

刚构连续弯板桥空间有限元分析

孙庆新¹, 陈旭勇^{2*}, 杨冬波¹

(1. 河南省交通规划勘察设计院有限责任公司, 河南 郑州 450052;

2. 华中科技大学土木工程与力学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:随着高等级公路的兴建和城市建设的进一步发展,平面曲线桥梁应运而生,刚构连续弯板桥成为有力竞争桥型之一。为了研究刚构连续弯板桥的空间受力特性,本文结合一实例刚构连续弯板桥,针对平面软件分析弯桥的不足,首先利用通用有限元软件 ANSYS 进行整体建模分析,整体分析中不考虑普通钢筋的建模,接着用专业软件桥梁博士对截面进行计算复核。从实际运营情况看,复核结果是合理的。

关键词:刚构连续;弯板桥;ANSYS;有限元

中图分类号:U445 **文献标识码:**A

0 引言

随着高等级公路的兴建和城市建设的进一步发展,为了增添城市景观、使桥梁服从路线的平面布置和提高交通的使用功能,平面曲线桥梁应运而生。刚构连续弯板桥由于其建筑高度小、线性流畅、明快的特点,成为有力竞争桥型之一^[1,2]。

由于刚构连续弯板桥是多次超静定结构,且桥墩也多为不规则的分布形式,以致使用理论解析方法计算其内力非常复杂,计算工作量大,是不可取的。由于手算公式复杂^[3],目前多采用有限元法^[2,4],若仅采用平面有限元法进行计算,如采用桥梁博士将其按最大跨径简化计算,纵向配筋偏保守,而无法计算横向配筋;若采用空间有限元软件进行计算复核,如 ANSYS,若要考虑钢筋建模,则结点耦合比较复杂,划分单元工作量大,计算时间长,且不能进行内力复核。本文将 ANSYS 和桥梁博士结合,对刚构连续弯板桥进行计算复核,首先采用 ANSYS 进行整体分析(不考虑钢筋),找出最不利截面(包括纵向和横向截面),然后利用桥梁博士中截面设计进行截面复核。

1 工程概况

某桥为 16.2 m+22.0 m+16.2 m 普通钢筋混凝土连续刚构弯板桥,桥梁位于 $R=80.0$ m 的圆曲线段内。设计荷载:公路 I 级。全桥长 62.8 m,桥面宽度:净-9.0 m+2×1.3 m(人行道)+2×

0.2 m(栏杆)=12.0 m。桥面纵坡为 1.5%,本桥设 2% 的超高,通过 20m 的曲线段过渡而成。主体结构混凝土等级:主梁采用 C40 砼;墩身采用 C30 砼;承台 C25 砼。

2 单元选择及有限元网格划分

将整座桥梁分为桥面板、桥墩和承台三部分。桥墩及承台建成实体模型,采用 SOLID45 单元,桥墩材料属性:密度 $\rho=2\ 600\text{ kg/m}^3$,弹性模量 $E=30\text{ GPa}$,泊松比 $\mu=0.2$;承台材料属性:密度 $\rho=2\ 600\text{ kg/m}^3$,弹性模量 $E=28\text{ GPa}$,泊松比 $\mu=0.2$ 。桥面板采用壳单元 SHELL181 单元,由于它是含筋量比较大的钢筋混凝土材料,故考虑砼和钢筋组合弹性模量。混凝土弹性模量为 $E_1=32.5\text{ GPa}$,钢筋弹性模量为 $E_2=210\text{ GPa}$,混凝土所占面积为 S_1 ,钢筋所占面积为 S_2 ,截面总面积为 S ,则总体弹性模量:

$$E = \frac{S_1 E_1}{S} + \frac{S_2 E_2}{S} \quad (1)$$

得到 $E=35.1\text{ GPa}$,密度 $\rho=2\ 600\text{ kg/m}^3$,泊松比 $\mu=0.2$ 。

边界约束:该桥承台下采用桩基础,故将承台下端进行固结,建模时,对承台下端面进行六个变量约束;桥面板两端通过支座传力向桥台,故对两端进行竖向约束(Y轴方向)。

建模过程中,桥面板和桥墩相接处共用节点,以达到完好的结合。整体单元和局部单元划分分别见图 1 和图 2。

收稿日期:2008-12-02

作者简介:孙庆新(1966-),男,河南辉县人,高级工程师,研究方向:桥梁的评估与加固
通讯联系人:陈旭勇,博士研究生,研究方向:桥梁的评估与加固





图 2 Y型桥墩局部单元网格划分

Fig. 2 Y-pier local unit mesh

3 计算结果及复核

计算中主要考虑结构自重及汽车荷载. 将人行道简化为均布荷载施加于两翼, 路面沥青砼铺装层也简化为均布荷载施加于桥面板上. 汽车荷载通过影响线加载.

3.1 挠度计算及复核

图 3 显示了恒载作用下的挠度云图, 由图可知, 恒载作用下, 各跨跨中外缘挠度最大, 中跨跨中外缘在恒载作用下的最大挠度为 7.6 mm (竖直向下), 边跨跨中外缘最大挠度为 7.2 mm. 在内外两个车道分别加随桥面轴线方向移动的单位荷载, 得到各待求结点影响线, 由影响线可以得知汽车荷载在各中跨时产生影响较大, 所以将活载简化为中跨两车道上的两个集中力和两段均布载荷, 根据规范车道荷载 (按公路 I 级) 加载^[5,6], 计算得到中跨跨中外缘挠度为 1.6 mm, 边跨跨中外

缘最大挠度为 2.1 mm.

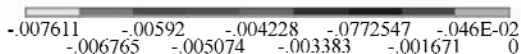
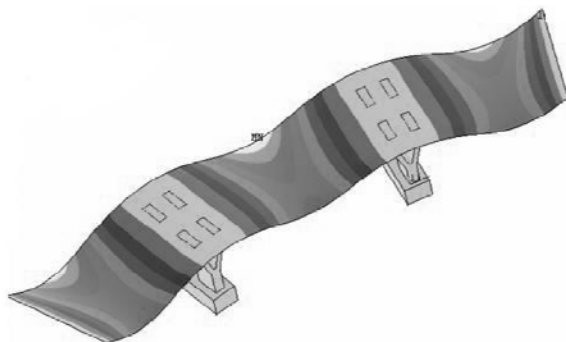


图 3 恒载作用下挠度云图

Fig. 3 The deflection of dead load

考虑长期荷载效应的影响, 边跨跨中外缘在消除结构自重产生的长期挠度后的最大挠度为 $10.6 \text{ mm} < 16200/600 = 27 \text{ mm}$, 满足规范要求, 中跨跨中外缘挠度值同样满足规范要求.

3.2 内力计算

汽车荷载的内力求解同汽车荷载的挠度计算, 先求得影响线, 再进行加载计算, 分别选择 A、B、C、D 四个控制单元, 如图 4. 计算得到的内力值见表 1.

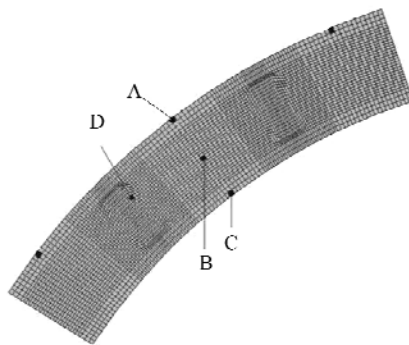


图 4 控制单元示意图

Fig. 4 The sketch map of control unit

表 1 各控制单元横载+汽车活载内力

Table 1 The forces of dead load and vehicle load of the control unit

单元	A	B	C	D
纵向弯矩 (M_{11})/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	4.38 2.96	258.59 146.25	0.89 7.15	-1132.300 - 257.87
纵向轴力 (N_{11})/kN	-224 + 22.33	35.06 - 29.66	-242.36 + 38.82	-275.39 - 76.88
横向弯矩 (M_{22})/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	1.50 + 3.31	71.83 + 101.29	0.49 + 0.61	-378.64 - 53.38
横向轴力 (N_{22})/kN	5.62 + 1.61	181.82 + 50.6	0.11 + 0.003	116.28 - 12.89

3.3 截面计算复核

采用桥梁博士中截面设计对各控制截面进行计算复核. 下面以 B 单元为例, 进行计算复核.

a. 纵向复核

B 单元纵向截面为矩形, 宽 354 mm, 长 700 mm (Y 轴方向). 上缘 $\Phi 25$ 钢筋 4 根, 下缘 $\Phi 25$ 钢筋 8 根. 纵向弯矩和轴力见表 1.

(1) 最大弯矩强度验算承载能力计算结果显

示 截面受力性质: 下拉受弯

内力描述: $N_j = 0.492 \text{ kN}$, $Q_j = 0.0 \text{ kN}$, $M_j = 515 \text{ kN} \cdot \text{m}$

截面抗力: $M_k = 663 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_j = 515 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (满足)

最小配筋面积 $A_{gmin}=5.91e-04\text{ m}^2<\text{实际配筋面积 } A_g=3.93e-03\text{ m}^2$ (满足)

(2) 正常使用极限状态

正常使用极限状态荷载组合 I 抗裂性验算:

上缘:

长期荷载弯矩: $M=259\text{ kN}\cdot\text{m}$

全部使用荷载弯矩: $M_0=259\text{ kN}\cdot\text{m}$

长期荷载裂缝宽度: $d_f=0.0\text{ mm}$

容许裂缝宽度: $d_{f0}=0.2\text{ mm}$

上缘抗裂性验算满足

下缘:

长期荷载弯矩: $M=317\text{ kN}\cdot\text{m}$

全部使用荷载弯矩: $M_0=317\text{ kN}\cdot\text{m}$

长期荷载裂缝宽度: $d_f=0.115\text{ mm}$

容许裂缝宽度: $d_{f0}=0.2\text{ mm}$

b. 横向复核

B 单元横向截面为矩形, 宽 354 mm, 长 700 mm (Y 轴方向). 上缘 $\Phi 16$ 钢筋 4 根, 下缘 $\Phi 16$ 钢筋 4 根. 纵向弯矩和轴力见表 1.

(1) 最大弯矩强度验算承载能力计算结果显示

截面受力性质: 下拉偏压

内力描述: $N_j=289\text{ kN}$, $Q_j=0.0\text{ kN}$, $M_j=228\text{ kN}\cdot\text{m}$

截面抗力: $N_R=689\text{ kN}\geq N_j=289\text{ kN}$ (满足)

最小配筋面积 $A_{gmin}=7.66e-04\text{ m}^2<\text{实际配筋面积 } A_g=1.96e-03\text{ m}^2$ (满足)

(2) 正常使用极限状态

正常使用极限状态荷载组合 I 抗裂性验算:

上缘:

长期荷载弯矩: $M=71.8\text{ kN}\cdot\text{m}$

全部使用荷载弯矩: $M_0=71.8\text{ kN}\cdot\text{m}$

长期荷载裂缝宽度: $d_f=0.0\text{ mm}$

容许裂缝宽度: $d_{f0}=0.2\text{ mm}$

上缘抗裂性验算满足

下缘:

长期荷载弯矩: $M=112\text{ kN}\cdot\text{m}$

全部使用荷载弯矩: $M_0=112\text{ kN}\cdot\text{m}$

长期荷载裂缝宽度: $d_f=7.19e-02\text{ mm}$

容许裂缝宽度: $d_{f0}=0.2\text{ mm}$

下缘抗裂性验算满足

其它各控制单元截面复核相同, 限于篇幅, 不做介绍, 计算结果都满足规范要求.

4 结 语

计算结果表明, 分配到桥墩应力较小, 满足正常荷载作用下的强度要求. 重点对桥面连续板进行计算复核, 该桥的承载能力极限状态和正常使用极限状态基本满足规范要求. 当考虑横向和纵向弯矩联合作用下, 在桥墩附近考虑桥面板和现浇层联合受力时, 桥面板受力满足强度及裂缝要求. 该桥成桥试验满足各项规范要求, 已成功运营.

本文通过合理的单元选择及有限元网格划分, 对刚构连续弯板桥进行了空间有限元分析, 针对 ANSYS 软件无法进行内力复核的缺点, 利用专业有限元软件桥梁博士对各控制单元进行计算复核, 望本文的研究方法对类似桥梁计算分析具有一定的帮助.

参考文献:

- [1] 项海帆. 高等桥梁结构理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002: 73-80.
- [2] 顾懋清, 李小明, 常存德. 刚构连续板桥的分析与设计[J]. 中国公路学报, 1992, 5(4): 40-43.
- [3] 姚玲森. 曲线梁桥的实用计算方法[J]. 土木工程学报, 1982, 15(3): 36-51.
- [4] 何伟. 哈尔滨市尚志大街至海城街高架桥设计[J]. 铁道标准设计, 2002, (9): 38-40.
- [5] 中交公路规划设计院. JTG D60-2004 公路桥涵设计通用规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [6] 中交公路规划设计院. JTG D62-2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

(下转第 47 页)

少测量放样工作量,方法简单,工作效率高,完全能保证墩身线形。

参考文献:

[1] 中国有色金属协会. GB50026-2007 工程测量规范

[S]. 北京:中国计划出版社,2008.

[2] 孔祥元,梅是义. 控制测量学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002.

[3] 王凤艳,陶渊洲. 测区垂直大气折光系数的变化及因地选择大气折光系数的意义[J]. 测绘通报,2005, (4):14-17.

Control technique of linear form in high bridge piers construction

JIA Kang-tian

(China Railway 12th Bureau Group CO., LTD, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Longwang temple (Longwangmiao) bridge of Yi-wan railway has the 106.5 m maximum pier height. Based on the characteristics of High-pier and big-wind of this bridge, comprehensive linear control techniques for high-pier were investigated to form a set of special linear control technique of high pier. Because three dimensional control net was adopted and vertical Laser Plumb Aligner was used together with Total Station, this linear control technique of high-pier can completely meet with the precision requirements of specification and is suitable for linear control of high piers construction under various complicated geologic conditions.

Key words: high pier; linear; control

本文编辑:萧 宁



(上接第43页)

Spatial finite element analysis of reinforced concrete continuous rigid-frame curved slab bridges

SUN Qing-xin¹, CHEN Xu-yong², YANG Dong-bo¹

(1. Henean Provincial Communications Planning Survey&Design Institute CO., LTD, Zhengzhou 450052, China;

2. School of Civil Engineering & Mechanics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Plane curved bridges are proposed with the high-grade highway construction and further development of urban construction, and reinforced concrete continuous rigid frame curved slab bridges turn into one of the powerful competition bridges. In order to study the reinforced concrete continuous rigid-frame for the bending properties of space force, a reinforced concrete continuous rigid-frame curved slab bridge is introduced. Because curved bridges couldn't be analyzed commendably by plane software, finite element analysis of the bridge is established for spatial finite element software ANSYS, and ordinary steel modeling was not considered. On this basis, the checking of section is carried out by the plane software DR bridge. From the actual operating situation, the result is reasonable.

Key words: continuous rigid-frame; curved slab bridges; ANSYS; finite element

本文编辑:萧 宁