

齿轮—连杆组合传动机构设计与仿真研究

王浩赞 齐亚洲

河北科技学院, 河北唐山 063200

摘要: 齿轮—连杆组合传动机构是齿轮传动的精准化和连杆传动的灵活化, 广泛应用于机床、工程机械、自动化设备等领域, 传动性能是设备运行的稳定性、工作的效率决定性因素。这类组合机构可实现复杂的运动传递与轨迹控制, 满足单独的齿轮或连杆机构无法满足的传动需求, 但设计时必须考虑齿轮与连杆适配性, 避免传动干涉、运动卡顿等现象发生。本文围绕齿轮—连杆组合传动机构设计与仿真展开研究, 摒弃理论推导, 重点从实际设计与仿真出发, 明确组合机构的传动特点与设计要求, 完成机构整体结构设计与核心零部件设计, 通过仿真分析验证机构传动性能, 优化设计方案。经实验研究证明, 科学的设计与精准的仿真分析, 可有效地提升齿轮—连杆组合传动机构的传动精度与稳定性, 降低传动缺陷, 为齿轮—连杆组合传动机构的实际应用提供依据。

关键词: 齿轮—连杆组合; 传动机构; 结构设计; 仿真分析; 传动性能

1 齿轮—连杆组合传动机构基础与设计要

1.1 传动特点与结构特性

齿轮—连杆组合传动机构是将齿轮传动和连杆传动结合起来, 是由两类机构构成的, 其传动特点和结构特点决定了其使用场景和设计难度。齿轮传动具有传动比准确、传动效率高、承载能力大, 能实现定比传动; 连杆传动结构简单、运动形式多样, 能进行转动、摆动、移动等运动形式转化, 适合复杂的运动轨迹。组合机构结构的连接要精确, 组合机构中齿轮与连杆为传动连接件, 由齿轮作为动力输入或输出部件, 连杆作为运动传递部件, 两者的连接点要协调、不产生传动干涉。组合机构的结构复杂度高于单个传动机构, 主要由齿轮、连杆、轴、轴承等零部件构成, 各个零部件尺寸、精度应该相符合, 否则传动卡顿、磨损加大甚至会导致机构失效。组合机构传动性能与齿轮啮合精度、连杆长度、铰接精度等影响, 要在设计过程中着重考虑, 确保传动平稳、无冲击。

1.2 核心设计要求

齿轮—连杆组合传动机构的设计要求主要包括传动精度、承载能力、运动协调性和结构合理性。传动精度要求实际工作中, 机构传动比误差在允许范围内, 运动传递精准, 避免因齿轮啮合误差、连杆长度误差造成运动偏移, 输出运动与设计结果一致。承载能力要求实际工作中, 齿轮、连杆、轴等核心零部件强度和刚度, 避免在工作中出现变形、断裂等问题, 提高机构寿命。运动协调性要求齿轮、连杆运动协调、无干涉、无卡顿, 齿轮转动能够正确传递给连杆达到预期的运动形式转换, 避免产生运动冲突。结构合理性要求机构结构紧凑,

占用空间小, 便于安装与维护, 零部件布局合理, 减少传动过程中能量损耗、控制制造成本, 适用于实际生产过程。

1.3 设计与仿真约束条件

齿轮—连杆组合传动机构设计、仿真需具有合理的约束条件, 以使设计方案贴近现场, 仿真结果具有参考性。设计的材料约束需要充分考虑材料强度、耐磨性, 齿轮选择合金钢材, 连杆选用结构钢材料, 保证零部件的承载性能及使用寿命, 同时控制材料的成本; 尺寸约束需要结合设备安装空间, 合理设计机构整体尺寸及零部件尺寸, 避免尺寸过大导致不便安装、尺寸过小导致承载不足; 仿真约束应适用工作工况, 合理设计仿真参数, 如载荷大小、速度、摩擦系数等, 保证仿真过程与实际工作过程相符合, 避免仿真参数设置不合理导致仿真结果失真。设计与仿真必须兼顾经济性与实用性, 避免过度设计导致成本增加, 保证机构设计、制造与维护成本可控, 保证仿真分析能指导设计优化, 解决现场设计问题。

2 齿轮—连杆组合传动机构整体设计

2.1 机构传动方案设计

机构传动方案设计是总体设计的重要内容, 要根据传动需求确定齿轮与连杆的组合形式、传动比、运动形式, 确保方案合理、可行。定好机构的动力输入与输出形式, 确定输入轴转速、输出轴转速或运动轨迹要求, 结合传动需求确定齿轮传动的传动比, 确保传动比选取合理, 运动形式要求选择合理; 齿轮、连杆组合形式选择合理。依据运动形式需求确定齿轮形式、连杆形式, 齿轮结构应选择圆柱齿轮, 结构简单、传动平稳, 连杆选择刚性连杆, 运动

传递精准,防止连杆发生变形、运动失效。布置各零部件,确定齿轮、连杆、轴的安装位置,确保结构紧凑,在运动过程中无干涉,安装与维护方便。方案设计时要重点关注齿轮与连杆的衔接方式,要确定铰接点位置,确保齿轮的转动顺利传递到连杆上,达到预期的运动转换,避免衔接不当产生传动冲击。

2.2 核心零部件设计

核心零部件的设计是关键,针对齿轮、连杆、轴等的关键部件进行设计,要保证各零部件的尺寸、精度、强度。齿轮的设计需根据传动比和载荷的大小确定齿轮的模数、齿数、齿宽、齿形,模数与承载能力的匹配,齿数与传动比的匹配,齿宽与传动比的匹配,齿形选择标准的渐开线齿形,齿形的精度等级需根据传动的精度要求选择,齿轮啮合时不会出现冲击,运动平稳。连杆需根据运动轨迹和载荷确定连杆长度、截面尺寸和铰接结构,连杆的长度要精确计算,避免长度的误差引起运动轨迹的偏转,截面尺寸需根据承载能力确定,使连杆具有足够的强度和刚度,铰接结构需采用耐磨的轴承,避免铰接处产生摩擦、磨损,运动灵活。轴的设计需根据齿轮和连杆安装的需求确定轴的直径、长度、台阶尺寸,轴的直径要根据载荷大小计算,保证轴的强度和刚度,台阶尺寸要配合轴承和齿轮的安装,安装是精确、牢固的。

2.3 零部件适配性优化

零部件适配性优化可以降低机构传动的不稳定性,避免零部件尺寸、精度不够导致的传动问题,使得各零部件适配。改善齿轮与轴的配合方式,采用过渡配合方式,齿轮与轴紧密连接,无相对滑动,且可拆卸、配合间隙宜小,避免间隙过大而导致齿轮晃动、间隙过小而安装困难。改善连杆与齿轮、轴的铰接方式,改变铰接点位置和配合间隙,连杆运动灵活,无卡顿、干涉;铰接处的轴承选用适配的型号,耐磨、耐高温,使用寿命长。改善各零部件的尺寸精度,控制齿轮的齿形精度、连杆的长度精度、轴的直径精度,避免尺寸不准确造成的运动不协调,保证零部件表面粗糙度符合要求,降低运动摩擦。改善各零部件的布局方式,调整齿轮与连杆的相对位置,避免运动时产生相互干涉,使机构传动平稳高效。

3 齿轮—连杆组合传动机构仿真分析

3.1 仿真模型建立

建立仿真模型,选用合适的仿真软件并结合机构设计方案建立合适的三维仿真模型,模型与设计结果相符。使用主流机械仿真软件,

满足齿轮—连杆组合机构的建模、仿真要求,实现运动学仿真、动力学仿真,可准确模拟机构运动过程与受力。根据机构设计图纸依次建立齿轮、连杆、轴、轴承等零部件三维模型,零部件尺寸、形状、精度与设计结果相一致,零部件材料参数与实际选用的材料一致,仿真结果真实可靠;将每个零部件按设计要求装配,设置合理的装配约束,如固定约束、转动约束、铰接约束等,装配后的模型与机构结构相符,运动自由度符合设计要求。装配后的模型检查其装配是否符合要求,装配错误、干涉等,否则将无法进行仿真分析。

3.2 仿真参数设置与仿真过程

仿真参数设置要与实际工作工况相一致,仿真过程要与机构的工作过程相一致,仿真结果有借鉴性;设置动力输入参数,根据实际需求设置输入轴的转速、扭矩,使得输入参数符合机构工作要求。设置载荷参数,根据机构的工作载荷设置输出端的负载,将机构在工作的时候受力情况模拟出来。设置摩擦参数,根据零部件的材料、润滑状况设置各运动副的摩擦系数,使得仿真过程中正确模拟摩擦损耗对传动的影 响。设置仿真时间和步长,仿真时间要使机构的运动时间能够涵盖整个完整的运动周期,步长要合理,保证仿真精度和效率,避免步长过大导致仿真结果不准确,步长过小导致仿真时间过长。参数设置好后,开始进行仿真,观察机构的运动情况,记录仿真过程中的数据,包括齿轮啮合情况、连杆运动情况、零部件受力情况等,使得仿真过程顺利无异常。

3.3 仿真结果分析

仿真结果分析是检查和分析机构设计是否合理及存在的缺陷,可通过对仿真记录的数据进行分析判断机构的传动性能。分析机构运动协调性,齿轮、连杆的运动配合是否存在运动干涉、卡顿现象,机构运动轨迹是否与设计相一致,是否能达到预期的运动形式转换。分析机构的传动精度,比较仿真结果的传动比和设计传动比,进行传动比误差计算,分析传动精度是否满足要求,分析误差的原因;分析机构受力情况,齿轮、连杆、轴等零部件的受力情况,判断零部件受力是否均匀,是否存在应力集中,判断零部件的承载能力是否满足要求,防止应力集中引起零部件变形断裂等。通过仿真结果分析分析机构设计存在的缺陷与不足,为后续设计优化提供准确的数据参考。

3.4 运动精度与可靠性仿真分析

运动精度仿真主要是分析机构长期工作时间内间隙、变形、载荷带来的输出误差,在模型

中加入合理的铰接间隙和齿轮侧隙,在装配过程中,模拟输出与理想轨迹的偏差,判断误差是否在允许范围内。受到载荷时,连杆和曲柄产生小弹性变形,出现位置滞后现象,仿真可以量化变形对精度的影响,为公差分配和刚度提升提供依据。可靠性仿真通过多次循环运算,看机构是否存在卡滞、干涉、运动不稳定等问题,判断机构在连续工作过程中的重复性,一致性。对铰接点和齿轮啮合区的疲劳载荷进行分析,评估交变载荷下机构在工作时的使用寿命,发现薄弱部位,提前对机构进行加强,避免机构在实际使用过程中早期失效。

4 机构设计优化与性能验证

4.1 优化后机构性能验证

优化后机构性能验证要通过再次仿真和实际装配测试,验证优化方式是否成功,使机构传动性能符合设计。将优化后的设计参数还原到仿真模型中,重新设置仿真参数,进入仿真,对比仿真结果,验证优化前后的仿真数据,验证机构的传动精度、运动协调性、零部件受力等指标是否有了变化,优化后机构没有运动干涉,传动精度达标、零部件受力均匀。仿真验证通过后,进行实际装配测试,根据优化后的设计图纸加工主要零部件完成机构装配,装配

要精确、牢固。开机动作,空载、负载测试,观察机构运动情况,测量传动比、运动轨迹、噪声等指标,验证机构的传动性能是否满足实际工作要求,优化后的机构能够正常工作,无传动缺陷;验证时记录测试数据,与仿真结果对比,保证仿真结果正确,进一步完善设计细节,增强机构性能。

5 结论

根据仿真分析进行设计,针对仿真分析的缺点和不足进行改进,以提高机构的传动精度和合理结构。针对传动精度差的问题,优化齿轮的齿形和啮合间隙,齿轮的模数和齿数,改变齿轮的啮合误差,并调整连杆的长度精度,改变铰接点的位置。针对运动干涉的问题,优化零部件布置,改变齿轮和连杆的相对位置,改变干涉处的尺寸,实现机构运动过程中无干涉、无卡顿;针对零部件应力集中的问题,优化零部件结构,齿轮齿根处、连杆铰接处等应力集中的部位做圆角,增加截面尺寸,提高零部件的强度和刚度,避免零部件应力集中造成零部件破坏。针对摩擦损耗大的问题,改变运动副的润滑方式,选择合适的润滑剂,改变运动副的配合间隙,减小摩擦损耗,提高机构的寿命。

参考文献:

- [1] 王慰军,杨桂林,杜庆皓,等.大传动比高承载行星齿轮减速器设计[J/OL].组合机床与自动化加工技术,1-9[2026-03-20].
- [2] 陈光霞.基于SolidWorks的齿轮传动机构虚拟装配及仿真[J].机械管理开发,2026,41(02):234-235+239.
- [3] 姜利,魏合瑜,赵钱.伺服压力机非圆齿轮传动机构的设计[J].机械制造与自动化,2026,55(01):100-103+115.

作者简介: 王浩赞(2005.05—)男,汉族,河北省邯郸市,专科,研究方向:机械制造及自动化。