

# 预应力混凝土连续梁翼缘后浇影响研究

葛浩军, 吕宇超, 郭佳威

(浙江数智交院科技股份有限公司, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 在部分特殊情况下, 由于施工条件受限, 箱梁的翼缘需要部分后浇。国内目前已有的箱梁翼缘后浇案例均为预制简支箱梁, 在连续梁中还没有相关案例。与简支梁不同, 连续梁由于存在负弯矩, 其结构受力更为复杂。以某主跨64 m预应力混凝土连续梁桥为例, 提出了2种翼缘后浇方案, 并采用MIDAS Civil和MIDAS Fea模拟箱梁翼缘后浇对预应力混凝土连续梁的影响。结果表明: 箱梁由于悬浇施工时翼缘缺失、截面惯性矩减小, 对预应力荷载变得更为敏感, 在标准组合下压应力容易超规范限值; 先减小悬浇阶段钢束荷载, 翼缘浇筑后再增设钢束, 且后浇翼缘材料采用高抗拉、低收缩材料的方案可以满足规范要求。

**关键词:** 预应力混凝土连续梁; 翼缘后浇; 超高性能混凝土; 数值模拟

**中图分类号:** U448.21; TU997

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2026)04-0220-05

## Study on Influence of Flange Post-pouring on Prestressed Concrete Continuous Beams

GE Haojun, LYU Yuchao, GUO Jiawei

(Zhejiang Institute of Communications Co., Ltd., Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** Under some special circumstances, the partial post-pouring of box girder flanges is required due to restrictions of construction conditions. Currently, all the existing cases of post-pouring box girder flanges in China are prefabricated simple-supported box girders. There are no relevant cases in continuous girder bridge. Unlike simple-supported girder bridges, the structural forces of continuous beams are more complex due to the existence of negative bending moments. Taking a prestressed concrete continuous beam bridge with a main span of 64 m as an example, two kinds of flange post-pouring schemes are proposed. MIDAS Civil and MIDAS Fea are used to simulate the influence of box girder flange post-pouring on prestressed concrete continuous beams. The results show that due to the absence of flanges and the reduction of the inertial moment of the section during the suspension pouring construction, the box girder becomes more sensitive to prestressed loads. Under the standard combination, the compressive stress is easy to exceed the limit specified in the code. The scheme of first reducing the steel bundle load during the suspension pouring stage, then adding the steel bundle after the flange pouring, and using high tensile strength and low shrinkage materials for the post-poured flange can meet the specification requirements.

**Keywords:** prestressed concrete continuous beams; flange post-pouring; UHPC; numerical simulation

## 0 引言

预应力混凝土箱梁结构刚度大、整体性好、施工工艺成熟、造价经济, 是工程中最常使用的桥梁结构之一。在部分特殊情况下, 由于施工条件受限, 箱梁的翼缘需要部分后浇。石太客运专线需通过隧道架设32 m双线箱梁, 但受隧道界限影响, 箱梁装车后无法通过隧道, 因此将预制梁两侧宽1.75 m翼缘切除, 架设完成后再通过悬浇支架工地现浇<sup>[1]</sup>。同样由于隧道中运梁受限, 武广客运专线共149榀箱梁

两侧宽1.6 m翼缘后浇<sup>[2]</sup>; 青荣城际铁路马耳山大桥箱梁两侧宽1.3 m翼缘后浇<sup>[3]</sup>; 福厦铁路共467榀箱梁两侧宽1.75 m翼缘后浇<sup>[4]</sup>。

目前工程中翼缘后浇的结构多为预制简支箱梁, 在连续梁中应用案例较少。与简支梁不同, 连续梁由于存在负弯矩, 其翼缘需承受较大的拉应力, 翼缘后浇的影响也更大。本文以某公路连续梁为例, 利用MIDAS Civil和MIDAS Fea模拟箱梁翼缘后浇对预应力混凝土连续梁的影响, 可供后续类似工程参考。

## 1 工程概况

某公铁合建桥公路引桥预应力混凝土连续梁桥跨布置为40.7 m+64 m+40.7 m, 全长145.4 m。主梁

收稿日期: 2025-08-29

作者简介: 葛浩军(1995—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

采用单箱单室截面,箱顶板宽 16.25 m,底板宽 8.45 m,箱梁跨中及边跨现浇段梁高 2.5 m,箱梁根部断面高 4.5 m。从跨中至箱梁根部,箱高以 2 次抛物线变化。箱梁采用悬浇施工,0 号块长 9 m,共设置 7 个悬臂梁段,梁段长度从根部至两侧依次为 3×3.5 m、4×4 m。全桥共设 2 个边跨合龙段和 1 个中跨合龙段,合龙段长度均为 2 m,边跨现浇段长 7.7 m。主梁按全预应力构件设计。

箱梁标准横断面图见图 1。

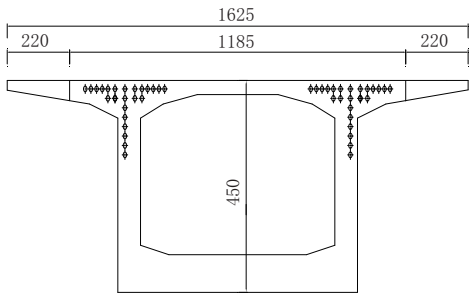


图 1 箱梁标准横断面图(单位:cm)

由于主桥主缆距离引桥连续梁翼缘较近,主桥施工期间主缆猫道与连续梁 70 m 梁长范围内宽 2.2 m 翼缘存在冲突。如连续梁在主桥施工完成猫道拆除后再施工,将超出原定工期,因此拟先浇筑连续梁箱体和未冲突范围内翼缘,待主桥猫道拆除后再浇筑冲突范围内翼缘以节约工期。为了分析其影响,共拟定了 2 个翼缘后浇方案,并与常规翼缘整体浇筑方案进行对比分析。3 个方案的主要区别见表 1。

表 1 箱梁方案

| 编号 | 施工方案   | 箱梁材料 | 翼缘材料 | 预应力布置方式           |
|----|--------|------|------|-------------------|
| 1  | 翼缘整体浇筑 | C55  | C55  | 常规布置              |
| 2  | 翼缘后浇   | C55  | C55  | 与整体浇筑一致           |
| 3  | 翼缘后浇   | C55  | UHPC | 减小悬浇钢束荷载,增设后浇翼缘钢束 |

2 整体有限元模型计算分析

2.1 整体模型建立

采用 MIDAS Civil 建立全桥杆系模型,对箱梁悬臂浇筑、合龙、翼缘浇筑、二期铺装及附属结构施工、收缩徐变等整个施工过程进行正装模拟,并对运营阶段箱梁与翼缘的受力进行分析<sup>[5-6]</sup>。主要材料参数表见表 2;翼缘整体浇筑计算模型图、翼缘后浇方案计算模型图见图 2、图 3。

2.2 计算结果分析

对于箱梁部分,仍按全预应力构件进行设计;由于悬浇施工时的预应力对于后浇的翼缘不起作用,

表 2 主要材料参数表

| 编号 | 材料   | 弹性模量/GPa | 抗压强度标准值/MPa | 抗拉强度标准值/MPa | 线膨胀系数/℃ <sup>-1</sup> |
|----|------|----------|-------------|-------------|-----------------------|
| 1  | C55  | 35.5     | 35.5        | 2.74        | 1.0×10 <sup>-5</sup>  |
| 2  | UHPC | 42.9     | 84          | 8           | 1.1×10 <sup>-5</sup>  |
| 3  | 钢绞线  | 195      | 390         | 1 860       | 1.2×10 <sup>-5</sup>  |

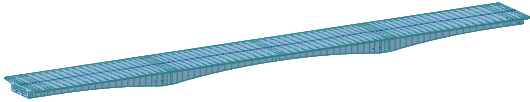


图 2 翼缘整体浇筑计算模型图

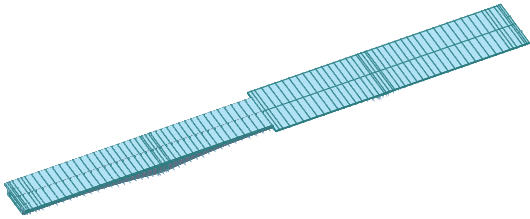


图 3 翼缘后浇方案计算模型图

因此后浇翼缘实际属于非预应力构件(方案二)或者是部分预应力构件(方案三)。为保证后浇翼缘的耐久性,要求运营期间翼缘不开裂,将后浇翼缘按 A 类预应力构件设计。

对全预应力混凝土现浇箱梁,频遇组合下正截面混凝土拉应力  $\sigma_{st}$  应满足<sup>[7]</sup>:

$$\sigma_{st} - 0.80\sigma_{pc} \leq 0 \tag{1}$$

式中: $\sigma_{pc}$ 为扣除全部预应力损失后的预加力在构件抗裂验算边缘产生的混凝土预压应力。

斜截面混凝土主拉应力  $\sigma_{tp}$  应满足:

$$\sigma_{tp} \leq 0.4f_{tk} \tag{2}$$

式中: $f_{tk}$ 为混凝土抗拉强度标准值。

对于后浇翼缘,频遇组合下正截面混凝土拉应力应满足:

$$\sigma_{st} - \sigma_{pc} \leq 0.7f_{tk} \tag{3}$$

斜截面混凝土主拉应力应满足:

$$\sigma_{tp} \leq 0.5f_{tk} \tag{4}$$

标准组合下箱梁与后浇翼缘正截面混凝土压应力均应满足:

$$\sigma_{kc} + \sigma_{pt} \leq 0.50f_{ck} \tag{5}$$

根据有限元模型计算,3 种方案主梁关键应力结果见表 3。

方案一翼缘整体浇筑箱梁各项应力结果均满足规范<sup>[7]</sup>要求。方案二箱梁由于悬浇施工时翼缘缺失、截面惯矩减小,对荷载变得更为敏感,与方案一同样的钢束布置下压应力累积更大,在标准组合下压应力达 18.6 MPa,超过了规范<sup>[7]</sup>中 0.5 倍 C55 抗压强度标准值的限值;方案二翼缘则由于是在主梁合

表3 应力计算结果表

单位:MPa

| 编号 | 部位    | 频遇组合 |        |      |        | 标准组合  |         |
|----|-------|------|--------|------|--------|-------|---------|
|    |       | 拉应力  | 限值     | 主拉应力 | 限值     | 压应力   | 限值      |
| 1  | 方案一箱梁 | -0.5 | ≤0     | 1.0  | ≤1.096 | -16.6 | ≥-17.75 |
| 2  | 方案二箱梁 | -0.3 | ≤0     | 0.9  | ≤1.096 | -18.6 | ≥-17.75 |
| 3  | 方案三箱梁 | 0    | ≤0     | 0.9  | ≤1.096 | -17.7 | ≥-17.75 |
| 4  | 方案一翼缘 | -0.5 | ≤0     | 1.0  | ≤1.096 | -16.6 | ≥-17.75 |
| 5  | 方案二翼缘 | 3.7  | ≤1.918 | 3.7  | ≤1.096 | -8.6  | ≥-17.75 |
| 6  | 方案三翼缘 | 3.4  | ≤5.6   | 3.4  | ≤4     | -8.9  | ≥-42.0  |

注:应力以受拉为正,受压为负。

龙后再浇筑,合龙前张拉的各预应力钢束对翼缘无作用,翼缘属于钢筋混凝土构件,在频遇组合下拉应力达3.7 MPa,不满足规范<sup>[7]</sup>中拉应力小于0.7倍C55混凝土抗拉强度标准值的要求。方案三对箱梁预应力布置进行调整,先减小悬浇施工钢束荷载,防止施工阶段压应力累积过大,翼缘浇筑后在翼缘中增设预应力钢束以帮助箱梁抵抗负弯矩作用。经此调整后,箱梁各项应力结果均满足规范<sup>[7]</sup>要求。但由于后浇翼缘尺寸有限,可以布置的钢束数量较少,为了减小锚后拉应力其钢束直径也不宜过大,因此翼缘中的钢束不足以抵消频遇组合下产生的拉应力。根据计算结果,频遇组合下后浇翼缘拉应力为3.4 MPa,如采用C55混凝土,将不满足规范<sup>[7]</sup>中拉应力小于0.7倍抗拉强度标准值的要求,因此方案三中后浇翼缘采用超高性能混凝土U120/UT8,其抗拉强度标准值达8 MPa,可满足要求。

3 实体有限元模型计算分析

3.1 实体模型建立

根据整体有限元模型计算分析可知,方案三箱梁和翼缘受力均满足要求,但对于箱梁和翼缘之间的接缝受力整体模型无法计算,需建立实体有限元模型进行分析。箱梁与翼缘之间大部分位置均为纵缝,跨中合龙段位置则同时存在纵缝和横缝,其受力状态也更为复杂,因此选取该位置进行实体分析。

采用MIDAS Fea建立跨中位置长10 m梁段实体有限元模型,对箱梁合龙、翼缘浇筑、张拉翼缘纵横向预应力、二期及附属结构施工等施工阶段进行正装模拟,并对车辆荷载等进行加载分析。箱梁和翼缘均采用三维实体单元,采用六面体与四面体混合网格;钢绞线采用一维桁架单元和一维网格;模型共有25 320个节点,19 100个单元<sup>[8-10]</sup>。

跨中段实体有限元模型图见图4;网格划分模型图见图5。

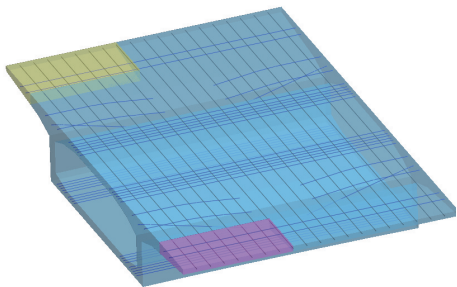


图4 跨中段实体有限元模型图

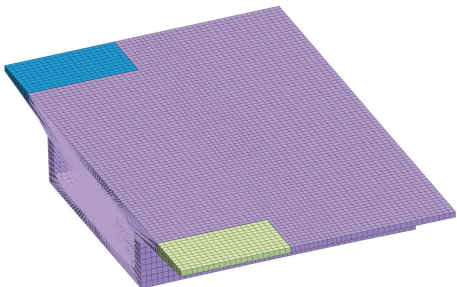


图5 网格划分模型图

3.2 计算结果分析

合龙阶段箱梁截面正应力云图见图6。

由于有一侧箱梁翼缘缺失,跨中合龙段位置翼缘存在自由边,使得在翼缘正常浇筑梁段中存在一个与腹板呈45°角的预应力盲区。该区域预应力荷载传递不到,还会因为箱梁畸变产生最大约0.66 MPa的拉应力。

浇筑翼缘时,由于翼缘与箱梁之间存在较大的龄期差,如果不对翼缘的收缩徐变加以控制,将在接缝位置产生较大收缩徐变应力,容易导致接缝开裂。根据《法国UHPC结构设计规范》(NF P 18-710 2016)<sup>[11]</sup>规定,若养护成型过程中水分有保证,UHPC材料的收缩将主要为自收缩,而在90℃的蒸汽养护条件下,可近似认为养护结束后将不会产生后期收缩变形<sup>[12-15]</sup>。

为了防止翼缘与箱梁接缝开裂,翼缘要求采用90℃蒸汽养护,因此模型中不考虑收缩徐变的影响。翼缘浇筑完成后箱梁应力基本无变化,后浇部分翼缘基本处于无应力状态。



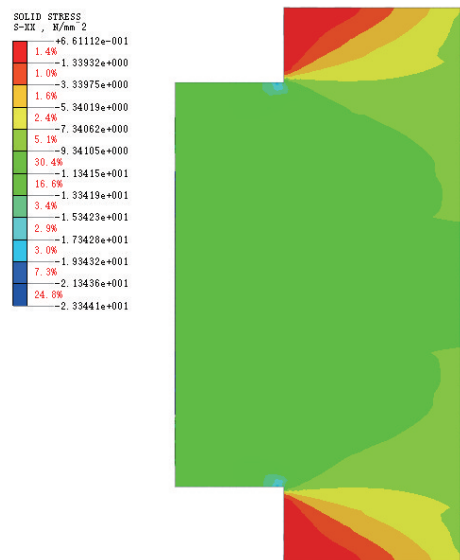


图6 合龙阶段箱梁截面正应力云图(单位:MPa)

翼缘浇筑阶段正应力云图见图7。

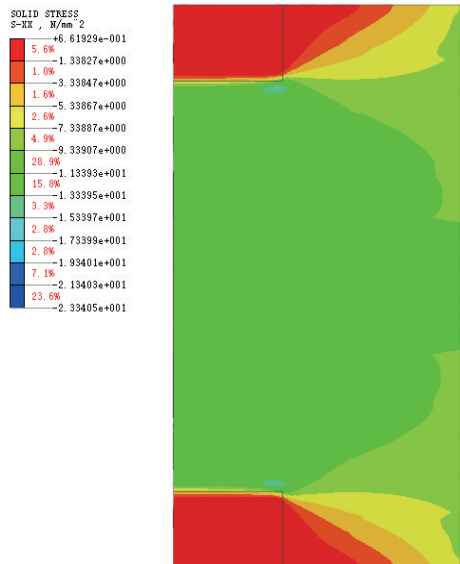


图7 翼缘浇筑阶段正应力云图(单位:MPa)

张拉翼缘预应力钢束后,模型应力云图见图8。

箱梁原预应力盲区与后浇筑翼缘正截面均处于受压状态,最小压应力为0.7 MPa。横缝与纵缝也均处于受压状态,横缝压应力约1.5 MPa;纵缝上缘压应力约3.3 MP,下缘压应力约0.5 MPa。其应力分布图见图9、图10。

二期铺装、护栏及其他附属结构施工完成后,跨中梁段正弯矩增大,箱梁顶板与后浇翼缘、横缝压应力储备也进一步增大,翼缘最小压应力为1.1 MPa,横缝压应力约2 MPa。在护栏荷载作用下,纵缝上缘压应力减小0.3 MPa,下缘压应力增大0.3 MPa。箱梁最大主拉应力为0.78 MPa,位于腹板内侧。结果表明成桥状态下,箱梁和挑臂各项应力结果均满足规范<sup>[7]</sup>要求,且纵缝和横缝均有一定压应力储备。

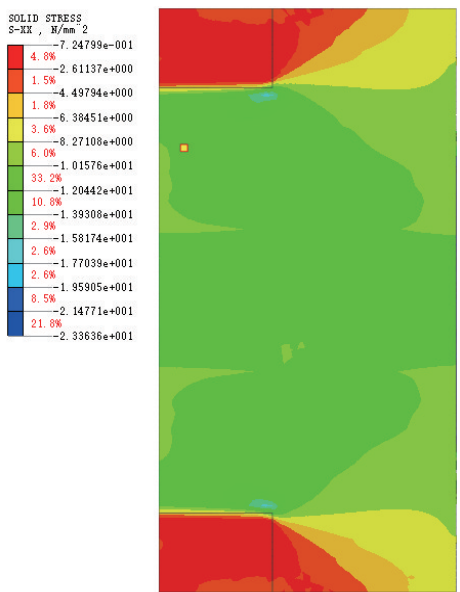


图8 张拉翼缘钢束后正应力云图(单位:MPa)



图9 张拉翼缘钢束后横缝应力云图(单位:MPa)

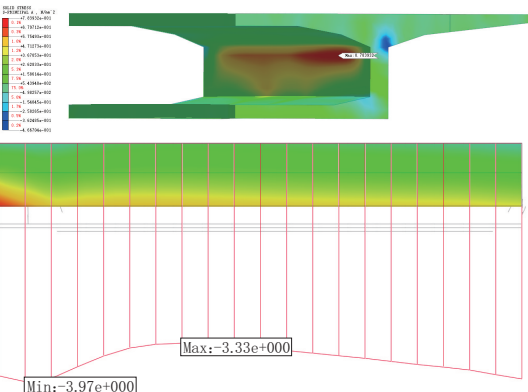


图10 张拉翼缘钢束后纵缝应力云图(单位:MPa)

车辆荷载作用下,横缝、纵缝应力云图见图11、图12。

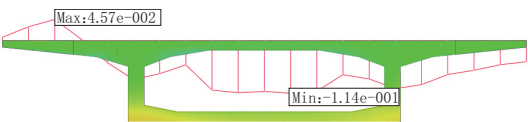


图11 车辆荷载作用下横缝应力云图(单位:MPa)

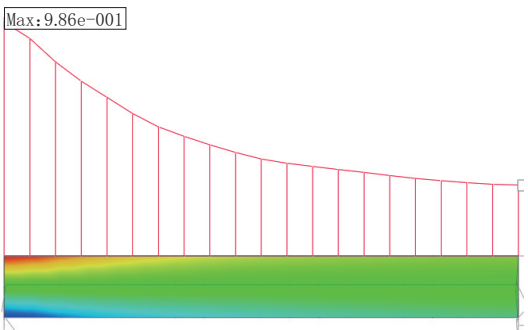


图12 车辆荷载作用下纵缝应力云图(单位:MPa)

车辆荷载对横缝受力影响较小,最不利工况为边跨加载,在横缝中产生约0.4 MPa拉应力,小于横缝中压应力储备。纵缝最不利工况为车辆偏载,上缘产生最大约1 MPa拉应力,也小于成桥阶段纵缝中压应力储备。

上述计算结果表明,方案三箱梁、翼缘和接缝各项应力结果均满足规范<sup>[7]</sup>要求。

## 4 结 语

(1)箱梁由于悬浇施工时翼缘缺失、截面惯矩减小,对预应力荷载变得更为敏感,在标准组合下压应力容易超规范限值。

(2)先减小悬浇阶段钢束荷载,翼缘浇筑后再增设钢束的方案有利于结构在满足频遇组合抗拉的条件下减小标准组合下的压应力。

(3)纵向接缝在横向预应力作用下有较大的压应力储备,可以抵抗二期铺装、车辆荷载产生的拉应力。

(4)横向接缝宜选在二期铺装、车辆等荷载作用下拉应力较小的位置,并通过翼缘纵向预应力钢束给予一定压应力储备,以减小接缝开裂风险。

### 参考文献:

- [1] 苏中华. 客运专线预制箱梁后浇翼缘板施工技术[J]. 石家庄铁道学院学报, 2011(4): 65-68.
- [2] 王洋. 客运专线简支箱梁后浇翼缘板施工方法[J]. 科技情报开发

与经济, 2009, 19(19): 197-211.

- [3] 李聪, 林文顺, 吴付宝. 割翼箱梁施工技术研究[J]. 黑龙江科技信息, 2014(22): 257-231.
- [4] 冯建军. 客运专线过隧割翼箱梁运架施工技术[J]. 铁道标准设计通讯, 2009(4): 35-37.
- [5] 玄甲强. 基于梁格法的多室混凝土箱梁桥分析方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2021.
- [6] 季冬良. 梁格法在城市桥梁设计中的应用分析[J]. 山西建筑, 2018(15): 178-180.
- [7] JTG 3362—2018 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [8] 卢海林, 严若愚, 蔡恒, 等. 荷载列作用下曲线箱梁剪力滞空间有限元分析[J]. 武汉工程大学学报, 2018(2): 85-88.
- [9] 马兆锐, 秦道标, 黄正荣, 等. 基于实体单元的等截面宽箱梁有限元分析[J]. 公路, 2017(12): 141-146.
- [10] 曹宏波. 基于 MIDAS FEA 箱型截面剪力滞效应分析[J]. 安徽建筑, 2023(2): 85-87.
- [11] NF P 18-710 National addition to Eurocode 2—Design of Concrete structures: Specific rules for ultra-high performance fibre-reinforced concrete[S].
- [12] BB62/TXXXX—202X 超高性能混凝土(UHPC)应用技术规范(征求意见稿)[S].
- [13] 邵旭东, 曹君辉, 张阳, 等. 基于超高性能混凝土(UHPC)的桥梁新结构—理论、试验与应用[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2022.
- [14] 邵旭东, 樊伟, 黄政宇, 等. 超高性能混凝土在结构中的应用[J]. 土木工程学报, 2021(1): 5-17.
- [15] 陈宝春, 李聪, 黄伟, 等. 超高性能混凝土收缩综述[J]. 交通运输工程学报, 2018(1): 13-28.