

周志立 方在华 著

拖拉机机组牵引动力学



科学出版社
www.sciencep.com

拖拉机机组牵引动力学

周志立 方在华 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以拖拉机和农具机组系统为对象,将发动机、拖拉机和农具理论与设计方法相互渗透、综合,以特有的较为严密的理论体系,建立了分析机组性能的各种数学模型,提出了一套系统性能分析方法。

作者力图体现特有的理论体系,将典型机组和诸多性能的分析形成有机的联系,而不是各种问题的研究成果的汇编;特别注意内容的实用性,注意结合我国的实际情况;研究的内容都是现实需要解决的问题;介绍的机组性能预测,从整体到某个具体模型都适用于进行计算机辅助分析,完全可以据此建立配套的计算机软件系统,这一点已被实践证实。

本书的读者对象主要是从事拖拉机、农机的理论研究、试验、设计的工程技术人员、大专院校老师及研究生,对其他车辆的研究人员和计算机软件工程研究人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

拖拉机机组牵引动力学/周志立,方在华著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-028707-6

I. ①拖… II. ①周…②方… III. ①拖拉机-机组-牵引传动-动力学
IV. ①S219

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 161736 号

责任编辑:耿建业 迟 慧 / 责任校对:刘小梅
责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 8 月 第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2010 年 8 月 第 一 次 印 刷 印张: 16 1/2

印数: 1—1 000 字数: 316 000

定 价: 68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是作者根据其在拖拉机农具机组系统方面的研究成果写成的。主要研究拖拉机的典型作业机组(犁耕机组、运输机组)的作业性能的分析预测模型,计算机分析方法、程序及机组的匹配优化技术,系统讨论机组的主要工作性能。

本书的研究对象是机组,即拖拉机和农机具组成的系统。拖拉机总是以机组的形式工作的,因此研究工作也必须以机组系统为对象才是合理的。我国 20 世纪 50 年代开始建立拖拉机工业和农机工业。60 年代开发了一批拖拉机农具产品,开展了许多产品的实验研究,积累了不少试验资料和设计经验,但主要是以拖拉机单机试验和设计为主,对机组问题尚未给予足够的关注。在性能分析和参数确定上也主要是以定性分析或经验比较为主。70 年代,几个有关院校和科研单位开展了规模较大的机组动载测量和匹配研究,由于测试手段和数据处理手段落后,对试验结果缺乏深入的分析 and 系统的总结。70 年代后期,又引进了一批国外先进技术,但由于各种原因,我国机组理论的研究工作尚未达到应有的高度,或者说尚未形成有自己特色的机组理论,对已有成果的总结和理论概括也很不够,还没有比较实用的机组性能分析和性能预测理论。80 年代开始,计算机得到日益普遍的采用,为了更充分地发挥计算机辅助分析和辅助设计的巨大优越性,对机组理论和机组性能的分析模型、方法以及机组优化技术有了更迫切的要求。国外,尤其是技术先进的国家,在机组理论和性能的研究方面开展了许多工作,发表了大量的研究报道。但从已发表的各种文献看,都有内容范围上的局限和适用条件上的局限,只能适用于解决某种条件下某一个或几个问题,并未形成完整的体系。

本书是一次尝试,作者力图在自己研究工作的基础上,进行系统总结,并重点总结我国的试验研究成果。将发动机、拖拉机和农具理论与设计方法相互渗透、综合,利用现代科技成就,建立和完善分析机组性能、进行机组匹配的各种数学模型,提出一套完整的系统性能分析方法和系统匹配方法,以期对建立和完善具有我国特色的机组理论稍尽微薄之力。

本书以拖拉机的主要作业机组(犁耕机组、运输机组)的牵引动力学理论为主。主要内容以静态分析为主,也有动态分析的内容。具体包括以下几个方面:

(1) 提出了发动机特性的分析模型和程序,包括调速器静态特性模型、发动机能量方程及其拟合方法、发动机油耗的预测模型、调速器静态特性以及发动机特性的计算机仿真等。

(2) 建立了柴油发动机自动控制系统的线性和非线性动力学模型,提出了一

些重要的动态参数(如转动惯量、黏性阻尼系数、刚度、稳定性因素等)的测试和识别方法,并给出了实例。

(3) 导出了调速器、无调速器发动机系统的线性模型的时间响应特性和频率特性,建立了发动机系统的非线性仿真模型、方法和仿真程序,通过仿真讨论了发动机的动态响应特性。

(4) 根据对国内大量试验数据的统计,提出了一种驱动轮滑转率模型以及驱动轮牵引特性的计算机仿真方法。

(5) 建立了机组的空间载荷模型,导出了犁体的平衡方程和拖拉机载荷方程组,定义了用拖拉机外载向量和外载转换矩阵代替农具对拖拉机的力学作用,并分别对不同农具、不同农具外载形式和控制方式给出了外载转换矩阵;导出了驱动桥和拖拉机的驱动方程组及其求解方法,在各种条件下,对四轮驱动、后轮驱动或前轮驱动拖拉机在不同变速器特性情况下的前后桥及各轮的驱动力分配和滑转情况进行仿真。

(6) 提出了与空间载荷模型相适应的一些重要的机组性能参数的计算方法,其中包括功率消耗、效率、速度和转速、牵引系数、功率比重力、增重系数等;建立了比较严密的机组牵引性能预测的理论和方法,根据问题的性质,研究了两类预测问题,提出了一种牵引性能预测图,建立了相应的计算机预测程序。

(7) 提出了一种悬挂机构、犁体的运动分析模型,能够仿真农具正位调正,把农具在提升和下降过程中各点的坐标计算、悬挂杆件的运动规律分析、入土角、入土行程、入土轨迹、提升速比、运输通过性参数、运动干涉参数等融汇于一个统一的模型体系之中;导出了犁体平衡方程组及其求解方法,并分别对不同犁体外载形式和控制方式给出了外载转换矩阵;建立了犁耕机组牵引性能和其他性能的计算分析方法和程序。

(8) 对拖拉机运输机组的动力性、起步加速性进行了分析,给出了性能分析的动力学模型、评价指标和综合反映主要评价指标的坡道特性曲线图,提出了理想坡道特性;分析了主要参数对动力性和加速性的影响,提出了参数选择封闭图,研究了运输机组整机参数的优化设计方法,实现了对机组动力性、起步加速过程的计算机仿真和主要设计参数的计算机优化。

本书的研究工作得到了国内外许多同行、专家的鼓励、支持与帮助,在此表示衷心的感谢。张文春教授、杨铁皂教授、赵伟博士和多位研究生参与了编辑与整理工作,在此一并表示感谢。

限于作者的学识水平,本书难免有不当之处,热忱欢迎读者给予批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 拖拉机机组及其研究	1
1.2 拖拉机机组牵引动力学研究的内容	2
1.2.1 拖拉机机组外载特性	2
1.2.2 拖拉机机组系统数学模型参数的识别	3
1.2.3 拖拉机机组系统性能仿真分析	3
1.2.4 拖拉机机组系统匹配	4
1.2.5 拖拉机机组系统控制	4
1.3 拖拉机机组动力学研究的趋势	5
第 2 章 拖拉机发动机静态特性	6
2.1 调速器恢复力特性	6
2.1.1 概述	6
2.1.2 泰山-25 拖拉机发动机调速器的恢复力特性分析	8
2.1.3 恢复力特性分析的一般步骤	17
2.2 调速器支持力特性.....	18
2.2.1 支持力计算模型	18
2.2.2 泰山-25 拖拉机发动机调速器支持力特性分析	20
2.3 调速器静态特性分析.....	25
2.3.1 静态特性分析的三类问题.....	25
2.3.2 调速器静态特性	25
2.3.3 调速器静态特性有关参数的确定	27
2.4 发动机能量方程与静态特性分析.....	29
2.4.1 发动机能量方程	29
2.4.2 发动机静态特性分析	32
2.4.3 最大调速手柄位置时的调速特性的简化转矩模型	34
2.5 发动机油耗模型和预测方法.....	35
2.5.1 发动机油耗的第一类分析模型	35

2.5.2	发动机油耗的第二类分析模型	40
2.5.3	发动机油耗的第三类分析模型	44
第3章	发动机自动控制系统动力学模型	46
3.1	发动机自动控制系统运动方程	46
3.1.1	发动机自动控制系统动力学框图	46
3.1.2	发动机系统运动方程的一般形式	47
3.1.3	发动机系统运动方程的增量形式	48
3.1.4	运动方程的无量纲变量形式	51
3.2	发动机稳定性因素和转动惯量的测定	52
3.2.1	发动机稳定性因素	52
3.2.2	发动机转动惯量的测定	56
3.3	调速器稳定性因素和黏性阻尼系数	57
3.3.1	调速器稳定性因素	57
3.3.2	调速器黏性阻尼系数的辨识	59
第4章	发动机系统动态特性与动态仿真	66
4.1	无调速器发动机线性模型的动态特性	66
4.1.1	无调速器发动机线性模型的时间响应分析	66
4.1.2	无调速器发动机线性模型的频率特性	69
4.2	调速器线性模型的动态特性	70
4.2.1	调速器线性模型的时间响应分析	70
4.2.2	调速器线性模型的频率特性	75
4.3	发动机系统线性模型的动态特性	76
4.3.1	发动机系统线性模型的时间响应分析	76
4.3.2	发动机系统线性模型的传递函数和频率特性	83
4.4	发动机系统的动态模型和计算方法	86
4.4.1	发动机系统的动态仿真模型	86
4.4.2	两个问题的处理	87
4.5	发动机对标准载荷输入的响应	88
4.5.1	发动机对阶跃载荷输入的响应	88
4.5.2	发动机对正弦载荷输入的响应	91
第5章	驱动轮牵引性能	94
5.1	有关驱动轮牵引性能的几个基本概念	94
5.1.1	有关驱动轮上作用力的定义	94
5.1.2	有关驱动轮滚动的几个概念	95

5.1.3	关于滑转率曲线的说明	96
5.2	驱动轮滑转率曲线的数学拟合	97
5.2.1	拟合方程的基本形式	98
5.2.2	试验曲线的拟合	98
5.3	驱动轮滑转率的一种统计方程	101
5.3.1	滑转率方程特征数与轮胎参数的关系	101
5.3.2	滑转率方程特征数与土壤参数的关系	102
5.3.3	滑转率方程特征数的统计均值	102
5.3.4	驱动轮的滚动阻力系数	102
5.3.5	轮胎参数之间的相关性	103
5.3.6	对统计结果的简要分析	104
5.3.7	驱动轮滑移率曲线方程	105
5.4	驱动轮牵引特性	105
5.4.1	驱动轮效率	105
5.4.2	驱动轮牵引特性	106
5.4.3	驱动轮牵引特性的分析实例	107
5.4.4	驱动轮参数匹配图	110
5.4.5	驱动轮滑移时的特性	111
第 6 章	拖拉机载荷驱动方程组与驱动桥特性	113
6.1	拖拉机外载与载荷方程组	113
6.1.1	坐标系和坐标矩阵	113
6.1.2	拖拉机外载的一般模式	116
6.1.3	拖拉机载荷方程组与载荷分配系数	118
6.2	拖拉机驱动桥驱动方程组与驱动桥特性	120
6.2.1	驱动桥驱动方程组	121
6.2.2	驱动桥滑转率和滑移率	125
6.2.3	驱动桥效率	126
6.2.4	驱动桥特性	127
6.3	拖拉机驱动方程组及其求解	131
6.3.1	拖拉机驱动方程组	131
6.3.2	拖拉机驱动方程组的求解	133
6.4	拖拉机载荷方程组和驱动方程组的联合求解	134
第 7 章	拖拉机牵引性能的预测和分析	137
7.1	拖拉机牵引性能参数的计算与分析	137

7.1.1	载荷-驱动参数	137
7.1.2	功率参数	141
7.1.3	效率参数	145
7.2	两类拖拉机牵引性能预测问题	146
7.2.1	第一类牵引性能预测问题	146
7.2.2	第二类牵引性能预测问题	147
7.3	拖拉机理论牵引特性	150
7.4	拖拉机牵引性能预测图	153
7.4.1	两轮驱动拖拉机牵引性能预测图	153
7.4.2	四轮驱动拖拉机牵引性能预测图	157
第8章	拖拉机犁耕机组性能分析	159
8.1	悬挂提升机构和悬挂犁的运动分析	159
8.1.1	悬挂机构和悬挂犁的坐标矩阵	159
8.1.2	提升机构的坐标矩阵	164
8.1.3	悬挂轴在任意高度时悬挂提升机构和犁上各点的坐标与提升速度计算	166
8.1.4	悬挂犁的运动特性与特性参数	169
8.1.5	悬挂犁的运动特性	171
8.2	犁体平衡方程组与拖拉机外载向量	184
8.2.1	犁体外载	184
8.2.2	悬挂犁平衡方程	187
8.2.3	犁耕机组的拖拉机外载向量	188
8.2.4	犁耕机组拖拉机外载向量计算实例	191
8.3	犁耕机组牵引性和油耗的分析与预测	202
8.3.1	机组牵引性能预测的第一类问题	203
8.3.2	机组牵引性能预测的第二类问题	206
第9章	拖拉机运输机组性能分析	207
9.1	拖拉机运输机组动力性分析	207
9.1.1	拖拉机运输机组动力性主要指标和评价方法	207
9.1.2	拖拉机运输机组的受力分析及行驶方程式	209
9.1.3	驱动力-阻力平衡图	211
9.1.4	拖拉机运输机组坡道特性	214
9.1.5	拖拉机运输机组动力性分析	218
9.2	拖拉机运输机组起步加速性分析	222
9.2.1	拖拉机运输机组起步加速过程数学模型	222

9.2.2	运输机组起步加速曲线与起步过程的主要指标	228
9.2.3	对运输机组起步影响因素分析	229
9.3	拖拉机单轴挂车载重量及质心位置选择	236
9.3.1	设计参数及约束条件	236
9.3.2	单轴挂车载重量及质心位置的确定	241
9.4	拖拉机运输机组整机优化	244
9.4.1	优化数学模型	245
9.4.2	优化方法	246
参考文献	251

第 1 章 绪 论

拖拉机农具机组是一个复杂的系统,尤其是 20 世纪 20 年代三点悬挂机构的问世,使拖拉机和农具更成为密不可分的整体。由于其工作方式适合中小功率拖拉机,且具有动力性、机动性好的特点,因而受到了普遍关注,得到了广泛采用,一直受到国内外学者的重视。

1.1 拖拉机机组及其研究

拖拉机及其配套农具组成拖拉机机组系统进行各种作业时,为了发挥其最大效益,就必须对机组系统进行正确设计和正确使用。因此,除了研究拖拉机、农具各自的结构和性能外,还必须对机组系统的综合性能进行研究。研究机组系统整体的最佳设计(匹配)和最佳使用,是提高机组效益的有效途径。

研究机组系统性能的方法有静态分析方法和动态分析方法。随着科学技术的发展,越来越多的事实表明,传统所用的静态方法往往不能真实反映机组各部分的受力情况,不能反映真实的动载荷,使设计人员不能真正抓住问题的所在而有效地加以解决;因此,必须把静态研究发展为动态研究。

在机组系统静态与动态研究中主要有试验研究和计算机仿真两种方法。通过田间作业过程来直接测取有关信号的试验研究方法,需耗费大量人力物力,试验周期长,受季节和天气条件的限制,而且由于实际工况的复杂性,试验条件难以严格控制,因而试验结果的可对比性,研究结论的可靠性难以保证。因此,建立数学模型对机组进行计算机仿真研究很有必要。

拖拉机机组系统是一个强非线性的多输入、多输出的动态系统,是一个既承受外界干扰又承受内部干扰的动态控制系统。把拖拉机机组系统作为研究对象,从整体与部分、系统与环境以及系统各环节之间相互依存和相互制约的关系中,描述系统的特征和运动规律,使系统与环境相适应,系统内部各组成部分之间相互协调、相互配合,以获得整体最佳的设计方案和控制效果。应用模型技术、计算机仿真技术、统计推断技术和优化技术对系统进行分析与综合,是解决拖拉机机组系统分析与综合的有效途径。

1.2 拖拉机机组牵引动力学研究的内容

拖拉机机组系统牵引动力学的研究是机组系统研究的主要内容,它涉及多个学科领域,需研究的问题有:机组总体的运动学和动力学、液压悬挂机构的运动学和动力学及其控制、轮胎牵引动力学及其通过地面的数学描述、农具系统的耕作性能和农艺性及外载特性、发动机的动力性和燃油经济性等,这些问题与耕作力学、土壤地面力学、拖拉机和农机及内燃机理论、调节与控制理论等相关。解决机组系统牵引动力学问题,需对下述五个方面的内容进行研究。

(1) 机组系统的输入特性,主要指外载特性。

(2) 机组系统数学模型和模型的识别。

(3) 在机组系统和输入已知的条件下,研究机组系统的输出,即机组系统的性能分析问题。

(4) 机组系统输入一定,确定机组系统以获得理想的输出,即机组系统设计匹配和最优化问题。

(5) 机组系统一定,调节输入使输出符合给定的要求,即机组系统最佳控制问题。

国外在这一领域起步早,研究较为深入,发表了一些相关的研究报告。从发表的各种文献看,在研究的内容方面还有局限性,尚未发现以发动机、拖拉机和农具整个机组系统为对象的各项性能的综合研究。

在计算机、测试技术快速发展的推动下,国内的高等院校和科研院所牵引动力学方面进行了较为系统的研究,取得了许多先进、实用的成果,促进了我国拖拉机农具机组系统设计技术的发展。

1.2.1 拖拉机机组外载特性

拖拉机在进行作业时大多是在随机环境下,因此作用在拖拉机上的载荷往往都是随机的或是含有很大的随机成分。为了解作业时的载荷特性,需要对作业机组进行田间、道路和土槽试验,并对试验数据的特性进行统计检验分析。

拖拉机机组犁耕和运输作业时,发动机载荷是平稳正态分布的随机载荷,其悬挂杆件或挂钩上的作用力基本上都是随机载荷。

随机载荷的功率谱特性是一种最基本的动态特性。在田间、道路和土槽试验的基础上,通过分析拖拉机机组随机载荷的特点,以适当的函数来描述这些载荷信号的功率谱特性,对于分析拖拉机机组系统的动态性能是至关重要的。推荐了功率谱函数的常用形式,证明该函数具有较强的适用性。为了根据随机载荷的功率谱模型仿真出符合其特性的时域信号,需要对随机信号的仿真方法进行研究,以便

应用于系统的性能分析和动态过程仿真。

1.2.2 拖拉机机组系统数学模型参数的识别

对于如何建立拖拉机机组系统的数学模型,有许多专著论述可供借鉴。但具体应用时,必须确定数学模型中的物理参数(如刚度、阻尼等),这是拖拉机行业必须解决的首要问题。通过理论分析,建立经过简化的、能代表拖拉机机组系统或某个子系统基本特性的数学模型,并掌握数学模型中的各物理参数,进而可对机组系统的特性进行计算。

拖拉机发动机系统静态数学模型的建立是其性能分析的基础。通过稳态性能分析,可得到发动机稳态特性分析的一系列相关公式,并进行发动机特性参数计算和对设计参数仿真分析;采用特征参数拟合法得到的发动机能量方程具有满意的拟合精度,特别是对于特定点拟合准确,可方便地对机组燃油经济性进行分析;采用全程拟合法处理试验数据确定发动机的转动惯量,比现有的标定点拟合法更为合理;以实测的调速器静态平衡曲线识别调速器的结构参数和调整参数,用油门手柄位置阶跃输入法测定调速器阻尼系数的方法,对现有的初始状态激励法进行改进,根据试验响应曲线可以确定阻尼系数,各种方法所识别的阻尼系数吻合。

通过轮胎在多种地面条件下试验数据的统计和分析,可以得到驱动轮胎滑转率与驱动力系数的数学关系,采用统计学方法能够确定模型特征参数与轮胎参数、地面条件的关系,同时也能确定滚动阻力系数与地面条件的关系,与以往研究结果比较,更适合于进行拖拉机机组性能分析。

1.2.3 拖拉机机组系统性能仿真分析

通过参数辨识建立线性发动机系统模型,可以计算包括无调速器发动机和线性调速器发动机系统的时域响应、传递函数和频率响应,并能实现发动机在不同工作点对阶跃载荷、正弦载荷输入下的转速、拉杆位移和转矩的响应进行仿真分析,作出不同工作点的幅频特性。

通过完善发动机系统动态仿真模型,采用龙格-库塔法对发动机进行动态计算,探讨发动机系统方程组的刚性问题,解决仿真计算中临界点的处理和仿真程序问题,可实现对发动机在任意工况和任意载荷作用下的特性仿真。

犁耕机组系统是最典型的作业机组系统,也是机组系统性能分析的重点和难点。以拖拉机机组系统整体为对象,建立犁体运动分析模型,能模拟犁体的调整,并计算任意位置的犁体上各点坐标和各项运动参数,包括入土角、入土行程和运输角等,便于使用计算机分析犁体运动特性和绘制机动图。建立犁体二维平衡方程可用于分析力调节和高度调节机组犁体外载。定义拖拉机外载向量代表犁体对拖拉机的作用,可以实现在各种输入条件下外载向量的求解。

根据犁耕机组的空间载荷模式,导出普遍适用于四轮驱动和两轮驱动拖拉机的载荷方程组和八维驱动方程组,通过求解,可根据犁体外载计算出四个轮胎的三维载荷和滑转率。

以大量试验数据为依据,利用建立的模型,通过对国产拖拉机驱动轮、驱动桥以及拖拉机机组的各项性能进行仿真计算,得出的统计结果和若干新颖性的结论对机组使用和匹配有参考价值。

以离散动力学为基础,建立拖拉机机组工作的多自由度力学模型,包括发动机、调速器的数学模型和燃油经济性的数学模型。模型主要参数为力学参数,该模型的物理意义更为明确,在设计中应用更为简便。

1.2.4 拖拉机机组系统匹配

发动机系统动态性能与动载荷有密切关系,发动机载荷的选配及在确定的载荷下如何选配发动机,是发动机系统匹配及影响其性能发挥的重要问题。在相同均值的静态与动态载荷下对发动机性能进行分析比较时,发动机的平均转速和平均功率将下降,因此,一般以平均转速不低于调速器起作用转速而又获得尽可能大的平均功率为原则进行发动机的载荷匹配。

依据轮胎滑转率的数学模型,计算轮胎在不同地面工作条件下的平均牵引特性,对轮胎驱动轮功率、载荷、驱动力、速度和效率之间的匹配关系进行分析,实现了驱动轮主要参数的匹配。在此基础上,使用拖拉机机组系统性能预测图,可验证拖拉机参数选择的合理性。

在对犁耕机组系统性能分析的基础上,建立犁耕机组的优化模型,包括以入土行程和提升速比的变化为目标的悬挂机构优化模型、以生产率和燃油经济性为目标的机组优化模型,通过解决优化过程中遇到的问题,可以实现犁耕机组参数的优化匹配。

通过分析拖拉机单轴挂车机组系统挂车载质量和挂车质心位置的选择依据,用封闭图即限制挂车载质量和挂车质心位置各条曲线的综合图来确定这两个参数。该封闭图集各种限制条件于一体,能清晰地反映出满足性能要求的参数范围,使用该图选择参数可以较快地得到较优解,且能寻求机组的更合理匹配。

1.2.5 拖拉机机组系统控制

传统拖拉机机组的自动控制系统只有发动机的调速器和农具耕深控制系统,属于机械控制系统。随着电子技术和控制理论的发展,机、电、液的综合控制系统也开始应用于拖拉机机组系统的控制中。

根据机电一体化的思路,使用微机和智能化技术,对拖拉机机组耕作作业中的耕深进行自动控制,取代传统的机械控制,达到了耕深均匀、工作平稳的目的,并使

拖拉机机组始终处于良好的工作状态,防止超负荷工作和陷车,提高了工作质量和经济效益。

为使拖拉机机组取得较高的生产率和较佳的燃油经济性,对变速器也采用电液自动换挡控制,特别是无级变速器的应用,能使拖拉机机组的动力发挥到更有效的程度,在取得较高生产率的同时,具有较佳的燃油经济性。

拖拉机发动机、变速器、耕深控制和拖拉机使用参数的集成化综合控制系统在投入商用后,将大幅度地改善拖拉机机组的生产率、经济性并减轻驾驶员的劳动强度。

1.3 拖拉机机组动力学研究的趋势

用动态分析和动态设计取代传统的静态经验设计是目前拖拉机设计技术改进的主要内容之一。

模型技术、仿真技术、优化技术是研究复杂机组系统的基本技术,但必须结合实物试验才能使研究结果更为可靠。

机组系统优化匹配属于复杂系统的优化,目标函数样本大,不宜归一化处理,且仿真时间长,难于采用通用的最优化方法,因此,机组系统的实用匹配优化方法仍是亟待解决的问题。

数学模型中物理参数的辨识是动态设计与分析所必须解决的前提,对这些物理参数辨识方法进行研究,并逐步积累较多的数据,是拖拉机动力学研究的另一问题。

动态控制理论和方法及电子技术在机组系统上的应用,是一具有实际意义的课题。

用于机组设计的实用计算机软件的开发及其相关技术的研究还有很多问题需要解决。而通过机组动力学的研究,把先进的理论和方法实用化,是机组研究的出发点和落脚点。

第 2 章 拖拉机发动机静态特性

发动机系统静态特性是指发动机的载荷(阻转矩)不随时间而变,即当加速度为零,发动机系统处于静平衡状态时的特性。发动机系统处于平衡状态意味着其曲轴系统和调速器系统均处于平衡状态,发动机系统保持静态平衡的必要与充分条件为

$$\begin{cases} T_e = T_l \\ F_s = F_c \end{cases} \quad (2.1)$$

式(2.1)称为发动机系统的静态平衡方程。式中, T_e 为发动机有效转矩; T_l 为发动机阻转矩; F_s 为调速器恢复力; F_c 为调速器支持力。

本章主要讨论调速器恢复力和支持力特性、调速器静态特性、发动机转矩特性(能量方程)以及发动机的静态特性。

发动机静态特性不仅是评价发动机性能的重要依据,也是讨论动态特性的基础。

2.1 调速器恢复力特性

2.1.1 概述

由于调速器恢复力特性与调速器类型有关,本书仅讨论机械式调速器。

调速器恢复力是作用于供油拉杆并使其恢复到最大供油位置的力。在结构和调整一定时,恢复力是调速手柄位置也就是预加的调速弹簧初始变形和拉杆位移的函数,即

$$F_s = F_s(t_0, z) \quad (2.2)$$

式中, $F_s(t_0, z)$ 为恢复力特性; t_0 为调速弹簧初始变形; z 为调速器拉杆位移。

图 2.1 是泰山-25 拖拉机发动机的调速器恢复力特性。图中以供油量最大(即飞块未张开)的位置为 $z=0$,减小供油方向为调速器拉杆位移的正向(下同)。由图 2.1 可见,每设一个弹簧初始变形,便对应一条恢复力曲线。在一定的调速弹簧初始变形下,恢复力是分段函数,在曲线转折点处的拉杆位移称为临界拉杆位移,有几个转折点便有几个临界拉杆位移。通过分析可以看出,恢复力特性曲线可能出现不同的类型,所谓不同类型是指分段函数不同,其中包含:① 恢复力特性曲

线的临界拉杆位移数不等,如图 2.1 中曲线 1 有一个临界拉杆位移,曲线 2、曲线 3 有两个,曲线 5 有三个,曲线 6、曲线 7、曲线 8 有四个;② 临界拉杆位移数虽相同,但各段的斜率不尽相同,例如曲线 6、曲线 7、曲线 8 都有四个临界拉杆位移,但各段斜率不完全一致。

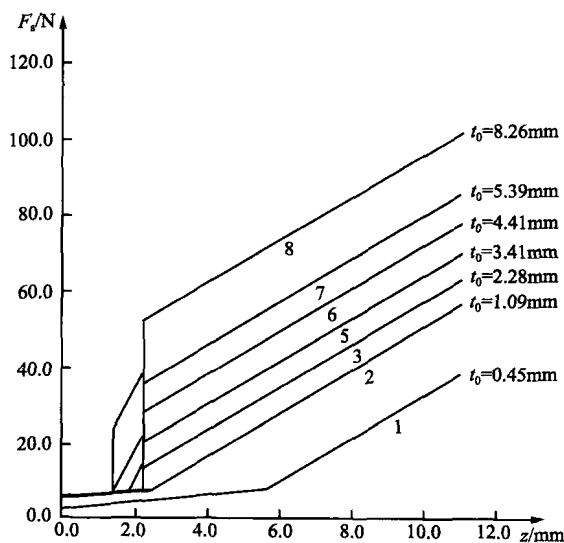


图 2.1 泰山-25 拖拉机发动机调速器恢复力特性曲线

因此,要计算一个调速器恢复力特性,关键在于要根据该调速器的结构和工作原理,分析在不同的调速手柄位置也就是在不同的调速弹簧初始变形时,可能出现的临界拉杆位移数,以及在临界拉杆位移数相等时又可能出现的几类由不同斜率线段组成的恢复力特性,以便确定可能有几种不同类型的曲线,然后根据不同类型分段计算。

应当说明,恢复力特性曲线之所以有不同的类型是由于调速器的平衡条件不同,因而分析不同类型的恢复力特性也就是分析调速器可能有几类不同的平衡条件。

下面介绍一种两步平衡分析法,所谓两步平衡法是为了分析方便而将调速器达到某一平衡状态的过程分解为先后经过两个平衡状态。其分析过程如下:首先将调速器拉杆处于最大供油位置而调速弹簧滑座处于某一特定位置规定为调速器的原始位置,以此位置的测量参数作为特性分析时的输入参数,恢复力特性上的某一点对应于调速器的一个平衡状态。具体分析过程如下:

第一步,调速器拉杆处于最大供油位置,将调速手柄置于设定位置,调速器达到平衡时的状态称为调速器的初始状态,此时的调速弹簧变形称为调速弹簧初始