

文章编号: 2095-4980(2015)06-1009-05

电子元器件密封试验的探讨与实践

梁倩, 王淑杰, 龚国虎

(中国工程物理研究院 计量测试中心, 四川 绵阳 621999)

摘要: 电子元器件是军工电子产品中的重要组成部分, 元器件质量的好坏直接影响到各种装备的质量且对各产品的可靠性有较大影响。密封性能是密封电子元器件质量好坏的重要标志。本文介绍了电子元器件破坏性物理分析密封试验中方法的运用、实践, 总结了细检漏和粗检漏试验中应注意的问题及应对措施, 从而更有效地剔除有密封缺陷的元器件, 保证检测结果的准确性。

关键词: 密封; 细检漏; 粗检漏

中图分类号: TN386.1

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201506.1009

Seal test of electronic components in Destructive Physical Analysis

LIANG Qian, WANG Shujie, GONG Guohu

(Metrology and Testing Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: Electronic components are the important part of military electronics products, whose quality will directly affect the quality of various types of equipment and has a great impact on the reliability of the products. Sealing performance is an important index of the quality of the sealed electronic components. The application and practice of the seal test method of the Destructive Physical Analysis(DPA) for electronic components are introduced in this paper. The problems which should be paid attention to and the countermeasures in the fine leak detection and crude leak test are concluded.

Key words: seal; fine leak test; gross leak test

密封是阻止流体(气体、液体)介质通过结构缝隙、空穴、孔洞从一个部位流向另一个部位及渗漏到密封结构之外的措施^[1]。对密封电子元器件而言, 密封性能好坏至关重要。如果密封性能不好, 密封电子元器件抵御外部环境腐蚀的能力就差, 在具有较高温湿度变化和有害气体的环境中会形成呼吸作用, 使元器件内部的金属丝或镀敷金属层产生电解腐蚀而损坏, 造成电参数改变、性能降低或直接功能丧失。过高的内部水汽在低温时会造成继电器在触点产生冷焊现象使其功能丧失。元器件在装机使用前要进行2次筛选, 即元器件生产厂家在元器件出厂前进行一次筛选, 使用厂家根据需要进行二次筛选^[2]。在电子元器件破坏性物理分析工作中, 几乎所有器件生产单位都把密封细检漏作为筛选试验项目百分之百地进行检验^[3], 电子元器件密封试验的目的就是确定具有空腔的电子元器件和其他具有密封要求的电子部件的密封性能。

1 电子元器件破坏性物理分析密封试验方法依据

电子元器件破坏性物理分析密封试验依据的标准主要有 GJB128A-1997《半导体分立器件试验方法》方法1027^[4]、GJB548B-2005《微电子器件试验方法和程序》方法1014.2^[5]、GJB360B-2009《电子及电气元件试验方法》方法112^[6]、GJB65B-1999《有可靠性指标的电磁继电器总规范》中4.8.5规定的检漏方法^[7]。密封试验包括细检漏试验和粗检漏试验, 细检漏主要使用示踪气体氦检漏, 粗检漏主要使用氟碳化合物检漏^[5]。

2 细检漏试验

2.1 细检漏试验原理和过程

细检漏的试验过程主要分3个步骤: 对被检元器件施压(充压)、净化和细检漏。

1) 对被检元器件施压(充压)

首先将元器件放入能施压的密封容器中,用氦气对被检测元器件施加一定气压并在容器内存放一段时间,在高压作用下如果元器件有漏孔,所施加的气就会顺漏孔进入到被检件内腔里,元器件中的内腔就形成了一定的氦气压力,然后取出。

2) 净化

由于被检元器件是由不同种类的材料封装和不同结构组成,会有表面吸附现象和假空腔藏匿氦气,造成测试假象,因此应将元器件从施压密封容器中取出后用干燥的氮气或干燥空气吹除表面吸附或藏匿的氦气。

3) 细检漏

将净化后的元器件放入真空室,使真空室和氦质谱检漏仪相连,预先对真空室抽真空,然后用阀门控制导入检漏仪进行检漏,如果被检元器件有漏,则压入元器件内部的示踪气体氦气会通过漏孔逸出进入检漏仪,从而得到测量漏率 R 。国军标中固定法要求在规定时间内将所加压充氦的元器件全部检测完。

2.2 细检漏试验方法的拒收条件

细检漏试验方法在国军标中给出了固定法和灵活法 2 种,两者具有不同的拒收条件。

2.2.1 固定法拒收条件

固定法是根据不同器件的内腔体积,规定加压的条件和氦质谱检漏时的氦测量漏率的极限值,如果测量漏率大于规定的测量漏率极限值,则拒收。GJB548B-2005 方法 1014.2 固定法细检漏条件和拒收条件如表 1 所示。

表 1 国军标 GJB548B-2005 方法 1014.2 固定法细检漏条件
Table1 Fine leak test conditions of 1014.2 fixed method in GJB548B-2005 methods

V volume of package/cm ³	pressure conditions			R_1 the standard value of rejection/ (Pa·cm ³ ·s ⁻¹)(He)
	pressure/kPa	pressure time/h	the longest time/h	
$V < 0.05$	517±15	2_0^{+1}	1	5×10^{-3}
$0.05 \leq V < 0.5$	517±15	4_0^{+1}	1	5×10^{-3}
$0.5 \leq V < 1.0$	310±15	2_0^{+1}	1	1×10^{-2}
$1.0 \leq V < 10$	310±15	5_0^{+1}	1	5×10^{-3}
$10 \leq V < 20$	310±15	10_0^{+1}	1	5×10^{-3}

2.2.2 灵活法拒收条件

灵活法是对应不同元器件内腔体积 V 给出标准漏气率 L (空气)作为拒收规范值,而 t_1, t_2, P_E 灵活掌握,将选定的加压参数、被试验器件的内腔体积和等效标准漏率 L 的最大极限值一起代入式(1)计算求得“测量漏率” R_1 的极限值,试验结果大于 R_1 为拒收。灵活法失效判据如表 2 所示。

$$R_1 = \frac{LP_E}{P_0} \left(\left(\frac{M_A}{M} \right)^{1/2} (1 - \exp(-\frac{Lt_1}{VP_0})) \left(\frac{M_A}{M} \right)^{1/2} \exp(-\frac{Lt_2}{VP_0}) \left(\frac{M_A}{M} \right)^{1/2} \right) \quad (1)$$

式中: R_1 为示踪气体氦的测量漏率(Pa·cm³)/s; L 为等效标准漏率(Pa·cm³)/s; P_E 为绝对作用压力(Pa); P_0 为绝对大气压力(Pa); M_A 为空气分子量(为 28.7 g); M 为示踪气体氦的分子量(为 4 g); t_1 为受 P_E 压力作用的时间(s); t_2 为去除 P 压力后到检漏之间的停顿时间(s); V 为被试器件封装的内腔体积(cm³)^[8]。

从式(1)中可以看到,测量漏率 R_1 与 P_E, V, t_1, t_2 等参数直接相关,被检的元器件充氦压力 P_E 越高,加压时间 t_1 越长,所充氦气就越多,内腔体积 V 越小,器件内腔的氦分压就越高,检漏时,所检测到测量漏率 R_1 就越高;相反的充氦压力 P_E 越低,加压时间越短,内腔体积 V 越大,则在元器件内腔所产生的氦分压就越低,检漏时所检测到的测量漏率 R_1 就越小;另外待检时间越长,从漏孔中逃逸出的氦气就越多,等到检漏时所测得的测量漏率就越小。这些因素都会直接影响检漏的结果。

2.2.3 固定法和灵活法比较

为比较表 1 和表 2 的判据是否基本相同,按表 1 规定的加压条件和测量漏率拒收判据 R_1 ,根据式(1),用数

表 2 国军标 GJB548B-2005 方法 1014.2 灵活法失效判据
Table2 Failure criterion of 1014.2 flexible method in GJB548B-2005 methods

V package with internal free volume/cm ³	equivalent leak rate(L)rejection criterion(air)/(Pa·cm ³ ·s ⁻¹)
$V \leq 0.01$	$> 5 \times 10^{-3}$
$0.01 < V \leq 0.4$	$> 1 \times 10^{-2}$
$V > 0.4$	$> 1 \times 10^{-1}$

值逼近的方法计算了相应的等效标准漏率 L , 计算时封装容积采用表 1 规定的封装容积范围的近似中间值, 如果只规定了封装容积的上限, 则采用二分之一上限值^[8], 结果见表 3。将表 3 中计算得到的等效标准漏率与表 2 中规定等效标准漏率进行比较, 两者间差别均不超过一倍, 灵活法仍严于固定法。

固定法是以内腔体积大小在一定范围内作为一个区间所进行的近似测量法, 它有着操作方便快捷的优点, 适用于内腔体积不太大和批量操作, 目前国内对于细检漏大多采用固定法进行。但固定法同时也存在着精确度不高的缺点; 如果要精确检测, 则只能使用灵活法。使用什么方法进行细检漏应在操作前提出具体要求, 综合考虑, 选择合适的方法。

表 3 GJB548B-2005 方法 1014.2 规定加压条件及计算得到的等效标准漏率
Table3 Pressure conditions and calculated equivalent leak rate of GJB548B-2005 methods 1014.2 provisions

V volume of package/cm ³	calculated packaging volume/cm ³	pressure conditions			R_1 the standard value of rejection (10 ⁻³ Pa·cm ³ ·s ⁻¹)(He)	calculated equivalent leak rate/(10 ⁻³ Pa·cm ³ ·s ⁻¹)
		pressure/kPa	pressure time/h	the longest time/h		
$V < 0.05$	0.025	517±15	2 ₀ ⁺¹	1	5	7.1
$0.05 \leq V < 0.5$	0.25	517±15	4 ₀ ⁺¹	1	5	1.6
$0.5 \leq V < 1.0$	0.75	310±15	2 ₀ ⁺¹	1	10	7.0
$1.0 \leq V < 10$	5	310±15	5 ₀ ⁺¹	1	5	8.0
$10 \leq V < 20$	15	310±15	10 ₀ ⁺¹	1	5	9.8

目前在对内腔体积不太大的元器件均使用固定法, 但对内腔体积 V 的测量尽量精确, 应将硅片和内贴接平台所占的体积扣除, 因为固定法中是以内腔体积 V 的大小来划分区间的, 根据内腔体积和元器件的种类选择相应的国军标中的标准执行。

3 粗检漏试验

表 4 GJB548B-2005 方法 1014.2 试验条件 C 加压条件
Table4 C pressure conditions in 1014.2 test of GJB548B-2005 methods

pressure/kPa	pressure time/h
206	23.5
310	9.0
414	4.0
517	2.0
618	1.0
724	0.5

3.1 粗检漏试验原理和过程

粗检漏的试验过程主要分 3 个步骤: 压轻氟油操作、净化和粗检漏。

1) 压轻氟油操作

首先观察检测期间表面的清洁度, 受试器在抽真空加压前应进行清洗, 表面应无外来物, 包括会产生错误试验结果的敷形涂覆和标志, 以免污染检测液。将被检元器件放入加压容器内, 容器密闭后先抽真空至小于 670 Pa, 保持 30 min(内腔体积大于或等于 0.1 cm³情况下可免此步骤), 如果被检元器件有漏, 其内腔的气压也会降低, 以增加检测灵敏度, 然后在真空状态注入低沸点氟油 F113, 使元器件完全淹没, 并用氮气对其加压一定时间(压力约为 2~7 个大气压, 时间为 0.5 h~24 h), 加压完成后, 将元器件取出。GJB548B-2005 方法 1014.2 氟碳化合物粗检漏加压条件如表 4^[5]所示。

2) 净化

元器件取出后在空气中至少干燥(2±1) min, 去除元器件表面吸附的轻氟油, 也可用风扇等去吹器件表面。

3) 粗检漏

净化后器件放入已加热好的 125 °C±5 °C 的氟油中, 器件顶部应在指示器液体液面以下至少浸入深度 5 cm, 用高于 1.5 倍放大镜观察其冒泡情况, 如果元器件单个质量小于 5 g, 则观察时间只需 20 s~30 s, 如果元器件单个质量大于 5 g, 观察时间应大于 30 s, 可根据质量大小来确定延长观察时间的长短。因为质量大的器件热容量大, 需要加热的时间较长, 压入器件内腔的氟油才能被充分汽化。

3.2 粗检漏试验拒收条件

从同一位置出来的一串明显气泡或 2 个以上大气泡应判为拒收。

4 密封试验应注意的问题及应对措施

在氦质谱检漏操作过程中有很多不确定因素会直接影响测量结果, 如何把握这些不确定因素, 保证检测结果的准确性, 根据工作经验总结了细检漏和粗检漏试验中应注意的问题及应对措施。

4.1 细检漏应注意的问题及应对措施

- 1) 操作人员应做好防静电措施, 例如: 带好防静电手腕, 穿好防静电工作服、鞋后, 才可接触器件进行试验。
- 2) 观察被测器件表面的清洁度, 器件在抽真空加压前应进行清洗, 以免表面吸附氦气造成检测假象。
- 3) 氦质谱检漏仪和加压设备应分室放置, 并使氦质谱检漏仪放置地具有良好通风, 以确保测量环境中氦气含量足够低, 从而保证细检漏的测量精确度。如果放在一起会引起室内空气的氦气浓度升高, 使氦本底增大, 将直接影响检测效果。
- 4) 每次试验前应提前 0.5 h 打开氦质谱检漏仪进行预热, 使仪器进入稳定工作状态, 然后进行自校准, 因为氦质谱检漏仪不是绝对测量仪, 只是相对测量仪。
- 5) 应确保压力测试表和标准漏的准确性。
- 6) 应注意内腔的跨度和封装材料的承压能力, 原则上检漏加压不应使元器件外壳受到破坏或损伤。

4.2 粗检漏应注意的问题及应对措施

- 1) 操作人员应做好防静电措施, 例如: 带好防静电手腕, 穿好防静电工作服、鞋后, 才可接触器件进行试验。
- 2) 在细检漏中如果测出漏率大于 $100 \text{ Pa}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$ 的大漏样品可直接放入 $125 \text{ }^\circ\text{C}$ 的氟油中观察, 不需使用低沸点氟油加压, 以防止压入低沸点氟油后高温产生高压, 发生爆炸, 产生危险。
- 3) 所有的高、低沸点的氟油需要经常过滤。F113 定期过滤, 所用的过滤系统应能消除小于 $1 \mu\text{m}$ 的颗粒。否则, 即使 F113 中存在很少的颗粒, 一旦堵塞受试器件的漏孔, 便会使试验得出错误结论^[3]。允许整体大量过滤和贮存。在使用的过程中, 液体累积到可观量的颗粒后应更换或过滤后再使用。应注意防止溶液污染。同样 FC43 也应定期过滤以防止影响观察效果。过滤后的氟油可重复使用, 重复过滤频率应根据使用频率、器件多少、防污染措施而定。一般情况下滤油过程应该在轻氟油从氮气罐到储油罐时进行。
- 4) 加压时, 氟油的液面应高于被检元器件。加压完成前半小时左右应对观察容器中的 FC43 进行加热, 元器件放入 FC43 氟油内应距液面至少 50 mm。
- 5) 被试器件表面应无外来物质, 包括会产生错误试验结果的涂覆和标志^[5]。
- 6) 在试验大封装时, 应该注意防止因封装破裂或加压液体膨胀猛烈急剧溢出使操作者受到伤害。
- 7) 检漏前应对被检元器件个体称重, 质量大于等于 5 g 时, 应将加热观察时间延长, 至少加热 1 min。质量越大, 热容量越大, 加热时间越长, 以保证压入的低沸点氟油充分汽化。
- 8) 受试元器件应使用低沸点氟油 F113 清洗, 以保证被检元器件的清洁性, 同时不清洁的元器件会对加压用低沸点氟油造成污染, 影响结论的正确性。
- 9) 净化后的元器件应在空气中干燥 2 min 以上, 以保证元器件表面的残存氟油充分挥发, 以免在加热观察时造成假象, 导致试验的错误结论。
- 10) 国军标中规定内空腔体积大于等于 0.1 cm^3 时可省略抽真空的步骤。
- 11) 注意对于锗半导体材料的元器件在高温冒泡检漏时只能加热至 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 。
- 12) 检测中应确保恒温槽的恒温性能和照明性能完好, 应配备抽风设备, 操作者观察时应戴眼镜, 以免突发事故将眼睛灼伤, 注意自我保护。
- 13) 可以一次浸入一个器件或同时浸入一组器件。成组放入时, 应保证能清楚地看到从每个器件冒出的气泡及其来源。加热观察时应变换元器件位置, 以保证被检元器件的各部位都能观察到。在光源的照射下, 从器件浸入时刻起, 应在暗袋的不反射的黑色背景衬托下, 用放大镜观察器件至少 30 s, 观察从同一位置无一串明显气泡或 2 个以上大气泡冒出则判定器件失效。
- 14) 低沸点氟油和高沸点氟油在使用完后过滤放入密闭容器中, 以备下次再次使用, 避免氟油挥发造成污染。
- 15) 重氟油加热仪机壳必须接地, 注入的油量应与液面标注线相平。
- 16) 注意环境通风、防尘, 避免液体蒸发时污染室内空气。

5 结论

密封试验作为电子元器件生产单位筛选项目中百分之一百进行的试验, 在电子元器件破坏性物理分析整个流程中起着关键作用。本文介绍了细检漏、粗检漏工作原理、试验方法的比较、判据和使用中应注意的问题及应

对措施,为操作者做出了详细说明。操作者在操作时应根据被检元器件的性能、材料、封装形式,本着既能有效地检出不合格的元器件样品,又不对被检样品造成损伤或破坏的原则,合理地选择检漏方法,关注操作时的注意事项,先细检漏后粗检漏,在固定法中应按国军标所规定的时间范围内完成的检测,必须保证检测设备的完好性和准确性,定期校验,并且在每次工作前注意设备的工作状态,按照操作规程进行操作,确保更好地开展试验。

参考文献:

- [1] 许国康. 面向先进检漏技术的航空产品密封实现及保证[J]. 航空制造技术, 2013(20):104-108. (XU Guokang. Realization and security of aviation product seal for advanced leak testing technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(20):104-108.)
- [2] 李根成. 空空导弹系统可靠性试验现状及建议[J]. 军用标准化, 2002(1):46-48. (LI Gencheng. Status in quo of reliability experiments for air-to-air missile system and some advices[J]. Military Standardization, 2002(1):46-48.)
- [3] 陈士新. 氟油粗检漏方法的理解与实践[J]. 电子标准化与质量, 1999(2):23-24. (CHEN Shixin. Understanding and practice of crude oil leak detection methods of fluoride[J]. Electronic Standardization and Quality, 1999(2):23-24.)
- [4] 国防科学技术委员会. GJB128A-1997《半导体分立器件试验方法》[S]. 北京:国防科工委军标出版社, 1997:55-67. (Commission on Science Technology and Industry for National Defense. GJB128A-97 Test methods for semiconductor discrete devices[S]. Beijing:National Defense Science and Technology Committee, 1997:55-67.)
- [5] 国防科学技术委员会. GJB548B-2005《微电子器件试验方法和程序方法》[S]. 北京:国防科工委军标出版社, 1997:55-67. (Commission on Science Technology and Industry for National Defense. GJB548B-2005, Experiment method and process of microelectronics[S]. Beijing:National Defense Science and Technology Committee, 1997:55-67.)
- [6] 国防科学技术委员会. GJB360B-2009《电子及电气元件试验方法》[S]. 北京:国防科工委军标出版社, 2009. (Commission on Science Technology and Industry for National Defense. GJB360B-2009, Test methods for electronic and electrical component parts[S]. Beijing:National Defense Science and Technology Committee, 2009.)
- [7] 国防科学技术委员会. GJB65B-1999《有可靠性指标的电磁继电器总规范》[S]. 北京:国防科工委军标出版社, 1999. (Commission on Science Technology and Industry for National Defense. GJB65B-1999 General specification for electromagnetic relay with reliability index[S]. Beijing:National Defense Science and Technology Committee, 1999.)
- [8] 金毓铨. 标准中氦质谱检漏试验判据的研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2011(3):1-3. (JIN Yuquan. Study on the failure criteria for helium mass spectrum fine leak in the standards[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2011(3):1-3.)

作者简介:



梁倩(1991-),女,四川省绵阳市人,主要研究方向为破坏性物理分析.email:iamliang_baby@163.com.

王淑杰(1974-),女,辽宁省西丰县人,高级工程师,主要研究方向为破坏性物理分析.

龚国虎(1989-),男,四川省平武县人,助理工程师,主要研究方向为破坏性物理分析.