

前 言

根据住房城乡建设部《关于印发〈2016 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标函〔2015〕274 号)的要求,标准编制组经广泛调查研究、认真总结实践经验,参考有关国际标准和国内外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制了本标准。

本标准的主要技术内容是:总则、术语和符号、基本规定、填埋场稳定、填埋场沉降、填埋场污染阻隔、填埋场安全监测与预警等。

本标准由住房城乡建设部负责管理。

本标准主编单位:浙江大学(地址:浙江省杭州市余杭塘路 866 号浙江大学紫金港校区安中大楼 A425 室,邮政编码:310058)

本标准参编单位:上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司

上海环境卫生工程设计院有限公司

中国市政工程华北设计研究总院有限公司

中国市政工程中南设计研究总院有限公司

北京市勘察设计院有限公司

中国瑞林工程技术股份有限公司

中国城市建设研究院有限公司

浙江大学建筑设计研究院有限公司

同济大学

浙江理工大学

杭州市环境集团有限公司

深圳市下坪环境园

苏州市环境卫生管理处
西安市固体废弃物处置中心
上海老港废弃物处置有限公司
成都市城市管理科学研究所
北京环境工程技术有限公司
中节能大地环境修复有限公司
北京高能时代环境技术股份有限公司
杭州城工科技发展有限公司

本标准主要起草人员:陈云敏 詹良通 谢海建 兰吉武
李育超 柯 瀚 林伟岸 王艳明
邱清文 韩正平 范毅雄 韩 华
袁永强 苏红玉 叶 剑 冯世进
张振营 李俊超 徐文杰 张 帅
陈延博 李 鹤 唐素琴 罗 鹏
朱水元 史 炜 周海燕 张发闯
郭婧婷 元妙新 齐长青 杨海本
本标准主要审查人员:王复明 陈朱蕾 王克虹 刘松玉
何品晶 吴文伟 周宏磊 史东晓
吴健萍 屈志云 王保军

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	基本规定	(6)
4	填埋场稳定	(9)
4.1	一般规定	(9)
4.2	垃圾抗剪强度指标	(10)
4.3	土工材料界面抗剪强度指标	(11)
4.4	填埋场边坡稳定验算	(12)
4.5	垃圾坝稳定验算	(13)
4.6	渗沥液诱发堆体边坡失稳控制	(13)
4.7	填埋气诱发堆体边坡失稳控制	(14)
5	填埋场沉降	(17)
5.1	一般规定	(17)
5.2	垃圾堆体沉降计算	(17)
5.3	填埋量计算及填埋场增容	(20)
5.4	填埋库区设施不均匀沉降验算和控制	(22)
6	填埋场污染阻隔	(25)
6.1	一般规定	(25)
6.2	水平衬里设计	(26)
6.3	垂直阻隔设计	(28)
6.4	土质覆盖层设计	(32)
6.5	防污垂直阻隔墙施工及质量控制	(34)

6.6 压实黏土层施工及质量控制	(37)
7 填埋场安全监测与预警	(39)
7.1 一般规定	(39)
7.2 渗沥液液位监测与预警	(40)
7.3 填埋场气压监测与预警	(40)
7.4 堆体变形监测与预警	(41)
7.5 垃圾坝变形监测与预警	(42)
7.6 填埋场在线监测	(42)
附录 A 垃圾堆体边坡抗滑稳定计算	(44)
附录 B 作用于垃圾坝的土压力计算	(47)
附录 C 填埋场单位时间理论产气量计算	(50)
附录 D 水平衬里击穿时间计算	(52)
附录 E 干旱及半干旱地区毛细阻滞型土质覆盖层储水层 厚度计算	(58)
本标准用词说明	(60)
引用标准名录	(61)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(6)
4	Landfill stability	(9)
4.1	General requirements	(9)
4.2	Shear strength parameters of municipal solid wastes	(10)
4.3	Interface shear strength parameters between geotechnical materials	(11)
4.4	Landfill slope stability analysis	(12)
4.5	Landfill dam stability analysis	(13)
4.6	Control of leachate-induced landfill slope failure	(13)
4.7	Control of gas-induced landfill slope failure	(14)
5	Landfill settlement	(17)
5.1	General requirements	(17)
5.2	Calculation of landfill settlement	(17)
5.3	Calculation of landfill storage capacity and capacity enlargement	(20)
5.4	Calculation and control for differential settlement of landfill facilities	(22)
6	Landfill barriers	(25)
6.1	General requirements	(25)
6.2	Design of basal liners	(26)

6.3	Design of vertical barriers	(28)
6.4	Design of soil covers	(32)
6.5	Construction and quality control for vertical barriers	(34)
6.6	Construction and quality control for compacted clay liners	(37)
7	Monitoring and early warning for safety of landfills	(39)
7.1	General requirements	(39)
7.2	Monitoring of leachate level and early warning	(40)
7.3	Monitoring of landfill gas pressure and early warning	(40)
7.4	Monitoring of landfill deformation and early warning	(41)
7.5	Monitoring of deformation of landfill dam and early warning	(42)
7.6	Real-time monitoring of landfill	(42)
Appendix A	Calculations of landfill slope stability	(44)
Appendix B	Calculations of earth pressure acting on landfill dam	(47)
Appendix C	Calculations of landfill gas generation rate	(50)
Appendix D	Calculations of breakthrough time for basal liners	(52)
Appendix E	Calculations of thickness of capillary barrier soil covers in arid and semi-arid areas	(58)
	Explanation of wording in this standard	(60)
	List of quoted standards	(61)

1 总 则

1.0.1 为防止填埋场发生失稳滑坡、填埋气爆炸和火灾,控制渗沥液污染地下水土,保障生活垃圾卫生填埋场安全,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于生活垃圾卫生填埋场新建、改建、扩建工程和填埋场治理工程的岩土工程勘察、设计、施工及安全监测。

1.0.3 生活垃圾卫生填埋场的岩土工程勘察、设计、施工及安全监测除应符合本标准规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 渗沥液导流层水头 leachate head in leachate drainage layer

以导流层底面为基准面,导流层内渗沥液压力对应的水头。

2.1.2 垃圾堆体主液位 main leachate level

在填埋场底部低渗透性层以上渗沥液积聚形成的整体连续饱和区液位。

2.1.3 垃圾堆体滞液位 perched leachate level

在垃圾堆体内部低渗透层以上渗沥液积聚形成的局部连续饱和区的液位。

2.1.4 中间水平导排盲沟 intermediate horizontal drainage trench

在填埋至一定高度的堆体表面挖沟槽建设、利用重力流导排其上部堆体所产生渗沥液的设施。

2.1.5 全寿命服役 life-cycle service

填埋场各系统能在运行期、封场至垃圾稳定化期的全寿命周期中有效服役。

2.1.6 阻隔系统 barrier system

填埋场中用以控制渗沥液渗漏、填埋气逸散、降雨入渗和地下水渗流的屏障系统,主要包括水平衬里、垂直阻隔墙和封场覆盖层。

2.1.7 击穿时间 breakthrough time

渗沥液污染物通过水平衬里或垂直阻隔墙进入含水层的浓度达到地下水质量标准限值所需的时间。

2.1.8 天然衰减层 natural attenuation layer

位于人工水平衬里下部,由未经扰动天然土体构成的渗透系数不大于 $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 的天然土层。

2.1.9 双层复合衬里 double composite liner

由两层复合衬里组成,且在上层复合衬里上方和两层复合衬里之间均设置渗沥液导流层的防渗结构。

2.1.10 主压缩 primary compression

生活垃圾在上覆应力作用下短时间内产生的压缩变形。

2.1.11 次压缩 secondary compression

主压缩完成后,因垃圾随时间降解和蠕变产生的压缩变形。

2.1.12 填埋场增容率 expansion ratio of landfill storage capacity

填埋过程中垃圾压缩带来的库区填埋量增长率。

2.1.13 土工材料界面 interfaces between geotechnical materials

人工复合衬里中相邻土工材料之间的界面。

2.1.14 界面峰值抗剪强度 peak shear strength of interfaces

具有应变软化特性的土工材料界面所具有的最大抗剪强度值。

2.1.15 界面残余抗剪强度 residual shear strength of interfaces

土工材料界面的抗剪强度随变形量增大达到峰值后,逐渐软化后的最低值。

2.1.16 渗沥液警戒液位 early-warning leachate level

垃圾堆体中渗沥液液位升高至堆体有失稳风险时的液位。

2.1.17 中间衬里系统 intermediate liner system

在填埋场扩建过程中以老垃圾堆体为基层的水平衬里。

2.2 符 号

2.2.1 填埋场稳定:

C_g —— 填埋场单位时间填埋气收集量；
 c' —— 垃圾的有效黏聚力；
 F_s —— 边坡稳定安全系数；
 ΔH —— 垃圾堆体高度；
 h_m —— 垃圾堆体主液位与垃圾坝顶面的高差；
 h_p —— 渗沥液滞液位高度；
 k_R —— 快速降解物质的产气速率常数；
 k_S —— 慢速降解物质的产气速率常数；
 L_{R0} —— 单位质量垃圾中快速降解物质的理论产气量；
 L_{S0} —— 单位质量垃圾中慢速降解物质的理论产气量；
 Q_g —— 填埋场单位时间理论产气量；
 u —— 孔隙水压力；
 φ' —— 垃圾的有效内摩擦角；
 η —— 填埋气收集率；
 ρ —— 填埋气压监测点上覆垃圾密度；
 τ_f —— 垃圾的抗剪强度。

2.2.2 填埋场沉降：

C_c —— 填埋垃圾主压缩指数；
 d_s —— 填埋垃圾平均颗粒比重；
 e_0 —— 填埋垃圾初始孔隙比；
 H —— 垃圾的填埋厚度；
 Q_m —— 填埋场平均单位库容填埋量；
 S —— 垃圾堆体沉降；
 ΔS —— 相邻沉降点的沉降差；
 S_p —— 垃圾的主压缩量；
 S_s —— 垃圾的次压缩量；
 t_w —— 垃圾的填埋龄期；
 V —— 填埋场的几何库容；
 W —— 填埋场的总填埋量；

- w —— 填埋垃圾质量含水率；
 δ —— 填埋场增容率；
 ϵ —— 沉降后两个相邻沉降点之间的拉伸应变；
 γ —— 填埋垃圾容重。

2.2.3 填埋场污染阻隔：

- c_0 —— 防污垂直阻隔墙靠近填埋体一侧的地下水污染物浓度；
 c_f —— 防污垂直阻隔墙远离填埋体一侧的地下水污染物浓度；
 D_h —— 水动力弥散系数；
 d_b —— 防污垂直阻隔墙的厚度；
 h_w —— 导流层水头；
 k —— 渗透系数；
 L_c —— 储水层的设计厚度；
 L_g —— 土工膜厚度；
 L_s —— 土工膜下方压实黏土衬里或 GCL 的厚度；
 P —— 土压力；
 P_g —— 土工膜渗透率；
 P_u —— 多年平均降水量；
 R_b —— 防污垂直阻隔墙墙体材料对污染物的阻滞因子；
 t_b —— 污染物击穿时间；
 v_a —— 土体中孔隙水的达西流速；
 θ_c —— 土体的体积含水量。

3 基本规定

3.0.1 填埋场岩土工程安全等级应根据垃圾堆体高度划分,并符合表 3.0.1 的规定。当出现下列情况时,安全等级应提高一级:

- 1 垃圾堆体失稳将使下游重要城镇、文物建筑、企业或交通干线遭受严重灾害;
- 2 填埋场地基为软弱土或其他特殊土且可能引起严重灾害;
- 3 山谷型填埋库区底面顺坡向坡度大于或等于 10° 。

表 3.0.1 填埋场岩土工程安全等级

安全等级	堆体高度(m)
一级	$\Delta H \geq 60$
二级	$30 \leq \Delta H < 60$
三级	$\Delta H < 30$

注:山谷型填埋场的堆体高度是以垃圾坝底部为基准的高度,平原型填埋场的堆体高度是指以原始地面为基准的高度。

3.0.2 根据填埋场底天然地基防污性能、地下水位等水文地质条件的不同,填埋场渗沥液污染地下水与土壤的风险等级划分应符合表 3.0.2 的规定。

表 3.0.2 填埋场渗沥液污染地下水与土壤的风险等级

风险等级	等级划分标准
高	天然衰减层不完整或厚度小于 1m,或常年最高地下水位距离防渗层底部小于 1m 且下卧第一含水层单位涌水量大于 $1.0\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m})$
中	除被判定为高风险等级和低风险等级以外的工况
低	天然衰减层完整,且厚度大于或等于 3m、常年最高地下水位距离防渗层底部大于或等于 1m 和下卧第一含水层单位涌水量小于 $0.1\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m})$

3.0.3 填埋场的岩土工程选址和勘察应符合下列规定：

1 新建填埋场宜选择场址稳定性高、渗沥液污染地下水和土壤风险等级低、满足大型集约化填埋要求的场址；

2 既有填埋场的扩建或治理工程设计前，应对垃圾堆体、填埋场设施、周边环境的现状进行勘察与调查。

3.0.4 新建与扩建填埋场的岩土工程设计应符合下列规定：

1 应根据填埋场岩土工程安全等级进行垃圾堆体和垃圾坝稳定性验算，确定垃圾坝的结构型式，并进行垃圾堆体高度和坡比设计；

2 应进行填埋场地基和垃圾堆体沉降计算，并应对渗沥液导排系统、中间衬里、封场覆盖层、填埋气收集管线等进行沉降验算与抗不均匀沉降设计；

3 应根据填埋场渗沥液污染地下水和土壤的风险等级，确定渗沥液污染阻隔结构型式，并进行全寿命服役设计。

3.0.5 新建与扩建填埋场的岩土工程施工应符合下列规定：

1 对填埋场天然边坡或地基进行开挖、堆载等施工时应保证安全、防止边坡坍塌和地基失稳等灾害，必要时应采取支挡或加固等措施；

2 压实黏土防渗层和垂直阻隔墙施工过程中应进行防渗性能检测；

3 施工过程中应做好已铺设压实黏土、土工膜、钠基膨润土防水毯等衬里层的保护，填埋垃圾前应对土工膜进行漏洞检测和修补。

3.0.6 填埋场运行和封场阶段的岩土工程安全与变形控制应符合下列规定：

1 应根据填埋场的岩土工程安全等级，对垃圾堆体和垃圾坝进行稳定安全监测与预警，控制堆体中渗沥液液位低于警戒液位，并控制堆体中填埋气压力低于警戒气压；

2 应根据填埋场的岩土工程安全等级，对渗沥液导排系统、

中间衬里、封场覆盖层、填埋气收集管线等填埋场设施进行沉降监测,控制不均匀沉降对设施服役性能的影响。

3.0.7 填埋场治理工程应采用垂直阻隔墙、封场覆盖等措施进行渗沥液和填埋气污染控制,当填埋场水平衬里渗漏或无水平衬里造成土壤和地下水污染时,应设置防污垂直阻隔墙控制污染扩散。

3.0.8 当填埋场治理工程需开挖垃圾堆体时,应采取稳定安全控制措施,并应符合下列规定:

1 填埋场堆体开挖前应评估填埋垃圾降解稳定化程度,对于稳定化程度低的填埋场,应对垃圾堆体采取降低渗沥液液位、注入空气等加速稳定化处理措施;

2 填埋场堆体开挖前应验算开挖边坡的稳定性,确定渗沥液警戒液位和安全开挖坡度;

3 填埋场堆体开挖过程中应监测堆体渗沥液液位和位移,应控制堆体中渗沥液液位低于警戒液位。

4 填埋场稳定

4.1 一般规定

4.1.1 填埋场稳定应满足边坡稳定验算的要求,需要验算的边坡类型应包括垃圾堆体、垃圾坝、封场覆盖系统以及其他可能出现失稳隐患的边坡。

4.1.2 垃圾堆体边坡稳定验算应根据其工作状态、作用力出现的概率和持续时间的长短分为下列三种运用条件:

1 正常运用条件为填埋场运行期间或封场后,经常发生或长时间持续的情况且渗沥液液位处于正常水位;

2 非常运用条件Ⅰ为遭遇强降雨等引起渗沥液液位短时显著上升;

3 非常运用条件Ⅱ为正常运用条件下遭遇地震。

4.1.3 填埋场垃圾堆体边坡与垃圾坝边坡稳定验算所得的抗滑稳定最小安全系数应符合表 4.1.3 的规定。当垃圾堆体边坡安全等级为一级且符合本标准第 3.0.1 条中的提级条件时,安全系数应根据表 4.1.3 相应的安全系数提高 5%。

表 4.1.3 填埋场堆体边坡与垃圾坝边坡的抗滑稳定最小安全系数

运用条件	安全等级		
	一级	二级	三级
正常运用条件	1.35	1.30	1.25
非常运用条件Ⅰ	1.30	1.25	1.20
非常运用条件Ⅱ	1.15	1.10	1.05

注:除垃圾堆体边坡与垃圾坝边坡外的其他类型边坡的安全系数控制标准应符合国家现行标准的有关规定。

4.1.4 垃圾堆体边坡的抗滑稳定最小安全系数应根据垃圾抗剪强度指标和土工材料界面抗剪强度指标进行计算。

4.1.5 填埋场运行期间与封场阶段应采取措施防止由于渗沥液液位或填埋气压过高引起的垃圾堆体失稳。

4.2 垃圾抗剪强度指标

4.2.1 垃圾的抗剪强度宜按下式计算：

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \varphi' \quad (4.2.1)$$

式中： τ_f ——垃圾的抗剪强度(kPa)；

σ ——法向总应力(kPa)；

u ——孔隙水压力(kPa)；

c' ——垃圾的有效黏聚力(kPa)；

φ' ——垃圾的有效内摩擦角(°)。

4.2.2 垃圾抗剪强度指标确定方法应符合下列规定：

1 对于岩土工程安全等级为一级的填埋场，垃圾抗剪强度指标宜采用现场试验、室内三轴试验、室内直剪试验等试验方法确定；

2 对于岩土工程安全等级为二级或三级的填埋场，垃圾抗剪强度指标可采用工程类比、反演分析等方法确定。

4.2.3 垃圾抗剪强度试验时，试验所施加的应力范围应根据垃圾堆体的实际受力水平确定，试样宜采用现场钻孔取样或人工配制试样，试验方法应符合下列规定：

1 采用慢速直剪试验时，试样的直径或短边长不宜小于30cm；

2 采用三轴固结剪切试验时，试样直径不宜小于10cm。

4.2.4 对垃圾堆体边坡进行稳定验算时，垃圾抗剪强度指标值确定应符合下列规定：

1 静力稳定验算时，宜选用10%破坏应变对应的垃圾抗剪强度指标值；

2 抗震稳定验算时,宜选用 15%破坏应变对应的垃圾抗剪强度指标值。

4.3 土工材料界面抗剪强度指标

4.3.1 土工材料的界面抗剪强度指标确定方法应符合下列规定:

1 当填埋场安全等级为一级时,土工材料界面抗剪强度指标宜采用大尺寸界面直剪试验、斜坡试验等试验方法确定;

2 当填埋场安全等级为二级或三级时,土工材料界面抗剪强度指标可按工程类比法确定。

4.3.2 土工材料界面的抗剪强度指标应包括峰值抗剪强度指标和残余抗剪强度指标。稳定验算时,复合衬里中土工材料界面抗剪强度指标取值宜符合下列规定:

1 宜取最小峰值抗剪强度界面对应的抗剪强度指标值,库区基底坡度大于或等于 10° 区域宜采用残余抗剪强度指标,库区基底坡度小于 10° 区域宜采用峰值抗剪强度指标。

2 峰值抗剪强度宜按下式计算:

$$\tau_p = c'_p + (\sigma - u) \tan \varphi'_p \quad (4.3.2-1)$$

式中: τ_p ——土工材料的界面峰值抗剪强度(kPa);

c'_p ——土工材料的界面峰值抗剪强度对应的有效黏聚力(kPa);

φ'_p ——土工材料的界面峰值抗剪强度对应的有效摩擦角($^\circ$)。

3 残余抗剪强度宜按下式计算:

$$\tau_r = c'_r + (\sigma - u) \tan \varphi'_r \quad (4.3.2-2)$$

式中: τ_r ——土工材料的界面残余抗剪强度(kPa);

c'_r ——土工材料的界面残余抗剪强度对应的有效黏聚力(kPa);

φ'_r ——土工材料的界面残余抗剪强度对应的有效摩擦角($^\circ$)。

4.3.3 试样应采用在填埋场工程中实际使用的土工材料,试样平面尺寸不宜小于 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$,试验所施加的应力范围应根据土工材料界面的实际受力水平确定。

4.4 填埋场边坡稳定验算

4.4.1 填埋库区垃圾堆体边坡稳定验算应符合下列规定:

1 应验算每填高 20m 后垃圾堆体边坡和封场后垃圾堆体边坡的抗滑稳定最小安全系数,验算剖面应依据场底地形、堆体形状以及垃圾坝布置等进行选取;

2 应验算的破坏模式包括通过垃圾堆体内部的滑动破坏、通过垃圾堆体内部与下卧地基的滑动破坏和部分或全部沿土工材料界面的滑动破坏;

3 应根据本标准附录 A 采用摩根斯顿-普赖斯法验算,抗滑稳定最小安全系数应符合本标准第 4.1.3 条的规定;

4 应确定每填高 20m 后垃圾堆体边坡和封场后垃圾堆体边坡的渗沥液警戒液位,其所对应的抗滑稳定最小安全系数应按本标准表 4.1.3 中规定的非常运用条件 I 确定。

4.4.2 封场覆盖层的稳定验算宜采用无限长边坡稳定分析法,验算无渗透水流和完全饱和有渗流时的抗滑稳定最小安全系数,并应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的相关规定。

4.4.3 垃圾堆体边坡抗震稳定验算应符合下列规定:

1 设计地震水平加速度 $0.1g$ 及其以上地区,应对安全等级为一级和二级的填埋场垃圾堆体边坡进行抗震稳定验算;

2 设计地震水平加速度 $0.2g$ 及其以上地区,应对安全等级为三级及以上的填埋场垃圾堆体边坡进行抗震稳定验算;

3 设计地震水平加速度 $0.1g$ 时宜采用拟静力法,设计地震水平加速度 $0.1g$ 以上时宜采用有限元时程分析法。

4.5 垃圾坝稳定验算

4.5.1 垃圾坝稳定验算应符合下列规定：

1 碾压式土石垃圾坝应进行垃圾坝边坡稳定性、坝体应力和坝地基承载力验算，垃圾坝边坡的抗滑稳定最小安全系数宜按本标准第 4.1.3 条的规定取值，坝体应力和坝地基承载力的验算方法应按现行行业标准《碾压式土石坝设计规范》SL 274 的有关规定执行；

2 砌石垃圾坝应进行坝体抗滑稳定、坝体应力和坝地基承载力验算，验算方法应按现行行业标准《砌石坝设计规范》SL 25 的有关规定执行；

3 混凝土垃圾坝应进行坝体抗滑稳定、坝体应力和坝地基承载力验算，验算方法应按现行行业标准《混凝土重力坝设计规范》SL 319 的有关规定执行。

4.5.2 垃圾坝稳定验算时应计算垃圾堆体作用于垃圾坝的土压力，并应符合下列规定：

1 坝后土压力和水压力应采用水土分算法计算，并应根据填埋场可能出现的最不利情况取值；

2 坝后土压力应计算垃圾堆体作用于垃圾坝的整体土压力和局部土压力，并应取两者的较大值；

3 垃圾堆体作用于垃圾坝的土压力宜按本标准附录 B 的方法计算；

4 坝后水压力应按坝后水位与坝顶面齐平的工况计算。

4.5.3 垃圾坝的地基稳定性不足或沉降过大时，应进行加固处理。

4.6 渗沥液诱发堆体边坡失稳控制

4.6.1 当垃圾堆体中渗沥液液位接近或超出警戒液位时，或垃圾堆体水平位移速率超出警戒值时，应采取强制降低堆体中渗沥液

液位的应急措施,在滑移区及周边打设小口径竖井抽排渗沥液,或建设顺坡向盲沟导排渗沥液。

4.6.2 当填埋场场底渗沥液导流层难以控制垃圾堆体中液位低于警戒液位时,应在垃圾堆体中增设中间水平导排盲沟、大口径抽排竖井、顺坡向盲沟,或后置水平井等长期水位控制措施。

4.6.3 小口径竖井宜采用压缩空气抽排渗沥液,大口径竖井宜采用气动泵抽排渗沥液,当采用电动泵时,应采取防爆措施。

4.6.4 中间水平导排盲沟设计坡度应根据沉降计算结果确定,沉降后的排水坡度不应小于 2%。

4.6.5 在竖井和盲沟施工过程中应采取防止塌方、火灾、爆炸、中毒等安全事故的措施。

4.7 填埋气诱发堆体边坡失稳控制

4.7.1 对于正在运行或填埋龄期低于 2 年的垃圾堆体,应控制填埋气诱发堆体边坡失稳,并符合表 4.7.1 的规定。

表 4.7.1 填埋气压力与收集率控制要求

安全等级	控制要求
一级	填埋气压力小于 $0.60\rho gh_a$ 且填埋气收集率大于 85%
二级	填埋气压力小于 $0.65\rho gh_a$ 或填埋气收集率大于 80%
三级	填埋气压力小于 $0.70\rho gh_a$ 或填埋气收集率大于 70%

注:1 填埋气压力通过现场监测获得;

2 h_a 为填埋气压力监测点埋置深度, ρ 为填埋气压力监测点上覆垃圾密度, g 为重力加速度。

4.7.2 填埋气收集率计算应符合下列规定:

1 运行资料齐全的填埋场应按下式计算:

$$\eta = \frac{C_g}{Q_g} \quad (4.7.2-1)$$

式中: η ——填埋气收集率(%);

C_g ——填埋场投运后第 n 个月的单位时间填埋气实际收集量

(m³/月)；

Q_g —— 填埋场投运后第 n 个月的单位时间理论产气量(m³/月)，宜按本标准附录 C 规定的方法计算。

2 缺乏运行资料的填埋场宜按下列公式计算：

$$\eta = \min\left(1 - \sum_j \alpha_j - \xi, \beta'\right) \quad (4.7.2-2)$$

$$\beta' = \frac{Q_c}{Q_g} \quad (4.7.2-3)$$

式中： α_j —— 与建设和运行情况相关的填埋气收集率折减系数，宜按表 4.7.2-1 确定；

ξ —— 与渗沥液液位相关的填埋气收集率折减系数，宜按表 4.7.2-2 确定；

β' —— 根据填埋气输送设施与处理利用设施能力确定的填埋气收集率，按式(4.7.2-3)计算；

Q_c —— 填埋气输送设施或处理利用设施的能力(m³/月)，取二者中较小值。

表 4.7.2-1 与建设和运行情况相关的填埋气收集率折减系数

折减系数	影响因素	取值
α_1	填埋作业不规范、压实程度不足	5%~10%
α_2	作业裸露区域面积较大	5%~10%
α_3	覆盖质量较差	20%~40%
α_4	抽排竖井、水平导气井等集气设施效果不佳	15%~20%

表 4.7.2-2 与渗沥液液位相关的填埋气收集率折减系数

渗沥液滞液位高度(h_p)/滞液位底面以上垃圾堆体的高度(ΔH)	折减系数 ξ
$h_p/\Delta H \leq 0.4$	0~10%
$0.4 < h_p/\Delta H \leq 0.8$	10%~30%
$h_p/\Delta H > 0.8$	25%~40%

4.7.3 当不满足本标准第 4.7.1 条的规定时，应采取措施提高填

埋气收集率,并应符合下列规定:

1 当垃圾堆体部分区域暂时不填埋作业时,应采取密闭措施,宜采用 HDPE 膜覆盖堆体,并在 HDPE 膜下设置水平集气井;

2 当垃圾堆体中填埋气积聚区域的渗沥液液位接近或超过警戒液位时,应设置兼有渗沥液抽排和填埋气收集功能的大口径抽排竖井;

3 当膜下水平集气井中的气压为正值时,应采取措施提高填埋气集气站的抽气能力和输送管路的输气能力。

5 填埋场沉降

5.1 一般规定

5.1.1 对堆高超过 20m 的新建和扩建填埋场计算填埋量和使用年限时,应考虑垃圾堆体沉降的影响。

5.1.2 当填埋场位于高压缩地基上或填埋场竖向扩建时,应验算基层的沉降和不均匀沉降,评估其对渗沥液导流层、水平衬里、填埋气收集管线等设施服役性能的影响。地基沉降计算方法应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定执行。

5.1.3 填埋场封场设计时,应验算堆体沉降和不均匀沉降,评估其对封场覆盖层、地表水导排沟渠等设施服役性能的影响。

5.1.4 当填埋库区填埋气收集管线、水平衬里等设施的沉降量过大时,应采取地基处理、提高堆体压实度等控制措施。

5.2 垃圾堆体沉降计算

5.2.1 垃圾堆体沉降应采用分层总和法(图 5.2.1)按下式计算:

$$S = \sum_{i=1}^n (S_{pi} + S_{si}) \quad (5.2.1)$$

式中: S ——垃圾堆体沉降(m);

n ——垃圾分层总数,分层厚度宜为 2m~5m,堆体内液位面应作为分层界面;

S_{pi} ——第 i 层垃圾的主压缩量(m);

S_{si} ——第 i 层垃圾的次压

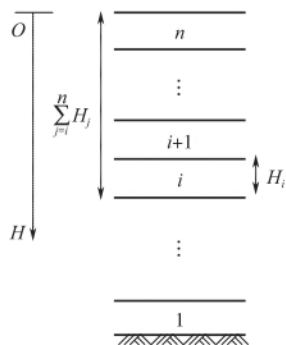


图 5.2.1 垃圾分层示意图

缩量(m)。

5.2.2 第 i 层垃圾的主压缩量应按下列公式计算：

$$S_{pi} = H_{pi} \frac{C_c}{1 + e_0} \lg \left(\frac{\sigma'_i}{\sigma_0} \right) \quad (5.2.2-1)$$

$$C_c = \frac{e_0 - e_1}{\lg(1000/\sigma_0)} \quad (5.2.2-2)$$

$$e_0 = \frac{d_s \gamma_w}{(1 - \tau_w) \gamma_0} - 1 \quad (5.2.2-3)$$

式中： H_{pi} ——不计压缩时第 i 层垃圾的初始埋厚度(m)；

σ_0 ——埋垃圾前期固结应力(kPa)，可由试验确定，无试验数据时取 30kPa；

σ'_i ——第 i 层垃圾所受的上覆有效应力(kPa)，即第 i 层及以上垃圾有效自重应力；

C_c ——埋垃圾主压缩指数，可由室内大尺寸新鲜垃圾压缩试验测定，无试验数据时，主压缩指数可按式(5.2.2-2)计算；

e_1 ——在 1000kPa 压力下垃圾孔隙比，无试验数据时取 0.8~1.2，有机质含量高的垃圾取高值；

e_0 ——埋垃圾初始孔隙比，按式(5.2.2-3)计算；

τ_w ——埋垃圾初始质量含水率(%)，无试验数据时湿润地区宜取 50%~60%、半湿润地区宜取 40%~50%、干旱地区宜取 30%~40%；

d_s ——埋垃圾平均颗粒比重，可将垃圾各组分的颗粒比重按重量含量加权平均计算或现场取样采用虹吸筒法测定，无试验数据时，垃圾颗粒比重可取 1.6~2.2，有机质含量高的垃圾宜取低值；

γ_w ——水容重(kN/m³)，可取 9.8kN/m³；

γ_0 ——埋垃圾初始容重(kN/m³)，压实程度不良时宜为 5kN/m³~7kN/m³，压实程度中等时宜为 7kN/m³~

9kN/m³, 压实程度良好时宜为 9kN/m³~12kN/m³。

5.2.3 垃圾次压缩量(图 5.2.3)应按下列公式计算:

$$S_{si} = H_{pi} \epsilon_{dc}(\sigma'_i)(1 - e^{-ct_{wi}}) \quad (5.2.3-1)$$

$$\epsilon_{dc}(\sigma'_i) = \begin{cases} \epsilon_{dc}(\sigma_0) & (\sigma'_i \leq \sigma_0) \\ \epsilon_{dc}(\sigma_0) - \frac{C_c - C_{c\infty}}{1 + e_0} (\sigma'_i - \sigma_0) & (\sigma'_i > \sigma_0) \end{cases} \quad (5.2.3-2)$$

式中: $\epsilon_{dc}(\sigma'_i)$ ——上覆应力 σ'_i 长期作用下垃圾总的次压缩应变;

$\epsilon_{dc}(\sigma_0)$ ——前期固结应力 σ_0 长期作用下垃圾总的次压缩应变, 宜采用室内压缩试验测定, 无试验数据时宜取 20%~30%, 有机质含量高的垃圾取高值;

$C_{c\infty}$ ——完全降解垃圾的主压缩指数, 宜采用室内压缩试验确定, 无试验数据时可取 $0.15(1 + e_0)$;

c ——降解压缩速率(1/月), 宜取 0.005/月~0.015/月, 有机质含量高的垃圾及降解环境适宜时取高值;

t_{wi} ——第 i 层垃圾的填埋龄期(月)。

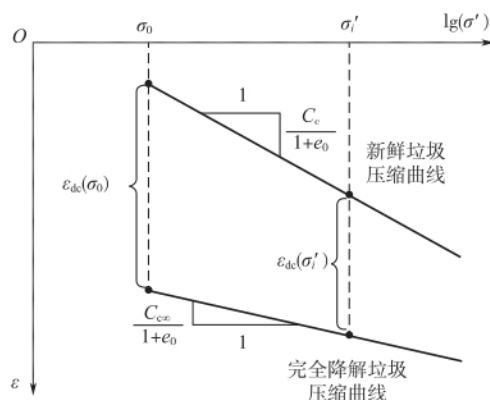


图 5.2.3 新鲜垃圾与完全降解垃圾的压缩曲线

5.2.4 第 i 层垃圾的上覆有效应力应按下列公式计算：

$$\sigma'_i = \sum_{j=i}^n \gamma_j H_{pj} \quad (5.2.4-1)$$

$$\gamma_j = \begin{cases} \gamma_0 + \frac{13.5 - \gamma_0}{30} D_j & (D_j \leq 30) \\ 13.5 + 0.1(D_j - 30) & (D_j \geq 30) \end{cases} \quad (5.2.4-2)$$

式中： H_{pj} ——压缩后第 j 层垃圾厚度(m)，当 $j=i$ 时厚度取半值；

γ_j ——第 j 层垃圾有效容重(kN/m^3)，宜现场钻取大直径试样测定。无试验数据时，水位以上垃圾可按式(5.2.4-2)计算，水位以下垃圾应取浮容重；

D_j ——第 j 层垃圾埋深(m)。

5.3 填埋量计算及填埋场增容

5.3.1 填埋场的填埋量计算应考虑填埋过程垃圾压缩量，填埋场初步设计时可选择表格估算法计算填埋量，当对填埋量计算精度要求较高时宜采用沉降法。

1 沉降法应按下列公式计算：

$$W = \sum_{i=1}^{n_r} \left(A_i \sum_{j=1}^{m_i} \gamma_0 H_{pij} \right) \quad (5.3.1-1)$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} (H_{pij} - S_{ij}) = H_{ei} \quad (5.3.1-2)$$

$$H_{ei} = \frac{V'_i}{A_i} \quad (5.3.1-3)$$

$$V' = \sum_{i=1}^{n_r} V'_i \quad (5.3.1-4)$$

$$Q_m = \frac{W}{V'} \quad (5.3.1-5)$$

式中： W ——填埋场的总填埋量(t)；

- n_r —— 填埋场被划分的区域总数；
- A_i —— 区域 i 的平面面积(m^2)；
- m_i —— 区域 i 分层填埋的总层数；
- H_{ei} —— 区域 i 堆体的平均设计有效填埋高度(m)；
- H_{pij} —— 不计压缩时区域 i 第 j 层垃圾的初始填埋厚度(m)，在给定设计有效填埋高度后，通过反演计算确定；
- S_{ij} —— 区域 i 填埋至 H_{ei} 高度时第 j 层垃圾的压缩量(m)，按本标准第 5.2.2 条、第 5.2.3 条的规定计算第 j 层垃圾的主压缩量与次压缩量，取二者之和；
- V_i' —— 区域 i 的有效几何库容(m^3)，为填埋库容扣除防渗系统、中间覆盖层及封场覆盖系统所占库容后的剩余库容；
- V' —— 填埋场的有效几何库容(m^3)；
- Q_m —— 填埋场平均单位库容填埋量(t/m^3)。

2 估算法应按式计算：

$$W = Q_m V' \quad (5.3.1-6)$$

式中， Q_m 通过查表 5.3.1 获得，压实程度高、堆填时间长的垃圾宜取大值。

表 5.3.1 考虑填埋过程垃圾压缩的平均单位库容填埋量(t/m^3)

设计有效填埋高度 H_{e0} (m)	20	40	60	80	100
利于降解	0.95~1.24	1.06~1.44	1.16~1.54	1.21~1.62	1.26~1.70
一般条件	0.82~1.06	0.93~1.15	1.03~1.24	1.12~1.30	1.21~1.35

5.3.2 填埋场增容率应按式计算：

$$\delta = \left(\frac{Q_m g}{\gamma_0} - 1 \right) \times 100\% \quad (5.3.2)$$

式中： δ ——填埋场增容率(%)；

g ——重力加速度,常取值为 9.8m/s^2 。

5.3.3 填埋场运行期间应降低渗沥液液位和加速垃圾降解,以加快垃圾堆体沉降和稳定、增加填埋量和减少封场后沉降量。

5.4 填埋库区设施不均匀沉降验算和控制

5.4.1 填埋库区下列设施应进行不均匀沉降验算:

- 1 高压压缩地基上垃圾堆体底部渗沥液导流层和水平衬里;
- 2 竖向扩建填埋库区的中间衬里系统和中间渗沥液导流层;
- 3 封场覆盖层、地表水导排沟渠等。

5.4.2 填埋库区设施不均匀沉降验算应沿若干条选定的沉降线进行,沉降线应沿填埋库区设施走向布置,并应布置在下列位置:

- 1 填埋场底部高程或表面高程显著变化的位置;
- 2 填埋场基层下存在回填土、污泥等;
- 3 两个相邻填埋分区交界线附近。

5.4.3 填埋库区设施沉降线上的沉降点布置应符合下列规定:

- 1 宜均匀布置;
- 2 沉降点间距不宜大于 20m ,总数不宜少于 5 个;
- 3 复杂地形处应增加沉降点。

5.4.4 填埋库区设施两个相邻沉降点(图 5.4.4 中的 A 点与 B 点)之间的沉降差和最终坡度宜按下列公式计算:

$$\tan\alpha_{\text{Fnl}} = \frac{X \cdot \tan\alpha_{\text{Int}} - \Delta S}{X} \quad (5.4.4-1)$$

$$\tan\alpha_{\text{Int}} = \frac{h_A - h_B}{X} \quad (5.4.4-2)$$

$$\Delta S = S_A - S_B \quad (5.4.4-3)$$

式中: ΔS ——相邻沉降点 A 与 B 的沉降差(m);

S_A ——沉降点 A 的沉降量(m);

S_B ——沉降点 B 的沉降量(m);

α_{Fnl} ——沉降后相邻沉降点 A 与 B 之间的最终坡角($^\circ$);

- α_{Int} ——相邻沉降点 A 与 B 之间的初始坡角($^{\circ}$);
 h_A ——沉降点 A 的海拔高度(m);
 h_B ——沉降点 B 的海拔高度(m);
 X ——相邻沉降点 A 与 B 之间的水平距离(m)。

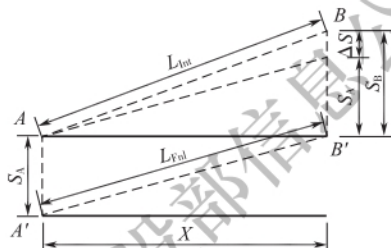


图 5.4.4 两个相邻沉降点计算示意图

5.4.5 沉降后两个相邻沉降点之间的拉伸应变宜按下列公式计算:

$$\epsilon = \frac{L_{\text{Fnl}} - L_{\text{Int}}}{L_{\text{Int}}} \times 100\% \quad (5.4.5-1)$$

$$L_{\text{Int}} = (X^2 + X^2 \cdot \tan^2 \alpha_{\text{Int}})^{1/2} \quad (5.4.5-2)$$

$$L_{\text{Fnl}} = [X^2 + (X \cdot \tan \alpha_{\text{Int}} - \Delta S)^2]^{1/2} \quad (5.4.5-3)$$

式中: ϵ ——沉降后两个相邻沉降点之间的拉伸应变(%);

L_{Int} ——两个相邻沉降点之间的初始距离(m);

L_{Fnl} ——沉降后两个相邻沉降点之间的最终距离(m)。

5.4.6 土工膜由不均匀沉降引起的拉伸应变应小于其允许应变特征值。

5.4.7 库区设施设计时应计算下卧地基或垃圾堆体的不均匀沉降,最终沉降完成时的导排管、中间衬里系统及封场覆盖系统的坡度宜符合下列规定:

- 1 底部渗沥液导排管的最终坡度不宜小于 1%;
- 2 地下水导排管的最终坡度不宜小于 1%;

- 3 垃圾堆体内渗沥液导排管的最终坡度不宜小于1%；
 - 4 堆体表面的填埋气收集管线在运行期间坡度不宜小于1%；
 - 5 封场覆盖系统的最终坡度不宜小于2%。
- 5.4.8** 填埋库区设施抵抗不均匀沉降控制措施应符合下列规定：
- 1 抽排竖井井底与场底水平衬里的距离不宜小于5m；
 - 2 堆体内部和表面的管路宜采用高密度聚乙烯管材，不均匀沉降过大处宜采用柔性连接；
 - 3 堆体表面的输气主管与支管应保证在运行期间坡度不小于1%，宜在每根管道最低点处设排水装置，当发现折断或悬空情况应及时修复。
- 5.4.9** 当填埋场地基沉降导致底部渗沥液导流层的坡度和水平衬里拉伸应变不符合本标准第5.4.6条及第5.4.7条的规定时，应对地基进行处理。
- 5.4.10** 当垃圾堆体分区填埋时，应控制填埋分区界面处的不均匀沉降，分区界面处应重点压实。
- 5.4.11** 填埋场改扩建工程的中间衬里系统设计应进行沉降和不均匀沉降验算，并应符合下列规定：
- 1 应通过基层堆体地形构建及标高设计减少不均匀沉降；
 - 2 中间衬里系统防渗膜宜采用线性低密度聚乙烯土工膜；
 - 3 宜设置土工格栅加筋层抵抗下卧堆体的局部沉陷。
- 5.4.12** 垃圾堆体表面应设置沉降监测设施。

6 填埋场污染阻隔

6.1 一般规定

6.1.1 填埋场应设置全寿命服役的渗沥液污染阻隔系统,并应符合下列规定:

1 在填埋场全寿命服役期内应控制阻隔系统出流污染物浓度符合现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 的规定;

2 阻隔系统被渗沥液污染物的击穿时间不应小于填埋场运行时间与封场后垃圾稳定化所需时间之和;

3 人工材料的服役寿命应大于阻隔系统的击穿时间。

6.1.2 当导流层水头不能控制在 30cm 以内时,水平衬里结构应按本标准的技术要求执行。

6.1.3 既有填埋场水平衬里渗漏或无水平衬里造成土壤和地下水污染,或者周边存在受填埋气地下迁移影响且不能拆除的建(构)筑物时,应设置防污垂直阻隔墙。

6.1.4 当地下水导排系统无法控制填埋区地下水水位与水平衬里底部的距离不小于 1m,或需调控填埋场地下水渗流路径及渗流量时,应设置防渗垂直阻隔墙。

6.1.5 填埋场封场覆盖层结构型式应符合现行国家标准《生活垃圾处理处置工程项目规范》GB 55012 和《生活垃圾卫生填埋场封场技术规范》GB 51220 中的有关规定,对于干旱和半干旱气候区填埋场斜坡区域,宜选用毛细阻滞型土质覆盖层,对于湿润气候区填埋场斜坡区域,可选用复合防渗型土质覆盖层。

6.1.6 渗沥液污染阻隔系统设计前应进行场地勘察,查明场地填埋场渗沥液污染土壤与地下水的风险等级,渗沥液污染负荷,基岩裂隙发育、风化带、断层与破碎带,地下水流向与水力梯度,地下水

水质,承压含水层水头,地形和地基稳定性,地下水污染的水平范围、深度及程度等。

6.1.7 水平衬里、垂直阻隔墙和封场覆盖层施工过程中及竣工后应进行质量检测,服役期间应进行阻隔效果监测。

6.2 水平衬里设计

6.2.1 水平衬里结构设计前应查明填埋场场底天然衰减层厚度、地下水位及含水层涌水量,并应按本标准第 3.0.2 条确定填埋场渗沥液污染地下水与土壤的风险等级。

6.2.2 水平衬里结构应包括渗沥液导流层与防渗层,水平衬里结构设计及击穿时间验算应符合下列规定:

1 渗沥液导流层应在全寿命周期内有效控制渗沥液水头,导流水头宜根据填埋场不同服役阶段渗沥液产量和导流层导排能力确定;

2 防渗层应采用 HDPE 土工膜和黏性土层组成的复合结构,防渗层被污染物击穿时间宜按本标准附录 D 验算,并应符合本标准第 6.1.1 条的规定。

6.2.3 当填埋场地渗沥液污染地下水和土壤的风险等级划分为高风险或垃圾堆体高度超过 30m 时,水平衬里应采用双层复合衬里结构(图 6.2.3),其结构组成由下至上应符合下列规定:

1 压实黏土层饱和渗透系数不应大于 1.0×10^{-7} cm/s,厚度不应小于 75cm。

2 第一层土工膜应采用 HDPE 土工膜,厚度不应小于 2mm。

3 膜上保护层宜采用聚丙烯或聚乙烯非织造土工布,规格不宜小于 600g/m^2 。

4 渗沥液检测导流层宜采用粒径 20mm~60mm 的卵石或砾石硬质材料,细料含量不大于 1%,碳酸钙含量不大于 5%,初始渗透系数不小于 1.0×10^{-3} m/s,厚度不小于 30cm;可采用具有相当导流能力的土工复合排水网,厚度不小于 8mm。

- 5 反滤层应采用非织造土工布,规格不宜小于 $200\text{g}/\text{m}^2$ 。
- 6 压实黏土层饱和渗透系数不应大于 $1.0 \times 10^{-7} \text{cm}/\text{s}$,厚度不应小于 30cm 。
- 7 第二层土工膜应采用 HDPE 土工膜,厚度不应小于 1.5mm 。
- 8 膜上保护层应采用聚丙烯或聚乙烯非织造土工布,规格不宜小于 $600\text{g}/\text{m}^2$ 。
- 9 渗沥液导流层初始渗透系数不应小于 $1.0 \times 10^{-3} \text{m}/\text{s}$,厚度不应小于 30cm ;应采用粒径 $20\text{mm} \sim 60\text{mm}$ 的卵石、砾石等硬质材料,细料含量不宜超过 1% ,碳酸钙含量不应大于 5% 。
- 10 反滤层宜采用非织造土工布,其规格不宜小于 $200\text{g}/\text{m}^2$ 。

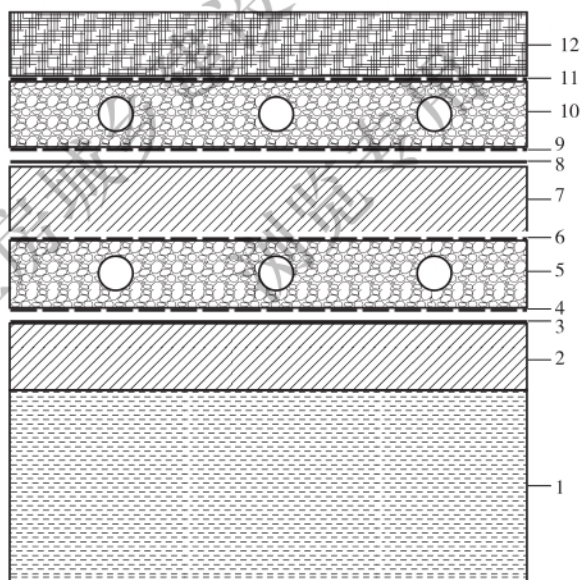


图 6.2.3 双层复合衬里结构示意图

- 1—天然衰减层;2—压实黏土层;3—第一层土工膜;4—膜上保护层;
5—渗沥液检测导流层;6—非织造土工布;7—压实黏土层;8—第二层土工膜;
9—膜上保护层;10—渗沥液导流层;11—反滤层;12—垃圾堆填层

6.2.4 当填埋场底部存在较厚的天然衰减层,且天然衰减层厚度大于 3m 时,可采用钠基膨润土防水毯 GCL 替代压实黏土层。

6.2.5 库区边坡衬里结构除应符合本标准第 6.2.2 条的规定外,还应满足上覆垃圾堆体稳定性要求。设计时应按本标准第 4.4.1 条验算垃圾堆体沿土工材料界面的抗滑稳定安全系数,根据验算结果选择合适的衬里结构和土工材料,并应符合下列规定:

- 1 当使用 HDPE 土工膜时,应采用双糙面型;
- 2 当使用钠基膨润土防水毯 GCL 时,应采用针刺型,并在堆填垃圾前应避免水化,施工完成后应及时施加上覆压重;
- 3 土工膜上土工织物保护层宜采用非织造长丝土工布,施工时应在锚固处下游预留一段冗余长度。

6.3 垂直阻隔设计

6.3.1 防污垂直阻隔墙的墙体材料渗透系数不应大于 $1.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$,宜选用土-膨润土、水泥-膨润土或土-水泥-膨润土。当墙厚计算值大于 1.2m 时,宜选用 HDPE 膜复合墙。

6.3.2 防污垂直阻隔墙的平面布置应根据场地地形、地下水流向与水力梯度、地下水土污染范围、场地红线与已有构筑物、地下管线等因素确定,宜采用包围整个填埋场的平面封闭形式。

6.3.3 防污垂直阻隔墙的厚度应考虑场地岩土层的分布和渗透系数等地质条件,并按下列规定确定:

- 1 防污垂直阻隔墙的厚度宜按下列公式确定:

$$d_b = \eta_b (m + \sqrt{m^2 + P_{Lb}}) \sqrt{D_{hb} \frac{t_b}{R_b}} \quad (6.3.3-1)$$

$$m = 3.65 - 3.33(c_f/c_0)^{0.142} \quad (6.3.3-2)$$

$$P_{Lb} = \frac{k_b \Delta h (1 + e_b)}{D_{hb} e_b} \quad (6.3.3-3)$$

式中: d_b ——防污垂直阻隔墙的厚度(m);

η_b ——考虑填埋场渗沥液污染地下水和土壤风险等级的安全系数,应根据本标准表 3.0.2 中风险等级高、中和低分别取 1.2、1.1 和 1.0;

m ——无量纲系数,宜按式(6.3.3-2)计算;

P_{Lb} ——防污垂直阻隔墙的佩克莱数,应按式(6.3.3-3)计算;

D_{hb} ——污染物在防污垂直阻隔墙墙体材料中迁移的水动力弥散系数(m^2/s),取值范围为 $1 \times 10^{-10} m^2/s \sim 1 \times 10^{-9} m^2/s$;

t_b ——防污垂直阻隔墙的设计服役寿命,取值不宜小于填埋场要求的污染防控时间,可取填埋场剩余运行时间与封场后垃圾稳定化时间之和(s);

R_b ——防污垂直阻隔墙墙体材料对污染物的阻滞因子,取值范围为 2~40;

c_o ——防污垂直阻隔墙靠近填埋体一侧的地下水污染物浓度(mg/L);

c_i ——防污垂直阻隔墙远离填埋体一侧的地下水污染物的出流浓度标准(mg/L),宜按现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 相应类别限值取值;

k_b ——防污垂直阻隔墙墙体渗透系数(m/s),取值不大于 $1.0 \times 10^{-9} m/s$;

Δh ——防污垂直阻隔墙的两侧水头差(m),靠近填埋体一侧的地下水水头低于远离填埋体一侧的地下水水头时宜取 0;

e_b ——防污垂直阻隔墙墙体材料的孔隙比,取值范围为 0.70~0.95。

2 当根据式(6.3.3-1)计算的厚度小于 0.6m 时,宜取 0.6m。

3 当根据式(6.3.3-1)计算的厚度大于 1.2m 时,宜取 1.2m,并应采取以下两种措施之一:

1) 采用 HDPE 膜复合墙, 回填墙体材料的渗透系数不应大于 $1.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$, HDPE 膜厚度不应小于 2.0mm。当垂直阻隔墙深度小于或等于 20m 时, HDPE 膜插入深度宜与墙深相同; 当垂直阻隔墙深度大于 20m 时, HDPE 膜插入深度宜取 20m。

2) 采用工程措施控制垂直阻隔墙两侧水头差, 应控制靠近填埋体一侧地下水水位标高低于远离填埋体一侧地下水水位, 水头差不低于 0.3m。

6.3.4 防污垂直阻隔墙的深度应根据场地地层结构、地基稳定性、岩土层渗透系数、地下水位、承压含水层水头、污染深度等工程地质和水文地质条件确定, 并应符合下列规定:

1 防污垂直阻隔墙应嵌入连续且完整的隔水层, 隔水层厚度不小于 3m 且渗透系数不大于 $5.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 。隔水层为土层时嵌入深度不应小于 1m, 隔水层为岩层时嵌入深度不应小于 0.3m。

2 隔水层埋深大时, 可采用悬挂式防污垂直阻隔墙, 深度应满足污染物从底部绕流击穿防污垂直阻隔墙的时间不小于污染物从浅部击穿防污垂直阻隔墙的时间。

3 采用 HDPE 膜复合墙时, HDPE 膜插入深度不宜大于 20m。

6.3.5 当防污垂直阻隔墙之下的岩石层裂隙发育或存在断层、破碎带等强透水性的地质条件时, 应采用帷幕灌浆等防渗处理措施。

6.3.6 垂直阻隔墙沟槽开挖前应验算开挖至各土层底面、设计深度工况时的沟槽稳定安全系数 F_b , 并符合下列规定:

1 沟槽稳定安全系数不应小于 1.1。

2 沟槽稳定安全系数宜按下列公式计算:

$$F_b = \frac{P_s - P_w}{P_a} \quad (6.3.6-1)$$

$$P_s = \frac{1}{2} \gamma_s H_s^2 \quad (6.3.6-2)$$

$$P_w = \frac{1}{2} \gamma_w H_w^2 \quad (6.3.6-3)$$

式中： P_s ——沟槽内泥浆施加在沟槽壁的力(kN/m)；

P_w ——周边地基土内的地下水作用在沟槽壁的静水压力(kN/m)；

P_a ——周边地基土及地表荷载作用在沟槽壁的土压力(kN/m)，宜按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中挡土墙主动土压力计算方法计算，地表荷载应包括垃圾堆体、垃圾坝、围堤等荷载；

γ_s ——泥浆容重(kN/m³)；

H_s ——沟槽泥浆液面至验算深度的距离(图 6.3.6, m)；

γ_w ——地下水容重(kN/m³)；

H_w ——周边地基土中地下水水位面至验算深度的距离(图 6.3.6, m)。

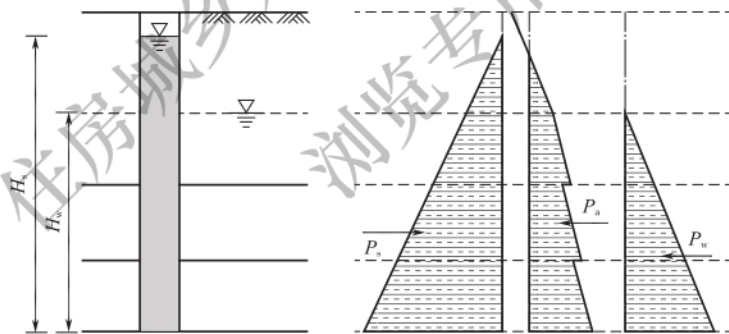


图 6.3.6 垂直阻隔墙沟槽稳定验算示意图

3 当场地层无法满足沟槽稳定安全系数不小于 1.1 的要求时，应在开挖沟槽前采用水泥搅拌桩、高压旋喷桩等技术对沟槽两侧地基进行加固。

6.3.7 防渗垂直阻隔墙的墙体材料渗透系数不应大于 1.0×10^{-6} cm/s，可选用塑性混凝土墙、深层水泥搅拌桩墙、高压旋喷桩墙、灌浆帷幕等结构型式。

6.4 土质覆盖层设计

6.4.1 用于封场的土质覆盖层应能有效控制雨水渗入及填埋气排放,土质覆盖层的雨水渗漏量控制要求应根据填埋场所在气候区干湿指数按表 6.4.1 确定。

表 6.4.1 土质覆盖层的雨水渗漏量控制要求

覆盖层类型	年最大渗漏量(mm/年)	
	气候干湿指数 $P_u/PET < 0.5$	气候干湿指数 $P_u/PET \geq 0.5$
土质覆盖层	10	30

注:1 P_u 为多年平均降水量;

2 PET 为参考作物蒸散量,宜参照现行国家标准《干湿气候等级》GB/T 34307 确定。

6.4.2 对于干旱及半干旱气候区填埋场,坡度大于 1:10 的斜坡区域宜采用图 6.4.2 所示的毛细阻滞型土质覆盖层,并应符合下列规定:

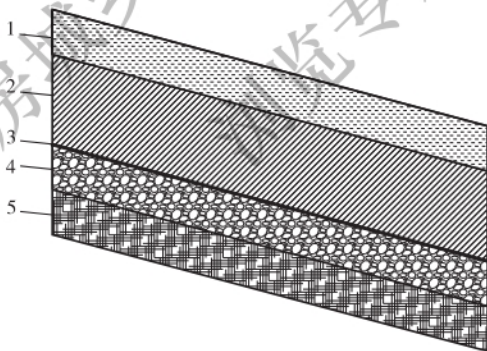


图 6.4.2 适用于干旱及半干旱气候区的毛细阻滞型土质覆盖层结构

1—绿化土层;2—储水层;3—无纺土工布;4—排气层;5—垃圾

1 绿化土层的土质应适合植被生长,厚度不应小于 15cm;

2 储水层应采用储水性能良好的粉土、粉质黏土、细砂或再生细骨料等,压实度不应低于 85%,厚度宜为 50cm~150cm,并宜按照本标准附录 E 计算确定;

3 排气层宜采用导气性能良好的粗砂、碎石或再生粗骨料等,厚度宜为 20cm~30cm;

4 当覆盖区域填埋气产量较大时,排气层内应设置水平集气管,收集填埋气。

6.4.3 对于湿润气候区填埋场,坡度大于 1:5 的斜坡区域宜采用图 6.4.3 所示的复合防渗型土质覆盖结构,并应符合下列规定:

1 绿化土层的土质应适合植被生长,厚度不应小于 15cm;

2 储水层应采用储水性能良好的粉土、粉质黏土或再生细骨料等,压实度不应低于 85%,厚度不应小于 50cm;

3 排水层宜采用导水性能良好的粗砂、碎石或再生粗骨料等,厚度宜为 20cm~40cm;

4 低渗透性层宜采用针刺型钠基膨润土防水毯,厚度不应低于 6mm;

5 排气层宜采用导气性能良好的粗砂、碎石等,厚度宜为 20cm~30cm;

6 当覆盖区域填埋气产量较大时,排气层内应设置水平集气管,收集填埋气。

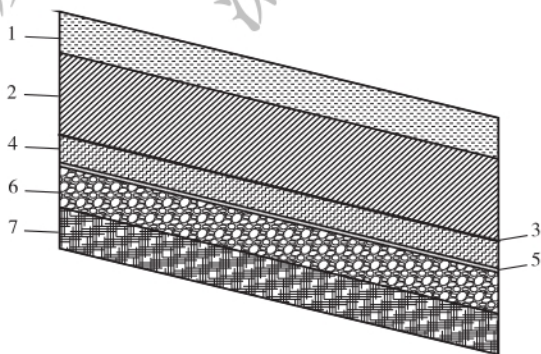


图 6.4.3 适用于湿润气候区的复合防渗型土质覆盖层结构

1—绿化土层;2—储水层;3—无纺土工布;4—排水层;

5—低渗透性层;6—排气层;7—垃圾

6.5 防污垂直阻隔墙施工及质量控制

6.5.1 防污垂直阻隔墙施工前应进行墙体材料的配合比试验,并应满足渗透系数、化学相容性及施工和易性要求。

6.5.2 土-膨润土防污垂直阻隔墙的墙体材料应由基土、膨润土和水混合而成,并应符合下列规定:

1 基土应优先选用场地清洁土料,宜选用粉砂、粉土或细砂。

2 膨润土宜选用天然膨润土,粒径大于 0.075mm 的颗粒质量不应大于总质量的 4%,含水量不应大于 10%,膨胀指数不宜小于 20mL/2g。膨润土宜掺入水中水化 24h 后与基土混合搅拌。

3 水应为淡水,宜选用自来水。

4 应进行配合比试验和坍落度试验,确定墙体材料的基土、膨润土和水的比例,坍落度宜为 75mm~150mm,渗透系数不应大于 1.0×10^{-7} cm/s,渗透系数测试时固结应力不宜大于 100kPa。

5 墙体材料的密度应比开挖沟槽护壁的膨润土泥浆密度大 240kg/m³ 以上。

6.5.3 水泥-膨润土防污垂直阻隔墙的墙体材料应由水泥、膨润土和水混合而成,并应符合下列规定:

1 水泥应为硅酸盐水泥,应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定,可采用磨细矿渣、粉煤灰代替一定量的水泥;

2 膨润土宜选用天然膨润土,粒径大于 0.075mm 的颗粒质量不应大于总质量的 4%,含水量不应大于 10%,膨胀指数不宜小于 20mL/2g;

3 水应为淡水,宜选用自来水;

4 应进行配合比试验和坍落度试验,确定墙体材料的水泥、膨润土和水的比例,渗透系数不应大于 1.0×10^{-7} cm/s。

6.5.4 防污垂直阻隔墙的墙体材料配合比初步确定后应进行长期渗透试验,评价墙体材料与地下水的化学相容性。当化学相容性不

符合设计要求时,应调整墙体材料原料、配合比或添加改性剂。

6.5.5 防污垂直阻隔墙的墙体材料配合比确定后宜测定污染物在墙体材料中的扩散系数和阻滞因子。

6.5.6 垂直阻隔墙采用沟槽开挖法施工时,宜根据场地条件修筑导墙。

6.5.7 垂直阻隔墙沟槽开挖时应采用膨润土泥浆护壁,护壁泥浆应符合下列规定:

- 1 膨润土掺量不宜小于水的质量的 5%;
- 2 新制膨润土泥浆黏度应为 32s~50s,重复使用膨润土泥浆黏度应为 32s~60s;
- 3 膨润土泥浆 pH 值应为 7~9;
- 4 膨润土泥浆密度不宜小于 $1030\text{kg}/\text{m}^3$ 且不应大于 $1200\text{kg}/\text{m}^3$;
- 5 膨润土泥浆的 10min 凝胶强度宜为 $4.79\text{N}/\text{m}^2 \sim 7.18\text{N}/\text{m}^2$;
- 6 在 690kPa 的气压下 30min 膨润土泥浆滤液损失量不应大于 30cm^3 ;
- 7 膨润土泥浆应在配制完成、水化 24h 后使用;
- 8 应持续搅拌水和膨润土的混合液体,直到膨润土颗粒充分水化;
- 9 储存的膨润土泥浆应持续搅拌再循环,以保持均匀混合状态。

6.5.8 垂直阻隔墙开挖沟槽施工应符合下列规定。

- 1 应检查沟槽开挖尺寸误差,沟槽开挖允许偏差应符合表 6.5.8 的规定。

表 6.5.8 沟槽开挖允许偏差

项 目	允许偏差
轴线	600mm
深度	$\pm 100\text{mm}$
宽度	$\pm 50\text{mm}$
相邻槽段错位	30mm
垂直度	1/150

2 沟槽开挖施工过程中应在沟槽内注入膨润土泥浆,膨润土泥浆液面应保持高于地下水位 1.0m 以上。沟槽中膨润土泥浆发生大量损失时,应立即向沟槽内快速补充膨润土泥浆。

3 沟槽在完成回填前,护壁膨润土泥浆的补充不应发生中断。

4 垂直阻隔墙沟槽分段施工时,应保证轴线的连续性,分段连接处应开挖进入已回填段,土-膨润土防污垂直阻隔墙进入已回填段的长度不宜小于 4.5m,水泥-膨润土防污垂直阻隔墙进入已回填段的长度不宜小于 1.5m。

5 沟槽轴线改变方向的交叉处,一个方向的沟槽轴线超出另一个方向的沟槽轴线不宜小于 1.5m。

6 沟槽开挖完成后,应清除沟槽底部的沉积物。

7 场地为软土地基或邻近建筑物保护要求较高时,应采用地基处理方法加固沟槽周边地基。

6.5.9 土-膨润土防污垂直阻隔墙的墙体材料回填施工,应采用导管回填或从已形成的墙体材料斜面顶部滑入,不应将土-膨润土墙体材料从地表直接推入沟槽内的膨润土泥浆中。当地表气温低于 0℃时,应停止混合或回填墙体材料。

6.5.10 垂直阻隔墙的墙体材料回填施工完成后,顶部应铺设临时覆盖层防止顶部开裂。墙体材料主沉降完成后,应移除临时覆盖层,采用墙体材料修补凹陷或沉降部位,并应铺设永久覆盖层。

6.5.11 垂直阻隔墙施工过程应对回填的墙体材料留样开展室内渗透系数测试,最初回填的 3000m² 墙体宜每 300m² 墙体留样一组,之后宜每 1000m² 墙体留样一组。

6.5.12 垂直阻隔墙施工完工后,应对墙体材料开展原位渗透系数测试或钻孔取芯送实验室测试渗透系数,土-膨润土防污垂直阻隔墙原位渗透系数测试宜采用孔压静力触探法,水泥-膨润土防污垂直阻隔墙原位渗透系数测试宜采用注水试验法。

6.5.13 垂直阻隔墙的墙体材料渗透系数实验室测试,应采用自

来水或现场地下水,固结压力宜取 50kPa,水力梯度不宜大于 30。

6.5.14 防污垂直阻隔墙建成后应在墙的内侧和外侧设置地下水监测井,并应定期监测水位和检测水质。地下水监测井到垂直阻隔墙的距离不宜大于 3m,沿垂直阻隔墙中轴线方向的井间距宜取 50m~100m,监测井深度宜取垂直阻隔墙深度的 60%~90%,水位监测和水质检测的频率宜为 1 次/(1 个月~3 个月)。

6.6 压实黏土层施工及质量控制

6.6.1 压实黏土防渗层施工土料应符合下列规定:

- 1 粒径小于 0.075mm 的土粒干重应大于土粒总干重的 25%;
- 2 粒径大于 5mm 的土粒干重不宜超过土粒总干重的 20%;
- 3 塑性指数范围应为 15~30。

6.6.2 压实黏土防渗层土料宜先在填埋场当地勘查满足本标准第 6.6.1 条规定的土料场,料场勘查应符合下列规定:

1 应采用试坑和钻孔确定黏土料场的垂直和水平分布范围,宜选择厚度不小于 1.5m 的黏土料场。

2 拟采用的黏土料场中宜每 100m² 设置 1 个取样点,取样点总数不应少于 5 个。每个取样点的土样应进行颗粒分析和界限含水率试验,试验方法应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的规定。

6.6.3 压实黏土防渗层压实度不应小于 93%且饱和渗透系数不应大于 1.0×10^{-7} cm/s,并应符合现行国家标准《生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程技术标准》GB/T 51403 的有关规定。

6.6.4 压实黏土防渗层填筑施工前应开展碾压试验,确定达到控制指标的压实方法和碾压参数,包括含水率、压实机械类型和型号、压实遍数、速度及铺土厚度等。

6.6.5 当利用现有土料开展压实试验,但无法同时符合压实度和饱和渗透系数的要求时,应对土料进行改性。

6.6.6 当压实黏土防渗层位于自然地基上时,基础层应符合现行

国家标准《生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程技术标准》GB/T 51403 的规定。

6.6.7 当压实黏土防渗层铺于土工合成材料之上时,下卧的土工合成材料应平展,并应避免被压实机械破坏。

6.6.8 压实黏土防渗层施工和质量控制应符合下列规定:

1 每层松土厚度不应大于 30cm,压实后的填土层厚度不应超过 15cm;

2 在后续层施工前,应将前一压实层表面拉毛,并适当洒水,拉毛深度宜为 25mm,可计入下一层松土厚度;

3 各层应每 500m² 取 3 个点进行压实度测试,每 1000m² 取 1 个点进行饱和渗透系数测试,并应符合本标准第 6.6.3 条的规定。

7 填埋场安全监测与预警

7.1 一般规定

7.1.1 填埋场运行期间及封场后,垃圾堆体、垃圾坝及库区周边山体边坡应进行稳定安全监测与预警。

7.1.2 填埋场安全监测项目和监测频率应按照表 7.1.2 设置,并符合下列规定:

1 当渗沥液液位超过警戒液位或垃圾堆体出现失稳征兆时,宜增加深层水平位移、表面沉降等监测项目,加密监测点位和监测频率;

2 当遇暴雨等恶劣天气或其他紧急情况时,垃圾堆体主液位、滞液位、表面水平位移及深层水平位移等项目的监测频率应提高;

3 当填埋场封场后,监测频率可根据垃圾堆体稳定状态减少。

表 7.1.2 填埋场安全监测项目表

监测项目		安全等级			监测频率 (次/月)
		一级	二级	三级	
渗沥液 液位监测	渗沥液导流层水头	★	●	○	1
	垃圾堆体主液位	★	★	●	2
	垃圾堆体滞液位	★	★	●	1
气压监测	堆体气压	★	●	○	1
堆体 变形监测	表面水平位移	★	★	●	2
	深层水平位移	★	●	○	2
	垃圾堆体表面沉降	★	★	●	2
	软弱地基沉降	●	○	○	1
垃圾坝 变形监测	表面水平位移	★	★	●	2
	深层水平位移	★	●	○	2

注:1 ★为应设项目,●为宜设项目,○为可设项目;

2 岩土工程安全等级应符合本标准第 3.0.1 条的规定。

7.1.3 填埋场位于软弱地基上时,应对地基孔隙水压力和变形等进行监测,并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。

7.1.4 填埋场垃圾堆体和垃圾坝安全稳定状态应根据堆体渗沥液液位、气压、表面水平位移速率及现场踏勘等因素综合确定,当渗沥液液位、气压、表面水平位移速率超过警戒值时,应根据深层水平位移、沉降速率进一步判别安全稳定状态,并应及时采取工程措施。

7.1.5 库区周边山体边坡稳定安全监测应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的有关规定。

7.1.6 对于岩土工程安全等级为一级的填埋场,宜采用在线自动监测方式。

7.1.7 当监测结果达到警戒值时,应进行预警。

7.2 渗沥液液位监测与预警

7.2.1 垃圾堆体主液位和滞液位监测应符合下列规定:

1 监测孔应沿垃圾堆体边坡走向布设,平面间距宜为 30m~60m,总数不宜少于 3 个,应保证监测孔底部距离水平衬里不小于 5m;

2 宜采用水位计或渗压计分层测试。

7.2.2 渗沥液导流层水头监测点应设置在收集主盲沟末端的集液井内,每个排水单元至少应布置 1 个。

7.2.3 当垃圾堆体液位接近或达到警戒液位时,应向运行单位发出警报并加密监测、增设监测点或监测项目。

7.3 填埋场气压监测与预警

7.3.1 堆体气压监测应符合下列规定:

1 气压监测点宜设置在填埋时间不超过两年的区域;

2 监测点并管宜采用 HDPE 管,宜在底部以上 2m 范围内

开孔,并宜在井底安装孔压计,井头安装气压表。

7.3.2 当堆体气压超过本标准表 4.7.1 规定的警戒气压值时,应向运行单位发出警报,并增设监测点。

7.4 堆体变形监测与预警

7.4.1 堆体表面水平位移监测应符合下列规定:

1 监测点应结合作业分区呈网格状布置,并应随垃圾堆体填埋高度发展逐步设置,平面间距宜为 30m~60m,在不稳定区域应适当加密;

2 应设置参照点,并采用测量平面坐标的监测方法;

3 当表面水平位移速率连续两天超过 10mm/d,应向运行单位发出警报,并应扩大监测范围、增设监测点以及增加监测频率。

7.4.2 堆体深层水平位移监测应符合下列规定:

1 监测点应沿垃圾堆体边坡倾斜方向纵向布置,间距宜为 30m~60m,总监测点数量不宜少于 3 个;当垃圾堆体出现失稳征兆时,应在失稳区域设置监测点。

2 宜在监测点埋设测斜管、采用测斜仪测量,测斜管的埋设应足够深,且管底距离水平衬里不小于 5m。

3 当深层水平位移速率连续两天超过 4mm/d 时,应向运行单位发出警报,并应扩大监测范围、增设监测点以及增加监测频率。

7.4.3 堆体与地基沉降监测应符合下列规定:

1 监测点宜布置成网格状,平面间距宜为 30m~60m,不均匀沉降大的区域宜适当加密。

2 堆体表面沉降应设置标志点,并宜通过测量标志点的高程监测沉降。

3 应在软弱地基中埋设沉降管或沉降板,并应通过测量沉降管沿线高程或沉降板的高程监测沉降。

4 软弱地基的沉降管宜沿堆体主剖面方向布置,长度不宜小

于 100m;当采用沉降板时,间距宜为 50m~80m。

5 当堆体或软弱地基不均匀沉降过大并影响库区建(构)筑物正常服役时,应向运行单位发出警报。

7.5 垃圾坝变形监测与预警

7.5.1 填埋场运行期间及封场后,应监测垃圾坝的表面水平位移、深层水平位移和坝后渗沥液液位。

7.5.2 表面水平位移监测点应布置在垃圾坝坝顶,间距宜为 10m~20m,且总数不宜少于 3 个。

7.5.3 当监测到表面水平位移超过 2mm/d 后,应加密监测,当表面水平位移连续三天超过 2mm/d 时,应向运行单位发出警报,并应继续增加监测频率、扩大监测范围或增设监测项目。

7.5.4 深层水平位移监测点宜沿垃圾坝轴线方向设置,总监测点数量不宜少于 3 个,宜采用测斜管。

7.6 填埋场在线监测

7.6.1 在线监测系统的安全监测项目应符合本标准第 7.1.2 条的规定。

7.6.2 在线监测传感器应根据填埋场边坡稳定性验算和环境影响评估确定的风险点进行布设。

7.6.3 数据传输宜采用内部局域网,可采用 LoRa 网关或 4G/5G 网络等。

7.6.4 在线监测系统应具有良好的稳定性、兼容性和可扩展性,并应符合下列规定:

1 传感器与监测设备应适用于填埋场环境,安装完毕后应及时检测设备状态,运行期间应定期检测设备状态;

2 网络应覆盖所有传感器位置,并应满足数据传输带宽要求;

3 数据采集与传输系统应具备实时采集、定时发送数据的功能,并应具备适当的软件运行平台及相应的通信协议与接口;

4 数据存储与管理应采用数据库形式,按照数据类型宜包括监测设备数据库、监测信息数据库、计算分析数据库和用户数据库等;

5 系统软件功能宜包含基础信息管理、数据集成采集、数据查询、数据清洗、数据分析与报警、数据展示等。

7.6.5 在线监测数据应定期采用人工监测方式进行校核。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

附录 A 垃圾堆体边坡抗滑稳定计算

A. 0. 1 当采用摩根斯顿-普莱斯法(图 A. 0. 1)验算垃圾堆体边坡稳定性时,应按下列公式计算:

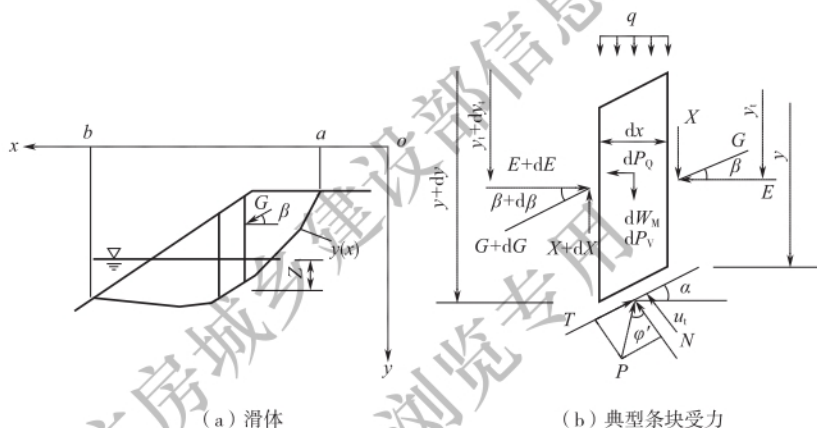


图 A. 0. 1 摩根斯顿-普莱斯法计算示意图

$$\int_a^b p(x) s(x) dx = 0 \quad (\text{A. 0. 1-1})$$

$$\int_a^b p(x) s(x) t(x) dx - M_e = 0 \quad (\text{A. 0. 1-2})$$

$$p(x) = \left(\frac{dW_M}{dx} \pm \frac{dP_v}{dx} \pm q \right) \sin(\varphi'_e - \alpha) - u_i \sec \alpha \sin \varphi'_e + c'_e \sec \alpha \sin \varphi'_e - \frac{dP_Q}{dx} \cos(\varphi'_e - \alpha) \quad (\text{A. 0. 1-3})$$

$$s(x) = \sec(\varphi'_e - \alpha + \beta) \exp \left[- \int_a^x \tan(\varphi'_e - \alpha + \beta) \frac{d\beta}{d\zeta} d\zeta \right] \quad (\text{A. 0. 1-4})$$

$$t(x) = \int_a^x (\sin\beta - \cos\beta \tan\alpha) \exp \left[\int_a^\xi \tan(\varphi'_e - \alpha + \beta) \frac{d\beta}{d\xi} d\xi \right] d\xi \quad (\text{A. 0. 1-5})$$

$$M_e = \int_a^b \frac{dQ}{dx} h_e dx \quad (\text{A. 0. 1-6})$$

$$c'_e = \frac{c'}{F_s} \quad (\text{A. 0. 1-7})$$

$$\tan\varphi'_e = \frac{\tan\varphi'}{F_s} \quad (\text{A. 0. 1-8})$$

$$\tan\beta = \lambda f(x) \quad (\text{A. 0. 1-9})$$

式中: F_s —— 边坡稳定安全系数;

c' —— 垃圾的有效黏聚力(kPa);

φ' —— 垃圾的有效内摩擦角($^\circ$);

c'_e —— 条块底面上折减后的有效黏聚力(kPa);

φ'_e —— 条块底面上折减后的有效内摩擦角($^\circ$);

dx —— 垃圾堆体条块宽度(m);

W_M —— 垃圾堆体条块重量(kN);

q —— 坡顶外部的垂直荷载(kN/m);

u_r —— 作用于垃圾堆体条块底部的孔隙水压力或孔隙气压力(kN/m);

M_e —— 水平地震惯性力对土条底部中点的力矩(kN·m);

dP_Q —— 土条的水平地震惯性力(kN);

dP_v —— 土条的垂直地震惯性力,向上为负,向下为正(kN);

α —— 条块底面与水平面的夹角($^\circ$);

β —— 土条侧面的合力与水平方向的夹角($^\circ$);

h_e —— 水平地震惯性力到土条底面中点的垂直距离(m);

λ —— 确定 $\tan\beta$ 值的待定系数;

$f(x)$ —— $\tan\beta$ 值在 x 方向上的分布形式。

A. 0. 2 本标准式(A. 0. 1-7)与式(A. 0. 1-8)中的有效抗剪强度指标应按照本标准第 4. 2 节的规定确定。

A.0.3 垃圾堆体条块底部的孔隙水压力或孔隙气压力的取值宜根据渗沥液液位和填埋气压分布的监测结果确定。

A.0.4 垃圾堆体条块的自重计算、地震惯性力计算可参考现行行业标准《水利水电工程边坡设计规范》SL 386—2007 的附录 D 有关规定。

附录 B 作用于垃圾坝的土压力计算

B.0.1 垃圾堆体作用于垃圾坝的整体土压力应采用边坡稳定分析的剩余推力法计算,并按下列步骤执行:

1 对从垃圾坝后滑出的垃圾堆体稳定性分析,应确定最小安全系数对应的最危险滑移面。

2 应将最危险滑移面对应的坝后垃圾堆体竖向划分为 n 个条块,其中第 n 条块为坝后坡面之上的垃圾。

3 应从垃圾堆体坡顶向坡脚依次计算作用于各条块侧面上的推力(图 B.0.1),第 i 条块侧面上的推力 P_i 可按下列公式计算:

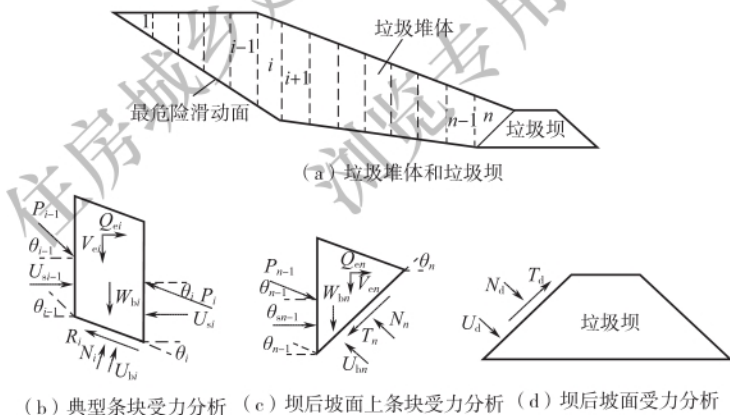


图 B.0.1 剩余推力法示意图

$$\begin{aligned}
 P_i = & [(W_{bi} + V_{ei}) \sin \theta_i + Q_{ei} \cos \theta_i + (U_{si-1} - U_{si}) \cos \theta_i] - \\
 & \frac{1}{F_s} \{ [(W_{bi} + V_{ei}) \cos \theta_i - Q_{ei} \sin \theta_i - (U_{si-1} - U_{si}) \sin \theta_i - U_{bi}] \\
 & \tan \varphi'_i + c'_i l_i \} + P_{i-1} \psi_i
 \end{aligned} \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$\phi_i = \cos(\theta_{i-1} - \theta_i) - \frac{1}{F_s} [\sin(\theta_{i-1} - \theta_i) \tan\phi'_i] \quad (\text{B. 0. 1-2})$$

- 式中: P_i ——第 $i+1$ 条块对第 i 条块侧面的推力(kN/m);
 P_{i-1} ——第 $i-1$ 条块对第 i 条块侧面的推力(kN/m);
 W_{bi} ——第 i 条块重量(kN/m);
 V_{ei} ——第 i 条块垂直向地震惯性力(kN/m), V_{ei} 向上应取“—”, 向下应取“+”;
 Q_{ei} ——第 i 条块水平向地震惯性力(kN/m), Q_{ei} 与边坡滑动方向一致时应取“—”, 反之应取“+”;
 U_{si} ——第 i 条块侧面的孔隙水压力(kN/m);
 U_{bi} ——第 i 条块底面的孔隙水压力(kN/m);
 ϕ_i ——第 i 条块的推力传递系数;
 ϕ'_i ——第 i 条块底面上的有效内摩擦角($^\circ$);
 c'_i ——第 i 条块底面上的有效黏聚力(kPa);
 θ_i ——第 i 条块底面与水平面的夹角($^\circ$), 以水平线为起始线, 顺时针应为正角, 逆时针应为负角;
 l_i ——第 i 条块底面长度(m);
 F ——折减系数, 应取垃圾堆体的设计安全系数, 最小值应取本标准表 4.1.3 对应数值, 如计算得到的 $P_i < 0$, 应取 $P_i = 0$ 。

4 应根据第 $n-1$ 条块对第 n 条块侧面的推力, 对第 n 条块单独进行受力分析, 第 n 条块对垃圾坝的土压力的法向分量 N_d 和切向分量 T_d 应分别按下列公式计算:

$$N_d = (W_{bn} + V_{en})\cos\theta_n - Q_{en}\sin\theta_n - U_{sn-1}\sin\theta_n - U_{bn} + P_{n-1}\sin(\theta_{n-1} - \theta_n) \quad (\text{B. 0. 1-3})$$

$$T_d = (W_{bn} + V_{en})\sin\theta_n + Q_{en}\cos\theta_n + U_{sn-1}\cos\theta_n + P_{n-1}\cos(\theta_{n-1} - \theta_n) \quad (\text{B. 0. 1-4})$$

式中: N_d ——第 n 条块对垃圾坝的土压力的法向分量(kN/m);

T_d ——第 n 条块对垃圾坝的土压力的切向分量(kN/m),
不应大于垃圾坝与第 n 条块界面所能提供的最大
抗滑力 $T_{\max} = N_d \tan \varphi'_n + c'_n l_n$, 否则应取最大抗滑
力 $T_{\max}$ 。

B.0.2 垃圾堆体作用于垃圾坝的局部土压力,应采用库仑土压力理论进行计算。宜将第 n 条块与垃圾坝整体视为一个垂直的“挡土墙”,宜按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定,计算垃圾堆体作用于该“挡土墙”侧面的主动土压力,再按本标准第 B.0.1 条的第 4 款计算第 n 条块对垃圾坝的土压力的切向分量 T_d 和法向分量 N_d 。

附录 C 填埋场单位时间理论产气量计算

C.0.1 当进行填埋气诱发堆体边坡失稳评估时,填埋场单位时间理论产气量 Q_g 宜按下式计算:

$$Q_g = \sum_{i=1}^n M_i L_{R0} \left(\frac{k_R}{12} \right) e^{-\frac{k_R}{12}(t_{wi}-3)} + \sum_{i=1}^n M_i L_{S0} \left(\frac{k_S}{12} \right) e^{-\frac{k_S}{12}(t_{wi}-12)} \quad (C.0.1)$$

式中: Q_g ——填埋场在投运后第 n 个月的填埋气体单位时间理论产气量(m^3 /月);

t_{wi} ——到计算时刻时第 i 个月填埋垃圾的龄期(月);

M_i ——第 i 个月的垃圾填埋量(t);

L_{R0} ——单位质量垃圾中快速降解物质的理论产气量(m^3 /t);

L_{S0} ——单位质量垃圾中慢速降解物质的理论产气量(m^3 /t);

k_R ——快速降解物质的产气速率常数(a^{-1});

k_S ——慢速降解物质的产气速率常数(a^{-1})。

C.0.2 单位质量垃圾中的快速降解物质和慢速降解物质的理论产气量 L_{R0} 和 L_{S0} ,应根据垃圾化学组分、各组分可厌氧降解有机碳含量和含水率分别按下列公式进行计算:

$$L_0 = \sum_i m_i^w (1 - w_{c,i}) DOC_i^f \times 1867 \quad (C.0.2-1)$$

$$L_{R0} = L_0 \frac{\sum_i m_i^w (1 - w_{c,i}) \varphi_i^R}{\sum_i m_i^w (1 - w_{c,i}) \varphi_i^R + \sum_i m_i^w (1 - w_{c,i}) \varphi_i^S} \quad (C.0.2-2)$$

$$L_{S0} = L_0 \frac{\sum_i m_i^w (1 - w_{c,i}) \varphi_i^S}{\sum_i m_i^w (1 - w_{c,i}) \varphi_i^R + \sum_i m_i^w (1 - w_{c,i}) \varphi_i^S} \quad (C.0.2-3)$$

式中： L_0 ——单位质量垃圾理论产气量(m^3/t)；

m_i^w ——填埋垃圾中第 i 种可降解组分的质量，可降解组分包括厨余、纸张、竹木、织物(t)；

$w_{c,i}$ ——第 i 种可降解组分的质量含水率($\%$)；

DOC_i^f ——第 i 种可降解组分的可厌氧降解有机碳百分含量，干基($\%$)；

φ_i^R ——第 i 种可降解组分的快速降解物质质量百分含量，干基($\%$)；

φ_i^S ——第 i 种可降解组分的慢速降解物质质量百分含量，干基($\%$)。

C.0.3 垃圾产气速率常数 k_R 和 k_S 应依据垃圾组分、垃圾含水率、气候条件等因素选定，可通过现场抽气试验确定。

附录 D 水平衬里击穿时间计算

D. 0. 1 复合衬里污染物击穿时间计算(图 D. 0. 1)应符合下列规定:

1 复合衬里污染物击穿时间 t_b 宜按下式计算:

$$t_b = \frac{T_R (L_g + L_s) n_p}{v_a} \quad (\text{D. 0. 1-1})$$

式中: t_b —— 污染物击穿时间(s);

L_g —— 土工膜厚度(m);

L_s —— 土工膜下方压实黏土衬里或 GCL 的厚度(m);

v_a —— 达西流速(cm/s), 宜按式(D. 0. 1-5)计算;

n_p —— 土工膜下方衬里的孔隙率, 当土工膜下方为多层衬里时, 取等效孔隙率, 按式(D. 0. 1-7)计算;

T_R —— 时间因子, 可根据渗沥液污染物浓度 c_0 和地下水中该污染物的浓度限值 c_f 的比值 c_f/c_0 、土工膜的佩克莱数 P_{Lg} 及下方衬里层的佩克莱数 P_{Ls} , 按表 D. 0. 1-1、表 D. 0. 1-2 取值。

2 渗沥液污染物宜选用氯离子, 初始浓度值宜按下式计算:

$$c_0 = 100H \quad (\text{D. 0. 1-2})$$

式中: c_0 —— 渗沥液中氯离子初始浓度(mg/L);

H —— 垃圾堆体的填埋厚度(m), 当 $H < 20\text{m}$ 时, 取 20m;
当 $H > 60\text{m}$ 时, 取 60m。

3 复合衬里底部污染物击穿浓度 c_f , 宜按现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 规定的相应类别地下水质量限值取值。

4 土工膜的佩克莱数 P_{Lg} 和土工膜下方衬里层的佩克莱数

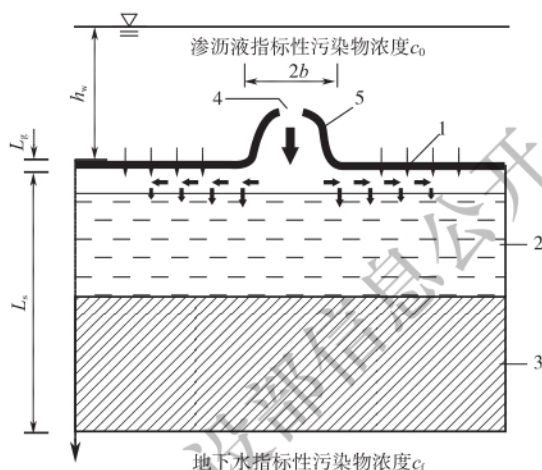


图 D.0.1 复合衬里污染物击穿时间计算示意图

1—土工膜;2—压实黏土或钠基膨润土防水毯 GCL;3—天然衰减层;

4—土工膜漏洞;5—土工膜褶皱

$P_{L,s}$, 应分别按下列公式计算:

$$P_{L,g} = \frac{v_a L_g}{P_g} \quad (D.0.1-3)$$

$$P_{L,s} = \frac{v_a (L_g + L_s)}{n_p D_{hs}} \quad (D.0.1-4)$$

式中: $P_{L,g}$ ——土工膜的佩克莱数;

$P_{L,s}$ ——土工膜下方衬里层的佩克莱数;

D_{hs} ——污染物在土工膜下方衬里中的水动力弥散系数 (m^2/s), 取值范围宜为 $1.0 \times 10^{-10} m^2/s \sim 1.0 \times 10^{-8} m^2/s$, 当土工膜下方为多层衬里时, 取等效水动力弥散系数, 按式(D.0.1-8)计算;

P_g ——土工膜渗透率 (m^2/s), 对于有机污染物, P_g 取值范围宜为 $1.0 \times 10^{-12} m^2/s \sim 3.0 \times 10^{-9} m^2/s$, 对于无机污染物, 宜为 $10^{-15} m^2/s$ 量级。

5 复合衬里的达西流速宜按下式计算：

$$v_a = \frac{2mL_z(h_w + L_s) [k_s b + (k_s L_s \Gamma)^{0.5}]}{AL_s} \quad (\text{D. 0. 1-5})$$

式中： m ——土工膜单位面积漏洞的个数；

A ——渗流的横截面面积(m^2)；

L_z ——与漏洞相连接的褶皱长度(m)，可取 $100\text{m} \sim 1000\text{m}$ ；

b ——褶皱的宽度的 $1/2$ (m)，可取 0.2m ；

h_w ——导流层水头(m)；

Γ ——土工膜与下方衬里界面的导水系数(m^2/s)，当土工膜与压实黏土接触时，宜取 $1.0 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s} \sim 1.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ，当土工膜与 GCL 接触时，宜取 $1.0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s} \sim 1.0 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ；

k_s ——土工膜下方衬里的渗透系数(cm/s)，当下方为多层衬里时，取等效渗透系数 k_e ，按式(D. 0. 1-6)计算。

6 当土工膜下方为多层衬里时，等效渗透系数 k_e 、等效孔隙率 n_{pe} 及等效水动力弥散系数 D_e 宜分别按下列公式计算：

$$k_e = \frac{L_s}{\sum \frac{L_{s,i}}{k_{s,i}}} \quad (\text{D. 0. 1-6})$$

$$n_{pe} = \frac{\sum (n_{p,i} L_{s,i})}{L_s} \quad (\text{D. 0. 1-7})$$

$$D_e = \frac{\sum (n_{p,i}^3 L_{s,i} D_{hs,i})}{n_{pe}^3 L_s} \quad (\text{D. 0. 1-8})$$

式中： k_e ——多层衬里的等效渗透系数(cm/s)；

$L_{s,i}$ ——第 i 层衬里的厚度(m)；

$n_{p,i}$ ——第 i 层衬里的孔隙率；

n_{pe} ——多层衬里的等效孔隙率；

D_e ——多层衬里的等效水动力弥散系数(m^2/s)。

表 D.0.1-1 时间因子 T_R 取值 ($c_r/c_0=0.01$)

P_{L_g}	P_{L_s}														
	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50	100	500	1000
0.001	0.000528	0.00171	0.00391	0.00760	0.0156	0.0368	0.0671	0.126	0.238	0.352	0.474	0.622	0.719	0.900	0.904
0.005	0.00116	0.00200	0.00435	0.00807	0.0156	0.0362	0.0682	0.128	0.245	0.368	0.493	0.650	0.795	1.00	1.02
0.01	0.00147	0.00253	0.00525	0.00920	0.0173	0.0411	0.0733	0.131	0.263	0.398	0.541	0.729	0.871	1.32	1.34
0.05	0.00255	0.00375	0.00688	0.0113	0.0193	0.0413	0.0720	0.134	0.266	0.399	0.543	0.730	0.874	1.32	1.34
0.1	0.00383	0.00527	0.00894	0.0143	0.0242	0.0488	0.0820	0.138	0.271	0.403	0.546	0.732	0.878	1.32	1.34
0.5	0.00998	0.0113	0.0158	0.0222	0.0332	0.0594	0.0941	0.148	0.287	0.415	0.557	0.740	0.878	1.32	1.34
1	0.0161	0.0170	0.0219	0.0298	0.0424	0.0720	0.111	0.172	0.302	0.426	0.560	0.742	0.878	1.32	1.34
5	0.0258	0.0245	0.0280	0.0352	0.0479	0.0780	0.116	0.174	0.309	0.436	0.565	0.746	0.879	1.32	1.34
10	0.0272	0.0258	0.0300	0.0382	0.0518	0.0831	0.124	0.188	0.318	0.443	0.569	0.750	0.881	1.32	1.34
20	0.0267	0.0249	0.0286	0.0360	0.0481	0.0790	0.120	0.178	0.283	0.388	0.493	0.637	0.724	0.898	0.904

表 D.0.1-2 时间因子 T_R 取值 ($c_r/c_0=0.1$)

P_{Lg}	P_{Ls}														
	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50	100	500	1000
0.001	0.00221	0.00403	0.00946	0.0187	0.0352	0.0810	0.152	0.243	0.399	0.529	0.646	0.765	0.835	0.956	0.962
0.005	0.00330	0.00525	0.0108	0.0197	0.0366	0.0822	0.153	0.244	0.401	0.529	0.647	0.794	0.979	1.18	1.19
0.01	0.00466	0.00695	0.0130	0.0231	0.0411	0.0838	0.154	0.245	0.403	0.530	0.649	0.830	1.07	1.45	1.47
0.05	0.0141	0.0157	0.0218	0.0315	0.0490	0.0944	0.156	0.247	0.405	0.531	0.650	0.856	1.07	1.46	1.47
0.1	0.0286	0.0273	0.0323	0.0421	0.0601	0.106	0.166	0.255	0.409	0.533	0.652	0.927	1.07	1.45	1.47
0.5	0.210	0.143	0.110	0.107	0.121	0.164	0.220	0.301	0.440	0.552	0.655	0.936	1.07	1.45	1.47
1	0.463	0.290	0.195	0.171	0.174	0.217	0.280	0.368	0.461	0.566	0.664	0.938	1.07	1.45	1.47
5	1.00	0.585	0.340	0.265	0.242	0.260	0.305	0.372	0.489	0.585	0.676	0.857	1.07	1.45	1.47
10	1.02	0.596	0.353	0.276	0.255	0.279	0.330	0.411	0.547	0.659	0.776	0.942	1.07	1.45	1.47
20	1.02	0.594	0.343	0.269	0.246	0.264	0.307	0.376	0.491	0.587	0.679	0.780	0.842	0.958	0.960

D.0.2 双层复合衬里污染物击穿时间计算应符合下列规定：

1 宜按下层复合衬里计算污染物击穿时间，并宜符合本标准第 D.0.1 条的规定；

2 下层渗沥液导流层水头可按 30cm 计算。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

附录 E 干旱及半干旱地区毛细阻滞型 土质覆盖层储水层厚度计算

E.0.1 对于干旱及半干旱地区填埋场,毛细阻滞型土质覆盖层中储水层的设计厚度 L_c 宜按下式迭代计算:

$$L_c = \frac{10 - \lg P'_u}{8} \times \frac{P'_w}{\theta_{c1} + \theta_{c2}} \quad (\text{E.0.1})$$

式中: L_c ——储水层的设计厚度(m);

P'_u ——拟设计覆盖层允许的年最大渗漏量(mm),宜按本标准表 6.4.1 取值;

P'_w ——当地有气象记录以来的最大年降水量(mm);

θ_{c1} ——当储水层基质吸力 φ 等于排气层材料进水值 φ_b (kPa)时的体积含水量(图 E.0.1),宜通过测试储水层土样的土水特征曲线确定;

θ_{c2} ——当储水层基质吸力 $\varphi = \varphi_b + 10L_c$ (kPa)时的体积含水量(图 E.0.1),宜通过测试储水层土样的土水特征曲线确定。

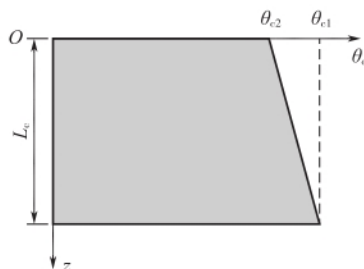


图 E.0.1 渗漏发生时储水层的含水量剖面示意图

E. 0.2 排气层材料的进水值 φ_b 宜通过测试其土水特征曲线确定,并取土水特征曲线高吸力段拐点对应的基质吸力。如缺乏测试数据,排气层材料的进水值可按表 E. 0. 2 取值。

表 E. 0. 2 排气层材料的进水值

排气层材料	颗粒级配(mm)			进水值(kPa)
	D_{10}	D_{30}	D_{60}	
碎石	5. 0	6. 0	8. 0	0. 2
	11. 27	15	18	0. 7
	3. 0	4. 5	6. 5	0. 5
粗砂	0. 3	0. 5	1. 2	2. 5
	0. 09	0. 17	1. 2	1. 0

注: D_{10} 、 D_{30} 和 D_{60} 分别为小于某粒径的土粒质量累计百分数为 10%、30% 和 60%时的粒径。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《生活垃圾处理处置工程项目规范》GB 55012
《建筑地基基础设计规范》GB 50007
《土工试验方法标准》GB/T 50123
《建筑边坡工程技术规范》GB 50330
《生活垃圾卫生填埋场封场技术规范》GB 51220
《生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程技术标准》GB/T 51403
《通用硅酸盐水泥》GB 175
《地下水质量标准》GB/T 14848
《干湿气候等级》GB/T 34307
《砌石坝设计规范》SL 25
《碾压式土石坝设计规范》SL 274
《混凝土重力坝设计规范》SL 319
《水利水电工程边坡设计规范》SL 386—2007