

核电站安装施工中自动化焊接技术应用分析

冯英超,石爱强,王 挺,王 健

(核工业工程技术研究设计院,北京 101601)

摘要:介绍了我国核电行业的发展趋势,并分析了目前国内核电站安装施工中的焊接技术问题;主要从焊接方法、焊接设备、焊接工艺、焊接填充材料、焊接辅助设备等方面对自动化焊接技术的现状及其在国内的应用前景进行了详细的论述,并对自动化焊接技术的应用效益作了较为透彻的分析;最后提出了自动焊在核电站安装中存在的一些问题,并指出加快我国自动化焊机的技术攻关,尽快提高其国产化水平及售后服务乃是当务之急。

关键词:核电站;安装;自动焊

中图分类号: TG409

文献标识码: B

文章编号: 1001-2303(2009)08-0027-03

Application and analysis of automatic welding technology in nuclear power plant construction

FENG Ying-chao, SHI Ai-qiang, WANG Ting, WANG Jian

(Nuclear Engineering Research and Design Institute, Beijing 101601, China)

Abstract: This article introduces the developing tendency of nuclear power industry, analyses the problems in normal nuclear power plant construction and makes a particular discussion about the actuality and applying foreground in domestic of automatic welding technology through process, equipment, procedure, filler materials and assistant equipment, meanwhile, also makes an analysis about the applying benefit about automatic welding. Finally, this article appoints out some problems in nuclear power plant construction, and makes a conclusion: the most important thing for us to do is increasing the technology studying speed, advancing domestic production level and after-sale service.

Key words: nuclear power plant; construction; automatic welding

随着我国经济的高速发展,能源结构不合理、环境保护压力大的问题日趋严重,核电作为一种安全、清洁、高效的能源,对改善能源结构、缓解交通运输压力、减轻环境污染将起到重要作用。国家已确定将以前的适度发展核电转为大力发展核电。国家颁布的《核电发展中长期规划(2005-2020)》提出,到2020年核电装机容量需占电力总装机容量的4%,即核电装机容量将达到4000万kW、在建1800万kW。这需要在有限的时间和资源下高质量、高效率地完成多座核电站的建设任务。

1 核电站安装施工中的人工焊接技术

焊接技术作为核电建造的关键技术之一,不仅

关系到核电站建造的质量和安 全,而且明显影响着核电站建造的进度与周期。

核电站安装中涉及的焊接工作主要是管道与支架,前者由于技术要求高、工作量大而成为关注的重点。目前,国内核电厂管道的主要焊接方法是传统的焊条电弧焊和钨极氩弧焊。这些方法生产效率相对较低,且需要的焊工人数也较多,一座核电站的安装过程中大约需要300名焊工。焊工的劳动强度大,劳动成本及其管理成本相应也较高。更重要的是由于焊工操作水平的差别以及人员易受环境、情绪等因素的影响,使得焊口的合格率相对较低。

2 自动化焊接技术

自动化焊接是指采用先进的焊接设备以及预先设置好的操作程序,自行进行焊接的工艺。焊接过程的质量主要取决于预先编制的焊接工艺,而对焊

收稿日期:2009-07-08

作者简介:冯英超(1982—),男,河北石家庄人,工程师,学士,主要从事核电站安装焊接工艺的研究工作。



工的技能要求较低,基本上不需要人工干预,具有焊接效率高、人工需求量少、操作技能要求低的特点。目前在法国、日本等一些技术或经济较发达的国家,自动化焊接在核电站安装中已经得到了广泛、深入的应用。

2.1 自动化焊接方法

根据法国 RCC-M 标准的规定以及目前世界上自动化焊接技术的发展特点,核电站中不锈钢管道以及核级(RCC-M1,2,3)碳钢、低合金钢管道可采用非熔化极惰性气体保护(TIG)自动化焊接方法,而非核级的碳钢、低合金钢管道可采用熔化极活性气体保护(MAG)自动化焊接方法。一般而言,直径 $\varphi \geq 168.3 \text{ mm}$ 且壁厚 $\delta \geq 6 \text{ mm}$ 的管道,采用 MAG 焊更有实际意义。

2.2 自动化焊接设备

目前,自动焊技术在国外已经成为一种相当普遍的技术。法国 POLYSOUDE,美国 AMI,MAGNATECH,加拿大 LIBURDY,德国 ORBIMATIC,日本 AICHI、HITACHI 等公司制造的焊接设备都已经成功地应用在核电建设中,尤其是法国 POLYSOUDE 公司与日本 AICHI 公司的产品在核电市场占有较大的份额。

国内也有一些管道全位置自动焊设备生产厂家,但是这些厂家基本上尚处于起步阶段,在质量、性能、技术方面与国外设备相比还有较大差距。对于核电站这样一种对技术要求高且敏感的行业而言,目前国内设备显然还不能承担重任。

2.3 自动化焊接工艺

国外的自动化焊接工艺已经基本成熟。用于国内核电建设需要做的工作就是:结合自动焊设备、国外焊接工艺经验,针对国内具体的应用对象(核电站焊接管件),开发出自主的焊接工艺。

为核电站焊接提供焊接工艺支持的核工业工程技术研究设计院焊接研究所,正在研究核电站主回路管道、辅助管道以及仪表管道的自动化焊接工艺,并取得了一定的成果。主回路管道自动化焊接工艺已经开发完成,并通过了上游设计单位、业主的一致认可,目前已经准备应用于红沿河、宁德、福清等核电站项目;仪表管道的不加丝自动化焊接工艺已经开发完成;辅助管道的自动化焊接工艺正在开发当中,预计在 2009 年年底完成。核电站模块预制厂以及一些核电站项目对我们的研制成果表示出了浓厚的兴趣和关注。

2.4 焊接填充材料

自动化焊接使用的焊接填充材料的牌号、化学成分与核电站辅助管道焊接中使用的手工焊丝一致,只是在规格上略有不同。一般 TIG 自动焊采用 0.8 mm 或 1.0 mm 的焊丝;而 MAG 自动焊采用 1.6 mm 或 2.0 mm 的焊丝。目前,这一结论已在核电站主回路管道的自动化焊接工艺中得到了验证。

2.5 焊接辅助设备

焊接辅助设备的配置是自动化焊接的基础条件,良好的坡口组对质量及较高的组对效率是自动焊成功应用的重要前提。其中最主要的是核电站现场管道组对用的工装夹具。此外,还有与管道自动化焊接相配套的管道切割设备、坡口加工设备的选择以及管道背面充氩装置。

目前,自主研发的主回路管道自动化焊接工艺即将应用于工程实践,其工装夹具的设计已经完成,管道切割、坡口加工设备的选择也基本确定。对于辅助管道及仪表管的自动焊而言,工装夹具、管道切割设备以及坡口加工设备的设计与选择将在 2009 年年底完成。

3 自动焊应用效益分析

自动化焊接在核电站安装施工中的应用,可给核电站的焊接工作带来巨大的变化,并在一定程度上改变我国核电站整体建造现状,提高核电站焊接工作的效率和质量,并降低生产成本。

3.1 焊接质量

由于自动化焊接采用程序化设备,基本不受外部环境因素(如空间大小、温度高低、人工干预等)的影响。只要程序化的工艺是成熟的、经过验证的,焊接质量就有保证,焊接一次合格率可保持在 98% 以上。在核电建设领域推广、应用自动化焊接工艺,可以改变焊接质量对焊工技能的严重依赖,降低人为因素的影响,从而提高焊接质量以及整个核电站的建设施工质量。

3.2 高焊接效率

我国未来核电要进行批量化、群堆化的建设,所以如何利用有限的资源创造更多的价值,已经成为一个备受关注的课题。自动化焊接技术,除了焊接质量比较有保证外,其生产效率约为手工焊的 1.7 倍。而且自动焊设备可实现连续工作,因而能在很大程度上提高核电站的施工效率,并从根本上解决工期滞后的问题。与现有的预计工期相比,可缩短焊接



工期约40%。

3.3 成本比较

(1)人工成本。

手工焊对焊工的技能要求比较高,多数情况下焊接质量要依赖于焊工的工作经验。而自动化焊接主要依赖于成熟的焊接工艺,焊工只要能够按照工艺规范来正确操作焊机就可以得到合格的焊接质量。采用自动化焊接,可以减少焊工的数量,对于手工焊而言,一座核电站大约需投入300多名焊工,而采用自动化焊接,焊工人数可减少约120人。

(2)培训成本。

培训自动化焊机操作工对受培训人员的技能要求起点低,不一定需要从事过焊接工作,且培训周期短,一个高中毕业生通常只需培训30天(理论10天,操作20天)就可以掌握基本的自动化焊接操作技能,专业技能培训费用大约仅需几千元。如果进行手工焊工艺培训,每个焊工取得一项焊工资格,投入的培训资金就需要约2万元。

(3)材料成本。

从材料消耗数量上比较,自动化焊接的焊接填充材料(焊丝)为连续自动送给,减少了更换焊丝的次数,同时也大大减少了焊缝接头的数量和焊缝修磨次数,避免了工艺和人为因素造成的材料损耗。据统计,岭澳一期核电工程共消耗各种焊条和焊丝约174.4t,若采用自动化焊接,仅焊接填充材料就可节省约50t(按消耗系数30%计算)。

(4)管理成本。

从管理角度衡量,采用自动化焊接可以缓解多个核电站同时施工情况下,解决高峰期焊工资源紧缺的难题,同时还可以减少相应的临时设施和管理人员等方面的投入。

4 存在的问题

核电站安装实施自动化焊接是一种发展趋势,

是解决我国核电站建设中所有焊接问题的关键所在,但是要使自动化焊接技术在核电站安装施工中得到成功应用,还存在一些问题。

4.1 与设计单位的沟通和协调问题

自动焊应用的一个基本前提是要有充足的工作空间,使得自动焊设备得以顺利搬运、安装和操作。目前核电站管道及其他部件(支架、电缆桥架等)的安装顺序、焊接位置全是以手工焊为基础制定的,对自动焊的应用不一定完全适用。这就需要与上游设计单位沟通协商,对一些特殊管道及部件的安装顺序、焊接位置进行调整,以便最大程度地应用自动焊。

4.2 管道质量问题

管道的椭圆度是困扰自动焊的一个大问题。一般的椭圆度可在焊接过程中采用手工微调自动焊程序即可弥补;但是对于椭圆度大的管道,自动焊是很难补救的。所以需要对核电站管道的质量进行严格控制,杜绝大的椭圆度管道货源,并采取有效的装卸、搬运措施来保证管道的外观质量。

4.3 设备成本与风险

若采用手工焊工艺,一座核电站需要投入的焊机(逆变直流焊机)为330台左右,以每台1.5万元计,则需要投入的设备成本约495万元。若采用自动化焊接工艺实现核电站部分管道的自动化焊接,则需要投入自动焊设备约10套(每套成本约100万元),同时配备一定数量的手工焊机(逆变直流焊机,按200台计),则设备成本约1300万元。同时由于自动焊设备主要依赖国外进口,国内技术又比较薄弱,其设备的维修与售后服务就成了一个比较突出的问题,成为自动焊焊接效率与质量的一个隐患,使设备使用方在保证设备的可靠使用方面存在一定的风险。所以加快我国自动化焊机的技术攻关,尽快提高其国产化水平及售后服务乃是当务之急。

镁及镁合金的焊前准备

(1)选用焊丝。常用与母材化学成分相同的材料,但在焊接镁-锰系合金MB8时,为减少裂纹倾向,应选用MB3焊丝。

焊丝在使用前,表面必须清理,清理方法有机械法和化学法两种:机械法是用刀具或刷子去除表面氧化皮;化学法是将焊丝浸入到质量分数为20%~25%的硝酸溶液中,浸蚀2min,然后在50℃~90℃热水中进行冲洗,再干燥。清理后的焊丝最好在当天用完。

(2)清理工件表面。为了防止腐蚀,镁合金均需进行氧化处理,使其表面有一层铬酸盐填充的氧化膜,这层氧化膜是焊接时的重大障碍,焊前必须彻底清除,清理方法有机械法和化学法两种。机械法是用刮刀或直径 $\varphi 0.15 \sim \varphi 0.25$ mm的不锈钢丝刷从正、反面将焊缝区25~30mm内杂物和氧化膜除掉。板厚小于1mm时,焊口背面的氧化膜可不必清除,以防止产生烧穿、塌陷等现象。化学法包括表面脱脂、碱浸蚀和进行中和处理等工序。

