

转鼓试验台上汽车道路行驶阻力的模拟技术研究

章 皓 朱 健

洛阳拖拉机研究所有限公司 河南 洛阳 471000

摘 要: 汽车道路行驶阻力由滚动、空气、坡度及加速阻力构成,不同工况下阻力特性各异,且与汽车性能参数紧密相关。转鼓试验台可通过模拟这些阻力评估汽车性能。本文深入剖析转鼓试验台的工作原理、模拟阻力的关键技术,分析模拟精度的影响因素,并提出优化措施,为提升转鼓试验台模拟道路行驶阻力的准确性,推动汽车研发测试技术发展提供理论支撑。

关键词: 转鼓试验台; 行驶阻力; 测功机控制; 模拟精度; 汽车测试

引言: 汽车研发测试中,精确模拟道路行驶阻力至关重要。传统道路测试受环境、安全等因素限制,效率低且成本高。转鼓试验台作为室内测试设备,能模拟多种道路工况。汽车行驶阻力复杂多样,不同工况下特性不同,且与汽车性能参数紧密相连。深入探究转鼓试验台模拟道路行驶阻力技术,有助于提高测试精度,加速汽车研发进程,提升汽车整体性能与质量。

1 汽车道路行驶阻力分析

1.1 道路行驶阻力的构成

汽车行驶时受到的滚动阻力源于轮胎与路面的接触变形。轮胎在压力作用下与路面接触,胎面发生弹性形变,滚动过程中形变不断恢复,能量损耗形成阻力。路面的粗糙程度影响形变大小,坚硬路面使轮胎形变较小,阻力相应降低;松软路面则会增大形变,增加阻力。轮胎的结构和材料也有作用,子午线轮胎比斜交轮胎滚动阻力更小,橡胶的硬度和弹性同样影响阻力数值。空气阻力产生于汽车行驶时与空气的相对运动^[1]。车身前部推开空气,后部形成真空区,前后压力差产生阻力。车身后部是主要影响因素,流线型设计能减少空气涡流,降低阻力;方正造型则会使空气流动紊乱,阻力增大。行驶速度对空气阻力影响显著,速度提升时空气阻力增长明显,成为高速行驶中的主要阻力来源。坡度阻力由道路倾斜形成,汽车重力沿路面的分力构成阻力。坡度越大,分力越大,阻力随之增加。上坡时阻力与行驶方向相反,下坡时则转化为助力,影响汽车的动力需求和制动负担。加速阻力是汽车加速时惯性产生的阻力。汽车质量越大,加速时需要克服的惯性力越大,阻力相应增加。

1.2 不同行驶工况下的阻力特性

城市道路行驶中,汽车频繁起步和制动,加速阻力变化频繁。低速行驶时空气阻力较小,滚动阻力成为主

要成分,红绿灯和车流拥堵导致车速反复变化,加速阻力与滚动阻力交替主导行驶阻力。路面平整度较差时,滚动阻力会因颠簸进一步增加,整体阻力呈现不规则波动。高速公路行驶时,车速稳定且较高,空气阻力占据主导地位。长时间匀速行驶使滚动阻力保持稳定,路面坡度的细微变化会引起坡度阻力的小幅波动。超车过程中的短暂加速会使加速阻力短暂增加,但整体阻力以空气阻力和滚动阻力为主。山区道路的阻力特性受坡度影响显著。连续上坡时坡度阻力持续存在,与滚动阻力、空气阻力叠加,使总阻力大幅上升,对汽车动力系统形成考验。下坡路段坡度阻力转为助力,需通过制动控制车速,此时阻力主要来自滚动阻力和空气阻力,制动过程中不会产生额外阻力,但需消耗制动能量。

1.3 阻力与汽车性能参数的关系

汽车质量与阻力的关联明显,质量增加会使滚动阻力、坡度阻力和加速阻力同步上升。质量较大的汽车需要更多动力克服这些阻力,进而影响燃油效率和动力性能。轮胎特性直接影响滚动阻力,胎面花纹的深度和宽度改变与路面的接触面积,胎压的高低影响形变程度,低胎压会增大形变,使阻力上升,高胎压则可能降低抓地力,影响行驶安全。车身后部决定空气阻力的大小,迎风面积越大,空气阻力越大,流线型设计通过优化车身曲线,减少空气分离和涡流,降低阻力。车身的密封性也有作用,缝隙和突出部件会扰乱气流,增加阻力。发动机性能与阻力的平衡影响汽车动力表现,发动机的输出功率需足以克服总阻力,功率不足会导致加速缓慢、爬坡困难,功率过剩则可能增加能耗,合理匹配发动机性能与阻力需求是汽车设计的重要环节。

2 转鼓试验台的工作原理与结构

2.1 转鼓试验台的基本组成

转鼓试验台由多个关键部分协同工作。转鼓是与汽

车轮胎接触的核心部件，表面模拟路面特性，轮胎在其上方滚动，通过摩擦力带动转鼓旋转^[2]。驱动系统为转鼓提供动力，调节转鼓转速以模拟汽车不同的行驶速度，确保转速稳定以反映真实行驶状态。测功机连接转鼓，用于测量转鼓受到的扭矩，进而换算出汽车的动力输出，可施加阻力以模拟道路行驶中的各种阻力。控制系统负责协调各部分运行，设定试验参数如速度、阻力等，根据试验需求调整转鼓转速和测功机阻力。数据采集系统实时记录试验过程中的各项数据，包括转速、扭矩、汽车输出功率等，为后续分析提供原始信息。辅助装置如冷却系统可对运转部件降温，保证试验台长时间稳定工作，安全保护装置在出现异常时及时停止试验，防止设备损坏或事故发生。

2.2 转鼓试验台的工作原理

转鼓试验台通过转鼓转动模拟汽车在路上的行驶状态。汽车轮胎放置在转鼓上，启动后轮胎转动带动转鼓旋转，转鼓的转速对应汽车行驶速度。测功机根据设定的阻力参数，向转鼓施加反向力，模拟滚动阻力、空气阻力等道路行驶阻力，使汽车在试验台上感受到与实际道路相似的阻力作用。通过调节转鼓转速和测功机阻力，可模拟汽车加速、减速、匀速等不同行驶状态。测试过程中，数据采集系统记录汽车的动力输出、油耗等指标，以此评估汽车的动力性能和燃油经济性。这种模拟方式让汽车在固定位置即可完成多种道路行驶工况的测试，不受外界环境影响，便于精准控制试验条件。

2.3 转鼓试验台的类型与特点

单转鼓试验台的转鼓直径较大，表面平整度高，与轮胎接触面积接近实际路面，测试精度较高，能更准确地模拟滚动阻力和行驶状态，适用于对测试精度要求高的场合。但其结构复杂，占地面积大，建设成本较高，安装和维护难度也较大，多用于专业研发测试。双转鼓试验台由两个较小的转鼓组成，分别支撑汽车的左右车轮，结构相对简单，占地面积小，建设和维护成本较低，适合生产线检测和常规性能测试。由于转鼓直径较小，与轮胎接触状态和实际路面存在差异，滚动阻力模拟精度稍逊于单转鼓试验台，在高速行驶模拟中，轮胎变形特性与实际道路的偏差可能略大。选择时需根据测试需求平衡精度与成本，确保试验结果符合应用场景要求。

3 转鼓试验台模拟道路行驶阻力的关键技术

3.1 阻力模拟算法

理论模型建立需基于汽车动力学原理，将汽车在转鼓试验台上的行驶状态抽象为数学关系。模型需包含转鼓转速、汽车质量、轮胎刚度、空气流速等参数，通过

函数表达式关联这些参数与滚动阻力、空气阻力、坡度阻力和加速阻力的数值^[3]。需考虑转鼓与轮胎接触时的力学特性，将实际道路中轮胎的形变效应转化为模型中的变量，使模型能反映不同参数变化对阻力的影响，为后续算法实现提供可计算的理论框架。算法设计与优化需结合不同控制算法的特点。PID控制算法通过比例环节快速响应偏差，积分环节消除稳态误差，微分环节预判变化趋势，在阻力稳定的工况下能保持较高精度，但在参数波动较大时易出现超调。模糊控制算法基于经验总结的规则库，将输入变量模糊化后进行推理决策，对非线性系统的适应性更强，能在复杂工况下保持稳定输出。优化算法可采用混合控制策略，在稳态阶段启用PID控制保证精度，在工况突变时切换至模糊控制增强适应性，同时通过在线自整定参数，根据实时误差调整控制量，提升模拟的准确性和响应速度。

3.2 测功机控制技术

测功机在转鼓试验台中承担模拟道路阻力的核心作用，通过向转鼓施加反向转矩实现阻力模拟。电力测功机利用电机的电磁感应原理，通过调节励磁电流改变电磁转矩，输出精度高且响应迅速，能快速跟随阻力变化指令。水力测功机依靠水在工作腔体内的摩擦和冲击产生阻力，结构简单成本较低，但调节速度较慢，适合阻力变化平缓的工况。两种测功机的特性差异决定了其适用场景，需根据试验需求选择。测功机的控制策略需紧密配合阻力模拟算法。根据算法输出的目标阻力值，计算对应的转矩指令，通过控制电路调节测功机的输出转矩。在动态工况下，需引入前馈控制补偿系统惯性，当检测到转鼓转速快速变化时，提前调整转矩输出以减少滞后。同时需实时监测转鼓的实际转速，与目标转速对比后修正转矩指令，确保转速与转矩的匹配关系符合道路行驶阻力的物理特性，使模拟的阻力能真实反映汽车行驶时的受力状态。

3.3 数据采集与处理技术

传感器选型与布置需保证数据的准确性和完整性。转速传感器需选用响应速度快的类型，安装在转鼓轴端以直接获取转鼓的瞬时转速。转矩传感器应具备较高的线性度和稳定性，串联在测功机与转鼓之间，精准测量传递的转矩。力传感器安装在轮胎与转鼓接触区域附近，监测两者间的接触力以辅助评估滚动阻力。传感器的布置需避免相互干扰，线缆走向需远离强电磁区域，确保信号传输稳定。数据处理与分析方法需对采集的数据进行多环节处理。原始数据首先经过滤波处理，去除机械振动和电磁干扰产生的噪声，保留有效信号。通过

校准程序消除传感器的系统误差,将信号值转换为物理量。对处理后的数据进行趋势分析,提取阻力随时间、转速的变化规律,与理论模型计算结果对比,评估模拟效果。对于偏差较大的数据,需追溯采集过程中的传感器状态和试验条件,分析成因以优化模拟参数,形成数据驱动的技术改进闭环。

4 模拟精度的影响因素与提高措施

4.1 影响模拟精度的因素分析

试验台自身因素对模拟精度的影响显著。转鼓的表面质量直接影响轮胎与转鼓间的摩擦力,表面粗糙度过高会增大滚动阻力模拟误差,过于光滑则可能导致轮胎滑移,偏离实际道路接触状态^[4]。转鼓直径大小关系到轮胎的接触弧度,直径过小会使轮胎形变与实际道路差异增大,影响滚动阻力的传递特性。转动惯量过大会导致转鼓转速变化滞后,无法及时响应汽车加速或减速时的阻力变化。测功机的精度不足会使输出阻力与目标值产生偏差,响应速度迟缓则难以跟上动态工况下的阻力变化节奏,制约模拟的实时性。环境因素通过多方面影响模拟精度。温度变化会改变轮胎的硬度和弹性,高温使轮胎变软增加滚动阻力,低温则使轮胎变硬导致阻力特性改变。湿度升高会影响传感器的电气性能,降低测量精度,同时可能加剧转鼓表面的氧化,改变摩擦系数。气压变化会影响空气密度,进而改变空气阻力的模拟值,低气压环境下空气阻力计算值与实际偏差增大,影响整体阻力模拟的准确性。汽车状态因素对模拟精度的影响不可忽视。轮胎气压不足会使接地面积增大,滚动阻力模拟值偏高;气压过高则会减少接触面积,导致阻力模拟值偏低。轮胎磨损程度不同,表面花纹深度变化会改变与转鼓的摩擦系数,影响滚动阻力的传递。悬挂系统状态不佳会使轮胎与转鼓的接触压力分布不均,在模拟过程中产生额外的阻力波动,无法真实反映汽车在实际道路上的受力状态。

4.2 提高模拟精度的措施

试验台优化设计需从结构和性能两方面入手。提高转鼓的制造精度,保证表面平整度和圆度,减少因加工误差导致的接触力波动。根据试验需求选择合适直径

的转鼓,使轮胎形变接近实际道路行驶状态。优化测功机的控制算法,提升响应速度和输出精度,确保阻力模拟能快速跟随工况变化。减轻转鼓的转动惯量,采用轻质高强度材料制造转鼓,减少惯性对动态响应的影响。环境控制与补偿可减少外界干扰。采用恒温恒湿设备维持试验环境稳定,将温度和湿度控制在合理范围内,减少其对轮胎和传感器性能的影响。在空气阻力模拟中引入气压传感器,实时监测环境气压并修正空气阻力计算值,补偿气压变化带来的误差。对传感器测量数据进行温度补偿,通过校准曲线修正不同温度下的测量偏差,提高数据准确性。汽车状态监测与调整需形成闭环控制。建立汽车状态监测系统,实时监测轮胎气压、温度和磨损程度,发现异常时及时提醒调整。在模拟过程中,根据轮胎磨损情况修正滚动阻力计算模型,补偿摩擦系数变化带来的误差。对悬挂系统进行检查和调整,确保轮胎与转鼓接触均匀,减少因悬挂状态不佳导致的阻力波动,使转鼓试验台上的汽车状态尽可能接近实际道路行驶条件。

结束语

转鼓试验台模拟汽车道路行驶阻力技术对汽车研发意义重大。通过研究阻力构成、工况特性及与汽车参数关系,明确了模拟重点。掌握转鼓试验台原理与关键技术,分析模拟精度影响因素并提出优化措施,能有效提升模拟准确性。未来,随着技术发展,该模拟技术将不断完善,为汽车行业提供更精准、高效的测试手段,推动汽车技术持续进步。

参考文献

- [1]孙凯.汽车行驶阻力在转鼓试验台的电模拟研究[J].车时代,2021(2):30-31.
- [2]刘慎微,黄成林,刘文亮,等.低温试验转鼓阻力对电动汽车能耗和续航里程的影响[J].北京汽车,2024(3):21-24.
- [3]钱国刚,秦宏宇,杨帆,等.欧美轻型车下一阶段转鼓试验尾气排放标准研究[J].北京汽车,2024(4):1-6.
- [4]胡伟,钟能超,蒋一春.不同转鼓加载阻力下轻型汽车WLTC循环排放及油耗研究[J].时代汽车,2023(6):163-165.