

# 分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置的研发与应用

聂新明

(中化地质矿山总局河北地质勘查院,河北 石家庄 050031)

**摘要:**在钻探施工过程中,由于工程要求,必须对钻孔做孔口压水试验,根据钻孔吸水量、压力数据,检验钻孔的漏失及其他情况。传统孔口压水试验使用的孔口装置,必须把孔内钻具提出孔外,严重地影响工程施工进度。分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置的研发,可在不提钻的情况下完成孔口压水试验作业,大幅度缩短施工工期,减轻工人的劳动强度,减少安全事故的发生,对钻探工程工具有一定的经济价值和现实意义。本文详细介绍了研制的分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置的结构、工作原理及使用方法,并与传统孔口压水装置进行了试验对比,验证了分体式不提钻孔口压水试验孔口装置工作的可靠性及优势。

**关键词:**分体式;不提钻;钻孔压水试验;孔口装置;上接头;下接头

**中图分类号:**P641.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)03-0051-06

## Development and application of split type wellhead device for water injection test without tripping the drill string

NIE Xinming

(Hebei Geological Exploration Institute of CCGMB, Shijiazhuang Hebei 050031, China)

**Abstract:** According to the project requirements, wellhead water injection tests need to be conducted in the drilling process to detect its leakage and other failures based on the water absorption of boreholes and the pressure data. In the conventional way of wellhead water injection tests, drilling tools should be lifted out of the borehole, which severely affects the construction schedule. The development of the split type wellhead device allows the test to be done without lifting the drill string up, which is of great economic value and practical significance as it saves time, reduces labor intensity and safety accidents. This paper introduces the structure, working principle and application of the split type wellhead device developed for water injection tests without tripping the drilling string, and compares it with the conventional wellhead water injection devices through tests to verify its reliability and advantages.

**Key words:** split type; without tripping; boerhole water injection test; wellhead device; upper sub; lower sub

### 1 分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置的研发背景

随着无线随钻测量(MWD)技术的发展,随钻定向钻进技术<sup>[1-2]</sup>逐渐成熟,地面定向多分支钻孔注浆工艺在煤田奥灰水害地面区域治理方面<sup>[3-4]</sup>开始广泛应用,地面定向水平分支注浆钻孔即先在地面施工一个垂直钻孔(主孔)达到一定的设计深度,然后应用无线随钻测量(MWD)技术进行造斜进入奥灰顶部设计的目的层后,根据具体带压开采条件及含水层富水性选择奥灰顶部(一般奥灰顶面下不

大于 50 m)或大清灰岩含水层,变为多个水平或似水平分支孔钻进,沿钻孔轨迹最大限度揭露奥陶系灰岩裂隙及区内构造带,通过高压注浆对钻孔揭露的裂隙、断层、陷落柱等导水构造进行封堵,切断突水通道,保证深部开采工作面的安全。

2017 年 7 月我院与兄弟单位合作共同承揽了“冀中能源股份有限公司东庞矿北井 9400 采区奥灰含水层区域注浆改造一期钻探工程”施工任务,根据《冀中能源集团有限责任公司水害地面区域治理管理规定》,地面定向多分支注浆钻孔在钻进过程中,

收稿日期:2018-07-31; 修回日期:2018-12-28 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.03.010

作者简介:聂新明,男,汉族,1965 年生,高级工程师,探矿工程专业,从事探矿工程工作,河北省石家庄市长安区勘院路 18 号,2663527618@qq.com。

引用格式:聂新明.分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置的研发与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(3):51-56.

NIE Xinming. Development and application of split type wellhead device for water injection test without tripping the drill string[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(3):51-56.

长距离出现孔内泥浆不消耗时或泥浆消耗量 $<5\text{ m}^3/\text{h}$ 时,每隔 $50\sim 80\text{ m}$ 应进行孔口高压压水试验,根据试验结果,确定注浆参数<sup>[5-6]</sup>。由小泵量开始压水,若无压力,需要保证压水量大于孔内容积2倍才能停止压水,由 $30\text{ m}^3/\text{h}$ 泵量开始注浆;若压水过程中有压力,压力上升快,最小泵量压水时压力仍大于受注含水层最大静水压力的2倍,说明该孔段吸浆量很小,则不需要注浆,可以继续钻进,进行下一孔段施工。

正在施工的注浆孔,做孔口压水试验<sup>[7-10]</sup>,使用传统的孔口装置,需要把孔内钻具全部提出孔外,地面定向水平多分支注浆钻孔一般情况下设计孔深大,大多在 $1500\sim 2000\text{ m}$ ,提、下钻需要耗费大量时间,为了减少提、下钻次数,缩短施工工期,减轻工人的劳动强度,我们研发出一套分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置,使用此装置做孔口压水试验,根据试验的结果作出判断,有压力继续钻进,无压力提钻注浆。大幅度加快了施工进度。

## 2 工程施工对钻孔压水试验孔口装置的要求

### 2.1 工程施工对钻孔压水试验孔口装置的基本要求

- (1)能够密封钻孔,使整个钻孔形成一个密闭的容腔。
- (2)必须有向孔内压水或注浆的通道。
- (3)能够采集到反映出钻孔内漏失情况的压水试验数据。

### 2.2 工程施工对不提钻钻孔压水试验孔口装置的要求

- (1)能够满足工程施工对钻孔压水试验孔口装置的3项基本要求。
- (2)要求能够实现内外双重连接与密封。外能够与孔内套管相连并密封;内能够与孔内钻具相连接并密封。
- (3)具有足够的强度,承载起孔内所有钻具的重力。
- (4)连接、拆装方便,性能可靠。

## 3 传统钻孔压水试验孔口装置的结构及工作原理

该装置主体是用与孔内型号相同的套管加工而成,下端加工成套管公扣与孔内套管相连接,上端焊接盲板,实现对钻孔的密封;盲板上开孔装压力表,

采集压水试验孔内数据;主体旁边开侧孔焊接压水(注浆)管接头,用以连接压水或注浆泵。结构如图1所示。

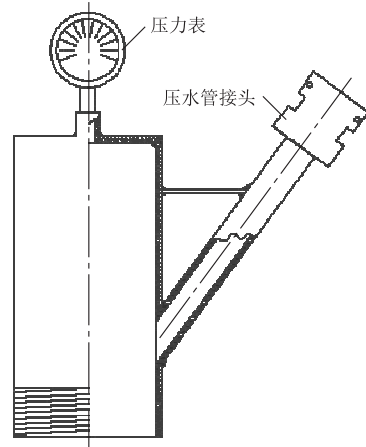


图1 传统钻孔压水试验孔口装置结构

Fig.1 Structure of wellhead device for conventional water injection test

## 4 分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置的结构<sup>[11-12]</sup>

分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置,设计为上下两部分,用法兰连接成一个整体,如图2所示。

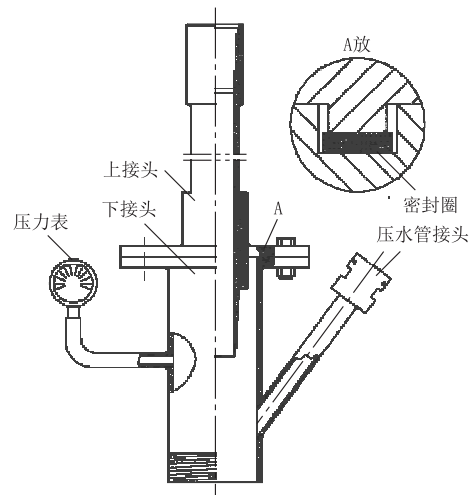


图2 分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置结构图

Fig.2 Structure of split type wellhead device for water injection test without tripping the drill string

分体的目的—是为了拆装方便,二是为克服孔内套管与孔内钻具不同心时的丝扣连接问题。

此装置可分解为上接头和下接头两部分。上接头上有钻杆母接头可与主动钻杆相连,下有钻杆公接头可与孔内钻杆相连;下接头下有套管公扣与孔

内套管相连,下接头侧面装有压力表和注水管接头,压力表用以采集压水试验数据,注水管接头实际应用时安装有注水阀门,连接压水或注浆设备;上下接头用法兰连接,法兰要选用加重法兰,螺丝用高强度螺丝,要求能够承受 16 MPa 以上的抗拉强度,上下法兰加工有子母口,母口内置 O 形密封圈,用来压水密封。

### 5 分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置的现场安装及使用方法

压水试验前,将钻具提离孔底,卸开主动钻杆,把装置下接头和 O 形密封胶圈一同套过孔内钻杆,与孔内套管连接,连接时丝扣处缠绕生料带以确保密封;装置上接头下端与孔内钻杆连接,上端与主动钻杆连接紧密后,转动钻具与下接头法兰对接,用螺丝紧固,完成安装作业。

钻杆外压水作业时,压水管与注水管阀门连接,主动钻杆上的高压胶管管汇阀门关闭,保证孔内密

封,实施压水试验,通过压力表获取孔内资料数据。

此装置也可进行钻杆内压水试验,管路连接方式相同,关闭注水管阀门,保证孔内密封,打开与主动钻杆连接的高压胶管管汇阀门,用生产泵实施压水作业,通过压力表获取孔内资料数据。

## 6 两种钻孔压水试验孔口装置在工程中的应用

### 6.1 工程实例概况

“冀中能源股份有限公司东庞矿北井 9400 采区奥灰含水层区域注浆改造一期钻探工程”项目是一项通过多分支水平井注浆方式,降低井下采掘期间水害威胁风险的工程<sup>[13-14]</sup>。本工程共设计 DB1、DB2 两个地面主孔,31 个水平或似水平分支孔。其中,DB1 孔由 1 个直井段,1 个造斜段,16 个分支孔(W1、W2...W16)构成;DB2 孔由 1 个直井段,1 个造斜段,15 个分支孔(E1、E2...E15)构成。设计钻探工作量 2.3 万 m。工程施工设计井身轨迹平面投影示意图如图 3 所示。

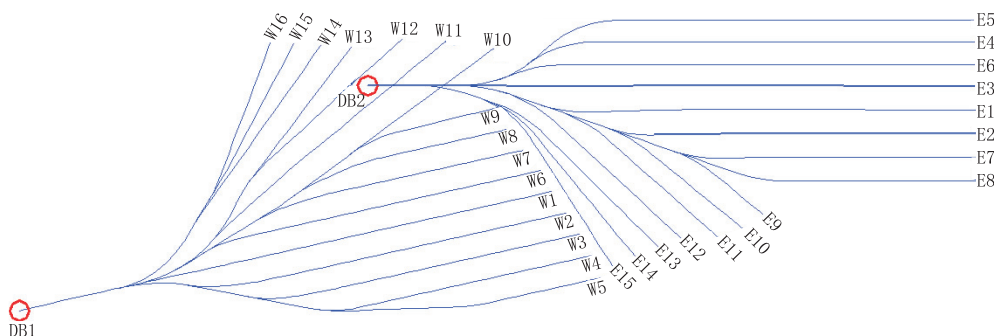


图 3 工程施工设计井身轨迹平面投影  
Fig.3 Plane projection of design borehole trajectory

### 6.2 钻孔结构

本工程 2 个主孔钻孔结构相同,均为四级结构:设计一开采用  $\varnothing 444.5$  mm 钻头开孔进入基岩层段 10 m,下入  $\varnothing 339.7$  mm $\times$ 9.65 mm 石油地质套管,用水泥做永久性固管;二开采用  $\varnothing 311.1$  mm 钻头开孔施工至 2 号煤采空区底板下 20 m,下入  $\varnothing 244.5$  mm $\times$ 8.89 mm 石油地质套管,用水泥做永久性固管;三开进入造斜段,采用  $\varnothing 215.9$  mm 钻头施工至奥灰顶界面以下 2 m,下入  $\varnothing 177.8$  mm $\times$ 9.19 mm 石油地质套管,用水泥做永久性固管;四开采用  $\varnothing 152.4$  mm 钻头裸孔钻进,进入奥陶系灰岩顶界面下 25 m,进行水平或似水平分支孔钻进(见图 4)。钻进过程中若遇到断层、陷落柱等地质构造导致井眼漏失时,起钻注浆封堵漏失层段<sup>[15]</sup>。

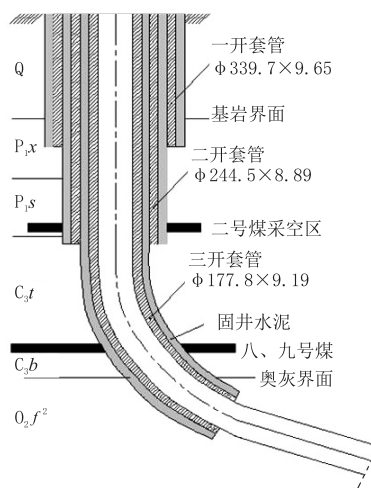


图 4 DB1 (DB2) 孔钻孔结构  
Fig.4 Structure of DB1 (DB2) borehole

待注浆完成后下钻扫水泥,继续钻进直至终孔。每级入井套管均为“通天”套管。

### 6.3 主要施工设备及器具

根据设计情况,选择适合的施工设备,主要有:TSJ3000/445型钻机、A31-135型井架、3NB500型泥浆泵、2PNL30-80型振动筛台、多种功率的电动机、发电机组、PMWD-C1型无线随钻测斜仪以及其他辅助设备器具。

### 6.4 两种孔口压水试验装置应用效果对比

目前该项目正在施工中,两地面主孔和DB2-E3、DB2-E5、DB2-E4三个水平定向分支孔已经施工结束。DB2-E3和DB2-E5两分支孔每钻进80m段,通过提钻,下潜水泵抽水洗井,使用传统孔口装置进行孔口压水试验(见图5),完成钻孔施工;DB2-E4分支孔每钻进80m段,在不提钻情况下,通过施工用的泥浆泵进行注水洗井,使用分体式不提钻孔口压水试验孔口装置进行孔口压水试验(见图6),完成钻孔施工。现在对孔径、孔斜、孔深、穿过的地层最相似,地理位置最接近,最有可比性的DB2-E5和DB2-E4两个分支孔(见图7)进行对比。为了便于比较,DB2-E5和DB2-E4两个分支孔都从同一孔深(DB2-E4侧钻点,孔深820m处)进行统计,试验结果见表1,表2。

对表1、表2进行分析:DB2-E5统计孔段长为990.6m,DB2-E4统计孔段长为970.25m。根据钻孔钻进过程中,长距离出现孔内泥浆不消耗(正常消耗)或泥浆消耗量 $<5\text{ m}^3/\text{h}$ 时,每隔50~80m应进行孔口高压压水试验的要求,DB2-E5采用传统钻孔压水试验孔口装置进行压水,共计进行压水试验12次,平均每次耗时14.39h;DB2-E4使用分体式不提钻孔口压水试验孔口装置进行压水,



图5 传统钻孔压水试验孔口装置工作现场  
Fig.5 Drilling field of conventional wellhead device for water injection test



图6 分体式不提钻孔口压水试验孔口装置工作现场  
Fig.6 Drilling field of split type wellhead device for water injection test without tripping the drill string

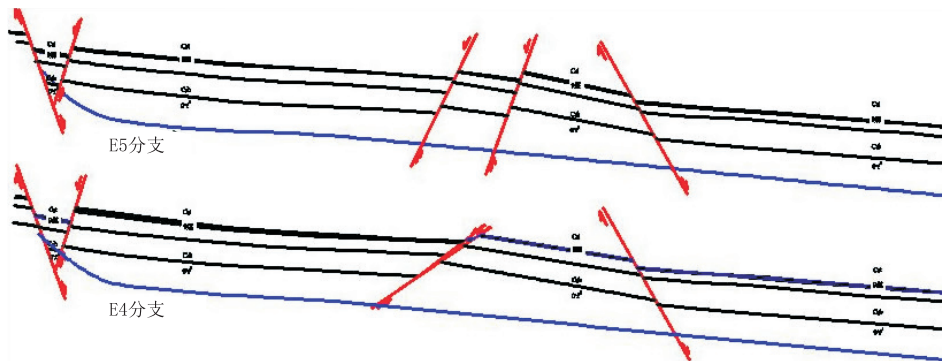


图7 E4、E5分支孔实钻轨迹剖面  
Fig.7 Drilling trajectory profile of E4 and E5 branch borehole



表 1 DB2-E5 分支孔提钻压水试验统计

Table 1 Statistics of water injection test with tripping the drill string in DB2-E5 branch borehole

孔深/ m	冲洗液消耗/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	提钻用时/ h	装孔口装置用时/ h	压水用时/ h	拆孔口装置用时/ h	下钻用时/ h	压水结论	下一步工作安排
900.00	正常	4.0	1	1	1	3.0	不需注浆	继续钻进
980.36	正常	4.2	1	1	1	3.2	不需注浆	继续钻进
1059.36	正常	4.5	1	1	1	3.5	不需注浆	继续钻进
1137.96	正常	5.0	1	1	1	3.8	不需注浆	继续钻进
1217.96	正常	5.2	1	1	1	4.0	不需注浆	继续钻进
1297.16	正常	5.5	1	1	1	4.5	不需注浆	继续钻进
1376.06	正常	6.0	1	1	1	5.0	不需注浆	继续钻进
1456.09	正常	6.2	1	1	1	5.5	不需注浆	继续钻进
1493.35	正常	6.3	1	1	1	6.0	不需注浆	提钻注浆
1528.59	35.9	6.5				6.5	需要注浆	提钻注浆
1608.70	正常	6.8	1	1	1	7.0	不需注浆	继续钻进
1634.05	46.1	6.8				8.0	需要注浆	提钻注浆
1662.81	28.5	7.0				8.2	需要注浆	提钻注浆
1742.35	正常	7.2	1	1	1	8.5	不需注浆	继续钻进
1810.60	正常	7.5	1	1	1		不需注浆	终孔
每次压水试验平均耗时/h						14.39		

表 2 DB2-E4 分支孔不提钻压水试验统计

Table 2 Statistics of water injection test without tripping the drill string in DB2-E4 branch borehole

孔深/ m	冲洗液消耗/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	装孔口装置用时/h	压水用时/h	拆孔口装置用时/h	压水试验结论	下一步工作安排
896.08	正常	1	1	1	不需注浆	继续钻进
982.36	正常	1	1	1	不需注浆	继续钻进
1059.04	正常	1	1	1	不需注浆	继续钻进
1135.71	正常	1	1	1	不需注浆	继续钻进
1221.99	正常	1	1	1	不需注浆	继续钻进
1289.06	正常	1	1	1	不需注浆	继续钻进
1336.91	5	1	1	1	需要注浆	提钻注浆
1423.16	正常	1	1	1	不需注浆	继续钻进
1451.92	>55				需要注浆	提钻注浆
1535.10	正常	1	1	1	不需注浆	继续钻进
1621.38	正常	1	1	1	不需注浆	继续钻进
1790.25	17				需要注浆	提钻注浆
每次压水试验平均耗时/h				3		

共计进行压水试验 10 次,平均每次耗时 3 h。试验结果表明,使用分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置比使用传统钻孔压水试验孔口装置进行孔口压水试验平均一次可节省提、下钻时间 11.39 h,DB2-E4 分支孔共计节省提、下钻时间 113.9 h。

分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置在“冀中能源股份有限公司东庞矿北井 9400 采区奥灰含水层区域注浆改造一期钻探工程”项目后续 28 个水平分支孔的应用,平均每孔使用 10 次,大约可节省提、下钻时间 3190 h,可以大幅度缩短施工工期,获得巨大的经济效益。

## 7 结论

(1)分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置具有结构简单、装卸方便等特点,目前正在申请专利。

(2)分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置研发成功后,在“冀中能源股份有限公司东庞矿北井 9400 采区奥灰含水层区域注浆改造一期钻探工程”项目中首次应用,使用效果十分理想,受到建设方高度评价。

(3)分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置,适用于有套管固井的各种口径钻孔孔口压水试验。

(4)使用分体式不提钻钻孔压水试验孔口装置,在不提钻的情况下完成孔口压水试验作业,可大幅度缩短施工工期,减轻了工人的劳动强度,可减少安全事故的发生,对钻探工程施工具有重大经济价值和现实意义。

## 参考文献(References):

[1] 王宗有, 乔生贵, 陈刚, 等. 大雪山煤矿有线随钻定向钻进技术应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(1): 4-8.  
WANG Zongyou, QIAO Shenggui, CHEN Gang, et al. Application of cabled directional drilling technology in Daxueshan Coal Mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(1): 4-8.

[2] 邹道全. 受控定向钻井技术在福建马坑矿区的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(1): 75-79.  
ZOU Daoquan. Application of controlled directional drilling technology in Makeng Mining Area[J]. Exploration Engineer-

- ing (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(1): 75-79.
- [3] 赵庆彪. 奥灰岩溶水上带压开采区域超前治理防治水技术[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(S1): 232-236.  
ZHAO Qingbiao. Technology of regional advance water prevention and control applied to pressurized coal mining above Ordovician limestone karst water[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2014, 10(S1): 232-236.
- [4] 赵鹏飞, 赵章. 地面水平分支孔注浆超前治理奥灰底板突水技术[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(6): 122-125.  
ZHAO Pengfei, ZHAO Zhang. Ordovician limestone floor inrush water advance treatment technology with surface horizontal branch borehole grouting[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(6): 122-125.
- [5] 杨志斌, 董书宁. 压水试验定量评价注浆效果研究[J]. 煤炭学报, 2018, 43(7): 2021-2028.  
YANG Zhibin, DONG Shuning. Study on quantitative evaluation of grouting effect by water pressure test[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(7): 2021-2028.
- [6] 杨志斌, 董书宁. 压水试验定量评价单孔注浆效果影响因素分析[J]. 煤矿安全, 2018, 49(6): 187-194.  
YANG Zhibin, DONG Shuning. Influence factors analysis of quantitative evaluation of single borehole grouting effect by water pressure test[J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(6): 187-194.
- [7] 刘明明, 胡少华, 陈益峰, 等. 基于高压压水试验的裂隙岩体非线性渗流参数解析模型[J]. 水利学报, 2016, 47(6): 752-762.  
LIU Mingming, HU Shaohua, CHEN Yifeng, et al. An analytical model for nonlinear flow parameters of fractured rock masses based on high pressure packer tests[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(6): 752-762.
- [8] 黄震, 姜振泉, 曹丁涛, 等. 基于钻孔压水试验的岩层阻渗能力研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(S2): 3573-3580.  
HUANG Zhen, JIANG Zhenquan, CAO Dingtao, et al. Study of impermeability of rock stratum based on water injection test[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(S2): 3573-3580.
- [9] 黄震, 姜振泉, 孙强, 等. 深部巷道底板岩体渗透性高压压水试验研究[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(8): 1535-1543.  
HUANG Zhen, JIANG Zhenquan, SUN Qiang, et al. High-pressure water injection tests on permeability of deep rock mass under tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(8): 1535-1543.
- [10] 王锦国, 周志芳, 黄勇. 基于压水试验资料的岩体透水性分形特征研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, (4): 562-565.  
WANG Jinguo, ZHOU Zhifang, HUANG Yong. Study on permeability of rock mass based on water pressure test data by using fractal theory[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, (4): 562-565.
- [11] 陶士先, 纪卫军, 胡继良, 等. 一种地质钻探用可调孔口密封装置: 中国, CN201220163706.6[P]. 2012-12-05.  
TAO Shixian, JI Weijun, HU Jiliang, et al. A kind of geological drilling with adjustable orifice sealing device: China, CN201220163706.6[P]. 2012-12-05.
- [12] 田玮, 张杰, 罗元斌, 等. 一种井下注浆孔口装置: 中国, CN201720506435.2[P]. 2017-12-05.  
TIAN Wei, ZHANG Jie, LUO Yuanbin, et al. A borehole grouting orifice device: China, CN201720506435.2[P]. 2017-12-05.
- [13] 李光宏. 东庞煤矿 DB2-E5 井侧钻水平钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(7): 52-55, 69.  
LI Guanghong. Sidetracking horizontal drilling technology in Well DB2-E5 of Dongpang Coal Mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(7): 52-55, 69.
- [14] 王永全, 周兢. 钻探技术在煤矿水害防治工作中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(11): 35-41.  
WANG Yongquan, ZHOU Jing. Application of drilling technology in coal mine water hazard control[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(11): 35-41.
- [15] 刘伟, 李海伟. 动水注浆技术在奥陶系灰岩含水层的应用[J]. 西部探矿工程, 2014, 26(2): 110-112.  
LIU Wei, LI Haiwei. Application of dynamic water grouting technique in Ordovician limestone aquifer[J]. West-China Exploration Engineering, 2014, 26(2): 110-112.

(编辑 韩丽丽)