

文章编号: 1004-7204(2003)05-0004-04

空气制冷在温度-高度试验设备中的应用

王保贵, 王云龙

(北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094)

摘要: 结合温度-高度试验设备指标要求, 文章对蒸汽压缩式制冷和空气制冷进行了分析比较, 选择空气制冷作为设备的制冷方式; 并对设备组成结构、气流循环方式、空气制冷流程和设备参数确定等进行分析说明。

关键词: 空气制冷; 制冷流程; 温压舱; 制冷量

中图分类号: TB61+4

文献标识码: B

1 引言

低气压及温度-高度(即温度-低气压)环境会对空中或高原环境条件下贮存和使用的装备产生很大的影响, 诸如: 装备过热、密封失效、电弧或电晕放电造成装备故障或工作不稳定等多种环境效应。因此, 对空中和高海拔地区使用的装备开展低气压试验和低温低气压试验, 对提高装备的环境适应性和工作可靠性有着非常重要的意义。

为满足试验需要, 需要建设一套温度-高度试验设备。此试验设备具有试验箱容积大、低温温度低(-82℃)、满载温度变化速率快(5℃/min)、热负载重、低真空、温度-高度环境下有温度均匀性要求等特点。如何建设温度-高度试验设备? 设备采用何种制冷方式更为合适? 制冷流程和制冷量的确定都是在建设设备之前需要解决的主要问题。文章就这几方面进行了论述说明。

2 设备组成

温度-高度试验设备由温压舱、制冷系统、真空系统、加热系统、控制系统等设备组成。其设备组成图如图1所示。温压舱是试验时的工作空间; 制冷系统、加热系统、真空系统分别提供要求的温度和低气压环境; 控制系统完成对设备和试验过程的控制和测量。

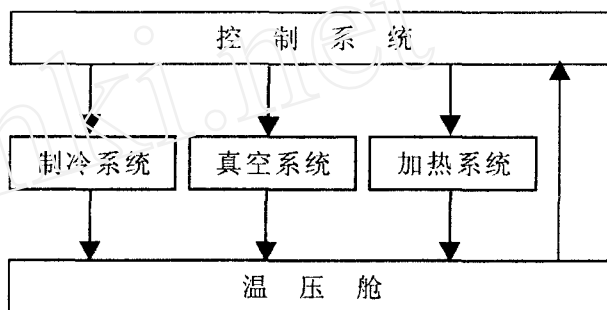


图1 温度-高度试验设备组成图

3 制冷方式的选择

低温环境试验设备常采用的制冷方式有: 蒸汽压缩机制冷、空气制冷和液氮冷却。

液氮冷却是利用液氮沸点极低(常压下沸点为-196℃)的特点, 采用液氮为冷源, 通过低温换热器来冷却空气, 使室温下降。这种冷却方式具有很好的降温性能, 降温速率快, 但其投资成本和能耗太大, 并且液氮制取、输送、贮存等都很复杂。因此低温环境试验设备一般不用液氮冷却作为主要的制冷方法。对于短时间需要大冷量, 使用次数又不多的特殊场合, 可以考虑采用液氮作为辅助冷源。

低温环境试验设备制冷方式通常采用蒸汽压缩式制冷或空气制冷。两者制冷方式各有特点, 适用场合不尽相同。蒸汽压缩式制冷和空气制冷的比较如表1所示。

收稿日期: 2003-07-10

作者简介: 王保贵(1971-), 男, 山西, 工程师, 硕士, 常规兵器测试。

表1 蒸汽压缩式制冷与空气制冷的比较

	蒸汽压缩式制冷	空气制冷
制冷机理	通过制冷剂在蒸发器中直接蒸发制冷,或通过中间液体介质传输冷量,使室内空气温度下降 制冷剂:氟利昂(如 R404A、R23 等)	利用低温气流直接或间接吸收室内热量,本身升温而产生制冷量使室内温度下降 制冷剂:空气
优点	1. 高于 -50°C 的范围内,单位耗电量的制冷量较大 2. 制冷管道占用的空间较小 3. 对于小型低温设备,设备紧凑,制冷效率高	1. 在较低温度下制冷系数高,易于获得较低温度,调温范围宽 2. 对设备泄露不敏感,小的漏气对制冷性能影响不大,制冷性能比较稳定 3. 操作维护简单方便,运行费用低 4. 制冷剂为空气,对环境无任何危害 5. 一套设备可供多处不同时用冷使用
缺点	1. 较低温度时,单位产冷量的能耗大,低温性能发展余地小 2. 制冷剂易漏,使用时间较长时,性能下降 3. 使用操作和维护的工作量大,运行费用高 4. 氟利昂制冷剂污染环境,对大气臭氧层有破坏作用,需要妥善解决制冷剂的运输、储存及安全等问题	1. 在较高的使用温度下工作时单位耗电量的制冷量明显低于蒸汽压缩式制冷 2. 涡轮膨胀机对空气的干燥度要求较高 3. 涡轮机组噪音较大
利用情况	在空调、冷库以及中小型环境试验设备中得到广泛应用	在国内多项大中型环境试验设备中得到应用

由表1分析比较可以看出,对于低温要求不是很低和长时间稳态运行的场合或小型低温环境设备,采用蒸汽压缩式制冷具有其优越性;而对于大中型低温环境设备,工况复杂,有降温时间要求,并且低温要求低,尤其是低温要求在 -70°C 以下的情况,空气制冷是较好的一种选择。

由于本设备规模较大,低温要求很低(-82°C),降温速率要求快。因此,选择空气制冷作为制冷系统的制冷方式。

4 温压舱结构和气流循环方式的确定

温压舱用于为试验提供低温、高温、低气压及其综合试验环境。温压舱结构应方便设备的制冷、加热和抽真空,并保证低温以及低温低气压条件下的均匀性要求。因此,需要对温压舱结构、气流流通方式等进行精心的设计。充分考虑温压舱的特点和指标要求,确定温压舱结构如下(温压舱结构示意图如图2所示):

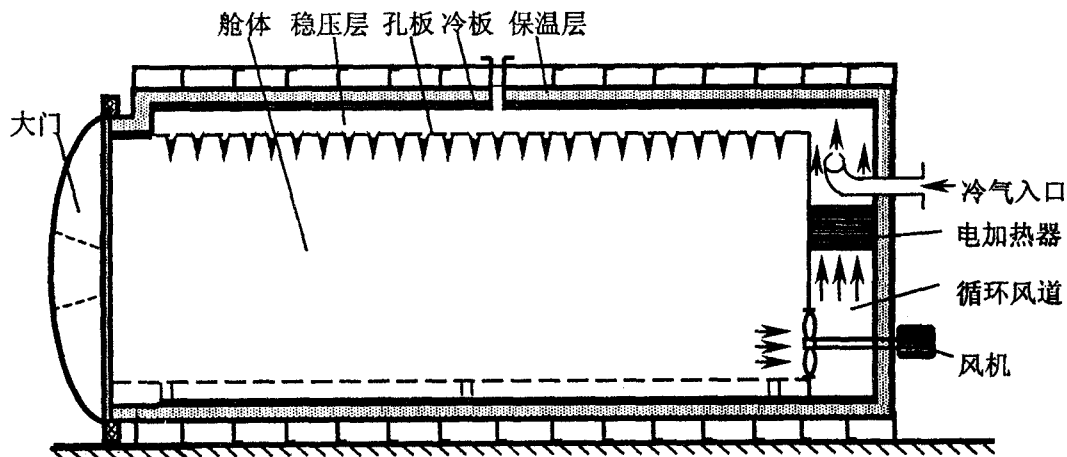


图2 温压舱结构示意图

a. 为减小舱体承压带来的热负荷,温压舱采用内保温外承压式箱体结构;

b. 在距顶壁一定高度装全面孔板(布置一系列小孔),全面孔板与顶壁形成稳压层,实现气流的均流;

c. 舱前端为大门,门上设有观察窗,大门和观察窗设计要满足低气压下工作要求;

d. 舱后端设置循环风道、循环风机、电加热器和冷气入口;

e. 为保证低气压条件下的低温、高温的调节,舱内壁加装冷板,冷板上均匀布置加热垫和冷管。加热垫用于低气压下高温温度的调节;低气压条件下,冷空气通过转换装置送入冷管,从而实现低气压下低温的调节。

由于全面孔板送风方式具有气流混合快混合好、气流均匀平行扩散、温差和风速衰减快的优点,从而使工作区温度和气流速度分布更加均匀。因此温压舱气流循环方式采用全面孔板送风方式,其气流循环过程为:风机抽吸的舱内气流,和制冷系统或电加热器产生冷空气或热空气混合,再沿循环风道进入稳压层使气流均流均压后送入舱内。

5 空气制冷的循环原理及流程确定

5.1 空气制冷循环原理

空气制冷是按照逆向布赖顿(Braton)循环工作的(逆向布赖顿循环温熵图如图3所示)。循环由四个基本热力过程组成:等压吸热(4-1)、等熵压缩(1-2)、等压排热(2-3)和等熵膨胀(3-4),分别在用冷装置、气体压缩机、冷却器和气体膨胀机中完成。

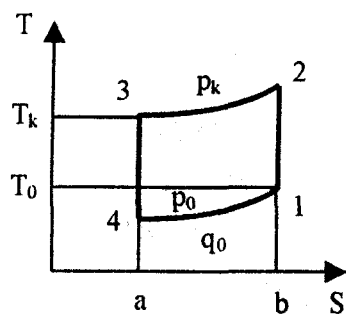


图3 逆向布赖顿循环温熵图

在循环中,作为制冷剂的空气只有状态变化,而不发生相变,在用冷装置中吸热及制冷机中制取冷量靠空气温度的升高和降低完成。

5.2 空气制冷流程确定

空气制冷系统分为气源和制冷两部分。气源部分包括空压机组、后冷却器、干燥塔、水分离器等;制冷部分包括涡轮机组、回冷器、水冷器、过滤器等。

空气制冷系统按回气冷量利用情况可分为:回冷式和无回冷式。由于回冷式流程能量利用率高,可使制冷系统达到很低的供气温度,且热源温度变化对制冷系数影响较小,所以通常采用回冷式流程。

空气制冷系统按制冷流程可分为:风扇式、逆升压式、正升压式三种。三者最大差别在于涡轮膨胀功的利用情况不同。其中,风扇式制冷方式虽然结构简单,但风扇将膨胀功传给周围空气中,功率没有回收利用,能量利用率低,设备容量和能耗大;逆升压式制冷方式是利用膨胀功来抽吸环境箱的回气,以提高空压机的吸气压力。逆升压式制冷系数高于风扇式,但不容易保持舱内压力,调节性能差;正升压式制冷方式是用涡轮膨胀机二次压缩,提高涡轮的膨胀比,加大涡轮机的温降,提高制冷能力。

由于正升压式制冷方式有制冷系数高,调节性能好,制冷性能稳定,启停以及调节过程平稳,装机电量、运行能耗和设备投资较少等优点,本系统采用正升压式制冷系统。

温压舱空气正升压式制冷系统基本流程图如图4所示。

6 制冷量的计算

制冷量的大小直接关系到整个制冷系统制冷设备的参数确定和选择、设备成本和运行能耗、费用等。因此,确定制冷系统首先要确定系统所需制冷量。

6.1 制冷量的计算

本系统冷负荷主要包括:试件 Q_1 、冷板 Q_2 、全面孔板 Q_3 、保温层 Q_4 、循环风道 Q_5 、照明和风机做功发热量 Q_6 等。

制冷量计算公式如下:

$$Q = \sum_{i=1}^6 Q_i = \sum_{i=1}^5 c_i m_i \Delta t + Q_6 \quad (1)$$

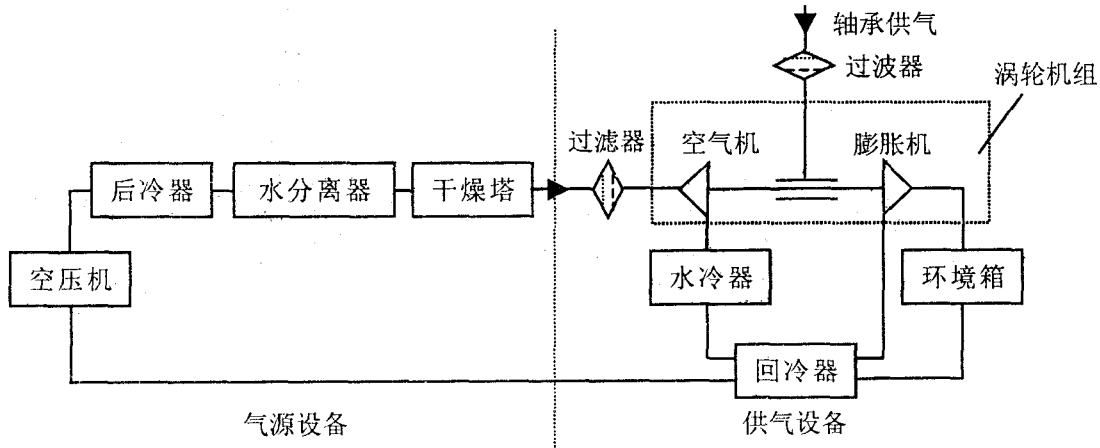


图4 温压舱空气制冷基本流程图

式中：

Q —总的制冷量

Q_i —第 i 项冷负荷制冷量

c_i —第 i 项冷负荷的比热

m_i —第 i 项冷负荷的质量

Δt —温度差 Q_0 —照明和风机做功发热量，与照明灯、风机电机功率以及作用时间有关

6.2 空气质量流量的计算

涡轮增压机的选择通常依据空气质量流量而定，因此必须计算出空气质量流量值。空气制冷设备的制冷量与其空气质量流量成正比。其函数关系式为：

$$G_a \tau = A \frac{Q}{q_0 - q_{en}} \ln \left(\frac{q_0}{q_{en}} \right) \quad (2)$$

式中：

G_a —空气制冷设备的空气质量流量，kg/h

τ —要求的降温时间，h

A —与降温速率有关的系数，在 0.6~1.0 范围内

Q —冷负荷，kcal

q_0, q_{en} —初、终温时空气制冷设备的单位制冷量，kcal/kg

空气制冷设备单位制冷量计算公式：

$$q = c_p \left[T_{ei} \left(1 - \frac{1}{\pi_e^{0.286}} \right) \eta_e - (T_{hi} - T_d) (1 - \eta_h) \right] \quad (3)$$

式中：

$$T_{ei} = T_{hi} - (T_{hi} - T_d) \eta_h$$

q —单位制冷量，kcal/kg

T_{ei}, π_e, η_e —膨胀涡轮进口温度(K)、膨胀比和热效率

T_{hi}, η_h —回冷换热器进口温度(K)、传热效率

T_d —温压舱温度

由式(1)、式(2)和式(3)可计算出空气质量流量 G_a ，依据空气质量流量确定涡轮增压机的参数，从而进一步确定出其它供气设备和气源设备的参数。

7 结束语

空气制冷在较大容积温度-高度试验设备中的应用，充分发挥了空气制冷低温制冷系数高、制冷性能比较稳定、对设备小的漏气不敏感、操作维护简单方便、运行费用低、空气作为制冷介质不存在对环境的污染等诸多的优点，实现了较低低温（-82℃）和快速降温的指标要求。空气制冷在本设备中的成功利用，对于类似设备规模大、低温要求低的低温试验设备和综合试验设备，具有较高的推广应用的价值。

参考文献：

- [1] 国家军用标准 GJB150-86, 军用设备环境试验方法[S]. 北京: 总装备部, 1986
- [2] MIL-STD-810F, 环境工程考虑和实验室试验[S]. 北京: 中国航空第三零一研究所, 2000
- [3] 王浚, 黄本诚, 万才大. 环境模拟技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996