

# 高放废液处置场选址勘察特大构造破碎带的钻进工艺

员建峰, 洪波, 宫玉奎, 李宝辉

(天津华北地质勘查局核工业二四七大队, 天津 301800)

**摘要:**高放废液处置的特殊性决定了它对选址勘察中钻探施工有极其严苛的要求。在钻探工艺方面受到了多方面的限制,对钻探施工影响极大,尤其是遇到特大构造破碎带、地层极为复杂的情况下,对钻探是极大的考验。在甘肃北山 BS02 号孔施工中,通过采用多种不同技术措施,钻穿了十月井特大构造破碎带和复杂地层,满足了设计要求,保证了工程质量和水文地质试验效果。

**关键词:**高放废液处置场;勘察;钻探;构造破碎带;复杂地层;坍塌掉块

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2015)02-0041-04

**Drilling Technology for Location Investigation of Deposit Site of High-radioactive Waste Fluid in Tectonic Fracture Zone/YUAN Jian-feng, HONG Bo, GONG Yu-kui, LI Bao-hui(247 Nuclear Industry Brigade of Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 301800, China)**

**Abstract:** The particularity of high-radioactive waste fluid deposit determines the very strict requirements on the drilling construction for the location investigation of deposit site, especially in the exceptional large scaled tectonic crushed zone and complicated geological conditions. During the drilling operation of BS02 in Beishan of Gansu, many different technical measures were used, the large tectonic crushed zone and complicated formation were drilled through for Shiyuejing construction to meet the design requirements and ensure the engineering quality and hydrogeological test effect.

**Key words:** deposit site of high-radioactive waste fluid; investigation; drilling; tectonic crushed zone; complicated strata; collapse and block falling

## 1 概述

高放废液的处置,为避免高放废液放射性污染和对生态环境的影响,对其处置场的选址工作要求极高。因此在场址选址勘察施工中,对勘察的钻探施工技术方法、质量及水文地质工作也极为严格。不管是否遇到复杂地层,均不允许使用泥浆钻进护壁和套管隔离护壁,也不允许采用套管和灌注水泥进行封堵或隔离,只允许采用清水钻进,对钻探施工工艺给出了诸多的限制条件,给钻探施工带来了极大的难度。我们在甘肃北山地区某高放废液处置场的选址 BS02 孔勘察施工中,遇到了地质条件十分复杂、地层极为破碎的特大构造破碎带,在不允许护壁和堵漏的情况下,采取多项措施,终于钻穿 155.43~391.20 m 孔段的 235.77 m 厚十月井特大构造破碎带,该特大构造破碎带走向为北东向约 250°,倾角约 70°~80°,斜孔钻进,终孔孔深 502.15 m,获取了准确的第一手地质和水文数据,各项指标均达到了设计要求。

## 2 施工目的

通过钻探,了解十月井岩体的深部地质环境特征;采集岩心和地下水样,了解裂隙特征,地质构造特征,深部岩石的岩石学、矿物学和地球化学特征,岩石力学特征,地下水化学特征;通过水压致裂方法求取深部地应力参数,通过抽水、压水试验求取水文地质参数;通过地球物理测井,了解岩性分布、裂隙变化及岩石的物理特征。

## 3 地层概况

场地中十月井构造断裂带从钻孔附近地表穿过,走向为北东向约 250°,倾角约 70°~80°,钻孔设计方位角为 340°,倾角 78°,钻孔斜穿十月井构造。原地质设计预计在孔深 400 m 以下穿过十月井构造,预计穿过厚度为 10 m,其余为完整地层。实际施工中在 155.43 m 就遇见厚度达 235.77 m 的十月井特大构造破碎带,其他孔段遇见多条破碎带。

地层岩层主要为英云闪长岩、花岗岩、花岗闪长岩和伟晶岩。浅部较完整地层岩石坚硬,可钻性级别

为10~11级,中、深部地层由于十月井断裂构造带通过,地层岩石坚硬且极为破碎,全孔很少见完整岩心(见图1)。孔壁坍塌、掉块、缩径、流砂和漏水严重,钻进极为困难,在冲洗液的使用和护壁、堵漏等技术手段和方法被严格限制的条件下,钻进难度极大。



图1 构造破碎带取出的岩心

#### 4 钻探主要技术、质量要求

(1)孔深: $\leq 500$  m;(2)孔斜:钻孔倾角 $78^\circ$ ,方位角 $340^\circ$ ,孔斜要求 $<1.5^\circ/100$  m,方位角 $<3^\circ/100$  m;(3)岩心采取率:全孔取心,完整孔段 $>90\%$ ,构造破碎带 $>80\%$ ;(4)孔径要求:0~100 m孔段孔径150 mm,做完抽水试验后下 $\varnothing 146$  mm套管,用油井水泥固井;100~500 m孔段 $\varnothing 95$  mm,下花管后做抽水试验;(5)孔壁要求:光滑、平整,不允许有探头石,保证各项测井试验顺利进行;(6)孔深误差:每百米孔深误差 $<0.5$  m,特殊地段每50 m校正孔深,遇换径、岩性变换带、构造断裂地段立即校正孔深;(7)冲洗液及冲洗介质要求:清水冲洗,不允许使用泥浆,不能进行护壁堵漏,冲洗介质中添加甲方提供的示踪剂。

#### 5 钻探施工的主要难点

(1)原地质设计只是在开孔后的浅部地层穿过约10 m厚的构造破碎带,但实际构造破碎带在中深部且厚达235.77 m,在冲洗液被严格限定为清水的条件下,产生大孔段的严重坍塌、掉块并有流砂层,又不允许采用泥浆进行护壁,导致钻进十分困难。

(2)钻孔口径级配不合理。0~100 m孔段要求孔径为150 mm,100~500 m孔段要求孔径为95 mm裸孔到终孔,二者之间相差三级口径,不允许中间加套管,加之岩石硬度高,需大钻压才能破碎岩石,设计又是斜孔,钻具在大钻压下弯曲严重,钻具回转极不稳定,钻进困难,孔斜也难以保证。

(3)岩心采取率要求高,需穿过特大构造破碎

带,地层十分破碎,需特别注意并采取有效措施才能达到。

(4)钻孔漏失,不允许堵漏,孔内失去水柱压力使孔壁的不稳定性增大。

(5)要求清水钻进,护壁困难,由于采用HQ绳索取心钻具钻进,皂化油等润滑性能好的润滑剂被严格禁止使用,钻具回转阻力极大,开不了高转速,钻进效率低。

## 6 钻进工艺

### 6.1 上部坚硬地层钻进工艺方法

第四系地层以下自9.80~90.50 m为英云闪长岩和花岗岩,主要成分为石英、钾长石、斜长石、黑云母,花岗结构,块状构造,并有多层石英脉,石英脉厚度0.5~2.2 m不等。此层为特别坚硬岩层,可钻性级别达11级,主要岩性为英云闪长岩(见图2、图3),钻进困难。



图2 78.32~83.62 m孔段英云闪长岩



图3 82.4 m处英云闪长岩

#### 6.1.1 钻进技术

0~100 m孔段要求 $\varnothing 150$  mm口径,做完抽水试验后下入 $\varnothing 146$  mm套管用油井水泥固井隔离。根据口径要求,开孔采用 $\varnothing 172$  mm口径,钻穿9.80 m厚第四系地层入下 $\varnothing 168$  mm套管后,换 $\varnothing 150$  mm口径钻进。

由于上部100 m口径大,地层岩石的硬度大、强度高,进尺困难,采用 $\varnothing 150$  mm口径纯钻时效仅0.26 m,钻进效率极为低下,且岩心难以拔断,提钻取心时频繁发生钻杆丝扣根部拔断和丝扣被拔坏事故,因此,改为采用 $\varnothing 95$  mm口径绳索取心钻具钻进基孔,然后逐级扩孔至 $\varnothing 150$  mm口径。虽然缩小了基孔口径,但是当转速为486 r/min、钻压 $<35$  kN时,进尺极为缓慢或基本不进尺;由于钻孔口径较

大,在大钻压下钻杆的弯曲挠度很大,钻杆震颤严重,并因为0~60、60~100 m需进行两段抽水试验,为取到自然条件下的水样,保证水质化学元素分析成果的准确性,只允许使用清水钻进,不能添加皂化油等润滑剂,因此,在大钻压下钻具回转阻力大,转速开不上去,经过反复试验探索后,选用的钻进规程参数为:钻压40~45 kN,转速250 r/min,泵量80~150 L/min。纯钻时效提高到0.6 m,100 m以浅孔段平均时效0.55 m。

因为甲方对钻孔口径设计要求,钻孔结构不尽合理,地表第四系地层下入 $\varnothing 168$  mm套管,其下为 $\varnothing 150$  mm口径,在100 m以浅孔段的基孔钻进时和扩孔成 $\varnothing 150$  mm口径后至其下的整个孔段采用 $\varnothing 95$  mm口径绳索取心钻具钻进,级差相差3~4级,又不能下入中间套管,以免套管被岩粉固死而不能拔出,不能进行水文试验(水文试验孔段不能被套管隔离)及口径不符合设计要求而使钻孔报废。因该孔段孔径增加较大,过水断面面积增大,在钻进过程中,当冲洗液上返至该孔段流速突然变慢,使得较粗颗粒的岩粉在此孔段徘徊难以返出孔口,给钻进带来较大的安全隐患,特别是发生断钻杆等事故时,岩粉沉淀而造成埋钻,增加了事故的处理难度,在钻进过程中应特别加以注意。钻进中应采用较大泵量,但因绳索取心钻具过水断面较小,泵量受到限制,只能选用中等泵量,选用的泵量为: $\varnothing 95$  mm口径70~120 L/min,扩孔钻进100~180 L/min。

### 6.1.2 钻头的选用

由于地层岩石的硬度和强度极高,加之口径较大,钻进所需钻压大,钻杆弯曲挠度大,产生震颤严重,钻进效率和钻头寿命极低,钻头磨损极快。选用了几个厂家的钻头进行钻进试验,胎体硬度HRC30~42,金刚石粒度有46、60、70、80目和混合粒度的,金刚石强度JR3、JR4、JR5,金刚石浓度100%、85%、75%的多种参数均进行试验,效果不理想。在20~30 m孔段,连续19个钻头下孔后工作层很快被磨蚀掉,总进尺仅5.01 m,纯钻时14.17 h,钻头平均寿命0.264 m,平均时效0.354 m,有12个不同参数的钻头连续下孔总进尺仅1.61 m,12个钻头全部便报废,最低寿命仅进尺0.05 m,钻头寿命和钻进效率都极其低下。

现场分析认为,其原因主要是:一是岩石硬度高且破碎,研磨性较高,对钻头磨损大;二是孔径大

( $\varnothing 168$  mm套管),加压大,大压力导致钻杆弯曲大,回转极不稳定,钻头在孔底受交变应力和震动,钻头极易磨蚀和损坏;三是斜孔加大了钻杆的弯曲和震动,使钻头更易磨损。

通过现场原因分析和钻头选型试验与统计,选用的金刚石钻头参数为:胎体硬度HRC38~40,金刚石粒度60目或46~60目混和粒度,金刚石品级为JR5型,金刚石浓度为85%的钻头较适宜。在钻进过程中,适当减小钻压,在钻杆震颤不太严重的情况下适当提高转速。选用了相对适宜参数的钻头后,在50~100 m孔段钻头寿命提高到10.21 m,纯钻时效也达到0.87 m,钻头寿命和钻进效率均得到了较大的提高。较顺利地完成了100 m以浅地层的钻进工作,扩孔后进行抽水试验,然后下入 $\varnothing 146$  mm套管到100 m深度用油井水泥进行固井。

0~100 m及100 m以深孔段 $\varnothing 95$  mm口径金刚石钻头使用情况统计见表1。

表1  $\varnothing 95$  mm口径金刚石钻头使用情况统计

孔段/m	使用钻头/个	总进尺/m	钻进时间/h	平均寿命/m	平均时效/m
0~101	37	97.92	179.50	2.65	0.55
101~154	6	52.84	53.67	8.80	0.98
154~502.15	12	342.12	333.92	28.51	1.03
全孔	55	492.88	567.09	8.96	0.87

## 6.2 中下部复杂地层钻进工艺

此孔原设计在400 m深度后遇十月井断裂构造,预计斜穿断裂构造带厚度约10 m。设计方要求清水钻进,不允许泥浆钻进和采取其它如水泥灌注等护壁与堵漏措施,因此施工难度大。

实际施工中,100 m以深孔段采用HQ绳索取心钻具钻进,钻进至孔深150 m后,因钻进所需钻压大,清水做冲洗液钻具回转阻力太大,钻进效率十分低,经我方要求,甲方同意使用十二烷基苯磺酸钠作减阻剂,加量为1%,减小了钻具回转阻力,提高了转速,使钻进效率得到了提高。

在155 m以深孔段钻进中,遇到多孔段、多层位的构造泥、构造破碎岩、岩石碎粒和流砂等破碎地层,在155.43 m孔深遇十月井断裂构造直至391.20 m,厚度达235.77 m,此段全部为构造泥、岩石碎块、碎粒及流砂(见图4、图5),其中215~216.7 m及223.5~225 m有两层流砂层,扫孔时主动钻杆提上来就下不去,连0.8 m长的短钻杆都加不进去,反复扫孔均

无效果,因只允许用清水做冲洗液,无法护壁,又不允许使用水泥封堵,只好采用取粉管捞砂,连续捞砂7天,因流砂层厚度大且连通性强,构造的倾角又大,仍无任何效果。与设计方几次协商仍不同意采用泥浆护壁或水泥护壁,无奈之下采用扩孔办法,从100 m处扩孔成 $\varnothing 110$  mm口径,深度至225 m,下入 $\varnothing 108$  mm花管125 m将该段隔离,恢复钻进。



图4 构造破碎带



图5 构造破裂岩带

钻进至237 m以深,地层仍十分破碎,237 ~ 253.6 m全部为岩石碎粒和构造泥,钻孔坍塌、缩径,抱钻现象十分严重,埋钻、抱钻和卡钻现象频繁发生,难以继续钻进。经反复与设计方协商沟通,我方提出采用优质泥浆进行护壁,不然无法钻进,甲方经多次调研后终于同意采用优质泥浆做冲洗液。我们根据此孔地层的具体情况,采用的泥浆配方为:优质粘土粉+ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +PAM+CMC+KHm;泥浆性能为:密度 $1.08 \sim 1.10 \text{ g/cm}^3$ ,粘度 $20 \sim 23 \text{ s}$ 、失水量 $10 \text{ mL}/30 \text{ min}$ 。由于优质泥浆的使用,钻探施工恢复正常。

由于下部地层构造泥厚度大,造浆十分强烈,且地层和构造泥中大量含砂,钻进过程中泥浆粘度和含砂量增加极快,需密切关注和控制泥浆性能的变化。为加强泥浆的净化除砂工作,现场配置一台除砂器,分离清除泥浆中的砂和有害固相含量。每班对泥浆进行2~3次测试和调配,不允许往循环泥浆中添加清水,只能添加已调配好的新稀泥浆进行稀释,并搅拌均匀,充分保证了泥浆的良好性能,顺利钻至502.15 m终孔。

钻至设计孔深终孔后,为保证钻孔达到设计要

求,满足水文地质试验要求及其它各项测试试验的进行,清除干净因泥浆钻进的孔壁泥皮和水力通道的堵塞,在214.0 ~ 386.02 m下入 $\varnothing 89$  mm花管172.02 m,386.02 ~ 502.01 m下入 $\varnothing 73$  mm花管115.99 m护壁,以保证后续试验和钻孔的利用。

下好花管后,进行 $\text{CO}_2$ 洗井,以清除因泥浆钻进引起的水力堵塞,下钻具至450 m,总放喷时压力为5 MPa,共用去30瓶液态 $\text{CO}_2$ ,进行2次放喷洗井,满足了水文地质试验的要求。

## 7 钻孔主要质量指标完成情况

终孔孔深512.15 m;孔斜:孔底顶角 $11.9^\circ$ 、方位角 $343^\circ$ ,孔底偏斜距离3.00 m;岩心采取率:完整段99.47%、破碎段86.94%、全孔平均91.85%;终孔孔深误差0.03 m;钻孔口径和下入的花管数量、口径、深度符合设计要求;洗井及抽水等水文试验达到要求,经甲方检查验收BS02孔被评为优质孔。

## 8 结语

由于高放废液处置场的特殊性和选址要求对钻探施工工艺方面的严格限制,使得钻探工作的难度极大,尤其是在遇到大构造破碎、地层极其复杂的情况下,对钻探施工是一项极大的挑战和考验。在工艺技术方法严格受限条件下,需采用多种方法来解决孔内复杂地层对钻探的影响。在北山BS02号孔施工中,通过采取多种方法克服各种难题,终于达到并满足了各项技术质量指标和水文地质方面的要求,取得了满意的效果。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张云峰,张敏,郝峰.新疆准东煤田复杂地层钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(12):6-8.
- [3] 张元清,宋健.长白矿区复杂地层多金属矿深孔施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(12):13-16.
- [4] 武汉地质学院,等.钻探工艺学[M].北京:地质出版社,1980.
- [5] 尹建国,刘青山,夏文彬.塞上矿区复杂地层钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):42-45.
- [6] 罗治奇.中放废液处置场强自然造斜地层钻进的防斜纠斜[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(12):9-12.
- [7] 王文忠.金刚石绳索取心钻探工艺钻探深孔实际应用总结[J].有色矿冶,2006,22(6):9-11.
- [8] 张伟,王达,刘跃进.深孔取心钻探装备的优化配置[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(10):34-38,41.