

文章编号:1673-9469(2009)02-0001-03

曲线钢-混凝土组合梁桥的曲率与跨高比相关关系研究

王元清¹ 邢继胜¹ 李运生²

(1.清华大学土木工程系,北京 100084;2.石家庄铁道学院,石家庄 050043)

摘要:对于梁式结构,跨高比是概念设计中需要考虑的重要因素之一,目前直线型钢结构、混凝土结构以及钢-混凝土组合结构梁式的跨高比都有相关研究,对于曲线形钢-混凝土组合结构的跨高比研究尚不多见。曲线形钢-混凝土组合结构的跨高比的一个重要特点就是与曲率有关,本文结合北京南站进站立交一曲线型分联,使用通用有限元软件 ANSYS 对其进行分析及优化,研究了该分联的设计情况下的跨高比与曲率之间的关系。

关键词:钢-混凝土组合结构;曲率;跨高比

中图分类号: U441+.5

文献标识码: A

Research on relation of curvature and ratio of span to rise for a curved steel-concrete composite girder bridge

WANG Yuan-qing¹, XING Ji-sheng¹, LI Yun-sheng²

(1. Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Steel-concrete composite structure has more and more been widely used in urban bridges, for its advantage in reducing cross-section components' size, and ascendancy in improving stiffness, stability and integrity of structures and ductility of components and structures, and its predominance in shorten the construction period as well. Among all the steel and concrete composite structure styles, the combination of steel box girder with concrete deck is now very widely used. And this style is chosen in building the cloverleaf junction of Beijing South Railway Station. The important characteristic of cross-height ratio of curve-shaped steel-concrete composite structure is that it is related to the curvature, this paper made an optimizing analysis on this subject with one curve-shaped part of Beijing south railway station cloverleaf junction as model, and analyses the relation between cross-height ratio and curvature in terms of its design with the help of general-purpose finite element software ANSYS.

Key words: steel-concrete composite structure; curvature; span to rise

钢-混凝土组合结构是在钢结构和混凝土结构基础上发展起来的一种新型结构。同钢筋混凝土结构相比,可以减轻自重,减小地震作用,减小构件截面尺寸,增加有效使用空间,降低基础造价,节省支模工序和模板,缩短施工周期,增加构件和结构的延性等。同钢结构相比,可以减小用钢量,增大刚度,增加整体性和稳定性。

一般情况下,钢-混凝土组合简支梁的跨高比可以做到 16~20,连续组合梁的跨高比可以做到 25

~35。同钢筋混凝土梁相比,组合梁可以使结构高度降低 1/3~1/4,自重减轻 40%~60%,施工周期缩短 1/2~1/3,同时现场湿作业量少,且延性大大提高;同钢梁相比,组合梁可以使结构刚度增加 1/3~1/4,高度同样降低 1/3~1/4,整体稳定性和局部稳定性增强,耐久性提高,动力性能改善^[1]。

曲线梁桥是现代交通工程建设中一种重要桥型,曲线桥能很好地适应地形、地物的限制,还可以有效地避开地下管线、地下文物和沿街建筑的

干扰,是实现各个方向交通连接的必要手段。北京南站进站立交采用的就是曲线形钢-混凝土组合结构形式。

1 计算模型

本文结合北京南站进站立交 FL16b 分联进行研究。该桥分为内环线和左右外环线,由温度缝分割为 18 个主要的分联。

北京南站高架桥的 FL16b 分联为钢-混凝土组合梁桥,标准两车道截面,桥面板宽 9.0m(图 1,图 2)。每小联区间内设置两处平面圆曲线(半径分别为 132.570m、142.618m,通过在曲线上取点拟合得到平均曲率半径为 $R = 137.5\text{m}$),岔道中心线为缓和曲线,FL16b 跨度组成为 20.684m + 21.195m + 22.262m,上部采用钢箱混凝土组合梁,下部结构采用直径 1.8m 的钢管混凝土墩柱,上接钢盖梁^[2],本文分析了成桥运营阶段的桥梁的静力荷载下的受力情况。

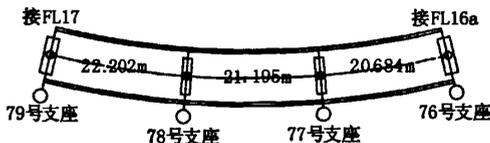


图1 FL16b分联平面图

Fig.1 The planar graph of FL16b

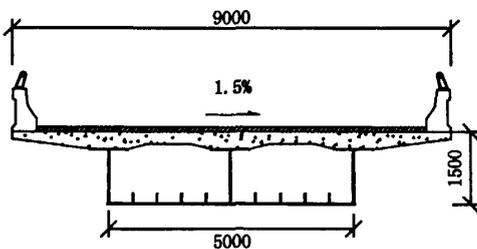


图2 标准断面图(单位: mm)

Fig.2 The standards sectional drawing

本文结构分析采用大型通用有限元分析软件 ANSYS,从整体上了解这种曲线型钢-混凝土组合桥梁结构的受力性能,建立了 FL16b 结构整体有限元分析模型,桥体的有限元模型见图 3 所示。

桥面板采用 SOLID65,实体单元模拟,采用 William - Warnke 五参数破坏面^[3],分析中使用多线性随动强化本构模型,并采用《混凝土结构设计规范》提供的单轴应力应变关系。钢箱梁部分采

用 SHELL181 单元,采用理想弹塑性本构关系。盖梁采用 SOLID65 单元,墩柱采用 BEAM188 单元模拟。由于柱脚和桩台连接刚度很大,因此模型中采用完全刚接约束^[4]。

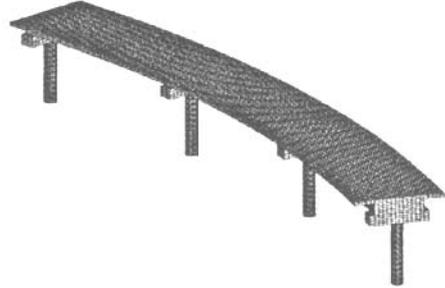


图3 FL16b结构整体有限元模型

Fig.3 The finite element model of FL16b's structure

1.1 计算参数

本工程主要计算参数如下:

钢材:钢梁 Q345qE、墩柱钢管 Q345qD、钢盖梁 Q345qD,弹性模量 $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$,密度 $\rho = 7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,泊松比 $\nu = 0.3$,温度线膨胀系数 1.2×10^{-5} ,钢材采用理想弹塑性本构。

混凝土桥面板:C40 混凝土,混凝土密度 $2.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,泊松比 $\nu = 0.2$,温度线膨胀系数 1.0×10^{-5} 。采用《混凝土结构设计规范》(GB50017-2003)提供的单轴应力应变关系描述其本构。

混凝土收缩徐变:按混凝土温度降低 10°C 考虑^[5]。

温度荷载:体系升温取 30°C ;体系降温取 35°C ;日照温差按《公路桥涵通用规范》(JTJ D60-2004)4.3.10 中第 3 条计算。

基础沉降:按相邻支座沉降 10mm 考虑。

1.2 不利工况选择

结构的分析与优化需要先确定最不利的工况,通过运营时的各种静力工况的计算,可从中选取该桥梁应力的最不利的工况,并选取最不利计算工况进行计算分析与优化。

通过静力计算可知,应力控制工况是:76号77号支座沉降、满布于全跨曲线外侧的车道荷载和降温荷载的组合工况(工况一);位移控制工况是:76号77号支座沉降、车道荷载满布于全跨曲线外侧和日照温差荷载的组合工况(工况二)。

2 曲率半径与位移的关系

前期的静力计算结果表明,该结构的设计为正常使用状态控制的,即能满足正常使用状态的要求,则一定满足承载力的要求。因此,对于该分联,曲率半径与位移的关系需要首先明确。

以原桥相关参数为参考,只改变曲线桥的曲率半径,其它参数不变,可计算得到曲率半径与位移的相关关系,原桥和曲率半径分别是 $R = 25m, R = 50m, R = 100m, R = 200m$ 的曲率半径与位移的关系见表 1 和图 4。

表 1 曲率半径与位移的关系
Tab.1 The relationship between curvature radius and displacement

曲率半径(m)	位移(mm)
200	21.6
135.7	23.2
100	24.2
50	26.8
25	28.4

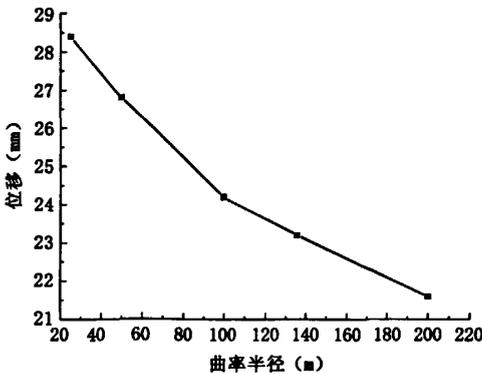


图 4 曲率半径与位移的关系曲线
Fig.4 The relationship curve between curvature radius and displacement

从图 4 中可以看出:桥梁的最大位移随着曲率半径的减小位移呈非线性增长的趋势,通过二次多项式拟合得到该条件下曲率半径与位移的关系如下:

$$y = 0.0002x^2 - 0.0723x + 30.068$$

其中: x —曲率半径; y —桥面最大位移,该多项式在 $25 \leq x \leq 200$ 时成立。

3 不同曲率桥梁的控制跨高比

该桥桥梁高度的选择考虑到建筑美观、与其他建筑相协调以及安全性等多方面因素,桥梁高度为 1.5m,最大跨高比为 14.8,对于计算荷载为城-B 级车道荷载,8 度地震(0.20g)设防的组合桥梁来说,较为保守,没有显示出钢-混凝土组合桥梁的优势。保持桥梁其他设计参数不变,通过改变桥梁的曲率半径,分别选取曲率半径分别为 25m, 50m, 100m, 200m,并对桥梁进行静力条件下的优化设计,可以得到跨高比与曲率半径的关系。优化方法是在使结构的应力和位移满足设计要求的前提下,增大结构的跨高比,使得设计尽可能经济。

计算优化得到的曲率半径与最小梁高和最大跨高比的关系如图 5 图 6 所示。

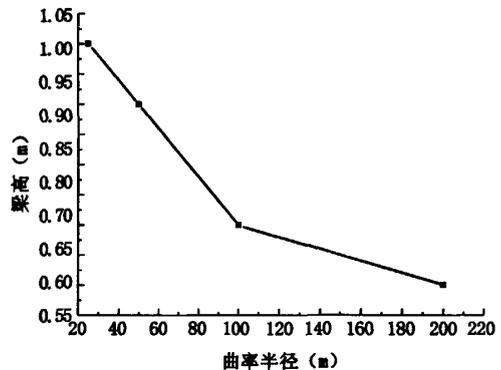


图 5 曲率半径与最小梁高的关系曲线
Fig.5 The relationship curve between curvature radius and minimum beam height

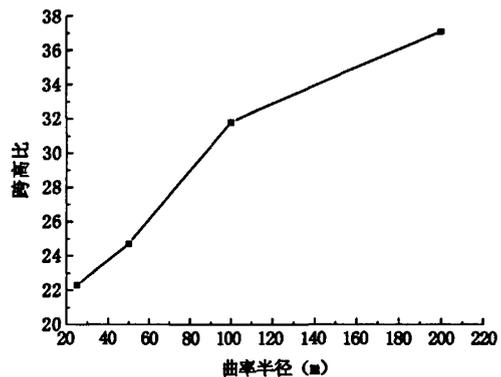


图 6 曲率半径与最大跨高比的关系曲线
Fig.6 The relationship curve between curvature radius and maximum span-depth ratio

(下转第 12 页)

果随着参数值的变化而变化。当参数 a 增大, Q 也增大, 主动控制力峰值开始增大很快, 然后增大速率变小, 而相应的有控位移响应开始减小很快, 然后逐渐趋于平缓。说明主动控制力大小到达一定程度后, 拉索振动控制效果就不再提升, 所有很有必要寻找到最优的主动控制力。

3) 针对拉索振动控制的参数分析结果提出了适用于工程应用的最优主动控制力判别准则 $U_{\max}(t) \approx H^s \times 5\% \sim H^s \times 10\%$, 即轴向主动控制力的峰值为拉索中初始预拉力的 $5\% \sim 10\%$; 同时提出了通过逐步迭代实现最优主动控制力判别准则的方法。使得控制器的设计过程简化、设计效率提高。

参考文献:

- [1] 张运波. 单索及悬索桥的振动特性与参数分析[D]. 西南交通大学, 2001.
- [2] 朱保兵, 胡克强, 周煊廷. 双重迭代法在刚性拉索振动控制中的应用[J]. 河北建筑科技学院学报, 2005, 22

(3): 47-49.

- [3] 朱保兵, 李国强, 于洪刚. 刚性拉索横向振动控制的模态等效方法[J]. 合肥工业大学学报, 2006, 29(4): 475-477.
- [4] SUSUMPOW T. Dynamics of cable-structure systems and active control of cable by axial support motion [D]. Tokyo: Univ. of Tokyo, 1993.
- [5] 保宏, 段宝岩, 陈光达. 缓慢运动索振动主动控制研究[J]. 电子机械工程, 2004, 20(3): 62-64.
- [6] 陈水生, 秦鸣, 陈勇, 等. 斜拉桥拉索的振动及控制现场试验[J]. 长安大学学报, 2003, 23(2): 48-51.
- [7] 朱保兵. 拉索振动主动控制理论与试验研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [8] MAIN J A, JONES N P. Full-scale measurements of stay cable vibration. In Larsen, Larose, and Livesey (eds.) [C]. Wind Engineering into the 21st Century, Balkema, Rotterdam, 1999: 963-970.
- [9] (美) DAVID KINCAID, (美) WARD CHENEY. 数值分析(金凯德译)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

(责任编辑 刘存英)

(上接第3页)

从图中可以看出: 随着曲率半径的减小, 最小梁高呈非线性增加趋势, 而最大跨高比呈非线性减小的趋势。曲率半径分别是 200m, 100m, 50m, 25m 时, 最大跨高比分别是 37.1, 31.8, 24.7, 22.3。通过二次多项式拟合得到的曲率半径与跨高比关系如下:

$$y = -0.0004x^2 + 0.1783x + 17.609$$

式中 x —曲率半径; y —最大跨高比, 该多项式在 $25 \leq x \leq 200$ 时成立。

4 结论

1) 分析计算结果表明, 静力作用下曲线型组合梁桥的位移随着曲率半径的减小呈非线性增长; 跨高比要随着曲率半径的减小而呈非线性减小。

2) 在与北京南站进站立交 FL16b 分联的相同设计条件下, 设计跨高比随着曲率半径的增大而

增大, 曲率半径在 25m~200m 范围内时, 二者的关系可以拟合为 $y = -0.0004x^2 + 0.1783x + 17.609$ 。

参考文献:

- [1] 袁建国. 钢-混凝土组合结构[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] 邢继胜, 李运生, 王元清. 北京南站进站立交钢-混凝土组合箱梁桥的设计与分析[J]. 工业建筑, 2008, 38(增刊): 1139-1148.
- [3] 江见鲸, 陆新征, 叶列平. 混凝土结构有限元分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] 刘德华, 金伟良, 刘斌. 独柱墩曲线梁桥中的支座分析[J]. 南京理工大学学报, 2006, 30(1): 113-116.
- [5] 彭栋木, 袁建国, 郭帅. 一曲线钢-混凝土组合梁桥设计与施工[J]. 市政技术, 2006, 24(6): 367-371.
- [6] JTG D62-2004, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

(责任编辑 刘存英)