锅炉压力容器制造常用焊接设备及焊接材料概述（下）

哈尔滨锅炉厂有限责任公司 （黑龙江 150046） 杨 松

七、管子-管板全位置自动氩弧焊

在电站辅机、石化和核能设备的热交换器制造中，管子-管板的焊接接头不仅数量多，而且要求高，操作难度较大。许多大型热交换器无法实现立装，而必须卧式组装，从而要求以全位置来完成管子-管板的焊接。管子-管板常见的结构形式有管端伸出式（管伸出最大高度4.5mm）、管端平齐式和管端缩进式（最大内缩3.0mm），如图19所示。一台600MW的超临界电站锅炉有3台高加，而每台高加有5330个管子-管板角焊缝，焊接工作量大，焊接质量要求高。换热管的直径通常为10～60mm，壁厚为0.8～3.0mm，一般采用管子-管板全位置自动氩弧焊机进行焊接。管子-管板全位置氩弧焊在350MW高压加热器焊接生产中的应用如图20所示。管子-管板全位置氩弧焊的外观照片如图21所示。

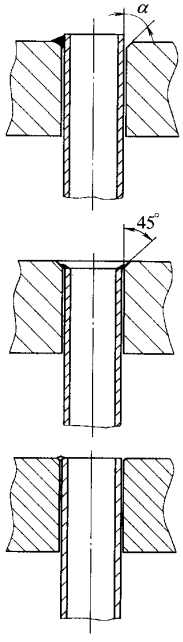


图19 管子-管板焊接常见的接头形式



图20 350MW高压加热器管子-管板位置氩弧焊

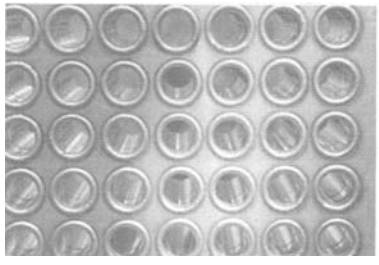


图21 管子-管板全位置氩弧焊的外观照片

管子-管板焊机采用逆变直流电源，可以实现直流和直流脉冲焊接。机头带有弧长自动控制（AVC）系统，保持焊接过程中电弧长度恒定。采用计算机程序控制，可对焊接参数进行编程。焊接机头能进行正转、反转焊接，快速自动归位等，归位时间≤10s。焊接时焊枪与所焊管轴线夹角可调整。送丝位置和送丝角度用机械调节机构进行调节，保证焊丝准确地被送入熔池。焊枪冷却采用封闭式水冷系统，带有自动低流检测报警功能。

具有焊接参数预演功能。焊接过程中可以显示焊接电流（包括基值电流和峰值电流）、电弧电压、转速及机头位置等。有实际焊接参数记录、储存、查询和打印功能，以及故障报警和故障显示功能。

焊接启动、焊接过程中的急停、焊接和预演选择、焊接程序选择切换、试气、焊枪转动（正转、反转）等，均可利用机头附近的遥控盒进行操作。

八、锅炉压力容器制造常用的材料及焊接材料的选择

锅筒是电站锅炉的心脏，承受的压力较高，600MW亚临界电站锅炉，承受的压力一般为18.6MPa，工作温度不超过400℃。对于电站锅炉的锅筒来说，筒体的材料主要为碳钢和低合金高强钢，如按中国标准制造的20G，按美国ASME标准制造的SA299，按德国标准制造的DIWA353（BHW35）、P355GH等材料。对这类材料焊接接头来说，一般都要求焊缝金属与母材金属在室温时的等强性和等韧性，要考虑到工艺参数、焊后热处理参数及工作温度对接头性能的影响。厚壁筒体、经过热成形加工和焊后热处理的焊接接头，应考虑加工过程对接头性能的影响，如筒体热校引起强度和韧性的改变等。

锅炉集箱及受热面管屏，根据其工作温度的不同所选用的材料也不同，主要有碳钢、低合金耐热钢、中合金耐热钢和高合金耐热钢。锅炉集箱及受热面管屏常用的材料如表2所示。对于耐热钢来说，焊接材料的选择除考虑焊接接头与母材金属在室温时的等强性和等韧性外，还要考虑接头的高温性能。耐热钢焊接接头更重要的是应具有与母材相近的高温持久强度。应具有与母材金属基本相同的高温抗氧化性和组织稳定性。为此，焊缝金属的合金成分和含量应与母材基本一致。耐热钢焊接接头应具有与母材金属基本相同的物理性能，接头材料的线膨胀系数和热导率直接决定了其在高温运行过程中的热应力，而过高的热应力对接头的提前时效将产生不利影响。

对于压力容器来说，由于运行工况的不同，还要考虑焊接接头的高温性能、低温性能、耐腐蚀性、高温下运行组织的稳定性等其他特殊要求。有些母材为SA387Gr11CL1（SA387Gr11CL2）、SA387Gr22CL1（SA387Gr22CL2）的压力容器，为了满足运行工况的要求，对硫、磷、铜、锡、砷、锑等元素的含量（质量分数）进行特殊控制，如 $w_P \leqslant 0.010\%$；$w_S \leqslant 0.010\%$；$w_{Cu} \leqslant 0.15\%$；$w_{Sb} \leqslant 0.005\%$；$w_{Sn} \leqslant 0.005\%$；$w_{As} \leqslant 0.005\%$等。

锅炉压力容器常用母材及焊材的选用如表3所示，该表不包括低温容器和有特殊要求容器焊材的选择。

压力容器接管内壁堆焊，根据产品耐蚀的要求来选择焊接材料，一般堆焊不锈钢或镍基合金。大直径的压力容器筒体内壁的耐蚀堆焊考虑到生产效率，主要采用带极埋弧堆焊和带极电渣堆焊。对于直径较小的压力容器接管，根据直径的大小，可选择熔化极气体保护焊、钨极氩弧焊或焊条电弧焊堆焊。熔化极气体保护焊，可选用实芯焊丝也可选用药芯焊丝。压力容器耐蚀堆焊常用的焊接材料见表4。

表2 电站锅炉受热面部件用钢典型实例

钢材种类		钢材牌号	合金系列	受热面小口径管	集箱大口径管	供货状态
				应用范围		下组织
碳钢		20G	C-Mn	省煤器、水冷壁	省煤器集箱	铁素体
		SA210C	C-Si	过热器低温段	水冷壁集箱	
		SA106B	C-Si	—	水冷壁集箱	
		SA210A1	C-Mn-Si	水冷壁	—	
合金钢	低合金钢	15Mo3	C-0.5Mo	低温过热器	过热器集箱	铁素体
		SA209T1（a）				
		15CrMoG	1Cr-0.5Mo	前侧辐再热器 低温过热器、分隔屏	再热器集箱 过热器集箱	珠光体
		SA213T12			—	
		SA335P12		—	再热器集箱 过热器集箱	
		12Cr1MoVG	1Cr-0.5Mo-V	末级过热器、后屏过热器 末级再热器、后屏再热器 分隔屏	过热器集箱 再热器集箱	贝氏体

（续）

钢材种类		钢材牌号	合金系列	受热面小口径管	集箱大口径管	供货状态
				应用范围		下组织
合金钢	低合金钢	SA213T22	2.25Cr-1Mo	末级过热器、后屏过热器 末级再热器、后屏再热器 分隔屏	—	珠光体
		SA335P22		—	过热器集箱 再热器集箱	
		12Cr2MoWVTiB	2Cr-0.5Mo-W-VTiB	末级过热器、后屏过热器 末级再热器、后屏再热器 分隔屏	—	贝氏体
		HCM2S	2.25Cr-1.6W-0.25V-0.05Nb	末级过热器	过热器集箱 再热器集箱	贝氏体
	中合金钢	SA335P91	9Cr-1Mo-V	—	过热器集箱 再热器集箱	马氏体
		SA213T91		末级过热器、后屏过热器 末级再热器、后屏再热器 分隔屏	—	
		SA213T92	9Cr-2W	末级过热器	—	马氏体
		SA335P92		—	过热器集箱	
		HCM12A	12Cr-0.5Mo-1.8W	末级过热器	过热器集箱	马氏体
	高合金钢	SA213TP304H	18Cr-10Ni	末级过热器、后屏过热器 末级再热器、后屏再热器 分隔屏	—	奥氏体
		SA213TP347H	18Cr-12Ni-Nb			
		SA213TP310H	25Cr-20Ni	—	—	
		A—213S30432	18Cr-9Ni-3Cu-Nb-N	末级过热器、后屏过热器 末级再热器、后屏再热器	—	
		SA213TP310HCbN	25Cr-20Ni-Nb-N	末级过热器、后屏过热器 末级再热器、后屏再热器	—	

表3 锅炉压力容器常用母材及焊接材料的推荐选用

钢材牌号	焊条电弧焊	埋弧焊		熔化极气体保护焊		钨极氩弧焊
	焊条	焊丝	焊剂	焊丝	保护气体	焊丝
20G St45.8	E5015 (J507)	H08MnA	HJ431	ER49—1 ER50—6	CO_2 或 Ar + CO_2	ER49—1 H08Mn2SiA
P355GH	GB E5015 GB E6015—D1*	H08MnMoA H08Mn2MoA*	SJ101 HJ350	ER49—1 ER50—6	CO_2 或 Ar + CO_2	ER49—1 H08Mn2SiA
16MnR	GB E5015 GB E5515—G*	H10Mn2 H08MnMoA*	SJ101 HJ431	ER49—1 ER50—6	CO_2 或 Ar + CO_2	ER49—1 H08Mn2SiA
DIWA353(BHW35) 13MnNiMoNbR	GB E6015—D1 GB E7015—D2*	H08Mn2MoA H15Mn2NiMoE*	SJ101	H08Mn2SiMo(A)	CO_2 或 Ar + CO_2	H08Mn2Mo(A) H08Mn2SiMo(A)

（续）

钢材牌号		焊条电弧焊	埋弧焊		熔化极气体保护焊		钨极氩弧焊
		焊条	焊丝	焊剂	焊丝	保护气体	焊丝
15CrMoG		E5515—B2（R307）	H13CrMoA	HJ350	ER55—B2	Ar + CO_2	ER55—B2 H08CrMnSiMoA
12Cr1MoVG		E5515—B2—V（R317）	H08CrMoVA	HJ350	ER55—B2—MnV	Ar + CO_2	ER55—B2—MnV H08CrMnSiMoV
SA—105 SA299		E5015 AWS E7015（J507）	H08MnMoA	HJ350 SJ101	ER49—1 ER50—6	CO_2 或 Ar + CO_2	ER49—1 H08Mn2SiA
SA—106	B		H10Mn2	HJ350			
	C		H08MnMoA	SJ101			
SA—210	A1		—	—			
	C		—	—			
SA—209	T1	E5018—A1 AWS E7018—A1	—	—	ER80S—G	CO_2 或 Ar + CO_2	ER80S—G
	T1a		—	—			
SA—213	T11	E5515—B2 AWS E8018—B2（R307）	—	—	ER55—B2—Mn	CO_2 或 Ar + CO_2	ER55—B2
	T12		—	—			
	T22	E6015—B3（R407）	—	—	ER62—B3 AWS ER90S—B3	CO_2 或 Ar + CO_2	ER62—B3 AWS ER90S—B3
	T23	E6015—B3—WV	—	—	见特殊规程	CO_2 或 Ar + CO_2	见特殊规程
	T91	E6015—B9 AWS E9016—B9	—	—	见特殊规程	CO_2 或 Ar + CO_2	AWS ER90S—B9
SA—213	T92	见特殊规程	—	—	—	—	见特殊规程
	T122		—	—			
	TP304H	E308—16（A102）	—	—	—	—	ER308H
	TP347H	E347—16（A132）	—	—	—	—	ER347H
	TP321H						
	TP310 HCbN	—	—	—	—	—	见特殊规程
A—213	S3432	—	—	—	—	—	
SA—335	P11	E5515—B2 AWS E8018—B2（R307）	H13CrMoA AWS EB2	HJ350 SJ101 PF200	—	—	ER55—B2 H08CrMnSiMo
	P12						
	P22	E6015—B3 AWS E9016—B3（R407）	H10Cr3MoMnA AWS EB3	HJ350 PF－200	—	—	ER62—B3 AWS ER90S—B3
	P91	E6015—B9 AWS E9016—B9	US—9Cb	PF－200S	AWS ER90S—B9	Ar	AWS ER90S—B9
	P92	见特殊规程	见特殊规程	见特殊规程	—	—	见特殊规程
	P122						

（续）

钢材牌号	焊条电弧焊	埋弧焊		熔化极气体保护焊		钨极氩弧焊
	焊条	焊丝	焊剂	焊丝	保护气体	焊丝
SA—387 Gr11CL2 15CrMoR	GB E5515—B2 GB E6015—B3*	AWS F8P2—EG—B2 AWS F9P2—EG—B3*		ER55—B2—Mn	CO_2 或 Ar+CO_2	ER55—B2
SA—387 Gr22CL2	AWS E9016—B3	AWS F9P2—EG—B3		ER62—B3 AWS ER90S—B3	CO_2 或 Ar+CO_2	ER62—B3 AWS ER90S—B3
20MnMoNi55 WB36 (15NiCuMoNb5)	GB E6015—D1 AWS E9018—G	AWS F9P8—EG—F3		—	—	—
20MnMoNb	GB E7015—D2	H08Mn 2NiMo(A)	SJ101	—	—	—

* 为正火选用的焊接材料。

表 4 压力容器耐蚀堆焊常用焊接材料

焊接方法	钨极氩弧焊	熔化极气体保护焊		埋弧堆焊或电渣堆焊	焊条电弧焊
		实芯焊丝	药芯焊丝		
焊接材料标准号	ER 309MoL ER 316L ER 309L ER 308ULC ERNiCr —3	E309LT E309LMoT E316LT E308ULC ERNiCr —3	E308LT1 E309LT1 E309LMoT1 E316LT1 E347LT1	EQ309L EQ308L EQ309LMo EQ309Mo EQ308L EQ347 EQNiCr —3	E309L—16(15) E309MoL—16(17) E308L—16(15)(17) E316L—16(17) E347L—16 ENiCrFe —3

九、结语

针对锅炉压力容器产品制造的需要，国内外焊接设备及焊接材料制造商，开发了大量的焊接设备和焊接材料，并已成功的应用于生产。但在焊接设备和焊接材料的开发方面，国内还存在一些差距。如对于电站锅炉长管接头与集箱的焊接，目前国内各大锅炉制造厂的主导工艺还是焊条电弧焊。对于亚临界、超临界及超超临界锅炉常用的SA—335P91材料以及焊条电弧焊焊接用焊条，国内仍处于试验中，埋弧焊焊丝-焊剂国内还未开发。随着超超临界锅炉的开发，大量使用了SA—335P92、SA—335P122等新型马氏体钢和A—213S30432（SUPER304H）、SA—213TP310HCbN（HR3C）等新型奥氏体钢，目前其焊接材料全部依靠进口。热

（全文完）（20070716）

《机械工人》（冷加工）2007年第11期要目

用于模具加工的高品质三菱FA-S advance系列线切割
机床螺旋推进器的车削加工
偏心轴车削加工的三种方法
特大圆弧的直线拟和现场画法
电火花线切割加工工艺特点分析
利用深孔镗修正长半盲孔直线度
金属的被削性与刀具材料选择（中）
平衡轴轴径多刀组合加工
简易通用钻孔夹具
无间隙配合车磨心轴
降低机床同步带传动噪声的措施
加工抽油机曲柄键槽夹具
多工位级进模的使用条件与合理应用
助推顶锻式小R弯管模具的设计及应用
可拆卸式导柱、导套滑动（滚动）导向件的设计与制造
无底型挡风板的成形工艺及模具设计
FS—13同步器数显表的故障分析与处理方法
准确测量小孔径
测量相对深度的专用带表直线量规
齿轮齿条式光栅位移数显装置
利用NUM数控系统改造磨齿机
温度变化对设备及产品精度的影响
数控机床故障诊断与调试几例
数控车故障排除
数控编程巧用刀补一例
PLC在Z3050摇臂钻床电气控制电路中的应用
数控加工中工件圆周孔的一种快速找正方法
用三次曲线拟合实测坐标点的一般方法
数控车床螺纹加工控制起点准确定位的分析
基于MasterCAM的CAD/CAM技术在碳化硅（SiC）摆镜制造中的应用
基于Pro/E与ADAMS行星轮系仿真研究