

上飞燕式梁拱组合桥边中跨比的合理区间分析

——以颍河大桥为例

周伟明¹, 张宜柳¹, 梁长海^{2,3}, 卢元刚^{2,3}, 李龙^{2,3}

(1. 中铁二十四局集团安徽工程有限公司, 安徽 合肥 230011; 2. 安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司;
3. 公路交通节能环保技术交通运输行业研发中心)

摘要:以安徽省颍河大桥为背景,通过对不同边跨长度的上飞燕式梁拱组合桥进行有限元分析,分析边中跨比对上飞燕式梁拱组合桥受力特性的影响规律,探寻上飞燕式梁拱组合桥边中跨比的合理区间。结果表明:上飞燕式梁拱组合桥的典型受力特点是分叉区拱圈存在明显负弯矩;上飞燕式梁拱组合桥边中跨比的合理下限值受边跨支反力控制,其合理上限值受分叉区拱圈的负弯矩控制,背景桥例颍河大桥的边中跨比合理区间宜为0.267~0.395;当边中跨比取值较小时,对整体结构的内力及挠度控制较为有利;可通过对分叉区拱圈构造进行优化以提高上飞燕式梁拱组合桥边中跨比的合理上限值。

关键词:上飞燕式梁拱组合桥;边中跨比;合理区间;颍河大桥

颍河大桥为一种上飞燕式梁拱组合桥。上飞燕式梁拱组合桥又称卧龙拱,是近年来出现的一种曲线造型柔和优美、受力形式复杂的下承式异形拱桥。上飞燕式梁拱组合桥其拱圈在1/4拱附近分为两肢,主肢沿拱轴线延伸至主梁内,形成拱脚;副肢以反弯线形延伸至边跨主梁内,形成边拱。由于边拱对主拱的影响,拱圈在主副肢分叉区存在明显的负弯矩效应。上飞燕式梁拱组合桥属于梁拱组合体系结构,与中承式飞燕式拱及下承式系杆拱相比,其构造及受力特性有所不同。目前针对上飞燕式梁拱组合桥的相关研究尚不多见,任伟新、韩斐曾对该桥型的边拱线形以及边拱与主拱刚度比等结构参数做了相关研究。

而对连续梁、连续刚构桥以及常规梁拱组合桥的

相关研究表明:边中跨比的取值对结构内力及支座反力有较大影响。连续梁及连续刚构桥的边中跨比由荷载集度决定,其合理范围主要受支座设计控制,通常为0.50~0.80;上承式及中承式拱桥的边中跨比由荷载集度和边、中矢高比共同决定,其合理范围主要受拱肋线形设计控制;常规梁拱组合桥的边中跨比设计与连续梁相似,其合理范围通常为0.46~0.51。

因此,针对上飞燕式梁拱组合桥这种新颖的结构形式,其边中跨比对结构内力、挠度及支反力等方面的影响需作进一步的分析。该文以安徽省阜阳市向阳路颍河大桥为工程背景,分析边中跨比对该桥的结构关键截面内力、挠度、支反力以及结构自振频率等方面的影响。

能试验、转向段护套抗磨损性能试验,开发出一套满足全体外预应力桥梁要求的高性能无黏结钢绞线体外索体系,该体系各项性能优于国内外同类产品,满足中国相关标准要求,确保了全体外预应力桥梁结构的安全性及耐久性。

参考文献:

[1] GB/T 30827-2014 体外预应力索技术条件[S].

[2] JT/T 853-2013 无黏结钢绞线体外预应力束[S].

[3] 江焕宏. 填充型环氧涂层钢绞线体外索与转向器组合疲劳性能的试验研究[J]. 世界桥梁, 2013(2).

[4] JT/T 876-2013 填充型环氧涂层钢绞线体外预应力束[S].

[5] 王凯. 芜湖长江公路二桥引桥段上部结构设计与施工[J]. 公路交通技术, 2017(3).

[6] 殷新锋. 体外预应力桥梁转向块的受力性能分析[J]. 中外公路, 2017(5).

收稿日期: 2020-08-20(修改稿)

作者简介: 周伟明, 男, 大学本科, 高级工程师, E-mail: 378490005@qq.com

1 工程背景

阜阳市向阳路颍河大桥为三跨上飞燕式梁拱组合桥梁,跨径布置为 $(47+148+47)$ m。拱圈为双片钢箱拱,拱圈截面为矩形钢箱结构,拱圈轴线为二次抛物线,矢跨比为 $1:4$ 。拱脚位置处主肢上、下缘线为二次抛物线与圆弧线的组合线形。靠近中墩的 $1/4$ 拱处,副肢采用半径为 220 m的反弯圆弧对主拱圈进行过渡,顺接至边跨主梁内。拱圈分叉处及主、副肢与主梁结合处局部用小半径圆弧线过渡。桥面系采用正交异性钢桥面板结构;主跨横梁采用整板式横隔板,纵梁采用刚性与柔性组合系杆作为主受力结构承受拱圈的水平推力,钢纵梁梁高 2.5 m。边跨采用钢箱梁结构,中墩处梁高 5.5 m,采用二次抛物线往边墩过渡至 2.5 m梁高。吊杆采用 $15\phi 15$ mm环氧无黏结钢绞线整束挤压式吊杆体系。桥型总体布置如图1所示,拱圈分叉区构造如图2所示。

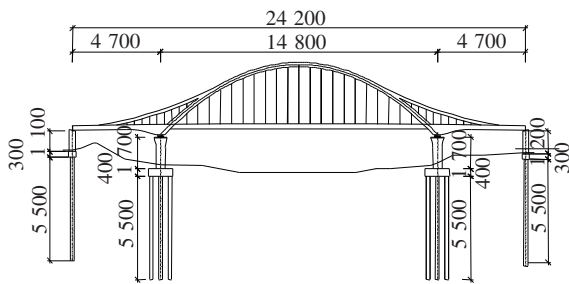


图1 桥型总体布置(单位:cm)

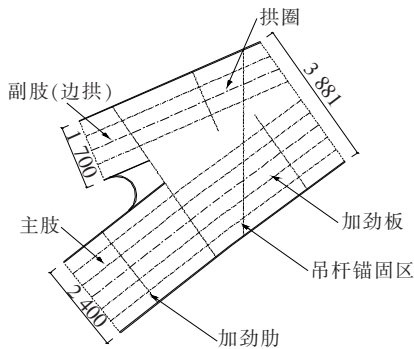


图2 拱圈分叉区构造(单位:mm)

2 边中跨比分析

2.1 有限元分析模型

对不同的边中跨比取值,采用Midas/Civil 2017分别建立工程背景桥梁的空间杆系单元模型。拱圈、

主梁均采用梁单元模拟;吊杆采用桁架单元模拟。

2.2 计算参数选取

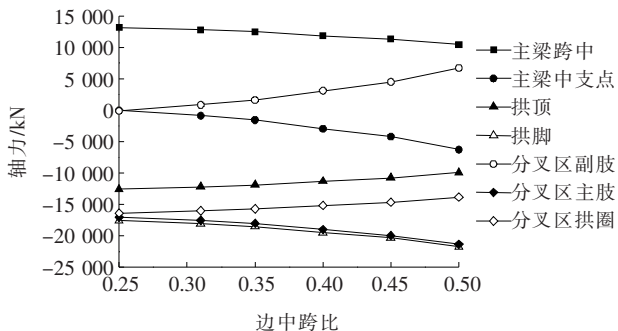
经查阅统计,常规梁拱组合桥的边中跨比一般为 $0.46\sim 0.51$,湖南省常德市杨桥河桥为上飞燕式梁拱组合桥,其边中跨比为 0.295 。结合统计资料及颍河大桥实际情况,选取 0.25 、 0.318 、 0.35 、 0.40 、 0.45 、 0.50 共6个边中跨比值进行分析(其中 0.318 为原设计边中跨比值)。

假设中跨长度、矢跨比、主拱及边拱形式等设计参数不变,通过改变边跨梁标准段长度的方式对边中跨比进行调整,以分析边中跨比对上飞燕式梁拱组合桥的结构内力、挠度、支反力、自振频率等方面的影响。

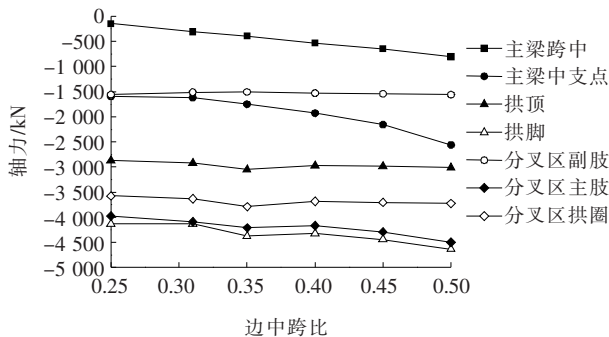
3 分析结果

3.1 对结构内力的影响

考虑恒、活载作用下,边中跨比对结构内力的影响。取主梁跨中、主梁中支点、拱顶、拱脚、分叉区主、副肢及拱圈7个截面,根据计算结果对比分析结构轴力、剪力以及弯矩的变化趋势,结果如图3~5所示。



(a) 恒载作用下

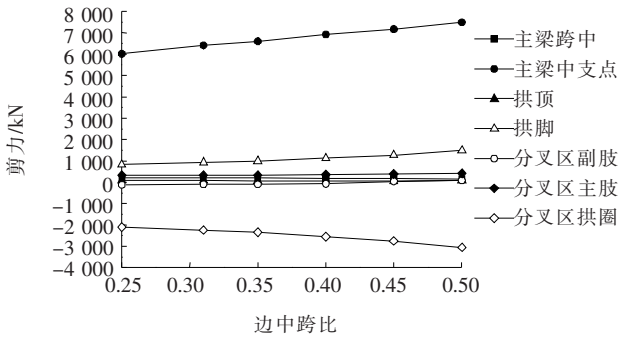


(b) 活载作用下

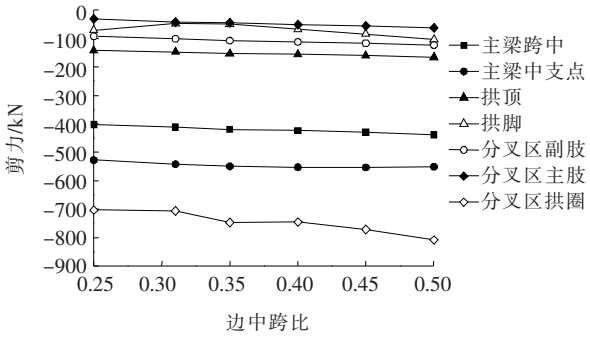
图3 边中跨比对轴力的影响

由图3~5可知:

(1) 在恒、活载作用下,主梁中支点截面存在较大负弯矩,边跨一侧为受压状态,表现出连续梁拱组合桥

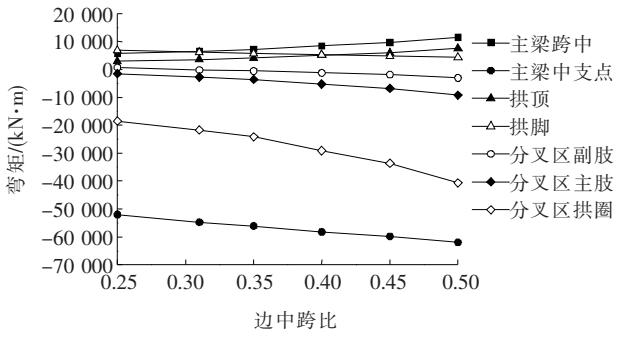


(a) 恒载作用下

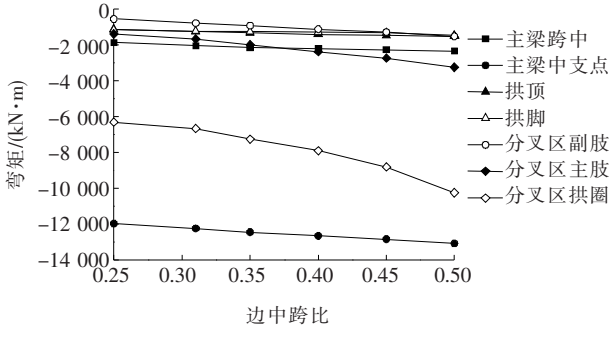


(b) 活载作用下

图4 边中跨比对剪力的影响



(a) 恒载作用下



(b) 活载作用下

图5 边中跨比对弯矩的影响

的受力特征。随着边中跨比的增大,主梁中支点截面的轴力、剪力及弯矩绝对值均随之增大,其中轴力变化

显著。

(2) 分叉区拱圈存在较大负弯矩,表现出上飞燕式梁拱组合桥的典型特点。分析其原因为分叉区的局部构造使拱轴线在此处出现外凸以及边拱(分叉区副肢)对主拱的影响导致分叉区拱圈负弯矩的出现。随着边中跨比的增大,分叉区各截面的内力绝对值均与边中跨比同向变化,其中变化较显著的为:一方面边拱(分叉区副肢)轴力随边中跨比增大而增大,主拱圈轴力随之减小而下部主肢分担更多的轴力;另一方面,分叉区拱圈的负弯矩迅速随之增大。

(3) 该文桥例中,通过对分叉区各截面内力的变化趋势进行多项式拟合分析:当边中跨比为0.26时,分叉区副肢轴力为0,分叉区拱圈负弯矩完全由其局部构造原因产生;当边中跨比超过0.395时,由边拱轴力对主拱产生的分叉区拱圈负弯矩增量将超过50%,使分叉区构造设计变得十分复杂。因此,该文桥例的合理边中跨比不宜超过0.395。

(4) 在恒、活载作用下,主梁跨中、拱顶、拱脚截面的弯矩绝对值以及拱脚轴力绝对值随边中跨比的增大而增大,但变化幅度相对较小;而主梁跨中及拱顶的轴力随边中跨比增大而减小。

(5) 所有截面的剪力随边中跨比的变化都不明显。

3.2 对结构挠度的影响

活载作用下,边中跨比对中跨、边跨以及拱圈最大挠度的影响如图6所示。

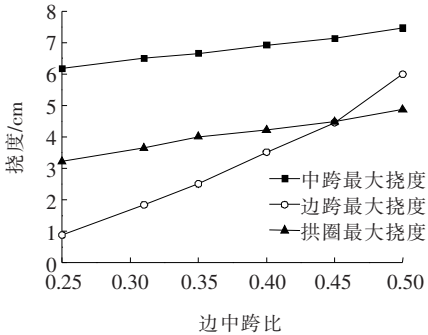


图6 边中跨比对挠度的影响

由图6可知:随着边中跨比的增大,结构的中跨、边跨以及拱圈的挠度均随之增大,其中边跨挠度的变化更为显著。其原因在于主拱对中跨存在加劲作用,提高了中跨刚度;而边拱较弱,对边跨的加劲作用十分有限,故边跨挠度变化更为显著。

3.3 对边墩支反力的影响

对于连续梁,当边中跨比小于某个值时,边墩支反

力会出现负值。假设如此,则边墩支座需要设计成拉压式,或需要设计边跨压重,从而给支座构造或边跨梁体设计带来困难。

对该文桥例,考虑在荷载基本组合作用下,边中跨比对边墩最小支反力的影响如图 7 所示。

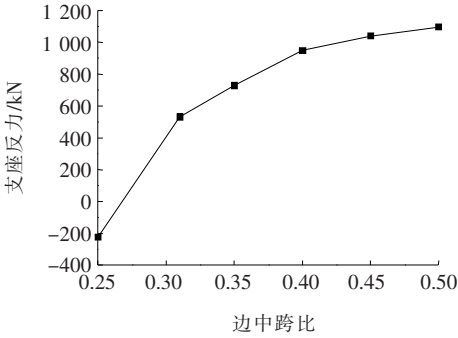


图 7 边中跨比对边墩支反力的影响

由图 7 可知:当边中跨比小于 0.267 时,边跨支座即出现负反力。

3.4 对结构自振频率的影响

对不同边中跨比下的结构进行特征值分析,取 1 阶反对称竖弯及 1 阶对称竖弯振型进行对比,结果如表 1 所示。

表 1 不同边中跨比下的结构自振频率

边中跨比	1 阶反对称竖弯/Hz	1 阶对称竖弯/Hz
0.250	1.354	1.418
0.318	1.271	1.418
0.350	1.233	1.418
0.400	1.170	1.417
0.450	1.113	1.417
0.500	1.027	1.407

由表 1 可知:随着边中跨比的增大,结构自振频率有所降低,故可知结构的整体刚度有所降低。

4 结论

以安徽省阜阳市颍河大桥为工程背景,对上飞燕式梁拱组合桥的边中跨比影响进行了分析,得到以下结论:

(1) 边中跨比的取值越小,对上飞燕式梁拱组合桥的整体结构内力及挠度影响越有利。其合理边中跨

比的下限值受边墩支反力是否出现负值控制。这一点与连续梁桥、连续刚构桥以及常规梁拱组合桥类似。

(2) 由于上飞燕式梁拱组合桥的边拱会加剧分叉区拱圈的负弯矩效应,而分叉区拱圈负弯矩较结构其他截面的结构内力受边中跨比取值的影响更为明显。因此,对于上飞燕式梁拱组合桥,其合理边中跨的上限值受分叉区拱圈的负弯矩控制。合理边中跨比的下限值受边墩支反力是否出现负值控制。

(3) 根据分析结果,颍河大桥的合理边中跨比取值范围为 0.267~0.395。与常规梁拱组合桥的合理边中跨比范围(0.46~0.51)相比,颍河大桥适用于小边跨的桥跨构造。

(4) 根据上飞燕式梁拱组合桥的受力特性,其拱肋分叉区的构造形式值得进一步研究。可通过对分叉区构造的优化,有效降低分叉区拱圈的负弯矩,从而扩大上飞燕式梁拱组合桥的边中跨比合理取值区间,为这种造型优美的桥梁扩大应用范围。

参考文献:

[1] 易云焜. 梁拱组合体系设计理论关键问题研究[D]. 同济大学博士学位论文,2007.

[2] 韩斐. 卧龙式拱桥的结构特性与稳定性分析[D]. 中南大学硕士学位论文,2012.

[3] 周东东. 小边跨 PC 连续梁桥静力分析及设计参数研究[D]. 长安大学硕士学位论文,2015.

[4] 徐建. 高墩大跨径连续刚构边中跨比合理性研究[J]. 南京工程学院学报(自然科学版),2016(4).

[5] 肖汝诚. 桥梁结构体系[M]. 北京:人民交通出版社,2013.

[6] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥[M]. 北京:人民交通出版社,2007.

[7] 戴公连,唐立新,汪禹. 大跨度铁路连续梁拱组合桥的合理边中跨比研究[J]. 铁道科学与工程学报,2015(4).

[8] 杨兴,武电坤. 短边跨连续梁设计理论与创新技术研究[J]. 中外公路,2017(1).

[9] 谢居静,吴合良,范胜通. 不等跨连续梁桥设计及技术要点[J]. 城市道桥与防洪,2017(11).

[10] 李国豪. 桥梁结构稳定与振动[M]. 北京:中国铁道出版社,2002.

[11] 张振伟,张伟. 飞燕式钢管混凝土系杆拱桥参数分析与线形控制[J]. 中外公路,2018(6).

[12] 尚军年,张茜,耿波. 德溪大桥结构设计与整体分析[J]. 中外公路,2016(3).