PHC离心高强度混凝土管桩的对接与焊后检测技术

上海工程技术大学　(200336)　贾慈力
上海亚司技术堆焊厂　(201824)　周树兴　付文龙

PHC离心管桩具有该行业国际先进水平，我国自20世纪90年代中期引进以来，制桩技术已过关，但接长桩时，接头焊缝还是依靠手工焊，引起质量不稳定且在现场无法对焊缝质量进行科学检测。本文介绍上海工程技术大学与有关单位合作开发研制，采用埋弧自动焊，结合超声波探伤（辅以测厚），解决了焊接接头质量稳定性的问题，现投入生产使用。

一、概述

PHC先张法预应力离心高强度混凝土管桩（简称离心管桩）具有国际先进水平，特别是PHC长管桩（桩长16～30m）项目的开发和研制成功，更是填补了国内PHC长管桩的空白，它生产效率高，管桩经蒸养后即能达到设计强度。从制桩到打桩周期短，桩长可根据工程需要任意组合，广泛应用于码头、船坞、桥梁等水上建筑工程项目，因此具有良好的经济效益和社会效益。

由于离心管桩拼接接头对焊缝质量要求很高，焊缝金属组织在打桩过程中需要承受上千次拉压交变应力的考验，所以在焊接工作中出现任何焊接缺陷都存在着隐性的裂纹源，将直接导致接头焊缝金属组织撕裂，造成质量事故，并且由于离心管桩接头的特殊结构形式，故缺乏有效检测措施。而现代工业生产对产品质量提出较高的可靠性要求，因此必须加强在线检测，建立一套产品质量管理体系，确保产品质量的可靠性。离心管桩接头自动焊焊接工艺及检测技术就是在这种情况下开发和研制的。

二、工艺路线

离心管桩的接桩，目前国内普遍采用手工电弧焊方法。由于受较多的人为因素的影响，焊缝接头质量不够稳定，且又因离心管桩的特殊结构形状，手工电弧焊焊缝表面高低不平，因此对焊缝质量缺乏有效的检测方法，焊缝质量可靠性缺少保证。为提高离心管桩接头的焊缝质量，建立行之有效的在线检测手段，并满足生产单位提出的质量可靠、投资要少、上马迅速的几项要求，项目组经现场调研后提出利用生产厂现有设备，结合传统工艺（手工电弧焊）对离心管桩接头采用手工电弧焊打底，埋弧自动焊焊接，在线采用超声波探伤（辅以测厚验证）。

三、焊接工艺

1. 离心管桩拼接接头焊接流程

离心管桩拼接接头焊接流程见图1。

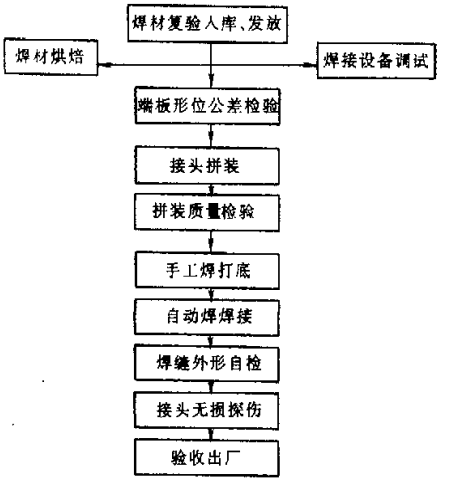


图1　离心管桩拼接接头焊接流程

2. 接头坡口形式

根据现场操作实际可能性，并符合该企业企标的有关章节规定，现采用图2所示的坡口形式。

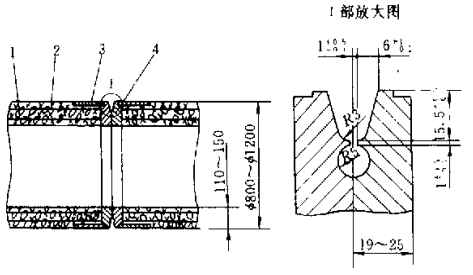


图 2　离心管桩焊接接头拼装示意图

1. 混凝土　2. 钢筋　3. 裙板　4. 端板

3. 焊接材料

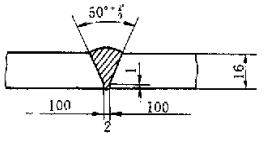
PHC 离心长管桩拼接接头的打底层采用手工电弧焊，焊条为 E4316、ϕ3.2mm 碱性焊条。

自动焊采用 H08A（镀铜）、ϕ3.0mm 焊丝，焊剂为 HJ431。

4. 工艺评定

接头形式、焊接材料确定后，做焊接工艺评定，工艺评定结果见表 1。

表 1　PHC 离心管桩接头焊接工艺规范及工艺评定



接头形式

试验用母材	材　质	Q235			规　格	δ=16mm		
焊接方法	第 1 层采用手工焊 第 2～第 4 层采用埋弧自动焊							
焊接规范	手　工　焊			自　动　焊				
	焊条直径	焊接电流	焊接速度	电弧电压	焊接电流	焊接速度		
	ϕ3.2mm	110～130A	130 mm/min	32～34V	360～380A	18m/h		
试验结果	试验项目	正弯 $d=3a$	背弯 $d=3a$	拉伸	剪切强度/MPa	室温冲击 A_K/J	0℃冲击 A_K/J	-10℃冲击 A_K/J
	焊缝毛坯	完好	微裂	断于母材	400，420	—	—	—
	焊缝光坯 焊缝中心	完好	完好	断于母材	—	75，90 90	72，82 87	38，41 60
	焊缝光坯 熔合区	—	—	—	—	67，89 97	48，71 79	28，32 48
	焊缝光坯 热影响区	—	—	—	—	60，62 80	40，49 72	5，35 40
	母材	—	—	—	325，330	60，62 80	14，25 29	8，8 14

5. 焊接方法

（1）手工焊打底　离心管桩接头焊接，第一层采用手工电弧焊焊接，如直接采用埋弧自动焊焊接，因其熔深较大，极易将根部焊穿形成焊瘤，致使桩身在打击时造成应力集中影响接头强度。

打底焊采用两台焊机，同时从“3”点和“9”点位置向“12”点方向施焊，焊毕接头旋转 180° 再按上述方法焊接，焊接参数见表 2。

表 2　手工焊焊接参数

焊条牌号	直径/mm	焊接电流/A	焊接速度/mm·min^{-1}
E4316	3.2	100～130	100～150

（2）自动埋弧焊　离心管桩的接头焊缝第 2 层～第 4 层采用埋弧自动焊在自调式胎架上进行，见图 3，焊接工艺参数见表 3。

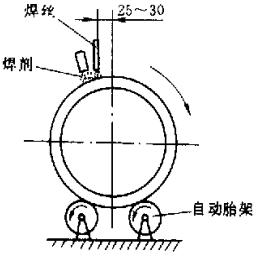


图 3　埋弧自动焊示意图

表 3　埋弧自动焊工艺参数

焊丝牌号	焊剂牌号	焊接电流/A		电弧电压/V		焊接速度/m·h^{-1}	导前量/mm	焊丝干伸长/mm
		第 2～3 层	第 4 层	第 2～3 层	第 4 层			
H08A	HJ431	350	380	31	31～34	17～19	25～30	30～35

四、质量检验

为了检查离心管桩接头焊缝的内部质量，接头焊毕冷却至室温 24h 后需进行无损探伤。但因离心管桩接头结构形式所限，无法采用 X 光透视法及常规的超声波斜探法进行检查，故采用超声波直探法检测焊缝的内部缺陷，并配以超声波测厚仪，对焊缝深度进行检测（包括根部是不是焊透）验证。检测采用的仪器型号如下：

超声波检测仪：CTS22 型（直探）。

测厚仪：LA—10。

超声波探头：ϕ10～ϕ12mm，耦合剂为机油。

SA213－T91钢管的焊接工艺试验

山东鲁能电力焊培中心 （250000） 王志红 赵进忠 杨永梅 韩 军

本文对SA213－T91钢管的焊接工艺特点、预热、焊接及焊后热处理等工艺规范进行了探讨，并对焊接接头进行了各项性能试验，取得了良好的结果。该工艺应用于山东鲁能电力焊接培训中，为各电厂、电建单位输送了大批合格焊工，取得圆满成功。

随着电力工业发展的高参数、大容量、高效率、低污染，国内新建火电厂及设备检修更换构件中已广泛采用SA213－T91钢，但在焊接试验研究及施工生产中还存在一些亟待解决的问题。为了更好的使用该钢种，我们对SA213－T91钢进行了焊接工艺试验。

一、SA213－T91钢的特点

SA213－T91钢是一种改良型的9Cr－1Mo钢，是在原9Cr－1Mo马氏体钢基础上，降低含碳量，添加微量V、No等合金元素，控制N、Al含量得到的。其化学成分和常温力学性能分别如表1、表2所示。

表1 SA213－T91钢的化学成分（质量分数）（%）

成分	C	Mn	P_{max}	S_{max}	Si	Cr
含量	0.08～0.12	0.30～0.60	0.020	0.010	0.20～0.50	8.00～9.50
成分	Mo	V	Nb	N	Al_{max}	Ni_{max}
含量	0.85～1.05	0.18～0.25	0.06～0.10	0.03～0.07	0.04	0.04

表2 SA213－T91钢的常温力学性能

标准	σ_s/MPa	σ_b/MPa	δ（%）	HB
ASTM A213	≥415	≥585	≥20	≤250

由表1可以看出T91钢的化学成分限制是十分严格的。

为了更进一步验证埋弧自动焊＋超声波探伤工艺实用性，我们在生产前做了模拟接头的结构试验，焊接了φ800mm×10m离心管桩3根，经探伤合格后，对焊缝区做受压试验。受力点为焊缝接头中心，当负荷达到管桩承载能力的120%时，管桩混凝土开裂而接头焊缝完好，达到强度要求，因此可以用于大批量生产。

考虑到埋弧自动焊的热规范比手工电弧焊大，热输入也大，其对焊缝区周围的混凝土有多大影响？因此在接头焊接时，我们在离开焊缝中心不同距离处用XMX—1310型表面测温计测试其表面温度，结果见表4。

表4 焊缝区周围混凝土表面温度（℃）

离开焊缝中心的距离/mm		30	60	90	120
自动焊焊层	第2层	200	150	48	44
	第3层	225	158	55	44
	第4层	236	180	57	46

注：当天作业环境条件下的管桩混凝土表面温度为41℃。

在焊缝完全冷却后，测得混凝土表面硬度与焊前无明显变化。

另外，我们还对试验桩焊缝区采样做金相分析，埋弧自动焊焊缝区组织为：片状先共析铁素体＋魏氏组织铁素体向晶内生长，晶内为针状铁素体＋少量珠光体；热影响区组织为：等轴细晶粒铁素体＋少量珠光体。

五、结语

本项目采用埋弧自动焊来焊接离心管桩接头，填补了国内离心管桩接头焊接空白，特别是开发了离心管桩接头焊缝的检测技术，提高了焊缝质量的可靠性。

通过大量的焊接工艺、检测工艺的试验和实践，证明了埋弧自动焊应用于离心管桩接头焊接的可靠性和可行性，为离心管桩特别是长管桩的推广应用提供了技术支持和保证。 （20021116）