

CCAR-23.1443 适航条款符合性与验证技术研究



安杨¹,徐海²,徐海鑫³,吕晓锋¹,顾巍¹

1.航空工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司,黑龙江 哈尔滨 150066

2.中国民用航空沈阳航空器适航审定中心,辽宁 沈阳 110043

3.陆军装备部航空军事代表局驻哈尔滨地区航空军事代表室,黑龙江 哈尔滨 150066

摘要:按照中国民用航空规章CCAR-23部进行适航取证的飞机,当飞机运营高度超过3.048km时安装氧气系统,并且氧气系统的补氧量应满足CCAR-23.1443条对最小补氧流量的规定。氧气系统补氧量设计要综合考虑氧气系统的补氧能力与氧气面罩的类型及流通能力之间的关系,氧气系统的补氧量过大或过小都是不可取的,补氧量过大会额外增加飞机的质量;补氧量过小又不能满足人体生理所需的氧气,危及生命安全。对CCAR-23.1443规定的使用连续供氧设备、肺式供氧设备和急救供氧设备分别进行了最小补氧量分析,从事氧气系统设计的人员可依据飞机选用的供氧设备类型直接选择合适的最小补氧量值,同时也为适航审查员提供审查依据。

关键词:最小补氧量;座舱压力高度;潮气量;连续式供氧;肺式供氧

中图分类号:V245.3+1

文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2022.02.011

飞机上氧气系统的功能是为机组及乘客提供航空用氧气,保障在高空条件下飞行人员的生命安全,缓解在高空条件下机组及乘客的生理负担。

在运营规章中规定,非增压飞机在座舱的大气压力高于3.048km的飞行高度上运行时,应考虑为乘客及机组提供充足的呼吸用氧^[1],并且所提供的氧气应该满足中国民用航空规章CCAR-23.1443条对最小补氧流量的规定。机上氧气系统的补氧量过大或过小都是不可取的,补氧量过大会额外增加飞机的质量;补氧量过小又不满足人体生理所需的氧气,会危及生命安全。氧气系统补氧量设计要综合考虑氧气系统的补氧能力与氧气面罩流通能力之间关系。

本文主要研究CCAR-23.1443条适航条款规定的飞机氧气系统最小补氧流量计算方法和适航验证方法,可为从事氧气系统设计的人员提供设计参考,同时也可作为适航审查员提供审查依据。

1 适航条款规定

CCAR-23.1443 最小补氧流量^[2]:

(a) 如果装有连续供氧设备,申请人必须满足本条(a)(1)和(a)(2)或者(a)(3)的要求:

(1) 对于每一乘客,在不同座舱压力高度上所需的最小补氧流量,不得小于在使用所提供的氧气设备(包括面罩)时保持下述吸气平均气管氧分压所需的氧流量:座舱压力高度在3.048~5.638km时,每分钟呼吸15L(BTPS),且保持固定呼吸时间间隔的最大潮气量为700mL时,平均气管氧分压为100mmHg(1mmHg=133.3224Pa);座舱压力高度在5.638~12.192km时,每分钟呼吸30L(BTPS),且保持固定呼吸时间间隔的最大潮气量为1100mL时,平均气管氧分压为83.8mmHg。

(2) 对于每位飞行机组成员,最小补氧流量不得小于保持下述吸气平均气管氧分压所需的氧流量:在每分钟呼吸15L(BTPS)且保持固定呼吸时间间隔的最大潮气量为700mL时,平均气管氧分压为149mmHg。

收稿日期:2021-06-30;退修日期:2021-07-21;录用日期:2021-08-29

引用格式: An Yang, Xu Hai, Xu Haixin, et al. Research on CCAR-23.1443 airworthiness clause compliance and verification technology [J]. Aeronautical Science & Technology, 2022, 33(02):70-74. 安杨,徐海,徐海鑫,等.CCAR-23.1443 适航条款符合性与验证技术研究[J].航空科学技术,2022,33(02):70-74.

(3) 在低于和等于飞机的最大使用高度时,供给每个使用者的最小补氧流量不得小于图1所示的流量。

(b) 如果装有飞行机组成员使用的肺式供氧设备,则每分钟呼吸20L(BTPS)时,每一飞行机组成员所需的最小补氧流量,在座舱压力高度低于和等于10.668km时,不得小于保持吸气平均气管氧分压为122mmHg所需的氧流量;座舱压力高度在10.668~12.192km时,不得小于保持含氧为95%所需的氧流量。此外,必须有可供机组选用纯氧的手段。

(c) 如果装有急救供氧设备,则供每人使用的最小氧流量不得小于4L/min(STPD)。然而,可使用某种手段在任何座舱高度下将氧流量减到不小于2L/min(STPD)。急救用氧量是以急救用氧者每人每分钟3L的平均氧流量为依据来确定。

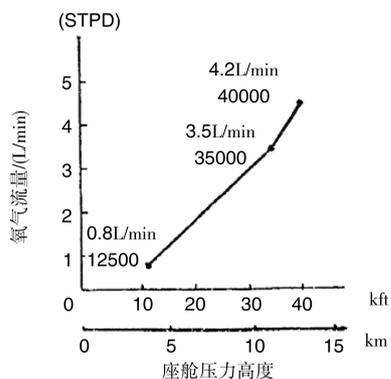


图1 座舱压力高度与最小补氧量

Fig.1 Cabin pressure altitude & minimum supply oxygen value

2 条款解读

在适航条款原文中有BTPS、STPD两组英文缩写,它们分别代表的是两种工作状态。BTPS是指人体温度和压力、饱和水蒸气(水汽)(即37°C时人体所处环境压力减去47mmHg,该压力差也就等于气管压力减去呼吸气体变成37°C饱和水蒸气状态时的水蒸气压力)。STPD是指标准温度和压力下的干燥气体(即0°C、760mmHg的无水蒸气的空气)。

除了BTPS、STPD状态外,还常使用NTPD作为基准状态。NTPD是指标准温度和压力下的干燥气体(即21°C、760mmHg的无水蒸气的空气)。在AIR 825飞机氧气设备标准中给出二者对应换算关系为 $STPD=0.92826 \times NTPD$ 。无论使用何种状态,最终都要统一为一个状态来计算,由于CCAR-23.1443条款中的图1使用的是STPD状态,所以,我

们进行储氧量计算时建议统一为STPD状态,但也可以使用其他状态作为基准^[1]。

2.1 使用连续供氧设备

飞机上安装连续式供氧设备时,每个乘客在不同高度范围内所需最小补氧流量的计算方法不同。在座舱压力高度在3.048~5.638km时,每分钟呼吸氧气量按15L(BTPS),最大一次呼吸量按700mL,补氧量按平均气管氧分压为100mmHg所需的氧流量进行设计。

在座舱压力高度在5.638~12.192km时,每分钟呼吸氧气量按30L(BTPS)、最大一次呼吸量按1100mL、补氧量按平均气管氧分压为83.8mmHg所需的氧流量进行设计。每位飞行机组成员,每分钟呼吸氧气量按15L(BTPS),最大一次呼吸量按700mL,补氧量按平均气管氧分压为149mmHg所需的氧流量进行设计。

供给每个使用者的最小补氧流量也可以按照不得小于按图1的流量进行取值,在图1中所示的取值要比按照CCAR23.1443(a)(1)和(a)(2)计算的值大一些,最小补氧流量满足CAR23.1443(a)(1)和(a)(2),或者满足(a)(3)都可以满足适航取证要求。

2.2 使用肺式供氧设备

每名飞行机组每分钟呼吸氧气量均按20L(BTPS),在座舱压力高度低于和等于10.668km时,补氧量按平均气管氧分压为122mmHg所需的氧流量进行设计;在座舱压力高度在10.668~12.192km时,补氧量按不小于保持含氧为95%所需的氧流量进行设计。使用肺式供氧设备必须有可供机组选用纯氧的手段。

2.3 使用急救供氧设备

如果装有急救供氧设备,氧气系统供给每人使用的最小氧流量按每分钟不小于4L(STPD),但是,在氧气系统如具有在不同座舱高度下具有调节供气量的手段,则供给每人使用的最小氧流量可按每分钟不小于2L(STPD)。通常情况下,以急救用氧者每人每分钟3L的平均氧流量为依据来确定氧气系统的急救用氧量。

3 最小补氧量计算方法

3.1 使用连续供氧设备

3.1.1 乘客成员最小补氧量计算

按照CCAR-23.1443规定,乘客成员最小补氧量计算方法与座舱压力高度相关,座舱压力高度对应关系^[4],结果见表1。

在供混合气的条件下,乘客成员最小补氧量可按式(1)

表1 座舱压力高度对应关系

Table 1 Cabin pressure & altitude

序号	高度/km	大气压力/mmHg
1	3.048	522.76
2	3.657	483.46
3	4.267	446.63
4	4.876	412.09
5	5.638	372.01
6	5.791	364.39
7	6.705	321.28
8	7.620	282.40
9	8.534	247.43
10	9.448	216.06
11	10.363	188.00
12	11.277	162.99
13	12.192	141.18

注: 1mmHg=1.33322×10³Pa

计算^[5],结果见表2。

$$Q_a = 1.57 \times 10^{-3} [p_{O_2} - 0.21(p_H - 47)] Q_{vp} \quad (1)$$

式中: Q_a 为系统向每个使用者供应的氧气流量(NTPD); Q_{vp} 为肺换气量(BTPS); p_{O_2} 为吸入气(呼吸道内)氧分压; p_H 为在高度 H 上的大气压力。

表2 乘客在不同高度所需最小补氧量

Table 2 Passenger minimum amount of oxygen required different altitudes

序号	高度/km	最小补氧量/(L/min)	
		NTPD	STPD
1	3.048	0.002129	0.001976
2	3.657	0.196487	0.182391
3	4.267	0.378630	0.351467
4	4.876	0.549447	0.51003
5	5.638	0.747663	0.694026
6	5.791	0.807676	0.749733
7	6.705	1.234077	1.145544
8	7.620	1.618639	1.502517
9	8.534	1.964527	1.823592
10	9.448	2.274808	2.111613
11	10.363	2.552349	2.369243
12	11.277	2.799723	2.598871
13	12.192	3.015446	2.799118

3.1.2 机组成员最小补氧量计算

机组最小补氧量按照3.1.1节的式(1),在每分钟呼吸15L(BTPS),最大潮气量为700mm,平均气管氧分压为

149mmHg的条件下进行计算,结果见表3。

表3 机组在不同高度所需最小补氧量

Table 3 Pilot minimum amount of oxygen required different altitudes

序号	高度/km	最小补氧量/(L/min)	
		NTPD	STPD
1	3.048	1.156079	1.073142
2	3.657	1.350437	1.253557
3	4.267	1.53258	1.422633
4	4.876	1.703397	1.581196
5	5.638	1.901613	1.765191
6	5.791	1.939298	1.800173
7	6.705	2.152498	1.998078
8	7.620	2.344779	2.176565
9	8.534	2.517723	2.337102
10	9.448	2.672864	2.481113
11	10.363	2.811635	2.609928
12	11.277	2.935321	2.724741
13	12.192	3.043183	2.824865

3.2 使用肺式供氧设备

按照CCAR-23.1443规定,使用肺式供氧设备,供混合气的条件下,最小补氧量可按式(2)计算^[5],结果见表4。

$$q_{h,m} = 1.57 \times 10^{-5} (p_H - 47) (F_{O_2} - 21) Q_{vp} \quad (2)$$

式中: $q_{h,m}$ 为供混合气时的耗氧率(NTPD); F_{O_2} 为在高度 H 上的混合气含氧百分数; p_H 为在高度 H 上的大气压力。

表4 使用肺式供氧设备在不同高度所需最小补氧量

Table 4 Minimum amount of oxygen required at different altitudes using a lung oxygen supply device

序号	高度/km	最小补氧量/(L/min)	
		NTPD	STPD
1	3.048	0.693639	0.643877
2	3.657	0.952783	0.88443
3	4.267	1.19564	1.109865
4	4.876	1.423397	1.321282
5	5.638	1.687684	1.56661
6	5.791	1.73793	1.613251
7	6.705	2.022198	1.877125
8	7.620	2.278572	2.115108
9	8.534	2.509165	2.329157
10	9.448	2.716018	2.521171
11	10.363	2.901046	2.692925
12	11.277	3.065962	2.84601
13	12.192	3.209777	2.979508

3.3 使用急救供氧设备

如果使用急救供氧设备,通常情况下以急救用氧者平均每人每分钟3L作为急救供氧设备的最小补氧量设计值。

4 适航符合性验证

4.1 CCAR-23.1443(a)

该条款规定,使用连续式供氧设备,申请人必须满足本条(a)(1)和(a)(2),或者(a)(3)的要求,只要满足其中一个条件就可以满足适航要求。

在3.1.1节对每名乘客在3.048~5.638km、5.638~12.192km所需最小补氧量分别进行了计算,计算得出机组的最小补氧量均低于图1中所规定的最小补氧量值。

在3.1.2节对每名机组的最小补氧量进行,计算得出机组的最小补氧量在3.048~6.705km所需的最小补氧量高于图1中的规定值,在6.705~12.192km所需最小补氧量低于图1中的规定值。

从计算结果可以看出,使用连续式供氧设备,乘客的最小补氧量按照高于表2中计算出的最小补氧量,或者高于图1中规定的最小补氧量进行设计均可满足乘客的最小补氧量要求。机组的最小补氧量按照图1或表3中规定选取均不能完全满足适航条款要求,只能通过对连续式供氧设备的流通能力、飞行任务剖面、用氧人类别、氧气系统设计重量等因素进行综合考虑,最后在表3所示的计算值和图1所示的规定值中选取较大值作为最小补氧量的设计值。本条款应通过最小补氧量计算报告及试验报告向局方表明适航符合性。

4.2 CCAR-23.1443(b)

使用肺式供氧设备时,最小补氧量应按照高于表4中计算出的最小补氧量进行设计,并且使用肺式供氧设备必须有可供机组选用供纯氧的手段。本条款应通过最小补氧量计算报告及试验报告向局方表明适航符合性。

4.3 CCAR-23.1443(c)

使用急救供氧设备时,按照供给急救用氧者平均每人3L/min的氧流量作为最小补氧量就可以满足适航条款要求。本条款应通过试验报告向局方表明适航符合性。

5 结束语

CCAR-23.1443条适航条款是对氧气系统最小补氧量的规定,也是保证机组及乘客安全用氧的最低要求。在飞机型号研制过程中,为满足适航条款要求,氧气系统设计

应根据机上选用的供氧设备类型、飞行高度、飞行任务剖面,以及乘客和飞行机组用氧量的不同进行分类,分别进行最小补氧量设计。同时,还需要结合机上乘客和飞行机组的数量及用氧时间,最终确定满足适航要求的氧气系统储氧量。

飞机氧气系统在进行适航审查过程中,首先,应通过氧气系统最小补氧量设计报告中向局方审查代表表明氧气系统的最小补氧量设计值能够满足适航条款要求;然后,还应通过地面供氧功能试验、飞行供氧功能试验,实际测试氧气系统的补氧量是否能满足人体的生理需求,并通过合格的试验报告向局方表明氧气系统设计能够满足CCAR-23.1443条适航条款对氧气系统最小补氧量的要求。 **AST**

参考文献

- [1] CCAR-135 小型航空器公共航空运输承运人运行合格审定规则[S]. 中国:中国民用航空局航空器适航审定司,2006.
CCAR-135 Small aircraft public air transport carrier operation certification rules[S]. China: Airworthiness Certification Department of Civil Aviation Administrator of China, 2006. (in Chinese)
- [2] CCAR-23 正常类、实用类、特技类和通勤类飞机适航规定[S]. 中国:中国民用航空局航空器适航审定司,2004.
CCAR-23 Airworthiness regulations for normal, utility, acrobatic, and commuter category aircrafts[S]. China: Airworthiness Certification Department of Civil Aviation Administrator of China, 2004. (in Chinese)
- [3] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册:第5册 生命保障和环控系统[M]. 北京:航空工业出版社,1999.
Aircraft Design Manual Editor-in-Chief. Aircraft design manual No. 15: life support and environment control system design[M]. Beijing: Aviation Industry Press,1999. (in Chinese)
- [4] AIR 825 飞机氧气设备[S]. 美国:美国机动车工程师学会,1965.
AIR 825 Aircraft oxygen equipment[S]. USA: American Society of Automotive Engineers, 1965. (in Chinese)
- [5] 张立藩. 航空个人防护装备[M]. 北京:国防工业出版社,1982.
Zhang Lifan. Aviation personal protective equipment[M]. Beijing: National Defense Industry Press,1982. (in Chinese)

Research on CCAR–23.1443 Airworthiness Clause Compliance and Verification Technology

An Yang¹, Xu Hai², Xu Haixin³, Lyu Xiaofeng¹, Gu Wei¹

1. AVIC Harbin Aircraft Industry Group Co., Ltd., Harbin 150066, China

2. Shenyang Aircraft Airworthiness Certification Center of CAAC, Shenyang 110043, China

3. Aviation Military Representative Office of the Representative Bureau of Army Armament Department in Harbin Region, Harbin 150066, China

Abstract: Aircraft that have been certified for airworthiness in accordance with part CCAR–23 of China's Civil Aviation Regulations shall be equipped with an oxygen system when the aircraft is operating at an altitude of more than 3.048km, and the oxygen supply of the oxygen system shall meet the minimum oxygen supply flow stipulated in CCAR–23.1443. The oxygen supply design of the oxygen system should comprehensively consider the relationship between the oxygen supply capacity of the oxygen system, the type of oxygen mask and the circulation capacity of the oxygen system. The oxygen supply of the oxygen system is too large or too small, and it is not desirable, because excessive oxygen supply will increase the weight of the aircraft. Oxygen supply is too small and does not meet the physiological needs of the human body, and it will endanger life safety. This paper analyses the minimum oxygen supply of continuous oxygen supply equipment, lung oxygen supply equipment and emergency oxygen supply equipment according to CCAR–23.1443. The personnel engaged in oxygen system design can directly select the appropriate minimum oxygen supplemental value according to the type of oxygen supply equipment selected by the aircraft, and also provide the review basis for airworthiness examiners.

Key Words: minimum oxygen supplemental value; cabin pressure altitude; tidal volume; continuous type oxygen; lung type oxygen