

团 体 标 准

T/CNS 71—2022

高温气冷堆核动力厂金属监督技术规程

Technical specification for metal supervision of high temperature gas cooled
nuclear power plants

2022 – 12 – 16 发布

2023 – 04 – 01 实施

中国核学会 发 布

目 次

前言..... III

引言..... V

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 总则..... 1

5 汽轮机与发电机部件..... 1

6 固定式压力容器..... 3

7 汽水管道..... 8

8 热交换器传热管..... 12

9 紧固件..... 12

附录 A（资料性） 压力容器安全状况等级评定 14

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。

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这些专利的责任。

本文件由中国核学会提出。

本文件由核工业标准化研究所归口。

本文件起草单位：华能山东石岛湾核电有限公司、华能核能技术研究院有限公司、西安热工研究院有限公司。

本文件主要起草人：贾晶晶、王庆武、徐安、李志容、王威、贺锡鹏、张瑞祥、田洪志、黄建利、徐华锋、孙海璇、王飞、张寅、黄健。

引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到第五章至第八章（专利名称《一种高温气冷堆金属监督方法、系统及储存介质》（申请号：202210583254.5）相关专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可通过以下联系方式获得：

专利持有人：华能山东石岛湾核电有限公司等；

地址：山东省荣成市石核路9号。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

高温气冷堆核动力厂金属监督技术规程

1 范围

本文件规定了高温气冷堆核动力厂金属监督的部件范围、检验项目、内容及相应的技术要求。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂汽轮机与发电机部件，非核级固定式压力容器、汽水管道、热交换器传热管和紧固件等金属部件的监督检验工作。

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 230 金属材料 洛氏硬度试验
GB/T 231 金属材料 布氏硬度试验
GB/T 12604 无损检测术语
GB/T 17394 金属材料 里氏硬度试验
GB/T 20410 涡轮机高温螺栓用钢
DL/T 439 火力发电厂高温紧固件技术导则
DL/T 654 火电机组寿命评估技术导则
DL/T 714 汽轮机叶片超声波检验技术导则
DL/T 884 火电厂金相检验与评定技术导则
DL/T 925 汽轮机叶片涡流检验技术导则
DL/T 930 整锻式汽轮机转子超声检测技术导则
JB/T 10326 定形耐火制品尺寸、外观及断面的检查方法
NB/T 47013 承压设备无损检测

3 术语和定义

GB/T 12604中界定的术语和定义适用于本文件。

4 总则

4.1 金属监督是保证高温气冷堆核动力厂设备安全、经济、稳定运行的重要基础工作，应坚持“安全第一、预防为主”的方针，实行在高温气冷堆核动力厂运行、检修过程中的监督。

4.2 金属监督的目的是依据相关金属技术监督的规章制度、导则、技术标准和规范，通过采用必要的监测、检测等手段，对受监范围内金属部件的长期运行过程中的材质老化和缺陷状态、性能变化状态进行有效的监测和控制，防止由于材料和焊缝运行中老化、性能下降等原因而引起的金属部件失效事故的发生，从而达到减少机组非计划停运次数和时间，提高设备安全运行的可靠性，延长设备的使用寿命。

4.3 金属技术监督标准的监督范围，主要通过部件所承受温度、承压等级及受力状况确定，再依据经验反馈做额外补充，主要包括汽轮机与发电机部件、压力容器、汽水管道、热交换器传热管和紧固件的监督检测。

4.4 核电厂宜配备金属监督管理岗位。

5 汽轮机与发电机部件

5.1 检验项目

涉及金属监督的汽轮机与发电机组部件包括：

- a) 高压缸：转子、隔板、叶片、缸体、围带、轴瓦等；
- b) 低压缸：转子、隔板、叶片、缸体、拉筋、轴瓦等；
- c) 发电机与励磁机：护环、轴瓦等；
- d) 高压主汽门、高压主调门：汽室、阀杆、阀芯、阀座等。

5.2 检验要求

5.2.1 汽轮机部件

5.2.1.1 机组投运后每次大修对转子大轴轴颈，特别是高压转子调速级叶轮根部的变截面 R 处和前汽封槽等部位，叶轮、轮缘小角及叶轮平衡孔部位，叶片、叶片拉筋、拉筋孔和围带等部位，喷嘴、隔板、隔板套等部件进行宏观检验，应无裂纹、严重划痕、碰撞痕印。当发现上述问题时，应进行渗透检测或磁粉检测，渗透检测或磁粉检测按 NB/T 47013 执行。

5.2.1.2 对高压转子大轴进行硬度检验和金相检验。硬度检验部位为大轴端面 and 调速级轮盘平面（标记记录检验点位置），端面圆周的硬度值偏差不应超过 $\Delta 30$ HB；金相检验部位为调速级叶轮侧平面，金相检验完后需对检验点多次清洗。此后每次大修在调速级叶轮侧平面首次检验点邻近区域进行硬度检验；若硬度相对首次检验无明显变化，可不进行金相检验。硬度检验按 GB/T 17394、GB/T 230 和 GB/T 231 等执行。

5.2.1.3 机组每次解体检修对低压转子叶片和叶根、高压转子、叶片和叶根进行无损检测；对高、低压转子末级套装叶轮轴向键槽部位进行超声检测，叶片和叶根检测按 DL/T 714, DL/T 925 执行。

5.2.1.4 机组的 10 年大修，应根据设备的如下情况：大轴是否有较大、较多的记录或超标缺陷，运行中发生过弯曲、水冲击、超速事故，对转子大轴进行表面和超声检测。检验周期为每 2 个大修周期。转子检测按 DL/T 930 执行。

5.2.1.5 机组运行 20 年后，每次大修，若开缸应对转子大轴进行表面和体积检测。

5.2.1.6 机组运行中出现异常工况，如严重超速、超温、转子水激弯曲等，检修过程中应对转子进行硬度、表面和体积检测。

5.2.1.7 根据设备状况，结合机组大修，对各级推力瓦和轴瓦进行宏观检查、表面和体积检测。

5.2.1.8 根据检验结果采取以下处理措施：

- a) 对表面较浅缺陷，应磨除；
- b) 叶片产生裂纹时，应更换；
- c) 叶片产生严重冲蚀时，应修补或更换；
- d) 高压转子调速级叶轮根部的变截面 R 处和汽封槽等部位产生裂纹后，应彻底清除裂纹，消除疲劳硬化层，并进行轴径强度校核和疲劳寿命估算。转子疲劳寿命估算按 DL/T 654 执行。

5.2.2 发电机部件

5.2.2.1 机组投运后每次大修对转子大轴、风冷扇叶等部件进行表面检验，主要检查表面有无裂纹、有无严重划痕、有无碰撞痕印，有疑问时进行无损检测；对表面较浅的缺陷应磨除；转子若经磁粉检测后应进行退磁。无损检测按 NB/T 47013 执行。

5.2.2.2 机组运行 10 年后第 1 次大修，应根据设备状况对转子大轴的可检测部位进行表面和体积检测。以后的检测周期为每 2 个大修周期。

5.2.2.3 机组运行 10 年后第 1 次大修，应对护环内壁进行渗透（护环拆下时）或超声检测（护环不拆下时），以后的检验为 2 个大修周期；护环渗透检测按 NB/T 47013 执行，超声检测按 JB/T 10326 执行。

5.2.2.4 机组每次大修，应对转子滑环进行表面检测。

5.2.2.5 对发电机护环，在机组第 3 次大修开始进行金相检验，金相检验按 DL/T 884 执行。

5.2.2.6 根据检查结果采取如下处理措施：

- a) 对表面较浅缺陷，应磨；
- b) 对护环内表面检测存在裂纹时，应更换处理。对存在晶间裂纹的护环应作详细检查，根据缺陷情况确定消缺方案或更换。

6 固定式压力容器

6.1 范围的界定

6.1.1 压力容器本体

压力容器的本体范围包括：

- a) 压力容器与外部管道或者装置焊接连接的第一道环向接头的坡口面、螺纹连接的第一个螺纹接头端面、法兰连接的第一个法兰密封面、专用连接件或者管件连接的第一个密封面；
- b) 压力容器开孔部分的承压盖及其紧固件；
- c) 非受压元件与受压元件的连接焊缝，如支承焊缝等。

6.1.2 安全附件及仪表

安全附件及仪表范围包括：

- a) 压力容器的安全附件包括直接连接在压力容器上的安全阀、爆破片装置等；
- b) 压力容器的仪表包括直接连接在压力容器上的压力、温度、液位测量仪表等。

6.2 检查范围和内容

6.2.1 检查分类

压力容器的分为年度检查、定期检验：

- a) 年度检查一般不对压力容器进行等级评定，但如果发现严重问题，参照附录A进行安全状况等级评定，适当的降低压力容器安全状况等级；
- b) 定期检验后，检验人员根据实际检验情况，参照附录A对压力容器进行安全状况等级评定。

6.2.2 年度检查

6.2.2.1 总体要求

年度检查至少包括压力容器安全管理情况检查、压力容器本体及其运行状况检查和压力容器安全附件检查等。年度检查工作完成后，应当进行压力容器使用安全状况分析，并且对年度检查中发现的隐患及时消除。

年度检查工作可以由压力容器使用单位安全管理人员组织经过专业培训的作业人员进行，也可以委托有资质的特种设备检验机构进行。

6.2.2.2 安全管理情况检查

安全管理情况检查包括以下：

- a) 压力容器的安全管理制度是否齐全有效；
- b) 压力容器安全技术规范规定的设计文件、竣工图样、产品合格证、产品质量证明文件、监督检验证书以及安全、改造、维修资料等是否完整；
- c) 压力容器日常维护保养、运行记录、定期安全检查记录是否符合要求；
- d) 压力容器年度检查、定期检验报告是否齐全，检查、检验报告中所提出的问题是是否得到解决；
- e) 安全附件校验、维修和更换记录是否齐全真实；
- f) 是否有压力容器应急专项预案和演练记录；
- g) 是否对压力容器事故、故障情况进行了记录。

6.2.2.3 压力容器本体及其运行状况检查

压力容器本体及其运行状况检查包括：

- a) 压力容器的铭牌、漆色、标志是否符合有关规定；

- b) 压力容器的本体、接口（阀门、管道）部位、焊接接头等有无裂纹、过热、变形、泄漏、机械接触损伤等；
- c) 外表面有无腐蚀、有无异常结霜、结露等；
- d) 隔热层有无破损、脱落、潮湿、跑冷；
- e) 检漏孔、信号孔有无漏液、漏气、检漏孔是否畅通；
- f) 压力容器与相邻管道或构件有无异常振动、响声或者相互摩擦；
- g) 支承或支座有无损坏、基础有无下沉、倾斜、开裂，紧固件是否齐全、完好；
- h) 排放（疏水、排污）装置是否完好；
- i) 运行期间是否有超压、超温、超量等现象；
- j) 罐体有接地装置的，检查接地装置是否符合要求；
- k) 监控使用的压力容器，监控措施是否有效实施。

6.2.2.4 安全阀检查内容和要求

安全阀检查内容和要求包括：

- a) 选型是否正确；
- b) 是否在校验有效期内使用（安全阀一般每年至少校验一次，符合法规要求可适当延长）；
- c) 杠杆式安全阀的防止重锤自由移动和杠杆越出的装置是否完好，弹簧式安全阀的调整螺钉的铅封装置是否完好，静重式安全阀的防止重片飞脱的装置是否完好；
- d) 如果安全阀和排放口之间装设了截止阀，截止阀是否处于全开位置及铅封是否完好；
- e) 安全阀是否有泄漏；
- f) 放空管是否通畅，防雨帽是否完好。

6.2.2.5 爆破片装置检查内容和要求

爆破片装置检查内容和要求包括：

- a) 是否超过规定使用期限；
- b) 爆破片的安装方向是否正确，产品铭牌上的爆破压力和温度是否符合运行要求；
- c) 爆破片装置有无渗漏；
- d) 爆破片使用过程中是否存在未超压爆破或者超压未爆破的情况；
- e) 与爆破片夹持器相连的放空管是否通畅，放空管内是否存水（或者冰），防水帽、防雨片是否完好；
- f) 爆破片和压力容器间装设的截止阀是否处于全开状态，铅封是否完好；
- g) 爆破片和安全阀串联使用，如果爆破片装在安全阀的进口侧，检查爆破片和安全阀之间装设的压力表有无压力显示，打开截止阀检查有无气体排出；
- h) 爆破片和安全阀串联使用，如果爆破片装在安全阀的出口侧，检查爆破片和安全阀之间装设的压力表有无压力显示，如果有压力显示应当打开截止阀，检查能否顺利疏水、排气。

6.2.2.6 压力表检查内容和要求

压力表检查内容和要求包括：

- a) 压力表的选型是否符合要求；
- b) 压力表的定期检修维护、检定有效期及其封签是否符合规定；
- c) 压力表外观、精度等级、量程是否符合要求；
- d) 在压力表和压力容器之间装设三通旋塞或者针形阀时，其位置、开启标记及其连锁装置是否符合规定；
- e) 同一系统上各压力表的读数是否一致。

6.2.2.7 液位计检查内容和要求

液位计检查内容和要求包括：

- a) 液位计的定期检修维护是否符合规定；

- b) 液位计外观及其附件是否符合规定；
- c) 寒冷地区室外使用或者盛装 0℃ 以下介质的液位计选型是否符合规定；
- d) 介质为易爆、毒性危害程度为极度或者高度危害的液化气体时，液位计的防止泄漏保护装置是否符合规定。

6.2.2.8 测温仪表

测温仪表检查包括：

- a) 测温仪表的定期校验和检修是否符合规定；
- b) 测温仪表的量程与其检测的温度范围是否匹配；
- c) 测温仪表及其二次仪表的外观是否符合规定。

6.2.2.9 记录和报告

年度检查由使用单位自行实施时，按照本节检查项目、要求进行记录，并且出具年度检查报告，年度检查报告应当由使用单位安全管理负责人或授权的的安全管理人员审批。

6.2.3 定期检验

6.2.3.1 定义

压力容器定期检验，是指特种设备检验机构按照一定的时间周期，在压力容器停机时，根据本文件对在用压力容器的安全状况所进行的符合性验证活动。

6.2.3.2 通用要求

6.2.3.2.1 定期检验工作一般程序包检验方案制定、检验前的准备、检验实施、缺陷及问题处理、检验结果汇总、出具检验报告等。

6.2.3.2.2 检验机构应当按照核准的检验范围从事压力容器的定期检验工作，检验和检测人员应当取得相应的特种设备检验检测人员证书。

6.2.3.2.3 使用单位应当在压力容器定期检验有效期届满前完成定期检验。

6.2.3.2.4 在用压力容器的安全状况分为 1 级～5 级，定期检验完成后按要求对压力容器安全状况等级评定，参见附录 A。

6.2.3.3 准备工作

6.2.3.3.1 检验前，检验机构应当根据压力容器的使用情况、损伤模式及失效模式，依据本文件要求制定检验方案，检验方案由检验机构技术负责人审查批准。

6.2.3.3.2 检验前，检验人员一般需要审查以下资料：

- a) 设计资料，包括设计单位资质证明，设计、安装、使用说明书，设计图样，强度计算书等；
- b) 制造资料，包括制造单位资质证明、产品合格证、质量证明文件、竣工图等，以及监检证书；
- c) 压力容器安装竣工资料；
- d) 改造或者重大修理资料，包括施工方案和竣工资料，以及改造、重大修理监检证书；
- e) 使用管理资料，包括运行记录、开停车记录、运行条件变化情况以及运行中出现异常情况的记录等；
- f) 检验、检查资料，包括定期检验周期内的年度检查报告和上次的定期检验报告。

6.2.3.3.3 使用单位确认现场条件具备以下条件：

- a) 影响检验附属部件或者其他物体，按照检验要求进行清理或者拆除；
- b) 为检验而搭建的脚手架、轻便梯等设施安全牢固；
- c) 需要进行检验的表面，特别是腐蚀部位和可能产生裂纹缺陷的部位，彻底清理干净，露出金属本体；进行无损检测的表面达到 NB/T 47013 的有关要求；
- d) 需要进入压力容器内部进行检验，将内部介质排放、清理干净，用盲板隔断所有液体、气体或者蒸汽的来源，同时设置明显的隔离标志，禁止用关闭阀门代替盲板隔断；

- e) 要进入盛装易燃、易爆或者窒息性介质的压力容器内部进行检验，必须进行置换、中和、消毒、清洗，取样分析，分析结果达到有关规范、标准规定；取样分析的间隔时间应当符合使用单位的有关规定；盛装易燃、易爆介质的，严禁用空气置换；
 - f) 人孔和检查孔打开后，必须清除可能滞留的易燃、易爆或者窒息性介质等，压力容器内部空间的气体含氧量保持在 0.195 以上；必要时，还需要配备通风、安全救护等设施；
 - g) 高温或者低温条件下运行的压力容器，按照操作规程的要求缓慢地降温或者升温，使之达到可以进行检验工作的程度；
 - h) 能够转动或者其中有可动部件的压力容器，必须锁住开关，固定牢靠；
 - i) 切断与压力容器有关的电源，设置明显的安全警示标志；检验照明用电电压不赢超过 24 V，引入压力容器内的电缆必须绝缘良好、接地可靠；
 - j) 需要现场进行射线检测时，隔离出透照区，设置警示标志，遵守相应安全规定。
- 6.2.3.3.4 设备仪器检定校准：设备、仪器和测量工具应当在有效的检定或者校准期内。

6.2.3.4 检验项目与方法

6.2.3.4.1 概述

金属压力容器定期检验项目，以宏观检验、壁厚测定、表面缺陷检测、安全附件检验为主，必要时增加埋藏缺陷检测、材料分析、耐压试验等项目。设计文件对压力容器定期检验项目、方法和要求有专门规定的，还应从其规定。

6.2.3.4.2 宏观检验

宏观检验主要是采用目视方法(必要时利用内窥镜、放大镜或者其他辅助仪器设备、测量工具)检验压力容器本体结构、几何尺寸、表面情况(如裂纹、腐蚀、泄漏、变形)，以及焊缝、隔热层、衬里等。宏观检验除一般包括以下内容：

- a) 结构检验，包括封头型式，封头与筒体的连接，开孔位置及补强、纵（环）焊缝的布置及型式，支承或者支座的型式与布置，排放（疏水、排污）装置的设置等；
- b) 几何尺寸检验，包括筒体同一断面上最大内径与最小内径之差，纵（环）焊缝对口错边量、棱角、咬边、焊缝余高等；
- c) 外观检验，包括铭牌和标志，压力容器内外表面的腐蚀，主要受压元件及其焊缝裂纹、泄漏、鼓包、变形、机械接触损伤、过热，工卡具焊迹电弧灼伤，支承、支座或者基础的下沉、倾斜、开裂，直立容器和球形容器支柱的铅垂度，多支座卧式容器的支座膨胀孔，排放（疏水、排污）装置和泄漏信号指示孔的堵塞、腐蚀、沉积物，密封紧固件及地脚螺栓完好情况等。

6.2.3.4.3 隔热层、衬里和堆焊层检验

隔热层、衬里和堆焊层检验包括：

- a) 隔热层的破损、脱落、潮湿，有隔热层下压力容器壳体腐蚀倾向或者产生裂纹可能性的应当拆除隔热层进一步检验；
- b) 衬里层的破损、腐蚀、裂纹、脱落，查看信号孔是否有介质流出痕迹；发现衬里层气透性缺陷或者有可能引起压力容器本体腐蚀的缺陷时，应当局部或者全部拆除衬里，查明本体的腐蚀状况和其他缺陷；
- c) 堆焊层的腐蚀、裂纹、剥离和脱落。

6.2.3.4.4 壁厚测定

壁厚测定，一般采用超声测厚方法。测定位置应当有代表性，有足够的测点数。测定后标图记录，对异常测厚点做详细标记。一般选择以下位置：

- a) 液位经常波动的部位；
- b) 物料进口、流动转向、截面突变等易受腐蚀、冲蚀的部位；
- c) 制造成型时壁厚减薄部位和使用中易产生变形及磨损的部位；

- d) 接管部位;
- e) 宏观检验时发现的可疑部位。

壁厚测定时,如果发现母材存在分层缺陷,应当增加测点或者采用超声检测,查明分层分布情况以及母材表面的倾斜度,同时作图记录。

6.2.3.4.5 表面缺陷检测

表面缺陷检测,应当采用NB/T 47013中的磁粉检测、渗透检测方法。铁磁性材料制压力容器的表面检测应当优先采用磁粉检测。表面缺陷检测的要求如下:

- a) 碳钢低合金钢制低温压力容器、存在环境开裂倾向或者产生机械损伤现象的压力容器、有再热裂纹倾向的压力容器、Cr-Mo 钢制压力容器、标准抗拉强度下限值大于 540 MPa 的低合金钢制压力容器、按照疲劳分析设计的压力容器、首次定期检验的设计压力大于或者等于 1.6 MPa 的第 III 类压力容器,检测长度不少于对接焊缝长度的 20 %;
- b) 应力集中部位、变形部位、宏观检验发现裂纹的部位,奥氏体不锈钢堆焊层,异种钢焊接接头、T 型接头、接管角接接头、其他有怀疑的焊接接头,补焊区、工卡具痕迹、电弧损伤处和易产生裂纹部位应当重点检验;对焊接裂纹敏感的材料,注意检验可能出现的延迟裂纹;
- c) 检测中发现裂纹时,应当扩大表面无损检测的比例或者区域,以便发现可能存在的其他缺陷;
- d) 如果无法在内表面进行检测,可以在外表面采用其他方法对内表面进行检测。

6.2.3.4.6 埋藏缺陷检测

埋藏缺陷检测包括:

- a) 埋藏缺陷检测,应当采用NB/T 47013中的射线检测或者超声检测等方法。有下列情况之一时,由检验人员根据具体情况确定抽查采用的无损检测方法及比例,必要时可以用NB/T 47013中的声发射检测方法判断缺陷的活动性:
 - 1) 使用过程中补焊过的部位;
 - 2) 检验时发现焊缝表面裂纹,认为需要进行焊缝埋藏缺陷检测的部位;
 - 3) 错边量和棱角度超过产品标准要求的焊缝部位;
 - 4) 使用中出現焊接接头泄漏的部位及其两端延长部位;
 - 5) 承受交变载荷压力容器的焊接接头和其他应力集中部位;
 - 6) 使用单位要求或者检验人员认为有必要的部位。
- b) 已进行过埋藏缺陷检测的,使用过程中如果无异常情况,可以不再进行检测。

6.2.3.4.7 材料分析

材料分析根据具体情况,可以采用化学分析、光谱分析、硬度检验、金相检验等方法。材料分析按照以下要求进行:

- a) 材质不明的,一般需要查明主要受压元件的材料种类;对于第 III 类压力容器必须查明材质;
- b) 有材质劣化倾向的压力容器,应当进行硬度检验,必要时进行金相检验;
- c) 有焊缝硬度要求的压力容器,应当进行硬度检验。

6.2.3.4.8 安全附件检验

安全附件检验包括:

- a) 安全阀,检验是否在校验有效期内;
- b) 爆破片装置,检验是否按期更换;
- c) 快开门式压力容器的安全联锁装置,检验是否满足设计文件规定的使用技术要求。

6.2.3.4.9 耐压试验

定期检验过程中,使用单位或者检验机构对压力容器的安全状况有怀疑时,应当进行耐压试验。耐压试验的试验参数、准备工作、安全防护、试验介质、试验过程、合格要求等按照本文件相关规定执行。检验机构负责检验工作。

6.2.3.4.10 泄漏试验

对于介质毒性危害程度为极度、高度危害，或者设计上不允许有微量泄漏的压力容器，应当进行泄漏试验。泄漏试验包括气密性试验和氨、卤素、氦检漏试验。

试验方法的选择，按照压力容器设计图样的要求执行。

泄漏试验按照以下要求进行：

- a) 气密性试验，气密性试验压力为本次定期检验确定的允许（监控）使用压力，其准备工作、安全防护、试验温度、试验介质、试验过程、合格要求等按照相关规定执行；如果本次定期检验需要进行气压试验，则气密性试验可以和气压试验合并进行；对大型成套装置中的压力容器，可以用系统密封试验代替气密性试验；
- b) 氨、卤素、氦检漏试验，按照设计图样或者相应试验标准的要求执行。

6.3 检查计划

6.3.1 年度检查计划

使用单位每年对所使用的压力容器至少进行1次年度检查。

6.3.2 定期检验计划

压力容器一般于投用后3年内进行首次定期检验。以后的检验周期由检验机构根据压力容器的安全状况等级，按照以下要求确定：

- a) 安全状况等级为1、2级的，一般每6年检验一次；
- b) 安全状况等级为3级的，一般每3年至6年检验一次；
- c) 安全状况等级为4级的，监控使用，其检验周期由检验机构确定，累计监控使用时间不应超过3年，在监控使用期间，使用单位应当采取有效的监控措施；
- d) 安全状况等级为5级的，应当对缺陷进行处理，否则不应继续使用；
- e) 安全状况等级为4级的，全面检查的周期由检验机构确定。

7 汽水管道

7.1 范围的界定

汽水管道监督范围包括：

- a) 水、水汽介质管道：
 - 1) 高压水、水汽介质管道（工作压力不小于5.88 MPa的主给水管道等），以及与管道相连的第一个阀门前管子；
 - 2) 中压水、水汽管道（工作压力小于5.88 MPa且不小于1.6 MPa的凝结水、减温水管道、除氧器和高压、低压加热器疏放水管道等）。
- b) 蒸汽介质管道：
 - 1) 高温蒸汽管道（工作温度不小于400℃的主蒸汽管道、启停堆管道等），以及与管道相连的第一个阀门前管子；
 - 2) 中温蒸汽管道（工作温度小于400℃且不小于100℃的汽轮机抽汽、辅助蒸汽、汽轮机轴封蒸汽管道等）。

7.2 检查范围和内容

7.2.1 高压水、水汽管道

每次大修对高压水、水管道开展如下检查：

- a) 对拆除保温层的管道、焊缝和弯头/弯管部位进行外观质量检验，对发现的表面裂纹、严重机械损伤、重皮等缺陷，应予以消除，清除处的实际壁厚不应小于筒体管道的最小需要壁厚。首次检验应对主给水管道调整阀门后的管段和第一个弯头进行检验；

- b) 对管道焊缝按 10 %的比例进行宏观检验、表面检验和超声检测,重点检验有记录缺陷及应力集中部位的焊缝,后次抽查部位为前次未检部位,至 10 年完成进行 100 %检验;
- c) 对管道上的三通、阀门进行外表面宏观检查,对可疑部位应进行渗透或磁粉检测,必要时进行超声检测;
- d) 对与管道相联的小口径管(疏水管、测温管、压力表管、空气管、安全阀、排气阀、充氮、取样、压力信号管等)管座角焊缝按不少于 20 %的比例进行检验;检验内容包括角焊缝外观质量、渗透或磁粉检测;后次抽查部位为前次未检部位,至 10 年完成进行 100 %检验;
- e) 对管道焊缝上记录缺陷进行复查;对硬度异常的管道和焊缝进行跟踪检验;
- f) 对管道弯头(或其上连接的小口径管)易冲刷减薄的部位应进行壁厚测量,对管道弯头中易积水部位的中性面腐蚀疲劳裂纹进行检测。

7.2.2 中压水、水汽管道

每次大修,对低压水、水汽管道开展以下检查:

- a) 对直管段、弯头易冲刷减薄部位进行壁厚测量,对检查壁厚小于管道的最小需要壁厚的直管、弯头等应及时安排更换;
- b) 对每条管道至少抽查一道焊缝进行超声或射线检测,重点检验有记录缺陷、应力较大部位(结构应力、热应力)的焊缝;后次抽查部位为前次未检部位;
- c) 对每条管道至少抽查一个接管座角焊缝进行渗透或磁粉检测。

7.2.3 高压蒸汽管道

7.2.3.1 直管段母材和焊缝

机组每次大修对每类高温蒸汽管道直管、焊缝,按不低于10 %的比例进行外观质量、硬度检查,对焊缝进行渗透(或磁粉)、超声检测,对焊缝两侧直管段进行壁厚测量,对硬度异常的部位可采用便携式布氏硬度计进行复核,复核后仍不合格应进行金相检验。如发现焊缝存在超标缺陷时,应扩大检验比例。后次大修抽查范围,应为前次未检管道直管段和焊缝,至10年完成100 %检验。

机组每次大修,重点加强监督检查的部位和项目如下:

- a) 监督段直管和焊缝外观、壁厚、硬度、金相检验,焊缝 100 %渗透或磁粉、超声检测。硬度和金相检验点应在前次检验点处或附近区域;
- b) 安装前或前次检修发现存在硬度或金相检验异常的直管段和焊缝部位进行硬度和金相检验,以及直管段胀粗情况和焊缝的渗透或磁粉、超声检测。硬度和金相检验点应在前次检验点处或附近区域;
- c) 存在应力集中的部位,如三通焊缝、管道与阀门连接焊缝,温差大和温度交变频繁部位的焊缝如过热和再热蒸汽减温器、启动减温器管道焊缝,曾经发生过泄漏的直管段和焊缝,以及制造或安装检查、上次检修检查存在记录、超标未处理缺陷的焊缝,存在振动的管道影响到的焊缝,应进行表面、超声检测;
- d) 存在积水的直管和焊缝部位应进行超声检测;
- e) 管壁较薄部位直管和焊缝外观、壁厚检查,焊缝表面、超声检测。

7.2.3.2 管件及阀门

机组每次大修按10 %对管件及阀壳进行外观质量、硬度、金相组织、壁厚、椭圆度检验和无损检测,弯头的检测包括外弧侧的表面渗透或磁粉检测与对外弧两侧中性面之间内壁表面的超声检测,不足10 %对每条管道至少抽查一件。当发现超标缺陷时,应扩大检验比例。后次大修的抽查部件为前次未检部件。

机组每次大修中,重点加强监督检查的部位和项目如下:

- a) 对以下管件进行硬度、金相检验,硬度和金相检验点应在前次检验点处或附近区域:硬度、金相组织异常的管件,安装前椭圆度较大、外弧侧壁厚较薄的弯头、弯管,汽轮机入口邻近的弯头、弯管;
- b) 对安装前或前次检修椭圆度较大、外弧侧壁厚较薄的弯头、弯管进行椭圆度和壁厚测量;

- c) 对安装前存在缺陷和运行中开裂修复过的阀门、三通等管件每次大修应进行渗透或磁粉、超声检测，其中对阀门、三通焊缝进行渗透或磁粉检测，三通焊缝进行超声检测，三通焊缝部位应包括锻制三通的肩部等应力集中部位。

7.2.3.3 对与高温蒸汽管道相连的管道、小口径管

高温蒸汽管道相连的管道、小口径管检验要求如下：

- a) 对与高温蒸汽管道相连接管道、小口径管的接管座角焊缝的检查要求如下：
 - 1) 每次大修时，对与高温蒸汽管道相连接的管道、小口径管的接管座角焊缝按不低于 20 % 进行渗透或磁粉、超声检测，至 10 年抽查完毕；
 - 2) 每次大修时，应重点检查以下管道、小口径管的接管座角焊缝：与高温蒸汽管道材料不同的管道、小口径管的接管座角焊缝，可能有凝结水积水（压力表管、疏水管、喷水减温器的下部、较长的盲管或不经常使用的联络管）、膨胀不畅部位的接管管座角焊缝，以及相连母管管孔部位及内表面是否有裂纹，运行期间发生泄漏或前次检修曾经发现过裂纹的接管座角焊缝；
- b) 对与高温蒸汽管道相连接的管道、小口径管子及对接焊缝的检查要求如下：
 - 1) 对各种管道、小口径管子一次门前的焊缝，首次大修时，按不低于 20 % 进行射线或超声检测抽查，对小口径管子焊缝宜采用射线检测，发现超标缺陷时，应扩大检查比例；
 - 2) 每次大修时，应重点检查以下管道、小口径管和对接焊缝：膨胀不畅部位管道、管子的对接焊缝，发生过泄漏的对接焊缝，因冲刷减薄发生过泄漏的管道、管子直段或弯头部位应进行壁厚测量；
 - 3) 与高温蒸汽管道材料膨胀系数差别较大的小口径接管应进行更换；
 - 4) 对易产生凝结水和积水、膨胀不畅的管道或管子应进行改造，防止运行期间发生疲劳开裂泄漏；
 - 5) 对与高温蒸汽管道相连小口径管子的第一个阀门前的管段、管件、阀壳运行 10 年后，宜结合检修全部更换。

7.2.4 中温蒸汽管道

机组每次大修对中温蒸汽管道开展如下检验：

- a) 应对拆除保温层的管道、焊缝和弯头、弯管进行宏观检验，对发现存在表面裂纹、严重机械损伤、重皮等缺陷，应予以消除，清除处的实际壁厚不小于筒体管道的最小需要壁厚；
- b) 机组每次大修，对每类管道的焊缝抽取不小于 10 % 进行壁厚测量和超声检测，后次抽查部位为上次未检部位，如发现超标缺陷，应扩大检验比例；
- c) 对于焊缝超声检测发现的超标缺陷，应在去除缺陷后按照原制造或安装焊接工艺进行补焊，补焊部位应进行超声检测；
- d) 机组每次大修，对与蒸汽管道相联的小口径管，如疏水管、测温管、压力表管、空气管、安全阀、排气阀、充氮、取样、压力信号管等，管座角焊缝按不小于 10 % 的比例进行检验，检验内容包括外观检查、渗透或磁粉检测；后次抽查部位为前次未检部位；
- e) 机组每次大修对蒸汽管道的三通、阀门进行外表面宏观检查，对可疑部位应进行渗透或磁粉检测，必要时进行超声检测。

7.3 管道 FAC 监督

7.3.1 监督范围

根据高温气冷堆核动力厂汽水管道工艺特性和运行工况，按 FAC 敏感性 & 运行重要性划分为 1 级～3 级。

7.3.2 减薄风险分类原则

7.3.2.1 FAC 敏感管线（1 类管线）

同时满足如下条件的管线定义为 1 类管线：

- a) 管道材料：低碳钢或低合金钢（Cr % < 0.2 %wt）；
- b) 公称直径：≥ 50 mm；
- c) 运行工况（满足下述条件之一）：
 - 1) 单相水或汽水两相（湿度 > 5 %）温度 100℃～300℃，连续运行；
 - 2) 汽水两相（湿度 < 5 %），温度 ≥ 100℃ 的疏水管线，连续运行。

7.3.2.2 FAC 相关管线（2 类管线）

经 1 类管线筛选后，介质条件为单相水或汽水两相，材质为碳钢或低合金钢（Cr % < 1 %wt）的管线，满足下述条件之一，定义为 2 类管线：

- a) 工作温度 ≥ 100℃，非连续运行且 Cr < 0.2 %wt 的低碳钢或低合金钢管线；
- b) 工作温度 ≥ 100℃，连续运行或非连续运行，管径 ≥ 50 mm 且（0.2 % < Cr % < 1 %wt）的低碳钢或低合金钢管线；
- c) 工作温度 ≥ 100℃，25 mm ≤ 名义管径 ≤ 50 mm，常开管线；
- d) 工作温度 ≥ 100℃，管线湿度、流速不确定的排气管线和平衡管线；
- e) 单相水或汽水两相温度 50℃～100℃，连续运行。

7.3.2.3 FAC 不敏感管系（3 类管线）

经 1、2 类管线筛选后，满足下列条件之一，宜定义为 3 类管线：

- a) 工作温度 < 100℃；
- b) 不锈钢材质或者 Cr > 1 %wt 的低合金钢管线；
- c) 非连续运行且 Cr > 0.2 %wt 的低合金钢管线或常关管线；
- d) 介质为干蒸汽的管线；
- e) 相关关系中的其他管线。

7.3.2.4 管线分类调整原则

汽水管线满足以下条件时，可以将其提升一类进行管理：

- a) 对于运行特别重要的管线，如引起停堆停机、不易带压堵漏、影响工业安全的管线。
- b) 厂内外经验反馈易发生减薄失效的管线。

7.3.3 检查方法

一般管道 FAC 部件检查主要采用超声测厚（TM）。特殊情况下，管道部件也可先采用 VT 辅助检查，发现减薄后再对相应部位做 TM 检查。

壁厚测量重点检查弯头、三通、变径、弯管、阀后直管段、节流孔板后直管段、设备进出口管道等部位。

7.3.4 检验计划

压力管道 FAC 检查计划如下：

- a) 1 类压力管道：
 - 1) 检查周期一般为 6 年；
 - 2) 并列管线检查要求：在一个检查周期内，每个系统中运行参数相同的并列管线中至少选 1 条进行全面检查，检查尽量分布在两次大修中实施。其余管线进行抽查，一个检查周期内，至少抽查每条管线上 25 % 的敏感部位，若发现抽检管线减薄速率明显大于全面监督管线相应部位时，则将抽检计划调整为全面检查；
 - 3) 非并列管线检查要求：非并列管线应在一个检查周期内执行全面检查。
- b) 2 类压力管道：检查周期一般为 10 年。在一个检查周期内至少抽查每条管线上 25 % 的敏感部位；
- c) 3 类压力管道：不定期监督检查。根据内外部经验反馈，必要时进行针对性检查。

7.3.5 计划调整

检查计划制定后,应根据每次检查的结果对壁厚减薄的情况加以评定,并结合内外部经验反馈加以动态调整和优化。主要包括:

- a) 本次检查应包含上次检测发现剩余寿命小于 5 年的管道;
- b) 本次检查应包含上次检查延缓测厚检测的管道;
- c) 本次检查应包含内外部经验反馈易发生减薄的管道;
- d) 减薄速率小的管道(1 类管道剩余寿命大于 8 年,2 类管道剩余寿命大于 13 年)可以延后进行测厚检测或减少检测的频度;
- e) 为保证测厚检测数据和剩余寿命计算的可靠性和有效性,对于 1 类管线前 3 次的测厚检测计划可以提前,但不能延后;
- f) 对于跟踪测厚的管道,应在下次检查再次进行检测,如果检测数据显示,壁厚没有变化,可以停止跟踪,并恢复正常的检查周期。

7.4 油管道监督

7.4.1 对油管路插入式结构形式的三通焊缝、结构突变部位的焊缝,应在每次大修中进行宏观和渗透检测,渗透检测按 NB/T 47013 执行。

7.4.2 对安装阶段油管道安装焊缝未进行 100 %射线检测或安装焊缝质量不明的,大修期间宜对安装焊缝进行 20 %的射线检测,射线检测和焊缝质量验收分别按 DL/T 821、DL/T 869 的规定执行;当发现存在超标缺陷情况时,应扩大抽查比例,如仍然发现存在超标缺陷的焊缝,则应对油管道安装焊缝进行 100 %的射线检测;对存在超标缺陷的焊缝应及时安排进行返修处理,焊缝的返修应全部割除原焊口,返修后的焊缝检测按 DL/T 869 的规定执行。

8 热交换器传热管

8.1 检查范围和内容

热交换器主要包括凝汽器和其他非核级热交换器等:

- a) 凝汽器:对进出口水室、折回水室、管板、传热管进行目视检查,对传热管进行涡流、泄漏检查;
- b) 其他热交换器:对热交换器如低压加热器、高压加热器、汽水分离器传热管进行涡流、声发射、泄漏检查等。

8.2 检查计划

检查计划包括:

- a) 凝汽器:对外围第一圈、第二圈传热管部分和历史遗留缺陷管应检测、对内围传热管部分可以“行”为单位进行抽检,已抽检的传热管,若未发现缺陷则在检查周期内不再检查该传热管,每次大修涡流检查比例不宜小于 20 %;
- b) 其他热交换器:对历史遗留缺陷管必须检查,其他传热管可以“行”为单位进行抽检,已抽检的传热管,若未发现缺陷则在检查周期内不再检查该传热管,每次大修涡流检查比例不宜小于 20 %。

9 紧固件

9.1 大于等于 M 32 的高温紧固件的质量检验按 DL/T 439、GB/T 20410 相关条款执行。

9.2 高温紧固件运行期间的检验、更换及报废按 DL/T 439 中的相关条款执行。紧固件的超声检测按 DL/T 694 执行。

9.3 高温紧固件材料的非金属夹杂物、低倍组织和 δ -铁素体含量按 GB/T 20410 相关条款执行。

- 9.4 机组每次检修，应对 20Cr1Mo1VNbTiB、20Cr1Mo1VTiB 钢制螺栓进行 100 %的硬度检查、20 %的金相组织抽查；同时对硬度高于 DL/T 439 中规定上限的螺栓也应进行金相检验，一旦发现晶粒度粗于 5 级，应予以更换。
- 9.5 凡在安装或拆卸过程中，使用加热棒对螺栓中心孔加热的螺栓，应对其中心孔进行宏观检查，必要时使用内窥镜检查中心孔内壁是否存在过热和烧伤。
- 9.6 汽轮机与发电机大轴联轴器螺栓安装前应进行外观质量、光谱、硬度检验和表面检测，机组每次检修应进行外观质量检验，按数量的 20 %进行无损检测抽查。
- 9.7 导汽管法兰、自动主汽门、再热蒸汽调门螺栓，机组运行检修期间应进行外观质量检验，按数量的 20 %进行无损检测抽查。

附录 A (资料性) 压力容器安全状况等级评定

A.1 评定原则

评定原则包括：

- a) 安全状况等级根据压力容器检验结果综合评定，以其中项目等级最低者为评定等级；
- b) 需要改造或者修理的压力容器，按照改造或者修理结果进行安全状况等级评定；
- c) 安全附件检验不合格的压力容器不允许投入使用。

A.2 材料问题

主要受压元件材料与原设计不符、材质不明或者材质劣化时，按照以下要求进行安全状况等级评定：

- a) 用材与原设计不符，如果材质清楚，强度校核合格，经过检验未查出新生缺陷（不包括正常的均匀腐蚀），检验人员认为可以安全使用的，不影响定级；如果使用产生缺陷，并且确认是用材不当所致，可以定为 4 级或者 5 级；
- b) 材质不明，对于经过检验未查出新生缺陷（不包括正常的均匀腐蚀），强度校核合格的（按照同类材料的最低强度进行），在常温下工作的一般压力容器，可以定为 3 级或者 4 级；液化石油气储罐定为 5 级；
- c) 发现存在表面脱碳、渗碳、石墨化、回火脆化等材质劣化现象以及蠕变、高温氢腐蚀现象，并且已经产生不可修复的缺陷或者损伤时，根据损伤程度，定为 4 级或者 5 级；如果损伤程度轻微，能够确认在规定的操作条件下和检验周期内安全使用的，可以定为 3 级。

A.3 结构问题

有不合理结构的，按照以下要求评定安全状况等级：

- a) 封头主要参数不符合相应产品标准，但是经过检验未查出新生缺陷（不包括正常的均匀腐蚀），可以定为 2 级或者 3 级；如果有缺陷，可以根据相应的条款进行安全状况等级评定；
- b) 封头与筒体的连接，如果采用单面焊对接结构，而且存在未焊透时，按照第 10 条的规定定级；如果采用搭接结构，可以定为 4 级或者 5 级；不等厚度板（锻件）对接接头，未按照规定进行削薄（或者堆焊）处理，经过检验未查出新生缺陷（不包括正常的均匀腐蚀）的，可以定为 3 级，否则定为 4 级或者 5 级；
- c) 焊缝布置不当、“十”字焊缝或者焊缝间距不符合产品标准的要求，经过检验未查出新生缺陷（不包括正常的均匀腐蚀），可以定为 3 级；如果查出新生缺陷，并且确认是由于焊缝布置不当引起的，则定为 4 级或者 5 级；
- d) 按照规定应当采用全焊透结构的角接焊缝或者接管角焊缝，而没有采用全焊透结构的，如果未查出新生缺陷（不包括正常的均匀腐蚀），可以定为 3 级，否则定为 4 级或者 5 级；
- e) 如果开孔位置不当，经过检验未查出新生缺陷（不包括正常的均匀腐蚀），对于一般压力容器，可以定为 2 级或者 3 级；对于有特殊要求的压力容器，可以定为 3 级或者 4 级；如果开孔的几何参数不符合产品标准的要求，其计算和补强结构经过特殊考虑的，不影响定级，未作特殊考虑的，可以定为 4 级或者 5 级。

A.4 表面裂纹及凹坑

内、外表面不允许有裂纹。如果有裂纹，应当打磨消除，打磨后形成的凹坑在允许范围内的，不影响定级；否则，应当补焊或者进行应力分析，经过补焊合格或者应力分析结果表明不影响安全使用的，可以定为 2 级或者 3 级。

裂纹打磨后形成凹坑的深度，如果小于壁厚余量（壁厚余量 = 实测壁厚 - 名义厚度 + 腐蚀裕量），则该凹坑允许存在。否则，将凹坑按照其外接矩形规则化为长轴长度、短轴长度及深度分别为 $2A$ (mm)、 $2B$ (mm) 及 C (mm) 的半椭圆形凹坑，计算无量纲参数 G_0 ，如果 $G_0 < 0.10$ ，则该凹坑在允许范围内。

进行无量纲参数计算的凹坑应当满足如下条件：

- a) 凹坑表面光滑、过渡平缓,凹坑半宽 B 不小于凹坑深度 C 的 3 倍,并且其周围无其他表面缺陷或者埋藏缺陷;
- b) 凹坑不靠近几何不连续或者存在尖锐棱角的区域;
- c) 压力容器不承受外压或者疲劳载荷;
- d) T/R 小于 0.18 的薄壁圆筒壳或者 T/R 小于 0.10 的薄壁球壳;
- e) 材料满足压力容器设计规定,未发现劣化;
- f) 凹坑深度 C 小于壁厚 T 的 1/3 并且小于 12 mm,坑底最小壁厚 ($T-C$) 不小于 3 mm;
- g) 凹坑半长 $A \leq 1.4\sqrt{RT}$ 。

凹坑缺陷无量纲参数 G_0 的计算见公式 (A.1) :

$$G_0 = \frac{C}{T} \times \frac{A}{\sqrt{RT}} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

T ——凹坑所在部位容器的壁厚(取实测壁厚减去至下次检验期的腐蚀量),单位为毫米(mm);

R ——容器平均半径,单位为毫米(mm)。

A.5 变形、机械接触损伤、工卡具焊迹及电弧灼伤

变形、机械接触损伤、工卡具焊迹、电弧灼伤等,按照以下要求评定安全状况等级:

- a) 变形不处理不影响安全的,不影响定级;根据变形原因分析,不能满足强度和安全要求的,可以定为 4 级或者 5 级;
- b) 机械接触损伤、工卡具焊迹和电弧灼伤,打磨后按第(四)条的规定定级;

A.6 咬边

内表面焊缝咬边深度不超过 0.5 mm、咬边连续长度不超过 100 mm、并且焊缝两侧咬边总长度不超过该焊缝长度的 10%时;外表面焊缝咬边深度不超过 1.0 mm、咬边连续长度不超过 100 mm、并且焊缝两侧咬边总长度不超过该焊缝长度的 15%时,按照以下要求评定其安全状况等级:

- a) 对一般压力容器不影响定级,超过时应当予以修复;
- b) 有特殊要求的压力容器,检验时如果未查出新生缺陷(例如焊趾裂纹),可以定为 2 级或者 3 级,查出新生缺陷或者超过本条要求的,应当予以修复;
- c) 低温压力容器不允许有焊缝咬边。

A.7 腐蚀

有腐蚀的压力容器,按照以下要求评定安全状况等级:

- a) 分散的点腐蚀,如果腐蚀深度不超过名义壁厚扣除腐蚀裕量的 1/3,不应影响定级;如果在任意 200 mm 直径的范围内,点腐蚀的面积之和不超过 4500 mm²,或者沿任一直径点腐蚀长度之和不超过 50 mm,不影响定级;
- b) 均匀腐蚀,如果按剩余壁厚(实测壁厚最小值减去至下次检验期的腐蚀量)强度校核合格的,不影响定级;经过补焊合格的,可以定为 2 级或者 3 级;
- c) 局部腐蚀,腐蚀深度超过壁厚余量的,应当确定腐蚀坑形状和尺寸,并且充分考虑检验周期内腐蚀坑尺寸的变化,可以按照第 4 条的规定定级;
- d) 对内衬和复合板压力容器,腐蚀深度不超过衬板或者覆材厚度 1/2 的不影响定级,否则应当定位 3 级或者 4 级。

A.8 环境开裂和机械损伤

存在环境开裂倾向或者产生机械损伤现象的压力容器,发现裂纹,应当打磨消除,并且按照本第 4 条的要求进行处理,可以满足在规定的操作条件下和检验周期内安全使用要求的,定为 3 级,否则定为 4 级或者 5 级别。

A.9 错变量和棱角度

错边量和棱角度超出产品标准要求，根据以下具体情况综合评定安全状况等级：

- a) 错边量和棱角度尺寸在表 A.1 范围内，压力容器不承受疲劳载荷并且该部位不存在裂纹、未熔合、未焊透等缺陷时，可以定为 2 级或者 3 级；

表 A.1 错边量和棱角度尺寸范围

单位为毫米

对口处钢材厚度 t	错边量	棱角度
$t \leq 20$	$\leq 1/3 t$ ，且 ≤ 5	$\leq (1/10 t + 3)$ ，且 ≤ 8
$20 < t \leq 50$	$\leq 1/4 t$ ，且 ≤ 8	
$t > 50$	$\leq 1/6 t$ ，且 ≤ 20	
对所有厚度锻焊压力容器		$\leq (1/16 t)$ ，且 ≤ 8
注：测量棱角度所用的样板按照产品标准的要求选取。		

- b) 错边量和棱角度不在表 A.1 范围内，或者在表 A.1 范围内的压力容器承受疲劳载荷或者该部位伴有未熔合、未焊透等缺陷时，应该通过应力分析，确定能否继续使用；在规定的操作条件下和检验周期内，能安全使用的定为 3 级或者 4 级。

A.10 焊缝埋藏缺陷

相应制造标准允许的焊缝埋藏缺陷，不影响定级；超出相应制造标准的，按以下要求评定安全状况等级：

- c) 单个圆形缺陷的长径大于壁厚的 1/2 或者大于 9 mm，定为 4 级或者 5 级；圆形缺陷的长径小于壁厚的 1/2 并且小于 9 mm，其相应的安全状况等级评定见表 A.2 和表 A.3；

表 A.2 规定只要求局部无损检测的压力容器（不包括低温压力容器）

圆形缺陷与相应的安全状况等级

安全状况 等级	评定区 mm					
	10×10		10×20		10×30	
	实测厚度 t mm					
	$t\leq 10$	$10 < t\leq 15$	$15 < t\leq 25$	$25 < t\leq 50$	$50 < t\leq 100$	$t > 100$
	缺陷点数					
2 级或者 3 级	6~15	12~21	18~27	24~33	30~39	36~45
4 级或者 5 级	>15	>21	>27	>33	>39	>45

表A.3 规定要求100%无损检测的压力容器（包括低温压力容器）

圆形缺陷与相应的安全状况等级

安全状况等级	评定区 mm					
	10×10			10×20		10×30
	实测厚度 mm					
	$t\leq 10$	$10 < t\leq 15$	$15 < t\leq 25$	$25 < t\leq 50$	$50 < t\leq 100$	$t > 100$
	缺陷点数					
2 级或者 3 级	3~12	6~15	9~18	12~21	15~24	18~27
4 级或者 5 级	>12	>15	>18	>21	>24	>27

注：表A.2、表A.3中圆形缺陷尺寸换算成缺陷点数，以及不计点数的缺陷尺寸要求，见NB/T 47013相应规定。

d) 非圆形缺陷与相应的安全状况等级评定，见表A.4和表A.5。

表A.4 一般压力容器非圆形缺陷与相应的安全状况等级

缺陷位置	缺陷尺寸			安全状况等级
	未融合	未焊透	条状夹渣	
球壳对接焊缝：圆筒体纵焊缝，以及与封头连接的环焊缝	$H \leq 0.1t$, 且 $H \leq 2\text{ mm}$; $L \leq 2t$	$H \leq 0.15t$, 且 $H \leq 3\text{ mm}$; $L \leq 3t$	$H \leq 0.2t$, 且 $H \leq 5\text{ mm}$; $L \leq 3t$	3级
圆筒体环焊缝	$H \leq 0.15t$, 且 $H \leq 3\text{ mm}$; $L \leq 4t$	$H \leq 0.2t$, 且 $H \leq 4\text{ mm}$; $L \leq 6t$	$H \leq 0.25t$, 且 $H \leq 5\text{ mm}$; $L \leq 12t$	

表A.5 有特殊要求的压力容器非圆形缺陷与相应的安全状况等级

缺陷位置	缺陷尺寸			安全状况等级
	未融合	未焊透	条状夹渣	
球壳对接焊缝：筒体纵焊缝，以及与封头连接的环焊缝	$H \leq 0.1t$, 且 $H \leq 2\text{ mm}$; $L \leq t$	$H \leq 0.15t$, 且 $H \leq 3\text{ mm}$; $L \leq 2t$	$H \leq 0.2t$, 且 $H \leq 4\text{ mm}$; $L \leq 3t$	3级或者4级
圆筒体环焊缝	$H \leq 0.15t$, 且 $H \leq 3\text{ mm}$; $L \leq 2t$	$H \leq 0.2t$, 且 $H \leq 4\text{ mm}$; $L \leq 4t$	$H \leq 0.25t$, 且 $H \leq 5\text{ mm}$; $L \leq 6t$	

注：表A.4、表A.5中 H 是指缺陷在板厚方向的尺寸，亦称缺陷高度； L 指缺陷长度（单位为mm）。对所有超标非圆形缺陷均应当测定其高度长度，并且在下次检验时对缺陷尺寸进行复检。

e) 如果能采用有效方式确认缺陷是非活动的，则表A.4、表A.5中的缺陷长度容限值可以增加50%。

A.11 母材分层

母材有分层的，按照以下要求评定安全状况等级：

- 与自由表面平行的分层，不影响定级；
- 与自由表面夹角小于 10° 的分层，可以定为2级或者3级；

- c) 与自由表面夹角大于或者等于 10° 的分层，检验人员可以采用其它检测或者分析方法综合判定，确认分层不影响容器安全使用的，可以定为 3 级，否则定为 4 级或者 5 级。

A.12 鼓包

使用过程中产生的鼓包，应该查明原因，判断其稳定状况，如果能查清鼓包的起因并且确定其不再扩展，而且不影响压力容器安全使用的，可以定为 3 级；无法查清起因时，或者虽查明原因但仍会继续扩展的，定为 4 级或者 5 级。

A.13 绝热性能

固定式真空绝热压力容器，真空度及日蒸发率测量结果在表 A.6 范围内，不影响定级；大于表 6 规定指标，但不超出其 2 倍时，可以定位 3 级或则 4 级；否则定位 4 级或 5 级。

表A.6 真空度及日蒸发率测量

绝热方式	真空度		日蒸发率测量
	测量状态	数值 Pa	
粉末绝热	未装介质	≤ 65	实测日蒸发率数值小于2 倍额定日蒸发率指标
	装有介质	≤ 10	
多层绝热	未装介质	≤ 20	
	装有介质	≤ 0.2	

A.14 耐压试验

属于容器本身原因，导致耐压试验不合格的，可以定为 5 级。