

DOI: 10.7672/sjgs2022010077

地铁车站明挖深基坑近接既有建筑物基础的 预应力锚索施工技术*

周晓军, 刘建国

(西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031)

[摘要] 结合成都地铁6号线金府站明挖深基坑紧邻既有机电城和交大路下穿金府路隧道的工程特点,介绍了地铁车站明挖深基坑内采用预应力锚索加固既有机电城一侧地层的施工方法,给出了在基坑内采用竖向双层锚索纵向逐段加固砂卵石地层的方法,总结了明挖深基坑紧邻既有建筑物基础的预应力锚索加固地层施工技术要点,并提出了控制锚索施工质量的技术措施。

[关键词] 地铁车站;深基坑;既有建筑物;预应力锚索;施工技术

[中图分类号] TU94+2;U455.7

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2022)01-0077-08

Construction Technology of Prestressed Cable for Open-cut Deep Foundation Excavation of Subway Station Adjacent to Existing Building Foundation

ZHOU Xiaojun, LIU Jianguo

(School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: In combination with the engineering features of open-cut foundation excavation of Jinfu subway station adjacent to existing buildings on Chengdu Metro Line 6, both the construction method and process of prestressed cable to reinforce the sandy pebble strata in the open-cut deep foundation excavation are elaborated. The method of reinforcing the sandy pebble strata with both two layer prestressed cables in vertical direction and piecewise along axial direction of the foundation excavation is proposed. The technical bullet points of installing prestressed cable in the deep foundation excavation to reinforce the sandy pebble strata underneath the expanded foundation of the existing buildings are also summarized, and the technical measures employed to enhance the construction quality of prestressed cable are proposed as well in this paper.

Keywords: subway station; deep foundation excavation; existing building; prestressed cable; construction

0 引言

修建以地铁为代表的城市轨道交通是改善和解决我国大中城市公共交通拥堵状况的有效途径。在地面建筑物密集、交通繁忙以及地下管线繁多的城市中心区修建地铁期间,新建车站深基坑近接或紧邻既有建筑物的现象已较为普遍。为确保新建车站和既有建筑物的安全和正常使用,根据地铁地下车站近接既有建筑物的工程建设环境和地质条件,明挖地铁车站深基坑的围护结构可采用锚喷方式如锚杆(索)与土钉和喷射混凝土组合、柱列式

如钻孔灌注桩、钢管桩等、壁式如地下连续墙、水泥土搅拌桩(SMW)、拉森钢板桩等作为深基坑的围护形式。

成都地铁6号线金府站紧邻交大路下穿金府路城市道路隧道和长久机电城的临街商铺,车站基坑周围工程建设环境和施工条件较为复杂,施工场地狭窄,因此车站明挖深基坑围护结构的安全对于保障与基坑紧邻的既有交大路下穿金府路城市道路隧道和长久机电城临街商铺的安全使用具有现实意义。本文以成都地铁6号线金府站明挖深基坑紧邻既有建筑物基础时采用预应力锚索加固地层为例,分析和总结了预应力锚索在深基坑中的施工工艺以及质量控制要点。

* 中铁21局集团有限公司科技研发项目(18B-10)

[作者简介] 周晓军,教授,博士生导师, E-mail: 768977446@qq.com

[收稿日期] 2021-11-04

1 工程概况

1.1 车站位置和周边环境

成都地铁 6 号线金府站位于四川省成都市金牛区交大路与金府路交叉路口的东南侧,车站纵向沿交大路出城方向设置在既有的交大路下穿金府路城市道路隧道和车站靠近长久机电城临街商铺之间宽约 11m 辅道范围内的地下,车站呈东西向布置,全长 311.3m,其小里程端跨金府路口,大里程端靠近长青路口。金府站是成都市第 1 座在站台公共区采用无柱大跨结构的地下车站,采用明挖顺作法进行施工。其与远期规划的 27 号线车站形成节点换乘,金府站平面位置及其周边建筑物如图 1 所示。

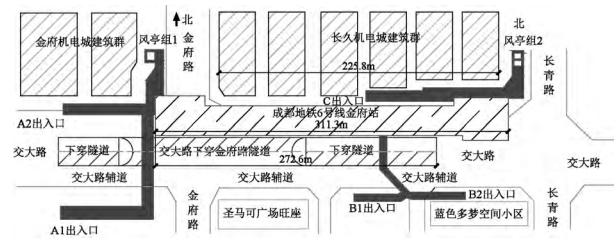


图 1 金府站平面位置

由图 1 可知,金府站基坑周边建(构)筑物密集,施工场地狭窄。基坑周边主要建筑物有:车站西南侧紧邻既有的交大路下穿金府路城市道路隧道。交大路下穿金府路隧道与金府站的基坑并行,两者并行的长度有 272.6m。车站东北侧则紧邻既有的长久机电城临街商铺,为地面上 2 层混凝土框架结构,商铺框架结构采用柱下独立基础加以支撑,长久机电城和金府站并行的长度约 225.8m。

1.2 工程地质与水文地质条件

金府站所处区域内地形较平坦,地面海拔高程在 512.720~513.890m。地貌单元为岷江水系 I 级阶地。车站基坑范围内上覆第四系人工填土层 (Q_4^{ml}),其下依次为第四系全新统冲洪积层 (Q_4^{al+pl}) 的粉质黏土、细砂、中砂和卵石。车站主体结构底板放置于中密至密实卵石层中。基坑范围内地下水主要赋存于填土层中的上层滞水和第四系砂、卵石层的孔隙潜水。上层滞水分布于填土层,无统一水位,水量变化大,且不稳定。第四系孔隙潜水主要赋存于砂卵石层中,富水性中等。砂卵石层的渗透性高,透水能力强。基坑区域内地下水主要靠大气降水、区域地表水及地下径流补给,最高水位年变化幅度在地面以下 2.0~3.0m。金府站基坑所处地段的地质及其物理力学参数如表 1 所示。

表 1 金府站所处地层及其物理力学参数

地层名称	厚度/ m	容重/ ($kN \cdot m^{-3}$)	弹性 模量/ MPa	泊松 比	内摩 擦角/ ($^{\circ}$)	黏聚力/ kPa
杂填土	2.4	18.0	5	0.33	10	8
素填土	2.0	19.7	15	0.21	16	20
粉质黏土	0.9	19.7	20	0.20	15	20
稍密卵石层	9.0	21.0	120	0.37	25	5
密实卵石层	12.8	23.0	190	0.29	38	5

2 车站深基坑紧邻既有建筑物基础的地质加固方案

金府站深基坑东北侧紧邻既有的长久机电城临街商铺,由柱下独立基础加以支撑。金府站与长久机电城并行的长度为 225.8m。金府站与既有长久机电城临街商铺以及交大路下穿金府路城市道路隧道之间横剖面位置和地层状况及其厚度如图 2 所示。

由图 2 可知,金府站紧邻既有的长久机电城建筑群和交大路下穿金府路隧道。长久机电城临街商铺外墙与基坑围护桩外壁之间的净距为 0.8m,而其柱下独立基础外侧与基坑围护桩之间的净距为 0.4m。此外,金府站为地下 2 层岛式站台车站,车站顶板的覆土厚度约为 4.1~5.3m,车站主体结构总高度为 14.7~16.7m,底板埋深约 20.26~21.9m。金府站基坑开挖深度为 21.0~23.0m,属于明挖深基坑。由于既有的长久机电城临街商铺和交大路下穿金府路城市道路隧道均处于基坑开挖所引起的地面沉降影响范围以内,因此金府站明挖深基坑围护结构在坑内土体被挖除期间的施工安全风险极高。

结合金府站深基坑和长久机电城以及交大路下穿金府路隧道之间的空间位置关系,并综合考虑机电城临街商铺柱下独立基础和交大路下穿金府路隧道既有围护结构的设计特点,为控制深基坑开挖期间紧邻长久机电城临街商铺和交大路下穿金府路隧道一侧砂卵石地层发生的水平位移和沉降,确保深基坑开挖期间既有机电城临街商铺和下穿金府路隧道的安全,分别采用袖阀管注浆、自钻式锚管注浆和预应力锚索对砂卵石土地层进行加固。对金府站深基坑紧邻既有的交大路下穿金府路隧道围护桩一侧的砂卵石地层分别采用袖阀管和自钻式锚管进行注浆加固。鉴于机电城独立基础的下部为砂卵石层,层间抗剪强度较低,基坑开挖期间极易引起砂卵石地层的位移和沉降,尤其是独立基础发生的差异沉降会直接影响其上部框架结构的安全。因此,对于金府站基坑紧邻长久机电城独

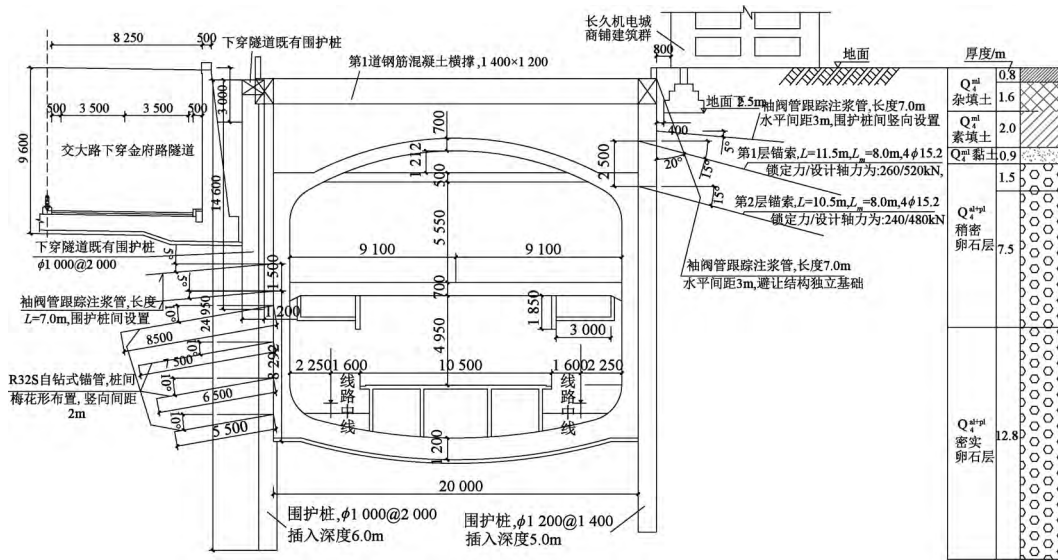


图2 金府站与长久机电城和交大路下穿金府路隧道横断面

立基础一侧的地层分别采用袖阀管注浆和预应力锚索的方式进行加固。两者的加固方式和具体位置如图2所示。本文着重对金府站深基坑近接既有建筑物一侧的地层采用预应力锚索进行加固的施工技术和质量控制要点进行总结与分析。

为控制长久机电城柱下独立基础一侧和交大路下穿金府路隧道一侧土体在金府站深基坑内砂卵石土体被挖除期间所引发的水平位移和沉降,金府站基坑采用钻孔灌注桩和内部水平横撑相结合的基坑围护结构。鉴于长久机电城临街商铺与金府站明挖基坑纵向并行的长度达到225.8m,其2层的地面框架结构由设置在砂卵石地层中的柱下独立基础支撑。为降低基坑开挖期间引起的地层差异沉降和水平位移,在基坑紧邻机电城基础一侧采用竖向双层锚索并沿基坑轴线分别逐段设置的方式加固地层。即在基坑内向机电城临街商铺柱下独立基础下部的砂卵石地层沿基坑开挖深度增设上、下两层预应力锚索,且沿基坑走向分段设置,仅对机电城与基坑并行的纵向长度段设置预应力锚索,以控制基坑开挖期间紧邻基坑的机电城临街商铺独立基础部位砂卵石土体发生的沉降和水平位移,确保深基坑开挖期间长久机电城临街商铺的结构安全和正常使用。

3 预应力锚索的设计参数与构造

3.1 锚索设计参数

从图2可见,预应力锚索设置在金府站明挖深基坑紧邻长久机电城临街商铺柱下独立基础部位的砂卵石地层内。鉴于金府站与长久机电城并行的长度有225.8m,为降低基坑分段开挖期间引起的地层差异沉降,需要对长久机电城基础下部的土体

沿基坑纵向分段进行加固,金府站深基坑内预应力锚索沿基坑纵向上设置的总长度为126.0m,即预应力锚索在车站基坑内沿机电城一侧基础下部的纵向长度为126.0m。金府站明挖深基坑内沿长久机电城临街商铺纵向的锚索设置区域及其长度如图3所示。

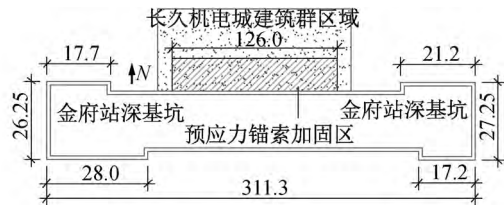


图3 金府站深基坑内预应力锚索设置区域平面(单位:m)

预应力锚索沿车站基坑走向设置的长度涵盖了长久机电城沿车站基坑走向上扩大基础的范围。在深基坑靠长久机电城临街商铺一侧的围护桩上分别设置上、下两层预应力锚索,锚索沿基坑走向的纵向间距为2.8m,每层共设置45道预应力锚索,沿基坑深度方向的上、下两层共设置90道预应力锚索。在车站基坑内被挖除土体的底面标高低于长久机电城临街商铺柱下独立基础底面标高0.5m处开始设置第1层预应力锚索。其后,当基坑内土体被挖除的底面标高距离第1层锚索端头2.5m时开始设置第2层预应力锚索,两者在基坑内具体的位置如图2所示。金府站明挖深基坑内所设置的预应力锚索设计参数如表2所示。

从金府站深基坑内向长久机电城临街商铺柱下独立基础一侧卵石层中设置预应力锚索的方式

表 2 预应力锚索设计参数

锚索项目名称	第 1 层锚索	第 2 层锚索
自由段长度/m	11.5	10.5
锚固段长度/m	8.0	8.0
锚索的水平倾角/(°)	15	15
锚固体直径/mm	150	150
锚筋	4 根 $\phi 15.2$ 钢绞线	4 根 $\phi 15.2$ 钢绞线
锁定力/kN	260	240
设计轴力/kN	520	480

如图 2 所示,预应力锚索与深基坑围护桩的平面位置如图 4 所示。

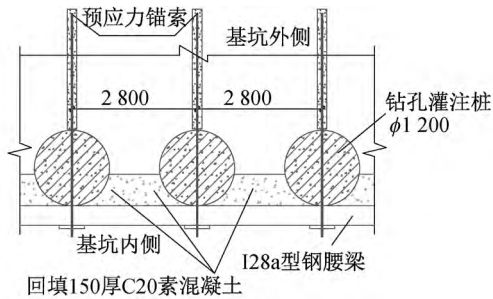


图 4 预应力锚索和基坑围护桩的平面位置关系

3.2 预应力锚索构造

为确保金府站深基坑开挖期间与其紧邻的长久机电城临街商铺框架结构的安全,采用粘结式预应力锚索对长久机电城柱下独立基础部位的砂卵石地层进行加固。预应力锚索由锚固段、自由段和紧固头三部分组成。紧固头包括 I28a 型钢腰梁、承压板和锚具。预应力锚索的长度由锚固段、自由段和张拉段三部分构成,其结构如图 5 所示。

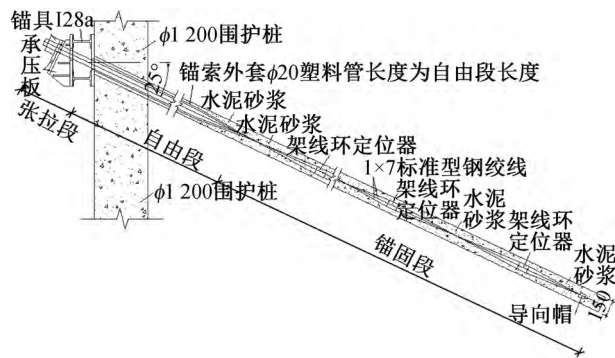


图 5 预应力锚索构造

锚索钢绞线选用 1×7 标准型钢绞线,其公称直径为 $\phi 15.2\text{mm}$,标准抗拉强度为 1 860MPa。紧固头的锚具设置在 20mm 厚承压板上,并将承压板与 I28a 的 2 根型钢腰梁相连。通过锚具对锚索钢绞线施加的预应力由承压板与型钢腰梁一并传递到基坑的围护桩和桩间砂卵石土体上。预应力锚索的导向帽采用直径为 60mm、壁厚 5mm 的钢管与厚度为 2mm 的钢板经焊接加工而成,其构造如图 6 所示。

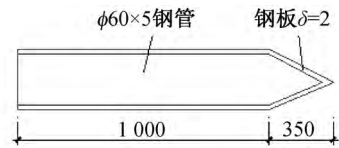


图 6 导向帽构造

4 预应力锚索施工

针对与金府站明挖深基坑紧邻的长久机电城临街商铺而言,当金府站深基坑内土体开挖的底面标高低于长久机电城临街商铺柱下独立基础底面 0.5m 时开始设置第 1 层预应力锚索。在基坑内采用 2 台钻机进行锚孔的钻进。当第 1 层锚索设置完成后,继续开挖基坑内的土体。直至基坑内的土体底面标高低于第 1 层锚索 2.5m 时,在基坑内再设置第 2 层预应力锚索。

预应力锚索的施工工艺流程为:锚索制作→检验锚索质量→开挖深基坑土方至设计标高→测量和确定孔位→机械成孔并复测孔位和角度→安放锚索→第 1 次注浆→第 2 次注浆→养护→安装锚具和腰梁→张拉锁定→封孔→开挖基坑土方至设计底板标高。通过上述施工流程使锚索与型钢腰梁以及钻孔桩组合成共同的承载体系,减小深基坑内土体被挖除期间基坑侧壁砂卵石地层发生的沉降和水平位移,确保深基坑及其紧邻的既有建筑物的安全。

在预应力锚索正式施作前还在金府站深基坑内选取 3 个试验点施作了 3 根实验锚索,其施工工艺和长度均与加固长久机电城临街商铺基础区域地层的锚索相同。根据试验锚索成功实施的基础上,按照以上确定的预应力锚索施工方法和工艺流程,分别随金府站深基坑内土体的开挖依次分别设置了第 1 层和第 2 层的预应力锚索。金府站深基坑内施作完成的预应力锚索如图 7 所示。



图 7 金府站深基坑内施作完成的预应力锚索

4.1 锚索施工技术要点

1) 施工准备

安装前首先对钢绞线进行外观和质量检查,确保每根钢绞线顺直且排列均匀,并除去钢绞线上的锈迹和油污。在锚固段间隔设置钢绞线的架线环,其间距

为 1.0m,在自由段设置架线环,其间距为 1.5m,以使各根钢绞线分离,保证锚索束体的砂浆保护层厚度 $\geq 20\text{mm}$ 。在自由段将钢绞线用 $\phi 20\text{mm}$ 塑料波纹管进行包裹扎牢。架线环的横截面如图 8 所示。

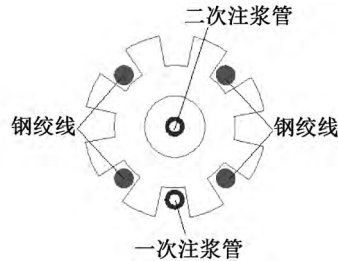


图 8 架线环横截面

2) 施作锚索孔

在施作锚索孔之前需要先搭建脚手架,以满足现场人员开展试钻、安放锚索和注浆等工序的需要。按照设计锚索孔位和围护桩号的位置与间距进行测量和放样,并确定锚索孔的孔位,用油漆在基坑围护侧壁上标记测定的锚孔位置。使钻机就位,并严格按照锚索设计孔位、倾角和方位准确定位。采用测角量具控制锚索孔的角度,使钻机导轨倾角的误差不超过 $\pm 1^\circ$,方位误差不超过 $\pm 50\text{mm}$ 。施作钻孔,在钻机钻进过程中记录孔内的岩性和地下水等状况,并采用压缩空气清孔。钻孔的孔径和孔深不小于设计值,并且使孔深在锚索全长度的基础上增加 500mm。待钻机钻进的孔深达到安放锚索的深度时可使钻机平稳运转 3~5min,确保锚孔壁圆顺和便于清孔。待锚索孔清孔完毕后,即可进行锚索安放,并应及时进行注浆。锚索孔内注浆时间应不超过 24h,以避免锚索孔因长时间搁置而造成塌孔。

3) 向锚索孔内注浆

向锚索孔内注浆采用二次注浆,其工艺和过程分别叙述如下。

第 1 次注浆采用 P·O42.5 普通硅酸盐水泥制成的水泥砂浆,水灰比为 0.38~0.45,灰砂比为 1:1~1:1.2,砂浆的设计强度不低于 30MPa。采用重力和 0.4~0.6MPa 的低压力进行注浆。浆液采用底部灌浆的方式。将注浆导管底端插入孔底,使导管孔口距孔底的距离控制在 300~500mm。在注浆的同时,将导管以 15cm/min 的速度缓慢抽出,确保导管出浆口始终处于孔内浆体表面以下,并使孔内气体能全部逸出。当锚索孔口有水泥浆液流出时,表明孔内已经注满浆液,即可停止注浆。

待第 1 次注浆初凝后可进行第 2 次注浆,第 2 次注浆采用 P·O42.5 普通硅酸盐水泥制成的纯水泥浆,水灰比为 0.5~0.55。采用高压注浆,注浆压

力控制在 2.5~5.0MPa。注浆时需将注浆压力稳定 2min,保证浆液充满锚索孔。此外,注浆时还需要将二次注浆管牢固绑扎在杆体上,注浆管的出浆口应采取逆止措施,二次注浆时的终止压力不宜小于 1.5MPa。

4) 设置型钢腰梁

待锚索孔内二次注浆完毕后即可设置型钢腰梁。型钢腰梁采用 I28a 型钢组装。型钢腰梁的结构及其主要尺寸如图 9 所示。

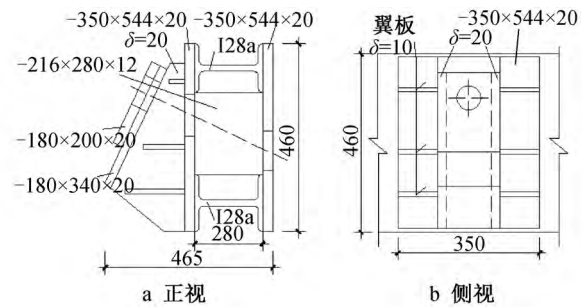


图 9 锚索的型钢腰梁结构

5) 锚索的张拉和锁定

锚索的张拉和锁定是预应力锚索施工中的关键工序,其主要包括张拉配套设备的标定与组装、锚索束的张拉和锁定荷载等工序。张拉设备采用预应力穿心式液压千斤顶和小吨位卡式千斤顶,锚具采用了 YLM15-4 系列锚具。

张拉锚索前需对张拉设备进行标定。锚索束体的张拉应力分 2 次进行,第 1 次张拉按五级分别进行张拉,即预应力按照设计轴力的 25%,50%,75%,100%,110% 五级分别施加。前四级施加预应力后需保持 6min,后一级预应力施加后需要保持 30min。锚索在第 1 次张拉后的 6~10d 内可根据对锚索张力监测的信息来分析预应力的变化状况。如锚索的预应力数值发生明显减小而损失时,应再进行一次补偿张拉,以便补偿锚索的松弛和由于地层蠕变等因素而造成的锚索预应力降低。

6) 封孔

当锚索完成补偿张拉后,需要对锚孔进行及时封孔。对于下倾的锚索,注浆管从预留孔插入,直至管口插入到锚固段顶面约 50cm。孔中的空气经由设在定位止浆环处的排气管排出。

7) 外部保护

注浆封孔后,预留一端外露的钢绞线,其长度从锚具量起约 100mm,截去其余的钢绞线。并在其外部包裹厚度 $\geq 50\text{mm}$ 的水泥砂浆作为保护层。

通过采用上述的锚索施工方法和措施,顺利施作完成了金府站深基坑靠近长久机电城临街商铺

一侧共上下 2 层 90 道预应力锚索的施工。在预应力锚索施工期间,为确保预应力锚索的施工质量,还对锚索孔的打设、注浆、张拉、锁定和封孔等工序进行了科学与合理地组织与安排,使前后工序有机衔接,并在施工期间对每个工序做好相关的施工记录。

4.2 锚索验收试验和监测

4.2.1 锚索的验收试验

为确定锚索锚固体和周围岩土层之间的粘结强度与锚索的抗拔能力,验证在砂卵石土层中所施作锚索的质量,对预应力锚索进行了验收试验。在试验前对加载装置和测试仪表进行计量检定,确保试验测试数据的有效性和精度。验收试验用于检验锚索抗拉承载力和锚索束体受拉自由段长度是否满足设计要求,并且作为判别锚索施工质量的主要依据。验收抗拔的锚索应随机抽样,采用单循环分级加载法。抗拔数量为每种类型锚索的 5%,且不能少于 3 根。对于金府站的深基坑而言,在第 1 层和第 2 层锚索中各随机选取 3 根锚索进行单循环张拉验收试验。鉴于金府站施工的锚索为永久性锚索,试验最大荷载值取为轴向拉力设计值的 1.2 倍。锚索验收时初始荷载为锚索拉力设计值的 30%,以后加载值分别为锚索设计轴力值的 50%,70%,90%,110%,120%。验收试验中,加载速度为 50~100kN/min,荷载每增加一级时均稳定 5~10min,记录位移读数。最后一级荷载应维持 10min,按照持荷时间 1,3,5,10min 测读一次锚索的位移值。在最大试验荷载作用下,在规定持荷时间内锚索位移增量应<1mm,不能满足时,则增加持荷时间至 60min,累计位移增量应<2mm。测得锚索的最大荷载及其累计位移结果如表 3 所示。抽检的锚索在逐级加载时荷载与位移曲线如图 10 所示。

表 3 预应力锚索验收试验结果

层号	孔号	孔径/ mm	锚索 长度/ m	钢绞 线根 数	锚固段 长度/ m	最大荷 载/ kN	最大荷 载累计 位移增 量/mm
1	M1-1	150	11.5	4	8	624	1.7
1	M1-2	150	11.5	4	8	624	1.6
1	M1-3	150	11.5	4	8	624	1.8
2	M2-1	150	10.5	4	8	576	1.2
2	M2-2	150	10.5	4	8	576	1.5
2	M2-3	150	10.5	4	8	576	1.4

注:表 2 中孔号“M1-1”代表第 1 层锚索中的第 1 个测试锚索,其余编号的含义类推

从表 3 可以看出,金府站深基坑内设置的第 1 层和第 2 层预应力锚索在最大荷载时引起的位移增

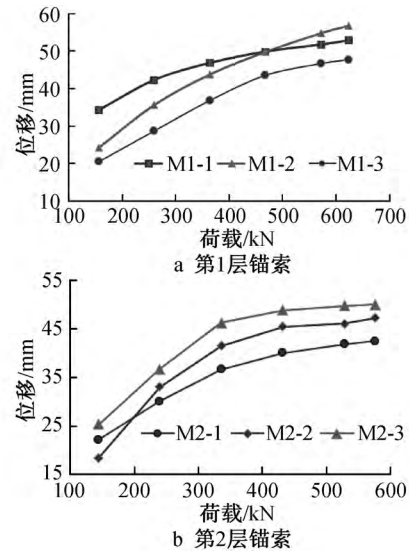


图 10 锚索的荷载与位移曲线

量小于 2mm。由此可得所施作的预应力锚索锚固力满足设计要求。

从图 10 所示的锚索在逐级加载作用下的位移变化曲线分析,锚索发生的位移均不相同,两者呈非线性关系变化,且随着荷载的逐级增加位移逐渐增大。第 1 层锚索中累计发生最大位移值达到 56.7mm,第 2 层锚索中累计发生最大位移值达到 50.1mm。但在最大荷载作用下持荷 60min 引起的位移增量均小于 2mm。由此表明施作的锚索达到设计要求,并且发挥了控制地层位移的作用。

4.2.2 锚索应力监测

锚索的应力监测包括短期监测和长期监测。短期监测就是在锚索被锁定后的 48h 内,测试锚索应力,若监测发现其预应力损失大于设计值 10% 时,则应进行补偿张拉。而长期监测则是在基坑开挖过程中每天对锚索预应力进行监测,若发现异常应采取及时措施及时处理。通过对金府站深基坑内所施作预应力锚索的短期和长期监测,未发现锚索预应力损失的现象。此外,对金府站明挖基坑近接长久机电城一侧砂卵石地层采用预应力锚索加固后,在基坑内土体被挖除期间的地表沉降进行了监测。为便于分析,选取金府站明挖基坑紧邻长久机电城建筑物一侧地面上的 8 个地表沉降监测点,经现场监测得到各监测点的地表沉降曲线。分析可知,在金府站明挖基坑内砂卵石被挖除的过程中,基坑靠近长久机电城建筑物一侧的地表最大沉降值为 3.75mm,最大地表沉降变形速率 0.85mm/d,小于设计控制值 3mm/d 的要求。鉴于篇幅所限,本文未示出对建筑物沉降的监测结果。

监测结果表明,针对金府站深基坑紧邻既有建

筑物基础部位地层所设计和施作的预应力锚索发挥了围护深基坑和既有建筑物安全的作用,所采取的基坑内竖向双层锚索纵向逐段加固的方法是可行和有效的。

5 深基坑预应力锚索施工和质量控制要点

5.1 锚索施工技术要点

1) 施工前须对预应力锚索的材料主要技术性能进行检验,并应出具有效的检验报告。在确认所有锚索及其配件质量均满足设计和规范要求后方可进入下一道工序。具体内容如下:①锚索钻孔的深度应比钢绞线长 500mm,成孔前应对孔位进行标识。②锚索施工前应编制好分项组织设计,基坑土方开挖作业要与锚索施工相互配合,基坑内土方作业面的标高低于锚索孔位标高 500mm 时即可施作锚索,并平整好锚索安装范围内的施工场地,以方便锚索施工。③制作锚索的钢绞线必须符合现行国家标准 GB/T5224—2014《预应力混凝土用钢绞线》的规定^[10]。钢绞线从盘丝上按设计长度截取,不得焊接。编束前要清除钢绞线的锈蚀,并涂刷强力防腐涂料,确保每根钢绞线始终均匀排列、平直。截断钢绞线时应使用机械切割,不采用电弧切割。④水泥砂浆的水灰比需要通过试验确定,浆液通过灰浆搅拌机搅拌均匀,按需搅拌及时使用。锚索安装时应先将注浆管出口用胶布封住,以免阻塞。注浆采用一次孔底返浆法,注浆结束前使浆液压力稳定 5~10min,必要时可加入添加剂。

2) 在锚索施工之前,需要根据实际选取 3 根锚索进行钻孔、注浆、张拉及锁定的试验性作业,检验锚索设计的合理性和施工设备的适应性,具体要求可参照 JGJ120—2012《建筑基坑支护技术规程》的要求,试验最大荷载为 1.2 倍的设计轴力值。

3) 钻孔机具要根据地层条件和锚索孔参数如深度、直径等加以选取,可选用合适的地质钻机或专用锚索钻机等,钻进方式需要结合实际地层条件采用干式钻孔或湿式钻孔等,砂卵石土地层采用干式钻孔。

4) 锚索钻孔的施工还需要满足以下技术要点:①钻孔前,需要根据锚索设计要求确定锚索钻孔的孔位,并做好标记。②锚索孔在水平和垂直方向的孔距允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$,钻孔角度允许偏差为 $\pm 1^\circ$,钻孔底部偏离轴线的允许偏差为锚索长度的 3%。③对于砂卵石土地层而言,在施工锚索孔时需要采用全套管跟管钻进并间隔跳打的施工方式施工锚索钻孔。锚索钻孔必须采用风动钻进,当发生坍孔时应立即停钻,并采用灌浆固壁的方式进行护壁,

灌浆压力为 0.1~0.2MPa。当浆液初凝后需要重新扫孔钻进。钻孔完成后使用高压风吹扫和清孔。④预应力锚索自由段成孔的直径为 150mm。锚索锚固段均为扩大头,采用机械扩孔法施工,扩孔的有效直径 $\geq 400\text{mm}$,在钻进施工期需要详细记录钻进状况,并确认锚索索体的长度。

5) 安装锚索索体时的技术要点如下:①锚索索体安装前需要检查索体的制作质量,并检查其各部位连接是否牢固,使其符合设计要求。②安装锚索索体时,应避免索体发生扭转、弯折及部件松脱。③注浆管宜放置于索体中心,随索体一同放入锚索孔内。注浆管端部距索体端部宜为保持 50~100mm 的距离。二次注浆管的出浆口和端头均应加以密封。在锚固段每间隔 2m 打 1 个孔,将孔用胶带缠绕。保证一次注浆时浆液不进入二次注浆管内。④索体安装时应防止注浆管被拔出;若注浆管被拔出的长度超过 500mm 时,应将索体拔出,修整后重新放入。

6) 对于注浆材料而言,还需要注意以下技术要点:①锚索孔内的注浆材料为 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥外加 0.03% 三乙醇胺作为早强剂,水灰比为 1:0.5。②锚索采用二次高压注浆工艺,第一次常压注浆至孔口溢浆即停止注浆,第二次高压注浆压力宜控制在 2.0MPa 左右;注浆采用水灰比为 1:0.5 的纯水泥浆,注浆压力不宜低于 2.0MPa。③配制水泥砂浆或水泥浆所用的水不含有影响水泥正常凝结和硬化的有害物质,不使用污水。

7) 注浆泵的工作压力应符合设计要求,并应考虑压浆过程中管路损失对注浆压力的影响。在注浆过程中,若发现浆液大量减少或注浆管发生爆裂时,应将索体及注浆管拔出,待更换注浆管后,再放置索体;若中途耽搁时间超过浆液的初凝时间后,应重新清孔然后再放置索体,重新注浆,在注浆过程应作详细、完整的施工记录。

5.2 锚索施工质量控制措施

1) 在钻孔前应测量定位,放出孔位,使用角度仪检测,保证锚索倾角正确。钻孔位置误差应按如下要求加以控制:在锚孔水平方向和垂直方向的孔距误差不大于 $\pm 50\text{mm}$ 。由于测量放线的准确性会直接影响锚索的孔位,因此需要仔细核对与检查锚索的孔位和角度。根据锚索孔位图逐锚核查,发现不符合设计要求时应加以及时纠正。

2) 钢绞线、锚具和水泥等原材料需有产品合格证和复验单。

3) 进行锚索抗拔试验的千斤顶和压力表均须

有规定的标定合格证。

4) 采用旋流式高速搅浆机或双叶泵高速搅浆机搅拌浆液,确保浆液均匀。

5) 锚索钻机就位前应先检查锚索孔位的标高,同时检查锚距是否符合设计文件和图纸的要求。钻机就位后必须调正钻杆。用角度尺或罗盘测量钻杆的倾角使其符合设计参数,并保证钻杆的水平投影垂直于坑壁,经检查无误后方可钻进。

6) 钻孔时若遇有障碍物或异常情况应及时停钻,待查清和解决问题后再加以钻进。钻孔到设计深度后使钻杆空钻和出土,以减少抽拔钻杆的阻力,便于拔出钻杆。

7) 锚索安装前需要检查锚索并做好隐蔽工程的检查记录,锚索安放完成后应检查锚索的外露部分是否满足对锚索进行张拉要求的长度。

8) 浆液在灌注前需要进行试验并确定其水灰比,以保证浆体强度。注浆由孔底开始,边注浆边向孔外缓慢均匀拉出注浆管,直至浆液溢出孔口时报现场监理停止注浆。

9) 泥浆体强度达到设计强度的 80% 时方可张拉,锚索张拉技术要求按相关规定执行。

10) 在施工前需要成立以现场技术负责人为首的锚索张拉小组,并有监理旁站,对每根锚索的自检和张拉情况作详细记录。

锚索施工完成后应按照设计和规范要求进行验收试验。锚索的张拉应固定操作人员和记录人员。锚索锁定 48h 后,若监测发现锚索预应力损失大于锚索拉力设计值的 10% 时,应对锚索的预应力进行补偿张拉。此外,当孔内灌浆材料达到设计强度时,方可切除外露的预应力钢绞线,切口位置距外锚具的距离不应小于 100mm。此外,在锚索进行张拉锁定时,需要有业主代表、设计代表和监理等共同参与。

6 结语

1) 综合考虑金府站明挖深基坑与既有建筑物紧邻的工程建设条件,可在基坑内向既有建筑物基础下部的砂卵石地层中沿基坑纵向分段采用竖向双层预应力锚索的方法加固地层,以减少基坑近接既有建筑物施工中的风险。

2) 从金府站深基坑采用双层预应力锚索对近接既有建筑物基础下部砂卵石地层加固的效果分析,基坑开挖期间靠近长久机电城建筑物一侧的地

表最大沉降值为 3.75mm,最大地表沉降变形速率 0.85mm/d,小于设计控制值 3mm/d 的要求。

3) 锚索验收试验中在最大加载条件下引起的位移增量 < 2mm,因而对长久机电城下部区域砂卵石地层施作的预应力锚索减少了深基坑内砂卵石土体被挖除期间所引发的地层水平位移和沉降。

4) 通过采用本文所述的预应力锚索施工方法、质量控制以及检测方法,有效保证了成都地铁 6 号线金府站深基坑紧邻既有长久机电城临街商铺基础在基坑施工期间的正常使用和安全,消除了深基坑开挖对机电城临街商铺的影响。

5) 自 2016 年 9 月 30 日成都地铁 6 号线金府站深基坑开始施工到 2020 年 12 月 18 日车站主体结构投入运营直至今日,长久机电城临街商铺框架结构和既有的交大路下穿金府路隧道均未出现任何异常现象,当前使用状况正常,由此也表明针对金府站明挖深基坑所采用预应力锚索和注浆加固地层等措施是有效的。

6) 随着城市轨道交通等市政项目建设的快速发展,中心城区深基坑工程也会越来越多。本文结合成都地铁 6 号线对金府站深基坑紧邻既有建筑物基础的预应力锚索加固的工程实践表明,所采取的预应力锚索施工技术和质量控制措施在车站深基坑围护体系中的应用是可行的,可为类似深基坑紧邻既有建筑物基础时地层加固的设计和施工提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 周晓军,周佳媚.城市地下铁道与轻轨交通[M].2版.成都:西南交通大学出版社,2016.
- [2] 王泰恒,许文年,陈池,等.预应力锚固技术基本理论与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2007.
- [3] 王明湖.预应力锚索支撑体系在地铁明挖基坑中的应用[J].国防交通工程与技术,2016,14(1):74-77.
- [4] 马龙,徐华.大直径自进式锚杆在地铁基坑中的应用[J].市政技术,2014,32(6):129-131.
- [5] 刘轶博,雷斌,宿峰,等.深基坑支护预应力锚索同步施工技术[J].施工技术,2021,50(1):62-66.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.预应力混凝土用钢绞线:GB/T 5224—2014[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [7] 中国建筑科学研究院.建筑基坑支护技术规程:JGJ 120—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [8] 上海星宇建设集团有限公司,郑州大学.建筑深基坑工程施工安全技术规范:JGJ 311—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.