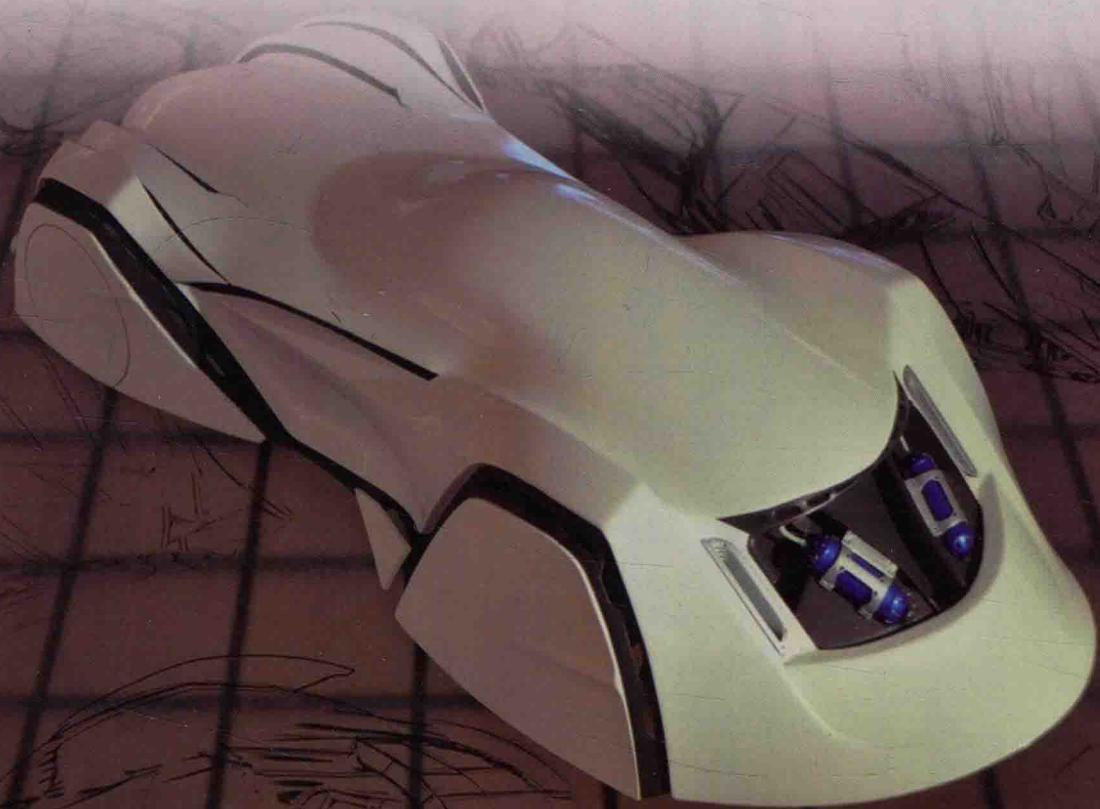




同济大学本科教材出版基金资助



汽车电子控制系统仿真与设计

陈 慧 张新丰 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



同济大学本科教材出版基金资助

汽车电子控制系统 仿真与设计

陈 慧 张新丰 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书涵盖了汽车电子控制系统的仿真与设计所必需的专业基础知识,共分8章,主要包括:仿真设计的研究方法、控制系统的建模方法、基于 MATLAB/Simulink 的控制系统数字仿真、控制系统的分析与设计、基于模型的汽车电子控制系统设计方法、汽车电子控制系统的仿真设计应用示例、控制系统仿真与设计实验。

本书可作为普通高等院校车辆工程专业的教材,亦可供相关专业学生和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电子控制系统仿真与设计/陈慧,张新丰编著.

--上海:同济大学出版社,2016.12

ISBN 978-7-5608-6710-6

I. ①汽… II. ①陈… ②张… III. ①汽车—电子系统—
控制系统—系统仿真—高等学校—教材②汽车—电子系统—
控制系统—系统设计—高等学校—教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 321841 号

汽车电子控制系统仿真与设计

陈 慧 张新丰 编著

责任编辑 李小敏

责任校对 徐春莲

封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)
经 销 全国各地新华书店
印 刷 同济大学印刷厂
开 本 787 mm×1092 mm 1/16
印 张 14
字 数 349 000
版 次 2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-6710-6

定 价 38.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

随着电动汽车和汽车主动安全技术的推广普及,以及近年来智能汽车技术的快速发展,汽车电子控制系统在车辆中的应用越来越广泛。为了进一步确保汽车电子控制系统安全可靠的产品质量、缩短开发周期、实现整车与零部件的同步开发,基于模型的设计开发方法也逐步渗透到汽车电子控制系统的研发领域。因此,社会急需大量具有汽车电子控制系统仿真与设计专业知识及技能的人才。

在车辆工程专业领域,虽然有《汽车电子学》《汽车电子控制技术》等专业教材,但大多以汽车电子控制系统的原理介绍和功能指标设计为主要内容,未能从闭环控制系统的角度对系统指标进行分析和设计。在自动化专业领域,已有《自动控制原理》《系统建模与仿真》《电力拖动自动控制系统》等专业教材,但讨论的对象没有针对汽车领域的应用,对车辆工程专业学生而言较难学以致用。鉴于国内汽车电子领域教材的现状、国外教材没有现成的可以借用、汽车行业发展又对人才知识结构提出了新的要求,作者结合多年在底盘电子控制系统和智能汽车领域的科研积累,在“控制系统仿真与设计”授课课件基础上编写了本书。

本书以先修课程“自动控制原理”和“汽车理论”为理论基础、以 MATLAB/Simulink 数字仿真软件为仿真设计工具,对基于模型的汽车电子控制系统仿真分析与设计方法进行了较全面的阐述。书中还给出了较多汽车领域应用的例题和仿真设计实验,以期让读者能将所学的专业基础知识融会贯通,并能应用于汽车电子控制系统的仿真分析与设计。

在本书编写过程中,同济大学车辆工程专业研究生们在本书整理、插图、编写与验算例题和实验等方面给予了热情帮助,还得到了同济大学出版社的大力支持以及同济大学本科教材出版基金的资助,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,希望读者给予批评指正,以便再版时修订完善。

作者

2016年12月于同济大学

目 录

前言

第 1 章 仿真设计研究方法	1
1.1 科学研究方法概述	1
1.1.1 经验方法	1
1.1.2 理论方法	2
1.1.3 实验研究方法	2
1.2 相似性原理	3
1.2.1 相似性	3
1.2.2 相似定理	5
1.2.3 相似理论与仿真技术发展	5
1.3 系统建模与仿真研究	6
1.3.1 模型分类	7
1.3.2 仿真模型	8
1.4 控制系统研究方法	8
1.4.1 研究方法介绍	8
1.4.2 仿真试验的分类与比较	9
1.4.3 数学仿真实验	10
1.5 汽车设计中的仿真实验方法	12
1.6 控制系统数字仿真工具	14
1.7 本章小结	15
习题	15
参考文献	16
第 2 章 控制系统建模方法	17
2.1 控制系统数学模型分类	17
2.2 控制系统数学建模方法	18
2.2.1 机理建模法	18
2.2.2 实验建模法	21

2.2.3 综合建模	23
2.3 模型的验证与评估	25
2.3.1 数学模型的有效性	25
2.3.2 模型验证的内容	25
2.3.3 模型验证的基本方法	26
2.3.4 动态模型验证的判断标准	26
2.4 控制系统的数学模型表示	27
2.4.1 数学模型的代表形式	27
2.4.2 不同数学形式的转换	29
2.5 汽车机电系统典型器件的数学模型	31
2.5.1 机械系统的数学模型	31
2.5.2 电子电器系统数学模型	32
2.6 本章小结	35
习题	35
参考文献	35
第3章 控制系统数字仿真与实现	36
3.1 微分方程数值求解	36
3.1.1 数值求解基本方法	36
3.1.2 刚性问题	40
3.1.3 算法选择	42
3.2 控制系统的数字仿真实现	43
3.2.1 单变量系统的可控标准型实现	43
3.2.2 控制系统的数字仿真实现	45
3.3 MATLAB 数字仿真软件	46
3.4 M 语言基础	46
3.4.1 矩阵与数组的基本操作	46
3.4.2 数据类型与变量定义	47
3.4.3 基本语法	49
3.4.4 流程控制	50
3.4.5 函数与 M 文件	51
3.5 控制系统工具箱	53
3.5.1 仿真模型建立与选择	53
3.5.2 模型求解用函数集	54
3.5.3 关于离散系统	55

3.6 图形化控制系统仿真工具	56
3.6.1 Simulink 工具箱	57
3.6.2 建立仿真模型	59
3.6.3 仿真模型运行	59
3.7 本章小结	62
习题	63
参考文献	64
第4章 控制系统分析	65
4.1 控制系统时域分析方法	65
4.1.1 稳定性分析	65
4.1.2 静态性能分析	66
4.1.3 动态性能分析	67
4.2 频域分析方法	70
4.2.1 频率特性函数	70
4.2.2 频率特性的图示方法	70
4.3 根轨迹分析法	74
4.3.1 根轨迹的定义	74
4.3.2 根轨迹绘制	75
4.3.3 参数根轨迹	77
4.3.4 图形化系统分析工具	79
4.4 控制系统稳定性判定	80
4.4.1 李亚普诺夫稳定性判定方法	80
4.4.2 奈奎斯特稳定性判定方法	82
4.4.3 利用伯德图进行奈奎斯特判定	83
4.4.4 利用尼科尔斯图进行判定	83
4.5 稳定裕量分析	84
4.6 高阶系统的分析	88
4.6.1 高阶系统的响应与近似	88
4.6.2 开环小参数对闭环影响	90
4.7 本章小结	91
习题	91
参考文献	94
第5章 控制系统设计	95
5.1 控制系统设计概述	95

5.1.1 控制系统设计理论的发展	96
5.1.2 控制系统设计指标分析	97
5.2 基于频率特性的控制器设计	99
5.2.1 开环频率特性的分段设计	100
5.2.2 串联校正	106
5.2.3 反馈校正	115
5.3 基于根轨迹的控制器设计	119
5.3.1 串联超前校正	120
5.3.2 串联滞后校正	128
5.4 PID 控制器设计方法	131
5.4.1 PID 控制器结构及原理	131
5.4.2 PID 控制器设计方法	137
5.5 二自由度控制器设计方法	139
5.5.1 二自由度控制原理	139
5.5.2 二自由度控制器设计	140
5.6 本章小结	145
习题	145
参考文献	146
第 6 章 汽车电子控制系统设计方法概述	147
6.1 汽车电子控制系统	147
6.1.1 发展历史	147
6.1.2 汽车电子控制系统构成	149
6.1.3 控制系统的性能评价	151
6.2 V 型控制器开发流程	152
6.2.1 传统汽车电子控制器开发及其挑战	152
6.2.2 控制器 V 型开发流程	153
6.3 基于模型的控制器开发工具支持	156
6.3.1 控制器离线仿真软件工具支持	157
6.3.2 快速控制器原型工具	158
6.3.3 自动代码生成工具	161
6.3.4 控制器硬件在环测试工具	161
6.3.5 系统集成与标定工具	163
6.4 基于 V 型开发模式的 CVT 电控系统开发实例	163
6.4.1 控制策略设计	164

6.4.2 系统建模及离线仿真	164
6.4.3 快速控制原型	165
6.4.4 目标 ECU 自动代码生成	165
6.4.5 硬件在环仿真	165
6.4.6 实车试验与标定	166
6.4.7 开发实例小结	167
6.5 本章小结	167
习题	167
参考文献	167
第 7 章 汽车电子控制系统仿真设计应用	168
7.1 汽车巡航控制系统仿真与设计	168
7.1.1 定速巡航控制系统	168
7.1.2 自适应巡航控制系统	173
7.2 汽车电动助力转向控制系统	177
7.2.1 转向系统模型	177
7.2.2 车辆动力学模型	180
7.2.3 转向助力控制器仿真与设计	181
7.3 本章小结	196
习题	196
参考文献	197
第 8 章 控制系统仿真与设计实验	198
8.1 MATLAB/Simulink 虚拟仪表设计实验	198
8.1.1 实验目的	198
8.1.2 实验设备	198
8.1.3 实验内容	198
8.1.4 实验阅读材料	200
8.2 离线仿真与实时仿真对比实验	200
8.2.1 实验目的	200
8.2.2 实验设备	200
8.2.3 实验内容	200
8.3 直流电机调速控制器仿真与设计实验	202
8.3.1 实验目的	202
8.3.2 实验设备	202

8.3.3 实验内容	202
8.3.4 实验阅读材料	202
8.4 基于驾驶模拟器的 EPS 系统仿真与设计实验	203
8.4.1 实验目的	203
8.4.2 实验设备	203
8.4.3 实验内容	203
符号对照表	208

第 1 章 仿真设计研究方法

控制系统是指由控制主体、控制客体和控制媒体组成的具有自身目标和功能的管理系统,包括控制系统的各种研究方法,是人类科学研究的一大发明。本章将简要介绍科学研究方法中的仿真实验方法,并介绍控制系统的仿真实验方法,特别是数字仿真技术及工具。通过本章的学习,要掌握仿真实验方法的基本理念,了解系统建模以及数字仿真的基本思想。

1.1 科学研究方法概述

一个完整的科学认识过程,往往要经历感性认识、理性认识及复归到实践等阶段,而各个阶段都有与之相对应的科学方法。随着现代科学的发展,特别是系统论、控制论和信息论等横向性学科的出现,极大地丰富了科学研究方法的内容。这些科学研究方法为人们的科学认识提供了强有力工具。

1.1.1 经验方法

一般说来,科学研究就是追求知识或解决问题的一项系统活动;有待解决的问题都是与研究对象的本质和规律有关的问题,而本质和规律是隐藏在现象中的,即在经验材料的背后。只有在关于对象的经验材料十分完备、准确可靠时,才能在这些材料的基础上建立正确的概念和理论,揭示对象的本质和规律,才能解决科研课题,即解决科学的问题。获得经验材料的方法就是经验方法,通常包括如下 3 种方法。

1. 文献研究法

教育技术学的发展有很强的历史继承性,文献研究就是为了对所要解决的问题有个全面的历史的了解。有了这种了解,才能站在前人的肩膀上,把前人和当代的成果作为进一步前进的起点,不重复前人已经做过的工作,避免前人已经走过的弯路,把精力放在创造性的研究上。文献研究法就是有关专业文摘、索引、工具书、光盘以及互联网教育信息资源等文献的检索方法以及鉴别文献真伪、发挥文献价值与创造性地利用文献的方法。

2. 社会调查法

社会调查法就是人们有目的、有意识地对社会现象进行考察,从中获得来自社会系统中各种要素和结构的直接资料的一种方法。根据调查目的、调查对象和调查内容的不同,社会调查法可分为访问调查、问卷调查、个案调查等多种方法。在教育技术学研究中,经常使用问卷调查法。

3. 实地观察法

实地观察法是研究者有目的、有计划地运用自己的感觉器官或借助科学观察仪器,直接了

解当前正在发生的、处于自然状态下的社会现象的方法。

1.1.2 理论方法

要达到完整的、更具一般意义的科学认识,仅仅运用经验方法是不够的,还必须运用科学认识的理论方法对调查、观察、实验等所获得的感性材料进行整理、分析,对原来属于零散的、片面的和表面的感性材料进行加工,使之上升为本质的、深刻的和系统的理性认识。科学研究法中的理论方法就是提供这种从感性认识向理性认识飞跃的切实可行的、具体的思考方法与加工处理的步骤的方法。理论研究方法主要包括以下3种。

1. 数学方法

所谓数学方法,就是在撇开研究对象的其他一切特性的情况下,用数学工具对研究对象进行一系列量的处理,从而作出正确的说明和判断,得到以数字形式表述的成果。科学研究的对象是质和量的统一体,它们的质和量紧密联系,质变和量变是互相制约的。要达到真正的科学认识,不仅要研究质的规定性,还必须重视对它们的量进行考察和分析,以便更准确地认识研究对象的本质特性。在控制系统理论及应用的研究中,数学方法主要是运用微分方程、状态空间方程,在时域和频域内对物体的运动进行分析和处理。

2. 思维方法

科学的思维方法是人们正确进行思维和准确表达思想的重要工具,在科学研究中最常用的科学思维方法包括归纳演绎、类比推理、抽象概括、思辨想象、分析综合等,它对于一切科学研究都具有普遍的指导意义。

3. 系统科学方法

20世纪,系统论、控制论、信息论等横向科学的迅猛发展,为发展综合思维方式提供了有力的手段,使科学研究方法不断地完善。而以系统论方法、控制论方法和信息论方法为代表的系统科学方法,又为人类的科学认识提供了强有力的主观手段。它不仅突破了传统方法的局限性,而且深刻地改变了科学方法论的体系。这些新的方法,既可以作为经验方法,作为获得感性材料的方法来使用,也可以作为理论方法,作为分析感性材料上升到理性认识的方法来使用,而且作为后者的作用比前者更加明显。它们适用于科学认识的各个阶段,因此,我们称其为系统科学方法。

1.1.3 实验研究方法

实验研究法是实验者有目的、有意识地通过改变某些自然环境的实践活动,来认识实验对象的本质及其规律的方法。通过控制和操纵一个或多个自变量并观察因变量的相应变化以检验假设的研究方法。实验者在实验前提出假设并设计实验计划,在实验中通过有效地控制有关条件,观察实验对象的行为变化,以检验在实验设计前提出的假设。实验研究的关键因素,包括清楚而详细地说明所研究的行为以及与应变量相关的因素,处理外部变量和研究对象的选择。有控制的实验设计随机将实验对象分别送入各种实验的条件下,给实验对象以刺激,然后观察对象的反应,推断刺激的结果。实验研究通常随机选择实验对象,组成实验组,同时设立一个或几个控制组,以比较实验组和控制组的行为。实验者对实验组做各种实验,控制组不参与,然后分析实验组与控制组的差别。

汽车设计师和开发研究人员,主要运用实验方法研究汽车零部件、整车在各种工况下的表

现行为。汽车工程师及开发研究人员,经过一百多年的探索和研究,已经开发出了一系列用于汽车及零部件试验的方法,汽车试验学已成为汽车工程学科中的研究方向。

1.2 相似性原理

相似性是人们在认识世界过程中广泛存在的一种现象,众多科学家的发明或者发现都应用到相似性原理:从1638年伽利略论述“威尼斯人在造船中应用几何相似原理”,1638年牛顿在他著名的《自然哲学的数学原理》中讨论“两个固体运动过程中的相似法则”,到1848年物理学家柯西(Cuachy)从弹性物体的运动方程导出了集合相似物体中的声学现象和规律,再到1920年前后 M. B. 基尔比切夫对“弹性现象中的相似性定理”问题的研究,相似性原理得以逐步完善,可以说相似性原理是科技创新与应用的桥梁。

1.2.1 相似性

1. 几何相似

所谓几何形状一般可以认为是物体轮廓上的点集,几何相似就是物体外部轮廓、形态中的点、线、面的特征具有相似性。几何相似的两物体具有流体力学方面的良好相似关系和多种等比特性。

2. 运动相似

刚体、流体的运动,都遵循一定的规律,复杂结构的运动状态可以用简单结构的运动状态来模拟。比如研究双轴汽车横向运动特性时,就采用了这种方法。图1-1所示,为一辆双轴、四轮、质心在路面上的平面车辆模型,如果忽略同一车轴上两轮轮荷的变化;每根车轴上的两个车轮都可以用一个车轮来代替,车辆由双轨模型简化为单轨模型,即车辆动力学分析中经典的“自行车模型”。

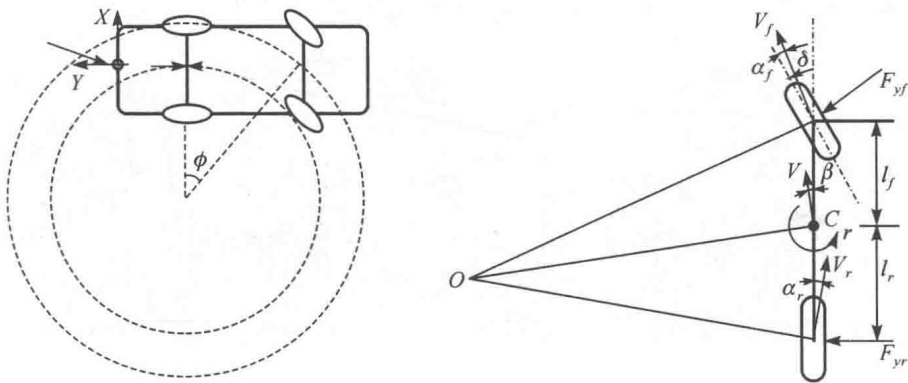


图1-1 横向动力学汽车自行车模型

3. 环境相似

在有人参与的仿真实验系统中,人们往往追求耳、鼻、眼等感觉器官的真实性。因此环境相似就成为相似方式中很重要的一环,它可使仿真系统更为真实。比如在汽车设计、开发、

测试以及供驾驶训练汽车驾驶模拟器。

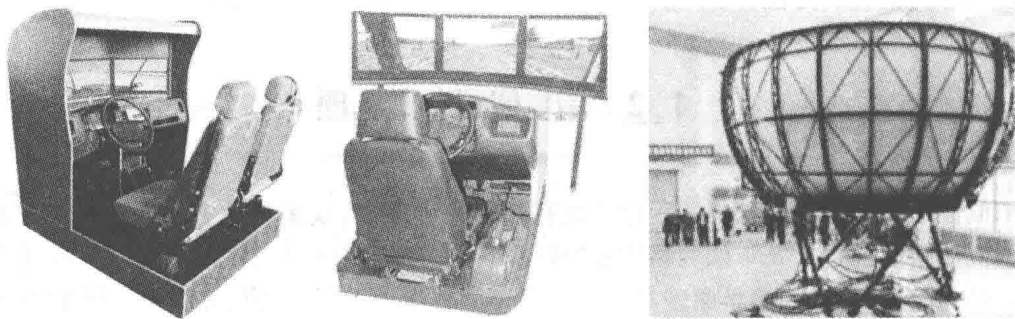


图 1-2 汽车驾驶模拟器

驾驶模拟器上一般装配带感应车门、方向盘、仪表、可调座椅、档位、油门、刹车、离合器、安全带、后视镜、显示器等装置,模拟器的控制系统会根据驾驶员方向盘、油门、刹车、离合器等输入,由视景系统在显示器上输出车外道路环境,并同时也在仪表上显示车辆状态,使得驾驶员从视觉、触觉等多方面感受到真实驾车环境。

4. 功能相似

功能相似是指不同的方式、方法都可以实现相同的效果。在汽车车身工艺生产制造过程中,需要用到大量的焊接过程,由于焊接操作强度大、工作环境恶劣,焊接质量要求高等原因,人工焊接方法早就被淘汰,现在一般都采用全自动焊接机器人或机器人手。焊接机器人是从事焊接(包括切割与喷涂)的工业机器人,它主要包括机器人和焊接设备两部分。其中,机器人由机器人本体和控制柜(硬件及软件)组成;而焊接装备则由焊接电源(包括其控制系统)、送丝机(弧焊)、焊枪(钳)等部分组成。对于智能机器人,还配有传感系统,如激光或摄像传感器及其控制装置等。

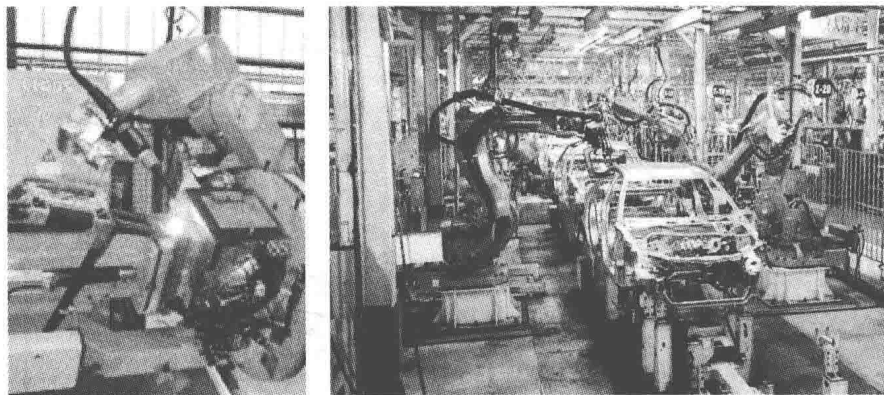


图 1-3 汽车车身焊接机器人

焊接机器人完全模拟人手的动作达到完成人能完成的工作,焊接机器人的使用大大提高了汽车生产的效率、保证了汽车车身质量,是一种极大的科技进步。

5. 思维相似

人的思维方式可以分为逻辑思维和形象思维两种典型的类型。逻辑思维相似主要是应用数

逻辑、模糊逻辑等理论,通过对问题的程序化,应用计算机来仿真人的某些行为,例如专家系统、企业知识库、企业管理 ERP 系统等。形象思维相似主要是应用神经网络等理论来模拟人脑所固有的大规模并行分布处理能力,模拟人脑的瞬间完成对大量外界信息的感知与控制的能力。

除此之外,还有许多方面的相似性,比如生理相似、时间相似、速度相似、逻辑相似。

1.2.2 相似定理

相似第一定理(相似正定理):彼此相似的物理现象必须服从同样的客观规律,若该规律能用方程表示,则物理方程式必须完全相同,而且对应的相似准则必定数值相等。

对于一些复杂问题与现象,常常存在一定的相似准则。比如对于粘性不可压缩气流,其运动规律相似符合雷诺准则:粘性力是主要的力,雷诺数 $Re = vl/\nu$ 表示流体惯性力与粘性力的比值,是粘性力的相似准数;液体表面张力相似规律符合佛劳德准则:佛劳德准则认为重力是主要的力,佛劳德数 $F_r = v^2/gl$ 是重力势能与动能的比值,是重力的相似准数。在自然科学领域中有许多这样的准则,比如欧拉准则,欧拉数 $E_u = p/\rho v^2$ 是相似准数;柯西准则,柯西数 $C_a = \rho v^2/E$ 是相似准数;还有马赫数 $M = v/a$, 韦伯数 $W = \rho l v^2/\delta$, 斯特洛哈尔数 $S_r = \omega l/v$, 阿基米德准数 $Ar = gd_0 \Delta T_0/v^2 T_e$;等等。

相似第二定理(相似逆定理):凡同一类物理现象,当单值条件相似且由单值条件中的物理量组成的相似准则对应相等时,则这些现象必定相似。

要实现模型与原型的相似,就必须满足如下相似条件:

- (1) 同类现象,都由形式相同的控制方程组所描述;
- (2) 定解条件(单值性条件)相似;
- (3) 由单值条件的物理量组成的相似准则中数值上相等。

第二定理指出了模型实验应遵守的条件。但是在实际工作中,随着定性准则数量的增多,会使模型的实现愈加困难,甚至无法实现。通常在保证一定精度的情况下,可允许单值性条件部分相似或近似相似,而忽略那些对系统影响小的准则,这样使模型较容易实现。

相似第三定理(相似 Π 定理):描述某现象的各种量之间的关系式可以表示成相似准数方程之间的函数关系,这种关系式称为准数方程,即

$$F(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) = 0 \quad (1-1)$$

任何定解问题的积分结果都可以表示成准数方程的形式:

$$\pi_{\text{未定}i} = f_i(\pi_{1\text{已定}}, \pi_{2\text{已定}}, \dots, \pi_{m\text{已定}}) \quad (i = 1, 2, \dots, m, \dots, n) \quad (1-2)$$

对于所有彼此相似的现象,相似准则都保持同样的数值,所以它们的准则关系式也是相同的。由此,如果把实验结果整理成准则关系式,那么得到这种准则关系式就可以推广到预期相似的现象中去。

1.2.3 相似理论与仿真技术发展

科学历史上,无数科学家发明的事实表明,相似理论是开展科学与技术工作工作的重要依据,现代科学研究已离不开相似理论及其仿真技术。

相似理论为仿真技术的应用提供了理论基础,主要表现在以下几个方面:

- (1) 相似理论从系统的角度,而非个别现象出发来研究相似问题;
- (2) 相似理论把相似性问题从概念明确提升到数值的确定,把定性分析与定量计算结合起来;
- (3) 相似理论论证了可变相似性,可进行相似性动态分析;
- (4) 通过对不同系统间相似特性的研究,可找出系统之间的相互关系;
- (5) 通过找出各种系统间存在相似性的原因,可延及相似性的形成过程和演变动力。

相似理论可以广泛地应用于科学实验中,小到分子原子,大到宇宙天体,相似理论可帮助我们揭示事物间内在的联系以及其动力学特征。

仿真技术得以发展的主要原因,是它所带来的巨大社会效益。20世纪50年代和60年代仿真主要应用于航空、航天、电力、化工以及其他工业过程控制等工程技术领域。现代仿真技术不仅应用于传统的工程领域,而且日益广泛地应用于社会、经济、生物等领域,如交通控制、城市规划、资源利用、环境污染防治、生产管理、市场预测、世界经济的分析和预测、人口控制等。对于社会经济等系统,很难在真实的系统上进行实验,因此,利用仿真技术来研究这些系统就具有更为重要的意义。在汽车工业中,由于各种仿真实验的应用,使得汽车性能得以快速改进,新车型的开发由原来的72个月缩短到18个月。比如利用汽车风洞来仿真模拟汽车在高速行驶中的气流环境,就可以在实验室中快速测定不通汽车外型的风阻系数,大大加快了车身造型验证过程;比如通过模拟计算来分析汽车碰撞性能的仿真分析法,可以为车身结构设计提供基本规律和指导方向,减少试验次数,避免大量尝试性的工作,既能节约开发成本,又可缩短开发时间,成为现代汽车结构设计的趋势(尽管汽车碰撞试验仍然是汽车碰撞安全性研究中最准确可靠的研究方法);比如在汽车电子控制系统开发过程中,也采用了大量数字仿真实验(如防抱死控制、稳定性控制、动力系统能量管路等),优化系统性能。

仿真技术的发展是伴随着仿真工具的开发应用而实现的。用于仿真的计算机有三种类型:模拟计算机、数字计算机和混合计算机。数字计算机还可分为通用数字计算机和专用的数字计算机。模拟计算机主要用于连续系统的仿真,称为模拟仿真。在进行模拟仿真时,依据仿真模型(在这里是模拟机)将各运算放大器按要求连接起来,并调整有关的系数器。改变运算放大器的连接形式和各系数的调定值,就可修改模型。仿真结果可连续输出。因此,模拟计算机的人机交互性好,适合于实时仿真。改变时间比例尺还可实现超实时的仿真。20世纪60年代前的数字计算机由于运算速度低和人机交互性差,在仿真中应用受到限制。现代的数字计算机已具有很高的速度,某些专用的数字计算机的速度更高,已能满足大部分系统的实时仿真的要求,由于软件、接口和终端技术的发展,人机交互性也已有很大提高。因此数字计算机已成为现代仿真的主要工具。混合计算机把模拟计算机和数字计算机联合在一起工作,充分发挥模拟计算机的高速度和数字计算机的高精度、逻辑运算和存储能力强的优点。但这种系统造价较高,只宜在一些要求严格的系统仿真中使用。除计算机外,仿真硬件还包括一些专用的物理仿真器,如运动仿真器、目标仿真器、负载仿真器、环境仿真器等。仿真软件包括为仿真服务的仿真程序、仿真程序包、仿真语言和以数据库为核心的仿真软件系统。

1.3 系统建模与仿真研究

模型就是一个系统的抽象表现。由于一个真实的系统可能太庞大,也可能含有许多细节,

常常超过人类智力可能认知的范围,所以人们必须从系统中“抽”离出重要的“现象”,让人们能够认识与理解系统的重要特性,包括系统各组件的静态与动态合作关系。

模型包含一组明确定义的基础概念,以及这些概念之间的关系。即这些基础概念根据明确定义的规则来组合成为较高层次的概念或系统。简单而言,模型的基础元素包括一组基本概念以及一组关系或规则。借助这些元素来表达出系统的架构。由于人们对基础元素有了共同的认知,所以整个系统的架构的描述也就成为人与人之间可以认知和理解的东西。因此,人与人之间采用共同的模型时,就易于沟通,易于互相合作了。

人们对于复杂事物的理解,有其先天的限制。即使面对一般的系统,大部分人还是不敢保证能完全了解它,更何况目前的汽车,从机械结构到电气结构已日益复杂。此情况下,模型的建立,可以协助汽车工程设计人员进一步了解系统。

1.3.1 模型分类

1. 物理模型

物理模型也称实体模型。根据相似性理论制造的按原系统比例缩小(也可以是放大或与原系统尺寸一样)的实物,例如风洞实验中的飞机模型、水力系统实验模型、建筑模型、船舶模型等。

1914年,作为一种新奇的推销手段,美国福特汽车厂在第一款新车面世之时,推出了世界上第一批汽车模型。车模一经问世,立即成为全世界汽车厂商喜爱的汽车推销方式而风靡全球。今天,一些世界著名的汽车厂家,如奔驰、宝马,也推出汽车模型甚至和新车面世同步,车模所用的图纸往往就是真车的设计图,如图1-4所示的奥迪和保时捷车模。

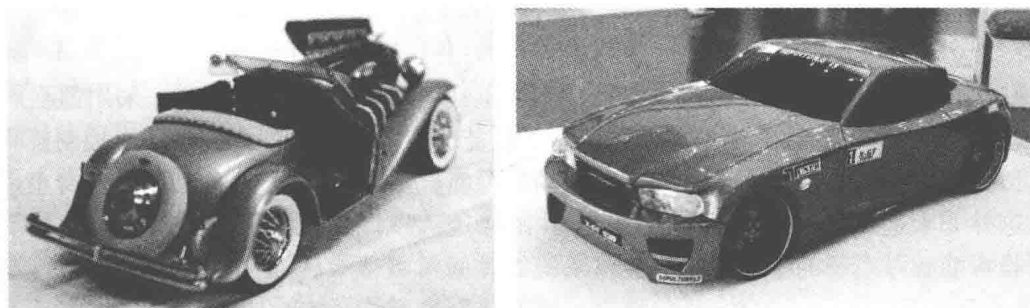


图1-4 汽车模型(奥迪 A6 和保时捷 X-GT)

物理模型就是用物理学的概念和理论来描述抽象现实问题,特点是舍弃次要因素,抓住主要因素,从而突出客观事物的本质特征,这就叫构建物理模型。构建物理模型是一种研究问题的科学的思维方法。物理模型一般可分三类:物质模型、状态模型、过程模型。

2. 数学模型

数学模型是指将现实问题归结为相应的数学问题,并在此基础上利用数学的概念、方法和理论进行深入的分析,从而从定性或定量的角度来刻画实际问题,并为解决现实问题提供精确的数据或可靠的指导。

数学模型可以是一个或一组代数方程、微分方程、差分方程、积分方程或统计学方程,也可以是它们的某种适当的组合,通过这些方程定量地或定性描述系统各变量之间的相互关系或因果关系。除了用方程描述的数学模型外,还有用其他数学工具,如代数、几何、拓扑、数理逻辑