

装备仿真测试技术

黄考利 主编



兵器工业出版社



装备仿真测试技术

黄考利 主编

兵器工业出版社

内 容 简 介

装备仿真测试技术作为计算机仿真技术与自动测试技术的交叉技术,在复杂装备测试与诊断中的地位愈加突出。本书全面系统地介绍了仿真测试的主要研究内容和需要突破的关键技术。全书分为6章,第1章主要介绍仿真测试的基本概念;第2章主要针对装备仿真技术,特别是虚拟样机技术进行介绍;第3章主要针对以边界扫描为基础的现代测试技术进行说明;第4章主要介绍仿真测试建模技术;第5章主要介绍装备故障模拟与仿真测试的故障注入技术;第6章介绍典型的仿真测试系统构建方法。

本书主要针对仿真测试的基本内容进行介绍,力求工程性与系统性的统一,可以作为大专院校相关专业本科生、研究生教材,也可供武器装备研制、生产和使用保障工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

装备仿真测试技术/黄考利主编. —北京:兵器工业出版社, 2008. 3

ISBN 978 - 7 - 80248 - 011 - 7

I. 装… II. 黄… III. ①武器装备—计算机仿真
②武器装备—自动测试设备 IV. E92 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第
002199 号

出版发行: 兵器工业出版社
发行电话: 010 - 68962596, 68962591
邮 编: 100089
社 址: 北京市海淀区车道沟10号
经 销: 各地新华书店
印 刷: 军械工程学院印刷厂
版 次: 2008年3月第1版第1次印刷
印 数: 1—500

责任编辑: 张小洁
封面设计: 王同建
责任校对: 郭 芳
责任印制: 赵春云
开 本: 787 × 1092 1/16
印 张: 15.5
字 数: 389千字
定 价: 28.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

本书编委

主 编：黄考利

副 主 编：孟 晨 马立元 连光耀

参编人员：陈建辉 杨锁昌 宋英趁 高凤岐
魏忠林 张延生 薛凯旋 吕晓明

审 校：冯振声 张锡恩

前 言

随着计算机技术、通信技术的飞速发展,武器装备的功能越来越强大,复杂程度也越来越高,这就对系统设计、调试及维护工作提出了更高要求。在装备的出厂鉴定及其使用维护的各种测试试验中,为了实现对装备性能的全面测试,常常要动用大量的实验设备,进行数以万计次的测试,不仅造成测试成本的提高,反复的对装备进行开关机也直接影响了装备的使用寿命。因此,将仿真技术和测试技术相结合,构造出仿真测试系统,不仅可以为装备测试试验提供一个良好的仿真性的调试、维护环境,减少装备开关机次数,而且可以大大降低系统测试开销。

除此之外,以往测试中无法进行的各种测试实验也可以在仿真测试环境中进行测试,如目前使用最多的两种测试方法——插板分机替换法及单点静态测试法,只能进行功能测试,而无法测试性能,测试结果难以反映被测系统的全面工作状态,故障定位能力依赖于维护人员素质等,不能满足现代装备测试的需要。但是通过利用仿真测试技术,就可以避免上述问题的出现。

装备仿真测试技术是综合利用计算机仿真技术和软件工程技术,借助计算机仿真软件和一定的硬件资源来模拟装备的测试过程,其结果用来指导装备的设计工作与维修诊断工作,为装备的管理决策和技术决策提供依据。

为了满足武器装备仿真测试技术课程的教学需要,我们在近几年装备测试与仿真技术教学研究成果的基础上,参阅国内外关于有关该领域研究方面的大量文献资料,组织编写了该书。

全书共分为6章,第1、3、6章由黄考利、连光耀、魏忠林编写,第2章由马立元、宋英趁、薛凯旋编写,第4章由孟晨、杨锁昌、连光耀、张延生编写,第5章由陈建辉、高凤岐、吕晓明编写,全书由黄考利负责统稿,冯振声、张锡恩最后进行审校。

在本书编写过程中,大量参阅和引用了该研究领域有关专家教授的研究成果,在此谨表衷心感谢!

鉴于编者水平有限,对于书中存在的错误和疏忽之处,恳请读者不吝赐教。

编 者

2007年8月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 研究目的及意义	1
1.2 国内外研究概况	1
1.2.1 发展概况	1
1.2.2 典型的仿真测试系统	3
1.3 仿真技术的发展及其在测试领域内的应用	7
1.3.1 仿真技术的发展	7
1.3.1.1 虚拟现实技术	7
1.3.1.2 分布式仿真	7
1.3.1.3 智能化仿真	9
1.3.2 基于虚拟样机技术的装备仿真测试技术	10
1.3.2.1 需求分析阶段	10
1.3.2.2 设计阶段	11
1.3.2.3 验证与评价阶段	11
1.3.2.4 生产制造与使用维护阶段	12
1.4 仿真测试技术的内涵	12
1.4.1 定义	12
1.4.2 关键技术	12
思考题	13
第2章 装备仿真技术	14
2.1 仿真技术及其应用	14
2.1.1 仿真的定义与分类	14
2.1.1.1 定义	14
2.1.1.2 分类	16
2.1.2 仿真技术的应用	19
2.1.2.1 在装备设计中的应用	19
2.1.2.2 在装备分析中的应用	22
2.1.2.3 在装备制造过程中的应用	22
2.1.2.4 在装备训练中的应用	24
2.2 装备设计中的单领域仿真技术及仿真软件	25
2.2.1 概述	25
2.2.2 单领域仿真软件	25
2.2.2.1 有限元分析领域	25
2.2.2.2 多体动力学分析领域	26

2.2.2.3 控制分析领域	27
2.2.2.4 电子电路领域	27
2.2.2.5 其他领域	29
2.3 面向复杂装备设计的协同仿真技术	29
2.3.1 概述	29
2.3.2 需求分析	30
2.3.3 面向复杂装备设计的协同仿真	31
2.3.3.1 方法	31
2.3.3.2 工具	32
2.3.3.3 协同性	32
2.3.4 实例	34
2.3.4.1 XXX 飞行器开发	34
2.3.4.2 YYY 作战系统开发	35
2.3.4.3 福特汽车姿态控制系统开发	36
2.4 虚拟样机与虚拟样机技术	37
2.4.1 虚拟样机	37
2.4.1.1 虚拟样机概念的提出	37
2.4.1.2 虚拟样机	38
2.4.2 虚拟样机技术	39
2.5 装备仿真系统的构造	40
2.5.1 概述	40
2.5.2 仿真系统的构造流程	40
2.5.3 仿真系统设计过程	40
2.5.4 仿真系统设计实施过程	43
2.5.5 仿真系统集成与验收	44
2.5.6 注意事项	45
思考题	45
第3章 装备测试技术	46
3.1 系统测试的基本问题	46
3.1.1 测试问题的定义	46
3.1.2 功能测试	47
3.1.3 诊断测试	48
3.2 武器装备的测试性设计	48
3.2.1 测试性研究的意义	48
3.2.2 测试性的定义	49
3.2.3 测试性工程的产生与发展历程	49
3.2.3.1 测试性工程的产生	49
3.2.3.2 测试性设计技术的发展历程	50
3.2.3.3 国内测试性研究现状	51

3.2.4 发展趋势与新技术在测试性设计中的应用	52
3.2.4.1 并行工程的应用	52
3.2.4.2 递阶集成的测试体系	52
3.2.4.3 纵向集成测试策略	54
3.2.4.4 基于信息的综合诊断技术	55
3.3 边界扫描技术	56
3.3.1 测试访问端口与边界扫描体系结构	57
3.3.1.1 基本结构	57
3.3.1.2 测试存取通道	59
3.3.1.3 寄存器	60
3.3.1.4 边界扫描测试方式	61
3.3.2 混合信号测试总线	65
3.3.3 模块化测试与维修总线	67
3.3.4 先进数字网络边界扫描测试	70
3.4 内建自测试技术	71
3.4.1 基本概念	71
3.4.1.1 内建自测试简介	71
3.4.1.2 内建自测试的结构	72
3.4.1.3 内建自测试的测试生成	73
3.4.2 响应数据压缩	74
3.4.2.1 奇偶测试	74
3.4.2.2 “1”计数	75
3.4.2.3 跳变次数压缩	76
3.4.3 内建自测试的结构	76
3.4.3.1 内建自测试	76
3.4.3.2 自动测试	77
3.4.3.3 循环内建自测试	77
3.5 专用测试技术	78
3.5.1 电流测试技术	78
3.5.1.1 简介	78
3.5.1.2 I_{DDQ} 测试机理	80
3.5.1.3 测试方法	84
3.5.1.4 总结	87
3.5.2 存储器测试技术	87
3.5.2.1 存储器电路模型	88
3.5.2.2 存储器测试类型	90
3.5.2.3 存储器测试方法	91
3.5.3 SoC 测试技术	94
3.5.3.1 SoC 测试的基本问题	95

3.5.3.2 概念性的 SoC 测试结构	99
3.5.3.3 SoC 测试策略	102
思考题	107
第4章 装备仿真测试建模	109
4.1 系统的数学模型	109
4.1.1 数学模型的作用	109
4.1.2 模型的有效性度量与建模形式化	110
4.1.3 数学模型的分类	111
4.1.4 系统数学模型的构建	112
4.1.4.1 连续时间系统的数学模型	112
4.1.4.2 离散时间系统的数学模型	117
4.1.4.3 采样系统的数学模型	118
4.2 装备仿真建模技术概述	119
4.2.1 分布式协同仿真建模问题	119
4.2.2 分布式仿真模型对象定义	120
4.2.3 基于分布式仿真模型对象的分布式协同建模方法	123
4.2.4 基于分布式仿真模型对象的分布式协同建模实现	126
4.3 仿真测试建模	129
4.3.1 模型的要求	129
4.3.2 多领域建模方法	130
4.3.2.1 引言	130
4.3.2.2 目前常用的方法分析	130
4.3.2.3 基于 HLA 的多领域建模方法	134
4.3.3 功能模型	146
4.3.3.1 功能建模方法的发展及应用现状	146
4.3.3.2 功能建模思想综述	147
4.4 系统模型的表示与集成	156
4.4.1 装备信息集成与交换标准概述	156
4.4.2 STEP 标准	157
4.4.2.1 STEP 的由来	157
4.4.2.2 STEP 标准的组成和实现方法	159
4.4.2.3 EXPRESS/EXPRESS - G 语言	162
4.4.3 XML 及相关技术	164
思考题	168
第5章 故障注入技术	169
5.1 概述	169
5.2 故障模型	169
5.2.1 缺陷、错误和故障	170
5.2.2 故障模型的级别	171

5.2.3 故障模型术语表	171
5.2.4 单固定故障	178
5.3 故障模拟	184
5.3.1 用于设计验证的模拟	184
5.3.2 用于测试评估的模拟	187
5.3.3 用于模拟的模型电路	189
5.3.3.1 模型的层次与模拟器类型	190
5.3.3.2 层次连接描述	191
5.3.3.3 MOS 网络的门级模型	191
5.3.3.4 模拟信号的状态	193
5.3.3.5 时序	195
5.3.4 用于真值模拟的算法	197
5.3.4.1 编码模拟	197
5.3.4.2 事件驱动模拟	198
5.3.5 故障模拟算法	199
5.3.5.1 串行故障模拟	200
5.3.5.2 并行故障模拟	200
5.3.5.3 推演故障模拟	202
5.3.5.4 并发故障模拟	205
5.3.6 故障取样	207
思考题	210
第6章 仿真测试平台构建技术	211
6.1 装备自动测试平台技术概述	211
6.1.1 自动测试系统的概念与组成	211
6.1.2 自动测试设备和测试程序集	212
6.1.2.1 自动测试设备	212
6.1.2.2 测试程序集	218
6.1.3 虚拟仪器技术对自动测试系统发展的影响	220
6.1.3.1 虚拟仪器的概念和结构	220
6.1.3.2 虚拟仪器的软件框架	222
6.1.3.3 虚拟仪器对军用 ATE 发展的影响	223
6.2 仿真测试系统	224
6.2.1 仿真测试系统的硬件实现	224
6.2.2 仿真测试系统的软件实现概述	225
6.2.3 通用仿真测试系统实例	227
思考题	231
参考文献	232

第1章 绪 论

内容提要：本章主要介绍仿真测试技术的研究目的及意义、基本概念、主要研究内容以及相关技术支撑。

1.1 研究目的及意义

仿真测试技术是现代复杂武器装备设计与测试技术研究的一个重要领域。通过仿真测试平台，不仅可以对装备的设计指标进行评价与验证，而且可以用于装备的故障诊断工作，提高装备的故障诊断水平。

随着装备复杂程度的增加，对装备的设计、调试及维护工作提出了更高要求。在装备的设计验证过程中，为了获得高可靠性的测试数据，需要向装备中注入一定数量的故障。但对于许多大型装备（如大型导弹、飞机等），直接注入故障不仅无法保障实验的安全性，而且也降低了装备的使用寿命，再者，许多实验的开销也是十分庞大的。

除了上述问题之外，目前使用最多的两种测试方法——插板分机替换法及单点静态测试法，只能进行功能测试，而无法测试性能，测试结果难以反映被测系统的全面工作状态，故障定位能力依赖于维护人员素质等，不能满足现代装备测试的需要。

因此，可以利用仿真的技术手段构造装备运行的试验环境，利用先进的测试技术，进行半实物的测试试验，将仿真技术、模拟样机技术和测试技术相结合，构造出仿真测试平台，为装备提供一个良好的仿真性的调试、诊断环境，从而减少实际装备开关机次数。一方面，可以为装备的鉴定验收提供重要的技术数据；另一方面，通过对试验结果进行必要的分析与综合，完成辅助故障诊断功能。

综上所述，仿真测试主要解决两个问题：一是利用仿真手段，模拟出装备的各种变化规律，以便装备能够在一个模拟的“真实”环境中运行；二是利用测试设备对装备运行过程中的各种关键参数进行检测，以便进行实时或事后的分析，对装备的各项测试性技术指标做出结论性意见，也为装备的故障诊断提供帮助。

1.2 国内外研究概况

1.2.1 发展概况

仿真测试技术研究是伴随着 20 世纪 60 年代的装备样机技术的发展而出现的。这些样机被用来收集大量数据以验证装备的性能。仿真测试技术的应用，一方面降低了装备研发成本，缩短了研发周期，另一方面解决了探索新技术、验证新思想的手段问题。因此，仿真测试技术与装备的设计与试验技术紧密相关，按照构建模式不同，仿真测试技术主要有三种类型，即：基于实际装备的构建模式、基于仿真软件的构建模式和基于半实物仿真的构建模式。

(1) 基于实际装备的构建模式

该模式是使用最早的一种仿真测试构建模式，在 20 世纪 70 年代以前，由于缺乏先进的计算机技术与软件工程技术的支撑，装备的仿真测试主要采用基于实物的模式进行。实物仿真的优点是具有运行环境真实、可靠性高、精确等，但成本高，适应性差，测试和调节难度大。

(2) 基于仿真软件的构建模式

随着计算机技术的发展，特别是软件工程技术的不断发展，以各类 CAX（如 CAD、CAM、CAE 等）和 DFX（如 DFM、DFT 等）技术为代表的装备设计分析软件已在机械、电子、控制、软件等领域中取得了许多研究成果与成功应用，出现了基于软件仿真的测试环境。其优点是实用性好、成本低、灵活性好等，但开发效果实质上是软件仿真，不具有实时性，缺乏真实感。其仿真结果的可信性、可用性必须通过其他途径来检验。

(3) 基于半实物仿真的构建模式

基于半实物仿真（Hardware - In - the - Loop Simulation, HILS）的构建模式是上述两者的折中。通过软硬件配合进行仿真，可以实时有效地对装备进行性能测试，并对测试性设计进行分析和评价。

图 1-1 为为丰田汽车技术研究中心与美国康涅狄格大学共同开发的一种基于半实物仿真的汽车传动系统仿真测试平台。

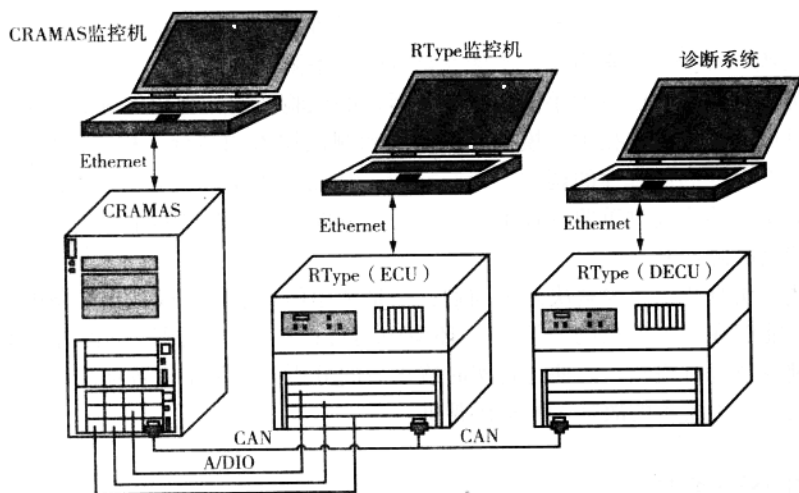


图 1-1 基于 HILS 的仿真测试平台

该平台由一个特制的计算机辅助多条件分析系统（Computer Aided Multi - Analysis System, CRAMAS）和两个 RType（实验原型机）组成。中间的 RType 主要作为一个发动机控制用电子控制组件（Electronic Control Unit, ECU），除了模仿商业化的 ECU 软件，可以通过在其控制机上运行 Matlab/Simulink 软件环境用 REAL - TIME WORKSHOP 编译来进行诊断设计。右边的 RType 用来模拟特定的诊断 ECU（DECU），用于设计先进的诊断算法和 Agent

管理模块。CRAMAS 是一个基于 PCI 总线结构的高速、多用途、可扩展系统。整个系统通过 CAN 总线连接。CRAMAS 和每一个 RType 通过 Ethernet 与各自的主控机相连。CRAMAS 的主机作用：修正和编译发动机模型、通过标准量和刻度盘监视输入/输出、控制系统仿真硬件的运行。

1.2.2 典型的仿真测试系统

下面给出几个国内在武器装备设计与维护过程中使用的仿真测试系统平台的实例。

1. 东风 6 机车微机系统仿真测试台

机车电传动系统控制及分布式仿真研究在机车研究、设计、制造上提供了一种新的有效手段，其方便性、快速性、准确性、用户界面友好性和曲线的美观性直接提高了新型机车研究、设计、制造的效率，改善了机车整体性能的发挥，是帮助设计师深入研究机车性能、电传动系统与控制系统相互关系和机车参数计算的有力工具，同时为开发新型机车提供了微机控制及分布式仿真试验的平台，特别是对开发大功率交流传动机车提供了技术保证。

以 9 台 386 微机系统分别代表东风 6 机车电传动系统的实际柴油机、励磁发电机、主发电机及 6 台电动机模块，研制出东风 6 机车微机系统分布式仿真测试台。如图 1-2 所示。

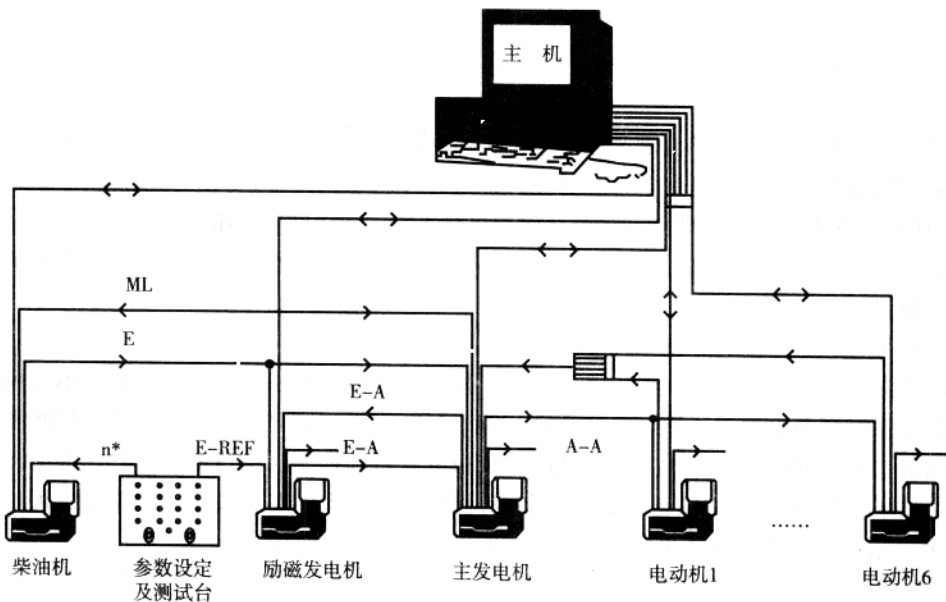


图 1-2 机车电传动系统分布式仿真测试台系统结构图

各模块采用数字仿真解算数学模型、模块间用 AD/DA 连接，可测量各物理量的模拟量，各模块通过串行通信与一台 386 主机通信。主机监控各模块的运行状态，记录运行曲线和数据。

这种分布式的测试台结构及数字、模拟混合式的数据处理和信号传输体制能更加形象化地模拟真实的机车电传动系统，既能保证信息的高速传送。又可避免多机连接的同步问题，

灵活性高、通用性强。发电机等各模块的数学模型都采用与实际相符的非线性数学模型，精度高。通过本仿真测试台可深入理解内燃机车系统动态特性，减少直接到机车上测试的人力和物力。还可以提高控制器设计与制造的劳动生产率。

本测试台在大连机车车辆厂实际应用，整个系统运行可靠，是机车设计与测试的有力工具，大大提高了工作效率。

2. 混合动力电动汽车仿真测试平台

混合动力电动汽车（HEV）半实物仿真测试平台（以下简称测试平台）是华中科技大学电动汽车研究院承接国家“863”计划电动汽车重大专项的一个重要组成部分，是一个进行动态系统建模、调试和综合分析的平台。测试平台开发的短期目标是完成 HEV 动力系统通信及整车控制的功能模拟，这一目标已实现；长远目标是通过实时高效的测试环境，可以对任意组合的 HEV 子模块进行运行测试，建立完善的试验数据处理与测试对象评价体系，为动力系统参数匹配和控制策略优化建造良好的柔性试验平台。

目前 HEV 主要的开发方式有实车开发平台、计算机软件仿真等方式。实车开发平台具有运行环境真实、可靠性高、精确等优点，但成本高、适应性差、测试和调节难度大。利用如 ADVISOR、MARVEL、SIMPLEV 等仿真软件开发 HEV 有实用性好、成本低、灵活性好等优点，但是这种开发效果实质上是软件仿真，不具有实时性，只能获取仿真结果，不能实时反映 HEV 整车以及各零部件运行的状况，不能实时反映控制策略对汽车整车以及各零部件运行的控制情况，缺乏真实感。另外，仿真结果的可信性、可用性必须通过其他途径来检验。

可以将两种开发方式结合起来，采用一种半实物仿真测试平台开发混合动力电动汽车的方法就可以解决实车开发平台和计算机软件仿真开发所产生的不足。半实物仿真测试平台可以在 HEV 开发中实时有效地对动力系统进行性能测试，对控制策略的优劣进行分析和评价，在选择最佳动力系统结构和控制策略时，能够帮助设计者很快地缩小研究范围，找到关键技术的突破口。

测试平台的总体控制结构如图 1-3 所示。

由于测试平台由不同单元模块构成，为了使现有的单元模块以及将来增减的单元模块之间数据交换能够满足简单迅速、可靠性高、抗干扰能力强、实时性好、系统错误检测和隔离能力强等要求，同时又能够最大限度地减少线束的数量和控制器接口的引脚数，各单元模块内部通信采用 CAN 总线协议进行通信，总线符合 CAN2.0B 标准及 CAN 国际标准 ISO11898。CAN 节点通信位速率为 500Kbps，通信介质采用普通屏蔽双绞线。

位于图中 CAN 总线上方的系统多能源计算机，即多能源控制器（N1 节点）是一个真实模块，混合动力电动汽车的控制策略就存放在多能源控制器中。多能源控制器通过检测 CAN 总线所传送的各节点的输入信号，向各节点发出控制信号，调度和控制各节点的正常运行。

而位于图中 CAN 总线下方的系统可以由不同数量的真实模块和虚拟模块组成。比如，测试平台要测试某种类型真实的电池的性能能否满足某种结构的混合动力电动汽车的使用要求时，可以让内燃机模块，电机模块等其他模块均为虚拟模块，这样位于图中 CAN 总线下方的系统将由一个真实的电池模块 + 若干个虚拟模块组成。虚拟模块的工作特性和变化规律在测试平台中用软件实现。如果所有的子模块都为真实模块，那么测试平台将是一个实车试

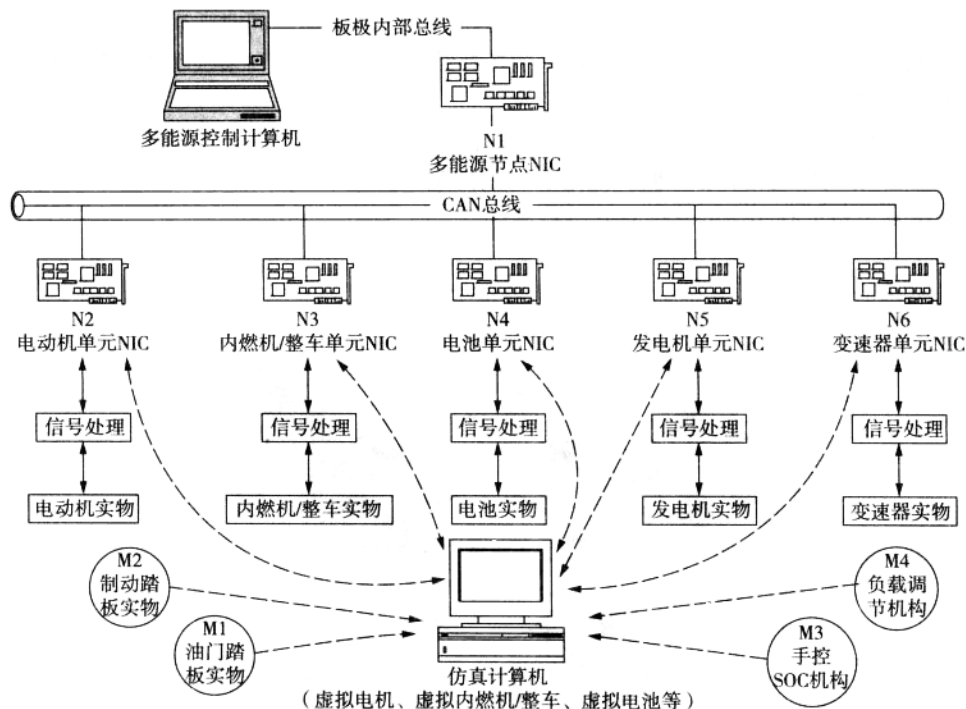


图 1-3 混合动力汽车仿真测试平台的总体控制结构图

验平台；如果所有的子模块都为虚拟模块，那么测试平台将成为一个仿真试验平台。真实模块和虚拟模块可以根据需要进行互换，这样极大提高了测试平台的灵活性。真实模块的信息由信号处理系统采集后，通过 CAN 总线送往多能源控制器。仿真计算机集中了虚拟电池、虚拟电动机、虚拟整车等所有虚拟模块，它为多能源控制器提供了一个硬件级别接近真实的运行环境，即要求从多能源控制器的角度来观察，该测试平台应与实际整车运行环境完全没有差别。仿真计算机综合各节点（N2 ~ N6）中虚拟单元的运行规则、操纵机构（M1 ~ M4）中的操纵指令以及多能源控制器发来的控制信号后，产生相应的状态信号，通过信号接口卡经 CAN 总线传送到多能源控制器中。

该测试平台是一个半实物仿真测试平台。

该测试平台能够在技术方案的选择阶段对各个候选子系统进行替换研究，从而方便了设计者的工作，而且还有助于将来为混合动力电动汽车样车的制造和试验提供工程目标。在对 EQ6110 混合动力城市公交车和奇瑞混合动力轿车等混合动力电动汽车的研究中，均使用了该测试平台进行了性能测试。

3. 小卫星平台电子学仿真测试系统

本系统由中国科学院空间科学与应用研究中心研制成功。

针对小卫星平台电子学系统的需求分析，以及仿真测试的要求，该系统的实现采用设计、仿真与测试一体化的思想：即设计时采用数字仿真、传输介质通信优化等手段，同时考

虑传输介质的集成、测试等问题，将项目后期可能遇到的问题尽量在系统设计时就加以分析、考虑，减少研制后期由于问题多而对项目研制产生的影响。同时，系统设计过程中还要考虑系统冗余备份和设计灵活性，支持系统拓扑结构的灵活变化和系统功能的延续性，减少因系统设备的故障造成的对系统功能的影响。

系统的构成如图1-4所示，它是由系统内核、仿真设备和物理设备组成的，系统中的传输介质有：RS422/RS232 串口板、指令卡、模拟量采集卡、MIL - STD - 1553B 总线，物理设备和仿真设备都有相应的软件对其进行操作。

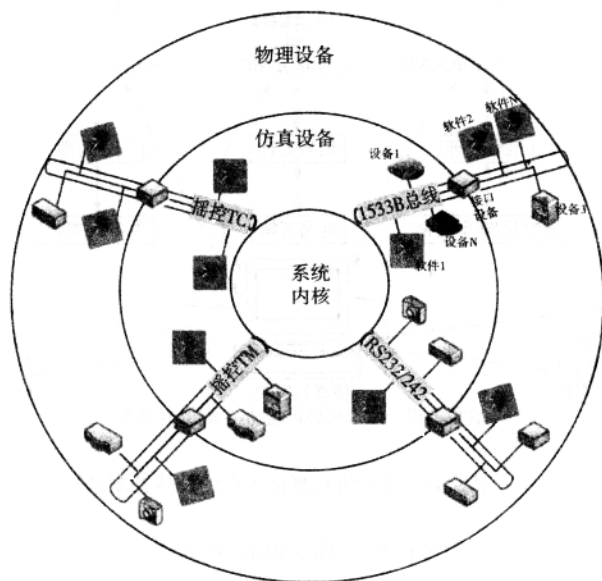


图1-4 小卫星平台电子学仿真测试系统构成图

从系统架构的角度来看，系统是由实时内核、设计定制模块和仿真定制模块组成。在实时内核里需要做的工作是对设备接口、总线接口和数据接口的读写等操作。设计定制模块实现对总线、硬件设备以及嵌入式软件的加载，接口控制文档（Interface Control Document, ICD）的设计工作也在此完成。仿真测试模块实现测试用例的生成、实时仿真和测试结果管理，其中测试结果管理可以实现保存测试日志、对数据的监视、bug 定位、过程回放以及统计报表。

该系统是一个具有统一接口的完善的电子学仿真测试平台，能够使卫星综合仿真系统达到有效互联、扩展、配置，提高卫星研制效率和研制质量的目的。能够解决方案设计时各分系统之间的协调问题，有利于卫星设计时星载软件的开发、调试并减少测试时间。同时能够提供具有良好通用性的实现仿真测试平台的方法，以提高其他系统仿真测试的效率和可靠性，为整个研制开发工作取得事半功倍的效果奠定基础。

1.3 仿真技术的发展及其在测试领域内的应用

1.3.1 仿真技术的发展

1.3.1.1 虚拟现实技术

随着计算机技术的飞速发展,人们对客观事物的表示已经转向“景物真实、动作真实、感觉真实”的多维信息系统。Jaron Lanier 在 20 世纪 80 年代初提出了虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 的概念,以表达借助计算机及最新传感器技术所创造的一种崭新的人机交互手段。1992 年美国国家科学基金 (National Science Foundation) 资助的交互式系统项目 (Interactive System Program, ISP) 工作组的报告中对 VR 提出了较为系统的论述,并确定了未来虚拟现实领域的研究方向。虚拟现实技术是综合利用了计算机图形技术、计算机仿真技术、传感器技术和显示技术等多种科学技术,在多维信息空间上创建出一个虚拟信息环境,使用户具有身临其境的沉浸感,并可与环境发生交互作用。

虚拟现实技术是客观世界在计算机上的本质实现,其核心技术是建模和仿真,即通过数学模型对人、物、环境及其相互关系进行本质的描述,并在计算机上加以现实。虚拟现实技术具有三个主要特征:沉浸 (Immersion)、交互 (Interaction) 和构想 (Imagination)。它通过仿真给用户创造一个能够实时地反映实体对象变化及其相互作用的三维立体世界,通过沉浸感——(人与虚拟世界)交互——(人)构想的过程,使用户直接参与和探索虚拟对象在所处环境中的作用与变化,如图 1-5 所示。

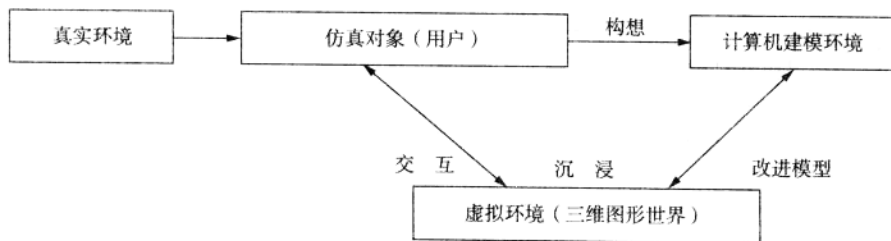


图 1-5 虚拟现实技术的三个主要特征

随着人们对 VR 技术更多的接触与了解,这种技术的优越性已越来越被人们所感知,例如它给用户身临其境的感觉,在虚拟世界中自由移动,可以控制虚拟世界中的物体并影响它们的状态等。它的用途也逐步深入到制造业、军事和航空等各个部门。

1.3.1.2 分布式仿真

分布式仿真是由多台计算机联网而成的仿真系统,它的软、硬件资源采取分布控制与管理的方式,以支持多个子系统仿真任务协调统一地执行。在分布仿真系统中,复杂的仿真模型分解为多个子模型,分布运行于多台计算机上,可以获得更高的执行效率和灵活性。

分布仿真技术出现于 20 世纪 80 年代。当时,由于美国国防部为了削减国防开支,不得不探索新的仿真和建模技术。基于仿真的训练 (Simulation Based Training, SBT) 的出现可以解决原有军事仿真活动存在的许多问题,主要表现在:原有使用大量真实的装备进行训练