

摘要: 高效焊接技术是指与常规的焊条电弧焊相比, 熔敷效率高、焊接速度快、操作方便且易于自动化的焊接技术。焊接是立式储罐建造极为重要的方法之一, 焊接工作量非常大, 因而焊接效率对储罐的建造速度和质量具有决定性意义。本文介绍目前在大型立式拱顶型和浮顶型储罐焊接施工中, 推广应用的埋弧自动横焊、埋弧自动角焊、碎丝埋弧自动平焊、气电立焊和CO₂气体保护焊等高效焊接技术。

大型立式储罐高效自动焊接技术

大庆油田建设集团(黑龙江 163453) 刘家发

一、概述

大型立式储罐是石油化工行业非常重要的储运设备, 越来越多地用于原油、成品油的储运工程。立式储罐是现场组装焊接的大型容器, 焊接工作量非常大, 焊接效率对储罐的建造速度和质量具有决定性意义。因此, 储罐的高效焊接技术越来越受到重视, 许多高效焊接技术在储罐施工中得到推广应用, 储罐高效焊接设备和焊材国产化方面也有很大的进步。高效焊接技术是指与常规的焊条电弧焊相比, 熔敷效率高、焊接速度快、操作方便且易于自动化的焊接技术, 其特点是生产效率、焊接质量好、节约能源。

大型立式储罐的主要结构形式是拱顶型储罐和浮顶型储罐, 其主体安装方法有正装法和倒装法。高效焊接方法的选择与储罐材质、厚度和安装方法密切相关, 大型浮顶储罐直径大、钢板厚, 罐体施工普遍采用正装法组装、自动焊接的工艺方法, 技术已相当成熟; 在拱顶储罐的施工中, 主要采用倒装法组装, 仍以焊条电弧焊为主, 但自动焊也得到了推广应用。目前, 储罐施工应用最多的高效焊接方法有: 埋弧自动焊(包括横焊、平焊和角焊)、气电立焊和CO₂气体保护焊等。本文就拱顶型储罐和浮顶型储罐的建造, 介绍应用在大型储罐现场焊接施工中的高效焊接技术。

二、埋弧自动横焊

埋弧自动横焊是大型储罐建造中应用最早的高效自动焊方法, 主要用于正装法施工的浮顶储罐的罐壁环焊缝。近年来, 在倒装法施工的拱顶储罐中也得到推广应用。

1. 储罐正装法施工埋弧自动横焊装置

大型浮顶储罐由于壁板较厚、直径大, 环焊缝的焊接量相当大, 因而应用高效自动焊技术意义重大, 目前国内外普遍采用高效埋弧自动横焊方法。埋弧自动横焊机由机头、送丝机、焊剂托送机构、焊剂回收装置、焊接电源、焊接行走机架、驱动机构和控制系统组成, 机架的行走速度即是埋弧自动横焊的焊接速度。焊接时, 焊接行走机架吊挂在储罐壁板上, 壁板上端作为焊接行走轨道, 行走驱动机构安装在行走机架的上部, 驱动焊接行走机架沿罐壁板上端行走, 焊剂托送机构的传送带靠托轮与壁板紧贴被动转动, 方向与焊接机架运行相反。为适应不同的板宽需要, 机架一般制作成伸缩式。施焊时, 先焊接焊缝外侧, 外侧焊接结束后, 即进行内侧焊前处理, 然后采用同样的焊接方式焊接内侧。焊丝一般选用 $\phi 2 \sim \phi 4 \text{mm}$, 焊接效率高, 成本低。

图1所示为储罐正装法施工用的埋弧自动横焊示意图。由于焊接部位在机架的下部, 焊剂回收桶安装在机

架顶部,所以采用大功率负压式焊剂桶就可以实现焊剂的回收/送给自动循环。在这一点上,倒装储罐自动横焊装置就不易实现。

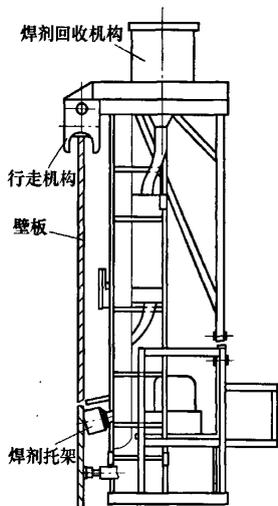


图1 正装储罐埋弧自动横焊示意图

为减少焊接机架的内外吊装次数,提高焊接效率,目前已有公司研制出了双面焊正装储罐环焊缝埋弧自动焊机。一套装置,内外各设置了一套焊接系统。

2. 储罐倒装法施工埋弧自动横焊装置

近年来,国内一些公司在借鉴储罐正装埋弧自动横焊技术的基础上,开发应用了储罐倒装埋弧自动横焊设备与工艺,主要用于拱顶储罐罐壁的环焊缝,焊接效率高,是焊条电弧焊的4倍,但这种工艺方法适合10mm以上的中厚板。当壁板较薄时,一是焊缝收缩变形较大,储罐环焊缝形成比较明显的掐腰;二是焊缝采用焊条电弧焊或CO₂半自动焊进行打底后,焊缝余焊接量较少,采用埋弧自动横焊不经济,效率没有明显的提高。因此,储罐倒装法施工埋弧自动横焊用于2万m³以上储罐的焊接比较经济。

图2是中石油工程技术研究院研制的倒装储罐环焊缝专用的埋弧自动横焊机。由焊接电源、自动送丝机、焊接机头、焊接行走机架及控制箱、焊剂回收/送给系统及轨道等部分组成。各个部分合理地集成在焊接行走机架上,电气综合控制系统协调各部分统一工作。操作时,在储罐基础四周铺设一条与罐壁板环缝平行的圆形轨道,横缝自动焊装置置于轨道之上,并靠着罐壁板沿轨道行走进行焊接,机架的行走速度即是焊接速度。主要特点是:

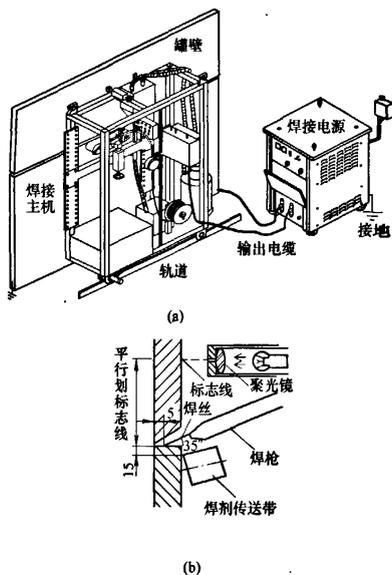


图2 倒装储罐环焊缝埋弧自动横焊机示意图

(1) 储罐环缝采用细丝埋弧焊工艺,焊丝直径为2.0~3.2mm,焊接电源可选择林肯公司的DC-600晶闸管多用途直流弧焊电源。

(2) 焊接机头与机头位置调节器一起安装在焊接机架上,由于轨道的水平度与罐体的同心度不易保证,所以该装置采用光斑式跟踪方法,如图2b所示。焊接前,在距被焊环缝上部一定距离处画一条与被焊环缝平行的细线,并在焊接机头上安装跟踪用聚光灯。焊接过程中,焊工通过手工上下调节机头调节器,使光斑跟踪此细线,实现焊接对中。

(3) 焊接行走机架配有升降调整机构及驱动系统。升降调整机构调节焊接机头和焊剂托架位置,以适应不同板幅的焊接施工。驱动系统与底板装配,驱动系统驱动焊接机架行走。

(4) 焊剂循环系统采用负压式焊剂回收器。由于焊接机头与焊剂桶都处于机架上部,两者距离短,焊剂送给管内的焊剂重力无法克服焊剂桶内的负压作用,所以焊剂的回收和输送不能做到同步自动循环。

储罐倒装埋弧自动横焊机存在的两个问题:①环形轨道水平度误差和手工方式调解,造成焊接时对中不易控制,易跑偏。②焊剂没有实现回收/送给的自动循环,操作麻烦。为解决上述问题,大庆石油管理局研制了“可自动跟踪的倒装储罐埋弧自动横焊机”,并申报了国家专利。该焊接装置一是应用了自行研制的接触式

焊接自动对中装置,实现了闭环控制。该对中装置成本低,跟踪精度高,使用简便,安全可靠;二是研制应用了双箱式焊剂回收和送给系统,实现了焊剂的辅助自动循环。

3. 储罐正装、倒装两用埋弧自动横焊装置

为兼顾储罐正装、倒装两种施工工艺,使焊机能够通用,减少设备投资,南京奥特焊切工程技术公司研制了适用于大型储罐正、倒装施工工艺的两用埋弧自动横焊机。该焊机将行走机构做成可拆卸的形式,当用于正装法储罐焊接时,行走机构装在机架上部,用于倒装法储罐焊接时,将行走机构反向装在机架下部,如图3所示。机架做成可伸缩的以适应不同板幅;焊接机头和焊剂传送装置安装在可开启的支架上,支架通过蜗杆进行上下调整。

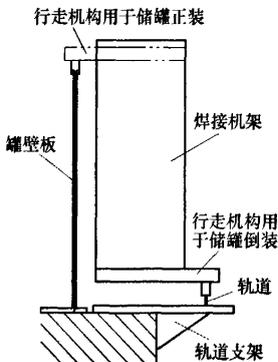


图3 储罐正、倒装两用埋弧自动横焊机示意图

三、碎丝埋弧自动平焊

5万m³以上大型储罐的罐底板为对接接头形式,焊接量很大,焊接时易产生焊接变形。实际工程中广泛应用了焊条电弧焊或CO₂保护焊打底根焊+碎丝填充埋弧自动平焊高效焊接工艺,其工艺原理如图4所示。焊接前,先在坡口内放置一定厚度的碎碎丝,提高焊接熔敷速度,同时可以有效地防止焊接变形,避免应力集中,提高施工质量。埋弧自动焊进行罐底板的焊接时,由于自动焊的热输入比较高,穿透力远远大于

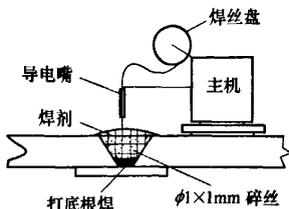


图4 碎丝埋弧自动平焊示意图

手工焊,虽然罐底板接头下都有垫板,但也很容易焊穿,所以焊接之前必须进行打底焊。打底焊方法可采用焊条电弧焊或CO₂半自动焊,也可采用CO₂全自动焊。

四、埋弧自动角焊

大型浮顶储罐的钢板厚度大,罐底边板与壁板大角缝的焊接工作量很大,焊接质量要求高。焊接施工采用的是焊条电弧焊+埋弧自动角焊的组合工艺。罐底大角缝的埋弧自动角焊工作原理见图5。焊接小车依靠行走走在罐底边缘板上的三个支撑轮支撑,依靠紧贴罐壁的两对磁吸附轮定位并驱动行走进行焊接。搭接接头的罐底也可采用此方法进行焊接。

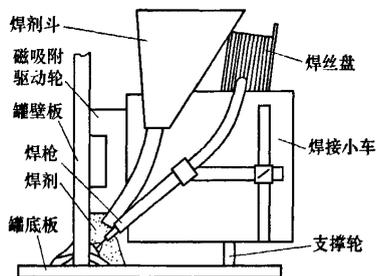


图5 储罐大角缝埋弧自动焊工作原理

五、气电立焊

气电立焊是由普通熔化极气体保护焊和电渣焊发展而形成的一种熔化极气体保护电弧焊方法,采用上升自动控制系统和水冷滑块,配有专门的药芯焊丝,以CO₂或Ar+CO₂为保护气体,焊缝一次成形,是一种高效焊接技术。其工艺过程稳定,操作简便,焊缝质量好,焊接生产率高,成本低,其焊接速度约是药芯焊丝气体保护自动立焊的1.5倍,是焊条电弧焊的15倍。气电立焊采用的坡口角度比其他焊接方法要小得多,其熔敷效率相当高,非常节约焊材,相同条件下,其焊材的用量只有MAG焊的1/3。

气电立焊通常焊接的板材厚度在12~80mm最适宜,单面焊厚度一般在25mm以下,带摆动时可焊接到35mm左右,超过35mm应采用双面焊。大型浮顶储罐的壁板厚度一般在10~40mm之间,并且采用正装法,其罐壁立焊缝非常适合气电立焊。

1. 储罐正装法施工气电立焊

气电立焊主要应用在正装法施工的大型立式浮顶

储罐的罐壁立焊缝上，其工艺原理如图6所示。焊接时，罐壁板立焊缝接头背面用带有焊缝成形槽的水冷铜块封闭，焊缝表面采用滑动水冷铜块覆盖熔池，形成封闭。药芯焊丝通过弯曲成形的焊枪，从小块滑块的上方向坡口送进，焊接电弧在接头底部的起焊板上引燃，电弧热使焊丝和坡口表面熔化形成熔池，熔池凝固成焊缝金属。焊丝可沿接头整个厚度方向来回摆动，使热量分布均匀并熔敷在两板之间形成焊缝。焊丝摆动频率为50~80次/min往复。

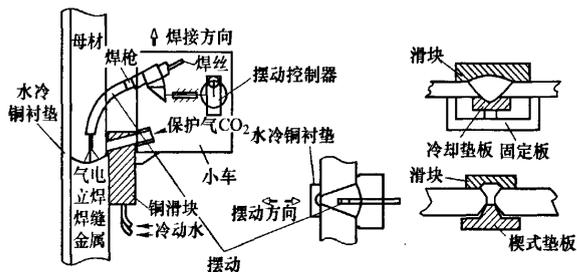


图6 储罐正装法施工立缝气电立焊示意图

随着坡口空间的逐渐填充，焊枪、滑动水冷铜块和筒谐振动装置都随焊接的进行而同步自动上升，从下而上一次完成整条垂直焊缝的焊接。虽然焊缝轴线和焊接行走方向都是垂直的，但是从下而上做平焊位置的焊接。采用 $\phi 1.6\text{mm}$ 的气电立焊用药芯焊丝，焊丝的干伸长保持在40mm左右，保护气体采用100%的 CO_2 ，从滑动水冷铜块上部的套管内导入。

2. 储罐倒装法施工气电立焊

新疆油建公司于2005年和2006年首次采用倒装法进行了5万 m^3 和10万 m^3 外浮顶储罐的施工。在倒装施工中，由于是先围板焊接再提升罐体，立缝背侧无法贴水冷铜块，所以国内通用的背面加水冷铜衬垫的气电立焊工艺和焊机不适用。通过试验研究，采用 CO_2 气体保护焊根焊+气电立焊组合的焊接工艺：用 CO_2 半自动焊进行背面根焊，取代背面水冷铜衬垫，根焊缝既可以作为焊缝填充金属，也可以替代水冷铜块，与焊接面的水冷铜滑块形成气电立焊熔池需要的相对密闭空间，从而实现气电立焊。现场应用效果良好，有效地保证了焊接质量和焊接效率，填补了一项大型储罐倒装法施工立缝自动焊接工艺的空白（申报了国家专利），工艺原理如图7所示。图7中第1层为 CO_2 气体保护焊根焊层，第2、3层为气电立焊填充盖面层。

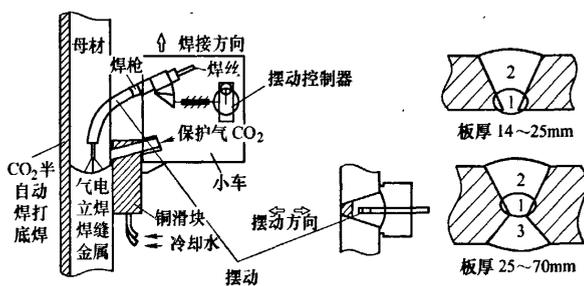


图7 储罐倒装法施工立缝气电立焊示意图

六、 CO_2 气体保护焊

CO_2 气体保护焊作为一项高效焊接技术，用于大型储罐的焊接施工一直被重视，在储罐的罐底板、壁板、罐顶板、浮顶和附件等部位的焊接施工中，均取得了较好效果，焊缝美观，质量好，变形小，焊接效率高。

1. 储罐 CO_2 半自动焊

储罐的 CO_2 半自动焊主要采用实芯焊丝，成本低，但也有采用药芯焊丝的，以进一步提高焊接效率。但 CO_2 焊对风非常敏感，施工现场常年存在风的骚扰，因此野外使用时，焊接区域需增加防风设施。另外， CO_2 焊的辅助机具较多，搬运麻烦，增加了辅助工作量，特别是高空作业不适用。

2. 储罐立缝 CO_2 自动焊

拱顶储罐壁板较薄，且采用倒装法施工，立缝不适合采用气电立焊。但应用全位置 CO_2 气体保护自动焊可以实现拱顶储罐壁板立缝的自动焊，焊材可选择实芯、药芯 CO_2 气保焊丝，也可采用自保护药芯焊丝。与焊条电弧焊相比，可提高工效3~5倍，焊接质量好。

CO_2 自动立焊机由焊接电源、自动送丝机、焊接小车及轨道、供气系统和行走机架等部分组成。各个部分合理地集成在焊接机架上，将机架进行整体封闭防风，并与环缝埋弧自动横焊机共用一条圆形轨道。焊接小车在立式储罐上的安装结构如图8所示，立焊机操作室如图9所示。

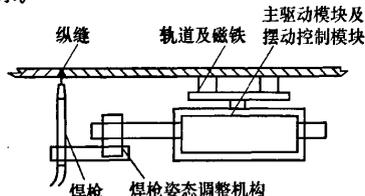


图8 焊接小车及轨道安装示意（俯视图）

（下转第48页）

这样能充分确保组对后环缝的间隙为1.5mm，在立缝焊毕，环缝组对点焊后，环缝向下收缩。加之罐壁自重，环缝能向下收缩0.5mm，从而使焊缝间隙为1mm，这样就保证了焊缝间隙使焊缝能够焊透，同时使焊后清根比较容易，清根也很彻底，减少了未熔合、夹渣等焊接缺陷。内侧焊完，外侧不用气刨清根，因为气刨清根会破

坏坡口的形状，内侧封底焊产生的气孔、夹渣采用磨光机清根，使用磨光机清根能够保证坡口的形状。磨光机清完根后进行PT检测，合格后即可进行外侧焊接。磨光机清根时，也要十分注意保持下料时的坡口形状，杜绝又窄又深的坡口产生。环缝焊接的焊接参数见表3（以第一圈环缝为例）。

表3 环缝埋弧横焊的焊接参数

部位	层数	电流/A	电压/V	焊接速度/cm·min ⁻¹
内侧	1	410~430	26~28	14~18
	2	460~480	26~28	15~19
	3	460~480	26~28	15~19
	4	460~480	26~28	15~19
	5	460~480	26~28	15~19
外侧	6	460~480	26~28	15~19
	7	460~480	26~28	15~19
	8	460~480	26~28	15~19
	9	460~480	26~28	15~19

5. 结语

通过采取上述焊接质量控制措施，青兰山中转原油库工程T003与T004两台原油储罐罐本体焊接一次合

格率取得了令人满意的效果，焊接质量完全处于受控状态，为今后15×10⁴m³原油储罐的施工提供了可靠的参考价值。MW (20080225)

(上接第39页)

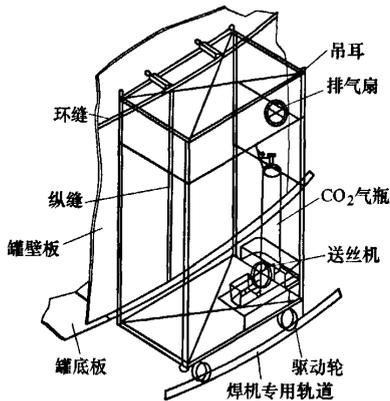


图9 立焊机操作室示意图

焊接小车是实现自动焊接过程的驱动机构，安装在焊接轨道上，带着焊枪沿罐壁上下运动，是实现罐壁自动立焊的最重要组成部分。焊接小车应体积小、重量轻、操作方便。目前，国内外开发出的多种型号的焊接小车均可用于储罐立缝的焊接。

七、结语

储罐向大型化方向发展，埋弧自动焊、气电立焊和CO₂气体保护焊是大型储罐建造领域的重要高效焊接

技术，对提高焊接生产效率和焊接质量、降低施工成本具有重要作用。

储罐高效焊接技术的发展，还应注意以下问题：

(1) 应开展双丝或多丝储罐埋弧自动横焊技术的开发应用，特别是储罐倒装法施工用的高效焊接技术的开发研究，进一步提高储罐的焊接质量和建造速度。

(2) 加强大型储罐的自动焊设备和焊接材料的国产化研究，提高自动焊设备的综合使用性能。特别是与引进的高强钢板相匹配的自动焊焊丝，目前尚依赖进口，价格高，这是我国大型储罐建造必须解决的课题。

(3) CO₂半自动焊相对于传统的焊条电弧焊无疑有着明显的优势，但这种方法要大面积推广应用在室外，还需要解决辅助配套机具要轻便灵活、焊接配线要有足够的长度、各种焊件或部位要充分防风等问题。可以预测，CO₂气体保护焊在储罐焊接领域具有较好的应用前景。

(4) 自保护药芯焊丝半自动焊焊接效率高，质量好，抗风能力强，非常适合野外环境下的焊接作业，也是今后大型储罐建造应深入研究应用的高效焊接技术，应重点解决焊丝的国产化和降低焊接材料成本问题。MW (20080225)