

全箱梁人行天桥的制作和焊接

安徽富煌钢构股份有限公司焊接研究所 (巢湖 238076) 宋育荣 曹玉林 戴 阳 魏朝波

一、概述

随着国务院批准皖江城市带承接产业转移与大城市接轨,合肥市道路交通发展越来越快。服务于徽州大道BRT公交优先而设置的天桥平面呈一字形布置,结合徽州大道路面,天桥共设4处桥墩,分别位于徽州大道人行道外侧和BRT车道两侧分隔带,全长86.5m、桥宽4.55m、桥高1.4m、全桥共设置6处楼梯及扶手,供行人通行,改变因车流量大行人乘客过马路不安全的问题。

该天桥为连续箱型梁结构,总重量200t,设计采用低合金高强度结构钢Q345qC,由于市场上此钢材短缺,实际使用Q345qD级钢板,其力学性能见表1,化学成分见表2。

表 1

板厚 /mm	R_{el} /MPa	R_m /MPa	A (%)	温度 /℃	V形冲击 吸收功(纵向)	
					/J	(时效)/J
≤16	≤345	≤510	≤21	0	—	—
16~35	≤325	≤490	≤20			
35~50	≤315	≤470	≤20			
≤16	≤345	≤510	≤21	-20	34	34
16~35	≤325	≤490	≤20			
35~50	≤315	≤470	≤20			

表 2 Q345 钢化学成分 (质量分数) (%)

牌号	质量 等级	基础元素					
		C	Si	Mn	P	S	Als
Q345	C	≤0.20	≤0.60	1.00~1.60	0.035	0.035	—
	D	≤0.18	≤0.60	1.00~1.60	0.025	0.025	≥0.015
牌号	质量 等级	添加元素					
		Ni	Al	Cr	Cu	Nb	V
Q345	C	—	—	—	—	—	—
	D	0.02	0.031	0.02	0.06	0.02	0.005

由于市场上买不到Q345qC钢板,根据工程结构特点,按照国家对钢结构产品的技术要求,采用冲击韧度高一个等级的Q345qD钢板代替Q345qC钢板。本文主要介绍全箱梁的制作和焊接,根据Q345qD钢板及箱梁的焊接位置选择焊接方法、焊接材料,通过焊接工艺评定试验得出最佳焊接工艺来指导生产,确保对构件的焊接质量。图1为工程施工现场。



图 1

二、全箱梁结构及焊接方法

1. 结构形式

天桥为连续箱形梁,梁高1.4m、顶板宽4.55m、底板宽1.86m,腹板倾斜角度16.25°。箱梁外侧采用薄钢板勾勒出弧形。常规天桥一般主梁都是工字梁,再把工字梁用小横梁连接,用此方法做,现场组装会大大影响交通,而且安全措施很难保证。全箱梁的结构形式主要包括顶板、底板、纵腹板、横隔板、外侧隔板、侧板及各种加筋板等(见图2)。

全箱梁的制作和焊接根据墩身的跨度在车间加工,天桥总长86.5m、主桥跨径 L_1 为35.5m、 L_2 为13m、 L_3 为35.1m,由于车间制作场地部分行车起吊翻身能力的限制,把 L_1 、 L_3 各分成两段,等到分段制作和焊接完成后运到150t行车下组装合拢。

2. Q345qD 钢的焊接方法

(1) 埋弧焊 焊丝选用武汉铁锚H10Mn2、 $\phi 4.8$ mm,焊剂选用河南豫林SJ101,焊接设备选用唐山

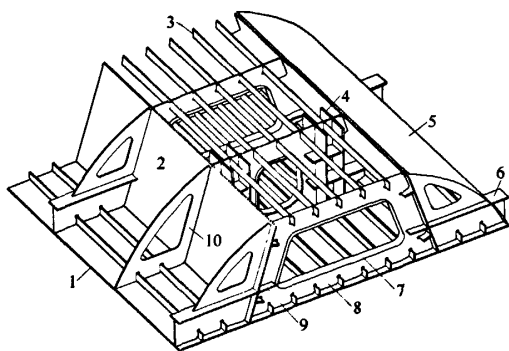


图2 全箱梁结构

1. 顶板 2. 腹板 3. 纵向加劲 4. 支承加筋
5. 侧板(装饰板) 6. 扶梯牛腿 7. 加强圈
8. 横隔板 9. 牛腿加筋 10. 外侧隔板

开元 ZD5—1250 整流电源。

(2) CO_2 气体保护焊 药芯焊丝选用武汉铁锚 YCJ501、 $\phi 1.2\text{mm}$ ，实芯焊丝选用武汉铁锚 ER50—6、 $\phi 1.2\text{mm}$ ，焊接设备选用唐山松下 KR II 500 晶闸管电源。

(3) 直流焊条电弧焊 焊条采用武汉铁锚 E5015—J507、 $\phi 3.2/\phi 4.0\text{mm}$ ，焊接设备选用唐山松下 YD—400AT3 型晶闸管电源。

三、天桥全箱梁制作和焊接技术难度

(1) 全箱梁结构复杂，除了顶板、底板、大环缝对接焊缝为一级焊缝。纵向腹板、横向隔板等对接为二级焊缝，包括全箱梁纵向腹板与顶板、底板，横向隔板与顶板、底板，箱梁墩身受力部位 4 块横隔板（板厚 30mm、Z15）与腹板为二级 T 形全熔透焊缝。由于舱内空间狭小，工况条件差，焊接烟尘会影响焊工视觉，因此为确保焊接质量，减轻焊工的劳动强度，我们采用分段翻身制作方法。

(2) 由于钢箱梁的体积大，钢板厚度都在 12 ~ 14mm，因此如何控制钢箱梁的制作和焊接过程中的整体尺寸精度，减少钢箱梁的焊接变形是制造的重点。

(3) 由于钢箱梁段划分受场地条件的限制，必须把 L_1/L_3 各分解成两段制作和焊接，如何保证 L_1-1/L_1-2 分段中合拢拼装焊接质量及 $L_1/L_2/L_3$ 大合拢整体拼装焊接质量，是控制全桥线形流畅的重点。

(4) 全箱梁焊缝坡口角度、间距、钝边、焊接填充量，质量要求高、箱梁自身刚性大，焊接变形后难以矫正，给焊接变形控制带来相当大的挑战，为了确保箱形

梁焊缝的内在质量和外观质量，以及焊后构件尺寸精度，我们从焊接坡口角度、位置、钝边间隙、焊接参数、焊接顺序、优良的焊接工艺评定及工装措施来保证，并在箱形梁完成焊接后测量构件外形尺寸等。

(5) 由于全箱梁成形后有纵坡、横坡拱高，在制作时采用胎架箱梁反造法。先在胎架上预制箱梁分段纵坡、横坡及拱高，经过标高仪测量，符合要求后在胎架上放置箱梁顶板，钢板拼接时纵向、横向焊缝错开距离位置 $\geq 200\text{mm}$ 。在焊接前应考虑到顶板焊接变形，首先，把顶板放在胎架上成形后用码板焊接固定在胎架上，先焊纵向对接焊缝，再焊横向对接焊缝。其次，考虑到分段合拢顶板、底板及腹板，焊缝要按技术标准相互错开 250mm（见图 3）。

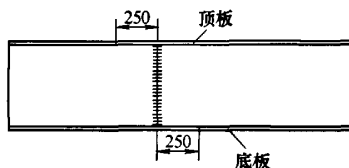


图 3

顶板完成焊接后放样划线，先划顶板中心线，再划出腹板、横隔板、纵向筋板装配线，复测定位线尺寸。组装横隔板及纵向筋板，然后装纵向腹板，再装外侧横隔板及局部筋板，焊前靠胎架顶板要用码板固定，其他部位空挡用临时支撑固定，避免因焊接造成变形过大。

(6) 底板应在胎架拼接，要求与顶板同等，完成对接焊缝后检查焊缝外观质量，符合要求 24h 后进行 100% UT 检测，底板合格后划线安装筋板待用。钢箱梁焊接按照制定的焊接工艺要求及顺序完成焊接后，焊缝外观质量检验及 100% UT 检测合格后，测量构件尺寸，修整腹板、横隔板直线度及平整度，再盖底板装配点焊固定，钢箱梁分段翻身放在胎架上，此时底板朝下再装跨中横隔板的筋板。

四、天桥钢箱梁的焊接技术

分段天桥箱梁顶板、底板加放焊接收缩量，以及中合拢拼装切割余量，通过数控切割机准确下料，随后按上述方案在胎架上定位。

1. 对接焊及熔透角焊缝工艺

为确保全箱梁焊接质量，根据设计结构形式，按

《铁路钢桥制造规范》TB 10212—1998 标准编制多种焊接方法和焊接位置的焊接工艺评定指导书,通过焊接工艺试验及物理试验取得了合理焊接参数,编制了焊接工艺规程来指导生产制造。考虑到焊接质量和生产成本,主要焊缝采用药芯焊丝,次要焊缝采用实芯焊丝。

2. 对接焊缝坡口

(1) 顶板、底板、腹板(厚 12mm、14mm)采用埋弧焊,焊缝美观,平整度好,而且探伤合格率高。坡口形式为 Y 形(见图 4)。

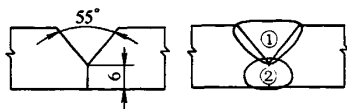


图 4

①~②为焊接顺序

顶板、底板、腹板完成对接焊缝后,检查焊缝外观尺寸,质量应符合《铁路钢桥制造规范》TB 10212—1998,然后超声波 UT 探伤 100% 应符合 GB/T 11345—1989 标准 B I 级,焊缝评定均符合要求。

(2) 考虑到有些结构对接采用 CO₂ 气体保护焊(药芯),坡口形式为 V 形(见图 5),在拼板时放 2mm 间隙,确保焊透,反面适当清根打磨后压一道焊缝,可作为退火焊道,以减少焊缝的脆性组织。

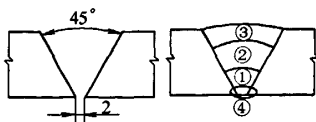


图 5

①~④为焊接顺序

(3) 焊接参数 对接焊缝见表 3。

表 3 焊接参数

焊接方法	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电压 /V
SAW	4.8	600~700	31~34
FCAW	1.2	120~180	21~25
FCAW	1.2	220~260	25~30
42~47	平对接	—	SJ101
9~12	立对接	18~20	CO ₂ 70% + Ar30%
23~32	平对接	18~20	CO ₂ 70% + Ar30%

3. 熔透角焊缝坡口

顶板、底板与腹板,顶板、底板与横隔板等熔透角焊缝确保全部用药芯焊丝一次焊透,其他角焊缝用实芯焊丝。坡口形式见图 6。

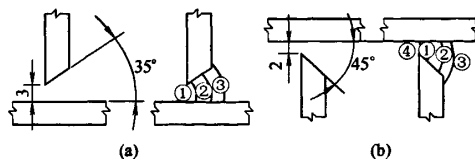


图 6

①~④为焊接顺序

(3) 焊接参数 熔透角焊缝焊接参数见表 4。

表 4

焊接方法	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电压 /V
FCAW	1.2	250~280	29~32
FCAW	1.2	120~180	22~25
FCAW	1.2	180~230	25~28
GMAW	1.2	180~220	24~26

焊接速度 /mm·min ⁻¹	焊接位置	气体流量 /L·min ⁻¹	混合气体
25~29	平角接	18~20	CO ₂ 70% + Ar30%
10~13	立角接	18~20	CO ₂ 70% + Ar30%
24~30	仰角接	18~20	CO ₂ 70% + Ar30%
20~30	平角接	18~20	CO ₂ 70% + Ar30%

4. 结构焊接的顺序控制

(1) 当结构刚性固定后开始焊接,原则上采用先焊主要焊缝,后焊次要焊缝。拼板先焊纵向焊缝,后焊横向焊缝。具体顺序为:①焊纵向腹板与顶板熔透角焊缝。②焊横隔板与顶板熔透角焊缝。③焊柱上加强横隔板(δ30mmZ15)与腹板熔透角缝。④焊横隔板与腹板角焊缝。⑤焊顶板与加筋板角焊缝及其他加筋板角焊缝。

以此来减少焊接构件的变形。

5. 检测

完成分段制作和焊接后,对箱梁所有顶板与腹板、底板与腹板、顶板与横隔板、底板与横隔板等熔透焊缝 100% VT 检查,同时对所有熔透焊缝进行 100UT% 检测,合格后对分段结构及端口尺寸测量。

五、钢箱梁中合拢

(1) 利用废料钢做成搁墩, 一个分段放 6 个支点, 用水准仪按图样要求测出各分段标高点, 随后分段放在搁墩上固定, 对分段需测量结构尺寸、切割余量, 开好 V 形坡口并打磨。另一个分段同样按标高点设置搁墩, 并由行车缓慢吊起插入拼装接口, 合拢后复测构件中合拢箱梁长度。中合拢拼装顶板、底板错开, 以腹板为中心各相隔 250mm (实际 500mm)。装配定位采用码板, 选用一面焊接两面成形方法, 拼装间隙根据陶质衬垫成形槽大小, 间隙 6~7mm, 药芯焊丝焊接。

(2) 焊接参数中合拢焊缝焊接参数见表 5。

表 5

焊接方法	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电压 /V	焊接速度 /mm · min ⁻¹	焊接位置	气体流量 /L · min ⁻¹
FCAW	1.2	220~260	25~30	23~32	平对接	18~20

(3) 中合拢完成后对中合拢焊缝进行外观 VT 检查, 进行 100% UT 检测, 并对拼板的 T 形接头实施 RT 射线拍片, 检测结果全部符合质量技术要求。

六、现场大合拢

中合拢构件出厂运至安装现场, 用全站仪测量标高及 L_1 、 L_2/X 、 Y 、 Z 轴线, 切除余量, 放置盆式支座及垫板, 先把中间分段 L_2 箱梁放在墩身上定位 (见图 7)。

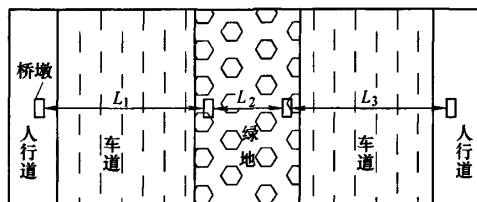


图 7

为了不影响道路的正常通行, 采取道路一侧两个车道临时封路, 其中在一个车道上设置临时搁墩, 随后 L_1 吊在永久墩身和临时墩身上与 L_2 拼装, 拼装方法及要求与中合拢相同。由于是 12 月份冬季温度偏低, 外场风力较大, 对气体保护焊影响较大, 针对外场焊接特别强调焊前要对大合拢焊接坡口中心两边各 100mm 区域进行去湿加温处理, 温度控制在 25~30℃, 对陶质衬垫进行烘焙, 并对焊接区域设置移动防风罩及风向挡板, 确保焊接质量。焊接方法采用药芯焊丝气体保护焊

一面焊接反面成形, 具体要求与中合拢相同, 焊完后 VT 检查, 24h 后 100% UT 和 10% RT。探伤合格后, L_1 段箱梁下临时搁墩可以卸载。 L_3 段箱梁安装焊接与 L_1 相同程序。全箱梁天桥在完成大合拢拼装焊接后进行整体验收, 按照 TB 10212—1989 标准对焊缝进行 VT 外观检查, 结构尺寸检查, 100% UT、10% RT 检测, 各项技术指标都符合要求。

七、结语

针对 Q345qD 板钢种, 选择合理焊接方法、焊接坡口及焊接材料, 通过焊接工艺评定、物理试验制定合理的焊接工艺规程, 以及在制作和焊接中工艺纪律的执行与控制, 是质量完全符合工程技术要求的关键。

MW (20101125)

(上接第 30 页)

较低、铁液流动性较差。因此, 填充焊接时, 要求焊接时焊枪采用正月牙运枪法, 摆动频率要适当加快, 才能保证熔池之间熔合良好, 避免熔池之间脱节现象, 从而形成的焊缝花纹细腻。同时焊接时注意两边不要停顿时间过长, 否则熔池会出现“劈劈啪啪”沸腾现象, 飞溅较大, 不但影响焊接, 还会造成熔池不清晰, 形成缺陷。收弧时应回焊 10mm 左右, 以避免产生弧坑裂纹。

(4) 盖面时, 应在坡口边缘稍作停顿, 以保证熔池与坡口更好地熔合, 焊接过程中, 焊枪的摆动幅度和频率相适应, 保证盖面层焊缝表面尺寸和边缘熔合整齐。

9. 结语

利用熔化极脉冲 MIG 焊接铝镁合金, 可实现对焊丝熔化及熔滴过渡的控制, 改善电弧稳定性, 可用小的平均电流实现熔滴喷射过渡, 也可进行全位置焊接; 铝镁合金熔化极脉冲 MIG 焊时, 焊丝作为阳极, 可采用比 TIG 焊更大的焊接电流, 电弧功率大, 熔深好, 焊接效率高, 特别适合于中厚板材和管材铝镁合金的焊接, 焊接效率一般是 TIG 焊接的 3~5 倍; 一般采用较低的电弧电压和较大的电流, 过渡形式一般采用介于喷射过渡和短路过渡之间的亚喷射过渡, 这种过渡形式可使电弧稳定、飞溅少、熔深大、阴极破碎区宽以及焊缝成形美观等。MW (20100924)