

ICS 27.100

F 23

备案号: 19446-2007

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1025 — 2006

核电厂金属技术监督规程

Technical supervision code for metal in nuclear power plant

2006-12-17 发布

2007-05-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 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 总则	· 2
5 金属技术监督的任务	· 2
6 材料的技术监督	· 2
7 焊接质量的技术监督	· 3
8 设计、制造和安装的技术监督	· 3
9 在役技术监督	· 4
10 重要部件的老化管理	· 5
11 金属技术监督管理职责	· 6
12 核电厂金属技术监督档案	· 6
附录 A（资料性附录） 压水堆核岛部件的完整性在役检查内容	· 8
附录 B（资料性附录） 常规部件完整性在役检查内容	· 13
附录 C（资料性附录） 重要金属部件的老化管理内容	· 16

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于下达 2003 年行业标准项目补充计划的通知》（发改办工业〔2003〕873 号文）的要求制定的。

本标准在遵循核安全法规的前提下，参考国外核电行业相关规范，结合我国核电厂的实际情况，对核电厂金属技术监督工作提出了基本要求。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 是资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业核电标准化技术委员会归口。

本标准由苏州热工研究院有限公司负责解释。

本标准起草单位：苏州热工研究院有限公司、大亚湾核电运营管理有限责任公司、江苏核电有限公司、秦山核电公司、核电秦山联营有限公司、秦山第三核电有限公司。

本标准主要起草人：束国刚、吴洁、匡立中、夏樑、童忠贵、陆念文、吴洪、方松利、王建瑜、薛新才、丁有元、袁建中、梁瞻翔、张丽娟。

核电厂金属技术监督规程

1 范围

本标准规定了核电厂在设计、制造、安装、调试、运行、维修、改造等环节金属技术监督的任务、内容和管理要求。

本标准适用于核电厂下列金属部件（简称部件）的技术监督：

- a) 核岛承压设备及其相关部件；
- b) 常规岛、核电厂辅助设备（BOP）承压部件；
- c) 汽轮机及发电机主要部件。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 150 钢制压力容器

DL/T 679 焊工技术考核规程

HAF 001 中华人民共和国民用核设施安全监督管理条例

HAF 102 核动力厂设计安全规定

HAF 103 核动力厂运行安全规定

HAF 601 民用核承压设备安全监督管理规定

HAF 603 民用核承压设备焊工及焊接操作工培训、考试和取证管理办法

HAD 103/07 核电厂在役检查

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

金属技术监督 metal technical supervision

通过有效的检测和诊断，及时掌握部件的质量状况，并采取有效措施进行防范处理和管理的一系列活动。

3.2

金属技术监督专职工程师 full-time engineer for metal technical supervision

专门从事金属技术监督管理的人员。

3.3

重要部件 level I component

构成反应堆冷却剂压力边界而且其失效会引起失水事故的核安全一级金属部件。

3.4

合格承包商 qualified supplier

评审合格的提供产品的组织或个人。

3.5

役前检查 pre-service inspection

机组安装结束后、启动运行前，在初次一回路水压试验前对在役检查大纲中列出的所有部件所进行的一次全面检查。

3.6

在役检查 in-service inspection

在核电厂运行寿期内，检查核安全一、二、三级部件和常规部件的完整性，判断它们对核电厂继续运行是否可接受，或是否有必要采取补救措施而进行的一系列检验活动。

3.7

老化管理 aging management

为保证核电站的安全裕度，将构筑物、系统和部件的老化进程控制在可接受限度内的工程、运行和维护行为。

4 总则

- 4.1 金属技术监督应贯彻于部件设计、制造、安装、调试、运行、维修、改造等全过程。
- 4.2 应系统地开展金属技术监督工作，了解并掌握各个阶段的质量变化，及时进行防范处理和管理，使受检部件处于可控制状态。
- 4.3 应建立有效、适用的老化管理体系，通过预测纳入管理体系的部件老化机理和发展趋势，进行有目的的监督、预防性维修，优化部件的运行，以保证部件的安全裕度并提高部件的可靠性。
- 4.4 核安全相关部件所参照的规范应满足核安全法规的要求。
- 4.5 承担受监部件设计、制造、安装和调试的单位应具备相应的有效资质，并须经核电厂主管部门认可。
- 4.6 核电厂应设金属技术监督专职工程师，在分管技术监督的最高管理者或总工程师的领导下归口管理金属技术监督工作。

5 金属技术监督的任务

- 5.1 对受监范围内的部件在设计、制造、安装、调试、运行、维修、改造期间的金属质量监督工作进行控制和跟踪。
- 5.2 参与对设计、制造、安装、调试、维修和改造承包商的资格评审工作。
- 5.3 参与审查各阶段对部件质量有重要影响的相关技术文件。
- 5.4 对重要部件，应从选材、制造、安装和调试等关键环节进行过程监控。
- 5.5 抽样见证工艺评定及人员资格考核。
- 5.6 参与重大不符合项的原因分析和纠正措施的审查。
- 5.7 制定运行阶段的维护、检验与试验大纲，组织编制金属技术监督工作所需的程序、实施细则、质量跟踪等文件，并督促实施。
- 5.8 掌握受监部件服役过程中的组织变化、性能变化和损伤状况，及时采取措施确保安全运行。
- 5.9 对重要部件进行老化管理，参与部件的安全评估和寿命预测工作。
- 5.10 建立和健全金属技术监督档案。

6 材料的技术监督

- 6.1 部件材料须来自合格承包商，其化学成分、热处理工艺、力学性能、金相和无损检验结果等均应符合相关技术标准和合同规定的技术条件。
- 6.2 对重要部件，应在采购合同中按有关规范明确档案材料要求，包括预留样品的数量、规格与取样部位，以便用于验证在役部件的材料性能。

6.3 材料出厂前，应按合同规定的质量标准进行验收，并附有供应商提供的完整的合格证明或制造完工报告。合格证明的提供方式和内容应符合规范和合同的要求。

6.4 材料到达制造场地后，有关人员应组织到货验收，并按订货技术标准的规定进行复验。验收人员应确认文件与实物的一致性。

6.5 验收合格的材料应按材料牌号、部件标识分类存放，并采取防变形、防变质、防损伤、防污染和防腐措施，妥善保管，定期检查并做好记录。

6.6 应建立材料的发放制度并监督执行，防止错用、乱用。

6.7 在使用材料时，应检查其出厂合格证、质量证明书、入库验收等资料。有疑问时，应进行验证。组装后，应复查有关记录，确认无误后方可投入运行。

6.8 运行期间应定期对材料的性能变化（如辐照脆化、疲劳等）进行监督、分析和评估。

6.9 选择代用材料时，应有充分的技术依据，保证代用材料的使用性能指标不低于原设计要求，并应履行下列相关的审批手续：

- a) 采用代用材料时，应取得原设计单位和分管技术监督的最高管理者或总工程师的批准；
- b) 采用代用材料后，应修改图纸、做好技术记录并存档；
- c) 核级部件的代用材料应按 HAF 102 的要求执行，并得到国家核安全监管部门认可。

7 焊接质量的技术监督

7.1 从事受监部件焊接工作的焊工，应取得相应的资格证书。核承压设备的焊工培训、考核和取证应按照 HAF 603 的规定进行，其他部件的焊工培训、考核和取证管理办法可按照 DL/T 679 的要求执行。对进口部件还应满足合同规定的考核要求。

7.2 部件的焊接工艺应事先按合同约定的规范进行评定，评定结果应按程序审批后方能有效采用。

7.3 建立焊接材料的验收、保管和领用制度。焊材入库前，应检查质量证明书，依据相应的标准、按批号进行抽样复验。必要时进行焊接工艺评定。入库后应按标准或制造说明书进行分级、分类储存。焊条使用前，应按规定进行烘烤和保温。焊丝使用前，应检查确认无水、无油、无锈。

7.4 焊接前应检查焊接文件、焊工资格、焊接参数测量仪器、焊材、待焊表面和焊接环境等，符合规定要求方可施焊。焊接文件中应明确焊接必需的所有参数，当有热处理要求时，还应包括热处理参数，并核查这些参数是否在有关评定的覆盖范围内。

7.5 应按事先制定的质量跟踪文件要求对焊接过程进行控制。质量验证人员应核查焊接文件规定的工艺参数是否得到了很好的遵守，当焊接过程中要求做检验时，抽查这些检验是否按规定执行。

7.6 对焊接接头的质量应按规定进行无损检验。质量验证人员应核查无损检验人员的资格、仪器的标定状态和标识、检验的方法、范围及结果。当有疑问时，应重新进行检验。

7.7 当检验结果为不合格时，对允许返修的焊接接头进行返修，并确保补焊的次数不超过批准的次数。返修后的焊接接头应按规定复查。

7.8 对制造厂焊接的焊缝，核电厂应组织有关人员核对其出厂资料，包括射线底片在内的实物资料，并做外观检查。有怀疑时，应进行无损检验。

8 设计、制造和安装的技术监督

8.1 核承压设备的设计、制造和安装应符合 HAF 102 和 HAF 601 的要求。常规承压设备的设计、制造应符合 GB 150 及相关标准的要求。

8.2 部件采购合同应经技术审查，以保证与金属监督有关的技术、文件、记录和验收等要求以及控制的程度已得到明确的规定。

8.3 与部件相关的质量监督文件和制造单位的实施文件应充分体现有关金属技术监督的要求，在工作开始之前，应确保有关人员熟知所从事工作的要求和管理过程。

8.4 部件制造开工前,应检查制造开工条件,如操作人员上岗培训和考核、检测手段、现场工艺文件的有效性、所用材料或部件的标识和验收情况等,以确认承包商的设备制造和管理能力。

8.5 应按事先制定的计划和要求对影响部件制造质量的各项活动进行系统的控制,对重要部件,应派有相应资格的质量验证人员到场见证和监督其制造过程。质量验证人员应核查与制造质量相关的要求是否得到了很好的遵守,遇到问题应及时向核电厂主管部门汇报。

8.6 部件出厂前,应按合同规定的质量标准进行验收。验收时应审查承包商按合同要求提供的合格证明或完整的制造完工报告,确认承包商所完成的工作和所提交的文件已全部符合要求,部件发货前所采取的防护和包装措施应符合运输、装卸、储存的规定才能予以放行。

8.7 部件到达安装现场后,金属监督专业人员应参与到货验收,并按订货技术标准的规定进行复验。发现问题应及时通知承包商按合同要求进行处理。

8.8 部件安装调试前,应审查安装调试承包商的安装工艺、人员资格和所依据的技术标准、验收规范,并严格监督其实施。

8.9 安装过程应按制定的操作规程和质量跟踪文件实施,并派专业的质量验证人员跟踪监控安装和调试过程,及时汇报所发现的问题或隐患,审查安装质量的阶段性结果。安装期间的金属材料、焊接质量应分别按本标准第6章和第7章进行控制。

8.10 在安装承包商按照事先认可的试验大纲完成规定的试验后,核电厂主管部门应组织设计部门、制造部门、安装承包商和有关主管部门进行最终验收,确认所安装设备局部及整体达到设计的运行功能及使用性能。

8.11 部件在安装和试运行阶段应按规定进行维护。金属技术监督专职工程师应审查所制定的维护措施和技术要求并监督其实施。

8.12 应建立备用材料、备品备件的采购、验收、保管和发放管理制度,并严格执行。在使用备品备件时,除检查其出厂合格证、质量证明书、入库验收等资料外,还应按役前检查要求对其进行检查。组装后还应复查有关记录,确认无误后方可投入运行。

9 在役技术监督

9.1 在役监测

9.1.1 为便于对部件的寿命进行跟踪,应分析部件的使用温度、压力、液位、流量等记录,特别是部件的热瞬态和压力波动瞬态。根据经验反馈,对易损部件进行专门监测。有条件时,应积极采用先进的检测或在线监测技术,跟踪和掌握部件在服役过程中金属组织和性能的变化以及缺陷扩展的情况。

9.1.2 建立现场巡回检查制度,在人员可达的区域内对压力容器、承压管道的薄弱环节进行重点检查。

9.2 在役检查

9.2.1 制定在役检查大纲

每台机组均应制定在役检查大纲。大纲应包括具体的检查计划和在役检查的技术规定。检查计划中应列出典型的受检区域、检查内容和可能使用的方法清单。其中,核岛部件的完整性在役检查内容可参见附录A,常规部件的完整性在役检查内容可参见附录B。应根据在役检查活动的经验和技术发展以及部件的服役状况调整检查计划。核级部件的在役检查大纲的管理与执行应满足HAF 001与HAD 103/07的要求。

9.2.2 确定重点检查部位

- 确定重点检查部位时,应考虑下列因素:
 - a) 服役时的应力水平、疲劳强度因子及假想缺陷到脆性断裂所规定的裕度等;
 - b) 几何应力集中部位;
 - c) 冶金不连续部位,如焊缝;
 - d) 运行中承受冲刷、腐蚀或交变应力的部位;

- e) 运行监测和任何易于影响部件的行为;
- f) 以往曾发现过缺陷的部位或其类似部位;
- g) 环境因素造成的部件加速老化部位。

9.2.3 检查方法、技术

目前用于核电厂部件的检验方法有以下几种,但任何一种检验都应按核电厂主管部门批准的有效程序执行:

- a) 宏观检验,用于检查被监部件表面一般可见的异常,如划痕、磨损、表面裂纹、腐蚀、泄漏等。
- b) 表面检验,用于查明表面及近表面缺陷。通常采用的方法有:液体渗透、磁粉等检验方法。
- c) 超声检验,用于查明体积缺陷的大小与位置。
- d) 射线检验,用于确定体积缺陷的大小和性质。
- e) 涡流检验,用于传热管束和螺栓、螺帽的检查。
- f) 声发射检测,一般用于在线动态全过程检测,如水压试验期间对部件的检测等。
- g) 泄漏和耐压试验,用于检查压力边界的完整性和机械部件的力学性能等。
- h) 其他检验,可采用几种方法的组合或新研发的技术。

9.2.4 检查和试验装备

9.2.4.1 用于检查和试验的所有装备,其量程和精确度应保持在所要求的限值内,并按国家有关标准规定其检定要求和频度。

9.2.4.2 制造、役前检查和在役检查尽可能使用同样的标定件。

9.2.4.3 经过检定的检查和试验装备应具有明确的标识,使用装备的单位应保留标定的记录,并定期核实检定的有效性。当发现偏差超出规定限值时,应对以前测量和试验的有效性进行评价。

9.2.5 检验单位及人员资质要求

凡从事本标准范围内检验工作的检验单位和检验人员,应具备相应的有效资质。经核电厂主管部门认可后,方可从事允许范围内相应项目的检验工作。

9.2.6 检验验收标准和检验结果的评价

9.2.6.1 检验验收标准:

- a) 制订在役检查大纲和检验执行程序时,应明确各类检验采用的方法和验收标准;
- b) 核安全相关部件所参照的规范应满足核安全法规的要求;
- c) 非核安全相关部件应遵守我国的标准,或者结合核电厂的特殊情况,参照相应国家的技术规范。

9.2.6.2 检验结果的评价:

- a) 对所发现的缺陷可用其他方法和技术予以补充检查,以便进一步分析;
- b) 对超过验收标准且难以处理的缺陷应进行安全评估。评估的方法和结论应得到分管技术的最高管理者或总工程师的批准,对核级部件应得到国家核安全监管部门的批准。当评估结论为该部件可监督运行时,应对其采取监控措施。

10 重要部件的老化管理

10.1 核电厂应根据本厂的实际情况并参考附录 C 建立老化管理体系,并对影响核电厂安全性和可靠性的部件进行筛选,编制需要老化管理的部件清单,明确老化管理要求。

10.2 应明确负责部件老化管理工作的归口部门,及时建立和持续优化老化管理大纲,并组织实施。

10.3 应了解所选择设备的老化机理。通过研究确定监测和减缓设备老化的有效且实用的方法,采取有效措施管理所选择设备的老化降级过程,定期评估其老化状态,形成完整的技术档案。

10.4 重要部件更换后,原失效部件在老化研究中有重要价值,应妥善保管,不得随意处置。

10.5 核安全相关部件的老化管理方案须上报国家核安全监管部门。

11 金属技术监督管理职责

11.1 核电厂金属技术监督专职工程师

金属技术监督专职工程师负有制定和执行核电厂金属技术监督计划的总体责任，并组织有关人员负责：

- a) 编制维修大纲中金属技术监督部分和在役检查大纲所需的相关实施程序；
- b) 按照大纲的要求组织实施金属技术监督；
- c) 组织对检验和试验结果的分析和评价，并落实缺陷处理措施；
- d) 组织完成金属技术监督报告；
- e) 参与对部件在运行中发现问题的处理和重大事故的调查分析；
- f) 参与管理金属技术监督档案，包括对实物档案的管理；
- g) 建立和维护核电厂金属技术监督数据库，使金属技术监督工作规范化、科学化。

11.2 安装单位金属技术监督专职工程师

安装单位金属技术监督专职工程师负责：

- a) 组织制定本单位的金属技术监督计划和实施细则，对金属技术监督的实施进行监督和指导；
- b) 对现场的安装活动实施质量控制的管理；
- c) 建立安装过程中的金属技术监督档案；
- d) 工程验收结束后，负责向核电厂移交全部安装金属技术监督档案。

11.3 检修单位金属技术监督专职工程师

检修单位金属技术监督专职工程师负责：

- a) 按照核电厂金属技术监督计划和程序要求组织实施；
- b) 对现场的金属技术监督活动实施过程控制；
- c) 按规定的要求出具受监部件的检验、试验和评价结果技术报告，报告应经授权人员审批；
- d) 建立检修过程中的金属技术监督档案；
- e) 检修活动结束后，负责向核电厂移交检修金属技术监督档案。

12 核电厂金属技术监督档案

12.1 原始技术资料档案。包括：

- a) 受监部件的设计、制造、安装的原始资料；
- b) 重要部件的留样档案；
- c) 役前检查档案。

12.2 在役金属技术监督档案。包括：

- a) 在役检查档案；
- b) 核岛设备辐照脆化监督试验档案，包括辐照样品；
- c) 焊接质量技术监督档案；
- d) 受监部件改造档案；
- e) 事故分析及异常情况档案；
- f) 反事故措施档案；
- g) 部件缺陷及处理情况档案；
- h) 运行瞬态记录档案，如机组超参数运行时间、启停次数和运行累计时间等资料。

12.3 管理档案。包括：

- a) 金属技术监督组织机构和职责分工文件；
- b) 金属技术监督规程、程序、实施细则汇编；

- c) 金属技术监督工作计划、总结等档案;
- d) 金属技术监督管理数据库。

12.4 实物档案。包括:

- a) 材料或部件留样;
- b) 重要试验样品;
- c) 其他实物档案。

12.5 老化管理档案。包括:

- a) 老化机理分析技术文件;
- b) 纳入老化管理体系部件的材料性能和环境工况数据;
- c) 老化失效记录和分析报告。

附录 A
(资料性附录)

压水堆核岛部件的完整性在役检查内容

A.1 核安全一级部件

A.1.1 反应堆压力容器

A.1.1.1 水下电视检查:

- a) 不锈钢堆焊层内表面;
- b) 法兰螺栓孔螺纹;
- c) 安全端与接管连接焊缝内表面;
- d) 堆内构件;
- e) 套管与底封头焊缝内侧。

A.1.1.2 超声检验:

- a) 堆焊层结合处;
- b) 筒体的纵焊缝和环焊缝;
- c) 筒体与法兰的环焊缝;
- d) 冷热管出入口接管管座焊缝;
- e) 安全端与接管连接焊缝;
- f) 法兰螺栓孔孔带表面;
- g) 筒体与接管内侧径向截面。

A.1.1.3 声发射检测:

- a) 套管与底封头焊缝内侧;
- b) 导管与套管焊缝;
- c) 导管与隔离阀或密封阀焊缝;
- d) 管接头法兰与管接头焊缝。

A.1.1.4 顶盖与法兰焊缝超声检验。

A.1.1.5 贯穿件与顶盖焊缝、吊耳与顶盖焊缝渗透检验。

A.1.1.6 直径大于和等于50mm的压力容器螺栓涡流与超声检验; 螺母涡流检验。

A.1.2 蒸汽发生器

A.1.2.1 水室堆焊层内表面(包括管板、分格板和排泄管孔)、螺母宏观检查。

A.1.2.2 超声检验:

- a) 底封头内侧堆焊层结合处;
- b) 管板与底封头焊缝;
- c) 支撑环与底封头焊缝;
- d) 底封头接管与安全端焊缝;
- e) 螺栓孔孔带表面、螺栓;
- f) 管板与二次侧下筒体焊缝;
- g) 封头与筒体环焊缝;
- h) 底封头接管内侧径向截面。

A.1.2.3 渗透检验:

- a) 蒸汽发生器支腿圆角;

- b) 支撑环弯角与筒体角焊缝;
 - c) 封头疏水接管管座焊缝。
- A.1.2.4 安全端与封头接管焊缝射线检验。
- A.1.2.5 U形传热管束涡流检验。
- A.1.3 主泵
 - A.1.3.1 泵壳焊缝、与化学和容积控制系统热屏连接管接头、螺母宏观检查。
 - A.1.3.2 螺栓超声检验。
 - A.1.3.3 支撑架焊缝与圆角渗透检验。
- A.1.4 稳压器
 - A.1.4.1 内表面堆焊层、螺母内表面宏观检查。
 - A.1.4.2 超声检验:
 - a) 底封头与筒体环焊缝;
 - b) 人孔螺栓;
 - c) 螺栓孔之间的孔带;
 - d) 支撑裙板与底封头焊缝;
 - e) 上封头接管内侧径向截面;
 - f) 底封头接管内侧径向截面。
 - A.1.4.3 射线检验:
 - a) 人孔与上封头焊缝;
 - b) 波动管接管与底封头焊缝;
 - c) 上封头与筒体环焊缝;
 - d) 安全端与波动管接管焊缝;
 - e) 安全端与上封头接管焊缝。
 - A.1.4.4 渗透检验:
 - a) 阀支撑与筒体焊缝;
 - b) 支撑裙板与底封头焊缝;
 - c) 排放环管支架。
 - A.1.4.5 声发射检测:
 - a) 加热器管壁与底封头之间的焊缝;
 - b) 法兰与加热器管壁之间的焊缝;
 - c) 加热器与法兰之间的焊缝。
- A.1.5 一回路管道
 - A.1.5.1 宏观检查:
 - a) 一回路管道环焊缝;
 - b) 一回路管道与冷却剂泵焊缝。
 - A.1.5.2 一回路管道与反应堆压力容器管嘴安全端焊缝超声检验。
 - A.1.5.3 一回路管道与蒸汽发生器底封头之间的焊缝射线检验。
 - A.1.5.4 一回路管道接管焊缝渗透检验。
- A.1.6 一回路其他系统管道
 - A.1.6.1 反应堆辅助系统管道宏观检查。
 - A.1.6.2 反应堆冷却剂环路热套管、孔洞附近管塞焊缝射线检验, 其他焊缝射线抽样检验。
 - A.1.6.3 接管焊缝、支撑件与管路焊缝渗透检验。
 - A.1.6.4 一回路的应力腐蚀抽样检验。主要抽样对象包括安全注入管线、充水泵铸造覆层、安全注入

箱的仪表接管、控制棒驱动机构密封罩、反应堆压力容器不锈钢围板的前螺栓等。

A.1.6.5 因热疲劳和机械疲劳造成的裂纹抽查。主要抽查部位包括高压注入系统的管线、安全注入管线等。

A.1.6.6 硼酸腐蚀检验。抽查一回路系统中的碳钢和低合金钢部件。

A.1.7 阀门

阀体外部宏观检查。

A.2 核安全二级部件

A.2.1 蒸汽发生器（二次侧）

A.2.1.1 宏观检查：

- a) 安全端与蒸汽出口管嘴焊缝；
- b) 上部圆柱段筒体内表面（尤其对汽水分界面）；
- c) 上部内部支撑与筒体的焊缝；
- d) 蒸汽出口管嘴与上封头焊缝；
- e) 蒸汽发生器的孔、手孔的螺栓、螺母。

A.2.1.2 超声检验：

- a) 安全端与蒸汽出口管嘴焊缝；
- b) 圆锥段与上圆柱段筒体焊缝；
- c) 管嘴与上筒体焊缝。

A.2.1.3 渗透检验：

- a) 管嘴与筒体焊缝；
- b) 接管与阀门连接焊缝。

A.2.1.4 磁粉检验抽查。

A.2.2 主蒸汽系统、给水流量控制系统（核岛内）、辅助给水系统（核岛内）、化学和容积控制系统、安全注入系统、设备冷却水系统、蒸汽发生器排污系统、安全壳喷淋系统及余热导出系统等管道

A.2.2.1 宏观检查：

- a) 管道支撑；
- b) 支撑与管道焊缝；
- c) 与阀门和泵的连接焊缝；
- d) 喷淋管线及喷淋环管道支撑焊缝；
- e) 安全壳地坑吸水管。

A.2.2.2 超声检验：

- a) 管嘴与管道间的焊缝；
- b) 位于蒸汽发生器与其下游的第一个弯头之间的环焊缝；
- c) 水平管线环焊缝抽查（如有焊接钢管，还应包括对其纵焊缝的抽查）。

A.2.2.3 射线检验：

- a) 蒸汽发生器与止回阀之间的管线环焊缝；
- b) 管嘴与安全阀焊缝；
- c) 与热交换器连接的焊缝；
- d) 每条管线顶部有代表性的环焊缝。

A.2.2.4 渗透检验：

- a) 支撑与管道连接焊缝；
- b) 主管与支管连接焊缝；

- c) 管嘴与安全阀连接焊缝;
- d) 管嘴与管道及射线导源孔焊缝;
- e) 接管与阀门连接焊缝;
- f) 支管与支管座连接焊缝。

A.2.2.5 壁厚抽查:

- a) 阀门下游连接的渐缩管段;
- b) 与泵进出口相连的弯头;
- c) 其他有腐蚀危险的弯管或弯管拱背。

A.2.3 容器

A.2.3.1 宏观检查:

- a) 容器外部;
- b) 支座表面及受力变形情况;
- c) 筒体和封头内表面及接管孔内壁等可见部位表面。

A.2.3.2 筒体纵、环焊缝和接管T型对接焊缝超声检验。

A.2.3.3 接管座角焊缝渗透检验。

A.2.3.4 局部冲刷监测。

A.2.3.5 根据容器的安全状况等级评级。

A.2.4 热交换器

除按容器要求检验外,还应检查水室和管板。

A.2.5 阀门

阀体外部宏观检查。

A.3 核安全三级部件

A.3.1 反应堆换料腔和乏燃料水池的冷却和处理系统、辅助给水系统(核岛外)管道、汽动泵供汽管道、控制阀下游管道等

A.3.1.1 宏观检查:

- a) 支管与主管连接的焊缝;
- b) 管道支撑;
- c) 支撑与管道焊缝。

A.3.1.2 超声检验:

节流孔板下游法兰连接焊缝。

A.3.1.3 射线检验:

- a) 节流孔板下游法兰的连接焊缝;
- b) 控制阀下游焊缝;
- c) 每条管线顶部有代表性的环焊缝;
- d) 支管与支管座连接的插套焊缝(支管外径小于和等于 80mm)。

A.3.1.4 渗透检验:

- a) 与安全壳隔离止回阀的连接焊缝;
- b) 管道支管座焊缝;
- c) 支吊架与管道的连接焊缝。

A.3.2 容器

A.3.2.1 容器内、外部可见部位、支座宏观检查;

A.3.2.2 筒体纵、环焊缝和T型对接焊缝超声检验;

A.3.2.3 接管座角焊缝渗透检验；

A.3.2.4 局部冲刷监测；

A.3.2.5 根据容器的安全状况等级评级。

A.4 非核安全级部件（核岛系统）

非核安全级部件（在核岛内）包括：安全壳喷淋系统、安全注入系统、化学容积控制系统、设备冷却水系统、余热导出系统、反应堆冷却剂系统、蒸汽发生器排污系统、辅助给水系统、安全注入系统等管道。

A.4.1 宏观检查：

- a) 支管与主管连接的焊缝；
- b) 管道支撑。

A.4.2 射线检验：

- a) 主泵热屏、轴承和电动机冷却回路出口孔板和调节阀下游焊缝；
- b) 节流孔板下游变径管前端焊缝、调节阀出口焊缝；
- c) 支管与支管座连接的插套焊缝（支管外径小于和等于 80mm）。

A.4.3 渗透检验：

- a) 管道支管座焊缝；
- b) 支吊架与管道的连接焊缝。

附录 B

(资料性附录)

常规部件完整性在役检查内容

B.1 汽轮机(包括给水泵汽轮机)部件

B.1.1 宏观检查:

- a) 叶片表面(包括叶片围带、拉筋);
- b) 转子表面;
- c) 调节级叶轮根部的变截面的 R 处和热槽等部位;
- d) 轴瓦复合层表面;
- e) 内、外汽缸, 汽缸中分面(包括排汽导流板及支撑杆焊缝处);
- f) 隔板(包括中分面、静叶表面);
- g) 汽缸中分面、连轴节和其他大于 M32 的螺栓、螺母表面;
- h) 其他规范要求的检验。

B.1.2 超声检验:

- a) 叶根、叶轮的键槽部位;
- b) 转子中心孔(如有);
- c) 轴瓦复合层结合面;
- d) 螺栓(大于 M32)。

B.1.3 渗透检验:

- a) 轴瓦复合层表面;
- b) 目视怀疑处。

B.1.4 转子表面、螺栓硬度检查。

B.1.5 转子中心孔内表面超声或涡流检查(如有)。

B.1.6 叶片测频。

B.1.7 其他怀疑处以及制造厂提出的维修程序中规定的其他项目检查。

B.2 发电机部件

B.2.1 宏观检查:

- a) 发电机转子轴径、风扇叶;
- b) 轴瓦、密封瓦复合层表面;
- c) 其他规范要求的检验。

B.2.2 超声检验:

- a) 护环;
- b) 轴瓦、密封瓦复合层结合面。

B.2.3 渗透检验:

- a) 轴瓦复合层表面;
- b) 目视怀疑处;
- c) 其他规范要求的检验。

B.3 励磁机部件

B.3.1 宏观检查:

- a) 励磁机转子轴径;
- b) 轴瓦、密封瓦复合层表面;
- c) 其他规范要求的检验。

B.3.2 超声检验:

轴瓦、密封瓦复合层结合面。

B.3.3 渗透检验:

- a) 轴瓦复合层表面;
- b) 目视怀疑处;
- c) 其他规范要求的检验。

B.4 泵（包括凝结水泵、汽动给水泵、电动给水泵）

B.4.1 螺栓、螺母（大于M32）表面及环向超声检查;

B.4.2 叶轮、轴、泵壳和端盖宏观及表面渗透检查;

B.4.3 其他规范要求的检验。

B.5 阀

B.5.1 宏观检查:

- a) 弹簧;
- b) 螺栓、螺母（大于 M32）。

B.5.2 螺栓超声检验。

B.5.3 渗透检验:

- a) 抽查阀芯和阀杆表面;
- b) 阀座（汽室）;
- c) 其他规范要求的检验。

B.6 压力部件

B.6.1 压力容器

B.6.1.1 宏观检查:

- a) 保温层或油漆层状况;
- b) 支座表面状况及受力变形情况;
- c) 容器的接管状况;
- d) 筒体和封头内表面及接管孔内壁等可见部位，疏水箱内壁局部冲刷情况监测;
- e) 筒体和封头内表面及接管座角焊缝表面状况。

B.6.1.2 筒体纵环焊缝及接管座角焊缝无损检验抽查。

B.6.1.3 根据容器的安全状况等级进行定期耐压试验。

B.6.1.4 对于有金属衬里的压力容器，如发现有穿透性腐蚀、裂纹、局部鼓包或凹陷、检查孔流出介质等情况，应局部或全部拆除衬里层，查明本体的腐蚀状况或其他缺陷。如用奥氏体不锈钢堆焊衬里的，应检查堆焊层的龟裂、剥离和脱落情况等。

B.6.1.5 对于工作环境为湿度大、盐雾重的奥氏体不锈钢压力容器，应检查其外表面腐蚀状况和其他缺陷。必要时，应在其外表面采取防腐措施。

B.6.2 压力管道

B.6.2.1 主蒸汽及其他汽水管道：

- a) 保温层状况检查；
- b) 弯头/管、三通、大小头宏观检查；
- c) 管道焊缝及三通焊缝宏观检查及无损检验；
- d) 直管、弯头/管、三通、大小头壁厚监测；
- e) 弯头/管背弧外表面磁粉或渗透检查；
- f) 支吊架状况及受力变形情况检查；
- g) 根据安全状况等级进行定期耐压试验。

B.6.2.2 给水管道及其他管道：

- a) 三通、阀座宏观检查；
- b) 弯头/管宏观和壁厚监测；
- c) 阀门后管段、孔板后管段壁厚监测；
- d) 焊缝和应力集中部位宏观检查及无损检验抽查；
- e) 弯头/管背弧外表面磁粉或渗透抽查；
- f) 支吊架状况及受力变形情况检查；
- g) 根据管道的安全状况等级进行定期耐压试验。

B.7 加热器和凝汽器传热管

换料大修期间安排抽查与复查，至少每 10 年完成一次全面检查。

附录 C

(资料性附录)

重要金属部件的老化管理内容

C.1 老化管理大纲

核电厂应建立设备老化管理大纲,明确老化管理的要求。对重要部件应列出清单,并应及时对设备老化管理大纲进行调整和优化。

C.2 材料的辐照脆化管理

可参照美国联邦法规 10CFR50 的附录 G 和附录 H、美国核管理委员会导则 RG1.99 以及美国材料与试验协会标准 ASTM E185 等的要求,制定反应堆压力容器堆芯围带区材料辐照监督大纲,组织实施辐照监督试验,监测反应堆压力容器堆芯围带区材料因辐照引起的力学性能变化。同时应根据辐照监督试验结果,确定核电厂运行或试验的限制条件,并评价反应堆压力容器在正常或事故条件下的结构完整性。

C.3 铸造奥氏体不锈钢的热脆和辐照脆化管理

对材料为铸造奥氏体不锈钢的堆内构件,应首先检查运行温度在 250℃ 以上的铸造奥氏体不锈钢对热脆的敏感性。但对于含铌材料,应逐个分析其断裂韧性下降的情况。

如果材料对热脆不敏感,同时构件的中子通量小于和等于 10^{17}n/cm^2 ,则根据 ASME 第 11 卷的要求进行检查,无需对构件的检查作特别的安排。

如果材料对热脆敏感或中子通量大于 10^{17}n/cm^2 ,应增加在役检查的力度:

- 参照 ASME 第 11 卷 IWA-2210 进行补充检查。检查方法应具有足够的灵敏度,必须能检查出构件的临界裂纹尺寸以下的缺陷,而且有一定的能力裕度。临界裂纹尺寸的计算运用服役载荷和服役条件下材料的具体力学性能数据。
- 检查部位视中子通量和运行工况而定,具体可参见美国核管理委员会文件,如 10CFR50 附录 G 和附录 H RPV 的金属的断裂韧性要求和脆化监督要求。
- 也可选择对构件进行力学评估。如果评估结果表明构件处于压缩应力或拉应力小于 34.5MPa (5ksi),则此评估可代替上述补充检查。如果计算得到的拉应力大于 34.5MPa (5ksi),则仍然需要进行上述检查。

缺陷的评估应按照下列规则:

- 检出缺陷的评估程序参照 ASME 第 11 卷, IWB-3500。
- 含铁素体 25% 以下的材料,缺陷分析允许采用 ASME 第 11 卷 IWB-3640 对埋弧焊的评估方法,不受原条文中对铁素体含量应小于和等于 20% 的限制。
- 铁素体含量大于 25% 的铸造奥氏体不锈钢应逐个进行评估。评估时,采用材料实际的断裂韧性数据(不采用 ASME 第 11 卷的数据)。

C.4 铸造奥氏体不锈钢(双相不锈钢)的热脆

应对双相不锈钢制造的一回路主管道弯头、主泵泵壳和某些阀门的阀体进行热脆敏感性甄别。甄别方法可参考国外相关规范,如 NUREG-1801 卷 2 第 11 章。若敏感,应加强这些部件的无损检验:

- 采用体积检查方法检查焊缝,并将检查范围扩展到母材;
- 应审查核电厂的运行工况,结合最终安全分析报告,排查双相不锈钢部件工况恶劣部位(如疲劳累积使用系数高的部位),加强对这些部位的检查;

- c) 对于管道弯头应特别注意, 优先检查弯头是否存在缺陷;
- d) 对于热脆不敏感的泵壳、阀体和管道, 无需采取特别的检查措施, 发现缺陷应进行评估。

C.5 一回路压力边界的金属疲劳管理

应监测一回路压力边界内重要部件的热瞬态和压力波动瞬态, 使部件的疲劳累积使用系数不超过设计的限值。应:

- a) 密切注意运行期间发生的温度、压力工况突变, 并详细记录。必要时在某些部位应装设先进的瞬态监测装置。
- b) 加强对一回路管道和支管热疲劳机理的分析, 如热分层、热湍流、热循环等, 并要求根据管道设计、工况变化和冷热水混流的情况, 识别热疲劳敏感部位, 进行重点监督。
- c) 注意部件的在役检查结果有无异常, 如波动管有无大范围位移、变形情况等。一旦出现此类情况, 应对部件进行无损检验, 必要时, 对部件的疲劳累积使用系数进行更新计算。
- d) 应定期根据核电厂实际瞬态重新计算上述压力边界部件的疲劳累积使用系数。计算时, 应考虑一回路水环境对疲劳累积使用系数的影响。

C.6 镍基合金接管和贯穿件的应力腐蚀

应定期采用合适的方法对控制棒驱动机构和其他贯穿件等镍基合金进行无损检验, 如表面检查、体积检查等, 以防止其在一回路水环境下发生应力腐蚀等老化现象, 继而对部件功能产生影响。发现缺陷后应修复或更换接管或贯穿件。

C.7 蒸汽发生器传热管应力腐蚀

应注重传热管的选材, 并在运行中进行水化学控制, 以减少传热管产生应力腐蚀开裂。

对传热管在运行期间的无损检测方法、范围、时间间隔、结构完整性评估、堵管和修理等, 应形成一套完整的技术准则, 并对传热管的泄漏给出技术限制和应采取的措施。

C.8 流体加速腐蚀

对高能管线和阀体的关键部位应进行流体(两相流或单相流)加速腐蚀的可能性分析, 并在现场选点调查以确定部件的减薄情况, 预测部件的减薄, 跟踪和验证预测的结果。必要时, 对已减薄的部件采取维修或更换措施。

C.9 管道的冲蚀、汽穴腐蚀和振动

二回路管道(如疏水管道)中易产生冲蚀和汽穴腐蚀。腐蚀部位常发生在截流孔板、弯头等变截面部件的下游。

为此应采取如下措施:

- a) 关注管道的选材。碳钢的可焊性较好, 但抗腐蚀能力差。如果选用不锈钢, 则应解决现场焊接的可靠性, 以防焊缝由于振动疲劳而提前失效。
- b) 按照维修规范的要求监测变截面部件下游的振动速度。对于一般的管道, 如果振动速度小于 12.7mm/s, 可认为管道不受高周疲劳的影响。
- c) 对于振动速度大于 12.7mm/s 的管道, 应分析其疲劳状况、具体管线的构筑物 and 支撑状况。
- d) 通过上述分析, 形成对振动疲劳敏感的小支管线清单, 利用此清单对管线进行老化管理。
- e) 变截面部件下游的焊缝布置应尽可能远离变截面元件(例如节流孔板)。