

# 预应力混凝土变截面连续刚构桥设计分析

范啸 胡海波 黄正荣

中铁建苏州设计研究院有限公司

**摘要:** 为了验证某桥上部结构的安全性及承载能力,利用有限元软件建立杆系模型,求解结构在不同荷载组合下的弯矩、剪力与应力,并与规范规定的各项容许值表进行对比。结果表明:在持久状况下,某桥的正常使用与承载能力极限状态均满足规范要求,验算合格,应力验算在持久与短暂状况下均通过规范限制,验证了桥梁结构的安全性。

**关键词:** 桥上部结构;变截面;预应力;混凝土连续刚构桥;设计分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.14.105

## 一、引言

桥梁验算和检测是桥梁设计中不可或缺的一环,在现行规范的要求下,为了确定桥梁结构的安全性,诸多学者在桥梁投入使用前后会采用Midas Civil、ANSYS、桥梁博士等不同的有限元软件进行相关验算<sup>[1][2]</sup>。姚征<sup>[3]</sup>、刘涛<sup>[4]</sup>等对现役桥梁进行了技术状况评定,利用Midas Civil进行了验算模拟分析;曹奕<sup>[5]</sup>提出了适用于某桥横向稳定的验算方法,并提出了验算的三大指标,即构件强度、支座反力与倾覆稳定系数,可以有效的对桥梁进行评估;谢丹等<sup>[6]</sup>结合结构力学与有限元软件对桥梁承受特种车辆荷载的工况进行了相关验算,为桥梁的运维提供了相关的技术依据;在上部结构的验算中,祝向群等<sup>[7]</sup>利用Midas Civil对某特大桥的承载能力做了相关验算,同时也对预应力构件的应力进行了分析和验算,对实际工程中主要截面的选择与控制提供了相关理论依据;陈宇等<sup>[8]</sup>采用桥梁博士对某立交桥进行了模拟和验算,并对实际工程中的方案进行了有效的修改和完善;在某先简支后连续的预应力混凝土梁的背景下,黄卫民<sup>[9]</sup>利用Midas Civil软件分别对桥梁在承载能力与正常使用极限状态下的抗力、主梁变形与强度进行了评估与验算,电算结果与实际工程相吻合且满足规范要求。综上,通过不同方式进行桥梁验算,可以对桥梁结构的安全性进行评估,也可以对可能出现的隐患进行排查,对桥梁的设计、建设与运维都有较为重要的意义,本文利用桥梁博士对某桥的上部结构进行纵向计算,对其支座反力、承载能力与应力进行验算,校核结构是否满足规范规定的各项要求。

## 二、工程概况

某桥分左右两幅,其上部结构为变截面连续箱梁,材料为预应力混凝土,跨径布置为80+150+80m,每幅的截面是单箱单室,箱梁顶宽12.25m,底板宽6.75m,两侧悬臂长度2.75m。箱梁高度跨中为3.5m,箱梁在其支点处的高度为9.5m,梁高沿纵桥向按照抛物线进行变化。箱梁结构的体系为三向预应力:纵向预应力钢束两端张拉,竖向与横向采用单向张拉。图1为箱梁0号块断面图。

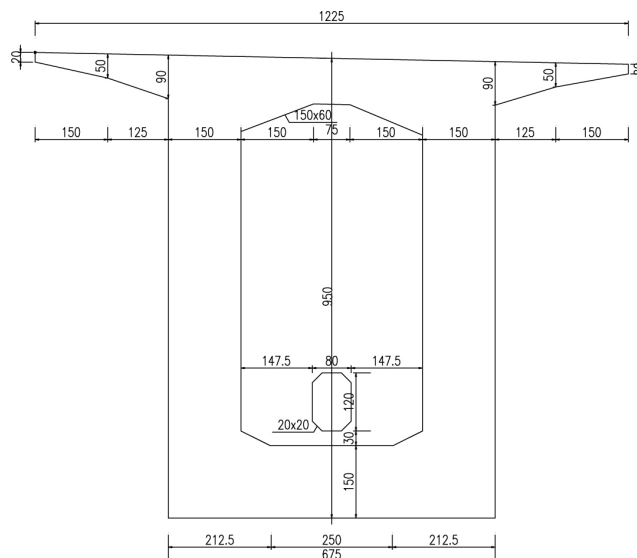


图1 箱梁0号块断面图

纵向预应力使用的钢束是直径15.2mm的钢绞线(Ⅱ级)(GB/T5224-1995),标准强度 $f_{pk}=1860\text{MPa}$ 。张拉控制应力 $\sigma_{con}=0.75 f_{pk}=1395\text{MPa}$ 。施工方法分别使用对称逐短悬臂浇筑和支架现浇两种施工方法。施工顺序是先托架浇筑0号块,再对称逐段悬臂浇筑其他块件。边跨端头块采用支架现浇法施工。先合拢边跨,再合拢中跨。中跨及边跨均采用吊架合拢。

## 三、建模与计算

上部结构的纵向计算按照空间杆系理论,采用桥博v4.1.0进行计算。对上部结构进行划分,做出构件离散图,共划分180个单元,181个节点,结构模型图如图2所示。

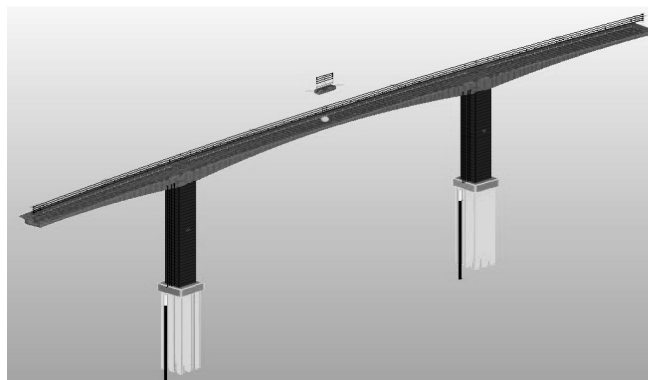


图2 结构模型图

某桥两边墩设2个支座,考虑主桥位于曲线上,采用横梁外伸,支座间距9.75m,两主墩与主梁固结,支座布置如图3所示。

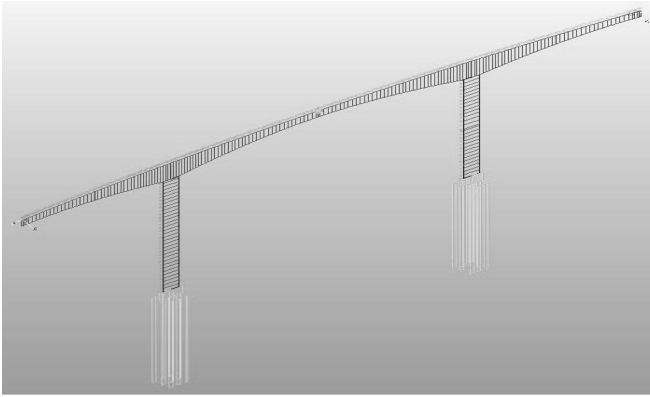


图3 支座位置示意图

施工阶段的设置与划分与实际工程进行互相印证，用实际刚构桥的过程和方案做依据，通过软件桥梁博士的计算，在各种荷载组合作用下，分别得到施工和使用阶段下的各项指标，包括应力、位移以及内力。根据规范规定的各项容许指标，验算构件是否满足规定的各项要求。

#### 四、结果分析

##### (一) 承载能力验算

荷载工况和组合选取承载能力极限状态，在软件中得到对应的弯矩和剪力图以及对应的抗力，绘制图形如图4和图5所示。由图形可以看出，通过对主梁各截面进行验算，其正截面的抗弯验算与斜截面的抗剪验算都满足了规范的要求。

##### (二) 正常使用极限状态验算

###### 1. 正截面抗裂验算

本桥按全预应力混凝土构件进行设计和验算，包括正截面抗裂验算，其荷载组合选取频遇效应，结构的正截面应力图如下图所示，以拉应力为负，压应力为正，在频遇效应作用下，主梁上缘和下缘在梁端伸缩缝区域出现少许拉应力外（该区域无钢束或钢束量较少，且由于梯度温度影响较大，频遇组合下出现一定拉应力，对结果安全性无较大影响），其余截面均为压应力。其中主墩处主梁截面上缘最小压应力为0.63 MPa和0.74MPa；中跨跨中截面下缘最小压应力为0.42MPa。边跨跨中上缘最小压应力为1.61MPa和1.78MPa。可见，以全预应力混凝土构件为标准，主梁满足规范中对于正截面的抗裂要求。

###### 2. 斜截面抗裂验算

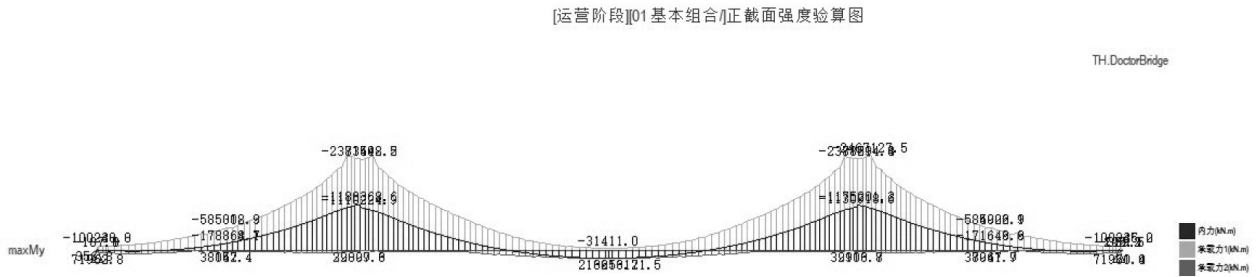


图4 承载能力组合弯矩包络图及对应抗力图

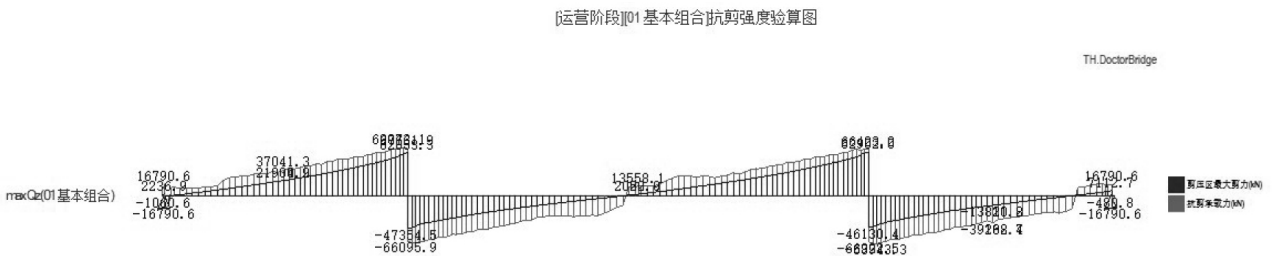


图5 承载能力组合剪力包络图及对应抗力图

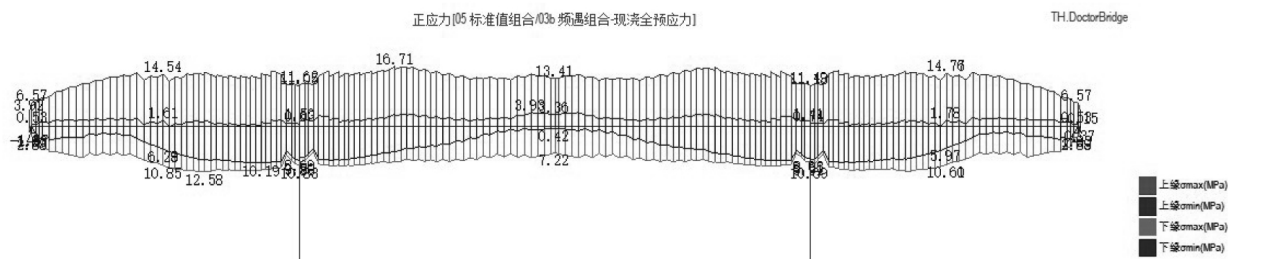


图6 频遇组合上、下缘正应力包络图（单位：MPa）

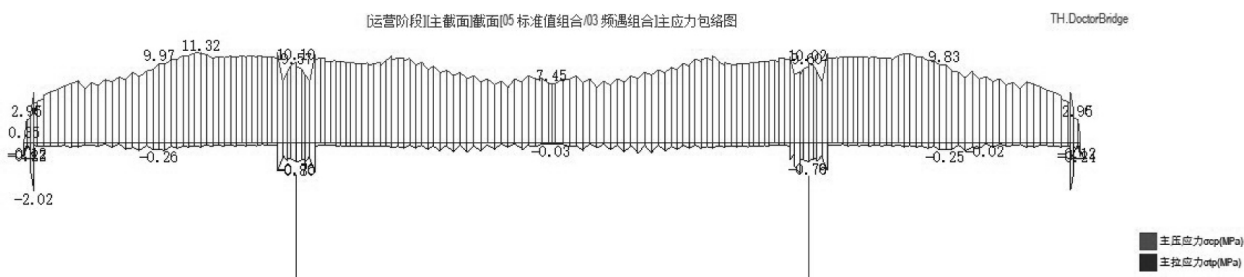


图7 频遇组合主拉应力包络图 (单位: MPa)

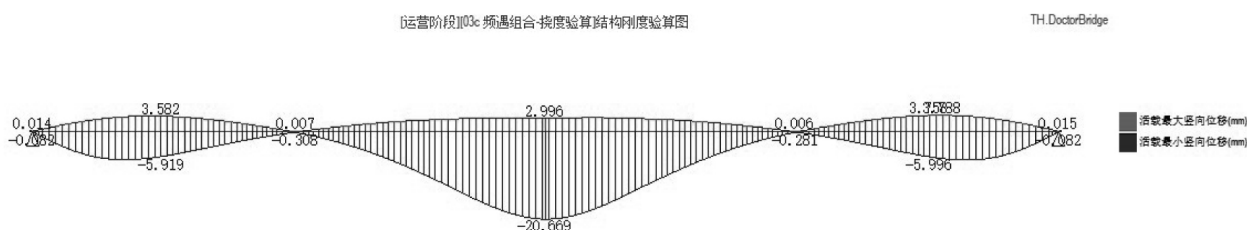


图8 频遇组合 (扣除自重) 最大、最小竖向位移图 (单位: mm)

按全预应力混凝土构件计算时, 依照频遇组合的荷载组合, 主梁的主拉应力如下图所示。由图7可知, 主梁在梁端伸缩缝区域出现较大主拉应力外, 其余截面主拉应力均很小 (该区域无钢束或钢束量较少, 且由于梯度温度影响较大)。其中, 主拉应力的最大值分别为0.97 MPa和0.8MPa, 出现在50和131单元处 (两中支点附近)。可见, 在按照全预应力混凝土构件进行验算时, 主梁满足规范中对于斜截面的抗裂要求。

### 3. 挠度验算

在频遇效应的荷载组合下, 在扣除了结构在恒载作用下的变形之后, 主梁的竖向位移如图8所示, 由图可知, 结构的跨中最大正挠度与最大的负挠度数值之和为23.7mm, 在考虑挠度会长期增长的情况下, 结构的长期挠度为33.5mm, 而规范允许值为 $L/600=250\text{mm}$ , 故满足要求。

### (三) 应力验算

按照《公桥规》第7.2.8条规定, 在预应力和构件自重等施工荷载作用下载面边缘混凝土的法向应力应符合: 压应力  $\sigma_{cct} \leq 0.70f_{ck}$ , 拉应力  $\sigma_{ctt} \leq 0.70f_{tk}$ 。

在某桥的施工过程中, 其混凝土强度是规范中的标准强度的80%, 故压应力允许值为19.88MPa, 拉应力允许值为1.53MPa。由计算结果可知, 施工阶段各单元最大正应力为14MPa, 最大拉应力为-0.91MPa, 在规范的相关要求下均可以通过验算。

## 五、结论

在对某桥上部结构的计算和分析中, 考虑了荷载有效分布宽度, 在持久状况下, 某桥的正常使用与承载力极限状态均满足规范要求, 验算合格, 应力验算在持久与短暂状况下均通过规范限制, 验证了结构的安全

性, 为实际工程提供了理论依据。

### 参考文献

- [1] 胡军旗, 李隆. 桥梁维修加固中预应力加固技术的应用[J]. 交通世界 (上旬刊). 2022, (1).
- [2] 张国强, 惠小磊, 谢丹. 基于Midas Civil的预应力混凝土桥梁结构承载力验算分析[J]. 科学技术创新, 2022, (13): 161-164.
- [3] 吴志昌. 公路桥梁施工中体外预应力加固技术[J]. 中国公路. 2021, (11).
- [4] 刘涛. 基于Midas Civil的既有桥梁加固前后结构验算对比分析[J]. 交通世界 (中旬刊), 2022 (7): 132-134.
- [5] 曹奕. 上海地区独柱筒支桥梁的横向稳定验算与加固方法[J]. 上海建设科技, 2022, (03): 21-25.
- [6] 谢丹, 惠小磊, 张国强. 特种车辆荷载作用下桥梁结构内力验算[J]. 科学技术创新, 2022, (13): 83-86.
- [7] 祝向群, 杨名超, 卢晨怡, 凌中水, 邓乃凡, 孙辅皓. 大跨度桥梁上部结构承载能力验算——以太行山高速公路某特大跨越桥梁为例[J]. 辽东学院学报 (自然科学版), 2019, 26 (04): 287-292.
- [8] 陈宇, 刘新忠, 项凯. 桥梁博士模拟验算在花山路立交桥拆除中的技术应用[J]. 工程技术研究, 2019, 4 (05): 77-78.
- [9] 黄卫民. 先简支后连续桥梁结构验算[J]. 黑龙江科技信息, 2012, (14): 279-280.

基金项目: 本文为“桥梁全寿命周期建管养BIM平台关键技术研究”中国铁建股份有限公司年度科研计划课题, 课题编号2019-B23