

风电工程建设质量管理的基础理论与标准化体系研究

邓石焱

国家电投集团贵州金元股份有限公司安顺水力发电总厂，贵州 安顺 561000

DOI:10.61369/EPTSM.2026010020

摘 要： 在“双碳”目标驱动下，风电工程作为清洁能源产业的核心组成部分，其建设质量直接关乎能源供应安全、项目投资效益与生态环境保护。本文系统梳理风电工程建设质量管理的基础理论，包括全面质量管理理论、PDCA循环理论、风险预控理论的核心内涵与应用逻辑；结合山地、海上等不同场景风电工程的施工特性，从前期策划、设计、施工、验收全流程构建标准化体系框架，明确各阶段质量控制要点。通过分析当前风电工程质量管理中存在的协同不足、技术适配性差等问题，提出理论落地与标准实施的保障路径。研究可为提升风电工程建设质量管控水平、推动行业高质量发展提供理论支撑与实践参考。

关 键 词： 风电工程；建设质量管理；基础理论；标准化体系；风险控制

Research on the Basic Theory and Standardization System of Quality Management in Wind Power Engineering Construction

Deng Shiyi

State Power Investment Corporation Guizhou Jinyuan Co., Ltd. Anshun Hydroelectric Power Plant,
Anshun, Guizhou 561000

Abstract： Driven by the "dual carbon" goal, wind power engineering, as a core component of the clean energy industry, has a direct impact on energy supply security, project investment efficiency, and ecological environment protection in terms of its construction quality. This article systematically reviews the basic theories of quality management in wind power engineering construction, including the core connotations and application logic of Total Quality Management theory, PDCA cycle theory, and risk pre control theory; Based on the construction characteristics of wind power projects in different scenarios such as mountainous and offshore areas, a standardized system framework is constructed from the entire process of early planning, design, construction, and acceptance, clarifying the key points of quality control at each stage. By analyzing the problems of insufficient collaboration and poor technical adaptability in current wind power engineering quality management, this paper proposes a guarantee path for theoretical implementation and standard implementation. Research can provide theoretical support and practical reference for improving the quality control level of wind power engineering construction and promoting high-quality development of the industry.

Keywords： wind power engineering; construction quality management; basic theory; standardization system; risk control

引言

“双碳”目标下，风电作为清洁能源核心产业，建设规模持续扩大并向复杂场景延伸，我国风电累计装机容量已连续多年位居全球首位，产业发展势头强劲。但风电工程建设环节复杂，涉及地质勘察、设备安装、高空作业等多个领域，受自然环境不确定性、技术集成难度大、多主体协同复杂等因素影响，质量隐患突出，据行业统计，多数项目延期超支与质量管理体系不完善直接相关。

当前行业质量要求已转向全生命周期管控，但理论与实践脱节、标准适配性不足等问题仍制约管理水平提升。因此，系统研究质量管理基础理论、构建科学可操作的标准化框架，不仅能有效规避质量风险、保障项目安全稳定运行，更对提升行业整体管控水平、推动风电产业高质量发展具有重要现实意义。

一、风电工程建设质量管理的基础理论解析

（一）全面质量管理理论

全面质量管理理论（TQM）是风电工程建设质量管理的核心指导理论，其核心要义在于“全员参与、全过程控制、全方位覆盖”。与传统质量管理聚焦施工环节不同，全面质量管理理论要求将质量管控贯穿于风电工程从前期项目策划、可行性研究、设计阶段，到施工实施、设备安装调试，再到竣工验收与运维交接的全生命周期。在风电工程建设中，全面质量管理理论的应用体现在三个层面：一是全员责任体系构建，明确业主、设计单位、施工企业、监理单位、设备供应商等各参建方的质量职责，形成“人人有责、层层把关”的管理格局；二是全流程质量控制，针对不同阶段的核心任务制定针对性管控措施，如前期阶段的风资源评估与地质勘察质量控制、施工阶段的混凝土浇筑与设备安装精度控制等；三是全方位要素管理，涵盖人员技能、材料质量、设备性能、施工工艺、环境条件等影响工程质量的所有要素，实现统筹管控。

在山地风电项目中，全面质量管理理论的实践价值尤为突出。山地风电机形复杂、交通不便，施工过程中易受暴雨、滑坡等自然风险影响，通过全员参与的质量管控模式，可实现对原材料运输、基础开挖、塔筒吊装等关键环节的全程监督，有效降低质量隐患。例如，在某山地风电场建设中，通过建立“班组自检、项目部复检、监理验收”的三级质量检查制度，结合全员质量培训，使风机基础混凝土强度合格率提升至100%，显著提升了工程质量稳定性。

（二）PDCA循环理论

PDCA循环理论（计划-执行-检查-处理）为风电工程质量管控提供闭环逻辑，需结合工程阶段动态迭代。计划阶段依据规范与项目实际制定质量目标及方案；执行阶段严格落实措施，强化规范操作；检查阶段通过巡检、检测等方式核查目标实现情况、发现偏差；处理阶段整改问题、总结经验，将成熟措施纳入标准流程，实现质量持续提升。

其闭环特性可精准防控质量问题，适配风电技术更新快的特点。如海上风电基础导管架建造中，通过该循环优化焊接工艺，能大幅提升焊接合格率，降低返工成本与工期风险，并可随技术升级持续完善管控方案。

（三）风险预控理论

风险预控理论是应对质量不确定性的核心理论，核心思路为提前识别风险、制定防控措施，实现“预防为主、防治结合”。风电工程质量风险涵盖自然环境、技术、管理多维度，需建立全流程风险识别防控机制，项目初期通过可行性研究等识别风险，采用风险矩阵法评估等级并制定专项方案。

该理论可有效规避风机基础大体积混凝土施工的裂缝风险，通过识别配合比、养护等风险因素，采取优化配合比、实时温控等措施提升施工质量。同时，建立应急响应机制应对突发风险，可最大限度降低损失。

二、风电工程建设质量管理标准化体系构建

（一）标准化体系构建原则

风电工程建设质量管理标准化体系的构建需遵循系统性、适配

性、可操作性与动态性原则。系统性原则要求覆盖工程建设全生命周期，整合前期策划、设计、施工、验收等各阶段质量管控要求，形成完整的标准体系框架；适配性原则需结合不同类型风电工程的特点，如陆上平原、山地、海上风电的施工差异，制定差异化的质量标准与管控措施；可操作性原则要求标准内容具体明确，避免模糊表述，确保施工人员、管理人员能够准确理解与执行；动态性原则则强调标准体系需根据行业技术发展、政策调整、实践经验不断更新完善，适应风电工程建设的新形势与新要求。

同时，标准化体系构建需以国家相关规范为基础，衔接ISO 9001质量管理体系标准，结合风电行业特性细化具体要求。通过标准化体系的构建，可规范各参建方的质量行为，减少人为因素对工程质量的影响，提升质量管理的规范化与科学化水平。

（二）标准化体系核心框架

1. 前期策划阶段标准化

前期策划阶段是风电工程质量管控的源头，标准化内容主要包括可行性研究、地质勘察、风险评估三个核心环节。可行性研究阶段需明确质量目标，对风资源评估、场地选址、技术方案选型等进行标准化论证，确保项目可行性研究报告符合《风电场规划报告编制技术规定》等国家规范要求；地质勘察阶段需制定标准化勘察流程，明确勘察点位布设、样本采集、检测指标等要求，重点关注地基承载力、土层分布等关键参数，为基础设计提供准确依据，避免因勘察数据偏差导致基础质量隐患；风险评估阶段需建立标准化风险识别清单，涵盖自然环境、技术、管理等各类风险因素，采用统一的风险评估方法确定风险等级，制定标准化的风险防控预案。

2. 设计阶段标准化

设计阶段质量直接决定风电工程的先天质量水平，标准化体系需明确设计输入、设计评审、设计输出等环节的要求。设计输入阶段需规范基础资料收集范围与质量要求，包括地质勘察报告、风资源数据、设备参数等，确保设计依据的准确性与完整性；设计评审阶段需建立标准化评审流程，组织业主、监理、施工等多方主体参与，重点评审设计方案的技术可行性、质量安全性、经济合理性，针对风机基础形式、塔筒结构设计等关键内容进行专项论证；设计输出阶段需规范设计图纸、技术文件的编制标准，明确图纸审核流程，确保设计图纸完整、准确，符合施工要求，避免因设计缺陷导致施工质量问题。

3. 施工阶段标准化

施工阶段是质量管控的核心环节，标准化内容覆盖施工准备、工序作业、质量检测三个方面。施工准备阶段需制定标准化的材料设备验收流程，明确原材料（如混凝土、钢筋）、设备（如风机主机、塔筒）的质量标准与检验方法，不合格材料设备严禁进入施工现场；工序作业阶段需针对关键工序制定标准化作业指导书，如风机基础大体积混凝土浇筑、振捣、养护作业标准，塔筒吊装、焊接作业规范，明确各工序的操作步骤、技术参数、质量控制点。例如，混凝土浇筑需规范浇筑顺序、振捣频率与时间，养护需明确养护方式、养护周期及温度控制要求；质量检测阶段需建立标准化检测流程，明确检测项目、检测频率、检测方法，如混凝土强度检测、焊缝无损检测、螺栓紧固扭矩检测等，确保检测数据真实可靠，及时发现并整改工序质量问题。

针对山地风电施工难度大的特点，需制定专项施工标准化措

施，包括地形平整、材料运输、边坡防护等方面的规范要求；对于海上风电，需重点规范基础导管架建造、海上吊装等特殊工序的质量标准。通过施工阶段的标准化管控，可有效提升工序作业质量的稳定性。

4. 验收阶段标准化

验收阶段标准化是确保工程质量符合要求的最后一道防线，包括分项工程验收、分部工程验收、单位工程验收三个层级。各层级验收需制定标准化验收流程，明确验收条件、验收内容、验收标准、验收人员职责等要求；验收资料需规范化整理，包括施工记录、检测报告、设计变更文件等，确保资料完整可追溯；对于验收中发现的质量问题，需建立标准化整改机制，明确整改时限、整改要求、复查流程，确保问题整改到位后才能进入下一阶段验收。验收合格后，需出具标准化验收报告，作为工程交付与运维交接的依据。

三、风电工程建设质量管理理论与标准的实施保障

（一）构建协同管理机制

风电工程建设涉及多参建主体，各主体间的协同不足是导致质量问题的重要原因之一。需建立标准化的协同管理机制，以业主为核心搭建统一的项目管理平台，整合设计、施工、监理、设备供应商等各方资源，实现信息共享与高效沟通。通过平台实现质量计划、检测数据、整改通知等信息的实时传递，减少信息不对称导致的管理滞后；建立定期协同会议制度，标准化会议流程与议题，及时协调解决质量管理中的跨主体问题；明确各参建方的质量职责边界，制定标准化的责任划分清单，避免出现责任推诿现象。

例如，某百万千瓦级风电基地通过成立联合指挥部，推行 EPC 总承包模式，搭建智慧工地管理平台，实现各参建方的协同管控，项目较原计划提前两个月投产，且未发生重大质量安全事故。协同管理机制的构建为理论落地与标准实施提供了组织保障。^[1-5]

（二）强化技术支撑体系

技术创新是提升质量管理水平的重要驱动力，需强化技术支撑体系建设，推动数字化、智能化技术与质量管理的融合。推广 BIM（建筑信息模型）技术在风电工程中的应用，通过三维建模

实现设计方案的可视化审核，提前发现设计冲突；在施工阶段，利用 BIM 技术模拟施工流程，优化施工方案，实现对关键工序的精准管控。引入无人机巡检、AI 图像识别等技术，提升质量检测的效率与准确性，如通过无人机对塔筒外观质量进行巡检，通过 AI 图像识别技术检测焊缝缺陷，降低人工检测的误差率。

同时，加强技术研发与成果转化，针对风电工程质量管理中的难点问题，如海上风电基础防腐、山地风电边坡稳定等，开展专项技术研究，形成标准化的技术解决方案。建立技术培训体系，定期对施工人员、管理人员进行质量标准与技术操作培训，提升全员技术水平与质量意识，确保理论与标准能够准确落地执行。

（三）完善监督考核机制

建立标准化的监督考核机制，是保障质量管理理论与标准有效实施的关键。设立专门的质量监督机构，配备专业监督人员，按照标准化监督流程对工程建设全流程进行监督检查，重点关注关键工序、重要部位的质量管控情况；建立质量考核评价体系，制定标准化的考核指标，包括质量合格率、整改完成率、资料完整性等，对各参建方的质量表现进行定期考核。

将考核结果与奖惩机制挂钩，对质量管控成效显著的单位与个人给予表彰奖励，对违反质量标准、导致质量问题的主体进行处罚，强化各参建方的质量责任意识。同时，建立质量追溯机制，对工程质量问题进行全程追溯，明确责任主体，总结经验教训，为标准体系的优化提供依据。^[6-10]

四、结论

全面质量管理、PDCA 循环、风险预控三大理论构成风电工程建设质量管理的核心理论基础，为工程全生命周期质量管控提供了科学指导。构建覆盖前期策划、设计、施工、验收全流程的标准化体系，可有效规范各参建方质量行为，提升管理规范化水平。通过搭建协同管理机制、强化技术支撑、完善监督考核机制，能够推动理论落地与标准实施，切实解决当前行业存在的协同不足、技术适配性差等突出问题，为保障风电工程建设质量、推动行业高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

[1] 徐慧, 卢国华. 风机基础大体积混凝土施工质量控制措施探究 [J]. 建筑机械化, 2024, 45(4): 80-84.
[2] 朱叶沁. 山地风电风机基础土建施工与质量管理研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(16): 145-147.
[3] 蓝燕云. 风电工程管理如何实现高效协同与风险控制 [EB/OL]. 2025-12-18. <https://www.lanyancloud.com/news/2001777626540302336>.
[4] 李青. 浅析山区风电风机基础实体质量控制 [J]. 河南电力, 2023(S02): 33-35.
[5] 张斯铭. 风电工程风机基础大体积混凝土施工要点与质量管理措施分析 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(7): 149-151.
[6] 佚名. 风电工程关键技术质量控制要点分析 [J]. 石油化工建设, 2023, 45(9): 85-87.
[7] 曹磊. 风电场基础大体积混凝土裂缝控制施工技术探微 [J]. 广东水利电力职业技术学院学报, 2023, 21(3): 29-32.
[8] 邵双. 混凝土一次浇筑成型施工技术在陆上风机基础中的应用 [J]. 中国高科技, 2023(9): 60-62.
[9] 杨春侠, 朱陶炜, 于增豪. 初始偏差对风机基础最大位移的影响规律 [J]. 可再生能源, 2023, 41(9): 1208-1213.
[10] 戴丹丹. 某风电场风机基础施工质量检测 [J]. 工程质量, 2023, 41(6): 99-102.