

煤矿井下复杂地层近水平钻孔绳索取心 钻进工艺试验研究

郝永进, 赵江鹏

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要:针对煤矿井下钻孔常规单管取心存在取心率低、效率低下、工人劳动强度大,煤层底板复杂地层以清水为冲洗介质的近水平绳索取心钻进成孔困难等问题,选用适合绳索取心钻进工艺的坑道钻机及配套近水平绳索取心钻具,配合合理的工艺流程进行试验。现场共施工了 3 个钻孔,成孔 2 个,孔深分别为 151.5、194.5 m;岩心采取率分别为 77%、89%,比单管取心提高 24%以上;平均日进尺分别为 22.7、36.6 m/d,比单管取心效率提高 10 m/d 以上。通过现场 3 个取心钻孔的试验,优选出了一套适用于煤矿井下复杂地层以清水为冲洗介质的近水平绳索取心钻探装备与工艺。

关键词:绳索取心;近水平钻孔;复杂地层;装备与工艺;煤矿井下

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)11-0033-05

Experimental research on wire-line coring drilling technology for near-horizontal boreholes in complex stratum in underground coal mine

HAO Yongjin, ZHAO Jiangpeng

(Xi'an Research Institute of China Coal Technology, Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: For conventional single-tube coring in coal mine underground drilling, there are several disadvantages such as low core recovery, low efficiency and high labor intensity, and difficulty in drilling holes in the near-horizontal coal seam floor with clean water as the drilling medium. Field tests were carried out by selecting and using professional near-horizontal wire-line core drilling rigs and wire-line core drilling tools. Three boreholes were drilled, and two of them were completed at the depth of 151.5m and 194.5m with the average core recovery of 77% and 89% respectively, more than 24% higher than that with the single tube. Average daily footage was 22.7m/d and 36.6m/d, more than 10% higher than that with the single tube. The wire-line coring drilling equipment and technologies for near-horizontal boreholes with clear water as the drilling medium in complex coal mine tunnels was optimized through the above field experiments.

Key words: wire-line coring; near-horizontal boreholes; complex stratum; equipment and technology; underground coal mine

0 引言

目前煤矿井下水害治理主要采用钻探手段,而查明地层赋存条件、岩性特征及水文地质条件是水害治理采取针对性措施的基础条件,因此有必要实施一定数量的井下取心钻孔^[1]。

中煤新集二矿 1 煤层组开采受下伏高压承压灰岩水威胁,经井田底板灰岩水文条件勘查及区域水文地质条件研究,该区太原组灰岩含水层具高水压、低

存储、少补给、难疏降等特点。为进一步查清煤层底板太原组灰岩分布和富水情况^[2-3],目前该矿区采用常规单管取心方法进行钻孔施工,施工效率低(圆班 12 m)、岩心采取率低(55%)、工人劳动强度大。

本次试验旨在解决煤层底板软硬岩频繁交替、局部破碎缩径复杂地层条件下钻孔倾角 $-15^{\circ}\sim-35^{\circ}$ 、孔深 150~200 m、采用清水为冲洗液的快速取心钻孔施工工艺与装备问题,提高井下取心钻进效

收稿日期:2019-08-05; 修回日期:2019-11-01 DOI:10.12143/j.tkge.2019.11.006

作者简介:郝永进,男,汉族,1987 年生,工程师,勘查技术与工程专业,主要从事钻探装备与工艺的研究和推广工作,陕西省西安市锦业一路 82 号,460594852@qq.com。

引用格式:郝永进,赵江鹏.煤矿井下复杂地层近水平钻孔绳索取心钻进工艺试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):33-37.

HAO Yongjin, ZHAO Jiangpeng. Experimental research on wire-line coring drilling technology for near-horizontal boreholes in complex stratum in underground coal mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):33-37.

率,平均钻进效率达到 18 m/d 以上、岩心采取率达到 70% 以上、降低工人强度,优选出一套适用于煤矿井下复杂地层的快速取心装备与工艺。

1 试验方案设计

1.1 地质概况

试验钻孔位于新集二矿 220108 底板巷 5 号上帮钻场,本次钻孔自太原组 1 灰开孔,终孔位置进入 10 灰底板不小于 0.5 m;根据前期初探地质资料显示,钻孔布置范围内分布 1 灰~10 灰 10 层灰岩,灰岩间互层泥岩、砂质泥岩,并在太原组 2 灰、3 灰、4 灰、8 灰、10 灰部分发育煤线。

前期初步勘探显示,1 号、补 1 号钻孔所在地层倾角 6.5° ,2 号钻孔所在地层倾角 0° 。钻孔设计倾角与地层夹角 $<30^\circ$,加之频繁软硬互层,钻孔易发生“顺层跑”情况造成钻孔偏斜。泥岩、煤线有等软岩、破碎地层可能导致塌孔、缩径,进而引发卡钻、埋钻等孔内事故。

1.2 钻孔结构和设计参数

本次试验设计钻孔 2 个,终孔层位为石炭系太原组 10 灰底板,由于 1 号钻孔报废,后期补充设计施工了补 1 号钻孔,钻孔设计参数见表 1。

表 1 试验钻孔设计参数

Table 1 Design parameters of test drilling

孔号	方位角/ $^\circ$	倾角/ $^\circ$	设计孔深/m	终孔层位
1	231.4	-11	225	10 灰底板
2	293.2	-22	180	10 灰底板
补 1	231.4	-20	180	10 灰底板

钻孔采用二开孔身结构,一开:孔径 133 mm,下入 $\varnothing 108$ mm 套管;二开:75 mm 孔径施工至终孔。

其中 1 号钻孔一开深度 22.5 m,下入套管 22 m;2 号钻孔、补 1 号钻孔一开深度 26.5 m,下入套管 25 m。

2 钻探装备选用

2.1 钻机

金刚石绳索取心钻进要求钻机转速 300 r/min 以上,且钻机需配置绞车、提升架(钻塔)完成内管总成提升,并且满足坑道空间狭小的要求。常规坑道钻机一般属低转速、大扭矩类型,最高转速 240 r/min 且无法配备提升架、绞车,无法满足施工要求。综合绳索取心施工要求,后选用 ZDY1000G 型全液压坑道钻

机,该钻机具有通孔直径大、转速高、工艺适应性强、解体性好、搬迁方便等优点^[4-5]。钻机主要参数为:扭矩 1000~220 N·m,转速 270~1000 r/min,最大给进/起拔力 85 kN,给进/起拔行程 1200 mm,主轴倾角 $\pm 90^\circ$,功率 55 kW,整机质量 2275 kg,主机外形尺寸(长×宽×高)2565 mm×820 mm×1635 mm。

2.2 绳索取心钻具

与地面绳索取心钻具相比,坑道用绳索取心钻具的特殊性主要表现在以下几方面:

(1)坑道钻探受钻场空间限制,要求钻具尺寸较短。

(2)坑道近水平绳索取心钻进时,内管总成和打捞器的下放无法利用自重下放,必须利用外力作用才能实现。

(3)近水平孔钻进时需对内管扶正,保持其同心。

(4)近水平孔钻进时,由于钻具自重的作用,钻杆柱与孔壁的摩擦远大于同等深度的垂直孔,对钻杆的强度要求更高。

(5)垂直孔用的弹卡定位机构在水平孔钻进时由于弹卡自重及加工因素的影响,时常出现弹卡定位失效等问题^[6-8]。

本次试验选用了 JS75 和 NQEU75 两种水平孔绳索取心钻具,钻杆试验了有接头和直连式两种型式。两套钻具主要参数见表 2。

表 2 2 种绳索取心钻具主要参数

Table 2 Main parameters of two coring tools

型 号	钻头	扩孔器	外管	内管	钻杆	钻杆形式
	内/外径/mm	内/外径/mm	内/外径/mm	内/外径/mm	内/外径/mm	
JS75	49/75	62/75.5	63/73	51/56	61/71	有接头
NQEU75	47/75.3	60.3/76	60.3/73	50.4/56	60.3/70.1	直连式

2.2.1 JS75 钻具

JS75 绳索取心钻具双管总成结构基本与垂直孔钻具相同(图 1),施工近水平钻孔时,内管总成和打捞器均通过接头与水力输送器连接借助水压送入。

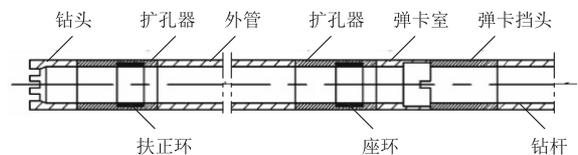


图 1 JS75 外管总成

Fig.1 Outer tube assembly of JS75

近水平钻孔施工时,内管总成和打捞器无法靠

自重下入孔底,因此均需通过水力输送器借助水压送入。其中内管总成通过水力输送器直接送入,打捞器则是和水力输送器组成水力输送打捞器(图 2)送入。

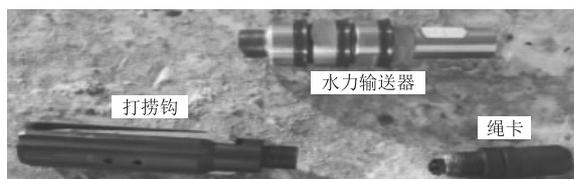


图 2 水力输送打捞器

Fig.2 Hydraulic transport fisher

使用 JS75 钻具绳索取心钻进流程如下:取心钻进→岩心满管→卡断岩心→更换通缆水接头→连接水力输送打捞器→送入水力输送打捞器打捞内管→提升内管总成→取出岩心→连接水力输送器下入内管总成→内管总成到位→提出水力输送器→连接水便→继续钻进→重复上述过程至终孔。

2.2.2 NQEU75 钻具

NQEU75 绳索取心钻具针对近水平绳索取心特点,在钻具结构上做出优化调整,更适合于近水平钻孔施工,外管总成中将上扩孔器和弹卡挡头结合为保径器(图 3)。

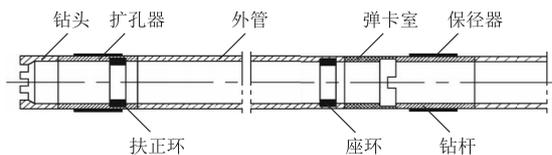


图 3 NQEU75 外管总成

Fig.3 Outer tube assembly of NQEU75

内管总成和打捞器结构中加装弹性阀片(图 4、图 5),直径略小于钻杆内径,保证形成水压顺利送入内管总成、打捞器,同时打捞时不至形成真空腔。



图 4 NQEU75 水平打捞器

Fig.4 Horizontal fisher of NQEU7

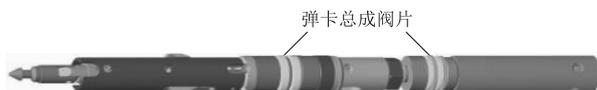


图 5 NQEU75 水平弹卡总成

Fig.5 Horizontal latch assembly of NQEU75

使用 NQEU75 钻具绳索取心钻进流程如下:取心钻进→岩心满管→卡断岩心→更换通缆水接头→

打捞器打捞内管→提升内管总成→取出岩心→入内管总成→内管总成到位→连接水便→继续取心钻进→重复上述过程至终孔。

绳索取心钻进一般采用金刚石钻头进行钻进,针对沉积岩地层硬度相对较软的特点,选用了孕镶金刚石钻头^[9-10]。

试验选用了胎体硬度 HRC15~45、不同底唇面(平底式、圆弧式、阶梯式、锯齿式、底喷式)的金刚石取心钻头匹配相应的工艺参数进行施工^[11]。

2.3 辅助设备

为保证试验的顺利进行,还需配备提升架、液压绞车及钢丝绳、泥浆泵、注浆泵等其他辅助设备。

由于坑道施工多以近水平钻孔为主,冲洗液若使用泥浆护壁主要存在以下问题:(1)坑道条件所限,没有足够的空间进行造浆、固控、沉淀等设施的布置;(2)近水平钻孔使用泥浆护壁,冲洗液的静液柱压力不足以支撑泥皮护壁。因此本次试验选择清水为冲洗介质,初期采用 BW250 型泥浆泵对清水进行加压,实现钻头冷却、携粉、泵送钻具。后经过反复试验、测定,矿井系统静压水压力 2~3 MPa,水量 14~22 m³/h,实现携粉、冷却、泵送钻具等效果更优。因此后期补 1 号钻孔、2 号钻孔均采用矿井静压水施工。

3 试验情况

3.1 1 号钻孔

耐压试验合格后,采用 JS75 绳索取心钻具+ $\varnothing 71$ mm 有接头式绳索取心钻杆继续钻进,钻进至孔深 41 m 时塌孔导致埋钻事故,孔内遗留 3 根 1.5 m 钻杆、一根 2.5 m 外管及一根 1.3 m 内管,该孔报废。

3.2 补 1 号钻孔

耐压试验合格后,采用 JS75 绳索取心钻具+ $\varnothing 71$ mm 有接头式绳索取心钻杆,继续钻进至 58.8 m,由于孔内塌孔,钻杆从接头与杆体多处发生断裂、漏水、捋扣。采用水泥浆进行全孔注浆封实,养护合格后,更换钻具组合:NQEU75 绳索取心钻具+ $\varnothing 70.1$ mm 直连式钻杆,透孔、钻进至 151.5 m (10 灰底板泥岩),达到目的层位终孔。

3.3 2 号钻孔

耐压试验合格后,采用 NQEU75 绳索取心钻具+ $\varnothing 70.1$ mm 直连式钻杆透孔、钻进至终孔孔深

194.5 m(10灰底板泥岩),达到目的层位终孔。

3.4 钻孔取心情况

补1号钻孔孔深151.5 m,其中取心段124.8 m,采取岩心总长度92.9 m,其中灰岩段岩心采取率95%以上,平均采取率74.4%;2号钻孔孔深194.5 m,取心段162.5 m,采取岩心长度为144.4 m,其中灰岩段岩心采取率近100%,平均岩心采取率89%。

3.5 施工效率情况

补1号钻孔在绳索取心的27.3~151.5 m孔段,钻进时间60.6 h,平均钻进效率2.1 m/h;2号钻孔在绳索取心的23~194.5 m孔段,钻进时间47.8 h,平均钻进效率3.6 m/h(详见表3)。

表3 钻孔钻进效率统计

Table 3 Summary of drilling efficiency

钻孔 编号	灰岩 段长 度/m	灰岩段 钻进时 间/h	灰岩段钻 进效率/ (m·h ⁻¹)	软岩 段长 度/m	软岩段 钻进时 间/h	软岩段钻 进效率/ (m·h ⁻¹)
补1	75.75	35.0	2.2	49.05	25.6	1.9
2	97.30	34.2	2.8	59.20	13.6	4.4

综合考虑实际施工过程中各类影响因素及现场施工准备、人员上下班等行走时间,得出补1号、2号钻孔平均日进尺分别为22.7、36.7 m/d。

3.6 2种钻具试验情况

2种绳索取心钻具通过3个钻孔的对比试验,得出如下结论:

(1)JS75钻杆有接头连接方式,钻杆杆体与接头连接强度有限、易脱扣、捋扣,对施工影响较大;NQEU75钻杆的直连式结构无此类问题。

(2)JS75钻具钻杆杆体、钻杆接头、外管、扩孔器内径之间非严格内平,影响内管总成、打捞器提放;NQEU75各部分之间严格内平,无此现象。

(3)JS75双管总成中内管总成与打捞器的下入需加配水力输送器,且施工流程繁琐、辅助时间较长;NQEU75双管总成由于优化了内管总成和打捞器结构,使用效果优于JS75钻具。

4 复杂地层钻进工艺方法

前期勘探资料表明,本次试验钻孔所在煤层底板分布10层灰岩,灰岩之间填充砂质泥岩、泥岩,并夹有5条煤线,软硬互层现象严重。

对钻进而言,主要存在岩石破碎、塌孔,造成排粉困难、埋钻事故,水敏性泥岩缩径糊钻,煤与软岩、

软硬互层造成注浆后透孔钻孔易偏斜3类问题^[12-13]。给本次施工造成很大的困难,造成2次断钻事故,针对这些问题,在施工3个钻孔的过程中,分别采用了孔底注浆、扩孔+孔底注浆、分时分段透孔的方法,取得了显著的效果。

4.1 坍塌破碎地层处理

在钻遇6灰底板破碎泥岩时,发生掉块卡钻,轻则造成回转、起拔困难,严重时有可能造成断钻等事故^[14]。针对这类情况,可采用孔底注浆法解决。即:先采取 $\varnothing 75$ mm PDC全面钻头+ $\varnothing 73/63.5$ mm螺旋钻杆的钻具组合快速钻进穿过破碎地层后,采用水灰比1:1的水泥浆(可在水泥浆中加入水玻璃加速凝固)注浆加固。

然后下钻至孔底,采取逐根提钻、一提一注的方式注浆至孔口,加盖带压(至少7 MPa)注浆,保证注浆效果。

待水泥浆终凝后,采用NQEU75绳索取心钻具+ $\varnothing 70.1$ mm直连式钻杆透孔至孔底,可有效解决。

4.2 水敏性泥岩处理

在钻遇3灰底板泥岩、6灰底板含铝泥岩、煤线时,钻头穿过后,泥岩遇水膨胀、孔径缩小,导致钻头后孔段回转困难、起拔压力大、孔口不返水等孔内事故^[15]。

针对这类情况,浅孔段(≤ 50 m)采用扩孔+孔底注浆处理,即: $\varnothing 94/75$ mm PDC扩孔钻头+ $\varnothing 73/63.5$ mm螺旋钻杆的钻具组合扩孔至孔底,然后比照破碎地层的注浆方法进行注浆、透孔处理。

当缩径泥岩位于深孔段(> 50 m)时,类比坍塌破碎地层采用孔底注浆法解决。

4.3 软岩、煤线钻孔偏斜处理

钻遇软岩、煤线时,采取注浆或扩孔+注浆的方法待水泥浆终凝后透孔,在透孔至软岩、煤线时,由于地层硬度小于终凝后的水泥硬度,且软硬互层严重,透孔时极易在该区段发生孔斜、开分支孔等情况^[16]。

针对这类情况,采取分时分段的方法解决,具体流程如下:

先采用NQEU75绳索取心钻具的外管总成 $\varnothing 70.1$ mm直连式钻杆逐根提钻、一提一注的方式注浆、候凝。

待水泥浆初凝时,采用NQEU75绳索取心钻具+ $\varnothing 70.1$ mm直连式钻杆快速透孔至软岩段前1~2 m,提钻。

待剩余孔段水泥浆终凝后,再次采用 NQEU75 绳索取心钻具+ $\text{O}70.1\text{ mm}$ 直连式钻杆透孔穿过软岩段,可有效解决。

5 结论

(1)ZDY1000G 型全液压钻机满足了本次金刚石绳索取心试验要求。

(2)试验钻孔角度、孔深达到了试验要求,绳索取心岩心采取率、钻进效率高于常规单管取心,与单管取心比较,绳索取心钻具保证了岩心的品质和纯洁性。

(3)通过 3 个试验钻孔的施工,优选出了 NQEU75 绳索取心钻具在钻具强度、钻具结构、施工流程等方面更适合于复杂地层近水平绳索取心钻进施工。

(4)试验总结出了一套解决适用于岩石破碎、塌孔,水敏性泥岩缩径、糊钻,频繁软硬互层钻孔偏斜等复杂地层的处理方法。

综上所述,本次试验采用钻探装备及配套钻探工艺很好地完成了新集矿区的试验预期,可在同类地层、钻孔中推广应用。

参考文献(References):

- [1] 石浩.精准定向钻进技术在煤矿水害治理应用[J].煤炭工程,2018,50(3):75-78.
SHI Hao. Application of precise directional drilling technology in coal mine water hazard treatment[J]. Coal Engineering, 2018,50(3):75-78.
- [2] 傅先杰.新集二矿 1 煤底板灰岩水防治技术探索与实践[C]//中国地质学会,中国地质学会 2015 学术年会论文摘要汇编(下册).中国地质学会;中国地质学会地质学报编辑部,2015.
FU Xianjie. Prevention and control of the coal floor limestone water [C]// Geological Society of China. Geological Society of China 2015 Academic Annual Conference Abstracts (Volume 2). Geological Society of China; Editorial Department of Geology Journal, Geological Society of China, 2015.
- [3] 丁后稳.新集二矿 1 煤底板灰岩突水机理研究及对策[J].华北科技学院学报,2013,10(3):15-19.
DING Houwen. Limestone waterburst mechanism and prevention countermeasures from seam floor in Xinji No.2 mine[J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2013,10(3):15-19.
- [4] 凡东,殷新胜,常江华,等.ZDY1000G 型全液压坑道钻机的设计[J].煤田地质与勘探,2011,39(1):78-80.
FAN Dong, YIN Xinsheng, CHANG Jianghua, et al. The design of ZDY1000G type all hydraulic tunnel drilling rig[J]. Coal Geology & Exploration, 2011,39(1):78-80.
- [5] 凡东.ZDY1000G 型全液压坑道钻机的应用[J].煤炭工程,2013,45(6):117-118,121.
FAN Dong. Application of ZDY1000G mode full hydraulic mine roadway drilling rig[J]. Coal Engineering, 2013,45(6):117-118,121.
- [6] 魏欢欢,殷新胜.近水平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.
- [7] 徐小兵.国产 NQ 绳索取心钻具的特点及应用分析[J].湖南有色金属,2011,27(5):63-65.
XU Xiaobing. Analysis on the features and application of domestic NQ wire-line coring drilling tools[J]. Hunan Nonferrous Metals, 2011,27(5):63-65.
- [8] 李瑞鑫,王朝垒,杨春.新型坑道绳索取心钻具的研制与应用[J].世界有色金属,2018(4):222-225.
LI Ruixin, WANG Zhaolei, YANG Chun. Development and application of a new hole rope coring drill tool[J]. World Nonferrous Metals, 2018(4):222-225.
- [9] 杨平园,刘之葵,吴晓恩,等.绳索取芯适岩钻头的选用[J].西部探矿工程,2008(6):67-69.
YANG Pingyuan, LIU Zhikui, WU Xiaoen, et al. Choose and use of the wire line core drilling bit[J]. West-China Exploration Engineering, 2008(6):67-69.
- [10] 邓新德.绳索取芯钻头的选用[J].科技创新导报,2008(13):39.
DENG Xinde. Selection of wireline coring bits[J]. Science and Technology Innovation Report, 2008(13):39.
- [11] 汤凤林,沈中华,段隆臣,等.不同地层钻进用金刚石钻头分析研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(4):87-92.
TANG Fenglin, SHEN Zhonghua, Duan Longcheng, et al. Analytical research on diamond drill bits used in different formations[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(4):87-92.
- [12] 孙建华,刘秀美,王志刚,等.地质钻探孔内复杂情况和孔内事故种类梳理分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(1):4-9.
SUN Jianhua, LIU Xiumei, WANG Zhigang, et al. Classification and analysis on complex cases and accidents in geological drilling holes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(1):4-9.
- [13] 胡鹏飞.复杂地质条件下近水平钻孔孔内事故发生原因分析[J].煤炭与化工,2017,40(10):89-91.
HU Pengfei. Cause analysis of near horizontal hole drilling accident under complicated geological conditions[J]. Coal and Chemical Industry, 2017,40(10):89-91.
- [14] 芦文成,朱恒银,张文生,等.浅谈破碎泥岩地层的钻进工艺[J].内蒙古石油化工,2019,45(1):44-46.
LU Wencheng, ZHU Hengyin, ZHANG Wensheng, et al. Discussion on drilling technology of broken mudstone formation[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2019,45(1):44-46.
- [15] 侯吉峰,刘浩.煤矿膨胀性泥岩钻孔缩径主控因素敏感性研究[J].煤矿安全,2018,49(6):20-23.
HOU Jifeng, LIU Hao. Sensitivity study on main controlling factors of borehole shrinkage for expansive mudstone [J]. Safety in Coal Mines, 2018,49(6):20-23.
- [16] 丁志伟,周侃.煤矿井下瓦斯抽采钻孔偏斜规律分析[J].煤矿现代化,2014(6):89-91.
DING Zhiwei, ZHOU Kan. The analysis of gas drainage drilling skew law in a coal mine[J]. Coal Mine Modernization, 2014(6):89-91.

(编辑 韩丽丽)