

独肋下承式系杆拱桥受力分析

解文光

[悉地(苏州)勘察设计顾问有限公司, 江苏 苏州 215000]

摘要:独肋下承式系杆拱桥具有跨越能力强,占用桥面宽度少,桥面标高低,结构简洁,造型优美,施工方式灵活多变,适应能力强等特点,在现代城市建设中得到广泛应用。由于横向只有一片拱肋,一般拱肋设置在桥面横向中间位置,吊杆也设置在拱肋正下方,如果桥面宽度较大,则对桥面横向受力要求较高。通过工程实例,应用平面及空间计算软件,分别对结构纵向整体受力及横向受力进行对比计算,同时对结构的稳定性进行分析,确保桥梁各个构件的受力满足要求^[1],为类似桥型设计提供了参考。

关键词:独系杆拱;叠合梁;钢混结合段;空间稳定性

中图分类号:U448.22*5

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2021)03-0047-05

1 工程概况

本工程为老桥改建和拓建工程。老桥主桥为24 m+84+24=132 m的双肋中承式钢管混凝土系杆拱桥,主桥中跨桥梁宽度为38.4 m。在改扩建工程中,老桥保留,两侧拓宽部分各新建一座桥梁。图1、图2分别为桥梁立面及断面图。

新建桥梁主桥为单跨100 m的独肋下承式简支系杆拱结构,见图1,拱肋为钢管混凝土,拱肋轴线为抛物线,矢跨比1/5,拱顶轴线处矢高20 m;主梁拱脚处采用混凝土结构,跨中部分采用钢混组合结构,由钢结构和混凝土桥面板组成;混凝土拱脚和钢主梁通过两个混合节点相连;吊杆标准间距为5 m(与老桥保持一致),吊杆为平行钢丝成品索,系杆索为环氧喷涂无粘结钢绞线成品索;单侧主桥桥面宽度为20.5 m,从外向内依次为人行道、中央分隔带和机动车道三个部分;纵向结构体系为简支,顺桥向约束情况为:一侧墩顶设置固定支座,另侧墩顶设置活动支座;横桥向约束情况为:横桥向三个墩柱,中间墩柱为固定支座,两侧为滑动支座。

2 技术标准

- (1)道路等级:城市主干路I级;
- (2)设计行车速度:50 km/h;
- (3)荷载等级:汽车:城-A级,人群:3.5 kPa;

(4)航道标准:三级航道 $B=90$ m, $H=7$ m, $b=60$ m, $h=6$ m,通航设计水位(20 a一遇)2.40 m(黄海);

(5)设计车道:机动设在内侧,主桥宽为8 m,按双向两车道设计;外侧设人行道,宽度2.5 m;中间设置非机动车道,宽度6 m;

(6)桥面横坡:单向2%;

(7)设计洪水频率:1/100;

(8)抗震设防:地震动峰值加速度为0.05g;

(9)设计风速:按百年一遇控制, $V_{10}=28.6$ m/s;

(10)道路竖曲线参数:纵坡3%,竖曲线半径1 800 m。

3 计算荷载

3.1 恒载

(1)主梁一期恒载计算:标准梁段钢结构重量等于66.75 kN/m,混凝土板136.55 kN/m;结合梁段钢结构重量116.76 kN/m;混凝土板136.55 kN/m。

(2)二期恒载。包括护栏、人行道、沥青荷载合计105.953 kN/m。

(3)吊杆初始张拉力。吊杆分两次张拉,拱肋安装完成后进行第一次张拉,张拉力等于5 m钢梁段的总重量。桥面铺装完成后进行第二次张拉,张拉力等于5 m梁段的总重量。

(4)系杆索张拉力。

(5)预应力。边混凝土主梁的预应力筋张拉预应力为1 395 MPa。

(6)收缩徐变。按相关公路桥涵设计规范执行。

收稿日期:2020-09-06

作者简介:解文光(1979—),男,本科,高级工程师,从事桥梁设计工作。

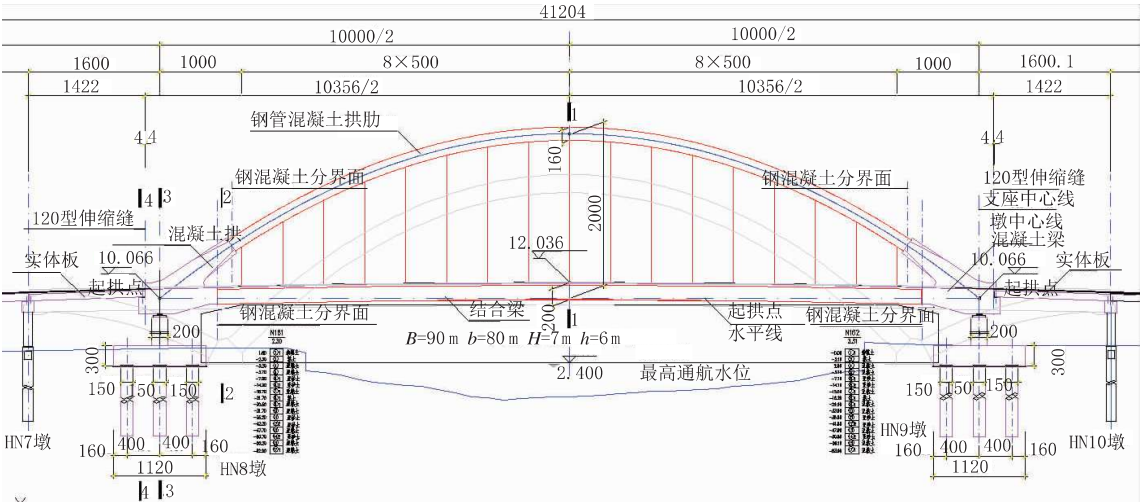


图1 桥梁立面图(灰色为老桥)(单位:cm)

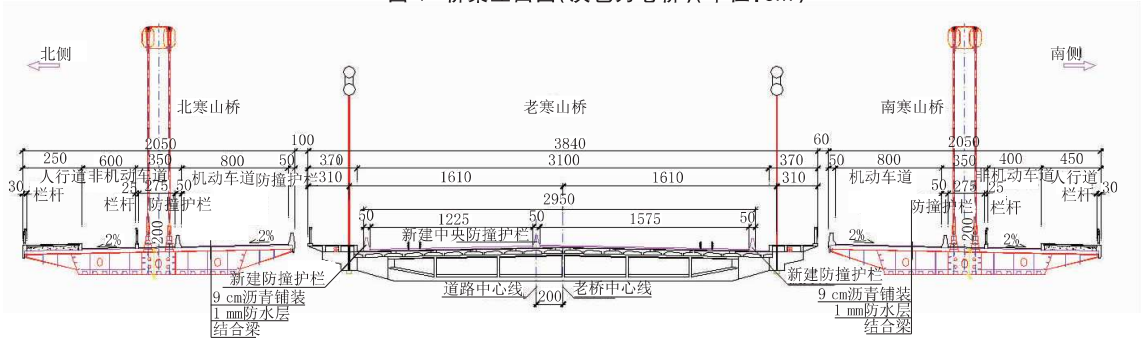


图2 桥梁断面图(单位:cm)

3.2 活载

汽车荷载采用城—A级;人群荷载:人群集度 3.5 kN/m²。

3.3 温度荷载

整体升降温。全桥结构±30℃。
体系温差。吊杆温差±15℃。
日照温差。考虑升温 and 降温两种情况。

4 主要构件材料

钢材: Q345 钢材(GB03)
混凝土: C50(JTG04)
拱肋内混凝土: C40(JTG04)

5 上部结构空间静力计算模型

本工程桥梁施工采用浮拖施工,水中搭设临时支架,中间预留通航孔。只在浮拖施工时临时断航,其它时间段均维持航道正常运行,对航道的影响非常有限。由于篇幅所限,静力分析仅给出成桥阶段组合三(恒载+活载+温度)的应力结果。

5.1 桥梁博士计算结果

主桥上部结构的纵向平面静力计算是采用桥梁博士计算程序。拱肋和主梁采用组合结构进行模拟,拱脚主梁采用混凝土构件进行模拟,吊杆和系杆采

用拉索单元进行模拟,边界条件采用左端拱脚处竖向、顺桥向均约束,右端拱脚处仅为竖向约束^[2]。主桥的有限元计算模型见图3、图4。

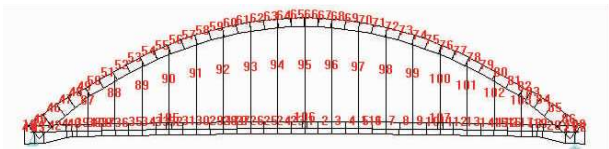


图3 主桥有限元计算模型

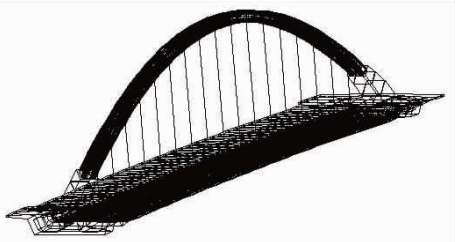


图4 主桥三维计算模型图5 拱肋及主梁钢结构应力

在组合三(恒+活+温)下,拱肋及主梁钢结构的最大拉压应力分别为 133.6 MPa 和 -107.9 MPa。满足规范要求(见图5、图6)。

在混凝土主梁及拱肋的最大压应力为 11.9 MPa,没有出现拉应力,见图7。

混凝土桥面板的最大压应力为 5.5 MPa,最大拉应力为 5.4 MPa;拱肋边箱混凝土的最大压应力为 7.9 MPa,最大拉应力为 1.6 MPa;拱肋中箱混凝土

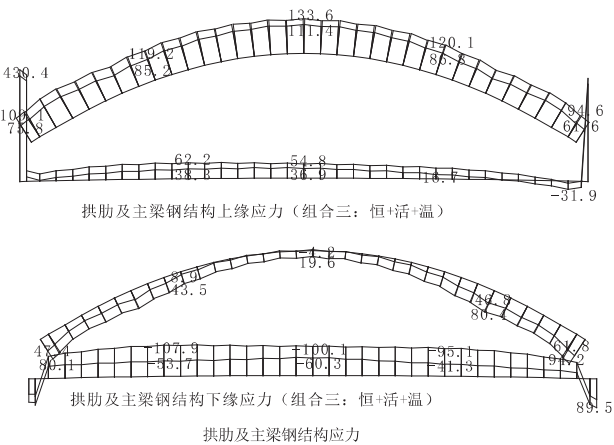


图5 拱肋及主梁钢结构应力

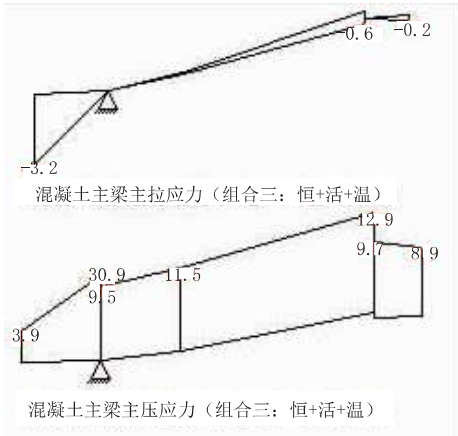


图6 混凝土主梁应力

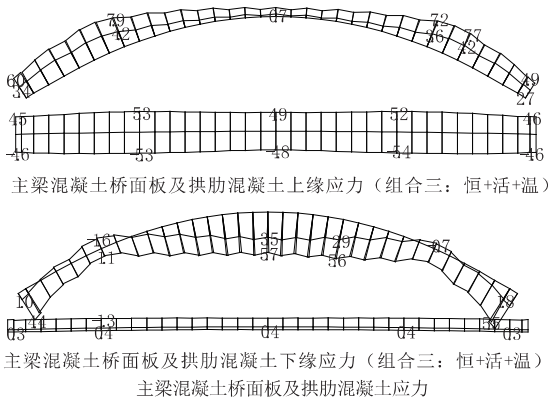


图7 主梁混凝土桥面板及拱肋混凝土应力

的最大压应力为 7.9 MPa,最大拉应力为 2.8 MPa;吊杆的最大拉应力为 548 MPa,应力幅为 114 MPa,安全系数满足大于 3 的要求;系杆的最大拉应力为 1 094.7 MPa,为系杆的标准强度 1 860 MPa 的 0.588 倍。正应力满足规范的要求。

混凝土主梁的最大压应力小于 12 MPa,最大拉应力为 0.6 MPa,钢结构部分最大的剪应力小于 30 MPa,均满足规范要求。

5.2 Midas 计算结果

由于主梁为钢混结合梁,本模型采用 MIDAS (Civil 2006 (V7.4.1 No.1))的施工联合截面模型纵

横梁,考虑主梁截面随施工过程的变化即先架设主梁钢结构,然后铺设混凝土桥面板,以及混凝土桥面形成刚度,与钢梁结合共同抵抗荷载作用^[3]。采用变截面模拟混凝土拱肋和混凝土主梁的变截面结构形式,吊杆系杆均用只受拉桁架单元进行模拟,且系杆由四个单元连接而成^[4],考虑系杆的高度变化。计算模型见图 8。

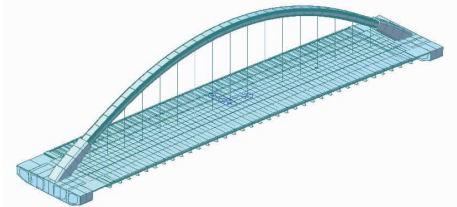


图8 Midas 桥梁 3D 模型

在成桥阶段中,组合一荷载作用下:混凝土主梁及拱肋的上缘最大压应力为 9.171 MPa,下缘最大压应力为 9.825 MPa,上下缘均不出现拉应力。在组合二下:上缘压应力处于 9.090 MPa 到 9.582 MPa 之间,下缘压应力处于 9.258 MPa 到 10.231 MPa 之间,上下缘均不出现拉应力;在组合三下:上缘压应力处于 8.667 MPa 到 13.135 MPa 之间,下缘压应力处于 8.219 MPa 到 10.824 MPa 之间,上下缘均不出现拉应力。

混凝土端横梁的上缘压应力处于 4.946 MPa 到 7.543 MPa 之间,下缘压应力处于 2.965 MPa 到 3.159 MPa 之间,下缘出现的最大拉应力为 1.334 MPa,上缘出现的最大拉应力为 0.864 MPa。均满足规范 A 类构件的要求。

混凝土普通横梁在成桥阶段组合三荷载作用下:上缘压应力处于 3.18 MPa 到 4.95 MPa 之间,下缘压应力处于 2.58 MPa 到 3.6 MPa 之间,上缘未出现拉应力,下缘出现的最大拉应力为 0.86 MPa。该横梁虽然没有配置预应力,但是在最不利荷载用下不会开裂。满足规范要求^[5]。

由于纵梁单元数量众多,在此选中间纵梁的应力结果。钢纵梁、混凝土桥面板、钢拱肋及拱肋混凝土主要内力结果如下:

中间纵梁钢结构:在组合一(恒)下,最大压应力为 41.3 MPa,最大拉应力为 62.8 MPa;在组合二(恒+活)下,最大压应力为 43.0 MPa,最大拉应力为 77.7 MPa;在组合三(恒+活+温)下,最大压应力为 43.8 MPa,最大拉应力为 83.6 MPa。

纵梁混凝土桥面板:在组合一(恒)下,最大压应力为 0.36 MPa,最大拉应力为 4.25 MPa;在组合二

(恒+活)下,最大压应力为 0.15 MPa,最大拉应力为 4.89 Pa;在组合三(恒+活+温)下,最大压应力为 4.16 MPa,最大拉应力为 6.03 MPa。

拱肋钢结构:在组合一(恒)下,最大压应力为 80 MPa,最大拉应力为 33.1 MPa;在组合二(恒+活)下,最大压应力为 86.8 MPa,无拉应力;在组合三(恒+活+温)下,最大压应力为 87.6 MPa,无拉应力。

拱肋混凝土:在组合一(恒)下,最大压应力为 7.24 MPa,不出现拉应力;在组合二(恒+活)下,最大压应力为 7.93 MPa,不出现拉应力;在组合三(恒+活+温)下,最大压应力为 8.25 MPa,不出现拉应力。

6 上部结构稳定计算

采用与空间计算相同的模型,计算一类弹性稳定。

本桥计算采用第一类线弹性稳定计算方法,计算方程为:

$$|[K]+\lambda[\bar{K}]_0|=0$$

稳定问题转化为求方程的最小特征值问题。

计算模型与静力计算模型相同,计算采用 MIDAS 软件。

在工程实际中只有第一阶失稳模态有意义,因此,仅给出各工况组合第一阶失稳模态。计算结果表明,成桥阶段最小稳定安全系数为 31.390,大于 3~4 的规范允许值,满足规范要求。图 9~图 11 列出了表 1 所示各工况组合第一阶失稳模态。

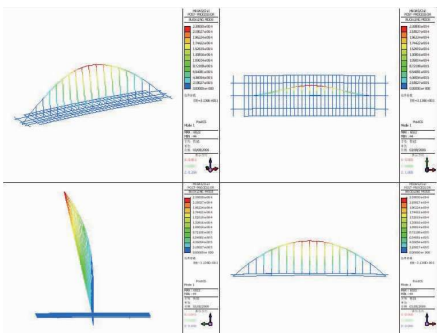


图 9 荷载组合工况 1(K=31.390)

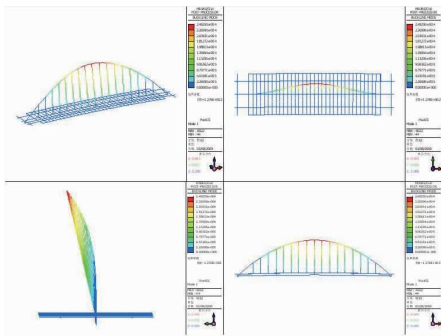


图 10 荷载组合工况 2(K=127.600)

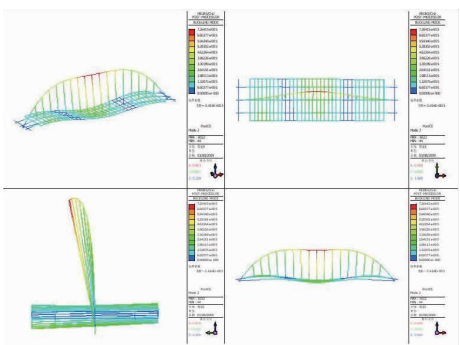


图 11 荷载组合工况 3(K=341.400)

表 1 荷载组合工况表

工况号	荷载组合情况
1	成桥恒载
2	成桥恒载+汽车荷载+人群荷载
3	成桥恒载+横桥向风(100 a 一遇)

7 墩顶横梁受力分析

空间有限元分析结果表明,50%的荷载(2 040 kN)通过拱座传至位于拱座正下方的中间支座,而另外 50%荷载由端横梁传递至两个边支座。端横梁内力分析计算见图 12、图 13,组合 I、II 下内力包络图见图 14~图 16。

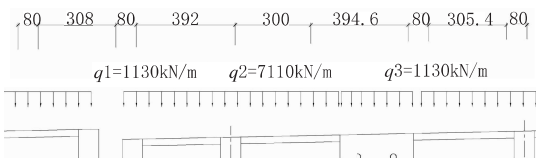


图 12 计算简图



图 13 计算模型图

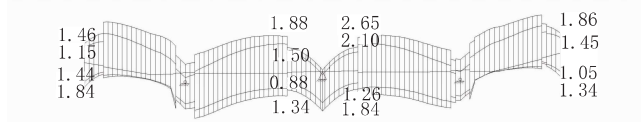


图 14 正常使用组合 II(短期效应组合)上下缘应力包络图

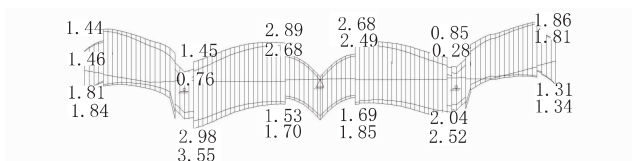


图 15 正常使用组合 III(长期效应组合)上下缘应力包络图



图 16 正常使用组合 II(短期效应组合)上下缘主应力包络图

端横梁选用桥梁博士 V3.1 进行受力分析。计算模型见图 13,共 102 个单元,支座位置为实际支座布置处。计算采用 kN,m 制,应力单位为 MPa。

作用基本组合和作用短期、长期效应组合按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)取。应力以压力“+”,以拉为“-”,单位为 MPa。

按规范 JTG D62—2004 第 6.3.1 条规定,在短期效应组合下,拉应力小于 $0.7 f_{tk}$,且在长期效应组合下,不出现拉应力。在短期效应组合下,主拉应力小于 $0.5 f_{tk}^{[6]}$ 。

本桥预应力混凝土端横梁满足 A 类预应力混凝土构件的规范要求。

8 结 论

通过对全桥进行了全面的静力和稳定,上部和下部的计算后,得到如下结论:

(1)对于全桥构件基本采用了平面和空间两种计算途径,平面和空间计算的变形比较一致(空间略大分别为 14.5 cm 和 17 cm),由于结构横向不对称造

成的结构横向变形差异较小。在施工过程中设置预拱度时应力应结合平面和空间计算,有施工监控最终确定。

(2)所有构件均可满足规范要求,结构安全可靠。

(3)和混合接头紧邻小纵梁对端吊杆横梁的受力影响较大,因为本桥的主梁将要承受拉力,而小纵梁中的拉力会造成端部吊杆横梁的悬臂侧弯,横梁受力不利,建议在浇筑该处后浇桥面板混凝土前(须完成其它所有后浇接缝混凝土后)再焊接该小纵梁。

参考文献:

[1] 刘大中.都江堰市青城大桥系梁设计[J].城市道桥与防洪,2020(8): 107-109.
[2] 王月.140 m 下承式钢箱系杆拱桥关键部位局部受力分析[D].湖南长沙:中南大学,2009.
[3] 付光辉,张生东.基于 MIDAS/Civil 有限元软件对钢拱桥整体推移过程的仿真研究[J].钢结构,2019,34(4):116-119.
[4] 黄虹.宁波市明州大桥主桥系梁设计[J].中国市政工程,2014(2): 12-14,105.
[5] 顾安邦,范立础.桥梁工程(下)[M].北京:人民交通出版社,2001.
[6] JTG D60—2004,公路桥涵设计通用规范[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

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