

# 基于有限元分析的滚滑动轴承失效模式及预防措施研究

李冠亚

平顶山工业职业技术学院

**摘要:** 轴承的失效分析是提高轴承可靠性系统中的重要环节,越来越多的研究人员涉及这个新的跨学科技术领域。本文介绍了一种基于有限元分析的滚滑动轴承失效方法。通过使用有限元分析,可以对滚滑动轴承失效进行准确分析,从而更好地了解滚滑动轴承失效的原因,提出针对性解决措施。

**关键词:** 有限元分析;机械结构强度;应力和变形分析

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.11.047

## 引言

随着现代科学技术的发展,机械结构的设计和制造技术也取得了长足的进步。机械结构的设计必须考虑到力学性能,以确保机械结构的可靠性和安全性<sup>[1]</sup>。考虑到机械结构的力学性能,有限元分析是一种有效的工具。有限元分析可以准确分析机械结构的应力和变形,从而更好地了解机械结构的力学性能。本文将介绍有限元分析在机械结构强度研究中的应用,并介绍一些常见的有限元分析工具的基本功能,以及在机械结构强度研究中的应用。

### 一、有限元分析的基本原理

有限元分析是指一种通过计算机对机械结构强度进行分析的技术。这种技术可以用来预测结构的受力行为,包括振动、疲劳、拉伸、压缩和变形等。有限元分析的机械结构强度的基本原理是:将结构分成许多较小的单元,这些单元称为有限元,然后通过按照计算机的算法对这些有限元进行计算,以计算出整个结构的受力行为。有限元分析的机械结构强度的基本原理是从结构的受力行为出发,以结构的单元为基础,以有限元的方式进行分析。利用有限元法可以以准确、快速的方式对机械结构的强度进行分析,从而获得准确的结构应力与变形分布<sup>[2]</sup>。有限元分析可以计算出每个有限元的应力、变形和位移,从而可以评估结构的受力行为。有限元分析的机械结构强度的基本原理还包括考虑结构的材料性能,如弹性模量、杨氏模量、泊松比、强度参数等,以及考虑结构的几何形状,如结构的边界条件、体积和网格密度等。同时,还要考虑结构受力的类型,如拉伸、压缩、扭转、剪切等,以及受力时间曲线等。有限元分析可以让工程人员更好地理解和控制结构的受力行为,从而可以有效地减少结构的加载,降低结构的受损风险,提高结构的使用寿命和可靠性。有限元分析的机械结构强度的基本原理是一种有效的机械结构分析方法,可以有效地提高机械结构的强度和可靠性。

常见的有限元分析工具主要包括:(1)Abaqus:Abaqus是一款用于有限元分析的专业软件,它可以以可视化的方式解决各种复杂的结构、材料和流体力学

问题。(2)ANSYS:ANSYS是一款专业的有限元分析软件,可用于解决各种复杂的结构、材料和流体力学问题,可以实现三维有限元分析、复杂结构分析和非线性分析等功能。(3)Comsol Multiphysics:Comsol Multiphysics是一款多物理场有限元分析软件,可以实现模拟物理场、电磁场、声学场、热力学场和流体力学场等多物理场的复杂结构的有限元分析。(4)ALGOR:ALGOR是一款用于数值仿真的专业有限元分析软件,可以实现复杂结构有限元分析、流体力学分析、力学分析、热学分析等功能,可用于设计优化、性能预测等工作。

### 二、实际案例分析

该钢厂使用的齿轮箱输入轴系的整体设计结构如图1所示:

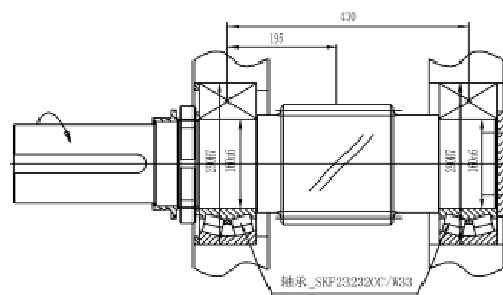


图1 齿轮箱结构图

该轴系使用两个调心滚子轴承23232CC/W33进行支撑,左端轴承轴向固定,承受径向力的同时还承受了圆柱斜齿轮的轴向力;右端轴承轴向游动,仅承受径向力。驱动电机通过鼓形齿联轴器与该输入轴相连,将动力传递给齿轮箱。电机的实际运行参数及齿轮箱输入轴系的各项设计参数如下:(1)驱动齿轮箱运行的电机实测数值:电压 $U=660$ 、电流 $I=400A$ 、转速 $n=1100rpm$ ;(2)该轴系上齿轮的设计参数:齿数 $z=19$ 、模数 $Mn=10$ 、螺旋角 $\beta=9^\circ$ 、旋向为左旋L;(3)轴承参数:型号23232CC/W33、基本额定动载荷 $C=1220KN$ 、基本额定静载荷 $C_0=1660KN$ 、 $e=0.35$ 、 $Y_1=1.9$ 、 $Y_2=2.9$ 、参考转速 $n_r=1500rpm$ ;(4)齿轮轮齿的受力分析:切向力 $F_t=23.83KN$ 、径向力 $F_r=8.78KN$ 、轴向力

Fa=3.77KN。(5)由以上数据计算轴承的受力情况及基本额定寿命L10,其计算结果见表1:

表1 受力情况统计表

名称	左端轴承	右端轴承
径向载荷 (KN)	14.19	11.25
轴向载荷 (KN)	3.77	0
当量载荷 (KN)	21.36	11.25
基本额定寿命L10h (h)	>106	>106

从表1中的计算结果可以看出支撑该输入轴系的两个轴承的基本额定寿命L10h均大于106小时(100万小时),寿命非常富裕(通常要求L10h>2.5万小时),此时需要校核轴承所受的当量载荷是否满足轴承运转所需要的最小负荷。轴承运转所需要的最小负荷是指为使轴承获得良好运行必须承受的最小负荷,该负荷在轴承高速运转(实际运转速度高于参考转速的70%)及润滑剂黏度高时尤其重要。当实际载荷低于轴承所需要的最小负荷时,会使轴承滚子和滚道之间产生滑动运动,造成轴承滚子的歪斜,长时间运行会造成轴承保持架磨损或断裂,最终导致轴承失效,齿轮箱无法正常运转。

轴承所需的最小负荷可以用如下公式估算:

$$P_m = 0.01C_0$$

如按上式估算出的结果不满足轴承运转所需的最小负荷要求,则需要进一步按如下公式进行更加详细的计算:

$$P_m = 0.003C_0 \left(1 + 2\sqrt{\frac{n}{n_0}} - 0.3\right)$$

由估算公式计算可得该轴承所需的最小负荷估算值为16.6KN,详细计算值为11.54KN,因此左端轴承满足该设计要求,右端轴承不满足该设计要求,造成实际使用过程中该轴承多次损坏。观察拆箱后该轴承的实际损坏情况发现,该轴承内外圈滚道完好,保持架侧边有磨损的情况,保持架隔离滚子的兜孔横梁断裂,滚子横置,该损坏特点符合由于滚子歪斜造成轴承失效的情况。

在随后的维修过程中依据该理论原理,将该处轴承更换为内、外径相同窄系列规格的轴承22232CC/W33(nr=2000rpm、C0=1290KN)。由以上两个公式计算可得该轴承运转所需的最小负荷估算值为12.9KN,详细计算值为7.74KN,右端轴承运行过程中的实际当量载荷为11.25KN,大于该轴承所需的最小负荷,满足该轴承的使用要求。具体的维修方案如图2所示:

### 三、轴承失效的原因

轴承失效的原因往往是多因素的,所有设计制造过程的影响因素都会与轴承的失效有关,一般可以从外来因素和内在因素两个方面来考虑和分析。

#### 1. 外来因素

外来因素也称为使用因素,主要是指安装调整,使

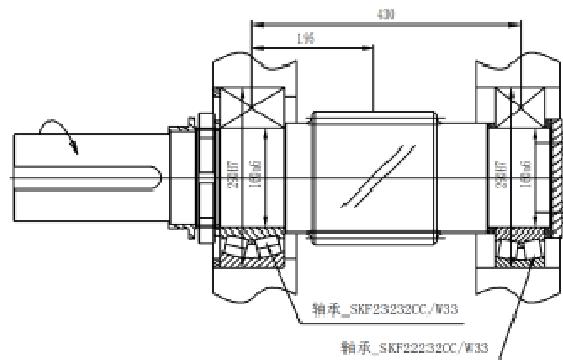


图2 轴承维修方案

用保养以及维护修理等方面是否符合规定的技术要求。安装条件是使用因素中的首要因素之一,滑动轴承通常因为安装不合适而导致轴承各组成零件之间的受力状态不正常,在此状态下运转,滑动轴承将提早失效,因此应当根据安装使用、维护和保养的技术要求,对运转过程中轴承所承受的载荷、转速、工作温度、振动噪音和润滑条件进行监控和检查,发现问题应当立即检查<sup>[3]</sup>。此外,对润滑剂的质量和周围介质进行分析检验也很重要,正确使用润滑剂对于延长轴承的使用寿命至关重要。有研究表明:滚动轴承的寿命与载荷、油的活度以及润滑剂条件有关,而其增长可能是无限的,在良好的(厚油膜、高洁度)和恶劣的(薄油膜、有污垢)条件下工作的轴承,轴承寿命之比为400:1,由此可见,正确的润滑油对于轴承的使用是很重要的。找原因、重新进行调整,恢复正常运转。

#### 2. 内在因素

轴承要经过铸造、锻造、热处理、车削、磨削和装配等多种工序加工制造而成。各道工序加工工艺的合理性、先进性和稳定性都会影响到轴承的寿命和失效,尤其是直接影响成品轴承质量的热处理和磨削加工工艺,与轴承的失效有更直接的关系,近年来对轴承工作表面交质层的研究,能够说明磨削工艺和轴承工作表面质量密切相关。轴承材料的冶金质量曾经是滚动轴承早期失效的主要影响因素,随着冶金技术的提高,原材料质量得到改善,原材料质量在轴承失效分析中所占的比重已经明显下降,但至今仍然是轴承失效的主要影响因素之一。要综合分析和找出造成轴承失效的主要影响因素,以便有针对性地提出改进措施,延长轴承的寿命,避免轴承突发性的早期失效,就要根据大量的背景材料、分析数据和失效形式,进行轴承的失效分析,由此可见,轴承的失效分析是提高轴承可靠性系统工程中的重要环节,既具有综合性又具有实用性。综合性体现在它的涉及面很广,包括产品的结构设计、机械制造工艺、材料的选用与冶金技术,以及摩擦学、腐蚀学、工程力学、断裂力学、金属物理和表面物理等广泛的学科领域和技术门类,失效分析技术必须依靠这些相关学科的发展而

向前发展。而这些相关学科的发展又都与失效分析工作密切相关。

### 3. 全生命周期阶段影响因素

设计阶段影响轴承失效的因素以滚子轴承为例,失效轴承样本数据表明,设计阶段对轴承失效影响因素出现项次较多的分别是机器系统设计、轴承选材、保持架、托架、轴承座结构和轴承的原始径向游隙设计,前6项影响项次为34次,占总项次的82.9%。样本中轴承设计对自身失效影响因素有:选材、保持架、轴承游隙、滚子直径与长度滚子与挡边之间间隙和端面表面粗糙度,其影响项次约占设计阶段影响总项次的40%。轴承失效样本分析表明,载荷类型、大小和平衡对轴承失效影响明显,轴系静动平衡设计(轴向推力、叶轮平衡)、高转速引起的惯性力、轧辊送进角、轴承间载荷分配不当、传动机构阻力过大等,都对轴承失效产生影响<sup>[4]</sup>。热处理工艺不当及质量不足影响轴承零件强度、韧性及耐磨性等,如淬火微裂纹、不良金属组织与组织不稳定、硬度低、氢脆、残余应力等,降低轴承使用寿命。失效轴承样本中,使用阶段对轴承失效的影响因素前6项占总项次的80%。

## 四、解决压裂泵滑动轴承的失效问题的有关策略

### 1. 优化材料和制造工艺

为了解决压裂泵滑动轴承的失效问题,一种可行的策略是优化材料和制造工艺。具体主要可以采用高性能的材料来制造滑动轴承,例如高强度钢、耐磨合金等。这些材料具有更高的耐磨性和抗腐蚀性,能够有效提高滑动轴承的使用寿命<sup>[5]</sup>。此外,可以通过表面处理、热处理等方式进一步提高材料的性能。并且,可以采用先进的制造工艺来生产滑动轴承,例如数控加工、高精度磨削等技术。这些技术可以提高产品的精度和质量,从而减少制造缺陷,提高产品的可靠性和寿命。此外,还可以采用先进的润滑技术来改善滑动轴承的润滑条件,例如采用合适的润滑油、改进润滑系统设计等。这些措施可以有效降低轴承的磨损和温度,延长轴承的使用寿命。

### 2. 加强润滑管理

压裂泵滑动轴承的润滑管理对于减少失效问题具有重要作用。因此,加强润滑管理成为解决问题的关键。具体首先可以选择合适的润滑油,应根据设备的工作条件、工作温度和转速等参数选择合适的润滑油。在润滑油的选择上,要考虑到润滑油的黏度、抗氧化性能、抗磨性能、耐高温性能等参数。润滑油在使用一段时间后会老化变质,影响其润滑性能,因此需要定期更换润滑油。在更换润滑油时,应将原有的润滑油彻底清理干净,以免发生混油的现象。加强润滑油的监测也是必不可少的,通过监测润滑油的颜色、气味、温度、黏度等参数,判断润滑油的运行状况。如果发现润滑油出现变质、

变黑、凝固等异常情况,需要及时更换润滑油或进行其他处理。最后要不断采用先进的润滑技术如采用脉冲润滑、油气润滑等技术,可以有效减少滑动轴承的磨损和疲劳断裂,提高润滑效果,延长设备的使用寿命。同时,也可以减少润滑油的使用量,降低运行成本。

### 3. 加强监测和维护

为了提高压裂泵滑动轴承的可靠性,加强监测和维护也是一个关键的策略。具体来说,可以建立完善的监测体系,定期检查和测试滑动轴承的磨损情况、温度和润滑情况等指标,并建立相应的记录和报告机制。对于检测到的问题及时进行维护和修理,包括更换磨损严重的轴承和密封件,以及清洗和更换润滑油等<sup>[6]</sup>。此外,还应该制定相关的维护计划,包括定期更换润滑油、检查和更换过滤器等,以保证滑动轴承的正常运行。同时还应该加强人员培训和技术交流,提高维护人员的专业技能和对滑动轴承的认识,从而更好地发现和解决问题。此外,可以参加行业相关的技术交流会和展览,学习和借鉴其他厂家的经验和做法。

## 结语

综上所述,在石油化工等行业中,压裂泵滑动轴承是重要的关键零部件,对生产设备的可靠性和稳定性起着至关重要的作用。本文对压裂泵滑动轴承的失效问题进行了深入分析,包括磨损、疲劳断裂、温度过高、油膜破裂和过载损坏等方面。针对这些问题,我们提出了优化材料和制造工艺、加强润滑管理、加强监测和维护等多种解决策略,旨在提高压裂泵滑动轴承的可靠性和使用寿命。随着科技的不断进步和工业生产的日益发展,相信在未来的研究和实践中,压裂泵滑动轴承的失效问题会得到更加有效的解决,以推动行业的进一步发展和创新。

## 参考文献

- [1]周鑫,戚社苗,刘恒.考虑弹性变形的推力轴承抗冲击特性分析[J].振动与冲击,2021,40(15):73-78,89.
- [2]斯凯孚公司.用于制造滚动轴承圈或滑动轴承圈的方法:CN202280038469.7[P].2024-01-16.
- [3]海安县恒益滑动轴承有限公司.一种烧结型外磨擦滑动轴承滚压成型装置及其使用方法:CN202310999708.1[P].2023-10-17.
- [4]NTN欧洲公司.配备有具有靠近旋转轴线的密封座的密封装置的滑动轴承或滚动轴承:CN202180092459.7[P].2023-09-22.
- [5]蛇牌股份公司.具有作为发生器的滚珠轴承或滑动轴承的医学器械:CN202180059020.4[P].2023-05-16.
- [6]杨海峰.面向INTERNET的滑动轴承磨损智能虚拟维护技术的研究[D].机械科学研究院,2002.