

# 曲线宽幅箱梁偏载系数研究

赵志明

(中铁上海设计院集团有限公司 上海 200070)

摘要: 本文结合工程实际, 基于理论和数值模拟方法研究了曲线宽幅箱梁在自重及偏载的汽车荷载作用下的腹板受力不均匀现象; 分析论证了其在自重及偏载的汽车荷载作用下支反力、正应力分布规律, 最后给出曲线宽幅箱梁纵向单梁计算的偏载系数合理取值, 结果表明, 由于弯桥存在沿主梁中心线位置自重恒载的不对称性, 故自重下也存在正应力放大系数的概念, 其值可达 1.1, 在汽车荷载偏载作用下, 截面正应力偏载系数最大可达 1.9, 远大于桥梁设计中常用的经验偏载系数 1.15, 工程中应该引起足够重视。

关键词: 曲线、宽幅箱梁、薄壁效应、偏载、支反力、正应力

Research on the Partial Load Coefficient of Curved Wide Box Girders

Zhiming Zhao

(China Railway Shanghai Design Institute Group Co., Ltd., Shanghai 200070)

Abstract: This article combines engineering practice, based on theoretical and numerical simulation methods, to study the uneven force distribution on the web of curved wide box girders under self weight and eccentric load of automobiles; The distribution law of reaction force and normal stress under the action of self weight and eccentric load of the vehicle was analyzed and demonstrated. Finally, a reasonable value of the eccentric load coefficient for the calculation of the longitudinal single beam of the curved wide box girder was given. The results showed that due to the asymmetry of self weight dead load along the centerline of the main beam, there is also a concept of normal stress amplification coefficient under self weight, which can reach 1.1. Under the action of eccentric load of the vehicle, The maximum deviation coefficient of normal stress in the cross-section can reach 1.9, which is much greater than the commonly used empirical deviation coefficient of 1.15 in bridge design. It should be given sufficient attention in engineering.

Keywords: curve, wide box girder, thin-walled effect, eccentric load, support reaction, normal stress

箱梁因其具有良好的整体性、抗弯、抗扭刚度大及稳定性好而成为桥梁工程上广泛应用的一种截面形式, 其缺点是空间效应明显, 特别是在曲线、非对称荷载作用下应力分布复杂, 采用常规分析手段无法准确、高效的计算其应力分布, 故工程设计中通过大量的实践经验, 针对常规跨度、常规宽度桥梁引入偏载系数概念, 通过放大外部荷载的方法间接的考虑了箱梁由于空间效应产生的应力增加现象。

## 1. 偏载系数定义

对于箱梁, 其剪应力是超静定的, 在偏心荷载作用下, 结构受力可分为 4 种基本状态: 纵向弯曲、刚性扭转、畸变及横向弯曲, 称为箱梁的薄壁效应, 横向弯曲主要产生横向弯曲应力及板厚方向的剪应力, 对纵向应力影响较小, 但对于目前工程中广泛应用的单梁模型有限元法 (3 自由度或者 6 自由度), 通常需借助简化系数加以考虑由于扭转、翘曲畸变产生的附加应力, 将复杂的空间效应近似分析, 这种附加应力增量简化系数称为偏载系数。

在偏心荷载作用下, 可将作用于箱梁顶面任意位置上的竖向荷载分解为作用于桥面中心线上的对称荷载和反对称荷载, 如图一所示, 具此按空间理论计算得到的箱梁横截面上某点正应力为

$$\sigma_z = \sigma_M + \sigma_W + \sigma_{dW} \quad (1)$$

上式中  $\sigma_M$  为纵向弯曲正应力,  $\sigma_W$  为约束扭转翘曲正应力,  $\sigma_{dW}$  为畸变翘曲正应力, 故正应力偏载系数可定义为:

$$\lambda_z = \frac{\sigma_z}{\sigma_M} \geq 1 \quad (2)$$

## 2. 工程实例

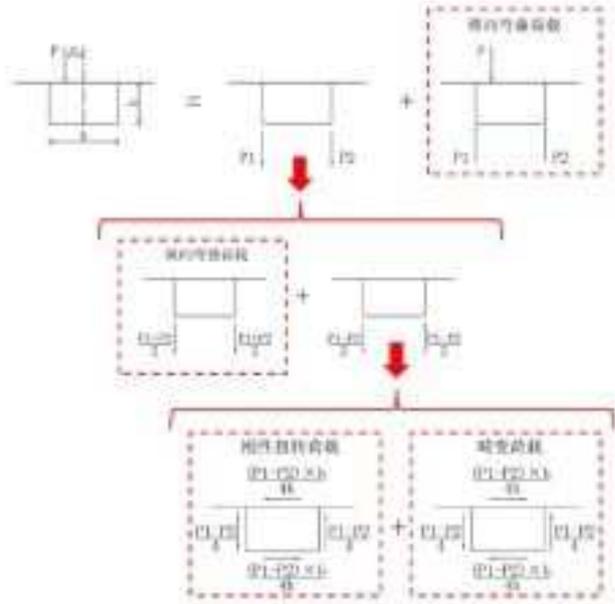


图1 箱梁偏载荷载分解图示

### 2.1 工程概况

某桥为 2 × 95m 转体 T 构桥梁, 位于曲率半径为 800m 的曲线上, 桥梁设计荷载为 1.3 × 公路-I 级。

上部结构采用单箱三室变截面预应力砼箱梁, 斜腹板布置, 箱梁总宽度 28.798m。箱梁顶部设置 2% 横坡, 底板水平。主梁中支点梁高都为 11m, 边支点梁高为 3.5m; 顶板厚度为 0.3m, 悬臂端部厚度为 0.3m, 根部厚度为 0.8m, 底板厚度为 0.4m~2.0m, 边、中腹板厚度均为 0.6~0.9m。主梁跨中横截面如下图所示。

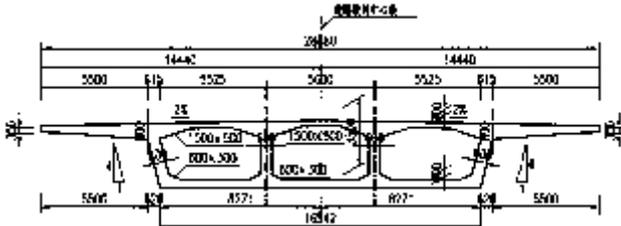


图2 箱梁跨中标准横断面(单位: mm)

### 2.2 数值分析

为准确分析偏载作用下箱梁应力变化情况,分别采用 midas civil 和 FEA 建立杆系模型和三维实体有限元模型,根据式(2)求得箱梁的偏载系数;模型总体坐标系以 x 轴为纵桥向, y 轴为横桥向, z 轴为竖向,对于杆系模型,全桥总计 112 个节点,106 个单元(杆系模型见图 3);对于三维实体模型,采用四面体映射网格(标准截面网格划分见图 4),全桥总计 310090 个节点,741408 个单元(实体网格模型见图 6);以上模型边界条件模拟均按照固定支座、纵、横活动支座在对应主梁位置施加;均未考虑预应力钢束、施工过程,按一次落架分析应力分布规律。



图3 杆系模型



图4 标准截面网格划分



图5 实体网格模型

### 2.3 分析工况

分别选取主梁端支点、1/4 跨、1/2 跨、3/4 跨、中支点进行偏载效应研究,在 1.3 倍公路-I 级车道荷载作用下端支点最大支反力,1/4、1/2、3/4 跨最大正、负弯矩,中支点最大负弯矩加载图式如表 1 所示。

表 1 荷载工况表

工况	加载位置	加载图式	备注
1	端支点		支反力最大
2			正弯矩最大
3	1/4 跨		负弯矩最大
4			正弯矩最大
5	1/2 跨		负弯矩最大
6			正弯矩最大
7	3/4 跨		负弯矩最大
8	中支点		负弯矩最大

### 3. 分析结果

将 1.3 倍公路-I 级车道荷载按照上述荷载工况进行加载,提取各工况计算结果。

#### 3.1 支反力偏载系数

本工程箱梁活载(工况 1,支反力最大)下杆系模型和实体网格模型支反力计算结果如图 7 所示,显然,活载作用下支反力存在严重的偏载现象,由于本工程主梁较宽,且为曲线梁,活载工况 1(支反力最大)作用下,支反力有曲线外侧>曲线内侧的情况。

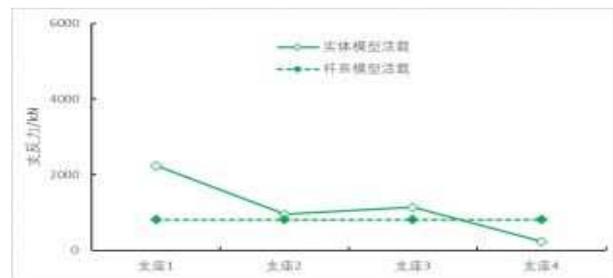


图7 边支点活载反力

由表 2 可知,活载下最大支反力偏载系数为 2.744,活载作用下最大反力偏载系数对应的为支座位 1,显然采用杆系模型得到的支反力结果偏小。

单个支座反力的大小是确定支座吨位和型号的重要依据,在工程设计中,较为常规的处理方式为:“按杆系模型计算的总支反力/支座个数=单支座反力”。此法对于窄幅、直线桥梁来说可能满足工程使用要求的,但对于宽幅、曲线桥梁来说,误差较大,甚至可能造成支座吨位偏小的情况。

表 2 支反力偏载系数

项目	支座 1	支座 2	支座 3	支座 4
活载偏载系数	2.744	1.173	1.397	0.293

3.2 正应力偏载系数

分别提取箱梁跨中截面上缘在活载工况 5,下缘在活载工况 4 下的杆系模型和实体网格模型沿横桥向的纵向正应力如图 8、图 9 所示,显然活载作用下梁体存在明显的偏载现象,且曲线外侧应力大于曲线内侧。

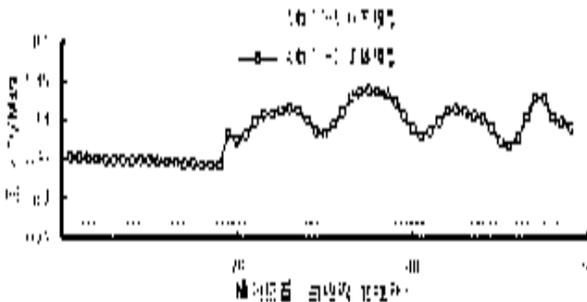


图 8 跨中上缘正应力

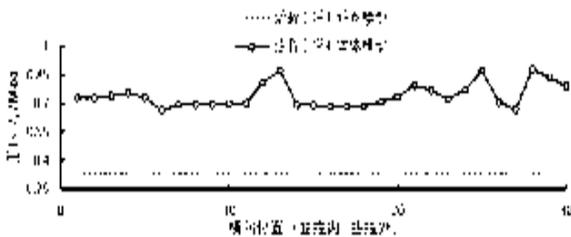


图 9 跨中下缘正应力

箱梁自重及活载(工况 2~8)下,依次提取主梁截面沿纵桥向各个特征点位置处杆系模型和实体网格模型正应力结果如图 10、图 11 所示,按照式(2)计算获得各特征点位置处偏载系数结果如表 3 所示。

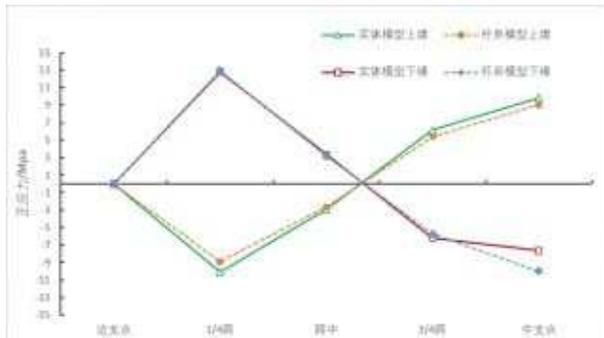


图 10 自重正应力

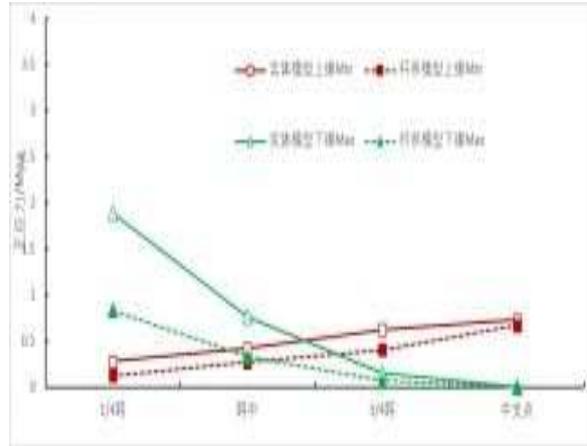


图 11 活载正应力

表 3 正应力偏载系数

项目	1/4 跨	跨中	3/4 跨	中支点
自重偏载系数	1.135	1.098	1.141	1.093
活载偏载系数	2.262	2.319	2.229	1.096

由表 3 可知,自重下最大正应力偏载系数为 1.141,在 3/4 跨位置处;活载下最大正应力偏载系数为 2.319,在跨中位置处。

结合主梁应力状态及考虑到实体网格模型分析结果中存在的整体效应和局部效应难以分离的问题,对所得偏载系数取平均值后自重、活载下正应力偏载系数分别为 1.1、1.9;显然通过计算得到的偏载系数较经验值 1.15 偏大,超过经验值近一半。

4. 结论

(1)通过分析发现,本工程箱梁在自重荷载下最大支反力偏载系数为 1.265,活载下最大支反力偏载系数为 2.744,支座吨位的选型应予以考虑。

(2)关于正应力偏载系数,结果表明,由于弯桥存在沿主梁中心线位置自重恒载的不对称性,其在自重下也存在正应力放大系数的概念,其值可达 1.1,在汽车偏心加载时,正应力偏载系数可达 1.9。

(3)工程设计中,采用经验值 1.15 存在不安全的可能,需特别注意经验值一般适用桥宽 16m 以内,车道数 3~4 个,对于曲线宽幅箱梁建议具体分析,以得到合理的支反力、正应力偏载系数。

参考文献:

[1]范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2001  
 [2]项海帆,高等桥梁结构理论,人民交通出版社,2001.4  
 [3]JTG 3362-2018.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范  
 [4]JTG 3362-2018.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范应用指南  
 [5]陈国强.连续宽箱梁的偏载增大系数的讨论 公路交通科技,2013  
 [6]石鲁宁.变宽道岔连续箱梁偏载系数研究 铁道勘察,2017