

HDPE 土工膜在城市生活垃圾卫生填埋场中的应用

周敬超

(深圳市市政工程设计院, 广东 深圳 518035)

摘要:结合深圳市下坪固体废弃物填埋场工程实例,论述城市生活垃圾卫生填埋场高密度聚乙烯(HDPE)土工膜的特性、设计与施工.土工膜的厚度、强度设计采用薄膜理论.土工膜渗滤液的渗流量计算采用 Giround 和 Bonaparte 的经验公式.土工膜边坡稳定分析采用极限平衡法.斜坡上的土工膜选用加糙的土工膜.土工膜下支持层采用弱透水性材料.土工膜施工时清场、铺设、热熔焊接、膜保护的措施要完善.

关键词:生活垃圾;卫生填埋场;高密度聚乙烯(HDPE);土工膜

中图分类号:TU531.7

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2003)03-0053-04

近10年来,我国城市生活垃圾的无害化处理率有较大幅度的提高.1991年,城市生活垃圾无害化处理率不足3%,到1998年基本上达到20%.从1996年起,我国开始将高密度聚乙烯(HDPE)土工膜运用于城市生活垃圾卫生填埋场,大大提高了我国城市生活垃圾卫生填埋处理技术水平.

21世纪初期,城市生活垃圾卫生填埋场在我国得到了快速发展,有关建设标准及设计规范相继出台,如《城市生活垃圾卫生填埋处理工程项目建设标准》^[1]和《城市生活垃圾卫生填埋技术规范》^[2]2001年颁布执行,为城市生活垃圾卫生填埋场设计指明方向.

按照《三峡库区及其上游水污染防治规划(2001~2010年)》,在未来10年内,国家将投入392.2亿元防治三峡库区及其上游的水污染.其中在2003年前,国家将首批投入88.8亿元用于重庆市库区(包括40个区、县)城镇生活垃圾卫生填埋场(全部使用HDPE土工膜防渗材料)设施的建设,并对渗滤液进行处理达标后排放.

我国已建成的数十座大中型城市生活垃圾填埋场,如深圳、北海、昆明、海口、保定、北京六里屯、天津、青岛、泉州等,皆采用了HDPE土工膜.目前正在设计、筹建的国内其它大中城市(如珠海、杭州)和三峡库区首批13个城市(如开县、奉节、云阳、忠县、万州)等生活垃圾填埋场皆采用了HDPE土工膜.HDPE土工膜是城市生活垃圾卫生填埋场防渗的核心材料.

1 HDPE 土工膜的特性、设计和施工

1.1 HDPE 土工膜特性

土工膜是垃圾填埋场工程常用的三种主要土工合成材料(另有土工网和土工织物)之一,其防渗性能是衡量垃圾卫生填埋场是否达到环保要求的主要指标.

土工膜通常由连续的聚合物薄层制成,并不是绝对不透水气,只是相对土工织物或填土甚至粘土而言是不透水气的.其水气渗透试验测得的数据在 $0.5 \times 10^{-10} \sim 0.5 \times 10^{-13} \text{ cm/s}$ 之间.因此垃圾卫生填埋场其土工膜主要功能是用来隔断渗滤液和填埋场气体的外泄,防止有害物质污染周围环境.

HDPE土工膜是垃圾卫生填埋场防渗工程中运用最广泛的材料,其运用的部位主要有填埋场底部衬垫、填埋场封场覆盖、渗滤液调节池衬垫等.

目前,我国垃圾卫生填埋场中常用的HDPE土工膜皆从国外引进,如美国、德国、韩国等,其厚度主要有1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 3.0 mm, 3.5 mm. HDPE土工膜的结构型式有光面的和加糙的,适用于不同的场地要求.

HDPE土工膜的主要特征和优点有:

a. 强度较高.屈服抗拉强度可达18 MPa,断裂抗拉强度可达35 MPa,剥离强度31 kN/m,剪切强度33 kN/m;延展性良好.屈服延伸率为13%~16%,断裂延伸率为700%~800%,有较好的地表适从性、耐候性,其真正破坏时,应变大约高达1000%.

b. 防渗能力好. 防渗系数小于 $1 \times 10^{-13} \text{ cm/s}$, 可以确保渗滤液不因衬垫而泄漏、污染土地, 雨水不会透过封场的覆盖层, 增加渗滤液量, 填埋气体不会透过衬垫而泄出.

c. 化学稳定性好. 因填埋体的最高温度可达 50°C , 化学稳定性是填埋场设计过程中最关键的因素. HDPE 土工膜是所有土工膜材料中化学稳定性最好的材料, 城市生活垃圾卫生填埋场的渗滤液化学成分对 HDPE 衬垫不构成威胁, HDPE 土工膜具有良好的防腐蚀性.

HDPE 土工膜软化点约 121°C , 冷脆化点约为 -120°C . 其对无机酸、有机酸、无机盐、酒精类、醛类、胺类、酯类、油脂有较强抵抗力, 能防止这些化学物的直接腐蚀, 也能防止因吸收和膨胀而导致性能衰退, 对某些碳氧化合物(如苯、苯乙醛、已烷和甲醛)也有一定的抵抗力, 仅对卤族碳氧化合物(如氯化苯醛、含溴苯)的抵抗力较差.

国外从 1994 年开始室外风化试验, 结果表明 HDPE 材料的性能始终良好. 跨大西洋的通讯电缆是 20 世纪 40 年代铺设的, 至今没有损坏, 埋在土中和水下 HDPE 衬垫的耐久性可达 50 年以上.

d. 具有良好的抗紫外光老化性. HDPE 土工膜中的炭黑加强了其抗紫外光的能力. 其中不用增塑剂, 因而没有暴露在紫外光下被分解的问题.

e. 抗啮齿动物和微生物侵袭. 各种试验证明, 动物和微生物只侵袭那种含有增塑剂的聚合物, 并以其为食物, HDPE 土工膜不受这种影响.

f. 施工方便, 施工技术成熟, 焊接质量高. 焊缝强度高于母体材料强度, 焊缝的形式有单轨、双轨焊缝, 双轨焊缝便于检测.

国外常用土工膜还有超低密聚乙烯(VLDPE)土工膜、复合土工膜(如 HDPE 土工膜和膨润土复合, VLDPE 和 HDPE 复合)等. VLDPE 土工膜适应变形能力较强, 可用于柔韧性要求较高的填埋场. 复合土工膜除具有复合用材的优点之外, 另外还有增强抗渗透能力的优点.

1.2 HDPE 土工膜厚度、强度设计

HDPE 土工膜在水平和坡面铺设时, 其厚度设计采用薄膜理论公式:

$$T = 0.204 \frac{pb}{\sqrt{\epsilon}} \tag{1}$$

式中: T 为单宽土工膜所受拉力, kN/m ; p 为膜承受的垂直压力, kPa ; b 为预计膜下支持层可能产生的裂缝宽度, m ; ϵ 为膜的拉应变, %.

HDPE 土工膜的强度设计满足下式:

$$F_s = T_f/T \tag{2}$$

式中: T_f 为单宽土工膜的极限抗拉强度, kN/m ; F_s 为安全系数, 在填埋场设计中建议该值大于 10.

1.3 HDPE 土工膜渗滤液的渗漏量计算

尽管 HDPE 土工膜渗透性极弱, 但仍然会有少量渗滤液透过, 特别是当膜本身存在缺陷或在运输、施工过程中破损, 渗漏量会更大. 渗漏量与 HDPE 土工膜下持力土层的渗透性、密实度、接触表面相关. Giroud 和 Bonaparte 通过分析研究和模型测试, 提出了下面两个经验公式来计算穿过复合衬垫中 HDPE 土工膜上一个圆孔的渗漏量^[3].

a. 铺设的 HDPE 土工膜折皱较少, 低透水性土层密实度较大, 其上表面光滑:

$$Q = 0.21 a^{0.1} h^{0.9} k_s^{0.74} \tag{3}$$

b. 铺设的 HDPE 土工膜有一定的折皱, 低透水性土层密实度较小, 其上表面不光滑:

$$Q = 1.15 a^{0.1} h^{0.9} k_s^{0.74} \tag{4}$$

式中: Q 为复合衬垫中 HDPE 土工膜上一个圆孔的渗漏率, m^3/s ; a 为土工膜上小圆孔的面积, m^2 ; h 为土工膜上水头, m ; k_s 为复合衬垫中持力土层的渗透系数, m/s .

1.4 HDPE 土工膜与其它介质界面摩擦特性

在斜坡上铺设 HDPE 土工膜时, HDPE 土工膜与其它材料(包括砂、混凝土)之间的摩擦特性是设计上一个很重要的控制指标. 光面 HDPE 土工膜与其它材料之间的摩擦角较土的摩擦角小, 很容易沿界面产生滑动. 光面 HDPE 土工膜与其它材料之间的摩擦角见表 1.

表 1 光面 HDPE 土工膜与其它材料之间的摩擦角 ($^\circ$)

砂			土工织物				混凝土	
$\varphi = 30^\circ$ (尖角 砂粒)	$\varphi = 28^\circ$ (尖角 砂粒)	$\varphi = 26^\circ$ (圆角 砂粒)	针刺 无纺	热粘 无纺	单丝 有纺	加筋 有纺	室内 试验	室外 试验
18	18	17	8	11	6	10	16.7	13.5

从表 1 可知, 光面 HDPE 土工膜与土工织物间的摩擦角较小(小于 11°). 垃圾卫生填埋场设计中, 斜坡上的 HDPE 土工膜一般选用加糙的 HDPE 土工膜, 以增加其抗滑能力.

1.5 HDPE 土工膜防渗系统结构层

水利工程上一般在土工膜下支持层采用强透水性的材料, 但作为环保项目的垃圾填埋场工程, 若支持层仍采用强透水性的材料, 一旦发生非人为的膜破损, 渗滤液将通过膜下强透水性材料迅速向周边扩散, 对环境造成污染. 为减少对周围环境的影响, 提高防渗层的安全度, 建议在 HDPE 土工膜下支持层采用弱透水性材料, 如粘土(渗透系数小于 10^{-7} cm/s). 土工膜上的保护层采用土工布和粘土层(厚 50 cm).

1.6 HDPE 土工膜防渗结构边坡稳定分析

垃圾卫生填埋场的垃圾坝、填埋区侧壁边坡皆采用 HDPE 土工膜防渗。垃圾坝的 HDPE 土工膜边坡稳定分析与一般水利工程的挡水土石坝相同。因 HDPE 土工膜斜墙靠近上游坝坡, HDPE 土工膜与坝体之间的摩擦系数一般小于坝体的内摩擦系数, 因此, 需要计算校核 HDPE 土工膜与保护层或坝体之间的抗滑稳定性。HDPE 土工膜边坡稳定分析采用我国土工合成材料应用技术规范所推荐的极限平衡法。

填埋区侧壁边坡稳定计算可参照垃圾坝的 HDPE 土工膜边坡稳定分析方法进行。

边坡上的 HDPE 土工膜破坏模式为:

a. 从锚固沟中脱出向下滑动。这种破坏常发生在 HDPE 土工膜铺设时, 但通过 HDPE 土工膜与坡面之间摩擦能阻止 HDPE 土工膜在坡面上的滑移, 同时 HDPE 土工膜与锚固沟沟壁的摩擦及锚固沟的锚固作用也可阻止 HDPE 土工膜的滑动。

b. 沉降过大。垃圾堆体的沉降过大 (10% ~ 20%), 是由于垃圾填埋过程中的压实密度较小 (一般只有 $800 \sim 1000 \text{ kg/m}^3$)、孔隙率较大、垃圾生化反应分解所致。填埋场的沉降 (垃圾堆体的沉降及地基自身的沉降) 过大, 会使斜坡上的 HDPE 土工膜产生较大的张力, 可能导致 HDPE 土工膜破坏。

1.7 HDPE 土工膜施工要求

a. 须配合整个工程进度, 彻底清除场地草皮、树根和一切尖角硬物, 下垫层平整, 不可有凸起褶皱, 以防损伤土工膜。

b. 对于松软部位应进行挖除回填夯实。场内任何足以毁损 HDPE 土工膜之物品, 如铁钉、木材、突出物等, 在 HDPE 土工膜铺设前应全部清除。为了防止人为损伤土工膜, 禁止施工人员穿硬底鞋或带钉鞋, 禁止往土工膜上扔杂物。

c. 在平整场地完成后依据工程师核准的铺膜施工图铺设, 并根据场地地形加设工作平台及锚固沟 ($1000 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$), 锚固沟的开挖回填均应满足土工膜安全稳固的要求。

d. 土工膜和土工布铺设完成后, 在填埋场库底覆盖 50 cm 的粘土和 40 cm 的小粒径碎石层, 边坡部分自坡趾线垂直距离 1.5 m 内覆盖 50 cm 厚的压实粘土, 保护 HDPE 土工膜免遭损坏。

e. 现场搭接前须先彻底清除搭接部分的异物, 如泥土、砂石等, 搭接的接缝必须错开排列, 搭接方法应采用挤出成型焊接法, 下雨天或有雾、风沙太大时, 不得进行搭接施工。铺设土工膜时可在膜上放置砂包压重, 以防大风吹卷土工膜, 且能保护土工膜不

被损伤。

f. 为保证土工膜的焊接质量, 要将土工膜的焊缝面清理干净。根据气温和风向、风力, 随时调整焊接温度和行焊速度; 经常清除焊机胶轮表面及热楔表面粘附的土工膜材料的残余物, 保持其表面清洁; 施焊时基底一定要平整坚硬, 拼缝搭接面一定要平整, 防止焊缝褶皱不平。

g. 在铺设土工膜上垫层、保护层面层及用粘土填锚固端时, 不可损伤复合土工膜。

h. 每道工序完成后必须经现场监理工程师的验收认可, 方能进行下一道工序施工。

2 应用实例

2.1 深圳市下坪固体废弃物填埋场概况

深圳市下坪固体废弃物填埋场受纳物为城市生活垃圾, 是我国最早采用 20 世纪 90 年代国际通用卫生填埋技术处理城市生活垃圾的大型现代化填埋场, 于 2001 年 3 月被国家建设部批准为国家级城市生活垃圾处理示范工程。其总占地面积 149 hm^2 , 整个工程规划分三期建设: 一期填埋区占地 63.4 hm^2 , 库容 1493 万 m^3 , 服务年限 12 a, 投资 3.4 亿元; 二期填埋区占地 55.8 hm^2 , 库容约 1200 万 m^3 , 服务年限 10 a; 远期计划在一、二期填埋区上再堆高 50 ~ 60 m, 库容约 2000 万 m^3 , 服务年限 13 a。

总填埋库容为 4693 万 m^3 , 目前日均处理规模为 2000 t , 属 I 级规模填埋场。下坪固体废弃物填埋场采用人工水平防渗技术, 有效地实现了场区清、浊、污分流, 建有完善独立的地下水收集系统、渗滤液收集系统、填埋场气体收集系统、环境监测系统、自动称重系统、闭路电视监控和电脑网络系统。自投产运行以来, 认真执行卫生填埋技术规范, 采用先进的碾压设备, 达到了卫生填埋压实覆盖的技术标准要求。

2.2 HDPE 土工膜应用

下坪固体废弃物填埋场最大的垃圾堆积高度达 120 余 m, 根据计算, 采用表面加糙 HDPE 土工膜, 厚 2 mm (美国进口, 幅宽 6.8 m), 其物理力学性能见表 2。

垃圾容重按 10 kN/m^3 考虑。经计算, HDPE 土工膜的强度安全系数 F_s 为 50。

在单层 HDPE 土工膜上有保护层 (土工布、粘土层), 膜下有支持层 (粘土层)。在主渗滤液收集系统之下增加了一层土工复合膜 (膨润土厚 6 mm), 增加其抗渗能力。

若 HDPE 土工膜与下层土接合良好, 复合衬垫中 HDPE 土工膜每 4000 m^2 有一个 0.1 cm^2 小孔, 复合衬垫中土层的渗透系数为 $1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$, 土工膜上水头

表 2 2.0 mm 粗糙面 HDPE 土工膜主要物理力学性能

项目	厚度 /mm	密度 /(g·cm ⁻³)	炭黑 含量 /%	抗拉强度 /MPa		延伸率/%		撕裂强度 /(kN·m ⁻¹)	抗穿 刺强 度/N	耐热尺度变化率 (100℃, 15 min)/%		渗透 系数 /(cm·s ⁻¹)	吸水 率/%	环境弯曲 应力龟裂 实验/hr	摩擦角 /(°)
				屈服点	断裂点	屈服点	断裂点			纵向	横向				
标准	2.0+10% 2.0-5%	>0.94	2~3	>18	>35	>15	>700	>90	>437	±3	±3	≤2.2× 10 ⁻¹⁴	<1	>2000	>25(亚粘土) >27(无纺布)
检验 方法	ASTM /D-1593	ASTM /D-1505	ASTM /D-1603	ASTM /D-638		ASTM /D-638		ASTM /D-1004	FTMS101 /(标准 2055)	ASTM /D-1204		ASTM /E96	ASTM /D-570	ASTM /D-1204	ASTM /D-5321

0.3m,则复合衬垫渗漏率为 $3.206 \times 10^{-6} \text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

HDPE 土工膜防渗结构边坡稳定计算采用极限平衡法,其边坡抗滑稳定安全系数达到 1.3。

3 结 语

根据国内外成功实例的经验,采取以 HDPE 土工膜为核心的层状防渗结构层,在填埋场的底部和周边形成隔离层,防止渗滤液污染地下水,减少渗滤液产生量,并实现渗滤液和地表水、地下水的分流排放,能有效达到防渗环保目的。目前土工膜已在我国城市生活垃圾填埋场中广泛运用,土工膜的设计(厚度、强度、渗漏量、边坡稳定等)、施工技术已逐渐被我国的工程技术人员掌握。土工膜施工保护措施是非常重要的,施工单位需有完善的施工组织设计,确保土工膜不因石、锐器、人为等因素损伤而发生渗漏

现象。深圳市下坪固体废弃物填埋场 5 年多运行和地下水的监测表明,城市生活垃圾填埋场采用土工膜复合结构防渗系统是科学合理、安全可靠的。

参考文献:

- [1] 建设部主编.城市生活垃圾卫生填埋处理工程项目建设标准[S].2001.
- [2] CJJ17—2001.城市生活垃圾卫生填埋技术规范[S].
- [3] 钱学德,郭志平,施建勇,等.现代卫生填埋场的设计与施工[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [4] GB50290—98.土工合成材料应用技术规范[S].
- [5] SL/T225—98.水利水电工程土工合成材料应用技术规范[S].
- [6] SL/T231—98.聚乙烯(PE)土工膜防渗工程技术规范[S].
- [7] 孙钧,迟景魁,曹正康,等.新型土工材料与工程整治[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.

(收稿日期:2002-07-09 编辑:傅伟群)

(上接第 52 页)

不断发展,为满足防汛、气象以及农业部门的现代化需要,风情监测自动化系统逐渐被越来越多的相关部门所接受,近年来在广东中山、珠海、潮州、揭阳等市“防汛抗旱防风”指挥系统,广西桂林青狮潭灌区,云南渔洞水库,辽宁白石水库等自动化系统中都取得了成功的应用。该系统不仅可大大减少劳动强度、提高工作效率,更重要的是可以迅速、及时、准确地采集风速、风向的实时数据,为防汛指挥部门提供必要的科学依据。风情监测自动化系统不仅在我国沿海地区的防汛指挥系统中有广泛的市场,而且在内地风暴灾害严重地区、大型水库、农业灌区也将具有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 张雷琛.现代气象观测[M].北京:北京大学出版社,2000.
- [2] 刘宏勋,李太宇.气象仪器和观测方法指南[M].北京:气象出版社,1992.
- [3] 陈智.海洋气象水文综合自动化测控系统简介[J].南京:水利水电科技进步,1999,19(4):67~68.

(收稿日期:2002-08-31 编辑:张志琴)

·简讯·

溪洛渡水电站即将开工建设

溪洛渡水电站位于四川省雷波县和云南省永善县交界的金沙江下游河段上,是以发电为主,兼有防洪、拦沙以及改善下游航运等综合效益的巨型电站,装机 1260 万 kW,仅次于三峡水利枢纽,与巴西、巴拉圭的伊泰普电站并列世界的第二位。溪洛渡水电站经济指标优越,单位投资 3 600 元/kW,远低于已建成的大型电站。出厂电价约 0.2 元/kW·h,具有较强的竞争力,是西电东送中线的骨干电源。该电站建成后将主要输电给华中和华东电网。该电站业主为中国长江三峡工程开发总公司,设计单位为成都勘测设计研究院。中国长江三峡工程开发总公司决定于 2003 年投入 7 亿元,开展对外交通和场内工程建设。对外公路勘测设计项目投标会已于 2003 年 2 月 26 日在成都举行。按照总体进度安排,筹建工程为期 3 年,2005 年主体工程开工,2008 年 12 月截流,2014 年 7 月首台机组发电,2017 年竣工。按 2001 年 9 月价格水平计算,工程静态投资 445 亿元,总投资 603 亿元。溪洛渡水电站作为长江三峡的后续工程,它的筹建,打响了金沙江开发的“第一炮”。中国长江三峡工程开发总公司将以三峡工程和葛洲坝工程作为母体,滚动开发金沙江各梯级,作为我国十二大水电基地之一的金沙江水电站基地,从此迈上征程。

(吴冀高供稿)