

大型石油储罐基础施工质量控制体系研究

李一平 (中国石化胜利油田分公司工程建设管理部, 山东 东营 257000)

摘要: 随着我国能源战略储备需求增长, 大型石油储罐建设规模扩大, 其基础施工质量直接关乎储罐运行安全, 但相关质量缺陷引发的事故屡有发生。本文结合大型石油储罐基础施工高承载、工序杂、环境影响大等特点, 遵循系统性、预防性、精准化、动态适配原则, 构建“施工准备-过程实施-竣工验收-运维追溯”全周期质量控制体系, 明确各阶段核心要点, 配套组织、技术、管理、信息化保障措施, 为工程实践提供理论支撑与技术参考, 助力防控质量风险、保障储罐安全稳定运行。

关键词: 大型石油储罐; 基础施工; 质量控制体系; 全过程管控

中图分类号: TE972 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2026) 004-0133-03

Research on Quality Control System for Construction of Large Oil Storage Tank Foundation

Li Yiping (Engineering Construction Management Department, Sinopec Shengli Oilfield Branch, Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: With ever growing demands of energy strategic reserve tanks in China, the construction scale of large oil storage tanks has become bigger and the quality of construction directly impacts the safety on tank operation. But there is frequent accident caused by the related quality defect. This article contains high capacity, complex process, and large environmental impact in the construction of large oil storage tank foundations. Adhering to the principle of systematicness, preventing, being precise, and being adaptable, we set up a whole cycle quality control system including construction preparation, process implementation, completion acceptance and operation and maintenance traceability. The core points of each stage and organizational measures as well as technical, management and security measures are clarified. It provides a theory basis and technical reference for engineering practice so as to avoid and control quality risks and finally achieve the purpose of making sure that storage tanks run smoothly without supply problems.

Keywords: large oil storage tanks; Basic construction; Quality control system; Whole process control

随着我国能源战略储备需求的持续增长, 大型石油储罐建设规模不断扩大, 储罐容积已从数万立方米向十万立方米级跨越。基础作为储罐的承载核心, 需承受数千吨乃至数万吨的介质重量, 其施工质量直接影响储罐结构稳定性——基础不均匀沉降易导致储罐壁板变形、焊缝开裂, 引发油气泄漏事故; 基础裂缝则可能加剧腐蚀, 缩短储罐使用寿命。近年来, 国内外因基础施工质量缺陷引发的安全事故屡有发生: 2022年某炼化企业10万 m^3 原油储罐因基础压实度不达标, 投用1年后出现局部沉降超标, 被迫停运检修, 造成巨额经济损失; 2023年某油库储罐基础混凝土养护不到位, 产生贯穿裂缝, 导致雨水渗入引发地基土软化。基于此, 本文结合大型石油储罐基础施工特点, 构建全周期质量控制体系, 明确各阶段控制要点与实施路径, 为工程实践提供理论支撑与技术参考。

1 大型石油储罐基础施工特点与质量控制原则

1.1 基础施工特点

大型石油储罐基础常见类型包括环墙式基础、筏板式基础、桩筏联合基础, 其施工具有显著特殊性: 一是承载要求高, 需满足储罐自重、介质重量及风荷

载、地震荷载等综合作用, 对基础承载力与变形控制要求严苛。二是施工工序复杂, 涵盖地基处理、钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑、防腐涂层施工、沉降观测等多个环节, 各工序衔接紧密, 任一环节缺陷均可能引发连锁质量问题。三是受环境与地质影响大, 不同地质条件需采用差异化施工方案, 且气温、降水等气象因素直接影响混凝土浇筑质量与养护效果。四是质量隐患隐蔽性强, 地基处理效果、混凝土内部密实度等缺陷难以直观发现, 若未及时检测整改, 投用后易引发突发性安全事故。

1.2 质量控制原则

①系统性原则。系统性原则强调覆盖“施工准备-过程实施-竣工验收-运维追溯”的全流程质量体系构建, 体现出大型石油储罐基础施工每个环节步骤的存在性和关联性。大型储罐基础施工环节甚多, 地质勘察、材料购买、砼浇筑、防腐处理、竣工检测和后期运维都不可偏废, 任何一个环节的单独把控都可能引发连锁质量危机。要求明确每个阶段、每个环节的质量责任主导者和把控标准、各个工序的技术要领和要点、数据的前后串联追溯等相关要求进行糅合,

促使做到提前准备依据明晰、过程实施和管控有标准、过程验收无差错、完成终结检测到后期运维高效率执行,并形成具有串接的管控网,处理整体式的施工事务,令各环节均能衔接,呈现出后期观测效能、测量提高效能,全过程达成不出质量缺口后对外施行的最佳控制能力,处理质量漏洞主要表现的孤立性的威胁行动。

②预防性原则。预防性原则针对大型石油储罐基础施工中的常见质量隐患,比如地基不均匀沉降、混凝土裂缝、钢筋保护层厚度不够、防腐涂层失效等问题,以“事先预判,提前防控”为核心,减少质量风险。预防性原则要摒弃“事后修补”的被动态度,依靠一系列前置手段来从源头把控质量。施工之前,结合地质条件改进地基处理方法,软土地基提前规划换填或者加固;材料进场的时候,严格检查钢筋、水泥、防腐涂料等材料,杜绝不合格材料使用;设备启用之前,对压实机械、振捣设备、检测仪器等进行全面调试校准,保证性能合格。通过工艺改进、材料把关、设备调试等前置措施,把质量隐患消灭在萌芽状态,确保基础施工的质量稳定。

③精准化原则。精准化原则从大型石油储罐基础施工的高精度要求出发,把量化标准、精准检测、数据化管理作为核心,保证质量控制可以衡量,可以追踪。对于地基压实、钢筋绑扎、混凝土浇筑、防腐等关键工序,制定明确的量化标准,而且采用合适的精准检测手段,地基承载力用静载试验,混凝土内部缺陷用超声检测,防腐涂层厚度用专门的测厚仪检测,保证检测结果真实可信,建立数据化管理台账,记录各工序施工参数,检测数据,责任人员等详细信息,构建完整的质量追溯链,给质量核查和问题溯源提供有力支撑。

④动态适配原则。动态适配原则突出质量控制方案的灵活与适配,要依据工程地质状况,施工环境改变和技术创新,随时改变质量控制方案,防止方案死板,造成质量控制失效。大型石油储罐基础施工受到地质和环境的影响较大,不同地质条件需差异化管控,软土地基施工时要实时监测沉降数据,动态调整压实遍数和夯击能量,施工环境方面,高温天气要调整混凝土配合比和养护方案,雨季要加强基坑排水和模板防护,而且随着智能化施工技术的应用,自动化压实监测设备,智能温控系统的应用,要同步优化检测方法和管控流程,保证质量控制方案一直契合工程实际,技术发展,提升管控的针对性和有效性。

2 大型石油储罐基础施工质量控制体系构建

2.1 施工准备阶段质量控制

①技术准备管控。开展详细地质勘察,明确地基承载力、土层分布等关键参数,为基础类型选择与施

工方案编制提供依据;组织图纸会审,重点核查基础尺寸、钢筋布置、混凝土强度等级等设计参数,结合工程实际提出优化建议;编制专项施工方案,明确各工序施工工艺、质量标准、检测方法及应急预案,尤其针对地基处理、大体积混凝土浇筑等关键环节制定专项技术措施。

②资源准备管控。材料质量严格把关,钢筋、水泥、砂石、防腐涂料等原材料需提供质量证明书,进场后按规范进行复检,不合格材料严禁使用;混凝土配合比需根据设计强度、工作性要求及环境条件试配优化,确保满足耐久性与强度要求;施工设备需提前调试校准,确保性能稳定,检测仪器精度符合标准要求。

③人员与组织准备。组建专业质量管理小组,明确项目经理、技术负责人、质量检查员等岗位职责,建立质量责任追溯机制;对施工人员进行专项培训,重点培训关键工序操作技能、质量标准与安全规范,考核合格后方可上岗;针对复杂地质条件或新型施工技术,邀请专家进行技术交底,提升施工人员应对能力。

2.2 施工过程阶段质量控制

①地基处理质量控制。根据地质条件选择适配处理工艺,软土地基采用换填垫层、强夯、水泥搅拌桩等方法,砂土地基采用振冲加密、挤密砂石桩等工艺;严格控制处理参数,如强夯法的夯击能量、夯点间距、夯击次数,水泥搅拌桩的桩长、水泥掺量、搅拌速度;处理完成后采用静载试验、动力触探、土工试验等方法检测地基承载力与压实度,检测点数量与分布符合规范要求,确保地基质量达标后方可进入下道工序。

②钢筋工程质量控制:钢筋进场后规格、型号、外观质量核查,按规定力学性能复检,钢筋加工严格图纸,控制下料、弯曲角度、连接质量,焊接接头无损检测,机械连接接头拧紧力矩检测,钢筋安装控制间距、保护层厚度,垫块固定防止位移,环形基础钢筋环形平整、搭接长度,浇筑前检查数量、位置,符合设计要求。

③模板工程质量控制:模板选材刚度、强度、稳定性要求,表面光滑,接缝严密,避免漏浆,模板安装按设计尺寸定位,控制轴线偏差、标高误差、垂直度,斜撑、拉筋等加固,浇筑过程中变形,浇筑前检查密封性,缝隙封堵,浇筑过程中监测变形,出现问题及时调整。

④混凝土工程质量控制。混凝土浇筑前检查搅拌设备、原材料计量,浇筑时控制浇筑速度、振捣工艺,使用插入式振捣器分层振捣,振捣密实,避免漏振、过振导致的蜂窝、麻面、孔洞等缺陷;大体积混凝土浇筑时采取温控措施,分层、埋设冷却水管、覆盖保温材料,控制内外温差不超过 25°C ,防止温度裂缝;混凝土养护及时,洒水养护、覆盖保湿膜,养护时间不少于14天,养护期间监测混凝土强度发展。

⑤防腐工程质量控制。基础表面防腐处理前清除浮浆、油污、杂物，基层平整干燥，防腐涂料施工控制涂刷厚度和均匀性，刷涂、滚涂或喷涂，涂刷时避免流挂、漏涂，涂层完成后用涂层测厚仪检测厚度，用电火花检测仪检测针孔缺陷，不合格部位修补，防腐效果满足长期运行要求。⑥沉降观测控制。在基础施工过程中及投用前设置沉降观测点，按规范要求定期观测，观测频率为施工期间每浇筑一层混凝土观测一次，竣工后每周观测一次，连续观测3个月后逐月观测，直至沉降稳定；若沉降量超过设计允许值，及时分析原因并采取加固处理措施。

2.3 竣工验收阶段质量控制

①外观质量验收。检查基础表面有无裂缝、蜂窝、麻面、露筋等缺陷，环墙式基础需检查环形平整度与垂直度，筏板式基础需检查表面标高偏差与平整度，缺陷部位需记录位置、大小并分析成因，采取针对性修补措施。②尺寸与偏差检测。采用全站仪、水准仪、钢尺等仪器检测基础轴线位置、尺寸偏差、标高误差、平整度等指标，检测结果需符合《石油化工钢制储罐地基与基础设计规范》(SH/T3068-2017)要求，如环墙基础内径偏差不得超过 $\pm 20\text{mm}$ ，基础顶面标高偏差不得超过 $\pm 10\text{mm}$ 。③性能指标检测。采用静载试验复核地基承载力，采用回弹法或钻芯法检测混凝土强度，采用超声检测混凝土内部密实度与缺陷，采用涂层测厚仪与电火花检测仪检测防腐涂层质量；所有检测数据需记录归档，形成完整的检测报告。④资料验收。核查施工技术资料，包括图纸会审记录、施工方案、材料质量证明文件、检测报告、沉降观测记录、隐蔽工程验收记录等，确保资料齐全、数据真实、签字完整，满足质量追溯要求。

2.4 运维追溯阶段质量控制

基础施工质量管控并非止于竣工验收，需建立运维追溯机制，实现质量的长效管控。构建质量信息管理平台，整合施工全过程数据，包括材料检验数据、工序检测记录、沉降观测数据、验收报告等，形成唯一质量追溯码，便于后期运维过程中查询追溯；在储罐运行期间，持续开展沉降观测与基础状态监测，结合储罐运行数据分析基础受力状态，预判潜在质量风险；建立质量隐患预警机制，当监测数据超出预警阈值时，及时启动排查整改流程，避免质量问题扩大。

3 质量控制保障措施

3.1 组织保障

建立“企业-项目部-施工班组”三级质量管理体系，明确各级管理职责，项目经理为质量第一责任人，技术负责人负责技术指导与方案审核，质量检查

员负责全过程监督检测；成立质量专项督查小组，定期开展施工质量检查与考核，对关键工序实行旁站监理，确保质量控制措施落地执行。

3.2 技术保障

推广应用先进施工技术与检测手段，利用地基处理自动化监测设备、混凝土浇筑智能振捣系统、钢筋保护层厚度无损检测仪、雷达探测仪等，提高质量控制的准确性和效率；加大技术创新与成果转化，对于复杂地质条件下基础施工存在的问题，开展技术创新，研究解决施工问题的新工艺、新技术。

3.3 管理保障

完善质量管理制度，制定质量奖惩办法，对严把质量关、质量效益突出的班组和人员给予奖励，对违反质量标准和质量不达标行为给予处罚，追究责任，加强施工过程中的沟通协调，定期召开技术交底会和质量分析会，及时解决施工中出现的的质量问题，加强与设计、监理、检测单位的沟通协作，共同做好质量控制。

3.4 信息化保障

创建大型石油储罐基础施工质量信息化管理平台，集成数据收集、分析、警报、追溯等功能，使施工全程的数据可以实时上传并可视化，利用物联网技术达成原材料的溯源，施工设备状况的监控以及环境参数的实时监测，凭借大数据分析技术来预见质量风险，并为质量控制决策给予数据支持。

4 结语

大型石油储罐基础施工质量控制是系统性复杂工程，本文构建的全周期质量控制体系，通过覆盖施工全流程、聚焦关键工序、强化多维保障，实现了质量风险的精准防控，为工程质量提升提供了可靠路径。未来，随着智能化、数字化技术的发展，需进一步深化AI、数字孪生等技术的融合应用，构建质量预测模型，针对不同地质条件与储罐类型细化控制标准，推动体系向精准化、个性化升级，持续筑牢大型石油储罐安全运行的基础，助力油气储运工程高质量发展。

参考文献：

- [1] 李雪莉. 油田储罐安装施工质量控制措施分析[J]. 石油和化工设备, 2024, 27(12): 94-96.
- [2] 郝亚龙. 大型储罐环梁施工技术保证措施的改进及应用策略[J]. 全面腐蚀控制, 2022, 36(10): 65-66.
- [3] 曹国志, 史瑞圣, 梅红涛. 油田储罐安装施工质量控制方略[J]. 化工管理, 2020(30): 183-184.
- [4] 李俊, 朱海山, 叶忠志. LNG储罐桩基施工优化及质量控制措施[J]. 石油工程建设, 2020, 46(04): 64-68.
- [5] 张天鹤, 高辉, 王聪. LNG储罐预应力施工多重工序耦合作用有限元分析[J]. 特种结构, 2025, 42(06): 36-40.