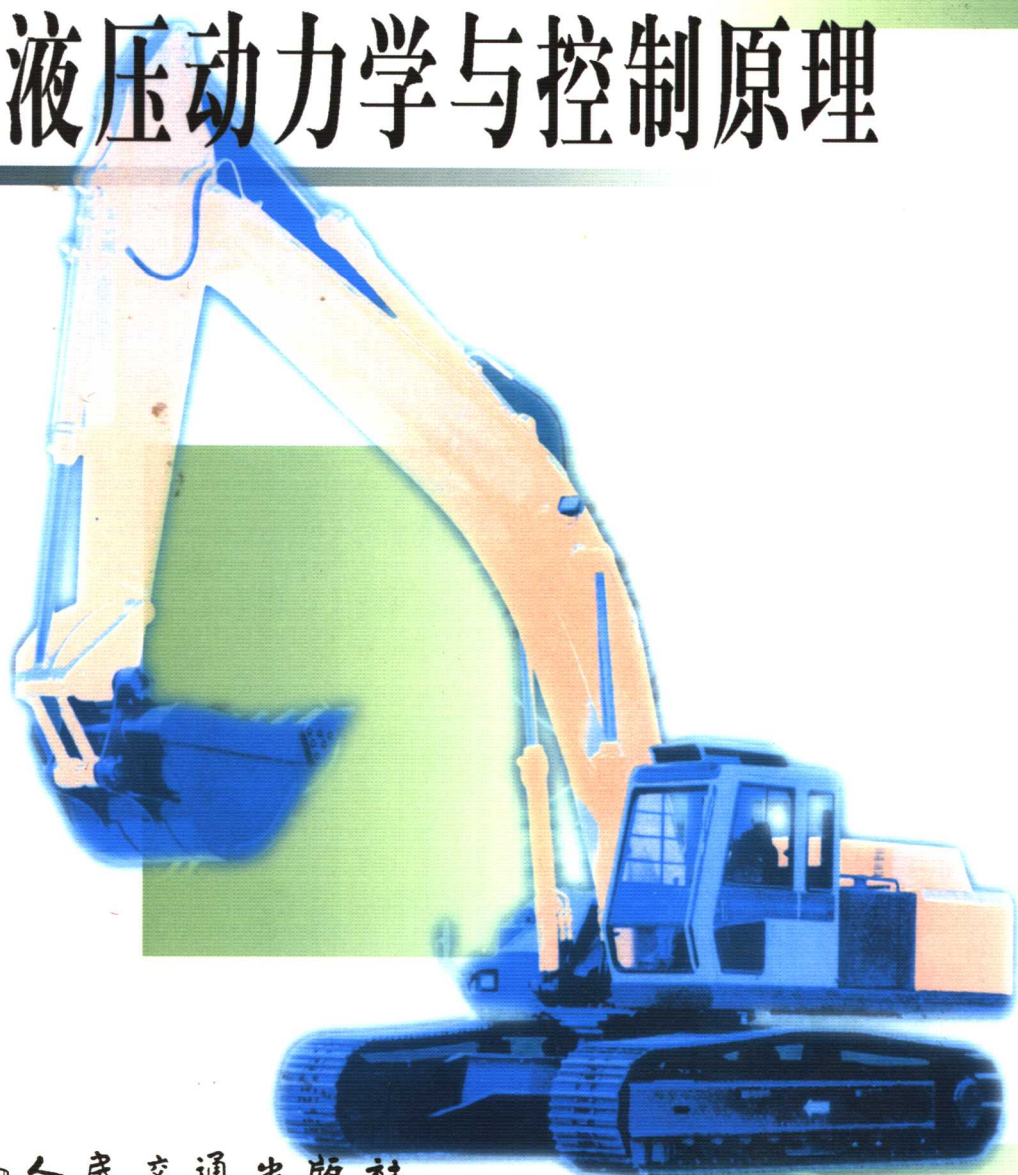


姚怀新 著

工程车辆 液压动力学与控制原理



人民交通出版社

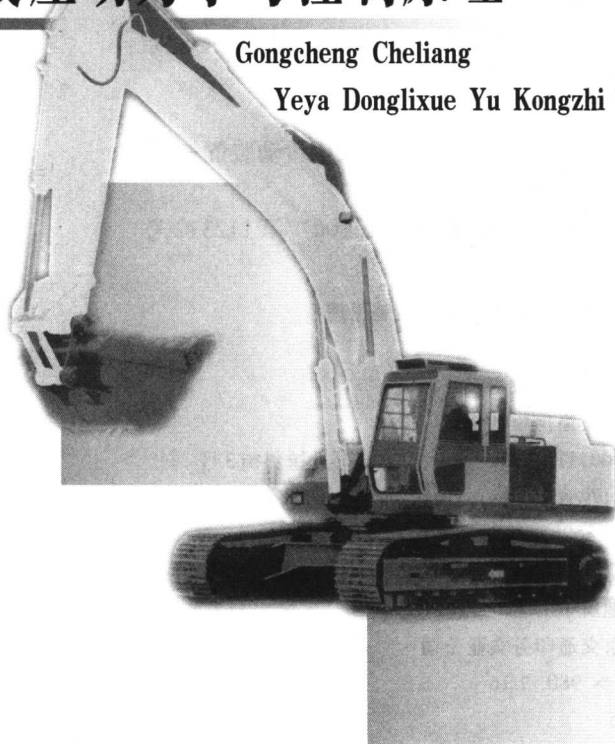
China Communications Press

姚怀新 著

工程车辆 液压动力学与控制原理

Gongcheng Cheliang

Yeya Donglixue Yu Kongzhi Yuanli



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

工程车辆液压力学是传统牵引动力学的延伸与发展,是将现代液压技术、控制技术、计算机技术等与牵引车辆理论相结合的产物,是近年来新兴的一个工程车辆理论学科分支。本书总结了传统牵引动力学研究的成果与存在的问题,分析研究了将液压传动与控制技术引入牵引式车辆中应解决的一系列关键问题,包括液压驱动车辆的系统结构与控制方式;发动机与液压系统的参数匹配与控制原理以及液压系统与负载的参数匹配与控制原理;液压驱动车辆动态滑转特性与控制方法;液压驱动与控制系统的数学模型与校正原理等,并介绍了进行上述研究的试验台的结构与工作原理,从理论与方法上构建了工程车辆液压力学的基本框架。本书可作为大专院校工程机械、车辆类研究生的专业教材和参考书,亦可供专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程车辆液压力学与控制原理 / 姚怀新著. —北京:
人民交通出版社, 2006.10

ISBN 7-114-06173-0

I.工... II.姚... III.汽车—液压传动装置—液
压控制 IV.U463.22

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第112372号

书 名: 工程车辆液压力学与控制原理

著 者: 姚怀新

责任编辑: 王振军 刘敏嘉

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787 × 980 1/16

印 张: 17.5

字 数: 325 千

版 次: 2006年10月 第1版

印 次: 2006年10月 第1次印刷

书 号: ISBN 7-114-06173-0

印 数: 0001 - 3000 册

定 价: 28.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言



QIANYAN

对哲学而言,重要的不是给出的答案,而是提出的问题(伯特兰·罗素语)。科学也应如此。

本书根据工程车辆牵引动力学存在的问题,试图构建一个新的框架——工程车辆液压力学与控制的理论系统,并提出关键问题,探讨研究方法,希望能为从事工程车辆理论以及液压力学与控制研究的人员提供一份参考,解决液压驱动工程车辆的整体参数匹配与控制理论方面的问题。

工程车辆牵引动力学的基本任务是在动力性、燃料经济性、作业生产率等综合性能指标约束条件下,研究车辆牵引系统各单元部件——发动机、传动系、行走机构、工作装置的工作性能,建立车辆牵引系统的动力学模型。通过对该动态模型的解析,建立部件平均意义上的牵引总体参数匹配理论以及系统最优输入、输出和动态控制理论,使车辆在外部动态负荷与变化的地面条件下实现其最高综合性能。

由于传统的机械与液力机械传动车辆过程控制性能的固有缺陷,牵引动力学尽管从发动机控制、车辆机械自动变速控制、工作装置极限负荷与生产率控制等方面进行了大量研究,但仍然难以解决在快速大波动负荷作用下车辆非线性牵引系统的最优性能控制问题。采用在大变速比范围内具有无级、高效、快速调节能力的液压传动装置,将是解决牵引式工程车辆牵引系统最优性能控制的有效措施。

笔者从对工程车辆牵引特性和性能指标要求的分析入手,将各种工程车辆分为牵引型和非牵引型两类:前者又分为循环作业与连续作业两种方式。循环作业机械负荷为剧烈波动的非平稳随机过程,连续作业机械负荷为剧烈波动的平稳随机过程,发动机与牵引系统均为全功率(或主要功率)匹配。由于无作业质量要求,这类车辆牵引系统采用恒功率与变功率速度自适应控制方式;后者为连续作业方式,负荷为波动较小的平稳随机过程,发动机与牵引系统为部分功率匹配,对作业质量的优先要求使这类车辆牵引系统采用恒速控制方式。非牵引车辆驱动系统由于结构和控制原理比较简单,将其作为牵引车辆的特例处理,不作专门讨论,全部工程车辆的牵引动力学问题归结为牵引式车辆的动力学范畴。

笔者总结了牵引车辆动态负荷特性方面的研究成果和工程车辆静态参数合理匹配方面的成果,分析了传统牵引动力学领域 20 多年来的研究现状、成果及存在的问题,提出了将液压传动与控制技术引入工程车辆牵引驱动系统的必要性、可能性,并对由此形成的新学科——工程车辆液压力

力学的基本问题进行了理论分析和研究。这些问题主要归结为：

- (1) 液压驱动车辆的系统结构与控制方式；
- (2) 发动机与液压系统的参数匹配与控制原理——系统最优输入问题；
- (3) 液压系统与负荷的参数匹配与控制原理——系统最优输出问题；
- (4) 液压驱动车辆行走机构动态滑转特性与控制方法——生产率控制问题；
- (5) 液压驱动与控制系统的数学模型与校正原理——系统动态性能问题。

数学分析与物理模拟相结合的方法是研究工程车辆液压力学问题的必要与有效方法。本书在上述理论分析与研究的基础上，提出了通过室内性能模拟试验台来进行车辆液压力学关键问题研究的方法，对试验台的功能结构、工作原理、系统特性进行了分析与仿真研究。试验台在特征工况下的试验特性(略)表明，由液压车辆模拟驱动系统与加载系统以及测控系统结合组成的综合试验台，可以完成多种液压驱动工程车辆的上述液压力学与控制理论方面的研究课题。

笔者对车辆牵引动力学进行的全面综述，以及对车辆液压力学领域中关键问题进行的讨论，都只是理论分析研究，在此基础上建立的试验台也只是一种工具，大量的实际研究还有待于进一步开展，对这一学科领域构想的框架以及给出的基本思想和方法可能会有不合理成分，这些也有待于在以后的研究中逐步解决并完善。

本书内容共分为三篇。

第一篇回顾了近 20 年来工程车辆牵引动力学研究的成果及存在的问题，讨论了牵引式工程车辆动态负荷及特点。

第二篇论述了工程车辆液压力学——解决牵引动力学问题的新方法的关键理论问题。工程车辆驱动系统是一个功率输入的自适应速度输出控制系统，因而是一种力与速度的复合控制系统。对一个位置、速度或力的单一伺服控制系统而言，控制理论主要研究如何通过系统的结构优化和控制策略选择使系统的输出能够稳定、快速、准确地复现输入。而功率控制系统除此之外，还要讨论输出之功率(力与速度乘积)如何分解为力与速度的问题，即控制系统输出力与负载之间的匹配问题，对波动剧烈而结构复杂的动态随机负载则存在着负载力的选择问题。此外，作为一个大功率的传动——伺服控制系统，还存在着如何提高调节过程中的传动效率问题。因此，工程车辆液压力学的关键问题可概括为 3 个方面：车辆系统的最优输入即控制目标问题，最优输出问题以及控制系统的最优结构和动态控制策略问题。其中输入和输出问题是车辆系统的特殊问题——创新研究的问题，而系统的最优结构和控制策略则为控制理论的普遍性问题——应用研究问题。这些研究的目均为提高工程车辆传动系统的平均输出功率，这是提高车辆综合性能指标的必要条件。为求系统完整，还讨论了提高工程车辆综合性能指标的充分性条件和方法问题，即，行走机构动态滑转特性与极限负荷的控制问题。

第三篇为工程车辆液压驱动系统性能模拟试验台研制，这既是对车辆液压力学研究工具的研究，也是基本理论的应用实例。

本书的新观点是：

(1)将种类繁多的工程车辆根据性能要求与工作原理分为牵引与非牵引型两类,前者牵引系统实行恒功率与变功率速度自适应调节;后者实行恒速调节,并将后者作为前者特例看待,这一分类与概括,明确了牵引动力学研究对象与内容,并使其理论普遍化。

(2)对工程车辆工作负荷进行的研究表明,各类工程车辆的工作负荷均可分解为一确定的趋势项(静态)与均值为零的随机项(动态)之和。趋势项主要取决于车辆的工作特性,而随机项则由介质的力学特性所决定。随机项又可分解为一系列幅值和频率不同的谐波分量。认为,车辆驱动系统调节控制中所针对的主要是负荷的静态趋势项以及动态随机项中的低频大幅值分量(1Hz以内)。

(3)全面总结了工程车辆牵引动力学研究所取得的成果以及存在的问题,认为,利用调节发动机供油量提高系统动态性能的方法在调速区段比较有效,但受到发动机冒烟界限的限制而不能解决非调速段的适应问题,且因频繁快速调节会降低调速供油系统的可靠性与寿命;利用机械自动换挡的方法会因循环作业机械负荷周期较短而使动力频繁中断,也会降低换挡机构的可靠性与寿命。

(4)认为,由变量泵——变量马达组成的液压无级变速装置,在进行良好的参数匹配并选择合理的控制方法后可以在较大的调节范围内可靠、高效、快速地进行负荷调节,使发动机在额定功率点附近按静态工况工作,使机器系统实现最优的动力性与经济性指标。

(5)提出:车辆系统调节的负荷对象是负荷过程中的静态趋势项以及动态随机项中的低频分量,而高频分量则采用一组不同频率的蓄能器进行吸收、过滤,并重新利用。这一方法简化了系统结构和控制原理,对提高调节元件的可靠性以及能量重新利用均有帮助。

(6)建立了发动机变转速,液压泵、液压马达变排量的车辆系统的非线性动态模型;提出了发动机与液压系统之间的参数匹配与控制方法,即根据发动机的目标负荷曲线以及液压系统的负荷压力进行液压泵排量控制;提出了液压马达与负荷之间的参数匹配与控制方法,即利用负荷压力进行马达排量调节,可以有效控制液压装置的工作压力范围,保证系统的传动效率与可靠性。

(7)提出了工程车辆液压元件工作压力与工作转速的选择与匹配方法。即以元件最高标定压力 P_m 为基础,取额定匹配压力为 $P_H = (0.5 \sim 0.6) P_m$ 。采用这种降额匹配方法,可以保证元件具有较好的传动效率以及合理的工作寿命与成本;将元件的工作转速用到极限而不降额,有利于降低成本且可保证性能,并取车辆制动工况作为元件极限转速的校核工况,拓展液压马达的低转速工作域对扩大车辆的调节范围有着重要意义。

(8)提出了对马达采用三段式的压力排量控制方法:即在低压区和高压区采用定排量工作,系统采用流量耦合工作方式与变量泵——定量马达控制原理,在额定压力附近的中压区采用恒压耦合二次调节原理。这一三段式工作方式可以使液压系统分段线性化,使控制方式简单化。

(9)将二次型优化理论引入车辆液压系统进行控制校正,并对时域优化设计理论方法进行论述,一改经典控制论中的频域经验法,更适宜于数值分析与计算,适应车辆系统的在线动态过程控制。

(10)提出了用优化控制模型作为参考模型的车辆液压系统的简化模型自适应控制方法。

(11)提出了采用2~3组不同固有频率和充气压力的蓄能器作为车辆液压系统波动压力过滤装置的设想和方法。

(12)提出了用液压车辆模拟驱动系统与恒压二次调节加载系统以及测控系统组成液压车辆性能试验台的方法,并建立了试验台,完善了车辆液压力学的研究手段。

(13)利用双泵、双马达与中间齿轮可以分离、接合的齿轮箱构成液压车辆模拟驱动系统,这是一种结构最简单的可以模拟所有车辆液压驱动方式的创新结构。

(14)认为传统的车辆静态参数匹配方法及利用行走元件打滑限制超载的方法存在缺陷,而采用液压传动、恒功率与变功率速度无级调节是实现车辆综合性能优化的必要条件,其充分条件则由取行走机构动态滑转曲线进行动态参数匹配,并辅之以工作装置极限负荷与最大生产率控制来构成。提出了取行走机构最大滑转率 δ_m 作为这一控制目标的方法。

(15)初步构建了工程车辆牵引动力学的新框架——车辆液压力学与控制的理论系统与研究方法。

本书一、二篇的大部分内容曾在几届研究生班以讲义形式进行过交流,并在《中国公路学报》、《长安大学学报》、《工程机械》、《建筑机械》和《筑路机械与施工机械化》等刊物上发表,感谢上述交流活动中各位学人给予的指正,感谢人民交通出版社出版此书。

向本书中引用的参考文献作者致谢!向提供良好学术环境的长安大学工程机械学院致谢!

作者

2006年9月

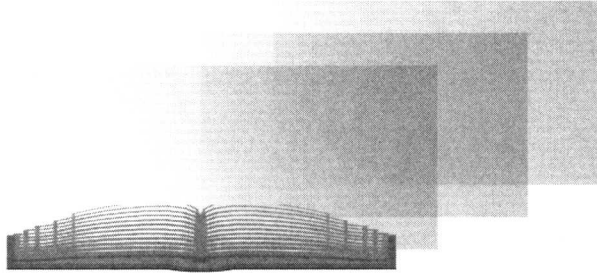
目 录

M ULU

第一篇 工程车辆牵引动力学概述及其研究回顾	1
第一章 工程车辆的特性与工作原理	3
1.1.1 工程机械的分类概述	3
1.1.2 两类工程车辆的性能实现方法与控制原理	9
第二章 工程车辆的牵引负荷特性与动态性能	12
1.2.1 动态牵引性能概述	12
1.2.2 动态牵引试验方法	13
1.2.3 随机负荷的分解与合成	18
1.2.4 动态牵引性能的评价指标和计算方法	20
1.2.5 工程车辆动态牵引负荷特性分析	26
1.2.6 动态负荷对车辆牵引系统各总成性能的影响及有关措施	34
1.2.7 工程车辆传动技术研究综述	45
第三章 牵引动力学研究综述	55
1.3.1 研究历史回顾	55
1.3.2 工程车辆牵引动力学与液压动力学的研究内容与目的	59
1.3.3 工程车辆动态分析与数学模型	61
1.3.4 牵引动力学模型的分析与总结	68
1.3.5 牵引动力学研究的新方向——车辆液压动力学	73
参考文献	75
第二篇 工程车辆液压动力学中关键问题的分析研究	79
第一章 工程车辆液压驱动系统的构成与特点分析	83
2.1.1 工程车辆对无级调节驱动装置的要求	83
2.1.2 流量耦合系统及其静态特性	84
2.1.3 压力耦合二次调节系统的特点及静态特性	87
2.1.4 工程车辆液压系统恒功率控制特性分析	91

2.1.5	二次调节技术研究综述以及在车辆传动中应用存在的问题	94
2.1.6	定流网络二次调节原理与特点分析	96
2.1.7	牵引式工程车辆理想液压传动与控制系统的结构与特征及其主要研究内容	99
第二章	液压驱动工程车辆牵引性能参数在行走机构滑转曲线上的配置与控制方法研究	102
2.2.1	工程车辆牵引性能指标与牵引参数的关系	102
2.2.2	传统车辆牵引参数匹配方法存在的问题与改进措施	104
2.2.3	液压驱动车辆行走机构参数匹配与控制方法	107
2.2.4	结语	112
第三章	工程车辆液压驱动系统元件参数的选择与静态匹配	113
2.3.1	工程车辆液压驱动系统的效率分析	113
2.3.2	工程车辆液压元件工作压力的合理选择与匹配	121
2.3.3	工程车辆液压元件工作转速的选择及参数匹配	128
第四章	工程车辆液压驱动系统的静态控制特性	134
2.4.1	发动机与液压传动装置的参数匹配及控制原理——系统输入控制	134
2.4.2	变量液压马达的参数匹配与静态控制方法——系统输出控制	141
第五章	工程车辆驱动系统的动态数学模型与控制分析	149
2.5.1	流量耦合变量泵-变量马达系统数学模型	150
2.5.2	流量耦合系统的优化设计——优化反馈控制模型研究	157
2.5.3	车辆驱动流量耦合系统的自适应控制分析	171
2.5.4	车辆驱动系统的压力耦合二次调节模型与控制	180
2.5.5	车辆液压驱动系统中蓄能器与数学模型	191
第六章	车辆液压驱动系统的结构组成、控制方式及蓄能器配置的总结	199
	参考文献	201
第三篇	工程车辆液压驱动系统性能模拟试验台研究	209
第一章	工程车辆液压底盘驱动系统性能试验台结构原理与方案	211
3.1.1	试验台的建设目的与研究内容	211
3.1.2	车辆液压底盘模拟试验台及其驱动系统的结构组成与工作原理	216
第二章	试验台模拟驱动系统设计与动态分析	220

3.2.1	模拟驱动系统的静态参数匹配计算	220
3.2.2	驱动系统的数学模型及性能参数	225
第三章	试验台二次调节加载系统研究	231
3.3.1	性能要求与工作原理	231
3.3.2	油源驱动装置工作原理及其他	234
3.3.3	加载系统参数匹配计算	237
3.3.4	加载系统动态性能研究	240
3.3.5	试验台驱动与加载系统的耦合与解耦控制研究	244
3.3.6	一次元件——恒压变量泵子系统模型研究	257
第四章	试验台整体模型分析与性能试验研究	264
3.4.1	试验台整体数学模型分析	264
3.4.2	试验台性能试验研究	265
参考文献	266



第一篇

工程车辆牵引动力学 概述及其研究回顾

第一章

工程车辆的特性与工作原理

1.1.1 工程机械的分类概述

工程机械(车辆)根据作业对象及使用行业部门不同,可以分为土石方机械、铲土运输机械、压实机械、路面机械等若干类(如八大类、十大类的说法),各类机械根据机种和各机种的系列规格又可细分为若干种,纷杂众多的机械有着各自不同的结构与工作原理^[1~3]。从设备管理和使用角度考虑,上述分类方法有着较大的合理性。然而从机器的工作原理、性能特点等方面看,上述分类方法显然不能给予合理描述与说明。如何更合理地划分工程机械的类别以便于学术研究与总结,这是工程机械理论工作者一直关心的问题。

从学术研究角度考虑,更多关注的是机器普遍性与必然性方面的问题。对偶然性、特殊性问题应该通过个别部门、少数人员或者通过科学的使用管理来解决。

工程机械学的最基本问题应该是研究各类工程机械为满足其作业要求应具备的工作原理、结构组成以及作业介质与负荷特性等问题。

从学术研究角度,按照工程机械的结构组成与工作原理分类,首先可分为固定式机械(又称为设备)和自行式机械(又称为机),以及运输型机械(又称为车)三类。自行式机械从结构上可分为行走底盘和工作装置两个模块;固定式机械相当于其中一个模块,即工作装置模块——多是复杂的工作装置模块;运输型机械仅相当于其行走底盘,因此,对自行式机械的研究在工程机械理论研究中占有极其重要的位置。

1.1.1.1 以作业质量要求分类

对自行式机械而言,根据作业目的的要求可分为两类:一类为无作业质量要求的机械,典型机器为:推土机、装载机等通用土石方和铲土运输机械。这类机械的性能指标要求它的动力性(功率充分发挥),经济性(燃料消耗,即使用成本,不考虑折旧

费,折旧成本纳入机械制造的结构成本中),作业生产率;另一类为有作业质量要求的机器,典型代表为:压实机械、稳定土拌和机、摊铺机等路面专用机械,这类机械的作业质量要求它的优先指标,其次为动力性、经济性、作业生产率。

对作业质量这一目标函数进行因素分析,可以归为3个系统影响:行走系统、工作装置系统、工作介质系统。为使作业质量保持为一定常值,最简单的方法是保证各系统自变量参数为一定常值,这正是目前对这一类机器采用的控制原理与设计方法。

为此,首先必须解决机器工作装置的基本工作原理以及作业介质即工作条件的处理问题。最简单的方法是保持作业介质的均一性和规范性,即介质的平均规范化处理。此外保持工作装置与介质相互作用过程中产生的负荷为稳定值。在介质平均规范化的前提下使工作装置负荷达到稳定值的充要条件为运动状态的稳定性,即要求实现一种稳态运动。为了快速地达到作业质量要求,即同时实现作业质量与生产率最优化,这类机械多采用一种复合运动的工作方式。这种复合运动几乎均由行走运动——低速直线牵连运动和工作装置自身运动——高速旋转、振动、冲击等相对运动,如压路机振动、摊铺机熨平板振捣运动、螺旋输料器旋转、稳定土拌和机转子旋转两种运动所组成,其中的高速相对运动往往会消耗机器的主要功率,这是换取作业质量和生产率所必要的代价,而低速牵连运动,即牵引功率消耗倒不显著。为使复合运动稳定,必要条件为牵连运动稳定,即通过恒速控制使行走机构保持恒速运动。由于介质规范化处理存在着必然性误差。为此,需要对工作装置的位置状态和相对运动进行必要调节和控制,使之对介质规范化误差造成的作业质量误差进行补偿(不是对功率进行控制),这方面采用的大量控制原理与方式属于机械工作装置的操纵控制问题。由于在操纵补偿控制过程中行走机构的牵引负荷不会产生太大的变化,基本属于一种平稳过程。这种过程可以作为剧烈波动的非平稳随机过程的特例来考虑,因而以波动负荷过程为研究重点的牵引动力学,对此则不多讨论。

无作业质量要求的机器,不进行作业介质的规范化处理。由于介质不规范,机器即使采用稳定的运动,工作装置的负荷也存在着波动。此外,为充分发挥机器的经济性、提高作业生产率,必要条件是让发动机充分发挥动力性即全功率工作。实现这一要求的方式是采用恒功率控制,即机器的行走速度与工作装置负荷之间为反比关系,这种随负荷变化自动进行的速度调节即为恒功率速度自适应控制。由于无作业质量要求,因而选择一种最省能量的工作方式:工作装置与车辆之间无相对运动,在行走机构牵引推动下工作,低速直线牵连运动是机器的唯一运动。在这类机器的控制中,速度自适应控制是方法,其目的是达到恒功率输出。为此,存在着两种操纵控制方式:一种为工作装置状态不变(如铲刀切土深度不变),利用改变行走速度来同时改变负荷(一般来说,速度提高会增大介质动态阻力),并使两者乘积保持为恒值;另一种为速度不变,调整工作装置的状态来改变负荷,进行恒功率控制(不是进行作业质量

控制)。在实际工作过程中,往往存在着这种情况,即采用速度控制方式,当负荷过小时,即使速度达到最高极限仍不能全部利用功率或不允许介质表面方差过大时,不能仅依靠工作装置的状态控制来调节负荷。因此,工作装置的操纵控制与行走速度调节控制往往是复合进行的,并且以速度自适应控制为主,以工作装置操纵控制为辅,即只进行极限负荷调节控制。这类机器的工作装置操纵控制与负荷变化密切相关,因而属于牵引动力学讨论的范畴。

上述从作业效果出发,将自行式机械分为有、无作业质量要求两类,并且分析了其基本的原理要求。这种分类的出发点是从工作装置满足作业要求角度考虑,然后涉及到整机的工作原理,但未能从本质上反映出机器驱动系统的基本特征。这与牵引动力学以机器的牵引驱动系统作为研究对象是不相吻合的。

1.1.1.2 以牵引性能分类

按照牵引性能将自行式机械分类,则有如图 1.1.1 所示的两种结构方式,将从本质上表明机器的结构原理与工作性能^[1-3]。

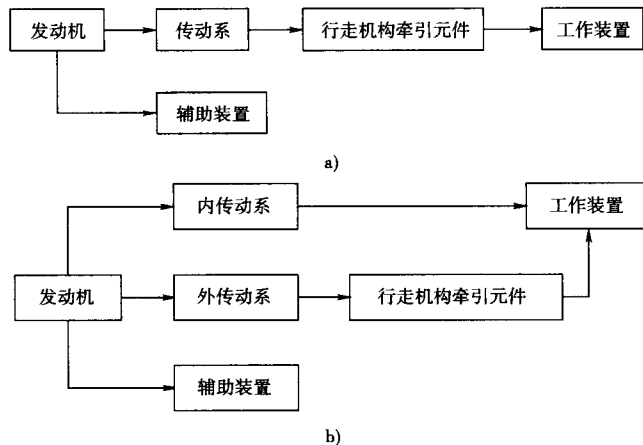


图 1.1.1 牵引与非牵引式机械结构原理框图

a)牵引式机械动力线路;b)非牵引式机械动力线路

由图 1.1.1 可知,非牵引式车辆多系统工作,其结构复杂,这是作业质量要求带来的必然性。

从动力传递路线看,忽略辅助装置的功率消耗,或将其作为一个小的常量处理,牵引式机械的发动机功率全部通过传动系→牵引元件→地面作用(车辆-地面系统)来推动工作装置作业,称之为发动机全功率匹配,发动机与工作装置之间为单系统工作。非牵引车辆的大部分功率通过内部传动系直接驱动工作装置,发动机与牵引系统为部分功率匹配,为多系统工作。由此可知,非牵引车辆与牵引车辆的主要特征在

于发动机与工作装置之间是单系统全功率匹配还是多系统部分功率匹配工作。结合以上对车辆按有无作业质量要求的划分方法来看,无作业质量要求的车辆采用牵引式工作原理,而有作业质量要求的车辆则采用非牵引式作业原理。

牵引动力学主要研究自行式车辆的发动机、传动系、牵引元件(行走机构)、工作装置之间即车辆行走驱动系统为满足作业性能要求而必要的参数匹配及控制原理。对于无作业质量要求的牵引式机械,车辆行走驱动系统即为机械的唯一系统,因而牵引动力学研究构成这类机械研究的主要内容。对于有作业质量要求的非牵引式机械,研究分为两个方面:其一为发动机与工作装置之间的动力匹配与控制,其二为发动机、传动系、牵引元件、工作装置之间的动力匹配与控制。为了满足作业质量要求,采用稳态工作方式是最好的选择,因而这类机械的行走驱动系统是一个小功率、单参数、载荷平稳的恒速控制系统,从理论上讲,较之大功率、载荷波动剧烈、多参数自适应控制的牵引式车辆来说要简单得多,或者说是一个特例。因而多年来牵引动力学的研究重点主要放在牵引车辆的驱动系统方面。

1.1.1.3 两类工程车辆性能与工作原理总述^[4,5]

牵引型车辆多为平移式被动型工作装置,如推土机、平地机这类铲土运输机械。其工作装置除切土初期或卸土期需要动作消耗发动机功率外(运土过程中也有可能某些动作以调整负荷,但毕竟是辅助性动作,功率也不大),在其余的工作中均处于被动状态,通过车辆行走机构提供牵引力来推进工作。牵引型车辆的特征为,由于工作装置在主要工作过程中处于被动状态,因而称为被动型机械。被动型工作装置需要在车辆推动下才能工作,因而其作业的运动轨迹与车辆行走方向平行称为平移式工作部件。由于主要工作必须在车辆牵引下进行,因而称为牵引型车辆。由于所需之牵引功率均通过行走系统传递,因而牵引型车辆的传动装置与发动机之间为全功率匹配,是一种单系统工作机械(装载机在铲土时需翻转铲斗装料,有部分功率消耗于铲斗系统,因而为多系统工作,但因牵引系统占有发动机的主要功率,仍归为牵引型车辆类)。车辆的牵引功率须通过牵引元件(轮胎、履带)与地面相互作用才能发挥,涉及到了地面这种车辆之外的媒介,车辆的性能受到这种外部条件的约束,因而将这种牵引传动系统称为外部传动系统。牵引车辆的驱动系统全部承受工作装置的牵引负荷,这是一种变化剧烈,波动大的非平稳随机载荷。牵引型车辆一般无作业质量要求,因而不要求工作速度的稳定性,仅追求速度与负荷之间的自适应能力,目的为充分利用发动机功率,提高作业生产率,降低比油耗,即追求动力性、经济性、作业生产率。

非牵引型机械恰与牵引型机械相反,多为非平移式主动型工作装置。如稳定土拌和机、开沟机一类旋转式工作机械和振动压路机、农业播种机等各种专门用途的机

械。这类机械特征为:在作业中,工作装置除在车辆牵引带动下前进外,主动依靠自身传动系统的驱动来完成各种动作进行作业,工作装置自身的运动方式是多种多样的,而并非一定为平移的,工作装置的驱动往往消耗着车辆的主要功率,牵引功率反在其次,因而成为非牵引型车辆;工作装置的驱动不需要外部地面作用而通过内部直接传动,因而将其称为内部传动装置;作业工况下牵引系统与发动机之间为部分功率匹配,是一种多系统工作机械;车辆的牵引负荷较小,因而对车辆的牵引性能、地面条件的约束等问题考虑较少;非牵引型车辆的牵引负荷往往是一种类似静载的平稳过程;非牵引型车辆多有作业质量要求,因而要求作业时速度的稳定性,不允许速度与负荷之间的自适应调节,追求的主要指标是作业质量,其次才是动力性、经济性、作业生产率。

牵引型车辆和非牵引型车辆的不同特点使这两类车辆的行走驱动系统有着完全不同的设计思想与原则,以液压驱动车辆为例:

牵引型车辆行走液压系统为单系统,与发动机之间按照全功率(或某一百分比)进行匹配,液压传动装置的控制方式为:在发动机的全部工作转速范围内($n_0 \sim n_H$, n_0 为发动机输出功率的最低转速, n_H 为额定转速),液压传动装置按照理想的目标值负荷率吸收发动机功率,并通过调节液压马达和液压泵排量大小,使吸纳之功率与外界负荷相适应,即所谓速度自适应控制。在泵和马达排量调节过程中使液压装置尽量在高效区工作,使工作压力合理匹配以利元件提高可靠性和工作寿命,同时使液压传动系统有适宜成本,最终目标为实现动力性、经济性、作业生产率的高指标及操纵自动化,寿命与成本的合理化。

非牵引型车辆为多系统车辆,并且行走系统在作业时往往并不为最大功率系统,因此,行走系统与发动机之间按部分功率匹配。考虑到行走系统除作业外还有运输工况,在这种工况下,非牵引车辆行走系统与牵引车辆无异,为了提高车辆运输工况的行驶能力,往往使非牵引车辆行走液压传动装置与发动机之间也按全功率匹配,而在作业工况按实际吸收之部分功率进行参数控制。对液压传动来说,这种同一装置按不同工况分别进行参数控制是十分方便的。对非牵引车辆运输工况能力的不同要求,使得同一机械的发动机功率及行走液压传动装置的差异很大。如两种18t自行式振动压路机,作业能力相同,当运输行走速度具有差异和爬坡能力不同时,往往使得两种机器的功率相差20%以上。

在作业工况,由于作业质量的严格要求,必须保持非牵引车辆的行走速度的稳定性,牵引车辆液压传动装置控制的灵魂——速度与负荷之间自适应调节完全失效。这里需要的是行走的恒速控制,需要的是多系统负荷之间的协调控制。非牵引车辆多为连续作业方式,因而发动机选用固定节气门操作;速度的稳定要求以及大功率要