

文章编号:1671-7953(2008)01-0038-05

# 特大型悬臂式钢箱梁焊接制作工艺实践

蔡志伟

(武汉船舶职业技术学院, 武汉 430050)

**摘要:**特大型悬臂式变截面钢箱梁是现代港口码头起重运输机械的关键金属结构件,要求它具有良好的承载能力和较大的抗弯刚度。由于构件尺寸长,焊缝种类多,焊接难度大,在制造过程中采用了相应的措施,特别是通过焊接规范和焊接程序的调整有效地控制了焊接变形和焊接应力。

**关键词:**箱梁;焊接;制作工艺

**中图分类号:**TG44 **文献标志码:**A

## The Welding Manufacturing Practice of Super-huge Cantilevered Steel Box Beam

CAI Zhi-wei

(Wuhan Institute of Shipbuilding Technology, Wuhan 430050, China)

**Abstract:** Super-huge cantilever type variable sectional steel box beam is the key member of structures of the handling machinery for modern port. It needs not only good bearing capacity, but also large bending rigidity. Suitable measures were adopted in the manufacturing process because of long size, type of welding seam various, and difficulty for weld. By adjusting the welding sequence in light of the welding rules, the welding deformation and the welding stress had been controlled effectively.

**Key words:** box beam; welding; manufacturing process

特大型悬臂式变截面钢箱梁是某现代化港口码头工程的主梁,见图 1,共 8 根,其外形尺度为:长 60 m,宽 1.8 m,最大高度 4.5 m,每根重量 87.14 t。这种箱形梁体积大、吨位高、工期紧,给制作、焊接、吊运都带来了很大的困难,由于它属于重级工作制的吊车梁,对焊缝质量要求高,施工时,焊接变形控制难度大,因此焊接质量和焊接变形与控制问题是建造这种大型悬臂式变截面钢箱梁的关键技术。

### 1 钢箱梁焊接制作

#### 1.1 焊接特点

该悬臂式变截面钢箱型梁采用 16Mnq 钢, Q235A 钢等钢材建造,材料焊接性良好,除 16Mnq 钢遇环境温度低时,需采用必要的预热措



图 1 码头中的特大型悬臂式变截面钢箱梁

施外,其他可采用常规焊接工艺,该梁的板厚尺寸变化范围大,上下盖板厚度为 30 mm,腹板厚度为 12 mm 在箱梁悬臂支承处的下盖板处板厚达到 50 mm,在制造中质量要求高,焊缝质量难以保证。钢箱梁截面变化大,结构复杂,刚性强,焊缝数量多,为控制焊接变形,减少焊接应力,需要制定正确详细的装配焊接工艺和顺序。钢箱梁本体在大合龙的接头处采用高强螺栓连接,以满足

**收稿日期:**2007-11-01

**修回日期:**2007-12-11

**作者简介:**蔡志伟(1960—),男,学士,副教授。

**研究方向:**焊接工艺及检验。

**E-mail:**caizhiwei1397@163.com

运输和安装要求。因此,焊缝的质量保证,正确的装配和焊接顺序,控制钢梁结构焊接变形和进行中间消除焊接应力的措施,都是钢箱梁在焊接结构施工中应考虑的主要问题。

### 1.2 钢箱梁焊接制作方案

根据钢箱梁的特点,由于车间、现场起重和运输条件的限制,该悬臂式变截面钢箱梁必须采用分段制造技术。由于钢箱梁工作时,受到拉应力和压应力的共同作用,分段时在分段处应避开其最大应力值。

该箱梁制作时,可分为4段,第一段长 $L_1$ 为18.3 m,重量 $m_1$ 为27.78 t;第二、三、四段的长都为13.9 m,重量分别为19.81、19.81、19.74 t。分段示意图见图2。

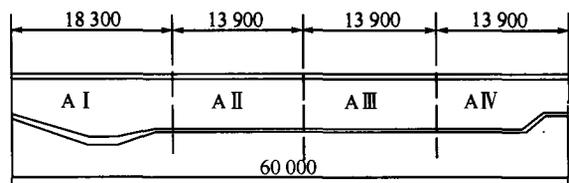


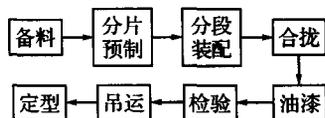
图2 箱梁分段示意图

### 1.3 箱梁的施工工艺流程

根据钢箱梁的制作方案,结合现场的施工条件和其结构特点制定了总工艺流程和分段工艺流程,见图3。



1) 总段工艺流程图



2) 分段装焊工艺流程图

图3 钢箱梁施工工艺流程图

箱形梁的建造工艺总流程共分8个阶段,即备料、分片预制、分段装配、合拢、油漆、检验、构件吊运、定型。分段工艺流程也为8个阶段,即上翼缘板起拱定位,小隔板、空腹隔板装焊,纵梁装焊,腹板装配定位,横向加强筋装焊,下翼缘板装配定位,内外翻身施焊,纵肋及吊耳装焊。

## 2 钢箱梁的焊接制作工艺

### 2.1 焊接方法选用及其参数

1) 钢箱梁主材全部采用16 Mnq钢,板材组装时,用焊条电弧焊进行定位焊,焊条采用碱性低氢型焊条,定位焊的长度为30~50 mm,焊接参数见表1。

表1 定位焊焊接参数

焊机型号	电源极性	焊丝 牌号	焊丝直径 /mm	焊接电流/A
ZX1-300	直流反接	J507	4.0	100~130

2) 盖板、腹板的拼接焊,由于焊缝长,且是平焊,因此选用埋弧焊,焊接参数见表2。

表2 对接接头双面埋弧焊焊接的工艺参数

工件厚度/mm	装配间隙/mm	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm·min <sup>-1</sup> )
12	2~3	4	550~880	38~40	50~57
			600~700	34~38	58~67
30	2~3*	6	650~720	38~40	48
			68~750	36~42	40
			950~1 000	36~40	30
50	6~7	6	900~1 000	36~38	33
			1 200~1 300	44~48	17

\* 开对称X型坡口,坡口角度为70°。

3) 箱梁接头、筋板和空腹隔板由于焊缝没有拼板时的长,选用CO<sub>2</sub>气体保护焊,焊接参数见表3。

表3 CO<sub>2</sub>气体保护焊焊接参数

焊机型号	焊丝型号	焊丝直径/mm	焊接电流/A	焊接电压/V	CO <sub>2</sub> 流量/(L·min <sup>-1</sup> )	焊接速度/(m·min <sup>-1</sup> )
NZC-400	H08Mn2SiA	1.6	360~490	36~39	20	0.5~0.6

4) 主梁4条纵缝,采用自动角焊机进行焊接。焊接顺序视梁的拱度和旁弯的情况而定。当拱度不够时,应先焊接下盖板左右的2条焊缝;拱度过大时,应先焊接上盖板左右两条纵缝。由于采用工艺板,即垫板,可用大规范,焊接参数见表4。

表4 自动角焊机的焊接参数

机型号	焊丝型号	焊丝直径/mm	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/(cm·min <sup>-1</sup> )
MD-1000	H08MnA	4	650~850	36~38	27~37

## 2.2 装焊工艺

采用平台组焊工艺,以上翼缘板为基准在平台组焊。装配时,采用在上翼缘板上的划线定位的方式装配空腹隔板和短筋板,用 $90^\circ$ 角尺检验垂直度后进行点固,见图4。为减小梁的下挠变形,装好筋板后应进行筋板与上翼缘板焊缝的焊接。翼缘板预制如有旁弯,焊接方向如图5a)所示方向。为了防止焊接时产生的旁弯变形,焊接方向见图5b)所示。随后装配腹板,因为腹板有预制上挠作用,装配时需盖板与之贴合严密,点固焊定位,形成没有下盖板的II形梁,进行两侧腹板与筋板之间的点焊定位。

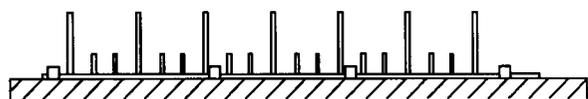


图4 隔板和短筋板的装配

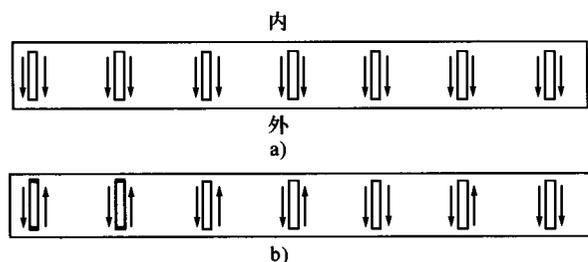


图5 筋板的焊接方向

装配下盖板,在装配压紧力作用下预弯成所需拱度形状,然后点定位焊。由于空腹隔板规定了矩形形状公差,较容易控制盖板的倾斜度和腹板的垂直度,控制上挠度要考虑到卸载后的回弹变形。由于腹板预制了较大的上挠,定位下盖板时,压紧力使主梁上挠度减少,从而在腹板中造成拉应力,有利于防止腹板波浪变形。

## 2.3 箱梁主梁的焊接工艺

箱梁主梁的焊接工艺步骤如下:

1) 腹板上的单面焊钢衬垫与底板、顶板(即上下盖板)要求局部间隙应不大于 $0.5\text{ mm}$ 。其中腹板与单面焊钢衬垫板的焊接采用直径 $3.2\text{ mm}$ 焊条定位,正式焊接时应先焊坡口正面焊缝,从中间向两侧进行焊接,要求焊缝呈现光滑过渡,无缺陷。然后翻身焊坡口反面。原定位焊缝处进行连续焊,将衬垫板封焊。

2) 装配时应在坡口反面进行腹板与底板、顶板的定位焊,在箱梁两端要加强定位焊。

3) 箱梁主体及内部构件经焊接后,完成外侧

纵向加强筋板,水平加强板、横梁连接板及竖向加强板等部件的装焊。

4) 内部构件焊接主要包括空腹隔板、小隔板、横向及纵向加强板与底板及腹板的焊接。在 $50\text{ mm}$ 厚板处,焊接时应按规定要求进行电加热,预热至 $100\sim 150^\circ\text{C}$ ,要求由双数焊工对称焊。原则上先焊立角焊,后焊平角焊;先焊纵向焊缝,后焊横向焊缝。

5) 图6中a、b、c、d4条主焊缝焊接时,应使钢箱梁卧置于平台上,可实现上下翼缘板上的角焊缝非平行焊缝的水平焊接,应先进行两条主焊缝的焊条打底焊2层和 $1/2$ 的横隔板与腹板以及顶板的角焊。然后翻身 $180^\circ$ ,按同样要求进行另两条主焊缝的焊接。上述手工打底焊时,在坡口外侧的顶板与底板处,应按要求进行电加热预热。

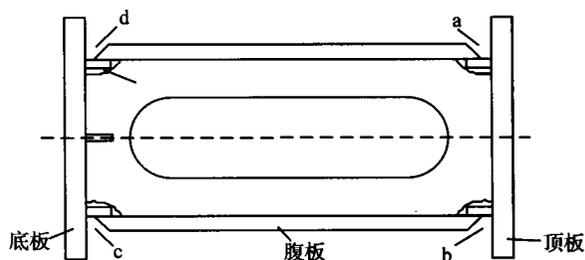


图6 钢箱梁结构主梁断面

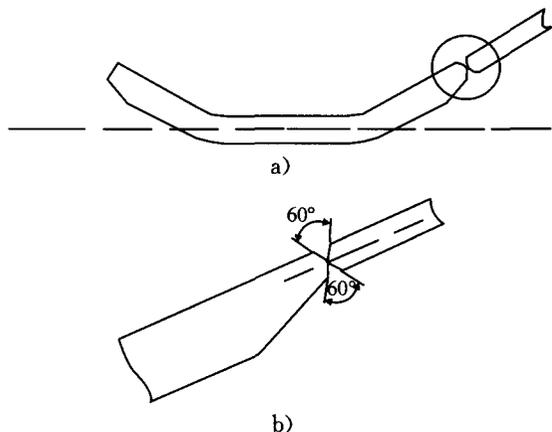
6) 完成箱梁内各构件的全部角接焊缝的焊接。钢梁两端部装引弧板和引出板,并按要求进行预热后,用2台埋弧自动焊机同时焊接2条主焊缝a和d,使其焊至距上口 $5\sim 6\text{ mm}$ ,然后翻身将另两条主焊缝b和c至焊完,最后再翻身焊满前面两条主焊缝,至焊完。焊接过程要求连续进行,并按同一方向施焊,要求焊缝表面呈凹形,既缓和和过渡到母材,又无咬边等缺陷。

7) 箱梁外部构件加强板焊接时,焊接顺序由中间向两端先焊立角焊,后焊平角焊。在焊接横梁、边梁连接板时,为保证根部焊接质量,打底焊采用直径 $3.2\text{ mm}$ 焊条。横梁外部和内部构件焊接时,凡有切角及不连续加强板时,均要进行包角焊。

## 2.4 钢箱梁下翼缘支撑板的装焊

钢箱梁下翼缘支撑板厚度为 $50\text{ mm}$ 其形状加工为U形,见图7a)所示在装配板的端接缝时应严格控制装配间隙,并使其不大于 $2\text{ mm}$ ,端口对接时, $50\text{ mm}$ 的厚板应削斜,削斜长度 $L>4(\delta-\delta_1)$ ,实际取 $90\text{ mm}$ ,并按规定开X形坡口,坡口角度为 $70^\circ$ ,见图7b)所示,装配时应压紧使其紧贴腹板并

及时定位焊,接口处的定位焊采用加强焊,以防崩裂,再与相邻的盖板定位,焊接时,先焊对接缝内侧,再焊外侧,焊外侧前应清根,如清根过多或焊肉不足,会出现“崩焊”情况,此时应返修重焊。



1-下翼缘支撑板加工形状;2-下翼缘支撑板坡口型式

图7 钢箱梁下翼缘支撑板加工形状及坡口型式

### 2.5 箱梁的大合拢

焊接梁的连接处都需要局部加强,以承受集中载荷和弯矩,采用横向加强筋来加强连接处。为降低连接处的应力集中和附加应力,连接处的上下盖板应错口,且采用陶瓷衬垫单面焊,结构形式如图8a)所示,焊接顺序,首先由两名焊工在梁的外面同时进行立焊,由下向上对称焊接箱形梁的两腹板;然后,由两名焊工分别在钢箱梁上下同时焊接钢箱形梁上下翼缘板的水平拼接焊缝;再由两个焊工分别焊接内侧腹板的两条拼接焊缝,焊前应清根;最后,由2名焊工同时焊接错口处未焊接的腹板与翼缘板之间的纵向俯角焊缝和仰角焊缝,其焊接顺序和方向见如图8b)所示。

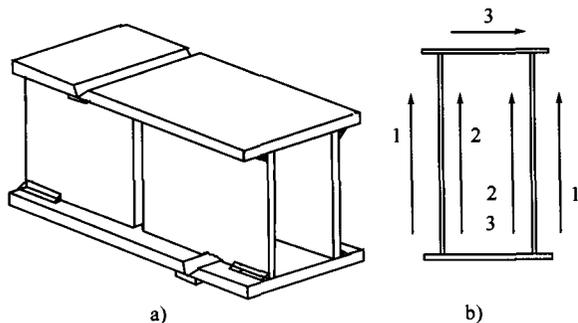


图8 主梁的大合拢示意图

### 2.6 翻身施焊工艺

1) 钢箱形梁翻身工艺采用L形吊具,吊具在箱梁中的设置位置应距箱梁端部4 m,轮胎吊距

平台的距离不得大于3 m,且4台轮胎吊应对称于装配平台布置,见图9。

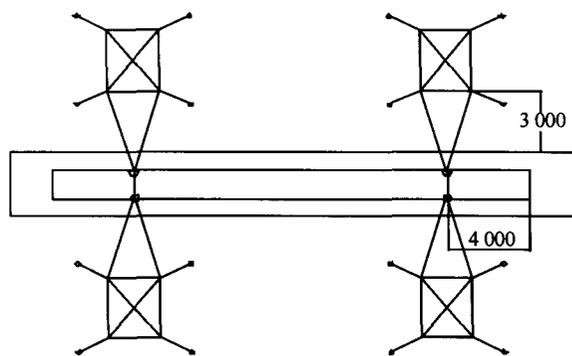


图9 轮胎吊应并排对称于装配平台

2) 严格按照起重操作规程进行焊接翻身。包括吊车定位和操作规程吊钩只能起吊下面的吊耳,坚决杜绝单吊上面的吊耳,以防止箱形梁倒落出现安全事故。钢箱梁翻身焊接工艺见图10:

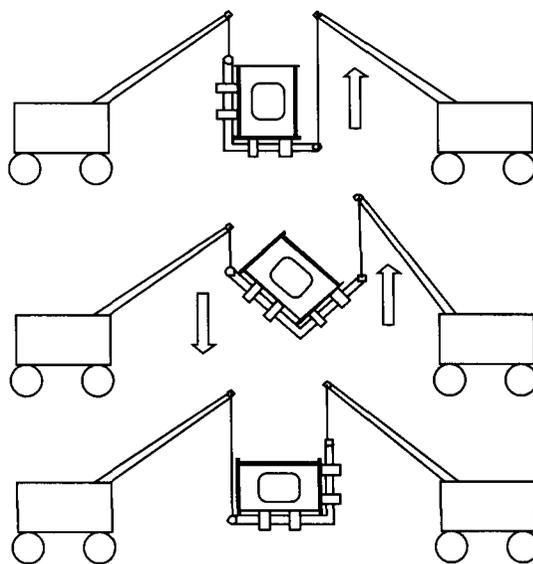


图10 翻身工艺示意图

## 3 检验

### 3.1 焊缝外观质量

1) 外观检验一般用肉眼进行,对有怀疑的严重缺陷(未熔合、裂纹)可采用放大镜或表面探伤方法判断。

2) 外形尺寸应用焊接角规进行检验,检验的选点应具有代表性。

3) 焊缝的外观,焊波应均匀,不允许未熔合焊瘤、烧穿等缺陷。

4) 对接焊缝,角接焊缝的外形尺寸的要求应符合国家标准。

文章编号:1671-7953(2008)01-0042-04

# 舰船总段整体吊装研究和实施

陈 默,周洪元,黄 健

(沪东中华造船(集团)有限公司,上海 200129)

**摘 要:**对某型舰主船体采用船体三总段吊装,考虑舰船结构本身的复杂性,分别对各总段进行设计,包括重量、重心计算、吊点布置、结构及临时加强、强度校核等,吊装结果表明吊装工艺是合理的。

**关键词:**整体吊装;总段;新工艺

**中图分类号:**U671.4 **文献标志码:**B

## Research of Swinging Whole Main Body Section of Naval Vessel

CHEN Mo, ZHOU Hong-yuan, HUANG Jian

(Hudong-Zhonghua Shipbuilding Co. Ltd., Shanghai 200129, China)

**Abstract:** The new technology to swing the blocks was adopted in the construction of a naval vessel's main body. Owing to the complexity of ship's structure, the authors carried out a design to each block, calculate total weight and the center of gravity, array hauling points, design structural and temporary strengthen scheme, checkout the strength. The practice verified that the swing technology proposed in this paper is rational.

**Key words:** swing; sections assembly; new technology

目前船舶市场异常繁荣,但国内船厂产能严重不足,特别是船台、船坞利用效率更是生产过程中的薄弱环节,如何缩短在建船舶的船台(坞)占用时间一直是业界所关注的焦点。民用船舶建造

时大多采用大型、巨型总段建造法,以期尽量缩短船台(坞)周期;而军用舰船仍采用分段散吊的形式,与壳舾涂一体化区域造船的技术现代化目标相距甚远。虽然有些型号的军用舰船采用的是总段吊装的形式,但主要是用钢梁抬吊,此方法仅限于型宽较小的舰船,且钢梁通常需要特制,工时和材料费用居高不下。

我公司建造的某型舰船产品采用主甲板下环形三总段建造法,由于本舰型宽较大,不宜采用钢

**收稿日期:**2007-09-26

**修回日期:**2007-10-15

**作者简介:**陈 默(1981-),男,学士,助理工程师。

**研究方向:**舰船结构生产设计。

**E-mail:**cm247@263.net

### 3.2 焊缝内部质量

- 1) 对于重要构件要求完全焊透的拼接、对接和角接接头,采用超声波检查焊缝质量。
- 2) 对于用超声波难以进行操作的重要接头,可采用 X 射线检查焊缝的焊透情况和未熔合、气孔、裂纹、夹渣等缺陷情况。
- 3) 主梁外侧 4 条角焊缝可采用磁粉检查(MT)或着色检查(PT)检查焊缝近表缺陷。
- 4) 焊缝内部返修次数不得超过 2 次。

### 4 结论

该悬臂式钢箱梁属首次制造,在制作中,结合实际采用了较为先进的施工工艺,从而取得了较

好的效果:

- 1) 该梁采用分段建造工艺,既缩短了工期,又降低了整体焊接变形。
  - 2) 多种焊接方法的应用和焊接参数的优化选用,减少了结构内部的焊接应力。
  - 3) 合理的装焊工艺,特别是箱梁的焊接程序和四条主焊缝,大大减少了结构的焊接应力和变形,避免了应力集中。
  - 4) 翻身施焊工艺保证了钢箱梁接头或大合龙的焊接质量,有效控制了钢箱梁的扭曲变形。
- 由于采用先进合理的焊接工艺,整个钢箱梁制作有序,不仅提高了焊接工艺水平和焊接质量,而且获得了良好的经济效益和社会效益。