

F-22缺氧问题的分析与思考

Analysis and Thinking of the Problem of F-22 Oxygen System

封文春 朱永峰 周慧红 / 中航工业西安飞行设计研究所

摘要: 基于收集的网络信息和供应商的产品资料,通过回顾F-22缺氧问题的暴露过程,结合F-22机载制氧系统的基本概况和航空供氧生理要求,对F-22缺氧问题进行了分析,并提出了一些见解和看法,以供参考。

Abstract: Based on the message from internet and material of product which installed on the F-22, the process of exposure of hypoxia was reviewed. According to the on-board oxygen generation systems of F-22 and the requirement of aeronautics supply oxygen, the problem of hypoxia of F-22 was analyze and some standpoints were put forward in this paper.

关键词: F-22“猛禽”飞机;机载制氧;航空高空缺氧;缺氧症状

Keywords: F-22 raptor aircraft; on-board oxygen system; aviation altitude hypoxia; symptoms of hypoxia

0 引言

为飞行员提供氧气的方法有多种,如气氧、液氧、机载分子筛制氧(OBOGS)等。由于分子筛制氧具有长时间不间断连续供氧、后勤保障简单、安全可靠高等优点,已在多种机型上得到应用,如国外的B-1B、B-2、A-10、CV-22、F-16、F-15E、F-35、F-22等,国内也首先在J-10飞机上应用了分子筛制氧技术。虽然分子筛制氧技术已经是一个非常成熟的技术,但是近两年来F-22氧气供应问题一直困扰着美国空军。2012年7月,美国空军最终解除了F-22的限飞令,认为飞行员出现呼吸困难的原因在于抗荷增压服的一个阀门存在缺陷,在不该增压时增压,导致飞行员呼吸困难。同时还制定了新的暂定飞行高度,在座舱内增加了自动补氧系统,去掉了机载制氧系统的一个过滤器以增加供氧量。本文通过回顾F-22暴露缺氧问题的过程,并结合F-22机载制氧系统和航空供氧生理要求,对该问题进行分析 and 思考,提出见解和建议,以供

国内型号研制时参考。

1 F-22缺氧问题回顾

2010年11月16日,一架F-22在阿拉斯加坠毁,美国空军怀疑坠毁原因是其机载制氧系统发生故障,导致飞行员在坠毁前因缺氧而昏迷。2012年1月发布的事故调查报告证明坠毁是由于人的操作原因而非机载制氧系统故障。另一说法是发动机压气机引气系统漏气故障使制氧系统供氧中断,引发视野扫描衰落和空间定向障碍,无法及时判定飞机已进入俯冲状态。虽然事故的调查结果排除了机载制氧系统存在问题,但从此时开始,F-22的缺氧问题一直困扰着美国空军。在近两年的时间里,虽然明确知道F-22存在缺氧问题,但出现了各种解释和应采取的措施,结合网络信息,对F-22缺氧问题汇总如表1所示。

实际上,根据网络信息,早在出现飞机失事前已有飞行员报告飞行时存在氧气问题。从美国官方公布的信

息可知,最初怀疑机载制氧系统存在缺陷后,通过安装传感器检测氧气状况并没有发现OBOGS有问题,但为了保证安全,改变了舱内应急供氧系统手柄位置,以确保其能顺利启动。随着调查的进一步深入,逐渐排除了缺氧是由OBOGS引起的,问题的焦点集中在抗荷背心和氧气系统软管的泄露上。但是,经过3个月的不穿背心飞行并没有出现故障,在军方认为已经找到问题的根源时,缺氧问题却又再现。虽然事后军方的解释是氧气断续流入氧气面罩而引起飞行员不适,但该解释并没有指出缺氧问题的根本原因。2012年7月24日,美国国防部宣布逐步解除F-22的限飞令,并称空军已经找到了飞行员在驾驶F-22时缺氧问题的原因和解决办法。

2 F-22机载制氧系统

早在1977年美国海军就完成了分子筛机上制氧系统在EA-6B飞机上的飞行验证试验,1980年美国海军决定

表1 F-22缺氧问题回顾

日期	问题描述及措施	信息来源
2010.11.17	机毁人亡,怀疑机载制氧系统存在缺陷	中青在线
2011.3.29	2011.1美国国防部指示飞行高度限制在7600m以内,因为在此高度飞行有足够的时间下降到不用氧气面罩可自由呼吸的5400m高度	环球网
2011.5.3	F-22停飞,2011年9月复飞,11月又停飞10架,12月又复飞	
2011.6.22	对F-22的安全性检查已不局限于机载制氧系统	中国国防科技信息网
2012.1.26	怀疑送风系统中存在问题,安装机载传感器检测氧气状况	美国战略之页网
2012.3.28	安装新的驾驶舱内手柄,方便飞行员应急供氧系统的启动	环球网国际军事
2012.5.23	2名飞行员在电视节目上抱怨自己曾在飞行中因缺氧而昏迷,空军下令在跑道附近空域飞行,以便飞行员发生生理状况时能迅速着陆	世界新闻报
2012.6.12	导致飞行员缺氧症状的有毒物质并非通过氧气传输系统进入飞行员的肺部,缺氧因素:1)飞行员承受了不适当的压力或重力;2)连接氧气系统的软管发生了轻微泄漏,减少了飞行员吸入的氧气;飞行员不再穿马甲飞行	环球网军事
2012.7.4	缺氧问题再现,氧气断续流入飞行氧气面罩引起了飞行员的不适	中国网
2012.7.25	解除限飞令,认为导致呼吸困难的原因在于抗荷增压的一个阀门缺陷,在不增压时而增压,导致飞行员呼吸困难	新华网

为AV-8A飞机研制装机使用的分子筛制氧系统,到1984年分子筛机上制氧系统共积累了5800多飞行小时的使用时间,完成了使用评价,随后在F-18、V-22、B-1等飞机上得到应用。目前,机载分子筛制氧技术已经应用了近30年时间,可以说技术是成熟的。

分子筛制氧的基本原理是利用分子筛对分子的不同吸附特性来分离气体。典型的双床机载分子筛原理如图1所示,图中下床吸氮产氧,上床利用产品气清洗氮气,一旦清洗完毕就开始产氧过程。

F-22飞机的机载制氧系统由霍尼韦尔公司研制,如图2所示。图3是F-22机载分子筛制氧系统。

3 航空供氧生理要求

氧气是维持机体生命活动所必需的物质,如机体组织得不到正常的氧气供应,则可引起一系列生理及病理改变,称为缺氧,分为四种类型,即缺氧性缺氧、贫血性缺氧、循环停滞性缺氧和组织中毒性缺氧。因暴露于高空低气压环境导致的缺氧属于缺氧

性缺氧,主要是由于高吸人气氧分压降低引起的,又称“高空缺氧”。

根据缺氧的严重程度、缺氧的发展速度以及暴露时间的长短,高空缺氧又可分为爆发性高空缺氧、急性高空缺氧和慢性高空缺氧三种。爆发性高空缺氧发展速度非常迅速,程度极其严重,人在这种缺氧情况下只能坚持数秒钟至几分钟,一般发生在增压座舱突然失密的状态下。急性高空缺氧持续时间为数分钟到几小时,症状为头昏、头痛、视力模糊、肌肉运动不协调、智力功能障碍等,如立即供给充分的氧气,很快即可恢复。慢性高空缺氧是长期或者反复暴露于轻度或中等程度低氧环境条件下所引起的缺氧。飞行员主要遇到的是爆发性高空缺氧和急性高空缺氧^[1]。现代军用飞机虽然采用了密封增压座舱,但出于战斗需要和飞机结构强度的考虑,一般采用低压差制度,舱内压力较低,故需要对飞行员进行供氧。实际上航空供氧的生理依据就是提高肺泡气氧分压。简化的肺泡气氧分压方程式为:

$$P_{O_2} = (P_B - 47) \times F_{O_2} - P_{CO_2} \quad (1)$$

式中: P_{O_2} 为肺泡气氧分压,mmHg;

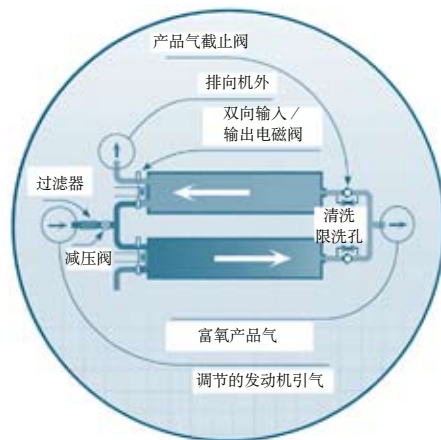


图1 双床分子筛



图2 F-22机载分子筛床

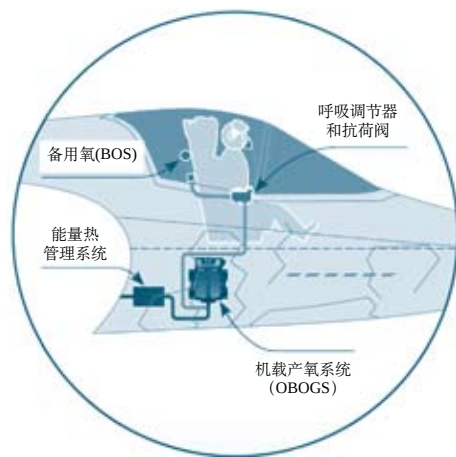


图3 F-22机载分子筛制氧系统

P_B 为外界大气压力,mmHg; F_{O_2} 为肺泡气氧气体积百分比; P_{CO_2} 为肺泡气二氧化碳分压,mmHg;其中,常数47mmHg为体温37℃时人体气管内水蒸气分压力,由于吸入气在经气管后将被水蒸气所饱

和,肺泡气总压力并不等于外界大气压。

由式(1)可知,一般供氧,即提高吸入气含氧浓度以达到提高肺泡气氧分压的目的,适用于12000m以下高度;加压供氧,提高吸入纯氧总压力以提高肺泡气氧分压,适用于12000m以上高度的应急供氧或较长时间供氧。

为了节省氧气并避免吸入气氧分压过高的不利影响,在12000m以下高度,应按照高度提供不同的氧浓度。可按事先设定的气管气氧分压值利用下述公式估算:

$$F_{I_{O_2}}(\%) = \frac{P_{I_{O_2}}}{P_B - 47} \times 100 \quad (2)$$

式中, $F_{I_{O_2}}$ 为吸入气含氧百分比浓度; $P_{I_{O_2}}$ 为气管气氧分压的设定值。在不同高度上, $P_{I_{O_2}}$ 应取的设定值如表2所示。不同类型的供氧系统具体采用的供氧标准不完全一致。在GJB2193—1994“飞行员加压供氧系统规范”中给出了供氧面罩内氧浓度与高度的关系曲线,如图4所示。

F-22则是如图5所示区间,按照不同高度提供不同的氧气浓度。供氧浓度的下限防止飞行员缺氧,上限则防止过载飞行时引起的肺不张。加速度肺不张由三个因素共同作用,即加速度、抗荷服的压迫、氧浓度。从图4和图5可以看出,中美在供氧浓度随高度变化的标准上有所差异。

高度超过12000m,由于大气压力很低,即使呼吸纯氧也不能保证肺泡氧分压处于设定的水平,需进行加压供氧,即提高吸入纯氧的总压力。但是加压供氧却给人体带来额外负荷,严重影响呼吸、循环功能。

4 问题的分析与思考

4.1 F-22缺氧问题分析

航空飞行中,发生缺氧问题的原

表2 $P_{I_{O_2}}$ 的取值

高度(m)	气管气氧分压值(mmHg)
0	150
1500	122
2500	108
4000	88

因可能是多方面的,如供氧装备临时故障、性能不佳、使用不当等,面罩漏气、调节器故障、供氧管路与氧源脱开、面罩与氧调节器没有接通、供氧软管脱开等都可能造成飞行员缺氧。此外,在飞行综合因素中,如加速度、过度换气等也有可能引起缺氧问题。过度换气是由于通气量异常增加,超过了为排除组织产生的二氧化碳所需要的量,引起肺泡气二氧化碳分压降低^[2]。恐惧、忧虑、精神紧张等心理负荷和缺氧、加压呼吸、高温等环境因素,以及呼吸阻力大、呼吸费力等都可引起飞行员不由自主地发生过度换气,导致继发性二氧化碳分压降低。

按照网络收集的信息,F-22缺氧问题的分析路线如图6所示。虽然网络信息比较纷乱,但是可以得出初步结论,F-22的缺氧问题并不仅仅是OBOGS的原因。F-22是目前世界上最先进的第四代战斗机,采用了多项新技术。其生命保障系统更是高度的综合,以满足轻量化高性能的要求。OBOGS自身集成了供氧浓度随高度变化的调节功能,即利用一个固态监控器/调节器监控产品气的氧分压,调节床的循环,以产生符合图5要求的氧浓度,取消了呼吸调节器的混合空气或稀释功能^[6]。

从最初怀疑OBOGS产生的氧气含有毒物质,到最后的抗荷增压服的部件故障,说明了F-22缺氧问题是多方面的综合故障。

虽然美国军方已解除限飞令,将F-22部署到海外基地,但是并没有公开缺氧问题的军方文献资料,是否已经真正解决了该问题,还有待进一步验证。根据有限的资料并结合航空供氧生理要求,可以初步判断:

1) 缺氧症状不是由污染气体引起的,从网络信息可知,通过加装传感器、进行血氧检测等均未发现氧气中含有毒物质。

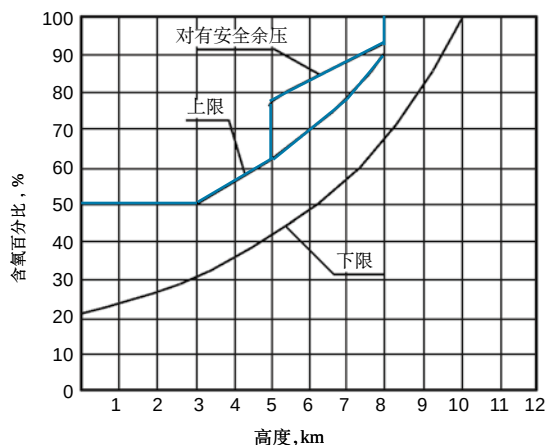


图4 国标给出的供氧浓度与高度的关系曲线

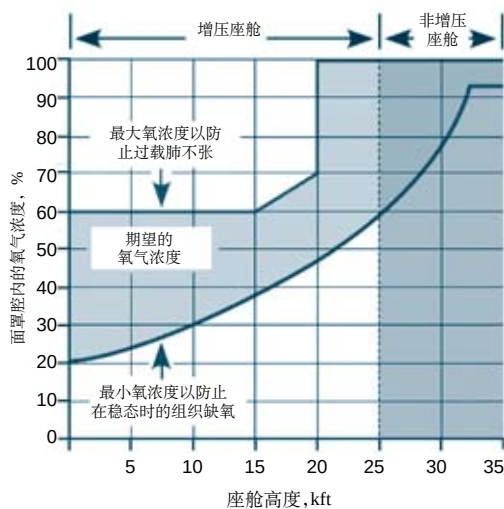


图5 F-22供氧浓度随座舱高度变化曲线

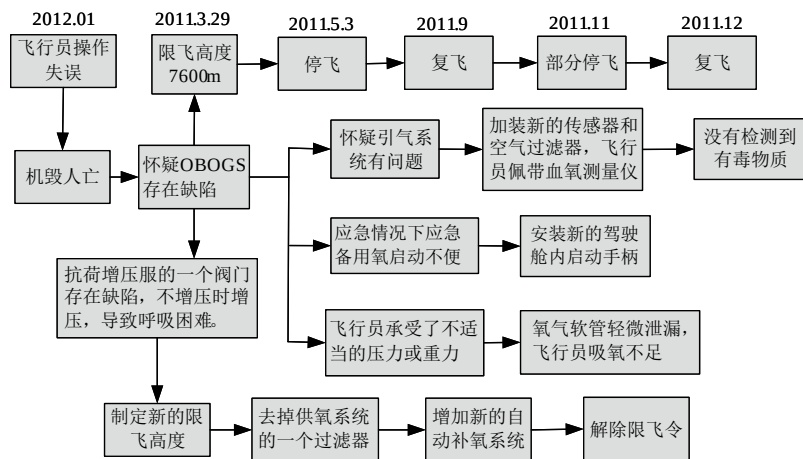


图6 F-22缺氧问题分析路线

2) 系统设计时备用氧的使用考虑不充分, 备用氧启动不便F-22供氧系统的一个缺陷, 已安装了新的应急启动手柄。此外, 备用氧的使用是手动的而不是自动的。

3) 缺氧症状可能是由于制氧系统流量较低引起的。从图5可以看到, 为防止加速度肺不张所限定的氧浓度在座舱高度0~15000ft范围内, 氧浓度最大只有60%。浓度低、流量小, 极有可能导致飞行员吸氧不够。OBOGS产氧浓度最大95%, 且与飞行高度有关, 需要通过空气活门进行调节, 根据供应商的产品资料, F-22的供氧浓度由OBOGS调节, 采用的新一代调节器并不是一个稀释器^[6]。曾有报道一名飞行员在着陆后狠拉紧急氧气手柄, 说明飞行中吸氧不够导致飞行员不适。军方解释的原因是氧气断续流入面罩, 导致飞行员不适。

4) 也可能由过度换气引起飞行员不适, 供氧浓度低加上心理因素, 可能导致飞行员的过度换气。

5) 从报道中的去掉过滤器、增加自动补氧系统等措施可知, F-22的OBOGS由于生命保障系统的综合, 可能导致其供氧质量下降, 流量小, 不

能满足飞行员的生理需要。

4.2 缺氧问题的思考与建议

针对F-22缺氧问题, 空军航空医学研究所肖华军博士认为, 制氧系统安全余度小(氧浓度要求余度小、供气流量要求余度小、备用氧气安全余度小)和生理实验验证不到位是其主要原因。作者分析, 如果图5所示的供氧浓度随座舱高度的变化关系是美国军用飞机的通用标准, 其他采用OBOGS的飞机没有出现类似的缺氧问题, 而且我国的供氧浓度标准还低于美国标准, 因此认为氧浓度安全余度小不应是F-22缺氧问题的原因, 真正的原因应该是系统的设计导致该供氧浓度不能满足需要。此外, 由于过于重视飞机的性能, 生命保障系统的部件和功能集成性高, 为减轻系统重量而去掉了一些备用功能, 而且在设计中缺少总体考虑, 如应急氧气手柄的位置不利于飞行员操作等, 加剧了F-22缺氧问题的严重性。

对于战斗机来说, 氧气系统直接关系到飞行员的生命安全, 在进行系统设计时不能因为这是一项成熟的技术又在现有型号上得到应用就不进行充分方案论证, 照搬已定型的产品。应具体问

题具体分析, 在系统设计时全面分析、区别对待, 进行全面的仿真计算和试验验证仍然是必要的手段, 可以有效避免飞行中可能存在的问题。

5 结论

本文通过收集网络信息, 对F-22的缺氧问题进行了回顾, 提出了一些个人看法。由于无法得到F-22机载制氧系统的详细技术参数, 上述分析仅是基于网络信息和个人推测, 结果并不一定完全正确, 但是对该问题的探讨可以为今后的型号研制提供参考。虽然目前F-22已经解除限飞令, 美国军方声明缺氧问题是由抗荷增压服的活门缺陷导致, 但是作者认为这并不是问题的根源, 系统设计时考虑不全面可能是问题的症结所在。 AST

参考文献

- [1] 张立藩. 航空生理学[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1989.
- [2] 肖华军. 航空供氧防护装备生理学[M]. 北京: 军事医学科学出版社, 2005.
- [3] 杨国甫. F-22的生命保障系统[J]. 国际航空, 1996(9).
- [4] 耿喜臣, 徐艳, 王红, 等. 机载分子筛制氧氧气系统及其配套抗荷装备的抗荷性能[J]. 航天医学与医学工程, 2002(2).
- [5] 肖华军. 英国机载分子筛制氧系统简介[J]. 中华航空医学杂志, 1994(9).
- [6] Honeywell. Life Support Systems. N61-0333-000-003, 2008, 1.

作者简介

封文春, 高级工程师, 主要从事飞机环控、救生、氧气等方面的研究。