

ICS 号

中国标准文献分类号

团 体 标 准

T/CMES XXXX—20XX

代替 T/CMES XXXX—20XX

无损检测 结构材料老化损伤和性能劣化 多维电磁检测与评价方法

Non-destructive testing—Nondestructive Evaluation of
Degradation and Aging Damage for Structural Material
based on Integrated Electromagnetic Method

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会标准征求意见稿

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

中国机械工程学会标准征求意见稿

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

目 次	.....
前 言	.....	IV
无损检测 结构材料老化损伤和性能劣化多维电磁检测与评价方法	.....	1
1 范围	.....	1
2 规范性引用文件	.....	1
3 术语和定义	.....	1
3.1 漏磁检测	.....	1
3.2 增量磁导率技术	.....	1
3.3 损伤	.....	1
3.4 定量	.....	1
3.5 多维电磁检测	.....	2
3.6 磁巴克豪森检测	.....	2
3.7 磁适应检测	.....	2
3.8 非线性涡流检测	.....	2
4 方法概要	.....	2
4.1 检测原理	.....	2
4.2 优点	.....	2
4.3 局限性	.....	2
5 安全要求	.....	3
6 人员要求	.....	3
7 检测工艺规程	.....	3
7.1 通用检测工艺规程	.....	3
7.2 检测作业指导书或工艺卡	.....	3
8 检测设备和器材	.....	4
8.1 检测仪器组成	.....	4
8.2 多维电磁检测仪器	.....	4
8.3 磁化装置	.....	4
8.4 多维电磁检测探头装置	.....	4

8.5 计算机系统.....	5
9 对比试样.....	5
9.1 用途.....	5
9.2 一般要求.....	5
9.3 对比试样的损伤.....	5
9.4 对比试样的检测.....	5
10 检测程序.....	5
10.1 检测前准备.....	5
10.2 检测步骤.....	6
11 检测结果的评价.....	6
11.1 辐照、热老化、疲劳等损伤程度的评价.....	6
11.2 力学性能评价.....	6
12 检测记录和报告.....	6
12.1 检测记录.....	7
12.2 检测报告.....	7

中国机械工程学会标准征求意见稿

前 言

本标准依据 T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

本标准起草单位：西安交通大学，北京工业大学，中国核工业集团有限公司核动力运行研究所，爱德森（厦门）电子有限公司，中国科学院金属所，中国机械工业学会无损检测分会，中国特种设备检测研究院。

本标准起草人：陈振茂、陈洪恩、方阳、裴翠祥、解社娟、李勇、王志军、陈晋毅、邓可、刘秀成、祁攀、林俊明、蔡桂喜，沈功田等

考虑到本标准中的某些条款可能涉及专利，中国机械工程学会不负责任何该类专利的鉴别。本标准首次制定。

中国机械工程学会标准征求意见稿

无损检测 结构材料老化损伤和性能劣化多维电磁检测与评价方法

1 范围

本标准规定了使用多维电磁无损检测信号对低碳合金钢、奥氏体不锈钢等典型金属结构材料辐照、热老化、疲劳等老化损伤和力学性能劣化的定量无损评价方法。

本标准适用于核电、化工、特种装备中低碳合金钢、奥氏体不锈钢等典型金属结构材料的辐照、热老化、疲劳状态以及由于老化导致材料屈服强度、断裂韧性、硬度、弹性模量等力学性能劣化程度的定量评价，其他金属材料的检测参照使用。

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 34357 无损检测 术语 漏磁检测

GB/T 12604 无损检测 术语 增量磁导率技术

GB/T 20737 无损检测 术语 损伤

GB/T 20737 无损检测 术语 定量

GB/T 20737 无损检测 通用术语和定义

3 术语和定义

GB/T 34357、GB/T 12604、GB/T 20737 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 34357、GB/T 12604、GB/T 20737 中的某些术语和定义。

3.1 漏磁检测

通过检测与评价金属体内泄露到金属体外磁场的一种无损检测方法。

【GB/T 34357-2017，定义 2.1】

3.2 增量磁导率技术

一种将高频激励磁场叠加到高强度低频交变磁场上的检测技术，适用于评价铁磁性材料的特性。

【GB/T 12604.6-2021，定义 3.5.10】

3.3 损伤

用 NDT 可检测到的，但不一定是拒收的欠缺或不连续

【GB/T 20737-2006，定义 2.11】

3.4 定量

确定需评价的不连续或显示的尺寸

【GB/T 20737-2006, 定义 2.26】

3.5 多维电磁检测 (Integrated Electromagnetic Testing)

融合磁巴克豪森检测、漏磁检测、增量磁导率检测、磁适应检测、非线性涡流检测、脉冲涡流检测等无损检测方法的全部或部分方法的检测信号, 对被检件金属材料损伤和性能劣化进行检测评价的无损检测方法。

3.6 磁巴克豪森检测 (Magnetic Barkhausen Noise Testing)

利用铁磁材料的交流磁化过程中由于磁畴运动产生的高频电磁信号评价被检件的无损检测方法。

3.7 磁适应检测 (Magnetic Adapt Testing)

利用调幅交流磁化过程中被测件主磁通信息评价被检测对象损伤的无损检测方法。

3.8 非线性涡流检测 (Nonlinear Eddy Current Testing)

利用高频谐波磁化过程中涡流信号的非线性谐波成分评价被检测对象损伤的无损检测方法。

3.9 脉冲涡流检测 (Pulsed Eddy Current Testing)

利用脉冲磁化过程中涡流信号的峰值、过零时间等评价被检测对象损伤的无损检测方法。

4 方法概要

4.1 检测原理

低合金钢、奥实体不锈钢等核电装备金属结构材料在辐照、高温、疲劳等环境或载荷作用下会诱发微观损伤, 导致材料电磁物理性能和力学性能发生变化, 进而影响磁噪声、增量磁导率、漏磁、磁适应、非线性涡流、脉冲涡流等多维电磁检测信号。针对待检材料特性, 选择特定多种电磁检测方法, 通过对所得多维电磁检测信号进行特征提取和分析, 结合定标关系或模型, 可以获得辐照剂量、热老化时间、疲劳损伤等老化损伤状态, 以及材料的弹性模量、屈服强度、断裂韧性、硬度等力学性能参量的变化程度。

4.2 优点

多维电磁检测方法的优点:

- a) 对材料微观组织敏感;
- b) 检测信号信息丰富, 可对多种不同损伤进行评价;
- c) 大多数情况下可用于在线检测;
- d) 非接触检测;
- e) 检测设备简单。

4.3 局限性

多维电磁检测方法的局限性:

- a) 不适用于非金属材料;
- b) 检测空间分辨率在毫米级;

- c) 检测对象厚度不能太大。

5 安全要求

多维电磁检测在评估结构材料老化和力学性能劣化时，需要确保相关操作和实施符合一系列安全要求，以保障人员安全、设备完整性和数据准确性。本章没有列出所有的安全要求，在检测过程中的安全要求至少包括以下要素：

- a) 针对高温、辐照等环境可能存在的危险，必须提供适当的防护装备，并确保人员正确佩戴；
- b) 对于潜在的辐射风险，需要实施辐射防护措施，确保工作区域符合相关安全标准；
- c) 检测设备在使用时，应注意磁化设备产生的磁场导致的人体受伤和设备损坏以及其他对电子设备的影响；
- d) 在进行在线检测时，应制定特别的安全措施；
- e) 提供紧急撤离程序和事故应急预案，确保操作人员在危急情况下能够安全撤离。

6 人员要求

执行本标准的检测人员，有必要依据 GB/T 9445 标准或与客户方达成的一致体系，经过资格鉴定与认证。为确保他们能够熟练掌握标准规范和技术要求，雇主或其代理应提供全面的岗位培训，以帮助人员理解和应用检测程序。这些培训内容可能涵盖设备操作、安全规程、报告编写等方面，旨在提升其专业技能和实际操作水平。

7 检测工艺流程

7.1 通用检测工艺流程

低合金钢等铁磁核能结构材料在辐照、高温老化、疲劳等损伤的多维电磁检测的应用单位应按照本标准的要求制定通用工艺流程，其内容至少包括以下要素：

- a) 工艺流程版本号；
- b) 适用范围；
- c) 依据的标准或其他法规文件；
- d) 检测人员的资格要求；
- e) 检测设备和器材；
- f) 被检测试件的规格等详细信息及检测前准备要求；
- g) 检测时机；
- h) 检测方法和检测步骤；
- i) 对检测标记和数据记录的要求；
- j) 检测后的操作要求；
- k) 检测结果的评价和处理方法；
- l) 检测记录、报告和资料存档；
- m) 编制（级别）、审核（级别）和批准人；
- n) 制定日期。

7.2 检测作业指导书或工艺卡

应用单位根据多维电磁检测设备和检测现场的实际情况，按照通用工艺流程来编制核能结构金属材料辐照、高温老化、疲劳等损伤多维电磁检测评价作业指导书或工艺卡。

8 检测设备和器材

8.1 检测仪器组成

多维电磁检测系统应至少包括多维电磁检测仪器、磁化装置、多维电磁检测探头装置、检测控制软件和计算机系统。

8.2 多维电磁检测仪器

多维电磁检测仪器具备对磁化装置提供交流激励电流，多维电磁检测信号的滤波、放大、采集等功能。多维电磁检测仪器应至少能提供正弦波、三角波这两种波形的激励信号，具有至少两个输出通道。每个多维电磁信号采集通道应能分别控制各自的采样率的记录长度。漏磁检测仪器应特别注意防止噪声干扰。

8.3 磁化装置

磁化装置通常由励磁线圈、聚磁铁芯组成。励磁线圈通交流电激励产生动态磁化磁场，用于磁化试样表面。

8.4 多维电磁检测探头装置

8.4.1 概述

多维电磁检测探头的主要包括用于磁巴克豪森信号、漏磁检测信号、增量磁导率信号、磁适应检测信号、非线性涡流信号、脉冲涡流信号检出的检测线圈或磁场传感器。

8.4.2 磁巴克豪森信号检测线圈

平行放置于被检试样表面，对不同被检对象应保持距离一致

8.4.3 漏磁检测磁场传感器

用于将漏磁场转化成电信号，要求磁场传感器有较宽的线性范围和空间分辨率。

8.4.4 增量磁导率线圈

上下两层平行放置线圈，线圈放置于试件表面。上面线圈通入 50kHz~100kHz 频率正弦激励，激励幅值为 mA 量级。下面线圈用于检测增量磁导率信号。

8.4.5 磁适应检测线圈

此时励磁线圈要求通入激励为调幅三角波，线圈绕制在聚磁铁芯或被测体上，检测回路主磁通。

8.4.6 非线性涡流检测线圈

与增量磁导率线圈相同。要求不采用磁化装置，位于上方的检测线圈中通入高频谐波电流激励，一般电流激励幅值在安培量级，下方线圈用于检测稳态涡流信号。

8.4.7 脉冲涡流检测线圈

与增量磁导率线圈相同。要求不采用磁化装置，位于上方的检测线圈中通入方波电流激励，一般电流激励幅值在数十安培量级，下方线圈由于检测瞬态涡流信号。

8.5 计算机系统

计算机系统以图形方式显示并存储典型待检材料损伤多维电磁检测的信号。显示和存储内容应包括试件编号、尺寸、材质、检测时间、检测信号和检测人员等。

专用检测软件通常具有信号采集、运算、分析、显示、存储和查询检测结果等功能。

9 对比试样

9.1 用途

对比试样用于对结构材料辐照、热老化、疲劳等损伤当量和检测等级的评定，是对检测设备校验和设定的基准。结构材料老化损伤多维电磁检测设备通过被检件和对比试样产生的信号相互比较，判定结构材料辐照、热老化、疲劳等损伤当量。

9.2 一般要求

- a) 对比试样应与被检件的规格相同；
- b) 对比试样表面状况应与被检件表面状况相同；
- c) 对比试样内部、外表面不应有干扰多维电磁检测的异物，不得有影响设备检测的缺陷；

9.3 对比试样的损伤

9.3.1 辐照损伤对比试样

根据实际被检件辐照剂量范围、设计相应范围辐照对比试样。辐照试样一般采用反应堆容器钢堆内挂件，在热室开展相应检测。

9.3.2 热老化损伤对比试样

根据实际被检件热老化时间范围、设计加工相应范围热老化试样。

9.3.3 疲劳损伤对比试样

根据实际被检件疲劳载荷周次，设计加工相应疲劳试样。

9.4 对比试样的检测

对比试样制作完毕后，应选择有能力的检测机构核查试样形状和尺寸满足要求后方可使用。

10 检测程序

10.1 检测前准备

10.1.1 资料查验

- a) 查验原材料的产品合格证、质量证明文件和工艺流程图等产品制造文件资料，以了解被检管件的类型、结构特征和材质特性等资料；
- b) 查验被检管件的运行时间、运行参数、工作环境、载荷变化以及运行中出现的异常记录、维修/保养改造的文件和历次检验记录等资料。

10.1.2 现场勘察

应对被检件现场进行勘察，找出可能影响检测结果的因素，如磁化历史及其区域、内部或外部磁场源、表面涂层和温度情况等。在检测时应避免这些因素的干扰。

10.1.3 检测作业指导书或工艺卡的编制

按照 7.2 执行。

10.1.4 检测条件

- a) 检测可以离线或在线进行；
- b) 被检件表面不应有影响检测的毛刺、氧化皮等异物；
- c) 多维电磁检测仪器应进行定期校准（校准周期一般不超过 1 年）并在有效期内使用；
- d) 检测设备应由取得相关部门认定的具有技术资格的检测人员操作；
- e) 当由第三方进行检测时，须经双方协商认可。

10.2 检测步骤

- a) 确定被检件表面状态，设置传感器和探头覆盖区域；
- b) 定外加磁场形式、强度、方向和施加区域；
- c) 仪器通电、预热；
- d) 确定磁化加载时序和强度，将探头置于被检件的表面；
- e) 确定测量位置、确保 100% 覆盖被检区域；
- f) 记录被检件表面完整的磁场/电磁场；
- g) 在被检件表面上确定存在不均匀区域的异常部位和信号畸变位置，并进行标识。

11 检测结果的评价

11.1 辐照、热老化、疲劳等老化损伤程度评价

根据实际检测要求，采用对比试样的多维电磁检测信号特征量和老化状态形成对于不同老化损伤的标定曲线或多维信号融合评价模型。根据标定曲线或模型与实际被检件的多维电磁检测信号特征量，评价被检件的损伤程度。

11.2 力学性能评价

根据实际检测要求，采用对比试样的多维电磁检测信号特征量和力学性能形成对于不同力学性能参数的标定曲线或多维信号融合评价模型。根据标定曲线或模型与实际被检件的多维电磁检测信号特征量，评价被检件的力学性能参量。

12 检测记录和报告

12.1 检测记录

按检测工艺规程的要求记录检测数据、参数和有关信息。

12.2 检测报告

检测报告的内容应根据检测要求制定，应至少包括以下内容：

- a) 委托单位和检测单位的名称；
- b) 引用本文件编号；
- c) 被检件名称及编号；
- d) 被检件的材质和热处理状态；
- e) 被检件的磁化与受载历史及目前的状态；
- f) 被检件的表面状态描述；
- g) 检测仪器和探头型号及编号；
- h) 检测方式及磁化方式；
- i) 检测条件；
- j) 检测部位示意图
- k) 多维电磁检测结果；
- l) 检测及审核人员签名和检测日期。

中国机械工程学会标准征求意见稿