

环保型钻机气控盘式刹车的研制^{*}

段正勇¹ 张汉林² 彭勇¹ 孙力耘² 闫文辉¹

(1.西安石油大学 2.宝鸡市百翔机电设备制造有限公司)

段正勇等.环保型钻机气控盘式刹车的研制.天然气工业,2008,28(9):56-59.

摘要 制动系统既是石油钻机中的功能设备又是安全设备,其核心部件为主刹车和辅助刹车。为解决深井、超深井石油钻机的安全设备问题,介绍了石油钻机辅助刹车的发展现状、类型和各种辅助刹车的特点。重点对所研制的环保型气动控制盘式辅助刹车系统进行了阐述,对其构成进行了详细的说明,对它的关键部件——气动盘式刹车的结构进行了设计。整个辅助刹车系统工作安全可靠、劳动强度小、噪音低、拆装维护方便,无污染,运作维护费用低,易于由专业生产厂家进行系列化生产,具有广泛的推广应用前景。

关键词 深井 超深井 钻机 辅助刹车 盘式刹车 气动控制

石油钻机盘式制动系统是20世纪80年代发展起来的4大钻井装备新技术之一,近年来出现的气动盘式制动系统也是其中的一种^[1],主要用作石油钻机绞车的辅助刹车。盘式制动系统具有制动力矩大、控制精度高、反应快、工作安全可靠、劳动强度小、噪音低、易损件寿命长、更换简单方便等显著优势,深受油气田使用者欢迎,现已得到广泛的现场应用^[2-3]。在深井、超深井、复杂地层定向井钻井情况下,利用其配套控制技术,在恒钻压条件下可以实现钻头自动进给,既可以保障钻井安全,又能大大提高钻井速度,延长钻头寿命,给钻井工程带来明显的经济效益。而且,盘式刹车结构紧凑,便于专业化生产厂家实现系列化制造。目前,国内外重型钻机全部要求配备盘式制动系统,部分在用的钻机也要求由原来的带式刹车改装为盘式刹车,应用盘式刹车已成为石油钻机中绞车技术发展的基本趋势^[4-5]。从现场使用情况来看,气动控制盘式制动系统与液压控制盘式制动系统具有同样的优势^[1],同时,由于它使用压缩空气为工作介质,无污染,符合环境保护的要求,是环境友好型刹车,在环保指标上更具优势。笔者对宝鸡市百翔机电设备制造有限公司与西安石油大学联合研制的一种气动控制盘式辅助制动系统进行了讨论。

一、辅助刹车的类型与特点

常用的石油钻机辅助刹车型式有:水刹车、电磁涡流刹车、伊顿刹车、电机能耗制动和磁流变液辅助刹车^[1,6-9]。

(1)水刹车。水刹车是石油钻机传统的辅助刹车,具有结构简单、使用方便、环保性能好等特点。在20世纪80年代以前广为应用,是中、小型钻机广泛配置的辅助刹车型式。但由于它的低速性能差、制动力矩无法自动调节、不能完全独立制动绞车,现在已经逐渐被其他类型的辅助刹车所取代。

(2)电磁涡流刹车。电磁涡流刹车有水冷式和风冷式两种形式,具有低速性能好、制动力矩大、操作简单、调节准确等优点,近年来在中、深井钻机中得到了广泛的推广和应用。水冷式电磁涡流刹车冷却效果好,但结构复杂,可靠性低,其应用范围受到限制。风冷式电磁涡流刹车具有水冷式涡流刹车的优点,又克服了其缺陷,深受钻井作业人员的欢迎,特别是寒冷地区的油气田。但是,无论水冷式还是风冷式电磁涡流刹车其外形尺寸和重量较大,安装、更换、维护不便,影响了其在中、小型钻机上的使用。

(3)伊顿刹车。近年来,伊顿刹车在中、小型钻机上应用较为广泛,美国伊顿公司生产的这种气动控制辅助刹车具有低速制动性能好、结构紧凑、体积

^{*} 本文受到宝鸡市百翔机电设备制造有限公司“石油钻机气动控制盘式制动系统设计与分析”项目(编号:08JK415)的资助。本文作者还有宝鸡市百翔机电设备制造有限公司的余文才,西安石油大学的陆品、吴恒。

作者简介:段正勇,1978年生,讲师;2002年毕业于西安石油大学机械设计制造及其自动化专业;从事石油钻采机械方面的教学和研究工作。地址:(710065)陕西省西安市。电话:15319971028。E-mail:zyduan@xsyu.edu.cn

小、质量轻等特点,而且气动控制方式安全性高,适应易燃易爆的工作环境,工作介质为压缩空气,无污染,在环保指标上更具选择优势,所以得到了广泛的应用。国内目前使用的气动控制辅助刹车绝大部分是这种刹车。

(4)电机能耗刹车。电机能耗刹车是利用交流变频电机调速的固有特性,适合于交流电驱动钻机。它具有设备少、维护费用低、整机体积和质量小等独特优点,是石油钻机理想的辅助刹车装置。通过变频系统制动单元,定量控制施加在绞车上的制动扭矩,实现游车平稳下放,零速悬停,并可实现绞车恒压自动送钻,对钻井过程进行实时监控等功能。但它不适合于非交流电驱动的钻机。

(5)磁流变液辅助刹车。利用磁流变液这种新型智能材料具有表观黏度可以随着外加磁场强度的变化而变化、且能实现液态和固态之间的互逆转换的特点。北京石油大学杨汉立等人^[9]设计了剪切式和搅拌式磁流变液钻机辅助刹车,它具有低速性能好、结构简单紧凑、能耗小、不易损坏、安全可靠等特点,而且能实现制动力矩无级可调、调节速度快,容易与计算机技术相结合实现自动控制。它是一种新型刹车,丰富了现有的刹车类型,这种刹车在其他行业已得到应用^[11],但在石油钻机上还未进行工业现场应用。

二、气动控制盘式制动系统的组成与功能

气动控制盘式制动系统主要用作钻机绞车的辅助刹车。绞车制动分为2种,一种是静态制动,即把绞车滚筒轴“刹死”,不能转动,称为“驻车制动”;另一种是动态制动,是在起下钻过程中的制动,以降低绞车滚筒轴的旋转速度,使滚筒轴由高速降为低速,或由运动状态变为静止状态,称为“行驶制动”。传统的绞车主刹车实现“驻车制动”,辅助刹车完成“行驶制动”。在下钻过程中,下放的整个钻柱(或套管柱)90%以上的动能应由辅助刹车吸收,最终转化为热能而消耗掉。也就是说,下钻制动过程中能量的转化主要或全部应由辅助刹车来完成^[10-11]。气动控制盘式制动系统主要由气动控制盘式刹车(以下简称气动盘式刹车)、气压传动与控制模块及冷却液循环模块三大部分组成,如图1所示。气动盘式刹车是系统的执行机构,它主要由摩擦片托盘、摩擦片、摩擦传热盘、拉杆与复位弹簧、活塞与气缸以及壳体组成。刹车时,在压缩空气作用下,压紧由摩擦片与摩擦传热盘组成的摩擦副,产生所需的制动力矩。

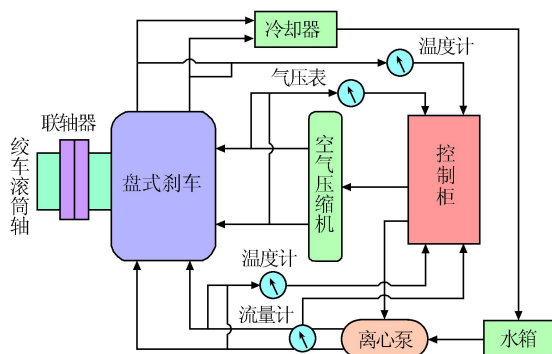


图1 盘式制动系统组成简图

传动与控制模块是系统的动力和传动机构。考虑到兼顾现有钻机的更新改造,此模块分为两种形式,一种为气压传动控制方式,另一种是简易的手动控制方式。气压传动控制方式由空气压缩机、输送管道、气压表、排气阀、调压继气器和控制柜等构成。操作人员根据气压表、冷却液循环系统的流量计、温度表和水压表的信息,通过控制柜实时调节空气压力和循环液流量,以提供足够的制动力矩,且保证对摩擦副冷却充分,保障系统正常运行。

冷却液循环模块是系统的辅助机构,但它是系统能够正常工作的保障,负责对刹车的摩擦副进行冷却,当冷却不充分时,刹车性能将受到严重影响。它由水箱、离心泵、循环管道、流量计、水压表、温度表、溢流阀、节流阀、散热器等组成。

三、气动控制盘式制动系统的设计

1. 气动盘式刹车的设计

(1) 结构原理

气动盘式刹车是制动系统的核心,考虑到兼顾现有钻机的更新改造,也分为两种形式,其结构如图2、3所示,其中图2为绞车改造用气动盘式刹车结构图,图3为新造绞车用气动盘式刹车结构图。

图2所示气动盘式刹车的工作原理为:联轴器与绞车主轴连接,通过传动轴及用轮齿与其相连接的摩擦片托盘将绞车滚筒轴的扭矩传递到安装在摩擦片托盘上的摩擦片处;制动时,带压气体由气流通道进入气缸,推动活塞克服复位弹簧的弹力和摩擦力等阻力,推动隔离环及摩擦片托盘向左运动,使得摩擦传热盘和摩擦片接触,形成摩擦副,将下放的整个钻柱(或套管柱)的动能转化成摩擦热能,该热能除少部分由辐射、对流等方式消耗外,主要由热导率很好的摩擦传热盘传递到冷却循环系统中的冷却循环液,经冷却循环液通道带出,对摩擦片及摩擦传

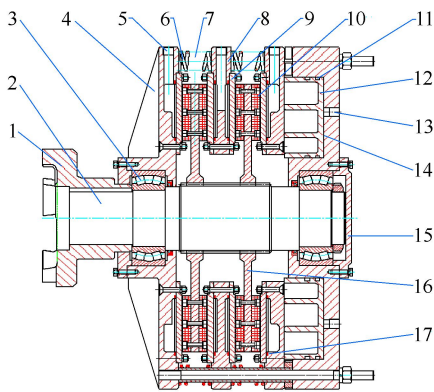


图2 改造用盘式刹车结构图

1.联轴器;2.传动轴;3.轴承;4.壳体;5.冷却液通道;6.复位弹簧;7.拉杆;8.隔离环;9.摩擦传热盘;10.摩擦片;11.气缸密封;12.活塞;13.气流通道;14.气缸;15.轴承端盖;16.摩擦片托盘;17.水密封

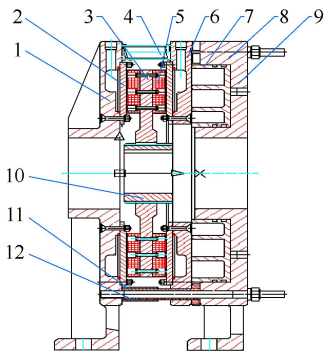


图3 新绞车用盘式刹车结构图

1.左定盘;2.摩擦传热盘;3.摩擦片托盘;4.复位弹簧;5.摩擦片;6.推盘;7.活塞;8.右定盘;9.拉杆;10.花键套;11.限位套;12.定位套

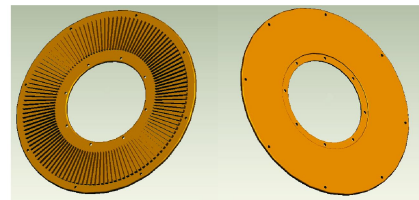
热盘进行冷却;产生的摩擦扭矩传递给用螺栓和机架相连的壳体,最终由绞车底座承担;在不需要制动时,气缸高压气体卸压,复位弹簧将摩擦传热盘、摩擦片、隔离环自动分开,摩擦片托盘随传动轴一起旋转。

根据所需最大扭矩的不同,可以通过改变摩擦片托盘个数来进行组合配置,以适应不同型号钻机的需要。同时,通过改变气缸内压力的大小,可实现制动系统制动扭矩在一定范围内变化的要求。

(2)摩擦传热盘设计

摩擦传热盘是一个十分关键的部件,既要完成与摩擦片的相对摩擦,又要承担传热的重要作用。根据以上分析,必须选择热导率高的材料,该设计选择铜合金,其热导率 $\lambda=398 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,是金属中热导率较高的材料。其结构设计如图4所示。一方面,为了延长摩擦片的使用寿命,保证摩擦传热盘与摩擦片均匀接触,则摩擦面光洁度和平面度要求高;

另一方面,两者之间形成的摩擦副摩擦系数不能太低($\mu \geq 0.36$),所以对加工技术要求高。另外,为了增大摩擦传热盘与冷却液的热交换面积,将该面设计成翼肋状,保证一定的肋化系数,这样才能保证从摩擦副到冷却液之间的传热系数满足传热功率的要求。



(a) 热交换面 (b) 摩擦面

图4 摩擦传热盘三维实体模型图

2.气压传动与控制模块的设计

根据气动盘式刹车的最大制动力矩,综合考虑它的结构尺寸,选择合适的空气压缩机,以保证能够提供足够压力的气体。但气体最高允许压力不超过 1.06 MPa ,而且需保证高压气体清洁,湿度适中。气体管道尽量避免弯曲,如果有弯曲,角度不能太大,与气动盘式刹车连接处接口需进行处理,以减小压力损失。在设计气压传动与控制模块时应满足以下基本要求:进气管的直径应略大于进气口直径,所有阀件的最低开启压力应小于 0.1 MPa ,快排阀及调压继气器采用膜式结构;调压继气器的响应时间应小于 0.5 s ,流量大于 $142 \text{ L}/\text{min}$,进气管要比气动盘式刹车进气口略粗些,调压继气器和气源尽量离气动盘式刹车近一些,进气口前加快排阀等。气动盘式刹车的控制主要根据气体压力和冷却液温度、流量等参数,进行实时调节,以满足制动系统制动所需的气压、冷却液流量和压力的要求。

3.冷却液循环模块的设计

(1)冷却液流量应满足冷却要求。为了达到此要求,在输入流量足够的条件下,应尽量减少管道弯曲,多路冷却流量要均匀,入口应在气动盘式刹车的“正下方”方向,出口在其“正上方”方向,以避免液流在流道中形成漩涡和气泡,减小实际流量。

(2)入口与出口冷却液的温差至少大于 $28 \text{ }^\circ\text{C}$ 。根据冷却液的不同,出口温度有所不同,经冷却器冷却后的循环液在入口的温度应低于 $38 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

(3)冷却液 pH 值为 $7.5 \sim 10.5$ 。由于气动盘式刹车的摩擦副温度很高($500 \sim 1000 \text{ }^\circ\text{C}$),为了减少管道结垢,影响冷却系统效率,冷却液采用酸性介质。

四、结束语

制动系统在石油钻机上既是功能设备又是安全设备,具有十分重要的作用。气动控制盘式辅助制动系统具有控制精度高、工作安全可靠、劳动强度小、噪音低、易损件寿命长、更换简单方便等显著优势,可满足钻井的正常作业和处理事故的需要。而且有着独特的优势:刹车动力来源为压缩空气,对环境无污染,在环保指标上更具优势;运作维护费用低,只需要更换摩擦片,而无需更换液压油,所以称作“环保型气动控制盘式制动系统”。气动控制盘式刹车是可分离于绞车的独立体,改钳式为全盘式轴向推动,轴向连接,拆装更换十分方便,结构简单可靠,体积小,重量轻,也可作为顶驱系统、拖挂钻机、修井机的制动系统,具有很好的推广应用前景。

参 考 文 献

- [1] 郑满圈,张子胜.气控盘式辅助刹车在车载钻机中的应用分析[J].石油矿场机械,2006(4):91-93.
[2] 郭世超.浅析绞车盘式刹车与自动送钻系统[J].石油矿

场机械,2007(4):19-21.

- [3] 张嗣伟,樊启蕴.关于发展我国钻机盘式刹车技术的几点认识[J].石油机械,2000(1):1-4.
[4] 高向前,马青芳.石油钻机盘式刹车技术的新发展[J].石油矿场机械,2006(3):92-94.
[5] 高向前.盘式刹车的发展及在石油钻采机械上的推广前景[J].石油机械,1994(5):52-55.
[6] 锁超民.石油钻井绞车刹车系统的现状与发展[J].石油矿场机械,2005(1):105-106.
[7] 陆文鼎.钻机辅助刹车概述[J].石油矿场机械,1979(3):26-33.
[8] 李冬玲,陈增伟,王嘉,等.辅助刹车在钻机上应用现状及配套[J].机械工程师,2006(8):132-134.
[9] 杨汉立,王德国,张嗣伟,等.磁流变液钻机辅助刹车设计初探[J].石油机械,2007(3):54-60.
[10] 闫安志,徐晖,王国旗,等.新型电流变制动器的结构初步设计及性能分析[J].机械强度,2003(5):509-512.
[11] 蔡军,张文成,蒲旭霖.浅谈绞车主辅刹车的作用与使用[J].石油矿场机械,2007(4):25-27.

(收稿日期 2008-03-17 编辑 钟水清)