



中航工业首席专家
技术丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目
中航工业科技与信息化部组织编写

侯敏杰 编著

高空模拟试验技术

AERO-ENGINE ALTITUDE
SIMULATING TEST TECHNIQUES

航空工业出版社

责任编辑：安玉彦

责任设计：王楠

侯敏杰，1962年生，山西省稷山县人。工学博士，研究员，中航工业动力试验首席技术专家，现任中国燃气涡轮研究院副院长。自1982年西北工业大学动力控制工程专业毕业后一直在中国燃气涡轮研究院试验基地从事研究工作，1989—1991年在德国亚琛工业大学喷气推进技术研究所完成深造学习。主持完成了国内多个机种的航空发动机的高空模拟试验、进发匹配试验和发动机气动稳定性研究工作，荣获国家科学技术进步奖特等奖2项、国防科技工业委员会技术进步奖10项、部级科技成果奖18项。先后被评为四川省国防工业“十大杰出青年”，国防科技工业“有突出贡献中青年专家”，第六批四川省学术和技术带头人，“新世纪百千万人才工程”国家级人选。



中航出版传媒有限责任公司
CHINA AVIATION PUBLISHING & MEDIA CO., LTD.

www.aviationnow.com.cn

ISBN 978-7-5165-0637-0



定价：230.00 元

中航工业首席专家技术丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目

高空模拟试验技术

侯敏杰 编著

航空工业出版社

北京

内 容 提 要

本书系统地阐述了高空模拟试验技术的全过程,其主要内容包括:高空模拟试验的特点、分类及其管理;试车台设备技术;试验技术;环境模拟与控制技术;测试技术;性能评定与标定技术;试验流程;畸变试验技术以及虚拟试验技术。此外,还概述了各类发动机高空模拟试验及试验技术的发展趋势。

本书可供航空工业从事飞行器动力专业设计、制造、试验和管理的工程技术人员学习参考,也可作为其他相关领域人员和航空高等院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高空模拟试验技术/侯敏杰编著. --北京:航空工业出版社,2014.12

(中航工业首席专家技术丛书)

ISBN 978-7-5165-0637-0

I. ①高… II. ①侯… III. ①航空发动机—高空试验—模拟试验 IV. ①V263.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第299020号

高空模拟试验技术 Gaokong Moni Shiyān Jishu

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑2号院 100012)

发行部电话:010-84936597 010-84936343

北京世汉凌云印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2014年12月第1版

2014年12月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:38.25

字数:979千字

印数:1—2000

定价:230.00元

总 序

航空工业被誉为“现代工业之花”，是国家战略性高技术产业，同时也是技术密集、知识密集、人才密集的行业。中国是世界航空产业格局中的后来者，而中航工业作为支撑中国航空工业发展的核心力量，履行国家使命，必须大力推进自主创新，必须在科技创新和知识创新上有所作为。

从2009年开始，中航工业按照航空技术体系，在科研一线技术人才中陆续遴选出近百位集团公司级“首席技术专家”。此举既是集团公司对这些技术人才技术水平和能力的肯定，也意味着集团公司赋予了他们更大的责任和使命。我们希望这些技术专家在今后的工作中，要继续发挥科研技术带头人的作用，更加注重学习和创新，不断攀登航空科技新的高峰；要坚持潜心科研，踏实工作，不断推动航空科技进步；要带队伍、育人才，打造高水平的科研队伍，努力培养更多的高层次专业技术人才，为中航工业的发展做出更大的贡献。

21世纪企业的成功，越来越依赖于企业所拥有知识的质量，利用企业所拥有的知识为企业创造竞争优势和持续竞争优势，这对企业来说始终是一个挑战。正因如此，“知识管理”在航空工业等高科技产业领域得以快速推广和应用。依照这个思路，将首席技术专家们所积淀和升华出来的显性或隐性知识纳入知识管理体系，是进一步发挥其人才效益的重要方式，也是快速提升中航工业自主创新能力的的重要途径。

知识管理理论的核心要义，就是把知识作为一种重要资产来进行管理，正如知识管理的创始人斯威比所说：“知识资本是企业的一种以相对无限的知识为基础的无形资产，是企业核心竞争能力的源泉。”如果专家们把其掌握的各类显性或隐性知识，用书面文字的形式呈现出来，就相当于构建了一个公共资料库，提供了一个交流平台，可以让更多的人从中受益——这就是出版这套“中航工业首席专家技术丛书”的初衷。

集团公司的这近百位“首席技术专家”，基本覆盖了航空工业的所有专业。每位专家撰写一部专著，集合起来，就相当于一个航空工业的“四库全书”，很有意义。在此，我要特别感谢这些专家们，他们在繁重的科研生产任务中，不辞辛劳地撰写出了自己的专著，无私地将自己的宝贵经验呈现给大家，担当起了传承技术、传承历史的责任。

相信这套丛书的出版，会使更多的航空科技工作者从中获益，也希望在一定程度上能助力中航工业的自主创新，对我国航空工业的科技进步产生积极影响。

林左鸣

中国航空工业集团公司董事长

前 言

高空模拟试车台（简称高空台）作为一种大型航空发动机试验设施，可在地面上方便（不受季节和气候限制）地再造空中飞行条件，进行航空发动机高空特性试验测量。迄今为止，高空台和高空模拟试验是能够在发动机研制过程中实现其全工作包线范围内性能/特性摸索与考核的唯一手段，是发动机研制过程中最有效的性能调试和技术攻关试验平台。当前我国航空发动机研发受制于试验与测试的因素较多，高空模拟试验与测试技术水平具有一定的代表性。

以本人的知识和阅历为基础，本书共计 12 章，紧紧围绕高空模拟试验“测试准确、结果公正”的基本科学原理，从理论研究和工程实际相结合的角度阐述了涡喷、涡扇发动机高空模拟试验技术及其发展的相关理论。该书以涡喷、涡扇发动机高空模拟试验技术为主线，主要介绍了在直接连接式高空台进行的航空发动机高空模拟试验技术，包括：飞行环境状态模拟、参数测量方法、试验性能评定方法、计量标定与主要性能参数的不确定度、高空模拟试验流程、高空台发动机进气压力畸变试验、数值仿真高空模拟试验和航空发动机高空模拟试验发展展望。本书力求实用性，尽量采用最通俗的语言阐述高空模拟试验所涉及的相关知识。希望对从事高空模拟试验技术工作的设计、操作和维护人员，以及相关专业人员能有一定的帮助及参考价值。

本人自 1982 年从西北工业大学航空动力控制工程专业毕业至今，一直在中航工业燃气涡轮研究院从事高空模拟试验工作，在工作、成长的历程中，非常感谢刘大响院士、杜鹤龄、徐通源、吴行章研究员等杰出导师的大力帮助。

中航工业燃气涡轮研究院整机试验技术研究室的吴锋、袁世辉、马前容、文刚、张松、嵇晓昱、何培磊、孙晗、庄欢、贾春强、彭炬、彭生红、王娟娟、陈鹏飞等为本书编写提供和整理了部分参考资料，并承担了绘图和整理工作，特表示衷心的感谢。同时感谢多年来单位领导和高空台工程技术人员的大力支持。

书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

侯敏杰

2014 年 6 月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 航空发动机高空模拟试验	(1)
1.2 航空发动机高空模拟试验的特点	(3)
1.2.1 试验作用	(3)
1.2.2 试验内容及其复杂性	(9)
1.2.3 试验考核与评定	(11)
1.3 航空发动机高空模拟试验的分类	(12)
1.3.1 研究性试验	(12)
1.3.2 飞行前规定试验	(12)
1.3.3 定型试验	(13)
1.3.4 发动机改进改型及排故性试验	(13)
1.4 航空发动机高空模拟试验的机构与管理	(13)
1.4.1 美国航空发动机试验机构	(13)
1.4.2 欧洲主要航空发动机试验机构	(14)
1.4.3 亚洲航空发动机试验机构	(15)
1.4.4 重大试验设施的管理	(15)
1.5 航空发动机高空模拟试验发展的历史与趋势	(17)
1.5.1 世界航空发动机高空模拟试验发展	(17)
1.5.2 中国航空发动机高空模拟试验发展	(23)
第2章 高空模拟试车台的类型和功能	(25)
2.1 直接连接式高空模拟试验	(26)
2.1.1 基本原理	(26)
2.1.2 主要设备构成	(27)
2.1.3 功能	(28)
2.1.4 分类	(30)
2.1.5 国内外相关设备简介	(32)
2.2 全尺寸飞机进气道与发动机联合试验	(39)
2.3 自由射流式高空模拟试验	(41)
2.3.1 基本原理	(41)
2.3.2 主要设备构成	(43)
2.3.3 功能	(45)

2.3.4	国外相关设备简介	(47)
2.4	半自由射流式高空模拟试验	(49)
2.5	管道—喷管式高空模拟试验	(52)
2.6	推进风洞试验	(53)
2.6.1	功能	(53)
2.6.2	主要设备构成	(55)
2.6.3	AEDC 的推进风洞试验系统	(56)
2.6.4	推进风洞试验设备若干问题	(59)
第 3 章	航空发动机高空模拟试车台的主要关键设备	(62)
3.1	航空发动机研制对高空模拟试验设备和技术的要求	(62)
3.2	中国 SB101 航空发动机高空模拟试验设备	(62)
3.3	高空台主要关键设备的特性	(64)
3.3.1	气源站	(64)
3.3.2	高空试验舱	(70)
3.3.3	排气冷却系统	(78)
3.4	典型直连式航空发动机高空模拟试验设备 (SB101)	(83)
3.4.1	SB101 组成原理	(83)
3.4.2	气源	(83)
3.4.3	试验舱	(86)
3.4.4	排气和冷却系统	(91)
3.4.5	试车工艺系统	(94)
3.5	航空发动机高空模拟试验设备的展望	(94)
第 4 章	直接连接式高空台试验技术	(96)
4.1	航空发动机高空模拟试验的实现	(96)
4.1.1	发动机工作包线与飞机飞行包线	(96)
4.1.2	飞行模拟参数的确定	(98)
4.1.3	发动机的基本特性	(107)
4.1.4	模拟参数对发动机性能的影响	(110)
4.2	高空稳态性能试验	(113)
4.2.1	概述	(113)
4.2.2	试验内容	(113)
4.2.3	试验条件	(115)
4.2.4	试验要求	(117)
4.2.5	试验程序	(120)
4.2.6	发动机各推力 (功率) 调节状态工作稳定性检验	(120)
4.2.7	航空发动机稳态性能参数	(121)
4.2.8	发动机模拟高空稳态性能试验合格标准	(121)

4.3 推力瞬变试验	(122)
4.3.1 概述	(122)
4.3.2 试验目的	(123)
4.3.3 试验内容	(123)
4.3.4 试验的标准条件	(124)
4.3.5 试验的非标准条件	(125)
4.3.6 试验的基本要求	(126)
4.3.7 基本试验方法	(126)
4.3.8 试验合格标准	(128)
4.4 功能试验	(129)
4.4.1 概述	(129)
4.4.2 试验目的	(129)
4.4.3 试验方法	(130)
4.4.4 高空功能试验的综合评定	(132)
4.4.5 高空功能试验的最终结果	(133)
4.5 起动与再起动试验	(133)
4.5.1 概述	(133)
4.5.2 起动原理	(133)
4.5.3 起动分类	(134)
4.5.4 起动限制及要求	(135)
4.5.5 试验目的	(137)
4.5.6 试验方法	(137)
4.5.7 试验结果	(138)
4.5.8 某型发动机空中起动和再起动试验	(138)
4.6 高、低温起动和加速试验	(139)
4.6.1 概述	(139)
4.6.2 高、低温起动和加速试验要求	(140)
4.6.3 高、低温起动和加速试验可用的试验手段	(140)
4.6.4 高空模拟试验方法	(142)
4.6.5 参数测量和记录	(144)
4.7 高空风车旋转试验	(147)
4.7.1 概述	(147)
4.7.2 试验目的	(147)
4.7.3 影响因素	(148)
4.7.4 试验设备	(148)
4.7.5 试验方法	(148)
4.7.6 试验要求	(149)
4.7.7 试验结果评定	(149)
4.7.8 试验数据分析	(150)

4.7.9 测试参数	(151)
4.7.10 某型发动机高空风车旋转试验	(152)
4.8 进口空气加温加压与持久试车试验	(154)
4.8.1 概述	(154)
4.8.2 试验要求	(155)
4.8.3 试验方法	(156)
4.8.4 发动机进口空气加温加压与持久试车结果评定	(157)
4.9 飞行包线内整机振动测量试验	(158)
4.9.1 概述	(158)
4.9.2 振动源分类	(158)
4.9.3 整机振动测量与分析	(159)
4.9.4 振动传感器选择	(159)
4.9.5 传感器安装	(159)
4.9.6 振动结果分析	(160)
4.9.7 振动试验要求	(161)
4.9.8 试验结果评定	(162)
4.10 关键部件振动和应力测量试验	(162)
4.10.1 概述	(162)
4.10.2 试验要求	(162)
4.10.3 试验方法	(162)
4.10.4 试验结果评定	(163)
4.11 环境结冰试验	(164)
4.11.1 概述	(164)
4.11.2 试验目的	(165)
4.11.3 环境结冰条件	(166)
4.11.4 试验要求	(169)
4.11.5 试验方法和试验手段	(170)
4.11.6 结冰试验影响因素	(174)
4.12 发动机燃油加降温试验	(175)
4.12.1 概述	(175)
4.12.2 试验设备	(175)
4.12.3 试验方法	(175)
4.12.4 试验合格标志	(176)
4.13 吞咽(吞水、吞火药气体)试验	(176)
4.13.1 概述	(176)
4.13.2 吞水试验	(177)
4.13.3 吞火药气体试验	(180)
4.14 冲压发动机高空模拟试验	(183)
4.14.1 试验概述	(183)

4.14.2	试验目的	(184)
4.14.3	影响因素	(184)
4.14.4	试验设备	(186)
4.14.5	试验要求及结果评定	(186)
4.15	核心机高空模拟试验技术	(187)
4.15.1	核心机概述	(187)
4.15.2	核心机高空模拟试验的目的和意义	(187)
4.15.3	核心机高空模拟试验的主要项目和需要解决的问题	(188)
4.15.4	核心机高空模拟试验设备	(189)
4.15.5	核心机高空模拟试验的试验方法	(190)
4.16	飞机引气及功率分出试验	(192)
4.16.1	概述	(192)
4.16.2	交直流发电机加载系统	(192)
4.16.3	液压泵加载系统	(193)
4.16.4	燃油加载系统	(193)
4.16.5	引气系统	(193)
4.17	发动机及其控制系统的高空性能特性试验	(194)
4.17.1	全权限数字式电子控制系统	(194)
4.17.2	典型发动机数控系统	(194)
4.17.3	数控系统明显改善发动机操纵性	(196)
4.17.4	高空模拟试验	(196)
4.18	海平面静止状态模拟试验	(197)
4.18.1	概述	(197)
4.18.2	标准海平面试车技术	(198)
4.18.3	主要内容及试验目的	(198)
4.18.4	试验的设备与试验方法	(199)
4.19	航空发动机高空模拟试验的完成	(200)
4.19.1	概述	(200)
4.19.2	通用规范的要求	(200)
4.19.3	发动机高空模拟试验报告	(201)
第5章	航空发动机高空模拟试验	(202)
5.1	高空模拟试验飞行环境控制技术发展	(202)
5.2	飞行环境控制系统结构分析及模拟方法	(206)
5.2.1	ATF 高空台飞行环境模拟控制系统	(206)
5.2.2	飞行状态模拟方法	(210)
5.2.3	飞行环节模拟控制系统特性分析	(211)
5.3	现代控制技术在飞行状态模拟中的应用	(215)
5.3.1	高空台调节遵循的两个原则	(216)

5.3.2	数字 PID 功能改进设计	(216)
5.3.3	复合控制在进气压力控制的分析	(223)
5.3.4	模糊控制在排气调压系统中的应用	(230)
5.4	典型高空模拟试验科目的状态模拟方法	(242)
5.4.1	核心机加温加压试验	(242)
5.4.2	极限高度下小表速试验	(245)
5.4.3	推力瞬变与加减速试验	(246)
5.4.4	发动机风车、惯性起动试验	(247)
5.4.5	等马赫数飞行试验	(249)
5.5	高空模拟试验控制与调节仿真技术	(250)
5.5.1	半物理仿真的作用	(250)
5.5.2	半物理仿真系统概述	(251)
5.5.3	阀门流量模拟数学模型	(255)
5.5.4	混合器压力数学模型	(256)
5.5.5	进气压力数学模型	(257)
5.5.6	排气压力系统数学模型	(257)
5.5.7	发动机流量变化数学模型	(258)
5.5.8	供抽气机组空气质量流量模型	(258)
5.5.9	模型精度分析	(259)
5.5.10	半物理仿真系统中的软件设计	(260)
5.5.11	半物理仿真中应注意的问题	(263)
5.6	高空台发动机飞行机动模拟展望	(265)
第 6 章	参数测量方法	(268)
6.1	概述	(268)
6.1.1	高空模拟试验测量参数类型	(268)
6.1.2	GJB 241A—2010 对参数测量精度的要求	(269)
6.2	常规参数测量方法	(270)
6.2.1	气流压力参数	(270)
6.2.2	温度参数	(276)
6.2.3	转速	(283)
6.2.4	液体流量	(285)
6.2.5	空气流量	(296)
6.2.6	推力测量	(301)
6.2.7	湿度测量	(304)
6.2.8	面积/角度/位移参数测量	(307)
6.3	动态参数测量方法	(310)
6.3.1	振动	(310)
6.3.2	动应力	(316)

6.3.3 脉动压力	(320)
6.3.4 动态测试系统	(321)
6.4 特种参数测量方法	(322)
6.4.1 滑油颗粒在线检测	(322)
6.4.2 气路碎屑检测	(324)
6.4.3 加力火焰监测	(325)
6.4.4 叶尖间隙测量	(327)
6.5 高空台特种试验参数测量	(329)
6.5.1 进气畸变参数测量	(329)
6.5.2 吞水试验参数测量	(332)
6.5.3 结冰试验参数测量	(333)
6.6 高空台数据采集与信息管理系统	(335)
6.6.1 数据采集系统组成	(335)
6.6.2 试验信息管理系统功能与组成	(337)
6.7 发动机测试的关键技术与发展趋势	(339)
6.7.1 测试关键技术	(339)
6.7.2 测试技术发展趋势	(341)
6.8 小结	(342)
第7章 高空台试验性能评定方法	(343)
7.1 发动机试验性能评估的主要参数	(343)
7.2 高空台试验性能的影响因素分析	(343)
7.2.1 高空台试验条件	(344)
7.2.2 高空台试验性能确定数学方法	(346)
7.3 高空台主要性能参数的确定方法	(348)
7.3.1 试验测试数据预处理	(348)
7.3.2 发动机转速	(350)
7.3.3 发动机空气流量确定方法	(350)
7.3.4 发动机高空台试验推力确定方法	(351)
7.3.5 发动机燃油消耗率确定方法	(356)
7.4 高空台主要性能参数的修正方法	(356)
7.4.1 试验性能参数的修正方法概述	(356)
7.4.2 相似换算修正	(357)
7.4.3 小偏差分析法	(369)
7.4.4 系数修正法	(371)
7.5 典型示例分析	(380)
7.5.1 引气和功率提取对发动机性能的影响	(380)
7.5.2 涡轮导向器喉道面积变化对发动机性能的影响	(381)
7.5.3 喷口面积变化对发动机性能的影响	(383)

7.6 高空台试验稳态性能评定方法	(385)
7.6.1 评定依据	(385)
7.6.2 评定内容	(385)
第8章 计量标定与主要性能参数的不确定度	(387)
8.1 不确定度分析	(388)
8.1.1 术语、符号	(388)
8.1.2 测量不确定度的分析方法	(392)
8.1.3 测量误差	(393)
8.1.4 测量误差估计	(399)
8.1.5 测量误差合成	(400)
8.1.6 数学模型	(401)
8.1.7 评定方法	(404)
8.1.8 基本测量误差对间接测量参数的传递	(407)
8.1.9 测量不确定度	(408)
8.1.10 校准前后分析	(412)
8.1.11 不确定度报告	(412)
8.1.12 间接测量参数测量过程中的不确定度分析	(414)
8.1.13 测量误差与测量不确定度的主要区别	(417)
8.2 计量标定	(418)
8.2.1 概述	(418)
8.2.2 压力	(418)
8.2.3 温度	(425)
8.2.4 推力	(429)
8.2.5 燃油流量	(436)
8.2.6 转速	(438)
8.2.7 湿度	(440)
8.2.8 面积	(443)
8.2.9 发动机进气界面	(447)
8.2.10 空气质量流量	(453)
8.2.11 发动机进口总压	(456)
8.2.12 发动机进口总温	(457)
8.3 确定与评估主要性能参数的不确定度	(457)
8.3.1 测试方案	(457)
8.3.2 测试布局	(458)
8.3.3 参数的测量	(458)
8.3.4 发动机进口空气质量流量 W_{a1} 的扩展不确定度	(459)
8.3.5 发动机换算空气质量流量 $W_{a,v}$ 的扩展不确定度	(461)
8.3.6 发动机总推力 F_g 的扩展不确定度	(463)

8.3.7	发动机飞行推力 F_{nc} 的扩展不确定度	(466)
8.3.8	发动机换算燃油流量 $W_{f,c}$ 的扩展不确定度	(468)
8.3.9	发动机燃油消耗率 SFC 的扩展不确定度	(469)
8.3.10	发动机高空性能试验的不确定度要求	(471)
8.3.11	不确定度对发动机高空性能试验方法及程序的要求	(472)
8.3.12	发动机试验前的测试系统准备	(473)
8.3.13	发动机高空性能试验的有效性实时监控	(476)
8.3.14	发动机高空性能试验不确定度报告	(477)
8.3.15	关于不确定度相关问题的审查	(479)
8.4	降低高空模拟试验不确定度的方法	(480)
8.4.1	量程匹配法	(480)
8.4.2	多路测量法	(481)
8.4.3	分段校准法	(481)
8.4.4	预载法	(482)
8.4.5	相对测量法	(482)
8.5	高空模拟试车台计量标定	(482)
8.6	小结	(483)
第9章	发动机高空模拟试验流程	(485)
9.1	航空发动机需要经历的高空台试验阶段	(485)
9.1.1	研究性高空试验	(485)
9.1.2	高空模拟调试试验	(488)
9.1.3	国家鉴定试验	(490)
9.2	航空发动机高空台试验流程	(490)
9.2.1	发动机上台准备	(491)
9.2.2	连续气源高空台发动机试验	(491)
9.2.3	暂冲式气源高空台试验流程简介	(506)
第10章	高空台发动机进气压力畸变试验	(510)
10.1	前言	(510)
10.2	进气压力畸变	(511)
10.2.1	概念及其产生原因	(511)
10.2.2	进气压力畸变危害	(511)
10.2.3	航空发动机的气动不稳定性	(513)
10.2.4	高空进气压力畸变试验的优点	(514)
10.2.5	高空进气压力畸变试验的局限	(515)
10.3	进气压力畸变分析技术	(515)
10.3.1	平行压气机模型	(515)
10.3.2	进气总压畸变影响	(516)

10.4 进气压力畸变参数及其计算方法	(517)
10.4.1 气动界面	(517)
10.4.2 降稳因子	(518)
10.4.3 稳定裕度、可用稳定裕度和需用稳定裕度	(518)
10.4.4 沿周向一个环面的畸变指数确定方法	(520)
10.4.5 沿周向多个环面的畸变指数确定方法	(526)
10.4.6 稳定裕度损失与畸变指数相关式	(527)
10.5 高空台压力畸变试验方法研究	(528)
10.5.1 高空台压力畸变试验点选取原则	(528)
10.5.2 高空台压力畸变试验限制因素分析	(529)
10.5.3 高空台压力畸变试验点	(531)
10.6 高空台压力畸变试验测量方法	(534)
10.6.1 测量探头布局方法	(534)
10.6.2 数据采集系统	(536)
10.6.3 数据采集及存储	(537)
10.6.4 数据处理	(538)
10.7 高空台压力畸变试验模拟装置	(539)
10.7.1 孔板模拟器	(539)
10.7.2 插板扰流器	(543)
10.7.3 网格畸变模拟器	(548)
10.8 畸变试验结果	(550)
10.8.1 模拟板/模拟网试验结果	(550)
10.8.2 移动插板试验结果	(551)
10.9 讨论与分析	(551)
10.10 高空台压力畸变检查性试验与发动机稳定性评定的关系	(552)
10.11 高空摸索试验的发展和探索	(553)
10.11.1 发展现状和瓶颈	(553)
10.11.2 现有高空模拟试验技术和方法的规范	(553)
10.11.3 进气畸变试验技术发展展望	(554)
第11章 高空模拟试验仿真技术	(555)
11.1 概述	(555)
11.2 高空台系统仿真	(556)
11.2.1 系统仿真平台的分析	(557)
11.2.2 系统仿真平台的搭建	(559)
11.2.3 系统仿真平台的构成	(561)
11.2.4 高空台系统仿真平台的建模思路	(562)
11.2.5 开展系统仿真应用关键技术	(563)
11.3 高空模拟试验数值仿真	(566)