

压水堆燃料棒氦质谱检漏

1 范围

本标准规定了使用氦质谱检漏技术对压水堆燃料棒(以下简称“燃料棒”)密封性能进行无损检测的方法、步骤和检测结果的计算与判定。

本标准适用于压水堆燃料棒的密封性能检测,检测泄漏率的范围为 $1 \times 10^{-11} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} \sim 1 \times 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

本标准也适用于压水堆控制棒、可燃毒物棒、中子源棒等的密封性能检漏。

2 定义

本标准采用下列定义。

2.1 直接检漏法 direct helium leak testing

利用燃料棒制造时所充氦气作为示漏气体进行密封性能检测的方法。

2.2 背压检漏法 immersed helium leak testing

燃料棒置于真空容器内,充入一定压力的氦气,使氦气从燃料棒漏孔或缝隙处进入内部后,再进行氦质谱检漏的方法。

2.3 最长泄漏时间 theMaximum time of leaking

当燃料棒漏焊或包壳管和端塞存在穿透性缺陷时,自充氦密封焊起起到氦质谱检漏仪能探测到的泄漏率判废限止所经历的时间。最长泄漏时间按附录 B(标准的附录)确定。

3 方法提要

本标准依据质谱分析技术原理,采用氦质谱检漏仪、检测装置及真空系统、标准漏孔等,对燃料棒的密封性能进行检漏,根据燃料棒设计技术条件对密封性能规定的允许漏率和检漏系统的测量偏差,按附录 A(标准的附录)来确定燃料棒泄漏率判废限,当泄漏率小于判废限时燃料棒密封性能为合格;否则为不合格。

4 材料与设备

4.1 示漏气体 氦气。

4.2 液氮 工业液氮。

4.3 氮气 工业氮气。

4.4 氦质谱检漏仪 灵敏度优于 $1 \times 10^{-11} \text{ Pa} \cdot \text{M}^3/\text{s}$,量程为 $1 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{M}^3/\text{s}$ 。

4.5 标准漏孔 采用带氦室的石英薄膜渗氦型系列标准漏孔,漏率范围在燃料棒技术条件允许的漏率数量级范围内。

4.6 复合式真空计 最大量程 $1 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 。

4.7 检漏装置及真空系统 检漏容器的真空度须达到 $1 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 。

检漏系统如图 1 所示。

4.8 充氦密封容器 容积检漏容器相同,装有低真空泵、压力计和氦气源。

5 检测步骤

5.1 准备工作

5.1.1 按氦质谱检漏仪(4.4)操作说明书的步骤启动检漏仪。

5.1.2 关好检漏容器密封端盖,启动机械泵 MP_2 预抽真空,接通扩散泵 DP_2 加热系统,待检漏容器达到 6 Pa 时,关闭 V_7 打开 V_6 和 V_8 ,用扩散泵 DP_2 对容器抽真空。

5.1.3 给仪器冷阱注入液氮(4.2),继续对检漏仪质谱室抽真空。

5.1.4 调节质谱室发射电流,一般为 $0.2 \text{ MA} \sim 2 \text{ MA}$ 之间。

5.1.5 当漏率输出表指在 $10^{-11} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 量程时,调整输出零点。

5.1.6 按质谱仪操作说明打开 V_3 阀和仪器上的检漏台阀门,用标准漏孔(4.5) F_3 调节氦峰。

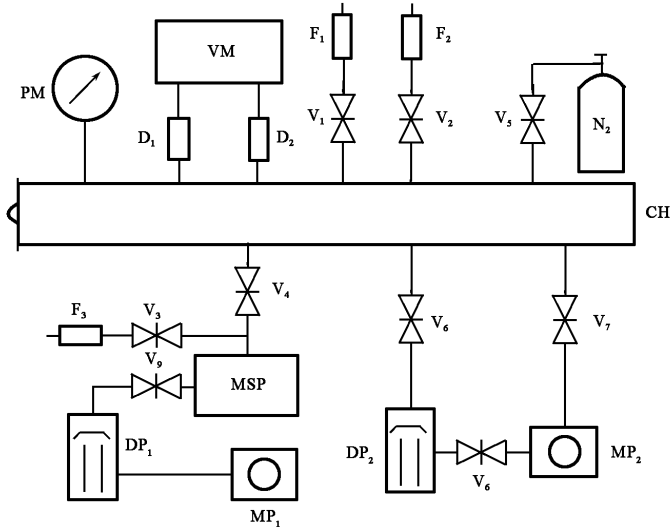


图1 燃料棒氦质谱检漏系统示意图

$V_1 \cdots V_9$ —真空阀门;MSP—氦质谱检漏仪; DP_1 , DP_2 —油扩散泵; MP_1 , MP_2 —机械真空泵; F_1 , F_2 , F_3 —氦标准漏孔;
 D_1 —热偶真空规; D_2 —电离规;VM—复合真空计; N_2 —氮气瓶;CH—检漏容器;PM—压力计

5.1.7 接通复合真空计(4.6)的电源,当容器真空度达到 $9 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 时,打开标准漏孔 F_1 的阀门 V_1 ,和连接阀 V_4 ,关闭 V_6 阀后同时开始计时,大约 1Min 后,输出指示值逐渐趋于稳定,调节校准旋钮,使漏率表指示值达到标准漏孔标称值。

5.1.8 按 5.1.7 步骤用标准漏孔 F_2 对仪器进行验证,但不调节校准旋钮,确认输出值是否在规定范围内。

5.1.9 测量检漏系统的本底输出值,本底输出值不得接近或超过按附录 A(标准的附录)确定的燃料棒泄漏率判废限,否则应对检漏容器和质谱室进行清洗。

5.2 燃料棒检漏

5.2.1 直接检漏法

5.2.1.1 关闭 V_4 、 V_6 、 V_1 、 V_2 切断复合真空计 VM 的电源,打开 V_5 ,向容器内注入氮气(4.3),压力计 PM 指示值达到 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时,立即关闭 V_5 ,打开检漏容器 CH 的密封端盖,将装有燃料棒(数量根据不锈钢槽容积决定)的不锈钢槽推入容器,关紧密封端盖。

5.2.1.2 按照 5.1.2,对容器抽真空。

5.2.1.3 接通复合真空计(4.6)的电源,当容器真空度达 9×10^{-3} Pa 时,打开 V_4 ,关闭 V_6 ,开始计时,大约 1Min,输出值达到稳定后,作好记录,输出指示值小于判废限时,该批燃料棒密封性能为合格,否则应采用对半平分法,再次按 5.2.1 步骤,直至找出有泄漏的燃料棒。

5.2.2 背压检漏法

5.2.2.1 对超过最长泄漏时间的燃料棒使用背压检漏法。燃料棒最长泄漏时间按附录 B(标准的附录)确定。

5.2.2.2 将燃料棒放入一个专用的密封容器(4.8)内,抽真空至 10^{-2} MPa 后,向容器内充入不低于 0.2MPa 氦气(4.1)保持时间约 30min。

5.2.2.3 从容器中取出燃料棒进行表面除氦净化处理,可用电风扇、清洁的压缩空气或氮气吹拂燃料棒表面约 10min。

5.2.2.4 再按 5.2.1.1~5.2.1.3 步骤对燃料棒进行检漏。

6 检测结果记录与报告

检测记录包括如下内容:

- a) 质谱仪型号;
- b) 标准漏孔编号和漏率;
- c) 燃料棒型号、批号、棒号和数量;
- d) 燃料棒泄漏输出信号判废限值;
- e) 标准漏孔的输出信号值;
- f) 检漏系统的本底信号输出值;
- g) 燃料棒检漏输出值;
- h) 燃料棒是否合格;
- i) 检漏仪校验输出值;
- j) 操作者签名、检测日期。

附 录 A

(标准的附录)

燃料棒泄漏率判废限的确定

A1 按 5.1.1~5.1.6 步骤操作检漏装置。

A2 按 5.1.7~5.1.8 步骤对标准漏孔 F_1 和 F_2 ,分别重复测量 10 次,记录输出指示值。

A3 分别计算出标准漏孔 F_1 、 F_2 的输出指示平均值和标准偏差。

A4 按下式计算燃料棒泄漏输出指示值的判废限。

$$RL = \frac{S_2 - S_1}{F_2 - F_1} \times SPL + B - 3\sigma \dots\dots\dots (A1)$$

式中:RL——燃料棒泄漏输出指示值的判废限,Pa·m³/S;

S_1 ——标准泄漏孔 F_1 ,输出指示平均值,Pa·m³/S;

S_2 ——标准泄漏孔 F_2 ,输出指示平均值,Pa·m³/S;

F_1 ——标准泄漏孔 F_1 标称漏率,Pa·m³/S;

F_2 ——标准泄漏孔 F_2 标称漏率,Pa·m³/S;

SPL——燃料棒技术条件给定的允许漏率, $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{S}$;

B——检漏系统的本底信号输出值, $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{S}$;

σ ——标准偏差。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{2}} \dots\dots\dots (A2)$$

式中: σ_1 —— F_1 输出指示值的标准偏差, $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{S}$;

σ_2 —— F_2 输出指示值的标准偏差, $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{S}$;

附录 B

(标准的附录)

燃料棒最长泄漏时间的确定

B1 试样制备

取正常工艺生产的燃料棒若干(建议 3 根~4 根),在同一时间内切除端部的密封焊点,使棒内氦气自然释放,或者对燃料棒不作上端塞杯缝焊接,直接进行充氦。

B2 试样测定

D2.1 材料与设备符合 4.1~4.7 要求。

D2.2 按 5.1~5.2 步骤对其中一根试样棒测定,如输出值出大于 A4 规定的判废限 RL 值,隔一段时间后再按上述步骤进行复测。如果已接近 RL 值,应更换另一根试样棒测定,直至其中一根棒初次测试结果接近判废限 RL 值为止,由试样棒制备到此时所经历的时间,为燃料棒最长泄漏时间。小于最长泄漏时间的燃料棒均可按直接检漏法进行检漏,否则按背压检漏法进行检漏。