

管道焊接移动工作站在安装行业的应用

上海市安装工程有限公司 (200080) 陆欢军

【摘要】 工作站是将必要的设备(切管设备、坡口设备、自动化焊接设备)分别安装在集装箱内,每个集装箱便是一个相应的加工工位,在集装箱外用简单合理的物流系统连接每个集装箱工位,就好似一个移动式的管道预制加工厂。

1. 国内外安装行业管道焊接状况

20世纪60年代,国际上就开始在管道工程中应用自动焊技术,20世纪80年代是焊接机器人在生产中应用发展最快的10年,其技术日趋成熟,焊接一次合格率已达到97%~98%。在大口径、厚壁的成长输送管线管道焊接中应用自动焊技术已经相当广泛,已达到操作简便,焊缝外观成形美观且焊接质量稳定。但是在口径大小变化多、薄壁、高压力的工业管道现场焊接中,由于成套设备昂贵,施工成本较高,因此应用全位置自动焊接技术还较少,而适用于建筑安装行业管道焊接的设备几乎没有。

在锅炉、石化、建筑安装行业,由于管道的焊接工作量非常大,目前国内外管道的焊接施工基本上是采用焊条电弧焊接。近几年来,国内外市场上推出了一些管道预制(包括集装箱式的管道预制焊接流动工作站),它往往仅能满足手工打底焊后盖面的需要,但不能解决管道焊接的打底问题,而管道焊接的质量关键问题却是打底焊。

目前打底焊质量的好坏取决于焊接工人的操作水平,且适用于建筑安装行业管道焊接的全位置固定焊的焊接设备几乎没有。另外,市场上的高技能焊接人才奇缺,在很大程度上满足不了高速发展的需要,从而影响了工程进度和焊接质量。为了解决这个问题,从保证焊接质量,提高工作效率,缩短安装周期,改善劳动条件及提高市场的竞争能力来看,解决管道生产及预制,焊接打底和盖面一次完

成的全自动化焊接有着非常重要的意义。

2. 形成应用的时代背景

近几年来,在工业项目建设中对工艺管道施工预制工厂化的要求越来越高,外商投资方及施工总承包商都十分强调用科学的方法进行施工管理,尤其在工期、安全、质量等方面的要求也更高,众多外资企业在考察施工承包商时关键点就是看有没有管道预制加工厂,这已经成为必要条件。这是由于管道工程贯穿整个生产工艺,且利用管道按图精确地预制大大缩短了现场安装的工期,市场要求管道施工必须具备工厂化预制的条件。施工企业在发展的过程中,也意识到要提高生产效率,提高管理水平与技术水平,同样要走管道预制化这条路。

鉴于上述原因,结合自身的实际,我们早在2003年就已经建造了厂房一流且设备先进的管道预制加工厂,先后参与了赛科、巴斯夫、拜耳、吴泾甲醇及德固赛等大型工程的管道预制工作,取得了较为理想的效果,同时也积累了宝贵经验。由于市场的发展需求,科学技术的不断进步,高级焊工难求等原因,以及工厂化预制需要固定式厂房及相关的基础设施与之相配套,因此前期投入比较大,且固定不便于移动。但是建设项目的显著特点就是装置固定,迫使施工单位流动,固定式厂房的管道预制加工厂势必难以兼顾,离厂房较远的项目,其管道预制的运输成本很高,不利于在预制厂加工预

本文获得“中国安装协会焊接专业委员会2012年年会暨焊接标准及先进焊接技术研讨会”论文大赛三等奖。

制。而移动式的管道预制工作站就变得越发需要，其具有自动化的焊接设备以及整套的切割坡口和组对设备，可实现自动化焊接，却比现场传统焊条电弧焊预制的加工效率高；再就是便于运输，拆装、转场成本低，更能适应施工单位流动性大的特点。

为了保持预制在行业中的领先地位，2007年我公司与北京中电华强焊接工程技术有限公司合作研发了一台全自动焊接设备，该设备具有TIG、MIG/MAG自动焊打底，MIG/MAG填充盖面的功能，从而解决了预制厂迫切需要解决的管道自动焊接封底问题，大大提高了焊接生产效率。该焊机已在天津甲醇、上海上易公司等项目中进行了应用，并取得了良好的效果。

虽然目前国内市场上也有移动式管道预制工作站生产厂家，但大多都处在摸索阶段，而打底焊接多采用焊条电弧焊进行，然后进行自动焊填充、盖面。即使采用自动焊填充，盖面拍片合格率也有不少问题。由于我们先前在管道预制厂自动焊接设备的成功应用，因此我们能在移动工作站中继续使用自动化焊接设备以达到焊接全部自动化。

基于上述各种原因以及自动化焊接设备在预制厂的成功开发与应用，我公司便与中电华强再度联手，结合各自的强项，研发出更适合现场使用的移动式管道预制工作站。

3. 管理模式、技术达到的参数及量化指标

(1) 管理模式 移动工作站的管理大致可分为对外管理和对内管理。

对外管理就是与移动工作站外部关系的沟通，如与制造厂商技术问题的沟通、与项目部施工问题的沟通，以及移动工作站耗材采购等，如图1所示。

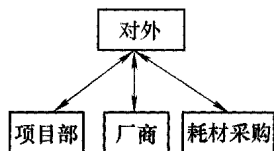


图1 对外负责人与外部的沟通范围

对外管理工作内容如下：

第一，当移动工作站的机械出现问题需要厂商解决或出现技术问题需要厂商提供技术支持时，由对外负责人与厂商进行沟通，快速解决。

第二，移动工作站所需全部耗材，如焊机的

喷嘴、导电嘴、焊丝、气体、带锯机的锯条以及坡口机的刀头等由对外负责人统一采购。对内负责人需向对外负责人提供相应耗材的预算清单。

第三，与项目部之间的沟通按施工的进程大致可分为施工前、施工中、施工后三部分。施工前的单线图、领料等；施工过程中及时向项目部提供工作日报，以及施工过程中的问题反馈等；施工后的产品检验、成品及材料的交接等，如图2所示。

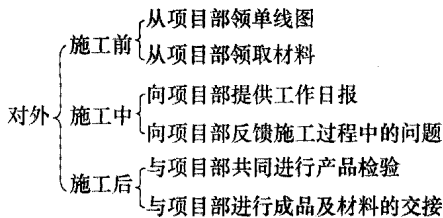


图2 对外负责人与项目部之间的工作范围

对内管理就是通过有效管理尽可能提高移动工作站的生产效率。主要包括根据材料与图样情况统筹安排施工进度，合理安排各个工位的工作任务以及解决施工过程中的各类问题，其流程如图3所示。

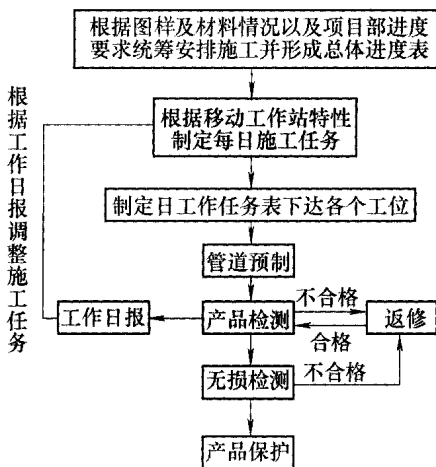


图3 移动式管道预制工作站工作流程

(2) 设备调试工作及焊接工艺介绍 该移动式管道预制工作站已经在天津甲醇项目中通过了调试，进入试运行阶段。我们分别对 $\phi 168\text{mm}$ 、 $\phi 219\text{mm}$ 、 $\phi 273\text{mm}$ 的碳钢管道进行了全程调试，即从切割下料到焊接完成的全过程。在整个过程中切断与坡口的调试较为简单，自动焊接设备的调试较复杂，因此我们将调试的重点放在了焊接设备上，下面作一介绍。

焊接工艺：移动式管道预制工作站使用的是一套MAG焊接设备，采用脉冲MAG焊接，实芯焊丝

的焊接工艺，混合气体（98%Ar+2%CO₂）焊接不锈钢和（75%Ar+25%CO₂）焊接碳钢。采用混合气体能细化晶粒，减少飞溅，改善熔深，提高电弧温度，从而可以提高电弧稳定性，改善焊缝成形。

采用脉冲MAG焊接与普通MAG焊接相比有如下特点：

普通MAG焊的主要熔滴过渡形式是射流过渡，而脉冲MAG焊的熔滴过渡特点是每个电流脉冲过渡一个熔滴，就其实质而言属于射滴过渡，其主要特点：①脉冲MAG焊的最佳熔滴过渡形式是一个脉冲过渡一个熔滴。这样通过调节脉冲频率就能够改变单位时间内熔滴过渡的滴数，也就是焊丝熔化速度。②由于一脉一滴的射滴过渡，熔滴直径大致与焊丝直径相等，则熔滴电弧热较低，也就是熔滴温度低（与射流过渡和大滴过渡相比），所以提高了焊丝的熔化系数，即提高了焊丝的熔化效率。③因熔滴温度低，所以焊接烟雾少。一方面降低了合金元素的烧损；另一方面改善了施工环境。④焊接飞溅少，甚至无飞溅。⑤焊缝成形良好，熔宽较大，指状熔深特点减弱，余高小。⑥扩大了MAG焊射流过渡的使用电流范围。脉冲焊时焊接电流从射流过渡的临界电流附近一直到几十安的较大电流范围内，均可实现稳定的射滴过渡。

MAG焊的工艺决定了其在焊接的过程中可能会产生气孔和未焊透缺陷，在工作中我们应针对

MAG焊接的这些工艺特点，对可能产生焊接缺陷的地方加以注意，尽量避免焊接缺陷产生。

产生气孔的主要原因有：①当室外作业环境的风速>1m/s时，破坏了保护气体对熔池的覆盖。②保护气体流量太小。③保护气体流量太大，形成紊流，因吸入空气而破坏保护。④由于飞溅，使喷嘴内孔边变凸而破坏保护。⑤操作不合理，如焊枪到工件的距离太大，保护不良。⑥焊枪贴近工件太近，将吸入空气。⑦喷嘴不合适，其内孔尺寸过小，覆盖熔池的能力不够。⑧焊接区域内有脏物、油脂、油漆、涂层或潮气。⑨焊枪受损，如喷嘴损坏使保护气体形成紊流而吸入空气。

产生未焊透的原因与坡口准备有关，但更多的是由于焊工操作不合理。主要原因有：①坡口角度太小、钝边高度太大和根部间隙太小等，使得根部加热不足，产生未焊透。②待焊工件的焊接性不好。③坡口错边太大，一侧加热不足。④前一道焊缝凸起或在接头处未处理好，将产生未焊透。在焊前应处理好前一道焊缝的不利因素，如将凸起焊边或接头处打磨成凹状就可避免未焊透。⑤焊枪偏离中心或焊枪倾斜过大而指向坡口的一个侧面，也可能产生未焊透。

（3）技术达到的参数及量化指标（调试结果及相关参数比较） 首先，不同管径的加工时间及焊接参数。管径从切割到焊接完成，各工位的加工时间及焊接参数如表1所示。

表1 各工位的加工时间及焊接参数

管径/mm×mm	切割时间/min	加工坡口时间/min	电弧电压/V	焊接电流/A	焊接速度/mm·min ⁻¹	焊接时间/min
φ168×6	6~7	8~10	25	165~175	300~350	5~6
φ219×7	7~9	9~12	25	175~190	300~350	6~7
φ273×8	7~9	9~12	25	208~210	300~350	9~10

焊接完成后，焊缝外部成形饱满、美观，无表面缺陷，内部成形好，无未焊透等缺陷，RT检测合格。如图4、图5所示。

其次，与焊条电弧焊的比较。

效率比较：我们将自动焊与焊条电弧焊的焊接时间相比较（见表2）。由表2我们不难发现，自动焊的焊接效率要比焊条电弧焊的高出很多。

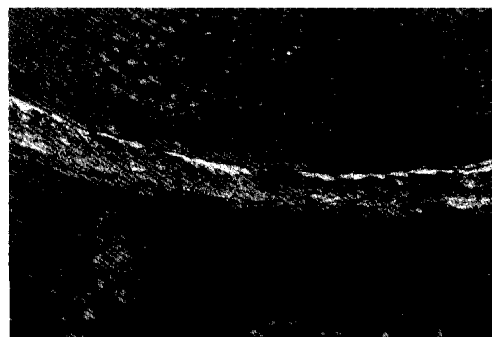


图4 焊缝外部成形



图5 焊缝内部成形

表2 焊条电弧焊与自动焊的焊接效率比较

规格/mm × mm	焊条电弧焊耗时/min	自动焊耗时/min
φ168 × 6	45~50	5~6
φ219 × 7	60~70	6~7
φ273 × 8	80~90	9~10

根据表2的焊接效率以及以往的经验,做如表3所示的一个统计。表3是在同一规格的坡口,在同样8h工作的情况下,一个焊条电弧焊的焊工所焊的坡口数量与自动焊所焊的坡口数量。

表3 焊条电弧焊与自动焊的8h工作量

规格/mm × mm	焊条电弧焊所焊坡口数/个	自动焊所焊坡口数/个
φ168 × 6	10~12	40~50
φ219 × 7	8~10	35~40
φ273 × 8	6~8	25~30

效益比较:从表3中我们可以发现,自动焊8h所完成的工作量是焊条电弧焊一个班组8h完成量的好几倍,但自动焊完成这样的工作量是需要在焊接设备及配套设备运转正常,自动焊设备处于饱和工作的前提下才能完成。移动工作站工作效率比焊条电弧焊一个班组高近3倍,但人员配备只比焊条电弧焊一个班组多近一倍。人员配备情况比较如表4所示。

表4 焊条电弧焊与自动焊的需要的劳动力比较

工种	焊条电弧焊一个班组人员配备/人	移动工作站人员配备/人
焊工	1	2
管工	1	2
坡口机操作工	—	1
带锯机操作工	—	1
普工	2	4
合计	4	10

表5是对不同规格的坡口,传统焊条电弧焊与自动焊消耗的焊接材料统计。从焊接成本来看,焊条电弧焊的成本较高,焊接过程中焊接材料的损耗大,焊接生产率低导致焊接人工费用高。而移动工作站的自动焊采用的是实芯焊丝焊接工艺,成本较低,焊接过程中焊接材料的损耗几乎为零。

表5 焊条电弧焊与自动焊的焊接材料消耗比较

规格/mm × mm	焊条电弧焊消耗焊材/kg	自动焊消耗焊材/kg
φ168 × 6	0.5~0.6	0.08~0.1
φ219 × 7	0.8~0.9	0.13~0.15
φ273 × 8	1~1.1	0.17~0.2

从上面几个对比表中我们不难看出自动焊所使用的人工是焊条电弧焊的两倍,但其焊接效率是焊条电弧焊的8~9倍,所完成的工作量是焊条电弧焊的4~5倍,消耗的焊接材料比焊条电弧焊节省约5倍。

4. 社会效益和经济效益

(1) 直接经济效益比较 通过上述自动焊与焊条电弧焊在焊材消耗及劳动力效率两方面的数据,我们不难得到直接经济效益的比较。以单位工作日单位劳动力配置所完成的工作量为前提,进行单位工作量消耗人工费及焊材费比较分析,如表6所示。

表 6

规格 /mm × mm	焊条电弧焊				自动焊				节约成本 /元	节约率 (%)
	数量 /寸径	焊材费 /元	人工费 /元	每寸径成本 /元	数量 /寸径	焊材费 /元	人工费 /元	每寸径成本 /元	—	—
φ168 × 6	60	40	520	9.33	240	25.6	1220	5.19	4.14	44.37
φ 219 × 7	64	51.2	520	8.93	280	36.4	1220	4.49	4.44	49.72
φ273 × 8	60	48	520	9.47	250	34	1220	5.02	4.45	46.99

注:φ168mm为6寸径,φ219mm为8寸径,φ273mm为10寸径。

经过分析,不难得出在不考虑自动焊机本身折旧费前提下,自动焊成本比焊条电弧焊平均节省4.34元/寸径,平均节省率47%。

(2) 间接经济效益 这要从使用移动式管道预制工作站所带来的优势说起,具体优势如下:

①不受现场条件的约束。即便是现场不具备管道开工条件,也可实现同时同地的管道预制施工,最大限度地缩短了施工工期。②作业条件好,受自然条件气候的影响小。③设备先进,效率高,大幅提高了劳动生产效率。④质量控制比较容易实现,质

量容易得到保证。⑤流动性好,转场费用低,设备利用率高。⑥便于实现统一管理,节约了人力、物力、生产成本,为企业增加经济效益起到了不小的作用。

5. 焊接专机在大型工程管道预制中的应用实例

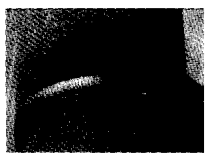
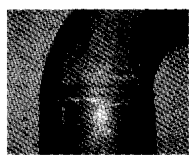
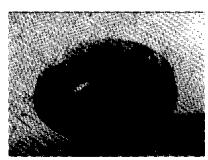
(1) 项目介绍 上海东方体育中心是2011年世界游泳锦标赛主场馆,该项目总占地面积为34.75万m²,总建筑面积达15万m²。我公司是机电安装施工的总承包单位。

本次作为配管预制推行自动焊接的冷冻机房位

于新闻服务中心地下二层,采用自动焊接的各类管道规格从 $\phi 89 \sim \phi 630$ mm不等,约1600m,焊缝约23150寸径。占机房设备配管总量的60%。

(2) 焊接产品 现场采用不同规格管材($\phi 89$ mm、 $\phi 108$ mm、 $\phi 133$ mm、 $\phi 159$ mm、 $\phi 168$ mm、 $\phi 219$ mm、 $\phi 327$ mm,壁厚分别为3mm、6mm、8mm、10mm)的产品进行工艺试验后,已进行了实际生产,并进行了射线检测及焊接性能测试,均达到了满意的效果。产品焊接实例效果如表7所示。

表 7

焊缝类别	管-管对接焊缝	管-弯头对接焊缝	管-法兰角接焊缝	焊缝拍片
焊缝图片				按JB/T4730-2005评定为 I 级焊缝
质量评价	焊缝成形美观、质量合格			质量优良

(3) 优势介绍 ①该焊接专机特点:机头体积小,夹紧范围大,精密传动、机械传动和控制系统集成为一体,方便吊装和搬运。②采用MIG/MAG焊接工艺,即能满足所有对接及角接焊缝的焊接工艺要求。③焊枪架及外部接线采用快速组装方式。④滚轮架和焊枪系统固定在滚轮架上,自由选择实现管与管件焊接。⑤采用精确的AVC弧长跟踪系统,大大提高了焊接稳定性,同时提高了对工件组装的适应性。⑥研发的快速MAG焊打底技术,解决了优质高效的自动打底焊。⑦作为自动焊接专机,焊接效率为焊条电弧焊接的5~8倍。⑧焊接质量大大提高,合格率接近100%。

该设备在现场生产中焊出了合格产品,得到了行业专家的高度评价。与国内外同类产品相比,该设备对施工现场焊接适应性强,操作性良好,焊接质量可靠性高,在大型工程机房管道预制行业具有很高的推广价值。

通过NZFG630×30短管-法兰及管-管件焊接专机在上海东方体育中心冷冻机房各类管道现场预制焊接中的应用,在提高管道施工焊接质量和加快施工进度等方面,效果明显;且不同规格的管道、管配件焊接参数经调试储存后,同规格的焊缝可直接调用,通用性强,各类机(泵)房的管道均能适用。相对于焊条电弧焊接,无论是焊接质量、生产

效率、减轻劳动强度等均有明显的优势,既适用于民用工程,也适用一般工业设备集中区、罐区的管道预制焊接。自从投入实际施工以来,该产品的实际效率与人工相比至少能提高5~8倍,而且产品合格率达到99.5%以上。

以上方面的技术创新,对企业来说,对外既提升了企业的技术能级,提高了企业的竞争力;对企业内部来说,解决了高级焊工人员的缺口,满足了施工的进度,也提高了现场施工的安全性,大大节约了企业的施工成本。

6. 结语

根据移动式管道焊接工作站的试运行来看,焊接进度和施工质量均十分理想,带锯机、坡口机的使用更能给现场的预制和安装带来很大的方便,有效地提高了工作效率,降低了工人的劳动强度,改善了工作环境。

从目前国内市场看,该工作站的焊接设备处于领先地位,其MAG焊打底焊接技术一直是各个生产厂商急待解决的关键问题。引进了该工作站大大提升了我公司在同行业中的竞争力,为公司由地方性企业向全国性企业转型奠定了扎实的物质基础。

MW (20120920)