

G F G Y G B S

环 境 模 拟 技 术

HUANJING MONI JISHU

王浚 黄本诚 万才大 等著



环境模拟技术

王 浚 黄本诚 万才大 等著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

环境模拟技术/王浚等著. - 北京: 国防工业出版社,
1996.5

ISBN 7-118-01502-4

I. 环… II. 王… III. 环境模拟; 工程模拟 IV. TB24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 10735 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 24 ½ 643 千字

1996 年 5 月第 1 版 1996 年 5 月北京第 1 次印刷

印数: 1-3000 册 定价: 37.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容明确、具体、有突出创见,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。

4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展评审工作,职责是:负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图

书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版,随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第一届评审委员会组成人员

主任委员：冯汝明

副主任委员：金朱德 太史瑞

委员：尤子平 朵英贤 刘琯德
(按姓氏笔画排列)

何庆芝 何国伟 张汝果

范学虹 金 兰 柯有安

侯 迁 高景德 莫梧生

曾 铎

秘书长：刘琯德

作 者

王 浚	黄本诚	万才大	俞云书
黄方谷	龚吉君	刘建华	李兆坚
张思军	王根源	宋佑诒	藏友竹
苏 文			

审 校

杨燕生 郑金刚

前 言

人及任何产品(系统、整机、部件和元器件)都生活和/或工作在一定的环境条件下。对于人,只有在所遇到的环境条件下能够安全的生活,并具有足够的工作能力,才能完成给定的任务;对于产品,只有在它们工作的环境中,能够可靠工作、性能满足要求,才是合格的产品。随着科学技术的进步,人的生存和工作空间不断扩大,对各类产品的需求量及质量要求亦不断提高,因而对人的环境适应性和产品的环境可靠性提出了严格的要求。为此,所有产品,如电子及电工产品、常规和非常规兵器、飞机、航天器、舰船和机动车辆(汽车、装甲车辆、机车、车箱、冷藏车和工程车)等,都制订了相应的环境试验规范,并先后建立了各种类型和不同规模的环境模拟设备。在这些设备中再现各种环境条件,进行产品的环境试验,用以研究或考核其环境可靠性。最新的进展是要求进行各类人机系统的环境特性试验。

60年代以来,为了满足兵器、飞机、人造卫星、火车和汽车等研究、研制和生产的需要,我国自力更生建设了相当数量的各类不同规模的环境模拟设备,近十几年来,更建成一些达到国际先进水平、具有自己特色的这种模拟设备,如:KM系列整机和部件空间环境模拟设备,“小太阳”空间环境模拟设备,603所高空环境模拟设备,北京航空航天大学 and 601所小型高空环境模拟设备,华阴试验场常规兵器大型环境模拟设备,工兵装备环境室,二汽汽车环境试验室,大连内燃机环境试验室和齐齐哈尔机车低温室等空间、空中和地面环境模拟设备。

在国外,从40年代、尤其是50年代以来,为了适应航空、航天、兵器及其他产品的发展,也先后建立了各种类型和不同规模的

环境设备。如:英国皇家陆军科学研究院车辆环境试验室(1984年基本建成),维也纳国际车辆研究试验中心的机车和车箱静动态环境试验设备,美国阿伯丁试验场兵器环境试验设备,法国图鲁兹航空研究中心高空模拟设备,英国加利特—诺马利尔公司高空试验室,美国格鲁门飞机公司高空试验舱,波音飞机公司高空试验舱,美国阿波罗飞船环境模拟舱和日本筑波空间研究中心空间环境舱等地面、空中和空间环境模拟设备。

环境模拟设备及环境试验技术经历了由单参数模拟到多参数模拟、从静态模拟到动态模拟、从产品环境试验到人机系统环境试验的发展道路。

人机系统环境模拟试验是近年发展的新的试验领域。众所周知,人操作(使用)机器完成特定的任务,如驾驶员驾驶飞机和战车执行某项战斗任务,因而人和机器组成一个统一的系统,这个系统处在一定的环境条件下。一般情况下,这种环境条件是变化的,并且变化复杂、范围宽,如空中和空间飞行时的外界环境变化。环境条件是多变的,而且变化范围很宽,但人机系统适应环境条件的范围却很有限,比如温度适应性。为了使人和机器组合的系统能有效地完成规定的任务,采用环境控制设备。因而,人、机器和环控设备构成的大闭环系统工作在多变的自然环境条件下。环境模拟设备今后的重要任务之一是进行各种人机系统的环境特性试验。

当前的发展方向是建立整机的多参数综合动态环境模拟设备和进行多参数综合动态试验及人机系统环境试验。我国正在建设和筹备建设的“重武器气候环境室”、“车辆环境室”和“内燃机环境试验室”等为半动态或全动态环境模拟设备。英国皇家陆军科学研究院车辆环境室和维也纳国际车辆研究试验中心的设备属于整机动态环境模拟设备。

伴随着环境模拟设备和环境试验技术的发展,形成了一门综合性的边缘技术——环境模拟技术。它研究各种自然环境的人工再现技术和在模拟环境下的试验技术,吸取多门学科(热学、力学、电学、生物学、医学和光学等)和多项技术(制冷、真空、空调、加温、

自动控制和计量等)的相关理论和方法,在解决环境模拟和环境试验的理论及实践中,形成了独立的技术理论体系。

《环境模拟技术》一书是我国第一本系统介绍这一新技术的学术专著,它主要总结我国环境模拟技术的成果,同时,也吸取了国外的最新技术成就。

本书全面和系统地阐述环境模拟技术的基本理论、环境效应、环境模拟的原理及方法、模拟设备工程设计理论和方法以及环境试验技术。全书共6章,包括:环境模拟技术基础、环境参数与环境效应、地面环境模拟技术、空中环境模拟技术、空间环境模拟技术和力学环境模拟技术。

本书由王浚主编,黄本诚和万才大担任副主编。

本书得到王希季院士、曹传钧教授、沈士团教授和彦启森教授的指导与帮助,苏学谦高级工程师提供了有价值的资料,在此谨向上述先生致以衷心的感谢!

由于作者水平所限,书中错误和缺点在所难免,欢迎读者批评指正。

作 者

内 容 简 介

环境模拟技术是一门新的边缘技术,主要研究各种自然环境的人工再现技术和在模拟环境下产品的试验技术。本书系统地阐述各种环境的效应、模拟原理和方法、模拟设备设计以及产品的环境试验技术。它总结了我国多年的研究成果,并吸收了国外的最新技术成就。

全书共6章,包括:环境模拟技术基础、环境参数及环境效应、地面环境模拟技术、空中环境模拟技术、空间环境模拟技术和力学环境模拟技术。

本书可供从事环境模拟技术研究、人机工效学研究、制冷空调和暖通等专业产品研制、生产和环境试验的科技人员参考,亦可作高等院校有关专业的教学参考书。

ISBN 7-118-01502-4/X·4

定价:37.00 元

目 录

第一章 环境模拟技术基础	1
第一节 制冷与低温	1
一、蒸汽压缩式制冷	1
二、空气制冷	30
三、液氮与气氮冷却	61
第二节 真空	74
一、真空的基本知识	74
二、真空泵	81
三、真空机组	98
四、真空系统	102
第三节 加湿与除湿	116
一、湿空气热力学基础	116
二、空气加湿	122
三、空气除湿	129
参考文献	137
第二章 环境参数与环境效应	139
第一节 温度环境与温度环境效应	140
一、温度环境	140
二、低温效应	156
三、高温效应	160
四、变温效应	164
第二节 压力环境与压力环境效应	165
一、压力环境	165
二、低气压效应	170
第三节 湿度环境与湿度环境效应	175
一、湿度的变化	176

二、湿度效应	180
第四节 地面其他环境与其效应	182
一、沙尘环境与沙尘环境效应	182
二、盐雾环境与盐雾环境效应	188
三、雨环境与雨环境效应	190
四、风环境与风环境效应	192
五、霉菌环境与霉菌环境效应	194
第五节 太阳辐射与太阳辐射效应	195
一、太阳辐射的基本知识	195
二、太阳辐射效应	199
第六节 空间环境与空间环境效应	200
一、空间真空环境与其效应	201
二、空间高能带电粒子环境与其效应	203
三、空间弱磁场环境与其效应	203
四、空间冷黑环境与其效应	204
五、空间原子氧环境与其效应	204
六、空间微流星环境与其效应	206
七、空间碎片环境与其效应	207
八、空间等离子体环境与其效应	208
九、空间微重力环境与其效应	208
十、空间磁层亚爆环境与其效应	209
第七节 力学环境与力学环境效应	210
一、力学环境源	210
二、力学环境的描述	212
三、力学环境数据的获取	216
四、力学环境效应	219
第八节 复合环境与复合环境效应	220
参考文献	223
第三章 地面环境模拟技术	225
第一节 环境试验室(舱)	225
一、围护结构放(吸)热量计算方法	225
二、围护结构传热特性分析	228
三、环境室保温设计	233

第二节 低温环境模拟	235
一、低温环境模拟设备技术指标	236
二、制冷方法选择	238
三、低温环境室冷负荷计算	241
四、蒸汽压缩式制冷系统设计	244
五、空气制冷系统设计	255
六、室内气流组织设计	267
第三节 高温环境模拟	274
一、概述	274
二、技术指标确定	277
三、高温环境模拟方法	282
四、加热系统设计	288
第四节 湿热环境模拟	291
一、概述	291
二、湿热环境模拟方法	298
三、湿热模拟设备设计	305
第五节 太阳辐射模拟	327
一、技术指标确定	329
二、太阳辐射模拟方法	332
三、太阳辐射模拟设备设计	333
第六节 综合环境模拟	344
一、概述	344
二、综合环境模拟设备设计	347
三、典型实例	358
参考文献	367
第四章 空中环境模拟技术	370
第一节 概述	370
一、空中环境模拟试验的对象	370
二、空中环境模拟试验的内容	376
三、空中环境模拟设备	378
第二节 空中低气压环境模拟	390
一、概述	390
二、真空系统设计	392

第三节 空中温度环境模拟	399
一、高温(热)环境模拟	400
二、低温(冷)环境模拟	409
三、气流温度模拟	412
第四节 空中环境模拟试验	416
一、座舱热模拟试验	416
二、环控系统性能模拟试验	438
三、环控系统与座舱(或设备舱)的联合试验	444
四、环控子系统试验及附件试验	445
五、测量与控制	449
参考文献	456
第五章 空间环境模拟技术	458
第一节 概述	458
一、空间环境模拟技术的内容	458
二、空间环境	458
三、空间环境对航天器的影响	459
四、空间环境模拟试验设备的种类	460
五、空间环境模拟技术的作用	461
第二节 真空容器	462
一、概述	462
二、真空容器的结构设计	462
三、真空容器设计	467
第三节 空间真空环境模拟	479
一、概述	479
二、空间真空环境模拟技术	480
三、空间环模室的真空检测与污染监控	487
第四节 空间冷黑环境模拟的热沉与分子沉	490
一、概述	490
二、热沉负荷计算	491
三、热沉模拟	494
四、分子沉模拟与深冷抽气	501
第五节 空间冷黑环境模拟的低温技术	513
一、概述	513

二、液氮系统	514
三、气氮调温系统	524
四、氮制冷系统	538
第六节 空间太阳辐照模拟	553
一、概述	553
二、太阳辐照环境特征、模拟指标和模拟分类	557
三、红外模拟技术	558
四、太阳模拟器	560
五、光源性能和太阳模拟器性能测量	577
六、模拟太阳辐照标准	583
七、太阳紫外辐照模拟	584
第七节 磁场环境模拟	586
一、地球磁场	587
二、空间磁场模拟	589
第八节 空间其他环境模拟	596
一、微重力环境模拟	596
二、空间微流星环境模拟	602
三、空间碎片环境模拟	609
四、空间原子氧环境模拟	613
第九节 载人航天器环境模拟	623
一、概述	623
二、美国载人空间环境模拟设备	624
三、一种典型的载人航天器空间环境模拟设备	628
四、中性浮力模拟设备	631
五、其他载人航天环境模拟设备	633
第十节 航天器空间环境模拟试验	638
一、概述	638
二、空间环境模拟试验的分类	638
三、试验环境的裁剪	641
四、真空热试验	643
五、特殊空间环境试验	646
参考文献	648
第六章 力学环境模拟技术	651

第一节 概述	651
一、力学环境模拟和力学环境工程	651
二、产品结构动力学传递模型	652
第二节 振动环境模拟	657
一、概述	657
二、振动环境模拟技术	658
三、振动环境试验技术	682
第三节 声振环境模拟	714
一、概述	714
二、声振环境模拟技术	714
三、声振环境试验技术	717
第四节 冲击环境模拟	732
一、概述	732
二、冲击环境模拟技术	733
三、冲击试验技术	740
第五节 恒加速度环境模拟	758
一、恒加速度环境模拟技术	758
二、恒加速度试验技术	759
第六节 力学环境模拟试验有效性评估	762
参考文献	763