年之际,召开本次会议,总结我国环境影响评价在近三十年发展历程中的经验,为促进我国矿冶项目开发和环境保护的持续健康协调发展建言献策。与会代表共同探讨了钢铁、有色、稀土、黄金等冶金行业金属矿采掘、冶炼建设项目环评领域的热点问题、科研成果、实践经验,这对于加强该领域环境影响评价专家和技术人员之间的学术交流与合作,提高我国环境影响评价行业的总体学术水平和解决国家重点环境问题的能力,促进我国矿冶项目开发和环境保护的持续健康协调发展,具有重要的现实意义。

我校有幸承办本次会议,体现了各环境保护学术团体,以及各位专家学者对我校的信任,对学校的教育和科研事业发展都会产生积极的推动作用。我们也期待着在今后的日子里,进一步加强与其他环境保护学术机构、团体的协作和交流,共同进步,共同为我国环境保护事业的发展做出应有的贡献!

中国地质大学(武汉)校长



2012年11月12日

前 言

环境保护部环境工程评估中心与中国地质大学(武汉)共同主办的“金属采掘·冶炼环境影响评价国际研讨会”于2012年10月16日在武汉成功举办。来自澳大利亚昆士兰大学、瑞典哥德堡大学、英国BP石油公司、加拿大JNE公司、中国科学院贵阳地球化学研究所及中国环境科学研究院等国内外科研院所、大专院校及环评队伍的专家、学者共同探讨了钢铁、有色、稀土、黄金等冶金行业金属矿采掘、冶炼建设项目环境影响评价方法的进步发展与存在问题,对促进我国矿冶项目开发和环境保护的持续健康协调发展起到积极作用。

本论文集汇集了近年来国内外在金属采掘冶炼领域的先进研究成果,共收录相关论文90篇,其中英文65余篇,中文25篇。论文内容涵盖了水环境、大气环境、固废、环境生态、环境地质、环境规划、环境技术方法、评价方法、风险评价等方面的研究成果。对地下水评价、尾矿库风险安全、矿山生态恢复和钢铁行业污染防治、稀土矿山环境污染控制措施等问题进行了深入探讨。其中,金属尾矿库安全风险问题、矿山土地复垦与生态重建问题、矿山生态修复与地下水污染控制问题等,是“十二五”时期环境保护技术的热点领域。

本次研讨会的协办单位有中国有色金属学会环境保护学术委员会、中国环境保护产业协会环境影响评价行业分会、中国环境科学学会环境影响评价专业委员会、北京矿冶研究总院及北京京诚嘉宇环境科技有限公司。本次会议获得国家教育部的支持,得到国家自然科学基金委员会的资助,得到国内外专家学者的积极参与,在此一并表示感谢。

编 者

2012年11月11日

中文目录

离子型稀土矿开采环境污染控制措施… 祝怡斌 周连碧 李 青 王有霖 李 群 郭小斌(1)

持久性有毒物质污染土壤修复技术研究进展…………… 常海平(5)

青海湖不同功能区底泥重金属富集特征及聚类分析 …… 陈学民 朱阳春 伏小勇(12)

车河选矿厂选矿废水的深度处理 …… 郑 曦 黄智勇(18)

中水金属腐蚀特性试验分析及其回用问题的探讨 …… 马宝信(21)

Visual MODFLOW 在冶炼项目地下水环境影响评价上的应用 …… 陈玉福(26)

黄金工业含氰、重金属及类金属废水治理技术现状与发展趋势……………

…………… 李哲浩 左玉明 刘晓红 龙振坤(31)

铁合金精炼炉烟气捕集净化措施分析与应用实践研究 …… 王兴峰 郭小芳 王长征(36)

氰化物环境风险的控制研究 …… 代宏文 楚敬龙(40)

棕(褐)地环境风险评价及调控研究 …… 孙 华 王 维 林佳佳(46)

有色金属冶炼项目环境影响评价中人体重金属现状评价的研究与实践 …… 寇蓉蓉(51)

我国有色金属矿山环境污染综合防治途径探讨——以粤北大宝山铁铜多金属矿山开发为例

…………… 李 奕(56)

浅析铜冶炼行业污染物的产生及治理 …… 马倩玲(62)

露天铁矿开采项目环境影响评价 …… 杨 莹(68)

钢铁行业重金属污染排放探讨 …… 朱慧玲(73)

铅冶炼行业清洁生产与循环经济分析 …… 林星杰(80)

矿山生态恢复及其规划方案编制研究 …… 朱来东 张建奎(85)

镉对植物生长的影响及其在植物器官中的分布研究 …… 马宝信(91)

绿色矿区建设指标体系讨论 …… 胡 璟(96)

浅谈环境影响评价中低品位铁矿采选工程分析中内容概要…………… 郭 桢 何云蛟(101)

某露天矿地下水渗流场数值模拟研究…………… 梁 斌 王 玮(105)

露天矿生态环境评价指标体系初探…………… 汪仲琼(110)

基于 GMS 的尾矿库地下水环境影响评价 …… 楚敬龙(115)

线性优化方法在规划环评中的应用研究…………… 邓永怀 王兴峰 张军英 张新瑞(121)

平远稀土矿山植被恢复效果初步研究…………… 邓绍龙 许炼锋 陈红跃(129)

英文目录

利用新型可渗透反应格栅技术 对垃圾渗滤液污染地下水过程作用研究 崔海炜(1)

地下水环境容量浅析——以贵州省钢铁工业区为例 王 茜(7)

金属矿区的面源污染防治措施 师 懿(10)

地下水环境影响评价解析法应用举例 何亚平(13)

冶炼工业区域雨水生态设计及应用优化研究——以某有色冶炼企业为例 龚 斌(17)

河南省生活源固体废物处理处置现状及其存在问题分析 陈 勇(21)

环评中关于尾矿库溃坝最大影响距离计算的探讨 雷艳辉(26)

污水处理事故缓冲池的设计与研究 李 豪(31)

南方离子型稀土矿采矿方法发展简述 李 青(35)

我国尾矿库安全隐患分析及对策研究 李 璇(39)

真空碳热还原法炼镁工艺的环境影响评价 刘红湘(45)

我国金属矿山酸性废水污染与治理现状及对策 王柏莉(52)

铁矿资源开发规划环境影响评价指标体系的探讨 刘加刚(57)

新钢铁工业排放标准评述 刘甜田(63)

磷矿浮选尾矿中污染物释放的研究 汤亚飞(67)

钢铁企业二噁英环境影响分析 赵春丽(71)

铁粉作为添加剂在铬渣微波加热解毒的影响 张岩坤(77)

榆林市皮江法镁冶炼企业节能减排技术改造潜力研究 邹 宁(82)

高海拔低品位氧化铜尾矿资源化利用试验研究 朱来东(88)

重金属污染防治规划保障措施研究 张虎成(93)

HYDRUS 软件应用于包气带溶质模拟预测的实例探讨 孟祥帅(100)

通过梯级供水实现钢铁企业水资源循环利用 康 磊(106)

恩施规划环评中应注意的若干问题 卢炎秋(110)

矿区重金属污染土壤修复方法的研究 夏 锴(116)

工业园区规划环境影响评价中需关注的几个问题 喻元秀(121)

金属矿山区域空间管制浅议	蒋国胜(126)
景观生态评价法在黄石西塞山工业园规划环评中的应用	袁 玥(132)
浅析泥炭腐殖化度及其测定	周 莹(138)
矿山地质环境保护及恢复治理实例分析	吴倩倩(144)
东北地区泥炭沉积物记录的全新世火山喷发事件及其气候效应	黄 庭(150)
沉积物中火山灰的提取方法及实例研究	胡忠霞(156)
Consteel 电炉大气污染物产生特征及其控制措施分析	瞿 群(162)
基于情景分析法的盆地城市 NO ₂ 排放预测研究	何云娇(167)
绿色基础设施用地适宜性评价研究	廖启鹏(172)
基于成本效益分析的经济评价在矿山非污染生态影响的研究	刘 超(178)
生态修复在尾矿库复垦中的作用研究	潘理林(183)
矿区环境保护中的生态恢复技术——以某西部地区金属矿开发为例	田 幸(189)
中、小型矿山复垦实践——以宜昌樟村坪磷矿为例	王 寅(195)
重金属超富集植物在金属矿山生态恢复中的应用	熊 樱(201)
Cd 污染土壤中先锋植物的筛选——以湖南水口山铅锌矿区为例	徐丽丽(207)
露天矿开采地下水降落对植被的影响分析	由 强(213)
重金属污染的机理及防治对策研究	翟圣佳(220)
金属矿山废弃地生态恢复基质改良技术研究	张 根(226)
铅冶炼企业无组织大气污染源铅排放量估算	张希柱(230)
从美学到生态——基于生态恢复的矿业废弃地景观改造规划研究	廖启鹏(235)
基于 MODIS 数据的柴达木盆地植被时空演变分析	张雨航(241)
干旱区尾矿库复垦技术应用与实践研究	张军英(246)
某铅冶炼企业周边土壤重金属污染状况调查研究	舒 艳(253)
土壤重金属污染评价方法综述	鞠丽萍(258)
矿产资源规划环境影响评价中的 GIS 技术应用研究	戴德艺(263)
基于健康风险范畴对镉污染场地进行土壤修复限值进行分析	程胜高(268)
重金属污染地区中地下水环境影响评价的示例和反射研究	罗朝晖(271)
金属矿山治理绩效评价研究	马嘉铭(274)
金属矿山治理绩效预测研究	马嘉铭(279)
生态补偿战略在不同的阶段水调动项目的研究	王品文(284)
涉铅项目环境影响评价中的环境健康风险评估的应用与研究	吴继明(289)
火山灰形成的哈尼泥炭对应环境气候变化的指示	肖 河(293)
图像融合技术在矿山环境识别中的应用	周曼蒂(297)

关于环境保护的生态旅游对法律的研究——以四川省九寨沟国家公园为例 田秋菊(301)

湘江衡阳段底泥重金属污染现状与生态风险评价 沈 聪(305)

使用活跃烂泥的高氯酸盐生物退化用不同的给电子体高氯酸盐处理污泥 谢宇轩(310)

国家地质公园可持续发展探索 丁 镭(315)

矿区规划环评与项目环评的衔接探讨 黄 磊(320)

青藏高原第四纪地质隆盛的原因与环境变化 宋鄂平(324)

农业养殖业污染预防与控制 程璜鑫(329)

离子型稀土矿开采环境污染控制措施

祝怡斌 周连碧 李 青 王有霖 李 群 郭小斌

(北京矿冶研究总院,赣州稀土矿业有限公司,北京市南四环西路 188 号总部基地十八区 23 号楼 100070)

摘 要:南方离子型稀土矿开采经过池浸、堆浸和原地浸三种工艺。针对池浸和堆浸遗留的采场、堆浸场(池浸场)和尾渣库(场)等遗留废弃地,提出了针对性的生态恢复措施。针对原地浸矿环境问题,从清污分流、人工防渗、监控收液、采场封场、水质监控、废水处理等方面提出了污染综合防控措施,供环境影响评价、矿山设计、生产管理、研究人员参考。

关键词:离子型稀土;生态恢复;原地浸矿;综合防控

1 问题的提出

中国是世界上稀土资源最丰富的国家,素有“稀土王国”之称,我国南以重稀土为主,北以轻稀土为主。我国稀土矿产不仅储量大,而且品种多、质量好,矿床类型独特,如内蒙古白云鄂博沉积变质-热液交代型铈-稀土矿床和南岭地区的风化壳型矿床,在世界上均居独特地位。

南方离子型稀土开采工艺先后经历三个阶段:池浸工艺、堆浸工艺和原地浸矿工艺。池浸工艺和堆浸工艺现为淘汰工艺,池浸和堆浸工艺遗留了大量的露天采场、堆浸场(池浸场)和尾渣库(场)等废弃地,急需进行有效的生态恢复。

原地浸矿工艺为提倡工艺,对生态环境破坏影响小,但因为目前没有设计规范,注液工程、收液工程不规范,环境监控应急措施不完善,导致矿区地表水、地下水中氨氮等污染物超标普遍,急需规范原地浸矿工艺,控制原地浸矿工艺造成环境污染。

2 离子型稀土矿开采主要环境问题

2.1 池浸和堆浸工艺遗留的主要环境问题

池浸工艺和堆浸工艺开采遗留的主要环境问题有:

(1)堆浸和池浸工艺形成的露天采场,基岩裸露,坡度大,坡面极不规整,生态恢复困难,有的未进行生态恢复,有的虽采取简易植被恢复,但总体恢复效果差,植被覆盖率不高,水土流失较严重。

(2)堆浸场(池浸场)坡度较大,边坡基本未采取拦挡措施,防洪排水工程措施基本失效,有的坡面沟蚀严重,水土流失严重;坡面极不规整,生态恢复困难,有的未进行生态恢复,有的虽采取简易植被恢复,但总体恢复效果差,植被覆盖率不高。

(3)尾渣库(场)边坡坡度大,为自然堆积角,基本未采取拦挡措施,防洪排水工程措施基本失效,有的冲沟明显,沟蚀严重。尾渣因水土流失淤积在沟谷(河谷),未采取治理措施,形成更大范围的尾渣库(场)。尾渣库(场)生态恢复困难,有的未进行生态恢复,有的虽采取简易植被恢复,但总体恢复效果差,

基金项目:环保公益性行业科研专项(201109034)

作者简介:祝怡斌(1969—),男,博士,安徽省岳西县人,主要从事环境影响评价、土地复垦、重金属污染控制等矿业环境工程方面的研究。电话:010-63299507,Email:yibinzhumas@163.com

植被覆盖率不高。

2.2 原地浸矿主要环境

原地浸矿工艺开采存在的主要环境问题包括：

(1)早期原地浸矿采场地表破坏较严重,浸矿完后注液孔基本未回填。部分原地浸矿采场发生局部滑坡,滑坡体未进行治理恢复。

(2)原地浸矿采场收液系统不完善,未采取综合收液系统,如有的采用山脚收液沟进行收集,收液沟未防渗,未采取清污分流措施,母液收集率不高,母液流失较严重,如有的原地浸矿采场下游溪流水中稀土含量达 0.02g/L 。浸矿液渗透进入地下水、土壤,最终进入地表水,造成地表水水质氨氮指标超标,有的流域溪流水中氨氮指标达到 80mg/L 左右。

(3)在部分小流域建设了溪流稀土回收车间,对溪流水中稀土进行回收,对溪流水中氨氮未进行专门处理,仅经简单的中和处理,溪流稀土回收车间的排放水水质中氨氮不能达标排放。

(4)原地浸矿采场渗滤监控系统不完善,基本没有地下水专用监控井,不能及时了解浸矿液流失去向,不能及时采取防范措施,不能及时了解原地浸矿采场地下水下游污染情况。

3 离子型稀土矿遗留废弃地生态恢复

3.1 生态恢复原则

离子型稀土矿遗留废弃地点多面广,废弃地复杂多样,治理难度大,生态恢复经验少,生态恢复宜采取贯彻以下原则^[1]。

(1)整体考虑,统一规划。

对稀土矿区进行整体规划,从全局把握稀土开发。将遗留废弃地纳入以新带老工程,统一规划、统一治理。规划做到因地制宜、因害设防,确保生态恢复措施布局合理、配置得当,宜林则林、宜草则草、宜农则农,在规划时就突出规模治理,由点到面,整体推进。

(2)分区分期实施、分区分期验收。

根据生态恢复工程实施的难易,遗留废弃地生态恢复宜分区分期实施,分区分期验收,争取在规划年限内完成生态恢复工作。

(3)可垦性试验先行,优先复垦为农业。

遗留废弃地包括露天采场、堆浸场(池浸场)和尾渣库(场)等场地,生态恢复经验少,针对不同废弃地特征,宜先进行可垦性试验,优选最佳的复垦方案,保证生态恢复效果和质量。物种选择耐旱、耐瘠、耐蚀、生存能力强、有固氮能力、根系发达、生长速度快、能形成稳定群落的物种。优先选择当地优势物种,优先用于农业。

3.2 露天采场生态恢复

由于离子型稀土矿层不厚,一般 10m 左右,露天开采使原有的低山丘陵地貌发生了改变,原来植被覆盖的山丘变为裸露山体,开挖后的山体成为未风化或微风化岩,边坡陡,表面极不规整,植被恢复困难。

坡面和平台为未风化基岩的,宜进行稳定化处理,保持基岩景观,在坡脚栽植葛藤、爬山虎等藤本植物。坡面和平台为风化和微风化的岩土体,采用穴状整地,穴内客土,栽植紫穗槐、杉树、竹等植物,坡脚栽植葛藤、爬山虎等藤本植物。

3.3 堆浸场(池浸场)生态恢复

堆浸场(池浸场)一般建在山坡,坡度 35° 左右,堆浸高度 10m 左右,堆浸场(池浸场)改变了原始的地形地貌,堆积的岩土土质疏松,坡度较大,周边挡土措施不完善、排水系统不完善,自然恢复较困难。

堆浸场(池浸场)生态恢复措施应先砌筑挡土墙,修筑排水沟,进行场地平整。采用穴状整地,穴内客土,栽植紫穗槐、杉树、松树、油茶等植物,间栽类芦、百喜草、芭茅草、爬根草等固土护坡植物,坡脚栽

植葛藤、爬山虎等藤本植物。

3.4 尾渣库(场)生态恢复

浸矿尾矿捞出排至尾渣库,绝大部分尾渣库(场)极不规范,仅部分尾库(场)建有拦挡坝、截排水沟,但挡土措施不完善、排水系统不完善。尾渣库(场)地表裸露、尾砂结构松散,透水性强、保水性差、稳定性差,水力侵蚀严重,坡面冲沟明显。

尾渣库(场)坡面生态恢复措施宜先砌筑挡土墙,修筑排水沟,坡面平整,采用穴状整地,穴内客土,栽植紫穗槐等灌木,间栽类芦、百喜草、芭茅草、爬根草等固土护坡植物。尾渣库(场)库面应修筑排水沟,地面平整,栽植紫穗槐、杉树、松树、油茶等植物,间栽类芦、百喜草、芭茅草、爬根草等固土护坡植物。

3.5 局部滑坡场地生态恢复

早期原地浸矿绝大多数未进行专门采矿设计,凭经验布置注液孔和收液巷,导致局部滑坡。

局部滑坡场地生态恢复措施应先对滑坡体进行稳定化措施,修筑挡土墙、抗滑桩、排水沟,防止滑坡体再次发生滑坡。遗留的原地浸矿采场注液孔回填,栽植马尾松、杉树等植被。对滑坡体表面视植被情况,采用穴状整地,栽植紫穗槐、杉树、松树、油茶等植物。

4 原地浸矿环境污染控制措施

原地浸矿采场设计前应进行详细的工程地质和水文地质勘察工作,根据底板情况优化原地浸矿采场的注液和收液工程的布置。原地浸矿采场设计时应重点落实下列环保措施。

4.1 清污分流

原地浸矿采场采取完善的清污分流措施。原地浸矿采场区设计施工避水沟,将采场区的地表径流及时导出至自然排水体系,防止径流汇入母液收集系统。周边山体设计施工排水沟,防止周边山体径流、渗水进入母液收集系统。实现原地浸矿采场的清污分流。

4.2 监控收液

母液收液系统采用多级监控收液系统,第一级为收液巷道或收液孔母液监控收集系统,第二级为采场下游地下水监控孔收集系统,第三级为小流域地下水监控收集系统^[2]。

第一级收液巷道母液监控收集系统是原地浸矿采场最主要、最重要的收集工程,收液巷道或收液孔底板采用水泥浆构筑人工水泥底板防渗,母液收集率可达到85%以上。对收液巷道母液氨氮和总稀土进行长期监控,如达到可回收利用的指标,则进行长期收集。

第二级采场下游地下水监控收集系统是原地浸矿采场坡脚处打地下水监控孔,对监控孔收集的地下水中氨氮、总氮和总稀土等进行监控,如达到可回收利用的指标,形成第二级收集系统,收集渗漏的母液。

第三级小流域地下水监控收集系统是在原地浸矿采场出小流域坡脚处打地下水监控孔,对监控孔中地下水进行氨氮、总氮和总稀土等监控,如达到可回收利用的指标,则形成第三级收集系统,收集渗漏的母液。

监控指标主要为总稀土、氨氮、硫酸盐和铅、镉、铬、汞、砷等浓度。当总稀土达到回用要求,氨氮和重金属浓度超过《稀土工业污染物排放标准》排放标准时,监控收集系统必须及时启动收集,收集的母液泵回母液处理车间回用,或泵至污水处理站进行处理。

4.3 防渗措施^[3]

原地浸矿采场收液巷道或收液孔、集液沟等所有巷道和集液沟的底板均采用水泥浆进行防渗漏处理。高位浸矿液池、收液池、母液处理车间母液收集池、除杂池、沉淀池、配药池、回收及调节池、浸矿液配液池、事故池的池底和池壁用HDPE防渗膜进行防渗处理,防止浸矿液腐蚀池壁和池底。

4.4 采场封场

为控制原地浸矿采场浸矿后地表径流入渗量,在原地浸矿采场浸矿完成后,将注液孔施工堆存在孔

周边的岩土及时回填、及时封场、及时进行复垦,及时栽植马尾松、杉树等植被。

4.5 水质监控

根据矿区原地浸矿采场的分布特点,结合区域地下水流向,在原地浸矿采场、母液处理车间地下水下游布设地下水专用监测井,可按流域或水文地质单元完整性综合考虑设置一定数量的地下水专用监测井。当监测井水质指标中氨氮、硫酸盐和铅、镉、铬、汞、砷等浓度超过地下水水质标准时,在监测孔附近及时采取措施,将地下水及时截获,泵回母液处理车间回用,或送流域废水处理站处理。

4.6 废水处理

根据矿区原地浸矿采场的分布特点,结合小流域溪沟水质监测结果及稀土含量监测结果,以小流域为单元统一规划溪流水监测回收处理利用工程。

小流域布置溪流水监测回收处理车间,包括溪流水监测工程,稀土回收工程,氨氮废水处理工程,氨氮废水处理达标后排放。

5 结 论

本文针对南方离子型稀土池浸和堆浸工艺遗留的大量露天采场、池浸(堆浸)场、尾渣库(场)、局部滑坡等废弃场地不同特点,给出了有针对性的生态恢复措施。针对原地浸矿工艺没有设计规范,注液工程、收液工程不规范,环境监控应急措施不完善,导致矿区地表水、地下水中氨氮等污染物超标普遍,超标较为严重的现状,从清污分流、人工防渗、监控收液、采场封场、水质监控、废水处理等方面提出了污染综合防控措施,供环境影响评价、矿山设计、生产管理、研究人员参考。

参考文献

- [1]牟保磊. 元素地球化学[M]. 北京:北京大学出版社,1999.
- [2]汤洵忠,李茂楠,杨殿. 原地浸析采矿的顶水大循环技术[J]. 矿冶工程, 2000, 20(2): 5-7.
- [3]汤洵忠,李茂楠. 离子吸附型稀土矿原地浸析采矿法[J]. 矿业研究与开发,1997,17(2):1-4.

持久性有毒物质污染土壤修复技术研究进展

常海平

(河北省众联能源环保科技有限公司, 石家庄 050031)

摘 要:我国面临严峻的持久性有毒物质土壤污染形势,开展相关治理修复技术研究十分必要,本文综述了污染土壤的修复技术:①客土、换土法和翻土法;②热修复法;③玻璃化技术;④淋洗法和提取法;⑤微生物和植物修复法;⑥电动力学修复技术。同时介绍了各种方法的基本原理、特点、应用范围和研究进展,提出了电动力学技术的优越性及今后的研究方向。

关键词:持久性有毒物质;土壤;修复技术;电动力学修复

1 土壤污染现状和修复的必要性

土壤是生态圈的重要组成部分,同大气—水—生物进行物质和能量交换。人类赖以生存的农作物生长于土壤,土壤同人类生活密切相关。然而,经济的快速发展导致三废排放物的增加。持久性有毒物质如持久性有机污染物和重金属等进入环境后,随着大气沉降、降雨过程、地表径流等作用同土壤发生作用,并在土壤沉积,造成土壤的污染。

我国的土壤污染总体形势相当严峻,目前全国受污染的耕地约有 1.5 亿亩,污水灌溉污染耕地 3 250 万亩,固体废弃物堆存占地和毁田 200 万亩,合计约占耕地总面积的 1/10 以上;全国受重金属污染的农业土地约 2 500 万 hm^2 ,受有机污染物污染的农田达 3 600 万 hm^2 ^[1],多数集中在经济较发达的地区,每年因重金属污染的粮食达 1 200 万 t,造成的直接经济损失超过 200 亿元。土壤污染造成有害物质在农作物中积累,并通过食物链进入人体,引发各种疾病,最终危害人体健康。土壤污染直接影响土壤生态系统的结构和功能,最终将对生态安全构成威胁。

土壤是持久性有毒物质的一个蓄积库。当外界环境发生变化时,土壤中蓄积的持久性有毒物质会重新释放到环境中^[2]。土壤成为一种长久性的污染源,对生态系统造成长期的危害^[3]。土壤污染具有隐蔽性与滞后性、累积性与地域性、不可逆转性和治理难且周期长等特点^[4],其带来的环境风险日趋严重,并导致了灾难性的后果。如日本的水俣事件、美国的腊芙运河事件以及江苏多氯联苯污染和福建屏南 Cr 污染等事件都在不断告诫人们,受污染土壤的治理和修复不仅关系到基本农田保护和农业的可持续发展,而且影响到食品卫生安全,是公共卫生安全保障体系中不可或缺的有机组成部分。我国土壤污染在部分地区比较严重,危害极大,因此开展持久性有毒物质污染土壤的治理研究十分紧迫。

2 土壤修复技术

土壤污染的修复技术研究是当今环境保护工程研究的一项重要内容,土壤修复技术总体分为物理、化学和生物以及电动力学修复法。

基金项目:环保公益性行业科研专项(201109034)

作者简介:常海平(1963.9—),男,高级工程师,学士学位。原在河北省冶金能源环保研究所工作,现任河北省众联能源环保科技有限公司环评部门主任,长期从事环境影响评价、污染治理技术研究与应用、清洁生产审核等环境保护相关技术工作。电话:0311-85083775,传真:0311-85616978;Email:nshhs@263.net

2.1 物理方法

物理方法主要包括客土法、换土法、翻土法、热处理法和玻璃化法等。分别介绍如下：

2.1.1 客土法、换土法和翻土法

客土法、换土法和翻土法是常用的工程措施。客土法是在污染土壤上加入净土；换土法就是将已污染的土壤移去，换上新土；翻土法就是将污染重的表土翻至下层^[5]。对于浅根植物（如水稻等）和移动较差的污染物（如铅），采用客土法较好，但客入的土应尽量选择比较黏重或有机质含量高的土壤，以增加土壤环境容量，减少客土量。而换土法对于小面积严重污染且污染具有放射性或易扩散难分解的土壤是必需的，以防止扩大范围，危害人畜健康。吴燕玉等^[6]在张士灌区调查土壤剖面中镉含量发现，77%~86.6%土壤镉累积在30 cm以上土层，尤以0~5cm、5~10cm内含量最高，去表土15~30cm可使米中镉含量下降50%左右。这类方法效果好，稳定，不受土壤条件限制，但投资大，易导致土壤肥力下降。采用翻土法可将聚集在表层的重金属污染物分散到更深层的土层，达到稀释的目的，此法适用于土层深厚的土壤，且要配合增加施肥量，以弥补耕层养分的减少。

2.1.2 热修复方法

热修复法是将受污染的土壤加热（常用的加热方法有蒸气、红外辐射、微波和射频），使土壤中的挥发性污染物（重金属 Hg）在挥发时能被收集起来进行回收或处理的一种方法^[7]。目前该方法已被美国一家 Hg 回收公司成功地应用到 Hg 污染土壤的治理之中，现已修复 2 300t 被 Hg 污染的土壤，使土壤中 Hg 含量小于 100mg/kg^[8]。热修复法作为一种物理修复方法，具有工艺简单、技术成熟等优点。但由于该方法能耗大、操作费用高，仅适用于易挥发的污染物，因而其应用范围比较窄，目前未能得到广泛的推广应用。

2.1.3 玻璃化技术

玻璃化（Vitrification）技术是把重金属的重污染区土壤置于高温高压条件下，形成玻璃态物质，使重金属固定于其中，达到消除重金属污染的目的^[9]。这种技术工程量大、费用高昂，但能从根本上消除土壤的重金属污染。由于该法见效快，因而适用于由重金属严重污染区土壤的抢救性修复。

2.2 化学修复法

化学修复法主要包括化学固定、化学淋洗和化学提取等，其中化学淋洗和化学提取是目前研究的热门。

2.2.1 淋洗法

淋洗法的基本原理是通过改变外界条件来调控污染物在土壤上的吸附/解吸行为。土壤淋洗法运用化学助剂，如络合剂、表面活性剂、有机溶剂等，同土壤中的重金属和有机污染物相互作用，增加污染物在土壤空隙水中的溶解度，促使污染物在土壤和空隙水中的吸附/解吸平衡向解吸方向移动，使污染物在同淋洗液的不间断接触过程中得到去除^[10,11]。

重金属在土壤上的解吸行为受环境因素的影响很大。通常情况下，重金属从土壤上的解吸效果随 pH 的升高而显著降低，当 pH 升高到一定值后（如大于 7），由于形成氢氧化物沉淀而无法解吸^[12~14]；解吸效果还受到溶液离子强度的影响，离子强度的升高有利于解吸过程^[13~16]。在实际淋洗治理过程中，由于提高酸度和盐度都会对土壤造成破坏，一些小分子有机酸，如 EDTA、柠檬酸、草酸等，可以同重金属形成较为稳定的络合物，从而提高淋洗效果^[16]，而且小分子有机酸对土壤基本不会造成破坏^[17]。也有研究者使用表面活性剂来促进重金属的解吸^[18]。

有机污染物在土壤上的吸附受 pH、土壤有机质、有机污染物性质等因素的影响^[19]。可解离有机物如酚类物质的解吸随 pH 升高而增加^[20]。非解离的疏水有机物由于水溶性极低，很难使用水直接从土壤上解吸下来，因而有必要引入化学助剂，如表面活性剂和有机溶剂等，来增加其水溶性，强化解吸效果^[11]。化学助剂通常也会被土壤吸附，吸附态的化学助剂反过来会重新吸附污染物，对吸附过程造成不利影响，只有游离态的化学助剂才会对解吸有促进作用^[11,21~23]。因而，一种理想的化学助剂除了对污染物有强的增溶作用外，还应该具有最小的土壤吸附性，同时还应该是一个环境友好型的药剂。

2.2.2 提取法

提取法是运用化学试剂与土壤中的污染物相互作用,形成溶解性络合物,最后从提取液中分离出污染物的一种方法,且提取液可再循环利用。该方法可用于被重金属污染土壤的修复,目前国内关于此方面的研究还处在实验阶段。周国华等采用逐步提取法模拟研究被污染土壤中 Cd 的赋存形态及其动态变化的结果表明,进入土壤的活动态 Cd 可逐渐转化为稳定态 Cd,且在较长时间内水溶性 Cd 和离子交换态 Cd 仍占 30% 左右,水溶态 Cd 含量与总 Cd 含量之间存在着显著的正相关关系^[24]。

2.3 生物修复法

生物修复是利用微生物或植物的生命代谢活动,对土壤中的重金属进行富集或提取,通过生物作用改变重金属在土壤中的化学形态,使重金属固定或解毒,降低其在土壤环境中的移动性和生物可利用性。生物修复技术主要包括植物修复和微生物修复。

2.3.1 微生物修复法

微生物在修复被重金属污染的土壤方面具有独特的作用。其主要作用原理是:微生物可以降低土壤中重金属的毒性,可以吸附积累重金属,可以改变根际微环境,从而提高植物对重金属的吸收,挥发或固定效率^[25],如动胶菌、蓝细菌、硫酸还原菌及某些藻类,能够产生胞外聚合物,与重金属离子形成络合物。蔡信德等^[26]发现在长期受镍胁迫土壤中,某些微生物产生了抗性机制以减少镍的毒害作用,并通过吸收、沉淀、络合作用减少土壤中重金属的迁移性和生物毒性。耿春女等^[27]利用菌根吸收和固定重金属 Fe、Mn、Zn、Cu 取得了良好的效果。

2.3.2 植物修复法

植物治理通过植物对重金属元素或有机物质的特殊富集和降解能力来去除环境中的污染物,或消除污染物的毒性。植物治理技术包括植物提取、植物挥发、植物固定、植物过滤和水力泵技术。植物治理的关键是寻找对某种污染物具有生物超富集能力的植物。目前已经发现了对多种重金属、放射性物质和部分有机物等具有超积累能力的植物。据报道,某种旱柳品系可富集 47.19mg/kg 的 Cd,当年生加拿大杨对 Hg 的富集量高达 6.8/株,为对照的 130 倍^[28]。某种对 Cu 具有较高富集能力的植物已被发现,根、茎、叶中的 Cu 的浓度分别为 2070~6159mg/kg、369~831mg/kg 和 427~587mg/kg^[29]。研究者通过外加药剂来达到提高污染物的植物可利用性的目的,如添加 EDTA、柠檬酸等小分子有机酸^[19,20]。

植物治理的优越性是明显的,成本低,对环境扰动小,清理土壤中污染物的同时还可以清理周围的大气和水体中的污染物,具有较好的美化环境价值,易为社会所接受。但是超积累的植物需要定时收割和后处理;植物对土壤的性质有一定的要求,当土壤条件较为恶劣时植物难以正常生长;植物的生物量低、生长缓慢、生长周期长。

2.4 电动力学修复技术

污染土壤修复的复杂性和高难度促使研究者们不断寻求新的技术,以提高修复效率、减少对土壤性质的破坏和对环境的二次污染。电动力学修复技术作为一种颇具潜力的土壤修复技术受到了国外研究者的广泛关注。早在 1947 年,Casagrand 就开始应用电动技术对黏土进行脱水,而该技术应用于土壤修复的研究始于 20 世纪 80 年代,在 90 年代得到发展迅速。利用电动技术去除土壤中重金属污染,已在实验室研究和某些中试规模的应用中取得了成功,到目前为止,已有美国、加拿大、德国、荷兰、日本、韩国等国家和地区相继开展该技术的研发与应用。

2.4.1 电动力学修复原理

电动修复污染土壤的原理是在土壤体系中插入电极,通以直流电,土壤中的污染物在电场、电化学等作用下,发生氧化还原反应,并迁移、富集于某一区,从而达到去除土壤污染物的目的^[30,31]。在电动修复过程中,主要的迁移作用有电渗析、电迁移、自由扩散和电泳等。污染土壤修复过程实际是通过电迁移、电渗析和电泳三种机制清除土壤中的污染物。其中,电渗析是指土壤中的孔隙水在电场中从一极向另一极的定向移动,非离子态污染物会随着电渗流移动而被去除。电迁移是离子或络合离子向相反