

ICS 27.180

CCS F 11

T

团体标准

T/CWDPA XXX—2026

超高风电钢混塔过渡段连接可靠性检 验与评价方法

Reliability inspection and evaluation method for transition section of ultra-
high wind turbine steel-concrete hybrid tower
(征求意见稿)

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国西部开发促进会 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 总体要求 2

 4.1 检验分类 2

 4.2 人员与设备要求 2

 4.3 检验工况条件 2

 4.4 检验方案编制 2

5 外观与宏观检查 3

 5.1 一般要求 3

 5.2 检查内容 3

 5.3 检查记录 3

6 连接件与焊缝检验 4

 6.1 一般要求 4

 6.2 高强螺栓轴力检测 4

 6.3 预应力钢绞线及锚具检验 4

 6.4 磁粉检测 5

 6.5 超声检测 5

 6.6 相控阵超声检测 5

 6.7 辅助检测手段 5

7 结合面与动力性能检验 6

 7.1 一般要求 6

 7.2 红外热成像检测 6

 7.3 敲击检测 6

 7.4 振动模态测试 6

 7.5 模态参数提取 6

 7.6 模态测试的激励方法 7

 7.7 模态参数识别方法 7

 7.8 模态测试的数据处理要求 7

8 数据处理与可靠性综合评价 7

 8.1 一般要求 7

 8.2 数据处理 7

 8.3 缺陷判定 8

 8.4 评价方法 8

 8.5 可靠性等级划分 8

 8.6 评价报告 9

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。

本文件由中交第三公路工程局有限公司建筑工程分公司提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

超高风电钢混塔过渡段连接可靠性检验与评价方法

1 范围

本文件规定了超高风电钢混塔过渡段连接可靠性检验与评价的、总体要求、外观与宏观检查、连接件与焊缝检验、结合面与动力性能检验、数据处理与可靠性综合评价。

本文件适用于轮毂高度140m及以上陆上超高风电钢混混合塔筒过渡段连接的施工验收检验、在役定期检验与可靠性评价。其他高度钢混塔筒过渡段的检验评价可参照执行。

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/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定

GB/T 19072 风力发电机组 塔架

GB/T 26951 焊缝无损检测 磁粉检测

JGJ 85 预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程

NB/T 10907 风电机组混凝土-钢混合塔筒设计规范

NB/T 47013.15 承压设备无损检测 第15部分：相控阵超声检测

3 术语和定义

NB/T 10907、GB/T 19072界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

- 3.1
钢混塔过渡段 steel-concrete tower transition section
 连接下部混凝土塔筒与上部钢塔筒的过渡结构段，通常为钢质结构，承担将上部荷载传递至下部混凝土筒体的功能。
- 3.2
连接可靠性 connection reliability
 钢混塔过渡段在规定的设计使用年限内，在各种荷载组合作用下保持连接功能、不发生失效或性能退化至不可接受状态的能力。
- 3.3
螺栓预紧力衰减 bolt preload decay
 高强连接螺栓在服役过程中，由于材料蠕变、振动松动、温度变化等因素导致预紧力逐渐降低的现象。
- 3.4
结合面脱空 interface debonding
 钢-混凝土结合面因收缩、施工缺陷或荷载作用产生的局部脱离或空隙现象。
- 3.5
模态特征参数 modal characteristic parameter
 反映塔筒结构动力特性的固有频率、阻尼比、振型等参数，用于评估结构整体刚度与完整性。
- 3.6
相控阵超声检测 phased array ultrasonic testing (PAUT)
 采用多阵元探头通过电子方式控制声束偏转和聚焦的超声检测方法。

3.7

结合面脱空率 interface debonding ratio

脱空面积占结合面总面积的百分比，用于定量评价结合面的粘结完整性。

3.8

可靠性等级 reliability grade

根据各项检验结果综合评定的过渡段连接可靠性水平分级。

4 总体要求

4.1 检验分类

4.1.1 超高风电钢混塔过渡段连接可靠性检验分为下列三类：

- a) 施工验收检验：在塔筒安装完成后、机组投运前进行的全面检验，用于验证过渡段连接质量是否满足设计要求；
- b) 在役定期检验：在风电场运行期间按规定的周期进行的检验，用于监测过渡段连接性能的退化情况；
- c) 专项检验：在发生极端工况、事故或发现异常征兆时进行的针对性检验。

4.1.2 在役定期检验的周期应符合下列规定：

- a) 首次检验应在机组投运后 6 个月内完成；
- b) 正常运行阶段每 2 年应进行一次全面检验；
- c) 运行满 10 年后，检验周期应缩短为每年一次。

4.2 人员与设备要求

4.2.1 从事过渡段连接可靠性检验的人员应具备下列资格：

- a) 无损检测人员应持有相应方法、相应级别的资格证书，并在有效期内；
- b) 从事螺栓轴力检测的人员应经过专项培训并考核合格；
- c) 检验报告签发人员应具有中级及以上技术职称。

4.2.2 检验用仪器设备应满足下列要求：

- a) 仪器设备应经计量检定或校准合格，并在有效期内使用；
- b) 超声检测仪、磁粉探伤仪、相控阵超声检测仪等无损检测设备应符合相应标准的规定；
- c) 轴力检测仪、应变测试仪等测量设备的精度应满足检测要求。

4.3 检验工况条件

4.3.1 过渡段连接可靠性检验应在下列工况条件下进行：

- a) 塔筒处于静止状态，风电机组已停机；
- b) 风速不宜大于 10m/s；
- c) 环境温度宜为-5℃至+40℃；
- d) 雨雪、雷电天气不应进行室外检测作业。

4.3.2 检验前应确认塔筒处于安全状态，采取必要的安全防护措施。

4.4 检验方案编制

4.4.1 检验实施前应编制检验方案，方案内容应包括：

- a) 检验目的和依据；
- b) 检验项目和抽样方案；
- c) 检测方法和仪器设备；
- d) 检验工况和作业条件；
- e) 安全措施和应急预案；
- f) 检验进度和人员安排。

4.4.2 检验方案应经技术负责人审批后实施。

5 外观与宏观检查

5.1 一般要求

- 5.1.1 外观与宏观检查应在其他专项检测之前进行，以发现明显的表面缺陷和异常迹象。
- 5.1.2 检查应在良好光照条件下进行，必要时应配备辅助照明设备。
- 5.1.3 检查发现的外观缺陷应拍照记录，并标注位置和尺寸。

5.2 检查内容

- 5.2.1 过渡段法兰的外观检查应包括下列内容：
 - a) 法兰表面有无锈蚀、腐蚀坑、机械损伤；
 - b) 法兰连接螺栓有无松动、断裂、锈蚀；
 - c) 法兰密封面有无变形、翘曲、异物附着。
- 5.2.2 锚栓和锚板的检查应包括下列内容：
 - a) 锚栓外露部分有无锈蚀、损伤；
 - b) 锚板有无变形、开裂；
 - c) 锚固区域混凝土有无开裂、剥落。
- 5.2.3 焊缝区域的宏观检查应包括下列内容：
 - a) 焊缝表面有无裂纹、气孔、咬边、未熔合等可见缺陷；
 - b) 焊缝热影响区有无裂纹、变色；
 - c) 焊缝周围母材有无异常变形。
- 5.2.4 混凝土顶部区域的检查应包括下列内容：
 - a) 混凝土表面有无裂缝、剥落、压碎；
 - b) 混凝土与钢过渡段结合面边缘有无脱开、空隙；
 - c) 混凝土表面有无渗水、泛碱等异常现象。

5.3 检查记录

- 5.3.1 外观与宏观检查记录应包含下列内容：
 - a) 检查日期、检查人员、天气条件；
 - b) 缺陷位置、类型、尺寸和严重程度；
 - c) 缺陷照片或示意图；
 - d) 初步判断和建议。
- 5.3.2 检查应依据相关规程、图纸、历史报告或验收规范执行，并在记录中注明依据的文件编号；无明确依据时，应注明“按通用技术规范执行”。
- 5.3.3 记录中应注明所使用的测量、观测工具的名称、型号及有效期或校准状态。
- 5.3.4 除天气条件外，记录还应包含现场温度、湿度、风速等环境参数，以及检查区域的隔离措施、安全防护等级或存在的交叉作业风险。
- 5.3.5 缺陷位置应通过坐标、轴线位置、高程或设备编号等方式进行精确定位，便于后续复测和比对。
- 5.3.6 记录应由检查人、复核人签字确认；涉及多专业时，应增加相关方会签栏；必要时加盖单位印章。
- 5.3.7 电子记录应注明存储路径、原始数据文件编号；附有无人机航拍、热成像等非可见光检测资料的，应编制附件索引码。
- 5.3.8 应根据缺陷的严重程度明确处理优先级，并建议合理的整改完成时限。
- 5.3.9 检查记录的保存年限及归档责任部门应按公司档案管理规定或设备全生命周期管理要求执行；纸质记录应装订成册、编目归档，电子记录应按规定格式存储于指定系统；记录保存期满后的销毁应履行审批程序。
- 5.3.10 记录可采用纸质或电子形式存档（或两者并存）。
- 5.3.11 电子记录应建立备份机制，确保数据安全性和可用性；关键记录宜采用“电子存档+纸质备份”双重保障。
- 5.3.12 所有记录应便于检索和追溯。

6 连接件与焊缝检验

6.1 一般要求

- 6.1.1 连接件与焊缝检验应在外观与宏观检查合格后进行，检验结果应作为连接可靠性综合评价的重要输入。
- 6.1.2 连接件与焊缝检验应覆盖过渡段的主要连接件和关键焊缝。
- 6.1.3 焊缝无损检测方法的选择应根据焊缝类型、板厚和检测目的确定，检测前应对被检焊缝表面进行清理，去除焊渣、飞溅、油漆、锈蚀等覆盖物。

6.2 高强螺栓轴力检测

- 6.2.1 高强螺栓轴力检测应采用下列方法之一：
- 超声轴力检测法：利用超声纵波在螺栓中的传播时间与轴力的关系测定预紧力；
 - 磁弹轴力检测法：利用铁磁性材料的磁弹效应测定螺栓轴力；
 - 扭矩-轴力关系法：在已知扭矩-轴力关系的前提下，通过测量紧固扭矩推算轴力。
- 6.2.2 轴力检测的抽样应符合下列规定：
- 施工验收检验时，每一过渡段法兰连接螺栓的抽样比例不应低于 10%，且不应少于 12 根；
 - 在役定期检验时，抽样比例不应低于 5%，且不应少于 6 根；
 - 抽样应覆盖不同方位和不同高度区域。
- 6.2.3 轴力检测的测点布置应符合下列规定：
- 测点应避开螺栓端部的倒角、螺纹起始端等应力集中区域；
 - 每个测点应进行不少于 3 次重复测量，取算术平均值作为检测值；
 - 检测值相对偏差大于 5%时，应增加测量次数。
- 6.2.4 轴力检测结果应满足下列要求：
- 单根螺栓实测预紧力与设计预紧力的偏差不应超过设计值的 $\pm 10\%$ ；
 - 同一法兰连接中，各螺栓预紧力的不均匀度不应超过 15%；
 - 在役检验中，预紧力衰减超过设计值 15%的螺栓应列为重点关注对象。
- 6.2.5 轴力检测的环境影响修正应符合下列规定：
- 高强螺栓轴力检测应考虑环境温度对检测结果的影响，采用超声轴力检测法时应引入温度补偿算法，消除温度变化对超声波传播速度的影响；
 - 在役检验中，轴力检测应在塔筒停机且温度稳定后进行，当环境温度与螺栓安装时的温度差异超过 10°C 时，应对检测结果进行温度修正；
 - 对于 M30 及以上大规格螺栓（M30～M64），宜优先采用磁弹法或超声波轴力测试法进行检测，扭矩扳手法因长螺栓中摩擦力干扰往往误差较大。
- 6.2.6 轴力检测的精度应符合下列规定：
- 超声波轴力检测的测量精度应控制在 $\pm 1\%$ 以内；
 - 扭矩扳手给定扭矩的精度偏差不应超过 $\pm 5\%$ ；
 - 液压拉伸器给定拉伸力的精度偏差不应超过 $\pm 3\%$ 。
- 6.2.7 轴力复检应符合下列规定：
- 螺栓紧固作业完成后 4h～24h 内应进行轴力复检；
 - 复检的抽检率不应低于 10%且不应少于 4 颗；
 - 复检项目应涵盖外观检查、螺纹露出长度检查、防腐蚀检查、缺陷检查及紧固性能检查。

6.3 预应力钢绞线及锚具检验

- 6.3.1 预应力钢绞线的检验应包括下列内容：
- 钢绞线外观检查：表面有无锈蚀、划伤、断丝；
 - 钢绞线预应力损失检测：通过锚具处预留的检测孔或传感器测定；
 - 钢绞线断丝检测：采用声发射或磁通量法检测断丝位置和数量。
- 6.3.2 预应力锚具的检验应包括下列内容：
- 锚具外观检查：锚板、夹片、锚垫板有无变形、开裂、锈蚀；

- b) 锚具硬度检测：按 JGJ 85 的规定执行；
- c) 锚具磁粉探伤：按 GB/T 26951 的规定执行。
- 6.3.3 预应力损失的允许范围应符合下列规定：
 - a) 施工验收检验时，预应力损失不应超过设计值的 5%；
 - b) 在役定期检验时，累计预应力损失不应超过设计值的 15%。
- 6.3.4 预应力锚固体系检验应符合下列规定：
 - a) 预应力锚固体系的检验应包括锚固端密封性检查，外露锚具应采取封锚等有效措施；
 - b) 供货方应提供完善的预应力钢绞线维护方案；
 - c) 锚具表面不得存在裂纹或损伤。
- 6.3.5 预应力损失监测应符合下列规定：
 - a) 在役运行中宜加装预应力锚索计等在线监测设备，对预应力损失进行连续监测；
 - b) 当预应力损失超过设计值的 5% 时，监测系统应发出预警信号。

6.4 磁粉检测

- 6.4.1 磁粉检测适用于铁磁性材料焊缝表面和近表面缺陷的检测。
- 6.4.2 磁粉检测的操作应符合 GB/T 26951 的规定。
- 6.4.3 磁粉检测的抽样应符合下列规定：
 - a) 施工验收检验时，关键焊缝应进行 100% 磁粉检测；
 - b) 在役定期检验时，关键焊缝的检测比例不应低于 30%；
 - c) 检测发现裂纹时，应扩大检测范围至相邻焊缝。
- 6.4.4 磁粉检测的缺陷判定应符合下列规定：
 - a) 不允许存在任何裂纹显示；
 - b) 线性缺陷显示长度超过 3mm 的应判定为不合格；
 - c) 圆形缺陷显示直径超过 4mm 的应判定为不合格。

6.5 超声检测

- 6.5.1 超声检测适用于焊缝内部缺陷的检测，操作应符合 GB/T 11345 的规定。
- 6.5.2 超声检测应选用不低于 B 级检测等级。
- 6.5.3 超声检测的抽样应符合下列规定：
 - a) 施工验收检验时，关键焊缝应进行 100% 超声检测；
 - b) 在役定期检验时，关键焊缝的检测比例不应低于 20%；
 - c) 检测发现超过评定线的缺陷时，应增加相邻焊缝的检测。
- 6.5.4 超声检测的缺陷评定应符合 GB/T 11345 的规定。

6.6 相控阵超声检测

- 6.6.1 相控阵超声检测适用于复杂几何形状焊缝和厚度方向检测，尤其适用于过渡段 T 型接头等应力集中区域的检测。
- 6.6.2 相控阵超声检测的操作应符合 NB/T 47013.15 的规定。
- 6.6.3 相控阵超声检测的扫查方案应覆盖焊缝全断面，检测数据应完整记录并保存。
- 6.6.4 相控阵超声检测的缺陷评定应依据检测数据进行三维成像分析和定量评价。
- 6.6.5 对于钢混过渡段的 T 型接头等应力集中区域，应优先采用相控阵超声检测技术替代传统的 A 型脉冲反射法，相控阵超声检测能以多角度扫查检出方向性不佳的裂纹。
- 6.6.6 相控阵超声检测应提供 B 扫描和 S 扫描等二维视图，并可精确测量缺陷的长度、深度及高度等信息。

6.7 辅助检测手段

- 6.7.1 焊缝无损检测可采用爬壁机器人搭载检测设备进行高空作业，替代人工高空高危作业，检测覆盖率应达到 100%。
- 6.7.2 爬壁机器人宜采用负压吸附或磁吸附方式，搭载相控阵超声检测仪、超声波测厚仪、高清摄像头等设备，实现焊缝高精度探伤和壁厚检测。

- 6.7.3 过渡段钢结构的壁厚检测应采用脉冲回波法，配套超声波测厚仪进行检测。
- 6.7.4 超声波测厚的测量精度不应低于 $\pm 0.01\text{mm}$ 。
- 6.7.5 测点布置应覆盖过渡段钢结构的各个壁板区域，每块壁板的测点数量不应少于 5 个，取算术平均值作为该区域的壁厚值。

7 结合面与动力性能检验

7.1 一般要求

- 7.1.1 结合面与动力性能检验用于评估过渡段与混凝土筒体结合面的粘结完整性以及过渡段连接对塔筒整体动力特性的影响。
- 7.1.2 结合面检验应在外观检查完成后、且不破坏结构的前提下进行，检验结果应量化记录结合面的脱空范围和程度。
- 7.1.3 动力学性能检验应在塔筒处于自由振动状态或可控激励状态下进行，测点布置应能反映塔筒一阶、二阶弯曲振型。

7.2 红外热成像检测

- 7.2.1 红外热成像检测适用于大面积快速筛查结合面脱空区域。
- 7.2.2 检测应在环境温度稳定、无阳光直射、无强风条件下进行。
- 7.2.3 检测时应在结合面区域均匀布置测点，测点间距不宜大于 0.5m。
- 7.2.4 红外热成像的异常区域判定应符合下列规定：
- 温度异常区域与周边正常区域的温差大于 1°C 时，应标记为可疑区域；
 - 可疑区域应结合敲击检测进行交叉验证。

7.3 敲击检测

- 7.3.1 敲击检测适用于对红外热成像发现的可疑区域进行定点验证。
- 7.3.2 检测时应使用专用的敲击锤在结合面区域按网格逐点敲击，网格尺寸不宜大于 $0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$ 。
- 7.3.3 敲击检测的判定应符合下列规定：
- 发出清脆声音的区域判定为粘结良好区域；
 - 发出沉闷、空洞声音的区域判定为脱空区域；
 - 脱空区域的边界应通过加密敲击确定。
- 7.3.4 结合面脱空率的允许值应符合下列规定：
- 施工验收检验时，脱空率不应超过 2%；
 - 在役定期检验时，脱空率不应超过 5%；
 - 脱空率超过允许值时，应进行灌浆修复或采取其他补强措施。

7.4 振动模态测试

- 7.4.1 振动模态测试应在下列条件下进行：
- 风电机组处于停机状态；
 - 风速不宜大于 8m/s ；
 - 塔筒上不应有影响测试的临时附着物。
- 7.4.2 测点布置应符合下列规定：
- 沿塔筒高度方向不应少于 5 个测点，其中过渡段附近应加密布置；
 - 每个测点应至少布置两个正交方向的加速度传感器；
 - 参考点宜设置在塔筒顶部或过渡段附近。
- 7.4.3 数据采集应符合下列规定：
- 采样频率不应低于 100Hz ；
 - 每次采集时长不应少于 10 分钟；
 - 环境激励下应采集不少于 3 组有效数据。

7.5 模态参数提取

7.5.1 应从测试数据中提取下列模态参数：

- a) 一阶固有频率；
- b) 二阶固有频率；
- c) 一阶阻尼比；
- d) 振型形态。

7.5.2 模态参数的评价应符合下列规定：

- a) 实测一阶固有频率与设计值的偏差不应超过 $\pm 5\%$ ；
- b) 实测阻尼比应在设计预期范围内；
- c) 振型形态应与设计振型一致，不应出现局部异常。

7.6 模态测试的激励方法

7.6.1 振动模态测试可采用下列激励方法之一或组合：

- a) 锤击法：通过力锤施加瞬态冲击，测量结构响应信号，识别模态参数；
- b) 环境振动法：利用风等自然环境激励，进行运行模态分析，获取实际工况下的动态特性；
- c) 正弦扫频法：施加正弦扫频激励，测量频率响应函数，精确提取模态频率和阻尼比；
- d) 随机振动法：使用随机激励信号，分析功率谱密度，评估结构的随机振动响应。

7.6.2 采用锤击法时，力锤的敲击位置应选在塔筒各测点附近的刚度较大处，避免在焊缝、开孔等局部薄弱区域敲击。

7.6.3 采用正弦扫频法时，激振器的频率应在塔架一阶频率附近（测试一阶阻尼比）或二阶频率附近（测试二阶阻尼比），高阶频率依次类推。

7.7 模态参数识别方法

7.7.1 模态参数识别可采用随机子空间法，应用奇异值分解技术以及稳定图分析方法进行。

7.7.2 可采用时间域或频率域算法从测试数据中识别模态参数。

7.7.3 宜结合测试结果对有限元模型进行修正，提高结构动态预测的准确性。

7.8 模态测试的数据处理要求

7.8.1 模态测试数据应计算频率响应函数、传递函数、功率谱密度、相干函数等关键指标。

7.8.2 相干函数在结构固有频率附近不应低于 0.9，否则应检查传感器安装和信号采集质量。

7.8.3 模态参数提取应采用模态置信准则（MAC）对振型正交性进行验证，MAC 值低于 0.8 时应应对模态参数识别结果进行复核。

8 数据处理与可靠性综合评价

8.1 一般要求

8.1.1 各项检验的原始数据应真实、完整、可追溯。

8.1.2 数据处理应按照规定的计算方法和修约规则执行。

8.1.3 缺陷判定应依据单项检验结果和相应的判定标准执行。

8.1.4 评价应遵循“单项合格则整体不一定合格，单项不合格则整体不合格”的原则。

8.1.5 综合评价结果应给出明确的可靠性等级和处置建议。

8.2 数据处理

8.2.1 数值修约应符合下列规定：

- a) 长度、尺寸类数据保留至小数点后一位；
- b) 百分比类数据保留至小数点后一位；
- c) 频率类数据保留至小数点后两位；
- d) 力值类数据保留至整数位。

8.2.2 异常数据的处理应符合下列规定：

- a) 明显偏离合理范围的测量值应标记为异常值；

- b) 异常值应通过重复测量或交叉验证确认；
 - c) 经确认的异常值应在报告中注明，并分析可能的原因。
- 8.2.3 多源数据的融合处理应符合下列规定：
- a) 不同检测方法获得的数据应进行交叉比对；
 - b) 数据不一致时应以精度更高或更直接的方法为准；
 - c) 融合分析结果应作为综合评价的依据。

8.3 缺陷判定

8.3.1 单项缺陷的等级应按表 1 的规定划分。

表 1 单项缺陷等级划分

等级	判定标准	说明
I级	无缺陷或缺陷轻微，不影响使用性能	合格
II级	存在缺陷但不影响安全性，可正常使用	需跟踪观察
III级	缺陷明显，对安全性有潜在影响	需制定修复计划
IV级	缺陷严重，已影响结构安全	应立即采取措施

8.3.2 各检验项目的缺陷等级判定应符合表 2 的规定。

表 2 各检验项目缺陷等级判定

检验项目	I级	II级	III级	IV级
外观缺陷	无可见缺陷	轻微锈蚀	明显裂纹或变形	严重开裂或断裂
螺栓轴力偏差	≤5%	5%~10%	10%~15%	>15%
焊缝缺陷	无超标缺陷	允许的微小缺陷	超标缺陷	裂纹等严重缺陷
结合面脱空率	≤2%	2%~5%	5%~10%	>10%
固有频率偏差	≤2%	2%~5%	5%~8%	>8%

8.4 评价方法

- 8.4.1 综合评价应按下列步骤进行：
- a) 汇总各检验项目的单项判定结果；
 - b) 识别关键缺陷项和累积缺陷项；
 - c) 综合评定连接可靠性等级；
 - d) 提出处置建议。
- 8.4.2 关键缺陷项包括：
- a) 焊缝存在裂纹等严重缺陷；
 - b) 螺栓轴力偏差超过 15%；
 - c) 结合面脱空率超过 10%；
 - d) 固有频率偏差超过 8%。
- 8.4.3 出现任一关键缺陷项时，可靠性等级不应高于 III 级。

8.5 可靠性等级划分

8.5.1 过渡段连接可靠性等级应按表 3 的规定划分。

表 3 连接可靠性等级划分

等级	名称	判定条件	处置建议
I 级	可靠	所有检验项目均为I级或II级，无关键缺陷项	正常使用，按周期进行下次检验
II 级	基本可靠	所有检验项目均为I级或II级，存在1项关键缺陷项但程度较轻	加强监测，缩短下次检验周期至1年

等级	名称	判定条件	处置建议
Ⅲ级	待观察	存在2项及以上关键缺陷项， 或单项缺陷达到Ⅲ级	制定修复方案，6个月内完成 修复
Ⅳ级	不可靠	存在任一单项缺陷达到Ⅳ级， 或关键缺陷项导致结构安全 受影响	立即停机，组织专项评估和 加固

8.5.2 可靠性等级的判定应经技术负责人审核确认。

8.6 评价报告

8.6.1 评价报告应包含下列内容：

- a) 工程概况和检验依据；
- b) 检验项目和检测方法；
- c) 各项检验结果和缺陷判定；
- d) 连接可靠性综合评价结论；
- e) 处置建议和后续检验计划。

8.6.2 评价报告应由检验单位盖章、技术负责人签字后生效。
