

魏国安.西安北动车段垃圾填埋场地基处理措施研究[J].地震工程学报,2017,39(5):939-945.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.05.939

WEI Guo'an.Study of Treatment Measures for Landfill Site Foundation in Xi'an North EMU Depot[J].China Earthquake Engineering Journal,2017,39(5):939-945.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.05.939

西安北动车段垃圾填埋场地基处理措施研究^①

魏国安

(中铁第一勘察设计院集团有限公司地质路基处,陕西 西安 710043)

摘要:随着城市化进程的加快,建筑用地日趋紧张,将垃圾填埋场作为工程场址愈发寻常。为探讨垃圾填埋场各类土的物理力学性质及其作为地基时所应采取的必要处理措施,在西安北动车段垃圾填埋场的地基处理及施工中,采用室内试验及现场原位测试,定量分析杂填土地基的工程特性,提出合理的地基处理方案。工程实践证明,采用挖除换填和强夯处理后地基各参数均满足设计要求,达到预期效果,且创新性地采取掺入生石灰的方法对场区固体废物进行处理,避免二次污染的产生。研究成果可供类似条件下其他垃圾填埋场的地基处理参考和借鉴。

关键词:杂填土; 固体废物; 室内试验; 原位测试; 地基处理方案

中图分类号: TU45

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2017)05-0939-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.05.0939

Study of Treatment Measures for Landfill Site Foundation in Xi'an North EMU Depot

WEI Guo'an

(China Railway First Survey & Design Institute Group Co. Ltd., Xi'an 710043, Shaanxi, China)

Abstract: With the rapid pace of urbanization, construction land is growing sparse, so it has become more common for landfills to be used as engineering sites. As such, to explore the physical and mechanical properties of various soil types in landfills and the necessary treatment measures to be taken, we studied the foundation treatment and construction of a landfill site in the Xi'an North EMU depot. Based on indoor tests and in-situ field measurements of the landfill soil, we quantitatively analyzed the engineering properties of miscellaneous fill ground. In this paper, we propose a reasonable foundation treatment plan. The related engineering operations verified that all the foundation parameters met the design requirements and achieved the desired effect after excavation, replacement, and dynamic consolidation of the foundation. Moreover, we also applied an innovative method of mixing quicklime into the solid waste, which prevents secondary pollution. Our research results can be used for reference in other landfill foundation treatment projects under similar conditions.

Key words: miscellaneous fill; solid waste; indoor test; in situ measurement; foundation treatment plan

① 收稿日期: 2017-06-08

作者简介: 魏国安(1962-), 男, 高级工程师, 主要从事铁路路基地基处理与边坡整治工程方面的设计研究工作。

E-mail: wgalj525@126.com。

0 引言

随着我国城市化进程的快速发展和基础设施的大规模建设,建筑场地的需求日益高涨,人们不得不在各种软弱地基上开展工程建设。为满足设计要求且保证建(构)筑物的正常运营,必须采取一定的地基处理方案对地基进行处理,对此专家学者们已进行了相关研究,并取得了丰硕的成果。其中,主要针对垃圾土地基的处理,许立斌等^[1]通过现场检测,认为强夯置换法加固生活垃圾地基是理想可行的,并可推广至其他软弱地基的处理工程中。焦瑞玲等^[2]对位于垃圾填埋场区域的铁路动车段路基采用了渣土桩和注浆两种地基处理方案,研究结果表明将渣土桩用于铁路工程的地基处理是可行的,且填补了我国铁路在大型、深厚层垃圾填埋场地基处理方面的技术空白。毛正君等^[3]结合西安某垃圾填埋场地基处理工程,证明了孔内深层超强夯法对于垃圾填埋场地基处理有效,并认为此法是通过挤密作用降低了桩间土的孔隙比,从而充分利用和发挥了桩间土的承载力。此外,屈耀辉等^[4]采用柱锤冲扩桩、挤密桩和强夯处理在湿陷性黄土区高速铁路基试验段进行现场试验,认为柱锤冲扩桩和挤密桩对沉降的控制效果好,适用于黄土地区高铁的地基处理;贾亮等^[5]通过现场试验对比分

析了CFG桩和抛石挤淤加固浅层软土地基的效果,认为CFG桩优于抛石挤淤。刘汉龙等^[6]在回顾、展望我国近年来地基处理技术与应用的基础上,重点介绍了新技术的发展以及地基处理技术的相关标准化进程。

但是有关垃圾填埋场作为建筑物地基的系统研究和工程实例相对较少,且所处的地域不同其性质差异大,作用机理复杂,因此对垃圾填埋场作为建筑物地基时的处理措施进行研究有很强的实践意义。

本文结合西安北一大型动车检修基地工程实例,通过室内试验和现场原位测试对基地所处的垃圾填埋场进行地基处理措施研究,供类似条件下其他垃圾填埋场的地基处理参考和借鉴。

1 工程概况

1.1 工程简介

西安动车段长约1700m,宽约210m,占地面积约 $2.8 \times 10^5 \text{ m}^2$,是西北地区唯一的一个动车检修基地,承担郑西、西宝、宝兰、西成、兰新、大西等高铁动车组的检修任务。基于此工程的重要性及迫切性,在充分考虑地理位置、地质环境、运营条件等多种影响场址选择因素的基础上,提出各预选场址并对各场址方案进行比较及综合分析,最终确定将西安动车段建于西安北一垃圾填埋场上(图1)。

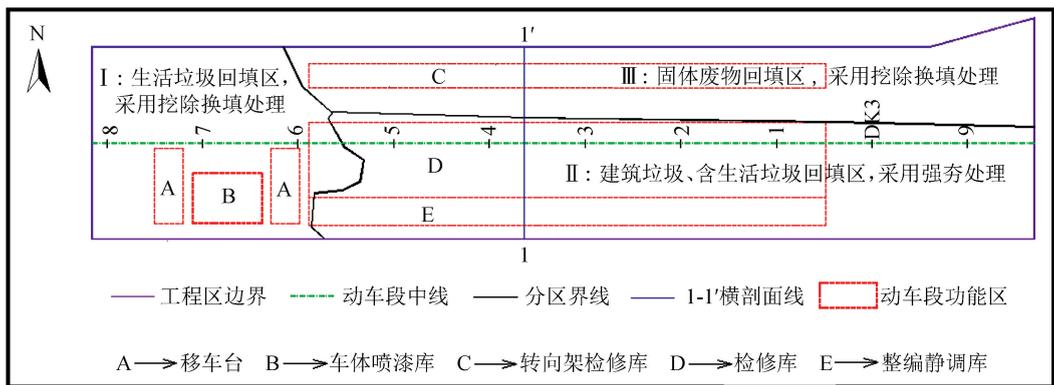


图1 工程区平面布置图

Fig.1 Plan of the project area

根据工程区动车段功能区划,并结合填埋场垃圾成分的复杂性、分布的不均匀性及无规律性,将工程区划分为生活垃圾回填区、建筑垃圾(含生活垃圾)回填区、固体废物回填区3部分,且采取不同的处理措施对地基进行处理,使其达到工程所要求的地基承载力水平。

1.2 工程地质条件

动车段地处西安市沣渭新区,交通便利。场地

地貌单元属渭河一级阶地,原地形平坦,表层为1~2m厚的砂质黄土,以下为厚10~30m的砂层。由于城市建设需要大量的建筑材料,该场地成为一个取沙场,取沙后形成一个面积较大的沙坑,最后逐步形成一个垃圾填埋场。生活垃圾(塑料袋、废纸等)、建筑垃圾(砖块、钢筋混凝土块、碎石块、废弃预制板、房基等)及淤泥、污水处理废物、一般杂填土(杂填土成分以黄土、砂及碎石土等为主)混杂,水

塘、挖沙坑、垃圾山、垃圾坑相互交织在一起。该垃圾填埋场建场时间较短,规模较大,占地约 $1.4 \times 10^5 \text{ m}^2$,垃圾总量约 $3 \times 10^6 \text{ m}^3$,垃圾堆放时间 2~

3 年,填埋深度 5~16 m。填埋场地层主要为人工堆积杂填土、素填土、固体废物、原地层砂质黄土及中粗砂类土(图 2)。

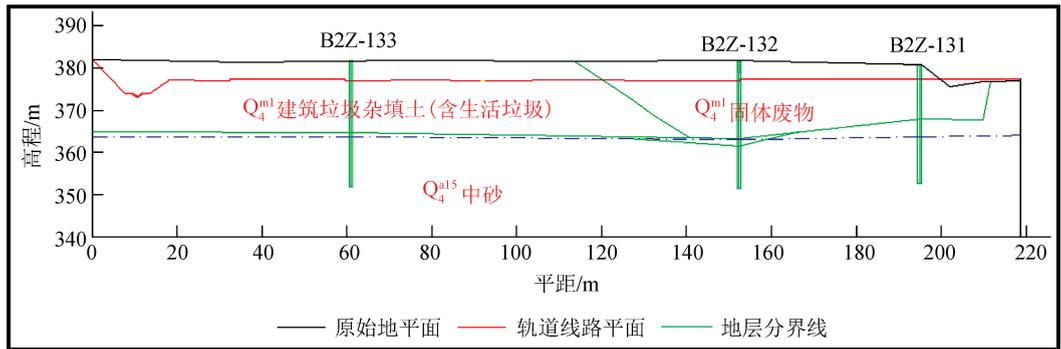


图 2 动车段 1-1'横剖面图

Fig.2 Profile of 1-1'

杂填土(图 3)成分复杂,以建筑垃圾为主,分布不均匀,厚 5~19 m,松散-稍密,稍湿-潮湿^[7]。杂填土为场区主要地层,大面积堆积于地表和回填于挖沙坑内。其颜色主要为灰白色、灰黄色、杂色等,组成成分以砖块、钢筋混凝土块、碎石块、废弃预制板等建筑垃圾为主,含有塑料袋、废纸等生活垃圾。部分堆积于地表的杂填土以黏性土和建筑垃圾为主,其中以建筑垃圾为主的杂填土一般含约 10%~15%的生活垃圾;建筑垃圾含生活垃圾的杂填土,生活垃圾约占 15%~25%;建筑垃圾含大量生活垃圾的杂填土,生活垃圾约占 25%~35%。除垃圾外,杂填土中还填充有黄土、砂类土及碎石类土。

水处理厂处理后的丢弃废物,呈流塑状,厚度在 2~3 m 间,已被后来填埋的素填土掩埋,部分地段含建筑垃圾、碎石等。



图 4 堆积的素填土

Fig.4 Plain fill

固体废物(图 5)——现场工业弃渣呈黑色浆体,流塑状,远看近似沥青池,走近臭气味大,其中含有丰富的有机物,大量的病原菌、寄生虫、微生物等生物及重金属等难以降解的有害物质。

鉴于垃圾填埋场面积较大,杂填土、素填土分布



图 5 堆积的固体废物

Fig.5 Solid waste



图 3 堆积的杂填土

Fig.3 Miscellaneous fill

素填土(图 4)主要分布于采砂坑内,局部分布于地表,厚度 5~15 m,松散-稍密,稍湿-潮湿。其颜色主要为浅黄色、灰黄色、灰白色,组成成分主要以砂质黄土,粉、细砂,中、粗砂为主。局部地段含有污

杂乱,故布置完成了 91 孔钻探,重型动力触探 32 孔。因地基土的复杂性及不均匀性,取土样比较困难,仅于素填土区域取有几组土样,并以动力触探测试为主。加之受送样路途破坏、制样的损坏及其他原因的影响,能完成室内试验的土样有限。垃圾填埋场中地基土的基本物理力学指标^[7]如表 1 所列。

表 1 地基土的基本物理力学指标表

Table 1 Basic physical and mechanical indexes of foundation soil

土样 编号	取样 深度/m	密度 ρ /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	含水量 $\omega/\%$	孔隙比 e_0	压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}
1-1	5.0~5.2	1.47	16	1.351	1.515
1-2	7.0~7.2	1.49	19	1.325	1.381
1-3	9.3~9.5	1.51	17	1.311	1.523
1-4	11.1~11.3	1.52	19	1.272	1.659
1-5	15.2~15.4	1.51	18	1.215	1.059
25-1	6.1~6.3	1.38	21	1.176	1.127
25-2	8.3~8.5	1.43	21	1.112	1.192
25-3	10.5~10.7	1.46	24	1.075	1.003
25-4	12.3~12.5	1.49	27	1.032	1.553
37-1	8.7~8.9	1.59	13	1.234	1.499
37-2	11.4~11.6	1.57	15	1.183	1.485
37-3	13.6~13.8	1.71	19	1.016	1.365
51-1	7.3~7.5	1.43	23	1.201	1.276
51-2	9.4~9.6	1.51	25	1.174	1.289
51-3	11.2~11.4	1.51	24	1.082	1.211
51-4	13.7~13.9	1.65	26	1.139	1.206

从表 1 中可以看出,研究区域土体的天然密度在 $1.38 \sim 1.71 \text{ g/cm}^3$ 间,大多集中在 $1.40 \sim 1.50 \text{ g/cm}^3$,小于一般天然土的密度 ($1.60 \sim 1.90 \text{ g/cm}^3$)。垃圾土密度变化与其成分、覆盖土层、填埋时间、取样深度、当地天气状况等因素关系密切。

天然孔隙比的范围在 $1.01 \sim 1.32$ 间,多数集中在 1.20 左右,明显比西北地区一般天然土的孔隙比大。此结果表明土体疏松,但土体中含有各种物质,很难被压实;从取样深度上看,孔隙比随着深度的增加而减小,这也说明底部土体在自重作用下压实更充分。

压缩系数 a_{1-2} 的范围在 $1.00 \sim 1.60 \text{ MPa}^{-1}$ 间,大多集中在 1.30 MPa^{-1} 左右,明显比西北地区一般天然土的压缩系数大,也表明土体疏松,是高压缩性土。

表 2 和表 3 分别为垃圾填埋场中杂填土部分地基土的重型动力触探与标准贯入试验统计表。

从表 2、表 3 中可以看出,重型动力触探锤击数、标准贯入试验锤击数分别在 $2 \sim 4$ 和 $4 \sim 6$ 间,比天然土的重型动力触探锤击数、标准贯入试验锤击数小许多。但由于其成分的复杂性与不均匀性,个别位置锤击数差异较大。

表 2 地基土(杂填土)动力触探试验表

Table 2 Results of the dynamic sounding test on foundation soil

钻孔编号	入土深度/m	贯入度/cm	修正后的锤击数 ($N_{63.5}$)
z-10	5.5~6.6		1
	7.5~7.6		3
	9.4~9.5		10
z-15	4.5~4.6		1
	6.3~6.4		1
	8.1~8.2		1
	6.3~6.4		2
z-51	7.5~7.6	10	2
	8.5~8.6		15
z-56	8.0~8.1		3
	7.0~7.10		2
z-59	10.6~10.7		3
	6.0~6.10		4
z-63	8.3~8.4		4
	13~13.1		3

表 3 地基土(杂填土)标贯试验表

Table 3 Results of the standard penetration test on foundation soil

钻孔编号	入土深度/m	贯入度/cm	修正后的锤击数 ($N_{63.5}$)
z-2	3.75~4.05		2
	7.35~7.65		3
	10.45~10.75		3
z-16	3.95~4.25		1
	6.15~6.45		3
	9.15~9.45		17
	5.35~5.65		5
z-43	7.35~7.65		2
	5.25~5.55		2
	7.0~7.3		4
z-47	9.4~9.7	30	15
	13.6~13.9		5
	7.8~8.1		4
	9.3~9.6		4
	10.7~11		3
z-53	12.9~13.2		6
	7.1~7.4		3
	9.2~9.5		7
	11.6~11.9		3
z-74	14.5~14.8		3

总结地基土的工程特性如下:

(1) 不均匀性

填埋场区土体成分复杂,厚度不均,规律性较差,石中有土,土中有石,杂乱无章,取样困难。

(2) 欠固结性

由于填埋时间短,压实不充分,前期受到的固结压力较小,仅在自重应力和大气降水的作用下自行压密,缓慢沉降,属于欠固结土。这点也可从其密度由上部到底部渐渐增大得到验证。

(3) 低强度性

按重型动力触探和标准贯入试验统计形成的经验公式^[8]计算,地基土的承载力仅为 70~80 kPa,远低于一般天然土的承载力。

(4) 高压缩性

根据固结试验结果,地基土的压缩系数在 1.05~1.86 MPa⁻¹间,属于高压缩性土。且随深度的增加,压缩系数呈减小的趋势。

(5) 强湿陷性

地基土埋时间短,土体疏松,孔隙率高,孔隙比、重型动力触探和标准贯入试验锤击数远小于一般天然土,在受到浸水后会产生较大的湿陷,且其湿陷量远大于规范要求的沉降量。

1.3 水文地质条件

场址内水文地质条件较为简单,地下水主要为第四系孔隙潜水,赋存于第四系松散沉积层中,含水层主要为砂类土,地下水水位埋深约 10~21.8 m,地下水水位高程约为 360~366 m,同时部分采砂坑内可见地下水出露。场址内地下水主要受大气降水补给,年变化幅度为 0.5~1.5 m。

2 软弱地基处理方案设计

根据现场调查及钻探地质检测资料,确定场地地基处理方案为挖除换填和强夯处理两种。经处理后,应使地基满足《铁路路基设计规范(TB10001-2005)》的要求。

由图 1 可知,工程区分为生活垃圾回填区、建筑垃圾(含生活垃圾)回填区、固体废物回填区 3 部分。结合各回填区垃圾和土体的具体特征,经分析研究分别采取挖除换填、强夯处理、挖除换填的措施对地基进行处理。

2.1 挖除换填

(1) 杂填土处理

试验场区内以生活垃圾为主的杂填土地段(主要为生活垃圾、淤泥),全部挖除并分几处集中堆积,然后经过筛分,分出建筑垃圾、生活垃圾、淤泥、一般普通土和工业弃碴。其中生活垃圾、淤泥、工业弃碴全部弃除,建筑垃圾及一般普通土全部利用。建筑垃圾经破碎,与一般普通土按比例(1:1)混合,经物理改良变成改良土分层夯实回填,剩余的普通土亦分层夯实回填。而挖沙取沙留下的大坑,则采用外运土来分层夯实填筑至设计标高。分层夯填处理后的地基,其地基系数 K_{30} 不小于 80 MPa/m,压实系数不小于 0.90,孔隙率 n 不大于 32%。

(2) 固体废物处理

场区内固体废物回填区全部进行挖除换填处理。由于固体废物常态为流体状(含水量为 75%~99%)且有毒,无法直接挖除,故采取向固体废物中掺入生石灰的方法进行处理。其原理是生石灰与水的化学反应会产生大量的热,并吸收固体废物内的大量水份,生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,达到固结的目的。由于生石灰的掺入量不仅影响处理费用,而且是决定处理效果的关键因素,因此有必要对其掺入比例进行现场试验。为了获得较为合理的掺入比例,现场按照掺入生石灰 40%、60%、80%三个比例进行试验。

依据开挖的试坑体积计算出固体废物的体积,从而计算出 40%、60%、80%三个比例所需要的生石灰质量,将生石灰掺入后采用挖掘机进行拌合。拌合应在静置的时间内间断进行,以确保生石灰熟化完全。

根据现场的试验结果,按照 80%比例掺入生石灰并静置 24 h 后,观察到固体废物部分固结,但仍有部分生石灰在熟化过程中;静置一周后生石灰已全部熟化,并经现场开挖发现固体废物已基本固结,气味亦消散殆尽。

通过对现场试验结果的对比分析,决定采用掺入 80%的生石灰对固体废物进行处理,并用挖掘机及人工进行充分的搅拌,然后静置 24 h。待固结后,用挖掘机将处理后的固体弃渣装入车中,运至西安市江村沟垃圾填埋场进行处理(因为处理后的固体弃渣仍为有毒物质,应根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》进行集中填埋)。

2.2 强夯处理

采用强夯法处理杂填土时,考虑到杂填土厚度不一,故采取分区块用不同的夯击能处理的方案。厚度小于 7.0 m 的区块,直接采用 4 000 kN·m 夯击能强夯处理;厚度大于等于 7.0 m 的区域,从原地面挖至距坑底(杂填土底部)7.0 m 时,整平场地,采用强夯处理,并在处理后,分层用原土夯填直至设计标高,且保证强夯处理后的地基承载力不小于 150 kPa。

通过工程实践证明,根据不同区域的地质条件,采用挖除换填及强夯的地基处理方案能满足工程设计的要求,也比较经济。

3 软弱地基处理效果分析

垃圾埋填区地基处理后,为检测处理后的地基是否满足设计要求,采用动力触探、标贯、平板载荷

试验、静力触探试验等一系列试验对地基进行质量检测。地基处理区域共布置了平板载荷试验 50 个点,动力触探试验 90 个点,标贯试验 70 个点,静力触探 20 个点,以下将分别对检测数据进行统计及分析。

3.1 动力触探和标准贯入试验结果

为检测处理后的地基承载力,对挖除换填和强夯处理的垃圾回填区做了动力触探和标贯试验,试验数据见表4和表5。从表4和5中可看出不同深度动

力触探试验修正后的锤击数在 9~13 间,标贯试验修正后的锤击数在 10~15 间,比处理前的锤击数高 10~12 击。按经验公式^[8]估算地基承载力已达 150 kPa 以上,杂填土的密实度也已达到中密,由此可见生活垃圾回填区和建筑垃圾(含生活垃圾)回填区地基处理效果良好,完全满足设计要求。

3.2 平板载荷试验结果

为探究地表浅层地基的夯实效果,在工程区范围内进行了平板载荷试验,以进一步检验地基处理效果。表6是平板载荷试验的部分点试验数据。

表 4 强夯后地基土(杂填土)动力触探试验数据表

Table 4 Results of the dynamic sounding test on foundation soil after dynamic compaction

钻孔编号	入土深度 /m	贯入度 /cm	修正后的锤击数 ($N_{63.5}$)	密实度
D-1	5.3~5.4		11	
	5.4~5.5		10	
D-2	5.1~5.2		9	
	5.2~5.3		9	
	6.0~6.1		12	
D-3	6.1~6.3		13	
	7.1~7.2		13	
D-4	2.1~2.2		9	
	2.2~2.3		9	
D-5	4.0~4.1	10	8	中密
	4.2~4.3		10	
	7.0~7.1		13	
D-6	7.1~7.2		16	
	7.3~7.4		13	
	3.1~3.2		11	
D-7	3.3~3.4		10	
	3.5~3.6		9	
	5.0~5.1		10	
D-8	5.2~5.3		10	
	5.4~5.5		9	

表 5 强夯后地基土(杂填土)标贯试验数据表

Table 5 Results of the standard penetration test on foundation soil after dynamic compaction

钻孔编号	入土深度 /m	贯入度 /cm	修正后的锤击数 ($N_{63.5}$)	密实度
D-1	5.3~5.4		12	
	5.4~5.5		13	
D-2	5.1~5.2		11	
	5.2~5.3		10	
D-3	6.0~6.1		13	
	6.1~6.3		15	
D-4	7.1~7.2	30	17	中密
	8.0~8.1		11	
D-5	7.0~7.10		13	
	10.6~10.7		14	
D-6	6.0~6.10		10	
	8.3~8.4		10	
	13~13.1		15	

表 6 平板载荷试验数据表

Table 6 Results of the plate loading test

试验点编号	承压板直径/m	相应沉降量 /mm(荷载 120 kPa)	总沉降量 /mm(荷载 240 kPa)	地基承载力特征值 /kPa
P-1		2.39	5.92	
P-2		2.61	6.31	
P-3		2.77	6.51	
P-4		2.18	5.55	
P-5		2.77	6.07	
P-6	0.8	3.12	6.76	≥ 150
P-7		1.51	3.96	
P-8		1.7	4.06	
P-9		2.06	4.37	
P-10		1.96	4.19	
P-11		2.13	4.46	
P-12		2.39	4.87	

从表6可看出,8组载荷试验的 $P-S$ 曲线呈缓变型,无明显拐点。在 120 kPa 的载荷作用下,沉降量为 2.39~3.12 mm;在 240 kPa 的载荷作用下,沉降量为 5.55~6.76 mm, s/b 小于 0.06,地基承载力均达到 150 kPa 以上。由此易见工程区地基处理效果良好,可满足设计要求。图6为 P-7 点的 $P-S$ 曲线。

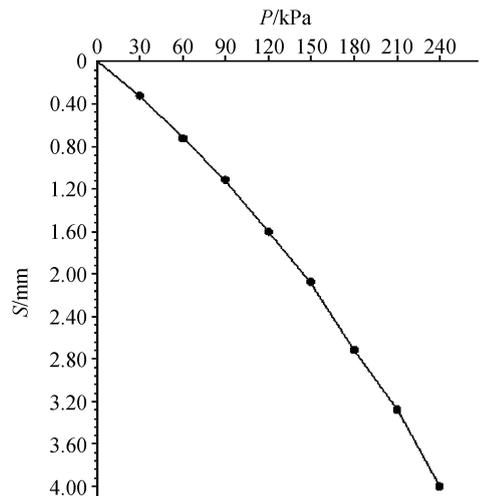


图 6 P-7 点的 $P-S$ 曲线

Fig.6 The $P-S$ curve of P-7

3.3 静力触探试验结果

对于固体废物回填区,因地基处理措施较为复杂,在此区域内进行了静力触探试验。表 7 是静力触探试验的部分点试验数据。

表 7 静力触探试验数据表

Table 7 Results of the cone penetration test

试验点 编号	试验深度 /m	锥头阻力 q_c 平均值/MPa	侧壁摩阻力 f_s 平均值/kPa
JT1		5.02	69
JT2		4.86	69.2
JT3		5.17	71.8
JT4	7	4.72	66.1
JT5		5.25	70.6
JT6		4.87	68.2

从表 7 可以看出,场地回填土层 6 孔静力触探试验中锥头阻力 q_c 平均值介于 4.72~5.25 MPa 之间,侧壁摩阻力 f_s 平均值介于 66.1~71.8 kPa 之间。参照建筑桩基技术规范(JGJ94-2008),锥头阻力 q_c 、侧壁摩阻力 f_s 已达到或超过了粉土的标准值,属于正常固结土。

4 结论

本文通过室内试验、现场原位测试对垃圾填埋场中杂填土的工程特性进行研究,并提出了经济合理的地基处理及处置方案,达到了工程设计的要求且未造成二次污染。由此垃圾填埋场地基处理的成功案例,可得到如下几个方面的认识和结论:

(1) 此地基处理工程充分利用垃圾填埋场中的建筑垃圾、素填土对挖除回填区进行回填,不仅大大减少了垃圾的清运,降低了投资,节约了土地,而且也降低了垃圾对环境的污染程度,保护了环境。

(2) 强夯地段局部杂填土中混杂的塑料等纤维成分,改善了土体的应力应变关系,从而改良了土体的工程特性,减少了地基土的沉降。

(3) 根据工程试验数据,垃圾填埋场中的土体具有不均匀性、欠固结性、低强度性、高压缩性、强湿陷性等特性,与天然固结土体有本质的区别。

(4) 本工程的地基处理方案科学合理,且处理效果良好,可供类似工程参考和借鉴。

参考文献(References)

- [1] 许立斌,王书芳.强夯置换法在处理生活垃圾地基中的应用[J].勘察科学技术,2004(5):44-45.
XU Libin, WANG Shufang. Dynamic Replacement Method for Consumer Waste Foundation Treatment[J]. Site Investigation Science and Technology, 2004(5): 44-45.
- [2] 焦瑞玲,吴连海,崔维孝,等.北京高速铁路动车段垃圾填埋场地基处理现场试验研究[J].铁路标准设计,2009(2):76-80.
JIAO Ruiling, WU Lianhai, CUI Weixiao, et al. Field Test Study on Ground Treatment of Waste Landfill Site in Beijing High-speed Railway[J]. Railway Standard Design, 2009(2): 76-80.
- [3] 毛正君,陶志怀,魏荣誉,等.SDDC 桩结合灌注桩的垃圾填埋场地基处理施工技术[J].施工技术,2016,45(13):72-74.
MAO Zhengjun, TAO Zhihui, WEI Rongyu, et al. Foundation Treatment Construction Technology of Landfill by Super Down Hole Dynamic Compaction Pile Combined With Bored Pile[J]. Construction Technology, 2016, 45(13): 72-74.
- [4] 屈耀辉,苗云云.3 种常用地基处理方法在黄土区高铁地基中的适用性研究[J].中国铁道科学,2015,36(4):8-12.
QU Yaohui, MIAO Xueyun. Applicability of Three Common Ground Treatment Methods for High Speed Railway Subgrade in Loess Areas[J]. China Railway Science, 2015, 36(4): 8-12.
- [5] 贾亮,朱彦鹏,贺世开,等.CFG 桩和抛石挤淤加固软土地基的试验研究[J].铁道工程学报,2016(9):1-4.
JIA Liang, ZHU Yanpeng, HE Shikai, et al. Experimental Research on the Soft Soil Reinforced by CFG Pile and Dumping Rockfill[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016(9): 1-4.
- [6] 刘汉龙,赵明华.地基处理研究进展[J].土木工程学报,2016,49(1):96-115.
LIU Hanlong, ZHAO Minghua. Review of Ground Improvement Technical and Its Application in China[J]. China Civil Engineering Journal, 2016, 49(1): 96-115.
- [7] 中铁第一勘察设计院集团有限公司.西安北动车段工程地质勘察报告[R].西安:中铁第一勘察设计院集团有限公司,2013.
China Railway First Survey & Design Institute Group Co. Ltd. Engineering Geological Investigation Report of Xi'an North Railway[R]. Xi'an: China Railway First Survey & Design Institute Group Co. Ltd, 2013.
- [8] 唐贤强,谢英,谢树彬,等.地基工程原位测试技术[M].北京:中国铁道出版社,1996.
TANG Xianqiang, XIE Ying, XIE Shubin, et al. In-situ Testing Technique of Foundation Engineering[M]. Beijing: China Railway Press, 1996.