

淮南矿区硬岩穿层钻孔钻进方法对比试验研究

豆旭谦¹, 金新¹, 童碧², 王力¹, 魏宏超¹

(1. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077;

2. 淮南矿业(集团)有限责任公司 地质勘探工程处, 安徽 淮南 232001)



扫码移动阅读

摘要:针对淮南矿区在施工穿层钻孔时遇到硬岩钻进速度低下的问题,分析了回转冲击钻进、气动冲击回转钻进和高压液动冲击回转钻进 3 种钻进方法的钻进原理,优选相应钻具和钻头,在典型矿井潘三矿对 3 种方法的钻进速度进行了对比试验。结果表明:高压液动冲击回转钻进的速度最高,达到 12.47 m/h;气动冲击回转钻进的速度次之,最大速度 11.42 m/h;回转冲击钻进的速度最低,最大速度 3.75 m/h。因此,在淮南矿区硬岩钻进中,优先推荐气动或高压液动冲击回转钻进方法。

关键词:硬岩穿层钻孔;钻进方法;回转冲击钻进;气动冲击回转钻进;高压液动冲击回转钻进

中图分类号:TD41

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)11-0151-06

Comparative experimental study on drilling methods of hard rock borehole passed through strata in Huainan Mining Area

DOU Xuqian¹, JIN Xin¹, TONG Bi², WANG Li¹, WEI Hongchao¹

(1. Xi'an Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Xi'an 710077, China;

2. Division of Geological Exploration Engineering, Huainan Mining Industry Group Corporation Limited, Huainan 232001, China)

Abstract: According to hard rock drilling problems with the low drilling rate encountered by borehole passed through strata in Huainan mining area, the drilling principles of three drilling methods, percussion-rotary drilling, pneumatic percussive-rotary drilling and high pressure hydraulic percussive-rotary drilling were analyzed, the corresponding drilling tools and bits were optimized. The comparative experiment of drilling rate about three drilling methods was finished in the typical mine, Pansan mine. The results showed high pressure hydraulic percussive-rotary drilling was the highest drilling rate, up to 12.47 m/h. The drilling rate of pneumatic percussive-rotary drilling was the second, and the max. drilling rate was 11.42 m/h. The drilling rate of Pneumatic percussive-rotary drilling was the second, with maximum drilling rate 11.42 m/h. The drilling rate of percussion-rotary drilling was the lowest drilling rate, with maximum drilling rate 3.75 m/h. Therefore, pneumatic or high pressure hydraulic percussive-rotary drilling method was recommended preferentially in hard rock drilling of Huainan mining area.

Key words: hard rock borehole passed through strata; drilling methods; rotary-percussion drilling; pneumatic percussive-rotary drilling; high pressure hydraulic percussive-rotary drilling

0 引 言

在煤矿井下瓦斯治理方法中,底板穿层钻孔和顶板高位钻孔是煤矿瓦斯预抽、邻近层和采空区瓦斯治理的有效措施^[1-2],然而,我国大部分矿区在施

工底板穿层孔和顶板高位钻孔时钻遇硬质岩层,导致钻孔钻进速度低下,钻头磨损严重,钻孔施工周期长,钻孔容易产生偏斜,经常会遇到钻孔事故^[3],严重影响钻孔施工进度和施工质量,进而影响煤矿瓦斯抽采(放)计划,制约采掘工期,以致对煤矿的经

收稿日期:2018-05-22;责任编辑:赵 瑞 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2018.11.024

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05045-003-002);中煤科工集团西安研究院有限公司技术创新资助项目(2017XAYMS13);淮南矿业(集团)有限责任公司技术开发资助项目(HNKY-KTC-(2013)-002)

作者简介:豆旭谦(1987—),男,甘肃静宁人,助理研究员,硕士。E-mail:douxuqian@cctegxian.com

引用格式:豆旭谦,金新,童碧,等.淮南矿区硬岩穿层钻孔钻进方法对比试验研究[J].煤炭科学技术,2018,46(11):151-156.

DOU Xuqian, JIN Xin, TONG Bi, et al. Comparative experimental study on drilling methods of hard rock borehole passed through strata in Huainan Mining Area[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(11): 151-156.

济和社会效益产生不良的影响^[4]。

煤矿井下硬岩全面钻进中,钻头是破碎岩石实现钻进的主要钻具,根据所钻进岩石的物理力学性质,可以开发研制针对性强的高效钻头。目前,通过引入石油弧角型钻头布齿原理,小型化后开发的弧角型钻头,采用了性能优异的新型PDC齿,在岩石硬度小于10的中硬岩石中取得了较好的应用效果^[5-7]。王红波等^[8-10]对适用于硬岩钻进中PDC全面钻头的结构特征,以及PDC钻头的不良工况进行分析,提出了相应的改善措施。然而,对于煤矿井下岩石硬度大于10的硬岩和极硬岩石,更多地考虑在回转碎岩方法中复合冲击碎岩方法,形成回转冲击钻进方法或冲击回转钻进方法,需要在钻具组合中安装相应的气动或液动冲击器,目前在煤矿井下还没有非常成熟的钻具配置和工艺参数。淮南矿业集团潘三矿在施工瓦斯综合治理巷上仰穿层钻孔时遇到极硬岩问题,严重影响生产,该矿曾引进气动冲击器进行冲击回转钻进试验,钻进速度比普通回转钻进速度提高了4倍以上,取得了较好的应用效果^[11]。但是,仍然不能满足生产的需要。因此,通过调研目前解决硬岩钻进速度问题的钻进方法,研究不同方法的钻具选型、配套设备、钻进特点、适用条件和工艺参数,将其应用到煤矿井下进行试验,在相同条件下对不同的钻进方法进行对比试验,优选出适合淮南矿区地层特点的钻进方法。

1 硬岩钻进方法

1.1 岩石硬度

岩石硬度定义为岩石抵抗工具侵入的阻力,或者岩石对动态或静态集中载荷引起局部变形,或者破碎的抵抗能力。岩石单轴抗压强度与岩石硬度有一定联系,但是又有很大的区别。岩石抗压强度是岩石整体抵抗外力破坏的能力,而岩石的压入硬度实际是岩石在多向受压状态下产生局部破碎,对于钻探工程来讲,大多数是局部破碎,硬度指标更接近反映钻进破碎岩石的实质^[12]。因此,坑道钻探工程一直沿用普氏系数 f 来表示岩石坚固性的大小, $f=R/10$ (R 为单轴极限抗压强度,MPa)。单轴抗压强度和普氏系数对应岩石软硬程度的分类见表1。

淮南潘三矿17181(1)瓦斯综合治理巷设计上仰穿层钻孔,根据钻孔设计倾角的不同,需要穿越60~80 m的硬岩,岩性为石英岩,岩石主要矿物类型以白

色石英为主,硅质胶结,呈厚层块状结构,经岩心钻孔取样测试分析,潘三矿硬岩地层平均抗压强度150.68 MPa,普氏系数为15,属于硬岩(表1)。采用普通回转钻进时一个PDC钻头仅能钻进3 m即报废,小班平均进尺也仅2.5 m,平均钻进效率为0.5 m/h^[11]。

表1 岩石硬度等级分类

Table 1 Classification of hard rock degree

分类指标	极软	软	中软	中硬	硬	极硬
抗压强度/MPa	<25	25~50	50~75	75~100	100~200	>200
普氏系数	<2.5	2.5~5	5~7.5	7.5~10	10~20	>20

1.2 回转冲击钻进方法

回转冲击钻进方法是在普通回转钻进的钻具组合中连接了小口径液动冲击器。与纯回转钻进相比,在回转切削的同时叠加一定频率的冲击载荷可使岩石破碎的转矩和阻力系数降低。借助低冲击功的冲击器实施以回转钻进为主,以冲击钻进为辅的回转冲击钻进,可明显提高中软-中硬岩石的机械钻速,而且因冲击功小,可使用普通硬质合金或金刚石钻头^[13-14]。目前,煤矿井下全面钻进多使用PDC钻头,由于冲击器的冲击功相对较小,可以选用耐磨性和抗冲击性能高的PDC钻头。

液动冲击器利用泥浆泵供给液压能,直接驱动液动冲击器的冲锤上下往复运动,并连续不断地对钻头施加冲击荷载^[15-16],试验选用YZX73型液动冲击器,并配套3NB-320型往复式泥浆泵。冲击器的主要技术参数如下:钻具外径73 mm,冲锤行程20~25 mm,自由行程6~10 mm,工作泵量90~150 L/min,工作压力0.8~3.0 MPa,冲击频率25~45 Hz,冲击功15~70 J,长度1 000 mm,质量25 kg。

1.3 气动冲击回转钻进方法

气动冲击回转钻进有机地综合了冲击钻进和回转钻进,钻头在承受一定静载荷的基础上,以纵向冲击力和回转切削力共同破碎岩石^[17-18],是一种以冲击为主、回转为辅的钻进方法,主要靠钎头的冲击碎岩,轴向静压力主要用来克服冲击产生的反弹力。气动冲击回转钻进是在普通回转钻进的钻具组合中连接了气动冲击器。需要配套空压机来提供相适应的风压和风量。将压缩空气的能量通过气动冲击器作为中间能量转换介质作用在孔底的岩石上,通过高频率的冲击作用,配合回转时施加给钎头的给进力和回转力进行钻进,并且使用压缩空气作为冷却钻头和洗孔介质,将孔底

的岩屑携带出钻孔^[11]。试验选用 DHD 和 CY 两个类型 3 种气动冲击器进行对比试验,其主要技术参数见表 2。

表 2 气动冲击器主要技术参数

Table 2 Major technical parameters of pneumatic hammer

冲击器型号	DHD3.5	DHD340A	CY90
长度/mm	829.3	1 053.0	796.0
直径/mm	79.25	92.00	80.20
风压/MPa	1.0	1.0	0.5~0.7
风量/(m ³ ·min ⁻¹)	5.0	5.6	6.0
质量/kg	22.6	37.0	20.0

1.4 高压液动冲击回转钻进方法

高压液动冲击回转钻进原理类似于气动冲击回转钻进,同样是一种以冲击为主、回转为辅的钻进方法。不同之处是使用高压液体作为能量介质,在普通回转钻进的钻具组合中连接了高压液动冲击器。试验选用进口 W70 高压液动冲击器,并配备 BRW200/31.5 型乳化泵提供高压液体,该乳化泵公称流量可以达到 200 L/min,工作压力可以达到 31.5 MPa,满足 W70 高压液动冲击器的需要。高压液动冲击器是在开路压力水的作用下产生往复循环,高压水用来冲洗岩粉。该冲击器在 6 MPa 压力下启动,水压越高,冲击能量冲击频率也越高,水压要求在 6~18 MPa 范围内,在额定压力和流量状态下的冲击频率可以达到 70 Hz。主要技术参数如下:钻具外径 78/85 mm,压力范围 6~18 MPa,水量 80~270 L/min,推进力 7~10 kN,转速 80~120 r/min,水过滤精度 50 μm,长度 1 171 mm,质量 23 kg。

1.5 碎岩机理分析

回转冲击和冲击回转作为 2 种针对硬质岩层的钻进方法,其碎岩机理不同,两者的钻具匹配不同。回转冲击钻进由于钻进规程与普通回转钻进差别不大,主要以回转切削碎岩为主,同时岩石受到高频周期性的冲击动载作用,迫使其产生疲劳破坏和降低强度,从而提高碎岩效率,因此可以使用普通硬质合金钻头或者金刚石钻头。而冲击回转钻进冲击器提供的单次冲击功很大,所以需要匹配专用的冲击钻头,这类钻头的结构一般不具备切削效应,其利用骤加的冲击动载荷,使岩石内部产生局部应力集中,应力来不及重新分配就达到岩石的强度极限,而发生脆性破碎,在冲击力作用的同时,回转力对凸起的岩脊产生剪切作用,使岩石呈大颗粒的体积破碎^[19-21]。

从钻进中受力角度来讲,2 种钻进方法同时受到钻机给进力、回转力和冲击器提供的冲击力的共

同作用。回转冲击钻进中,冲击力可以一定程度地降低岩石强度,钻机提供的给进力使切削齿吃入岩层,回转力使切削齿剪切岩石,实现碎岩。冲击回转钻进中,冲击力起主要碎岩作用,给进力主要克服冲击力的反弹,回转力将冲击产生的裂隙岩石剪切掉,并变换切削齿的冲击位置。在钻进过程中,钻进速度同时受到钻机给进力、回转力、转速以及冲击器冲击功、冲击频率等技术参数的影响。由于 2 种钻进方法的碎岩机理不同,回转冲击钻进方法主要依靠给进力和回转力碎岩,冲击回转钻进方法主要依靠冲击力碎岩,因此无法单一就冲击器的冲击性能如冲击功和冲击频率来判断硬岩的破岩效果,需要综合给进力、回转力及转速等钻进参数来考量,因此,通过对比试验能够直接获得相对应的钻进效果。

2 回转冲击钻进试验

试验为 YZX73 型液动冲击器分别匹配了 4 个类型 7 种钻头(图 1),在同一组钻孔内进行试验,回转冲击钻进试验速度对比见表 3。

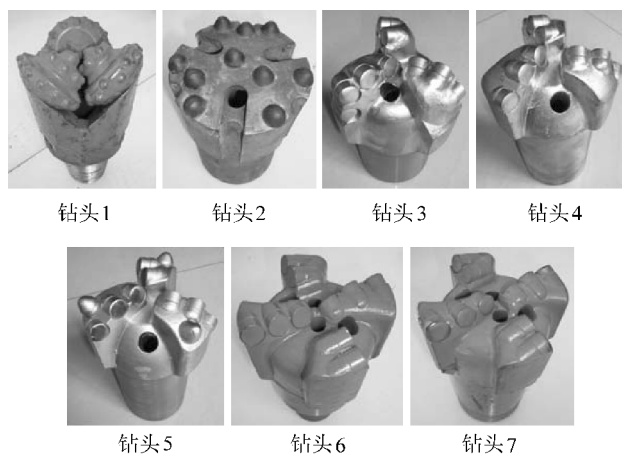


图 1 回转冲击钻进试验钻头

Fig.1 Experimental bits of rotary-percussion drilling

对比分析回转冲击钻进试验的 7 种钻头,其中,球齿钎头钻进速度最低,为 0.81 m/h,牙轮钻头钻进速度 1.25 m/h,分别钻进 5.5 和 2.9 m 之后,由于钻进效率大幅降低提钻,观察钻头属于正常磨损。

三翼圆弧 PDC 钻头 3 种,十一齿钻头 2 个在不同的 2 个钻孔内试验,钻进速度分别为 1.33 和 1.07 m/h,分别钻进 4 m 和 2 m 后提钻,钻头整体磨损严重,胎体已经部分划伤。根据十一齿钻头试验情况,为了降低磨损,提高抗冲击性,对三翼圆弧钻头布齿结构进行了调整,开发了九齿和九齿冲击式钻头,其中九齿冲击式钻头是在九齿钻头的基础上每翼的弧

顶上焊接了一个抵抗冲击的加强球齿,分别在2个钻孔内试验速度分别为1.67和1.36 m/h,进尺分别为3.

5和7 m,相比冲击式钻头的钻进速度较低寿命较好,2种钻头也是磨损严重,相比十一齿钻头有了提升。

表3 回转冲击钻进试验速度对比

Table 3 Experimental drilling rate comparison of rotary-percussion

钻头	编号	孔号	钻进孔段/m	进尺/m	速度/(m·h ⁻¹)	钻头情况
φ98 mm 牙轮钻头	1	95-1	14.5~17.4	2.9	1.25	正常磨损
φ98 mm 球齿钎头	2	96-1	19.5~26.0	5.5	0.81	正常磨损
φ98 mm 三翼圆弧十一齿 PDC 钻头	3	97-2	9.0~13.0	4.0	1.33	磨损严重,胎体划伤
		96-1	9.0~11.0	2.0	1.07	磨损严重,胎体划伤
φ98 mm 三翼圆弧九齿 PDC 钻头	4	96-1	11.5~15.0	3.5	1.67	磨损严重
φ98 mm 三翼圆弧九齿冲击 PDC 钻头	5	96-2	21.5~28.5	7.0	1.36	冲击齿磨损严重
φ98 mm 四翼平底平面 PDC 钻头	6	96-1	26.0~38.0	12.0	3.75	崩齿严重,胎体部分划伤
φ98 mm 四翼平底弧面 PDC 钻头	7	96~1	38.0~70.0	33.4	2.50	正常磨损

在以上试验基础上,对已试验钻头磨损和寿命情况进行总结分析,优选四翼平底 PDC 钻头进行试验,该类型钻头采用平底式结构,相比圆弧钻头可以降低顶部 PDC 片的迅速磨损,第一种胎体上焊接平面 PDC 片,进尺 12 m,钻进速度 3.75 m/h,比三翼圆弧类型钻头寿命和速度有了较大改善,但是提钻后崩齿严重,胎体有部分划伤。因此,改进选用弧面 PDC 片,钻进 33.4 m,钻进速度 2.5 m/h,提钻后钻头属于正常磨损。相比采用弧面 PDC 片的四翼平底钻头的寿命提高,钻进速度有所降低。

综上,回转冲击钻进的总体平均钻进效率比回转钻进 0.5m/h 有了提高,四翼平底平面 PDC 钻头的效率最高,为 3.75 m/h,提高了 7.5 倍。钻头寿命四翼平底弧面 PDC 钻头的寿命最好,钻进了 33.4 m,比回转钻进用钻头的 3 m 提高了约 11 倍。

3 气动冲击回转钻进试验

由于岩石硬,气动冲击回转钻进过程中会导致钎头磨损严重,使用同一规格型号的钎头会出现再次下钻过程中出现卡钻现象,需要进行扩孔然后下钻。因此,改进工艺,试验 DHD340A 冲击器匹配 φ110 mm 钎头,DHD3.5 冲击器匹配 φ100 mm 钎头,在 DHD340A+φ110 mm 钎头穿不过硬岩段地层的情况下,换用 DHD3.5+φ100 mm 钎头继续钻进;CY90 冲击器分别匹配 φ110 mm、φ100 mm 和 φ90 mm 三种规格的钎头,在钻进时根据钎头磨损情况换用小一级钎头继续钻进。在同一组钻孔内进行试验,试验完成 8 个钻孔,由于试验时经常有风量、风压参数不稳,因此,选择不同冲击器额定工作参数,DHD 冲击器在接近推荐风压 0.9 MPa 以上、CY 冲击器在推荐风压 0.5~0.7 MPa 以上的钻进效率进行对比,气动冲击回转钻进试验速度对比见表 4。

表4 气动冲击回转钻进试验速度对比

Table 4 Experimental drilling rate comparison of pneumatic percussive-rotary

钻具组合	孔号	钻进孔段/m	进尺/m	速度/(m·h ⁻¹)	钻头情况
DHD340A+φ110mm 钎头	G33-1	0.7~35.0	34.3	10.09	磨损报废
	G33-3	2.0~30.0	28.0	11.42	磨损报废
DHD3.5+φ100mm 钎头	G32-5	12.5~30.5	18.0	7.77	磨损报废
	G32-6	45.0~55.0	10.0	7.79	磨损报废
CY90+φ110mm 钎头	G33-2	2.0~31.0	29.0	6.22	磨损报废
	G33-5	19.5~31.5	12.0	6.21	磨损报废
CY90+φ100mm 钎头	G33-3	34.0~52.0	18.0	6.61	—
	G33-2	60.0~73.2	13.2	6.00	磨损报废
CY90+φ90mm 钎头	G32-5	44.5~54.5	10.0	3.75	磨损报废
	G32-7	24.8~36.8	12.0	4.00	磨损报废

对比分析3个冲击器5种钻具组合可见,DHD冲击器的冲击回转钻进速度比CY冲击器要高,DHD340A+ ϕ 110 mm钎头钻进速度大于10 m/h,DHD3.5+ ϕ 100 mm钎头平均钻进速度为7.78 m/h;CY90冲击器匹配 ϕ 110 mm钎头和 ϕ 100 mm钎头的钻进速度超过6 m/h,但是 ϕ 90 mm钎头的钻进速度相对较低,经过分析认为由于 ϕ 90 mm钎头尺寸较小,钎头风眼尺寸也相对较小,影响了气体流量的通过,导致冲击器的冲击效果未能完全发挥出来。经过统计分析DHD ϕ 110 mm钎头的寿命为35 m,DHD ϕ 100 mm钎头平均寿命60 m,CY系列钎头的平均寿命为30 m。

综上所述,通过配套空压机,最大程度地满足气动冲击器工作所需要的空气参数,尽可能达到额定工作状态,气动冲击回转钻进的钻进速度比回转冲击钻进显著提高。

4 高压液动冲击回转钻进试验

高压液动冲击回转钻进的W70高压液动冲击器匹配 ϕ 89 mm冲击钎头,配套BRW200/31.5型乳化泵提供高压液体,在92-新1孔进行试验,液动冲击回转钻进试验效率统计见表5。

表5 高压液动冲击回转钻进试验速度
Table 5 Experimental drilling rate of high pressure hydraulic percussive-rotary

序号	孔段/m	进尺/m	时间/min	速度/(m·h ⁻¹)
1	13~15	2	8.62	13.93
2	15~17	2	8.83	13.58
3	17~19	2	8.95	13.41
4	19~21	2	8.93	13.43
5	21~23	2	8.68	13.82
6	23~25	2	9.08	13.21
7	25~27	2	8.46	14.17
8	27~29	2	10.28	11.67
9	29~31	2	10.40	11.54
10	31~33	2	11.40	10.53
11	33~35	2	12.17	9.86
12	/	22	105.82	12.47

试验结果可见,W70高压液动冲击器+ ϕ 89 mm冲击钎头进尺22 m,平均钻进速度达到12.47 m/h,钻进速度随着孔深的增加缓慢降低。由于岩石硬, ϕ 89 mm冲击钎头外圈磨损导致孔径变小,钻孔直径

接近冲击器外保径 ϕ 85 mm,钻孔孔壁开始摩擦冲击器外保径,钻孔内出现摩擦噪声,钻机回转转矩迅速增大,提钻检查,冲击器性能完好,冲击钎头正常磨损。

5 结论及建议

1)本研究对回转冲击钻进、气动冲击回转钻进和高压液动冲击回转钻进3种钻进方法的钻进原理进行分析,优选相应钻具和钻头。

2)对3种钻进方法在淮南矿区潘三矿进行试验,得到不同钻进方法的钻进速度,通过对比可见,高压液动冲击回转钻进的速度最高,达到12.47 m/h;气动冲击回转钻进的速度次之,最大速度11.42 m/h。回转冲击钻进的速度最低,最大速度3.75 m/h。

3)在淮南矿区钻进普氏系数达到15级的岩层时,为了达到较高的钻进速度,优先选择气动或高压液动冲击回转钻进方法。气动冲击回转钻进的缺点是空气污染严重,施工人员需要做好防尘措施。高压液动冲击回转钻进需要对冲击器和钎头的级配进行优化,提高单个钎头的进尺。

参考文献(References):

- [1] 程远平,俞启香,周红星,等.煤矿瓦斯治理_先抽后采_的实践与作用[J].采矿与安全工程学报,2006,23(4):389-392.
CHENG Yuanping, YU Qixiang, ZHOU Hongxing, et al. Practice and effectiveness of "draining gas before coal mining" to prevent gas from bursting [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(4): 389-392.
- [2] 程远平,付建华,俞启香.中国煤矿瓦斯抽采技术的发展[J].采矿与安全工程学报,2009,26(2):127-139.
CHENG Yuanping, FU Jianhua, YU Qixiang. Development of gas extraction technology in coal mines of China [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26(2): 127-139.
- [3] 豆旭谦,魏宏超,王林杰,等.煤矿井下坑道钻探常见钻孔事故分析与处理方法探讨[J].西部探矿工程,2015,27(8):21-23.
DOU Xuqian, WEI Hongchao, WANG Linjie, et al. Discussion on the analysis and treatment of common drilling accidents of underground tunnel of coal mine [J]. West-China Exploration Engineering, 2015(8): 21-23.
- [4] 高晓亮,陈洪岩,张朋.煤矿井下硬岩钻进用金刚石钻头研究综述[J].地质装备,2014,15(3):15-18.
GAO Xiaoliang, CHEN Hongyan, ZHANG Peng. Research on diamond bits for coal mine drilling in hard formations [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2014, 15(3): 15-18.
- [5] 刘刚.弧角型PDC钻头在煤矿定向排水孔施工中的应用[J].金刚石与磨料磨具工程,2015,35(4):11-15.
LIU Gang. Application of arcual PDC bit in directional drainage

- drilling of coal mine[J].Diamond & Abrasives Engineering,2015,35(4):11-15.
- [6] 张献振,王传留,刘刚.弧角型PDC钻头在青龙煤矿中的应用研究[J].金刚石与磨料磨具工程,2015,35(4):66-69.
ZHANG Xianzhen,WANG Chuanliu,LIU Gang.Research and application of curved structure drill in Qinglong Coal Mine[J].Diamond & Abrasives Engineering,2015,35(4):66-69.
- [7] 张朋,高晓亮,李波.2种PDC钻头在淮南某煤矿硬岩穿层钻孔施工中的对比与分析[J].煤矿机械,2017,38(11):64-66.
ZHANG Peng,GAO Xiaoliang,LI Bo.Comparison and analysis of two kinds of PDC bit of hard rock layer-through borehole drilling in some coal mine of Huainan[J].Coal Mine Machinery,2017,38(11):64-66.
- [8] 王红波,段隆臣,杨道合.适用于硬岩的PDC全面钻头特点分析[J].矿山机械,2009,37(17):20-22.
WANG Hongbo,DUAN Longchen,YANG Daohe.Analysis of characteristics of PDC rock bits applied to the hard rock[J].Mining & Processing Equipment,2009,37(17):20-22.
- [9] 王红波.基于硬岩钻进的胎体PDC取心钻头的研究[D].武汉:中国地质大学,2010.
- [10] 王红波,舒尚文,孙起昱,等.硬岩地层PDC钻头不良工况原因分析与改善措施[J].金刚石与磨料磨具工程,2012,32(3):41-45.
WANG Hongbo,SHU Shangwen,SUN Qiyu,et al.Reason analysis and improving measures of PDC bit in hard formations under bad working conditions[J].Diamond & Abrasives Engineering,2012,32(3):41-45.
- [11] 豆旭谦,金新,童碧,等.气动潜孔锤在淮南潘三矿上仰穿层孔硬岩钻进中的应用[J].煤炭技术,2016,35(1):201-203.
DOU Xuqian,JIN Xin,TONG Bi,et al.Application of pneumatic DTH hammer on hard rock drilling of upward layer-through borehole in Pansan Coal Mine[J].Coal Technology,2016,35(1):201-203.
- [12] 李世忠.钻探工艺学(上册)[M].北京:地质出版社,1989.
- [13] 鄢泰宁,卢春华.球体冲击器用于回转冲击钻进的工艺研究[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2008,35(2):5-7.
YAN Taining,LU Chunhua.Technology research on application of steel ball percussion tools in rotary percussion drilling[J].Exploration Engineering;Rock & Soil Drilling and Tunneling,2008,35(2):5-7.
- [14] 鄢泰宁,吴翔,卢春华.球体冲击器及其在回转冲击钻进中的应用研究[J].地质与勘探,2008,44(2):97-100.
YAN Taining,WU Xiang,LU Chunhua.Steel ball percussion device and its application.[J].Geology and Prospecting,2008,44(2):97-100.
- [15] 赵俊峰,金新,童碧,等.液动潜孔锤钻进技术在潘一煤矿井下穿层钻孔中的应用[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2015,42(6):21-23.
ZHAO Junfeng,JIN Xin,TONG Bi,et al.Application of hydro-hammer drilling in a coal bed-crossing hole in underground coal mine [J].Exploration Engineering;Rock & Soil Drilling and Tunneling,2015,42(6):21-23.
- [16] 任鹏飞,王四一,刘勇.液动潜孔锤在煤矿井下穿层孔钻进中的应用[J].石化技术,2015(8):124-126.
REN Pengfei,WANG Siyi,LIU Yong.Application of hydraulic DTH for through layers hole drilling underground mine [J].Petrochemical Industry Technology,2015(8):124-126.
- [17] 李彦明.冲击_回转钻进工艺在超硬岩层中的应用[J].煤矿机械,2011,32(3):210-212.
LI Yanming.Application of impact-rotary drilling technology in super hard rock [J].Coal Mine Machinery,2011,32(3):210-212.
- [18] 唐大勇.冲击_回转钻进在复杂岩层中的应用[J].煤矿机械,2013,34(6):201-202.
TANG Dayong.Application of impact rotation drilling in complicated rock.[J].Coal Mine Machinery,2013,34(6):201-202.
- [19] 常玉军,殷琨.冲击回转碎岩机理试验研究[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2001,28(4):62-64.
CHANG Yujun,YING Kun.Research on the percussive rotary rock fragmentation mechanism[J].Exploration Engineering;Rock & Soil Drilling and Tunneling,2001,28(4):62-64.
- [20] 卢春华.节水型回转冲击钻具结构设计与钻进机理研究[D].武汉:中国地质大学,2007.
- [21] 谢天.高频轴向液动冲击器破岩机理及试验分析[D].大庆:东北石油大学,2014.