

用于红外探测器组件检测的超高灵敏度检漏仪

左 雷

(中国电子科技集团公司第二十七所,河南 郑州 450005)

摘 要:提出了一种采用累积法进行超高灵敏度氦质谱检漏的先进技术,基于该技术及相关材料特殊处理工艺设计并研制出了新型超高灵敏度检漏仪器,检测灵敏度优于 8×10^{-15} atm. cc/s. He,是常规氦质谱检漏仪器灵敏度的1000倍以上,已成功应用于红外焦平面探测器组件等长寿命真空电子元器件产品的研制和生产工艺检测中,也是高能粒子加速器、核物理学、航天产品等重要的超高密封产品重要的漏率检测仪器。

关键词:超高灵敏度;漏率;检漏仪;电抛光;真空除气

中图分类号:TN21 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2011.12.008

New type of super high-sensitivity leak detector used for IRFPA

ZUO Lei

(China Electronics Technology Group Corporation, Zhenzhou 450005, China)

Abstract: This paper puts forward an advanced technology of super high-sensitivity helium mass spectrum leak detection by cumulative method. Based on this technology and special processing technics of related materials, the author designed and produced a new type of super high-sensitivity leak detector with detecting sensitivity surpasses 8×10^{-15} atm. cc/s. He, which is more than 1000 times as that of usual helium mass spectrum leak detectors. This new type of super high-sensitivity detector has been successfully applied in the R&D and producing technics checking of long-life vacuum electrical components like infrared FPA detector. It is also an essential leak rate detection device for super highly-sealed products e. g. energetic particle accelerator, nuclear physics, aerospace products etc.

Key words: super high-sensitivity; leak rate; checking device; electro polishing; vacuum degassing

1 引 言

真空寿命是真空电子器件最重要的技术指标之一,要保证真空电子器件的真空寿命,通常需要封装结构具有极小的漏率,对于检漏仪的检测灵敏度提出了非常高的要求。为了保证某种真空电子器件的真空寿命大于10年,理论上要求总体漏率优于 3×10^{-13} atm. cc/s. He,为了准确评价其总体漏率,超高灵敏检漏仪的灵敏度需要优于 3×10^{-14} atm. cc/s. He。

目前,通用的氦质谱检漏仪的最高灵敏度最高

为 1×10^{-12} atm. cc/s. He,广泛应用于国内真空电子器件的研制与生产。但对于某些真空寿命及可靠性要求较高的产品领域,其灵敏度无法满足要求。

本文介绍的一种新型超高灵敏检漏仪采用累积、比对检漏法设计而成,由于采用全金属结构设计及制造、特殊的处理工艺,最终设计制造的检漏

作者简介:左 雷(1968-),男,高级工程师,硕士,主要从事科研管理,红外技术等方面的研究工作。E-mail:zuolei126@126.com

收稿日期:2011-10-14

仪测试灵敏度为 8×10^{-15} atm. cc/s. He,很好地满足了真空寿命及可靠性要求较高的真空电子器件测试要求。

2 工作原理及组成

超高灵敏度氦质谱检漏仪最小可检漏率达到 10^{-15} atm. cc/s. He,是目前可实现产品化的最高灵敏度的检漏仪。其工作原理是在检漏仪中的气体抽空后,累积漏进的极少量的示踪气体(通常是氦气),示踪气体的分压力会随泄漏量和时间在变化而增加,从而在背景压力很低的情况下,使检漏仪的灵敏度保持很高的水平。

累积法检漏的计算公式如下所示:

标准漏孔技术参数:

(1)漏率: $S = 6.04 \times 10^{-10}$ atm cc/s. He

(2)温度: $TEM = 24$ °C

(3)温度对漏孔影响: $G = 4\% / ^\circ\text{C}$

本底压升率:

(1)初始数值: A_1

(2)开始时间: T_1

(3)最后数值: A_2

(4)最后时间: T_2

(5)本底压升率: $A = (A_2 - A_1) / (T_2 - T_1)$

测试工件压升率:

(1)初始数值: B_1

(2)开始时间: T_3

(3)最后数值: B_2

(4)最后时间: T_4

(5)测试工件压升率: $B = (B_2 - B_1) / (T_4 - T_3)$

累积绝对值(或最小可检陋率): $C = |B - A|$

标准漏孔压升率:

(1)初始数值: D_1

(2)开始时间: T_5

(3)最后数值: D_2

(4)最后时间: T_6

(5)标准漏孔压升率: $D = (D_2 - D_1) / (T_6 - T_5)$

(6)标准漏孔压升率绝对值: $E = |D - A|$

实际测试环境温度: TEM_1

温度对漏孔影响: $F = (1 + 0.01 \times G \times (TEM_1 - TEM)) \times S$

测试工件漏率: $S_1 = F / E \times C$

超高灵敏氦质谱检漏仪采用全金属构造,所有真空管道、阀门、夹具都经过特殊钝化处理,具有极低的放气率。系统构成如图1所示,通过真空泵组(油泵和涡轮分子泵)将被检器件和超高真空氦质谱检漏仪内部气体排出,抽成高真空状态。

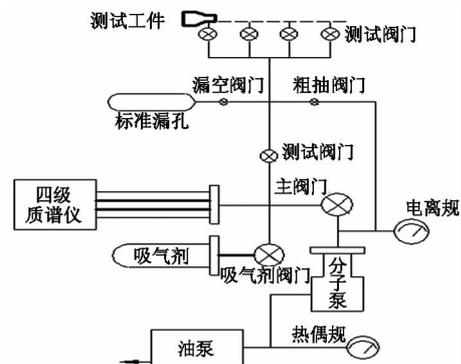


图1 超高真空氦质谱检漏仪的系统组成图

当被检器件的真空度达到 5×10^{-6} 托到 1×10^{-6} 托,开启主阀门与检测阀门,关闭粗抽阀门,利用四级质谱仪,进行初步检漏,测得系统总的漏率。通过用氦气袋将被检器件包住(或者对着被检器件吹扫氦气),能够测得低于 10^{-10} atm cc/s 的漏率。这种操作模式被称为喷吹法检漏模式,与传统检漏仪的工作原理一样。

如果通过喷吹法检漏模式测不出漏率,可以采用累积法检漏模式进行精细检漏。在这种模式下,吸气剂泵将金属管道内部表面吸附的氢气以及漏进系统内的氮气、氧气、二氧化碳抽走。而氦气、氖气、氩气及其他惰性气体,包括一些碳氢化合物,不能被吸气剂泵抽走,则被留在系统中。

如果存在泄漏,氦气分压将在检测仪的累积区域逐步增加,记录下氦气分压上升的速率。打开主阀门,抽走累积的氦气和其他气体。然后,打开标准漏孔阀门,等待几秒钟,直到标准漏孔的泄漏率达到稳定。再关闭主阀门,累积标准漏孔释放的氦气,记录下氦气分压的增长速率。通过对比前后两种氦气压力的上升速率,可以计算出被检器件的漏率。

由于漏孔的大小不同,可使用不同的检漏方法,微小漏孔情况下需使用累积法,大漏情况下可以通过喷吹法实现快速检漏。累积法检测模式和喷吹法检测模式的检测原理如图2、图3所示。

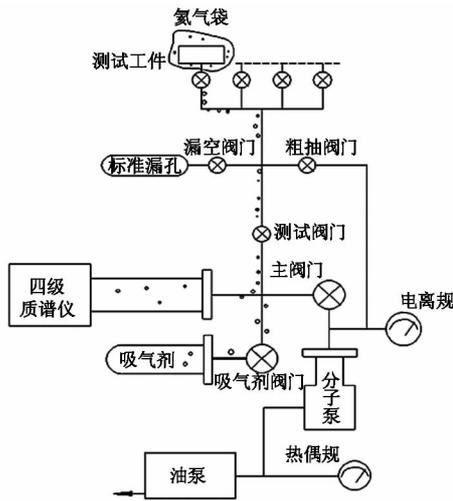


图2 累积法检测模式原理图

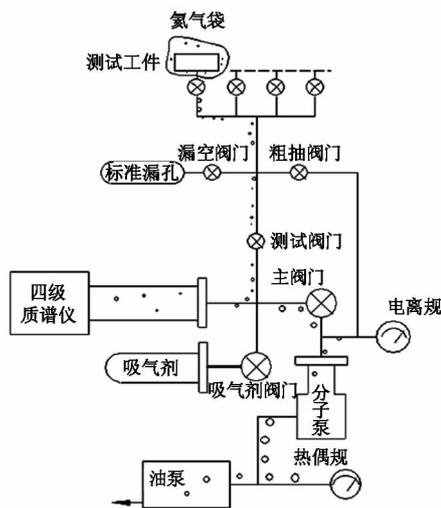


图3 喷吹法检测模式原理图

3 系统设计

3.1 真空系统设计

本系统采用累积法检漏原理进行设计,此方法具有可检测较低漏率工件的优点,由于工件漏率较低,采用一般方法无法准确检测到氦气信号,只有通过累积法才能在一定时间内使氦气达到可检测的量,但是此方法也存在如果仪器本身处理不好,氦气本底较高或不稳定等情况下,检测结果就会出现严重偏离。

基于累积法检漏原理需要做到以下几个方面的设计:首先,系统设计必须简洁,要基本保证系统无冗余管路,这样就可以在一定程度上控制系统的氦气本底较低并且尽量保持本底比较稳定;其次,工件、标准漏孔、四级杆质谱仪、吸气剂泵相对位置合理设计,可以将系统管路、标准漏孔及工件之间相互影响达到最小状态,在这种情况下才能保证四级杆质谱仪测试到的氦信号比较准确;

再次,吸气剂泵抽速设计要合理,如果抽速太大,将使被测信号较弱,表现为工件实际漏率较为理想,否则结果相反;最后,系统通导率应尽量大,在较高真空度情况下,氦气是以分子流形式存在的,如果系统通导较小的话,将使氦气分子到达四级杆质谱仪检测位置比较困难,从而无法给出准确的测量结果。

3.2 软件设计

本系统采用德国 INFICON 公司生产 Tanspactor -2 型四级杆质谱仪,可以对系统内质量数为 100 以下的各种气体进行准确测量。软件功能框图如图 4 所示。

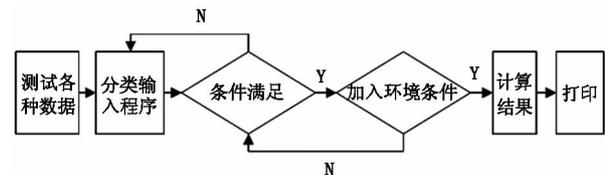


图4 软件功能框图

4 制备及装配技术

为保证系统本身具有极低漏率和放气率,系统选用的波纹管阀和转接全部采用焊接刀口法兰的方式。所有管道及接口在制备完成后均采用特殊的电抛光工艺对内表面进行处理,电抛光处理之前,对工件进行彻底的清洗,其主要的清洗方法包括:去离子水的初步清洗、高温去离子水煮、超声清洗及热水冲洗。电抛光处理后的表面首先是具有极低的气体吸附性,使各种气体分子不易吸附在零部件内表面。最主要的是经过电抛光后由于在零部件的内表面形成了光亮的钝化膜,可有效阻止零部件内部深层气体的缓慢释放。

在所有零部件电抛光处理后,采用特殊的真空除气工艺对零部件进行除气,除去零部件内部残留的氢气及氦气。除气的升温过程中控制温度不能上升过快,否则导致不同气体相互作用生成化合物对零部件造成二次污染。

零部件电抛光及真空烘烤除气工艺完成后,将系统尽快组装起来,否则零部件在大气或湿度较大的环境下会吸附很多杂质气体,在系统安装完成后,吸附在零部件表面的杂质气体会对测试结果产生一定的影响。另外,在系统安装的过程中需要对每个零件的刀口法兰在显微镜下仔细检查,如发现刀口表面存在划痕或缺陷应立即更换,由于本系统灵敏度较高,任何的影响都可能对测试灵敏度造成较大的影响。

5 应用情况

本系统目前已经成功地应用在科研生产中,经过长期的使用和反复对照表明,系统状态稳定、可靠,系统的测试灵敏度基本未发生变化,使用累积法检测工件记录如表1所示。

表1 试验工件检测记录

检测日期:2010-02-03		检测时间:9:30	
标准漏孔参数: 2.80×10^{-9} atm cc/s. He@22 °C +/- 3.2% °C			
背景上升率: 1.03×10^{-15} Amp/s			
初次读数	2.61×10^{-14} A	开始时间	0'49.5"
末次读数	3.57×10^{-13} A	结束时间	6'11.2"
被检工件上升率: 1.01×10^{-15} Amp/s			
初次读数	6.56×10^{-14} A	开始时间	0'57.7"
末次读数	3.98×10^{-13} A	结束时间	6'27.7"
标准漏孔上升率: 4.14×10^{-11} Amp/s			
初次读数	2.13×10^{-9} A	开始时间	5'38.2"
末次读数	4.92×10^{-9} A	结束时间	6'35.9"
环境温度:17.6 °C			
温度修正后的标准漏率: 2.39×10^{-9} atm cc/s			
被检工件的实际漏率: 1.23×10^{-15} atm cc/s			

6 结束语

采用累积、比对技术和电化学抛光除报气等特

殊工艺设计、研制出了一种新型的超高灵敏度氦质谱检漏仪器,灵敏度达到了 8×10^{-15} atm cc/s. He,是目前可实现产品化的最高灵敏度的氦质谱检漏仪器,在实际工作中得到了应用验证,经过一年多的使用,具有良好的重复测试精度和长期可靠性,并在科研生产中发挥了重大作用。

参考文献:

- [1] 刘玉岱. 真空测量与检漏[M]. 北京:冶金工业出版社,1992.
- [2] Liu Hongqing. Vacuum gauging[M]. Beijing: China Metrology Press,1991,6. (in Chinese)
刘洪庆. 真空计量[M]. 北京:中国计量出版社,1991,6.
- [3] Li Detian, Cheng Yongjun. Chao Gao/summary of extremely-high vacuum measuring development[J]. Vacuum Science and Technology Transaction, 2009, (5): 522-530. (in Chinese)
李得天,成永军. 超高/极高真空测量发展综述[J]. 真空科学与技术学报,2009,(5):522-530.
- [4] Da Dao'an. Vacuum design manual [M]. 3rd ed. Beijing: National Defense Industry Press,2004. (in Chinese)
达道安. 真空设计手册[M]. 3版. 北京:国防工业出版社,2004.