

# 青海省都兰县五龙沟矿区坑道钻探工艺研究

徐国辉<sup>1</sup>, 万道含<sup>1</sup>, 杨树强<sup>2</sup>, 高元宏<sup>1</sup>

(1. 青海省第二地质矿产勘查院, 青海 西宁 810000; 2. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**针对青海五龙沟矿区 3320 平硐 89 线中段布设的坑道钻孔 (SZZK8905、孔深 700.20 m) 在钻探施工中遇到的憋泵、孔壁坍塌、缩径、回次进尺少、岩心采取率低等问题, 在钻机选取、钻孔结构设计、破碎带取心技术、钻井液等方面开展坑道钻探工艺研究, 成功完成了该孔的钻探任务。

**关键词:**坑道钻探; 绳索取心; 钻探工艺; 钻井液; 五龙沟矿区

**中图分类号:** P634.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)11-0034-04

**Study on Tunnel Drilling Technology for Wulonggou Mining Area of Dulan County in Qinghai/XU Guo-hui<sup>1</sup>, WAN Dao-han<sup>1</sup>, YANG Shu-qiang<sup>2</sup>, GAO Yuan-hong<sup>1</sup>** (1. The Second Geology and Mineral Exploration Institute of Qinghai Province, Xining Qinghai 810000, China; 2. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

**Abstract:** According to the pump blocking, hole collapse, diameter shrinkage, short footage per round trip and low core recovery appeared in the tunnel drilling of SZZK8905 which was in Wulonggou mine area in Dulan County of Qinghai with 700.20m in depth, the study on tunnel drilling was carried about rig selection, borehole structure design, coring technology in fracture zone and drilling fluid, and this hole drilling was successfully completed.

**Key words:** tunnel drilling; wire-line coring; drilling technology; drilling fluid; Wulonggou mining area

东昆仑造山带是一个经历多期构造活动的复杂造山带, 是青藏高原北部重要的成矿地质构造单元, 蕴藏着非常丰富的矿产资源<sup>[1-2]</sup>。五龙沟金矿位于青海省柴达木盆地南缘、青藏高原北部东昆仑山中段北缘五龙沟地区, 行政区划隶属青海省海西州都兰县, 是青海省地质矿产调查工作中发现的一个具有潜力的中大型矿床, 被认为是青海省最具资源潜力的金矿集中区之一。

五龙沟矿区地形复杂, 山势陡峭险要, 地貌属深切切割高山区, 海拔在 3000 ~ 4500 m 之间, 相对高差在 800 m 以上<sup>[3]</sup>。由于矿区地形切割大, 许多在地表布设的钻孔因修路难度大、修路工期长、施工难度大等因素而选择布置在矿区坑道内。

本文针对五龙沟矿区 3320 平硐 89 线中段布设的 SZZK8905 钻孔特点, 开展坑道钻探工艺研究, 对该地区的地质找矿工作具有十分重要的意义。

## 1 区域地质概况

### 1.1 地层概况

五龙沟矿区出露的地层主要有: 下元古界金水

口群 (Pt<sub>1j</sub>)、中元古界小庙群 (Pt<sub>2</sub>)、上元古界丘吉东沟群 (Pt<sub>3q</sub>)、下古生界奥陶系祁曼塔格群变火山岩组 (Oq<sup>b</sup>) 和第四系 (Q)<sup>[4]</sup>, 地层岩性见表 1。

表 1 地层岩性

| 地 层                                  | 岩 性 描 述                            |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 下元古界金水口群 (Pt <sub>1j</sub> )         | 黑云斜长片麻岩、角闪黑云斜长片麻岩、镁质大理岩等, 具有混合岩化特征 |
| 中元古界小庙群 (Pt <sub>2</sub> )           | 斜长片麻岩、黑云母斜长片麻岩夹大理岩透镜体、斜长角闪片岩等      |
| 上元古界丘吉东沟群 (Pt <sub>3q</sub> )        | 片理化变质砾岩、砂砾岩、千枚岩夹大理岩及结晶灰岩等          |
| 下古生界奥陶系祁曼塔格群变火山岩组 (Oq <sup>b</sup> ) | 灰绿色变安山质火山角砾岩、片理化安山岩、凝灰质板岩、硅质板岩等    |

### 1.2 构造特征

区内断裂构造极为发育, 褶皱变形强烈, 按断裂走向可划分为 NWW 向、NW 向、NNW 向以及 SN 向、NE 向和近 EW 向等 6 组<sup>[5]</sup>。其中, NWW - EW 向断裂, 具有切割深、延伸长、长期活动的深断裂特征, 控制了区域地质构造演化及地层、岩浆岩、矿产的形成和分布, 是构造单元的分界。主要有昆北断裂带、昆中断裂带和昆南断裂带<sup>[3,6]</sup>, 见图 1。

收稿日期: 2015-03-15; 修回日期: 2015-08-19

作者简介: 徐国辉, 男, 汉族, 1979 年生, 生产办副主任, 一分院院长, 工程师, 探矿工程专业, 从事小口径岩心钻探生产技术与管理工作, 青海省西宁市城北区朝阳西路 43 号, 17977049@qq.com。

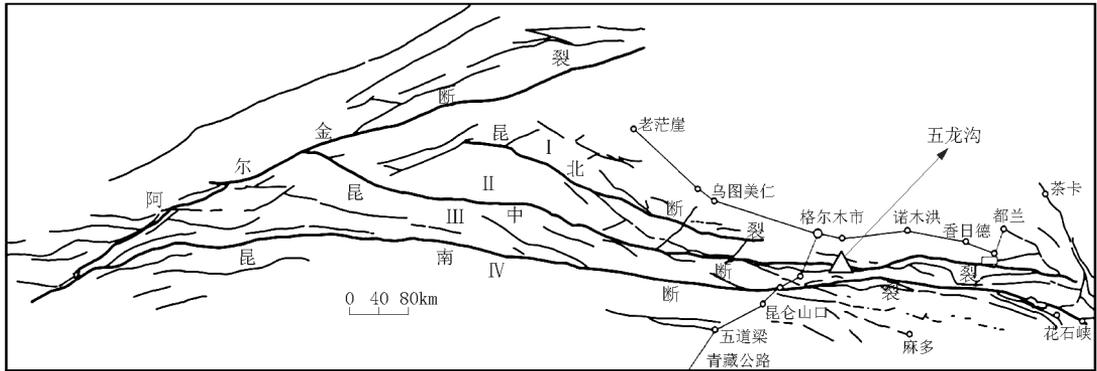


图 1 东昆仑断裂带及构造分区略图

### 1.3 岩浆活动

矿区内岩浆活动强烈,岩浆岩广布,以晚元古代、古生代的中酸性侵入岩为主。矿区发育外滩超基性—中性岩浆岩,呈岩株和岩枝(脉)两种产态,为本区金成矿提供了物质及动热来源<sup>[7]</sup>。

## 2 矿区钻进难点

矿区地层受东昆仑断裂构造带的影响,地层条件极其复杂,在钻进过程中存在的钻进难点主要有:

- (1) 孔壁岩石破碎,易掉块,甚至产生坍塌现象,孔壁不稳定;
- (2) 地层中含有断层泥,易造成孔壁缩径,憋泵现象严重;
- (3) 钻进水敏性地层时,钻头糊钻现象严重,易造成烧钻事故;
- (4) 由于地层破碎,回次进尺少,常规取心难度大,岩心采取率低。

## 3 坑道钻探施工工艺

### 3.1 钻孔参数设计

2010年,在五龙沟矿区 3320 平硐 89 线中段内布设了 SZZK8905 钻孔,由于矿区地层条件复杂,施工难度较大,该孔在外协单位施工过程中遭遇钻偏、取心不足等问题并先后挪孔 3 次,皆以钻孔报废而终止。至 2012 年,五龙沟矿区进入详查阶段,为达到地质找矿目的,进一步探明矿产储量,重新启动该孔的钻探施工任务,钻孔参数设计如下:孔号 SZZK8905、设计孔深 650 m、钻孔倾角 88°、方位角 206°43'。

### 3.2 钻机选择

在坑道中实施钻探工作,由于坑道空间狭小,不

易布置钻孔,决定了坑道钻探不能使用大型钻探设备。另外,若机场面积太大,坑道四周的围岩就需要特殊支护,并且考虑到钻机在运行过程中振动对周围岩体产生不利影响,易带来一系列安全隐患问题。五龙沟矿区 3320 平硐 89 线横截面尺寸为:高 1.8 m × 宽 2.0 m,开辟出的钻机机场空间大小为:高 6.7 m × 宽 6.0 m × 长 6.0 m (见图 2)。

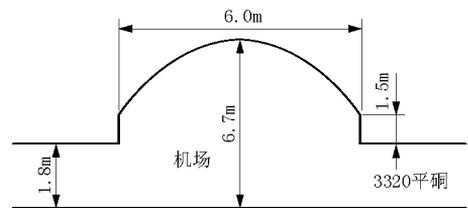


图 2 机场断面布置图

综合考虑坑道机场大小与钻孔深度等因素,结合青海省第二地质矿产勘查院钻探设备尺寸大小及施工能力,最终选用宝长年 LM-75 型坑道钻机来完成此次钻探任务。该钻机主要性能参数见表 2。

表 2 LM-75 型钻机性能参数

|                           |             |      |
|---------------------------|-------------|------|
| 钻进角度/(°)                  | 0~360       |      |
| 钻进深度/m                    | HQ          | 600  |
|                           | NQ          | 1020 |
|                           | BQ          | 1320 |
| 转速/(r·min <sup>-1</sup> ) | 1450(50 Hz) |      |
|                           | 1750(60 Hz) |      |
| 最大扭矩/(kN·m)               | 3.9         |      |
| 给进行程/m                    | 1.83        |      |
| 给进压力/kN                   | 61          |      |
| 提升拉力/kN                   | 123.4       |      |
| 副卷扬容量(∅6 mm)/m            | 1000        |      |
| 钻机尺寸(高×宽×长)/m             | 6.5×1.5×3.0 |      |

### 3.3 钻孔结构

由于坑道内地表岩石为完整基岩,无第四系覆盖

层,故 SZZK8905 钻孔全孔段采用绳索取心工艺钻进,采用三开式孔身结构:

(1) 开孔使用 HQ 金刚石绳索取心钻进,钻进 9 m 后,下入 HQ 系列孔口管;

(2) 换用 NQ 金刚石绳索取心钻进,直至达到钻机的最大实际钻深能力;

(3) 最后使用 BQ 金刚石绳索取心钻进至终孔。

若使用 NQ 钻进可以达到终孔设计目的,则尽量不用 BQ 钻进,因为 BQ 系列钻杆与内管总成之间的环状间隙较小,回次取心后内管投放速度慢,耗费的时间较长<sup>[8-9]</sup>。若钻杆内壁结垢,则内管在投放跟提拉的过程中更易受阻,往往造成内管投放不到位打单管、副卷扬钢丝绳被拉断等现象。

实践表明,LM-75 型钻机使用 NQ 系列钻具钻进至 535.20 m 时,在钻杆柱的自重作用下,卡瓦已经不能对钻杆形成有效夹持力(高原环境下,钻机损耗部分动力),不得已情况下只能换用 BQ 系列钻具继续钻进,并将 NQ 系列钻杆作为套管使用。在钻进达到设计孔深 650.0 m 后,由于未达到预期找矿目的,继续钻进至 700.20 m 终孔。SZZK8905 钻孔结构见图 3。

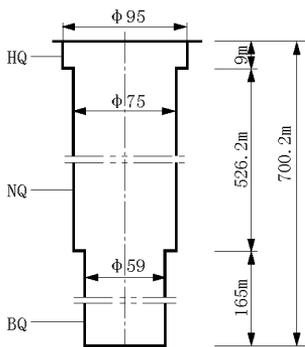


图3 SZZK8905 钻孔结构示意图

### 3.4 破碎带取心技术

SZZK8905 孔全孔段使用 Q 系列金刚石绳索取心技术的方法,在钻进过程中钻遇破碎带地层时易产生憋泵、回次进尺少、岩心采取率低、钻进效率低等问题,无法发挥绳索取心钻进的优越性。

因此,在施工中优先考虑了针对破碎地层使用的绳索取心液动冲击器,以期解决岩心采取率低及钻进效率低等问题。现场实践证明,绳索取心液动冲击器对冲洗液的固相含量及颗粒大小要求较高,当固相含量 > 2% 或固相颗粒 > 74  $\mu\text{m}$  时,冲击器易受卡导致不工作。在金刚石小口径钻探中常采用自然沉淀法

去除岩粉,此方法无法及时有效地除去钻井液体系中的大颗粒等无用固相,不能满足液动冲击器实际工作的需要,最终未采用液动冲击器。

分析发现,破碎地层钻进回次进尺少、憋泵、岩心采取率低等问题与钻进参数(钻压、转速、泵量)有很大关系。钻压过大,在钻头压入地层的同时,产生的岩石碎屑易堵入卡簧座与钻头内台阶之间的间隙,从而造成憋泵、回次进尺少。泵量太大,加大对破碎岩心的冲刷作用,降低了岩心采取率。

为了提高岩心采取率、提高钻探效率,减少冲洗液对破碎岩心的直接冲刷,通过改变钻头的水路结构来达到预期目的,特委托厂家加工了底喷式绳索取心钻头(见图 4)。

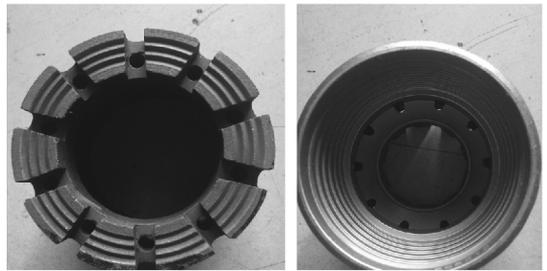


图4 底喷式钻头

钻头特点:钻进时将内管卡簧座(卡簧座不带水口)与钻头内台阶的距离缩短甚至顶死,钻井液从卡簧座与钻头内壁之间的 10 个水眼直接流入孔底,减少了对岩心的直接冲蚀,同时也解决了憋泵问题(见图 5)。

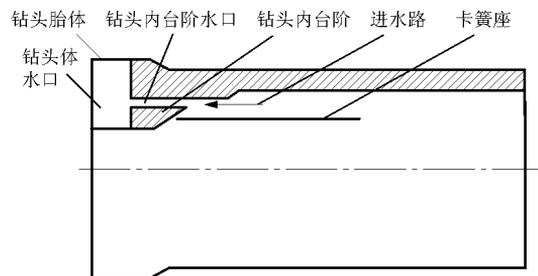


图5 底喷式钻头剖面

实践表明,底喷式钻头结合相应的钻进参数(破碎地层钻进、NQ 绳索取心段):钻压 5 ~ 8 kN、转速 500 ~ 700 r/min、泵量 30 ~ 50 L/min,有效地解决了破碎带钻进效率低与岩心采取率低的问题。需要注意的是在钻进过程中不进尺的情况下应立即捞取岩心,防止岩心被磨损。钻进工艺改变前后破碎地层的取心效果对比见表 3。

表3 工艺改变前后破碎地层取心比较(NQ 绳索取心段)

| 钻 进 工 艺              | 钻 进 参 数 |                           |                           | 回次进尺/<br>m | 岩心采<br>取率/% | 小时效<br>率/m | 憋泵<br>情况 |
|----------------------|---------|---------------------------|---------------------------|------------|-------------|------------|----------|
|                      | 钻压/kN   | 泵量/(L·min <sup>-1</sup> ) | 转速/(r·min <sup>-1</sup> ) |            |             |            |          |
| 常规 NQ 系列金刚石绳索取心      | 10~12   | 40~70                     | 600~1000                  | 0.2~0.5    | 70          | 0.5        | 易憋泵      |
| 底喷式钻头 + NQ 系列金刚石绳索取心 | 5~8     | 30~50                     | 500~700                   | 1.2~1.5    | 95          | 2.0        | 无        |

### 3.5 钻井液体系研究

#### 3.5.1 无固相防塌钻井液

SZZK8905 钻孔先后经过 3 次施工均报废,施工队伍主要采用单一的无固相聚丙烯酸酰胺钻井液,钻井液性能及钻进效果很不理想。鉴于前期施工中遇到的地层情况及钻进难点,兼顾金刚石绳索取心钻进特点,在总结以往经验基础上,本次施工采用无固相防塌钻井液体系。

钻井液配方:1 m<sup>3</sup> 水 + 0.05% 聚丙烯酰胺( PHP) + 0.5% 高粘羧钾基纤维素钠( HV - CMC) + 2% 植物胶 + 1% 无荧光润滑防塌剂 + 0.1% 烧碱。

通过室内实验测得该配方钻井液性能参数如下:漏斗粘度 23.4 s,表观粘度 9.5 mPa·s,塑性粘度 7.5 mPa·s,动切力 2 Pa,动塑比 0.27,失水量 11.6 mL/30 min,密度 1.015 g/cm<sup>3</sup>,pH 值 10.5。

现场应用发现,该配方钻井液具有较好的流变性能,并且对破碎地层起到一定的防塌效果,同时对弱水敏地层具有一定的抑制作用,能保证金刚石绳索取心钻进充分发挥其优越性,实现高转速钻进。在 0 ~ 613.20 m 孔段钻进中,顺利穿过了遇到的复杂地层。

#### 3.5.2 低固相钾基钻井液

SZZK8905 孔在 613.20 m 后钻遇灰黑色断层泥(见图 6),最厚处达 25.20 m,之后断层泥与灰白色糜棱岩化斜长花岗岩交替出现,钻进过程中憋泵、缩径现象严重,并伴有坍塌现象,成为 613.20 ~ 700.20 m 孔段最大的技术难题,严重影响了钻进效率。

因此,根据地层情况及时调整了钻井液配方,采用低固相钾基钻井液体系。要求钻井液具有低滤失量、低渗透性、抑制性好、防塌效果好等性能,同时又要满足 BQ 金刚石绳索取心钻进要求的固相含量低、避免钻杆内壁结垢的特点。通过实验研究分析,确定了低固相钾基钻井液配方:1 m<sup>3</sup> 水 + 3% 钠基膨润土 + 2% KCl + 1% 磺化沥青 + 0.5% 高粘羧甲基纤维素钠( HV - CMC) + 0.02% 聚阴离子纤维素( PAC - 141) + 0.1% 烧碱。

测试了该钻井液性能如下:漏斗粘度 32.39 s,



图6 灰黑色断层泥

表观粘度 17.5 mPa·s,塑性粘度 14 mPa·s,动切力 3.5 Pa,动塑比 0.25,失水量 8.75 mL/30 min,密度 1.03 g/cm<sup>3</sup>,pH 值 9.5。

现场应用发现,该配方钻井液成功抑制了孔壁断层泥水化膨胀、缩径、坍塌问题,有效避免了钻杆内壁结垢现象,在 613.20 ~ 700.20 m 孔段的断层泥地层中,岩心采取率达 85% 以上。

## 4 结语

(1) 五龙沟矿区坑道 SZZK8905 钻孔施工难度大,前 3 次均以失败告终,第 4 次施工克服了一系列技术难题钻进至 700.20 m 终孔,创下了青海省第二地质矿产勘查院坑道钻探最深纪录,为五龙沟矿区地质找矿提供了宝贵的原始资料。

(2) 该孔在作业空间狭小的情况下,采用宝长年 LM-75 型坑道钻机、底喷式钻头、全孔段 Q 系列绳索取心钻进技术,平均岩心采取率 > 98%,实测钻孔顶角与设计值之差 4.2°,被评定为优质钻孔。

(下转第 45 页)

## 8 存在工程技术问题

(1) 由于设备功率一定,井下工具抗压能力有限,这就决定了高压软管在地层穿越时的水平度,目前所能达到的最大压力是 105 MPa。

(2) 连续管长,液体压力传输距离长,压力损耗大,到喷射钻头压力不足以破岩钻进,高压软管的刚性准直强度也随之下降。

(3) 水平井眼长度不能达到设计要求,主要是由于连续管下放速度慢,高压软管自重,后喷嘴对井眼冲蚀严重,径向水平井眼直径变大,导致反作用力变小,无法推动钻头前进。

## 9 结语

径向水平射井在施工中可控制大概钻进方向,能够代替侧钻、分支孔和水平井的部分功能,施工周期短、费用低、污染小。

在煤矿注浆堵水方面可实现水平定向沟通裂隙,尤其在直孔或分支孔漏水的情况下可进行多分支喷射,也可以进行深部酸化、定向压裂,降低注浆压力,提高堵水效果,也作为地热井增大水量的一种手段。

## 参考文献:

- [1] SY 5727—2007,井下作业安全规程[S].
- [2] SY 5225—2005,石油天然气钻井、开发、储运防火防爆安全生产技术规程[S].
- [3] SY/T 6690—2008,井下作业井控技术规程[S].
- [4] Q/SH 0098—2007 油气水井井下作业井控技术规程[S].
- [6] MT/T 1042—2007,煤田地质勘探钻孔工程质量标准[S].
- [7] DZ/T 0080—2010,煤炭地球物理测井规范[S].
- [8] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [9] 郭再峰. 煤矿矿井水净化处理与回灌治理技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(12):79-82.
- [10] 张义,鲜保安,孙粉锦,等. 煤层气低产井低产原因及增产改造技术[J]. 天然气工业,2010,(6):55-59,127-128.

- [4] 陆露,张延林,吴珍汉,等. 青海省都兰县五龙沟金矿主断裂带断层泥 K-Ar 定年[J]. 地质力学学报,2013,(4):385-391,446.
- [5] 张廷斌,钟康惠,易桂花,等. 东昆仑五龙沟金矿集中区遥感地质信息提取与找矿预测[J]. 地质与勘探,2009,(4):444-449.
- [6] 孙王勇,孟军海,王成栋,等. 东昆仑东段深大断裂的新认识[J]. 物探与化探,2007,(5):408-413,439.
- [7] 李厚民,沈远超,胡正国,等. 青海东昆仑五龙沟金矿床成矿条件及成矿机理[J]. 地质与勘探,2001,(1):65-69.
- [8] 李振学. 南坪矿区复杂地层深孔钻进技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11):12-15.
- [9] 董国明,郑思光,赵志杰. 河北省古马铁矿深孔岩心钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):26-30.

## (上接第 37 页)

(3) 针对不同地层岩性特点,分别采用无固相防塌钻井液、低固相钾基钻井液体系,有效解决了钻进过程中憋泵、孔壁缩径、坍塌、岩心采取率低等问题。

## 参考文献:

- [1] 范丽琨,蔡岩萍,梁海川,等. 东昆仑地质构造及地球动力学演化特征[J]. 地质调查与研究,2009,(3):181-186.
- [2] 古凤宝. 东昆仑地质特征及晚古生代—中生代构造演化[J]. 青海地质,1994,(1):4-14.
- [3] 易桂花. 东昆仑五龙沟金矿集中区化探异常与遥感异常响应及成矿预测[D]. 四川成都:成都理工大学,2011.

## (上接第 40 页)

(5) 钻进中如发现在某一孔段有 2~3 次断钻杆事故发生,就应及时处理,不要等到出现更大事故时再处理。在钻孔结构允许条件下,下入次一级套管穿过该层段,换下一级钻具钻进。当孔壁超径严重时(“肚子”很大),可采用水泥封孔方法处理,但需掌握好透孔时间,避免透偏孔。

## 参考文献:

- [1] 张元清,巫向辉. 吉林壳牌合资公司油页岩项目钻探及钻井液配置技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(1):15-17.
- [2] 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):15-17.
- [3] 张元清,吕洪富,陈伟,等. LW400-NY 型离心式除泥机在钻探施工中的应用[J]. 吉林地质,2007,26(2):82-83.
- [4] 苏长寿,谢文卫,杨泽英,等. 系列高效液动锤的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):27-31.
- [5] 于保国,耿印,于志坚,等. 御道口油页岩矿区钻井液的研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(11):10-13.
- [6] 周亮. 煤系地层护壁堵漏钻井液配制技术探讨[J]. 中国煤炭地质,2009,(9):73-74.
- [7] 杨泽英. SYZX75 型绳索取心液动锤的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):73-74.
- [8] 胡继良,陶士先,纪卫军. 破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):30-32.
- [9] 王建华,苏长寿,左新明. 深孔液动潜孔锤钻进技术研究与应用[J]. 勘察科学技术,2011,(6):59-64.