

(70+120+70) m 预应力砼变截面连续悬浇梁 Midas 计算分析

熊志洪*

浙江数智交院科技股份有限公司, 浙江 杭州 310030

摘 要 : 基于 Midas 有限元软件建立 (70+120+70) m 预应力砼变截面连续悬浇梁模型进行内力计算分析, 主要研究在施工阶段及成桥状态下悬浇梁整体受力情况。计算结果表明, 在承载能力极限状态下, 箱梁抗弯、抗剪承载力验算通过; 在正常使用极限状态下, 正截面抗裂、斜截面主拉应力验算通过; 在持久状况和短暂状况下, 正截面压应力、主压应力和施工阶段应力分别验算通过。本文从 Midas 有限元计算入手, 分析研究了变截面连续悬浇梁在恒载、活载、温度、沉降及收缩徐变等因素作用下弯矩、剪力和各阶段内力分布情况, 为今后其他类似工程项目的设计计算、分析研究提供了一定的借鉴参考。

关 键 词 : 预应力砼变截面连续悬浇梁; 悬臂浇筑施工; Midas 有限元计算

(70+120+70)m Prestressed Concrete Continuously Cantilever-cast Variable Cross-section Beam Analysis Using Midas Software

Xiong Zhihong*

Zhejiang Digital Intelligent Transportation Institute & Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310030

Abstract : This paper presents a finite element analysis of a (70+120+70)m prestressed concrete continuously cantilever-cast variable cross-section beam using Midas software. The study focuses on the internal force calculation during both the construction phase and the completed bridge state. The computed results indicate that, at the ultimate limit state, the bending and shear capacities of the box beam satisfy the verification criteria. In the serviceability limit state, the crack resistance of the normal cross-section and the verification of the main tensile stress in the inclined cross-section are confirmed. Moreover, in the sustained and transient conditions, the verification of normal section compression stress, main compression stress, and construction phase stress is achieved. Starting from Midas finite element calculations, this paper analyzes the bending moments, shear forces, and distribution of internal forces during various stages under the influence of dead loads, live loads, temperature, settlement, and shrinkage, providing valuable insights for the design, calculation, and analysis of similar engineering projects in the future.

Key words : prestressed concrete continuously cantilever-cast variable cross-section beam; cantilever casting construction; midas finite element analysis

引言

大跨径预应力砼变截面连续悬浇箱梁具有整体性好、刚度大、受力性能好、造型美观等特点, 因此无论在公路桥、市政桥还是铁路桥中都得到了广泛的应用。本文依托甬金衢上高速公路金华城区段工程, 对路线中梅溪大桥主桥 (70+120+70) m 预应力砼变截面连续悬浇箱梁采用有限元软件 Midas 进行内力计算分析, 为今后其他类似工程提供一定的借鉴参考。项目路线全长 38.29 公里, 设计速度 120km/h, 双向六车道, 设计荷载公路 I 级。梅溪大桥全长 2170m, 跨越梅溪处主跨采用 (70+120+70) m 预应力砼变截面连续梁一跨过江, 主跨边中跨比 0.583, 采用挂篮法分节段悬臂浇筑施工工艺。

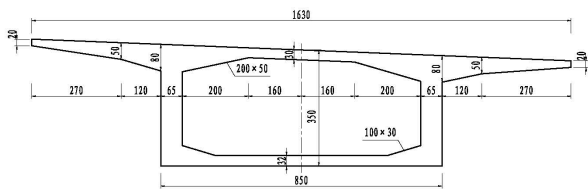
一、模型建立与材料性能

(一) 模型建立

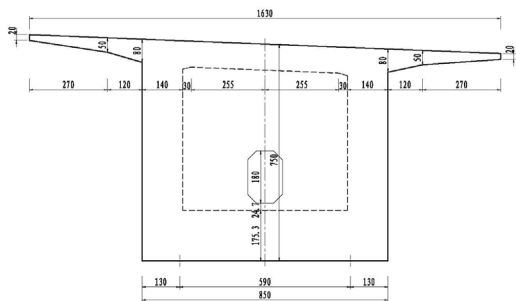
主桥上部结构采用单箱单室箱型截面, 主墩墩顶箱梁根部梁

高 7.5m, 跨中及边跨现浇段梁高 3.5m, 箱梁梁高从跨中至主墩墩顶边缘处按 1.8 次抛物线变化, 箱梁顶宽 16.3m, 腹板采用直腹板, 跨中和墩顶横断面如图 1 和 2 所示。

* 作者简介: 熊志洪, 男, 中国江西省南昌市人, 硕士研究生, 就职于浙江数智交院科技股份有限公司, 从事桥梁设计工作。

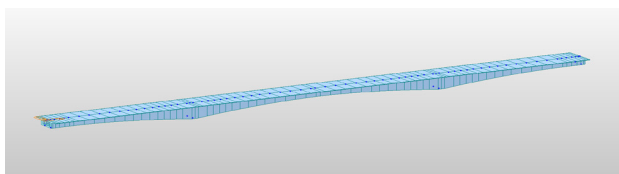


>图1 箱梁跨中横断面图 (cm)



>图2 箱梁主墩墩顶横断面图 (cm)

主桥上部结构内力计算采用有限元软件 Midas/Civil 空间杆系程序进行验算。箱梁共划分为73个单元,74个节点,按全预应力结构类型验算,结构模型如图3所示。



>图3 (70+120+70) m 变截面连续箱梁 MIDAS 模型

(二) 材料性能

1. 混凝土

主梁采用 C55 混凝土,混凝土材料性能符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362-2018)^[1] 的规定。

2. 预应力钢束

箱梁预应力钢束采用标准强度 $f_{pk} = 1860\text{MPa}$ 高强度低松弛钢绞线,公称直径 15.2mm,其力学性能指标符合《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224-2023)^[2] 的规定。

二、作用及荷载组合

(一) 恒载

混凝土容重按 26kN/m^3 计,二期恒载包括护栏、桥面铺装按线荷载 61kN/m 计;端横梁、中横梁及横隔板重量根据实际重量加载。

(二) 活载

汽车荷载:公路 -I 级,按四车道布载。

(三) 温度影响力

体系整体升温 25°C 、降温 25°C 。

箱梁顶板最大温差按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015)^[3] 规范中的梯度温度取值,即 $T_1 = 14^\circ\text{C}$ 、 $T_2 = 5.5^\circ\text{C}$,反温差为正温差乘以 -0.5 。

(四) 基础不均匀沉降

基础不均匀沉降按经验值 $L/5000$ 取值,主墩取 2.4cm 、边墩取 1.4cm 。

(五) 收缩徐变

考虑成桥后 10 年收缩徐变。

(六) 挂篮荷载

悬臂施工时挂篮荷载因挂篮设备不一样,挂篮重量也不一样,模型中根据以往经验按混凝土湿重一半考虑,1#~13# 节段挂篮荷载取 1117kN 计算,边跨合拢段和中跨合拢段挂篮荷载取 365kN 计算,节段湿重根据实际重量单独计。

(七) 荷载组合

承载力极限状态下强度验算按基本组合进行,正常使用极限状态下拉应力、主拉应力验算按频遇组合进行,压应力及主压应力验算按标准组合进行。

三、Midas 有限元计算分析

(一) 施工阶段划分及各施工阶段应力验算

1. 施工阶段划分

根据设计资料拟采用的施工顺序,将施工过程划分为 5 个阶段。

第 1 阶段:箱梁 0 号块施工并张拉 0 号块预应力钢束。

第 2 阶段:悬臂浇筑箱梁 1 ~ 13 号梁段并张拉各节段预应力钢束。

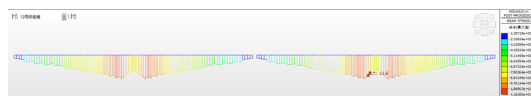
第 3 阶段:拆除悬臂施工挂篮,合拢边跨、张拉边跨合拢段预应力钢束。

第 4 阶段:合拢中跨、张拉中跨合拢段预应力钢束。

第 5 阶段:施工桥面铺装、安装防撞护栏。

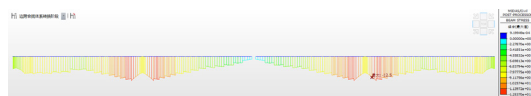
2. 施工阶段应力验算

施工阶段最大悬臂状态结构应力如图 4 所示。



>图4 最大悬臂阶段应力状态 (MPa)

边跨合拢后结构应力如图 5 所示。



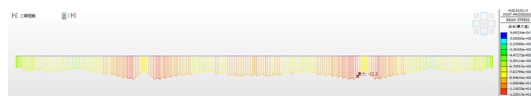
>图5 边跨合拢后应力状态 (MPa)

中跨合拢后结构应力如图 6 所示。



>图6 中跨合拢后应力状态 (MPa)

桥面铺装、护栏等施工完毕成桥后应力如图 7 所示。



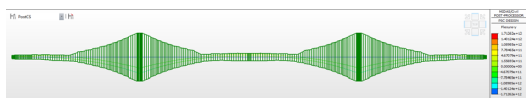
>图7 成桥后考虑二期恒载应力状态 (MPa)

按规范^[1]规定，施工阶段混凝土容许压应力为： $[\sigma'_{cc}] = 0.7 \times 35.5 \times 0.9 = 22.365 \text{MPa}$ ，按不小于0.2%配筋率考虑容许拉应力为： $[\sigma'_{ct}] = 0.7 \times 2.74 \times 0.9 = 1.726 \text{MPa}$ 。根据以上计算结果，施工阶段箱梁上下缘最大压应力为13.4MPa，未出现拉应力，箱梁施工阶段应力满足规范要求。

(二) 持久状况承载力极限状态验算

1. 主梁抗弯验算

承载力极限状态基本组合下，主梁设计弯矩包络图如图8所示。

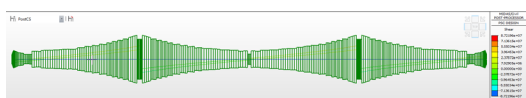


> 图8 基本组合作用主梁弯矩包络图

计算结果表明，主梁承载力极限状态下各验算截面抗弯强度满足规范要求。

2. 主梁抗剪验算

承载力极限状态下主梁剪力包络图如图9所示。



> 图9 基本组合作用主梁剪力包络图

计算结果表明，主梁承载力极限状态下各验算截面抗剪强度满足规范要求。

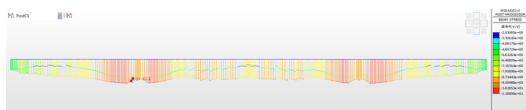
(三) 持久状况正常使用极限状态验算

1. 正截面拉应力验算

按规范^[1]规定，结构在持久状况正常使用极限状态下，对于全预应力混凝土构件，正截面抗裂验算时，截面正应力应满足 $\sigma_{st} - 0.8\sigma_{pc} \leq 0$ 。由计算结果可见，正截面抗裂验算上缘和下缘均未出现拉应力，满足规范要求，主梁拉应力包络图如图10和11所示。



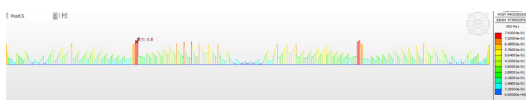
> 图10 频遇组合作用主梁上缘拉应力包络图 (MPa)



> 图11 频遇组合作用主梁下缘拉应力包络图 (MPa)

2. 斜截面主拉应力验算

按规范^[1]规定，全预应力混凝土构件在作用频遇组合下，现场浇筑构件主拉应力应满足 $\sigma_{tp} \leq 0.4f_{tk} = 0.4 \times 2.74 = 1.096 \text{MPa}$ 。经验算，主梁最大主拉应力0.8MPa，满足规范要求，主拉应力包络图如图12所示。



> 图12 频遇组合作用主梁主拉应力包络图 (MPa)

(四) 持久状况预应力混凝土构件应力验算

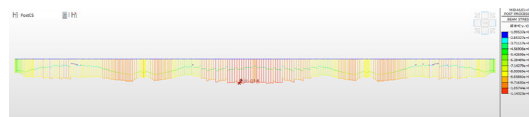
1. 正截面压应力验算

按规范^[1]规定，全预应力混凝土构件在作用标准组合下，主梁

正截面法向压应力应满足 $\sigma_{kc} + \sigma_{pt} \leq 0.5f_{ck} = 0.5 \times 35.5 = 17.75 \text{MPa}$ 。经验算，主梁上缘最大法向压应力为16.8MPa，下缘最大法向压应力为11.4MPa，均满足规范要求，法向压应力包络图如图13和14所示。



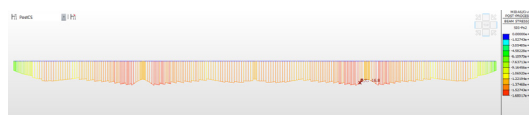
> 图13 标准组合作用主梁上缘压应力包络图 (MPa)



> 图14 标准组合作用主梁下缘压应力包络图 (MPa)

2. 斜截面主压应力验算

按规范^[1]规定，全预应力混凝土构件在作用标准组合下，混凝土构件主压应力应满足 $\sigma_{cp} \leq 0.6f_{ck} = 0.6 \times 35.5 = 21.3 \text{MPa}$ 。经验算，主梁主压应力最大为16.8MPa，满足规范要求，主压应力包络图如图15所示。



> 图15 标准组合作用主梁斜截面主压应力包络图 (MPa)

四、结论及建议

根据文中内力验算结果，梅溪大桥主桥(70+120+70)m预应力砼变截面连续箱梁短暂状况施工阶段拉应力、压应力满足规范要求；持久状况承载力极限状态下抗弯、抗剪强度满足规范要求；持久状况正常使用极限状态下拉应力、主拉应力满足规范要求；持久状况预应力混凝土构件压应力、主压应力满足规范要求。

本文从Midas有限元计算入手，研究了变截面连续悬浇梁在恒载、活载、温度、沉降及收缩徐变等因素作用下弯矩、剪力和各阶段内力分布情况，为今后其他类似工程项目的设计计算、分析研究提供了一定的借鉴参考。

参考文献:

- [1] JTG 3362-2018, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范. [2] GB/T 5224-2023, 预应力混凝土用钢绞线.
- [3] JTG D60-2015, 公路桥涵设计通用规范.
- [4] 尹亮, 杨帆, 李富安, 奥明纪. 杨家砭大桥大跨径变截面箱梁的受力分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2012(9):114-115.
- [5] 宋建雄. 大跨径预应力混凝土变截面连续梁桥设计[J]. 中国水运, 2012(11):200-201.
- [6] 何春龙, 杜德荣, 卢彭真. 大跨度变截面连续箱梁有限元分析[J]. 山西建筑, 2006(6):70-71.
- [7] 刘孝武, 陈加亮, 李小江. P.C.变截面连续箱梁设计计算要点[J]. 工程与建设, 2007(5):718-720.
- [8] 张君军, 欧剑辉, 冯剑. 某变截面连续箱梁桥静力计算分析[J]. 山西建筑, 2013(13):179-181.
- [9] 刘海青. 悬浇变截面预应力砼箱梁桥连续墩墩梁临时固结的受力浅析[J]. 福建交通科技, 2017(3):62-64.
- [10] 龙海. 悬臂施工预应力砼连续梁合龙段施工温度荷载效应分析[J]. 江西建材, 2013(1):133-135.