

# 桩锚式支护体系在地铁超宽深基坑中的应用

张伯夷, 李东福, 杨泳森

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610081)

**摘要:** 地铁站多采用明挖法施工, 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290 m, 其内无设置内支撑的条件, 故需要在该段基坑运用钻孔灌注桩+预应力土层锚杆(索)的支护体系以保证基坑安全。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, 介绍了桩锚式支护体系在地铁深基坑中应用的相关技术内容, 旨在提供一定的参考与借鉴。

**关键词:** 地铁超宽深基坑; 钻孔灌注桩; 预应力土层锚杆(索); 支护体系

**中图分类号:** U215.1; U215.7

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2018)06-0029-04

## 1 工程概述

成都轨道交通4号线光华公园站为地下双层11 m岛式站台车站, 车站总长481.8 m, 标准段宽度为19.9 m, 顶板覆土厚度约为2.4~3.6 m, 底板埋深约15.7~17 m, 地下水资源丰富, 地面以下3~40 m均为砂卵石层。基坑北侧采用 $\phi 1\ 200@2\ 500$  mm围护桩, 南侧临近建筑物段采用 $\phi 1\ 200@2\ 000$  mm围护桩, 车站端头盾构洞

门处采用 $\phi 1\ 500@1\ 600$  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150 mm, 钢筋网采用 $\phi 8@200$  mm $\times 200$  mm。在车站桩号YDK21+609.75~YDK21+862.25段, 由于需与位于其南侧的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, 桩与主体结构之间的间隙采用C20素混凝土回填(图1)。

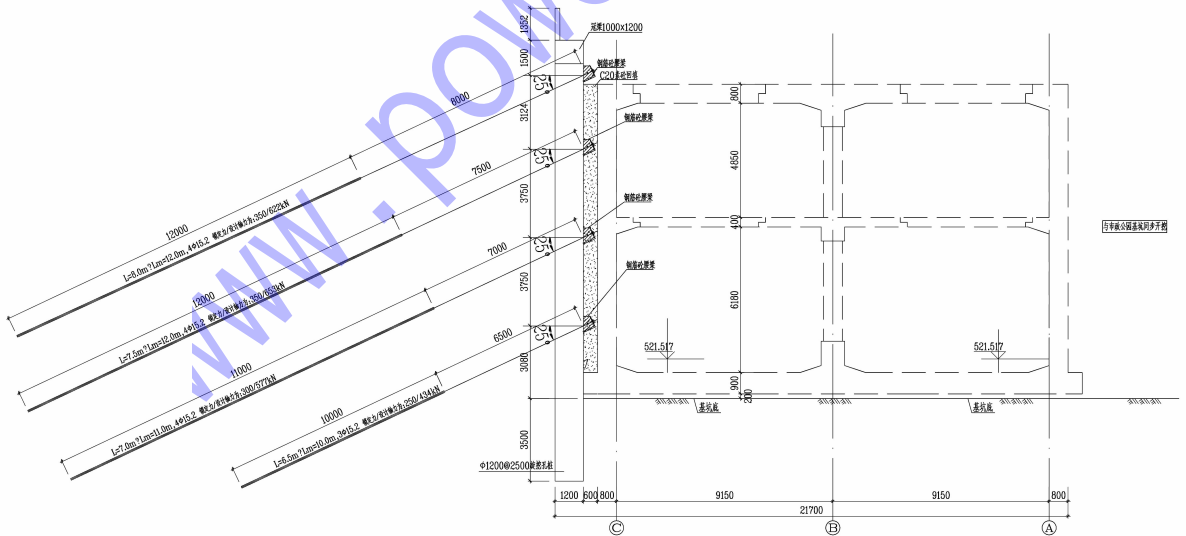


图1 光华公园站桩锚式支护体系断面图

## 2 支护体系设计

### 2.1 基坑保护等级及变形控制标准

光华公园站基坑全长481.8 m, 标准段宽度

为19.9 m, 最大深度17 m, 车站西北侧为涌泉广场, 东北侧为在建的珠江新城国际商业, 西南侧为市政绿地, 规划为市政公园地下空间开发, 市政公园基坑深度约15.3 m, 根据基坑规模与周边环境

收稿日期: 2018-09-15

条件,基坑变形控制保护等级为一级,基坑侧壁重要性系数  $\gamma = 1.1$ ,支护结构的最大水平位移  $\leq 0.1\% H$  且  $\leq 30$  mm,周边地面最大沉降量  $\leq 0.1\% H$  (17 mm)。

表1 支锚信息表

支锚号	支锚类型	水平间距 /m	竖向间距 /m	入射角 /°	总长 /m	锚固段长度 /m
1	锚索	2.5	3.03	25	20	12
2	锚索	2.5	3.258	25	18.5	12
3	锚索	2.5	3.75	25	17	10.5
4	锚索	2.5	3.75	25	16.5	10

表2 工况信息表

工况号	工况	深度 /m	支锚
1	开挖	3.53	—
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	—

计算结果见图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为 6.97 mm,桩的最大弯矩为 507.69 kN·m(设计值为 1 145.15 kN·m);锚索最大拉拔力为 653 kN(第2层锚索)。

### 2.3 锚索的受力计算

锚索的计算主要包括锚索锚固力和钢绞线承载力的计算。锚索锚固力的计算主要是进行锚固体与其周围土体摩擦阻力的计算,用以确定锚固体的直径和锚固段长度。根据成都地区的施工经验,如按规范的公式计算,锚索的锚固段一般较长,普遍偏于保守。另外,该工程锚索采用高压二次灌浆工艺。通常,采用该工艺后锚固体的拉拔力提高很多,因此,该工程锚索锚固体的长度主要是以工程类比为主,计算为辅。首先,根据经验确定一个值,然后主要通过相同地层做锚索拉拔力试验进行调整(拉拔力试验规范要求抗拔试验锚索根数在同一土层中不少于3根)。

试验荷载:

(1)抗拔试验时最大的试验荷载不宜超过锚

### 2.2 支护参数的计算

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 模拟基坑开挖和回筑全过程,按增量法原理计算与验算(表1、2)。

索索体极限承载力的 0.8 倍,用以确定锚固体与岩土层的粘接强度特征值、锚索设计参数和施工工艺及锚索的极限抗拉承载力。

(2)根据《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224—2003 规定,1×7 标准型,公称直径 15.2 mm,其标准强度为 1 860 MPa 的钢绞线单根的最大力( $F_m/kN$ )不小于 260 kN,3 根钢绞线的锚索理论最大力不小于 780 kN,4 根钢绞线的锚索理论最大力不小于 1 040 kN。

(3)本次抗拉拔试验荷载经计算得知:3 根钢绞线的锚索最大值为 780 kN×0.8=624 kN,即最大试验荷载不超过 624 kN;4 根钢绞线的锚索最大值为 1 040 kN×0.8=832 kN,即最大试验荷载不超过 832 kN。

### 2.4 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,计算的方法采用瑞典条分法。选取最典型的工况9为例,其抗倾覆安全系数  $K_s$  为:

$$K_s = \frac{M_p}{M_a}$$

式中  $M_p$  为被动土压力及支点力对桩底的抗倾覆弯矩,对于内支撑支点力则由内支撑抗压力决定;对于锚杆或锚索,支点力为锚杆或锚索的锚固力和抗拉力的较小值; $M_a$  为主动土压力对桩底的倾覆弯矩。

经计算:

$$K_s = \frac{705.468 + 13\,542.689}{6\,131.667}$$

$K_s = 2.324 \geq 1.25$ , 满足规范要求。

### 3 桩锚式支护体系的主要施工方法

该工程的围护桩采用旋挖灌注桩。鉴于该类

工况 9--开挖 (16.88m)

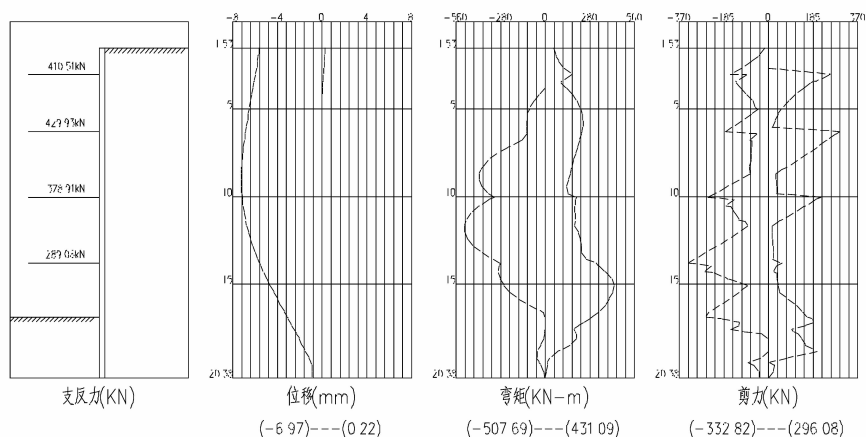


图2 围护结构内力位移包络图

桩施工技术成熟且普遍,笔者在文中不做介绍,主要介绍锚索的相关施工工艺。

### 3.1 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。

### 3.2 施工质量控制要点

(1) 锚索孔水平及垂直方向的孔距误差不得大于 100 mm, 钻头直径不得小于设计钻孔孔径 3 mm。钻机严格按照设计孔位、倾角和方位准确就位, 采用测角量具控制角度, 钻机导轨倾角的误差不超过  $\pm 1^\circ$ , 方位误差不超过  $\pm 2^\circ$ 。

(2) 锚索体长度严格按照设计要求制作, 锚固段长度的制作允许误差为  $\pm 50$  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 1.2 m。

(3) 针对砂卵石地层锚索施工易塌孔的特点, 锚索注浆采取边注浆、边拔管的方式分 3 次拔管。锚索安装完成立即注浆, 第一次注浆 8 m, 拔管 6 m; 第二次注浆 6 m, 拔管 6 m; 第三次完成自由段注浆, 拔出孔内的剩余套管。

(3) 当锚固体与腰梁混凝土强度达到设计强度的 75% 时方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, 使锚索完全平直并与各部位接触紧密, 产生初剪。锚索张拉至 1.05 ~ 1.1 倍轴向拉力设计值并保持 15 min, 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 0.1 ~ 0.2、0.5、0.75、1、1.05 ~ 1.1 倍的锚索轴向拉力设计值进行, 每级持续 5 min, 分级记录预应力伸长值。

## 4 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过程中周围环境及围护结构自身的施工安全, 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, 进行信息化施工以确保工程施工的安全。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) 将现场监测到的数据、信息及时反馈以便及时修改和完善设计, 使设计方案达到优质安全、经济合理。

(3) 将现场测量到的数据与理论预测值比较, 用反分析法进行分析计算, 使设计更符合实际用以指导今后的工程建设。

(4) 监视围护结构的应力和变形情况, 验证围护结构的设计效果, 保证围护结构的稳定、地表建筑和地下管线的安全。

(5) 监测成果分析。

① 桩顶水平位移。桩顶水平位移的时间变化规律(选取装锚段 N2 测点): 坑内土方未开挖时(表 2, 工况 1)为 0。随着土方开挖直至第一道锚索张拉前(表 2, 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(表 2, 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(表2,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(表2,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  $C1 > C3 > C4 > C2$ (图3)。

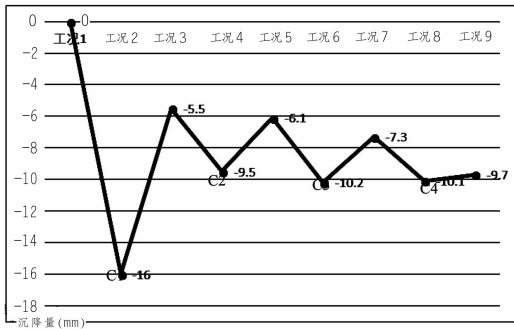


图3 N2点水平位移时间曲线图

桩顶水平位移的实测最大值为16 mm,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切实有效。

②地表沉降。因其距城市主干路较近,故在基坑北侧设置了5个地表沉降观测点,其距基坑边缘的距离分别为2.3 m、8.4 m、16.8 m、25.2 m、33.6 m;因市政公园基坑较宽,南侧道路受基坑开挖影响较小,故在基坑南侧未设观测点。

根据观测结果,基坑北侧5个观测点的地表沉降分别为1.2 mm、11.1 mm、16.5 mm、10.5

mm、0.8 mm,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(图4)。

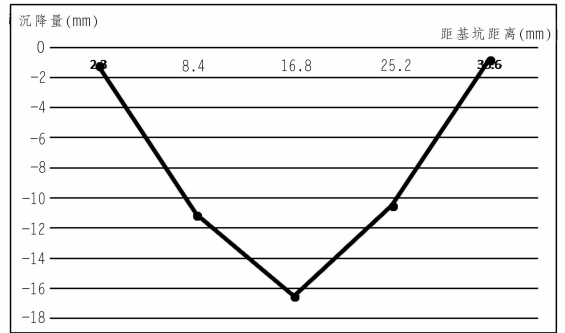


图4 周边地表沉降(坑边距离曲线)图

### 5 结语

成都轨道交通4号线光华公园站采用的钻孔灌注桩+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,并通过前期计算和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,其取得的经验可为后续类似工程提供参考。

#### 作者简介:

- 张伯夷(1976-),男,四川南充人,高级工程师,一级建造师,从事水利水电工程施工技术与管理工;
- 李东福(1983-),男,四川遂宁人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工;
- 杨泳森(1994-),男,四川眉山人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第28页)

m半径线路的箱梁架设,满足临近或侵入既有线架梁工况,从而大大增强了设备的适应性,使原设备无法进行架施工的小曲率箱梁由现浇改变为预制,从而为工程整体建设节约了大量的施工成本,并能够有效提高施工进度。通过对运架一体机的滚轮支腿进行优化改进,大大提升了其横向稳定性,有效保证了施工安全;改进后的运架一体机在主机上增设了吊具支座,能够在跨线提梁机的辅助下直接完成装梁作业,节约了梁场空间,减少了梁场喂梁平台的设置,大大节约了基础建设成本,使其更加适用于枢纽区域狭小梁场。

改进后的运架一体机顺利完成了郑机城际铁路ZJZQ-I标段项目部郑州郑东新区制梁场箱梁架设工程与郑徐客专郑州枢纽预留郑万铁路引入

同步实施工程预制简支箱梁架设工程箱梁的架设施工,顺利完成了线路密集空间受限区域小曲率箱梁的架设施工,该技术填补了国内外空白,在加快工期、节约投入、确保安全等方面优势明显。改进后的运架一体机进一步增强了适应性,提高了使用性能,在国内首次完成了R1 600 m小曲率桥梁箱梁架施工,使施工更加安全、节约、高效,推动了铁路施工技术的发展,具有显著的社会效益。

#### 作者简介:

- 邹凤维(1986-),男,黑龙江安达人,助理工程师,学士,从事铁路建设施工技术与管理工;
- 董鑫基(1989-),男,四川成都人,助理工程师,学士,从事铁路建设施工技术与设备管理工作;
- 李成伟(1992-),男,四川绵阳人,助理工程师,学士,从事铁路建设施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)