

16万m³LNG储罐穹顶施工质量控制及改进措施

崔 巍

青岛东基石化工程有限公司 山东 青岛 266000

摘 要: 16万m³全容式LNG储罐穹顶是LNG储罐的关键组成部分, 本文结合某项目实际, 针对穹顶施工过程中的质量控制重点、难点, 从穹顶预制、穹顶吊装、穹顶安装3个方面对穹顶施工质量控制进行论述。

关键词: LNG储罐; 穹顶

引言

随着国内液化天然气(简称LNG)需求的不断增强, LNG储罐的安装市场需求也在不断的加大。目前国内外大型LNG接收站普遍采用的是16万m³预应力混凝土低温全容式储罐。在储罐施工中, 储罐穹顶施工是一个重点和难点, 穹顶的施工质量是决定储罐全生命周期安全的核心环节, 本文结合穹顶施工过程, 对施工质量控制重点进行论述。

1 穹顶结构简介

LNG储罐穹顶为典型的单层球面网壳结构, 曲率半径为84m, 穹顶半径为42m, 主要由穹顶骨架(纵梁、环梁、中心环)以及蒙皮板组成, 总重量为287t。穹顶骨架由96根径向梁、7圈环向梁以及1个中心环组成, 中心环半径为3m; 蒙皮板覆盖于穹顶骨架上, 共计466块。穹顶设计结构复杂, 质量要求标准高、施工难度大。^[1]因此, 储罐穹顶施工被认为是LNG储罐安装施工的关键环节。目前穹顶施工一般采用分片预制的模块化施工工艺, 通过加大地面预制深度, 减少高空组对焊接工作量, 能有效降低工程成本, 保证工程施工的安全与质量。

2 穹顶预制

穹顶采用分片模块化预制的施工工艺, 将穹顶分为24片(12大片、12小片)进行预制, 预制工作分别在大小两种胎具上进行, 大穹顶片由5根径向梁、20根环向梁以及19块蒙皮板组成, 小穹顶片由3根径向梁、16根环向梁以及8片蒙皮板组成。

2.1 穹顶胎架的制作

预制开始前先进行放样, 按照图纸尺寸, 用AutoCAD或者三维软件确定穹顶片各个部位的形状和尺寸, 并根据放样尺寸制作穹顶片预制胎架。胎架立柱的安装位置应均布, 同时应避免与径向梁焊缝、环向梁焊缝以及铝吊顶拉杆连接件安装位置发生冲突。立柱与径向梁焊缝、环向梁焊缝的间距不小于200mm, 与拉杆连接件的间距不小于300mm。胎架使用过程中, 应定期对胎架各

柱的标高进行检查标定, 防止因沉降产生的误差对穹顶片的整体预制质量造成影响。

2.2 穹顶梁的加工

穹顶梁包括径向梁和环向梁两种, 考虑到穹顶梁及蒙皮板焊接施工会对穹顶梁的弧度产生影响, 因此将穹顶片的整体拱高放大。拱高放大后, 应重新计算穹顶梁的加工弧度。在穹顶梁顶弯过程中, 应随时使用弧度样板进行弯度测量, 防止弧度不足或过弯。根据现场施工实际情况, 穹顶梁的每道焊缝的焊接收缩量为2mm, 因此环向梁的下料尺寸需要放大4mm, 以此来保证焊后穹顶片的整体宽度尺寸; 径向梁下料时, 每种规格的梁的下料尺寸放大10mm, 待穹顶片预制收缩完成后, 根据图纸尺寸以及穹顶片的整体变形情况, 对每块穹顶片长度进行修正。

2.3 穹顶片的组装

大穹顶片每片由5根径向梁、20根环向梁以及19块蒙皮板组成, 最大弧长40775mm, 大端以及小端宽度分别为10917mm和803mm。小穹顶片由3根径向梁、16根环向梁以及8片蒙皮板组成, 最大弧长为34370mm, 大端及小端宽度分别为7547mm和2480mm。

穹顶片预制时, 应保证径向梁的总体长度, 组对成型的径向梁的整体穹高偏差不大于 $L/1000\text{mm}$, 且不大于5mm, 整体翘曲偏差不大于 $L/1000\text{mm}$, 且不大于4mm。

径向梁的组对弧度应向拱高方向做适当的反变形, 以便焊后的整体弧度满足要求; 位于最外侧的两根径向梁须牢固的固定在预制胎架上, 以防焊后穹顶片两角翘起。环向梁组对时, 重点检查梁两侧的组对间隙, 当两侧间隙不均匀时, 应及时调整, 直至两侧间隙符合要求为止。

小穹顶片为带翼结构, 相较于以往工程的不带翼结构, 带翼结构加大了预制深度, 减少了安装阶段剩余环向梁组对时的高空作业工作量, 作业环境更加有利于施工, 对施工质量有较大的提升。

3 穹顶吊装

由于穹顶片为单层球面网壳结构,具有跨度大、刚度低、挠性大的特点,吊装时,容易产生较大的塑性变形,从而影响穹顶的整体施工质量。为了减小吊装变形,便于后续安装施工,吊点设置、吊具选择尤为重要。

3.1 穹顶片重心计算

应用三维软件UG通过对穹顶片的实体建模,通过软件计算出穹顶重心位置。

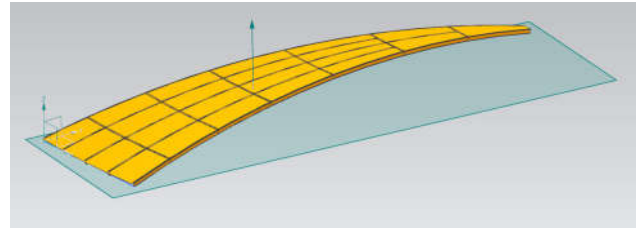


图3.1 重心位置模拟

3.2 吊车负荷率计算及钢丝绳选择

表3.1 单片吊装物的重量

序号	名称	长度 (m)	大端部宽度 (m)	图纸净重 (T)	吊装工具重量 (T)	中间支柱 (T)	总重 (T)	备注
1	大穹顶块	40.7	10.9	19	4	0.9	23.9	
2	小穹顶块	34.4	8.2	10	4	0.6	14.6	

3.2.1 钢丝绳选择

吊装使用钢丝绳规格为 $\phi 28\text{mm}$ 、型号为6 $\times$ 37+1的钢丝绳(最低抗拉强度不小于1670MPa),钢丝绳的破断拉力为458KN^[2],即可承载46.7T,符合吊装要求。

3.2.2 吊车工况选择及校核

穹顶片吊装选用320T履带吊,型号为SCC1500A-1,根据现场实际施工情况,吊装半径为30m,吊车采用塔式工况,吊车主臂长36m,塔臂长36m,主臂角度为86°,塔臂角度45°是,额定起重量为39.6T。

根据单机吊装载荷计算公式:

$$Q_{\text{计算}} = k_1 Q_{\text{吊物}}$$

其中:

$Q_{\text{计算}}$ —— 计算吊装重量

$Q_{\text{吊物}}$ —— 吊物重量,包括设备和吊索具重量,本例

$Q_{\text{吊物}} = 23.9\text{t}$ 。

k_1 —— 动载荷系数,一般取 $k_1 = 1.1$

代入数据,计算得知: $Q_{\text{计算}} = 26.3\text{t}$

按照吊车工况,对应额定载荷为39.6t,计算得知大穹顶片吊装时吊车负荷率为66.4%。同样方法计算得知小穹顶片吊装时吊车负荷率为40.6%。

3.3 吊点设置及吊耳校核

3.3.1 吊点设置

大小穹顶片吊装均设置6个吊点,大小端部的4个吊点均设置倒链,第1、3、5圈环向梁与径向梁连接处各2个吊点。

3.3.2 吊耳选型及安装质量要求

选用版型吊耳,规格为200 $\times$ 200 $\times$ 16mm,材质为Q235B,焊脚高度为12mm。吊耳焊接完成后,进行外观检查及100%PT检测。

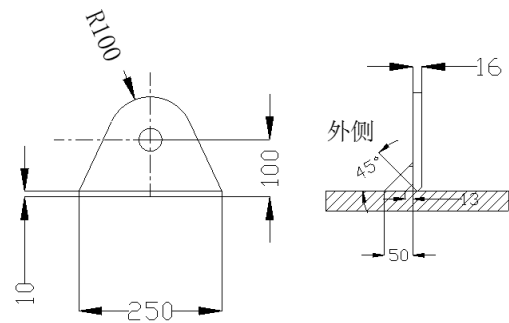


图3.2 吊耳示意图

3.3.3 吊耳强度校核:

吊耳板许用拉应力 $[\sigma]$: 113MPa

相应的吊耳板许用剪应力 $[\tau] = 0.7 \times [\sigma] = 79.1\text{MPa}$

动载综合系数K: 1.43

吊耳按照受到4.5吨力校核

其径向载荷 $F_1 = 4.5 \times 1000 \times 10 \times 1.43 = 49500\text{N}$

吊耳板横截面积: $A = 250 \times 16 = 4000\text{mm}^2$

吊耳板孔处横截面积: $A_1 = (205 - 50) \times 16 = 2480\text{mm}^2$

吊耳根部的拉应力: $\sigma = F_1 / A = 49500 / 4000 = 12.375\text{N/mm}^2 = 12.375\text{MPa} < 113\text{MPa}$

吊耳板孔处的拉应力: $\sigma = F_1 / A_1 = 49500 / 2480 = 19.96\text{N/mm}^2 = 19.96\text{MPa} < 113\text{MPa}$

开孔截面处的剪应力: $\tau = F_1 / A_2 = 49500 / (75 \times 16) = 41.25\text{N/mm}^2 = 41.25\text{MPa} < 79.1\text{MPa}$

吊耳强度满足安全要求。

3.3.4 吊耳焊缝强度校核:

$$P = N / (l \times h \times k) \quad P \leq [\sigma]$$

式中: P —— 焊缝应力

N —— 荷载

l —— 焊缝长度

h ——焊缝高度

k ——折减系数,取 $k=0.7$

$[\sigma]$ ——焊缝允许应力

$$P_L = F_1 / (1 \times h \times k) / 3 = 7.86 \text{ MPa} < 113 \text{ MPa}$$

焊缝强度满足安全要求。

4 穹顶安装

4.1 定位放线

穹顶片罐内安装之前,应进行测量放线,根据径向梁的方位确定边缘支柱的安装位置,96根边缘支柱每根间隔 3.75° ,边缘支柱的起点安装位置以储罐 0° 开始;中心支架的中心点与储罐中心点一致,中心支架的安装方位要与承台预埋件的方向一致;中间支柱在穹顶片吊装前安装于径向梁下方的吊耳上。定位放线的准确性对后续穹顶施工质量起着决定性作用,所以在放线完成后,应由另外1名测量员对放线位置进行复核。

4.2 工装的安装

边缘支柱安装时,重点检查边缘支柱的垂直度与顶部标高,垂直度偏差不应大于 2mm ,顶部标高偏差不应大于 5mm 。中心支架安装时,中心支架的中心必须与储罐中心一致,立柱垂直度偏差不应大于 5mm ,顶部标高偏差不应大于 5mm 。中间支柱在穹顶片吊装就位后进行调节,其主要作用是调节穹顶片的弧度,整体垂直度偏差不应大于 5mm 。由于工装全部为承重件,焊接时应满足图纸要求,焊接完成后应派专职质检员对焊接质量进行重点检查,确保所有工装全部焊接到位。

由于本工程中心环直径比以往要大,为了更好的对中心环起到支撑固定作用,中心支架的支柱数量由4根增加到6根,通过施工使用情况的比较,6根支柱比4根支架更加稳定,更便于穹顶片与中心环组对施工时的操作,更有利于提高组对的施工质量。

4.3 穹顶的安装

穹顶片安装前,首先应进行中心环的安装。中心环安装时应准确定位,安装方位及水平度应满足图纸要求,复测无误后应将中心环与中心支架间进行固定,固定应牢固,防止因穹顶片安装过程中受力而发生偏移。^[3]穹顶片安装过程中,应随时观察中心环的受力偏移情况,当偏移过大时,应对穹顶片作出调整,并找出原因,保证安装位置和安装方位符合图纸要求。

穹顶片吊装之前,应先在每根边缘支柱上画出径向

梁的就位位置。吊装就位时,应仔细检查安装角度是否正确,检查无误后,进行穹顶片的固定。当穹顶片调整到位后,首先进行穹顶块前端与中心环之间的固定焊接,固定之前应重点检查组对间隙,当组对间隙过大或过小时,应调节穹顶片的位置或对径向梁进行切割修正,直到间隙满足要求后方可固定焊接。前端固定后,将穹顶片的后端预先安装在对应的边缘支柱上就位,穹顶片每根径向梁的位置应调整到与预先确定的定位线位置一致,检查无误后,用定位板将径向梁的左右方向焊接固定。

穹顶片初步定位后,调整中间支柱的标高,保证穹顶片的整体弧度和矢高,该过程应由两名测量人员共同确认,确保标高调节的准确性,调节完成后将中间支柱固定,同时将径向梁末端使用挡板进行固定。

小穹顶片安装的安装方法与大穹顶片相同,由于小穹顶片是带翼结构,安装时,应重点检查每根环梁的组对质量,当间隙过大或过小时,应对穹顶片的位置进行调节,以便保证穹顶的焊接质量。

穹顶组对焊接完成后,应对穹顶的整体挠度进行检查,测量点的位置分别选取在中心环梁和中间环向梁上,以穹顶中心为中心,沿8个方向均布,要求挠度 $0 \leq \mu \leq 80\text{mm}$ (向下挠度)。穹顶焊接完成后,应进行焊缝外观检查及真空箱检查,检测压力为负压 $21 \sim 35\text{KPa}$ 。

结束语

穹顶施工是整个LNG储罐施工中的重点和难点,作为储罐的重要承重部位,穹顶的施工质量对整个工程的质量起决定性作用,通过采用模块施工的方法,能有效减少高空作业,降低安全风险,改善作业环境,对穹顶的施工质量也有大幅的提高。在某项目实际施工中,经过严格的施工质量过程控制,穹顶的整体几何尺寸符合设计要求,达到了控制整体质量的目的。

参考文献

- [1]GB/T 26978.2-2011,《现场组装立式圆筒平底钢质液化天然气储罐的设计与建造 第2部分:金属构件》.[S].中国标准出版社,2012-03-01.(5):23-29.
- [2]GB8918-2006,《重要用途钢丝绳》.[S].中国钢铁工业协会,2006-03-31.(4):17-29.
- [3]三一牌SCC型320T履带吊性能表,浙江三一装备有限公司,2014.(4):17-29.