

大跨 PC 宽幅箱梁顶板横向计算分析

赵鹏¹, 谭威², 冯超²

(新疆维吾尔自治区交通规划勘察设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 以某(45+2×80+45) m 大跨 PC 连续刚构桥(箱梁顶板宽 12.5 m)为工程背景, 建立箱梁横向框架空间网格模型, 对其箱梁顶板横向受力进行分析与计算, 得出大跨 PC 宽幅箱梁横向计算参数计算与结构截面验算的技术要点, 提出大跨 PC 宽幅箱梁桥顶板横向设计宜按全预应力砼构件设计、应满足 A 类预应力砼构件设计要求的建议。

关键词: 桥梁; 宽幅箱梁; 顶板; 横向受力

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)02-0104-04

PC 宽幅箱梁多用于大跨 PC 连续梁桥或连续刚构桥中, 其形式一般有单箱单室、单箱双室、多箱单室等, 其顶板截面应力沿横向并非均匀分布, 在腹板顶截面处会形成应力峰值, 即存在剪力滞效应。实际工程中一般采用实用的翼缘有效宽度法进行结构设计, 桥梁相关通用有限元计算软件对大跨 PC 宽幅箱梁的纵向计算也基于这一简化方法进行, 正因为如此, 在大跨 PC 宽幅箱梁桥设计中往往只进行纵桥向结构计算, 很少进行横桥向结构分析。这种做法对于顶板宽度较小、悬臂板及腹板间距较小的 PC 箱梁影响不大, 但对于 PC 宽幅箱梁可能带来很大安全隐患, 需对其顶板横向受力进行分析与计算, 消除安全隐患。

根据 JTG 3362-2018《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》, 宽幅砼桥梁结构可采用实用精细化分析模型进行结构分析计算, 腹板间距不小于 5 m 的砼箱梁宜采用空间网格模型进行。该文以某大跨 PC 连续刚构桥为工程背景, 建立箱梁横向框架空间网格模型, 研究大跨 PC 宽幅箱梁横向计算参数计算与横向结构验算的技术要点。

1 工程概况

某(45+2×80+45) m 大跨 PC 连续刚构桥, 采用单箱单室、C55 砼, 顶板宽 12.5 m、厚 2.3 m, 悬臂板宽 3.0 m, 底板宽 6.5 m、厚 0.32~0.60 m。跨中梁高 2.6 m, 支点梁高 5.0 m, 腹板厚 0.45~0.60 m, 腹板间距均大于 5.0 m(见图 1)。

2 箱梁横向框架空间网格模型建立

沿纵桥向取 1 m 作为标准段, 选取梁高最小的

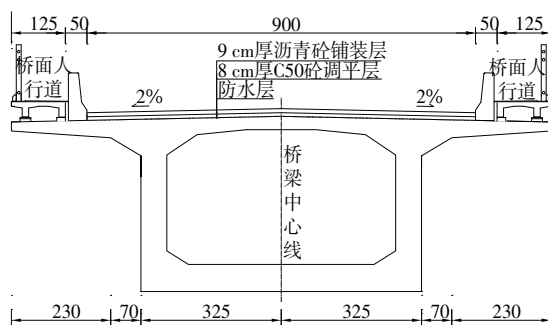


图 1 箱梁标准横断面(单位: cm)

跨中截面作为计算截面(梁高越小, 竖腹板分担的弯矩越小, 顶板受力越不利), 将体系分为顶板、腹板、底板三大构件, 并考虑它们单独受力, 采用桥梁通用计算软件 MIDAS/Civil 2019 建立模型(见图 2)。

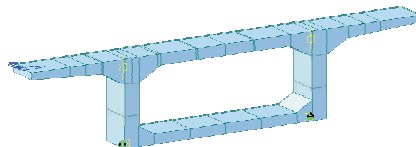


图 2 箱梁横向框架空间网格模型

模型总计 36 个节点、32 个单元, 顶板与腹板、腹板与底板内部均采用刚性连接, 腹板底端采用铰接, 整个横向框架体系相当于腹板底端铰接的简支框架梁。

3 箱梁主要横向计算参数计算

3.1 恒载计算

- (1) 自重。结构自重由程序自动计入。
- (2) 二期恒载。1) 桥面铺装按均布荷载考虑: 4.57 kN/m(9 m 范围)。2) 防撞护栏按均布荷载考虑: 13.0 kN/m(左右各 0.5 m 范围)。3) 人行道板

及栏杆按均布荷载考虑:13.0 kN/m(左右各 1.25 m 范围)。

(3) 预应力。箱梁纵桥向每间隔 0.5 m 布置一束 $3\phi 15.2$ 横向钢绞线,计算中按 2 束计,钢绞线控制张拉力为 1 395 MPa。

3.2 活载计算

箱梁顶板横向受力计算属于桥面板局部受力计算范畴,依据 JTJG D60—2015《公路桥涵通用规范》,局部加载的计算采用车辆荷载。汽车轴重为 140 kN,着地宽度与长度分别为 0.6、0.2 m。

依据 JTJG D60—2015,横向布置 2 辆车,最靠近防撞护栏处车轮与防撞护栏的距离为 0.5 m,4 个车轮距翼缘板最外侧的距离分别为 2.25、4.05、5.35、7.15 m,车轮作用见图 3。

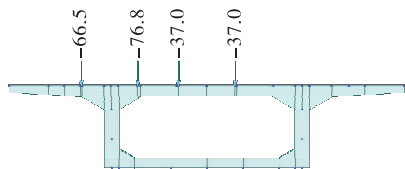


图3 车轮作用示意图(单位:kN)

(1) 作用于腹板支承左侧附近车轮的横向分布宽度 $b_1 = b_2 + 2H = 0.94$ m (b_2 为车轮横向着地尺寸, $b_2 = 0.6$ m; H 为桥面铺装厚度, $H = 0.17$ m), 纵向分布宽度 $a = a_2 + 2H + t + 2x = 2.24$ m (a_2 为车轮纵向着地尺寸, $a_2 = 0.2$ m; t 为桥面板厚度,取箱内最小厚度 0.3 m; x 为车轮到支承的间距, $x = 0.75$ m)。作用于腹板支承左侧附近车轮车轴换算荷载 $P = 140/(ab_1) = 66.5$ kN。

(2) 作用于腹板支承右侧附近车轮的纵向分布宽度 $a = a_2 + 2H + t + 2x = 1.94$ m (x 为车轮到支承的间距, $x = 0.6$ m)。作用于腹板支承右侧附近车轮车轴换算荷载 $P = 140/(ab_1) = 76.8$ kN。

(3) 作用于顶板跨中附近车轮的纵向分布宽度 $a = a_2 + 2H + L/3 \leq 2L/3 = 4.03$ m (L 为箱梁横向板的计算跨径, $L = 6.05$ m)。作用于跨中附近车轮车轴换算荷载 $P = 140/(ab_1) = 37.0$ kN。

(4) 人群荷载。根据该桥跨径,依据 JTJG D60—2015 计算得人群荷载集度为 2.85 kN/m²。

3.3 温度效应

按 JTJG D60—2015 进行计算加载。

3.4 荷载组合

依据 JTJG D60—2015 对各计算荷载(作用)进行组合,车辆荷载基本组合分项系数取 1.8。

4 箱梁顶板横向计算分析

4.1 正截面抗弯计算与分析

箱梁横向弯矩计算结果见图 4,基本组合作用下主要截面横向抗弯验算结果见表 1。



图4 箱梁横向正截面弯矩计算结果(单位:kN·m)

表1 箱梁横向正截面抗弯验算结果 kN·m

截面	rM_u	M_n	验算结果
左悬臂端	0.00	50.06	合格
1/2 左悬臂	-30.19	214.26	合格
左腹板顶	-353.79	675.58	合格
1/4 跨中板	-18.36	231.06	合格
1/2 跨中板	-7.15	231.06	合格
3/4 跨中板	-18.93	231.06	合格
右腹板顶	-107.74	675.58	合格
1/2 右悬臂	-30.19	214.26	合格
右悬臂端	0.00	50.06	合格

注: r 为结构重要性系数,取 1.1。下同。

由图 4、表 1 可知:顶板最大弯矩发生在腹板顶附近截面,箱梁横向正截面抗力均大于其最不利弯矩组合设计值,箱梁抗弯满足设计要求。

4.2 斜截面抗剪验算

箱梁横向剪力计算结果见图 5,基本组合作用下主要截面横向抗剪验算结果见表 2。

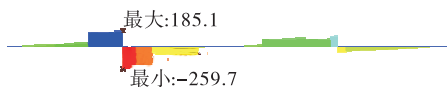


图5 箱梁横向斜截面剪力计算结果(单位:kN)

表2 箱梁横向斜截面抗剪验算结果 kN

截面	rV_d	V_n	验算结果
左悬臂端	0.00	411.73	合格
1/2 左悬臂	24.13	482.55	合格
左腹板顶	-285.66	1 507.41	合格
1/4 跨中板	-89.37	565.51	合格
1/2 跨中板	0.30	565.51	合格
3/4 跨中板	89.97	565.51	合格
右腹板顶	-72.00	1 507.41	合格
1/2 右悬臂	-37.81	555.76	合格
右悬臂端	0.00	411.73	合格

由图 5、表 2 可知:顶板剪力最大值发生在腹板顶附近截面,其截面抗力均大于最不利剪力组合设计值,箱梁抗剪满足设计要求。

4.3 正截面抗裂计算与分析

根据 JTG 3362—2018 对箱梁横向各截面进行正截面抗裂计算,频率组合作用下箱梁顶板截面上、下缘应力分别见图 6、图 7,主要截面横向抗裂验算结果见表 3。



图 6 箱梁横向截面上缘应力计算结果(单位:MPa)

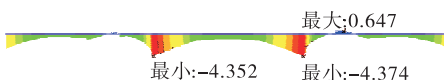


图 7 箱梁横向截面下缘应力计算结果(单位:MPa)

表 3 箱梁横向正截面抗裂验算结果 MPa

截面	$\sigma_{st上}$	$\sigma_{st下}$	限值 1	限值 2
左悬臂端	6.711	2.921	0	-1.918
1/2 左悬臂	6.298	0.610	0	-1.918
左腹板顶	3.118	0.613	0	-1.918
1/4 跨中板	4.938	1.387	0	-1.918
1/2 跨中板	5.206	1.397	0	-1.918
3/4 跨中板	4.816	4.300	0	-1.918
右腹板顶	3.947	-0.647	0	-1.918
1/2 右悬臂	6.193	0.621	0	-1.918
右悬臂端	6.595	2.858	0	-1.918

注:限值 1 为全预应力砼构件设计限值;限值 2 为 A 类预应力砼构件设计限值, $0.7f_{tk} = 0.7 \times 2.74 = 1.918$ MPa。

由图 6、图 7、表 3 可知:箱梁横向各截面上缘表现为全截面受压状态,最大应力发生在悬臂板端部,最小压应力发生在顶板跨中板靠近腹板顶车轮加载对称的位置;箱梁横向各截面下缘最大压应力发生在顶板跨中板靠近腹板顶车轮加载的位置;在顶板悬臂板靠近腹板顶位置出现拉应力,最大值为 0.647 MPa,满足 A 类预应力砼构件设计要求。由于腹板顶附近顶板负弯矩较大,顶板厚度一般在 0.3 m 左右,厚度较薄,在顶板横向预应力作用下,悬臂板靠近腹板顶位置出现拉应力。为此,将顶板横向预应力束由 $3\phi 15.2$ 钢绞线改为 $2\phi 15.2, 1\phi 15.2$ 钢绞线,变更后频率组合作用下箱梁顶板截面上、下缘应力见图 8~11。



图 8 2 股束箱梁横向截面上缘应力计算结果(单位:MPa)

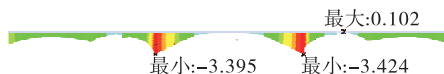


图 9 2 股束箱梁横向截面下缘应力计算结果(单位:MPa)



图 10 1 股束箱梁横向截面上缘应力计算结果(单位:MPa)

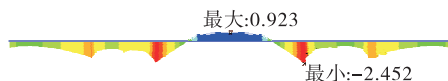


图 11 1 股束箱梁横向截面下缘应力计算结果(单位:MPa)

对比图 6、图 8 与图 10,图 7、图 9 与图 11 可知:3 种横向配束方式都达到了 A 类预应力砼构件设计要求,顶板横向预应力束为 $2\phi 15.2$ 钢绞线时顶板上、下缘应力最优,正截面最大拉应力仅 0.102 MPa,但仍未能满足全预应力砼构件设计要求。

根据 JTG 3362—2018,跨径大于 100 m 桥梁的砼主梁宜按全预应力砼构件设计。在满足规范要求的前提下,参照上述对比分析结果,结合大跨 PC 宽幅箱梁桥顶板横向受力特点及相关构造要求,建议大跨 PC 宽幅箱梁桥顶板横向设计按全预应力砼构件设计,应满足 A 类预应力砼构件设计要求。

4.4 斜截面抗裂计算与分析

箱梁主要截面横向斜截面抗裂验算结果见表 4。

表 4 箱梁横向斜截面抗裂验算结果 MPa

截面	σ_{tp}	限值
左悬臂端	-0.012	-1.096
1/2 左悬臂	-0.001	-1.096
左腹板顶	-0.051	-1.096
1/4 跨中板	-0.009	-1.096
1/2 跨中板	-0.000	-1.096
3/4 跨中板	-0.009	-1.096
右腹板顶	-0.978	-1.096
1/2 右悬臂	-0.001	-1.096
右悬臂端	-0.011	-1.096

注:限值为满足全预应力砼构件设计规定的斜截面主拉应力限值。

由表 4 可知:箱梁横向截面最大主拉应力发生在顶板跨中板靠近腹板顶车轮加载对称的位置,截面均满足全预应力砼构件设计要求。

对比图 6、图 7、表 3 可知:箱梁横向截面抗裂设计主要由正截面抗裂设计控制。

5 结语

大跨 PC 宽幅箱梁顶板横向受力计算应与其纵向受力计算具有同等的重要性。该文通过对背景工程顶板的横向分析与计算,对大跨 PC 宽幅箱梁横向计算过程中的计算参数选取与计算、横向结构受

力分析与验算等作了详细探讨,提出大跨PC宽幅箱梁桥顶板横向设计宜按全预应力砼构件设计、应满足A类预应力砼构件设计要求的建议。

参考文献:

- [1] 邵旭东,顾安邦.桥梁工程[M].4版.北京:人民交通出版社,2016.
- [2] 陈杨.箱梁剪力滞效应研究现状[J].四川建筑,2020,40(1):208—214.
- [3] 刘应龙,蔺鹏臻,何志刚,等.箱梁剪力滞效应的梁格改进方法及精度分析[J].兰州交通大学学报,2020,39(1):9—19.
- [4] 周世军,江瑶,吴云丹.考虑滑移和剪切变形的单箱双室组合箱梁剪力滞效应[J].土木建筑与环境工程,2017,39(2):20—27.
- [5] 罗昊冲,李贵峰.多箱室宽箱梁截面参数对顶板横向受力的影响分析[J].城市道桥与防洪,2014(7):121—126.

- [6] 王芳.单箱三室箱梁横向计算分析[J].北方交通,2017(11):14—17.
- [7] 吕为.超宽预应力混凝土箱梁横向受力分析[J].西南公路,2014(1):15—18.
- [8] 郑为明.大跨径连续刚构箱梁桥横向分析[J].福建建筑,2011(7):96—98.
- [9] 黄鹤莅.顶板横向预应力钢束对箱梁横向计算结果的影响[J].铁道工程学报,2007(10):50—52.
- [10] 中交公路规划设计院有限公司.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范:JTG 3362—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [11] 中交公路规划设计院有限公司.公路桥涵设计通用规范:JTG D60—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.

收稿日期:2020—06—19

(上接第98页)

表值满足设计要求。同时改良后路基弯沉并非远小于设计弯沉,表明上述旧路基处治方案在保证路基工作性能的基础上满足施工经济性要求,可进行推广应用。

5 结论

以某高速公路改扩建工程为依托,根据项目特点选取两种类型土路基,采用贝克曼梁与PFWD进行改良前路基顶、改良后不同层路基弯沉一回弹模量相关关系分析,根据不同改良层对弯沉的减小效果确定旧路基处治深度,得出如下结论:

(1) 黏土质砂、含砂低液限黏土路基在水泥改良前后,贝克曼梁测试弯沉均与PFWD测试土基回弹模量具有较好的相关性,在确定二者相关关系后可采用检测方便、测值精准的PFWD取代检测效率较低、人员配备多的贝克曼梁进行弯沉测试,但不同类型土路基、改良前后段落需分别建立对应关系。

(2) 根据各层水泥改良对弯沉的减小效果,分别制定处治深度为0(无需处治)、24(处治1层)、48(处治2层)、72(处治3层)、96(处治4层)、120 cm(处治5层)旧路基处治控制标准,验证结果表明上

述方案可有效指导施工。

参考文献:

- [1] 林同立.桂柳南高速公路改扩建工程方案设计[J].中外公路,2015,35(5):10—12.
- [2] 刘景生,熊锋,杨隼.大广高速公路南康至龙南段扩容方案研究[J].公路,2019(11):65—69.
- [3] 薛鹏,蔡素军.山岭区高速公路改扩建工程方案探讨[J].中外公路,2015,35(3):13—16.
- [4] 岳军委.高速公路改扩建工程设计方法探讨[J].中外公路,2015,35(6):343—346.
- [5] 徐全亮,宋琦,刘钱.滨海软土公路路基拓宽拼接位移与应力分析[J].公路,2019(10):68—73.
- [6] 王晨竹.山区高速公路路基差异沉降特性分析及对策探讨[J].山东农业大学学报(自然科学版),2018,49(5):772—776.
- [7] 赵有龙.公路拓宽工程路基拼接施工技术[J].交通世界(建养·机械),2016(3):38—39.
- [8] 何敬晨,张春会.拓宽路基拼接台阶尺寸比选研究[J].公路交通科技(应用技术版),2015(1):30—34.
- [9] 贾进元.路基拓宽施工技术参数分析[D].长沙:中南大学,2013.

收稿日期:2020—02—21

(上接第103页)

业出版社,2012.

- [4] 汤震.新建城市道路与现状高速公路交叉工程方案比选[J].中国市政工程,2018(5):73—75.

- [5] 陈瑞.城市主干路与城区段高速公路立交节点方案研究[J].城市道桥与防洪,2018(2):28—31.

收稿日期:2020—03—18