

Ergonomics Evaluation Index and Means Application for Extravehicular Space Suit Design

Li Wang, Chunhui Wang

China Astronaut Research and Training Center, Beijing, China

Abstract: The most significant characteristic of EVA (extravehicular activities) is that the astronaut has to carry out various tasks with extravehicular space suit. The operational capability of astronaut with extravehicular space suit and the ergonomics of astronaut-extravehicular space suit system directly affect the result of the EVA mission. Therefore the ergonomics evaluation technique of extravehicular space suit is studied in this paper. The evaluation index system of extravehicular space suit is build, and the evaluation methods of extravehicular space suit are proposed. Finally, the research results are validated in SZ-7 mission. Some conclusions of this study can be used in design and improvement of future extravehicular space suit.

Keywords: extravehicular space suit; ergonomics evaluation index; evaluation methods

工效学评价指标和方法在舱外航天服研制中的应用

王 丽, 王春慧

中国航天员科研与训练中心, 北京, 中国, 100183

摘 要: 出舱活动的最大特点是航天员需穿着舱外航天服完成各种活动任务, 航天员穿着舱外航天服后的操作能力、航天员-舱外航天服系统的工效决定着出舱活动任务的效果和成败。本文针对舱外航天服的工效学评价技术展开了研究, 建立了舱外服的评价指标体系, 提出了有效的评价方法, 并在神七任务中得到了飞行验证。该研究为未来空间站出舱活动用舱外航天服的研制提供设计依据。

关键词: 舱外航天服; 工效学评价指标; 评价方法

1. 前言

众所周知, 舱外航天服主要有三大功能, 一是保障航天员在舱外太空环境下, 免受真空、辐射、微流星体等的伤害; 二是提供航天员舱外活动的生命保障, 也就是要保持一个适合人生存的气体、温、湿度环境; 三就是要具备良好的工效, 确保航天员穿着舱外航天服在舱外的操作任务。其中第三点就是工效学研究的内容, 本文所述的舱外航天服工效学评价指标与评价方法的研究就是航天员着舱外航天服后灵活性和操作性的保障。

2. 工效学评价指标体系的建立

在提出舱外航天服的工效学要求, 进行工效学评价之前, 必须首先建立工效学指标体系, 只有确定了合理的指标体系, 才能做到评价有的放矢, 才能确保所进行的工效学评价覆盖整个舱外航天服的工效。

国外尤其是美、俄已进行过多次的舱外活动, 其

舱外航天服的工效学指标体系建立的非常全面, 我国也突破的出舱活动技术, 航天员翟志刚穿着飞天舱外航天服成功地完成了的首次出舱活动任务。基础上, 结合我国首次出舱活动任务的特点与飞天舱外服结构特征, 综合考虑工程研制的实际情况及航天员着舱外航天服的操作工效, 建立工效学评价指标体系。

a. 国外经验

通过查阅国外资料, 美、俄两个航天大国舱外航天服的研究尽管经过了几代的设计改进, 执行了多次、复杂的舱外作业任务, 但是仍然把舱外服的工效研究放在首位, 不断提高舱外服的操作工效。美、俄所提出的工效学指标涉及到很多方面, 如穿脱性、适体性、关节活动性、视野、光学特性、手套的灵活性、触觉、疲劳程度等。

b. 我国实际情况

1) 首次出舱活动任务分析

我国飞天舱外航天服执行的是首次出舱活动任

务，目的就是突破出舱活动技术，因此选择阳面出舱，时间大约 40 分钟，故涉及的航天员操作任务相对简单。通过分析，主要的操作任务为：操作舱内外设备、开关出舱舱门、进出舱、舱外行走、抓握扶手、取固体润滑装置、以及操作服装本体的电控台、气液控制台、背包门、电脐带、安全挂钩、气液组合连接器等；监视任务有：观察舱内外设备、监视液晶显示器、压力表的信息显示以及报警信息的显示等。

从这些任务可以看出，首次出舱活动没有精细操作任务，且基本为上部操作，对于下肢的要求不高，同时需要航天员进行观察的信息量较少。

2) 飞天舱外服研制现状

我国研制的飞天舱外服为半硬式、一体化结构，自带生命保障系统。其活动特性主要由舱外压力服的结构特点决定，躯干为硬式结构，肩、肘、腕、膝等均为软关节，腰部不能活动，背包门作为穿脱口。头盔与服装的壳体相连，面窗为三层合成，装有滤光面窗，没有顶视窗。服装上装有显控设备。

通过上述分析，基于首次出舱活动任务的特点和飞天舱外航天服的结构特征，结合国外相关研究，凡是与航天员操作工效相关的项目，就提取其工效学评价指标，建立了飞天舱外航天服工效学指标体系，如图 1 所示。

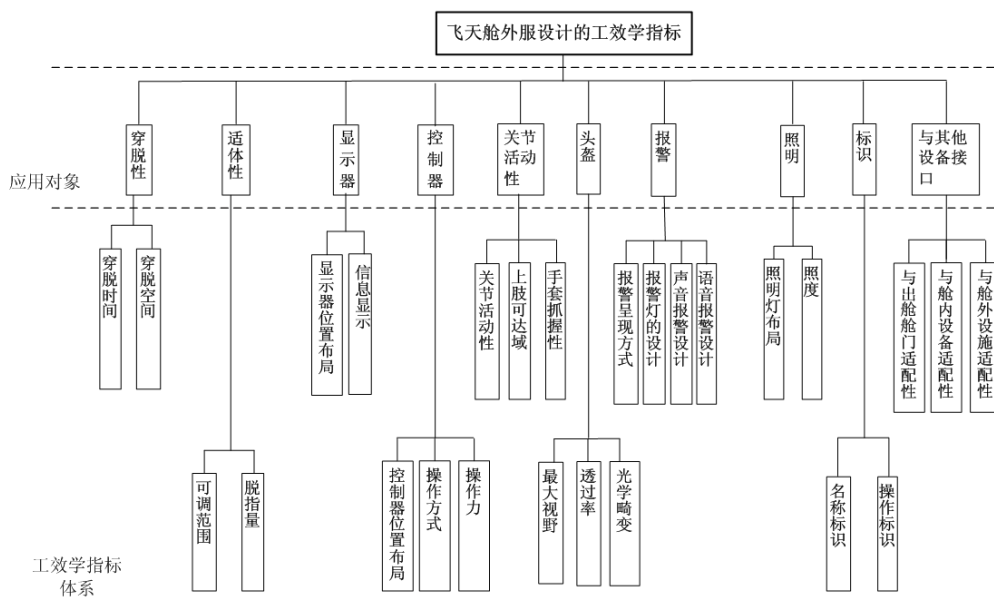


图 1 飞天舱外航天服的工效学指标体系

3. 工效学评价方法的研究

在飞天舱外服工程研制的各个阶段，均应对舱外服进行工效学评价。由于评价项目多，评价内容复杂，地面评价又受到多方面的限制，如舱外服加压测试时间短、测试次数有限、受试者体力负荷大等。因此在评价试验开始前，必须首先开展科学可行的评价方法研究。

3.1 工效学评价方法的确立

针对工效学指标和要求，必须逐项确定评价方法。通过对国外评价方法以及对我国飞天舱外服特点的了解，本课题组确定了以下几种评价方法。

a. 受试者主观评价问卷方法

设定被评价对象的约束条件，选用一定数量的航天员或模拟航天员直接参与被评价对

象的观察或操作，根据评价工作的需要设计主观问卷调查表（可以是单因素或多因素量表），最终采用统计分析方法对问卷结果进行统计，得出评价结果。

该方法的优点是结果直接，最受信赖，适用范围广，几乎适用于所有的评价项目。缺点是评价结果依赖于主观问卷量表设置的科学性以及对评价参与者的培训效果。

在飞天舱外航天服的工效学评价中采用此方法

时, 规范了主观问卷量表的评价分级, 针对不同项目设定不同分级, 从两个到五个等级不等, 目的是确保紧密贴近工程实际。在每次评价试验前对受试者均进行培训, 使其完全理解工效学问题的意义, 做到主观评价尽量客观。

b. 工效测试分析法

直接使用测试设备或仪器对评价项目的工效学指标进行测量的评价方法。此方法适用于对工效学要求中定量指标的测试。

该方法的优点是定量评价, 结果可靠; 缺点是依赖于测试设备的可靠性和测试的初始条件。

在此方法的应用过程中, 规范了测试方法, 保证每一次评价试验中对同一个项目的测试由同一名工效测试人员完成, 尽量消除人为误差; 并且保证测试设备或仪器计量合格, 在每次评价试验前均进行模拟测试, 确保测试流程顺畅, 测试手段可靠。

c. 观察法

设定评价的初始条件, 选择符合要求的受试者(航天员或模拟航天员)参加评价实验, 主试人员直接或通过实时图像观察受试者的操作过程中呈现的工效特性, 得到评价结论的方法。

优点是试验直接, 结果可信; 缺点是依赖于评价初始条件的设置、对主试人员的要求高。主试人员不仅需要在试验前设计好需要观察的项目及内容, 而且需要在试验过程中有目的、有重点地观察。

在运用此方法时, 选取的主试人员不但对评价项目非常熟悉, 同时又有一定的工效经验。

d. 检查表法

不安排评价试验, 由被评价对象的研制单位提供其工效指标的设计参数, 通过这些参数与相应工效学要求进行对比后, 获取被评价项目的评价结果。

该方法的优点是简单易行, 适用于有定量工效学指标数据, 同时研制方又能方便提供测试数据的指标。

3.2 飞天舱外航天服的工效学评价结果

根据飞天舱外航天服设计和研制的进展, 合理安排了工效学评价项目, 适时地进行工效学评价。对飞天舱外服研制的模样服型号 1, 初样阶段的型号 2、型号 3、型号 4、型号 5、型号 6、型号 7, 以及正样阶段的型号 8、型号 9、型号 10, 均进行了工效学评价试验。实施评价过程中, 完全按照设定的评价工况、评价方法进行, 评价结果的给出按照评价结论的要求执行。

以上几种评价方法结合在一起使用, 做到定量测试和定性评价相结合, 并明确限定评价结果为“合格”、“需改进”、“不合格”的具体标准, 验证工程研制部门落实工效学要求及对需改进或需优化产品的改进程度, 以满足航天员的安全和操作工效, 确保出舱任务“安全、高效”地完成。以服装的适体性和控制器的可操作性为例, 介绍工效学评价结果对工程设计的改进所起到的作用以及在工程设计研制中的应用, 如图 2 和图 3 所示。

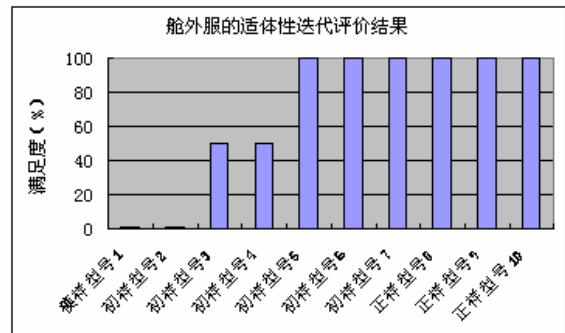


图 2. 舱外服的适体性迭代评价结果

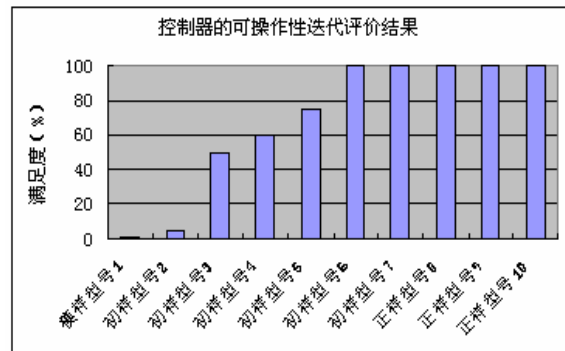


图 3. 舱外服的控制器的可操作性迭代评价结果

正是由于本课题组对飞天舱外航天服进行了从模样到初样再到正样的工效学评价试验, 发现问题及时, 与工程研制方沟通及时, 对于工程研制的进度了解及时, 做到了工效学评价与工程研制同步进行, 实现了设计与评价迭代开展, 使得飞天舱外服的适人性水平螺旋式提高, 因此飞天舱外航天服才能顺利转入正样研制阶段, 顺利出厂放行, 顺利完成了神七出舱活动任务。

4. 结束语

对飞天舱外航天服建立的工效学评价指标和评价

方法,是提高飞天舱外航天服安全性和提高出舱活动效率的重要保障。神舟七号载人飞行任务的圆满成功表明,本项目所建立的飞天舱外航天服工效学评价指标体系及工效学评价方法符合任务的实际需求、科学合理,有效地保证了人-舱-服系统的人机界面设计水平。

根据我国载人航天“三步走”的发展战略,载人航天将朝着长时间、多乘员和深空探测飞行的方向发展,“以人为中心”的设计思想必将成为未来出舱活动技术的重要研究方向。因此,本研究所建立的飞天舱外航天服的工效学评价指标体系和评价方法的研究将在未

来舱外航天服工程设计、研制以及今后空间站、空间实验室的出舱活动任务中发挥重要作用。

Reference (参考文献)

- [1] Han Longzhu, Yuan Xiugan, Dingli et al. Experimental investigations of work efficiency evaluation of EVA spacesuit glove under three temperature standards. [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2005, 26(6):665-669.
- [2] Melissa HW, David LA. The effects of extravehicular activity gloves on human hand performance. [R]. SAE:2001-01-2164.
- [3] O'Hara JM, Brigann M, Cleland J, et al. Extravehicular activities limitations study volume II establishment of physiological and performance criteria for EVA gloves-final report. [R]. AS-EVALS-FR-8701.