

大型储罐全数显自动化焊接倒装施工工艺研究

李晓强

国家能源集团宁夏煤业公司煤制油化工工程建设指挥部 宁夏 银川 750000

摘 要：在石油化工、煤化工和精细化工等制造业领域，大型储罐的建造技术日益受到重视。随着国家对能源化工事业的高速发展，大型（超大型）储罐的建造技术也在不断迭代更新。本文以宁夏煤业有限责任公司烯烃二公司的一台3万m³石脑油储罐为例，对全数显自动化焊接倒装施工工艺进行了深入研究。通过从储罐的倒装施工工艺及流程、焊前要素准备、数控液压顶升工艺、底板安装及焊接工艺、壁板倒装及焊接工艺、焊接质量控制、安全保证措施、实施效果等八个方面进行具体阐述，取得了预期的效果，为今后大型（超大型）储罐的建造提供了有益的借鉴。

关键词：储罐；全数显；自动化焊接；倒装；施工工艺

引言

随着国家能源化工事业的高速发展，国内大型（超大型）储罐的建造需求日益增长。特别是在低温、深冷和不锈钢储罐的建造方面，对焊接技术的要求日益提高。传统的储罐建造焊接技术存在不能实时监控焊接过程工艺参数的缺点，使得数据的人工收集具有碎片化、偶然性的特性，不利于全面全过程掌握焊接工艺参数，不能达到实时控制的效果。全数显自动化焊接技术能够较好地解决这一难题，且数据存储时效长达一年之久，为储罐的建造提供了强有力的技术支持。

1 工程概况

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司烯烃二公司增加了一台3万m³石脑油储罐的技改项目。该储罐位于原有生产厂区内储罐区预留空地上，直径为46300mm，高26367mm，主体材质为Q345R/Q235B，单重649吨，介质为石脑油。由于施工区域安全隐患高，故采用倒装法施工以减少高空火险。施工内容包括罐体底板、壁板、加强圈、网壳、蒙皮、内浮盘及盘梯的下料预制和安装等工作^[1]。

2 施工工艺

2.1 施工工艺流程

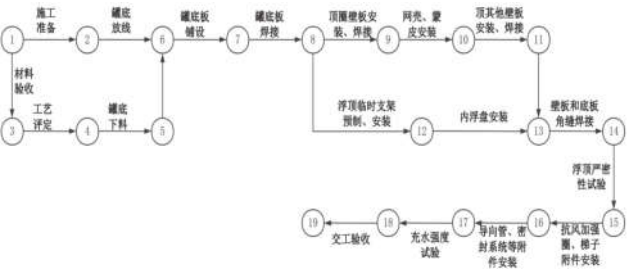


图1 施工工艺流程

2.2 倒装法全数显自动化焊接原理简介

本储罐施工采用倒装法全数显自动化焊接技术，焊接设备采用南京勒肯机电设备有限公司配套生产的数码显示焊接设备。储罐提升采用与之配套的数控三缸液压顶升设备，该设备通过仪表操控装置可以精确地分配每个油缸的顶升载荷，达到最佳安全提升状态。自动焊机数显部分可以连续地实时检测焊接日期、焊接时间、焊接电流、焊接电压、焊接线速度等参数，并即时显示焊接线能量，数据存储长达一年以上^[2]。

3 施工前焊接要素准备

3.1 焊接工艺准备

使用成熟的焊接工艺评定，制定合理的焊接工艺卡，供焊接人员遵照执行。同时，对焊接工艺参数进行了详细规定，包括焊接部位、焊接方法、焊条或焊丝直径、施焊电流、施焊电压、焊接线速度等。

3.2 自动化焊接机具准备

配备了数控液压顶升装置、全数显倒装单面埋弧自动横焊机、全数显倒装气电立焊机、全数显埋弧自动平/角焊小车等自动化焊接机具，为储罐的自动化焊接提供了有力保障。

3.3 焊接人员培训

挑选自动化焊接熟练且责任心强的持证焊工若干名，并进行必要的培训教育工作。确保焊工对罐体施工程序和焊接工艺了然于胸，并对全数显自动化焊接设备的原理、性能和构造有一定的了解。

3.4 焊接材料准备

焊材（焊条、焊丝及焊药）应具有质量证明书，并存放在焊材库内。焊材的烘烤、储存和领用、退还应有专人负责，并做好记录台账。同时，对焊材、焊丝、焊剂的采购技术标准进行了详细规定^[3]。

4 底板安装及焊接工艺

4.1 罐底板安装

首先进行基础验收,随后根据设计要求绘制底板施工排版图,排版图直径需放大0.1%至0.15%。接着,按照排版图完成中幅板的切割、下料、防腐和编号工作,并将其依次吊入基础中心,从中心向四周进行铺设。中幅板铺设完毕后,需仔细检查并调整焊口部位的间隙、错变量等偏差,通过点固焊确保其满足自动化焊接的要求。随后,开始铺设边缘板。边缘板的铺设以其外圆周线及对接焊缝中心线为基准线展开,铺设过程中要确保外圆尺寸准确无误。值得注意的是,罐底边缘板的铺设应在中幅板铺设完成之后进行。在底板与垫板进行点焊定位时,需将每张钢板的相邻两边与垫板点焊固定,而另外两边则留作自由收缩。最后,按照施工顺序完成焊接工作,包括中幅板焊缝、边缘板外侧300mm焊缝、丁字缝及中幅板剩余部分焊缝、边缘板剩余焊缝,以及壁板安装后的组对施焊大角缝,并进行检查验收^[4]。

4.2 底板焊接工艺

在储罐底板的焊接过程中,需遵循特定的焊接顺序。首先焊接中幅板,接着是边缘板外侧的对接焊缝,然后是边缘板与壁板间的T型缝,随后完成边缘板其余的对接焊缝,最后焊接中幅板与边缘板之间的大角缝。对于中幅板的焊接,先处理短缝,再焊接长缝,最后是通长缝。初层焊道采用手工电弧焊进行打底,并采用分段退焊(或跳焊)法。填充及盖面则使用全数显埋弧自动平/角焊小车进行焊接。在焊接通长缝的短缝时,从中心向两端跳缝焊接,焊缝一次焊接成型。长焊缝的焊接则是从中心向两端,以两块板单元为单位进行。对于通长缝的焊接,需先焊底板中心位置的两条最长缝,再焊两端较短的长缝。焊接时,先焊接中心位置的通长缝一段距离,然后从中心向两端分段退焊,总体焊接方向为从中心向两端,且一条通长焊缝使用两台焊机对称施焊。罐底环形边缘板的焊接也有其特定原则。首先焊接边缘板外缘350mm的焊缝,接着在罐底和壁板连接的T型角缝焊完后,且在边缘板与中幅板之间的大角缝焊接前,完成边缘板和中幅板的剩余焊缝焊接。环形边缘板对接焊缝的打底焊采用手工电弧焊,焊工需均匀分布、对称施焊。边缘板与中幅板之间的收缩缝初层焊道则采用分段退焊(或跳焊)法,并使用全数显埋弧自动平/角焊小车进行焊接。罐底与罐壁之间的T型角缝焊接,需在底圈壁板立缝焊接完毕后进行^[5]。先焊罐内侧角焊缝,由成对手工焊焊工均匀分布施焊,后焊罐外侧角焊缝,采用全数显埋弧自动平/角焊小车。罐底板全数显埋弧自动平/角焊小车的焊接情况可参见图2。



图2 (左)底板焊接小车参数设定采集;(右)底板焊接操作图

5 罐体倒装及焊接工艺

5.1 壁板安装

在壁板安装过程中,首先需确保储罐顶圈壁板的组焊、罐顶圈梁筋板、网壳结构、蒙皮等顶部所有可完成部分均已就绪,方可进行第二圈壁板的倒装安装。壁板的自动化焊接坡口尺寸需根据罐壁厚度来确定:当罐壁厚度不超过26mm时,一般采用单面坡口;若厚度超过26mm,则采用双面不对称坡口。对于环缝埋弧焊的对接接头,当罐壁厚度不超过14mm时,采用单面坡口;若厚度超过14mm,则采用双面不对称坡口形式。

壁板安装采用数控液压顶升倒装法,其安装程序包括数控液压顶升设备及涨圈的安装、罐体提升、围板、带板组对(纵环缝)、立缝焊接、环缝外侧焊接、环缝内侧清根、环缝内侧焊接,以及焊缝的打磨和检验。数控液压顶升设备由30支三缸液压柱、10台液压操作泵(一拖三供油方式)、一部数控操作台以及液压系统、供电系统、自控系统等部件组成。在顶圈壁板下部需提前安装好涨圈一套,并准备好自动化焊机运行轨道等。

在完成各项安装准备工作后,进行点动试升,确认无误后,将管壁提升至要求高度,并液压锁死油缸^[6]。

在围板过程中,首先需根据安装储罐的内径在罐底划出圆周线,并在储罐内径100mm处画出检查圆线,打样冲作出标记或焊接定位块。圈壁板围设后,在点固焊前后,均需随时检查筒体和焊缝坡口的几何尺寸,包括水平度、垂直度、椭圆度、坡口间隙、棱角度、局部凹凸度等,以确保准确无误。

5.2 壁板焊接

壁板焊接过程中,需遵循特定的焊接顺序:首先进行纵缝的焊接,随后再进行环焊缝的焊接。在纵缝焊接前,需先安装防变形用的龙门板,立焊缝则采用2台气电立焊机,自下向上一次焊接成型。对于环缝的焊接,采用埋弧焊自动焊接方法,先焊接环缝的外侧部位,待外侧焊接完成后,内侧进行碳弧气刨或角磨机打磨清根,检查合格后方可进行内侧环焊缝的焊接^[7]。

在壁板外侧环缝的焊接过程中,使用4台横焊机沿焊

缝均匀布置,并沿同一方向同时施焊。而壁板内侧环缝的焊接,则使用2台横焊机均匀对称分布,同样沿同一方向同时施焊。

此外,储罐焊接数据的设定、采集和自动存储也至关重要。在全数显自动埋弧焊焊接过程中,需特别注意焊剂的干燥程度,焊剂堆积高度也不应过高。若焊接打底完成后相隔时间较长才进行自动焊焊接,焊前应认真清理坡口内及两侧100mm范围内的浮锈、油漆及杂物等。自动焊的轨道应保持与坡口平行,以防偏离焊接位置。施焊前,还应根据焊缝的间隙大小,选择适宜的焊接电流、电压及行车速度,并在施焊过程中保持不变^[8]。

6 焊接质量控制要点

焊接质量控制是确保罐体质量的关键环节,从罐体的排版、下料、切割等源头抓起,严格控制罐体的几何尺寸和焊缝坡口角度,以确保它们符合自动化焊接的要求,并充分考虑焊缝的收缩量及放大裕量。为此,制定了合理的工程质量控制点,并确保所有书面见证签章齐全,做到有章可循,有据可查。在焊接过程中,层层严格把关,从焊接工艺评定、焊接工艺卡的制定,到焊条、焊丝、焊剂、保护气体的选用,再到焊接电流、焊接电压、焊接线速度、焊接线能量等参数的设定,都进行了严格的控制和管理。选用合适的焊接机械设备,确保它们具备有效的校验及合格证书,以保证焊接质量。同时,注重焊工队伍的建设和管理,挑选操作技艺熟练的持证焊工,并加强他们的培训和责任心管理,确保他们能够严格按照焊接工艺要求进行操作。焊接完毕后,及时进行“三检一评”,即自检、互检、专检和评定,同时配套进行外观检查和射线检测,以确保焊接质量符合标准要求。如果在焊接过程中发现问题,及时组织相关人员进行分析、攻关,并根据实际情况做出相应的调整,以确保焊接质量的持续稳定和提升^[9]。

7 安全控制措施要点

为了确保储罐施工的安全,采取了一系列安全控制措施要点。首先,成立了安全保障体系,并制定了安全应急预案,以应对可能发生的突发情况。同时,针对罐体在最不利条件下的稳定性进行了效验,特别是考虑到西北地区风沙较大的特殊环境,确保罐体能够稳固可靠。由于施工区域与相邻罐体较近,存在火灾风险,因此采取了必要的物理隔离措施,以降低风险。此外,为了实时监测施工区域的可燃气体浓度,使用了四台可燃气体检测仪,确保能够及时发现并处理潜在的安全隐

患。在施工用电方面,使用的是罐区检修电源,并进行了临时用电负荷设计,以确保施工用电的安全和稳定。同时,对于受限空间作业,要求随时保持内外联络畅通,确保在紧急情况下能够及时采取应对措施,保障作业人员的安全。

8 实施效果

全自动焊接减少人工时投入约45%,安全风险处于低空及低风险作业。共9带板,使用自动焊3天1带板,手工焊7天一带板,节约工期36天,焊接合格率由98.7%提高至100%,罐体垂直度、半径偏差等合格率100%,节省费用32万元。

全自动液压顶升系统减少人工时投入约300个,缩短工期15天,储罐共9带板,实现平均10分钟提升1米,提升一带板需要20分钟,全自动同步提升报警率为零、误差率为零,节约人力、机械投入约60万元^[10]。

结语

通过对宁夏煤业有限责任公司烯烃二公司一台3万m³石脑油储罐技改项目的全过程全数显自动化施焊研究,达到了对项目进度、质量、安全、费用的全方位要素把控,取得了良好的效果。该工艺缩短了工期,提高了焊接功效和质量,降低了劳动强度,节省了费用。为今后大型(超大型)储罐、特别是对低温、深冷和不锈钢储罐的建造自动化焊接工艺参数过程实时监控方面提供了借鉴。

参考文献

- [1]宁夏煤业有限责任公司烯烃二公司增加一台石脑油储罐施工设计文件。
- [2]《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》(GB50341-2014)。
- [3]《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》(GB50128-2014)。
- [4]《承压设备焊接工艺评定》(NB/T47014-2011)。
- [5]《压力容器焊接规程》(NB/T47015-2011)。
- [6]《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》(GB50236-2011)。
- [7]《承压设备无损检测》(NB/T47013-2015)。
- [8]《化工设备吊耳及工程技术要求》(HG/T21574-2008)。
- [9]《埋弧焊用低合金钢焊丝与焊剂》(GB/T12470-2018)。
- [10]《焊接与切割用保护气体》(GB/T39255-2020)。