

# 煤矿井下硬岩定向钻进 PDC 钻头选型及试验分析

金鑫, 杨忠, 冯武宏

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710000)

**摘要:** 为了提高煤矿井下硬岩定向钻进的效率, 在分析硬岩定向钻进 PDC 钻头的结构要求的基础上, 选择了 3 种不同类型的 PDC 钻头进行煤矿井下硬岩定向钻进试验。试验结果表明, 平底型 PDC 钻头不适用于定向钻进硬岩, 而三翼抛物线型钻头和四翼平角型钻头在定向钻进硬岩时, 表现出长寿命、高效率等特点, 适合于定向钻进硬岩地层, 大大提高了煤矿井下定向钻进硬岩地层的效率。

**关键词:** 定向钻进; PDC 钻头; 硬岩; 高效率

**中图分类号:** P634.4<sup>+</sup>1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)05-0077-03

**Selection of PDC Bit for Directional Drilling in Hard Rocks of Coal Mine and the Test Analysis/JIN Xin, YANG Zhong, FENG Wu-hong** (Xi'an Research Institute of China Technology & Engineering Group Corp., Xi'an Shaanxi 710000, China)

**Abstract:** Based on the analysis on the requirements of PDC bit structure, 3 different types of PDC bit were selected for hard rocks directional drilling tests in underground coal mine in order to improve the drilling efficiency. The test results show that the flat-bottom PDC bit is not suitable for directional drilling in hard rock, the three-wing parabolic PDC bit and the four-wing straight angle PDC bit show the adaptability in hard rock directional drilling with long service life and high efficiency.

**Key words:** directional drilling; PDC bit; hard rocks; high efficiency

## 1 问题的提出

我国虽然是一个拥有广阔国土面积、丰富能源资源的国家,但是由于人口众多人均资源占有量小,像煤、石油等能源已经严重匮乏,这就促使企业在保障安全的前提下需要不断地提高开采效率。而在煤矿开采过程中存在的煤瓦斯突出、掘进涌水以及地质异常体等隐患严重制约着煤矿企业的高效开采。定向钻进技术的推广应用,不仅可以提高煤矿瓦斯治理、防治水等方面的效率,而且为煤矿的安全开采提供了技术保障。

但是在煤层底板防治水定向钻孔施工中,常常会遇到岩层较硬钻进缓慢、钻进效率低等各种施工问题,特别是钻头的损坏会造成严重的经济损失。除了钻头本身的造价较高外,还有由此引起的起下钻更换钻头时间、人力和物力的消耗都是不容忽视的。这些事故的发生都制约着钻孔施工的顺利进行,优选出适于煤层底板防治水定向钻孔钻进的钻头至关重要。

我国西北地区,煤炭资源主要储藏于二叠纪下

统山西组和石炭纪上统太原组,煤层赋存稳定,厚度大,储量丰富,煤质好,经济价值高,开采条件好,是许多矿区的主要开采煤层<sup>[1]</sup>。但是煤层下部地层水文地质条件特别复杂,煤层底板隔水层较薄,煤层底板突水问题是该区域煤炭开采不可忽视的安全隐患<sup>[2-4]</sup>。采用煤层井下定向钻进施工技术施工煤层底板注浆加固钻孔,并结合地面高压注浆技术实现对煤层底板的超前注浆加固,保证巷道掘进和煤层回采安全。

但在井下定向钻孔施工过程中,特别是在进行地质异常构造探测、探放水钻孔及底板注浆加固钻孔等方面工作时,由于所钻地层多为中硬及硬岩层,常常出现钻孔(分支孔)成孔率低、钻孔深度较浅(< 500 m)、钻进效率较低(钻进速度 < 1 m/h)、钻头崩齿掉片及螺杆钻具损坏等现象。造成上述现象的最主要原因就是钻头与所钻地层不匹配,导致施工进度缓慢,辅助时间增加,人力物力消耗较多。

收稿日期:2014-10-23; 修回日期:2015-01-14

作者简介:金鑫,男,蒙古族,1984年生,助理研究员,硕士,从事采矿工程及定向钻井工程工作,陕西省西安市雁塔区锦业一路 82 号, jinxin1@ccteg.com。

## 2 煤层底板注浆加固定向钻进钻头的结构要求

煤层底板注浆加固定向钻孔施工多选用 PDC 全面钻头进行定向钻进,而且对 PDC 钻头的结构有更高的要求<sup>[5-7]</sup>。

(1) 钻头切削齿。适合于底板注浆加固定向钻孔的 PDC 钻头的切削齿必须考虑到钻头寿命与钻进速度。同时,在下钻的过程中,钻头易与岩层发生碰撞,这给切削齿带来较大的冲击力。PDC 部分出刃可提高切削齿的刚度,提高切削齿抗冲击载荷的能力,有利于延长 PDC 钻头的寿命。一般在较硬的地层和研磨性地层中,要求较多的切削齿数,提高钻头的使用寿命,但相应的钻进速度降低。

(2) 冠部形状。一般来说,随着地层抗钻强度的增加,应该相应地增加锥面长度。因此在较硬的地层中,需要较多数量的切削齿,锥面长度要长,增加刀翼数量。

(3) 保径层特征。保径材料一般应比切削齿更硬、更耐磨,与切削齿形成等量磨损。在硬岩层中钻进时,要求钻头必须有较长且耐磨的保径结构,不致在钻进过程中因掉片,而使钻孔孔径收缩。

(4) 开放式和分流式流道特征。开放式流道的水力特点是流体从钻头冠部中心,通过平行的或扩散的流道流向钻头外径。这种结构的钻头压力降最小,冷却和清洗加强。分流式流道的水力特点是钻井液从钻头中部的高压水道流入规径处的低压水道,以改善切削齿的冷却。

## 3 PDC 定向钻头现场试验

### 3.1 钻头的选择

定向钻头是与孔底螺杆马达和随钻测量仪器配套使用,进行定向长钻孔施工实现钻孔轨迹的有效控制的钻头。定向钻头除满足基本结构要求外,还应具有较长的寿命、较强的冲击韧性和较强的侧向切削能力等特性。结合上述要求,选用了  $\varnothing 96$  mm PDC 平底型钻头(7 齿、8 齿)、 $\varnothing 98$  mm 三翼抛物线型钻头和  $\varnothing 98$  mm 四翼平角型钻头 3 种类型<sup>[8]</sup>的胎体式 PDC 钻头(见图 1~3)进行煤层底板超前注浆加固定向钻孔施工。

从切削齿分布情况上看, $\varnothing 96$  mm PDC 平底型钻头(7 个 PDC 切削齿、8 个 PDC 切削齿)为煤矿井下定向钻探常用的定向钻头<sup>[9]</sup>,该种钻头在煤系地层造斜效果好,使用寿命高。 $\varnothing 98$  mm 三翼抛物线型

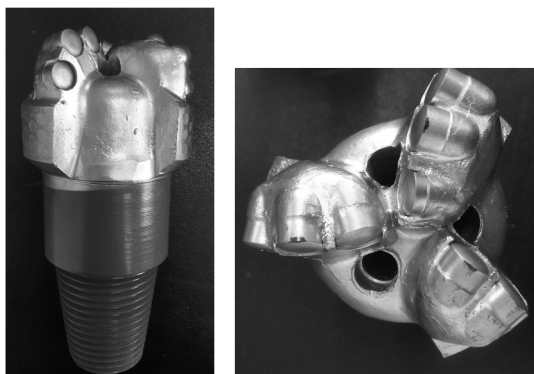


图 1 三翼抛物线型 PDC 钻头

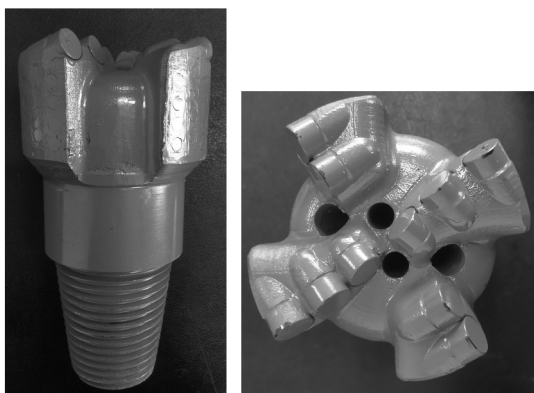


图 2 四翼平角型 PDC 钻头



图 3 平底型 PDC 钻头

钻头是将 11 个 PDC 切削齿按抛物线型布齿到三个翼片上,属于刮刀类钻头。此类结构的钻头具有整体强度高、抗冲击能力强、冷却及排屑较好、耐磨性较好等特点。 $\varnothing 98$  mm 四翼平角型钻头是将 10 个 PDC 切削齿分布到四个翼片上,这种结构的钻头的造斜效果较好,耐磨性较强,寿命较高。每种类型的钻头选取 2 个进行现场试验,通过对比不同类型的钻头的平均机械钻速来优选出适合于煤矿井下硬岩钻进的 PDC 钻头。

### 3.2 岩性分析

钻头钻进试验目标层位为陕西省韩城市桑树坪煤矿 11 号煤层底板奥灰岩层。在定向钻进试验中主要遇到岩石为厚层状深灰色石灰岩。

岩石的物理力学性能测试结果见表 1。根据岩石的坚固性系数分级来看,所钻岩石坚固性级别为Ⅲ级,属于坚固岩石。根据岩石可钻性分级指标来看,经综合评定钻遇岩石为 8 级。

表 1 钻进岩石力学性质测试结果

| 岩样<br>编号 | 压入硬度/<br>MPa | 抗压强度/<br>MPa | 普氏硬<br>度系数 | 岩石坚<br>固性系数 | 岩石可<br>钻性级别 |
|----------|--------------|--------------|------------|-------------|-------------|
| 1        | 4120         | 117          | 11.7       | Ⅲ           | 8           |
| 2        | 3890         | 109          | 10.9       | Ⅲ           | 8           |
| 3        | 4020         | 118          | 11.8       | Ⅲ           | 8           |

### 3.3 试验条件及情况

试验钻机为 ZDY-6000LD 型全液压钻机,配备 BW-320 型泥浆泵,Ø73 mm 摩擦焊钻杆和通缆钻杆。采用 Ø153 mm PDC 钻头以 -20° 倾角开孔,然后下入 Ø127 mm 套管护孔,注水泥浆护孔候凝,最后用 PDC 钻头进行定向钻进。钻进时需要综合采用螺旋钻杆回转钻进、稳定组合钻具定向钻进和螺杆马达随钻测量定向钻进等多种耦合的工艺方法<sup>[10-11]</sup>。

定向钻进时,钻进压力为 6~16 kN,钻头转速为 138~413 r/min,泵量为 230~320 L/min。钻井液采用清水。

### 3.4 试验结果与分析

试验结果见表 2。由表 2 可知,1~4 号平底型钻头的平均机械钻速都不高,不适于钻进灰岩。5 号和 6 号三翼抛物线型钻头的平均机械钻速分别为 2.75 和 2.89 m/h,进尺分别为 245.7 和 264.9 m。7 号和 8 号四翼平角型钻头的平均机械钻速分别为

3.72 和 3.92 m/h,进尺分别为 333.5 和 404.3 m。与平底钻头相比,三翼抛物线型钻头的寿命和效率提高了 2~3 倍,而四翼平角型钻头的寿命和效率提高了 3~4 倍。

由 PDC 钻头试验结果可知,水平定向钻进对钻头的要求较高<sup>[12]</sup>。煤层底板注浆加固定向钻孔施工先以负角度开孔,当钻遇目标层后,通过定向调控钻孔轨迹,使钻头顺目标层钻进。在施工过程中,钻头在孔内始终贴着孔壁。钻头可能发生 PDC 掉片、钻头外径磨损严重等现象。在下钻时,钻头可能因与孔壁冲击而崩齿。在钻进过程中,钻头也可能因为与孔底未排出的岩屑进行二次磨削而加快了钻头外保径的磨损,致使钻头寿命大大降低。

1~6 号 PDC 钻头都是因为内外径磨损过大或工作层大范围磨损掉齿而停止使用。7~8 号 PDC 钻头是由于钻孔孔深达到设计深度而停止使用。一般来说,定向钻进工艺要求从钻头下孔后到钻头报废才提一次大钻,逐个回次地观察钻头的磨损情况会影响机台的生产实效。从最终提钻上来的钻头形状看,钻头内外径的磨损较为均匀,没有发生拉槽现象。1~4 号平底型钻头均出现 PDC 切削齿崩齿现象,这是由于钻头切削齿的质量和数量都不满足钻进奥灰岩层的要求,平底型钻头的保径条较窄,耐磨性较差导致钻头寿命较低,所以这种钻头结构不适于钻进硬岩地层。5~6 号三翼抛物线型钻头只出现冠头体部分 PDC 切削齿磨损严重或崩齿的现象,说明此类钻头在钻进奥灰岩层中的抗冲击韧性较强,寿命较高,能够用于硬岩层的定向钻进。7~8 号四翼平角型钻头只出现了个别 PDC 切削齿磨损的现象,说明此类钻头在钻进奥灰岩层中的抗冲击韧性较强,在实际应用中加宽的保径不但增强了钻头的耐磨性,还提高了定向造斜的效果,总体使用效果也优于三翼抛物线型钻头。

## 4 结论

通过 3 种类型胎体式 PDC 钻头煤矿井下定向钻进试验结果表明,平底型 PDC 钻头不适用于定向钻进硬岩,而三翼抛物线型 PDC 钻头和四翼平角型 PDC 钻头在定向钻进硬岩时,表现出长寿命、高效率等特点,大大提高了煤矿井下定向钻进硬岩地层的效率。

(下转第 84 页)

表 2 PDC 钻头试验结果

| 钻头<br>编号 | 类型     | 钻头<br>直径/<br>mm | 齿<br>数/<br>个 | 进<br>尺/<br>m | 平均机<br>械钻速/<br>(m·h <sup>-1</sup> ) | 备 注                          |
|----------|--------|-----------------|--------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 1        | 平底型钻头  | 96              | 7            | 30.4         | 0.63                                | 1~4 号钻头均出现 PDC 崩齿现象,导致钻头无法使用 |
| 2        | 平底型钻头  | 96              | 7            | 29.6         | 0.61                                |                              |
| 3        | 平底型钻头  | 96              | 8            | 48.2         | 0.84                                |                              |
| 4        | 平底型钻头  | 96              | 8            | 43.6         | 0.91                                |                              |
| 5        | 三翼抛物线型 | 98              | 11           | 245.7        | 2.75                                | 5 号和 6 号钻头冠头体顶部磨削严重          |
| 6        | 三翼抛物线型 | 98              | 11           | 264.9        | 2.89                                |                              |
| 7        | 四翼平角型  | 98              | 10           | 393.5        | 3.72                                | 7 号和 8 号钻头磨损较小,属正常磨损         |
| 8        | 四翼平角型  | 98              | 10           | 404.3        | 3.92                                |                              |

## 4.2 救援装备

大型勘察项目部需配备救援车辆,以防出现安全事故;机台应配备电话,保证与外界的通讯畅通;急救箱要保证医药器材的完整性;与临近施工机组保持良好联系。

## 4.3 应急处置

发生伤害事故后,发现事故人员首先高声呼喊,通知现场负责人,现场负责人立即启动应急预案,抢救伤亡和排除险情,制止事故扩大,最大限度减少人员伤亡。现场负责人根据实际情况拨打事故抢救电话“120”或“119”,并派人在道路附近迎接救援的车辆。

发生伤害事故后,现场负责人应第一时间报告项目负责人,项目负责人把事故情况及时向单位主要负责人及安检机构报告,再根据事故类别向事故发生地政府主管部门报告。报告应包括以下内容:事故发生时间、地点、类别、人员伤亡情况和相关设施,联系人单位、姓名和电话等。

现场救援时应注意:受伤人员被大件物品压住,应让其躺在原处,待有经验人员来清除杂物和实施

急救。同时注意保护事故现场。在事态稳定后、应立即采取措施,保证事故不会继续扩大或发生二次事故;一旦发现人员不齐,先报告再进行搜救<sup>[2]</sup>。

## 5 结语

岩土工程钻探作业是勘察单位安全防护的重点,钻探作业机械设备多,工序复杂,施工环境影响明显,因此做好安全工作有一定难度,单位只有不断更新和改进设备安全性能,安全管理人员认真总结经验教训,作业人员严格按操作规程作业,才能减少伤害事故。

## 参考文献:

- [1] GB 64441—1986,企业职工伤亡事故分类[S].
- [2] 杨晨.野外钻探施工机组人身伤害应急预案[J].中国煤田地质,2007,19(S2):106-108.
- [3] 汪传武,张波,张金平,等.地勘单位钻探作业安全管理与技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1):103-108.
- [4] GB/T 13861—2009,生产过程危险和有害因素分类与代码表[S].
- [5] GB 50585—2010,岩土工程勘察安全规范[S].
- [6] AQ 2004—2005,地质勘探安全规程[S].

## (上接第79页)

三翼抛物线型PDC钻头和四翼平角型PDC钻头已成功在桑树坪煤矿奥灰水害防治工程中使用。截止到2014年12月,已完成了煤层底板奥灰岩层定向钻孔25个,累计工程量12420 m,实现了煤矿井下硬岩定向钻探的新突破,也为类似矿井深孔注浆加固防治水钻探工程提供了一定的实践经验。

## 参考文献:

- [1] 靳德武.我国煤层底板突水问题的研究现状及展望[J].煤炭科学技术,2002,30(6):1-4.
- [2] 虎维岳.矿山水害防治理论与方法[M].北京:煤炭工业出版社,2005.
- [3] 徐建文,王平,田素川,等.矿井突水灾害防治技术浅析[J].煤炭技术,2010,29(12):89-90.
- [4] 徐建文,石伟良,王飞,等.矿井突水综合防治技术[J].煤矿开

采,2010(4):112-114.

- [5] 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):21-22.
- [6] 金鑫,方小红,段隆臣.新型热压WC-Fe基金刚石钻头胎体性能研究[J].煤田地质与勘探,2013,41(3):84-86.
- [7] 屠厚泽,高森.岩石破碎学[M].北京:地质出版社,1990:69-81.
- [8] 孙荣军,石智军,李锁智.煤矿井下定向钻进配套钻头的选型与使用[J].煤田地质与勘探,2014,42(1):83-86.
- [9] 郭东琼.煤矿井下随钻测量定向钻进用PDC钻头的研制[J].金刚石与磨料磨具工程,2011(3):31-34.
- [10] 张洪健,李长青,姜文治,等.千米钻机定向钻进技术在矿井防治水中的应用[J].中州煤炭,2012(9):112-114.
- [11] 郭绍么,冯德强,杨凯华,等.钻探手册[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,1993.
- [12] 刘勇,常江华.某金矿水平绳索取心钻进钻头选型及试验分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程)2011,(38)7:73-75.