

载人航天器舱室热舒适温度模糊分析

Fuzzy Analysis of Thermal Comfort Temperature in Manned Spacecraft Cabin

北京航空航天大学航空科学与工程学院 蔺永良 袁修干

[摘要] 提出了一种确定载人航天器舱室热舒适温度的模糊分析方法。在分析航天员的活动量、相对湿度和设定温度对热舒适性的影响的基础上,采用模糊理论确定出空调系统的设定控制温度,并给出查询表。结果可以指导航天员根据实际情况设定空调系统的控制温度,也可以为变设定温度空调系统的自动控制设计提供理论依据。

关键词: 载人航天器 热舒适 模糊分析

[ABSTRACT] A fuzzy analysis method is presented to determine thermal comfort temperature in manned spacecraft cabin. On the base of analyzing the influence of astronaut activity level, relative humidity and set temperature on thermal comfort, the set temperature of air-condition system is determined by use of fuzzy theory, and the polling list of temperature is given. The results can direct the astronauts to set the control temperature of air-condition system according to practical condition, and provide theoretical basis for the automatic control design of air-condition system with variable set temperature.

Keywords: Manned spacecraft Thermal comfort Fuzzy analysis

航天员在中长期载人航天器上居住和工作的时间较长,舱室内空气温度、相对湿度对航天员的热舒适性影响较大。国外中长期载人航天器,如国际空间站,由温湿度控制子系统保证舱内的温度和湿度在设计规定值内。舱室温度的控制属于主动控制,即设定空调系统(主要是冷凝换热器)的控制温度后,采用PI控制器控制舱内的温度。空调的控制温度由航天员设定,范围在18.3~26.7,实际温度和控制设定温度之间最大允许误差是0.5。湿度调节属于被动式,由冷凝换热器的吮吸孔(slurper)实现除湿功能^[1]。

在中长期载人航天器内,航天员只是根据经验大致确定空调的设定温度,并没有什么理论依据。实际上,舱内空气湿度和人的活动量等参数均对设定温度产生显著的影响。如果空气调节系统的温度设定点采

用定点式,航天员一天的活动强度差别很大,湿度又是不断变化的,这种运行模式不能满足航天员全天任何时刻的热舒适性要求。所以,需要根据舱内湿度和航天员活动量的变化,及时地改变空调系统的设定控制温度值。

针对恒定设定温度控制的不足,在地面民用建筑中,前人尝试不同的改进方法以提高热舒适性。MacArthur以家用空调器为研究对象,从理论上分析了分别基于房间湿度和热舒适指标PMV的变设定温度控制的效果,证明变设定温度控制在改进热舒适性的同时又实现了系统运行节能^[2]。

为了改善航天员的生存环境质量,提高热舒适性,有必要针对中长期载人航天器提出一种方便、科学的确定空调变设定温度控制值的操作规则。该规则可以为航天员提供设定空调温度值的依据,并指导航天员设定空调工作点温度值,以满足对热舒适性的要求。本文借鉴地面民用建筑空调系统中变设定温度点技术,在考虑舱室湿度变化和航天员的活动量变化的基础上,采用模糊理论确定中长期载人航天器内空调系统变设定温度值,最终提出一种合理的温度设定规则,用于指导航天员根据实际情况确定舱内的设定温度值,也能为空调系统的变设定温度自动控制设计提供理论依据。

1 活动量、温度和湿度对热舒适性的影响

1.1 航天员活动规律及活动量分析

在中长期载人航天器中,航天员的作息时间是严格按照规定执行的,如“和平号”空间站和国际空间站的航天员均是如此。

根据活动量的大小,可以将航天员的活动划分为I、II、III和IV四个等级,见表1。

表1 航天员显热及活动量级^[4]

活动	睡觉	静卧	坐	轻活动	中等活动	重活动
量级	I	I	I	II	III	IV
显热/W	60	80	100	150	200	250

1.2 温、湿度对热舒适的影响

在中长期载人航天器内,温、湿度对热舒适的影响最明显。许多学者研究了温、湿度与热舒适性的相互关系,图 1 和表 2 列出它们之间的相互关系^[3-4]。

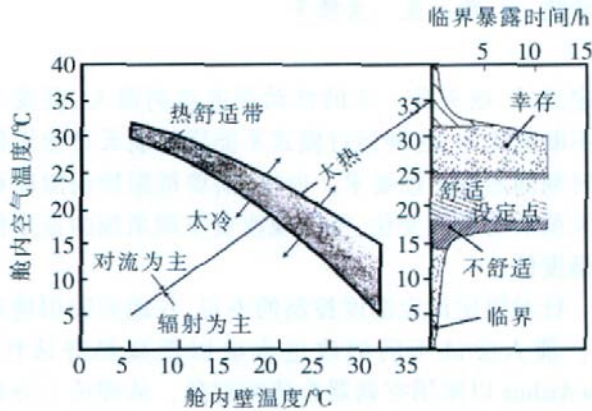


图 1 载人航天器内热舒适带

Fig.1 Thermal comfort range in manned spacecraft

表 2 舱内空气温度限值

项目	有效温度/		相对湿度/%	
	最小值	最大值	最小值	最大值
工作点	18	21	40	50
舒适	18.5	24	28	65
不舒适	14.5	25	25	80
幸存	5	31	20	90

在给设定温度的条件下,舱室内的相对湿度变化也会对航天员的热舒适性有一定的影响。图 2 显示出了温度设定值为 20 和 25 时(虚线),要保证舒适性,设定温度值(实线)应根据不同相对湿度进行的调整^[2]。

2 热舒适温度模糊分析

2.1 确定隶属函数

采用模糊数学理论确定舱内设定温度、相对湿度和活动量的隶属度函数(参见表 2)。

(1) 设定温度的隶属度函数。

设定温度隶属度函数的模糊语言集合取{正极小 TVS, 正小 TS, 正中 TM, 正大 TB}, 分别代表设定温度值为{很低、低、中、高}。设定温度的模糊集合的隶属度函数采用单值函数(见图 3), 可取为离散论域, 对应的量化见表 3。

(2) 相对湿度的隶属度函数。

相对湿度隶属度函数的模糊语言集合取为{正小 PS, 正中 PM, 正大 PB}, 分别代表湿度为{干燥, 适中,

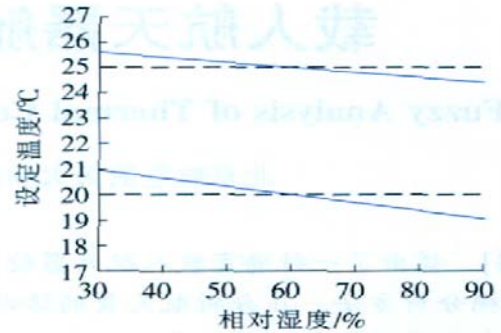


图 2 相对湿度对设定温度的影响

Fig.2 Influence of relative humidity on set temperature

表 3 设定温度的量化表

设定温度 量化值	离散变化 范围	设定温度 量化值	离散变化 范围
18	[17, 18.5]	20	[19.5, 20.5]
19	[18.5, 19.5]	21	[20.5, 22]

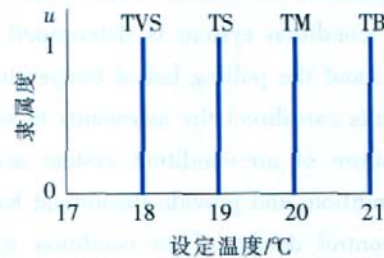


图 3 舒适范围内设定温度隶属度函数

Fig.3 Membership grade function of set temperature within comfort range

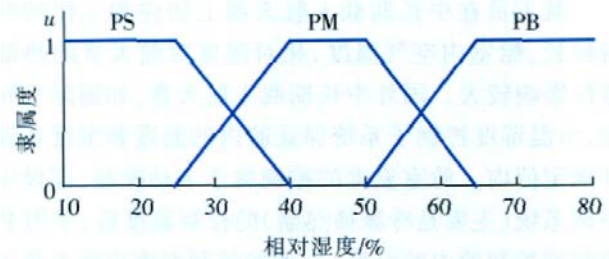


图 4 相对湿度隶属度函数

Fig.4 Membership grade function of relative humidity

潮湿}, 采用三角形、降半梯形和升半梯形函数见图 4。取离散论域, 对应的量化见表 4。

(3) 活动量的隶属度函数。

表4 相对湿度的量化表 %

相对湿度 量化值	离散变化 范围	相对湿度 量化值	离散变化 范围
25	[0, 28.75]	50	[45, 53.75]
32.5	[28.75, 36.25]	57.5	[53.75, 61.25]
40	[36.25, 45]	65	[61.25, 100]

根据人处在不同活动时的代谢率不同,将活动量量化分为 I、II、III、IV 四个等级。活动量的隶属度函数的模糊语言集合取为{I, II, III, IV},见图 5。取离散论域,对应的量化表如表 5。

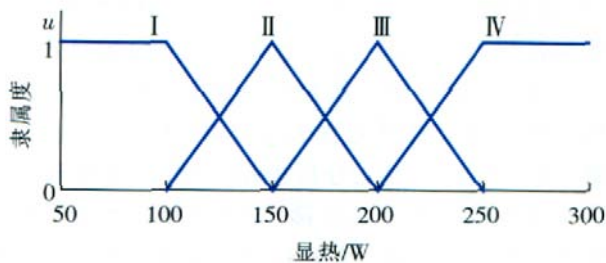


图5 活动级别隶属度函数

Fig.5 Membership grade function of activity level

表5 活动量的量化表 W

活动量 量化值	离散变化 范围	活动量 量化值	离散变化 范围
100	[0, 112.5]	200	[187.5, 212.5]
125	[112.5, 137.5]	225	[212.5, 237.5]
150	[137.5, 162.5]	250	[237.5, 300]
175	[162.5, 187.5]		

2.2 设定温度值模糊分析

根据上面的条件(活动量、相对湿度),采用模糊理论确定满足舒适性要求的空调设定温度值。

(1) 规则库。

模糊规则由一系列 'if-then' 型的模糊条件句构成。条件句的前件为输入状态(湿度和活动量),即输入语言变量;后件为设定温度,即输出语言变量。

模糊规则是人类行为和进行决策分析过程的最自然的描述方式。基于上面的讨论,并根据经验,经过一定的试凑和调整,可得模糊规则表(见表 6)。

模糊推理由 12 种温湿度组合的规律组成。

计算单一规则的隶属函数。将 then 一部分的隶属函数用条件部分的满足度加以限制,限制方法采用

表6 模糊规则表

设定温度	相对湿度		
	PS	PM	PB
活动量级	TB	TB	TM
	TB	TM	TS
	TM	TS	TVS
	TS	TVS	TVS

最大最小推理规则^⑨。

(2) 去模糊。

采用面积重心法去模糊化方法,即

$$u^* = \frac{\sum_{j=1}^n u_j \mu_j(u_j)}{\sum_{j=1}^n \mu_j(u_j)}$$

式中, n 是输出离散化的阶数。

经规整化处理,计算所有输入值,获得查询表,见表 7。

表7 温度设定值模糊输出查询表

输出设定 温度/	相对湿度/%						
	25	32.5	40	45	50	57.5	65
活动 量/W	100	21	21	21	21	20	20
	125	21	20	20	20	20	19
	150	21	20	20	20	20	19
	175	20	20	19	19	19	18
	200	20	19	19	19	19	18
	225	19	19	18	18	18	18
	250	19	18	18	18	18	18

航天员可以根据表 7 设定空调控制温度。如当活动量为 200W,相对湿度为 50%时,可将空调控制温度设定为 19,就能满足航天的热舒适性要求。

表 7 也可以作为载人航天器空调系统变设定温度控制设计的理论依据。

3 结束语

本文分析了中长期载人航天飞行器内航天员的活动量、相对湿度和设定温度对热舒适性的影响。探讨了采用模糊数学理论确定舱室内满足舒适性要求的空调设定温度的确定方法,最后给出模糊输出查询表。

该分析方法及结论可以指导航天员根据情况设定空调系统的控制温度,也可以为空调系统变设定温度自动控制设计提供理论依据。(下转第 86 页)

制样机验证了仿真结果。

参 考 文 献

- [1] Furukawa Y, Moronuki N. Development of ultra precision machine tool made of ceramics. Ann CIRP, 1986(35): 279-282.
- [2] Ryu J W, Lee S Q, Gweon D G, et al. Inverse kinematic modeling of a coupled flexure hinge mechanism. Journal of Mechatronics, 1999(9): 657-674.
- [3] Ragulskis K M, Arutunian M G, Kochikian A V, et al. A study of fillet type flexure hinges and their optimal design. Vibration Engineering, 1989(22): 447-452.
- [4] Xu W, King T G. Flexure hinges for piezo-actuator displacement amplifiers: flexibility, accuracy and stress considerations. Precision Engineering, 1996, 19(1): 4-10.
- [5] Ryu J W, Gweon D G. Error analysis of a flexure hinge mechanism induced by machining imperfection. Precision Engineering, 1997(21): 83-89.
- [6] Lobontiu N, Paine J S N, Garcia E, et al. Design of symmetric conic-section flexure hinges based on closed-form compliance equations. Mechanism and Machine Theory, 2002(37): 477-498.
- [7] Peterson R E. Stress concentration factors. New York: Wiley, 1974.
- [8] Pilkey W D. Peterson's stress concentration factors. New York: Wiley, 1997.
- [9] Awabdy B A, Shih W C, Auslander D M. Nanometer positioning of a linear motion stage under static loads. IEEE Trans Mechatronics, 1998,3(2):113-119.
- [10] 白新桂. 数据分析与试验优化设计. 北京: 清华大学出版社, 1986.

(责编 钟元)

(上接第 81 页)

参 考 文 献

- [1] Wieland P O. Living together in space: the design and operation of the life support systems on the international space station. NASA/TM - 1998 - 206956/VOL1, 1998, 104-116, 229-245.
- [2] 刘顺波. 房间空调器动态性能与智能化控制研究[D]. 西安: 西安交通大学, 1999, 20.
- [3] Ernst Messerschmid, Reinhold Bertrand. Space stations systems and utilization. Springer, 1999,184-204.
- [4] Man- Systems Integration Standards. NASA- STD- 3000. NASA Johnson Space Center. Houston. 1995.
- [5] 张曾科. 模糊数学在自动化技术中的应用. 北京: 清华大学出版社, 1997.

(责编 钟元)

Timken® 轴承, 新舟 60 的安全承托

2008 年 5 月 21 日, 铁姆肯公司宣布, 其为西安航空制动科技有限公司特别定制的起落机轮轴承已成功应用于新舟 60 型(MA- 60) 涡桨支线飞机。‘新舟 60’是中国自主研发的涡轮式飞机, 能同时满足国内及国际市场需求。

作为世界领先的轴承制造商, 铁姆肯公司的起落机轮轴承以其卓越品质和极具针对性的创新技术在全球广受青睐。在此次与西安航空制动科技有限公司的合作中, 铁姆肯公司凭借在轴承领域的杰出专业技术, 为客户量身定制出专门的圆锥滚子轴承设计, 帮助客户有效提升飞机机轮性能, 从而改善其耐用度。

(本刊记者 微凉)

IFWT2008 轻金属与高强材料焊接
国际论坛在京隆重举行

2008 年 5 月 13 日, 由中国机械工程学会及其焊接分会、英国焊接学会(TWI) 共同组办的 IFWT2008 轻金属与高强材料焊接国际论坛在北京中旅大厦隆重举行。此次论坛的议题主要有: 轻量、高强材料在汽车、轨道交通、航空、航天等产业的需求与应用的现状及其发展趋势; 铝、镁等轻金属材料的焊接性; 高强、超级钢材料的焊接性等。

清华大学教授、中国科学院院士潘际銮, 中国机械工程学会常务副理事长宋天虎, 中国机械工程学会秘书长张彦敏, 大连理工大学材料科学与工程学院副院长刘黎明, 中北大学材料科学与工程系王宝教授, 以及来自国内多所知名高校的大批教授和学者应邀参加了本次论坛, 使此次论坛成为众专家、学者交流的盛会。同时, 多家国内外知名厂商参加了此次论坛, 并带来了各自研究领域的最新成果。其中, 美国 WTC/MEDAR 集团亚太地区总裁、上海梅达焊接设备有限公司总经理陈建平讲解了“先进的 WTC/MEDAR 中频直流阻焊技术”; 长沙凯天环保有限公司总经理助理刘华发表了题为“铝合金焊接生产的环境保护措施及应用”的报告; 唐山松下产业机器有限公司技术部部长陈韻演讲了“松下数字焊接技术”; 艾美特焊接自动化技术(北京)有限公司总经理杨旭东介绍了艾美特“先进的轻合金焊接工艺及其高效柔性化的焊接系统”。各家企业各献所长, 为此次国际论坛营造了“百家争鸣”的良好氛围。

(本刊记者 晓霏)