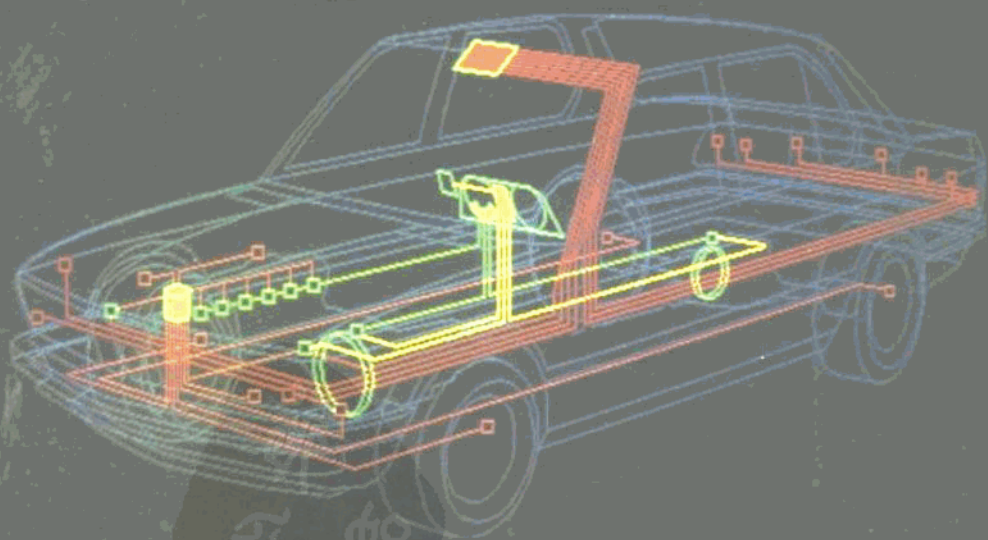


汽车系统动力学

张洪欣 编著



同济大学出版社



张洪欣
编著
PDG

前 言

根据汽车专业课程设置计划,本科生课程中设置“汽车理论”课,主要内容是讲授汽车动力学及汽车性能,而在汽车专业硕士研究生学位课程中,则开设了“汽车系统动力学”课程(原名“汽车高等动力学”),其目的是想通过这一课程学习,使学生掌握更丰富的汽车动力学知识,学习到国外先进的动力学分析方法,以便增强其研究和分析汽车动力学问题的能力。70年代末期,国外由于在汽车上广泛采用电脑控制系统来操纵汽车部件,如电控悬架、电控制动防抱系统,因而在汽车动力学中广泛引用了现代控制系统理论。另一方面,一些学者认为汽车动力学中应建立更复杂的数学模型,如把汽车看成是人-车系统或多刚体系统来加以研究,能得到更准确和科学的研究成果。因此,在80年代,国际上成立了车辆系统动力学学会(Vehicle System Dynamics,简称VSD),总部设在荷兰,定期出版刊物和举行学术年会,发表了大量最新研究成果,使汽车动力学的研究发展到一个崭新的阶段。

编者长期从事汽车动力学的研究,积累了这方面的大量资料,并且指导研究生的课题也都是有关汽车动力学方面的问题,为了提高教学质量,觉得有必要编写一本反映最新汽车动力学发展的教材,以满足研究生学习的需要,而目前国内尚无人在这方面出版过类似的教材,过去教学中一直是让学生阅读杂志上的文章,仅有一本参考教材是德国教授米奇先生所著《汽车动力学》,该书第一版是1972年出版,有中译本,内容陈旧,新版仅部分译出在1992年出版,但仅有A卷,尚有B、C两卷未出版,据编者了解,全书主要是建立在经典力学基础上,尚未及反映最新系统动力学成果,故推动了编者决心要编写这本汽车系统动力学教材。

本书共十一章。第一章主要叙述了汽车系统动力学的概念、研究内容及其特点,着重介绍它与经典力学的不同点,并讲到了系统动力学所引用的新的研究方法和新的理论基础。第二章和第三章是讲汽车轮胎动力学和汽车空气动力学,这两章虽然没有讲到系统,但这是汽车系统动力学的基础部分,因为汽车所受外力,除重力及惯性力外,就是地面通过轮胎给汽车的各种力和力矩或空气介质给汽车的力和力矩。因此,研究汽车所受外力或研究动力学,不能离开这两个内容。它是汽车运动学及动力学的基础,除在汽车理论中已述及的外,本书在第二章及第三章的部分章节中又加入一些最新研究成果。从第四章到第十一章引入了线性系统理论、现代控制系统理论和人-机系统理论(人-机工程学)和多刚体系统理论来研究汽车的各系统的动态特性,涉及到悬架、系统、转向及动力转向系统、制动系统、承载系统、人-车操纵系统,反映了当前国内外汽车系统动力学的最新发展。编写本书过程中,参考了大量文献,这些文献大都是80年代和90年代的研究成果。所以本书第一个特点是内容新颖,反映了最新理论成果,并拓宽了汽车动力学的研究方法和理论基础,应用了分析力学、系统动力学、现代控制系统理论等新的学科成果。使学生能学到更多新的概念和研究方法。

本书的第二个特点是研究范围比较广泛,涉及汽车整车和底盘各总成,因而称为汽车系统动力学是名副其实的,当然,没有包括发动机动力学。这是因为汽车发动机动力学是另外一个大的系统,在这方面有专门的教材和专门的课程。因此,这里就不再涉及,故可以说较全面地反映了汽车各系统的动态特性。

本书的第三个特点是注意吸收一些理论成果的应用,如第八章承载系统振动理论计算结果用于解放牌汽车上做了试验验证,第十一章也有理论结果应用于轿车上的计算结果,也即注意了理论和实线的联系。由于汽车动力学发展迅速,本人水平有限,书中挂一漏万、不当之处在所难免,欢迎国内专家学者们及广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 系统与系统动力学的概念	(1)
1.3 汽车系统动力学的研究内容及其特点	(3)
1.4 汽车系统动力学的研究方法和理论基础	(4)
第二章 充气轮胎动力学	(11)
2.1 概述	(11)
2.2 作用在轮胎上的力和力矩	(11)
2.3 轮胎纵向动力学特性	(13)
2.4 轮胎侧偏性	(18)
2.5 轮胎侧偏特性的数学模型	(20)
2.6 轮胎侧倾力学特性	(28)
2.7 轮胎垂直振动特性	(30)
第三章 汽车空气动力学	(33)
3.1 概述	(33)
3.2 气动阻力	(34)
3.3 升力和俯仰力矩	(37)
3.4 侧向力和横摆力矩	(39)
3.5 侧倾力矩	(39)
3.6 侧风作用下的气阻力系数	(39)
3.7 汽车空气动力学试验	(41)
第四章 汽车转向系统动力学	(46)
4.1 汽车转向系统数学模型	(46)
4.2 稳态响应(稳态转向特性)	(47)
4.3 瞬态响应	(50)
4.4 横摆角速度频率响应特性	(54)
4.5 侧风作用时的转向特性	(55)
4.6 全轮转向特性	(58)

第五章 驾驶员-汽车闭环操纵系统动力学	(62)
5.1 引言	(62)
5.2 控制系统理论的基本知识	(62)
5.3 汽车操纵系统(开环系统)的传递特性	(66)
5.4 驾驶员-汽车闭环操纵系统的传递特性	(67)
第六章 动力转向系统动力学	(73)
6.1 概述	(73)
6.2 动力转向静特性评价方法	(74)
6.3 常流式四通控制阀的静特性	(77)
6.4 控制滑阀的传递特性	(81)
6.5 汽车动力转向系统的传递特性	(82)
第七章 汽车前轴和转向轮系统的振动	(85)
7.1 前轴和转向轮组成的振动系统	(85)
7.2 外界激振力	(86)
7.3 前轴与车轮振动的耦合	(91)
第八章 汽车承载系统振动	(95)
8.1 绪言	(95)
8.2 路面谱——路面不平整度的功率谱	(95)
8.3 承载系统的数学模型	(97)
第九章 汽车悬架控制系统动力学	(114)
9.1 概述	(114)
9.2 线性控制概论	(115)
9.3 线性最优控制的基本概念	(123)
9.4 悬架参数优化及主动式悬架	(126)
9.5 半主动悬架系统分析	(137)
第十章 汽车制动及其防抱系统动力学	(141)
10.1 制动系统功能及评价指标	(141)
10.2 制动过程动力学	(142)
10.3 制动率,附着系统利用率,品质系数	(144)
10.4 制动力分配	(145)
10.5 制动防抱系统及其控制动力学	(150)

第十一章 多刚体系统动力学及其在汽车中的应用	(159)
11.1 多刚体系统动力学的历史及现状	(159)
11.2 多刚体系统动力学的研究方法	(160)
11.3 多刚体系统动力学在汽车中的应用	(162)
11.4 多刚体系统动力学在汽车独立悬架运动分析中的应用	(164)
常用符号	(178)
参考文献	(180)

第一章 绪 论

1.1 引 言

在真实的大千世界中,存在着许多由一组物件构成,以一定规律相互联系起来的实体,这就是系统,自然界就有太阳系、银河系这样的大系统,这种系统是脱离人的影响而自然存在,称为自然系统,生物、原子内部也构成这样的自然系统。还有通过人的设计而形成的系统,称为人工系统,如生产系统、交通运输系统、通信系统;人工组合和自然合成的组合系统,如导航系统即是。

这里讨论的主要是人工的物理系统及其特性。

1.2 系统与系统动力学的概念

“系统”这个名词含义很广,因此对系统的定义很多。我国著名科学家钱学森对系统作如下定义:“把极其复杂的研究对象称为系统,即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体,而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分”。

这个定义表明系统具有以下特性:

一、系统具有层次性

系统是由两个以上(或更多)元素(或称元件)组成的事物。一个大系统往往可分成几个子系统,每个子系统是由更小的子系统(称二级系统)构成。每个子系统或小系统都有自己的属性,以便和其它系统加以区别。所以如果将大系统分解,可以形成很多层次的结构,这就是系统的层次性。

二、系统具有整体性

系统虽由多种元素组成,但系统的性能不是各元素性能的简单的组合,而是相互影响的,所以这种组合使系统的整体功能获得新的内容,具有更高价值,例如一辆汽车是由发动机、传动系、车轮、车身、操纵系等组成。单有发动机只能发出动力,不会自己行走,但当发动机装在具有车轮的汽车底盘上,就成为可以行驶的汽车,成为一种交通运输工具,其功能就与一台发动机大不相同。由此可见,研究系统特性应从整体的观点来看。系统的性能是由其整体性能为代表,而不是由某一个元素所能代表的。

三、系统具有目的性

这一特点主要是指人工设计的系统而言,而不是指自然系统(如银河系)。系统的目的性是指人工系统是为某一个大目的而构成。目的不同,系统的构成也就不同:例如货车就是为运输货物这一目的而构成,它必须有货厢以装载货物;而客车则是为运输乘客而设计,因此其车内必有供乘客使用的客厢和座椅,而货运设备就退居次位(行李箱或行李架)或甚至

取消。所以在设计中必须研究系统整体目的,才能正确选择各元素的构成。

四、系统具有功能共性

系统中存在着物质、能量和信息的流动,并与外界(环境)进行物质、能量和信息的交流,即可以从外界环境输入或向外界输出物质、能量和信息。这是任何一个系统都具有的功能,称为系统功能共性。如汽车系统中由于燃料(物质)的燃烧而把所储的能量转换为汽车的动能,这是能量的流动,并生成废气排出。而在行驶过程中,驾驶员从环境(道路及车流密度)得到信息,加以判断,然后发出必要的指示信息,以保证汽车合理、安全的运动,这就是信息的流动。

系统与外界环境同样存在着物质、能量和信息的交流,从环境向系统的流动称为系统的输入,从系统向环境的流动称为系统的输出,它可以用图 1-1 的形式表示。

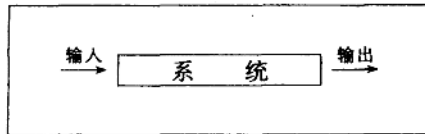


图 1-1 系统与输入、输出关系

在系统动力学研究中,从三者的关系中,可以引出不同的研究任务。

1. 如已知输入及设计系统的特性,使得它的输出满足一定的要求,这样的任务可称为系统的设计(或综合)。所谓优化设计,就是把一定的输入通过选择系统特性成为最优化的输出。

2. 如已知输入和输出来研究系统的特性,这样的研究任务叫系统识别。例如:要求对发动机的环保系统的优劣作出判断,可以一方面了解其燃料、润滑油等输入因素,另一方面采集排出的废气和烟、尘,了解其输出特性,根据这两者的对比,就可以识别它的环保系统特性。

3. 如已知系统的特性和输出来研究输入则称环境预测,如对一些振动特性已知的汽车,测定它在某一路面上行驶时所得振动响应值(如车身上的振动加速度),则可判断路面汽车的输入特性,从而了解到路面的不平整特性。

以上所讨论的系统都是指人工系统而言,把各种物理的及与生活有关的科学知识的原理与概念,用于研究、创造与设计各种系统的工作即为系统工程学研究的内容。

那么,什么叫系统动力学呢?

系统动力学根据美国著名学者绪方胜彦的定义是“讨论动态系统的数学模型和响应的学科”。

当系统处于静态工况时,即当系统各变量对时间保持恒定时,称为静态系统。严格来讲,真正的静态系统是没有的,系统中总是会有缓慢的变化,而且根据静态分析结果来判断系统特性将会得到不全面或错误的结论。所以系统动力学的研究对象放在动态系统上;动态系统的行为是随时间变化的,是时间的函数,动态系统分析比静态分析更为复杂,但更为必要,因为在动态的分析中可以考虑到许多外部干扰或者不稳定性。

1.3 汽车系统动力学的研究内容及其特点

根据以上对系统动力学的定义不难推论:汽车系统动力学就是把汽车看作是一个动态系统,对其行为进行研究,讨论其数学模型和响应。

汽车动态特性早期曾在汽车动力学中研究过。经典的汽车动力学主要研究一辆汽车受到各种力时其相互作用和由此产生的各种动态工况,并讨论这些动态工况及其变化对使用性能的影响。不足之处是讨论的外界力都是理想化了的,模型也过于简单。而汽车系统动力学也研究车辆的受力与运动,但把车辆看作置于真实环境中的一个系统,并研究环境,如路面不平整度、土壤物理性质、车密度、气流及风向对车辆系统的作用,把它们看作是系统的输入,而把车辆系统对这些输入的反应看作是输出。为了确定输入与输出之间的关系就要研究由车辆结构及设计参数所决定的传递特性,亦称动态特性,并使这种动态特性适应预定的要求。

所以,系统动力学与经典动力学不同之处就在于:系统动力学要对系统所处环境进行研究,并找出其特性,如路面不平整特性、空气动力特性等即是,在此基础上对系统在真实环境下进行动态分析,这是第一点不同。

汽车作为一种现代化的交通运输工具,随着现代科学技术的发展,功能不断扩大,社会上保有量激增,车速日益提高,在高速工况下对汽车的操作和控制的要求也越来越严,因为在高速情况下,驾驶员稍有不慎。车辆偏离轨道即很明显,“差之毫厘,失之千里”很易引起交通事故,所以要求汽车的可控性几乎和一个控制系统的要求是接近的。因此,在系统动力学中把汽车看成是控制系统来进行分析,这是与经典汽车动力学的第二个不同点;现代汽车上所采用的动力、转向系统、主动式悬架系统、电子防抱系统都是比较典型的控制系统,所以应用现代控制系统理论来研究其特性。

车辆系统动力学的第三个特点是把驾驶员作为一个主动因素考虑到汽车系统中去组成一个人-机系统来加以研究。驾驶员在车辆系统运动中的调节作用,可以用图 1-2 中的框图来说明。

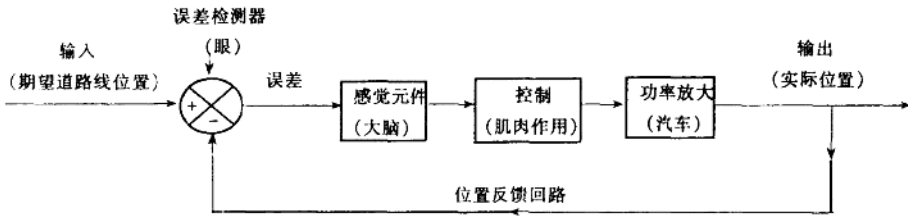


图 1-2 汽车驾驶-包含仿人传递函数的反馈控制系统

在图 1-2 上可见,驾驶员通过大脑及肌肉作用控制车辆的行驶方向,当实际输出偏离原定路线时,它会反馈回来,通过驾驶员眼睛的检测,判断误差大小,这一信息传达到大脑,经大脑处理后指挥肌肉进行校正。驾驶员的任务是使输出与输入间的偏差尽可能小。

汽车系统动力学就是研究人-车系统中,人和车辆作用的相互匹配问题。为此首先要研究人-车系统的模型问题,只有正确建立人-车系统模型,才能有效地,正确地进行系统分析。

在此基础上,将要利用人体工程学(工效学)的知识来研究车辆系统的工程技术设计如何适应于人的作用,从而使系统工作效能最高。

汽车系统动力学的第四个特点是强调系统之间的联系,研究系统间相互作用。众所周知,汽车可分成若干个子系统,如传动系、转向系、悬架系等。这些系统在汽车运动过程中本来是相互影响、相互制约的,但在经典动力学中,这方面的研究和阐述较少,往往孤立地单独地研究各子系统性能,而系统动力学不仅研究以上内容,而且逐步揭开了这些子系统间的内在联系和相互作用。例如对轮胎侧向弹性的研究取得成效后,就立即揭示出轮胎与转向系、轮胎与制动系、悬架系性能之间的密切关系。近代研究还查明:悬架系统导向机构的运动学对转向系和制动系性能有不容忽视的影响;传动系的扭振和悬架系的振动之间也有相互作用,系统动力学的特点就在于主动地寻求和探索各系统自身和别的系统之间的动力学关系,以便在设计本系统或解决本系统的动力学问题时,能站在整体的高度,考虑各子系统间的相互作用,处理好所出现的矛盾,达到整体最佳的目的。

综上所述,可以把汽车系统动力学的研究内容归纳为以下四点:

1. 路面特性分析、环境分析及环境与路面对汽车的作用;
2. 汽车系统及其部件的运动学和动力学;汽车内各子系统的相互作用;
3. 汽车系统最佳控制和最佳使用;
4. 车辆-人系统的相互匹配和模型研究,驾驶员模型,以使车辆的工程技术设计适合于人的使用,从而使人-机系统对工作效率最高。

1.4 汽车系统动力学的研究方法和理论基础

1.4.1 汽车系统动力学的研究方法

解决任何一个系统问题的首要步骤就是把实际问题抽象,并转变为简化的模型。抽象是通过一种思维去分出现象的本质而抽出其中非本质和次要的性质的一种逻辑方法。一位哲学家说过:“物质的抽象、自然规律的抽象、价值的抽象以及其它等等,一句话,一切科学的抽象,都更深刻、更正确、更完全地反映着自然。”所以我们必须学会科学的抽象方法,才能正确处理系统动力学的各种课题。

在抽象的基础上就要建立表达系统行为的物理或数学的模式,这就是所谓的物理模型和数学模型。模型也可以定义如下:模型是一种过程或行为的定量或定性代表,它应能显示对所考虑目标具有决定性意义的后果。

模型的分类:

一、比例的物理模型

模型和实物的物理本质相同,仅在形状和尺寸上有差别。

尺寸比例为 1:1 的,即称为足尺模型,如撞车试验中汽车模型。

按比例缩小的,即称为缩尺模型,如风洞试验中的汽车模型,用以预测空气动力学性能;造波池中的船体模型;土木工程中的结构模型;光弹分析中金属零件的塑料模型以及电路设计中的电路板模型。

模型即使尺寸与原物相同也只能称模拟,因为它在结构上进行了简化,只对研究中主要

特征按原型制造,而其它部分加以简化,以利于制造、节省成本,突出主要矛盾。

其优点是可以同时观察到整体的物理性能,并能做种种记录、摄影等,且能消除一些次要因素的干扰,故能准确地预测系统的性能和参数间的关系。

缩尺模型建造时,其尺寸要与原型相似,常称为几何相似,这种相似有一定准则,在建造模型时,必须遵循这种准则。

设计时,常常以 δ 表示原型某参数与模型同一参数的比例系数,如尺寸比例系数用 $\delta_l = l_p/l_m$, l 表示某一特征尺寸,下标 p 代表实物, m 代表模型。同样,用 $\delta_E = E_p/E_m$,代表材料的弹性模量的比例系数。用 $\delta_\rho = \rho_p/\rho_m$ 代表材料的密度比例系数。

在这些比例系数的基础上还会派生出一些其它比例系数,如频率比例系数 δ_ω 。

当模型材料与实物相同时 $\delta_\omega = \omega_p/\omega_m = 1/\delta_l$

当模型材料与实物不同时 $\delta_\omega = \omega_p/\omega_m = \frac{1}{\delta_l} \sqrt{\frac{\delta_E}{\delta_\rho}}$

当材料相同而采用缩尺模型时 $\delta_l > 1, \delta_\omega < 1$,故模型的固有频率 ω_m 就要比 ω_p 大,如缩尺比例大,即缩得太小,则 ω_m 就可以高几十倍,这样对测试工作带来困难,这在设计模型时要注意。

对于多自由度振动系统,可不用几何相似,而用运动相似,运动相似的模拟条件是:模型和实物各相应参数间比例相同,即

(1) 模型的各质量与实际系统的相应质量之比 δ_m 相同,即

$$\delta_m = \frac{M_{1p}}{M_{1m}} = \frac{M_{2p}}{M_{2m}}$$

式中 δ_m ——实物与模型质量比;

M_{1p}, M_{2p} ——实物 1 质量,实物 2 质量;

M_{1m}, M_{2m} ——模型 1 质量,模型 2 质量。

(2) 模型中各质量处的刚度与实际系统中相应处的刚度比相同。

(3) 模型中和实际系统阻尼相同,当不考虑阻尼时,实际系统与模型的固有频率比为

$$\delta_\omega = \frac{\omega_p}{\omega_m} = \sqrt{\frac{\delta_k}{\delta_m}}$$

式中 ω_p, ω_m ——实物固有频率,模型固有频率;

δ_k, δ_m ——模型中各质量处刚度与实际系统相应处的刚度。

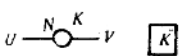
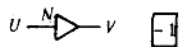
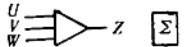
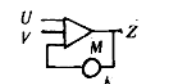
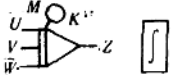
这样,经过适当选择 δ_k 和 δ_m ,就可使 δ_ω 在 1 附近,便于测量。最近发展一种动态物理模型,如驾驶仿真模型。

二、数学等效模型

在工程上发展不同物理系统,其动态行为的数学形式是相同的。不同系统的行为可用等效的常系数微分方程来描绘。这就使我们可能用一种系统来模拟另一系统,如用电路系统模拟机械系统。

把电路系统一件有一定功能的元件按一定规则组合起来,就成为—个等效电路模拟,计算机的原理即是如此。表 1-1 示出模拟电路系统中常用元件,及其运算功能:

表 1-1

元 件	代表符号	运 算
(1) 倍数电位器		$V = K \cdot U$
(2) 运 算 器		$V = -U$
(3) 加 法 器		$Z = -(U + V + W)$
(4) 带可调倍数 加 法 器		$Z = \frac{-(U + V)}{K}$
(5) 积 分 器		$Z = - \int_0^t (U + V + W) dt + k$

用电路系统模拟机械系统的建模过程如下：

(1) 先建立机械系统的力学模型及写出其运动方程

例：有一单自由度机械振动系统，其力学模型如图 1-3 所示。

其运动方程为

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$$

初始条件 $t = 0, \dot{x}(0) = 0, x(0) = x_0$

(2) 先求最高导数

$$\ddot{x} = -\frac{1}{m}(c\dot{x} + kx)$$

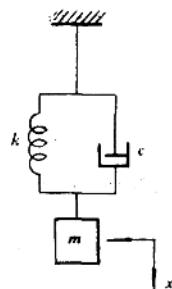


图 1-3

此式子表明，如对 x 积分两次加入初始条件即可求得 x 的解，因此，如果给出参数 $m, c, k, x(0), \dot{x}(0)$ 就可产生如下的等效模型，设第一积分器前输入为 \ddot{x} 经积分得 $-\dot{x}$ ，再经第二积分器即得 x ，而此时应加入起始条件 $x(0) = x_0$ ，但从式(1-1)可知， \ddot{x} 是由两项相加，故采用加法器，把 x 和 \dot{x} 值经乘上相当系数输入加法器，并应用带可调倍数的加法器，即可组成如图 1-4 的模拟电路模型，其输出在显示器中以曲线表示。

三、数学模型

这种模型比实物模型、模拟模型更为抽象，但是在实物和数学模型间存在很强的相似性，它建立了一组法则或运算，从而将一个或多个元素（运算对象）与运动结果联系起来。这种数学模型有多种表示方式：

(1) 各种数学方程式（代数方程、微分方程、差分方程等都是）。这些方程式形式服从于研究的对象和目的。其动态特性和响应常用微分方程组。

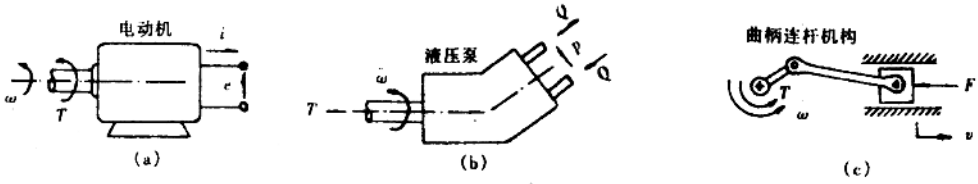
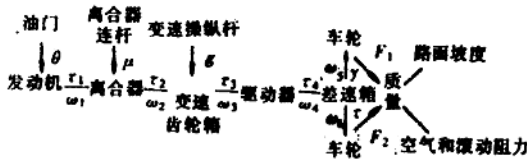
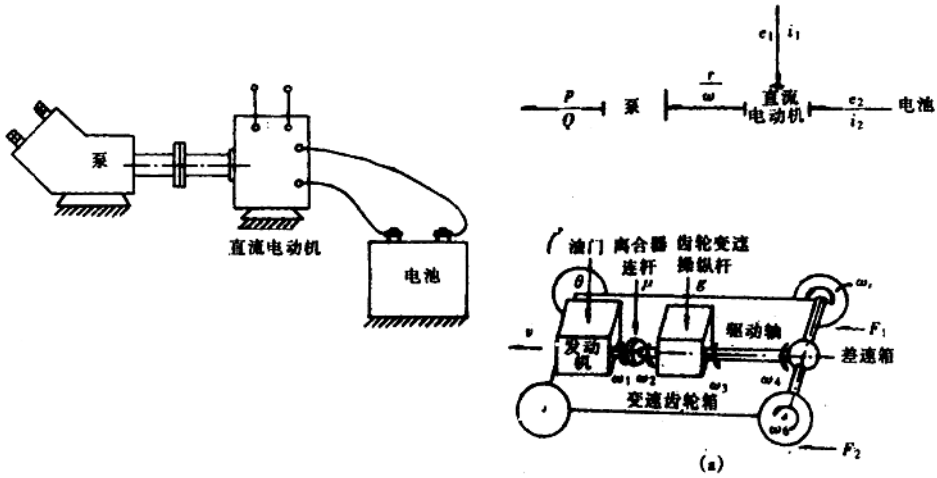


图 1-6

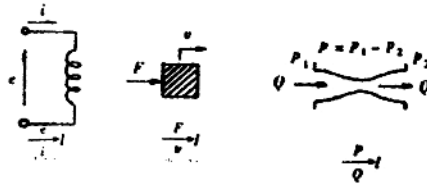


(b)

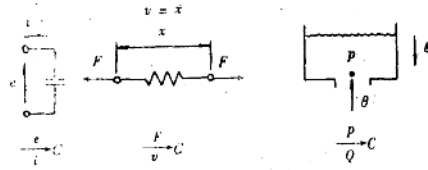
图 1-7 汽车驱动系

(a) 示意图 (b) 键合图

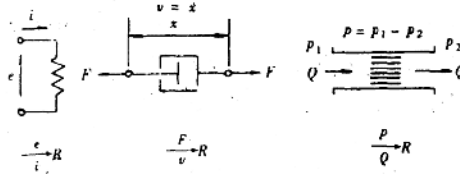
例如: 惯性元件——表示电系统中电感效应和机械或液体系统的惯性效应, 其键合图符号为 I ;



容性元件——表示电容、弹簧和蓄能器,其键合图符号为 C ;



阻性元件——表示电阻器,机械阻尼器和流体管道阻力,其键合图符号为 R 。



组成振动系统(a)确定两个 1 结点(b)加入弹簧、阻尼器(c)和惯性元件(d)后的键合图

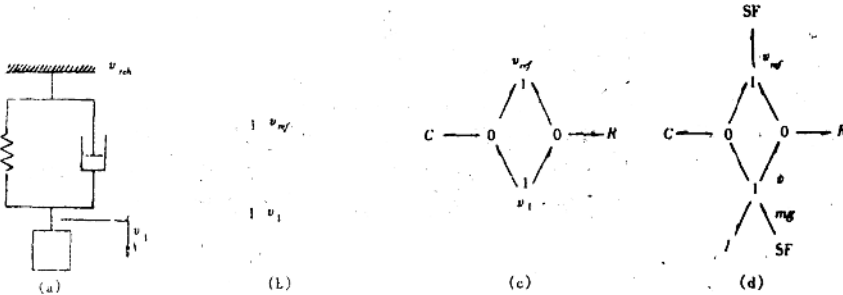


图 1-8

究竟采用何种数学模型要视研究对象和研究目的而定。

建立数学模型后,常遇到一个问题就是求响应的问题,求解方法:

- (1) 用解析法求解,只能解自由度较少的系统,且对非线性系统,只能求近似值。
- (2) 用数值法或定值法求解,应用计算机后可用来处理复杂系统的近似解,对非线性系统,虽有误差,但精度符合工程要求。

1.4.2 车辆系统动力学的理论基础

研究车辆系统动力学问题时,当系统的力学模型建立之后,正确地确定描述系统运动的动力学方程就成为首要任务。可以用不同的力学原理来建立这类方程,而视系统简化程度而异,对于单自由度、或两自由度、或某些简单类型的多自由度振动问题,可以使用牛顿定律、达朗贝尔原理、动量定理或动量矩定理,就能建立起振动微分方程或方程组。对于一般的多自由度系统,特别是复杂的多自由度系统,则往往应用分析力学的方法。分析力学是从能量观点建立起来的,它利用广义坐标作为独立参数来描述系统的运动。另一方面应用达朗贝尔原理将静力学中的虚位移原理推广到动力学问题中去,从而建立动力学普遍方程

式,由此出发推导出可广泛应用的拉格朗日(Lagrange)方程来建立系统的运动方程。用分析力学的方法可以较严格地阐明有限自由度体系振动的普遍规律和计算方法,而且所得的规律可推广于无限自由度体系。这是它的很大的优点。但是它也有缺点,那就是由于它所研究的对象具有普遍性,因而比较抽象,物理概念不那么直接。与此相反,由于用经典力学方法研究的对象比较简单,因而具有概念清楚,容易计算等优点。这两种方法将在系统动力学中分别得到应用。

线性系统理论和现代控制系统理论是汽车系统动力学的另一重要理论基础。

过去研究车辆动力学没有考虑环境和人的因素,而系统动力学在研究车辆时也研究环境及其影响,研究人对车辆的作用,故实际上把它们组合成为地面-车辆-人这样一个系统来加以研究。研究系统在给定输入下的响应,如果把人的控制考虑在内,则就形成一个带反馈的闭环控制系统,但是由于输入往往是瞬息万变的,单靠人力控制不很完善,因此必须在系统中装有调节装置或控制装置,它们往往是自动或半自动的装置。没有系统分析的知识和现代控制理论的指导,设计师就不能对系统的动态特性作出科学的分析,也就不能设计出能保证最佳性能的控制设备。所以应该把系统分析、优化设计和现代控制理论(包括最优控制理论)作为系统动力学的重要的基础理论。

车辆作为系统经常受到地面作用,新发展的车辆地面力学对研究地面(硬、软)与车辆相互作用起了很大作用。车辆驶过的道路不平度是随机的,道路不平度的输入使车辆系统的响应也是随机的,因而现在研究系统的动态和输出必须采用统计规律。所以概率论及其分支随机过程是研究这一课题的有力工具,必须具备这方面的知识。

而人体工程学则是研究车辆-人系统的一项十分有用的基础理论,这项学科的研究对象是工程技术设计中与人体有关的问题。目的是解决工程技术设计如何与人体各种要求相适应,从而使人机系统工作效率能达到最高。所以它也应列为车辆系统动力学的理论基础之一。

第二章 充气轮胎动力学

2.1 概述

轮胎是汽车上一个重要部件,它应有以下职能:

1. 支承整车重量;
2. 缓和路面不平对车辆的冲击力;
3. 为驱动和制动提供附着力;
4. 提供充分的转向操纵与方向的稳定性。

很多汽车重要性能都与轮胎有关,因此在讨论整车动力学之前,研究充气轮胎动力学是必不可缺的,同时应该看到,从力学观点来看,轮胎也是一个由质量、弹性元件和阻尼元件组成的子系统,所以它的动力学特性亦是汽车系统动力学中的重要组成部分。

轿车车速高,因此对轮胎要求也高,国外对轿车轮胎提出如下要求:

1. 保证行驶安全,轮胎要牢固装在轮辋上,气密性好;
2. 耐久性好,要有足够疲劳强度和高速强度;
3. 保证行驶舒适,良好的弹性和阻尼特性,均匀性好,噪音小;
4. 良好转向特性,侧偏性好,转向运动灵敏,侧向力增长平顺;
5. 经济性好,成本低,寿命长,滚动阻力小。

轮胎种类是通过规格来划分的,轮胎规格由以下几部分组成:

1. 轮胎宽度(mm);
2. 扁平比(%);
3. 轮胎结构型式;
4. 轮辋直径(in 或 mm);
5. 工作标记(包括负荷指数 LI 和速度标记 GSY),见附表。

附表:

轮胎规格示例

