

工程车辆载荷谱 试验方法及应用

常 绿 徐礼超 刘永臣 著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

工程车辆载荷谱试验方法及应用

常 绿 徐礼超 刘永臣 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书以轮式装载机动力传动系统为研究对象,将载荷时间历程通过统计分析,经数据处理得到装载机传动系统载荷谱。将发动机、液力变矩器、变速箱及负载作为一个整体,面向用户使用环境,构建面向用户使用要求的装载机虚拟样机,研究动力传动系统优化匹配问题。

本书可作为工厂、研究院所从事装载机设计、实验及使用的工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程车辆载荷谱试验方法及应用 / 常绿, 徐礼超,
刘永臣著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2011. 2

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0957 - 3

I. ①工… II. ①常… ②徐… ③刘… III. ①:工程车
—载荷谱—实验方法 IV. ①U469.6-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第014507号

书 名 工程车辆载荷谱试验方法及应用

著 者 常 绿 徐礼超 刘永臣

责任编辑 仓小金

责任校对 张海平

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 850×1168 1/32 印张 5.5 字数 143 千字

版次印次 2011 年 2 月第 1 版 2011 年 2 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

工程机械车辆的发展与自然科学及应用技术的发展密切相关。第二次工业革命之后,社会化大生产的需求,极大地促进了科学技术的发展,而科学技术的快速发展又为工程机械车辆的发展奠定了坚实的基础,尤其是现代科学技术更加促进了工程机械车辆的快速发展。自 20 世纪 90 年代以来,我国经济形势走上快车道,工程机械的应用得到了高度重视,其发展速度加快,应用也愈来愈广。近年来,我国公路建设和基本设施持续高速发展,未来 10~15 年仍是公路建设和基本设施的快速发展期。在大形势的推动下,我国工程机械行业正孕育着无限商机,工程机械产品无论在品种、数量、技术水平,还是质量及服务等方面都有了长足的进步,在我国公路建设和基本设施工程中发挥了巨大作用。

装载机应用范围广泛,在工作过程中负载变化大,工况复杂,是工程车辆的典型代表。牵引特性与燃油经济性是装载机最重要、最基本的性能,在追求装载机优良牵引特性与燃油经济性的过程中,提高装载机的发动机、液力变矩器、机械传动系统等零部件自身及其匹配性能是非常重要的。牵引特性与燃油经济性的好坏,在很大程度上取决于发动机的性能和传动系统的形式及参数的选择,即取决于装载机动力传动系统合理匹配的程度。

若要对装载机整体匹配性能进行研究,则必须测试分析装载机工作时的实际载荷信息。对于装载机而言,其动力传动系统中的零部件处于随机变载荷的工作状态,这种随机变载荷情况尤为复杂。

将载荷时间历程通过统计分析、压缩、简化和合成后得到装载机传动系统载荷谱,载荷谱具有典型性、代表性和真实性。测试装载机载荷谱,对测试数据进行数据处理,将载荷谱转化成虚拟样机中程序加载谱,构建装载机虚拟样机,基于虚拟样机进行牵引特性和燃油经济性虚拟试验,研究发动机与液力变矩器的匹配方案,优化装载机变速箱性能参数,这对装载机整体性能优化具有重要的工程实际意义。同时,虚拟试验可部分或全部取代物理样机进行实车试验,降低了装载机开发的成本和周期,提高了装载机设计质量。

本书以轮式装载机动力传动系统为研究对象,测试装载机载荷谱,面向用户使用环境,将发动机、液力变矩器、变速箱及负载作为一个整体,构建面向用户使用要求的装载机虚拟样机,研究动力传动系统优化匹配问题。

本书得到江苏省自然科学基金项目(BK2009168)、江苏省“六大人才高峰”项目(2010—JXQC—023,苏人社发[2010]555号)和江苏省高校“青蓝工程”(苏教师[2010]27号)的资助,在此一并表示感谢。

限于作者水平,书中难免会有错误或不当之处,恳请读者批评指正。

著 者

2011年02月

目 录

第 1 章 绪论	1
第 2 章 装载机测试参数试验	9
2.1 试验样机选择及其相关参数	9
2.2 装载机测试参数及测点位置选取	17
2.3 装载机参数测试用传感器的选用	24
2.4 ZL50G 装载机测试系统用传感器的标定	41
2.5 ZL50G 装载机实机测试	62
第 3 章 装载机动力传动系统载荷测试信号	
处理与载荷谱编制	71
3.1 载荷测试数据处理与分析	71
3.2 载荷谱的编制	89
第 4 章 基于 ADVISOR 软件的装载机性能	
仿真模块开发	100
4.1 概述	100
4.2 装载机性能仿真模型的建立	103
4.3 基于 ADVISOR 的装载机性能	
仿真软件的实现	109
4.4 仿真模型的试验验证及应用实例	112

第 5 章 装载机传动系统优化方法	117
5.1 综述	117
5.2 基于牵引特性与燃油经济性的发动机与 液力变矩器的优化匹配	124
5.3 基于满意度原理的装载机发动机与液力 变矩器的优化匹配	132
5.4 基于挡位利用率的装载机传动比优化设计	138
5.5 基于用户使用工况的装载机传动比设计	146
5.6 基于遗传算法的装载机传动系统参数优化	155
5.7 装载机换挡规律的设计	159
参考文献	167

第1章 绪 论

装载机属于铲土运输机械中用途极为广泛的一种,自20世纪20年代问世至今,其发展速度非常迅速,先后历经四次根本性的技术革新。20世纪30年代出现的四轮驱动轮胎装载机,体现了装载机的灵活机动性,这是首次根本性的技术进步;第二次技术进步的特征是40年代出现的柴油机,它代替了汽油机,液压操作代替了钢丝绳的机械操纵,使装载机的可靠性及操纵性能得到了很大改善;第三次技术进步是50年代出现的有液力变矩器的液力机械传动,它代替了机械传动,从根本上解决了铲掘阻力大时发动机经常熄火的问题;第四次技术进步则是60年代出现的铰接式装载机,它的转弯半径大大缩小,在很大程度上提高了装载机的灵活机动性及稳定性。经过四次具有历史性的技术革新后,现代装载机的基本结构,包括以柴油机为动力、液力传动、动力换挡、轮式四轮驱动、铰接式动力转向、作业装置液压操纵等已全部形成。

20世纪70~80年代,世界上一些主要的装载机设计、生产企业在装载机的可靠性、舒适性、安全性、能耗的降低及作业效率的提高等方面做了大量工作,出现了可变容的变矩器等一些新技术、新结构。从20世纪90年代至今,随着机械制造技术及计算机应用技术的快速发展,装载机开始广泛采用机电一体化技术及微电子技术,实现了自动或半自动化操纵、节能降耗、舒适高效,外观造型及外形制造几乎达到了完美的境界。在此基础上,为满足不同层次客户的具体需求,装载机设计制造开始向大型化及微型化方

向发展,多用途及全液压驱动机型得到了广泛发展。目前装载机新技术发展的一个显著特点是从最初的电子监控逐步发展到系统的电子控制,并已得到较为广泛的应用,比如柴油机的电子喷射燃烧系统、变速操纵的电脑集成控制系统等。目前,已经发展到了利用体积很小的大规模集成电路、微处理器为核心,对装载机主要操纵控制系统如传动、转向、作业操纵等进行集成电子控制的装载机集成控制系统。最新技术发展的另一个显著特点是静液压驱动技术在装载机上也得到了越来越普遍的应用,其传动效率比液力机械驱动高出十几个百分点。采用的静液压驱动后泵与马达基本上都是变量的,且泵的出油方向可变,不但传动效率高,而且还可非常方便地实现电液变速操纵的电子控制,与动力分配很好地配合,保证在各种速度下得到尽可能大的牵引力,达到最佳的高效节能效果。

装载机作为工程机械中重要组成部分,不仅能对散装物料进行铲装、搬运、卸载及平整作业,也能进行轻度的铲掘工作,而且若能换装相应的工作装置,还可进行推土、起重、装卸木料及钢管等作业。因此,在公路、铁路、建筑、水利、港口、矿山等建设工程中使用广泛,具有作业速度快、效率高、机动性好、操作轻便等优点,装载机对于加快工程建设进度,减轻人类劳动强度,提高工程质量,降低工程成本都起到了举足轻重的作用。装载机在国内外不论是在品种上还是在产量上的发展速度都十分快,目前我国生产与销售装载机中,仍以 ZL30、ZL40 和 ZL50 型为主,2005~2009 年装载机各机型市场占有率情况如图 1-1 所示。装载机部分作业功能如图 1-2 所示。常用单斗装载机分类方法较多,按适用场合不同可分为露天用装载机和井下用装载机,按装载方式不同可分为前卸式、后卸式、侧卸式和回转式,按传动形式不同分为机械传动、液力机械传动、液压传动和电传动,按行走装置不同则又可分为轮胎式和履带式。轮式装载机是以轮胎式专用底盘为基础,采用液

力机械传动系统,配置工作装置及其操纵系统而构成,由于轮胎式装载机具有质量轻、速度快、机动灵活、效率高、不易损坏路面,转弯半径小、纵向稳定性好、生产率高等优点,在路面及井下物料的装载运输作业中应用极为广泛。

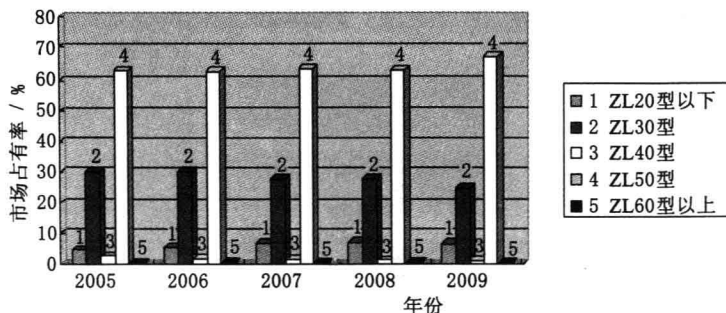


图 1-1 国内装载机各机型市场占有率情况

牵引特性与燃油经济性是装载机最重要、最基本的性能,在追求装载机优良牵引特性与燃油经济性的过程中,提高装载机的发动机、液力变矩器、机械传动系统等零部件及其匹配性能是非常重要的。牵引特性与燃油经济性的好坏,在很大程度上取决于发动机的性能和传动系统的形式及参数的选择,即取决于装载机动力传动系统合理匹配的程度。装载机动力传动系统优化的任务是将发动机与底盘视为一个有机整体进行合理匹配,以达到其牵引特性与燃油经济性最佳的目的。

目前在工程实践中,装载机还很难达到牵引特性、燃油经济性等性能的最佳匹配,原因主要有:① 装载机应用环境广泛,运行工况复杂,不同的使用场合有不同的工况要求,但目前装载机传动系统的设计没有考虑到不同用户的具体需求,也没有考虑到不同的使用场合、不同工况以及不同负载的实际需要。② 柴油机与液力变矩器的优化匹配无论是“全功率匹配”还是“部分功率匹配”都难

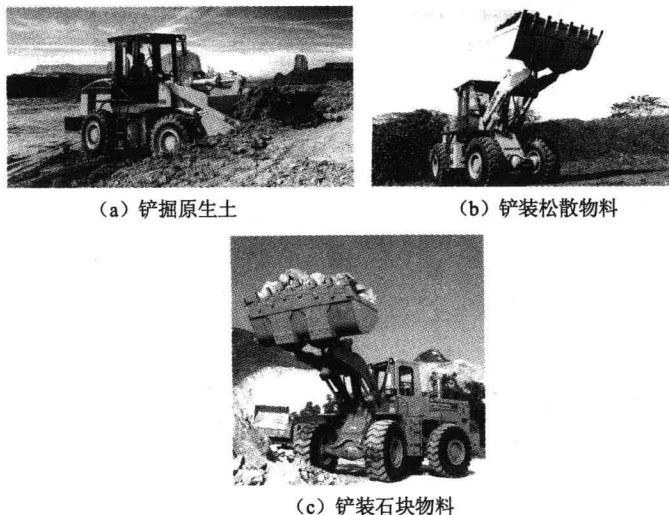


图 1-2 装载机部分作业功能

以兼顾运输工况和铲掘工况两者的作业要求,介于“全功率匹配”和“部分功率匹配”两者之间的匹配目前还没有统一的折中和匹配标准。③ 在动力传动系统中,缺乏对装载机变速箱技术参数的匹配优化设计。④ 采用多挡位动力变速器的装载机有利于从根本上解决重载时传动系统效率下降的问题,但目前国内装载机较多采用两个前进挡和一个倒退挡的变速箱,这种配置方法在导致能源浪费的同时,也降低了作业效率。⑤ 装载机传动系统设计缺乏整机总成之间整体性能匹配研究,主要体现在:发动机研制部门着重改善发动机的工作过程,降低机械损失,减少燃油消耗率,改善排放效果;整车研制部门致力于提高传动系的效率;液力传动系统研制部门着重运用先进的设计理论改进液力变矩器的设计,提高液力变矩器的效率和其性能。

若要对装载机整体匹配性能进行研究,则必须测试分析装载

机工作时的实际载荷信息。装载机工作时所承受的载荷多属随机载荷,随机载荷看似杂乱无章,但却具有统计分布的规律。载荷谱就是对这种具有统计规律性,能够表征载荷大小与出现频次之间关系的图形、表格、矩阵和其他概率特征值的统称,它反映了动力机械真实工作状况的载荷—时间历程,即零部件随时间变化所受的应力或应变过程,是一个连续的、受多种因素影响的随机过程。对于装载机而言,其动力传动系统中的零部件处于随机变载荷的工作状态,这种随机变载荷情况尤为复杂。首先,装载机动力传动系统是整机所有工作系统中零部件较多、结构较为复杂的系统之一,包括液力变矩器、变速箱、传动轴等总成,它们之间通过各种形式的连接构成了力学特性较为复杂的传动链。其次,传动系统的受力情况复杂,不仅受到来自发动机的周期性的激励,还受到各种路面的随机激励,以及在起步、换挡、制动、加速或减速等工况下对传动系的冲击力,此外,还有来自传动系内部的各种激励等。载荷时间历程通过统计分析,经压缩、简化和合成后得到的载荷谱应具有典型性、代表性和真实性,它是进行疲劳强度计算和可靠性分析的前提和依据,是解决结构定寿、延寿、计算机辅助设计的先决条件,也是作为理论分析和结构疲劳试验的基础。因载荷谱能够本质反映构件所受随机载荷的变化规律,所以常将其应用于室内模拟实验、疲劳强度分析与计算、疲劳寿命预估、可靠性设计等方面。

载荷谱的研究属于基础科学研究,它涉及许多学科和工程领域,又与产品设计紧密相关,在产品设计和强度研究中,准确的载荷谱是必不可少的,因此,对载荷谱的研究又具有重要的实用价值。目前欧美对载荷谱的研究经过近40年的试验验证,已经针对汽车、航空、航天等领域形成了大量载荷谱数据库,基于载荷谱的疲劳研究也趋于成熟。在装载机行业,很多发达国家十分重视装载机的配套研发工作,许多厂家如美国卡特彼勒公司、日本小松公司和川崎重工等投入大量的资金和技术力量进行试验研究,形成

了各自相对成熟的、系统的研发应用体系。现在美国的研究方向主要集中在如何推导出用于预测和改进疲劳寿命方面的载荷谱,如美国机动车工程师学会(Society of Automotive Engineers, SAE)疲劳评估委员会通过现有的应力测量选择试验加载顺序,这种方法经常用于车辆工业。与此同时,载荷谱的编制方法也日趋完善,较为公认的有北大西洋公约组织的“FALSTAFF 标准”方法、英国的“疲劳计”法和荷兰的“常均法”。

国内在 20 世纪 70 年代开始研究疲劳载荷谱的定寿方法,并且成功应用于歼—7、歼—8 等第二代军用飞机的疲劳定寿工作中。中华人民共和国国家军用标准《军用飞机强度和刚度规范 可靠性要求和疲劳载荷》(GJB 67.6—1985)中提出了常见的几种编谱方法,如飞行实测法、飞行模拟法和比较法。受研究水平和技术条件制约,在 80 年代多采用比较法编制飞机的设计载荷谱(歼—8),再用飞行实测数据对设计谱进行修正。与此同时,在我国汽车行业,人们对整车模拟、转向机、悬挂等部件也相应地进行了载荷谱的模拟试验,并大致统一了载荷谱的编制程序,但由于不同领域的载荷特性各异,在具体实施细节上又有所不同。80 年代中后期,在一些专业性的技术会议上曾提出过利用载荷谱对汽车零部件进行可靠性分析的设想。进入 90 年代,我国一些科研院所引进国外的先进设备和试验规范,借助国外载荷谱进行模拟试验,如长春汽车研究所引进了美国的远程控制参数技术并运用于汽车数据采集、测试及强度寿命试验。目前国内较为成熟的是飞机载荷谱的编制,车辆道路谱的编制和应用也趋于成熟,其主要研究内容为试验场强化系数、汽车传动系、传动桥等,在农业机械、工程车辆载荷谱的制取及应用方面,中国农业机械化科学研究院、洛阳拖拉机研究所有限公司、东北大学和吉林工业大学等单位做了大量的研究工作,积累了一定的经验。

测试载荷谱的目的是测取运动机械在各种典型工况下工作时

的随机载荷,找出其统计规律性,然后编制载荷谱,为有关机械零部件室内程序模拟加载试验和疲劳寿命估算提供可靠的数据以及作为强度计算的计算载荷等,以避免出现疲劳试验的周期过长和费用偏贵等问题。

对载荷谱编制方法研究的最终目的就是让其能最大程度地反映实际受载情况,尽量减少测试与编制误差。虽然国内个别领域的载荷谱编制已经比较成熟,甚至已经制定了相应的标准,但由于各种产品工作条件不同,载荷时间历程的类型各异,所以编谱工作不宜使用统一的方法,而应根据具体情况采取针对性方法。为此,载荷谱的编制需要相关研究单位和技术人员针对不同情况进行不断的改进研究,这也是载荷谱编制所要面对的主要问题。作为对装载机零部件进行疲劳设计的前提和基础,如何获取能够代表装载机作业特点的有普遍适用意义的典型载荷谱,即如何实现载荷信号的准确测试及科学编谱就显得尤为重要。而装载机传动系的设计对整机的制造成本及工作性能有很大影响,传动系的性能好坏与寿命高低直接影响到产品的竞争能力,因此,研究装载机传动系载荷谱的制取方法具有更重要的现实意义和应用价值。

测试装载机载荷谱,对测试数据进行数据处理,将载荷谱转化成虚拟样机中程序加载谱,构建装载机虚拟样机,基于虚拟样机进行牵引特性和燃油经济性虚拟试验,研究发动机与液力变矩器的匹配方案,优化装载机变速箱性能参数,这些对装载机整体性能优化具有重要的工程实际意义。同时,虚拟试验可部分或全部取代物理样机进行实车试验,降低了装载机开发的成本和周期,提高了装载机设计质量。采用虚拟试验技术,建立装载机动力传动系统仿真模型,将装载机作为一个完整的系统进行分析和研究,可以掌握部件结构参数与整车性能之间的关系;在物理样机生产出来之前,可对装载机性能进行预测,并进行样机可行性研究,以避免代价昂贵的物理样机在系统设计方面的失误;在结构设计阶段,可以

实现设计者和用户在设计阶段信息的相互反馈,有利于设计者全方位吸收、采纳用户对新产品的建议,可以优化零部件的参数设计,修改零部件设计参数后重新仿真计算,提高设计质量;利用虚拟试验技术,可减少物理样机试制及试验的次数,节省了资金和时间。

本书以轮式装载机动力传动系统为研究对象,测试装载机载荷谱,面向用户使用环境,将发动机、液力变矩器、变速箱及负载作为一个整体,构建面向用户使用要求的装载机虚拟样机,研究动力传动系统优化匹配问题。

第2章 装载机测试参数试验

2.1 试验样机选择及其相关参数

2.1.1 试验样机选择

试验样机选取的基本原则是确保其在同类机型中具有典型性。ZL50 系列轮式装载机作为国内石材、矿山使用最多的装载机机种,目前已经推出了第三代轮式装载机产品,以 ZL50G 最具代表性,此外还有 XGL50、ZL50G、ZL50F(G)、ZLM50F 等产品。ZL50 系列机型除了具有动力经济、安全舒适、节能降耗、作业效率高、外观造型有很大的提高改进以及各部结构选型采用了当代国内许多先进技术等特点外,其总体性能参数也有了很大改善,因此,本次装载机载荷谱试验采用 ZL50G 系列装载机。ZL50G 装载机的主要特点是:① 采用康明斯六缸涡轮增压发动机,功率储备大。② 采用带负荷传感式全液压转向系统,工作装置液压系统及转向系统为双泵合流,工作液压系统采用比例先导操纵系统,节能省力。③ 单板单摇臂“Z”形连杆装置,掘起力大,运动特性好。④ 采用双管路、气顶油和圆盘多片湿式行车制动,制动能力强,手动气控蹄式停车制动可实现紧急制动,制动效果值得信赖。⑤ 电控动力的切断选择开关不受环境影响,制动效果好。⑥ 车架采用小松 WA380 机型的框架式结构,强度和刚度高,采用液压油箱上置、燃油箱后置等布局使得 ZL50G 的装载机变矩器、变速箱、液压

泵、优先卸荷阀、行车制动阀、停车制动阀等部件整机维修性好。

⑦ 采用人机工程设计方法对驾驶室内部的仪表、操作元件等进行合理布置,采用模块化设计的油门控制系统,可以根据不同操作者自由调节方向机及座椅总成,方向盘可前后变位移动,提高了操作舒适性,同时配备性能优越的高档空调和音响设备。⑧ 铲斗齿和铲刃板采用特殊热处理的耐磨钢,寿命大大延长,同时可选用螺栓固定式铲刃板,更换极为方便。

2.1.2 ZL50G 装载机总体结构及性能参数

试验用 ZL50G 装载机总视图、总体尺寸与外观图分别如图 2-1、图 2-2 所示,原始性能参数见表 2-1 所列。

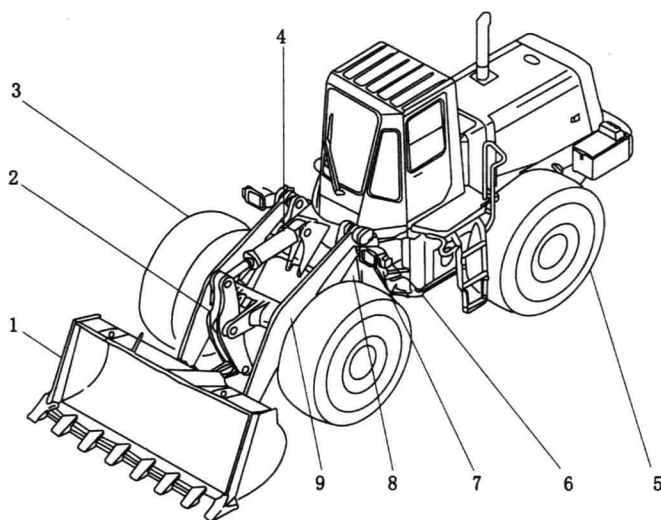


图 2-1 ZL50G 装载机总视图

- 1——铲斗;2——摇臂;3——前轮;4——翻斗油缸;5——后轮;
6——转向信号灯;7——工作灯;8——动臂油缸;9——动臂