

青海野马泉矿区钻头水口改进的研究

王磊¹, 陈佰辉², 汪洪民², 段隆臣¹

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 青海省岩心钻探工程技术研究中心, 青海 西宁 730020)

摘要:青海野马泉矿区在钻探生产中通常采用大钻压、高线速度的钻进规程。由于在钻进过程中单位时间内产生的岩粉量多、摩擦生热快且难以排出,常出现钻头非正常磨损现象,导致钻头提前失效,使得提下钻频繁,严重影响施工进度。根据现场地层情况和工艺条件设计了钻头,改进了钻头配方和钻头制造工艺,将钻头水口进行了适当的加宽。数值模拟分析和野外试验结果表明,适当加宽水口可以有效地排粉、降温和提高钻头寿命。

关键词:金刚石钻头;钻头水口;水口宽度;数值模拟;野马泉矿区

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)09-0047-05

Study on the Improvement of Bit Water Outlets in Yemaquan Mine of Qinghai/WANG Lei¹, CHEN Bai-hui², WANG Hong-min², DUAN Long-chen¹ (1. Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2. Drilling Engineering Technology Center of Qinghai Province, Lanzhou Gansu 730020, China)

Abstract: High RPM and large pressure drilling parameters were usually adopted in the exploration drilling in Yemaquan mine of Qinghai. Since too much cuttings and heat are produced in the unit drilling time, the early failure of diamond bit is often caused by the abnormal wearing, and the construction schedule is seriously affected. The diamond bit was designed and the matrix formula and manufacturing technology were improved based on the geological and technical conditions in the field, the water outlet is appropriate widened. The results of numerical modeling analysis and field test show that the cutting removing, temperature and diamond bit service life are effectively improved.

Key words: diamond bit; bit outlet; outlet width; numerical simulation; Yemaquan mine

0 前言

青海野马泉矿区平均海拔 3900 m,在高原钻探施工难度大,每年可施工时间短,交通运输及劳动力成本高,由于该区地质作用强烈,破碎、裂隙地层所占比例较高。在前期的钻探施工中,钻头的寿命普遍不高,钻探成本高。因此提高钻头寿命和钻进效率,对于加快施工进度,保证施工质量,降低钻探成本,提高经济效益具有重要意义。

在小直径地质钻探中,为了实现钻头的高效率长寿命,国外研究人员^[1]通过对孔底流场进行分析,设计不同的水口结构,增加胎体的高度来实现。如美国 Boart Longyear 公司研制的 Alpha Stage3 孕镶金刚石取心钻头^[2],通过对水口的特殊设计来实现钻头的超高胎体(25.4 mm),当胎体磨损第一层水口时,第二层水口便显露出来,以此类推。这类钻头一经生产,便大量用于萨德伯里(加拿大南部城市)盆地的钻探工作,该钻头在中硬到坚硬、弱研磨性地层的平均寿命达到 150 m,是普通钻头的 3 倍。另外,钻头水口的面积占整个底唇面积的比例越来

越大^[3],因此水口的数目越来越多,以直径 95 mm 绳索取心金刚石钻头为例^[4],水口的数目从 10 个到 16 个不等,而且水口的形状也随着水口数量的不同而相应做出调整^[5]。由于增加水口数目和水口面积会降低胎体的抗破坏能力,在钻探生产中容易发生掉块、崩刃等现象。本文采用适当增加水口宽度的方法增加钻头的过水面积。

1 钻头的主要磨损形式分析

为了提高钻进效率,野马泉矿区生产施工单位在钻进过程中通常采用大压力、高线速度的钻进规程。在这种工艺下,钻进过程中单位时间内产生的岩粉较多,难以排出,大量岩粉堆积在钻头内部,磨损内径,使钻头很易磨成‘内八字’而提前失效(如图 1 右)。大量岩粉难以排出,摩擦产生的大量热难以被带走,容易导致烧钻(如图 1 左),致使钻头提前失效,严重影响施工进度。

收稿日期:2013-05-31

基金项目:本文获青海省国土资源基金“青海省重点勘查区深部钻探技术研究”(2012056136)项目资助

作者简介:王磊(1989-),男(汉族),青海共和人,中国地质大学(武汉)硕士研究生,地质工程专业,从事岩石破碎与金刚石工具的研究工作,湖北省武汉市洪山区鲁磨路 388 号,cutterfly0012@163.com。



图 1 钻头磨损图



图 3 钻头照片

2 钻头水口设计

由于在野马泉矿区钻探生产过程中,大钻压、高转速的施工特点导致在单位钻进时间内排粉量大,因此如何及时有效地将岩粉排走并冷却钻头是该矿区钻头设计和选用的核心内容。在设计过程中,考虑增大水口面积占整个钻头唇面面积的比例,从而达到既增加过水面积、又能够有效地冷却钻头的目的。增加水口面积通常有 2 种方式:一种是水口宽度不变,增加水口数量;另一处是水口数量不变,增加水口宽度。

美国常年公司设计有 16 个水口的钻头^[6],这种钻头对胎体工作层的力学性质要求很高,如果力学性能达不到要求,钻头就很容易发生崩刃等现象,使用效果不佳。所以我们在设计时采用第二种方案,即增加水口宽度,通常普通 NQ 钻头的水口宽度在 4~5 mm,设计将水口加宽至 6 mm。增大水口对冲洗液流速和孔底流场有何影响,可通过数值模拟来分析。

针对青海野马泉矿区设计的 NQ 系列钻头的结构如图 2 所示,设计将水口宽度增加至 6 mm。钻头实物见图 3。

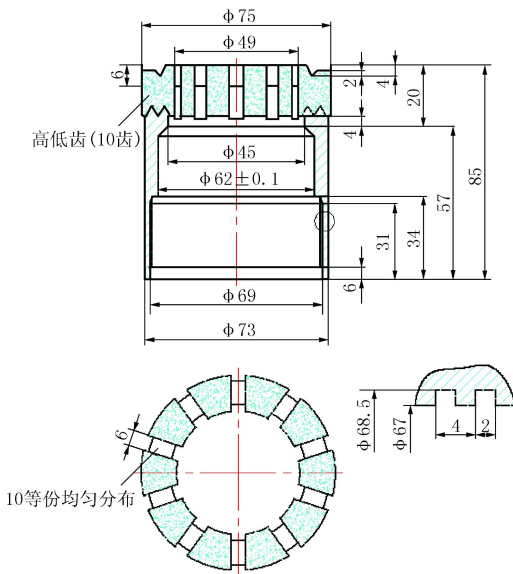


图 2 钻头结构图

3 钻头水口宽度的分析和配方设计

采用 ANSYS FLOTTRAN 软件,ANSYS 程序中的 FLOTTRAN CFD 流体分析是一个用于分析二维及三维流体流动场、热分析、耦合场的先进工具,本文通过对钻头的水口数值模拟,分析研究了不同钻头水口参数下流体的流动速度^[7]。

前处理模块:定义材料类型 3D FLOTTRAN 142 单元,水口宽度 6 mm(通常是 4~5 mm)。钻头尺寸:模拟内径 32 mm,刚体长 60 mm,工作层高 24 mm,10 个水口。流体材料模拟的是野马泉矿区通常使用的化学泥浆的性能参数,加载钻头轴向,通过泵量 65 L/min 可以计算出流速为 2.45 m/s,为了让流体能顺利通过水口,设置水口处载荷压力系数为 0;由于流体需要通过钻头内径,设置钻头壁 X 轴和 Y 轴自由度均为 0,Z 轴自由度为 1;流体流动参数: AIR-MM,紊流。冲洗液基本性能:表观粘度 7 mPa·s,密度 1.02 g/cm³。

3.1 钻头数值模型及简化

流体控制方程:流体设定为牛顿流体,流体物性为常数,连续介质。

当流体在钻头水口流动时必须满足流动和热量传递的基本关系式^[8]:

(1) 续方程

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

(2) 动量方程

X 方向

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial p}{\partial x} = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho g_x \quad (2)$$

Y 方向

$$\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z}\right) + \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$= \mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) + \rho g_y \quad (3)$$

Z 方向

$$\rho\left(\frac{\partial w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z}\right) + \frac{\partial p}{\partial z}$$

$$= \mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) + \rho g_z \quad (4)$$

(3) 量方程

$$\rho c_p\left(\frac{\partial T}{\partial t} + u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} + w\frac{\partial T}{\partial z}\right)$$

$$= \lambda\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + Q \quad (5)$$

式中： $u、v、w$ ——分别为 $X、Y$ 和 Z 方向的速度分量， m/s ； $g_x、g_y、g_z$ ——分别为 $X、Y$ 及 Z 方向的重力加速度， m/s^2 ，重力影响可忽略不计； t ——时间， s ； p ——压力， Pa ； c_p ——比定压热容， $J/(kg \cdot K)$ ； L ——流体的粘度， $Pa \cdot s$ ； T ——温度， K ； λ ——导热系数， $W/(mK)$ ； Q ——流体的密度， kg/m^3 。

3.2 模型结构及算法格式

根据钻头结构尺寸进行三维实体模型的建立，单元类型定义 3D FLOTRAN 142。钻头的网格划分如图 4，对于钻头进行网格结构划分时，根据钻头里面结构的疏密程度相应调整网络结构大小。考虑流体流动及热传导的影响采用 $k - \epsilon$ 湍流模型^[9]，压力和速度采用 SIMPLE 算法。流体进口采用速度入口条件，给定流体流速及相应的湍流条件；出口条件采用无压力自由出口边界，壳体采用无滑移，无速度流动壁面，稳态不可压缩求解。

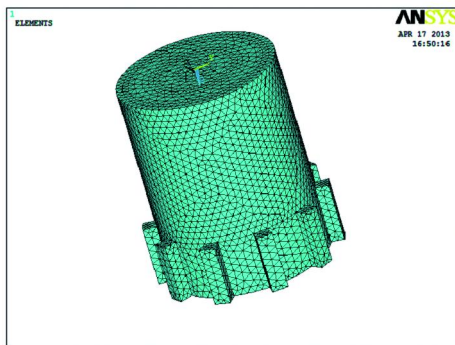


图 4 网格划分图

边界条件设定：

- (1) 入口为加速度边界， $V_x、V_y$ 速度设为 0。 $V_z = 2.45 m/s$ ，施加在钻头内截面。
- (2) 钻头外壁壳边界条件， $V_x、V_y、V_z$ 均为 0。
- (3) 入口处边界条件， $P = 0$ 。

求出口处的 $V_x、V_y、V_z$ 。

3.3 计算结果

(1) 钻头水口宽 4 和 6 mm 的水口处水流速度云图的比较见图 5、图 6。

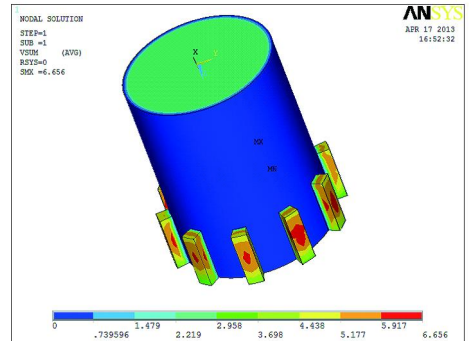


图 5 4 mm 水口处速度云图

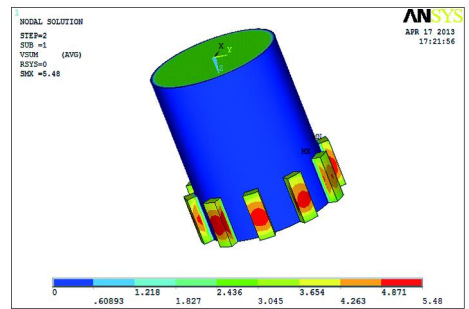


图 6 6 mm 水口处速度云图

由图 5 和图 6 可以看出，水口处红色区域为水流最大的位置，图 5 中 4 mm 钻头红色区域的最大速度可达到 6.656 m/s，图 6 中 6 mm 钻头红色区域的最大速度可达到 5.48 m/s，水口处侧向最大速度降低 19%。

(2) 钻头水口宽 4 mm 和 6 mm 的水口处水流速度矢量图的比较见图 7、图 8。

从图 7、图 8 可以看出，6 mm 钻头水口处的速度相比较 4 mm 有所降低，但都满足孕镶金刚石钻头水口处的最大流速 $> 5 m/s$ 的要求^[10]。速度降低，

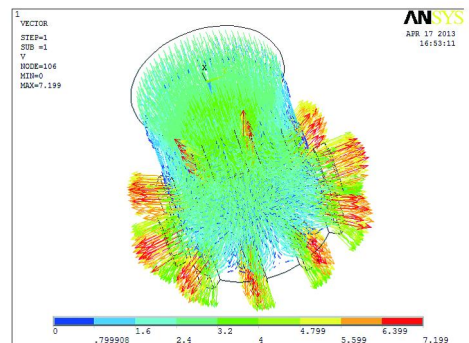


图 7 4 mm 水口处速度矢量图

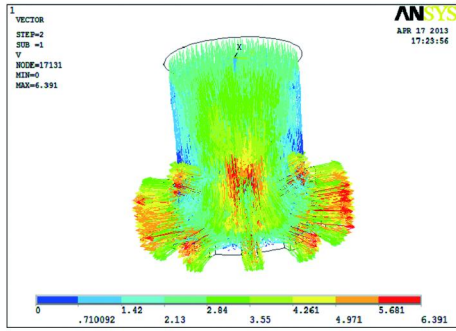


图8 6 mm水口处速度矢量图

单位体积的冲洗液携带的热量增加,这对于高原缺水条件下的钻进时提高钻头寿命是有利的,而且冲洗液对孔壁的冲刷效果也会减弱,有利于孔壁稳定。

3.4 钻头制造工艺

热压金刚石钻头的制造工艺流程如图9所示。

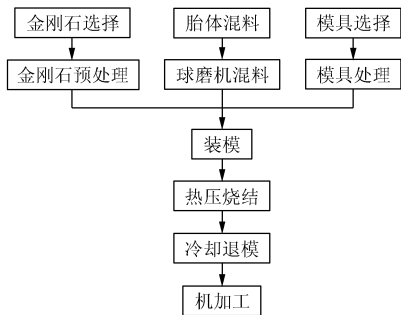


图9 钻头制造工艺流程图

编号	组份					
	WC	Cu-Sn	Fe	Ni	Co	Mn
1	20	29	30	13	5	3
2	25	29	25	13	5	3
3	30	31	20	11	5	3
4	35	31	15	11	5	3
5	40	33	10	9	5	3
6	45	33	5	9	5	3

设备类型	孔深 /m	钻压 /kN	转数 /($r \cdot \min^{-1}$)	泵量 /($L \cdot \min^{-1}$)
	0 ~ 300	>30	>950	>65
全液压动力头钻机	300 ~ 500	>30	>800	>60
	500 ~ 650	>30	>700	>60
	650 ~ 800	>30	>650	>50
	>800	>30	>550	>50

注:此表参数是针对完整地层、NQ口径、进口钻机和进口管材的,国产钻机钻进参数会相对低些。

如图10水口宽4 mm钻头效果图所示,由于钻头水口较窄,在大压力高线速的施工工艺条件下单位时间内的岩粉较多,且不易排出,容易造成水路堵塞,出现磨损内径、烧钻等现象,该钻头寿命15 m。



图10 水口宽4 mm钻头效果图

如图11水口宽4 mm钻头效果图可以看出,大量的岩粉堵塞水口,造成泵压高、磨损内径等现象,该钻头使用寿命不足10 m。



图11 水口宽4 mm钻头效果图

3.5 钻头配方设计

针对野马泉矿区的地质条件以及施工工艺,压力大、转速高、单位时间内排粉量大等特点,要求本胎体硬度高、耐磨性强、导热率高、热膨胀系数与金刚石接近、成形性好,且具有很高的弹性模量等特征,因而在胎体配方中,选用碳化钨和铁作为骨架材料,铜锡合金作为粘结金属,镍、钴和锰作为中间成分调节胎体的综合性能。铁价格低廉,具有硬度较高,与金刚石有较好的润湿性、且能形成多种碳化物(如 Fe_3C 和 Fe_2C)等优点;此外,铁元素的加入容易使胎体产生一定的脆性,因此将有利于改善碳化钨基胎体的耐磨性,使钻头在钻进研磨性较低的地层时金刚石可以适当出刃。

针对野马泉矿区,设计了6种胎体配方,生产并试钻后进行了优选。详见表1。

4 钻头初步使用效果比较

青海野马泉矿区在以往的钻探生产中,钻进工艺参数如表2所示。

综合以往使用的钻头,由于水口宽度不足,都会出现不同程度的非正常磨损现象而使钻头提前失效,平均钻头寿命在40 m左右,严重影响了施工进度,增加了生产成本。

在确定了青海野马泉矿区岩石可钻性的条件下,结合矿区大压力、高线速度的施工工艺条件,设计并制造了一批试用钻头,进行了现场试钻。

试验钻孔 ZK4859,设计孔深 450 m,终孔口径 75 mm。采用天和众邦 YDX-3A 型全液压力头钻机,金刚石绳索取心钻进。钻压 25 kN,转速 1000 r/min,泵压 1.5 MPa,泵量 65 L/min。钻头使用寿命 221 m,平均机械钻速 6 m/h。钻遇的岩层主要为灰岩及部分砂卡岩。通过图 12 钻头使用后的效果图可以发现,胎体磨损平整,内外径正常,未出现非正常磨损现象。



图 12 设计钻头使用后效果图

在同样的配方和工艺条件下,试用了同样水口宽度的钻头,分别在 ZK10425、ZK8017 等孔进行了试钻,平均寿命都达到了 150 m,平均钻速在 7 m/h

左右。

5 结论

(1) 钻头水口适当加宽有利于较大颗粒的岩粉及时排出,可以避免岩粉在钻头内部堆积磨损内径,致使钻头提前失效。

(2) 水口适当加宽,可以增加过水断面并有效地冷却钻头,防止烧钻。

(3) 在水口数量不变的情况下,合理增加水口的宽度,有利于钻头钻进比压的增加,从而有利于钻进效率的提高。

参考文献:

- [1] 赵军,蔡亚西,林元华. 声波测井资料在岩石可钻性及钻头选型中的应用[J]. 测井技术, 2001, (4).
- [2] 刘向君,孟英峰. 岩石可钻性和钻速预测[J]. 天然气工业, 1999, (5).
- [3] 冯定. 神经网络在钻头选型中的应用研究[J]. 石油钻探技术, 1998, (1).
- [4] 徐济银,王吉东,蒋杰. 比能在钻头选型中的应用[J]. 钻采工艺, 1996, (6).
- [5] 张厚美,张良万,刘天生. 钻头选型方法研究[J]. 天然气工业, 1994, (5).
- [6] 赵建康,孙友宏,张祖培. 摩擦热-机械碎岩钻进技术试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, (12).
- [7] 李良福. 钻孔时钻头发热的研究[J]. 机械设计与制造工程, 1999, 28.
- [8] 胡小芳,肖迪. 基于 ANSYS 的相变储能建筑材料温度响应特性的研究[J]. 材料导报, 2009, 23(11).
- [9] 何枫,谢峻石,杨京龙. 喷嘴内部流道型线对射流流场的影响[J]. 应用力学学报, 2001, 18(4).
- [10] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社, 1991.

我国主要矿种勘查取得新进展

《中国矿业报》消息(2013-09-16) 从国土资源部获悉,从2013年主要矿种评审备案报告的情况来看,除镍矿外,我国14个矿种都有勘查新增资源储量,主要包括:煤炭勘查新增资源储量为207.5亿t,铁矿9.45亿t,金矿298.4t,铜矿100.97万t,铅矿126.29万t,锌矿211.82万t,钼矿68.77万t,锰矿6207.3万t,铝土矿3711.66万t,磷矿32037.68万t,钨矿0.53万t,银矿6756.06t,锡矿1.9万t,铋矿8.71万t。

国土资源部称,今年到目前为止全国矿产资源储量评审备案共涉及1872份报告,且均为固体矿产资源的储量报告。从评审备案部门来看,评审备案工作主要以省级国土资源主管部门的评审备案工作为主,数量为1716份,占总数的92%;部评审备案为156份,占总数的8%。从报告来源来看,评审备案主要集中在河北、贵州、云南、内蒙古、山东等资源大省(区),而涉及矿种较多的省份则为辽宁、安徽、内蒙

古、福建、山东。

值得注意的是,从勘查程度来看,评审备案的储量报告勘查工作程度整体较高,达到详查以上程度的占73%(勘探451份,24%;详查917份,49%),达到普查程度的321份(17%),其他183份(10%)。同时,从储量规模来看,在所有评审备案储量报告中,储量规模以小型为主(1426份,占76%),其次是中型(250份,占13%)、大型(196份,占10%)。

近年来,随着国家找矿突破战略行动的实施,新的矿产地不断被发现,资源储量不断被探明,地质勘查取得了丰硕的成果,为我国经济社会可持续发展提供了有力的支撑和保障。而矿产资源储量报告就是矿产勘查主要成果的集中体现,矿产资源储量评审备案是掌控储量数据真实可靠的重要手段。根据有关数据,国土资源部对我国矿产资源储量评审备案情况进行了上述分析。