

# 高墩大跨连续刚构的设计与分析探讨

胡敬梁

华设计集团股份有限公司 江苏 南京 210005

**摘要:** 山地地形复杂, 悬臂构筑高墩大跨径连续刚构, 其主要载荷型之一为风力载重。在施工过程中单T 构达到最大的悬臂状态时, 一般情况下是最不利的工作状态。本文以桑龙高速在建湾档河特大桥为工程背景, 围绕施工期间的T构, 对空心薄壁墩的承载能力和稳定性能进行研究。

**关键词:** 连续刚构; 最大悬臂; 稳定性

连续刚构为变截面预应力混凝土结构, 对于需要大跨径跨越和有景观要求的桥梁, 属于常规桥型。连续刚构通常用于跨越宽阔的河流、山谷等地形复杂的地区, 是一种适合山区修建的桥型, 其特点是桥墩高大、桥跨跨度大, 因此常规连续梁桥已不适合。主梁和桥墩的固结用于连续刚构, 能适应结构变形, 改善上部结构受力状态; 其结构受力和高墩稳定性复杂, 施工难度较大, 但能有效解决地形起伏带来的挑战, 提高道路通行能力和安全通过能力。大跨度连续刚构从上世纪90年代开始在全国推广。

高等级公路发展迅猛, 湖南省公路骨架网络近几年已基本形成。桑龙高速公路起于湖南省张家界市桑植县, 止于湖南省湘西土家族苗族自治州龙山县, 全长约61公里, 设计时速100公里。项目建成后, 将进一步打

通湘西地区与外地的旅游通道, 促进武陵山西部地区发展。本文以在建的湾档河特大桥主桥为例, 对其空心薄壁墩受力和高墩稳定性进行分析, 以期积累并提供设计经验参考。

## 1 工程概况

### 1.1 总体设计

湾档河大桥位于湖南省湘西土家族苗族自治州龙山县境内, 属于中低山区, 是一个以藏族为主的少数民族聚居区。湾档河大桥主桥上部采用长(80+2×150+80)米的全预应力混凝土变截面连续刚构, 结构为单箱单室, 纵向、横向、纵向铺设预应力钢束。空心薄壁墩和双肢薄壁墩为下部结构的主墩, 柱式墩为过渡墩。主桥箱梁采用C60级砼, 主墩墩身采用C45级砼, 承台采用C40级砼, 桩基采用C35级砼。主桥桥型布置如图1。

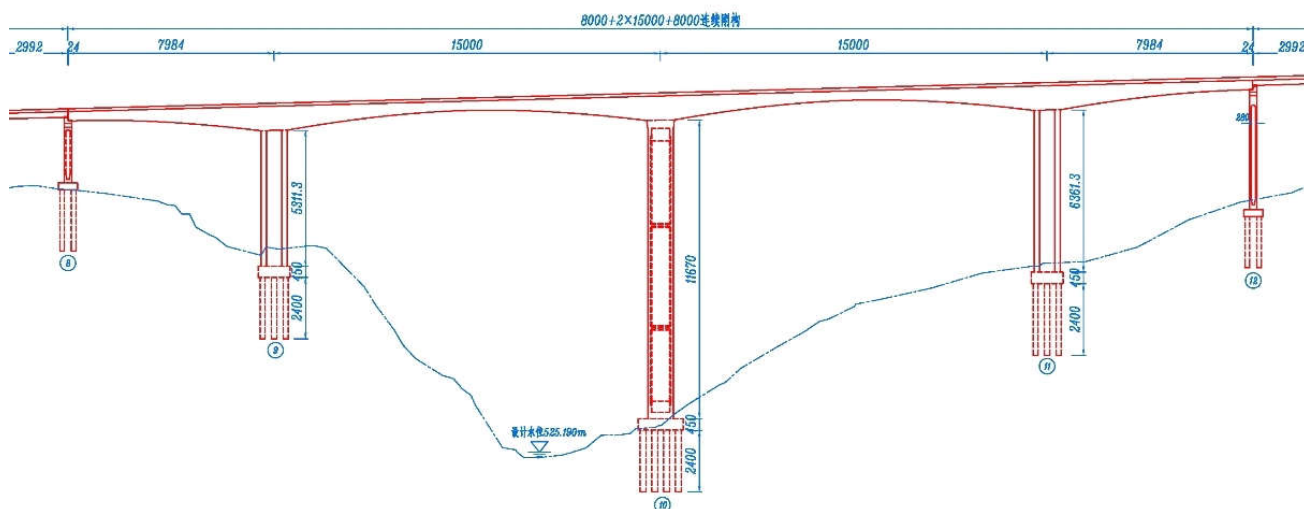


图1 湾档河大桥主桥桥型图

### 1.2 上部结构设计

上部结构主墩处梁高9.3m(详见图2), 跨中梁高3.5m(详见图3)。主桥采用可变断面, 按1.8抛物线改变梁高和底板厚度。箱梁顶板宽12.5米、箱室宽6.8米、悬

臂长2.85米。箱梁顶板厚33公分、底板跨中厚32公分、底板根部厚100公分、腹板厚50公分、70公分、90公分, 厚度两次变更。

预应力系统包括三种类型: 纵向预应力、横向预应

力和竖向预应力。

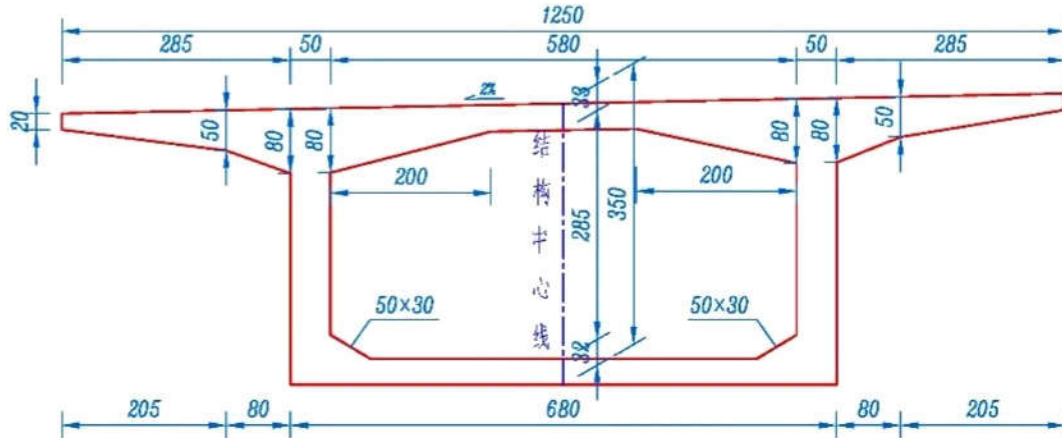


图2 跨中处主梁横断面图

### 1.3 下部结构设计

湾档河大桥中主墩墩高为116.7m，为保证其刚度、强度和稳定性采用空心薄壁墩，横桥向长8.5m，纵向厚8.5m。边主墩采用双肢薄壁墩，横桥向长6.8m，纵向厚2.0m，墩高为53.7m/63.6m。

## 2 计算模型

### 2.1 设计标准

- (1) 汽车荷载等级：公路—I级；
- (2) 设计车速：100km/h；
- (3) 设计洪水频率：1/300；
- (4) 环境类别：I类；
- (5) 地震动峰值加速度0.05g，抗震设防类别为B类，抗震设防烈度为Ⅵ度，抗震措施等级为Ⅶ级。

### 2.2 计算参数

- (1) 预应力混凝土：容重 $\gamma = 26\text{kN/m}^3$ ；
- (2) 沥青混凝土：容重 $\gamma = 24\text{kN/m}^3$ ；
- (3) 桥梁标准横断面布置：护栏(0.5m)+行车道(11.5m)+护栏(0.5m)；
- (4) 温度作用：整体升降温 $25^\circ\text{C}$ ，竖向温度梯度效应按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015)第4.3.12条规定，正温差 $T_1 = 14^\circ\text{C}$ 、 $T_2 = 5.5^\circ\text{C}$ ，负温差 $T_1 = -7^\circ\text{C}$ 、 $T_2 = -2.75^\circ\text{C}$ 。
- (5) 结构设计安全等级：一级，结构重要性系数 $\gamma_0 = 1.1$ ；
- (6) 基础不均匀沉降：主跨径 = 150m的箱梁按10mm计；
- (7) 风荷载：根据《公路桥梁抗风设计规范》

作者简介：胡敬梁(1990年9月)，男，汉族，山东东阿人，研究生学历，工程师。

(JTG/T3360-01-2018)计算。风荷载1是指根据规范取 $1.5\text{kN/m}$ 的横向风荷载，与车辆的活荷载同时作用并叠加计算的横向风荷载；风荷载2是指以100年一遇的局部重现期为标准进行风速测试和计算。

### 3 主桥静力验算

构造空间有限元模型采用Midas Civil2021构建，见图5。全桥共分为657个单元，708个节点。在主梁单元节点与支座上部节点之间采用刚性连接模拟，在支座上部节点与下部节点之间采用弹性连接模拟，一般支承模拟桥墩节点。结构几何计算模型如下：

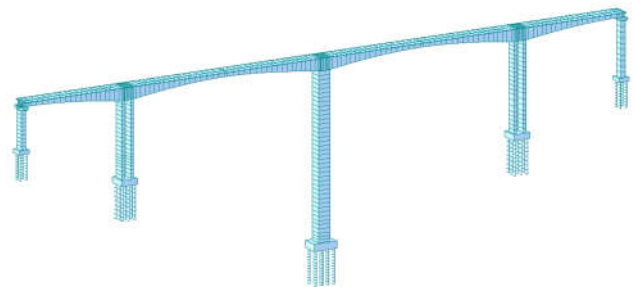


图3 主桥空间有限元模型

#### 3.1 上部结构纵向计算

##### 1. 正常使用极限状态抗裂验算

频遇效应组合下最不利位置：中跨合龙段位置截面上缘压应力为 $0.9\text{MPa}$ ，且主梁构件截面上缘未出现拉应力；中跨合龙段截面下缘最小压应力为 $2.25\text{MPa}$ ，且主梁构件截面下缘未出现拉应力。

中主墩处主梁最大主拉应力为： $1.13\text{MPa} < 0.4f_{tk} = 0.4 \times 2.85 = 1.14\text{MPa}$ ，满足规范要求。本次验算，主梁竖向预应力作为储备，而未考虑竖向预应力作用。

频遇组合效应下，主梁抗裂验算满足要求。

##### 2. 持久状况构件应力验算

标准值组合下主梁正截面上缘最大压应力为  $16.61\text{MPa} < 0.5f_{ck} = 0.5 \times 38.5 = 19.25\text{MPa}$ ，满足规范要求。标准值组合下主梁最大主压应力  $16.61\text{MPa} < 0.6f_{ck} = 0.6 \times 38.5 = 23.1\text{MPa}$ ，满足规范要求。

在持久状况下，主桥的混凝土应力满足要求。

### 3. 承载能力极限状态强度验算

承载能力极限状态下，主桥正截面抗弯强度满足要求，且有一定富余：中跨跨中位置，最大弯矩富余36.9%；中支点处最小弯矩：中主墩富余56.5%，边主墩富余59.5%。

#### 3.2 下部结构计算

在Midas模型中，对外部荷载进行组合，提取墩底截面最不利组合内力，进行正截面双向偏心受压验算。本次计算不考虑劲性骨架及空心墩箱室内侧一排钢筋作用。主墩横桥向、纵桥向计算长度系数均按1.8取值。本文以中主墩为例进行验算。

##### 1. 成桥状态

选取中主墩底纵桥向、横向最不利工况，相应工况计算结果：横桥向富余58%；纵桥向富余91.5%。

成桥状态下，墩底纵桥向、横向满足承载能力要求。

##### 2. 最大悬臂状态

验算荷载包括：

###### 1) 施工荷载

挂篮、施工机具及施工人员荷载。挂篮重量为最大节段（不含0号块）重量的0.35~0.45倍，一般取值为0.4倍。另外需考虑一侧挂篮脱落的工况。

###### 2) 不平衡施工荷载

最后节段自重取值：一侧按理论重力的1.2倍取值，另一侧按理论重力的0.8倍取值。

###### 3) 主梁的不均匀性

单T构自重取值：一侧取理论重力的1.025倍，另一侧取理论重力的0.975倍。

###### 4) 施工阶段风荷载

施工阶段风荷载的设计重现期系数，根据施工时间长短，按照《公路桥涵抗风设计规范》（JTG/T 3360-01-2018）的有关条款取用。单T构不平衡风荷载分两侧取值：一侧为设计风荷载的100%，另一侧为设计风荷载的50%。

选取中主墩底纵桥向、横向最不利工况，相应工况计算结果：横桥向富余27%；纵桥向富余1.1%。

最大悬臂状态下，墩底纵桥向、横向满足承载能力要求。

##### 3. 桥墩抗裂验算

主桥3个主墩墩身，在正常使用极限状态下，裂缝计算结果满足规范裂缝限值0.2mm的要求。

### 3.3 稳定性验算

主桥稳定性验算分析，分别从成桥状态、施工过程中T构的最大悬臂状态两种工况考虑。

#### 1. 成桥状态

主梁的荷载作用包括：结构自重、预应力、汽车荷载、风荷载，同时考虑温度梯度、整体升降温、混凝土收缩等。

主桥屈曲分析验算结果表明：中主墩一阶为纵向失稳，特征值系数为178.4；二阶为桥墩反对称失稳，特征值系数为195.7。

#### 2. 最大悬臂状态

单T构的荷载作用包括：结构自重、不平衡施工荷载、预应力、施工阶段风荷载、主梁的不均匀性，同时考虑温度梯度、整体升降温等。

最大悬臂状态下，单T构屈曲分析验算结果表明：中主墩一阶为横向失稳，特征值系数为192.9；二阶为纵向失稳，特征值系数为365.0。

计算结果表明，主桥成桥状态及施工过程中单T构的最大悬臂状态，两种工况的稳定性均高于一类稳定安全系数的要求，结构具有较好的稳定性。

## 4 施工注意事项

高墩大跨连续刚构在施工过程中，应对地基、基础、墩台、主梁等关键部位进行仔细检查和监测，确保建筑物的安全稳定。选用符合国家标准的材料和设备，严禁使用劣质材料 and 不合格产品。严格按照规定的施工工艺和工序进行操作，确保施工过程的连续性和稳定性。加强施工现场的安全管理，确保施工人员的人身安全和设备的安全运行。

在施工过程中应加强对环境的保护，减少对周边环境的影响。加强对施工现场的清洁和整理，保持现场整洁有序。加强对施工进度控制，确保工程按计划顺利推进。加强对施工成本的控制，确保工程在预算内顺利完成。在施工过程中加强与业主、监理等各方的沟通协调，确保工程顺利进行。

对于高墩大跨连续刚构，特别注意高处作业的安全防护措施，确保施工人员的人身安全。在进行大跨度连续刚构施工时，应加强对结构稳定性的控制，采取相应的措施确保结构在施工过程中的稳定。加强对垂直度和水平度的控制，确保结构符合设计要求。加强对混凝土浇筑和养护的控制，确保混凝土质量达到设计要求。加强对预应力张拉和灌浆的控制，确保预应力效果达到设

计要求。

#### 结束语

本文以湾档河大桥为例，研究了连续刚构结构的性能，包括其力学特性、稳定安全系数计算以及屈曲分析，并通过Midas软件对连续刚构结构模型搭建、数值模拟和分析。

自90年代，连续刚构在国内得到广泛应用。然而由于其结构复杂性和非线性特性，对其进行精确分析和设计仍具有一定的挑战性。因此，建议在未来的工程实践中，应进一步研究连续刚构结构的性能，以提高其分析和设计的准确性。本文的研究成果将提供一定参考，希望本文的研究能为连续刚构的设计和 optimization 贡献一份微薄

的力量。

#### 参考文献

- [1]《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362-2018)
- [2]《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范应用指南》
- [3]管锡琨,张涵,齐振国《山区高墩大跨连续刚构桥设计》
- [4]周远智,朱金波,胡靖.《高墩大跨连续刚构桥受力性能分析》.
- [5]袁宏波.《某山区高墩大跨连续刚构设计与分析》
- [6]陆娟.《大跨高墩连续刚构桥设计与计算分析》