

# 重载作用下空心板梁动力响应实测与数值模拟分析

钱光耀

南通公路事业发展中心 江苏南通 226000

**摘要:** 基于有限元方法, 对某 16m 跨的空心板梁桥自振特性和重载车辆作用下动力响应特性进行了实测与数值模拟分析, 结果表明桥自振周期较小, 说明其具有较大的刚度; 偏载作用下的最大动挠度比同等条件下中载作用产生的最大动挠度要大 30% 左右; 车速对其动挠度的影响不明显。所得结论可为空心板梁桥的设计提供参考。

**关键词:** 重载交通 空心板梁 动力响应 数值模拟

## Experimental measurement and numerical simulation analysis of dynamic response of hollow girder under heavy load

Guangyao Qian

Nantong Highway Development Center, Jiangsu Nantong 226000

**Abstract:** Based on the finite element method, the natural vibration characteristics and dynamic response characteristics of a 16m span hollow girder bridge under heavy load vehicles are analyzed experimentally and numerically in this paper. The results show that the natural vibration period of the bridge is small, which indicates that the bridge has a large stiffness. The maximum dynamic deflection under off-load is about 30% larger than that under medium load under the same condition. The influence of vehicle speed on dynamic deflection is not obvious. The conclusion can provide a reference for the design of a hollow girder bridge.

**Key words:** heavy-load traffic; hollow plate beam; dynamic response, numerical simulation

### 引言

在我国当前的运输格局下, 以高速公路为主体、其他各级公路为辅的公路通道运输的形成, 以及公路货运量的逐年增长, 导致当前超载超限运输普遍存在。大量重载车辆在道路桥梁上运行, 交通压力巨大, 重载车辆超载及拥堵导致桥梁坍塌的事故也时有发生。据不完全统计, 在近几年由于超载而导致事故有几十余起。这些因重载车辆导致桥梁损坏的事故, 可以看出车辆超载对桥梁造成的损害是非常严重的。因此, 对于重载交通作用下桥梁服役性能的研究是非常有必要的。

目前, 在一般公路、高等级公路和城市道路桥梁中广泛采用空心板梁桥。尤其是平原地区, 由于受净空和桥台填土高度的限制, 桥梁上部构造要求尽可能降低建筑高度, 以减小纵坡、降低路基填土高度, 减少耕地占用及降低路基处理难度, 节省土方工程量。而混凝土空心板建筑高度相对最低, 对土源缺乏、软基较多的平原地区有显著的经济性, 因而特别受欢迎, 其常用跨径为 10~30m。

本文通过对某 16m 跨的空心板梁桥自振特性和重载车辆作用下动力响应特性开展实测与数值模拟分析, 为相关结构的设计提供参考。

### 一、基于梁格法的空心板梁桥有限元模型建立

梁格法的基本思想是将实际的上部结构用一个梁格来等效, 如图 3-1。每一区域内的刚度集中在邻近的等效梁格内, 实际结构的纵向刚度与纵向构件刚度等效, 而横向刚度则与横向构件刚度等效。理论上梁格需遵循的等效原则是: 在同一荷载的作用下, 等效梁格和实际结构的挠曲要恒等, 任一梁格内的内力与实际结构部分的内力也要恒等<sup>[1]</sup>。

针对装配式多主梁桥, 采用梁格法建立空间有限元模型建模。在每片梁肋处建立一条纵梁, 虚拟横梁的间距取 0.5m, 将纵梁和虚拟横梁组成了一个梁格系, 并在一些变化较大的地方适当加密网格。由于建立的虚拟横梁, 有限元软件会根据截面面积及材料容重自动计算其自重, 但是在纵向构件中已计入结构顶板与底板的自重,

因此虚拟横梁不再计入自重。建模时, 同时考虑防撞护栏、桥面铺装等附属结构对桥梁结构动态响应的影响。建立的空间有限元模型如下图所示。

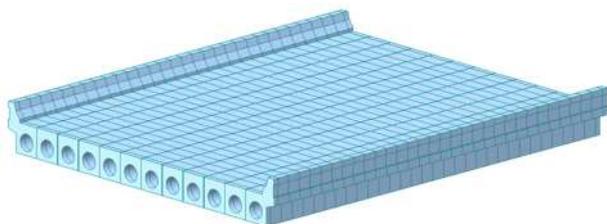


图 1 有限元模型

## 二、自振特性分析

空心板梁桥的自振特性主要有以下特点:

2.1 该空心板梁桥的基频为 8.416Hz, 基本周期 0.119s。该桥自振周期较小, 说明其具有较大的刚度。根据桥梁的前 20 阶模态的典型模态及自振频率分析, 可以发现简支空心板梁桥在振动过程中主要以竖弯变形为主。

2.2 该空心板梁桥前六阶振型中, 除第一阶基本表现为纯纵向竖向弯曲外, 其余均表现出明显的空间特性。各片板梁之间的横向联系主要依靠铰缝连接, 横向抗弯刚度远小于纵向抗弯刚度, 因此第二阶便出现扭转振型。

## 三、重载车辆作用下动态响应特性

### 3.1 现场实测与有限元模拟的对比

采用意大利 IBIS-S 雷达微波干涉遥测系统开展现场实测, 各加载工况下, 分别监测跨中截面各片板梁底面中心的动挠度时程, 现场实测时只监测 4 号梁的动挠度时程, 如下图所示。

加载车在 20km/h 时速行驶下, 偏载作用于桥梁结构产生的动挠度时程实测值与数值计算值的对比如图 2 所示。可见, 数值计算结果与现场实测值的变化趋势基本一致, 均表现为带局部波动的反抛物线形曲线, 车辆驶离观测跨后挠度趋于零, 体现了简支梁的受力特点。实测挠度时程曲线的局部波动较模拟计算更大, 是由于实测受环境因素干扰及理论计算对车辆的惯性效用考虑不足引起的。实测跨中挠度的极值分别为 -0.85 mm 和 -0.91mm, 相对于数值计算的 -1.01mm 较小, 表明在重载车辆作用下该桥仍然有一定的安全系数。测点挠度校验系数分别为 0.84 和 0.90, 符合《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21-01-2015) 中给出的预应力混凝土桥挠度校验系数的常值范围 0.70~1.00。

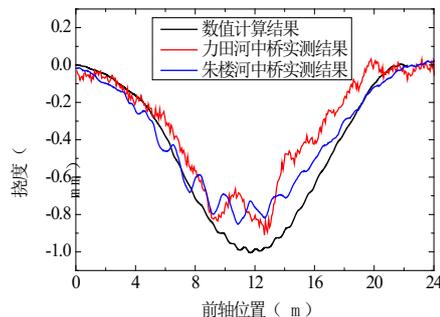


图 2 4 号梁跨中挠度时程曲线

### 3.2 中载和偏载作用下空心板梁桥的动态响应

加载车在 20km/h 时速行驶下, 中载和偏载作用于桥梁结构产生的跨中动挠度最大值的计算结果对比如图 3 所示。可见在左偏载作用下, 最大挠度发生在边梁跨中位置; 其他各片梁跨中挠度向右逐渐减小<sup>[2]</sup>。在中载作用下, 桥梁横向沿着中轴线对称下挠, 最大挠度发生在中间 6 号和 7 号板梁跨中位置; 偏载作用下的最大动挠度比同等条件下中载作用下产生的最大动挠度要略大, 偏载下动挠度偏大 30% 左右。

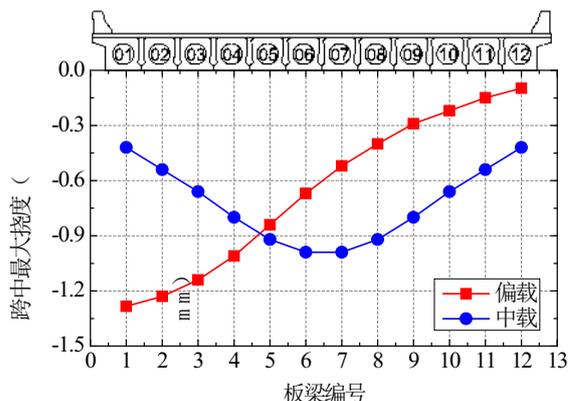


图 3 各片板梁跨中最大挠度

### 3.3 不同时速下空心板梁桥的动态响应

加载车在不同时速下, 偏载作用于桥梁结构产生的 2 号梁跨中动挠度时程计算值的对比如图 4 所示。可见, 不同时速下空心板梁桥的动态响应变化趋势相同; 车速对桥梁挠度的影响并不明显, 总体上桥梁动挠度随着车速的增大而减小。在较低车速下, 车辆与桥梁产生明显的共振现象; 随着车速的增大, 车桥之间的耦合作用逐渐减弱, 从而导致动挠度逐渐减小, 但是减小的幅度不大。车速从 20km/h 增大到 100km/h 时, 2 号梁跨中最大动挠度仅减小 5% 左右。

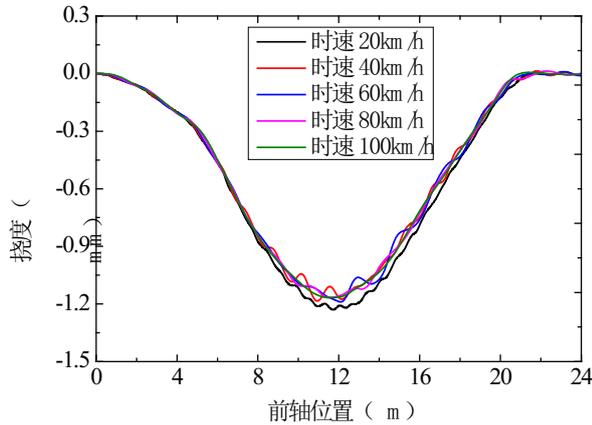


图 4 不同时速偏载作用下 2 号梁跨中挠度时程曲线

#### 四、结束语

本文基于有限元方法,对某 16m 跨的空心板梁桥自振特性和重载车辆作用下动力响应特性进行了详细的分析,结果表明空心板梁桥自振周期较小,说明其具有较

大的刚度;在振动过程中主要以竖弯变形为主;重车作用下的动态响应数值计算结果与现场实测值的变化趋势基本一致,实测挠度时程曲线的局部波动较模拟计算更大,是由于实测受环境因素干扰及理论计算对车辆的惯性效用考虑不足引起的;挠度时程表现为反抛物线形曲线,车辆驶离观测跨后挠度趋于零,体现了简支梁的受力特点;偏载作用下的最大动挠度比同等条件下中载作用产生的最大动挠度要大,偏载下动挠度偏大 30% 左右;不同时速下四种桥型的动态响应变化趋势基本相同,车速对动挠度影响并不明显。所得结论可为空心板梁桥的设计提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 傅志方. 模态分析理论与应用 [M]. 上海交大出版社, 2020,24(6):794-795.
- [2] 李国豪. 桥梁结构稳定与振动 [M]. 中国铁道出版社, 2021,2(5):98-99.