

车辆静液驱动 与 智能控制系统

吴光强 王会义 著

上海科学技术文献出版社

本书由上海发展汽车工业教育基金会资助出版

车辆静液驱动与 智能控制系统

吴光强 王会义 著

上海科学技术文献出版社

责任编辑：杨浩明

封面设计：徐 利

车辆静液驱动与智能控制系统

吴光强 王会义 著

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路2号 邮政编码 200031)

全国新华书店经销

上海科技文献出版社昆山联营厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 7.25 字数 201 000

1998年9月第1版 1998年9月第1次印刷

印 数：1—500

ISBN 7-5439-1256-2/T·526

定 价：40.00 元

《科技新书目》467-564

前 言

静液驱动系统在工程上的应用比较广泛,而专门研究储能动力传动系统及其在车辆等运载器具上的应用还不多,特别是基于神经网络控制与辨识和模糊控制等智能控制策略,或其他现代控制策略,及有限元等数值分析方法的研究与报道更是甚少。本书旨在这方面作出较多的介绍。

本书主要内容取材于我们的博士、博士后学位论文及在国内外发表的论文,是我们多年研究工作成果的总结,主要内容:

- 储能动力传动系统的设计机理及设计方法;
- 神经网络控制理论在储能动力传动系统的建模与辨识中的应用;
- 神经网络控制理论在静液驱动系统控制中的应用;
- 新型车辆动力传动系统的最优自动操纵规律;
- 模糊控制理论在静液驱动系统控制中的应用;
- 储能动力传动系统静、动态特性的有限元分析。

由于作者的水平有限,一些新的领域涉足的时间还不长,有些内容只是作为我们的一种尝试,没来得及对有些内容进行很好地融合,对有些结果作仔细的推敲与分析,希望读者对本书中的错误与不妥之处提出批评,我们将不胜感激。感谢被引用文献的作者,由于书中内容搁置时间较长,有些引用文献可能遗忘或疏漏,望有关作者谅解,我们感谢那些无名英雄。

本书中引用的研究课题及本书的写作过程中曾经得到过许多师长、学友的指导、关心与帮助,特别是我们的导师,他们给了我们许多悉心的指导,创造了各种良好的科研环境,在这里我们就不一一列出他们的名字了。

本书中引用的研究课题及本书的出版是在国家教委高等学校

博士学科点专项科研基金、国家自然科学基金、中国博士后科学基金及上海发展汽车工业教育基金的资助下完成的。感谢各级组织的大力支持。

吴光强 王会义

1997 年 12 月

目 录

第 1 章 静液传动控制及其应用的发展概述	1
1.1 静液传动的特点及发展概述	1
1.2 静液传动技术在行走机械上的应用及静液储能传动的提出	5
1.3 排量控制技术 & 控制理论在静液传动中的应用现状	9
第 2 章 混合动力传动及其控制系统研究概述	21
2.1 引言	21
2.2 车辆混合动力传动系统的一般工作原理	21
2.3 车辆混合动力传动系统研究现状分析	23
2.4 恒压网络静液储能动力传动系统的研究	28
2.5 神经网络控制理论在静液驱动系统中的应用	33
2.6 本书相关工作简介	33
2.7 讨论与结论	34
第 3 章 车辆静液储能动力传动系统的设计	36
3.1 引言	36
3.2 车辆用静液储能传动系统的设计准则	37
3.3 系统的功能要求及回路形式的选用	39
3.4 液压储能元件的设计选用	41
3.5 静液储能传动系统功率转换单元	44
3.6 高速储能飞轮的优化设计	46
3.7 高速储能飞轮应力状态的有限元分析	49
3.8 使用高速飞轮的储能动力传动系统其他关键技术的研究	55
3.9 讨论与结论	61
第 4 章 神经网络非线性系统辨识与静液储能动力传动系统数学模型的建立	63

4.1	引言	63
4.2	动力源的数学模型	64
4.3	静液传动部分数学模型	68
4.4	液压蓄能器数学模型	72
4.5	静液储能传动系统的负载模型	74
4.6	液压机械无级变速器的扭振固有特性	75
4.7	发动机操纵特性场建模的逐步回归方法	81
4.8	神经网络系统辨识原理与方法	85
4.9	发动机操纵特性场建模的神经网络方法	86
4.10	多输入多输出非线性静态系统神经网络辨识的研究	90
4.11	讨论与结论	93
第5章	新型车辆的最优巡航控制规律研究	96
5.1	新型车辆动力传动传统数学模型建立	96
5.2	发动机工作状态最优自动控制原理	99
5.3	新型车辆动力传动系统最优控制理论	100
5.4	车辆动力传动系统最优控制问题的计算方法与计算结果	103
第6章	静液储能传动系统节能机理研究	110
6.1	引言	110
6.2	车辆用静液储能传动系统的节能工作原理	110
6.3	静液储能传动系统的功率流分析	118
6.4	静液储能传动系统的节能效果分析	120
6.5	静液储能传动系统的调节	128
第7章	高速开关阀控制变量机构的研究	131
7.1	引言	131
7.2	PWM 高速开关阀控制系统的组成及 PWM 信号的驱动方式	131
7.3	高速开关阀位置控制变量机构	137
7.4	PWM 高速开关阀位置控制变量机构的仿真分析	141
7.5	脉宽调制高速开关阀位置控制变量机构实验系统	148
第8章	二次调节静液驱动系统的建模与状态观测	155

8.1 引言	155
8.2 二次调节静液驱动系统的功率键合图模型	156
8.3 二次调节静液驱动系统的神经网络系统辨识	157
8.4 二次调节静液驱动系统的神经网络系统辨识结果	158
8.5 改善二次调节静液驱动系统性能的措施	161
8.6 状态观测及其在二次调节静液驱动系统中的应用研究	162
8.7 讨论与结论	164
第 9 章 二次调节静液驱动系统神经网络控制理论与方法 ...	166
9.1 引言	166
9.2 神经网络模型及其学习算法	166
9.3 基于神经网络的控制结构	168
9.4 静液驱动系统 NN 自学习控制系统的主要组成	169
9.5 基于神经网络的静液驱动系统控制	170
9.6 讨论与结论	174
第 10 章 静液储能传动系统模糊控制器设计	177
10.1 引言	177
10.2 常规模糊控制器设计过程	178
10.3 静液储能传动系统的控制器	186
第 11 章 静液储能传动系统的实验研究	197
11.1 引言	197
11.2 静液储能传动实验系统的设计	198
11.3 传感器的标定	205
11.4 实验系统抗干扰措施	207
11.5 模糊控制算法的实现	207
11.6 静液储能传动系统的运行	210
第 12 章 结论	216

第1章 静液传动控制及其应用的发展概述

1.1 静液传动的特点及发展概述

自从200年前英国首先利用巴斯卡原理制造出世界上第一台水压机,液压传动开始进入工程领域,到现在液压传动技术已经广泛地得到了应用。特别是在第二次世界大战期间,由于军事工业和军事装备上对动作准确、响应迅速的液压传动及液压控制设备的迫切需要,促进了液压技术的迅猛发展。50年代液压技术转入民用工业,作为液压技术的重要部分的静液传动技术也在机床设备、工程机械、农业机械、汽车工业和船舶等行业中得到了广泛的应用和大幅度的发展。60年代以后,随着原子能、空间技术和电子技术等方面的迅速发展,液压技术在航空和航天领域也有所应用和发展。

1.1.1 静液传动的特点

作为电力传动、机械传动、液压传动和气压传动等机器的常用传动类型中的一种类型,液压传动具有其他传动类型所不能具备的优点:

- (1) 单位质量输出功率大,容易获得很大的力和力矩。其单位质量的输出功率是电机的10~20倍;
- (2) 惯性小,启动、制动迅速,运动平稳,可以快速而无冲击地进行变速和换向;
- (3) 液压传动系统能在运行过程中实现无级调速,调速方便,且调速范围较大,调速比可达2000:1;
- (4) 液压传动系统简单方便,且易于实现远距离操纵和

自动控制。

同时,由于液压油液的粘度随其温度和系统的工作压力的变化而变化,容易引起传动机构的工作性能的不稳定。在液压油的工作温度太低时液压油将产生冷凝现象,增加了液压油的流动阻力;在液压油的工作温度太高时又会引起液压油的变质,因此液压传动系统不宜在过高温和过低温的环境下工作。随着工业水平的不断提高,液压系统中的泄漏及对油液污染的敏感性等不足将会逐渐被克服。

1.1.2 静液传动的发展趋势

静液传动系统根据系统工作介质循环方式的不同可分为开式系统和闭式系统。开式系统一般是节流调速传动系统,闭式系统一般是容积调速传动系统。

1.1.2.1 节流传动系统

(1) 节流调速传动系统

节流调速传动系统通过改变系统中流量控制阀的通流面积来控制进入和流出执行元件中的流量而达到调速的目的。由于节流调速系统中经常有多余的油液流经溢流阀溢流回油箱,此系统的能量损失大,效率低,一般用于功率不大的场合。

(2) 压力适应传动系统

随着液压技术的发展,比例阀的出现,由此产生了压力适应传动系统。压力适应传动系统的液压泵工作压力能自动跟随负载的变化而变化,进入执行机构的液体流量与负载无关,仅与节流阀的开度有关。

(3) 功率适应系统

功率适应系统能完全做到无论负载如何变化,无论比例方向阀流量面积如何调节,液压泵的输出流量始终保持与比例方向阀所能通过的负载流量相等,从而使泵的输出功率始终与负载所需功率相适应。

1.1.2.2 容积调速传动系统

容积调速传动系统的基本特征是:泵输出流量与负载流量

始终相适应,无溢流损失。因而具有传动效率高、能无级调速等优点。其发展过程如下述几个阶段:

(1) 闭式容积传动系统

自变量泵、变量马达出现后,闭式容积传动系统得到了迅速发展。现在,对于闭式容积传动系统的研究已经十分成熟,并且随着控制理论和液压元件的不断发展闭式容积传动系统的实现也很容易。该系统有以下特点:

- 回路无附加节流损失,传动系统的效率高;
- 液压泵的输出流量始终与负载流量相适应。

但该系统不能用于多个负载的情况,对于多个负载每个负载都要配置一套液压泵和执行元件,这将使系统的成本提高。

(2) 负荷传感系统

70年代初随着工程机械产品向大型化方向发展,其驱动液压系统和转向液压系统的功率较大,传统的静液压传动系统工作时存在较大的功率损失。为解决此矛盾而出现了负荷传感系统,此系统又称做负荷敏感系统,如图 1-1 所示。此系统中的关键之处是负荷传感阀,通过保持此阀的压力降来调节变量泵的排量,达到变量泵的输出流量与负载所需流量相适应。负荷传感系统目前发展也比较成熟,在国外的大、中型工程机械中已经广泛采用。国内的中国农业机械化研究所在 80 年代也研制出了负荷传感系统。

负荷传感系统具有传动效率高,能够适用于多负载的工况的优点。但该系统结构比较复杂,主回路中仍有附加的节流损失。

(1) 二次调节系统

80 年代初期,由德国学者 Nikalaus、Kordak 和 Backe 等人提出了一种接在定压网络中的由变量液压马达和蓄能器组成的传动系统,称之为二次调节系统,又称定压网络液压马达控制系统,如图 1-2 所示。该系统是通过调节变量马达的排量来改变马达轴上的动力扭矩,从而控制整个系统的功率流。该系统具有以下优点:

- 可进行制动能量回收,主回路无节流损失;
- 可实现多负载并联工况的驱动。

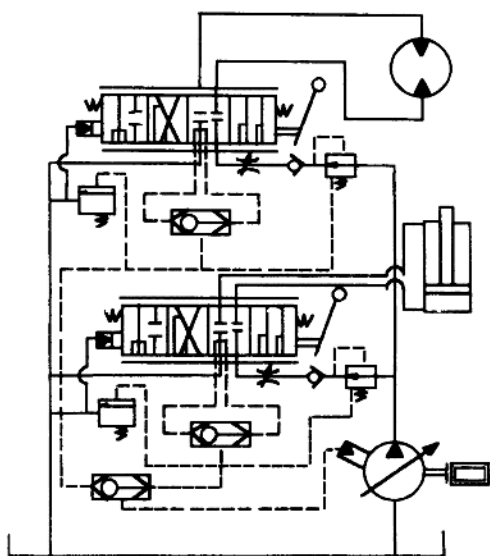


图 1-1 负荷传感系统

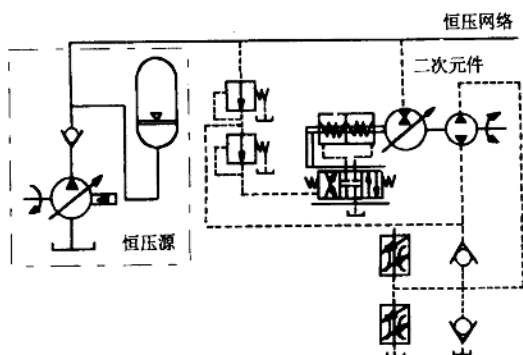


图 1-2 二次调节系统

1.2 静液传动技术在行走机械上的应用

及静液储能传动的提出

1.2.1 静液传动技术在行走机械上的应用

液压传动由于其本身所具有的高功率重量比,体积小且能进行无级调速等特点,使得液压传动具有在汽车、工程机械、拖拉机及军事车辆等行走车辆上运用的潜力。30年代曾在汽车上安装过静液传动,但由于当时的液压元件的重量和较低的效率使其未能得到推广使用。50年代静液传动从军用转入民用,并在新型的行走机械上得到应用,出现了采用静液压驱动的工程机械、拖拉机和联合收割机等。随着工业水平的提高,现在一套设计完善、制造精良的静液传动系统已不再有漏油现象。采用高强度材料、高科技的表面处理技术和高精度的加工质量的液压元件其效率问题已不再是其缺陷。

在60年代,美国、英国和德国相继制造出了静液压传动的拖拉机,尽管其售价比同功率的机械传动拖拉机相比高20%以上,但同时由于其操作方便机组作业效率提高了7%~11%。1965年中国农业机械化研究所研制出了静液压传动拖拉机,图1-3为所研制的静液传动拖拉机的系统图。1971年中国农业机械化研究所和北京内燃机厂研制出了拖拉机用双功率流静液压传动系统,总

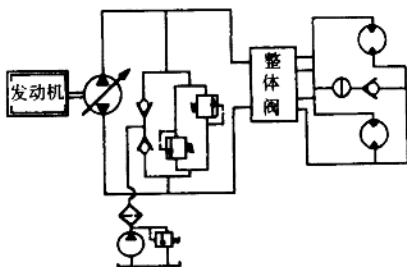


图 1-3 某一静液驱动拖拉机的液压系统图

效率较高,但对于惯性能仍是让其在系统内部消耗掉而没能加以应用。

美国 Sundstrand 公司的统计表明,60%以上的自走式联合收割机,90%100 马力以上的大型联合收割机均采用静液传动系统。

1.2.2 静液储能传动的提出

70 年代由于能源危机的出现,以节能为目的的研究工作相继展开。美国威斯康星大学 Norman H. Beachley、A. A. Frank 等学者开展了节能汽车的研究。这项研究工作是通过采用新的车辆传动系统来提高汽车的能源传输效率,降低汽车的发动机的燃油废气排放量。经过多年的研究,N. H. Beachley 的研究小组研制出了机械式、液压式和电力式三种节能传动形式,如图 1-4 所示。

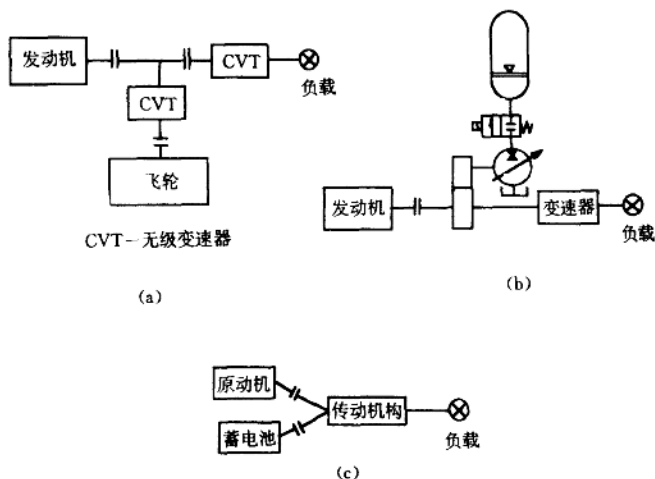


图 1-4 N. H. Beachley 等提出的节能传动形式

在图 1-4 所示的两种传动形式中,均采用一个能量储存装置来存储能量。图 1-4(a)采用高速旋转的飞轮将能量以动能形式存储,图 1-4(b)则采用液压蓄能器以液压能形式存储能量。存储元

件的性能对车辆能量的利用有很大的关系。通常希望储能元件具有大的功率密度和高的能量密度,但这两者通常很难同时满足。飞轮的能量密度高,而液压蓄能器的功率密度较高,前者适用于负载变化不大的场合,后者适用于负载变化频繁的情况。在随后的研究中,以高速飞轮和液压蓄能器为储能元件的功率分流式复合车辆传动为对象的研究工作处于齐头并进的势头。在这一时期,以蓄电池为储能元件的复合传动系统对其也有所研究,但由于蓄电池的性能较差而未能有所应用。以液压蓄能器为储能元件的液压-机械复合传动的研究在英国、美国、丹麦、瑞典和德国都开展过。一种实用的蓄能器储能复合传动系统如图 1-5。在丹麦,P. Buchwald 等学者在城市公共汽车上装备了蓄能器储能复合传动系统,通过对复合传动系统施以不同的控制策略,可使车辆的燃油经济性提高,节省燃油可达 30%。在试验台架上的测试也获得了 14% 的燃油率。瑞典学者对蓄能器储能复合传动在牵引机车和叉车上的应用进行了理论研究,得出结论:在这两个领域,蓄能器储能复合传动比飞轮储能复合传动更有效。1985 年,德国已经有装有蓄能器储能复合传动系统的公共汽车样车 MAN Hydrobus (I. II. III)。

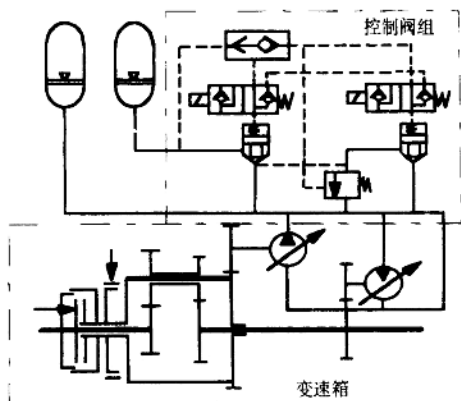


图 1-5 一种实际使用的蓄能器储能复合传动系统

通过推算,Stefen Martini 得出结论:将公共汽车的传动系统改成蓄能器储能复合传动系统后,三年内车辆节省的开支就可以回收改装成本,而且同时还有降低发动机废气排放的好处。最近几年,加拿大、日本一些学者仍在继续进行此方面的研究,并将成果申请了专利。在国内,吉林工业大学罗邦杰教授在 80 年代中期也开展了高速飞轮储能的复合传动系统的研究。目前仅上海交通大学冯正进副教授对蓄能器储能复合传动进行了研究。他们将一辆东风“EQ140”载重车进行改装成蓄能器储能复合传动后,以接近实际公共汽车的设备状态运行,所测试结果表明车辆平均每百公里节油 4.44 升。

吴沛容教授在进行汽车复合传动的研究过程中,又对蓄能器储能全液压传动系统进行了分析。其系统结构图如图 1-6 所示。

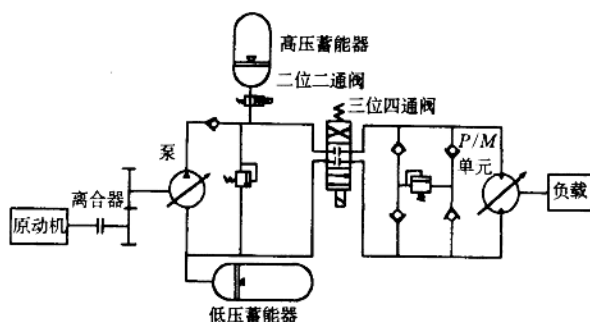


图 1-6 蓄能器储能全液压传动系统

研究表明:对于一台重 1360kg 的装备有蓄能器储能传动系统的汽车,其每加仑燃料行驶的路程提高到 60 英里,远比普通车辆的每加仑燃料行驶的 25~30 英里要高的多。在随后的研究中,对系统的分析也逐渐拓宽到原动机的工作状况对系统效率的影响。在此背景下,提出了液压蓄能器作为储能元件联系原动机和负载的、具有多条能量传递路线的全液压传动,称为静液储能传动,由此形成的系统称为静液储能传动系统。

1.3 排量控制技术 & 控制理论在静液传动中的应用现状

1.3.1 排量控制研究现状

随着变量泵和变量马达的发展,静液传动中越来越多地应用液压泵和/或液压马达来进行系统输出速度、输出转矩的调节。变量泵/马达排量的调节最初是依靠手动来进行的,后来有了电液伺服型和电液比例型排量调节机构以及步进电机带动数字阀的增量型数字液压控制系统组成的排量调节机构。电液伺服型调节机构具有响应快、精度高的优点,但成本高,且对油液的清洁度要求高,抗污染能力差。电液比例型排量调节机构和增量型步进电机控制型排量机构尽管抗污染能力较强,但其实现起来需要较多的电子辅助设备,成本也较高。随着高速开关阀的出现,其优良的性能使得一种新型的变量机构——高速开关阀位置控制变量机构日益受到重视。表 1-1 是高速开关阀与伺服阀、比例阀的性能比较情况。

表 1-1 三种电液控制阀的性能比较

	高速开关阀	比例阀	伺服阀
结 构	简 单	较简单	复 杂
控制精度	一 般	较 好	好
响应速度	一 般	较 好	好
与电子电路的配合	很 好	较 好	不太好
价 格	极 低	较 贵	很 贵
抗污染能力	极 强	较 强	弱

高速开关阀的性能决定了高速开关阀位置控制系统具有如下特点:

- (1) 系统结构简单,成本低;
- (2) 系统抗污染能力强,工作可靠性高;