

ICS 27.120.20
F 69
备案号: 29116-2010

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 20018—2010
代替 EJ/T 589—1999

核电厂安全壳密封性试验

Containment leaktightness test for nuclear power plants

2010-05-01 发布

2010-10-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和符号 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 符号 2

4 试验分类和总要求 3

 4.1 分类 3

 4.2 总要求 3

 4.3 承担试验单位要求 4

5 A类试验要求..... 4

 5.1 试验前要求 4

 5.2 试验方法 4

 5.3 试验压力 5

 5.4 定期试验周期 5

 5.5 验收准则 5

6 B类、C类试验要求 5

 6.1 试验方法 5

 6.2 试验压力 5

 6.3 定期试验周期 6

 6.4 验收准则 6

7 专项试验 6

8 试验报告 6

 8.1 总要求 6

 8.2 运行前试验的试验报告 6

 8.3 定期试验报告 7

 8.4 单独报告 7

附录 A（规范性附录） 核电厂安全壳整体密封性试验方案（绝对压力法） 8

附录 B（规范性附录） 核电厂安全壳局部密封性试验方案 （流量补充法、压力下降法） 16

附录 C（规范性附录） 典型路径最大和最小泄漏率确定 19

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准代替EJ/T 589-1999《压水堆核电厂安全壳密封性试验》与EJ/T 589-1999相比较有如下变化：

- A类试验中删去了参考容器法和低压试验的内容，定期试验周期删去十年三次的内容；在气体稳定性、试验终止准则和测定结果评定方面增加了新的内容；
- 局部试验的验收准则有变化；
- 本标准增加了对试验条件和试验承担者的要求以及为保证测定质量增加了相关内容。

本标准由中国核工业集团公司提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：中冶建筑研究总院有限公司、北京冶核技术发展有限责任公司。

本标准主要起草人：蒋坚毅、李安明、郭红晓、徐森、周文权。

EJ/T 589于1991年首次发布，1999年4月第1次修订。

核电厂安全壳密封性试验

1 范围

本标准规定了核电厂安全壳密封性试验的要求、方法和验收准则。

本标准适用于压水堆安全壳密封性试验,对于双层安全壳本标准只适用于主安全壳(内层壳)试验,其他反应堆安全壳密封性试验也可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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。

JJF 1059 测量不确定度评定与表示

HAD 003/09 核电厂调试和运行期间的质量保证

HAD 102/06 核动力厂反应堆安全壳系统的设计

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

泄漏量 leakage

从泄漏处(孔、口、裂缝等)漏失的流体量。

3.1.2

泄漏率 leakage rate

单位时间发生的泄漏量。用在指定的试验压力下,流体从测试容器中流失速率表示。

3.1.3

整体泄漏率 overall integrated leakage rate

通过所有被试验的泄漏途径,包括安全壳焊缝、盲板、阀门、贯穿件、接头等整个压力边界的全部泄漏率。用在试验压力下24h从安全壳内泄漏到大气中的空气质量与安全壳内部自由容积包容的空气初始质量之比的百分数表示。

3.1.4

路径最大泄漏率 maximum pathway leakage rate (MXPLR)

贯穿件泄漏路径的最大泄漏率。MXPLR是串联的两个边界中泄漏率较大的值。

3.1.5

路径最小泄漏率 minimum pathway leakage rate (MNPLR)

贯穿件泄漏路径的最小泄漏率（例如：内边界或者外边界中较小的泄漏率），当在内外边界之间加压时，MNPLR是测得的总泄漏率的一半。

3.1.6

验收准则 acceptance criteria

为了证实安全壳作为压力边界的密封功能是否合格，试验结果应满足的标准。

3.1.7

验证试验 verification test

证实A类试验方法可行、测定整体泄漏率的仪器设备可靠的试验。

3.2 符号

3.2.1 下列符号适用于本文件

P_{ac} —与设计基准事故相应的安全壳内产生的峰值压力，通常在设计技术文件中规定，单位为兆帕（MPa）；

P_d —安全壳设计压力，通常在设计文件中规定，单位为兆帕（MPa）；

L_a —在试验工况下，安全壳内压力为 P_{ac} 的整体最大允许泄漏率，通常在技术文件中规定，%/24h；

L_{am} —在安全壳内设备和系统尽可能接近设计基准事故状态时，在压力 P_{ac} 下对安全壳进行试验而得到的安全壳整体泄漏率最佳估计值，%/24h；

L_o —验证试验时在安全壳上叠加的已知泄漏率，%/24h；

L_c —叠加 L_o 后的安全壳整体泄漏率，%/24h；

UCL —上置信限，指安全壳整体泄漏率最佳估计值的统计计算上限，本标准按95%置信水平进行计算。

3.2.2 下列符号仅适用于附录 A

P —安全壳内空气的绝对压力，单位为兆帕（MPa）；

P_v —安全壳内水蒸气加权平均分压力，单位为兆帕（MPa）；

R —干空气气体常数，287.0J/（kg·K）；

T_i —第 i 组数据对应的安全壳内空气加权平均温度，单位为开尔文（K）；

V —安全壳内自由空间的容积，单位为立方米（m³）；

W_i —第 i 组数据对应的安全壳内干空气质量，单位为千克（kg）；

\hat{W}_i —直线回归 W_i 的最佳估计值，单位为千克（kg）；

t_i —从测定开始基准时刻至第 i 组数据所经过的时间，单位为小时（h）；

A —最小二乘法回归直线的斜率，单位为千克每小时（kg/h）；

B —最小二乘法回归直线的截距，单位为千克（kg）；

n —测量数据组（ t_i ， W_i ）数量；

S_A —最小二乘法直线回归斜率标准偏差的无偏估计值，即A类评定的不确定度分量，单位为千克每小时 (kg/h)；

u_{B_i} —B类评定的第*i*项标准不确定度分量；

u_c —合成标准不确定度；

$U_{95\text{rel}}$ —置信水平为95%的相对扩展不确定度。

3.2.3 下列符号仅适用于附录 B

L_l ——气体泄漏率，单位为标准升每分钟 (NL/min)；

L_l' ——水泄漏率，单位为升每分钟 (L/min)；

P_1 、 P_2 ——分别为试验开始和结束时的绝对压力，单位为千帕 (kPa)；

P_1' 、 P_2' ——分别为上游和下游水的绝对压力，单位为千帕 (kPa)；

P_s ——标准状态大气压力 (0.101325MPa)，单位为兆帕 (MPa)；

μ' ——水的粘度，单位为帕·秒 (Pa·s)；

μ ——空气的粘度，单位为帕·秒 (Pa·s)；

T_1 、 T_2 ——分别为试验开始和结束时的环境温度，单位为开尔文 (K)；

T_s ——标准状态空气温度 (273.15K)，单位为开尔文 (K)；

V_l ——试验的自由空间容积，单位为升 (L)；

t ——试验持续时间，单位为分钟 (min)。

4 试验分类和总要求

4.1 分类

4.1.1 按试验对象分为如下 3 类：

- A 类试验：对安全壳压力边界整体加压进行的整体密封性试验；
- B 类试验：对安全壳贯穿件的密封部件（如电气贯穿件、人员闸门和设备闸门等）加压进行的局部密封性试验；
- C 类试验：对安全壳隔离阀加压进行的局部密封性试验。

4.1.2 按反应堆运行不同阶段分类：

- 运行前试验（验收试验）：安全壳竣工后运行前进行的试验；
- 定期试验：反应堆运行后，经一定时间间隔再进行的试验。

4.2 总要求

4.2.1 核电厂安全壳需承受因设计基准事故产生的内压，因此应具有足够的强度和密封性。用密封性试验来检测安全壳的泄漏率，密封性试验结果应满足验收准则要求。

4.2.2 承担试验单位应制定包括 A 类、B 类和 C 类试验在内的安全壳压力边界密封性试验大纲和实施细则。

4.2.3 在核电厂设计时，应对安全壳的基准事故最高温度、峰值压力 (P_{ac})、设计压力 (P_d)、自由空间容积、验收准则作出规定。对于 A 类试验应设计测试室和信号通道以及壳内外的接线箱（柜）等

相关设施。对于B类、C类试验应考虑试验接口和隔离边界，增加可试验性（如尽量减少C类试验的加压空间，缩小隔离边界；对于那些能够承受正反向加压的阀门，应在两个隔离阀之间设计试验接口）。

4.2.4 安全壳建造完工（包括贯穿反应堆安全壳压力边界的机械、电气和仪表系统的所有设备和零部件安装完成）之后或在反应堆运行之前应遵照HAD 102/06的规定，按本标准要求运行前密封性试验，在反应堆运行后定期进行密封性试验。

4.2.5 实施可能影响安全壳完整性的改进、部件更换、修理和调整，应进行A类或B、C类试验（见第7章），以证实改变了的部件能满足泄漏率要求。

4.2.6 在安全壳内或外事故发生的情况下应根据第7章的要求进行专项试验。

4.2.7 对于有缓解严重事故的压水堆双层安全壳的外壳应做密封性检查，以确定向壳外的直接泄漏率。可按照HAD 102/06进行，采用在安全壳整体密封性试验期间环形空间抽气量减去正常运行条件下环形空间抽气量的计算方法确定。

4.3 承担试验单位要求

4.3.1 承担试验单位应是一个能够承担法律责任的实体。必须确保判断的独立性、测定结果的正确性和公正性。

4.3.2 承担试验单位应有安全壳密封性试验或类似大型试验的经历和经验。

4.3.3 承担试验单位应根据HAD 003/09的要求建立健全相应的组织机构和质保体系。

4.3.4 承担试验单位应有安全壳密封性试验的实验室和相关的仪器装备，仪器应符合本标准要求并有国家计量部门认可的检定证明。

4.3.5 参加试验的人员应经过培训，考核合格，具备相关的理论知识和实践经验。

5 A类试验要求

5.1 试验前要求

5.1.1 在A类试验之前，应对安全壳结构和部件的内外表面进行目视检查，如发现可能影响安全壳结构完整性和密封性的损坏迹象，要先按相应的维修规程修补后，才能进行A类试验。结构损坏及其修补措施应作为试验报告的一部分。

5.1.2 A类试验应在B类和C类试验完成后进行。

5.1.3 应通过正常操作关闭安全壳隔离阀，而不应调整（即在关闭后不再手动拧紧远距操控阀门）。对动作失灵或泄漏的阀门应进行检修，并应将检修情况列入试验报告中。

5.1.4 在设计基准事故时与安全壳大气相通的系统试验期间应与安全壳大气相通。正常情况下充满液体，设计基准事故时液体被排出系统，包括贯穿安全壳和在设计基准事故时在安全壳内侧可能破裂的系统（安全壳内侧或外侧部分）应与安全壳大气相通。在安全壳内侧、隔离阀之间和安全壳外侧与大气相通的系统应卸压使通道承受事故后的差压。

5.1.5 正常情况下充满液体，设计基准事故后可以运行的系统不需与安全壳大气相通。

5.1.6 整体密封性试验期间为试验正常进行所需或在试验期间维持核电厂安全状态的系统可以按它们正常方式运行，不需与大气相通或排除液体。

5.1.7 安全壳内易受试验压力损坏的设备均应拆除或加以保护。其中含有加压液体和气体的管路或容器均应卸掉压力并关上阀门，或者在A类试验前后各进行一次压力测量，以证实其中的流体未泄漏入安全壳。若有泄漏，应予以计算并加入UCL中。

5.1.8 应严格控制向二回路泄漏。

5.2 试验方法

5.2.1 A类试验采用常温干净干燥(1立方米空气中的含水量低于1克)空气按规定的试验压力向安全壳边界加压,加压后应对隔离边界及相关部件进行密封性检查。

5.2.2 A类试验方法:采用绝对压力法,见附录A。通常定期试验方法与运行前试验方法相同。

5.2.3 采用质量点法计算安全壳整体泄漏率的最佳估计值。也可以采用其它具有相当效果的方法进行。

5.2.4 采用附录A所述之验证试验来证实A类试验的可靠性,如果验证试验数据和A类试验数据之差值小于 $0.25 L_a$,则认为A类试验的结果是可以接受的,否则应找出原因,采取纠正措施,重新进行验证试验。也可以采用证明与验证试验具有同等效果的方法来判定A类试验的可靠性。

5.3 试验压力

5.3.1 运行前试验的压力为 P_{ac} (但最低不能低于 $0.96 P_{ac}$)。

5.3.2 定期试验的压力为 P_{ac} (但最低不能低于 $0.96 P_{ac}$)。

5.3.3 若设计文件规定试验压力不是峰值压力 P_{ac} ,可按设计文件规定执行。

5.4 定期试验周期

5.4.1 安全壳运行前试验之后,若超过36个月反应堆未启动运行,则在反应堆启动之前,还应再次进行运行前的A类试验。

5.4.2 反应堆第一次或第二次停堆换料时进行首次A类定期试验,同时进行B类试验和C类试验,以后不超过10年进行一次A类试验。

5.4.3 如果相邻两次试验测得的安全壳整体泄漏率相比,安全裕量(允许的最大泄漏率与实测泄漏率的差值)减少75%以上,则下一次试验间隔时间应减至5年。

5.4.4 如果核电厂设计文件另有规定,可按设计技术文件执行,但试验间隔不应超过最大允许的时间间隔。

5.5 验收准则

5.5.1 运行前试验:在峰值压力 P_{ac} 下测得的安全壳整体泄漏率最佳估计值 L_{am} 的 UCL 应小于 $0.75 L_a$ 。

5.5.2 定期试验:在峰值压力 P_{ac} 下测得的安全壳整体泄漏率最佳估计值 L_{am} 的 UCL 应小于 $0.75 L_a$ 。

5.5.3 试验结果:在A类试验中,没有试验的B、C类(如采用临时封堵,检修等措施)泄漏率(以检修后的最小泄漏率MNPLR计)和测定安全壳整体泄漏率最佳估计值 L_{am} 的不确定度 U 应计入A类试验结果的 UCL 上。

6 B类、C类试验要求

6.1 试验方法

试验可采用流量补充法或压力下降法,见附录B。也可采用具有同等效果的其它方法。各个待试验的隔离阀应按正常操作方式关闭,不应调整。

6.2 试验压力

采用 P_{ac} 的压力进行试验。对于试验压力越高,其密封性越好的阀门(如逆止阀),其试验压力不能大于 $1.1 P_{ac}$,人员空气闸门的整体密封性试验可降压进行。

6.3 定期试验周期

- 6.3.1 电气贯穿件：经常处于加压状态下，至少每月记录1次电气贯穿件压力计读数。
- 6.3.2 人员空气闸门的密封件：每6个月进行1次，并且在每次反应堆换料重新启动之前也应进行。
- 6.3.3 人员空气闸门的整体密封性试验：当没有安装可以进行局部试验的密封部件，或局部试验结果不佳时每2年至少进行1次。
- 6.3.4 设备闸门的密封件：在每次封闭之后且每2年至少进行1次。
- 6.3.5 贯穿件柔性密封件：每2年至少1次，在停堆换料时进行。
- 6.3.6 燃料输送通道盲板密封件：每次封闭之后进行。
- 6.3.7 隔离阀：两次试验的间隔不超过2年，但那些只能在A类试验时进行其密封性试验的隔离阀部件除外，其试验间隔与A类试验相同。

6.4 验收准则

- 6.4.1 B类和C类试验的泄漏率之和应小于 $0.6 L_a$ 。其中B类应小于 $0.1 L_a$ ，C类应小于 $0.5 L_a$ 。
- 6.4.2 用自身液体（如水）进行试验的阀门，其泄漏率应计入局部试验的泄漏率中，但要将液体的泄漏率换算成气的泄漏率，见B.2.2。
- 6.4.3 在贯穿件上有两个隔离部件（如隔离阀）时，贯穿件的泄漏率取值：当B、C类试验之后，还要进行A类试验，或为了保证安全壳的完整性要求，取路径最大泄漏率（MXPLR）；如果只需要满足安全壳的可运行性要求，则取路径最小泄漏率（MNPLR），见附录C。

7 专项试验

- 7.1 在密封性试验（包括A、B、C类试验）之后，对安全壳进行的重大修改应进行A类试验，部件更换或密封式焊接门的重新密封，应适当地对更改部分进行B类、C类试验。试验应满足5.5、6.4中验收准则的相应要求。由这些试验所得结果应包括在试验报告中。
- 7.2 在进行定期A类试验之前的小更改或密封门的少量再焊，可以不需要进行单独的试验。
- 7.3 在非常严重的和能引起安全壳损伤的事故后应进行安全评估，根据评估结果，若只对贯穿件和隔离阀有损伤的，应做B类或C类试验；若对整个安全壳有影响的，应先修复后再做A类试验。

8 试验报告

8.1 总要求

承担试验单位应提供完整和详细的试验报告。试验结束后，应在一周内提交初步结论的简要报告，为核电厂安排试验后的工作计划提供依据；3个月内完成试验报告。

8.2 运行前试验的试验报告

运行前试验报告至少应包括以下内容：

- a) 通用数据（电厂名称、机组号、安全壳描述、承担试验单位、试验完成时间）；
- b) 设计技术参数（安全壳内的自由空间容积、设计压力、事故的最高温度和峰值压力）；
- c) 试验程序；
- d) 泄漏率测量系统布置示意图；
- e) 采用的测量仪表；

- f) 验证试验所得结果及分析;
- g) A类、B类和C类密封性试验结果。A类试验结果应包括安全壳泄漏率最佳估计值及不确定度分析和解释,明确安全壳泄漏率是否满足验收准则。

8.3 定期试验报告

定期试验报告至少应包括:

- a) 8.2的内容;
- b) 自上次A类试验以来所进行的定期B类和C类试验的简要分析。

8.4 单独报告

没有满足5.5、6.4中验收准则的A类、B类和C类试验结果应单独报告。

该报告包括:

- a) 试验数据分析和解释;
- b) 试验数据的最小二乘法回归分析;
- c) 不确定度评估;
- d) 引起不能满足验收准则的安全壳或部件的结构状况分析;
- e) 用于证实密封性试验测定可靠性试验的结果及分析。

附录 A (规范性附录)

核电厂安全壳整体密封性试验方案（绝对压力法）

A.1 说明

本方案规定了核电厂安全壳用绝对压力法进行整体密封性试验的内容。

A.2 泄漏率计算方法

A.2.1 概述

用绝对压力法计算安全壳内干空气质量。用质量点法处理数据，计算安全壳整体泄漏率。

绝对压力法是利用理想气体定律和道尔顿气体分压定律确定试验期间每一测定时间点安全壳内干空气的质量。假设在试验期间由于温度和压力的变化引起的安全壳结构变化对安全壳自由空间容积的改变可以忽略不计；泄漏率不随时间变化。空气质量的变化率利用最小二乘法对空气质量点拟合进行计算。空气质量的变化率再转换成泄漏率（%/24h），即用回归线的截距除回归线的斜率再乘以（-2400）。根据不确定度分析求泄漏率的上置信限。

A.2.2 安全壳内干空气质量的计算

对于每一个时间点（ t_i ），相应的安全壳内干空气质量（ W_i ）根据理想气体定律由下式确定：

$$W_i = \frac{V}{R} \left(\frac{P_i - P_{vi}}{T_i} \right) \dots\dots\dots (A.1)$$

T_i 按下式计算：

$$T_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{V_{fj}}{T_{ij}}} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

m —温度传感器数量；

V_{fj} —第 j 个传感器的容积系数；

T_{ij} —第 j 个传感器在第 i 时刻的绝对温度，单位为开尔文（K）；

P_{vi} 按下式计算：

$$P_{vi} = \sum_{j=1}^k V_j \times P_{vji} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

V_j —湿度传感器的容积系数;

P_{vji} —第 j 个湿度传感器在第 i 时刻的水蒸气分压力, 单位为兆帕 (MPa);

k —测定水蒸气分压力的传感器数目。

由相对湿度读数利用下式可以求得水蒸气分压力:

$$P_{vji} = 0.01 \times H_{ji} \times a \left(\frac{bT_{ji}}{T_{ji} + c} \right) \dots\dots\dots (A. 4)$$

式中:

H_{ji} —第 j 个温湿度计 i 时刻的相对湿度 (%RH);

T_{ji} —第 j 个温湿度计 i 时刻的温度, 单位为摄氏度 (°C);

a 、 b 、 c —均为常数。

A. 2. 3 平均泄漏率

安全壳内干空气质量数据点的线性最小二乘法拟合按下式进行:

$$\hat{W}_i = At_i + B \dots\dots\dots (A. 5)$$

$$A = \frac{n(\sum t_i W_i) - (\sum t_i)(\sum W_i)}{n(\sum t_i^2) - (\sum t_i)^2} \dots\dots\dots (A. 6)$$

$$B = \frac{(\sum W_i)(\sum t_i^2) - (\sum t_i)(\sum t_i W_i)}{n(\sum t_i^2) - (\sum t_i)^2} \dots\dots\dots (A. 7)$$

$$S_A = \sqrt{\left(\frac{1}{n-2} \right) \left[\frac{n(\sum W_i^2) - (\sum W_i)^2}{n(\sum t_i^2) - (\sum t_i)^2} - A^2 \right]} \dots\dots\dots (A. 8)$$

整体泄漏率 L_{am} 的估计值是回归直线斜率和截距的函数, 按下式计算:

$$L_{am} = -2400 \times \left(\frac{A}{B} \right) \dots\dots\dots (A. 9)$$

A. 3 泄漏率的不确定度及上置信限

A. 3. 1 不确定度评定

整体泄漏率测定结果的表述应包括测定的最佳估计值 (L_{am}) 和不确定度 (U) 两部分。

不确定度的评定方法按JJF 1059分为A类评定和B类评定。A类评定指评定由随机效应引进的不确定度 (此处不确定度分量为 $2400 \times S_A/B$) ; B类评定指评定由系统效应引进的不确定度, 包括系统中各个仪器检定的基本误差和仪器自身的漂移以及环境条件变化 (如环境温度、大气压等) 引进的不确定度。B类评定不确定度分量主要根据历史资料 (测定仪器) 和经验进行评定。

分别算出各分项的标准不确定度分量后, 由方和根法求得合成标准不确定度, 即:

$$u_c = \sqrt{\left[2400 \times \left(\frac{S_A}{B}\right)\right]^2 + \sum (u_{Bi})^2} \dots\dots\dots (A. 10)$$

合成标准不确定度乘以包含因子 k 获得扩展不确定度, 即:

$$U_{95\ rel} = k_{95} u_c \dots\dots\dots (A. 11)$$

式中包含因子 k_{95} 根据JJF 1059规定, 当测定数据量较大时, 可近似为 $k_{95} = 2$, 则 $U_{95\ rel} = 2u_c$ 是置信概率近似为95%区间的半宽。

A. 3.2 泄漏率的上置信限

上置信限 UCL 按安全壳实际的泄漏率超过报告的 UCL 值的概率只有5%来确定, 表示为泄漏率的95%上置信限, 一般采用下式:

$$UCL = L_{am} + U_{95\ rel} \dots\dots\dots (A. 12)$$

A. 4 测量仪表

A. 4.1 试验用测定仪表及技术要求

- | | |
|-----------------------|---|
| a) 温度 | |
| 最大允许误差 | $\pm 0.50^{\circ}\text{C}$ |
| 分辨率 | 0.015°C |
| 重复性 | $\pm 0.10^{\circ}\text{C}$ |
| b) 露点温度 (或相对湿度) | |
| 最大允许误差 | $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3.5\%$ RH) |
| 分辨率 | 0.055°C (0.5% RH) |
| 重复性 | $\pm 0.10^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1\%$ RH) |
| c) 绝对压力 | |
| 最大允许误差 | $\pm 0.100\text{kPa}$ |
| 分辨率 | 0.005kPa |
| 重复性 | $\pm 0.030\text{kPa}$ |
| d) 流量 | |
| 最大允许误差 | $\pm 2\%$ F. S. |
| 分辨率 | 0.2% F. S. |
| 范围 | $< 2 L_a$ |
| e) 大气压力 | |
| 最大允许误差 | $\pm 0.100\text{kPa}$ |
| f) 水位测量 | |
| 用于测定水位的方法有足够的准确度和分辨率。 | |
| g) 最少运行的传感器数 | |
| 压力传感器 | 1个 |
| 温度传感器 | 20个 |
| 露点或相对湿度传感器 | 6个 |

流量测量设备

1套

A. 4. 2 仪表检定

应对测定温度、压力、露点温度（或相对湿度）和流量的仪表进行检定。准确度由检定数据确定。分辨率和重复性由仪器说明书提供或直接测定。

仪表检定应在使用前12个月内进行。

A. 4. 3 现场检验

A. 4. 3. 1 现场检验的目的

测量系统安装完成后，要现场检验温度、压力、露点或相对湿度和流量系统的准确度，证实整个测量系统工作是否正常。

A. 4. 3. 2 现场检验方法

现场检验方法如下：

- a) 验证每个传感器的数据采集器或计算机的输出与用检验的标准仪表单独测得的结果是否符合要求；
- b) 对数据采集器或计算机系统可以采取的检验方法是用电阻、电压或电流信号代替传感器输入仪表回路内，然后验证数据采集器或计算机的预期读数是否符合要求；
- c) 采用局部数字输出的传感器时，要验证局部数字传感器读数与数据采集器或计算机系统的输出是否一致。

A. 4. 3. 3 现场检验准则

如果采用单独测量证实仪表的性能，则仪表的示值和标准表测量结果相差不应超过如下规定：

- | | |
|----------------|---|
| a) 绝对压力 | $\pm 0.04\% \text{ F. S.}$ |
| b) 温度 | $\pm 1.0^\circ \text{C}$ |
| c) 露点温度（或相对湿度） | $\pm 3.0^\circ \text{C}$ ($\pm 5\% \text{ RH}$) |
| d) 流量 | $\pm 5\% \text{ F. S.}$ |

A. 4. 3. 4 零压试验

进行“零压试验”检验整个测量系统的正确性和可靠性，“零压试验”的时间不应小于4h。

A. 4. 3. 5 数据采集时钟

对数据采集时钟的要求：

- | | |
|-----------|----------------------------------|
| a) 最大允许误差 | $\pm 1 \text{ min}/24 \text{ h}$ |
| b) 分辨率 | 1s |

A. 4. 4 传感器舍弃准则

评价有故障的传感器并从数据组中剔除它的数据时，应采用一致的传感器舍弃准则。

具有下列情况应舍弃，在干空气质量计算中不采用该传感器的数据：

- a) 仪表丧失功能；
- b) 在整体密封性试验日志中记录有数据舍弃的原因。

被舍弃的传感器的容积系数重新分配给留下的附近的传感器。从 A 类试验开始取得的每一个数据组的安全壳干空气质量和相应的泄漏率应利用重新分配的容积系数再进行计算。如果在验证试验时传感器被舍弃,则 A 类试验泄漏率 (L_{am})、验证试验叠加泄漏率 (L_o) 和叠加 L_o 后的泄漏率 (L_e) 应重新计算。

如果可能,在整体密封性试验期间,继续记录被舍弃传感器的数据。

不能仅因为剔除数据能改善泄漏率计算结果而舍弃传感器。

A. 4. 5 温、湿度传感器的配置

对于会影响泄漏率测定准确度的安全壳内温度测定位置,要使平均温度的指示不产生采样误差,一般在运行前和初次定期试验前应调查安全壳内空气温度场的分布,以便合理布置温度测点。如果对于同一个或类似的安全壳,传感器布置在与以前试验相同的位置上,则不需进行新的调查。

温度传感器应远离热源、热阱和热辐射源,或者采取合适热屏蔽措施,以避免温度读数受到不利影响。

每个传感器(含温度和湿度)的容积系数应保证与其分配的容积一致。容积系数总和等于1。单个温度传感器的最大容积系数不应大于0.1。

A. 5 泄漏率测定

A. 5. 1 试验条件

试验条件如下:

- 试验压力:按 5.3 规定;
- 试验温度:常温;
- 加压气体:经过过滤、去油和干燥的空气;
- 试验时间:运行前试验计算泄漏率持续时间应在 24h 以上,定期试验持续时间应在 8h 以上;
- 在进行 A 类密封性试验时,伴随有结构强度试验,且强度试验在 A 类试验之前、压力高于 P_{ac} 时,则在 A 类试验开始之前要将安全壳内压力减少到 85% P_{ac} (或更少)并维持 24h。

A. 5. 2 测定项目

测定项目包括:

- 安全壳内空气绝对压力;
- 安全壳内空气温度;
- 安全壳内空气露点温度或相对湿度。

以上项目在试验中至少 1h 间隔内测定记录 1 次。

A. 5. 3 液位监测

安全壳内液位的变化引起总的自由容积改变,进而影响干空气质量的计算。可以从最初和最终水位读数得出容积变化计算出的有效泄漏率来修正最终的 A 类试验泄漏率置信上限。

A. 5. 4 设备保护

在安全壳密封加压之前,应将不能承受试验压力的设备搬出安全壳或就地进行安全处置,防止损坏。

A. 5. 5 安全壳内空气的稳定

安全壳加压到试验压力后在A类试验开始前，应有一段时间让安全壳内空气质量稳定下来。这个稳定时间最少为4h。

对A类试验来说如果下列准则同时满足，可以认为安全壳内空气质量是稳定的；

- a) L_{2h} 与 L_{1h} 之差的绝对值小于或等于 $0.25 L_a$ ；
- b) L_{1h} 大于或等于零，并小于 L_a 。

其中：

L_{1h} —最后1h内空气质量数据由最小二乘法回归直线斜率和截距得出的泄漏率最佳估计值；

L_{2h} —最后2h内空气质量数据由最小二乘法回归直线斜率和截距得出的泄漏率最佳估计值。

A. 5. 6 数据记录和保存

进行整体密封性试验时，应收集、记录和保存下列数据：

a) 原始数据

最低应采集30组数据，每组数据包括：

- 1) 安全壳内空气绝对压力传感器读数（或大气压力表读数与差压表读数之和）；
- 2) 单个的安全壳内空气温度传感器读数；
- 3) 单个的安全壳内空气露点温度或相对湿度传感器读数；
- 4) 数据组记录的时间和日期。

b) 辅助数据

应在规定时间收集和记录下列数据：

- 1) 试验期间安全壳外大气绝对压力；
- 2) 安全壳内影响安全壳自由空间容积的液位，按泄漏率计算所需时间间隔记录；
- 3) 叠加流量，验证试验期间最少每小时记录4次。

c) 基础数据

试验期间重要事项或相关观察的值班记录应予以保存以有助于数据分析。数据资料包括：

- 1) 仪表检定文件；
- 2) 安全壳内自由空间容积；
- 3) 分配给各个传感器的分容积；
- 4) 泄漏率测定系统运行状况；
- 5) 试验时工艺系统状况，如阀门开关及充水状况等；
- 6) A类试验期间的日志，记录试验过程和发生的时间及处理情况；
- 7) 试验程序文件；
- 8) 局部试验资料（测定数据和设备维修等）。

A. 5. 7 试验终止准则

同时满足以下两项终止准则，才能认为A类试验是成功的：

- a) 描述安全壳内空气质量随时间变化的函数是线性的或者该函数的曲率在可接受的范围内。可以通过一系列的计算和“曲线”极值分析以及F检验，证明是可以接受的；
- b) 安全壳内空气质量点相对于回归线的分散程度在可接受的范围内，通常对回归分析的相关系数 r 进行 r^2 检验，说明离散度是可接受的。

A. 5.8 A类试验验收准则

应同时满足：

- a) A类试验泄漏率 UCL 加上整体试验时未被试验的局部密封性试验的泄漏率值不应超过 $0.75 L_a$ ；
- b) 对于最后 1h 或最后 4 个连续数据应满足 A. 5.7 中关于函数曲率和数据分散的准则；
- c) A类试验持续时间对于运行前试验至少为 24h，对于定期试验至少为 8h，同时应在大约相等的时间间隔内取得至少 30 组数据。

A. 6 验证试验

A. 6.1 总则

A类试验结果应用验证试验加以证实。从A类试验结束到验证试验开始没有正当理由数据采集不应中断。

A. 6.2 叠加泄漏率 L_o

叠加泄漏率 L_o 应在 $0.75 L_a$ 和 $1.25 L_a$ 之间。在安全壳适当的贯穿件上安装一个可以微调的仪表流量阀，打开并调节阀门让一部分空气从安全壳内排出，通过阀门的流量用经过检定的流量计测量。流量计读数至少15min记录1次。

A. 6.3 稳定期

应有稳定期但不超过1h。

A. 6.4 验证试验验收准则

验证试验应至少持续4h，在大约相等的时间间隔内采集至少15组数据。对于最后1h或最后4个连续数据组，叠加 L_o 后的安全壳整体泄漏率 L_c 应在下述范围内。

$$(L_o + L_{am} - 0.25L_a) \leq L_c \leq (L_o + L_{am} + 0.25L_a) \dots\dots\dots (A. 13)$$

A. 7 试验结果报告

A. 7.1 内容

在书面报告中应提供适当的数据以便能独立评审安全壳密封性试验结果。

- a) 一般情况包括：
 - 1) 工厂名、机组号、运行前或第××次（大修）试验；
 - 2) 地点；
 - 3) 安全壳简况；
 - 4) 试验完成日期。
- b) 技术数据包括：

- 1) 安全壳自由空间容积, 单位为立方米 (m^3);
 - 2) 设计压力 P_d , 单位为兆帕 (MPa);
 - 3) 设计基准事故的峰值压力 P_{ac} , 单位为兆帕 (MPa)。
- c) 试验资料包括:
- 1) 数据分析技术;
 - 2) 试验压力, 单位为兆帕 (MPa);
 - 3) 最大允许泄漏率 L_a , ($\%/24\text{h}$);
 - 4) 计算的泄漏率的最佳估计值上置信限 UCL , ($\%/24\text{h}$);
 - 5) 计算的泄漏率的最佳估计值 L_{am} , ($\%/24\text{h}$);
 - 6) 叠加泄漏率 L_o , ($\%/24\text{h}$);
 - 7) 叠加 L_o 后的安全壳整体泄漏率 L_c , ($\%/24\text{h}$)。

A. 7.2 数据分析与解释

试验报告应包括泄漏率数据分析和下列试验结果的解释:

- a) 整体密封性试验结果;
- b) 上次整体密封性试验以来进行的所有局部密封性试验结果;
- c) 总的 A 类试验泄漏率与验收准则的比较;
- d) 列出为了得到良好试验结果所采取的试验例外措施 (包括安全壳边界的变化) 和数据舍弃的情况;
- e) 传感器故障、修理及重新分配容积系数所采用的方法说明。

A. 7.3 结论

试验报告应清楚说明试验是否满足验收准则。

附录 B
(规范性附录)
核电厂安全壳局部密封性试验方案
(流量补充法、压力下降法)

B.1 说明

本方案规定了安全壳贯穿件和安全壳隔离阀局部密封性试验采取流量补充法和压力下降法的内容。

B.2 泄漏率计算方法

B.2.1 压力下降法泄漏率计算公式

计算公式如下：

$$L_l = \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right) \left(\frac{V_l T_s}{t P_s} \right) \dots\dots\dots (B. 1)$$

B.2.2 流量换算公式

当采用流量补充法时，向试验容器加压并保持压力为 P_{ac} ，向试验容器补充的流量即为该试验部件的泄漏率。当试验的介质是水，不论是流量补充法还是流量收集法，均应将水的泄漏率换算为气体的泄漏率。计算公式如下：

$$L_l = \frac{\mu' \times (P_1' + P_2')}{\mu \times 2 P_s} \times \frac{T_s}{T_2} \times L_l' \dots\dots\dots (B. 2)$$

B.3 测定仪表

B.3.1 压力下降法

采用压力下降法时仪表应满足下列要求：

- a) 温度
 - 最大允许误差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
 - 分辨率 0.1°C
 - 重复性 $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$
- b) 压力
 - 最大允许误差 峰值压力的 $\pm 1\%$
 - 分辨率 $0.1\% \text{F. S.}$
 - 重复性 $\pm 0.1\% \text{F. S.}$

B.3.2 流量补充法

采用流量补充法时仪表应满足下列要求：

- | | |
|--------|---|
| a) 温度 | |
| 最大允许误差 | $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ |
| 分辨率 | 0.1°C |
| 重复性 | $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ |
| b) 压力 | |
| 最大允许误差 | 峰值压力的 $\pm 1\%$ |
| 分辨率 | $0.1\% \text{F.S.}$ |
| 重复性 | $\pm 1.0\% \text{F.S.}$ |
| c) 流量 | |
| 最大允许误差 | 气体： $\pm 2\% \text{F.S.}$ （或 $\pm 3\% \text{m.v.}$ ） |
| 液体： | $\pm 2.5\% \text{F.S.}$ （当流量 $Q < 0.5 \text{ mL/min}$ 为 $\pm 4\% \text{F.S.}$ ） |

B.4 泄漏率测定

B.4.1 试验条件

试验条件如下：

- a) 试验压力按 6.2 的规定；
- b) 试验温度为常温；
- c) 加压气体为空气或氮气，加压液体为除盐水。

B.4.2 测定项目

测定项目包括：

- a) 压力下降法时为温度、压力；
- b) 流量补充法时为流量、温度和压力。

B.4.3 试验持续时间

试验应在条件稳定以后进行。

压力下降法试验的时间，达到稳定条件后持续15min以上，流量补充法应达到动态平衡才能测定。

B.4.4 试验加压方向

应按设计基准事故执行其隔离功能的方向进行加压。如果反方向加压，所得试验结果应是等效的或是更保守的。下列实例按反方向加压的试验结果可以认为是等效的或更保守的：

- a) 具有同心轴和非锥形阀座的蝶阀；
- b) 设计基准事故时压力有助于阀体压紧而反方向加压时压力不利于阀体压紧的安全壳内球阀；反方向加压时从密封件和阀帽处的泄漏可以定量确定的安全壳外具有同样定向的球阀；
- c) 在闸板阀之间加压进行试验的双闸板阀。

B.4.5 验收准则

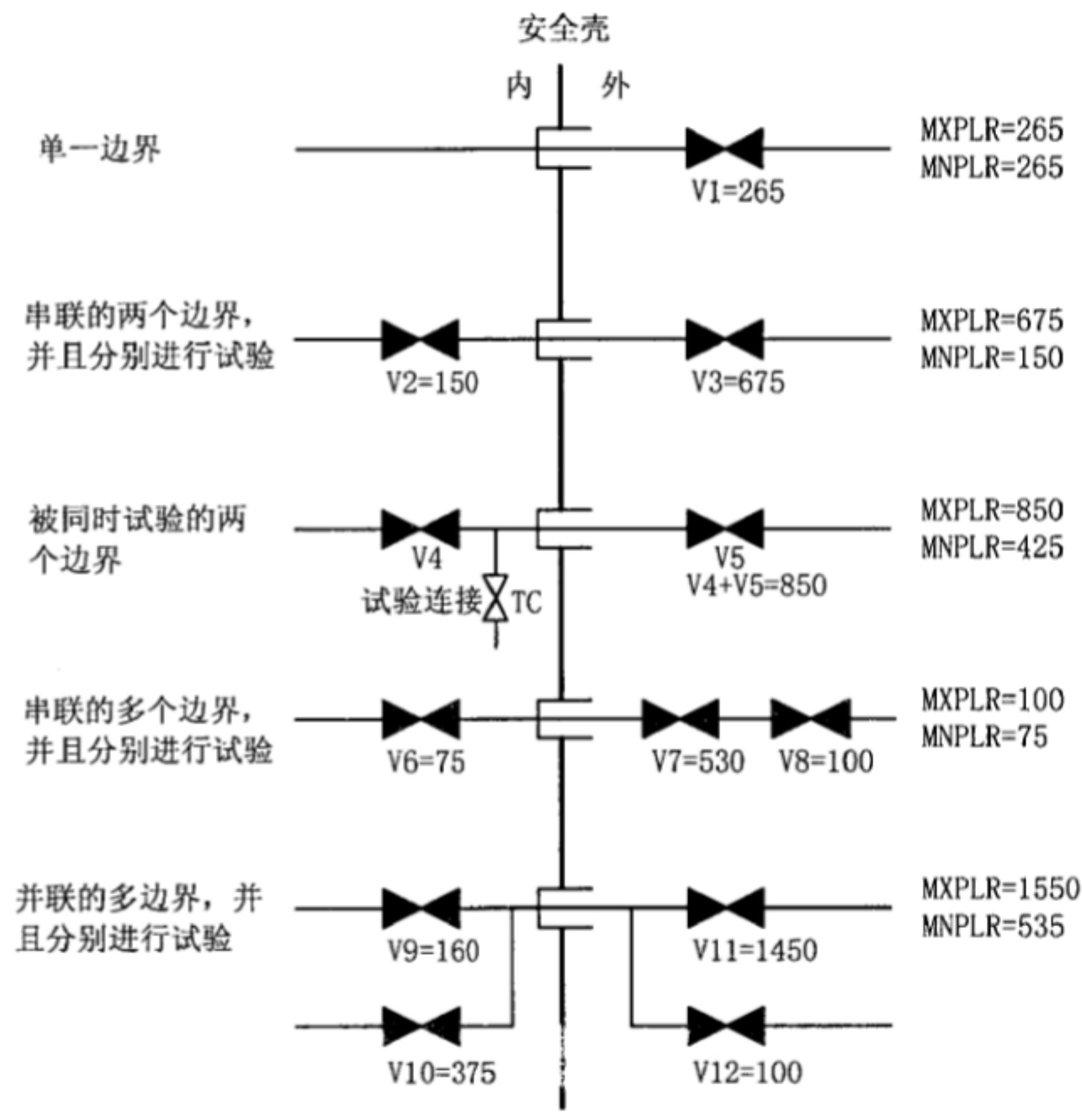
按6.4的规定。

B.4.6 试验报告

局部密封性试验结果按如下要求报告：

- a) 目的；
- b) 密封性试验（包括试验条件，测试仪器的检定、检查结果，试验过程，试验结果）；
- c) 对密封性试验结果的分析与解释。

附录 C
(规范性附录)
典型路径最大和最小泄漏率确定



中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
核电厂安全壳密封性试验

NB/T 20018-2010

*

原子能出版社出版

核工业标准化研究所发行

北京海淀区骚子营1号院

邮政编码：100091

电 话：010-62863505

总装备部军标出版发行部印刷车间印刷

版权专有 不得翻印

*

2010年10月第1版 2010年10月第1次印刷

印数 1—200

定价 69.00 元