

大型 LNG 低温储罐建设过程风险管控

吕 勇（中海油江苏天然气有限责任公司，江苏 盐城 224000）

摘 要：大型 LNG 接收站中，LNG 一般在低温、低压条件下采用立式平底圆筒形储罐存储。LNG 储罐是液化天然气储运过程中的重要设施，其建造技术复杂，施工要求严格，安全管理难度大，目前我国掌握的 LNG 储罐建造技术的公司数量屈指可数。本文将从目前国内自主设计自主在建单罐容积最大 27 万方 LNG 低温储罐（中国海油江苏滨海液化天然气一期扩建工程接收站扩建项目）施工桩基、外墙、内罐阶段，阐述如何对核心风险进行有效控制，保证储罐施工过程受控。

关键词：大型液化天然气储罐；工程建设；风险管控

0 引言

江苏滨海液化天然气（LNG）一期扩建工程接收站扩建项目（以下简称本项目）位于江苏省盐城市滨海港区，该项目在江苏滨海液化天然气（LNG）一期项目的基础上对接收站部分进行扩建，扩建规模为 300 万吨/年，累计新建 6 座 27 万方 LNG 储罐，其功能主要是接卸 LNG 船舶运输而来的 LNG，并加以储存，经气化后通过输气管线外输，同时具备液态外输功能。

1 储罐桩基及地基处理阶段

本项目储罐桩基采用旋挖钻孔灌注一体化成桩施工技术，主要分六个步骤：钻孔、护壁、清孔、下笼、灌砼、拔护筒，桩径 1.5m，桩长 74.71m，桩数 406 根/罐。

1.1 地质风险与控制

本项目地点位于江苏沿海，属冲积平原地貌。此类地貌岩土主要为黏土（见表 1）：

表 1 地貌岩土情况

岩土名称	密实度 / 状态	湿度	岩性描述
粉质黏土	流塑~软塑	饱和	灰色，灰褐色，等级重，含少量云母碎屑，局部夹薄层粉土，局部岩性为流塑状淤泥质粉质黏土，稍有光泽，干强度及韧性中等。

桩基区域东邻黄海、南邻河流入海口，当高潮位时地表水与场址地基土上部的孔隙潜水将发生直接水力联系，造成地基表层因大型机械车辆（载重车、砼运输车、400 型履带式旋挖钻机等）走动不均匀沉降形成“弹簧土”现象，受力不均极易造成机械塌陷、倾斜甚至翻覆，因此桩基现场主要区域需压实并做承载测试，但此区域“弹簧土”受地下水位影响，表层不均匀受压后小量沉降不可控，必须辅助铺设大块钢板，供机械安全稳固作业。

钻孔完毕后下钢筋笼阶段会使用履带吊拼接多节钢筋笼，为防止上述“弹簧土”现象导致履带吊倾斜，造成的吊装过程中突发的不可控偏移（偏移会造成钢筋笼整体入孔弯折碰撞遇阻及整体变形引发卡笼和形变永久缺陷）需同时在履带吊地面铺设大块钢板，确保风险可控。

1.2 钢筋笼吊装入孔控制

本项目桩基钢筋笼采用 3~4 节，每节钢筋笼在预制厂制作完成后，需用履带吊多吊点起吊，并运送至孔门，主吊钩上起，副钩配合，让钢筋笼空中回直后，垂直于地面，摆动吊杆对准桩孔，缓慢下放入孔。

单节钢筋笼长度都超过 20m，起吊后为了最大程度减少钢筋笼整体形变，需增设临时吊装扁担，分散吊装受力集中，同时在变截面处加设方木或木杆，增强刚度。起吊点需设置加强筋以确保吊装过程的防脱稳固。

确定履带吊型号后，需要根据该机起重臂长度选择计算主吊机垂直高度，考虑吊臂架最大仰角 75 度，和最大重量的钢筋笼为标准，而且要考虑钢筋笼吊起后能旋转，避免碰撞主吊臂架的风险，以下几项基础数值必须纳入计算：

①起重滑轮组定滑轮到吊钩中心距离；②起吊扁担净高；③扁担吊索钢丝绳高度；④钢筋笼吊索高度；⑤起吊时钢筋笼距地面高度，一般取 0.5m；⑥吊机在臂长确定后的最大吊装高度；

在此计算的基础上，可以得出单节钢筋笼长小于某长度均可以起吊运输。具备吊装安全条件后，吊装入孔下放时需缓慢下放不得强行入孔。

当发生“卡笼”情况（钢筋笼入孔后无法继续下放），绝对禁止用履带吊硬拔、摆动大臂等野蛮方式处理，必须暂停作业组织专人勘察情况，制定针对方

案解决。

2 混凝土外墙壁施工阶段

27 万方储罐外罐承台采用架空式承台, 承台外圈架空 1.5 米, 承台内圈架空 1.7 米; 承台直径 100.6m, 厚度 1.4 ~ 1.6m; 墙板内直径 94.2m, 墙厚度 1.2 ~ 0.9m; 穹顶高度 11.807m, 顶部厚度 0.5m。

2.1 群塔作业防碰撞控制

每个储罐配备两台塔吊, 6 个储罐共计 12 台塔吊 (见图 1), 塔吊用于外墙施工主力机械。考虑储罐间的相互位置关系, 今后 12 台塔吊同时作业、顶升加附着存在大臂碰撞的风险, 群塔作业主要控制措施:

确定各塔吊安装初始高度、各阶段顶升高度及附着高度与最终高度, 确保各塔吊起重臂在垂直方向上相互错开至少二个标准节 6m 高差;

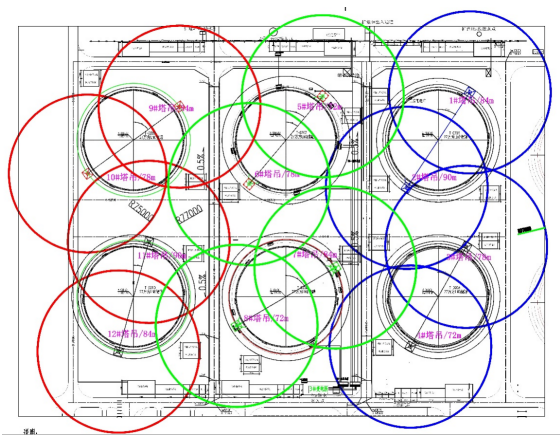


图 1 群塔示意图

成立由塔机管理负责人为首和各塔机管理负责人参加的塔机作业指挥中心, 负责各塔机之间关系的指挥与协调工作, 日常施工合理安排施工流水段, 减少同一作业面范围的吊运;

塔机与信号指挥人员配备对讲机, 统一确定频率后锁频, 使用人员无权调频。要做到专机专用, 不得转借;

塔吊安全监控管理系统, 每个塔机顶部及大臂末端安装全景摄像头连入安全监控中心, 由监控中心人员统一监控运行状态, 及时发出碰撞预警;

遵守避让原则, 后塔让先塔: 在塔吊大臂的工作交叉区域内作业时, 后进入该区域的塔吊避开先进入该区域内的塔吊。动塔让静塔: 在塔吊大臂的工作交叉区域内作业时, 在一塔臂无回转, 吊钩无运动, 而另一塔有回转或有变幅小车行走时, 无荷载塔机避开静塔。轻车让重车: 在塔吊同时运行时, 无荷载塔机避让有荷载塔机。客塔让主塔: 当一塔机 (客塔) 大臂

进入对方塔机 (主塔) 工作区域时, 则客塔主动避让主塔, 待主塔工作完毕或先行作业后, 客塔在保证安全前提下方可作业。

2.2 钢筋网片吊装安装控制

墙体钢筋采用钢筋网片 (单层) 预制后吊装的方法进行安装, 从墙体第 2 层开始单层吊装, 首先吊装内侧网片, 内侧网片全部安装完成后再进行外侧网片吊装, 一直到 13 层。网片尺寸大小约为: 13.82 × 7.22m, 其中最重网片约 2.5t。考虑钢筋网片结构不规则、面积大、起吊过程形变较大, 极端情况下存在散落、倾覆掉落等风险, 主要控制措施:

采用吊梁模式 (见图 2) 增加吊点以加强吊装过程姿态稳固, 所有吊耳做无损检测以检查牢固度。

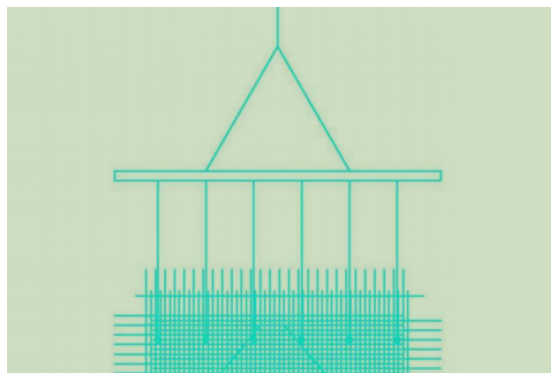


图 2 吊梁示意图

网片吊装必须一气呵成, 网片未安装完成前吊钩不允许摘钩。网片安装就位后, 应设置抗风拉带以减少网片受风力影响导致的弯曲甚至倒塌。网片吊装若在一天内无法完成, 无法形成封闭的圆圈整体稳定性较差, 应在钢筋网片的二个自由端内外各固定一根抗风拉带, 以增加自由端的稳定性。

2.3 墙体模板安装与浇筑控制

整个外墙墙体采用 Forpro 模板内外安装分层浇筑, 共计 13 层。每个罐体由 108 块大模板 (内、外罐各 54 块) 逐层爬升至整体混凝土外墙浇筑完成, 期间模板爬升存在整体坍塌、人员高处坠落等风险, 控制措施主要有:

整个爬升模板体系在地面组装完成后挂装上墙, 分为板面系统、支撑系统、操作平台、锚固系统四大部分, 其中木方为各系统主要材料, 木方有无裂纹、内部有无孔洞直接影响整体模板系统的稳固性, 木方质量决定了整体爬升模板的本质安全。

每层墙体的定位锥、爬升锥应安装牢固并安装自锁销, 模板整体挂在爬升锥上以实现逐层提升, 挂装前该层混凝土外墙强度应不小于 15MP, 以确保整圈

模板自重不影响外墙。

模板外侧张拉安全网,操作平台(上、中、下平台)均应设置防护栏杆和挡脚板,同时各平台堆物不可超载,按照 Forpro 模板计算书严格执行上层平台堆载不得超过 150kg/m^2 ,中层平台堆载不得超过 300kg/m^2 ,下层平台不得超过 75kg/m^2 。

内外模板的对拉螺杆应加强检查,确保质量可靠安装牢固以防浇筑混凝土发生胀模情况导致模板系统发生形变,引发爬升锥等结构的滑脱。

3 拱顶气压升顶及穹顶混凝土阶段

3.1 拱顶块吊装安装控制

储罐内罐直径 92m ,储罐球形拱顶半径 90m (即顶罐顶衬里板球面半径),高 64.806m 。拱顶由 144 根纵梁、8 圈环梁、一个中心环,560 块拱顶衬板组成,为便于安装,将拱顶划分成中心环、大小拱顶块 24 块在罐外进行预制完成后由履带吊吊入罐内焊接安装(见图 3)。

因外形尺寸大、重量高($26\sim 28\text{t}$)、吊装环境苛刻,存在拱顶块碰撞损坏墙体、拱顶块坠落等风险,主要控制点有:

履带吊行走区域路面应进行地基承载力检测,不符合的区域采用换填、铺设钢板等措施加强承载力。

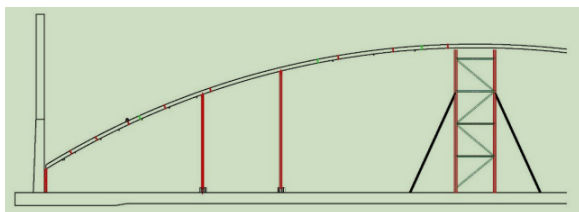


图 3 拱顶块吊装安装示意图

拱顶块表面吊点需核算确定,吊耳安装完成后需做无损检测检查牢固度。移位吊运时应设置四组司索工在四角各设置缆风绳以控制姿态以防失稳;移位吊运过程为加强拱顶块姿态控制,履带吊大臂建议保持固定倾角,该倾角要依据拱顶片重心离吊车的距离、该倾角下的吊装荷载进行计算得出。

3.2 气压升顶风险控制

拱顶由拱顶片安装成整体后,安装施工单轨、拱顶接管/套管、铝吊顶及吊杆、吊顶上平台及通道等附件,将上述内容作为一个整体,在临时大门处使用鼓风机向罐内鼓风,利用压力差将上述拱顶整体气吹升顶到设计位置,使拱顶板与顶部抗压环紧密接触,在罐内保压的情况下完成外罐拱顶板与抗压环板的焊接,使两部分连接成为一个整体,气压升顶完成。

因升顶拱顶跨度大、重量大(约 1200t),气吹升顶需要的气压高、气量多,涉及平衡系统、密封系统、鼓风机系统、测量系统和通讯等多系统,协调面多,此阶段风险较高。主要控制措施有:

平衡系统钢丝绳安装前,罐壁底部锚固吊耳、双导向滑轮、T 型支架及抗压环上的锚固吊耳应处同一垂直面,避免受力方向不一致平衡失效。同时平面外侧向刚度也应核算无误。其余所有的受力焊接点(吊耳、临时工装)均应做无损检测以查牢固度。

鼓风系统的风机要设置冗余量,备用鼓风机待命。电力转换开关具备自动切换的功能,如果柴油发电机出现故障,自动转换开关将会立即启动并切换至市电电源,避免因发电机故障而影响进气。

气压升顶的过程将持续 2~3 小时,需设置四个不同方位的人员观测顶上升的速度与姿态,异常情况及时反馈处理,拱顶到位后保压焊接过程中焊工应着安全带以防高处坠落。

3.3 穹顶混凝土浇筑控制

储罐拱顶结构跨度 93.84m ,截面面积约 6969m^2 。为防止储罐拱顶在混凝土浇筑过程中拱顶结构受到局部压力过大而产生较大变形或损坏,在混凝土浇筑过程中需通过保压装置使罐内压力维持在规定的压力下进行浇筑。主要是大小门洞的密封性与强度校核。焊接采用连续焊,保证大小门洞四周密封;大小门洞钢板外侧焊接安装槽钢进行强度加固。

4 内罐施工阶段

4.1 内罐壁板安装控制

内罐壁板及附件包括 12 圈壁板、中间加强圈 9 圈,顶部加强圈 1 圈,其材质均为 06Ni9DR。安装高度为 44.88m 。单块壁板重约 12t 。此阶段主要是壁板的吊装移位及组队焊接,存在壁板坠落、倒塌的风险,控制措施有:

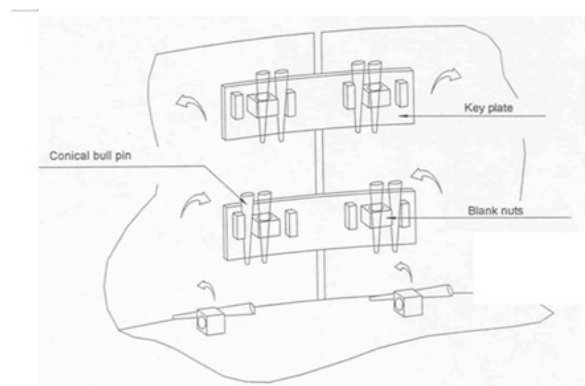


图 4 吊装安装示意图

使用汽车吊车和电动葫芦配合进行壁板吊装,电

动葫芦的选定需按照负荷验算, 负荷率需满足要求(见图4)。各壁板上的临时焊接吊耳需做无损检测确保牢固。

安装顺序严格按照第1圈壁板立缝需全部焊接完成, 半径、垂直度、水平度满足设计要求后, 才允许进行第2圈壁板的安装。罐壁板之间通过两板之间的纵缝安装卡具进行卡固, 每道纵缝设置4~6个卡具, 固定后组对焊接, 完成后受力钢丝绳方可脱钩(见图5)。

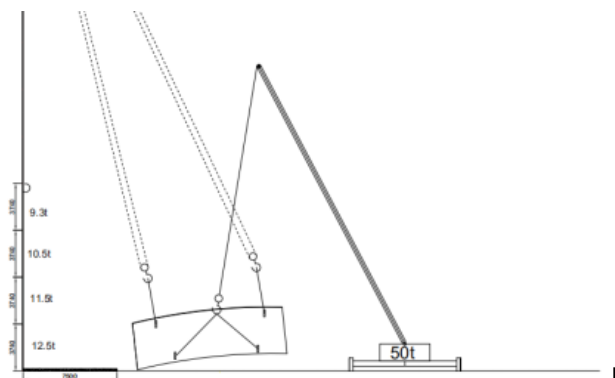


图5 卡具示意图

4.2 罐内管道安装控制

本阶段只讲述大口径、长管道安装过程的高风险控制, 其余管道的安装风险性较低不再赘述。大管径管道由罐顶通到罐底, 分段安装: 铝吊顶往下的所有管段在罐底板上预制成整体, 管段预制完后上端焊接吊耳, 通过汽车吊配合定滑轮进行缓慢提升, 在管道末端放置一台自制小车(防止管道在提升时损伤管段及内罐底板), 管道吊装就位后在管道的上方挂两个倒链将其临时固定, 安装临时支架及支撑台, 安装铝吊顶以上的管段, 最后组对封闭焊接, 完成安装。

5 结语

27万方LNG低温储罐建设在国内为首次, 新工法、技术的首次应用各方面都存在很大的难度, 带来很多不稳定性。本文对储罐建设各工序阶段的主要风险管控进行了提升分析, 对于后续大型LNG储罐建造具有重要参考意义, 能有效避免风险失控带来的人员伤害、设备损坏、质量缺陷, 降低项目建设成本, 减少施工工期, 在国内激烈的LNG接收站市场竞争中取得优势。

消除事故隐患 筑牢安全防线

一帽一戴
安全常在

筑牢安全防线 消除事故隐患

广告