

文章编号: 1002-025X(2014)03-0038-03

核岛辅助管道预制超声波 TIG 复合电弧焊工艺

石爱强

(核工业工程研究设计有限公司, 北京 101300)

摘要: 针对核岛辅助管道的特点, 分析了超声波 TIG 复合电弧焊工艺的应用特点, 与传统的手工焊及其他自动焊工艺进行对比, 超声波 TIG 复合电弧焊工艺突破了不填丝焊接技术在厚度上的限制, 提高了自动焊技术的焊接效率, 保证了焊接质量。

关键词: 核岛辅助管道; 超声波 TIG 复合电弧焊工艺; 不填丝焊接工艺

中图分类号: TG457.6 **文献标志码:** B

0 引言

核岛辅助管道主要是指核岛厂房中除主回路管道以外的管道。我国自建造核电站以来, 无论是管道预制还是现场安装, 最常用的焊接方法主要是传统的焊条电弧焊和钨极氩弧焊, 核电站建设的自动化焊接应用程度较低, 而国外焊接生产机械化、自动化已达到很高的程度, 按熔敷金属量计算, 工业发达国家, 其焊接机械化、自动化程度已达到 65% 以上, 而我国在此方面仅为 20% 左右。为了保证核电的核心竞争力, 我国已先后在宁德、红沿河和福清等核电站主管道安装领域成功地应用了自动焊技术。相比之下, 具有结构多样化、现场环境复杂特点的核岛辅助管道还难以实现自动化焊接, 而辅助管道的预制工作存在着工作任务量大、施工环境好的特点, 因此采用自动焊技术可以极大地提高焊接效率, 并可保证焊接质量。

1 应用对象分析

以岭澳二期管道预制量统计的数据作为参考对象, 其焊接接头类型主要有对接 (BW)、角接 (FW)、支管 (S*B*) 和插套 (SW) 4 种, 对接焊缝占其总量的 64% 以上, 对接焊缝中壁厚在 6 mm 以下的管道占 75% 以上, 主要集中在 3~4 mm 范围内,

其次为壁厚 6 mm 以上的管道, 包括直管与弯头、大小头的焊接, 一般均可实现自动焊焊接。

对接焊缝的预制管道主要是手工焊用的 V 形坡口, 组对时采用点固块固定对接管道端面的间隙在 3~4 mm 范围内, 保证手工 TIG 焊能够顺利打底焊接, 填充和盖面根据管道的实际壁厚选择手工 TIG 焊和氩电联合 (TIG+SMAW) 的焊接方式施焊。

2 焊接工艺分析

2.1 坡口设计原则

标准规定的坡口设计一般原则为:

(1) 厚度不大于 3 mm 的碳钢、低合金钢、不锈钢、铝的对接接头及厚度不大于 2.5 mm 的高镍合金一般不开坡口。

(2) 厚度在 3~12 mm 的上述材料, 可开 U 形、V 形或 J 形坡口。

(3) 厚度大于 12 mm 的上述材料, 采用双面 U 形或 X 形坡口更好。

因此, 焊接工艺的选择和坡口设计存在一定的关系, 并且在焊接生产中起着重大的作用, 对生产效率和生产成本有着决定性的影响。

2.2 不填丝焊接工艺

在焊接过程中不填焊接填充材料, 只熔化待焊母材最终形成焊缝, 其焊接工艺广泛应用于食品、制药等领域。在秦山坎杜核电站建造中, 仪表管的

焊接也采用了全位置不填丝焊接技术,工程期间共焊接 48 638 道焊缝,其中 RT(射线检验)5 612 道,合格 5 534 道,焊缝一次性合格率为 98.6%。该工艺所具有的优点为:

(1) 坡口简单、易加工 不填丝焊接工艺采用 I 形坡口,组对不留间隙,保证端面光滑、清洁、无毛刺,加工精度要求低。

(2) 组对方便、节省时间 组对时,一般不留间隙,由于管道均存在圆度的问题,因此尽量将间隙和错边量大小控制在 1 mm 范围之内。

(3) 节省焊接填充材料 不填丝焊接工艺的焊缝是一次性成形,较传统手工焊相比,焊接过程不填充任何焊接材料,大大降低了焊接成本。

不填丝焊接工艺的不足之处为:由标准可以看出,传统的 TIG 不填丝焊接工艺焊接范围具有一定的局限性,最大焊接的壁厚为 3 mm,范围很小,而核电站预制的辅助管道主要壁厚集中在 3~4 mm,因此,传统的 TIG 不填丝焊接工艺不适用辅助管道的预制焊接工作。

2.3 填丝焊接工艺

目前,核岛管道预制焊接工作主要采用手工 TIG 焊工艺,其中对接焊缝主要采用的是 V 形坡口,组对时采用点固块固定对接管道端面的间隙为 3~4 mm,保证手工 TIG 焊能够顺利打底焊接,填充和盖面根据管道的实际壁厚选择手工 TIG 焊和氩电联合(TIG+SMAW)的焊接方式施焊。与先进的自动化焊接技术对比,传统手工 TIG 焊显露出包括焊工培训投入大、周期长、人员不稳定、技术水平参差不齐影响焊接质量、焊接施工环境差等缺点。

针对核岛预制管道的特点,需要选择同时满足覆盖范围广、保证焊接质量、提高焊接效率、焊接工序简单的焊接方法——超声波 TIG 复合电弧焊焊接工艺。

3 超声波 TIG 复合电弧焊工艺

3.1 超声波 TIG 复合电弧焊工作原理

超声波 TIG 复合电弧焊主要原理是将超声波通

过导电电极传导到焊接电弧上,在施加超声波后,电弧产生明显的收缩现象,从而提高其焊接电弧挺度,增大焊接熔深,可实现较大厚度的管道不开坡口而自熔焊接,达到提高焊接效率,降低生产成本的目的。焊接优势在于同等的能量可以焊接更厚的工件,电弧穿透力强,有助于消除错边或工件厚度不同的影响,变形小、热影响区小、超声波的空穴效应及机械搅拌作用使焊缝晶间组织更致密,力学性能显著提高。

3.2 超声波 TIG 复合电弧焊工艺应用性分析

核电站预制的辅助管道材质主要为不锈钢,根据管道规格所占的比例特点,选取具有代表性或者规格相近的管道作为试验对象,包括牌号 Z2CN18.10 $\phi 88.9 \text{ mm} \times 3.05 \text{ mm}$,牌号 304L $\phi 168 \text{ mm} \times 4.0 \text{ mm}$,牌号 304L $\phi 159 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 的不锈钢管道和牌号 TU42C $\phi 168 \text{ mm} \times 4.37 \text{ mm}$ 碳钢管道,主要从焊接效率、焊材和气体消耗三个方面对比手工 TIG 焊和超声波 TIG 复合电弧焊 2 种工艺的特点,见表 1,表 2,表 3。表中 TIG 为手工 TIG 焊,包括打底焊接、填充焊接和盖面焊接 3 个工序;U-TIG 为超声波 TIG 复合电弧焊,包括打底焊接和盖面焊接 2 个工序。

表 1 焊接效率的对比

| 规格和方法 /mm | $\phi 88.9 \times 3.05$ | | $\phi 168 \times 4.0$ | | $\phi 159 \times 5$ | | $\phi 168 \times 4.37$ | | |
|--------------|-------------------------|--------|-----------------------|--------|---------------------|--------|------------------------|--------|-----|
| | TIG | U-TIG | TIG | U-TIG | TIG | U-TIG | TIG | U-TIG | |
| 坡口加工时间/s | 640 | 60 | 700 | 60 | 740 | 60 | 720 | 60 | |
| 点固焊时间/s | 120 | 108 | 130 | 110 | 170 | 102 | 104 | 112 | |
| 充氩时间/s | 360 | 300 | 360 | 300 | 360 | 300 | 360 | 300 | |
| 施焊 时间/s | 第 1 道 | 942 | 410 | 1 525 | 670 | 1 770 | 590 | 1 416 | 720 |
| | 第 2 道 | 1 035 | 330 | 1 320 | 550 | 1 330 | 540 | 1 536 | 570 |
| | 第 3 道 | — | — | 1 712 | — | 1 845 | — | 1 734 | — |
| 合计/s | 3 037 | 1 208 | 5 687 | 1 690 | 6 155 | 1 592 | 5 846 | 1 762 | |
| 备注 | — | 提高 60% | — | 提高 70% | — | 提高 75% | — | 提高 70% | |

表 2 焊材消耗量的对比

| 规格和方法 /mm | $\phi 88.9 \times 3.05$ | | $\phi 168 \times 4.0$ | | $\phi 159 \times 5$ | | $\phi 168 \times 4.37$ | | |
|--------------|-------------------------|------------|-----------------------|------------|---------------------|------------|------------------------|------------|------------|
| | TIG | U-TIG | TIG | U-TIG | TIG | U-TIG | TIG | U-TIG | |
| 施焊 焊材 | 规格/mm | $\phi 1.6$ | $\phi 1.0$ | $\phi 1.6$ | $\phi 1.0$ | $\phi 1.6$ | $\phi 1.0$ | $\phi 1.6$ | $\phi 1.0$ |
| | 质量/kg | 55.6 | 21.1 | 174.6 | 28.5 | 142.4 | 27.9 | 190.5 | 32.2 |
| 备注 | — | 节省 62% | — | 节省 83% | — | 节省 80% | — | 节省 83% | |

表 3 气体消耗量的对比 (气体消耗量=流量×时间)

| 规格和方法 /mm 工序 和消耗量 | φ88.9×3.05 | | φ168×4.0 | | φ159×5 | | φ168×4.37 | |
|----------------------------|------------|--------|----------|--------|--------|--------|-----------|--------|
| | TIG | U-TIG | TIG | U-TIG | TIG | U-TIG | TIG | U-TIG |
| 充氩 | 正面/L | — | — | — | — | — | — | — |
| | 背面/L | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| 施焊 | 正面/L | 360 | 325 | 720 | 525 | 810 | 475 | 780 |
| | 背面/L | 380 | 62 | 740 | 325 | 830 | 295 | 800 |
| 合计/L | 815 | 462 | 1 535 | 925 | 1 715 | 845 | 1 655 | 723 |
| 备注 | — | 节省 43% | — | 节省 40% | — | 节省 50% | — | 节省 56% |

实践证明：对于板厚为 6 mm 的不锈钢，可不开任何坡口，一次性焊透，背面成形良好，且在间隙为 1.0 mm，错边量为 1 mm 时均能实现良好的焊接，后续采用脉冲 TIG 自动焊盖面焊接，省掉了填充焊材工序，大大缩短了焊接时间，提高了焊接效率。超声波 TIG 复合电弧焊焊接质量主要取决于焊接工艺、焊接设备，而不是焊接操作工，可以说对焊工的数量及其技能的要求大大降低。

3.3 超声波 TIG 复合电弧焊工艺特点

(1) 操作简单，容易掌握 超声波 TIG 复合电弧焊采用悬臂式焊接设备，只需将管道稳定地固定在工装上，钨极调整到合适的位置，采用成熟的焊接工艺参数，按下起弧键即可实现稳定的焊接。

(2) 降低准备工作，提高焊接效率 对于核电站辅助管道的预制而言，管道焊接施工流程主要包括：管道切割、坡口加工、管道组对及点固焊、充氩保护(不锈钢)、施焊。超声波 TIG 复合电弧焊归根结底也是不填丝焊接工艺，因此，首先坡口加工简单，易保证质量；其次简化了组对点固环节，以往管道的预制采用的是手工 TIG 焊，坡口形式为 V 形，需要利用点固块点固控制组对间隙，而超声波 TIG 复合电弧焊工艺只需几条小焊缝固定即可；最后节省了正面的胶带密封时间，超声波 TIG 复合电弧焊工艺无组对间隙，无需像传统手工 TIG 焊那样密封正面焊缝防止背面保护气体流失，节省了大量的焊前准备时间。

(3) 减小材料消耗，降低焊接成本 首先，超声波 TIG 复合电弧焊工艺流程共有打底焊接和盖面焊接 2 道工序，打底焊接可以实现 6.0 mm 以下的管道不开坡口、不填丝焊接；传统手工 TIG 焊均采用 V 形坡口，其焊接工序分为打底、填充和盖面 3 道

工序，从根本上减少了焊接工序，减小了焊接填充材料的消耗。其次，超声波 TIG 复合电弧焊工艺采用连续性的盘状 5 kg 焊丝，焊接过程无需更换焊丝，待整盘用尽后更换焊丝盘即可；手工 TIG 焊采用固定长度的标准焊丝，焊接过程需频繁更换新焊丝，造成焊丝的浪费。再次，焊接过程需要气体的消耗，分为正面和背面气体消耗，消耗量的大小取决于焊接时间，包括焊前准备和施焊时间。超声波 TIG 复合电弧焊工艺的工序简单，缩短了焊接时间，从而使正面消耗的气体量减少，整体的焊接时间短，决定了气体消耗量小。

(4) 焊接质量稳定，人为因素影响小 自动焊工艺主要依赖成熟的焊接工艺参数，其成熟性主要体现在参数的稳定、可靠、可重复性。超声波 TIG 复合电弧焊工艺作为一种新型的自动焊工艺，其关键是掌握好焊接电流、电弧电压和焊接速度三者之间匹配关系。在焊接生产中，焊接操作人员只需按照操作流程充分做好焊前的各项准备工作，启动设备施焊，焊机即可完成完整的焊接工作。只要有成熟的焊接工艺参数做基础，焊接质量不过多依赖于操作人员的焊接操作技能水平，并且可实现持续性焊接工作，不会出现焊工因长期过度的劳动产生一定的情绪而影响焊接质量。

自动焊工艺只需培养操作人员能够熟练地掌握设备的操作，在焊接过程中，一般都是由于设备或人为的影响导致焊缝出现质量问题，其具有预知性和固定性，焊前调整好设备，焊接过程中注意减小人为因素的影响便可保证焊接质量。

4 结语

超声波 TIG 复合电弧焊工艺作为新型的、先进的焊接技术，弥补了传统 TIG 不填丝焊接厚度范围的局限性，简化了填丝焊接工艺的工序，同时具备自动焊工艺受影响因素少、保证焊接质量、提高焊接效率、降低生产成本的特点。