

大跨连续梁先中跨后边跨合龙影响分析

王丰平, 姚帅彪

(浙江省交通规划设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 先中跨合龙后边跨合龙的非对称悬浇连续梁桥, 由于其特殊的浇筑及合龙方式, 受力较为复杂。现运用有限元分析软件对合龙误差、合龙温度及合龙配重对桥梁成桥状态时的应力和变形的影响进行分析, 发现合龙误差对桥梁成桥线性影响较为显著, 较理想状况下位移可增大一倍左右; 合龙温度会对桥梁支座产生顺桥向位移, 施工中需提前设置预偏量; 对中跨进行合龙配重可以有效减小墩顶不平衡弯矩, 确保施工安全。

关键词: 连续梁桥; 非对称浇筑; 合龙误差; 合龙温度; 合龙配重

中图分类号: U445.46

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)10-0077-04

1 概述

预应力混凝土连续梁桥在我国交通建设中是一种较为常见的结构形式。其施工形式较为多样, 常见的有悬臂施工, 支架现浇, 顶推, 转体施工等^[1]。其中, 悬臂对称浇筑施工因受场地等条件的影 响小、机械化程度较高, 是大跨径连续梁最常用的施工方式。对于这种施工方式国内外的学者对其进行过较为深入的研究。但是当其他因素导致桥梁边跨跨径较大, 或边跨现浇段支架搭设困难时, 可能就需要改变常规的先边跨后中跨的合龙方式, 调整为先中跨合龙, 然后悬浇边跨非对称段, 最后合龙边跨的施工方式^[2]。采用这种方式施工的桥梁合龙时, 其两侧悬臂不对称, 在合龙状态时受力较为复杂, 需要对其进行深入的研究分析。现以杭甬复线宁波段一期工程中某座大跨连续梁为研究对象, 分析其先中跨后边跨施工中, 合龙误差、合龙温度、合龙配重这些因素对桥梁结构的影响, 以期对未来桥梁施工提供指导。

2 项目概况

杭甬复线有 17 km 海上桥梁, 其中 135 m 大跨连续梁 3 座, 跨径布置为 77.5 m+135 m+77.5 m, 采用单箱单室直腹板截面, 梁宽 16.5 m。为避免连续梁边跨搭设海上钢管支架, 降低海上施工的风险和代价, 采用先合龙中跨后, 悬浇边跨第 17 节段, 最后合龙边跨的方式施工, 中跨悬浇节段划分为 $(7 \times 3+4 \times 4+5 \times 4.5)$ m, 边跨悬浇节段为

$(7 \times 3+4 \times 4+5 \times 4.5+1 \times 3.7)$ m。

3 合龙误差分析

桥梁线性控制是施工控制中的一项重要内容, 也是影响桥梁合龙的关键所在。但是, 在悬臂施工过程中, 由于桥梁受到温度变化、混凝土收缩徐变、施工荷载等因素的影响, 在合龙前两悬臂端会产生一定的竖向挠度差和水平位移差。此时, 就需要采取强制合龙等措施来保证桥梁能够顺利合龙。常用的强制合龙的手段一般是在较高处施加附加压重, 使其强迫挠曲变形。但是, 强迫挠曲变形会在多余的约束处产生约束力, 从而导致结构引起附加内力。因此, 需要研究合龙误差对结构的受力和线性的影响。

根据《公路桥涵施工技术规范》(JTG TF50—2011-1) 第 16.5.7 条规定, 对于跨径小于 100 m 的悬臂浇筑的预应力混凝土梁, 合龙高差应控制在 20 mm 内, 对于跨径大于 100 m 时, 合龙误差应控制在 $(L/5\ 000)$ mm 以内。现比较误差 0、1 cm, 4 cm(较规范超出 50%), 5.4 cm(较规范超出 100%)对桥梁受力和线性的影响。

在实际施工过程中, 由于临时施工荷载的不精确, 可能会在某一阶段施工时出现施工荷载较大, 因此采用 Midas civil 建立有限元分析模型, 模拟施工荷载的误差导致左侧悬臂段混凝土出现合龙偏差(为 0、1 cm, 4 cm, 5.4 cm)。然后在合龙段最大悬臂一侧较高处设置附加压重, 使其在合龙状态前悬臂两侧高程相等, 有限元离散图如图 1 所示。

在 Midas 中左侧由于施工误差导致最大悬臂在合龙时较右侧高, 因此在强制合龙时仅在左侧

收稿日期: 2020-04-17

作者简介: 王丰平(1977—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁工程设计研究工作。

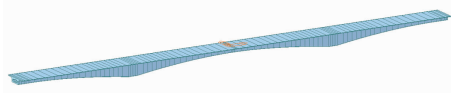


图1 全桥有限元离散图

施加附加压重。图2与图3表示二期铺装和收缩徐变10a完成时全桥的竖向位移图。可知:(1)随着误差的增大,二期铺装和成桥状态下桥梁线性与理想状态下的差值逐渐增大,且最大差值均出现在施工荷载出现误差的位置,三种误差状态下与理想状态的最大差值为对应处的理想状态的挠度的18.6%,72.5%,99%;(2)出现施工误差侧的线性受误差影响较大,而右侧未出现施工误差一侧的线性受影响较小,且中跨较边跨更易受到影响。

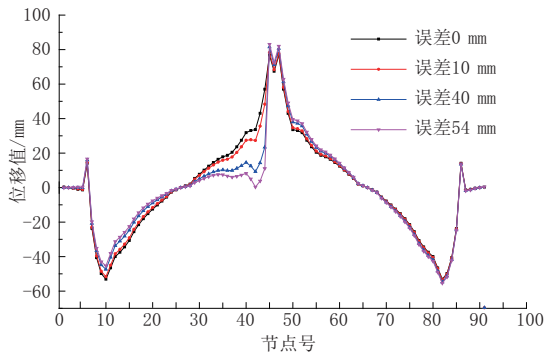


图2 二期铺装后主梁位移图

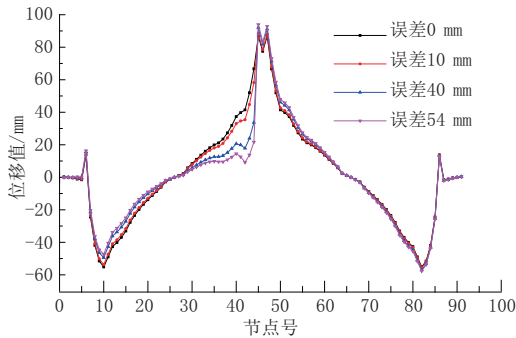


图3 收缩徐变10a后主梁位移图

图4与图5表示在二期铺装和10a收缩徐变工况下主梁上下缘应力分布图,从图中可知:(1)随着误差的增大,成桥状态下桥梁的应力与理想状态下的差值逐渐增大,其最大差值同样出现在临时荷载出现误差位置,三种误差状态下主梁上缘应力为理想状态下的应力的2.7%,10.4%,14.2%。三种误差状态下主梁下缘应力为理想状态下的应力的1.7%,6.8%,9.3%。(2)合龙误差对出现合龙误差一侧的桥梁受力影响较大,对未出现误差的另半侧桥梁受力几乎没有影响。

4 合龙温度分析

年温差对桥梁结构的影响是一个长期缓慢的

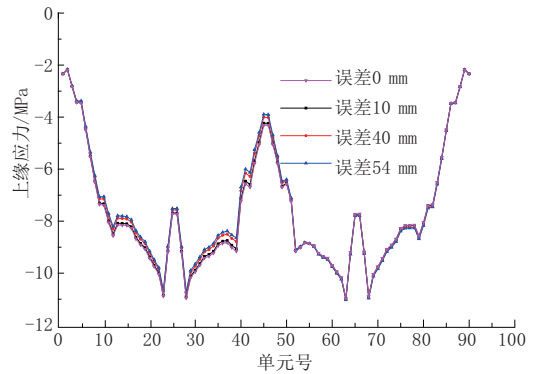


图4 二期铺装后主梁上缘应力图

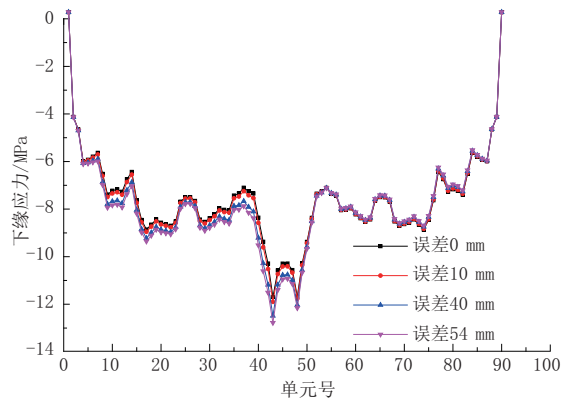


图5 收缩徐变10a后主梁下缘应力图

过程,其对桥梁结构受力也有着不可忽视的影响^[3]。参考当地气温变化,按照当地一月份和七月份平均气温,以不同的合龙温度10℃(升温24℃,降温13℃),15℃(升温19℃,降温18℃),20℃(升温14℃,降温23℃)合龙,对这三种温度荷载工况进行计算分析,对比三种温度下合龙对桥梁结构内力的影响。

图6和图7表示温度作用下的主梁应力图,从图中可知:无论是升温还是降温,均会对主梁上缘应力产生较大影响。升温24℃和升温19℃在跨中引起的应力为升温14℃的1.7和1.3倍左右;而降温23℃和降温18℃在跨中引起的应力为降温13℃的1.9和1.4倍左右。可见无论是升温还是降温,温度对桥梁应力有较大影响,且变化幅度越大其影响越大;其次,可发现尽管温度变化对桥梁应力会产生影响,但是这种影响是与桥梁中其他荷载引起的应力相比仍然是比较小的,并不能作为桥梁的控制应力。

表1表示在不同合龙温度下,桥梁各墩墩顶支座的顺桥向位移表,由于在88号墩处布置了固定支座,因此88号墩不产生纵向的位移。从表1可知:(1)无论温差为何值,90号墩的纵向位移总是最大的,表明在同样温差变化的作用下,离固定支座越远,支座的纵向变化量越大,且升温 and 降温导

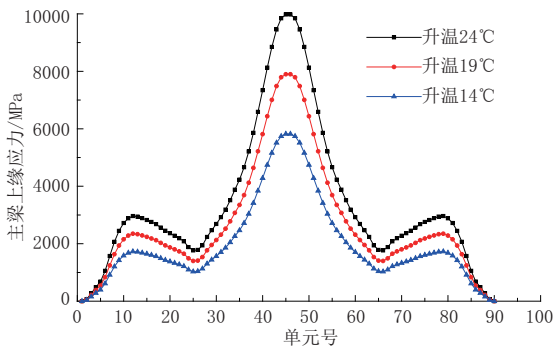


图6 升温作用下主梁应力图

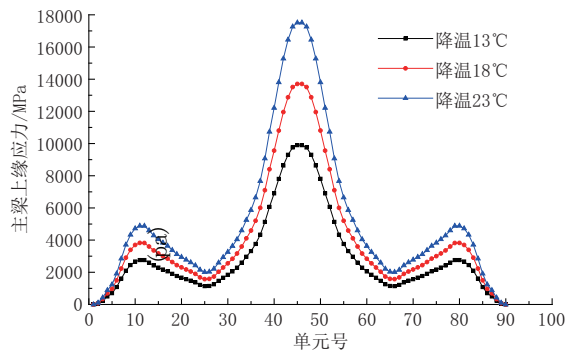


图7 降温作用下主梁应力图

致支座向相反的方向移动；(2)只要最高温度和最低温度不变，无论合龙温度为何值，87号墩左右位移绝对值之和为28.2 mm，89号墩左右位移绝对值之和为40 mm，90号墩左右位移绝对值之和为78.3 mm，各个支座左右位移绝对值之和相等；(3)合龙温度与最高温度和最低温度的平均值相差越小，支座在成桥状态下对桥墩的偏心就会越小，若差值较大，则会导致桥墩受到较大的偏心，对桥梁安全易造成不利影响。因此在实际施工过程中，应计算支座的预偏量，设置合理的预偏值。

表1 不同合龙温度下成桥支座位移表 mm

对应桥墩	合龙温度 10℃		合龙温度 15℃		合龙温度 20℃	
	升温 24℃	降温 13℃	升温 19℃	降温 18℃	升温 14℃	降温 23℃
87号墩	-18.3	9.9	-14.5	13.8	-10.7	17.6
88号墩	0	0	0	0	0	0
89号墩	32.4	-17.6	25.7	-24.3	18.9	-31.1
90号墩	50.8	-27.5	40.2	-38.1	29.6	-48.7

5 合理化配重

由于常规的大跨连续梁施工大多采用先边跨后中跨的合拢方式，对于先中跨后边跨的合拢研究相对较少。如何在此种合拢方式时，设置合理的配重，需要一个反复试算比较的过程。因此，需要对此种类型的桥梁进行配重分析，研究在此种状

态下的合理配重方式。为此，设置三种配重工况，工况一为中跨不配重；工况二为在中跨添加配重使其能够平衡边跨非对称荷载在墩顶产生的不平衡力矩；工况三为在中跨配重。具体布置如下：(1)工况1：中跨不配重；(2)工况2：边跨加17号块湿重时，同时中跨配重210 t；(3)工况3：边跨加17号块湿重时，同时中跨配重400 t。

表2为跨中附近截面顶板应力表，表3为跨中附近截面位移表。

表2 跨中附近截面顶板应力表 MPa

配重形式	截面							
	13	14	15	16	13'	14'	15'	16'
工况一	7.12	6.47	6.42	5.25	7.12	6.47	6.42	5.25
工况二	7.10	6.44	6.39	5.21	7.10	6.44	6.39	5.21
工况三	7.12	6.46	6.41	5.22	7.12	6.46	6.41	5.22

表3 跨中附近截面位移表 mm

配重形式	截面							
	14	15	16	17	14'	15'	16'	17'
工况一	46.36	55.64	68.68	94.16	46.36	55.64	68.68	94.16
工况二	45.89	55.10	68.07	93.50	45.89	55.10	68.07	93.50
工况三	45.11	54.19	67.04	92.40	45.11	54.19	67.04	92.40

采用Midas civil建立各工况情况下的计算模型，得到如表2、表3所列的计算结果，表示在不同的配重方式下跨中断面的应力及截面的位移。在工况二作用下桥梁截面应力较另两种工况偏小0.02 MPa左右。同时，在工况二作用下跨中附近截面的位移值均与工况一、三作用下偏差约1 mm，两者差距很小，可见在施工过程中施加的配重对成桥状态桥梁受力影响并不显著。

为承受施工过程中出现的不平衡力矩，悬臂施工的连续梁采取临时措施将零号块与桥墩临时固结起来^[4]。墩顶过大的不平衡弯矩会对桥梁施工产生不利影响。因此，仍需研究配重对施工过程中的影响。在施工36阶段之前与39阶段之后，三种配重方式的施工荷载工况均相同，所以在此仅分析36(施加非对称17块配重)、37(张拉预应力)、38(浇筑边跨现浇段)、39(边跨合龙)四个阶段的受力情况。

图8表示在三种配重方式下各施工阶段墩顶两侧的不平衡弯矩。从图8可知，三种配重方式作用下，工况一最大不平衡弯矩为43 888.7 kN·m；工况二最大不平衡弯矩14 805.9 kN·m；工况三最大不平衡弯矩为52 113.8 kN·m。可见，工况二较

工况一、三减少了 66.3%, 71.6%。为此, 采用工况二的配重方式可以有效地减少墩顶不平衡弯矩。

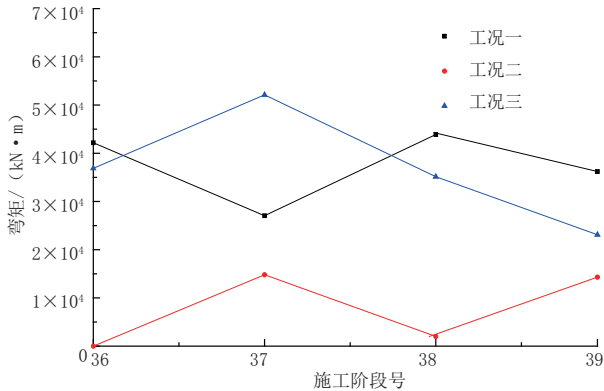


图 8 施工阶段墩顶不平衡弯矩图

综上所述, 在悬臂施工不对称边跨梁段时, 合理的中跨配重对桥梁成桥阶段内力和线性影响较小, 但是却能够有效地减小墩顶不平衡弯矩。

6 结 论

依托实际工程并建立 Midas 模型, 对成桥状态的受力和位移影响较大的因素进行计算分析, 得到以下结论:

(1) 施工过程中的合龙误差对桥梁位移和应力均有较大影响, 其中误差为 5.4 cm 时, 其荷载

作用位置处的位移较理想状态下偏差可以达到 2 倍左右, 对主梁成桥状态下的应力影响较为有限, 仅为理想状态下的 1.14 倍。因此, 在实际施工过程中, 应特别注意对桥梁线性进行精确监控, 避免由于施工误差导致成桥线性不够平顺。

(2) 对比三种合龙温度作用下桥梁成桥状态的上下缘应力可以发现, 虽然在三种荷载工况作用下桥梁降温 23℃ 引起的应力可以达到降温 13℃ 的 1.9 倍之多, 但是由于系统温度本身对桥梁内力影响较为有限, 因此在实际情况下可以忽略不计。但是, 需要注意合龙温度将对支座引起较大的位移, 在实际施工过程中应该在合理的温度下合龙, 并为支座预留预偏量。

(3) 通过对不同压重方式的分析, 发现不同压重对成桥状态影响较小, 但对临时固结墩影响较大。工况二配重方式可以有效地减小墩顶不平衡弯矩, 保证桥梁施工过程中的稳定和安全。

参考文献:

[1] 邵旭东. 桥梁工程(第四版)[M]. 北京:人民交通出版社, 2014.

[2] 王邓旭, 杨美良, 许国龙. 不对称悬臂施工时配重对连续梁桥应力和线形的影响[J]. 湖南交通科技, 2019, 45(01):72-76.

[3] 周光伟, 陈得良, 刘榕. 连续刚构桥合拢温度的合理确定及高温合拢对策[J]. 长沙交通学院学报, 2006(03):15-19.

[4] 姚玲森. 桥梁工程(第二版)[M]. 北京:人民交通出版社, 2008.

(上接第 61 页)

5 结 论

(1) 对山区高边坡实行动态设计, 可以在保证边坡运营要求的同时, 取得良好的成本、进度、风险管控及环境保护等收益。

(2) 山区植被对提高边坡稳定性起到重要作用, 高边坡设计、施工过程中需尽量避免对原地貌植被产生破坏。

(3) 山区高边坡刷坡完成至边坡防护施工完成期间边坡稳定性最为薄弱, 如遇雨季施工, 极易发生边坡滑塌等破坏, 高边坡通过合理动态设计、

科学的施工安排等措施可有效缩短此期间施工周期, 保证施工安全。

参考文献:

[1] 孙红, 吴刚, 李波, 等. 植被边坡稳定性的影响因素分析[J]. 地下工程与空间学报, 2009(增 2):1837-1841.

[2] 程洪, 颜传盛, 李建庆, 等. 草本植物根系网的固土机制模式与力学研究实验[J]. 水土保持研究, 2006(1):62-65.

[3] 安然, 柴军瑞, 覃源, 等. 植被根系形态对边坡稳定性的影响分析[J]. 水利水电技术, 2018, 49(3):150-156.

[4] 中华人民共和国交通运输部. 高速公路路堑高边坡工程施工安全风险评估指南[Z]. 2015.