戈壁区风机基础大体积混凝土施工质量管控措施研究

梁　博　牛兆鹏　邵书森　陈振华　莫勇博
中建三局集团有限公司　湖北　武汉　430075

摘　要：戈壁地区干旱少雨、蒸发量大、昼夜温差悬殊、风沙频繁，风机基础大体积混凝土易出现塑性收缩裂缝、温度贯通裂缝、表面夹砂麻面及养护缺水强度不足等质量通病。本文以戈壁风电工程风机基础施工为对象，从原材料管控、配合比优化、施工工序、温控防裂、专属养护、冬夏专项施工及质量检验等方面构建全流程质量管控体系。研究表明，采用低水化热原材料、大掺量掺合料配合比、密闭锁水保温一体化养护及全过程温控监测等关键技术，可有效抑制裂缝产生，提升混凝土密实度与耐久性，保障风机基础长期安全运行，可为戈壁及类似恶劣地区工程提供参考。

关键词：戈壁地区；风机基础；大体积混凝土；质量管控；温控防裂；密闭养护

引言：我国西北戈壁地区风能资源丰富，是风电项目重点建设区域。风机基础作为风电机组的关键承重结构，多为大体积厚板式混凝土，单次浇筑方量大、水化热集中、结构安全性要求高。戈壁荒漠环境干旱、强蒸发、昼夜温差大、风沙频发、地基保水性差，常规施工与养护工艺难以满足抗裂、密实、耐久要求，易导致裂缝夹砂、强度不足等问题，直接影响塔筒安装精度与风机长期运行安全。本文结合工程实践，系统梳理戈壁区环境特征与质量风险，建立从原材料、配合比、浇筑、温控、养护到成品保护的全链条质量管控措施，形成适用于戈壁极端环境的风机基础大体积混凝土施工技术体系，为同类工程提供可复制、可推广的技术方案。

1 戈壁区环境特征与质量风险分析

1.1 气候与地质特点

戈壁区域气候表现为干旱少雨、湿度极低、水分蒸发剧烈、日照强烈、紫外线强、昼夜温差大、大风沙尘天气频发。地质以砂砾石地层为主，孔隙大、透水性强、保水性差，地基吸热与散热速度快，对混凝土水化热控制、底部粘结、表面保水养护极为不利。

1.2 风机基础结构特点

风机基础为大体积厚型混凝土结构，单次浇筑方量大、截面厚度大，水泥水化放热集中，内部温升快、温升高；外部环境温差大、表面散热快，极易形成过大内外温差引发温度裂缝。基础环安装精度要求高，混凝土开裂、沉降、密实度不足将直接影响塔筒垂直度、结构耐久性与运行安全。

1.3 主要质量通病

戈壁区风机基础大体积混凝土的质量通病具有明显的环境诱发特征。（1）表面失水过快，产生塑性收缩裂缝与表面龟裂。空气湿度极低、风速大，表面水分蒸发远大于内部泌水，初凝前即形成网状龟裂或平行短缝，破坏表层密实度，为风沙侵蚀与盐碱渗入提供通道。（2）水化热集中，内外温差超限引发深层及贯通裂缝。截面厚度大，水化放热集中，内部温度快速升高，而表面散热快，内外温差易超 25℃限值，温度应力超过抗拉强度即形成深层裂缝，严重时贯穿截面。（3）风沙落入未凝固混凝土，造成夹砂、麻面、起砂、蜂窝。风沙颗粒落入表面后被后续浇筑层覆盖，形成夹砂层，削弱层间粘结，表面出现麻面起砂，影响外观与耐久性[1]。（4）水源匮乏，养护不到位导致强度增长不足。常规洒水养护难以持续，表面长期干燥，水化不充分，强度增长受限，抗渗性与耐久性下降。（5）基础环周边振捣不密实，出现空鼓、收缩缝隙。金属与混凝土收缩性能差异大，界面处易产生缝隙，影响基础环受力与塔筒垂直度。（6）降温速率过快，产生次生裂缝。覆盖层过早揭开或遭遇寒潮，表面温度骤降，形成新的温度梯度，产生次生裂缝。（7）强日照与大风造成表层酥松、耐久性下降。紫外线照射与大风冲刷使表层浆体风化、酥松，抗风沙磨蚀能力下降。（8）基底快速吸水，导致底部疏松、粘结不良。砂砾石地基透水性强，底部水分被迅速吸走，浆体失水后疏松，与基底粘结不良，影响基础整体受力。

2 原材料与配合比质量管控

2.1 水泥

优先选用低水化热矿渣硅酸盐水泥，严禁使用早强型、高水化热水泥。严控安定性、强度、初凝及终凝时间指标；水泥罐搭设遮阳防护，降低水泥初始温度，从源头降低混凝土入仓温度。

2.2 掺合料

采用粉煤灰、矿粉双掺技术，大量替代水泥，降低水化热峰值，改善混凝土粘聚性与保水性。进场材料必须复检合格，严格控制掺量、细度、烧失量。

2.3 粗细骨料

粗骨料采用连续级配碎石，粒径合理偏大，必须水洗筛分处理，堆场遮阳降温；细骨料选用洁净中粗砂，严禁使用风积沙、细砂、风化砂，严控含泥量。

2.4 外加剂与拌合用水

外加剂选用缓凝型高效减水保水复合外加剂，禁止使用早强外加剂，具备缓放热、减水增强、锁水保塑功能，适配大体积连续浇筑，进场复验合格，严格计量使用。拌合用水应洁净无杂质，严禁含盐碱、含泥沙的戈壁地下水；高温季节采用深层地下水拌合，降低出机温度；现场储备养护用水，做好防渗储存[2]。

2.5 混凝土配合比专项优化设计

配合比遵循低水泥用量、大掺量掺合料、低水胶比原则，实现以下目标：最大限度降低绝热温升，控制水化热峰值；提升浆体保水性能，抵抗戈壁强蒸发；延长凝结时间，保证连续浇筑无施工冷缝；减小收缩变形，提升结构抗裂能力；满足设计强度、抗渗及户外耐久性要求；保证和易性与泵送性能，不离析、不泌水。

3 基础施工工序质量管控

3.1 基底及垫层

清理基底浮沙、松散砾石，浇筑前适度润湿至表面湿润无积水；垫层平整密实、养护达标；基坑周边设置挡沙设施，防止风沙污染。



图 1 基坑清理

3.2 基础环及预埋构件

复核基础环水平度、同心度、标高、垂直度，采用专用支架牢固固定。混凝土内外对称下料、对称振捣，基础环周边加密振捣，确保密实无空鼓、无位移。

3.3 拌合站生产

计量系统全自动精准计量，严格执行审批配合比，严禁私自加水；实时监测出机温度、坍落度；规范留置试块；罐车匀速转动，离析、超时混凝土严禁入仓。

3.4 现场浇筑

采用一次性整体连续浇筑加斜面分层推移工艺，不留冷缝；高温时段控制入模温度不高于 30℃，优先清晨、傍晚、夜间施工；分层均匀布料，禁止集中堆料；振捣快插慢拔，插点均匀，关键部位旁站验收；六级及以上大风停止作业，搭设防风沙围挡；执行三次抹压收面，消除早期裂缝，收面后立即覆盖[3]。



图 2 混凝土振捣

4 温控防裂与专属养护质量管控

4.1 大体积混凝土温控专项管控

温控防裂为戈壁大体积混凝土核心控制点，遵循内部散热缓释、外部保温护温原则，温控指标严格按照大体积混凝土施工标准执行。内部温控方面，采用低热配合比降低水化热，预埋测温传感器实时监测中心、边缘、上下层温度，延缓放热周期，避免热量集中释放。外部保温方面，浇筑完成后立即全覆盖保温保湿材料，严禁裸露暴晒、大风直吹，减缓表面散热，缩小内外温差。温控强制指标包括：内部最高温度与表面温度差不大于 25℃；表面温度与环境温度差不大于 20℃；降温速率平缓，严禁急剧降温；前 3 天每 2 小时测温一次，4 至 7 天每 4 小时一次，后期每 8 小时一次，温差达标后方可逐步调整养护措施。

4.2 戈壁区专属养护质量管控

采用密闭锁水、保温隔热、防风沙、长效全覆盖一体化养护方案，摒弃常规露天洒水养护。初凝后立即养

护，终凝前完成全覆盖，养护周期不少于 14 天，实现锁水、保温、防风沙、防晒、缓冷防裂。分阶段养护包括：早期防裂养护采用塑料薄膜加土工布双层密闭，自养护锁水，禁止直接洒水；中期保湿养护以薄膜密闭为主，少量间歇补水，不揭膜、不裸露；后期缓冷养护增设保温毛毡或棉被，平缓降温，夜间加强保温。特殊环境应对方面，大风天气覆盖层压重固定并搭设防风围挡；高温强日照增设遮阳层；缺水环境以自养护为主，节水循环；昼夜温差全程覆盖不揭盖；养护期混凝土全程不裸露[4]。养护巡检应设专人全天候值守，建立养护台账，禁止踩踏、堆载、外力扰动，养护期未满严禁拆除覆盖层。

4.3 全过程裂缝综合防控措施

混凝土结构裂缝控制应遵循工程结构裂缝控制相关理论，结合戈壁环境采取综合防控：原材料低热优化，配合比抗收缩专项设计；严控入模温度，避开极端天气施工；连续均衡浇筑，振捣密实，杜绝冷缝；多次抹压收面，闭合早期微裂缝；严格执行温控指标，控制温差与降温速率；全周期密闭保温保湿养护，阻断强蒸发与风冷；做好防晒、防风沙、防急冷防护；禁止过早回填与周边振动荷载；定期外观巡查，细微裂缝及时封闭处理。

5 成品保护、专项施工与质量检验

5.1 成品保护

养护期满前禁止机械碾压、振动扰动；回填对称分层夯实，无尖锐砾石；基础外露面做好耐久性防护，防止风沙与盐碱侵蚀。



图 3 土方回填

5.2 冬夏季专项施工

夏季高温施工时，骨料遮阳降温，低温水拌合；避开 11:00 至 18:00 高温时段；采用缓凝配合比；加密密闭覆盖，严控入模温度。冬季低温施工时，拌合水适当加热，骨料无冻块冰雪；控制最低入模温度；加厚保温被覆盖；延长养护周期，严禁低温揭盖；基底冻土清理干净后方可浇筑。

5.3 质量检验、试验及资料归档

风机基础施工质量验收应按照风力发电场相关验收规程执行，主要管控内容包括：原材料进场全项复检；配合比设计、温控方案审批齐全；逐车记录出机温度、入模温度、坍落度；测温记录完整，包含内部、表面、环境温度及温差；试块留置规范，强度检测合格；外观无裂缝、麻面、夹砂、起砂，平整度满足要求；基础环精度复测合格；施工、养护、隐蔽验收、天气记录完整归档[5]。

5.4 结论

（1）戈壁恶劣环境下，风机基础大体积混凝土必须实施原材料、配合比、施工、温控、养护全链条质量管控，才能有效解决开裂、密实度不足、表面缺陷等核心问题。（2）低水化热配合比与大掺量掺合料是温控防裂的基础，密闭一体化养护是应对强蒸发、缺水、大风、温差大的关键技术。（3）严格执行入模温度控制、三次收面、对称振捣、防风沙、全过程温控监测等关键工艺，可显著提升结构质量与长期耐久性。（4）本文提出的管控体系可直接应用于戈壁及西北荒漠地区同类风机基础工程，具有较强的工程实用性与推广价值。

结束语

本文针对戈壁区风机基础大体积混凝土施工质量管控进行了系统研究，所提出的全流程管控体系已在工程实践中得到验证。但受限于工程条件，本文未对不同配合比方案的温控效果进行定量对比，也未涉及长期耐久性跟踪监测数据。未来，随着风电工程向更恶劣环境拓展，大体积混凝土施工质量管控技术仍需在材料、工艺、监测等方面持续优化，为新能源基础设施建设提供更可靠的技术支撑。

参考文献

[1] 韩君. 大体积混凝土施工质量管控 [J]. 建筑施工,2021,43(9):1807-1809.

[2] 刘伟奇. 冬季大体积混凝土施工质量管控关键技术体系研究 [J]. 水泥，2026(2)：132-134.

[3] 毕映鹏. 大型桩筏基础筏板大体积混凝土施工质量控制技术 [J]. 石材，2025(4)：124-126.

[4] 周国忠. 大体积混凝土施工技术及质量控制要点 [J]. 石油化工技术与经济，2024，40(1):35-39.

[5] 马卫静, 彭元凤, 彭丽丹. 超长大体积混凝土结构标准化施工体系构建 [J]. 建筑,2026(4):99-101.