

艾里逊变速箱液力变矩器工作特性解析

张志伟

中海油田服务股份有限公司一体化和新能源事业部塘沽作业公司 天津 300459

摘要:艾里逊变速箱是石油设备修井机装备的核心传动部件,其液力变矩器工作特性直接影响整机传动效率、动力传递平顺性与运行可靠性。该变矩器依托液力传动原理实现动力柔性传递,有动力传递、转矩变换等功能,特性受结构、介质等因素影响。本文以它为研究对象,梳理理论与结构基础,解析核心特性,分析影响因素并提出优化路径,为设计改进等提供支撑,推动重型变速箱液力传动技术发展。

关键词:艾里逊变速箱;液力变矩器;工作特性

引言:石油设备修井机对传动系统性能要求日益提高,变速箱作为核心传动单元备受关注。艾里逊变速箱因结构紧凑等优势,广泛应用于多领域,液力变矩器是其关键部件,能实现动力柔性传递等。目前学界对普通液力变矩器研究成熟,但对艾里逊专属变矩器工作特性解析不系统,难以满足实际需求,其工作异常还会影响装备运行,故本文聚焦解析并提出优化路径以供参考。

1 艾里逊变速箱液力变矩器相关理论与结构基础

1.1 液力变矩器核心理论基础

液力变矩器工作基于液力传动原理,以动量矩定理和流体力学规律为支撑,靠液体实现动力非刚性传递。其核心原理是泵轮、涡轮、导轮协同,把发动机机械能转为液体动能,再经传递转换将动力传至后续传动机构。泵轮是动力输入元件,由发动机驱动旋转,将机械能传给传动油,使油液获得动能与压力能;涡轮是动力输出元件,靠高速油液冲击旋转,将液体能量转为机械能;导轮固定在壳体,改变油液方向,调节泵轮与涡轮转矩传递关系。此外,变矩比、转速比、传动效率等关键参数可量化其工作特性,直接反映动力传递与转矩变换能力,是解析工作特性的核心依据。

1.2 艾里逊变速箱液力变矩器结构特点

艾里逊变速箱液力变矩器结构设计贴合重型装备需求,有专属特性,由泵轮、涡轮等核心部件组成。与普通变矩器比,其叶轮用高强度合金材料,叶片经流体力学优化,流道贴合重型工况油液流动规律,能提升承载与传动效率。锁止离合器是其特色,采用湿式多片式设计,可切换液力与机械传动,高速匀速时锁止,减少

液力损失、提升效率。它结构紧凑,与变速箱行星齿轮机构等连接精度高,装配间隙精准校准,减少振动与泄漏^[1]。同时,内部有完善润滑与冷却通道,适配重型装备长时间高强度工作,能延长部件寿命。

2 艾里逊变速箱液力变矩器核心工作特性解析

2.1 动力传递特性

动力传递特性是艾里逊变速箱液力变矩器最基础的工作特性,核心体现为柔性传递与高效适配的双重优势。由于采用液体作为传动介质,动力传递过程中不存在刚性接触,可有效缓冲发动机输出转矩的波动与外部载荷的冲击,实现动力的平稳传递,避免传动系统部件因冲击载荷受损。其动力传递效率随转速比的变化呈现明显规律,在低速启动工况下,转速比小,动力传递效率较低,但可实现平稳启动;随着转速升高,转速比趋近于1,传动效率逐渐提升,进入高效工作区间。另外,锁止离合器的工作状态直接影响动力传递特性,锁止状态下,泵轮与涡轮刚性连接,动力通过机械传动方式传递,传动效率大幅提升;非锁止状态下,以液力传动为主,侧重动力传递的平顺性,可适配不同工况下的动力传递需求。

2.2 转矩变换特性

转矩变换特性是艾里逊变速箱液力变矩器的核心功能特性,核心是通过导轮的导向作用,实现泵轮与涡轮之间的转矩放大与动态调节,满足重型装备启动与加速时的动力需求。其转矩变换的实现依赖于油液在导轮处的流动方向改变,当发动机驱动泵轮旋转时,高速油液冲击涡轮产生转矩,流经涡轮的油液进入导轮后,导轮叶片改变油液流动方向,使油液再次冲击泵轮,产生附加转矩,从而实现涡轮转矩大于泵轮转矩的放大效果。转矩变换能力用变矩比表示,变矩比随转速比的减小而增大,在启动工况下,转速比最小,变矩比最大,可实

作者简介:姓名:张志伟 出生年月:1986年7月 性别:男 民族:汉 籍贯:天津 学历:本科。自2008年参加工作一直从事修井机设备维修,专长于艾里逊变速箱维修,实践工作经验丰富。

现较大的转矩放大，确保装备平稳启动；随着转速升高，转速比增大，变矩比逐渐减小，直至趋近于1，此时转矩传递趋于稳定，适配装备匀速运行工况，整体转矩变换过程连续平稳，无明显冲击。

2.3 效率特性

效率特性是衡量艾里逊变速箱液力变矩器工作性能的重要指标，核心反映其动力传递过程中的能量损失情况，主要受转速比、工作介质、结构参数等因素影响。其传动效率等于涡轮输出功率与泵轮输入功率的比值，效率变化曲线呈现“先上升后平稳”的规律，存在明确的高效工作区间。在低速启动阶段，油液流动紊乱，能量损失较大，传动效率较低；随着转速比升高，油液流动逐渐平稳，能量损失减少，效率快速提升；当转速比达到0.8-0.9时，效率达到峰值并保持稳定，此区间为高效工作区间，可满足装备正常运行需求。艾里逊变速箱液力变矩器通过优化叶轮结构与流道设计，扩大了高效工作区间，同时锁止离合器的设置可进一步提升高速工况下的传动效率，减少能量浪费，兼顾动力性与经济性。

2.4 缓冲减振与过载保护特性

缓冲减振与过载保护特性是艾里逊变速箱液力变矩器适配重型装备工况的关键优势，可有效提升传动系统可靠性与使用寿命。缓冲减振特性源于液体介质的弹性与阻尼作用，在发动机输出转矩波动或外部载荷突变时，油液可通过自身压缩与流动吸收冲击能量，缓解振动传递，避免齿轮、轴承等部件因刚性冲击受损，同时提升动力传递的平顺性，改善装备操控体验。过载保护特性则通过油液的打滑作用实现，当外部载荷超过传动系统额定承载能力时，泵轮与涡轮之间会出现油液打滑现象，此时涡轮转速下降，转矩传递减弱，可有效避免发动机、变速箱等核心部件因过载而损坏^[2]。这种过载保护无需额外控制装置，属于被动保护，响应迅速、可靠，完全适配重型装备频繁启停、载荷多变的工作特点。

2.5 动态响应特性

动态响应特性反映艾里逊变速箱液力变矩器在工况突变时的适应能力，核心体现为转矩、转速、效率等参数随工况变化的响应速度与稳定性，直接影响装备的操控灵活性。在加速、减速、制动等工况突变时，液力变矩器需快速调整转矩传递与转速匹配，确保动力传递平稳、无顿挫。艾里逊变速箱液力变矩器通过优化叶轮结构、液压控制系统及锁止离合器控制逻辑，提升了动态响应速度，在工况突变时，油液流动状态可快速调整，转矩与转速的过渡平稳，无明显冲击与滞后。同时，其内部单向离合器的设置可防止涡轮反向旋转，进一步提

升动态响应的稳定性，适配重型装备频繁工况切换的需求，确保装备在复杂工况下仍能保持良好的操控性能。

3 艾里逊变速箱液力变矩器工作特性的影响因素分析

3.1 结构参数影响因素

结构参数是影响艾里逊变速箱液力变矩器工作特性的核心内在要素，涵盖叶轮结构参数、锁止离合器参数及部件间隙等。叶轮结构里，叶片数量、角度、流道形状与尺寸对特性影响突出。叶片角度不当会使油液流动紊乱，降低传动效率与转矩变换能力；流道尺寸偏差会增加油液泄漏与能量损耗。锁止离合器的锁止压力、摩擦片材质与厚度影响动力传递平顺性与效率，压力不足会锁止打滑，摩擦片磨损快影响可靠性。泵轮、涡轮、导轮装配间隙也有影响，间隙大易漏油、降效率，间隙小会增加部件磨损，精准匹配各类参数是保障工作特性稳定的关键。

3.2 工作介质影响因素

工作介质即传动油，是艾里逊变速箱液力变矩器动力传递的核心载体，其理化性能影响工作特性稳定性与可靠性。其中，粘度是关键参数，过高会增加油液流动阻力，降低传动效率、加剧能量损失；过低会导致油液泄漏严重，无法有效传扭且加剧部件磨损。传动油清洁度也有影响，杂质会堵塞流道、磨损叶轮与密封件，造成动力传递不畅、泄漏增加，引发工作特性异常^[3]。另外，传动油老化会产生负面影响，老化后理化性能下降，无法满足工作需求，易致效率降低、部件磨损加剧。

3.3 工况条件影响因素

工况条件是影响艾里逊变速箱液力变矩器工作特性的重要外在因素，涵盖转速与载荷、工作温度及工况频繁程度。转速与载荷变化影响动力传递和转矩变换特性，发动机转速波动大、载荷频繁变化，会使变矩器常处低效区间，降低传动效率、加剧部件磨损。工作温度通过传动油影响特性，温度过高，传动油粘度降、老化快，密封件变形，引发泄漏与效率降低；温度过低，传动油粘度升、流动阻力大，影响动力传递平顺性与响应速度。频繁启停等工况增加负荷，降低特性稳定性，缩短部件寿命。

3.4 外部环境及运维影响因素

外部环境及运维水平间接影响艾里逊变速箱液力变矩器工作特性。外部环境上，高温、低温、多尘、潮湿等不利，高温加速传动油老化与部件磨损，低温影响其流动性，多尘易使杂质进入，潮湿引发部件锈蚀，均致工作特性异常。运维水平方面，定期维护、油液更换、部件检修质量决定变矩器工作状态，运维不当会加剧异

常,如未按时换油、调整间隙不合理、未及时换磨损部件等,会降低传动效率、引发转矩变换异常,严重时致设备故障。

4 艾里逊变速箱液力变矩器工作特性优化路径

4.1 结构参数优化

结构参数优化是提升艾里逊变速箱液力变矩器工作特性的核心路径,重点围绕叶轮结构、锁止离合器及部件间隙开展优化。叶轮结构优化方面,借助流体力学仿真技术,优化叶片数量、叶片角度与流道形状,使油液流动更加平稳,减少能量损失,扩大高效工作区间,同时提升转矩变换能力,适配重型装备工况需求。锁止离合器优化方面,优化锁止压力控制参数与摩擦片材质,选用高强度、高耐磨性的摩擦片,提升锁止可靠性与使用寿命,同时优化锁止间隙,确保锁止与解锁过程平稳,减少冲击,提升动力传递平顺性。此外,精准校准各部件装配间隙,合理控制泵轮、涡轮、导轮之间的间隙大小,减少油液泄漏,提升传动效率,实现结构参数的最优匹配。

4.2 工作介质优化与管理

工作介质优化与管理的核心是提升传动油理化性能,保持油液清洁度与良好状态,为工作特性稳定提供保障。传动油选型优化方面,选用艾里逊变速箱专用传动油,确保传动油的粘度、润滑性、抗氧化性等理化性能符合液力变矩器工作需求,适配不同工况下的温度与载荷变化,避免选用通用油液导致的特性异常。油液管理优化方面,建立完善的传动油检测与更换机制,定期检测油液的粘度、清洁度与老化程度,根据检测结果及时更换传动油,一般每工作500小时进行一次油液检测,每2000小时更换一次传动油。同时,加强油液过滤系统维护,及时更换滤芯,防止杂质进入油液,确保油液清洁度。

4.3 控制策略优化

控制策略优化主要围绕锁止离合器与液压控制系统开展,通过优化控制逻辑,提升液力变矩器工作特性的适配性与稳定性。锁止离合器控制策略优化方面,结合转速、载荷、工作温度等工况参数,实现锁止时机的自适应控制,在低速启动、加速工况下,延迟锁止时机,

侧重动力传递平顺性;在高速匀速工况下,及时锁止,提升传动效率,避免锁止过早或过晚导致的特性异常。液压控制系统优化方面,优化液压油压力与流量控制逻辑,提升液压系统的响应速度,确保锁止离合器、单向离合器等部件的动作精准、平稳,同时优化润滑与冷却系统的控制,根据工作温度自动调节冷却强度,保持传动油温度稳定,为工作特性稳定提供支撑。

4.4 运维策略优化

运维策略优化的核心是建立针对性的运维体系,提升运维质量,及时排查潜在问题,确保液力变矩器长期处于良好工作状态。建立差异化运维计划,结合装备的工作工况与运行时长,制定针对性的定期检修计划,重点检查叶轮磨损、锁止离合器状态、密封件完整性及部件间隙等,及时更换磨损、老化部件,避免小问题引发大故障。加强运维人员培训,提升运维人员对艾里逊变速箱液力变矩器结构、工作原理及工作特性的认知,规范检修流程与操作标准,确保检修质量。同时,建立运维记录档案,详细记录检修时间、检修内容、更换部件等信息,便于跟踪设备运行状态,为后续运维与优化提供数据支撑。

结束语

艾里逊变速箱液力变矩器作为重型装备传动系统的核心部件,其工作特性直接关系整机运行性能、可靠性与经济性,深入解析其工作特性并优化提升,对推动重型装备技术发展具有重要意义。未来可结合智能化技术,提升特性监测与优化的精准度。相信通过科学的特性解析、规范的运维管理与持续的技术优化,能够充分发挥艾里逊变速箱液力变矩器的优势,为重型装备的高效、稳定运行提供有力保障。

参考文献

- [1]王加松,樊自学.自动电控型艾里逊变速箱的换挡故障研究[J].设备管理与维修,2025(1):82-85.
- [2]朱迪.艾里逊变速箱携手柳工助力大南湖矿区高效运营[J].商用汽车,2025,398(4):118.
- [3]张泽宇,惠记庄,许仕伟,等.面向复杂工况的液力变矩器与变速箱效能优化协同控制策略[J].西安交通大学学报,2024,58(2):146-156.