

垃圾卫生填埋中的一些岩土工程技术

卢应发^{1,2}, 陈朱蕾³, 谢文良¹, 吕志中³

(1. 华中科技大学土木工程与力学学院, 武汉 430074; 2. 三峡库区地质灾害教育部重点实验室(三峡大学), 湖北宜昌 443002;
3. 华中科技大学环境科学与工程学院, 武汉 430074)

摘 要: 随着国民经济的高速发展, 环境科学已引起广大学者的高度重视, 其中垃圾卫生填埋是环境科学的重要研究内容, 是一项综合性的研究课题。从垃圾填埋场地质材料和垃圾本身的力学特性出发, 结合某市垃圾卫生处理场实例对垃圾卫生填埋场中的一些岩土工程技术进行了分析。

关键词: 垃圾卫生填埋, 垃圾坝, 稳定性, 土工防渗, 污水处理

中图分类号: TU455 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-3152(2008)05-0021-04

1 前言

随着我国经济的高速发展, 人们的物质生活水平不断提高, 各种不同的垃圾也大量产生, 垃圾处理研究显得非常必要, 其中, 垃圾卫生填埋是国内外广泛采用的一种固体废弃物处理技术^[1~3]。我国在八十年代中期, 就开始研究垃圾填埋处置技术, 特别是近十年来, 其研究日新月异。

本文对某垃圾卫生填埋场设计中的岩土工程技术问题进行了阐述和分析, 它包括填埋场安全稳定性问题、场区内防渗问题、排水排气问题以及污水处理问题四个方面。

2 卫生填埋场实践

现以某市垃圾处理工程为例, 探讨垃圾填埋中相关的一些土工技术问题。该垃圾填埋场地为山谷型填埋场, 场区的基本地质情况如下: 根据现场钻探及试验资料, 地基土除局部人工填土外, 均为第四系上更新统冲洪积层(Q_3^{al+pl})和中更新统冲洪积层(Q_2^{al+pl}), 下伏基岩为上第三系粘土岩。场区地下水主要为上层滞水, 主要赋存于岗地坳谷土层中, 中更新统粘土下覆第三系粘土岩为相对隔水层。场地地形高差 18 m, 地貌类型较单一; 地层结构较简单, 主要持力层分布连续, 厚度较稳定, 物理力学性质较均

匀, 力学强度较高, 在勘察深度范围内无采空区和岩溶, 地面无塌陷、滑坡及泥石流等不良地质现象分布。

该垃圾填埋场平面布置图如图 1, 场区共布置了 3 座垃圾坝, 防渗工程包括场底防渗和周边防渗, 另外还设置了排水排气和渗滤液处理系统等。

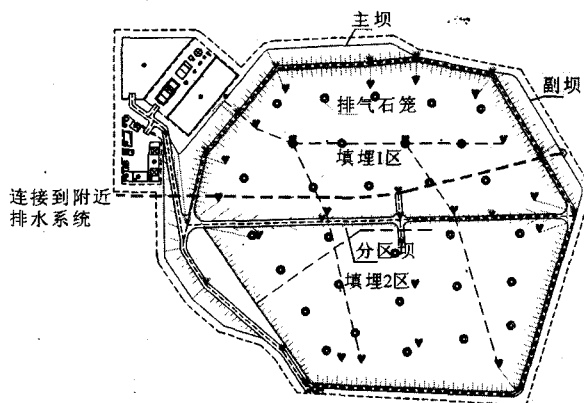


图 1 某市垃圾填埋场平面布置图

2.1 垃圾坝稳定性分析与设计

垃圾坝含库区主坝、副坝及分区坝共计三座(见图 1)。各垃圾坝平面位置直接根据库区地形确定, 而坝高的确定则应考虑三个因素: 一是保证垃圾坝的稳定; 二是要形成较大的垃圾填埋库容, 并可调节渗滤液的流出量; 三是在提高坝高增加库容的同时, 也需进行投资的合理性分析, 即两者之间的优化分析。

收稿日期: 2007-11-23

基金项目: 教育部重点项目 206097, 湖北省重大项目 Z200613001, 教育部留学基金 20061023。

作者简介: 卢应发, 男, 1964 年生, 1986 年毕业于西安交通大学工程力学系应用力学专业, 2002 年毕业于法国里尔科技大学土木工程系, 获博士学位, 现为教授, 博士生导师, 楚天学者, 主要从事岩土力学及路基工程的教学和科研工作。

西侧垃圾主坝坝高 8 m,全长 332 m,以粘土分层碾压夯实而成,坡比为 1 : 2.5;行车坝段的路面为混凝土路面,宽度为 6.0 m;其余坝段为泥结碎石路面,宽度为 4.0 m。东北角垃圾副坝坝高 8 m,全长 155 m,以粘土分层碾压夯实而成,坡比为 1 : 2.5,宽度为 4.0 m。中间分区坝坝高从 8.0 m 过渡到 1.0 m,全长 399.2 m,中间设置下场平台,供车辆卸载使用,坝体以粘土分层碾压夯实而成,坡比为 1 : 2。下场平台前一段为临时行车路面,拟用泥结碎石修筑,宽度为 6.0 m,起到分区与行车作用;其余分区坝段宽度为 4.0 m,只起分区作用。临时道路随垃圾填埋进站进度由建筑垃圾或钢板(循环使用)铺设,使用期不长,随着封场而废弃。

各坝稳定性分析采用瑞典法,假定滑裂面为圆弧形,在计算安全系数时,简单地将条块重量向滑面法线方向分解来求得法向力。所不同的是,垃圾坝稳定性计算的是多相介质(粘土和垃圾),且要考虑水的影响和汽车荷载,典型计算剖面见图 2。场区粘土和垃圾的物理力学参数见表 1。

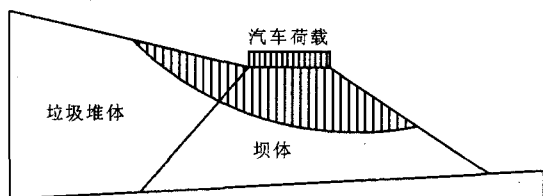


图 2 典型垃圾坝稳定性计算分析图

表 1 计算参数表

设计参数	重度 $\gamma(\text{kN}/\text{m}^3)$	粘聚力 $c(\text{kPa})$	内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$
粘土	27.3	12.5	17
垃圾	10	0.0	18

通过上述计算,各土坝稳定性系数大于安全系数 1.30(50 年设计年限)的要求,该土坝设计符合稳定性要求。

2.2 防渗工程

防渗工程是垃圾填埋最主要和最重要的部分,也是与岩土工程紧密相关的内容,分为场底防渗和周边防渗,该垃圾填埋场布置如下:

场底防渗:在场底平整压实后,先铺设 300 mm 厚的压实粘土层,在其上铺设 4500 g/m² 的 GCL 膨润土毯作为膜下防渗保护层,上铺 1.5 mm 厚的 HDPE 膜防渗层,防渗膜之上铺设由 500 g/m² 土工布和排水片材构成的保护层,之上为 300 mm 厚的渗滤液导流层,导流层包括粒径为 15 mm~30

mm 的 200 mm 厚的卵石层和 100 mm 厚的粗砂层,其上为 150 g/m² 土工布防堵塞隔层,在此之上为垃圾堆埋体。填埋场区场底防渗结构见图 3。

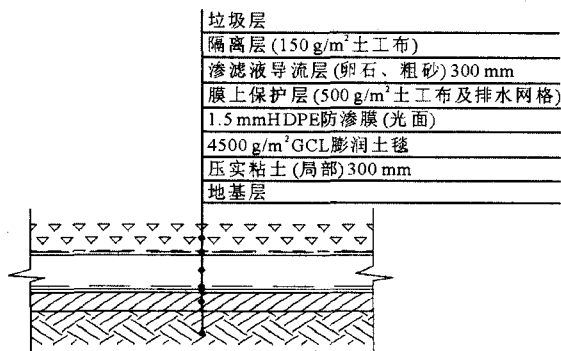


图 3 填埋场区场底防渗结构图

周边防渗:在周边设宽 3 m 的平台,布设防渗膜(HDPE 膜)的锚固沟。铺设在周边的 HDPE 防渗膜与场底防渗膜应连成整体,并在周边 HDPE 防渗膜之上设置缓冲保护层,该缓冲保护层由废旧轮胎或者素土袋组成,以防止防渗膜被垃圾中的尖利物刺破。

填埋场周边防渗结构由下至上依次为:平整后地基基础,4500 g/m² 的 GCL 膜下保护层,1.5 mm 厚 HDPE 膜防渗层,500 g/m² 土工布保护层,素土袋或废旧汽车轮胎缓冲保护层,垃圾堆埋体。详细结构见图 4。

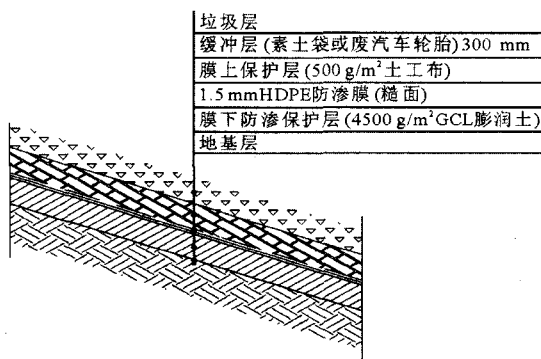


图 4 填埋场区周边防渗结构图

为了保证防渗系统的稳定,库区周围设环库的膜锚固沟,起稳定膜的作用并兼做截洪沟。整个防渗体系的计算,采用的是一般渗流计算,未考虑非饱和及污水不同渗流特性的影响。

2.3 排水、排气方案

(1)填埋场库区采用雨污分流进行排水。雨污分流有利于减少垃圾渗滤液产生量、降低垃圾渗滤液的处理费用。该设计中采取的主要措施有:

①分区填埋,根据场区地形,本工程填埋库区分

为两区,从位于高处的二区最南端开始填埋;处于低处的雨水自流至分区坝和垃圾主坝流出,雨水不经处理。

②单个作业区域填埋作业时,通过导流坝将已填埋库区与未填埋库区隔开,最大限度地实现雨污分流。

③当垃圾填埋高出地面后,在进行垃圾填埋层中间覆盖时,使覆盖面表面形成向四周排水的坡度,坡度大于2%,并于其上加铺1 mm厚HDPE膜,在长时间不填埋垃圾时雨水可从中间层表面径流至填埋场外。不能及时覆土的作业面,采用0.5 mm厚的土工膜,临时覆盖以减少雨水的入渗。

④库区封场后表面排水沟沿着垃圾堆体马道布置,雨水根据不同堆体位置分别排入永久截洪沟。

⑤在垃圾库区周围设置永久截洪沟,雨水通过截洪沟排入下游冲沟。

⑥副坝低洼处产生的积水通过地下涵管导流出场区。

(2)填埋场气体处理(LFG)的控制方式有主动控制和被动控制两种:本项目拟采用被动控制系统,即在LFG主要气体大量产生时,为其提供高渗透性的通道,使气体沿设计的方向流动。填埋气收集系统可采用水平收集系统、垂直收集系统及垂直与水平相结合的收集系统。根据本填埋场的特点,采用垂直与水平相结合的收集方式。为了使填埋场能安全、稳定地运行,在填埋库区内每隔50 m设置一垂直导气石笼井,共30个。导气井中部设置 $\Phi 250$ 混凝土穿孔导气管,管外用铅丝网围成 $\Phi 1500$ 的网笼,管与网笼之间填充50 mm~120 mm粒径的碎石。石笼外围铺150 g/m²土工布反滤层。导气石笼井的初期施工高度为2 m,随着垃圾堆体的不断增高,导气石笼井也随之安装加高,要求高出填埋作业面1 m左右。

LFG的最终排放有两种方式:分散排放和分区集中排放。分散排放是在每个竖向石笼中部(接近最终覆盖层处)设置一根 $\Phi 250$ 混凝土导气管,排气口高于最终覆盖层1.0 m;分区集中排放是在覆盖层下面设置数条水平导气带(或管),将若干垂直石笼连通起来,形成一个集气区,并设一个排气管,将该区域内的填埋气体集中排放。根据实际情况,拟采用分区集中排放。因本工程填埋规模小,产气量小,利用价值低,不进行回收利用,沼气处理方案采用场外直接燃烧处理。填埋气体经集中收集后通过金属软管引到场外燃烧塔进行燃烧处理。燃烧塔设置压力控制装置和自动点火装置,当填埋气体压强

达到设定数值后通过自动点火装置对LFG进行燃烧处理。

2.4 渗滤液处理

本工程对渗滤液采用物化处理,即MBR+UF+NF处理工艺方案。渗滤液经生化预处理后,进入MBR反应器,通过超滤膜分离净化水和菌体,污泥回流可使生化反应器中的生物浓度达到20 g/L,经过不断驯化形成的微生物菌群,对渗滤液中难以生物降解的有机物逐步降解。MBR生化系统COD设计去除率90%,NH₃-N设计去除率99%。采用特殊设计的高效内循环射流曝气系统,氧利用率可高达25%。MBR的剩余污泥量小,每天排泥量按不同运行期(前、中、后)为50 m³/d~110 m³/d。MBR出水无菌体和悬浮物,进入纳滤系统进一步处理,出水稳定,达标排放,浓缩液则回灌至填埋场。纳滤系统采用特殊纳滤膜和工艺设计,可使盐随净化水排出,不会出现盐富集现象,纳滤净化水回收率可达到85%。纳滤浓缩液量3.7 m³/h,为节省投资及运行费用可将浓缩液回灌至填埋场处置。采用该工艺处理渗滤液,适应性强,能确保不同季节不同水质条件下,出水稳定达标。在国外大量工程实例中发现,即使对于BOD/COD小于0.2的老填埋场渗滤液,经过MBR与纳滤后也能使COD、BOD和NH₄-N达标排放。主要特点:反应器体系中生物浓度高,达到20 g/L,对难以生物降解的有机物及氨氮的去除效率高;污泥稳定性强,粘度低,易脱水,不易腐败变质;出水不存在致病菌污染问题。

3 结论

垃圾卫生填埋工程除污水处理之外,基本上是和岩土工程相关的,填埋工程中存在的岩土工程问题和相应的处理对策如下:

(1)垃圾体是一种特殊的材料,它的物理力学特性和岩土体的物理力学特性具有相似性,同时它又具有固体→液体→气体→热→化学等耦合体物理力学特性。

(2)垃圾坝稳定性分析是垃圾体、水和坝体的综合研究课题。

(3)防渗体系研究对垃圾填埋、核废料处置等至关重要,本文提出的多层防渗体系,对一些重要工程具有指导作用。

(4)渗滤液采用生物塘处理,在严格的雨污分流条件下,根据气候条件,准确计算蒸发量,可以获得较为真实的渗滤液处理量,对工程建设等具有指导

作用。

对于垃圾填埋场,目前尚有许多未解决的问题有待我们进行深入的研究。

参 考 文 献

- [1] 第八届全国人民代表大会第十六次常委会. 中华人民共和国固体废物污染环境防治法, 1996
- [2] 张澄博. 垃圾卫生填埋结构对地质环境效应的控制研究[J]. 地质灾害与环境保护, 1999, 10 (增刊)
- [3] 顾宝和. 固体废弃物处理的环境岩土工程问题[J]. 工程地质学报, 2001, 9(4)
- [4] 刘长礼. 适合国情的垃圾填埋场衬垫系统[J]. 工程地质学报, 2000, 8(1)
- [5] 梅其岳等. 山谷型填埋场及堆体边坡稳定分析[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(3)
- [6] 陈卫国. 城市垃圾卫生填埋场填埋区的设计讨论[J]. 国外建材科技, 2006, 27(4)
- [7] 钱学德等. 城市固体废弃物(MSW)的工程性质[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(5)
- [8] 陈云敏等. 城市垃圾填埋场边坡稳定分析[J]. 土木工程学报, 2000, (3)
- [9] 张振营等. 城市生活垃圾土性参数的室内试验研究[J]. 岩土工程学报, 2000, (1)
- [10] 张颖新, 张天胜. 改性膨润土及其在环保方面的应用[J]. 化工新型材料, 2002, 30(4)

Some Technologies of Geotechnical Engineering in Solid Waste Landfill

LU Ying fa^{1,2}, CHEN Zhu lei³, XIE Wen liang¹, LV Zhi zhong³

(1. School of Civil Eng. & Mechanics, HUST, Wuhan 430074; 2. Key Laboratory of the Ministry of Education for the Geological Hazards of the Three Gorges Reservoir Area, China Three Gorges Univ., Yichang 443002; 3. School of Envir. Sci. & Eng., HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract With the high speed development of national economy, the environmental science is paid more attention, in which the solid waste landfill is one of the most important studies. From geological materials of landfill and mechanics of waste, some technologies of geotechnical engineering in solid waste landfill is analyzed, combined with the urban solid waste landfill as an example.

Key words solid waste landfill, waste dam, stability, seepage by geo-textile, sewage disposal