

文章编号: 1000-6893(2001) 05-0390-06

航空与航天大气环境医学工程及其进展

贾司光, 梁 宏

(航天医学工程研究所, 北京 100094)

ACTION AND RELATIONSHIP OF AEROSPACE ATMOSPHERIC ENVIRONMENT MEDICO-ENGINEERING

JIA Si-guang, LIANG Hong

(Institute of Space Medico-Engineering, Beijing 100094, China)

摘 要: [目的] 阐明突破空间大气环境障碍的人机工程内容之一航空航天大气环境医学工程的作用, 地位与相互关系及主要进展。[方法] 在运用苏俄和美国等有关资料以及我国预研资料的基础上, 对航空航天大气环境医学工程进行较系统的阐述。[内容] 航空航天大气环境因素的危害、航空大气环境医学工程的作用、航天大气环境医学工程的作用、航空航天大气环境医学工程的相互关系。[结论] 航空航天大气环境医学工程的基本作用是防护低压、缺氧、高低温和舱内污染等 4 大有害因素, 它保证了飞行员和航天员的安全性并兼顾了航天员的适居性和工效学要求。航空航天大气环境医学工程的相互关系是 3 个结合: 航空医学与航天医学(医医结合), 航空工程与航天工程(工工结合), 航空航天医学与航空航天工程(医工结合), 而且尚待进一步加强。资料表明, 航空航天大气环境医学工程展示了高新的发展前景。

关键词: 航空与航天; 大气环境; 医学工程; 环境控制与生命保障; 密闭生态循环

中图分类号: V444.3 文献标识码: A

Abstract: [Objective] To clarify the action, relation and direction of the aerospace atmospheric environment medico-engineering (ASAEME), which is one of the human-machine engineering contents breaking through obstruction from the aerospace atmospheric environment. [Method] On the basis of using Russian, American and Chinese literature, this article expounded systematically ASAEME. [Contents] The harm from the aerospace atmospheric environment, the action of aviation atmospheric environment medico-engineering (AAEME), the action of space atmospheric environment medico-engineering (SAEME), and the relation between AAEME and SAEME. [Conclusions] The basic actions of ASAEME are defending hypobaric, hypoxia, high or low temperature and cabin contamination, ensuring pilot and astronaut safety and the habitability and ergonomics of astronaut. The relation between AAEME and SAEME is three combinations: aviation medicine and space medicine, aviation engineering and space engineering, aerospace medicine and aerospace engineering, which need strengthening. The aerospace literature indicates that ASAEME brings forth a high and new development foreground.

Key words: aerospace; atmospheric environment; medico-engineering; environmental control and life support; closed ecological circulation

高空和太空本是连贯的空间。但在低高度的高空飞行中, 舱内外会遇到低压、缺氧、高低温和污染; 而在低轨道的太空飞行中, 还会遇到更严峻的低压真空和超高低温外环境以及更加复杂的舱内环境。这些大气环境因素将会危及人体生命安全。为了突破高空与太空大气环境障碍, 航空航天大气环境医学工程应运而生, 它作为载人航天人机工程的重要组成部分, 主要通过航空与航天医学工程的全面合作, 研制先进的各种类型的环

生保系统和医学防护方案, 重点保证飞行员和航天员在飞行中的安全性(生存环境)并兼顾航天员的适居性(生活环境)和工效学要求。载人航天 40 年来, 已取得一些突破性成就和可喜进展^[1-4]。但受客观条件和主观认知的影响, 人们对航空航天大气环境医学工程的作用与地位及相互关系的认识和理解存在着落后于实际需要的倾向。为此, 本文从 4 个方面系统地对这一问题进行阐述。以期对航空、航天科技人员协同攻关或紧密合作有所裨益。

收稿日期: 2000-09-11; 修订日期: 2001-02-16

文章网址: <http://www.cnki.net/acta/2001/05/0390/>

© 1994-2010 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

1 航空航天大气环境因素的危害

在航空航天飞行中,对人体需要防护(工程和医学防护)的舱内外大气环境因素主要是低气压(真空)、缺氧、高低温和污染。

(1) 低气压(真空) 高空是低压环境,人体暴露在不同高度的高空,会受到三大危害^[3]。①气压性损伤:随着外界气压降低,中耳、鼻窦、肺脏和胃肠等腔内气体膨胀,内压升高,超过耐限时,会造成损伤。此类损伤,常见于高空飞行,太空飞行不常见。②高空减压病:这是人体由高气压环境进入到一定的低气压环境时,体内溶解的大量氮气形成气泡所致的病症。由地面常压升高到5km以上高度时,发病率开始明显增加。发生在皮肤,发痒;发生在关节,疼痛;发生在肺脏,气哽,重者可致死;发生在中枢神经系统,出现多种脑症状,严重时,可致命。此病若发生在太空,则称为太空减压病^[3,5]。③体液沸腾:在19.2km高度上,恰恰是37℃水沸点的气压6.27kPa。人体皮下组织液体最先沸腾,尔后迅及体内。如果在2min左右由该高度迅速下降,还不会致死^[3]。即使升高到太空(真空),体液沸腾也不过如此。故将该高度称为第二宇宙高度^[1]。

(2) 缺氧 高空是缺氧环境。上升到3km高度上开始产生轻度缺氧;5km高度属于中等缺氧水平,是检查缺氧耐力的高度;7km是缺氧极限高度,少数人会丧失意识;在12km高度上,即使吸入纯氧也会产生轻度缺氧,是需要加压供氧的起始高度。在15.3km高度上,外界气压(11.60kPa)与肺泡里气压(水蒸气压和二氧化碳分压之和)相等,即使供给纯氧也不能被人体吸入;此时经10s左右,人便会丧失意识。在太空真空环境,也同样如此。故将该高度称为第一宇宙高度^[1]。总之,当人体暴露在15.3km高度上时,经10s左右,就会因缺氧而丧失意识;经过1min左右,由于体液沸腾,就变成了“气鼓人”。人暴露在太空真空里,结局也是一样的。

(3) 高低温 飞机飞行的高空为低温环境,最低可达-56℃。航天器在太空飞行中,背阳侧受热沉作用温度为-170℃;向阳侧受太阳辐射作用,温度为+146℃。人体对高低温的耐受限度有2类。第1类为高温耐限:20℃为舒适温度;30℃为温热,对生理功能无不利影响;35℃为中度热,工效降低;40℃为高温,工效严重降低,个别人虚脱。随着舱内气温升高,人体耐受时间缩短:71℃为

60min;82℃为49min;93℃为33min;104℃为26min。皮肤耐受程度:44℃以下,微疼;45℃,剧痛且不能耐受;50℃,坚持10s以上烫伤。第2类为低温耐限:手脚反应最敏感,皮肤温度正常为33℃,降到18~20℃,触觉敏感度下降;降到15℃时,精细操作效率明显降低。当外界气温降到4℃左右时,手脚感到麻木,0℃以下长时间则会冻僵。全身反应:皮肤温度降低5~7℃,全身寒颤;体温降到35℃,脑功能丧失,甚至昏迷。但近年来,国内经壮美锻炼的人体试验表明,穿单衣和短裤在-19~-24℃的低温环境停留3h到19.67h,未发生冻伤和感冒等症状^[6]。这些属特例。一般公认的是,人在40℃以下和10℃以上的温度环境,能够长时间耐受。

(4) 污染 飞机座舱气体环境中可能出现废气,液压液的喷雾,燃料、制冷液、润滑油和防冻剂以及灭火剂的蒸气,货物中的有毒气体,电器绝缘物质的热分解产物,臭氧等^[7],其中在12km以上飞行时,座舱内臭氧污染的危险性明显加大,但大部分集中在24~25km范围内^[8]。飞船座舱污染多由舱内非金属材料脱气和人体代谢产物造成,已在各种载人航天器座舱空气中检出300余种污染物,污染物的广谱性带来毒效应的多样性^[9]。由于现代航空中,普遍采用通风式密封增压座舱,而航天中则采用与外界基本隔绝的密闭座舱,因此载人航天器舱内污染甚于航空器。

虽然人类能在许多不良环境中生活和工作,但许多事例证明:对人类适应恶劣环境能力的理解是有限的^[10]。这方面的工作还需要深入研究,如人体在不同环境条件下的功能状态及防护方案等^[1,3,11]。

2 航空大气环境医学工程的作用

航空大气环境医学工程的核心是在采用增压舱的基础上,建立并改进环控生保系统和医学防护措施,主要是对高空飞行常遇到的舱内外大气环境上述有害因素进行防护。

(1) 对低压的工程与医学防护 航空器采用的密闭增压舱是低压环境,不同高度的低压对人体作用程度不同。在防护性能方面,除了能够完全预防体液沸腾外,对其他低压危害的防护性能不等。①等压调控:采用等压调控的飞机座舱高度为0.86~2.50km,不存在缺氧和产生减压病的可能,属于舒适环境。此高度的主要危害是座舱破裂时产生的气浪冲击。如,1954年美国彗星式飞机

失事时,机身破口 14.86m^2 ,因爆炸减压形成的强大气浪使乘员或被抛出舱外或被碰撞造成重伤^[3,12]。②差压调控:因机种不同,压差稍有不同,在 $0.24 \sim 0.52\text{kg/cm}^2$ 之间,座舱高度达 8.8km 。此类压力制度的特点是:因缺氧需要采用消耗型的个人供氧并存在发生减压病的可能性; 12km 以上高度飞行发生座舱爆炸减压时,需要加压供氧,以防爆发性缺氧,并需对气浪冲击的危害严加防范^[3,12]。③座舱压力调节器:人体对舱内增减压力变化率的耐限分别是 0.4kPa/s 和 2kPa/s 。按此标准设计的座舱压力调节器,只能满足升降速率缓慢的机种,远不能满足升降速率快的机种的防压耳要求。从 6km 高度下降过程中,90%的歼5和歼6飞行员感到耳痛^[3]。④对高空减压病的医学预防:按美国资料,人暴露在飞机座舱高度为 5.49km 以下时,减压病发病率占15%;高度为 $5.49 \sim 7.62\text{km}$ 时,占63%;高度为 7.62km 以上时,占22%^[13]。但按资料来源的不同看,总的发病率并不高,在 $0.55\% \sim 3.8\%$ 之间。医学预防办法甚简单,只要在起飞前进行 $15 \sim 30\text{min}$ 的吸氧排氮,就可以达到预防目的。

(2) 对缺氧的工程防护 采用差压调控的机种飞行高度均属于缺氧水平,常通过氧调节器向飞行员提供高浓度氧的混合气或纯氧。唯有当氧源中断时,会产生急性缺氧。在 12km 高度以上飞行,采用加压供氧装备,以防座舱遭到破坏时产生爆炸减压导致爆发性缺氧。近年来,国外采用分子筛技术作为机上氧源,取得突破性进展,我国已开始运用该技术^[14]。从而在消除消耗型氧源方面有了新的开端。各国采用的加压供氧装备,可概括为低、中、高值3种总压制度。低值装备(15.33kPa):最多用,效能最差,仅能保证半分钟到数分钟。计有3类:①戴加压面罩;②戴加压面罩穿背心;③加压面罩、背心与抗荷裤连用。中值装备(17.33kPa):加压面罩与高空代偿服(部分加压服)连用,效能也差,能保证 10min 左右。高值装备(19.33kPa):加压头盔与高空代偿服连用,效能较好,能保证 1h 以上;再增穿加压背心(如MC-3高空代偿联合服)时,效能明显提高。另外,还有密闭服(全压服, 23.86kPa),效能最好,能保证在高度上长时间停留。上述装备均须与加压氧调节器连用^[1]。

(3) 对高低温的工程防护 座舱空调系统采用通风降温法^[12],装备简单,对工程和提高飞机战术技术性能有利,对人体的冷热防护效能差。为

了解决军用飞机低空大速度飞行时出现的舱温升高和平流层飞行时出现的舱温降低,增添了一些辅助装置,但对改善温度负荷仍不能令人满意^[15]。通风服的运用,缓解了人体冷热负荷,但在可操作性方面尚存在难题。基于高低温对人体的作用次于低压与缺氧,在防护上居次要地位。

(4) 防污染 飞机座舱大气内存在一些有害物质,但由于采用了通风式密闭舱,污染对人体的危害得到了较有效的控制。需要注意的是,座舱内空气质量与新鲜空气供给率同乘员拥挤程度密切相关^[16]。在装备武器的座舱内,飞行员作战时,已经改为吸纯氧,隔绝了舱内污染,效能良好。

3 航天大气环境医学工程的作用

基于太空环境对人体危害的严峻性与工程防护的艰难性和复杂性,航天大气环境医学工程的重点是构建处理废气和废水环控生保系统并由消耗型向再生型实现了部分转化,且正在预研更先进和更完善的密闭生态循环型航天环控生保系统(其中对温控系统则主要改进其效能),以适应更长期载人航天(近期是到火星)的需要。

(1) 对低压(真空)的工程防护 在航天中,低压和真空共存。防护办法是采用大环境防护(生活在完全密闭增压舱内)和小环境防护(保护在航天服里)。

①船舱防护 美国船舱曾采用低压力制度($1/3$ 大气压),目前各国航天器(包括美国航天飞机)乘员舱均同苏俄一样采用高压力制度(1个大气压)^[2,3]。总的看,各类航天器乘员舱对微陨石和微小碎片的防护是成功的,仅有受伤,没有穿孔。但同较大的碎片相碰撞的可能性,仍不容忽视。美国航天飞机曾不止一次遇到迎面而来的碎片群,幸而发现早,躲闪而过。

②舱内环控生保 舱内环控生保系统主要包括供气调压、温湿度控制、舱气净化、水再生(从略)等子系统^[12,17]。供气调压子系统采用氧-氮双气态调压供气,维持乘员舱和航天服循环回路的总压、氧分压,补充气体泄漏和人体耗氧,为有关部分提供气源。苏俄和美国飞船舱内气压和氧分压虽然有过较大的波动,但均在安全限内,仅发生过一次返回舱压力应急:联盟11号飞船返回舱在 168km 高度上与服务舱分离时,舱压平衡阀被振开,3名未穿航天服的航天员因缺氧而丧生^[18]。此外,当舱壁万一被击穿而发生压力应急时,还有大流量充气以延缓降压速度,使航天员在规定

的时间内穿好航天服进行防护。但遗憾的是,当舱壁破孔过大时,补充气体不足以延缓减压速度,迄今尚无良策。为了消除由地面向天上带氧的消耗型氧源的缺欠,经过数十年的研制,已经在载人航天器上试验由人体呼出的二氧化碳再生氧先进技术的部分子系统,为实际应用展示了优越前景^[2]。舱气净化子系统主要运用主动控制方法(舱内空气净化和废物处理)与被动控制方法(舱内污染物监测和非金属材料筛选)实施舱气净化,效果较好^[2]。但偶发污染的有效控制,颇为棘手。如,阿波罗18号飞船曾发生推进剂四氧化二氮从舱外被吸入舱内的污染事故,3名航天员严重中毒,幸好救治及时,没有致命,然而航天员肺脏出现明显损害^[18]。温湿度控制子系统由主动和被动两部分组成。前者由冷凝热交换器系统组成,后者由空间辐射器和水蒸气系统组成。通过这2部分的有机合作,在轨道上消除舱内人体和设备产生的热和水汽,并最终将余热排散到宇宙空间。借此,保持温湿度维持在规定水平。需要指出的是,舱温比较容易控制,仅有时升高到27℃以上;湿度难控制,常出现高湿度区。另外,在返回段,由于飞船高速再入大气层产生的气动加热作用于舱壁,使得舱温曾高达40℃以上。资料显示,因温控故障而发生数起高温应急。基于温度的作用次于低压缺氧和污染,温度防护所处的地位低于对上述因素的防护。

③ 航天服系统 该系统是航天员个体生命保障装置,是用于防护空间环境和舱内失压时对人体危害的装备^[2,19]。航天服可以分为舱内航天服和救生航天服(从略)及舱外航天服三类。舱内航天服由外壳、头盔、手套和鞋靴组成。在飞船发射和降落及飞行段,当船舱意外地遭到破坏或气体成分保障系统发生故障时,舱内航天服可以发挥保障密封舱内航天员的生命安全。舱外航天服由航天服、背包式生命保障系统、通讯系统等组成。舱外航天服系统是保障航天员在航天器外执行任务的个体防护装备,能确保在太空环境里航天员的生命安全与必需的工效学要求。航天服外壳能够有效地防太空真空、高低温和微流尘的侵害,并不太影响人体活动和操作;航天服内环境与生保系统连用可以保证服装内环境中氧压、温湿度、有害气体维持在生命安全和不影响工作效率的水平。万一发生压力应急时,备用的应急供氧可以保证航天员在15min以内安全返回舱内。航天实践证明,富有尖端科学技术的该系统设计是成功的。

近200人次的舱外活动,仅发生过有惊无险的“小毛病”。俄罗斯在和平号空间站使用的服装名称为“奥兰-DMA”;美国在航天飞机上使用的服装名称为“舱外机动装置(EMU)”。欧航局正在研制“欧洲2000”舱外航天服。

(2) 对太空减压病的医学防护 为确保飞行安全和人体活动,舱外航天服采用低于减压病安全限(55kPa)的低压力制度。俄罗斯的工作压力为39kPa,地面模拟试验的减压病发病率为24%;美国的工作压力为29kPa,地面模拟试验的减压病发病率为32%。俄罗斯防护措施单一,只采用吸氧排氮:航天员由乘员舱转到气闸舱,穿好航天服,进行40min左右的吸氧排氮后,气闸舱开始减压,当气压与太空真空相等时,航天员出舱。美国防护复杂,采用吸氧和低压双排氮:航天员先在气闸舱内吸氧排氮1h;然后在气闸舱减压到70.38kPa(相当于3km高度)低压环境进行24h低压排氮;穿好航天服再进行40min的吸氧排氮后,气闸舱再减压到与外界太空真空相等时,航天员进入太空。载人航天以来,还未见发生太空减压病的报道^[5]。这证明,在大量天地结合试验基础上制定的预防措施是非常有效的。

(3) 生态型航天环控生保系统 消耗型与再生型航天环控生保系统仅适用于短期与中期载人航天,长期载人航天环控生保需要的是自给自足的密闭生态循环系统,即在载人航天器有限的密闭环境中实现地球上的开放式生态平衡,使航天员维持生命所必需的食物、氧气与水以及代谢排出的二氧化碳和粪尿,同密闭循环内的动植物之间保持供求关系的动态平衡。前苏联从20世纪60年代开始就已经开展了这方面的研究^[1,2,20]。他们首先进行了适用于太空生活的多种生物的选择研究,进而在地面进行了人-藻类-小麦或人-小麦和蚕豆-理化反映器等一系列联合实验,并在和平号空间站上进行了小麦、蔬菜、水果等生长情况的研究。美国研究规模最大的是在1991年启动了原本设计用于研究可能在火星上建立自给自足生态系统的生物圈2号(又称密闭生物圈生命维持系统)试验^[21],该试验占地0.015平方公里,在密闭的用钢管和玻璃组合起来的温室状建筑内设有5种生态模式,有4男4女科学家作为居民和4000多种动植物等一起生活,历经2年。该试验虽然以失败告终,但重要的是揭示了大自然生态体系的极其奥妙。后来,俄罗斯和日本也进行了类似的工作,分别称为BIOS(生物活素)-3

和生物圈 J, 但规模均较小。很显然, 自给自足的密闭生态循环系统是超级尖端的科学技术, 远远超出航天大气环境医学工程范畴。但后者毕竟是前者的延续和发展。

4 航空与航天大气环境医学工程的相互关系

航空航天大气环境医学工程的相互关系, 是基于相关领域和学科相互学习且发挥各自的优势, 并在人类突破空间大气障碍的攻关实践中产生和发展。他们的相互关系主要体现在以下 3 个方面。

(1) 航空医学与航天医学的结合 载人航天初期, 航天大气环境中的低压、缺氧、温度人体效应主要是运用航空生理学的成就^[1,3]。有害气体的人体效应是应用工业毒理学和航空毒理学的成就^[9]。随着载人航天的发展, 在应用航空医学有关知识的基础上, 航天医学的知识逐渐丰富并反过来促进航空医学的进步。表 1 以太空减压病和高空减压病为例, 集中显示了两者的不同和共同之处, 提示前者应由后者独立出来, 并产生出两者既有区别又有联系的相互关系。对这种关系的了解, 有利于航空和航天医学各自研究的发展和两者的相互促进。

表 1 太空减压病与高空减压病的比较

Table 1 Comparison between space decompression sickness and altitude decompression sickness

| 项 目 | 太空减压病 | 高空减压病 |
|-------------|-------|-------|
| 环境压力 | 低压和真空 | 低压 |
| 重力环境 | 微重力 | 地球重力 |
| 出舱前预防 | 有 | 无 |
| 舱内减压预防 | 多方案 | 无方案 |
| 航天服压力制度 | 有 | 无 |
| 压力制度兼容性 | 有 | 无 |
| 低压排氮方案 | 有 | 无 |
| 吸氧排氮 | 多方案 | 单一方案 |
| R 值(氮气过饱和度) | 最常用 | 不常用 |
| 影响因素 | 多而特殊 | 少而一般 |
| 发病率 | 未见报道 | 较低 |

注: 太空减压病和高空减压病的病因和发病机制是相同的。

(2) 航空工程与航天工程的结合 载人航天初期, 船舱体、舱内供气调压、温控、空气净化以及航天服的设计, 均是在航空工程成就基础上发展起来的。近年来, 美国航天飞机使用的返回防护服又是由航空用高空代偿服改装而成的。表 2 集中显示了航空与航天环控生保系统的相互关系, 即航空是航天的基础、航天是对航空的继承和发展、两者任务不同且效能各异但互有联系。航空航天

实践表明, 两者相辅相成, 航天环控生保更具有先进性并将会对航空环控生保起到积极的推动作用。

表 2 航空航天大气环境工程防护 (环控生保) 与其效能比较

Table 2 Comparison between aerospace atmosphere engineering protection (ECLS) and efficiency

| 环境因素 | 航空环控生保 | 效能 | 航天环控生保 | 效能 |
|--------|---------------|------|------------------------|----|
| 低压真空 | 通风密闭增压舱 | 差 | 完全密闭增压舱 | 优 |
| | 等压或差压调控 | 良 | 等压调控(1atm) | 优 |
| | 座舱压力调节器 | 差 | 乘员舱舱压平衡阀 | 优 |
| 缺氧 | 个人供氧 | 良 | 个人供氧 | 优 |
| | 环境供氧 | 舒适 | 环境供氧 | 舒适 |
| 低压真空缺氧 | 加压面罩/背心/抗荷裤 | 最差 | 舱内航天服 | 优 |
| | 加压面罩/高空代偿服 | 较差 | 救生服 | 优 |
| | 加压头盔/高空代偿服密闭服 | 较好最好 | 舱外航天服系统 | 优 |
| 高低温湿度 | 舱内通风降温 | 差 | 主动调控与被动调控相结合, 且湿度也可以调控 | 优 |
| | 湿度不全调控 | 差 | 舱外航天服采用隔热层与通风-液冷回路等技术 | 优 |
| | 通风服(冷热通风) | 良 | | |
| 污染 | 通风/过滤器 | 良 | 净化系统 | 优 |

注: ECLS= environmental control and life support

(3) 大气环境医学与工程的结合 航空或航天大气环境医学与工程的结合体现在系统工程的始终, 如图 1 所示。我国在早期飞机与飞船预研过程中创建的航空航天大气环境医学工程^[1,3,17], 加速了环控生保系统的研制和医学方案的顺利制定, 后来在航空航天实践中又得到了发展。国外近年来也陆续出版了一些相关著作^[2,4], 颁布了一些标准^[22,23], 并召开了“航天中人的因素国际专题会”^[4], 有意识的医工结合趋势在增强。如, 俄罗斯 1995 年公布了“载人航天器中航天员的居住环境(医学-工程总要求)”; 美国航空航天局在控制舱内污染方面, 大力提倡航天毒理学工作者与工程技术人员互相学习共同攻关^[24]。但是, 明确提出航空或航天大气环境医学工程及医学与工程结合并加以系统论述的国外资料还未见报道。

5 结束语

本文阐明的航空航天大气环境医学工程的作用与相互关系及进展, 主要有两点启示: 一是用于大气环境防护的环控生保系统与医学防护是成功的, 首要的是确保了安全性, 同时表明大气环境医学工程在航空航天人系统工程中起到了重要作用并占有举足轻重的地位; 二是航空航天大气环

境医学工程的发展有赖于三结合关系的自觉坚持和主动贯彻, 所以只有加强三结合的自觉性和主动性并在管理方面协调发展且避免自流, 才能使

航空航天大气环境医学工程真正满足航空航天系统工程的基本要求(安全、高效、经济), 为我国航空航天事业的高速可持续发展作出更大的贡献。

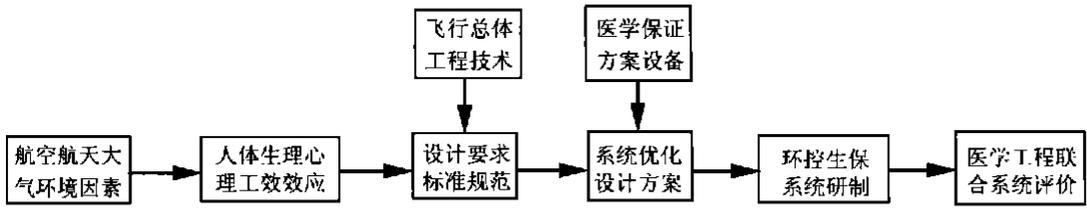


图 1 航空航天大气环境医学工程示意图

Fig. 1 Figure of aerospace atmosphere environmental medical engineering

参 考 文 献

[1] 贾司光. 航空航天缺氧与供氧- 生理学与防护装备[M]. 北京: 人民军医出版社, 1989. 207- 425.

[2] Nicogossian A E, Gazenko O G, Grigoryev A I. Space biology and medicine[M]. Washington and Moscow: AIAA and Nauka Press, 1994. 1- 94, 167- 221, 275- 394.

[3] 贾司光. 绪论, 大气压力与气体[A]. 见: 陈信, 袁修干主编: 人- 机- 环境系统工程生理学基础[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995. 1- 150.

[4] Kurada I, Young L R, Fitts D J. Summary of the international workshop on human factors in space[J]. Aviat Space Environ Med, 2000, 71(9, suppl.): A3- A5.

[5] 贾司光, 陈景山. 太空减压病的发病率与预防[J]. 航天医学与医学工程, 2000, 13(5): 379- 381.

[6] 刘四虎. 人体耐寒小结[J]. 中国人体科学通讯, 1998(8): 2- 3.

[7] 张立藩, 陈信. 中国医学百科全书航空航天医学[M]. 上海: 上海科学出版社, 1992. A39- A42, A183- A184.

[8] 唐桂香. 飞机座舱环境毒理的研究概况[J]. 卫生毒理学杂志, 1997, 11(1): 14- 16.

[9] 余秉良. 航天毒理学研究回顾与展望[J]. 卫生毒理学杂志, 1999, 13(3): 177- 179.

[10] Brubakk A O. Man in extreme environments[J]. Aviat Space Environ Med, 2000, 71(9, suppl.): A126 ~ A130.

[11] 张汝果, 徐国林. 航天生保医学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. 4- 8.

[12] 寿荣中, 何慧嫻编著. 飞行器空气调节[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1990.

[13] Катунцев ВП. Декомпрессионная Блезнев-одна из актуальных проблем авиокосмической медицины[J]. Авиакосмическая-экологическая-Медицина, 1998, 32(6): 11- 20.

[14] 肖华军. 航空分子筛供氧防护生理理论的研究与应用[D]. 北京: 北京航空航天大学, 1998.

[15] 袁修干. 高性能军用机环境控制系统研究发展趋势的探讨[J]. 航空学报, 1999, 20(Sup.): S1- S3.

[16] ATMC, AM A. The very large airplane: safety, health and comfort considerations [J]. Aviat Space Environ Med,

1997, 68: 943- 946.

[17] 贾司光. 航天医学[A]. 见: 朱克文, 高恩显, 龚纯. 中国军事医学史[M]. 北京: 人民军医出版社, 1996. 622- 628.

[18] 张宗美, 翟彬, 张国瑞. 航天故障手册[M]. 北京: 宇航出版社, 1994. 295- 296, 303- 305.

[19] 贾司光, 陈景山. 航天服工效学问题[J]. 航天医学与医学工程, 1999, 12(5): 371- 375.

[20] Kudenko Y A, Gribovslaya I A, Zolotukhin I G. Physical-chemical treatment of wastes [J]. Acta Astronautica, 2000, 46(9): 585- 589.

[21] 失败后的生物圈 2 号[N]. 参考消息, 1997-01-03(7).

[22] NASA-ST D-3000, Man-System Integration Standard[S]. 美国航空航天局, 1995.

[23] ГОСТ Р 50804-95, 载人航天器中航天员居住环境的医学工程总要求[S]. 俄罗斯, 1995.

[24] Obendoster G, White R, Rabin R, et al. Space exploration and toxicology[J]. Fund Appl Toxicol, 1994, 22: 161- 171.

作者简介:



贾司光(1924-) 男, 辽宁省盖州市人, 医学博士, 国际宇航科学院院士。曾任军事医学科学院军事劳动生理研究所航空宇宙卫生研究室主任, 航天医学工程研究所生命保证医学研究室主任与科学技术委员会主任。研究员, 北京航空航天大学兼职教授。研究兴趣: 航空航天环境生理学与大气环境医学工程(生理学、工效学和人体工程学)。曾获国家科技进步一等奖 1 项, 委级奖 12 项。享受国家特殊津贴。联系电话: (010) 62357149。



梁宏(1957-) 男, 山西省平遥县人, 副研究员, 航天医学工程研究所环境医学研究室副主任, 硕士生导师, 兼任军事毒理学专业委员会委员, 《军事毒理学通讯》编委。研究方向: 航天与军事环境医学和环境毒理学。联系电话: (010)66362221。

(责任编辑: 吴小勇)