

工程车辆液压传动 与控制新技术

韩慧仙 著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

工程车辆液压传动与 控制新技术

韩慧仙 著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

工程车辆液压传动与控制新技术 / 韩慧仙著. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 7

ISBN 978 - 7 - 5682 - 4564 - 7

I. ①工… II. ①韩… III. ①工程车 - 液压传动系统 IV. ①U469.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 185955 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / [http: //www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 12

字 数 / 155 千字

版 次 / 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 66.00 元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 封 雪

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

近年来,我国的工程车辆行业飞速发展,各种先进技术层出不穷,针对工程车辆液压传动与控制相关技术的研究和技术开发也取得了丰硕的成果。

工程车辆液压传动与控制相关的新技术主要包括如下几方面:

- 工程车辆行走动力总成技术,主要用于优化整机行走系统的匹配;
- 工程车辆电液控制技术,主要用于提高工程车辆的可控性;
- 工程车辆行驶自动挡技术,主要用于行驶系统的自动控制;
- 工程车辆行走制动能量回收技术,主要用于车辆的节能控制。

本书的主要内容涵盖了装载机、摊铺机等工程车辆主要门类和机型的液压传动系统及其动力传动和控制系统的最新技术状态和发展方向,主要阐述了以下几方面的内容:

- 工程车辆液压行驶自动挡总体方案、系统设计及系统仿真的研究;
- 针对工程车辆行驶作业质量要求和工作特点等的电气-液压系统融合控制解决方案等研究;
- 包括发动机、机械传动系统、液压传动系统、多执行机构复合作业在内的工程车辆行驶动力总成系统等研究;
- 工程车辆的行走制动能量回收和辅助驱动技术研究,包括装机制动能量回收和辅助驱动、压路机振动能量回收和辅助驱动机构的机械动力学特性研究、电控检测和传感技术研究、分布式实时控制系统等研究、数字液压控制系统的

研究等。

本书是作者近十年来教学和科研工作成果的总结汇编，体现了当代工程车辆行业液压传递和控制系统的最新技术动态和科研成果，可作为国内工程机械和工程车辆企业研发人员的参考书，也可作为高等院校工程车辆相关专业的教学用书。

本书的内容大都是阐述工程车辆的最新技术，其中很多技术还在不断探索和快速迭代中，加之作者研究时间和技术水平所限，疏漏甚至错误在所难免，在此恳请读者给予批评指正，不胜感激。

作 者
2017 年 6 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 工程车辆概述	3
1.2 工程车辆作业工况概述	8
1.3 工程车辆液压控制系统概述	10
1.4 工程车辆液压系统智能化	13
第二章 工程车辆液压自动挡技术	19
2.1 工程车辆液压行走自动挡总体方案	21
2.2 工程车辆液压行走自动挡系统设计	26
2.3 工程车辆液压行走自动挡系统仿真	38
第三章 工程车辆能量回收技术	59
3.1 工程车辆节能技术概述	61
3.2 工程车辆行走系统能量回收技术 分析	67
3.3 装载机行走系统能量回收系统设计	69
3.4 装载机行走系统能量回收技术 仿真试验	79
3.5 压路机振动能量回收技术	89
第四章 工程车辆液压动力系统新技术	95
4.1 工程车辆液压动力系统技术路线 分析	97
4.2 装载机多马达驱动技术	101
4.3 装载机启停控制技术	103



第五章 工程车辆行驶自适应控制技术	111
5.1 旋耕机作业自适应控制技术	113
5.2 收割机自动控制新技术	119
5.3 联合收割机液压两驱 - 四驱切换 技术	125
第六章 工程车辆液压底盘设计	129
6.1 集装箱堆高机行走液压系统设计	131
6.2 履带式摊铺机行走液压系统设计	138
6.3 全液压推土机行走液压系统设计	149
第七章 工程车辆辅助液压系统设计	165
7.1 工程车辆闭式液压系统污染 控制新技术	167
7.2 工程车辆液压底盘散热系统设计	173
7.3 混凝土布料杆液压系统设计	177
参考文献	183

第一章 绪 论





1.1 工程车辆概述

1.1.1 概述

行走驱动系统是工程车辆的重要组成部分。与工作系统相比，行走驱动系统不仅需要传输更大的功率，要求器件具有更高的效率和更长的寿命，还希望在变速调速、差速、改变输出轴旋转方向及反向传输动力等方面具有良好的能力。于是，采用何种传动方式，如何更好地满足各种工程车辆行走驱动的需要，一直是工程车辆行业所要面对的课题。尤其是近年来，随着我国交通、能源等基础设施建设进程的快速发展，建筑施工和资源开发规模不断扩大，工程车辆在市场需求大大增强的同时，更面临着作业环境更为苛刻、工况条件更为复杂等所带来的挑战，这也进一步推动着对其行走驱动系统的深入研究。

这里从技术构成及性能特征等角度对工程车辆行走驱动系统中的液压传动技术的发展及规律进行探讨。

1.1.2 基于单一技术的传动方式

工程车辆行走系统最初主要采用机械传动和液力机械传动（全液压挖掘机除外）方式。现在，液压传动和电力传动的传动方式也出现在工程车辆行走驱动装置中，充分表明了科学技术发展对这一领域的巨大推动作用。

1. 机械传动

纯机械传动的发动机平均负荷系数低，因此一般只能进行有级变

速, 并且布局方式受到限制。但由于其具有在稳态传动效率高和制造成本低的优势, 在调速范围比较小的通用客货汽车和对经济性要求苛刻、作业速度恒定的农用拖拉机领域迄今仍然占据霸主地位。

2. 液力机械传动

液力机械传动用变矩器取代了机械传动中的离合器, 具有分段无级调速能力。它的突出优点是具有接近于双曲线的输出扭矩 - 转速特性, 配合后置的动力换挡式机械变速器能够自动匹配负荷并防止动力传动装置过载。变矩器的功率密度很大而负荷应力却较低, 大批生产成本也不高等特点使它得以广泛应用于大中型铲土运土机械、起重运输机械领域和汽车、坦克等高速车辆中。但其特性匹配及布局方式受限制, 变矩范围较小, 动力制动能力差, 不适合用于要求速度稳定的场合。

3. 液压传动

与机械传动相比, 液压传动更容易实现其运动参数(流量)和动力参数(压力)的控制, 而液压传动较之液力传动具有良好的低速负荷特性。由于具有传递效率高, 可进行恒功率输出控制, 功率利用充分, 系统结构简单, 输出转速无级调速, 可正、反向运转, 速度刚性大, 动作实现容易等突出优点, 液压传动在工程车辆中得到了广泛的应用。几乎所有工程车辆装备都能见到液压技术的踪迹, 其中不少已成为主要的传动和控制方式。极限负荷调节闭式回路、发动机转速控制的恒压及恒功率组合调节的变量系统开发, 为液压传动应用于工程车辆行走系统提供了广阔的发展前景。

与纯机械传动和液力机械传动相比, 液压传动的主要优点是其调节的便捷性和布局的灵活性, 可根据工程车辆的形态和工况的需要, 把发动机、驱动轮、工作机构等各部件分别布置在合理的部位, 发动机在任一调度转速下工作, 传动系统都能发挥出较大的牵引力, 而且传动系统在很宽的输出转速范围内仍能保持较高的效率, 并能方便地获得各种优化的动力传动特性, 以适应各种作业的负荷状态。

在车速较高的行走机械中所采用的带闭式油路的行走液压驱动装

置能无级调速,使车辆柔和起步、迅速变速和无冲击地变换行驶方向。对在作业中需要频繁启动和变速、经常穿梭行驶的车辆来说这一性能十分宝贵。但与开式回路相比,闭式回路的设计、安装调试以及维护都有较高的难度和技术要求。

借助电子技术与液压技术的结合,可以很方便地实现对液压系统的各种调节和控制。而计算机控制的引入和各类传感元件的应用,更大地扩展了液压元件的工作范围。通过传感器监测工程车辆各种状态参数,经过计算机运算输出控制目标指令,使车辆在整个工作范围内实现自动化控制,机器的燃料经济性、动力性、作业生产率均达到最佳值。因此,采用液压传动可使工程车辆易于实现智能化、节能化和环保化,而这已成为当前和未来工程车辆的发展趋势。

4. 电力传动

电力传动是由内燃机驱动发电机,产生电能使电动机驱动车辆行走部分运动,通过电子调节系统调节电动机轴的转速和转向,具有调速范围广,输入元件(发电机)、输出元件(电动机)及控制装置可分置安装等优点。电力传动最早用于柴油机电动船舶和内燃机车领域,后又推广到大吨位矿用载重汽车和某些大型工程车辆上,近年来又出现了柴油机电力传动的叉车和牵引车等中小型起重运输车辆。但基于技术和经济性等方面的一些原因,适用于行走机械的功率电元件还没有像固定设备用的那样普及,电力传动对于大多数行走机械还仅是“未来的技术”。

1.1.3 发展中的复合传动技术

从前面的分析可以看出,应用于工程车辆行走驱动系统中的基于单一技术的传动方式构成简单、传动可靠,适用于某些特定的场合和领域。而在大多数的实际应用中,这些传动技术往往不是孤立存在的,彼此之间都存在相互的渗透和结合,如液力、液压和电力的传动装置中都或多或少地包含有机械传动环节,而新型的机械和液力机械传动装置中也设置了电气和液压控制系统。换句话说,采用有针对性的复

合集成方式，可以充分发挥各种传动方式的优势，扬长避短，从而获得最佳的综合效益。值得注意的是，兼有调节与布局灵活性及高功率密度的液压传动装置在其中充当着重要角色。

1. 液压与机械和液力机械传动的复合

1) 串联方式

串联方式是最为简单和常见的复合方式，是在液压马达或液压变速器的输出端和驱动桥之间设置机械式变速器以扩大调速的高效区，实现分段的无级变速。目前已广泛用于装载机、联合收获机和某些特种车辆上。对其发展是将可在行进间变换传动比的动力换挡行星变速器直接安装在驱动轮内，实现了大变速比的轮边液压驱动，因而取消了驱动桥，更便于布局。

2) 并联方式

并联方式即为通常所称的“液压机械功率分流传动”，可理解为一种将液压与机械装置“并联”分别传输功率流的传动系统，也就是利用多自由度的行星差速器把发动机输出的功率分成液压的和机械的两股“功率流”，借助液压功率流的可控性，使这两股功率流在重新汇合时可无级调节总的输出转速。这种方式将液压传动的无级调速性能好和机械传动的稳态效率高这两方面的优点结合起来，得到一个既有无级变速性能，又有较高效率和较宽高效区的变速装置。

按其结构，这种复合式传动装置可分为两类：第一类为利用行星齿轮差速器分流的外分流式，其中常见的分流传动机构又可分为输入分流式和输出分流式两种基本形式；第二类为利用液压泵或马达转子与外壳间的差速运动分流的内分流式。

日本小松公司开发的这种复合方式的液压传动变速器，已经应用在装载机、推土机等工程车辆上。德国 Fendt 拖拉机生产的采用 Vario 型无级变速器装备的农用拖拉机，到 2003 年总销量超过了 30 000 台。

由此可以看出，这种新型的传动装置已日益成为大中功率液力机械传动和动力换挡变速器的有力竞争者。

3) 分时方式

对于作业速度和非作业状态下转移空驶速度相差悬殊的专用车辆,采用传统机械变速器用于高速行驶、附加液压传动装置用于低速作业的方式能很好地满足这两种工况的矛盾要求。机械-液压分时驱动的方式在此类车辆上的应用已很普遍,这一技术也已被应用于飞机除冰车和田间移栽机等需要“爬行速度”的车辆和机具上。

4) 分位方式

把液压马达直接安装在车轮内的“轮边液压驱动装置”是一种辅助液压驱动装置,可以解决工程车辆需要提高牵引性能,但又无法采用全轮驱动方式,难以布置传统的机械传动装置的问题。液压传动的无级调速性能使以不同方式传动的驱动轮之间能协调同步,这在某种意义上也可视为一种功率分流传动:动力机的功率被分配到几组驱动轮上,经地面耦合后产生推动车辆运动的牵引力。目前,许多工程车辆制造厂商将这一技术用于具有部分自走驱动能力的,诸如自走式平地机和铲运机这样的工程车辆上。

2. 液压与电力传动的复合

由于现代技术的发展,电子技术在信号处理能力和速度方面占有很大的优势,而液压与电力传动在各自功率元件的特性方面各有所长,因此,除了现在已普遍存在的“电子神经+液压肌肉”这种模式外,两者在功率流的复合传输方面也有许多成功的实例,如:由变频或直流调速电机和高效、低脉动的定量液压泵构成的可变流量液压油源,用集成安装的电动泵-液压缸或低速大扭矩液压马达构成的电动液压执行单元,以及混合动力工业车辆的驱动系统等。

3. 二次调节静液传动系统

二次调节静液传动技术是通过在液压元件所进行的调节来实现液压能与机械能的互相转换的。一般来说,它的实现是以压力耦联系统为基础的,在一次元件(泵)及二次元件(马达)间采用定压力耦合方式,依靠实时调节马达排量来平衡负荷扭矩。目前,对二次调节静

液传动技术进行研究的出发点是对传动过程进行能量的回收和能量的重新利用,从宏观的角度对静液传动总体结构进行合理的配置以及改善其静液传动系统的控制特性。

为了使不具备双向无级变量能力的液压马达和往复运动的液压缸也能在二次调节系统的恒压网络中运行,出现了利用二次调节技术的“液压变压器”,它类似于电力变压器用来匹配用户对系统压力和流量的不同需求,从而实现液压系统的功率匹配。

二次调节静液传动系统与传统静液传动系统相比,其优点是更便于控制,能在四个象限中工作,可在不转变能量形式情况下回收能量,进行能量的存储,利用液压蓄能器加速可大大提高加速功率,且系统中无压力峰值,由于一次元件和二次元件分开安装,可通过一个泵站给多个液压动力元件提供油源,减少了冷却费用,设备的制造成本降低,系统效率高。

二次调节静液传动与电力传动相比,具有闭环控制动态响应快、功率密度高、重量轻、安装空间小等优点。

由于二次调节静液传动系统具有许多优点,因此它在很多领域得到广泛的应用。国外已将其成功应用于造船工业、钢铁工业、大型试验台、车辆传动等领域。奔驰汽车公司已将二次调节技术应用于无人驾驶运输系统中的行驶驱动。

1.2 工程车辆作业工况概述

工程车辆的种类十分繁多,大多在野外或工地进行施工作业,其作业特点和对机械性能的要求具有独特的特点:

(1) 发动机只有在静态负荷下才能获得其最高的动力性和经济性,在动态波动负荷下,采用任何控制供油量或者其他措施的方法只能相对改善其动态性能,而不能从根本上消除动态负荷的影响,并且对发动机采取动态过程控制的方法很复杂,实现困难。

(2) 剧烈波动且周期短暂的循环负荷,使司机无法在作业过程中人力换挡,采用有级自动换挡也会因频繁切换而中断动力且产生摩擦功率消耗,同时降低换挡机构工作寿命与可靠性,且不能形成负载无级调节那样的理想效果,发动机上同样会有一定的动载作用。

(3) 液力机械传动在一定范围内解决了负荷的连续调节问题,然而其传动效率随着调节范围增大而迅速降低,必须辅以机械变速配合才能有效工作,同样存在换挡切换带来的问题。

(4) 液压传动是一种比较理想的无级调节装置,其较大的调速比范围可以适应机器在作业工况的负荷波动而无须机械变速的切换操作(机械挡位切换一般在两种不同工况转换时进行或运输工况中使用),目前通用型液压元件的性能、可靠性、成本已完全满足工程车辆的要求,液压无级调节装置与电子技术、计算机控制技术良好的适配性使之易于构成一个工程车辆理想的传动装置,因而采用液压无级调节传动系统有望使发动机实现静态工况,机器实现自动化、智能化。

(5) 工程车辆综合性能指标为动力性、经济性、作业生产率,从整机的要求上看主要是经济性和作业生产率,从发动机与传动系统看主要是动力性和经济性。实现作业生产率指标的必要条件是动力性,而充分条件则是行走机构与滑转曲线的合理匹配。由于液压传动装置良好的控制调节特性,加之液压传动车辆一般附有的工作装置负荷调节系统的调控,车辆的负荷工况发生改变,因而液压传动车辆行走机构滑转参数的匹配必然存在与传统车辆不同的情况,需要重新审视讨论这一问题。

(6) 牵引式工程车辆的牵引负荷是一种非平稳的随机过程,这一过程可以分解为缓慢变化(一般指 $0.2 \sim 0.3$ Hz以下频率,可取为 0.5 Hz以下频率,相对于快速随机振动分量而言为缓慢,但对换挡切换而言仍是快速变化)的趋势项(静载)和均值为零的随机项(动载),随机项为低通窄带型的能量分布过程,可由一组频率与振幅不同的谐振分量叠加而等价。液压传动车辆中,无级调节控制的负荷对象

为趋势项负荷，这是一种频率在 0.5 Hz 以下，特别在 0 Hz 附近，幅值波动变化很大的负荷；对随机项动态振动分量，通过不同固有频率和容积参数的蓄能器来吸收，来平均化处理，并重新利用。

(7) 液压传动车辆所附带的工作装置负荷调控系统可以通过控制切土（装载）量来调节负荷，但一般的作用主要为进行极限负荷控制，这样简单易行且可满足要求。

(8) 自控式的液压传动车辆对负荷的自动调节与限制完全是主动进行的，它以机器自身为中心，根据车辆最优的目标进行状态控制与性能输出。由于机器自身的结构与参量是确定的，因而最优目标是确定的——主观的，这种最优控制一般不会因外部工作条件——客观的——变化而变化。当主客观差异过大无法调节适应时，可通过现场对控制参数的标定、调整来适应。与此相反，传统车辆对负荷的适应是被动的，如行走机构的滑转主要是一种极限保护措施。因而，传统车辆对负荷特性、地面条件等外部工作条件的研究特别重要，只有如此才能使机器主体与客观条件相适应，机器才能适应工作条件而有效工作。

车辆液压动力学研究对象为工程车辆液压驱动系统与整机性能，通过对不同结构不同控制方式的系统在不同负荷模式作用下性能的研究，寻求车辆最优设计与控制方法，使车辆牵引性能、作业性能与自动化程度得到提高，同时具有合理成本、寿命与舒适性，满足日益提高的环保要求等。

1.3 工程车辆液压控制系统概述

车辆液压行走系统由发动机、液压泵、液压马达、行走机构组成，对这样四个部分的变量进行参数匹配与控制方式选择，使车辆达到最佳综合性能发挥并实现自动化，构成工程车辆液压驱动理论与技术即车辆液压动力学的主要内容。