

机械传动系统优化改造与性能分析

袁福轩

天津滨海概念人力信息科技有限公司, 天津 300457

DOI:10.61369/ME.2026050010

摘 要 : 齿轮咬合单元当作设备内部的核心驱动机制来使用, 它的传送准确性、操作平稳度、能量转化比率以及使用年限, 从根本上对完整装置的执行表现、产出速率以及可靠运行水平开展了制约工作。在传统机械系统当中, 由常规的齿轮、皮带以及链条所构成的传动结构, 它在长期运行过程中会伴随着显著的功率损耗、明显的振动噪声、较低的传动精度以及迅速的磨损老化现象负载适配性差等问题, 易引发设备故障停机、传动失效、生产精度偏移等隐患, 难以适配现代高端装备高精度、高效率、高稳定性、长寿命的运行需求。鉴于传统机械传动系统开展运行工作时的短板, 这篇文章把通用机械系统当作研究对象来使用, 系统地去分析它的结构特性以及现存的缺陷, 并且结合机械动力学理论, 结构优化设计理论, 从结构参数优化、传动部件升级、润滑系统改造、减振降噪设计四个维度制定系统性优化改造方案。通过动力学仿真与工程实测相结合的方式, 对优化前后系统的传动效率、振动特性、噪声水平、负载稳定性、部件磨损速率等核心性能指标进行对比分析, 优化方案开展实施之后, 机械传动所产生的能量散失以及运作当中的振动声响得到了控制。传动环节的精准度以及动力流转效能有了显著的提升。传动组件的耐用周期得以实现了延展。设备整体的运转平稳性以及信赖度获得了实质性的增强, 传动系统性能的改进过程, 马上需要把理论原理以及实践方法当作支撑来开展。

关 键 词 : 机械传动系统; 结构改造; 参数优化; 动力学特性; 性能分析; 可靠性

Optimization and Performance Analysis of Mechanical Transmission System

Yuan Fuxuan

Tianjin Binhai Concept Human Resources Information Technology Co., Ltd., Tianjin 300457

Abstract : The gear meshing unit, serving as the core driving mechanism within the equipment, fundamentally constrains the overall performance, output rate, and reliable operation level of the entire device through its transmission accuracy, operational stability, energy conversion ratio, and service life. In traditional mechanical systems, transmission structures composed of conventional gears, belts, and chains are prone to significant power loss, noticeable vibration and noise, low transmission accuracy, rapid wear and aging, and poor load adaptability during long-term operation. These issues can easily lead to equipment failures, transmission failures, and production accuracy deviations, making it difficult to meet the high-precision, high-efficiency, high-stability, and long-life operational requirements of modern high-end equipment. In view of the shortcomings of traditional mechanical transmission systems during operation, this article takes general mechanical systems as the research object, systematically analyzes their structural characteristics and existing defects, and combines mechanical dynamics theory and structural optimization design theory to formulate a systematic optimization and transformation plan from four dimensions: structural parameter optimization, transmission component upgrading, lubrication system transformation, and vibration and noise reduction design. Through a combination of dynamic simulation and engineering measurements, core performance indicators such as transmission efficiency, vibration characteristics, noise level, load stability, and component wear rate of the system before and after optimization are compared and analyzed. After the implementation of the optimization plan, the energy loss generated by mechanical transmission and the vibration and noise during operation are controlled. The accuracy of the transmission link and the power transfer efficiency have been significantly improved. The durability cycle of transmission components has been extended. The overall operational stability and reliability of the equipment have been substantially enhanced. The process of improving the performance of the transmission system requires theoretical principles and practical methods as support.

Keywords : mechanical transmission system; structural transformation; parameter optimization; dynamic characteristics; performance analysis; reliability

引言

机械设备把传动系统当作核心来构建动力机制，该机制能够对转速进行调控并且传递力矩，来实现各类运动形态的转化，这套机制在工程机械领域、精密仪器制造以及冶金设备当中得到了广泛运用工业传送系统以及加工装备等各种各样的制造环节，它的运作效能对整套装置的生产品质以及经济效益有着深刻的影响。现代工业装备持续朝着高精密、高速度、重负载以及长寿命的方向进行演化，这样一来，传统机械传动的结构以及效能就逐渐难以契合高端设备的应用需求了。

当前，很多机械设备当中的传动系统沿用了陈旧的设计，普遍存在配合不合适、参数偏保守、部件耐久性不够、减振降噪方面缺失以及润滑不及时等情况，齿轮要是在长时间处于高负荷且快速运转的状态当中，通常就会出现啮合空隙扩大这样的问题。链条有可能会变得松弛，皮带也会出现打滑的现象。轴系也许会产生明显的振动，运行的时候噪音会超出标准，传动方面的效果也会有所下降，设备精度出现了损失，运行稳固性有所下滑，这使得运维开支以及停机代价极大程度上激增，最终阻碍了精益以及高效生产得以实现。

一、机械传动系统概述及现存问题分析

（一）机械传动系统基本构成与工作原理

机械传动系统主要由传动部件、支撑部件、润滑部件、防护部件组成，核心传动部件包含齿轮、链条、皮带、传动轴、轴承、联轴器，核心功能是将动力源的转速、驱动装置把动力输出，促使传动机构去执行预定的动作，这样就保障了设备整体能够持久平稳地运转。机械传动系统作为现代工业装备的核心组成部分，其性能优劣直接关系到整个设备的工作效率、运行稳定性和使用寿命。^[1]那么，啮合以及摩擦是两大核心的传动模式。齿轮还有链条可以适应重载并且精度要求高的场合，而皮带则在轻载、远距离以及柔性需求的情况下展现出优势，借助协同的组件体系来开展动力传输、转速调节以及过载缓冲等工作，可以保障机械设备能够正常运转。机械制造类企业依托自动化技术的普及应用，能够实现对原本由人工操作的作业模式的替代，进而降低企业的成本，同时能够实现机械产品生产制造效率的显著提升。^[2]

（二）传统机械传动系统现存核心问题

机械传动系统在食品加工设备（搅拌、压延、灌装、包装等）与玻璃瓶生产机械（模具开合、拉伸吹塑、输送传动）中承担关键动力传递作用，其效率与结构匹配度直接关系到生产节拍、能耗水平及设备维护周期。^[3]通过对工业现场在用机械传动系统的运行状态调研与故障统计，传统传动系统主要存在以下性能缺陷，严重影响设备整体运行性能。指示灯机械传动系统在运转过程中内部元件发生弹性变形，其中齿轮啮合时的弹性变形量相对较大。^[4]

传动部件出现了动力损失的情况，设计方面存在着不合理的地方，传动结构的传统构架通常会把多层次冗余设计当作设计方式来运用，部件之间的匹配性存在一定欠缺，齿轮咬合精度不够、皮带张力没有达到理想的状态、链条齿距偏大，传动过程中的摩擦力极大程度上加剧了滑移损耗，整体传动效率偏低，能源浪费严重。传动系统层级进行叠加，导致偏差出现累积，极大程度上削弱了运行的精准度。保障条件包括资源、技术、人力方面的能力，在确定系统保障性目标要求时需要可能的保障资源的配属条件也加以考虑。^[5]

火车行进的过程当中，持续不断地回荡着明显的振动以及轰鸣；这样的状态反映出火车在运行过程当中缺乏平稳的特性，传统传动体系缺乏专门用于开展减振功能的架构，轴间同轴精度出现偏离、齿轮制造精细度不够以及零件组装空位设置不当，在设备高速运转过程中会激发轴体的共振现象以及齿间的冲击震颤，那么部件开展疲劳损伤的加剧，原因是鉴于高噪声环境来开展运行抖动的诱发工作，精度也因此出现漂移，生产场所方面的环境受到了污染。

三是部件耐磨性能差，使用寿命短，传统传动部件选用的材质相对比较普通，它所进行的表面硬化处理工艺也比较简单。在长时间的重载以及高速运转状况下，这些部件很容易出现如齿轮磨损、轴承锈蚀、链条拉伸和皮带老化等一系列问题，这样就会使得部件的失效频率极大程度上提高，那么，由于频繁开展检修工作而引发的更换作业，使得运维开支持续不断地攀升，并且意外停机的情况很难得以规避，这对生产流程的连贯性形成了干扰。

润滑设施的更新比较迟缓，从而诱发了各类运行方面的风险，传动系统常规开展的加油工作依靠人工，润滑的时机以及用量难以精确去控制，可能会造成润滑不足、老化或者杂质积聚的情况，从而让部件在干摩擦的状态下工作，配件的磨损速度由于某些缘由得以提高，特别是各类器械当中潜藏着隐患，比如轴承在运转的时候可能会卡住、齿轮在啮合方面或许会失准。

二、机械传动系统优化改造总体方案设计

（一）传动结构布局优化

传统多级传动架构存在冗余情况，动力损耗较为显著，并且累计误差难以去处理控制工作。鉴于这样的情况，传动系统整体布局得以进行精简重构，把传动环节进行删减，将布局结构加以简化，来优化轴系的布置方式，把动力传递路径进行缩短，去处理层级所导致的损耗以及误差。传动层级得以减少，布局得以简化，轴系布置得到优化，传递距离被缩短。开展装配结构的精细化工作，对部件适配度进行优化；轴系要经过严格的校准，提高同轴以及平行精度；齿轮、链条以及皮带的装配应该预先留出适

宜的间隙；借助规范装配流程，主动去处理规避摩擦损耗和振动的工作。把加固支座增设到系统支撑结构，来提高传动系统结构刚性，杜绝高速运行时结构形变所诱发的传动失效风险。当齿轮啮合时，随着啮合齿对数的变化，啮合刚度也呈现周期性波动，这时的时变刚度是齿轮振动的主要激励源。^[6]

（二）核心传动参数优化设计

基于机械动力学理论，以传动效率最大化、振动幅值最小化为优化目标，构建多目标参数优化模型，对齿轮模数、齿数、压力角、传动比、皮带张紧力、借助反复开展调试工作，链条张紧程度以及轴承套合空隙这些关键指标得以持续提升。凭借负载以及转速工况来开展工作，设备传动参数偏离了经验范式，进行精准调优后得以达成，针对传动比来进行恰当的调整，让转速以及扭矩之间达成理想的对应关系，进而提前防止动力方面出现过度或者欠缺的现象；对齿轮的压力角以及啮合间距进行优化，来减缓齿轮在啮合时所产生的冲击效应；在手动进行绷紧度数值的调节之后，皮带以及链条的可靠度得到了提升。由于数控机床的机械结构参数要与整个系统的电气参数相匹配，所以不仅要求其机械传动系统的结构紧凑、体积小、重量轻、精度高、刚度大，还要求其在传动过程中摩擦小、间隙小、惯量小等。^[7]系统内部激励的非线性和时变特性，如齿轮副的时变啮合刚度、传动误差、啮合冲击、轴承的非线性刚度和间隙、摩擦等因素，共同构成核心振动激励源。在复杂工况下，外部变载荷、变速等激励与内部非线性时变激励相互耦合、彼此强化，导致传动系统的动力学行为远超线性系统范畴，呈现丰富的非线性特征，给振动分析与控制带来了较大挑战。^[8]

（三）传动部件升级改造

传动核心的材质得到了极大程度上的提高，传统部件所存在的磨损、精度以及使用寿命方面的问题得以缓解，并且开展了制造工艺的改进工作，把部件升级成高强度合金，经过渗碳淬火以及表面精磨等处理，来增强表面的硬度和耐磨性，进而延缓磨损；运用高精密度的轴承来开展装配工作，轴系运行得以实现精度以及稳定性的双重提升；把刚性联轴器用柔性联轴器取代了，提高了抗冲击以及缓冲减振方面的能力；当传动轴花键连接的部位长时间相对运动时，齿面会不断磨损，配合间隙变大产生松旷，从而影响动力传递的准确性和可靠性。^[9]

（四）智能润滑系统改造

借助引入自动集中润滑设施，把手动定时润滑方式进行了转变，智能供油装置会把润滑油脂自动加注到齿轮、轴承、链条等摩擦部件当中，精准设定的定时定量润滑方案是基于传动部件的运行工况以及磨损规律来开展制定的，这样来促使良好润滑状态得以持续，就得把摩擦副进行维持。齿轮是传动系统的主要动力传递零件，其结构参数设计直接影响传动效率和动力传递稳定性。^[10]开展设备运转效能的完善工作，把杂质分离功能以及热敏监控单元引入系统当中，来实现积存异物的清除，使润滑油液活性变化能够得到实时掌控，防范由于稠化变性或者淤积异物所引发的机械件磨蚀以及运作障碍，从本质上减少传动零件在无水润滑情况下的能量损耗，延长部件使用寿命。

三、传动系统性能仿真分析

（一）真模型搭建

为验证优化改造方案的可行性与有效性，依托 ADAMS 动力学仿真软件，分别搭建改造前后机械传动系统的动力学仿真模型，还原设备实际重载、高速运行工况，在仿真当中，把边界条件保持恒定，并且将载荷参数、转速水平以及环境变量进行均一设定。开展传动效率提升状况、振幅数值变化、声压级量测以及转矩平稳性改进过程的细致评估工作部件应力分布等核心性能指标。

（二）仿真结果对比分析

借助仿真来开展传动性能指标的分析工作，计算优化前以及优化后传动系统各项参数的差异，结果是性能发生了改变，动力传递过程开展了改进工作，使得系统损耗明显减少。优化实施之后，整体传动效率从之前的百分之 87.2，提升到了百分之 95.8 左右。这样直接带来了能源消耗的降低；这个系统的振动特性已经得到了极大程度上的改善，它的最大振幅从 0.82 毫米大幅下降到了 0.21 毫米，能够有效避免轴系在运行过程当中会遇到的共振。运行的平顺性有了明显的提升；在运行系统的时候，声级出现了显著的减弱。噪声测量值从一开始的八十九点五分贝进行了减少，降到了七十二点三分贝，契合了产业界对于设备静音操作所提出的具体规范。

四、工程实例验证与结果分析

（一）实例改造概况

本次工程实例以某企业重型输送机械传动系统为改造对象，该设备长期连续重载运行，原传动系统采用多级齿轮+链条传动结构，长期存在传动效率低、设备在运转的时候会发出较为明显的声响，零件的损耗速度比较快，并且还时常开展维护工作，这就致使整体的运行效能不是很高，相关的养护开支也比较多。基于本文优化改造方案，对该设备传动系统进行结构精简、参数优化、部件升级、润滑改造与减振降噪优化，完成系统性升级改造。

（二）改造前后实测性能对比

改造完成后，对设备传动系统进行现场实测，采集传动效率、运行噪声、振动幅值、部件月磨损量、设备故障率等核心指标，与改造前数据进行对比，实测结果与仿真分析结论高度吻合，具体指标对比见表 1。

性能评价指标	改造前	改造后	优化效果
系统传动效率	87.2%	95.8%	提升 8.6%
运行噪声	89.5dB	72.3dB	降低 17.2dB
最大振动幅值	0.82mm	0.21mm	降低 74.4%
核心部件月磨损量	0.038mm	0.012mm	降低 68.4%
设备月故障率	4.2 次	0.8 次	降低 81.0%

监测数据显示，最新调整方案开展实施工作所取得的效果极大程度上胜过了预期，传动装置的运行稳定性得到了极大程度上

的显著增强，通过升级部件以及优化参数来实现了结构的简化，同时借助系统改造，把机械设备长期存在的诸如磨损加剧、振动频繁、噪声显著、故障多发等效能不足方面的关键缺陷给根除了传动精度的稳定性以及工作寿命，能够明显地削减设备维护开支以及停产时间，拥有比较适宜的工程应用价值。

五、结束语

传动系统的基础优化工作已经开展完成，并且开展了性能分析。未来，基于这个研究有两个可以进行深化的方向，智能传感

借助大数据开展监测工作，在传动系统当中把实时在线监测以及预警机制进行部署。这个系统能够实时地掌握运行状态，对潜在故障进行预判，并且可以开展关键参数的自适应调节工作，把传动系统智能化运维升级工作推进开展；传动结构把轻量化与绿色理念当作来使用，开展了拓扑形态的优化工作，提高了稳定性以及承载力，并且降低了能耗，使机械系统的运行更具有环保效益，机械设备获取到动力之后，开展推进可持续性方面的。

参考文献

[1] 张琪. 机械传动系统的优化设计与分析 [J]. 中国设备工程, 2024, (20): 118-120.
[2] 黄日闽. 自动化控制技术在机械加工工艺中的应用研究 [J]. 中国高新区, 2017, (1): 107.
[3] 杨和. 轻工设备中的机械传动系统优化与节能改进 [J]. 轻工标准与质量, 2026, (1): 125-127.DOI: 10.19541/j.cnki.issn1004-4108.2026.01.041.
[4] 胡武. 某指示灯机械传动系统动力学行为研究 [D]. 安徽工程大学, 2019.
[5] 许泽仁, 吴立言, 麻军德. 机械传动系统保障性设计研究 [J]. 机械制造, 2012, 50(7): 1-5.
[6] 黄建瑞. 基于动态特性分析的机械传动系统优化设计 [J]. 造纸装备及材料, 2026, 55(4): 27-29.
[7] 祝昌远. 数控机床机械传动系统分析 [J]. 山东机械, 2002, (3): 12-13.DOI: 10.16107/j.cnki.mmte.2002.03.006.
[8] 郭献军. 复杂工况下机械传动系统的振动特性与抑振策略 [J]. 凿岩机械气动工具, 2025, 51(12): 26-28.DOI: 10.19449/j.cnki.2095-6282.2025.12.007.
[9] 于宁. 新能源汽车机械传动系统故障诊断与维修技术优化研究 [J]. 汽车测试报告, 2025, (12): 1-3.
[10] 付志豪, 任岩, 王巍, 等. 汽车机械传动系统的效率优化研究 [J]. 汽车维修与修理, 2026, (1): 95-96.DOI: 10.16613/j.cnki.1006-6489.2026.01.045.