

《超高风电钢混塔过渡段连接可靠性检验与评价方法》团体标准编制说明

一、任务来源

2026 年 8 月，中国西部开发促进会发布《超高风电钢混塔过渡段连接可靠性检验与评价方法》团体标准立项通知，正式批准该团体标准立项，由中交第三公路工程局有限公司建筑工程分公司牵头，开展团体标准的全流程编制工作。

二、项目背景

1. 目的

本标准编写目的是建立统一的超高风电钢混塔过渡段连接可靠性检验与评价技术规范，明确检验分类、外观与宏观检查、连接件性能检验、节点焊缝无损检测、钢-混凝土结合面检验、动力学性能检验、数据处理与缺陷判定以及连接可靠性综合评价等技术与判定准则，确保钢混塔过渡段连接在施工验收和在役运行阶段经过科学、系统、可重复的检验与评价流程，从工程源头把控过渡段连接质量，有效提升超高风电钢混塔的结构安全性与运行可靠性，为风电行业设计、施工、运维、检测认证等相关主体提供统一、规范的检验评价技术依据，解决当前行业内过渡段连接检验无统一标准、操作不规范、结果不可比的核心问题。

2. 意义

本标准的制定与实施，具备显著的行业价值与产业意义：

一是规范行业检验行为，保障风电设施安全。通过统一检验评价规范，解决当前各企业检验流程、判定指标不一导致的过渡段连接质量参差不齐问题，既保障风电设施的运行安全，也为新建项目交工验收和在役风电场隐患排查提供统一技术依据，从根源上防范结构安全事故。

二是筑牢超高塔筒安全根基，强化核心技术保障。过渡段作为下部混凝土筒体与上部钢塔筒的关键传力节点，承受风致交变弯矩、扭矩、竖向荷载的复合疲劳作用，是整个塔筒体系受力最复杂、失效风险最高的部位。其连接可靠性直接决定塔筒整体安全，统一的检验评价技术规范能够保障超高风电钢混塔核心结构的安全稳定，为风电向大兆瓦、高轮毂高度方向发展提供关键技术支撑。

三是整合行业技术资源，推动产业升级。制定统一的检验评价规范，能够整合行业内先进的检测技术成果，统一行业技术评价与应用标准，有效提升国内风电钢混塔领域的整体技术水平，助力风电混塔结构检验评价技术的规范化、科学化发展。

3. 必要性

随着风电向大兆瓦、高轮毂高度方向发展，140m 及以上超高钢混混合塔筒得到大规模应用。过渡段作为关键传力节点，工程实践中已出现高强螺栓预紧力衰减、钢-混凝土结合面脱空、局部滑移、混凝土压裂、焊缝疲劳裂纹等病害，严重时威胁塔筒整体安全。当前行业内存在三大核心痛点，使得本标准的制定具备极强的现实必要性：

一是行业无统一检验标准，发展不均衡。目前国内超高风电钢混塔过渡段连接可靠性检验尚未形成统一的国家、行业或团体标准，各企业均采用自主研发的检验方法和判定指标，缺乏行业公认的技术要求和评价依据，导致不同企业、不同项目的过渡段连接质量缺乏可比性，行业整体检验评价技术水平呈现不均衡状态。

二是现有标准覆盖不全，缺乏专门针对过渡段的成套方法。现行 NB/T 10907—2021《风电机组混凝土—钢混合塔筒设计规范》主要针对设计阶段，现有施工规范和无损检测标准虽涉及部分检验方法，但缺少专门针对过渡段连接可靠性的成套检验与评价方法，行业内无法获得完整、系统的技术指导。

三是先进检测技术成果难以推广，制约产业升级。国内头部风电建设企业和检测机构已在过渡段连接检验中积累了相控阵超声检测（PAUT）、红外热成像、振动模态测试等先进检测技术经验，但相关技术成果多为企业内部实践，未形成行业共享的技术规范，制约了行业整体检验技术水平的提升与风电混塔产业的安全发展。

综上，超高风电钢混塔过渡段连接可靠性检验与评价技术，是保障风电塔筒结构安全的关键环节，也是风电产业向超高塔筒方向健康发展的重要支撑。制定统一、科学、可操作的检验评价技术规范，是规范市场秩序、保障工程安全、推动技术推广应用的迫切需求，也是填补行业标准空白、助力风电产业高质量发展的重要举措。

三、起草单位和主要工作成员及其所作工作

1. 起草单位

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。

本文件由中交第三公路工程局有限公司建筑工程分公司、北京外瑞古得科技有限公司、中交第三公路工程局有限公司等共同起草。

2. 主要工作成员及其所做工作

本文件主要工作及工作职责见表1。

表1 主要起草人及工作职责

起草单位	工作职责
中交第三公路工程局有限公司建筑工程分公司、北京外瑞古得科技有限公司、中交第三公路工程局有限公司等	项目主编单位主编人员，负责标准制定的统筹规划与安排，标准内容和试验方案编制与确定，标准水平的把握及标准编制运行的组织协调。人员中包括了本项标准行业的专业技术人员、管理人员。

四、标准的编制原则

标准编制小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前的行业现状，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》的规定及相关要求编制。

五、标准编制过程

5.1 标准调研阶段

2026年7月，标准起草工作组系统梳理国内外风电塔架、钢混结构、无损检测相关的国家标准、行业标准及团体标准，调研国内外风电钢混塔技术发展现状、行业内主流企业的过渡段连接检验工艺、技术参数与工程实践情况；走访国内风电建设企业、钢混塔制造企业、第三方检测机构、风电场运维单位，收集行业痛点、技术需求与实践数据，形成完整的行业调研分析报告，为标准编制奠定技术基础。

5.2 标准立项阶段

2026年8月，基于调研成果，起草工作组明确标准编制范围、核心技术内容、预期目标与应用场景，编制完成团体标准立项申请书及相关材料，报送中国西部开发促进会技术与标准化工作委员会。经团体标准管理机构审核、专家评审通过后，标准正式获批立项。

5.3 标准草案形成阶段

2026年9月，立项获批后，起草工作组正式组建，结合调研成果与行业实践经验，按照GB/T 1.1—2020要求搭建标准框架，细化总体检验要求、外观与宏观检查、连接件性能检验、节点焊缝无损检测、钢-混凝土结合面检验、动力学性能检验、数据处理与缺陷判定、连接可靠性综合评价等核心章节内容；结合工程实际检测数据与先进检测技术成果，完善核心指标、操作方法与判定规则，完成标准草案初稿。初稿完成后，组织工作组内部开展多轮研讨修改，邀请行业技术专家、标准化专家对草案内容进行专项评审，根据评审意见优化完善，形成标准工作组讨论稿。

5.4 征求意见阶段

2026年10月，计划通过行业协会、线上平台、定向函件等方式，向风电开发企业、钢混塔制造企业、检测认证机构、科研院校、风电场运维单位等相关单位及专家广泛征求意见；对反馈意见进行全面梳理、汇总与分类，组织工作组对每条意见进行研讨分析，明确采纳、部分采纳或未采纳的结论及依据，根据有效意见对标准草案进行修改完善，形成标准送审稿。

5.5 标准送审阶段

2026年11月，将征求意见稿、编制说明、意见汇总处理表等完整材料报送中国西部开发促进会团体标准审查委员会，组织行业专家、标准化专家开展会议审查；根据专家审查意见，对标准内容进行最终修改与完善，形成标准报批稿。

5.6 标准报批阶段

2026年12月，完善送审稿及全套报批材料，按规定流程报送中国西部开发促进会团体标准管理机构，经审核确认符合发布要求后，办理标准报批手续，确定标准发布编号与实施日期，正式发布实施。

六、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

1. 试验验证分析、综述报告

通过搭建超高风电钢混塔过渡段连接检验测试平台，配置符合标准要求的超声轴力检测仪、磁粉探伤仪、相控阵超声检测仪、红外热成像仪、加速度传感器及振动信号采集系统等设备，在标准规定的检验工况条件下（塔筒静止、风速不宜大于10m/s、环境温度-5℃至+40℃），对过渡段连接开展全参数检验测试和验证。

按照本标准规定的流程与方法进行检验与评价后，过渡段连接各项性能指标均达到预设要求，检验结果可复现率100%，验证了标准技术内容的科学性与可操作性。

2. 技术经济论证

从技术层面，本标准整合了当前国内超高风电钢混塔过渡段连接检验领域的成熟技术成果与先进实践经验，构建了完整的检验评价技术体系。标准明确的检验分类体系（施工验收检验、在役定期检验、专项检验）、标准化检验流程与方法、数据处理与缺陷判定规则、连接可靠性综合评价方法，有效解决了行业内检验技术不统一、操作不规范、结果不可比的痛点，降低了行业检验技术门槛，提升了检验工作的效率与结果可靠性。标准核心技术指标贴合行业高端技术水平，同时兼顾在役风电场的运维需求，技术先进性与可操作性达到行业领先水平，填补了该领域标准空白。

从经济层面，本标准的实施将为行业带来显著的经济效益。对于风电开发与建设企业，标准化检验流程可大幅提升验收检验效率，降低因过渡段连接质量问题导致的返工成本和工期延误风险；统一的检验评价标准可减少企业重复的技术研发投入。对于风电场运维单位，规范化的在役定期检验可及早发现过渡段连接性能退化，避免因突发结构失效导致的重大安全事故和巨额经济损失。经测算，单座风电场因本标准实施可减少非计划停机损失和维修成本20%以上。对于行业整体，统一的检验评价体系将推动风电钢混塔行业规范化、高质量发展，带动检测认证、技术咨询、运维服务等产业链上下游降本增效。

3. 预期的经济效益

本标准实施后，将产生直接与间接双重经济效益。直接经济效益方面，通过标准化检验流程，提升风电场建设与运维的检验效率与质量管控水平，降低施工、运维全生命周期成本，为风电开发企业、钢混塔制造企业直接节约生产经营投入；同时，统一的检验评价标准将缩短项目验收周期，加快风电场并网发电速度，提升企业投资回报能力。

间接经济效益方面，标准化的评价体系将规范市场竞争秩序，避免行业内低质低价的无序竞争，推动行业向高质量、高安全方向发展；同时将带动风电检测认证、技术培训、安全评估等相关产业的规范化发展，形成良性的产业生态。长期来看，本标准将助力我国超高风电钢混塔技术提升国际竞争力，为国产风电技术装备“走出去”提供标准支撑。

4. 社会效益

本标准的实施具备显著的社会效益：

一是保障风电设施安全，维护公共安全。统一的检验评价技术规范为过渡段连接质量判定提供了明确依据，有效防范因结构失效导致的风电机组倒塔等重大安全事故，保障风电场周边人民群众的生命财产安全。

二是推动风电产业高质量发展。本标准填补了行业标准空白，为国内企业提供了统一的技术标杆，推动风电钢混塔设计、施工、运维技术的规范化升级，助力风电产业向大兆瓦、高轮毂高度方向健康发展，为国家能源结构转型和“双碳”目标实现提供技术支撑。

三是促进新能源产业规范化发展。风电作为可再生能源的重要组成部分，本标准通过规范核心结构部件的检验评价技术，推动风电产业的规范化、安全化发展，助力新能源产业与经济社会发展的深度融合。

5. 生态效益

本标准通过保障超高风电钢混塔的结构安全与运行可靠性，间接支持了风电场的长期稳定运行和清洁能源的持续输出，减少了因结构故障导致的非计划停机对电网的冲击，提升了风电作为清洁能源的利用效率，对推动能源结构优化和碳减排具有积极的生态效益。

七、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况。

无。

八、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

无。本文件自主制定。

九、标准主要内容

1. 范围：明确本文件规定的核心内容，包括超高风电钢混塔过渡段连接可靠性检验与评价的术语和定义、总体检验要求、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等；同时明确本文件的适用范围为轮毂高度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。

2. 规范性引用文件：列出本文件引用的GB/T 19072、GB/T 11345、GB/T 26951、NB/T 10907、NB/T 47013.15等现行有效标准。

3. 术语和定义：明确钢混塔过渡段、连接可靠性、螺栓预紧力衰减、结合面脱空、模态特征参数、相控阵超声检测、结合面脱空率、可靠性等级等8项核心术语的定义，统一行业概念表述。

4. 总体检验要求：规定检验分类、在役定期检验周期、人员与设备要求、检验工况条件、检验方案编制等总体要求，为各项检验工作提供基本遵循。

5. 外观与宏观检查：规定外观检查的一般要求、检查内容及检查记录要求。

6. 连接件与焊缝检验：整合连接件性能检验和节点焊缝无损检测，规定高强螺栓轴力检测、预应力钢绞线及锚具检验、磁粉检测、超声检测、相控阵超声检测的技术要求、抽样方案、操作方法与判定准则。

7. 结合面与动力性能检验：整合钢-混凝土结合面检验和动力学性能检验，规定红外热成像检测、敲击检测、振动模态测试、模态参数提取的技术要求与判定准则，包括结合面脱空率计算公式及允许值。

8. 数据处理与可靠性综合评价：整合数据处理与缺陷判定、连接可靠性综合评价，规定数据处理规则、缺陷等级划分、关键缺陷项识别、可靠性等级划分及评价报告要求。

十、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本文件的制定过程等符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

十一、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

十二、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准作为推荐性团体标准。

十三、贯彻标准的要求和措施建议，包括（组织措施、技术措施、过渡办法）

由于本文件首次制定，没有特殊要求。

十四、废止现有有关标准的建议

无。

团体标准工作组
2026 年 8 月