

# 大型结构模块现场拼装焊接质量控制

丁维民

国核示范电站有限责任公司

DOI:10.32629/hwr.v4i6.3106

**[摘要]** CA20结构模块是三代非能动核电站建造中非常重要的大型结构模块,它具有结构复杂、重量和外形尺寸大、重心高、面板对接焊缝长,焊接易变形等特点;本文介绍了CA20结构模块现场拼装焊接难点、焊接工艺,从人、机、料、法、环、测等六个方面分析了影响焊接质量的因素,总结了CA20结构模块现场拼装焊接质量控制措施,为大型结构模块现场拼装焊接变形控制提供了参考。

**[关键词]** 核电站; 结构模块; 焊接; 质量计划; 经验反馈

## 引言

建造周期是影响核电站经济性的重要因素,模块化设计建造是确保三代非能动核电站经济性的一个重要特点。模块化设计建造改变了现场施工逻辑顺序,由过去的先土建、后安装,转变为土建、安装平行施工、交叉施工,优化了施工逻辑顺序,压缩了整个建造工期。

焊接是核电站大型结构模块现场拼装的重要施工工艺,结构模块的焊接质量不仅事关核电站的安全性和可靠性,还对工程的经济性有影响,结构模块在工厂预制和现场拼装过程中,若出现了焊接质量问题,不满足标准、设计文件要求,出现返工时,势必延长结构模块制造周期和增加焊接返工的成本。

三代非能动核电站的模块主要包括结构模块、机械设备模块、管道模块以及电气设备模块等,结构模块分为CA结构模块、CB结构模块、CS楼梯模块、CH钢平台模块等,CA结构墙模块主要由钢面板、剪力钉、钢桁架等构件组成<sup>[1]</sup>。

因此,加强核电站大型结构模块现场拼装焊接质量控制是非常必要的,大型结构模块现场拼装焊接已在国内核电站实施,及时的总结大型结构模块现场拼装焊接控制经验,将对后续核电站大型模块现场拼装焊接质量控制提供参考。

## 1 CA20 结构模块概况

1.1 CA20结构模块功能。CA20模块位于辅助厂房,由27个墙体模块和18个楼板模块现场拼装焊接构成12个房间,总重量约760吨,具备乏燃料的贮存、传输、热交换及废物收集等功能<sup>[2]</sup>。

1.2 CA20现场拼装焊接难点。CA20具有结构复杂,外形尺寸大,焊接质量要求高,焊接变形大,在现场组装、焊接、运输及吊装等环节过程变形控制难度大,导致现场拼装焊接变形和整体尺寸控制难度增加。

## 2 CA20 结构模块现场拼装焊接

2.1 CA20结构模块焊接工艺。CA20结构模块拼装包括墙体子模块之间的焊接、楼板子模块间的焊接、支撑板用型钢与墙体的焊接、楼板模块与支撑用型钢的焊接等,焊缝连接形式有对接坡口焊缝、T型接头坡口焊缝、角焊缝及塞焊缝。CA20结构模块拼装焊接涉及的主要材质为A240-S32101双相不锈钢、304L不锈钢和Q345B碳钢<sup>[3]</sup>。焊接执行的标准为美国钢结构焊接规范AWS D1.1和AWS D1.6,焊接位置涉及平焊、仰焊和立焊,焊接方法为手工焊条电弧焊(SMAW)和氩电联焊(GTAW+SMAW),其中碳钢及碳钢、奥氏体不锈钢之间的焊接采用手工焊条电弧焊(SMAW),与双相不锈钢组成的焊接接头采用手工电弧焊或氩电联焊。

2.2 CA20结构模块焊工资格。焊接国家核安全监管范围内的焊缝的焊工应按照《民用核安全设备焊工焊接操作资格管理规定》(HAF603)的相关规定进行焊工资格考试,持证上岗,其它焊缝焊接的焊工可以按照HAF603或AWS标准或JGJ81-2002进行焊工取证。CA20结构模块拼装焊接过

程中涉及的主要焊工资格项目(实际施工中不限于以下项目)如表1所示。

表1 CA20结构模块现场拼装焊接涉及的主要焊工考试项目

序号	母材类别	母材规格	接头类型	焊接方法	焊接材料	焊接位置	适用位置	适用母材厚度
1	II+II (Q345B+Q345B)	δ10+δ10	坡口 焊缝	SMAW	E7018	PE	PA、PB、PC、 PB、PE、PF	3-20mm
2	IX+IX (S32101+S32101)	δ14+δ14	坡口 焊缝	GTAW+SMAW	ER2209+E 2209-16	PE	PA、PB、PC、 PB、PE、PF	3-25.4 mm
3	II+IX (S32101+Q345B)	δ14+δ14	坡口 焊缝	GTAW+SMAW	ER2209+E 2209-16	PE	PA、PB、PC、 PB、PE、PF	3-25.4 mm
4	IX+VI (S32101+304L)	δ14+δ14	坡口 焊缝	GTAW+SMAW	ER2209+E 2209-16	PE	PA、PB、PC、 PB、PE、PF	3-25.4 mm
5	VI+VI (304L+304L)	δ6+δ6	坡口 焊缝	SMAW	E316L-16	PE	PA、PB、PC、 PB、PE、PF	3-12mm

2.3 CA20结构模块拼装焊接。CA20结构模块由3个组合件组成,其中1#组合件由CA20-01、02、03、04、05、06、07、08等8个子模块加楼板角梁拼装焊接而成。8个子模块在拼装焊接过程中需满足设计拼装技术要求,两个子模块拼装组对间隙为4~20mm,错边量允许偏差为最大为1.27mm,拼装焊接完成后,两个焊接拼接板的平整度偏差不应大于19mm。

1#组件墙体子模块材质为Q345B,壁厚12.7mm,焊接接头形式为单面V型对接接头,背部带垫板,其坡口尺寸如图1所示。焊接位置为立向上,焊缝长约21m,垫板材质与墙体相同也是Q345B,厚度6.35mm。综合考虑经济、施工进度、焊工技能等各方面因素,确定采用工艺成熟、操作灵活方便的焊条电弧焊(SMAW),焊条型号为E7018,直径3.2mm,焊接工艺参数见表2。

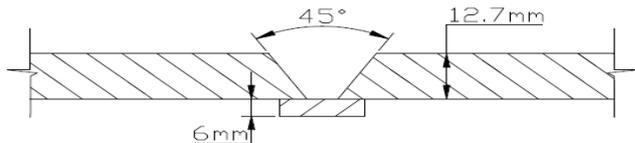


图1 1#组件墙体立焊缝坡口尺寸

表2 1号组件墙体立焊焊接工艺参数

焊道	焊接电压(V)	焊接电流(A)	焊条规格	电流种类和极型
打底	19-23	90-100	φ3.2	直流反接
填充	21-24	100-125	φ3.2	直流反接
盖面	20-23	100-115	φ3.2	直流反接

## 3 结构模块焊接质量影响因素

产品的质量是以工序质量为基础的,同样CA20结构模块现场拼装焊接质量与各子模块出厂前的质量、子模块从预制工厂到现场拼装场地运输,吊装、组对、焊接、检验等工序有关,每个工序都有一定的质量要求,并存在影响其质量的因素。

由于各工序的质量最终将决定产品的质量,因此,必须分析影响工序质量的各种因素,并采取切实有效的控制措施,才能保证焊接产品的质量。

影响CA20结构模块现场拼装焊接的质量因素,概括起来有:人员、设备、材料、工艺方法、生产环境和检测等六个方面,影响结构模块焊接质

量的因素鱼骨图<sup>[4]</sup>,如图2所示。

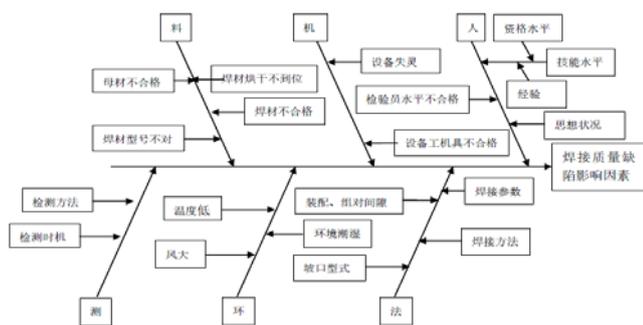


图2 影响焊接质量因素鱼骨图

3.1 人员因素。人因主要指焊接人员的技能、质量意识、精神状态等方面,产品焊接时首先要考虑到对人员因素的控制,因为人是焊接过程的主体,焊接质量受到所有参与的焊接技术人员、质量检验人员、操作人员、服务人员共同作用,尤其是实施焊接的焊工,焊工施焊时质量意识差,操作粗心大意,不遵守焊接工艺规程,或操作技能低下、技术不熟练等都会影响直接焊接的质量。

为了保证所有参与CA20结构模块现场拼装焊接相关人员能够胜任自己的工作,在焊接前应对所有从事CA20结构模块现场拼装焊接的相关人员进行相关培训,加强对焊接相关人员,尤其是焊工核安全文化和质量意识教育,树立安全第一、质量第一的核安全文化和质量意识,提高焊工的责任心和一丝不苟的工作作风,并建立焊工焊接质量责任制,充分发挥其主观能动性,提高一次焊接合格率,避免焊缝返修。

3.2 设备因素。各种焊接设备的性能及其稳定性与可靠性将直接影响影响CA20结构模块现场拼装焊接质量,焊接设备在使用前必须进行检查和试用,对各种在役焊接设备要实行定期检验制度。从保证焊接工序质量出发,对焊接机器设备应做到以下几点:

(1) 定期对焊接设备维护、保养和检修,重要焊接结构生产前要进行试用。(2) 定期校验焊接设备上的电流表、电压表、气体流量计等各种仪表,保证生产时计量准确。(3) 建立焊接设备状况的技术档案,为分析、解决出现的问题提供思路。(4) 建立焊接设备使用人员责任制,保证设备维护的及时性和连续性。

另外,焊接设备的使用条件,如对环境、电、水、环境等的要求,焊接设备的可调节性、运行所需空间、误差调整等也需要充分注意,这样才能保证焊接设备正常使用。

3.3 材料因素。原材料包括母材、焊接材料和其它影响焊接质量的耗材等,这些材料的自身质量是保证焊接产品质量的基础和前提。为了保证焊接质量,原材料的质量检验很重要。在生产起始阶段,即投料之前就要把好材料关,才能稳定生产,稳定焊接产品的质量。对焊接原材料的质量控制主要有以下措施:

(1) 加强焊接原材料的进厂验收和检验,并按设计要求进行材料复验。(2) 建立严格的焊接材料采购、验收及复验、入库、出库、保管、烘干、发放与回收等制度。

总之,焊接原材料的把关应当以焊接规范和国家标准为依据,及时追踪控制其质量,而不能只管进厂验收,忽视生产过程中的标记和检验。

对于CA20模块现场拼装焊接,则应加强拼装焊接过程中的焊接材料烘干、发放、回收管理,确保所使用的焊材符合要求。

3.4 工艺因素。焊接质量对工艺方法的依赖性很强,在影响焊接工序质量的诸因素中占有非常突出的地位,有效的焊接工艺控制是保证焊质量的

关键,工艺方法对焊接质量的影响主要体现在:一是工艺制定的合理性;二是承包商是否建立健全了完整的焊接工艺管理;三是执行焊接工艺的严格性,经过评定合格的焊接工艺必须严格执行,不得随意改变,即使确需改变,也得履行一定的程序和手续。

不合理的焊接工艺不能保证焊出合格的焊缝,但有了经评定验证的正确合理的工艺规程,若不严格贯彻执行,同样也不能焊出合格的焊缝。两者相辅相成,相互依赖,不能忽视或偏废任何一个方面。对影响焊接工艺方法的因素进行有效控制的做法是:

(1) 必须按照有关规定或国家标准对焊接工艺进行评定。(2) 选择有经验的焊接技术人员编制所需的工艺文件,工艺文件要完整和连续。(3) 按照焊接工艺规程的规定,加强施焊过程中的现场管理与监督。(4) 按照焊接工艺规程制作焊接产品试板与焊接工艺检验试板,以验证工艺方法的正确性与合理性。

3.5 环境因素。在特定环境下,焊质量容易受到外部焊接条件(如温度、湿度、风力及雨雪天气)的影响,在其它因素一定的情况下,也有可能单纯因环境因素造成焊接质量问题。所以,也应引起一定的注意。在CA20结构模块现场拼装焊接质量控制过程中,环境因素的控制措施比较简单,当环境条件不符合规定要求时,如雨雪天气,相对湿度大于90%,可暂时停止焊接工作,或采取防风、防雨雪措施后再进行焊接。

工件的表面状态,如母材表面的油漆、氧化皮、涂层、油污以及铁锈对焊接质量都有重要影响。因此,在焊接前必须严格按照螺柱焊工艺规程要求,将工件表面影响焊接质量的杂质清理干净。

3.6 检验因素。检验因素是指CA20结构模块现场拼装焊接过程中影响焊接质量的各检验工序的总称,如开工条件检查、焊接前、焊接过程中检验以及焊接后的外观、无损检测等,影响焊接检测质量与焊缝无损检测方法、检测时机、检测人员的技能等方面有关。

#### 4 结构模块现场拼装焊接质量控制

4.1 焊接前质量控制。焊前质量控制主要依照质量计划从人、机、料、法、环、测等六方面进行控制,确保各项开工条件满足标准要求。

4.2 焊接过程控制。CA20结构模块现场拼装焊接过程采用实时质量计划控制,加强焊接过程的焊接检验,确保结构模块现场拼装焊接质量可控。焊接过程控制还应加强焊材管理、施焊环境确认,焊接变形控制,做好各项记录,确保焊接全过程质量可控,做到有据可查。

4.3 焊接后质量控制。焊后质量控制的关键步骤之一是焊后的检验工作,结构模块拼装焊接完成后通过对其进行外观和无损检测来控制。

焊后质量控制还包括焊后质量统计分析和经验反馈等工作,CA20结构模块焊接完成后,应对CA20结构模块对接焊缝质量进行统计分析,做好经验反馈。

#### 3 结论

结构模块模块化施工具有很多优点,同时由于其结构复杂,重量大,易变形,导致现场拼装焊接时容易出现焊接质量问题,在大型结构模块现场拼装焊接过程中通常采用质量计划进行焊接质量控制,确保焊接全过程质量可控。

#### [参考文献]

- [1]唐识,张俊宝,董永志.螺柱焊在三代核电工程结构模块中的应用[J].电焊机,2016,46(08):86-91.
- [2]郭晓伟.大型结构模块现场组装、安装施工技术探讨[J].科技经济导刊,2018,26(30):7-10.
- [3]王磊.AP1000核电结构模块焊接变形控制[J].热加工工艺,2012,041(017):161-163.
- [4]唐识,唐宏伟,程晓玲,等.核电站换料水箱焊接质量控制[J].电焊机,2016,46(5):117-122.