

# 水泥土搅拌桩在垃圾填埋场地基处理中的应用

刘 刚 台运好 华 伟

(无锡市市政设计研究院有限公司, 江苏无锡 214072)

**【摘 要】**水泥土搅拌桩作为加固软土地基的一种成熟方法,适用于多种成因的饱和软粘土与粉土等地基。通过工程实例,介绍了水泥土搅拌桩在用于垃圾填埋场复合地基中,提高地基承载力与减少地基沉降量,保证垃圾堆体及地基整体稳定的作用,供类似工程参考。

**【关键词】** 水泥土搅拌桩;垃圾填埋场;软土地基;复合地基;地基沉降

**【中图分类号】** X 705

**【文献标识码】** A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.02.013

## Ground Treatment Application of Cement Deep Mixing Pile in Municipal Waste Landfill

Liu Gang Tai Yunhao Hua Wei

(Wuxi municipal design and research institute Co., Ltd., Wuxi 214072, Jiangsu, China.)

**【Abstract】** Cement deep mixing is rife method in soft clay foundation treatment, which is frequently applied in ground treatment of saturated clay and powdery soil. This paper introduced ground treatment of cement deep mixing pile in municipal landfill project. This ground treatment heightens the value of subgrade bearing capacity, and reduces the displacement of foundation soils, and ensures the stabilization of waste stack and foundation soil.

**【Key words】** cement deep mixing pile; waste landfill; soft clay foundation; composite foundation; foundation displacement

### 0 引 言

水泥土搅拌桩是利用水泥等材料作为固化剂的主剂,通过特制的深层搅拌机械,就地将软土和固化剂强制搅拌,利用固化剂和软土之间所产生的一系列物理-化学反应,使软土硬结成具有整体性、水稳性和一定强度的水泥加固土,从而提高地基土强度和增大变形模量<sup>[1]</sup>。该技术适用于淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、黏性土以及无流动地下水的饱和松散砂土等软土地基加固处理。目前搅拌桩常用于组成复合地基,提高地基承载力、增大变形模量、减少沉降量;形成水泥土支挡结构,用于基坑开挖支护;形成防渗止水帷幕;进行大面积加固后可防止码头岸壁的滑动;用于地下盾构施工地段的软土加固以保证盾构的稳定掘进等。本文主要探讨水泥土搅拌桩在用于垃圾填埋场软弱地基加固处理中,提高地基承载力与减少地基沉降量的问题。

### 1 工程概况

泗洪县重岗山生活垃圾卫生填埋场位于泗洪县青阳镇重岗社区北侧 3 km,原水务局黄砂矿场,占

地 245 亩。填埋场总库容为 152.6 万 m<sup>3</sup>,设计使用年限为 15a,平均填埋量为 250 t/d。其中一期工程库容为 66.0 万 m<sup>3</sup>,设计使用年限为 6.3a;二期工程库容为 86.6 万 m<sup>3</sup>,设计使用年限为 8.7a。填埋场由填埋库区与配套工程区组成。填埋库区位于填埋场东侧,共分为两个填埋库区,每个库区通过分区粘土坝将填埋区划分为若干个填埋作业单元。库区四周设置环库道路,便于填埋作业车辆进出。配套工程区位于填埋场西侧,包含综合管理用房、车库、机修车间、填埋作业材料堆棚、消防水池、渗沥液调节池及渗沥液处理车间等建(构)筑物。

### 2 水文、地质条件

#### 2.1 地质条件

本场区为人工开挖后的废弃沙坑,底部砂层已被挖除,后被山坡冲刷过的泥浆将砂坑缓慢沉积,造成库区地层厚度分布差异较大,易造成构筑物的沉降不均。地质主要分布有素填土、黏土、中砂夹砾砂角砾等土层,各土层物理力学指标见表 1。工程地质剖面图见图 1。

表 1 土层物理力学指标

层号	土层名称	含水率 $w/\%$	层厚 $H/m$	重度 $\gamma/(kN \cdot m^{-3})$	固结快剪		渗透系数 $f_{ak}/kPa$	压缩模量 $k/(cm \cdot s^{-1})$	地基承载力 $E_s/MPa$
					$\varphi/(\circ)$	$c/kPa$			
①	素填土(局部为淤泥质土)	32.8	1.20~9.60	18.6	5.6	8.1	$5.0 \times 10^{-4}$	1.25	30
②	粘土	25.9	0.70~13.00	18.0	8.6	29.8	$1.21 \times 10^{-6}$	4.00	80
③	中砂夹砾砂	17.5	本层未穿透	19.3	33.2		$4.36 \times 10^{-2}$	10.80	300

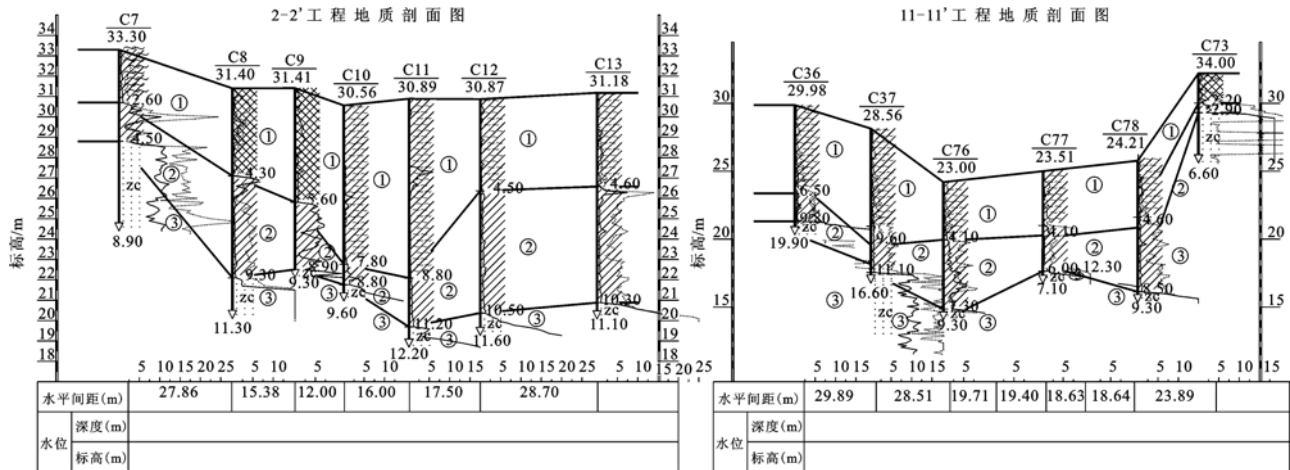


图 1 工程典型地质剖面图

## 2.2 地下水

本场区位于重岗山半山坡上,由于大气降水是本区的主要补给来源,故大气降水的变化是造成地下水位变化的主要原因。本场区初见水位为上层滞水,水位标高平均值 27.20 m,主要接受大气降水补给,通过蒸发及顺流排泄,地下水位随季节降水量而变化。近期地下水位最高时约 27.7 m,最低时约 24.7 m,本场区承压水位标高平均为 22.0 m。

## 3 垃圾填埋场工程特点

### 3.1 填埋场高程设计

填埋库区库顶标高由 46.00~33.00 m 不等;库底自西向东放坡,坡度为 2%,标高由 30.00~27.00 m 不等;库区边坡坡度为 1:3。库区最终填埋高度为 58.00 m,垃圾堆体最大高度 31 m。

### 3.2 填埋库区地基技术要求

根据国家规范<sup>[2]</sup>要求垃圾填埋场基础必须具有足够的承载能力,场底和四周边坡必须满足整体及局部稳定性的要求。地基承载力不足,将引起地基土层的滑动失稳破坏;地基沉降变形或差异沉降过大,同时会导致地基的失稳破坏。因此增强地基承载力与减少地基沉降量,对保证垃圾堆体及地基整体稳定相当重要。

本场区为人工开挖后的废弃沙坑,后被山坡冲刷过的泥浆将砂坑缓慢沉积,形成淤泥质土,承载力很低,不能满足要求。同时由于库区地层厚度分布差异较大,最大沉积厚度达 8.8 m,而有的区域仍为原状

素填土,易造成整个场区的不同部位产生较大的沉降与差异沉降,因此必须对库区的地基进行有效处理,以满足承载力要求与控制沉降量。

### 3.3 填埋库区地基处理设计

根据地基处理需满足承载力与控制沉降量的要求,经技术与经济比选,可采用水泥土搅拌桩进行库区地基加固处理。库区内现状场地标高由 20.0~46.0 m 不等,设计库底标高定在 27.00~30.00 m 不等,扣除膜下渗沥液导排层与地下水导排层厚度,相应库底基础层顶开挖面标高为 26.00~29.00 m 不等。故应首先对库区内超出设计标高淤泥质土清出,并清至设计标高下 1.0 m,再用较好粘土回填 1.5 m 厚,碾压后采用 5~10 m 的直径  $\Phi 600$  间距 1.2 m 的水泥土搅拌桩进行地基处理,桩基布置形式采用等边三角形,桩底持力层③层中砂夹砾砂、角砾,桩顶上铺设 400 mm 厚 8% 石灰土加强层。为了防止因库区地基不均匀沉降造成渗沥液泄漏出去会对周围环境产生很大影响,故设计在粘土保护层顶部增设 GCL 层以增强系统的防渗性能。防渗结构见图 2。

GCL 在特定环境下(如不均匀沉降、干湿循环、冻融循环),仍可以保持良好的抗渗性能,其表面的土工织物覆盖层即使被刺破,由于有膨润土的水合作用,刺破处会自动愈合,保持低的透水性。地下水导排层设在膜下粘土保护层内。

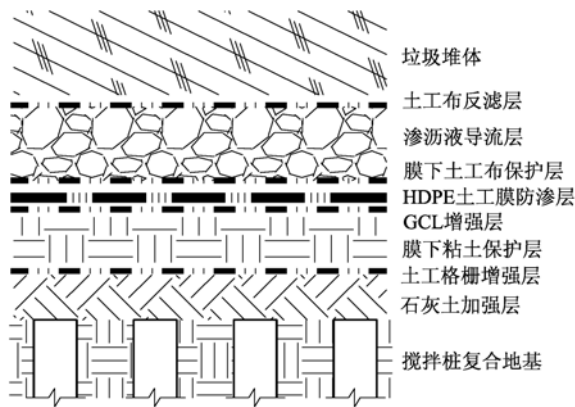


图2 库区防渗结构与地基处理示意图

### 3.4 搅拌桩复合地基承载力与沉降计算

搅拌桩加固后复合地基的承载力得以提高,同时地基土的压缩模量也有很大提高。复合地基承载力可按规范<sup>[3]</sup>计算,按桩距1.2 m等边三角形布桩,桩底持力层③层中砂夹砾砂、角砾,计算出面积置换率0.226,复合地基承载力120 kPa。搅拌桩加固后复合地基的压缩模量  $E_s=25.8$  MPa,按垃圾堆体最大堆高31 m计算;搅拌桩复合土层的压缩变形  $s_1=132$  mm,搅拌桩端以下未加固土层的压缩变形  $s_2=80$  mm,复合地基最终沉降量  $s=s_1+s_2=212$  mm。

## 4 水泥土搅拌桩施工

### 4.1 施工技术要求

本工程一期库区搅拌桩有效加固面积2.2万 $m^2$ ,搅拌桩总桩长84362 m,单桩长度5~10 m,并根据现场地质情况适当调整,分区域控制,库区搅拌桩分区示意图见图3。



图3 库区搅拌桩分区示意图

固化剂采用42.5 R普通硅酸盐水泥,水灰质量比为0.45,水泥掺入比为15%,每延米水泥用量为60 kg(误差 $\pm 5$  kg)。正式施工前,可进行搅拌桩的施工工艺性试验,以验证搅拌均匀程度及成桩参数,了解下钻及提升的阻力情况,并针对不同情况采取相应措施。

### 4.2 施工质量控制

1)保证水泥掺入量。搅拌桩机均应配备电脑记录仪和打印设备,同时现场应配备水泥浆比重测定仪,以备监理工程师和质检人员随时抽查水泥浆水灰比是否达到设计要求。

2)严格控制搅拌机钻进和提升速度、供浆与停浆时间、控制下钻深度、确保成桩质量。

3)喷浆高程及停浆面。桩端必须原位喷浆搅拌一定时间。

4)成桩过程中,以一次喷浆二次搅拌或二次喷浆四次搅拌为宜。复搅时应避免浆液上冒。

5)成桩过程中,当因故停浆继续施工时必须重叠接桩,接桩长度不得小于0.5 m。若停机超过3 h,应在原桩位旁边进行补桩处理。

6)随时检查施工记录,评定成桩质量,如有不合格桩或异常情况,应及时采取补桩或其他处理措施。

### 4.3 成桩质量检测

搅拌桩施工完成后,应对桩体质量进行检验,可采用如下方法:

1)挖桩检查法。成桩7 d后,采用浅部开挖桩头(深度宜超过停浆面下0.5 m),检查桩的直径、完整度、桩搅拌均匀程度、桩位位移、桩体的搭接情况。检查数量为总桩数的5%。

2)触探试验法。成桩7 d内采用轻型触探仪检查桩的质量。根据轻型触探击数( $N_{10}$ )与水泥土强度的对比关系,当桩身7 d龄期击数 $N_{10}$ 大于原天然地基击数 $N_{10}$ 的1.5倍以上时,桩身强度基本达到设计要求。轻型触探的深度一般不超过4 m,检查数量为总桩数2%。

3)钻孔取芯法。采用钻机对搅拌桩进行全程钻孔取芯样(一般龄期28 d),检查桩的完整性、桩土搅拌均匀程度及桩长,这是目前搅拌桩质量检测中常用的方法,测定结果能较好地反映喷粉桩的整体质量,但该方法也存在检测时间长、钻孔费用高,钻孔取芯时间一般需在28 d以后,难以对搅拌桩质量实施动态控制等问题。因此,考虑到费用、时间方面的因素,只能抽取少量的桩进行钻孔取芯检测。对搅拌桩取

芯后留下的空间,应采用水泥砂浆回填密实。

本工程采用触探试验法与钻孔取芯法进行桩身质量检测,结果表明桩身强度均达到设计要求,桩身完整性基本完好。

#### 4.4 复合地基承载力试验

加固效果检测<sup>[4]</sup>主要是平板载荷试验,其中分为单桩承载力检测、单桩复合地基承载力检测和复合地基承载力检测。三种检测方法基本相同,主要区别在于桩顶垫板及载荷大小不同。检测应在成桩28 d后进行,检测数量为桩总数的0.5%~1%。

本工程在桩基完成后进行了复合地基载荷试验,试验结果表明复合地基承载力均大于120 kPa,满足设计要求。

### 5 结论

本垃圾填埋场建于采矿开挖后的废弃沙坑,坑内被山波冲刷过的泥浆将砂坑缓慢沉积,造成新沉积的地基承载力较低,且地层厚度分布差异较大,易造成

构筑物的沉降不均,通过采用水泥土搅拌桩进行地基加固处理,提高了地基的承载力及显著减少地基沉降量,保证了垃圾堆体及地基整体稳定。采用搅拌桩进行地基加固处理,具有施工期短、效率高、处理效果显著、施工机具简单、加固费用低等特点,取得了较好的经济技术效应,可为类似工程提供借鉴。

#### 参 考 文 献

- [1] 龚晓南,地基处理手册(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2008
- [2] JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002
- [3] GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [4] 余能.水泥土搅拌桩技术在软土地基处理工程中的应用[J].工程技术,2010(1):61-67.

收稿日期:2012-02-07

(上接第89页)

### 5 结论

地震后破碎的千枚岩块及风化物作为路基填料,是北川县地震灾区特有的材料,国内现无统一的判定方法和标准,本文通过试验,初步得出如下结论:

1)通过X—衍射分析矿物鉴定,破碎状泥质千枚岩与砂质千枚岩所含高岭石、石英矿物工程性质相对较好,且破碎前后矿物成分及其含量变化不大,初步认为可以作为路基的底层填料。

2)破碎岩块点荷载强度试验表明,试验强度与采样地点、破碎程度、风干情况等有关,必须结合不同粗细比试样条件下的三轴试验强度来分析,以探索何种颗粒级配最利于填筑。初步表明砂质千枚岩的快剪强度高于泥质千枚岩,但均具有较好的填筑条件。

3)破碎千枚岩的崩解是与其组成颗粒粒径为限度的,崩解主要是由于颗粒间的联结丧失所致,其崩解机理与千枚岩中的粘土矿物含量有一定关系;一般而言,粘土矿物含量超过10%的千枚岩碎屑呈现遇水崩解现象。

4)室内击实试验表明,破碎千枚岩混合物填料的干密度与最优含水率、粗粒百分含量有关,最优含水率随粗粒含量增加而降低。粗粒含量在60%~80%之间时,最大干密度达到最大;当粗粒含量达到一定值时,最大干密度反而呈现减小的趋势。因此,破碎带千枚岩岩块的压实工程特性与颗粒粗细的相

对含量密切相关。

5)根据施工现场试验监测结果表明,通过研究确定的压实工艺可将千枚岩压实到要求的密度,其物理、力学性质得到改善,满足路基要求。

#### 参 考 文 献

- [1] 沙庆林.公路压实与压实标准[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [2] CJJ17—2004 生活垃圾卫生填埋技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [3] JTGE40—2007 公路土工试验规程
- [4] 苏永华,赵明华,刘晓明.软岩膨胀崩解试验及分形机制[J].岩土力学,2005,26(5):728-732.
- [5] 殷跃平,胡瑞林.三峡库区巴东组(T2b)紫红色泥岩工程地质特性研究[J].工程地质学报,2004,12(2):124-135.
- [6] 赵明华,苏永华,刘晓明.湘南红砂岩崩解机制研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2006,33(4):16-19.
- [7] 张永安,李峰,陈军.红层泥岩水岩作用特性研究[J].工程地质学报,2008,16(5):22-26.
- [8] 周应华,周德培,封志军.三种红层岩石常规三轴压缩下的强度与变形特性研究[J].工程地质学报,2005,13(4):477-480.

收稿日期:2012-02-22