

ICS 27.100  
CCS F 24



河北省质量协会  
HEBEI ASSOCIATION  
FOR QUALITY

# 团体标准

T/HEBQA XXX-2025

## 火电机组异种钢焊接接头劣化等级评估指南

Specification for Assessing the Early Degradation State of Dissimilar

Steel Welded Joints in Thermal Power Units

(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。

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

河北省质量协会 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 评估方法 .....	2
5 仪器和设备 .....	2
6 检测 .....	2
7 操作步骤 .....	2
8 数据处理 .....	3
9 评估判定 .....	4
10 报告要求 .....	5
附录 A（资料性）分级标准验证案例 .....	6

## 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专利的责任。

本文件由河北省质量协会提出并归口。

本文件起草单位：河北建投能源科学技术研究院有限公司××××××××。

本文件主要起草人：××××××××。

# 火电机组异种钢焊接接头劣化等级评估指南

## 1 范围

本文件给出了火电机组异种钢焊接接头劣化等级评估建议，包括评估方法、仪器设备、检测、所用设备、操作步骤、数据处理与等级判定。

本文件适用于火电机组中工作温度高于等于450℃、工作压力高于等于5.9MPa条件下的异种钢焊接接头劣化等级评估。

本文件不适用于：

——接头表面存在宏观裂纹、严重腐蚀、机械损伤或氧化皮过厚等影响传感器耦合与信号采集的情况；

——焊缝几何形状复杂或空间位置狭窄，导致检测探头无法稳定接触和扫查的接头。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 45380 组织结构损伤非线性超声检测方法

NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测

DL/T 438 火力发电厂金属技术监督规程

DL/T 752 火力发电厂异种钢焊接技术规程

DL/T 869 火力发电厂焊接技术规程

SN/T 5496 金属材料疲劳特性的评价 非线性超声法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**异种钢焊接接头 dissimilar metal welded joint**

由不同合金系统材料（如马氏体钢与奥氏体钢）连接形成的焊接接头。

### 3.2

**非线性超声系数  $\beta$**

表示声波在材料中传播过程中由非线性效应（如微裂纹、位错、微孔洞等）产生的高次谐波与基波幅值比值的物理量，用于表征材料微损伤程度，其随损伤程度变化的典型趋势参见GB/T 45380。

### 3.3

**磁巴克豪森噪声峰值  $M_{max}$**

磁化过程中，由磁畴突然变化产生的瞬态电信号幅值，反映材料的微观组织变化及应力状态。

## 4 评估方法

采用非线性超声技术与磁巴克豪森噪声技术对异种钢焊接接头进行无损检测，采集  $\beta$  和  $M_{max}$  参数值，结合老化时间和材料组织状态进行评估。

## 5 仪器和设备

### 5.1 非线性超声检测仪

发射频率5MHz，接收频率10MHz，配备带通滤波器和数字示波器，信号处理含快速傅里叶变换（FFT）模块，误差不大于 $\pm 5\%$ 。

### 5.2 磁巴克豪森测试仪

定制 MBN 传感器系统，激励频率 $200\text{Hz} \pm 5\text{Hz}$ ，采样频率 $\geq 2\text{MHz}$ ，峰值误差不大于 $\pm 7\%$ 。

### 5.3 温度测量仪器

精确度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，用于监测检测环境温度以确保测试稳定性，推荐使用红外测温仪或热电偶。

## 6 检测

### 6.1 非线性超声

基于声波在材料中传播时，由于微结构非线性（如微裂纹、位错、微孔洞等）引起谐波响应的现象。通过测量二次谐波与基波幅值之比（ $\beta$  系数）来量化劣化程度。

### 6.2 磁巴克豪森噪声

基于交变磁场作用下材料磁畴运动产生的随机电信号，该信号峰值（ $M_{max}$ ）与材料的位错密度、残余应力及微观组织变化密切相关。

## 7 操作步骤

### 7.1 安全要求

进行现场检测时，所有操作应遵守现场安全工作规程。检测前应确认被检部件表面温度已降至安全范围（建议低于 $50^\circ\text{C}$ ），避免烫伤。必要时，操作人员应佩戴防烫伤等个人防护用品。操作人员应根据现场要求正确佩戴安全帽、防护手套、防护鞋等个人防护用品。使用仪器设备时，应确保电源连接稳固可靠，防止发生触电事故。

### 7.2 质量控制与环境要求

#### 7.2.1 环境控制

推荐的检测环境温度为 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ，相对湿度应低于80%。若现场环境无法满足，应在报告中详细记录实际温湿度及其可能对数据造成的影响。检测区域应远离大型电机、变频器、焊接作业等强电磁干扰源。开始检测前，宜使用仪器检查背景电磁噪声水平，确保其不影响信号的有效采集。

#### 7.2.2 数据复核

在同一位置的重复测量（建议不少于3次）结果应具有良好的一致性。若数据离散度过大，应检查耦合状态、表面条件或环境干扰，并重新测量。对于采集过程中出现明显偏离趋势的异常数据点，应立即分析原因（如探头接触不良、瞬时干扰等）并进行重复测量验证。无法复现的异常数据点应在报告中予以说明，并根据评估需要决定是否剔除。

#### 7.2.3 非线性超声检测

表面准备：表面光洁度应符合NB/T 47013.3的要求，试验时涂抹超声耦合剂（如水基凝胶）。

仪器校准：非线性超声检测仪应至少每年由具备相应资质的计量机构进行一次全面校准，校准证书应在有效期内。用于校准的标准试块符合GB/T 45380要求。

检测点选择：选择焊缝中心、熔合区、热影响区和母材各设检测点。

信号采集：使用SNAP系统发送脉冲信号，记录二次谐波，每点重复测试3次，取平均 $\beta$ 值。

#### 7.2.4 磁巴克豪森噪声检测

探头调试：在标准磁性试件上校准MBN传感器，确保激励频率稳定在 $200\text{Hz} \pm 5\text{Hz}$ 。

扫描路径：将探头安装在滑台上，沿焊缝轴向以 $1\text{mm/s}$ 速度匀速移动，覆盖焊缝中心及两侧各 $10\text{mm}$ 区域。

数据提取：启动扫查装置，仪器同步采集并记录沿整个扫描路径的磁巴克豪森噪声信号。为降低随机信号的干扰，应在同一扫描路径上重复扫查测量至少3次。将3次扫描获得的 $M_{\max}$ 分布曲线进行平均化处理，得到一条平滑且更具代表性的 $M_{\max}$ 分布曲线，用于后续的数据分析和绘图。

## 8 数据处理

### 8.1 非线性系数计算

$$\beta = \frac{A_2}{A_1^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$A_2$  ——二次谐波幅度；

$A_1$  ——基波幅度。（照此修改）

### 8.2 $M_{\max}$ 值统计

$M_{\max}$ 随距离或老化时间变化计算：

$$M_{\max}(d) = f(d) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$M_{\max}(d)$  ——距离焊缝中心  $d$  (mm) 处的磁巴克豪森噪声峰值；

$f(d)$  ——空间变化函数，通过试验确定。

$$M_{\max}(t) = M_0 + k(t - T_0) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$M_{\max}(t)$  ——老化时间  $t$  时的磁巴克豪森噪声峰值；

$M_0$  ——初始  $M_{\max}$  值；

$k$  ——变化率；

$T_0$  ——劣化拐点，定义为微观组织显著变化开始的时间。

## 9 评估判定

### 9.1 参数计算

#### 9.1.1 变化量

$$\Delta\beta = \beta(t) - \beta_0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta M_{\max} = M_{\max}(t) - M_{\max 0} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$\Delta\beta$  ——非线性超声系数的绝对变化量；

$\beta(t)$  ——服役时间  $t$  时的非线性超声系数；

$\beta_0$  ——初始非线性超声系数；

$\Delta M_{\max}$  ——磁巴克豪森噪声峰值的绝对变化量；

$M_{\max}(t)$  ——服役时间  $t$  (h) 时的磁巴克豪森噪声峰值；

$M_{\max 0}$  ——初始磁巴克豪森噪声峰值。

#### 9.1.2 相对变化率

评估指标的相对变化率按下列公式计算：

$$\eta_{\beta} = \frac{\Delta\beta}{\beta_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\eta_{M_{\max}} = \frac{\Delta M_{\max}}{M_{\max 0}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$\eta_{\beta}$  ——非线性超声系数的相对变化率；

$\eta_{M_{\max}}$  ——磁巴克豪森噪声峰值的相对变化率。

### 9.2 劣化状态分级标准

将异种钢焊接接头劣化状态划分为三个等级，具体见表1。

各等级阈值的设定经过了实验室加速老化试验和现场应用案例的验证，详细内容参见附录B。

表 1 劣化等级判定

等级	$\eta_{\beta}$ 相对变化率	$\eta_{M_{\max}}$ 相对变化率	状态描述	推荐措施
I 级（安全）	$\leq 15\%$	$\leq 10\%$	微观组织稳定，未见异常	正常运行，12 个月复测
II 级（关注）	15%~40%	10%~30%	存在微损伤发展，需重点关注	加密监测，6 个月复测
III 级（预警）	$> 40\%$	$> 30\%$	明显劣化，存在失效风险	启动检修或更换评估程序

### 9.3 评估流程

按如下步骤开展劣化状态评估：

- 测量：获得服役期  $\beta$  和  $M_{\max}$  实测值；
- 计算：按公式（6）和（7）计算相对变化率；
- 对照分级：结合表 1 确定状态等级，当两个评估指标（ $\beta$  和  $M_{\max}$  的相对变化率）的评估结果不一致时，应以其中较高的劣化等级作为最终判定结论；
- 报告建议：根据评估等级提出运行或维修建议。

### 10 报告要求

检测报告应包含以下内容：

- 检测依据标准编号与名称；
- 样品信息（接头类型、部位、工况、运行小时数、材料牌号如 P91 与 TP347H、焊接方法如 TIG 或 SMAW）；
- 检测方法与设备参数；
- $\beta$  与  $M_{\max}$  原始数据及图表；
- 劣化等级判定及建议。

附录 A  
(资料性)  
分级标准验证案例

### A.1 引言

本附录旨在通过实验室加速老化试验和现场实际应用案例，为正文 9.2 节表 1 中设定的劣化分级阈值提供技术支持和验证依据。

### A.2 实验室加速老化试验验证案例

#### A.2.1 试验方法

选取典型 P91-TP347H 异种钢焊接接头试样，在 625℃ 下进行长时高温加速老化试验。在 0h，1500h，3000h 等关键时间节点取出试样，在相同位置分别进行非线性超声、磁巴克豪森检测和金相组织分析。

#### A.2.2 试验结果

$\beta$  和  $M_{max}$  相对变化率随老化时间的变化曲线图见图 1。

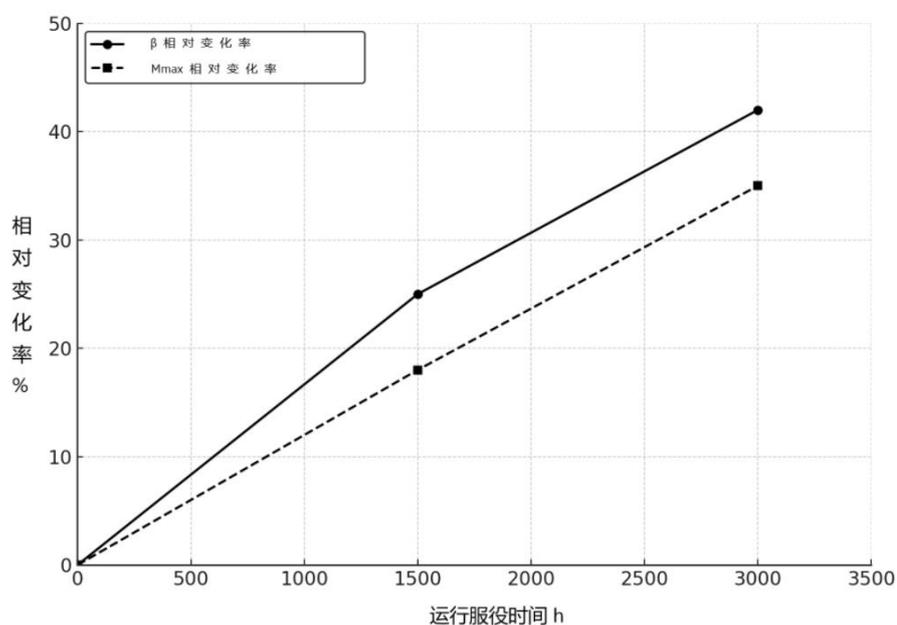


图 1  $\beta$  和  $M_{max}$  时效图

对关键时间节点进行金相检验：

a) 初始阶段 (0h)：组织正常， $\beta$  和  $M_{max}$  值为初始值。

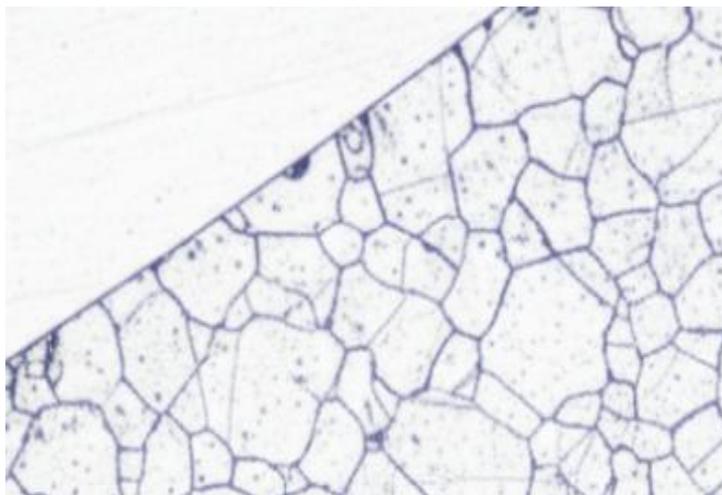


图2 TP347 侧金相显微组织图 (0h)

b) II级关注阶段 (1500h)：金相中观察到碳化物聚集长大，位错密度增加。此时 $\beta$ 相对变化率约为25%， $M_{max}$ 相对变化率约为18%，与II级（关注）的范围（15%~40%/10%~30%）吻合。

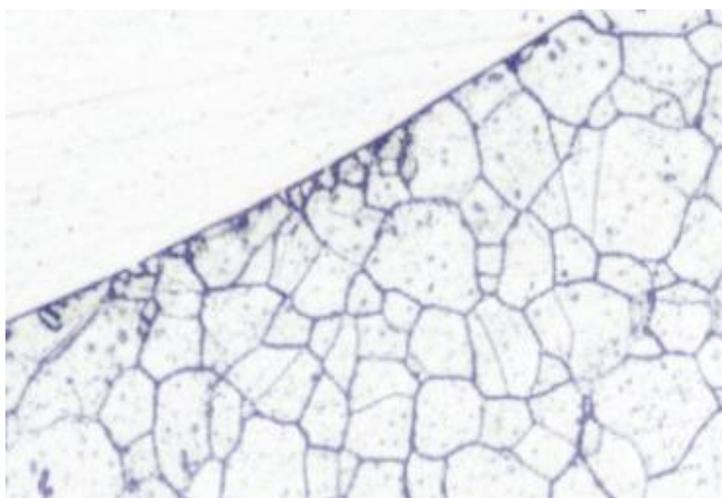


图2 TP347 侧金相显微组织图 (1500h)

c) III级预警阶段 (3000h)：金相中观察到明显的蠕变孔洞在熔合线附近萌生。此时 $\beta$ 相对变化率达到42%， $M_{max}$ 相对变化率达到35%，验证了III级（预警）阈值（>40%/>30%）设定的合理性。

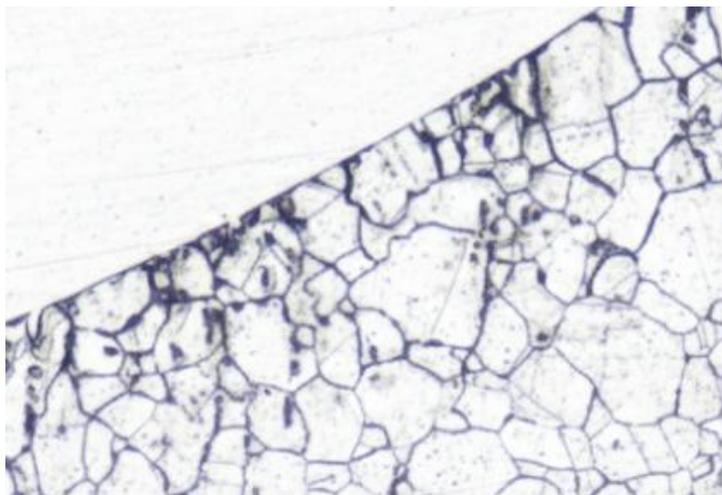


图3 TP347侧金相显微组织图(3000h)

### A.3 现场应用与解剖检验验证案例

#### A.3.1 背景

某电厂3号机组主蒸汽管道P91-TP347H异种钢焊口，已安全服役12万小时。

#### A.3.2 评估过程

根据本标准进行现场检测，测得 $\beta$ 相对变化率为51%， $M_{max}$ 相对变化率为40%。依据表1判定，该焊口处于III级（预警）状态，存在失效风险，建议进行检修验证。

#### A.3.3 解剖验证

机组大修期间，对该焊口进行船形样块取样分析。金相结果显示，在熔合线附近P91侧热影响区已形成蠕变孔洞并有连接成微裂纹的趋势，证实了III级评估结果的准确性。