

手的热特性实验研究^①

丁立¹, 雷 茜¹, 袁修干²

(1. 昆明理工大学 交通学院, 云南 昆明 650051; 2. 北京航空航天大学 人机与环境研究所, 北京 100083)

摘要 恶劣的太空环境(极低温、真空、电离、辐射等)使得航天员在舱外活动常常感到冷,甚至不得不因冷而提前回舱,给手套采用外加热已成不争的事实,而加热方法的优化必须基于手的数学模型的计算,但目前还没有在满足工效情况下的手的温度场实验和数据报道.为给数值模拟模型计算和验证提供可靠的数据,设计了手的最低温为15℃时的温度场实验,对坐、失重和平躺等情况进行了实验研究.

关键词: 航天手套; 手; 温度场

中图分类号: V445.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2002)01-95-98

0 引言

舱外航天服手套是航天员出舱活动装备的重要组成部分,由于手套须保证手动作业工效要求,且具有抗打击、气密、抗辐射等功能,使得其保温效果始终得不到满意的解决.近年来出舱作业中,航天员因手/足太冷而不得不提前回舱就是明证^[1,2].通过对手套某些部位主动温控加热是解决航天员关于手指过冷问题的有效方法之一^[1,3].但在目前的加热模型中,手的温度场实验数据一般都是采用零摄氏度时的实验数据,而在保证手动作业的基本工效要求的情况下,手的温度场的实验和实验数据还没有相关报道.为此本文对此进行了大量实验,为手的温度场数值模拟验证和预测提供了可靠的实验数据.

出舱活动时,有许多作业需借助于人的手指感觉来完成.当手指麻木时,只能依靠视觉的观察来确定物体安放位置,这一方法只能起到部分的补偿作用,效率很低.手套本身就会影响手的作业,如果再加上低温影响,航天员执行任务的成功率会进一步下降.当手套的保温性能不足时,手部皮温会从正常28℃左右逐渐下降.据报道^[4,5],当手指皮温降至大约15~20℃时,手的技巧性活动便会降低;在皮温降至8℃以下时,手的灵敏度会严重减弱,事故发生率便会增加;当手指皮温低于4.4℃时,手的精细作业能力几乎完全丧失.鉴于手指皮温与其麻木程度有显著关系^[6],因此可以用手指皮温作为感觉灵敏度的原始参数来估算手的精细作业的效率.当手指的皮温高于15℃时,手动作业能力的下降无明显统计学意义.故人们一般把手指皮温15℃定为手动作业工效不受影响的最低限值,而12.8~15℃这一温度区被看作临界温度区.因此本文就将15℃定为实验点.

由于航天员在舱外活动时间达8h,时间较长,手和手套的温度都可以认为是处于稳定状态,故本文主要是针对稳态情况进行实验.考虑到在太空中人的状态与地面有较大不同,太空与地面最大的区别是人处于失重状态,故实验时还对失重状态(生理学失重实验时头底位6°,如图4)和平躺进行了实验,为物理模型数值模拟提供比较.为了给手及手套的数值模拟提供可靠的实验数据,实验时的被测试者为6名男性,1名女性,完全符合生理学实验要求.由于实验条件所限,不能对真实的舱外航天服手套进行温度场实验研究,只能采用模拟手套代替实验,但这只是导热系数有所不同,并不影响模型的计算.

① 收稿日期: 2001-04-23;

基金项目: 国家863计划资助项目(863-2-2-2-6);

第一作者简介: 丁立,男,1971年生,工学博士;主要研究方向: 人机与环境工程.

1 实验装置及实验过程

为给手和手套实验提供一个恒定的低温环境,如图 1 所示,小桶和较大桶之间有一层厚为 60 mm 的脱脂棉花,用于保温;大桶和较大桶之间是空气,这是为里面的小桶和较大桶提供一个与小桶内温度近似的温度环境,利于减少小桶的散热量.手套是模拟舱外航天服手套厚度制作的实验手套,里层厚度为 2 mm,外层手套为 4 mm.图 2 所示为测试时手的测试点.本实验主要分两步进行,先对多位实验者做手低温时散热量测定,然后做戴上手套后手的低温散热量测定.过程如下:

1) 测量实验者的手掌和手指面积^[7].然后将实验者手放入容器内,通风,流量为 0.22 l/s,控制入口风的温度,保持指尖温度在 15℃左右稳定后(约 1~2 h),如图 2 所示测量手指各指尖,指根,手腕共 16 温度点,出入小桶风温度和流量.然后再对被测试者作平躺(图 3)和模拟失重(头低位 6°,图 4)实验.

2) 实验者戴上手套,通入低温空气,空气流量根据过程 1 所确定的手散热量制定,降低入口温度.待指尖温度在 15℃左右稳定后,测量手指各指尖,指根和手掌温度,手套里层和外层各指尖,指根和手腕部位温度,出入风温度和流量.

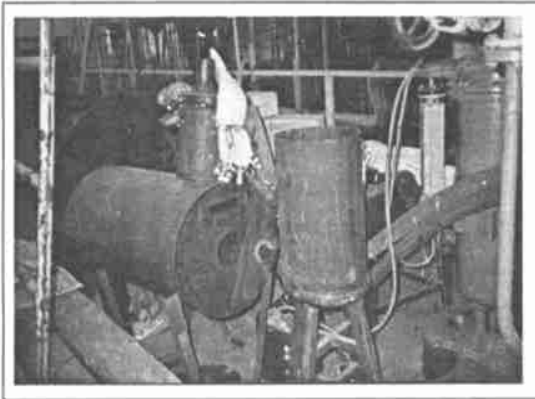


图 1 实验保温桶



图 2 手部测试点



图 3 平躺



图 4 模拟失重

2 实验结果及分析

如表 1 所示是不同同学手处于低温时的散热量,从实验中可看到手的散热量基本在 3.50 W~4.00 W 之间,与文献^[8]一致,可将此散热量作为实验和计算的基准.表 2 是人坐、平躺和模拟失重状态时的散热情况.可看出人在平躺时散热量最低,失重时其次,坐着时最大.在生理学实验中,头低位 6°就可以认为是人处于失重状态.这样,由于失重时心脏的位置比平躺着时高,故血液流量应比平躺着时高,即散热量也比平躺着时大.坐着时手的垂直位置要比大脑低得多,故血液流量应比失重时高,即散热量也比失重时大.这仅

是根据生理特征进行的推断, 还需实验进一步的证明.

表 1 手低温时的散热

实验人员	手面积/cm ²	散热量/W	散热热流密度/W·cm ⁻²
A(男)	358.32	3.10	86.49
C(男)	408.55	4.18	102.31
D(男)	391.07	3.58	91.56
E(男)	412.38	3.74	90.69
F(男)	396.34	4.00	100.92
B(女)	386.54	3.56	92.10

表 2 不同姿势时手的散热

姿势	手面积/cm ²	散热量/W	散热热流密度/W·cm ⁻²
坐	391.07	3.85	98.94
平躺	391.07	1.82	46.53
模拟失重	391.07	2.97	75.95

图 5 是指尖温度为 15℃ 时, 不同手指温度变化拟合曲线(实验值见附表 1). 可以看出除拇指外, 其余手指指根保持在 23℃ 左右. 这是由于拇指指根离手腕更近, 血液热量较少流失. 图 6 是不同姿势下的中指温度变化, 由于是通过改变风量带走热来保持指尖温度为 15℃, 故手指的温度变化并不明显. 另由于此项是考察三种状态对手散热的影响, 故只作了三位试验者. 由手在低温的实验比较可知, 除拇指外, 其余手指温度基本一致, 故在试验中主要测量了拇指和中指的温度, 其余手指只在较为重要的点进行测量, 对中指温度进行一定的比较. 在静止空气, -5℃ 环境下, 带上模拟手套后, 拇指各点温度都高于 15℃ (图 7), 即此环境时, 手的基本工作能力不受到影响. 但在此环境下, 其余手指的指尖温度都低于 15℃ (图 8), 受试者已感到手指较冷, 不能再将外界温度继续冷却下去. 从图可看出戴上手套后手指的温差比裸露手指的温差大, 这从文献^[5]也可看出这个结果. 经分析, 温差大的原因有两点: ①戴上手套的散热条件不如裸露手指; ②由于指尖部温度已降到了人不能忍受的温度, 实验不能是真正稳定.

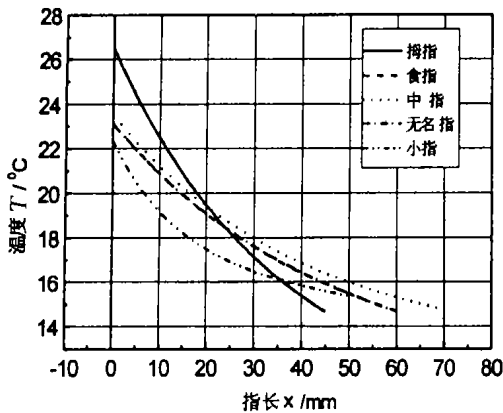


图 5 不同手指皮肤的温度实验比较

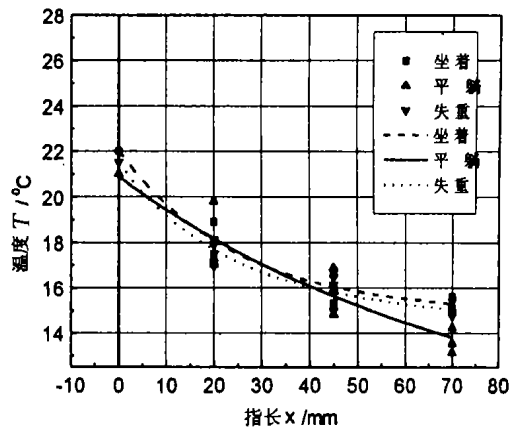


图 6 不同姿势下的中指温度变化

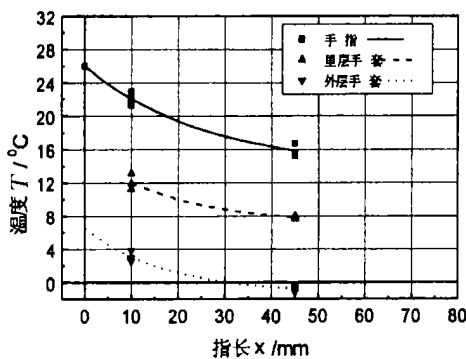


图 7 戴上模拟手套后, 拇指各层温度

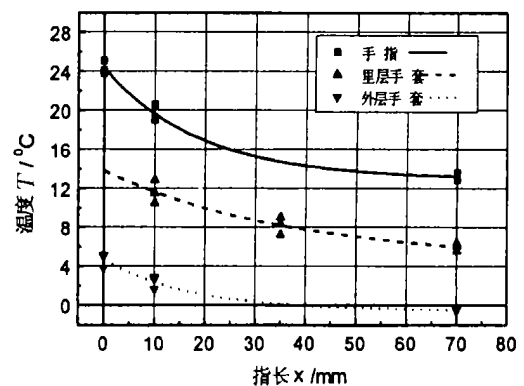


图 8 戴上模拟手套后, 中指各层温度

4 结论

通过实验分析可以看出手部最低温为 15℃时, 拇指的温度比其余手指略高, 其余四指的温度基本一致. 坐着时手的散热量可定为 3.50~ 4.00 W, 平均散热热流密度为 86~ 102 W/m², 三种姿势的散热量从大到小为: 坐、失重、平躺. 当戴上手套处于冷环境时, 拇指的温度明显比其余手指高.

参考文献:

- [1] Nick A M, Anatoly Y S. EVA space suit glove: experiences and main design problem[R]. SAE: 981532. 1998.
- [2] Grahn M S, Graziosi D A, Pauly R L. Benefits of an EMU glove active heating system[R]. SAE: 951549. 1995.
- [3] David C, David G. Recent advances in the development of spacesuit glove[R]. SAE: 96142. 1996.
- [4] 庞诚, 陈景山. 舱外航天服温度医学工程问题[M]. 北京: 航天医学工程研究所. 1999, 41~ 68.
- [5] Fox W F. Human performance in the cold[J]. Human factors, 1967. 9(3):203~ 220.
- [6] 陈信, 袁修干. 人一机—环境系统工程学基础[B]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995. 151~ 270.
- [7] Mignano B P, Konz S. The surface area and volume of the hand[M]. Proceedings of the humane factors and ergonomics society 38th annual meeting, 1994. 507~ 610.
- [8] Shitzer A, Stroschein L A, Vital P. Numerical analysis of an extremity in a cold environment including countercurrent arterio-venous heat exchange[J]. J. Biomechanical Engineering, 1997. 119: 179~ 186.

Thermodynamic Experiment Research of Hand

DING Li, LEI Qian

(Faculty of Communication Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

YUAN Xiu-gan

(Dept. of Flight Vehicle Design and Applied Mechanics Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract Active heated gloves system to develop space suit assembly(SSA) gloves of astronauts who often have to come back vehicular for chilled hand during extravehicular activity(EVA) is an undisputed fact. The optimum heat method should be based on the calculation of mathematics model of hand, but now there are not experiment report and data about temperature field of hand taking work efficiency into account. For providing reliable data to calculate and prove numerical model, an experiment was designed to measure temperature field of hands, which the lowest temperature is 15℃, under sitting, lying and weightlessness.

Key words: EVA spacesuit glove; hand; temperature field