

花瓶墩墩帽计算分析方法

刘波

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610000)

摘要: 随着经济和社会的发展,城市桥梁建设对造型美观及节约用地的要求不断增高,高架桥双支座独柱花瓶墩应用也日益增多。由于以往设计的花瓶墩出现了一定的墩顶开裂情况,现结合成都地区某高架桥工程,利用实体有限元模型分析结果与常用的简单计算模型计算结果进行对比分析,检验各种常用简单计算模型的合理性,为以后类似桥墩的设计提供必要的经验借鉴。

关键词: 拉压杆;花瓶墩;独柱墩;双支座

中图分类号: U443.22

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)04-0118-04

0 引言

近年来,随着我国经济的高速增长,城市建设规模不断增大,交通车流量随之迅猛增加,城市高架桥和跨线桥的建设日益增多。在城市桥梁建设中,为实现人民对美好生活的向往与审美要求,建设单位不再单纯地追求经济实用,而开始追求技术经济的合理性,以及桥梁与环境景观的协调性。

在城市高架桥和跨线桥中,桥梁桥墩的造型对桥梁景观起到十分重要的作用。花瓶墩在城市桥梁的应用中具有节约用地、造型美观、对上部结构适应性较强等优点,因此近些年在国内城市桥梁建设中被广泛地运用。

我国桥梁早期建设中,上部结构采用预制梁较多,相应的桥墩多采用盖梁柱式桥墩,外侧边梁支反力作用点至墩柱与盖梁交接边缘的距离大多超过盖梁截面高度尺寸,盖梁计算可以采用常规的悬臂梁模型^[1]。随着花瓶墩的应用增多,部分工程设计人员由于思维惯性或设计习惯,将此方法简单推广应用于花瓶墩墩帽的设计中,未考虑到花瓶墩盖梁或墩帽截面高度增加后结构力流的变化,使得部分桥墩出现了墩顶开裂的情况^[2]。大部分工程设计人员意识到花瓶墩盖梁或墩帽与常规悬臂梁受力的区别,参考建筑牛腿模型^[3]或承台短悬臂撑杆一系杆体系计算方法^[4]进行桥墩盖梁配筋验算,同时采用实体分析模型进行复核。随着花瓶墩应用的普及,交通部在

2018年发布的文献1中针对双支座独柱型桥墩的盖梁或墩帽给出了简便的计算公式,提出了拉压杆模型的构形建议及顶部拉杆内力计算方法^[1]。

综上所述,本文根据某一实际桥梁工程,通过常用的几种计算分析模型对桥墩盖梁或墩帽进行分析计算和对比,以期对双支座花瓶墩的设计与验算提供一定的经验借鉴。

1 工程概况

某城市主干路高架桥为单幅桥梁,桥梁平面线形为直线,道路纵坡坡度2.0%,桥跨布置为3×30 m,正交布置,桥宽15.5 m。上部结构为预应力混凝土连续箱梁,桥墩墩型为独柱型花瓶墩,桥墩基础采用承台及桩基础,主梁采用满堂支架现浇施工。

桥梁的主体结构设计安全等级为一级,汽车荷载采用城-A级,设计地震动峰值加速度为0.05g,人群荷载采用3.5 kN/m²。

3号桥墩总高度10 m,纵桥向宽度2 m,横桥向墩底宽度4 m,横桥向墩顶宽度10 m,桥墩墩帽(顶部)悬臂端高度1.2 m,墩帽悬臂端与墩底等截面段采用半径为4 m的圆弧过渡,圆弧过渡段高度为3.9 m。横桥向采用双支座,支座中心间距为7.5 m,支座中心距悬臂端1.25 m,支座垫石平面尺寸为1.0 m×1.0 m。桥墩立面如图1所示。

上部结构采用Midas Civil(2022版本)建立模型进行分析,3号桥墩单个支座各作用下支反力标准值为:恒载支反力6 969.7 kN,预应力次效应支反力-912.5 kN,梯度降温支反力133.0 kN,汽车荷载支反力1 180.4 kN,人群荷载支反力591.7 kN,地基沉降支

收稿日期: 2023-05-08

作者简介: 刘波(1988—),男,工学学士,工程师,从事桥梁工程设计工作。

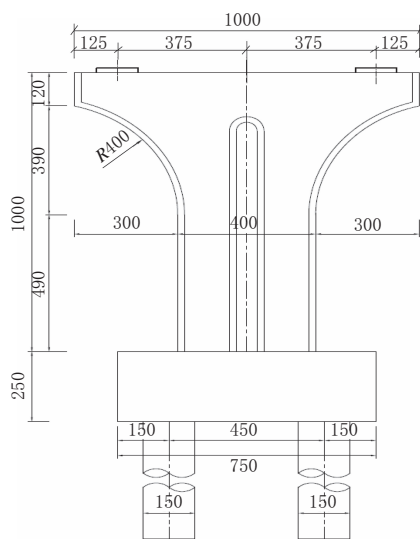


图 1 花瓶墩立面图(单位:cm)

反力 75.4 kN。作用基本组合下支反力为 10 892.6 kN。

2 几种常用的计算模型

2.1 悬臂梁模型

此方法主要假设为:将桥墩墩帽及过渡段部分简化为变截面梁、墩底等截面部分简化为柱,梁与柱之间采用刚臂连接,桥墩墩帽简化为对称的悬臂梁模型。假定桥墩各个组成部分(梁、柱)受力均满足平截面假定。该方法主要适用于外边梁作用点与柱边缘的距离大于盖梁高度尺寸的情况^[1]。

2.2 牛腿模型

牛腿的受力特征可以用顶部水平的纵向受力钢筋作为水平拉杆和牛腿内的混凝土斜压杆组成的简化三角桁架模型描述。竖向荷载将由水平拉杆承担的拉力和斜压杆承担的压力分担,一般满足规范计算公式要求的牛腿不再作受剪承载力计算,同时计算公式对沿下边柱的牛腿截面有效高度作出一定的限制^[3]。

严格来说,牛腿模型属于拉压杆模型的一种,由于桥梁设计规范中并未对牛腿的算法有明确要求,但在建筑结构规范中对此有明确要求,因此本文将牛腿模型单独归为一种计算模型。

2.3 拉压杆模型

根据圣维南原理,花瓶墩的墩顶部分属于应力扰动区,可采用拉压杆模型进行简化及分析。拉压杆模型是从混凝土连续体内抽象出的一种结构简化力流分析模型,由压杆、拉杆和节点组成,用来反映结构内在的传力路径。构建拉压杆模型应当符合受力平衡要求,并应正确反映结构内部力流的传递特征,

同时应尽量满足拉杆与压杆的最小夹角不小于 25° 的要求^[4-5]。

文献 1 发布之前,在双支座花瓶墩设计中,对支点与柱边缘的距离小于盖梁高度尺寸的情况,主要参考承台设计的“撑杆-系杆体系”方法计算悬臂部分的抗弯承载力。上述规范发布后,针对布置双支座的独柱墩(矩形、倒梯形、花瓶形)的墩帽(顶部)设计提出具体的计算公式,以计算桥墩顶部横向受拉部位的抗拉承载力,同时规定拉杆钢筋配置于盖梁顶部 2 h/9 高度范围内。

2.4 实体分析模型

对一些形体或受力复杂的非杆系结构,不能够按传统的杆系经典结构力学的方法求解其各截面内力,可建立实体有限元模型,并采用弹性力学的方法求解其主拉应力。对开裂前后受力状态无明显变化的非杆系钢筋混凝土结构构件,按承载能力计算所需的抗拉钢筋配筋量可由弹性理论分析方法求得的主拉应力图的面积计算确定。当应力图形类似线性分布时,可采用应力积分将其折算为截面内力,并按相关规范进行配筋计算^[6]。

3 悬臂梁模型计算分析

将盖梁或墩帽水平划分为 16 个单元,17 个节点,建模时倒圆角按实际高度建立截面,端点梁高 1.2 m,支点梁高 5.1 m,底截面按圆弧倒角 R=4 m 过渡。盖梁或墩帽以下墩高 4.9 m,将墩底等截面部分竖向划分为 10 个单元,11 个节点。墩帽与墩柱等截面段之间采用刚接,墩底采用固定连接。墩柱盖梁悬臂梁模型如图 2 所示,悬臂梁抗弯承载力验算图见图 3 所示。

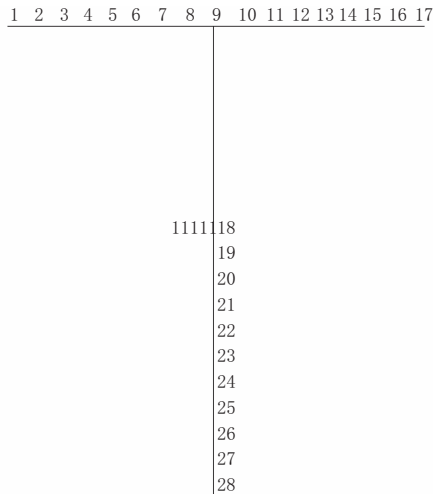


图 2 墩柱盖梁悬臂梁模型

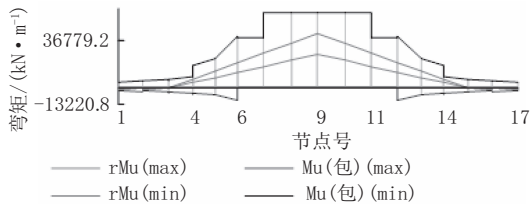


图3 悬臂梁抗弯承载力验算图

盖梁钢筋按常规悬臂梁进行配置,其中1-3号、14-16号单元顶部输入一层共计20根直径28 mm钢筋,4-6号、11-13号单元顶部输入两层共计40根直径28 mm钢筋,7-10号单元顶部输入三层共计60根直径28 mm钢筋。将上述支反力标准值作为集中力输入支座中心位置(节点3、节点15)。

如图3所示,可知各节点抗弯承载力均满足要求。悬臂部分弯矩分布为三角形,可知钢筋布置也应符合一般悬臂梁的布置习惯,从端部至悬臂根部不断增加。

4 拉压杆模型计算分析

按照文献1第8.4.7条,采用拉压杆模型计算时, $s=7.5$ m, $b'=4$ m, $h=1.2+3.9=5.1$ m。花瓶墩拉压杆模型简图如图4所示。

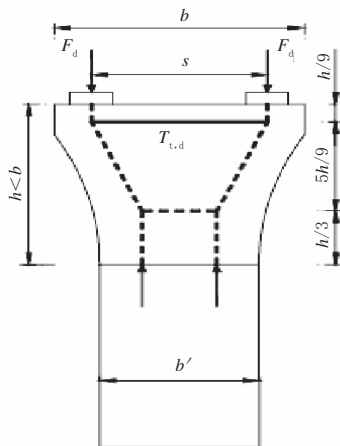


图4 花瓶墩拉压杆模型简图

墩顶横向拉杆基本组合内力设计值为:

$$T_{t,d} = 0.45F_d(2s-b')/h = 0.45 \times 10\,892.6 \times (2 \times 7.5 - 4)/5.1 = 10\,572.3 \text{ (kN)}。$$

墩顶横向拉杆所需钢筋面积为:

$$A_s = \gamma_0 T_{t,d}/f_{sd} = 10\,572.3 \times 103/330 = 32\,037 \text{ (mm}^2\text{)}$$

采用直径 $\phi 28$ mm钢筋,则所需钢筋根数为 $32\,037/615.8=52$ (根)。此时拉杆内横向钢筋可布置在高度为1.13 m的范围内,且横桥向沿墩顶通长布置,这与悬臂梁的配筋习惯有本质的不同。

5 实体有限元模型计算分析

采用Midas FEA NX 2022建立实体模型进行线

性静力分析,按弹性理论分析方法求得墩顶弹性主拉应力的分布,对主拉应力图形进行面积积分以求得墩顶拉杆横向拉应力,以此复核拉压杆模型横向拉力的准确性。

弹性分析实体模型仅建立混凝土网格,边界条件为墩底固结,荷载为自重及上部支反力基本组合,支反力按面积均布荷载输入,支座大小按 $1\,000 \text{ mm} \times 1\,000 \text{ mm}$ 考虑,荷载集度为 $10\,892.6 \times 10^3/(1\,000 \times 1\,000)=10.893 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 。花瓶墩模型如图5所示。



图5 花瓶墩实体模型

桥墩中心处作用基本组合下主拉应力云图如图6所示,提取桥墩中心位置主拉应力值,序号1为墩顶,按序号依次向下提取。坐标X为横桥向,Y为纵桥向,Z为竖向,坐标原点位于墩底中心,Z坐标向上为正。

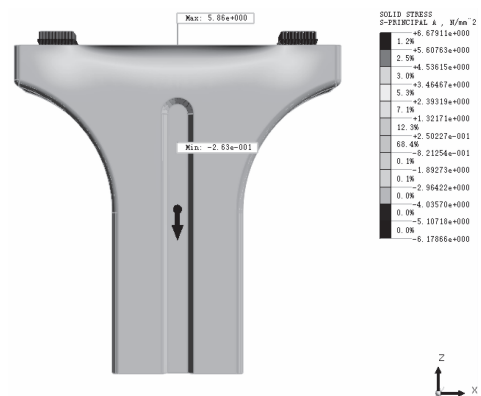


图6 作用基本组合下花瓶墩主拉应力云图(单位:MPa)

花瓶墩中心处墩顶以下1.8 m范围内主拉应力见表1。

按主拉应力对墩顶受拉区进行积分,可得墩顶拉杆横向拉力设计值为10 333 kN。

与拉压杆模型比较: $10\,333/10\,572=97.7\%$,可知拉压杆模型拉杆内力计算结果与实体计算模型主拉应力积分结果基本一致,从主拉应力云图可知,分布高度与长度也基本与规范拉压杆模型一致。

表 1 作用基本组合下花瓶墩主拉应力值一览表

序号	X/mm	Y/mm	Z/mm	数值/(N·mm ⁻²)
1	0	0	10 000	5.86
2	0	0	9 900	5.50
3	0	0	9 800	5.10
4	0	0	9 700	4.74
5	0	0	9 600	4.39
6	0	0	9 500	4.06
7	0	0	9 400	3.72
8	0	0	9 300	3.34
9	0	0	9 200	2.94
10	0	0	9 100	2.56
11	0	0	9 000	2.27
12	0	0	8 900	1.98
13	0	0	8 800	1.72
14	0	0	8 700	1.21
15	0	0	8 600	0.97
16	0	0	8 500	0.70
17	0	0	8 400	0.44
18	0	0	8 300	0.17
19	0	0	8 200	-0.01

6 结 语

本文对花瓶墩墩帽计算常用模型进行了比较,并与实体模型计算比较,得出如下结果。

(1)简单悬臂梁模型在计算双支座花瓶墩时与实际受力情况差别较大,其受力模式、配筋方式、配筋范围均与实际情况存在较大出入。

(2)规范规定的拉压杆模型与实体模型计算结果较为吻合,与实际受力模式一致。

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[S].
[2] 王海丰.桥梁薄壁花瓶墩墩顶裂缝分析[J].北方交通,2014(1):26-32.
[3]GB 50010—2010,混凝土结构设计规范(2015 年版)[S].
[4] 项海帆,等.高等桥梁结构理论(第二版)[M].北京:人民交通出版社,2013.
[5] 张勇.拉压杆理论在薄壁花瓶墩中的应用研究[D].广州:华南理工大学,2010.
[6] SL 191—2008,水工混凝土结构设计规范[S].

(上接第 110 页)

(3)通过精细化的抗震分析,该类结构能满足规范要求。考虑到本项目所在地区为地震烈度 7 度区,并且高架桥梁为重要公共设施,在抗震设计中应采取更严格和细致的措施。本文采用有限元软件对该类结构进行了动力时程分析。研究表明,在考虑了土-桩相互作用、无缝钢轨和后继结构的影响等因素后,该类结构在不同工况下均能满足规范要求,并具有较好的抗震性能。

参考文献:

[1] 杨敏.基于桥型适应性的公路桥梁桥型选择研究[D].西安:长安大

学,2013.
[2] 韩丹.交通空间可再生能源规划策略研究[D].天津:天津大学,2018.
[3] 陈敬一,杜修力,韩强,等.摇摆双层桥梁地震反应及抗倒塌能力分析[J].工程力学,2020,37(10):147-156.
[4] 张洁,管仲国,李建中.双层高架桥梁框架墩抗震性能试验研究[J].工程力学,2017,34(2):120-128.
[5] 赵毓成.高架车站结构形式分类及适用研究[J].中国市政工程,2012(4):96-99.
[6] 韩鹏,王君杰,董正方.城市轨道交通高架桥梁抗震设计中的关键问题[J].震灾防御技术,2010,5(1):32-42.
[7] 王君杰,朱敢平,元路宽,等.城市轨道交通结构抗震设计规范技术要点[J].地震工程与工程振动,2014(4):235-241.