

桩锚式支护体系在地铁超大深基坑中的应用

Application of Pile Anchor Support System in Super Large Deep Foundation Pit of Subway

张伯夷 杨泳森

Boyi Zhang Yongsen Yang

中国水利水电第七工程局成都水电建设工程有限公司, 中国·四川 成都 611130

China Water Resources and Hydropower Seventh Engineering Bureau Chengdu Hydropower Construction Engineering Co., Ltd.,

Chengdu, Sichuan, 161130, China

【摘要】本课题以总面积约为 $482 \times 20 \text{m}^2$ 、最大开挖深度为17m的基坑工程为依托,从设计、施工、监测等方面,分别对基坑开挖过程中和不同工况下桩锚式支护体系的受力进行计算分析和监测。结果表明:(1)随着各阶段基坑的开挖,围护桩外侧桩身应力呈拉-压-拉变化,内侧桩身应力呈压-拉变化,桩身应力变化主要受基坑开挖时间和预应力锚杆的张拉锁定等因素的影响;(2)根据监测数据反馈分析,在桩锚式支护体系运用后,基坑围护结构变形值、地表沉降值、周边建筑物变形值均在允许值范围内。

【Abstract】This project relies on the foundation pit engineering with a total area of about $482 \times 20 \text{m}^2$ and a maximum excavation depth of 17m. From design, construction and monitoring, the calculation and analysis of the stress of the pile anchor support system during the excavation process and under different working conditions are carried out, the results show that:(1) With the excavation of foundation pits at various stages, the pile body stress on the outer side of the retaining pile is tensile-pressure-pull, and the stress on the inner pile is pressure-pull. The stress variation of the pile body is mainly affected by factors such as the excavation time of the foundation pit and the tension locking of the pre-stressed anchor;(2) According to the feedback analysis of the monitoring data, after the pile-anchor support system is applied, the deformation value of the foundation pit retaining structure, the surface settlement value, and the deformation value of the surrounding building structure are all within the allowable value range.

【关键词】地铁超大深基坑;桩锚式支护体系;桩身应力

【Keywords】subway super large deep foundation pit; pile anchor support system; pile body stress

【DOI】<https://doi.org/10.26549/gcjsygl.v2i8.1108>

1 引言

目前,中国的城市轨道交通建设飞速发展,大多数地铁车站采用的是明挖法施工,一般情况下,采用围护桩+内支撑的方式对深基坑进行支护,但在成都轨道交通4号线2期光华公园站施工过程中,由于车站南侧部分区域需与相邻的地下商场进行共坑开挖,基坑宽度约290m,无设置内支撑条件,因此就需要在该段基坑运用钻孔灌注桩+预应力土层锚杆(索)的支护体系,通过采取合理设计、严谨复核、科学施工、严密监测等措施,保证基坑安全。论文以成都轨道交通4号线土建2标“光华公园站桩锚式支护体系施工”为例,从设计、施工、监测等多方面分享桩锚式支护体系在地铁超宽深基坑中应用的相关技术内容,通过实际施工经验证明,桩锚式支护体系的可靠性,皆在为后续类似工程提供参考。

2 工程概况

成都轨道交通4号线光华公园站为地下双层11米岛式站台车站,车站总长481.8m,标准段宽度为19.9m,顶板覆土厚度约为2.4~3.6m,底板埋深约15.7~17m,地下水资源丰富,地面以下3m~40m均为沙卵石层。基坑北侧采用 $\Phi 1200 @ 2500 \text{mm}$ 围护桩,南侧临近建筑物段采用 $\Phi 1200 @ 2000 \text{mm}$ 围护桩,车站端头盾构洞门处采用 $\Phi 1500 @ 1600 \text{mm}$ 玻璃纤维筋围护桩。桩顶设冠梁,桩间采用网喷混凝土做为桩间挡土措施,混凝土面层厚150mm,钢筋网采用 $\Phi 8 @ 200 \times 200 \text{mm}$ 。在车站YDK21+609.75~YDK21+862.25段由于需与南侧地下商场进行共坑开挖,需在基坑北侧设置桩+锚索的方式进行支护,共设4道锚索,桩与主体结构之间间隙采用C20素混凝土回填。(见图1)

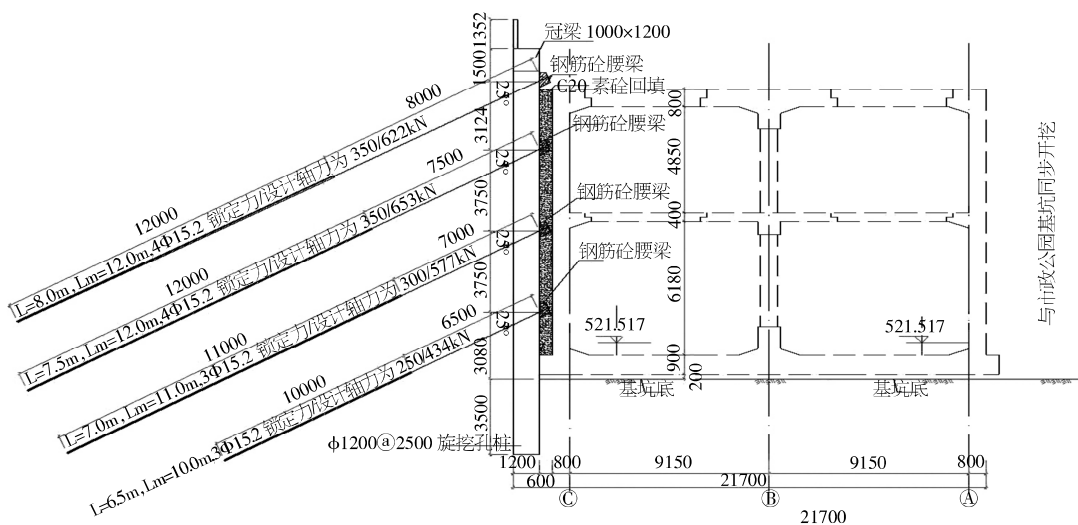


图1 光华公园站桩锚式支护体系断面图

3 支护体系设计

3.1 基坑保护等级及变形控制标准

根据光华公园站基坑规模与周边环境条件,查阅《基坑工程手册》^[1]后确定基坑变形控制保护等级为一级,基坑侧壁重要性系数 $\gamma=1.10$,支护结构最大水平位移 $\leq 0.1\%H$ 且 $\leq 30\text{mm}$,周边地面最大沉降量 $\leq 0.1\%H$ (17mm)。

3.2 支护参数计算

明挖支护型式为多支点桩结构,采用理正深基坑辅助设计软件 F—SPW V7.0 模拟^[7-8]基坑开挖和回筑全过程,按增量法原理进行计算与验算:

表1 预应力锚索设计参数表

锚索位置	锚索规格	锚索孔数	锚固段长(m)	自由段长(m)	锚索总长(m)	设计轴力(kN)	锁定值(kN)
第一道	4Φ15.2	105	12	8	21.2	622	350
第二道	4Φ15.2	105	12	7.5	20.7	653	350
第三道	4Φ15.2	105	11	7	19.2	577	300
第四道	3Φ15.2	105	10	6.5	17.7	434	250

表2 工况信息

工况号	工况	深度	支锚
1	开挖	3.530	—
2	加撑	—	1.锚索
3	开挖	6.788	—
4	加撑	—	2.锚索
5	开挖	10.538	—
6	加撑	—	3.锚索
7	开挖	14.288	—
8	加撑	—	4.锚索
9	开挖	16.878	—

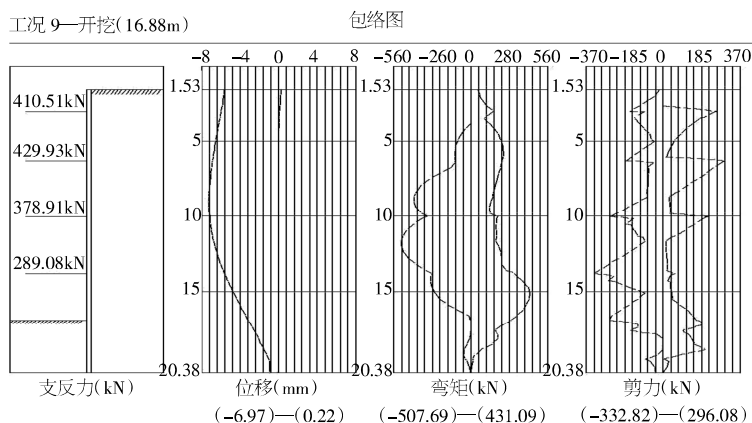


图2 围护结构内力位移包络图

计算结果如图2(以最大开挖深度工况9为例):

施工期间桩锚支护段桩体的最大水平位移 6.97mm,桩最大弯矩 507.69kN*m(设计值 1145.15kN*m);锚索最大拉拔力 653kN(第2层锚索)。

3.3 桩锚式支护体系整体稳定性验算

为保证基坑安全,在施工前还需对围护结构进行整体稳定性验算^{[3][6]},计算的方法采用瑞典条分法^[4]。选取最典型的工况9为例:

$$\text{抗倾覆安全系数: } K_s = \frac{M_p}{M_a}$$

M_p —被动土压力及支点对桩底的抗倾覆弯矩,对于内支撑支点对由内支撑抗压力决定; M_a —主动土压力对桩底的倾覆弯矩。

$$\text{经计算: } K_s = \frac{705.468 + 13542.689}{6131.667}$$

$K_s = 2.324 \geq 1.250$, 满足规范要求。

4 桩锚式支护体系主要施工方法

围护桩采用的是旋挖灌注桩, 介于该类桩施工技术成熟且普遍, 论文就不做介绍, 主要介绍锚索的相关施工工艺。

4.1 锚索施工工艺流程

挂网喷射桩间混凝土→测量定位锚索位置→钻机定位→钻进下锚→拔套管→冲孔→灌浆→施工腰梁、预埋锚具→张拉→锁定锚杆。

4.2 质量施工控制要点

①锚索孔水平及垂直方向的孔距误差不得大于 100mm, 钻机导轨倾角误差不超过 $\pm 1^\circ$, 方位误差不超过 $\pm 2^\circ$; ②锚固段长度制作允许误差为 ± 50 mm, 自由段长度除满足设计要求外, 为充分考虑张拉设备和施工工艺要求, 一般预留超长 1.2m; ③当锚固体与腰梁砼强度达到设计强度的 75%时才能进行锚索张拉锁定作业; ④锚索正式张拉前, 取 0.1~0.2 倍的轴向拉力设计值对锚索预张拉 1~2 次, 使锚索完全平直和各部位接触紧密, 产生初剪。锚索张拉至 1.05~1.10 倍轴向拉力设计值并保持 15 分钟, 然后卸荷至零, 再重新张拉至锁定荷载进行锁定, 锁定荷载为 0.75~0.9 倍的轴向拉力设计值。预应力张拉分级加载, 张拉分级加载依 0.10~0.20、0.50、0.75、1.00、1.05~1.10 倍的锚索轴向拉力设计值进行, 每级持续 5 分钟。

5 监控量测与成果分析

为了确保桩锚式支护体系在车站主体结构施工期间周围环境及围护结构自身的施工安全, 根据《建筑基坑工程监测技术规范》^[9]要求, 在施工过程中需进行测点的设置、日常量测工作和数据处理、信息反馈工作, 通过监控量测达到以下目的:

①将监测数据与预测值相比较, 判断前一步施工工艺和支护参数是否符合预期要求, 以确定和调整下一步施工, 确保施工安全; ②将现场测量的数据与理论预测值比较, 用反分析法进行分析计算, 使设计更符合实际, 便于指导今后的工程建设; ③监视围护结构应力和变形情况, 验证围护结构的设计效果, 保证围护结构稳定、地表建筑和地下管线的安全。

5.1 监测项目及成果

监测项目及成果见表 3。

5.2 成果分析

①桩顶水平位移

桩顶水平位移的时间变化规律(选取桩锚段 N2 测点为例): 坑内土方未开挖时(工况 1)为 0, 随着土方开挖直至第一道锚索张拉前(工况 2), 逐渐增大至 C1; 第一道锚索端头锚固

后逐渐减小, 随着土方开挖直至第二道锚索张拉前(工况 4), 又逐渐增大至 C2; 第二道锚索端头锚固后逐渐减小, 随着土方开挖直至第三道锚索张拉前(工况 6), 又逐渐增大至 C3, 第三道锚索端头锚固后逐渐减小; 开挖至第四道锚索时(工况 8), 又逐渐增大, 在第 4 道锚索锚固和底板施工后又逐渐减小至 C4; 之后渐趋稳定。其中 $C1 > C3 > C4 > C2$ 。

桩顶水平位移的实测最大值为 16mm, 小于计算最大值和报警值, 通过观察桩顶水平位移变化规律, 证明桩锚式支护体系的设置对控制基坑围护结构的变形是切实有效的。(见图 3)

②地表沉降

因离城市主干道较近, 在基坑北侧设置 5 个地表沉降观测点, 离开基坑边缘的距离分别为 2.3m、8.4m、16.8m、25.2m、33.6m; 市政公园基坑较宽, 南侧道路受基坑开挖影响较小, 在基坑南侧不设地表沉降观测点。

根据观测结果, 基坑北侧 5 个观测点的地表沉降分别为 1.2mm、11.1mm、16.5mm、10.5mm、0.8mm, 表明基坑周边地表沉降随着离开基坑边缘距离的增大, 先是逐渐增大, 在离开基坑边缘距离大约为 1 倍基坑挖深时达到最大, 其后又逐渐减小, 符合基坑开挖影响规律。

6 结论

在成都轨道交通 4 号线光华公园站施工中, 通过采用的钻孔灌注桩+4 层锚索的支护体系, 为共同开发的地下商场提供了施工条件, 并通过前期符合计算和现场施工、监测等实践证明: 桩锚式支护体系在成都地区的地质条件下是可行的, 能在地铁深基坑开挖时有效地保证周边建筑物及基坑安全, 为后续类似工程提供了参考作用。

表 3 监测项目控制值及预警值表

序号	量测项目	控制值	实测最大值
1	土层锚索拉力 (每层 8 个监测点)	最大值: 80%构件承载能力设计值; 最小值: 100%锚杆的预应力设计值	105%锚杆的预应力设计值
		围护结构水平位移	16mm
2	(分为 20 个断面, 每个断面 2 个测点)	累计最大值 25mm; 变化速率 3mm/d	
3	(分为 20 个断面, 每个断面 2 个测点)	围护结构竖向位移	
		围护结构变形	18.5mm
4	(测斜管共设置 40 个)	累计最大值 25mm; 变化速率 3mm/d	
5	(分为 20 个断面, 每个断面 5 个测点)	地面沉降	
		围护结构变形	16.5mm

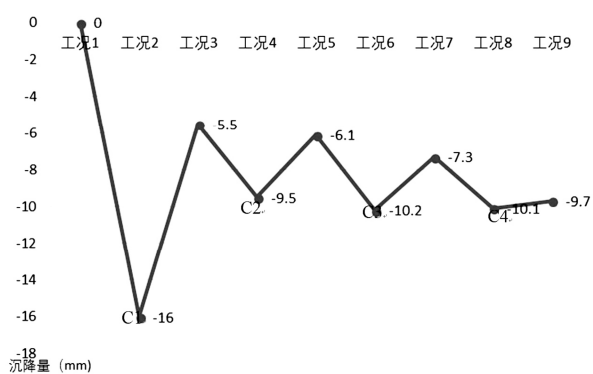


图3 N2点水平位移时间曲线

参考文献

[1]刘建航,侯学渊.基坑工程手册.北京:中国建筑工业出版社,2009.
[2]程良奎,李成江.岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范(GB

50086-2015).中国计划出版社,2015.

[3]江正荣.建筑施工计算手册.北京:中国建筑工业出版社,2012.

[4]杨斌,黄强.建筑基坑支护技术规程(JGJ120-2012).北京:中国建筑工业出版社,2012.

[5]刘俊岩,应惠清.建筑基坑工程监测技术规范(GB50497-2009).中国建筑工业出版社,2009.

[6]王天龙.深基坑支护体系优化设计研究[D].邯郸:河北工程大学,2017.

[7]张明.基于 ABAQUS 的基坑桩锚支护模拟分析[D].邯郸:河北工程大学,2017.

[8]柴杰.邯郸某深基坑桩锚支护 FLAC3D 模拟对比分析[D].邯郸:河北工程大学,2017.