

# T/JXEA

## 江西省工程师联合会团体标准

T/JXEA 371—2026

---

### 锅炉定期检验数字化检测技术规程

Technical specification for digital testing in periodic inspection of boilers

（征求意见稿）

2026—XX—XX 发布

2026 - XX- XX 实施

---

江西省工程师联合会 发布

目 次

前 言 ..... II

引 言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 基本原则与检验依据 ..... 2

5 数字化检测设备与系统要求 ..... 2

6 锅炉本体检验规程 ..... 4

7 受压元件无损检测技术要求 ..... 4

8 检验数据管理与分析 ..... 5

9 检验报告与结论判定 ..... 6

10 检验现场管理与档案 ..... 7

附 录 A（规范性）锅炉定期检验数字化检测记录表 ..... 9

## 前 言

本文件依据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专利的责任。

本文件由\*\*\*提出。

本文件由\*\*\*归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

## 引 言

锅炉作为特种设备，其安全稳定运行直接关系到人员生命财产安全和工业生产有序开展，定期检验是防范锅炉安全风险、保障设备合规运行的关键环节。随着数字化检测技术的快速发展，数字化射线检测、相控阵超声检测等手段逐步替代传统检测方式，有效提升了检验精度、效率和数据可追溯性。为规范锅炉定期检验中数字化检测技术的应用，统一检验标准、技术要求和管理规范，规避检测过程中的不规范行为，特制定本规程。

本规程适用于工业锅炉及电站锅炉定期检验的数字化检测活动，明确了全流程技术准则与管理要求，为检验机构、使用单位提供权威遵循，助力提升锅炉检验数字化水平，筑牢锅炉安全运行防线。

# 锅炉定期检验数字化检测技术规程

## 1 范围

本文件规定了锅炉定期检验中数字化检测技术的基本原则与检验依据、数字化检测设备与系统要求、锅炉本体检验规程、受压元件无损检测技术要求、检验数据管理与分析、检验报告与结论判定，以及检验现场管理与档案等内容。

本文件适用于工业锅炉及电站锅炉定期检验中，采用数字化射线检测（DR）、相控阵超声检测（PAUT）、数字涡流检测（ECT）、磁粉检测（MT）、渗透检测（PT）等数字化检测技术手段实施的检验活动。锅炉安装监督检验、改造监督检验及同类承压设备的数字化无损检测活动可参照本文件执行。

## 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 150.1 压力容器 第1部分：通用要求

GB/T 9222 水管锅炉受压元件强度计算

GB/T 11259 无损检测 超声检测用钢制对比试块的制作和控制方法

GB/T 15822.1 无损检测 磁粉检测 第1部分：总则

GB/T 20737 无损检测 通用术语和定义

GB/T 26610.1 承压设备系统基于风险的检验实施导则 第1部分：基本要求和实施程序

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**数字化检测** digital testing

采用数字图像采集、数字信号处理及计算机辅助分析手段，对锅炉受压元件的材料缺陷、腐蚀减薄、焊缝质量等进行定量评价的无损检测技术总称，包括数字射线检测（DR）、相控阵超声检测（PAUT）、数字涡流检测（ECT）等。

### 3.2

**相控阵超声检测** phased array ultrasonic testing, PAUT

利用多个独立压电晶片组成的阵列换能器，通过电子控制各晶片的激发时序和延迟，实现声束偏转、聚焦及扫查的超声检测方法，可生成截面B扫、C扫及三维立体图像，实现对焊缝和受压元件缺陷的精确定位与定量表征。[源自：GB/T 20737，3.2]

### 3.3

**数字射线检测** digital radiographic testing, DR

以数字化平板探测器（FPD）或计算机射线照相系统（CR）代替传统胶片接收射线信号，经计算机图像处理生成数字化射线检测图像的检测方法。数字射线图像分辨率应不低于3.2 lp/mm，动态范围不低于12 bit，图像存储格式宜采用DICOM或等效数字格式。[源自：GB/T 20737，3.3]

### 3.4

**腐蚀速率** corrosion rate

锅炉承压部件单位时间内因腐蚀导致壁厚减薄的速率，单位为mm/a。腐蚀速率由两次检验测量数据差值除以两次检验时间间隔计算得出，是判定剩余寿命和确定下次检验周期的重要依据。

### 3.5

### 检验结论 inspection conclusion

检验机构在完成规定检验项目后，依据检验结果、相关标准和安全技术规范，对锅炉是否符合安全运行条件所作出的综合评定意见，分为"符合要求""基本符合要求（整改后复检）"和"不符合要求"三个等级。[源自：GB/T 26610.1, 3.5]

### 3.6

#### 剩余寿命 remaining life

锅炉承压元件在现有运行工况下，自检验时刻起至达到报废条件（壁厚减至最小允许壁厚）的预期使用年限，通常基于腐蚀速率和当前测量壁厚数据，按GB/T 26610.1—2011规定的方法计算。

## 4 基本原则与检验依据

**安全优先原则。**锅炉定期检验数字化检测工作应以保障锅炉安全运行、防止爆炸事故为首要目标。检验机构及检验人员应依据国家特种设备安全技术规范和本文件规定，独立、客观地实施检验，不受使用单位、制造单位或其他利益相关方的干扰。对于检验中发现的危及安全的重大缺陷，应立即停止检验并向使用单位发出安全警示，必要时向特种设备安全监察部门报告。

**全面检验原则。**定期检验应覆盖锅炉受压元件的全部检验项目，包括外观检查、壁厚测量、焊缝无损检测、安全阀校验等，不得以数字化检测替代法规要求的全部检验内容，数字化检测结果应与宏观检查、资料审查结果综合分析评价。检验范围、项目和比例应符合TSG G0001《锅炉安全技术监察规程》及本文件的规定。

**基于风险原则。**在满足定期检验最低要求的前提下，应依据GB/T 26610.1规定的基于风险的检验（RBI）方法，综合评估锅炉损伤机制、失效模式和失效后果，合理分配检验资源，对高风险部位适当增加检测点密度、提高检测精度，对低风险部位可采用快速数字化筛查手段提高检验效率。

**数据完整性原则。**数字化检测产生的原始图像数据、波形数据、测量数据及检验报告应完整存储，原始数据不得删除或修改。数字图像应以无损压缩格式或无压缩格式存档，存储介质应能保证数据在规定存档期限（不少于两个检验周期，最短不少于6年）内可靠读取，数据应进行完整性校验。

**人员资质原则。**实施锅炉数字化检测的检验人员应持有特种设备检验师（锅炉方向）或特种设备无损检测人员证书，其中超声检测和射线检测人员应取得相应检测方法Ⅱ级及以上资格。数字化检测新方法（如PAUT）投入实际应用前，检验人员应完成针对具体检测对象的专项培训并通过资质验证。

**量值溯源原则。**用于锅炉定期检验数字化检测的计量器具（超声测厚仪、测温计、数字压力表、相控阵探伤仪等）应定期进行计量检定或校准，确保测量数据可溯源至国家计量基准。校准记录应纳入检验档案，计量检定证书有效期内方可用于检验。

数字化检测的技术依据主要包括：

- a) 国家标准：GB 150.1、GB/T 9222、GB/T 26610.1、GB/T 11259、GB/T 15822.1、GB/T 20737；
- b) 特种设备安全技术规范：TSG G0001《锅炉安全技术监察规程》、TSG Z0003《特种设备检验检测机构核准规则》及相关检验规程；
- c) 设备制造文件：锅炉设计图样、强度计算书、制造质量证明文件及历次检验记录；
- d) 使用管理档案：锅炉使用登记证、运行记录、维修改造记录及上次检验报告。

## 5 数字化检测设备与系统要求

### 5.1 数字化射线检测（DR）设备要求

用于锅炉焊缝及受压元件数字射线检测的设备应满足以下技术条件：

- a) 射线源：X射线机或 $\gamma$ 射线源的能量选择应依据被检工件材料和厚度确定，焊缝检测宜优先采用X射线机，管电压调节范围应满足被检厚度要求； $\gamma$ 射线源活度和焦点尺寸应符合检测灵敏度要求；
- b) 数字探测器：平板探测器（FPD）的像素尺寸应不大于0.2 mm，探测器动态范围不低于12 bit，量子探测效率（DQE）在空间频率1 lp/mm处应不低于50%；计算机射线照相（CR）系统的成像板分辨率应与扫描仪匹配，确保图像固有不清晰度满足检测要求；

- c) 图像处理工作站：应配备专用无损检测图像分析软件，支持图像灰度窗宽/窗位调节、测量标注、缺陷几何参数自动识别、检测报告生成及DICOM格式输出；工作站显示器亮度不低于250 cd/m<sup>2</sup>，分辨率不低于1920×1080；
- d) 辐射防护：射线检测现场应设置警戒区域，辐射安全距离应依据射线源活度计算确定，现场检测人员应全程佩戴个人剂量仪，现场辐射剂量率应符合国家职业照射限值规定；
- e) 设备校准：DR系统在每次检验前应进行暗场校正和平场校正，使用对比灵敏度测试块验证系统检测灵敏度，测试结果应记录存档；校准结果不合格时应停止检测并排查故障后重新验证。

## 5.2 超声相控阵检测（PAUT）设备要求

相控阵超声检测设备应满足以下基本性能要求，并定期依据GB/T 11259进行校准：

探头阵列：线阵探头的晶片数量不少于16个，有效孔径和中心频率应依据被检工件厚度和焊缝几何形状选取；对于锅炉受压元件焊缝检测，宜选用1 MHz～10 MHz频率范围的相控阵探头，厚壁管（壁厚>25 mm）宜采用低频探头（≤5 MHz），薄壁管宜采用高频探头（≥5 MHz）。

仪器性能：相控阵超声仪器的信噪比（SNR）应不低于35 dB（以满屏80%反射波为基准）；每个聚焦法则的时间分辨率应保证能够区分间距不小于探头半波长的两个相邻反射体；仪器应支持扇形扫描（S-scan）和线性扫描（L-scan）模式，扫描角度范围应满足完全覆盖被检焊缝截面的要求。

扫查装置：焊缝PAUT检测宜使用与被检管径或平板工件曲率匹配的楔块，楔块声速和折射角参数应通过对比试块实试验证；自动或半自动扫查装置应记录探头位置信号，位置分辨率应不低于1 mm，确保检测数据与工件位置的对应精度满足缺陷定位要求。

灵敏度校准：PAUT检测前应使用GB/T 11259规定的对比试块（含SDH、FBH参考反射体）建立幅度-深度曲线（DAC）；校准灵敏度应在检测开始前、中断后重新开始以及检测结束时各验证一次；若灵敏度偏差超过±2 dB，应对上次验证后检测的区段重新检测。

数据记录：PAUT检测数据应以全波形方式存储，记录内容包括A扫波形、B扫截面图、C扫平面图及S扫扇形图；所有图像数据应与工件编号、检测日期、探头参数、灵敏度校准记录关联存档；存储格式应支持离线分析，文件命名应包含设备编号、检测位置和检测日期信息。

## 5.3 涡流及磁粉检测设备要求

涡流检测（ECT）和磁粉检测（MT）设备应满足以下规定：

数字涡流检测仪：应具备多频激励功能，激励频率范围应覆盖100 Hz～2 MHz，阻抗平面显示分辨率应保证能够区分材料缺陷信号与噪声信号；探头型式（绝对式、差分式、旋转式）应依据检测对象（焊缝表面、换热管内壁等）选取；检测前应使用标准对比样管进行仪器调零和灵敏度校准，对比样管的人工缺陷应与实际检测对象的典型损伤模式相对应。

磁粉检测设备：交流磁轭的提升力应不低于GB/T 15822.1规定的45 N（极间距200 mm时），直流磁轭提升力应不低于177 N；磁悬液浓度（荧光磁粉）的粒度分布和悬液浓度应定期检验，确认符合GB/T 15822.1—2005规定；采用数字成像方式记录磁痕时，图像分辨率应能清晰显示宽度0.1 mm以上的磁痕。

荧光磁粉检测时，紫外线灯的辐照度在被检工件表面处应不低于1000 μW/cm<sup>2</sup>，且紫外灯应进行定期标定；检测区域环境光照度应不超过20 lx；检验人员进入暗室区域后应至少适应5分钟后方可判读磁痕。

渗透检测（PT）用于锅炉受压元件表面裂纹检测时，渗透剂、清洗剂和显像剂应来自同一配套体系，所用渗透检测材料应按GB/T 18851.1进行合格验证；施加渗透剂和显像剂的温度应在10℃～50℃范围内，低温检测时应进行低温适用性验证。

## 5.4 数字图像采集与存储系统

锅炉定期检验数字化检测的图像数据管理应符合以下规定：

- a) 图像采集质量：所有数字图像（DR图像、PAUT截面图、MT磁痕图像等）应具有足够的对比度和分辨率，能够清晰显示评定级别的最小缺陷特征；图像曝光参数应在检测记录中完整填写，包括管电压/管电流/曝光时间（DR）或增益/声速/探头参数（PAUT）；

- b) 存储格式与容量：DR图像宜采用DICOM 3.0格式存储，单张图像文件大小通常在2 MB~20 MB范围；PAUT全波形数据文件通常在50 MB~2 GB范围；机构应配置足够容量的专用NAS（网络附加存储）或云存储设施，存储空间总量不应低于预计年检测数据量的5倍；
- c) 数据备份：原始检测数据应实行"3-2-1"备份策略，即至少保留3份完整数据副本，分布在2种不同存储介质，其中1份存储在与主存储物理隔离的位置；备份数据应每6个月进行一次完整性验证，验证记录归档保存；
- d) 访问控制：检验数据系统应实施基于角色的访问权限管理，原始数据只能由授权检验人员访问，任何修改操作应留有操作日志；检验报告的修改应有书面审批记录，并保留完整的修改历史。

## 6 锅炉本体检验规程

锅炉本体检验应按宏观检查、测厚检测、焊缝无损检测、安全附件核验的顺序依次实施，各项检验的技术要求如下：

**宏观检查：**应在锅炉停炉冷却、排水/排气完毕后进入内部检查；检查内容包括：锅筒、集箱、管道的腐蚀、裂纹、鼓包、变形及焊缝宏观缺陷；受热面管子的管外腐蚀、烟气侧磨损、高温氧化及管内水垢积聚情况；炉墙及保温层的完整性；安全附件（安全阀、水位表、压力表）的完好性。宏观检查发现异常时，应扩大检测范围或提高检测精度。

**超声测厚：**受压元件测厚应采用A型脉冲反射法超声测厚仪，测厚仪的探头频率应依据材料和壁厚选取（通常5 MHz~10 MHz）；每个测厚点的最小尺寸区域内应取3个读数，取最小值作为该点的代表壁厚；腐蚀严重区域应加密测厚点间距至不大于25 mm×25 mm；测量数据应与设计壁厚及最小允许壁厚（依据GB 150.1—2011或GB/T 9222—2008计算）进行比较，当实测壁厚低于最小允许壁厚时，应立即停止使用并报告。

**焊缝检测：**外观合格的焊缝方可进行内部质量检测；焊缝无损检测方法（PAUT、DR或常规UT/RT）的选取应依据焊缝结构、材料和壁厚确定；对于壁厚>8 mm的对接焊缝，优先采用PAUT或常规超声检测；壁厚≤8 mm的管子对接焊缝，宜采用DR或γ射线检测；焊缝检测比例应不低于法规最低要求（定期检验不低于本次应检焊缝总数的20%，或依据RBI分析结果确定）；检测发现超标缺陷时，应按本文件9.1条规定进行结论判定。

**受热面管束检验：**水冷壁、过热器、再热器及省煤器管束应结合锅炉停炉打开检查孔进行外观检查；对外观发现减薄、腐蚀或损伤的管段，应进行超声测厚复验；换热管内壁腐蚀检测宜采用数字涡流检测方法，探头在管内轴向推进速度应≤0.5 m/s，以保证缺陷检出率。

**压力试验：**定期检验如无特殊情况，一般不要求进行压力试验；但当锅炉发生重大修理或改造、检验中发现重大结构缺陷修复后、或距上次耐压试验超过6年时，应在宏观检查 and 无损检测合格后进行水压试验；水压试验压力和判定标准应依据TSG G0001的规定执行，试验用水温度应在5℃~70℃范围内，且不低于环境温度的5℃。

**检验记录要求：**本体检验的所有检查结果应现场填写检验记录，记录内容应包括检验日期、检验项目、检验方法、检验位置（含坐标标注图）、检验结果（合格/发现缺陷/超标）和检验人员签字；发现缺陷时应拍照存档，并在工件草图上标注缺陷位置和尺寸；检验记录一经签字不得随意修改，需更正时应划改并注明更正原因和更正人姓名。

## 7 受压元件无损检测技术要求

### 7.1 超声检测技术要求

锅炉受压元件超声检测（UT/PAUT）应符合以下技术要求，检测灵敏度应保证能可靠检出本文件规定的最小当量缺陷：

**试块校准：**超声检测前应使用GB/T 11259规定的校准试块（含CSK-IA或等效试块）进行声速、探头入射点和折射角的校准；相控阵超声检测使用的对比灵敏度试块应与被检工件材料声阻抗一致，试块中的参考反射体（横孔或平底孔）应能代表实际工件中的目标缺陷类型；DAC曲线应在检测实施的同一温度条件下建立，当工件温度与校准温度差异超过14℃时，应重新进行灵敏度校准。

**扫查方式：**锅炉对接焊缝超声检测应实施完全覆盖焊缝中心线两侧全截面的扫查；扫查步距（索引轴方向步进量）应不大于探头有效孔径的10%，相邻扫查线间距应不大于有效孔径的一半；焊缝端



部和坡口面区域（根部未熔合好发区域）应适当增加扫查密度；对于T形接头焊缝，应增加沿焊缝方向的串列扫查，以提高角焊缝区域的检测覆盖率。

## 7.2 射线检测技术要求

锅炉焊缝数字射线检测（DR）的技术要求应满足以下规定：

**检测灵敏度：**DR检测像质计应采用金属丝型（线型）像质计，像质计型号应依据工件透照厚度按相关标准选取；应能清晰显示的最细丝径对应的灵敏度等级应不低于NB/T 47013.2或等效标准规定的AB级要求；图像评定人员应能在工件图像中明确辨认出所要求的像质指数，否则应查明原因后重新进行射线检测。

**透照参数：**X射线焦距（FDD）与工件厚度的比值（L2/L1比值）应满足几何不清晰度 $U_g \leq 1/3$ 的最小可检孔（相应线径所对应的不清晰度限值）的要求；DR图像对比度灵敏度应通过选用适当的管电压（在满足穿透能力的前提下尽量采用低管电压）来保证；曝光时间应确保平均灰度值位于探测器动态范围的50%~70%区间内，以保证图像的线性响应和灰度层次。

**图像评定：**DR图像评定应由取得射线检测Ⅱ级资格的人员在专用无损检测图像分析软件上进行；评定时应对图像进行适当的数字增强处理（窗宽/窗位调节、边缘增强等），但不得使用可能掩盖缺陷的滤波处理；评定结论（合格/返修）应依据NB/T 47013.2或等效标准中的缺陷分级判定方法确定，评定记录应注明缺陷位置、尺寸和性质。

## 7.3 磁粉与渗透检测技术要求

**磁粉检测（MT）**用于锅炉受压元件表面及近表面缺陷的检测，应符合GB/T 15822.1的规定：

**磁化技术：**应根据工件形状和被检区域选择适当的磁化方式（磁轭法、线圈法、通电法等）；对于焊缝表面裂纹检测，通常采用交流磁轭磁化；磁化时磁场方向与预期缺陷方向（通常为焊缝横向裂纹）的夹角应在 $45^\circ \sim 90^\circ$ 范围内，为检测所有方向的缺陷，应进行两个相互垂直方向的磁化检测；磁轭极间距不应超过200 mm，有效磁化宽度（以轭间距的1/4和3/4为边界）两侧各约50 mm区域应重叠覆盖。

**缺陷评定：**磁粉检测发现的相关显示（磁痕）应依据GB/T 15822.1的规定进行分类评级；线形显示（长宽比 $>3:1$ 的磁痕）通常代表裂纹或成排气孔，应视为最严重等级的缺陷；显示尺寸评定应在磁粉施加后磁痕稳定后（通常30秒内）完成，避免磁痕扩散导致尺寸误判；所有相关显示均应拍照存档，并在工件图上标注位置和尺寸。

**渗透检测技术要求：**渗透检测用于不具备磁性的奥氏体不锈钢或有色金属受压元件表面缺陷检测；预清洗应彻底去除被检表面的油脂、氧化皮和涂层；渗透时间（停留时间）在 $10^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ 温度条件下通常为10 min~60 min，低温条件下应延长渗透时间；显像时间（显像剂施加至观察的等待时间）通常为10 min~60 min；显示分级方法应依据相关标准规定执行，发现长度大于1.5 mm的线形显示，或密集点状显示（每50 mm范围内超过5个点）时，应判定为超标显示。

**覆盖检测：**当受压元件同一部位同时采用磁粉检测和渗透检测时，应先进行磁粉检测后进行渗透检测，以避免残磁影响渗透检测效果；两种方法的检测范围不应相互替代，均应按规定比例实施，检验报告中应分别注明两种方法的检测结果。

**后清洗：**磁粉检测结束后，应清除工件表面的磁粉和磁化装置，避免残余磁场对锅炉运行产生影响；渗透检测结束后，显像粉末应在报告评定完成后清除；清洗介质的残留不得对被检工件材料造成腐蚀性损害。

## 8 检验数据管理与分析

### 8.1 检验数据采集与传输

锅炉定期检验数字化检测产生的全部数据应通过安全可靠的方式采集、传输和存储。现场数据采集宜采用平板电脑或专用数据采集终端，通过无线网络或有线连接实时上传至检验数据管理系统。数据传输应采用加密通道（不低于TLS 1.2标准），防止数据在传输过程中被篡改或截获。

检验数据采集系统应具备以下功能：

- a) 支持多种检测设备数据格式（DICOM、PDF/A、CSV、设备专用格式等）的统一导入，并自动提取关键参数（检测位置、设备编号、检测日期、检测人员）与检验记录关联；

- b) 对数字图像和波形数据应用哈希值（SHA-256）计算，并将哈希值与原始数据关联存储，实现数据完整性核验；任何数据文件的修改均会导致哈希值变化，从而自动触发告警；
- c) 支持多用户在线协作（复核人员可在线标注和审批检测报告），同时确保原始数据的不可修改性，所有标注和审批意见以叠加层形式保存，不改变原始图像数据。

## 8.2 腐蚀趋势分析与剩余寿命评估

检验机构应建立锅炉检验数据管理平台，对历次检验测厚数据进行纵向对比分析，计算各测厚点的腐蚀速率，依据GB/T 26610.1—2011规定的方法评估承压元件剩余寿命，为确定下次检验周期提供数据支撑：

腐蚀速率计算：腐蚀速率  $CR$  (mm/a) =  $(t_1 - t_2) / \Delta t$ ，其中 $t_1$ 为上次检验测量壁厚（mm）， $t_2$ 为本次检验测量壁厚（mm）， $\Delta t$ 为两次检验时间间隔（年）；同一部位多次测量数据宜采用线性回归分析获得最佳估计腐蚀速率和预测置信区间；腐蚀速率超过0.5 mm/a时，应在检验报告中特别标注并建议缩短检验周期。

最小允许壁厚核算：应依据GB 150.1—2011第5章（受压元件强度计算）或GB/T 9222的规定，按实际运行参数（工作压力、工作温度）重新核算每处测厚点对应的受压元件最小允许壁厚 $t_{min}$ ；若实测壁厚 $t$ 与 $t_{min}$ 之差（腐蚀裕量）除以腐蚀速率，所得预期寿命不足2年，应建议将下次检验周期缩短至不超过1年。

数据趋势可视化：检验数据管理平台应提供测厚点数据的趋势图（横轴为检验时间，纵轴为壁厚测量值）、腐蚀速率分布热力图及剩余寿命分布图，支持检验人员直观判断腐蚀严重区域；平台应能依据用户设定的壁厚预警阈值自动推送告警通知，提醒检验机构和使用单位及时关注高风险部位。

历史数据管理：检验数据平台中的历史检验记录（每台锅炉自首次检验起的所有检验数据）应永久保存，不得因更换检验机构、设备更新或系统升级而丢失；历史数据导出格式应采用通用格式（CSV、XML或PDF/A），确保数据可迁移性；检验档案数字版与纸质版发生不一致时，以经检验人员签字确认的数字版为准，并追溯差异原因。

缺陷数据库：检验机构应建立锅炉缺陷统计数据库，按锅炉类型、制造年代、使用介质、运行参数对典型缺陷（腐蚀、裂纹、焊接缺陷）进行分类统计；缺陷数据库中的典型缺陷图像（DR图像、PAUT截面图、磁痕照片）应以匿名化方式整理，用于检验人员培训和新方法验证参考，数据库应每年更新一次。

## 9 检验报告与结论判定

### 9.1 检验结论分级

锅炉定期检验结论应依据检验发现的缺陷类型、位置、数量和危险程度，按以下三级标准进行判定：

- a) 符合要求：检验未发现需修复处理的缺陷，或发现的缺陷已予以评估确认不影响安全运行，锅炉可继续在核定参数下使用至下次检验周期；检验结论为"符合要求"时，检验机构应出具定期检验合格证书，注明下次检验日期；
- b) 基本符合要求（整改后复检）：检验发现超标缺陷，但缺陷性质和程度未造成立即停用的紧迫危险，使用单位可在限期内（通常不超过3个月）完成整改和修复；整改完成后应重新提请检验，经复检确认整改有效后方可继续使用；复检项目应至少包含原超标缺陷的再次检测及相邻区域的扩大检测；
- c) 不符合要求：检验发现严重危及安全的缺陷（如锅筒或集箱上发现贯穿性裂纹、实测壁厚低于最小允许壁厚、安全阀失效等），应立即责令停用，由使用单位依法办理停用登记手续，并在检验报告中明确说明停用原因；停用锅炉修复后需重新申报检验，经检验合格后方可恢复使用。

### 9.2 缺陷超标判定方法

各类无损检测缺陷的超标判定应依据以下规定执行：

超声及相控阵超声检测缺陷评级：缺陷反射当量（dB值与DAC曲线的差值）及缺陷指示长度应依据NB/T 47013.3（或等效标准）的规定进行综合评级，I级为合格，II级～IV级为超标；锅炉受压元件

焊缝超声检测合格级别一般不低于Ⅱ级；发现危险性缺陷（如未熔合或裂纹，无论当量大小）时应直接判定为不合格，不得以低当量理由免于处理。

射线检测缺陷评级：DR图像的缺陷评级应依据NB/T 47013.2（或等效标准）的规定，锅炉焊缝射线检测合格级别一般不低于Ⅱ级；气孔评定时，单个气孔直径、气孔在评定区域内的占有率（点状缺陷评级）及与相邻缺陷的间距均应满足标准要求；裂纹、未熔合类缺陷无论大小均不允许存在。

磁粉及渗透检测结果评定：线形显示（长度 $\geq 2$  mm）、成排点状显示（4个以上间距 $< 2$  mm的显示）或显示集中区域（在 $6.5\text{ cm}^2$ 范围内多于3条独立线形显示）均应判定为超标；超标显示的处置方式（打磨去除后复检、焊接修复）应记录在检验记录和最终报告中。

### 9.3 检验报告出具

锅炉定期检验报告应包含以下必要内容，格式应符合检验机构质量管理体系文件的规定：

a) 基本信息：锅炉注册号、设备名称、型号、制造单位、制造日期、使用单位名称和地址、锅炉安装位置、本次检验日期、检验机构名称和资质编号；

b) 检验内容摘要：本次检验实施的检验项目清单（宏观检查、测厚、超声检测、射线检测、磁粉/渗透检测等），各项目的检测方法、检测比例、检测数量及依据标准（应注明本文件和相关GB/NB标准代号）；

c) 检验发现：以表格形式列出本次检验发现的所有异常情况，包括缺陷类型、位置（以工件编号、检测坐标或文字描述明确标注）、尺寸参数和缺陷评级；无缺陷发现时应明确记录“未发现超标缺陷”；

d) 结论与建议：依据9.1条三级分级原则出具明确的检验结论；对于发现缺陷的情形，应提出具体的整改建议或修复方案建议；给出下次检验建议日期（不超过法规规定的检验周期）；必要时对运行参数提出限制性建议。

检验报告应由主检检验师（特种设备检验师）签字，并加盖检验机构公章；报告签发后如需更正，应出具勘误报告，说明更正内容，原报告和勘误报告均应纳入档案保存；检验报告正本应提交使用单位，副本由检验机构留存，保存期限不少于2个检验周期或6年（取较长者）。

## 10 检验现场管理与档案

### 10.1 检验现场安全要求

锅炉定期检验现场安全管理应符合以下规定，确保检验人员人身安全和设备安全：

a) 进入锅炉内部检查前，必须确认锅炉已完全冷却（锅筒温度低于 $50^{\circ}\text{C}$ ）、降压至常压、排尽工质、切断燃料供应并挂“禁止操作”标牌；进入密闭空间前应进行氧含量和有毒气体浓度检测，氧含量应保持在 $19.5\%\sim 23.5\%$ 范围内，有毒气体浓度不应超过相应职业接触限值；

b) 射线检测现场应依据TSG Z0003和GB 18871《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》设置辐射安全警戒区，悬挂辐射警告标志，无关人员撤离警戒区后方可实施照射；射线检测操作人员应佩戴个人剂量仪，现场监督人员应使用便携式辐射剂量率仪进行实时监控；

c) 高处作业（ $2\text{ m}$ 及以上）检验人员应系挂安全带，脚手架应由使用单位按规定搭设并验收；检验设备及工具在高处作业时应防坠落；进行超声检测时，探头连接线应整理固定，防止绊倒操作人员；

d) 检验现场应配置应急急救箱，明确应急联系人和联系方式；发生安全事故时，应立即停止检验工作，组织人员撤离，并立即向检验机构和使用单位负责人报告。

### 10.2 人员资质与职责分工

参与锅炉定期检验数字化检测的人员资质和职责如下：

项目负责人：应持有特种设备检验师（锅炉）证书，负责制定检验方案、组织协调检验工作、审核检验报告并签字确认；项目负责人应参加每次锅炉现场检验的启动会议，明确检验范围和重点项目，不得委托无资质人员代行项目负责人职责。

无损检测人员：超声检测（UT/PAUT）和射线检测（RT/DR）人员应取得相应检测方法Ⅱ级资格（依据NB/T 47013.1相关规定）；磁粉检测和渗透检测人员应取得相应检测方法Ⅰ级及以上资格；检验人员在更换检测方法或使用新型检测设备（如首次使用PAUT替代常规UT）时，应完成专项培训并经机构内部确认合格后方可独立实施检测。

复核人员：无损检测结论（缺陷评级、合格/不合格判定）应由与检测操作人员不同的具有相应方法Ⅱ级及以上资格的独立人员进行复核；复核人员的意见应记录在检验记录中，存在分歧时应提交项目负责人裁决并在报告中说明处理结果。

### 10.3 检验档案管理

锅炉定期检验档案应实行“一锅一档”制度，档案内容包括：

a) 每次定期检验：检验委托书、检验方案、原始检验记录（含所有无损检测原始数据和图像）、检验报告（含缺陷位置标注图）、复核记录、整改通知单（如有）及复检记录；

b) 计量证明文件：检验所用计量器具的计量检定证书（有效期内，且覆盖检验实施日期）或校准记录；

c) 人员资质证明：承担本次检验的各类检验人员（检验师、无损检测人员）的资质证书复印件；

d) 设备基础档案：首次检验时建立，包含锅炉设计文件、制造质量证明文件、安装监督检验报告及初次检验报告；以后每次检验时归档当次检验记录。

### 10.4 缺陷处置与复检要求

检验发现超标缺陷或可疑缺陷后，使用单位和检验机构应按以下程序处置：

缺陷确认与评估：对于初次检测发现的可疑显示，应采用不同检测方法（如先DR发现缺陷迹象，再用PAUT精确定位）进行验证，确认缺陷的性质、位置、尺寸和分布规律；必要时可提取材料样品进行金相分析，以确认缺陷成因（氢致裂纹、腐蚀疲劳、蠕变损伤等），为制定修复方案提供依据；缺陷分析评估报告应作为检验档案的重要组成部分单独保存。

修复后复检要求：对焊接修复部位，应在修复完成并消除残余应力（如有要求）后，重新进行与原检验相同方法和同等灵敏度的无损检测；修复区域及其两侧各不少于50 mm的热影响区范围均应纳入复检范围；复检合格后，检验机构方可更新检验结论，签发合格证书；复检结果和修复记录应纳入设备档案长期保存。

附 录 A  
(规范性)  
锅炉定期检验数字化检测记录表

表 A.1 锅炉定期检验数字化检测记录表

检验类别	检验项目	检验内容与技术要求	备注
A 基本信息	A1 设备信息	锅炉注册号: _____ 锅炉型号: _____ 制造单位: _____ 额定工作压力: ____MPa 额定温度: ____℃ 使用登记单位: _____	核对使用登记证信息
	A2 检验基本信息	检验日期: ____年__月__日 检验类别: <input type="checkbox"/> 年度检验 <input type="checkbox"/> 全面检验 检验机构: _____ 检验依据: 本文件 + TSG G0001 项目负责人: _____ (资质证号: _____)	填写所有检验人员信息
B 宏观检查	B1 外观与整体状态	锅筒腐蚀情况: <input type="checkbox"/> 无异常 <input type="checkbox"/> 发现腐蚀 (位置: ____ 程度: ____) 焊缝外观: <input type="checkbox"/> 无裂纹/变形 <input type="checkbox"/> 发现异常 (____) 支撑与固定: <input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 松动/移位 安全附件: <input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 缺失/损坏 (____) 检查结论: <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 需进一步检测	拍照存档, 标注异常位置
	B2 受热面管束	水冷壁外观: <input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 减薄/腐蚀 (____) 过热器管束: <input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常 (____) 省煤器管束: <input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常 (____) 内部水垢积聚: <input type="checkbox"/> 无明显积聚 <input type="checkbox"/> 存在 (厚度 ≈ ____mm)	腐蚀区域需超声复验
C 超声测厚	C1 壁厚测量	测厚设备型号: _____ (校准有效期至____) 参考壁厚 (设计值): ____mm 最小允许壁厚: ____mm 测厚点数量: ____ 最小实测壁厚: ____mm (位置: ____) 腐蚀速率 (mm/a): ____ 预计剩余寿命: ____年 壁厚符合要求: <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 (需进一步评估)	依据GB 150.1—2011核算t <sub>min</sub>
D 无损检测	D1 超声/相控阵检测	检测方法: <input type="checkbox"/> 常规UT <input type="checkbox"/> PAUT 探头频率: ____MHz 检测仪器型号: _____ 对比试块编号: _____ (符合GB/T 11259—2015) DAC曲线建立: <input type="checkbox"/> 完成 <input type="checkbox"/> 校准偏差记录: ____dB 检测比例: ____% 检测焊缝数量: ____条 超标缺陷数量: ____处 评级最高: ____级 超声检测结论: <input type="checkbox"/> 合格 (I-II级) <input type="checkbox"/> 不合格 (III级及以上)	全波形数据存档备查
	D2 数字射线检测 (DR)	检测设备: _____ (探测器型号: ____) 管电压: ____kVp 管电流: ____mA 曝光时间: ____s 像质计型号: ____ 实现像质指数: ____ 检测比例: ____% 检测焊缝数量: ____条 缺陷类型及数量: <input type="checkbox"/> 无超标 <input type="checkbox"/> 气孔 (____) <input type="checkbox"/> 裂纹 (____) DR图像存储格式: <input type="checkbox"/> DICOM <input checked="" type="checkbox"/> 其他 (____) 射线检测结论: <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格	图像文件编号与报告对应
	D3 磁粉检测 (MT)	检测标准: GB/T 15822.1—2005 磁化方式: <input type="checkbox"/> 交流磁轭 <input type="checkbox"/> 直流磁轭 <input type="checkbox"/> 通电法 磁轭提升力验证: <input type="checkbox"/> 合格 (≥45 N) <input type="checkbox"/> 不合格 检测面积: ____cm <sup>2</sup> 发现显示数量: ____处 超标显示: <input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/> 有 (线形显示长度: ____mm)	所有显示拍照标注位置

检验类别	检验项目	检验内容与技术要求	备注
		磁粉检测结论： <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格	
E 安全附件核验	E1 安全阀	安全阀数量：___个 规格型号：_____ 整定压力（每个）：___MPa 校验日期：___年___月 开启/回座压力实测：___/___MPa 铅封完好： <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 安全阀核验结论： <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 需重新校验	安全阀校验报告存档
	E2 压力表及水位表	压力表量程：___MPa 精度等级：___ 检定有效期至：___ 压力表外观： <input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 损坏/超期 水位表类型： <input type="checkbox"/> 玻璃管式 <input type="checkbox"/> 磁翻柱式 工作正常： <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 安全附件核验结论： <input type="checkbox"/> 全部合格 <input type="checkbox"/> 存在问题（___）	记录铭牌参数
F 综合结论	F1 检验结论	本次检验结论： <input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 基本符合要求（整改期限：___） <input type="checkbox"/> 不符合要求 主要缺陷描述：_____ 整改要求：_____ 下次检验建议日期：___年___月	
	F2 签字存档	主检验师：_____（证号：___）（签字） 复核检验师：_____（证号：___）（签字） 检验日期：___年___月___日 档案编号：_____	报告存档期限≥6年

注：本表适用于锅炉定期检验数字化检测的现场记录，由检验人员逐项填写，各项检测完成后由检验人员和复核人员签字确认，作为检验报告的附件归入锅炉档案。