

文章编号:1673-2049(2019)06-0104-08

整体式弯桥试设计研究

许震^{1,2}, 罗小烨¹, 卢琪³, 林上顺⁴, 黄福云¹, 陈宝春¹

(1. 福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350116; 2. 盐城工学院 土木工程学院, 江苏 盐城 224051;
3. 浙江工业大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310014; 4. 福建工程学院 土木工程学院, 福建 福州 350118)

摘要:以某实桥为工程背景,进行整体式弯桥的试设计和设计验算。采用 MIDAS/Civil2015 有限元软件分别建立了原桥和整体式弯桥的 3D 有限元模型,后者考虑了台-土及桩-土相互作用。对比分析了两者在恒载、活载(汽车荷载)、温度荷载、混凝土收缩以及地震等荷载作用下的受力性能。结果表明:由于梁端固接和台后土压力等影响,恒载、活载、温度及混凝土收缩等荷载作用下,整体式弯桥梁端具有较大的负弯矩;整体式弯桥在恒载作用下的主梁弯矩值较原桥均匀,而在活载作用下主梁弯矩值与原桥相近;温度荷载对整体式弯桥的主梁内力影响最大,其次为混凝土收缩效应,在设计中应引起重视;在恒载、活载作用下,整体式弯桥和原桥的主梁扭矩基本呈反对称分布,且恒载下的主梁边跨扭矩显著小于原桥,而在活载下两者的主梁扭矩相差不大,整体式弯桥表现出较优的抗扭性能;此外,整体式弯桥的抗震性能明显优于原桥,可有效避免主梁在地震中的侧向偏位和落梁等现象,在高震区使用更具优势。

关键词:整体式弯桥;试设计;结构-土相互作用;抗震性能

中图分类号:U443.31 **文献标志码:**A

Trial-design Study on Integral Curved Bridge

XU Zhen^{1,2}, LUO Xiao-ye¹, LU Qi³, LIN Shang-shun⁴, HUANG Fu-yun¹, CHEN Bao-chun¹

(1. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350116, Fujian, China; 2. School of Civil Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, Jiangsu, China; 3. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, Zhejiang, China;
4. School of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, Fujian, China)

Abstract: Based on a practical bridge, the trial design and design checking of integral curved bridge were carried on. The 3D finite element model of the original bridge and the trial-design bridge were built respectively by using MIDAS/Civil2015 software, and the latter one considered the pile-soil interaction and abutment-soil interaction. Then the mechanical performances of original bridge and integral curved bridge were analyzed and compared under dead load, live load (vehicle load), temperature load, concrete shrinkage and seismic load. The results show that the girder end has greater negative bending moments under dead load, live load, temperature load, concrete shrinkage and seismic load because of a fixed connection at the girder end and earth pressures behind abutment. Compared with the original bridge, the girder of the integral curved bridge has a relatively uniform bending moment distribution under dead load, but the effect of live

收稿日期:2019-01-09

基金项目:国家自然科学基金项目(51578161);福建省高校优秀人才支持计划项目(601897)

作者简介:许震(1975-),男,安徽无为,盐城工学院讲师,福州大学工学博士研究生,E-mail:569834913@qq.com。

通信作者:罗小烨(1990-),男,福建龙岩人,工学博士研究生,E-mail:511731938@qq.com。

load on bending moments of the girder is similar. The temperature load has a greatest influence on internal forces of girder of the integral curved bridge, and the second is concrete shrinkage, so they should be taken seriously in design. The torques of the girder of the original bridge and integral curved bridge are basically antisymmetric under dead load and live load, and the torques of girder on the end spans of the integral curved bridge are significantly smaller than the ones of the original bridge under dead load, but the torques of girder between the two are not much different under live load, so it can be known that the trial-design curved bridge has a better torsion performance than the original bridge. Besides, the seismic performance of the integral curved bridge is rather better than that of the original bridge, and it can effectively avoid the lateral movement and falling of the girder during earthquake action, so the integral curved bridge can be applied preferably in high seismic zones.

Key words: integral curved bridge; trial design; structure-soil interaction; seismic performance

0 引言

弯桥在道路工程中具有广泛的应用,其主梁受力复杂,除承受弯矩、剪力外还有较大扭矩;在荷载和温度作用下主梁除发生弧长方向(纵桥向)的变形外,还有矢高方向(横桥向)的变形和扭转翘曲变形。中国现有的弯桥以有缝桥为主,桥台处设有伸缩缝和伸缩装置,使得主梁在桥台处所受的约束很弱,容易出现主梁落梁、侧翻、横桥向偏位、支座脱空或发生剪切破坏、伸缩装置被撕扯拉裂等病害^[1-3]。对于条件合适的弯桥,将其设计成整体桥,不仅可以取消桥台处的支座和伸缩缝,改善行车条件和结构的耐久性,而且能提高结构的整体性、强健性和抗震性能,防止前述病害的发生^[1,4-6]。

中国自 1991 年对无缝桥开展研究以来,已取得了一定的成果^[7-11],然而相关研究与应用以直桥为主,弯桥极少。截至 2016 年 4 月,中国已建和在建的 40 座无缝桥中,弯桥仅 4 座,占 10%,且均不是整体桥^[12]。换言之,整体式弯桥在中国尚无实际应用,因此,对其开展研究以推动应用是十分必要的。本文以某有缝弯桥为工程背景,开展整体式弯桥的试设计与设计验算,与原桥进行受力性能对比分析,为今后的研究提供参考。

1 整体式弯桥试设计

某 3 跨连续弯梁桥[图 1(a)]全长 76 m,跨径为 23 m+30 m+23 m,曲率半径为 150 m,桥宽 10.5 m,设计荷载为公路一级。上部结构为预应力混凝土单箱双室变截面梁,主梁采用 C50 混凝土;下部结构采用 C30 混凝土轻型桥台、C40 混凝土双

柱式桥墩及 C30 混凝土钻孔灌注圆形桩基础。桥墩处采用普通橡胶支座,桥台处采用四氟板式橡胶支座,支座布置见图 1(b)。施工采用整体现浇一次性落梁。

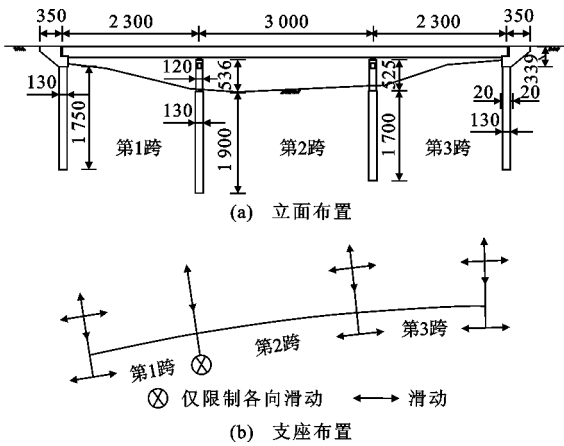


图 1 原桥总体与支座布置(单位:cm)
Fig. 1 General Arrangement and Bearing Layout of Original Bridge (Unit:cm)

预应力筋采用公称直径 $d=15.2$ mm 的七丝标准预应力钢绞线,其抗拉强度标准值 $f_{pk}=1\ 860$ MPa,弹性模量为 1.95×10^5 MPa;箱梁顶底板采用直径为 16 mm 的 HRB335 钢筋,箍筋采用直径为 12 mm 的 HRB335 钢筋,弹性模量为 2.0×10^5 MPa。桥墩、桩基采用直径为 22 mm 的 HRB335 主筋,在主筋内侧分别沿桥墩、桩基每隔 2 m 设置直径为 25 mm 的 HRB335 圆形加强钢筋,箍筋采用直径为 8 mm 的 R235 钢筋。

试设计将原桥台改为整体式桥台并在台后设置 8 m 的引板,与台后道路起过渡作用,其余结构与原桥相同,其整体结构、主梁边界如图 2 所示,桥台构造如图 3 所示。

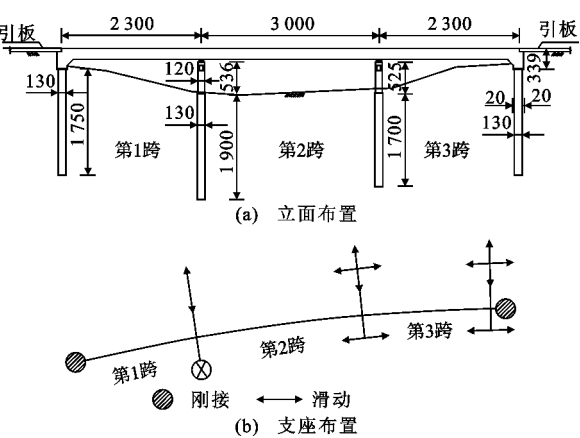


图 2 试设计桥总体与支座布置(单位:cm)
Fig. 2 General Arrangement and Bearing Layout of Trial-design Bridge (Unit:cm)

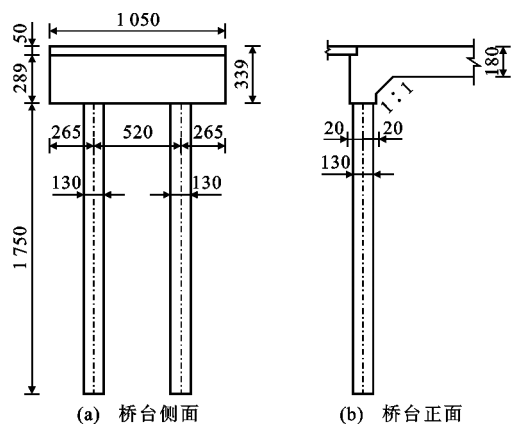


图 3 试设计桥桥台结构(单位:cm)
Fig. 3 Abutment Structure of Trial-design Bridge (Unit:cm)

2 有限元模型

2.1 模型简介

原桥与试设计弯桥在墩顶设置板式橡胶支座，在模型中采用弹性连接进行模拟。原桥墩台与桩基刚接，桩底固接，且台背耳墙在模型中并未体现。试设计弯桥中主梁与桥台采用刚接；桥台和桩基础之间亦采用刚性连接模拟；墩台下桩基础底部埋入中风化岩中较深，均采用固接模拟。

采用 MIDAS/Civil2015 软件建立原桥与试设计弯桥 3D 有限元模型，如图 4 所示。主梁采用单梁模拟，各构件采用杆系梁单元模拟，原桥模型共 316 个节点和 299 个单元，试设计弯桥模型共 294 个节点和 283 个单元。

2.2 下部结构-土相互作用

由于取消了伸缩缝及伸缩装置，试设计弯桥必须考虑下部结构-土相互作用(如台-土相互作用和

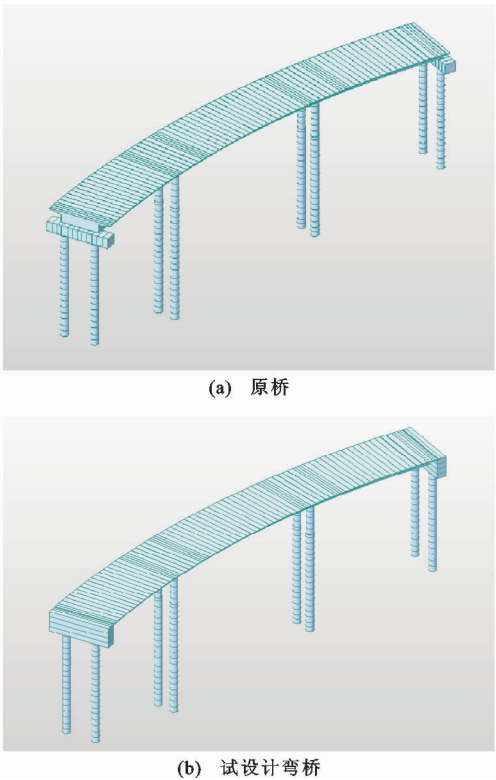


图 4 原桥和试设计弯桥有限元模型
Fig. 4 Finite Element Models of Original Bridge and Trial-design Curved Bridge

桩-土相互作用)。本文采用“土弹簧”来模拟下部结构-土的相互作用，见图 5。

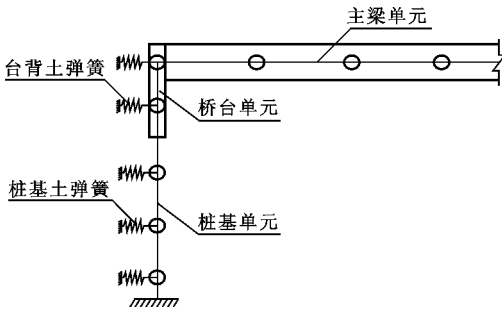


图 5 结构-土相互作用
Fig. 5 Structure-soil Interaction

2.2.1 台-土相互作用

对于台-土相互作用，台后土弹簧刚度采用美国国家公路合作研究计划(National Cooperative Highway Research Program, NCHRP)的被动土压力系数曲线^[13]，如图 6 所示，其中， K 为土压力系数， Δ 为桥台位移， H 为桥台高度， φ 为内摩擦角。

本文忽略主动土压力影响^[14]，有限元模型中台后填土土压力计算采用静止土压力+被动土压力来模拟，其中静止土压力以荷载形式施加于台背，被动土压力以非线性弹簧模拟台-土作用(图 5)。台后

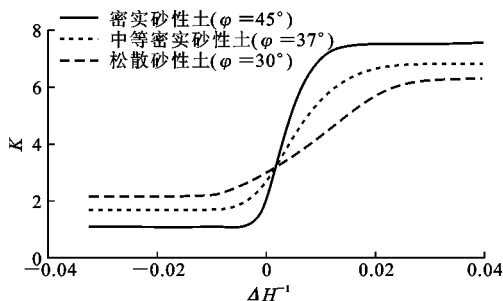


图6 NCHRP 被动土压力系数曲线

Fig. 6 Passive Soil Pressure Coefficient Curves of NCHRP
填土为密实砂性土,静止土压力系数 $K_0=0.318$,内摩擦角 $\varphi=43^\circ$,黏聚力 $c=0$,重度 $\gamma=20 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$ 。静止土压力 $E_0=K_0\gamma z^2 b/2$,其中, z 为台后填土深度, b 为桥台的宽度。

台后采用仅受压的非线性土弹簧模拟被动土压力,图7为试设计弯桥模型中施加的台后被动土压力非线性弹簧曲线。取桥台位移 $\Delta=0.02H$ 时达到最大被动土压力,之后土体发生破坏,土压力保持不变。台背被动土压力计算公式为

$$\left. \begin{aligned} E &= E_p - E_0 \\ E_p &= K_p \gamma z^2 b / 2 \\ K_p &= \tan^2(45^\circ + \varphi/2) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: K_p 为被动土压力系数; E_p 为被动土压力; E 为土压力差值。

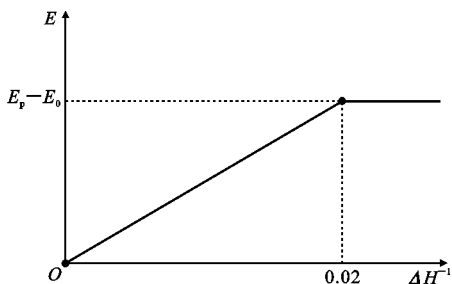


图7 台后非线性弹簧曲线

Fig. 7 Nonlinear Spring Curve of Abutment

2.2.2 桩-土相互作用

对于桩-土相互作用,本文选用《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)^[15]附录P中的m值法来计算,以线性土弹簧考虑桩-土相互作用,见图5。土质主要为:素填土,厚0.6 m;残积砂质黏性土,厚6.4 m;全风化花岗岩,厚2.0 m;砂土状强风化花岗岩,厚6.1 m;碎块状强风化花岗岩,厚1.2 m;弱分化花岗岩,厚1.8 m;其余为微分化花岗岩。墩、台桩基埋入弱分化花岗岩不少于1.6 m。各土质水平向抗力系数的比例系数m值根据规范^[15]附录P取值,以计算桩侧土弹簧刚度。

3 试设计弯桥结构验算

计算荷载包括一期恒载(包含结构自重、静止土压力)、二期恒载、预应力荷载、汽车荷载、混凝土收缩作用、梯度温度和整体温度。荷载组合根据规范《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[16]第4.1.5条进行。

限于篇幅,以下仅给出主梁最不利受力情况,见图8。由图8可知,试设计弯桥的主梁正截面抗弯、斜截面抗剪及抗扭承载力均大于内力值,满足规范^[17]要求。

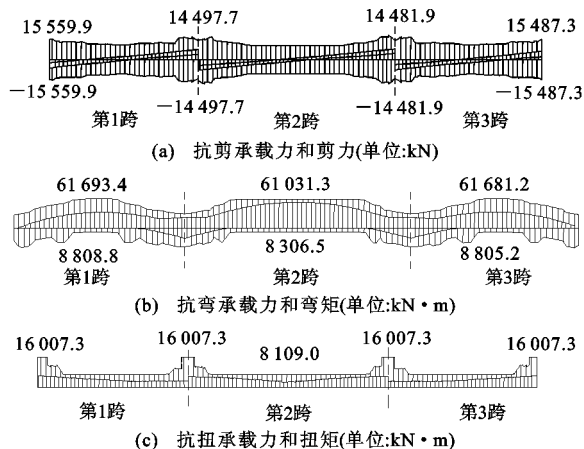


图8 主梁承载力与内力对比

Fig. 8 Comparisons of Bearing Capacities and Internal Forces of Girder

在抗裂验算中,主梁的最大拉应力值为0.434 MPa,小于容许应力值1.855 MPa,满足设计要求。

主梁短期最大挠度值为10.77 mm,C50混凝土取挠度长期增长系数 $\eta_0=1.43$,则长期挠度值为15.40 mm,小于规范^[17]规定的挠度值50 mm(计算跨径30 000 mm的1/600)。

根据规范JTG D63—2007^[15]第5.3.3条进行钻孔灌注桩的承载力验算,结果表明,桩基础埋入弱风化花岗岩中,其容许承载力为7 123.4 kN,大于单桩承载力设计值3 354.9 kN,满足设计要求。最大裂缝出现在桩顶,其裂缝宽度为0.12 mm,小于0.2 mm,满足设计要求。

4 受力性能分析对比

4.1 竖向受力行为

4.1.1 恒载作用下主梁弯矩和扭矩

原桥和试设计弯桥主梁在恒载作用下的弯矩如图9所示。由图9可知:相比原桥,试设计弯桥的主梁与桥台固接,主梁梁端处会产生较大的负弯矩

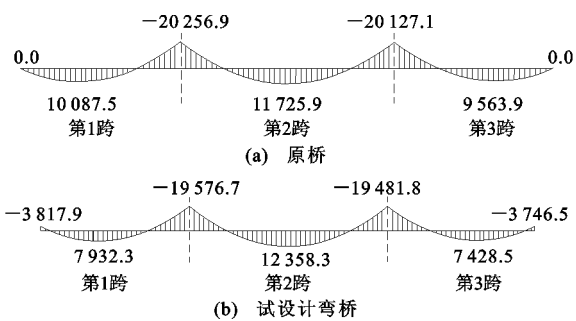


图 9 主梁在恒载作用下的弯矩(单位: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

Fig. 9 Bending Moment of Girder Under Dead Load (Unit: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

($-3\,817.9\text{ kN}\cdot\text{m}$);边跨跨中截面的正弯矩由原桥的 $10\,087.5\text{ kN}\cdot\text{m}$ 减小到 $7\,932.3\text{ kN}\cdot\text{m}$,减少了 21.4% ;墩顶处负弯矩为 $19\,576.6\text{ kN}\cdot\text{m}$,较原桥的 $20\,256.9\text{ kN}\cdot\text{m}$ 减少了 3.4% 。此外,试设计弯桥的中跨跨中弯矩较原桥增大了 5.1% 。可知,试设计弯桥两端会产生较大的负弯矩,使得边跨主梁的正负弯矩值普遍减小,而中跨弯矩值将增大,墩顶处起控制作用的负弯矩值明显减小,在恒载作用下结构受力相对较好。

图 10 分别给出了原桥和试设计弯桥在恒载作用下的主梁扭矩。由图 10 可知:试设计弯桥与原桥的主梁扭矩基本呈反对称分布,两者在边跨内的扭矩有较大差异,原桥出现了较大的扭矩值($456.5\text{ kN}\cdot\text{m}$),较试设计弯桥扭矩值($243.2\text{ kN}\cdot\text{m}$)增大了 87.8% ,这主要是由于试设计弯桥在梁端固接使得边跨的抗扭刚度较大,扭矩较小。试设计弯桥主梁跨中的恒载扭矩较原桥大,但两者的差值较小(6.7%)。此外,试设计桥和原桥的中跨恒载扭矩明显大于边跨,在自身荷载作用下主要表现为跨中受扭。从以上分析可知,试设计弯桥在恒载作用下表现出较强的抗扭能力,明显优于原桥。

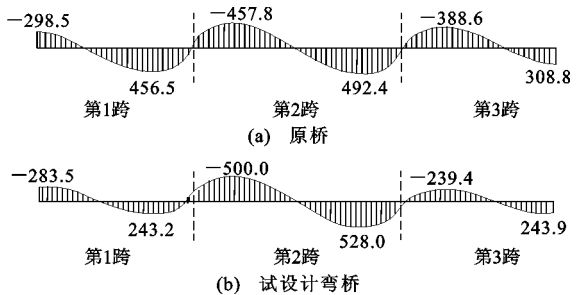


图 10 主梁在恒载作用下的扭矩(单位: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

Fig. 10 Torque of Girder Under Dead Load (Unit: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

4.1.2 汽车荷载作用下的主梁弯矩和扭矩

图 11 分别给出了原桥和试设计弯桥在汽车荷

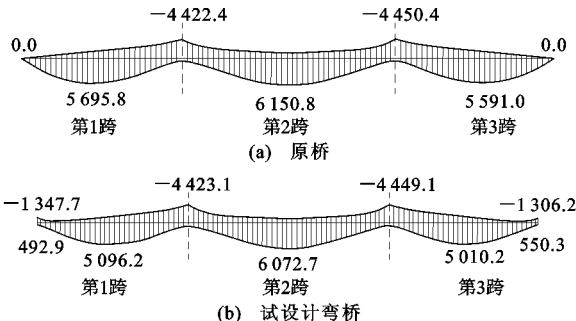


图 11 主梁在汽车荷载作用下的弯矩包络图(单位: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

Fig. 11 Bending Moment Envelope Diagrams of Girder Under Vehicle Load (Unit: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

载作用下的主梁弯矩包络图。由图 11 可知:在汽车荷载作用下,试设计弯桥与原桥主要区别在于边跨的主梁受力,试设计弯桥梁端处承受较大的负弯矩,而原桥由于梁端简支,其负弯矩为 0,原桥在边跨内的弯矩值较试设计弯桥增大了 11.8% ;试设计弯桥中跨和墩顶处的主梁活载弯矩与原桥较为相近。可以看出,在活载作用下,试设计弯桥与原桥的受弯性能相近。

图 12 给出了原桥和试设计弯桥在汽车荷载作用下的主梁扭矩包络图。由图 12 可知:试设计弯桥与原桥的主梁扭矩基本呈反对称分布,在汽车活载作用下,试设计弯桥在跨内的主梁扭矩($-1\,935.6\text{ kN}\cdot\text{m}$)较原桥小($-1\,883.3\text{ kN}\cdot\text{m}$),最大差值为 2.7% ;在端部支承处的主梁扭矩($-2\,622.6\text{ kN}\cdot\text{m}$)比原桥($-2\,399.9\text{ kN}\cdot\text{m}$)大,其最大差值达到了 9.3% 。可以看出,在活载作用下,试设计弯桥和原桥的受扭性能相近。

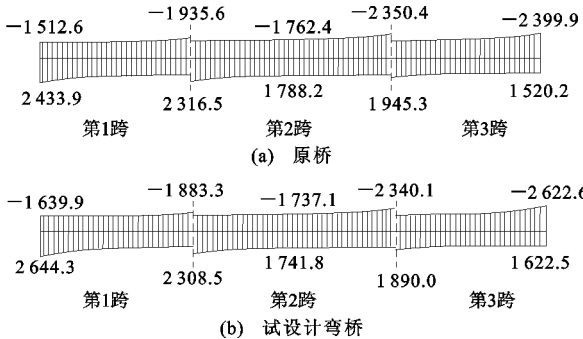


图 12 主梁在汽车荷载下扭矩包络图(单位: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

Fig. 12 Torque Envelope Diagrams of Girder Under Vehicle Load (Unit: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

4.2 纵桥向受力行为

对传统弯桥而言,桥梁的纵向变形主要通过伸缩缝及伸缩装置进行吸收。试设计弯桥则不同,其受温度和混凝土收缩的影响较大,且在這些荷载作

用下会引起主梁的胀缩变形,这部分变形主要由桩基-土相互作用和台后-土相互作用来吸收,故对整体桥纵桥向受力行为的研究也显得尤为重要。

纵向作用主要有温度变化、混凝土收缩和汽车制动力。一般来说,整体桥的制动力作用小于前者,所以这里不考虑。温度变化时,整体桥梯度温度的影响与有缝桥相近,主要不同在于均匀温差。均匀温升、温降对结构受力的影响规律相似,数值相反。对于混凝土桥,收缩与温降的效应相同,迭加后的受力较温升不利,且混凝土抗拉能力弱,所以这里只考虑温降与收缩的计算。

计算中,温降取 20 ℃,收缩模型按规范 JTG 3362—2018^[17]考虑了成桥后 10 年的混凝土收缩,计算结果见图 13~16。由图 13~16 可知,原桥纵桥向因有伸缩缝,纵桥向无多余约束,温降和收缩不产生附加受力,而试设计弯桥为整体式,纵桥向变形受到约束,会产生较大的附加内力,在设计中应予以考虑。

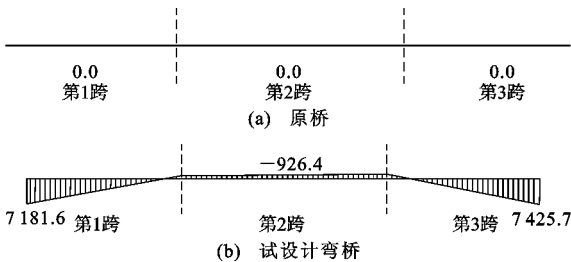


图 13 主梁整体降温作用下的弯矩 (单位:kN·m)
Fig. 13 Bending Moment of Girder Under Overall Temperature Drop (Unit:kN·m)

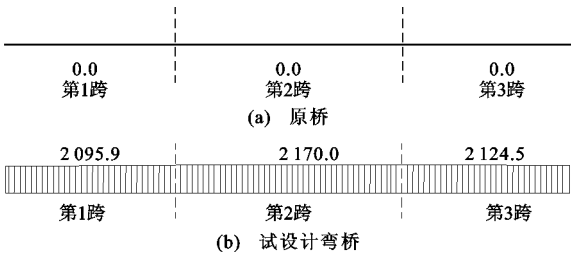


图 14 主梁整体降温作用下的轴力 (单位:kN)
Fig. 14 Axial Forces of Girder Under Overall Temperature Drop (Unit:kN)

5 地震特性分析

5.1 自振特性

采用子空间迭代法计算试设计弯桥与原桥前 10 阶振型,分别给出其各阶频率和振型特征,见表 1。由表 1 可知,试设计弯桥和原桥在前 8 阶表现出相同的振型特性,随后第 9,10 阶振型特征则不同,

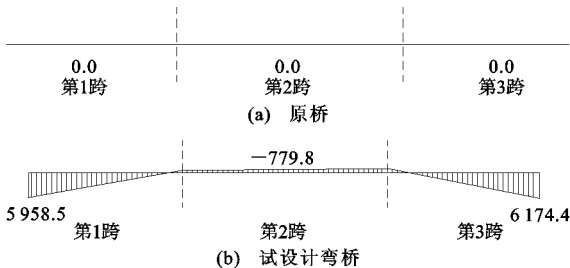


图 15 收缩作用下的主梁弯矩 (单位:kN·m)
Fig. 15 Bending Moment of Girder Under Shrinkage (Unit:kN·m)

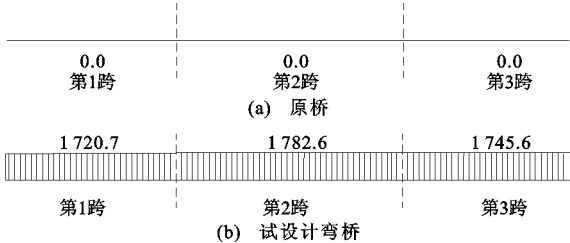


图 16 收缩作用下的轴力 (单位:kN)
Fig. 16 Axial Forces of Girder Under Shrinkage (Unit:kN)

且试设计弯桥前 8 阶的频率明显大于原桥,说明了试设计弯桥的全桥刚度更大。试设计弯桥和原桥在前 1,2 阶振型分别为面外侧弯和纵飘,易引起原桥主梁在桥台处的横向偏位及落梁现象,而试设计弯桥可有效防止该现象的产生。此外,在第 9,10 阶振型时,原桥以主梁面内外竖弯为主,试设计弯桥则以主梁面外侧移为主,原桥主梁易发生横向偏位及落梁现象,而试设计桥则可有效避免。

5.2 反应谱分析

根据《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01—2008)^[18]对试设计弯桥和原桥进行反应谱抗震分析,分别考虑了桥梁的纵桥向和横桥向地震作用。试设计弯桥和原桥的抗震设防类别均为 B 类,Ⅱ类场地,特征周期 T_g 为 0.4 s,7 度设防烈度(0.1g, g 为重力加速度),阻尼比为 0.05,可得水平地震作用 E1, E2 设计反应谱函数,如图 17 所示。

表 2 给出了在 E1, E2 地震作用下梁端和墩顶纵向(地震 X 向)和横向(地震 Y 向)的位移。由表 2 可知,在 E1, E2 地震作用下,试设计弯桥的地震响应远小于原桥,相比原桥,试设计弯桥的梁端纵、横向位移减小了 70% 以上,墩顶纵、横向偏位减小了 50% 左右。说明原桥在地震作用下极易产生主梁横向偏位、落梁等现象,而试设计弯桥表现出了较优的抗震性能,也证明了整体桥抗震性能和整体性好的特点,在高震区使用更具优势。

表 1 原桥和试设计弯桥前 10 阶振型特征

Tab. 1 The First 10 Order Vibration Characteristics of Original Bridge and Trial-design Curved Bridge

阶次	原桥			试设计弯桥		
	周期/s	频率/Hz	振型特征	周期/s	频率/Hz	振型特征
1	0.219 7	4.550 7	1 阶面外对称侧弯	0.210 4	4.751 9	1 阶面外对称侧弯
2	0.140 0	7.141 6	1 阶纵飘	0.132 0	7.578 3	1 阶纵飘
3	0.124 8	8.013 4	1 阶面外对称竖弯	0.114 3	8.749 8	1 阶面外对称竖弯
4	0.070 3	14.232 6	1 阶面内反对称竖弯	0.070 2	14.241 4	1 阶面内反对称竖弯
5	0.060 1	16.637 3	1 阶面内对称竖弯	0.049 8	20.068 9	1 阶面内对称竖弯
6	0.048 7	20.533 6	2 阶面内反对称竖弯	0.048 5	20.639 3	2 阶面内反对称竖弯
7	0.046 1	21.684 5	2 阶面外对称竖弯	0.041 6	24.047 6	2 阶面外对称竖弯
8	0.038 9	25.712 1	3 阶面内反对称竖弯	0.038 6	25.905 0	3 阶面内反对称竖弯
9	0.030 8	32.502 1	3 阶面外对称竖弯	0.036 8	27.165 3	1 阶面外对称侧移
10	0.026 0	38.475 3	4 阶面内反对称竖弯	0.036 7	27.217 3	1 阶面外反对称侧移

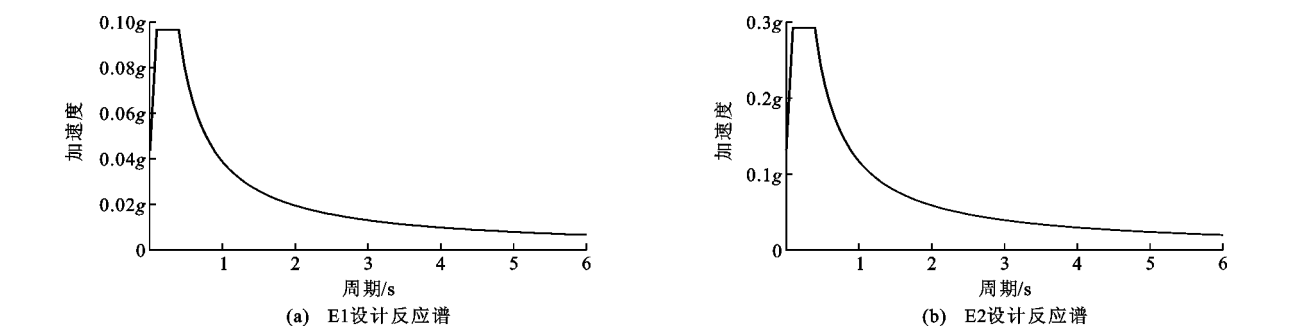


图 17 E1,E2 设计反应谱函数

Fig. 17 Design Response Spectrum Functions of E1 and E2

表 2 主梁和桥墩的地震响应

Tab. 2 Seismic Responses of Girder and Pier

地震作用	地震方向	Δ_1 /mm	Δ_2 /mm	$\frac{\Delta_1 - \Delta_2}{\Delta_2}/\%$	Δ_3 /mm	Δ_4 /mm	$\frac{\Delta_3 - \Delta_4}{\Delta_4}/\%$
E1	X 向	6.95	28.81	-75.88	7.62	14.95	-49.03
	Y 向	2.26	22.83	-90.10	7.77	16.38	-52.56
E2	X 向	20.93	87.17	-75.99	21.39	45.15	-52.62
	Y 向	7.18	69.01	-89.60	23.16	49.53	-53.24

注： Δ_1, Δ_2 分别为试设计桥和原桥主梁端部位移； Δ_3, Δ_4 分别为试设计桥和原桥墩顶位移。

6 结 语

(1)试设计弯桥在结构承载力、裂缝和变形验算中均能满足规范的要求,其整体性和耐久性优越,养护维修费用低,是一种符合可持续发展、全寿命周期成本低的绿色桥梁结构。

(2)试设计弯桥由于主梁与桥台固接,在恒载、汽车荷载、温度及混凝土收缩作用下,主梁端部产生较大负弯矩。在恒载作用下,试设计弯桥的主梁受力相对较好;在汽车荷载下,两者的主梁受弯性能相近。此外,相比原桥,温度效应对试设计弯桥的影响最大,其次为混凝土收缩效应。

(3)在温度和混凝土收缩作用下,试设计弯桥的

受力极为敏感。由于台后土压力和梁端固接等影响,整体温度变化和混凝土收缩作用将引起主梁内较大的弯矩与轴力,在设计中应引起重视。

(4)在恒载和汽车荷载作用下,试设计弯桥和原桥的扭矩基本呈反对称分布,且在恒载作用下,试设计弯桥的边跨扭矩显著低于原桥,最大差值达到 46.7%,中跨扭矩则略有增加,抗扭性能较原桥好,而在活载作用下,两者表现出相近的受扭性能。

(5)在 E1,E2 地震作用下,试设计弯桥表现出了优越的抗震性能,而原桥的梁端和墩顶纵、横位移过大,极易引起桥台处主梁横向偏位、落梁等现象,试设计弯桥可有效防止该病害的产生,在高震区使用更具优势。

参考文献:

References:

- [1] 陈宝春,庄一舟, BRISEGHELLA B. 无伸缩缝桥梁[M]. 北京:人民交通出版社,2013.
CHEN Bao-chun, ZHUANG Yi-zhou, BRISEGHELLA B. Jointless Bridge[M]. Beijing: China Communications Press, 2013.
- [2] 赵丽颖. 独柱墩弯桥的抗倾覆、抗扭曲及其计算分析[J]. 特种结构, 2013, 30(4): 64-68.
ZHAO Li-ying. Anti-overturning and Anti-torsion of Single-column Pier Curved Bridge and Calculation Analysis[J]. Special Structures, 2013, 30(4): 64-68.
- [3] 李广慧,余正武,王用中. 曲线连续梁桥的病害与温度效应[J]. 公路交通科技, 2008, 25(1): 58-63.
LI Guang-hui, YU Zheng-wu, WANG Yong-zhong. Diseases of Curved Continuous Bridge and Temperature Effect[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25(1): 58-63.
- [4] FAR N E, MALAKI S, BARTHIAN M. Design of Integral Abutment Bridges for Combined Thermal and Seismic Loads[J]. Earthquakes and Structures, 2015, 9(2): 415-430.
- [5] 洪锦祥. 整体式桥台桥梁的简化计算模型与受力性能研究[D]. 福州:福州大学, 2006.
HONG Jin-xiang. Research on Simplified Calculating Model and Loaded Behavior of Integral Abutment Bridges[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2006.
- [6] 宋波,黄付堂,毕泽锋,等. 连梁装置游间量设置对弯桥动力特性的影响[J]. 工程科学学报, 2015, 37(9): 1230-1238.
SONG Bo, HUANG Fu-tang, BI Ze-feng, et al. Influence of Expansion Joint Setting on the Dynamic Characteristics of Curved Bridges with Unseating-prevention Devices[J]. Chinese Journal of Engineering, 2015, 37(9): 1230-1238.
- [7] 王伯惠. 取消桥梁伸缩缝做法的新发展[C]//中国公路学会桥梁和结构工程学会. 1991年桥梁学术讨论会论文集. 北京:人民交通出版社, 1991: 90-96.
WANG Bo-hui. A New Development of Cancel Expansion Joint of Bridge[C]//Bridge and Structural Engineering Branch of China Highway and Transportation Society. 1991 Symposium on Bridges. Beijing: China Communications Press, 1991: 90-96.
- [8] 彭大文,陈朝慰,洪锦祥. 整体式桥台桥梁的桥台结点受力性能研究[J]. 中国公路学报, 2005, 18(1): 46-50.
PENG Da-wen, CHEN Chao-wei, HONG Jin-xiang. Study of Loaded Property of Abutment Node of Integral Abutment Bridges[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(1): 46-50.
- [9] 陈宝春,陈国栋,苏家战,等. 采用UHPC-RC阶梯桩的整体桥试设计[J]. 建筑科学与工程学报, 2018, 35(1): 1-8.
CHEN Bao-chun, CHEN Guo-dong, SU Jia-zhan, et al. Trial-design Study on Integral Abutment Bridge by Using UHPC-RC Stagewise Piles[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2018, 35(1): 1-8.
- [10] 林志平. 整体式桥台曲线箱梁桥的概念设计[J]. 上海应用技术学院学报:自然科学版, 2012, 12(2): 97-101.
LIN Zhi-ping. Conceptual Design of Integral Abutment Curved Box Bridges[J]. Journal of Shanghai Institute of Technology: Natural Science, 2012, 12(2): 97-101.
- [11] XU Z, CHEN B C, ZHUANG Y Z, et al. Rehabilitation and Retrofitting of a Multispan Simply-supported Adjacent Box Girder Bridge into a Jointless and Continuous Structure[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2018, 31(1): 04017112.
- [12] 陈宝春,付鑫,庄一舟,等. 中国无伸缩缝桥梁应用现状与发展对策[J]. 中外公路, 2018, 38(1): 87-95.
CHEN Bao-chun, FU Cui, ZHUANG Yi-zhou, et al. Application Status and Development Strategy of Jointless Bridge in China[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2018, 38(1): 87-95.
- [13] BARKER R M, DUNCAN J M, ROJIANI K B, et al. Manuals for the Design of Bridge Foundations: Shallow Foundations, Driven Piles, Retaining Walls and Abutments, Drilled Shafts, Estimating Tolerable Movements, Load Factor Design Specifications, and Commentary[M]. Washington DC: Transportation Research Board, 1991.
- [14] XUE J Q. Retrofit of Existing Bridges with Concept of Integral Abutment Bridge-static and Dynamic Parametric Analyses[D]. Trento: University of Trento, 2013.
- [15] JTG D63—2007,公路桥涵地基与基础设计规范[S].
JTG D63—2007, Code for Design of Ground Base and Foundation of Highway Bridges and Culverts[S].
- [16] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
JTG D60—2015, General Specifications for Design of Highway Bridges and Culverts[S].
- [17] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
JTG 3362—2018, Specifications for Design of Highway Reinforced Concrete and Prestressed Concrete Bridges and Culverts[S].
- [18] JTG/T B02-01—2008,公路桥梁抗震设计细则[S].
JTG/T B02-01—2008, Guidelines for Seismic Design of Highway Bridges[S].