

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.05.045

超宽混凝土桥面板横向分块浇筑施工研究

台晓晓

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063)

摘要: 超宽混凝土桥面板是桥梁工程中的关键部位之一, 其横向分块浇筑施工是提高桥面板质量的关键因素。结合一座宽 61.7 m 的超宽桥梁, 采用 MIDAS FEA 有限元软件建立混凝土桥面板横向分块浇筑施工模型, 分别对横向分 2 块浇筑、横向分 4 块由外向内浇筑、横向分 6 块由外向内浇筑、横向分 6 块先浇筑最外侧再浇筑最内侧最后浇筑中间块, 4 种施工方案进行计算对比, 得到最佳施工方式为半幅横向分 4 块由外向内浇筑, 与实际现场施工时采用的施工方法一致。

关键词: 超宽桥面板; 横向浇筑; 横向分块; Midas FEA

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)05-0189-05

0 引言

随着交通运输的不断发展和城市化进程的加速, 大跨径、超宽桥梁的建设越来越多地被采用, 钢混组合梁桥因其兼具混凝土桥和钢桥的优点, 其应用越来越广泛^[1], 超宽混凝土桥面板也成为了桥梁建设中的重要组成部分。钢混组合梁的施工一般是先架设钢主梁, 再以钢梁为支撑施工混凝土桥面板。然而, 在实际的施工过程中, 超宽混凝土桥面板的横向浇筑面临着系列技术难题。一是混凝土的流动性较差, 容易产生温度裂缝等质量问题^[2]; 二是养护措施不当, 容易引起混凝土龟裂和表面开裂等质量问题^[3]。若横桥向一次性浇筑大体积混凝土不仅大大增加施工难度, 而且直接影响结构安全。

因此探究超宽混凝土桥面板横向分块浇筑顺序施工的可行性和优化方法, 具有重要的理论和实践意义。国内已有许多学者和工程师对混凝土桥面板浇筑技术进行了研究和探索。丁滨阳等^[4]通过 4 种混凝土浇筑方法的对比得出采用皮尔格法铺装桥面板时, 钢混组合梁的负弯矩区拉应力最小, 能够控制裂缝宽度。李林^[5]结合南宁金东大桥钢桁梁悬索桥的混凝土桥面板架设施工, 得出了纵向由跨中向桥塔方向吊装、横向由小块到大块逐渐过渡的安装方式。国外的研究主要集中在浇筑材料的选择、抗裂性能和施工成本等方面。例如, Mohamed Abokifa 等^[6]

研究了聚甲基丙烯酸甲酯聚合物混凝土 (PMMA-PC) 和超高性能混凝土 (UHPC) 在桥面板湿接缝运用上的对比, 结果表明, PMMA-PC 和提出的接缝细节可以成功地用于桥面现场接缝, 其性能与 UHPC 现场接缝相当。虽然 UHPC 的使用改善了混凝土的力学性能, 但由于高材料成本, 特殊的固化要求等因素, 并没有被广泛使用。

然而, 目前对于超宽混凝土桥面板横向分块浇筑顺序施工的研究尚不充分。因此, 本文旨在研究超宽混凝土桥面板横向分块浇筑顺序施工的可行性和优化方法。通过对一座超宽自锚式悬索桥的桥面板横向浇筑施工方案进行探讨, 对比分析, 得出对钢梁和混凝土桥面板影响最小的施工方案, 具有一定的实用性和推广价值。

1 工程概况

背景工程为济南凤凰黄河大桥^[7-8], 为一座三塔自锚式悬索桥, 大桥主梁为钢混组合梁结构, 梁高 4 m, 标准段全宽 61.7 m, 桥梁设双向 8 车道, 预留双线轨道交通实施空间, 并设非机动车道和人行道。主桥横新面具体布置为: 1.75 m (人行道)+3.0 m (非机动车道)+0.5 m (防撞栏杆)+15.5 m (机动车道)+0.5 m (防撞栏杆)+4.5 m (锚索区)+10.2 m (远期预留轨道交通)+4.5 m (锚索区)+0.5 m (防撞栏杆)+15.5 m (机动车道)+0.5 m (防撞栏杆)+3.0 m (非机动车道)+1.75 m (人行道)=61.7 m^[9]。主跨标准断面见图 1。

主桥桥面板为钢筋混凝土结构, 在两侧车行道

收稿日期: 2023-07-03

作者简介: 台晓晓(1992—), 女, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

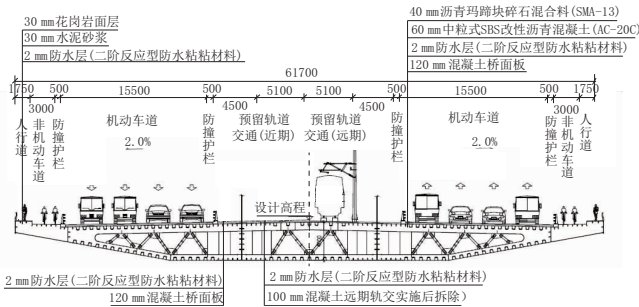


图1 主跨标准断面(单位:mm)

16.5 m 及缆索区 4.5 m 范围设置,采用 C60 低收缩混杂纤维混凝土,板厚 120 mm,现浇施工。钢板与混凝土间设置剪力钉将两者连接成整体。

桥面板钢筋紧靠焊钉布置。其中纵向钢筋均采用 22 mm 直径,双层布置,间距为 120 mm。横向钢筋采用 16 mm 单层布置,横向悬臂根部锚拉板范围增强为两肢一束布置,标准间距为 120 mm。锚拉板范围的横向钢筋锚固至锚拉板上的开孔板。

剪力钉采用 $\Phi 16$ mm 圆头焊钉,高度 90 mm。除吊索附近焊钉纵向间距加密至 240 mm、腹板附近焊钉横向间距加密至 240 mm、横隔板附近焊钉纵向间距加密至 240 mm 外,标准段焊钉间距纵横向均为 360 mm(横 \times 顺)。

2 桥面板横桥向浇筑有限元模型

由于横桥向分块研究需要进行横向的单元划分,需要建立有限元精细化模型。本文采用 Midas FEA 有限元软件对凤凰黄河大桥混凝土桥面板横桥向分块浇筑进行建模。钢箱梁采取顶推施工,设置有临时墩,标准段的临时墩间距为 60 m,取顶推到位之后 240 m 长的标准梁段,三跨布置,每跨等间距 60 m,两端各悬挑 30 m,纵向混凝土一次浇筑长度为 60 m,由跨中至下一跨的跨中,每一次浇筑长度的中心落于墩顶,沿纵向顺序浇筑。一次浇筑既覆盖跨中又覆盖墩顶,在不考虑纵向浇筑顺序对墩顶负弯矩区混凝土拉应力的影响作用下,进行横桥向浇筑顺序的研究。纵桥向布置见图 2,以顶推到位之后的 240 m 梁段为研究对象,1~4 号临时墩作为支撑,桥面板纵向一次浇筑长度为 60 m,由小里程向大里程方向分 4 段浇筑。

通过比较横桥向不同浇筑方案下的混凝土内力及混凝土变形以得到最合适的横桥向浇筑方案。

2.1 桥面板横桥向不同浇筑分块施工方案对比

整幅横桥向分两块 21 m 范围桥面内需浇筑混凝土,原施工方案为横向分 4 块,由外向内浇筑,见

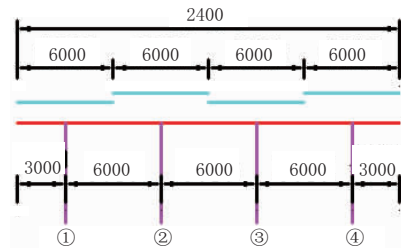


图2 纵桥向布置示意图(单位:cm)

图 3(b)。考虑设置 3 种对比方案,包含不同分块大小和横向不同浇筑顺序。分别为分 2 块浇筑、横向分 6 块由外向内浇筑和分 6 块先浇筑最外侧再浇筑最内侧最后浇筑中间块。每浇筑一次为一个施工阶段,浇筑前的钢箱梁顶推施工到位为第一个施工阶段,最后浇筑完成添加一个收缩徐变的阶段。所以原施工方案共有 10 个施工阶段,对比方案的施工阶段分别有 6 个、14 个、14 个。横桥向浇筑顺序施工方案见图 3。

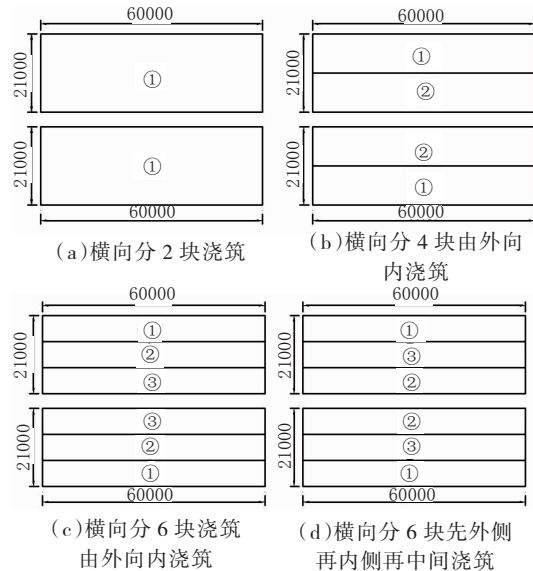


图3 横桥向布置示意图(单位:mm)

2.2 模型的建立

2.2.1 单元划分

建立精细化模型最大的好处是对结构受力的分析更准确,而缺点是需要划分的单元由于精度大而数量多,导致计算速度较慢。本文以 0.5 m 为单位划分网格,共建立节点 585 537 个,单元 659 440 个。

2.2.2 边界条件

(1)临时墩

模型中建立 4 个临时墩,每一个临时墩在横桥向有两处支点,故本模型一共 8 处支点。施工现场临时墩布置见图 4。

临时墩的模拟方式为:选中钢箱梁底部对应临时墩所在支撑位置的所有节点,耦合到一个主节点



图4 施工现场临时墩布置图

上,①号墩位置2个主节点采用固结的方式,②~④号墩位置的6个主节点约束DY、DZ、RX,即竖向、横桥向的位移及纵桥向的转角。

(2) 两端断面

将模型中两端断面的所有节点分别耦合到一个主节点上,在主节点上施加截面力。由整体单梁模型中提取240m梁两端的剪力和弯矩,作为本模型的截面力。

2.2.3 施工阶段

由于桥面预留轨道交通部位不浇筑混凝土桥面板,因此整幅桥面需浇筑桥面板的部位分成两部分,左右幅各21m范围,将60m(纵桥向)×21m(横桥向)范围内的桥面板沿横桥向分成4块,见图5。分块建立不同的网格组,当模拟横向分2块浇筑的施工阶段时,同时激活1-1~1-4;当模拟横向分4块的施工阶段时,先激活1-1、1-2再激活1-3、1-4;当模拟横向分6块的施工阶段时,先激活1-1,再激活1-2、1-3,最后激活1-4。纵向按由小里程到大里程顺序浇筑。以横向分4块浇筑为例,施工阶段设置见表1。

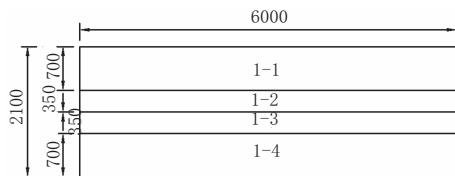


图5 横桥向分割示意图(单位:cm)

表1 横向分4块浇筑施工阶段设置表

阶段编号	内容
CS1	顶推完成
CS2	施工桥面板1-1、1-2
CS3	施工桥面板1-3、1-4
CS4	施工桥面板2-1、2-2
CS5	施工桥面板2-3、2-4
CS6	施工桥面板3-1、3-2
CS7	施工桥面板3-3、3-4
CS8	施工桥面板4-1、4-2
CS9	施工桥面板4-3、4-4
CS10	收缩徐变(10年)

2.2.4 模型建立

凤凰黄河大桥的混凝土桥面板浇筑横向分块施工模型见图6。

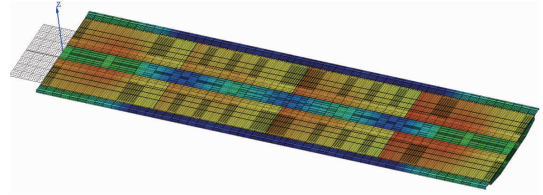


图6 FEA有限元模型图

3 桥面板横桥向不同浇筑分块施工结果分析

在施工过程中由于桥面板的浇筑形成是不断增加的,若比较整个施工过程中的混凝土最大应力或最大位移,该应力或位移所指可能并不是同一位置,也可能不在同一个施工阶段,因此比较全过程中的最大应力是不科学的。

为方便将结果有针对性地进行对比分析,取4个定点在不同浇筑方式下的结果做对比,横桥向选取混凝土桥面板中心位置及钢箱梁腹板位置,钢箱梁顶面取两点,桥面板顶面取两点,能有效反应钢箱梁和混凝土桥面板的受力情况。取点位置示意图见图7。

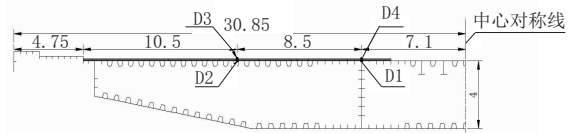


图7 取点1/2横截面示意图(单位:m)

点D1-D4的选取位置纵桥向处于第一跨内,避开了跨中及墩顶位置,更有普遍性;又在第一块混凝土桥面板范围内,以便在后面纵桥向每一块浇筑时均能查看同一点发生的变化。关于对该4点描述见表2。

表2 点D1-D4描述表

点号	坐标	位置描述
D1	(50, 7.1, 4)	纵向50m的钢箱梁顶板与腹板相交处
D2	(50, 15.6, 4)	纵向50m的钢箱梁顶板与混凝土板中心相交处
D3	(50, 15.6, 4.12)	D2上方相应混凝土板顶面
D4	(50, 7.1, 4.12)	D1上方相应混凝土板顶面

取4种浇筑方式中桥面板未浇筑、纵桥向浇筑完60、120、180、240m这5个共有的施工阶段的结果,分别将钢箱梁和混凝土桥面板的竖向位移及钢箱梁和混凝土桥面板的应力情况进行分析对比。

3.1 钢箱梁竖向位移

取出各方案中5个共有施工阶段的D1、D2点的竖向位移,整理结果绘制折线见图8、图9。

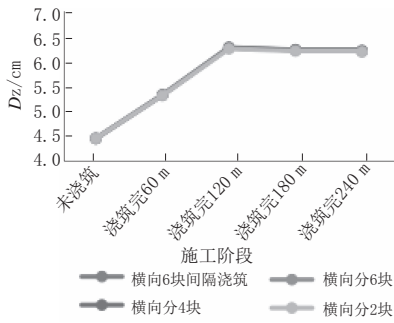


图 8 D1 点竖向位移图(单位:cm)

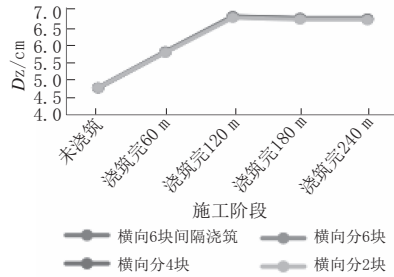


图 9 D2 点竖向位移图(单位:cm)

由钢箱梁上 D1、D2 点在横向不同分块浇筑情况下的竖向位移图可见四种浇筑情况下的折线几乎重合,因此可以得知横向分块大小及浇筑顺序对钢箱梁的位移没有影响。另外 D1 点的最大位移为浇筑完 120 m 时的 6.3 cm, D2 点的最大位移为浇筑完 120 m 时的 6.8 cm,说明钢箱梁顶板与腹板相交处的竖向位移相对较小。

3.2 混凝土板竖向位移

取出各方案中 5 个共有施工阶段的 D3、D4 点的竖向位移,整理结果绘制折线见图 10、图 11。

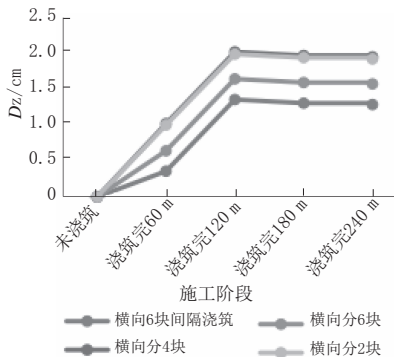


图 10 D3 点竖向位移图(单位:cm)

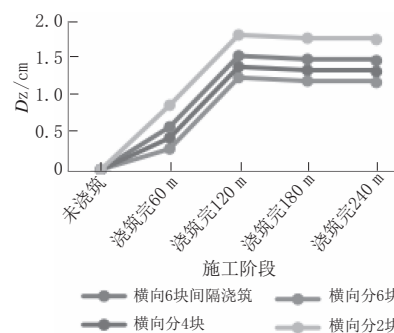


图 11 D4 点竖向位移图(单位:cm)

由 D3 点横向不同分块浇筑情况下混凝土板的竖向位移图可知横向分 6 块时混凝土的竖向位移较小,并且间隔浇筑时各阶段的位移为 4 种方案中最小,最大位移为浇筑完 120 m 时的 1.36 cm。仅考虑对混凝土位移的影响来看,分 6 块间隔浇筑的形式为最佳方案。

由 D4 点横向不同分块浇筑情况下混凝土板的竖向位移图可知,在整个施工阶段中,横向分 6 块由外向内顺序浇筑时混凝土的竖向位移最小,最大位移为浇筑完 120 m 时的 1.39 cm。

结合 D3、D4 两点处的竖向位移图可知横向分 6 块浇筑时混凝土产生的位移较小,两种浇筑顺序对位移的影响较小。

3.3 钢箱梁应力

取出各方案中 5 个共有施工阶段的 D1 点的应力,整理结果绘制折线见图 12。

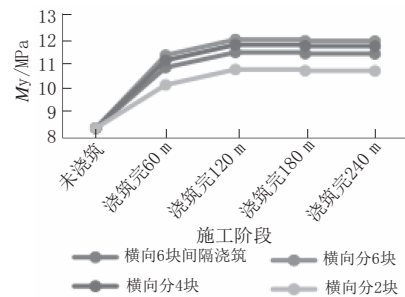


图 12 D1 点应力图(单位:MPa)

钢箱梁 D1 点在顶板与腹板交接处,应力比 D2 点大,这里由 D1 点横向不同分块浇筑情况下钢箱梁的顶板应力图可知横向分 2 块时应力最小,分 6 块时最大,但最大也仅为 12 MPa,远小于钢材的屈服强度(由于本项目钢箱梁主体结构采用 Q345qE,板厚为 12~32 mm,根据《钢结构设计规范》(GB 50017—2017),该钢材的屈服强度为 335 MPa^[10]),由此可知不同的浇筑方式对钢箱梁的影响比较小,因此浇筑顺序对钢箱梁产生的较小的应力影响可忽略不计。

3.4 混凝土板应力

取出各方案中 4 个共有施工阶段的 D3、D4 点的应力,整理结果绘制折线见图 13、图 14。

由 D3 点横向不同分块浇筑情况下混凝土板的应力图可知横向分 2 块时应力较大,最大值为浇筑完 60 m 时的 0.14 MPa。横向分 4 块、6 块时应力均较小,并且横向分 6 块的两种浇筑顺序的应力曲线几乎重合,说明横向浇筑顺序对桥面板跨中上缘应力几乎无影响。

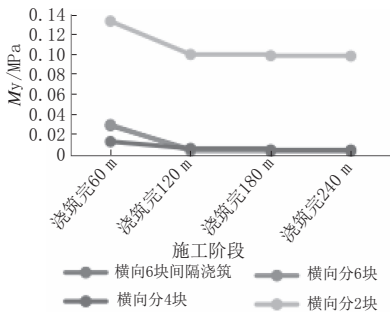


图 13 D3 点应力图(单位:MPa)

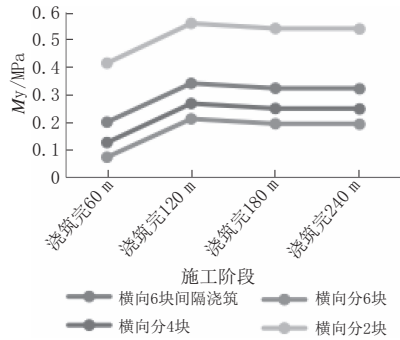


图 14 D4 点应力图(单位:MPa)

由 D4 点横向不同分块浇筑情况下混凝土板的应力图可知横向分 6 块按从外向内顺序浇筑和横向分 4 块时应力较小,最大值为浇筑完 120 m 时的 0.21 MPa。

综合以上两图可知横向分 6 块由外向内顺序浇筑和横向分 4 块的方式对混凝土桥面板的应力影响均较小,都可为推荐方案。

3.5 收缩徐变的影响

钢混组合梁的混凝土收缩徐变效应一般比较大^[1],因此,需要考虑收缩徐变的影响。收缩徐变应力见表 3。正值表示受拉,负值表示受压。

表 3 收缩徐变应力

部位	收缩徐变应力 /MPa
D1	-22.3
D2	-35.7
D3	1.16
D4	1.95

由表 3 可知,收缩徐变使得钢箱梁产生较大应力,混凝土板的拉应力增大,会影响结构安全,本研究中未考虑桥面板中普通钢筋的作用,实际工程中桥面板中的钢筋承受部分拉应力。

3.6 结论

综合以上对钢箱梁和混凝土桥面板的竖向位移及应力分析可得桥面板横向分块浇筑大小对钢箱梁

的位移及应力影响均不大,对混凝土板的影响相对较大。经比较,横向分 6 块和 4 块的浇筑方式在对混凝土的应力影响较小,均为可取方案。但考虑到施工的便捷以及对施工工期的要求,桥面板分块数量越少,浇筑更连续,转移设备等时间消耗更少,因此横向分 4 块更符合施工便利性的要求。所以最终建议采取横向分 4 块的浇筑方式,横桥向浇筑顺序,推荐由外向内顺序浇筑的方式。另外,收缩徐变影响较大,混凝土桥面板可在负弯矩区适当加强配筋。

4 结 语

本文通过对钢箱梁应力、位移,混凝土应力、位移以及施工便捷度的分析对比,以结构受力最优为目的,得出超宽混凝土桥面板横向浇筑的最佳方案为横向分横向一次分 4 块由外向内顺序浇筑。

本文的研究成果对超宽混凝土桥面板横向分块浇筑顺序施工的实践具有一定的指导作用,为今后类似工程的设计和施工提供了有价值的参考。在今后的研究中,可以进一步探讨横向分块浇筑施工方案的优化和完善,以适应更多复杂的桥梁结构和工程情况。同时,还可以通过结合新的材料和技术手段,进一步提高超宽混凝土桥面板的质量和施工效率,满足未来交通基础设施建设的需求。

参考文献:

- [1] 邵长宇.梁式组合结构桥梁[M].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [2] 陈桂林,姜玮,刘文超,等.大体积混凝土施工温度裂缝控制研究及进展[J].自然灾害学报,2016,25(3):159-165.
- [3] 高光彬,华正阳.钢-混组合结构桥梁的技术特点与应用[J].公路,2017,62(1):112-115.
- [4] 丁滨阳,田仲初,彭学军,等.钢-混组合梁桥桥面板铺装顺序优化设计研究[J].公路与汽运,2022,213(6):109-112.
- [5] 李林.大跨度钢桁梁悬索桥施工控制关键技术研究[D].南京:东南大学,2017.
- [6] Mohamed Abokifa, Mohamed A. Moustafa, Ahmad M. Itani. Comparative structural behavior of bridge deck panels with polymer concrete and UHPC transverse field joints[J]. Engineering Structures, 2021(247).
- [7] 常付平,陈亮,邵长宇,等.济南凤凰黄河大桥主桥设计[J].桥梁建设,2021,51(5):101-107.
- [8] 常付平,许为民,李盘山,等.济南凤凰黄河大桥总体设计[J].城市道桥与防洪,2021(11):66-70.
- [9] 台晓晓.超长跨宽幅钢箱梁顶推施工临时墩间距布置的多目标优化方法[D].武汉:华中科技大学,2021.
- [10] GB 50017—2017, 钢结构设计规范[S].
- [11] 赵凯,李小龙.钢-混组合结构桥梁混凝土的收缩徐变效应[J].铁道建筑,2023,63(2):61-66.