

综合管廊高填方湿陷性黄土施工技术研究

马晓华

中国化学工程重型机械化有限公司

摘要: 综合管廊具有承载能力强、服务水平高、节约城市土地资源、提高城市防灾能力等突出优点,是目前地下空间发展的重要形式之一。湿陷性黄土受水浸湿后,土壤结构迅速破坏并失去承载力而发生显著下沉。在高填方且是湿陷性黄土地区,如何保证综合管廊正常建设并长久投入使用,是地下空间界高度关注和研究的问题。本文结合延安新区综合管廊项目实际情况和陕北湿陷性黄土的特点,从技术、经济、工艺等多方面考虑,采用灰土挤密桩技术对综合管廊经过高填方湿陷性黄土地段的地基进行处理,通过对处理前后的压实度、地基承载力以及沉降量进行测量,衡量其是否满足施工需要。该研究不仅消除了黄土的湿陷性,还消除了高填方地段的地基沉降问题,为湿陷性黄土地区综合管廊地基施工的有效方式,也为以后其他地区综合管廊施工提供借鉴。

关键词: 综合管廊; 高填方湿陷性黄土; 灰土挤密桩; 施工技术

本文结合延安新区综合管廊项目实际情况和陕北湿陷性黄土的特点,从技术、经济、工艺等多个方面考虑,研究了综合管廊经过高填方湿陷性黄土地区采用灰土挤密桩进行地基处理,通过地基试验和沉降观测验证了该方法应用于高填方湿陷性黄土地区的有效性。

一、工程概况

(一) 工程简介

延安新区综合管廊埋置于中央环线道路左侧绿化带中,综合管廊属于纵向线性分部,起迄里程K0+025.9~K2+972,全长2.946公里,因综合管廊内容纳管道大小不一,管廊横断面尺寸为4.5~6.3×3.2m。综合管廊含一个电力仓和一个管道仓,电力仓纳入10kv电缆,管道仓纳入给水管、中水管、通信电缆、热力管及回水管。

综合管廊为埋地式全现浇钢筋混凝土结构,筏板基础。设计结构使用年限为50年,抗震设防类别为乙类,工程安全等级为二级,综合管廊对地基变形十分敏感。综合管廊基坑开挖在6~7米范围内采用右侧为坡比1:0.3的土钉墙防护,左侧为1:0.5放坡开挖,每4米一个台阶。

(二) 地基处理方法

对于高填方湿陷性黄土地段,首先要解决湿陷性黄土的湿陷性问题,其次为高填方路段的沉降问题。解决湿陷性黄土的湿陷性方案有垫层法、灰土挤密桩法、复合地基法、强夯法、加筋法、CFG桩法等措施。解决高填方路基沉降方案有强夯、分层压实、加筋法等。

综合管廊所经地区全部为湿陷性黄土地区,并存在有高填方地段和挖方段,具体分布里程见表1所示。综合管廊为永久性工程,是为城市提供能源的基础工程,为了更好控制地基沉降,确保施工期间安全、质量以及以后综合管廊长久安全使用。对湿陷性黄土等级为II、III级地段或高填方地段采用灰土挤密桩地基处理。其它挖方段湿陷性黄土等级为I级地段,根据湿陷性类别和等级进行3:7灰土垫层处理,确保综合管廊地基稳定。本文重点讨论灰土挤密桩处理方法。

二、灰土挤密桩设计

选用K2+280~K2+580段为试验段,此段为高填方地区,且湿陷性等级为II级(中等)。

桩间土性能的改善,是靠沉管的侧向挤压(非排土)作用,使桩周土得到加密,从而提高强度,改善地基性能。侧向挤密效果的大小,主要取决于灰土桩径大小和桩间距,以及桩周土的含

表1 综合管廊地基土分布

序号	里程	地形形式	湿陷性等级
1	k0+025.9~k0+080	高填方	II级(中等)
2	k0+080~k0+260	挖方	I级(轻微)
3	k0+260~k0+360	挖方	I级(轻微)
4	k0+360~k0+540	挖方	II级(中等)
5	k0+540~k1+605	挖方	I级(轻微)
6	k0+605~k1+698	挖方	II级(中等)
7	k0+698~k1+911.5	挖方	I级(轻微)
8	k1+911.5~k1+930	挖方	I级(轻微)
9	k1+930~k2+147	挖方	II级(中等)
10	k2+147~k2+280	挖方	II级(中等)
11	k2+280~k2+580	高填方	II级(中等)
12	k2+580~k2+591	挖方	I级(轻微)
13	k2+591~k2+616.663	挖方	II级(中等)
14	k2+616.663~k2+680	挖方	II级(中等)
15	k2+680~k2+972	挖方	I级(轻微)

水量。当达到最佳桩距时,挤密效果最佳,因此,桩间距的设计是关键。

(一) 桩孔直径

设计时如桩径d过小,则桩数增加,增大打桩和回填的工作量;如桩径d过大,则桩间土挤密不够,致使消除湿陷程度不够理想,且对成孔机械要求也高。当前我国桩孔直径一般选用0.3~0.6m。根据实际情况本工程桩孔直径定为0.4m。

(二) 桩距和桩排

灰土桩的挤密效果与桩距有关,而桩距的确定又与灰土的原始干密度和孔隙比有关。设计桩距的目的在于使桩间土挤密后达到一定的平均压实度(指平均压实系数 λ_c 和土干密度 ρ_d 的指标)不低于设计要求标准。为使桩间土均匀挤密,桩孔应尽量按等边三角形排列,但有时为了适应基础尺寸,合理减少桩孔排数和孔数时,也可采用正方形和梅花形等排列方式。桩距的设计一般应通过试验或计算确定。而本设计桩身材料为3:7灰土,要求桩间土挤密后平均挤密系数不应小于0.93,桩体密实系数不应小于0.97,复合地基承载力大于200kPa。经计算,桩间距约1.0m,排距为0.866m满足要求。

(三) 桩孔深度

桩孔深度(即挤密处理的厚度)应根据建筑物对地基的要求、地基的湿陷类型、湿陷等级、湿陷性黄土层厚度及打桩机械的条件综合考虑决定。桩孔深度目前施工可达12~20m。本工程有效桩长为15m。

(四) 处理宽度

处理效果不仅与间距有关,而且还与所处理的厚度和宽度有关。当处理宽度不足时,仍有可能使基础产生较大的下沉,甚至丧失稳定性。考虑处理宽度时,应使传到天然土层上的附加压力符合设计要求。土或灰土挤密桩处理地基宽度应大于基础宽度,局部或独立(条形或矩形)基础处理时,对非自重湿陷性黄土、素填土、杂填土等地基,每边超出基础的宽度不应小于0.25b(b为基础短边宽度),并不应小于0.5m;对自重湿陷性黄土地基不应小于0.75b,并不应小于1m。

(五) 填料和压实系数

桩孔内的填料,应根据工程要求或地基处理的目的确定。

并应用压实系数 λ_c 控制夯实质量。当用素填土回填夯实时： $\lambda_c \geq 0.93$ ；当用灰土回填夯实时： $\lambda_c \geq 0.95$ ，灰与土的体积配合比宜为2:8或3:7。本试验段中灰与土的体积配合比采用3:7。

三、灰土挤密桩施工工艺

灰土挤密桩试验段选用K2+280~K2+580段，此段为高填方地区，且湿陷性等级为II级（中等）。考虑到综合管廊属于深基坑内施工，灰土挤密桩施工震动较大，为了考虑边坡、施工人员安全，以及保证灰土挤密桩施工区域足够的宽度，在开挖第一台阶后，进行试验段的灰土挤密桩施工。

四、灰土挤密桩试验数据分析

灰土挤密桩施工是在综合管廊基坑第一台阶开挖完后，桩长18米，灰土挤密桩施工完后，对灰土挤密桩桩体和桩间土密实度以及复合地基承载力进行检测。

（一）测点布置

灰土挤密桩夯填后，选择1#、2#、3#共三个桩进行桩体测点布置（见图3），沿全长桩长范围内，在桩心附近采用钻机取样，每2米取出原状夯实试样（如下图5a），分别测定其干容重，并计算该桩的平均压实系数。同时在1#、2#、3#桩体任意三孔间形成心点①、②、③处布置桩间土测点（见图3），沿成孔挤密深度采用钻机取样，每2米取样测定干密度（如下图5b），并计算该桩间土的平均挤密系数。

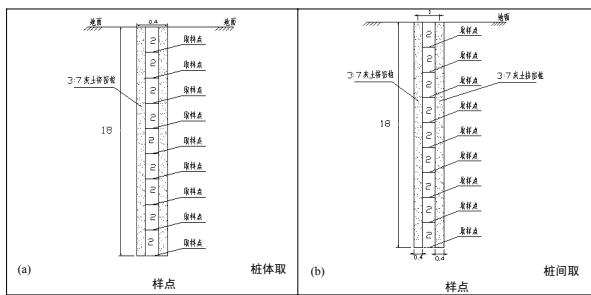


图5 灰土挤密桩测点布置图

（二）桩体压实度

由于工期方面原因，只检测到14天，具体见下图6所示。由图可知，成桩14天，三个桩体压实度达到95.1%~98.1%，平均压实度在96%以上，且后期桩体压实度还会继续增大，能够满足设计要求。

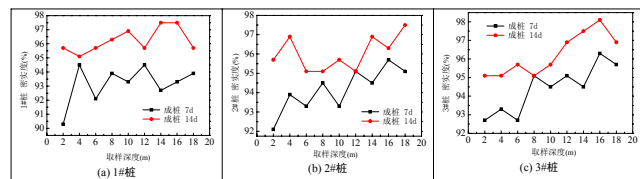


图6 桩体密实度

（三）桩间土压实度

灰土挤密区域，对桩间土施工前后进行检测，由于工期方面原因，灰土挤密桩施工完后，只检测到14天。具体检测数据见图7所示。

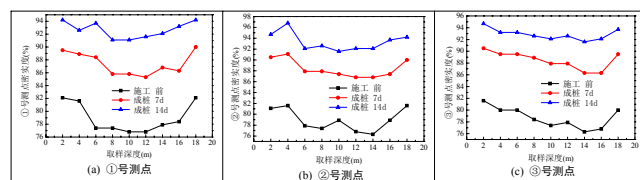


图7 桩间土压实度

由图7可知，成桩14天后，三个桩孔中心处（桩间土）的密实度为91.1%~96.8%，平均密实度在93%以上，且后期桩间土密实度还在增大，证明该试验段挤密桩的桩排距是合理的，满足设计

要求。成桩14天时测得桩间土的天然容重为17.3~18.0kN/m³，远大于容重湿陷性临界值（15.12kN/m³），所以，灰土挤密桩施工可以有效地消除桩间土的湿陷性。

（四）复合地基承载力

复合地基承载力试验采用静载法。通过相邻三个灰土挤密桩进行复合地基承载力试验，荷载板的边长为0.85m×0.85m，分10级加载，第一级载荷为45kN，以后每级25kN，各级荷载对应的沉降量如表2所示。基本地基承载力由压板沉降S与压板宽度b之比确定，当S/b=0.008即当沉降为6.8mm时的荷载值为基本地基承载力。由表2可知，经挤密处理后的地基承载力大于240kPa，满足设计要求。

表2 灰土挤密桩复合地基承载力

荷载P (kPa)	沉降量S (mm)		
	1号试验点	2号试验点	3号试验点
0	0	0	0
45	1.1	1.13	1.17
70	1.8	1.84	1.87
95	2.4	2.53	2.46
115	3.32	3.34	3.4
140	4.36	4.33	4.3
165	4.98	4.91	4.9
190	5.61	5.7	5.5
215	6.2	6.31	6.27
240	6.74	6.7	6.62
100	6.22	6.2	6.12
50	5.32	5.4	5.12
0	4.91	4.86	4.75

由表2数据绘制P—S曲线见图8。由图可知，三个测点的地基承载力变化趋势基本一致，说明地基压实均匀，满足要求。

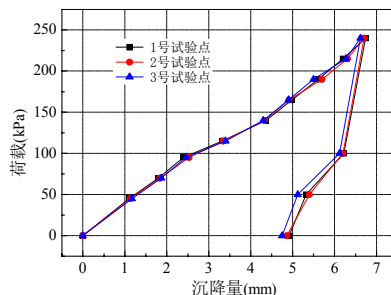


图8 灰土挤密桩地基承载力曲线

五、结论

本文针对延安新区北区高填方湿陷性黄土综合管廊施工技术开展了广泛的资料调研。通过对灰土挤密桩施工前后压实度变化曲线、复合地基承载力试验分析，得出以下主要结论：

高填方湿陷性黄土综合管廊施工中，在湿陷性且为高填方地段，综合管廊地基处理采用灰土挤密桩处理后，并铺设土工格栅，采用3:7灰土分层碾压后，明显提高了综合管廊地基承载力，降低了原高填方地段沉降问题，消除了黄土的湿陷性。为以后综合管廊施工提供理论及实践基础。

参考文献

[1] 范翔. 城市综合管廊工程重要节点设计探讨[J]. 给水排水, 2016, 52(01):117-122.
 [2] 施卫红. 城市地下综合管廊发展及应用探讨[J]. 中外建筑, 2015(12):103-106.
 [3] 白海龙. 城市综合管廊发展趋势研究[J]. 中国市政工程, 2015(06):78-81+95.