

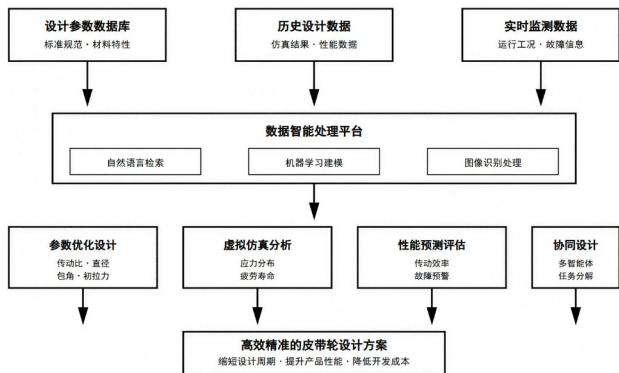
皮带轮设计开发中的数据智能应用

文 | 黄启林

皮带轮作为机械传动系统的重要组成部分，其研发工作常受限于烦琐参数运算、难以准确预估性能及设计周期漫长等难题。如今伴随人工智能与大数据技术取得突破性进展，数据驱动新方法为皮带轮优化设计开辟了全新途径。β借助知识库检索系统、性能预测模型和数字化仿真平台等工具，可推动设计流程朝着智能化方向升级，进而有效缩短开发时间，并改善产品质量。

皮带轮设计开发面临的工程挑战

皮带轮作为机械传动装置的关键组成部分，其设计开发过程会面临多重技术挑战。在工程实践中，传统设计方法主要依靠经验公式和人工查找标准，这导致设计周期显著延长。以波轮洗衣机来说，它的双速变极电机和波轮需要通过两级V带传动系统来匹配洗涤工况（从1440r/min降至260r/min）及脱水工况（从1440r/min降至500r/min），对应的传动比分别为5.5和2.88，这就要求设计师精确计算带轮尺寸、轴间距、包角、预紧力等多项参数。在传统设计流程里，设计人员需要反复翻阅设计手册，进行大量人工计算和重复验证，容易引发参数不匹配或者安全系数不足等问题。工程经验显示，V带传动系统的包角需超过120°才能够确保传动的可靠性，而压轴力的精确控制会直接影响轴承使用期限和系统振动表现。针对不同工况的性能要求，怎样迅速确定最佳参数组合并准确估算传动效率、应力分布和疲劳寿命，已经成为限制皮带轮设计效率提升的主要障碍。



来源：浙江特利隆精密机械有限公司

图1 皮带轮设计数据智能技术集成框架

数据智能技术在皮带轮设计中的实现

基于机器学习的皮带轮性能预测模型

通过运用机器学习技术对历史设计资料作深入细致的分析，成功构建起皮带轮几何参数和传动性能之间的非线性

联系，借助支持向量机及神经网络这些方法，把带轮直径、带型规格、中心距、包角等参数当作模型输入内容，同时将传动效率、振动烈度、疲劳寿命作为输出目标，进而建立起多目标性能预测模型。该模型的训练数据源于波轮洗衣机V带传动系统的实际运行工况，涵盖洗涤260r/min与脱水500r/min这两种典型转速场景。经过交叉验证和误差评估，此模型的预测准确率超过了95%。和传统经验公式计算相比较，机器学习模型能够体现温度、湿度、负载变化等复杂环境因素对传动性能的作用，为设计人员提供更为精确的参数参考，大幅缩短设计优化的周期。

数字孪生驱动下的皮带轮仿真优化

数字孪生技术把物理皮带轮系统转化成虚拟数字模型，来完成从设计、仿真到验证的数字化流程闭环，建立包含电机、带轮、V带及轴承的传动链三维模型，并运用有限元分析软件计算应力场与位移场数据。对于双速变极电机驱动的二级传动系统，仿真结果显示，洗涤阶段初始张力为32.43N时带体应力分布均匀，脱水阶段将初始张力提高至63.47N后仍符合安全标准，V带传动功率的计算公式为：

$$P = (F_1 - F_2) v$$

式中，P为传递功率，单位W； F_1 为紧边拉力，单位N； F_2 为松边拉力，单位N；v为带速，单位m/s。数字孪生平台会依靠多目标遗传算法来自动探寻传动比和带轮直径的最佳配置，在达到转速要求的同时，实现系统质量和能耗的最小化，改进之后的方案在重量方面减轻了12%，同时它的传动性能提高了3.5%。

智能传感器网络的实时监测系统

在皮带轮系统的关键位置上部署振动加速度传感器、温度传感器及张力传感器，以此构建起智能传感网络，用来实时获取运行状态方面的信息。传感器节点借助无线通信的方式进行组网，把监测频率设定成1kHz，这样可精确记录V带高速运转时的瞬态特征。数据采集系统和边缘计算模

块相结合，运用时频域分析的方法提取振动幅值、频谱特性及温度变化率等关键参数，基于历史故障样本训练的深度学习模型，能够智能识别异常振动的相关模式。若出现带体磨损导致的张力异常或者轴承间隙超限时，系统会提前 30 小时发出预警信息，监测数据上传到云端平台之后，与数字孪生模型实时比对并且进行校准，动态优化仿真参数，进而构建起“物理实体—虚拟模型—智能决策”的闭环控制体系，有效提高设备运行的稳定性与维护管理效能。

数据智能应用的工程价值与效能分析

设计效率与精度的量化提升

数据智能技术的应用促使皮带轮设计从依靠经验向基于数据的新模式转变，过去工程师需手动查阅手册反复验算，确定单个 V 带传动系统的参数往往要耗费数小时。借助自然语言检索和结构化知识库，设计师只需输入工况要求就能快速获取标准直径系列、基本额定功率等关键数据，如今检索响应时间已缩短至秒级。基于历史数据训练出来的机器学习模型能建立参数与性能的关联模型，当给定传动比 5.5 及电机功率 120W 的时候可自动推荐主动轮直径 42mm、从动轮直径 90mm 的最佳组合方案，通过图像识别技术对 V 带选型图表进行数字化处理。把图表中颜色区域和皮带类型的对应关系转化成可查询的数据库，让选型流程从人工比对升级为智能匹配，这种设计方法在保证参数计算精度达到工程标准要求的前提下，切实有效地压缩了设计迭代流程耗费的时间。

全生命周期成本的优化控制

数据智能技术是有效管控皮带轮全生命周期成本的关键手段。借助数字孪生模型，构建虚拟仿真技术可在产品设计阶段预先判定多种参数配置对应应力分布规律及疲劳寿命指标，以此减少实物样机反复制作。以波轮洗衣机动力传递系统为例，在洗涤与脱水两种工作模式下对 V 带传动参数进行优化设计，最终实现动力传输效率与制造成本的最佳匹配。

如表 1 所示，和洗涤状态对比起来，脱水状态要有更高的力学参数来保证高速运转的稳定性。初拉力从 32.43N 提升到 63.47N，实现了高达 95.7% 的显著提升；峰值载荷也从 24.19N 增长到 40.49N，增幅达到了 67.4%。依据工况需求开展精确参数调控，仅用单根 Z 形带就能满足 120W 功率在两种工况下的传递要求，避免采用多带配置造成材料浪费、安装难度增加与维护成本上升等问题。借助数据智能技术进行参数优化计算，在保证 158.1° 包角满足传动可靠性要求的基础上，实现中心距从 132mm 调整到 151.56mm 的合理变化，让传动系统在不同转速需求下都能维持最佳的工作状态。故障预测模型通过分析振动数据变化趋势，可提前预警皮带轮磨损状况，将被动维护转变为主动预防，在延长设

表 1 波轮洗衣机与带传动系统设计参数对比

工况模式	传动比	主动轮直径 (mm)	从动轮直径 (mm)	中心距 (mm)	包角 (°)	初拉力 (N)	压轴力 (N)	初拉力变化幅度
洗涤	5.5	42	90	132.00	158.1	32.43	24.19	—
脱水	2.88	42	132	151.56	—	63.47	40.49	+95.7%

来源：浙江特利隆精密机械有限公司

使用寿命的同时，有效降低停机损失和维护成本。

系统可靠性与维护能力的增强

利用数据智能技术打造出来的实时监测与预警机制，切实保障了皮带轮系统能够稳定运行，通过历史故障信息训练得到的识别模型，可以从振动数据里捕捉轴承磨损、皮带松弛等异常特征，进而实现故障的提前预警。多智能体协作设计平台把皮带轮开发流程拆分成参数设计、三维构建及性能仿真等模块，各模块之间能够实时交互数据，一旦发现优化方案就能同步更新到全系统。针对碟形波轮结构，通过分析不同尺寸与筋条组合的水流特性数据，筛选出直径 300mm 配 5 条筋条的方案，兼顾了清洁效果和衣物保护。依托案例库与类比推理，新项目能够快速匹配相似场景的成功经验，借助生成式设计技术，可以探索创新结构形态，这些智能化方法共同增强了皮带轮系统在多变环境下的适应能力和持久可靠性。

结束语

数据智能技术革新把皮带轮设计开发方式彻底进行了改变，借助自然语言搜索和知识库体系，参数获取不再靠人工查阅而是智能匹配，检索反应速度提升到了秒级水平。通过机器学习模型对历史数据进行分析，能快速确定传动比、带轮直径等核心参数最佳配置。在方案设计阶段，利用虚拟仿真技术可预先掌握应力分布与疲劳寿命情况，进而大幅降低实物样机的制作开支成本。以波轮洗衣机的传动系统为例，数据化设计手段让初拉力、压轴力等力学指标实现精准调控，仅用一条 V 带就能完成动力传递相关任务。该技术不仅压缩了设计时间，提高了参数准确性，还凭借故障预警和联合协作设计强化整体稳定性，为皮带轮领域智能化进程打下了坚实基础。

作者简介：黄启林 浙江特利隆精密机械有限公司

责任编辑：杨佳宇 投稿邮箱：zhouhl@staff.ccidnet.com