文章编号:1005-0523(2020)06-0044-05

大跨斜交变截面宽箱连续梁桥裂缝成因分析

张 龙[1],唐盛华[2],卢江波[1]

(1. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司,湖南 长沙 410008;2. 湘潭大学土木工程与力学学院,湖南 湘潭 411105)

摘要:某大跨度斜交变截面宽幅连续箱梁桥通车6年后,箱梁中跨跨中腹板及底板倒角位置出现大量裂缝,加固后仍继续开裂,为得到箱梁裂缝的确切成因,采用ANSYS软件建立模拟施工过程的三维实体有限元模型进行全过程精细分析。计算结果表明:单梁杆系模型对空间效应显著的宽箱斜梁桥分析结果不准确,腹板变薄、竖向预应力筋减少、空间效应易导致腹板及底板倒角位置开裂,19.3 m宽幅桥梁不宜采用单箱单室截面。

关键词:斜交桥;混凝土箱梁;单箱单室;裂缝成因;有限元法

中图分类号:U441 **文献标志码**:A

本文引用格式:张龙,唐盛华,卢江波. 大跨斜交变截面宽箱连续梁桥裂缝成因分析[J]. 华东交通大学学报,2020,37(6):44-48.

Citation format:ZHANG L,TANG S H,LU J B. Analysis on the causes of cracks in long-span skew variable cross-section wide box continuous girder bridge[J]. Journal of East China Jiaotong University,2020,37(6):44-48.

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2020.06.006

1 工程背景

广东省佛山市某座大跨度宽幅连续箱梁桥桥长687.96 m,主桥为(55+80+55) m斜交变截面预应力砼连续箱梁(见图1),斜交角为25°,上部结构采用C50单箱单室变截面预应力混凝土箱梁,直腹板,箱梁顶板宽19.3 m,顶板厚30 cm,悬臂长4.4 m;底板在跨中位置厚35 cm,支点位置厚75 cm;腹板厚度支点位置75 cm,跨中位置50 cm;箱梁梁高支点位置4.5 m,跨中位置2.5 m,箱梁高度、底板厚度均按二次抛物线变化。

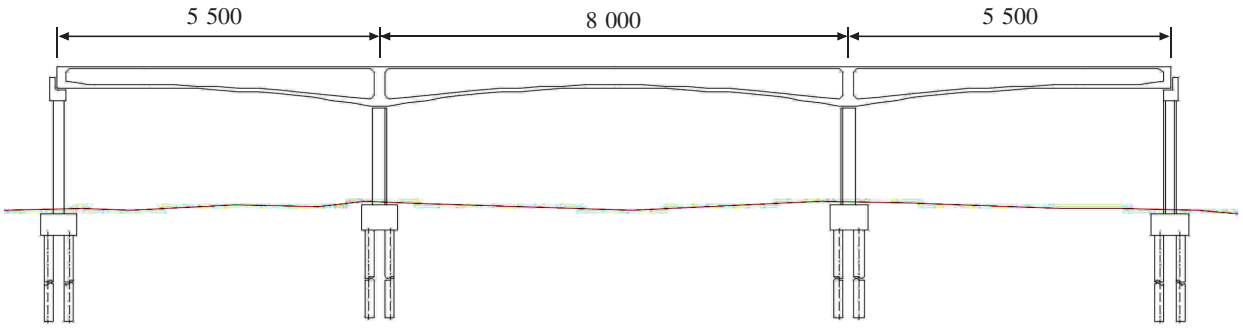


图1 桥型布置图(单位:cm)

Fig.1 Layout of bridge type (Unit: cm)

箱梁采用三向预应力体系,前期顶板束、前期下弯束、中跨顶板合龙束为12ϕ^s15.2 mm钢绞线,张拉控制应力为0.75f_{pk},两端张拉;底板束与边跨顶板束为9ϕ^s15.2 mm钢绞线,控制应力为0.75f_{pk},单端张拉;箱梁腹板内竖向及横隔板竖向均采用ϕ32 JI785级精轧螺纹钢筋,张拉力为513 kN,纵向间距为50 cm。箱梁顶板横向预应力束及横隔板横向预应力束均为3ϕ^s15.2 mm钢绞线,单端交错张拉,纵向间距为50 cm,控制应力0.75f_{pk}。箱梁一般构造和预应力布置图如图2所示。

收稿日期:2020-09-01

基金项目:国家自然科学基金项目(51508488)

作者简介:张龙(1989—),男,工程师,硕士,研究方向为桥梁设计,E-mail:17252148@qq.com。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

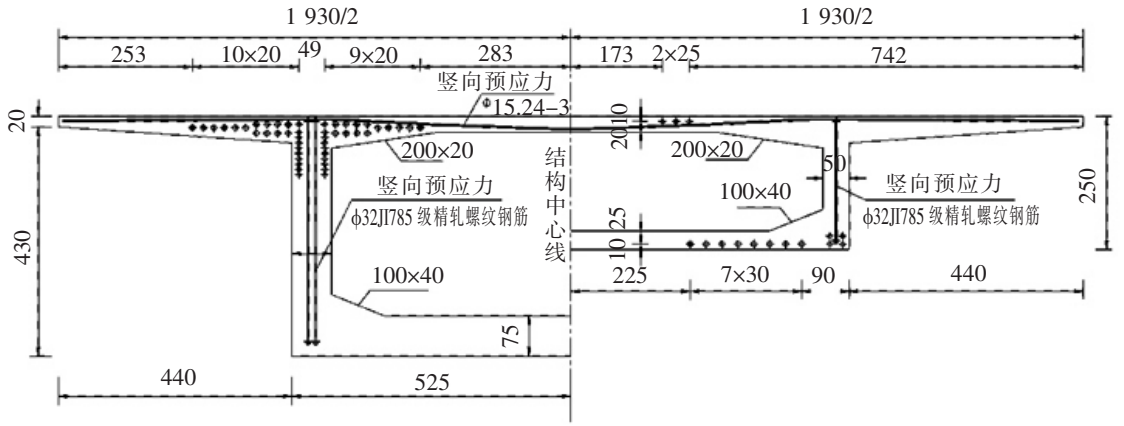


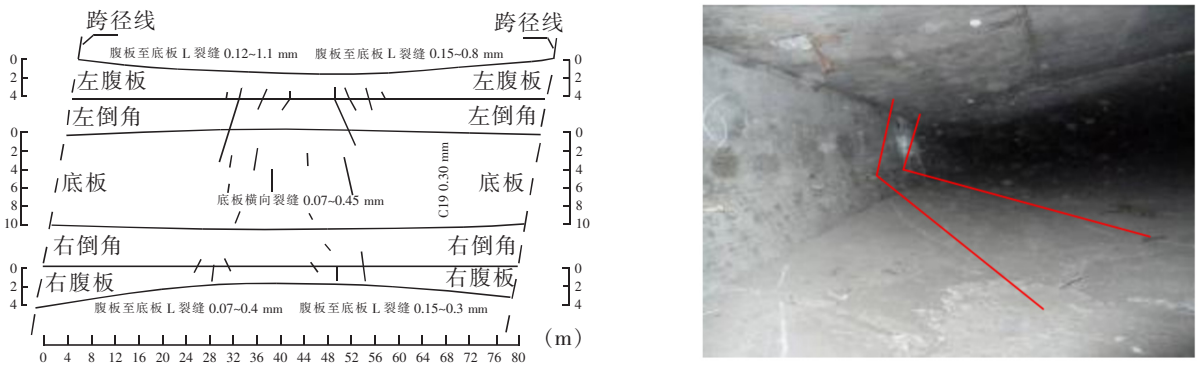
图 2　箱梁一般构造和预应力布置图(单位：cm)

Fig.2　General structure and prestressed layout of box girder (Unit: cm)

箱梁单“T”构分 11 个节段悬臂浇筑，其中 0 号梁段长 300 cm，其余 1~11 号梁段分段长为 5×3 m+3×3.5 m+3×4 m，合拢段长为 200 cm。主桥按主墩两个“T”构对称悬臂现浇施工，除 0 号、1 号梁段采用搭设托架浇注完成外，其余梁段均采用挂篮悬浇。边跨现浇段采用搭设支架浇筑。

该桥于 2006 年 12 月竣工通车，设计荷载为“汽车-超 20 级，挂车-120”，2012 年 7 月和 2015 年 8 月全桥检测均发现箱梁中跨跨中腹板及倒角位置出现了大量裂缝，并进行了加固处理，加固内容为增设混凝土横隔板，但加固效果并不好。2017 年再次进行了全桥检测，发现裂缝有所发展，最大裂缝宽度由 0.9 mm 发展至 1.1 mm，主要集中在中跨跨中腹板及倒角位置，如图 3 所示。

由此可以判断，此类裂缝为结构性受力裂缝，是由腹板与底板倒角处主拉应力过大引起的。通过杆系梁单元对全桥进行建模分析，发现其承载能力与正常使用均满足规范要求。考虑该桥存在斜梁效应、宽箱梁效应、偏载效应以及超载效应等，空间效应显著，而杆系梁单元无法考虑箱梁畸变等局部受力[1-5]，本文采用 ANSYS15.0 按施工过程建立全桥三维实体有限元模型进行精细分析，以期得到箱梁裂缝的确切成因，为后期的维修加固提供科学依据[6-7]。



(a) 主跨裂缝分布示意图　　(b) 裂缝示意图

图3　箱梁跨中腹板及底板位置裂缝分布

Fig.3　Distribution of cracks in web and bottom plate of box girder

2　计算模型建立

1) 有限元模型[8]。主桥箱梁、横梁、齿块、支座垫石采用实体单元 solid45，预应力钢筋采用杆单元 link10，主桥箱梁、横梁、齿块等共划分 97 220 个单元，纵、横、竖三向预应力共划分 29 022 个单元。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2）材料特性。钢筋与混凝土的材料特性按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》[9]进行取值，材料特性如表1所示。

表1 混凝土及钢筋的材料特性

Tab.1 Material characteristics of concrete and reinforcement

材料	密度/(kg/m^3)	弹性模量/MPa	有效预应力/MPa
混凝土	2 600	3.45×10^4	–
预应力钢绞线	7 800	2.10×10^5	1 116
精轧螺纹钢	7 800	2.10×10^5	510

备注：预应力均考虑20%损失。

3）施工阶段。该桥采用悬臂法进行施工，共划分15个阶段，各施工阶段如表2所示。

表2 施工阶段划分

Tab.2 Construction stage division

施工阶段	阶段内容
1	浇筑0#及1#块并张拉三向预应力，墩梁固结
2	浇筑2#块并张拉三向预应力
3~11	重复步骤2对称平衡施工箱梁3#~11#节段
12	满堂支架下，浇筑边跨现浇段完成边跨合拢，并张拉三向预应力
13	解除墩梁临时固结，上支座，拆除满堂支架
14	中跨合拢并张拉三向预应力
15	上二期恒载

4）荷载参数。实体有限元模型中的相关参数如下。

恒载：自重+二期恒载。

梯度温度：按《公路桥涵设计通用规范》[10]取，梯度升温时，桥面板表面的最高温度为14°，距表面0.1 m位置5.5°，距表面0.4 m位置0°，中间线性变化。梯度温降为正温差乘以–0.5。

整体升降温：±20°。

汽车荷载：汽车荷载以车队的形式添加，纵向布置形式参考《公路桥涵设计通用规范JT021–89》的汽–超20级进行布置，横向分正载和偏载两种情况。

5）荷载组合[10]。根据以上单项荷载作用，腹板及底板的应力结果，确定以下4种荷载工况用于分析腹板及底板裂缝成因分析。

工况1：自重+预应力+二期恒载(成桥状态)。

工况2：自重+预应力+二期恒载+汽–超20级(两种布载)。

工况3：自重+预应力+二期恒载+汽–超20级(两种布载)+梯度温升。

工况4：自重+预应力+二期恒载+汽–超20级(两种布载)+梯度温升+整体温降。

3 计算结果分析

考虑工况1~4，中跨腹板的主拉应力如图4~图7所示，可以看出：

对于工况1(图4)，主桥受恒载及预应力作用，中跨1/4~3/4位置腹板及底板倒角位置出现较大拉应力，

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

最大拉应力达 5.3 MPa 左右，超过 C50 混凝土轴心抗拉强度标准值 2.65 MPa，即在成桥阶段，中跨 1/4~3/4 位置腹板及底板倒角位置就可能出现裂缝，且图中主拉应力较大位置及裂缝方向（图 5）与实际检测结果（图 3）吻合。据此推断腹板及底板倒角位置裂缝成因可能与主桥箱梁设计不甚合理有关，具体为

1）腹板宽度变窄位置不合理。腹板与底板交接位置应力较大点开始于腹板变窄位置，该位置不仅腹板变窄且竖向预应力根数变为变窄前的一半，当截面变窄且预应力根数变少后，截面主拉应力会较大，如图 6 所示。

2）左右两侧腹板应力存在显著差异。中跨 7# 块在同一横断面上左侧腹板最大主拉应力为 5.0 MPa 左右，而右侧腹板为 3.3 MPa 左右，相差 1.7 MPa，若是正桥同一横断面成桥状态腹板应力应是一样的。

3）斜交 25°，桥宽 19.3 m 做单箱单室截面不合理。箱梁截面抗扭刚度不够，横截面周边发生明显变形，箱梁畸变不可忽略，图 7 为中跨 7# 块箱梁变形，沿箱形截面周边变形较大。

4）仅采用杆系梁单元进行分析，结果不准确。通过实体模型精细模拟实桥的受力状态，同时考虑了荷载作用下的弯曲、剪切、扭转、畸变等效应，计算的局部应力比杆系模型的明显偏大。

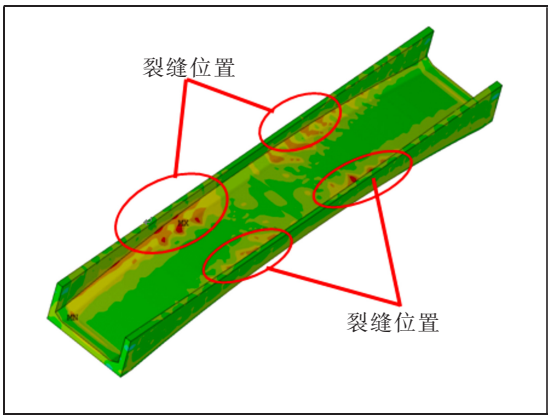


图 4　工况 1 中跨腹板主拉应力云图

Fig.4　Cloud chart of main tensile stress of mid-span web in Case 1

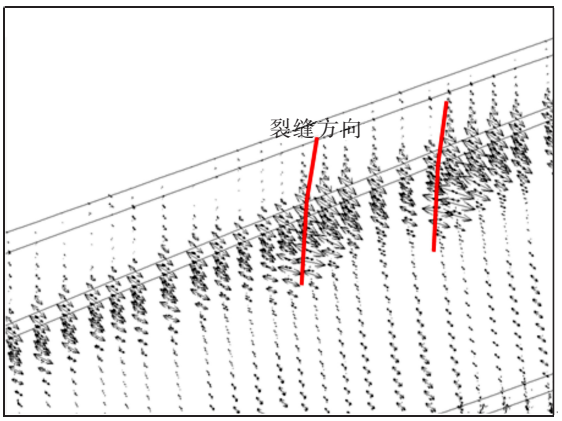


图 5　工况 1 中跨腹板主拉应力方向

Fig.5　Main tensile stress direction of mid-span web in Case 1

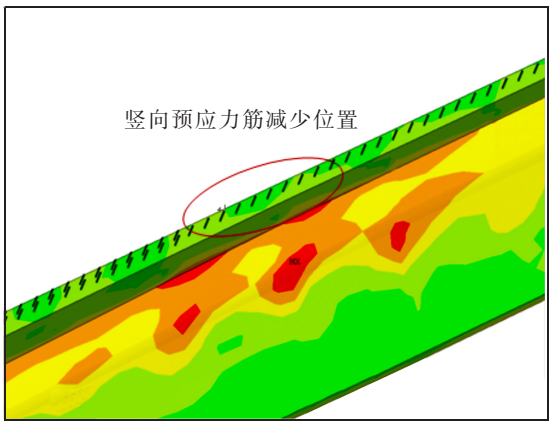


图 6　工况 1 中跨腹板主拉应力及竖向预应力筋

Fig.6　The main tensile stress and vertical prestressed bar of the mid-span web in Case 1

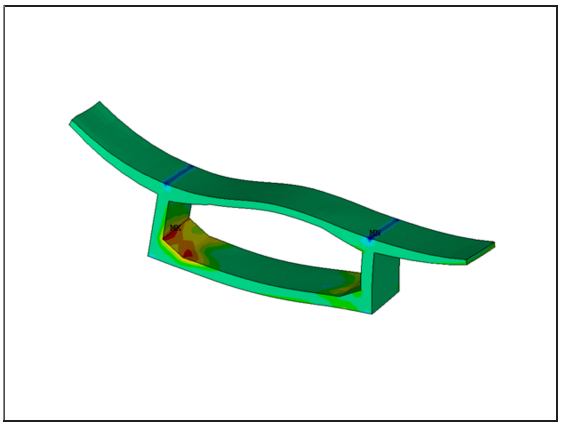


图 7　中跨 7# 块箱梁变形

Fig.7　Deformation of No.7 box girder of mids-pan

对于工况 2，主桥受恒载、预应力及汽超-20 级作用，相比工况 1，跨中腹板、底板倒角最大主拉应力增加 1.4 MPa 左右。

对于工况 3，主桥受恒载、预应力、超-20 级及梯度温升作用，相比工况 2，跨中腹板、底板倒角最大主拉

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

应力增加0.9 MPa左右,最大主拉应力达7.7 MPa。

对于工况4,主桥受恒载、预应力、超-20级、梯度温升及整体温降作用,相比工况3,跨中腹板、底板倒角最大主拉应力变化较小。

4 结论

依据广东佛山某大跨度宽幅斜交连续箱梁桥的病害检测结果,采用有限元软件ANSYS15.0,建立考虑施工过程的三维实体有限元模型,分析了该桥中跨跨中腹板及底板倒角位置裂缝产生的原因,结果表明:仅采用单梁杆系模型对空间效应显著的宽箱斜梁桥分析,结果不准确,腹板变薄、竖向预应力筋减少、空间效应易导致腹板及底板倒角位置开裂,19.3 m宽幅桥梁不宜采用单箱单室截面。该分析结果可为该桥的后续加固设计提供可靠依据,并为类似宽幅斜交连续箱梁桥的设计和建设提供重要参考。

参考文献:

[1] 邢哲. 宽幅斜交变截面连续箱梁顶板开裂原因分析[J]. 交通世界, 2009(21):92-94.
[2] 刘茂军,赵艳林,吕海波. 钢筋混凝土结构裂缝产生的机理分析及应对策略[J]. 混凝土,2009(9):56-58.
[3] 卢江波,方鸿,戴小冬. 倒箱形截面门式框架斜桥顶板底面斜向裂缝成因分析[J]. 中外公路,2019,39(5):165-167.
[4] 张俊芝,苏小卒. 基于特征裂缝宽度的混凝土的可靠性[J]. 华东交通大学学报,2003,20(1):48-52.
[5] 张树仁,郑绍珪,黄侨,等. 钢筋混凝土及预应力混凝土桥梁结构设计原理[M]. 北京:人民交通出版社,2004:200-210.
[6] 陈梦成,杨超,方苇,等. 徐变作用下混凝土结构力学行为的ANSYS分析[J]. 华东交通大学学报,2019,36(2):1-7.
[7] 贺志勇,阳初,张建军. 基于ANSYS的等截面连续箱梁桥腹板裂缝分析[J]. 华南理工大学学报,2013,41(6):63-68.
[8] 王新敏. ANSYS工程结构数值分析[M]. 北京:人民交通出版社,2007:6-10.
[9] 张喜刚,徐国平,赵君黎,等. JTG 3362-2018 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2018.
[10] 袁洪,徐国平,赵君黎,等. JTG D60-2015 公路桥涵设计通用规范[S]. 北京:人民交通出版社,2015.

Analysis on the Causes of Cracks in Long-Span Skew Variable Cross-Section Wide Box Continuous Girder Bridge

Zhang Long[1], Tang Shenghua[2], Lu Jiangbo[1]

(1.Hunan Communications Planning, Survey & Design Institute Co., Ltd., Changsha 410008, China;
2. Key Laboratory of Dynamics and Reliability of Structures, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract: A large number of cracks appear in the chamfering positions of webs and baseplates in the middle span of a long-span skew variable cross-section wide width continuous box girder bridge after 6 years operation, and they continue to crack after reinforcement. In order to get the exact cause of cracks in the box girder, a three-dimensional solid finite element model simulating the construction process is established based on ANSYS software. The results show that it is not accurate to analyze the wide skew beam bridge with significant spatial effect only by using the member system beam element. The web thinning, the reduction of vertical prestressed reinforcement and the spatial effect can easily lead to cracking in the chamfering position of web and floor and the single box single chamber section is not suitable for 19.3 wide bridge.

Key words: skew bridge; concrete box girder; single box single room; causes of cracks; finite element method

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net