

# 高原环境下航空地面制氧设备的技术选择及改进措施

胡连桃, 魏东涛, 罗广旭

(空军勤务学院, 江苏 徐州 221000)

**摘要:** 针对西北高原地区航空用氧量的急剧增加, 分析比较了深冷法、变压吸附法和膜分离法三种制氧技术的特点, 认为深冷法制氧技术更适用于高原地区。同时以航空兵部队配备的某型航空制氧设备为例, 分析了高原环境对该制氧设备各主要部件的影响, 提出了使设备适应高原环境的主要改进措施。

**关键词:** 制氧技术; 深冷法; 高原; 改进措施

**中图分类号:** TQ116.14      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2012)04-0088-04

## Technology Selection of Aviation Oxygen Equipment for Plateau Environment and Improvement Measures

HU Lian-tao, WEI Dong-tao, LUO Guang-xu

(College of the Air Force Service, Xuzhou 221000, China)

**Abstract:** Aviation oxygen consumption increased dramatically in the northwest plateau. The characteristics of different oxygen technologies were analyzed and compared, such as cryogenic method, pressure swing adsorption method, and film separation method. It was considered cryogenic method is more suitable for use in plateau. The influence of plateau environment on the oxygen equipment was analyzed by taking one type of oxygen equipment used in aviation force as an example. Environmental worthiness improvement measures of the oxygen equipment in plateau were put forward.

**Key words:** oxygen technology; cryogenic method; plateau; improvement measures

随着我国周边形势的变化和我军主要潜在作战方向的转变, 以及高原作战能力的提升需要, 飞机进入高原机场甚至是无保障能力的高原民用机场的机会将会增多。因此, 航空兵部队对氧气的需求量急剧增加。氧气主要保证飞行员(空勤人员)在4000 m高度以上飞行时和跳伞后的呼吸用氧, 以及飞机发

动机空中停车启动补氧需要。现代飞机都配有机载氧气系统和贮氧瓶, 氧气系统所需的氧气(或液氧)主要由地面制氧制氮设备生产<sup>[1]</sup>。

西北高原地区海拔大部分都在3000 m以上, 大气含氧浓度比平原地区正常含氧浓度要低, 例如青藏高原大气中氧气的体积分数只有12.6% ~

收稿日期: 2012-03-18

作者简介: 胡连桃(1956—), 男, 浙江杭州人, 教授, 主要研究方向为航空四站保障装备与勤务。

13.6%,平均气压只有海平面的60%~70%。我国目前的航空制氧设备只适用于海拔2000 m以下的地区。在高原环境中,海拔高、大气压力下降、氧气含量明显下降以及环境温差变化大<sup>[2]</sup>等会极大地影响制氧设备的正常使用。为满足高原地区的航空兵部队用氧需求,对比分析了目前比较成熟的制氧技术,并针对高原环境下提高制氧设备运行的可靠性及氧气生产水平,提出了一些对策,对提高航空地面制氧设备性能和保障飞行氧气需求具有重要的现实意义。

## 1 制氧技术的发展现状

### 1.1 三种主要制氧技术

目前,国内外主要采用深冷法、变压吸附法和膜分离法制取氧气。三种制氧技术都是以空气为原料,依据空气各组份物理、化学性质的差异来获得氧气,但它们的原理、方法及所用装置不同,具有各自的特点。

深冷法制氧是一种传统的制氧方法,它是将空气经过压缩、净化,再利用热交换使空气液化成液

空。液空主要是液氧和液氮的混合物,利用液氧和液氮的沸点不同(在1个大气压下,前者的沸点为-183℃,后者的为-196℃),通过精馏使它们分离,从而获得氧气。

变压吸附法(Pressure Swing Adsorption,简称PSA)是以碳分子筛作为吸附剂,根据吸附剂对空气中氧、氮等不同气体在吸附量、吸附力、吸附速度等方面的差异,吸附氮气、二氧化碳、水蒸气等气体,并从中分离氧气,然后在降压条件下脱附各种组分,实现吸附剂的再生。

膜分离法是应用扩散原理,将空气经空气压缩机,通过净化系统清除有害杂质后,进入膜分离器,压缩空气在膜两侧压力差的作用下,渗透速率相对快的氧气透过膜后,在膜的渗透侧富集,引出后为氧气产品,而渗透率相对慢的氮气滞留在膜的另一侧,富集后为氮气产品,从而达到空气分离的目的。不过,由于无机膜技术发展的限制,膜分离器在化学稳定性、机械性和耐高温性方面需进一步改进。

### 1.2 三种制氧技术对比分析

总的来说,三种制氧技术都有着各自的优点和不足,其性能和特点的对比见表1。

表1 三种制氧技术的对比分析

Tab. 1 Comparative analysis of three oxygen making technologies

对比项目	深冷法	变压吸附法	膜分离法
流程复杂性	复杂,前处理工艺多	复杂,前处理要求严格,产品氧气需再过滤、提纯	简单,前处理简单,产品氧气需进一步处理、提纯
投资	大	中等	较小
占地面积	大	中等	小
操作要求	操作人员需办理特种作业证	无特殊要求,开机后可无人看管	无特殊要求,开机后可无人看管
产成品气时间	一般7 h以上	一般20 min	一般10 min
产品纯度	99.6%以上	93%	40%
调节性	可调	可调	可调
氧气产量	50~10 000 m <sup>3</sup> /h	100~10 000 m <sup>3</sup> /h	>100 m <sup>3</sup> /h
压力	0.02~0.50 MPa	0.02~0.50 MPa	0.1 MPa
维修量	定期维护,需专门的维修力量	切换阀门多,动作频繁,有一定故障率和维修量	无活动部件,很少维修、保养,但膜易老化,难修复
介质寿命	较长,定期更换	分子筛粉化现象多	与膜的质量密切相关
使用范围	提取氧气、氮气、液氧、液氮等	只能提取单一气体	只能提取单一气体
机械噪声	运动噪声较大	由于电磁阀门多且切换频繁,运动噪声较大	静态分离,膜系统几乎无噪声

由表1可以看出,深冷法制氧适用范围广,过程较为复杂,氧气产量较大且纯度高,设备运行周期较长,可以提供液氧、液氮、气氧、气氮4种产品,可为航空兵部队提供保障。变压吸附法和膜分离法制氧过程简单、操作维护方便,但是两者对大气环境要求较高,而且产品的纯度无法达到航空呼吸用氧的纯度要求(GB 8983—98《航空呼吸用氧》规定地面供应的氧气质量必须符合:氧气纯度 $\geq 99.5\%$ ,不得含有 $100\ \mu\text{m}$ 的固体物质颗粒),因此无法单独作为航空兵部队制取氧气的方法,只能与深冷法组成联合制氧技术。国内目前的联合制氧技术还不成熟,仍处于摸索试验阶段。综合比较,深冷法制氧技术在高原地区具有广阔的应用前景。

## 2 高原地区环境对制氧设备的影响

在高原地区,由于海拔升高,大气参数较平原地区有较大变化,加之温差变化大,紫外线辐射强烈<sup>[1]</sup>等因素,深冷法制氧设备的正常工作受到较大影响。文中以航空兵部队配备的某型航空制氧设备为例,分析高原环境对制氧设备的诸多影响。该设备采用深冷法技术可以制取氧气(液氧)等多种产品,由空气滤清器、空压机、预冷机组、透平膨胀机、换热器、精馏塔、分子筛等部分组成,在平原地区创造出了较大的军事经济效益。

### 2.1 对空气滤清器的影响

空气滤清器密封件在高原环境中使用时,低温环境使其易老化,低气压条件使其易疲劳、爆裂,强紫外线使橡胶管件易龟裂老化,因此损耗量比平原地区增加2~3倍。加之高原地区风沙大、风速大、细小浮尘多,使空气滤清器进气阻力变大,滤清效果变差,直接影响分子筛的吸附再生过程,增加了制氧设备的开机时间。

### 2.2 对空压机性能的影响

空压机的排气量是按一定的海拔高度及吸气温度、湿度设计的。高原环境下,受压缩比的限制,空压机的排气压力会相应降低,导致压缩气体容积流量明显减少,单位功耗随之增加<sup>[4]</sup>。低温环境下,空压机的润滑油黏度增大,各摩擦部位之间的阻力加大,使得

配件的损耗量增加。与此同时,润滑油黏度增加,表面张力增大,还会导致空压机的换热能力下降。

### 2.3 对透平膨胀机性能的影响

1) 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的进气量减少,使其制动效果降低,膨胀机的转速随之升高,因此在高原工作时有可能超速<sup>[5]</sup>。

2) 膨胀机的轴承气是空压机的排气通过减压器减压后提供的,由于空压机排气压力降低,减压后,轴承气压力会相应下降,有可能满足不了膨胀机的使用要求。

### 2.4 对氧气气量的影响

环境温度变化大,会使预冷机组出口的空气温度变化相应增大,从而引起进塔空气的温度波动,影响工况稳定,导致调整精馏塔气液平衡的难度增大。据测量,开机时间较平原地区增加2~3 h,氧气产量指标较平原地区约下降20%~40%。

### 2.5 对电气元件散热效果的影响

该型制氧设备的电器大部分通过空气散热,高原地区空气密度小,散热风扇的体积流量不变,但质量流量却大大降低,因此冷却效果变差,可能会引起电器局部过热。此外,由于海拔升高,空气密度降低,电器绝缘强度降低,外绝缘表面及不同电位的带电间隙比较容易被击穿,影响用电安全。

## 3 提高制氧设备高原环境适应能力的主要措施

在高原地区采用深冷法制取氧气,虽然受高原环境的影响很大,但只要根据环境特点和制氧设备性能,采取适当的措施,可以顺利完成高原地区的飞行氧气保障任务,主要措施如下。

1) 使用高原专用型空气滤清器,并在滤清器上安装堵塞报警指示器,对滤清器性能进行监控,并及时维护和保养。针对高原风沙大、细小灰尘多的特点,可以在空气滤清器入口处设置一道流通面积大、可拆洗、耐腐蚀的过滤装置,主要采取直接捕捉、惯性碰撞、布朗运动与阻塞相结合的方法,尽量减小入

口的空气阻力,提高空气的净化效果。

2) 根据当地大气压力,调整空压机的自动升压和卸载压力,但调整后的最大压缩比不能超过设计规定值,保证空气压缩机不受损坏。如果当地的大气压力过低,在压缩比最大承受能力下仍不能满足建立工况的要求,则需另用增压装置对空压机进行预增压,增加进气压力,保证空压机排气压力和气量能维持制氧设备的正常工作。

3) 防止透平膨胀机超速运转。为保证膨胀机运转时不超过最高转速,应及时增加制动风机的空气进气量。另外,在启动膨胀机前要检查轴承气压力是否在规定范围内,否则要调整减压阀,使轴承气压力达到工作要求。

4) 调节设备元器件温度。根据环境温度变化,控制精馏工况冷量平衡,包括采用调整膨胀机转速、开停预冷机组等措施,控制进分馏塔的空气量。当环境温度高,设备长时间运行时,为保证电控箱的正常工作,应在大功率的电器设备附近配置电风扇,及时通过车载空调来调节操作室内的温度,加速空气的流通,以增加散热效果。

5) 注意润滑油的选择。在低温条件下应选择适用于高原低温环境下的润滑油<sup>[4]</sup>,减小对压缩机的不利影响,保证低温条件下良好的润滑性能。同时,润滑油要具有凝点低、抗腐、防锈特性,保证在高温

条件下也能正常使用。

## 4 结语

经过分析三种主要制氧技术的优缺点,以及高原特殊环境对深冷法制氧设备产生的影响,认为高原制氧设备仍然应该选择深冷法制氧技术,只要适当调整制氧设备相关部件,采取相应技术措施,深冷法制氧设备就能适应高原环境特点,顺利完成航空用氧的生产与保障,提高完成高原飞行保障任务的能力。此研究也为飞行训练所需氧气保障装备的更新换代与装备建设发展提供了参考和依据。

### 参考文献:

- [1] 胡连桃. 航空四站保障学[M]. 徐州:徐州空军学院,2007.
- [2] 许翔,周广猛,郑智,等. 高原环境对保障装备的影响及适应性研究[J]. 装备环境工程,2010,7(5):100—103.
- [3] 雷金果,胡连桃. 气体压充技术与设备[M]. 徐州:黄河出版社,2000.
- [4] 王峰,陈连善. KL-15A型制氧制氮车高原试车[J]. 深冷技术,2006(2):31—32.
- [5] 朱学军,郭彤. 高原环境对小型医用制氧机性能的影响[J]. 医疗装备,2001(3):7—8.

(上接第73页)

铬镀层中存在微裂纹,除氢后,微裂纹增多。

2) 采用518封孔剂处理后的硬铬镀层,气密性可满足“20 MPa,30 min气密性试验,铬层不出现渗漏气泡”的要求。

3) 采用518封孔剂对硬铬镀层封孔,封孔剂可进入到镀层20~30 μm深度。

4) 518封孔剂具有较好的耐液压油性能。

### 参考文献:

- [1] 张允城,胡如南,向荣. 电镀手册[M]. 北京:国防工业出版社,1997:363—409.

社,1997:363—409.

- [2] 刘佑厚,苏育龙,王宇. 镀铬层气密性研究[J]. 材料保护,2002,35(1):19—20.
- [3] SAIDDINGTON J C,HOEY G R. Crack-free Chromium from Conventional Plating Baths[J]. Plating,1974,61(10):923—930.
- [4] WILSON B A,TURLY D M. Development and Characteristics of Crack-free Chromium Coating Produced by Electrop-lating[J]. Trans IMF,1989,67:104—108.
- [5] 蒲滕,奚愚生,欧忠文,等. 深管零件内壁专用镀铬添加剂性能研究[J]. 表面技术,2012,41(2):35—37.