

大跨度人行天桥工程钢箱梁施工技术

李小锋

广州市市政集团有限公司

摘要: 本文以钢箱梁施工技术为例,结合省道233线潮汕路(金湖路-潮州交界)地方配套品质提升改造工程实例,对大跨度人行天桥工程中钢箱梁施工技术操作要点进行详细阐述,并围绕钢箱梁施工期间可能出现的问题,针对性提出钢箱梁施工技术应用策略,旨在帮助施工单位建立一套完善的钢箱梁施工技术体系,推动大跨度人行天桥施工水准的不断提高,也为后续同类工程施工工作的开展提供技术参考。

关键词: 大跨度; 人行天桥; 钢箱梁; 施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.07.019

引言: 近年来,装配式钢箱梁施工技术在道路桥梁工程中应用广泛,相比早期预应力混凝土桥梁,钢箱梁桥梁具备整体性强、工艺流程简单、易于施工、抗扭系数大的显著优势,对桥梁结构性能、工程建设质量与施工效率的提升有积极的作用。与此同时,钢箱梁施工技术应用推广时间有限,施工经验有待积累,对钢箱梁施工技术的深入探讨,对整个行业发展有重要的意义。

一、工程概况

省道233线潮汕路(金湖路-潮州交界)地方配套品质提升改造工程位于广东汕头市,项目路线全长7.3km,工程建设内容由修建道路配套设施、新建污水管道、沿线新建若干公交站亭、新建3座人行天桥等部分组成。其中,人行天桥均采用连续钢箱梁结构型式,首座月兰一巷天桥桥长为48.0m、桥宽为3.5m、桥下净空为5.5m,呈“Z”字型布置;第二座阳光花园天桥桥长为49.25m、桥宽为4.5m、桥下净空为5.5m,呈“工”字型布置;第三座寨头街天桥桥长为45.5m、桥宽为4.5m、桥下净空为5.5m,呈“工”字型布置。

二、大跨度人行天桥工程中钢箱梁施工技术要点

(一) 钢箱梁制作

钢箱梁制作要考虑到钢箱梁尺寸较大,为降低制作难度,选择把各标准梁段划分为若干单元板块,由多个板单元使用配套零件进行合件处理,再将板单元合件运往现场后进行总拼装处理。

在本工程中,单个单元板块由1块顶板单元、1块底板单元和9块横隔板单元组成。在零件加工步骤,提前准备若干适当尺寸的钢板,对钢板进行除锈、下料、矫正、弯曲、边缘刨铣加工、钻孔等多项处理后制成无缝钢管、栏杆、焊钉等零配件。在板单元制作步骤,将预处理后的钢板进行下料、矫正、划线等多道处理后制成

肋板单元、横隔板单元。在分段制作步骤,采取倒装方式,将顶板单元、腹板单元等板块安装就位,使用焊接方式对各处节点进行连接,从而制成主桥纵梁结构。而在主梁钢箱梁预拼装步骤,提前制作具备足够刚度的胎架,按照特定顺序将各节段在胎架上拼装就位,全面检查预拼装钢箱梁的长度、纵向竖曲线、锚箱中心距、梁高等参数偏差是否超标,如要求工地接头处梁高偏差不超过 $\pm 2\text{mm}$ 、纵肋直线度不超过 2mm 、单段箱梁旁弯偏差不超过 5mm 。确定质量无误后,即可完成钢箱梁制作任务,将预制钢箱梁运输至工程现场^[1]。

(二) 钢箱梁运输入场

钢箱梁运输入场前要重点掌握装载方式、运输线路、入场检验三方面的技术要点。首先,在装载方式方面,一般情况下采取车辆装载方式即可,在运输车辆车厢上堆放钢梁节段,使用钢丝绳将钢梁节段固定绑扎在车厢上,设置2-3t手拉葫芦进行拉紧锁定,避免在运输期间出现钢梁节段晃动、错位、脱落问题。同时,提前检查所使用钢丝绳等材料的性能质量是否达标,禁止使用存在断股等质量缺陷的吊具,以及在钢梁节段与车厢接触面、钢梁节段与钢丝绳接触部位中摆放的橡胶衬垫进行防滑处理。其次,在运输路线规划方面,根据工程现场周边交通路况来选择最佳运输路线,重点关注沿途是否存在限高、限宽构筑物,并在运输期间严格控制车辆行驶速度,一般路况下行驶速度控制在 60km/h 内,通过管廊与铁路线等障碍物时的行驶速度不得超过 5km/h 。最后,在入场检验方面,待钢梁阶段运输至工程现场后,对钢梁节段规格尺寸、外观质量进行详尽检查,如果钢梁节段在运输期间因磕碰导致局部变形、表面漆层剥落,则根据受损程度采取相应处理措施,如在钢梁漆层剥落部位重新喷涂保护漆^[2]。

(三) 钢箱梁吊装

第一,做好吊装方案设计工作,综合分析钢箱梁规格尺寸、重量、现场作业条件等因素,以及分析吊装最不利工况,在其基础上选择吊装方法、设计临时支架结构型式、明确主桥阶段划分方法与设置主节段吊点。在本工程中,最终选择使用双拼调节管、斜撑、立柱、 20mm 钢板、横撑等配件搭建临时支架结构,将主桥划分为三个节段,在各节段中均设置吊耳,并在现场配置 150t 汽车吊作为吊车。

第二,为保证作业安全,在工程现场组织开展试吊作业,划定试吊区域,清理区域内分布的障碍物与所堆

放物资材料，禁止无关人员滞留现场。随后，在钢箱梁节段上安装吊环吊具，缓慢将钢箱梁起吊至地面上方0.5m处，观察吊具情况与钢箱梁状态稳定程度，如果出现钢丝绳断股、吊具破损、钢箱梁过幅晃动等问题，则需要对吊装方案进行调整，直至钢箱梁试吊期间无异常问题。

第三，待前期准备工作完成后，封闭工程现场周边区域道路交通，施工区域外围搭建硬质围挡，测量人员参照施工图纸在现场测量支座顶标高、各孔跨径和支座中线，将测放成果作为施工参照。在现场搭建临时支架起到支撑作用，在钢箱梁节段四角焊接吊耳、连系绑扎钢丝绳，操纵吊车将钢箱梁节段按照指定线路吊装至安装面上方0.5m处，待钢箱梁节段就位后悬停，恢复平稳状态后对钢箱梁水平位置与垂直度进行测量调整，再将钢箱梁节段缓慢下落就位，保持钢梁支座线和柱顶定位线对准状态，将钢箱梁临时连接，在松钩过程中重点观察支架、墩柱、钢箱梁本体是否出现变形情况，确定安全后完全卸载、摘钩卸绳。重复上述操作，完成剩余钢箱梁节段吊装、固定连接作业，以及对接口进行焊接连接、打磨补漆，即可拆除临时支架，完成钢箱梁吊装作业^[3]。

（四）钢结构焊接

在钢结构焊接环节，一般情况下在地面组织开展焊接作业。首先，清理钢箱梁结构表面附着的灰尘油污、氧化皮以及残留锈迹等污染物，保持钢箱梁表面光滑、平整、洁净与干燥状态，并将焊接材料准备就位，检查焊材质量是否达到作业要求，禁止使用烘干箱取出时间超过4h、夹杂熔渣与杂物焊剂。其次，明确焊接顺序，由焊接人员按照提前测放的中心线与基准点开展定位焊，再按照从中心到外、左右两侧对称顺序完成剩余焊接作业，以此来提高作业效率。再次，重复检查定位焊质量、母材与坡口表面光洁程度、焊接环境湿度与母材温度是否达标，必要时使用电加热方法对母材进行预热处理，对定位焊缺陷破损部位进行修补处理。最后，确定无误后，对正式开展焊接作业，在首道焊层施焊完毕后，清理焊缝表面飞溅物与熔渣等杂质，重复上述操作，直至完成全部焊层作业后，清理完工焊缝表面熔渣，检查焊接质量是否达标，如果存在焊接裂纹、夹渣等质量缺陷，则对缺陷焊缝进行补焊处理，补焊次数不得超过2次。

此外，定位焊作为钢结构焊接技术的重中之重，要求焊接人员正确掌握定位焊操作方法与注意事项。在施作定位焊时，提前检查焊缝是否存在裂纹、焊瘤等质量缺陷，查明缺陷原因后，采取相应处理措施，避免后续出现母材咬边或是弧坑等工艺问题。随后，全面清理焊缝熔渣，重复施作多道定位焊，在端部过度部位施作台

阶来渐变过渡。最后，把定位焊长度与间距分别控制在50-100mm、400-600mm区间内，最小定位焊焊脚尺寸保持在4mm以上但不超过1/2设计焊脚尺寸，在定位焊构件起始端时与焊缝端部保持不小于30mm的间距，预防交叉焊缝应力集中问题出现^[4]。

（五）整体安装

待各节段钢箱梁安装就位、固定连接与施焊完毕后，即可进入整体安装环节。施工人员操纵千斤顶等设备将钢箱梁托起一定高度，取出提前放置的垫块，将钢箱梁位置调整完毕后缓慢下放在设计支座上方，要求提前在箱梁底部和桥墩垫石接触部位设置保险装置，并采取对称卸载方式将钢箱梁放置就位，避免钢箱梁出现卸载步调不一致、改变受力状态等问题。同时，严格控制整体安装时间，如果钢箱梁长时间保持悬空状态，容易出现焊缝开裂等质量问题。

三、大跨度人行天桥工程中钢箱梁施工控制策略

（一）做好前期准备工作

在大跨度人行天桥工程中，钢箱梁施工是一项综合性活动，涉及班组调配、机具设备调配、施工组织、场地规划等诸多方面。为保证钢箱梁施工作业得以顺利开展，最大限度减小各方面因素对施工精度、作业效率造成的影响，必须做好前期准备工作。

例如，在生产场地规划方面，本工程在现场规划钢板堆放区、板单元装配区、吊装作业区、打砂涂装区等多个功能区域，根据施工要求来计算各区域最佳面积，如钢板堆放区规格为20m*60m、打砂涂装区规格为22m*56m。在机具设备配置方面，准备20t桥式起重机、200t液压平板车、50t牵引平板车、50t与70t门式起重机等作为起重运输设备，准备DNA03水平仪、WS-A3温度计、TCR2003全站仪、HM-5 AX220多用磁粉探伤仪、DC-7000露点测试仪等作为检测设备。而在材料准备方面，按照设计图纸与钢箱梁分块方案来编制材料采购清单，明确规定各类材料的尺寸要求与性能指标要求，以及在材料入场环节按规定开展复验工作，检验通过后方可办理入场验收手续、在现场入库堆放保存。以焊接材料检验为例，重点检查药芯焊丝材料的熔敷金属化学成分、屈服强度、冲击韧性与抗拉强度，检查实芯焊丝材料的化学成分及熔敷金属机械性能，检查CO₂保护气体纯度是否达标，检查陶瓷衬垫外观质量与配套熔敷金属机械性能^[5]。

（二）钢箱梁涂装处理

在大跨度人行天桥投运使用期间，随着时间推移，钢箱梁结构持续受到外部环境侵蚀，如空气所含水分、雨水侵蚀，逐渐出现钢箱梁结构腐蚀问题，导致结构老化速度加快，结构性能全面降低。因此，为延长大跨度人行天桥实际使用寿命，预防结构腐蚀问题出现，必须

在钢箱梁制作、吊装、整体安装等工艺环节中采取涂装处理措施，在钢箱梁结构表面均匀覆盖一层防腐保护层，通过阻隔钢箱梁结构本体与外部环境接触方式起到防腐保护作用。

另外，钢箱梁涂装处理要应重点掌握钢材表面处理、喷砂磨料、表面涂装、涂层损伤修复四方面的操作要点。首先，在钢材表面处理方面，清除钢材表面灰尘污渍、残留锈迹，在钢材洁净表面上喷涂一遍底漆，并在钢箱梁现场焊接前进行二次除锈清理，要求钢材表面无可见油迹、无可见杂物。其次，在喷砂磨料方面，优先采取金属喷砂磨料方式，以铜矿渣作为磨料，根据表面粗糙度要求来选择磨料粒度及形状，待磨料烘干后即可对钢板材料进行喷砂处理。同时，也可选用非金属喷砂磨料，按照1:10比例混合搅拌磨料与蒸馏水，所制备溶液pH值保持在5以上，并达到GB/T17850（ISO11126）标准要求。第三，在表面涂装方面，根据涂装部位来选择处理方法，如在处理箱梁外表面时，提前对表面进行喷砂处理，涂刷1遍灰色环氧封闭漆作为封闭涂层，涂刷1-2遍环氧云铁其作为中间涂层，最后涂刷1遍丙烯酸脂肪族聚氨酯面漆作为面层，把总干膜厚度控制在280 μm左右。而在处理钢箱梁与混凝土结构接触面时，提前对钢箱梁表面进行喷砂处理，涂刷1遍环氧厚浆漆作为中间漆层，再涂刷2遍丙烯酸脂肪族聚氨酯面漆作为面漆层，把总干膜厚度控制在240 μm左右^[6]。第四，在涂层损伤修复方面，考虑到在钢箱梁现场转运、吊装期间不免出现摩擦磕碰问题，导致表面涂层剥落，需要按照损坏程度、部位采取修复措施，如在钢材表面形成刻痕时将缺陷处打磨喷砂处理，在钢箱梁表面仅涂膜破损时则使用相同涂料进行喷涂修复即可。

（三）钢箱梁制造精度控制

钢箱梁制造主要存在分段精度偏低、板单元几何尺寸偏差较大、总拼装线型偏差大的问题，导致后续所拼装钢箱梁结构存在明显偏位、错位问题，形成质量安全隐患。对此，施工单位必须重点提高钢箱梁制造精度，围绕实际制造难点来采取精度控制措施。例如，对于分段精度，提前在分段长度上预留一定比例的切割冗余量，如果成品构件总拼连接精度不达标，则对构件进行二次切割处理。对于板单元几何尺寸精度，使用辊板及对钢板重复多次进行辊平来消除残留内应力、严格检查肋板外形尺寸偏差是否超标、使用专用胎架来组装I形肋、使用反变形胎架在纵横向中预留适当焊接补偿量。而对于总拼装线型精度，则提前使用BIM等数据化工具进行模拟拼装，根据模拟结果来发现问题并加以解决，同时，在拼装期间还需要使用纵横基准线来定位钢箱梁。

（四）施工安全保证

相比于其他类型建设工程，大跨度人行天桥工程有着工期时间紧张、场地环境复杂、四周道路处于通车状态、工艺流程繁琐、交叉作业频繁的施工特点，存在较高的作业风险系数，稍有不慎便会出现机械伤害、物体打击、钢箱梁脱落失稳等安全事故。施工单位必须根据工程实际情况来采取多项安全保证措施，提前识别现场存在的施工危险源与安全隐患，根据安全隐患形成原因来采取相应控制措施，做到对症下药。例如，在钢箱梁吊装环节，在作业区域四周搭建强遮挡设施与摆放施工警示标志，禁止无关人员滞留现场，验算临时支撑结构强度与承载能力是否达标，根据现场情况来规划吊装线路并清理沿途障碍物，禁止在风力等级超过5级的情况下开展吊装作业，以此来预防高处坠落事故发生。而在钢箱梁焊接环节，如果在桥上露天开展焊接作业，需要根据当地天气条件来选择作业时机，优先在环境气温不低于5℃、空气湿度在80%以下情况下开展露天焊接作业，如果现场风力等级超过5级，或是出现雨天，则禁止开展露天焊接作业，预防人员触电等安全事故出现。

此外，为应对可能出现的安全事故，最大限度减少事故损失，还应提前编制应急处置预案，确定现场负责人、应急处理程序、救援方式与范围。例如，当工程现场出现一般伤害事故时，由现场人员大声呼救，判断是否具备紧急施救条件，待方案确定后立即开展现场救援工作，并在事后调查事故起因。

四、结语

综上所述，为保证大跨度人行天桥工程施工活动得以有序开展，顺利实现预期建设目标。施工单位务必提高对钢箱梁施工技术的重视程度，明确钢箱梁结构工艺流程，严格把控钢箱梁制作、钢箱梁运输、钢箱梁吊装、钢结构焊接与整体安装五道核心工序的作业质量，积极落实前期准备、钢箱梁涂装处理、钢箱梁制造精度控制、施工安全保证等控制策略，为工程建设质量提供有力技术保障。

参考文献

- [1]高志辉. 钢箱梁施工技术在大跨度人行天桥中的应用研究[J]. 福建建材, 2019(04): 85-86+97.
- [2]连海建. 斜交河道的大跨度钢箱梁悬臂拼装技术[J]. 建筑施工, 2020(01).
- [3]曹良海. 大跨度公路桥梁工程中钢箱梁的施工技术[J]. 产业创新研究, 2022(06): 111-113.
- [4]黎洪谷. 跨城市道路桥梁钢箱梁施工技术要点[J]. 建材与装饰, 2018(26): 275-276.
- [5]李洪. 道路桥梁钢箱梁施工技术及其方案优化[J]. 黑龙江交通科技, 2019, 42(04): 145-146.
- [6]张磊. 市政桥梁钢结构箱梁施工技术探讨[J]. 工程机械与维修, 2021(05): 76-77.