

东莞市滨海湾大道沙涌桥总体设计

王鹏

(广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060)

摘要:东莞市滨海湾大道沙涌桥为一座三拱肋下承式系杆拱桥,在运用多拱组合的基础上,提取浪花元素,运用体量对比的多拱呼应浪花的造型,以简洁明快的姿态,展现东莞滨海湾新区的动感与活力。该文对沙涌桥的总体设计进行介绍,并运用大型有限元计算软件建立空间模型进行结构计算分析,主要包括静力、动力及稳定性分析,计算结果证明该桥安全可靠。

关键词:三拱肋下承式系杆拱桥; 总体设计; 计算分析

中图分类号: U448.22+5

文献标志码: A

桥梁全宽 80 m。

1 工程概况

东莞市滨海湾新区位于珠三角城市群东西岸交汇处,地处粤港澳大湾区核心圈的几何中心,毗邻港澳,紧连穗深,与前海、南沙等国家自贸片区紧密连接,由交椅湾、沙角半岛和威远岛三大板块组成。

滨海湾大道位于东莞市滨海湾新区长安新区板块,大致呈东西走向,西起虎门镇滨海大道、东至交椅湾大道,沿线与 13 条规划路相交,并跨越两条河道和两处水体。滨海大道路线全长约 5.52 km,规划红线宽 80 m,主线双向八车道+辅道单向两车道,道路等级为城市主干路。

滨海湾大道跨越沙涌设置一座桥梁,全长 120 m,

2 总体设计

2.1 桥型方案设计

滨海湾大道沙涌桥所跨越河涌宽度约 100 m,桥面较宽,景观要求较高。一般的梁式桥,诸如连续梁或者连续刚构桥,施工技术成熟、施工相对简便,桥型外观简洁,是非常经济的桥型。但其景观效果一般,且对于相对较宽的桥面会显得十分笨重和臃肿。因此,在该项目中不宜采用。而对于斜拉桥与悬索桥,100 m 左右的跨径太小,不是其经济跨径,也难以体现出其雄伟的气势。此外,较窄的河面上采用较高的桥塔,环境景观上会显得突兀,与环境适应性较差。

(4) 施工过程中温度、车辆荷载、短吊杆等多种因素对监测数据影响较大,必须采取措施对其影响进行消除或修正。有限元模拟计算结果从理论角度提供参考,再结合现场实际测量的数据统计分析确定修正参数,用于指导施工。

参考文献:

- [1] 张永晓. 系杆拱桥坍塌原因分析与对策[J]. 城市道桥与防洪, 2012(7): 189—190, 200.
- [2] 四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院. 公路钢管混凝土拱桥设计规范: JTG/T D65—06—2015[S]. 北京:

人民交通出版社股份有限公司, 2015.

- [3] FENG D M, MAUCH Christopher, SUMMERVILLE Samuel, et al. Suspenders Replacement for a Signature Bridge: A Case Study[J]. Journal of Bridge Engineering, 2018, 23(11): 05018010.
- [4] 苏小妹, 许红胜, 颜东煌. 不中断交通情况下拱桥更换吊杆施工工序优化研究[J]. 中外公路, 2019, 39(3): 115—118.
- [5] 单成林. 拱桥吊杆的更换设计及施工方法[J]. 中外公路, 2006, 26(4): 151—153.
- [6] 高晨珂, 金辉, 徐岳. 中下承式钢管混凝土拱桥吊杆更换的索力监控[J]. 中外公路, 2014, 34(1): 190—193.

收稿日期: 2021—04—21

作者简介: 王鹏, 男, 硕士, 高级工程师. E-mail: 327867399@qq.com

拱桥作为一种古老的桥型,由于其线形优美,跨越能力较强,特别是下承式钢箱系杆拱桥其拱肋的尺寸较小,造型更加轻柔明快。而且这种桥型可以做成单跨简支体系,无外部多余约束,特别适合在地质条件不好的滨海地区修建。因此,沙涌桥采用下承式系杆拱桥作为推荐方案。

该桥横纵比例比常规桥偏大,用常规的拱桥,如单拱或双拱,会让整座桥呆板臃肿,力学上无法支承如此宽阔的桥面。为了化解这种现象,该桥采用多拱的方式。多拱力学性能好,造型变化丰富,能营造强烈的空间感受。

桥型方案在运用多拱组合的基础上,提取浪花元素,运用体量对比的多拱呼应浪花的造型,以简洁明快的姿态,展现东莞滨海湾新区的动感与活力。方案采用 3 条拱肋,中间主拱位于桥中央,吊杆垂直且仅拉一面;两侧边拱位于辅路与干道之间,并向外倾斜与路面呈约 75°夹角,吊杆分别拉在辅路及人行道两侧,呈现出浪花的动感。平面上通过人行道的蜿蜒变化,营造出与浪花遥相呼应的感觉。桥梁日景效果图见图 1。



图 1 桥梁效果图

2.2 桥型总体布置

桥梁所处位置河涌宽度约 100 m,桥面到水面的距离不大,且河涌边设有亲水步道。为了使桥下行人获得比较开阔的视野,采用一跨跨越河涌。因此,采用 120 m 下承式系杆拱桥,其立面布置如图 2 所示。

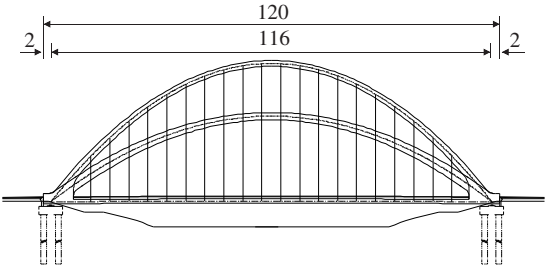


图 2 桥梁立面布置图(单位:m)

根据道路总体设计,该桥横断面主线设置双向八车道,辅道设置双向四车道,两边设置人行道和非机动

车道。全桥总宽度为 80 m,采用整幅设计,其横断面如图 3 所示。

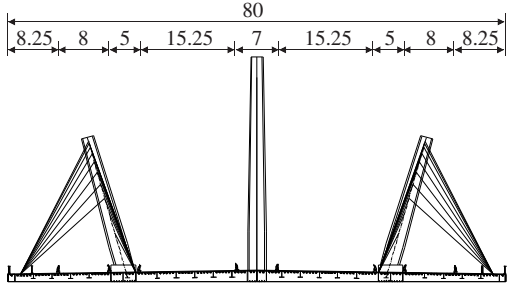


图 3 桥梁横断面布置图(单位:m)

3 技术标准

- 道路等级:城市快速路。
- 设计车速:主线 60 km/h,辅道 40 km/h。
- 设计荷载:汽车荷载:城—A 级;人群荷载:3.0 kN/m²。
- 环境类别:Ⅲ类。
- 地震烈度:抗震基本烈度为Ⅶ度,地震动峰值加速度为 0.125g。
- 设计洪水频率:1/100,百年一遇潮水位 3.46 m。
- 通航标准:该桥无通航要求。

4 结构设计

该桥结构为拱梁组合下承式刚性系杆拱桥。主拱采用三拱肋钢箱结构,主拱处于竖直面内,两边拱向外倾斜,中间不设横撑。主梁采用纵、横梁交错的梁格体系,拱肋下设置主纵梁,兼起到系杆的作用,梁端拱脚及吊杆断面设置主横梁,其余位置设置次纵梁与次横梁。桥面采用钢组合结构,钢桥面板上焊剪力钉并浇筑 50 mm 厚 STC(Super Toughness Concrete-STC 超高韧性混凝土)层,再在其上摊铺 40 mm 厚沥青混凝土磨耗层。

4.1 拱肋结构设计

主拱肋位于桥面中央,采用变截面钢箱拱肋,拱脚与钢箱纵梁固结,计算跨度为 116.0 m,设计矢高为 38.00 m,矢跨比为 1:3.05,拱轴线采用二次抛物线。

主拱肋采用倒梯形变截面箱形断面,钢箱高 1.6~2.2 m,钢箱顶宽 2.0~3.0 m,钢箱底宽 1.6~2.45 m,标准断面处顶、底板厚均为 20 mm,腹板厚为 16 mm。在梁拱结合部,拱肋顶底板加厚为 30 mm,腹板

加厚为 25 mm。

除梁拱结合部、吊杆对应部位、拱肋分段处外,主拱肋沿水平方向间距 2.5 m 设置一道横隔板;梁拱结合部与钢箱梁相对应的横隔板铅垂设置,板厚与钢箱梁内一致^[1];吊杆孔处横隔板铅垂设置;其余横隔板垂直拱轴线设置^[2]。

主拱肋顶板、底板、腹板以及梁拱结合部中间板上均焊有板式纵向加劲肋,加劲肋贯穿拱内各横隔板。在竖直隔板处断开与其焊接连接。

边拱肋采用变截面钢箱拱肋,拱脚与钢箱梁固结,计算跨度 116.0 m,竖向投影设计矢高 23.5 m,矢跨比 1:4.936,斜拱平面内拱轴线采用二次抛物线。

边拱肋采用变截面箱形截面,钢箱高 2.0~3.0 m,钢箱顶宽 2.0~3.0 m,钢箱底宽 1.6~2.4 m,标准段顶、底板、腹板厚均为 40 mm。拱肋顶底板加厚为 50 mm,腹板加厚为 50 mm。其余构造与主拱相同。

4.2 主梁结构设计

主梁采用纵横向梁格体系。与拱肋及边吊杆相对应位置设置主纵梁,采用单箱双室钢箱形断面。主拱肋下纵梁钢箱高 1.8 m,宽 3.0 m。边拱肋下纵梁钢箱高 1.5 m,宽 4.0 m。边吊杆纵梁钢箱高 1.2 m,宽 2.0 m。钢箱顶板厚度为 20 mm,底板及腹板厚度均为 16 mm^[3]。主纵梁之间每隔 3.0 m 左右设置次纵梁,次纵梁为倒“T”字形,与桥面钢板焊接。次纵梁腹板高度为 1.0 m,底板宽度为 0.4 m,底板及腹板厚度均为 16 mm。

主纵梁之间采用横梁连接,其中梁端拱脚位置设置端横梁,采用单箱多室截面,由于受桥面横坡的影响,箱梁采用变高度设计,钢箱高 1.2~1.8 m,宽度为 8.0 m,钢箱顶、底板厚度为 25 mm,腹板厚度为 20 mm。在吊杆对应位置设置吊杆横梁,纵桥向间距为 5.0 m。吊杆横梁采用单箱双室箱形断面,梁高亦为 1.2~1.8 m,宽度为 2.0 m,钢箱顶、底板及腹板厚度均为 16 mm。在两道吊杆横梁之间设置次横梁,次横梁为倒“T”字形,与桥面钢板焊接。次横梁腹板高度为 0.5 m,底板宽度为 0.4 m,底板及腹板厚度均为 16 mm。

4.3 吊杆设计

吊杆采用高强低松弛镀锌平行钢丝束,冷铸镦头锚,索体采用 PES(FD)低应力防腐索体,并外包不锈钢防护套^[4]。吊杆上端采用耳板式锚固锚于拱箱外侧,吊杆下端为张拉端,通过外加钢板调平锚固于梁底。

中间主拱位于桥中央,吊杆垂直且仅拉一面,共设

20 根吊杆,吊杆纵桥向间距为 5 m,采用 PES(FD)5-73 型低应力防腐拉索^[5],公称破断索力 2 393 kN。两侧边拱向外倾斜与路面呈约 75°夹角,吊杆分别拉在辅路及人行道两侧。辅路侧设置 20 根吊杆,采用 PES(FD)7-127 型低应力防腐拉索,公称破断索力 8 162 kN。人行道侧设置 16 根吊杆,采用 PES(FD)5-55 型低应力防腐拉索,公称破断索力 1 803 kN。

5 计算分析

5.1 计算模型

该桥结构为全钢结构下承式系杆拱桥,采用空间有限元分析软件对全桥结构进行分析。在进行计算时,应用 Midas/Civil 软件,结构计算参考设计图纸的内容,以国家设计规范作为计算参数的标准依据。主梁采用空间梁格模拟,拱肋采取梁单元模拟,吊杆分析选用桁架单元模拟方法。全桥共划分为 3 014 个单元,2 386 个节点。全桥计算模型如图 4 所示。

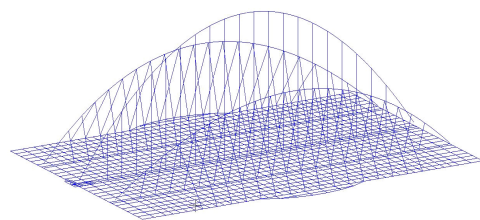


图 4 全桥计算模型

5.2 施工阶段划分

根据施工总体安排,共划分 8 个施工阶段:

阶段 1:完成桩、承台及桥台施工,并在支架上安装主梁。

阶段 2~4:分段吊装拱肋直至所有拱肋合龙。

阶段 5:安装吊杆,并施加初始张拉力。

阶段 6:拆除拱肋支架。

阶段 7:拆除主梁支架。

阶段 8:完成桥面防撞栏,桥面铺装等附属工程施工。

5.3 主要计算结果

5.3.1 静力计算结果

在作用的基本组合下,主拱拱肋的最大拉应力为 69.8 MPa,最大压应力为 150.3 MPa。边拱拱肋全截面处于受压的状态,最大压应力为 230.0 MPa。纵梁大部分处于受拉的状态,最大拉应力为 197.0 MPa,纵梁所受的压应力较小,最大也只有 28.2 MPa。横梁的最大拉应力为 210.2 MPa,最大压应力为 183.1 MPa。各构件截面应力均未超过规范允许值。

主拱吊杆最大拉力为 804.5 kN,安全系数达 3.0。边拱靠辅路侧吊杆最大拉力为 2 842.4 kN,安全系数达 2.9。边拱靠人行道侧吊杆最大拉力为 481.5 kN,安全系数达 3.7。所有吊杆的安全系数均大于规范要求(2.5)。

在汽车活载作用下,桥梁结构的挠度如图 5 所示。

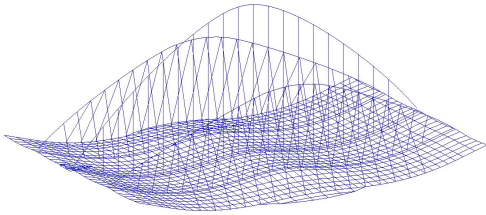


图 5 全桥汽车活载挠度图

由计算结果可知:汽车活载作用下,主梁的最大挠度为 36.8 mm,主拱拱肋的最大挠度为 29.5 mm,边拱拱肋的最大挠度为 27.7 mm。均未超过规范规定的 $L/500=240$ mm,说明该桥的刚度足够大,满足规范要求。

5.3.2 动力特性分析

通过选用子空间迭代法,对全桥自振特性进行计算分析,具体结果如表 1 所示。

表 1 自振频率及振型

振型阶数	频率/Hz	周期/s	振型特征
1	1.435	0.696	全桥纵向平动
2	1.621	0.616	边拱横向对称平动
3	1.638	0.610	全桥横向扭转
4	1.777	0.562	边拱横向反对称平动
5	1.795	0.557	主拱横向平动

根据自振特性分析结果,采用了更多的振型参与动力计算;结构整体采用钢结构下承式系杆拱桥体系,1 阶频率达到 1.435 Hz,结构整体刚度较大。

5.3.3 稳定性分析

全桥稳定性分析考虑全部恒载以及满布汽车活载的工况。计算结果如表 2 所示。

表 2 表明:该桥的 1 阶失稳模态安全系数为 12.058,满足规范要求。

6 结论

东莞市滨海湾大道沙涌桥在运用多拱组合的基础

表 2 失稳模态及特征值

模态	特征值	失稳模态
1	12.058	主拱面外对称失稳
2	14.508	主拱面外反对称失稳
3	17.520	边拱面外对称失稳
4	17.653	边拱面外对称失稳
5	17.941	边拱面外反对称失稳

上,提取浪花元素,运用体量对比的多拱呼应浪花的造型,以简洁明快的姿态,展现东莞滨海湾新区的动感与活力。该文主要介绍了该桥的总体设计特点,并采用 Midas/Civil 软件进行有限元分析,对计算结果进行分析整理。计算结果表明该桥承载能力以及桥梁刚度等各项指标均满足规范要求。得出以下结论:

(1) 采用单跨下承式系杆拱桥体系,外部为简支的静定结构体系,特别适合于滨海环境地质条件较差的地区。

(2) 该桥结构体系合理,各构件受力满足规范要求。由主拱、边拱组成的 3 片异形拱结构,具有良好的稳定性。

(3) 中间主拱所承受的荷载并不大,但由于其只设置了竖直吊杆,且没有设置横撑,所以需要足够的截面尺寸保证主拱的稳定性,中间主拱也是控制全桥稳定性的关键。

(4) 边拱向外倾斜的角度为 15°,拱肋受力十分不利,应合理地确定吊杆力,确保拱肋结构应力和稳定性满足规范要求。

参考文献:

[1] 李荣浩,王炳岩,齐金朋.甬台温铁路雁荡山特大桥 2×90 m 叠合拱钢桥的制作与安装[J].铁道标准设计,2008,52(2):58—62.

[2] 徐东进.兴宁市兴旺大桥主桥总体设计[J].广东公路交通,2015,41(2):31—34.

[3] 莫时旭,周梓滔,李君谊.不同参数条件对充填式窄幅钢箱—混凝土组合连续梁裂缝的影响[J].建筑结构,2020,50(2):101—106.

[4] 原红磊.临近既有线跨路系杆拱桥门式支架设计与计算[J].城市建设理论研究,2012(9).

[5] 贾宏宇.地震断裂带高铁大跨拱桥钢管拱肋的力学特性与施工技术[J].水利水电技术,2020,51(4):113—122.