

单箱多室鱼腹形截面混凝土箱梁的偏载效应

刘泽慧, 霍 赛

(北京交科公路勘察设计研究院有限公司, 北京市 100000)

摘 要: 鱼腹形箱梁的横向偏载较普通箱梁更为复杂,其偏载系数能否沿用现行近似计算方法进行计算值得深入研究。以某一跨单箱多室鱼腹形截面混凝土箱梁桥为工程背景,采用梁格法进行受力分析,提出按各梁肋的实际荷载横向分布系数来计算箱梁偏载系数的简化公式,并与经验系数法、偏心压力法和修正偏心压力法等近似处理方法的计算结果进行对比。结果表明:与有限元单位力法结果相比,梁格单位力法的计算值和经验系数法的估计值均偏小,偏心压力法和修正偏心压力法的计算值均偏大,因此采用偏心压力法和修正偏心压力法来近似计算此类箱梁的偏载系数偏于安全。根据有限元单位力法计算结果,建议单箱多室鱼腹形截面混凝土箱梁的偏载系数取 1.2。

关键词: 鱼腹形箱梁;偏载系数;梁格法

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)12-0078-04

0 引言

作用在箱梁上的活载一般呈偏载布置,此时箱梁的整体受力计算可分为 2 种:对称荷载 P 作用下的纵向弯曲计算和扭矩 $M_T=Pe$ 作用下的扭转计算。对于纵向弯曲计算,通常可用材料力学公式计算各横截面上的弯曲正应力;对于扭转计算,箱形薄壁杆件受扭后横截面将产生约束扭转正应力以及截面发生歪扭引起的畸变正应力。由于平面杆系有限元程序无法计算箱梁扭转效应,因此在桥梁设计时提出偏载增大系数对初等梁理论的结果进行修正,以考虑偏载效应对截面受力的影响。

国内常用的偏载系数计算方法,例如经验系数法、偏心压力法和修正偏心压力法^[1-3]都是基于平面杆系结构理论提出的,难以反映实际桥梁的空间受力情况,且随着桥宽的增加,曲底板箱梁的横向偏载相对较大,上述箱梁活载计算所采用的近似处理方法是否适用于单箱多室鱼腹形截面混凝土箱梁仍值得进一步探讨。

为了将复杂的空间问题转化成平面问题求解,本文采用梁格法对一 40 m 跨单箱多室鱼腹形截面混凝土简支箱梁的受力进行了分析,提出按各梁肋的实际荷载横向分布系数来计算箱梁偏载系数的简

化公式,并与经验系数法、偏心压力法和修正偏心压力法等近似处理方法的计算结果进行对比,探讨现行近似计算方法对单箱多室鱼腹形截面混凝土箱梁的适用性。

1 偏载系数的定义

由偏心荷载作用下箱梁截面的变形分析可以得出,考虑空间效应时箱梁横截面上的正应力 σ 为:

$$\sigma = \sigma_M + \sigma_w + \sigma_{dw} \quad (1)$$

式中: σ_M 为截面受弯后产生的弯曲正应力; σ_w 为截面受扭后产生的约束扭转正应力; σ_{dw} 为截面发生歪扭引起的畸变正应力。

这里引入偏载系数 ζ 来考虑箱梁截面的偏载效应,其定义为:

$$\zeta = \frac{\sigma_M + \sigma_w + \sigma_{dw}}{\sigma_M} \quad (2)$$

2 偏载系数计算方法

我国《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)和《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)均未对偏载系数的取值进行详细规定,且关于偏载系数的计算尚未形成较为成熟的理论公式。本文列举了目前国内常用的偏载系数近似计算方法,具体叙述如下。

2.1 经验系数法

设计经验表明,由于钢筋混凝土或预应力混凝土

收稿日期: 2024-01-04

作者简介: 刘泽慧(1992—),女,硕士,工程师,主要从事桥梁设计工作。

箱形截面的抗扭刚度一般均较大,由扭转引起的应力通常较纵向弯曲引起的应力小得多。而且箱壁具有一定厚度的箱梁在横隔板的制约下截面不易发生歪扭,因此在计算箱梁截面某点的正应力时箱梁的畸变效应可忽略不计,而仅考虑箱梁的纵向弯曲和约束扭转作用。对于对称混凝土箱形截面,一般将活载偏心作用引起的约束扭转正应力估计为活载对称作用下纵向弯曲正应力的15%,即偏载系数 $\zeta=1.15^{[4]}$ 。

2.2 偏心压力法

偏心压力法是分析桥梁荷载横向分布问题的常用方法之一,它假定横隔梁刚度无穷大,荷载作用下梁发生变形时认为横截面保持原来形状不变,即箱梁各个腹板的挠度呈直线分布。偏压法最初用于计算开口截面T形梁桥的荷载横向分布系数,用它来求解箱梁的偏载系数,是其应用的一个近似推广。

该方法将箱梁腹板近似看作开口截面的肋梁,先计算出活载偏心作用下边肋板的荷载分配系数 m_{max} ,再乘以肋板总数、除以车道数,从而得到箱梁截面的偏载系数 $\zeta^{[5]}$ 。具体公式如下:

$$m_{max} = \frac{I_1}{\sum I_i} + \frac{e a_1 I_1}{\sum a_i^2 I_i} \quad (3)$$

$$\zeta = \frac{nm_{max}}{k} \quad (4)$$

式中: I_1 为边肋板的抗弯惯性矩; $\sum I_i$ 为桥梁横截面内所有肋板抗弯惯性矩的总和, $i=1\sim n$,其中 n 为箱梁的肋板总数; e 为外荷载合力点至桥面中心的距离; a_1 为边肋板至桥面中心的距离; a_i 为第 i 号肋板至桥面中心的距离; k 为车道数。

2.3 修正偏心压力法

偏心压力法忽略了箱梁的抗扭刚度。考虑到实际箱梁抗扭刚度较大,修正偏心压力法在偏心压力法基础上引入了抗扭修正系数 $\beta^{[6]}$ 。具体公式如下:

$$m_{max} = \frac{I_1}{\sum I_i} + \beta \frac{e a_1 I_1}{\sum a_i^2 I_i} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{l^2}{12} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{\sum I_{Ti}}{\sum a_i^2 I_i}} \quad (6)$$

$$\zeta = \frac{nm_{max}}{k} \quad (7)$$

式中: l 为简支梁的跨径; G 为材料的剪切模量,对于混凝土取用 $G=0.425E$; E 为材料的弹性模量; I_{Ti} 为第 i 号肋板的抗扭惯矩。

2.4 梁格法

上述的经验系数法虽然计算简单,但它既不考

虑结构的截面形式,也不考虑结构在偏载作用下的受力状态,而是较为笼统地取相同的偏载系数,这对某些桥跨结构来说,可能会偏于不安全。偏心压力法假定横隔梁无限刚性且忽略主梁的抗扭刚度,这就导致边梁受力的计算结果偏大;修正偏压法虽考虑了主梁的抗扭刚度,但它最初是用于肋梁式桥梁的计算,在扭转作用下,肋梁式开口截面与闭口箱形截面的剪力流具有本质区别,且对于宽箱梁而言,横梁因自身刚度相对较低而不能再视为近似刚性,因此按偏压法或修正偏压法求得的偏载系数会存在一定误差。

梁格法是分析桥梁上部结构空间受力性能的一种可靠方法。本文采用梁格法对40m跨单箱多室鱼腹形截面混凝土筒支箱梁的受力进行了分析,提出按各梁肋实际荷载横向分布系数来计算偏载系数的简化公式,并与上述近似处理方法的计算结果进行对比,探讨现行近似计算方法对单箱多室鱼腹形截面混凝土箱梁的适用性。

40m跨单箱多室鱼腹形截面混凝土筒支箱梁的立面布置见图1,主梁采用的截面见图2。箱梁支点处均设置厚度为1.2m的横梁。主梁仍采用C50混凝土。

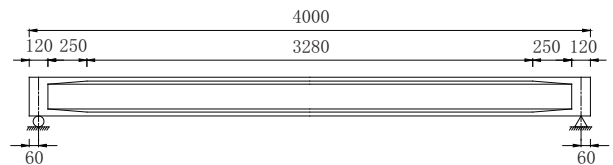


图1 简支箱梁纵断面(单位:cm)

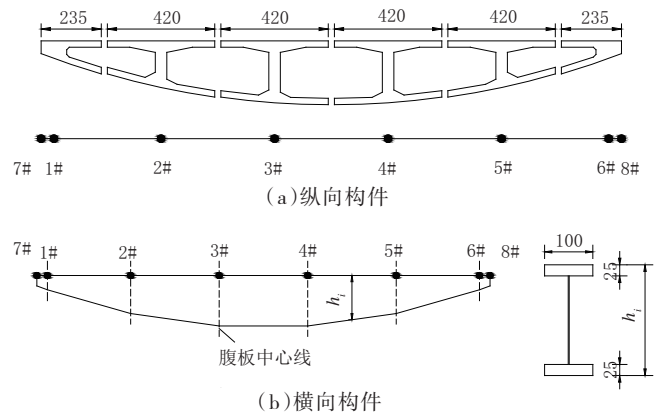


图2 梁格截面(单位:cm)

采用MIDAS Civil软件建立40m跨单箱多室鱼腹形截面混凝土筒支箱梁桥的梁格模型。主梁以梁单元模拟,混凝土的弹性模量 E_c 为 3.45×10^4 MPa、泊松比 μ 为0.2,容重 γ 为 26 kN/m^3 。在梁腹板中心线处设置纵向构件,纵梁截面如图2(a)所示,其中

1#~6# 梁代表实际纵梁,7#、8# 梁代表虚拟纵梁;横向构件采用如图 2(b)所示的梁高呈线性变化的二字形截面近似模拟。横梁变截面高度 h_i 列于表 1;纵向构件和横向构件的截面特性列于表 2 和表 3,其中虚拟纵梁和虚拟横梁的重量不计。纵向构件单元长度为 1 m,横向构件单元长度为 3.95 m 或 4.2 m,单箱多室鱼腹形截面混凝土简支箱梁共划分成 638 个单元,352 个节点。箱梁支点处支座均布置于实际纵梁的梁端节点,梁格计算模型如图 3(a)所示。

表 1 二字形截面高度

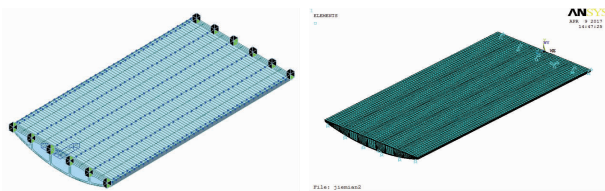
变截面位置	7# 端	1# 端	2# 端	3# 端
h_i / m	0.500 0	0.687 6	1.828 5	2.426 1

表 2 纵向构件的截面特性取值

构件编号	抗弯惯矩 I_y / m^4	抗扭惯矩 I_{T_x} / m^4	竖向剪切面积 $/\text{m}^2$
1# 或 6#	0.476 4	0.499 5	0.682 6
2# 或 5#	1.539 9	3.510 6	0.822 4
3# 或 4#	3.150 6	6.180 3	1.091 4
7# 或 8#(虚拟纵梁)	0.005 2	0.010 4	0.250 0

表 3 横向构件每 m 宽度的截面特性取值

变截面位置	抗弯惯矩 i_x / m^4	抗扭惯矩 i_{T_y} / m^4	等效剪切面积 a_s / m^2
7# 端	0.031 3	0.062 5	0.213 2
1# 端	0.059 1	0.118 2	0.108 8
2# 端	0.417 9	0.835 9	0.004 0
3# 端	0.735 7	1.471 5	0.003 6



(a) 梁格模型 (b) 实体有限元模型

图 3 单箱多室鱼腹形截面混凝土简支箱梁计算模型

3 偏载系数的计算

采用梁格模型施加单位力法计算曲底板简支箱梁的偏载系数^[7]。梁格模型单位力法示意图见图 4。

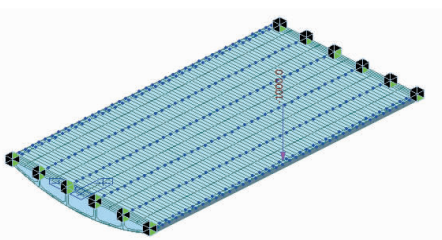


图 4 梁格模型单位力法示意图

如图 4 所示,分别在箱梁跨中各腹板顶部位置施加 $P=1\ 000\ \text{kN}$ 的竖向集中力,得到相应工况下各纵梁的跨中挠度值。

各纵梁的横向影响线坐标值 η_{ij} 计算式为:

$$\eta_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sum_{i,j=1}^n f_{ij}} \quad (8)$$

式中: f_{ij} 为单位力 P_j 作用于第 j 号纵梁跨中位置时引起的第 i 号纵梁的跨中挠度值。

由式(8)计算各纵梁的横向影响线坐标,绘制荷载横向影响线,并根据规范要求确定荷载沿横向的最不利位置^[8],得到各纵梁的荷载横向分布系数,进而由式(9)计算箱梁的偏载系数 ζ 。各纵梁的影响线坐标计算结果和影响线见表 4 和图 5。

$$\zeta = \frac{\sum m_i}{k} \quad (9)$$

式中: m_i 为第 i 号纵梁的荷载横向分布系数; k 为车道数。

表 4 各纵梁影响线坐标计算结果

构件编号	1# 纵梁		2# 纵梁		3# 纵梁	
	f_{ij} / mm	η_{ij}	f_{ij} / mm	η_{ij}	f_{ij} / mm	η_{ij}
1#	7.120	0.289	5.551	0.231	3.966	0.175
2#	5.589	0.227	5.518	0.230	3.959	0.175
3#	3.973	0.161	3.959	0.165	4.559	0.201
4#	3.203	0.130	3.312	0.138	3.624	0.160
5#	2.687	0.109	2.966	0.123	3.312	0.146
6#	2.103	0.085	2.730	0.114	3.218	0.142
Σ	24.68	1	24.04	1	22.64	1

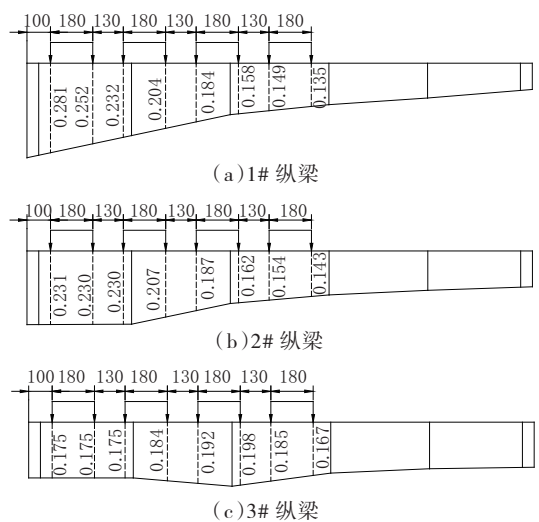


图 5 荷载横向分布影响线

1# 纵梁的荷载横向分布系数为:

$$m_1 = 0.797 5 \quad (10)$$

2# 纵梁的荷载横向分布系数为:

$$m_1 = 0.772 \tag{11}$$

3# 纵梁的荷载横向分布系数为:

$$m_1 = 0.725 \tag{12}$$

单位力法与其他方法计算的偏载系数列于表 5,其中有限元单位力法结果与梁格单位力法结果的计算过程类似。对比结果表明:与有限元单位力法计算结果相比,梁格单位力法的计算值和经验系数法的估计值分别偏小 3.8%和 3.6%,而偏心压力法和修正偏心压力法的计算值分别偏大 5.3%和 4.2%,因此采用偏心压力法和修正偏心压力法近似计算其偏载系数偏于安全。本文根据有限元单位力法计算结果,建议单箱多室鱼腹形截面混凝土箱梁的偏载系数取 1.2。

表 5 偏载系数的比较

方法	偏载系数 ζ		与 ζ_1 的比值	
	符号	数值	符号	数值
有限元单位力法	ζ_1	1.193		
梁格单位力法	ζ_2	1.148	ζ_2 / ζ_1	0.962
经验系数法	ζ_3	1.150	ζ_3 / ζ_1	0.964
偏压法	ζ_4	1.256	ζ_4 / ζ_1	1.053
修正偏压法	ζ_5	1.243	ζ_5 / ζ_1	1.042

4 结 语

(1)偏载系数是箱形梁桥结构设计的一个重要设计参数,用于平面杆系有限元计算时考虑活载作用下箱梁的约束扭转和畸变对正应力的放大作用。

(2)采用 MIDAS Civil 软件建立单箱多室鱼腹形截面混凝土筒支箱梁的空间梁格模型,对其偏载效应进行分析,提出了按各纵梁实际荷载横向分布系数来计算偏载系数的简化公式,并与经验系数法、偏心压力法和修正偏心压力法的计算值进行对比,探讨了这些工程中常用的偏载系数近似计算方法对单箱多室鱼腹形截面混凝土箱梁的适用性。

(3)与有限元单位力法结果相比,梁格单位力法的计算值、经验系数法的估计值均偏小,偏心压力法和修正偏心压力法的计算值均偏大,因此采用偏心压力法和修正偏心压力法近似计算其偏载系数偏于安全。本文根据有限元单位力法计算结果,建议单箱多室鱼腹形截面混凝土箱梁的偏载系数取 1.2。

参考文献:

[1] 刘泽慧.曲底板混凝土箱梁抗弯性能及设计方法研究[D].长沙:湖南大学,2017.

[2] 陈国强.连续宽箱桥的偏载增大系数的讨论[J].公路交通科技,2013,30(7):66-71.

[3] 程翔云,尚春青.对箱形截面连续梁活载内力增大系数公式的评述[J].公路,2000,1(1):17-19.

[4] 郭忆,叶见曙,万红燕.预应力混凝土箱梁偏载系数试验研究[J].黑龙江工程学院学报,2002,16(4):14-16.

[5] 姚玲森.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2008.

[6] 李天顺.钢-预应力砼组合连续箱梁桥空间效应研究[D].武汉:武汉理工大学,2012.

[7] E.C.汉勃利.桥梁上部构造性能[M].北京:人民交通出版社,1982.

[8] 邱顺冬.桥梁工程软件 MIDAS Civil 应用工程实例[M].北京:人民交通出版社,2011.

(上接第 73 页)

案优化研究[J].桥梁建设,2020,50(6):66-72.

[3] 吕婧.多跨连续梁桥横向减隔震分析[J].内蒙古公路与运输,2019,173(5):29-33.

[4] 刘正南,陈兴冲,张永亮,等.铁路大跨长联连续梁桥地震反应特征

分析[J].兰州交通大学学报,2019,38(3):7-12.

[5] 郭磊,李建中,范立础.大跨度连续梁桥减隔震设计研究[J].土木工程学报,2006,50(3):81-85.

[6] 叶爱君.桥梁抗震[M].北京:人民交通出版社,2002.