

环境模拟技术——一门新的综合性工程技术

王 浚

(北京航空航天大学, 北京 100083)

[摘要] 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; 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; 当前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; 在环模设备中再现各种环境条件, 进行产品的环境可靠性试验, 从而可更快地发现问题并找出原因, 这对于新产品的开发和成品的质量检验具有重要的意义。

[关键词] 环境模拟; 多参数; 动态

[中图分类号] TB657.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)03-0001-05

1 环境模拟技术是一门新的综合性工程技术

人和任何产品(整机、系统、部件和元器件)都生活/工作在一定的环境条件下。对于人, 环境条件需保证其生命安全、舒适和足够的工作能力; 对于产品, 必须保证其可靠工作和满足性能要求。随着社会的发展和科学技术的进步, 人的生存和工作空间不断扩大, 对各类产品的需求量和质量要求不断提高, 因而对人的环境适应性和产品的环境可靠性提出了更高的要求。比如, 人应能在空中和空间环境条件下生存和工作, 地雷应适应空运及空中布撒的环境要求等。为此, 需要进行各种类型的环境适应性及可靠性试验, 并对所有产品(电子及电工产品、常规及非常规兵器、飞行器、舰船及机动车辆等)都制定相应的环境试验规范, 并不断地修订和更新, 美国2000年元旦正式颁布的新军标MIL-STD-810F代表了当前最新的环境试验要求。据此, 各国先后建立了各种类型和不同规模的环境模拟试验设备。在这些设备中再现各种环境条件, 进行环境适应性及可靠性试验。最新的进展是

进行各类人机系统的环境试验。

60年代以来, 为了满足兵器、飞机、人造卫星、火车和汽车等的研究、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环境模拟设备。十几年来, 更建成一些达到国际先进水平、具有自己特色的环模设备, 如“重武器环境室”、“华阴试验场常规兵器大型环模设备”和“KM6大型空间环模设备”等地面、空中和空间环模设备。国外, 50年代以来, 首先是适应兵器、航空和航天产品的发展, 亦先后建立了各类不同规模的环境模拟设备, 如英国皇家陆军科学研究所车辆环境试验室、维也纳国际车辆研究试验中心的机车和车厢静态环境试验设备、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、美国格鲁门公司及波音公司的高空试验舱、美国NASA约翰逊空间中心的大型空间环模设备和日本筑波空间环模舱等。

环境模拟设备和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, 从产品试验到人机系统环境试验的发展过程。当前的发展方向是: 建立整机多参数综合动态环境模拟设备和进

行多参数综合动态环境试验及人机系统环境试验。

伴随着环模设备和环境试验技术的发展,在解决遇到的理论问题和实践中,吸取了多门学科(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、自动控制、计量等)的相关理论和方法,形成了一个独立的技术理论体系——环境模拟技术。它是一门综合性的工程技术,研究各种自然环境的人工复现技术和在模拟环境下的试验技术。

2 环境和环境效应

人类生活和工作在极其复杂的自然和人工环境中,产品从生产、包装、运输、装卸、贮存到使用的整个过程中亦经历各种特点的自然及人工环境,环境因素对人的生存及工作和产品的可靠性有重要影响,美国1971年对机载电子设备全年故障率分析,得出结论:由于环境因素造成的占50%以上。因此,研究各种环境的性质和特点,分析其对人类生活及工作,和对产品造成的新影响有极其重大的现实意义。环境种类繁多,分类不一,通常分为:气候环境、力学环境、电磁环境和复合环境。气候环境一般又分为地面环境、空中环境和空间环境。由于地面环境和空中环境的交融,通常按环境参数分为:温度环境、压力环境、湿热环境、沙尘环境、烟雾环境、雨环境、霉菌环境和太阳辐照环境,以及多参数综合环境。

空间环境是个特殊的环境,相对独立,通常包括:高真空环境、冷黑环境、微重力环境、高能带电粒子环境、弱磁场环境、原子氧环境、微流星环境、

空间碎片环境、等离子体环境和磁层亚爆环境等。

力学环境包括:加速度环境、振动环境、冲击环境和噪声环境。

不同的环境对人和产品有不同的影响,但均使产品可靠性降低、人的工作能力下降甚至危及生命安全。例如高空低气压引起人体高空缺氧、高空气体栓塞、体液沸腾,还会造成发动机功率减少,冷却效果下降,密封变坏、润滑剂挥发和发动机启动及燃烧不稳定等。

3 环境模拟的种类及设备

3.1 地面环境模拟

地面环境模拟设备主要有以下几类:低温环境模拟、高温环境模拟、湿热环境模拟、太阳辐照模拟、沙尘环境模拟、雨环境模拟、浸渍模拟、酸性环境模拟、爆炸性大气环境模拟、积冰/冻雨环境模拟和霉菌环境模拟等。

总装华阴试验场的大型高低温环境室(图1、图2),该设备有 1000 m^3 、 145 m^3 和 45 m^3 三个环境室,采用一套空气制冷系统和各自独立的电加热设备。低温可达到 -100°C ,高温可达 $+80^\circ\text{C}$,1984年建成并经国家验收。在大型环模设备中该设备首次成功采用了空气制冷。

某单位新建成的汽车空调整车热环境模拟室(图3、图4),该设备试验间尺寸 $L \times W \times H = 16\text{ m} \times 8\text{ m} \times 8\text{ m}$,温度范围:常温 $\sim +50^\circ\text{C}$,湿度(RH)可到 $85 \pm 5\%$ ($\leq 40^\circ\text{C}$),太阳辐照强度最大 $1\text{ kW}/\text{m}^2$,模拟的最大风速 $35\text{ m}/\text{s}$ (相当于 $120\text{ km}/\text{h}$)。

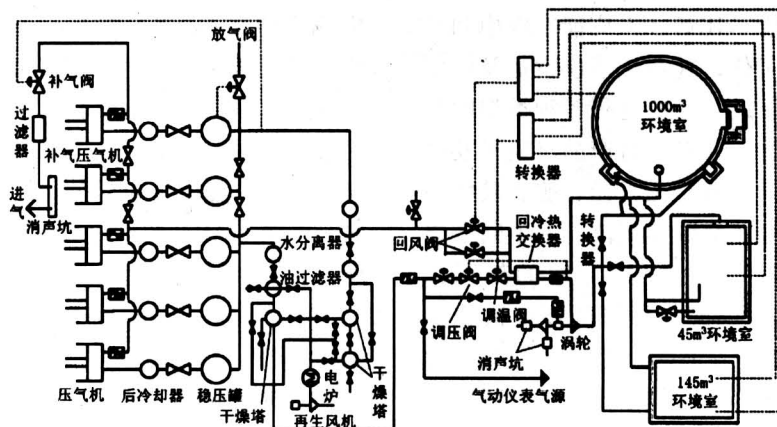


图1 华阴兵器试验场高低温环境室流程图

Fig.1 The flow chart of Huayin weapon proving ground temperature environment chamber

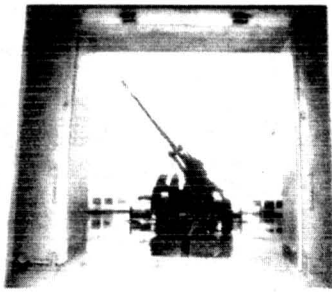


图2 华阴兵器试验场高低温环境室照片

Fig.2 The photo of Huayin weapon proving ground temperature environment chamber

当前地面环境模拟的主要发展方向是：

1) 多参数综合动态环境模拟。美国最新的 MIL-STD-810F 军标规定了温度/湿度/低气压/振动四综合环境试验；英国皇家陆军科学研究所的车辆环境试验室允许882.5989 kW 的坦克车在开车状态下模拟低气压/温度环境；美国陆军阿伯丁靶场的兵器环境试验设备能让车辆在行驶道路条件下模拟低温、高温、湿热、低气压等单参数环境和多参数的组合环境。

2) 由于地面兵器的空运及机载使用，带来传统的地面兵器遭遇空中使用的特殊环境，如快速温

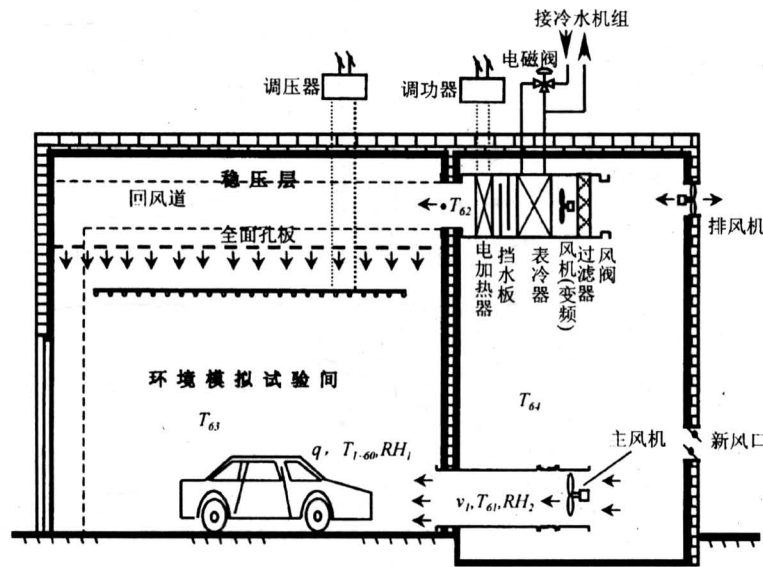


图3 汽车空调整车热环境模拟室流程图

Fig.3 The flow chart of a thermal environment simulation chamber for automobile air-conditioners

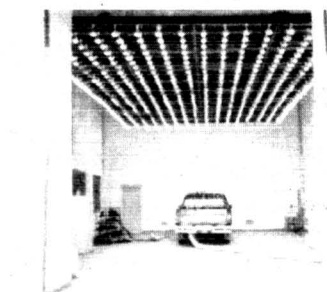


图4 汽车空调整车热环境模拟室照片

Fig.4 The photo of a thermal environment simulation chamber for automobile air-conditioners

度变化、温度冲击和温压环境。对于整机，这些环境的模拟在技术上有一定的难度。

3.2 空中环境模拟

目前，空中环境模拟试验主要有：飞机环境控制系统空中环境模拟试验和飞机发动机高空性能试验。

3.2.1 飞机环控系统空中环境模拟试验 这类试验模拟空中飞行时的外界大气压力和温度（蒙皮热附面层恢复温度），以及发动机压气机引气参数和冲压空气参数（温度、压力和流量）。主要的环境试验有：部件（附件）试验、环控系统试验和环控系统联合（包括座舱和设备舱）试验。图5为飞机空中环模设备的组成原理图，图6为中航六〇三所

用于环控系统及配件试验（模拟发动机压气机引气参数和冲压空气参数）的双路热动力试验台流程图，图 7 为试验台照片。

3.2.2 发动机高空性能试验 发动机高空性能试验在发动机高空性能试验台上进行，图 8 为高空试验台组成原理图。

当前，空中环境模拟的发展方向是：模拟按照飞行任务包线确定的气压及温度变化环境和模拟由飞行任务包线与发动机工作状态变化共同确定的压气机引气参数变化及冲压空气参数变化（流量、压力和温度变化）。这是多参数综合的动态环境模拟。

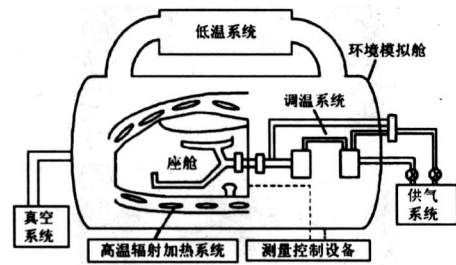


图 5 飞机空中环模设备的组成原理

Fig.5 The constitute principle of airplane aerial environment simulation equipment

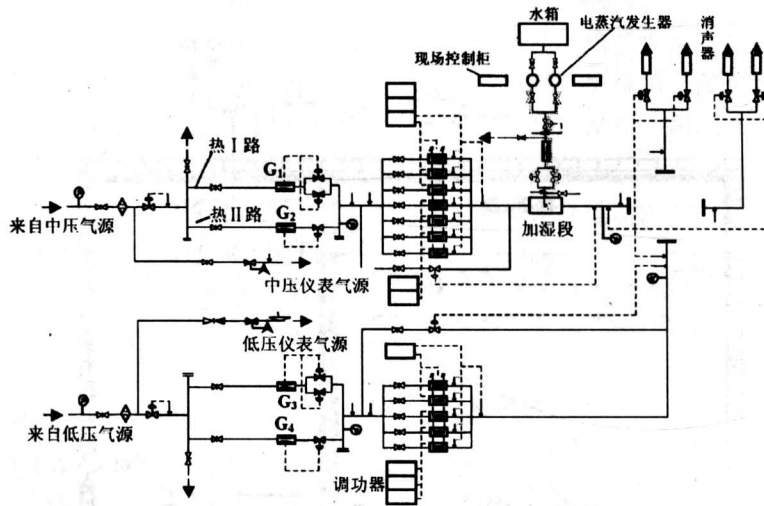


图 6 六〇三所双路热动力试验台流程图

Fig.6 The flow chart of double-road thermal dynamic test-bed in 603 Institute

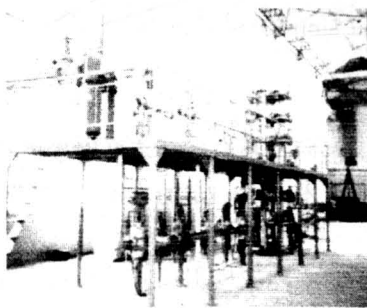


图 7 六〇三所双路热动力实验台照片

Fig.7 The photo of double-road thermal dynamic test-bed in 603 Institute

3.3 空间环境模拟

空间环境模拟试验主要有：热平衡试验（载人及无人航天器）；热真空试验（载人及无人航天器）；载人航天器人机组合舱外活动的空间环境试

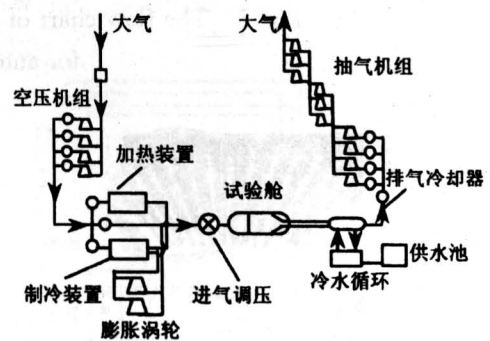


图 8 高空试验台组成原理图

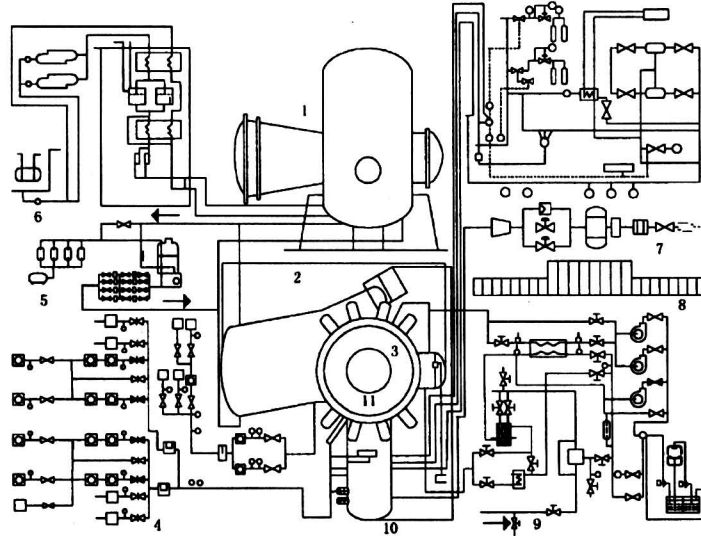
Fig.8 The constitute principle of aerial test-bed 验；微重力试验；空间辐照环境试验；空间高能粒子辐照试验；电子、质子、紫外线综合辐照试验；原子氧、紫外线综合辐照试验；空间碎片及微流星环境试验；空间防污染环境试验；磁环境试验。

目前常用的是：热真空试验、热平衡试验、舱

外活动试验和微重力试验。

图9为我国1998年建成的KM6大型空间环境试验设备的原理总图，它的主容器（立式）直径12 m，高22.4 m，主辅容器总容积3 200 m³，可以完成载人航天器和大型卫星的整船（星）热真空

及热平衡试验，宇航员舱外活动环境试验和航天器系统及部件试验。已承担神舟号飞船及我国多种人造卫星的空间环境试验。其规模及技术总体水平排在美国、俄罗斯和欧共体之后，日本及印度之前，居世界第四位。



1—主模拟室；2—太阳模拟器；3—热沉；4—真空系统；5—液氮系统；6—氦系统；
7—载人试验、环境控制系统；8—数据采集、控制系统；9—气氮系统；10—气闸舱；
11—运动模拟器

图9 KM6大型空间环境试验设备的原理总图

Fig.9 The principle of KM6 large outer space environment test equipment

参考文献

- [1] 王 浚, 黄本诚, 万才大, 等. 环境模拟技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996

Environment Simulation Technology——A New Comprehensive Engineering Technique

Wang Jun

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

[Abstract] Environment simulation technology is a new developing peripheral technology, which mainly covers artificial man-made reappearance techniques of all kinds of nature environment and product test techniques under the simulated environment. Environment simulation equipment and environment test techniques have gone through the development from single parameter to multi parameters, from static simulation to dynamic simulation, from product environment tests to man-machine system environment tests. At present its development direction is to establish the comprehensive dynamic environment simulation equipment of a whole system with parameters and to conduct multi-parameter comprehensive dynamic environment tests. and man-machine system environment tests. Probleme could be identified and explained in a faster way through reappearing all kinds of environmental conditions in environment simulation equipment, to product environmental reliability tests, which is important for new product development and finished product quality inspection.

[Key words] environment simulation; multi parameters; dynamic