DOI 10.3963/j.issn.1671-7570.2013.02.020

# 永定河大桥维修加固的实验分析

安井刚
（廊坊市交通勘察设计院　廊坊　065000）

**摘　要**　通过对 G106 线永定河桥维修加固工程，对既有下部结构利用方案进行实验论证，结果表明提高了桥梁荷载等级，降低了工程造价，提高了既有桥梁的经济效益和社会效益。

**关键词**　公路桥梁　维修　加固　实验分析

G106 线永定河大桥初建于 1965 年，采用 25 孔 16.80 m 钢筋混凝土 T 梁，设计荷载汽车-18 级、拖-80；1996 年在旧桥左侧采用 85 规范标准进行了加宽，加宽后桥宽为净 12.5 m＋2×0.5 m 防撞护栏。

受多年重载交通作用和结构自身劣化影响，梁体出现变形偏大、超限裂缝和支座活动不足病害，已不能适应现代交通的需要，需维修改造。

经现场勘察，桥梁下部除部分柱基有轻微破损外，基本保持完好，因此拟在已明确上部方案的基础上对桥梁下部进行检测、验算。

## 1　旧桥下部结构情况

### 1.1　1965 年建下部结构（以下简称 65 侧）

桥墩桩基为 8 根 40 cm×40 cm 矩形打入桩，顺桥向坡度为 8∶1，承台高 1.1 m，其上为直径 85 cm 的混凝土柱，柱间距 4.6 m，盖梁为 T 型断面。

南岸桥台桩基为 5 根 40 cm×40 cm 矩形打入桩，均直立；北岸桥台桩基础为 10 根 35 cm×40 cm 矩形打入桩，其中 5 根直立，5 根顺桥向坡度 8∶1。打入桩基长度均为 19 m。

回弹推测混凝土强度为柱基 29.8 MPa，盖梁 34.1 MPa。除桥台桩采用 t-5 号直径 25 mm 螺纹钢筋外，其余均采用 t-3 号直径 25 mm 光圆钢筋。

### 1.2　1996 年建下部结构（以下简称 96 侧）

96 侧桥墩采用双柱式，桩基直径 1.2 m，长 29 m，内设 22 直径 22 mm 螺纹筋。回弹推测混凝土强度为柱基 33.9 MPa，盖梁 22.2 MPa。

收稿日期：2012-10-31

# Application of Dry Air Dehumidification System on Main Cable Anticorrosion of Suspension Bridge

*Niu Xiaolong*, *Yang Fengju*

(China Railway Major Bridge Reconnaissance & Design Institute Group Co., Ltd., Wuhan 430050, China)

**Abstract**: Main cable is one of the most important components of suspension bridge. As been exposed to the nature, the main cables are affected by all kinds of disadvantage environmental conditions. Meanwhile, as the main cable can not be replaced, the life of main cable is to affect the bridge service life directly. Dry air dehumidification system is by blowing dry air into the main cables in order to keep the relative humidity of the atmosphere in the cables under one critical value, so waterlogging problems in the cables are solved. This paper introduces the application of dry air dehumidification system on main cable anticorrosion of suspension bridge and suggests some items to be noticed during the installation process of this system.

**Key words**: suspension bridge; main cable; anticorrosive protection; dehumidification system

万方数据

## 2 上部结构改造方案及受力计算情况

### 2.1 上部结构改造方案

拟改造后的桥梁采用公路-I 级设计荷载。针对原桥下部结构分布，为有效减少恒载效应，仍采用原跨径的钢筋混凝土 T 梁，T 梁高 1.35 m，预制宽 1.20 m，梁间纵向湿接缝 0.5 m(两桥分界处 0.45 m)，即主梁中心距 1.70 m(两桥分界处 1.65 m)。改造后桥面宽度为净 12 m+2×0.5 m 防撞护栏，见图 1。

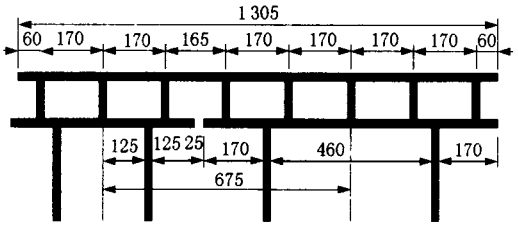


图 1 改造后桥面宽度(单位：cm)

### 2.2 下部结构受力计算

根据预设方案，按照文献[1]计算，公路-I 级作用下单柱最大反力见表 1。

**表 1 设计单柱反力** kN

| 年份 | 汽车 | 自重 | 合计 |
|---|---|---|---|
| 1965 | 858.26 | 271.76 | 1 130.02 |
| 1996 | 573.41 | 138.94 | 712.35 |

为此，对该桥梁下部结构按公路-I 级进行加载实验，以验证下部结构的承载能力，判断结构的适用性。实验内容分为 2 个方面：

(1) 通过车辆进行分级加载，观测各级荷载作用下，桩基的沉降量。

(2) 通过车辆进行分级加载，观测各级荷载作用下，盖梁的位移及应变值。

## 3 加载方案

### 3.1 加载车情况

实验加载车共 6 辆，车辆具体状况见表 2。

**表 2 加载车轴重表**

| 车号 | 轴距/m | | 轮距/m | 总重/t | 前轴 $P_1$ 重/t | 后轴 $P_2$ 重/t |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 两后轴 | 前后相邻 | | | | |
| 1032 | 1.35 | 3.65 | 1.9 | 44.7 | 7.3 | 18.7 |
| 1092 | 1.35 | 3.65 | 1.9 | 44.9 | 7.5 | 18.7 |
| 1383 | 1.35 | 3.65 | 1.9 | 44.8 | 7.4 | 18.7 |
| 1018 | 1.35 | 3.65 | 1.9 | 45.2 | 7.6 | 18.8 |
| 1183 | 1.35 | 4.75 | 1.9 | 45.6 | 9.2 | 18.2 |
| 1996 | 1.40 | 4.30 | 1.9 | 45.8 | 8.6 | 18.6 |

### 3.2 加载车纵向布置及各车列引起的桥墩反力

见图 2～4 和表 3。

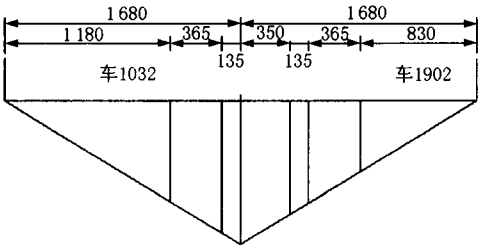


图 2 车列 1 纵向布置(单位：cm)

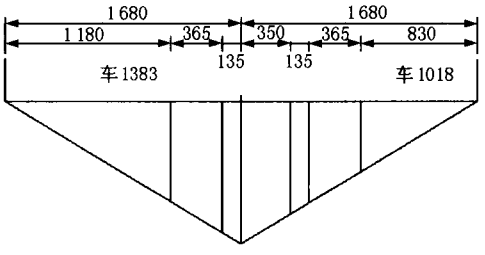


图 3 车列 2 纵向布置(单位：cm)

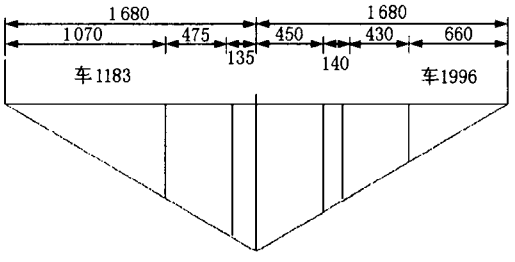


图 4 车列 3 纵向布置(单位：cm)

**表 3 各车列引起的 1 个桥墩的反力**

| 车列号 | 一列车桥墩反力/kN |
|---|---|
| 1 | 727.39 |
| 2 | 730.08 |
| 3 | 707.70 |

### 3.3 加载工况

工况 1。65 侧盖梁悬臂根部最不利布置，见图 5。

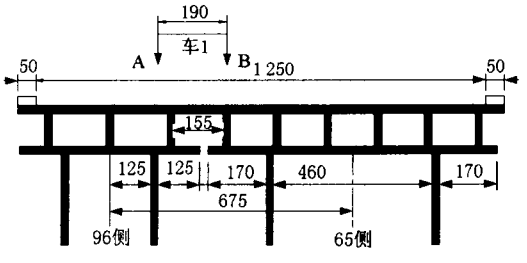


图 5 工况 1 车辆横向布置(单位：cm)

工况 2。65 侧柱反力最不利布置，见图 6，单柱反力见表 4。

万方数据

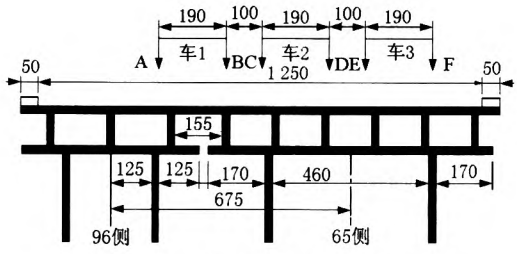


图 6　工况 2 车辆横向布置(单位:cm)

**表 4　工况 2 下 65 墩柱加载车单柱反力**

| 车列 | 一列车桥墩反力/kN | 横向分布系数 | 单柱反力/kN |
|---|---|---|---|
| 1 | 727.39 | B 车轮 0.5×1.26 | 458.26 |
| 2 | 730.08 | 0.84 | 613.27 |
| 3 | 707.70 | 0.21 | 148.62 |
| 合计 | | | 1 220.14 |

工况 3。65 侧盖梁跨中截面最不利布置,见图 7。

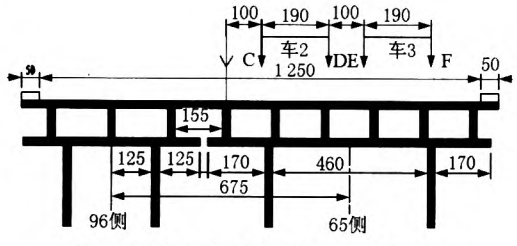


图 7　工况 3 车辆横向布置(单位:cm)

工况 4。96 侧柱反力最不利布置,见图 8。单柱反力见表 5。

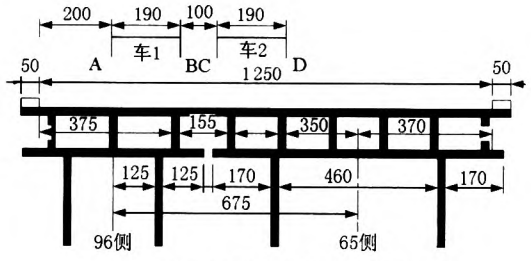


图 8　工况 4 车辆横向布置(单位:cm)

**表 5　工况 4 下 96 墩柱加载车单柱反力**

| 车列 | 桥墩反力/kN | 横向分布系数 | 单柱反力/kN |
|---|---|---|---|
| 一 | 727.39 | 0.86 | 625.56 |
| 二 | 730.08 | 0.5×0.26×1.19 | 112.94 |
| 合计 | | | 738.50 |

工况 5。96 侧盖梁跨中最不利布置,见图 9。

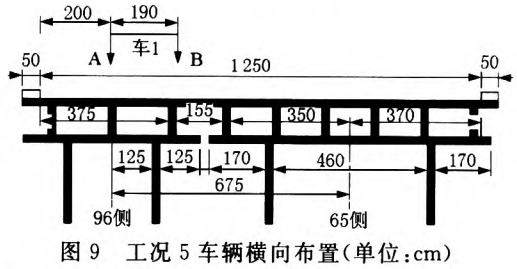


图 9　工况 5 车辆横向布置(单位:cm)

### 3.4　加荷效率计算

加荷效率为实际加载值与设计值之比,加荷效率计算见表 6,满足检测要求。

**表 6　加荷效率计算**

| 部位 | 公路一级荷载/kN | 加载车/kN | 加荷效率/% |
|---|---|---|---|
| 65 侧柱 | 1 130.02 | 1 220.14 | 107.98 |
| 96 侧柱 | 712.35 | 738.50 | 103.67 |

现场检测墩柱为 65 侧左柱和 96 侧右柱。在盖梁跨中和悬臂根部截面,沿盖梁高度方向布置应变测点;在盖梁跨中截面布置位移测点。

## 4　桥墩桩基沉降结果分析

### 4.1　65 侧桩基

实验结果见表 7。

**表 7　各工况下 65 侧桥墩桩基沉降**

| 工况 | 单柱反力/kN | 65 侧桥墩桩沉降/mm | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 10 号墩 | 14 号墩 | 19 号墩 |
| 零载 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 工况 1 | 458.26 | −0.063 | −0.168 | −0.116 |
| 工况 3 | 761.88 | −0.173 | −0.314 | −0.280 |
| 工况 2 | 1 220.14 | −0.300 | −0.505 | −0.368 |

由表 7 可知,桥墩沉降变形值与施加的活荷载在加载过程中呈直线,这说明桥墩受力处于弹性阶段。荷载加至公路-I 级时,桩基沉降稳定;卸载过程中,各桥墩沉降反弹亦满足线性规律,全部荷载卸载完毕 1 h 后,个墩残余沉降量分别为 0.025,0.021 和−0.01 mm,变形恢复能力强,受力处于弹性阶段,故 65 侧桥墩承载能力满足公路-I 级要求。

### 4.2　96 年桥墩桩基

实验结果见表 8。

**表 8　各工况下 96 桥墩桩基沉降**

| 工况 | 柱反力/kN | 96 墩柱沉降/mm | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 10 号墩 | 14 号墩 | 19 号墩 |
| 零载 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 工况 1 | 378.24 | −0.150 | −0.259 | −0.208 |
| 工况 4 | 738.5 | −0.220 | −0.263 | −0.446 |

注:工况 1 下,A 车轮作用于 96 年桥柱反力为 727.39×0.5×1.04=378.24 kN。

由表 8 可知,桥墩沉降变形值与施加的活荷载在加载过程中呈直线,说明桥墩受力处于弹性阶段,对于 14 号墩,当荷载自设计荷载的 50%加至设计荷载时,沉降基本不再增长;荷载加至公路-I 级时,各墩沉降稳定;卸载过程中,各桥墩沉降反弹亦满足线性规律;全部荷载卸载完毕1 h 后,各墩残余沉降量分别为 0.015,0.012 和−0.03 mm,变形恢复能力强,受力处于弹性阶段,96 侧桥墩承载能力满足公路 I 级要求。

万方数据

## 5 桥墩盖梁位移、应变测试结果分析

### 5.1 65 侧盖梁

#### 5.1.1 跨中正截面验算

65 侧盖梁横断面见图 14，其中 N2，N4 为直径 25 mm 光圆钢筋，N2，N7 为直径 20 m 光圆钢筋。按照文献[2]计算，跨中弯矩效应 990.10 kN·m，结构抗力效应 715.84 kN·m，不满足要求。

#### 5.1.2 实验结果

典型工况时盖梁跨中位移、应变见表 9～10。

**表 9 工况 3 下 65 侧桥墩盖梁跨中位移**

| 墩号 | 实测值/mm | 理论值/mm | 实测值/理论值 |
|---|---|---|---|
| 19 | 1.909 | 2.073 | 0.92 |
| 14 | 1.252 | 2.023 | 0.62 |
| 10 | 1.146 | 2.050 | 0.56 |

**表 10 工况 3 下 65 侧桥墩盖梁跨中应变**

| 梁高 | 10 号墩应变/$\times10^{-6}$ | | | 19 号墩应变/$\times10^{-6}$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| /cm | 实测 | 理论 | 实测/理论 | 实测 | 理论 | 实测/理论 |
| 45 | −131 | −168 | 0.78 | −47 | −170 | 0.28 |
| 15 | −15 | −24 | 0.63 | −30 | −24 | 1.25 |
| −5 | 82 | 72 | 1.14 | 20 | 73 | 0.27 |
| −25 | 155 | 168 | 0.92 | 137 | 170 | 0.81 |
| −45 | 454 | 264 | 1.72 | 156 | 267 | 0.58 |

典型工况时盖梁悬臂根部应变见表 11。

**表 11 工况 1 下 65 侧桥墩盖梁悬臂根部应变**

| 梁高 | 10 号墩应变/$\times10^{-6}$ | | | 19 号墩应变/$\times10^{-6}$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| /cm | 实测 | 理论 | 实测/理论 | 实测 | 理论 | 实测/理论 |
| 45 | 15 | 90 | 0.17 | 11 | 91 | 0.12 |
| 15 | −19 | 13 | −1.46 | −5 | 13 | −0.38 |
| −5 | −111 | −39 | 2.85 | −8 | −39 | 0.21 |
| −25 | −134 | −90 | 1.49 | −22 | −91 | 0.24 |
| −45 | | −142 | | −33 | −144 | 0.23 |

由表 9 可见，桥墩盖梁跨中位移的校验系数最高达到 0.56～0.92，文献[3]规定挠度校验系数常值为 0.2～0.5，说明盖梁多处存在裂缝，盖梁刚度不满足要求。由表 10～11 可见，跨中截面拉应变相对于盖梁顶压应变数值明显较大，说明盖梁受弯承载力阶段中性轴位置偏近梁顶，纵向受力钢筋应力水平较高。

在跨中截面附近，盖梁底面裂缝间距约 10 cm，裂缝宽度为 0.10～0.12 mm，其中 50%以上裂缝开展至翼缘的根部，部分贯通翼缘底面，在加载过程中，清晰可见裂缝的发展。在悬臂根部附近，盖梁翼板侧面贯通，延伸到肋 30 cm 左右；在距悬臂根部 20 cm 处，裂缝达 0.2 mm。

### 5.2 1996 年盖梁

典型工况时，盖梁跨中应变结果见表 12。

**表 12 工况 5 下 96 桥墩盖梁悬臂根部应变**

| 梁高 | 10 号墩应变/$\times10^{-6}$ | | | 19 号墩应变/$\times10^{-6}$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| /cm | 实测 | 理论 | 实测/理论 | 实测 | 理论 | 实测/理论 |
| −50 | −28 | −30 | 0.93 | −26 | −30 | 0.87 |
| −25 | | −15 | 0.00 | −9 | −15 | 0.00 |
| 0 | −23 | 0 | | −6 | 0 | |
| 25 | −14 | 15 | −0.93 | 0 | 15 | 0.60 |
| 50 | 9 | 30 | 0.30 | 14 | 30 | 0.47 |

在加载过程中未见新裂缝的产生，截面受力状态良好。

## 6 结论

### 6.1 1965 年桥

(1) 盖梁承载能力不满足公路-I 级的要求。

(2) 墩柱偏心受压强度满足要求，储备不足。

(3) 桩基在各级荷载下，沉降稳定，卸载后恢复良好，在整个实验过程中处于弹性工作状态，满足公路-I 级要求。14 号墩相对于沉降稍大，原因是该墩承台下打入桩约 50 cm 高度桩身裸露，其范围内无桩侧摩阻，而且承台下无土基的向上反力约束。

### 6.2 1996 年桥

(1) 盖梁承载能力满足公路-I 级的要求。

(2) 墩柱构件的偏心受压强度满足要求，可对墩柱的裂缝进行修补加固，提高结构耐久性。

(3) 桩基在各级荷载下，沉降稳定，卸载后恢复良好，在整个实验过程中处于弹性工作状态，承载能力满足公路-I 级要求。

根据以上实验结果，按照既定方案对桥梁进行了加固和维修，即充分利用 96 侧下部，对 65 侧墩柱进行混凝土“穿裙”[4]并重建盖梁。对变形较大的墩台承台下进行填充夯实料。桥梁于 2010 年交工投入运营，使用效果良好，相对于建设同等规模的新桥而言，节省投资近 60%。

## 参考文献

[1] JTG D60－2004 公路桥涵设计通用规范[S]. 北京：人民交通出版社，2004.

[2] JTG D62－2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京：人民交通出版社，2004.

[3] 交通部第二公路勘察设计院. 公路旧桥承载能力鉴定方法[M]. 北京：人民交通出版社，1988.

[4] JTG/ T J22－2008 公路桥梁加固设计规范[S]. 北京：人民交通出版社，2008.

万方数据