



中华人民共和国国家标准

GB/T 12137—2025

代替 GB/T 12137—2015

气瓶气密性试验方法

Methods for leakage test of gas cylinders

2025-08-29 发布

2026-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

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 原理 2

5 试验条件 2

6 试验介质 2

7 仪器设备 3

8 受试瓶 4

9 试验方法 4

10 试验后处理 11

11 试验记录 11

12 试验中的注意事项 12

附录 A（规范性） 氢氮泄漏率转换方法 13

附录 B（资料性） 氮氮混合气制备的压力配比法 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。

本文件代替 GB/T 12137—2015《气瓶气密性试验方法》，与 GB/T 12137—2015 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了适用范围(见第1章,2015年版的第1章)；
- b) 增加了“受试瓶”等部分术语及其定义(见3.1、3.4~3.11)；
- c) 增加了“原理”(见第4章)；
- d) 更改了“试验条件”(见第5章,2015年版的6.2)；
- e) 更改了“试验介质”的规定,增加了氮质谱检漏法试验介质的要求(见第6章,2015年版的6.1)；
- f) 更改了“仪器设备”的规定,增加了氮质谱检漏法仪器设备的要求(见第7章,2015年版的4.1、4.2、4.3)；
- g) 更改了“受试瓶”的规定,(见第8章,2015年版的第5章)；
- h) 更改了“试验方法选用”的规定(见9.1,2015年版的6.1)；
- i) 增加了浸水法、涂液法“试验步骤”和试验过程中的相关要求(见9.2、9.3)；
- j) 增加了氮质谱检漏法(见9.4)；
- k) 增加了“试验后处理”(见第10章)；
- l) 更改了试验记录的规定(见第11章,2015年版的第7章)；
- m) 增加了“试验中注意事项”(见第12章)；
- n) 增加了氢氮泄漏率转换方法(见附录A)。

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。

本文件由全国气瓶标准化技术委员会(SAC/TC 31)提出并归口。

本文件起草单位：大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、丰田汽车(中国)投资有限公司、中材科技(苏州)有限公司、大连理工大学、安徽大信真空科技有限公司、石家庄安瑞科气体机械有限公司、浙江大学、北京科泰克科技有限责任公司、中国海洋工程研究院(青岛)、北京天海氢能装备有限公司、中国特种设备检测研究院、佛吉亚斯林达安全科技(沈阳)有限公司、沈阳欧施盾新材料科技有限公司、江苏中宏机械制造有限公司、浙江锦敦气体装备智造股份有限公司。

本文件主要起草人：戴行涛、姜国勇、王瑶、杨明高、宋薛思、刘培启、张传胜、齐虎斌、王豪、赵亮、张国、岳增柱、骆辉、吉增香、杨树军、蔡立柱、潘健飞、陶思伟、高永政、魏杰、马夏康。

本文件于1989年首次发布,2002年第一次修订,2015年第二次修订,本次为第三次修订。

气瓶气密性试验方法

1 范围

本文件规定了气瓶气密性试验方法原理、试验条件、试验介质、仪器设备、受试瓶、试验方法试验后处理和试验记录。

本文件适用于公称工作压力不大于 70 MPa(表压)气瓶的气密性试验。

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 13005 气瓶术语
- GB/T 13979 质谱检漏仪
- GB/T 15823 无损检测 氦泄漏检测方法
- GB/T 18443.2 真空绝热深冷设备性能试验方法 第 2 部分:真空度测量
- NB/T 47013.8 承压设备无损检测 第 8 部分:泄漏检测

3 术语和定义

GB/T 13005 和 GB/T 12604.7 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

受试瓶 testing cylinder

待被测试或正在被测试的气瓶。

3.2

浸水法 water-immersion test

将充有规定压力气体的受试瓶浸入水槽中,以检查其气密性的试验方法。

注:浸水法适用于受试瓶整体的气密性试验。

3.3

涂液法 soap bubble test

在充有规定压力气体的受试瓶的待查部位上涂以检验液,以检查该处气密性的试验方法。

注:涂液法适用于受试瓶与瓶阀螺纹连接处、瓶阀阀杆处、瓶阀出气口、安全泄放装置或气瓶焊接接头等部位的气密性试验。

3.4

氦质谱检漏法 leak detection by helium mass spectrum

利用氦质谱检漏仪对充有规定压力气体的受试瓶泄漏的微量示踪氦气进行检漏的方法。

3.5

加压累积法 pressure accumulation test

将充有规定压力气体的受试瓶置于已知体积的检测舱内,在规定时间内,利用氦质谱检漏仪对受试

瓶泄漏的微量示踪氦气进行检漏的方法。

3.6

真空舱法 vacuum chamber test

将充有规定压力气体的受试瓶置于已知体积的检测舱内,在系统处于真空状态下,并达到稳定时间后,利用氦质谱检漏仪对受试瓶泄漏的微量示踪氦气进行检漏的方法。

3.7

吸枪法 sniffing test

用含有示踪氦气的气体对受试瓶加压,并通过吸枪探头测量微量示踪氦气的检漏方法。

3.8

校准压力表 calibrated pressure gauge

用于校验工作压力表示值是否准确的压力测量仪表。

3.9

工作压力表 working pressure gauge

用于显示和记录受试瓶压力的压力测量仪表。

注:工作压力表包括压力表和压力变送器(或可输出压力信号的数字式压力表)。

3.10

毛细管型标准漏孔 capillary standard leak

带有不小于 0.1 MPa 独立氦气罐并使示踪氦气透过局部拉细管子的漏孔。

注:毛细管型标准漏孔的氦气泄漏率范围为 $1 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

3.11

渗透型标准漏孔 permeation standard leak

经过熔制并已校准的玻璃或石英的渗透型漏孔。

注:渗透型标准漏孔的氦气泄漏率范围为 $1 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} \sim 1 \times 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

4 原理

以规定的气体为加压介质,匀速缓慢增大受试瓶内的压力至其气密性试验压力,并保压规定时间,通过采用不同的试验方法,测定受试瓶在气密性试验压力下泄漏情况。

5 试验条件

5.1 试验环境温度应大于 5°C ,且不大于受试瓶的最高允许使用温度。

5.2 根据不同气瓶的试验要求,应将受试瓶匀速缓慢增压至气密性试验压力。

6 试验介质

6.1 采用浸水法、涂液法时,试验介质应符合如下规定:

- 试验介质采用干燥、洁净的空气、氮气或其他与受试瓶及盛装气体性质相容的、对人体无毒、无腐蚀性的不可燃气体;
- 对盛装不燃、无毒、无腐蚀性气体的受试瓶可直接选用所盛装气体作为试验介质;
- 对已盛装过可燃气体的受试瓶,瓶内可燃气体体积浓度小于 0.4% 的,可采用空气作为试验介质,否则,采用氮气或惰性气体作为试验介质;
- 对已盛装过毒性、腐蚀性介质的受试瓶,试验介质采用氮气或惰性气体;

e) 对盛装氧气或氧化性气体的受试瓶,试验介质应禁油、禁脂。

6.2 采用氮质谱检漏法时,试验介质应符合如下规定:

- a) 试验介质采用干燥洁净的氮气、氦气、氢气或氦氮混合气;
- b) 氢气泄漏率按附录 A 的方法确定,其中纯氮气与氦氮混合气的泄漏率转换系数 α 和纯氢气与纯氮气的泄漏率转换系数 β 由气瓶制造单位、检验机构或型式试验机构经试验得出;
- c) 试验用氦氮混合气中氦的体积含量通过比对试验确定,但不小于 2%;氦氮混合气中氮的体积含量若未通过比对试验确定,则采用加压累积检测法或吸枪法时氦氮混合气中氮的体积含量不小于 10%,采用真空舱法时氦氮混合气中氮的体积含量不小于 5%。氦氮混合气制备见附录 B 给出的压力配比法。

7 仪器设备

7.1 仪器设备基本要求

7.1.1 受试瓶的加压应选用具有稳定压力输出的加压系统(如泵、压缩机、缓冲罐等)。

7.1.2 加压装置的额定工作压力应大于受试瓶气密性试验压力 1.1 倍。

7.1.3 加压系统压力管道应选用金属管,应固定装设,且与加压装置、阀、计量仪表的连接,应具有良好的密封。压力管道的耐压试验压力应大于 3 倍受试瓶气密性试验压力。

7.1.4 加压系统应设置压力测量仪表和压力控制装置。

7.1.5 加压系统中应设置可靠的除油、除脂和除水装置,以保证试验介质符合 6.1、6.2 的要求。

7.1.6 采用浸水法时,试验水槽深度应能使受试瓶全部没入水中。水槽内壁应呈白色,槽内的水应保持清洁透明,槽内亮度不足时,应在槽底部设置照明设施。

7.1.7 采用涂液法时,检验液应选择表面张力较小的液体,检验液应能检测出微小泄漏的气泡。检验液不应受对受试瓶产生有害的作用,用于盛装氧气或氧化性气体的受试瓶,应使用无油、无脂的检验液。

7.1.8 真空系统中真空机组、真空阀、真空管路应按照 GB/T 18443.2 的有关规定。

7.1.9 氮质谱检漏仪应满足 GB/T 13979 的要求。氮质谱检漏仪应能传感和测量微量示踪氮气,应通过检测仪器上的或附接于仪器上的仪表或屏幕来显示泄漏量。氮质谱检漏仪的最小可检漏率应小于受试瓶的漏率要求。

7.1.10 检测舱尺寸应与受试瓶大小相匹配。加压累积法用检测舱应为可承受外压的钢质、铝合金或 PVC 塑料舱体,真空舱法用检测舱应为可承受外压的钢质舱体。

7.1.11 采用氮质谱检漏法时,根据需要,可使用稳压器、辅助泵系统和多向接头等辅助设备。

7.1.12 测量仪表应定期进行检定或校准。

7.1.13 试验装置应采取可靠的安全防护措施,以保证试验时操作人员和设备的安全。

7.2 测量仪表

7.2.1 压力测量仪表

7.2.1.1 加压系统与受试瓶连接的压力管上应设置两只能够同时显示受试瓶压力的工作压力表。还应设置一只校准压力表,可随时对工作压力表进行校准。校准压力表与工作压力表的联通可通过截止阀进行控制。

7.2.1.2 压力测量仪表的量程应为受试瓶气密性试验压力的 1.5 倍~3 倍。校准压力表的精度等级应不低于 0.4 级,压力表的精度等级应不低于 1.6 级,压力变送器(或可输出压力信号的数字式压力表)的精度等级应不低于 0.5 级。

7.2.1.3 每班试验前应使用校准压力表对工作压力表的示值进行校验。在气密性试验压力下,工作压

力表示值与校准压力表的示值偏差,应不大于校准压力表和工作压力表精度等级所允许的最大误差之和的 0.8 倍。两只工作压力表示值不一致,或者与校准压力表的示值偏差不符合上述要求时,应及时予以更换或计量。校准压力表不应作为工作压力使用,校验完成后应及时关闭与其连通的阀门。

7.2.1.4 校准压力表的检定周期不超过 3 个月。

7.2.2 真空测量仪表

7.2.2.1 真空机组出口端应设置真空测量仪表。检测舱距离真空机组远端应设置一只真空测量仪表,其安装位置应能正确显示检测舱真空压力。

7.2.2.2 真空测量仪表的漏率应低于 $1 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$,其类型和测量范围应满足氦质谱检漏仪的测试要求。

7.2.3 标准漏孔

7.2.3.1 标准漏孔包括渗透型标准漏孔和毛细管型标准漏孔,其安装位置应远离检测舱与氦质谱检漏仪连接处。

7.2.3.2 加压累积法应采用毛细管型标准漏孔,真空舱法可采用渗透型或毛细管型标准漏孔,氦检漏质谱仪校准应采用渗透型标准漏孔。

7.2.4 温度测量仪表

用于测量瓶体温度和环境温度的温度测量仪表,最小刻度值应不大于 1°C 。

8 受试瓶

8.1 受试瓶(除低温绝热气瓶)气密性试验前,应按相关标准先进行耐压(包括水压和气压)试验,耐压试验合格后方能进行气密性试验。

8.2 对已盛装过可燃气体的受试瓶,试验前应进行瓶内可燃气体浓度测定,体积含量应小于 0.4%。

8.3 对已盛装过毒性、腐蚀性介质的受试瓶,试验前应对瓶内残余介质进行妥善处理。

8.4 受试瓶表面不应有油污或其他杂物。

9 试验方法

9.1 试验方法选用原则

9.1.1 盛装可燃、有毒、有腐蚀性气体的受试瓶,应选用浸水法或氦质谱检漏法进行气密性试验。

9.1.2 盛装其他介质的气瓶气密性试验方法的选用应按气瓶相关标准的规定执行。

9.2 浸水法

9.2.1 按 6.1 要求,选用合适的试验介质,将受试瓶加压至规定试验压力。试验压力偏差应不超过规定试验压力的 +10% 和 +1 MPa 的较小者,气瓶相关标准有规定的,应按其规定执行。

9.2.2 将受试瓶浸入水槽中,受试瓶最高处距水面不小于 5 cm,浸水时间不少于 1 min 或规定时间,保压过程中目视检查瓶体、瓶阀和瓶体瓶阀连接处是否存在泄漏。因装配引起的泄漏,应排除泄漏后重做试验。

9.2.3 瓶体、瓶阀和瓶口连接处无连续气泡为合格。气瓶相关标准有规定的,应按其规定执行。

9.2.4 对试验不合格的气瓶应在泄漏处做好明显标记,并按相关规定进行隔离和消除使用功能处理。

9.3 涂液法

9.3.1 按 6.1 要求,选用合适的试验介质,将受试瓶加压至规定试验压力。试验压力偏差应不超过规定试验压力的+10%和+1 MPa 的较小者,气瓶相关标准有规定的,应按其规定执行。

9.3.2 在受试瓶待查部位涂上合适检验液,涂液保持时间不少于 1 min 或规定时间,保压过程中目视涂液部位是否存在泄漏。因装配引起的泄漏,应排除泄漏后重做试验。

9.3.3 瓶体、瓶阀和瓶口连接处无连续气泡为合格。气瓶相关标准有规定的,应按其规定执行。

9.3.4 对试验不合格的气瓶应在泄漏处做好明显标记,并按相关规定进行隔离和消除使用功能处理。

9.4 氮质谱检漏法

9.4.1 一般要求

9.4.1.1 氮质谱检漏法包括加压累积法、真空舱法和吸枪法。气瓶制造单位和气瓶检验机构可选用加压累积法、真空舱法或吸枪法进行气密性试验,气瓶型式试验机构应采用真空舱法进行气密性试验。气瓶相关标准有规定的,应按其规定执行。

9.4.1.2 试验前应使用塞子、盖板、密封脂、胶合剂或其他在检测后易于去除的材料将所有泄漏点密封,密封用材料应不影响氮气的浓度。

9.4.1.3 按 6.2 要求,选用合适的试验介质,将受试瓶加压至规定试验压力。试验压力偏差应不超过规定试验压力的+10%和 1 MPa 的较小者。气瓶相关标准有规定的,应按其规定执行。

9.4.1.4 受试瓶加压可采用检测舱内加压或舱外加压,瓶体温度应不超过 55℃。舱内加压时,应确保加压系统管路密封良好。舱外加压时,应采用吸枪法快速扫描或涂液法排除泄漏点后,再将受试瓶接入试验系统,若采用涂液法,应在接入系统前将检漏液清理干净,以免影响测试结果。

9.4.1.5 当使用氮氮混合气充装受试瓶时,若在瓶内配气,加压完成后应至少静置 3 min,便于气体扩散均匀。应保证受试瓶内氮气体积含量数值准确。

9.4.1.6 氢、氮泄漏率的转换应按照附录 A 的规定执行。

9.4.1.7 采用舱外加压时,每班试验前应对试验系统校准一次。

9.4.2 加压累积法

9.4.2.1 仪器校准

9.4.2.1.1 标准漏孔校准法

9.4.2.1.1.1 使用标准漏孔校准前,仪器应通电预热,预热的最短时间应符合仪器制造单位的规定。

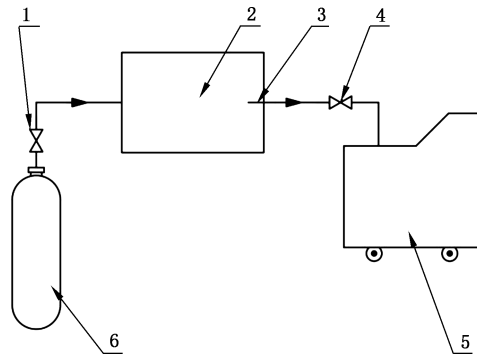
9.4.2.1.1.2 氮检漏质谱仪使用前,应按仪器制造单位的操作和维修手册使用渗透型标准漏孔进行校准。若仪器示值偏差超过 10%,则应采用大气校准法或标准浓度法重新校准。

9.4.2.1.2 大气校准法

大气校准法原理如图 1 所示。向容器或气袋中充入氮气,将氮质谱检漏仪的吸枪探头插入容器或气袋,调整氮质谱检漏仪读数归零;再使用氮质谱检漏仪吸枪探头吸收空气得到新的示值,其值应与空气中 5 mL/m³ 氮浓度一致。

9.4.2.1.3 标准浓度校准法

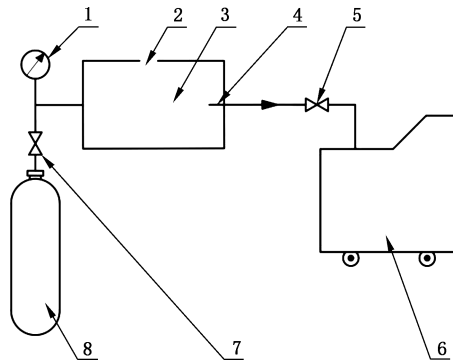
标准浓度法原理如图 2 所示。向容器或气袋中充入体积浓度确定的氮氮混合气,将氮质谱检漏仪的吸枪探头插入容器或气袋,记录仪器读数,其值应与已校准的氮浓度一致。



标引符号说明：

- | | |
|-----------|------------|
| 1——减压阀； | 4——吸枪阀； |
| 2——容器或气袋； | 5——氮质谱检漏仪； |
| 3——吸枪； | 6——纯氮气瓶。 |

图 1 大气校准法示意图



标引符号说明：

- | | | |
|-----------|------------|-------------|
| 1——压力表； | 4——吸枪； | 7——减压阀； |
| 2——排气孔； | 5——吸枪阀； | 8——氮氮混合气气瓶。 |
| 3——容器或气袋； | 6——氮质谱检漏仪； | |

图 2 标准浓度法示意图

9.4.2.2 试验系统校准

9.4.2.2.1 将具有 100% 氮气的毛细管型标准漏孔与试验系统相连。

9.4.2.2.2 将未加压的受试瓶接入试验系统。

9.4.2.2.3 将氮质谱检漏仪的吸枪探头接入检测舱，打开标准漏孔，至少连续测量 3 次，每次测量间隔时间相同，若所测得的浓度值之间相对偏差不超过 $\pm 10\%$ ，则确认系统达到稳定状态，此时仪器读数记为 M_{02} 。

9.4.2.2.4 将标准漏孔关闭，待氮质谱检漏仪读数稳定时记录背景读数 M_{01} 。

9.4.2.2.5 根据所测参数计算气密性试验所需的累积时间按公式(1)计算，也可由气瓶制造单位或气瓶检验机构通过试验确定，但应不小于 3 min。

$$t_a = \frac{p_{\text{atm}} V_c (M_{02} - M_{01})}{Q_c X} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

t_a	—— 加压累积法气密性试验所需的累积时间,单位为秒(s);
p_{atm}	—— 大气压力(绝压),单位为帕(Pa);
V_c	—— 实际检测空间体积,检测舱内体积与气瓶所占空间体积之差,单位为立方米(m^3);
M_{01}	—— 标准漏孔关闭时氦质谱检漏仪的背景读数;
M_{02}	—— 标准漏孔开启至输出信号稳定时氦质谱检漏仪的读数;
Q_c	—— 规定氦泄漏率,单位为帕立方米每秒($Pa \cdot m^3/s$);
X	—— 氦氮混合气中氦气的体积含量,%。

9.4.2.3 试验步骤

9.4.2.3.1 将受试瓶与图 3 a)所示的试验系统连接,将受试瓶加压至规定试验压力。或将加压至规定试验压力的受试瓶与图 3 b)所示的试验系统连接。

9.4.2.3.2 将检漏仪的吸枪探头接入检测舱。达到累积时间 t_a 后,记录仪器读数 M_{03} 。若输出信号不稳定,应延长检测时间至输出信号稳定。

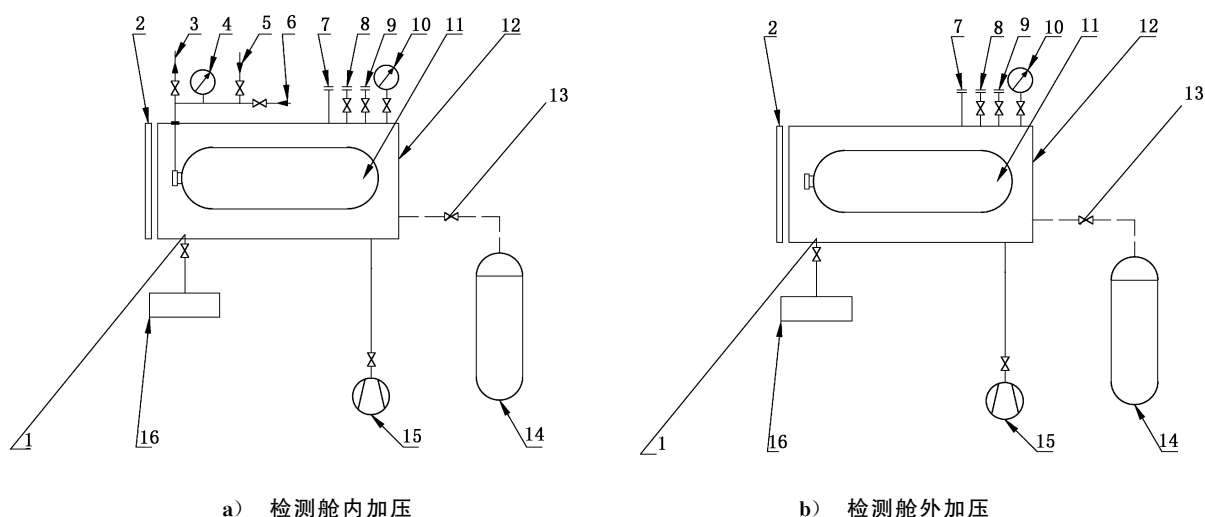


图 3 加压累积法试验系统

9.4.2.4 试验结果

9.4.2.4.1 氦泄漏率按公式(2)计算,必要时,应根据仪器制造单位提供的氦质谱检漏仪气体吸入量对氦泄漏率进行修正。

$$Q_{\text{He}} = \frac{p_{\text{atm}} V_c (M_{03} - M_{01})}{t_c X} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

Q_{He} ——通过氦质谱检漏法获得的气瓶氦泄漏率,单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$);

p_{atm} ——大气压力(绝压),单位为帕(Pa);

V_{c} ——实际检测空间体积,检测舱内体积与气瓶所占空间体积之差,单位为立方米(m^3);

M_{01} ——标准漏孔关闭时氦质谱检漏仪的背景读数;

M_{03} ——达到累积时间后的氮质谱检漏仪读数；

t_a ——加压累积法气密性试验所需的累积时间,单位为秒(s)；

X ——氮氮混合气中氮气的体积含量, %。

9.4.2.4.2 试验结果的判定应按气瓶相关标准的规定执行。若检出的氮泄漏率或转换得到的氢泄漏率不符合相关标准要求,应根据 NB/T 47013.8 或 GB/T 15823 中吸枪法检测的相关规定检测泄漏点,待消除泄漏点后重新进行试验。

9.4.3 真空舱法

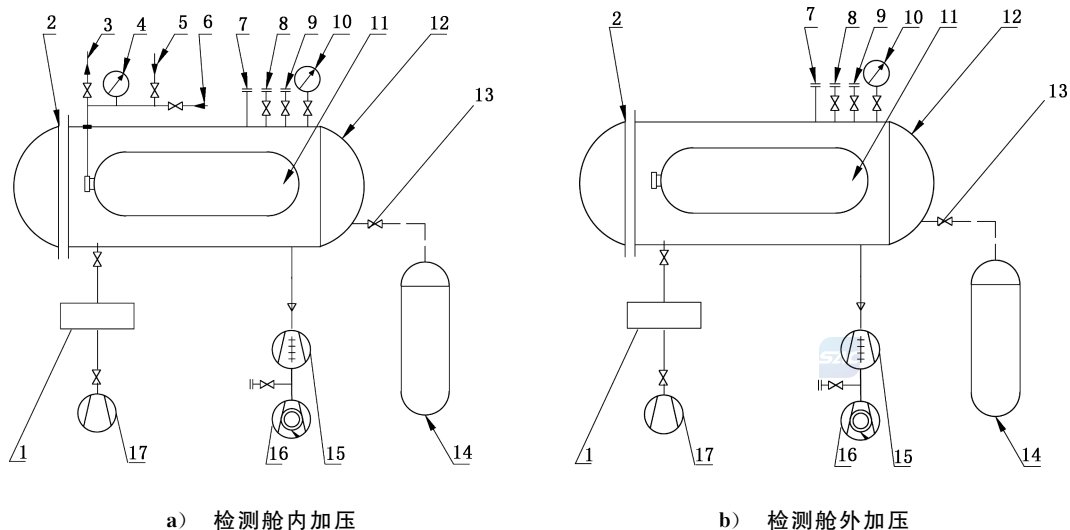
9.4.3.1 仪器校准

9.4.3.1.1 使用标准漏孔校准前,仪器应通电预热,预热的最短时间应符合仪器制造单位的规定。

9.4.3.1.2 氮检漏质谱仪使用前,应按仪器制造单位的操作和维修手册使用渗透型标准漏孔进行校准。氮检漏质谱仪的灵敏度应至少为 $1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

9.4.3.2 试验系统初始校准

9.4.3.2.1 将受试瓶与图 4 a)所示的试验系统连接,将受试瓶加压至规定试验压力。或将加压至规定试验压力的受试瓶与图 4 b)所示的试验系统连接。



标引符号说明：

- | | | | |
|--------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1——氮质谱仪； | 6——氮气充装管路 ^a ； | 11——受试瓶； | 16——机械泵； |
| 2——真空舱快开门； | 7——机械防爆接口； | 12——真空舱； | 17——检漏泵+前级泵。 |
| 3——充气、排气管路； | 8——空气交换口； | 13——氮气冲洗阀； | |
| 4——压力表； | 9——标准漏孔接头； | 14——氮气源； | |
| 5——氮气充装管路 ^a ； | 10——检测仪表； | 15——罗茨泵； | |

^a 氮气充装管路和氮气充装管路可合并。

图 4 真空舱法试验系统

9.4.3.2.2 将具有 100%氮气的渗透型标准漏孔与试验系统相连,连接位置应远离检测舱与氮质谱检漏仪连接处。

9.4.3.2.3 对检测舱抽真空至满足氮质谱检漏仪测量要求的真空度,连接检漏仪与检测舱,打开标准漏孔直至氮质谱检漏仪信号稳定。将标准漏孔开启至输出信号稳定的时间记录为检测时间,将稳定的仪器读数记为 M_2 。

9.4.3.2.4 将标准漏孔关闭,待氦质谱检漏仪读数稳定时记录背景读数 M_1 。

9.4.3.2.5 试验系统初始灵敏度按公式(3)计算:

$$S_1 = \frac{Q_1}{M_2 - M_1} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

S_1 —— 试验系统初始灵敏度,单位为帕立方米每秒(Pa·m³/s);

Q_1 —— 渗透型标准漏孔漏率,单位为帕立方米每秒(Pa·m³/s);

M_1 —— 标准漏孔关闭时氦质谱检漏仪的背景读数;

M_2 —— 标准漏孔开启至输出信号稳定时氦质谱检漏仪读数。

9.4.3.2.6 当试验系统的布置发生改变(如采用辅助泵时,旁路至辅助泵的氦气流分配改变),或经校准的泄漏率有变动时,应重新校准。

9.4.3.3 试验步骤

9.4.3.3.1 完成初始校准后,用氮氮混合气将受试瓶加压至规定试验压力。

9.4.3.3.2 确认试验系统稳定后,开始检测,达到 9.4.3.2.3 确定的检测时间后,记录仪器输出读数 M_5 。若输出信号不稳定,则应延长检测时间至输出信号稳定。

9.4.3.4 试验系统最终校准

9.4.3.4.1 采用检测舱内加压时,当试验完成后,应将受试瓶内压力泄压至零,再进行真空舱检测系统的最终校准。

9.4.3.4.2 受试瓶仍放置在真空舱内并保持标准漏孔关闭,测定仪器读数 M_3 ,再次开启标准漏孔,仪器输出读数增大至 M_4 。

9.4.3.4.3 试验系统最终灵敏度按公式(4)计算:

$$S_2 = \frac{Q_1}{M_4 - M_3} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

S_2 —— 试验系统最终灵敏度,单位为帕立方米每秒(Pa·m³/s);

Q_1 —— 渗透型标准漏孔漏率,单位为帕立方米每秒(Pa·m³/s);

M_3 —— 标准漏孔关闭时氦质谱检漏仪读数;

M_4 —— 标准漏孔开启至输出信号稳定时氦质谱检漏仪读数。

9.4.3.4.4 最终灵敏度 S_2 达到初始灵敏度 S_1 的 35%及以上,试验结果有效。若最终灵敏度 S_2 减小到初始灵敏度 S_1 的 35%以下,应用氮气置换检测舱或修理仪器,重新校准后再次进行试验。

9.4.3.5 试验结果

9.4.3.5.1 试验系统最终校准合格后,氦泄漏率应按如下规定确定:

- a) 当输出信号不改变,即 $M_5 = M_1$,应记录为“低于系统的可探测范围”,试验结果合格。
- b) 当输出信号 M_5 超过系统可探测范围,应记录为“大于系统可探测范围”,试验结果不合格。
- c) 当输出信号 M_5 发生改变(但输出信号在可检范围),氦泄漏率按公式(5)计算:

$$Q_{He} = \frac{S_2(M_5 - M_1)}{X} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Q_{He} —— 通过氦质谱检漏法获得的气瓶氦泄漏率,单位为帕立方米每秒(Pa·m³/s);

S_2 —— 试验系统最终灵敏度,单位为帕立方米每秒(Pa·m³/s);

M_1 ——标准漏孔关闭时氦质谱检漏仪的背景读数；

M_5 ——达到检测时间后氦质谱检漏仪读数；

X ——氦氮混合气中氮气的体积含量，%。

9.4.3.5.2 试验结果的判定应按气瓶相关标准的规定执行。若检出的氦泄漏率或转换得到的氢泄漏率不符合相关标准要求，应根据 NB/T 47013.8 或 GB/T 15823 中吸枪法检测的相关规定检测泄漏点，待消除泄漏点后重新进行试验。

9.4.4 吸枪法

9.4.4.1 仪器校准

9.4.4.1.1 使用标准漏孔校准前，仪器应通电预热，预热的最短时间应符合仪器制造单位的规定。

9.4.4.1.2 氦检漏质谱仪使用前，应按仪器制造单位的操作和维修手册使用渗透型标准漏孔进行校准。氦检漏质谱仪的灵敏度应至少为 $1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

9.4.4.2 系统校准

9.4.4.2.1 将具有 100% 氮气的毛细管型标准漏孔、吸枪与试验系统连接。

9.4.4.2.2 打开标准漏孔和吸枪，将吸枪嘴在标准漏孔上进行扫查。吸枪嘴与标准漏孔的距离应保持在 1 mm~3 mm；扫查速率应不超过能够检出标准漏孔漏率 Q_2 时的速率，且不超过 10 mm/s；响应时间为观察出现一个指示信号以及使仪器输出达到稳定所需要的时间。

9.4.4.3 试验前最小可检漏率校准

9.4.4.3.1 将具有 100% 氮气的毛细管型标准漏孔与试验系统连接。

9.4.4.3.2 打开吸枪，氦质谱检漏仪示值稳定后，记录氦质谱检漏仪的背景读数 M'_1 ，即空气中本底，测量并记录 3 min 内的氦质谱检漏仪示值最大值与最小值之差，即仪器噪声 $\Delta M'_n$ 。

9.4.4.3.3 打开标准漏孔，标准漏孔配气压力应按其使用说明书。用吸枪对准标准漏孔，将稳定的仪器读数记为 M'_2 。

9.4.4.3.4 最小可检漏率 Q_{xmin} 按公式(6)计算：

$$Q_{\text{xmin}} = \frac{\Delta M'_n}{M'_2 - M'_1} \cdot Q_2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

Q_{xmin} ——最小可检漏率，单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)；

M'_1 ——标准漏孔关闭时氦质谱检漏仪的背景读数；

M'_2 ——标准漏孔开启至输出信号稳定时氦质谱检漏仪读数；

$\Delta M'_n$ ——氦质谱检漏仪本底噪声；

Q_2 ——毛细管型标准漏孔漏率。

9.4.4.3.5 最小可检漏率 Q_{xmin} 应小于受试瓶漏率要求。

9.4.4.4 试验步骤

9.4.4.4.1 完成校准后，用氦氮混合气将受试瓶加压至规定试验压力。

9.4.4.4.2 打开标准漏孔，将吸枪嘴在标准漏孔上进行扫查，扫查距离和扫查速率应符合 9.4.4.2.2 的规定，待氦质谱检漏仪读数稳定时记录读数为 M'_3 。

9.4.4.4.3 将吸枪嘴在受试瓶(含瓶阀)密封面处进行扫查，扫查方式应遵循从下至上、从近至远的原则，扫查距离和扫查速率应符合 9.4.4.2.2 的规定，分别记录氦质谱检漏仪最大读数为 M'_{41} 、 M'_{42}

... M'_{4n} 。

9.4.4.5 试验后最小可检漏率校准

9.4.4.5.1 当试验完成后,按 9.4.4.3 的规定进行试验后最小可检漏率校准。

9.4.4.5.2 试验后最小可检漏率超过试验前最小可检漏率 50%以上时,应调试试验系统后,重新进行试验。

9.4.4.6 试验结果

9.4.4.6.1 校准合格后,受试瓶氦泄漏率按公式(7)计算:

$$Q_{\text{He}} = Q_2 \cdot \frac{(M'_{41} + M'_{42} + \cdots + M'_{4n}) - M'_1}{M'_3 - M'_1} \cdot \frac{1}{X} \quad \cdots \cdots (7)$$

式中:

- Q_{He} ——通过氦质谱检漏法获得的气瓶氦泄漏率,单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$);
- Q_2 ——毛细管型标准漏孔漏率,单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$);
- M'_1 ——标准漏孔关闭时氦质谱检漏仪的背景读数;
- M'_3 ——标准漏孔开启时氦质谱检漏仪的读数;
- M'_{41} ——第 1 个密封面氦质谱检漏仪最大读数;
- M'_{42} ——第 2 个密封面氦质谱检漏仪最大读数;
- M'_{4n} ——第 n 个密封面氦质谱检漏仪最大读数;
- X ——氦氮混合气中氦气的体积含量,%。

9.4.4.6.2 试验结果的判定应按气瓶相关标准的规定执行。若检出的氦泄漏率或转换得到的氦泄漏率不符合相关标准要求,应根据 NB/T 47013.8 或 GB/T 15823 中吸枪法检测的相关规定检测泄漏点,待消除泄漏点后重新进行试验。

10 试验后处理

10.1 若采用非气瓶设计使用介质进行试验,试验后,应确保安全地将试验介质从瓶内排放,排放时应使压力缓慢下降。

10.2 充装易燃、易爆介质气瓶,若采用非气瓶设计使用介质进行试验,试验后,应按照以下要求进行氮气置换或者抽真空处理:

- a) 采用氮气置换处理时,处理后的含氧量应小于 3%,且应保留 0.05 MPa~0.25 MPa 的余压。塑料内胆纤维全缠绕气瓶的余压要求应按其使用说明的规定;
- b) 采用抽真空处理时,处理后的真空度应不低于 0.086 MPa。塑料内胆纤维全缠绕气瓶不允许采用抽真空处理。

11 试验记录

11.1 试验单位应按照气瓶气密性试验的实际情况记录试验过程的有关信息和数据。试验记录应详尽、真实、准确、可追溯。

11.2 记录内容除记载受试瓶的有关信息和主要技术参数外,应至少包括下列主要内容:

- a) 本文件编号;
- b) 试验时间;
- c) 试验方法;

- d) 试验仪器和测量仪表；
- e) 实测试验环境温度；
- f) 试验介质及介质浓度；
- g) 阀门型号；
- h) 实际试验压力；
- i) 实际保压时间(适用浸水法和涂液法)；
- j) 累积时间(适用加压累积法)；
- k) 检测时间(适用真空舱法和吸枪法)；
- l) 试验系统初始和最终灵敏度(适用真空舱法)；
- m) 试验前和试验后最小可检漏率(适用吸枪法)；
- n) 泄漏率(适用氮质谱检漏法)；
- o) 受试瓶试验异常情况描述；
- p) 试验相关人员签字。

12 试验中的注意事项

12.1 气密性试验保压过程中,不准许带压紧固螺纹连接件或者向受压元件施加外力。

12.2 压力测量仪表的示值未降为“零”时,不应拆卸承压管道上的一切承压件和拆装受试瓶,不应旋紧承压管道上的接头。

12.3 气密性试验应有专人负责,试验过程中,未经批准,与试验无关的人员不准许进入试验现场。

附 录 A
(规范性)
氢氮泄漏率转换方法

A.1 氢、氮泄漏率的转换计算

氢、氮泄漏率转换按公式(A.1)进行计算：

$$Q_c = \frac{Q_{H_2}}{\alpha \cdot \beta}$$

.....(A.1)

式中：

- Q_c

——规定氮泄漏率,单位为帕立方米每秒(Pa·m³/s)；
- Q_{H_2}

——规定氢泄漏率,单位为帕立方米每秒(Pa·m³/s)；
- α

——纯氮气与氮氮混合气的泄漏率转换系数；
- β

——纯氢气与纯氮气的泄漏率转换系数。

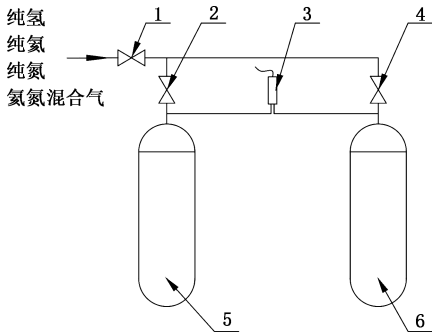
A.2 泄漏率转换系数

A.2.1 通则

- A.2.1.1 氢、氮泄漏率的转换应确定氢、氮、氮不同介质之间的转换系数。
- A.2.1.2 泄漏率转换系数的测定应采用差压法或微压法,泄漏率转换系数应在 55 ℃下测定。

A.2.2 差压法

A.2.2.1 通过微压差传感器检测基准气瓶和受试瓶的压差,得到受试瓶在充装氢气(或氮气、氮气及氮氮混合气)时的泄漏率。差压法系统见图 A.1。



- 标引符号说明：
- 1—— 阀门 1；

2—— 阀门 2；

3—— 微压差传感器；

4—— 阀门 3；

5—— 基准气瓶；

6—— 受试瓶。

图 A.1 差压法系统

A.2.2.2 试验步骤如下：

- a) 将受试瓶和基准气瓶抽真空或置换为相应气体；
- b) 试验压力气体经阀门 2、阀门 3 充入压差传感器两端的受试瓶和基准气瓶内,此时传感器两端气压相等,记为检测压力 p_t ；

- c) 检测时应同时关闭阀门 2、阀门 3,形成两个独立封闭的容腔。保证基准气瓶无泄漏,当受试瓶有泄漏时,通过压差传感器示数显示两侧压差;
- d) 通过差压传感器测得差压变化量 Δp ,记录阀门关闭至产生压差 Δp 对应的时间 t_p 。气体泄漏率按公式(A.2)计算:

$$Q' = \frac{\Delta p}{p_{\text{atm}} t_p} \left[V_T + \frac{\Delta V}{\Delta p} \left(1 + \frac{V_T}{V_R} \right) p_t \right] \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

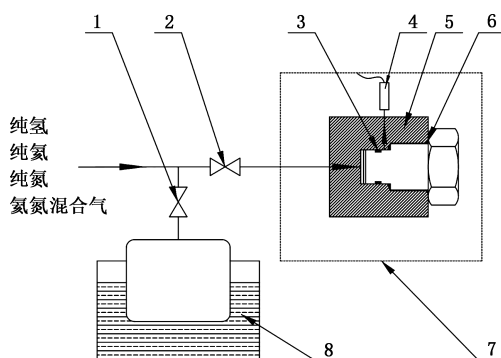
- Q' ——通过差压法获得的气体泄漏率,单位为立方米每秒(m^3/s);
- Δp ——差压变化量,单位为帕(Pa);
- p_{atm} ——大气压力(绝压),单位为帕(Pa);
- t_p ——阀门关闭至产生压差对应的时间,单位为秒(s);
- $\Delta V/\Delta p$ ——差压传感器系数,取值为 1.36×10^{-16} ,单位为立方米每帕(m^3/Pa);
- V_T ——受试瓶容积,单位为立方米(m^3);
- V_R ——基准气瓶容积,单位为立方米(m^3);
- p_t ——检测压力,单位为帕(Pa)。

A.2.2.3 改变充入受试瓶和基准气瓶的气体种类,重复 A.2.2.2 步骤,测定不同种类气体的体积泄漏率。

A.2.3 微压法



通过微压检漏仪直接测定充入氢气(或氦气、氮气及氮氦混合气)的泄漏率。微压法系统见图 A.2。



标引符号说明:

- | | | |
|----------|--------------------|------------|
| 1——阀门 1; | 4——微压检漏仪; | 7——恒温箱; |
| 2——阀门 2; | 5——瓶阀/气瓶密封处模拟工装系统; | 8——温度稳定系统。 |
| 3——O 型圈; | 6——O 型圈; | |

图 A.2 微压法系统

A.2.4 转换系数计算

纯氦气与氮氦混合气泄漏率转换系数按公式(A.3)计算,纯氢气与纯氦气泄漏率的转换系数按公式(A.4)计算:

$$\alpha = \frac{Q'_{\text{He}}}{Q'_{\text{X-He}} - (1 - X)Q'_{\text{N}_2}} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

$$\beta = \frac{Q'_{\text{H}_2}}{Q'_{\text{He}}} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

- α ——纯氦气与氦氮混合气的泄漏率转换系数；
- Q'_{He} ——纯氦气泄漏率，差压法单位为立方米每秒(m^3/s)，微压法单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)；
- $Q'_{\text{X-He}}$ ——氦氮混合气的泄漏率，差压法单位为立方米每秒(m^3/s)，微压法单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)；
- X ——氦氮混合气中氦气的体积含量，%；
- Q'_{N_2} ——纯氮气泄漏率，差压法单位为立方米每秒(m^3/s)，微压法单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)；
- β ——纯氢气与纯氦气泄漏率的转换系数；
- Q'_{H_2} ——纯氢气泄漏率，差压法单位为立方米每秒(m^3/s)，微压法单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)。

A.2.5 氢气泄漏率计算

受试瓶单位体积的氢气泄漏率按公式(A.5)和公式(A.6)计算：

a) 采用加压累积法：

$$Q_{\text{H}_2} = \frac{p_{\text{atm}} V_{\text{c}} (M_{03} - M_{01}) \alpha \beta}{t_{\text{a}} V_{\text{T}}} \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

式中：

- Q_{H_2} ——氢气泄漏率，单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)；
- p_{atm} ——大气压力(绝压)，单位为帕(Pa)；
- V_{c} ——实际检测空间体积，检测舱内体积与气瓶所占空间体积之差，单位为立方米(m^3)；
- M_{01} ——标准漏孔关闭时的背景读数；
- M_{03} ——达到累积时间后的氮质谱检漏仪读数；
- α ——纯氦气与氦氮混合气的泄漏率转换系数；
- β ——纯氢气与纯氦气泄漏率的转换系数；
- t_{a} ——加压累积法气密性试验所需的累积时间，单位为秒(s)；
- V_{T} ——受试瓶容积，单位为升(L)。

b) 采用真空舱法：

$$Q_{\text{H}_2} = \frac{S_2 (M_5 - M_1) \alpha \beta}{V_{\text{T}}} \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

式中：

- Q_{H_2} ——氢气泄漏率，单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)；
- S_2 ——试验系统初始灵敏度，单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)；
- M_1 ——标准漏孔关闭时氮质谱检漏仪的背景读数；
- M_5 ——达到检测时间后氮质谱检漏仪的读数；
- α ——纯氦气与氦氮混合气的泄漏率转换系数；
- β ——纯氢气与纯氦气泄漏率的转换系数；
- V_{T} ——受试瓶容积，单位为升(L)。

注：1 $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} = 9.9 \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s} = 9.9 \text{ mL/s} = 594 \text{ mL/min} = 35\,640 \text{ mL/h}$ 。

附 录 B
(资料性)

氮氮混合气制备的压力配比法

B.1 按公式(B.1)计算氮氮混合气的充氮压力 P_{He} 对应氮气的摩尔浓度 c_0 ：

$$c_0 = \frac{x c_{\text{He}} c_{\text{N}_2}}{c_{\text{He}} - x c_{\text{He}} + x c_{\text{N}_2}} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- x ——氮氮混合气中氮气的摩尔分数，%， x 的值等于氮氮混合气中氮气的体积含量 X ；
- c_0 ——充氮压力和温度下对应氮气的摩尔浓度，单位为摩尔每立方米(mol/m³)；
- c_{He} ——混合气压力和温度下对应氮气的摩尔浓度，单位为摩尔每立方米(mol/m³)；
- c_{N_2} ——混合气压力和温度下对应氮气的摩尔浓度，单位为摩尔每立方米(mol/m³)。

B.2 表 B.1 给出了几种常用压力、温度和氮气体积分数的混合气制备时的充氮压力。

表 B.1 氮氮混合气配比表

氮氮混合气 压力/MPa	氮气的体积分数 $X/\%$	温度/℃	$c_{\text{He}}/(\text{mol}/\text{m}^3)$	$c_{\text{N}_2}/(\text{mol}/\text{m}^3)$	充氮压力 $P_{\text{He}}/$ MPa
35	3	20	$1.233\ 6\times 10^{-4}$	$1.203\ 9\times 10^{-4}$	0.88
	5				1.46
	8				2.37
	10				2.99
	15				4.51
43.75	3	20	$1.491\ 6\times 10^{-4}$	$1.388\ 6\times 10^{-4}$	1.03
	5				1.72
	8				2.76
	10				3.47
	15				5.24
70	3	20	2.179×10^{-4}	$1.778\ 3\times 10^{-4}$	1.32
	5				2.21
	8				3.57
	10				4.51
	15				6.89
87.5	3	20	$2.578\ 7\times 10^{-4}$	$1.958\ 8\times 10^{-4}$	1.45
	5				2.43
	8				3.97
	10				5.01
	15				7.71

B.3 公式(B.1)和表 B.1 为推荐采用，需要通过工艺验证确保配比准确，且满足试验精度要求。

