

跨断层牛顿力监测系统超大长度锚索综合施工技术

郝峰, 李存峰

(山东省第四地质矿产勘查院, 山东 潍坊 261021)

摘要:基于“界面牛顿力测量的双体灾变力学模型”建立的李PR锚索监测系统,已在多个滑坡现场得到应用,但用于地震预警与科学研究的超大长度锚索跨断层牛顿力监测系统在国内外尚属首次。结合山东省昌邑市地震局CY-1号文山跨断层牛顿力监测站 $\varnothing 150$ mm、自由段长240 m、总长300 m的李PR锚索施工实践,介绍了松散砾石、断层破碎岩等复杂地层小入射角大口径超长度绳索取心勘探、跟管钻进、多性能泥浆护壁、分级扩孔、“绳索取心钻杆+定位片+钢绞线束+反丝解脱接头+导向锚固头”下索注浆一体化系统等综合施工技术,可供类似工程借鉴。

关键词:牛顿力监测系统;李PR锚索;超大长度锚索;绳索取心钻进;跟管钻进;分级扩孔

中图分类号:P634;P315.7 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)05-0088-08

Comprehensive construction technology for super-long anchor cables for the cross-fault Newton force monitoring system

HAO Feng, LI Cunfeng

(Shandong Provincial No.4 Institute of Geological and Mineral Resources Survey, Weifang Shandong 261021, China)

Abstract: The NPR anchor cable monitoring system based on the two-body catastrophic mechanics model for interfacial Newton force measurement has been applied at many landslide sites. However, it is the first time in China that the cross-fault Newton force monitoring system for super-long anchor cables is used for early earthquake warning and scientific research. This paper, in regard to the construction of NPR anchor cables with a diameter of $\varnothing 150$ mm, a free length of 240 m and a total length of 300 m for Wenshan Cross-fault Newton Force Monitoring Station CY-1 of the Seismological Bureau of Changyi city, Shandong province, introduces the comprehensive construction technologies made up of small incidence angle, large diameter and super long hole core drilling, casing while drilling, multi-performance mud wall protection, stepped borehole reaming, and the integrated cable placing and mud injection system of “wireline drill pipe+locating plate+steel strand+connector release with female thread+guiding anchor head” for such complex strata as loose pebbles and broken rocks.

Key words: Newton force monitoring system; NPR anchor cable; super-long anchor cables; wireline core drilling; casing while drilling; stepped reaming

0 引言

地震和滑坡灾害是人类面临的2种主要地质灾害,严重威胁着人类社会的安全。这2类地质灾害的本质是相同的,通常与沿着构造带(面)两侧块体的相对运动有关^[1]。何满潮院士团队通过实验室模

拟研究,首先发现“牛顿力突降,灾变发生”的实验现象,证明2个块体相对运动的核心问题是构造带(面)上的牛顿力变化;其次,在此基础上建立基于“界面牛顿力测量的双体灾变力学模型”和数学表达,并提出牛顿力的测量方法;最后,利用自主研发

收稿日期:2020-03-13;修回日期:2020-06-22 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.05.013

基金项目:国家自然科学基金项目“基于界面牛顿力测量的双体灾变力学模型研究”(编号:51304210、41502323、51404278)

作者简介:郝峰,男,汉族,1970年生,研究员,地质工程专业,硕士,主要从事工程勘察、岩土设计与施工研究工作,山东省潍坊市向阳路2375号,13853618922@163.com。

引用格式:郝峰,李存峰.跨断层牛顿力监测系统超大长度锚索综合施工技术[J].钻探工程,2021,48(5):88-95.

HAO Feng, LI Cunfeng. Comprehensive construction technology for super-long anchor cables for the cross-fault Newton force monitoring system[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(5): 88-95.

的牛顿力变化远程监测预警系统,通过滑坡现场监测,证实了“牛顿力突降,滑坡发生”的科学现象。目前,该技术已在露天矿山开采、高速公路、西气东输及水利水电等工程中成功应用和推广。

为掌握郯庐断裂带的活动规律,有效地对其发震机制进行监测,推进地震的预报预防工作,2018年10月,根据已有断层初步地质资料,郯庐断裂带防灾减灾科研项目主导人何满潮院士、陶志刚教授、潍坊市地震局及昌邑市地震局相关人员共同确定了昌邑市地震局跨断层牛顿力监测点CY-1号锚孔位置及NPR锚索初步设计参数。用于地震预警与科学研究的超大长度锚索跨断层牛顿力监测系统在国内尚属首次,确定设计参数时主要综合考量了断层带空间分布状态、锚固力大小、钢绞线根数及直径、保护层厚度、成孔直径、取心率要求、锚固端位置、锚固段长度、自由段长度等诸多因素。穿越复杂断层带300 m之超长的大直径NPR锚索施工在国内也是首例,故施工将面临前所未有的挑战^[2-4]。

1 工程概况

1.1 设计概况

该CY-1号锚索孔兼做地质勘探孔,在满足锚索安装要求的前提下须同时满足地质岩心钻探各项

质量指标^[5],如岩心采取率、孔深误差、钻孔弯曲度、简易水文观测等。CY-1号锚孔设计迹线见图1、CY-1号锚索设计参数见表1。断层带厚度约7 m,走向NE102°,倾向SE,倾角约70°。设计锚索与断层带的夹角约30°,锚索初遇断层带的位置埋深约28 m,锚索锚固端部埋深约为116 m。其中,锚索位于断层上下盘内的长度均为150 m。主要工作内容包括:成孔→取心→洗孔→下锚索→注浆等。

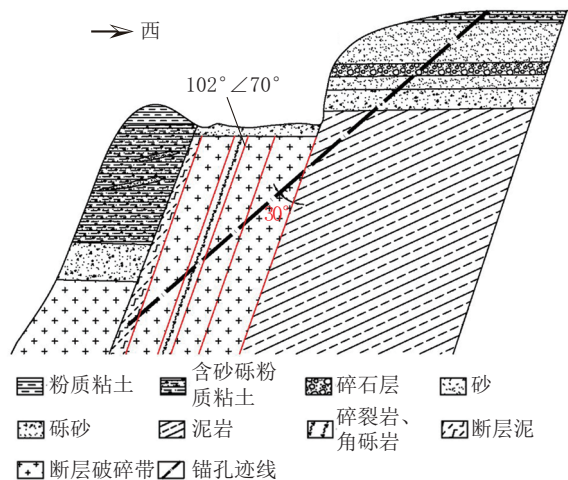


图1 CY-1号锚孔迹线设计剖面

Fig.1 Design section of CY-1# anchor hole trajectory

表1 CY-1号锚索设计参数

Table 1 Design parameters of CY-1# anchor cable

直径/ mm	入射 角/(°)	方位 角/(°)	总长 度/m	自由段 长/m	锚固段 长/m	锚筋型材			注浆材料		岩心采取率	
						材料	规格/mm	支数/根	型号	水灰比	一般层	特殊层
150	40	110	300	240	60	钢绞线	15.2	6	P.O42.5R	0.45	≥80%	≥90%

1.2 地层与岩性

根据取心钻探揭露,该站点主要由人工填土、第四系冲洪积土、白垩系王氏群和古近系五图群陆相正常沉积碎屑岩及断层角砾岩组成。分为107个岩土层,划归以下9个层组。

(1)填土层组:0.00~6.70 m(1层),视厚度6.70 m。为暗土黄色粉土、粉质粘土,含 ϕ 500 mm混凝土废桩头及零星小砾石,为新近松散抛填而成。

(2)含砾粉质粘土层组:6.70~11.50 m(2~3层),视厚度4.80 m。可塑—硬塑,含少量石英质卵砾石。

(3)砾岩、砂砾岩层组:孔深11.50~23.48 m(4~6层),视厚度11.98 m。为上、下两层砾岩中夹

一层砂砾岩。岩心整体上软,呈强风化状态,但其中所含卵砾石中等偏硬—硬。

(4)灰绿色页岩层组:23.48~70.13 m(7~19层),视厚度46.65 m。上部岩心非常软,全风化。下部岩心软,强风化。

(5)粉细砂岩、页岩层组:70.13~159.28 m(20~65层),视厚度89.15 m。颜色以灰绿、暗灰为主,由粉砂岩、细砂岩、页岩组成,三者大致呈互层状,岩心大部分软,少量非常软,均为强风化。

(6)断层角砾岩层组:159.28~164.23 m(66层),视厚度4.95 m。呈灰绿色、灰褐色,角砾成分主要为页岩,角砾大小0.5~2 cm,含量65%~75%,棱

角状一次棱角状。有较多摩擦面。岩心软—中等硬,强风化。

(7) 细砂岩、泥页岩层组: 164.23~186.38 m (67~75层), 视厚度计 22.15 m。呈灰绿色、灰褐色及暗灰色, 上部岩心软、非常软, 强—中风化, 下部岩心主要为中等硬, 中等风化。

(8) 暗灰色页岩层组: 186.38~209.43 m (76~83层), 视厚度 23.05 m。岩心硬度不等, 非常软、软、中等硬, 风化程度不同, 全风化、强风化、中等风化。

(9) 紫红色泥页岩层组: 209.43~300.02 m (84~107层), 视厚度 90.59 m。上部岩心非常软、软, 强风化, 下部岩心非常软—强风化、中等硬—中等风化互层出现。总体上自上而下硬度增强。其中夹 2 薄层砂砾岩和 1 薄层角砾岩。

1.3 施工情况

本工程自 2018 年 12 月 26 日开始钻探取心, 至 2019 年 3 月 9 日完成锚索注浆, 历时 75 d, 共完成岩石钻探 300 m、锚索制安 300 m、锚孔注浆 8 m³。

综合考虑钻孔深度、锚孔直径、地层岩性、取心率要求、钻扩工艺、效率、工期等因素, 选择投入的主要设备机具如下: XD-5F 型全液压动力头钻机、BW250 型泥浆泵、JS-3000 型绞车、BJ1200 型泥浆搅拌机、SQ114-8 型拧管机、S71/89/114 绳索取心钻杆、WD206/8 型发电机组、JTC-2 型陀螺测斜仪、QY25 型吊车。

2 工程施工难点

(1) 设计锚孔直径 150 mm、倾角 40°, 根据理论及经验, 孔径越大、倾角越小, 孔壁自稳性越差^[6], 且须穿越较大厚度的松散软胶结的石英质卵砾石层、深厚陡倾斜松软成岩性差的全、强风化页岩、断层破碎带等不稳定复杂地层, 极易发生孔壁坍塌、掉块、软化、缩径、孔斜、自造浆严重、泥皮过厚等不良现象^[7], 给后续施工造成很大困难或引起质量事故甚至钻孔报废。其中卵砾石层、全风化页岩不稳定复杂地层见图 2。

(2) 300 m 超大长度锚索钢绞线束制作与安装、锚孔注浆是国内首次, 尚无直接经验可借鉴, 存在钢绞线束及常规注浆软管难以下放至设计孔底、注浆完成注浆管难以拔出、注浆效率低易发生注浆中断等诸多新的施工难题^[8]。

(3) 锚孔所处位置表层为厚约 7 m 的新近松散



图2 卵砾石层、全风化页岩不稳定复杂地层
Fig.2 Unstable and complex stratum with gravel layers and completely weathered shale

抛填土, 主要由废桩头等建筑垃圾构成, 一旦受到较大荷载、泥浆渗透浸泡等, 则钻机底盘易发生不均匀沉陷, 从而造成孔斜、偏位等事故; 同时废桩头也会给钻探施工造成很大困难。

3 关键技术

3.1 钻场地基处理

为避免施工时钻遇废桩头及钻场填土地基沉陷, 对钻场地基进行了换填处理^[9]。以孔口坐标为基准, 浇筑了 6 m×12 m×0.3 m 混凝土平台; 浇筑平台前对钻孔轨迹线上的填土进行了开挖, 取出废桩等建筑垃圾, 重新回填粘性土并夯实, 修整钻孔端面, 使其钻机的动力回转轴心与设计 40°倾角孔位线重合, 按此要求将固定钻机机座的螺栓预先埋入混凝土中, 待混凝土达到一定强度后安装设备。处理后的钻场见图 3。



图3 处理后的钻场及冲洗液循环系统
Fig.3 Post-treatment drilling site and fluid circulation system

3.2 钻孔结构及钻扩工艺流程

综合考虑钻孔深度、锚孔直径、地层岩性、取心率要求、护壁需求、安全储备等因素,采用了小径取心大径扩孔跟管护壁总体方案,结合实际钻进状况,最终实施完成的钻孔结构^[10]及钻扩工艺流程为:① $\varnothing 130$ mm 单管取心钻进(0~6 m)→② $\varnothing 185$ mm 扩孔钻进(0~6 m)→③下 $\varnothing 168$ mm 套管(0~6 m/带钻头)→④ $\varnothing 130$ mm 单管取心钻进(6~30 m)→⑤ $\varnothing 146$ mm 跟管钻进(6~30 m)→⑥ $\varnothing 168$ mm 跟管钻

进(6~30 m)→⑦ $\varnothing 122$ mm 绳索取心钻进(30~62 m)→⑧ $\varnothing 146$ mm 跟管钻进→⑨ $\varnothing 168$ mm 跟管钻进(30~62 m)→⑩ $\varnothing 122$ mm 绳索取心钻进(62~260 m)→⑪ $\varnothing 130$ mm 扩孔钻进(62~260 m)→⑫ $\varnothing 96$ mm 绳索取心钻进(260~300 m)→⑬起拔 $\varnothing 146$ mm 套管(0~62 m)→⑭ $\varnothing 130$ mm 扩孔钻进(62~300 m)→⑮ $\varnothing 150$ mm 扩孔钻进(62~300 m)。钻孔结构及钻扩工艺流程见图4及表2。

表2 钻扩工艺流程
Table 2 Drilling and reaming process

序次	工作内容	孔深/ m	钻头(管靴) 直径/mm	套管直 径/mm	钻头(管靴) 类型	钻具类型	取心 方式	冲洗液类型
①	钻进取心	0~6	130		硬质合金	单管	无泵	普通膨润土泥浆
②	扩孔		185		硬质合金	两翼全面		
③	下第一层套管		172	168	复合片	单管		
④	钻进取心	6~30	130		硬质合金	单管	无泵	
⑤	跟下第二层套管		150	146	复合片	单管		
⑥	跟下第一层套管		172	168	复合片	单管		
⑦	钻进取心	30~62	S122		金刚石复合片	双管单动	绳索	高效润滑防吸附泥浆
⑧	跟下第二层套管		150	146	复合片	单管		
⑨	跟下第一层套管		172	168	复合片	单管		
⑩	钻进取心	62~260	S122		金刚石复合片	双管单动	绳索	
⑪	扩孔		130		复合片	导向单管全面		
⑫	钻进取心	260~300	S96		金刚石复合片	双管单动	绳索	
⑬	起拔第二层套管	0~62	150	146				
⑭	扩孔	260~300	130		复合片	导向单管全面		
⑮	扩孔	62~300	150		复合片	导向单管全面		

3.3 取心技术

为保证满足取心率要求及钻进过程中钻具级配合理,根据不同的钻孔结构、地层岩性等,设计采用了如下3种取心钻具组合。

取心钻具Ⅰ: $\varnothing 130$ mm 单管硬质合金取心钻头+ $\varnothing 127$ mm 岩心管+无泵接头+ $\varnothing 50$ mm 钻杆。

取心钻具Ⅱ: $\varnothing 122$ mm 绳索取心金刚石复合片钻头+ $\varnothing 118$ mm 岩心管+ $\varnothing 114$ mm 绳索取心钻杆。其中 $\varnothing 122$ mm 绳索取心复合片钻头见图5。

取心钻具Ⅲ: $\varnothing 96$ mm 绳索取心复合片钻头+ $\varnothing 92$ mm 岩心管+ $\varnothing 89$ mm 绳索取心钻杆。

3.4 护壁技术

根据不同的钻扩工艺及地层岩性,主要采用了

2种护壁技术:多性能冲洗液护壁和跟进套管护壁^[11-12]。

3.4.1 多性能冲洗液护壁技术

为践行绿色勘探理念,防止冲洗液渗透污染,对整个冲洗液循环系统表面进行固化硬化处理。设置2 m×2 m×1.2 m的循环池2个,循环槽长度>15 m。处理后的冲洗液循环系统参见图3。根据不同的钻探工艺设计采用了2种类型的冲洗液。

(1)普通膨润土泥浆:每1 m³清水中加膨润土150 kg、磺化褐煤树脂15 kg(1.5%)后搅拌30 min后,加广谱护壁剂三型10 kg,再搅拌1 h。泥浆性能为:密度1.12~1.16 g/cm³,漏斗粘度25~27 s,失水量10~15 mL,泥饼厚0.5 mm。该型泥浆主要适应

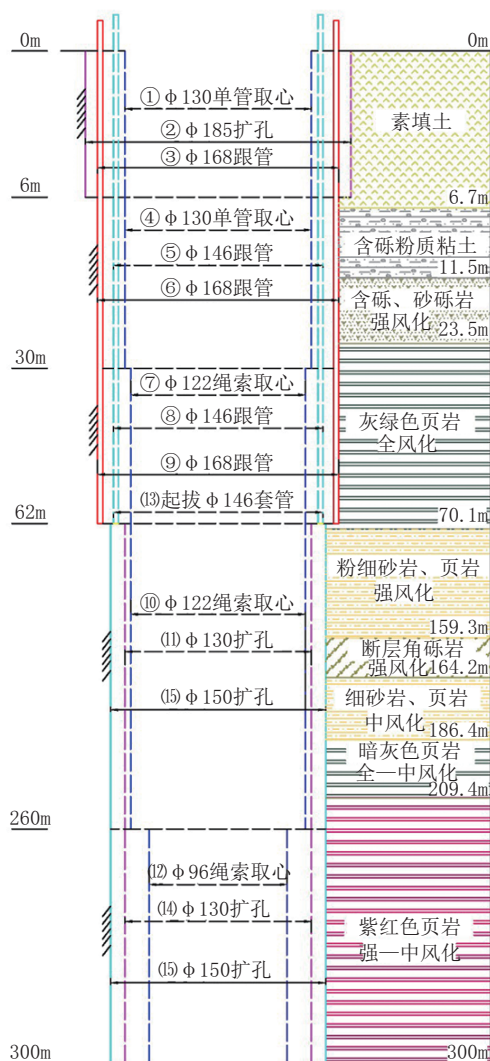


图4 钻孔结构及钻扩工艺流程

Fig.4 Drill hole structure, drilling and reaming process

图5 Ø122 mm 绳索取心金刚石复合片钻头
Fig.5 Ø122mm diamond compact coring bit

于单管、跟管钻进(0~62 m层段)。

(2) 高效润滑防吸附泥浆: 1 m³ 清水中加钠土 20 kg (地层造浆可不加)、磺化褐煤树脂 15 kg (1.5%), 搅拌 30 min 后, 再加特效润滑降滤失剂 20 kg、多功能润滑剂 25 kg, 搅拌 30 min 后, 加聚合醇 3~5 kg 搅拌均匀。泥浆性能为: 密度 1.06~1.08 g/cm³, 漏斗粘度 22~25 s, 失水量 8~10 mL, 泥饼厚 0.3~0.5 mm。该型泥浆主要适应于绳索取心钻进 (62~300 m 层段)。使用该型泥浆前应先排除替换掉孔内原有普通膨润土泥浆。

冲洗液应具有良好的润滑性能, 泥饼摩擦系数 $\neq 0.2$; 钻遇破碎、缩径等复杂地层, 应适当提高冲洗液密度, 提高冲洗液封堵性能, 降低失水量。

由于地层造浆严重, 要求每班测控冲洗液性能的变化, 始终保持良好的性能和携粉能力。

3.4.2 跟进套管护壁技术

根据地层情况及锚孔最终通孔直径要求, 设计实施了 2 层跟进套管护壁。

第一层跟管钻具: Ø172 mm 跟管管靴复合片钻头 + Ø168 mm 套管;

第二层跟管钻具: Ø150 mm 跟管管靴复合片钻头 + Ø146 mm 套管, 管靴钻头见图 6。



图6 跟管管靴复合片钻头

Fig.6 PDC casing shoe for casing while drilling

3.5 扩孔技术

为保证锚孔最终通孔直径要求及钻具级配合理, 根据不同的钻孔结构、地层岩性等, 主要采用了如下 2 种扩孔钻具组合^[13]。

扩孔钻具 I: Ø130 mm 导向复合片钻头 + Ø114 (89) mm 钻杆;

扩孔钻具 II: Ø150 mm 导向复合片钻头 + Ø89 mm 绳索取心钻杆。导向扩孔钻头见图 7、图 8。



图7 一级导向扩孔钻头结构型式

Fig.7 Structure of the first-pass pilot reaming bit



图8 二级导向扩孔钻头结构型式

Fig.8 Structure of the second-pass pilot reaming bit

3.6 钻扩综合技术应用与实施

(1)在0~30 m层段采用了 $\Phi 50$ mm 钻杆+ $\Phi 130$ mm 单管钻进、 $\Phi 146$ mm 跟管、普通膨润土泥浆护壁的方案,穿过了含砾粘土层及大小不一的卵砾石地层。

具体实施:4.5 m 长 $\Phi 130$ mm 单管取心钻具,每取心钻进3 m后, $\Phi 146$ mm 跟进3 m,使 $\Phi 130$ mm 钻具粗径部分始终在 $\Phi 146$ mm 管中, $\Phi 146$ mm 管起到了在软岩钻进时托付取心钻具,有效防止由于地层非常软而造成的钻具下垂及在卵砾石层钻进时的导正作用,经检验保证了钻孔质量。

(2)在30~62 m层段采用了 $\Phi 122$ mm 绳索取心钻进、 $\Phi 146$ mm 慢跟管(每取心钻进12 m 跟管3 m)、高效润滑防吸附泥浆护壁的方案,打到了相对较硬的地层。为保证 $\Phi 146$ mm 套管取心钻进完成后能顺利提出,将 $\Phi 168$ mm 套管一起跟到了62 m。因为地层软托不住套管,在套管底部进行了扩径,注浆,制造了人工底座。

(3)在62~300 m层段采用了S122、S96绳索取心钻进、高效润滑防吸附泥浆护壁的方案。自孔深62 m开始,采用S122绳索取心裸眼钻进,随着深度增长,孔内回转阻力不断增大,孔壁对钻杆的吸附力

也明显提高。钻进至孔深170 m过程中,多次出现钻具提拉不动现象,当钻进至孔深260 m时,孔内阻力更为明显,孔底钻具折断,在处理孔底钻具的过程中, $\Phi 114$ mm 钻杆又被吸附住,期间采取各种方法进行了事故处理。260 m后换用S96绳索取心钻进至设计孔深,完成了钻探取心任务。最后经 $\Phi 130$ 、150 mm 两级扩孔达到了锚孔设计的孔径。

3.7 洗孔技术

钻孔达到设计口径和深度后利用既有钻扩机具进行首次冲孔换浆洗孔,以利于下锚索及注浆锚固。锚索下放前,泵送逐渐稀释的优质泥浆,禁止使用清水或性能差异较大的泥浆洗孔,防止孔壁坍塌等情况发生。

3.8 制索与下索技术

锚索的孔外制作与孔内下放安装均严格按设计要求进行。锚索采用的是无粘结预应力混凝土用钢绞线, $\Phi 15.2$ mm,强度级别为1860 MPa,其进场成品整根钢绞线裸线外均通常设有环氧树脂涂层^[14]和PE塑料护套。按钢绞线支数及锚索总长度下好料后,上部240 m自由段应严格保护好每根钢绞线的塑料护套,以保证其能在锚索注浆体内自由伸缩;最下部60 m锚固段的钢绞线应剥除其PE塑料护套,并严格进行去油脂涂层和杂物处理,以保证该段钢绞线与注浆体有效粘结。

为保证钢绞线束及注浆管能下放安装到孔底设计标高,设计采用了“绳索取心钻杆+定位片+钢绞线束+反丝解脱接头+导向锚固头”下注一体化系统,见图9、图10。其中壁厚6.5 mm、外径71 mm的绳索取心钻杆既是钢绞线束的辅助下放刚性导杆又是注浆导管,且注浆完毕可通过反丝解脱接头使注浆钻杆与孔底导向锚固头脱开并拔出。

通过钻机提下绳索取心钻杆和QY25型吊车同步辅助提下钢绞线束将孔外装配好的下注一体化系统下到设计孔深后,反转绳索取心钻杆使其与孔底锚固头脱节,然后用BW-250型泥浆泵通过绳索取心钻杆进行二次冲孔洗井,消除孔内粘稠物及沉渣。待通过现场监理工程师隐蔽验收后,进入下一步注浆环节。

3.9 注浆技术

注浆材料选用纯水泥浆,水泥采用P.O42.5R早强型普通硅酸盐水泥,水灰比0.45,采用搅浆机现场搅拌,搅制好的水泥浆留样做抗压试验。用BW-



图9 下注一体化系统端部组装示意

Fig.9 Schematic diagram of the end assembly of the integrated placing and injection system



图10 反丝解脱接头

Fig.10 Reverse thread release sub

250型泥浆泵将水泥浆通过绳索取心钻杆自孔底泵入孔内,压力3~4 MPa,直至孔口返浆后将注浆绳

索取心钻杆拔出,此时浆液面会有所下降,应及时进行孔口补浆^[15]。锚索注浆前后装配情况见图11。

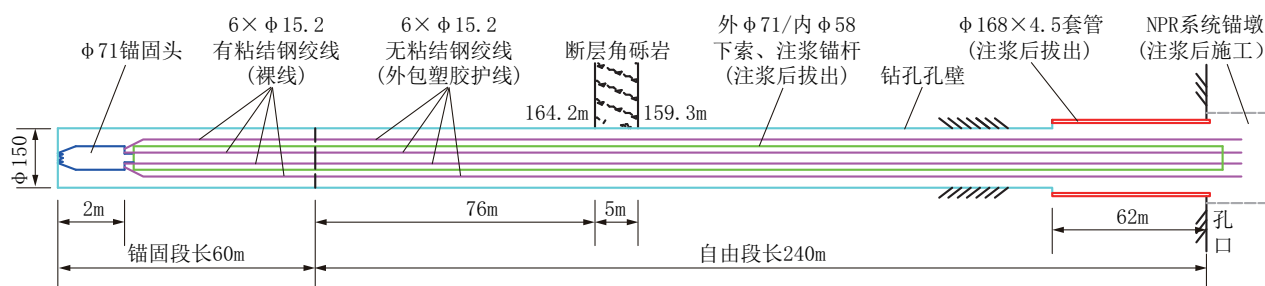


图11 注浆前后锚索装配示意

Fig.11 Anchor cable assembly before and after grouting

4 结语

(1)项目综合运用软基换填、取扩结合、套管跟进、高效泥浆、下注一体化系统等技术,解决了复杂地层小入射角大口径超大长度绳索取心勘探及锚索施工难题,使项目顺利通过竣工验收,并评定为优质工程。

(2)合理的钻孔结构及工艺流程设计是保证工程质量和施工效率的关键前置条件。

(3)“绳索取心钻杆+定位片+钢绞线束+反丝解脱接头+导向锚固头”下注一体化系统可适用于超大长度锚索施工,对类似工程具有借鉴意义。

(4)因该项目设计一孔两用,为保证岩心采取率(实际全孔岩心采取率达98%)和锚孔直径,采用小径取心大径扩孔工艺,使得施工周期变长,导致孔内

情况进一步复杂化,增大了施工风险。建议小倾角、复杂地层的地震监测锚索钻孔取心勘探与锚索分别设计、分别施工。

参考文献(References):

- [1] 何满潮. 基于界面牛顿力测量的双体灾变力学模型研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(11): 2161-2173.
HE Manchao. Research on the double-block mechanics based on Newton force measurement [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2016, 35(11): 2161-2173.
- [2] 郭世仲. 南广铁路西江特大桥锚碇锚索施工方法[J]. 西部探矿工程, 2014, 26(4): 165-169.
GUO Shizhong. Construction method for the anchor block and anchor cable of the Xijiang Super Large Bridge on Nanguang Railway [J]. West-China Exploration Engineering, 2014, 26(4): 165-169.
- [3] 张肇淦, 朱益明, 马培明. 滑坡治理工程中长锚索安全施工方法

- 探讨[J].安全与环境工程,2003,10(3):78-80.
- ZHANG Zhaogan, ZHU Yiming, MA Peiming. Discussion on safety construction method of long anchored cables in landslide control engineering[J]. Safety and Environmental Engineering, 2003,10(3):78-80.
- [4] 孙建华,向军文,王建华,等.长锚索钻孔弯曲的预防与测量[J].探矿工程,1998(1):17-20.
- SUN Jianhua, XIANG Junwen, WANG Jianhua, et al. Prevention and measurement for the deviation of long cable bolt holes [J]. Exploration Engineering, 1998(1):17-20.
- [5] DZ/T 0227—2010,地质岩心钻探规程[S].
- DZ/T 0227—2010, Geological core drilling regulations[S].
- [6] 童强,杨丕祥.贵州烂泥沟金矿大角度斜孔岩心钻探施工实践与认识[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(11):35-38.
- TONG Qiang, YANG Pixiang. Practice and understanding of core drilling construction in large-angle decling hole in Lannigou Gold Deposit of Guizhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(11):35-38.
- [7] 李德新,首照兵,章述.螺杆马达在极倾斜地层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):67-69,73.
- LI Dexin, SHOU Zhaobing, ZHANG Shu. Application of screw motor in extremely inclined formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(2):67-69,73.
- [8] 李寿坤,陆艺.复杂地层中大直径长锚索扩孔引孔跟管施工技术[J].建筑施工,2019,41(9):1603-1605.
- LI Shoukun, LU Yi. Construction technology of large diameter and long anchor cable reaming and guiding hole pipe-following drilling in complex stratum[J]. Building Construction, 2019,41(9):1603-1605.
- [9] JGJ 79—2012,建筑地基处理技术规范[S].
- JGJ 79—2012, Technical code for ground treatment of buildings[S].
- [10] 杨芳,陈师逊.深部地质钻探钻孔结构设计与施工分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):21-26.
- YANG Fang, CHEN Shixun. Analysis of design and construction of deep geo-drilling boreholes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):21-26.
- [11] 孙丙伦,陈师逊,陶士先.复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):13-16.
- SUN Binglun, CHEN Shixun, TAO Shixian. Discussion and practice on wall protection with slurry in deep-hole drilling in complicated formation [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(5):13-16.
- [12] 朱芝同,张化民,宋志彬,等.西成高铁卵漂石地层全套管跟管钻进施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):50-52,56.
- ZHU Zhitong, ZHANG Huamin, SONG Zhibin, et al. Application of drilling with full casing (benote method) in cobble-boulder stratum in Xi'an-Chengdu high-speed rail[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(5):50-52,56.
- [13] 罗宏保,王全成,张勇,等.预应力锚索孔内扩孔工艺的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):44-48.
- LUO Hongbao, WANG Quancheng, ZHANG Yong, et al. Research on pre-stressed anchor cable hole reaming technology [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):44-48.
- [14] 单继安,费汉兵,金平.填充型环氧涂层钢绞线FYM新型预应力锚索[J].岩土锚固工程,2007,19(4):34-39.
- SHAN Ji'an, FEI Hanbing, JIN Ping. New FYM prestressed anchor cable of epoxy filled and coated steel strand [J]. Rock and Soil Anchor Engineering, 2007,19(4):34-39.
- [15] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- JGJ 120—2012, Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S].

(编辑 周红军)