

# 矿用无磁螺杆钻具性能测试分析

段冰瑛

(宁夏环境安全工程分公司,宁夏 银川 753002)

**摘要:**在定向钻进中,为实现有效的轨迹控制,国内外相关科研院所开发了无磁螺杆钻具。对无磁螺杆钻具的工作原理及特点进行了简单介绍,并对国内外 2 种无磁螺杆钻具进行了性能测试试验,比较国内外无磁螺杆钻具的性能差异,进一步掌握无磁螺杆钻具的性能特点,为作好现场应用及选型提供依据。

**关键词:**煤矿;定向钻进;无磁螺杆钻具;性能测试

**中图分类号:**P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)01-0059-04

**Analysis on Performance Testing of Non-magnetic PDM Drill in Coal Mine/DUAN Bing-ying** (Environmental Security Engineering Branch, Shenhua Ningxia Coal Industry Group Co., Ltd., Yinchuan Ningxia 753002, China)

**Abstract:** In directional drilling, non-magnetic PDM drill is developed both in China and abroad to achieve effective trajectory control. The structure characteristics and working principle of non-magnetic PDM drill are introduced. The performance tests were done on 2 non-magnetic PDM drills made both in China and abroad, by the comparison between the feature differences of these non-magnetic different PDM drills and the further understanding of the performance characteristics, the basis for field application and selection are obtained.

**Key words:** coal mine; directional drilling; non-magnetic PDM drill; performance testing

## 0 引言

20 世纪 80 年代以来,随着钻井工程的快速发展,作为 80 年代石油工程三大技术(PDC 钻头、MWD、井下动力钻具)之一的螺杆钻具也有了长足的发展<sup>[1]</sup>。且随着定向钻进技术及装备的成熟,螺杆钻具应用领域也得到了广泛拓展,从最初的油气钻进工程逐渐用于地质勘探、建筑管道施工、国防工程及煤层气开采等定向钻进作业方面。

在煤矿开采领域,利用定向技术施工瓦斯抽放孔,可以在煤炭开采前对煤层进行瓦斯抽采,同时该技术还可用于探测岩浆侵入和瓦斯突出,从而减少煤矿事故的发生。但随着对煤矿地质异常条件位置准确探测和瓦斯抽采钻孔轨迹延伸范围准确度要求逐渐提高,对螺杆钻具的性能也提出了更高的要求,普通的有磁螺杆马达的定向效果已逐渐不能满足较高测量精度的需要<sup>[2]</sup>。因此,应用新材料、新技术开发无磁螺杆马达进行定向钻进逐渐得到重视,矿用无磁螺杆马达成为定向钻进迫切需要的钻具之一。

## 1 无磁螺杆钻具的工作原理及特点

无磁螺杆钻具主要由 3 大部分组成:动力段总成(转子和定子)、万向轴、传动轴(图 1)。无磁螺杆钻

具与普通螺杆钻具的工作原理一样,是以高压液体作为动力,通过泥浆泵提供的泥浆或清水介质来推动转子自转,之后经过万向轴的转换,把行星转动变为轴向转动,带动钻头旋转,从而达到破岩钻进的目的<sup>[3]</sup>。

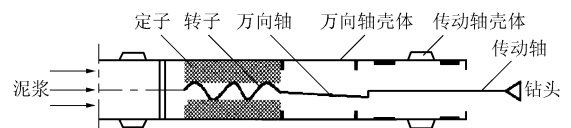


图 1 无磁螺杆钻具结构示意图

与普通螺杆钻具相比,矿用无磁螺杆钻具具有以下特点。

(1)外壳为无磁材料。由于普通的螺杆马达外管所使用的材料是合金钢,在地磁的影响下,易被磁化<sup>[4]</sup>。在定向钻进中,为实现轨迹控制,需在测量探管后端接下无磁钻杆,利用下无磁钻杆为测量仪器创造一个无磁环境,这就使得钻头与测量探管距离增大,从而影响了定位精度及测量效果。为此,国内外相关科研院所的科研人员从材料入手,选用无磁材料替代普通螺杆钻具的外管材料,开发了无磁螺杆钻具,现有无磁螺杆钻具的外壳材料大部分选用铍铜。无磁螺杆钻具其作用一是避免由于使用普通螺杆钻具而对测量仪器产生的磁影响;二是避免

收稿日期:2013-07-26;修回日期:2013-11-11

作者简介:段冰瑛(1971-),女(汉族),山西人,宁夏环境安全工程分公司工程师,机械自动化专业,从事煤矿瓦斯抽放钻孔钻探工程及设备管理工作,宁夏银川市西夏区朔方路 138 号,duanbingying@nxmy.com。

使用无磁钻杆或接头,减小了测量点与钻头位置的误差,提高了测量的准确性;三是可以屏蔽上下钻具及孔壁周围的磁场,以保证磁性测量仪器测量结果的准确性。

(2)滑动轴承设计。普通螺杆钻具的轴承均选用不锈钢滚珠轴承设计,在实际应用中发现,由于煤矿井下的施工条件比较恶劣,导致螺杆钻具的滚珠轴承易生锈,如果不对其进行及时的维护保养,将影响螺杆钻具的使用效果及使用寿命<sup>[5]</sup>。因此,完孔退钻后均需将螺杆钻具带到井上,将里面的水排出,进行维护保养,无形中增加了维护保养成本及施工时间。为此,无磁螺杆钻具改变了普通螺杆钻具的轴承结构形式,选用硬质合金材质的滑动轴承设计。该种结构的轴承具有结构简单、拆装方便等特点,且在复杂工况下工作平稳,易操作,不需经常维修保养,适应性强,在煤矿井下定向钻进中取得了较好的应用效果。

(3)取消旁通阀设计。在煤矿井下施工定向钻孔时,需采用高压液作为动力介质,且高压液同时作为冲洗介质循环使用。在实际钻进过程中发现,液体会卷带一定量的煤渣、煤灰进入螺杆钻具,导致普通螺杆钻具的旁通阀被堵塞,最终导致螺杆钻具失效<sup>[6,7]</sup>。据2003年有关数据统计,在石油钻井中,由于卡砂堵塞旁通阀事故的螺杆钻具数量约占总修理量的20%<sup>[8]</sup>。近几年,随着煤炭及石油生产力度的加大以及工艺技术的成熟,使螺杆钻具的应用市场不断扩大,由旁通阀事故导致螺杆钻具失效的比例更高。因此,为保证无磁螺杆钻具的使用效果,减少事故出现的可能性,对无磁螺杆钻具的结构进行了改进完善,取消了普通螺杆钻具旁通阀的设计,使高压液直接通过密封接头送入无磁螺杆钻具的密封腔,再由定子带动钻头回转。

## 2 国内外无磁螺杆钻具性能测试及分析

为了解国内无磁螺杆钻具在使用时各部件的运行情况,掌握其正常使用时的性能参数,为现场应用做准备。对国内研发的单弯 $1.25^\circ$ 的5LZ73无磁螺杆钻具和美国单弯 $1.25^\circ$ 的Accu $\varnothing 73$  mm无磁螺杆钻具进行室内性能测试实验。试验重点检测2种无磁螺杆马达各自的工作特性参数,主要包括转速、扭矩等。

### 2.1 试验过程

在试验开始之前,先调试泥浆泵,使用手持式超声波流量计测试泥浆泵的实际流量,并与泥浆泵铭牌上的理论流量做对比,然后观察泥浆泵的运转情况是

否平稳正常,以免试验时无磁螺杆钻具过载造成损坏。泥浆泵调试好后,将各试验装置连接好(图2)。

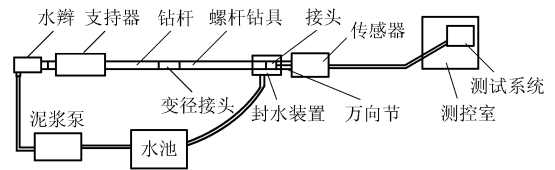


图2 无磁螺杆钻具试验装置连接示意图

将各试验装置连接好后,先将5LZ73无磁螺杆钻具接入试验系统,开启泥浆泵。首先选择低速慢Ⅱ挡启动,通过测试系统经传感器逐步对无磁螺杆钻具进行加载,最大扭矩加到 $350\text{ N}\cdot\text{m}$ ,然后通过测试系统记录转速、扭矩、输出功率和泵压等参数。测试完慢Ⅱ挡后再根据流量逐渐增大的试验方案,测试慢Ⅰ和快Ⅱ两个挡位,在每个挡位上通过测试系统逐渐加载,增大扭矩最大到 $350\text{ N}\cdot\text{m}$ ,记录相关参数。

测试Accu无磁螺杆钻具的试验过程与测试5LZ73无磁螺杆钻具的试验过程一样,先选择低速慢Ⅱ挡启动,并通过测试系统逐步对Accu无磁螺杆钻具进行加载,最大扭矩加到 $200\text{ N}\cdot\text{m}$ ,通过测试系统记录转速、扭矩、输出功率和泵压等参数。测试完慢Ⅱ挡后再测试慢Ⅰ和快Ⅱ两个挡位,并记录相关参数。

### 2.2 试验数据分析

#### 2.2.1 两种无磁螺杆钻具测试试验数据分析

根据所测试验数据得出5LZ73无磁螺杆钻具和Accu无磁螺杆钻具的转速和泵压与扭矩关系变化曲线图(图3、图4)。从图中可以看出,2种类型的无磁螺杆钻具的转速、泵压与扭矩的变化规律基本一致。随着泵量的增加,转速都表现出相应增大,并在每一挡保持泵出量不变时,随着加载扭矩的增加,转速有所降低,这是由于受马达容积效率的影响,导致实际转速随扭矩的增大而降低。从图3、图4还可以看出,扭矩与泵压基本呈线性关系,扭矩随泵压的增大而线性增加,这表明无磁螺杆钻具实际上仍有良好的过载能力。2种无磁螺杆钻具的测试数据也证明了转速、泵压与扭矩的变化规律与无磁螺杆钻具的实际工作特性曲线是一致的。

#### 2.2.2 两种无磁螺杆钻具性能对比分析

图5是2种无磁螺杆钻具性能试验对比图,分析图5中的转速-扭矩曲线图可知,在同一泥浆泵流量、同样扭矩大小的情况下,5LZ73无磁螺杆钻具转速明显高于进口Accu无磁螺杆钻具的转速,当负载扭矩增加到 $205\text{ N}\cdot\text{m}$ 时,Accu无磁螺杆钻具的转速只有 $11\text{ r}/\text{min}$ ,几乎出现制动,而5LZ73无磁螺杆

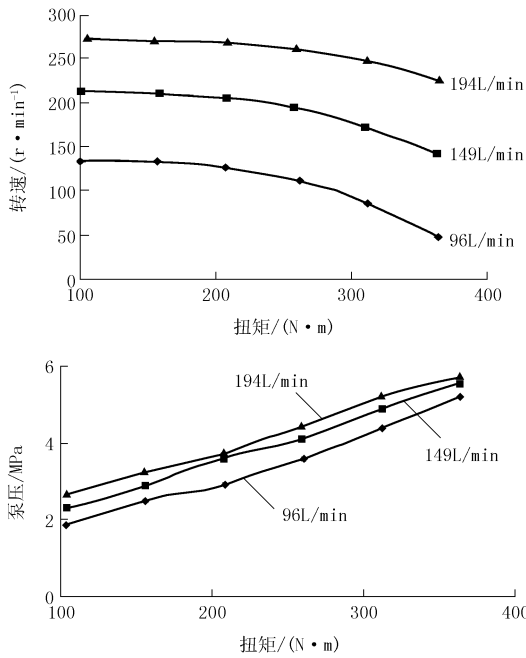


图3 5LZ73 无磁螺杆钻具转速、泵压随扭矩变化曲线

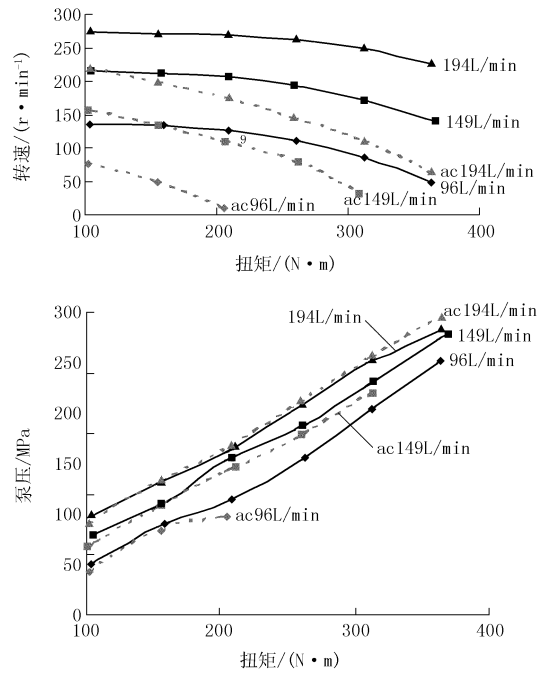


图5 两种无磁螺杆钻具性能参数对比

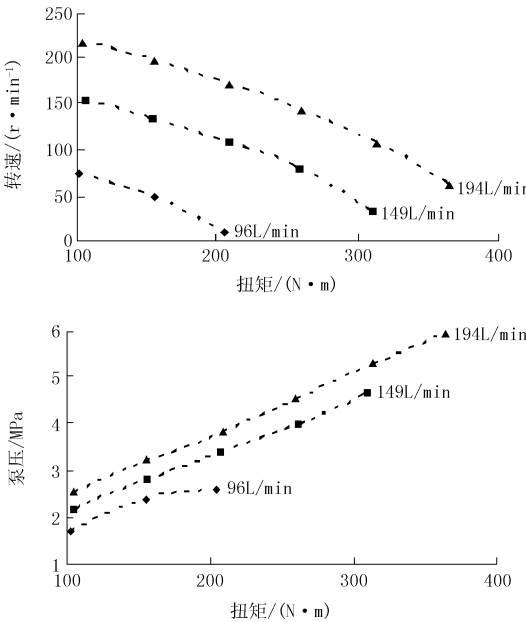


图4 Accu 无磁螺杆钻具转速、泵压随扭矩变化曲线

无磁螺杆钻具虽然扭矩稍小,但启动压力较低,工作性能稳定,适应于较稳定地层深钻孔施工。

### 3 国内外无磁螺杆钻具的模拟试验

#### 3.1 试验内容

本次室内模拟试验的主要目的是通过现场钻孔来模拟实际钻进过程,并观察整套系统进行回转钻进的全过程。通过试验进一步验证无磁螺杆钻具性能参数,掌握无磁螺杆钻具的实际工况、工作特性参数及注意事项,为后续现场应用做准备。

#### 3.2 试验过程

由于室内试验时没有相应的施钻地层,因此采用混凝土浇筑块作为施钻地层的替代物,规格为 1.2 m × 0.8 m × 0.8 m。试验开始时,开启泥浆泵慢 II 挡位,待 5LZ73 无磁螺杆钻具运转平稳后启动钻机,通过操作钻机推进手把缓慢的给钻杆施加钻压,观察前端复合片钻头切削混凝土块的情况,并查看从孔内返渣颗粒的大小;钻穿混凝土试验块后,停机调整钻具位置并将泥浆泵挡位调到慢 I 挡,然后再重复此前的操作工艺钻穿混凝土试验块,观察对比钻进效率的快慢;最后将泥浆泵调到快 II 挡。按照试验 5LZ73 无磁螺杆钻具的试验步骤试验 Accu 无磁螺杆钻具,观察无磁螺杆钻具的运转情况。

#### 3.3 试验情况分析

本次试验共实施钻孔 6 个,2 种无磁螺杆钻具各施工 3 个钻孔。从整体情况来看,Accu 无磁螺杆

钻具的转速依然高达 128 r/min。由此可知,随着负载扭矩的增加,5LZ73 无磁螺杆钻具比进口无磁螺杆钻具的速率变化要缓和得多,转速稳定性也更好。从图 5 中的扭矩 - 泵压变化曲线图可知,在泥浆泵流量相同的情况下,扭矩随泵压增加而增大的趋势一致,变化波动很小,基本呈线性增长关系。

从试验数据来看,5LZ73 无磁螺杆钻具的扭矩大、启动压力高,扭矩随负载变化而变化的趋势小,适应于相对复杂地层定向钻孔的施工。但 5LZ73 无磁螺杆钻具在试验过程中发热较为明显。进口

钻具的工作稳定性要优于 5LZ73 无磁螺杆钻具,且发热量较小。但在实际钻孔钻进过程中,Accu 无磁螺杆钻具的转速随负载的增大下降较快,从而影响切削效率。此外,从本次的试验数据统计来看,2 种无磁螺杆钻具在快 II 挡时的钻进效率最高。这是因为在快 II 挡时泥浆泵的输出流量达到 194 L/min,而根据螺杆钻具的工作特性可知,螺杆钻具的输出转速由输入流量决定,所以在钻压适当的情况下,钻头回转速度越快其钻进效率越高。但在实际钻进过程中,为了达到较高的钻进效率,不能只依靠调高泥浆泵的挡位来实现,原因是钻头切削的快慢不仅与转速有关还与施加在钻头的钻压有关,当钻压太大时就有可能发生憋钻,钻头的转速瞬时降为零。而且随着泥浆泵输出流量的增大,其输出泵压必然降低,当钻进深度加深以后如果螺杆钻具压降太大,就会出现螺杆钻具无法启动的现象。

#### 4 结论及建议

(1) 无磁螺杆钻具与普通螺杆钻具相比,通过给测量探管创造一个无磁环境,可以提高测量参数方位、倾角的精确性,在钻进施工时可以保证在设计轨迹偏差范围内,准确施工至目标靶区范围内。

(2) 5LZ73 无磁螺杆钻具、进口 Accu 无磁螺杆钻具通过扭矩-泵压变化、转速-扭矩变化的试验分析,在施工中钻遇不同地层,通过选择合适的泥浆泵挡位,可以延长无磁螺杆钻具的使用寿命并且提高钻进工效,从而将无磁钻具性能的理想效果得到

较好地体现。

(3) 目前,无磁螺杆钻具的外壳材料大部分是铍铜,该合金具有良好的无磁性,但该合金时效后强度高,延伸率却很低,韧性很差,易造成无磁螺杆钻具外壳断裂。建议加强对无磁材料的研究,并可考虑选用具有较高断裂延伸率及冲击韧性的钛合金作为无磁螺杆钻具的外壳材料。

(4) 无磁螺杆钻具的轴承为滑动轴承设计,该结构的轴承具有结构简单、易操作等特点,不需经常维修保养,适应性强,使无磁螺杆钻具在煤矿井下定向钻进中取得了较好的应用效果。建议改变普通螺杆钻具的轴承设计,选用滑动轴承替代滚珠轴承,降低维护保养费用。

#### 参考文献:

- [1] 苏义脑. 螺杆钻具研究及应用[M]. 北京:石油工业出版社, 2001.
- [2] 李云勇,罗绪良,胡友生,等. 无磁螺杆钻具:中国, 201010259402.5[P]. 2012-08-23.
- [3] 汪芸,姚宁平,王敬国. 煤矿用螺杆钻具性能测试及应用分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(2): 60-62.
- [4] 孟庆瑜. 无磁钻具磨损机理及防护措施研究[D]. 北京:中国石油大学, 2011.
- [5] 李萌,于兴胜,罗西超,等. 螺杆钻具的前沿技术[J]. 石油机械, 2011, 39(9): 19-22.
- [6] 杨森,赵映辉. 螺杆钻具失效情况统计分析[J]. 钻采工艺, 2010, 33(3): 81-82.
- [7] 李明谦,黄继庆. 螺杆钻具的应用现状及未来发展建议[J]. 石油机械, 2006, 35(5): 73-76.
- [8] 王荣教,李日光,何刚,等. 螺杆钻具马达砂卡原因分析及预防措施[J]. 石油矿场机械, 2003, 32(2): 46-47.

(上接第 39 页)

(1) 超千米大直径降温孔,防斜保直最为关键。施工中要以防为主,钻具的同心率要好,准备足够的粗径钻具,不能以“牺牲”钻孔质量追求效率。一旦发现井斜迹象,及时采取纠斜措施,纠斜时选用小度数弯接头,必须控制狗腿度,为安全顺利下管作业奠定基础。

(2) 扩孔时,由于孔径大,泥浆上返速度一般小于 0.5 m/s,岩粉不能及时排出,大颗粒岩屑在孔内重复破碎降低钻效,同时存在埋卡钻事故隐患。因此,除使用震动筛及时清除泥浆中的岩粉外,泥浆中必须添加高分子 CMC 提高泥浆粘度,一般粘度 32~38 s 为宜。有条件建议采用气举反循环工艺。

(3) 采用提吊加浮力塞下管时,钻机提升力只能按 80% 设计,以防下管过程中出现意外,便于处理。空管段的长度要根据套管的三轴挤毁强度进行

设计,以防套管受压变形发生事故。

(4) 采用井口密封固井时,套管内外泥浆必须循环好,密度保持一致,固井注浆前建立循环后,打开套管与钻杆环空阀门,阀门有泥浆溢出,关闭阀门可注浆固井,防止把钻杆固到井内。

#### 参考文献:

- [1] 耿建国,彭桂湘,袁志坚,等. 煤矿瓦斯抽排井套管强度校核计算方法探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(1): 78-81.
- [2] 彭桂湘. 大口径工程井套管事故及预防技术措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(8): 47-50, 53.
- [3] 袁志坚. 提吊加浮力塞下管法在大口径瓦斯抽排孔的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(1): 27-29.
- [4] 袁志坚. 大口径特殊工程钻孔套管事故原因及对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(3): 46-48.
- [5] 蔡延民. 煤矿大口径输冰井施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(8): 69-71, 84.