

# 齿轮传动系统箱体设计与机械性能研究

文鹏

(广东亨通光电科技有限公司 广东 东莞 523808)

**摘要:** 齿轮传动系统被应用于促进我国国民经济快速建设的各个重要领域,从传动产品的系列化、模块化生产及其质量效益和综合技术水平方面上看,近年来齿轮传动系统都取得了很大进步。但在社会主义市场经济建设事业不断高速发展变化的今天,用户群体对于产品性能的需求也在不断提高。在此背景下,齿轮行业需要增强产品创新能力,缩短设计周期,提升用户化程度等,本文主要对齿轮传动系统箱体设计与机械性能展开研究,以供参考。

**关键词:** 齿轮传动系统;箱体设计;机械性能

## 0 引言

在降低成本的前提下,确保齿轮传动系统的质量,生产出质优价廉的商品,并提供良好的售后服务,是提高企业自身竞争力与拓展企业生存空间的最佳方法。为此,做好齿轮系统箱体的设计并对其机械性进行更系统全面的研究,能够为企业构建起产品快速设计与制造的响应机制,增强其对市场需求的快速反应能力,为其在市场竞争中处于有利位置奠定良好基础。

## 1 齿轮传动系统相关综述

### 1.1 齿轮传动系统的特性

齿轮传动系统一般具有传动比较准确、速度适用范围广、传动比和转矩较大、圆周速度系数高,以及其传动装置效率比较高、寿命长、结构轻巧紧凑、工作性能良好等一系列显著优点。因此齿轮的传动结构是迄今为止在工业各种重要机器零部件中应用最广的机械传动构造之一,同时齿轮结构也是当代机械工业过程中最为重要的基础元件。但是高精度齿轮啮合传动设备在生产应用中有时也易受其他条件的限制。如其设计制造工艺相当复杂、成本较高,特别是以高精度齿轮啮合作为基础啮合的齿轮传动系统,几乎没有任何过载的自我保护等功能,中心距通常都不可调,可用速度范围甚小;纯高精度齿轮啮合传动往往无法自动组成一种无级变速的传动模式,使用操作和维护要求更高。齿轮传动系统虽然会存在某些局限性,但实际上只要电路选用恰当、考虑周到,齿轮传动还不失为一种经济可靠与方便的新型传动形式。

### 1.2 几种定轴齿轮传动的主要特点

(1) 渐开线圆柱齿轮传动:其特点是传动功率变化较大、效率很高、对齿轮中心距的变化敏感度较小、装

配和维修比较容易。可以进行变位、修形、修缘加工及各种精密零件加工,容易获得优质传动。

(2) 双圆弧圆柱齿轮传动:与一般渐开线圆柱齿轮相比,其径向接触剪切强度及横向弯曲强度更高,不会产生切断现象,但通常仅能锻制成斜齿。

(3) 直齿锥齿轮传动:与采用曲线齿锥齿轮进行的传动系统相比,其输出轴向力更小、制作更方便。斜齿锥齿轮的齿轮总轴重合度一般远大于直齿锥齿轮,增加了平稳性。曲线齿锥齿轮轴承与直齿锥齿轮接触球轴承相比,传动更平稳顺畅,噪声振动比较低,承载能力很强。

(4) 准双曲面齿轮传动:与双曲线锥齿轮的传动相比,其传动更加顺畅。采用偏置距可以加大小轮直径,从而提高小轮轴承的横向刚度以最终达到增加两端刚性支承量的双重目的。在齿长方面,纵向上存在滑动阻力且齿轮传动效率要低于直齿锥齿轮<sup>[1]</sup>。

## 2 国内外齿轮传动的研究情况

### 2.1 国外的研究情况

国外一些学者提出了可测齿面缺陷尺寸的冲击速度模型,并分别对分析模型中估算缺陷尺寸的效果进行对比试验。他们首次用纯理论与实验分析相结合的方法,对斜齿轮传动系统受齿廓形状偏差作用时引起的机械接触磨损性能差异进行了系统分析。以库伦模型理论为技术基础,首次对无加工误差直齿轮传动系统与斜齿轮系统啮合时,摩擦和激励关系进行了理论分析,验证直齿轮系统传动时引起的传动损耗受斜齿轮摩擦系数的影响越大,齿轮副重合度对其影响越大。国外有些学者还曾为进一步研究滑动、摩擦与时变刚度对载荷动态位移传递误差形成的影响,开发了一项齿轮接触载荷力学分析程序,成功将滑动或摩擦刚度引入到直轴齿轮的多自由度力学分析模型中。在分析研究美国某款汽车变速机齿

轮箱齿轮副冲击作用时,结合数值力学计算和测试试验等进行分析,认为车辆在受到某些或特定的外部振动激励影响下,齿轮传动将受到某种周期性机械冲击。

国外学者还对齿轮箱体在工作载荷作用下的模态特性计算方法进行了研究,设计了以轴承响应方式加载的静态分析求解方法,以轴承响应的计算为基础利用专业软件对箱体固有频率进行计算,完成齿轮箱设计;并将设计的齿轮箱导入到相应系统中进行振动分析,分析结果表明:当外部激励频率等于齿轮箱体固有频率时,会产生共振,造成箱体损坏。一些国际研究人员分别对各种汽车专用变速用齿轮箱机械性能及其振动激发特性曲线进行比较分析,结果表明:变速齿轮箱在内部表面设置了规格合适的振动加强筋板后,能够大幅度改变高速齿轮箱体内部固有振动频率,降低变速齿轮箱体外部振动激励。通过在齿轮部分结构材料中加入了合适的阻尼材料,汽车用齿轮箱的振动冲击能量明显减小,利用有限元与模拟仿真软件进行了阻尼效应分析,认为也可通过适当加入其他不同形式的阻尼材料来进一步改变其模态位移、阻尼比率系数及其他机械振动响应特性。经优化后认为齿轮箱传动误差最小化可使齿轮箱振动与噪声水平下降。

## 2.2 我国的研究情况

我国已有一些专业学者以城轨列车牵引传动系统为例,建立了一个齿轮传动系统力学模型,对其进行了多次有限元仿真实验,并对其实验结果逐项进行对比分析后认为:齿轮传动系统在加速启动时,齿轮之间的啮合力将随车行速呈指数型增长,且该指数与行驶车辆加速度系数呈正相关。通过系统建立了城轨列车时变载荷齿轮系统的扭振力学模型,综合考虑齿轮时变载荷下啮合的刚度特性及其他的诸多动力学因素的影响,通过对城轨列车齿轮传动系统的运行、牵引行驶及减速制动等工况条件进行对比分析后,得到各主要工况环境下列车运行的齿轮副速度、转速变化规律及齿轮转角等变化的规律,再分析可得到齿轮时变载荷下啮合的刚度特性的变化规律。

为模拟研究齿轮箱体不同的运行工作状态环境下,列车电动机的转矩负载及电动机振动的加速度和加载时应力变化的响应情况,研究人员决定以实际运营线路的高速列车齿轮为重点测试分析对象,得到该齿轮箱体在实际运行工况条件下,电动机转矩加载应力及电动机振动的加速度和加载应力时域曲线。为全面探究轮轨摩擦激励振动对高速列车齿轮传动系统箱体范围内摩擦振动加速度特性产生的动态影响,研究人员还开展了传动系统箱体区域内的振动与加速度线路特性试验及测量系统研究。实验分析结果表明:磨损轮作用时,齿轮传动系统摩擦振动线路特性要明显好于其他机械作用<sup>[2]</sup>。

## 3 齿轮传动箱体的设计

齿轮箱体的主要机械作用之一,是对整体齿轮传动系统结构中的各传动零件进行平衡支持传递与机械保护,从而整体齿轮传动中的微机控制系统能保持正常、有效运行。由于齿轮传动系统运行环境复杂,且各类机械设备的运行动力特性不同,要求主齿轮箱体系统既要设计质量轻、结构比较紧凑,又要确保其能经受住由于长期内、外部载荷激励运动而引起的各种载荷位移与动力冲击,以及抵抗因某些机械高速往复运转齿轮零部件而引起的机械温升。这些广泛存在的设计问题将使得整个齿轮箱体部件的机械性能指标及设计寿命都受到很大的影响,怎样能够通过机械结构重新设计优化与调整布置使得整套齿轮传动系统能在确保达到以上技术要求的前提下,还能实现平稳可靠运行,是齿轮箱体设计中的一个重点。

在齿轮传动系统的机械拆卸及机械实际生产检修工作中,为能实时对齿轮箱体系统内机件运转工作情况进行现场观测和了解,及早发现问题,并解决问题,消除安全隐患,有必要在齿轮箱体系统中设置观测孔。在箱体拆卸和检修工作及台架试验作业中,观测视角必须设置于箱体的顶部,且为便于观测各关键齿轮的啮合工作状态,台架试验用的观测视角孔设置于箱体的输入轴线与齿轮输出的轴心间顶部位置。实际应用中要将观测视角设置于箱体内部中下部,靠近输入轴处构造复杂,可以用于齿轮箱本体注油孔顶部设置下视窗孔。

为进一步方便零件铸造、加工分离及拆卸组装,齿轮箱体一般需再分成箱体上下两段。鉴于在靠近齿轮输入轴处仍需另设计吊杆及防滚落臂等辅助构件,且又需尽量确保箱体靠近轴处为一体化结构,为使零件拆分的平面最大化,箱体会沿着齿轮输出轴中心线方向被切分成上下两个分箱体。基于以上因素的考虑,齿轮箱分箱面需处于齿轮输入轴的下端面或与箱体水平面成 $30^\circ$ 夹角<sup>[3]</sup>。

## 4 齿轮传动系统配件的设计

### 4.1 悬挂系统的设计

齿轮箱转向架的车体前端是用吊杆固定,吊挂于整个转向架内的。吊杆支撑的车架主体部件包括杆体、橡胶关节带和调整垫片。主动齿轮轴承和电动机主轴间采用了一组鼓形齿式联轴器进行连接,以进一步弥补主电动机轴承和主齿轮箱轴的偏心位置误差,主动齿轮轴和驱动车轴间采用了热装和过盈配合的连接方式,将主箱体变为轴悬挂方式。

### 4.2 支撑和动力传输系统

主动齿轮轴由一对圆柱滚子轴承与一只四点接触球轴承一起支撑,装于整个箱体轴承套圈内,以共同支

撑整个主轴齿轮传动系统。电动机绕组经减速机，带动电动机主动减速齿轮转动，然后由两个主从动的齿轮啮合将机械动力均匀传递输出给副车轴，进而使齿轮带动机械运行。

#### 4.3 密封系统的设计

齿轮箱采用轴向槽型结构密封，与径向齿形结构密封件构成一体。槽型结构中减少油压的密封结构一般包括轴向的减压油槽环及径向的用油环。齿轮箱体内发动机处于高速连续运转状态时，由于气缸温度突然上升，箱内气体压力随之上升，轴向的减压油槽环可起到二次缓冲作用，避免润滑油直接从油箱体孔隙内挤出来，还能够有效阻止外部杂质流入密封齿轮箱腔内。

#### 4.4 润滑系统的设计

齿轮传动系统正常工作循环时，底部进入贮油池腔内啮合的从动齿轮会把剩余润滑油自动带流到主齿面，主动副齿轮轴承驱动从动副齿轮转动，从动齿轮副齿面流出的部分润滑油及溅出的多余润滑油对整个主齿轮传动副系统起到润滑辅助的作用。轴承润滑油都经轴承套杯口与油箱壁部之间形成的环形回油油路，再流入循环油池系统中，达到润滑油的循环使用<sup>[4]</sup>。

### 5 齿轮箱体机械性能分析

#### 5.1 齿轮箱体强度的判断方法

首先，在超常载荷时，齿轮箱体受到齿轮传动系统结构所决定的惯性质量时，至少要能够承受垂向  $\pm 20g$ 、横向  $\pm 10g$  及纵向  $\pm 5g$  的振动加速度作用。超常载荷时，齿轮箱体最大应力不能大于材料屈服强度。

其次是通常使用负载，此时齿轮箱体受齿轮传动系统结构的惯性质量作用，能够承受垂向  $\pm 6g$ 、横向  $\pm 5g$  及纵向  $\pm 2.5g$  的振动加速度作用，个别材质的齿轮箱体应力不得大于规定的区间。

#### 5.2 齿轮传动系统在实际应用中的载荷分析

齿轮传动系统在工作时承受的负荷通常有两种：第一种是转向架牵引电动机经弹性联轴器作用在输入轴上的转矩。第二种是轨道激励，由车轮对车轴产生振动冲击而产生。从上述分析中可以看出，有限元分析中齿轮传动系统所受载荷主要有以下三种情况：第一，作用于主动轴弹性联轴器的牵引电动机输入转矩；第二，作用于齿轮传动系统各部件的振动加速度；第三，作用于

齿轮传动各部件的重力加速度。

齿轮传动系统箱体在实际应用过程中，要确保其在各种运行条件下都能安全平稳运行而不会损坏。常规的运行条件下，由于齿轮传动机构自身固有特性和外界环境等因素会造成箱体各部分结构变形或损坏，导致设备出现故障甚至损毁。为了保证整个系统正常运转并达到预期目的，需要采用合理的设计方法来解决这些问题<sup>[5]</sup>。

### 6 结语

综上所述，本文针对齿轮传动系统，根据技术要求及设计经验对部分齿轮传动系统做了机械结构设计，并通过有限元分析理论及相关知识对齿轮箱体常见工况下的机械性能进行了分析。研究结果对于齿轮传动中提高产品性能、减少维修成本具有重要意义，为后续工作提供一些参考。

#### 参考文献：

- [1] 罗瑞田, 郭栋, 申志朋, 等. 某型新能源减速器齿轮传动系统动力学特性 [J]. 汽车实用技术, 2022, 47(17): 73-80.
- [2] 刘国春, 章翔峰, 周建星, 等. 行星齿轮传动系统动态温度场数值分析与实验研究 [J/OL]. 西安交通大学学报, 2022(12): 1-10 [2022-09-19]. [https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=XAJT20220905000&uniplatform=NZKPT&v=mylnMiUpy50-jvvsRgsdcidA9NOVthi0ww0SmzyY28\\_Bj7aEDbqUSHKnIulZRhHg](https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=XAJT20220905000&uniplatform=NZKPT&v=mylnMiUpy50-jvvsRgsdcidA9NOVthi0ww0SmzyY28_Bj7aEDbqUSHKnIulZRhHg).
- [3] 魏静, 郭剑鹏, 张世界, 等. 大型风力机齿轮传动系统机电耦合动态特性研究 [J]. 太阳能学报, 2022, 43(08): 300-308.
- [4] 王纯, 韩加好, 张燕. 基于 fgoalattain 函数的齿轮传动多目标优化设计 [J]. 机械工程师, 2022(06): 16-18.
- [5] 李博文. 城轨列车齿轮传动系统箱体的设计与机械性能分析 [D]. 北京: 机械科学研究总院, 2020.

**作者简介:** 文鹏 (1989.03-), 男, 汉族, 湖北黄冈人, 本科, 工程师, 研究方向: 机械设计制造及其自动化。