

高原环境对航空制氧装备的影响及对策研究

赵辉, 雷金果, 谢千东

(空军勤务学院 航空四站系, 江苏 徐州 221000)

摘要: 目的 改善制氧装备的高原适应性, 提高其高原保障性能。方法 由部分到整体, 在研究了高原环境的特点的基础上, 研究压缩机、膨胀机、电气设备等重要部件的高原环境适应性, 进而得出高原对制氧装备工作性能的影响。结果 高原环境的特点超出了制氧设备的设计指标, 会严重影响制氧设备的正常运行。结论 采取适当的措施对制氧设备重要部件加以改进, 对提高制氧设备的高原适应性具有良好效果。

关键词: 高原环境; 制氧; 环境适应性

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2016.05.018

中图分类号: TJ01; V241 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2016)05-0111-04

Influence of Plateau Environment on Oxygen Equipment and Countermeasures

ZHAO Hui, LEI Jin-guo, XIE Qian-dong

(Department of Aviation No.4 Station, Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China)

ABSTRACT: Objective To improve the adaptability of oxygen equipment to plateau environment and upgrade its supportability efficiency in plateau. **Methods** From part to the whole, the plateau adaptability of the compressor, expander, electrical equipment and other important components of the oxygen equipment were studied based on the knowledge of characteristics of the plateau environment, and then the influence of plateau environment on oxygen equipment was summarized. **Results** The characteristics of plateau environment was beyond design indicators of oxygen equipment and would seriously affect the normal work of the equipment. **Conclusion** Appropriate measures to improve the important components can significantly enhance the adaptability of oxygen equipment to plateau environmental.

KEY WORDS: plateau environment; oxygen production; environment adaptability

由于航空制氧设备主要以空气为原料, 其工作过程中对环境的依赖性较大, 低压、空气稀薄、温差大以及低含氧量的高原环境对制氧设备会产生较大影响^[1]。研究高原环境对制氧设备的影响, 并寻找解决对策对更好地实现航空用氧保障具有重要意义。

1 高原环境特点

高原通常是指海拔超过 1000 m 的地区, 我国高原面积广大。其平均海拔在 4000 m 以上, 年平均气温低, 温差大, 最低气温可达 -45 ℃, 昼夜温

收稿日期: 2016-03-28; 修订日期: 2016-04-28

Received: 2016-03-28; Revised: 2016-04-28

作者简介: 赵辉, (1990—), 男, 江苏徐州, 硕士研究生, 主要研究方向: 航空四站保障技术与信息化。

Biography: ZHAO Hui(1990—), male, from Xuzhou, Jiangsu, master, Security and information technology of four station

差可达 15~30 ℃；平均大气压强只有平原地区的 60%~70%，空气稀薄，氧气含量只有平原地区的 60%左右^[2-4]。由于空气越稀薄，透明度越大，到达地面的太阳辐射和紫外线辐射就越强，因此高原地区通常日光照射、紫外线辐射强烈。高原环境的各项具体参数见表 1。

表 1 高原环境条件参数
Table 1 Plateau environment parameters

海拔 高度 h/km	气压 P/kPa		空气密度/空气含氧量/(kg·m ⁻³)/(g·m ⁻³)		空气温度 t/℃		
	年平 均	最 低			最 高	最高日 平均	年平 均
0	101.3	97.0	1.292	287.6	45.4	35.3	20
1	90.0	87.2	1.117	265.5	45.4	35.3	20
2	79.5	77.5	1.050	234.8	35	25	15
3	70.1	68.0	0.943	209.6	30	21.5	10
4	61.7	60.0	0.844	182.0	25	10	5
5	54.0	52.5	0.753	159.7	20	35.3	0

2 高原环境对制氧设备的影响

由于航空用氧要求比较高，氧气纯度 $\geq 99.5\%$ ，露点温度 ≤ -65 ℃^[5]，所以部队现役的制氧装备主要采用深冷法原理。由于深冷法制氧过程中温度、气体流量、压力等对氧气产量、纯度等影响较大，所以在高原环境下会受到较大影响。作为制氧装备重要部件的空压机、透平膨胀机、散热装置等工作环境的依赖性较大，因此在高原地区往往会受到较大影响。

2.1 对空压机性能影响

空压机排气量是按一定海拔高度及吸气温度设计的。空压机排气压力 p_0 计算如下：

$$P_0 = \lambda p_i \quad (1)$$

式中： p_0 为出口压力； p_i 为进口压力； λ 为压缩比。

由于高原地区大气压力低，所以 p_i 减小的情况下，要保证 p_0 不变，就必须提高压缩比。由于技术限制，压缩比提升空间有限，空压机的排气压力会相应降低，导致压缩气体溶剂流量明显减少，单位功耗随之增加^[5-6]。

2.2 对透平膨胀机影响

该制氧设备的透平膨胀机采用风机制动，大气

压力的降低导致制动风机进气量减少，使其制动效果降低，膨胀机的转速随之升高，容易引起超速。膨胀机的超速不仅不能获得工况所需冷量，还会损毁膨胀机^[7]。

其次，透平膨胀机是制氧装备主要的制冷部件，透平膨胀机的制冷量 Q_0 计算公式^[7]为：

$$Q_0 = q_m \cdot \Delta h_s \eta \quad (2)$$

式中： q_m 为膨胀气体的质量流量； Δh_s 为单位质量膨胀气体在透平膨胀机中的等熵焓降； η 为透平膨胀机的等熵效率。

由于大气压力和空气密度都降低，导致螺杆压缩机的排气量降低，从而导致膨胀机制冷量减少。由于冷量是制氧的关键，膨胀机冷量的减少将降低氧气产量。

2.3 对氧气产量的影响

环境温度变化大，会使预冷机组出口的空气温度变化相应加大，从而引起进塔空气温度的波动，导致调整精馏塔气液平衡的难度增大^[8]，影响工况稳定，将直接影响氧的生产。与此同时，随着海拔的升高，氧含量不断降低。在海拔 4 km 处，空气中氧含量仅相当于海平面的 60%左右。在流量不增加的情况下，氧产量也将下降 40%左右。由于透平膨胀机无法提供足够的冷量，因此实际工作中，氧产量下降会超过 40%。

2.4 对散热能力的影响

风扇的散热能力根据热量计算公式为：

$$\phi = Q p C_p (t_0 - t_i) \quad (5)$$

式中： Q 为风扇风量，m³/h； p 为空气密度，kg/m³； C_p 为空气比热容，J/(kg·K)； t_0 为风扇出口空气温度，K； t_i 为风扇入口空气温度，K。

由式(3)可知，空气密度及风扇风量对散热能力存在正相关的关系，海拔 4 km 时的空气密度下降 35%。根据式(3)，其他参数相同时，风扇散热能力也会下降 35%。虽然海拔增高，环境温度降低使风扇入口空气温度也随之降低，可部分补偿因海拔升高所引起的产品温升增加值，但是总的来说，降温效果仍然是下降的^[6,8]。

2.5 其他方面

由于高原环境的特殊性，导线等的绝缘强度降

低, 在海拔 5 km 以内, 每升高 1 km, 外绝缘强度降低 8%~13%^[9]。空气稀薄导致击穿电压相应的降低。空气介质灭弧开关的电器的灭弧性能降低, 通断能力下降, 直流电弧的燃弧时间延长^[10—11]。

3 对策措施

针对高原环境的特点, 采取相应的措施, 使制氧装备部件的选型、参数等更适合高原环境的特点, 对于提高制氧装备的高原工作能力具有重要意义。

3.1 确保供气压力和流量

制氧设备的原料是空气, 供气压力和流量是保证制氧顺利的两个最重要的前提^[12]。在高原环境下, 空压机的进气压力和质量流量会随着大气压力的降低而降低, 确保供气压力和流量符合要求是解决高原制氧问题的前提, 主要措施有:

1) 提高螺杆压缩机的压缩比。由于高原大气压力低, 压缩机进气压力偏低, 适当提高压缩比可以有效提高排气压力, 保证供气流量, 但压缩比的增加有一定的限制。

2) 加装增压器。增压器可以有效提高进气压力, 确保工况所需供气压力。这种方法简单实用, 不过需要做好设备的选型与匹配工作^[13]。

虽然两种方法都可以保证供气压力和流量, 但是压缩机压缩比有一定限制, 所以加装增压器更简单一点。不管是哪种方法, 都会增加功耗。

3.2 改造透平膨胀机

针对高原环境导致的透平膨胀机制动性能变差, 必须给以重视并认真解决。要解决这个问题, 首先要想办法增加制动压力, 具体做法如下:

1) 提高制动端的制动效率。由于风机轮除了可以压缩空气, 以吸收工作气体传给工作轮的能量, 还具有限制主轴转速的作用^[8], 所以对风机轮进行改造, 增大阻力可以有效提高制动效果。

2) 对膨胀机的配套管路进行重新设计, 尽量减少制动气体沿途的阻力, 让更多的制动气体进入制动端。同时对制动气进出阀重新设计, 扩大制动气的调节范围。

3) 适当改造透平膨胀机, 增加透平膨胀机的质量流量, 达到增加制冷量的目的。

透平膨胀机质量流量 q_m 计算公式为:

$$q_m = A_1 \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \frac{p_0}{v_0} \left[\left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (4)$$

式中: q_m 为膨胀气体的质量流量; A_1 为喷嘴横截面积; k 为绝热指数; p_0 为膨胀机进口压力; p_1 为膨胀机出口压力; v_0 为膨胀机进口处气体比热容。可见, 由于压缩比不易提高, 所以适当增加 A_1 喷嘴横截面积, 即可以达到增加质量流量的目的。

通过对透平膨胀机的改造, 可以有效提高其高原适应性, 有效提高制氧装备的高原工作性能

3.3 其他方面

1) 由于该装备主要以风冷降温为主, 所以为了改善高原环境下的工作特性, 可以对风扇叶片进行适当的调整或选用其他型号的风扇, 提高降温能力。

2) 高原环境对装备的电气特性有较大影响, 必须对电器特性加以改进。可以采取防电晕措施, 采用性能更好的材料与器件, 同时对于器件较密集的部位, 如电控柜可以按表 2 适当对空隙进行调整^[14]。

表 2 电控柜间隙修正系数

Table 2 Correction coefficient of electric control cabinet

海拔高/km	0	1	2	3	4	5
气压/kPa	101.3	90.0	79.5	70.1	61.7	54.0
修正系数	1.00	1.13	1.27	1.45	1.64	1.88

同时, 由于高原缺氧会导致人反映变慢^[16], 难免会出错, 所以应对重要的部件或操作设置纠错设计, 防止由于错误的操作影响制氧过程甚至损坏制氧设备。

4 结语

高原的特殊环境对航空制氧设备的正常工作具有较大的影响, 这里主要分析了高原环境的特点以及对制氧装备的各个部件的影响, 并提出了具体的解决方法, 对于提高航空制氧装备的高原适应性具有一定的指导意义。

参考文献:

[1] 雷金果, 黄昌华. 制氧制氮设备运行[M]. 徐州: 徐州空军学院, 2009: 45—48.

LEI Jin-guo, HUANG Chang-hua. The Running of Oxy-

- gen and Nitrogen Equipment[M]. Xuzhou: Xuzhou Airforce College, 2009: 45—48.
- [2] 石梅生, 赵开利, 陈德瑞. 高原高效医用制氧机的研制[J]. 医疗卫生装备, 2010, 31(8): 24—26.
SHI Mei-sheng, ZHAO Kai-li, CHEN De-rui. Development of Medical Oxygen Generator with High Efficiency Applied in Plateau Areas[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2010, 31(8): 24—26.
- [3] 石梅生, 刘晓军, 马军, 等. 高原制供氧技术与装备一体化解决方案[J]. 军事医学, 2014, 38(9): 699—703.
SHI Mei-sheng, LIU Xiao-jun, MA Jun. Equipment and Technology Package for Oxygen Preparation and Supply on the Plateau[J]. Military Medical Science, 2014, 38(9): 699—703.
- [4] 周广猛, 刘瑞林, 许翔, 等. 高原环境对车辆动力性的影响及动力提升措施[J]. 装备环境工程, 2014, 11(3): 45—51.
ZHOU Guang-meng, LIU Rui-lin, XU Xiang. Effects of Plateau Environment on Power Performance of Vehicles and Measures to Improve Power Performance in Plateau[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(3): 45—51.
- [5] 胡连桃, 冯仁斌. 航空四站保障学[M]. 徐州: 徐州空军学院, 2011: 51—68.
HU Lian-tao, FENG Ren-bin. Study on Aviation Support of No.4 Station[M]. Xuzhou: Xuzhou Airforce College, 2011: 51—68.
- [6] 胡连桃, 魏东涛, 罗广旭. 高原环境下航空地面制氧设备的技术选择及改进措施[J]. 装备环境工程, 2012, 9(4): 88—91.
HU Lian-tao, WEI Dong-tao, LUO Guang-xu. Technology Selection of Aviation Oxygen Equipment for Plateau Environment and Improvement Measures[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(4): 88—91.
- [7] 黄昌华, 张强. 低温机械[M]. 徐州: 空军勤务学院, 2014: 110—125.
HUANG Chang-hua, ZHANG Qiang. Low Temperature Machinery [M]. Xuzhou: Air Force Logistics College, 2014: 110—125.
- [8] 高阳, 胡杰, 胡连桃. 高原环境对航空保障装备的影响分析及对策研究[J]. 环境技术, 2013(5): 35—41.
GAO Yang, HU Jie, HU Lian-tao. The Analysis of the Impact on Aviation Support Equipment of Plateau Environment and the Countermeasure Research[J]. Environmental Technology, 2013(5): 35—41.
- [9] 石梅生, 高振海, 马军. 高原高寒环境制氧机组关键问题探讨[J]. 医疗卫生装备, 2013, 34(10): 92—97.
SHI Mei-sheng, GAO Zhen-hai, MA Jun. Key Issues of Oxygen Generating Unit in Plateau Hypothermia Environment[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2013, 34(10): 92—97.
- [10] 王晋根. 高海拔对高低压电器性能影响的探讨[J]. 高压电器技术信息, 2005, 1(4): 33—36.
WANG Jin-gen. Research on the Effects of High Altitude on High and Low Voltage Electrical Appliances[J]. High Voltage Electrical Technology, 2005, 1(4): 33—36.
- [11] 李德龙. 高原型气候对电气设备的影响[J]. 青海大学学报, 2009, 27(4): 71—74.
LI De-long. The Influence of Plateau Climate on Electrical Equipment[J]. Journal of Qinghai University, 2009, 27(4): 71—74.
- [12] 张西洲. 高原供氧研究进展[J]. 高原医学杂志, 2010, 20(1): 105—110.
ZHANG Xi-zhou. Research Progress of High Altitude Oxygen Supply[J]. Journal of High Altitude Medicine, 2010, 20(1): 105—110.
- [13] 赵徐成, 马俊伟, 朱逸天, 等. 保障装备高原环境适应性研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(5): 27—31.
ZHAO Xu-cheng, MA Jun-wei, ZHU Yi-tian. Research on Plateau Environment Worthiness of Support Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(5): 27—31.
- [14] 徐富良. 高海拔电气设备外绝缘校正系数探讨[J]. 电气时代, 2012(8): 86—89.
XU Fu-liang. Research of Electrical Equipment's Insulation Correction Coefficient in High Altitude Areas[J]. Electrical Era, 2012(8): 86—89.
- [15] 谢国政, 赵荣浩, 赵磊, 等. 低压电器高原环境适应性技术研发平台建设研究[J]. 环境技术, 2012, 37(1): 32—36.
XIE Guo-zheng, ZHAO Rong-hao, ZHAO Lei, et al. Research on Construction of Plateau Environment Adaptation Technology R&D Platform for Low-voltage Electrical Apparatus[J]. Environmental Technology, 2012, 37(1): 32—36.
- [16] 柳茵, 丁绍祥. 高原缺氧对人体损伤机制及防治研究进展[J]. 西部医学, 2013, 25(3): 321—324.
LIU Yin, DING Shao-xiang. The Mechanism of Plateau Hypoxia Injury on Human Body[J]. Medical Journal of West China, 2013, 25(3): 321—324.