

文章编号 1000-5013(2002)02-151-06

垃圾填埋场中的土工聚合物膨润土衬垫

施有志 马时冬

(华侨大学土木工程系, 福建泉州 362011)

摘要 建造垃圾填埋场是处理城市垃圾的主要手段, 而覆盖系统和衬垫系统的防渗层则是保证填埋场不为周围环境造成二次污染的关键. 文中介绍作为防渗层的新型材料土工聚合物膨润土衬垫的材料组成、防渗机理、工程特性及其优缺点. 同时, 述及目前国外开发的主要产品, 也对未来该技术的发展提出建议.

关键词 垃圾填埋场, 土工聚合物膨润土衬垫, 衬垫系统, 覆盖系统, 防渗层

中图分类号 X 705 TU 993 TU 599

文献标识码 A

建造垃圾填埋场, 是世界上大多数国家处理城市固体废弃物的主要方法, 也是适合我国国情的固体废弃物最终处理手段. 目前, 我国垃圾填埋场的数量不少, 但是真正符合卫生填埋标准的为数不多, 许多已建成的填埋场仍存在不少问题. 它们主要表现在垃圾渗滤液污染水源、土壤, 沼气溢出而污染空气和传播疾病等方面. 填埋处置的目的是, 采用不影响生活环境保护的方法来适当地贮存废弃物. 同时, 利用自然界的代谢机能, 将废弃物减量化、稳定化、无害化^[1]. 因此, 现代卫生填埋场的基本标准是不对周围环境造成二次污染, 尤其不对地下水和河流造成污染. 覆盖系统和衬垫系统是保护填埋场安全的重要措施.

1 衬垫系统和覆盖系统概念

1.1 衬垫系统和覆盖系统的结构

衬垫系统通常包括渗滤液收排系统、防渗层、保护层和过滤层, 如图 1(a) 所示. 覆盖系统通常包括表层、排水层、防渗层和排气层, 如图 1(b) 所示. 不同国家的填埋场, 对衬垫系统和覆盖系统还没有统一的标准; 而即使是同一个国家, 其对填埋场的密封系统也未提出完全统一的要求. 他们主要根据本国国情和填埋场的等级, 来选择结构组成及每层厚度^[2,3].

1.2 防渗层

由图 1 可以看到, 防渗层是衬垫系统和覆盖系统中必不可少的部分. 衬垫系统的防渗层的功能是通过在填埋场中铺设低渗透性材料, 来防止渗滤液下渗而污染地下水. 同时, 还阻隔地下水进入填埋场中. 覆盖系统的防渗层是防止雨水、地表水进入填埋场, 并防止填埋场气体溢出填埋场. 一般情况下, 防渗层应满足 8 点要求. (1) 渗透系数很低, 一般不能大于 $10^{-7} \text{ cm} \cdot$

s⁻¹. (2) 接缝处必须不漏水, 且容易施工. (3) 具有足够的强度和延展性, 可以抵抗剪切破坏,

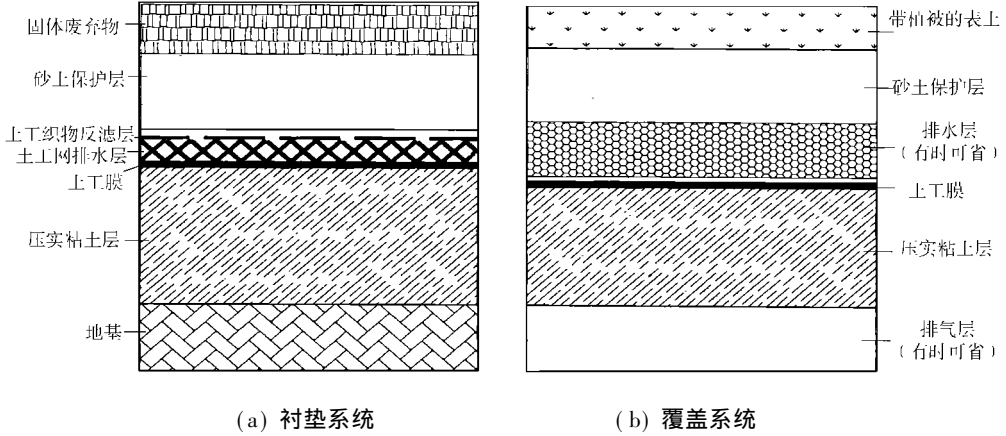


图 1 结构示意图

且随地基下沉而不被拉裂. (4) 在填埋中及填埋结束后不能破损, 保护系统的完整性. (5) 有优良的耐腐蚀性, 与渗滤液化学相容. (6) 能够经受气候的极端变化, 如冷热、湿干和冻融等. (7) 有优良的耐久性, 满足填埋场的使用年限. (8) 有良好的经济性. 随着工业技术和科学的发展, 不断开发的新型土工合成材料在填埋场中得到广泛的应用. 防渗层由原来单层的压实粘土, 发展到土工膜+ 压实粘土(图 1), 直至目前的土工聚合物膨润土衬垫. 图 2 为有土工聚合物膨润土衬垫的衬垫系统和覆盖系统^[8,5].

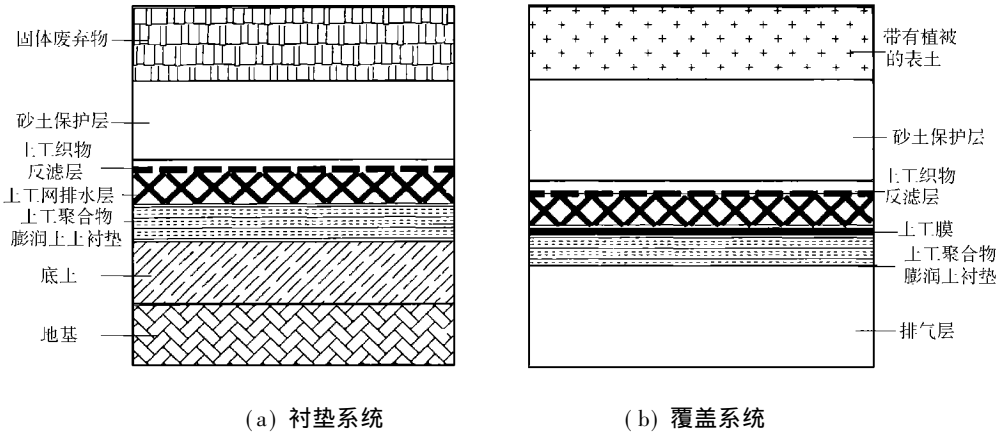


图 2 带月土工聚合物膨润土衬垫的结构示意图

2 土工聚合物膨润土衬垫

土工聚合物膨润土衬垫(GCL), 是 90 年代在美国开发的新型隔水材料, 其应用广泛、发展迅速. 它将膨润土夹在土工织物中间, 或连结在土工膜上而制成的. 图 3 为土工聚合粘土衬垫的两种基本类型^[6].

2.1 材料组成

GCL 主要由膨润土、土工织物或土工膜组成.

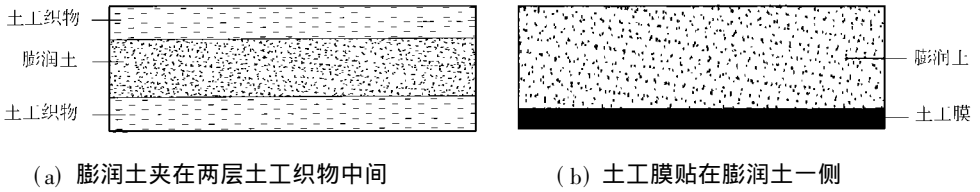


图 3 GCL 的两种类型

2.1.1 膨润土 膨润土是以蒙脱石为主要成分的粘土矿物. 它主要是凝灰岩或其它火山岩在碱性水的作用下, 蚀变而成的一种层状化合物. 其化学成分是含水硅酸盐, 吸水性强, 体积随所吸水分而膨胀, 但在加热后又可失去水分^[7,8]. 天然钙基膨润土在许多方面无法满足多种用途的要求. 但经过酸碱处理后, 可以提高某些性能(如粘结性, 膨胀性, 悬浮性, 抗剪性, 抗压性等), 而成为人工(或改性)钠基膨润土. 在 GCL 中, 其作用是防渗.

2.1.2 土工膜 土工膜是由透水性很低的聚合物、沥青和合成纤维和织物制成. 另外, 还加有一定的填充料、外加剂、抗老化剂、抗菌剂, 以及各种稳定剂. 大量的工程实践表明, 土工膜不仅具有很好的防水性能, 而且有很好的弹性和适应变形的能力, 能适应不同的施工条件和工作应力. 当埋在土中时, 其抗老化能力尤为突出. 若把土工膜表面压成粗糙的波纹或格栅状, 还可以增加衬垫与土体、土工积物, 以及其它土工合成材料之间的密合程度. 其作用是提高摩擦力, 而使边坡稳定性得到改善. 在 GCL 中的, 它起到保护、加固和防渗的作用.

2.1.3 土工织物 土工织物是由聚合纤维制成的透水性织物, 它也加有不同的添加剂和稳定剂. 土工织物重量轻、整体连续性好、抗拉强度较高、耐腐蚀性和抗微生物侵蚀性好. 当土工织物置于土内, 上覆有保护层, 则老化速度缓慢得多. 随着时间增长, 它有明显减慢趋于稳定的趋势^[9]. 在 GCL 中, 其作用为与膨润土联成一体, 从而提高整体的强度.

2.2 土工聚合物膨润土衬垫的主要产品^[6]

目前, GCL 的产品主要有 5 种, 如图 4 所示. 当用土工膜与膨润土联结时, 一般使用胶结物粘接. 当与土工织物联结时, 可通过胶结、针缝或针刺的方法, 或者 3 种方法联合起来. 尽管针刺针缝会在土工织物上产生小孔, 但当 GCL 中的膨润土发生水化反应时, 这些小孔便会封闭. 这对于防渗是无影响的.

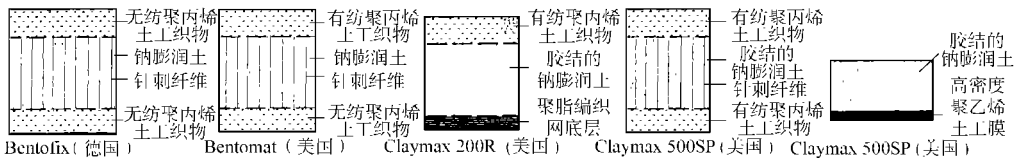


图 4 国外 GCL 的主要类型

2.3 土工聚合物膨润土衬垫的防渗机理

GCL 产品中的膨润土是完全干燥的, 颗粒间有孔隙. 从微观上看, 膨润土是粒径小于 $2\mu\text{m}$ 的无机质, 主要结构体系 Si-Al-Si, 即由云母状薄片堆垒而成单个颗粒. 这些薄片的上下表面带负电, 因此膨润土的结构单元是互相排斥的. 膨润土在水化时, 水分子沿 Si-Al-Si 结构单位的硅层表面吸附起来, 使相邻的结构单元之间的距离加大. 钠基膨润土粉单元晶层中, 存在极弱的键. 钠离子连接各层薄片, 钠离子本身半径小, 离子价低. 水易进入单位晶层, 引起晶格膨胀, 如图 5、6 所示. 膨润土水化后, 形成不透水的可塑性材料, 同时挤占土颗粒间的空隙, 形

成致密的不透水防水层,从而达到防水目的^[10,11].

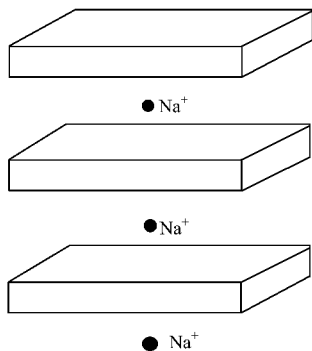


图5 水化前钠离子连接各层单质薄片

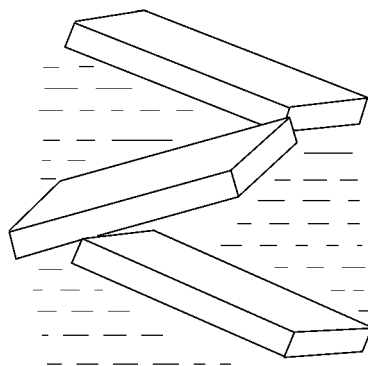


图6 水化后单质薄片间充满水

2.4 土工聚合物膨润土衬垫的工程特性

GCL 的工程特性,主要包括渗透性、抗剪强度、膨胀和收缩性,以及冻结和融化性能.

2.4.1 渗透性 渗透性是衬垫系统的关键.国内外已对不同的 GCL 作了室内试验^[6~12],得出 5 点结论.(1) GCL 的渗透系数很低,范围是 $1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-13} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.(2) 同种 GCL 对于不同的渗透液,其渗透系数不一样.因此,要考虑到填埋场渗滤液与 GCL 的相容性.(3) 渗透系数与膨润土的均质性和单位面积的膨润土数量有关,经过处理的膨润土比用天然膨润土的效果好.(4) 由于土工膜本身的渗透系数很小,含有一层土工膜的 GCL,其垂直透水性更低(约为 $1.0 \times 10^{-13} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$),或者更小.(5) 渗透系数与 GCL 周围的有效荷载应力有关,其应力值越高,渗透系数越低.综上所述,GCL 的渗透性与膨润土质量、土工合成材料、渗滤液性质,以及联结方式有关.

2.4.2 抗剪强度 GCL 的抗剪强度,是保证填埋场整体稳定的关键因素之一.一般情况下,破坏主要发生在 GCL 内部的膨润土,以及其与土工织物或土工膜的接触面上.因此,研究 GCL 内部的抗剪强度最为重要.目前,对 GCL 与邻近界面的抗剪强度的研究较少.GCL 抗剪强度有 3 个主要特点^[6,9].(1) 膨润土在干燥状态下强度最高,湿润后强度略差,饱和后强度最低.(2) 抗剪强度与剪切速率有关,剪切速率越大,峰值强度越大.(3) 抗剪强度与 GCL 的联结方式有关.当用针缝方式时,其上下两层土工织物用穿透整体的纤维联结起来,具有一定的加筋作用,可以增加粘土层内部的抗剪强度.试验证明,在充分饱和条件下,加筋 GCL 的内部峰值强度约为不加筋 GCL 的两倍.总之,抗剪强度随膨润土的类型、含水量和垂直纤维的作用,以及试验条件的不同而不同.因此,只有根据具体的条件和产品的具体情况进行试验,才能正确地确定抗剪强度的设计参数.

2.4.3 膨胀和收缩性状 膨润土吸水膨胀,失水收缩,其表层有可能出现裂纹.当有法向压力时,可抑制裂纹开展,甚至可以消除干缩,从而提高膨润土的整体性.因此,在安装后应尽快施加法向应力^[6].

2.4.4 冻结与融化性状 冻结与融化对 GCL 的渗透系数和形状影响不大.试验表明,只有当反复冻融次数加大(如超过 10 次),渗透系数才稍有减小.在冻结时,样品厚度稍有增加,但融化后减少到原有厚度.

3 GCL 的优缺点

3.1 GCL 与压实粘土衬垫的比较

压实粘土衬垫是用压实机械把一定含水量范围内的粘土,按一定的压实标准进行碾压,使其达到最大干密度和较低的透水率。压实粘土衬垫不仅应具有良好的防渗效果,同时也应具有较好的工程性能。由于粘土在自然界中资源丰富,因此广泛用于垃圾填埋场的防渗衬垫(图1)。开发 GCL 后,一个主要用途是代替压实粘土衬垫(图2)。GCL 与压实粘土衬垫相比,有 8 个优点。(1) GCL 较薄,一般只有 5~12 mm,而压实粘土衬垫较厚(60~150 mm)。因此,使用 GCL 可以减少对填埋空间的消耗。(2) GCL 施工既快又简单,不需要重型设备,不会对衬垫下的材料产生破坏,也不受恶劣天气的影响(如干旱、冰冻)。压实粘土衬垫的质量随施工的技术水平,以及自然和人为因素影响较大^[3]。下面,我们可用一些例子加以说明。(a) 粘土塑性指数的理想范围是 10~35,级配应合理,避免混有的砾石把土工膜刺破。(b) 选择合理的击实能和填筑含水量。(c) 在压实过的粘土层上填筑新的压实层之前,必须把表面扒松。否则,两层填埋土会形成一个高渗透率,低强度的界面。(d) 在压实覆盖系统时,其下为垃圾,压缩模量较小。这会造成粘土随垃圾下沉或落入垃圾空隙。因此,不利于粘土压实。(e) 在严重缺水的干旱地区不能施工。击实粘土时,一般其击实含水量大于最优含水量,才能获得低透水率。因此,水源的补给是一个问题。另外,压实后长期处于干燥状态,会产生大的裂痕,增加其透水性。此过程是不可逆转的。(3) GCL 中的土工膜或土工织物提高衬垫的整体强度,其承受不均匀沉降的能力比压实粘土衬垫大得多。一般压实粘土的允许拉应变小于 1%,而 GCL 的允许拉应变却高达 8%。(4) GCL 是在工厂大批量生产制作,可以根据不同填埋场的要求进行加工,保证了其完整性、均匀性。其检验测试的过程也较简单。(5) 在荷载作用下,粘土衬垫会发生固结排水。它往往会被渗漏检测系统误认为是渗漏的淋滤液,或误认为是衬垫已破坏。(6) GCL 可由工厂运到填埋场地,与填埋场周围有无合适的材料无关。压实粘土衬垫只有周围有大量合适的土料时才能用。(7) GCL 比压实粘土衬垫,更能经受住冻融及干湿循环的考验。(8) GCL 比压实粘土衬垫易于修补。

3.2 GCL 的缺点

GCL 有 4 点主要缺点。(1) 安装时容易破坏。(2) 在安装前或安装时遇到水,会使膨润土发生水化反应。这会导致其膨胀,土工织物有可能脱落,使整个衬垫系统的整体性受到破坏。(3) GCL 较薄,一旦破损,对渗透系数的影响相对较大。而粘土衬垫某一部位或某一层发生小的破损,整体反应并不敏感。(4) GCL 对渗滤液的稀释净化能力比压实粘土衬垫差。

4 结束语

(1) 现有对 GCL 渗透系数的测定,一般都是在实验室模拟现场条件进行。因此,应尽可能多获得现场渗透系数的数据。这对于正确估算渗滤液数量和评估衬垫系统和覆盖系统的效果,有重要意义。(2) 产品中掺入添加剂,可改进膨润土和土工合成材料的性质,进一步降低其渗透系数。同时,它也可改进 GCL 的联结方法,增强加筋效果,进一步提高 GCL 强度和整体稳定性。(3) 对施工方法进行改进,这包括减少 GCL 水化和破损的可能性,以及联结处的完整性。(4) 反复冻融对 GCL 影响的评价,只能通过室内试验测得。而当 GCL 用在寒冷地区填埋场的

覆盖系统时,此影响不容忽视。(5)对产品测试方法的改进,准确测出各种产品的特性,如渗透系数,抗剪强度,抗拉强度等。城市固体废弃物处理是环境工程和岩土工程的交叉学科。我国对填埋场的研究起步较晚,随着环境保护要求的提高,对卫生填埋场的研究已是刻不容缓。土工聚合物膨润土衬垫由于其独特的优越性,已有取代压实粘土衬垫的趋势。

参 考 文 献

- 1 山口,状太郎著. 废弃物最终处置场的计划 and 建设[M]. 李国建等译. 上海: 同济大学出版社, 2000. 1~6
- 2 聂永丰. 三废处理工程技术手册——固体废物卷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000. 250~300
- 3 宋学周. 废水废气固体废物专项治理与综合利用实务全书[M]. 北京: 科技出版社, 2000. 267~290
- 4 黎青松, 郭祥信, 张进锋等. 城市生活垃圾填埋场封场技术[J]. 环境卫生工程, 1999, 7(2): 53~56
- 5 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. 63~75
- 6 黄婉荣, 郭志平. 土工合成材料在废弃物填埋场中的应用[J]. 水利水电科技进展, 1999, 19(6): 30~33
- 7 冯金城. 膨润土的开发应用[J]. 现代化工, 1994, 6(3): 5~8
- 8 周凯汀, 吴季怀, 陈亦可. 膨润土-PVA 建筑涂料的制备探讨[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 1995, 16(4): 373~377
- 9 土工合成材料工程应用手册编委会编. 土工合成材料工程应用手册[M]. 第2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 60~100
- 10 鞠建英. 防渗膨润土的研究及其在工程中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(5): 27~29
- 11 徐水根. 钠基膨润土粉在地下混凝土建筑物防水中的应用[J]. 中国建筑防水材料, 1994, 3(1): 7~9
- 12 白庆中, 刘阳生, 李 强等. 新型人工合成膨润土防渗卷材的研制及其渗透性能[J]. 环境科学, 2000, 21(6): 56~60
- 13 钱学德, 郭志平. 填埋场粘土衬垫的设计与施工[J]. 水利水电科技进展, 1997, 17(4): 55~59

Application of Geosynthetic Clay Lines to Landfills

Shi Youzhi Ma Shidong

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract To build landfills is a principal means for the cities of our country to dispose garbage. The impervious barrier of cover system and lines system is the key to ensure that the landfills should not be the source of secondary pollution to the surrounding. With regard to geosynthetic clay lines as a new type material of seepage barrier, the authors present here some information on the composition of material, mechanism of imperviousness, engineering characteristic, strong and weak points, and principal products developed abroad at present; and make suggestion on the future development of this technology.

Keywords landfills, geosynthetic clay lines, lines system, cover system, impervious barrier