

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.02.017

连续梁拱组合桥梁边中跨比影响分析

庞伟

(中国市政工程西北设计研究院有限公司,甘肃 兰州 730000)

摘要:连续梁拱组合桥梁主梁和拱肋协同受力,整体刚度大、跨越能力强。以三跨连续梁拱组合桥梁为工程背景,分析了边中跨比对桥梁内力、变形、支反力、自振频率、稳定等方面的影响。分析发现:桥梁主梁和拱肋的内力、变形,主梁边支点的支反力随边中跨比的增大而增大,且在恒载作用下边中跨比0.400时边支点出现负反力;桥梁自振频率随边中跨比的增大而减小;桥梁施工阶段稳定系数随边中跨比的增大而减小,成桥状态稳定系数随边中跨比的增大而增大,但稳定系数变化率均较小;连续梁拱组合桥梁的合理边中跨比建议在0.425~0.500之间。

关键词:连续梁拱组合桥梁;边中跨比;内力;变形;支反力;自振频率;稳定

中图分类号:U448.22

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2024)02-0072-05

0 引言

连续梁拱组合桥梁分为上承式、中承式和下承式,也可以是多肋拱、双肋拱或单肋拱与主梁的组合。单拱肋常配有箱形主梁,整体抗扭刚度较大的闭口截面以均匀扭转的方式抗扭^[1]。

下承式连续梁拱组合桥梁实际为三跨变截面连续梁,中跨用拱来加强以降低主梁中跨的结构高度,边跨由于受到中跨拱的刚度影响,减小了正弯矩的负担,扩大了负弯矩的区域,有利于配置预应力筋^[1]。针对连续梁拱组合桥梁分析了不同边中跨比对桥梁内力、变形、支反力、自振频率及稳定等方面的影响。

1 工程概况

工程位于天水市三阳川片区,跨越渭河一级支流葫芦河,是片区内东西向骨架路网的关键节点。

桥梁采用连续梁拱组合结构,孔跨布置45.0+90.0+45.0=180.0(m),断面宽度30.0 m。主梁采用变截面预应力混凝土连续箱梁,斜腹板单箱三室截面,梁高及底板厚度均按二次抛物线变化。拱肋单榀设置,设计矢高18.0 m,矢跨比1/5,截面采用四边带倒角钢箱形截面。吊杆采用钢绞线整束挤压吊杆,间距5.0 m。

桥梁施工采用先梁后拱法,其中主梁施工采用悬臂浇筑法。桥型布置图见图1所示。

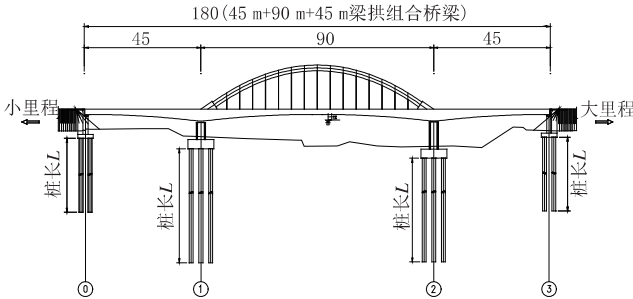


图1 桥型布置图(单位:m)

2 分析模型

相关分析表明连续梁拱组合桥梁,上承式边中跨比一般取为0.5~0.6,中承式边中跨比一般取为0.25~0.5,下承式边中跨比一般取为0.4~0.5^[2]。

桥梁主跨跨径为90.0 m,通过改变边跨跨径使边中跨比取值分别为0.300、0.325、0.350、0.375、0.400、0.425、0.450、0.475、0.500、0.525、0.550、0.575、0.600、0.625、0.650、0.675、0.700,共计17组模型进行分析。

分析模型用梁单元模拟主梁、拱肋,用索单元模拟吊杆,外部边界条件同一般三跨连续梁约束条件,拱肋拱脚与主梁共节点,吊杆与拱肋、主梁间采用刚性连接,有限元分析模型见图2所示。



图2 有限元分析模型

收稿日期:2023-03-24

作者简介:庞伟(1982—),男,工学硕士,高级工程师,从事桥梁工程设计工作。

3 不同边中跨比对桥梁的影响

连续梁拱组合桥梁的边中跨比对桥梁内力、变形、支反力、自振频率、稳定等方面均有不同程度的影响。相关文献分析表明:相对于连续梁桥而言,梁拱组合桥的结构内力、变形及支座反力是制约边中跨比取值的主要因素,而桥梁整体稳定性及基频受边中跨比取值影响较小^[3]。

以连续梁拱组合桥梁的吊杆及预应力布设使主梁成桥上下缘等应力为基础,分析边中跨比对桥梁内力、变形、支反力、自振频率和稳定的影响,进而确定连续梁拱组合桥梁的合理边中跨比。

3.1 边中跨比对桥梁内力的影响

以边中跨比 0.500 为基准,对边中跨比 0.300 ~ 0.700 的计算结果进行单位化,不同边中跨比对桥梁内力的影响如图 3 至图 6 所示。

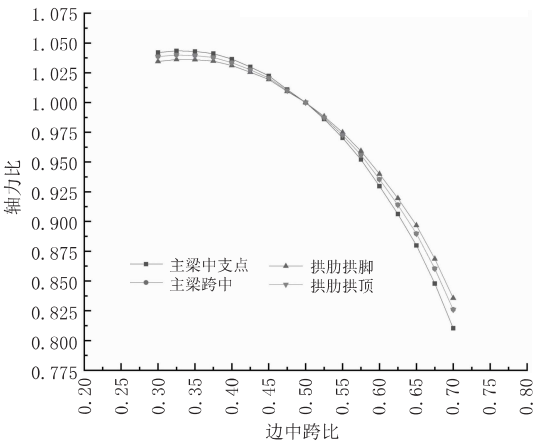


图 3 恒载作用下主梁中支点及跨中、拱肋拱脚及拱顶轴力比图示

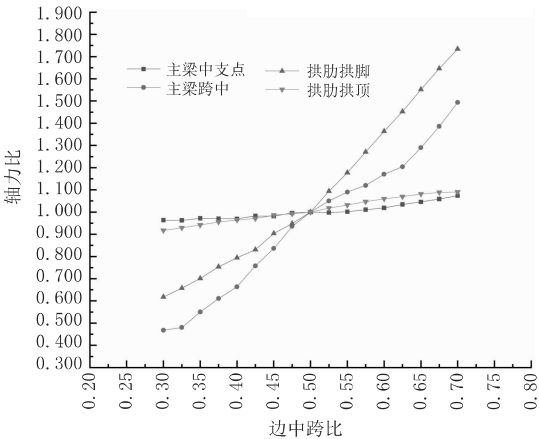


图 4 恒载作用下主梁中支点、跨中、拱肋拱脚及拱顶弯矩比图示

根据相关曲线图 3 至图 6 分析发现:

(1)恒载作用下,主梁中支点、主梁跨中、拱肋拱脚及拱肋拱顶截面的轴力比随边中跨比的增大而减小,主梁中支点轴力比由边中跨比 0.300 时的 1.041 9 变化到边中跨比 0.700 时的 0.810 3;主梁跨中轴

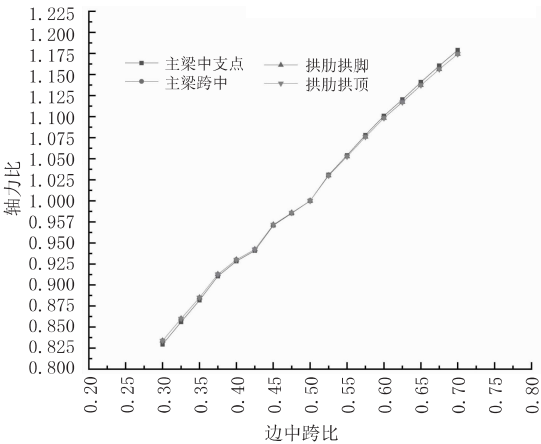


图 5 活载作用下主梁中支点及跨中、拱肋拱脚及拱顶轴力比图示

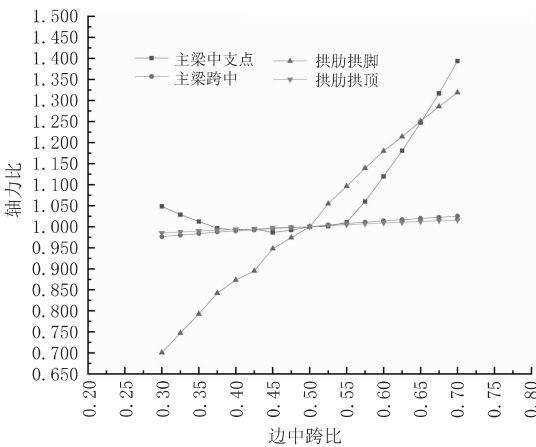


图 6 活载作用下主梁中支点及跨中、拱肋拱脚及拱顶弯矩比图示

力比由边中跨比 0.300 时的 1.038 6 变化到边中跨比 0.700 时的 0.825 9;拱肋拱脚轴力比由边中跨比 0.300 时的 1.034 5 变化到边中跨比 0.700 时的 0.835 6;拱肋拱顶轴力比由边中跨比 0.300 时的 1.038 6 变化到边中跨比 0.700 时的 0.825 9。

(2)恒载作用下,主梁中支点、主梁跨中、拱肋拱脚及拱肋拱顶截面的弯矩比随边中跨比的增大而增大,主梁中支点弯矩比由边中跨比 0.300 时的 0.963 6 变化到边中跨比 0.700 时的 1.073 8;主梁跨中弯矩比由边中跨比 0.300 时的 0.467 8 变化到边中跨比 0.700 时的 1.493 3;拱肋拱脚弯矩比由边中跨比 0.300 时的 0.617 7 变化到边中跨比 0.700 时的 1.734 0;拱肋拱顶弯矩比由边中跨比 0.300 时的 0.917 2 变化到边中跨比 0.700 时的 1.090 7。

(3)活载作用下,主梁中支点、主梁跨中、拱肋拱脚及拱肋拱顶截面的轴力比随边中跨比的增大而增大,主梁中支点轴力比由边中跨比 0.300 时的 0.829 4 变化到边中跨比 0.700 时的 1.178 9;主梁跨中轴力比由边中跨比 0.300 时的 0.833 7 变化到边中跨比 0.700 时的 1.174 3;拱肋拱脚轴力比由边中跨比

0.300 时的 0.833 7 变化到边中跨比 0.700 时的 1.174 3; 拱肋拱顶轴力比由边中跨比 0.300 时的 0.833 8 变化到边中跨比 0.700 时的 1.174 3。

(4)活载作用下,主梁中支点、主梁跨中、拱肋拱脚及拱肋拱顶截面的弯矩比随边中跨比的增大而增大,主梁中支点弯矩比由边中跨比 0.300 时的 1.048 5 变化到边中跨比 0.700 时的 1.393 6; 主梁跨中弯矩比由边中跨比 0.300 时的 0.976 2 变化到边中跨比 0.700 时的 1.025 0; 拱肋拱脚弯矩比由边中跨比 0.300 时的 0.700 6 变化到边中跨比 0.700 时的 1.318 6; 拱肋拱顶弯矩比由边中跨比 0.300 时的 0.985 0 变化到边中跨比 0.700 时的 1.015 8。

综合来说,除恒载作用下轴力比随边中跨比的增大而减小外,恒载作用下弯矩比、活载作用下轴力比、弯矩比均随边中跨比的增大而增大;恒载作用下主梁轴力比升降变化较小;活载作用下主梁中支点弯矩比先下降后上升在边中跨比 0.450 时最小,在边中跨比 0.550 时上升曲线变陡。从控制结构受力角度来说,边中跨比宜小不宜大。

3.2 边中跨比对桥梁变形的影响

以边中跨比 0.500 为基准,对边中跨比 0.300 ~ 0.700 的计算结果进行单位化,不同边中跨比对桥梁变形的影响如图 7 和图 8 所示。

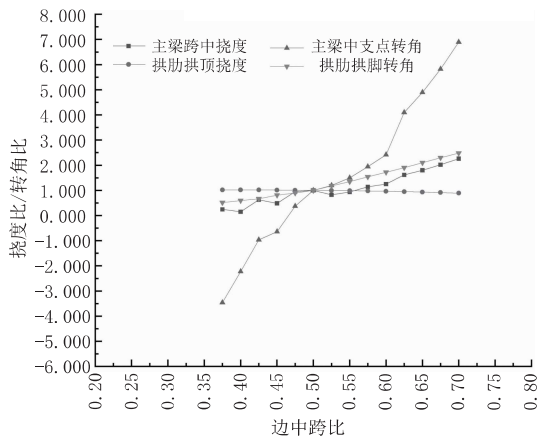


图7 恒载作用下主梁跨中及拱肋拱顶挠度比、主梁中支点及拱肋拱脚转角比曲线图

根据相关曲线图 7 和图 8 分析发现:

(1)恒载作用下,主梁跨中截面的挠度比、主梁中支点截面的转角比、拱肋拱脚截面的转角比随边中跨比的增大而增大。主梁跨中截面的挠度比由边中跨比 0.300 时的 0.244 6 变化到边中跨比 0.700 时的 2.258 4; 主梁中支点截面的转角比由边中跨比 0.300 时的 -3.465 9 变化到边中跨比 0.700 时的 6.896 4; 拱肋拱脚截面的转角比由边中跨比 0.300

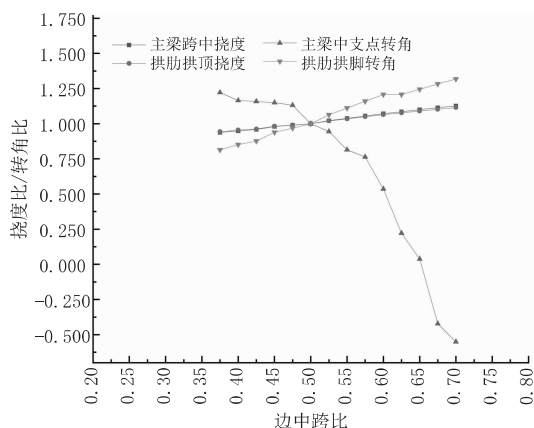


图8 活载作用下主梁跨中及拱肋拱顶挠度比、主梁中支点及拱肋拱脚转角比曲线图

时的 0.513 5 变化到边中跨比 0.700 时的 2.479 5。拱肋拱顶截面的挠度比随边中跨比的增大而减小,拱肋拱顶挠度比由边中跨比 0.300 时的 1.018 9 变化到边中跨比 0.700 时的 0.889 1。

(2)活载作用下,主梁跨中截面的挠度比、拱肋拱顶截面的挠度比、拱肋拱脚截面的转角比随边中跨比的增大而增大,主梁跨中截面的挠度比由边中跨比 0.300 时的 0.936 7 变化到边中跨比 0.700 时的 1.126 6; 拱肋拱顶截面的挠度比由边中跨比 0.300 时的 0.943 0 变化到边中跨比 0.700 时的 1.114 3; 拱肋拱脚截面的转角比由边中跨比 0.300 时的 0.814 2 变化到边中跨比 0.700 时的 1.317 7。主梁中支点截面的转角比随边中跨比的增大而减小,主梁中支点截面的转角比由边中跨比 0.300 时的 1.221 2 变化到边中跨比 0.700 时的 -0.551 2。

综合来说,恒载作用下拱肋拱顶截面的挠度比、活载作用下主梁中支点截面的转角比随边中跨比的增大而减小;恒载作用下主梁跨中截面的挠度比、主梁中支点截面的转角比、拱肋拱脚截面的转角比,活载作用下主梁跨中截面的挠度比、拱肋拱顶截面的挠度比、拱肋拱脚截面的转角比均随边中跨比的增大而增大;恒载作用下拱肋拱顶截面的挠度比整体升降变化率较小,活载作用下主梁中支点截面的转角比整体升降变化率较大。从控制结构变形角度来说,边中跨比宜小不宜大。

3.3 边中跨比对桥梁支反力的影响

以边中跨比 0.500 为基准,对边中跨比 0.300 ~ 0.700 的计算结果进行单位化,不同边中跨比对桥梁支反力的影响见图 9、图 10 所示。

根据相关曲线图 9、图 10 分析发现:

(1)恒载作用下,主梁边支点 1、边支点 2 的支反

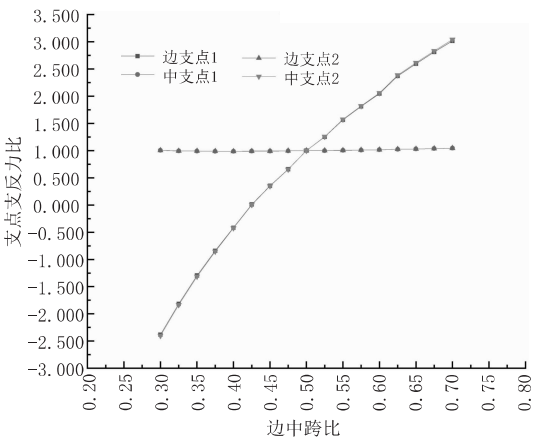


图9 恒载作用下主梁边支点、中支点支反力比曲线图

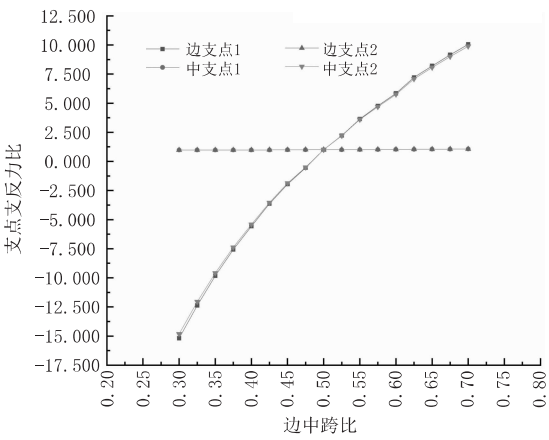


图10 标准组合作用下主梁边支点、中支点支反力比曲线图

力比随边中跨比的增大而增大,主梁边支点1的支反力比由边中跨比0.300时的-2.3814变化到边中跨比0.700时的3.0166;主梁边支点2的支反力比由边中跨比0.300时的-2.4023变化到边中跨比0.700时的3.0402。主梁中支点1、中支点2的支反力比变幅很小。

(2)标准组合作用下,主梁边支点1、边支点2、中支点1、中支点2的支反力比随边中跨比的增大而增大,主梁边支点1的支反力比由边中跨比0.300时的-15.1877变化到边中跨比0.700时的10.0569;主梁边支点2的支反力比由边中跨比0.300时的-14.8140变化到边中跨比0.700时的9.8758。主梁中支点1、中支点2的支反力比变幅很小。

综合来说,在各荷载工况作用下,主梁边支点1、边支点2的支反力比随边中跨比的增大而增大;恒载作用下边中跨比0.400时边支点出现负反力;标准组合作用下边中跨比0.475时边支点出现负反力。对连续梁拱组合桥梁来说,边支点出现负反力是决定结构边中跨比的最重要因素,可根据实际工程针对某工况选择合理的边中跨比。

3.4 边中跨比对桥梁自振频率的影响

不同边中跨比下桥梁的自振频率见表1。

表1 边中跨比对桥梁体系自振频率的影响一览表

编号	边中跨比	自振频率/Hz				
		竖对称	竖反对称	横对称	横反对称	扭转
1	0.300	1.24	2.84	1.44	6.68	16.50
2	0.325	1.21	2.76	1.44	6.52	16.50
3	0.350	1.17	2.68	1.44	6.33	16.50
4	0.375	1.13	2.59	1.44	6.16	16.50
5	0.400	1.11	2.52	1.44	6.00	16.50
6	0.425	1.09	2.46	1.44	5.83	16.29
7	0.450	1.05	2.34	1.44	5.65	16.46
8	0.475	1.03	2.26	1.44	5.52	16.15
9	0.500	1.00	2.17	1.44	5.37	15.69
10	0.525	0.96	2.05	1.44	5.22	16.50
11	0.550	0.93	1.93	1.44	5.05	16.50
12	0.575	0.90	1.82	1.44	4.91	16.49
13	0.600	0.86	1.72	1.44	4.78	16.05
14	0.625	0.83	1.61	1.44	4.63	15.55
15	0.650	0.80	1.52	1.44	4.51	16.50
16	0.675	0.77	1.43	1.44	4.42	16.35
17	0.700	0.74	1.35	1.43	4.34	16.50

根据表1分析发现:竖向1阶对称自振频率、竖向1阶反对称自振频率、横向1阶对称自振频率、横向1阶反对称自振频率均随边中跨比的增大而减小;扭转1阶自振频率振荡变化,变浮较小。其中1阶模态均为竖向对称,横向1阶对称模态与扭转1阶模态基本不随边中跨比的变化而变化。结合工程背景桥梁主梁采用单箱多室宽箱形截面,可认为这种截面形式的连续梁拱组合桥梁具有较好的抵抗横向与扭转变形的特性,尤其是具有强大的抵抗扭转变形的特性。

综合来说,边中跨比对连续梁拱组合桥梁竖向自振频率的影响较大,随边中跨比的增大桥梁结构整体刚度下降自振频率随之减小;边中跨比对连续梁拱组合桥梁横向及扭转自振频率的影响较小,尤其是横向对称自振频率与扭转自振频率基本不受边中跨比的影响。

3.5 边中跨比对桥梁稳定的影响

为分析边中跨比对桥梁稳定影响的规律,进行了一类稳定分析。稳定系数定义如下: $P_{cr}=K \cdot P_d$,其中: P_d 为考虑永久作用与可变作用(施工荷载)时结构的设计荷载, P_{cr} 为结构的极限荷载。结构的稳定系

数 $K=P_{cr} \cdot P_d$ 。

以边中跨比 0.500 为基准,对边中跨比 0.300 ~ 0.700 的计算结果进行单位化,不同边中跨比对桥梁稳定性的影响如图 11 所示。

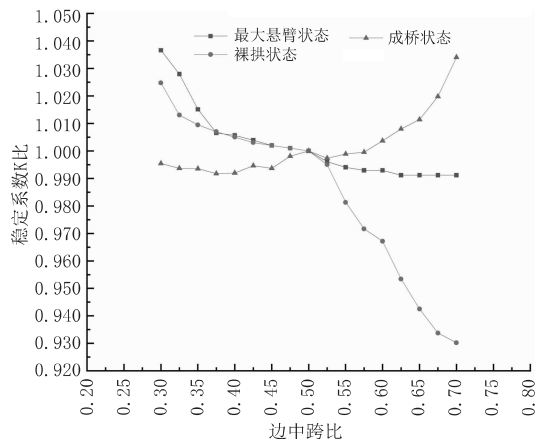


图 11 不同边中跨比下稳定系数比图

根据相关曲线图 11 分析发现:最大悬臂状态,桥梁稳定系数比由边中跨比 0.300 时的 1.036 6 变化到边中跨比 0.700 时的 0.991 2;裸拱状态,桥梁稳定系数比由边中跨比 0.300 时的 1.024 7 变化到边中跨比 0.700 时的 0.930 2;成桥状态,桥梁稳定系数比由边中跨比 0.300 时的 0.995 4 变化到边中跨比 0.700 时的 1.034 0。

综合来说,在施工阶段桥梁稳定系数比随边中跨比的增大而减小,在成桥状态桥梁稳定系数比随边中跨比的增大而增大。无论是施工阶段还是成桥状态,桥梁稳定系数比变化均较小,边中跨比对桥梁稳定系数的影响较小。

4 结 语

通过分析边中跨比对桥梁内力、变形、支反力、自振频率和稳定的影响,连续梁拱组合桥梁的合理边中跨比建议在 0.425 ~ 0.500 之间。

(1)桥梁主梁和拱肋的内力随边中跨比的增大而

增大,从控制结构受力角度来说,边中跨比宜小不宜大。

(2)桥梁主梁和拱肋的挠度、转角随边中跨比的增大而增大,从控制结构变形角度来说,边中跨比宜小不宜大。

(3)桥梁主梁边支点的支反力随边中跨比的增大而增大,在恒载作用下边中跨比 0.400 时边支点出现负反力,为了限制桥梁不出现负反力,边中跨比应不小于 0.425。

(4)随边中跨比的增大桥梁整体刚度下降,自振频率随之减小,从控制结构刚度角度来说,边中跨比宜小不宜大。

(5)在施工阶段桥梁稳定系数随边中跨比的增大而减小,在成桥状态桥梁稳定系数随边中跨比的增大而增大,无论是施工阶段还是成桥状态,桥梁稳定系数变化率均较小,边中跨比对桥梁稳定系数的影响较小。

(6)从有利于配置顶层预应力钢筋的角度出发,要求边跨的弯矩以负弯矩为主,即使出现正弯矩也只限于活载作用且出现正弯矩的区域范围较小,建议边中跨比应不大于 0.500。

综合来说,桥梁边中跨比受桥梁内力、变形、支反力、自振频率、稳定等多方面因素的影响,其中以桥梁内力、变形和边支点支反力为控制因素。结合各种影响因素,认为连续梁拱组合桥梁的合理边中跨比建议在 0.425 ~ 0.500 之间。

参考文献:

- [1] 金成棟.预应力混凝土梁拱组合桥梁—设计分析与实践[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 易云焜.梁拱组合体系设计理论关键问题分析[D].上海:同济大学,2007.
- [3] 戴公连,唐立新.大跨度铁路连续梁拱组合桥的合理边中跨比分析[J].铁道科学与工程学报,2015,12(4):829-832.

《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