

飞机备用氧量需求分析方法

钱国红^{1,*}, 刘希美², 关月明²

1. 海军装备研究院 航空所, 上海 200436

2. 中航工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089

摘要: 现代作战飞机普遍采用机载制氧系统, 同时配备备用氧以保障特殊情况下的飞行安全。所设置的备用氧量应能够满足使用和安全需要, 同时还要避免增大空间需求和重量。本文在空勤人员氧气量需求一般分析方法基础上, 针对需要应急供氧的不同特情进行了处置方法、任务变更措施分析, 据此计算了需要的备用氧量。给出的特情处置原则和方法可用于同类型飞机确定备用氧量时的参考和指导。

关键词: 座舱压力制度; 座舱失密; 机载制氧失效; 备用氧量; 氧气流量

中图分类号: V245.3+1

文献标识码: A

文章编号: 1007-5453 (2016) 06-0011-05

随着留空时间的延长, 现代作战飞机越来越多地采用机载制氧技术, 实现几乎无时限的供氧能力。但是, 考虑到飞行安全, 在采用机载制氧设备作为主氧源的同时, 作战飞机仍普遍配备一定量的氧气瓶作为备用氧源。主氧源和备用氧源间的切换由供氧系统自动控制, 也可由飞行员选择人工切换。

除了人体生理、飞行员数量和供氧持续时间以外, 影响飞行员氧气量需求的因素还有飞行高度、座舱压力制度和飞行阶段任务性质。对于备用氧量来说, 更关键的影响因素是发生特情时的处置方法和任务变更情况。通过合理分析和设计, 能够以较少的备用氧量满足使用和安全需要。

1 氧气量需求一般分析方法

1.1 空勤人员生理需求

有关空勤人员对氧气系统供氧的生理需求, 目前工程上已有相应的标准规范。在供纯氧时每个空勤人员标准吸气量, 在 NTPD 状态下 (气压为 760mmHg、温度为 21.1℃ 的干燥空气) 为 13.35L/min^[1], 并随着座舱高度升高逐步降低, 不同高度空勤人员氧气流量需求如表 1 所示 (文中氧气流量及氧气量均为供纯氧时的 NTPD 状态当量数据)。

空勤人员所需的氧气流量受不同飞行阶段任务负荷的

影响, 其影响程度通过飞行活动修正系数反应^[1], 该修正系数巡航阶段为 1.0, 起飞、着陆阶段为 1.35, 作战阶段为 1.75, 危险特情处置时为 1.75。另外, 当机组成员少于 6 人时, 全体机组的总氧气流量还需在总标准吸气量基础上进行人数修正, 通过乘以空勤人数修正系数实现, 该系数对单人机组取 1.2, 对双人机组取 1.1^[1]。

表 1 空勤人员氧气流量需求 (纯氧, NTPD 状态)

Table 1 Oxygen flow requirements of aircrew (pure oxygen, NTPD condition)

座舱高度 /m	氧气流量 / (L/min)	座舱高度 /m	氧气流量 / (L/min)
0	13.35	6000	5.74
1000	11.74	7000	4.88
2000	10.28	8000	4.12
3000	8.97	9000	3.44
4000	7.78	10000	2.83
5000	6.70

1.2 座舱压力制度

现代作战飞机均采用增压座舱, 通过座舱压力调节系统对座舱压力进行控制, 满足高空飞行时飞行员对空气压力和氧气的生理要求。座舱压力调节系统根据舱外压力变化对舱内压力进行控制的规律, 称为座舱压力制度, 如图 1 所

收稿日期: 2016-03-29; 退修日期: 2016-04-15; 录用日期: 2016-04-15

* 通讯作者. Tel.: 021-81857769 E-mail: qghong@sh163.net

引用格式: QIAN Guohong, LIU Ximei, Guan Yueming. The analytical method for aircraft backup oxygen requirement [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27 (06): 11-15. 钱国红, 刘希美, 关月明. 飞机备用氧量需求分析方法 [J]. 航空科学技术, 2016, 27 (06): 11-15.

示。座舱压力制度主要包括以下内容:

(1) 飞机升限

飞机升限是飞机座舱外压力高度范围的上限,也是座舱失密后的舱内压力高度上限。

(2) 增压起点

增压起点指座舱压力调节系统对座舱开始增压的舱外起始气压高度。为适应不同机场场高,增压起点通常可在一个范围内进行选择。

(3) 最大压差

座舱内外压力差不能超越飞机结构强度限制的极限值,这个值就是最大压差(图1中最大压差为 $\Delta P_k=29.3\text{kPa}$)。随着飞机飞行高度增加,座舱内外压差逐渐增大,直至达到最大压差后不再继续增大。

(4) 座舱增压曲线

在座舱压力调节系统作用下,飞机座舱内压力与外界大气压力之间的关系曲线如图1所示。

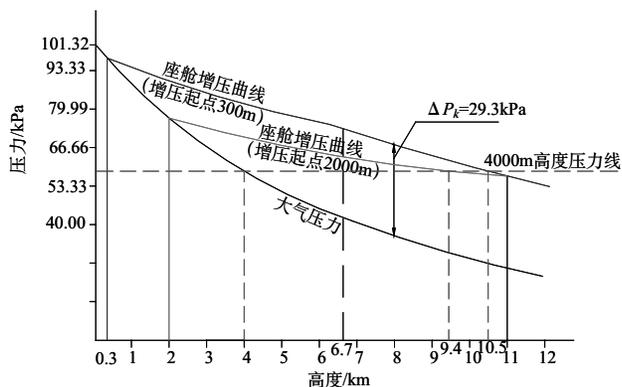


图1 飞机座舱增压曲线

Fig.1 Profile of aircraft cockpit pressure

1.3 氧气量需求计算方法

以图1所示座舱压力制度为基础,用一个简单的过程示例分析飞行员所需氧气量的计算方法。假设飞机起飞后爬升至9km高度飞行,然后下降着陆。首先绘制该飞行过程的时间-高度曲线,如图2中实线所示,然后根据座舱压力制度进一步绘制出时间-座舱高度曲线(图2中虚线)。假设在飞机起飞后爬升和下降着陆过程中需为飞行员供纯氧,根据表1中数据(在给定的相邻点之间采用插值近似)并取飞行活动修正系数为1.35,在时间-座舱高度曲线基础上再绘制出氧气流量需求曲线(图2中点划线),对该曲线进行积分,其结果为290L。考虑空勤人数修正,所需备用氧量对单人机组为348L,对双人机组为638L。

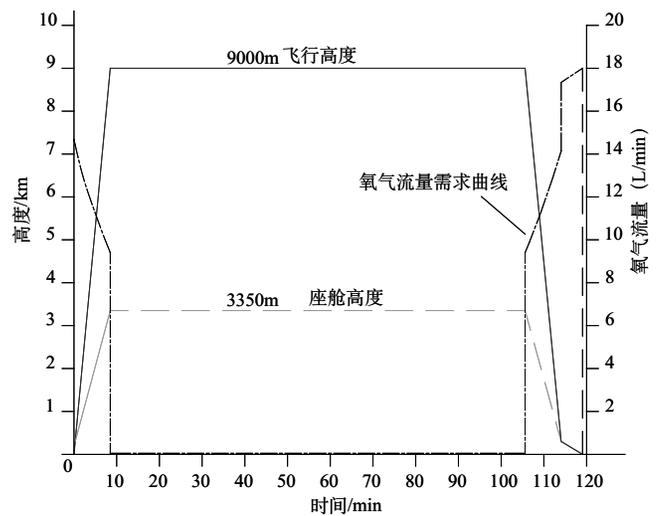


图2 氧气量需求计算曲线

Fig.2 Profile of oxygen flow requirement calculation

2 备用氧量需求分析

由于具有长航时飞行能力(可以空中受油),现代作战飞机越来越多地采用机载分子筛制氧实现无时限供氧能力,同时还普遍配备一定量的氧气瓶作为备用氧,以保障特殊情况下的飞行安全。主氧源和备用氧源间的切换由供气系统自动控制,也可由飞行员选择人工切换。

在飞行过程中需切换备用氧的情况包括座舱失密、机载分子筛制氧失效和部分飞行阶段的备用氧正常消耗等。作为安全应急措施,配备的备用氧量应做到够用即可,既满足特殊情况下的飞行员用氧需要,又避免配备过多对飞机安装空间、重量等带来不利影响,因此需进行备用氧量需求分析。

备用氧的用途决定了备用氧量需求分析与氧气量一般分析方法存在不同,主要是由于特情处置措施可能改变飞行剖面,以及备用氧具有启用条件和使用程序。

2.1 座舱失密

座舱失密属一种非常危险的特情。一旦发生,飞行员必须立即改变飞行剖面:操纵飞机应急下降至高度4km以下并返航或着陆,以避免飞行中低气压和缺氧对空勤人员造成伤害。

(1) 备用氧使用程序

根据发生座舱失密时的不同飞行高度/座舱高度,在飞机应急下降的过程中,氧气系统按照人体生理需要向飞行员持续供氧。备用氧使用程序如下:

1) 高度小于8km时失密:采用氧气浓缩器供氧,无需

接通备用氧。

2) 高度在 8~12km 时失密: 接通备用氧向飞行员供氧, 当高度下降至 8km 以下时, 恢复氧气浓缩器供氧, 备用氧断开。

3) 高度大于 12km 时失密: 接通备用氧向飞行员进行加压供氧 (20L/min), 高度下降至 8.5km 时停止加压供氧, 继续下降至 7.5km 时恢复氧气浓缩器供氧、备用氧断开。

(2) 备用氧量需求

以最严酷情况分析座舱失密情况下的备用氧量需求, 即在实用升限时发生瞬间座舱失密。以实用升限为 15.5km 为例, 在座舱失密后的应急下降过程中, 将按照高度大于 12km 时失密的备用氧使用程序向飞行员供氧。

按照氧气量需求分析方法, 首先绘制飞行过程剖面曲线。在座舱失密后, 飞机立即应急下降至高度 4km 以下然后改平飞, 按照飞机应急下降程序进行飞行性能计算, 得到座舱失密后的飞行过程剖面 (时间-高度曲线), 如图 3 中实线所示。

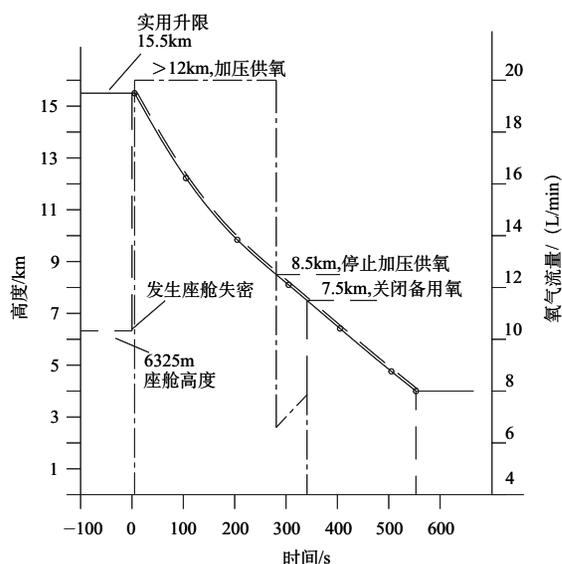


图3 座舱失密时备用氧量需求分析

Fig.3 Analysis of backup oxygen volume requirement after cockpit pressure loss

根据飞行过程剖面曲线进一步绘制座舱高度曲线, 在座舱失密后座舱高度曲线与飞行剖面曲线相同, 如图 3 中虚线所示。在座舱高度曲线基础上, 取飞行活动修正系数为 1.75 (座舱失密属于危险特情), 根据相应的备用氧使用程序绘制备用氧流量曲线, 见图 3 中点划线。对该曲线进行积分, 即得到座舱失密后的单个飞行员备用氧量需求, 为 105L。

2.2 机载制氧失效

在氧气系统设备故障导致机载制氧失效时, 飞机将自动接通备用氧向机组供氧。机载制氧失效后, 飞行员应按照相关规定, 选择合适的处置措施, 确保飞机安全返航。

(1) 特情处置措施

机载制氧失效后的特情处置措施属飞机使用层面的问题, 需在飞机设计阶段进行考虑, 并在使用手册中明确规定。通常情况下, 氧气系统故障后的处置原则有以下 2 种: 一是放弃原定任务, 下降高度并返航, 该方法可最大限度减少对备用氧的依赖, 确保飞行安全; 二是根据任务性质和执行情况, 在能确保本机安全前提下兼顾任务的完成, 该方法对备用氧依赖性较高, 但在实际作战使用中很有意义。为了提高飞机完成作战任务的能力, 按照第 2 种处置原则制定机载制氧失效的处置措施:

1) 若飞机未进入战区, 则放弃任务返航;

2) 若飞机已进入战区, 则利用备用氧继续完成作战, 而后返航。

(2) 返航剖面

机载制氧系统出现故障时, 飞机往往都需要远距离返航, 而不同的返航剖面对机上备用氧量的影响差异较大。在座舱增压正常时, 合适的返航高度可以使座舱高度低于 4km, 实现不依赖备用氧返航。按照图 1 所示的座舱增压曲线, 设增压起点为 300m, 只要返航高度不大于 10.5km 即可做到这一点。但是需注意, 采用较低的返航高度可能会增大燃油消耗而影响飞机返航航程。具体分析如下:

1) 完成作战任务后返航。由于已在任务中投放了空面武器, 飞行阻力和重量的减小使得飞机能够以较大的巡航高度飞行, 假设为 11km。在图 1 的座舱增压条件下 (增压起点 300m): 在 11km 飞行高度下座舱高度为 4.226km, 如以此高度返航需长时间使用备用氧, 大大增加需要的备用氧量; 如下降高度至 10km 返航, 则对应的座舱高度为 3.78km, 可不依赖备用氧返航。以某型飞机为例进行飞行性能计算检查, 在巡航高度由 11km 下降至 10km 时, 通过适当调整返航速度, 飞机燃油消耗增加仅约几十千克, 对返航航程的影响很小。因此采用适当降高度返航更为合理。

2) 在进入战区前放弃任务返航。由于携带较大型的空面武器, 巡航高度通常不大于 10km, 在同样的座舱增压条件下, 飞机可按原巡航高度返航而不使用备用氧。

(3) 备用氧量需求

以一种典型的高-中-高作战剖面为例, 飞机携带空

面导弹执行对海/对地突击任务,出航高度9km,作战高度5km,返航高度11km。按照预设的应急措施、降高度返航和座舱增压曲线(图1,增压起点300m),绘制出机载制氧失效后的飞行剖面和时间—座舱高度曲线(分别为图4中实线和虚线)。取氧气流量修正系数为1.75(作战任务),进一步绘

制出备用氧流量曲线(图4中点划线)。返航时巡航高度由11km下降至10km,从而实现不依赖备用氧完成返航飞行。

对上述备用氧流量曲线进行积分,得出机载制氧失效情况下单个飞行员需要的备用氧量,在图4示例中为约394L。

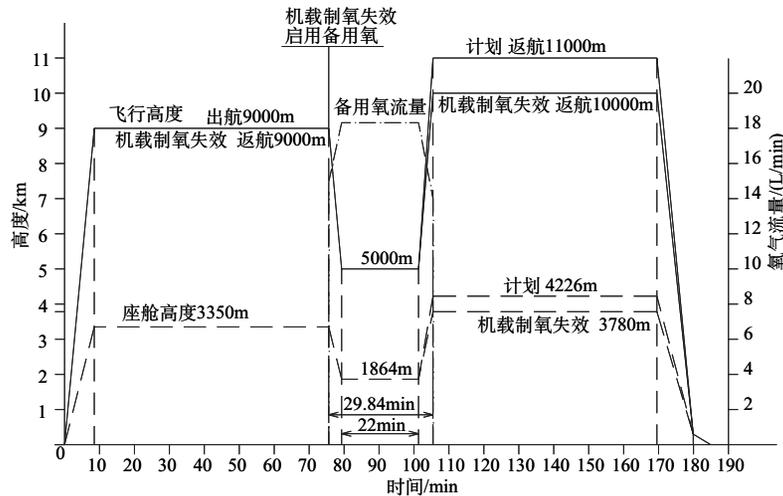


图4 机载制氧失效备用氧量分析

Fig.4 Analysis of backup oxygen volume requirement after onboard oxygen generation failure

2.3 备用氧的日常消耗

大多数作战飞机在氧气系统未发生故障情况下,在某些特殊的飞行阶段也会出现备用氧消耗的情况,这与机载制氧系统对环控系统引气的入口压力等要求有关。例如在飞机进场下滑阶段,发动机转速较低,环控系统引气压力难以满足制氧系统要求,从而导致机载制氧系统无法正常工作而自动切换至备用氧。机上备用氧量应考虑此类情况的正常消耗。设定典型的进场—下滑—着陆过程,采用相同方法进行分析,可估算出每次进场着陆所需消耗的备用氧量。以图4中进场着陆过程为例,每次着陆单个飞行员消耗的备用氧量约为50L。

2.4 备用氧量的确定

影响备用氧量的因素包括座舱失密应急处置、机载制氧失效处置和日常消耗。

对于单次失效的情况,基于上述分析的结果,机载制氧失效对备用氧量的需求远大于座舱失密情况。对于二次失效的情况,如座舱失密早于机载制氧失效或者同时发生,飞机应急处置和对备用氧量的需求同座舱失密情况;如座舱失密时已发生机载制氧失效且耗尽了备用氧,则需要飞行员立刻启用伞氧进行应急供氧并应急下降至4km以下(4km以下跳伞时不需要伞氧)。因此,备用氧量按照机载制氧失

效情况进行设计,可以满足各种可能应急情况处置时的飞行员用氧需要。

另外,由于存在备用氧的日常消耗,实际备用氧量还应满足减小地勤充氧频度的要求,如在备用氧气瓶充满情况下可保证至少4个飞行起落内不需再充氧。

对于上述分析示例,单个飞行员因机载制氧失效需备用氧量394L,4次着陆需额外消耗备用氧量200L,因此机上可用备用氧量取为单个飞行员594L。进一步考虑空勤人数修正后,对单座飞机为712.8L,对双座飞机为1306.8L。在型号设计中,备用氧气瓶储存的可用氧量应不小于以上需求分析结果,并应兼顾考虑环境温度、最小剩余压力等的影响^[2]。

3 结束语

对于给定的飞行任务,根据飞行剖面、座舱压力制度和飞行员生理需求,可绘制出氧气流量需求曲线,经积分后得到需要的氧气量。对于配备机载制氧系统的作战飞机,在出现座舱失密或机载制氧失效等特殊情况下,飞行员选择的应急处置措施和返航高度决定了备用氧量的需求。考虑实际作战需要,机上备用氧量应考虑飞机进入战区后完成相关任务并顺利返航。

参考文献

- [1] 国防科学技术工业委员会 .GJB1565-92: 飞机气氧系统设计和安装通用规范 [S]. 中华人民共和国国家军用标准, 1992.
Commission of Science Technology and Industry for National Defense. GJB1565-92; Design and installation of general specification for gaseous oxygen system in aircraft [S]. National Military Standard of the People' s Republic of China, 1992. (in Chinese)
- [2] 肖华军 . 航空供氧防护装备应用生理学 [M]. 军事医学科学出版社, 2015.
XIAO Huajun. Applied physiology of aviation oxygen protective

equipment[M]. Militeru Medical Science Press, 2015. (in Chinese)

作者简介

钱国红 (1968—) 男,高级工程师。主要研究方向: 航空装备总体论证。

Tel: 021-81857769

Email: qghong@sh163.net

刘希美 (1972—) 男,高级工程师。主要研究方向: 飞机总体设计。

关月明 (1985—) 女,工程师。主要研究方向: 飞机氧气系统设计。

The Analytical Method for Aircraft Backup Oxygen Requirement

QIAN Guohong^{1,*}, LIU Ximei², Guan Yueming²

1. Institute of Aviation Equipment, Naval Academy of Armament, Shanghai 200436, China

2. AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China

Abstract: Modern combat aircrafts are commonly equipped with onboard oxygen generation system, and meanwhile with backup oxygen to satisfy aircrews demand in emergency situation. The backup oxygen quantity should be sufficient for use and safety, and the demanded onboard installation room and weight of the system should be as small as possible. Based on the method of oxygen requirement general analysis, the paper analyzed the measures of treatment and mission change for various special situations in which the backup oxygen will be used, and furthermore, calculated the backup oxygen volume. The principles and methods could be a reference and guide to determine the demanded backup oxygen volume for the same type aircraft.

Key Words: cockpit pressure profile; cockpit pressure loss; onboard oxygen generation; backup oxygen volume; oxygen flow

Received: 2016-03-29; Revised: 2016-04-15; Accepted: 2016-04-15

*Corresponding author. Tel. : 021-81857769 E-mail: qghong@sh163.net