

DOI: 10.7672/sgjs2026070010

山区城市富水漂石地层超大深基坑支护 设计与监测分析*

张桂清¹, 雷金山^{2,3}, 张政怀⁴

(1. 张家界市建设工程质量安全监督站, 湖南 张家界 427000; 2. 中南大学土木工程学院, 湖南 长沙 410075;
3. 湖南中大设计院有限公司, 湖南 长沙 410018; 4. 湖南湖大建设监理有限公司, 湖南 长沙 410082)

[摘要] 张家界市某深基坑工程面临复杂的周边环境和地质条件, 基坑周边建筑物密集, 且距离较近。基坑支护施工完后, 因地下室停车位规划问题, 新增第4层地下室, 形成“坑中坑”, 主要地层为高地下水水位漂石地层, 桩基施工成孔困难、旋喷的止水帷幕不易形成; 故选择适宜支护结构、采用合适的旋喷止水帷幕施工技术尤为重要。通过严格的监控量测和信息化施工等关键技术措施, 保障基坑及邻近建(构)筑物在施工及后续使用过程中的安全稳定。

[关键词] 基坑; 支护; 高地下水水位; 漂石地层; 止水帷幕; 试验; 监测

[中图分类号] TU753

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)07-0010-07

Support Design and Monitoring Analysis for Ultra-deep Foundation Excavation in Water-rich Boulder Stratum in Mountainous City

ZHANG Guiqing¹, LEI Jinshan^{2,3}, ZHANG Zhenghui⁴

(1. Zhangjiajie Construction Engineering Quality and Safety Supervision and Management Station, Zhangjiajie, Hunan 427000, China; 2. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410075, China; 3. Hunan Zhongda Design Institute Co., Ltd., Changsha, Hunan 410018, China; 4. Hunan Huda Construction Supervision Co., Ltd., Changsha, Hunan 410082, China)

Abstract: A deep foundation excavation project in Zhangjiajie City, Hunan Province, is faced with a complex surrounding environment and geological conditions. The buildings around the foundation excavation are dense and close. After the foundation excavation support construction is completed, due to the problem of basement parking space planning, the fourth layer of basement is added to form a “pit in the pit.” The main stratum is the high groundwater level boulder stratum. In the pile foundation construction, it is difficult to form holes and the jet grouting waterproof curtain. Therefore, it is particularly important to select the appropriate supporting structure and adopt the appropriate jet grouting waterproof curtain construction technology. The safety and stability of the foundation excavation and adjacent buildings (structures) during construction and subsequent use are guaranteed through strict monitoring and measurement, information construction, and other key technical measures.

Keywords: foundation excavation; supports; high groundwater level; boulder stratum; waterproof curtain; tests; monitoring

0 引言

在城市建设中基坑工程作为各类建筑的基础, 其安全性与稳定性直接关系整个工程的质量^[1-5]。当基坑周边环境复杂时, 施工过程中会对周围原有

建(构)筑物、交通道路以及各种市政管线产生影响, 可能导致周围建(构)筑物发生变形, 进而威胁结构安全和稳定^[6-8]。同时, 施工区域复杂的地质条件, 如高地下水水位、砂卵石地层等, 也容易对基坑工程产生不利影响, 更需要加强监测^[9-11], 在此基础上, 为确保基坑施工安全, 减小对周边环境的影响, 实际工程中通常设置基坑止水帷幕控制措施^[12-14]。

* 国家自然科学基金(52090084, 52090082)

[作者简介] 张桂清, 高级工程师, E-mail: 380700526@qq.com

[收稿日期] 2025-11-21

深入研究山区城市高地下水位条件下漂石地层基坑施工控制技术,不仅具有重要的理论价值,更对实际工程具有指导意义。

1 工程概况

张家界奇峰广场项目位于张家界市永定区回龙路北侧,人民路东侧,解放路南侧。场地内有8栋超过10层的高低层连成一体的建筑,以及基坑支护结构安全等级为一级的高层建筑,均为筏板基础。基坑面积约 $19\,120\text{m}^2$,周长 609m 。设计3层地下室,基坑坑底标高为 $150.000\sim 151.000\text{m}$,室外地坪标高 $164.500\sim 166.000\text{m}$,基坑深度 $13.5\sim 16.0\text{m}$,基坑支护施工完后,因地下室停车位规划问题,新增第4层地下室,形成“坑中坑”。

1.1 基坑周边环境

1) 基坑东北角为湘鄂川黔革命根据地纪念馆,建于1918年,3栋共15间木结构平房,占地面积 $2\,800\text{m}^2$,四周有砖墙环护,基坑地下室边线与该纪念馆最小直线距离为 40m ,该纪念馆周边 40m 范围内禁止施工(见图1)。



图1 基坑周边环境

Fig. 1 Surrounding environment of the foundation excavation

2) 基坑东侧为张家界中商广场,建于2014年,2层地下室(含地下农贸市场),该基坑为桩锚支护,支护桩埋深 $12\sim 13\text{m}$,主楼为桩基础。靠近基坑一侧为8层裙楼,与地下室外墙最近距离为 15.62m 。

3) 基坑东南角为财富地带小区,建于2003年,为6层框架结构,距离地下室外墙 9.50m 。从张家界市档案馆调得竣工图纸显示,该建筑为桩基础,设计复核时按扩大基础考虑,基础埋深按 3m 考虑。2019年7月9日,该栋建筑1楼西北角曾发生爆炸,入户调查显示,爆炸所在单元楼中,每户曾出现不同程度的漏

水,卫生间窗框位置均有不同程度裂缝。

4) 基坑南侧回龙路、西侧人民路及北侧解放路均为市政道路,道路下方有人防地下商业街,其中南侧回龙路地下商业街于2015年竣工,西侧人民路及北侧解放路地下商业街于2020年竣工。地下商业街与地下室外墙边线的距离最近为 4.3m ,地下商业街埋深在 $2\sim 3\text{m}$,结构底标高为 $157.000\sim 158.000\text{m}$,采用桩基础,桩长为 3m ,沿道路行进方向间距 8.4m ,逆作法施工。基坑南侧、西侧及北侧分布有6个出入口。

5) 周边污水管、雨水管主要集中在基坑南、西、北侧人防地下商业街顶部。雨水管直径 600mm ,埋设深度为 1.2m ,材质为钢筋混凝土管,与基坑地下室边线最小距离约为 11.0m ;污水管直径 600mm ,埋设深度为 1.0m ,材质为球墨铸铁管,与基坑地下室边线最小距离约为 9.0m ;市政道路靠近基坑人行道上有数个检查井,规格为 $\phi 1\,000$,建造年份为2015年。电力通信管沟集中在市政道路人行横道下,与基坑地下室边线的最小距离约为 4.4m ,无地下埋深,建造年份为2020年。目前基坑周边地下管线暂未发现渗漏情况,场地内无地下管线。

1.2 工程与水文地质条件

1) 工程地质条件

①素填土:杂色,稍湿,松散,局部经压实处理为稍密状态,主要由卵石、碎石等粗颗粒,少量混凝土、废砖块等建筑垃圾,生活垃圾等组成,黏性土充填,充填密实程度为松散~稍密。该填土堆填年限 > 10 年,土质及密实度不均匀。该层场地内均有分布,层厚 $1.20\sim 7.30\text{m}$,平均厚度 3.17m 。

②粉质黏土:褐黄色,稍湿,可塑,土质较均匀,以黏粒为主,含较多粉粒,见黑色铁锰质氧化物浸染,摇振无反应,切面稍有光泽,干强度中等,韧性中等,含少量碎石,局部含粉土和粉砂较多,局部夹粉土和粉砂薄层。该层场地内大部分钻孔中分布,层厚 $0.70\sim 7.00\text{m}$,平均厚度 3.16m 。

③圆砾:暗黄色,饱和,松散,局部含卵石较多时呈稍密状态,次圆形,少量呈次棱角形,以松散状态为主,局部呈稍密状态,骨架颗粒母岩成分主要为含砾砂岩、板岩、硅质岩,骨架颗粒粒径以 $1\sim 2\text{cm}$ 为主,最大粒径 10cm ,含碎石和卵石,局部混夹粗砂薄层透镜体,磨圆度一般,颗粒级配较差,黏土、粗砂充填,含量约 30% ,局部黏土富集,钻进时孔壁有掉块现象。该层场地内大部分钻孔中分布,层厚 $0.50\sim 4.20\text{m}$,平均厚度 1.74m 。

④卵石:暗黄色,饱和,松散~稍密,骨架颗粒母

岩成分主要为砂岩、板岩、硅质岩,骨架颗粒粒径以 2~4cm 为主,磨圆度一般,颗粒级配较差,黏土、粗砂充填,含量约 30%,局部黏土富集,钻进时孔壁有掉块现象,含圆砾和粗砂、黏性土较多,局部夹圆砾、砾砂薄层,含少量漂石,局部夹粉质黏土薄层。该层场地内均有分布,层厚 0.50~8.60m,平均厚度 2.91m。

⑤强风化泥质页岩:青灰色,褐黄色,节理裂隙发育~很发育,裂隙间充填泥质,沿裂隙面可见褐紫色、棕黄色氧化物,岩芯呈碎块状、块状、短柱状,岩体破碎,属极软岩, RQD<25,岩体基本质量等级为 V 级,局部夹薄层中风化泥质页岩。该层为拟建场地内下伏基岩,场地内均有分布,层厚 1.30~4.30m,平均厚度 2.40m。

⑥中风化泥质页岩(S1ln):青灰色,节理裂隙较发育~发育,裂隙间充填泥质,岩芯呈柱状、短柱状,岩体较破碎;局部节理裂隙极发育,属软岩, RQD=30~60,岩体基本质量等级为 V 级,局部夹薄层强风化泥质页岩。该层为拟建场地内下伏稳定基岩,场地内均有分布,层厚 10.10~22.90m,平均厚度 17.26m,未揭穿。

2) 地下水

拟建场地地下水类型主要为赋存于①素填土、②粉质黏土的上层滞水,③圆砾土、④卵石土中的孔隙潜水及基岩裂隙水。其中孔隙潜水主要赋存于③圆砾土、④卵石土中,由大气降水及澧水河侧向补给,孔隙潜水量相对丰富,对本基础施工构成较大影响。

1.3 工程难点分析

1) 基坑周边环境复杂,保护性建筑、高层建筑、多层建筑及地下人防结构对基坑成包围状。

2) 基坑用地紧凑,应规划及建筑设计要求,基坑南侧、西侧及北侧的地下室外墙紧贴支护坑壁外侧,故支护结构临时锚头存在侵限,需在施工中逐步破除。

3) 由于地下室停车位规划调整,在支护施工完后,需新增 1 层地下室,基坑最深位置由 16m 变为 19.4m,新增第 4 层地下室基坑对已完成的支护结构稳定性存在较大影响。

4) 基坑东侧中商广场地下结构及其余区域的地下商业街距离基坑较近,锚索不能穿越。基坑东南角财富地带小区靠近基坑侧曾发生过爆炸,导致原建筑结构受损,后续施工极易对该建筑造成影响。

5) 由于该基坑的填土层分布不均匀,性质变化较大,稳定性较差,地层中素填土、富水漂石层使得

锚索及支护桩施工时成孔困难且易塌孔,在施工过程中易发生水土流失,止水帷幕难以形成。相邻某建筑工地 2020 年曾因桩锚施工不当,造成基坑周边建筑物明显下沉、房屋开裂的情况。

2 基坑支护设计与关键施工技术

2.1 基坑支护设计

根据基坑工程特点,支护设计平面如图 2 所示。基坑 A~F 段、H~A 段为放坡+排桩+压力分散型锚索+桩间止水帷幕的支护形式,FGH 段为放坡+排桩+内支撑+桩后止水帷幕的支护形式。第 4 层均为放坡+土钉的支护形式。第 4 层地下室边线与支持结构的平面距离为 9m。

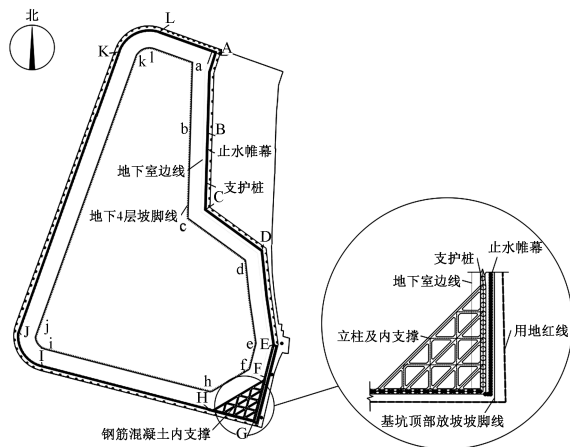


图 2 基坑支护平面

Fig. 2 Plan of foundation excavation support

根据工程特点,基坑支护剖面具设计参数如表 1, 2 所示,其中锁定力取轴向拉力标准值的 70%~80%,各典型剖面如图 3, 4 所示。

1) ABC 段,采用放坡+排桩+6 排压力分散型锚索+桩间止水帷幕的支护形式。

2) CDE 段,由于基坑外存在地下结构,所以采用放坡+排桩(悬臂 4.4m)+4 排压力分散型锚索+桩间止水帷幕的支护形式。

3) EF 段,为降低对基坑外财富地带小区地下水的干扰,先进行止水帷幕施工,采用放坡+排桩(悬臂 4.4m)+4 排压力分散型锚索+桩后止水帷幕的支护形式。

4) FGH 段,为降低对基坑外财富地带小区基础的干扰,采用放坡+排桩+内支撑+桩后止水帷幕的支护形式。

5) H~A 段,为降低基坑周边地下商业街和人防结构的扰动,采用放坡+排桩(悬臂 4.4m)+4 排压力分散型锚索+桩间止水帷幕的支护形式。

6) 后续增加的第 4 层地下室支护采用放坡+土钉的支护形式。

表 1 桩锚段支护结构设计参数

Table 1 Design parameters of support structure in pile anchor segment

支护分段	基坑深度 (3层/4层)/m	锚索 排数/排	锚索 长度/m	孔径/ mm	锚索 束数/束	预应力 锁定值/kN	桩长/ m	桩径/ m	排桩嵌固 深度/m
AB	16.0/19.4	6	25,23,22,20,16,15	150	4	100,220,330,380,350,240	19.8	1	6
BC	15.0/18.4	6	22,21,20,18,16,16	150	4	100,220,310,340,290,180	18.8	1	6
CD	16.0/19.4	4	20,18,16,16	150	4	370,380,350,200	19.8	1	6
DEF	15.0/18.4	4	20,18,16,16	150	4	370,370,320,230	18.8	1	6
HIJ	13.5/16.9	4	20,18,16,16	150	6,6,4,4	400,400,350,260	18.8	1	6
JK	14.0/17.4	4	21,20,18,16	200	6,6,4,4	440,450,410,280	20.8	1	8
KLA	15.0/18.4	4	20,18,16,16	150	6,6,4,4	480,450,390,250	18.8	1	6

表 2 角撑段支护结构设计参数

Table 2 Design parameters of support structure in cantilever section

支护分段	基坑深度(3层/4层)/m	桩长/m	桩径/m	排桩嵌固深度/m	角撑排数/	角撑尺寸(B×H)/mm
FG	16.0/19.4	21.8	1.2	8	2	1 000×800 700×800
GH	15.0/18.4	19.8	1.2	7	2	1 000×800 700×800

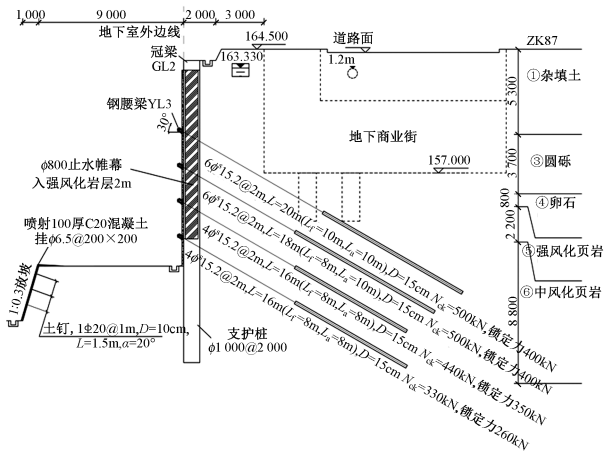


图 3 桩锚支护段典型剖面(HIJ段)

Fig. 3 Typical cross-section of the pile-anchor support segment (HIJ section)

工艺:①ABCD段,此区段周边为保护性建筑,为防止在成孔过程中出现塌孔、水土流失及基坑周边地表异常下沉的情况,采用双套管管内反循环成孔;②DEF段,此区段周边为中商广场地下室及财富地带小区4栋单元入口道路,为防止成孔过程中出现塌孔、水土流失及基坑周边地表异常下沉,严格控制小区周边道路下沉,采用双套管管内反循环水泥浆成孔;③H~A段,此区段周边为市政道路及地下人防商业街,为避免锚索施工至圆砾层、卵石层时出现塌孔,采用单套管成孔;④锚索成孔要求隔2打1;⑤基坑BCD段的阳角施工时,阳角两侧锚索上下错开20cm,角度上下错开2°~3°,避免锚索碰撞。

2)由于场地位于山区低洼地段,地层中的卵石层有直径达30~40cm的大漂石存在,在止水帷幕施工前,为保证旋喷桩的直径满足设计需要(见表3),现场进行多次试喷试验,以调整帷幕灌浆参数,通过对三重管试喷效果分析,认为通过高压水流冲切大漂石难以实现,改用二重管增大气压以增加水汽流“漂石”环绕效果,更容易达到灌浆效果以形成帷幕,同时将旋喷止水帷幕的有效直径由80cm调整为60cm,引孔步距调整为73,54,73cm。最后确定的双管高压旋喷桩施工参数如表4所示。

3 施工控制与监测

3.1 施工进度

为保证基坑支护体系的安全性及控制基坑开挖对周边环境的影响,土方开挖及锚杆、角撑施工需有序进行,按照“分层、分段、及时支撑、严禁超挖”的原则。本项目施工前期马道位于场地南侧,后期马道调整至基坑东侧。土方总体开挖顺序为

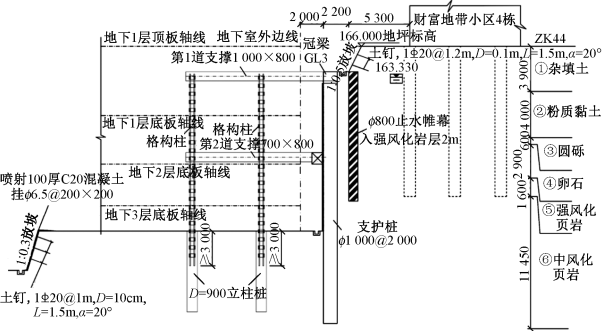


图 4 内支撑段典型剖面(FG段)

Fig. 4 Typical cross-section of the inner support segment (FG section)

2.2 关键施工技术

1)根据基坑不同区段的特点,采用不同的成孔

表 3 止水帷幕高压旋喷技术参数试验数据与结果(三重管法)

Table 3 Experimental data and results of high-pressure jet grouting technology for cutoff walls (triple-tube method)

试验次数	水压/MPa	空压/MPa	气量/m ³	浆压/MPa	提升速度/(cm·min ⁻¹)	旋转速度/(r·min ⁻¹)	成桩直径/cm	设计标准/cm	备注
1	26	0.5	1	0.6	12	20	60~70	80	
2	32	0.5	6	1.0	8	15~20	90	80	砂卵石层包裹不明显
3	32	1.0	1	1.0	8	15~20	70	80	

表 4 止水帷幕高压旋喷技术参数试验数据与结果(二重管法)

Table 4 Experimental data and results of high-pressure jet grouting technology for cutoff walls (double-tube method)

试验次数	试验桩数	空压/MPa	气量/m ³	浆压/MPa	提升速度/(cm·min ⁻¹)	旋转速度/(r·min ⁻¹)	成桩直径/cm	设计标准/cm	备注
1	2	0.8	6	32	10	15~20	1号:54 2号:63	80	1,2号桩咬合直径1.2m,砂卵石层中包裹明显
2	2	0.8	9	32	8~10(砂卵石为8,土层为10)	10~15(砂卵石为10,土层为12)	1号:65 2号:65	80 80	1,2号桩咬合直径1.4m

从东北侧开始,逆时针方向至东南角位置结束。首先为止水帷幕及支护桩施工,然后土方开挖进行桩顶冠梁、第1道锚索、第1道角撑施工,接下来的锚索、角撑及桩间喷锚支护根据开挖情况及时施工,直至开挖至基底。

3.2 监测设计

本工程监测周期为2022年2月14日—2023年4月30日,针对基坑支护结构、岩土体及周边环境,根据相关规范及设计要求,对基坑顶部水平、竖向位移,桩体深层水平位移,锚索轴力,支撑轴力,立柱竖向位移,坑外地下水位,周边地表、地下管线及建筑物竖向位移、建筑物倾斜均进行了监测。

3.3 主要监测结果分析

1) 周边地表竖向位移

基坑周边地表竖向位移共74监测个点,监测结果为-16.66~0.15mm。累计变化量最大的点位于基坑西侧。典型测点时程变化曲线如图5所示。

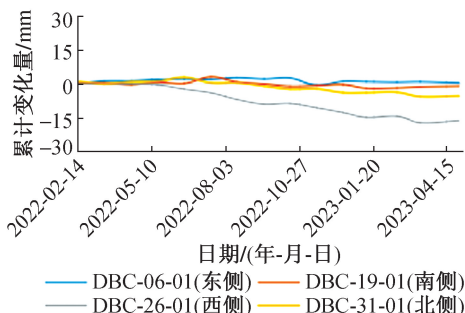


图 5 基坑周边地表竖向位移累计变化时程曲线
Fig. 5 Time history curve of cumulative vertical displacement of ground around the foundation excavation

2) 桩顶竖向位移

桩顶竖向位移共32个监测点,监测结果为-4.53~-1.58mm。累计变化量最大的点位于基坑东侧。典型测点时程变化曲线如图6所示。

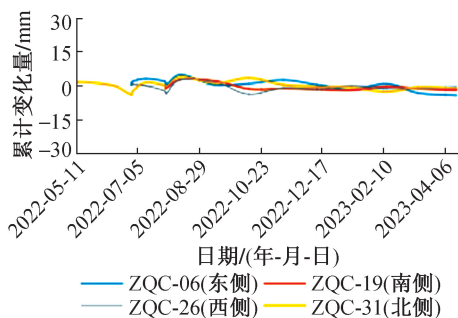


图 6 桩顶竖向位移累计变化时程曲线
Fig. 6 Time history curve of cumulative vertical displacement at pile top

3) 桩顶水平位移

桩顶水平位移共23个监测点,监测结果为9~16mm(基坑内为正值)。累计变化量最大的点位于基坑北侧,为基坑深度的0.87%。典型测点时程变化曲线如图7所示。

4) 锚索轴力

基坑锚索轴力共82个监测点,监测结果为23.9~50.22kN。累计变化量最大的点位于基坑西侧。典型测点时程变化曲线如图8所示。

5) 桩体深层水平位移

桩体深层水平位移共26个监测点,最大累计变化量为20.01mm,位于基坑南侧。典型测点时程变化曲线如图9所示。

6) 立柱竖向位移

立柱竖向位移共布设6个监测点,监测结果为

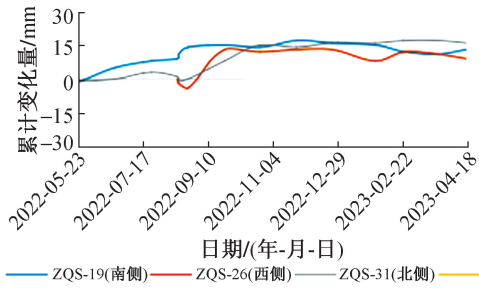


图 7 桩顶水平位移累计变化时程曲线

Fig. 7 Time history curve of cumulative horizontal displacement at pile top

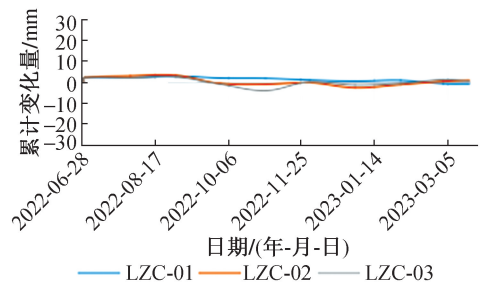


图 10 立柱竖向位移典型曲线

Fig. 10 Typical curve of vertical displacement of column

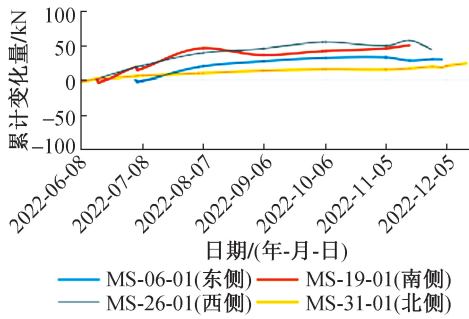


图 8 锚索轴力累计变化量时程曲线

Fig. 8 Time history curve of cumulative axial force change of anchor cable

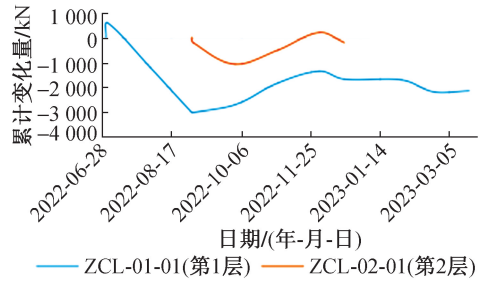


图 11 支撑轴力典型曲线

Fig. 11 Typical curve of support axial force

-1.24~0.23mm, 累计变化量最大测点位于最长角撑上, 典型测点时程变化曲线如图 10 所示。

7) 支撑轴力

支撑轴力在 2 排角撑均布有测点, 共 8 个, 监测结果为 2 154.38kN (受压), 典型测点时程变化曲线如图 11 所示。

8) 周边建筑物竖向位移

周边建筑物共布设 33 个测点, 监测结果为 -2.28~0.46mm, 累计变化量最大测点位于基坑东南角, 典型测点时程变化曲线如图 12 所示。

4 结语

张家界奇峰广场深基坑项目开挖面积大、深度较深、基坑周边环境复杂、建(构)筑物与基坑距离较近、用地紧张、地质条件较差, 为典型山区富水漂

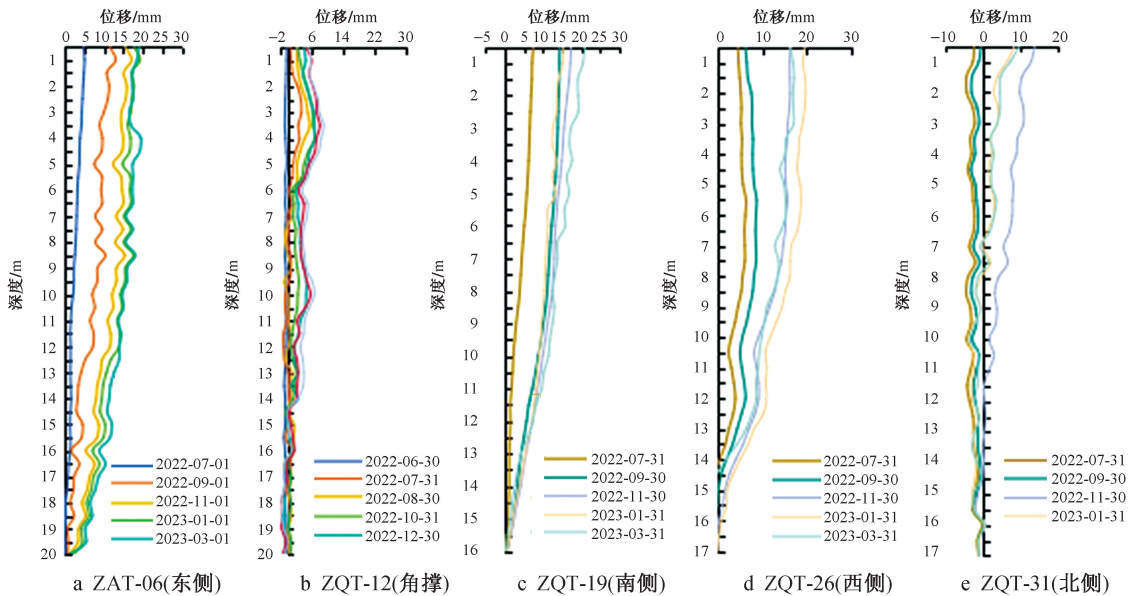


图 9 深层水平位移典型曲线

Fig. 9 Typical curve of deep horizontal displacement

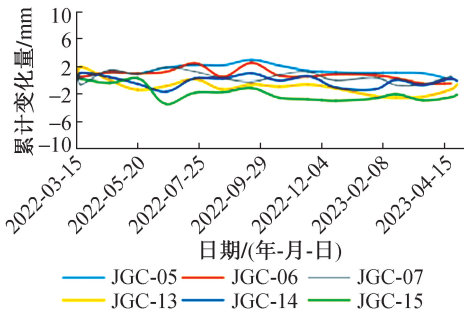


图 12 周边建筑物竖向位移典型曲线

Fig. 12 Typical curve of vertical displacement of surrounding buildings

石地层, 桩锚施工易造成水土流失。针对以上情况, 在支护设计与施工中采取了以下措施。

1) 针对基坑各段的实际情况, 对各段进行了不同的支护设计, 结合各段地下结构物的情况, 合理使用内支撑, 减小对周边危险房屋的扰动。

2) 使用可拆卸钢腰梁, 在地下室主体浇筑过程中分块逐层拆除, 地下室外墙紧贴支护内壁, 为后续地下室提供更大的使用空间, 最大限度解决用地紧张问题。

3) 由于大漂石的存在, 现场进行多次旋喷桩试验, 最终确定了满足设计需求的施工参数, 有效固结土层和漂石, 达到了预期止水效果。

4) 严格按照设计要求的施工顺序及步骤, 重视监测工作, 根据监测数据对施工方案进行合理调整, 确保施工安全及进度, 全程贯彻信息化施工。

参考文献:

- [1] 刘恒新, 沈华骏, 岑仰润, 等. 某基坑工程渗漏处理实践[J]. 地基处理, 2020, 31(4): 347-350.
LIU H X, SHEN H J, CEN Y R, et al. Leakage treatment technologies for a foundation pit project[J]. Chinese journal of ground improvement, 2020, 31(4): 347-350.
- [2] 龚晓南. 南宁基坑坍塌事故引起的思考[J]. 地基处理, 2019, 1(1): 95-96.
GONG X N. Thoughts on Nanning foundation pit collapse accident[J]. Journal of ground improvement, 2019, 1(1): 95-96.
- [3] 顾浩然. 承压水地层基坑涌砂事故处理与预防的探究[J]. 土工基础, 2023, 37(5): 741-745.
GU H R. Treatment and prevention of the sand burst in a deep excavation in a stratum with artesian water head[J]. Soil engineering and foundation, 2023, 37(5): 741-745.
- [4] 伦冠栋. 浅埋地铁车站基坑防渗墙支护体系稳定性分析[J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(7): 38-44.
LUN G D. Stability analysis of anti-seepage wall support system for foundation excavation of shallow subway station[J]. Construction technology, 2025, 54(7): 38-44.

- [5] 刘帅. 富水地层地铁车站基坑降水开挖变形与控制措施研究[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(21): 103-108.
LIU S. Research on deformation and control measures of dewatering excavation in the subway station foundation excavation in water-rich stratum[J]. Construction technology, 2024, 53(21): 103-108.
- [6] 廖志坚, 朱火根, 唐军武. 复杂环境下深基坑全过程变形控制设计与实践[J]. 土工基础, 2024, 38(3): 419-426.
LIAO Z J, ZHU H G, TANG J W. Design and practice of the entire process deformation control of a deep excavation under complex environments[J]. Soil engineering and foundation, 2024, 38(3): 419-426.
- [7] 梁世龙, 方世民, 王世明, 等. 富水砂卵石地层地铁车站深基坑开挖对邻近建筑物地表沉降的影响[J]. 中国水运, 2023, 23(10): 114-116.
LIANG S L, FANG S M, WANG S M, et al. Influence of deep foundation pit excavation of subway station in water-rich sandy pebble stratum on surface settlement of adjacent buildings[J]. China water transport, 2023, 23(10): 114-116.
- [8] 谢涛, 郭林宏, 杨海华. 砂卵石地层深基坑监控量测与数值模拟分析[J]. 路基工程, 2024(3): 118-123.
XIE T, WU L H, YANG H H. Monitoring measurement and numerical simulation analysis of a deep foundation pit in the sand-gravel layer[J]. Subgrade engineering, 2024(3): 118-123.
- [9] 余敦猛. 城市复杂环境下某深基坑设计及施工关键技术[J]. 土工基础, 2022, 36(4): 528-532, 546.
YU D M. Design and construction of a deep excavations under complex urban environment[J]. Soil engineering and foundation, 2022, 36(4): 528-532, 546.
- [10] HONG C Y, ZHANG J Y, CHEN W B. An integrated intelligent approach for monitoring and management of a deep foundation pit in a subway station[J]. Sensors, 2022, 22(22): 8737.
- [11] 何伟, 海涵, 詹源, 等. 强透水层中竖井基坑悬挂式止水帷幕渗透稳定及降水影响分析[J]. 土工基础, 2024, 38(2): 181-185.
HE W, HAI H, ZHAN Y, et al. Analysis of seepage stability and dewatering effect on the suspended impervious curtain in the deep excavation for a vertical shaft in a highly permeable stratum[J]. Soil engineering and foundation, 2024, 38(2): 181-185.
- [12] 穆亦龙, 康林, 杨雪菲, 等. 考虑止水帷幕的承压含水层基坑涌水量计算[J]. 地基处理, 2024, 6(3): 235-241.
MU Y L, KANG L, YANG X F, et al. Calculation of water inflow for foundation pit with waterproof curtain in confined aquifers[J]. Journal of ground improvement, 2024, 6(3): 235-241.
- [13] 马乐, 李云, 陈晨文. 上软下硬地层 CSM 整体式止水帷幕施工关键技术[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(11): 97-102.
MA L, LI Y, CHEN C W. Key construction techniques of CSM overall water-resisting curtain in upper-soft and lower-hard stratum[J]. Construction technology, 2024, 53(11): 97-102.
- [14] 宗露丹. 多含水层地层 45m 级基坑承压水控制设计与实践[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(7): 116-123.
ZONG L D. Design and practice of confined water control of 45m-level deep foundation excavation in multiple aquifer area[J]. Construction technology, 2024, 53(7): 116-123.