

美国宾汉姆百年矿山污染治理与可持续发展之路探索

邱磊¹, 刘志刚², 邱瑞照², 吕志成², 陈秀法², 冯瑶¹, 朱泉龙¹, 赵立克¹, 任晓栋¹
QIU Lei¹, LIU Zhigang², QIU Ruizhao², LÜ Zhicheng², CHEN Xiufa², FENG Yao¹,
ZHU Quanlong¹, ZHAO Like¹, REN Xiaodong¹

1. 中国地质大学(北京), 北京 100083;

2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037

1. *China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;*

2. *Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China*

摘要:美国宾汉姆斑岩铜矿是全球著名矿床,近百年的资源开发、矿石加工和冶炼等生产活动对当地环境和生态系统造成了严重破坏,污染治理成本高昂。此外,矿区还有大量其他矿业公司历史上遗留下的污染物,治污责任纠缠不清。然而依照国家法律、政府,以及企业的社会责任心与发展策略,该区环境污染得到了成功清理和复垦,企业重新走上一条可持续发展之路,产生了显著的环境、社会、监管和经济效益。介绍宾汉姆矿山治理迂回曲折的过程,试图能给中国现有同类矿山、国家相关管理部门带来有益启迪和借鉴。

关键词:百年矿山;污染治理;宾汉姆斑岩铜矿;美国西部

中图分类号:P5;X141

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2019)09-1581-09

Qiu L, Liu Z G, Qiu R Z, Lü Z C, Chen X F, Feng Y, Zhu Q L, Zhao L K, Ren X D. Pollution control and exploration of sustainable development for the Bingham mine with a century's history in Western United States. *Geological Bulletin of China*, 2019, 38(9):1581-1589

Abstract: The Bingham porphyry copper deposit is a world-famous ore deposit. More than one hundred years' production activities such as resource development, ore processing and smelting have seriously damaged the local environment and ecosystem, and the cost of pollution control is high. In addition, there are a large number of other pollutants left behind in the history of the mineral company in the mining area, and the responsibility for pollution control is entangled. However, according to the national law, government and corporate social responsibility and development strategy, the environmental pollution has been successfully cleaned up and reclaimed, and enterprises have embarked on a sustainable development road, resulting in significant environmental, social, regulatory and economic benefits. This paper introduces the process of the Bingham mine's pollution abatement characterized by many twists and turns, with the purpose of giving some beneficial enlightenment and reference to China's existing similar mines and related administrative departments.

Key words: Centennial mine; pollution control; Bingham porphyry copper mine; Western United States

矿业能够为现代生活提供必需的金属和非金属,是经济社会发展中不可替代和不可或缺的基础产业,但矿石在开采、加工和提炼形成有用产品的过程会影响生态环境,污染大气、土壤和水。随着

收稿日期:2018-08-01;修订日期:2019-08-29

资助项目:国家国际科技合作专项《中美环太平洋成矿带成矿规律对比与资源评价技术研究》(编号:2011DFA22460)、中国地质调查局项目《全球巨型成矿带找矿勘查方法技术研究》(编号:12120113102100)和《全国陆域及海区地质图件更新与共享》(编号:DD20190379)

作者简介:邱磊(1989-),男,在读硕士生,地质工程专业。E-mail: xqiu@hotmail.com

通讯作者:邱瑞照(1963-),男,博士,研究员,从事深部地质、区域成矿和境外地质矿产研究。E-mail: qiurzz@163.com

人们环境保护意识的增强,矿业生产造成的生态环境破坏问题越来越受到社会各界的重视。2009年,国家发改委、原国土资源部联合发布了《全国矿产资源规划(2008—2015)》,提出发展“绿色矿业”的明确要求。经过近十年的积极探索,中国的“绿色矿山”理念基本成熟,矿山企业要做到依法办矿、规范管理、资源综合利用、技术创新、节能减排、环境保护、土地复垦、社区和谐。然而,彻底否定排污,在一定程度上等于否定生产,其结果是严重扼制社会经济的发展和人民生活水平的提高,甚至影响就业和社会的稳定。因此,如何在发展的同时降低环境损害并对其后果进行适当修复,促进社会经济与环境保护的协调发展仍是当前各国特别是发展中国家面临的难题^[1]。20世纪80年代,为应对美国日趋严重的环境污染危机,响应公民的环境保护运动,美国政府通过并签署了《综合环境应对、补偿和责任法》(Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act,简称 CERCLA),并据此建立了第一个“综合联邦紧急授权和工业维护基金”,也被称为“超级基金法”。其建立了从环境监测,风险评价到场地修复的标准管理体系,为污染场地的管理和土地再利用提供了有力支持,使美国的环境污染得到控制、受污染土地得到有效治理,方法体系后来被多个国家借鉴和采用^[2]。然而,“超级基金法”颁布后,执行过程中遭遇了不少问题。法律的执行者和被执法者是一对矛盾,污染责任方利益、责任等纠缠不清,法律、法规常难以执行;而且基于“超级基金法”进行的调查、诉讼、治理成本昂贵又耗时,有时很难操作,甚至不切实际,其高额的修复成本和漫长的修复过程也给责任方和政府带来严重负担,常导致修复工作停滞不前,待修复地块也因此被长时间被搁置和荒废^[3]。

在美国宾汉姆矿区实施的清理工作具有开创性:美国环境保护署、犹他州政府和肯尼科特公司共同创造了被称为“超级基金替代场所”的清理方法,即由美国环境保护署控制和监督肯尼科特公司的清理工作,但并不将其污染场所列入国家优先名录(NPL)。这种做法起初颇具争议,但其有效地激励了责任方对污染场所的清理,取得了许多传统执法不能实现的环境、社会、监管和经济效益。肯尼科特公司作为百年老矿区目前主要的土地所有者和北部新区唯一经济实体,对美国环境保护署

(Environmental Protection Agency, EPA)和犹他州环境保护处(the Utah Department of Environmental Quality, UDEQ)的态度从最初的反抗与逃避,逐渐演变为合作,用近20年的时间,共同促进了矿山历史废弃物及奥克尔山北部污染问题的解决,清理了该区大部分受污染地下水和数千英亩污染土地,并使之重新开发利用。没有列入国家优先名录则使肯尼科特公司避免了执行超级基金带来的赔偿责任,而且,在采用最严格的土地使用标准(可用于居住)清理后的污染土地上创建的新社区给公司创造了新的收入来源和美好前景。因此,虽然肯尼科特公司未被列入国家优先名录,但其清理行为仍被认为是超级基金的重要成就,这种理念与方法被吸纳到超级基金法修订稿中。

宾汉姆铜矿在国际上率先实现了对巨型低品位斑岩铜矿床的开采和利用,取得了巨大成功,许多关于斑岩铜矿的采、选、冶技术及技术设备从这里流传、推广到全球同类矿山^①,为矿业发展提供了重要借鉴^②。中国很多矿山,如紫金山金铜矿、德兴铜矿、团结沟金矿、奥伦花钼矿等均采用了该模式。笔者通过参加AGU会议、“中美合作”项目,先后多次访问了宾汉姆斑岩铜矿和肯尼科特公司,在了解并查阅美国环境保护署、犹他州和肯尼科特公司的相关资料后^{③④⑤},被这个百年老矿山卓有成效的环境清理并给企业带来新的复兴机会的故事深深吸引,试图通过梳理和介绍这个曲折的过程,为中国目前正在使用和闲置矿山的所有者、经营者及国家相关管理者在治理方法与管理方式方面提供参考。

1 宾汉姆铜矿简况

1.1 矿山开采历史

宾汉姆矿区位于美国犹他州奥克尔(Oquirrh)峡谷,距州首府盐湖城西南方向约25英里(图1)。20世纪20年代,这里有几十个地下金、银和铅采矿点,矿业开采与加工十分繁荣,为犹他州的经济作出了突出贡献^{⑥⑦}。宾汉姆铜矿床是当今世界上最大、最高效^⑧的矿山之一,也是该地区唯一开采至今的矿山。1848年汤姆斯·宾汉姆(Thomas Bingham)和斯坦福·宾汉姆(Standford Bingham)兄弟在峡谷中发现含铜矿物,并以他们名字命名了该峡谷;在发现之初由于铜品位太低,宾汉姆铜矿床

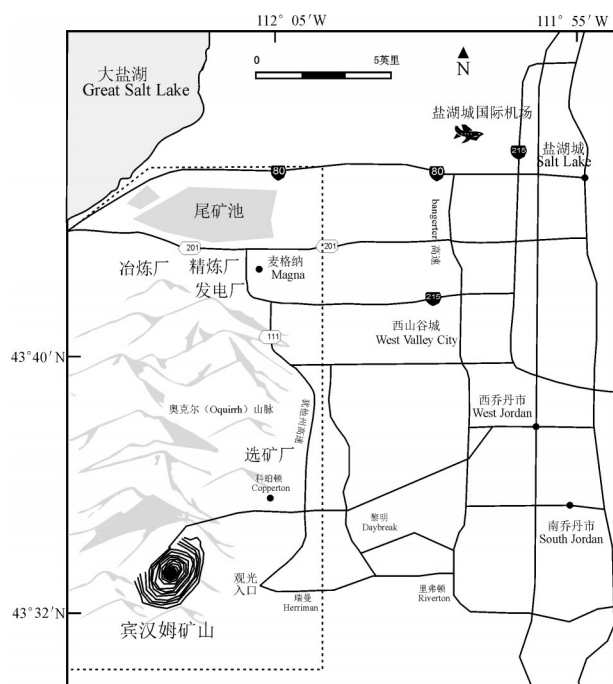


图1 宾汉姆矿山位置图(虚线为肯尼科特公司资产)

(据参考文献[4]修改)

Fig. 1 Location of Bingham mine, with dotted line showing the property of Kennecott Utah Copper

被认为没有开采价值(10.6磅/吨,每开采1t矿石要剥去2t表土)。但工程师 Daniel Jackling 和 Robert Gemmell 从理论上计算出露天开采模式生产可以获得可观利润,并于1903年成立了Jackling犹他铜业公司。1906年他们用蒸汽铲首次挖开了后来被称为“地球上最富的坑”(铜生产总量为世界之最,另有金、银、钼等)^{⑦⑨}。该公司取得巨大成功后,整合了宾汉姆矿区其他地区的采矿权,进行了更大规模的经营并经历了多次重组,1989年之后,该区由世界上最大国际矿业公司力拓(Rio Tinto)的子公司——肯尼科特犹他铜业公司经营^[4-5]。宾汉姆铜矿山连续生产了100多年(仅在80年代世界范围的铜资源经济衰退时停产过一年),挖走了 7.0×10^8 t矿物质,原先的大山消失,取而代之的是一个巨大的螺旋式矿坑;挖出的矿石废渣被堆成连绵起伏的高原。宾汉姆矿坑在二战中为盟军提供了1/3的铜,2002年盐湖城冬季奥林匹克运动会的金、银、铜奖牌原料也产自该矿坑^⑩;到2009年,产出的铜占美国需求量的13%,比康斯托克矿(Comstock Lode)、克朗代克(Klondike)和加州淘金热时期产出的

总量还多^⑪。肯尼科特犹他铜业公司目前是犹他州最大的私营经济支柱,在生产、出口、经济效益、就业等方面都超过了其他私营企业。公司的经营范围包括铜矿石露天开采、加工、冶炼和精炼:矿石的开采和富集位于南区(宾汉姆峡谷),冶炼和精炼在20英里外的北部新区麦格纳镇(Magna),南区选矿厂的矿浆和尾矿由精矿管道和尾矿管道泵送到北部新区^{[5-6]⑫}(图2)。

1.2 矿区情况

由于宾汉姆矿业开发的早期峡谷还不是社区,没有行业或政府进行环境管理,众多矿业公司将含有矿物质的废石堆放在矿区附近的山地。雨水和降雪带走废石的易溶固体并沉积在河漫滩上,造成整个奥克尔山地和地下水的硫酸盐和重金属污染,影响盐湖县西南部约210km²的区域(图2)。由于当时未意识到这些污染物的危害性,有些受高浓度铅和砷污染的泛洪平原上还修建了住宅,给当地人民生活和经济可持续发展带来了极大危害;在肯尼科特公司北部新区,金属冶炼和加工生产产生的大量含铅、砷、硒金属等,严重污染大盐湖南岸的淤泥、土壤、地表水和地下水,给当地生态环境造成极大威胁。20世纪80年代,随着社会和公众对环境问题认识的不断提高,以及美国政府“新联邦环境立法”的出台,各方对宾汉姆地区环境污染问题的调查和整治工作逐渐展开。然而,对这个长期积累的巨大矿区污染区域的责任认定与清理过程十分复杂、缓慢,而且耗资巨大。

2 宾汉姆矿区环境污染治理谈判

2.1 艰难的谈判

在超级基金支持下,美国环保署和犹他州监管机构在1983年启动了对肯尼科特污染场所的调查,发现乔丹(Jordan)河谷西南地下水有羽状污染物(A区和B区)。依据此调查和超级基金下的自然资源损害赔偿条款(Natural Resources Damage, NRD),犹他州环境质量处在1990年向联邦法院起诉肯尼科特矿业公司,并提出索赔。同时,肯尼科特公司发起了一项由外聘顾问执行的对“环境污染及其将对公司造成的影响”独立调查(为期5年)。了解到公司的污染影响极其广泛,意识到要获得公众的支持,企业需要转变视角,不仅要配合犹他州政府和联邦监管机构,而且必须就环境污染问题坦诚面对

公众。1990年,肯尼科特公司开展了“乔丹河谷地区西南地下水污染”调查,并于次年向犹他州政府提出了“用1200万美元赔偿污染造成的损害,但不必对地下水污染采取行动”的和解方案;但乔丹河谷水利委员会认为该方案没有代表公众利益,要求法院介入;1992年,法官裁定:“对地下水羽状污染物的研究不足以支持该解决方案”,法院驳回了肯尼科特公司提出的和解方案,NRD索赔谈判被搁置。

美国环保署督察长建议,将产生地下水羽状污染物的肯尼科特污染场所列入“国家优先名录”,而犹他州政府反对列入超级基金计划,希望使用现行的州许可条例来管理肯尼科特公司的污染物排放。但是,1990年犹他州调查人员在超级基金场所评估期间,发现了一条沿宾汉姆溪及历史河漫滩分布的污染带,而在其泛洪平原上已建成社区,受污染的小溪流经人口稠密区。然而,肯尼科特公司否认与宾汉姆溪的污染有关。巨大的公众压力迫使犹他州政府请求美国环保署协助,在超级基金支持下进行应急响应行动来解决该问题。美国联邦政府介入后,

犹他州政府同意“超级基金计划”采用令肯尼科特公司受到公众关注的惯常作法——将肯尼科特污染场所列入“国家优先名录”。

肯尼科特公司高层认为,污染场所被列入“国家优先名录”不利于公司的持续经营,使公司和周边社区蒙受舆论压力,拖延业已进行的污染清理工作,以及增加矿山现代化所需的融资成本。这些因素促使高管最终决定通过谈判来解决污染治理问题。这是美国历史上第一家“超级基金法”的被执行人主动走近执行者,提出通过谈判,避免被列入超级基金名单。1991年,肯尼科特公司向美国环保署提交了“环境行动工作计划”,参与了美国环保署在奥克尔(Oquirrh)南区辨别和清理多个历史采矿废料堆放场所的行动(该污染由该区其他矿业公司所造成),移走了沿宾汉姆溪住宅区受尾矿中铅和砷污染的土壤。此外,还承诺加快污染清理以换取公司不被列入“国家优先名录”。

谈判从1991年夏季开始,按照美国环保署针对超级基金污染场所的惯常流程,一般由美国环保署和负责清理主体之间自愿签署,法院颁布。到1992



图2 宾汉姆清理工程简图(据参考文献⑬修改)

Fig. 2 Sketch map of Bingham pollution cleaning project

年,参与谈判的各方均已清楚地知道宾汉姆矿区污染程度十分严重,需要犹他州政府和联邦的众多机构全面合作,采取大量修复措施方能实现治理。为提高州和联邦有关机构间的沟通和工作效率,美国环保署管理者为肯尼科特修复项目设立了2个评审委员会,由犹他州环境质量处(the Utah Department of Environmental Quality, UDEQ)、犹他州自然资源处(the Utah Department of Natural Resources, UDNR)、美国鱼类和野生动物服务(物)处(the U.S. Fish and Wildlife Service, USFWS)、美国地质调查局(the U.S. Geological Survey, USGS)、美国环保署、肯尼科特公司、市民、当地官员和学者代表组成。委员们以顾问身份服务于国家环保署,作为一个机构与肯尼科特管理者和犹他州进行复杂的磋商,形成折中和富有创意的解决方案;同时,犹他州和美国环保署拥有自己的内部委员会;环境保护署副行政长官从环保署办公室挑选员工组建团队,负责与管理资源保护和恢复法案(the Resource Conservation and Recovery Act, RCRA)、紧急计划和社区知情权法案(EPCRA)及有毒物质控制法案(TSCA)的联邦机构之间的协调,预防误会,以综合方式解决水、土壤和大气污染问题。

谈判沿法律和技术2条轨道进行,技术谈判代表制定工作计划,各方律师负责法律方面的工作。由于进行谈判时尚不能确切知道污染物的性质,以及需采取的修复措施,技术谈判代表作出了4个重要决定:①开发广泛适用的污染场所标准取样和分析程序;②根据调查结果特征采用“标准修复方案”;③成立一个地方政府和公民参与修复过程的委员会;④开发一个与土地使用和居住相关的“全场所风险评估方法”。他们设计了一套流程以尽量防止冗余的研究、重复的监督责任和对正在进行的采矿作业的干扰;创建了一个基于废弃物浓度、淋滤能力、产生酸能力的决策矩阵。该矩阵对各类清理采用的办法是统一的,所有污染物都根据该矩阵进行检验,每个污染场所的修复都基于对特定场所的特征判别进行,因而作出的修复决定很少引发争议。这个由肯尼科特公司开发的修复策略后来被美国环保署提炼并吸纳成超级基金“预设修复”项目(presumptive remedies)。在犹他州、联邦和当地机构及肯尼科特公司和当地利益相关方持续努力下,最终形成了“全场所清理合理化方案”。1992年,美

国环保署、犹他州和肯尼科特公司签署了推迟“超级基金列入”的协议。谈判方面的进展也促使肯尼科特公司加速业已开展的污染整治工作,发起了“宾汉姆溪铅-砷暴露”研究,移除了大宾汉姆水库淤泥并搬迁了宾汉姆溪一号河道废石(1993年)。

虽然各方很快就如何最好地清理受污染土地的原则达成一致,但肯尼科特公司仍于1993年12月在“和解协议”最后签署前退出了谈判。这是由于当时对已有的污染程度还没有确定,应对水平和必要的修复措施也不清楚,环境的可修复性或清理修复需要的金融成本无法估算,因此,肯尼科特公司担心“和解协议”相当于一张“空白支票”,而其数额由政府机构填写。

“和解协议”谈判失败后,美国环保署重新开启了推迟一年多的“国家优先名录”列入计划,提出在1994年1月中旬将肯尼科特公司的2个污染区域(北区和南区)列入“国家优先名录”,并开始对肯尼科特公司周围居民区的潜在问题进行特征化和人类健康风险评估;而犹他州环境质量处(UDEQ)也开始对可能遭受肯尼科特公司排放影响的流域进行特征化调查。另一方面,尽管最终并没有签署“和解协议”,但美国环保署、犹他州和肯尼科特公司都同意,该协议所制定的目标、方法和决议草案基础是牢固的(除将污染场所列入“国家优先名录”外)。因此,尽管肯尼科特公司管理者反对被列入“国家优先名录”,但公司继续参与了美国环保署在奥克尔(Oquirrh)南区识别和清理多个历史上采矿废料堆放处的行动,完成了巴特菲尔德峡谷(Butterfield)废石搬迁(1994年)和宾汉姆溪二号河道废石搬迁(1995年),并承诺将继续清理污染场所。面对肯尼科特公司坚决的列入反对,也看到了其清理行为的诚信,美国环保署感到不必急于将“国家优先名录”列入计划向前推进,这个列入又搁置了一年半。

2.2 协议签署

在强烈的政治参与气氛影响下,美国环保署决定实施规模较小而不是包罗万象的“和解协议”,着手用单个“和解协议”处理肯尼科特公司污染场所的不同部分。因为单个“和解协议”只会在双方就补偿和需要执行的清理工作达成协议后才能生效,消除了肯尼科特公司对“全污染场所和解协议”要求在未知成本情况下进行难以预料的修复担忧。1995年,美国环保署、肯尼科特公司和犹他州政府

宣布就解决宾汉姆溪河道、宾汉姆溪大水库和历史采矿场所的污染达成“谅解备忘录”。这份备忘录仅覆盖了业已认定的清理项目,并同意加注上“对解决没有认定清理部分进行必要研究”的说明。其保留了未达成的“全污染场所和解协议”谈判中的所有精华,如通用的全污染场所范围内生态和人类健康风险评估、通用的修复措施、通用的质量保证议定书、标准的特征化方法、标准的社区参与和便于肯尼科特公司维持现有生产和解决资金问题的灵活时间表。美国环保署同意在肯尼科特公司完成“谅解备忘录”所要求工作的条件下不将公司列入“国家优先名录”;而在没有圆满完成清理工作时,则会列入;犹他州政府也同意参与清理工作的审查和指导。此后,肯尼科特公司继续与州政府和联邦政府及当地社区密切合作,并广泛吸纳相关当地社区及乡镇代表,地方、州和联邦的政府机构和其他实体参与,举行了多次会议,进行反复磋商和谈判,逐步就清理其他污染场地的内容和程序达成共识,最后签署了决议报告书。经过十多年的持续工作,肯尼科特公司在宾汉姆矿区南、北两区渐次开展了21个场地旧设施拆除、废矿清理及地下水、湿地和土壤清洁工作(图2)。各个场地响应行动结束和修复目标完成后,美国环保署都会进行评审并签署和解协议^⑧。

3 环境污染治理和土地复垦

3.1 南部采矿区

在面临列入“超级基金”的威胁下,肯尼科特公司从1991年开始治理宾汉姆峡谷东口几十年采矿活动形成的A区地下水羽状物,到1994年,从污染主要来源的大、小宾汉姆水库中移去了400多万吨污泥、尾矿和土壤,然后用最先进的带有泄漏检测的三重衬垫系统重建了水库,并安装了地下水监测系统;公司还对位于南乔丹河地区废弃的25个蒸发池进行了清理,挖走了超过2km²的受污染沉积物,并用石膏进行加盖;1997年,公司完成原有矿山地表水收集系统升级,并新建了东区污水收集系统,在矿石和废石堆放处的排水系统下修建了29个防渗墙,将其捆绑在基岩上,有效地收集了该区域的污染流,控制了水体的污染来源;落在矽石表面的雨水和融雪水流入串联使用的大、小宾汉姆水库中进行管理和排放,用于采矿作业;在污染严重的A区

羽状物核心区,公司修建了3个大容量水井,以每分钟2300加仑的速度抽出含高浓度重金属和硫酸的地下水,将它们与尾矿混合达到重金属稳定和中性后再循环用于生产作业,显著改善了下游地下水质。1998年,公司完成了“乔丹河谷西南地下水修复调查和可行性研究”及“生态风险评估”;移走了位于宾汉姆峡谷矿山和南乔丹之间的云雀(LARK)地区近200×10⁴t历史上采矿作业产生的含铅和砷的矽石,清理了该处一个小的天然渗漏,并修建了湿地环境研究站,用清洁土壤覆盖了2.4km²低铅砷含量尾矿,将该区建成摩托车国家公园,并重新成为野生动物栖息地;同时,公司从巴特菲尔德峡谷(Butterfield)移走了1.5×10⁴m³受污染的土壤并进行了复垦;此外,公司还在EPA清理瑞曼(Herriman)受铅污染土壤行动中,提供了4.6×10⁴m³的物质堆放空间并更换了居住地的表层土;设立了“尾矿对环境 and 人类健康的影响”研究基金;资助设立了“帮助瑞曼的土地开发”咨询服务——提供信息管理系统、审查和分析建设许可证申请业务。1999年,美国环保署颁布“宾汉姆溪河道、宾汉姆溪大水库和历史采矿场所”决议报告书及和解协议。乔丹河谷水利保护区与肯尼科特公司共同向犹他州环境质量处提交“自然资源损害”草案,包括宾汉姆矿地下水的东边淋滤和阻断墙的接收系统排放获得许可。2000年,美国环保署国家修复回溯委员会评审了“乔丹河谷西南地下水修复方案”,颁布了决议报告书。2001年美国环保署颁布了“云雀、巴特菲尔德、瑞曼和南乔丹蒸发池”项目决议报告书,次年,颁布了该项目的“和解协议”;2002年肯尼科特公司完成了“南端地下水最终修复设计”。2004年犹他州自然资源损害赔偿托管人、肯尼科特公司及乔丹河谷地区水利委员会签署协议,实施和批准为“地下水抽取和处理项目”设立信托基金,解决了犹他州政府在1990年提出的“自然资源损害赔偿”(NRD)案;协议规定肯尼科特公司在科珀顿(Copperton)镇南部修建水处理厂,用逆渗透方法处理从污染严重的A区东部边缘2口水井中抽取的地下硫酸水,处理后的优质饮用水以批发价送往乔丹谷地水利区(JVWCD),再经JVWCD配送到南乔丹、西乔丹,瑞曼和里弗顿(Riverton)流域,按每年100m³的用量(可供14000人饮用)提供40a。此外,和解协议还规定肯尼科特公司将提供资金建设和运营由JVWCD

兴建的第二座逆渗透水处理厂——西南地下水处理厂,用7口井抽取并处理污染较轻的B区地下水(仅受采矿和非采矿来源的硫酸影响),供应饮用水40a($100\text{m}^3/\text{a}$)。2006年,肯尼科特公司完成拟建2个逆渗透水处理厂中的一个。2008年,肯尼科特公司完成了EPA列出的清理南区污染所需项目,美国环保署和犹他州环境质量处(UDEQ)和肯尼科特公司最终就“南区地下水设施”签署了和解协议。

3.2 北部选冶区

在完成南区大部分清理工作后,肯尼科特公司着手北区的污染整治及与EPA和UDEQ的谈判工作。1999年公司完成北区地下水整治调查草案,2001年完成北区整治调查及可行性研究;2002年公司与EPA和UDEQ签署决议报告书,批准“肯尼科特北部污染场所清理”项目,而大部分清理工作在决议报告书签署之前已经完成^③。北区整治工程包括拆除旧工业设施、清理污水处理厂污泥池、对受选矿厂、冶炼厂和精炼厂铜矿石污染了近百年的30多处土壤点进行清理和复垦、治理北区受硒和砷污染的地下水,以及修建一座占地 $12\times 10^4\text{m}^3$ 的亚瑟(Arthur)贮藏库——由成串排列的5个约1000m长、140m宽、33m深的大坑组成,用于长期储存受污染的土壤和材料(图2)。

肯尼科特公司采取了三项措施治理北区受污染地下水:①停止受污染水流入大盐湖南岸湿地,补充新土壤并放入其他湿地地区物种,有利于恢复湿地的物种,特别是鸟类的环境;②除去土壤中的污染物,将高浓度硒土壤搬迁到亚瑟贮藏库;③在精炼厂大喷水口处修建一个采集系统和一个自流井,抽出受硒污染的地下水并转入公司工业用途。此外,公司在北区清理了堆放在凯斯勒(Kessler)峡谷下游的冶炼副产物(烟道灰尘、含高浓度砷和铅的土壤),废水处理厂5个池塘中含高砷及其他金属的污泥(这些污泥分布在不同历史时期产生于冶炼厂、精炼厂、犹他州电厂、麦格纳选矿设备的污水处理厂及污水管道中)。在被污染土壤完全清除后,修建了15个小岛屿,沿岸种植了原生湿地植物。经过5年多工作,水、土壤和湿地的昆虫年度硒测试表明,土壤和水质都有显著改善,2008年肯尼科特公司与美国鱼类和野生动物服务组织签署“北区湿地候鸟和鸟类栖息地损害赔偿”和解协议。根据该协议将公司图埃勒(Tooele)县大盐湖之滨的 $250\times$

10^4m^3 土地转入自然保护协会,用于加强和保护湿地生态。

经过整治,矿山南部超过 $400\times 10^4\text{m}^3$ 的土地重披绿装,北区的矿山尾矿池被恢复成绿色田野,栽上了草,成为牛和野生动物的家园。不同树种也被用来绿化尾矿库,如沙柳、杨树红柳。绿化后的尾矿池成为了湿地鸟类及其他动物的栖息地。由于这些项目的实施,肯尼科特公司获得了3个地球日环保奖和多个国家及国际奖项。

美国环保署最终于2008年9月正式将肯尼科特公司所属的宾汉姆矿区从潜在的超级基金“国家优先名录”中删去^[7]。

4 污染场所的重新开发和利用

在清理宾汉姆矿区南区历史上废弃的蒸发池污泥时,肯尼科特公司意识到,由于这项工作,他们在南乔丹城中(一个快速增长的盐湖城郊县)拥有了一大片可以重新使用的土地(占全县可开发地的50%)。1995年,肯尼科特管理者雇了一个顶级的规划公司评估蒸发池修复后再利用的可能性,萌发出土地综合利用的理念。同年,肯尼科特公司的母公司——力拓(Rio Tinto)管理层也开始思考可持续发展和“如何成为一个好邻居”的问题。他们要求其遍布全球的矿山经营者制定关闭计划,提出“采矿项目结束后将会发生什么”这一问题。这促使肯尼科特公司不仅要思考当下的采矿活动,也要考虑后续的清理,以及最终的重新使用。但遭受污染的土地在清理干净前不能被重新开发,且清理费用将高达数亿美元。到1996年,肯尼科特管理层确信未来30年中,盐湖谷地的大幅增长,意味着肯尼科特公司所持土地的寿命远超出矿山预期寿命。在获得力拓提供的财政和管理上的支持后,1999年专家组对肯尼科特公司持有土地的开发潜力进行了详细评估;之后对这些资产进行了总体规划。2000年初,该计划被提交外部审查。2001年,力拓成立了“肯尼科特地产公司(肯尼科特土地)”,以保护和发展非矿业用地。2003年,由肯尼科特土地和肯尼科特犹他铜业公司合作,拆除了清理南乔丹蒸发池时加固和加盖的石膏层,避免硫酸盐再次流入其地下水层。肯尼科特土地公司向美国环保署提出“将已固结的石膏污泥拆除到肯尼科特犹他铜业公司的存储库,并重新使用盖土,待拆除行

动顺利完工后由美国环保署采样核查”的工作计划。肯尼科特与南乔丹市共同努力,相互妥协,一个可持续发展和新城市主义社区的理念诞生了,这个社区最终被命名为“黎明”(Daybreak),其为环境和社会责任增长模式,反映了肯尼科特公司对环境可持续发展的承诺。这个存放了采矿污泥 50 多年的地区被归还使用,形成了 $400\times 10^4\text{m}^3$ 的绿色空间,保留了所有原地雨水,75%的建筑废料回收,比美国建筑规范要求的能效高 30%,符合美国环保署的“能源之星”的能效标准。该社区拥有 $500\times 10^4\text{m}^3$ 的停车场、休闲湖泊、行人友好的城镇中心、商店、教堂、学校和公共交通,成为犹他州特色社区。2003 年 6 月,该工程赢得了 Envision 犹他州州长优质成长奖,使之成为矿山环境治理的经典^④。

以时间为序,宾汉姆矿山治理主要事件概括如表 1。

5 经验与启示

正如美国环保署所言,肯尼科特犹他铜业公司在犹他州盐湖县实现百年采矿污染场所的清理和再利用的故事,可以作为矿业公司、联邦政府、州政府和其他相关方的榜样。他们总结其成功的经验如下^④。

(1)列入“超级基金”威胁足以促使污染场所责任公司与 EPA 在清理环境上合作,修复由他们造成的污染。

(2)与监管机构的合作,并愿意与社区领袖打交道会为污染场所责任公司赢得好信誉。经过最初的反抗期,肯尼科特管理者与监管机构合作,并遵循公司对环境清理的承诺。这使肯尼科特保持甚至提升了其社会地位,产生了好信誉。

(3)在适当的情况下,清理过程中的灵活性可以化解矛盾和及时的清理。机构在监管过程中引入了灵活性,允许作为一个超级基金替代场所进行清理。由于公司采矿作业能够继续进行,除能负担清理工作费用外,还能为水资源管理和废弃物管理提供基础设施保障,极大地降低了清理成本。而且,由于肯尼科特公司是尚在运营的公司,也确保了犹他州对其生产与维护的长期监督。

(4)一个开放的、透明的过程,能在利益相关者之间产生信任,减少重复监管。在整个清理过程中,利益相关者可以有渠道进行沟通和表达自己的诉求。联邦、州政府和当地政府官员愿意进行创新性思考,并与肯尼科特合作找到清理办法。当有部门重叠时,机构共同努力建立一个领头机构。这种方法消除混乱与重复。由于这种开放和合作的过程,当肯尼科特清理向前迈进时,当地社区或监管机构之间很少有反对意见。

(5)NPL 替代清理的进程可以节省时间和金钱。肯尼科特的管理者相信,通过避免与 NPL 列单相关联的诉讼成本,以及使用公司自己的基础设施和设备,节约了数以百万计的美元,快速解决了污

表 1 宾汉姆矿山开发与治理主要事件

Table 1 Mzjor events of the development and pollution control in Bingham Mine	
时 间	主要事件
1860s 和 1870s	各公司,包括肯内科特(Kennecott)和大西洋里奇菲尔德公司(ARCO)初步勘探和开采活动
1906	开始在宾汉姆峡谷大规模露天挖坑采矿
1920s	早期的矿工注意到排出蓝色的水来自于矿山矸石,铜含量高
1983	EPA 和 Utah 开始调查肯内科特矿业公司
1986	犹他州对肯尼科特公司提出自然资源损害索偿(NRD)
1991	外部顾问提出对肯尼科特新的、独立的环境评估,震惊了肯尼科特高管,并开始就"和解协议"进行谈判
1992	技术审查委员会成立
1993	和解协议谈判失败
1994	EPA 提出将肯内科特列入 NPL 清单
1995	肯尼科特需要执行 RI/ FS,并启动最低限度地抽取酸性羽状物,设立一个信托基金解决地下水污染
1995	三方签署了 MOU,明确了清理工作的范围
1999	黎明社区发展总体规划开始
2001	肯尼科特地产公司成立,专注于发展肯尼科特犹他铜业公司所属的土地
2003	黎明社区开始建设
2004	第一批居民搬进黎明社区
2005	黎明社区小学、中学和社区中心开张

染问题。

肯尼科特公司对受污染的南区和北区进行清理和环境修复的投入巨大:分离、挖掘、搬迁、处置和/或永久固定在原地处理了 $19 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的采矿废弃物;用卡车运送了 $4.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的清洁材料;修复、再利用或复垦了超过 13 km^2 的土地,包括约 4 km^2 新的野生动物栖息地和开放空间;种植了135000多棵树木、几百万平方米灌木、植物和草地;在约 0.4 km^2 的区域安装了近 0.47 km^2 人造内胆以使受污染的水和废弃物圈闭在储库中;使用超过 7000 m^3 的混凝土建成了防渗墙和水库溢洪道;安装了580个地下水监测井,总花费超过了4.5亿美元。但是,因为他们采用了最严格的土地使用标准(可用于居住)清理自身大部分受污染土地,重新使用的土地能够创建新的社区,而该区人口的增长反过来又增加了土地的价值,公司成为具有可再利用潜力的宝贵土地的持有者,这也进一步巩固甚至提升了公司的社会地位。最终,污染清理费用转化成为肯尼科特公司对未来盐湖城的一种投资。

中国数以千计的矿山,为国民经济建设和可持续发展提供了重要资源,但也不同程度地造成了类似宾汉姆矿山的污染问题,有的还很严重,尤其在一些矿业大省。宾汉姆矿山污染成功治理表明,受污染“棕地”若得到有效环境修复和管理,可为地方发展提供机遇,关键是不要一刀切,在保障矿山企业正常生产盈利的前提下,建设绿色矿山,杜绝产生新的污染,同时,直面历史污染,兼顾各方利益与责任,共同面对,最终达到“既要金山银山,也要绿水青山”的目的。

致谢:感谢美国地质调查局Stephen D. Ludington博士和Niki E. Wintzer博士对美国野外工作的大力支持和帮助,以及中国地质大学(北京)张家奇硕士的讨论;感谢审稿专家对论文提出的宝贵修改意见与建议。

参考文献

- [1]任海军.美设“超级基金”治理土地污染 环境经济双赢[J].环境监测管理与技术, 2012, 24(5):16.
- [2]段春霞, 孟春阳.关于美国治理污染土地超级基金制度的若干思考[J].农业考古, 2009, (6):338-340.
- [3]李冬梅.美国CERCLA对构建我国土壤污染清理、修复法律责任的启示[J].长春市委党校学报, 2011, (6):60-64.
- [4]Krahulec Ken. Race to Ore: The Beginnings of Open-Pit Copper Mining - A Century of Open-Pit Mining at Bingham Canyon[J]. Survey Notes, 2007, 39(2):1-3.
- [5]K. 斯确特卡, 芮钟英.美国肯尼科特—犹他铜业公司的宾厄姆露天铜矿[J].国外采矿技术快报, 1984, (2):8, 13.
- [6]张键元.美国宾厄姆露天铜矿考察报告[J].国外金属矿山, 1989, (10):21-28.
- [7]周聪惠.美国“超级基金”制度研究——探索污染土地修复中的用地规划协调途径[J].国际城市规划, 2013, 28(6):89-96.
- ① The Descendants of Erastus Bingham and Lucinda Gates, Ogden, Utah: Bingham Family Corp, 1970.
- ② "Bingham Canyon extension could extend life of mine to mid-2030s by moving south wall," Mining Engineering, 2010.
- ③ Kennecott Utah Copper Corporation Managing Environmental Cleanup Update, Spring, 2003.
- ④ Abandoned mine lands case study[EB/OL] (2006-06-02) [2018-08-01] <http://www.epa.gov/superfund/programs/aml/tech/>. 2006.
- ⑤ A status report on the Last Century Cleanup Program[EB/OL] (2011-12-09) [2018-08-01] http://www.kennecott.com/library/media/Final_Sept_Remediation_LoRes.pdf. 2011.
- ⑥ Kennecott Utah Copper's Bingham Canyon Mine[EB/OL] (2010-07-11) [2018-08-01] <http://www.utah.com/attractions/kennecott.htm>. Retrieved. 2010.
- ⑦ Bon R L, Krahulec K A. Utah, Mining Engineering. 2006-11-07.
- ⑧ Deutsche Bank Markets Research. 2012.
- ⑨ Steve V. "Bingham Canyon Copper: Finding Chalcopyrite at "The Richest Hole on Earth"". Rock & Gem Magazine[EB/OL] [2018-08-01] http://www.rockhounds.com/rockgem/articles/ingham_canyon.html. 2010.
- ⑩ 中华商务网.[EB/OL] (2018-08-01) <http://www.chinaccm.com>. 2003.
- ⑪ Kennecott Utah Copper Mine brochure (distributed to visitors), dated September 2009.
- ⑫ 中国选矿技术网.美国肯尼柯特铜公司犹他分公司宾厄姆铜-钼矿选矿厂实例[EB/OL] [2018-08-01] <http://www.mining120.com/tech/show-hm-itemid-18343.html>. 2008.
- ⑬ Kennecott Utah Copper Corporation (RioTinto). Reclaiming the environment from a century of mining: A status report on the Last Century Cleanup Program[EB/OL] [2018-08-01] <http://www.kennecott.com/library/LoRes.pdf>. 2011.