

# 简支混凝土小箱梁桥梁荷载试验与结果分析

肖光龙

昆明市公路工程质量检测中心有限公司 云南 昆明 650217

**摘要:** 检测是探明桥梁运营状况的最直接的方法,新建桥梁、进行了加固或改建的桥梁以及常规检测方法无法确定桥梁承载能力的在役桥梁,均可通过荷载试验来探明桥梁结构的承载能力。本文以一座简支预应力混凝土小箱梁桥为研究对象,通过荷载试验,测试桥梁静载试验各工况作用下挠度、应力的情况以及表征桥梁动力性能的基频、阻尼比及冲击系数等内容;结果表明,案例桥梁承载力满足设计文件及现行标准的相关要求。

**关键词:** 桥梁,简支梁桥,荷载试验,承载能力

## Load Test and Result Analysis of Simple Supported Concrete Small Box Girder Bridge

Xiao Guang Long

Kunming Highway Engineering Quality Testing Center Co.,LTD,Yunnan Kunming 650217

**Abstract:** Testing is the most direct method to find out the operating condition of Bridges. Load tests can be used to find out the bearing capacity of bridge structures for newly built Bridges, bridges that have been reinforced or rebuilt, and Bridges in service whose bearing capacity cannot be determined by conventional testing methods. In this paper, a simple supported prestressed concrete small box girder bridge as the research object, through the load test, test the bridge beam under the static load test under each condition of the deflection, stress, and characterizing the bridge dynamic performance of the fundamental frequency, damping ratio and impact coefficient content. The results show that the bearing capacity of the bridge meets the requirements of the design documents and the current standards.

**Key words:** Bridge, Simple Supported Bridge, Load Test, Carrying Capacity

近年,交通运输行业发展迅速,大量的桥梁投入使用,截至2021年底,全国公路桥梁约96.11万座,桥梁的养护及运营面临着巨大的考验。要掌握桥梁的质量状况以及运营的安全性能,对桥梁进行检测是最直截了当的方法。桥梁检测工作可分为初始检查、日常检查、经常检查、定期检查和特殊检查<sup>[1]</sup>。荷载试验便是特殊检查中的一项内容。新建桥梁和进行了加固或改建的桥梁,都可通过荷载试验来检测桥梁结构的使用状况和承载能力是否符合设计要求<sup>[2]</sup>;针对在役桥梁常规检测无法确定其工作状态时,也可通过桥梁荷载试验来评估桥梁的使用性能及承载能力,为桥梁后续运营、养护和管理提供可靠的科学依据。

### 1 桥梁荷载试验方法概述

#### 1.1 荷载试验流程

桥梁荷载试验主要包括静载试验及动载试验,通过对桥梁进行车辆加载或加载物加载,测试相关的试验桥跨结构,并对相关的试验过程及结果进行分析记录。荷载试验可分为试验前准备、现场实施和试验结果分析三个阶段<sup>[2]</sup>。

试验准备阶段:主要包括桥梁资料收集(设计文件、施工和监理的资料、竣工资料等)、现场调查(调查桥梁结构尺寸、材料物化性能、外观缺陷等)、试验方案编制等工作;

现场实施阶段:包括现场准备(测点布置、加载车/物调配、交通组织及设备调试等)、预加载试验(对桥梁进行预加载试验,检验测试系统工作情况并进行相应调试)、正式加载(按照试验方案进行试验,记录测试数据)等工作;

试验结果分析阶段:理论计算(根据桥梁设计文件及现场检测得到的桥梁结构信息进行理论计算,获得桥梁结构内力、应力应变的理论计算值)、数据分析(根据现场采集的荷载试验信息,提取有价值的、分析所需的信息)、报告编制(根据理论计算值及现场实测值的对比分析,评价桥梁承载能力,编制荷载试验报告)。

#### 1.2 静载试验

桥梁静载试验宜针对结构内力、应力和位移的控制截面



进行, 试验的工况应包括中载和偏载工况。常规桥梁的测试截面和试验工况如表1.2-1所示。

表1.2-1 常规桥梁的测试截面和试验工况<sup>[2]</sup>

桥型	试验工况		测试截面
	主要工况	夸张截面主梁最大正弯矩工况	跨中截面
简支梁桥	附加工况	①L/4截面主梁最大正弯矩工况; ②支点附近主梁最大剪力工况	①L/4截面; ②梁底距支点h/2截面内侧向上45°斜线与截面形心线相交位置
	主要工况	①主跨支点位置最大负弯矩工况; ②主跨跨中截面最大正弯矩工况; ③边跨主梁最大正弯矩工况	①主跨(中)支点截面; ②主跨最大弯矩截面; ③边跨最大弯矩截面
连续梁桥	附加工况	主跨(中)支点附近主跨最大剪力工况	计算确定具体截面位置

桥梁静载试验应根据试验的目的来确定试验控制荷载及试验荷载效率, 交(竣)工验收的荷载试验应以设计荷载作为控制荷载值; 其他类型的荷载试验则以目标荷载作为控制荷载; 桥梁静载试验的荷载效率, 对交(竣)工验收的荷载试验, 宜控制在0.85~1.05之间; 其他类型的荷载试验, 荷载效率控制在0.85~1.05之间<sup>[2]</sup>。

桥梁静载试验荷载应分级加载, 一般根据试验荷载总量分成3~5级, 若技术资料缺失时则应增加分级; 如果现场条件受限, 附加工况可以只选择对最不利的控制截面进行加载。试验过程中应控制加载的稳定时间, 给予结构足够的反应稳定时间, 在上一级试验结构稳定后再进行下一级的加载工作。

### 1.3 动载试验

桥梁动载试验可分为主体结构自振特性试验及行车动力响应试验。主要的测试控制参数包括: 自振频率、阻尼比、冲击系数、动挠度等。通过桥梁结构的理论计算值与实测的相关动力参数的对比分析, 判断桥梁结构的整体刚度、行车性能是否满足设计文件及标准规范的要求<sup>[3]</sup>。

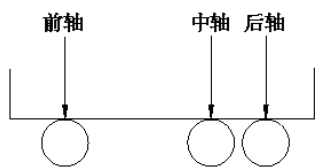


图2.2.1 载重车示意图

各工况下试验所需加载车辆的数量, 将根据设计标准活荷载产生的最不利效应值按下式所定原则等效换算而得:

$$0.85 \leq \eta = \frac{S_{stat}}{S \cdot \delta} \leq 1.05$$

式中:

$\eta$ —静力试验荷载效率系数;

$S_{stat}$ —试验荷载作用下, 检测部位变位或力的计算值;

$S$ —设计标准活荷载作用下, 检测部位变位或力的计算值(不计冲击作用时);

$\delta$ —设计取用的冲击系数(1+ $\mu$ )。

### 2.2.2 静载试验荷载工况设置及荷载效率

本桥共设置1个测试控制截面, 如图2.2.2所示。

动载试验宜首选无障碍行车试验, 无障碍行车试验可采用与静载试验相同的加载车辆来进行, 荷载效率宜取高值, 但不应超过1。

## 2 简支小箱梁桥梁荷载试验实例

### 2.1 桥梁概况

本桥梁为1-25m简支预应力混凝土小箱梁, 桥梁总长39.00m; 下部结构, 桥台采用U型重力式桥台, 桥台基础均采用桩基础。设计荷载: 按1.3倍城-A级荷载进行设计。桥梁标准横断面布置: 0.5m(防撞墙)+0.5m(路缘带)+3.75m(机动车道)+1m(中央分隔带)+3.75m(机动车道)+0.5m(路缘带)+0.5m(防撞墙), 桥面总宽11.0m。桥梁采用双向横坡, 横坡值为2%。桥面横坡由梁顶板斜置实现, 缓和曲线段横坡变化由C40混凝土桥面现浇层变厚调整。该桥为新建桥梁, 本次检测为交(竣)工类型的检测。

### 2.2 静载试验方案

#### 2.2.1 静载试验加载物选择及荷载效率控制

本次试验采用4辆400kN重后八轮自卸载重车加载。现场所用载重车主要结构详见图2.2.1。

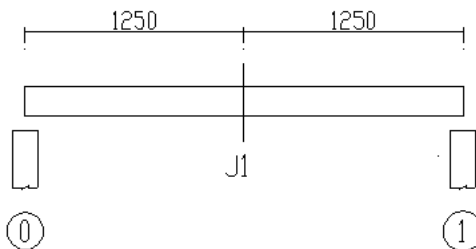
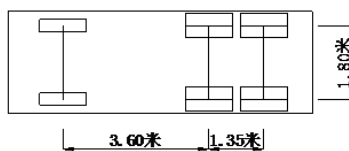


图2.2.2 控制截面布置示意图(单位: cm)

#### 2.2.3 静载试验测点布置

##### 2.2.3.1 挠度测试

本桥在J1截面各设4个挠度测点, 如图2.2.3所示。电子水准仪进行数据采集。

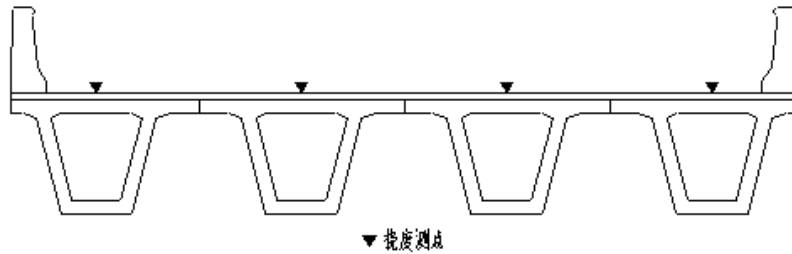


图2.2.3 J1截面挠度测点布置图

2.2.3.2 裂缝检查

试验前后对主梁裂缝进行检查，检查裂缝的出现和扩展。

2.3.3.3 静载试验载位布置

根据试验计算得出各控制截面的弯矩影响线和试验控制内力，对控制截面进行中、偏加载工况的荷载试验，共计2种加载工况：

工况一：纵桥向按跨中最大正弯矩截面和挠度最不利位置布载，横桥向对称布载；

工况二：纵桥向按跨中最大正弯矩截面和挠度最不利位置布载，横桥向偏心布载；

2.3 动载试验方案

2.3.1 检测项目内容

动载试验检测内容主要包括：结构动力特性；桥梁结构在动荷载（跑车、刹车）作用下的动力响应，包括动应变、冲击系数、阻尼比测试等。

2.3.2 测试截面及测点布置

根据桥梁结构的特点，为了有效的测得桥梁的动力性能，将测点布置在一阶模态振幅值最大的截面—跨中主梁顶板截面。在测试截面的主梁上缘安置加速度传感器量测结构自由振动曲线，以取得结构自由振动频率。测点布置如下。

表2.3-1 动载试验测点布置

检测项目	测点布置
频率	跨中截面顶板上缘

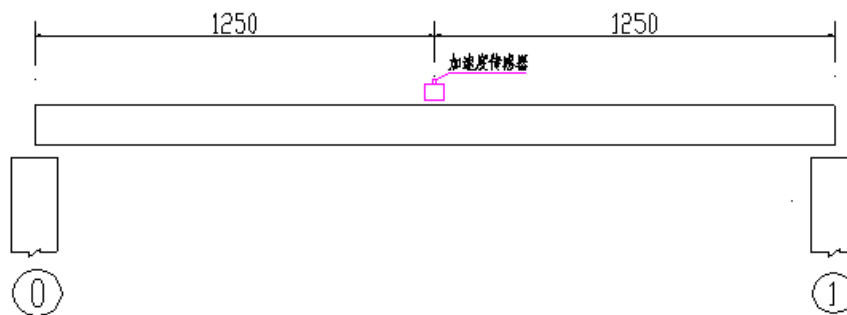


图2.3.1 动载试验测点纵向布置示意图

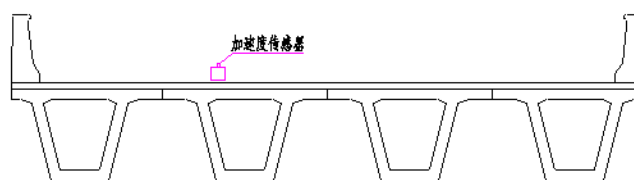


图2.3.2 动载试验测点横向布置示意图

2.4 静载试验结果

2.4.1 挠度结果

静载试验挠度观测工作采用电子水准仪进行，测试跨各

梁在各试验荷载工况下挠度测试结果详见表2.4-1~2.4-2，相对应的挠度曲线图详见图2.4.1~2.1.2，挠度向下符号为负，向上符号为正。

表2.4-1 跨中最大正弯矩中载工况实测挠度及与计算值的比较

项目 工况名称	测点	弹性变形 $f_e$ (mm)	残余变形 $f_r$ (mm)	计算值 $f_s$ (mm)	校验系数 $\eta(f_e/f_s)$	相对残余变形 $(f_r/f_s)$
跨中 $M^+$ 中载工况	F1-1	-4.6	-0.5	-7.6	0.61	9.80%
	F1-2	-5.9	-0.6	-8.4	0.70	9.23%
	F1-3	-6.1	-0.3	-8.4	0.73	4.69%
	F1-4	-4.9	-0.2	-7.6	0.64	3.92%

说明：挠度向下为负；实测挠度均为试验荷载作用下的增量。

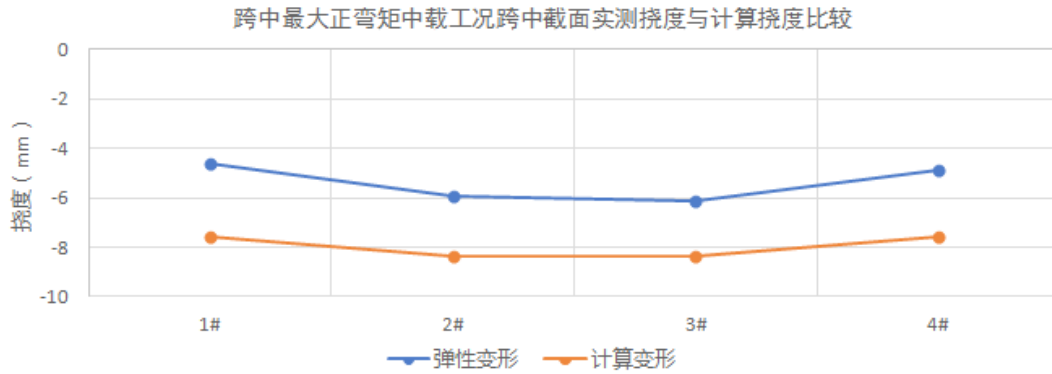


图2.4.1 跨中最大正弯矩中载工况实测挠度及理论值对比曲线图

表2.4-2 跨中最大正弯矩偏载工况实测挠度及与计算值的比较

项目 工况名称	测点	弹性变形 $f_e$ (mm)	残余变形 $f_p$ (mm)	计算值 $f_s$ (mm)	校验系数 $\eta(f_e / f_s)$	相对残余变形( $f_p/f$ )
跨中 $M^+$ max 偏载工况	F1-1	-7.1	-0.5	-9.1	0.78	6.58%
	F1-2	-6.1	-0.6	-8.1	0.75	8.96%
	F1-3	-6.3	-0.3	-8.1	0.78	4.55%
	F1-4	-4.9	-0.2	-6.7	0.73	3.92%

说明：挠度向下为负；实测挠度均为试验荷载作用下的增量。

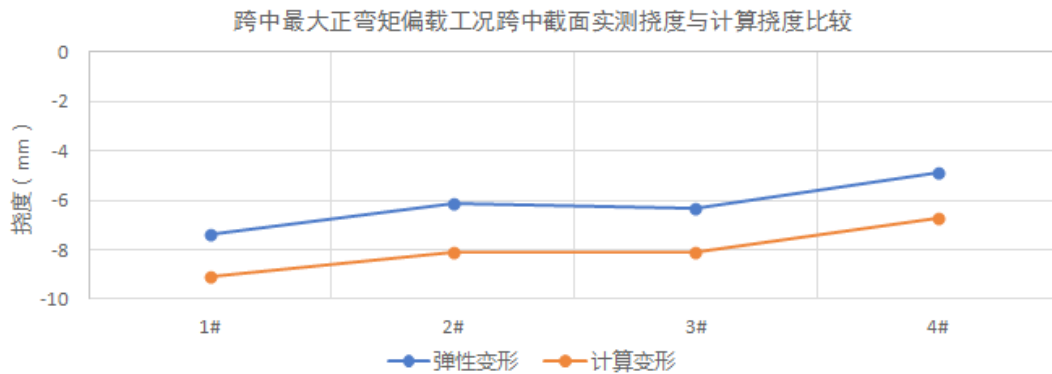


图2.4.2 跨中最大正弯矩偏载工况实测挠度及理论值对比曲线

在试验荷载各加载工况下，主梁测试断面挠度校验系数  $\eta = 0.61 \sim 0.78$ ，满足预应力混凝土桥梁挠度校验系数的规定值（0.6~1.0），说明桥梁刚度满足要求；相对残余变位为 3.92%~9.80%，满足预应力混凝土桥梁相对残余变位不大于 20%的要求，说明桥跨结构活载作用下处于弹性工作状态。

### 2.5 动载试验结果

#### 2.5.1 动力特性分析

桥梁基频的实测值与理论计算值的对比结果见表2.5-1、图2.5.1。

表2.5-1 结构基频实测值与理论计算值对比结果表

激振工况	振型	计算频率	实测频率	阻尼比
脉动	一阶	4.306Hz	5.563 Hz	1.88%

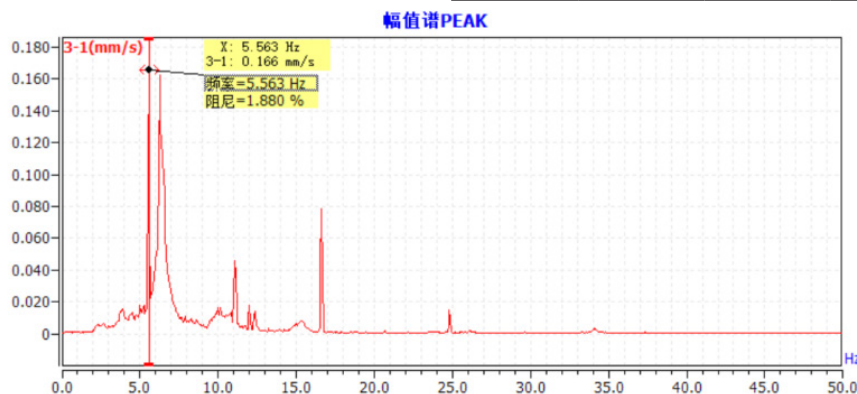


图2.5.1 桥梁实测频谱分析图

通过试验, 实测一阶竖向频率为5.563Hz, 一阶竖向理论频率为4.306Hz, 实测频率大于理论计算频率, 表明桥跨结构整体竖向刚度较好; 试验桥跨结构的阻尼比为1.88%, 在经验值1.0%~8.0%之间, 说明该桥试验桥跨结构耗散外部能量输入的能力相对较强, 振动衰减较快。

### 2.5.2 结构动力响应

桥梁结构在车辆以某一速度行驶时, 结构的动挠度和动应变会达到最大, 这一特性可以利用桥跨结构的冲击系数来描述。将跑车工况中实测的跨中截面动应变(动挠度)的最大幅值与相应的静应变(静挠度)值相比后, 可得该桥的冲击系数。

$$\text{冲击系数: } \mu = f_{d\max} / f_{j\max} - 1 = f_{d\max} / (f_{d\max} - f_p) - 1$$

式中:  $f_{d\max}$  ——最大动挠度;

$f_{j\max}$  ——最大静挠度;

$f_p$  ——动挠度半峰值。

### 3 结语

(1) 新建桥梁和进行了加固或改建的桥梁, 以及常规检测无法探明桥梁承载能力的在役桥梁, 都可通过荷载试验来

检测桥梁结构的使用状况和承载能力, 为桥梁后续运营、养护和管理提供可靠的科学依据。

(2) 对案例桥梁的结构受力性能进行了系统的测试, 静载试验各工况作用下, 控制截面的挠度校验系数小于1, 且相对残余挠度小于20%; 控制截面的应力校验系数小于0.9, 且相对残余应力小于20%, 均满足现行标准规范的规定; 动力试验结果表明, 实测桥跨结构的基频大于理论计算值, 计算分析获得的阻尼比均在正常范围内, 行车试验、刹车试验下结构的实测冲击系数也小于理论计算值, 桥梁正常工作状态下的动力性能良好。

### 参考文献:

[1] 交通运输部, 《公路桥涵养护规范》JTG 5120-2021[S].2021.

[2] 住房和城乡建设部, 《城市桥梁检测与评定技术规范》CJJ/T 233-2015[S].2015.

[3] 代园. 桥梁荷载试验以及有限元建模的承托精细化分析[D].湖北:湖北工业大学, 2018.