

大型原油储罐构件预制方法

袁继彪¹

摘要：对构件进行预制可以提高施工效率、缩短工期，是目前大型原油储罐建造的常用方法。对照阿布扎比原油管道项目 $16 \times 10^4 \text{ m}^3$ 浮顶储罐建造案例，以大型原油储罐的构件预制过程为基础，对清扫孔和有罐嘴的罐壁板的预制方法、检验步骤和热处理过程进行详细分析，大型储罐底板、壁板等主要构件需要按照合理的工作流程进行预制，并进行适当的热处理和检测，以提高制造精度。采用构件预制方法，可以保证大型浮顶储罐的构件预制深度，提高大型储罐的建造效率，节约时间成本和施工成本。

关键词：大型储罐；预制；清扫孔；构件

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.7.029

Method on Units Prefabrication for Large Crude Oil Tanks

Yuan Jibiao

Abstract: Prefabrication of units is one of the most commonly used construction method for large storage tanks because of high efficiency and short construction duration. The key processes of the crude oil tank units prefabrication were discussed based on the construction of $16 \times 10^4 \text{ m}^3$ tank in Abu Dhabi pipeline main terminal station. The prefabrication, testing procedure and heat-treating process of cleanout door and shell plate shall follow the normal procedures with high accuracy, before the PWHT and inspection. The optimized procedures can ensure the units prefabrication quality, provide comprehensive and detailed technique instruction, improve the construction efficiency, and shorten the time costs and construction costs.

Key words: large crude oil tanks; prefabrication; cleanout door; units

在储罐工程的施工准备中，罐体的许多构件需进行预制加工，储罐构件单体加工的深度预制是决定储罐整体完工的先决条件，也是提高施工效率、有效缩短工期的重要手段之一。随着我国原油战略储备规模的日益增长，国内建设的原油储罐规模越来越大。通过对国外大型储罐建设过程进行分析，可以学习引进国际上原油储罐构件预制的先进技术和经验。阿布扎比原油管线项目中全线有10座单体 $16 \times 10^4 \text{ m}^3$ 外浮顶原油储罐，这是中国石油在国际市场承建的单体容量最大的储罐。该项目出关构件预制技术代表了国际上较高的水平，值得借鉴和学习。

1 清扫孔的预制方法

为满足工艺要求和清洗罐的方便，立式圆筒形钢制焊接油罐常需要设置清扫孔^[1]。本项目的储罐

采用齐平型清扫孔。根据API650标准规定，要补强的开孔应完全与罐壁板预组装好^[2]。齐平型清扫孔是立式钢制焊接储罐的薄弱环节，因此清扫孔的整体预制焊接及各项检验程序必须细致，不许反复施工。

1.1 清扫孔的预制及与罐底板的焊接

清扫孔通过孔颈与底板焊接，孔径外端与罐底加强板边缘平齐，清扫孔组合件的罐壁板厚度不应小于相邻的底层罐壁板的厚度，罐壁补强板和接管颈部的厚度应与清扫孔组合件上的罐壁厚度相同。本项目中，清扫孔的加强板厚度为40 mm，罐底边缘板的厚度为22 mm，根据API650标准的要求，加强板与边缘板的焊接型式为对焊。为便于施工，本工程将加强板预制为与边缘板宽度一致，从而减少了一道边缘板与加强板的对接焊缝。

¹中国石油集团公司

1.2 清扫孔和补强板预制

清扫孔和补强板预制过程中需要按顺序做好以下检验工作:

(1) 罐壁板内部与加强底板的第1遍内侧焊缝需要做煤油试漏,此试验必须在壁板外侧焊道未焊前进行。

(2) 管口与罐壁、罐底所有的焊道焊接完毕,经外观检查合格后,进行100%磁粉检测。

(3) 磁粉检测合格后,焊接罐壁补强板。对补强板进行气密性试验后,再对补强板的焊道做100%磁粉检测。在施工时要检查清扫孔的补强板两次以上,这是值得注意的关键位置。

(4) 对清扫孔的所有焊道进行整体热处理。热处理后,使用硬度检测仪在打磨好的焊道表面上测试,进行硬度检查。

(5) 对补强板再次进行气密性试验后,再对补强板的焊道做100%磁粉检测。

(6) 应对清扫孔的所有焊缝再进行100%磁粉检测。

1.3 清扫孔的热处理

储罐清扫孔焊接比储罐纵、环缝甚至接管焊缝焊接时产生的焊接应力及变形大,严格控制焊接工艺和采取防变形措施是十分重要的。

根据API650标准规定,所有齐平型清扫孔和齐平型罐壁连接件组装以后,均应在600~650℃(1100~1200°F)的温度条件下消除热应力,每25mm(1inch)罐壁厚度保温时间为1h^[2]。高强钢的焊后消应力热处理应主要考虑恒温温度不得超过该材料的回火温度以下20℃,以保持母材的力学性能^[3]。

清扫孔的附件必须全部焊接完,然后在加热炉内整体热处理,按照批准的热处理程序消除焊接应力。需要进行热处理的部位为清扫孔、清扫孔与壁板的焊缝区域。为避免焊接后的热变形,施工过程中应在罐壁板和加强板之间焊接临时支撑。

2 罐底板的预制

在阿布扎比原油管线项目中,储罐采用22mm厚罐底环形边缘板和9mm厚中幅板,边缘板采用钢材材质为A 573 CL. 2,中幅板采用钢材材质为A 283 Gr. C。

使用半自动切割机在平台上切割罐底边缘板。切割边缘板的直边前一定要保证轨道平直且在工作过程中不发生变形。要在特制的轨道上进行边缘板外缘的切割,该轨道应与边缘板外缘为同心圆弧。

尽量保证制作外缘的轨道的两条导轨各处的平行度,以保证外缘切割时比较精确。预制边缘板时,应将图纸尺寸放大(千分之一至千分之一点五左右)进行预制。

中幅板之间焊接采取搭接焊,在预制中幅板时按照图纸进行切割加工,加工完检查其尺寸和形状。对与边缘板对接的中幅板,预制时应先切割加工直边,并按图纸将尺寸进行一定比例的放大,然后在安装龟甲缝时进行边部的精确切割加工,以保证精确补偿焊缝收缩产生的误差。

在全部罐底板切割的过程中,控制长、宽、对角线的偏差在±1mm之内。加工完需对每张罐底板除锈喷漆,并进行检查、编号和记录。

3 罐壁板的预制

储罐壁板预制程序如下:

(1) 所有的罐壁板严格按照技术交底的要求切割,其长、宽、对角线偏差控制在±1mm之内,对每张板进行“四检制”检查,在临时钢架平台上切割并打磨坡口。

(2) 切割后的壁板在滚板机上滚制。钢板滚弧质量将直接影响壁板的焊接质量。本工程最厚的壁板为43mm,为保证垂直度和椭圆度,应选用滚轮间距较小的滚板机,以使壁板两端都能滚成弧形。可用弧形样板检查壁板曲率,壁板曲率误差应控制在3mm以内。将滚制完成的壁板放在与之弧度相同的临时支架上。

(3) 将要开孔的壁板垂直放在临时支架上,标出孔的中心点和切割线,检查合格后,开孔后安装管嘴。如管嘴采用钢板卷制焊接而成,根据规范要求,所有由钢板卷制的管嘴纵向焊缝必须进行100%射线检查。管嘴与壁板组对检查后,焊接第一道打底焊和填充焊,并进行磁粉检查。

(4) 对每块补强板都按要求钻信号孔,然后按照图纸尺寸焊接,并进行气密性试验。当补强板的焊缝与罐壁板间的垂直焊缝重合时,要求增大补强板的直径,使补强板在罐壁板上的焊缝与罐壁板间的垂直焊缝距离为大于8倍的管壁厚度,且满足大于250mm的要求。

(5) 根据API650标准要求,壁板材质为I、II、III级时,壁厚大于25mm且管嘴大于NPS 12及齐平式管嘴(清扫孔);壁板材质为IV级以上时,壁厚大于12.5mm的所有管口加强板壁厚。焊缝要热处理以进行应力释放。

(6) 热处理后的所有焊缝进行硬度测试。合格后需对补强板再次进行气密性试验。最后所有的焊缝进行 100% 的磁粉探伤检查。

4 罐顶浮盘及骨架的预制

根据 API 650 标准和 AISC-ASD 对储罐结构进行分析。本工程储罐罐顶采用半径为 54.86 m 的双浮盘，材质为 A283 的高强钢，底板和顶板厚度分别为 9 mm 和 5 mm，浮盘环板共 10 圈，最外圈环板厚度为 10 mm，其他环板厚度均为 5 mm。作为浮盘的支撑梁，在每圈环板之间安装桁架，桁架间距为 1.6 m，构成浮顶的骨架。双浮盘的预制与罐底的预制方法大致相同，浮盘骨架按照钢结构验收规范下料。

5 附件预制

储罐的附件很多，因此预制工作也比较繁琐，主要包括加强圈、抗风圈及盘梯扶梯预制等。

抗风圈、加强圈一般在预制平台上预先焊接好。按抗风圈、加强圈的曲率先在平台上放样，再

焊接好挡块，之后组焊抗风圈、加强圈^[4]。抗风圈、加强圈内弧的划线下料必须准确，因为内弧要与罐壁焊在一起，对罐壁椭圆度有很大影响，所以其曲率半径与壁板外圆半径处应保持一致。切割抗风圈和加强圈后，对其进行检查，要求误差小于 1.5 mm，如不合格必须调整修补。

盘梯预制工作应以中间平台为分界点，结合图纸分段进行预制。内外侧板的加工精度对盘梯的安装质量十分重要。在预制平台上预制量油管和导向管，预制要求为钢管弯曲度不大于千分之一，椭圆度不大于 4 mm。加工后将钢管连接起来进行焊接，并用砂轮打磨焊缝表面，使其过度圆滑。在附件预制过程中，顶部包边角钢及其他弧形构件在滚扳机和小型三轮电动滚轮机上按照设计尺寸滚制；排水管、消防系统管线要求进行 100% 射线检查。

6 能耗对比

结合以往常规的储罐施工工艺，对比该项目中所使用的深度加工构件的各个预制环节，剖析成本损耗（表 1）。

表 1 构件预制法与传统储罐施工工艺各工序的对比

工序	采用加深预制的优势	节省工期/d
清扫口预制	节省了现场焊接、气密和磁粉检验，节约了热处理的时间和现场与罐边缘板一道焊缝工作量及时间	35
罐底预制	节省了现场底板预制、铺板、焊接、喷漆的人力、物力和工期	25
罐壁板预制	避免了现场罐嘴开孔和焊接，需要高空作业，热处理等高难度施工	35
浮盘和骨架预制	节省现场组装难度	50
附件预制	加快现场安装进度，可对储罐进行及时、有效的保护，保障后续工作的顺利进行	15

从表 1 中可得知预制工作所占用的时间接近占到整个施工期的一半左右。在海外施工中，通过上述深度预制的方法可以节约大量的人员、机具动迁和复员费用。

7 结语

本文对大型原油外浮顶储罐的预制工作进行了探讨。结合 API650 标准，从预制方法、预制精度、坡口处理及检验内容几个方面出发，讨论了大型储罐建造过程中清扫孔、罐底板、罐壁板、浮盘及附件的预制程序、热处理方法和要求。研究发现，大型储罐由于各处应力均较大，所以必须提高部件预制精度，同时进行热处理，并在预制过程中和结束后进行严格地检查。进行合理的深度的构件预制，可以有效地缩短工期和节省功耗，从而降低现场安装成本。

参考文献

- [1] 周玉芹. 大型储罐齐平型清扫孔的设计[J]. 石油化工设备, 1995 (6): 21-24.
- [2] American Petroleum Institute. Welded steel tanks for oil storag: API Std. 650[S]. Washington: American Petroleum Institute, 2007: 20-300.
- [3] 白生虎, 贺贵仁. $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 储罐工程技术的创新与应用[J]. 石油化工建设, 2010 (1): 42-45.
- [4] 何利民, 高祁. 油气储运工程施工[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 274-301.

作者简介

袁继彪：工程师，大学本科，2007年毕业于中国石油大学（华东）油气储运工程专业，主要从事工程与服务招投标管理，15810462460, yuanjibiao.se@cnpc.com.cn, 北京市东城区东直门北大街9号，100007。

收稿日期 2016-01-26

(栏目编辑 焦晓梅)