



桩锚支护体系在大型铁路站房深基坑工程中的应用

张智豪

(中国铁路广州局集团有限公司,湖南长沙41000)

摘要:为了验证桩锚支护体系在站房深基坑中的可实施性和可靠性,以株洲站改扩建工程站房深基坑支护结构施工为背景,从设计和施工的角度,详细介绍了大型铁路站房深基坑工程中桩锚支护结构的应用情况,并对施工过程中基坑支护体系的监测数据进行重点分析。结果表明:1)采用顶部放坡+桩锚支护的设计及施工方案,可以较好地控制地层变形,保障邻近既有建筑物的安全,为深基坑工程在城市复杂环境条件下的顺利实施提供宝贵的设计和施工经验;2)邻近既有建筑物会加剧基坑沉降变形,同时基坑开挖过程中引起的地表差异沉降会导致建筑物出现轻微偏转。本文成果可为类似地质条件下的站房深基坑防护施工提供借鉴与参考。

关键词:深基坑;桩锚支护;施工监测

中图分类号:TU94⁺2

文献标志码:A

文章编号:1673-8993(2025)08-0064-06

doi:10.13402/j.gcjs.2025.08.103

Application of pile anchor support system in deep foundation pit engineering of large railway station buildings

ZHANG Zhihao

(China Railway Guangzhou Group Co., Ltd., Changsha 410000, Hunan, China)

Abstract: In order to verify the feasibility and reliability of the pile anchor support system in the deep foundation pit of the station building, based on the construction of the deep foundation pit support structure of the station buildings of the Zhuzhou Station reconstruction and expansion project, the application of the pile anchor support structure in the deep foundation pit project of the large railway station building is introduced in detail from the perspective of design and construction, and the monitoring data of the foundation pit support system during the construction process is analyzed. The results show that: 1) The design and construction scheme of top grading + pile anchor support can better control the formation deformation, ensure the safety of adjacent existing buildings, and provide valuable design and construction experience for the smooth implementation of deep foundation pit projects under complex urban environmental conditions. 2) Adjacent existing buildings will aggravate the settlement deformation of the foundation pit, and the surface differential settlement caused by the excavation of the foundation pit will lead to slight deflection of the buildings. The results can provide reference for the protection construction of deep foundation pit of station buildings under similar geological conditions.

Key words: deep foundation pit; pile anchor support; construction monitoring

随着铁路运输和城市建设的不断发展,既有车站已无法满足人民日益增长的出行服务需求^[1]。因此,对既有车站进行改扩建,完善其社会化功能,提升铁路运输品质和效率,从而推动城市高质量发

展已成为必然趋势。既有车站改扩建过程通常会涉及超出一定规模的深基坑施工^[2-4]。由于既有车站一般位于城市中心密集区,周边存在大量商业建筑物,同时紧邻铁路线路,因此,如何选择合理的支

收稿日期:2024-08-23

作者简介:张智豪(1993—),男,工程师,从事铁路工程项目管理工作。

护方式,并确保周围建筑物和铁路线路的稳定,从而安全、高效地完成深基坑作业,从设计和施工角度而言均提出了较高的要求^[5-7]。建筑基坑支护形式主要包括放坡开挖、土钉墙、拉森钢板桩支护、地下连续墙以及桩锚支护等^[8]。其中,与其他支护形式相比,桩锚支护具有结构整体性好、支护刚度高、建设周期短且无需复杂施工机具等优点。桩锚支护主要通过将锚索施打至稳定土层一定深度,利用锚固力分担桩体承受的弯矩和剪力,同时将深层稳定土体与基坑滑移面的土体有效结合为一个整体,防止基坑边坡在开挖过程中的滑坡以及支护后方土体的隆起,从而确保了基坑周围土体的稳定及周边建筑设施的安全^[9]。

本文以株洲站改扩建工程为例,结合项目现场实际情况,通过专业软件设计及高精度定位施工,验证桩锚支护方案的可行性和有效性,以期为相关工程的设计和施工提供参考经验。

1 工程概况

既有株洲站位于株洲市芦淞区,西临人民南路,南临铁西路。新建株洲站为线侧+线上式综合站房,站房总建筑面积为45 004.41 m²,分为东、西两侧站房,并通过上跨的高架候车厅和下穿的旅客出站地道相连。其中,站房主体为地上二层,地下一层;西广场新建地下二层人防工程,平常用作地下车库使用。

本文主要针对西站房及西广场区域的深基坑进行阐述。该深基坑开挖深度为7.80~14.16 m,开挖面积为16 602 m²。基坑两侧主要为商业用地,周边既有建筑物密集分布,场地空间较为狭窄,深基坑与周边环境关系如图1所示。其中,

基坑北侧边线距邮政大楼最小距离为11.02 m,基坑南侧距城市快捷酒店的最小距离为6.58 m,东侧边线紧邻铁路营业线,最小距离为8.42 m。因此,基坑开挖和支护施工过程可能会对既有建筑基础和营业线路基产生影响。



图1 基坑与周围环境关系

根据地质勘察报告显示,场地内地质条件自上而下可依次划分:杂填土;素填土;老填土;粉质黏土;全风化泥质粉砂岩;强风化泥质粉砂岩;中风化泥质粉砂岩。各层土层的物理力学参数如表1所示。场地地下水以层滞水为主,赋存于杂填土和素填土中,主要排泄方式为垂直蒸发和补给潜水,透水性较强。勘测期间测得稳定水位埋深为1.6~4.5 m。地下水周围以淤泥和粉质黏土为主,阻断了外部水源的补给通道,导致地下水量不大、基坑开挖过程中容易疏干,如表1所示。

2 基坑支护设计

2.1 支护方案比选

根据地勘资料,在确保基坑施工安全以及邻近建筑物和铁路线路稳定的前提下,设计初选钻孔灌注桩加内支撑或地下连续墙的支护方式。然而,考虑到现场周边环境条件(施工场地范围狭

表1 土层参数信息

土层类别	容重/(kN·m ⁻³)	内摩擦角/(°)	黏聚力/kPa	渗透系数/(cm·s ⁻¹)	透水性评价
杂填土	19.0	10.0	3.0	8.0 × 10 ⁻³	中等透水
素填土	18.0	15.0	10.0	7.0 × 10 ⁻⁴	弱透水
老填土	19.3	13.0	25.0	4.1 × 10 ⁻⁶	不透水
粉质黏土	19.8	16.2	33.2	4.4 × 10 ⁻⁶	不透水
全风化泥质粉砂岩	20.0	25.0	40.0	5.0 × 10 ⁻⁵	弱透水
强风化泥质粉砂岩	22.0	35.0	30.0	5.0 × 10 ⁻⁴	弱透水
中风化泥质粉砂岩	22.5	40.0	70.0	—	隔水层

窄、周边线路及建筑物距基坑较近等), 采用上述两种支护方式不仅对施工工艺要求较高、机具设备复杂, 还会延长基坑施工工期, 不利于上下交叉作业, 降低施工效率, 并且导致工程造价较高。经过综合研究, 最终设计采用顶部放坡 + 桩锚支护方案, 在坑顶设置截水沟截水以实现截水功能, 在坑底设置排水沟和集水坑以进行降水处理。

2.2 支护体系计算

深基坑设计使用年限为 1.5 a, 基坑安全等级为一级, 重要性系数为 1.1。支护桩采用钻孔灌注桩, 桩身混凝土强度等级为 C35。预应力锚索采用 $\varnothing 15.2$ mm 的高强度低松弛钢绞线, 抗拉强度标准值为 1 860 MPa。冠梁截面尺寸为 1.0 m \times 0.8 m 和 0.8 m \times 0.8 m, 混凝土强度等级为 C30。桩间采用挂网喷射混凝土找平, 混凝土喷射厚度为 100 mm, 桩间挂 $\varnothing 8 @ 200 \times 200$ mm 的钢筋网。考虑到基坑各边线所处环境不同, 共设计 6 种支护剖面, 其中: 基坑东侧靠近铁路线路方向, 施工过程中铁路线路处于封锁状态, 因此施工影响较小; 基坑南侧和北侧距既有建筑物(快捷酒店、邮政大楼)较近, 可能承受较大的附加应力, 且锚索水平距离较大, 施工过程中可能会对建筑物基础产生不利影响; 基坑西侧紧靠市政道路(人民南路), 施工过程中可能引起道路隆起或沉降, 从而影响行车安全。基于以上考虑, 结合最不利影响因素, 主要对基坑东侧、南侧和西侧 3 个方向的支护剖面结构进行受力分析。支护结构采用“理正深基坑 7.5 软件”进行计算。

2.2.1 靠近邮政大楼基坑支护典型剖面

支护典型剖面如图 2 所示。支护结构变形及内力经软件计算后: 桩身最大水平位移为 17.80 mm, 桩身最大正弯矩为 32.92 kN·m; 采用瑞典条分法进

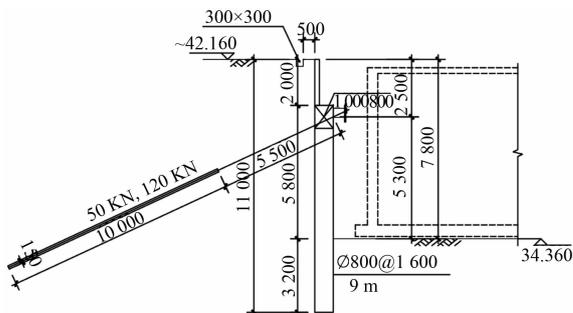


图 2 邮政大楼侧典型剖面

mm

行整体稳定性验算, 整体稳定安全系数为 3.743; 基坑坑底开挖时的抗倾覆稳定性安全系数最小, 为 190.218; 坑底抗隆起按以最下层支点为转动轴心的圆弧条分法计算, 坑底抗隆起安全系数为 3.829。上述计算结果均满足《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012) 要求。

2.2.2 靠近快捷酒店基坑支护典型剖面

支护典型剖面如图 3 所示。支护结构变形及内力经软件计算后: 桩身最大水平位移为 8.08 mm, 桩顶最大水平位移为 8.08 mm, 桩身最大正弯矩为 473.25 kN·m; 采用瑞典条分法进行整体稳定性验算, 整体稳定安全系数为 1.725; 基坑坑底开挖时的抗倾覆稳定性安全系数最小, 为 9.330; 坑底抗隆起按以最下层支点为转动轴心的圆弧条分法计算, 坑底抗隆起安全系数为 2.582; 上述计算结果均满足《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012) 要求。

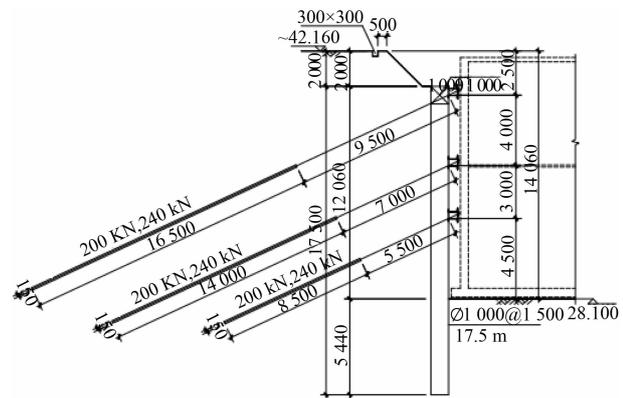


图 3 快捷酒店典型剖面

mm

2.2.3 靠近市政道路基坑支护典型剖面

支护典型剖面如图 4 所示。支护结构变形及内力经软件计算: 桩身最大水平位移为 17.37 mm, 桩身最大正弯矩为 316.26 kN·m; 采用瑞典条分法进行整体稳定性验算, 整体稳定安全系数为 2.439; 基坑坑底开挖时的抗倾覆稳定性安全系数最小, 为 17.718; 坑底抗隆起按以最下层支点为转动轴心的圆弧条分法计算, 坑底抗隆起安全系数为 2.463。上述计算结果均满足《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012) 要求。为了确保基坑及周边道路的安全, 需严格控制基坑周边的地表沉降量。根据经验要求, 距离坑边 8.5 m 的道路边缘地表沉降值不得超过 5 mm。通过计算得到的地表最大沉降值为

4.2 mm, 小于施工限值 5 mm, 因此基坑支护方案引起的周边沉降满足相关要求。

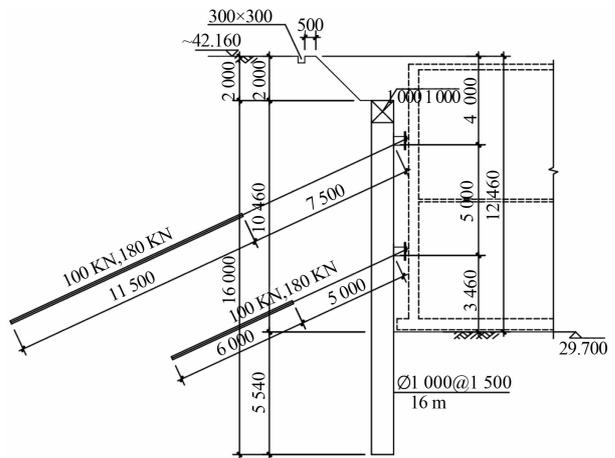


图4 市政道路典型剖面 mm

3 基坑支护施工

3.1 支护桩施工

根据站房中心线和边墙纵横轴线, 对每根支护桩的中心坐标进行确认, 并通过全站仪在现场进行桩点的实地放样。支护桩施工前, 按要求埋设护筒; 旋挖钻机就位后, 按照从北向南, 从中间向四周的顺序对支护桩进行间隔跳挖。钻进时严格控制钻进速度(保持在 0.75 ~ 0.80 m/s), 以防止出现孔壁颈缩或塌孔现象。当孔深达到设计标高后, 将钻头在孔底进行原位空转, 随后提起钻杆并卸落钻渣完成终孔。成孔检查合格后, 采用 25 t 吊机将预制的钢筋笼骨架下放至桩孔内, 并用专用支架将钢筋笼骨架支撑在桩口处。导管和卸料斗安装完毕后, 开始灌注混凝土。混凝土坍落度控制在 16 ~ 22 cm, 最终灌注高度应超出桩顶设计标高不小于 0.5 m。桩体混凝土抗压强度和弹性模量达到设计要求后, 对支护桩进行低应变检测, 检测数量为总数的 30%, 且检测结果均为 I 类桩。

3.2 冠梁及桩间土支护施工

冠梁施工时, 首先需将支护桩顶的浮浆凿除, 设置凿毛深度不小于 8 mm。将桩内预埋进冠梁的钢筋调直, 设置钢筋锚入长度不小于 $35d$ (d 为钢筋直径, mm), 并按规范要求对冠梁的钢筋进行绑扎和焊接。根据锚索位置确定一定间距, 每隔间距预埋一根 $\varnothing 200$ mm 钢管, 以满足后期锚索施工要求。混凝土浇筑应按照水平分层原则进行,

分层厚度不得超过 300 mm。冠梁施工缝的位置应与地下室膨胀加强带的位置相错开, 且不应设置在转角及距其 15 m 范围内的区域。

冠梁施工完毕且混凝土强度达到设计规定要求后, 开始进行桩间土支护施工。采用人工辅助小型开挖机具对支护桩之间的土层进行开挖, 自上而下分层进行开挖, 设置每层开挖深度不得超过 3 m, 严禁超挖。每层土方开挖完成后, 辅以人工修整基面; 修整完毕后, 在桩身采用植筋的方法设置带弯挂网钢筋 C16, 设置锚入桩身长度不小于 350 mm, 同时采用焊接连接横向拉筋与挂网钢筋。在设置挂网插筋后, 铺设 $\varnothing 8 @ 200 \times 200$ mm 的双层钢筋网, 通过横向拉筋 (C16) 固定钢筋网, 且设置锚固在桩体内的长度不得小于 100 mm, 并按设计要求预留泄水孔。钢筋网设置完毕后, 严格按照《喷射混凝土应用技术规程》(JGJ/T 372—2016) 的要求对桩间进行喷射混凝土找平。

3.3 预应力锚索施工

工程预应力锚索施工范围涉及周边多栋既有建筑物, 锚索最大设计长度为 26 m, 平均长度为 15.5 m。施工时, 对预应力角度偏差的控制和钻孔的精确定位放样是确保在周边既有建筑物安全稳定条件下成功施作预应力锚索的关键。首先, 通过已有基准点及基坑支护结构平面布置图获得每根锚索桩边的坐标; 现场利用全站仪和水准仪布设桩边点及高程控制点, 采用套管跟进钻进工艺成孔。钻孔孔距偏差不得超过 50 mm, 倾斜度及方位角允许偏差为 $\pm 2^\circ$ 。每钻进 3 m 需对倾斜度进行校正。成孔检查并清孔完毕后, 下放预应力锚索。预应力锚索大样如图 5 所示。为确保顺利下锚, 在锚索端部安装 $\varnothing 8$ mm 钢筋制作的导向帽; 锚索锚固段按 0.7 m 间隔交错布置架线环和紧固环, 自由端每隔 2 m 设置一道架线环。

使用 42.5R 普通硅酸盐水泥、水灰比为 0.5 进行压浆, 并添加 0.05% 早强剂, 按照二次注浆工艺进行压浆。两次压浆的间隔时间应控制在初凝后但尚未终凝前完成。压浆过程中应对压浆量、稳压压力和时间、浆液温度、初级初始流动度等进行监测, 以确保压浆质量。压浆完成后, 安装钢腰梁、斜垫和承压板, 用于锚索的张拉和锚固。



图 5 预应力施工

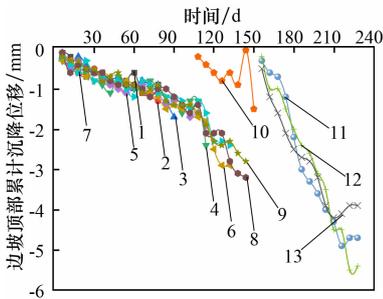
当水泥浆体强度达到设计强度的 80% 后, 利用 500 kN 级穿心式千斤顶对其进行张拉锁定, 并对锁定后的锚索进行封锚。

4 施工监测

鉴于基坑深度大、面积广且位于城市中心地带, 在施工过程中采用信息化技术手段对基坑支护的变形和位移、基坑岩土性状以及邻近建(构)筑物等进行监测。整个监测过程中, 各点数据均无异常, 且完全满足《建筑基坑工程监测技术标准》(GB 50497—2019)及相关规范的设计要求。

4.1 基坑及支护结构监测

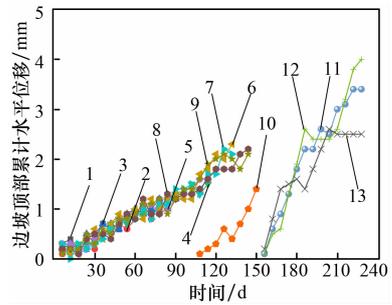
选取基坑距离快捷酒店、市政道路和邮政大楼附近的坡顶监测点 ZQC-09、ZQC-12~ZQC-19、ZQC-22~ZQC-25 进行数据分析, 得到各边坡变形量随时间的变化曲线, 如图 6、7 所示。



1—ZQC-09; 2—ZQC-12; 3—ZQC-13; 4—ZQC-14;
5—ZQC-15; 6—ZQC-16; 7—ZQC-17; 8—ZQC-18;
9—ZQC-19; 10—ZQC-22; 11—ZQC-23;
12—ZQC-24; 13—ZQC-25。

图 6 边坡顶部沉降位移

由图 6 可知: 各监测点的沉降值均随基坑向下开挖逐渐增大。其中, 靠近快捷酒店和市政道路附近的监测点累计最大沉降值分别为 -0.9 、 -3.2 mm, 而靠近邮政大楼附近监测点累计最大沉



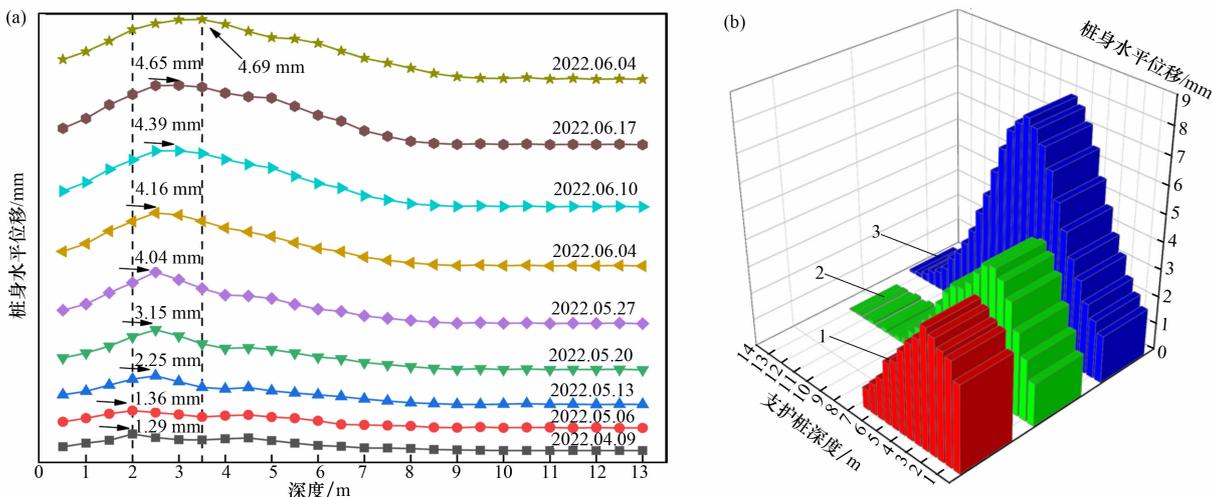
1—ZQC-09; 2—ZQC-12; 3—ZQC-13; 4—ZQC-14;
5—ZQC-15; 6—ZQC-16; 7—ZQC-17; 8—ZQC-18;
9—ZQC-19; 10—ZQC-22; 11—ZQC-23;
12—ZQC-24; 13—ZQC-25。

图 7 边坡顶部水平位移

降值为 -5.4 mm。此外, 不同位置监测点的沉降变化速率存在较为明显的差异, 靠近邮政大楼附近边坡顶部沉降速率较大, 最大值为 -0.27 mm/d。一方面, 这是因为邮政大楼距离基坑较近(约为 15.8 m), 且建筑物产生的附加荷载较大, 进一步加大了土体的沉降量; 另一方面, 邮政大楼一侧仅设置了一道预应力锚索, 对土体的拉结作用范围有限。尽管基坑边坡的最终沉降值仍满足规范要求, 但建议在临近基坑且存在较大附加荷载的位置加强基坑变形监测, 并对基坑支护进行一定的优化设计。在开挖至基坑底部后, 各监测点的沉降量略有回升, 说明下部岩层能够在一定程度上减小边坡顶部的沉降, 在支护设计计算中可以考虑下部岩层对基坑支护的有利作用。

由图 7 可知: 各监测点的水平位移值均随基坑向下开挖逐渐增大。其中, 靠近快捷酒店和市政道路附近监测点累计水平位移值分别为 1.0、2.3 mm, 而靠近邮政大楼附近监测点累计水平位移值最大为 4.0 mm。此外, 不同位置监测点的水平位移变化速率存在较为明显的差异, 靠近邮政大楼附近边坡顶部水平位移变化速率较大, 最大为 0.20 mm/d。靠近具有较大荷载的既有建筑会显著增加基坑土体的水平位移量和水平位移速度。

选取距快捷酒店、市政道路和邮政大楼附近的桩身监测点 ZQT-04、ZQT-07、ZGT-10 进行分析, 得到各围护桩桩身水平位移的变化曲线, 如图 8 所示。由图 8(a)可知: 随着基坑不断开挖, 桩身下部一定区域的水平位移值逐渐增大, 呈现下部凸出的“鼓肚子”形态。最大水平位移值出现在距桩身



(a) ZQT-04 在不同开挖日期下桩身水平位移的变化曲线；(b) 不同围护桩在不同位置的最终水平变形分布曲线
1—ZQT-10；2—ZQT-04；3—ZQT-07。

图 8 桩身水平位移

3.5 m 的位置处,为 4.69 mm,且桩身最大位移值的位置随着基坑的开挖逐渐向下偏移。由图 8(b)可知:桩身最大水平位置均发生在距离桩顶一定位置处。其中,ZQT-10 位置处的桩身水平位移值最大,为 7.95 mm,而 ZQT-04 和 ZQT-10 的桩身水平位移曲线变化趋势类似,但 ZQT-04 和 ZQT-10 的桩身最大水平位移相对较小。这表明,与靠近市政道路一侧无建筑物影响的 ZQT-07 相比,既有建筑物的存在可能对桩身水平位移变形模式产生了一定影响。

4.2 周边环境监测

沿着建筑物(邮政大楼和快捷酒店)的四角布置观测点,对基坑周边建筑物的沉降值进行监测。在监测过程中采用累计沉降值和沉降速率指标进行控制,设置累计沉降控制值不大于 30 mm、沉降速率不大于 3 mm/d。从基坑开挖至回填完成、建筑沉降稳定为止,邮政大楼累计最大沉降为 -7.62 mm,最大沉降速率为 -0.14 mm/d;快捷酒店累计最大沉降值为 -8.57 mm,最大沉降速率为 -0.15 mm/d,均满足相关规定及设计要求。

此外,根据监测结果,邮政大楼四周共布置 17 个测点,其中靠近西侧的测点沉降值较东侧大,且最大沉降值出现在建筑物西北角内侧。根据谭鑫等^[10]对支护结构和建筑物相互作用的相关研究结果表明,产生该现象的原因首先是预应力锚索扩大了深层土体的向上位移,导致邻近基坑的地表出现部分隆起区域,而在距离基坑较远的范围内沉

降较小。这种沉降的不均匀性会导致建筑结构产生整体偏转,使得建筑重心轻微向近邻基坑侧偏移,从而导致建筑物内侧位置的沉降值增大。

5 结论

(1) 在综合考虑城市周边复杂环境条件的基础上,采用顶部放坡+桩锚支护设计方案,成功实施了大型铁路站房的基坑工程。该方案不仅有效缩短了工期,节约了施工成本,同时确保了基坑在开挖和回填过程中的施工安全,以及邻近构筑物的稳定性。

(2) 施工时,对预应力角度偏差的控制和钻孔精确定位放样的严格实施,是确保在周边既有建筑物安全稳定的条件下,成功施作预应力锚索的关键,同时也是确保支护结构后期能够有效抵抗各类荷载的重要环节。

(3) 施工过程中应加强基坑监测,结合现场情况合理布置基坑监测点位,做好监测数据的实时分析与预警工作,及时掌握现场施工状况,并结合监测数据对支护结构的异常状况进行处理和解决。

(4) 既有建筑物的存在会对基坑土体的沉降产生影响。设计时应重点针对具有较大荷载的位置处进行方案优化,同时建议加强对邻近基坑位置既有建筑物的变形监测,以确保施工安全。

(下转第 86 页)



(a) 暗涵总平面; (b) 检查井分布; (c) 渗漏点位置; (d) 支管暗接位置

图 4 检测成果平面分布

面位置及内部高程变化,摸清了暗涵内部结构及缺陷情况,为后续地面小区管网精细化排查圈定了工作范围,对精准施策起到了重要的指导作用。

(2) 对于潜水员无法进入的涵段,辅以 QV 检测(潜望镜检测),以获得内部影像资料。相比以往的暗涵排查施工工艺,蛙人下井检测大大提升了有限空间作业的安全性,在暗涵检测中具有操作简便、检测快速、成果信息丰富的特点,可实现作业过程不断流。新方式涵内作业安全、高效、低风险且自动化程度高,可替代传统的人工+机械方式。

(3) 三维激光扫描存在一定的局限性。由于地下涵内光线不足,三维激光扫描只能采用黑白扫描获取涵内的反射强度,无法获取真彩色全景照片。同时,获取的照片为静态,不如视频检测直观,无法直观显示水流量大小。在没有足够的检查井进行井上井下关联测量,且无法纠正涵内坐标的情况下,该方式会造成误差累积,导致暗涵空间位置存在一定偏差。

参考文献:

- [1] 包晗,唐颖栋,方刚,等. 深圳茅洲河流域某污水收集片区外水入侵情况排查与整治[J]. 给水排水,2021,57(3):74-78.
- [2] 邵宇航,楼少华,唐颖栋,等. 深圳茅洲河流域暗涵雨污分流改造实践[J]. 中国给水排水,2021,37(6):122-127.
- [3] 马艳,周骅,余凯华,等. 排水管道(箱涵)检测及安全评估技术研究进展[J]. 净水技术,2016,35(增刊1):147-149;165.
- [4] 段腾腾,耿震,胡邦,等. 城市河道综合治理中的暗涵整治[J]. 中国给水排水,2019,35(10):115-118.
- [5] 周景,程建远,蒋羲,等. 管道电位探测技术用于城市暗涵排口溯源[J]. 中国给水排水,2020,36(14):142-145.
- [6] 龚建江,王国光,燕樟林. 三维激光扫描点云数据处理技术及其应用[J]. 水力发电,2014,40(8):82-85.
- [7] 赵越顺,孟磊,陈永辉,等. 城市排水暗涵安全检测与评估方法的应用研究[J]. 工程技术研究,2021,6(17):14-17.

(上接第 69 页)

参考文献:

- [1] 唐君. 桩锚支护在某紧邻 CFG 桩复合地基深基坑工程中的应用[J]. 施工技术(中英文),2021,50(20):95-99.
- [2] 张志强. 黄土地区桩锚支护深基坑受力分析与变形控制[J]. 施工技术(中英文),2025,54(4):88-94.
- [3] 乔路正,孙艳涛. 桩锚支护体系在深大基坑工程中的应用[J]. 新疆有色金属,2024,47(6):102-104.
- [4] 穆海旺,张训玉,文萌,等. 桩锚支护体系在基坑工程中的应用[J]. 城市地质,2022,17(2):240-248.
- [5] 蔡志强. 桩锚支护在 CFG 桩复合地基深基坑工程中的应用[J]. 科技资讯,2022,20(11):74-76.
- [6] 陈云钢,叶舒,许立. 桩锚复合支护结构深基坑动态预警值研究[J]. 安徽建筑,2022,29(4):113-116.
- [7] 曹程明,时轶磊,龙照,等. 桩锚支护上土下岩地层深基坑沉降与变形分析[J]. 科学技术与工程,2022,22(10):4120-4126.
- [8] 张小飞. 桩锚联合支护下边坡变形特征及支护优化分析[J]. 工程机械与维修,2022(4):254-256.
- [9] 柯宅邦,陈小川,张骏,等. 锚桩支护体系中锚杆预应力对支护效果的影响研究[J]. 安徽建筑,2022,29(6):112;117.
- [10] 谭鑫,金永乐,黄明华,等. 桩锚支护基坑对近邻建筑影响实测及三维数值分析[J]. 土木工程学报,2023,56(7):126-136.