

城市核心区高架桥梁悬臂拼装施工关键技术

周 浩

[中交三航第一工程(上海)有限公司, 上海市 201315]

摘 要: 悬臂拼装技术广泛应用于大型桥梁的建设中,是预制装配式桥梁实现标准化生产的关键技术之一。马来西亚 DASH 高架桥项目位于城市核心区,空间位置相对复杂,面临施工作业面狭小、小曲线半径以及立体交叉等施工难点。综合考虑该桥结构特点以及工程施工条件,首先借助软件确定了预抬高的线形控制方法,并通过三次样条曲线法进行纠偏,实现了预测线形与实测线形的基本吻合。其次通过设置湿浇带来消除现浇梁段与预制梁段的施工误差和混凝土收缩徐变的问题。最后,开发了一种新型吊装辅助装置,可实现节段悬空精调、固定、湿接缝三位一体施工,更加契合了城市核心区的施工需求。

关键词: 悬臂拼装;线形控制;新型吊装辅助装置;城市核心区

中图分类号: U445.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)12-0175-04

0 引 言

交通是影响一个城市形成与发展的必要条件,尤其是对于人流量大、建筑物密集且街道又难于拓宽的城市核心区而言,良好的道路交通愈发重要。为避免与城市现有公路、铁路、轨道等线路平面交叉,高架桥已然成为城市核心区疏散交通密度、提高通行效率的重要选择。节段梁预制悬臂拼装施工技术是将梁体沿纵桥向划分为若干节段,在预制场预制节段后运送至桥位处,利用起重设备逐节段地将预制块起吊并安装就位,然后用环氧树脂胶粘剂或混凝土进行节段的接缝处理并施加预应力,使各梁段连成一个整体的施工方法^[1]。该施工方法因具有工效高、作业面少、施工安全、环境污染小以及对城市既有道路交通影响小等优点,而被广泛应用于城市高架桥梁的建设中。

近年来,节段梁预制悬臂拼装技术一直是学界研究的热点,学者们围绕该技术做了大量研究。曹虹等主要阐述了复杂工况下大跨度连续梁的悬臂拼装关键技术,创造性地提出了单 T 构悬臂拼装工艺^[2]。曾雷等通过分析线形控制的计算公式,提出计算预测和 3D 图形预测相结合的控制线形的方法^[3]。魏雪萍等提出基于组合赋权的灰色聚类综合评价模型,用于评价悬臂拼装中的安全风险^[4]。这些研究大多围绕悬臂拼装施工中的关键技术以及施工中的风险评

价展开,为本研究提供了丰富的借鉴成果。但该技术相对复杂,对具体的施工实践要求较高,尤其是针对城市核心区的施工实践研究涉及较少。鉴于此,本文以 DASH 高架桥项目为背景,针对节段悬臂拼装的线形控制、接缝处理、架设辅助装置选择等问题,提出契合城市核心区建设要求的施工工艺。

1 工程概况

DASH 高架桥项目位于马来西亚雪兰莪州八打灵再也市,距离吉隆坡市区 20 min 车程,是马来西亚陆路交通局为改善日益增长的车流量所导致的交通拥堵现状而实施的重要工程。该项目是在城市现有的三层立交上方加建两层,共计七条匝道的大型互通立交,最终完成五层六向二十条道路的地标性大型互通立交。线路总长度为 4.1 km。A 和 D 匝道主跨均采用预制箱梁悬臂拼装结构,见图 1。

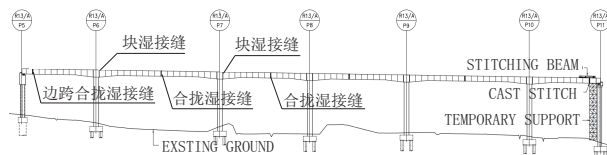


图 1 全桥梁段示意图

梁体采用单箱单室变截面结构,桥墩采用单墩,桥墩处墩梁固结,桩基础采用 $\phi 1.8\text{ m}$ 的钻孔灌注桩,梁体混凝土等级为 C60。桥梁高度在 30~34 m 之间,A 匝道主跨长度为 259.93 m,共 90 个节段,D 匝道主跨长度为 182.94 m,共 54 个节段。A、D 匝道结构形式基本一致,本文以 A 匝道为例进行施工分析。A 匝道为 38 m+63 m+46 m+49 m+63 m+36 m 的 6 跨

收稿日期: 2022-06-28

作者简介: 周浩(1991—),男,学士,工程师,从事桥梁施工工作。

连系梁,梁高 1.8~2.5 m 渐变,顶板宽度为 8.1 m,底板宽度为 4.1 m,悬臂长度为 1.565 m,顶板厚度为 225 mm,底板厚度范围为 225~525 mm,单个节段长度为 3~3.5 m,其中 0 号块底板厚度最厚,块段重量最重在 60 t 以上。桥梁位于既有匝道之间的缝隙内,既节约空间,也简洁美观。线路位于缓和曲线段,横坡为 $-5\% \sim +3\%$,变化幅度为 8%,纵坡为 $-3\% \sim +2.5\%$,变化幅度为 5.5%,横坡和纵坡均通过箱体空间扭曲调整,而非通过调整桥面铺装层厚度进行调整,这样虽然可以减轻桥梁自重,提高结构美感,但是增加了节段预制和拼装难度。A 匝道预制节段箱梁块段标准断面,见图 2。

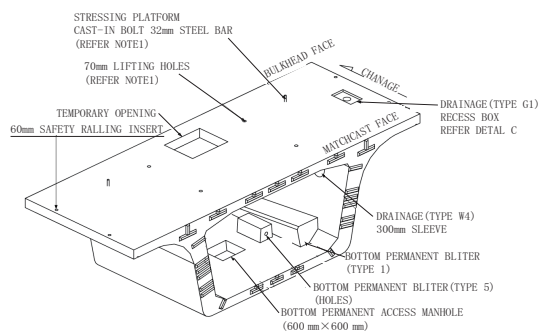


图 2 A 匝道预制箱梁标准块段三维图

2 拼装线形控制

箱梁施工空间线形和姿态控制的重点在于节段预制的精度及未预制梁段的纠偏,由于预制和拼装的误差使得已安装节段实际空间线形和姿态与设计存在一定偏差。因此,应对已架梁段的实际坐标及高程进行测量,然后结合计算机软件进行计算,通过对未预制节段修正使箱梁空间线形和姿态得到有效控制。

2.1 控制点的布置及应用

在实际施工过程中,为有效测量待浇梁段并匹配梁段的平面位置和高程,每一预制梁段均须设置 6 个控制观测点,其中 4 个为高程控制点,2 个为中轴线控制点。沿节段中心线的 2 个测点(FH, BH)用来控制节段平面位置,而沿横桥方向设置的 4 个测点(FL, FB, BL, BR)用以控制节段高程,见图 3。在节段预制时,需要将绝对坐标转换成预制场局部坐标,通过预埋的控制点形成左、中、右 3 条控制线,在安装过程中也利用这 3 条控制线来实际控制桥梁成桥后的横坡、中线偏位、高程等相关施工参数。

2.2 节段误差的修正方法

在实际施工过程中,平面和高程的误差可以通过实际计算,由下一个即将预制的节段进行纠偏,

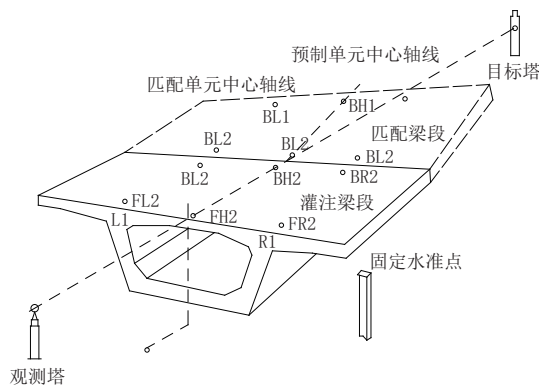


图 3 测量控制点布置图

具体纠偏方法可采取三次样条曲线法修正,通过 1、2、 i 、 k 等节点模拟出一条理论三次样条曲线,并保证边界节点和理论控制线有相同的切线斜率,用修正后的三次样条曲线进行替代,修正夹角 β_1 得到改善后的 β_1' ,但是任何纠偏都不允许超过规范要求的 β_{max} ,如果超过则证明一个节段无法完全达到纠偏目的,需要通过后续几个节段进行平差来解决该问题,见图 4。

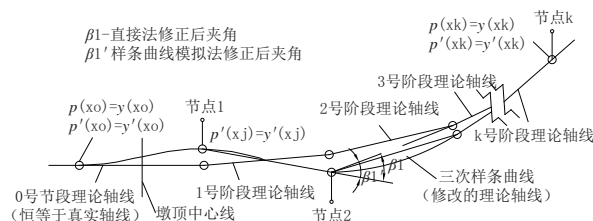


图 4 平面误差控制示意图

节段悬臂拼装几何控制的过程就是检验预制几何控制精度的过程,主要通过试拼、测量、验证等方法检测,必要时采取纠偏措施以保证目标线形的顺利实现。

3 接缝类型的比选

通常,预制节段拼装桥梁不同部位有不同的接缝类型,0 号块和 1 号块之间采用钢筋混凝土湿接缝,其他节段之间采用干或者胶接缝,见图 5。

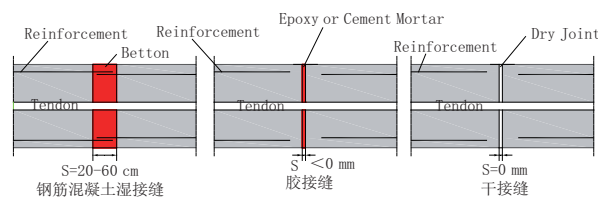


图 5 三种常用接缝类型图

0 号块和 1 号块之间采用钢筋混凝土湿接缝已经成为行业共识,但是节段之间采用干接缝还是胶接缝至今仍然存在相当大的争议,两种接缝从设计角度来讲都是满足要求的。但是在《AASHTO GSCB for the Design and Construction of Segmental Concrete

Bridge》规定,干接缝严禁用于渗水可能产生冻胀的位置。此外,该规范的规定仅允许在带有体外预应力钢束的结构中使用干接缝,因为在穿过接缝的位置存在渗水腐蚀内部预应力钢束的风险。相较于胶接缝,干接缝可以节约环氧树脂材料和临时张拉设备的成本,也不受天气和温度的限制,从而节约工期。胶接缝的使用有助于预制节段的对齐,还可以填充小空隙,从而消除应力集中位置的高接触压力。内部有预应力钢束的桥梁应当使用胶接缝,以保护预应力钢束不受水和其他腐蚀剂的侵入,从而提高桥梁的耐久性。

综合考虑马来西亚常年高温多雨的气候条件以及落水管在内部的桥梁结构,为防止可能出现的渗水导致预应力钢束被锈蚀对桥梁整体耐久性的影响,DASH 高架桥项目采用组合剪力键+AB 混合型环氧树脂的接缝处理,并在施工过程中采用精轧螺纹钢施加临时预应力。

4 悬臂拼装设备创新

DASH 高架桥项目地处城市核心区,施工作业需要在多条既有道路的上方进行,但每天仅有 3~4 h 的封路时间,导致有效施工时间大大受限。地面可作业范围内管线众多,严重影响了大型设备的停放位置,无法采用满堂支架或专用架桥机进行施工。综合考虑施工安全、环境保护等问题,项目开发了一种原理类似于现浇连续梁挂篮的可前后、左右、上下六坐标制动的吊装辅助装置,来实现 1 号节段悬空精调、固定、湿接缝三位一体施工,见图 6、图 7。该吊装辅助装置的应用既减少了大型汽车吊使用台班数,又降低了对城市既有道路交通的影响,具有良好的社会效益和经济效益。

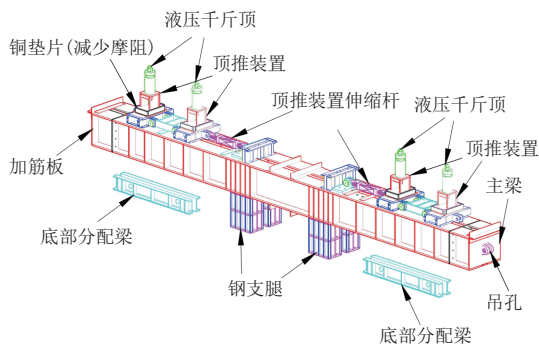


图 6 吊装辅助装置示意图

加之上文所述预制、安装线形控制的重要性,可以看出后续匹配梁段的安装累计误差大小及合拢精度很大程度上取决于1号块吊装的精度,而不管是



图 7 吊装辅助装置现场安装图

汽车吊或者专用架桥机都很难实现六向毫米级误差精调及固定。

4.1 吊装辅助装置的使用原理

采用吊装辅助装置吊装 1 号块,不仅可以提高 1 号块吊装的精度,也可以消除现浇 0 号块和预制 1 号块之间的误差,为后续匹配梁段安装精度提供有力保证。通过汽车吊吊装及吊装辅助装置上千斤顶和伸缩杆的相互配合,可将块段吊装在正确位置并加以固定。缩减了大型吊装设备在现场的停放时间,避免因长时间停放大型设备导致的交通拥堵。

吊装辅助装置的精确定位主要通过横向伸缩杆和竖向千斤顶来实现(见图 8、图 9)。总体顺序是:粗调横向位置→精调竖向位置→再精调横向位置,最终实现块段的精确定位。在正式吊装前,先将水平伸缩杆调节到预定位置,块段起吊到适当位置时,通过竖向精轧螺纹钢将块段与吊梁连接。伸缩杆的可调节范围为 0~23 cm,精调范围为 0~4 cm。

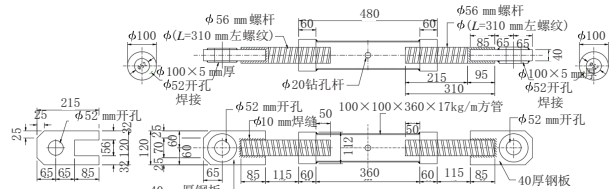


图 8 横向调节机构(单位:mm)

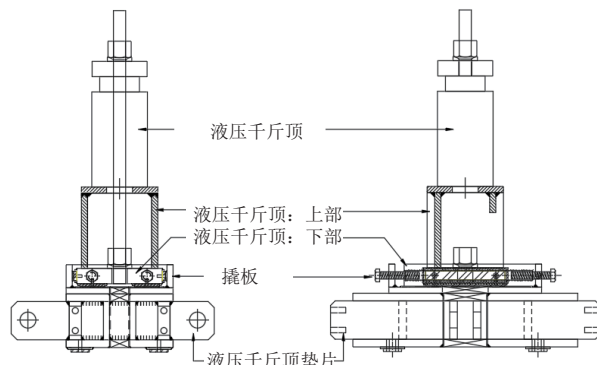


图 9 竖向调节机构

4.2 1号块吊装施工步骤

步骤一：现浇 0 号块在浇筑混凝土之前，在图纸

指定位置预留吊装辅助装置后锚固精轧螺纹钢套管。根据线形控制需要,在顺桥向中轴线两侧各埋置 2 根套管,预埋套管孔径一般为精轧螺纹钢直径的 3 d,以便于安装吊装辅助装置时对平面位置进行微调。

步骤二:0 号块浇筑完成后,将事先拼装好的吊装辅助装置整体提吊至 0 号块上,并将钢垫片安装就位。钢垫片为箱型加筋结构,上下留 8 个椭圆孔,目的是为调节钢垫片与 0 号块预埋螺栓及钢垫片与吊梁主体的连接位置,吊梁至准确位置。

步骤三:1 号块在预制时应在梁顶预留钢吊架的预埋孔。将 1 号块从预制场运输到现场后,通过汽车吊先在梁顶安装钢吊架,所有准备工作完备后,通过汽车吊将 1 号块喂送至吊装辅助装置的悬臂下方约半米处,工人利用 10 t 手拉葫芦进行横坡粗调,然后将吊装辅助装置悬臂处下吊的 4 根精轧螺纹钢与 1 号块梁顶的钢吊架连接锁紧,此时 1 号块和梁墩形成受力体系转换,汽车吊可以缓缓降低吊重直至最后松钩。同理,平衡反吊另一侧的 1 号块,形成平衡重。吊装正视、断面见图 10、图 11。

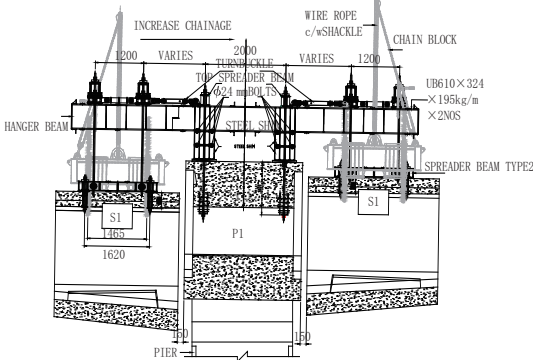


图 10 吊装正视图(单位:mm)

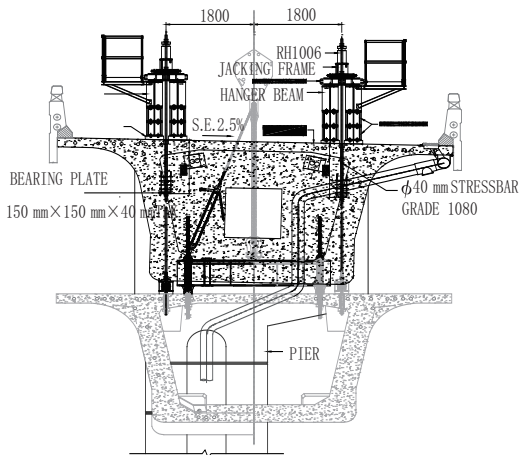


图 11 吊装断面图(单位:mm)

步骤四:考虑到封路时间限制,一般在当天晚上完成吊装后即立刻解除封路,减少对现有交通的影

响。夜间施工也不利于 1 号块的精确对位,一般在次日白天安排专人进行精调。通过水平伸缩杆拉紧到设计位置,保证 0 号块与 1 号块之间的湿接缝宽度在 150 ~ 200 mm 之间。匝道桥处于缓和曲线处,既有纵坡又有横坡,块段横纵坡通过吊装辅助装置上不同点位的液压千斤顶调节精轧螺纹钢来实现块段空间扭曲,从而将块段的横纵坡调整到设计要求。由于调节了块段的横纵坡,湿接缝的宽度会随着横纵坡的调整而产生细微偏位,此时可通过再次微调横向伸缩杆将块段调整到位。最后张拉 2 根顶部、2 根底部精轧螺纹钢,张拉力分别为 65 t、35 t。

步骤五:立模板,浇筑湿浇带混凝土,养生至设计强度。

步骤六:待湿浇带混凝土达到设计强度后,对预应力钢束放张及张拉,放张、张拉要注意先后顺序,逐个、分阶段进行放张、张拉。

预应力张拉顺序见表 1。

表 1 预应力张拉顺序

阶段	施工项目
第 1 施工阶段	湿接缝混凝土达到设计强度后,放张再张拉顶部、顶部精轧螺纹钢,张拉力为 65 t、35 t
第 2 施工阶段	缓慢从机械吊篮上释放竖向精轧螺纹钢,直至两个块段与机械吊篮没有约束
第 3 施工阶段	张拉 C1 号钢绞线至设计值

5 结 语

本文分析了 DASH 高架桥项目箱梁节段拼装过程中的施工重难点,并围绕线形控制、接缝选型、机械吊篮使用等方面展开重点研究,通过理论计划、BIM 建模、有限元分析法得出以下结论:

(1)位于缓和曲线段的小曲率半径的箱梁节段拼装,借助三次样条曲线法和调整 0 号块与 1 号块之间的湿接缝宽度,可以达到很好的纠偏效果。

(2)东南亚高温多雨的气候条件下,应该使用环氧树脂形式的胶接缝,剪力键与结构本体一起浇筑,既可以提高接缝的抗剪能力,又有利于悬拼过程中的对齐。在施工过程中,结构在静力系统、支承、荷载和体外预应力大小等方面会发生变化;在恒载和活载下,整个截面保持不压缩。

(3)相较于常规的架设方案,该项目六向坐标灵活调节的新型吊装辅助装置更加契合城市核心区的施工需求,既有助于线形控制,又大大降低了既有道路交通对施工作业限制,具有良好的社会效益和经济效益。

(下转第 182 页)

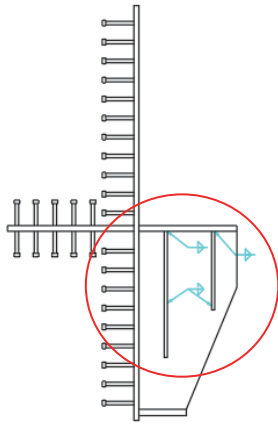


图 9 托架劲板与上承板、腹板焊缝建议

4 结 语

对于索塔采用钢锚梁-钢牛腿形式的锚固结构,锚梁下盖板与牛腿上承板结合面组拼间隙及锚索孔精度控制一直是工厂质量控制的难点。制造中

采用仿形切割、锚孔直径和连接方式优化、相关件组装精度控制等措施提高了锚索孔精度;采用托架单元整体机加工、坡口优化及焊接变形控制等措施保证了锚固结构连接面接触率。相比传统工艺不仅能提高整体精度,也降低了制造难度,在成本控制方面发挥了重要作用,为类似结构制造提供参考。

参考文献:

- [1] 周旭红.斜拉桥钢-混凝土组合索塔锚固结构[R].长沙:湖南大学,2016.
- [2] 王斌.钢-混凝土组合截面斜拉桥索塔锚固区域受力分析[J].城市道桥与防洪,2014(8):88-92.
- [3] 苗通,孙蕊鑫.钢锚梁式钢-混组合索塔锚固结构体系设计与分析[J].广东公路交通,2015(2):11-13.
- [4] 邵旭东,何东升,李立峰.钢锚梁-钢牛腿组合结构水平受力机理试验[J].中国公路学报,2014(4):55-57.
- [5] 岳莹,黄峰.荆岳长江大桥钢锚梁制作工艺[J].钢结构,2009(7):70-72.

(上接第 178 页)

参考文献:

- [1] 魏明.节段预制拼装桥梁适用条件及若干关键技术研究[D].南京:东南大学,2016.
- [2] 曹虹,孙九春,薛武强.复杂工况下大跨度 U 形梁悬臂拼装关键技术研究[J].公路,2022(4):141-146.
- [3] 曾雷.短线匹配预制梁悬臂拼装线形控制研究[J].铁道建筑技术,2016(8):10-13,18.
- [4] 魏雪萍,郝伟,王伟,等.节段预制悬臂拼装梁施工安全风险评价[J].中国安全生产科学技术,2020,16(7):131-137.
- [5] AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).Guide specifications for design and construction of segmental concrete bridges[Z].2003.
- [6] P Bujnakova.Construction of precast segmental box girder bridge[J].IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,2018,385(1):13-15.