

综合传动装置起动扭矩测试试验研究

徐保荣¹, 吴延威¹, 卢亚辉¹, 杜明刚²

(1. 北京特种车辆研究所, 北京 100072; 2. 车辆传动国家重点实验室, 北京 100072)

摘要: 低温环境起动性能是表征车辆动力性能的一项重要指标; 对液力机械传动车辆而言, 由于综合传动装置自身技术特点, 改善车辆起动性能除应当考虑发动机自身起动阻力外, 还应当考虑综合传动装置的起动阻力; 在系统分析综合传动装置技术特点和功率流向的基础上, 总结了发动机起动过程的主要特征, 提出采用稳态试验与动态试验相结合的台架试验方法进行综合传动装置起动扭矩测试; 以某高速履带车辆为研究对象, 进行了综合传动装置起动扭矩测试; 试验结果表明, 传动油温的变化和各类油泵的功率消耗是决定综合传动装置起动扭矩大小的关键因素, 为改进车辆总体设计和提高车辆起动性能提供了依据。

关键词: 综合传动装置; 起动性能; 扭矩; 试验; 模拟; 台架

Research on Test Method of Starting Torque with Integrated Transmission System

Xu Baorong¹, Wu Yanwei¹, Lu Yahui¹, Du Minggang²

(1. Beijing Special Vehicle Institute, Beijing 100072, China;

2. China North Vehicle Research Institute National Key Lab. of Vehicular Transmission, Beijing 100072, China)

Abstract: Low temperature starting performance is an important indicator of the dynamic performance of vehicles. For vehicles with hydrodynamic-mechanical transmission, due to the technical characteristics of integrated transmission, not only engine starting resistance but also integrated transmission starting resistance should be considered to improve vehicle starting performance. The main features of the engine start process are summarized and the bench test method combining steady-state test and dynamic test is proposed to be used to test the starting torque of integrated transmission based on a systematic analysis of technical characteristics and power flow of integrated transmission. Taking a high-speed tracked vehicle as the object, the starting torque of integrated transmission is tested. The results indicate that the change of transmission oil temperature and the power consumption of various types of pumps are the key factors that determine starting torque of transmission, which provide a basis for improving overall design and starting performance of vehicles.

Keywords: integrated transmission; starting performance; torque; test; simulation; bench

0 引言

起动性能是陆用车辆的一项非常重要的评价指标, 常用来评价整车的动力性能。液力机械综合传动装置目前已广泛应用于工程车辆、军用车辆等领域^[1], 对影响车辆起动性能的相关因素进行深入研究并提出相应改进策略, 具有十分重要的意义。

对于车辆起动性能的影响因素及改进策略, 国内学者做了大量的研究工作。文献 [2-5] 提出了发动机压缩比、起动机功率、起动系统传动比、起动转速、起动阻力矩、燃油雾化效果、配气正时、起动油量修正系数、点火时刻、蓄电池性能等起动性能影响因素, 文献 [4] 和文献 [6] 提出了进气预热、机体加热、喷入起动液、蓄电池保温等起动辅助措施。但上述研究主要立足于通过改进发动机的技术状态来提高整车起动性能, 没有考虑传动系统各部件对整车起动性能的影响, 而对于目前广泛使用的液力机械传动车辆而言, 综合传动装置的功率消耗是影响车辆起动性能的一个重要因素。由于综合传动装置各部件转速与发动机转速均为固定传动比, 因此通过测定

不同设备在发动机起动过程中的扭矩值, 可有效确定影响车辆起动性能的关键因素。

1 试验方案设计

1.1 综合传动装置技术特点分析

液力机械综合传动装置一般由液力变矩器、变速机构、前传动、汇流排、转向机构 (中小功率一般为液压转向机构)、电液自动操纵系统、液压系统、风扇传动机构等部件组成, 能实现车辆的自动或手动换挡、无级转向等功能。就车辆起动过程而言, 综合传动装置具有两个特点。一是动力换挡。车辆起动过程中处于空挡状态, 方向盘置于零位, 变速和转向分路无功率输出。但由于传动系统为自动变速, 没有主离合器将动力中断, 属于动力换挡。因此, 在车辆起动过程中无法将发动机输出的功率流分隔, 发动机需要带动液力变矩器泵轮工作。二是其他直连部件存在功率消耗。设计中为了保证系统的正常工作一般将与挡位无关, 影响系统性能的部件和发动机直连, 例如综合传动装置的液压系统油泵、转向机构用的液压泵、风扇传动主动部分等, 因此, 当发动机起动、运转过程中, 与其直连的部件均同步工作。

综上所述, 与传统机械挡变速车辆相比, 装有液力机械综合传动装置的车辆在起动过程中, 发动机除了需带动自身辅助系统工作外, 还需要带动传动系统的一系列部件同步工作, 增加了起动难度。因此, 需要深入分析综合传动装置内部影响车

收稿日期: 2015-03-02; 修回日期: 2015-03-24。

基金项目: 基础产品创新科研项目 (VTDT-3101)。

作者简介: 徐保荣 (1980-), 男, 山西洪洞, 工程师, 主要从事地面车辆试验鉴定技术方向的研究。

辆起动过程的相关直连部件, 对其起动扭矩进行测试, 以确定采取相应改进措施。

1.2 起动扭矩测试试验方案设计

研究车辆起动过程中传动系统阻力的实质是弄清传动系统各部件在发动机起动过程中分消耗的功率值。为此, 首先需要对发动机稳态工作条件下传动系统各部件的输入转速和扭矩进行测试。对于各传动部件而言, 此时发动机输出转速为定值, 从发动机到各传动部件的传动比也是固定的, 只需测得各传动部件的输入扭矩即可。此外, 上述数据是在稳态条件下完成测得的试验数据, 缺乏动态过程由于惯性作用导致扭矩增加的试验数值, 且无法系统考察传动油温对综合传动装置整体起动扭矩的影响效果, 因此, 有必要在整机上开展动态过程扭矩测试。

总体试验方案如图 1 所示。试验分为稳态试验和动态试验两种。两种试验均在台架上进行。稳态试验主要是以传动部件为测试对象, 测试发动机稳定转速条件下传动系统各直连部件的功率消耗值, 实际操作时通过测试传动部件输入扭矩将其换算为发动机输出端的扭矩值。动态试验主要是以整个综合传动装置为试验对象, 通过模拟发动机起动过程中的转速变化情况, 测试传动系统输入扭矩的变化历程, 而后读取其瞬态峰值和稳态均值。

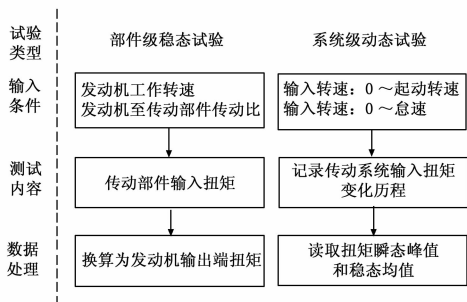


图 1 传动系统起动扭矩试验方案

2 稳态试验方案

2.1 综合传动装置功率流分析

综合传动装置由多个部件组成, 系统复杂, 是实现改变车辆行驶速度和行驶方向, 改变其牵引力大小的功能部件。对于液力机械综合传动装置而言, 从发动机输出的功率传递至传动系统后, 功率流一般分为四路, 如图 2 所示。第一路传递至液压系统的辅助油泵; 第二路传递至风扇传动机构; 第三路传递经液力变矩器传递至变速机构; 第四路传递至转向泵马达, 以实现车辆转向。其中, 变速分路和转向分路的功率经汇流排汇流后, 经侧传动机构传递至主动轮。

因此, 传动系统的起动阻力矩来自于与发动机直接相连的部件, 这主要包括: 辅助油泵、风扇传动机构、变矩器泵轮、转向泵。研究传动系统对车辆起动性能的影响主要是分析研究上述四类部件在发动机起动时的阻力矩分布情况。

2.2 稳态试验方案确定

对综合传动装置各部件起动扭矩进行稳态测试, 要从以下两个方面入手。

1) 确定发动机起动时被试部件的工作状态:

对于风扇传动机构而言, 需要确定液粘离合器的工作状

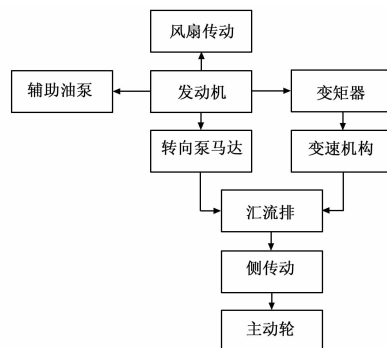


图 2 液力机械传动车辆动力传递路线

态。发动机工作过程中, 液粘离合器分为分离、滑摩和结合 3 种工作状态^[7]。按照预定控制策略, 当发动机冷却液温度较低时, 风扇处于停止状态, 液粘离合器为分离状态; 当发动机冷却液温度上升到一定程度后, 液粘离合器进入滑摩状态, 风扇以中速运行; 当发动机冷却液温度继续上升到另一设定温度后, 风扇进入高速运转工况, 液粘离合器处于完全结合状态。显然, 液离合器的后两种工作状态与风扇负载相关, 仅第一种状态与负载无关。一般情况下, 发动机起动是指其冷态起动, 这时冷却液温度一般达不到风扇工作的温度下限, 因此研究液粘离合器对发动机起动的的影响程度主要是测试其分离状态下的工作扭矩, 即带排扭矩。

对于液力变矩器而言, 其工作状态分为两种。第一是带载状态, 由于输出端的载荷作用, 变矩器处于调速过程, 速比不同其扭矩不同。第二是空转状态, 即后端变速机构空挡, 液力变矩器涡轮轴无功率输出, 仅为克服自身功率损失的空转扭矩。在发动机起动过程中, 液力变矩器处于第二种工作状态, 但是由于空转状态下液力变矩器内油量不确定, 此时扭矩测量难度较大。为此, 在台架上对其全充油状态进行扭矩测定试验。

对于辅助油泵和转向泵而言, 其工作方式比较单一, 均通过齿轮对与发动机直连。

2) 确定发动机起动时被试部件的工作转速:

发动机完成起动并稳态工作时, 其转速一般为 800 r/min。但由于发动机输出端与被试部件之间通过一组或多组齿轮对进行功率传递, 需根据传动比计算出被试部件工作转速。

3 动态试验方案

3.1 发动机起动过程描述

发动机起动过程分为两个阶段, 第一阶段是起动电机带动发动机飞轮旋转并达到一定转速, 使得在压缩终点缸内达到燃油自燃发火的温度, 这个转速称为发动机的起动转速。第二阶段是发动机转速达到起动转速后, 发动机各缸开始燃烧做功, 通过克服发动机辅助系统和传动系统阻力, 其转速持续上升, 并在怠速状态达到平衡。发动机起动过程示意图如图 3 所示。以此为依据, 结合试验条件, 确定起动过程中传动系统扭矩测定试验方案。

3.2 动态试验方案确定

动力传动设备试验一般采用交流电机作为驱动装置, 负载可选用水力测功机、电涡流测功机、磁粉制动器、液压加载器、机械加载器、直流电机或交流电机^[9-10]。本次试验采用交

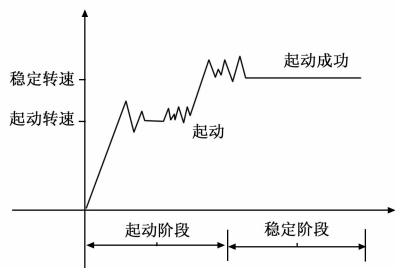


图 3 发动机起动过程示意图

流电机为动力源和加载设备，并根据整车重量配置相应的转动惯量。试验分两种工况进行：第一种是电机提速工况，即空挡状态下起动电机输入转速由 0 匀速上升至 200 r/min，持续时间为 5 秒钟；第二种是发动机自行起动工况，即空挡状态下输入转速由 0 匀速上升至 800 r/min，持续时间为 5 秒钟。

4 实例验证

鉴于某高速履带车辆存在低温起动困难现象，以该车综合传动装置作为研究对象开展试验研究。该传动装置辅助油泵共有 5 个，且始终与发动机直接相连，分别标记为 P1 泵、P2 泵、P3 泵、P4 泵、P5 泵。风扇传动机构采用液粘离合器向风扇传递来自前传动的动力。液力变矩器向变速机构传递直驶动力。泵马达机构向转向分路传递动力，发动机起动时转向泵处于空转状态。因此，传动系统起动扭矩试验主要是对发动机起动过程中传动装置的 5 个辅助油泵、液粘离合器、液力变矩器、转向泵进行扭矩测试。

4.1 稳态试验

4.1.1 试验方法

为保证各传动部件实测扭矩的可比性，测试前规定试验用油统一采用 10 W-40 重负荷动力传动通用润滑油，将油温控制在 $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。试验结果描述时，被试部件输入转速和扭矩均转换为发动机转速和发动机输出端扭矩。

试验按以下方法步骤实施：

1) 将被测部件按要求安装至试验台，其输入轴采用串联方式与扭矩测量装置、驱动电机相连。检查确认扭矩测量装置和驱动电机转速传感器工作正常。

2) 连接被测部件进回油管路，并采用加温装置将传动加热至 $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3) 打开驱动电机，记录不同转速条件下被测部件的扭矩测量值。

4.1.2 试验结果

5 个辅助油泵均由前传动提供动力。其中，P1 泵、P2 泵和 P3 泵由同一个直齿轮 Z1 提供动力，P4 泵和 P5 泵由另一直齿轮 Z2 提供动力。因此，试验时从上述两个直齿轮处直接测量对应油泵的工作扭矩。试验结果如图 4 所示。可以看出，当发动机转速由 800 r/min 逐步上升至 1 800 r/min 时，Z1 齿轮端（即 P1 泵、P2 泵、P3 泵）的扭矩随之逐步上升，当发动机转速位于 1 800 r/min 与 2 500 r/min 之间时，Z1 齿轮端扭矩无明显变化，保持在 $52.5\text{ N}\cdot\text{m}$ 左右。Z2 齿轮端扭矩随发动机转速上升呈线性上升趋势，但变化幅度较小在发动机转速由 800 r/min 上升至 2 500 r/min 的整个过程中，Z2 齿轮端扭矩上升值为 $0.1\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

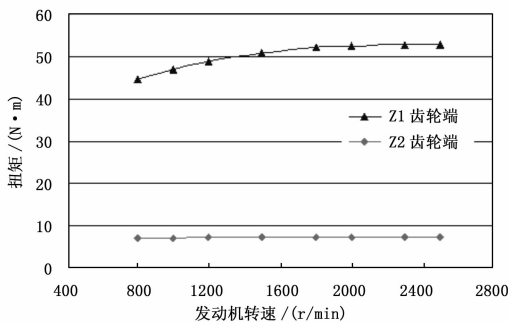


图 4 辅助油泵工作扭矩测定结果

液粘离合器分离状态下的带排扭矩试验结果如图 5 所示。试验结果表明，在整个发动机转速范围内液粘离合器带排扭矩变化范围较小，仅为 $7.5\text{ N}\cdot\text{m}$ 。发动机转速 800 r/min 时液粘离合器带排扭矩为 $28\text{ N}\cdot\text{m}$ ，发动机转速 1 100 r/min 时液粘离合器带排扭矩达到峰值 $29.5\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

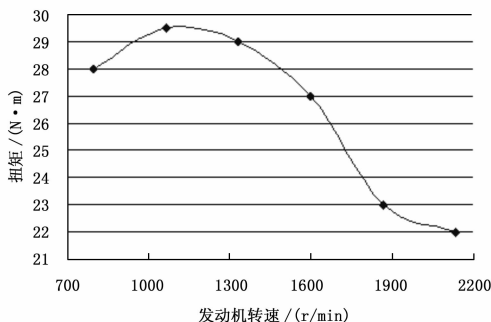


图 5 液粘离合器带排扭矩测定结果

对液力变矩器不同转速比状态下泵轮的扭矩分别进行了测试，试验结果为：转速比分别为 0、0.3、0.6、0.8、0.9 时，泵轮扭矩分别为 $448\text{ N}\cdot\text{m}$ 、 $427\text{ N}\cdot\text{m}$ 、 $345\text{ N}\cdot\text{m}$ 、 $277\text{ N}\cdot\text{m}$ 、 $144\text{ N}\cdot\text{m}$ 。发动机转速 800 r/min 时转向泵空转扭矩为 $87\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

从试验结果看，在传动油温 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下，车辆挂空挡模拟发动机怠速状态，传动系统各部件工作扭矩由大到小依次为：液力变矩器工作扭矩 $144\sim 448\text{ N}\cdot\text{m}$ ，转向泵空转扭矩 $87\text{ N}\cdot\text{m}$ ，辅助油泵工作扭矩 $51.64\text{ N}\cdot\text{m}$ ，液粘离合器带排扭矩 $28\text{ N}\cdot\text{m}$ 。不考虑液力变矩器的输出功率，其他部件所需扭矩为 $166.64\text{ N}\cdot\text{m}$ ，其中转向泵和辅助油泵所占比重较大，应针对这两路功率输出采用相应的减小扭矩措施。若考虑液力变矩器的输出功率，在液力变矩器全充油工况下，与其他部件相比，其扭矩贡献值最大，表明进入传动系统的功率主要经液力变矩器传递至变速机构，这正是传动系统的主要功能，与设计策略一致。

4.2 动态试验

4.2.1 试验方法

试验按以下方法步骤实施。

1) 将综合传动装置按要求安装至试验台，其输入轴采用串联方式与扭矩测量装置、驱动电机相连，输出轴按整车重量配置转动惯量。检查确认扭矩测量装置和驱动电机转速传感器工作正常。

的项目进展良好，基本取得了预期目标。

5 结束语

技术成熟度评价近年来广泛应用于各国航天及国防科技工业领域，除了军方国防部门外，国内外很多国防科研机构、国防企业都探索将技术成熟度评价方法应用于型号项目的研制管理，包括运用技术成熟度管理工具制定企业技术战略与科技发展规划、制定企业优先技术需求与发展路线图、制定企业科研工作计划、开展技术监控与评价等。实施技术成熟度评价，对于加强产品研制的风险管理，加快产品研制的进度，有效管理企业的研发活动，进而提升企业的竞争力具有重要意义。

当前，技术成熟度评价受到国内总装备部、国防科工局、航天、航空等部门重视，并开始应用试点。但无论是评价方法还是应用都还处于初期阶段。为加快技术成熟度评价方法的推广，在国家层面，建议加强统一策划，建立长效机制，将技术成熟度评价纳入装备研制管理工作；同时，完善评价基础，推行第三方独立评价体系，培养熟练掌握技术成熟度评价方法的人才队伍，保证技术成熟度评价工作的科学性、公正性。在军工企业层面，建议研究借鉴国外企业相关经验，将技术成熟度评价这种精细化的管理思想与系统工程思想相结合，构建基于技术成熟度的科研管理模式，进一步推动科研管理创新与技术

(上接第 1608 页)

2) 在同一油温状态下，分别记录发动机转速 0~200 r/min 和 0~800 r/min 两种变化历程中综合传动装置输入轴扭矩值。

3) 完成 2) 的测试工作后通过驱动电机持续工作使传动油温持续上升，测试其他油温状态下综合传动装置输入端扭矩值随转速变化情况。

4.2.2 试验结果

分别进行了传动油温 17℃、30℃、50℃、100℃ 四种状态下的综合传动装置起动扭矩测试，试验结果如表 1 所示。

从试验结果看，传动油温的变化是影响传动系统起动扭矩的重要因素。在两种试验工况下，传动系统起动扭矩的瞬态峰值和稳态均值随温度变化呈非线性变化趋势，且油温越低起动扭矩越大。就发动机自行起动工况而言，油温 17℃ 时的起动扭矩为 750 N·m，油温 100℃ 时的起动扭矩为 300 N·m，前者是后者的 2.5 倍。

表 1 传动系统起动扭矩试验结果

试验条件		电机提速工况	发动机自行起动工况
17℃	瞬态峰值/(N·m)	300	750
	稳态均值/(N·m)	260	380
30℃	瞬态峰值/(N·m)	270	520
	稳态均值/(N·m)	220	320
50℃	瞬态峰值/(N·m)	170	380
	稳态均值/(N·m)	140	220
100℃	瞬态峰值/(N·m)	160	300
	稳态均值/(N·m)	130	160

此外，在传动油温 100℃ 时，传动系统起动扭矩的稳态均值为 160 N·m，而不考虑液力变矩器输出功率时其他部件的起动扭矩测试结果为 166.64 N·m，考虑到测量误差，两次试验结果基本一致。这表明，液力变矩器的空转功率消耗不是发

创新。

参考文献:

[1] 袁家军. 航天产品成熟度研究 [J]. 航天器工程, 2011 (1): 1-7.

[2] Wilsey C, Stoker R. Continuous Lower Energy, Emissions and Noise (CLEEN) Technologies Development—Boeing Program Overview [Z]. Boeing, 2010-10-27, 3.

[3] 李达等. 技术成熟度评价方法综述 [J]. 科学决策, 2012 (11): 85-94.

[4] 欧立雄, 袁家军, 王卫东. 神舟项目管理成熟度模型 [J]. 管理工程学报, 2005, 19 (5): 129-134.

[5] 段磊. 技术成熟度评估在空空导弹科研管理中的作用 [J]. 航空兵器, 2012 (4): 54-57

[6] 马宽. 航天工程实施技术成熟度管理探索 [J]. 中国航天, 2012 (10): 29-33.

[7] 邢晨光. 基于技术成熟度的企业科研管理模式研究 [J]. 航空科学技术, 2013 (3): 61-64.

[8] Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance [Z]. Department of defense, 2011, 2-13.

[9] Defense Acquisition Guidebook Production [Z]. 2013

[10] 中国航空工业发展研究中心. 技术成熟度评价方法培训教材 [Z]. 2009.

动机起动过程中的主要影响因素。

5 结论

1) 对于装有液力机械综合传动装置的车辆而言，车辆起动过程中传动系统的功率消耗是影响发动机起动效果的重要因素，在进行车辆总体设计时应予以考虑。

2) 试验结果表明，传动油温的变化和各类油泵的功率消耗是决定传动系统起动扭矩大小的关键因素，可以通过增加传动油加温装置和油泵液压阀等措施减小传动系统的起动扭矩。

3) 稳态试验和动态试验相结合的方法，有效解决了基于台架试验的综合传动装置起动扭矩测量问题，为今后开展车辆起动性能影响因素分析提供了方法支持。

参考文献:

[1] 闫清东, 于涛, 朱丽君, 等. 工程车辆液力机械传动效率控制 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2013, 43 (3): 602-606.

[2] 王忠, 许广举, 叶飞飞, 等. 低温环境下车用起动电机的匹配研究 [J]. 兵工学报, 2010, 31 (5): 529-533.

[3] 徐信峰, 佟长宇, 乔云. 柴油机起动性能主要影响因素分析 [J]. 现代商贸工业, 2014, 26 (12): 192-193.

[4] 卫振彪, 陈明飞, 李强. 改善车辆柴油机冷起动性能的方法研究 [J]. 广西轻工业, 2008, 114 (5): 41-42.

[5] 王巍. 基于 ME7 系统的汽油机冷起动性能研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2011.

[6] 刘瑞林, 靳尚杰, 孙武全, 等. 提高柴油机低温起动性能的冷起动辅助措施 [J]. 汽车技术, 2007, 37 (6): 5-8.

[7] 郭刘洋, 杜明刚. 液粘离合器摩擦特性及热负荷特性研究 [J]. 摩擦学学报, 2011, 31 (4): 323-327.

[8] 王红岩, 芮强, 高连华, 等. 军用履带车辆传动装置 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2014.

[9] 谷曼. 汽车变速器试验台加载技术的研究 [J]. 机械设计与制造, 2009, 46 (11): 162-164.

[10] 何耀华. 汽车试验技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2012.