

# 钢—砼连续组合梁桥运营阶段力学特性分析

李超

(中地海外中扬建设有限公司, 湖南 长沙 410000)

**摘要:** 结合乍得共和国恩戈里大桥工程, 依据法国桥梁设计规范, 基于有限元分析方法计算模拟承载力极限状态荷载组合和正常使用极限状态荷载组合作用下钢—砼连续组合梁桥在运营阶段的力学特性。结果表明, 该桥在运营阶段的整体应力、内力、位移及支点反力等指标均满足规范要求, 结构安全性满足运营期设计要求。

**关键词:** 桥梁; 钢—砼连续梁桥; 运营期; 力学特性

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)03-0118-04

钢—砼组合梁桥由钢梁结构和砼板组合而成, 通过剪力键实现两者共同工作。该桥型既可充分发挥钢材的抗拉强度, 又能利用砼的抗压强度高的特点, 其结构轻巧、美观, 且跨越能力较大, 在施工效率等方面也具有明显优势, 在中国城市桥梁工程建设中被广泛采用。如上海长江大桥非主通航孔桥上部结构采用  $85\text{ m}+5\times 105\text{ m}+90\text{ m}$  连续组合梁, 杭州九堡大桥主梁采用  $3\times 85\text{ m}$  连续组合梁。随着中国桥梁建设单位向海外的扩展, 海外桥梁工程越来越多, 由于国外技术规范要求不同, 对设计提出了不同要求。该文依托乍得共和国恩戈里大桥工程, 按照法国桥梁建设相关规范要求, 采用有限元数值

分析方法对钢—砼连续组合梁桥运营阶段的力学特性进行模拟分析, 为设计提供理论支撑。

## 1 工程概况

恩戈里大桥位于瓦利亚—恩戈里路段, 是从喀麦隆进入乍得的门户。计算跨径  $223\text{ m}$ , 桥宽  $9\text{ m}$ , 自西向东跨径布置为  $28\text{ m}+5\times 33\text{ m}+28\text{ m}$ 。主梁采用钢—砼连续组合梁结构, 工字钢梁高  $1.5\text{ m}$ , 砼板厚  $0.25\sim 0.3\text{ m}$ , 沥青砼桥面铺装厚  $0.06\text{ m}$ 。下部结构采用钢筋砼薄壁墩, 墩顶宽  $1.2\text{ m}$ , 墩底宽  $1.8\text{ m}$ ; 基础采用钻孔灌注桩, 桩径  $1.0\text{ m}$ 。该桥总体布置见图 1。

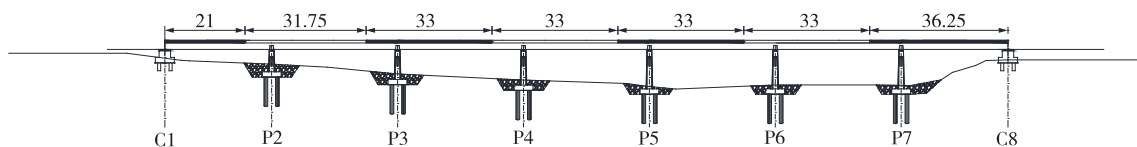


图 1 恩戈里大桥的总体布置(单位: m)

## 2 有限元分析过程

### 2.1 材料参数

砼、钢材等材料的容重、弹性模量、抗压(拉)强度等基本参数均按法国规范取值, 包括法国公共工程合同通用技术条款手册(CCTG)第 65A 分册《钢筋混凝土及预应力混凝土结构施工》、第 62 分册《钢筋混凝土临界状态》、第 61 分册《结构工程设计、计算及检验》及 NFA35-015《钢筋混凝土的钢材料》等规范。其中: 桥面板及防撞栏杆基座砼强度等级为 B30, 桥头搭板砼强度等级为 B30, 桩基砼强度等级为 B30, 桥台、桥墩及承台砼强度等级为 B25, 钢

筋砼容重为  $25\text{ kN/m}^3$ , 砼材料设计参数见表 1; 钢板、钢筋容重为  $78.5\text{ kN/m}^3$ , 工字钢板的其他设计参数见表 2。

### 2.2 荷载

桥梁结构荷载按照法国标准 CPC 第 61 分册第 II 章《道路桥梁荷载及检测大纲》的规定选取。

表 1 砼材料设计参数

强度等级	28 d 抗压强度 $f_{c28}/\text{MPa}$	轴心抗压强度 $f_c/\text{MPa}$	抗拉强度 $f_t/\text{MPa}$	弹性模量 $E_c/\text{MPa}$	热膨胀系数 $10^{-5}/^\circ\text{C}^{-1}$
B25	25	14.1	2.1	$2.924\times 10^4$	$1.0\times 10^{-5}$
B30	30	13.0	2.4	$3.418\times 10^4$	$1.0\times 10^{-5}$

正常使用状态下的荷载组合为  $G_{\max} + G_{\min} + 0.72Q_r$  和  $G_{\max} + G_{\min} + T_f$ , 承载能力极限状态下荷载组合为  $1.35G_{\max} + G_{\min} + 1.35Q_{rp}$ 、 $1.35G_{\max} + G_{\min} + 1.6Q_r + 0.8T_R$  和  $1.35G_{\max} + G_{\min} + 1.35T_R$ 。其中:  $G_{\max}$  表示不利的持久作用力的集合;  $G_{\min}$  表示有利的持久作用力的集合;  $Q_r$  表示由 Bc 系列、Niger 车队荷载引起的作用力的集合;  $T_f$  表示由常见热效应引起的作用力的集合;  $Q_{rp}$  表示由 Mc120 体系军

事荷载引起的作用力的集合; $T_R$ 表示由少见热效应引起的作用力的集合。取上述最不利荷载组合进行模拟分析。

### 3 力学特性分析结果

#### 3.1 承载力极限状态下荷载组合

依据数值分析结果绘制的承载力极限状态荷载

组合下单元弯矩、剪力、水平位移、挠度变化曲线见图6。由图6可以看出:承载力极限状态荷载组合作用下,主梁跨中最大正弯矩为 $11\,122.7\text{ kN}\cdot\text{m}$ ,支点最大负弯矩为 $-14\,176.5\text{ kN}\cdot\text{m}$ ;最大剪力为 $2\,854.6\text{ kN}$ ;主梁跨中最大竖向挠度为 $0.074\,6\text{ m}$ (向下),梁端最大水平位移为 $0.085\,5\text{ m}$ (向外)。

承载力极限状态荷载组合下桥梁各支点反力见

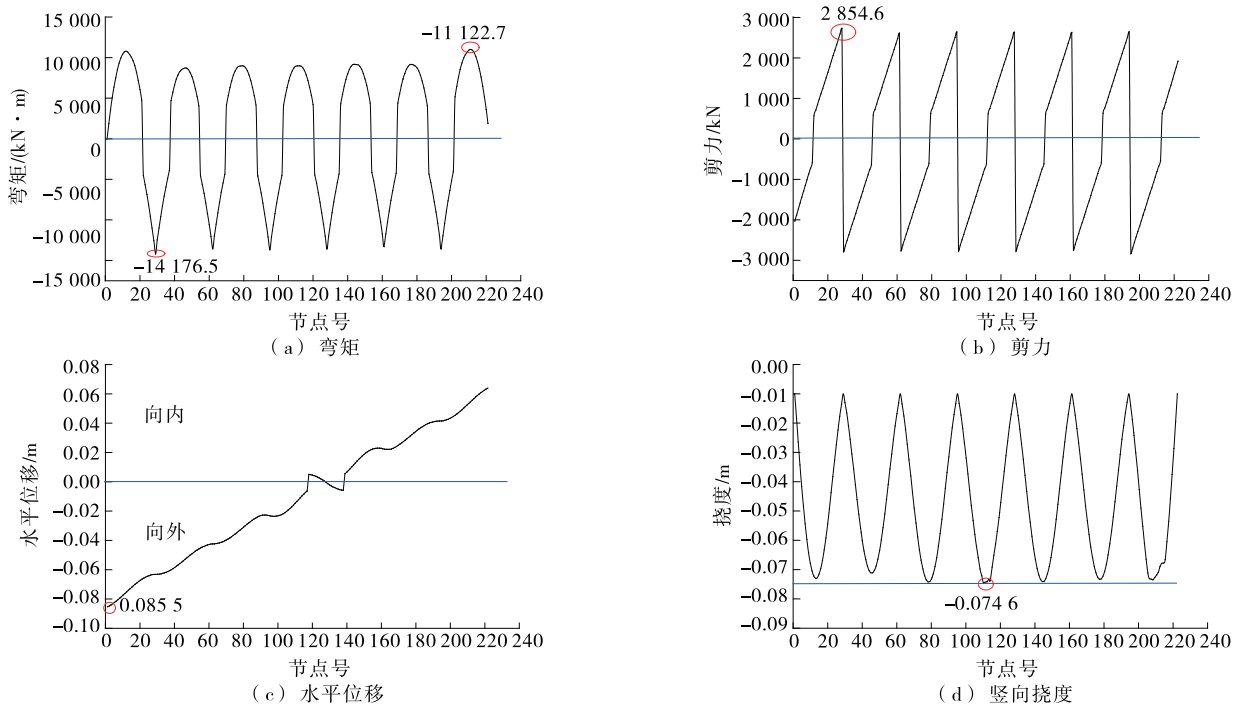


图6 承载力极限状态荷载组合下力学特性

表3。由表3可知:承载力极限状态荷载组合作用下,左侧第二个支点反力最大,为 $4\,579.34\text{ kN}$ 。

表3 承载力极限状态下支点反力

节点号	支点反力/kN	节点号	支点反力/kN
1	2 183.20	128	4 487.65
29	4 579.34	161	4 458.10
62	4 453.32	194	4 545.79
95	4 489.44	222	2 057.57

#### 3.2 正常使用极限状态荷载组合

依据数值分析结果绘制的正常使用极限状态荷载组合下单元弯矩、剪力、水平位移、挠度变化曲线见图7。由图7可看出:正常使用极限状态荷载组合作用下,主梁跨中最大正弯矩为 $8\,297.4\text{ kN}\cdot\text{m}$ ,支点最大负弯矩为 $-11\,169.0\text{ kN}\cdot\text{m}$ ;最大剪力为 $2\,149.3\text{ kN}$ ;主梁跨中最大竖向挠度为 $0.057\,1\text{ m}$

(向下),梁端最大水平位移为 $0.086\,1\text{ m}$ (向外)。

钢梁和砟板在形成组合截面前其自重由钢梁承担,包含砟板的组合截面仅承受二期恒载、汽车(人群)活载、温度效应、支座沉降和砟收缩徐变等作用产生的弯矩,主梁联合截面弯矩见图8。从图8可以看出:钢梁与砟形成组合截面后,组合截面的跨中最大正弯矩为 $5\,218.7\text{ kN}\cdot\text{m}$ ,支点最大负弯矩为 $-7\,175.1\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

正常使用极限状态荷载组合下桥梁各支点反力见表4。由表4可以看出:在正常使用极限状态荷载组合作用下,桥梁左侧第二个支点反力最大,为 $3\,447.9\text{ kN}$ 。

对桥梁施加不同汽车活载,计算各跨跨中最大挠度,结果见表5。由表5可以看出:汽车活载作用下,主梁各跨跨中最大挠度为 $-0.021\text{ m}$ ,小于规范要求 $L/600$ ,满足规范对结构刚度的要求。

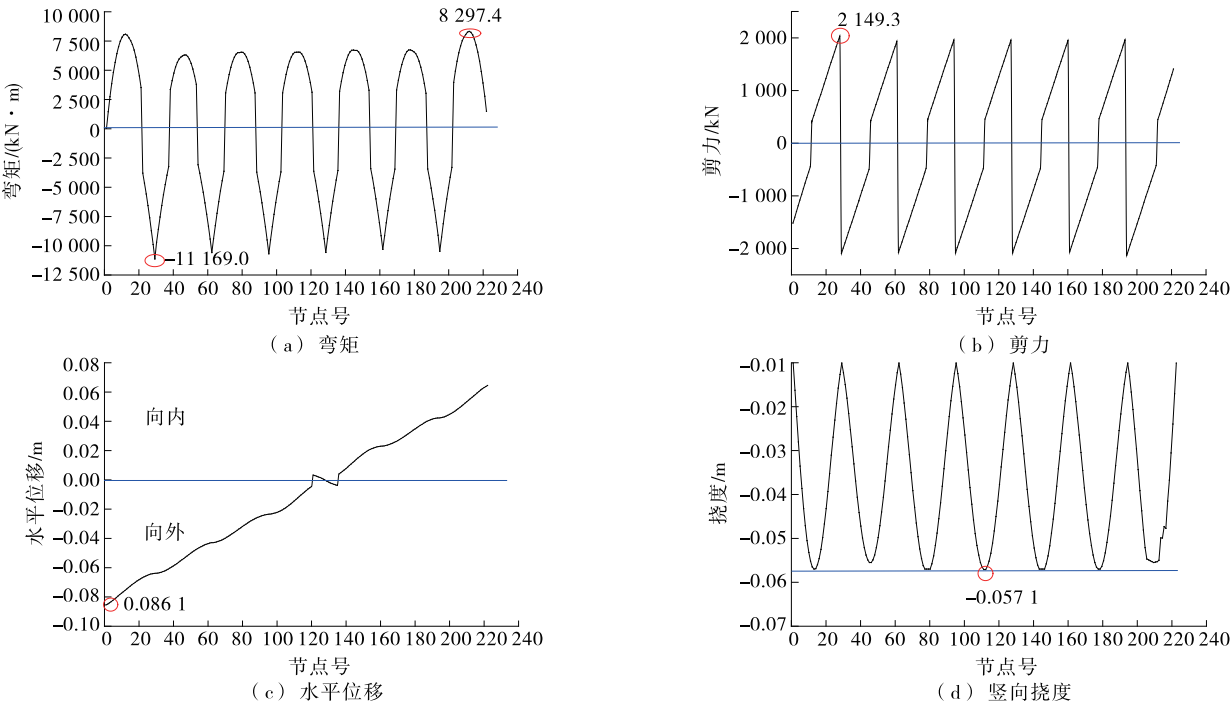


图 7 正常使用极限状态荷载组合下力学特性

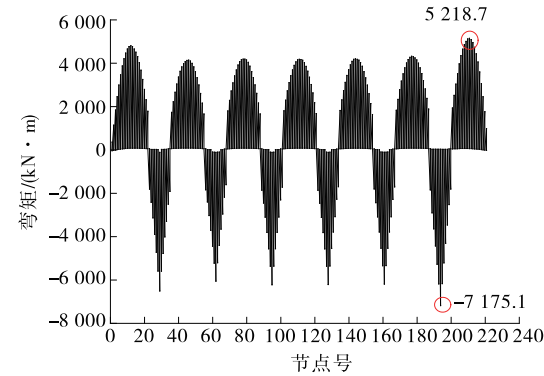


图 8 正常使用极限状态荷载组合下主梁联合截面的弯矩

表 4 正常使用极限状态下支点反力

节点号	支点反力/kN	节点号	支点反力/kN
1	1 513.0	128	3 372.1
29	3 447.9	161	3 346.7
62	3 341.2	194	3 413.6
95	3 374.1	222	1 534.9

表 5 汽车活载作用下主梁各跨跨中最大挠度

活载类型	最大挠度/m
Bc 体系	-0.020
Mc120 体系	-0.021
Niger 车队	-0.007

4 结论

在承载力极限状态荷载组合和正常使用极限状态荷载组合作用下,乍得共和国恩戈里大桥运营期的整体应力、内力、位移及支点反力等均满足规范要求,结构安全性满足运营期设计要求。

参考文献:

[1] 李龙起,王俊,杨真真,等.腹板开洞钢—混凝土连续组合梁塑性性能试验研究与有限元分析[J].建筑结构,2017,47(2).

[2] 徐德标,黄才良,刘春城.钢—混凝土连续组合梁桥的理论分析和试验研究[J].北华大学学报:自然科学版,2002,3(5).

[3] 王猛.钢—混凝土连续组合梁的设计分析[J].城市道桥与防洪,2002(12).

[4] 李龙起,周东华,廖文远,等.腹板开洞钢—混凝土连续组合梁承载力影响参数分析[J].昆明理工大学学报:自然科学版,2015,40(2).

[5] 李龙起,周东华,王鹏.腹板开洞连续工字形钢梁的挠度计算方法[J].建筑钢结构进展,2013,15(3).