

V型墩刚构桥的空间受力分析与体系比选

杜林清

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要:以上海市奉贤区某跨运河全钢结构V型墩刚构桥为工程背景,利用通用有限元软件ANSYS建立空间板壳模型,对V型墩刚构桥的空间受力特点进行分析,并与常规杆系模型的计算结果进行比较,进而探讨了墩梁固结区受力特性;针对双幅箱梁间不同横梁设置参数,分析了双幅结构的竖向变形协调性等空间受力特性,提出了V型墩刚构桥的构造设计建议;对V墩与基础连接方式进行比选,从经济性、整体刚度等方面进行综合比较,选取合理的结构体系。

关键词:V型墩刚构桥;墩梁固结区;空间效应;墩台连接方式

中图分类号:U448.23

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2021)05-0099-03

0 引言

目前,国内常规的V型墩刚构桥多为预应力混凝土结构^[1],采用的体系多为墩台固结体系。本工程由于道路接坡及景观效果等因素需尽量降低梁高,故采用钢连续箱梁及钢V型墩的结构形式。同类型桥梁的先例较少,全钢结构V型墩刚构桥的墩梁固结区受力情况、横向变形协调性及墩台连接体系等均需研究比选后进行合理设计。

1 工程概况

上海市奉贤区浦南运河桥跨径布置为40 m+70 m+40 m,桥宽为26.5 m,双向4车道,两侧设人非通道。主桥采用全钢结构V型墩连续刚构桥,主梁与V型钢桥墩固结。浦南运河主桥立面布置、主墩处桥梁断面见图1、图2。

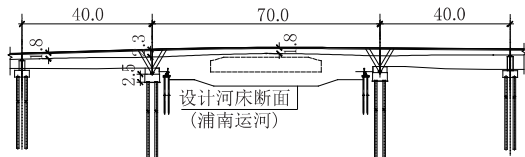


图1 浦南运河主桥立面布置图(单位:m)

浦南运河桥钢主梁跨中梁高1.8 m,在主墩处二次抛物线过渡加高至2.3 m,主梁采用横向分离双箱断面,横桥向桥面板及横肋连续。V墩采用闭口钢箱断面,V墩钢箱高度1 m,宽度7 m。该桥梁工程主要有以下特点及问题:

(1)V型墩梁固结区采用全钢结构,且V墩横

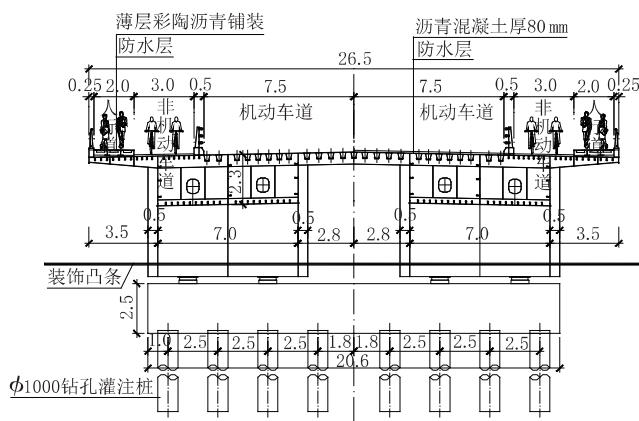


图2 浦南运河主桥主墩处断面布置图(单位:m)

向宽度较宽,纵横向受力效应需同时考虑,空间效应较复杂,是设计时应重点关注的问题。

(2)桥梁为横向双幅布置,仅通过桥面板相连,故需对是否设置横梁连接进行研究论证,并比较不同构造参数对结构整体受力性能的影响。

(3)V型墩与基础间可采用墩台固结或墩台分离的结构体系,不同体系对主桥基础体量及整体刚度均有影响,应进行比选择优选。

针对以上问题,本文采用通用有限元程序ANSYS建立空间板壳模型验算,与杆系模型的计算结果进行对比,并研究3种横梁设置情况(无横梁、少横梁、多横梁)对结构受力特性的影响,最后,对墩台固结、墩台分离2种连接方式进行比选,选择合适的结构体系。

2 计算模型

为提高计算效率,采用ANSYS程序建立半联(边跨+1/2主跨)空间板壳模型(见图3),跨中钢箱梁边界采用对称约束;V墩底及边跨边支点按实际支座位

收稿日期:2020-10-15

作者简介:杜林清(1989—),女,硕士,工程师,从事桥梁结构设计工作。

置建立约束;钢结构主要板件及纵、横向加劲肋均采用 shell63 壳单元进行模拟。



图3 V型墩刚构桥空间板壳模型

采用 Midas/Civil 程序建立杆系模型,2幅纵梁及V墩均采用梁单元模拟,并建立横向联系梁,在实际支座位置设置约束。V型墩刚构桥杆系模型见图4。

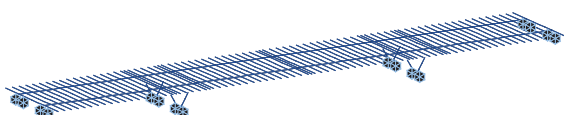


图4 V型墩刚构桥杆系模型

加载工况:考虑恒载+活载(含汽车、非机动车、人群荷载)工况;空间板壳模型及杆系模型均按实际情况模拟恒载(含一期及二期恒载);杆系模型中活载采用车道线加载,空间板壳模型中活载为在实际车道位置采用均布荷载加载,考虑最不利车道布置情况。

3 计算分析

根据空间板壳模型及杆系模型的计算结果,提取墩梁固结区的应力计算结果,空间板壳模型应力云图、杆系模型应力计算结果见图5、图6。

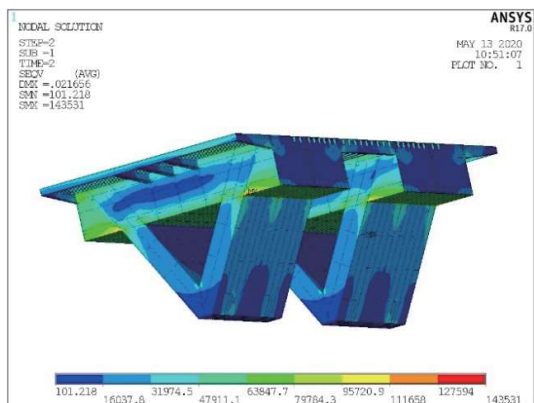


图5 空间板壳模型应力云图(单位:kPa)

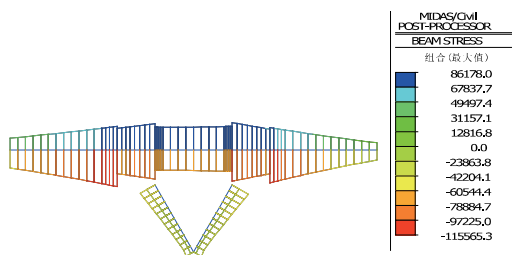


图6 杆系模型应力计算结果(单位:kPa)

分别比较墩梁固结区各主要板件应力计算结果(见表1),其中空间板壳模型中的平均应力表示同一

截面处各单元的平均应力,杆系模型的应力计算结果中已考虑剪力滞折减效应^[2]。由表1可见:空间板壳模型中各板件的平均应力水平与杆系模型中基本相近;但由于主梁与V墩相接处的部分角点局部应力较大,空间板壳模型中的最大应力比杆系模型中应力高出一定水平。为保证结构安全性,应参考空间板壳模型中的计算结果,并结合其他荷载工况下应力水平后进行结构设计。

表1 恒载+活载作用下有限元模型与杆系

计算位置	模型应力结果对比		单位:kPa
	空间板壳模型 (最大应力)	空间板壳模型 (平均应力)	杆系模型 (最大应力)
主梁顶板	90.0	69.4	86.2
主梁腹板	139.4	39.2	34.9
主梁底板	143.5	84.3	98.5
V墩	121.8	43.57	58.5

4 横梁设置构造参数比选

因纵梁在横桥向为双幅设置,当车道偏载时,桥面横向会产生如图7所示的2幅梁间竖向变形不协调,对桥梁受力整体性及桥面铺装的耐久性有一定影响^[3]。

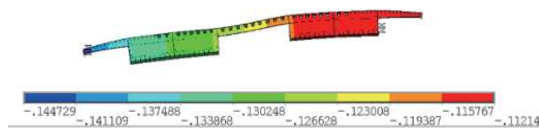


图7 跨中处纵梁竖向变形(无横梁)(单位:m)

为改善桥梁横向变形协调性,考虑以下3种横梁设置的方案:

(1)无横梁方案:双幅主梁间仅通过桥面板及横肋连接,桥梁横断面如图8(a)所示。

(2)少横梁方案:双幅主梁间设置横梁,横梁处断面如图8(b)所示,半联桥内共设置4道横梁,主要布置于主跨跨中、中支点及边支点处。

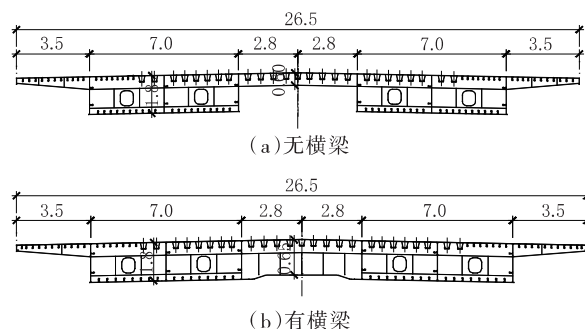


图8 桥梁横断面(单位:m)

(3)多横梁方案:双幅主梁间设置横梁,构造同

少横梁方案,半联桥共设置9道横梁,设置间距约10 m。

加载工况考虑2车道偏载,对3种方案的空间板壳模型分别加载,主跨1/2跨中、1/4跨中处同一桥梁断面的竖向变形结果见图9、图10,图中未示外侧挑臂部分的变形。

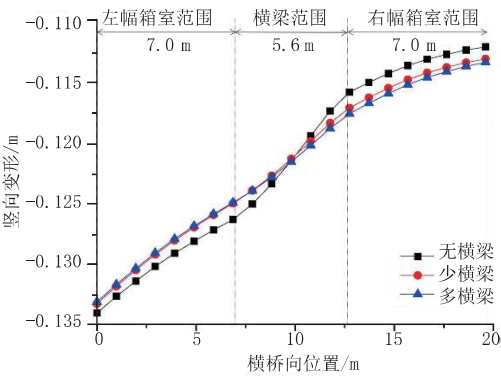


图9 主跨近1/2跨中处纵梁竖向变形结果对比

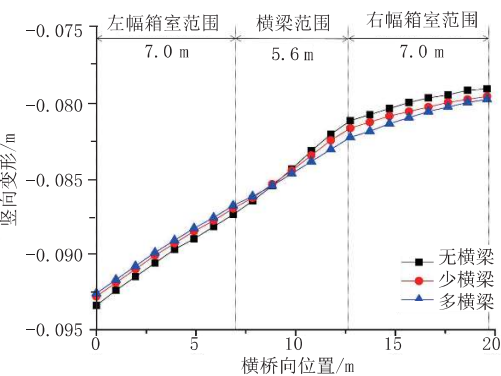


图10 主跨1/4跨中处纵梁竖向变形结果对比

由图9、图10可见,设置横梁对双幅间箱梁竖向错动变形有一定改善。在1/2跨中处,少横梁方案比无横梁方案可减小变形约1~2 mm,在1/4跨中处可减小变形约0.5 mm,多横梁方案可继续减小竖向变形不一致的幅度,但总体影响效果有限。综合考虑经济性、施工便捷性及桥下景观等影响,选用少横梁布置方案。

5 墩台连接体系比选

对V墩与基础的连接体系比选以下2种方案(见图11):

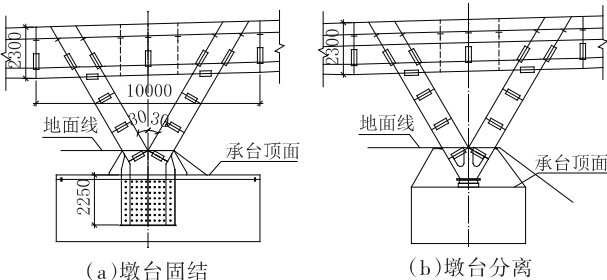


图11 2种墩台连接体系

(1)墩台固结体系。钢结构V墩与混凝土承台设置剪力键连接,固结为整体。

(2)墩台分离体系。V墩下设置支座,与承台分离,纵、横桥向均可活动。

对2种墩台连接体系分别进行计算,从杆系计算模型中提取各荷载工况下的支反力,计算V墩承台顶的荷载组合(其中剪力及弯矩均为顺桥向计算结果);采用m法计算单桩内力,对桩基布置数量、直径、主筋配置等进行设计,并对比活载下跨中挠度,计算结果见表2。

表2 2种墩台连接方式下反力及基础计算结果

荷载 工况	墩台固结体系			墩台分离体系		
	轴力 /kN	剪力 /kN	弯矩 / (kN·m)	轴力 /kN	剪力 /kN	弯矩 / (kN·m)
恒载	7 667	1 915	-4 481	8 010	0	0
活载	-59	-1 095	-7 903	-210	0	0
整体温度	160	-3 037	-12 328	-3	0	0
梯度温度	137	-463.8	-934	95	0	0
标准组合	6 887	-3 084	-26 140	7 406	0	0
单桩内力	轴力 N_{max} /kN	轴力 N_{min} /kN	弯矩 $M_{max}/$ (kN·m)	轴力 N_{max} /kN	轴力 N_{min} /kN	弯矩 $M_{max}/$ (kN·m)
	4 270	-1 193	2 054	2 275	1 898	171
桩基设置	24 ϕ 1.2 m/ 主筋 66 根 ϕ 32			16 ϕ 1.0 m/ 主筋 42 根 ϕ 22		
承台尺寸	23.2 m $\times$ 9.6 m			20.6 m $\times$ 5.0 m		
活载跨中 变形	0.05 m			0.07 m		

由表2可见,墩台固结体系下主桥刚度较大,但在活载、温度作用下,主墩基础需承受的水平荷载及弯矩均较大,桩基础设计的体量较大;在墩台分离体系中,主墩下设置支座释放了水平力,桩基设置合理,经济性较佳,且主桥刚度满足要求。

在耐久性方面,墩台固结体系中的钢混结合部位位于承台内,需进行特殊防腐处理,且需提高配筋率来控制裂缝宽度;墩台分离体系中墩底支座需埋入地下,可设置支座保护罩进行密封处理,并需为远期更换支座预留条件,耐久性也可达到较好程度。

综合考虑经济性、耐久性、受力合理性等因素,优先推荐采用墩台分离体系。对于本工程,每幅V墩下设置双支座,墩底横梁部分传力路径明确清晰,应力水平适中,构造设计较为合理。

(下转第130页)

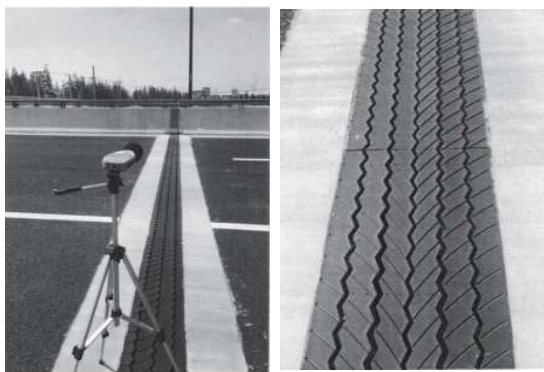


图4 新型桥梁板式橡胶降噪减振伸缩装置噪音检测现场照片

表6 新型桥梁板式橡胶降噪减振伸缩装置噪音检测数据表

代号	车速 / 类型	40 km/h	60 km/h	80 km/h
A	沥青路面	74.1	75.7	77.2
B	梳齿板式	81.4	82.7	86.3
C	降噪橡胶型式	71.6	74.9	78.1
C-B	降噪音值	-9.8	-7.8	-8.2

缩与新型桥梁板式橡胶降噪减振伸缩装置进行了振动测试(见图5)。测试结果显示“板式橡胶伸缩装置”振幅低于“钢伸缩缝”,减振效果明显。

4 结 论

通过对新型桥梁板式橡胶降噪减振伸缩装置的试验测试,表明:

(1)伸缩装置伸缩橡胶体及高性能耐磨层橡胶性能满足要求;

(2)伸缩装置所采用的高阻尼橡胶支座支承体的胶料性能符合企业标准要求,并且具有增加结构阻尼、吸收能量及减少梁端振动和降低噪声的作用;

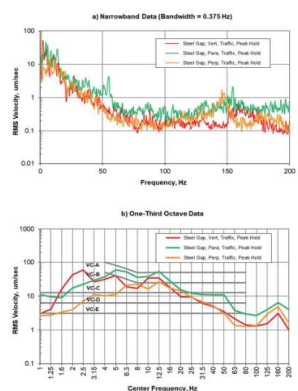
(上接第101页)

6 结 语

(1)采用杆系梁格模型进行整体受力框算,跨中、边支点等主要控制断面分析精度能满足设计要求。但对于墩梁固结区等特殊复杂节点进行空间实体有限元分析是必要的,需结合板壳模型的计算结果进行结构设计,保证结构安全性。

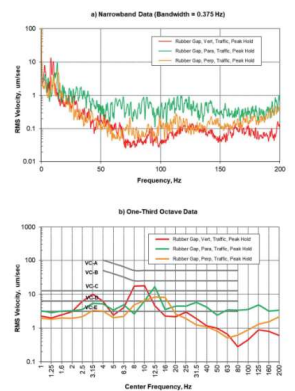
(2)双幅主梁间设置横梁对结构整体受力性能有一定提高,对纵梁竖向变形不一致效应有所改善,且考虑钢桥面使用的耐久性问题,建议设置横梁。多横梁方案与少横梁方案相比,效果相近,综合经济性、景观性等因素,可采用少横梁方案。

Figure 7. Traffic vibrations measured in three orthogonal directions (vertical, parallel, perpendicular) at a conventional steel gap, June 15, 2018.



钢伸缩装置

Figure 8. Traffic vibrations measured in three orthogonal directions (vertical, parallel, perpendicular) at a rubber-filled gap, June 15, 2018.



板式橡胶伸缩装置

图5 伸缩装置减振性能测试结果

(3)伸缩装置的外观质量、尺寸偏差、横向错位、竖向错位、纵向错位、拉伸压缩时最大水平摩阻力、拉伸压缩时变位均匀性等各项性能符合国家标准要求;

(4)伸缩装置降噪、减振效果明显。产生噪音情况与常规沥青路面相近,比常规齿板伸缩装置低8 dB。减振效果与型钢伸缩装置相比有大幅提升。

参考文献:

- [1] 赵煜,蒲广宁,贺栓海.基于外观调查的桥梁伸缩装置破损评价方法[J].公路交通科技,2013,24(11):61-65.
- [2] 辛荣亚,张启伟.桥梁旋转式伸缩装置的缝宽控制性能[J].公路交通科技,2013,30(5):53-57.
- [3] 王建波.公路桥梁伸缩装置模数式与梳齿板式之比较与选型研究[J].公路交通科技:应用技术版,2019(2):194-195.
- [4] 平树江,田芳,郭斌,等.大跨径3塔斜拉桥伸缩缝的设计与施工应用研究[J].公路交通科技:应用技术版,2012(1):159-162.
- [5] 吴延平,吴冬雁,谢旭,等.车辆通过钢箱梁桥伸缩缝的振动响应及减振[J].噪声与控制,2013(2):95-100.

(3)墩台固结体系主桥刚度大,但在活载及温度工况下主墩需承受较大水平荷载及弯矩,基础设计体量较大;而墩台分离体系可释放水平力,减小基础工程量,并且不会过多降低主桥刚度,采用埋入式支座密封保护罩可保证支座耐久性,故综合考虑推荐采用墩台分离体系。

参考文献:

- [1] 张亚东,张依睿.V形墩连续刚构桥结构设计与分析[J].南京工程学院学报(自然科学版),2017(15):29-33.
- [2] 中华人民共和国交通运输部.JTG D64—2015:公路钢结构桥梁设计规范[S].北京:人民交通出版社,2015.
- [3] 吴冲.现代钢桥[M].北京:人民交通出版社,2006.