

上海发电设备焊接技术进展(二)

上海电气(集团)总公司,上海市焊接学会,上海市焊接协会

摘要:讲述了核电设备中反应堆压力容器的焊接,包括主环缝窄间隙埋弧焊、出入水接管与接管段筒身马鞍形焊缝窄间隙埋弧焊、接管—安全端异种金属镍基合金焊接;同时也介绍了秦山二期600 MW机组蒸汽发生器中的管子管板焊接、堆内构件吊兰简体与堆芯支承板的焊接;最后简述了水电设备的焊接。

关键词:核电设备;窄间隙埋弧焊;水电设备

中图分类号:TG47 **文献标识码:**C **文章编号:**1001-2303(2005)10-0012-05

Development of power equipment's welding technology in Shanghai(2)

Shanghai Electricity (Group) Co., Shanghai Welding Academic Society, Shanghai Welding Association

Abstract: This paper relates the welding of all the reactors pressure vessels of the nuclear power equipments, including main ring seam in narrow interval submerged-arc welding, inlet and outlet water pipe and saddle-shape connecting pipe in narrow interval submerged arc welding, connecting pipe in different kinds of metal nickel base alloy welding. At the same time, it introduces the tube welding of Qinshan second issue of 600 MW unit steam generator, the welding of reactor core and supporting board, briefly introduces the welding of the hydroelectric equipment finally.

Key words: nuclear power equipments; narrow interval submerged-arc welding; hydroelectric equipment

(上接第9期)

2 核电设备焊接

2.1 反应堆压力容器焊接

上海锅炉厂承担秦山二期2*600 MW反应堆压力容器(RPV-600)的制造任务。RPV-600由顶盖和堆容器两大部件组成,外形尺寸为6200 mm×5282 mm×12978 mm,总质量318 t。RPV-600的结构简图如图21所示,主要设计参数为:安全等级一级;质保等级QA1级;类型二环路;全容积123 m³;设计压力17.2 MPa;设计温度343℃;运行压力15.5 MPa;冷却剂温度292.8~327.2℃;主要材料16MND5;腐蚀余量堆焊层6 mm;设计寿命40年。

2.1.1 主环缝窄间隙埋弧焊

主环缝外径 ϕ 4210,厚205 mm,根部宽22 mm,坡口角2°,焊接材料为UnionS3NiMo1焊丝+UV420TTR焊剂。焊丝直径 ϕ 4.0 mm,主环缝坡口形式示意图如图22所示,焊接参数为:电流500~550 A;电压30~35 V;速度400~450 mm/min;极性DCEP;预热 \geq 200℃;后热300℃×4 h。

2.1.2 出入水接管与接管段筒身马鞍形焊缝窄间隙

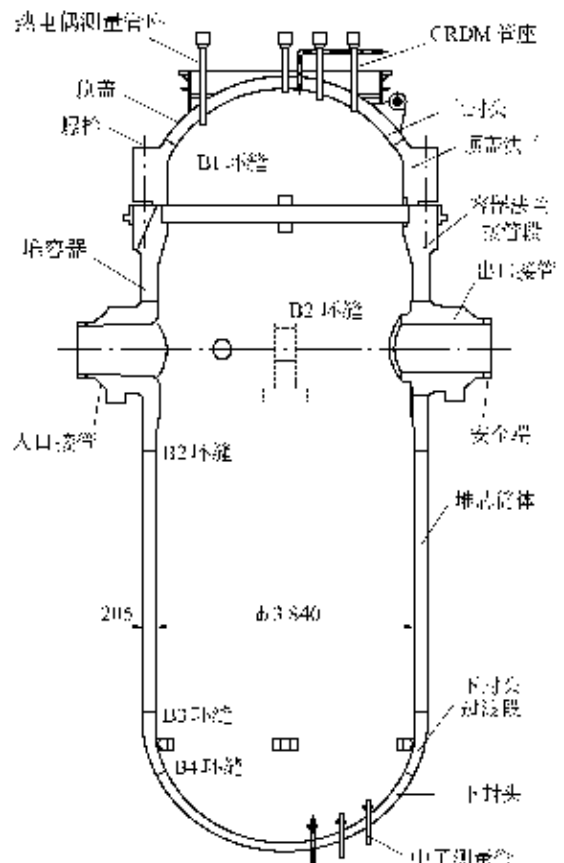


图21 RPV-600的结构简图

收稿日期:2005-08-30

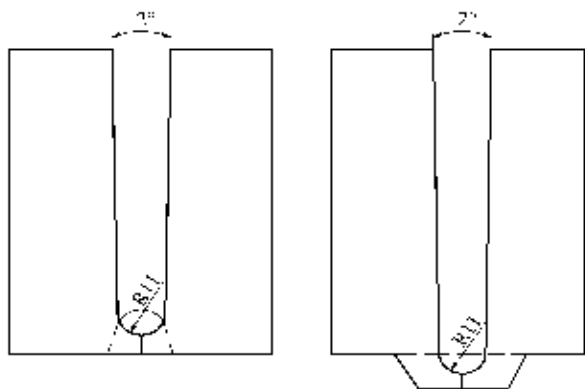


图 22 主环缝坡口形式示意图

隙埋弧焊

马鞍形接管外径 $\phi 1430$, 筒身内径 $\phi 3740$, 接管采用插入式结构埋弧自动焊, 根部用 I 形带衬垫的坡口形式, 图 23 为接管马鞍形焊缝坡口简图。坡口间隙 38 mm; 最大马鞍形落差为 157 mm; 接管焊接采用北京海淀精艺焊接技术联合公司开发的专门为制造 RPV-600 压力容器的 MZ9-6002B 马鞍形管座埋弧焊机。

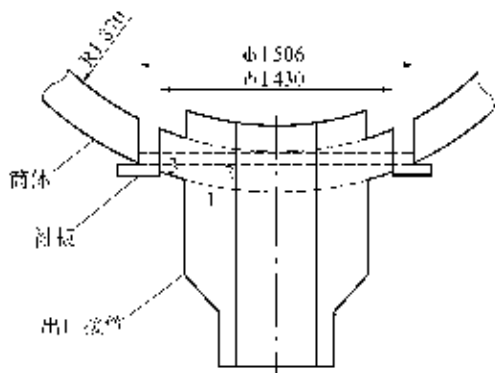


图 23 接管马鞍形焊缝坡口形式结构简图

图 23 中②区采用连续回转平焊方式; ①区和③区焊道不连续, 以焊平落差区域。

2.1.3 接管—安全端异种金属镍基合金焊接。

图 24 为接管—安全端结构示意图。出口接管安全端内径 $\phi 736.6$ mm, 焊缝厚 92 mm。

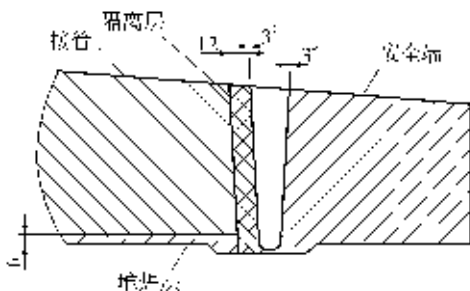


图 24 接管—安全端接头结构示意图

接管锻件为 16MND5 接管低合金钢, 安全端材料为超低碳控氮不锈钢锻件 Z2CND18-12。低合金钢接管一侧先用镍基合金手工焊条预堆边, 随后对接焊缝采用加填充焊丝进行窄坡口脉冲钨极氩弧焊, 焊丝为 SOUDO TIG690 AUTO' Q5", 焊接位置为横焊, 图 25 为接管安全端焊接装置。



图 25 接管—安全端焊接装置

2.2 泰山二期 600 MW 机组蒸汽发生器焊接

2.2.1 蒸汽发生器结构简介

蒸汽发生器由美国西屋公司设计, 上海锅炉厂制造。外壳由 2 个不同的筒体通过锥形体过渡组成。下端为球形封头, 上端为椭圆形封头。球形封头上有 2 个进出水管和 2 个人孔, 并与管板相连组成水室, 管板另一侧与二次侧外壳连接。管板总厚度为 584 mm, 其中镍基合金堆焊层 6 mm, 管板上钻有 9280 个矩形排列的 $\phi 19.25$ 管孔。U 形传热管两端穿入管孔内, 用全长液压胀加管子管板焊接, 管子材料为镍-铬-铁合金, 尺寸为 $\phi 19.05 \times 1.09$ 。图 26 为蒸汽发生器结构图, 设备主要参数为: 反应堆冷却剂压力 15.5 MPa; 冷却剂进口温度 327 $^{\circ}\text{C}$; 冷却剂出口温度 292.8 $^{\circ}\text{C}$; 蒸气温度 282.9 $^{\circ}\text{C}$; 蒸气压力 6.71 MPa; 产品长度 21 m; 产品最大外径 4.49 m; 产品质量 344 t。

2.2.2 管子管板焊接

管板用 Inconel-600 合金进行带极埋弧堆焊。管子管板连接先用橡胶定位胀, 然后进行管子管板倒角, 再进行加丝全自动 TIG 脉冲氩弧焊。管子管板接头形式见图 27, 管子管板焊接见图 28。

管子材料 SB163NiCr-Fe, Alloy690; 管板 SA508-3+6 mm, Inconel600 堆焊层; 焊丝 Thermanit690, $\phi 0.6$ mm。

焊接时严格控制焊接参数, 包括: 脉冲频率、电

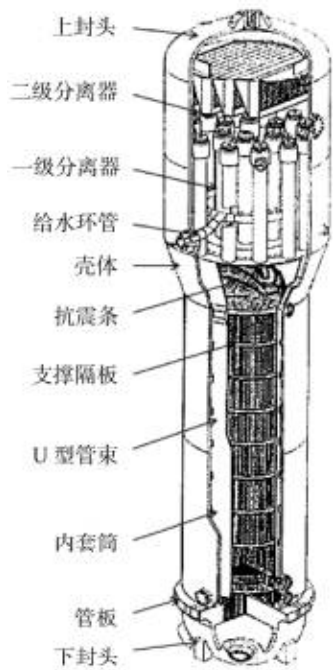


图 26 蒸汽发生器结构图

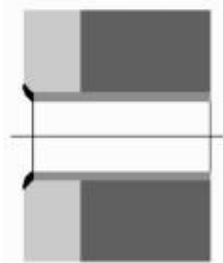


图 27 管子管板接头形式

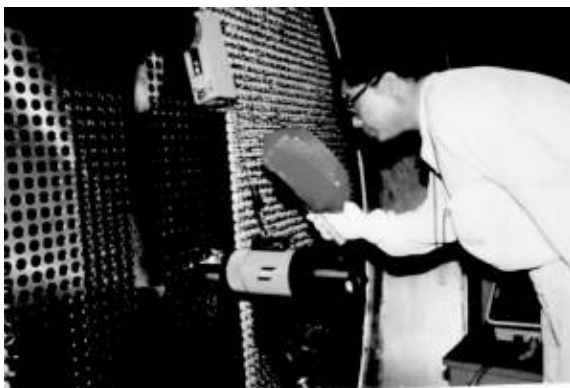


图 28 管子管板焊接

流、宽度、电极位置、送丝方式以及速度等。

对外观成形,最小泄漏通道,接头金相以及腐蚀检验结果,合格率为 100%。

2.2.3 下封头与管板局部热处理

下封头与管板焊后只能采用局部热处理,如图 29 所示。



图 29 局部热处理

局部热处理要达到有效消除下封头与管板间焊缝的残余应力,又不能由于过高的热处理温度而造成近缝区管子管板胀接应力松弛,以及管子管板焊缝力学性能的损伤。所以加热板的布置、升降温速率的控制都显得十分重要。在整个加热过程中使用了 700 块加热板,7 台电脑控制箱,并配备了紧急冷却装置,38 根热电偶测量了 2 025 个数据,整个过程持续了 28 h。图 30 为热电偶布置图。



图 30 热电偶布置

2.2.4 堆内构件吊兰筒体与堆芯支承板的焊接

秦山二期 600 MW 压水堆堆内构件由法国法马通公司设计,上海第一机床厂制造完成。其中吊兰筒体与堆芯支承板的焊接采用热丝 TIG 焊,该方法具有熔敷效率高、热输入量小、稀释率低以及产品焊接变形小等特点。

图 31 为吊兰筒体外形,其直径 φ 3 400 mm,高 8 000 mm,厚度 50 mm;堆芯支承板厚 406 mm,总质量 60 t。

焊接设备采用法国 SAF 公司的 TH500 型热丝 TIG 焊机。吊兰筒体与支承板材料为 304L(Z2CN18.10),焊丝选用 ER308L, φ 1.2 mm,保护气体为 $\varphi(\text{Ar})25\%+$



图 31 吊兰筒体外形

$\varphi(\text{He})75\%$ 的混合气体。吊兰筒体与支承板焊接坡口见图 32。

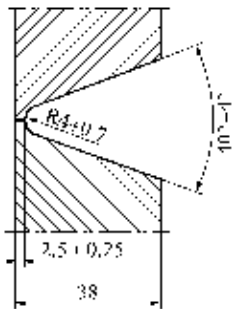


图 32 吊兰筒体与支承板焊接坡口

焊接转台适宜于在低速状态下运转,能达到 200 mm/min 的要求。图 33 为焊接时的实况。吊兰与支承板的焊接要求及实际情况见表 1。



图 33 吊兰筒体与支承板焊接实况

表 1 吊兰与支承板的焊接要求及实际情况

项目	质量指标	实际情况
200 mm 距离内焊接收缩量控制	≤5 mm	4.37 mm
200 mm 距离内焊后平行度控制	≤0.20 mm	≤0.10 mm
焊缝铁素体含量	3%~15%	4%~8%
焊缝 PT、RT	—	一次合格

3 水电设备焊接

上海福伊特西门子水电设备有限公司(简称 VSS)成立于 1994 年,于 1997 年开始投入生产。迄今已生产了 32 台水轮机并投入运行,其中包括 2 台三峡电站水轮机(2×710 MW)。现在正在生产和即将生产的主要水轮机有国内大型电站龙滩水轮机组(5×714 MW),拉西瓦水轮机组(6×700 MW),小湾水轮机组(4×714 MW)等以及一些中型水轮机组。除了国内的项目,VSS 还出口水轮机组部件至德国、巴西、南非、日本、巴基斯坦、伊朗等国。

抽水蓄能电站在国内是一个新型发展的电站,其快速停机、启动,工况转换的能力对电网的安全稳定运行起到了相当重要的作用,它在国内的发展潜力非常巨大。抽水蓄能电站都属于高水头电站,其产品质量尤其是焊接质量要求非常高。上海福伊特西门子水电设备有限公司利用国外技术和通过参与德国金谷以及国内泰安和桐柏几个电站设备的制造,已完全掌握了抽水蓄能电站设备的制造技术。

3.1 水轮机转轮焊接

转轮是水轮机组中的核心部件,其质量的好坏直接影响到机组的安全可靠运行。

混流式转轮由上冠、下环和 13 片叶片组成。在厂内组装后焊接成为一个整体,如图 34 所示。



图 34 混流式转轮

上冠、下环和叶片材料均为具有很好抗磨损、抗空蚀性能的马氏体不锈钢,一般为铸件 ASTM A743 CA-6NM。叶片最大厚度一般为 200~300 mm,三峡转轮叶片最大厚度达到 450 mm。

焊接采用药芯气体保护焊(FCAW),其特点是焊接熔池在气渣双层保护下,可获得优良的焊接质量,同时它还具有很高的熔敷率(约 85%)和高生产效率,比手工电弧焊(SMAW)生产效率高 3 倍以上。焊丝采用与转轮母材化学成分和机械性能相近的药芯焊丝 ASME 5.22 E410NiMoT1-1。该焊丝用 CO₂ 作为保护气体,可获得较大的焊接熔深,适用于全位置焊接。

转轮的焊接难度较高,焊缝中易出现冷裂纹。要在焊接过程中既要保证焊缝的质量又要控制转轮水力尺寸。采用全自动控温加热设备进行焊前预热,焊接过程中保温,焊后立即进行消氢处理。按照规定的焊接程序进行焊接并在焊接过程中测量转轮尺寸。

为保证最佳的焊接位置以得到最好的焊接质量和最高的焊接生产效率,将转轮放置在焊接专用变位器上或专用滚轮架上进行焊接。图 35 为三峡转轮的焊接。

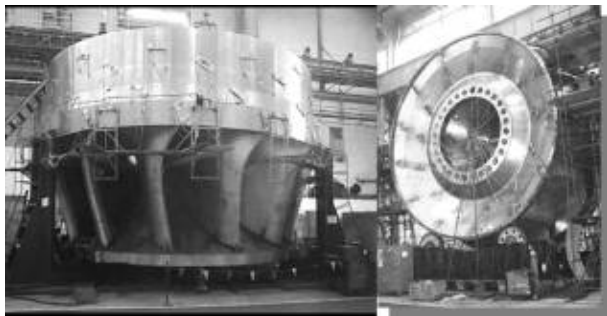


图 35 三峡转轮焊接

所有焊缝焊后经过目视检验(VT)、磁粉检验(MT)和超声波检验(UT),焊缝质量满足 ASME 标准要求,关键区域的焊缝达到零缺陷。转轮焊缝的一次合格率在 97%以上。

焊后热处理是一个很关键的步骤。转轮叶片的厚薄不均匀,最厚处与最薄处相差 20 倍以上,如果热处理不当可造成转轮变形过大甚至报废。在制订热处理工艺时,充分考虑到了升温速度、降温速度、控温热电偶的分布、炉气循环等因素,做到了加热过程中和降温过程中最大温差不超过 60 ℃,使热处

理变形降到最低。

3.2 高速火焰喷涂(HVOF)在水轮机组上的应用

碳化钨高速火焰喷涂在水轮机组上的应用是伏伊特西门子集团与 Sulzer-Metco 公司联合开发的。碳化钨具有高硬度特性,其涂层具有良好的抗冲蚀和抗磨损特性,在水轮机磨损较严重的区域进行喷涂可以明显改善磨损状况,延长机组运行时间。碳化钨 HVOF 在水轮机组上的应用在国内甚至世界上都是很先进的抗磨损技术。

自 1997 年以来,上海福伊特西门子水电设备有限公司已将这项技术成功地应用在黄河上泥砂磨损严重的几个电站的转轮、顶盖、底环和活动导叶上。图 36 为喷涂后的叶片,图 37 为机器人在喷涂。



图 36 喷涂后的叶片



图 37 机器人在喷涂

经过 15 000 h 运行后检查,除个别区域由于大的异物砸伤外,碳化钨涂层基本完好,完全达到了预期的抗磨损性能。