

# 局部扩径双翼扩孔钻头的研制

刘克林, 张志罡, 王晓琴

(河南省煤田地质局四队, 河南 平顶山 467000)

**摘要:**在研究应用于煤层气掏穴井的局部扩径扩孔钻头的基础上, 成功研制 PS-150/700D 型局部扩径双翼扩孔钻头。介绍了新型扩孔钻头的结构、射流作用力计算、设计要点和主要技术参数。试验结果表明, 该钻头结构合理, 使用安全可靠, 能满足煤层气掏穴井的施工需要。

**关键词:**局部扩径; 扩孔钻头; 煤层气井

**中图分类号:** P634.4<sup>+</sup>1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2014)03-0048-04

**Development of Local Diameter Expansion Double Wings Reaming Bit/LIU Ke-lin, ZHANG Zhi-gang, WANG Xiao-qin** (The 4th Team, Coalfield Geology Bureau of Henan Province, Pingdingshan Henan 467000, China)

**Abstract:** Based on the research on local diameter expansion reaming bit for CBM well with local diameter expansion, PS-150/700D local diameter expansion double wings reaming bit is successfully developed. The paper introduces this new reaming bit about its structure, jet force calculation, design points and main technical parameters. The test results show that the drill bit is reasonable in structure, safe and reliable in use, can satisfy the construction need of CBM well with local diameter expansion.

**Key words:** local diameter expansion; reaming bit; CBM well

## 1 概述

局部扩径是指采用钻掘手段将本已存在的钻孔井眼, 原位扩大为直径更大的孔眼的过程。该项技术始于 20 世纪初的油气钻井。应用该技术的基本意图是解决孔眼缩径、井壁坍塌等钻进难题。随着煤层气开发的进展, 局部扩径技术逐步进入煤层气掏穴井的施工领域。与油气钻井不同, 煤层气掏穴井要求在垂直钻孔的目的煤层段, 利用机械的方法形成一个远远大于原钻孔直径的洞穴。

局部扩径扩孔钻头是应用于局部扩径钻进的关键工具, 分为固定刀翼和活动刀翼两大类型。由于固定刀翼扩孔钻头扩孔直径变化范围小, 不符合煤层气掏穴井施工的要求。目前应用于煤层气掏穴井施工的均为活动刀翼扩孔钻头, 主要有靠活塞与连杆推动刀翼打开的机械造穴工具(如图 1 所示)和靠钻井液喷射反作用力推动刀翼打开的单翼扩孔掏穴钻头(如图 2 所示)两种形式。其中, 国内煤层气掏穴井施工中应用较为广泛的为单翼扩孔掏穴钻头。

随着在煤层气掏穴井施工中的大量应用, 机械造穴工具和单翼扩孔掏穴钻头表现出一些应用上的缺陷。机械掏穴工具由于结构上的原因, 会因为钻井液中岩屑粘卡芯轴, 造成掏穴扩孔后刀翼不能

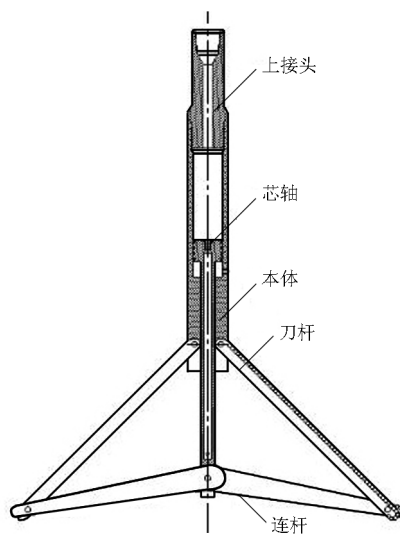


图 1 机械造穴工具

回收, 无法起钻的事故; 单翼扩孔掏穴钻头在掏穴钻进中, 稳定性差, 遇煤层夹矸石易造成刀翼提前损坏, 不能正常使用(如图 3 所示)。

在总结应用经验的基础上, 我们研制成功了 PS-150/700D 型局部扩径双翼扩孔钻头, 初步现场试验证明, 利用此钻头掏穴扩孔稳定性好, 安全性好, 完全适合煤层气掏穴井施工需要。

收稿日期: 2013-06-04; 修回日期: 2014-02-08

作者简介: 刘克林(1963-), 男(汉族), 河南孟津人, 河南省煤田地质局四队高级工程师、平顶山五环实业有限公司总经理, 钻探工程专业, 从事煤田地质勘探技术管理工作, 河南省平顶山市矿工路 185 号, lk1970@126.com。



图 2 局部扩径单翼扩孔钻头



图 3 损坏单翼局部扩孔钻头

## 2 钻头结构及工作原理

PS-150/700D 型局部扩径双翼扩孔钻头结构如图 4 所示。钻头由本体、心轴和刀翼组成,2 只刀翼通心轴连接在钻头本体上。本体上部通过螺纹与钻杆连接。钻头内部有复杂的水路使钻井液通过钻杆进入钻头,然后由刀翼的喷嘴喷射出去。

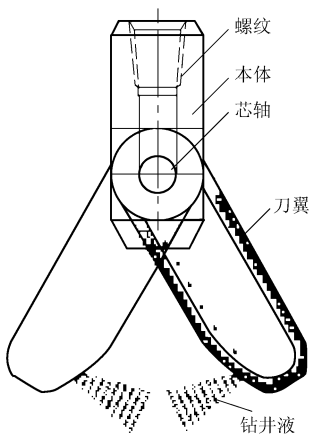


图 4 PS-150/700D 型局部扩径双翼扩孔钻头结构图

当钻头下到指定层位时,低速旋转钻具,开泵向钻柱内输送钻井液。钻井液由喷嘴喷射而出所产生

的反作用力,使刀翼逐渐抬起、打开,扩孔刀翼工作。扩孔结束后,上提钻具,刀翼依靠自身重力下落、收拢。

在钻头使用中,刀翼的展开是一个关键过程,关系到钻头设计与应用是否成功。刀翼展开过程分 2 个阶段:展开角度(刀翼与钻头中垂线夹角)小于 45°和展开角度大于 45°。前一阶段,主要依靠钻井液喷射所形成的反作用力作为动力,克服刀翼重力的影响,形成刀翼对地层向上、向外压力,使刀翼展开;后一阶段,依靠钻具下压,形成刀翼对地层向下、向外的压力,向外展开刀翼。在 2 个阶段中,后一阶段由于钻具能够提供足够的下压力,刀翼展开相对比较容易;前一阶段,钻井液喷射所形成的反作用力能否克服刀翼重力影响,是刀翼能否展开的关键,是钻头应用的核心过程。图 5 和图 6 是刀翼展开时的受力分析图。

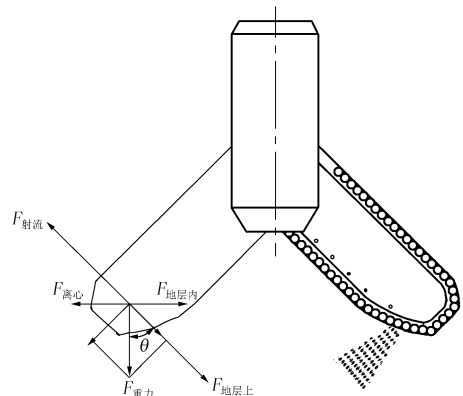


图 5 小于 45°受力分析图

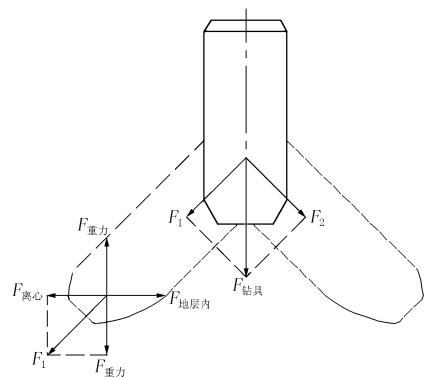


图 6 大于 45°受力分析图

其中最为关键的作用力是:

$$F_{\text{地层上}} = F_{\text{射流}} - F_{\text{自重}} \cos\theta \quad (1)$$

为计算方便,cosθ 取最大值 1,则式(1)简化为:

$$F_{\text{地层上}} = F_{\text{射流}} - F_{\text{自重}} \quad (2)$$

### 3 射流作用力计算

射流作用力  $F_{射流}$  是扩孔刀翼展开过程中最主要的动力。对于  $F_{射流}$  的推算,可以借用消防水枪反作用力的推算方法。

#### 3.1 水枪反作用力计算

根据牛顿力学定律,水枪反作用力大小:

$$F = ma \quad (3)$$

式中: $F$ ——反作用力,N; $m$ ——质量,kg; $a$ ——加速度, $m/s^2$ 。

当水流由水龙带经水枪渐缩部分到水枪喷口,整个过程水流流态复杂,为简化计算,忽略水枪水头损失,并且以平均流速代替实际水流各质点变化流速。由于过流断面逐渐减小,水流流速沿程增加。平均流速由  $v_1$  增加到  $v_2$ ,水流势能转化为动能,势能做功。平均流速由  $v_1$  增加到  $v_2$  所用时间为加速时间  $t$ ,由运动学定律,得平均加速度为:

$$a = (v_2 - v_1) / t \quad (4)$$

在加速时间  $t$  内水枪出流的水量由下式计算:

$$m = \rho S v_2 t \quad (5)$$

把式(4)、(5)代入式(3)得:

$$\begin{aligned} F &= \rho S v_2 (v_2 - v_1) \\ &= 2g\rho S [(v_2^2 / 2g) - (v_1 v_2 / 2g)] \\ &= 2g\gamma\bar{\omega}P [1 - (d^2 / D^2)] \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $F$ ——反作用力,N; $P$ ——水枪喷口处计算水压, $m(1 \text{ MPa} = 100 \text{ m 水柱})$ ; $d$ ——水枪喷口直径,mm; $D$ ——水龙带直径,mm。

根据水力学恒定总流的动量方程,根据作用在总流上的外力的动量定理:

$$\Sigma F = \rho Q (\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) \quad (7)$$

取动量修正系数  $\beta_2 = \beta_1 = 1$ 。

为简化计算,认为各质点对水枪喷口的反作用力垂直于喷口断面, $Q = S v_2$ ,则式(7)变为:

$$F = \rho S v_2 (v_2 - v_1) \quad (8)$$

比较根据力学原理推导的公式,结果完全相同。即根据力学原理和根据水力学恒定总流的动量方程所推导的水枪反作用力计算公式相同。

另外,在力学原理推导过程中,假定水流为理想液流,并且以平均流速来简化计算;由水力学恒定总流的动量方程推导过程中取动量修正系数  $\beta_2 = \beta_1 = 1$  可知,上述推导公式计算结果与实际情况有一定出入,故为近似计算。在实际工程中,可采用下式计算。

$$F = 2\rho SP \quad (9)$$

式中: $F$ ——水枪反作用力,kg; $\rho$ ——水的密度,1000  $kg/m^3$ ; $S$ ——喷口断面面积, $m^2$ ; $P$ ——水枪喷口处水压, $m(1 \text{ MPa} = 100 \text{ m 水柱})$ 。

#### 3.2 钻头刀翼打开时的钻压计算

结合水枪反作用力推算,可得到单个刀翼在打开过程中的钻压为:

$$F_{地层上} = 2\rho SPk - F_{自重} \quad (10)$$

式中: $F$ ——单刀翼钻压,kg; $\rho$ ——钻井液的密度,1000  $kg/m^3$ ; $S$ ——喷嘴面积, $m^2$ ; $P$ ——喷嘴处水压, $m(1 \text{ MPa} = 100 \text{ m 水柱})$ ; $k$ ——修正系数; $F_{自重}$ ——刀翼自重。

以清水钻井液为例,计算刀翼打开时的单刀翼钻压。假定刀翼喷嘴直径 20 mm、刀翼自重 20 kg、泵压 3 MPa、修正系数设为 0.85,则喷嘴面积 0.000314  $m^2$ 、水压 300 m 水柱,单刀翼钻压为:

$$\begin{aligned} F &= 2 \times 1000 \times 0.000314 \times 300 \times 0.85 - 20 \\ &= 160.14 - 20 \\ &= 140.14 \text{ kg} \\ &= 1.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

## 4 设计要点

### 4.1 刀翼布齿设计

局部扩径双翼扩孔钻头由于受刀翼少、旋转直径大和刀翼为活动部件等因素影响,扩孔过程中稳定性差。在钻头设计方面,通过优化刀翼的形状和PDC切削齿布置设计,来提高钻头稳定性。刀翼外形整体为长方形,肩部采用圆弧设计,布齿采用同轨迹形式,在肩部易损坏区域采用最大密度布齿方法。肩部的圆弧形轮廓设计在钻进中所形成圆弧井底造形,同轨迹布齿,相邻两轨迹之间形成的岩脊能有效地控制钻头的振动,提高钻头的稳定性。刀翼布齿设计图如图7所示。

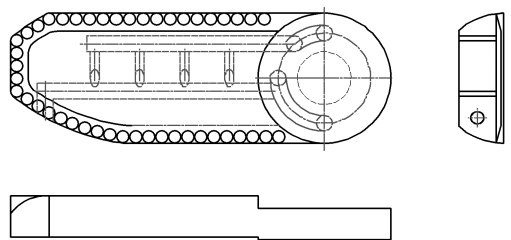


图7 PS-150/700D型局部扩径双翼扩孔钻头刀翼布齿设计图

### 4.2 钻头流道设计

保证钻头在刀翼打开过程中,钻井液顺利进入钻头体,并在流出刀翼喷嘴时能形成强烈的喷射效

果,有较强的力量推动刀翼打开;钻头刀翼完全打开后,流道要能够扩展,降低钻井液的系统压力,扩大流量,更好地携带岩屑。

#### 4.3 密封设计

保证钻头体与刀翼之间的流道连接要有合适的密封,尽量减少漏液,以免冲坏流道;同时不影响刀翼的活动灵活性;兼顾密封面的便于加工和处理。

#### 4.4 钻头材料

钻头刀翼与本体采用合金钢材料,经锻打、调质后加工制造,切削齿采用高强 PDC 复合片,保证钻头的强度与抗冲击性能。

#### 4.5 钻头参数

钻头本体直径 150 mm,扩孔直径 700 mm, NC38 钻头螺纹,上部与  $\varnothing 88.9$  mm 钻杆连接。

### 5 现场试验

2012 年 6~8 月,我们用一只 PS-150/700 型局部扩径双翼扩孔钻头先后在甘肃庆阳和山西沁水的 3 个井场进行了试验,均取得了理想的效果。试验数据见表 1。

### 6 结论

3 个井场的试验中,PS-150/700D 型局部扩径双翼扩孔钻头顺利完成了施工任务,钻头完好无损。

表 1 局部扩径双翼扩孔钻头现场试验情况

孔号	地点	扩孔层段/m	煤粉量/m <sup>3</sup>	钻头情况
QY-004	甘肃庆阳	1035.44~1043.03	7.59	6.42 完好
QY-006	甘肃庆阳	1055.72~1063.55	7.83	4.92 完好
SH-U2-4	山西沁水	606.45~614.17	6.12	4.53 完好

通过试验,可得到如下结论:

(1) PS-150/700D 型局部扩径双翼扩孔钻头结构合理,使用安全可靠,能满足煤层气掏穴井的施工需要。

(2) 与单翼扩孔掏穴钻头相比,稳定性更好,扩孔过程中钻具振动强度明显下降。

(3) 从现场情况看,局部扩径双翼扩孔钻头可应用于煤层钻探、7 级以下岩层钻探、页岩气的开发以及煤矿井下瓦斯预抽等领域的施工。

#### 参考文献:

- [1] 史兵言,李玉良. 煤层气扩孔钻头的研制与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6).
- [2] 赵运兴. 煤田地质勘探技术手册[M]. 北京:煤炭工业出版社,1989.
- [3] 社晓瑞,王桂文,王德良. 钻井工具手册[M]. 北京:石油工业出版社,2001.
- [4] MT/T 1076-2008,煤炭地质钻探规程[S].
- [5] 王世光. 钻探工程[M]. 北京:地质出版社,1986.

## 中国大洋第 30 航次第三航段完成西南印度洋深钻任务

中新网消息(2014-03-21) 据国家海洋局网站消息,3月15日~17日,中国大洋第30航次第三航段按计划完成了我国在西南印度洋中脊多金属硫化物勘探区中深钻的调查任务。



本航段共进行了3次钻探作业,作业区分别为碳酸盐试验区、非活动硫化物区、我国活动热液区附近的“死亡烟区”。在几天的作业中,队员们使用中深钻首次硫化物区钻探作业,成功取得硫化物、碳酸盐和下覆基岩,对研究硫化物分布及其与围岩的关系、碳酸盐成因等具有重要意义。

连续3天,“进取者”深孔钻机每天海底作业时间十几个小时。深钻组组长钟路介绍说,

海底的玄武岩对钻机的损耗比较严重,从取上来的样品来看,有许多小碎块。

首席科学家助理李怀明说,由于这个地区的硫化物比较松散,取心率比较低,采集到的样品多数是氧化物和硫化物的混合物。值得高兴的是,此次作业采集到了一些多金属硫化物。

钟路称,我国自主研发的中深孔钻机是岩心取样钻机,适用相对比较硬的地层。可是,硫化物性质复杂,有的松散、有的脆、有的坚硬,对钻机要求较高。未来钻机还需要解决两个问题,一是提高硫化物取样率,二是防止取上来的硫化物样品漏掉。

首席科学家陶春辉介绍说,这是我国首次使用中深钻在硫化物区钻探作业,并成功取得硫化物、碳酸盐和下覆基岩,对研究硫化物分布及其与围岩的关系、碳酸盐成因等具有重要意义。同时,这也是我国首次取得硫化物合同区地表下的样品,可为将来的海底硫化物勘探做技术储备。