

Leakage Detection Method for Commercial Quick Joints and Calculation of Liquid Leakage Rate

Zhenlu Wang

Shandong Institute of Space Electronic Technology, Yantai, Shandong, 264010, China

Abstract

This paper mainly introduces the leakage detection method of commercial quick joints, the calculation of the cut-off leakage rate under liquid medium and the leakage amount under a certain helium leakage rate.

Keywords

quick joint; leakage detection method; cut-off leakage rate; leakage liquid quantity

商用快速接头的检漏方法及其液体漏率计算

王振鲁

山东航天电子技术研究所, 中国·山东 烟台 264010

摘要

论文主要介绍了商用快速接头的检漏方法, 液体介质下截止漏率及一定氦检漏率下泄漏液体量的计算。

关键词

快速接头; 检漏方法; 截止漏率; 泄漏液体量

1 产品概述

商用快速接头是一种应用在流体回路中的阀门类产品, 实现内部工质的连通和断开。商用快速接头产品分为公头、母头两部分, 两者在连通时保证流体通道顺畅, 断开时保证两端独自均能自密封。为确保用户系统的稳定性、安全性、长寿命等性能, 商用快速接头密封性能可靠性较高, 公头、母头分离状态和对接状态漏率指标均优于 $10^{-5} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}^{[1]}$ 。

2 检漏方法

2.1 检漏方法分类

检漏方法有很多种, 习惯上按检漏时被检件内部所处的状态将检漏方法分为以下两类。

①加压检漏法: 被检件内部充以比外部压力更高的示漏气体, 如压降法、气泡法、氦质谱仪吸枪法。

②真空检漏法: 被检件内部抽真空, 将示漏气体施加被检件外部, 如真空计法、氦质谱仪喷吹检漏法等。

每一种检漏工艺方法都具有特定的使用条件, 检漏范围及测试能力。方法的选择应用要与产品的设计指标、使用工况等因素相匹配。

2.2 商用快速接头检漏采用方法

商用快速接头属于内部充压, 且对漏率要求较高的产品, 为满足对产品漏率精准、快速检漏, 采用真空压力法氦质谱检漏。此方法检测灵敏度高, 能实现任何工作压力的漏率检测, 可精确反映被检件的真实泄漏状态。商用快速接头的具体检测方法按照 GB/T15823—2009《无损检测—氦泄漏检测方法》。系统图如图 1 所示, 快速接头的公头、母头及对接状态分别通过不同的连接工装安装在真空罐内, 外部连接氦质谱检测仪^[2]。接下来, 对罐内气体抽真空, 同时对被测产品的管路抽真空后充一定压力氦气, 真空罐内压力稳定后关闭真空泵, 开启检漏仪, 对产品进行检漏, 检漏仪数据稳定, 记录产品漏率值。

【作者简介】王振鲁(1987-), 男, 本科学历, 工程师, 现任职山东航天电子技术研究所设计师, 从事系统集成设计研究。

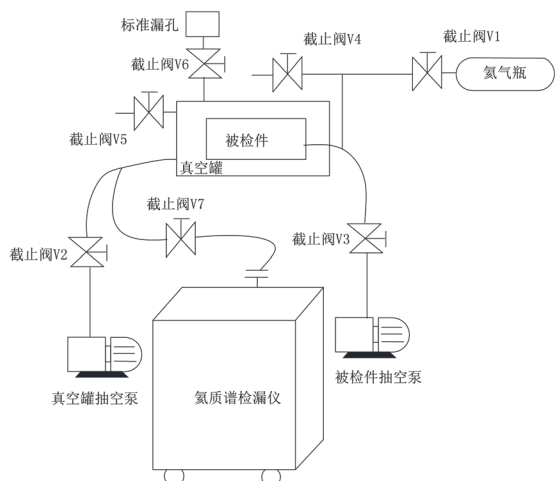


图 1 真空压力法氦质谱检漏系统原理图

具体操作方法如下：

- ①检查并关闭系统中所有截止阀，打开氦质谱检漏仪，预热，设备正常开机。
- ②关闭真空罐，依次打开真空罐抽气泵及截止阀 V2。
- ③将真空罐抽负压至足以允许氦质谱仪与系统相连接的绝对压力，关闭截止阀 V2，打开氦质谱检漏仪处于检测状态，并打开截止阀 V7、截止阀 V6，对系统进行校准^[1]。
- ④按照标准要求 GB/T15823-2009 对系统的检测灵敏度进行计算，若最终灵敏度减小至初始灵敏度的 35% 以下，仪器应进行清洗或修理，重新校准，然后对系统进行重新检测，若系统灵敏度满足要求，可进行下一步操作。
- ⑤关闭截止阀 V7、截止阀 V6，将氦质谱检漏仪调整为待检状态。
- ⑥打开截止阀 V5，使真空罐充压，至大气压后关闭截止阀 V5。
- ⑦将被检件放入真空罐，并连接好产品抽气、加压管路，封闭真空罐。
- ⑧打开真空罐抽气泵及截止阀 V2，真空罐抽负压，打开被检件抽气泵及截止阀 V3，被检件抽负压。
- ⑨带被检件内压、真空罐内压达到足以允许氦质谱仪与系统相连接的绝对压力，关闭截止阀 V2、截止阀 V3，打开氦质谱检漏仪处于检测状态，并打开截止阀 V7。
- ⑩打开截止阀 V1，向被检件内腔充压至测试压力。
- ⑪待氦质谱检漏仪示数稳定后，对漏率进行判读，判读方法按照标准要求 GB/T1523-2009 执行。
- ⑫关闭截止阀 V7、截止阀 V1。

⑬打开截止阀 V4、截止阀 V5，使真空罐充压至大气压，产品泄压至大气压；完成本轮检漏。

产品在检漏前，应有预抽真空处理本操作的第⑧步。特别对于几何形状长和窄的被检件，产品内腔充压前抽空尤为重要：若对产品充压之前未进行抽空处理，被测件的原存空气将被充的氦气挤压到产品内腔端部，而阻挡了氦气进入产品端部，此时潜在的漏孔将仅释放空气，使得氦质谱检漏仪不能测得这些漏孔。同时，对产品充压之前未进行抽空处理，会使被检件中残留的空气稀释充注的氦气浓度，影响数据的判读。

此系统相对复杂，真空罐的容积和形状应与被检件的外形尺寸进行设计，并且必须确保检漏过程中充气管道接口无泄漏，以防影响漏率数据判读。

3 漏率计算说明

商用快速接头适用于多种工况系统，内部介质有气体或液体形式。在通风体的系统中，全封闭的系统内部压力会逐步衰减，对于漏率较小的系统，压力衰减速度相对较慢。但是，液体与气体不同，很小的漏孔下，液体不会漏出，存在着零泄漏现象，也就是存在着一个截止漏率。

3.1 液体介质下截止漏率的计算

当漏孔直径足够小时，液体的表面张力与漏孔断面积上的压力平衡，液体就不会漏出来了。假设漏孔入口压力为 P_1 ，出口压力为 P_2 ，液体介质的表面张力系数为 σ ，漏孔直径为 d ，零泄漏时的平衡条件则为：

$$\frac{\pi d^2}{4}(P_1 - P_2) = \pi d \sigma \quad (\text{公式一})$$

出现零泄漏时的漏孔直径，可推出：

$$d = \frac{4\sigma}{(P_1 - P_2)} \quad (\text{公式二})$$

常温液体系统用粘滞系数为 η 的示漏气体(氦气)检漏时，根据零泄漏准则设计的容许漏率为：

$$[Q] = \frac{\pi d^4}{256\eta L}(P_1^2 - P_2^2) \quad (\text{公式三})$$

其中， $\sigma=72.8\text{mN/m}=7.28 \times 10^{-2}\text{N/m}$ ； $P_1=4 \times 10^5\text{Pa}$ ； $P_2=1 \times 10^5\text{Pa}$ ；氦气的粘滞系数 $\eta=1.96 \times 10^{-5}\text{Pa}\cdot\text{s}$ ；漏孔长度 $L=3 \times 10^{-3}\text{m}$ ；

将上述数据代入公式三，可算出：

$$[Q]=3.13 \times 10^{-8} \text{Pa.m}^3/\text{s}$$

从理论上可计算出，商用断接器在氦质谱检漏示数为 $3.13 \times 10^{-8} \text{Pa.m}^3/\text{s}$ ，则表示产品在通水的情况下是出现零泄漏的，即所谓的“不漏一滴水”。

3.2 一定氦检漏率下泄漏液体量的计算

计算假设氦气检产品漏率在 $1 \times 10^{-4} \text{Pa.m}^3/\text{s}$ 水平时，产品通水理论会泄漏多少水：

按照最大容许气体漏率计算公式（公式四）：

$$Q_q = Q_y \frac{p \eta_y}{p_y \eta_q} \quad (\text{公式四})$$

公式四中： Q_q 为气体最大容许体积漏率， m^3/s （1大气压），此时取 $1 \times 10^{-4} \text{Pa.m}^3/\text{s} = 1 \times 10^{-9} \text{m}^3/\text{s}$ （1大气压）；

Q_y 为液体最大容许体积漏率， m^3/s ； P 为漏孔的平均压力，

$$p = \frac{P_1 + P_2}{2}, \text{ pa}; P_1 \text{ 为漏孔入口端压力，取 } 4 \times 10^5 \text{Pa}; P_2$$

为漏孔出口端压力，取 $1 \times 10^5 \text{Pa}$ ； P_y 为漏孔出口端压力，取 $1 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

此外， H_y 为液体水的动力粘度，取 $1 \times 10^{-3} \text{Pa.s}$ ； H_q 为气体的动力粘度，取 $1.96 \times 10^{-5} \text{Pa.s}$ 。

将上述数据代入公式可代入公式四，可算出：

$$Q_y = 8 \times 10^{-12} \text{m}^3/\text{s},$$

即产品若在氦气检漏率为 $1 \times 10^{-4} \text{Pa.m}^3/\text{s}$ 时，漏孔每

秒会漏出 $8 \times 10^{-12} \text{m}^3$ 的水，一天的理论漏水量可计算得出 0.6912ml ，由于泄漏量较小，短时间内看不出有水泄漏，随时间累计虽有漏水量累计，但受环境影响（如挥发）产品表面基本看不出表面有漏水现象。市面产品漏率基本控制在 $10^{-4} \text{Pa.m}^3/\text{s}$ 水平。而笔者所商用断接器产品通过批量（3000支）检测验证，99.93%漏率数值在 $10^{-7} \text{Pa.m}^3/\text{s}$ 水平，完全具备了或接近于在通液体介质下零泄漏状态，可用于气、液多种介质系统中^[4]。

4 结语

漏率检测方法对快速接头产品的质量和可靠性起着至关重要的作用：检漏方法的选择，应根据被检件允许漏率，从被检件结构、工况条件等技术要求及安全性、经济性等因素进行综合考虑。

快速接头产品漏率的大小影响着系统的整体漏率水平。系统的设计应结合本系统的使用工况选用合适的快速接头，液体介质的系统可参考截止漏率或低漏率选用快速接头。

参考文献

- [1] 闫荣鑫,刘平,冯琪,等. 压降检漏法的影响因素及改进措施 [J]. 中国空间科学技术,2006,26(004):37-41.
- [2] 达道安. 真空设计手册 [M]. 北京: 国防工业出版社,2004.
- [3] 吴孝俭,闫荣鑫. 泄漏检测 [M]. 北京: 机械工业出版社,2005.
- [4] 中华人民共和国国家标准 .GB/T15823-2009,无损检测 .氦泄漏检测方法 [S] 北京: 国家市场监督管理总局,2009.