

# 常规锚索与扩大头锚索在复杂深基坑 支护工程中的应用

许磊<sup>1,2</sup>, 陈宝义<sup>1</sup>, 龙翔<sup>1</sup>

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 北京市地质工程公司, 北京 100143)

**摘要:**深基坑工程支护体系施工存在较多难点,在复杂地层下施工,要结合现场实际情况灵活选取相适应的施工方  
案。在太原万达广场B2区基坑支护工程施工中,现场遭遇流砂地层后,常规锚索支护出现施工难点,改用扩大头  
锚索工艺后有效控制了涌水、涌砂现象,最终常规锚索与扩大头锚索结合使用效果显著,确保了支护结构的安全,  
减少了对临近建筑物的影响,降低了基坑支护的成本。

**关键词:**常规锚索;扩大头锚索;深基坑支护;流砂地层

**中图分类号:**TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)09-0075-04

**Application of Conventional Anchor Cable and Extended End Anchor Cable in Complex Deep Foundation Pit Supporting Project/XU Lei, CHEN Bao-yi, LONG Xiang** (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Beijing Geological Engineering Co., Ltd., Beijing 100143, China)

**Abstract:** There are many difficulties in the construction of deep foundation pit support system. In the complex formations, the suitable construction scheme should be selected flexibly according to the actual situation on site. Quicksand stratum was encountered in a foundation pit supporting construction in Taiyuan, the extended end anchorage cable took was used in stead of the conventional anchor cable, and groundwater and sand inflow were effectively controlled. The combined use of conventional anchor cable and the extended end anchorage cable has remarkable effect, which ensures the safety of supporting and retaining structure, reduces the influence on adjacent buildings and reduces the cost of foundation pit support.

**Key words:** conventional anchor cable; extended end anchor cable; deep foundation pit support; quicksand stratum

## 0 引言

随着我国城市的发展,对地下空间的利用不断加强,深基坑工程越来越多,锚索作为支撑体系因其适用性广,成本低,支撑效果稳定,在基坑支护工程中应用愈加普遍<sup>[1]</sup>。太原地区常规锚索施工技术比较成熟,从成本、进度、施工质量上都比较有保证,在支护设计上一一般会优先选用<sup>[2-4]</sup>。

本文结合太原万达广场B2区基坑支护工程,介绍了在原基坑支护设计选用常规锚索施工后,部分设计优化为扩大头锚索。太原万达广场B2区B1号楼拟建为高层住宅,含2层地下车库,高层住宅为剪力墙结构,车库为框架结构。基坑大致为长方形,平面尺寸80 m×50 m,设计深度为12.50 m,属深基坑。规划建设场地周边环境比较复杂,附近虽没有相邻很近的建筑物,但西侧紧邻城市主干道、东侧紧邻龙潭湖,没有卸土减载的条件,且紧邻龙潭湖东侧

地下水位较高,稳定水位-3.0 m,地层中存在较厚粉细砂层,且地下水位较高,而在有较厚流砂层存在时,用常规普通双套管预应力锚索无法正常施工,锚索成孔后,流砂会涌入套管内,造成锚索杆件无法下放到设计位置,孔口出现严重涌水涌砂现象<sup>[5-8]</sup>。针对此种地层,在工艺上进行改进,由常规锚索施工改用扩大头锚索,对锚索杆件在加工时进行改良,最后对锚索孔进行封堵<sup>[8-11]</sup>。

## 1 工程概况

### 1.1 土层情况

根据岩土工程勘察报告,土层情况如表1所示。

本工程第二道锚索所在土层主要为④层粉土和⑤层粉细砂,基坑西侧和北侧第二道锚索在④层粉土内,基坑东侧因为紧邻龙潭湖,⑤层粉细砂层较厚,第二道锚索在⑤层粉细砂层中。

收稿日期:2016-05-29

作者简介:许磊,男,汉族,1982年生,项目经理,工程师,水工环地质专业,硕士,从事基坑支护和地基处理施工管理工作,北京市海淀区田村路39号,59826001@qq.com。

表1 基坑各土层物理力学性质参数

土层序号	土层名称	层底埋深/m	层厚/m	平均层厚/m	含水量 $\omega/\%$	湿密度 $\rho_0/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	干密度 $\rho_d/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	孔隙比 $e$	饱和度 $S_r/\%$	压缩系数 $a_{0.1-0.2}/\text{MPa}^{-1}$	压缩模量 $a_{50.1-0.2}/\text{MPa}$	液限 $W_L/\%$	塑限 $W_P/\%$	塑性指数 $I_p$	液性指数 $I_L$
①	人工填土层	2.20~6.90	0.90~4.10												
②	粉细砂	3.60~6.80	1.50~4.00	2.59	15.3	2.05		0.47		0.100	14.27				
③	粉质粘土	9.40~13.50	2.70~8.00	5.14	24.1	2.01	1.62	0.674	95.9	0.270	6.32	26.7	16.7	10.3	0.74
④	粉土	11.90~16.40	2.50~4.30	2.93	24.3	1.97	1.58	0.71	92.5	0.276	6.41	27.0	16.9	9.26	0.78
⑤	粉细砂	14.10~21.40	1.00~6.80	2.98	18.8	2.01		0.55		0.110	15.75				
⑥	粉土	18.60~23.50	1.90~6.00	3.22	22.9	2.01	1.64	0.653	94.6	0.212	8.75	25.7	16.2	9.02	0.68

## 1.2 施工难点

第一道常规锚索及基坑西侧及北侧第二道锚索正常施工完毕后,东侧第二道锚索施工时,地层全部变化为粉细砂层,砂层自身流动性大,基坑外地层中水压力较高,导致常规锚索成孔后,流砂涌入锚索套管内,造成锚索杆件无法下放到设计位置,孔口出现严重涌水涌砂现象,如图1所示。



图1 钻孔完后从锚索孔中涌水涌砂

表3 常规锚索抗拔承载力检测结果汇总

锚索位置	受检锚索编号	锚索长/m	承载力设计值/kN	最大加荷值/kN	最大位移量/mm
试验锚索第一道	ZS1-1	30	650	650	39.17
	ZS1-2	30	650	650	38.84
	ZS1-3	30	650	650	38.11
试验锚索第二道	ZS2-1	29	780	780	29.84
	ZS2-2	29	780	780	29.18
	ZS2-3	29	780	780	30.23

表4 第二道扩大头试验锚索设计参数

锚固长度/m	总长度/m	角度/°	基坑位置/m	间距/m	数量/根	基本试验检测值/kN
10	20	20/25	-7.75	1.3	6	740

表5 第二道扩大头锚索抗拔承载力检测结果汇总

受检锚索编号	锚索长/m	承载力设计值/kN	最大加荷值/kN	最大位移量/mm
QSK2-1	20	740	740	42.74
QSK2-2	20	740	740	43.53
QSK2-3	20	740	740	39.87
ZSK2-1	20	740	740	44.11
ZSK2-2	20	740	740	40.76
ZSK2-3	20	740	740	47.47

## 2 锚索支护方案优化

### 2.1 原锚索设计情况

根据基坑支护设计图纸,锚索设计参数见表2。

表2 常规锚索设计参数

项目	锚固长度/m	总长度/m	角度/°	基坑位置/m	间距/m	数量/根	基本试验检测值/kN
第一道常规锚索	20	30	17	-3.25	1.3	64	650
第二道常规锚索	22	29	17	-3.25	1.3	64	780

锚索抗拔承载力检测结果见表3。

### 2.2 增加试验锚索情况

在分析现场实际情况后,设计方向调整为东侧基坑第二道锚索使用扩大头锚索工艺。增加的扩大头试验锚索设计参数要求见表4。

通过对基坑东侧施工扩大头试验锚索抗拔力检测,得到检测结果如表5。

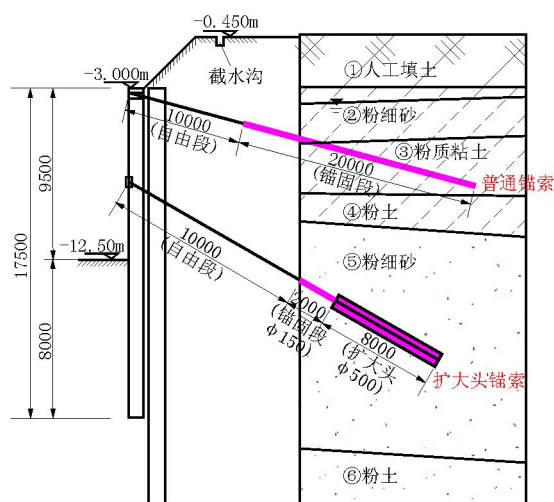
与表3常规试验锚索检测数据相比,检测的锚索抗拔力均满足设计要求,扩大头锚索(长度20m)与常规锚索(长度29m)抗拔力几乎相等。

### 2.3 最终优化后方案

基坑原设计方案为排桩+2道预应力锚索支护方案,锚索采用常规双套管普通锚索。其中第二道锚索长29m,锚固段22m。变更后方案将东侧第二道预应力锚索改为扩大头锚索,锚索长20m,锚固段(扩大头部分)长8.0m,优化后的方案见图2、图3,具体参数见表6。

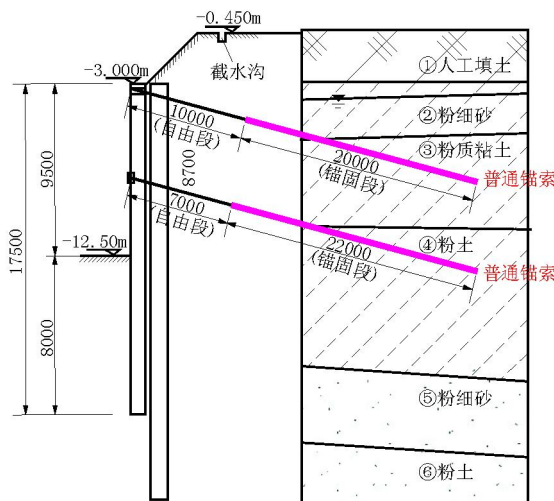
## 3 施工方案介绍

### 3.1 常规锚索施工过程



基坑东侧第二道锚索在第⑤层粉细砂层中

图 2 优化后基坑东侧支护剖面图



基坑西侧、北侧第二道锚索在第④层粉土层中

图 3 优化后基坑西、北侧支护剖面图

表 6 优化后锚索设计参数

项 目	锚固长 度/m	总长度/ m	角度/ (°)	基坑位 置/m	间距/ m	数量/ 根	轴向拉力 标准值/kN
第二道常规锚 索(西侧)	22	29	17	-7.75	1.3	83	430
第二道扩大头 锚索(东侧)	10	20	20/25	-7.75	1.3	84	410

### 3.1.1 钻孔

选择 DL-180 型锚索钻机。

钻机就位后,应保持平稳,导杆或立轴与钻杆倾角一致,并在同一轴线上,倾角为 17°。

成孔直径 150 mm,套管全程跟进。

### 3.1.2 锚索制作与安装

(1)按设计要求制作锚索,锚索采用 4-7 $\phi$ 5 钢绞线。

(2)钢绞线锚固段架线环与紧箍环每隔 1.5 m 间隔设置,紧箍环系 16 号铅丝绕制,不少于 2 圈,自由段每隔 1.5 m 设置一道架线环,以保证钢绞线顺直。

(3)安放锚索杆体时,应防止筋体扭曲,注浆管宜随锚索一同放入孔内,管端距孔底为 50 ~ 100 mm,筋体放入角度与钻孔倾角保持一致,安好后使筋体始终处于钻孔中心,锚索孔口外露 1200 mm 以便张拉。

### 3.1.3 二次高压注浆

锚索安设后,进行一次常压注浆,注浆材料采用纯水泥浆,水灰比 0.45,待一次注浆体强度 5 MPa (约 24 h)后,进行二次高压注浆,采用纯水泥浆,水灰比 0.5,二次注浆压力  $\leq$  2.5 MPa。

### 3.1.4 张拉、锁定

锚索张拉时要先张拉到设计值,然后回零,再张拉至锁定值。

## 3.2 扩大头锚索施工过程

### 3.2.1 钻孔

选择 MGL-135 型锚索钻机。

钻机就位后,应保持平稳,导杆或立轴与钻杆倾角一致,并在同一轴线上,倾角为 20°或 25°,间隔敲打。

成孔直径 150 mm,锚索自由段钻进时采用带 D150 mm 钢套管跟进钻孔,锚固段采用 D60 mm 高压旋喷钻杆扩孔钻进。

### 3.2.2 扩孔

钻孔至锚固段时,采用高压旋喷进行扩孔,扩孔时注浆压力  $\leq$  20 MPa,钻进速度为 0.2 m/min,水泥采用 42.5 普通硅酸盐水泥,水灰比为 1.2。注意控制钻孔速度,确保锚固体水泥浆体均匀性。

### 3.2.3 锚索制作与安装

(1)按设计要求制作锚索,锚索采用 4-7 $\phi$ 5 钢绞线。

(2)钢绞线锚固段架线环与紧箍环每隔 1.5 m 间隔设置,紧箍环系 16 号铅丝绕制,不少于 2 圈,自由段每隔 1.5 m 设置一道架线环,以保证钢绞线顺直。

(3)安放锚索杆体时,应防止筋体扭曲,注浆管宜随锚索一同放入孔内,管端距孔底为 50 ~ 100 mm,筋体放入角度与钻孔倾角保持一致,安好后使筋体始终处于钻孔中心,锚索孔口外露 1200 mm 以便张拉。

(4)安放锚索杆件时如遇杆件下放困难,可再

次改用跟套管钻进,钻进时用素水泥浆压力顶进,安放好杆件后可拔出套管。

### 3.2.4 置换注浆

注浆材料应根据设计要求确定,注浆材料水泥采用42.5普通硅酸盐水泥,水灰比为0.6。

### 3.2.5 张拉、锁定

锚索张拉时要先张拉到设计值,然后回零,再张拉至锁定值。

## 3.3 施工过程对比

扩大头锚索与常规普通锚索相比,有以下2个不同点。

(1)套管只在锚索自由段钻进时跟进;

(2)锚索锚固段钻进时,套管停止跟进,改用高压扩孔钻进,因为多了扩孔钻进工序,使得在流砂地层能顺利施工。高压扩孔抑制流砂层不稳定性,钻进完毕后由于水泥浆和地层内砂粒形成水泥浆体,流砂不会再涌入套管内,锚索杆件可以顺利下放到设计位置,施工可以继续。

## 4 锚索杆件制作及孔口封堵措施

锚索施工前可适当抽降坑外回灌井水位,减小坑外水压力,同时,在制作锚索杆件时,常规注浆管位置再设置1道注浆管,注浆管长度可取锚索自由段长度(10 m),在锚索施工24 h后进行高压注浆,对孔口进行封堵处理。如图4所示。



图4 普通锚索杆件中设置1根二次注浆管

备选方案:若施工时遇见严重涌水涌砂现象,可在二次注浆管位置同时再设置2根注浆管(见图5),在锚索施工完毕后,2根注浆管同时注入水泥浆及水玻璃,对孔口进行封堵处理(见图6)。

局部渗水处理措施:封口处理后锚索孔出现渗水时,可挖除桩间土,找到锚索开孔后留下帷幕上的渗水点,先放入引流管,在引流管四周用快速水泥进行封实,再对引流管注入聚氨酯,封堵渗水点,见图7。



图5 锚索杆件中设置2根注浆管



图6 孔口封堵



图7 对引流管进行聚氨酯注浆封口

## 5 应用效果

经过对基坑进行锚索抗拔承载力检验工作,根据规范要求共抽检21根锚索,检测结果如表7。

检测数据表明,施工常规锚索及扩大头锚索均达到设计要求。

工程基坑开挖至槽底,通过对基坑周边设置的水平位移观测点进行观测,基坑西侧和东侧位移均达到设计要求,其中东侧最大位移稳定在41 mm,西侧最大位移稳定在40 mm。

## 6 结语

实践证明,扩大头锚索能有效克服普通锚索在流沙层中不能施工的缺点,有效地保证了施工进度,确保了支护结构的安全,减少临近建筑物的影响。

(下转第84页)

由于钻头胎体的弹性模量随温度呈非线性变化,仿真分析的胎体弹性模量与解析解的数值存在区别,会引入应力仿真值与理论计算值差异,总体看径向应力 $\sigma_r$ 和切向应力 $\sigma_\theta$ 仿真值与解析值相差不大,仿真结果与理论解析值具有较好的一致性。

### 3 结论

依托钎焊金刚石钻头制造成型过程,采用软件ANSYS研究了钎焊金刚石钻头及模具装配体钎焊降温过程温度场的应力变化,主要结论如下。

(1)在整个降温过程中,石墨模具底模外侧的降温速度最快,石墨模具芯模、钻头钢体和胎体部分降温速度较慢。

(2)钎焊金刚石钻头胎体内侧与石墨芯模则紧紧箍在一起,导致两者之间产生了切向与径向应力,仿真结果与理论解析值具有较好的一致性。

### 参考文献:

- [1] W. Y. Song, F. B. Liu, C. G. Bu, et al. Analysis on the Thermal Stress of Brazed Diamond Bit during Cooling Process[J], *Procedia Engineering*, 2014, 73:48-54.
- [2] 赵记兰. 钎焊金刚石钻头降温冷却过程热动力学仿真[D]. 北

- 京:中国地质大学(北京),2014.
- [3] 伍亦文. 金刚石钻头钎焊过程热动力学仿真[D]. 北京:中国地质大学(北京),2012.
- [4] 何源. 单层钎焊金刚石工具的残余应力分析[D]. 江苏南京:南京航空航天大学,2005.
- [5] 陈燕. 高温钎焊金刚石磨料热损伤分析及其控制对策的基础研究[D]. 江苏南京:南京航空航天大学,2008.
- [6] 缪树良. 石墨模具对金刚石锯片刀头质量的影响[J]. *金刚石与磨料磨具工程*, 2008, (1):54-56.
- [7] 余庆玲. 高温钎焊金刚石结合机理研究与热应力建模仿真[D]. 北京:中国地质大学(北京),2010.
- [8] 苗恩铭, 费业泰. 两种膨胀系数热变形计算误差分析[J]. *工具技术*, 2003, 37(9):43-45.
- [9] 张洪才, 何波. 有限元分析——从入门到实战[M]. 北京:机械工业出版社, 2011.
- [10] 杨华威, 袁广江, 肖刘. ANSYS接触单元在接触热阻仿真中的应用[J]. *微波学报*, 2012, (S2):241-244.
- [11] 杨世铭, 陶文铨. 传热学(第四版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2006:41-45.
- [12] 葛绍岩, 那鸿悦. 热辐射性质及其测量[M]. 北京:科学出版社, 1989.
- [13] 林瑞泰. 热传导理论与方法[M]. 天津:天津大学出版社, 1992.
- [14] 张芳. 高温钎焊金刚石残余应力的基础研究[D]. 江苏南京:南京航空航天大学, 2008.
- [15] 周思柱, 杨世奇. 金刚石钻头有限元应力分析[J]. *石油天然气学报*, 1997, 19(4):67-69.

(上接第78页)

表7 锚索抗拔承载力检测结果汇总

锚索位置	受检锚索编号	锚索长/m	自由段长/m	轴向拉力标准值/kN	最大加荷值/kN	最大位移量/mm	自由段理论弹性伸长度80%/mm
常规锚索第一道	ZY1-1	30	10	360	504	36.64	34.29
	ZY1-2	30	10	360	504	35.19	34.29
	ZY1-3	30	10	360	504	38.30	34.29
	ZY1-4	30	10	360	504	38.07	34.29
	ZY1-5	30	10	360	504	36.77	34.29
常规锚索第二道	ZY2-1	29	7	430	602	31.52	28.66
	ZY2-2	29	7	430	602	31.93	28.66
	ZY2-3	29	7	430	602	34.27	28.66
扩大头锚索第二道	QYK2-1	20	10	410	574	42.22	39.05
	QYK2-2	20	10	410	574	44.77	39.05
	QYK2-3	20	10	410	574	43.69	39.05
	ZYK2-1	20	10	410	574	45.42	39.05
	ZYK2-2	20	10	410	574	43.15	39.05
	ZYK2-3	20	10	410	574	41.83	39.05

扩大头锚索比普通锚索的锚固段长度可以减少,因此锚索总工程量可以减少,工程量和总造价可以减少30%,节约造价,因此,在深基坑支护工程中有很

好的推广应用前景,对复杂地层下的深基坑工程锚索支护施工具有一定的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 张小平, 牛道纯, 张元平. 扩大头锚索技术在基坑支护工程中的应用[J]. *西部探矿工程*, 2008, (12):27-28.
- [2] 李云峰, 彭小林. 扩大头锚索在地铁深基坑施工中的应用[J]. *建筑监督检测与造价*, 2008, 10(1):25-28.
- [3] 黄小平, 平扬, 张梁. 扩大头锚索在某复杂环境下深基坑支护工程中的应用[J]. *中国农村水利水电*, 2013, (6):139-140.
- [4] 邹思源. 扩大头锚索在深基坑支护工程中的应用[J]. *建筑施工*, 2010, 11(32):1116-1118.
- [5] 黄爱兵. 扩大头预应力锚索在深基坑中的应用[J]. *建设施工*, 2015, (2):154-156.
- [6] 戴巍巍. 深基坑支护工程施工旋喷锚索与常规锚索技术比较[J]. *建筑科学*, 2015, (13):153.
- [7] 朱振华, 张俊利, 杨春发. 预应力扩大头锚索在深基坑支护工程中的应用[J]. *湖南城市学院学报*, 2011, 4(20):17-19.
- [8] JGJ 120—2012, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [9] 高谦, 罗旭, 等. 现代岩土施工技术[M]. 北京:中国建材工业出版社, 2006:122.
- [10] 陈礼仪, 胥建华. 岩土工程施工技术[M]. 四川成都:四川大学出版社, 2008:137.
- [11] 付青山, 孔繁全. 岩土施工项目管理[J]. *山西建筑*. 2009, (22).