

# T/CMEEEA

团 体 标 准

T/CMEEEA XXX—2026

## 重载齿轮无损检测方法

Non-destructive testing methods for heavy-duty gear

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中国机电设备工程协会 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 原理 .....	2
4.1 超声波检测（UT）原理 .....	2
4.2 渗透检测（PT）原理 .....	2
4.3 磁粉检测（MT）原理 .....	2
4.4 涡流检测（ET）原理 .....	2
5 测试条件 .....	2
5.1 环境条件 .....	2
5.2 检测表面要求 .....	2
6 试剂与材料要求 .....	2
7 仪器设备 .....	3
8 样品 .....	3
8.1 样品选取 .....	3
8.2 样品制备 .....	3
8.3 样品标识、存放与运输 .....	3
9 检测方法 .....	4
9.1 超声波检测方法 .....	4
9.2 渗透检测方法 .....	4
9.3 磁粉检测方法 .....	5
9.4 涡流检测方法 .....	5
10 检测数据处理 .....	6
10.1 缺陷评定 .....	6
10.2 测量不确定度 .....	6
10.3 结果表示 .....	6
11 质量保证和控制 .....	6
11.1 仪器设备校准 .....	6
11.2 环境监测 .....	6
11.3 检测材料检验 .....	6
11.4 人员保证 .....	6
12 检测报告 .....	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。

本文件由大连创新齿轮箱制造有限公司提出。

本文件由中国机电设备工程协会归口。

本文件起草单位：大连创新齿轮箱制造有限公司

本文件主要起草人：

# 重载齿轮无损检测方法

## 1 范围

本文件规定了重载齿轮无损检测方法的原理、测试条件、试剂与材料要求、仪器设备、样品、检测方法、检测数据处理、质量保证与控制及检测报告等内容。

本文件适用于风力发电、矿用挖掘、采煤和海工装备等应用场合中额定功率不小于1000 kW或额定扭矩不小于100 kN·m等重载齿轮的表面及近表面缺陷检测。

## 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/T 6379.4 测量方法与结果的准确度（正确度与精密度） 第4部分：确定标准测量方法正确度的基本方法

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证

GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定

GB/T 18522.1 无损检测 磁粉检测 第1部分：总则

GB/T 15822.2 无损检测 磁粉检测 第2部分：检测介质

GB/T 15822.3 无损检测 磁粉检测 第3部分：设备

GB/T 18851.1 无损检测 渗透检测 第1部分：总则

GB/T 18851.2 无损检测 渗透检测 第2部分：渗透材料的检验

GB/T 18851.4 无损检测 渗透检测 第4部分：设备

GB/T 38805 重载齿轮热处理技术要求

GB/T 39486 化学试剂 电感耦合等离子体质谱分析方法通则

JJG(民航) 0061 涡流探伤仪检定规程

## 3 术语和定义

GB/T 38805界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**无损检测** non-destructive testing

在不破坏重载齿轮的形状、尺寸、性能及使用功能的前提下，采用物理或化学方法检测其内部或表面缺陷，并评价其质量特性的技术

### 3.2

**缺陷** defect

重载齿轮材料中存在的、可能影响其使用性能的异常区域，包括裂纹、夹杂、气孔、折叠、疏松等。

## 4 原理

### 4.1 超声波检测（UT）原理

利用高频声波（通常2.5 MHz~10 MHz）在材料中传播，遇到缺陷界面产生反射或散射，通过接收回波信号判断缺陷位置、大小与性质。适用于内部缺陷及深层裂纹检测，穿透深度可达500 mm。

### 4.2 渗透检测（PT）原理

利用毛细作用使渗透液渗入表面开口缺陷，去除多余渗透液后施加显像剂，使缺陷内残留渗透液回渗形成可见显示。适用于非多孔性金属表面开口缺陷，最小可检裂纹宽度为0.01 mm。

### 4.3 磁粉检测（MT）原理

基于铁磁性材料在磁场中被磁化后，表面或近表面缺陷处产生漏磁场，吸附磁粉形成可见磁痕，从而显示缺陷位置与形态。适用于检测表面及次表面裂纹、折叠等，检测深度一般 $\leq 3$  mm。

### 4.4 涡流检测（ET）原理

基于电磁感应原理，交变磁场在导电材料中感应涡流，缺陷扰动涡流分布，引起检测线圈阻抗变化。适用于表面及近表面（ $\leq 3$  mm）裂纹快速检测，尤其适合自动化在线检测。

## 5 测试条件

### 5.1 环境条件

除非另有规定，所有试验应在以下环境条件下进行：

- 温度：10 °C~35 °C；
- 相对湿度： $\leq 80\%$ ；
- 光照：渗透与磁粉检测区域照度 $\geq 1000$  lx；荧光检测时黑光辐照度 $\geq 1000$   $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （距工件表面150 mm处），环境白光 $\leq 20$  lx。

### 5.2 检测表面要求

齿轮表面应符合下列要求：

- 检测表面及邻近区域应无油污、锈蚀、氧化皮、涂层、焊渣等影响检测的附着物，表面粗糙度Ra应不大于6.3  $\mu\text{m}$ ；
- 超声波检测表面应平整，无尖锐凸起和凹坑，必要时应进行打磨处理；
- 渗透检测和磁粉检测表面应干燥、清洁，无油脂、水分和其他污染物。

## 6 试剂与材料要求

齿轮无损检测的试剂与材料应符合表1要求。

**表1 重载齿轮无损检测的试剂与材料要求**

材料名称	技术要求	参考标准
耦合剂（机油型/水溶性）	耦合剂（机油型）：粘度（20 °C）：10~20 mm <sup>2</sup> /s，无腐蚀性；耦合剂（水溶性）：粘度（20 °C）：8~15 mm <sup>2</sup> /s，易清洗，冰点 $\leq -10$ °C	GB/T 39486
标准试块耦合剂	粘度稳定，温度系数 $\leq 0.001/^\circ\text{C}$	GB/T 11345
渗透液	荧光渗透液：荧光强度 $\geq 250$ cd/m <sup>2</sup> ，渗透时间 $\leq 10$ min（20 °C）；着色渗透液（红色）：颜色鲜艳，对比度高，渗透时间 $\leq 15$ min（20 °C）	GB/T 18851.1
显像剂（干式）	粒度：5~30 $\mu\text{m}$ ，吸附性强，无荧光干扰	GB/T 18851.1
磁粉	黑色干磁粉：粒度：10~50 $\mu\text{m}$ ，磁导率 $\mu_r \geq 100$ ，流动性好，无结块；荧光湿磁粉：荧光亮度 $\geq 300$ cd/m <sup>2</sup> ，粒度：5-20 $\mu\text{m}$ ，磁悬液浓度：0.1~0.3 g/mL	GB/T 18522.1
磁悬液载体（煤油）	闪点 $\geq 40$ °C，无水分，无腐蚀性	GB/T 185221.1

标准试块（含人工槽）	槽深：0.1 mm、0.2 mm、0.5 mm（宽度0.05 mm）	-
------------	------------------------------------	---

## 7 仪器设备

齿轮无损检测的仪器设备应符合表2规定。

**表2 齿轮无损检测仪器设备**

设备名称	精度要求	参考标准
数字超声探伤仪	频率范围：0.5~10 MHz；增益范围：0~80 dB，步进0.1 dB；动态范围≥32 dB；水平线性误差≤1%；垂直线性误差≤3%	GB/T 11345
直探头	频率：2.5~5 MHz；直径：10~20 mm；折射角0°；灵敏度余量≥35 dB	GB/T 11345
斜探头	频率：2.5~5 MHz；折射角：30°、45°、60°；灵敏度余量≥30 dB	GB/T 11345
渗透检测槽（三槽式）	渗透槽温度：20~50 °C，可控；清洗槽温度：常温；干燥槽温度：60-80 °C，可控；容积≥50 L	GB/T 18851.4
干燥箱	温度范围：50~100 °C，精度±2 °C；风速：0.5~1.0 m/s	GB/T 18851.4
便携式磁轭探伤仪	提升力：交流≥45 N，直流≥177 N；磁极间距：50-200 mm；适用工件：小型重载齿轮局部检测	GB/T 15822.3
CDG-10000型交直流磁粉探伤机	磁化电流：交流0~10000 A，直流0~8000 A；磁化方式：轴向通电法、线圈法；检测灵敏度：A型2#试片清晰显示；适用工件尺寸：齿轮直径≤2500 mm，厚度≤1000 mm	GB/T 15822.3
紫外灯（荧光磁粉检测用）	波长：365 nm；辐照度≥1000 μW/cm <sup>2</sup> （距离380 mm处）；暗室亮度≤20 lux	GB/T 15822.3
涡流探伤仪	频率范围 100 Hz~10 MHz，相位调节0°~360°	JJG(民航) 0061

## 8 样品

### 8.1 样品选取

取样应按照下列原则：

- 抽样原则：按批量抽样检测，批量≤50件时，抽样比例≥20%且不少于3件；批量>50件时，抽样比例≥10%且不少于10件。对于关键部位（如轮齿部分）有特殊要求的齿轮，需100%检测；
- 抽样位置：应覆盖齿轮的关键受力部位（如轮齿、齿根、中心孔周围）和次要部位（如轮辐），确保抽样具有代表性；
- 样品标识：每个样品需标注产品编号、规格型号、抽样日期、检测部位、检测人员等信息，标识应清晰、牢固，不易脱落。

### 8.2 样品制备

要求进行表面检测，确保检测表面符合粗糙度要求：

- 表面处理：按5.2.1条要求进行表面处理，去除影响检测的杂质、缺陷和涂层，确保检测表面符合粗糙度要求：UT检测面需打磨平整， $R_a \leq 12.5 \mu\text{m}$ ，MT/PT表面粗糙度 $R_a \leq 6.3 \mu\text{m}$ ；
- 尺寸修整：对于毛坯样品，需去除锻造飞边、毛刺；对于半成品或成品样品，需确保检测区域无加工余量影响，必要时进行局部修整；
- 清洁干燥：样品处理后需进行清洁，清洁方法根据表面污染情况选择溶剂清洗、机械打磨、超声波清洗等，清洁后置于干燥环境中晾干或烘干，确保表面无水分、油污残留。

### 8.3 样品标识、存放与运输

每个样品应进行唯一标识，标识内容包括：齿轮型号、编号、材质、规格（模数、分度圆直径、齿宽）、生产批次/生产日期、检测部位、检测日期、检测人员等信息，标识应清晰、牢固，避免在检测过程中脱落。

样品存放应避免碰撞、划伤、锈蚀，存放环境应干燥、通风，温度-5 °C~35 °C，相对湿度≤70%。样品运输时应采用专用包装，配备缓冲材料，防止运输过程中产生损伤，影响检测结果。

## 9 检测方法

### 9.1 超声波检测方法

#### 9.1.1 检测前准备

超声波检测前应满足下列要求：

- a) 设备检查：检查超声波探伤仪与探头等设备是否正常工作，确认耦合剂、清洗剂等试剂在有效期内；
- b) 样品准备：确认样品表面处理符合要求，在探头耦合面涂抹适量耦合剂，确保探头与样品表面良好接触。

#### 9.1.2 检测步骤

超声波检测步骤应满足下列要求：

- a) 扫查检测：在样品检测表面均匀涂抹一层耦合剂，确保探头与表面良好耦合；
- b) 探头移动方式：采用周向锯齿形扫查，探头前端朝向齿轮端面外圆方向，后端紧靠轴端面中心孔，以垂直外圆方向移动，扫查速度控制在50 mm/s以内，每次扫查覆盖率 $\geq 15\%$ 。重点检测齿根、油槽、卸荷槽等缺陷易产生区域，可将探头朝螺纹孔方向偏转 $20^\circ \sim 30^\circ$ 进行前后左右环绕转角扫查，检测不同取向的疲劳缺陷；
- c) 信号采集：实时观察超声波探伤仪屏幕上的回波信号，若出现超过设定阈值的异常回波，记录回波的位置、幅度、波形等特征；
- d) 缺陷定位和定量：根据异常回波在仪器屏幕上的水平刻度位置，结合校准后的声速和零偏值，计算缺陷的深度；通过探头在样品表面的扫查位置，确定缺陷的周向和轴向位置。采用绝对灵敏度法或半波高度法（6 dB法）测量缺陷长度，对于裂纹类缺陷，测量其最大长度和深度。

#### 9.1.3 检测后处理

检测完成后，关闭仪器电源，清理探头和样品表面的耦合剂，对样品进行清洁处理，整理检测记录。

### 9.2 渗透检测方法

#### 9.2.1 检测前准备

渗透检测前应满足下列要求：

- a) 设备检查：检查渗透检测槽、干燥箱、紫外灯（荧光渗透检测用）等设备是否正常工作，确认渗透液、清洗剂、显像剂等试剂在有效期内；
- b) 样品准备：确认样品表面清洁、干燥，无油污、水分、铁锈等杂质，符合表面状态要求。

#### 9.2.2 检测步骤

渗透检测步骤应满足下列要求：

- a) 渗透：将渗透液均匀涂覆在样品检测区域，确保渗透液完全覆盖表面，渗透时间根据环境温度调整， $20^\circ\text{C}$ 时渗透时间为10~15 min，温度每降低 $5^\circ\text{C}$ ，渗透时间延长5 min。渗透过程中避免样品振动和渗透液干涸；
- b) 清洗：渗透完成后，用清洗剂去除样品表面多余的渗透液。溶剂清洗时，采用擦拭法，从无缺陷区域向有缺陷区域擦拭，避免来回擦拭；水洗型渗透液可直接用清水冲洗，冲洗压力 $\leq 0.3\text{ MPa}$ ，水温 $\leq 40^\circ\text{C}$ 。清洗后样品表面应无可见渗透液残留，但缺陷内的渗透液需保留；
- c) 干燥：将清洗后的样品放入干燥箱中干燥，干燥温度为 $60 \sim 80^\circ\text{C}$ ，干燥时间为5-10 min，确保样品表面完全干燥；
- d) 显像：将显像剂均匀涂覆在样品干燥表面，涂覆厚度为0.05~0.1 mm，显像时间为5-10 min。显像过程中避免样品振动和显像剂脱落；
- e) 观察：荧光渗透检测在暗室中开启紫外灯观察，着色渗透检测在自然光或充足光照下观察，记录缺陷显示痕迹的形状、大小和位置。观察时间应在显像剂涂覆后10-30 min内完成。

### 9.2.3 检测后处理

检测完成后，去除样品表面的显像剂，可采用溶剂清洗、清水冲洗等方法。对样品进行清洁、干燥处理，整理检测记录。

## 9.3 磁粉检测方法

### 9.3.1 检测前准备

磁粉检测前应满足下列要求：

- 设备检查：检查磁粉探伤机的磁化电流、磁悬液循环系统、紫外灯（荧光磁粉检测仪）等是否正常工作。便携式磁轭探伤仪需测试提升力，确保符合要求；
- 样品准备：确认样品表面清洁、干燥，符合表面状态要求。

### 9.3.2 检测步骤

磁粉检测步骤应满足下列要求：

- 磁化方式选择：根据样品尺寸和检测区域选择磁化方式，齿轮整体检测采用线圈法，局部检测（如轮齿、齿根）采用轴向通电法或磁轭法。对于碳钢齿轮，确保表面磁场强度 $\geq 2400$  A/m；
- 磁粉施加：采用连续法施加磁粉，即边磁化边施加磁粉。干磁粉通过轻轻抖动涂抹均匀，湿磁粉通过喷淋系统均匀喷洒，确保磁粉覆盖整个检测区域；
- 磁痕观察：荧光磁粉检测在暗室中进行，开启紫外灯照射检测区域，观察磁痕形成情况；非荧光磁粉检测在自然光或充足光照下观察。观察时需缓慢移动样品或探头，确保无漏检区域，记录磁痕的形状、大小和位置；
- 退磁处理：检测完成后，对样品进行退磁处理，退磁方法采用交流退磁，将样品从磁场中缓慢移出，确保样品剩余磁场强度 $\leq 0.8$  kA/m。

### 9.3.3 检测后处理

清理样品表面的磁粉，可采用压缩空气吹扫、溶剂清洗等方法，确保表面无磁粉残留。关闭设备电源，整理检测记录。

## 9.4 涡流检测方法

### 9.4.1 检测前准备

涡流检测前应满足下列要求：

- 设备检查：检查涡流检测仪、检测探头、连接电缆及辅助装置是否正常工作；确认仪器频率范围、相位/增益调节功能、提离补偿及报警阈值设置有效；
- 样品准备：确认样品表面清洁、干燥，符合表面状态要求。

### 9.4.2 检测步骤

涡流检测步骤应满足下列要求：

- 系统校准：将探头置于校准试样无缺陷区域，调整提离补偿至信号稳定；依次扫查不同深度人工刻槽，调节检测频率、增益和相位角；使0.2 mm刻槽信号幅值达到满屏高度的40%~60%，相位角控制在 $30^\circ \sim 60^\circ$ （以优化信噪比）；设置报警阈值为0.2 mm刻槽响应幅值的80%，并锁定校准参数；
- 扫查实施：探头应垂直于被检表面，保持恒定距离（ $\leq 0.1$  mm）；对齿面、齿根过渡区、轮辐孔边缘等高风险区域，采用螺旋线或网格状扫查路径，探头移动速度 $\leq 200$  mm/s；在齿根圆角处，可将探头沿齿向偏转 $\pm 25^\circ$ 进行多角度扫查，以提高对横向疲劳裂纹的检出率；
- 信号监测与记录：实时观察阻抗平面图或时基扫描信号，当出现幅值 $\geq$ 报警阈值或相位偏移 $> \pm 15^\circ$ 的异常信号时，判定为可疑缺陷，并记录。

### 9.4.3 检测后处理

检测完成后关闭设备，清洁探头表面，清理被检齿轮表面残留物，整理检测记录。

## 10 检测数据处理

### 10.1 缺陷评定

超声波检测缺陷按回波幅度、当量尺寸和位置进行评定，超过验收标准的缺陷应记录并标识；磁粉检测和渗透检测缺陷按显示长度、间距和性质进行评定，线性显示超过验收标准的应记录；缺陷评定标准由供需双方协商确定，或按相关产品标准执行。

### 10.2 测量不确定度

超声波检测缺陷当量尺寸的测量不确定度应不大于 $\pm 1$  mm；磁粉检测和渗透检测缺陷长度的测量不确定度应不大于 $\pm 0.5$  mm；测量不确定度评估按GB/T 6379.4进行。

### 10.3 结果表示

检测结果以“合格”、“不合格”或“返修”表示，应给出缺陷位置、尺寸、性质和评定结论的详细记录。

## 11 质量保证和控制

### 11.1 仪器设备校准

所有仪器设备应定期送至专业计量机构进行校准，并在有效期内使用。

### 11.2 环境监测

在测试过程中，应实时监测环境温度和湿度，并记录相关数据，当环境条件超出规定范围时，应暂停测试并采取相应的措施进行调整。

### 11.3 检测材料检验

渗透检测材料和磁悬液应定期进行性能检验，如渗透液的灵敏度、荧光亮度、洗涤性，磁悬液的浓度和悬浮性等。检验方法按GB/T 18851.2和GB/T 15822.2执行。

### 11.4 人员保证

从事无损检测的人员必须按照GB/T 9445的要求进行资格鉴定与认证，并取得相应等级（如II级或III级）的资格证书。操作人员应熟悉本标准的规定，了解齿轮的制造工艺和常见缺陷类型。

## 12 检测报告

检测报告应至少包含以下内容：

- a) 报告编号；
- b) 委托单位与检测单位；
- c) 齿轮标识（图号、炉批号、热处理状态）；
- d) 执行标准；
- e) 检测方法及参数；
- f) 缺陷位置图（可附照片）；
- g) 评定结论（合格/不合格）；
- h) 检测人员、审核人员签名及日期；
- i) 附件，包括测试过程中记录的原始数据、图表、校准证书等复印件，以及其他需要说明的文件。