

复合载体夯扩桩在湿陷性黄土地基处理防空洞中的应用

罗 伟,田 敏

(河南省地勘局第四地质探矿队,河南 三门峡 472000)

摘 要 介绍了一个采用复合载体夯扩桩处理地下防空洞的工程实例,通过工程地质条件评价,提出了复合载体夯扩桩设计方案及施工工艺。通过桩身质量检验和竖向承载力载荷试验检验,承载力和压缩模量均有较大提高。复合载体夯扩桩技术具有可靠性、适用性和施工简便、速度快、投资小、环保等优点。

关键词 :复合载体夯扩桩 湿陷性黄土 防空洞 ;卸荷拱 ’理论

中图分类号 :TU473.1 文献标识码 :B 文章编号 :1672-7428(2006)02-0039-03

1 概述

三门峡市某商贸楼主楼高 6 层,东西长 37.30 m,南北宽 29.04 m,附楼高 4 层,东西长 32.60 m,南北宽 27.24 m,框架结构。场区下部防空洞在场区内纵横交错,相互贯通,面积占地基总面积的 40%

左右,对建筑物安全造成很大隐患。商贸楼场区位于黄河南岸Ⅲ级阶地前缘,地层主要为第四系上更新统、中更新统冲~洪积、风积成因类型的黄土状粉土和黄土状粉质粘土。地下水位埋深>70 m。场区地层结构、物理力学指标及地基土承载力见表 1。

表 1 岩土勘察报告提供场区地层结构、物理力学指标及地基土承载力

序号	岩土名称	厚度 /m	物理指标				压缩指标		承载力 特征值 /kPa	侧阻力 特征值 /kPa
			ω /%	γ /(kN·m ⁻³)	e	I_L	$a_{0.1-0.2}$ /MPa ⁻¹	E_s /MPa		
②	黄土状粉土	7.50~8.30	16.5	15.3	1.050	-0.035	0.55	5.39	135	-10
③	黄土状粉质粘土	2.40~3.70	17.7	16.7	0.903	0.026	0.20	12.42	145	-10
④	黄土状粉土	7.30~7.90	14.7	16.6	0.859	-0.217	0.12	17.49	160	-10
⑤	黄土状粉质粘土	>6.00	16.9	17.2	0.833	-0.024	0.10	19.84	150	

2 场区工程地质条件评价

2.1 地基土的湿陷性

依据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025-2002)与土分析结果报告,拟建场区湿陷性黄土湿陷系数最大值为 0.097,总湿陷量最大值为 634.4 cm;自重湿陷系数最大值为 0.056,计算自重湿陷量最大值为 197.7 mm;最大湿陷深度 17.25 m,湿陷层最大厚度 15.50 m。判定拟建场区黄土的湿陷类型为自重湿陷性黄土场地,湿陷性黄土地基的湿陷等级为Ⅲ级。各勘探点的湿陷性评价见表 2。

2.2 防空洞稳定性评价

场区下部防空洞在场区内纵横交错,相互贯通。防空洞全部为砖被复,巷道墙厚 24 cm,顶厚 18 cm,窑洞墙厚 24~37 cm,洞底埋深约 14 m,洞宽 1.0~3.0 m,高 1.8~2.5 m,于 1970 年开工,1973 年竣工。由于上部不明原因渗漏水及被复结构长期使

表 2 各勘探点的湿陷性评价

井号	湿陷深度 /m	湿陷层厚 度/m	自重湿陷深度 /m	自重湿陷层厚 度/m	湿陷量的计算 值/mm	自重湿陷量的计算 值/mm	湿陷等级 (自重)	湿陷程度
J2	17.00	15.50	17.00	16.00	533.5	197.7	Ⅲ	严重
J3	15.50	14.00	15.50	10.40	634.4	110.4	Ⅲ	严重
J7	16.00	13.50	15.25	13.50	531.1	183.4	Ⅲ	严重
J8	17.00	15.00	16.50	14.25	538.5	171.9	Ⅲ	严重
J9	17.25	12.50	17.25	14.00	338.1	87.3	Ⅱ	中等

用,砖及砂浆已被侵蚀,局部被复结构已破坏。防空洞的设计抗力已大大降低。

防空洞位于第④层深棕黄色黄土状粉土中。其上第②、③层黄土状粉土、粉质粘土湿陷性较大,最大总湿陷量为 63.44 cm,计算自重湿陷量为 19.77 cm,为自重Ⅲ级(严重)湿陷性黄土。据调查,防空洞跨度为 1.0~3.0 m,高度为 1.8~2.5 m。现按照“卸荷拱”理论确定压力拱的高度 h_1 。

其计算公式为:

$$h_1 = [(L_0/2) + h_0 \tan(45^\circ - \varphi/2)]/f_j$$

式中: h_1 ——压力拱高, m; L_0 ——毛洞跨度, m; h_0 ——毛洞高度, m; f_j ——坚硬系数, 取 0.6; φ ——顶部土层的内摩擦角, ($^\circ$), 取饱和状态值。

求得 h_1 最大为 6 m。

洞顶到桩承台土层厚度 H 为 10 ~ 11 m $< 2h_1$, 因此不能形成卸荷拱, 基底的垂直荷载将直接传到防空洞的被复结构上。

洞顶的垂直荷载 g 宜按下式计算:

$$g = q + \gamma H$$

式中: q ——作用在复土顶部的垂直荷载, kN/m²; H ——洞顶土层厚度, m; γ ——洞顶土层平均容重, kN/m³。

砖砌直墙半圆拱容许垂直荷载为 $P_c = 30$ kN/m², 经验算 $g = 271$ kN/m², 即 $g > P_c$ 。因此防空洞处在不稳定状态, 必须对防空洞进行加固处理。

3 复合载体夯扩桩的设计

由于场区下部防空洞密集分布, 占地面积大, 上部土层具有中~强烈湿陷性, 通过分析评价, 防空洞处于不稳定状态, 必须进行加固回填处理。防空洞埋深约 14 m, 采用传统方法施工难度较大, 工期长, 加固效果难以保证, 且施工属地下作业, 存在不安全因素。通过勘察、设计、施工部门多次协商决定采用等能量、等变形夯扩挤密法对地下防空洞进行全部回填夯实, 然后采用复合载体夯扩桩基础方案。

3.1 等能量、等变形夯扩挤密法的设计

拟建商贸楼采用夯扩挤密法处理防空洞时, 应对商贸楼场区及其周边一定范围进行处理, 挤密孔布置以等边三角形为宜, 孔距约 1.5 m。由于其下为防空洞, 必须对防空洞进行全部夯实回填, 挤密孔深度应至防空洞顶面。故处理厚度自基底设计标高超算约 12 m (自现地表下 2.0 m 起算)。采用夯扩挤密法成孔, 成孔挤密宜由外向里, 间隔分批进行, 挤密法成孔直径 40 cm, 夯扩直径 60 cm。成孔后应立即夯填, 填充料为含泥量 $\leq 10\%$ 、有机质含量 $\leq 3\%$ 的建筑垃圾、碎石、卵石、渣土等。夯扩体投料量以三击贯入度控制。

等能量、等变形夯扩挤密的施工应严格控制施工质量, 回填后的防空洞作为人造持力层。根据防空洞的体积, 确定回填加固料的方量。采用机械成孔时, 预留松动层的厚度宜为 0.5 ~ 0.7 m。

3.2 复合载体夯扩桩的设计

依据场地工程地质条件可知, 外放尺寸不能满

足等能量、等变形夯扩挤密法处理地基的要求, 建议在整体处理的情况下对基础部分采用复合载体夯扩桩基础方案, 桩端持力层建议选在人造持力层上, 采用细长锤夯击成孔, 将护筒沉到设计标高后, 细长锤击出护筒底一定深度, 分批向孔内投入填充料, 用细长锤反复夯实、挤密, 在桩端形成复合载体, 最后灌注混凝土成桩。有效桩长不宜小于 11.00 m。

3.2.1 单桩竖向承载力特征值 R_a 的估算

单桩竖向承载力特征值 R_a 按下式估算:

$$R_a = q_{pa} A_e + u_p \sum q_{sia} L_i$$

式中: R_a ——单桩竖向承载力特征值; u_p ——桩身断面周长, m; q_{sia} ——桩侧第 i 层土的侧阻力特征值, 按饱和状态下取值; L_i ——桩身穿越第 i 层土的厚度, m; q_{pa} ——复合载体下地基土经深度修正后地基持力层承载力特征值, 应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007 - 2002) 确定; A_e ——等效桩端计算面积, m²。

根据上述公式及岩土工程勘察报告提供的设计参数确定桩径 $D = 410$ mm, 有效桩长 $L = 10$ m, 计算单桩竖向承载力特征值 $R_a = 1284.8$ kN。

3.2.2 桩身强度

$$Q \leq 0.7 f_c A_p$$

式中: Q ——桩身强度设计值, kN; f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值, 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010 - 2002) 确定; A_p ——桩身截面积, m²。

经验算 $Q = 1099.2$ kN > 1000 kN。

单桩竖向承载力设计值按 1000 kN 计算。

4 夯扩桩的施工与质量控制

4.1 夯扩桩的施工工艺流程

- (1) 准备工作(测量放线, 定桩位, 试车等);
- (2) 移动桩机就位, 检查就位是否偏差, 放置桩管, 检查桩管垂直度;
- (3) 放置细长锤, 启动电动锤冲击引孔, 压入桩管至设计标高, 检查地面是否变形、沉陷等;
- (4) 控制填料量及空打三击贯入度要求, 若不能满足三击贯入度要求, 继续填料, 直到满足为止; 若能满足三击贯入度要求, 上提桩管 30 ~ 50 cm, 按设计要求填干硬性混凝土夯击, 检查所打桩是否对邻桩有影响, 若有影响应跳打或调整设计参数;
- (5) 放置钢筋笼, 检查其标高及保护层厚度;
- (6) 灌注混凝土, 检查配合比及拌和质量;

(7)慢慢拔出桩管,同时启动电动锤捣混凝土,拔管速度 0.6~0.8 m/min;

(8)测量桩顶标高、结束。

4.2 施工质量控制

(1)定桩位时,用钢钎打入地面以下 1 m,用石灰填满夯实,防止邻桩施工时造成桩位偏移;

(2)填料时保证设计要求的用量,最后三击贯入度应小于 10 cm;

(3)混凝土的拌和要均匀,搅拌时间 ≤ 4 min,坍落度应稍大一些,一般为 10~12 cm,为了保证夯扩桩体与混凝土桩段的连接,第一盘混凝土的坍落度应在 12~16 cm,拔管速度 0.6~0.8 m/min,软弱土层交界线拔管速度控制在 0.3~0.6 m/min;

(4)混凝土的振捣:开始拔管时振捣,桩底与桩身要留振多于 10 s,当出地面 2 m 时加混凝土至料口,中间停振,孔口留振,同时不断加料至孔口,边振边拔使混凝土密实;

(5)钢筋笼的要求:为了保证钢筋笼不放偏或振捣时不偏斜,制作钢筋笼时可在钢筋笼外侧放置垫块,另外,钢筋笼放好后还应固定,防止上浮;

(6)施工时若桩管进水,可用干硬混凝土填充,在锤击力的冲击下,干硬性混凝土吸收一定量的水分形成一层极密实的隔水层,并减少细长锤拔出时产生的吸力,有效地阻止地下水及软泥的渗入。

5 复合载体夯扩桩加固原理及承载力检测

复合载体夯扩桩的加固原理是采用细长锤夯击

(上接第 38 页)

将其连同钢筋笼一起置于初成的素砼桩孔内,利用自重下去后,开偏心振动锤,利用大刚度芯管的下端管口对钢筋笼下部钢筋钩的振动下拉力,将钢筋笼下入素砼桩内设计的任何深度,摘掉钢筋笼的钢丝绳,起吊提升振动锤和大刚度芯管,在起吊超过桩深度约 1/3 后,关闭振动锤,缓慢起吊,直到装置与钢筋笼脱离并完全从素砼桩中抽出。这样,在大刚度芯管的提升过程中也振动密实了所压灌的素砼,从而形成质量可靠的钢筋砼桩。

需注意的问题:

(1)本工艺宜采用豆石砼,骨料粒径在 3~5 mm 为宜,和易性好,坍落度在 180~220 mm,以利于钢筋笼的送入。

(2)钢筋笼的底部收口要牢固,防止下笼过程中被打穿,钢筋笼在振动装置的连接组装要在砼泵

成孔,对周围土体及桩端土体进行挤密,在桩端形成复合载体,加固后其承载力和压缩模量可提高 30%~50%。

对采用等能量、等变形夯扩挤密法处理后的防空洞,采用圆锥动力触探法进行抽检,回填密实,满足设计要求。

对复合载体夯扩桩进行了桩身质量检验和竖向承载力检验,均满足设计要求。经过 1 年多的使用,沉降观测,各项指标均正常,达到了预期效果。

6 结语

(1)通过本次工程实例,为以后类似地基处理提供了可靠的经验。

(2)复合载体夯扩桩技术具有可靠性、适用性和施工简便、速度快、投资少、环保等优点。

(3)复合载体夯扩桩具有加固地基土提高承载力和消除湿陷性双重作用。

(4)现行国家技术经济政策,要求我们岩土工作者,作到技术先进,经济合理,确保工程质量,提高经济效益。

文中工程实例再次告诉我们,有许多地基基础方面问题,在不断创新,不断改进,在实践中不断应用推广,为岩土工程业的发展带来了可喜的前景。

参考文献:

[1] JGJ/T 135-2001,复合载体夯扩桩设计规程[S].
[2] GB 50025-2004,湿陷性黄土地区建筑规范[S].

送前完成,既缩短施工过程又防止砼失水过多,在钢筋笼的送入过程中,要求保持起吊适当,钢丝绳以能使装置保持正直而不紧绷为宜,为使钢筋笼保持竖直,笼顶外加绳索进行人工调整。

8 结语

北京地铁十号线熊猫环岛站明挖出入口及风道围护桩施工实践证明,本工程所采用的后插钢筋笼施工工艺及其配套装置是可行的,成桩效率比现有通用技术提高 1~2 倍,尤其在含有地下水、流砂、卵砾石、漂石的复杂地层更显示其优越性,同时实现了文明施工,降低了造价,缩短了工期,取得的技术经济效益也是巨大的。结合地铁施工点多、线长、工期紧、任务重、低噪声、在高楼林立的繁华市区内安全文明施工要求高,因此该施工工艺可在地铁明挖法施工的车站和区间隧道围护桩施工中推广应用。