

# 超导波荡器热负荷测试装置超高真空系统

李 炜, 许皆平, 崔 剑, 李 明, 张正臣  
(中国科学院上海应用物理研究所, 上海 201204)

**摘要:** 介绍了超导波荡器热负荷测试装置超高真空系统的设计、调试。通过离子泵、吸气剂泵以及系统低温冷凝面的联合抽气作用, 使系统在常温下获得  $7.8 \times 10^{-8}$  Pa 的真空度, 在低温下能够获得  $1.7 \times 10^{-8}$  Pa 的真空度, 满足光源储存环真空系统  $1.3 \times 10^{-7}$  Pa 的真空度要求。

**关键词:** 超导波荡器; 超高真空; 低温抽气; 束流热负荷

中图分类号: TB75

文献标志码: A

文章编号: 1006-7086(2014)02-0167-03

DOI: 10.3969/j.issn.1006-7086.2014.03.010

## UHV SYSTEM OF THE HEAT LOAD TESTING DEVICE FOR SCU

LI Wei, XU Jie-ping, CUI Jian, LI Ming, ZHANG Zheng-chen  
(Shanghai Institute of Applied Physics, CAS, Shanghai 201204, China)

**Abstract:** Design and fabrication of the UHV system of the heat load testing device for SCU are introduced. The ion pump, NEG pump and cryogenic condensation surface are used to reduce the system pressure. The device can reach the pressure of  $7.8 \times 10^{-8}$  Pa at the room temperature and  $1.7 \times 10^{-8}$  Pa at the low temperature. The demand of the storage ring vacuum system for SSRF can be met.

**Key words:** SCU; UHV; cryogenic pumping; beam heat load

## 0 引言

超导波荡器(SCU)具有周期短、磁间隙小、磁场强度高和极化方式调节方便等优点。将超导波荡器和同步辐射光源结合,可产生高强度和高亮度的  $x$  射线,开展生物分子结构测定、癌症早期诊断及治疗等,极大地提升同步辐射光源的综合研究能力。目前国外很多同步辐射机构正在开展超导波荡器的样机研制,但是在研制过程中遇到很多困难,其中一个关键的问题是束流产生的热负荷不能准确估算,以至于无法确定选择何种形式的超导波荡器低温冷却方式。超导波荡器热负荷测试装置就是用实验的方法较准确的测量出束流产生的热负荷,为超导波荡器低温系统的研制提供依据。由于超导波荡器热负荷测试装置最终安装在光源储存环真空系统一段直线节上,所以,超导波荡器热负荷测试装置同时必须是超高真空

系统,必须满足光源储存环真空系统的要求。

## 1 超高真空系统技术指标

光源储存环真空系统对超导波荡器热负荷测试装置超高真空系统提出的技术指标是:常温下真空系统压力  $\leq 1.3 \times 10^{-7}$  Pa;

## 2 热负荷测试装置超高真空系统

热负荷测试装置如图1所示,主要由低温系统、超高真空系统、机械支撑系统、测量控制系统所组成。通过使用温度计和加热器,采用热对抗法来测量束流经过时所引起的热负荷。超高真空系统是热负荷测试装置不可或缺的工作环境,是关键系统之一,超高真空系统的好坏直接影响光源的运行稳定和束流寿命的长短。

超高真空系统如图2所示包括UHV真空室、低

收稿日期:2014-03-10

基金项目:国家自然科学基金(11275254)资助

作者简介:李炜(1968-),男,上海市人,高级工程师,主要从事加速器低温、真空系统研究。

E-mail: liwei@sinap.ac.cn

温脉冲管制冷机、50 K 低温吸附冷屏、400 L 离子泵、SAES D400-2 吸气剂泵、四极质谱计、UHV-24 规管等组件。

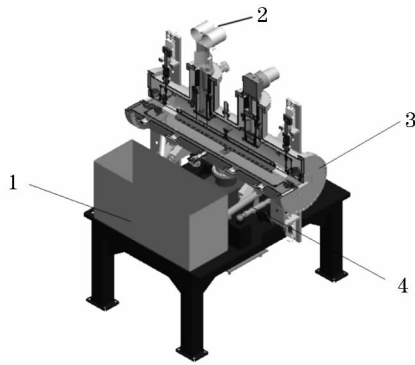


图1 热负荷测试装置

1. 测量控制系统; 2. 低温系统; 3. 超高真空系统; 4. 机械支撑系统

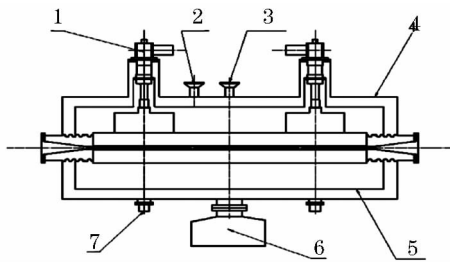


图2 热负荷测试装置超高真空系统示意图

1. 低温制冷机; 2. 四极质谱计; 3. UHV 规管; 4. 真空室;  
5. 50 K 冷屏; 6. 400 L/S 离子泵; 7. 吸气剂泵

### 2.1 常温下超高真空获得

初次进行超高真空调试时,使用1台400 L/s的离子泵作为主泵,离子泵以无油、无震动、极限真空高的优点,广泛应用于加速器真空系统中。在常温下热负荷测试装置超高真空系统的主要气载是真空室内壁及真空室内部件内外表面的热脱附气载,包括真空室内表面、50 K冷屏内外表面等。对以上项目进行统计计算得:不锈钢真空室内表面积 $A_{SS} = 2.65 \text{ m}^2$ ; 50 K冷屏的表面积 $A_{OFHC} = 3.48 \text{ m}^2$ ,常温下不锈钢和无氧铜的表面出气率<sup>[2-3]</sup>分别取 $2.76 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{L/s} \cdot \text{cm}^2$ 和 $9.04 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{L/s} \cdot \text{cm}^2$ ;总气载 $Q = 3.88 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ ;要获得 $1.3 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ 的极限真空,需要离子泵的有效抽速是298 L/s,从计算结果来看,一台400 L/s离子泵勉强够用但冗余太小。常温下(制冷机关闭)对真空系统进行极限真空调试。对于烘烤温度的选择,通常情况,超高真空系统的烘烤温度是200~250℃,但对本系统由于有50 K冷屏等低温部件,为增加传导,零件连接处使用大量的金属钎,而金属钎的熔点是156

℃,所以烘烤温度不超过150℃,最后选择是真空室烘烤温度150℃,内部50 K冷屏的烘烤温度控制在120℃,分别通过安装在真空室和50 K冷屏上的温度计控制温度。对真空室进行150℃,44 h的烘烤,离子泵同时进行烘烤,时间30 h,烘烤时间达到后,开始降温。24 h后,由VARIAN UHV-24电离规测的极限压力是 $5.3 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ ,未达到 $1.3 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ 的系统真空度要求,压力随时间变化曲线如图3所示。

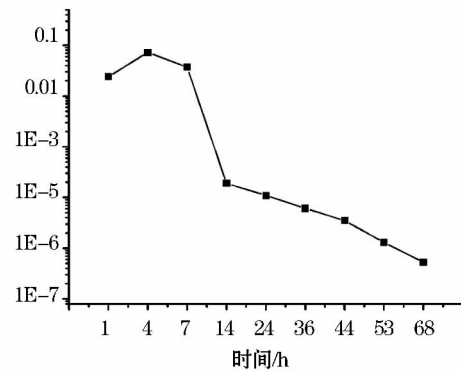


图3 压力随时间变化曲线

通过分析认为,真空室未进行真空炉高温烘烤除气、真空调试烘烤时间过短及一台400 L/s离子泵有效抽速冗余小是造成真空度不能达标的主要原因。根据真空基本公式 $P = Q/S$ 可知,要想获得更低的压力 $P$ 有两个途径,即尽可能减少气载 $Q$ 和尽可能增大有效抽速 $S$ 。减少气载可对真空室进行真空炉高温烘烤除气处理和尽可能延长烘烤时间,由于真空室设计尺寸过大,不能放入真空炉,所以真空室高温烘烤除气未能进行,只能通过延长真空调试烘烤时间来减少气载。增大抽速可在真空室适当增加离子泵等抽气泵,可是真空室设计时未留CF150接口,所以离子泵无法增加。真空室侧边有两个CF63备用接口,利用这两个接口,通过CF35-CF63转接法兰,安装两台意大利SAES公司D400-2吸气剂泵。D400-2吸气剂泵的主要材料是St172(Zr-V-Fe),通过CF35法兰直接装入真空系统,能获得最佳的抽气性能。对氢的抽速是400 L/s,对一氧化碳的抽速是180 L/s。吸气剂泵通常的使用流程是真空系统调试到启动离子泵前夕,启动吸气剂泵除气程序,除气电流2.6 A,时间2 h。然后启动离子泵,当烘烤停止,温度降到100℃左右时,可启动吸气剂泵的激活程序,激活电流5.6 A,时间1 h。这里要注意的是,吸气剂泵激活时,由于气载较大,可能导致离子泵保护,所以应该事先接入分子泵机

组帮助抽气,直到离子泵能够重新启动为止。

经过改进后,常温下(制冷机关闭)对真空系统进行第二次极限真空调试。对真空室进行150℃,176 h的烘烤后,离子泵同时进行烘烤,时间160 h,烘烤时间达到后开始降温,24 h后,由 VARIAN UHV-24 电离规测的极限压力是  $7.8 \times 10^{-8}$  Pa 优于  $1.3 \times 10^{-7}$  Pa 的系统真空度要求。压力随时间变化曲线如图 4 所示。

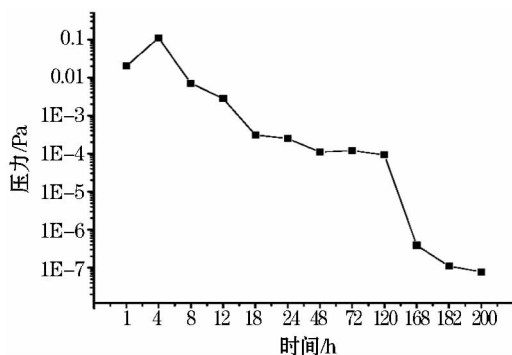


图4 压力随时间变化曲线

## 2.2 低温下超高真空获得

系统常温下极限真空调试获得后,分别开启两台低温制冷机进行降温。系统使用两台脉冲管低温制冷机,脉冲管低温制冷机工作可靠,使用寿命长,因其低温段无运动部件,所以几乎没有震动,这是与其他类型低温制冷机相比最大的优点。光源储存环对震动要求非常苛刻,所以使用脉冲管制冷机非常合适。经过24 h降温,系统基本平衡,50 K冷屏温度降到57 K;由 VARIAN UHV-24 电离规测的系统真空度是  $1.7 \times 10^{-8}$  Pa。压力、温度随时间变化曲线如图 5、6 所示。降温后系统压力进一步下降,因为冷屏温度下降到50 K左右时,冷屏的内外表面就如同一台冷凝泵,在平衡温度下能产生每秒数千升的抽速,对系统压力进一步降低提供帮助。

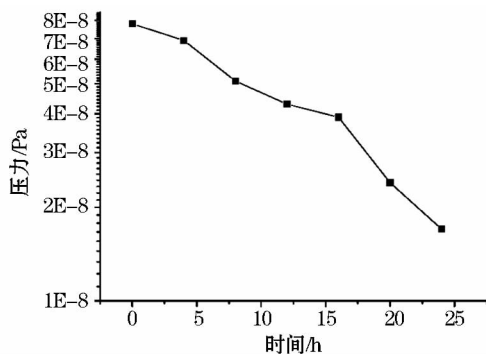


图5 压力随时间变化曲线

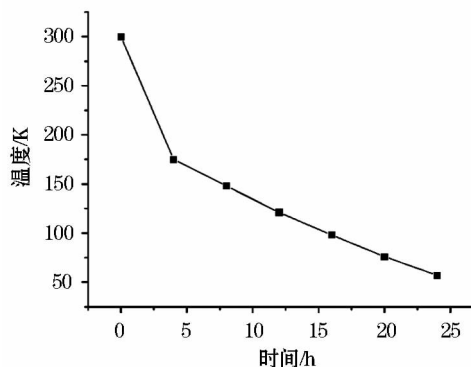


图6 温度随时间变化曲线

## 3 结论

热负荷测试装置超高真空系统常温下极限真空调试达到  $7.8 \times 10^{-8}$  Pa,优于光源储存环真空系统  $1.3 \times 10^{-7}$  Pa 的真空度要求。通过两次常温下真空调试说明,使用在加速器上的真空室,如条件允许,应进行真空炉高温烘烤除气处理,从而降低材料表面出气率,因为材料表面出气是系统主要气载。如受真空系统尺寸限制不能进行真空炉高温烘烤除气,必须保证100~150℃的烘烤温度,时间在150~200 h。另外,有效抽速的计算值必须有较大的冗余,系统开始所配泵抽速偏小,后增加两台400 L/s吸气剂泵,效果明显。热负荷测试装置超高真空系统常温下真空度优于光源真空系统要求,是降低材料表面出气率和增加系统抽速两方面作用的结果。低温系统工作后可进一步降低系统真空度。所以,即使低温系统发生故障,也不会影响光源加速器正常运行,因为常温真空已经达到所要求的指标。

目前,热负荷测试装置已在光源储存环上工作了1年多的时间,超高真空系统各项指标工作正常。

参考文献:

- [1]达道安.真空设计手册[M].第三版.北京:国防工业出版社,2004.
- [2]徐烈.低温真空技术[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [3]张海鸥,李炜,郭盘林,等.上海EBIT装置低温超导段超高真空系统[J].真空与低温,2006,11(4):207-209.
- [4]张军辉,杨晓天,蒙峻,等.真空炉高温除气工艺对降低不锈钢出气率的作用[J].真空与低温,2003,9(2):105-108.