

港珠澳大桥沉管管节钢帽安装工艺

唐永波, 周建民, 魏杰

(上海振华重工(集团)股份有限公司, 上海 200125)

摘要: 根据港珠澳大桥沉管隧道工程技术标准及钢帽的施工要求, 特制定一套适合本工程钢帽安装的工艺方案。文中详细描述了钢帽的安装步骤及注意事项, 满足钢帽施工质量, 确保后续工作的顺利推进。对类似工程具有一定的参考价值。

关键词: 港珠澳大桥; 沉管隧道; 管节接头; 钢帽; 工艺方案

中图分类号: U655.4

文献标志码: B

文章编号: 2095-7874(2020)05-0065-05

doi: 10.7640/zggwjs202005014

Installation technology of steel hat for immersed pipe joint of Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge

TANG Yong-bo, ZHOU Jian-min, WEI Jie

(Shanghai Zhenhua Heavy Industries Co., Ltd., Shanghai 200125, China)

Abstract: According to the Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge immersed tunnel project technology standards and construction requirement of steel hat, we specially established a set of process scheme suitable for the installation of the steel hat of the project, for meeting construction quality of the steel hat, and ensuring the subsequent project can be implemented smoothly. The installation steps and precautions of the steel hat were described in this paper, which has a certain reference value for similar projects.

Key words: Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge; immersed tunnel; pipe joint; steel hat; technology plan

0 引言

港珠澳大桥沉管隧道工程沉管隧道共有 33 个管节, 自西(珠海)向东(香港)依次编号为 E1~E33, 管节沉放先后顺序分为东西两线进行施工, 西线由西人工岛暗埋段至 E29 管节, 最长距离约为 5.3 km, 东线由东人工岛暗埋段至 E30 管节, 距离约为 0.75 km。

港珠澳大桥沉管隧道工程沉管 E29、E30 两管节沉放就位后, 将最终接头沉放于 E29 与 E30 之间^[1-3], 通过连接钢板完成最终接头与管节 E29/E30 钢帽之间的刚性连接, 为确保钢帽与连接板组装施工, 结合本工程设计要求及工程特点, 编制了管节钢帽安装工艺方案。

1 概述

钢帽是管节与最终接头连接的关键构件, 设置在 E29 管节 S8 端和 E30 管节 S1 端, 与管节混凝土连为一体, 是管节结构中重要的永久性构件^[4]。钢帽截面设计最大尺寸为 1 490 mm × 800 mm 的不规则 E 形截面, 主要由上、中、下翼缘板、侧向腹板、加劲板及连接焊钉组成。钢帽整体呈环形, 宽度 38.34 m, 高度 11.79 m。钢帽的安装结构形式, 具体见图 1 所示。

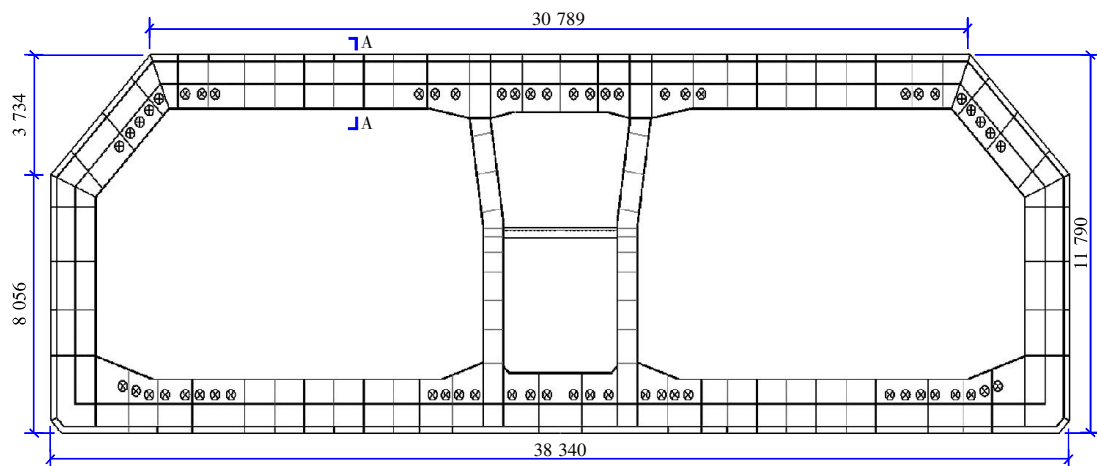
2 施工难点

1) 结构装配尺寸控制。由于钢帽所处位置在曲线段管节端部, 是钢结构件与钢筋混凝土的有效结合体^[5], 其安装尺寸受到钢筋笼实体尺寸制约, 给整个钢帽的装配调整带来了很大的难度。

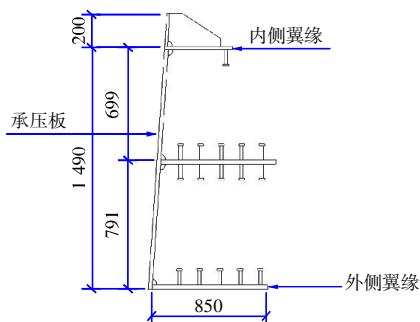
2) 焊接变形控制。钢帽板厚多在 $t=28$ mm 左右, 且整体质量较大, 受预制车间起重能力限制,

收稿日期: 2020-03-03 修回日期: 2020-03-16

作者简介: 唐永波 (1981—), 男, 江苏淮安人, 高级工程师, 从事工程施工及技术管理工作。E-mail: 1032015789@qq.com



(a) 主视图



(b) A-A 剖面

图 1 钢帽结构示意图

Fig. 1 Sketch map of steel hat structure

钢帽需分为多个分段预制，再完成组对焊接，导致焊接量较大，焊接变形难以控制。

3) 平整度及角度要求严格。因钢帽承压板需与最终接头 Gina 止水带紧密贴合，若承压板平整度存在偏差，将会严重影响止水效果；另最终接头为“三明治”结构形式，对钢帽结构的倾斜度控制要求较高，这两点对钢帽组装提出了很高的要求。

4) 交叉作业。为确保钢帽的顺利安装与焊接，许多钢筋无法提前安装到位，必须穿插进行。期间涉及到模板体系转换，由于模板安装要求很高，需充分考虑吊装、焊接等工序，存在很多交叉作业，增加了施工难度。

5) 焊接空间狭小。分段焊接过程中，由于结构翼缘板之间的空间较小，而且部分焊缝需要在钢筋笼之间焊接，致使分段调整与焊接工作较难开展。

3 钢帽安装方案

针对以上施工难点，对钢帽安装进行了详细分析，做好相关工艺准备工作，下面主要对钢帽安装工艺进行说明。

3.1 安装前准备工作

1) 材料转运。钢帽总重约 80 t，根据起重设备和转运条件考虑，划分为顶板单元、侧墙单元、中墙单元和底板单元 4 个部分，每个分段重量控制在 4~8 t 之间。其中顶板单元包括分段 4、10、9、5，侧墙单元包括分段 8、1，中墙单元包括分段 11、12，底板单元包括分段 6、3、2、7，共计 12 个分段，最重分段约 8 t。在整体组装前，分别将分段 4 和 10、9 和 5、2 和 3 两两拼装成组件，具体分段如图 2 所示。

2) 构件分段检查。根据图纸，对各分段进行尺寸检查，并在分段上划出测量检验线或检验点，已方便后续调整时的平整度和倾斜度测量工作。

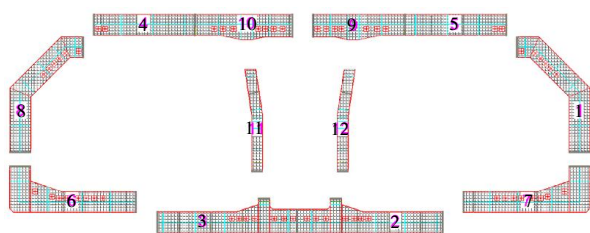


图2 钢帽分段示意图

Fig. 2 Sketch map of sections of steel hat

3.2 钢帽分段安装

由于钢帽分段的安装过程与钢筋笼、浇筑模板安装紧密相关,因此,钢帽分段的吊装、定位、焊接等一系列环节,必须与相关模板体系的转换相结合,具体步骤如下。

1) 钢筋笼顶推入模后(厂房浇筑区),廊道内模安装,提拉钢筋笼顶板钢筋,防止出现下挠现象,拆除左右行车道钢筋笼顶板处模板胎架,行车道内模针型梁支腿不下放,内模暂不滑入。

2) 将分段钢帽转运至厂房修整区,需要提前进行钢筋的布设与安装,防止后续钢筋无法与钢帽组装。

3) 在底模上拼装钢帽的底板单元分段,完成底板单元分段的焊接工作,见图3。



图3 钢帽底板分段焊接及精度调整图

Fig. 3 Sections welding and precision adjustment diagram of steel hat bottom plate

4) 完成钢帽底板处钢筋笼的匹配安装,注意精调至设计位置,并测量底板承压板平整度和倾斜度。

5) 中廊道模板闭合至设计位置,吊装钢帽中墙单元分段,并根据图纸要求调整分段装配,待装配合格后,完成中墙单元分段与底板单元分段拼接处承压板、左右行车道侧翼板的焊接工作,中廊道内侧翼板暂不焊接。

6) 侧墙模板闭合至设计尺寸,吊装钢帽侧墙单元分段,完成侧墙单元分段与底板单元分段拼接处承压板、靠行车道内侧翼板的焊接工作,外侧翼板暂不焊接。

7) 安装左右侧行车道内模至设计位置,并检查内模是否与钢帽紧密接触。

8) 吊装顶板单元分段,精确调整后,先施焊完成顶板单元分段之间的焊缝;然后施焊完成与中墙单元之间的承压板焊缝;最后,施焊完成顶板单元分段与侧墙单元分段之间的焊缝。

9) 施焊顶板单元分段与中墙单元分段行车道侧的翼板焊缝,注意焊接其中一侧翼板焊缝时,应保持另一侧车道的内模不退出。焊接完成后,将左右侧行车道内模安装至设计位置。

10) 退出中廊道内模,施焊完成钢帽顶、底板单元分段与中墙单元分段的内侧翼板焊缝。

11) 安装中廊道内模至设计位置,然后打开左右侧侧模,施焊完成侧墙单元分段与底板单元分段的外侧翼板焊缝。

12) 精调钢帽整体精度、倾斜度,合格后安装侧墙及顶板模板,并安装端面临时支撑加固(图4),钢筋笼卸载,待混凝土浇筑完成后,拆除端面临时支撑。



图4 钢帽临时支撑加固

Fig. 4 Reinforcement of temporary support of steel hat

3.3 装配定位要点

在钢帽分段装配定位过程中,注意汽车吊暂不松钩,配合定位,同时根据图纸尺寸要求,利用千斤顶、手拉葫芦进行精调定位,保证分段整体倾斜度,以及对接缝之间的装配间隙和平整度。在精调定位过程中,采用激光经纬仪或全站仪配合同步测量调整。同时注意对接缝位置衬垫需安装到位,待整体调整到位后采用定位卡板将分段之间固定牢固,并根据实际情况增加临时支撑,来辅助结构稳固,如图5所示。

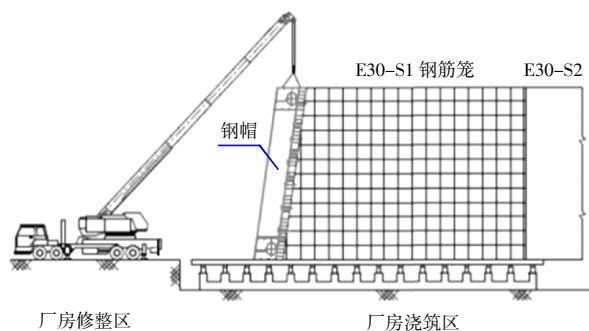


图5 钢帽组装定位图

Fig. 5 Location drawing of assembly of steel hat

3.4 分段焊接质量控制

钢帽分段的焊接工作在模板体系转换过程中完成,并通过对焊接过程的严密控制,有效控制多分段、大焊接量引起的变形。

3.4.1 工艺准备

1) 钢帽拼装前必须熟悉图纸及技术要求,认真核对零件平面度、直线度等各种偏差,确认符合图纸要求后方可组装^[4]。

2) 组装前必须彻底清除待焊区的浮锈、底漆、油污、杂物等。

3) 焊缝端部按规定组装引、熄板,其材质、厚度及坡口与所焊件相同。

3.4.2 焊接准备

1) 焊接作业现场焊接环境湿度不大于80%,不得在低于0℃的母材上焊接。

2) 焊接表面的油、锈必须清除干净。

3) 露天采用CO₂气体保护焊时,必须采取严格、可靠的防风防雨措施,CO₂气体纯度≥99.9%。及时清除喷嘴上的飞溅物,且干燥器始终处于良好的工作状态。

4) 施焊前,待焊接部位的母材和坡口表面光洁、整齐,无毛刺、损伤、裂纹或影响焊缝强度和质量的其它缺陷。

5) 施焊期间的清理:在前道焊层上焊下一焊层前,将焊缝表面所有熔渣、飞溅清理干净,此要求不仅适用于前后焊层,也适用于前后焊道,以及中断后继续施焊的弧坑处。

6) 完工焊缝的清理:完工焊缝清除熔渣,母材附近清除飞溅。

7) 为了提高热影响区和焊缝金属的冲击韧性,焊接过程中必须采用多层多道焊。

8) 采用衬垫的坡口焊缝,应使焊缝金属与衬垫紧密贴合,衬垫应沿焊缝全长连续设置,非箱体内部衬垫须进行清除,清除过程尽可能不伤及母材,根据实际情况进行补焊。

9) 手工电弧焊、CO₂气体保护焊的立焊位置的施焊方向,要求自下而上。

3.4.3 焊接区域清理

1) 焊接前,所有焊接坡口的切割面,待焊区域内的车间底漆及其它有害物,以及在规定范围内的氧化皮、铁锈、水分、油漆等妨碍焊接的物质,将清除打磨干净,要求露出金属光泽,焊接清理区域为焊接区域两边各20mm范围。

2) 焊接区域清理要求在构件组装前进行,构件组装后注意保护,对于主要部件在组装后24h内焊接。若重新锈蚀或又附有水分、铁锈等有碍焊接的杂质,将重新清理。

3.4.4 焊接变形控制措施

1) 分段在焊接前,为了减少焊接变形及残余应力,所有面板与面板之间的焊缝均采用分段分次、多层多道焊接方法,通过严格控制每道焊缝的焊道厚度、焊接线能量来控制焊接变形^[6]。

2) 焊接时尽可能使用偶数焊工对称施焊,控制焊接变形。

3) 控制层间焊接温度,在焊完1层后,应冷却一段时间再施焊。防止焊接温度过高,变形收缩过大。

4) 使用火焰加热法配合千斤顶校正局部焊接变形。

5) 通过模板体系转换,控制钢帽焊接变形及整体尺寸。

3.4.5 焊接工作质量

1) 所有焊缝的长度,焊脚尺寸符合施工图纸要求,未经许可,不得改变焊缝位置。

2) 焊缝不得有焊喉不足、过高、咬边过量、溢瘤、偏焊、以及未焊透等缺陷。

3) 在进行焊缝打磨时,不得有过热倾向和损伤母材表面。

3.4.6 焊缝修磨

1) 焊接后,必须用气割切掉两端的引、熄弧板或产品试板,并磨平切口,不得损伤母材。

2) 焊脚尺寸、焊波或余高等焊缝超差的咬边必须修磨匀顺。

3) 焊缝咬边超过1mm或焊脚尺寸不足时,

可采用手工电弧焊进行返修处理,并修磨匀顺。

3.4.7 焊缝返修

1) 采用机械方法清除焊接缺陷,在清除缺陷时刨出利于返修焊的坡口,并用砂轮磨掉坡口表面的氧化皮,露出金属光泽。

2) 焊接裂纹的清除长度由裂纹端各外延50 mm,并刨成1:5的斜坡。

3) 返修焊缝按原焊缝质量要求检验。

4) 在焊缝修补过程中的层间温度需始终保持,不得中途停止,直至修补完毕。

5) 修补焊缝一边的开槽深度,不超出设计图纸焊缝有效焊喉的65%,缺陷深度超过以上范围时,需进行反面修补。

6) 修补后的焊缝表面采用砂轮打磨匀顺。

3.5 检验

3.5.1 焊接质量检验

1) 外观检验。待焊缝金属冷却后,对所有焊缝进行外观检查,并填写检查记录备查^[7]。不得有裂纹、未熔合、焊瘤、烧穿、夹渣、未填满弧坑及漏焊等缺陷。焊缝外观质量必须满足设计的相关规定。外观检查不合格的焊接构件,必须进行修补并打磨匀顺,在未进行处理并满足要求之前,不得进入下一道工序。

2) 无损检测。经外观检验合格的焊缝,方可进行无损检测;无损检测的最终检验在焊接24 h后进行;超声波探伤应符合现行国家标准GB 50205—2001《钢结构工程施工及验收规范》的相关要求。

3.5.2 结构外形检验

对钢帽整体和局部进行平整度检测、高程检测,结果符合图纸要求。

3.5.3 涂装检验

涂装材料必须一致,在焊缝完成检验后,对焊缝区域进行补涂装^[8]。涂膜总厚度应达到设计要求,85%测点膜厚度应达到设计要求,局部未达到膜厚部分,其膜厚不小于设计要求的85%。

4 结语

通过对每一个施工环节的周密控制,有效解决了在复杂环境下的多个施工难题。目前港珠澳大桥已全线通车,事实证明本方案安全性高,节约了大量设备成本,效果显著,对以后类似工程的优化有一定的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 吴凤亮,李家林,李金峰,等.港珠澳大桥沉管隧道最终接头合龙施工技术[J].中国港湾建设,2019,39(11):67-71.
WU Feng-liang, LI Jia-lin, LI Jin-feng, et al. Closure construction technology for final joint of immersed tunnel of Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge[J]. China Harbour Engineering, 2019, 39(11): 67-71.
- [2] 吴凤亮,李家林,刘兆权.超大型沉管隧道可逆式主动止水楔形接头的研发建造[J].中国港湾建设,2019,39(9):37-41,77.
WU Feng-liang, LI Jia-lin, LIU Zhao-quan. Development and construction of reversible active stop-water wedge-shaped joints for super larger immersed tunnel[J]. China Harbour Engineering, 2019, 39(9): 37-41, 77.
- [3] 林鸣,林巍,刘晓东,等.整体式主动止水最终接头技术及其与沉管管节的一体化[J].中国港湾建设,2017,37(11):1-11.
LIN Ming, LIN Wei, LIU Xiao-dong, et al. Technique of integrated-type and positive-waterstop closure joint and its integration with immersed tunnel element [J]. China Harbour Engineering, 2017, 37 (11): 1-11.
- [4] 中交公路规划设计院有限公司.港珠澳大桥主体工程岛隧工程施工图设计:管节接头、节段接头施工图[R].2013.
CCCC Highway Consultants Co., Ltd. Construction drawing of island and tunnel project of Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge main project: Construction drawing of immersed tube joint and element joint[R]. 2013.
- [5] 中交公路规划设计院有限公司.港珠澳大桥主体工程岛隧工程施工图设计:沉管预制厂[R].2011.
CCCC Highway Consultants Co., Ltd. Construction drawing of island and tunnel project of Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge main project: Factory of prefabricating immersed tunnels[R]. 2011.
- [6] GB 50205—2001, 钢结构工程施工质量验收规范[S].
GB 50205—2001, Code for acceptance of construction quality of steel structures[S].
- [7] 中国机械工程学会焊接学会.焊接手册:第二篇[M].北京:机械工业出版社,2001.
Welding Society of China Society of Mechanical Engineering. Welding manual: Part II [M]. Beijing: China Machine Press, 2001.