

文章编号: 1000-6893(1999)增-0S39-03

飞机环控系统供气温度、流量和湿度 对座舱热负荷的影响

陈婉莹, 李克清, 王顶忠, 郑晓惠, 付丽珊
(空军航空医学研究所, 北京 100036)

EFFECT OF SUPPLY AIR TEMPERATURE, FLOW AND
HUMIDITY OF CABIN ENVIRONMENTAL CONTROL SYSTEM
ON HEAT STRESS OF CABIN OF FIGHTER AIRCRAFT

CHEN Wan-ying, LI Ke-qing, WANG Ding-zhong, ZHENG Xiao-hui, FU Li-shan
(Institute of Aviation Medicine, Air Force, Beijing 100036, China)

摘 要: 将歼击机前机身置于电辐射加热器内, 当座舱盖温度达 60℃, 飞机座舱驾驶杆周围温度稳定在 40℃ 时, 座舱空气调节系统使用不同的供气温度、供气流量、含湿量进行通风降温, 观察对座舱温度和人体温度参数的影响。供气温度与座舱三球温度指数(WBGT)和座舱平均舱温(T_{ab})呈正相关。供气流量 300 kg/h 降温效果优于 250 kg/h。供气温度与 20 min 时的平均皮肤温度下降值(ΔT_{sk})呈负相关。供气温度高, 人体出汗率高, 人体热反应明显。WBGT 30℃, 使用 0℃ 供气温度在短时间内可使座舱温度和人体 T_{sk} 降至工效区范围, 多数指标可满足国家军用标准的要求。

关键词: 供气要求; 环控系统; 热应激; 三球温度指数; 平均皮肤温度

中图分类号: R 852.17 **文献标识码:** A

Abstract: The fuselage of fighter aircraft was placed in the electric heating equipment. After the cabin temperature was 60℃ at the canopy of the aircraft and maintained 40℃ near the column, the following cooling air was supplied to reduce the pilot heat stress: supply air temperatures were 0℃, 10℃, and 20℃ respectively; the flows were 250kg/h and 300kg/h; the humidity was 0 g/kg and 10 g/kg. The heat stress of the fighter aircraft cabin and its physiological effects on pilot were measured before and after the supply of air for cooling, including cabin air temperature, wet bulb temperature and black globe temperature and pilot rectal temperature and weight. Supply air temperature could be related to cabin wet bulb globe temperature index (WBGT), and cabin mean temperature by linear regressive equation of positive slope; supply air temperature could be related to decreased value of mean skin temperature (ΔT_{sk}) resulting from supply cooling air for twenty minutes, by linear regressive equation of negative slope. The cooling effect was better to supply air flow 300 kg/h than to supply air flow 250 kg/h. There is more sweating and physiological response to heat stress at supply air temperature 20℃ than at supply air temperature 10℃ or 0℃. When cabin WBGT is 30℃, using supply air temperature 0℃ for short time, the cabin temperature and pilot mean skin temperature could fall within human performance zone, and most of the physiological parameters and thermal measurements could meet the requirements specified in GJB1 129-91.

Key words: air supply requirement; environmental control system; heat stress; wet bulb globe temperature index; mean skin temperature

炎热季节飞行时由于太阳辐射热、气动力热、电子热和人体产热等因素影响, 使飞机座舱内温度升高, 飞行员出现明显的热应激, 因而影响飞行操纵能力^[1]。为降低飞行时的热负荷, 飞机空气调节系统必须对座舱进行通风降温, 以降低座舱环境温度。本工作通过测量分析歼击机座舱空调系统采用不同供气条件时对座舱温度和人体温度的影响, 以探讨夏季飞行时适宜的座舱通风条件。

1 方法

全部测试在歼击机座舱内进行。受试者为 2 名男性健康青年, 年龄分别为 18 岁和 20 岁, 体重分别为 63.5 kg 和 61.8 kg。

(1) 试验程序 将歼击机前机身置于电辐射加热器内进行加温, 当飞机座舱盖温度达 60℃, 座舱驾驶杆周围温度稳定在 40℃ 时, 打开座舱盖, 被试者进入座舱。进座舱前称取裸体体重, 贴

好心电和皮肤温度电极,插入直肠温度电极。穿夏季飞行常服和救生背心,头戴保护头盔。进入座舱后关闭座舱盖。测量座舱和人体各项温度参数指标。然后启动空调系统开始通风降温。供气温度分别采用 0 °C, 10 °C, 20 °C。供气流量分别采用 250 kg/h 和 300 kg/h。供气含湿量分别采用 0 g/kg 和 10 g/kg。试验分组见表 1。

试验中每隔 2min 记录各项环境温度和被试者生理指标。试验时间为 20min。

表 1 辐射加温人体试验座舱供气控制参数

方案	T ₀ /°C	G ₀ /kg·h ⁻¹	d ₀ /g·kg ⁻¹
51	0	250	0
52	0	300	0
61	10	250	0
62	10	300	0
71	20	250	0
72	20	300	0
81	20	250	10
82	20	300	10

(2) 测量指标 按 GJB1129- 91 国家军用标准测量下列指标^[2]:

1 人体生理指标 (a) 皮肤温度: 测额部(T_{fh})、胸部(T_{ch})、大腿(T_{th})、小腿(T_{ca})、背部(T_{ba})5 个部位; (b) 核心体温: 测直肠温度和耳道温度(T_e); (c) 出汗量: 称取实验前后裸体体重; (d) 心电图: 记录 MV₅ 导联心电图。

° 飞机座舱内温度 (a) 通风湿球温度(T_{pwb}); (b) 小黑球温度(T_{sg}); (c) 干球温度(T_{db}): 测头部(T_{db(he)})、左右肩部(T_{db(sh)})、左右胸部(T_{db(ch)})、左右膝部(T_{db(kn)}), 左右踝部(T_{db(on)})9 个部位。

» 综合计算指标 (a) 平均皮肤温度(T_{sk})

$$T_{sk} = 0.07T_{fh} + 0.5T_{ch} + 0.23T_{th} + 0.20T_{ca} \quad (1)$$

(b) 平均体温(T_b)

$$T_b = 0.90T_e + 0.10T_{sk} \quad (2)$$

(c) 座舱平均舱温(T_{db})

$$\bar{T}_{db} = (T_{db(he)} + 2T_{db(sh)} + 2T_{db(ch)} + 2T_{db(kn)} + 2T_{db(on)})/9 \quad (3)$$

(d) 座舱三球温度(WBGT_φ)

$$WBGT_{\phi} = 0.7T_{pwb} + 0.3T_{sg} \quad (4)$$

(e) 出汗量(\$W\$)

$$\$W = W_{前} - W_{后} \quad (5)$$

2 结果

(1) 不同供气方案座舱温度与人体生理参数 8 种供气方案时的座舱温度和人体生理参数见表 2。

不同供气温度与湿度对座舱 WBGT 的影响见图 1。

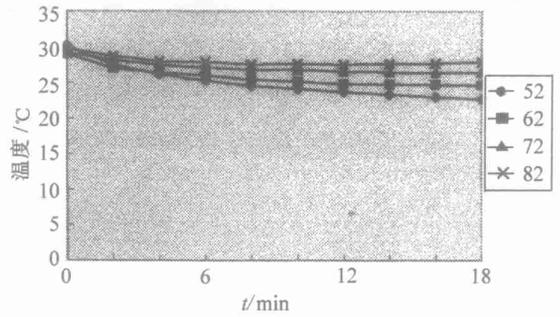


图 1 辐射加温不同进气温度飞机座舱 WBGT 的变化

(2) 不同供气方案的降温效果 8 种供气方案供气 20min 时的温度值见表 3。

表 2 8 种方案供气座舱温度和人体生理参数的统计值(x ± s)

单位:

方案	WBGT	T _{db}	T _{pwb}	T _{dbhc}	T _{sk}	\$W/(g·min ⁻¹)
51	24.5±1.73	32.4±2.28	21.8±1.54	31.6±1.83	34.2±0.54	6.5
52	24.8±2.34	32.8±2.26	21.5±1.88	32.0±3.53	—	3.8
61	26.1±1.39	34.6±0.53	23.1±1.13	34.8±0.73	35.1±0.28	6.0
62	25.8±1.41	34.1±0.79	22.6±1.25	35.2±2.57	35.1±0.20	5.5
71	27.7±0.99	37.4±0.60	24.2±0.87	37.2±1.20	35.2±0.21	8.2
72	27.2±0.90	37.1±0.57	23.1±0.73	38.3±1.31	34.6±0.23	10.2
81	29.0±0.65	37.6±0.60	25.3±0.38	39.2±1.05	35.1±0.12	9.4
82	28.1±0.69	—	24.8±0.50	37.5±1.21	35.3±0.21	9.9

表3 不同供气温度 20min 时的座舱温度值

单位:

项目	0℃		10℃		20℃			
	51	52	61	62	71	72	81	82
WBGT	22.8	22.6	25.0	24.6	27.0	26.5	28.2	27.9
T_{db}	30.7	30.3	34.2	33.6	36.9	36.5	37.0	-

(3) 供气温度与座舱 WBGT 均值及平均皮肤温度的回归分析

¹ 供气温度(T_0)与 20 min 内座舱 WBGT 均值呈正相关

$$WBGT = 24.51 + 0.17 T_0 (n=8, r=0.94, P < 0.01) \quad (6)$$

² 供气温度与 20 min 内座舱平均舱温(T_{db})呈正相关

$$T_{db} = 32.4 + 0.24 T_0 (n=7, r=0.98, P < 0.01) \quad (7)$$

³ 供气温度与人体出汗量($\$W$)呈正相关

$$\$W = 4.59 + 0.23 T_0 (n=8, r=0.87, P < 0.01) \quad (8)$$

⁴ 供气温度与 20 min 时人体平均皮肤温度下降值($\$T_{sk}$)呈负相关

$$\$T_{sk} = 1.69 - 0.08 T_0 (n=7, r=-0.92, P < 0.01) \quad (9)$$

3 讨论

(1) 座舱供气参数与座舱热负荷的关系 飞机座舱空气调节系统的制冷能力主要由供气温度和供气量来决定^[3,4]。本工作采用了 3 种供气温度(0℃, 10℃, 20℃), 供气温度越高, 座舱三球温度指数(WBGT)和座舱平均舱温(T_{db})越高(表 2, 图 1)。供气温度与座舱 WBGT 和 T_{db} 都呈显著正相关; 与 $\$T_{sk}$ 呈显著负相关。供气温度越低, 空调系统制冷量越大, 座舱 WBGT 和 T_{db} 越低。

在 20 min 供气时间内座舱 WBGT 和 T_{db} 随时间延长而逐渐降低(图 1)。

在同种供气温度条件下, 2 种供气量对座舱降温效果进行比较, 供气量 300kg/h 组比 250kg/h 组降温效果更好。座舱 WBGT 和 T_{db} 前者比后者值更低(表 3)。

在供气温度 20℃, 同样供气量条件下, 加湿组 WBGT 和 T_{db} 在 20 min 时间内都在热应激区。不加湿组 8 min~12 min WBGT 可降至工效区。

(2) 不同供气温度生理卫生的评价 本组试验表明, 使用 0℃ 供气方案时, 主要座舱温度指标

和人体 T_{sk} 在短时间内(0 min~10 min) 都降至工效区范围^[2]。使用 10℃ 供气方案时, 座舱 WBGT 和被试者 T_{sk} 在短时间内(0 min~4 min) 都可以达到工效区要求。而座舱 T_{db} 和头部水平干球温度($T_{db(he)}$) 在热应激区。使用 20℃ 供气方案时, 座舱 WBGT, T_{db} , $T_{db(he)}$, $\$W$ (出汗量) 等都在热应激区, 这时座舱 T_{db} 比人体 T_{sk} 高 2.2~2.5℃, 比中心体温高 0.6~0.9℃, 因此 20℃ 供气温度不利于机体散热, 人体热应激较明显。被试者感觉闷热, (大腿 T_{sk} 为 37.1 ± 0.19 ℃, 头部 T_{sk} 为 $37.1 + 0.49$ ℃)。出汗多(8.2g/min~10.2g/min)。

4 建议

(1) 座舱 WBGT 30℃, T_{db} 38℃ 时, 使用 0℃ 供气方案, 即可保证在短时间内座舱温度参数及人体温度降至工效区范围, 多数指标可满足热季飞行时国家军用标准 GJB1129 的要求。

(2) 飞机座舱 WBGT 小于 30℃ 条件下, 可使用 10℃ 供气方案。

(3) 20℃ 供气方案不宜在热季飞行时使用。

参考文献

- [1] 陈婉莹. 温度生理[A]. 航空医学[C]. 北京: 人民军医出版社, 1992. 128~132.
- [2] GJB1129-91, 中华人民共和国国家军用标准[S].
- [3] Allan J R. Thermal protection[A]. In: Ernsting J, King P, eds. Aviation Medicine [C]. London: Butterworths, 1988. 247~261.
- [4] Lakehurst N J. General requirements for aircraft environmental control systems[R]. MIL-E-18927E(AS), Washington DC: Naval Air Engineering Center, 1983. 9~22.

作者简介:



陈婉莹 1938年7月生, 研究员, 重庆市人。国务院政府津贴享受者。主要贡献: 从事航空医学研究 38 年。先后获国家科学技术进步三等奖(第一名)、军队科学技术进步二等奖(第一名)、“八五”全军后勤重大科技成果奖(第一名)、军队科技成果三等奖(第一名)等 7 项奖励。作为第一作者, 编制出版国家军用标准 3 项。参与编写航空医学专著 2 部。荣立三等功一次。