

仿生孕镶金刚石钻头在漠河冻土区 天然气水合物勘探钻进中的应用

曹宇¹, 刘宝昌^{1,2}, 计胜利¹, 李守圣³, 李小洋¹

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 吉林大学超硬材料国家重点实验室, 吉林 长春 130012; 3. 黄河勘测规划设计有限公司, 河南 洛阳 471002)

摘要:仿生孕镶金刚石钻头具有高效、耐磨的特点,符合漠河天然气水合物勘探的要求及漠河钻探施工现场的条件。介绍了符合漠河地层特点的仿生孕镶金刚石钻头的设计与制造。同时对效果不理想的钻头的钻进情况进行了分析,提出了评价钻头性能时需要综合分析,从而客观、真实地反映钻头的实际钻进能力。漠河天然气水合物MK-2科学钻探试验井的钻进结果表明,仿生孕镶金刚石钻头的寿命比普通孕镶金刚石钻头长73%,转速比普通孕镶金刚石钻头高22%。

关键词:天然气水合物;仿生孕镶金刚石钻头;高效;耐磨;漠河

中图分类号: P634.4⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)07-0077-05

Application of Bionic Impregnated Diamond Bit for Natural Gas Hydrate Drilling in Mohe Frozen Soil Region/ CAO Yu¹, LIU Bao-chang^{1,2}, JI Sheng-li¹, LI Shou-sheng³, LI Xiao-yang¹ (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. State Key Laboratory of Superhard Materials, Jilin University, Changchun Jilin 130012, China; 3. Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Luoyang Henan 471002, China)

Abstract: Bionic impregnated diamond bit has the characteristics of high efficiency and wear resistance, which meets the requirements of the exploration of natural gas hydrate and the conditions of the construction site in Mohe. This paper introduces the design and manufacturing of bionic impregnated diamond bit suitable to the characteristics of Mohe formation. The paper analyzes the drilling conditions of nonideal bit and puts forward the comprehensive analysis for evaluation of bit performance to objectively and truly reflect the actual bit drilling capacity. The drilling results of MK-2 scientific drilling test well of Mohe natural gas hydrate indicate that the service life and the drilling speed of bionic impregnated diamond bits are 73% longer and 22% higher than ordinary diamond impregnated diamond bits.

Key words: natural gas hydrate; bionic; impregnated bionic diamond bit; high efficiency; wear resistance; Mohe

1 概况

天然气水合物是一种可以取代传统能源的清洁能源,广泛分布于海底沉积物和陆上永久冻土区中,其全球潜在资源量相当于 $(1.8 \sim 2.1) \times 10^6 \text{ m}^3$ 的甲烷气,是已知煤、石油和天然气等化石燃料资源量总和的2倍。漠河盆地具有天然气水合物形成的气源条件、冻土条件和储存条件,被认为是东北冻土区天然气水合物成矿条件最好的地区^[1]。

2011年7~11月,在中国地质调查局组织下,中国地质科学院矿产资源所、中国地质科学院勘探技术研究所、吉林大学、中国地质大学(北京)和北京化工大学等科研院校参与,吉林大学负责施工,在东北漠河盆地实施了天然气水合物MK-2科学钻探试验井。钻探施工区位于漠河盆地,在黑龙江省

漠河县北极村境内,处于大兴安岭北麓,距黑龙江百余公里,属大森林覆盖区域,施工区为多年永久冻土区,施工区可施工月份为6~9月份,其平均气温 $7.5 \sim 18.1 \text{ }^\circ\text{C}$,年平均气温在 $-5.5 \text{ }^\circ\text{C}$,属于寒温带大陆性季风气候。本区属于盆地,上覆盖层为第三系和白垩系地层,冻土层厚度达120 m以上,地表溶化层可深到20 m左右不等。

地层以泥岩、砂岩互层为主,砂岩胶结较好,为硅质胶结,可钻性在V~VII级,泥岩为煤系地层,岩石硬度在IV~V级。施工地区为六类地区。

试验孔MK-2开孔使用 $\text{Ø}174 \text{ mm}$ 硬质合金钻头钻进14.25 m,然后由于岩层破碎,采用冲击钻钻穿覆盖层至中风化基岩地层内0.5~1.0 m(实际深度为20.6 m)。采取全段取出岩心后,下入 $\text{Ø}168$

收稿日期:2012-03-16; 修回日期:2012-04-02

基金项目:中国地质调查局项目(GZHL20110320;GZHL20110326)

作者简介:曹宇(1988-),男(汉族),四川绵竹人,吉林大学硕士研究生在读,地质工程专业,主要从事钻探工具及工艺方面的研究工作,吉林省长春市吉林大学前卫北区3舍409,yucaol0@mails.jlu.edu.cn。

mm 孔口套管至孔底,安装井口压力控制系统。 $\varnothing 168$ mm 套管与孔壁间用水泥固井。

然后采用 $\varnothing 127$ mm 绳索取心钻具、 $\varnothing 135.5$ mm 金刚石钻头或复合片钻头钻进至 347 m。将 $\varnothing 127$ mm 钻杆留在孔内作为套管使用。

最后,在 $\varnothing 127$ mm 钻杆(套管)内用 $\varnothing 108$ mm 绳索取心钻具、 $\varnothing 112.5$ mm 金刚石钻头钻进至 481.3 m。

2 钻头选择

漠河地区施工工期短,同时,为满足天然气水合物的取心要求,回次进尺要低于 1.5 m,钻进过程中,钻井液温度需要保持在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。若采用普通孕镶金刚石钻头,钻进速度达不到施工要求,且钻进时间越长,钻井液温度会持续缓慢升高,会影响水合物的取心及整个项目的进度,因而迫切需要使用一种钻进效率高的钻头进行施工。

仿生孕镶金刚石钻头依据仿生非光滑理论研制,其运用了仿生学的非光滑表面具有耐磨、减阻特性,模仿蜥蜴前胸背板存在凹坑的特点,将钻头的底唇面设计制造成非光滑的表面,从而使钻头更耐磨。所谓非光滑表面,是指在光滑表面上至少在某一方向上存在引起非光滑效应的宏观区域的表面,它是存在于系统中影响切向阻力的各种因素。由于非光滑效应的不同而产生了几何非光滑表面、力学非光滑表面、化学非光滑表面和动态非光滑表面^[2]。

经试验证明,将仿生非光滑结构应用到钻头的设计中能够提高钻头的碎岩效率和使用寿命,平均机械钻速比普通钻头提高 50% 左右;钻头寿命提高 1.5 倍上^[3]。

天然气水合物科学钻探试验井使用了普通钻头与仿生钻头进行对比钻进的方法,用以研究仿生钻头在野外的使用情况,从而优化仿生钻头的结构,实现高效率钻进,满足漠河地区的施工要求。

3 钻头设计和加工

3.1 仿生钻头参数设计

由于所处岩层夹石英脉,属于坚硬岩层,部分地层为坚硬致密弱研磨性地层。钻头设计如图 1 所示。采用金刚石浓度 100%,水口数 10 个,工作层高度 7 mm,过渡层高度 5 mm。仿生单元采用均匀排布(如图 2),即仿生钻头底唇面上,在同等工作面积上布置同等数量的仿生单元,外径 112.5 mm,内径 73 mm。

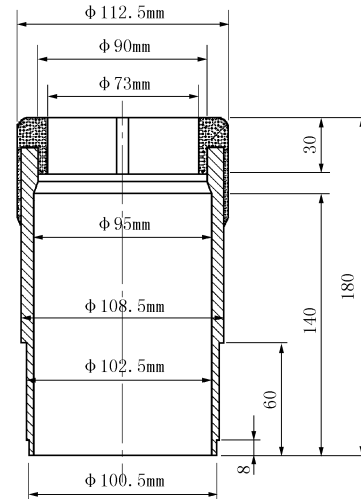


图 1 仿生钻头设计图

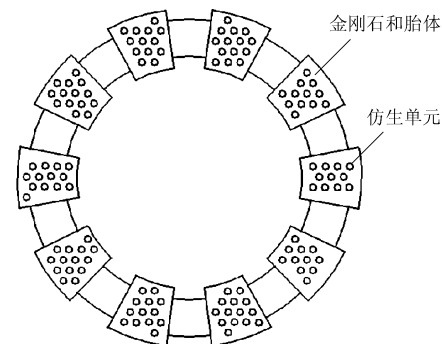


图 2 仿生单元均布分布图

采用 50/60、60/70 不同粒度的金刚石按 1:1 的比例混镶,由于金刚石粒度大小不等,钻头底唇面在同一水平面上的金刚石出露数量变少,则单粒金刚石上的轴向压力增大。同时不同粒度金刚石钻进时能形成不同粒度的岩粉,从而增强岩粉颗粒对胎体的研磨作用,使失去工作能力的金刚石脱落,新的金刚石及时出露,促进孕镶金刚石钻头不断出刃,提高钻头在坚硬致密弱研磨性地层的钻进效率。

工作层材料由胎体材料和仿生非光滑材料组成。胎体硬度 HRC25,非光滑度 12%。胎体粉末材料成分如表 1 所示。WC 和 YG6 为骨架材料具有高熔点、高耐磨、高硬度的特性,且对金刚石的腐蚀较小,线膨胀系数也较小;Ni、Mn、Co 和 663 青铜粉等粘结金属能在适当温度下熔化,同时湿润 WC 颗粒,并使 WC 颗粒表面熔融,促进了制品的收缩及致密化过程。不同材料在高温高压下产生物理分子接触和化学合成反应,形成一种具有较佳复合特性的构件^[4]。

此胎体配方在 63 号配方的基础上降低了 WC 等骨架材料的含量,从而降低胎体的耐磨性,并增加

表 1 胎体材料配方(质量分数) /%

WC	YG6	Ni	Mn	Co	663Cu
35	10	5	5	3	42

663Cu 含量,降低胎体硬度,从而适用于坚硬致密弱研磨性地层^[5]。

3.2 钻头的加工

仿生钻头的制造方法和普通钻头基本一样,增加了一套制作非光滑表面的工艺,在中频炉中进行热压烧结,温度 980 ℃,压力 10 ~ 15 MPa;烧结时每隔 2 min 增加 10 kW,在升温过程中,加到 40 kW 为止,达到保温温度,每隔 1 min 降低 10 kW,直至温度稳定为止;保温时间 15 ~ 25 min。

烧结完成后,应将钻头放置在保温砂箱内缓慢冷却 24 h 后取出。其他加工工序与普通钻头的一样。钻头具体加工流程如图 3 所示。

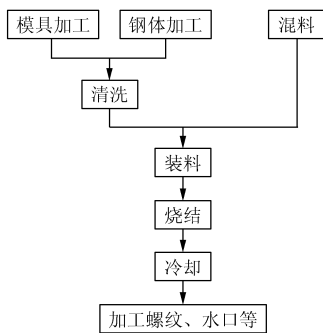


图 3 仿生钻头加工流程图

4 钻探设备及钻进工艺

采用 HXY - 8 型钻机,SG - 24 重型四角钻塔一套(高度 24 m),允许提升立根长度 6 × 3 m;一台 200 kW 和一台 150 kW 柴油发电机组;BW - 320 型三缸活塞泵;为满足漠河地区天然气水合物科学钻探的目的,采用吉林大学研制的泥浆强制冷却系统等。

由于仿生非光滑表面使钻头底唇面的比压增加,因此仿生钻头需要的压力要小于普通金刚石钻头,且钻进过程中采取切掉钻头一部分齿的方法,根据岩层条件的差异控制在 9 ~ 13 kN。

在孔径、孔深、冲洗润滑条件、孔壁稳定性、岩层研磨性、钻杆坚固性以及设备等允许的条件下,尽量取较高转速钻进,由于条件限制,现场转速为 250 r/min。

漠河地区泥浆制冷需要采用无固相泥浆,冲洗液量为 165 L/min,泵压为 1 ~ 2 MPa。制冷泥浆配方为:3% PVA(聚乙烯醇) + 0.1875% PAC - 141(聚

丙烯酸多聚物) + 0.075% Na - CMC(高粘钠羧甲基纤维素) + KCl(10%)。

5 钻头使用情况

5.1 平均机械钻速

各钻头平均机械钻速见表 2 和图 4。

表 2 钻头使用情况对比

钻头	井段/m	进尺 /m	时间 /h	平均机械钻速 / (m · h ⁻¹)	最高回次平均机械钻速 / (m · h ⁻¹)	最低回次平均机械钻速 / (m · h ⁻¹)
仿生 1	347 ~ 374.7	27.7	23.833	1.162	2.509	0.218
普通 1	374.7 ~ 403.35	28.65	24.333	1.177	2.182	0.25
仿生 2	403.35 ~ 449.3	45.95	33.917	1.355	2.182	0.813
普通 2	449.3 ~ 481.3	32	28.917	1.11	1.714	0.857

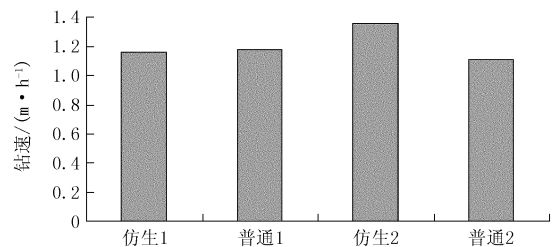


图 4 钻速柱状对比图

由表 2 和图 4 可以看出仿生 1、普通 1 与普通 2 钻速接近,而普通 2 钻速最低(1.11 m/h),仿生 2 钻速最高(1.35 m/h),仿生 2 钻头钻速比普通 2 钻速高 22%。

5.2 钻头寿命

各钻头寿命见表 2 和图 5。

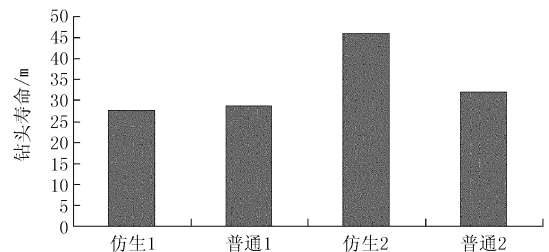


图 5 钻头寿命柱状对比图

由表 2 和图 5 可以看出,仿生 1 与普通 1 寿命接近,仿生 2 寿命最长(49.95 m),仿生 2 钻头寿命比普通 1 提高 73%。

5.3 钻头使用效果分析

从以上钻头使用情况可以看出,仿生钻头在钻进过程中具有更高的效率和更长的使用寿命,且效果显著。经研究人员分析,仿生钻头高效碎岩及耐磨的原因如下:

(1)非光滑表面增加了钻头唇面的比压;
 (2)非光滑表面改善了钻头和岩石的冷却条件;

(3)非光滑的凹坑可以使岩石产生应力集中现象,有利于碎岩;

(4)接触摩擦力是体现钻头磨损程度的重要参数,钻头底唇面凹坑的存在使钻头与岩石的接触摩擦力有了不同程度的减少^[6]。

然而仿生1的寿命并不理想,平均机械钻速也同普通钻头接近。分析发现仿生1钻头具有最高的回次钻速(2.509 m/h),同时也有最低的回次钻速(0.218 m/h),最高回次平均机械钻速为最低回次平均机械钻速的11.5倍。由于仿生1钻头有最高的回次平均机械钻速,说明其钻进能力很强,那么其具有最低回次平均机械钻速的原因是除钻头之外的其他因素。

从钻进地层情况(如表3所示)可以看出,岩层以砂岩和板岩为主,部分岩层夹石英。现场钻进366.5~366.7 m层段时,钻进0.2 m却耗时55 min,钻速仅为0.218 m/h。取出岩心如图6所示,此地层为夹石英脉的致密砂岩,属于坚硬致密弱研磨性岩层,又称“打滑”地层,在这类岩层进行金刚石钻进时经常出现金刚石钻头打滑现象,致使钻进效率低,或根本不进尺。这应该是同一个钻头在不同回次钻进速度却相差10倍的原因。目前,解决钻进时钻头“打滑”问题的方法主要有:打磨法、喷砂法、唇面酸蚀法、孔底投砂研磨法、采用软胎体钻头、制造各种异形唇面钻头(如高低刃及同心圆尖齿唇面钻头)、使用弱包镶金刚石钻头^[7,8]。

限于现场施工条件,技术人员采用将钻头切掉

表3 地层条件

井段/m	地 层
347~350.7	灰色细粒长石岩屑砂岩
350.7~351.1	黑灰色泥质板岩
351.1~352.2	灰色泥质粉砂岩
352.2~354.7	深灰色粉砂岩
354.7~356.3	黑灰色泥质板岩
356.3~358.3	深灰色含砾中粗粒岩屑砂岩
358.3~363.3	深灰色泥质板岩
363.3~363.9	深灰色粉细粒砂岩
363.9~365.3	深灰色细砾岩
365.3~370.9	灰色中粗粒岩屑砂岩夹薄层炭质板岩
370.9~400.2	黑灰色炭质板岩与深灰色粉砂质板岩
400.2~447.9	黑灰色含粉砾泥岩夹浅灰色粉细粒石英砂岩,顶底为炭质板岩
447.9~481.3	黑灰色泥质粉砂岩及粉砂质泥岩

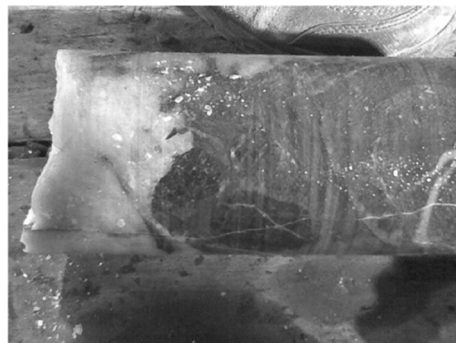


图6 所取岩心

一部分齿的方法,其原理是通过减少钻头底唇面的总面积增加比压,有利于钻头的锐化。因为当孕镶金刚石钻头底唇面的比压很低时,无论非光滑的还是平底的金钢石钻头都不进尺或进尺缓慢,只有当比压达到某一值时,才能取得理想的碎岩效果。

采取将钻头切掉一部分齿的措施之后,钻进效率明显提高,后两个回次的平均机械钻速分别为0.739、1.384 m/h。这种方法仅仅是施工现场临时采取的措施,加速了钻头的磨损,导致仿生1钻头的寿命较低。其原因是敲齿后影响了钻头的平衡,使钻头在回转过程中,底唇面磨损不均匀,钻头的寿命大大降低。使用后钻头如图7所示。



图7 使用后钻头

通过以上分析可知,仿生1钻头使用效果不理想是由地层原因造成的。仿生钻头在漠河使用效果不明显的原因还有,仿生钻头非光滑表面能改善钻头和岩石的冷却条件。而由于漠河地区水合物勘探的特殊取心需求,吉林大学研制的泥浆强制冷却系统将钻井液按照要求稳定在0℃左右,从而使仿生钻头在改善冷却条件方面的优势并没有显示出来。

6 结论与建议

试验已证实仿生孕镶金刚石钻头能提高钻头的碎岩效率和使用寿命。针对漠河地区地层特点,通

过采用降低胎体硬度和耐磨性以及不同金刚石粒度混镶的方法设计出的仿生孕镶金刚石钻头在钻进坚硬“打滑”地层时效果并不十分理想,同样出现了钻进效率低下的情况。通过现场将钻头切掉一部分齿的处理,钻进效率有了一定的提高,却也同时降低了钻头的寿命。因此,为满足今后漠河地区水合物勘探的需求,应当对仿生孕镶金刚石钻头进行再次优化和改进,综合采用解决钻进时钻头打滑问题的方法,以设计出适合漠河地区地层的最优钻头。

研究一个钻头时需要综合分析其性能,不单单只考虑其钻速和寿命,因为钻进效率不仅与钻头本身有关,同时也和所钻的岩层有关。最高回次平均机械钻速描述了一个钻头在所钻地层的最高钻进速度,能更为真实地反映钻头的实际钻进能力。若最低回次平均机械钻速与最高回次平均机械钻速相差太大,则说明钻头遇到了特殊地层,有助于发现情况并采取措施。最高回次平均机械钻速与最低回次平

(上接第48页)

由于浆液混合方式和注浆的方向性可随时调节,注浆材料的凝胶时间可以从瞬结到缓结,配比可任意搭配,以及能够实现定向、定量、定压注浆施工。悬浊液型及溶液型的浆液,能够解决不同地质条件的地基处理问题。

(2)双液注浆工艺可以广泛应用于基坑开挖过程中出现的渗漏情况,即可运用于软土地基基坑的加固,也可以应用于岩基断裂破碎带的加固,对市政重大建设项目尤其在市区建筑群地下施工,对保护重要建筑管线或地下基坑,开挖附近的重要管线,以及控制不均匀沉降,防止渗漏效果尤为明显。

(3)该工艺施工设备仪器体积小,调动灵活,不受施工场地大小的限制,适用于市区狭窄的施工场区和不同深度层次要求的加固,对周围环境影响小,容易控制由此而造成的地下不均匀沉降,且经济实用。

6 结语

水泥-水玻璃双液注浆技术因其价格低廉、可操作性强、良好的堵漏补强效果,正日益得到广泛应用。随着城市建设发展的需要,地铁、电力隧道、热

均机械钻速这2个参数的提出,为今后漠河试验评价钻头性能提供了方向。

参考文献:

- [1] 祝有海,赵省民.中国冻土区天然气水合物的找矿选区及其资源潜力[J].天然气工业,2011,31(1):13-19.
- [2] 王云鹏,任露泉,杨晓东,等.仿生柔性非光滑表面的结构优化设计[J].农业工程学报,1999,15(1):33-35.
- [3] 孙友宏,徐良,赵乐涛,等.JBD-75S仿生非光滑绳索取心金刚石钻头的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1):291-294.
- [4] 孙秀梅,刘建福.坚硬“打滑”地层孕镶金刚石钻头设计与选用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(2):75-78.
- [5] 方啸虎.超硬材料科学与技术(下卷)[M].北京:中国建材工业出版社,1998.80-81.
- [6] 徐良,孙友宏,高科.仿生孕镶金刚石钻头高效碎岩机理[J].吉林大学学报(地球科学版),2008,38(6):1015-1019.
- [7] 张丽,杨凯华.金刚石钻头钻进坚硬致密弱研磨性岩层的研究现状与进展[J].金刚石磨料与磨具工程,2003,(1):30-32.
- [8] 杨凯华,杨昌锐,张绍和.弱包镶金刚石钻头钻进坚硬岩层的研究[J].探矿工程,2001,(S1):251-252,255.

力隧道、山岭隧道、引水及排水工程等建设任务越来越繁重,以及堤坝、桥梁、道路、机场跑道等其它工业与民用建筑的发展,双液注浆技术作为地基处理方法的一种,将得到更广泛的应用。其在本工程中的成功应用充分证明了其良好的堵漏适用性和良好的堵漏效果,为同类型深基坑及其他工程的渗漏水处理积累了宝贵的经验。

参考文献:

- [1] 杨晓东,夏可风.地基基础工程与锚固注浆技术[M].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [2] 刘国彬,王卫东,等.基坑工程手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [3] JGJ/T 211-2010,建筑工程水泥-水玻璃双液注浆技术规程[S].
- [4] 沈慧勇.杭州市商业银行营业及办公用房深基坑支护技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(6).
- [5] 蔡文盛.基坑围护结构渗漏的堵漏措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(3).
- [6] 董剑飞.建筑工程基础底板注浆防渗技术应用分析[J].工程建设与设计,2008,(10).
- [7] 杨晓华,俞永华.水泥-水玻璃双液注浆在黄土隧道施工中的应用[J].中国公路学报,2004,(2).
- [8] 侯广尧.注浆加固技术在基础加固中的应用[J].水力采煤与管道运输,2010,(2).