

通港大桥主桥结构设计及计算分析

仲健

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:介绍江苏省盐城市阜宁开发区跨越通榆河的一座城市景观桥——通港大桥主桥的景观设计方案及结构计算分析。该桥主桥跨径为60 m+110 m+60 m=230 m,采用拱梁组合结构体系。通过结构计算及全桥稳定分析,验证了该桥梁方案的合理性以及安全性。

关键词:下承式拱桥;结构设计;传力长度;盐城市

中图分类号: U448.22+2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)09-0080-03

1 工程概要

通港大桥东西向横跨通榆河,西接现状华茂大街,与协鑫大道平面交叉,东接泰山路,是横跨通榆河的一条重要线路。桥位北侧紧临阜宁港口,北侧为329省道,项目建成后对阜宁开发区路网完善建设具有重大意义。

通港大桥主拱的景观造型创意借鉴庙湾八景之一的东望奇云中的彩虹形态,将现代造型拱桥化作一道轻盈的彩虹跨越通榆河上。该桥设计在满足功能要求的前提下,力求结构线形优美、造型新颖独特,与周围环境协调一致,融为一体,打造盐城阜宁开发区新的地标,提升通榆河景观功能。方案采用下承式单索面拱梁组合结构,拱肋在桥面中央分隔带内。主桥效果如图1所示。



图1 通港大桥主桥效果图

2 结构设计

通港大桥主桥采用下承式单索面拱梁组合结构,跨径为60 m+110 m+60 m=230 m,采用拱梁固接,墩梁分离结构,支座布置按连续梁体系设置。桥

位处近期人行需求较少,近期未设置人行道,标准桥面宽度为23 m,其中包括0.5 m(防撞墙)+9.25 m(车行道)+3.5 m(吊杆区)+9.25 m(车行道)+0.5 m(防撞墙)。该桥考虑预留远期人行道条件,在主桥两侧架设三角桁架增设2.5 m宽人行道,主桥立面布置图及近、远期主桥横断面分别如图2~图4所示。

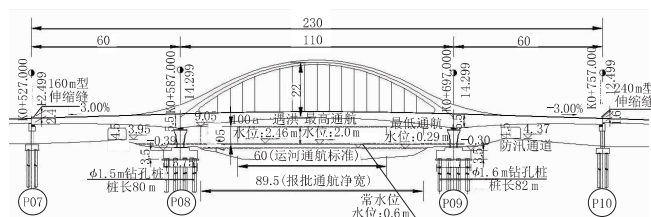


图2 主桥立面图(单位:m)

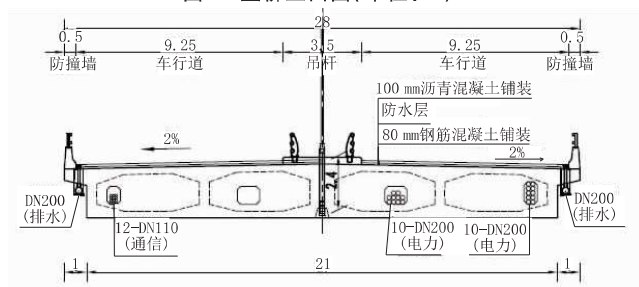


图3 近期主桥断面图(单位:m)

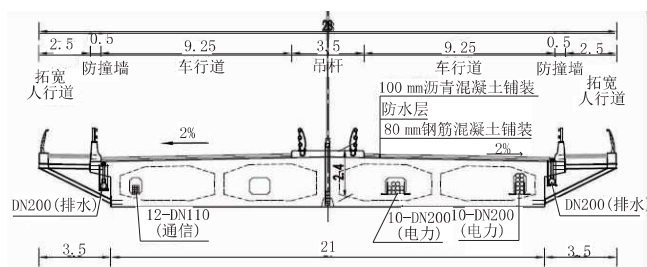


图4 远期主桥断面图(单位:m)

主桥箱梁构造主要考虑两个因素:结构中line处是否设置腹板以及吊杆处是否设置横隔板,比选四种方案,详见表1。

收稿日期:2021-03-12

作者简介:仲健(1989—),男,硕士,工程师,主要从事桥梁设计工作。

表 1 主梁构造方案

	结构中心线处腹板	吊杆处横隔板
方案一	设置,跨中腹板延伸至边跨,腹板连续	不设置
方案二	设置跨中腹板延伸至边跨,边跨处分为两道腹板	不设置
方案三	不设置	设置
方案四	跨中腹板延伸至边跨,腹板连续	设置

经比较,结构中心线处设置连续的腹板可抵抗拱底传递的外推力,跨中吊杆处设置横隔板,可以提供纵横向传力路径。方案四作为设计推荐方案。

主梁为直腹板箱型结构,纵向全预应力体系,混凝土采用 C55。箱梁顶面设置 2%双向横坡,底板底面水平。如图 5 和图 6 所示,箱梁顶板宽 23 m,悬臂长 1 m,底板宽 21 m。跨中梁高 2.4 m,拱脚处支点梁高 5.5 m,中间段采用 2.0 次抛物线过渡。箱梁顶板厚度 30 cm。箱梁共设置五道腹板,结构中心线处腹板考虑布置吊杆构造,比外侧腹板厚,中跨中腹板板厚由跨中至中支点变化为 110~350 cm,边跨中腹板板厚由跨中至中支点变化为 90~350 cm,外侧腹板板厚变化为 45~70 cm。中跨吊杆处均设置一道横隔板,横隔板间距为 5 m,隔板厚度为 30 cm。中支点处横梁宽度为 3 m。

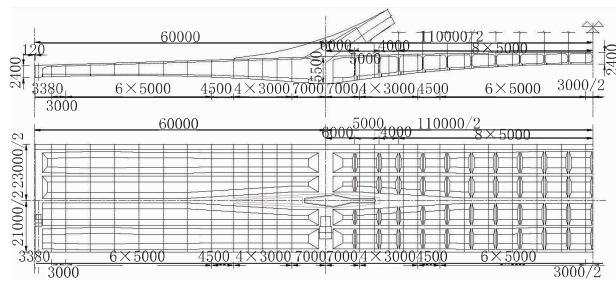


图 5 1/2 主桥立面及平面图(单位:m)

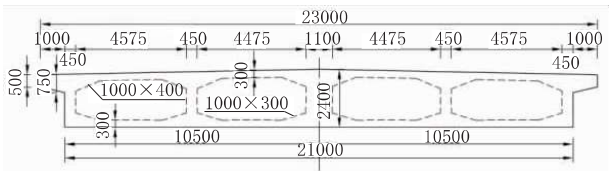


图 6 标准横断面图(单位:mm)

拱肋采用六边形钢箱拱,拱矢高为 22 m,对应矢跨比为 1/5,拱轴线、拱顶底缘线均采用二次抛物线拟合,拱顶拱高为 1.8 m,拱底拱高为 3.649 m,拱肋箱宽为 2.1 m。考虑到拱底与主梁合并处受力复杂,且刚度较小,在该区段灌注混凝土,形成拱座构造。

吊杆为单索面体系,采用 GJ15-19 钢绞线拉索,全桥共设置 17 根吊杆,吊杆间距为 5 m。吊杆安全系数不小于 3。吊杆在拱肋处为固定端锚具,采用叉耳式锚固构造,梁端为张拉端,张拉点位于主梁底。

配合全桥整体造型,主墩外观为门式墩,为减轻墩身自重,将墩身中间挖空,墩身采用 C40 混凝土。桥墩高度为 8.0 m。桥墩顺桥向宽度 3 m,横桥向墩身宽度 16.01 m,单个墩柱下设置 20 根 $\Phi 1.5$ m 的摩擦桩。两侧引桥采用简支变连续预应力小箱梁结构,过渡墩采用高低盖梁双立柱结构形式,设置 8 根 $\Phi 1.2$ m 的摩擦桩。

3 施工方案简述

根据通榆河现状保护及桥位处河道通航要求,施工方案的设置原则为:施工期不得中断运河通航,主梁不得采用满堂支架及少支架施工方案,推荐采用悬臂浇筑法。

具体施工步骤如下^[1]:

- (1)满堂支架浇筑 0 号块,同步采取临时固结措施;
- (2)逐段浇筑(1#~11#)悬臂梁段;
- (3)满堂支架浇筑边跨现浇梁段;后续浇筑边跨合龙段,拆除边跨支架并同时解除临时固结;
- (4)浇筑中跨合龙段;
- (5)主梁贯通后,梁上搭设支架,吊装主拱,安装吊杆并张拉吊杆;
- (6)施工桥面系及附属设施,如有需要可进行二次吊杆调索。

4 结构计算

4.1 主要技术参数

4.1.1 设计标准

- (1)道路等级:二级公路兼城市次干路。
- (2)设计车速:50 km/h。
- (3)设计荷载:汽车荷载为公路 -I 级。远期人群荷载按规范^[2]第 10.0.5 条规定选用。
- (4)设计基准期:100 a。
- (5)结构安全等级:一级。
- (6)地震基本烈度为 6 度,地震动峰值加速度 0.05g;桥梁抗震设防分类为丙类。

4.1.2 主要设计荷载

- (1)恒载:按实际输入的截面面积,混凝土容重 26 kN/m³。主梁横隔板、中横梁、端横梁等采用荷载形式计入。
- (2)活载:汽车荷载按公路 -I 级,四车道,人群及非机动车荷载取 2.5kN/m²。
- (3)温度荷载:体系升温 25℃,体系降温 -25℃,

梯度温度按规范^[3],拱梁温差按±15℃计。

(4)风荷载:按规范^[2]取用,设计基准风速计算成桥按100 a一遇计,参与汽车荷载组合。

(5)基础沉降:单个基础产生10 mm沉降,程序按照最不利组合计算。

4.2 计算模型^[1]

主桥纵向整体静力计算采用Midas Civil (2020)有限元软件,模型采用梁单元与桁架单元建模,将全桥离散为有限元模型:梁单元模拟主梁,桁架单元模拟吊杆。模型边界条件处理:弹性连接模拟支座;大地节点均固结;通过设置刚性杆件模拟吊杆与主梁和主拱的连接;计算结构模型如图7所示。

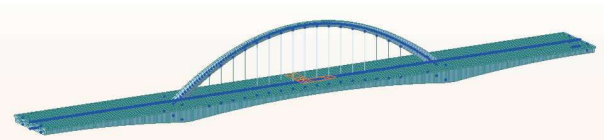


图7 结构计算模型(Midas模型)

4.3 主梁计算结果

依据规范^[4],主梁计算按全预应力混凝土构件进行,主要计算结果见表2,计算结果均满足设计规范。

表2 主梁计算结果 单位:MPa

	短暂状况最大压应力	短暂状况最大拉应力	频遇组合最小正应力	频遇组合最大主拉应力	标准组合最大正应力	标准组合最大主压应力
计算结果	-14.54	0.54	-0.28	0.679	-16.83	-16.9
允许值	-21.12	1.918	不出现拉应力	1.096	-17.75	-21.3

结构在活载作用下,主梁最大竖向位移为13.2 mm,小于规范限值: $1.4125 \times L/600=1.4125 \times 110/600=259$ mm,主梁整体刚度满足规范要求。

4.4 吊杆安全系数分析

顺桥向沿主梁布置17根吊杆,以主跨中心线对称布置,吊杆编号为1~17。吊杆的抗拉强度为1 860 MPa,吊杆基本组合下的索力计安全系数,见表3。

由表3可知:吊杆索力均满足规范对拉索安全系数不小于2.5的要求。

4.5 拱脚局部分析

该桥拱脚处,钢箱拱、拱座及预应力主梁结合处受力复杂,需要利用板单元和实体单元建立精细化模型,钢箱拱采用板单元模拟,拱座及预应力混凝土采用实体单元模拟。主梁截取B3#~Z4#节段,边界位置距拱脚处长度不小于1.5倍主梁高。在拱肋形心

表3 吊杆索力结果

吊杆编号	破断力/kN	索力/kN	安全系数
1	4 940	1 433	3.45
2	4 940	1 536	3.22
3	4 940	1 528	3.23
4	4 940	1 549	3.19
5	4 940	1 565	3.16
6	4 940	1 584	3.12
7	4 940	1 600	3.09
8	4 940	1 609	3.07
9	4 940	1 608	3.07

处加载基本组合作用下的最不利内力,拱脚局部模型如图8所示。

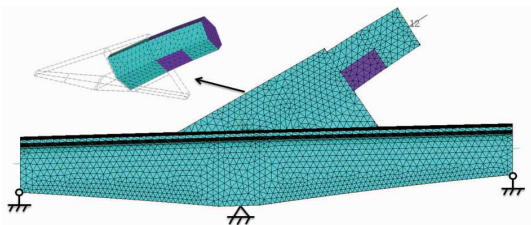


图8 拱肋局部模型

局部钢拱肋的应力分布情况如图9所示。拱肋在基本组合值作用下发生的最大压应力为88 MPa,最大压应力,小于Q345qD的强度设计值,钢拱肋强度满足规范设计要求。拱肋压应力在2 m范围内由88 MPa迅速降至8 MPa,计算表明深入拱座范围内拱肋传力路径有效且传力长度满足设计要求。

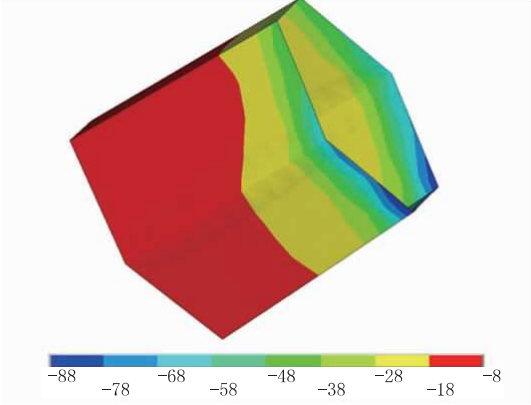


图9 拱肋正应力分布图(单位:MPa)

拱座混凝土作为主梁的延伸,属于承受弯压荷载的梁式构件,主压应力分布情况如图10所示。在基本组合值作用下发生的最大主应力为12 MPa,满足规范设计要求。

4.6 全桥稳定性分析

该桥稳定性分析是将结构自重、二期荷载作为不变荷载,将汽车活载作为可变荷载逐级施加在主

(下转第88页)

结果相比,桥博计算的结果表现出各板的横向分布更为均匀。这可能主要是因为 Midas Civil 中模拟的横向连系梁的刚度取值和桥博不同,或者本模型的横向连系梁的截面特性还有进一步优化的空间。如果考虑桥梁上部结构的二期铺装,将使计算的结果更偏向于桥博的取值。

表 6 桥博法与梁格法计算横向分布系数结果比较

梁号	桥博法			梁格法(4 车道)		
	4 车道	3 车道	2 车道	钢束 1	钢束 2	钢束 3
1	0.106	0.115	0.126	0.101 5	0.101 4	0.101 3
9	0.205	0.201	0.199	0.187 6	0.187 7	0.187 8
10	0.207	0.200	0.203	0.207 9	0.208 0	0.208 1
11	0.208	0.202	0.203	0.205 6	0.205 8	0.205 9
19	0.140	0.152	0.166	0.121 5	0.121 5	0.121 4

5 结 语

对比不同钢束下空心板横向分布的数值可以看出,适当钢束数量的改变对板梁自身略有影响,但是很小,实际设计过程中可以忽略。从桥博法计算和梁

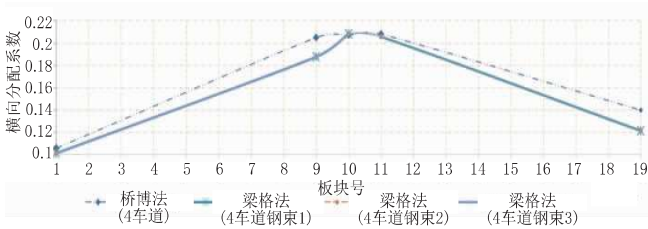


图 4 横向分布系数分布图

格法计算的结果对比可以得到,桥博中计算空心板的横向分布的均匀性更好,边板大于 Midas Civil 计算的数值,中板小于 Midas Civil 中计算的数值,实际设计中,采用桥博法计算的中板横向分布是偏于不利的,对中板横向分布的取值可以适当增加。

参考文献:

[1] JTG D60—2004,公路桥涵设计通用规范[S].
[2] 刘美兰. Midas Civil 在桥梁结构分析中的应用(一)[M]. 北京: 人民交通出版社,2012.
[3] 张军辉. 梁格法求得横向分布系数与桥博计算结果的比较分析[J]. 黑龙江科技信息, 2014(13): 200.
[4] 周义强,唐康Ⅲ,罗长维. 空心板桥横向分布系数计算方法精度分析[J]. 科技信息,2014(6): 185.

(上接第 82 页)

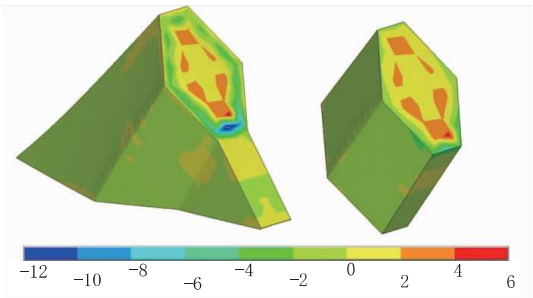


图 10 混凝土主应力分布图(单位:MPa)

梁上,得出整体稳定系数为 9.9,安全系数均大于 4.0。失稳模态为拱肋面外失稳,如图 11 所示。

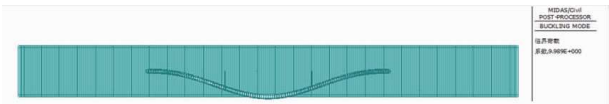


图 11 主桥失稳模态图(单位:MPa)

5 结 语

本文介绍了一座主跨为 110 m 下承式单索面拱

梁组合结构设计。得出以下结论:

- (1)通过对桥梁结构的有限元计算,表明在全桥悬臂浇筑阶段及运营阶段,该桥主梁、拱肋及吊杆的受力均满足规范要求;
- (2)建立拱座局部分析模型,结果表明拱肋及拱座受力满足规范要求。其中,拱座内拱肋传力长度为 2 m,为保证拱肋传递路径有效,拱肋深入拱座内长度设计取 4 m,不小于 2 倍传力长度。拱座内预埋拱肋长度设计取值可为同类型桥梁提供参考。

参考文献:

[1] 吴用贤,仲健,陆宏伟.承德市闫营子主桥结构设计及计算分析[J]. 城市道桥与防洪,2020(8):144-146+17.
[2] CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范[S].
[3] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
[4] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土设计规范[S].