

高墩大跨连续刚构桥设计控制参数优化研究

张永辰¹, 祝建波², 张丽芳³

(1.江苏宁沪高速公路股份有限公司, 江苏 南京 210049; 2.中设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210005;

3.南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

摘要: 结合汕昆(汕头—昆明)高速公路蛇背大桥, 从设计角度展开分析, 分别探讨了上部结构和下部结构分析中控制参数的影响及优化, 研究了梁高对上部结构应力及变形的影响、肢间横隔板设计对高墩稳定性的影响。

关键词: 桥梁; 高墩大跨连续刚构桥; 控制参数; 梁高; 肢间横隔板

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)02-0110-04

从经济、适应性等方面考虑, 高墩大跨径连续刚构桥是跨径 100~300 m 桥梁的优选方案, 近年来该桥型在中国得到迅速发展。但大跨径连续刚构桥常出现箱梁开裂和跨中下挠问题。而高墩的稳定、抗震及风载效应是设计及研究人员关注的热点。为此, 该文结合汕昆(汕头—昆明)高速公路蛇背大桥, 从设计控制参数优化角度展开分析。

1 高墩大跨连续刚构桥设计及分析要点

1.1 主梁

中国建设的连续刚构桥上部结构普遍采用预应力砼箱梁, 根部梁高与主跨跨径的比值为 1/16~1/20, 大部分为 1/18 左右; 跨中梁高的离散性较大, 主要为 1/50~1/60。梁的高跨比下降, 可使结构轻型化, 但对高墩的稳定性不一定有利, 需综合分析。

箱梁的细部构造对箱梁开裂、跨中下挠等病害有重要影响。冯鹏程从设计角度提出通过增加梁高、设置腹板下弯钢束、加强竖向预应力的有效性等措施控制腹板斜裂缝, 通过增加顶板负弯矩钢束、改善压浆工艺、控制钢束张拉龄期、设置后备钢束等方式控制跨中下挠, 但没有分析这些措施的效果。

1.2 桥墩

桥墩形式主要有柱式墩、薄壁墩、双肢薄壁墩。为满足悬臂施工和成桥两种状态下的稳定要求, 连续刚构桥墩应具有较大的抗弯刚度和适当的抗推刚度。张小月等通过调研, 指出 50~70 m 高桥墩多采用空心薄壁墩, 80 m 以上的高墩多采用双肢薄壁墩。总体而言, 当连续刚构桥中墩高大于 50 m 时, 一般可采用双肢薄壁墩和空心薄壁墩。

高墩连续刚构桥设计中除传统的应力、强度和

裂缝控制外, 更关键的因素有高墩稳定、风载效应。高墩在承受巨大上部竖向荷载的同时, 也承受较大的弯矩, 属于典型的偏心受压构件。因此, 刚构桥墩要从高墩选型、整体稳定计算、局部屈曲稳定等方面展开分析, 并验算承载能力、裂缝及稳定性。

2 案例工程设计分析及优化

2.1 工程概况

蛇背大桥是汕昆高速公路龙川至怀集段上的一座高墩大跨连续刚构桥, 位于河源市东源县船塘镇李田村附近, 跨越山间沟谷。地处丘陵间山间平原地貌, 植被茂盛, 以杂草、树木及稻田为主; 地面高程 184.08~302.87 m, 高差变化大。

2.2 构造设计

主桥采用(66+120+66) m 预应力砼连续刚构, 桥宽 2×12.5 m。主桥箱梁采用单箱单室直腹板断面, 顶板宽 12.5 m, 箱梁根部梁高 7.2 m; 跨中及边跨合龙段梁高 3 m, 箱梁底板下缘按 1.8 次抛物线变化。预应力钢束采用 $\phi^s 15.2-17$ 和 $\phi^s 15.2-15$ 。桥梁立面、横断面见图 1~2。

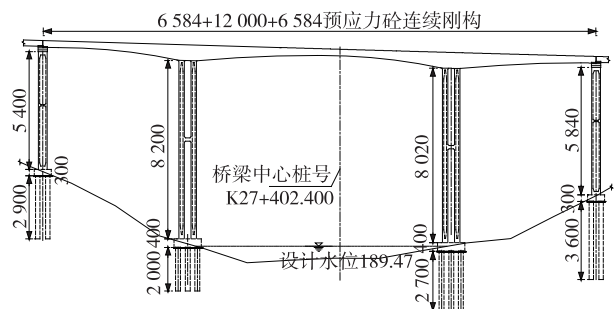


图 1 桥梁立面布置(单位: 标高为 m, 其他为 cm)

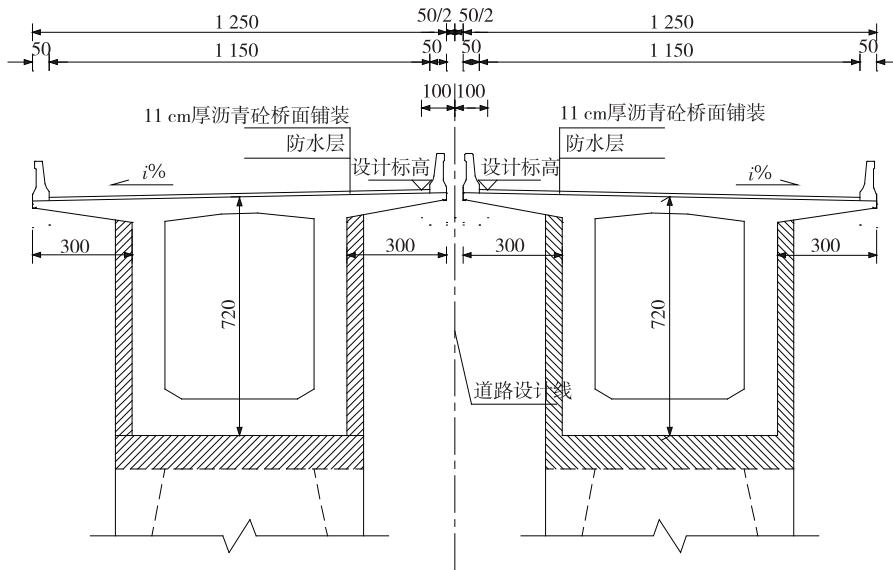


图2 桥梁支点横断面(单位:cm)

主墩采用钢筋砼双肢薄壁桥墩、钻(挖)孔灌注桩基础。左幅薄壁墩尺寸见表1。为使主墩的应力均匀,在薄壁墩内腔顶、底分别设横桥向 0.8×4 m、顺桥向 0.4×4 m的倒角。距墩顶40 m处设置一道墩间系梁,宽6.1 m、厚2 m。薄壁墩内每隔20 m设置一道60 cm厚横隔板。

表1 蛇背大桥左幅薄壁墩尺寸

墩号	墩身尺寸/cm	壁厚/cm	墩高/cm	砼标号
5	600×400	60×60	5 400	C40
6	300×750	70×70	8 200	C40
7	300×750	70×70	8 020	C40
8	600×400	60×60	5 840	C40

注:6#、7#墩为双薄壁桥墩。

2.3 上部设计控制分析

2.3.1 计算模型

主桥结构验算分别采用桥梁博士 V3.3 和 MIDAS/Civil 2013 软件。桥梁博士采用平面杆系单元建模,共划分为400个单元、443个节点和56个施工阶段(见图3);MIDAS/Civi 2013采用空间梁单元建模,共划分为268个单元、283个节点和56个施工阶段。

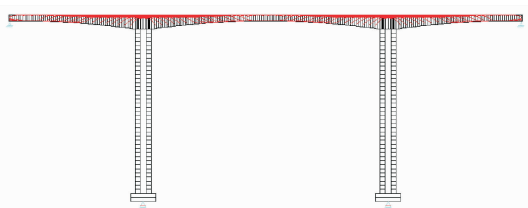


图3 桥梁博士计算模型

2.3.2 参数取值

初拟箱梁根部高度分别为7.0和7.2 m,采用桥梁博士 V3.3 进行计算。成桥时主梁恒载挠度、汽车荷载作用下主梁挠度对比见图4、图5。主梁上下缘最大、最小应力均符合规范要求,限于篇幅,此处不列出。

从图4、图5可以看出:支点梁高7.2 m的主梁成桥时跨中最大恒载挠度为3.2 cm、汽车荷载挠度为2.6 cm,支点梁高7.0 m的主梁成桥时跨中最大恒载挠度为3.6 cm、汽车荷载挠度为2.9 cm,不同

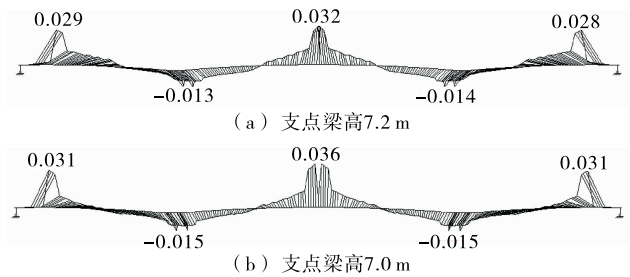


图4 成桥时恒载作用下的主梁位移(单位:m)

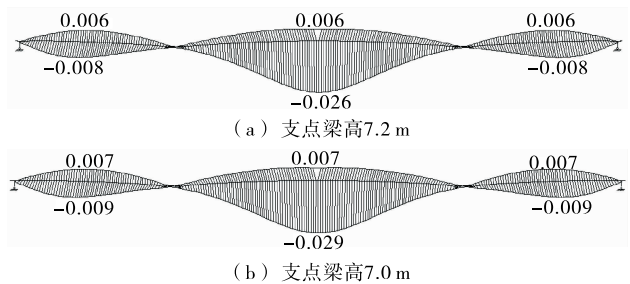


图5 汽车荷载作用下的主梁位移(单位:m)

梁高的主梁挠度相差较小。不同梁高的主梁最大压应力和最小压应力的差异也很小。经过测算,支点梁高 7.2 m 主梁的砼用量比支点梁高 7.0 m 主梁增加 2%,工程造价增加非常有限。综合考虑,选择 7.2 m 根部梁高。

2.3.3 计算结果分析

确定根部梁高后,采用 MIDAS/Civil 2013 对结构进行详细分析。计算分 2 种工况:工况一为自重+预应力荷载+汽车荷载(含冲击力、制动力)+沉降+收缩徐变+整体温度变化+梯度温度变化+横桥向风荷载;工况二为自重+预应力荷载+汽车荷载(含冲击力、制动力)+沉降+收缩徐变+整体温度变化+梯度温度变化+顺桥向风荷载。根据梁高及细部构造,对箱梁的强度、应力进行验算,均满足规范要求。

汽车荷载作用下,主梁最大挠度为 -0.023 m,考虑长期增长系数后结构挠度为 $-0.023 \times 1.325 = -0.03$ m $< L/600 = 120/600 = 0.2$ m,主梁刚度满

足规范要求。

2.4 下部设计控制分析

主墩墩高分别为 82 和 80.2 m,采用双肢薄壁墩。对桥墩的稳定及双肢墩之间设置横隔板对整桥动力特性的影响展开分析。

2.4.1 施工过程中和成桥后结构的稳定性分析

在成桥阶段,考虑结构自重、二期恒载、汽车荷载及风荷载的影响,分 2 种工况进行计算。在施工阶段,最不利状态为最大双悬臂状态,考虑结构自重、挂篮荷载、施工机具重量及风荷载的影响,分 4 种工况进行计算,除结构自重外的其他荷载均分为对称布载和不对称布载 2 种情况考虑。挂篮的不对称布载为一侧悬臂端部有挂篮,另一侧没有。施工机具的不对称布载为一侧悬臂上布置 5 kN/m 均布荷载,另一侧为其一半。横桥向风荷载的不对称布置与施工机具相同。稳定系数计算结果见表 3,屈曲模态见图 6、图 7。

由计算结果可见,主桥稳定性在施工最大双悬

表 2 桥墩的稳定系数

工况		工况说明	一阶稳定系数
成桥阶段	工况一	恒载+活载+横桥向风荷载	17.67
	工况二	恒载+活载+顺桥向风荷载	17.56
施工阶段	工况一	恒载+对称布置(挂篮+施工机具+横桥向风荷载)	14.27
	工况二	恒载+不对称布置(挂篮+施工机具+横桥向风荷载)	14.47
	工况三	恒载+对称布置(挂篮+施工机具+顺桥向风荷载)	14.29
	工况四	恒载+不对称布置(挂篮+施工机具+顺桥向风荷载)	14.49

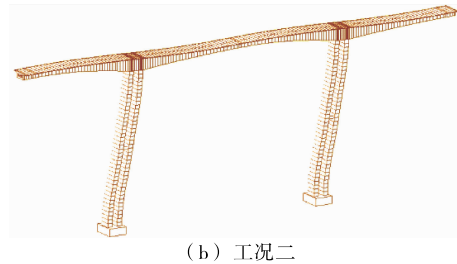
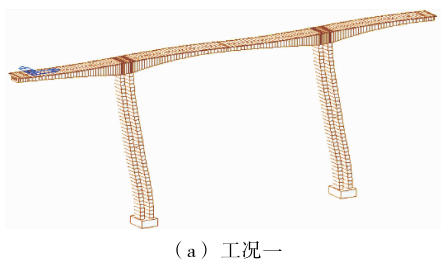


图 6 成桥阶段桥梁的一阶屈曲模态

臂状态比成桥状态更为不利,稳定系数为 14.27,但其稳定性满足规范要求。

2.4.2 主墩横隔板设置对桥梁动力特性的影响

取 2 种模型进行对比计算:模型 A 为不设置横隔板;模型 B 为在主墩上每隔 20 m 设置一道横隔板,横隔板厚 0.5 m。桥梁前 6 阶振动参数计算结果见表 3。

由表 3 可知:双肢墩之间横隔板设置与否对连

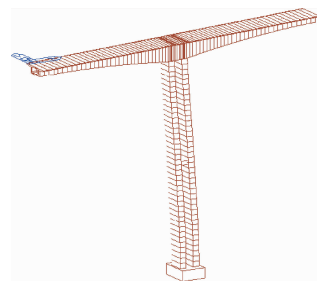


图 7 施工阶段工况一下桥梁的一阶屈曲模态

表 3 不同横隔板设置情况下桥梁振型

振型阶数	周期/s		频率/Hz		主要振型特征描述	
	模型 A	模型 B	模型 A	模型 B	模型 A	模型 B
1	2.994 1	2.994 7	0.334 0	0.333 9	一阶纵飘	一阶纵飘
2	2.919 7	2.918 4	0.342 5	0.342 6	一阶对称横弯	一阶对称横弯
3	1.965 5	1.965 7	0.508 8	0.508 7	一阶反对称横弯	一阶反对称横弯
4	1.253 2	1.253 2	0.798 0	0.798 0	交接墩顺弯	交接墩顺弯
5	1.252 9	1.252 9	0.798 2	0.798 2	交接墩顺弯	交接墩顺弯
6	1.237 7	1.237 6	0.808 0	0.808 0	二阶对称横弯	二阶对称横弯

续刚构桥结构动力特性的影响甚微。

3 结论

(1) 适当增大支点截面梁高可增大桥梁刚度,减小梁的挠度,对应力影响不大。

(2) 连续刚构桥高墩的稳定性由最大悬臂状态控制。

(3) 空心薄壁桥墩横隔板设置与否基本不影响桥梁结构的动力特性。

参考文献:

[1] 马保林.高墩大跨连续刚构桥[M].北京:人民交通出版社,2001.

[2] 彭元诚,诚秦汉,李黎.超高墩连续刚构桥设计中的关

键技术[J].桥梁建设,2006(4).

[3] 索慧敏,郭红雨.山区桥梁高墩设计研究[J].现代交通技术,2015,12(4).

[4] 刘文华,黎立新.山区高墩桥梁抗震设计[J].公路,2010(7).

[5] 冯鹏程.连续刚构桥设计关键技术问题的探讨[J].桥梁建设,2009(6).

[6] 张小月,陈艾荣,吴怀义,等.国内外高墩桥梁桥墩造型应用研究[J].上海公路,2012(1).

[7] 刘文忠,李友明,徐天良.高墩大跨曲线连续刚构桥结构行为分析[J].公路与汽运,2013(4).

[8] 丁鑫,刘海宽.基于三维坐标观测的大跨连续刚构桥主梁挠度监测与评估[J].公路与汽运,2017(6).

收稿日期:2017-09-18

(上接第 109 页)

5 结论

通过应变和挠度对比分析,对于宽跨比大于 0.5 的装配式梁桥,横向分布系数法和梁格法所得横向分布系数均与实际相差较小,具有良好的可靠性,但梁格法推算所得梁片横向分布系数与实测值更接近,可靠性更高。

参考文献:

[1] 刘华,叶见曙,俞博,等.桥梁荷载横向分布系数计算方法[J].交通运输工程学报,2009,9(1).

[2] 范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2001.

[3] 贺栓海,谢仁物.公路桥梁荷载横向分布计算方法[M].北京:人民交通出版社,1999.

[4] 李宏江,赵尚传,李万恒,等.既有装配式梁桥横向连接构造评价技术进展[J].中外公路,2014,34(2).

[5] 胡肇滋.桥跨结构简化分析:荷载横向分布[M].北京:

人民交通出版社,1996.

[6] 万鹏,郑凯锋.组合有限元方法在 T 形梁桥荷载横向分布分析中的应用[J].公路,2003(增刊 1).

[7] 宋一凡.公路桥梁荷载试验与结构评定[M].北京:人民交通出版社,2002.

[8] 湛润水,胡钊芳.公路桥梁荷载试验[M].北京:人民交通出版社,2003.

[9] 彭泽友.装配式 T 梁荷载横向分布分析[J].公路,2008(3).

[10] 刘润阳.T 梁横隔板不同连接状态对主梁受力的影响[J].铁道建筑,2009(3).

[11] 黄立浦,谭海亮,曹素功,等.装配式简支 T 形梁桥横向分布系数的研究[J].长沙大学学报,2011,25(5).

[12] 王富万,杨文兵.梁格法在桥梁上部结构分析中的应用[J].土木工程与管理学报,2006,23(增刊 1).

[13] JTG D60-2015,公路桥涵设计通用规范[S].

收稿日期:2017-08-31