

ICS 27.120.99

F 69

备案号: 41475-2013

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 20244—2013

代替 EJ/T 885—1994

压水堆核电厂蒸汽发生器传热管堵管导则

Guidelines for plugging degraded steam generator tubes of PWRs

2013-06-08 发布

2013-10-01 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 术语和定义	1
4 符号和缩略语	1
5 总则	2
6 穿透性缺陷堵管准则的确定.....	2
7 非穿透性缺陷堵管准则的确定.....	2
7.1 原则	2
7.2 最小允许壁厚的确定.....	3
7.3 无损检测结果误差的确定.....	3
7.4 缺陷扩展分析	4
8 堵管准则论证报告	4
9 堵管要求	4
9.1 堵管类型和方法	4
9.2 堵管工艺和堵头的要求.....	5
9.3 堵管准备	6
9.4 堵管设备要求	6
9.5 堵管操作人员的要求.....	6
9.6 堵管质量保证	6
9.7 记录和报告	6

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 885—1994《蒸发器传热管堵管的原则》。

与EJ/T 885—1994相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

——6和7分别规定了穿透性缺陷和非穿透性缺陷的堵管要求；

——9.1增加了两大类型的机械扩胀堵管方式：第一类采用可移动芯棒方法扩胀的堵头、第二类采用滚压硬化扩胀的套管型堵头；

——9.2增加了在程序文件中应规定验收标准和现场应检验的参数的要求；

——9.4增加了对所采用的堵管技术和工艺应事先进行工艺评定的要求。

本标准由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：核动力运行研究所、中核武汉核电运行技术股份有限公司。

本标准主要起草人：唐毅、陈银强、胡卉桦、桂春、吴洪涛、张蜀治、周汇东。

EJ/T 885于1994年首次发布。

压水堆核电厂蒸汽发生器传热管堵管导则

1 范围

本标准规定了压水堆（含WWER、CANDU堆）核电厂蒸汽发生器传热管穿透性裂纹和非穿透性缺陷堵管准则制定的要求，以及堵管活动实施的有关要求。

本标准适用于压水堆（含WWER、CANDU堆）核电厂蒸汽发生器传热管堵管准则的制定和堵管活动实施。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准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标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

NB/T 20241—2013 压水堆蒸汽发生器传热管在役检查要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

破裂 rupture

传热管承压边界完全穿透并伴随流体介质从一次侧向二次侧或二次侧向一次侧泄漏现象的发生。

3.2

堵管准则 plugging criteria

根据传热管强度分析、无损检测误差及运行周期内缺陷扩展量计算得到的允许壁厚限值，即至下一运行周期末应保证的剩余壁厚值。

3.3

最小允许壁厚 minimum allowable tube wall thickness

在正常或事故工况下，采用极限分析方法确定的能够承受压力载荷和热载荷等，并具有足够的安全裕量的最小允许壁厚。

3.4

非穿透性缺陷 part-thru-wall defects

非穿透性缺陷包括局部减薄缺陷和非穿透性裂纹。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本标准。

CANDU: Canada Deuterium Uranium, 坎杜堆。

FLB: feedwater line break, 即给水管道破裂。

LOCA: loss-of-coolant accident, 即一回路失水事故。

MSLB : main steam line break, 即主蒸汽管道破裂。

SSE : safe shutdown earthquake, 即安全停堆地震。

t_{pl} : 堵管准则, %。

t_{min} : 最小允许壁厚, %。

t_{NDE} : 无损检测结果的误差, %。其中, NDE (nondestructive examination) 为无损检测。

t_{og} : 运行至下一检查周期的缺陷扩展量, %。

WWER: water-water energetic reactor, 水-水动力堆。

5 总则

本标准对制定蒸汽发生器传热管堵管准则给出了相应导则, 营运单位应根据其蒸汽发生器设计技术规范要求, 结合运行和检查等情况制定相应的堵管准则。其中, 在制定堵管准则时应考虑缺陷类型、运行工况及安全系数、应力状态, 材料特性、检测结果误差和缺陷在下一运行周期内的扩展量等因素。

本标准分别针对穿透性缺陷和非穿透性缺陷的堵管原则作出了规定。其中, 当传热管上存在以下缺陷时应进行堵管:

- a) 在正常运行工况或假想事故工况下, 穿透性裂纹的安全裕量不满足设计规定时, 并且可能会导致传热管快速失稳扩展, 应采用无损检测 (如涡流) 和放射性泄漏监测等方法进行检测。当穿透性裂纹的泄漏率超过核电厂技术规范规定的单根管子的最大允许泄漏率时应实施堵管;
- b) 带非穿透性缺陷管的剩余壁厚小于堵管准则 t_{pl} 。

6 穿透性缺陷堵管准则的确定

6.1 穿透性裂纹的最大长度的确定应满足以下条件:

- a) 导致裂纹失稳扩展的压力应至少大于正常运行工况下一、二次侧压差的 3 倍;
- b) 临界失稳穿透性裂纹最大长度和几何形状应通过试验、有限元应力分析或断裂力学分析方法来确定, 并应考虑材料在运行温度下的应力-应变特性、断裂韧性、应力强度因子和流变应力等。

6.2 假想事故工况 (SSE+LOCA、SSE+MSLB、SSE+FLB) 下, 最大允许的纵向穿透性裂纹所经受的载荷与其发生失稳扩展时的载荷之间应有足够的裕量。

6.3 由理论或试验分析确定的不发生失稳扩展的最大穿透性裂纹尺寸下, 所产生的单根传热管泄漏率应小于核电厂技术规范规定的最大允许泄漏率。由于该裂纹是稳定的, 不会发生失稳扩展, 使得核电厂仍有足够时间按指令停堆, 并采取补救措施。

6.4 确定最大允许穿透性裂纹长度时, 应考虑无损检测结果的误差量及至下次检查周期的扩展量。

7 非穿透性缺陷堵管准则的确定

7.1 原则

非穿透性缺陷堵管准则是用于防止带缺陷传热管在下一运行周期内发生破裂。非穿透性缺陷堵管准则的确定应考虑下列三个因素:

- a) 在正常运行工况和假想事故工况载荷作用下的最小允许壁厚;

- b) 无损检测结果的误差;
- c) 运行至下一周期的缺陷预测扩展量。

即按以下公式(1)确定:

$$t_{pl} = t_{\min} + t_{NDE} + t_{og} \dots\dots\dots (1)$$

7.2 最小允许壁厚的确定

7.2.1 应采用理论分析或试验方法,并遵循传热管结构完整性设计准则来确定最小允许壁厚,使其在正常运行工况和假想事故工况下具有足够安全裕量。其中,假想事故工况为安全停堆地震(SSE)事故,并伴随一回路失水事故(LOCA)、蒸汽管道破裂事故(MSLB)或给水管道破裂(FLB)事故的发生,即SSE+LOCA、SSE+MSLB、SSE+FLB。

7.2.2 确定最小壁厚所使用的安全系数应与核设备设计规范所规定的安全系数一致,且确定最小允许壁厚所采用的分析方法应符合蒸发器设计规范有关规定,并满足以下要求:

- a) 带有非穿透缺陷的管子,在正常运行工况下缺陷部位的一次薄膜应力不应超过材料的屈服极限。其中,正常运行工况包括启堆、功率运行、热备用、冷停堆以及其它正常瞬态(如丧失负荷、丧失厂外电源)等;
- b) 具有非穿透性裂纹、局部减薄缺陷或二者共同存在的管子,在正常运行工况下防止管子破裂的安全系数应不小于3;
- c) 在假想事故工况下,防止管子破裂的安全系数应与核设备设计规范所规定的应力限值安全系数一致。

7.2.3 动态载荷和疲劳载荷的确定:

- a) 缺陷管的极限承载能力分析应考虑假想事故工况下的最恶劣动态载荷。其中,动态载荷可根据蒸汽发生器及其支承结构的模态分析确定,模态分析应考虑各种水力载荷和流体流动产生的载荷的作用;
- b) 在确定最小壁厚时应考虑循环载荷的疲劳效应。降质管的疲劳分析应包括设计阶段所考虑的瞬态。其中,瞬态次数的预测应根据最长运行时间间隔按设计瞬态或实际运行瞬态保守地预测下一周期瞬态的幅值和次数。疲劳分析中还应考虑导致管子局部减薄的缺口效应。

7.2.4 假想事故工况下的各种载荷及载荷组合,宜包括(但不限于)下列各项:

- a) 因排污扩容产生的膨胀波引起的冲击载荷;
- b) 流体加速流动对管子造成的摩擦力;
- c) U型弯头或弯管部位,因流体高速流动的离心力所引起的载荷;
- d) 蒸汽发生器部件和支承结构的动态响应所引起的载荷;
- e) 地震载荷;
- f) 假想事故瞬态下的一、二次侧压差载荷。

7.3 无损检测结果误差的确定

确定无损检测结果的误差时,至少应考虑以下影响因素:

- a) 所采用无损检测方法的适用性;
- b) 仪器、设备的固有误差;
- c) 分析程序、分析人员产生的误差;
- d) 确定无损检测误差所使用的分析方法的适用性。

7.4 缺陷扩展分析

评定周期内缺陷的扩展量和最小允许壁厚是评价带缺陷传热管能否继续运行的重要因素。其中，缺陷扩展分析宜包括以下内容：

- a) 两次在役检查间隔时间；
- b) 运行循环载荷下的缺陷扩展，腐蚀或应力腐蚀导致的缺陷扩展量以及工作环境下材料性能下降；
- c) 用来预测管子降质速率的模型、方法和数据的适用性和准确性。

8 堵管准则论证报告

堵管准则报告至少应包括下列各项内容：

- a) 分析中所采用的许用应力，如与 7.2.3 所列载荷规定不一致时，应进行充分论证；
- b) 管束及其支承结构的几何结构，以及动态分析的数学模型；
- c) 弹性和弹塑性分析中所采用的假设；
- d) 在 7.2.4 中所提出的载荷特性及其变化，应包括载荷-时间历程曲线；
- e) 一回路失水事故或蒸汽管道破裂事故的分析中，应包括破口时间和脉冲持续时间；
- f) 动态分析中所使用的结构分析及热工水力计算的程序；
- g) 管子关键部位在最恶劣载荷作用下的一次薄膜应力和弯曲应力；
- h) 以分析法或试验法确定在最恶劣载荷下纵向裂纹的最大允许长度；
- i) 应从理论分析或试验两方面论证泄漏率合理性；
- j) 如果可行，还需要对设计基准、安全裕量和疲劳效应等进行试验验证。

9 堵管要求

9.1 堵管类型和方法

实施堵管时，应根据具体情况选用焊接堵管或机械堵管。其中，目前常用的机械扩张堵管方式又分为两大类型：第一种类型采用可移动芯棒方法扩张的堵头；第二种类型采用滚压硬化方法扩张的套管型堵头，堵头示意图见图1。

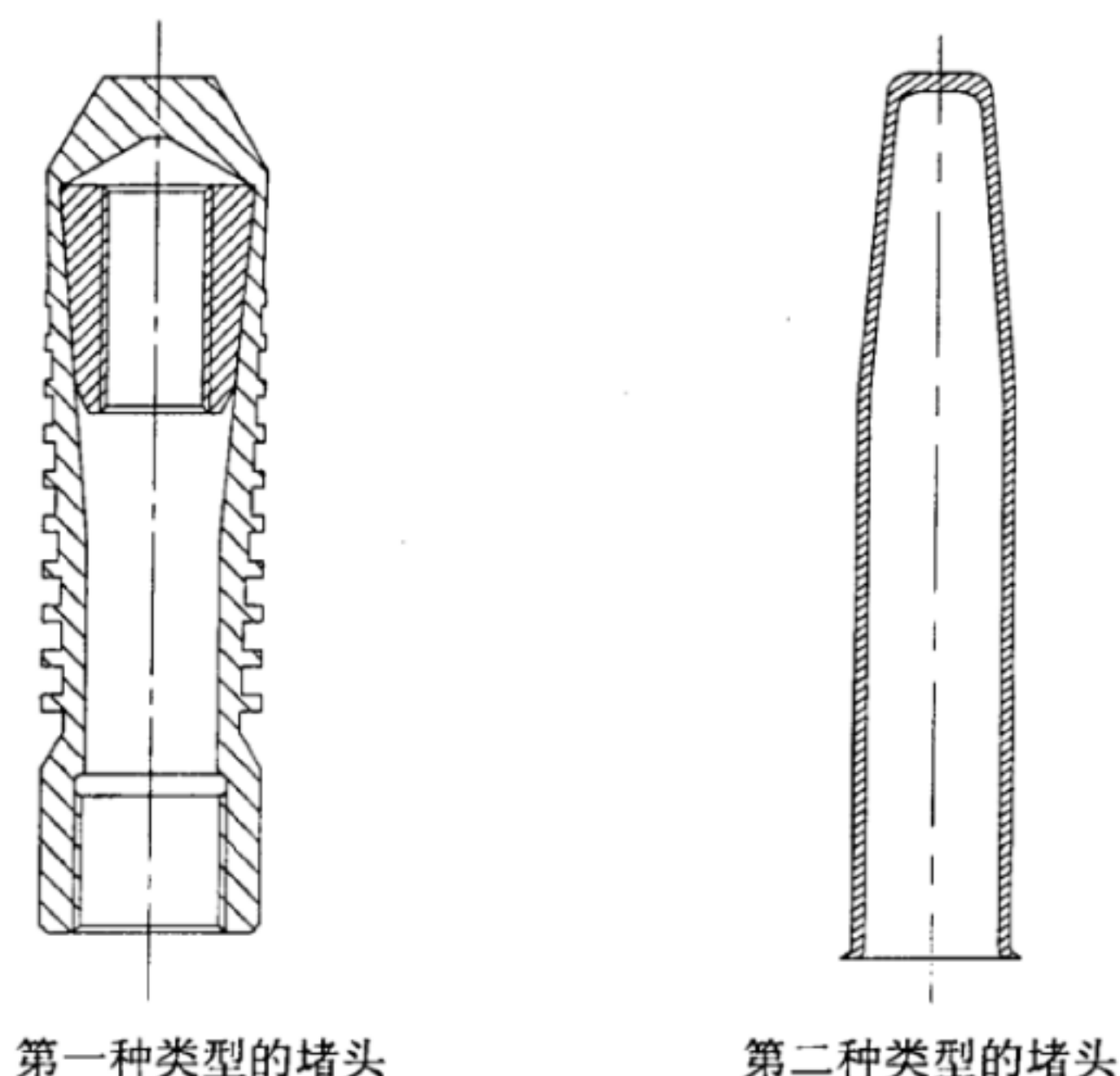


图1 堵头示意图

9.2 堵管工艺和堵头的要求

9.2.1 堵管工艺的要求

9.2.1.1 对所采用的堵管技术应进行评定和试验。

9.2.1.2 堵管方法应满足正常和异常工况、紧急和事故工况，水压试验工况下的条件，并应确定在事故工况条件下堵头的性能。

9.2.1.3 堵管工艺的有效性应从三个方面分析：

- a) 堵头的机械阻力；
- b) 堵头/管子组件的密封性；
- c) 堵管工艺对蒸汽发生器无不利影响（管和管板孔带）。
- d) 应从下列三个方面对所使用堵头进行分析验证：
- e) 堵头的结构设计；
- f) 堵头所使用的材料；
- g) 堵头的抗腐蚀能力。

9.2.2 堵头的要求

堵头应符合以下要求：

- a) 堵头材料应与反应堆主冷却剂和传热管材料具有良好的相容性。
- b) 堵头工艺性能良好，包括切削加工性能、焊接性能和冷变形性能。
- c) 堵头结构形式简单、便于安装，且安装后不影响周边管的可检修性。
- d) 可拆卸堵头拆除后，不应后续传热管修复工作或复用产生不利影响。
- e) 堵头应独立编号，并提供堵头的型式、相关尺寸、材料检验报告和热处理记录等出厂质量文件。

9.2.3 评定试验

堵头模拟件经受热循环前后都分别应进行评定试验，评定试验至少应包括以下几类试验：

- a) 热循环试验：装有堵头的模拟组装试验件应经受热循环试验。
- b) 氦泄漏试验：热循环前后堵头都应经受氦泄漏检测。
- c) 一次侧水压试验：堵头应经受管板一次侧水压试验。试验条件与系统一次侧初始水压试验条件相当。
- d) 二次侧水压试验：堵头应经受管板二次侧水压试验。试验条件与系统一次侧初始水压试验条件相当。
- e) 堵头摩擦压力测量试验：为了测量堵头摩擦压力，应进行机械推力试验。该试验由作用在堵头套管底部从一次侧到二次侧方向上的力进行。
- f) 破坏性试验：在模拟组装试验件上分别从二次侧和一次侧进行极限水压试验。试验中应不断加压，直至观察到密封失效为止。记录压力应大于相应的一次侧或二次侧初始水压试验值。
- g) 腐蚀试验：腐蚀试验后不得有应力腐蚀裂纹。

9.3 堵管准备

9.3.1 应考虑蒸汽发生器是否具有足够的维修通道和空间，供堵管人员和设备进出，并便于使用不同方法实施堵管。

9.3.2 堵管前应采取必要的辐射防护措施，如对蒸汽发生器水室进行去污，控制人员进入水室工作时间等。使堵管操作人员受到的辐照合理可行尽量低。

9.3.3 应制订堵管质量控制计划和堵管实施程序。在程序文件中应规定验收标准和现场应检验的参数，如压力和扭矩等技术指标。

9.3.4 应编制堵管清单，标明堵管位置坐标。

9.3.5 对需要堵的管子应做出明显标志或采用其它定位技术定位，并应得到质量控制人员确认，以免误堵。

9.4 堵管设备要求

堵管设备使用前要进行功能试验，使用的仪表应经过标定或校验并在其有效期内。

9.5 堵管操作人员的要求

9.5.1 堵管实施人员应进行过堵管专业培训并具备相关岗位的资格授权。实施焊接堵管的焊工应持有核级压力容器焊接资格证书。

9.5.2 堵管资格规定有效期。在有效期内重新接受培训或参与了现场实施，其有效期从即日起更新。

9.6 堵管质量保证

9.6.1 堵管实施过程按照质量控制计划和工作程序进行。

9.6.2 堵管时应有质量控制人员监督并释放质保控制点。

9.6.3 主要质保控制点包括但不限于：

- a) 人员资格合格；
- b) 设备功能有效；
- c) 堵头等耗材出厂质量文件齐全；
- d) 现场实施时环境条件具备；
- e) 堵管位置正确；
- f) 实施工艺过程符合程序等。

9.7 记录和报告

- 9.7.1 在堵管实施过程中应同时测量并记录相关评定参数，同时验证其符合验收标准。
 - 9.7.2 堵管完成后应编制堵管报告，并与堵管记录一起妥善保存，保存期为蒸汽发生器运行寿期内。
-

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
压水堆核电厂蒸汽发生器传热管堵管导则
NB/T 20244—2013

*

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
机械工业信息研究院印制部印刷
版权专有 侵权必究

*

2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷
印数 1—200