

带外伸横梁的钢箱梁桥横梁计算有效分布宽度研究

施江涛

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市200092]

摘要:为解决带外伸横梁的钢箱梁桥横梁计算有效分布宽度问题,借助无限长板带对位荷载下的应力分布研究结果,导出了不同桥宽和不同宽度外伸横梁对应的有效分布宽度扩散角;然后分别采用板壳有限元模型和梁单元模型对实际工程中超宽桥梁外伸横梁受力进行对比分析,以验证导出的有效分布宽度扩散角的实用性和有效性。结果表明:采用导出的有效分布宽度扩散角的梁单元模型计算结果与板壳有限元模型计算结果非常接近,且能够包络板壳有限元模型的计算结果,是偏于安全的。

关键词:钢箱梁;横向计算;扩散角;有效分布宽度

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)02-0227-03

0 引言

目前,虽然有不少关于混凝土桥梁的横梁有效分布宽度研究成果^[1],但依然很少能在国内规范和文献中看到带外伸横梁的钢箱梁桥横向计算有效分布宽度问题的解决方法。采用杆系有限元法计算时,单纯地采用桥梁纵向计算时的有效分布宽度并不能很好地模拟横梁的实际受力,导致计算结果不安全或者过于保守从而使材料用量大大增加,当横梁跨度很大(桥宽很宽)时,这种情况更加明显,往往需要采用空间板壳有限元进行验算,从而大大增加了设计难度。

由于桥梁是长条形的构造物,纵横向尺度相差较大,故桥梁外伸横梁的有效宽度计算不同于纵向有效宽度的计算。研究表明,当同时考虑纵横向效应时,其实际的纵横向有效宽度有别于规范的计算结果^[2]。且从受力上讲,纵向计算时,主梁的各腹板受力相对较为均匀,腹板两侧的顶板变形模式(剪力滞效应)基本一致,故全断面可以以腹板为基准来划分有效宽度计算的区段^[3-4]。但桥梁支点处横梁的受力不同于纵向受力,越靠近支点的腹板(横梁腹板)横向受力越大,越远离支点的腹板(横隔板)横向受力则下降很快,必然导致横向桥面板的横向变形在支点处很大,远离支点处很小。因此不能采用纵向计算时以腹板为基准来划分有效宽度计算区段的形式。

本文以文献[5]为理论基础。由于支点处桥面板

的横向受力与无限长板带对位荷载下的应力分布有所类似,因此可以借此导出不同横梁宽度和不同桥面宽度的桥面板中心处的有效分布宽度和有效分布宽度扩散角;然后,用板壳有限元模型和梁单元模型对实际工程中超宽桥梁的外伸中横梁横向受力进行对比分析,验证导出的有效分布宽度扩散角应用于梁单元模型中的有效性。

1 有效分布宽度扩散角

设参数 a 为桥面宽度,参数 b 为横梁宽度, x 为沿桥横向坐标,即当 $x=a/2$ 时为横桥向桥面中点。根据无限长板带对位荷载下的简化应力计算公式^[5],可分成2种情况来计算有效分布宽度。

(1) 当 $b \geq a/10$, $x \in [0, a/2]$ 时或当 $b < a/10$, $x \in [a/2, a/4]$ 时,采用多项式拟合的方法,导出的有效分布宽度 $B_{\text{eff}}(x)$ 计算式为:

$$B_{\text{eff}}(x) = mx^4 + nx^3 + px^2 + qx + r \quad (1)$$

式中: m 、 n 、 p 、 q 、 r 为多项式拟合参数。

(2) 当 $b < a/10$, $x \in [0, a/2]$ 时,此种情况采用关键点有效分布宽度的分段线型插值公式^[5]。关键点处的有效分布宽度分段插值表见表1。

表1 关键点处有效分布宽度分段插值表

x 值	B_{eff}
$a/4$	$(0.42/a)b^2 + 0.19b + 0.36a$
$a/10$	$(2.32/a)b^2 + 0.011b + 0.157a$
$a/20$	$(3.71/a)b^2 + 0.054b + 0.080a$
$a/40$	$(4.63/a)b^2 + 0.159b + 0.043a$
0	b

收稿日期: 2023-03-06

作者简介: 施江涛(1987—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

根据以上计算公式,可导出不同桥宽和不同宽度外伸横梁对应的有效分布宽度扩散角,此扩散角可对应桥面板中心的有效分布宽度。对于桥面板其他位置,用此扩散角对计算结果是偏于安全的。

有效分布宽度扩散角计算表见表2。

表2 有效分布宽度扩散角计算表

外伸横梁宽 /m	桥面板宽 /m	桥面板中心有效分布宽度 /m	扩散角 $\beta(^{\circ})$
2	5.0	3.1	12.2
	10.0	5.6	19.9
	20.0	10.9	24.1
	30.0	16.3	25.5
	40.0	21.7	26.2
3	5.0	3.4	4.7
	10.0	5.8	15.9
	20.0	11.1	22.0
	30.0	16.4	24.1
	40.0	21.8	25.2
4	5.0	0.5	4.0
	10.0	6.1	12.1
	20.0	11.2	19.9
	30.0	16.5	22.6
	40.0	21.9	24.1

2 板壳有限元模型和梁单元模型计算结果的对比分析

由于外伸横梁顶底板在外伸段宽度是一定的,而在桥面范围内顶底板可看做向两侧延伸的长宽比较大的薄板(近似无限长板)。外伸横梁在自重等作用下,顶底板受拉或受压,相当于作用在桥面范围内顶底板两侧的均布力,与上述无限长板受对位荷载的受力形式相近,故可采用上述得出的有效分布宽度或有效分布宽度扩散角,对该外伸横梁及桥面范围内的横梁应力进行简化计算。

以某实际工程为例,该桥跨径组合为63.0 m+71.0 m+48.4 m,桥宽达到 35.5~40.0 m,采用单箱 5 室变高变宽钢箱梁桥,最大腹板间距 7 m(见图1)。边支点和中跨跨中梁高 2.5 m,中支点梁高 3.8 m。本桥受下部道路影响,布墩空间非常有限,一侧立柱支点处均只能采用外挑式横梁,横梁横向支点间距最大达到约 55 m(支点横梁长度达到近 60 m)。最大单支座吨位达到 3 500 t。

2.1 模型的建立

本节对该桥的 2 号中横梁进行对比分析。建立

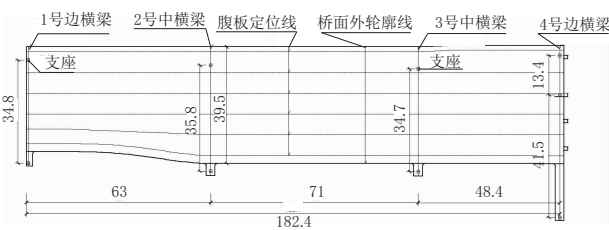


图1 桥梁平面图(单位:m)

全桥板壳有限元模型,并根据表2建立梁单元模型,对横梁范围内的横向应力进行对比分析,来验证有效分布宽度扩散角的应用是否有效。

该桥2号中横梁支座间距35.85 m,总长43.56 m,梁高3.8 m,中横梁宽3 m。

2号中横梁断面图见图2。采用 Ansys 建立的全桥板壳有限元模型见图3。根据表2,梁单元模型中采用桥宽 39.5 m 对应的有效分布宽度扩散角为 25.2°。用杆系有限元建立的中横梁单梁模型(考虑有效分布宽度扩散角)见图4。

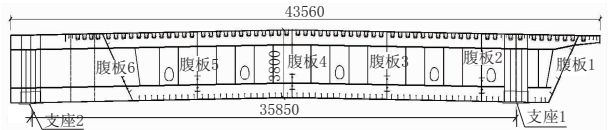


图2 2号中横梁断面图(单位:mm)

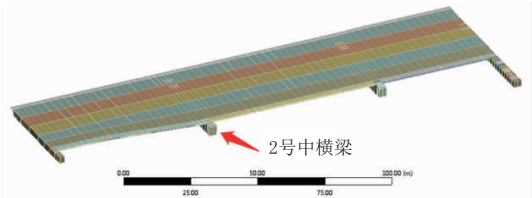


图3 全桥板壳有限元模型(单位:m)

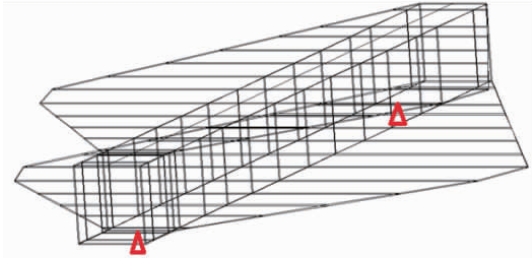


图4 采用有效分布宽度扩散角的梁单元模型

为排除其他影响因素,模型中只计重力,并在梁单元模型中采用板壳有限元模型计算得到的支反力进行加载。梁单元模型中可采用2种加载方式:2号横梁总支反力按6道腹板均分,以集中力方式加载于腹板位置;2号横梁总支反力按板壳有限元模型计算得到腹板剪应力,然后按腹板剪应力的比例计算得到加载于各腹板位置的集中力(见表3)。

由表3可知:靠近支座位置的腹板受力更大。2种腹板集中力的分配方式中,显然后者更接近实际受力情况,但前者计算更为方便。

表 3 腹板集中力分配表			单位:kN
腹板号	腹板集中力均分	腹板集中力按剪应力分配	
腹板 1	3 929	1 861	
腹板 2	3 929	6 203	
腹板 3	3 929	3 102	
腹板 4	3 929	3 102	
腹板 5	3 929	3 102	
腹板 6	3 929	6 203	

2.2 结果对比

按板壳有限元模型计算得到的横向正应力、按板壳有限元模型和梁单元模型计算得到的中横梁顶板横向正应力见图 5、图 6。

从计算结果可看出,在横梁跨中(即 $x=20\text{ m}$ 位置处),板壳有限元模型计算结果(19.5 MPa)与梁单元模型计算结果(分别为 20.2 MPa 和 22.1 MPa)非常接近,且按照 25.2° 的有效分布宽度扩散角的梁单元模型计算结果基本能够包络板壳有限元模型的计算结果,是偏于安全的。另外,腹板集中力按剪应力分配的计算结果(20.2 MPa)相比腹板集中力均分的计算结果(22.1 MPa)更接近于板壳有限元模型的计算结果,但若采用腹板集中力均分的方式也可满足工程精度的要求。在板壳有限元模型中,支点位置(尤其是左侧支点位置)的横梁顶板应力计算值与梁单元模型相差较大,这是板壳有限元模型支点处的局部应力集中所致。

3 结 语

(1)以无限长板带对位荷载下的应力简化计算公式为基础,导出的不同桥宽和不同外伸横梁宽度对应的有效分布宽度扩散角,对超宽桥梁的横梁横向

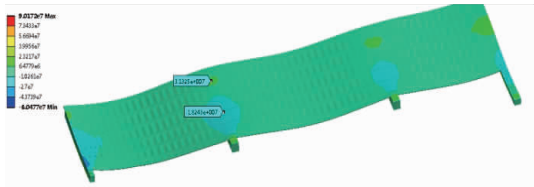


图 5 按板壳有限元模型计算得到的横向正应力(单位:Pa)

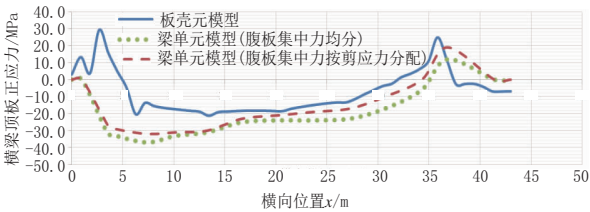


图 6 按板壳有限元模型和梁单元模型计算得到的中横梁顶板横向正应力对比

应力计算有一定的参考价值。

(2)用板壳有限元模型和梁单元模型对实际工程中的超宽外伸中横梁顶板横向正应力进行对比分析时,采用导出的有效分布宽度扩散角的梁单元模型计算结果与板壳有限元模型计算结果是非常接近的,且能够包络板壳有限元模型的计算结果,是偏于安全的。在实际工程中也可进一步考虑一定的安全富余度。

(3)文中对于超宽外伸横梁受力的计算方法有待进一步验证,但可为同类型桥梁的横向受力计算提供借鉴和参考。

参考文献:

[1] 韦春陆.超宽箱梁多种支承条件下横梁结构受力研究[D].南京:东南大学,2015.
[2] 卫军,黄敦文,张仕卓,等.交叉梁体系桥面板荷载有效分布宽度试验研究[J].土木工程学报,2019,52(6):92-109.
[3] 吴冲.钢桥[M].北京:人民交通出版社,2008.
[4] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
[5] 施江涛.无限长板带对位荷载下的有效分布宽度计算和应力分析方法[J].城市道桥与防洪,2021(12):150-152.

(上接第 219 页)

[7] 邵真宝,王佐才.双主梁钢板组合梁截面剪力滞效应研究[J].安徽建筑,2021(5):126-129.
[8] 陈雨阳,王佐才,王书航.铁路波形钢腹板 PC 组合梁桥剪力滞效应分析[J].工程与建设,2020,34(3):377-381.
[9] 赵竑宇.双箱单室曲线波形腹板钢箱-混凝土顶板组合箱梁剪力

滞效应分析[D].兰州:兰州交通大学,2020.
[10] 杜铁钢.-UHPC 组合梁剪力滞效应研究[D].长沙:湖南大学,2019.
[11] 齐飞翔.连续曲线钢-混凝土组合箱梁剪力滞效应研究 [D].石家庄:石家庄铁道大学,2020.
[12] 项海帆,等.高等桥梁结构理论[M].北京:人民交通出版社,2001.