

文章编号: 1000-5013(2007)03-0308-05

分阶段施工合成箱梁湿接缝的合理宽度分析

陈朝慰¹, 彭大文², 林志平¹

(1. 福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350002; 2. 上海应用技术学院 土木与建筑工程系, 上海 200235)

摘要: 以广东省某分阶段施工合成箱梁桥为工程背景,通过改变翼缘板的宽度,计算预制主梁在张拉预应力时的稳定安全系数、跨中截面上下缘应力控制值,以及吊装就位时的安全系数。结果表明,主梁张拉时的主梁翼缘板宽度应大于 1.20 m,即相应湿接缝的宽度应小于 0.98 m;而主梁吊装时,应尽量保持吊绳竖直,相应湿接缝的宽度应小于等于 0.98 m。最后,通过对试验模型进行张拉并进行有限元分析表明,跨中截面侧向位移和上拱值的有限元计算值均与实测值相接近,分别只有相差 9.5% 和 2.9%。

关键词: 分阶段施工; 箱梁; 湿接缝; 合理宽度; 有限元

中图分类号: U 448.21⁺3.01; TU 323.302

文献标识码: A

分阶段施工合成的箱梁结构,是先预制混凝土工字梁,张拉预应力,再将工字梁吊装就位,最后浇筑相邻工字梁间的湿接缝,即通过预制→吊装→现浇合成的施工方式,把预制的工字梁构成整体的箱梁结构^[1]。其优点是可以减轻构件的吊装重量、节省工程造价、缩短工期,并使结构具备箱型梁桥良好的受力性能;特别适合斜交角较大,施工吊装能力有限的大中跨径桥梁。然而,对于此类结构,现浇湿接缝的合理设计宽度是一个难题。这是因为当湿接缝设计宽度取值大时(预制主梁的翼缘板宽度减小),吊装重量固然会减轻,但也减少了主梁的有效截面,张拉预应力时,跨中截面的应力有可能超过混凝土的抗压(拉)强度,或者超过工字梁的稳定承载能力,同时,吊装施工时的稳定也可能无法满足要求。当湿接缝宽度取值小时,又会增加主梁吊装重量,失去该类桥梁的施工优点。所以对主梁进行强度和稳定分析,研究其翼缘板的一个合适宽度或湿接缝的合理宽度是很有意义的一项工作。

1 研究背景

本文的研究背景为广东省某一斜箱梁桥工程,该桥为双幅桥,总长 593 m,桥面单幅宽为 17.5 m,除第 1,4 联的 40 m 跨为正交外,其余各跨均为斜交,最大斜交角 36.53° ,最小斜交角 27.23° 。该桥采用上述分阶段施工合成箱梁的结构形式设计,结构的主梁截面尺寸和预应力筋布置如图 1 所示。本文在进行现浇湿接缝合理宽度分析时,假定只改变翼缘板的上下宽度,分别取为

0.98, 1.18, 1.38, 1.58, 1.78, 1.98, 2.18 m, 通过张拉预应力时和吊装时主梁的稳定分析、跨中截面上、下缘应力分析, 来确定湿接缝的合理宽度。

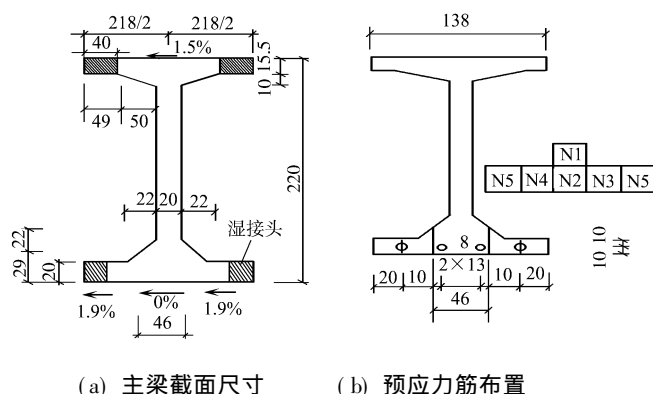


图 1 预制主梁跨中截面尺寸和钢束布置图(cm)

Fig. 1 Mid span section of precast main beam and tendon profile (cm)

收稿日期: 2006-11-02

作者简介: 陈朝慰(1977-),男,博士研究生,主要从事现代桥梁结构的研究;通信作者:彭大文(1949-),男,教授,博士生导师, E-mail: pengdw@sit.edu.cn

基金项目: 上海应用技术学院引进教授基金资助项目(YJ2004 01)

2 预应力张拉的主梁分析

2.1 基本假定

采用大型有限元分析软件 ANSYS, 对分阶段施工合成箱梁的预制主梁进行稳定分析. 分析时先给出以下 3 个假定. (1) 对单根工字梁, 不考虑斜交角的影响, 按直压杆件进行计算; 但考虑预应力钢束偏心距的影响^[2]. (2) 假设由于施工原因, 使预应力钢束在横向存在着 2 cm 的误差^[2]. (3) 计算时, 预应力是按等效荷载作用予以考虑^[3].

分析中采用具有 6 个自由度的 Beam 44 梁单元, 它支持截面定义功能, 使用者可采用截面定义命令 (SECTYPE, SECDATE) 来定义截面形状, 并可在图形用户界面下绘制已定义的截面图形 (SECPLOT), 以检查截面定义的正确性^[4]. 图 1 为主梁的有限元模型 (FEM), 其翼缘板宽度为 1.38 m.

2.2 稳定分析

由于预制梁中的平弯钢束 N_3, N_4 在整个跨度内呈不对称分布, 所以在张拉过程中无法平衡, 会产生横向分力和侧向弯矩, 而梁体刚度较小, 会出现侧向弯曲. 另外, 由于断面尺寸紧凑, 减轻了自重, 使吊装重量减少, 方便了施工; 同时也使得梁的整体刚度比较小, 对于强大的张拉预应力显得过于纤弱, 稳定安全系数偏低, 造成梁体侧向的弯曲^[4]. 施工过程中的各种偏差, 特别是钢束位置的施工误差, 也是侧向弯曲的原因之一. 所以, 本文的稳定分析包括主梁的安全系数和侧向位移分析.

定义相对宽度 α 表示翼缘板宽度与工字梁腹板宽度的比值, 是一个无量纲单位, 它反映了翼缘板宽度的变化状况. 分别取主梁翼缘板宽度 b 为 0.98, 1.18, 1.38, 1.58, 1.78, 1.98, 2.18 m, 即相应的相对宽度 α 为 4.9, 5.9, 6.9, 7.9, 8.9, 9.9, 10.9, 进行建模计算. 主梁的安全系数 (δ) 和跨中侧向位移 (Δ) 与相对宽度关系, 如图 3, 4 所示. 从图 3, 4 可以看出, 随着相对宽度 α 变小, 主梁的安全系数 (δ) 变小, 同时主梁跨中侧移变大, 说明预制主梁的稳定性随着相对宽度变小而降低. 当相对宽度为 5.9 时, 安全系数

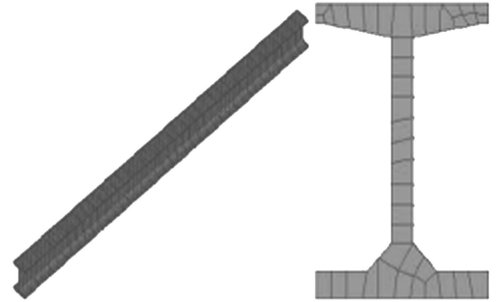


图 2 主梁的有限元模型图
Fig. 2 FEM model of main beam

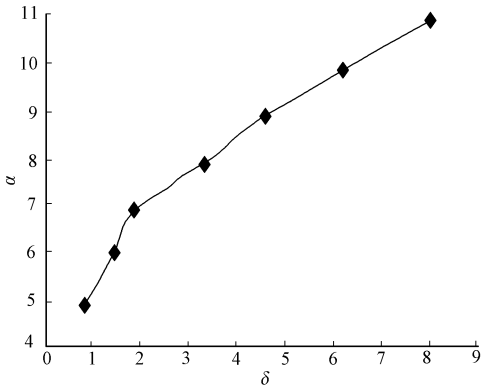


图 3 张拉相对宽度与安全系数图

Fig. 3 Relationship between relative tension width and buckling safety factor

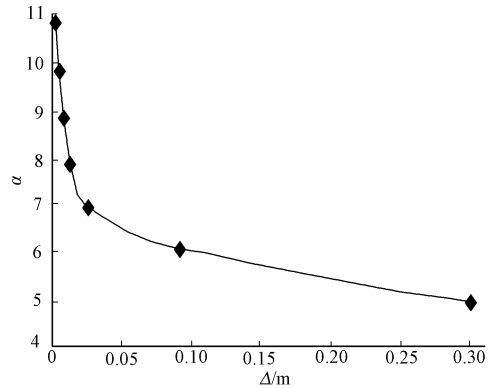


图 4 张拉相对宽度与跨中侧移图

Fig. 4 Relationship between relative width and mid span lateral displacement

为 1.45, 它小于临界安全系数 1.5^[56]. 取相对宽度为 6 进行重新建模分析, 得到主梁的安全系数 1.52 (大于 1.5), 此时跨中侧移为 5.80 cm ($L/690$), 可知主梁将不会失稳. 因此, 预制主梁的相对宽度 α 至少需要大于 6, 主梁在张拉预应力时才能保持稳定. 对于本文研究的实际工程, 预制主梁翼缘板宽度应大于 1.20 m, 即相应湿接缝的宽度应小于 0.98 m, 主梁在张拉预应力阶段才能保持稳定.

2.3 跨中截面上下缘应力分析

同样改变相对宽度 α 的大小, 分析相对宽度变化时主梁在张拉时跨中截面上下缘应力 (F) 的变化情况. 分别取相对宽度 α 为 6, 7.9, 8.9, 9.9, 10.9, 建立模型计算. 主梁在张拉时跨中截面上缘主拉应力和下缘主压应力与相对宽度关系, 如图 5 所示. 从图 5 可以看出, 当相对宽度 $\alpha \geq 6$ 时, 跨中截面的上缘

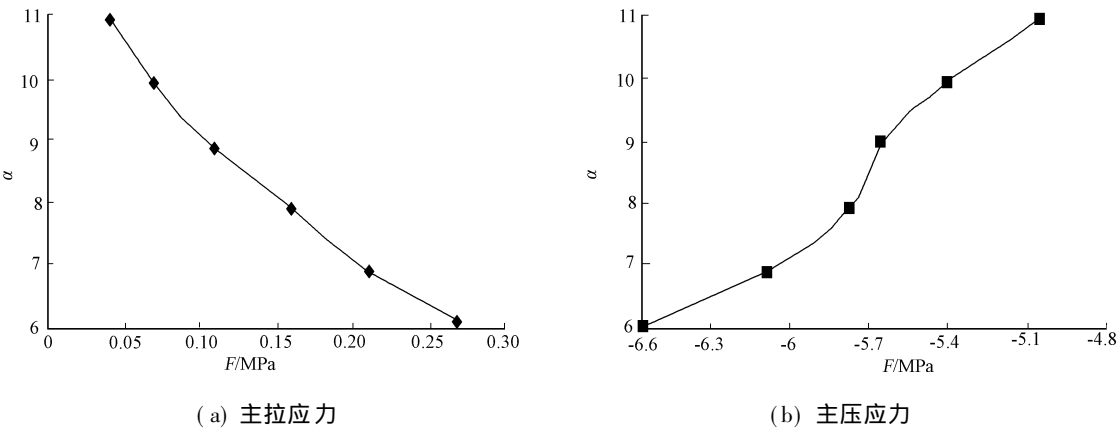


图 5 相对宽度与跨中截面上缘主 1 图

Fig. 5 Relationship between relative width and principal stresses at the top of mid span section

主拉应力和下缘主压应力, 都能满足要求. 即对于本文研究的实际工程, 湿接缝的宽度小于 0.98 m 时, 主梁在张拉时跨中截面的上下缘应力是能满足设计要求的.

3 主梁吊装分析

3.1 稳定分析

据《JTJ 041- 2000 公路桥涵施工技术规范》的规定^[7], 超过 25 m 的裸梁在吊装时, 需要验算其稳定性. 根据《公路桥涵标准图》, 预制的主梁可用兜底吊, 吊装采用二点吊, 其计算示意图如图 6 所示. 吊绳与竖直方向的夹角 β 在 0° 到 30° 之间变化. 分别取相对宽度 α 为 6. 0, 7. 9, 8. 9, 9. 9, 10. 9, 对预制主梁进行分析计算, 得到主梁(考虑了超载和动力系数 1. 3) 在吊绳与竖直方向的夹角在 0° 和 30° 时的安全系数, 如图 7 所示, 其跨中的侧向位移如图 8 所示. 从图 7, 8 可以看出, 主梁相对宽度 α 为 6 且主梁在 β 为 30° 吊装时, 其稳定安全系数值等于 1. 47, 小于临界安全系数 1. 5. 所以取主梁相对宽度 α 为 6. 1 进行重新建模分析, 得到主梁的安全系数 1. 54, 跨中侧移为 5. 30 cm ($L/755$), 主梁不会失稳. 因此预制主梁的相对宽度至少需要大于 6. 1, 主梁在吊装时才能保持稳定. 即



图 6 吊装计算示意图 (cm)

Fig. 6 Calculation Sketch of lifting (cm)

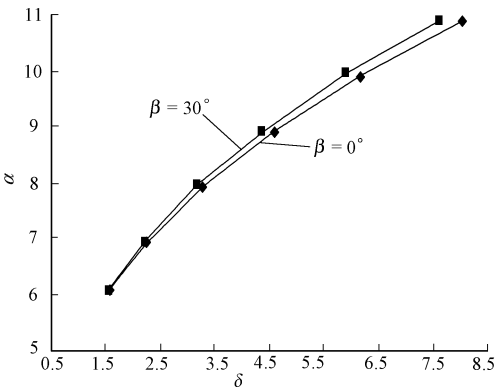


图 7 吊装相对宽度与安全系数图

Fig. 7 Relationship between lifting relative width and buckling safety factor

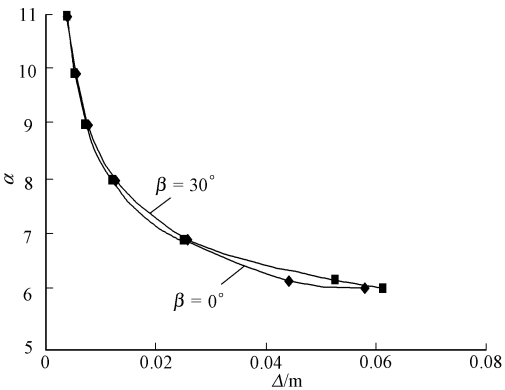


图 8 吊装相对宽度与跨中侧移图

Fig. 8 Relationship between lifting relative width and lateral displacement

对于本文研究的实际工程, 相应的湿接缝的宽度应小于 0.96 m, 主梁在吊装时才能保持稳定. 从图 7, 8 还可以看出, 主梁在吊装时, 应尽量保持吊绳竖直, 减小吊绳与竖直方向的夹角.

3.2 应力分析

主梁吊装时应力分析, 包括吊点截面和跨中截面的上下缘应力分析, 且在分析时应考虑动力及超载系数, 它们分别为 1.3 和 0.85. 同样, 改变相对宽度 α 的大小, 分析主梁在吊装时吊点截面上下缘应力和跨中截面的上下缘应力的变化情况. 分别取相对宽度为 6.1, 7.9, 8.9, 9.9, 10.9, 建立模型计算. 取主梁在两个动力及超载系数分别作用下的最大应力作为控制应力, 则吊装时主梁关键截面上缘主拉应力和下缘主压应力与相对宽度关系, 如图 9, 10 所示. 从图 9, 10 可以看出, 当相对宽度 $\alpha \geq 6.1$ 时, 跨中截

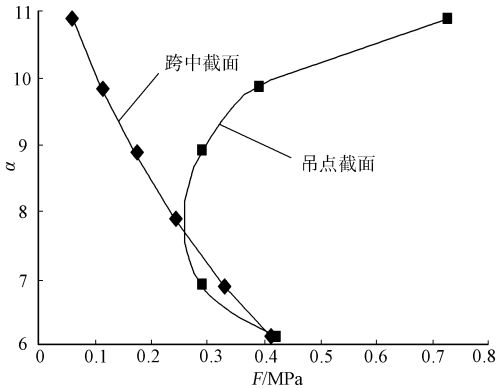


图 9 相对宽度与关键截面上缘主拉应力关系

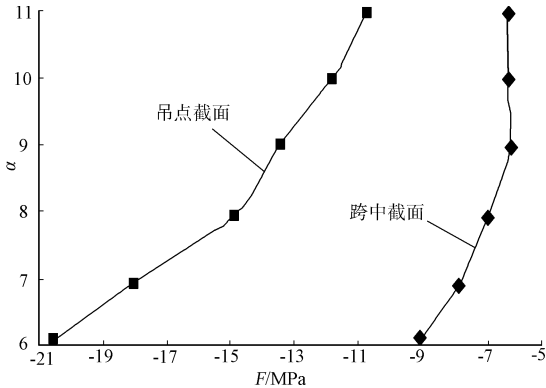


图 10 相对宽度与关键截面下缘主压应力关系

Fig. 9 Relationship between relative width and principal tensile stresses at the top of key sections Fig. 10 Relationship between relative width and principal compressive stresses at the bottom of key sections

面和吊点截面的主应力都能满足设计施工要求. 即对于本文研究的实际工程, 湿接缝的宽度大于等于 0.98 m 时, 主梁在吊装时关键截面的应力都能满足设计施工要求的.

4 模型试验

4.1 模型试验设计

模型设计采用以下 3 个相似准则^[8]: (1) 模型与原桥的每片梁几何相似, 边界条件相似; (2) 模型的材料与原桥的材料相同, 每片梁的对应截面刚度相似; (3) 模型与原桥的应力、应变相同. 根据试验目的, 试验模型是按照一片梁与实桥的一片梁相似的准则进行设计, 模型尺寸根据斜箱梁实桥的原型, 按照 1: 3.2 的比例设计, 模型梁跨度为 12.68 m, 中梁截面 T 和预应力钢束布置, 如图 11 所示.

4.2 试验构件的张拉和有限元分析

对试验模型进行张拉, 用百分表测试每片梁跨中截面的上拱值(s)和侧向位移值(Δ), 测试结果如表 1 所示. 同时用有限元程序 ANSYS 对中梁进行非线性屈曲分析, 假定钢束横向偏移 0.6 cm (相当于实际梁偏移 2 cm), 分析结果如表 1 所示. 表中, 试验模型的计算长度 $L = 12.18$ m, 预应力张拉的模型试验如图 12 所示. 从表 1 可看出, 对试验模型进行张拉时, 其跨中截面侧向位移只有 0.95 cm ($L/1313$),

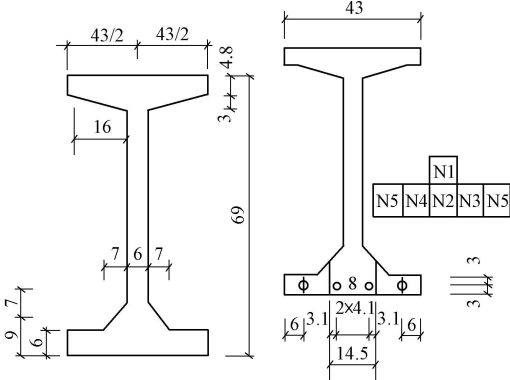


图 11 主梁截面尺寸和钢束布置图(cm)



图 12 张拉预应力图

Fig. 11 Section of main beam and tendon profile(cm) Fig. 12 Tensioning of tendon prestress

试验模型不会失稳. 跨中截面侧向位移和上拱值的有限元计算值与实测值分别只相差 9.5% 和 2.9%.

这表明了有限元模型模拟是准确的,上述有限元对实桥分析比较的结论也是可信的.

5 结束语

通过本文分析,可以得出以下4个结论.(1)分阶段施工合成箱

梁现浇湿接缝的最大值,取决于预制主梁最不利吊装状态时的稳定性,同时也需考虑预应力张拉时的应力、压杆稳定状况,以及吊装时的应力,取它们的不利值.(2)预制主梁在吊装时,应尽量保持吊绳竖直,减小吊绳与竖直方向的夹角,以提高结构在吊装时的稳定性.对于本文研究的实际工程,最大的湿接缝宽度为0.96 m.(3)试验结果表明,本文的有限元模型模拟是准确的,用有限元对实桥进行分析比较的结论是可信的.(4)本文分析给出了一个确定湿接缝合理宽度的思路,补充与完善了分阶段施工合成箱梁此类结构的计算方法.

参考文献:

[1] 彭大文,洪锦祥,林国华.分阶段施工合成箱梁的结构研究[J].福州大学学报:自然科学版,2003,31(5):583-587.
[2] 彭大文,陈朝慰.分阶段施工合成箱梁的试验与关键技术研究报告[R].福州:福州大学,2004.
[3] 范立础.桥梁工程[M].上海:同济大学出版社,1997.
[4] 余卫民,宋从军.T形组合梁侧弯问题的分析与处理[J].广东公路交通,2002,75(4):29-30.
[5] 张继尧,乌琦.对预应力混凝土工形组合梁桥设计与施工的探讨[J].华东公路,2001:48-50.
[6] 谭也平,王书庆.大跨度快速拼装式简支梁桥整体稳定分析[J].深圳大学学报:理工版,2001,18(1):64-70.
[7] 中华人民共和国交通部.JTJ 041-2000 公路桥涵施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,1989.
[8] 李德寅,王邦楣,林亚超.结构模型实验[M].北京:科学出版社,1996:30-31.

Analysis of the Rational Width of Wet Joint in the Composite Box Beam Built by Construction Stages

CHEN Chao-wei¹, PENG Da-wen², LIN Zhi-ping¹

(1. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China;
2. Department of Civil Engineering and Architecture, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China)

Abstract: Taking a box bridge in Guangdong province as engineering example, the buckling safety factor and the control stress at the bottom and the top of the mid span section during tendon tensioning, and the buckling safety factor during lifting are calculated for the different width of the flange slab. The results show that the width of the flange slab should be greater than 1.2 m and corresponding width of the wet joint should be less than 0.98 m during tendon tensioning. The becket should be kept as vertically as possible during lifting, the corresponding width of the wet joint should also be less than 0.98 m. The model experiment and finite element method analysis show that the experimental results of the mid span lateral displacement and mid span upward deflection conform to calculational ones, the differences are 9.5% and 2.9% respectively.
Keywords: construction stages; box beam; wet joint; rational width; finite element method

(责任编辑:黄仲一)