

团 体 标 准

T/SZS XXXX—202X

电站锅炉承压部件失效分析管理规范

Management specification for failure analysis of pressure-bearing
components in power plant boiler

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

深圳市深圳标准促进会 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 失效分析管理流程 2

 4.1 失效事件内部响应 2

 4.2 失效现场保护 2

 4.3 分析机构选择 2

 4.4 分析计划制定 2

 4.5 重点管控失效分析类型 3

 4.6 失效分析实施 3

 4.7 分析报告出具 3

 4.8 报告审查与应用 3

5 分级管理 4

 5.1 分级标准 4

 5.2 分级管控要求 4

 5.3 分级档案管理 4

6 技术要求 4

 6.1 无损检测 4

 6.2 材料性能测试 5

 6.3 金相分析 5

 6.4 化学成分分析 5

 6.5 应力分析 6

7 人员资质 6

 7.1 失效分析负责人 6

 7.2 检测人员 6

 7.3 使用单位参与人员 6

8 失效分析报告编制 6

 8.1 报告格式 6

 8.2 报告内容 7

附录 A（资料性） 不同失效模式的技术要求 8

参考文献 11

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。

本文件由深圳市特种设备安全检验研究院提出。

本文件由深圳市深圳标准促进会归口。

本文件起草单位：深圳市特种设备安全检验研究院、深圳大唐宝昌燃气发电有限公司、中海油深圳电力有限公司、深圳大学

本文件主要起草人：张杰、李东晖、陈庆勋、赵卓君、吴继权、沈非、周伟军、李毅、黎晓华、孙琦、张居光。

电站锅炉承压部件失效分析管理规范

1 范围

本文件规定了电站锅炉承压部件失效分析的管理流程、分级管理、技术要求、人员资质、报告编制等内容。

本文件适用于额定蒸汽压力不小于 3.8 MPa 的电站锅炉承压部件的失效分析与分级管理。

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，标注日期的引用文件，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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 2039 金属材料 单轴拉伸蠕变试验方法
- GB/T 3075 金属材料 疲劳试验 轴向力控制方法
- GB/T 4336 碳素钢和中低合金钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法（常规法）
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
- GB/T 11170 不锈钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法（常规法）
- GB/T 13298 金属显微组织检验方法
- GB/T 16507.4 水管锅炉 第4部分：受压元件强度计算
- GB/T 20125 低合金钢 多元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法
- DL/T 438 火力发电厂金属技术监督规程
- DL/T 884 火电厂金相检验与评定技术导则
- NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测
- NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测
- NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测
- NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分：渗透检测
- NB/T 47013.6 承压设备无损检测 第6部分：涡流检测

3 术语和定义

3.1

电站锅炉 power plant boiler

生产的蒸气（水蒸气）主要用于发电的锅炉

[来源：GB/T 2900.48—2008，3.1.5]

3.2

承压部件 pressure components

电站锅炉（3.1）上承受内、外压力的部件。

注：包括但不限于锅筒、集箱、主蒸汽管道、再热蒸汽管道、水冷壁管、过热器管、再热器管、省煤器管。

3.3

失效 failure

承压部件（3.2）失去原有承载流体（水或蒸汽）的能力而发生的泄漏，或因结构损坏、性能劣化导致无法满足安全运行要求的现象。

3.4

失效分析 failure analysis

按照既定工作程序，采用必要的检测、试验及分析方法，对失效（3.3）的电站锅炉（3.1）承压部件（3.2）开展综合研判，明确失效模式、剖析失效原因，并提出预防改进措施的技术活动与管理活动。

4 失效分析管理流程

4.1 失效事件内部响应

4.1.1 当电站锅炉承压部件发生失效事件时，使用单位应立即启动内部应急响应机制，第一时间切断失效部件相关系统，必要时停止锅炉运行，防止失效扩大引发次生事故。

4.1.2 使用单位应在失效事件发生后 72 小时内，完成内部初步报告，内容包括失效部件名称、安装位置、失效时间、失效现象（如泄漏状态、部件变形程度）、应急处置措施及初步影响评估（如对发电负荷、生产计划的影响）。

4.2 失效现场保护

4.2.1 使用单位在完成应急处置后，应立即采取现场保护措施（如设置警示标识、封闭失效区域等），阻止无关人员进入，防止失效部件、现场痕迹及相关物证被破坏或移动。

4.2.2 如需进行应急清理，应先对失效现场及部件进行全方位拍照、录像，留存关键物证（如泄漏介质样本、部件表面附着物），再实施必要的清理作业，且详细记录清理过程。

4.3 分析机构选择

4.3.1 使用单位应建立分析机构准入清单，优先选择具备 CMA 检验检测资质或 CNAS 实验室认可资质，近 3 年内完成不少于 10 例电站锅炉承压部件失效分析工程案例，配齐无损检测、金相、力学性能等试验设备的技术服务机构。当区域内无满足案例数量要求机构时，可选用有相应资质的机构并聘请外部行业专家参与技术评审。

4.3.2 选择分析机构时，应核查其技术团队资质（如失效分析负责人职称、检测人员资格证书），并签订正式技术服务合同，明确分析范围、技术要求、报告交付时限、保密义务及双方权责。

4.4 分析计划制定

4.4.1 分析机构接受委托后 3 个自然日内，结合使用单位提供的失效初步报告、部件设计图纸、运行记录（近 6 个月压力、温度、负荷数据）、维护台账等资料，制定失效分析计划。

4.4.2 分析计划应包含分析目的（如明确失效原因、评估风险）、分析方法（如现场勘查、无损检测、理化试验项目）、工作进度（分阶段明确现场检测、实验室试验、报告编制时限）、人员分工（明确现场检测、试验操作、报告审核责任人）及质量控制措施（如数据核验流程、样品保存要求）。

4.4.3 分析计划应经使用单位技术部门审核确认，若涉及高风险部件（如锅筒、主蒸汽管道）或频繁失效部件，使用单位应组织内部专家（如锅炉技术、金属材料领域）参与计划评审，确认后方可实施。

4.5 重点管控失效分析类型

4.5.1 高安全风险部件

锅筒、集箱、主蒸汽管道、再热蒸汽管道等部件失效可能引发重大安全事故，此类分析应由使用单位设备管理部门牵头，全程参与现场勘查、样品采集、试验过程，确保分析深度满足安全管控需求。

4.5.2 频繁同类失效部件

若同一型号过热器管、再热器管等部件，1年内发生3次及以上同类失效（如爆管、泄漏），应纳入重点管控，分析时应增加同类部件抽样检测（抽样比例不低于5%，且不少于3根），排查是否存在系统性问题（如设计缺陷、材质不匹配）。

4.5.3 影响运行稳定性部件

水冷壁、省煤器等影响锅炉热效率或水循环的部件失效，分析时应结合锅炉运行工况（如负荷波动频率、水质指标），评估失效对锅炉整体运行的影响，提出针对性的运行优化建议。

4.6 失效分析实施

4.6.1 现场勘查

分析机构按计划开展现场勘查，详细记录失效部件位置、失效形态（如裂纹走向、腐蚀面积、变形量），测量关键尺寸（如壁厚、外径），并与设计尺寸对比，同时核查周边部件状态（如是否存在振动、冲刷痕迹）。

4.6.2 样品采集与检测

如需取样，应在使用单位见证下，选取失效部件典型部位（如裂纹起裂处、腐蚀严重区域）及正常部位（用于对比）取样，取样数量及位置应满足检测需求；现场开展无损检测（如超声检测内部缺陷、磁粉检测表面裂纹），实验室开展化学成分分析（验证材质符合性）、力学性能试验（拉伸、冲击、硬度测试）及金相分析（观察微观组织劣化情况）。

4.6.3 过程沟通

分析机构每5个工作日向使用单位同步分析进展，若发现关键异常（如部件材质与设计不符），应立即暂停分析，与使用单位沟通后调整分析方案；使用单位应及时提供补充资料（如历史检修报告、同类部件运行数据），保障分析顺利推进。

4.7 分析报告出具

4.7.1 分析机构应在完成所有检测、试验后15个工作日内，出具失效分析报告，报告应经分析机构授权人员审核、批准，加盖公章或检验专用章后方可交付。

4.7.2 报告内容应完整覆盖失效事件概述（含部件基本信息、失效过程）、分析过程（附现场照片、检测数据图表、试验记录）、失效原因分析（明确直接原因如材质劣化、根本原因如维护不到位）、风险评估（对同类部件及锅炉运行的潜在风险）、结论与建议（具体整改、预防措施）；重点管控部件的失效分析报告，应额外增加同类部件排查方案及长效管控建议。

4.8 报告审查与应用

4.8.1 使用单位收到报告后5个工作日内，应组织设备管理、运行、检修部门开展联合审查，重点核查检测数据真实性（如核对原始检测记录与报告数据的一致性）、分析逻辑合理性（如原因与现象是否

匹配)、建议可行性(如整改措施是否符合现场条件)。对重点管控部件的失效分析报告,必要时可邀请外部专家(如行业协会、科研院所)参与审查。

4.8.2 审查通过后,使用单位应在10个工作日内制定整改落实计划,明确整改责任部门(如检修部门负责部件更换、运行部门负责规程优化)、整改措施(如更换合格材质部件、调整水质控制指标)及完成时限;整改完成后,应开展效果验证(如对更换部件进行无损检测、跟踪运行3个月无异常),并记录验证结果。

5 分级管理

5.1 分级标准

5.1.1 一级管理

涉及高安全风险部件(锅筒、集箱、主蒸汽管道、再热蒸汽管道)失效、可能导致锅炉长期停机(超过72小时)或引发安全事故的失效事件,以及频繁同类失效(1年内3次及以上)或经分析判定存在系统性问题(如材质不符)的情况,纳入一级管理。

5.1.2 二级管理

影响运行稳定性部件(水冷壁管、省煤器管、过热器管、再热器管)首次失效、一般部件(如下降管、连接管道)失效,以及虽有同类失效但未达到一级管理标准的情况,实行二级管理。

5.2 分级管控要求

5.2.1 一级管理要求

由使用单位分管设备的领导牵头,成立专项小组(含设备、运行、安全部门人员),全程监督失效分析及整改;分析报告应留存纸质版及电子版档案,保存期限不少于锅炉剩余使用寿命;整改完成后6个月内,至少每月开展同类部件运行状态检查,形成检查记录。

5.2.2 二级管理要求

由使用单位设备管理部门负责人牵头,跟踪失效分析及整改;将分析报告及整改记录纳入锅炉技术档案,保存期限不少于5年;整改完成后3个月内,开展1次同类部件专项检查,确认无异常后恢复常规管理。

5.3 分级档案管理

5.3.1 使用单位应建立分级管理档案,一级管理档案应包含失效初步报告、委托合同、分析计划及评审记录、检测原始数据、分析报告及审查意见、整改计划及落实记录、后续跟踪检查记录;二级管理档案可简化留存分析报告、整改记录及专项检查记录。

5.3.2 档案应专人管理,采用纸质与电子双存档模式,电子档案应加密存储,纸质档案应专柜存放,便于后续追溯查阅;档案借阅应履行审批手续,不应擅自复制、外传敏感信息(如部件设计参数、检测数据)。

6 技术要求

6.1 无损检测

6.1.1 检测方法选择

表面缺陷检测优先采用磁粉检测（适用于铁磁性材料，如碳钢、低合金钢部件）或渗透检测（适用于非铁磁性材料，如奥氏体不锈钢部件）分别按 NB/T 47013.4 和 NB/T 47013.5 执行；内部缺陷检测优先采用超声检测；对于薄壁部件（厚度 $<6\text{mm}$ ）或超声检测受限部位，可按 NB/T 47013.2 执行，采用射线检测作为补充。

6.1.2 检测要求

6.1.2.1 无损检测人员应持有 II 级及以上对应项目资格证书且证书有效，检测设备经过计量检定，检测流程、表面处理、缺陷标识按照 NB/T 47013.2~NB/T 47013.6 执行。

6.1.2.2 针对特定失效模式的无损检测要求，应符合附录 A 的规定。

6.2 材料性能测试

6.2.1 力学性能测试

拉伸试验按 GB/T 228.1 执行，获取屈服强度、抗拉强度、断后伸长率，试样数量不少于 2 个；冲击试验按 GB/T 229 执行，试样数量不少于 3 个；硬度试验按 GB/T 231.1 执行，选取部件每个不同区域不少于 3 个测点。测试结果应与设计材质标准对比，判断性能劣化程度。

6.2.2 蠕变/疲劳性能测试（按需）

6.2.2.1 对长期在高温高压工况运行的部件（如主蒸汽管道、过热器管），若怀疑蠕变或疲劳失效，应按 GB/T 2039 开展蠕变试验或按 GB/T 3075 开展疲劳试验，获取蠕变曲线或 S-N 曲线，评估部件剩余寿命。

6.2.2.2 针对特定失效模式的材料性能测试要求，应符合附录 A 的规定。

6.3 金相分析

6.3.1 样品制备

从失效部件及正常部件（对比用）上取样，试样尺寸和制备过程应符合 GB/T 13298 的规定。

6.3.2 分析要求

6.3.2.1 在金相显微镜下观察，按 GB/T 6394 评级并记录晶粒大小，同时检查组织是否存在脱碳、蠕变孔洞等损伤特征，拍摄典型区域显微照片；可优先与该部件出厂原始金相组织进行比对，无原始金相资料时，可采用同批次未失效部件或同牌号合格新管材金相组织作为参照基准，按照 DL/T 438、DL/T 884 的组织老化评判要求，综合判断材料是否发生组织劣化。

6.3.2.2 针对特定失效模式的金相特征识别与分析要求，应符合附录 A 的规定。

6.4 化学成分分析

6.4.1 分析方法

优先采用直读光谱仪，按 GB/T 4336 或 GB/T 11170 的要求对部件表面进行化学成分分析，或按 GB/T 20125 的要求从部件上取样开展化学分析，分析元素应覆盖设计材质关键合金元素（如 Cr、Mo、Ni、C）及杂质元素（如 S、P）。

6.4.2 结果判定

6.4.2.1 将分析结果与设计材质标准对比，判断是否存在成分超标、材质错用（如材质不符）等问题。

6.4.2.2 针对特定失效模式的化学成分分析专项要求，应符合附录 A 的规定。

6.5 应力分析

6.5.1 分析方法选择

对结构复杂部件（如集箱接管部位），采用数值模拟法（如 ANSYS、ABAQUS 软件）建立三维模型，输入实际运行压力、温度参数，计算部件应力分布；对简单结构部件（如直管段），可采用理论计算法，按 GB/T 16507.4 计算壁厚应力；如需验证，可采用实验测试法（如应力应变仪）现场测量部件实际应力。

6.5.2 分析要求

6.5.2.1 应力分析应明确计算依据（如标准公式、软件参数设置），输出应力云图、最大应力值及位置，判断最大应力是否超过材料许用应力，为失效原因（如应力集中导致裂纹）提供依据。

6.5.2.2 针对疲劳及蠕变等失效模式的应力分析要求，应符合附录 A 的规定。

7 人员资质

7.1 失效分析负责人

7.1.1 应具备高级工程师及以上职称，且从事电站锅炉相关技术工作不少于 5 年。

7.1.2 熟悉电站锅炉承压部件的设计、制造、安装、运行和维护等方面的知识，具有丰富的失效分析经验。

7.2 检测人员

7.2.1 无损检测人员应持有相应的无损检测资格证书，且证书在有效期内。

7.2.2 材料性能测试、金相分析、化学成分分析等检测人员应具备相关专业知识和技能，经过专业培训并考核合格。

7.3 使用单位参与人员

7.3.1 现场协调人员

应具备电站锅炉运行或维护工作经验不少于 3 年，熟悉锅炉系统结构，能协调内部资源（如检修人员、安全监护）配合分析机构开展现场工作，且具备基本的安全防护知识（如进入受限空间作业要执行作业许可制度、落实安全监护）。

7.3.2 技术对接人员

应为使用单位设备管理或技术部门人员，具备中级工程师及以上职称，熟悉部件设计、运行参数，能准确提供分析所需资料（如运行记录、维护台账），并参与分析计划评审、报告审查，做好技术沟通衔接。

8 失效分析报告编制

8.1 报告格式

8.1.1 失效分析报告应采用统一的格式，包括封面、目录、正文、附录等部分。

8.1.2 封面应注明报告名称、分析机构名称、报告日期等信息；目录应清晰列出报告的章节内容及页

码。

8.2 报告内容

8.2.1 失效事件概述

包括电站锅炉基本信息、失效部件信息、失效发生时间、失效现象描述等。

8.2.2 分析过程与方法

详细介绍采用的分析方法、检测手段、测试项目及实施过程。

8.2.3 失效原因分析

通过对检测数据和现象的分析，得出失效机理，据此判断失效的直接原因和间接原因。

8.2.4 结论与建议

明确失效分析的结论，提出针对性的改进建议和预防措施。

8.2.5 附录

包括检测报告、测试数据、照片、图表等相关资料。

附 录 A
(资料性)
不同失效模式的技术要求

A.1 腐蚀失效模式

A.1.1 失效特征识别

部件发生腐蚀失效时，常表现为表面点蚀、整体或局部壁厚均匀减薄、晶间腐蚀裂纹，严重时会引起介质泄漏，典型如省煤器管内壁氧腐蚀造成的泄漏。排查时首先开展现场外观检查，记录腐蚀区域的位置、面积及腐蚀产物颜色（红棕色产物多为氧腐蚀、灰黑色硫化物产物为硫化物腐蚀），并同步采集腐蚀产物试样。

A.1.2 无损检测

A.1.2.1 优先采用超声测厚（见 NB/T 47013.3）检测部件壁厚减薄情况，检测点应覆盖腐蚀区域及周边正常区域（对比减薄量），测量精度不低于 0.1 mm；对减薄量超过设计壁厚 10% 的区域，应加密检测点（每 100 mm² 不少于 1 个点）。

A.1.2.2 对怀疑存在晶间腐蚀裂纹的部件（如奥氏体不锈钢过热器管），采用渗透检测（NB/T 47013.5）排查表面开口裂纹，或采用涡流检测（见 NB/T 47013.6）排查表面及近表面裂纹。检测前应彻底清除腐蚀产物（宜采用机械打磨，并注意避免损伤部件基体）

A.1.3 理化试验

A.1.3.1 腐蚀产物分析

采用 X 射线衍射仪（XRD）判定腐蚀产物晶态物相，或采用扫描电子显微镜-能谱仪（SEM-EDS）分析微区形貌及元素分布，必要时采用 X 射线光电子能谱仪（XPS）分析表面元素化学价态，结合已有锅炉水质报告（如 pH 值、溶解氧、Cl⁻ 浓度等），判断腐蚀类型（如氧腐蚀、酸性腐蚀、氯离子应力腐蚀等）。

A.1.3.2 化学成分分析

采用直读光谱仪（见 GB/T 4336、GB/T 11170）检测部件基体化学成分，重点核查耐腐蚀元素含量是否符合设计要求（如 304 不锈钢的中 Cr 含量需 ≥18%），排除材质错用导致的腐蚀加速。

A.1.3.3 显微组织分析

从腐蚀区域取样，制备金相试样，观察显微组织，判断是否存在晶间腐蚀（晶界出现腐蚀沟槽）、选择性腐蚀（某一相被腐蚀），对比正常区域组织，明确腐蚀对基体的破坏程度。

A.1.4 介质分析

采集锅炉给水、蒸汽或炉水样本，利用检测仪器检测水质指标（如溶解氧、pH 值、Cl⁻ 浓度等），分析介质成分是否超标，判断是否因水质控制不当引发腐蚀。

A.2 疲劳失效模式技术要求

A.2.1 失效特征识别

疲劳失效多发生于部件表面应力集中区域（如集箱接管角焊缝处、焊缝热影响区、弯头背弧部位），裂纹多为横向、单源或多源扩展，宏观断口可见贝壳状弧线。应通过现场拍照记录裂纹位置（是否位于

应力集中区）、走向、长度，测量裂纹深度及开口宽度。

A.2.2 无损检测

A.2.2.1 表面裂纹检测

采用磁粉检测（见 NB/T 47013.4）或渗透检测（见 NB/T 47013.5），重点检测部件应力集中部位（如接管根部、焊缝热影响区、弯头背弧部位），清晰标记裂纹位置及尺寸，对裂纹长度超过 5 mm 的，应记录裂纹扩展方向。

A.2.2.2 内部裂纹排查

对壁厚 ≥ 6 mm 的部件（如主蒸汽管道），采用超声检测（见 NB/T 47013.3）排查内部疲劳裂纹。

A.2.3 理化试验

A.2.3.1 力学性能试验

在远离裂纹的正常母材区或同批备用管样上取样，利用拉伸试验机（见 GB/T 228.1）开展拉伸试验，利用冲击试验机（见 GB/T 229）开展冲击试验，评估材料力学性能是否因长期运行发生劣化。

A.2.3.2 金相分析

从裂纹起源处取样，观察显微组织是否存在晶粒粗大、脱碳层（如过热器管长期高温导致脱碳），判断组织劣化是否加剧疲劳裂纹萌生。

A.2.3.3 疲劳性能测试（按需）

对频繁启停的锅炉部件（如调峰机组过热器管），按 GB/T 3075 开展疲劳试验，获取材料 S-N 曲线，结合实际运行负荷波动数据（如启停次数、负荷变化率），计算疲劳寿命损耗，判断是否因疲劳累积导致失效。如无法获得设计疲劳曲线，可采用同行业公认的材料疲劳数据（如 ASME 或 RCC-M 数据库）。

A.2.4 应力分析

采用数值模拟法（如 ANSYS 软件）建立失效部件三维模型，输入实际运行压力、温度及负荷波动参数，计算裂纹位置的应力分布，明确最大应力值及应力集中系数，判断是否因应力集中（如接管部位结构设计不合理）或交变应力（如频繁启停导致温度循环）引发疲劳失效。

A.3 蠕变失效模式技术要求

A.3.1 失效特征识别

蠕变失效常见于高温高压部件，其演化过程表现为：先在持久应力下产生蠕变变形（如管道鼓包、轴向伸长）；损伤累积至后期，沿晶界形成孔洞并连接成蠕变裂纹（多位于应力集中区，如弯头背弧、焊缝热影响区）；最终发生沿晶断裂。其断口呈粗糙颗粒状，与韧性断口相比，宏观塑性变形特征不明显，但部件整体已发生明显的蠕胀变形（如管径增大、壁厚减薄）。

A.3.2 无损检测

A.3.2.1 变形量检测

采用外径千分尺或激光测径仪测量部件关键部位外径（如鼓包处、直管段），与设计外径对比。计算公式见公式（A.1）。

$$\varepsilon = \frac{D-D_0}{D_0} \times 100\% \cdots \cdots (A.1)$$

式中：
 ε ——膨胀率，以百分数表示；
 D ——实测外径，单位为毫米（mm）；
 D_0 ——设计外径，单位为毫米（mm）。

A.3.2.2 蠕变裂纹检测

采用超声检测（见 NB/T 47013.3）排查内部蠕变裂纹；对表面蠕变裂纹，采用磁粉检测（见 NB/T 47013.4），检测前应清理表面氧化皮。

A.3.3 理化试验

A.3.3.1 金相分析

从失效部件取样，观察显微组织，重点识别蠕变孔洞（如晶界处出现圆形或椭圆形微孔）、二次相析出（如碳化物沿晶界析出），按照 DL/T 438 对蠕变损伤进行评级（1 级～5 级）；按照 DL/T 438 适用版本及 DL/T 884 的相关规定，对蠕变损伤进行评级（重点关注 4 级～5 级严重损伤），识别晶界孔洞及碳化物链状析出特征。

A.3.3.2 硬度试验

利用布氏硬度计（见 GB/T 231.1）在部件上不同特征区域分别选取不少于 3 个测点进行硬度测试并取平均值，对比 DL/T 438 中规定的标准值。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.48—2008 电工术语 锅炉
 - [2] GB/T 30579-2022 承压设备损伤模式识别
 - [3] GB/T 30580-2022 电站锅炉直压承压部件寿命评估技术导则
 - [4] GB/T 30581-2014 电站锅炉承压系统风险管理方法
 - [5] CNAS-CL01：2018 检测和校准实验室能力认可准则
 - [6] TSG 08-2017 特种设备使用管理规则
 - [7] TSG 11-2020 锅炉安全技术规程
-