

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.12.018

两跨连续预应力混凝土宽箱梁桥空间受力性能分析

戚泽远

(同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海市 200092)

摘要: 以某座(60+40)m 现浇预应力混凝土连续宽箱梁为工程背景,通过建模计算,分析宽箱梁的空间受力性能,用以指导设计。结果显示:不同约束条件对宽箱梁支点处的横向受力分配影响很大;均布恒载作用下边腹板的受力分配比例增大;活载偏载对宽箱梁的应力横向分配影响很大,设计时需考虑一定的偏载系数。

关键词: 预应力混凝土连续梁桥;宽箱梁;空间受力;偏载系数

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2020)12-0062-04

0 引言

随着国家建设的不断发展,交通规划对桥梁的规模要求也越来越多,部分城市桥梁会采用一些宽跨比较大的预应力混凝土现浇箱梁。对于现浇混凝土连续箱梁,现实中一般将其简化为单梁进行纵向计算,这是建立在截面受力较为均匀的前提下的。当桥梁宽跨比较大时,横桥向受力不均匀程度增大,且由于畸变^[1]的存在,整个桥梁结构具有明显的空间效应,不能简单等效为一根梁来计算,宽箱梁的空间受力性能也是控制设计的重要因素。

本文以某座(60+40)m 现浇预应力混凝土连续宽箱梁为工程背景,通过建立桥梁的计算模型,分析宽箱梁的空间受力性能,用以指导设计。

1 工程概况

桥梁采用两跨连续变截面预应力混凝土宽箱梁,跨径布置(40+60)m=100 m,桥梁宽度为30 m。桥梁所在道路为城市次干路,车道荷载等级为城-B级^[2]。

桥梁上部结构采用变高度预应力混凝土连续箱梁,单箱五室截面,直腹板布置。箱梁顶板设置双向2.0%横坡,底板水平。箱梁边支点梁高2.0 m,中支点梁高4.5 m;顶板宽30.0 m,底板宽25 m,外侧悬臂长为2.5 m;顶板厚0.30 m;悬臂端部厚度0.25 m,根部厚度0.55 m;底板厚0.25~1.05 m;腹板厚0.55~0.8 m。箱梁跨中断面如图1所示。

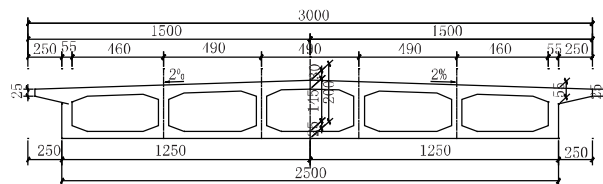


图1 混凝土箱梁跨中断面(单位:cm)

2 计算模型及分析工况

2.1 计算模型

桥梁横向比较宽,箱梁有6道直腹板,为了准确分析腹板的受力分配情况,用Ansys建立整个桥梁的实体模型。混凝土单元材料采用solid45,弹性模量 $E=3.65 \times 10^5$ MPa,混凝土密度为 2500 kg/m^3 ,泊松比为0.2。全桥单元划分尺寸为0.5 m,六面体映射划分。

截面共布置6块腹板,从左到右编号分别为1~6号。实体模型如图2所示。



图2 实体计算模型

为对比实体模型计算结果,另用midas建立全桥杆系模型。

2.2 分析工况

2.2.1 工况1:不同约束工况

单墩横向支座的布置数量、位置影响桥梁横向内力分布,该工况分别建立单墩2支座模型与单墩5支座模型,分析支座约束不同对桥梁横向内力分布的影响。单墩2支座模型的支座横向间距11m,全桥共布置6个支座;单墩5支座模型的支座横向

收稿日期:2020-05-19

作者简介:戚泽远(1987—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

间距 $4 \times 5.5\text{ m}$, 全桥共布置 15 个支座。
该工况取梁体自重计算, 重力加速度取 9.8 m/s^2 。

2.2.2 工况 2: 恒载作用工况

该工况考虑截面均布荷载作用下桥梁的受力分配情况, 均布荷载取 5 kN/m^2 , 全桥满截面均布。

2.2.3 工况 3: 活载作用工况

该工程桥梁为城市桥梁, 双向 4 车道, 荷载等级为城-B 级, 人群集度取 2.4 kN/m^2 [2-4]。活载工况按人群和车道荷载分为两个子工况, 分别计算考虑。车道工况按 2、3、4 车道偏载计算, 车道荷载的竖向集中荷载布置在跨中支点处 (60 m 侧偏 3.75 m)。活载布置如图 3 所示。

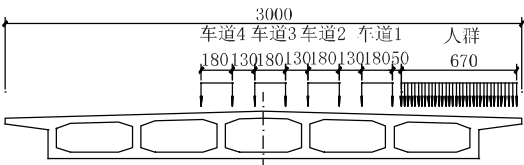


图 3 活载布置示意图 (单位: cm)

3 工况 1: 不同约束工况计算分析

该工况共建立两个计算模型, 分别为单墩 2 支座模型和单墩 5 支座模型。单墩 2 支座模型的支座横向间距 11 m , 全桥共布置 6 个支座; 单墩 5 支座模型的支座横向间距 $4 \times 5.5\text{ m}$, 全桥共布置 15 个支座。

该工况分别取每跨的边支点、跨中、 $1/4$ 跨、中支点截面的腹板受力分配结果, 分析不同约束条件对宽箱梁横向受力的影响。

从表 1 的计算结果可以看出, 单墩 5 支座布置情况下, 各腹板内力分配基本上比较均匀, 在中支点处差异比较大, 也仅是相差 10% 左右。而在单墩 2 支座布置的情况下, 各腹板内力在跨中布置比较均匀, 在支点处分布差异很大, 中支点相差 50%, 边支点更是相差 80% 以上, 各腹板内力差从跨中到支点处越来越大。

该工况的计算结论: 不同约束条件宽箱梁支点处的横向受力分配影响很大。桥梁有条件的情况下可在横梁下增加支座数量, 增大约束范围, 这不仅有利于横梁本身的计算, 也有利于桥梁各腹板的横向受力分配均匀。

从截面横向受力均匀性上考虑, 文中桥梁实际采用单墩 5 支座设计, 下文中其余工况的计算分析也是在单墩 5 支座的桥梁模型上展开。

4 工况 2: 恒载作用工况计算分析

该工况考虑截面均布荷载作用下桥梁的受力分配情况, 均布荷载值取二期恒载值 5 kN/m^2 , 全桥满截面均布。计算模型为单墩 5 支座布置, 全桥共布置 15 个支座。

该工况分别取每跨的边支点、跨中、 $1/4$ 跨、中支点截面的腹板受力分配结果, 分析均布恒载作用下宽箱梁横向受力分配情况。

由表 2 的计算结果可见, 均布荷载作用下, 宽箱梁腹板在中支点至跨中处受力比较均匀, 极差在 5% 左右; 在边支点处边腹板受力占比较大, 比中腹板大 20% 左右。

该工况的计算结论: 均布恒载作用对文中宽箱梁的中支点至跨中截面影响不大, 而对刚度较小的边支点截面, 均布恒载增大了边腹板的受力分配比例。文中桥梁设计时适当增大了宽箱梁边腹板的厚度, 增大边腹板刚度。

5 工况 3: 活载作用工况计算分析

本节另外建立 midas 杆系模型, 与 Ansys 实体模型进行应力对比, 分析活载偏载情况对截面应力的影响。该工况分为两车道对称布置工况、人群偏载工况和车道偏载工况三个子工况进行计算分析。

5.1 两车道对称布置工况

该工况主要是对比实体模型与杆系模型(未考

表 1 不同约束工况计算结果汇总

工况	腹板编号	60 m 跨				40 m 跨			
		边支点	跨中	1/4 跨	中支点	中支点	1/4 跨	跨中	边支点
自重 2 支座	1	0.57	1.16	0.97	0.73	0.74	0.86	1	0.08
	2	1.29	0.93	1.01	1.22	1.18	1.07	1	1.51
	3	1.14	0.91	1.02	1.05	1.07	1.07	1.01	1.41
自重 5 支座	1	1.04	1.08	0.99	0.92	0.9	0.93	0.96	1
	2	0.97	0.96	1	1.05	1.05	1.03	1.01	0.99
	3	0.99	0.96	1.01	1.03	1.05	1.04	1.03	1.01

注: 表中数值为同一横截面上单道腹板剪力与平均腹板剪力的比值。

表 2 均布恒载工况计算结果汇总

工况	腹板编号	60 m 跨				40 m 跨			
		边支点	跨中	1/4 跨	中支点	中支点	1/4 跨	跨中	边支点
均布恒载	1	1.09	1.10	1.03	1.02	1.00	1.00	0.99	1.16
	2	0.95	0.95	0.98	1.02	1.01	1.00	1.00	0.93
	3	0.96	0.94	0.98	0.96	0.99	1.00	1.01	0.91

注:表中数值为同一横截面上单道腹板剪力与平均腹板剪力的比值。

虑刚度折减)的应力结果差值。车道活载为城-B级,两车道中心对称布置,实体模型车道活载的集中力布置在 60 m 跨的跨中。

图 4 为实体模型计算结果,图 5 为杆系单元模型计算结果。

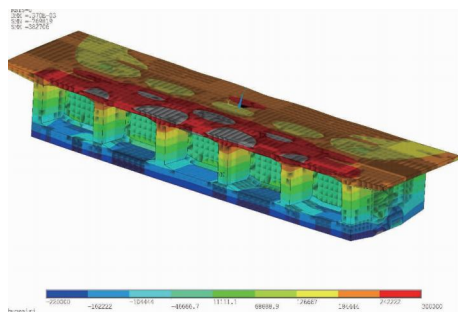


图 4 Ansys 实体模型正应力计算结果(单位:Pa)



图 5 midas 杆系模型上、下缘正应力计算结果(单位:MPa)

在中支点截面,实体模型上缘最大正应力为 0.3 MPa,受拉;下缘最大正应力为 0.22 MPa,受压。杆系模型的上缘最大正应力为 0.27 MPa,受拉;下缘最大正应力为 0.22 MPa,受压。

计算结果显示,在对称活载工况下,实体模型与杆系模型的应力计算结果基本一致。

5.2 人群偏载工况

人群集度取 2.4 kN/m^2 ,取桥梁单侧人群偏载计算,单侧分布宽度 6.7 m。

如图 6 所示,实体模型计算结果:跨中截面下缘拉应力 $0.2 \sim 0.6 \text{ MPa}$,最大为 0.6 MPa ;截面上缘为压应力 $0.491 \sim 0.1 \text{ MPa}$,最大为 0.491 MPa 。中支点截面下缘压应力为 $0.38 \sim 0.05 \text{ MPa}$,最大为 0.38 MPa ;截面上缘拉应力为 $0.1 \sim 0.375 \text{ MPa}$,最大为 0.375 MPa 。

杆系模型计算结果:在跨中截面下缘拉应力为 0.239 MPa ,上缘压应力为 0.2 MPa ;在支点截面下缘压应力为 0.125 MPa ,上缘拉应力为 0.152 MPa 。

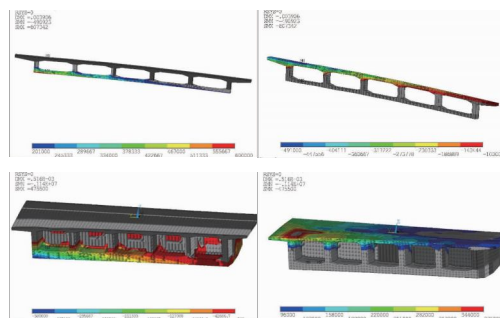


图 6 人群偏载作用正应力图(单位:Pa)

从计算结论中可以看出,人群偏载工况下,杆系模型的截面应力普遍小于实体模型中的应力峰值,但基本都在实体模型计算结果的范围内,在跨中、中支点处上、下缘应力分别为实体模型计算值的 $1/3 \sim 1/2$ 。由于人群荷载偏心较大,实体模型中边腹板存在明显的应力集中,不过在同一截面处正应力横向基本是线性分布,且无变号情况。

5.3 车道偏载工况

该工况分别计算 2 车道、3 车道、4 车道偏载作用下实体模型与杆系模型,通过应力计算结果的不同,分析宽箱梁结构的横向受力性能。

图 7 显示,2 车道偏载作用下,实体模型计算结果:在跨中截面,截面下缘受拉为 $0.3 \sim 0.96 \text{ MPa}$,截面上缘受压为 $0.2 \sim 2.53 \text{ MPa}$;中支点截面,截面下缘受压为 $0.1 \sim 0.3 \text{ MPa}$,截面上缘受拉为 $0.16 \sim 0.385 \text{ MPa}$ 。杆系模型计算结果:在跨中截面,截面下缘拉应力为 0.727 MPa ,上缘压应力为 0.607 MPa ;中支点截面,截面下缘压应力为 0.245 MPa ,截面上缘拉应力为 0.301 MPa 。

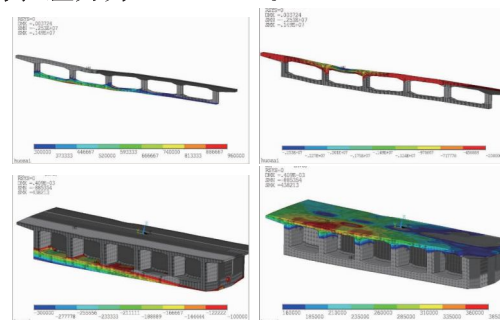


图 7 2 车道偏载作用下正应力图(单位:Pa)

图 8 显示,3 车道偏载作用下,实体模型计算结果:在跨中截面,截面下缘受拉为 0.4~1.08 MPa,截面上缘受压为 0.2~2.14 MPa;中支点截面,截面下缘受压为 0.15~0.32 MPa,截面上缘受拉为 0.205~0.415 MPa。杆系模型计算结果:在跨中截面,截面下缘受拉为 0.850 MPa,上缘受压为 0.710 MPa;中支点截面,截面下缘受压为 0.281 MPa,截面上缘受拉为 0.346 MPa。

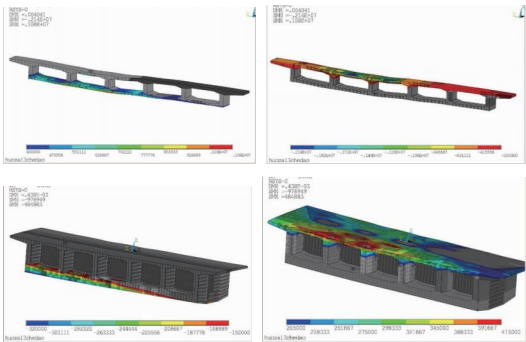


图 8 3 车道偏载作用下正应力图(单位:Pa)

图 9 显示,4 车道偏载作用下,实体模型计算结果:在跨中截面,截面下缘受拉为 0.45~1.03 MPa;截面上缘受压为 0.2~1.12 MPa;在中支点截面,截面下缘受压为 0.2~0.314 MPa,截面上缘受拉为 0.27~0.462 MPa。杆系模型计算结果:在跨中截面,截面下缘受拉为 0.981 MPa,上缘受压为 0.824 MPa;中支点截面,截面下缘受压为 0.314 MPa,截面上缘受拉为 0.392 MPa。

根据表 3 中汇总的计算结果,除实体模型的跨中上缘因应力集中导致局部压应力过大外,偏载效应在 2 车道时最大,2 车道偏载工况下实体模型的正应力比杆系模型大 30%左右;车道偏载作用下,实体模型的正应力计算结果普遍比杆系模型计算结果大 10%~30%。

背景桥梁在后续设计过程中,在杆单元计算

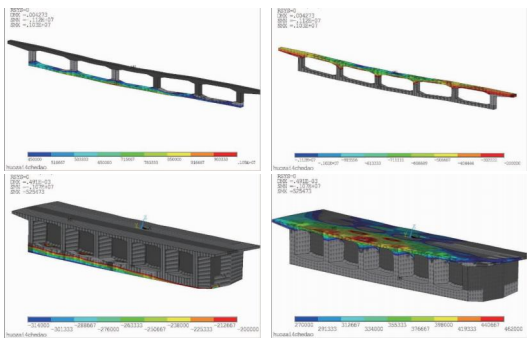


图 9 4 车道偏载作用下正应力图(单位:Pa)

结构的正应力时,采用偏载系数修正方法来抵消宽箱梁空间受力不均的问题,其中 2 车道采用 1.3 的偏载系数,3 车道采用 1.25 的偏载系数,4 车道采用 1.1 的偏载系数。

6 结 语

本文以某 (60+40)m 现浇预应力混凝土连续宽箱梁为工程背景,分析对比不同工况下实体模型与杆系模型的计算结果,主要得到以下结论:

- (1)不同约束条件宽箱梁支点处的横向受力分配影响很大。桥梁在有条件的情况下可在横梁下增加支座数量,增大约束范围,这不仅有利于横梁本身的计算,也有利于桥梁各腹板的横向受力分配均匀。
- (2)均布恒载作用对文中宽箱梁的中支点至跨中截面影响不大,而对刚度较小的边支点截面增大了边腹板的受力分配比例。背景桥梁设计时适当增大了宽箱梁边腹板的厚度,增大边腹板刚度。
- (3)人群偏载工况下,实体模型的边腹板处存在明显的应力集中,不过在同一截面处正应力横向基本是线性分布,且无变号情况。车道荷载偏载效应同样明显,背景桥梁在后续设计过程中,在杆

表 3 车道偏载系数计算结果汇总

工 况		中墩支点				跨 中			
		上 缘		下 缘		上 缘		下 缘	
		/MPa	比值	/MPa	比值	/MPa	比值	/MPa	比值
2 车道偏载	实体	0.385	1.28	-0.3	1.22	-2.53	4.17	0.96	1.32
	杆系	0.301		-0.245		-0.607		0.727	
3 车道偏载	实体	0.415	1.2	-0.32	1.14	-2.14	3.01	1.08	1.27
	杆系	0.346		-0.281		-0.71		0.85	
4 车道偏载	实体	0.462	1.18	-0.314	1	-1.12	1.36	1.03	1.05
	杆系	0.392		-0.314		-0.824		0.981	

注:表中拉应力为+,压应力为-。

径范围大、经济指标良好且稳定、能充分发挥混凝土拱优越性,又可避免桥梁墩台承担水平推力的新型桥梁^[7]。

(2) 连续拱梁组合桥的拱与梁压应力水平决定着结构长期受力与变形趋势。在设计过程中,应综合考虑总体布置及预应力施加程度,以协调结构受力与变形状态。

(3) 在连续拱梁组合桥的设计过程中,应注意各结点构造的处理方式,避免不必要的复杂受力,确保节点受力明确、处理方便^[8]。

(4) 施工方法、工况对连续拱梁组合桥受力的影响较大,其不仅涉及结构及其体系转换方式,而且还包括构件截面分部组成方式等。

城市桥梁设计要求设计者不仅要具有扎实的结构知识,而且还要有对建桥环境的深刻理解,此次长征路桥梁的设计在这方面做了有益的实践。同时,上承式系杆拱桥桥型舒展优美,通过该桥的

建设和文章的介绍,希望能推动该桥型在国内的发展。

参考文献:

- [1] 戎华钦.多跨连续拱桥拓宽改建的设计与思考[J].城市道桥与防洪,2019(6):17,137-139.
- [2] 张庆.赵家沟拱桥更换吊杆设计[J].市政技术,2019,37(5):110-113,117.
- [3] 王鹏.基于疲劳分析的下承式拱桥吊杆破损安全设计方法研究[D].昆明:昆明理工大学,2019.
- [4] 胡尚,杜召华,蒋鑫,等.某钢管混凝土拱桥吊杆更换设计与施工方法研究[J].公路工程,2018,43(3):119-124,189.
- [5] 钟力全,郑凯锋.提篮拱桥拱肋优化设计[J].四川建筑,2018,38(1):161-165.
- [6] 邢燕羽.某钢管混凝土系杆拱桥设计参数优化分析[J].工程建设与设计,2019(4):139-140.
- [7] 丁松马.钢管混凝土系杆拱桥的设计要点分析[J].建筑技术开发,2019,46(12):29-30.
- [8] 黄永忠.钢管混凝土拱桥结构受力及参数设计分析[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2019,43(6):1085-1088.

(上接第 65 页)

单元计算结构的正应力时,采用偏载系数修正方法来抵消宽箱梁空间受力不均的问题,其中 2 车道采用 1.3 的偏载系数,3 车道采用 1.25 的偏载系数,4 车道采用 1.1 的偏载系数。

参考文献:

- [1] 范立础.桥梁工程(上册)[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [2] CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范[S].
- [3] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [4] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].