

某型供氧系统使用高压氧源的可行性初探

Feasibility Study of Using High Pressure Oxygen Source on a Certain Type of Oxygen Supply System

张丽¹ 刘锐² 蓝渝康^{1/1} 贵航飞机设计研究所 2 贵州中航通用飞机有限责任公司

摘 要:对某型供氧系统的功能、组成及原理进行分析,创新地提出将此供氧系统与氧气瓶配套的新方案,经重构氧源控制机构及改进含氧浓度调节机构,使此供氧系统与氧气瓶配套使用时输出的氧气浓度及供氧压力与原系统一致,为飞行员供氧系统设计提供参考。

关键词: 供氧系统; 含氧浓度调节机构; 混合氧

Keywords: oxygen supply system; oxygen concentration adjuster; oxygen mixture

0 引言

某型供氧调节系统是为军用飞机配套的飞行员供氧系统,与浓缩器配套使用。其优点是技术先进、氧气利用率高、供氧时间不受限制,并能与抗荷系统配套使用,具有抗荷加压供氧能力。但其缺点也同样明显,由于系统存在两种形式的氧源,导致维护及修理工作复杂,维护保障需求和成本较高,且浓缩器供氧无法覆盖全部飞行高度,可靠性不高,价格昂贵。对于平时的飞行员训练,使用保障、成本和代价都过高。

瓶氧作为传统的氧源,与氧气浓缩器相比,具有供氧高度范围广、可靠性高、重量轻、价格低、技术成熟等优点,且地面和后勤保障条件完备。在留空时间一定的高级教练机上,用瓶氧代替浓缩器供氧,有利于兼容瓶氧与该型供氧系统的优点。本文依据相关生理供氧规范,探讨了某型供氧系统与瓶氧配套的可行性,为该系统的使用提供理论依据。

1 某型供氧系统简介^[1]

1.1 系统的组成和功能

某型供氧系统与浓缩器配套见图1,主要功能和组成包括:

- 1) 氧源部分,提供呼吸用氧,由浓缩器及备用瓶氧组成。
- 2) 控制部分,座舱高度在8km以下,供混合氧;座舱高度在8~12km范围内,由氧源转换器控制氧源从浓缩器转换为备用瓶氧,供纯氧。为提高氧气利用率,代偿服拉力管中气体来自机上增压空气。
- 3) 指示部分、应急供氧部分。

1.2 系统分析

调节器入口氧气压力应在0.14~0.65MPa范围内,而瓶氧的输出压力为12.7~14.7MPa,远远大于调节器入口压力,故直接用瓶氧替代浓缩器供氧是不可行的。

供氧系统主要起控制作用,负责选择氧源及供氧方式,控制氧气的流量及分配。浓缩器作为主要氧源提供氧气,具有氧气浓度调节功能,因此瓶氧无法直接取代浓缩器供氧。如果使用瓶氧,则需增加氧气浓度调节功能。

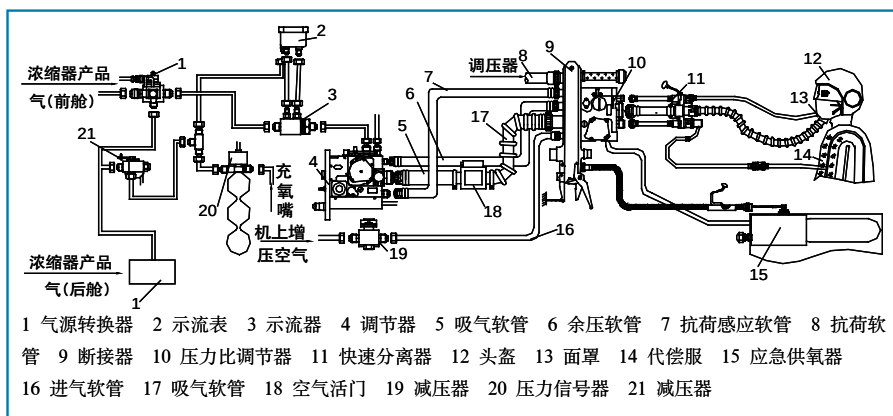


图1 某型供氧系统原理图

2 使用瓶氧方案的改进设计

系统改用瓶氧后,在8km以下应能自动按照高度供给飞行员不同含氧浓度的混合氧;氧气浓度调节机构应与供氧系统中的肺式供氧机构协同工作;瓶氧输出压力应控制在接近并小于调节器入口压力上限。

通过上述指标要求可知,若使用瓶氧作为氧源,应对原系统进行两方面的改进设计,即氧源设计及含氧浓度调节机构设计。氧源改进设计方案应包括气瓶、开关、减压器。含氧浓度调节机构设计可从原供氧系统着手,在原系统中配增压空气支路,为代偿服拉力管提供气源,该支路的空气压力应较调节器出口压力高,对这部分增压空气进行控制和调节,就可以实现氧气浓度的调节功能。

2.1 含氧浓度调节机构原理

含氧浓度调节机构原理图如图2所示,连接在原供氧系统调节器后的吸气管路上。座舱增压空气通过限流器,完成压力和流量的调整后,通过肺式活门,从小孔3喷出混合腔内,与氧气混合,形成混合氧。氧气浓度则由真空波纹管随高度变化自动伸缩来控制。当座舱高度发生变化时,真空波纹管5缩短或伸长,调节活门4的开启度随之变大或变小,使进入混合腔的空气量增多或减少,从而控制含氧浓度,实现了随高度变化供给飞行员不同含氧浓度的混合氧的目的。

2.2 可行性分析

混合氧浓度利用真空波纹管进行调节,进入B腔的空气流量大小则主要由调节活门4的型面来保证,本方案中采用锥面调节活门。以下对其可行性进行分析。

1) 含氧百分比要求

根据GJB2193-1994,座舱高度上

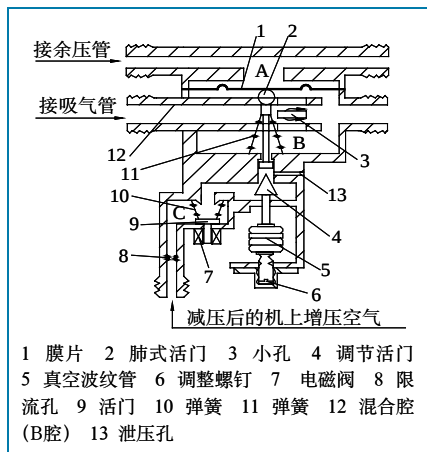


图2 含氧浓度调节机构原理图

的含氧百分比 F_{O_2} 下限应满足:

$$F_{O_2} = \frac{150 \times 133.3}{P_h - 47 \times 133.3} \times 100\% \quad (1)^{[2]}$$

其中, P_h 是温度为20℃时各高度的大气压力,相应高度上的含氧百分比上限值为下限值加14%~32%的值。

已知空气中约有21%的氧气,故含氧百分比 C 可由下式表示:

$$C = \frac{q_{O_2} + 0.21q_{\text{空}}}{q_{O_2} + q_{\text{空}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中, q_{O_2} 为氧气流量, $q_{\text{空}}$ 为空气流量。

通过公式(1)、(2)及GJB1565-1992,可计算得出空气含量百分比 Q ,如图3所示。

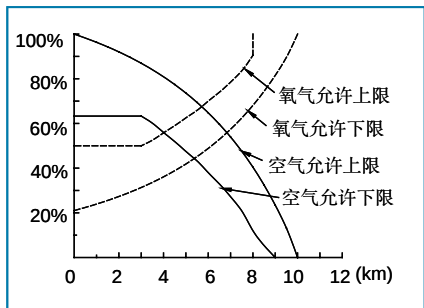


图3 空气/氧气含量百分比与座舱高度关系

2) 锥型调节活门对氧气流量的调节
通过调节活门的空气流量 $q_{\text{空}}$ 可用

下式计算:

$$q_{\text{空}} = A \times \sqrt{2 \times \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}} \times \frac{k}{k+1} \times \frac{P_{va}}{V_{va}}} \quad (3)$$

式中, A 为空气流通面积, V_{va} 为活门口处空气流速, k 为绝热指数, P_{va} 为活门口处空气压力。

随着座舱高度的增加,真空波纹管伸长长度 λ 为:

$$\lambda = \frac{P_x - P}{k_c} \times F_a \quad (4)$$

($p_{\text{起始供纯氧}} \leq p \leq p_x$)

式中, p_x 为波纹管开始伸长时大气压力, k_c 为波纹管刚度, F_a 为波纹管的有效面积。

参照图4,环面的流通面积 A 与 λ 的关系应满足:

$$A = \pi(R^2 - r_{va}^2) = \pi[R^2 - (p_x - p)^2 \times \left(\frac{F_a \times \tan \frac{\theta}{2}}{k_c}\right)^2] \quad (5)$$

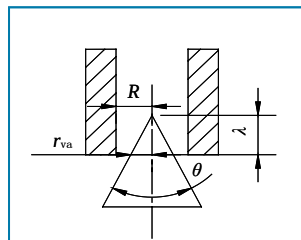


图4 环面流通面积 A 与 λ 的关系

为使含氧百分比符合GJB1565-1992的要求,在增加含氧浓度调节机构后,分别计算空气与混合气百分比的上限及下限。

当空气与混合气百分比为上限时,真空波纹管从座舱高度为0km时开始膨胀伸长。当座舱高度为零时, $r_{va}=0$,空气流量为 q_0 ,空气含量比为1, $p_x=p_0$;当座舱高度为10km时,供纯氧, $r_{va}=R$ 。将已知条件带入,并联合公式(4)、(5)可得到:

$$Q = 1 - \frac{(p_0 - p)^2}{(p_0 - p_{10})^2} \quad (p_{10} \leq p \leq p_0) \quad (6)$$

当空气与混合气百分比为上限时,真空波纹管从座舱高度为3km时开始膨胀伸长。当座舱高度 $\leq 3\text{km}$ 时, $r_{va}=0$,空气流量为 q_3 ,空气含量比为0.632, $p_x=p_3$;当座舱高度为9km时,供纯氧, $r_{va}=R$ 。将已知条件带入,并联合公式(4)、(5)可得到:

$$Q = 0.63 \times [1 - \frac{(p_3 - p)^2}{(p_3 - p_9)^2}] \quad (p_9 \leq p \leq p_3) \quad (7)$$

由公式(6)、(7)可知,增加含氧浓度调节机构后,空气与混合气比例的上、下限曲线如图5所示。

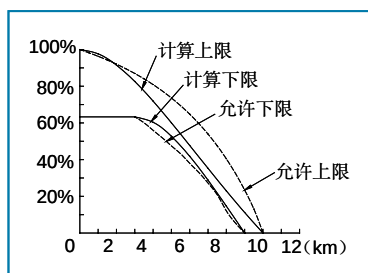


图5 空气百分比与座舱高度关系

用公式(1)、(2)、(6)、(7)可反推增加含氧浓度调节机构后,各座舱高度对应的含氧浓度,如图6所示。

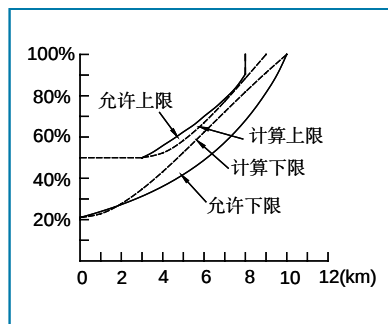


图6 含氧百分比与座舱高度关系

通过对比图6中的曲线可以发现,在座舱高度低于2km时,含氧浓度调节机构可达到的含氧比下限低于人体所需氧气浓度下限,其余座舱高度均可满足

使用要求。因此,通过调节真空波纹管的初始位置,可使含氧浓度调节机构输出的氧浓度在允许的含氧百分比范围之内,从而保证飞行员在各座舱高度下吸入合理浓度的混合氧,证明了本方案在理论上是可行的。

2.3. 系统改进设计后的工作过程

含氧浓度调节机构与某型供氧系统的连接见图7。

当座舱高度低于8km时,氧源氧气进入调节器后,在调节器内被分为余压气路、供氧气路两路,并分别进入含氧浓度调节机构。余压管路的氧气进入含氧浓度调节机构的A腔,供氧管路的氧气进入混合腔(B腔)。

吸气时,在B腔内造成一定的真空度,使A腔压力大于B腔压力。膜片在压差作用下开启肺式活门2;机上增压空气进入混合腔与来自调节器的氧气混合,形成混合氧,最终进入面罩供给飞行员使用。

呼气时,B腔内的真空度消失,膜片1两侧压力恢复平衡,肺式活门2在弹簧11作用下关闭,同时,调节器内供氧管路关闭。此时,空气和氧气均被阻止进入面罩。

在进入空气污染区或混合氧不足时,飞行员可手动选择吸“纯氧”。

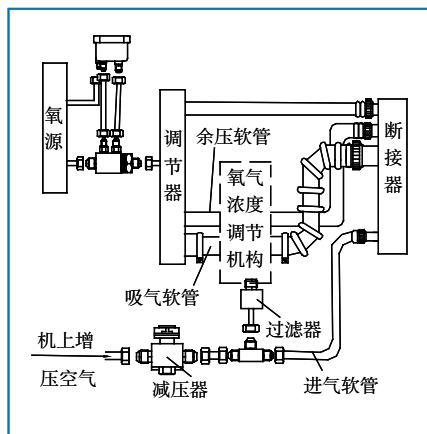


图7 含氧浓度调节机构与供氧系统连接图

此时,含氧浓度调节机构上的电磁阀关闭活门,停止向系统供入空气,系统供纯氧。飞机故障引起座舱高度达到8~10km时,真空波纹管膨胀伸长导致活门4完全关闭,空气将不能进入B腔,此时供氧系统向飞行员供纯氧。

3 结论

通过分析,某型供氧系统直接使用高压气氧作为氧源无法满足使用要求。重构氧源压力控制机构及增加含氧浓度调节机构后,通过对系统供气含氧浓度与不同高度人体生理要求的对比分析发现,改进系统各高度供气的含氧浓度理论上可保证空勤人员需求,在增加了含氧浓度调节装置及对气氧输出压力进行了协调后,某型供氧系统可使用瓶氧作为其氧源应用于某系列飞机。

AST

参考文献

- [1] 合肥江航飞机装备有限公司. 某型供氧系统技术使用维护说明书[Z]. 2007-11-28.
- [2] 国防科工委. GJB2193-1994 飞行人员加压供氧系统规范[S]. 1994-12-13.
- [3] 国防科工委. GJB1565-1992 飞机气氧系统设计和安装通用规范[S]. 1994-11-24.

作者简介

张丽, 助理工程师, 主要研究方向为氧气系统集成设计。

刘锐, 助理工程师, 主要研究方向通用飞机设计和适航。

蓝渝康, 高级工程师, 主要研究方向为环控、氧气系统集成设计。