

Doi:10.3969/j.issn.1671-4172.2022.03.019

某山谷型非正规垃圾堆放场生态封场治理技术

吴亮亮,李昊,王琼,龚雪刚,孙伟,潘翰林

(矿冶科技集团有限公司,北京100160)

摘要:为探究山谷型非正规垃圾堆放场地封场治理技术的可行性,针对某山谷型非正规垃圾堆放场环境风险状况,并结合场地工程地质和水文地质条件,提出基于“垂直截渗+拦挡坝+堆体加固整形+渗滤液填埋气收集与导排+封场覆盖系统+生态恢复系统+监测系统”的生态封场技术方案。结果表明:1)工程实施后场地地下水氨氮、总磷、化学需氧量和重金属锰等特征因子均不超标,对周边环境的污染风险得到了有效控制;2)垃圾堆放场生态恢复效果较好,顶部平台进行景观园林设计,坡面采用浅根性植被类型,总体覆盖度达到95%以上,区域环境有了较大的改善;3)通过对非正规垃圾堆放场生态封场、垃圾筛分资源化利用、好氧加速稳定化及异地搬迁等治理技术综合比较,在场地地质条件较好、周边无环境敏感点等情况下,建议采取生态封场技术对非正规垃圾堆放场进行治理。本项目的成功实施,为我国非正规垃圾填埋场的治理提供了借鉴。

关键词:非正规垃圾堆放场;生态化封场;垂直帷幕;污染控制;治理修复

中图分类号:X799

文献标志码:A

文章编号:1671-4172(2022)03-0123-05

Ecological closure treatment technology for a valley type informal landfill

WU Liangliang, LI Hao, WANG Qiong, GONG Xuegang, SUN Wei, PAN Hanlin

(BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China)

Abstract: To explore the technical feasibility of the closure of a valley-type informal waste dump site, this paper proposes a technical plan for ecological closure based on the environmental risk status of a valley-type informal waste dump site, combined with the engineering geological and hydrogeological conditions of the site. Vertical seepage interception+blocking dam+pile reinforcement and shaping+leachate landfill gas collection and drainage+site closure and coverage system+ecological restoration system+monitoring system” engineering measures. The project implementation results show that: 1) After the implementation, the characteristic factors such as groundwater ammonia nitrogen, total phosphorus, chemical oxygen demand, and heavy metal manganese do not exceed the standard, and the pollution risk to the surrounding environment has been effectively controlled; 2) The ecological restoration effect of the garbage dump is better, landscape garden design is carried out on the top platform, and the slope surface adopts shallow root vegetation type, and the overall coverage reaches more than 95%, and the regional environment has been greatly improved; 3) Through ecological closure of informal garbage dumps, garbage disposal comprehensive comparison of treatment technologies such as screening for resource utilization, aerobic accelerated stabilization, and remote relocation. In the case of good site geological conditions and no surrounding environmentally sensitive points, it is recommended to adopt ecological closure technology to control informal waste dumps, can achieve an ideal governance effect, and the successful implementation of this project provides a reference for the governance of informal waste landfills in my country.

Key words: informal landfill; ecological site closure; vertical curtain; pollution control; remediation

收稿日期:2021-12-21

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFC1806003, 2020YFC1806503)

作者简介:吴亮亮(1985—),男,高级工程师,硕士,环境工程专业,主要从事固体废物处理处置及矿山生态修复研究。

非正规垃圾填埋场是指未经土地用地、规划、立项、环境保护等方面审批,并未按垃圾卫生填埋场建设的规范标准进行设计和建设的垃圾填埋场^[1-2]。其主要的危害包括土地资源浪费、有机

物、重金属、病原微生物多重污染、填埋气体污染、甲烷燃烧爆炸风险以及土壤、地下水污染风险^[3-4]。据统计,“十二五”期间,全国实施非正规填埋场或堆场治理项目 1 882 个,其中改造项目 503 个,原位封场项目 802 个^[1]。在已治理的非正规垃圾填埋场中,规模小于 1.0×10^5 t 的占治理总数的 59%,规模在 $1.0 \times 10^5 \sim 2.0 \times 10^5$ t 的占治理总数的 13%,规模超过 1.0×10^6 t 的仅占治理总数的 6%^[1-2]。《“十三五”全国城镇生活垃圾

无害化处理设施建设规划》中提出“对因历史原因形成的非正规生活垃圾堆放点、不达标生活垃圾处理设施以及库容饱和的填埋场进行治理,使其达到标准规范要求”^[5-6]。因此,对由于历史原因形成的大量非正规垃圾堆放场的治理迫在眉睫。

目前国内外对非正规垃圾堆放点的治理技术,分为生态封场技术、垃圾筛分资源化利用技术、好氧加速稳定化技术、异地搬迁填埋,各治理技术比较见表 1。

表 1 各治理技术综合比选表

Table 1 Comprehensive comparison and selection of various treatment technologies

项目	生态封场技术	垃圾筛分资源化利用技术	好氧加速稳定化技术	异位搬迁填埋
技术可靠性	可靠	可靠	可靠	可靠
施工难易	较易	较难	较难	较难
项目投资	投资较低	投资较高	投资较低	投资较高
处理成本/(元·t ⁻¹)	80~100	223~533	120~150	240
限制条件	垃圾堆体下游一定深度内存在不透水或者弱透水层	垃圾开挖过程中存在二次污染风险	处理周期较长	垃圾开挖过程存在二次污染风险,且距离场地所在地 80 km 范围内需有可用垃圾填埋场
对周边环境影响	无需大量开挖,对环境的影响较小	堆体开挖及搬运产生的大量粉尘、恶臭及噪音对周围环境影响很大	影响较小	堆体开挖及搬运产生的大量粉尘、恶臭及噪音对周围环境影响很大
目前应用情况	国内外广泛应用	已有类似工程	已有类似工程	已有类似工程

生态封场技术^[7-8]通过对垃圾堆体进行必要的整形和覆盖,修筑平台,构建截排水设施,对渗滤液进行收集和处理,并建设填埋气体导排系统,最终达到消除垃圾堆体的安全隐患和环境风险,但同时原位治理需要垃圾堆体区域底部存在一定厚度相对不透水或者弱透水层,下游不透水层埋深不能太深。

垃圾筛分资源化利用技术^[9]是将已有垃圾堆体开挖后利用机械设备对垃圾进行筛分,根据物料中各组分密度、颗粒大小、磁化率和光电性质等方面的差异将物料分成性质相近的若干类,例如轻质筛上物、无机骨料、腐殖土及金属等。

好氧加速稳定化技术通过在填埋堆体中埋设注气井、注液井和抽气井,将空气注入垃圾堆体,并将收集的渗滤液和其它液体回注至垃圾堆体,使堆体中的有机物在适宜的含氧量、温度、湿度条件下,经好氧微生物的作用快速降解,生成以 CO₂ 为主要成分的填埋气体,通过抽气风机从抽气井中抽出,经气水分离器后进入尾气处理设施,处理达标后排放。

异地搬迁^[10-11]是指将垃圾运至标准的生活垃圾卫生填埋场进行卫生填埋,以达到彻底消除污染的目的。

本文以某山谷型非正规垃圾堆放场生态封场治

理工程为例,分析该项目的污染特征,并对治理技术路线进行了比选,提出工程实施技术参数和要点,以期为非正规垃圾堆放场生态封场治理提供借鉴。

1 项目概况

1.1 基本概况

该非正规垃圾堆放场位于江西省德兴市,占地面积 1.25 万 m²,垃圾堆存量 12.04 万 m³,从 2004 年前后开始陆续倾倒形成,以生活垃圾为主,夹杂少量建筑垃圾、其他垃圾。垃圾堆体通过道路直接倾倒形成,高差约 40 m,边坡倾角局部可达到 60°~65°,垃圾堆体下游是某生产企业尾矿库,下游边界距离尾矿库库尾澄清水区水平距离约 100 m。

1.2 污染现状

垃圾堆放场无任何防渗、封存措施,导致填埋场周边出现明显恶臭,现场踏勘时发现垃圾堆体底部有少量渗滤液流出,渗滤液沿着沟谷流入某生产企业尾矿库库尾。

根据《场地环境调查技术导则》(HJ25.1—2019)、《生活垃圾填埋场环境监测技术要求》(GB/T18772—2017)等对垃圾堆放场地进行场地调查并取样分析:1)通过对垃圾堆周边土壤取样调

查,土壤中重金属和有机物含量等因子均满足《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600—2018)要求,说明垃圾堆未对周边土壤环境产生明显不利影响;2)通过对垃圾堆下游渗滤液取样调查,化学需氧量、氨氮、总磷、锰指标超过《污水综合排放标准》(GB 8978—2017)限值要求,分别超标0.17、0.13、8、7.75倍,说明垃圾堆放场对周边环境存在污染隐患。

1.3 水文工程地质情况

根据垃圾堆放场工程地质勘察报告,该场地处于一低山的腰部,场地区岩土层自上而下由①杂填土(生活垃圾)、②粉质黏土、③₁强风化凝灰质千枚岩、③₂中风化凝灰质千枚岩组成,现场试验揭露,①杂填土(生活垃圾)属强透水层,②粉质黏土属微透水层、③₁强风化凝灰质千枚岩属弱透水层,③₂中风化凝灰质千枚岩属微透水层。调查及区域资料未发现断裂或导水通道穿过场区分水岭,联通垃圾场外侧,场区为一小的独立水文单元,地下水及地表水径流方向主要由后缘山顶及两山脊向沟谷方向汇集,沿冲沟方面由西至东向沟谷排泄。

2 治理技术选择

本非正规垃圾堆放场地底部地质条件较好,未对周边环境造成污染,仅在沟谷方向存在扩散的可能性,综合考虑采用生态化封场技术进行治理,即采用“垂直截渗+拦挡坝+堆场覆盖封闭系统”使该垃圾堆体周围形成一个完全封闭的独立区域,阻止垃圾堆体以及其他固体废弃物产生的渗滤液以及污染物通过地下水和地表径流向下游及周围扩散,满足规范要求,并最终将垃圾堆放场建设成为绿地公园。

3 生态封场治理技术方案

3.1 垂直截渗工程

根据工勘报告,并结合场地工程地质和水文地质条件,本场地没有其他渗漏通道,唯一渗漏路径为沿场地基底向尾矿库下游入渗,场地中风化凝灰质千枚岩渗透系数达到 10^{-7} cm/s,本次设计防渗型式采用坝下垂直帷幕灌浆的形式,通过防渗帷幕深入中风化凝灰质千枚岩底层不小于2 m,以达到垂直截渗的目的。

3.2 拦挡坝建设

原非正规简易垃圾堆放场主要依靠西南和西北山体拦挡倾倒的垃圾,东面没有构筑拦挡坝进行有效拦截,未能形成有效库区,在进行原位生态封场工

程时,需在垃圾堆放场下游沟谷出口位置设置一座拦挡坝,坝下进行帷幕灌浆,形成封闭的填埋区。

拦挡坝坝顶宽度为3 m,坝高25 m,下游边坡坡比为1:2,上游边坡坡比为1:1,坝型为碾压土石坝,地下防渗帷幕通过混凝土垫层与砾石土碾压区中的HDPE土工膜防渗心墙相接。HDPE膜通过锚固槽与两岸山体连接,锚固槽深度不小于80 cm,宽度80 cm。坝基选用强风化凝灰质千枚岩为坝基持力层,清基范围至坝基轮廓线外扩2 m,地基承载力不低于300 kPa。坝肩开挖应清除表面植被层,腐殖质层,覆盖层至强风化灰质千枚岩。拦挡坝上游边坡护坡结构从下到上:4 800 g/m² GCL+1.5 mm HDPE土工膜+7 mm厚复合排水网,下游边坡结构从下到上:4 800 g/m² GCL+1.5 mm HDPE土工膜+100 mm粗砂垫层+300 mm雷诺护垫护坡。

3.3 堆体加固整形

根据封场规范要求,填埋场封场工程应评估垃圾堆体边坡稳定性,当堆体边坡坡度不符合稳定性要求时应应对垃圾堆体进行整治处理,满足1:3边坡控制值,确保垃圾堆体边坡稳定。垃圾堆体整形每隔5 m设置一个平台,平台宽度3 m,每一级堆积平台外坡坡比为1:3,整形过程中,应用推土机推平,采用专用压实机进行分层压实,分层厚度不超过0.5 m,垃圾堆体的压实密度不低于0.9 t/m³。

3.4 渗滤液收集与导排

由于非正规垃圾填埋场在建设时无渗滤液收集与导排设置,在进行原位生态封场工程时,需建设坝前收集池、碎石导排盲沟、导气石笼和渗滤液提升井,构建立体导排系统,渗滤液通过碎石导排盲沟和导气石笼汇集到坝前渗滤液收集池,再通过沿坝坡设置的DN800HDPE管内提升泵定期提升到运输车辆,运输至污水处理站处理。

坝前渗滤液收集盲沟采用梯形断面,断面尺寸为:上底宽1.6 m,下底宽1.0 m,深0.3 m。盲沟内采用粒径20~80 mm的级配碎石填充,盲沟四周用200 g/m²无纺土工布包起反滤作用。

导气石笼井不仅能够导出垃圾堆体内的垃圾气体,还可把垃圾堆体内部的大气降雨及渗滤液迅速收集,导排至导流盲沟中,垂直导气井直径1 000 mm,中间集气管采用直径200 mm的HDPE多孔花管,孔采用条缝形孔,花管四周填充Φ20~80 mm的级配砾石(卵石)。

为了保证填埋区内的渗滤液能顺利排出及防止

管道堵塞,针对本工程主要考虑运行中的可操作性和维护费用,在拦挡坝前渗滤液收集坑内设置 $\Phi 830$ mm HDPE 提升井,井内放置潜污泵,对产生的渗滤液进行外抽,并运输到水处理站进行处理。

3.5 填埋气体收集与导排

目前填埋气体综合利用的方式主要有:1)填埋气经初步净化以后送发电机组发电;2)将填埋气体作燃料供锅炉或工业窑炉使用;将填埋气体经过净化处理后,达到或接近天然气标准,再经压缩作为汽车的清洁燃料。该垃圾堆体成分种类多,产气持续量较小,如发电上网,投资更大,很难收回投资,且增加运行管理费用;若将填埋气体经净化处理后用来作为汽车燃料,净化工艺较为复杂,运行费用较高。因此,本工程不考虑填埋气体利用,对气体进行收集、排出,在堆体周围随时监测其产量、成分。

垃圾场垂直间距隔 10 m 设施垂直集气井,集气井水平间距 30~35 m,集气井深度 10 m,在垃圾层顶铺设排水网和水平集气盲沟。垂直导气井直径 1 000 mm,中间集气管采用 $\Phi 200$ mm 的 HDPE 多孔花管,孔采用条缝形孔,花管四周填充 $\Phi 20\sim 80$ mm 的级配砾石(卵石)。

3.6 封场覆盖系统

根据《生活垃圾卫生填埋场封场技术规程》(GB 51220—2017)对填埋场封场覆盖系统的相关技术要求,封场覆盖系统结构由垃圾堆体表面至顶面顺序应为:排气层、防渗层、排水层、植被层。

排气层是为了排出生活垃圾内有机质降解产生的气体,要有较高的渗透性,可采用碎石等颗粒材料或导气性较好的土工网状材料。垃圾堆体边坡宜采用土工网状材料作为排气层。本工程排气层采用碎石导排盲沟和 7 mm 厚土工复合排水网。

防渗层是封场覆盖系统中最重要的一部分,其作用是阻止雨水入渗至垃圾堆体和填埋气溢出至大气中污染环境。封场防渗层主要有以下三种形式:1)土工膜和压实黏土;2)土工膜和土工合成黏土层(GCL);3)压实黏土。本项目垃圾堆体以生活垃圾为主,还存在部分建筑垃圾,为了防止将防渗层刺破,因此本次设计采用 300 mm 压实黏土层+1.5 mm 厚 HDPE 土工膜为最终的防渗层。

排水层对于边坡稳定的影响很重要,穿过生态恢复层的雨水必须通过排水层及时从顶部排走,排水层可采用粗粒或土工排水材料,本工程排水层采用 7.0 mm 土工复合排水网。

植被层由营养植被层和覆盖土层组成,营养土

层的土质材料应利于植被生长,厚度不小于 150 mm,且必须被压实。覆盖土层由压实土层构成,渗透系数应大于 1×10^{-4} cm/s,厚度不小于 450 mm。

综上,生态封场覆盖系统结构层自下而上依次为:7 mm 土工复合排水网、300 mm 黏土垫层、1.5 mm 糙面 HDPE 土工膜、7.0 mm 土工网复合土工织物排水层、450 mm 覆盖土层、150 mm 植被土层,具体见图 1。

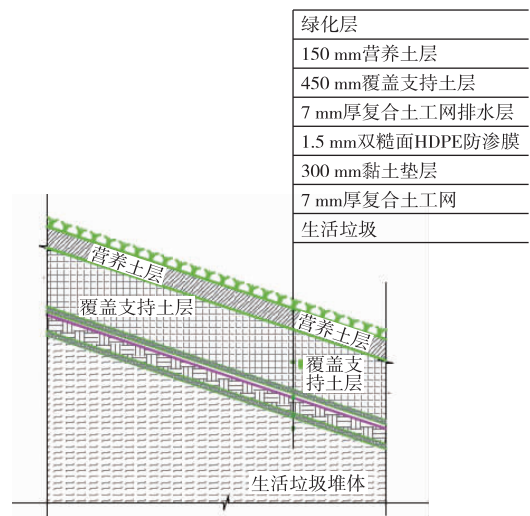


图 1 堆体覆盖系统图

Fig. 1 Reactor cover system diagram

3.7 生态恢复系统

垃圾堆放场地生态封场后一段时间内仍会继续沉降,不宜进行大体量的景观绿化设计,以免破坏覆盖层,在满足水土保持和生态恢复等要求的基础上,考虑采用多种浅根系灌木和草本植物进行综合配置,建立豆本科一年生草本植被先行,以狗牙根、田菁、黑麦草和宽叶雀稗等草本植物为主。

垃圾堆体顶部平台可进行景观设计,采用多种植物进行综合配置,建立本本科和豆本科一年生草本植被先行,快速复绿;通过植被根系微生物改良土壤,形成多层植物立体生态系统。乔灌木相结合,针叶常绿与落叶阔叶植物、一年生与多年生植物相结合,形成四季常绿植被景观。

3.8 监测系统

本工程需要加强对场址所在区域的地下水的检测,根据场区地下水的流向,分别布设地下水监测本底井 1 座、扩散井 2 座、监测井 1 座,监测项目主要包括: pH、BOD₅、COD_{Cr}、SS、DO、NH₃-N、TKN、TP、TK、氮化物、细菌总数、大肠菌值。启用后的第一年枯、丰、平水期各取样一次,第二年以后枯、丰水

期各取样一次。

4 结论

1)工程实施后地下水监测数据表明:氨氮、总磷、化学需氧量和重金属锰等特征因子均不超标,对周边环境的污染风险得到了有效控制。

2)垃圾堆放场生态恢复效果较好,顶部平台进行景观园林设计,坡面采用浅根性植被类型,总体覆盖度达到95%以上,区域环境有了较大的改善。

3)通过对非正规垃圾堆放场生态封场、垃圾筛分资源化利用、好氧加速稳定化及异地搬迁等治理技术综合比较,在场地质条件较好、周边无环境敏感点等情况下,建议采取生态封场技术对非正规垃圾堆放场进行治理,通过“垂直截渗+拦挡坝+堆体加固整形+渗滤液填埋气收集与导排+封场覆盖系统+生态恢复系统+监测系统”工艺方案达到治理效果。本项目的成功实施,为我国非正规垃圾填埋场治理提供了借鉴。

参 考 文 献

- [1] 缪周伟. 土壤污染防治背景下的非正规垃圾填埋场治理——市场、技术发展趋势及典型案例[J]. 环境卫生工程, 2019, 27(2):36-40, 44.
MIAO Zhouwei. Treatment of informal landfill under the background of soil pollution prevention and control: Market, technology development trend and typical case analysis[J]. Environmental Sanitation Engineering, 2019, 27(2):36-40, 44.
- [2] 余毅. 某大型非正规垃圾填埋场环境调查与风险管控方案[J]. 环境卫生工程, 2019, 27(3):72-75, 80.
YU Yi. Environmental investigation and risk control for a large informal landfill[J]. Environmental Sanitation Engineering, 2019, 27(3):72-75, 80.
- [3] 张良, 罗成明, 张龙, 等. 非正规垃圾堆放点陈腐垃圾分选与无害化处理——以福州市某垃圾场为例[J]. 绿色科技, 2021, 23(18):153-158.
ZHANG Liang, LUO Chengming, ZHANG Long, et al. Sorting and harmless treatment of stale waste in informal waste dump: Taking a waste dump in Fuzhou as an example[J]. Green Technology, 2021, 23(18):153-158.
- [4] 张宪奇, 殷勤, 年跃刚, 等. 北方干旱地区非正规垃圾填埋场堆体特征及环境影响分析[J]. 环境工程技术学报, 2021, 11(6):1210-1216.
ZHANG Xianqi, YIN Qin, NIAN Yuegang, et al. Characteristics and environmental impact analysis of informal landfill in arid areas of North China[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2021, 11(6):1210-1216.
- [5] 王磊. 生态封场技术在非正规垃圾堆放场治理中的应用[J]. 节能与环保, 2021(3):83-84.
WANG Lei. Application of ecological closure technology in the treatment of informal waste dump[J]. Energy Conservation and Environmental Protection, 2021(3):83-84.
- [6] 龙智勇, 周洋, 王妙, 等. 非正规垃圾填埋场治理修复工程分析[J]. 节能与环保, 2020(6):100-101.
LONG Zhiyong, ZHOU Yang, WANG Miao, et al. Analysis on treatment and restoration engineering of informal landfill[J]. Energy Conservation and Environmental Protection, 2020(6):100-101.
- [7] 曹占强. 非正规垃圾填埋场及治理技术浅议[J]. 广东化工, 2020, 47(4):137-139.
CAO Zhanqiang. Discussion on informal landfill and treatment technology[J]. Guangdong Chemical Industry, 2020, 47(4):137-139.
- [8] 黎箭. 垃圾填埋场的治理与利用研究——以虎尾山垃圾填埋场治理为例[J]. 科学技术创新, 2020(5):182-183.
LI Jian. Study on treatment and utilization of landfill: Taking the treatment of Huwei mountain landfill as an example[J]. Science and Technology Innovation, 2020(5):182-183.
- [9] 李伶俐, 宋永刚, 刘建平. 某简易垃圾填埋场封场工程设计要点[J]. 市政技术, 2019, 37(4):215-217.
LI Lingli, SONG Yonggang, LIU Jianping. Key design points of a simple landfill site closure project[J]. Municipal Technology, 2019, 37(4):215-217.
- [10] 侯成林, 唐行鹏, 田娇. 陈腐生活垃圾处理处置工程设计实例[J]. 环境工程, 2016, 34(1):96-99.
HOU Chenglin, TANG Xingpeng, TIAN Jiao. Design practice of stale domestic waste treatment and disposal engineering[J]. Environmental Engineering, 2016, 34(1):96-99.
- [11] 彭刚, 白兵, 邓兵. 简易垃圾场原位封场综合治理工程方案实例[J]. 节能与环保, 2019(3):64-65.
PENG Gang, BAI Bing, DENG Bing. Example of comprehensive treatment project scheme of in-situ closure of simple waste dump[J]. Energy Conservation and Environmental Protection, 2019(3):64-65.

(编辑:周叶)