

# 某施工栈桥受力计算及洪水作用下稳定性分析\*

陈峰, 于艺林, 陈俐光, 姜涌, 兰赫, 罗慧

(中建市政工程有限公司, 北京 100071)

**摘要:** 依托某大跨度连续刚构桥施工栈桥, 在计算栈桥在施工期间受力状态的基础上, 分析洪水作用下栈桥的稳定性, 探讨增强结构稳定性的措施。结果表明, 桥面横梁应设置于贝雷梁节点位置; 各榀贝雷梁之间上平纵联和下平纵联的设置是保证贝雷梁在横向水平力作用下共同受力的关键构造; 为改善钢管立柱的受力, 提高结构的稳定性, 可采用增强立柱间横向联系、在立柱内灌注砼、加大立柱直径等措施, 其中增强立柱间横向联系的作用最显著。

**关键词:** 桥梁; 施工栈桥; 受力分析; 洪水作用; 稳定性

中图分类号: U448.18

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)06-0107-03

施工栈桥是跨河桥梁下部结构施工中重要的人员、物资通道, 其不同阶段的受力状态有显著差异, 必须满足各阶段强度和稳定性要求。该文以某大跨度连续刚构桥施工栈桥为工程背景, 建立施工阶段栈桥结构仿真计算模型, 分析在洪水作用下栈桥的倾覆稳定性, 探讨提高结构稳定性的措施。

## 1 施工栈桥构造设计

某大跨度连续刚构桥跨径组合为(110+180+110) m, 其 2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 主墩位于河道中。为便于主墩施工, 在主墩下游侧从岸边向河道搭设施工栈桥, 栈桥设计行车速度 10 km/h, 按单车道布置, 桥宽 6 m, 桥顶标高 45.00 m。两侧施工栈桥的跨径组合均为(5×15) m, 除立柱高度稍有差别外, 其他构造基本一致。下面仅对 2<sup>#</sup> 主墩施工栈桥的构造设计和计算进行说明。

栈桥单侧全长 75 m, 采用多跨连续梁贝雷梁加钢管桩方案。栈桥主梁为 6 片贝雷架, 梁高 1.5 m, 贝雷片横向间距 0.9 m, 横向连接采用标准 900 型支撑架。横梁采用 I36a 工字钢, 间距 1.5 m; 纵梁采用 I16 工字钢, 间距 0.35 m; 桥面板采用 10 mm 厚钢板。下部结构采用钢管桩基础, 横向采用 3 根  $\phi 800 \times 8$  mm 钢管桩, 横向间距 2.5 m, 进入基岩的锚固深度为 2 m。钢管桩顶设分配梁, 桩间焊接剪刀撑。为防止贝雷架发生侧移, 在各榀桁架下的桩顶分配梁两侧设置挡块, 同时在贝雷架下设置 20 cm×20 cm×8 cm 橡胶垫块, 使其受力更均匀, 避

免贝雷片与分配梁之间发生点接触。栈桥立面布置见图 1, 断面布置见图 2。

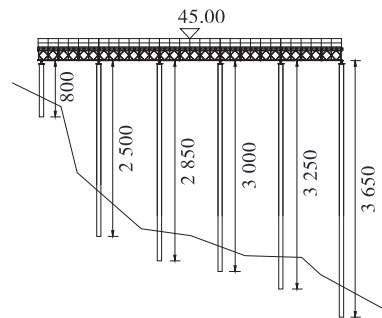


图 1 栈桥立面布置(单位: 标高为 m, 其他为 cm)

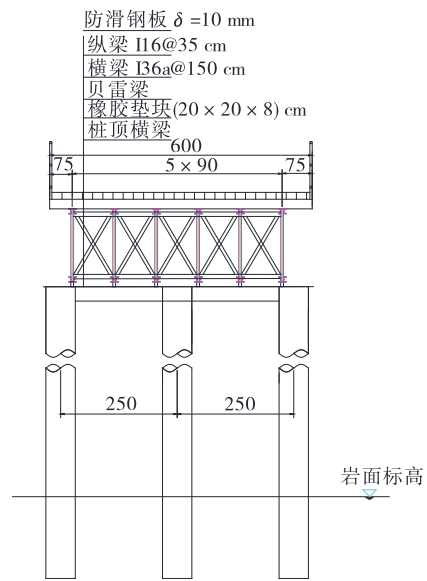


图 2 栈桥断面布置(单位: cm)

\* 基金项目: 中建一局集团科技研发课题(KJYF-2015-2)

## 2 施工栈桥受力分析

利用 MIDAS/Civil2015 建立栈桥整体计算模型,对栈桥各构件的应力、变形和稳定进行计算分析。桥面横向和纵向分配梁、贝雷梁、桩顶横梁、钢管立柱均用梁单元模拟,立柱底部按固结考虑,横向与纵向分配梁、纵向分配梁与贝雷梁之间均用弹性连接模拟,贝雷片之间释放梁端转动约束(见图 3)。

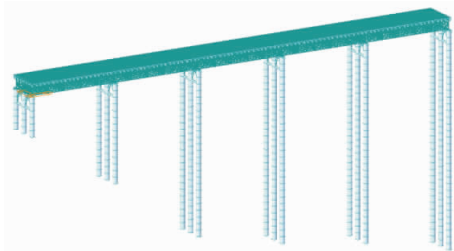


图 3 栈桥空间有限元模型

设计移动荷载为  $8 \text{ m}^3$  砼罐车和  $50 \text{ t}$  履带吊,设计流速按  $1.5 \text{ m/s}$  考虑,根据 JGJ 300—2013《建筑施工临时支撑结构技术规范》进行荷载组合。主要构件的计算应力见表 1,轴力见图 4~5。

表 1 栈桥主要构件的应力

构件	正应力/MPa	剪应力/MPa
I16 桥面纵梁	86.7	11.2
I36a 桥面横梁	88.5	16.0
贝雷梁弦杆	196.6	—
贝雷梁腹杆	275.6	—
桩顶横梁	60.6	48.0
钢管立柱	54.5	5.0

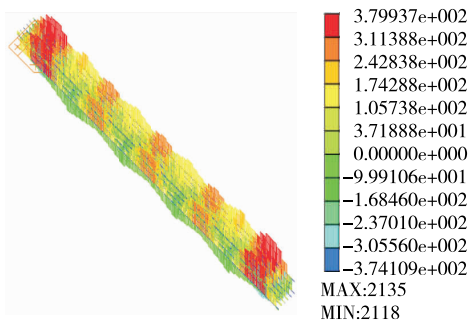


图 4 贝雷梁上、下弦杆最大轴力(单位:kN)

由表 1 可知:栈桥各主要构件的应力均满足规范要求。

由图 4~5 可知:贝雷梁弦杆最大轴力为  $379.9 \text{ kN}$ ,小于容许轴力  $563 \text{ kN}$ ;斜杆最大轴力为  $136.1 \text{ kN}$ ,小于容许轴力  $171 \text{ kN}$ 。支点附近腹杆轴力较大,施

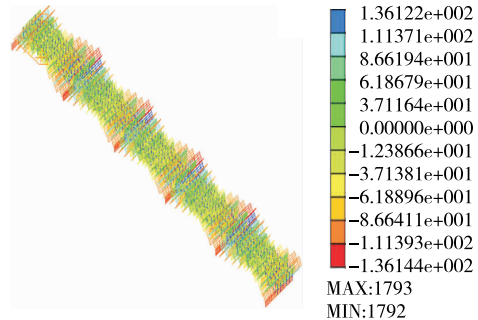


图 5 贝雷梁斜腹杆最大轴力(单位:kN)

工期间应加强监测,避免出现安全风险。此外,桥面横梁应设置于贝雷梁节点位置,若设置在节间,上弦杆将出现由于局部弯矩产生的约  $65 \text{ MPa}$  附加应力。

以活载下立柱轴力最大工况对栈桥运营期间的稳定性进行计算,一阶模态(见图 6)为立柱连接槽钢的面外局部失稳,弹性稳定系数为  $7.88$ ,满足规范要求。失稳的原因是钢管桩间连接系采用  $[28$  槽钢,其面外回转半径较小。

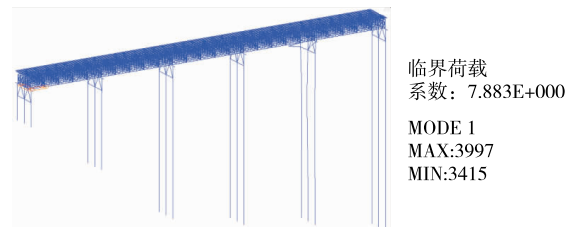


图 6 栈桥一阶弹性屈曲模态

## 3 洪水作用下的稳定性分析

根据近 5 年水文资料,桥位处雨季洪水水位达  $49.20 \text{ m}$ ,最大流速  $2.0 \text{ m/s}$ ,很可能淹没栈桥。因此,需对洪水作用下栈桥的受力及稳定性进行分析。

### 3.1 水流作用计算

JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》只规定了桥墩的流水压力,洪水作用下上部结构的水流力参照 JTS 144—1—2010《港口工程荷载规范》进行计算,计算公式为:

$$F_w = C_w \frac{\rho}{2} v^2 A$$

式中: $F_w$  为水流力标准值; $C_w$  为水流阻力系数; $\rho$  为水密度; $v$  为水流设计流速; $A$  为计算构件在与流向垂直平面上的投影面积。

对于不同截面形式的构件,《港口工程荷载规范》均给出了  $C_w$  的取值。多排结构由于前面构件

对水流的阻碍作用,引入遮流影响系数考虑其影响。

按水流速度 2.0 m/s 计算,栈桥贝雷梁水流量标准值为 2.15 kN/m,桥面纵梁水流量标准值为 0.74 kN/m,钢管立柱水流量标准值为 1.17 kN/m。

### 3.2 栈桥稳定性分析

在上述水流力作用下,栈桥主要构件的计算应力见表 2(洪水期间不考虑车辆荷载)。从表 2 可看出:在水流力作用下,贝雷梁弦杆和钢管立柱的应力很大,不满足规范要求。分析其原因,贝雷梁设置了横向支撑架,在竖向荷载作用下各榀桁架共同受力,但贝雷梁之间未设置上平纵联和下平纵联,使贝雷梁在横向荷载作用下不能共同受力。为施工方便,钢管立柱也仅在上端设置连接系,横向荷载作用下各立柱不能形成有力的横向受力框架。贝雷梁弦杆正应力见图 7。

表 2 洪水作用下栈桥主要构件的应力

构件	正应力/MPa	剪应力/MPa
I16 桥面纵梁	191.1	2.20
I36a 桥面横梁	15.7	1.96
贝雷梁弦杆	621.2	—
贝雷梁腹杆	68.5	—
桩顶横梁	169.6	48.40
钢管立柱	622.9	73.80

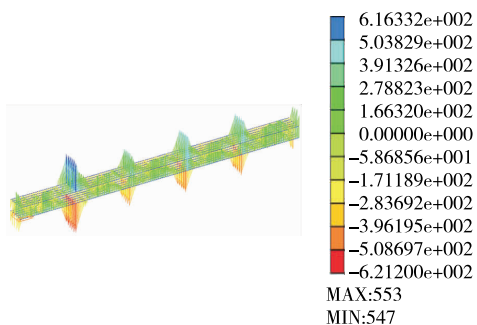


图 7 洪水作用下贝雷梁弦杆正应力(单位:MPa)

水流作用下栈桥的弹性稳定系数为 1.26,失稳模态见图 8,仍然是立柱连接槽钢的面外局部失稳。

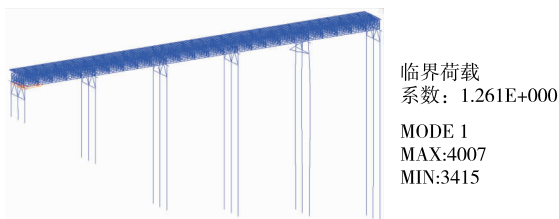


图 8 洪水作用下栈桥一阶弹性屈曲模态

此外,随着洪水上涨至桥面位置,栈桥主梁位置

会堆积大量漂流物,漂流物的存在将进一步加大栈桥受到的水流力。以漂流物平均堆积高度 20 cm 计算,洪水期间栈桥将承受 0.93 kN/m 附加水平力,对栈桥受力和稳定性造成不利影响。

### 4 结构改善措施

为改善栈桥在水流力作用下的强度和稳定性,在贝雷梁之间设置上平纵联和下平纵联。钢管立柱采用以下两种方案:1) 增设水下横向联系,并改横向联系为双拼[28 槽钢截面,加大其面外回转半径。2) 改横向联系为双拼[28 槽钢,在钢管立柱内灌注砼,变为钢管砼组合截面。结构改善后栈桥在水流力作用下贝雷梁弦杆应力见图 9。

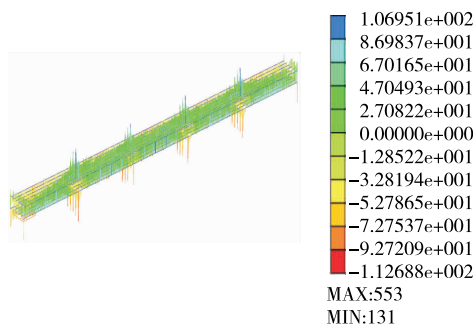


图 9 结构改善后洪水作用下贝雷梁弦杆正应力(单位:MPa)

从图 9 可看出:结构改善后,洪水作用下贝雷梁弦杆应力大幅度降低,最大应力仅 112.7 MPa。方案一钢管立柱的最大正应力为 195.7 MPa,满足规范要求;方案二钢管立柱的最大正应力为 227.6 MPa,超过规范要求。若将钢管立柱壁厚增加至 14 mm,钢管立柱最大正应力可降为 191.3 MPa。另外,若将钢管立柱截面加大,水流力会相应增大,截面加大到 1.2 m 才能满足要求。

方案一下栈桥的弹性失稳模态见图 10(a),弹性稳定系数为 21.8,为钢管立柱的整体侧扭失稳;方案二下栈桥的弹性失稳模态见图 10(b),弹性稳定系数为 9.2,为钢管立柱的弯曲失稳。

### 5 结论

(1) 桥面横梁应设置于贝雷梁节点位置,若设置在节间,上弦杆将出现由于局部弯矩产生的较大附加应力。

(2) 各榀贝雷梁之间上平纵联和下平纵联的设置是保证贝雷梁在横向水平力作用下共同受力的关

(下转第 113 页)

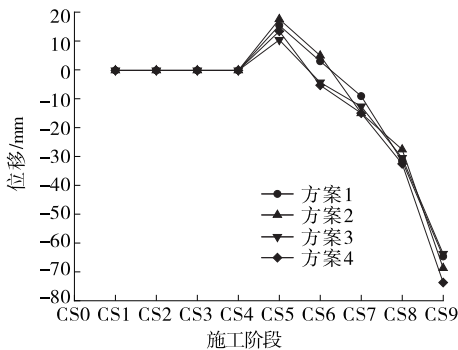


图 10 吊装拱肋第三节段前端点变形

由表 7、图 8~10 可知:方案 1 下吊装拱肋第一节段前端点的竖向位移最小,方案 2 下的最大;方案 3 下吊装拱肋第二节段前端点的竖向位移最小,方案 4 下的最大;方案 3 下吊装拱肋第三节段前端点的竖向位移最小,方案 4 下的最大。拱肋吊装过程中第三节段的变形最大,故主要考虑第三节段变形,其次考虑第二节段变形,最后考虑第一节段变形,保证施工过程中第三阶段位移最小。钢管砼拱桥以控制线形为主,在应力满足的情况下,要求变形的理想状态为最优。方案 3 下变形更理想,按该方案封铰的施工效果最好。

### 4 结语

以唐家河钢管砼拱桥为工程背景,针对缆索吊装过程中封铰时机对桥梁结构的影响,通过有限元

软件进行施工过程正装模拟分析,对比步骤 CS1 吊装两岸第一节段封铰、步骤 CS5 吊装两岸第三节段封铰、步骤 CS8 扣索释放后灌注砼之前封铰、步骤 CS9 灌注砼后封铰 4 种拱脚封铰方案下拱脚附近上下弦杆应力及各吊装拱肋最大悬臂前端的累计变形,得步骤 CS8 扣索释放后灌注砼之前封铰方案下应力及变形比其他方案更合理,按该方案封铰的施工效果最好。

### 参考文献:

- [1] JTG D56-06-2015,公路钢管混凝土拱桥设计规范[S].
- [2] 刘中原.大跨度钢管混凝土拱桥无支架缆索吊装施工受力计算分析[D].长沙:长沙理工大学,2017.
- [3] 四川公路桥梁建设集团有限公司,四川路桥建设股份有限公司.公路桥梁施工系列手册:拱桥[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [4] 陈宝春.拱桥技术的回顾与展望[J].福州大学学报:自然科学版,2009,37(1).
- [5] 牟开.拱脚封铰时机对缆索吊装施工拱桥的受力影响分析[J].山西交通科技,2017(1).
- [6] 王小成.大跨度钢管混凝土拱桥拱肋吊装施工过程空间仿真计算[D].武汉:武汉理工大学,2006.
- [7] 王勃.大跨经拱桥缆索吊装施工系统仿真分析[D].西安:长安大学,2012.

收稿日期:2019-01-15

\*\*\*\*\*  
(上接第 109 页)

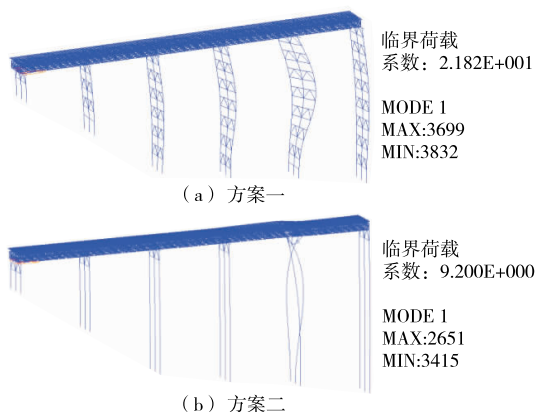


图 10 结构改善后洪水作用下栈桥弹性屈曲模式

键构造。如施工期间洪水有淹没栈桥的风险,应在贝雷梁间加设平纵联。

(3) 为改善钢管立柱的受力,提高结构的稳定性,可采取增强立柱间横向联系、在立柱内灌注砼、

加大立柱直径等措施,其中增强立柱间横向联系的作用最显著。

### 参考文献:

- [1] 凌鹏飞.洪水期高栈桥抗倾覆研究[J].西部交通科技,2018(1).
- [2] 冯燕平,鲍军岗,杨辉.洪水期钢栈桥横向稳定性分析[J].西部交通科技,2012(6).
- [3] 陈强,林玉明.跨海特大桥栈桥设计与施工技术研究[J].铁道建筑技术,2018(2).
- [4] JGJ 300-2013,建筑施工临时支撑结构技术规范[S].
- [5] 黄绍金,刘陌生.装配式公路钢桥多用途使用手册[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [6] JTG D60-2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [7] JT8 144-1-2010,港口工程荷载规范[S].

收稿日期:2019-01-15