

一种牙轮脱落预警新技术的试验研究^{*}

杨迎新 刘德明 林 敏 杨建忠 刘 勇 朱 强
(西南石油大学)

杨迎新等.一种牙轮脱落预警新技术的试验研究.天然气工业,2006,26(1):63-65.

摘 要 文章介绍一种以轴承副的径向磨损量作为轴承工作状态监测参数、以钻头机械钻速和工作扭矩的急剧变化作为预警信号的牙轮脱落预警新技术的试验研究成果。新技术利用摩擦自锁原理,将一个预警装置设置在原有牙轮钻头的轴承腔内。当轴承磨损量达到预定的危险界限时,牙轮将被卡死在轴颈上,轴承的磨损过程终止。钻头的机械钻速和工作扭矩急剧变化的信号预示钻头轴承寿命的终结,应该起钻更换钻头。叙述了测试预警装置力学特性、承载能力、预警功能可靠性的准静态模拟试验以及动态模拟试验的试验方法和试验过程,对测试结果进行了综合分析。试验表明,该技术是可行的、可靠的,是一项很有推广应用价值的牙轮钻头新技术。

主题词 钻井 牙轮钻头 牙轮脱落 预警 轴承 磨损 摩擦

一、技术原理^[1-4]

简言之,新技术采用的防止牙轮脱落的技术思路是:当钻头轴承失效或接近失效时,置于钻头轴承腔内的预警装置启动,牙轮被卡死,钻头的机械钻速和工作扭矩会发生显著变化,从而实现向地面发出牙轮脱落预警信号的功能,提示钻台工作人员起出钻头。与此同时,由于牙轮卡死后不再绕轴颈转动,

故可避免轴承副磨损状态的加剧。轴承副的磨损量为预警系统的状态监测参量,钻头的机械钻速和工作扭矩的显著变化为判断钻头轴承是否失效的预警信号。

图 1 是预警装置的结构简图。预警装置由轴颈上的一个周向轨道槽、位于轨道槽起始端的滚动体初位槽、滚动体、锁楔以及锁楔定位件等组成。轨道槽的深度是逐渐变浅的,深度渐浅的方向与牙轮绕

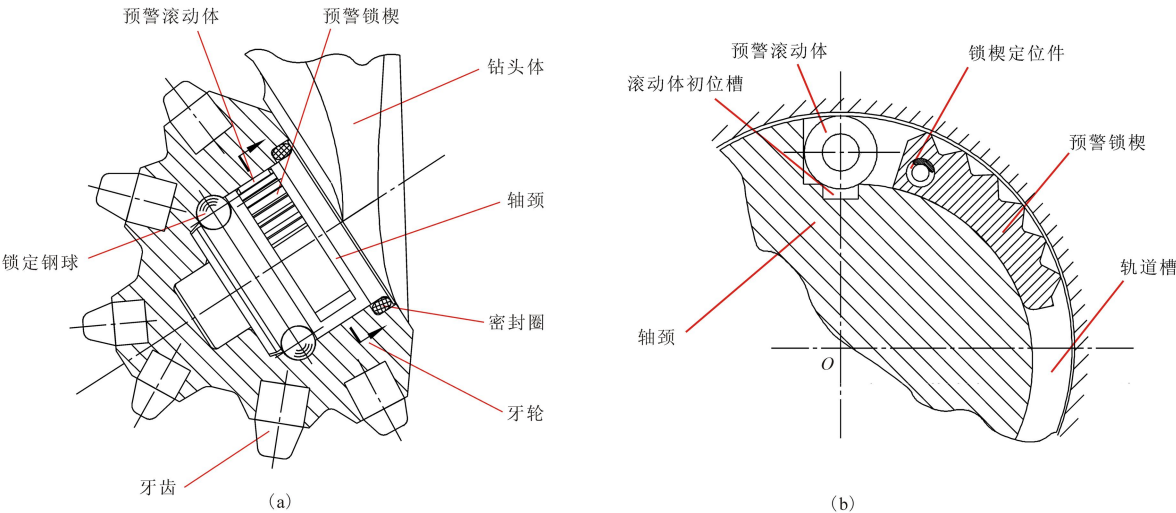


图 1 预警装置结构简图

^{*} 本文受到中国石油天然气集团公司“中青年科技创新基金”资助(项目名称:牙轮防脱落技术研究)和国家自然科学基金项目资助(编号:90410004)。

作者简介:杨迎新,1964年生,高级工程师,工学博士;四川省高校重点实验室“岩石破碎学与钻头研究实验室”副主任,西南石油大学钻头研究所所长;现从事油气井钻头和井下工具研究。地址:(637001)四川省南充市西南石油大学钻头研究所。电话:(0817)2642922。E-mail:yang2547@sina.com

牙爪轴颈转动的方向一致。滚动体是预警装置的启动元件,而锁楔则是预警装置启动后锁卡牙轮的元件。当轴承间隙增大到一定程度时,滚动体将因为摩擦自锁条件成立而被带入轨道槽,推动锁楔沿轨道滑动,直至锁楔的上部表面与牙轮内孔相接触。同样,锁楔与牙轮内孔壁以及轨道表面之间也满足摩擦自锁条件,故随着锁楔向轨道槽狭窄方向的运动,锁楔与牙轮内孔以及轴颈轨道之间的作用力逐渐增加,牙轮转动的阻力也越来越大,最终牙轮将被卡死在轴颈上,不再绕轴颈转动。此时,轴承副的磨损随之停止,同时钻头的机械钻速显著降低,工作扭矩显著增大,钻台工作人员即可根据此报警信号判定钻头轴承已失效,及时起出并更换钻头。

该技术思想有3个关键点:第一,预警装置必须能够随时监测轴承的磨损量(轴承间隙);第二,预警装置应能在轴承磨损量超过警戒线时及时启动;第三,锁卡牙轮的元件必须具备足够的承载能力,以适应大冲击载荷下卡死牙轮的要求。在本方案中,这3个关键点的实现均利用了一个简单的力学原理——摩擦自锁^[5]。因此,摩擦自锁原理是本技术思想的核心内容。

二、静态模拟试验

1. 试验目的

进行静态模拟试验的主要目的是:第一,测试不同结构的锁楔在缓慢加载条件下的承载能力;第二,观察滚动体进入轨道槽后的运动特征,以检验其能否有效推动锁楔滑动与牙轮内孔相接触的位置。

2. 试验方法

试验设备为WE-60型液压式万能材料试验机。

图2为试验中使用的3种结构的锁楔(齿型锁



图2 齿型锁楔、滚花面锁楔和光滑面锁楔图

楔、滚花面锁楔和光滑面锁楔,锁楔材料均为35CrMo)的照片。

滚动体采用具有良好弹性的螺旋弹性滚子。试验牙轮圈的内孔参照 $\varnothing 215.9$ mm钻头牙轮内孔的尺寸设计,为了模拟轴承副的磨损量,牙轮圈的内孔

尺寸比牙轮内孔的设计尺寸略大,轴承间隙大于预警间隙,同时又小于能使滚动体自由进入轨道槽中与锁楔端面相接触的间隙。试验轴颈忽略了牙爪轴颈上与预警装置无关的结构,仅保留了大轴颈。试验时先用锁楔定位件将锁楔安装在轨道槽内的锁楔初始位置上,再将滚动体置入初位槽,最后将轴颈与牙轮圈配合在一起,以模拟实际工作中的牙爪轴颈和牙轮。

试验针对3种锁楔分别进行。在试验过程中,观察滚动体推进锁楔向轨道槽内狭窄方运动的过程,记录外载随轴承副相对角位移变化的情况。

3. 测试结果及分析

通过对3种锁楔的试验结果的分析,可以得出以下结论。

(1)预警装置的承载能力完全能够满足锁死牙轮的要求。根据以前的试验测试结果, $\varnothing 215.9$ mm三牙轮钻头单个牙轮刮切岩石时的切向载荷一般很难超过36000 kN。而钢质齿型锁楔能够承担的最大牙轮等效切向载荷约为44854 kN,滚花面锁楔和光滑面锁楔则各为78516 kN和83660 kN。如果选择性能更优的锁楔材料,同时对预警装置的结构进行优化,其承载能力肯定还可以有较大程度的提高。因此可知,这3种锁楔卡死牙轮时的承载能力是足够的。

(2)螺旋弹性滚子的启动性能良好。由于螺旋滚子的弹性明显优于常规滚子,故能够在轨道中运动更长的距离,促使锁楔定位装置的定位功能失效,并推进锁楔,使其到达与牙轮内孔表面接触的位置,进入憋卡工作状态。

(3)不同类型锁楔的承载特性曲线的特征是各不相同的。不仅锁楔的结构特征会对其工作特性发生显著影响,此外,接触副的材料性质以及轨道结构参数也是重要的影响因素。

为便于理解和对比分析,将试验载荷按照力矩相等原则处理成施加在牙轮牙齿上的等效切向力或等效刮切力。对比3种结构锁楔在试验中表现出的技术特性,综合性能最佳者为滚花面锁楔。

三、动态模拟试验

1. 试验目的

动态模拟试验的目的是通过钻头的模拟钻进过程全面检验锁楔式预警装置的可靠性和综合性能。

2. 试验方法

试验在西南石油大学岩石破碎学与钻头研究实

验室的 40 t 钻头实验架^[3]上进行。试验钻头为特殊设计的分体式三牙轮钻头。钻头基本结构参照直径为 $\varnothing 215.9$ mm 的常规镶齿三牙轮钻头设计,3 个牙爪的轴颈上均加工、安装了预警装置。预警装置中的锁楔为滚花面锁楔,滚动体为螺旋弹性滚子。

试验步骤:在试验钻头上施加钻压,驱动转盘,钻头在旋转的试验岩石上钻进,记录钻头在不同钻压、转速条件下的工作扭矩。再用钢井底替代岩石,使钻头在随转盘旋转的钢井底上持续钻进。随着钻进过程的继续,轴承磨损量逐渐增大,当达到预定的预警磨损量时,预警装置启动,滚动体推动锁楔沿轨道滑动,最终将牙轮卡死在轴颈上。在钻进过程中,测试并记录钻头上的钻压信号和扭矩信号。牙轮卡死后,再次替换钻进对象,使钻头在岩石上钻进,变换不同的钻压和转速,测试钻头在牙轮卡死状态下钻进岩石时的钻头扭矩。最后,用已卡死的单个牙轮在大钻压条件下进行试验,检验预警装置(主要是锁楔)的承载能力。

3.测试结果及分析

(1) 预警装置的启动性能

试验钻头轴颈的直径为 57.1 mm,计算出的轴承理论预警间隙约为 0.5 mm。

表 1 列出了试验钻头 3 个牙轮的内孔以及牙爪轴颈在试验前后的直径尺寸和轴承间隙。

牙轮号	试验前尺寸(mm)			磨损后尺寸(mm)		
	牙爪轴颈	牙轮内孔	轴承间隙	牙爪轴颈	牙轮内孔	轴承间隙
1	57.06	57.20	0.10	56.70	57.24	0.54
2	57.16	57.21	0.05	56.68	57.24	0.66
3	57.16	58.26	0.10	56.52	57.28	0.76

试验结果表明,新的预警方案具有很好的自激启动性能,作为启动元件的螺旋弹性滚子不仅能够适时地自动进入轨道,而且能够可靠地使锁楔定位件失效,并推进锁楔进入锁卡工作位置。

(2) 钻头工作扭矩的变化

试验钻头的正常工作扭矩与牙轮卡死后钻头工作扭矩的测试数据见表 2。 η 为牙轮卡死后的扭矩相对于钻头正常工作状态的增大比率(按钻压相等条件计算)。测试数据表明,牙轮卡死后的钻头扭矩明显高于钻头正常工作扭矩。

表 2 钻头正常扭矩与牙轮卡死后扭矩的对比表			
钻头运转状态	钻压均值(kN)	扭矩均值(N·m)	η (%)
正常	53.0	953.5	42.6
3 号牙轮锁死	50.9	1305.3	
正常	102.3	2156.5	21.3
3 号牙轮锁死	98.2	2512.3	
正常	154.3	3512.7	30.3
3 号牙轮锁死	138.6	4111.3	
正常	174.8	4295.4	19.3
3 号牙轮锁死	203.6	5969.3	

四、结 论

- (1)预警装置中的滚动体能够在轴承副磨损量达到一定限值时可靠地适时启动,继而推动锁楔沿轨道槽运动,直至将牙轮卡死。
- (2)锁楔结构的承载能力极强,优于美国专利 4730681^[5]中采用的钢球憋卡技术方案,完全能够满足在各种工作条件(特别是大钻压)下将牙轮卡死的要求。
- (3)牙轮卡死后,钻头的工作扭矩和机械钻速均会发生显著的变化,从而预示轴承已失效,应该及时起出钻头。
- (4)即使暂时不起出钻头,由于轴承间隙超出限值的牙轮已经卡死,轴承的不再继续磨损,故牙轮也不会脱落。同时,卡死的牙轮与井底岩石剧烈摩擦,牙齿迅速磨秃,无法取得进尺,此时别无他法,只能起出钻头。
- 该项新技术已经获得中国专利授权。专利名称:具有防牙轮脱落预警装置的牙轮钻头。专利号:03233419.2。

参 考 文 献

[1] 杨迎新,朱强,刘德明,等.预警——牙轮防脱落技术的发展方向[J].西南石油学院学报,2002(4).

[2] 黄安基.理论力学:上册[M].北京:人民教育出版社,1981.

[3] 马德坤.牙轮钻头工作力学[M].北京:石油工业出版社,1996.

[4] 黄靖远,等.链环式超越离合器的工作原理和物理本质[J].中国机械工程,1997,8(1).

[5] ROY D. ESTES. Rock bit cone lock and method;United States Patent,4730681[P].1988-03-15.