

南京大胜关长江大桥钢梁焊接工艺研究

孙立雄,张剑峰,袁俊,车平

(中铁宝桥集团 扬州钢结构分公司,江苏 扬州 225107)

摘要:南京大胜关长江大桥是京沪高速铁路的重点工程,是世界上行车时速 300 公里级别中跨度最大、荷载最重的桥梁。钢梁使用钢种有 Q420qE、Q370qE 和 Q345qD,其中 Q420qE 为首次大规模使用的新一代桥梁用结构钢,为超低碳贝氏体钢,其供货状态为 TMCP+回火,主要用于受力最大的拱肋结构。施工前根据不同的因素进行了选材试验,在选材试验基础上进行多种焊接接头的焊接工艺评定试验,并列出了典型接头的试验结果,为焊接工艺的制定提供了依据。

关键词:新钢种;焊接工艺评定;试验结果

中图分类号: TG457

文献标识码: A

文章编号: 1001-2303(2009)10-0018-04

Welding procedure qualification of girder for Nanjing Dashengguan Yangtze River Bridge

SUN Li-xiong, ZHANG Jian-feng, YUAN Jun, CHE Ping

(Yangzhou Branch, China Railway Baoji Bridge Group Co., Ltd., Yangzhou 225107, China)

Abstract: Nanjing Dashengguan Yangtze River Bridge is the key projects of the Beijing-Shanghai high speed railway. Also it is the largest and heaviest load in the world's travel speed of 300 km level. The steel material of this bridge is made of Q420qE, Q370qE and Q345qD. Q420qE is a new generation of bridge structural steel for large-scale use firstly. It is ultra-low carbon bainitic steel, the supply status is TMCP+tempering, which mainly used by the greatest force in rib structure. Pre-construction we conducted that selection tests according to different factors, then a variety of welded joints of welding procedure qualification tests. We also listed the typical test results of joints for welding process, which provided the basis for the development.

Key words: new steel; welding procedure; qualification; test results

1 概要

南京大胜关长江大桥系杆钢桁拱组合桥,为京沪高速铁路的控制性工程。设计为双线京沪高速,双线沪蓉铁路,外挑悬臂托架支撑南京地铁轨道交通,高速铁路设计时速 300 km。主拱受力大的部位使用 Q420qE,主拱受力小的部位和桥面板使用 Q370qE,连接系和托架使用 Q345qD。Q345qD 在近年桥梁钢结构中大量使用;Q370qE 在芜湖长江大桥中成功应用后在近年桥梁钢结构中应用较多。Q420qE 为武钢开发的新一代桥梁用结构钢(WNQ570),采用微合金化冶炼技术和热机械处理技术(TMCP),为超低碳贝氏体钢。应用到工程实例之前,武钢和中铁大桥勘测设计院进行了一系列的焊接性试验,试验结果表明该钢种焊接性良好。Q420qE

按《大胜关长江大桥 Q420q 钢板订货技术条件》(铁道部科技基[2006]107 号)验收, Q370qE 按 GB/T714-2000 标准验收,且冲击功大于等于 120 J(-40℃)。钢板化学成分符合表 1 规定,力学性能符合表 2 规定。

2 焊接质量要求^[1]

设计对南京大胜关长江大桥焊接接头的力学性能提出了较高要求:焊缝屈服强度和抗拉强度不低于母材标准值,对接焊缝的屈服强度不超过母材实际强度 100 MPa,角接焊缝的屈服强度不超过母材实际强度 120 MPa,如果焊缝屈服强度超出限定范围,可以通过韧强比(A_{kv}/R_{el})来判定,对接焊缝韧强比大于等于 0.13,角接焊缝韧强比大于等于 0.10;焊缝金属伸长率不低于母材标准值;对接接头冷弯 180°($d=2a$),试样受拉面不裂;接头最高硬度小于等于 HV_{0.350};接头 V 型缺口低温冲击功不低于如表 3 所示的要求。

收稿日期: 2009-09-18

作者简介:孙立雄(1973—),男,辽宁沈阳人,学士,高级工程师,主要从事钢桥梁、重钢结构的焊接技术工作。



表 1 钢板化学成分

牌号	w(C)	w(Si)	w(Mn)	w(P)	w(S)	w(Cu)	w(Mo)	w(Nb)	w(B)	w(Al)	C _{eq}	P _{cm}
Q420qE	0.060	0.100~0.500	1.200~1.650	0.020	0.010	0.150~0.500	0.100~0.300	0.015~0.050	0.003	—	0.435	0.200
Q370qE	0.017	0.50	1.250~1.600	0.020	0.015	—	—	—	—	≥0.015	0.440	—

注:表中单值为最大值。

表 2 钢板力学性能

牌号	厚度 /mm	屈服强度 R _e /MPa	抗拉强度 R _m /MPa	延伸率 A/%	冲击功 A _k /J (-40℃)	180° 弯曲 d=2a
Q370qE	≤16	≥370	≥530	≥21	≥120	d=2a
	16~35	≥355	≥490	≥20	≥120	d=3a
	35~100	≥300	≥490	≥20	≥120	d=3a
Q420qE	16~60	≥420	570~720	≥18	≥120	d=3a

表 3 焊接接头 V 型缺口低温冲击韧性要求(-40℃) J

牌号	对接焊缝	熔透角焊缝	棱角焊缝、坡口角焊缝
Q370qE	≥41	≥41	≥35
Q420qE	≥47	≥47	≥40

3 焊接材料的选择

Q420qE 和 Q370qE 钢强度较高,设计指标中对焊缝强度的控制范围较窄,同时对韧性指标要求也很高。选择合适的焊接材料,使焊缝达到良好的强韧性匹配是前期选材的重点。在广泛调研的基础上,进行了焊条电弧焊、埋弧自动焊、实心焊丝混合气体保护焊、药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊四种焊接方法分别对 Q420qE 和 Q370qE 钢进行选材试验。根据工艺性、力学性能,特别是在强韧性匹配等指标选择如下焊材:

(1)焊条电弧焊:Q420qE 钢选用 CJ607Q;Q370qE 钢选用 CJ507Q,均为武汉铁锚产品。

(2)埋弧自动焊:Q420qE 钢对接选用 H60Q+SJ105q 组合,角焊缝选用 WQ-1+SJ105q 组合。Q370qE 钢对接和棱角焊缝选用 CJQ-4+SJ101q 组合,其余坡口角焊缝和 T 型角焊缝选用 CJQ-3+SJ101q 组合。其中 CJQ-4 焊丝是在原 H08Mn2E 焊丝的基础上限定了 Ni 元素的下限,以保证焊缝低温韧性的稳定。

(3)药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊:Q420qE 和 Q370qE 钢选用韩国现代综合金属株式会社生产的 Sup71H,该焊丝工程实际使用情况表明其工艺性和焊缝力学性能优良。

(4)富氩混合气体保护焊:选用 WER60 配 φ(Ar)80%+φ(CO₂)20%焊接 Q420qE 钢,焊缝在力学性能上匹配较好。

4 钢板焊接性及厚板焊接预热温度、层间温度的确定^[2-3]

南京大胜关长江大桥使用中厚钢板材质为 Q420qE 和 Q370qE, Q345qD 主要用在连接系和托架部分,厚度均小于 30 mm。在开发 Q420qE 钢时,武钢和中铁大桥勘测设计院进行了一系列的焊接性试验,芜湖桥生产时对 Q370qE 进行了全面的焊接性试验,为此本工程直接使用芜湖桥试验数据和武钢对 Q420qE 钢焊接性试验结果确定厚板焊接预热温度和层温控制,如表 4 所示。

表 4 焊接预热温度和层间温度控制范围

材质	板厚 /mm	预热温度 T/℃		道(层)间温度 t/℃
		手弧焊、气体保护焊	埋弧焊	
Q345qD	δ ≤28	≥5	≥5	5~200
	28<δ ≤40	60~100	≥5	60~200
Q370qE	40<δ ≤68	80~120	≥5	80~200
	δ ≤28	≥5	≥5	5~200
Q420qE	28<δ ≤40	60~100	≥5	60~200
	40<δ ≤68	80~120	≥50	80~200

5 焊接工艺评定

在前期对所使用的钢材焊接性研究和选材试验的基础上,进行了一系列的焊接工艺评定试验。按照不同焊接工艺因素编制了焊接工艺评定试验任务书和焊接工艺评定指导书, B 标段有针对性的进行了 18 组对接接头、9 组熔透角接头、15 组坡口不熔透角接头、8 组 T 型角接头、1 组桥面剪立钉评定试验和 1 组节点板穿过下弦杆槽口部位焊缝的工艺评定试验,共 52 组评定。

5.1 对接焊缝

根据 B 标段的典型对接接头进行了 18 组对接焊缝的焊接工艺评定试验。钢板对接采用埋弧自动焊,开不对称 V(U)型坡口;桥面板纵、横向对接采用单面焊双面成型技术,钢板开单面 V 型坡口,背面贴陶质衬垫,用 CO₂ 气体保护焊打底+埋弧自动焊填充盖面,力学性能如表 5 所示。

5.2 棱角焊缝

棱角接头采用 V 型坡口埋弧自动焊, Q370qE 钢



表 5 对接接头力学性能试验结果(部分)

板厚/材质	焊缝拉伸			接头拉伸		$A_{kv}/J(-40\text{ }^{\circ}\text{C})$		侧弯 180° $d=2a$	接头最高 硬度 HV ₁₀
	屈服 强度 R_{el}/MPa	抗拉 强度 R_m/MPa	延伸 率 $A/\%$	抗拉 强度 R_m/MPa	断裂位置	焊缝	热影响区		
50+50/Q420qE	585	665	23	575	母材	174, 172, 149	280, 270, 270	完好	242
60+60/Q420qE	510	605	24	585	母材	150, 165, 170	208, 205, 180	完好	225
44+44/Q370qE	500	595	26	515	母材	146, 149, 150	175, 219, 237	完好	238

采用 CJQ-4+SJ101q 焊材组合, Q420qE 钢采用 WQ-1+SJ105q 焊材组合, 力学性能如表 6 所示。

5.3 熔透角焊缝

对节点板和下弦顶板熔透角焊缝, 接头板和节点板熔透角焊缝, 以及横梁接头板熔透焊缝进行了焊接工艺评定试验。Q420qE 钢的每组熔透角焊缝分别采用 WER60 实心焊丝配 $\varphi(\text{Ar})80\%+\varphi(\text{CO}_2)20\%$ 混合气体保护焊和 Sup71H 药芯焊丝纯 CO_2 气体保护焊两种焊接方法进行焊接; 对 Q370qE 钢的熔透角焊缝采用 Sup71H 药芯焊丝纯 CO_2 气体保护焊进行焊接。焊接均采用非对称 V 型坡口, 深坡口侧

表 6 棱角焊缝力学性能试验结果(部分)

板厚/ 材质	焊缝拉伸			$A_{kv}/J(-40\text{ }^{\circ}\text{C})$		接头 最高 硬度 HV ₁₀
	屈服 强度 R_{el}/MPa	抗拉 强度 R_m/MPa	延伸 率 $A/\%$	焊缝	热影响区	
44+44/ Q370qE	530	600	24	135, 134, 140	199, 156, 174	251
50+50/ Q420qE	530	610	23	74, 118, 193	249, 248, 210	232

坡口角度小先焊, 浅坡口侧坡口角度大清根后焊接, 确保熔透并控制焊接角变形。力学性能结果如表 7 所示。

表 7 熔透角焊缝力学性能试验结果(部分)

板厚/材质	焊接方法 施焊位置	焊缝拉伸			$A_{kv}/J(-40\text{ }^{\circ}\text{C})$		接头最高 硬度 HV ₁₀
		屈服强度 R_{el}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	延伸率 $A/\%$	焊缝	热影响区	
36+44/Q420qE	MAG 立位 $\varphi(\text{Ar})80\%+\varphi(\text{CO}_2)20\%$	575	680	23	64, 65, 76	236, 143, 254	225
36+44/Q420qE	FCAW 立位	530	650	25	125, 144, 118	167, 181, 178	245
44+44/Q370qE	FCAW 横位	530	685	22	111, 114, 130	106, 89, 113	276

5.4 接头金相分析

对所有焊接接头进行了金相分析, 宏观照片显示焊道排列规范, 焊缝坡口工艺性较好, 焊缝微观组织和性能基本对应。Q420qE 钢焊缝区主要为针状铁素体和少量先共析铁素体, 过热区主要为粒状贝氏体, 相对母材晶粒度较大, 部分金相如表 8 所示。

试件焊接后进行外观检查, 焊缝外观和尺寸符合技术要求; 试件焊接完成 24 h 后对试件进行超声波探伤检查, 对接焊缝内部质量均为《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》GB11345 I 级, 焊缝内、外部质量良好。

各接头的试验结果表明:

(1)从接头拉伸和焊缝金属拉伸试验结果可以看出, 各种接头的焊缝强度均高于母材标准值, 焊缝屈强比 0.81~0.90。

(2)从对接接头冷弯试验和焊缝金属拉伸试验结果可以看出, 对接接头弯曲 180°后受拉面均完好

未裂, 所有焊缝金属的伸长率均满足母材标准要求, $A=22\%\sim 30\%$, 表明焊接接头的塑性良好。

(3)各接头宏观断面酸蚀检验未发现裂纹等缺陷, 接头熔合良好。

(4)从接头低温冲击功 $A_{kv}(-40\text{ }^{\circ}\text{C})$ 结果可以看出, Q370qE 焊缝及热影响区的 $A_{kv}(-40\text{ }^{\circ}\text{C})$ 均大于 41 J; Q420qE 焊缝及热影响区的 $A_{kv}(-40\text{ }^{\circ}\text{C})$ 均大于 48 J, 焊缝韧强比 0.15~0.44, 表明焊接接头的低温韧性良好, 满足设计要求, 且有较大储备。

(5)接头各区的硬度均低于 HV₁₀350, 在焊接过程中未产生脆硬组织。

(6)分析接头微观金相, 未发现脆硬组织产生, 组织和性能基本对应。

(7)通过焊缝化学成分分析, 表明所选焊接材料在成分上与母材基本匹配。

6 结论

焊接工艺评定试验结果均能满足 Page 96

专题讨论
——
桥梁焊接