

正向参数化设计方法在鄂尔多斯3号 桥钢拱设计中的应用

蒲泊舟,王冠男,曾勇

(林同棣国际工程咨询(中国)有限公司,重庆市 401121)

摘要:鄂尔多斯3号桥采用主跨192 m中承式复式拱桥结构形式。该项目具有景观效果突出、空间关系抽象、结构形式复杂等特点,常规设计思路无法满足设计需求。项目借助正向参数化设计理念,运用“R+GH”设计手段,对3号桥主拱及副拱进行三维参数化建模;同时通过有限元分析,评判运营阶段结构变形对吊杆的影响,对索导管空间角度进行修正;依托正向参数化设计强大的空间设计及交互能力,将三维设计成果转化为二维图纸进行输出。该文阐述了正向参数化设计在空间异形拱桥结构中的应用以及参数化设计与结构有限元计算、三维空间展示、二维成果输出等功能的无缝衔接,可为同类型桥梁正向设计的应用提供参考。

关键词:拱桥;参数化;正向设计;有限元分析

中图分类号:U442

文献标志码:A

0 引言

桥梁建设项目除解决交通出行,还承载着城市的景观塑造,城市空间的合理布局,人与环境的和谐共处等诸多期许,使得大量独具一格的异形景观桥梁成为城市中一道道亮丽的风景线^[1]。在众多优秀桥梁方案涌现的同时,如何提高方案落地的保真率,明确异形结构受力性能,确保整体结构的可靠性等也一并呈现在设计师的眼前。以往的二维设计理念已无法满足异形结构设计的诸多需求。

借助数智化高新技术,依托三维设计的正向参数化设计理念,将异形结构完整展现在三维模型中;同时打通与有限元软件的交互通道,实现几何模型与力学模型的高效、稳定、无缝衔接^[2],实现市政景观桥的全过程参数化设计,可为市政景观桥梁设计提供强有力的支撑。

1 项目概况

1.1 项目简介

鄂尔多斯3号桥位于鄂尔多斯市康阿组团核心区

域,是跨越乌兰木伦河连接康巴什新区和伊金霍洛旗之间的重要通道,南岸接伊金霍洛旗河额仑路,北岸接康巴什新区乌兰木伦街,西侧距离上游已建成的2号桥约2 km,东侧距离下游已建成的4号桥约3.5 km。

本项目路线全长约834.325 m,道路等级为城市主干路,设计速度为50 km/h,标准路幅宽度为39 m,路幅布置为双向六车道+非机动车道+人行道。全线含景观性市政桥一座,桥梁全长348 m(主跨为192 m中承式系杆拱桥)^[3],桥梁南侧引道长约336 m,北侧引道长约150 m。本桥总体布置见图1,总体效果见图2。

1.2 项目特点

本项目主桥结构采用中承式复式拱桥,主拱为外倾悬臂结构,外倾角度为17°,主拱与主梁之间设17对吊杆;副拱为反向内倾结构,内倾角度为45°,副拱与主拱在临近主墩位置各设置3对吊杆。主梁采用3跨连续钢箱梁结构形式,主拱拱座与主墩依托同一承台支撑,承台下设群桩基础;副拱拱座为减小对河道两岸壁画影响,采用变截面结构形式,与副拱拱座基础斜向相交。

本项目具有景观效果突出、空间关系抽象、结构构造复杂等特点,借助正向参数化设计理念,对本项

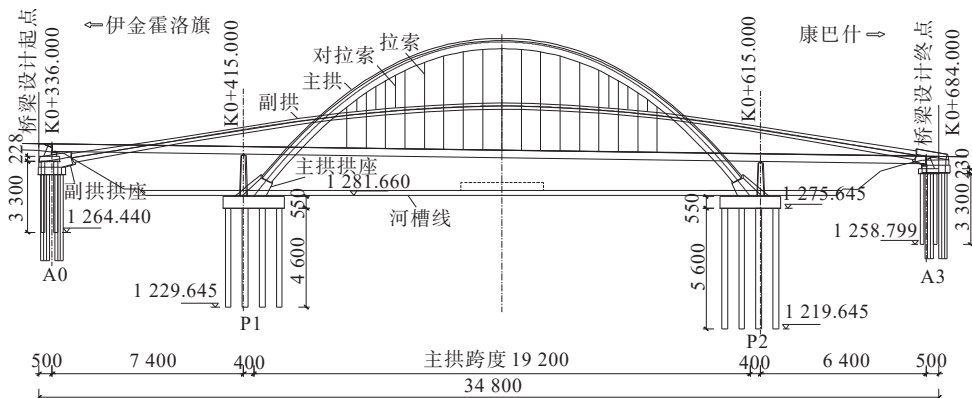


图1 鄂尔多斯3号桥总体布置图(单位:cm)



图2 鄂尔多斯3号桥总体效果图

目中空间关系最为复杂的主拱与副拱进行正向参数化设计,为市政异形景观桥提出一种新的设计理念和表达方式,实现对项目的赋能增值。

2 正向参数化设计思路

基于正向参数化设计理念,利用具有强大建模功能的三维造型软件Rhino(以下简称Rhino)和参数化设计创新领域的设计插件Grasshopper(以下简称GH)的相互协同^[4]。通过GH进行主拱与副拱的空间参数化建模,采用Rhino进行直观展现,将主拱、副拱、主副拱吊杆、梁拱吊杆按设计线形进行三维建模,反映设计线形下主拱、副拱、主梁间三维真实关系;同时为考虑拱桥在成桥后主副拱、主梁线形变化对吊杆角度的影响,建立成桥线形参数化模型,修正吊杆对应索导管角度,输出修正后主副拱结构的三维正向剖面。

3 主副拱正向参数化设计

3.1 总体设计

3号桥主拱正向采用2.1次抛物线方程:

$$Y = \frac{75}{96^{2.1}} \times |X - 96|^{2.1} + 75 \quad (1)$$

式中: X 为主拱拱脚连线的纵桥向水平坐标。

通过向外倾斜 17° 形成空间主肋线形;副拱结合景观及结构受力需要,正向采用1.8次抛物线+直线相连的曲线方式,通过内倾 45° 形成空间副拱线形,左右侧副拱大体呈反对称形式布置。

$$Y = \begin{cases} 0.28X + 43.68 (X \leq -100 \text{ m}) \\ -0.0038X^{1.8} + 31.2355 \\ (-100 \text{ m} < X < 100 \text{ m}) \\ Y = -0.28X + 43.68 (X \geq 100 \text{ m}) \end{cases} \quad (2)$$

设计时将线形公式导入GH中,进行参数化编程并生成相应数据,每隔1 m生成一个线形控制点,对于吊点等位置增设控制点;依次连接控制点形成主副拱拱轴设计中心线。灵活使用单轨扫掠及放样将主副拱断面按实际设计赋予拱轴线,形成三维参数化轮廓,通过烘焙将三维模型在Rhino中完整呈现。

对于桥梁设计而言,合理的三维成桥设计线形不仅能使结构的受力达到最优,同时也能最大程度降低设计成果与方案成果的失真率。

对于设计过程控制而言,仅仅关注成桥设计线形是远远不够的。在成桥过程中,不同的施工工艺、不同的桥面布载、不同的外部环境条件等因素都将直接影响桥梁主副拱及主梁的变形,最终在成桥状态时产生结构的累加施工变形,影响结构的最终设计线形,故在设计时都应提前考虑。

对于3号桥而言,其复杂的空间拱结构,导致主拱、副拱、主梁在结构受力时有各自的变形,且变形趋势不尽相同,这就使得原本异形的空间几何结构体系,迭代各自的变形后,变得愈加复杂。如若仅采用常规的二维设计思路,几乎无法完成主副拱的精

细化设计,而采用正向参数化设计理念可快速高效地达成这一目的。

3.2 有限元模型分析

3号桥设计使用年限按照100年进行控制,主副拱、主梁主要采用Q345qE、Q420qE钢材,主拱和副拱拱座采用C50混凝土,桥墩墩身采用C40混凝土,承台采用C35混凝土,桩基础采用C35水下混凝土。

为得到结构真实的受力及变形参数,采用Midas Civil空间有限元分析软件建立全桥模型(图3)。

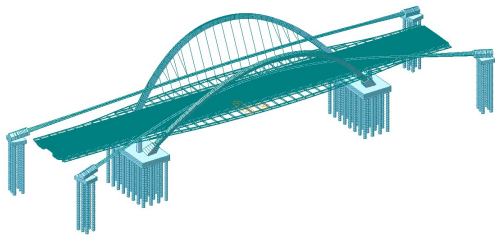


图3 全桥有限元模型

模型中结构自重按照实际重量施加,活载按城-A级设计,人群荷载及温度荷载按照规范取值^[5]。

对于结构抗风、抗震设计,结合场地实际地质情况及气候特点进行相应验算控制;地震动峰值加速度为0.10g,地震动反应谱特征周期0.45 s。设计风速按照离地面10 m高,重现期100年,10 min平均最大风速33.7 m/s。

基于有限元分析模型,得出索导管修正控制工况(恒载+0.5活载)下主副拱及主梁变形曲线如图4~8所示。

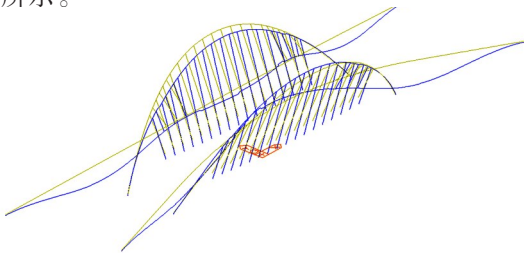


图4 主副拱位移变形图

从图5可以看出:在形变控制工况(恒载+0.5活载)下,主拱呈现内倾下挠的趋势,且左右侧主拱变形基本一致,最大横向位移为144 mm,最大竖向变形为41 mm。

左右侧副拱反对称的结构构造,使得荷载存在差异,故而在结构形变方面,两侧副拱变形虽总体趋势一致,但位移大小各异,经有限元分析得出:左侧副拱最大横向位移为112 mm,最大竖向变形为255 mm;右侧副拱最大横向位移为142 mm,最大竖向变形为229 mm。

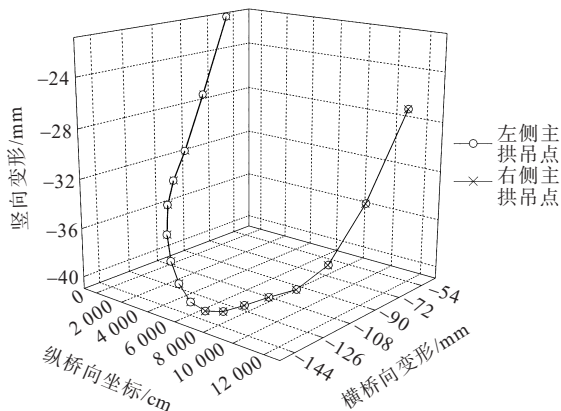


图5 主拱-主梁吊杆主拱锚点三维变形

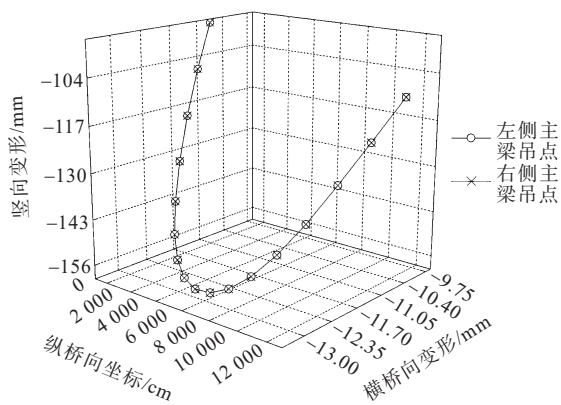


图6 主拱-主梁吊杆主梁锚点三维变形

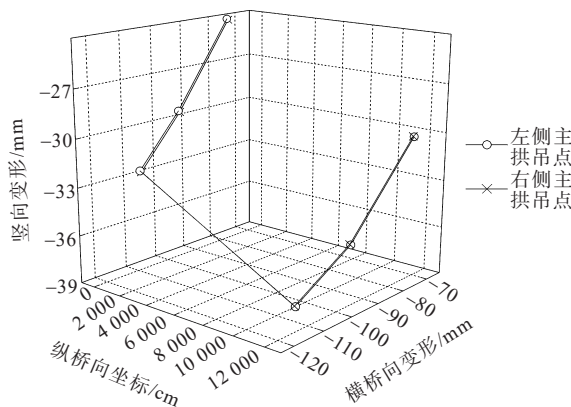


图7 主拱-副拱吊杆主拱锚点三维变形

从结果可以看出:主副拱、主梁在控制工况下均有不同程度变形,但由于主梁、主拱左右相对对称,荷载较为均匀,左右侧变形基本一致;而对于反对称的副拱,则由于其独特的反对称构型,导致结构的变形相对比较离散。

基于有限元分析结果,为保证吊杆设计的相对位置,就必须对索导管角度进行预偏修正,否则在成桥运营过程中势必会导致吊杆与索导管管壁接触摩

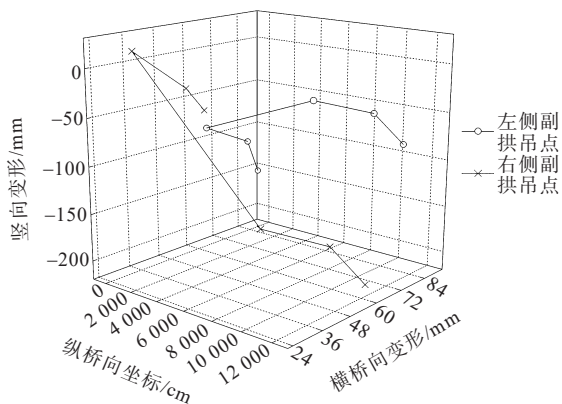


图8 主拱-副拱吊杆副拱锚点三维变形

擦,改变吊杆的工作弦长,影响吊杆的实际索力;同时吊杆与管壁的反复接触磨损,也必然会降低吊杆的工作寿命。

故而,吊杆在设计时须综合考虑成桥及后期运营工况下的结构变形影响,对索导管角度进行人为修正,将主副拱及主梁各个吊杆位置的变形通过参数化的手段迭代进吊杆的设计中,人为将索导管的角度按变形值进行预偏,使其在成桥及后期运营工况下吊杆与索导管处于互不碰撞的动态平衡状态。

3.3 成果展现

3号桥钢拱截面的三维空间修正借助于正向参数化手段,编辑参数代码进行批量处理;再迭代至空间几何模型中,对设计需求断面进行剖切,直观呈现三维设计成果(图9)。

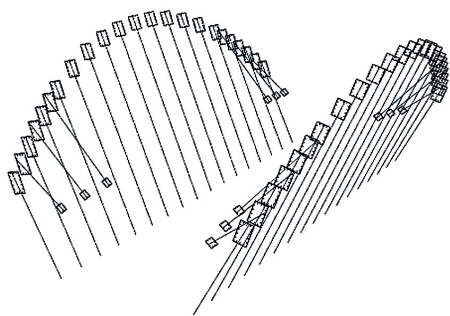


图9 参数化修正断面生成

由于目前二维图纸仍是行业强制规定的设计交付成果,正向参数化设计的3号桥主拱空间断面成果需输出为二维图纸。借助参数化设计手段,能批量将三维正向设计模型成果输出为二维图纸,图纸深度完全满足施工图设计要求^[6]。由三维模型交互出

的二维图纸,一方面可以确保图模一致性;另一方面可以实现便捷的联动批量修改,形成自动化的智能交互过程。借助参数化手段将结构设计的数据流在三维模型与二维图纸之间快速流通,大大节省了设计制图时间,避免了调整带来的重复工作量,实现了价值的最大化。

4 总结与建议

鄂尔多斯3号桥钢拱采用正向参数化设计理念,直观地展示空间拱的三维几何关系,同时解决空间拱索导管三维姿态的修正,能够直观、高效、准确地填补常规二维设计在空间异形结构设计中的短板。

通过此参数化设计在项目的成功应用,总结出以下建议,以供同类型桥梁设计参考:

(1) 正向参数化设计可作为市政景观桥,特别是异形结构景观桥的一种全新的设计理念。

(2) 正向参数化设计可以很直观、准确及高效地解决常规二维设计中比较复杂的空间问题;在BIM生态趋于成熟时,三维成果的交付极有可能会取代常规二维设计成果的交付方式。

(3) 正向参数化设计的几何模型框架在后期杆系单元分析乃至实体网格化模型分析中有极其优异的交互体验;对于复杂结构的数值化分析有事半功倍之效。

参考文献:

- [1] 许长青.忻州市傅山路云中河景观桥设计[J].中外公路,2016,36(3):194-197.
- [2] 王帆,赖亚平,乔云强,等.合川渠江景观大桥三角拱形桥塔设计研究[J].中外公路,2018,38(2):109-112.
- [3] 林同棧国际工程咨询(中国)有限公司.鄂尔多斯市乌兰木伦河3号桥施工图设计[Z],2019.
- [4] 肖奎,陈家勇,赖亚平,等.合川渠江景观大桥BIM技术应用[J].土木工程信息技术,2018,10(4):48-55.
- [5] 上海市市政工程设计研究总院.城市桥梁设计规范:CJJ 11—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [6] 重庆市勘察设计协会,林同棧国际工程咨询(中国)有限公司.市政工程信息模型设计标准:DBJ50/T-282—2018[S].重庆:重庆市勘察设计协会,2018.