

碱厂白泥作为填埋场衬层防渗土料的探索研究

刘兴超, 金春姬, 曹 煊, 彭 刚

(海洋环境与生态教育部重点实验, 中国海洋大学, 山东 青岛 266003)

摘 要: 首先分别对白泥和在青岛 2 个填埋场取回的 2 种粘土防渗土料(风化土和亚粘土)的压实性、抗剪性、渗透性以及收缩性等几个主要的衬层设计指标进行了对比评价, 结果表明, 白泥具有较差的压实性、良好的抗剪性和抗干裂性, 测得其在最优含水率及相近含水率下的击实土样的渗透系数均在 10^{-7} cm/s 数量级范围内。然后将白泥与 2 种粘土防渗土料进行复合, 形成 2 种混合式的复合土料(白泥+风化土和白泥+亚粘土)和 2 个夹层结构复合土料(白泥/风化土和白泥/亚粘土), 测试其渗透系数: 亚粘土添加量为 30%~40% 的白泥+亚粘土混合土料以及 2 个夹层结构复合土料的防渗性能较好, 渗透系数都达到了 10^{-8} cm/s 数量级。

关键词: 城市垃圾填埋场; 碱厂白泥; 防渗土料; 衬层

中图分类号: TU411.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2006)06-0776-04

作者简介: 刘兴超(1978-), 男, 山东梁山人, 硕士研究生, 主要从事固体废物污染控制与治理研究。

Preliminary study on sodium soda residue as impermeable barrier material in landfill liners

LIU Xing-chao, JIN Chun-ji, CAO Xuan, PENG Gang

(Key Lab of Marine Environmental Science and Ecology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: A series of tests were firstly performed for soda residue and two practical impermeable clay specimens (weathered clay and loam) from two different MSW landfills of Qingdao to evaluate three soils several main indexes of three soils including compactibility, permeability, shear strength and shrinkage ratio. It was shown that soda residue has poorer compactibility, higher shear strength and lower shrinkage ratio than other two clay specimens, and moreover its permeability could be in the order of 10^{-7} cm/s when it was compaced under optimum or near to optimum water contents. Based on the above experiments, the soda residue was combined with two clay specimens respectively, forming two types of mixture of soils (soda residue+weathered clay and soda residue+loam) and two interbedded soils (soda residue/weathering clay and soda residue/subclay), and then their coefficients of permeability were tested. It could be concluded that for both interbedded soils and the mixture of soils with 30%~40% additive, the permeability was ranged in the order of 10^{-8} cm/s.

Key words: MSW landfills; soda residue; impermeable barrier material; liners

0 引 言

青岛碱厂 300000 t/a 纯碱扩建工艺废液废渣治理采用“筑坝拦渣、机械脱水、达标排放、综合利用”的方案。在场西 2 km 处 4.2×10^5 m² 海滩上围坝 3 km, 除建成 2 个 3×10^5 m² 的粉煤灰处置场外, 将部分海滩建成废渣处置场, 场内设置分砂、中和、澄清和压滤等设施, 全场排出的蒸馏废液、盐泥、锅炉粉煤灰浆和生产污水在此进行处理。蒸氨废液处理工艺流程如下: 蒸氨废液经闪蒸后由废液泵经管道送至废渣处理厂, 经旋液分砂器和螺旋分砂机除去大颗粒的砂粒, 而后进入废液中和塔的下部, 用窑气进行中和处理。中和后的废气直接排入大气, 中和后的废液从塔的上部溢流进入澄清桶, 澄清后的上清液达标排放入海。

增稠后的废渣送至静态混合器与絮凝剂混合, 絮凝后经带式压滤机进行压滤, 压滤后滤液送回到澄清桶, 泥饼用汽车运至外滩对堆放, 这就是白泥。整个工程(包括征地、筑坝和反填)投资 3770 万元^[1]。即使这样碱厂废渣所造成的环境问题仍然没有得到很好的解决, 碱厂碱渣的大量堆放不仅占据大量的土地, 增加管理维护费用, 且易造成二次污染。为此, 青岛碱厂对碱渣的处理利用做了大量工作, 但由于碱渣消耗量不多并且受各种因素影响未能推广使用^[2]。

考虑到垃圾填埋场对于防渗土料的巨大消耗, 白泥具有类似粉质粘土且某些方面(如抗剪性)优于粉

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(20307009)

收稿日期: 2005-05-16

质粘土的性质^[3-5], 故将其作为垃圾填埋场的防渗土料, 并为此做了大量尝试性的工作, 以期能达到碱渣大量合理利用和减少卫生填埋运行费用的双层目的。

1 土料的来源及基本性质的测试

试验土料有 3 种: 1 种为白泥取自青岛碱厂外滩堆放场; 1 种为风化土取自即墨灵山填埋场的衬层防渗土料; 还有 1 种亚粘土取自青岛的小涧西卫生填埋场的覆盖用土。将土料晾干, 然后对其物理性质进行测试。颗粒组成由比重计(含筛分法)测得, 液、塑限由液塑限联合测定方法测得, 对于白泥, 采用滚搓法来确定塑限和联合测定仪取入锥 9.5~10.5 来确定其液限, 土粒比重用比重瓶法测得, 试验结果见表 1。白泥矿物的晶体组成采用 D/MAX-2400 型 X 衍射光谱仪测定: 方解石占总晶体的 84.2%、石英 2.16%、石膏 2.26%、氯碳酸钠镁石 4.39%、萤石 5.50%、沸石 1.3%。白泥蒸馏水浸提液(水土比为 1: 20)的 PH 值为: 25℃时, 11.3~12.6; 35℃时, 11.9~12.7; 55℃时, 12.1~13.4。500 ml 烧杯中加入 5 g 白泥, 再加入 455 ml 蒸馏水搅拌 60 min 后测得电导率为 3390 μs/cm。

白泥具有高碱性、离子的含量较多的特点, 主要为结晶不良的次生 CaCO₃ 颗粒所组成, 以粉粒为主, 结果表明白泥是介于粘质粉土和粉质粘土之间, 偏重于粘质粉土的 1 种土料。白泥具有一定的粘性, 除了因为含有一定量的粘粒外, 还与 CaCO₃ 吸水结晶体之间连接粒增强, 以及具有一定的含盐量有很大关系。灵山风化土和小涧西亚粘土可以定性为粉质粘土, 根据现场资料小涧西亚粘土较灵山风化土发育完全。

2 实验设计思路与实验方法

对 3 种土样进行前处理, 即将其烘干、碾碎过 2 mm 筛; 然后将散状样进行重塑, 是对土料按照现场压实情况进行击实, 以确定土料的最优含水率和最大干密度并以此为标准击实成重塑土样, 所用仪器为国产的轻重两用标准手提击实仪(SJL-1 型), 分 3 层击实, 每层 25 击, 单位体积击实功 592.2 kJ/m³; 将制备的最优含水率下的重塑土样进行一系列实验, 实验

方法按照《土工试验方法标准》(GB/T50123—1999)。

(1) 按照填埋场粘土衬层设计标准中所要求的防渗性能、抗剪强度、抗干裂能力等主要设计指标对白泥、风化土和亚粘土 3 种土样有针对性的进行了变水头渗透试验(南 55-2 改进型渗透仪)、不固结不排水三轴压缩试验(UU)和体积收缩试验(SS-1 型收缩仪), 通过综合分析评价白泥作为衬层土料的潜质。

(2) 将白泥分别与填埋场取回的 2 种防渗土料按照不同比例混合, 进行变水头渗透实验, 观测其防渗效果的变化。

(3) 除了混合土样外, 还将白泥分别与风化土、亚粘土以夹层结构的形式进行复合: 把填埋场取回的 2 种防渗土料与白泥在各自的最优含水率下, 在击实仪中分层击实, 前 2 层为白泥, 第 3 层为风化土或亚粘土, 然后在其交界面处按风化土(或亚粘土): 白泥(体积比)1: 2 比例用环刀取样测其渗透系数, 观测其防渗效果的变化。

3 实验结果与讨论

3.1 3 种土料击实试验、渗透试验、三轴压缩试验(UU)及土体收缩试验

合格的粘土垫层来说, 其透水率必须很低($K \leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s), 且具有足够高的抗剪强度以抵抗不均匀沉降对衬层的破坏, 同时必须有足够小的收缩势以防干裂^[6]。为此, 对 3 种土料的压实性能、防渗性能、抗剪强度及体积收缩率等方面进行测试比较, 以确定白泥是否具有作为防渗土料的潜质。结果见图 1 和表 2。

从图 1 和表 2 所示的结果来看, 白泥与垃圾填埋场正规衬层防渗土料(风化土和亚粘土)在土工性能方面有很大的可比性, 这主要表现在几方面:

(1) 白泥在比较大的含水率范围内, 干密度变化较小, 说明其压实性能较差, 与表 1 中的白泥颗粒不良级配的结论对应。白泥在最优含水率及比最优含水稍干和稍湿(含水率变化不超过 2%)下 3 种击实土样的渗透系数分别为 1.1×10^{-7} 、 3.7×10^{-7} 和 2.2×10^{-7}

表 1 颗粒组成及基本的物理性质
Table 1 Gradation and physical properties

土的种类	筛分结果						比重	液塑限		
	粒径分布/%				C_u	C_c		G_s	$w_L/\%$	$w_P/\%$
	> 2 mm	2~0.075 mm	0.075~0.005 mm	<0.005 mm						
白泥	0.5	39.0	46.8	13.7	39.5	7.26	2.33	56.4	46.4	10.0
风化土	3.3	20.3	54.6	21.8	17.2	1.01	2.70	28.9	18.6	10.7
亚粘土	3.7	14.2	56.8	25.3	10.8	0.91	2.71	30.4	17.9	12.8

表 2 击实试验、变水头试验、三轴压缩试验、体积收缩试验主要结果

Table 2 The main results of compaction tests, unconsolidated-undrained triaxial tests, falling head permeability tests and volumetric shrinkage tests

土样	击实试验		变水头渗透试验	三轴试验(UU)		体积收缩试验
	$\rho_{dmax}(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	$w_{op}/\%$	$K_{20}/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	c_u/kPa	φ	$\delta_v/\%$
白泥	1.04	50.9	1.1×10^{-7}	112	4.0°	6.3
风化土	1.77	16.9	3.1×10^{-8}	61	5.1°	13.0
亚粘土	1.81	17.8	1.9×10^{-8}	79	3.2°	18.7

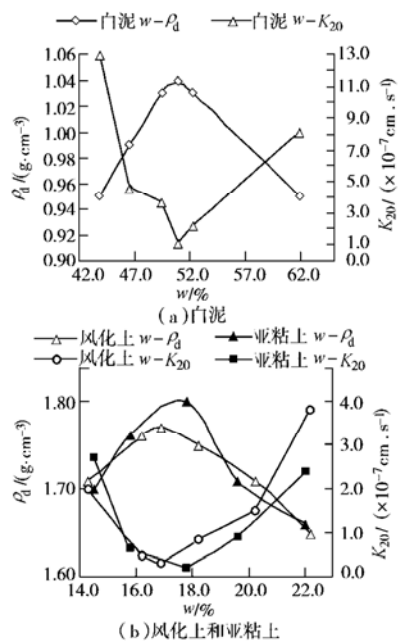


图 1 3 种土料含水率与干密度、渗透系数对应关系
Fig. 1 Relationship of w with ρ_d and K_{20} for three soil specimens

cm/s, 渗透系数较低, 防渗性能较好; 风化土和亚粘土在最优含水率及比最优稍干和稍湿的击实土样的渗透系数均小于 1×10^{-7} cm/s, 达到国家规范的要求。

(2) 白泥有良好的抗剪和抗干裂能力; 相比之下尽管风化土和亚粘土具有良好的防渗性能, 但是在抗剪和抗干裂能力相对较差一些。

(3) 白泥作为 1 种垃圾填埋场的防渗土料来使用有很大潜质, 但是也存在问题: 不考虑其复杂化学成分的负面效应, 在实验室中过筛处理后最大压实及接近最大压实几种土样的防渗性能良好, 但是都未达到国家规范要求, 因此, 尝试将白泥与青岛垃圾填埋场 2 种实际的防渗土料进行复合, 考察改性土料防渗性能的变化。

3.2 白泥与风化土、亚粘土混合土料的渗透实验

将白泥分别与 2 种防渗土料以一定的配比进行混合, 形成 2 种混合式的复合土料, 一组为风化土+白泥 (添加风化土占总质量比率分别为 10%、20%、30%), 另一组为亚粘土+白泥 (添加亚粘土占总质量比率分别为 20%、30%、40%)。对混合土料进行击实实验, 结果见图 2, 然后按照击实实验确定的最优含水率再进行击实重塑土样, 进行变水头渗透试验,

试验装置、方法同前, 实验结果见图 3。

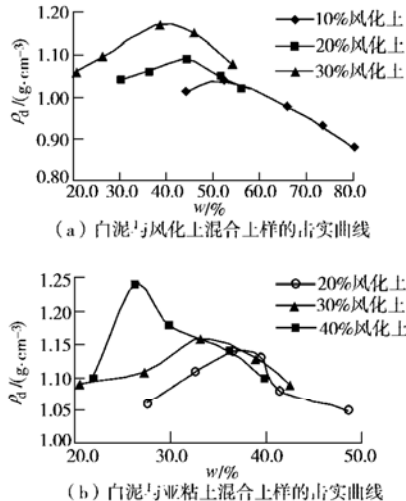


图 2 白泥与风化土、亚粘土混合土样击实曲线
Fig. 2 Compaction curves of mixed soils

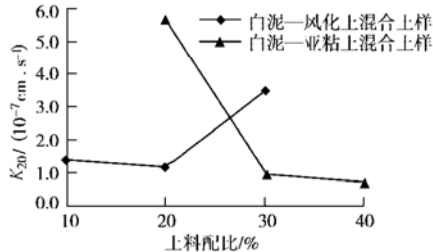


图 3 最优含水率下, 混合土料击实样的渗透系数的变化
Fig. 3 Coefficients of permeability (K_{20}) of mixed soils compacted under optimum water cotents

从图 2、3 可以看出:

(1) 白泥在与 2 种防渗土料混合以后, 压实性能有了明显的改善。

(2) 白泥+亚粘土混合土料的渗透系数随着亚粘土添加量的增加而减小, 当亚粘土添加量增加到 30% 时, 渗透系数降为 9.7×10^{-8} cm/s, 达到了国家规范要求; 白泥+风化土混合土料的渗透系数不但没有随着风化土添加量的增加而减小, 反而有增大趋势。

(3) 粘土改性的一系列研究表明^[7-9]: 在复杂的电解质环境下 (尤其是在高碱度、有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子存在的条件下), 粘土矿物除了会发生阳离子交换反应外, 粘土颗粒边缘的粘土矿物 (主要指一些次生粘土矿物) 中铝硅酸盐会在高碱度环境作用下的缓慢溶解, 并在电解质中发生弥散, 最后在 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子作

用下发生硬凝反应而沉淀下来(称为粘土矿物的弥散—凝聚效应,为不可逆的过程)。碱厂白泥正好可以提供有利于发生弥散—凝聚反应的环境,当它与亚粘土混合后,可以使硬凝产物在一些土粒的孔隙中沉积,从而使渗透系数明显降低。对于风化土来说,由于粘土矿物发育不是很成熟,一些次生粘土矿物含量较少,所以硬凝反应不明显,在白泥的电解质环境作用下主要与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子发生阳离子交换反应,这样就改变了粘土颗粒周围的电价,使这些粘土颗粒更为紧密的吸附在一起,形成絮凝体,这种絮凝作用引起混合土料有效孔隙增多,从而引起渗透系数增大。

3.2 白泥与风化土、亚粘土“夹层结构”复合土样的渗透实验

Jean Frank 和 Wagnor^[9]提出了一个新概念——双层基层矿物衬层。上下衬层是由不同矿物材料构成,这种结构有可能会将2种材料优点集于一身,使其在去除污染物、防渗稳定性等方面优于单一结构的衬层。

渗透实验测得白泥/风化土夹层结构的渗透系数 $K_{20} = 5.6 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$; 白泥/亚粘土夹层结构的渗透系数 $K_{20} = 4.7 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$, 防渗性能都良好。

这种结构的土样,由于白泥与风化土或亚粘土接触面比较集中,在粘土矿物与白泥硬凝反应作用下,其交接面处可能会形成一层致密的铝硅酸盐膜,使得渗透系数较小。

4 结论与建议

(1) 与亚粘土和风化土2种填埋场正规防渗土料相比,白泥具有较差的压实性、较高抗剪强度和较小的体积收缩率,土样在接近最大压实程度时防渗性能也较好,所以很有潜质成为性能良好的防渗土料。

(2) 白泥+亚粘土的混合土料随着亚粘土添加量的增大,防渗效果的改善比较明显;白泥+风化土的混合土料的渗透系数随风化土添加量增大防渗效果反而有所削弱,原因是两者硬凝反应进行的程度不同。

(3) 白泥与风化土、亚粘土夹层结构复合土样,渗透系数均达到了 10^{-8} cm/s 数量级,防渗性能良好。

(4) 防渗效果达到国家规范要求的白泥复合土料与废弃物所产生的渗滤液之间的相容性(主要是指在渗滤液近期和长期作用下渗透系数是否会增大、增大程度及其对污染物的阻滞能力如何等方面)^[10]以及白泥对环境的一些负面影响仍是未知的,这将是下一步研究工作的重点,相关的研究目前正在展开。

参考文献:

[1] 化学工业部环境保护设计技术中心站. 环境化工设计手册[R]. 北京:化学工业出版社,2003: 240 - 241. (The Central

Environmental Protection Design Station of Ministry of Chemical Industry. The manual environmental chemical industry design[R]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003: 240 - 241.)

- [2] 张明义, 韩风芹, 孙德庆, 周益众. 碱渣土的击实试验. 青岛建筑工程学院学报[J]. 2003, 4(24): 65 - 68. (ZHANG Ming-yi, HAN Feng-qin, SUN De-qing, ZHOU Yi-zhong. Compaction test of soda residue soil[S]. Journal of Qingdao Institute of Architecture and Engineering, 2003, 4(24):65 - 68.)
- [3] 李显忠. 天津碱渣土的基本性质的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2000:1 - 34. (LI Xian-zhong. Mechanism study of the soda residue soil in Tianjin [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2000: 1 - 34.)
- [4] 李月永, 闫澍旺,等.碱渣的工程性质及其微结构特征[J].岩土工程学报, 1999, 1(21): 100 - 103. (LI Yue-yong, YAN Shu-wang, et al. Engineering properties and microstructural features of the soda residue[J].Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1999, 1(21): 100 - 103.)
- [5] 闫澍旺,等. 碱渣土工程性能的试验研究[J]. 石油工程建设, 1997, 23(4):1 - 8. (YAN Shu-wang, et al. Experimental study on the engineering behavior of the soda residue soil [J]. Oil Engineering Construction, 1997, 23(4):1 - 8.)
- [6] 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, 2001:17 - 31. (QIAN Xue-de, GUO Zhi-ping, SHI Jian-yong, et al. The engineering design and construction of sanitary landfills[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2001: 17 - 31.)
- [7] 徐则民, 杨立中, 刘 丹. 城市固体废物(MSW)填埋场中单元覆盖层防渗研究进展[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003,14(1):41 - 46. (XU Ze-min. Achievements on preventing seepage of buried cover soil in MSW landf ill site[J]. Chinese J of Geological Hazard and Control, 2003, 14(1):41 - 46.)
- [8] QURIK J P, SCHOFIED R K. The effect of electrolyteconcentration on soil permeability[J]. J Soil Sci, 1995, 6: 163 - 178.
- [9] 郑连阁. 固体废物填埋场防护层复合土衬里的研究[D]. 长春: 吉林大学: 9 - 10. (ZHENG Lian-ge. The study on natural materials of liner for MSW landfill[D]. Changchun: Jilin University, 2001: 9 - 10.)
- [10] 聂水丰. 三废处理工程技术手册[R]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 678 - 690. (NIE Yong-feng. Engineering and technique manual of disposal for waste—municipal solid waste volume[R]. Beijing: Chemical Indusrty Press, 2000: 678 - 690.)