

· 施 工 ·



高水头条件下深大型基坑预应力锚索 成孔方法及分析

欧阳麟桦, 赵 健, 王 俊

(中交四航局第二工程有限公司, 广东 广州 510000)

摘 要: 沙井泵站基坑左右岸支护结构为灌注桩和3层锚索支护体系, 整个基坑长220 m, 宽68 m, 平均开挖深度为11 m, 属于深大型基坑, 基坑位于软基基础之上, 地下水位为1.2~2.5 m, 与周围河道连通。主要介绍在高水头条件下, 深大型基坑中锚索的成孔方法, 分析锚索在成孔过程中所遇到的冒水和冒砂问题, 提出了提高锚索施工平台、提高锚索入射点和增加锚索成孔泥浆密度的方法以解决锚索成孔时冒水和冒砂问题。经过实际施工检验, 该方法可行, 解决了实际施工问题, 成功确保3层锚索顺利成孔。

关键词: 预应力锚索; 高水头; 深大型基坑; 成孔方法

中图分类号: TU 322

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)08-0177-06

Hole formation method for the prestressed anchorage cables

OUYANG Lin-hua, ZHAO Jian, WANG Jun

(The Second Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: Both sides' supporting structures of Shajing pumping station foundation pit include bored piles and three rows prestressed anchorage cables. The size of the foundation pit is 220 m long and 68 m wide. The average excavation depth of the foundation pit is 11 m, so it's a large deep foundation pit. The pit is on the soft base, and underground water level is 1.2~2.5 m. This paper mainly introduces the hole formation method of the prestressed anchorage cable in the large deep foundation pit with a high water level, analyzes the issues of water and sand gushing, and proposes the methods including improvement of the construction platform's level and the position and increment of slurry's density to solve the problem of water and sand gushing. The methods have been verified by actual construction to be effective and feasible.

Key words: prestressed anchorage cable; high water level; large deep foundation pit; hole formation method

1 工程概况

1.1 工程背景

沙井泵站基坑位于软基之上, 左右岸为灌注桩及锚索支护结构。原设计锚索为2层, 但经过施工单位复核, 发现基坑整个支护体系安全系数过低, 经过设计单位修改, 将原设计的2层锚索改为3层锚索。

1.2 工程地质条件

1) 地形地貌和地层岩性。

沙井泵站工程位于沙井河出口右岸与茅洲河交汇的三角地带, 总用地面积57 721 m²。整个施工场地位于沙井河下游与茅洲河交界处, 工程区域由河道及两岸平坦的海陆相堆积、冲积平原组成。地面高程为2.5 m左右。

收稿日期: 2012-01-07

作者简介: 欧阳麟桦(1968—), 男, 高级工程师, 从事施工技术管理工作。

场地内自上而下分布为：第四系人工填土层、第四系海陆交互相堆积层、震旦系云开群混合花岗岩。素填土和淤泥交界面的平均高程为-0.5 m，淤泥层与砂层交界面平均高程为-11.5 m。

淤泥层呈流塑状为主，在淤泥层以下，不均匀地分布着大量粗砂和粉细砂夹层，粗砂和粉细砂层底面高程约为-13 m，平均厚度为2 m。地质情况见典型剖面图1。

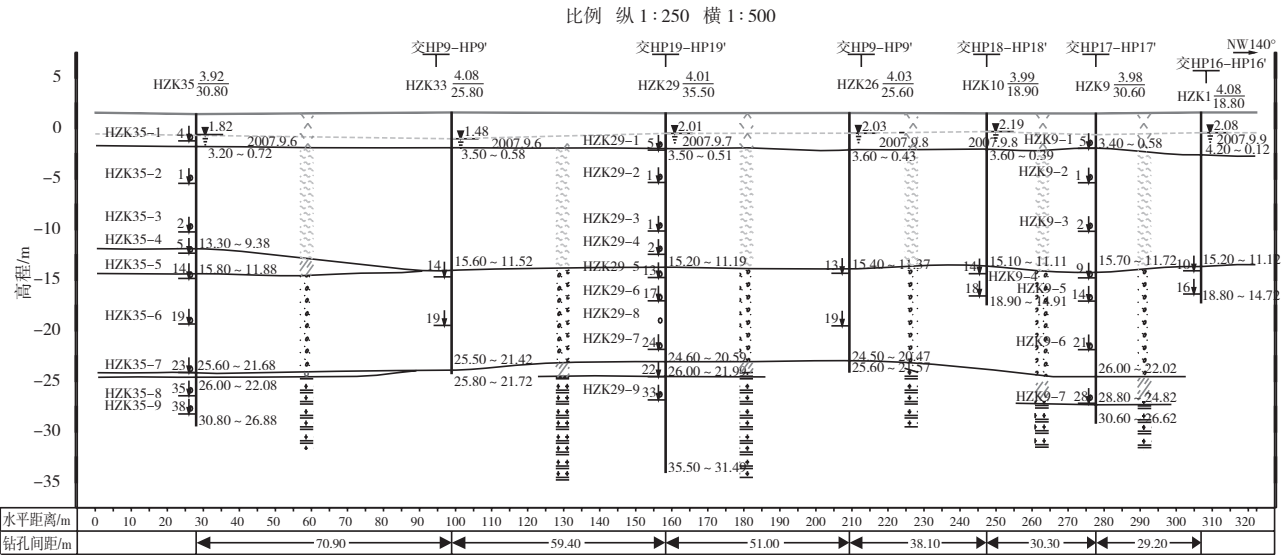


图1 沙井泵站典型地质剖面

2) 水文地质条件。

场地地下水类型主要为第四系孔隙潜水，主要含水层为粉砂、粗砂、砾砂和卵石层，地下水与两侧河道水相通。

场地两岸河堤地下水埋深浅，工作期间地下水位高程在1.2~2.5 m，河道两岸地下水位高程基本与河水位高程一致。填土层松散，中等透水；

淤泥层厚且连续分布，微透水；砂层埋深大，强透水，且与两侧河道河水连通。河床地表水高程随海水潮涨潮落而变化。

1.3 基坑锚索工程概况

沙井泵站基坑尺寸为220 m×68 m，平均开挖深度为11 m，采用灌注桩+预应力锚索支护结构，锚索详情见表1。

表1 沙井泵站锚

锚索	数量/根	锚索长度/m	入射点高程/m	入射角度/(°)	设计值/kN	锁定值/kN	锚固层
第1层	265	30、35	-0.8	35	380	250	砾砂层
第2层	178	25	-3.5	35	380	250	砾砂层
第3层	125	25	-6.5	35	380	250	砾砂层

由于锚索3层锚索的入射角度均为35°，入射角度较大，根据设计要求，锚索成孔施工采用专用锚索钻机，全套管跟进。沙井泵站基坑平面、断面见图2,3。

成孔的施工工艺和参数，锚索成孔的难点在于地下水位高、入射点高程低、水头差较大、成孔困难。

2 沙井泵站锚索成孔施工

2.1 锚索成孔施工的重点和难点

沙井泵站锚索成孔施工的重点在于确定锚索

2.2 第1层锚索成孔施工

2.2.1 理论支持

在高水头条件下，锚索能否顺利成孔，主要取决于锚索成孔时孔内泥浆压强和水压强的大小关系，而压强又跟泥浆密度和成孔深度有关，现

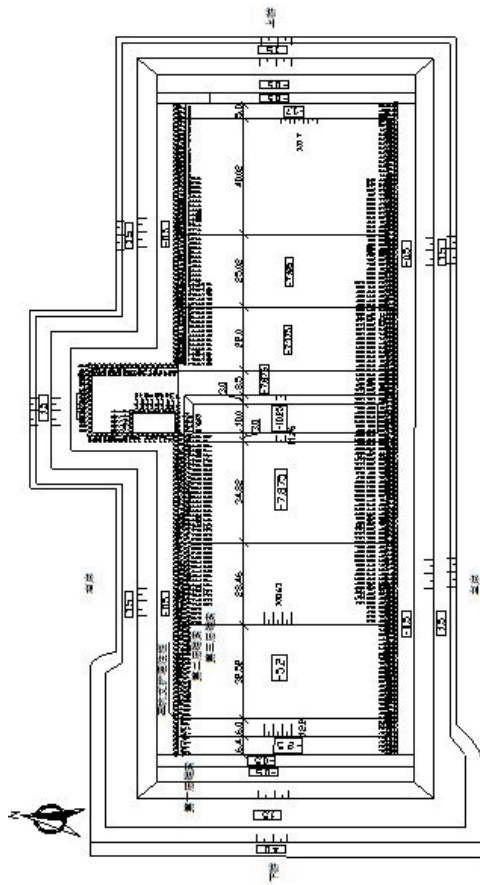


图2 沙井泵站基坑锚索平面布置

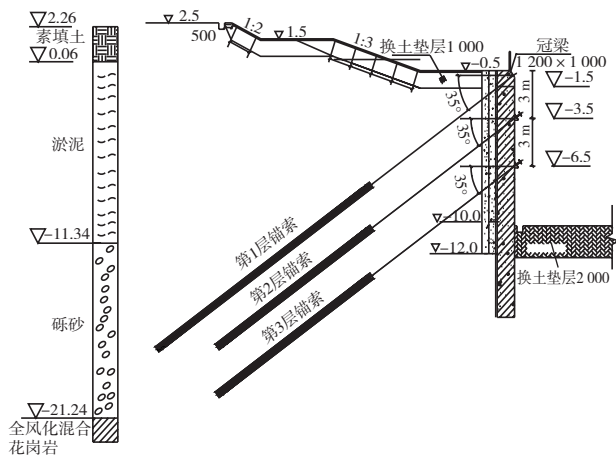


图3 沙井泵站基坑典型断面

通过简化的压强公式,推导出沙井泵站第1层锚索成孔时所需泥浆的最小密度。

第1层锚索入射点高程为 -0.8 m ,入射角度为 35° ,设 H 为地下水位距锚索孔底的相对距离; h 为入射点距锚索孔底的垂直相对距离; a 为地下水位相对高度($1.2\sim 2.5\text{ m}$),则 $H=h+a+0.8\text{ m}$ 。 H , h 和 a 的关系见图4。

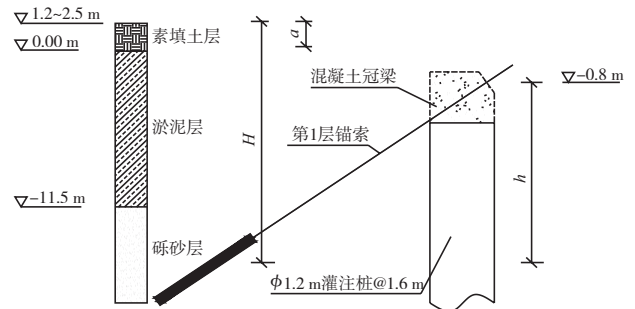


图4 第1层锚索高程关系

$$1) \text{ 水压力 } P_{\text{水}} = \rho_{\text{水}} g H \quad (1)$$

$$2) \text{ 孔内泥浆压强 } P = \rho_1 g h \quad (2)$$

式中: $\rho_{\text{水}} = 1\text{ g/cm}^3$; ρ_1 为锚索成孔时泥浆密度。

$$\text{若孔口不冒水,则必须 } P \geq P_{\text{水}} \quad (3)$$

$$\text{即 } \rho_1 g h - \rho_{\text{水}} g H \geq 0 \quad (4)$$

$$\text{得 } \rho_1 \geq \rho_{\text{水}} \left(1 + \frac{a+0.8}{h} \right) \quad (5)$$

根据式(5),当 a 取最大值, h 取最小值时,所需要的泥浆密度最大,由于本工程淤泥层与砂层之间的分界面的平均高程为 -11.5 m ,当锚索成孔深度刚刚达到砾砂层顶面高程时,方形成连通器模型。

故,当 $a=2.5\text{ m}$, $h=10.7\text{ m}$ (达到砂层顶面时的成孔深度),第1层锚索成孔所需的最小泥浆密度 $\rho_1=1.31\text{ g/cm}^3$ 。

2.2.2 成孔施工^[1-2]

沙井泵站第1层锚索成孔施工前在 -0.8 m 高程处填筑 1 m 厚施工平台,平台上表面宽为 6 m ,下底宽 7 m ,采用砖渣填筑。断面图见图5。

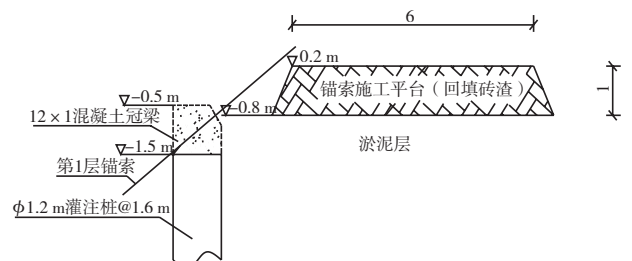


图5 第1层锚索施工平台断面

根据理论计算、设计图纸确定了施工参数,施工参数为:相对入射点高程 -0.8 m ,理论成孔泥浆密度 1.3 g/cm^3 ,一次注浆水泥浆密度 1.8 g/cm^3 ,二次注浆水泥浆密度 1.5 g/cm^3 。

在锚索成孔过程中, 未见孔口冒水和冒砂现象, 所有锚索均顺利成孔, 测得的实际泥浆密度的平均值为 1.4 g/cm^3 , 满足理论计算的要求。

2.3 第2层锚索成孔施工

2.3.1 第1次典型施工理论支持

第2层锚索的设计入射点高程为 -3.5 m , 入射角度为 35° , 设 H 为地下水位距锚索孔底的相对距离; h 为入射点距锚索孔底的垂直相对距离; a 为地下水位相对高度($1.2 \sim 2.5 \text{ m}$), 则 $H=h+a+3.5 \text{ m}$ 。

根据第1层锚索施工的理论支持, 若孔口不冒水, 则必须

$$P \geq P_{\text{水}} \quad (3)$$

$$\text{即} \quad \rho_1 gh - \rho_{\text{水}} gH \geq 0 \quad (4)$$

$$\text{得} \quad \rho_1 \geq \rho_{\text{水}} \left(1 + \frac{a+3.5}{h} \right) \quad (6)$$

根据式(6), 当 a 取最大值, h 取最小值时, 所需要的泥浆密度最大, 由于本工程淤泥层与砂层之间的分界面的平均高程为 -11.5 m , 当锚索成孔深度刚刚达到砾砂层顶面高程时, 方形成连通器模型。

故, 当 $a=2.5 \text{ m}$, $h=8 \text{ m}$ (达到砂层顶面时的成孔深度), 第2层锚索成孔所需的最小泥浆密度 $\rho_1=1.75 \text{ g/cm}^3$ 。

2.3.2 第1次典型施工^[3]

考虑到淤泥开挖进度与锚索高程的关系, 拟先开挖出锚索施工平台, 即将基坑两侧淤泥开挖, 以加快淤泥开挖进度; 同时, 由于理论计算的泥浆密度值较大, 为验证理论计算结果, 所以, 沙井泵站第2层锚索在大面积施工前, 先进行典型施工。锚索施工平台顶面高度为 -2.7 m , 上顶宽度为 6 m , 下底宽度为 7 m , 底面高程为 -3.7 m 采用砖渣填筑, 断面图见图6。

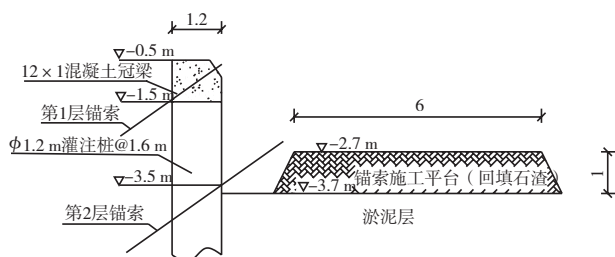


图6 沙井泵站第2层锚索第1次典型施工平台断面

第2层锚索第1次典型施工的设计和理论参数为: 相对入射点高程 -3.5 m , 理论成孔泥浆密度 1.75 g/cm^3 , 一次注浆水泥浆密度 1.8 g/cm^3 , 二次注浆水泥浆密度 1.5 g/cm^3 。

在锚索成孔过程中, 当刚刚达到砂层顶面高程时, 锚索孔口即出现冒水和冒砂现象, 当锚索成孔深度达到设计深度后开始一次注浆, 发现水泥浆完全被地下水返出, 无法进行注浆。在成孔过程中测得的实际泥浆密度的平均值为 1.4 g/cm^3 , 无法满足理论计算的要求。随即用黏土填筑成围井以平衡内外水头差。

2.3.3 第2次典型施工理论支持^[4]

鉴于上述施工情况, 分析其失败原因如下: 在第2层锚索第1次典型施工过程中, 成孔泥浆密度根本无法达到理论要求值, 由于存在 $4.7 \sim 6 \text{ m}$ 的水头差, 泥浆压力小于水压力, 导致地下水涌出, 同时, 此区域存在粉砂层, 地下水也将粉细砂带出。

第2层锚索第1次典型施工并未成功, 施工过程中冒水、冒砂和不正常返浆等不利情况会对基坑造成危险 (如冒水过程中把砂带出能使锚索失去作用或导致灌注桩下沉, 影响基坑稳定), 若第3层锚索继续按照上述方法施工, 也无法成功。为保证第2, 3层锚索顺利施工, 需改变施工方法和参数, 才能使第2, 3层锚索顺利完成。根据上述理论计算, 调整措施为: 提高成孔泥浆比重, 提高入射点高程。

设入射点高程为 x , 水压力 $P_{\text{水}}=\rho_{\text{水}}gH$; 孔内泥浆压强 $P=\rho_1gh$ 。根据图4得出: $H=h+a-x$

若孔口不冒水, 则至少 $P=P_{\text{水}}$, 即

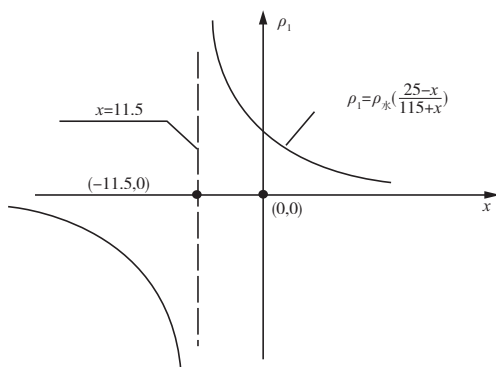
$$\rho_1 gh = \rho_{\text{水}} g(h+a-x) \quad (7)$$

根据第1层锚索和第2层锚索第1次典型施工的理论计算, 当 $a=2.5 \text{ m}$, $h=11.5 \text{ m}+x$ (淤泥层与砂层交界位置) 时, 所需要的成孔泥浆密度最大, 故

$$\rho_1 = \rho_{\text{水}} \left(1 + \frac{2.5-x}{11.5+x} \right) \quad (8)$$

根据公式(8), ρ_1 与 x 成反相关关系, 见图7。

根据现场实际情况, 沙井泵站第1层锚索已张拉完成, 基坑淤泥面现有高程为 -1.5 m , 所

图7 ρ_1 与 x 关系

以,拟在此高度进行锚索施工。现 $x=-1.5$ m,则泥浆最小密度 $\rho_{1\min}=1.4$ g/cm³。

2.3.4 第2次典型施工^[5]

沙井泵站第2层锚索成孔施工前在-1.5 m高程处填筑1 m厚施工平台,平台上表面宽为6 m,下底宽7 m,采用砖渣填筑。断面图见图8。

根据理论计算、设计图纸确定了施工参数,施工参数为:相对入射点高程-1.5 m,理论成孔泥浆密度1.4 g/cm³,一次注浆水泥浆密度1.8 g/cm³,

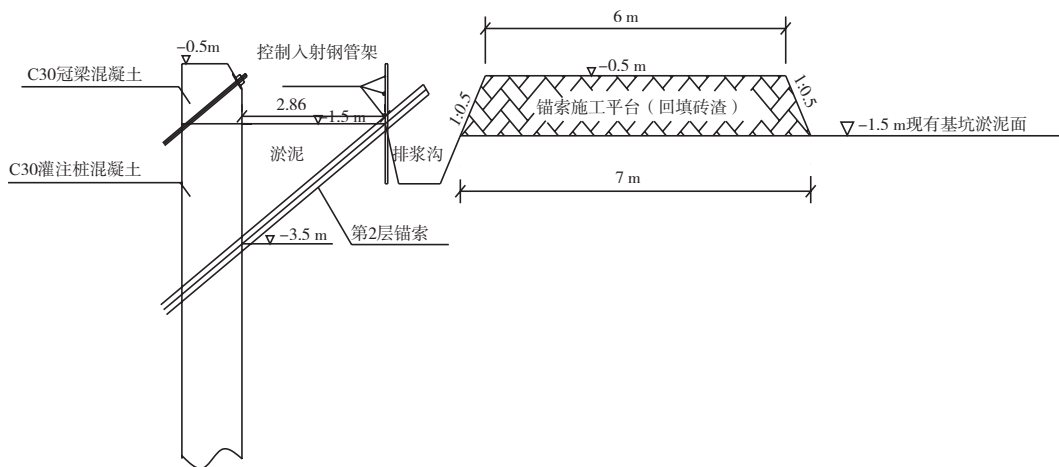


图8 第2层锚索第2次典型施工平台断面

二次注浆水泥浆密度1.5 g/cm³。

在锚索成孔过程中,未见孔口冒水和冒砂现象,所有锚索均顺利成孔,测得的实际泥浆密度的平均值为1.5 g/cm³,满足理论计算的要求。

2.4 第3层锚索施工

根据第2层锚索第2次典型施工情况和沙井泵站的地质情况,第3层锚索仍采用类似于第2层锚

索施工的施工方法和参数,而不采用降低高程的施工方法。

根据设计图纸和现有基坑淤泥面高程,先填筑第3层锚索施工平台,将第3层锚索的相对入射点提高至-1.5 m,同时,填筑1 m厚的锚索施工平台便于锚索钻机行走,锚索施工平台顶高程为-0.5 m,见图9。

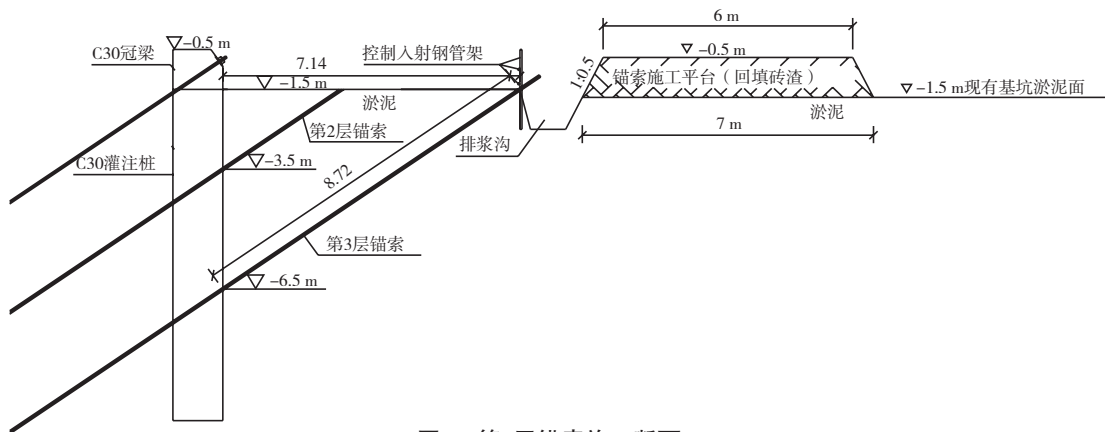


图9 第3层锚索施工断面

根据现场施工情况,第3层锚索施工正常,未见冒水、冒砂情况,2,3层锚索按照上述方法施

工,完全成功,同时也验证了锚索在深大型基坑高水头条件下的理论计算结果的可操作性。

3 锚索成孔施工中关键点控制

根据设计图纸,第2层锚索与基坑支护灌注桩靠基坑内侧面的交点高程为 -3.5 m ,入射角度为 35° 。保持角度不变,将锚索延伸至 -1.5 m 高程的淤泥面时,其交点距离基坑支护灌注桩靠基坑内侧面的水平距离为 2.86 m ,由于锚索成孔深度加深,为控制锚索入射精度,按 2.86 m 的距离放出控制线,并插设 $\phi 48\text{ mm}@1.6\text{ m}$ 钢管,钢管长 2 m ,入泥 1 m ,外露 1 m 。再用扣件连接3排横向钢管($\phi 48\text{ mm}@0.4\text{ m}$),以此搭设成稳固的入射点控制支架,保证入射位置的准确性。第3层锚索在成孔施工时,也搭设了入射点控制支架。

虽采用钢管支架和角度卡尺在锚索成孔前对入射位置和入射角度进行复核,但由于提高了入射点,增加了成孔长度,锚索钢套管在淤泥层中成孔时,淤泥抗剪性差且质地较软,对钢套管的承托力不足,随着成孔深度加深,埋入孔中的套管逐渐增多,形成的正弯矩不断增大,导致套管挠度增大,待套管钻头到达灌注桩外壁时,已存在入射位置的偏差,同时,由于锚索钻机自身靠油压系统支撑钢套管,当悬臂过大时,油压设备承受的压力增大,液压系统作用会发生减小趋势,从而对锚索最终入射位置产生影响。

根据锚索施工情况,当保持锚索初始入射位置和角度准确时,第2,3层锚索成孔后会产生较大偏差,见表2。

表2 第2,3层锚索角度偏

锚索	角度偏差/(°)	入射点偏差/cm	设计允许偏差/cm
第1层	1.0	7.5	2
第2层	1.5	28.4	2

由于锚索在成孔过程中存在偏差,故需在成孔前提前预留偏差角度,保证锚索最终入射位置的准确性,也避免由于锚索偏差而发生群锚效应,最终降低锚索的抗拔力。根据上述控制入射点的方法,在基坑开挖后,测量出锚索位置偏差

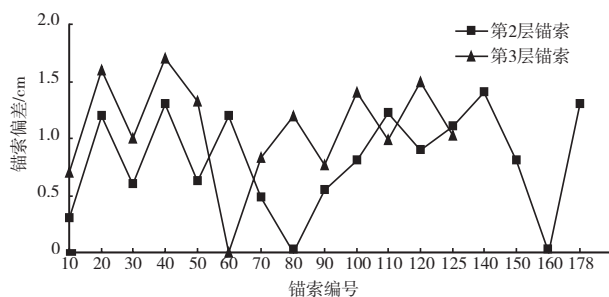


图10 第2,3层锚索偏差

均在设计允许偏差范围内,见图10。

4 结语

本文主要针对在深大型基坑高水头条件下,预应力锚索成孔施工方法和施工过程中存在问题进行分析和总结。在遇到高水头和存在粉粗砂夹层时,锚索成孔施工前,应首先进行理论计算,确定锚索成孔所需的水泥浆密度,在成孔过程中进行测量和校核,若水泥浆密度不满足理论计算要求,可采取提高锚索施工平台和入射点高程的方法,减小锚索成孔所需的泥浆密度,以确保成孔时不发生冒水和冒砂情况。当提高锚索入射点后,也增加了锚索的成孔深度,但需要加强精度控制,可通过搭设锚索入射支架和预留变形量的方法减小锚索入射精度偏差和降低锚索群锚效应。希望上述在实际施工过程中总结出的上述经验和所发现的问题及分析会对其他相似工程提供施工参考。

参考文献:

- [1] GB 50086—2001 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S].
- [2] SL 212—1998 水工预应力锚固施工规范[S].
- [3] 闫莫明,徐祯祥,苏自约.岩土锚固技术手册[M].北京:人民交通出版社,2004:125-320.
- [4] 郭伟.预应力锚索在利通广场基坑支护中的应用[J].建筑科学,2009(23):17-19.
- [5] 祖青山.建筑施工技术[M].北京:中国环境科学出版社,2002:94-132.

(本文编辑 武亚庆)