

土工合成材料在废物填埋场中的应用

黄婉荣 郭志平

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

9
30-33

TV49
X705

摘要 简要介绍几种土工合成材料的类型、特点及功能,并通过工程实例介绍土工合成材料在废物填埋场封闭系统中的应用,列举有关土工合成材料的最重要的技术要点:使用寿命,界面抗剪强度,施工质量控制和保证,现场性能资料等,并指出今后研究和发展的方向。

关键词 土工合成材料;废物填埋场;填埋场封闭系统

城市固体废弃物填埋场是控制固体废弃堆填物的一种方法。现代卫生填埋场封闭系统主要由衬垫系统、淋洗液收集和排放系统、气体收集系统和封顶系统组成^[1]。随着工程技术的发展,填埋场封闭系统也在不断改进,土工合成材料越来越广泛地应用于填埋场封闭系统。

土工合成材料的家族成员如下:土工膜、土工织物、土工合成材料粘土衬垫(GCLs)、土工合成复合材料、土工格栅、土工网和土工管等。在填埋场封闭系统中,它们发挥的主要功能为:防渗、反滤、隔离、排水和加固。

1 土工膜

土工膜是废物填埋场中最常用、最重要的一种土工合成材料,它是一种基本不透水的连续的聚合物薄膜,与土工织物或普通的土甚至粘性土相比,其透水性极小。通过水汽渗透试验测定,其渗透系数约为 $0.5 \times 10^{-10} \sim 0.5 \times 10^{-13} \text{ cm/s}$,因此,它经常被用作液体或气体的隔离物^[2]。

1.1 土工膜的类型

土工膜由一种或多种聚合物构成,其中也可添加如碳黑、色素、填料、增塑剂、胶联化学制品、防老化剂及生物制剂等其它成分。其中,碳黑的作用是稳定剂,尤其是抵抗紫外线的侵害。增塑剂用来增强柔韧性,便于操作和改变物理力学性能。添加剂有抗氧化、增强耐久性、润滑和辅助加工的作用。用于制造土工膜主要的聚合材料有^[3]:①热塑塑料,如聚氯乙烯(PVC);②结晶状热塑塑料,如高密聚乙烯(HDPE)、超低密聚乙烯(VLDPE)、线性低密聚乙烯(LLDPE)等;③热塑合成橡胶,如氯化聚乙烯(CPE)

和氯化磺胺聚乙烯(CSPE)等。常用于废物填埋场的土工膜聚合材料有:HDPE, VFPE(超柔聚乙烯), PVC和CSPE等,表1列出了美国常用的土工膜类型及配料成分含量。土工膜的厚度为0.75~2.5 mm不等。

表1 美国常用的土工膜类型及配料成分含量^[4] %

土工膜类型	聚合物树脂	增塑剂	填料	碳黑或色素	添加剂
高密聚乙烯(HDPE)	95~98	0	0	2~3	0.25~1.0
超柔聚乙烯(VFPE)	94~96	0	0	2~3	1~4
其它板压型	95~98	0	0	2~3	1~2
聚氯乙烯(PVC)	50~70	25~35	0~10	2~5	2~5
氯化磺胺聚乙烯(CSPE)	40~60	0	40~50	5~40	5~15
其它轮压型	40~97	0~30	0~50	2~30	0~7

1.2 土工膜的发展趋势

总的说来,由于聚合物材料和加工工艺的不同,导致土工膜产品的种类多种多样,但土工膜发展的趋势是^[5]:①把土工膜表面压成粗糙的波纹状或格栅状以增加表面摩擦;②用浅色的表面以减少土工膜暴露时的吸热量;③开发HDPE, VLDPE复合土工膜,兼备HDPE土工膜的抗化学侵蚀力和VLDPE土工膜的耐久性;④开发新的树脂材料和添加剂,以便土工膜具有更长的使用寿命和更好的稳定性。

2 土工织物

土工织物是废物填埋场中使用率仅次于土工膜的一种土工合成材料。它是由聚合纤维制成的透水性织物。用于制造土工织物的聚合物中,聚丙烯占75%,聚酯占20%,另外5%是聚乙烯、尼龙和其它特殊用途的聚合物。土工织物配料中也含有不同程

度的添加剂,作用是防紫外线、辅助加工等。

土工织物产品的类型有四大类:有纺单丝(woven monofilament)、有纺狭缝薄膜(woven slit film)、穿孔纤维联结无纺布物(nowoven needle punched)、热联结无纺布物(nonwoven heat bonded),它们的作用是:反滤、隔离、保护、排水和加固。

3 土工合成材料粘土衬垫(GCLs)

在所有类型的土工合成材料中,GCLs是最新、推广应用速度增长最快的一种土工合成材料。它是由干燥的膨润土层和土工织物或土工膜一起组成的一种复合材料。它有两种基本类型(图1),一种是膨润土层夹在两层土工织物之间,土工织物通过粘合剂粘结、纤维穿孔联结或绑结;另一种是土工膜贴在膨润土层一侧,通过粘合剂粘结。GCLs中土工合成材料的作用是保持膨润土层为一均匀薄层,在运输和安装过程中不使膨润土层遗漏。此外,土工合成材料还可以增加抗拉强度或抗剪强度,土工膜还有防渗作用。GCLs产品中的膨润土层是完全干燥的,颗粒间有敞开的孔隙。当膨润土遇水发生水化时,颗粒膨胀,颗粒间孔隙关闭,其膨胀行为是获得低透水性的关键所在。通常,GCLs产品不同,渗透液不同,则渗透系数也不同,但都能达到小于或等于 $1 \times 10^{-9} \sim 5 \times 10^{-9} \text{ cm/s}^{[4]}$ 。GCLs厚5~10mm,膨润土的含量约为 5 kg/m^2 。

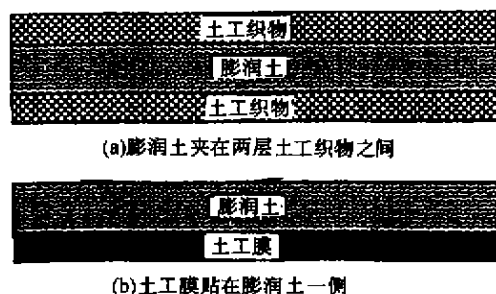


图1 GCLs的两种类型

目前在欧美各国,GCLs正在取代传统的压实粘土衬垫(CCLs),广泛地应用于废物填埋场。和CCLs相比^[6],GCLs的优点在于:①GCLs薄($\leq 10 \text{ mm}$);CCLs厚(0.6~1.5 m),用GCLs可增加废物填埋量;②可快速安装;③可用轻型器械施工,当衬垫下面有易被重型器械刺破或损坏的材料时,这点尤为重要;④安装时是干燥的,因此不会受干裂的影响;⑤在荷载作用下GCLs不会固结排水,而湿润的CCLs在荷载作用下会固结排水,往往被下面的渗漏检测系统误认为渗漏的淋洗液。GCLs的缺点是:①GCLs较薄,易被刺破;②某些GCLs与相邻的土工膜较难复合;③稀释淋洗液的能力不如厚的CCLs;

④膨润土水化后易失稳等。

4 土工合成复合材料

土工合成复合材料是指两种或两种以上土工合成材料联合使用的材料。它通常在工厂由机器相互粘结或绑结后,作为一个整体单元运往现场。

废物填埋场中最常用的复合材料是由土工织物和土工网复合而成的,土工织物是隔离物和反滤层,土工网用作排水层。复合材料中贴在土工网顶面和底面的土工织物可以不相同。

土工合成复合材料常用作填埋场边坡排水层,其优点是^[5]:安装比砾石材料容易得多,且可用轻型器械施工;可锚固在边坡顶部,从而减少沿着排水层与下垫土工膜交界面的剪切破坏。

5 土工加筋材料

土工格栅和高强土工织物可用于有加固要求的填埋场结构中。土工格栅是由聚乙烯或聚丙烯产品制成的刚性材料,或者是用沥青、橡胶或PVC包裹聚合纤维而成的一种柔性材料。高强土工织物通常是有纺聚合物,也可以是聚丙烯。

土工加筋材料常用来增强边坡土体的稳定性和加固覆盖层土体。另一个正在逐渐应用的领域是填埋场水平向和竖向的扩大,土工格栅和高强土工织物用来支撑扩大部分的土工膜以抵抗下面废物产生的不均匀沉降。

6 土工合成材料在填埋场封闭系统中的应用

图2表示的是美国卫生填埋场工程中广泛应用土工合成材料的封闭系统(双层复合衬垫系统)。填埋场底部由上至下依次为:土工织物反滤层,周围填以砾石的多孔管网组成的淋洗液收集系统,土工织物保护层,土工膜和GCL组成的首层衬垫,土工织物和土工网复合材料组成的渗漏检测系统以及土工膜和压实粘土层组成的次层衬垫。其中,覆盖于整个填埋场底部的土工织物反滤层可防止下面的淋洗液收集和排除系统堵塞,砾石下面的土工织物垫层可保护首层土工膜不被砾石刺破。

在边坡上,淋洗液收集系统是土工网、土工织物复合层,它们在填埋场底部嵌入砾石层。在填埋场侧边土坡内,用土工格栅来增加边坡土体的稳定性。

填埋场覆盖系统由下至上依次为:土工织物排气层,土工膜和GCL组成的防渗隔离层,以及土工合成材料侵蚀控制系统(geosynthetic erosion control system)。

土工合成材料在欧美各国的卫生填埋场工程中都得到不同程度的应用。其区别在于,在衬垫系统的

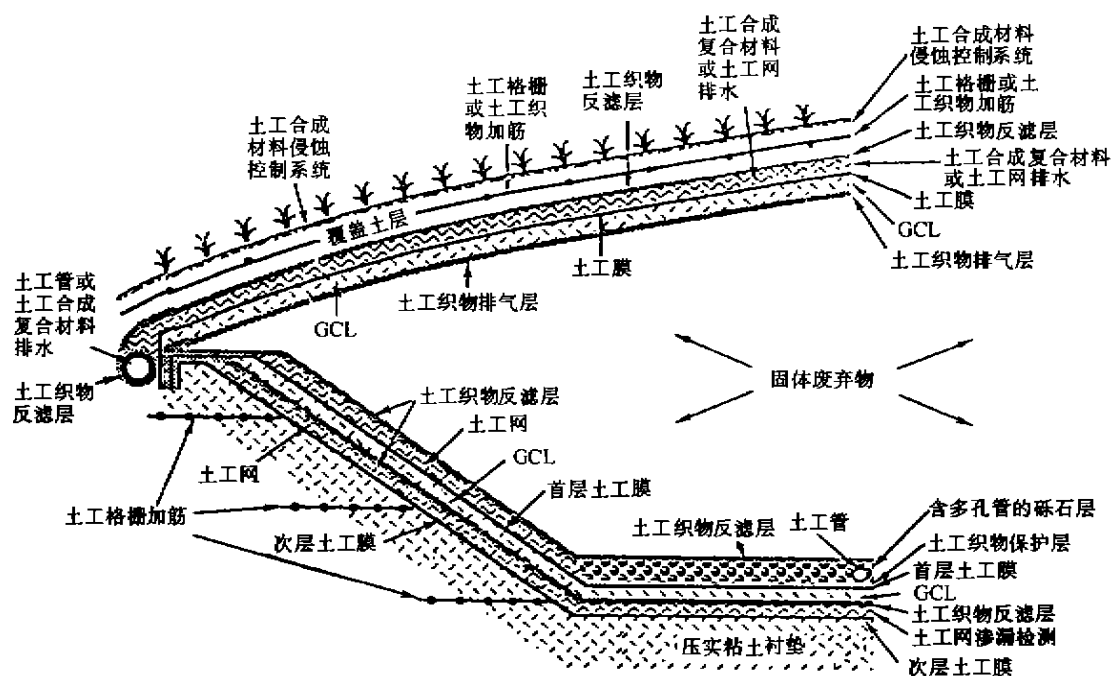


图2 一个广泛应用土工合成材料的填埋场封闭系统

构造上,美国尽量将衬垫系统同天然土层隔开,而欧洲国家则尽量利用天然土层作为衬垫系统的一部分^[7]。总的说来,各国填埋场衬垫系统的发展都是趋于复合型。

7 有关土工合成材料最重要的技术要点

一个设计合理的土工合成材料必须满足其物理、力学及耐久性性能的要求,它不仅要抵抗填埋场淋洗液各成分的化学和生物侵蚀,还要具有足够的强度来承受运输、操作、安装及其它施工活动。材料的变形必须与填埋场其它结构的变形相协调,并在允许范围内,强度和界面摩阻力必须使填埋场结构稳定。除材料本身特性外,施工质量控制、质量保证以及建立在现场测试基础上的性能资料也是土工合成材料发挥正常功能的保证。

7.1 使用寿命

在填埋场中,由于土工合成材料所放置的环境和受力条件随时间改变,因此在设计中要考虑材料(尤其是土工膜)的使用寿命(耐久性)。以 HDPE 土工膜为例,其聚合物聚乙烯合成于 1933 年,在美国,HDPE 土工膜开始用于衬垫是在 70 年代,因 HDPE 土工膜的使用年限太短,通过现场测试不能确定其耐久性,但根据室内测试结果,用模型可预测土工膜的使用寿命。在美国,目前从事 HDPE 土工膜使用寿命研究的有 R. M. Koerner 和 Y. Hsuan,他们定义了 8 个影响 HDPE 土工膜降解的因素:氧化、化学侵蚀、水解作用、紫外线辐射、原子能辐射、生物侵蚀、受力条件和温度^[4],根据前三年的研究资料可推测,在特

定的条件下,HDPE 土工膜中抗氧化剂耗尽须 45~115 年,HDPE 土工膜的使用寿命约为 250~900 年。

7.2 界面抗剪强度

界面抗剪强度指两种相邻材料接触面的抗剪强度。GCLs 在使用时常和土、土工膜或土工织物相邻, 相邻的材料不同, 界面抗剪强度也不同。在实际工程中, 剪切破坏有可能发生在 GCLs 与相邻材料的界面。例如对内部加筋(两层土工织物靠纤维穿孔联结)的 GCLs, 内抗剪强度超过界面抗剪强度, 尤其是 GCLs 用于覆盖系统, 所受正应力较小的情况下, GCLs 中的膨润土像“润滑剂”一样, 润滑着 GCLs 与相邻的土工合成材料, 因此, 要当心 GCLs 与相邻材料的界面。在设计时, 对各种可能的界面强度都要进行测试。

7.3 施工质量控制和质量保证

在土工合成材料衬垫系统施工过程中要有合适的
的质量控制和质量保证,施工质量保证(CQA)指用
来保证土工合成材料的生产和安装与具体工程的质量
保证计划、图纸、规范及合同、法规要求相一致的
活动,它由独立于生产和安装的第三方来提供,施工
质量控制(CQC)仅指保证材料和工艺符合计划和规
范要求的活动,它由材料生产厂家和安装方提供
[2,8,9]。

具体说来,施工质量控制和质量保证的内容^[2]有:材料的运输、装卸、临时存放、一致性测试,材料安装前的土体施工,材料的现场铺设、接缝、接缝的天气条件以及材料缺陷的检测和修复等。在美国,它们的执行必须严格遵守联邦和州制定的法规。

7.4 现场性能资料^[4]

随着卫生填埋工程技术在欧美各国的迅速发展,工程人员越来越意识到建立应用于实际废物封闭系统中的土工合成材料性能资料的重要性.当前,美国环保局(EPA)正在发起广泛建立土工合成材料现场性能资料的研究.

参考文献

- 1 钱学德,郭志平.美国的现代卫生填埋工程.水利水电科技进展,1995,15(5):8~12;15(6):27~31
- 2 Qian Xuede. Geotechnical aspects on landfill design. The University of Michigan, Department of Civil and Environmental Engineering, Ann Arbor, Michigan, USA, 1995
- 3 钱学德,郭志平.填埋场复合衬垫系统.水利水电科技进展,1997,17(5):64~67
- 4 Daniel D V, Bowders J J. Waste containment systems by geosynthetics. In: Second International Congress on Environmental Geotechniques, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering and Japanese Geotechnical Society, Japan, 1996:49~65
- 5 Daniel D V, Koerner R M. Landfill liners from top to bottom. Civil Engineering, ASCE, 1991, 61(11):46~49
- 6 Daniel D V. Geotechnical practice for waste disposal, Chapman & Hall, USA 1993
- 7 Manassero M, Van Impe W F, Bouazza A. Waste disposal and containment. In: Second International Congress on Environmental Geotechniques, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering and Japanese Geotechnical Society, Japan, 1996:193~237
- 8 Qian X D. Sanitary landfill engineering-design and construction of landfills. Michigan Department of Natural Resources, Waste Management Division, Lansing, Michigan, 1993
- 9 Qian X D. Waimanalo gulch monofill sanitary landfill. Geolabs-Hawaii, Honolulu, Hawaii, 1992

(收稿日期:1998-06-02 编辑:张志琴)

·简讯·

碾压混凝土筑坝概况

碾压混凝土筑坝是近20年来发展起来的一项新技术,世界上第一座碾压混凝土坝是日本的岛地川坝,高89m,1980年建成.由于它在加快施工进度和降低工程造价上优势明显,因而引起了坝工界的浓厚兴趣,并迅速在全世界得到了推广采用.我国第一座碾压混凝土坝是福建大田县的坑口坝,高56.8m,1986年建成,此后在我国也广泛地采用这项新技术,并不断地改进完善,不仅在中小工程上应用,在一些大型工程上,也继续采用这种筑坝技术,如铜街子、天生桥二级、岩滩、宝珠寺、水口、江垭、大朝山等大型水电站,都应用了碾压混凝土筑坝技术.

a. 从数量上来看,据统计,截至目前为止,全世界已建及在建碾压混凝土坝已达210余座,分布在29个国家,以我国为数最多,有40余座,其次是日本和美国,各有30余座,再其次是西班牙,有20余座,巴西和南非也有10多座.

b. 从坝高上来看,在已建成及在建的210余座碾压混凝土坝中,坝高在100m以上的有25座,以日本最多,有11座,我国次之,有7座,其它7国各有1座,美国还没有这样的高碾压混凝土坝.目前世界上最高的碾压混凝土坝是日本的浦山坝,高156m,1998年建成.

c. 从坝型上看,目前有重力坝、重力拱坝和单曲拱坝三种坝型.①重力坝.在这210余座碾压混凝土坝中,绝大多数都是采用的重力坝,目前世界上最高的浦山坝就是重力坝,我国最高的碾压混凝土重力坝是四川的宝珠寺坝,高132m.还有湖南的江垭坝,高128m,已于1999年建成.②重力拱坝.据笔者收集到的资料,全世界现有碾压混凝土重力拱坝5座,以南非最多,有3座,我国和西班牙各1座.修建最早的是南非的克勒尔普尔特坝,高50m,1989年建成.目前世界上最高的碾压混凝土重力拱坝是我国贵州的普完坝,高75m,1994年建成.③单曲拱坝.据笔者所知,目前只有我国有三座单曲拱坝,已建成2座(温泉堡、溪柄溪),一座在建中(沙牌),沙牌坝建成后,将是世界上最高的单曲拱坝.100m级拱坝建成,将是碾压混凝土筑坝史上的一个重大突破.

d. 从碾压混凝土的方量上来看,当前碾压混凝土方量最大的是日本的宫濑坝,坝高155m,坝身体积200万 m^3 ,其中碾压混凝土153万 m^3 ,占坝身体积的76.5%.我国最大的是1999年建成的江垭坝,坝高128m,坝身体积134万 m^3 ,其中碾压混凝土111万 m^3 ,占坝身体积的82.8%.目前在阿尔及利亚在建的贝尼哈温坝,坝高120m,碾压混凝土170万 m^3 ,建成后将超过宫濑坝成为世界上碾压混凝土方量最大的坝.

e. 上游面防渗主要有两种方式,一种是在碾压混凝土外面包上一层厚约3m的常态混凝土,也就是通常称为“金包银”的方式,这在日本、美国和南非都是常见的,我国采用的也不少,如铜街子、岩滩和水口等.另一种是采用二级配的碾压混凝土来防渗,如我国的江垭、大朝山和百龙滩等.此外也有在碾压混凝土上游面铺设土工膜或加设预制混凝土面板的.

总而言之,碾压混凝土筑坝技术还在发展中,但它的前景是美好的.预计在下一个世纪将会有更多、更高、更大的碾压混凝土坝出现在世界上.

(吴冀高供稿)