

柔性泄漏检测技术在航空航天工业中的应用

Application of Flexible Leak Test Technology in Aerospace Industry

天津航天长征火箭制造有限公司
首都航天机械公司

苏再为 顾中华 张中平 王日杰
吴孝俭 周庆

[摘要] 随着航空航天产品制造密封性要求的不断提高,对泄漏检测技术提出了更高的要求。目前,氦质谱泄漏检测技术在航空航天领域已得到了较广泛应用。航空航天产品待检件结构、大小、要求种类繁多,因而泄漏检测技术的柔性化、通用化成为了其发展方向。通过系统介绍论述不同产品的常用检漏方法的柔性化应用,为从业人员如何根据特定的条件选择合适的检漏方法提供了必要依据。

关键词: 氦质谱 泄漏检测 柔性化 航空航天

[ABSTRACT] With the improvement about tightness in aerospace industry, the leak test technology is required with a higher level. The helium mass spectrometer is used widely in aerospace industry. Because the products in aerospace industry are various in structure, size and demand, the flexibility and universalization becomes to be the development direction about the leak test. By means of introducing and discussing the common leak testing methods of different products, the way of choosing appropriate leak testing method is presented here for insiders.

Keywords: Helium mass spectrometer Leak test Flexibility Aerospace

泄漏检测(检漏)技术是航空航天产品质量控制中不可或缺的基础技术,随着产品复杂程度的增加和对安全性保证越来越严格,泄漏检测技术在产品质量控制中发挥着越来越重要的作用,已成为保证产品质量的有力手段。航空航天产品因泄漏造成设备故障、危及人员生命安全,甚至机毁人亡的事故屡屡发生^[1]。因而,泄漏检测技术在航空航天产品中起着举足轻重的作用。

泄漏检测技术在航空航天领域的产品制造工艺过程中是不可缺少的工序。在航天领域,氦质谱泄漏检测技术已经得到了较广泛应用,在运载火箭贮箱、卫星、空间飞行器以及地面设备等多种航天产品的焊缝、管路等对接面等多方面都已经有了广泛的应用,并取得了良好的效果。在航空领域,长期以来飞机结构件的检漏方法主要是油密试验和气密试验。随着飞机性能的不不断提升,对检漏技术也提出了更高的要求,原有的检漏方法已经不能满足新产品的需求。国内一些飞机制造厂商

已经将先进的氦质谱泄漏检测技术引进到产品的装配过程中,从而有效提高了检测水平,为飞机性能的不不断提高提供了有力保障。飞机整体油箱在装配过程中使用了氦质谱检漏技术以后,可以保证油箱最后的油密试验一次性顺利通过。

氦质谱检漏技术是一种灵敏度很高的检测技术,这是应用氦质谱技术进行泄漏检测的一个非常重要的有利条件^[2]。然而,实际工作中如果不能正确地运用,该技术的优点就无法得到充分发挥,工作得不到预期的效果。在实际工作中被检件的结构、大小、要求是各式各样的,这就对泄漏检测提出了新的要求,如何根据这些特定的条件选择合适的检漏方法,如何将常用的检漏方法适应航空航天产品柔性化、通用化的需求,这是检漏人员必须回答和解决的问题。氦质谱检漏的方法有很多种,了解航空航天领域常用的各种检漏方法及其特点,并加以熟练运用以满足检漏要求,这对于工程实际是十分重要的,本文将就这一问题做详细论述。

1 氦质谱充压吸枪法检漏(正压检漏)

正压吸枪法是指在被检系统内部充入高于一个大气压的一定浓度的氦气,当待检件存在漏孔时,氦气通过泄漏通道向外逸出。采用氦质谱检漏仪,在大气环境条件下用吸枪在待检部位获得示漏氦气,从而实现检漏。其漏率检测范围一般为 $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。氦质谱充压吸枪检漏可以采用直嗅(直测法)检漏,也可以使用罩盒积累检漏。

1.1 氦质谱正压吸枪直测法检漏

直测法检漏时,试件内充有高于大气压的一定的浓度的氦气,用与检漏仪相连的且被抽成真空的特制吸枪在被检区域内进行探索,当被检件存在漏孔时,氦气通过漏孔向外逸出,当吸枪正对漏孔位置时,氦气随同周围空气一起被吸枪吸入到质谱室中而产生漏气指示,从而达到检漏的目的,如图1所示。然后再用该吸枪去吸取正压标准漏孔漏出的氦气,也会在检漏仪上得到一个反应值。用被检部位测得的反应值与在正压标准漏孔上测得的反应值进行比对,可粗略计算出漏孔漏率的大小。此种方法属于半定量性质,检测误差较大。在正压检漏中,此种方法称为直测法,主要用于寻找漏孔位置。

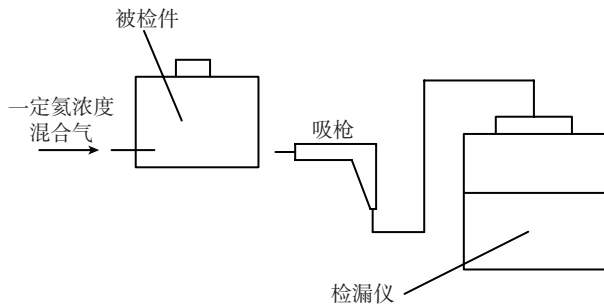


图1 直测法检漏示意图

Fig.1 Leak test with direct measure method

1.2 氦质谱正压吸枪罩盒积累检漏

直测法是用吸枪在大气中从被检部件获得示踪氦气,吸枪本质上检测的是空气中的氦浓度。但对于漏率很小的氦气泄漏,氦气进入大气立即扩散,因而用吸枪进行直测较为困难,在检漏仪上的输出信号很不明显,所以直测法的检测灵敏度不是很高。为了提高检漏灵敏度,可以在检漏吸枪的进气口处安装一个软橡胶的弹性罩盒。这样吸枪与被检表面有较好的密封接触,从而对进行示踪氦气进行积累以提高泄漏到罩盒中的氦浓度,便于质谱仪上有明显的输出信号,此种方法称为吸枪罩盒累积法。对于不同形状的待检件,由于橡胶积累罩盒具有良好的适应性,因而在航空工业中的飞机整体油箱检漏及航天工业中的燃料贮箱等大型密封容器对接面检漏中,吸枪罩盒积累检漏法得以广泛应用^[3]。图2为正压吸枪罩盒积累检漏法示意图。

1.3 氦质谱正压吸枪累积检漏法

将被检容器整体或局部用塑料或金属罩包起来或将被检容器放入一密闭的集气容器中,罩子或集气容器中均为一个大气压的空气。被检容器未充氦前,将与检漏仪相连的吸枪插入罩子内,测出罩子内空气中的氦本底值 I_0 。然后向被检容器中充入一定压力及浓度 γ 的氦气,若容器所罩部位有漏,氦气便通过漏孔进入罩内并被收集起来。经过一定时间 t 后,罩内的氦分压上升到某一值,将吸枪插入累积罩测得对应的输出指示值

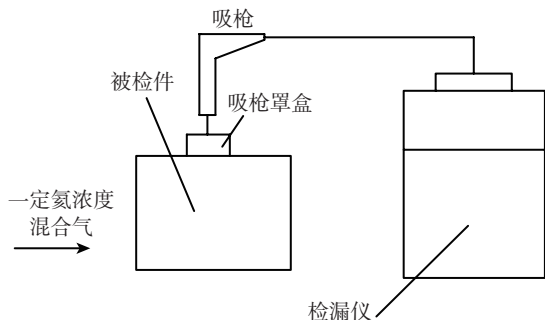


图2 正压吸枪罩盒积累检漏法示意图

Fig.2 Leak test with suction pistol and shroud box in positive pressure

I_1 。然后将已知的纯氦气量 $q(p_0V_0)$ 注入罩子内,罩中氦分压将上升到另一值,此时再次将吸枪插入罩内,测得对应的输出指示值 I_2 。那么被罩部分的氦漏率 Q 便可由公式(1)计算得出^[4]。此种方法不受被检件形状及尺寸的限制,广泛应用于航空航天工业中的管路、法兰对接面等的氦质谱检漏。

$$Q = \frac{P_0V_0}{I_2 - I_1} (I_1 - I_0) \frac{1}{t\gamma} \quad (1)$$

2 氦质谱抽真空喷吹法检漏(负压检漏)

抽真空喷吹法是指对被检系统或被检区域抽真空,对被检系统或被检区域施加氦气,当待检件存在漏孔时,氦气通过泄漏通道进入抽真空区域。采用氦质谱检漏仪与抽真空系统或区域相连接,从而获得示漏氦气实现检漏。针对不同形状的待检件,该方法可以具有较强的适应性,可以对密闭容器做抽真空喷吹法检漏,也可以对没有装配完成的零部件或不适于整体抽真空的密闭容器采用局部检漏罩盒进行抽空喷吹法检漏。

2.1 密闭容器的抽真空喷吹法检漏

在对有足够结构强度的密闭容器进行检测时,先用辅助泵对被检件抽真空至氦质谱检漏仪的工作压力(被检件容积较小时,可以不使用辅助泵,由检漏仪直接抽真空),然后使被检件与检漏仪相通,对需要检测的部位喷吹氦气。如果有漏,氦气通过漏孔进入被检件内部并迅速进入到检漏仪质谱室,由仪器输出指示值变化的大小可以确定检出漏孔的漏率大小。喷枪喷吹的位置可以确定检出漏孔的位置。这是目前使用较普遍采用、方便可靠,而且灵敏度较高的一种氦质谱检漏方法,其工作原理如图3所示。该方法广泛应用于航空航天工业中的各种气瓶、容器、管路、阀门等领域的检漏。

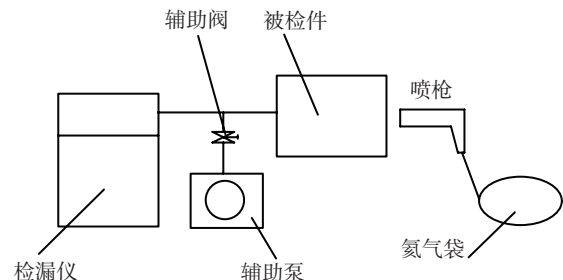


图3 密闭容器抽真空喷吹法检漏示意图

Fig.3 Leak test about closed container with vacuum spray method

2.2 局部罩盒抽真空法检漏

在航空航天工业中,有许多类产品由于其结构强度或设计用途的原因不允许进行抽真空,而这些产品往往漏率指标要求又比较高,正压吸枪法无法满足其灵敏度要求。还有一些产品在未完成装配时就需要进行泄漏

检测,这就需要一种能满足以上要求且适应性较好的氦质谱检漏方法。

将特制的能与被检件表面很好吻合的金属检漏罩盒通过管路与氦质谱检漏仪相连,将检漏罩扣在被检件表面上,用密封圈或真空封泥进行密封。检漏罩盒抽真空后与检漏仪连通,当达到质谱室工作压力后,在被检漏罩扣住的区域的反面喷吹氦气,如仪器输出指示发生变化,则喷吹部位存在漏孔。通过标准漏孔对比法,由输出指示的变化值可以确定漏孔漏率的大小。此法特别适用于加工过程中,对未封闭的被检件上的铆接、螺接、焊接处进行检漏。对于不同的被检件,通过制造与被检件表面相吻合的金属罩盒实现其检测,该方法在航空航天工业中应用非常广泛,其原理如图4所示。

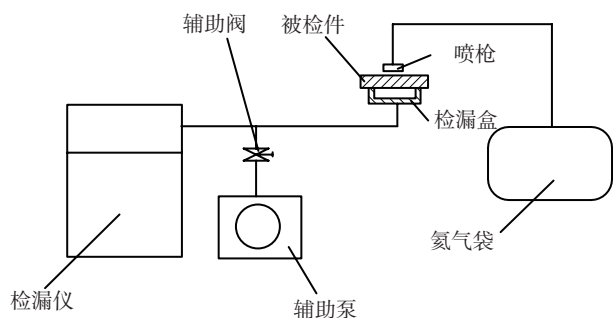


图4 局部罩盒抽真空法检漏示意图

Fig.4 Leak test with partial shroud box vacuum method

2.3 柔性罩盒抽真空检漏

在航空航天工业中,被检件形状种类繁多,传统上用金属罩盒进行检漏时,需要制作大量与其表面相吻合的罩盒。近年来,随着我国航空航天工业的迅速发展,大量新技术的应用使新型号研制周期不断缩短。因而对新产品的泄漏检测周期提出了更高要求。而传统的罩盒抽空法需要制作大量的辅助工装,生产准备时间过长,检测过程也效率较低。同时,面对航空航天工业对多余物控制的越来越严格的要求,传统采用的真空封泥密封介质也已经无法满足多余物控制的要求。因而,航空航天工业领域急需一种适应性更强,操作应用更加简便的氦质谱泄漏检测方法。

柔性罩盒快速泄漏检测技术是一种新兴的检漏技术,以柔性薄膜代替传统的金属罩盒,以方便实用的真空腻子条代替传统的真空封泥,针对不同形状的工件具有适应性强、操作简单等特点。在国外航空领域如波音等公司已经有了广泛应用,国内部分航空航天企业也已经引进并开始应用该项技术,其应用过程如下:

首先,根据被检部位的大小,用剪刀制作一块能够覆盖被检部位的柔性薄膜,在薄膜上开口用于安装接管嘴,通过抽气管路与检漏仪相连。然后,在被检部位周

边贴一圈特制密封胶条,根据密封胶条圈出的形状,用剪刀制作一块与被检区域相适应的通气毛毡并贴在密封胶条所围区域内。最后,将柔性薄膜贴在密封胶带上,并压实进行密封。至此,一个柔性薄膜罩盒就制作完成了。启动检漏仪,对柔性罩盒抽真空并准备检漏,在被检部位的反面喷吹氦气,若被检部位存在漏孔,检漏仪就会有相应的反应值。

此种柔性罩盒制作简单,不受被检部位形状的影响,具有极强的适应性。所使用的柔性薄膜应该选用材质比较致密的压延薄膜。密封胶条是一种特制产品,具有一定的粘接性能和硬度,能够与金属表面和塑料薄膜良好贴合又能承受负压从而保证抽真空时的密封性。另外,这种密封胶条能够方便地与金属表面脱离而不留下任何污渍,从而避免了传统真空封泥用后需用汽油进行清理的缺点。通气毛毡在金属表面和塑料薄膜之间起支撑作用,在抽真空时,可以使金属表面和塑料薄膜不贴合在一起,检漏时的氦气可以通过毛毡中间的间隙在罩盒内流动到达检漏仪。另外,有一种新式特制柔性薄膜,其表面设置为凹凸不平的形状,在抽真空时其本身就可以起到很好的导流作用,氦气可以在其内部流动到达检漏仪。因而,使用此种特制薄膜制作柔性罩盒时就不需要使用通气毛毡。

针对不同航空航天产品,柔性薄膜的选用、通气毡的选用、罩盒的尺寸对检漏灵敏度的影响以及应用的具体工艺方法需要通过大量的工艺试验进行验证。国内已经有少量航空航天企业在产品的泄漏检测中进行应用,并取得了良好的效果,因而,此种柔性泄漏检测技术在航空航天领域将有非常广阔的应用前景。

3 结束语

针对航空航天产品在泄漏检测工程实际中的问题,本文从通用化、柔性化的角度出发,对航空航天工业领域中常用的氦质谱泄漏检测方法做了较为全面的论述,系统介绍了各种常用检漏方法的原理及其应用领域与方法。针对航空航天产品对泄漏检测的新要求,本文介绍了一种全新的柔性罩盒抽真空检漏方法,并对其应用方法与特点进行了论述,随着工艺研究的深入开展,该技术必将在我国航空航天工业中有更广泛的应用。

参考文献

- [1] 吴孝俭. 泄漏检测. 北京: 机械工业出版社, 2005: 1-3.
- [2] 徐成海. 真空工程技术. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [3] 肖祥正, 闫荣鑫, 赵忠. 运载火箭三子级燃料箱体快速检漏技术的研究. 环模技术, 1995, 4: 17-23.
- [4] 肖祥正. 泄漏检测方法与应用. 北京: 机械工业出版社, 2010: 63-68.

(责编 良辰)