

等截面连续宽箱梁桥横梁模型研究

程纪怀,吴双江

(台州市交通勘察设计院有限公司,浙江台州 318000)

摘要: 预应力混凝土宽幅连续箱梁桥外形美观,整体受力性能好,行车舒适性高,在工程建设领域应用较为广泛。为了对宽箱梁桥的横梁进行合理的钢束设计,以台州湾循环经济产业集聚区路桥桐屿至椒江滨海公路工程 37 m+37 m+37 m+37 m 等截面连续箱梁桥为工程案例,采用有限元分析软件 MIDAS FEA NX2022 建立相关的实体模型,提取单箱多室连续梁横梁各道腹板的荷载分配比例,研究了宽箱梁腹板的受力特点,得出了单箱多室宽横梁恒载工况下边腹板受力小于中腹板、支座间距以及横梁与纵梁的相对刚度对箱梁腹板内力分配有影响的结论,为今后的同类工程设计提供了一定的借鉴。

关键词: 桥梁设计;荷载分配比例;宽箱横梁;预应力;有限元模型

中图分类号: U448.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)09-0114-05

0 引言

桥梁在现今社会交通工程的基础设施建设中充当着重要角色。作为至关重要的枢纽,桥梁工程的技术创新对桥梁建设起到了重要的支撑作用。随着经济的发展,城市道路高架桥越来越多,相关研究也层出不穷。在有关箱梁的受力研究中,对其纵向受力的分析较多,但对支点横梁的受力分析却较少^[1]。目前对于单箱多室宽箱梁桥横梁计算的研究,国内比较常见的做法是:提取纵梁模型支座反力,然后像计算恒载那样加载。这种做法的问题在于如何考虑恒载在腹板间的分配比例。

桥梁设计人员计算分析时常用的经验方法有:

- (1)按恒载(箱梁自重和二期)均分布置于各道腹板;
- (2)按边腹板受力稍大考虑,边腹板与中腹板按 1.2:1 进行剪力分配;
- (3)恒载按照均布荷载施加于横梁范围(悬臂除外)。

本文在前人研究的基础上,以台州湾循环经济产业集聚区路桥桐屿至椒江滨海公路工程椒金线—G228 国道菱形互通第 3 联 37 m+37 m+37 m+37 m 钢筋混凝土预应力等截面连续箱梁为研究背景,采用 MIDAS Civil 2022 及 MIDAS FEA NX 2022 有限元分析软件进行计算模拟分析,研究宽横梁计算加载方式并进行配束设计。

收稿日期: 2023-08-08

作者简介:程纪怀(1990—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

1 工程概况

台州湾循环经济产业集聚区路桥桐屿至椒江滨海公路工程按一级公路标准设计,兼顾城市道路功能,设计速度 80 km/h,桥梁宽度 27.0 m。

本项目路线起于路桥桐屿,与规划的黄岩北城至温岭泽国公路相接;经椒江葭沚、洪家、白云、下陈、三甲,终点位于椒江滨海,与规划台州湾大道相接。

2 桥梁方案选择

椒金线—G228 国道菱形互通第 3 联采用 37 m+37 m+37 m+37 m 等截面连续箱梁跨越椒金线,交叉角度 92°。小桩号接 4×25 m 后张法预应力混凝土 T 梁,先简支后连续结构;大桩号接 31 m+45 m+31 m 支架现浇预应力混凝土等截面连续箱梁。第 3 联中墩采用弧形系梁双柱花瓶墩,承台尺寸 10.0 m×10.0 m×3.0 m,群桩基础。连续箱梁采用支架现浇施工方案,考虑到大体积混凝土施工难度,全梁共分为 2 个施工节段进行分段现浇。其中第 1 节段长 81.5 m,第 2 节段长 66.5 m。

连续梁纵断面示意图见图 1。

3 结构设计

桥梁按整体式设置,采用单箱 4 室断面,顶板宽 27.0 m,两侧防撞护栏各 0.5 m,桥面净宽 26.0 m;底板宽 22.0 m。两侧悬臂长 2.5 m(悬臂端 10 cm 与护栏一起后浇)。箱梁标准断面梁高 2.5 m(高跨比

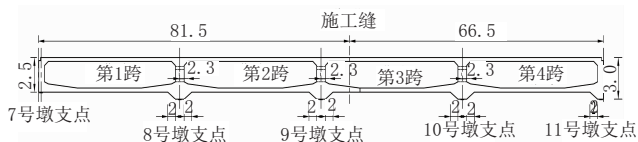


图 1 连续梁纵断面示意图 (单位: m)

1/14.8)。

选取 7 号墩端横梁为典型横梁, 针对不同工况进行分析。7 号墩端横梁高 2.5 m, 宽 1.5 m, 支座间距 11 m。7 号墩端横梁断面图见图 2。

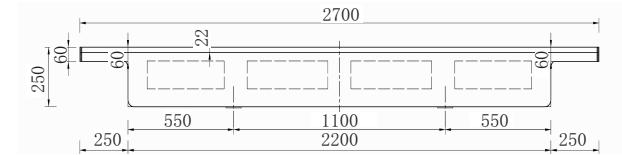


图 2 7 号墩端横梁断面图 (单位: cm)

4 结构计算参数及模型

4.1 结构计算参数

横梁基材为 C50 混凝土, 结构按 A 类预应力构件设计。横梁采用横向预应力体系, 预应力钢筋采用 15.2 mm 高强低松弛钢绞线, 钢绞线抗拉强度标准值为 1 860 MPa; 预埋式塑料波纹管的管道每米局部偏差对摩擦的影响系数 k 取 0.001 5, 预应力钢筋与管道壁的摩擦系数取 0.17。

首先采用 MIDAS Civil 2022 有限元分析程序建立箱梁纵梁模型, 然后提取 7 号墩位恒载的支座反力。扣除横梁自重后的恒载反力见表 1。

表 1 横梁计算恒载反力

横梁编号	总反力 /kN	支座间距 /m
7	10 391.5	11

4.2 横梁计算分析

采用有限元软件建立 7 号墩端横梁的计算模型, 并按 A 类预应力混凝土构件进行验算^[2]。模型共 35 个节点, 32 个梁单元, 端横梁采用矩形截面。成桥状态下, 模型考虑了恒载、预应力作用、收缩徐变、温度荷载、移动荷载等因素的影响, 其中的移动荷载采用横向加载方式作用于横梁上。针对不同的加载方式, 计算模拟结构的受力和预应力钢筋的应力状态。

边界条件采取弹性连接与一般支撑进行模拟。端横梁计算模型见图 3。

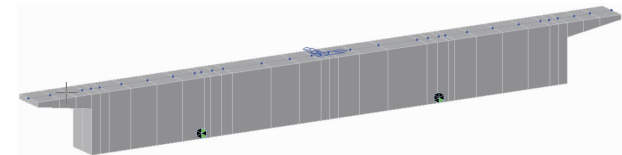


图 3 端横梁计算模型

7 号墩端横梁配束方案见表 2, 7 号墩端横梁钢束线型示意图见图 4。

表 2 7 号墩端横梁配束方案

7 号墩端横梁	工况 1 (5 等分恒载)		工况 2 (均布荷载)		工况 3(边腹板荷载 1.2 倍于中腹板)	
	规格 /mm	束数	规格 /mm	束数	规格 /mm	束数
T11	17~15.2	2	15~15.2	2	17~15.2	2
T12	17~15.2	2	15~15.2	2	17~15.2	2
T2	17~15.2	2	9~15.2	2	17~15.2	2
B1	9~15.2	3	17~15.2	3	9~15.2	3

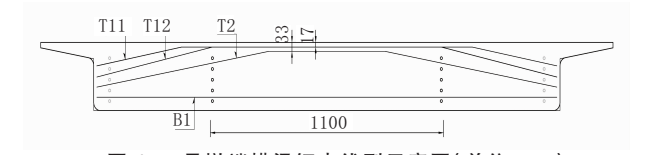


图 4 7 号墩端横梁钢束线型示意图 (单位: cm)

4.3 计算工况及结果

建立 7 号墩端横梁模型后, 分别按 3 种工况施加恒载: (1) 将恒载 5 等分, 分别施加在横梁腹板中心位置处; (2) 上部恒载按均布荷载作用于横梁 22 m 长度范围内(两侧悬臂不考虑); (3) 上部恒载按照边腹板承受的荷载为中腹板 1.2 倍加载, 加载比例为 1.2 : 1 : 1 : 1 : 1.2。移动荷载采用横向移动荷载进行加载。

7 号墩端横梁模型验算工况及弯矩结果见表 3。

表 3 7 号墩端横梁模型验算工况及弯矩结果

工况	工况内容	荷载 /kN	支点弯矩 / (kN·m)	跨中弯矩 / (kN·m)
工况 1	5 等分恒载	2 078.3	12 329	5 562.6
工况 2	每米均布荷载	472.3	8 873	300.8
工况 3	边腹板荷载 1.2 倍于中腹板	2 309.2/ 1 924.4	13 507	7 133

注: “/”左侧为边腹板, 右侧为中腹板。

由表 3 可知: 在恒载作用下, 工况 1 与工况 3 的支点处弯矩、跨中处弯矩均相差不大; 而工况 2 的支点处弯矩、跨中处弯矩仅为工况 3 的 61%、4%。由此可以得知, 工况 1 和工况 3 的控制因素是支点处截面顶缘, 工况 2 的控制因素是截面底缘, 呈现出两种完全不同的应力情况。

因此, 无法找到一种钢束配置能同时使 7 号墩端横梁验算通过。如果今后设计时均按满足 3 种工况进行配束, 则需验算多种工况, 将极大地增加设计工作的难度。即使找到了能同时满足 3 种工况的配束方案, 势必导致设计过于保守, 浪费资源, 增加工程造价。

5 荷载分布优化分析

进行单箱多室连续梁桥横梁的验算时,不同的支座间距、箱室构成、横梁与纵梁的相对刚度,都会使其剪力的传递与分配受到影响,实际设计中并不总能使得横梁同一种配束方案在3种工况下都能验算通过。而同时设计验算多种工况,又会增加设计难度和工程造价。针对这一难题,本文以本工程为例,建立连续梁桥宽横梁实体模型进行分析和计算。

5.1 建立实体模型

为了得到37 m+37 m+37 m+37 m等截面连续梁桥恒载在腹板位置的分配比例,采用MIDAS FEA NX 2022有限元分析软件建立实体模型,模型两侧端横梁按等厚考虑。将上部护栏、铺装等荷载施加于网格模型。桥宽27 m,两侧各0.5 m范围内施加24.38 kN/m²三维面荷载作为护栏恒载,内侧26 m

桥宽范围施加2.5 kN/m²的二期铺装荷载。

网格划分时在支座位置印刻一个矩形,对支座范围内节点进行约束,然后进行静力分析。

FEA实体网格横向切分示意图见图5,FEA实体网格模型见图6。

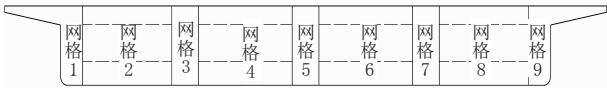


图5 FEA实体网格横向切分示意图

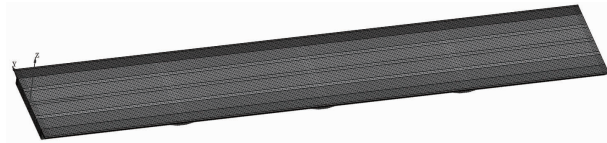


图6 FEA实体网格模型

以7号墩端横梁为研究对象,支座间距11 m,端横梁宽度1.5 m。分别提取网格纵桥向 $x=1.499$ m处(总荷载12 726.8 kN)和 $x=1.501$ m处(总荷载7 741.38 kN)的局部方向内力,如表4、表5所示。

表4 局部方向内力($x=1.499$ m,总荷载12 726.8 kN)

项目	网格 1	网格 2	网格 3	网格 4	网格 5	网格 6	网格 7	网格 8	网格 9
各方向内力/kN	537.3	2 141.9	1 449.1	1 959.6	617.9	1 963.2	1 408.2	2 112.5	537.1
与总荷载比值	0.04	0.17	0.11	0.15	0.05	0.15	0.11	0.17	0.04

表5 局部方向内力($x=1.501$ m,总荷载7 741.38 kN)

项目	网格 1	网格 2	网格 3	网格 4	网格 5	网格 6	网格 7	网格 8	网格 9
各方向内力/kN	538.41	850.02	1 429.60	743.00	619.34	743.00	1 429.60	850.02	538.41
与总荷载比值	0.07	0.11	0.18	0.10	0.08	0.10	0.18	0.11	0.07

通过对比可以发现,在越过分界线 $x=1.5$ m,截面进入横梁范围以后,内力会进行重新分布,且内力总和增大。5道腹板位置的内力基本保持不变,网格2、网格4、网格6、网格8在 $x=1.499$ m处的截面增大,其相应的内力也成倍增加。为了真实考虑外部荷载对横梁的作用,后续研究取横梁范围以外 $x=1.501$ m处的截面。

5.2 支座间距对荷载分配的影响

桥梁宽度较大时,支座间距不宜太小。为了研究支座间距对横梁恒载分配比例的影响,将7号墩端横梁支座间距由11 m分别调整为9 m、13 m,重新提取网格纵桥向 $x=1.501$ m处的局部方向内力总和,如表6、表7所示。

表6 局部方向内力(总荷载7 741.38 kN,支座间距9 m)

项目	网格 1	网格 2	网格 3	网格 4	网格 5	网格 6	网格 7	网格 8	网格 9
各方向内力/kN	518.95	417.81	1 594.87	1 004.66	687.61	1 003.39	1 577.33	417.81	518.95
与总荷载比值	0.07	0.05	0.21	0.13	0.09	0.13	0.20	0.05	0.07

表7 局部方向内力(总荷载7 741.38 kN,支座间距13 m)

项目	网格 1	网格 2	网格 3	网格 4	网格 5	网格 6	网格 7	网格 8	网格 9
各方向内力/kN	570.00	1 230.00	1 245.00	535.69	580.00	535.69	1 245.00	1 230.00	570.00
与总荷载比值	0.07	0.16	0.16	0.07	0.07	0.07	0.16	0.16	0.07

简化计算以后,将网格 2 内力均分加到网格 1 和网格 3,网格 4 内力均分加到网格 3 和网格 5,以此类推,得到横梁宽度 1.5 m 时腹板内力分配系数,见图 7。

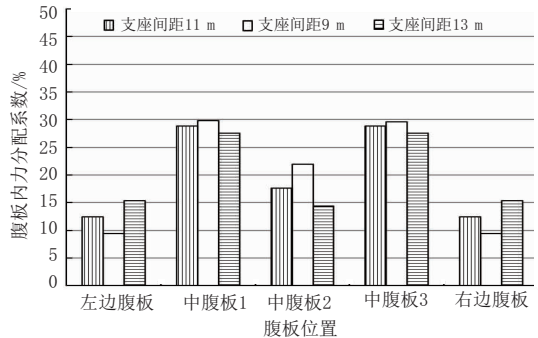


图 7 腹板内力分配系数(横梁宽度 1.5 m)

由图 7 可知,7 号墩支座间距调整为 9 m 时,边腹板受力为内力总和的 9.4%;中腹板受力分别为内力总和的 29.8%、21.9%、29.6%,3 道中腹板承担了 81.3%的恒载。支座间距为 11 m 时,边腹板受力为内

表 8 局部方向内力(总荷载 7 719.0 kN,端横梁宽度 1.2 m)

项目	网格 1	网格 2	网格 3	网格 4	网格 5	网格 6	网格 7	网格 8	网格 9
各方向内力 /kN	430.0	465.0	1 612.0	1 130.0	445.0	1 130.0	1 612.0	465.0	430.0
与总荷载比值	0.056	0.060	0.209	0.146	0.058	0.146	0.209	0.060	0.056

表 9 局部方向内力(总荷载 7 758.1 kN,端横梁宽度 1.8 m)

项目	网格 1	网格 2	网格 3	网格 4	网格 5	网格 6	网格 7	网格 8	网格 9
各方向内力 /kN	693.5	361.7	1 586.6	663.0	1148.3	663.04	1 586.63	361.72	693.50
与总荷载比值	0.089	0.047	0.205	0.085	0.148	0.085	0.205	0.047	0.089

力总和的 12.4%;中腹板受力分别为内力总和的 28.8%、17.6%、28.8%,3 道中腹板承担了 75.2%的恒载。支座间距为 13 m 时,边腹板受力为内力总和的 15.3%;中腹板受力分别为内力总和的 27.5%、14.4%、27.5%,3 道中腹板承担了 69.4%的恒载。端横梁边腹板恒载分配比例要小于中腹板,这与传统的经验做法不一致。

力总和的 12.4%;中腹板受力分别为内力总和的 28.8%、17.6%、28.8%,3 道中腹板承担了 75.2%的恒载。支座间距为 13 m 时,边腹板受力为内力总和的 15.3%;中腹板受力分别为内力总和的 27.5%、14.4%、27.5%,3 道中腹板承担了 69.4%的恒载。端横梁边腹板恒载分配比例要小于中腹板,这与传统的经验做法不一致。

支座间距对腹板恒载的分配有一定的影响,对网格 5(第 2 道中腹板)影响较大,从 14.4%变化至 21.9%。减少支座间距后,边腹板分配比例降低,梁中线位置中腹板分配比例增加。

5.3 刚度对荷载分配的影响

为了研究横梁与纵梁的相对刚度对恒载的分配是否有影响,将 7 号墩端横梁宽度分别调整为 1.2 m、1.8 m,重新提取支座间距为 9 m 时,网格纵桥向 $x=1.501$ m 处的局部方向内力总和,如表 8、表 9 所示。

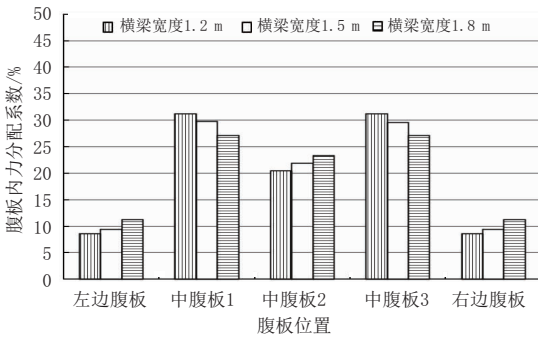


图 8 腹板内力分配系数(支座间距 9 m)

以端横梁对于纵梁的相对刚度为研究对象,可发现随着横梁宽度增加,相对刚度也增加。对比可见,当相对刚度提高以后,悬臂边腹板分配比例由 0.056 提高为 0.089;网格 4、网格 6 分配比例变化较

大,由 0.146 降低为 0.085;网格 5(中腹板位置)由 0.058 提高到 0.148。相对刚度的增加,使得内力更多地作用于腹板位置,顶底板分配的比例降低。

由图 8 可知,横梁宽度由 1.2 m 增加到 1.8 m 后,边腹板分配比例有一定程度的提升,3 道中腹板分配比例的峰值与谷值的差值相对减少,整体趋于平均化,3 道中腹板承担了 77.5%的恒载。

5.4 横梁配束设计

钢筋混凝土箱型梁桥横梁的受力情况比较复杂^[3]。根据工程经验采用的荷载分配比例,7 号墩端横梁(支座间距 11 m)在 3 种工况下得到的最小钢束配置不一致,可见采用经验方法来计算腹板恒载分配系数并不科学^[4]。为了进行合理的钢束配置,采用实体模型提取出来的 7 号墩端横梁腹板荷载分配系数,边腹板与中腹板按照 0.124 : 0.288 : 0.176 : 0.288 : 0.124 的比例进行荷载分配,重新进行钢束

设计。7号墩端横梁配束方案见表10,经过MIDAS CDN进行后处理验算,该方案满足各项指标要求。

表10 7号墩端横梁配束方案

7号墩端横梁	规格/mm	束数
T11	17~15.2	2
T12	17~15.2	2
T2	17~15.2	2
B1	9~15.2	3

虽然新的配束方案与工况1腹板5等分和工况3边腹板1.2倍加载一致,但不代表可以采用工况1和工况3的加载模式进行施工图设计。在初步拟定钢束线型时可以采用5等分加载模式进行配束,对于单箱4室的连续梁,结合工程实际,可以采用简化计算,按3道中腹板承担75%~81%恒载的方式进行钢束设计。

6 结 语

(1)根据计算可知,针对桥宽27m的单箱4室(37m+37m+37m+37m)等截面连续箱梁,端横梁边腹板恒载分配系数比中腹板要小。支座间距为11m时,边腹板分配比例不到中腹板的50%;支座间距为9m时,边腹板恒载分配系数有降低趋势,梁中线处中腹板分配系数增加,两侧中腹板分配系数由28.8%提高至29.8%;支座间距为13m时,边腹板恒载分

配系数有增加趋势,梁中线处中腹板分配系数降低,两侧中腹板分配系数由28.8%降低至27.5%。

(2)宽箱梁桥腹板恒载分配系数取用不合理,计算横梁时容易导致钢束配置错误,多配或者少配都是不合理的。通过分析发现,横梁与纵梁的相对刚度对恒载的分配也有影响,相对刚度提高以后,悬臂边腹板分配比例有一定程度的提高,3道中腹板分配比例整体趋于平均化。

(3)本文仅根据实际工程考虑了桥宽27m的4×37m等截面钢筋混凝土单箱4室连续箱梁恒载情况下各个腹板的内力分配情况,未考虑单箱单室、单箱双室、单箱3室等箱梁的腹板内力分配系数。桥跨数量对腹板恒载分配系数是否有影响还需要进一步的探究。

(4)在今后的工程设计中,对于宽度较大的混凝土连续箱梁,在进行横梁计算时,以单箱4室为例,可以按3道中腹板承担75%~81%恒载的方式进行钢束设计。

参考文献:

[1] 胡健.箱梁横隔梁的受力特性及实用计算方法[J].现代交通技术, 2007(3):72-73.
[2] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[3] 关典,栗荣宇,关世通,等.钢筋混凝土箱型梁桥横梁计算方法研究[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2005(9):19-25.
[4] 刘泰松,史松磊.单箱多室箱梁横梁受力研究[J].城市道路与防洪, 2012(8):331-334.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿邮箱:cdq@smcdi.com

电话:021-55008850

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com>