



试验及试验方法概述

1.1 概 述

随着社会经济的发展与人们生活水平的不断提高,人们对汽车节能减排的要求越来越高,为适应这不断变化的要求,设计者需不断设计开发能满足节能减排需求的先进汽车能源动力,且能源动力技术的发展已经呈现了多重混合化的特点,主要表现在内燃机混合化、动力传动系统混合化和燃料电池系统混合化。

由于汽车能源动力从最初设计到最终产品均离不开试验验证,因此汽车能源动力试验测试技术与能源动力技术发展紧密相连。同时汽车能源动力试验测试技术随着科学技术和汽车能源动力技术的发展,尤其是它与现代电子技术、计算机技术相结合,使其早已成为相对独立的一门重要的学科。因此,汽车能源动力试验测试技术的发展促进并支撑着汽车能源动力及动力系统技术的快速发展,也为研制高水平的汽车能源动力提供了重要的保证。

为满足日益严格的汽车排放法规、油耗法规的要求,汽车能源多元化为主要特征的节能与新能源汽车迅速发展,与其相对应的试验方法及试验手段就显得更为重要。正是由于汽车动力系统试验技术和方法的重要地位,不仅汽车工程领域技术人员必须掌握其基本知识,在培养工程人才的教学工作中它也被赋予了更为重要的意义。其教学目的与意义可简要归纳为以下三点。

(1) 试验技术和方法的学习是汽车专业人才培养中重要的实践性教学环节。

汽车内燃机原理和规律是百年来广大科技和工程技术人员大量实践和经验的总结,具有极强的实践性质,但还有很多问题和现象无法解释。仅凭书本上的知识是无法真正理解和解决相关技术问题的。在内燃机实验室里面所花的几个小时可以说是对汽车内燃机的“真实世界”的最好介绍,是对课堂教学或者“计算机模拟”世界的最佳鉴别和考核。

此外,针对当今汽车能源动力多重混合化的特点,如何将其各部件有效匹配,是研发汽车动力和动力系统过程中非常重要的环节,因此,与其对应的汽车动力和动力系统试验方法

及手段的掌握就显得更为重要。

(2) 试验技术和方法是从事汽车能源动力生产、技术开发工作的必备知识。

作为汽车的心脏——能源动力,其特点是零部件多,使用条件复杂,对性能、寿命、质量和成本等方面的要求高。而影响汽车能源动力质量和性能的因素又很多,所涉及的技术领域极为广泛,对其中一些问题的研究目前还不够充分。因此对汽车能源动力而言,无论是新设计、开发的产品还是生产中的产品,即使在设计和制造上考虑得非常充分,也必须经过试验来检验:检验设计思想是否正确;设计目标能否实现;设计及生产的产品性能是否符合使用要求等。

(3) 试验技术与设备是汽车能源动力研发、创新、理论发展的必备手段。

随着汽车工业的发展,从节约燃料消耗、扩大燃料品种、提高有效功率、降低排气污染到耐久性等方面都对汽车能源动力提出了更高的要求,这就需要人们不断地研究能源动力各关键部件的内部规律、匹配技术和新技术,需要制定更严格的排放法规和油耗法规等。这样就会对试验方法、试验标准、试验平台等提出更高的要求。同时为了提高能源动力各类参数的测量精度,也需要有先进的能源动力试验平台。因此,国内外各大汽车制造厂商纷纷投入巨资建立现代化的动力系统试验室,对汽车能源动力进行不同目标的研发试验研究。在后面相关章节中将分别对其能源动力试验平台进行介绍。

1.2 试验发展概况及类别

1.2.1 内燃机试验测试技术发展概述

随着科学技术和内燃机技术的发展,在 20 世纪中叶内燃机试验测试技术已成为相对独立的一门重要的学科。它促进并支撑着内燃机技术的快速发展,为研制高水平的内燃机提供了重要的保证。概括起来主要经历了以下几个重要阶段。

1. 初级阶段

在内燃机测试发展的初级阶段,因被测内燃机关注的参数少及计算机科学还没有普及,因而早期的内燃机试验是采取人工绘制试验数据表格,将记录的试验数据填写在试验数据表格内并进行人工数据处理。此外,在测试手段方面,用于内燃机测试的测功机功能单一,参数测量方法功能也单一。因此,在这个阶段,内燃机测试手段只能满足单一试验项目的测试要求。

2. 试验自动化阶段

随着内燃机技术的发展,应用范围的扩大,及节能减排等要求的日益加严,需关注更多的内燃机测试参数。为提高其试验效率,降低其试验成本,且实时有效地测量更多的试验参数,需借助计算机技术、信息技术和自动控制等技术的发展,使内燃机试验由以前的手工操作、手工记录试验数据逐步发展成为采用计算机完成内燃机台架试验数据的自动采集、自动

处理和自动控制试验工况等。即科学技术的进步,使人们实现了将信号处理、自动控制、数学运算、电子技术、人工智能等技术融合为一体,进而可同时获得大量的测量采集数据,并能根据设定进行实时显示及监控,同时可提供良好的数据处理能力。

内燃机试验自动化的进程也伴随着内燃机测功机技术、传感器等技术的快速发展,有关此类信息,可参阅第2章。

3. 仿真试验阶段

为减轻内燃机开发试验强度,降低试验成本,提高内燃机开发速度,借助电子技术、计算机仿真技术、信息技术等先进技术,内燃机仿真试验技术得到了蓬勃发展。即在新产品进入试制阶段前,对其性能、可靠性、振动噪声等先采取仿真试验,然后再进行实物试验,以达到缩短设计开发周期、降低试验成本的目的。

目前,有很多内燃机设计开发机构利用多年内燃机开发设计经验、试验经验及试验数据的积累,建立了不同用处、不同类型的内燃机试验模型。试验模型的建立可以代替部分试验,这些是内燃机设计者能够实现简化试验、提高内燃机预测设计能力的基础。

在内燃机研发过程中如何有效地预测内燃机装车后的运行状态,即如何有效分析内燃机稳态、动态性能及可靠性等,传统的方法是依靠整车试验。然而这种方法费时费力,不具有竞争能力。为解决此类问题,内燃机动态模拟仿真技术得到了快速发展与运用,“车辆模拟”内燃机动态模拟试验可有效提高内燃机开发效率,及早发现汽车内燃机开发过程中的未知问题,当然这种方法需要庞大的知识(数据)库做支撑。进一步信息读者可参阅第8章。

1.2.2 汽车能源动力试验测试技术

为解决能源危机和环境污染两大问题,汽车能源动力由以前的单一内燃机逐步发展为多种能源动力有效混合的动力系统,其试验平台及试验方法也是根据不同需求,基于先进内燃机的试验技术建立和发展起来的,如基于模型的集成开发平台,虚拟测试,等等。相关试验测试技术的进一步信息可参阅第2、9、10、11章。

1.2.3 汽车能源动力试验类别

汽车能源动力试验按其试验目的和试验对象进行分类,可分为定型生产的产品试验、研制开发的新产品性能评定和标定试验、科学研究专项试验以及人才培养的教学与培训试验。

1. 产品试验

产品试验的目的是检查量产能源动力产品的质量,主要包括产品出厂试验、定期抽查试验及大修后的性能测试。汽车能源动力制造厂成批生产的产品,根据用途不同,出厂时检测要求也不同,一般卡车用能源动力要求逐台进行检测,乘用车能源动力则根据企业具体情况逐台或按比例对能源动力产品进行检测。检测方法根据产品的类型,企业按相应的规范执

行。如内燃机则按企业制定的冷磨合或热磨合试验规范进行。其他项目的试验如可靠性、经济性等一般是采取抽检方式进行检测,以保证出厂产品的质量。试验项目是根据能源动力的用途和特点,在国家标准所规定的范围内选定。

由于生产试验主要以控制产品质量为目的,因此它的特点是试验的产品固定、试验项目固定、测试方法和参数变化也较少,但要求测试设备必须可靠,能适应长期运转的需要。

2. 新产品性能评定和标定试验

性能评定试验的目的是对新产品或经过重大改进的能源动力在其研发的过程中进行局部的或全面的性能测试,以考核其性能指标是否达到设计或改进的要求。

目前新产品开发性能测试通常是仿真试验与台架实物试验相结合,通过试验进一步研究、分析能源动力内部的变化规律。如对于内燃机就是要找出在满足排放法规的情况下,提高其动力性(功率大)、经济性(耗油少)、可靠性(故障少)、耐久性(寿命长)、运转性(起动容易、振动小、低噪声、排污少)等各种性能的途径,以满足整车对内燃机动力的要求。

内燃机性能试验主要包括起动性能、负荷特性、速度特性、怠速特性、机械效率、各缸工作均匀性试验以及匹配标定工况、怠速下的稳定性试验等。(具体台架实物试验内容将在第4章中介绍。)

可靠性及耐久试验也是一种性能试验,而且是人们最为关心的问题。这是因为,如果一台能源动力要经常修理和维护,而且寿命很短,即使能源动力的效率再高、性能再好也是没有意义的。进行耐久性试验所花时间较长,工作量大,其目的是考核新产品或经过重大改进的能源动力(包括零部件)的可靠性、耐久性以及其性能指标的稳定性等。此类试验一般在实验室内进行(将在第5章对其试验方法进行介绍)。当然,有些经验丰富的能源动力设计机构,会在设计开发过程中,利用其试验模型对新产品可靠性及寿命进行预测,同时根据大量能源动力试验数据的持续积累,优化可靠性及耐久性试验方法,进而达到降低可靠性及耐久性试验成本的目的。

新产品的标定试验是指开发各阶段时的能源动力样机各工况性能指标及可调整参数的标定,如电控内燃机经济性、排放性和动力性之间的匹配试验,即MAP的标定工作等(关于电控内燃机匹配标定工作将在第7章介绍);动力系统各关键部件匹配性能试验(将在第11章对混合动力试验进行介绍)等。

另外还有能源动力在特定环境的性能测试,如高温、高寒、高原地区、噪声等特定试验。

3. 科学研究专项试验

科学研究试验也称为专项试验,它是为了研究改进能源动力的性能或科研探索所组织的专题试验,如能源动力各部件、各系统的专题研究、原理与规律的探索、新理论的探讨、新结构形式的确定、新测试方法的论证及新材料新工艺的应用,新能源动力的研究开发以及汽车新型动力系统试验等。这类试验涉及的学科及内容极其广泛,可能包含工程热物理各技术基础的理论,内燃机原理、设计、制造工艺和使用情况等各个方面。如内燃机缸内

燃烧机理的试验研究,内燃机动态模拟试验研究,新型燃料电池发动机、动力电池的研发等项目就属于这一类型。

以上各类试验,除了单项专题研究试验可参照各种标准自行拟定试验规范和方法,其他试验应按国家颁布的汽车用发动机试验标准(GB/T 18297—2001)、客车用燃料电池发电系统测试方法(GB/T 28183—2011)、乘用车用燃料电池发电系统测试方法(GB/T 23645—2009)、电池单体和模组的性能测试标准(GB/T 31486—2015),或行业与企业制定的标准进行。

4. 教学与培训试验

教学与培训试验的目的是让被培训者(学生及企业工作人员)掌握汽车能源动力性能测试的基本方法;了解测试所需要的最基本的硬件和软件条件及其原理;初步学会试验方案设计、试验数据处理、误差及试验结果分析等技能。针对不同的对象(高校学生或企业被培训者)又有各自的特定要求。高校学生除了上述基本要求外,还要求学习和参与某些力所能及的新产品开发和单项试验,以便扩展思路,能对试验中观察到的现象及发现的问题综合运用所学知识进行分析,提出解决方案,以达到具有初步的科研和开发试验的能力。

1.3 本书内容简介

汽车能源动力试验的内容极为广泛,涉及面广,除了整机试验之外,还有大量的零部件试验,这些试验中有各种性能测试与标定,也有大量的可靠性、耐久性试验和维修检测内容。要在一本教材中全面阐述各方面的内容,既无必要,也不可能。从培养汽车能源动力科研、开发技术人员的具体要求和学校现实的试验硬件条件出发,本书所述汽车动力系统试验主要指的是内燃机整机动力性能试验、匹配标定试验、内燃机排放、燃料电池系统试验、动力电池试验、混合动力试验。所述试验内容主要指在能源动力台架实验间内进行,也包括一些整车室内转鼓及室外运行时的内燃机测试与标定的内容。

汽车动力系统技术的发展伴随着能源动力、动力系统试验测试技术的发展。作者根据近年来的汽车能源动力及不同混合模式的动力系统技术的发展和研究成果,对汽车动力系统试验方法、试验平台等进行了系统编写,希望对从事汽车能源动力试验的工程技术人员有一定参考价值。

1. 主要内容

(1) 以汽车内燃机新产品的性能试验为主要讲述对象,并按照国家标准 GB/T 18297—2001 中规定的主要试验项目进行介绍,包括起动试验、怠速试验、功率试验、负荷特性试验、万有特性试验以及机械损失功率试验。这些都是最重要的和常规的试验项目,企业的产品试验也大都按此标准进行。

(2) 引入现代电控内燃机和满足排放法规所必须进行的排放法规鉴定试验和电控机型

的匹配标定试验内容。

(3) 以国家标准为主线,介绍可靠性和耐久性试验方法。

(4) 总结作者所在单位的研究成果,介绍燃料电池系统的试验方法、动力电池试验方法、混合动力试验方法。

(5) 以上所有介绍的试验均在台架实验间内进行,并应用了各种专用设备和试验测试手段。为此,本书有针对性地对这些内容作了简要介绍,着重阐述具体的对象和应用方法,而不是作泛泛的论述。进一步信息读者可在相关的专著中找到所需的各方面的详细内容。

(6) 本书附录介绍了作者所在单位多年来积累编制的多个教学试验大纲。大纲涉及的试验项目及内容与作者所在单位具体条件有关,仅供读者参考。

2. 本书各章内容简介

本书第1章介绍了有关汽车能源动力试验、试验的作用以及整机试验的一些基本知识,如试验分类和内燃机试验标准等,并对内燃机试验测试技术发展历程进行了简要介绍。第2章以车用内燃机为主要试验对象,对保证其试验所需的硬件系统,如测试系统、实验室环境系统等进行了简要描述,同时简要介绍了混合动力试验系统。第3章以车用内燃机为主要试验对象,介绍了其主要性能参数的测量方法及主要传感器的测量原理。第4章介绍了国家标准规定的常用内燃机基本性能试验方法,其中对内燃机功率试验、负荷特性试验和万有特性试验的意义及方法进行了比较详细的论述。第5章讨论了可靠性试验的意义,并对我国汽车内燃机可靠性试验标准进行了描述。第6章介绍内燃机排放法规鉴定试验。第7章和第8章讨论了现代车用内燃机开发试验中所涉及的一些专项试验方法。第7章就电控内燃机匹配标定试验的意义、基本概念和方法进行了简要介绍,通过实例介绍了匹配标定的过程。第8章讨论了在内燃机实验台架上如何进行内燃机动态试验的方法,如模型的建立等。第9章介绍了燃料电池系统开发过程中的试验方法。第10章介绍了动力电池基本试验方法。第11章介绍了混合动力试验方法。最后为附录,附录A对10个内燃机教学试验大纲和具体过程、方法等进行了较详细介绍,便于读者进一步理解内燃机试验教学的情况。附录B以MATLAB软件为例简要介绍了示功图绘制方法。附录C是某试验报告范例,仅供参考。

1.4 汽车能源动力试验的组织与实施

关于试验前的组织与实施,本节主要以内燃机为试验对象进行描述,对于其他能源动力试验的组织与实施,其思路是相通的。

1.4.1 试验前的准备

1. 制定试验大纲

试验大纲是指导试验的重要技术文件,它关系到试验的好坏与成败。根据试验目的的不同,试验大纲的编制侧重点也会有所不同。

对于新产品形式认证试验、质量检查试验,试验大纲应按照相应的国家或行业试验规范编制,并经充分讨论、审批后实施。

对于研究和开发型试验,因其特殊的试验技术和方法,在制定大纲前,要研究所需特殊的试验装置和试验设计方法,即研究如何合理而有效地获得试验数据资料的方法。应认真考虑特殊设备和测试仪器的可行性以及如何合理地安排试验,获取数据及如何进行数据分析等,从而获得最优试验设计方案。上述方案,在试验大纲中应有详细的说明。

试验大纲主要包括以下内容。

1) 试验目的

明确规定试验必须完成的任务(如需要解决的技术问题、观察的现象等)以及要求达到的目标(如内燃机额定工况时应达到的功率值,内燃机最低油耗值以及排放限值等)。应在大纲中率先说明。

2) 试验对象和试验内容

大纲中应写明:试验件(样品)的名称、型号、生产编号、主要技术参数,为完成试验任务所需的试验内容(例如,是稳态试验还是动态试验,是工况法试验还是一般性能试验等),试验程序(即试验步骤)。对每项试验内容和条件应作简要说明,必要时应附有试验原理图。

3) 试验项目和测量参数

大纲中应根据试验内容,详细列出必须进行的试验项目和每个项目中必须测量的参数,并说明由测量参数求得最后性能指标的计算方法,附上必要的计算公式。有关参数测量方法详见第3章。

4) 试验设备

根据试验项目和测量参数,选择相应的试验仪器、设备,并写明名称、型号、规格和测量精度范围,如选用水力测功机、电涡流测功机还是电力测功机,选用质量式油耗仪还是容积式油耗仪,选用动态油耗仪还是选用普通油耗仪等。试验目的不同,其测量精度的要求也会不同。有关试验设备信息参见第2章。

5) 试验条件

试验条件决定了试验对象处于什么环境中进行测试,这对测试结果有很大影响。试验条件包括环境温度、湿度、大气压力、内燃机所用燃料和润滑油料的规格、状态(指油温、油压),以及冷却水温、内燃机负荷等。

6) 试验技术、方法和试验设计

内燃机常规试验,应按照不同的试验项目,依据相应的标准(国家标准、行业标准或企业标准),来规定其试验技术和方法。试验程序(设计)大都按标准进行。

对于研究型或新产品开发试验,应根据产品的目的、目标来确定采用何种方式进行试验。这一类试验的试验设计是非常重要的,这是因为,若试验方案设计正确,对试验结果分析得法,就能够以较少的试验次数、较短的试验周期、较低的试验费用,迅速地得到正确的结论和较好的试验结果;反之,试验设计方案不正确,试验结果分析不当,就会增加试验次数,

延长试验周期,造成人力、物力和时间的浪费,这不仅难以达到预期的效果,甚至还会造成试验的全盘失败。

归纳起来,试验设计包括如下三个方面的内容:工况选择——因素与水平的选取方法;误差控制——试验方案的制定;数据处理——分析试验结果。其中的方案制定与数据处理方法是20世纪30年代以后数理统计中新发展的一个学科分支,以概率论、数理统计和线性代数等为理论基础。

对于工况选择——因素与水平的选取方法,即采用单因素试验设计,还是多因素试验设计;是采用基于模型的试验方法,还是工况法试验方法,等等。有关这些方法的理论基础可查阅文献[3-6]等。

7) 试验数据的处理

试验数据的处理通常分为静态数据处理和动态数据处理两种。静态数据所指的是不随时间变化的测量数据;动态数据所指的是随时间变化的测量数据。因此,应说明试验数据是采用何种处理方法;数据处理的手段是采用人工处理、专项分析仪处理还是计算机处理等。

8) 误差分析

内燃机试验的目的是输出信息,而这些信息的价值很大程度上取决于它们的精确度。因此,试验者除了应对内燃机有一个完整的理解之外,还应懂得在进行内燃机试验过程中,由于环境的影响,试验方法和试验设备、仪器的不完善以及试验人员的认知能力有限等原因,使得在测量与试验所得数据和被测量的真值之间不可避免地存在着差异,这在数值上即表现为误差。虽然测量技术不断提高,但是完全消除误差是不可能的,也就是说,在任何测量过程中,测量结果均存在着误差。

试验误差的来源主要有以下几个方面。

(1) 仪器误差:由于仪器设计、制造不精确或调整、校正不当或使用不当等原因而引起的误差。

(2) 环境误差:由于各种环境因素与要求的标准状态不一致而造成的误差,如温度、湿度、气压、振动、电场以及磁场等引起的误差。

(3) 方法误差:由于测试方法不合理、仪器位置安装不正确、使用不当或计算方法不完善等因素造成的测量误差。因此,试验者对不同测量方法的相对优点和缺点以及不同测试方法在不同试验情形下的适用范围要有深刻的理解。

(4) 人员误差:由于测量者主观原因所造成的误差。如试验者操作不当,或有些数据需人工读出,而测量者因工作疲劳引起视觉器官的生理变化等引起的误差。

综上所述,测量误差的来源是多方面的,因此,在分析误差来源时应综合考虑,正确计算出误差链,以保证误差分析的准确性,进而保证试验精度。关于误差分析的进一步信息可参考文献[7,8]及其他相关专著。

2. 试验设备、试验仪器配备与标定

为了使试验结果准确、可靠,试验者应具有关于仪器校核方法的知识以及了解试验仪器

具有何种类型的误差。进一步说,试验者必须保证测试仪器与设备都能满足试验中测定参数的测量范围、容量、精度和分辨率的要求;使用的电源与仪器设备应相适应;试验前还应应对各种传感器、测试仪器和仪表按照说明书的要求进行预热、调试、校正和标定(定度)等。如在进行内燃机排放测试前后,需对测量的 HC、CO、NO_x 等进行零点标定、量程标定,标定的数据应记录并填入试验报告中。

3. 人员配备和记录表格准备

根据试验项目和测试数据,确定参加试验人员,而试验人员不仅应熟练掌握仪器设备的原理和操作方法(如测功机的操作、排放仪的使用等),还要确定每人的任务和相互间的配合,明确试验方法,并能正确地对整个试验过程及试验现象进行记录并整理试验结果。

进一步说,试验者对所有试验观测值应具有进行质疑的思维习惯,即应具备以下习惯:分析、比较所记录的数据是否可信,是否有不符合规律的谬误之处。当发现问题时能及时在试验中解决。

为保证日后的分析比较,在试验之前,需要将试验背景资料(试验对象的名称、型号,试验大气状态,试验日期、时间、地点等)输入到计算机中或手写到试验记录本上。为避免意外(如计算机故障),应保存试验的原始记录(即试验人员在试验现场手工书写的记录)。内燃机试验记录表格可参考表 1-1 绘制。

4. 安全措施准备

内燃机实验室是比较危险的工作场所,对这一点试验工程师及有关人员(包括学生在内)应有充分认识。因此,为保证安全,在进行内燃机试验过程中需注意不得超过试验大纲中规定的允许最大工作负荷、最高转速、最大压力等极限值。试验过程中不仅要时刻注意内燃机可能发生的异常现象,并加以记录,同时学生要知道实验间紧急按钮、试验设备的操作规程,严格遵守实验室规章制度;在进行内燃机试验时,学生不能站在内燃机输出轴的侧面,因为高速旋转的联轴器中的任何零部件一旦甩出,将十分危险。试验中如发现内燃机、设备及仪器出现异常情况或故障时,应停止试验、进行检修。在进行新能源动力,如燃料电池系统、动力电池试验时,试验人员应充分了解相关安全手册,避免氢气泄漏、触电、起火等安全事故。另外为保证安全,无论做何种试验,参加试验人员应在 2 人以上。

5. 试验前后的主要操作规程

根据试验目的的不同,试验前后的操作规程均有其特殊规定。本节以普通内燃机为试验对象,简要介绍其试验前后的主要操作规程。同样,动力电池、燃料电池也有其相应的操作规程。

1) 内燃机试验前的主要试验操作规程

- (1) 按各实验室操作规程和安全制度进行检查;
- (2) 检查燃油系统连接的可靠性及是否有泄漏问题;
- (3) 内燃机电路系统连接是否正确;

