

钢板组合桥梁建造工艺技术与应用研究

马芹纲 段亚军

(浙江省交通规划设计研究院有限公司 杭州 310030)

[摘要] 随着城市化建设和社会经济的快速发展,标准化的施工工艺技术对于城市交通设施的建造有着巨大影响。就桥梁方面而言,采用工厂化的施工技术对于中小跨径钢板组合桥梁的质量管理和钢结构产能等方面起到了积极作用,可以促进钢板组合梁桥在我国的发展。因此,本文介绍了中小跨径钢板组合桥梁工厂化制造和标准化施工。并以实际工程应用为例,介绍了钢板组合梁桥施工时采用的架桥机架设和汽车吊架设,节约了人力成本,使经济合理化。同时大大加快了钢板组合梁桥的建设速度,提高了施工效率。

[关键词] 钢板组合梁; 工厂化制造; 架桥机架设; 汽车吊架设

0 引言

钢板组合桥梁是指通过连接件将钢梁与钢筋混凝土或预应力混凝土桥面板组合而成的梁式桥,简称组合梁桥。钢板组合桥梁构造简单,设计与建造的适用条件广泛。因为科学技术的发展,使得组合结构桥梁具备优良的性能和耐久性,缩短了施工时长,同时它的多样化结构又能适应各种桥位各种跨度桥梁建设的需求^[1]。因此,如何快速科学地制作施工钢板组合桥梁,显得尤为重要。

1 钢板组合梁生产工艺

1.1 制造

1.1.1 下料

1) 下料前核对钢材的牌号、规格、材质等相关资料,下料时严格按工艺套料图进行。

2) 切割前,先进行切割机精度检查,同时应去除钢材表面的污垢、油污及浮锈和其它杂物。

3) 在材料上标出切割、铣、刨、弯曲、钻孔等加工位置。用钢钉在钢材上打上孔印,并且标出相应的零件编号,如图1所示。

1.1.2 加工

1) 冷弯曲加工作业均在车间内进行,环境温度不低于-12℃。

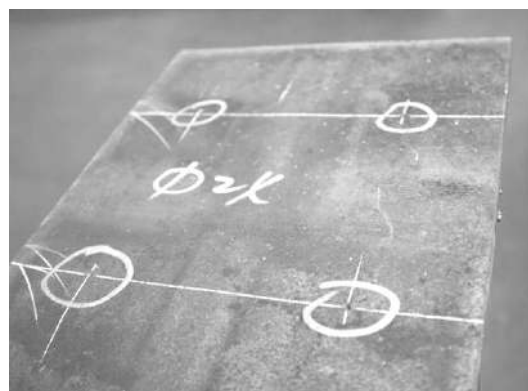


图1 标记位置

2) 过渡坡口和板边加工采用刨边机或切割机加工。

3) 制孔采用数控钻床或摇臂钻床进行加工。

4) 边缘的加工允许偏差应按工艺规定执行,当无工艺要求时,按表1执行。

表1 边缘的加工允许偏差

项目	偏差	说明
零件的长宽 L、B	±1.0mm	L、B ≤ 2.0m
	±2.0mm	L、B > 2.0m
加工边直线度	L/8000 且 ≤ 1.5mm	

收稿日期: 2020-09-18

基金项目: 浙江省交通运输厅科技项目 (2017016)。

作者简介: 马芹纲 (1971-), 男, 正高级工程师, 从事桥梁设计与科研相关工作。

1.1.3 零部件矫正

1) 零件矫正前清除下料边缘的毛刺和挂渣。矫正后的钢料表面不应有明显凹痕和其它损伤。

2) 热矫的温度控制在 $600\sim 800^{\circ}\text{C}$ ，矫正后零件随空气缓慢冷却，降至室温以前不得锤击或用水急冷。

3) 组装时应将相邻焊缝错开，错开的最小距离如图2所示。

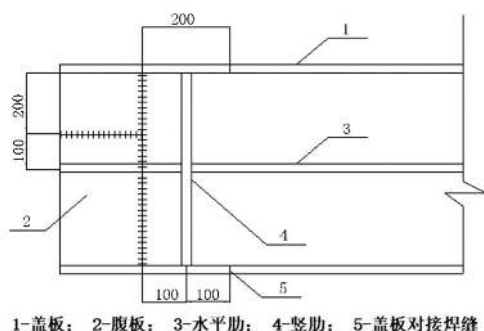


图2 焊缝错开最小距离

1.1.4 组立

采用H型钢自动组立机组装，组立机主要由门架总成、拉杆系统总成、液压系统总成、输入和输出滚道总成、电控系统等组成。

H型钢组立机是H型钢在组立工序中必不可少的设备，它对H型钢技术参数的保证起到了决定性的作用^[2]，如图3所示。



图3 组立机

1.1.5 制孔

当H型钢梁两端与牛腿连接时，宜将梁与牛腿组焊成一根H型钢，再将两端牛腿整体下料、钻孔，可避免梁与牛腿出现高度差。螺栓孔应钻制成正圆柱形，并垂直于所在位置的钢材表面，倾斜度应小于 $1/20$ ，其孔周边应无毛刺、破裂、喇叭口或凹凸的痕迹，切削应清除干净。螺栓孔不得采用冲孔，气割孔。

1.1.6 预组拼装

1) 组合部位的选择原则：尽可能选用主要受力框架、节点连接结构复杂，构件允差接近极限且有代表性的组合构件。

2) 预拼装应在坚实、稳固的平台式胎架上进行。

a. 预拼装中所有构件应按施工图控制尺寸，各杆件的重心线应交汇于节点中心，并完全处于自由状态，不允许有外力强制固定。

b. 预拼装构件控制基准，中心线应明确标示，并与平台基线和地面基线相对一致。

c. 所有需进行预拼装的构件，制作完毕必须经专检员验收。

1.2 涂装

1.2.1 总体工艺

钢材用于室外时，保护层应具有耐磨性和耐腐蚀性，为此，必须对钢材进行涂装。质量监管单位的监督、涂装材料的采购、涂装检查和养护工作等都对钢材料防腐涂装的质量监控有着重要影响^[3]。涂装总体工艺如图4所示。

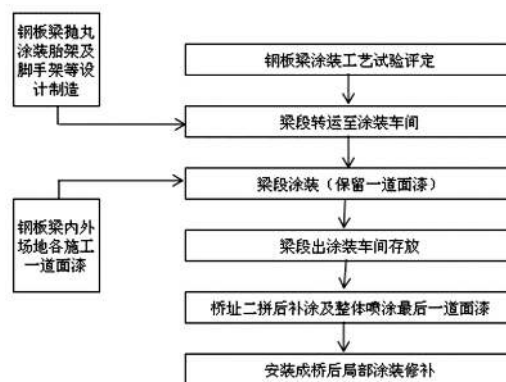


图4 涂装工艺

1.2.2 工艺试验

从工艺选用、质量检测、涂料配备、工效

进行测评,根据试验结果编制工艺性试验报告。尽早发现施工工艺中存在的问题和不足,以及潜在的风险,为涂装施工提供工艺参数、注意事项。试验如图5所示。



图5 涂装工艺试验

1.3 焊接

1.3.1 方法

焊接方法由焊接工艺评定试验进行确定,焊接方法如表2所示。

表2 焊接方法

序号	焊 接 项 目	埋弧 自动焊	CO ₂ 自动焊	CO ₂ 半 自动焊
1	拼板接料	√		√
2	主梁筋板角焊缝		√	√
3	主梁、横梁腹板与 顶、底板焊缝	√		√
4	主梁顶、底板纵缝对接	√	√	√

1.3.2 无损检验

焊缝无损检验遵循下列要求:

1) 无损检验前应对焊缝及探伤表面进行外观检验,焊缝表面的形状应不影响缺陷的检出,否则应做修磨。

2) 焊缝同时进行超声波检验和磁粉检验时,磁粉检验必须安排在超声波检验合格后进行。

3) 需多种方法检验的焊缝,必须达到各自的质量要求,该焊缝方可认为合格。

1.3.3 磨修与返修

1) 磨修要求

a. 焊后必须用气割切掉两端引板或产品试板,并磨平切口,不得损伤母材。

b. 焊脚尺寸、焊波或余高等超出规定上限

值的焊缝及小于1mm的咬边必须修磨匀顺。

c. 焊缝咬边超过1mm或焊脚尺寸不足时,可采用手弧焊修复,并修磨匀顺。

2) 返修要求

a. 采用碳弧气刨或其他机械方法清除焊接缺陷,清除缺陷时应刨出利于返修焊的坡口,并用砂轮磨掉坡口表面氧化皮,露出金属光泽。

b. 焊接裂纹清除长度应由裂纹端各外延50mm,并刨成1:5的斜坡。

c. 用埋弧焊返修焊缝时,必须将焊缝清除部位的两端刨成1:5的斜坡。

1.3.4 变形控制措施

焊缝的形成是一个连续的短时的冶金过程,在焊接过程中由于受热不均匀而引起近缝区金属的相变和塑性变形,焊接完成后焊缝收缩作用将引起变形,这种变形是客观存在的。主要从预留焊接收缩量,调整焊接顺序焊接方向,刚性约束等方法控制变形。具体控制焊接变形措施如图6所示。

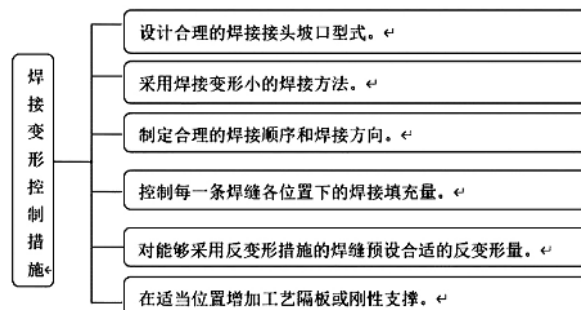


图6 焊接变形控制措施

1.4 栓接

钢板组合梁一般采用高强度螺栓进行栓接。高强度螺栓材质通常是高强度钢,特征是对预紧力的要求很高,需要施加相当大的预紧应力。高强度螺栓如图7所示。

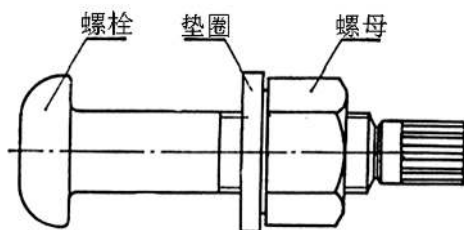


图7 高强度螺栓

1.4.1 检验

(1) 供应商应按批提交质量检验报告和质量保证书。

(2) 对进场高强螺栓进行逐批抽查验收,并做好记录。

1.4.2 保管及存放

(1) 高强螺栓在验收合格后按包装箱上的批号、规格分类存放保管,使用前严禁任意开箱、开包,以防锈蚀。

(2) 高强螺栓在运输、装卸、保管及安装过程中应轻拿轻放,不能损伤螺纹,保护好表面处理状态。

(3) 库房制定管理、领用制度,建立库存和发放登记表。

1.4.3 施拧

高强螺栓施拧时的工艺流程如图8所示。



图8 施拧流程

(1) 装临时螺栓和冲钉如图9所示,应符合下列规定:

- 不得少于安装总数的1/3。
- 不得少于两个临时螺栓。
- 钉穿入数量不宜多于临时螺栓的30%。



图9 冲钉、精制螺栓布置

(2) 高强螺栓安装

- 高强度螺栓连接副组装时,螺母带圆台

面的一侧应朝向垫圈有倒角的一侧。

- 安装高强度螺栓时,严禁强行穿入螺栓。

c. 安装高强度螺栓时,构件的摩擦面应保持干燥,不得在雨中作业。

(3) 高强螺栓初拧和终拧

a. 高强度螺栓的拧紧分为初拧、终拧。初拧扭矩为施工扭矩的50%。

b. 高强度螺栓在初拧、终拧时,连接处的螺栓应按一定顺序施拧,一般应由螺栓群中央顺序向外拧紧。

c. 高强度螺栓的初拧、终拧应在同一天完成。

2 钢板组合梁施工工艺

钢板组合梁的施工,通常采用钢梁与混凝土桥面板分步进行的方式,首先将钢梁平行架设就位,再施工桥面板。由于施工设备的不同,钢梁架设可以分为架桥机架设和汽车吊架设。

2.1 架桥机架设

2.1.1 结构组成

对于施工规模较大的钢板组合桥梁来说,最常见的施工方法就是架桥机架设。架桥机是搭建桥梁的大型起重机械,它的结构主要由主导梁、引导梁、辅助顶杆、前支腿、中支腿、后支腿、横导梁、液压系统、横移轨道、吊重行车、纵行台车、电气控制系统等组成,不同的部位有着不同的作用^[4]。前支腿如图10所示。

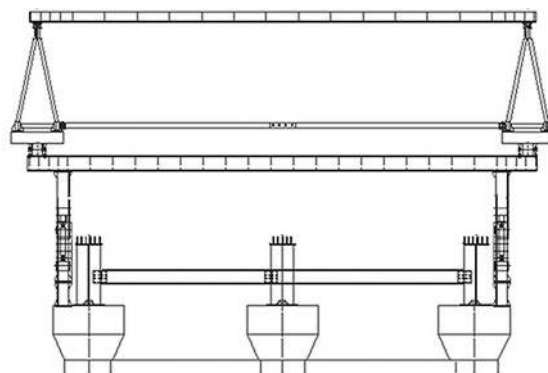


图10 架梁机前支腿结构示意图

2.1.2 架梁原理

在陆地、第一个桥墩和第二个桥墩之间,设定六个支点,然后从预制厂将预制好的梁运

至陆地和第一个桥墩之间安置,然后移动主梁放在第一个桥墩和第二个桥墩之间,通常是几片梁构成一个桥面,通过已经架好的桥面把架桥机移到第一个桥墩和第二个桥墩之间准备进行下一步的架梁,如此循环完成钢梁架设。

2.2 汽车吊架设

2.2.1 特点

汽车吊是一种行走式吊机,它将汽车和吊机相结合,可以不用组装直接工作。

(1) 优点

具有汽车的行驶速度,因此有较好的机动性和灵活性,可以快速从一个施工场地转移到另一个施工场地。进行转移和投入工作的准备时间较短,充分提高吊车利用率,工作效率高。

(2) 缺点

受地形限制,必须要求有较好的路面条件。主要适用于流动性较强的施工单位、临时分散的工地和一些露天的装卸项目中,适用范围较小。在进行吊装作业的时候,必须要将支腿放下,限制了吊车在吊装时的活动范围。维修费用高^[5]。

2.2.2 选取

吊装是组合钢板梁桥施工中关键的一环,而汽车吊又对吊装起到了重要的作用,因此必须综合分析选取合适的汽车吊。

(1) 观察现场环境

清楚汽车吊站位,空中范围有无障碍,汽车吊进退路线等。确保汽车吊能够在施工现场进出。

(2) 性能尺寸

明确吊装重物外形尺寸以及重量,清楚汽车吊的各种性能。保证汽车吊可以在吊装时正常运行。

(3) 数量

根据施工环境,确定汽车吊数量。提高工作效率,达到经济合理的目的性^[5]。

3 工程应用

3.1 架桥机应用

3.1.1 工程背景

某高速公路扩容工程中一座桥梁采用上部

结构为钢板组合梁,下部结构为柱式墩台的设计方案,跨径组合为 $3\times 35+3\times 35+3\times 35$ 。该桥所处地段为低丘山岭区,地势起伏较大,运输条件较差,因此选用架桥机架设。

结合工程实际,采用定制架桥机:钢主梁及桥面板安装采用公路 QJ35-180 架桥机,架梁机长度为 72m,架桥机主梁净开档距离 13m,采用单幅架设方法。

3.1.2 场地布置

根据安装的顺序及工序,结合现场实际情况,场地布置情况如图 11 所示。

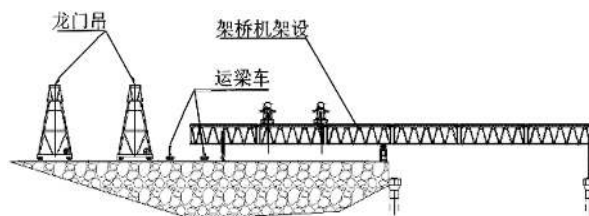


图 11 现场整体立面布置示意图

3.1.3 钢梁安装工艺流程

(1) 钢梁组拼阶段

钢梁在工厂内场制作成各构件,并经预拼装后,拆解为产品构件,经涂装报验后运至施工安装现场。在桥址现场进行胎架组拼,将纵梁及横梁通过螺栓连接成单幅整孔钢梁,钢梁组拼完成后应对钢梁组拼尺寸及预拱度的设置进行验收,验收合格后方可进行安装。

(2) 钢主梁安装

a. 主梁拼装完成经验收合格后,由 2 台龙门吊整体吊运至位于运梁轨道上的运梁小车上。

b. 运梁车沿轨道将主梁运输至架桥机下方,通过前行车起吊主梁前端,起吊位置距离主梁前端面 5.5m。

c. 前行车启动提升主梁,使主梁与前端运梁车脱离,行车与后端运梁车配合,继续移动主梁,直至主梁后端可通过行车起吊。

d. 后方行车起吊,使主梁脱离运梁车,继续移动主梁至安装位置,调整并将主梁安装到位。

e. 安装主梁顶面橡胶条(中支腿前方 2 块桥面板对应位置下方),然后通过架桥机安装 2

块桥面板，并将2块桥面板纵横向湿接缝钢筋焊接定位，将运梁车轨道铺设至桥面板位置。

f. 继续铺设运梁车轨道至已安装的桥面板位置。

g. 按照架桥机过孔方法将架桥机移动至下一孔，开始准备桥面板的安装以及下一节段主梁的安装。

安装如图12所示。



图12 安装示意图

3.1.4 桥面板安装

(1) 桥面板运输

道路运输：桥面板从堆放场地运输至钢主梁预拼装场地采用2辆平板车进行，每车每次运输1片，桥面板与平板车之间设置木方支垫。

桥面运输：桥面运输采用轨道式运梁平车，单幅设轨道两条，位于外侧钢主梁上，轨道与桥面板通过剪力钉槽钢筋进行固定。桥面板在桥面上运输时设置专人全程监护，且速度不得超过5km/h。如图13所示。



图13 桥面板运输

(2) 桥面板安装流程

第一跨钢主梁安装完成后，安装尾部的2片桥面板，采用运梁车将桥面板顺桥向运输至架桥机尾部，1#天车移动至架桥机最尾端，2#天车移动至桥面板正上方，天车落钩，安装吊具，缓慢提升桥面板，使桥面板脱离运梁车，运梁车退回。架桥机过孔完成第2跨钢主梁安装。铺设第一跨剩余桥面板以及第2跨尾部2片桥面板。以此类推。

3.2 汽车吊应用

3.2.1 工程背景

某高速公路两座桥均设计为钢板组合梁桥，上部结构为钢板组合梁，下部结构为柱式墩台，跨径组合分别为 $3 \times 35 + 3 \times 35$ ， $3 \times 35 + 4 \times 35$ 。两座桥所在地势相对平缓，方便车辆进出，适合使用汽车吊架设。

3.2.2 钢主梁预拼装

根据杆件实际情况，考虑到运输问题，工厂制造时主纵梁进行分段，需要在二次拼装场地进行二次拼装。

(1) 在拼装场地根据主梁的平面参数对各节段进行放样。

(2) 主梁预拼装时，钢主梁重心应落在混凝土或者枕木面上。

(3) 根据预拼装构件长度及重量，采用80t汽车吊拼装，工作半径10m以内，满足最大重量24.1吨起吊要求。

3.2.3 钢主梁安装

将拼装好的单根主梁吊装至墩柱上安装就位并固定，再吊装第二根主梁至墩顶，安装端横隔梁，两片梁之间形成整体，吊装第三片梁，并与第二片梁端横隔梁连接。通过25t汽车吊安装完成小横梁。以此类推进行下一孔的安装。主梁吊装如图14所示。



图 14 主梁汽车吊吊装

3.2.4 桥面板安装

(1) 桥面吊装通过卸扣连接吊耳，四个吊点四根钢丝绳，单根钢丝绳长 10m，与吊车主钩相连。

(2) 桥面板安装比主梁安装滞后两孔进行。

(3) 汽车吊在同一位置安装前方两组桥面板后再进行移位。依次完成左右幅桥面板安装。汽车吊停放至已经安装好的桥面板上，继续安装下一步桥面板。汽车吊与运梁车分别停放左右侧。

桥面板安装如图 15 所示。



图 15 桥面板吊装

4 结论与展望

4.1 结论

本文详细介绍了中小跨径钢混组合结构桥梁的工厂化制造，并且以实际工程应用为例，探讨了钢板组合梁的安装施工，目前主要的研究结论如下：

1) 工厂用专用设备生产构件，确保产品精度，使产品标准化，保证了钢结构的质量安全。并且因为工厂的大规模制造，提高了钢结构产能，可以充分供应钢板组合梁桥的建筑材料。钢结构的工厂化制造对于我国中小跨径钢混组合结构桥梁的发展有着巨大的推动作用，能够有力的促进中国钢桥的前进。

2) 使用架桥机和汽车吊安装钢板梁，一方面节省了人力成本，使经济更加合理化，一方面加快了钢板组合梁桥的施工进度，提高了工作效率。

4.2 展望

混凝土、钢两种材料构成组合结构，可以先施工钢结构部分，再施工混凝土部分，这为施工方案的比选、结构内力的优化、经济指标的合理化等提供了条件，这是组合结构最根本的特点。组合结构桥梁是未来桥梁工程可持续发展的重要方向之一，工程师们应当敢于面对挑战，勇于探索、实践。

参考文献

- [1] 张钰伯. 双主梁钢板组合梁桥总体设计与分析 [J]. 工程建设与设计, 2020, 20.
- [2] 王玉波. H 型钢自动组立机工作原理 [J]. 油气田地面工程, 2006, 41.
- [3] 罗列豪, 李建军. 钢结构桥梁防腐涂装的质量控制措施探析 [J]. 2020, 137.
- [4] 段亚军. 钢板组合梁桥施工工艺综述 [J]. 钢结构, 2019, 83-84.
- [5] 许泽旺, 杨朝晖. 钢结构安装常用吊装机械优缺点及汽车吊选用策略 [J]. 中国设备工程, 2020, 198-199.