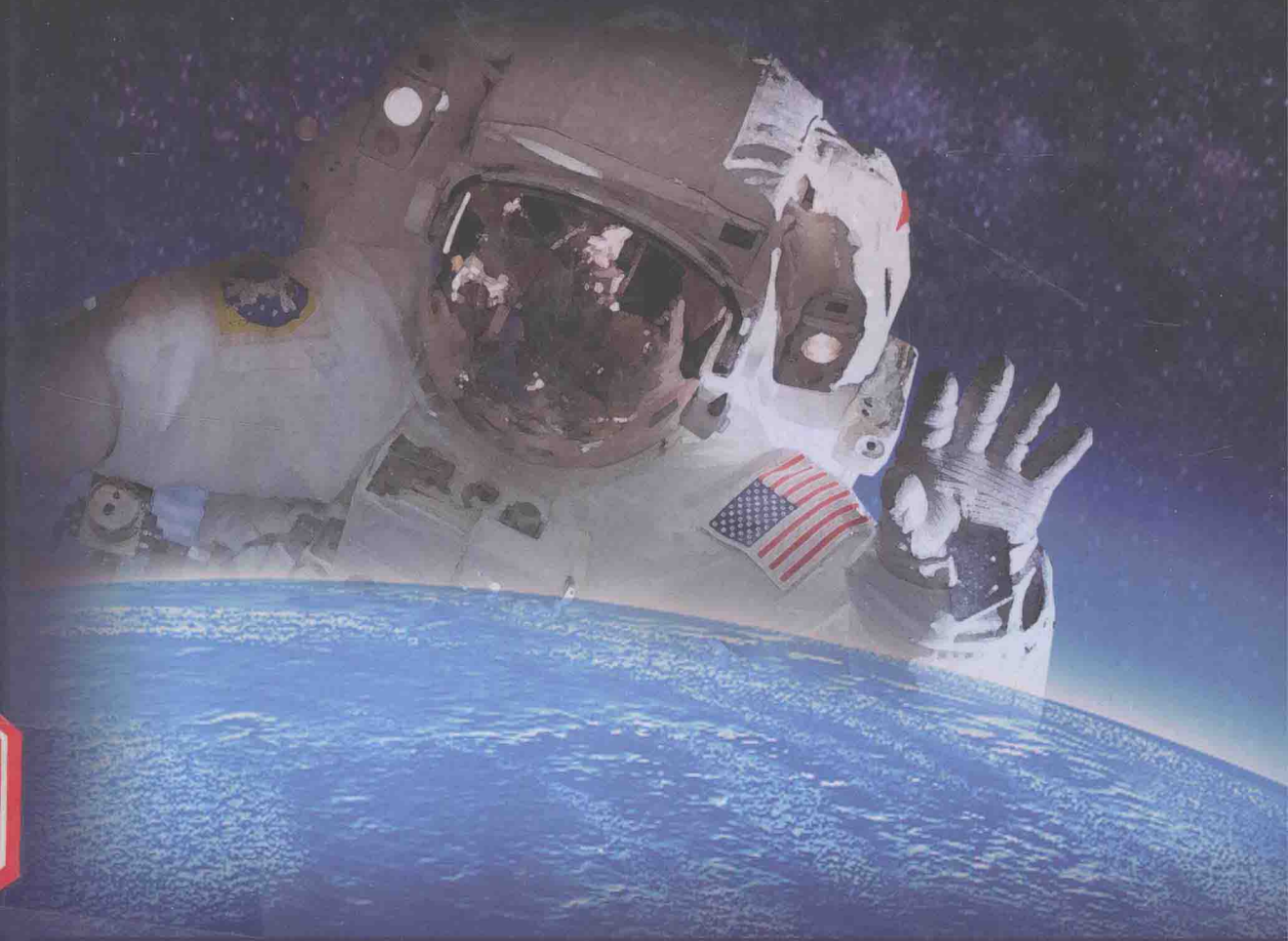




人-系统整合标准与指南译丛

# 人-系统整合设计流程

陈善广 姜国华 编译  
陈欣 王春慧



中国宇航出版社

• NASA 人-系统整合标准与指南译丛 •

# 人-系统整合设计流程

陈善广 姜国华 陈 欣 王春慧 编译



中国宇航出版社

• 北 京 •

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

人-系统整合设计流程 / 陈善广等编译. -- 北京:  
中国宇航出版社, 2016. 11

(NASA 人-系统整合标准与指南译丛)

ISBN 978-7-5159-1235-6

I. ①人… II. ①陈… III. ①载人航天器-人-机系  
统一系统设计-流程 IV. ①V476.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 290992 号

责任编辑 侯丽平

---

出版 中国宇航出版社  
发行

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830  
(010)60286808 (010)68768548

网址 [www.caphbook.com](http://www.caphbook.com)

经销 新华书店

发行部 (010)60286888 (010)68371900  
(010)60286887 (010)60286804(传真)

零售店 读者服务部  
(010)68371105

承印 北京画中国画印刷有限公司

版次 2016 年 11 月第 1 版  
2016 年 11 月第 1 次印刷

规格 787×1092

开本 1/16

印张 16

字数 390 千字

书号 ISBN 978-7-5159-1235-6

定价 228.00 元

---

本书如有印装质量问题, 可与发行部联系调换

# 《NASA 人-系统整合标准与指南译丛》

## 编委会

总策划 陈善广 邓一兵

主译 陈善广 姜国华 陈欣 王春慧

译者 (按姓氏拼音排序)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 安平  | 蔡剡  | 陈海龙 | 陈文娟 | 董海胜 | 范永亮 |
| 费锦学 | 付元华 | 高郁晨 | 郭莉华 | 郭志峰 | 何思扬 |
| 黄端生 | 黄守鹏 | 贾向红 | 姜昌华 | 蒋婷  | 康金兰 |
| 李凡  | 李昊  | 李建辉 | 李伟刚 | 李桢  | 厉海涛 |
| 梁宏  | 廖革  | 刘炳坤 | 刘钢  | 刘洪涛 | 刘梁  |
| 刘学勇 | 刘志刚 | 刘志臻 | 吕柯  | 马洪波 | 马永洁 |
| 牛东滨 | 彭远开 | 曲丽娜 | 谭丽芬 | 唐志忠 | 滕鹏  |
| 田志强 | 王波  | 王宏伟 | 王惠娟 | 王建全 | 王峻  |
| 王立志 | 王丽  | 王林杰 | 王政  | 吴大蔚 | 吴文才 |
| 武艳萍 | 夏循华 | 夏云  | 肖志军 | 徐冲  | 徐立卿 |
| 徐永忠 | 许峰  | 许玉林 | 闫慧炯 | 严曲  | 杨艳艳 |
| 员丽霞 | 展文豪 | 张兵  | 张建丽 | 张剑锋 | 张晓铀 |
| 张玉梅 | 赵琦  | 周晓晶 | 祝郁  | 邹璐  | 左晓宇 |

封面设计 王波 闫慧炯

## 译者序

美国国家航空航天局（NASA）自 1958 年成立以来，先后成功实施了水星计划、双子座计划、阿波罗计划、天空实验室、航天飞机、国际空间站（与俄罗斯、欧洲、日本等国联合）等重大载人航天项目，取得了举世瞩目的辉煌成就，为美国保持在国际航天领域的领先地位做出了重大贡献。此辉煌成就不仅反映出 NASA 技术创新的不断进步，也凝聚着 NASA 在项目科学管理上的成功经验。其中，有三个方面特别突出：一是 NASA 不断总结项目管理的经验做法，形成了一整套项目管理的组织架构以及科学化程序和方法，特别是系统工程思想的发展、方法和过程的完善，极大提高了 NASA 项目研发的效率和实施效益；二是 NASA 高度重视技术基础和技术体系建设，发展形成了规范工程/项目研发技术与管理活动的一系列标准、程序、要求等，并根据实施中总结的经验教训和技术发展适时修订形成新的版本；三是在载人航天任务中，NASA 自始至终倡导并不断发展“以人为中心设计（Human Centered Design）”的理念和方法，把人因工程（HFE, Human Factors Engineering）学科纳入系统工程体系，先后推出 NASA 3000 系列人-系统标准（Human-Systems Standard）、人-系统整合（HSI - Human Systems Integration）设计流程以及适人性评价（Human Rating）要求等规范，并竭力推动这些规范标准在项目/产品研发过程中的实施。航天人因工程及人-系统整合方法在保障载人航天任务策划的科学合理性、提升人信息加工和决策可靠性、减少操作失误、优化人机功能分配和人机界面设计、实现人-系统整合协同高效工作以及提高系统安全性等方面发挥了重要作用。

载人航天任务涉及航天器、测控通信、发射回收等多个方面，特别是由于航天员的参与使系统变得更为复杂，对人的安全性和操作的可靠性要求更高，是一项极为复杂的系统工程。从美俄早期的太空飞行来看，不管是联盟号飞船还是阿波罗计划，事故发生率很高，而后来的航天飞机任务还发生过两次机毁人亡的恶性事故。即便是最近几年，航天发射失利如天鹅座货运飞船爆炸、太空船 2 号失败等和国际空间站上出舱活动任务取消和推迟等事故依然不断。通过分析，绝大多数事故均可以追溯到对人的问题考虑不周造成的。因此，在载人航天领域，人因工程也是在不断总结失败教训中提高认识和逐步发展起来的。美国在初期的水星计划、天空实验室、阿波罗登月等任务中，重点分析解决人在太空中能否生存和工作的问题。航天飞机时期，NASA 更加关注人因问题，不断总结以前任务工程实施中出现的问题教训和经验并植入到相关技术文件和要求中。人-系统整合的思想和方法开始形成，即在载人的系统/项目设计开发过程中要突出以人为中心的设计理念、充分考虑人的能力和局限性，以期提高系统安全和性能、降低研发成本。NASA 于 1985 年就建立了人-系统标准 NASA-STD-3000，1987 年在约翰逊航天中心成立适居性和人因部门，作为航天人因工程的主要牵头单位。1991 年为国际空间站（ISS）任务制定了航

天人因工程发展计划 (SHFE)。2005 年推出人的研究计划 (HRP), 全面深入研究未来深空探测、登火星任务中的人因工程问题, 引领国际航天人因工程领域的发展。与此同时, NASA 在不同阶段先后推出了一系列相关标准规范并适时进行版本更新, 如: NASA-STD-3001《航天飞行人-系统标准》第 2 卷《人因、适居性与环境健康》,《人-系统整合设计流程》(HIDP) 和《航天系统适人性要求》(NPR8705.2B) 最新分别于 2011 年和 2012 年进行了版本升级或修订。这些人-系统整合相关的标准规范大多借鉴了美国国防部 (DoD) 的做法, 但 DoD 多数与人相关的装备研发规范是强制的。NASA 直至目前还不像 DoD 那样严格要求, 只有《航天系统适人性要求》是强制的。不过很显然, 要贯彻适人性评价标准, 遵循其他相关规范是最基本的。在 NASA 最近几年的载人项目管理中, HSI 的系列标准和规范得到了很好的贯彻, 星座计划 (Constellation Program) 便是其中的典范, 星座计划中的猎户座飞船、月面着陆器和 EVA 系统等在研发全周期中, 均根据项目自身的实际采用或建立 HSI 规范化要求, 并将 HSI 纳入到项目系统工程管理中。HSI 以人因工程学为学科支撑, 不仅逐渐成为 NASA 全员的共识与理念, 而且也是项目开发、管理人员遵循的规范和方法。相关资料表明, NASA 开展人因研究和人-系统整合的道路也并非一帆风顺, 也是克服了许多模糊甚至错误认识才发展起来的。比如, 一开始很多工程师/设计人员认为 HSI 太繁琐束缚了自己的手脚, 认为自己能自然反映用户的全部需求, 总凭自己经验和直觉进行设计, 经常发生设计者与使用者 (操作或维修人员) 之间的角色混淆, 不懂得使用需求的科学规范性, 导致设计不能系统全面客观正确反映最终用户需求。有的认为“产品有缺陷没关系, 下次再改进或还可以通过训练弥补”。这是人因学发展史上最典型的“人适应机”的过时观念, 很容易导致安全和使用风险。HSI 强调“机适应人”, 并且, 要确保一次设计到位才能降低成本和风险。还有的要么认为“人与机器差不多, 可以像简单检测机器一样来检测人的情景意识”; 要么认为“人是不可靠的, 要用技术取代人的功能”, 对人与机的不同特性认识不清往往导致人机功能分配不合理。还有不少人认为, 实施 HSI 增加了额外成本不划算, 或者很多项目预算中就不包括这块经费, 而没有认识到 HSI 在项目/产品全周期研发中避免了许多反复反而能大大降低成本。将 HSI 更高效地融合到项目系统工程管理中并显示其在全周期研发中的高费效比, 是 NASA 进一步努力的目标。

我国从 1968 年航天医学工程研究所成立开始就创立航天医学工程学科, 开展包括航天工效在内的有关人的问题研究。1981 年, 在钱学森系统工程思想指导下创立了人-机-环境系统工程理论, 这一理论与方法在理念与目标上与 HSI 很相似, 其体现的系统工程思想与方法在我国载人航天任务中得到了有效的应用。1992 年我国载人航天工程启动时, 设立了航天员系统并下设医学、工效学评价分系统, 确立了“载人航天, 以人为本”理念。经过 20 多年的实践发展, 航天工效在研究内容、方法和工程应用上逐步走向成熟, 形成了包括载人飞船、货运飞船、空间站舱内、舱外以及舱外航天服等一系列工效学设计要求与规范。目前为我国空间站工程研究制定了工效学要求和评价标准, 而且成为工程大总体下发的要求。2011 年在中国航天员科研训练中心设立人因工程国家级重点实验室,

标志我国航天人因工程进入新的发展阶段。航天工效和人因工程的发展为我国载人航天工程成功实施发挥了重要作用。

虽然我国对人因问题研究也很早，且自载人航天工程实施以来，从项目的顶层管理者到具体的工程设计人员对人的问题认识也在不断提高，但与 NASA 相比，我们还存在不少差距和问题，比如，从工程总体到各项目/产品层面对人因工程涉及的理念和方法理解不深，组织机构不健全、自上而下的推力不足，人-系统整合标准制度、技术体系不完善，在人因方向的技术基础较弱、投入保障不够，等等。“他山之石，可以攻玉”，基于此，我们组织编译了 NASA 人-系统整合与人因方面的相关文献和标准，这些文献反映了 NASA 在载人航天任务研发实施中多年来形成的思想、思维方法以及技术规范的最新成果。目前空间站工程研制在即，后续任务也在论证过程中，充分借鉴国际上成熟做法与成功经验，建立完善适合我国实际的人-系统整合相关技术体系，不仅十分迫切，同时对于推动我国载人航天事业的进步与发展意义重大。

感谢参加本译丛编译的全体人员，他们大多数是在工作之余挤出宝贵时间完成翻译编校工作的。

感谢载人航天工程办公室和航天员科研训练中心的领导和机关的大力支持！感谢中国宇航出版社为本译丛出版所做出的努力！

由于本译丛所涉及专业面宽、信息量大、标准术语较多，翻译难免有不一致或疏漏失误之处，敬请读者批评指正。

中国载人航天工程副总设计师  
中国航天员科研训练中心  
人因工程重点实验室 主任



2016 年 8 月

## 前 言

为了跟踪国外在航天器人-系统整合领域的最新研究与应用动态,以及相关标准、要求、方法等技术理论,人因工程重点实验室与航天员科研训练中心第一研究室、第十七研究室一同完成了 NASA 相关文献的调研、翻译和校对等工作,形成了 NASA 人-系统整合标准与指南译丛,供我国载人航天工程和其他工程任务参考。

译丛共分为 5 册,包括:

第 1 册:《航天系统适人性要求与人因工程活动》

第 2 册:《人-系统整合设计流程》

第 3 册:《航天飞行人-系统标准》

第 4 册:《人整合设计手册(上)》

第 5 册:《人整合设计手册(下)》

各分册内容概述如下。

### (一) 第 1 册《航天系统适人性要求与人因工程活动》

该册内容包括 NPR8705.2B《航天系统适人性要求》和 NASA/TM-2006-214535《人因工程设计、研发、测试与评价》。

#### (1) 《航天系统适人性要求》

该文件是一个程序性要求文件,目的是定义和实施载人航天系统研制中必要的过程、程序和要求,旨在确保执行太空任务的乘组和乘客安全。该文件适用于星座载人航天系统,为项目负责人及其团队提供了适人性(Human-Rating)认证路线。本文首版发布于 2008 年 5 月,更新于 2012 年 8 月,有效期至 2016 年 5 月。

前言给出了航天系统适人性要求的目的、适用性、权威性文件、适用文件、测量/验证和失效文件等,指出适人性系统应满足人的需要,利用人的能力,控制系统与人的风险,并明确其不是特殊要求,而是载人航天所必须的。

第 1 章详细阐述了适人性的定义、适人性认证过程、角色和职责、适人性认证主要时间表,指出适人性认证是项目与三个技术部门(工程、健康和医疗、安全与任务保证)之间的平衡和检查机制,以帮助项目负责人(program manager)和技术部门将整个开发和操作团队持续聚焦在乘员安全性上。明确指出适人性不仅是一套要求、一个过程或一个认证,它关乎理念,由领导慢慢灌输,要使每个人都感觉自己的设计与乘员安全密切相关。

第 2 章详细介绍了适人性认证的流程和标准、系统设计、验证和确认系统能力与效能、系统飞行试验、认证和运行适人性系统,指出适人性认证要求用于指导项目负责人完成认证过程,并规定适人性认证包(HRCP)的内容。

第3章详细阐述了系统安全要求、系统控制的通用要求、系统控制要求-适人性航天器、系统控制要求-适人性航天器的接近操作、乘员生存/逃逸要求,指出适人性技术要求确定系统安全、系统的乘员/人控制、乘员的生存/逃逸等三个主要领域的能力,并强调适人性技术要求并不意味着包容全部的适人性,其只是为项目负责人提供能力基础的判断,项目负责人据此为每个相关任务建立识别和增加独特能力。

附录D的HRCP适人性认证包,用于引导评审人员的评审活动,指出最终提交适人性认证批准和认可的HRCP,将按照项目管理委员会(Program Management Council, PMC)制定的方式提供给有关各方。

## (2)《人因工程设计、研发、测试与评价》

《人因工程设计、研发、测试与评价》制定的目的是突显人因工程应用的重要性,指出HFE是NASA开展系统研发、采购和评价的关键因素,文中明确要求:在航天器系统的整个研发生命周期中,要应用HFE并说明HFE承担的典型角色。本文发布于2006年12月,作为大型项目解决方案,指导人因工程在项目研制全周期的设计与实施。

第1章描述了人因在工程设计、研发、测试与评价中的角色定位、人因的范围和与其他学科的关联,明确了HFE是复杂人-机系统设计的基本要素,也是总体设计和评价过程的关键组成部分。

第2章描述了人因产品特性、过程特点和人误风险管理,指出确保系统鲁棒性(健壮性)和可靠性的关键特征可以分为以下两种:用于研发和操作产品的产品特性以及过程特性,文中还强调在研发过程的早期,识别出来自于人误的潜在风险非常重要。

第3章描述了为了支持人可靠性而进行的HFE活动,这些活动包括功能分析与分配,任务分析,人员配置,资质和整合工作设计,人失误,可靠性分析和风险评估,人-系统界面和程序设计,训练计划设计,HFE验证和确认,运行监测,测试与评估,指出了开展11项活动的时间表和具体方法,并明确活动可以并行开展。在DDTE计划过程中每种活动的工作强度都会增加或减少。

第4章描述了人因工程的发展历程以及过往的成功和失败案例,案例主要包括联盟11减压(运行需求和人的能力不匹配的例子)、起源号航天器G开关(缺乏检测人差异的测试程序的案例)、轨道器的FOD(在非日常维护条件下利用人的能力示例——“鱼跃接球”)、阿波罗13(非常规操作环境中使用人的能力示例)。

第5章描述了系统特征、计划特征和核心HFE活动,指出人-系统交互发生在系统研发和航天器系统运行的所有阶段,明确HFE计划包括需要设计和评估过程中涉及的组织(NASA,主承包商,子承包商)完成的11项核心活动。

## (二)第2册《人-系统整合设计流程》

该册内容为NASA/TP-2014-218556《人-系统整合设计流程》。

《人-系统整合设计流程》制定的目的是提供人-系统整合设计流程,包括方法和最佳实践经验,以指导和规范NASA载人航天器的研制满足人-系统整合和适人性要求。HIDP采用以人为中心设计方法和流程为框架,支持系统实现人-系统整合要求与适

人性。

本文于2014年9月首次发布,适用于载人航天系统工程的研制与实施,用于指导人-系统整合活动流程的研制和发展。《人-系统整合设计流程》和《人整合设计手册》是互补的参考文档。后者依据人-系统设计标准提供背景信息,而前者描述流程的“操作方法”,两者涵盖了NASA已经在载人航天系统研制与实施期间使用的方法和最佳实践。

HIDP按各章节组织,相对独立,可根据需要直接引用。

前2章为引言和文件,介绍了制定HIDP的目的、适用性和使用方法,以及适用文件和参考文件等。

第3章提供了人-系统整合的总体信息,主要涵盖NASA的人-系统整合,以人为中心的设计(HCD),在航天系统研发过程中的应用,以及技术文件概要等4部分内容。首先,描述了人-系统整合的概念、目的和关键因素;其次,描述了以人为中心设计的理论基础、原则和设计过程中的三项主要活动;再次,描述了人-系统整合(HSI)团队的概念,及其在载人航天器的研制和以人为中心设计过程中的作用;最后,总结了以人为中心的设计活动典型的产出所形成的通用技术成果,及其相关联的里程碑。

第4章中相对独立的各节用来描述不同航天器的设计项目与方法,这些内容需符合NASA-STD-3001和/或NPR 8705.2B的要求。每个设计项目与方法都明确针对NASA-STD-3001和/或NPR 8705.2B的相关要求,目的是用于航天系统研制和认证,且每个方面均包含足够的背景信息、知识和指向作为重要补充的其他文档(如HIDH),以获取详细内容信息。为成功实现系统满足最佳要求和适人性认证,每项内容还给出了在整个工程研发的生命周期应给予评估的相关关键技术文件。这些设计项目主要包括用户任务分析、可用性评估、工作负荷评估、人因失误分析、乘员物理特性和能力设计、操作品质评价、噪声控制设计、辐射屏蔽设计、功能性空间设计、乘员生存能力评估、代谢负荷和环境控制生命保障系统设计、显示样式设计、用户界面标识设计、乘员防护设计、为生理功能减弱的乘员进行的设计、缓解减压病设计、航天食品系统设计、易读性评价等18个方面内容。

### (三) 第3册《航天飞行人-系统标准》

该册内容为NASA-STD-3001《航天飞行人-系统标准》,包括第1卷《乘员健康》和第2卷《人因、适居性与环境健康》。

《航天飞行人-系统标准》是为NASA制定的一套人机系统标准,用于轨道飞行器、月球登陆车、火星漫游器、舱外航天服等航天器人-系统交互界面的工程研制,旨在满足当前和未来载人航天器工程设计需要,确保航天员健康并提高医学保障能力。

本标准于2007年首次发布,并于2014年7月发布了NASA-STD-3001第1卷《乘员健康》的第1版修订本。本标准为NASA顶级标准,由首席健康与医学官办公室设立,旨在降低载人航天飞行项目中飞行乘组的健康和工效风险,共分为两卷。

### (1) 第1卷《乘员健康》

该卷对任务身体素质、航天飞行容许暴露限值、容许输出限值、保健等级、医疗诊断、干预、治疗和护理以及对抗措施设定了标准。

前3章介绍了该卷标准的目标、适用的范围、剪裁的要求、适用文件，以及缩略词语及相关定义等。

第4章描述了医疗护理等级，人效能标准，健康和医学审查、评估和鉴定，医学诊断、干预、治疗和护理等。首先，介绍了护理级别制定的影响因素，以及零级护理、一级护理、二级护理、三级护理、四级护理、五级护理和护理中止的定义和要求；其次，介绍了航天飞行中人的效能健康标准，明确了航天飞行中对乘员健康和效能有害的医学风险的可接受程度，提供了乘员在轨健康维护和保障产品的目标参数；再次，介绍了乘员医学初次选拔要求和医学鉴定与评估要求；最后，明确了在训练和飞行前、中、后等各个阶段医学诊断、干预、治疗和护理的基本要求。

### (2) 第2卷《人因、适居性与环境健康》

该卷着重于人身体和认知的能力与局限性，并为航天器、内部环境、设施、有效载荷以及太空运行期间的乘员界面相关设备、硬件和软件系统确定了标准。

前3章介绍了该卷标准的目标、适用的范围、剪裁的要求、适用文件和项目执行的标准等。

第4章介绍了人体特性与能力的相关要求，包括人体数据库建立的要求与特征，以及身高、移动范围、可达域、人体表面积、人体体积、人体质量、力量和有氧能力等多方面人体特性项目的阐释与要求。

第5章从工作效能的角度叙述了人的知觉和认知特性，包括视觉、听觉感知、感觉运动和认知等知觉认知的特性与能力，以及时间与工作效率、情景意识和认知工作负荷等人整合操作能力等多方面特性的阐释与要求。

第6章介绍了自然及诱导环境因素的分类及其相关要求，包括舱内大气、水、污染物、加速度、声学、振动和辐射等方面的相关参数的阐释与要求。

第7章描述了系统满足人居住需具备的特性。每项特性的具体需求因任务不同而不同，包括食品和营养、个人卫生、身体废弃物管理、生理对抗措施、医疗、存储、库存管理系统、垃圾管理系统和睡眠等方面的相关参数的阐释与要求。

第8章介绍了系统满足乘组工作与生活需具备的特性，包括空间、功能划分与配置、转移路径、舱门、束缚和活动辅助设施、窗和照明等方面的相关参数的阐释与要求。

第9章介绍了所有类型的硬件与设备设计时需要考虑的因素与相关要求，包括标准化、训练最少化、风险最小化、耐受力、装配和拆卸、电缆管理、维修性设计、防护和应急设备等方面的阐释与要求。

第10章介绍了乘员界面设计的共性要素，以及各类乘员界面设计的特征要素与要求，包括显示器、控制器、显示器与控制器布局、通信系统、自动化与机器人系统、信息管理等方面的阐释与要求。

第 11 章介绍了为了满足着服航天员的健康、安全与工作效率,航天服设计时需要考虑的因素,包括服装设计与操作和着装功能等方面的相关参数的阐释与要求。

#### (四) 第 4 册《人整合设计手册(上)》

该册内容为 NASA/SP-2010-3407/REV1《人整合设计手册》的第 1 章至第 7 章。

为实现 NASA-STD-3001《航天飞行人-系统标准》所规定的要求提供资源,且为获得并实施该标准所规定的具体项目要求提供必要的数据和指导,NASA 配套制定了 NASA/SP-2010-3407《人整合设计手册》,与 NASA-STD-3001 配套,共同为 NASA 的所有人类航天飞行项目和计划提供载人航天器人-系统设计的规范性指导。本手册适用于在太空、月球以及其他行星表面环境中乘员在航天器内、外部所进行的所有操作。

本手册于 2007 首次发布,并于 2014 年 6 月发布了 NASA/SP-2010-3407 的第 1 版修订本,对全篇内容进行了修订更新。本手册的编写顺序与 NASA-STD-3001 第 2 卷相同。

前 2 章介绍了该卷标准的目标、适用的范围、使用的方法、内容概述和适用的文件等。

第 3 章概述了具体项目要求产生的过程,以及该手册将人的健康、适居性和工效方面的信息整合进系统设计的过程与相关要求等。

第 4 章涵盖乘员的人体尺寸、外形、可达域、活动范围、力量以及质量等相关信息,阐释了如何针对一个项目确定正确的数据,以及如何使用这些信息来创建适合乘员的设计。

第 5 章介绍了人在太空飞行中体能、认知、感知能力及其局限性,所涵盖的主题包括体力工作负荷、视觉和听觉感知以及认知工作负荷,并重点讲述了人的效能的诸多要素在航天飞行过程中的变化机制等。

第 6 章阐述了为保证航天飞行任务中乘组的健康和安全,保护其不受航天飞行自然环境以及诱导环境的影响,在设计中应考虑的因素及其具体要求,包括舱内大气、水、污染、加速度、声学、振动、电离辐射、非电离辐射等方面的参数要求。

第 7 章介绍了乘员在航天器内日常活动的设计考虑因素,包括就餐、睡眠、个人卫生、废弃物管理、库存管理和其他活动等,以确保环境的适居性。

#### (五) 第 5 册《人整合设计手册(下)》

该册内容为 NASA/SP-2010-3407/REV1《人整合设计手册》的第 8 章至附录 D。

第 8 章为概述性与指南性内容,主要介绍了航天器整体结构布局与空间、功能配置与区域划分、位置和定向辅助设施、交通流和转移路径、舱口与门窗以及照明灯等方面的参数要求。

第 9 章介绍了硬件与设备设计时应该遵循的要求与指南,包括工具、抽屉和货架、封闭物、硬件安装、手柄和抓握区域、限制器、机动辅助器、紧固件、连接器、视觉获取、包装、服装以及乘员个人用品等。

第 10 章介绍了用于乘员与系统之间进行信息交换的人-机界面的设计要求，包括视觉显示器、听觉显示器、控制器和标签等多种类型界面的设计要求与指南等。

第 11 章介绍了为了保证着舱外航天服的航天员在舱外作业时的安全与效率需要考虑的因素及其要求，包括生命保障功能、舱外活动绩效和舱外活动安全性等。

附录 A 至附录 D 给出了手册中涉及到的缩略词及其定义，人体测量参数、生物力学和力量参数数据，视窗的基本光学理论，以及载人飞行器视窗中光学性能的应用需求等。

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第 1 章 引言 .....                  | 1  |
| 1.1 目的 .....                    | 1  |
| 1.2 适用性 .....                   | 1  |
| 1.3 如何使用 HIDP .....             | 1  |
| 第 2 章 文件 .....                  | 4  |
| 2.1 适用文件 .....                  | 4  |
| 2.2 参考文件 .....                  | 4  |
| 第 3 章 人-系统整合流程 .....            | 5  |
| 3.1 人-系统整合 (HSI) .....          | 5  |
| 3.2 以人为中心的设计 (HCD) .....        | 5  |
| 3.2.1 以人为中心设计的理论基础 .....        | 5  |
| 3.2.2 以人为中心设计的原则 .....          | 6  |
| 3.2.3 以人为中心的设计活动 .....          | 7  |
| 3.3 角色和职责 .....                 | 12 |
| 3.3.1 人-系统整合 (HSI) 团队 .....     | 12 |
| 3.3.2 NASA 有关 HSI 团队的基本要求 ..... | 12 |
| 3.3.3 HSI 团队的技术范围 .....         | 12 |
| 3.3.4 HSI 团队的作用 .....           | 13 |
| 3.3.5 HSI 团队对项目的评审 .....        | 13 |
| 3.4 HIDP 技术文件概要 .....           | 14 |
| 3.4.1 通用技术文件 .....              | 14 |
| 3.4.2 通用技术文件定义 .....            | 15 |
| 第 4 章 HIDP 流程 .....             | 16 |
| 4.1 用户任务分析 .....                | 16 |
| 4.1.1 简介 .....                  | 16 |
| 4.1.2 任务分析过程概述 .....            | 17 |
| 4.1.3 任务分析技术文件 .....            | 20 |
| 4.1.4 参考文献 .....                | 20 |
| 4.2 可用性评估 .....                 | 21 |
| 4.2.1 简介 .....                  | 21 |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 4.2.2 进行可用性研究 .....                | 22 |
| 4.2.3 可用性评价方法 .....                | 23 |
| 4.2.4 可用性指标 .....                  | 25 |
| 4.2.5 解释和使用结果 .....                | 26 |
| 4.2.6 可用性评价技术文件 .....              | 26 |
| 4.2.7 参考文献 .....                   | 27 |
| 4.3 工作负荷评估 .....                   | 28 |
| 4.3.1 简介 .....                     | 28 |
| 4.3.2 工作负荷评价流程 .....               | 29 |
| 4.3.3 工作负荷评估的技术文件 .....            | 34 |
| 4.3.4 参考文献 .....                   | 36 |
| 4.4 人因失误分析 .....                   | 36 |
| 4.4.1 概述 .....                     | 36 |
| 4.4.2 适用要求 .....                   | 36 |
| 4.4.3 人因失误分析方法 .....               | 37 |
| 4.5 乘员物理特性和能力设计 .....              | 37 |
| 4.5.1 简介 .....                     | 37 |
| 4.5.2 基于人体测量学的设计 .....             | 38 |
| 4.5.3 活动范围设计 .....                 | 52 |
| 4.5.4 操作力设计 .....                  | 61 |
| 4.5.5 质量特性、体积和表面积设计 .....          | 68 |
| 4.5.6 商业载人航天人-系统整合要求 (CHSIR) ..... | 76 |
| 4.5.7 采用整合方法的设计 .....              | 78 |
| 4.6 操作品质评价 .....                   | 79 |
| 4.6.1 引言 .....                     | 79 |
| 4.6.2 操作品质设计过程 .....               | 81 |
| 4.6.3 操作品质评价方法 .....               | 82 |
| 4.6.4 操作品质评价技术文件 .....             | 90 |
| 4.6.5 结论 .....                     | 91 |
| 4.6.6 参考文献 .....                   | 92 |
| 4.7 噪声控制设计 .....                   | 92 |
| 4.7.1 简介 .....                     | 92 |
| 4.7.2 适当的声学要求 .....                | 92 |
| 4.7.3 噪声控制设计步骤 .....               | 93 |
| 4.7.4 噪声控制设计技术文件 .....             | 97 |
| 4.8 辐射屏蔽设计 .....                   | 99 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 4.8.1 简介 .....                 | 99  |
| 4.8.2 辐射屏蔽设计过程 .....           | 100 |
| 4.8.3 辐射屏蔽设计技术文件 .....         | 102 |
| 4.9 功能性空间设计 .....              | 106 |
| 4.9.1 简介 .....                 | 106 |
| 4.9.2 功能性空间设计过程 .....          | 108 |
| 4.9.3 设计驱动 .....               | 113 |
| 4.9.4 NASA 计划和项目中的具体实例 .....   | 114 |
| 4.9.5 功能性空间设计技术文件 .....        | 122 |
| 4.9.6 参考文献 .....               | 123 |
| 4.10 乘员生存能力评估 .....            | 124 |
| 4.10.1 简介 .....                | 124 |
| 4.10.2 乘员生命安全评估技术文件 .....      | 124 |
| 4.11 代谢负荷和环境控制生命保障系统设计 .....   | 125 |
| 4.11.1 简介 .....                | 125 |
| 4.11.2 代谢负荷设计过程 .....          | 126 |
| 4.11.3 代谢负荷设计技术文件 .....        | 129 |
| 4.12 显示样式设计 .....              | 130 |
| 4.12.1 简介 .....                | 130 |
| 4.12.2 建立显示样式设计和标准团队 .....     | 130 |
| 4.12.3 支持显示样式设计的文件 .....       | 131 |
| 4.12.4 显示样式设计的以人为中心的设计活动 ..... | 131 |
| 4.12.5 显示样式标准 .....            | 135 |
| 4.12.6 显示样式设计技术文件 .....        | 139 |
| 4.12.7 参考文献 .....              | 141 |
| 4.13 用户界面标识设计 .....            | 141 |
| 4.13.1 简介 .....                | 141 |
| 4.13.2 用户界面标识过程 .....          | 142 |
| 4.13.3 用户界面标识设计技术文件 .....      | 152 |
| 4.14 乘员防护设计 .....              | 153 |
| 4.14.1 简介 .....                | 153 |
| 4.14.2 乘员防护设计过程 .....          | 153 |
| 4.14.3 乘员防护设计技术文件 .....        | 160 |
| 4.14.4 参考文献 .....              | 162 |
| 4.15 为生理功能减弱的乘员进行的设计 .....     | 164 |
| 4.15.1 简介 .....                | 164 |

|        |                            |     |
|--------|----------------------------|-----|
| 4.15.2 | 适用要求 .....                 | 165 |
| 4.15.3 | 背景 .....                   | 165 |
| 4.15.4 | 感觉运动适应 .....               | 166 |
| 4.15.5 | 立位耐力不良 .....               | 168 |
| 4.15.6 | 肌肉、骨骼和有氧能力的生理功能减弱 .....    | 169 |
| 4.15.7 | 结论 .....                   | 174 |
| 4.15.8 | 技术文件 .....                 | 176 |
| 4.15.9 | 参考文献 .....                 | 177 |
| 4.16   | 缓解减压病设计 .....              | 181 |
| 4.16.1 | 简介 .....                   | 181 |
| 4.16.2 | DCS 症状和体征 .....            | 181 |
| 4.16.3 | 背景 .....                   | 182 |
| 4.16.4 | 适用要求 .....                 | 183 |
| 4.16.5 | 开发 DCS 缓解流程 .....          | 183 |
| 4.16.6 | 当前 DCS 缓解流程 .....          | 192 |
| 4.16.7 | 总结 .....                   | 195 |
| 4.16.8 | 技术文件 .....                 | 195 |
| 4.16.9 | 参考文献 .....                 | 196 |
| 4.17   | 航天食品系统设计 .....             | 204 |
| 4.17.1 | 简介 .....                   | 204 |
| 4.17.2 | 适用条件 .....                 | 204 |
| 4.17.3 | 食品研制 .....                 | 204 |
| 4.17.4 | 食谱研制 .....                 | 207 |
| 4.17.5 | 评价、设施与设备 .....             | 208 |
| 4.17.6 | 技术文件 .....                 | 209 |
| 4.17.7 | 参考文献 .....                 | 209 |
| 4.18   | 易读性评价 .....                | 210 |
| 4.18.1 | 简介 .....                   | 210 |
| 4.18.2 | 背景 .....                   | 210 |
| 4.18.3 | 使用 RSVP 进行易读性评价和验证过程 ..... | 212 |
| 4.18.4 | 易读性技术文件 .....              | 214 |
| 4.18.5 | 参考文献 .....                 | 215 |
| 附录 A   | 缩略词与含义 .....               | 217 |
| 附录 B   | 术语表 .....                  | 221 |
| 附录 C   | 参考文件 .....                 | 227 |
| 附录 D   | 后续 HIDP 可能的章节列表 .....      | 235 |