

桥梁荷载试验分析

牛国军¹, 陈芳²

(1. 东华理工学院, 江西 临川 344000; 2. 安徽理工大学, 安徽 淮南 232001)

摘要: 按设计文件在进一步的理论分析中, 分别对预应力钢筋混凝土箱梁进行了承载能力复核, 对结构进行三维力学分析模拟, 并与试验结果进行对比, 为日后的桥梁加固提供基础资料。

关键词: 桥梁荷载; 试验分析; 承载力; 桥梁加固

中图分类号: U441+.2

文献标识码: B

文章编号: 1007-7359(2007)01-0058-03

Analysis of Load Test on Bridge

Niu Guojun¹, Chen Fang²

(1. East China Institute of Technology, Linchuan 344000, China; 2. Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: In accordance with the design files, the further theoretical analysis, e.g. check calculation of bearing capacity of the prestressed reinforced concrete box beam, three-dimensional mechanical simulation of the structure, and the comparison of the simulated result and the test are made to provide basic information for the later strengthening of bridge.

Key words: load on bridge; test analysis; bearing capacity; strengthening of bridge

1 工程概况

1.1 结构设计

1.1.1 结构布置

全桥分为东、西 2 座双向预应力连续箱梁桥, 双幅布置, 桥墩为双圆柱墩, 通过承台与群桩基础连接形成梁体支承结构。桥跨划分为: 西桥 30m+40m+60m+40m+30m 东桥 30m+30m+40m+60m+40m+30m+30m。

1.1.2 支承条件

西桥 A3 号墩顶设 1 个固定支座和 1 个单向活动支座, 其他墩顶设 1 个单向活动支座和 1 个双向活动支座; 东桥 B5 号墩顶设 1 个固定支座和 1 个单向活动支座, 其余墩顶设 1 个单向活动支座和 1 个双向活动支座。

1.1.3 基础设计

全桥基础均采用钻孔灌注桩, 群桩体系。其中, 桥墩桩基为桩柱, 桩底嵌入微风化岩层内; 桥台桩基为摩擦桩, 桩底落在强风化岩层内。考虑到结构受力需要, 全桥墩台基础采用钻孔桩形式, 桩的直径均采用 1.5m, 简化基础施工工艺, 提高施工进度。

1.1.4 桥台及墩身设计

桥台采用耳墙式桥台, 双幅分离设计, 台身壁厚 0.8m, 台身前墙外突 1.2m, 提供梁端支座放置; 墩身采用等截面圆柱形, 直径 2.2m。

1.1.5 主梁结构设计

①梁体结构尺寸: 主梁采用变高度宽翼缘单箱双室截面, 截面高度变化范围为跨中 118.0m, 梁高变化 2.0m~3.4m, 其余梁段梁高为 2.0m。箱梁顶板厚 0.25m, 底板在变高度梁段由 0.22m 变至支点处 0.45m, 等高梁段底板厚度为 0.22m; 腹板在

60m 主跨厚度由跨中 0.4m 变至支点处 0.55m, 其余梁段腹板厚度均为 0.55m。箱梁的各梁端均设 1 道端横隔板, 厚 1.2m, 梁中支点处均设厚 2.0m 横隔板。

②预应力体系设计: 梁体采用双向预应力体系, 纵向预应力根据梁体施工顺序采用分段延续张拉布置预应力索, 索体为 $\Phi 15.24$ 钢绞线; 顶、底板纵向采用 9 $\Phi 15.24$ 预应力索, 腹板采用 19 $\Phi 15.24$ 预应力索; 顶板横向预应力采用 3 $\Phi 15.24$ 预应力索; 横隔板采用 12 $\Phi 15.24$ 预应力索。

1.2 技术标准

①设计行车速度: 60km/h。

②车道布置: 全桥双幅布置, 每幅 3 个车道。

③设计坡度: 坡度 <3%; 桥面横坡 2%。

④桥面路冠竖曲线半径: $R=3000m$ 。

⑤设计荷载: 梁体混凝土容重 $\leq 26.2kN/m^3$; 桥面铺装层厚度容重 $25kN/m^3$; 过桥水管含水自重 $\leq 5.0kN/m$; 过桥煤气管自重 $\leq 1.5kN/m$; 汽车荷载为城-A 级; 人行道荷载: $3.5kN/m^2$; 温度: 整体升温 $18^\circ C$, 降温 $18^\circ C$; 顶板升温 $5^\circ C$; 支座沉降: 桥台 -0.01m, 桥墩 -0.005m; 设计风速按 20m/s 计; 地震基本烈度 VI 度, 按 VII 构造设防。

1.3 主要建筑材料

1.3.1 混凝土

①梁体: 为 C50 级。

②防护栏、人行道: 采用 C30 级。

③基础: 桩基为水下 C25 级, 承台为 C25 级, 墩身为 C30 级, 桥台为 C25 级。材料等级及标准应符合规范 TB10002.3-99 的材料说明。桩基和墩台混凝土由于二级防护要求, 其混凝土的水灰比和铝酸三钙的含量应符合表 1 要求。

1.3.2 普通钢筋

I 级钢筋应符合 GB13013 和 GB1499 标准的规定。

收稿日期: 2006-11-06

作者简介: 牛国军 (1973-), 男, 吉林四平人, 现为东华理工学院硕士研究生; 国家一级注册建造师, 国家注册监理工程师。

表 1

防护等级	二级防护
水泥类型	普通硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥
水灰比	0.45
最少水泥用量(kg/m ³)	350~370
铝酸三钙(%) Ca ³	<8
防护层厚度(mm)	30

1.3.3 预应力索

采用符合 GB5224 标准规定的低松弛高强钢绞线, 公称直径 $\Phi 15.24$, 标准强度 $R_y^b=1860\text{MPa}$, 弹性模量 $E_y=1.9\times 10^5\text{MPa}$ 。

1.3.4 其他材料

结构主材料以外的其他结构所用材料应符合相应标准要求。

2 荷载试验方案

2.1 桥梁现状检测内容

为了正确地制定本桥的检测方案, 必须对桥梁的技术现状以及缺陷进行全面细致的现场检查, 同时全面了解桥梁的设计、施工使用以及维护等方面的情况, 以便对桥梁现有的质量和承载能力进行分析, 作出评估。桥梁的现状检测包括以下内容: 首先收集设计施工资料、竣工验收报告等, 对工程的情况取得初步的了解。在现场对桥梁的总体尺寸、各部位的构件截面尺寸、钢筋直径以及布置支座位置进行详细的检测、记录, 取得第一手现场的资料。现场测定钢筋混凝土强度可以采用回弹仪现场检查测定, 必要时进行抽芯实验测定; 检查混凝土的质量; 检查钢筋保护层的质量; 对本桥的应用状态, 尤其是结构存在的缺陷和病害进行反复的现场观测、检查, 检查结构的沉陷、挠度、位移等情况。对于局部的损伤, 尤其是桥面的裂缝, 检查其宽度、分布情况以及发展趋势。检查支座、排水装置、桥面铺装、扶手栏杆等附属设施的质量状态。

现场荷载试验与理论分析相结合可以较好地评定结构的承载能力, 可以与分析计算相结合, 可以对结构的破损程度、实际的承载力作出可靠的评估。加载时, 可以采用结构原设计荷载的 0.2 倍起, 再增加到 0.8 倍, 视现场结构的反应决定是否加载到 1.0 倍或以上。测试的内容包括构件的应变、挠度和裂缝的情况。

试验观测的时间可以选择在夜间 10 点以后、凌晨 5 点以前, 此时气温比较稳定, 交通干扰较少。城 - A 级控制试验的荷载, 可以采用 8 辆 30t 汽车, 模拟分级加载。测定桥梁各部位的应变、整体挠度以及裂缝的开展情况以便为承载力的测定提供依据。

2.2 具体内容

2.2.1 状态检测

- ①对全部桥梁主要构件工作状态进行检测;
- ②全部桥梁钢筋混凝土桥面板检测;
- ③桥面铺装层的破损检测、裂缝检测及伸缩缝检测;
- ④桥墩、桥台及箱梁检测;

⑤支座质量、支座位移是否正常等;

⑥桥面排水设施与栏杆的检查。

2.2.2 重点部位的检查

①重点检查支座的质量, 检查支座是否发生了裂缝, 检查支座底板的情况;

②跨中的下缘。

2.2.3 桥梁静载试验

①试验前对结构的现状和尺寸、变形、裂缝的情况作出全面的调查;

②现场设工作平台、必要的脚手架、垂直交通工具, 埋设标架, 标定观测点位, 贴应变片以及标定裂缝观测位置等;

③跨中断面的静载应变与挠度进行测试;

④挠度测定, 采用精密水准仪测量桥面挠度, 确定桥梁的整体刚度;

⑤裂缝的测定, 可以采用测定裂缝的宽度和深度的方式。

2.3 荷载试验依据及标准

- ①《城市桥梁设计准则》(CJJ11-93);
- ②《城市桥梁设计荷载标准》(CJJ77-98);
- ③《公路桥涵设计规范》(合订本);
- ④《公路工程抗震设计规范》(JTJ025-86);
- ⑤《高速公路交通安全设施设计及施工技术规范》(JTJ074-94);
- ⑥《公路照明设计条件》(JT/T367-1997);
- ⑦《电力工程电缆设计规范》(GB50217-94);
- ⑧《电力装置安装工程电气照明装置施工及验收规范》(GB50259-);
- ⑨《电力装置安装工程接地装置施工及验收规范》(GB50169-92)。

2.4 试验目的

通过桥梁的静动载试验, 可以掌握结构的实际工作状况, 判断桥梁的实际承载能力, 并可以通过静动载试验结果与理论分析比较, 作出桥梁安全性能的综合评价, 另外, 静动载试验结果可以作为今后桥梁维护及评估的原始数据资料。

2.5 静载试验内容

- ①60m 跨中截面最大弯矩;
- ②支座截面最大弯矩。

2.6 应变测点布置

根据施工图纸和现场测量的结构实际尺寸, 采用 Ansys 有限元软件对全桥进行了分析, 找出受力最大截面来进行应变测点的布置。

2.7 挠度测点布置

由分析可以得到挠度的影响面, 最大挠度发生的位置与最大弯矩发生的位置大体一致。

2.8 静载加载

2.8.1 加载原则

①根据《公路旧桥承载力鉴定方法》, 荷载效率 $\eta=S_{\text{静}}/S\times\delta$, 应满足: $0.8<\eta\leq 1.05$ 。其中: $S_{\text{静}}$ 为试验荷载作用下检测部位变位或内力的计算值; S 为设计标准活载作用下变位或内力的计算值; δ 为设计所取的动力系数。

②试验加载采用分级加载方式, 最高 4 级加载、5 级卸载。

控制截面的静载加载位置根据由 Ansys 分析出来的弯矩影响面来确定,按照弯矩等效原则,同时符合荷载效率为 0.8~1.0 的要求。

2.8.2 理论分析

试验荷载效应与城-A 级标准荷载效应对比 表 2

位置	项目	试验荷载 下的计算值①	城-A 级的计算值②	试验荷载 效率①/②
跨中 60m	弯矩	9220	9830	0.94

由表 2 可见,外梁跨中截面在试验荷载下的最大弯矩达到标准荷载效应的 0.94 倍,符合《公路旧桥承载力鉴定方法》中 $0.8 \leq \eta \leq 1.05$ 的规定。

2.8.3 应变分析

通过试验数据统计分析可知:应变效应系数在最大效应部位为 1.03,基本符合规范规定的 0.7~1.05,说明结构整体强度、刚度基本满足试验《大跨径混凝土桥梁的试验方法》所规定的规范要求。应变与荷载等级存在良好的线性关系,说明结构处于整体弹性工作状态。

2.8.4 中性轴位置分析

选取 60m 跨跨中断面、支座截面做中性轴位置分析,将实测应变的位置高度作为横坐标,将实测应变作为纵坐标,通过观察图形得知,中性轴的位置刚好与原来假设的中性轴位置吻合。而且,截面上的应变满足良好的平截面假定关系。

2.8.5 挠度分析

通过试验数据统计分析可知:挠度校验系数最大部位达到 0.98,符合规范规定的 0.7~1.05,说明结构整体刚度较好,满足规范要求;各个测点挠度与荷载等级存在良好的线性关系,置信度在 0.99 以上,说明结构仍处于良好的弹性工作状态。最大的实测残余挠度为 0.26mm,相对残余 $0.26/2.05=12.7\% < 20\%$,满足《大跨径混凝土桥梁的试验方法》的要求,实测挠度 7.95 远小于 $L/600=100\text{mm}$,结构刚度基本满足刚度要求。

2.8.6 静载荷试验小结

- ①结构刚度符合要求,结构在弹性范围内工作;
- ②箱梁未开裂,中性轴位置与理论分析一致;
- ③结构能达到设计的城-A 级的荷载标准。

2.9 动载试验

2.9.1 试验内容及方式

桥梁的动力荷载试验研究桥梁结构的自振特性和车辆动力荷载与桥梁结构的联合振动特性。这些测试结果数据是判断桥梁结构运营状况和承载特性的重要指标。桥跨结构某震型的频率与结构的刚度有着确定关系,在设计时亦要避免引起桥跨结构共振的强迫振动振源(如风、车辆)的频率与结构自振频率相合,引起过大的共振振幅危及桥梁。

拟采用脉动、跑车、跳车和制动的方式来测试分析该桥结构的自振特性(自振频率、阻尼比、振型)、动载引起的振动量

及冲击系数。

脉动试验是利用地脉动激励测量大桥的响应,分析桥梁的固有模态,桥跨设置竖向加速传感器,量测桥梁由于大地脉动和环境干扰产生的微小振动响应。脉冲记录时间为 60min。

用 30t 汽车以 10km/h、20km/h、30km/h、40km/h 的均匀速度通过,测量桥梁跨中截面的动应变、振动响应和冲击系数。

用一辆标准设计荷载车辆在主梁上均速过桥,分别在桥梁跨中及墩顶紧急制动,测试桥梁跨中的纵向响应和墩顶的纵向位移,分析桥梁的纵向动力特性、激振点。

结构各阶频率(1~12 阶) 表 3

模态阶数	周期(S)	频率
1	0.494704	2.0214
2	0.273805	3.6522
3	0.230398	4.3403
4	0.182503	5.4794
5	0.163338	6.1223
6	0.143371	6.9749
7	0.137213	7.2879
8	0.092423	10.82
9	0.084464	11.839
10	0.075401	13.262
11	0.066955	14.935
12	0.064265	15.56

第一阶频率(基频)为 2.0214Hz,实测值为 2.2463Hz,实测值大于理论值,表明结构刚度良好,动力性能良好。

综合考虑仪器误差和结构基频,说明该桥正常工作状态下动力性能良好。

实测结构动力系数表 表 4

工况	位置	测量系数	理论冲击系数
20km/h 跑车	60m 跨中 底板动 应变	0.158	0.143
30km/h 跑车		0.223	0.143
40km/h 跑车		0.158	0.143
25km/h 刹车		0.177	0.143
40km/h 刹车		0.100	0.143

2.9.2 动荷载试验小结

①结构实测基频 2.2463Hz,大于理论 2.0214Hz,表明结构动力性能良好;

②结构冲击系数符合要求,表明结构动力性能良好。

2.9.3 结论与建议

①结构荷载试验的荷载效率为 0.93,满足规范要求;

②试验结果表明结构截面强度和刚度满足国家有关规程规范的要求,计算表明主体结构可承受其设计荷载汽超-20 和挂-120 的通行要求;

③荷载试验表明桥梁在加载过程中,结构的应变、位移满足国家规范的强制性要求。