

Ø73 mm × 5 mm 薄壁摩擦焊绳索取心钻杆的研制

张喜超

(连云港黄海机械股份有限公司, 江苏 连云港 222062)

摘要:介绍了国内绳索取心钻杆和摩擦焊技术的现状。通过对3种深孔绳索取心钻杆连接结构和生产过程的对比,分析了薄壁摩擦焊绳索取心钻杆用于深孔钻探的优势。介绍了Ø73 mm × 5 mm 薄壁摩擦焊绳索取心钻杆的结构设计和加工过程,提出了焊接过程的主要技术问题和注意事项。通过拉力扭矩试验得出钻杆主要技术参数,能承受的最大拉力580 kN,最大扭矩5500 N·m,建议使用深度2000~3000 m。

关键词:绳索取心钻杆;摩擦焊接;公母接头;钻杆管体;薄壁

中图分类号:P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)10-0050-05

Development of Ø73mm × 5mm Thin Wall Wire-line Coring Drill Pipe by Friction Welding/ZHANG Xi-chao (Lianyungang Huanghai Machinery Co., Ltd., Lianyungang Jiangsu 222062, China)

Abstract: The current situation of coring drill pipe and friction welding technology is presented. Through the comparison of 3 kinds of deep hole wire-line coring drill pipe connection structure and production process, analysis was made on the advantages of the use of thin-wall wire-line coring drill pipe by friction welding in deep hole drilling. The paper introduces the structure design and the machining process of Ø73mm × 5mm thin-wall wire-line coring drill pipe by friction welding and puts forward the main technical problems and matters needing attention in the welding process. The main technical parameters of the drill pipe are obtained through the tension and torque tests, the maximum tensile force and torque are 580kN and 5500N·m respectively, and the recommended use depth is 2000~3000m.

Key words: wire-line coring drill pipe; friction welding; male and female connector; drill pipe body; thin-wall

1 研制背景

与普通金刚石钻进相比,绳索取心钻探具有钻进效率高,人工劳动强度低,钻头寿命长,钻孔质量好,钻孔事故率低等优点^[1]。目前,绳索取心钻进已成为我国地质岩心钻探的主流技术方法。为满足“攻深找盲”、“探寻第二矿空间”和深部地球科学研究等需要,近几年我国绳索取心钻探应用深度不断延伸,钻孔深度已超过3000 m^[2]。对于如此长距离连接地面与地下之间的绳索取心钻杆来讲,无疑是一种挑战,同时也体现了中国地质岩心钻探技术在国际上的地位。

1974年美国休斯公司首先将摩擦焊接技术用于连接石油钻杆和接头,获得了专利。日本于1978年也成功地将摩擦焊技术用于地热钻杆。我国是世界上研究摩擦焊最早的国家之一。摩擦焊接是利用摩擦焊机将钻杆管体与钻杆接头焊接在一起的方式。摩擦焊接因其适合异种金属焊接,而且参数重复性好、精度高、焊接质量稳定、无污染、高效等特

点,广泛应用于石油、地质等机械制造行业。近年来,我国的摩擦焊绳索取心钻杆的制造能力和质量水平有较大提高^[3]。

2 深孔绳索取心钻杆结构的现状分析与对比

本文仅探讨国内适用于2000~3000 m绳索取心钻杆的连接结构。

2.1 管体两端加厚、整体调质接头连接式

钻杆生产过程:下料→端部加热→端部镦粗→整体淬火→整体回火→钻杆硬度检测→钻杆校直→去除表面氧化皮→钻杆螺纹加工→钻杆螺纹检验→表面处理→上公母接头→包装入库。

管体两端进行适当加厚,使管体端部具有足够的连接强度所需壁厚,钻杆管体端部镦粗后在强度增加的同时,钻杆的脆性增大,表现在当孔内正常钻进时,如遇小掉块或其他原因引起憋车进而引起某一深度位置处,钻杆会在惯性扭矩的作用下,瞬间出现脆性断裂,容易造成重叠事故的发生^[4]。为了保

收稿日期:2015-01-19; 修回日期:2015-09-30

作者简介:张喜超,男,汉族,1984年生,机械设计制造及其自动化专业,从事新产品研发工作,江苏省连云港市海州开发区新建东路1号,670034045@qq.com。

证深孔用高强度绳索取心钻杆体强度,钻杆体需要整体调质处理,对于端部加厚钻杆,常采用井式炉悬挂式整体热处理。调质后管体内外表面均会形成 $0.1 \sim 0.3\text{ mm}$ 氧化皮,壁厚会在原有基础上变薄了10%左右。且调质后管体表面粗糙度较之前有大幅度降低,受到调质设备和工人操作的实际影响,调质硬度的均匀性以及表面粗糙度均存在一定的误差范围。热处理后的管体用液压校直机进行校直,保证直线度满足设计要求^[5]。高精度校直机一般中小企业很难做出大的资金投入,而普通校直机由于工人操作原因又很难保证每一根钻杆都能达到直线度要求,所以钻杆管体与接头同心度也会存在一定误差,校直后还要进行定型处理。执行此工艺的生产任务量较大,周期较长,加工量受到限制,加工检验过程需要严格控制。另外,在加强型高钢级绳索取心钻杆制造环节,由于合金管材锻造时其表面温度较高,在模具老化,磨损严重,加工中心偏离较大,管材壁厚受力不均匀等因素的作用下,极易产生钢管缺陷,为孔底事故的发生埋下了隐患^[6]。表明这种结构的钻杆用于深孔或特深孔存在局限性。

2.2 管体两端加厚、整体调质摩擦焊接式

钻杆管体加工过程和上述深孔用高强度绳索取心钻杆相同。钻杆管体两端进行适当加厚,经整体调质和校直工序,再与优于管体材料的接头进行焊接,保证焊接后焊缝处具有比管材高的强度,这种结构的钻杆可以单独对接头进行调质和渗氮或更为先进的热处理方式,大幅度加强螺纹部分的强度,焊缝处的壁厚又比管材本身壁厚大,因此这种结构是比较理想的适应于深孔钻探需求的,只是由于钻杆管体的加工工序比较长,所以加工量同样受到限制。

2.3 薄壁摩擦焊接式

薄壁摩擦焊绳索取心钻杆是先进行焊接,再加工公母接头内外圆和内外螺纹以及对焊缝处飞边的

处理,这样能很好地保证钻杆两端螺纹端部壁厚的均匀性和与管体的同心度要求,薄壁摩擦焊绳索取心钻杆保留了钻杆管体出厂时优良的机械性能,仅在两端局部进行摩擦焊接及回火后,焊区两边能得到均匀细致的组织,综合机械性能良好^[7]。执行此工艺,制造工艺简单,省工省料,能大幅度降低生产成本。

绳索取心钻杆柱连接的最理想状态应是尽量减少钻杆柱连接薄弱处的数量,发挥出钻杆管体最优机械性能,同时接头螺纹连接处有着与钻杆体相当或更优一级的力学性能。实际使用过程中,在条件允许的情况下应尽量减少钻杆柱外圆与钻孔内壁的间隙,同时应避免钻杆管体在孔内接触钻孔内壁而发生管体弯曲偏磨损现象。因此,薄壁摩擦焊绳索取心钻杆适用于深孔钻探的条件是具备的。

3 薄壁摩擦焊绳索取心钻杆适用于深孔的优势

(1) 钻杆柱薄弱环节螺纹连接部位减少,密封性增强,有效减少孔内事故率,提高钻进效率;

(2) 焊缝强度高,接近甚至高于母材,比螺纹连接稳定性要好,同心度能很好的保证;

(3) 可修复性高,两端螺纹磨损失效后,将接头从焊缝处锯开,重新配公母接头进行焊接等一系列工序,降低了施工成本,延长了钻杆柱的使用寿命;

(4) 原材料成本降低,生产工序得到简化,工人劳动强度大幅降低,生产周期大幅降低。

4 薄壁摩擦焊绳索取心钻杆的结构设计

本文着重介绍 $\varnothing 73\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 薄壁摩擦焊绳索取心钻杆的结构设计。

4.1 基本结构

图1是 $\varnothing 73\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 摩擦焊绳索取心钻杆简化结构示意图。

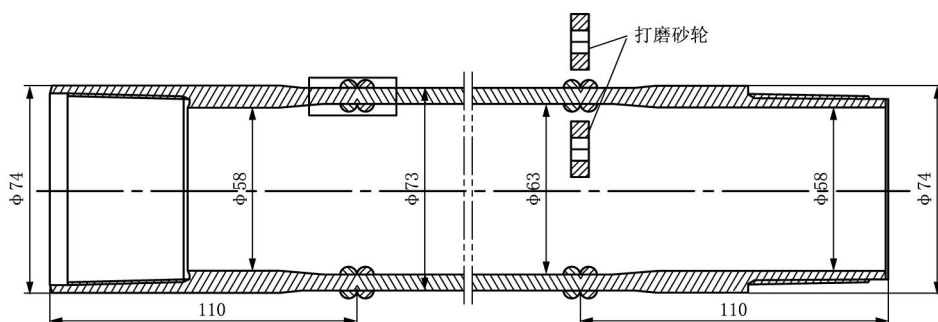


图1 $\varnothing 73\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 摩擦焊绳索取心钻杆简化结构示意图

4.2 材料选择

公母接头材质采用 XJY950(调质), 钻杆管体材质采用 27CrMo(调质)。

4.3 扣型选择

扣型采用加强 II 型负角度梯形螺纹。

选用薄壁摩擦焊绳索取心钻杆, 其主要参数为: 钻杆管体规格 $\varnothing 73 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$, 焊接端外径 73 mm, 内径 63 mm; 公母接头外径 74 mm, 内径 58 mm, 焊接端外径 73.5 mm, 内径 62.5 mm。所选钻杆适用孔深 2000 ~ 3000 mm。生产过程可概括为: 钻杆管体端部平端面, 公母接头外圆和焊接端内外圆预加工, 平端面; 摩擦焊接; 摩擦焊接后焊缝及热影响区回火; 去除飞边, 对焊缝区进行打磨; 加工公母接头内外圆及内外螺扣; 螺扣表面硬化处理, 成品检验。

由于钻杆管体端面本身就存在尺寸、圆度和壁厚均匀度偏差, 为了保证钻杆管体与公母接头焊接端面能够达到理想的结合, 由焊缝处局部放大图(图 2)可以看出, 笔者规定了公母接头焊接端壁厚 5.5 mm 大于钻杆管体焊接端壁厚 5 mm, 且公母接头焊接端外径比钻杆管体焊接端外径大 0.25 mm, 公母接头焊接端内径比钻杆管体焊接端内径小 0.25 mm, 在焊接过程中焊缝结合面处, 公母接头焊接端面的表面全部包容了钻杆管体焊接端面自身存在尺寸、圆度和壁厚均匀度偏差, 保证了焊缝结合面处圆周方向的壁厚比钻杆管体圆周方向的壁厚大, 进而能保证焊缝结合面处管体端面全部融入到接头端面里并具有足够强度; 在摩擦焊接过程中在焊缝结合面处向两侧挤出的飞边形成了如图 2 所示的过渡段 1 和过渡段 2 两处过渡区, 产生的两处过渡区的内外圆表面飞边壁厚均大于公母接头和钻杆管体焊接端的壁厚, 所以两处过渡区的强度均比公母接头和钻杆管体焊接端面要大; 如图 2 所示, 过渡段 1 与母接头端的过渡圆弧 R_1 和过渡段 2 与钻杆管体过渡的相同的圆弧 R_1 使焊缝过渡区与公母接头和钻杆管体能够实现很好的光滑自由过渡。因此,

焊缝结合面以及焊缝过渡区的壁厚均比公母接头和钻杆管体要大, 也就是说, 摩擦焊接将公母接头和钻杆管体焊接端面进行了端部微量加厚之后再熔融结合在一起, 保证了摩擦焊接焊缝处具有足够的连接强度。

5 焊接前准备

5.1 钻杆管体

对采购进厂的钢管每批次都抽样进行化学成分分析, 要求其化学成分含量符合国家标准《钢的成品化学成分允许偏差》(GB/T 222—2006); 绳索取心钻杆用的钢管应满足《钻探用无缝钢管》(GB/T 9808—2008) 的标准要求, 其尺寸偏差值可通过常规量具检测。对绳索取心钻杆质量影响比较大的是管材的形位公差, 主要体现在管材的直线度、圆度、内外圆同轴度(壁厚均匀度)、通径要求等几方面^[5]。原材料经检验合格后, 可投入生产使用, 经下料, 车床控制总长及外圆跳动平两端端面, 粗糙度要达到要求。

5.2 公母接头

原材料同样需要经过入厂检测, 检验合格后, 可投入生产使用, 经下料, (热处理), 车床控制外圆跳动对焊接端内外圆表面预加工, 控制长度平两端端面, 外圆表面预加工, 粗糙度要符合要求。

5.3 焊接工艺参数

焊接工序是在型号为 HSMZ-40 型摩擦焊机上进行的, 通过理论计算和实际验证后最终确定主要技术参数为: 一级摩擦时间 4 s, 二级摩擦位移 4 mm, 顶锻保压时间 5 s, 一级压力 1.2 MPa, 二级压力 2.2 MPa, 顶锻压力 3.8 MPa, 主轴转速 900 r/min 恒定, 焊接过程平稳可控, 要求具有较高的同心度, 焊缝平整光滑。

5.4 工装卡具

$\varnothing 73 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 薄壁摩擦焊绳索取心钻杆, 公母接头长度为 115 mm, 接头外径为 74 mm, 钻杆管体外径为 73 mm, 如何保证焊接时公母接头与钻杆管体的同轴度是焊接过程的主要技术问题, 为此专门设计了主轴端夹紧公母接头用的前卡瓦和尾座端夹紧钻杆管体用的后卡瓦。

5.5 调试及焊接

焊接前需要对主轴端前卡瓦和尾座端后卡瓦进行精度检验和同轴度校核, 焊接过程通过计算机进

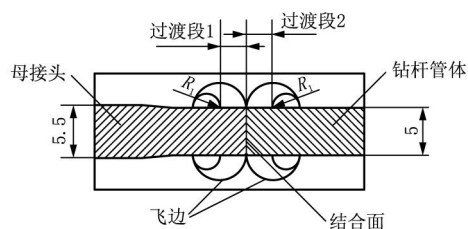


图 2 焊缝处局部放大结构示意图

行实时监控记录(参见图3)。

	时间/s	位移/mm	压力/MPa	转速/($r \cdot \text{min}^{-1}$)
一级	4.0	0.0	1.2	901
二级	6.2	4.0	2.2	902
顶锻	5.0	3.1	3.8	84

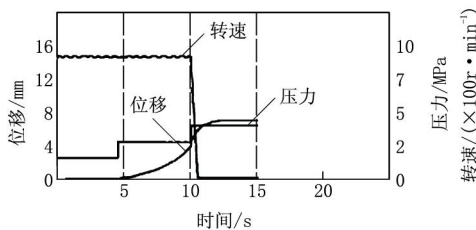


图3 钻杆摩擦焊接过程示意图

焊接过程中需要随时观察公母接头焊接端和钻杆管体焊接端是否对中,焊接过程是否平稳,摩擦过程是否发出刺耳声响,有无抖动现象,飞边挤出过程是否平稳可靠,焊后飞边表面是否光滑。

焊后需要检查主轴端前卡瓦夹紧的公母接头外表面和尾座端后卡瓦夹紧的钻杆管体外表面是否有擦伤划痕出现,若出现影响钻杆外观质量问题需及时处理解决。

6 焊后工序衔接

6.1 回火工艺

对焊缝采用焊后直接高温(620 $^{\circ}\text{C}$)回火,焊区两边得到均匀细致的回火索氏体组织,综合机械性能良好,符合技术要求^[8]。严格控制回火温度及回火区域范围,此处是保证产品质量的关键工序。

焊后对焊缝内外表面飞边进行去除处理,均需留量,表面粗糙度要符合要求。

如图1所示,采用带锥度(保证焊缝两端能左右光滑过渡)的内外砂轮对残留在焊缝内外表面处的飞边进行打磨处理,保证焊缝处与左右两端的接头和管体内外表面能够光滑过渡,粗糙度符合要求。

6.2 焊缝试样、钻杆管体和公母接头试样机械性能检测

6.2.1 力学性能

XJY950 调质后性能技术参数实际值为:屈服强度 $\geq 990 \text{ MPa}$,抗拉强度 $\geq 1060 \text{ MPa}$,断后伸长率 $\geq 18\%$,硬度 HRC32~35,冲击功 $\geq 75 \text{ J}$;

27CrMo 调质性能技术参数实际值为:屈服强度 $\geq 1010 \text{ MPa}$,抗拉强度 $\geq 1090 \text{ MPa}$,断后伸长率 $\geq 16\%$,硬度 HRC32~34,冲击功 $\geq 41 \text{ J}$;

焊缝处试样性能技术参数实际值为:屈服强度 $\geq 980 \text{ MPa}$,抗拉强度 $\geq 1040 \text{ MPa}$,断后伸长率 $\geq 15\%$,硬度 HRC30~33,冲击功 $\geq 48 \text{ J}$ 。

6.2.2 金相组织

焊缝区金相组织为索氏体+残余奥氏体,焊缝区有明显界面,界面为冶金结合,无缺陷,热影响区显微组织为索氏体+铁素体

对焊缝区域进行磁粉+超声波组合无损探伤检测。首先要对焊缝及热影响区的表面进行处理,表面粗糙度达到探伤要求后方可进行探伤作业。超声波无损探伤主要是对焊缝及热影响区内部进行检测,检测前需要对探头楔块圆弧面半径与待检测材料外圆弧表面进行耦合测试,保证探头楔块圆弧面在探伤作业中与钻杆表面始终保持良好的接触,将耦合剂(一般选择机油)均匀涂抹在需要检测的外圆表面。若被检测区内部存在裂纹、疏松、气孔、夹杂等缺陷,在显示屏幕中的横坐标的一定位置就会显示出来一个反射波的波形,横坐标的这个位置就是缺陷在被检测材料中的深度^[9]。磁粉探伤无损检测主要是对焊缝及热影响区的外圆表面进行检测。

6.3 螺扣加工、镀镍磷、回火

对公母接头的内外圆表面,公母接头的内外螺扣进行精加工,保证公母接头螺扣与钻杆管体同轴度要求,利用好塞环规、塞环光规和螺纹牙型检测规,调整控制好公母接头螺扣尺寸及手拧紧密距。

钻杆两端螺扣进行镀镍磷、回火处理,增加螺扣表面的硬度和耐磨性,提高钻杆的使用寿命。

由于绳索取心钻杆内孔要通过内管总成,因此要对钻杆全长进行通径检验。通棒直径为钻杆最小公称内径减1 mm,长度300 mm,通棒应能自由通过钻杆内径^[5]。

6.4 钻杆拉力扭矩试验

通过拉力试验测得 $\varnothing 73 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 薄壁摩擦焊接绳索取心钻杆能承受的最大拉力为580 kN;

通过扭矩试验测得 $\varnothing 73 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 薄壁摩擦焊接绳索取心钻杆能承受的最大扭矩为5500 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

6.5 制造成本对比

与相同规格、相同材质、相同能力钻杆成本大致对比,可由180元/m降到150元/m。

7 结语

(1) 薄壁摩擦焊绳索取心钻杆,不仅省工省料,且强度高,能大幅度降低钻探生产成本,具有很高的经济价值;

(2) 采用摩擦焊工艺的薄壁摩擦焊绳索取心钻杆,焊接质量稳定,焊后必须回火,消除淬硬组织,才能获得满意的机械性能,焊缝处必要的检测手段必须要保证;

(3) XJY950 与 27CrMo 摩擦焊接头的显微组织虽经回火,尚可见明显的分界,与我公司生产的采用相同材质相同规格的管体两端加厚整体调质接头连接式绳索取心钻杆的实际应用效果对比来看,对机械性能无明显的影响,明显地优于螺纹连接;

(4) 通过对 $\varnothing 73 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 薄壁摩擦焊接绳索取心钻杆拉力扭矩试验,得出 $\varnothing 73 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 薄壁摩擦焊接绳索取心钻杆能承受的最大拉力为 580 kN,最大扭矩为 5500 N·m,建议使用深度 2000 ~ 3000 m,适用于深孔孔底动力钻进;

(5) 目前该钻杆已小批量生产并投入实际应用,用户使用后反应效果良好,最大钻孔深度已达

2200 m,应用效果还需要进一步跟踪验证。

参考文献:

- [1] 姜光忍,李忠,王献斌. 绳索取心钻探施工中钻杆折断原因分析及应对措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(3):15-17.
- [2] 孙建华,况雪军,肖红,等. 国产绳索取心钻杆用冷拔无缝钢管性能分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S2):123-129.
- [3] 王达,何远信,等. 地质钻探手册[M]. 湖南长沙:中南大学出版社,2014.
- [4] 董海燕,王鲁朝,杨芳,等. 国产 CNH(T) 绳索取心钻杆在中国岩金勘查第一深钻工程中的应用分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):49-53.
- [5] 张丽君,彭莉,吕红军. 深孔绳索取心钻杆质量控制措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11):33-36.
- [6] 孙建华,陈师逊,刘秀美,等. 小直径特深孔绳索取心口径系列及钻柱方案[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):1-5.
- [7] 张菊琴. 回火温度对钻杆接头性能的影响[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(5):53-55.
- [8] 张菊琴. 钻杆摩擦焊接过程参数控制及焊缝热处理分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(4):15-16.
- [9] 刘华南,郭威,孙友宏,等. 绳索取心钻杆超声波探伤方法分析研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7):31-33.

(上接第44页)

从经济实用性上分析,CSD1800A 型钻机在矿区钻探工作量充足的情况下每年可钻 5000 m 以上,比立轴式钻机至少多 2000 m,按高原地区每米进尺 1000 元,一年内即可收回成本。可见中深孔 CSD1800A 型钻机在整体上要优于立轴式钻机。

5 结语

从青海省二勘院陆续引进的各种国内外钻探设备及使用情况来看,国产全液压力头钻机的研制发展已逐步走向成熟,以 CSD1800A 型钻机为例,其各种性能指标完全可以跟国际品牌如保长年、阿特拉斯生产的钻机相媲美,在某些方面甚至要优于国外厂家;与国内常规立轴式钻机相比较,CSD1800A 型钻机也更胜一筹,千米以深钻孔施工仍具备很大钻进优势,尤其适合中深孔及钻探工作量充足的矿区使用,是一款经济实用的中深孔钻机。此外,笔者认为,中深孔钻进在地层相对完整、岩心不堵塞的情况下,可考虑加长钻具,比如一次打捞 4.5 m 岩心

(常规绳索一次打捞 3 m),只要在钻塔允许拉出的范围之内均可,这样即可实现更高的钻进效率。

参考文献:

- [1] 马顺清. 青海矿产资源开发与可持续发展[J]. 青海国土经略,2007,(1).
- [2] 张雪亭,穆一青,王维,等. 青海矿产资源勘查与评价[J]. 青海国土经略,2009,(5).
- [3] 张林霞,李艺,周红军. 我国地质找矿钻探技术装备现状及发展趋势分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(2).
- [4] 张伟. 关于我国地质岩心钻机发展方向的分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(8).
- [5] 庞少青,李国东. 全液压力头钻机存在的问题分析及改进建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2).
- [6] 熊伟,田占成,徐景珠,等. CS14 型全液压力头钻机的生产应用效果及分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(4).
- [7] 关尚荣,苏力才. 全液压力头钻机的应用效果分析[J]. 南方国土资源,2012,(4).
- [8] 曹志良. 全液压力头钻机改进与发展的建议[J]. 西部探矿工程,2013,(4).
- [9] 刘成才,朱发宪. 全液压力头钻机的改进意见[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9).