

# 超深涌水水平孔绳索取心钻具投送和打捞技术

石绍云<sup>1,2</sup>, 李杰<sup>3</sup>, 罗显梁<sup>1,2</sup>, 吴金生<sup>1,2</sup>, 黄晓林<sup>1,2</sup>, 唐治建<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734;

2. 中国地质调查局地质灾害防治技术中心, 四川 成都 611734; 3. 四川省水利规划研究院, 四川 成都 611731)

**摘要:**为了精准查明拟建隧道沿线地质情况,通常采用水平孔绳索取心钻探技术。在超深涌水水平孔绳索取心钻进中,投放、打捞内管总成钻具和打捞器是施工中的难题。因此从研制专用水平钻机、选择大功率泥浆泵、封隔分流涌水、设计绳索取心钻具送绳器、定制专用内平绳索取心钻杆等几方面开展研究。全面分析了泥浆泵压力、钻杆内径大小、钻孔深度、钻杆的密封性、钻孔涌水量、涌水压力、孔壁间隙等因素对投送内管总成钻具和打捞器速度的影响,实现了高效、低成本、绿色钻探技术集成。经过精心组织,成功完成了千米级的大涌水水平孔绳索取心钻探施工,精准查明了隧道洞身段工程地质条件,取得了满意的技术效果,为隧道设计和施工提供了安全保障,也为超深涌水水平孔钻探提供了经验。

**关键词:**涌水水平孔;绳索取心钻进;投放钻具;打捞钻具;送绳器

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)11-0001-07

## Running-in-hole and fishing technology for the wireline coring tool in ultra-deep horizontal holes with water gushing

SHI Shaoyun<sup>1,2</sup>, LI Jie<sup>3</sup>, LUO Xianliang<sup>1,2</sup>, WU Jinsheng<sup>1,2</sup>, HUANG Xiaolin<sup>1,2</sup>, TANG Zhijian<sup>1,2</sup>

(1. *Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China;*

2. *Technical Center for Geological Hazard Prevention and Control, CGS, Chengdu Sichuan 611734, China;*

3. *Sichuan Water Conservancy Planning and Research Institute, Chengdu Sichuan 611731, China)*

**Abstract:** In order to accurately find out the geological conditions along the tunnel, horizontal wireline core drilling technology is usually used; however, it is difficult to run drilling tools and fishing tools in ultra-deep water gushing horizontal holes in wireline core drilling. Research was carried out to solve the problem from several aspects, including developing special horizontal drilling rig, selecting the high-power mud pump, sealing off and diverting water gushing, designing the wireline feeder for the wireline drilling tool, custom-making special inner-flush horizontal drilling wireline coring drill rods. The influence factors such as mud pump pressure, drill rod inner diameter size, drilling depth, drill rod water-tightness, drilling water gushing volume, water gushing pressure, borehole annulus, on the speed of running the drilling tools and lifting the fishing gear are comprehensively analyzed. With careful organization, a horizontal hole with large gushing water at the 1000m depth level was successfully completed with wireline core drilling, and with high efficiency and low cost. It also accurately identified the engineering geological conditions along the tunnel, achieving satisfactory technical results. It can provide safety guarantee for tunnel design and construction, and also provide valuable experience for drilling horizontal holes with ultra-deep water gushing.

**Key words:** water gushing horizontal hole; wire line core drilling; run drilling tools; fishing tool; wireline feeder

收稿日期:2021-03-12; 修回日期:2021-08-21 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.11.001

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“怒江流域泸水—芒市段灾害地质调查”(编号:DD20190643)

作者简介:石绍云,男,汉族,1966年生,高级工程师,探矿工程专业,长期从事探矿工艺技术和探矿科研成果转化工作,四川省成都市郫都区现代工业港(北区)港华路139号,649787278@qq.com。

引用格式:石绍云,李杰,罗显梁,等.超深涌水水平孔绳索取心钻具投送和打捞技术[J].钻探工程,2021,48(11):1-7.

SHI Shaoyun, LI Jie, LUO Xianliang, et al. Running-in-hole and fishing technology for the wireline coring tool in ultra-deep horizontal holes with water gushing[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(11):1-7.

## 0 引言

川藏铁路是全世界最难建设的铁路之一,穿越深山峡谷、桥隧比 $>80\%$ ,平均海拔高度 $>3000\text{ m}$ ,建设之前对沿线地质情况勘查尤为重要。由于川藏铁路地理位置、地层等的特殊性,将会有大量的长大隧道,如果从山顶设计垂直勘查孔,钻孔深度大,施工成本高,取得的隧道洞身段资料有限,且很多地方钻探设备难以搬迁运输,容易对本来就非常脆弱的植被造成破坏。基于上述原因,提出采用超长水平定向钻探技术,在隧道进、出口处,设计定向水平钻孔孔深超过 $1000\text{ m}$ ,实现高效、低成本、绿色钻探技术;精准查明工程地质条件,对断层和坍塌体、岩石的稳定性进行评估。由于钻孔的方向与隧道方向一致,水平钻孔取得的洞身段原始资料,为隧道的设计和施工提供了安全保障。预防因前方地质情况不明导致塌方、泥石流、涌水、岩爆冒顶等地质灾害发生,避免给施工单位、国家和人民带来严重的经济损失<sup>[1]</sup>。

我们承担的超深水平孔钻探工程,设计钻孔深度 $1200\sim 1500\text{ m}$ ,设计钻孔顶角 $90^\circ$ ,钻孔方位沿隧道方向,全孔取心,要求地表块石土堆积层的岩心采取率 $\leq 80\%$ ,断层破碎带岩心采取率 $\leq 75\%$ ,完整基岩岩心采取率 $\leq 85\%$ ,孔斜率 $\leq 3^\circ/100\text{ m}$ 。由于此超深水平孔全孔取心和高质量取心的要求,拟采用水平孔绳索取心钻进工艺施工。但根据物探剖面揭示,水平钻探将钻穿2处低阻带,为地下水富集区。根据邻近钻孔资料,所有水平钻孔均有涌水,且涌水量较大。涌水会造成钻具、打捞器和钢丝绳无法送达指定位置等困难。超深涌水水平孔绳索取心钻进技术的关键是解决内管总成钻具的输送和岩心打捞问题。针对上述难题,研制了全液压动力头水平钻机和配套的输送机。

## 1 地层

钻孔位于 $\times\times$ 州 $\times\times$ 县境内,有乡村便道可直达孔位,交通便利,运输较方便,海拔高度在 $3600\text{ m}$ 以上。

钻孔将钻遇的地层岩性为三叠系上统雅江组二段( $T_3y^2$ )绢云板岩、长石石英砂岩和粉砂质板岩<sup>[2]</sup>,少许粉砂岩及断层角砾(Fbr)。

部分变质砂岩、砂质板岩、碎石土等易水化,板理发育,节理裂隙发育,孔内易坍塌掉块<sup>[3]</sup>。整个岩

层较软,岩石的可钻性好。

岩层产状 $N60^\circ E/50^\circ\sim 60^\circ NW$ ,线路走向与岩层近似垂直,有利于钻孔方位控制。

## 2 钻探设备的选择

### 2.1 钻机

选用GXD-5S 1500型全液压动力头式钻机,该钻机由中国地质科学院探矿工艺研究所针对超长水平孔研制。其主要特点是:钻机扭矩大,提升能力强,给进行程长,性能指标见表1。主要研究内容:钻机平台设计研究、变幅机构的优化设计、动力头的设计研究、液压系统设计研究等,满足 $1500\text{ m}$ 水平孔绳索取心钻进要求。

表1 GXD-5S 1500型钻机性能指标  
Table 1 Specification of GXD-5S 1500 drilling rig

钻进能力	钻杆规格	BQ、NQ、HQ、PQ
	钻进深度/m	2000、1700、1200、700
	钻进角度/ $^\circ$	0~90
液压系统	额定压力/MPa	28
	冷却方式	风冷
动力站	型号	康明斯6CTA8.4-240
	额定功率/kW	179
	额定转速/( $r\cdot\text{min}^{-1}$ )	2200
动力	给进力/kN	75
	提拔力/kN	125
	给进行程/m	3.3
	额定扭矩/( $N\cdot\text{m}$ )	3800~4000
整机总质量/t	14	
长 $\times$ 宽 $\times$ 高/m	5.6 $\times$ 2.3 $\times$ 2.3	

钻机采用履带式,行走方便,操作简单,钻机稳定性好。

改进动力头齿轮油箱的润滑和冷却效果,确保钻机动力头正常运转<sup>[4]</sup>。

该钻机采用不同钻杆的设计钻深能力为PQ 700 m、HQ 1200 m、NQ 1700 m、BQ 2000 m。

### 2.2 泥浆泵

在水平孔钻探中,冲洗液除了常规钻进携带岩粉、冷却钻头、润滑钻杆、钻具等作用外,最重要的作用在于输送钻具和打捞器。根据钻孔深度、钻孔直径、涌水量和涌水压力,以及内管总成、打捞器的重力,合理选择泥浆泵成了钻进成功的关键。按照

1500 m 的设计孔深,选择 BW-300/16 型泥浆泵。最大流量 300 L/min,最大泵压 16 MPa(在使用过程中,泥浆泵的最大流量和泵压指标都达不到厂家所标注的数值,所以在选择泥浆泵时,尽量选择比理论计算的数值要大一些)。泥浆泵的性能指标如表 2 所示。

表 2 BW-300/16型泥浆泵性能指标

**Table 2 Specification of BW-300/16 mud pump**

挡位	5挡	4挡	3挡	2挡	1挡
泵速(快)/min <sup>-1</sup>	216	171	110	68	37
流量/(L·min <sup>-1</sup> )	300	235	155	95	52
压力/MPa	4	6	8	13	16
泵速(慢)/min <sup>-1</sup>	161	127	82	50	27
流量/(L·min <sup>-1</sup> )	220	180	115	72	40
压力/MPa	6	7	10	15	16

### 3 技术措施

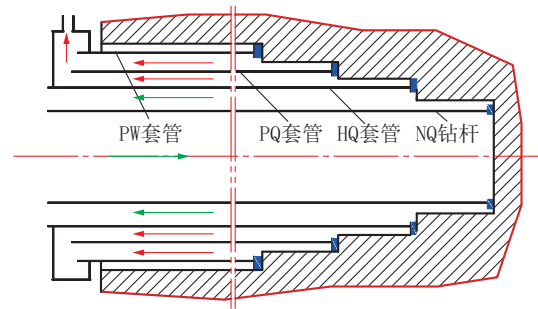
#### 3.1 涌水封隔技术

采用套管隔水法封堵涌水效果非常好。在钻进过程中,通过现场测试,在孔内没有套管的情况下,该孔涌水量达 180 m<sup>3</sup>/h,而下入套管后,涌水量降到 30 m<sup>3</sup>/h,采用套管隔水法降低了涌水量,使钻进和输送钻具的泥浆泵压力大幅降低。

孔内每层套管的环状间隙都有大量涌水返出,如果全部排入泥浆池,将极大地增加冲洗液处理的工作量。通过研制一种孔口分流装置,使返出来的各层涌水与钻进循环使用的冲洗液分别进入不同的通道。套管环状间隙的涌水没有岩屑及泥浆处理剂的污染,可以直接排放;而钻杆内返出来的冲洗液需要进入循环池进行沉淀和处理。涌水和冲洗液通道分流见图 1,孔口装置见图 2。

#### 3.2 钻具、打捞器投放输送技术

水平孔绳索取心钻具和打捞器采用泵压法输送,输送器成为实现水平孔绳索取心钻进工艺的关键技术。因此分别研制了一套钻具总成输送器和打捞器输送器,要求简单易行,性能可靠,成本低廉,操作简便。其中研制的打捞器输送器如图 3 所示。为了在投送过程中使钻具和打捞器同心和平行运动,在钻具和打捞器上分别安装 2 处密封活塞(图中的 B 密封活塞),密封活塞的外径比钻杆内径小 0.5 mm。



← 表示冲洗液通道, 进入循环池

← 表示涌水通道, 直接排放

图 1 地层涌水和钻进冲洗液分流示意

Fig.1 Schematic diagram of formation water gushing and drilling fluid diversion

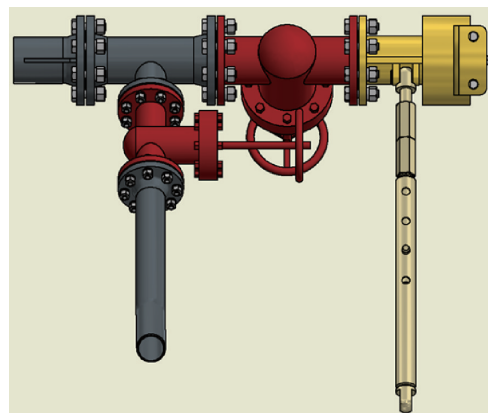


图 2 孔口装置

Fig.2 Wellhead device

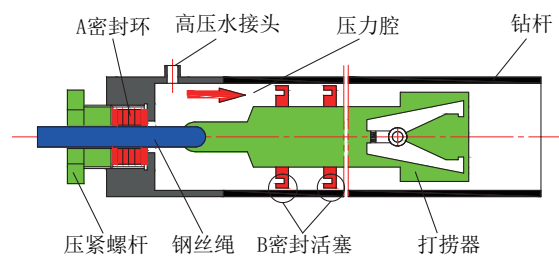


图 3 输送器示意

Fig.3 Schematic diagram of the wireline feeder

输送打捞器时,需要连同打捞器的钢丝绳一起送下去,钢丝绳在绞车上实现自由放绳,同时钢丝绳在送绳器的 A 处既要能自由移动,又要相对密封产生输送压力。泵压在 A 处经常会产生很大程度的泄压,泥浆泵的压力和流量都有明显的下降,造成了投放效率下降,输送时间增长。采用高弹性、高耐磨性、高强度的橡胶制作 A 处的密封环,通过压紧螺杆来调节密封环的压紧程度,可以有效地缓解上述

问题。正常情况下,每钻进3~5个回次,需要更换密封环和密封活塞。

相对来说,输送绳索取心内管总成要简单一些,把A处用端盖完全密封,不留钢丝绳通过的孔位,把B处的密封活塞调节好,给予足够的泵压就可以完成。

### 3.3 测斜输送技术

水平孔测斜时,一旦孔内坍塌掉块,测斜仪器将下不到孔底,甚至被埋在孔里,针对这个问题,设计了专用的水力输送器,依靠冲洗液压力把测斜仪送到指定的测斜位置<sup>[5]</sup>。如果使用陀螺测斜仪,可以在套管里面进行顶角和方位角测量,如果使用磁性测斜仪,就要把测斜仪送到套管以外裸孔段进行测量。

此次采用探矿工艺研究所研制的CAV-1型存储式测斜仪,以三轴加速度计和三轴磁通门传感器作为测量元件,适用于无磁性干扰的钻孔测斜,不需要电缆线来传输数据和提供电源,内置存储单元和锂电池,操作系统是Android智能手机APP;以蓝牙代替数据线实现测斜仪和智能手机间的无线通讯传输,仪器具有精度高、可靠性好、质量轻、配套设备少和操作简便等优点<sup>[6]</sup>。

主要技术指标:顶角范围与精度 $0^\circ\sim 180^\circ\pm 0.2^\circ$ ,方位角范围与精度 $0^\circ\sim 360^\circ\pm 2^\circ$ (顶角 $>3^\circ$ ),工作温度 $-10\sim 75^\circ\text{C}$ ,耐水压25 MPa,探管尺寸(不含附件) $\varnothing 33\text{ mm}\times 1000\text{ mm}$ (外径 $\times$ 长度)。

### 3.4 绳索取心钻杆的选择

水平孔钻进过程中,钻杆在自重的作用下,贴在钻孔底部,回转时摩擦阻力增大,导致水平孔钻杆承受的扭矩比垂直孔钻杆承受的扭矩要大得多<sup>[7]</sup>,要求钻杆有更高的强度和耐磨性。钻杆采用整体热处理,钻杆疲劳强度高,密封性能好。

采用双顶锥螺纹连接,螺纹拧紧时接触面积大,间隙小,螺纹受力均匀,传递扭矩大,密封性能好,而且具有自定心的特点,减少螺纹的拧卸磨损<sup>[8]</sup>。

水平孔钻进,钻杆内壁必须光滑,无需加工接头,钻杆公母丝扣自接,便于内管和打捞器顺利进出,减少输送阻力。

## 4 影响输送钻具速度的主要因素

影响输送时间的主要因素是泥浆泵压力、钻杆内径大小、钻孔深度,其次是钻杆的密封性、钻孔涌

水量、涌水压力等<sup>[9]</sup>。对钻孔施工过程中输送钻具和打捞器的时间进行了统计,统计结果见表3。

表3 输送时间与孔深、压力、钻孔直径统计结果  
Table 3 Delivery time vs hole depth, pressure, and hole diameter

孔深/ m	钻杆 规格	泵压/ MPa	投放内管 时间/min	投放打捞器 时间/min	打捞内管 时间/min
100	PQ	2	9	7	5
200	PQ	2	15	12	10
300	PQ	2.5	22	20	14
400	PQ	3	30	25	18
500	PQ	3	42	40	20
600	HQ	4	42	40	18
700	HQ	4.5	45	42	20
800	HQ	5	50	45	20
900	HQ	5	60	55	20
1000	NQ	5.5	55	40	22
1100	NQ	5.5	58	42	24
1200	NQ	6	60	45	26

从表3可以看出,输送内管总成的时间比输送打捞器的时间长,原因是相对于打捞器,内管总成的质量更大,导致输送阻力更大。

影响打捞内管时间的因素比较少,仅与绞车的动力大小有关,打捞时间仅为投送时间的1/2,最深孔位1200 m的打捞时间 $\nless 30\text{ min}$ 。

输送时间受多方面的影响,可以参照以下公式计算,其中 $\eta$ 值取决于输送器和各类钻杆接头的密封程度,以及投送过程中阻力大小等多方面原因,根据经验取值一般在2~4之间,密封性能越差,阻力越大, $\eta$ 取值越大。

在没有涌水的时候输送时间与孔深和流量的关系按照公式(1)计算:

$$T_1 = \eta \frac{\pi R^2 L}{10^3 Q} \quad (1)$$

在有涌水的时候输送时间与孔深和流量的关系按照公式(2)计算:

$$T_2 = \eta \frac{\pi R^2 L}{10^3 (Q - Q_1)} \quad (2)$$

式中: $T_1$ ——无涌水时输送时间, min;  $T_2$ ——有涌水时输送时间, min;  $L$ ——孔深, m;  $Q$ ——水泵流量, L/min;  $Q_1$ ——进入钻杆内的涌水量, L/min;  $R$ ——



钻杆内半径, mm;  $\eta$ ——系数。

#### 4.1 泥浆泵压力的影响

冲洗液流速度是与管道压力坡度的平方根成正比,其公式可表示为:

$$V = C\sqrt{R_1 J} \quad (3)$$

式中:  $V$ ——管道的断面平均流速;  $C$ ——管道的谢才系数,  $C = (1/n)R^{1/6}$ ;  $n$ ——管道内壁粗糙度;  $R_1$ ——管道的水力半径,  $R_1 = A/X$ ;  $A$ ——过流面积;  $X$ ——湿周, 满管流时  $X$  为管内壁的圆周长;  $J$ ——水力坡度, 当管道为水平布置时,  $J = (P_1 - P_2)/(\rho g L)$ ;  $P_1$ 、 $P_2$ ——分别为管道两端的压力;  $\rho$ ——水的密度;  $g$ ——重力加速度<sup>[10]</sup>。

泵压差越大, 投送速度越快。从表3中可以看出泵压一般保持在2~6 MPa范围。

使用的电子压力表, 通过高压管连接在操作台附近, 便于钻机操作者直观地观察泥浆泵压力, 管路上压力稍有变化, 压力表上即能显示出来, 数值精确到小数点后两位。

#### 4.2 钻杆内径的影响

钻杆内径越小, 输送速度越快。原因是使用的绳索取心钻杆越小, 钻具和打捞器的外径越小、质量越轻, 输送阻力越小, 在相同孔深情况下, 输送速度越快。

其公式表达式为:

$$V = \frac{Q}{\pi R^2} \quad (4)$$

式中:  $V$ ——流速, m/s;  $Q$ ——流量, m<sup>3</sup>/s;  $R$ ——钻杆内半径, m。

#### 4.3 孔深的影响

一般情况下, 在同一钻孔口径里, 输送时间与孔深成正相关, 钻孔深度  $L$  值越大, 所需的时间  $T$  越长, 反之, 则所需的时间越少。从表3可以看出, 孔深100~1200 m, 投放内管时间9~60 min, 投放打捞器的时间7~45 min。

#### 4.4 其他方面的影响

##### 4.4.1 泥浆性能的影响

一开孔深48 m前、涌水量小的情况下使用泥浆钻进。二开后, 经现场测试, 在下入隔水套管的情况下, 钻孔涌水量长期保持在30~60 m<sup>3</sup>/h, 在这么大的涌水量中进行水平孔钻进, 不适于使用泥浆作为冲洗液, 因此改用清水钻进。如果采用泥浆钻进, 一方面泥浆将被大量的涌水稀释, 性能受到严重破坏,

钻进成本将大幅增加; 另一方面泥浆的处理及排放都存在问题。

为了孔内润滑和携带岩粉, 曾尝试添加植物胶和聚丙烯酰胺, 但下放内管和打捞器非常慢, 植物胶和聚丙烯酰胺容易堵在钻具内、外管的间隙和卡簧座与钻头内唇面台阶的位置, 导致泵压急速增高, 对泥浆泵损害大, 同时大幅度降低了钻具和打捞器的投放速度, 施工效率明显下降。

##### 4.4.2 液动冲击器的影响

在投放内管的过程中, 由于液动冲击器的作用, 迫使钻具振动, 一部分高压液流能量产生冲击功, 一部分能量使钻具向前移动, 加快了投放速度, 有利于提高钻进效率。

##### 4.4.3 孔壁间隙的影响

孔壁间隙太小, 冲洗液返出受阻, 泵压升高, 造成泥浆泵工作负荷增大, 另一方面, 进入环状间隙冲洗液流速变慢, 钻具及打捞器投放速度变慢, 严重影响钻进效率。涌水水平孔钻进, 如果是松散破碎地层, 或者易水化膨胀的地层, 钻杆与孔壁环状间隙要保证5 mm; 较完整的地层, 钻杆与孔壁环状间隙要保证3 mm。

#### 4.5 地层压力及孔内压力平衡控制问题

地层压力是指地层孔隙中流体的压力, 水平钻孔中所遇到的地层流体一般都是水, 地层压力实际上是地层水的压力<sup>[11-12]</sup>。

该孔的地层是变质岩, 岩性比较致密, 因多次构造运动, 钻遇多条断层和多处节理发育的破碎带, 静止涌水量大, 经孔口测试, 涌水压力达到1.5 MPa。

钻进时的涌水量与停钻时的涌水量相差较大, 钻进时由于泵压循环, 出现孔内有部分漏失现象, 涌水量变小; 一旦处于停泵状态, 涌水量立即变大。

在施工中, 尽量采用较大的泵压, 以便加快投放速度, 减少投放时间, 但是一定要控制作用在环空的各种压力使其等于或稍大于地层压力, 小于压漏压力<sup>[13]</sup>。否则会造成冲洗液严重漏失、孔内岩粉堆积等事故。

#### 4.6 涌水的好处

在水平孔绳索取心钻进中, 地层涌水并非没有益处。

投放过程中, 由于多方面原因, 造成内管投放不到位, 或者在打捞内管的过程中, 钢丝绳断裂、岩心脱落等事故, 在常规的钻孔中, 只有采取提大钻的方

法来提出内管,捞取脱落的岩心,但在涌水的情况下,通过适当活动钻杆,借助涌水的压力,等待一段时间后(一般20~30 min),内管或者掉落的岩心会从孔内被冲出来,减少了提大钻的麻烦。

## 5 施工效果

(1)钻进各项技术指标满足设计要求,钻孔质量好。

(2)完成1212 m水平绳索取心钻孔施工任务,终孔口径为NQ。钻孔方位偏移率为 $0.42^{\circ}/100\text{ m}$ ,孔斜率为 $0.75^{\circ}/100\text{ m}$ ,岩心采取率97%,机械钻速 $3.09\text{ m/h}$ ,台月效率350 m;创造了国内涌水水平孔绳索取心钻进PQ深度588 m、HQ深度974 m的新纪录。

(3)克服了严重涌水(最大 $180\text{ m}^3/\text{h}$ ),实现高效、低成本、绿色钻探技术,精准查明工程地质条件,为隧道设计提供了安全保障。

(4)开展了水平随钻定向仪器输送固定技术工具的研发。设计定向仪器输送固定机构,在原有钻具总成保持原样不变的情况下,实现有缆随钻定向仪的顺利投放和弹卡定位。

## 6 需要改进的技术措施

(1)水路压力密封问题:涌水水平孔钻进效率低的原因是钻进辅助工作时间多,打捞岩心和投放钻具占总钻进时间比例很大,缩短辅助时间是提高钻进效率的关键措施,特别是对整个水路的密封还需要进一步研究。

(2)内管到位报信敏感性问题:随着孔深的增加,输送阻力越来越大,泥浆泵压力表的数值一直处于较大的范围,即使内管已经被投放到位,压力表读数也没有明显的变化,钻具是否真正到位无法确定,因此,需要优化设计一个敏感性高的到位报信机构。

(3)岩粉排除和憋泵堵塞问题:由于大量涌水,不能使用泥浆作为冲洗液,造成岩粉排除困难,大量岩粉沉淀在钻孔的下半圆,对钻杆磨损严重,沉淀的岩粉容易使钻孔上翘,造成钻孔偏斜。随着岩粉沉降量的不断增加,在松散复杂地层中,还会形成“抱管”状态<sup>[14]</sup>。

(4)解决抽吸问题:在提升内管过程中,当达到一定的提升速度时,内管尾部钻杆内产生负压,致使提升阻力加大,甚至拉断钢丝绳,或中途一旦绳索绞

车停止工作,在抽吸压力作用下,内管反而会向孔底运动。因此,合理设计钻头出刃,保证钻杆与孔壁的间隙,减少负压产生<sup>[15-16]</sup>。

## 7 结语

围绕国家重大工程建设,开展绿色、高效、先进钻探技术集成研究与应用,优化配套设备和工艺,采取“技术创新支撑+工程示范实施”相结合方式,在高山峡谷地区,通过超深涌水水平孔的实施,查明地质资料,为国家重大工程建设提供了技术支撑。

超深涌水水平孔绳索取心钻进,选择钻机、泥浆泵尤为重要,钻机的扭矩和起拔力要比垂直孔大,钻机能力满足超深水平孔钻进要求;泥浆泵除了正常钻进提供冲洗液、抵抗涌水压力以外,还要承担投放钻具、打捞器、测斜仪、定向钻具等任务,因此选择大功率、大泵量的泥浆泵是涌水超深水平孔钻进成功的关键。

输送器同心度高,密封性能好,送绳灵活安全可靠。

孔口分流器和套管隔水装置成功地解决了地层涌水和孔内钻进用冲洗液分流问题,减少了环境污染,工人操作环境干净舒适。

## 参考文献(References):

- [1] 宋先海,顾汉明,肖柏勋.我国隧道地质超前预报技术述评[J].地球物理学进展,2006,21(2):605-613.  
SONG Xianhai, GU Hanming, XIAO Baixun. Overview of tunnel geological advanced prediction in China[J].Progress In Geophysics, 2006,21(2):605-613.
- [2] 梁斌,杨逢清,郭建秋,等.四川雅江县上三叠统雅江组 and 两河口组深水遗迹化石的发现[J].地质科技情报,2003,22(3):41-44.  
LIANG Bin, YANG Fengqing, GUO Jianqiu, et al. Discovery of deep water trace fossils from late triassic Yajiang formation and Lianghekou formation in Yajiang county, Sichuan province [J]. Geological Science and Technology Information, 2003, 22(3):41-44.
- [3] 张卫霞.板岩隧道顺层塌方分析及预防失稳措施研究[J].隧道建设,2017,37(S2):218-224.  
ZHANG Weixia. Study and countermeasure for collapse instability of tunnel in slate[J]. Tunnel Construction, 2017, 37(S2): 218-224.
- [4] 李占锋,翟东旭.CS1000P6L型钻机在地表水平钻孔中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(12):72-75.  
LI Zhanfeng, ZHAI Dongxu. Application study on CS1000P6L

- drilling rig in surface horizontal drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(12):72-75.
- [5] 郝世俊. 煤矿近水平定向钻孔测斜技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2003,30(6):35-36.
- HAO Shijun. Deviation measuring technology used in quasi-horizontal directional drilling hole at coal mines[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2003,30(6):35-36.
- [6] 李忠. 基于PDA和蓝牙的无缆钻孔测斜仪[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010,37(5):49-52.
- LI Zhong. A no-cable borehole inclinometer based on PDA and bluetooth[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(5):49-52.
- [7] 魏欢欢, 殷新胜. 近水平孔坑道用绳索取心钻具[J]. 煤田地质与勘探, 2011,39(3):74-76,80.
- WEI Huanhuan, YIN Xinsheng. Wire-line coring drilling tool and pipe used in nearly horizontal boreholes in tunnel[J]. Coal Geology & Exploration, 2011,39(3):74-76,80.
- [8] 常江华, 凡东, 刘庆修, 等. 水平孔绳索取心钻进技术在金矿坑道勘探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012,39(1):40-43.
- CHANG Jianghua, FAN Dong, LIU Qingxiu, et al. Application of wire-line coring technology in horizontal borehole for exploration in gold mine tunnel[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(1):40-43.
- [9] 黄开明, 左悦林. 香格里拉县普朗铜矿区涌水钻孔钻进工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009,36(2):7-8,11.
- HUANG Kaiming, ZUO Yuelin. Drilling technology for water inrush borehole in Pulang Copper Mining area of Shangrila[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(2):7-8,11.
- [10] 侯腾飞. 基于主动控制技术的空化抑制实验研究[D]. 大连:大连理工大学, 2018.
- HOU Tengfei. Experimental study on cavitation suppression based on active control technology[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2018.
- [11] 刘广志, 等. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社, 1991.
- LIU Guangzhi, et al. Handbook of Diamond Drilling[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991.
- [12] 林伟川, 冯春珍, 赵惠, 等. 低孔隙度低渗透率储层孔隙压力流体评价方法[J]. 测井技术, 2006,30(4):334-337.
- LIN Weichuan, FENG Chunzhen, ZHAO Hui, et al. A technique of pore hydro pressure identification for low permeability and low porosity reservoirs[J]. Well Logging Technology, 2006,30(4):334-337.
- [13] 潘荣山. 杏南地区提高调整井古井质量研究[D]. 大庆:大庆石油学院, 2006.
- PAN Rongshan. Research on improving cementation quality of adjustment well in Xingnan area[D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2006.
- [14] 张海亮. 泥浆对水平孔岩屑运移影响分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009,36(5):16-18.
- ZHANG Hailiang. Analysis on influence of mud to cutting movement in horizontal hole[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(5):16-18.
- [15] 汤凤林, 沈中华, 段隆臣, 等. 关于钻探工程中洗孔工艺的分析研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018,45(9):5-11.
- TANG Fenglin, SHEN Zhonghua, DUAN Longchen, et al. Analytical research on flushing technology in drilling engineering[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(9):5-11.
- [16] 许启云, 牛美峰, 方意平, 等. 绳索取心钻进技术在水平钻孔中应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014,41(12):34-36.
- XU Qiyun, NIU Meifeng, FANG Yiping, et al. Application of wire-line coring drilling technology in horizontal well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(12):34-36.

(编辑 荐华)