

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.08.030

基于偏载作用下的 Y 形墩受力分析方法与优化设计研究

刘江军¹,石兆敏²,余茂峰²
(1.嘉兴市快速路建设发展有限公司,浙江 嘉兴 314000; 2.浙江数智交院科技股份有限公司,浙江 杭州 310006)

摘 要:以浙江嘉兴某快速路项目为依托,通过建立下部结构 Y 形墩杆系模型和有限元实体模型进行偏载作用下的受力分析对比,并结合拉压杆理论揭示杆系模型在分析 Y 形墩时难以反映结构真实的受力情况,实体模型分析的结果更为合理。在此基础上进一步提出针对 Y 形墩受力的最优设计准则,并据此进行优化设计,为以后同类型桥梁下部结构的设计、研究提供参考。
关键词:Y 形墩;有限元分析;模型对比;拉压杆理论;优化设计
中图分类号:U443.2 **文献标志码:**B **文章编号:**1009-7716(2023)08-0120-04

0 引 言

Y 形墩由于造型美观、通透性好,且墩身占地面积小,易于桥下空间利用,因此近些年在市区和近郊高架路段得到广泛应用。由于 Y 形墩上的盖梁往往需要张拉预应力,可保证大挑臂的盖梁拉应力水平得到有效控制,防止开裂。但墩顶往下的 Y 形分叉侧面,由于横桥向弯矩作用导致该位置产生较大的竖向拉力,需根据计算对墩身侧面配置适当数量的主筋,避免承载力不足或裂缝的产生。

目前对于 Y 形墩受力设计计算,多数根据平截面假定并建立杆系模型进行分析计算。但目前 Y 形墩上部所接的大挑臂盖梁墩顶处的截面高度基本都达到 2.0 m 以上,实际上该区域受力更接近应力扰动区情况,采用杆系模型进行分析可能导致结果偏差较大。因此,选择准确的力学模型,对 Y 形墩的合理设计至关重要。

常用的桥墩分析模型主要有 3 种:杆系模型、实体单元模型和拉压杆模型等。国内外学者对此也做了大量的分析研究。周浩^[1]采用实体有限元模型分析计算,并根据应力迹线绘制拉压杆简化模型,分析各参数对双柱花瓶墩横向系杆力的影响,并给出一种简便的计算方法。叶列平等^[2]根据美国 ACI 318M-05 规范 D 区拉压杆模型的方法,按中国规范的计算公式,提出了钢筋混凝土深梁承载力的拉压杆模型计算方法。潘一平等^[3]按照杆件中心与应力迹线重合的准则构建了花瓶墩的拉压杆模型,进而得出墩顶

拉力的简易计算方法。苗通、胡剑等^[4-5]通过对比不同理论方法下的建模分析结果,认为拉压杆模型方法所得结果与有限元结果的差值最小,在进行初步设计及配筋时,可作为简化计算依据。

本文参考上述研究的分析方法,针对浙江嘉兴某快速路项目 Y 形墩的结构特点,研究偏载作用下上述受力分析方法的适用性与准确性,在此基础上进一步提出针对 Y 形墩受力的最优设计准则,并据此进行优化设计,为以后同类型桥梁下部结构的设计、研究提供参考。

1 计算模型概述

1.1 工程背景

浙江嘉兴某快速路为节约利用土地、美化桥下空间,约 85%的里程范围采用高架桥形式与既有地面道路共线,且地面道路维持现状不变。高架桥桥墩采用大悬臂 Y 形墩方案,设置在地面路中分带 6.0 m 范围内。Y 形墩预应力盖梁全长为 25.5 m,墩顶处高 2.6 m,墩柱“落地”宽度 4.5 m,分叉上部宽度 8.5 m。高架桥路段标准横断面如图 1 所示。

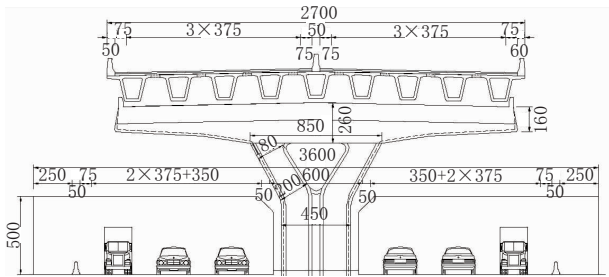


图 1 高架桥路段标准横断面

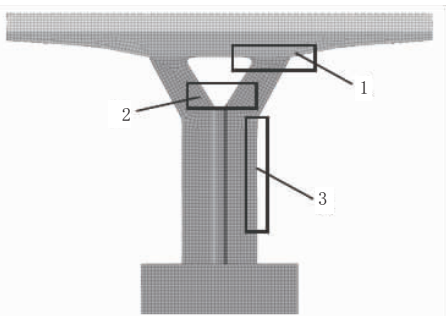
1.2 建模过程

Y 形墩 Y 形分叉根部的受力状况需要重点关

收稿日期: 2022-08-18
作者简介: 刘江军(1974—),男,本科,高级工程师,从事高速公路建设管理工作。

注。设计过程中,通过分别建立杆系模型和实体模型进行对比,明确杆系模型和实体模型之间计算结果的差异。通过更为精确的计算方法结合相应理论对Y形墩局部优化设计。其中,杆系单元模型采用Midas Civil建模分析,下部结构模型共划分为194个单元,预应力钢绞线共18根。

有限元实体模型采用Midas FEA软件,在多种荷载的标准组合和基本组合荷载作用下对结构进行计算分析。为了后续表述上的方便,对Y形墩的部分区域指代统一如图2所示。



注:1表示Y形墩端部;2表示Y形墩根部;3表示墩身腰部

图2 Midas FEA有限元实体模型示意

1.3 荷载计算工况

为简化分析过程,仅考虑主要荷载的作用,包括下部结构自重、架梁荷载、二期荷载、预应力荷载、汽车偏载等。

对于Y形墩,分析认为最不利的汽车偏载情况是以远离偏载侧Y形分叉根部出现最大拉应力作为评价标准。分别取单车道、双车道、三车道等不同情况分别计算,并考虑车道折减系数的影响。经计算,双车道加载时为偏载的最不利工况,荷载加载位置如图3所示。

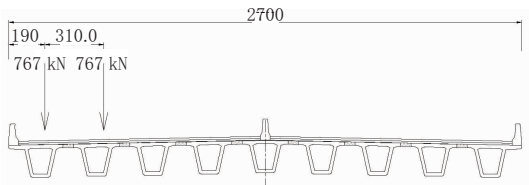


图3 汽车偏载作用加载位置示意

本次分析主要关注桥墩局部拉应力区域受力情况。该部分主要由汽车偏载引起,其分项系数取1.4;恒载部分对结构承载能力有利,分项系数取1.0。具体荷载组合见表1。

2 Y形墩建模分析结果

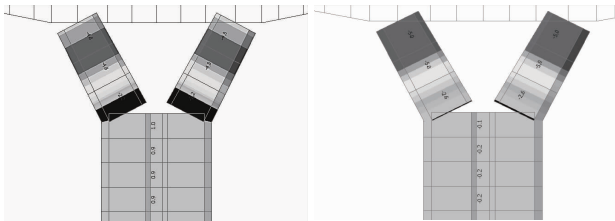
2.1 杆系模型分析结果

如图4所示,基本组合作用下,考察杆系模型中墩柱各个位置的最大拉应力(或最小压应力),计算

表1 荷载计算工况组合

组合类型	荷载工况组合	备注
标准组合	$1.0 \times (\text{自重} + \text{梁重} + \text{二期} + \text{预应力}) + 1.0 \times \text{活载}$	活载考虑汽车单侧偏载
基本组合	$1.0 \times (\text{自重} + \text{梁重} + \text{二期} + \text{预应力}) + 1.4 \times \text{活载}$	活载考虑汽车单侧偏载

得到杆系模型的Y形墩分叉出现双侧受压情况,远离偏载侧压应力较小,偏载情况下存在2.2 MPa压应力富余;而墩柱下肢远离偏载侧随即出现1.0 MPa拉应力。标准组合作用下,考察杆系模型中墩柱各个位置的最大拉应力(或最小压应力),计算得到杆系模型的Y形墩分叉出现双侧受压情况,远离偏载侧压应力较小,偏载情况下存在2.6 MPa压应力富余;而墩柱下肢远离偏载侧随即出现0.1 MPa拉应力。综合标准组合和基本组合计算的结果,拉应力和压应力在相邻位置突变是不符合常理的。



(a)基本组合

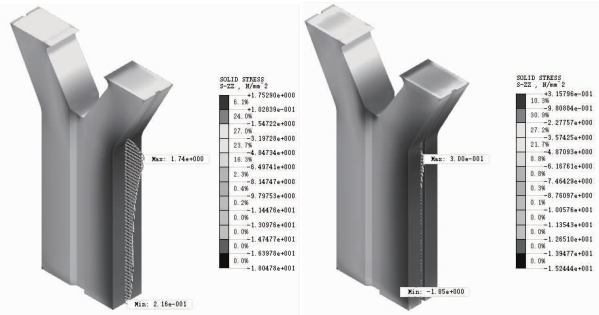
(b)标准组合

图4 杆系模型计算结果

2.2 Y形墩实体模型分析结果

Y形墩实体模型考察各个工况组合作用下桥墩部分Z方向上的拉压应力。

图5所示实体模型计算结果表明,在Z方向上的拉应力最大位置出现在Y形分叉底部和腰身的转折点,基本组合作用下拉应力为1.75 MPa,标准组合作用下拉应力为0.32 MPa(见表2)。对于下肢墩身而言,偏载侧完全为受压状态,远离偏载侧腰部出现显著的拉应力区域,但拉应力数值未超过Y形分叉腰部转折区域的拉应力数值。



(a)基本组合

(b)标准组合

图5 实体模型计算结果

2.3 分析结果对比

根据计算结果,杆系模型在汽车偏载计算过程

表2 不同工况下的拉应力计算值

荷载工况组合	Z向拉应力
标准组合	0.32 MPa(远离偏载侧腰部)
基本组合	1.75 MPa(远离偏载侧腰部)

中,对Y形墩分叉部分的受力情况有一定参考作用,但拉应力和压应力在相邻位置突变是不符合常理的。且与实体模型计算结果相比,杆系模型在基本组合荷载作用下,Y形墩分叉部分受力大小差别达到了6 MPa以上。主要原因是分叉部分长宽比较小,不满足梁单元的使用条件,实际情况更接近应力扰动区范围的受力情况,采用杆系模型计算得到的受力状态不够准确。综上所述,对于Y形墩而言,杆系模型在受力大小和应力区域分布上存在较大的误差。因此,有必要借助实体建模,结合拉压杆模型计算方法进一步分析。

3 Y形墩拉压杆模型分析研究

构建拉压杆模型可采用荷载路径法、应力迹线法、力流线法、最小应变能准则、最大强度准则^[6-8]等方法。本次研究的内容借助有限元实体模型,根据应力迹线进行分析。

模型的应力迹线反映的是结构内部的力流传递路径,直观显示在外荷载作用下结构内部拉压应力流的位置及走向,在构建拉压杆模型时是在构件的受拉区建立拉杆,受压区建立压杆,由此拟合拉压杆的位置。因此,要保证拉杆、压杆的布置位置与构件的主应力的迹线走向基本一致。

图6为实体模型中汽车偏载作用下下部结构最大主应力的应力云图,据此大致拟合出应力迹线如图7所示。

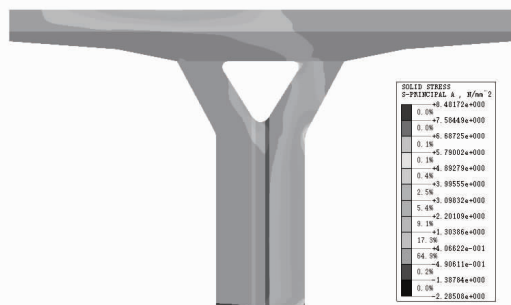
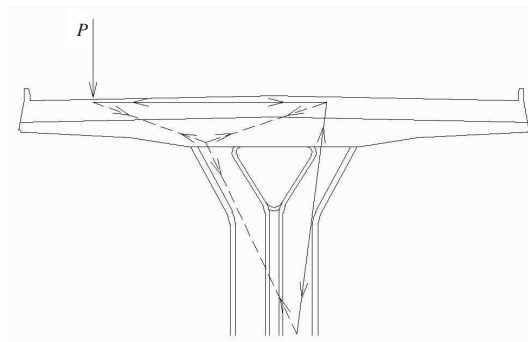


图6 汽车偏载作用下实体模型最大主应力云图

根据应力迹线示意图,在汽车偏载作用下,Y形墩下部结构存在两处拉杆。第一处位于盖梁上缘,该位置由于盖梁张拉预应力可抵消拉杆效应。实际上该处荷载满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥



注:虚线表示压杆,实线表示拉杆。

图7 汽车偏载下拉压杆模型应力迹线示意图
涵设计规范》(JTG 3362—2018)8.4.7条要求即可:

$$\gamma_0 T_{1,d} \leq f_{sd} A_s$$

第二处拉杆Y形墩由远离偏载侧分肢斜向下传递至墩柱底部。应力迹线显示,在移动荷载偏载作用下,远离偏载侧分肢处的拉应力并不是沿分肢的轴线方向传力,而是以最近传递路径方式向下传力。因此,在远离偏载侧分肢上下端各有一处角点邻近拉杆,导致出现集中应力现象。且下端截面距离拉杆中心更近,导致拉应力效应更突出,这与应力云图中两处角点出现拉应力的分析结果相一致。

4 Y形墩方案优化设计

4.1 最优设计准则

根据前述的计算可知,第二处拉杆是以最近传递路径方式向下传力,因此,Y形分叉角度对Y形墩的拉应力大小和分布范围都有影响。设定Y形墩两侧分叉角度为0°、30°、45°、56°(实际设计角度)、70°分别计算Z向拉应力。从应力大小的变化幅度来看,桥墩腰部(区域3)的应力变化幅度相较于Y形墩端部(区域1)和根部(区域2)变化幅度较小,且角度增大,Y形墩端部(区域1)的拉应力减小,根部(区域2)的拉应力增大。综上所述,端部(区域1)、根部(区域2)的受力受角度的变化影响较大,且桥墩腰部(区域3)的拉应力一直是需要重点关注的位置。在实际工程设计中,若考虑多处局部区域的配筋较为繁琐与不便,分析认为最优设计情况应当尽量平衡Y形墩端部、根部和腰部的拉应力大小,防止3处局部区域出现过大的拉应力而需要额外配筋的情况。

4.2 Y形分叉最优角度分析

基本组合荷载作用下,不同的分叉角度的Y形墩分叉部分最大主应力、端部最大主应力、根部最大主应力结果见表3。

将各个角度情况下3个区域应力与应力之和绘制如图9所示。

表 3 不同分叉角度各区域拉应力

单位:MPa

分叉角度	端部应力	根部应力	腰部应力
30°	2.66	0.13	2.46
45°	1.32	0.23	2.10
56°(见图8)	0.49	0.33	1.75
70°	0.23	1.33	1.45

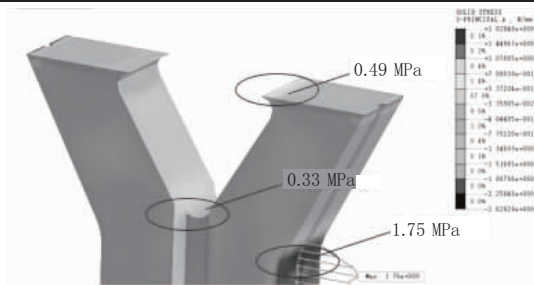


图 8 56°时 Y 形分叉、端部和根部应力情况

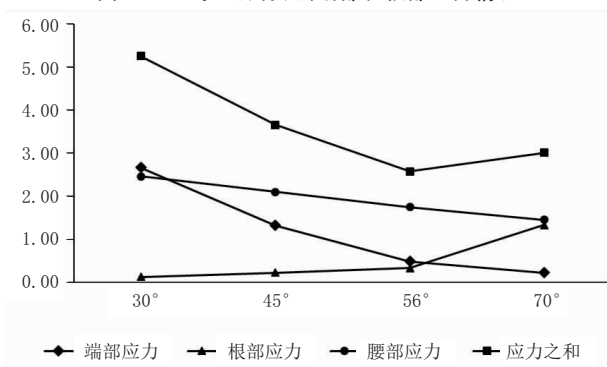


图 9 Y 形墩分叉各区域应力随分叉角度变化情况

由分析结果可知,随着角度增大,端部和腰部的应力减小,根部应力增大,三者应力之和先减小后增大。在交叉角度 60° 左右时,根部、端部和腰部 3 处的应力之和最小,且端部应力与根部应力大小相近,为 0.5 MPa 左右,拉应力状态较为均衡。因此可认为,分叉角度在 60° 左右时,Y 形墩受力最优。

5 结 语

(1)杆系模型和实体模型差异较大,杆系模型在受力大小和应力区域分布上存在较大的误差。主要原因是分叉部分长宽比较小,不满足梁单元的使用条件,实际情况更接近“深梁”模型。因此,分析Y形

墩局部受力情况时, 杆系模型受力大小和状态都不够准确。

(2)对于受力形式较复杂的 Y 形墩,如偏载作用时,参考《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018) 拉压杆模型仅能计算得到主应力方向与 Z 方向拉应力一致时的情况,事实上对于局部的应力集中区域,不一定完全满足平截面假定,因此无法采用规范相关公式推算。结合实际结构受力情况,遵循应力迹线规律,并借助实体建模分析计算得到的最大拉应力更接近实际情况,并可用于指导墩身配筋设计。

(3)实体模型分析结果显示,在基本组合作用下,偏载侧腰部出现拉应力 1.75 MPa,应当给予关注。

(4)随着角度增大,端部和腰部的应力减小,根部应力增大,三者应力之和先减小后增大。在交叉角度 60° 左右时,根部、端部和腰部 3 处的应力之和最小,且端部应力与根部应力大小相近,为 0.5 MPa 左右,应力状态较为均衡。因此可认为,分叉角度在 60° 左右时,Y 形墩受力最优。

参考文献:

- [1] 周浩.双柱花瓶墩横向往系杆力分析[J].城市道桥与防洪,2012,157(6):117-121.
- [2] 叶列平,孟杰,王宇航.拉-压杆模型在钢筋混凝土深梁设计中的应用[J].建筑科学与工程学报,2009,26(2):81-86.
- [3] 潘一平,刘淑敏,巩美杰.基于拉-压杆模型的花瓶墩墩顶拉力简易估算方法[J].现代交通技术,2015,12(4):42-44,88.
- [4] 苗通,戴杰.花瓶墩受力实用分析方法对比[J].水利与建筑工程学报,2018,16(5):42-47.
- [5] 胡剑,程龙.基于拉压杆模型的花瓶桥墩受力分析[J].公路,2012(5):175-178.
- [6] 岑光锋.基于拉压杆模型的过渡墩盖梁受力分析研究[D].贵阳:贵州大学,2021.
- [7] 贺科,杜磊,谭巨良,等.基于拉压杆理论的桥墩结构受力分析[J].交通科技,2022(3):84-89.
- [8] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴，为您提供平台，携手共同发展！

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com