

多梁式工形截面钢混组合梁桥荷载横向分布的参数分析

陈洪伟, 贺国栋, 王甜

(湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410008)

摘要:针对多梁式工形截面钢混组合梁桥,通过有限元分析,采用单一变量的研究方法,研究桥梁跨径、桥梁宽度、跨径布置、中横梁设置、端横梁设置等参数对多梁式工形截面钢混组合梁桥横向受力分布的影响。结果表明:①跨径30~40 m,桥梁跨度和宽度对横向分布的影响均很小;②简支梁与连续梁的横向分布差别较小,以简支梁为基础得到的规律推广至连续梁是偏于安全的;③柔性中横梁和柔性端横梁对于协调各片主梁受力的作用均很小,而刚性端横梁的作用较为明显。

关键词:组合梁;横向分布;有限元分析;参数分析

1 引言

多梁式工形截面钢混组合梁桥(以下简称工字钢混组合梁桥)是由多片工字钢主梁通过混凝土桥面板和横梁形成空间整体结构,具有自重较轻、施工快速便捷、耐久性好、结构冗余度高等优点,在城市及高速公路中小跨径桥梁中应用范围越来越广。工字钢混组合梁桥的各片主梁共同参与受力,属于空间结构分析的范畴,与装配式预应力混凝土T梁和小箱梁类似。在桥梁的设计过程中,由于空间建模计算较为复杂,往往通过引入横向分布系数的概念将空间问题简化为平面问题,通过计算横向分布系数得到各片主梁的内力。

李瑞琪等通过有限元分析对钢混组合小箱梁桥的横向分布系数的计算方法和影响参数进行了理论研究,结果表明:桥面板厚度、桥面板铰缝设置、横梁间距等因素对简支组合箱梁桥横向受力分布性能影响均不大;项贻强等研究了多梁式钢-混凝土组合小箱梁桥的荷载横向分布,结果表明:桥梁宽度的影响较大,应根据结构的宽跨比采用不同的修正算法;倪章军等研究GFRP组合梁桥的纵梁间距、跨长、横撑刚度及主梁尺寸等参数对其横向荷载分布系数的影响,结果表明:纵梁间距、跨长、纵梁位置及纵梁尺寸对荷载横向分布系数有重要的影响,横撑的刚度对跨度小于20 m

桥梁的横向分布系数有一定的影响;李保宽等以30 m跨径简支组合式混凝土箱梁为对象,研究桥梁宽跨比对横向分布系数的影响,结果表明:横向分布系数均随着桥梁宽跨比的增大而减少;李娟燕等针对某40 m预应力混凝土T梁加固工程中采用增设钢结构横向联结系来改善主梁结构受力性能展开研究,结果表明:增设钢结构横向联结系或混凝土横隔板对改善上部主梁受力的作用很小;钱若霖以混凝土简支T梁和小箱梁为研究对象,基于有限元梁格法建模,考虑不同桥梁跨径、主梁根数、横隔梁布置、桥面铺装厚度的影响,研究桥梁荷载横向分布规律,结果表明:在一定范围内,跨径的增大、宽度的增加、内横梁的增加以及铺装层厚度增加都对荷载横向分布的均匀性具有一定贡献作用,这对于结构受力是有利的;邓淇元等研究了横隔板对装配式小箱梁桥横向受力的影响,结果表明:对于跨径为20~40 m的装配式小箱梁桥,只设置端横隔板和跨中横隔板就可以达到很好的效果,设置5道横隔板与设置3道横隔板的结果相差不大。

现有文献的研究对象大多针对预应力混凝土T梁和小箱梁,少有文献针对组合结构桥梁展开研究,与该文研究的工字钢混组合梁桥在构造上均存在一定差异,故其得到的结论仅可为工字钢混组合梁桥横向分布系数提供参考。该文采用单一变量的研究方法,建立不同参数下的有限元模型,研究桥梁跨径、桥梁宽

收稿日期:2020-09-24

基金项目:湖南省地方标准制定项目(编号:2016年第2批第9项);湖南省交通科技标准化项目(编号:201609)

作者简介:陈洪伟,男,工程师。E-mail:skschenhongwei@163.com

度、跨径布置、中横梁设置、端横梁设置等参数对多梁式工形截面钢混组合梁桥横向受力分布的影响,为设计提供依据。

2 研究对象与方法

2.1 研究对象

研究对象为多梁式工字截面钢混组合梁桥,根据设计需要,其跨径适应范围为 30~40 m,主梁片数可根据桥梁宽度调整,跨径布置可为简支梁或连续梁。以适用于高速公路单向两车道的 30 m 跨径简支梁为例,如图 1 所示,单幅桥宽 12.5 m,桥面布置为 0.5 m 防撞栏+11.5 m 行车道+0.5 m 防撞栏。全桥设 6 片工字钢梁,横向间距 2.1 m。

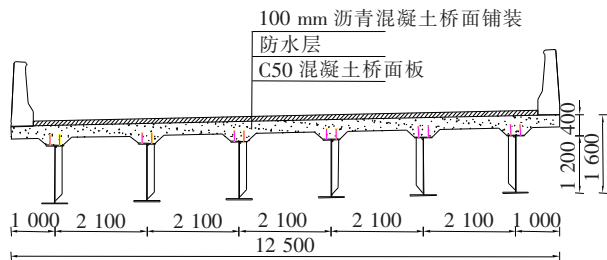


图 1 钢混组合梁典型横断面(单位:mm)

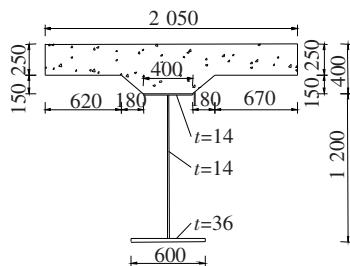
边梁和中梁的截面尺寸如图 2 所示。钢梁高 1 200 mm,混凝土桥面板厚 250~400 mm,全梁高 1 600 mm。钢梁上翼缘板宽为 400 mm,厚为 14 mm。腹板高为 1 150 mm,厚为 14 mm。钢梁底板宽为 600 mm,板厚根据受力需要为 26、30、32、36 mm。上翼缘板及底板均水平布置。

2.2 有限元模型

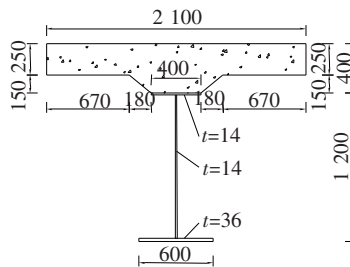
采用有限元软件 Midas/Civil 2010 分别建立简支及连续工字钢混组合梁的全桥梁板混合有限元模型,其中钢梁采用梁单元(Beam)模拟,混凝土桥面板采用板单元(Plate)模拟。钢梁与混凝土桥面板之间采用弹性连接。边界条件为每片工字钢梁底部均施加竖向约束,其中连续梁中支点一排支座施加纵向约束,3#主梁一列支座施加横向约束。为保证计算精度,单元划分最大尺寸不超过 500 mm,有限元模型如图 3 所示。

2.3 计算过程与方法

选取桥梁跨中断面作为控制断面,在有限元模型中施加横向移动集中荷载 P ,获取每片主梁的竖向位移 f_{ij} ,然后根据式(1)计算各片梁的横向分布影响线竖标值 η_{ij} 。

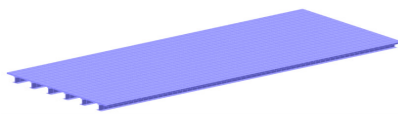


(a) 边梁横断面

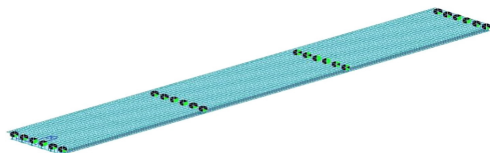


(b) 中梁横断面

图 2 边梁中梁横断面尺寸(单位:mm)



(a) 简支梁



(b) 连续梁

图 3 梁板混合有限元模型

$$\eta_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sum_{i,j=1}^n f_{ij}} \quad (1)$$

式中: f_{ij} 为移动荷载 P 作用在第 j 号主梁时引起的第 i 号主梁竖向位移; η_{ij} 为移动荷载 P 作用在第 j 号主梁时第 i 号主梁的影响线竖标值。

将荷载作用在各片主梁计算的影响线竖标值连成线即得到其横向分布影响线,再通过横向最不利车道布载,根据式(2)计算每片主梁的横向分布系数 m_i 。

$$m_i = \lambda \frac{\sum \eta_{iq}}{2} \quad (2)$$

式中: m_i 为第 i 号主梁的横向分布系数; η_{iq} 为最不利汽车集中荷载作用点的影响线竖标值; λ 为车道横向折减系数。

3 横向分布的影响参数研究

多梁式工形截面钢混组合梁桥的初始计算模型为跨径 30 m 简支梁、桥宽 12.5 m、未设置钢中横梁及混凝土端横梁。为研究不同参数(桥梁跨径、桥梁宽度、跨径布置、中横梁设置、端横梁设置)对横向受力分布的影响,对上述单一变量建立不同参数下的有限元模型,计算跨中位置的横向分布系数并进行对比分析。

3.1 桥梁跨径

对组合梁初始模型分别取 30、35、40 m 3 种跨径,计算分析桥梁跨径参数对横向分布系数的影响,结果如表 1 所示。

表 1 不同桥梁跨径的横向分布系数

梁号	横向分布系数			35 m 相对 30 m 的 百分比%	40 m 相对 30 m 的 百分比%
	30 m	35 m	40 m		
1 [#]	0.640	0.641	0.642	0.1	0.3
2 [#]	0.544	0.540	0.538	-0.9	-1.2
3 [#]	0.457	0.451	0.448	-1.3	-1.8
4 [#]	0.457	0.451	0.448	-1.3	-1.8
5 [#]	0.544	0.540	0.538	-0.9	-1.2
6 [#]	0.640	0.641	0.642	0.1	0.3

从表 1 可以看出:随着桥梁跨径的增大,边梁(1[#]梁)的横向分布系数略有增大,中梁(2[#]梁、3[#]梁)的横向分布系数略有减小,但变化幅度很小。因此,该文研究的多梁式工形截面钢混组合梁桥在其经济适用跨径 30~40 m 范围内,各片梁的横向分布系数随桥梁跨径的变化影响很小,在设计时可以取统一的横向分布系数。

3.2 桥梁宽度

对组合梁初始模型分别取两车道(桥梁宽度 12.5 m,设 6 片主梁,主梁间距 2.1 m)和三车道(桥梁宽度 16.5 m,设 8 片主梁,主梁间距 2.1 m)两种宽度,计算分析桥梁宽度参数对横向分布系数的影响,结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出:随着桥梁宽度的增大,边梁和中梁的横向分布系数均略有减小,表明各片主梁的受力更加趋于均匀,但变化幅度很小,最大降幅为 2.8%。总体而言,桥梁宽度变化对多梁式工形截面钢混组合梁桥横向分布系数的影响较小。

3.3 跨径布置

对组合梁初始模型分别取 1 跨简支、3 跨连续、4 跨连续 3 种跨径布置,计算分析跨径布置参数对横向分布系数的影响,结果如表 3 所示。

表 2 不同桥梁宽度的横向分布系数

梁号	横向分布系数		相对百分比%
	6 片梁	8 片梁	
1 [#]	0.640	0.622	-2.8
2 [#]	0.544	0.531	-2.4
3 [#]	0.457	0.450	-1.6
4 [#]	—	0.418	—
5 [#]	—	0.418	—
6 [#]	0.457	0.450	-1.6
7 [#]	0.544	0.531	-2.4
8 [#]	0.640	0.622	-2.8

表 3 不同桥梁孔数的横向分布系数

梁号	横向分布系数			3 跨连续 相对 1 跨 简支的百 分比%	4 跨连续 相对 1 跨 简支的百 分比%
	1 跨 简支	3 跨 连续	4 跨 连续		
1 [#]	0.640	0.641	0.642	0.2	0.3
2 [#]	0.544	0.554	0.555	1.8	1.9
3 [#]	0.457	0.468	0.468	2.4	2.5
4 [#]	0.457	0.468	0.468	2.4	2.5
5 [#]	0.544	0.554	0.555	1.8	1.9
6 [#]	0.640	0.641	0.642	0.2	0.3

从表 3 可以看出:① 对于边梁(1[#]梁)而言,简支梁和连续梁的横向分布系数差别仅 0.3%。对于中梁(2[#]梁、3[#]梁)而言,连续梁桥比简支梁桥的横向分布系数略有增大,但变化幅度很小,最大增幅为 2.5%;② 简支梁的边梁和中梁受力的差异性要大于连续梁,表明连续梁桥各片主梁的受力更加均匀,以简支梁为基础分析得到的横向分布规律推广至连续梁是偏于安全的。

3.4 中横梁参数

对组合梁初始模型分别考虑不设中横梁、设 1 道柔性中横梁(设置在跨中位置)、设 3 道柔性中横梁(设置在跨中和四分点位置)3 种情况,计算中横梁参数对横向分布系数的影响,结果如表 4 所示。柔性中横梁采用工字形钢结构断面,横梁高度 900 mm,腹板厚度 14 mm,翼板宽度 300 mm,厚度 14 mm。

表 4 不同中横梁参数的横向分布系数

梁号	横向分布系数			1道柔性中3道柔性中横梁相对无中横梁的百分比/%	
	无中横梁	1道柔性中横梁	3道柔性中横梁	横梁相对无中横梁的百分比/%	横梁相对无中横梁的百分比/%
1 [#]	0.640	0.656	0.654	2.5	2.3
2 [#]	0.544	0.535	0.532	-1.8	-2.2
3 [#]	0.457	0.434	0.431	-4.9	-5.7
4 [#]	0.457	0.434	0.431	-4.9	-5.7
5 [#]	0.544	0.535	0.532	-1.8	-2.2
6 [#]	0.640	0.656	0.654	2.5	2.3

从表 4 可以看出:设 1 道中横梁与设 3 道中横梁的结果基本相同。对比有无中横梁的情况,对于边梁(1[#]梁)而言,增设中横梁后的横向分布系数略有增大,对于中梁(2[#]梁、3[#]梁)而言,增设中横梁后的横向分布系数有所减小,最大降幅为 5.7%。因此,在多梁式工形截面钢混组合梁桥中,中横梁的主要作用是增强施工阶段钢梁稳定性,对于协调各片主梁受力的效果不是很明显。设计时,从增强施工阶段结构稳定性的角度出发,可以考虑设置 1 道中横梁,但没必要设置多道中横梁。

3.5 端横梁参数

对组合梁初始模型分别考虑不设端横梁、柔性端横梁、刚性端横梁 3 种情况,计算端横梁参数对横向分布系数的影响,结果如表 5 所示。柔性端横梁采用工字形钢结构截面,梁高 900 mm,腹板厚度 14 mm,翼板宽度 300 mm,厚度 14 mm。刚性端横梁采用矩形混凝土断面,横梁高度 900 mm,宽度 600 mm。

表 5 不同端横梁类型的横向分布系数

梁号	横向分布系数			柔性端横梁相对无端横梁的百分比/%		刚性端横梁相对无端横梁的百分比/%	
	无端横梁	柔性端横梁	刚性端横梁	横梁相对无端横梁的百分比/%	横梁相对无端横梁的百分比/%	横梁相对无端横梁的百分比/%	横梁相对无端横梁的百分比/%
1 [#]	0.640	0.636	0.596	-0.7	-6.9		
2 [#]	0.544	0.542	0.517	-0.5	-5.0		
3 [#]	0.457	0.456	0.449	-0.2	-1.8		
4 [#]	0.457	0.456	0.449	-0.2	-1.8		
5 [#]	0.544	0.542	0.517	-0.5	-5.0		
6 [#]	0.640	0.636	0.596	-0.7	-6.9		

从表 5 可以看出:设柔性端横梁与不设端横梁的结果差别仅 0.7%,表明柔性端横梁对于协调各片主梁受力基本不起作用。但设刚性端横梁的效果较为明显,边梁(1[#]梁)的横向分布系数降幅为 6.9%。

为进一步研究刚性端横梁的刚度大小对横向受力分布的影响程度,取 4 种截面尺寸的刚性端横梁,计算其横向分布系数,结果如表 6 所示。刚性端横梁 A~D 均采用混凝土结构,矩形截面,梁高均为 900 mm,梁宽分别为 300、600、900、1 200 mm。

表 6 不同端横梁刚度的横向分布系数

梁号	横向分布系数				
	无端横梁	刚性端横梁 A	刚性端横梁 B	刚性端横梁 C	刚性端横梁 D
1 [#]	0.640	0.623	0.596	0.565	0.539
2 [#]	0.544	0.534	0.517	0.498	0.482
3 [#]	0.457	0.453	0.449	0.443	0.439
4 [#]	0.457	0.453	0.449	0.443	0.439
5 [#]	0.544	0.534	0.517	0.498	0.482
6 [#]	0.640	0.623	0.596	0.565	0.539

从表 6 可以看出:随着端横梁刚度的增大,边梁和中梁的横向分布系数均减小,端横梁刚度越大,对应的降幅越大,各片主梁的受力越均匀。当端横梁宽度增加到 1 200 mm 时,边梁的降幅为 15.8%,中梁的降幅为 3.8%,可见端横梁刚度增大对边梁的降幅作用更为明显。

基于以上分析,表明柔性端横梁对于协调各片主梁受力的作用较小,刚性端横梁的作用较为明显,且刚度越大各片主梁的受力越均匀,建议在进行多梁式工形截面钢混组合梁桥的设计时采用混凝土端横梁。

4 结论

(1) 多梁式工形截面钢混组合梁桥在其经济适用跨径 30~40 m 范围内,各片梁的横向分布系数随桥梁跨径的变化影响很小,在设计时可以采用统一的横向分布系数。

(2) 桥梁宽度变化对多梁式工形截面钢混组合梁桥横向分布系数的影响较小,两车道和三车道桥梁可简化采用统一的横向分布系数。

(3) 简支梁和连续梁的横向分布系数差别较小,并且连续梁桥各片主梁的受力更加均匀,以简支梁为基础分析得到的横向分布规律推广至连续梁是偏于安全的。

(4) 在多梁式工形截面钢混组合梁桥中,中横梁的主要作用是增强施工阶段钢梁稳定性,对于协调各片主梁受力的效果不是很明显。设计时,从增强施工