

高压旋喷玻纤锚索在深基坑工程中的应用

王滨¹ 李钢²

1. 中交一航局第四工程有限公司 江西南昌 330000

2. 武汉中力岩土工程有限公司 湖北武汉 430000

摘要: 基坑支护方式影响着地下空间开发的安全、质量、进度、环保等目标控制。高压旋喷玻纤锚索与普通锚索相比,可以超越用地红线不影响后续临近地下工程开发;与可回收锚索相比,施工工序简易,工效更快。本文以荆州某项目基坑支护工程为例,阐述了高压旋喷玻璃纤维锚索在荆州基坑支护设计和施工中的应用。为类似项目开发提供了新的设计选择。

关键词: 高压旋喷玻纤锚索;深基坑工程;基坑变形控制

1. 引言

传统的锚索支护一般不得超出用地红线,可回收锚索也存在施工回收遗漏、工期增长、工序复杂等弊端。高压旋喷玻璃纤维锚索一方面不影响临近后续地下工程开发,另外也能避免回收工况、缩短施工周期、减少遗漏锚杆。本文以荆州某项目为例,探讨高压旋喷玻纤锚索在深基坑工程设计与施工中的应用。

2. 工程概况

2.1 项目概况

项目位于荆州市沙市区景明观路与明珠大道交汇处。包括1栋32层孵化中心东塔以及4层裙房,整体设计为地下两层。主楼及地下室采用钻孔灌注桩基础。该项目基坑周长约为500m,总面积约15000m²。场地标高约为29.5m,基坑底部标高约为19.75m~20.45m,基坑开挖深度在9.05m~9.75m之间。

2.2 工程地质情况

场地四周较开阔平坦,钻孔孔口高程约29.3m~29.8m。基坑开挖影响范围内地层从上至下依次为杂填土、粉质黏土、粉土夹粉砂、粉砂、圆砾等多种土层。其中3层粉质黏土层地基承载力特征值小70kpa,属于软弱土层。

2.3 水文地质情况

场区地下水有二种类型,即赋存于上部杂填土中的上层滞水和下部砂、砾卵石层中的承压水。

赋存于杂填土中的上层滞水,水量不大,主要接受大气降水的补给。勘察期间测得水位埋深0.71~0.98m,相应标高为28.65~29.06m。承压水主要接受远源大气降水的侧向迳流

补给和长江水的侧向补给,勘察期间测得水位埋深为0.18~1.54m,标高为28.24~28.33米,根据周边的走访调查,拟建场地3~5年的最高承压水位为28.88m。

2.4 周边环境条件

基坑北侧红线外为新客厅后建项目(与本项目共地下室外墙,待基坑回填后再作开发),现状为空地;基坑西侧红线外为后建孵化中心西塔(与本项目共地下室外墙,待基坑回填后再作开发),现状待拆迁民房距离地下室外墙约25m;基坑南侧为后建景观观路,现状为空地,地下室外墙边线与用地红线水平距离约6.8m;基坑东侧为后建明珠大道,现状为空地,地下室外墙边线与用地红线水平距离约12.7m。

2.5 工程难点分析

(1) 基坑开挖深度达9.05m~9.75m之间,且侧壁存在软土层,根据湖北省地方标准,基坑属于一级基坑。地下室边线离红线较近,应采用垂直支护形式,严格控制基坑变形及整体稳定性;

(2) 基坑地下水位高,基坑开挖后会发生突涌,应设置止水帷幕以及抽水降低承压水头;

(3) 基坑北侧及西侧为本工程完工后施工的商业综合体,其建筑物与本项目共用地下室外墙,因此支护结构应避免成为后期开发的障碍物。

3. 支护方案比选

基于本项目的重难点,综合建设单位的工期、成本、质量控制目标,通过逐项对比选择最优支护措施。

(1) 钻孔灌注桩应用广泛,地层适应性好,刚度大对

变形控制强。但造价较高，施工较慢，且应用于本项目需要二次破除北侧及西侧桩头。型钢桩需搭配止水帷幕使用，成桩速度快，造价较低，后期可回收能避免成为障碍物。本项目两层地下室已有较多类似型钢应用经验，因此桩型选择型钢桩。

(2) 三轴搅拌桩的每延米造价低于 CSM 等厚水泥土墙，但止水效果不如 CSM 等厚水泥土墙。且本项目下部地层为圆砾层，三轴水泥土搅拌桩工效远低于 CSM，因此帷幕选择 CSM 等厚水泥土墙

(3) 混凝土支撑变形控制好，基坑安全性高，但成本高，且有换撑、工期最长。锚索支护形式造价相对最低，变形控制较好，且围护体系基本不影响土方开挖，工期短。但北侧及西侧锚索会影响后期工程开发。玻璃纤维锚索具有强度高、耐久性号好、易切割的特点，可以避免成为后期障碍。双排桩避免了大范围的支撑设置，土方开挖速度快，但其悬臂结构要求嵌固深度大、桩长较长，支护造价高；因此支护形式优先选用“CSM 等厚水泥土墙内插 H 型钢 + 高压旋喷玻纤锚索”。

4. 基坑支护设计及计算

4.1 基坑支护方案

基坑周长约 500m，基坑深度 9.75m，采用“桩顶放坡 + CSM 等厚水泥土墙内插 H 型钢 + 高压旋喷玻纤锚索”的支护形式。桩顶放坡 2.5m，坡度为 1:2，预留 2.0m 平台。设计 CSM 等厚水泥土墙宽度 0.8m，每幅间距 2.5m，墙长 18m。采用 700*300*13*21 规格的 H 型钢，内插 CSM 等厚水泥土墙，型钢长度 18m，间距 1.2m。桩顶通过冠梁连接，在冠梁中心标高处以及冠梁中心以下 3.0m 处共设置两道玻璃纤维筋高压旋喷锚索。

4.2 设计计算

锚索贯穿桩基，并通过张拉作用锚固于基坑外部稳固的土层中，形成强大的反作用力，进一步固定桩基并增强支护体系的整体刚度和稳定性。锚索采用玻璃纤维筋，借助高压旋喷技术，将锚索牢固注入到土体中，从而提高锚固效果。通过对桩基和锚索的相互作用，进一步平衡土体压力，控制基坑变形。

通过天汉软件的桩锚单元计算，第一道、第二道高压旋喷玻纤锚索轴向拉力标准值分别为 $N_{k1}=134\text{KN}$ 、 $N_{k2}=126\text{KN}$ 。为确定验算锚索设置的合理性，参考《高压喷

射扩大头锚杆技术规程》，需进一步对锚索的极限抗摩力、高压旋喷体长度、杆体强度等参数进行设计验算。

锚索的极限抗拔力 T_{uk} 按照式 (1)、式 (2) 计算：

$$p_D = \frac{(1-\xi)K_0K_p\gamma h + 2c\sqrt{K_p}}{1-\xi K_p} \quad \text{式 (1)}$$

$$T_{uk} = \pi[D_1L_d f_{mg1} + D_2L_D f_{mg2} + \frac{(D_2^2 - D_1^2)p_D}{4}] \quad \text{式 (2)}$$

式 (1) 中： p_D 扩大头前端面土体抗力强度 (Kpa)； γ 为扩大头上覆土体的重度 (KN/m^3)； h 为扩大体上覆土体的厚度 (m)； K_0 扩大头前端土体的静止土压力系数； K_p 为扩大头前端的被动土压力系数； c 为扩大头前端土体粘聚力 (Kpa)； ξ 为土挤密效应的侧压力系数。式 (2) 中： D_1 为锚索钻杆直径 (m)； D_2 为锚索高压旋喷段直径 (m)； L_d 为普通锚固段长度 (m)； L_D 为高压旋喷段长度 (m)； f_{mg1} 为普通锚固段与土体摩阻强度 (KPa)； f_{mg2} 为高压旋喷段与土体摩阻强度 (KPa)。

本项目中锚索采用直径 19.5mm 的玻璃纤维锚索，锚索间距 1.2m。第一道锚索长度 21.0m，自由段 10.0m，锚索普通锚固段位于 3 层粉质黏土层，高压旋喷段位于第 4 层粉土夹粉砂层，按照不利情况 3 层粉质黏土层计算 p_D ；第二道锚索长度 18.0m，自由段 10.0m，锚索普通锚固段位于 4 层粉土夹粉砂层，高压旋喷段位于第 5 层粉砂层，按照 5 层粉砂层计算 p_D 。 p_D 、 T_{uk} 计算取值如下表所示：

表一 p_D 计算表

锚索	γ	h	K_0	K_p	c	ξ	p_D
第一道锚索	18	9.26	0.88	1.28	12	0.70	802.7
第二道锚索	18.2	10.77	0.55	2.66	0	0.34	1979.8

表二 T_{uk} 计算表

锚索	D_1	D_2	L_d	L_D	f_{mgLd}	f_{mgLD1}	p_D	T_{uk}
第一道锚索	0.15	0.35	3	8	20	35	802.7	306.3
第二道锚索	0.15	0.35	0	8	35	22	1979.8	349.0

锚杆的极限抗拔力 T_{uk} 除以锚杆抗拔安全系数 K (本项目安全系数取 2.0)，可得出锚杆抗拔力特征值 T_{ak} 。若大于荷载效应标准组合计算的锚杆拉力标准值 N_k ，可判定锚杆抗拔力特征值验算符合要求，两道锚索验算式 (3)、式 (4) 所示。

$$T_{ak1} = \frac{T_{uk1}}{K} = \frac{306.3}{2} = 153.2\text{kN} \geq N_{k1} = 134\text{kN} \quad \text{式 (3)}$$

$$T_{ak2} = \frac{T_{uk2}}{K} = \frac{349.0}{2} = 174.5\text{kN} \geq N_{k2} = 126\text{kN} \quad \text{式 (4)}$$

故锚杆抗拔力特征值验算符合要求。

高压喷射扩大头锚杆的扩大头长度尚应符合注浆体与杆体间的粘结强度安全要求，按照最大锚杆抗拔承载力计算， $T_{ak}=174.5\text{KN}$ 。每道锚索采用2索19.5mm玻璃纤维筋，粘结强度降低系数 $\xi=1.0$ ，影响系数 $\psi=1.6$ ，杆体与注浆体极限粘结强度 $f_{ms}=1.8\text{MPa}$ 。按下式计算：

$$L_D \geq \frac{K_s T_{ak}}{\pi n d \xi f_{ms} \psi} = \frac{2.0 \times 321.1}{2 \times 3.14 \times 19.5 \times 1.0 \times 1.8 \times 1.6} = 2.24\text{m} \quad \text{式(5)}$$

实际设置高压旋喷段长度 $LD=8.0\text{m}$ ，锚杆扩大头长度符合注浆体与杆体间的粘结强度安全要求。

5. 施工关键技术

本工程采用全套管钻进的方法造孔，钻进时锚索随套管一同跟进，同时注入高压水泥浆，与孔内泥土及碎渣结合形成水泥土。待钻进至规定深度后，匀速拔出套管，同时注入水泥浆，锚索施工即完成。主要施工技术参数如下：

(1) 采用P.O42.5水泥，旋喷压力20MPa，水灰比1.0，水泥掺量30%。水泥浆应拌和均匀，随拌随用，一次拌合的水泥浆应在初凝前用完。

(2) 锚孔孔位允许偏差50mm；倾角允许偏差 $\pm 3^\circ$ 。锚索在穿过冠梁的区段长度内应采用70的PVC管进行隔离。

(3) 锚索的张拉锁定应在锚索施工完毕至少10天后进行。先分级张拉至设计值稳定5min，5min内观测锚头位移小于1mm时，以轴向拉力设计值的80%进行锁定。

(4) 正式施工前，应进行锚索的工艺试验，满足设计要求后再行施工。基本试验检测数量不应少于3根，验收试验检测数量不应少于锚索总数的5%。检测拉力值为轴向拉力设计值的1.02倍。

6. 基坑监测

(1) 选取北侧及东侧两个桩顶水平位移监测点，北侧监测点1最大位移量为35.2mm，东侧监测点2最大位移量为33.7mm，桩顶最大水平位移均在40mm以内。位移变化速率最大处发生在第二道锚索施工完毕后开挖至基底过程，最大位移变化速率小于1mm/d。最大位移及变化速率均满足规范一级基坑变形控制要求，说明高压旋喷玻纤锚索+桩支护体系发挥了较好的效果。

(2) 锚索施工完毕后约2周进行张拉锁定，锁定值为0.6倍锚索抗拔力特征值。锁定后一段时间内出现锚索轴力下降的情况，此时为锚索预应力损失，但减少值小于10%，锚索仍正常发挥作用。随着基坑开挖深度增加，锚索轴力也相应增大，最终在开挖至坑底时轴力稳定。在基坑围护施工过程中，锚索稳定运行。

7. 结论

本项目以荆州某深基坑工程为案例，探讨了高压旋喷玻璃纤维锚索的设计计算、施工工序，分析了基坑施工过程中的桩顶变形、锚索轴力变化情况，得到以下结论：

(1) 采用桩+多道高压旋喷玻纤锚索的支护形式，可以有效控制基坑变形，确保基坑安全施工；

(2) “CSM等厚水泥土墙内插H型钢+高压旋喷玻纤锚索”的支护形式具有绿色环保、施工周期短的特点，为低碳经济创造良好的社会效应。

(3) 本工程的顺利实施，解决了锚索超红线回收困难的问题，提高了桩锚支护体系的应用范围，具有借鉴意义。

参考文献：

[1] 朱海云, 陈震, 裴迎慧. 预应力锚杆与钢板桩组合支护结构在建筑基坑工程中的应用研究[J]. 安徽建筑, 2024, 31(09): 117-118+130.

[2] 乔路正, 孙艳涛. 桩锚支护体系在深大基坑工程中的应用[J]. 新疆有色金属, 2024, 47(06): 102-104.

[3] 周金枝, 彭焜, 张庚伟. 玻纤锚杆技术在超高层建筑基坑支护中的应用研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2019, 52(6): 523-528.

[4] 麻新民. 开挖过程中基坑变形及桩锚支护结构受力特点分析[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(07): 16-19.

[5] 曹应腾, 肖星星, 郭健, 等. 深基坑支撑结构永临结合施工技术研究[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(07): 154-156.

作者简介：

一作：王滨(1990.05-)，男，汉族，山东聊城，工程师，学士学位，研究方向：建筑工程方向

二作：李钢(1993.03-)，男，汉族，湖北黄冈，工程师，硕士学位，研究方向：岩土工程方向