

中华人民共和国国家标准

GB/T 40335—2021

无损检测 泄漏检测 示踪气体方法

Non-destructive testing—Leak testing—Tracer gas method

(ISO 20485:2017, MOD)

2021-05-21 发布

2021-12-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 检测原理	1
5 示踪气体检测	1
6 检测设备	2
7 检测准备	2
8 真空检测(A组技术)	2
9 正压检测(B组技术)	5
10 检测报告	12
附录 A(资料性) 本文件与 ISO 20485:2017 的技术性差异及其原因	13
附录 B(资料性) 累积检测技术 校准漏孔与未知容积的密封罩连接	14
参考文献	16

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件使用重新起草法修改采用 ISO 20485:2017《无损检测 泄漏检测 示踪气体方法》。

本文件与 ISO 20485:2017 相比存在技术性差异，这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(|)进行了标示，附录 A 给出了相应技术性差异及原因。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国无损检测标准化技术委员会(SAC/TC 56)提出并归口。

本文件起草单位：中广核检测技术有限公司、上海材料研究所、北京卫星环境工程研究所、上海航天设备制造总厂有限公司、航天智造(上海)科技有限责任公司、上海航天精密机械研究所。

本文件主要起草人：睦霄翔、张红星、蒋建生、韩丽娜、黄隐、黄屹峰、吴刚、穆小程、郭崇武、袁翠平、张海峰、蔡磊、徐薇、徐国珍、周鹏飞。

无损检测 泄漏检测 示踪气体方法

1 范围

本文件规定了使用示踪气体和示踪气体泄漏检测仪进行泄漏检测的技术方法。

本文件适用于使用示踪气体的泄漏检测,以检测泄漏和确定泄漏部位。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件。不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 12604.7 无损检测 术语 泄漏检测(GB/T 12604.7—2021,ISO 20484:2017,MOD)

3 术语和定义

GB/T 12604.7 界定的术语和定义适用于本文件。

4 检测原理

在被检件的边界两侧建立示踪气体分压差。示踪气体通过漏孔后,利用其化学或物理性质进行检测。基于示踪气体化学性质的检测,其检出通常是由于化学反应在被检件表面产生局部颜色变化,因此要求被检件目视可见。基于示踪气体物理性质的检测,通常采用反馈电信号随示踪气体分压力变化的传感器。常用含传感器的仪器设备有以下几种:

- 质谱检漏仪:用于特定示踪气体,一般为 ^4He ;
- 碱离子二极管:用于卤素气体;
- 电子捕获设备:用于 SF_6 等;
- 皮拉尼真空计:用于与空气导热系数不同的示踪气体;
- 光度计:示踪气体的发射或吸收频率在光度计的带通滤波频率范围内。

检测条件宜由泄漏检测人员和客户共同确定并达成一致,由泄漏检测人员详细记录到检测报告(见第10章)。

5 示踪气体检测

5.1 真空检测(A组技术)

被检件抽真空或置于加压容器,使被检件内外壁产生压差(通常采用抽真空的方法)。采用充有示踪气体的护罩或容器包裹被检件(整体或局部),或采用喷枪施加示踪气体到被检件外壁。通过内置或与被检件内部相连的传感器检测泄漏至被检件的示踪气体。

5.2 正压检测(B组技术)

被检件内部充有示踪气体。通过对被检件加压或置于真空容器内,使被检件内外壁产生压差。通过取样探头、载气气流或护罩(容器)收集,对被检件外壁的示踪气体进行检测。示踪气体也可通过化学反应检测。

另一种特殊技术(背压检测)也可使用。该技术通过对密闭被检件加压,当被检件存在泄漏时,示踪气体被压入被检件内部,将被检件置于真空容器内,检测泄漏出的示踪气体(该技术通常只采用 ^4He)。该方法适用于内部容积较小(约几立方厘米)的被检件。

6 检测设备

检测设备可包含以下部分或全部:

- 检漏仪或化学试剂;能检测出所选的示踪气体;
- 校准漏孔:其对真空和/或大气压力的漏率按相关标准校准;
- 压力计和温度计;
- 示踪气体或经确认的混合气体;
- 辅助真空系统;
- 护罩,真空容器或加压容器,喷枪或取样探头;
- 干燥的吹扫气体,如有必要,可使用液氮作为冷阱;
- 示踪气体回收处理设备;
- 检测区域通风设备;
- 数据记录设备。

7 检测准备

被检件应充分清洁、脱脂、干燥。与检测无关的开口和孔洞应采用塞子、焊接、合适的材料和垫圈等方式加以密封。检测宜在电镀、喷漆或施加超声耦合剂前执行。如对被检件抽真空,宜避免使用多孔或塑料材料,有助于避免虚假指示(虚假泄漏),并缩短清除时间。

被检件、真空系统、检漏仪和校准漏孔间的接头应匹配,并检查其密封性。

8 真空检测(A组技术)

8.1 概述

A组技术适用于能抽真空或承受外部压力的被检件。示踪气体施加于被检件外壁,检漏仪连接至被检件内部。如果使用质谱检漏仪,检测时其自身的真空系统能直接对小型被检件抽真空。

体积较大的被检件,需并联辅助真空系统至检漏仪。辅助真空系统导致仅部分示踪气体进入检漏仪时,应考虑灵敏度降低的情况。

可使用以下三种方法。

- 真空检测技术(整体检测)(A.1):

对置于密封罩(密封袋或密封容器)内的被检件抽真空并连接至检漏仪。密封罩内充入示踪气体或含示踪气体的混合气体。该技术能对漏率定量,但不能对泄漏位置准确定位。

当泄漏检测的目的是根据特定漏率标准判断被检件是否合格时,应只采用A.1技术。该情况下,应测量示踪气体的浓度、压力和温度,并保证混合气体的均匀性。为确保密封罩密封性,推

荐采用刚性密封罩。

——真空检测技术(局部检测)(A.2):

对被检件抽真空并连接至检漏仪。采用充有示踪气体且气密性良好的密封罩包裹待检测区域。该技术能对漏率定量,但不能对泄漏位置准确定位。

——真空检测技术(单点检测)(A.3):

对被检件抽真空并连接至检漏仪。喷吹示踪气体至被检件外壁可疑区域。该技术能对泄漏位置定位,但不能对整体漏率定量。

8.2 系统初始化设置

8.2.1 应按照仪器厂商操作手册,使用校准漏孔对检漏仪调节。如果选用质谱检漏仪,应使用校准漏孔直接与检漏仪入口相连或使用仪器内置漏孔进行校准。

8.2.2 被检件连接至检漏仪,用检漏仪的真空系统或辅助真空系统对被检件抽真空至合适压力。该压力由检漏仪最大入口压力决定。

8.2.3 应测量初始背景信号。

8.2.4 校准漏孔与被检件连接,应记录校准漏孔打开后检漏系统的最大稳定信号,以验证系统灵敏度。检测期间检漏仪与辅助真空系统的抽气速率比应保持恒定。

8.2.5 较大的被检件或复杂系统,应选择合适的校准漏孔以测量系统响应时间。校准漏孔的漏率宜尽可能接近系统最大允许漏率。除非另有规定,测量响应时间时校准漏孔应连接至被检件最不利于检出的位置,校准漏孔和被检件之间应有隔离阀。

如有可能,校准漏孔出口和隔离阀之间应抽真空。任何情况下,宜注意避免校准漏孔出口和隔离阀之间累积的气体进入系统。响应时间是从隔离阀打开至检漏系统信号增幅达到最大稳定值 90% 之间的时间。

注 1: 响应时间实际测量通常在信号衰减阶段执行。

注 2: 另有一种常见的情况,响应时间是指从隔离阀打开至检漏系统信号增幅达到最大稳定值 63% 之间的时间。

8.2.6 关闭校准漏孔,记录检漏系统背景信号。打开校准漏孔,记录检漏系统稳定信号。迅速关闭校准漏孔,检漏系统信号下降了稳定信号与背景信号差值 90% 的时间间隔为清除时间。

注: 另有一种常见的情况,清除时间是指从关闭校准漏孔至检漏系统信号下降了稳定信号与背景信号差值 63% 的时间。

8.2.7 信号幅值和响应时间应作为检测过程中的参考基准。检测期间系统布局和抽速均不应改变。

8.2.8 检测能使检漏系统信号饱和的较大泄漏时,能通过降低混合气体中示踪气体浓度,或增大辅助真空系统抽速以降低检测灵敏度。检测灵敏度发生改变时,应重新测量响应时间。

8.3 真空检测技术(整体检测)(A.1)步骤

8.3.1 系统初始化设置后,应执行 8.3.2~8.3.7 步骤。

8.3.2 被检件置于密封罩(密封袋或密封容器)并抽真空。如果密封罩是柔性密封袋(通常为塑料袋),应完全包裹被检件。

8.3.3 密封罩预抽真空能有助于检测。当密封罩为柔性密封袋时,密封袋宜抽真空至紧贴被检件外壁,但不损坏密封袋。密封罩抽真空后注入示踪气体。如果密封罩未抽真空,宜使用干燥示踪气体或含示踪气体的混合气体充分吹扫,以确保示踪气体浓度均匀且达到预期。检测人员应记录混合气体中示踪气体的体积浓度,后续测量时进行相应修正。采用柔性密封袋时,应充气至密封袋不再接触被检件外壁。

8.3.4 当采用刚性密封罩时,应分别记录充入示踪气体前后的压力。根据记录的压力,使用波义耳-马略特定律计算示踪气体体积浓度。

8.3.5 被检件置于含规定浓度示踪气体的密封罩,维持时间应至少为响应时间的 2 倍。当响应时间超过 20 min 时,可按规定给出不同的维持时间。

注:另有一种常见的情况,维持时间至少为响应时间的 3 倍。

8.3.6 任何信号出现后,应等待直至出现以下情况:

——获得最大信号值:能与已知漏孔漏率的信号对比并计算总漏率;

——获得最大允许漏率相应信号:该情况下可中断检测并评定。

8.3.7 分子流状态下,被检件整体漏率按照公式(1)计算:

$$q_G = \frac{q_{CL} \times (S_L - R_L)}{S_{CL} - R_{CL}} \times \frac{1}{c} \times \frac{p_{atm}}{p} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

q_G ——被检件整体漏率,单位为帕斯卡立方米每秒(Pa·m³/s);

q_{CL} ——校准漏孔漏率(纯示踪气体),单位为帕斯卡立方米每秒(Pa·m³/s);

S_L ——泄漏信号;

R_L ——与 S_L 相应的背景信号;

S_{CL} ——校准漏孔产生的信号;

R_{CL} ——与 S_{CL} 相应的背景信号;

c ——混合气体中示踪气体体积浓度;

p_{atm} ——大气压力,单位为帕斯卡(Pa);

p ——密封罩内总压力,单位为帕斯卡(Pa)。

当使用混合气体检测时,示踪气体体积浓度应通过经批准的混合气体制备程序获得(如有要求,提供证明)。

如果要求高准确度,应采用含相同浓度混合气体的校准漏孔执行系统校准。

8.4 真空检测技术(局部检测)(A.2)步骤

8.4.1 当对被检件局部(如焊缝、热电偶套管、人孔盖板、电气或机械贯穿件)进行检测时,可只在该局部区域使用密封罩。检测规程给出示踪气体维持时间时,应考虑被检区域相对于真空系统和检漏仪的位置。

8.4.2 系统初始化设置后,应执行 8.4.3~8.4.5 步骤。

8.4.3 塑料袋或密封容器通过胶带或密封垫贴合至被检区域。该措施可防止检测中出现较大示踪气体泄漏。

8.4.4 被检件抽真空。

8.4.5 按 8.3.3 到 8.3.6 规定的要求执行。

8.5 真空检测技术(单点检测)(A.3)步骤

8.5.1 系统初始化设置后,应执行 8.5.2~8.5.6 步骤。

8.5.2 应按照 8.2.5 规定的校准漏孔位置放置通道型漏孔,以评估喷枪检测被检件表面时扫查速度对检测结果的影响。调节喷枪气流,使喷嘴以规定的扫查速度和距离经过漏孔位置,记录信号幅值。如信号幅值过小,宜降低扫查速度。

8.5.3 当示踪气体密度比空气小时,扫查宜从被检件顶部开始。当示踪气体密度比空气大时,扫查宜从被检件底部开始。各区域扫查应按检测规程的要求操作。

8.5.4 当检测到泄漏时,应评估其影响。确定临时封堵该漏孔以继续执行检测的必要性。

8.5.5 检测到泄漏并封堵后,应等待检漏系统信号恢复至初始状态(清除时间)。如仅要求检测泄漏位置,检测规程可规定能继续扫查的信号水平(最大信号百分比)以缩短检测时间。

8.5.6 检测到所有泄漏后,可采用其他合适的技术(“整体法”或“累加法”)确定被检件整体漏率。该步骤可在检测初执行,以便不存在泄漏的情况下节省检测时间。如被检件含有渗透或吸附示踪气体的材料,吸附的示踪气体可能降低后续检测灵敏度。

9 正压检测(B组技术)

9.1 概述

B组技术适用于开口或不能抽真空的被检件。在被检件边界两侧建立示踪气体压差或分压差。当被检件为开口时,在其一侧喷吹或用密封袋施加示踪气体,在另一侧采用真空罩收集示踪气体。当被检件不能抽真空时,其内部充入示踪气体,在外部收集和检测示踪气体。

有以下七种技术可供选择。

- 氨检测技术(B.1):被检件内充无水氨气或氨氮混合气体至规定正压。在被检件外壁施加变色试剂(通常为含酸碱指示剂的混合物,如溴酚蓝试剂)显示并定位漏孔。
- 真空罩检测技术(B.2),示踪气体施加于被检件内部(B.2.1):对较大的被检件内部充入示踪气体或含示踪气体的混合气体,检漏仪连接真空罩从被检件外部检测。
- 真空罩检测技术(B.2),示踪气体施加于被检件一侧(B.2.2):采用抽真空的局部密封罩(真空罩、吸盘)紧密贴合开口的被检件边界一侧,用喷枪(针嘴)或护罩在被检件边界另一侧施加示踪气体检测。
- 累积检测技术(B.3):被检件内充入正压示踪气体,置于密封罩内。经过规定时间,采用与密封罩连接的检漏仪检测累积的示踪气体,能估算漏率(密封罩体积和压力已知的情况下能确定漏率)。
- 吸枪检测技术(B.4):被检件内充入正压示踪气体(或混合气体)。采用与检漏仪相连的取样探头在被检件大气侧查找泄漏位置。该技术用于泄漏的检测和定位(直接吸枪)。
- 背压检测技术(B.5):密闭被检件置于高压示踪气体(通常为 ^4He)环境,当被检件存在泄漏时,示踪气体被压入被检件内部。吹扫被检件外壁去除吸附的示踪气体后,被检件置于与检漏仪相连的真空容器,以检测泄漏出的示踪气体。
- 真空室检测技术(B.6):内部含示踪气体或示踪气体混合气体的小型被检件置于真空容器内。真空容器抽真空至低于被检件内部压力。采用与真空容器相连的检漏仪测量被检件泄漏的示踪气体总漏率。
- 载气检测技术(B.7):检测前被检件充入示踪气体至正压。密封罩包裹被检件,密封罩内的载气流过被检件表面。载气导出被检件泄漏的所有示踪气体,由出口处的传感器检出。

9.2 系统初始化设置

9.2.1 氨检测技术(B.1)

9.2.1.1 试剂直接施加于被检件表面,或施加于纸或织物并覆盖于被检件表面。应通过接触少量示踪气体验证试剂反应性能。

9.2.1.2 试剂样品应施加于被检件表面(远离被检测区域),应在整个检测周期内观察其颜色变化。颜色变化表示环境或被检件表面存在氨气污染。

9.2.2 正压检测技术(B.2,B.3,B.4,B.6)

9.2.2.1 检漏仪应按 8.2.1 规定的方法调节(适用于 B.2,B.3,B.4 和 B.6)。

9.2.2.2 应选择合适漏率的校准漏孔执行系统校准,漏孔漏率应在出口为大气时(或等效系统,如预制

气体浓度)校准。定性检测时,校准漏孔漏率宜接近最大允许漏率。定位检测时(用于返修),校准漏孔漏率宜接近最小可检漏率(适用于 B.2,B.3,B.4 和 B.6)。

9.2.2.3 当采用取样探头时,关闭入口阀或置于液氮上方取样以完成调零操作。如不具备该类装置,调零操作能于检测开始前在相对洁净的大气中执行(仅针对 B.3 和 B.4)。

如要求测量检测灵敏度,取样探头前端置于校准漏孔出口。移开探头等待清除时间,以规定的扫查速度移动取样探头以再次校准(仅针对 B.4)。

校准宜在未被示踪气体污染的区域执行。取样探头可能被灰尘或异物堵塞,应频繁执行校准(仅针对 B.4)。

9.2.2.4 当采用密封罩时,已知漏率的漏孔通过隔离阀与密封罩连接。应记录阀门打开前和经累积时间后示踪气体浓度对应的检漏系统信号。如密封罩无法抽真空,检测系统难以净化,该步骤应谨慎实施(仅针对 B.3)。

9.2.2.5 如检测在真空系统无法隔离的真空容器内执行,应记录响应时间和校准漏孔最大信号。后续检测中真空系统的抽速应保持不变(仅针对 B.6)。

9.2.2.6 移除示踪气流,记录空气中残余示踪气体信号。

9.2.3 背压检测技术(B.5)

9.2.3.1 带有校准漏孔的真空容器与质谱检漏仪相连。达到规定的真空度时记录背景信号。打开校准漏孔,记录信号出现时间和信号最大幅值。

9.2.3.2 应采用与被检件相同材料、表面状态的密封样品以确定除气时间。样品置于与质谱检漏仪相连的真空容器。除气时间是获得明显低于最大允许漏率信号所需的最短时间。除气时间过长可能降低检测灵敏度或掩盖较大泄漏。

9.3 氦检测技术(B.1)

9.3.1 概述

该技术适用于泄漏检测和定位。

系统初始化设置后,应执行 9.3.2~9.3.7 步骤。

9.3.2 被检件准备

应采用干燥热空气吹扫被检件以获得干燥环境。因水汽可能引起腐蚀,如有可能,推荐对被检件抽真空。当出现 9.2.1.2 描述的颜色变化时,待施加检测试剂的表面宜预先使用酸性溶液中和处理。

9.3.3 试剂的施加

试剂应施加于待检测区域。

如试剂为液态,能采用刷涂或喷涂的方式施加一层薄而均匀的涂层。厚涂层显像时间更长,且可能导致涂层自身变色。水基试剂施加完成宜采用热风枪(通常 50 °C~60 °C)干燥处理,或施加于预热表面。温度超过 100 °C 可能损坏试剂。

如试剂浸染于其他载体(纸或织物),应采用胶带可靠固定于被检件表面。

试剂施加后,采用透明薄膜保护能防止或降低环境中氦气对检测的影响。保护方式不对检测产生干扰。

9.3.4 氦气充压

氦气在空气中体积浓度为 15%~28% 时形成爆炸混合物。

对于较大泄漏(大于 $1 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)且氨气浓度小于 15%,可采用无油干燥空气对被检件充压。

对于较小泄漏(小于 $1 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)且氨气浓度大于 15%,应采用惰性气体(通常为氮气)对被检件充压。

如没有混合装置,可通过道尔顿定律(即分压比)估算浓度。应按以下顺序对被检件充压:

- a) 充入干燥空气或惰性气体至大气压力;
- b) 充入氨气至表压等于由浓度和总压力计算的分压力;
- c) 充入空气或惰性气体至规定压力。

尽管几百帕压力能有效检测,但为优化最小可检漏率和缩短检测时间,推荐采用 $2 \times 10^5 \text{ Pa} \sim 3 \times 10^5 \text{ Pa}$ 压力。

9.3.5 注入时间

应保持压力一定时间以使任何泄漏均形成稳定气流。该时间取决于压力、壁厚、氨气浓度和泄漏量。建议时间为每毫米壁厚 30 min。由于存在注入时间,9.3.4 规定的充压步骤也可在 9.3.3 规定的试剂施加步骤前实施。

9.3.6 目视检查

保压完成后,应在白光下对施加试剂的被检件表面直接检测,或采用能指示大于 1 mm 圆形显示的仪器检测。被检表面照度应不低于 350 lx。记录所有大于 1 mm 圆形显示并按以下步骤验证:

- a) 如试剂以刷涂的方式施加:
 - 1) 清除刷涂的试剂;
 - 2) 重新刷涂试剂并干燥;
 - 3) 如形成新的圆形显示,记录其出现时间;
 - 4) 30 min 后检查圆形显示扩展情况,如有要求,测量圆形显示直径以指示泄漏大小。
- b) 如试剂以浸染带的方式施加:
 - 1) 更换浸染带;
 - 2) 15 min 后检查浸染带与被检件外壁接触的一侧是否出现新圆形显示,如有要求,测量圆形显示直径以指示泄漏大小。

9.3.7 后处理

检测完成后根据相关法规采用氨气处理设备,缓慢排出被检件中混合气体以释放压力。采用惰性气体吹扫或抽真空的方式清除残余气体。任何焊接返修前均应充分吹扫。

9.4 真空罩检测技术(B.2.1, B.2.2)

9.4.1 概述

该技术适用于泄漏检测与定位。如被检件充入已知浓度示踪气体, B.2.1 技术适用于漏率的估算或测量,取决于覆盖在被检件外壁真空罩的密封情况。

系统初始化设置后,执行 9.4.2 或 9.4.3 步骤。

9.4.2 真空罩检测技术:密闭被检件(B.2.1)

9.4.2.1 该技术适用于含有小于(或接近、或大于)大气压力示踪气体(或示踪气体混合气体)的大型被检件的泄漏检测。

9.4.2.2 真空罩置于指定检测区域并抽真空至规定压力。真空泵宜保持在维持规定压力的最低抽速以提高检测灵敏度。

9.4.2.3 连接检漏仪,应记录 t_0 (测量初始时刻) 压力与信号。

9.4.2.4 规定时间后(该时间与规定压力和系统响应时间有关)应记录信号与实际压力。如要求估算或测量漏率,应采用相同条件下由校准漏孔获得的校准曲线。

9.4.3 真空罩检测技术:开口被检件(B.2.2)

该技术适用于开口被检件。该情况下应重复执行 9.4.2.2 和 9.4.2.3 规定的步骤。

应采用喷枪、护罩或密封袋在被检件检测区域背面施加示踪气体。出现信号时表明存在泄漏。

9.5 累积检测技术(B.3)

9.5.1 概述

该技术适用于总漏率测量。

B.3 技术适用于含示踪气体或能被示踪气体充压至正压的被检件,且该被检件能完全置于密封罩内。

系统初始化设置后,执行 9.5.2。

9.5.2 累积检测技术步骤(B.3)

9.5.2.1 应吹扫被检件以获得干燥环境。如有可能,推荐对被检件抽真空。被检件充入示踪气体或示踪气体混合气体至规定正压。如采用混合气体,程序应给出要求的最终浓度。

9.5.2.2 被检件置于密封罩内,密封罩与检漏仪相连,被检件内示踪气体泄漏至密封罩,引起密封罩示踪气体浓度增大并由检漏仪检出。应记录 t_0 时刻(测量初始时刻)示踪气体浓度 c_0 对应的信号 S_0 ,和/或记录测量装置背景信号(如空气中氦气对应的信号)。

9.5.2.3 经过规定时间(取决于要求检测极限),应测量记录 t_1 时刻示踪气体浓度 c_1 对应的信号 S_1 。

9.5.2.4 通过与已知参考混合气体(示踪气体浓度 c_{ref} , 对应信号 S_{ref})对比,确定 S_0 和 S_1 对应的浓度 c_0 和 c_1 。被检件漏率 q_G 宜按照公式(2)计算:

$$q_G = p \times \frac{V \times (c_1 - c_0)}{t_1 - t_0} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

q_G ——总漏率,单位为帕斯卡立方米每秒(Pa·m³/s);

p ——密封罩压力,单位为帕斯卡(Pa);

V ——密封罩容积,单位为立方米(m³);

c_1 —— t_1 时刻密封罩示踪气体浓度;

c_0 —— t_0 时刻密封罩示踪气体浓度;

t_1 ——测量结束时刻,单位为秒(s);

t_0 ——测量开始时刻,单位为秒(s)。

9.5.2.5 如密封罩容积未知,应采用参考漏孔(也可采用校准漏孔),参考漏孔通过隔离阀与容积相近的密封罩连接,或直接与检测用密封罩连接。参考漏孔直接与检测用密封罩连接情况下,检测前后均能进行校准。参考漏孔漏率应与最大允许漏率在同一量级。示踪气体压力和浓度宜尽可能接近被检件在检测时的状态。

如检测采用含示踪气体混合气体执行,参考漏孔气体应为同种混合气体。如有可能,参照附录 B 图 B.1 规定的布局从被检件出口对参考漏孔供气。

参考漏孔有以下两种连接方式：

——参考漏孔与容积相近的密封罩相连，如存在泄漏，漏率按照公式(3)计算：

$$q_G = q_L \times \frac{p_e}{p_{amb}} \times \frac{S_1 - S_0}{S_{L1} - S_{L0}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

q_G ——大气压力下漏率，单位为帕斯卡立方米每秒(Pa·m³/s)；

q_L ——参考漏孔漏率，单位为帕斯卡立方米每秒(Pa·m³/s)；

p_e ——密封罩内压力，单位为帕斯卡(Pa)；

p_{amb} ——大气压力，单位为帕斯卡(Pa)；

S_1 ——检测结束时浓度信号；

S_0 ——检测开始时浓度信号；

S_{L1} ——检测结束时连接参考漏孔的密封罩内浓度信号；

S_{L0} ——检测开始时连接参考漏孔的密封罩内浓度信号。

——参考漏孔与检测用密封罩相连，参考漏孔漏率与被检件漏率(如存在泄漏)叠加。应记录初始信号 S_0 和 t_1 时刻信号 S_1 。此时(如有必要，排出校准漏孔与隔离阀之间累积的示踪气体)应打开校准漏孔与密封罩相连。经过一段时间，应记录 t_2 时刻信号 S_2 。如存在泄漏，漏率按照公式(4)计算：

$$q_G = q_L \times \frac{S_1 - S_0}{t_1 - t_0} \times \frac{t_2 - t_1}{(S_2 - S_0) - [(S_1 - S_0) \times (t_2 - t_0) / (t_1 - t_0)]} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

q_G ——大气压力下漏率，单位为帕斯卡立方米每秒(Pa·m³/s)；

q_L ——参考漏孔漏率，单位为帕斯卡立方米每秒(Pa·m³/s)；

S_1 ——校准漏孔阀门打开前密封罩浓度信号；

S_0 ——检测开始时密封罩浓度信号；

t_1 ——参考漏孔打开时刻，单位为秒(s)；

t_0 ——检测开始时刻，单位为秒(s)；

t_2 ——最终读数时刻，单位为秒(s)；

S_2 —— t_2 时刻密封罩浓度信号。

注：如被检件和参考漏孔泄漏量小到不足以引起被检件、密封罩的容积与压力产生可识别的变化，则根据认定泄漏率恒定而简化的公式成立(见附录 B 的图 B.2)。

9.6 吸枪检测技术(B.4)

9.6.1 系统初始化设置后，应执行 9.6.2～9.6.7 步骤。

9.6.2 应吹扫被检件以获得干燥环境。如有可能，推荐对被检件抽真空。被检件充示踪气体或示踪气体混合气体至规定正压。如采用混合气体，程序应给出要求的最终浓度。

9.6.3 应等待漏率稳定，检测时间应与系统响应时间相关。

9.6.4 应在检测规程中规定的区域扫查。

9.6.5 取样探头应保持在距被检件表面不超过 1 mm 范围内，移动速度应不超过 20 mm/s。

9.6.6 应评估所有可疑区域，如有必要，应标记并临时封堵漏孔后再继续扫查。

9.6.7 除非另有要求，检测完成后应排出被检件内示踪气体。如有后续检测计划，示踪气体不宜在检测区域排放。宜预先考虑影响，再安全排放。

9.7 背压检测技术(B.5)

9.7.1 该技术适用于检测前已密封且不含示踪气体的被检件。该类被检件通常尺寸较小(例如：半导

体元器件、封闭式继电器等)。贯穿该类被检件边界的泄漏利用示踪气体加压的方法(背压检测)检出。该技术无法对泄漏定位且不能检测较大泄漏。较大泄漏通过其他合适技术检出。

检测原理为被检件置于含高压示踪气体的加压容器,加压完成后移至真空容器执行检测。具体步骤如下:

- a) 去除加压容器内空气(抽真空);
- b) 利用示踪气体加压;
- c) 被检件表面除气(吹扫,抽真空);
- d) 采用质谱检漏仪对真空容器测量。

整个检测阶段,应调整压力以确保被检件完整性和检测灵敏度最优化。

9.7.2 被检件预先清洁干燥并置于真空容器内。真空容器应抽真空至确保被检件完整性的最低压力,并应在规定时间维持该压力水平,该维持时间应根据壁厚确定。

9.7.3 应采用示踪气体对该容器加压至规定压力,保压规定时间以获得预期检测灵敏度。保压时间取决于:

- 壁厚;
- 材料类型;
- 泄漏大小;
- 被检件容积。

9.7.4 应在远离检漏仪处排放示踪气体(示踪气体可经气管排放至建筑外,或排放至收集器以避免检测区域示踪气体浓度上升)。

9.7.5 应采用不含示踪气体的干燥空气或氮气吹扫被检件,以去除被检件表面吸附的示踪气体。吹扫时间应通过实验确定。

9.7.6 被检件置于未连接质谱检漏仪的真空容器。抽真空去除被检件表面的示踪气体。

9.7.7 除气时间受被检件类型影响,主要取决于被检件外壁的表面特性,其中材料性质和表面粗糙度尤为重要。

应采用密封良好的参考对象或具备相同表面状况、材料的样品确定除气时间。

参考对象应置于连接质谱检漏仪的真空容器内,采用与被检件相同的方法除气。

当脱附气体流量与示踪气体预期流量水平相当时,能视作外壁已充分除气。该预期流量由允许漏率和加压条件计算获得。

9.7.8 真空容器应与质谱检漏仪连接并开始抽真空,并在除气情况达到预期值后读取漏率信号。应采用记录仪器确定动态平衡稳定信号,或在平衡建立前经过规定的等待时间(取决于被检件除气情况)读取漏率信号。等待时间越长,测量不确定性(由除气时间内不确定因素决定)越小。

9.7.9 如检测能获得稳定状态信号,应读取参考漏孔稳定信号进行校准。如平衡建立前读取漏率信号,应读取参考漏孔等效信号进行校准。

宜多次读取该信号以获取统计误差。

9.7.10 考虑被检件内部氦气分压,显示的漏率并非标准总漏率。

应通过可接受漏率 q_L 计算安全拒收点 q_R ,见公式(5):

$$q_R = q_L \times \frac{p}{p_0} \times (1 - e^{-q_L \times t_b / p_0 V}) \times e^{-q_L \times t_w / p_0 V} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

q_R ——允许泄漏显示(拒收点),单位为帕斯卡立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)

q_L ——被检件允许漏率,单位为帕斯卡立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$);

p ——示踪气体加压压力,单位为帕斯卡(Pa);

p_0 ——大气压力,单位为帕斯卡(Pa);

t_b ——加压时间,单位为秒(s);

V ——被检件内部容积,单位为立方米(m^3);

t_w ——加压与检测之间等待时间,单位为秒(s)。

公式(5)仅在特殊设定下成立。

一个信号可能代表两种漏率,较低的数值为微漏漏率,较高的数值为相同信号的较大漏率。

较大漏率仅能在加压后至抽真空前(等待时间 t_w 内)发现。推荐采用吸枪法验证较大漏率。

9.8 真空室检测技术(B.6)

9.8.1 该技术适用于包含示踪气体或能采用示踪气体充压至小于(或接近、或大于)大气压力的密封被检件,且被检件能完全置于真空室。

9.8.2 含示踪气体的被检件置于真空室,真空室抽真空至规定压力并与检漏仪连接。

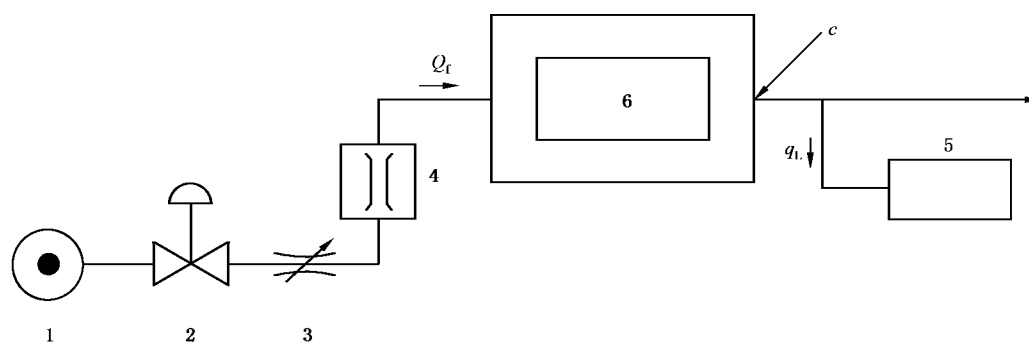
9.8.3 测量从被检件泄漏至真空室的总漏率。

9.9 载气检测技术(B.7)

9.9.1 应吹扫被检件以获得干燥环境。如有可能,推荐对被检件抽真空。

9.9.2 被检件由柔性或刚性密封罩包围,密封罩内载气流过被检件表面。密封罩进气口连接至装有调压阀和流量计的气源(通常为氮气或干燥空气)。密封罩出气口连接至检漏仪的取样探头(典型布局见图1)。

可连接压力传感器至密封罩以检测压力变化。



标引序号说明:

1 ——载气气源;

2 ——调压阀;

3 ——流速控制装置;

4 ——流速测量装置;

5 ——带取样探头的检漏仪;

6 ——充压的被检件;

c ——载气气流中示踪气体浓度;

Q_f ——载气流量,单位为帕斯卡立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$);

q_L ——被检件漏率,单位为帕斯卡立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)。

图1 载气检测技术

9.9.3 检测装置和检漏仪均由连接至密封罩的参考漏孔(或校准漏孔)校准,漏孔出口应接入载气气流。

9.9.4 校准过程中,连接至载气气流的参考漏孔漏率由检漏仪测量。检漏系统信号调节至参考漏孔相

应数值。

9.9.5 关闭参考漏孔，调节检漏系统信号至零。打开参考漏孔等待漏率稳定，调节检漏系统显示正确漏率信号。

9.9.6 应关闭或从系统中移除参考漏孔。

9.9.7 被检件充示踪气体或示踪气体混合气体至规定正压。如采用混合气体，程序应给出要求的最终浓度。

9.9.8 当检漏系统漏率信号稳定时，记录该信号为测量结果。

当检漏仪通过参考漏孔调节时，获取实际示踪气体分流的漏率信号，记录该信号为测量结果。

当采用检漏仪测量示踪气体浓度时（如空气中氦气体积分数为 5×10^{-6} ），被检件漏率按照公式（6）计算：

$$q_{\text{L}} = c \times Q_{\text{f}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

q_{L} ——被检件泄漏的示踪气体漏率，单位为帕斯卡立方米每秒（ $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ）；

c ——载气气流中测量示踪气体浓度；

Q_{f} ——流经密封罩的载气流量，单位为帕斯卡立方米每秒（ $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ）。

该情况下，谨慎控制载气流量 Q_{f} 以避免测量误差。

10 检测报告

检测报告应包括下列内容：

- a) 检测日期和地点；
- b) 本文件编号和检测方法；
- c) 设备、耗材信息（检漏仪型号、示踪气体种类、浓度/压力、辅助密封罩类型、容积、密封性等）；
- d) 校准操作（包含校准参数和相关信号、参考条件）；
- e) 检测条件（压力、温度等）；
- f) 检测结论；
- g) 操作者姓名及相关信息。

附录 A

(资料性)

本文件与 ISO 20485:2017 的技术性差异及其原因

表 A.1 给出本文件与 ISO 20485:2017 的技术性差异及其原因。

表 A.1 本文件与 ISO 20485:2017 的技术性差异及其原因

序号	本文件 章条编号	技术性差异	原因
1	1	增加了关于本文件适用范围的描述	适应国内标准要求,便于标准使用者使用
2	2	用修改采用国际标准的 GB/T 12604.7 代替 ISO 20485:2017 引用的 ISO 20484	适应国内标准要求,便于标准使用者使用
3	8.1	增加了 A.2 技术关于泄漏定量和定位的描述	适应国内使用习惯,便于标准使用者使用
4	8.2.5	增加了关于响应时间的计算方法	适应国内标准要求,便于标准使用者使用
5	8.2.6	增加了关于清除时间的计算方法	适应国内使用习惯,便于标准使用者使用
6	8.3.5	增加了关于维持时间与响应时间倍数的描述	适应国内使用习惯,便于标准使用者使用
7	8.5.2	修改了关于校准漏孔位置所引用的条款	标准原文中引用条款 8.2.4,标准原文无校准漏孔位置要求,根据表述内容引用条款 8.2.5
8	9.2.2.1	修改了关于检漏仪调节方法所引用的条款	标准原文中引用条款 9.1.1,标准原文无该条款,根据表述内容引用条款 8.2.1
9	9.3.2	修改了氨检测技术中关于被检件准备所引用的条款	标准原文中引用条款 10.1.1.2,标准原文无该条款,根据表述内容引用条款 9.2.1.2
10	附录 B	修改了图 B.2 中关于坐标轴 X、Y 的说明	标准原文中坐标轴 X、Y 的说明有误

附录 B
(资料性)

累积检测技术 校准漏孔与未知容积的密封罩连接

按 9.5.2.5 规定,采用示踪气体混合气体,校准装置布局示意图见图 B.1。

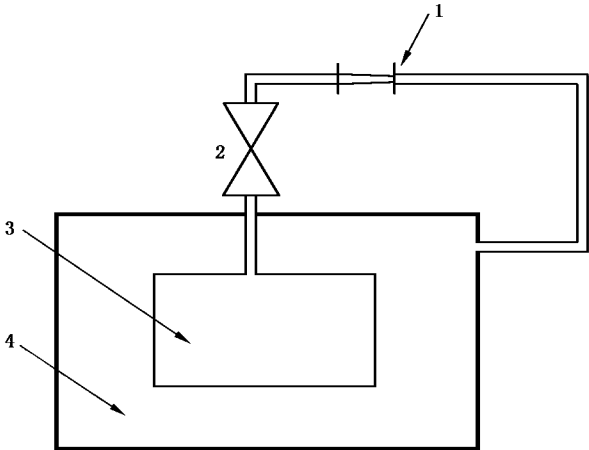
检测时认定密封罩内示踪气体浓度增加速度恒定,被检件和已知漏孔泄漏量小到不足以引起被检件、密封罩压力产生可识别的变化,9.5.2.5 描述的公式(4)成立。

检测开始,记录 t_0 时刻初始示踪气体浓度 c_0 对应信号 S_0 (见图 B.2)。

如被检件存在泄漏,示踪气体浓度增加至 c_1 ,记录 t_1 时刻及对应信号 S_1 。如后续检测在相同条件执行且认定漏孔漏率恒定,在 t_2 时刻观察浓度增加的对应该信号(见图 B.2 虚线部分)。

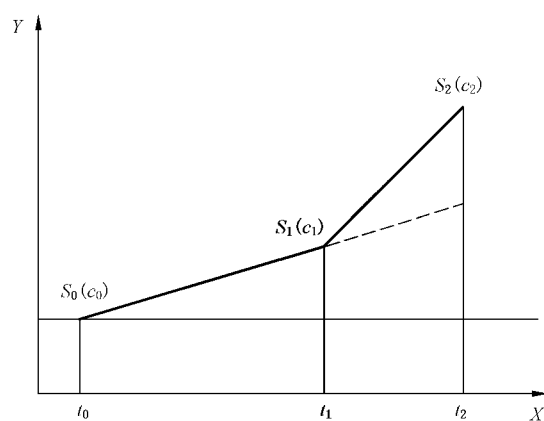
如 t_1 时刻打开校准漏孔,额外泄漏导致 t_2 时刻获得更高的示踪气体浓度 c_2 对应信号 S_2 。

该浓度差表明 $t_1 \sim t_2$ 时间内校准漏孔的影响。



- 标引序号说明：
- 1——参考漏孔；
 - 2——漏孔阀门；
 - 3——被检件；
 - 4——密封罩。

图 B.1 校准装置布局示意图



标引序号说明：

X ——时间；

Y ——信号；

t_0 ——检测开始时刻；

t_1 ——参考漏孔打开时刻；

t_2 ——最终读数时刻；

S_0 —— t_0 时刻密封罩示踪气体浓度对应信号；

S_1 —— t_1 时刻密封罩示踪气体浓度对应信号；

S_2 —— t_2 时刻密封罩示踪气体浓度对应信号。

图 B.2 含/不含校准漏孔的累积漏率信号变化情况

参 考 文 献

- [1] GB/T 3163 真空技术 术语
 - [2] GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证
 - [3] GB/T 32074 无损检测 氦泄漏检测方法
 - [4] GB/T 36176 真空技术 氦质谱真空检漏方法
 - [5] GJB 128A 半导体分立器件试验方法
 - [6] GJB 360A 电子及电气元件试验方法
 - [7] GJB/J 5366 正压漏孔校准规范
 - [8] ISO 9712 Non-destructive testing—Qualification and certification of NDT personnel
 - [9] ISO 20486 Non-destructive testing—Leak test—Calibration of reference leaks for gases
 - [10] EN 1779 Non-destructive testing—Leak Testing—Criteria of method and technique selection
 - [11] Howi.D.A.&M_{ANN} C.P.Vacuum 15(7)pp.347~352(1965)
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
无损检测 泄漏检测 示踪气体方法
GB/T 40335—2021

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2021年5月第一版

*

书号: 155066 · 1-67811

版权专有 侵权必究



GB/T 40335-2021



码上扫一扫 正版服务到