

大型 LNG 储罐大体积混凝土承台施工关键技术与管控实践研究

牛海洋

江苏华电赣榆液化天然气有限公司 江苏 222000

【摘要】：以国内某大型 LNG 项目三座储罐承台工程为背景，针对其单台混凝土方量大（约 9500m³）、强度等级高（C50P8）、施工环境复杂及裂缝控制要求严格等特点，系统研究了超大体量混凝土承台施工的关键技术与全过程管控方法。通过实施基于销项表的前置条件管理、网格化与可视化现场管理，确保了施工组织的精确性。在过程控制中，重点解决了隔震垫安装、高温及雨季浇筑、混凝土入模温度与工作性控制等难题，并针对“人、机、料、法、环”五个维度归纳了常见问题与标准化处置措施。尤为关键的是，通过实时监测与数据分析，动态优化了大体积混凝土的养护策略，揭示了内部温度发展、温差变化与表面裂缝生成的规律，提出并验证了“延迟注水养护法”，有效控制了温度应力裂缝。本研究总结的成套技术与管理实践，为类似海洋环境下大体量、高强度混凝土结构的优质高效施工提供了可借鉴的经验。

【关键词】：LNG 储罐；大体积混凝土；承台施工；裂缝控制；温度监控；施工管理；动态养护

DOI:10.12417/2811-0528.26.18.010

1 引言

液化天然气（LNG）储罐是能源基础设施的核心构筑物，其承台作为上部巨型储罐的基础，具有直径大、厚度大、混凝土标号高、抗渗要求严等特点，属于典型的大体积混凝土结构。此类结构的施工面临水化热控制难、温度裂缝风险高、施工组织复杂等一系列挑战。特别是在沿海地区，多变的气候环境进一步加剧了施工质量控制难度。因此，系统研究其施工全过程的关键技术与管理方法，具有重要的工程价值。本文结合赣榆 LNG 项目三座储罐承台的成功实践，从施工准备、过程管控到养护优化进行全方位剖析，旨在形成一套可复制、可推广的施工技术体系。

2 工程概况与施工挑战

本项目储罐承台设计为圆形板式结构，半径 47.6 米，中心厚度 1.2 米，边缘加厚至 1.5 米。混凝土设计强度等级为 C50，抗渗等级 P8。单台承台混凝土浇筑量约 9500 立方米。核心挑战在于：1）体量大、工期紧：需在最短 32 天、最长 45 天的窗口期内完成单台浇筑，且三台总工期仅 50 天；2）质量要求高：高强度等级混凝土的水化热控制与抗裂问题突出；3）环境复杂：施工跨越季节转换期，面临温差大、海边风速快、偶发降雨等多重环境因素影响。

3 精细化施工准备体系

3.1 基于销项表的前置条件管理

为确保施工开端顺利，创新性引入“开工条件销项表”管理工具。该表系统性地将开工前准备工作分解为资源准备、文件准备、计划控制、资料报审、材料机具报批验收、现场施工准备、人员设备进场等 7 个大项，进一步细化为 59 个具体核

查子项。通过逐一对照、落实、销项，实现了从“经验判断”到“清单验证”的管理模式转变，彻底杜绝了因准备不足导致的停工或质量隐患，为连续施工奠定了坚实基础。

3.2 网格化与可视化现场布置

实施质量与安全网格化管理，明确各区域管理责任人，实现责任穿透，确保问题可快速追溯与响应。同时，在每个施工区域显著位置张贴《承台施工作业指导书》，将复杂的工艺流程、技术参数、控制要点以图表化、通俗化的方式呈现，使现场作业与管理人员能够快速、准确地掌握关键操作要求，提升了施工执行的规范性与一致性。

4 施工过程关键控制技术

4.1 特殊构件安装精度控制——以隔震垫为例

隔震垫的安装质量直接关系到储罐的长期安全。施工初期遇到两个主要问题：一是下部基础混凝土凿毛不到位，影响粘结；二是吊装过程中油漆保护层易磕碰。通过组织专题会议，形成解决方案：1）明确凿毛验收标准为“骨料均匀露出”，并由监理单位逐一对完成面进行验收与标识，合格后方可进入安装工序；2）优化吊装工艺，在吊点处增设专用连接螺栓，变钢丝绳直接捆绑为螺栓连接，彻底避免了吊装对构件的损伤。

4.2 大体积混凝土连续浇筑综合保障技术

针对浇筑方量大、持续时间长的特点，构建了全方位的保障体系：

气象风险应对：与地方气象部门建立联动预警机制，科学规划浇筑“窗口期”，主动避开雷暴等恶劣天气。现场常备足

量应急雨布，建立突发降雨快速覆盖响应机制。

高温期施工控制：实行“错峰作业”，将主要浇筑活动安排在下午及夜间进行。同时，配置遮阳棚、提供防暑降温饮品，保障人员健康，间接确保施工质量稳定。

全过程值班体系：要求项目管理及关键工种人员全程跟班作业，形成“现场问题即时发现、即时决策、即时处理”的高效响应链。

4.3 混凝土工作性与裂缝源头控制

针对 C50P8 混凝土粘度大、对温度和配合比敏感的特点，实施“双源头”管控：

生产源头管控：派遣技术人员常驻商品混凝土站，监督原材料质量与配合比执行情况。通过向拌合水中加冰的措施，有效降低混凝土出厂温度。每车混凝土均进行坍落度检测并签发出厂单据。

入场过程管控：混凝土运抵现场后，进行二次坍落度与入模温度检测，对不合格品坚决予以退场。浇筑过程中，增加监理与施工方管理人员，专职监督分层下料与振捣作业，确保振捣充分且不过振，防止离析。

4.4 过程常见问题系统化解决方案

通过对施工中暴露问题的系统归纳，从“人、机、料、法、环”五个维度总结了 12 类典型问题及其标准化处置措施（见表 1）。该表形成了现场问题快速解决的“知识库”，提升了管理的系统性与前瞻性。

表 1 承台施工过程常见问题及解决措施

序号	问题维度	问题事项	解决措施
1	人员	振捣人员不足，分工不明	增加定员，建立备用班组，动态调整浇筑节奏
2		振捣方法不规范	现场模拟交底，明确插入深度、间距等参数
3		收面不及时	优化工序衔接，引入提浆

			机、磨光机辅助收面
4		罐车卸料操作不当	规范“慢-快-慢”卸料节奏，使用导向槽
5	材料	混凝土坍落度不合格或离析	双点检测（站内、现场），不合格坚决退场
6		供应节奏不匹配	根据浇筑阶段动态调整搅拌站生产速度
7	机具	振捣棒备用不足	提前规划，确保备用设备投入
8	环境	风大、温差大致表面失水快	初凝后立即覆盖保水，或采用养护剂
9		运输通道不畅	规划并完善专用运输通道，避免干扰与陷车
10	方法	浇筑顺序与分层不当	严格限定分层厚度，控制推进速度，避免冷缝

5.基于监测数据的动态养护优化技术

养护是控制大体积混凝土温度裂缝的核心环节。项目严格执行《大体积混凝土施工标准》（GB 50496），控制内外温差与最高温度，并根据实时监测数据进行动态优化。

5.1 初期问题与调整

在二号储罐施工初期（环境温度较低），采用“一层薄膜+一层棉毡+定期浇水”的常规养护法，导致表面散热过快，内外温差过大，表面裂缝增多。经技术研讨，改为“双层薄膜+双层棉毡”的保温蓄热法，有效减小了温差，但导致核心温度峰值略有升高。

5.2 温度发展规律发现与策略再优化

随着施工进入气温升高阶段，核心温度最高超过 90℃，虽温差可控，但绝对温度过高导致温度应力增大，表面裂缝再次增加。通过对海量温度监测数据的分析（图 1，图 2），发现了明确规律：

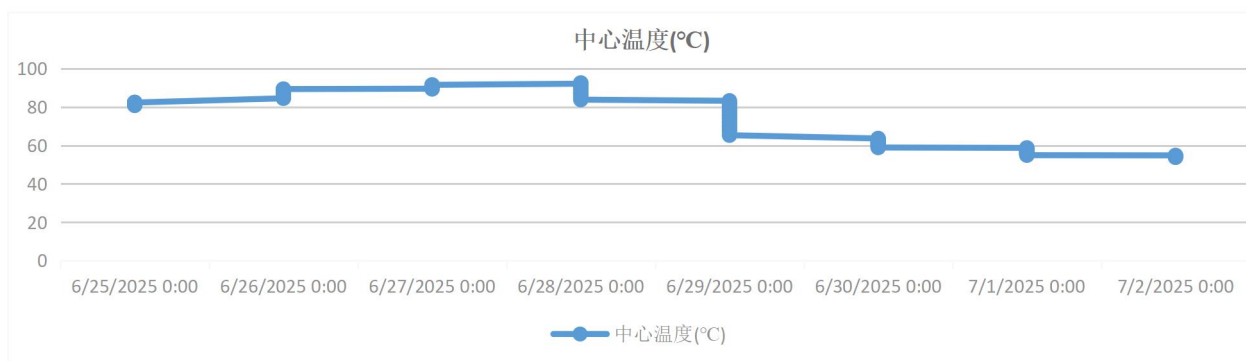


图1 核心温度峰值出现在浇筑后第3-4天。

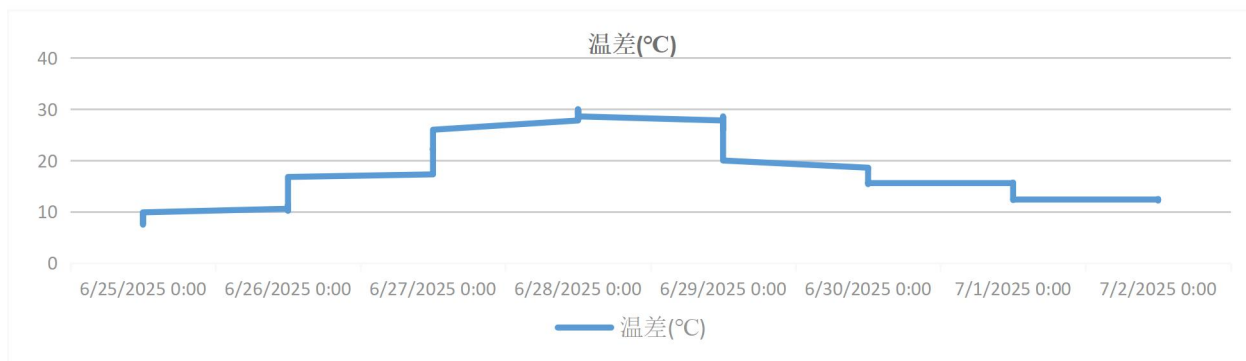


图2 内外最大温差出现在浇筑后第4-5天。

早期水化热膨胀与后期降温收缩是裂缝产生的主要驱动力。

基于此规律,创新提出了“延迟注水养护法”:在浇筑后前5-7天,采用纯保温(覆盖)的方式,抑制表面过快冷却,减小早期温差应力。待核心温度已显著下降(约第7天),内外温差风险已过峰值时,再进行集中注水养护。此时注水引起的表面冷却不会造成大的温差,而其产生的冷缩效应恰好可以部分抵消混凝土早期产生的膨胀应变,从而有效减少表面收缩裂缝。

这一从“被动遵循规范”到“基于数据主动调控”的养护策略转变,是本项目裂缝控制取得成功的关键技术创新点。

6 结论

通过对赣榆 LNG 项目储罐承台施工的全过程研究,可以

得出以下结论:

系统化的前置准备(如销项表管理)与可视化的现场管理,是保障超大体量混凝土工程顺利开局和规范施工的重要管理手段。

针对特殊构件、特殊环境、特殊材料的过程控制,必须坚持“源头管控、过程严控、问题速控”的原则,建立标准化的快速响应解决方案库。

对于大体积混凝土养护,不宜机械套用固定方案。基于实时温度监测数据的动态养护策略至关重要。本项目实践总结出的“延迟注水养护法”,为在复杂气候条件下平衡核心温度与内外温差、控制裂缝提供了有效的新思路。

本项目在50天内完成三座超大型承台施工,且裂缝控制效果良好,证明所采用的成套技术与管控体系是成功且高效的,对类似工程具有重要的参考与借鉴价值。

参考文献:

- [1] 伍礼平.大体积混凝土水化热温升的控制策略研究[C]//广西大学广西县域经济发展研究院.第三届数字技术赋能工程建设领域数字化转型学术交流会议论文集.[出版者不详],2026:515-516.
- [2] 陈波.大体积混凝土温度裂缝及控制措施[J].江西建材,2014,(3):42.