

# 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<sup>[2]</sup>。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。

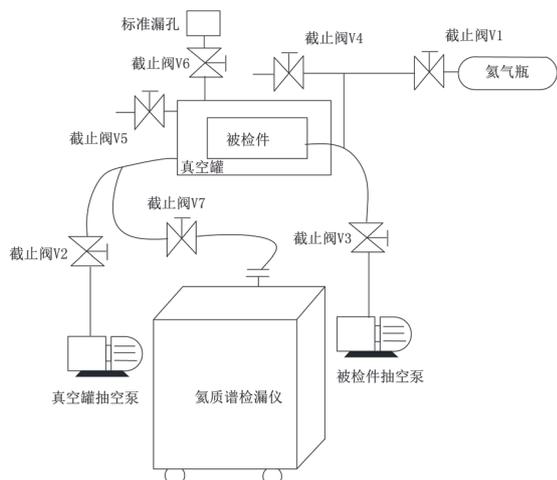


图 1 真空压力法氦质谱检漏系统原理图

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，依次打开真空罐抽空泵及截止阀 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<sup>[1]</sup>。

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打开真空罐抽空泵及截止阀 V2，真空罐抽负压，打开被检件抽空泵及截止阀 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 P1，出口压力为 P2，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，σ=72.8mN/m=7.28×10<sup>-2</sup>N/m；P1=4×10<sup>5</sup>Pa；P2=1×10<sup>5</sup>Pa；氦气的粘滞系数 η=1.96×10<sup>-5</sup>Pa.s；漏孔长度 L=3×10<sup>-3</sup>m；

将上述数据代入公式三，可算出：

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

从理论上可计算出，商用断接器在氦质谱检漏示数为  $3.13 \times 10^{-8} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ ，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 一定氦气检漏率下泄漏液体量的计算

计算假设氦气检产品漏率在  $1 \times 10^{-4} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$  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， $\text{m}^3/\text{s}$ （1大气压），此时取  $1 \times 10^{-4} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s} = 1 \times 10^{-9} \text{m}^3/\text{s}$ （1大气压）；

$Q_y$  为液体最大容许体积漏率， $\text{m}^3/\text{s}$ ； $P$  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  $1 \times 10^{-3} \text{Pa}\cdot\text{s}$ ； $H_q$  为气体的动力粘度，取  $1.96 \times 10^{-5} \text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

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  $1 \times 10^{-4} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$  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  $0.6912 \text{ml}$ ，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  $10^{-4} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$  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  $10^{-7} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$  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<sup>[4]</sup>。

## 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.