

高墩大跨连续刚构桥施工过程中稳定性分析

吴勇往¹, 张运波²

(1. 河北省高速公路京衡管理处, 河北 衡水 053000; 2. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要: 结合达陕高速公路王家坝大桥连续刚构桥工程实例, 利用 ANSYS 计算软件建立了该桥最高墩自体施工、最高墩最大悬臂施工和成桥阶段各种工况下的特征值稳定分析, 并得出了高墩大跨连续刚构桥施工过程中稳定性的一些规律。

关键词: 连续刚构桥; 悬臂施工; 特征值; 稳定; 措施

中图分类号: U445 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2012)04-0043-05

随着桥梁跨径越来越大, 桥墩越来越高、箱梁薄壁化, 高强轻质材料的广泛采用, 使稳定问题变得尤其重要。薄壁高墩大跨连续刚构桥中桥墩、高桩承台的基桩等都是典型的压弯构件, 稳定性问题属于第二类稳定^[1]。对高墩大跨桥梁, 施工和运营过程中的稳定性常成为验算校核的控制因素, 对于该类桥梁的设计和施工组织, 有必要进行稳定性验算, 以保证结构的安全。

1 工程概况

万源(陕川界)至达州(徐家坝)高速公路 D7 合同段王家坝大桥主桥采用三向预应力混凝土连续箱梁刚构桥, 左幅跨径组合为(60.42 + 110.71 + 60.37) m = 231.5 m, 右幅跨径组合为(59.64 + 109.29 + 59.69) m = 228.62 m。主桥采用单薄壁空心墩, 最高墩高达 76 m, 如图 1 所示。主梁为单箱单室预应力混凝土直腹板箱形梁, 主梁根部梁高 6.5 m, 跨中部梁高 2.8 m, 箱梁高度由距墩中心 3.0 m 处按 1.8 次抛物线变化; 箱梁顶板宽 12.1 m, 底板宽 6.5 m, 翼缘板悬臂长度 2.8 m, 桥面横坡变化, 由腹板高度调整; 箱梁顶板厚度除 0[#]块部分为 0.5 m 外, 其余梁段为 0.28 m。箱梁底板厚由距墩中心 3.0 m 处到合龙段(见图 2)处按 1.8 次抛物线变化, 由 0.8 m 变化至 0.3 m; 箱梁腹板厚度在 0[#]~9[#](0[#]~9[#])梁段为 0.8 m, 12[#]~14[#](12[#]~14[#])梁段为 0.5 m, 10[#]~11[#]梁段为腹板变化段; 箱梁 0[#]块设置两道横隔板, 每道横隔板厚度为 1.0 m, 如图 3 所示。箱梁两主墩墩顶各设置两道箱间横隔板, 每道横隔板厚度为 1.0 m。

各单“T”箱梁除 0、1 号块外分为 13 对梁段, 箱梁纵向长度分为 2 × 4.5 m + 4 × 4.0 m + 4 × 3.5 m + 4 × 3.0 m。0、1(1')号块长度为 12.0 m, 其中 0 号块长 6.0 m, 1(1')号块长度为 3.0 m, 中跨和边跨合龙段长度均为 2.0 m, 边跨现浇段长度为 3.95 m。

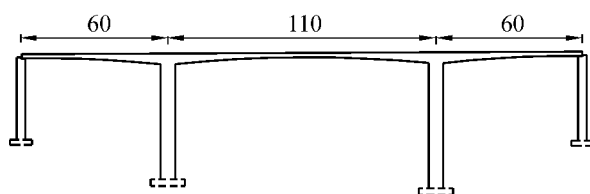


图1 王家坝大桥立面示意图(单位: m)

收稿日期: 2012-08-27

作者简介: 吴勇往 男 1969 年出生 教授级高级工程师

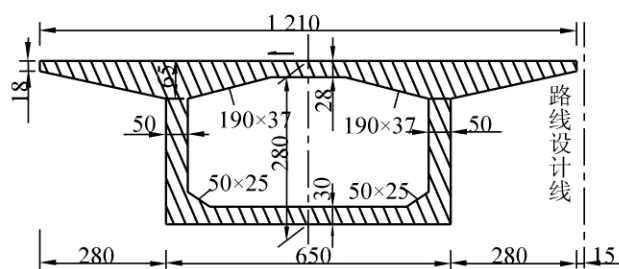


图 2 中跨跨中合龙段截面(单位: cm)

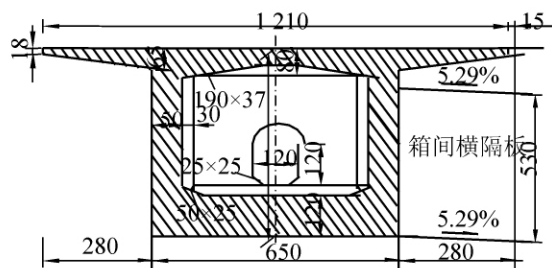


图 3 主梁 0 号块截面(单位: cm)

2 ANSYS 有限元建模

桥梁结构 ANSYS 仿真分析模型中,主要使用的单元有梁单元、壳单元、实体单元。通常用梁单元分析结构整体行为,壳单元和实体单元分析结构细部。桥梁结构在施工阶段的整体行为,按照梁单元建立几何模型,其计算精度就可以满足需要。

2.1 单元的选取

利用 ANSYS 对王家坝大桥进行稳定分析时,主要采用了梁单元 Beam188,Beam188 是三维线性(2 节点)或者二次梁单元。Beam188 单元基于铁木辛柯梁结构理论^[2],可用于从细长至中等粗短的梁结构分析,并能考虑剪切变形的影响;该单元还支持蠕变、弹性及塑性模型(不考虑横截面子模型)的分析;该单元的截面类型可以模拟不同材料组成的变截面;该单元还适合线性、大角度转动和非线性大应变问题的分析。

2.2 材料参数

对于第一类线弹性稳定的计算,即特征值屈曲计算,不需要考虑结构的非线性,结构的材料参数可按如下取值:墩身 C40 混凝土,主梁 C55 混凝土,弹性模量 3.25×10^4 MPa;密度 2600 kg/m^3 ;泊松比 0.2。

2.3 桥墩变截面的建立

王家坝大桥桥墩为钢筋混凝土变截面薄壁矩形空心墩,最高墩高达 76 m,主墩变截面处宽、窄截面有限元划分如图 4 所示。由于计算最高墩的非线性稳定分析时,可考虑高墩在横桥方向单边日照下的侧向位移,然后将此侧向位移作为初始缺陷,在此基础上进行第二类稳定分析。设日照作用下桥墩的位移按 0.1% 的墩高考虑即为 0.076 m。

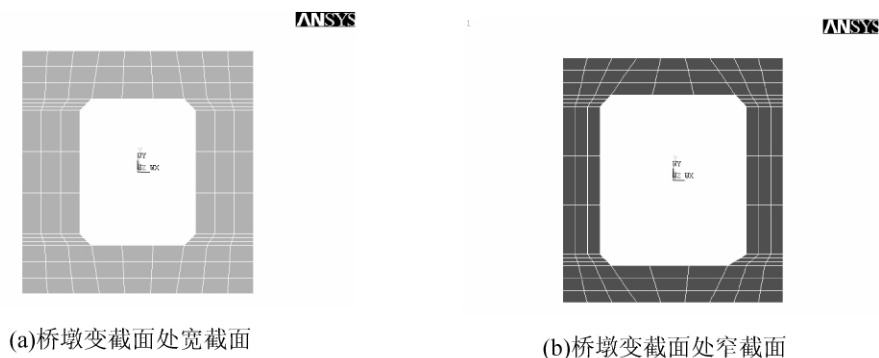


图 4 桥墩截面有限元划分图

2.4 有限元模型

采用梁单元建立的桥梁最高墩有限元模型如图 5 所示,桥梁最高墩最大悬臂状态模型如图 6 所示,桥梁成桥状态模型如图 7 所示。

3 各施工阶段特征值稳定分析

选取最高墩作为分析对象是因为其在施工过程中是最不利的墩,桥墩在施工过程中所承受的重力、

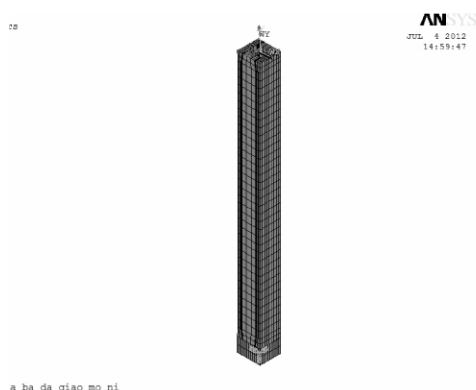


图5 桥梁最高墩模型

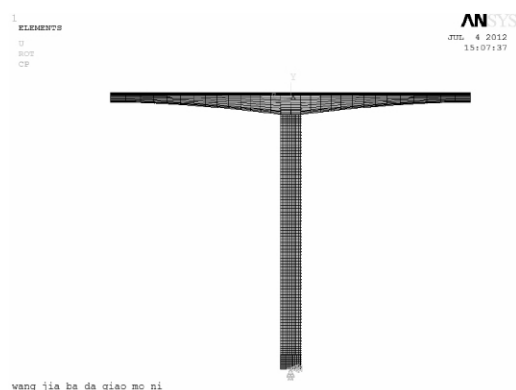


图6 最高墩最大悬臂状态模型

横向风荷载和纵向风荷载、温度对其影响都是最大的^[3]。在这个施工阶段,结构为静定结构,墩身为空心矩形截面,混凝土的温差不产生次内力,但会产生变形,从而造成初始缺陷,会不利于桥墩的稳定。

3.1 最高桥墩自体施工稳定分析

特征值临界失稳荷载的大小应为 $F = \text{实际施加荷载} \times \text{第一阶失稳特征值}$ 。极限荷载通常由分析中得到的荷载-位移曲线求得,在曲线的最高拐点对应的就是极限荷载^[4]。经过 ANSYS 计算得出最高桥墩裸墩施工在自重作用下的一阶失稳特征值为 101.66;二阶失稳特征值为 117.14;三阶失稳特征值为 653.03;四阶失稳特征值为 750.22;五阶失稳特征值为 1444.7。最高桥墩裸墩施工 1、3 阶屈曲模态如图 8、图 9 所示。当考虑材料非线性时计算得到的最高桥墩裸墩施工的极限荷载为 3878.68 MN,一阶特征值荷载为 4401.67 MN。

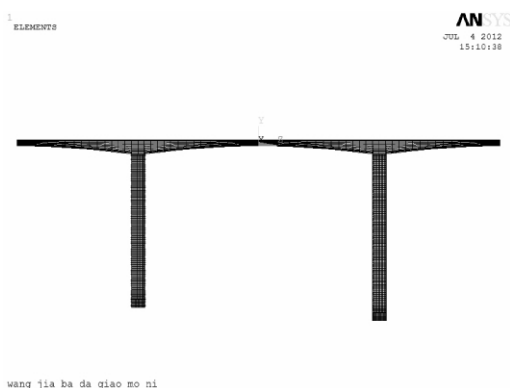


图7 全桥成桥状态模型

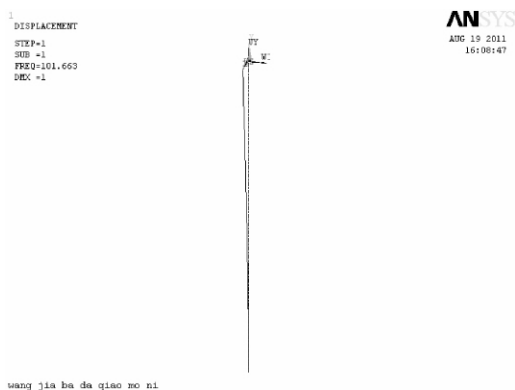


图8 桥墩一阶屈曲模态

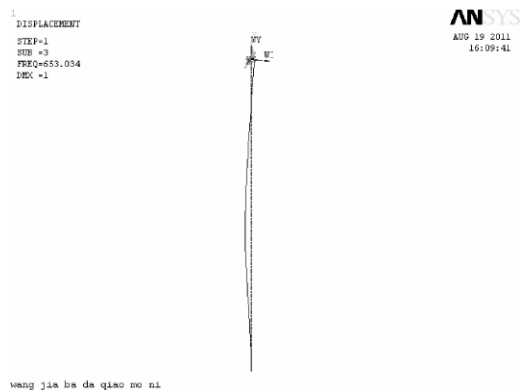


图9 桥墩三阶屈曲模态

通过分析可以看出,最高墩在自重作用下的屈曲特征值为 100 左右,屈曲模态相近,各种单元的计算结果相近,说明计算结果是准确的;从考虑非线性的极限荷载与一阶特征值之比来看,几何非线性极限荷载约为一阶特征值的 88%,双重非线性极限荷载约为一阶特征值的 69%,由此可见,本桥的空心矩形薄壁墩在高墩自体施工中几何非线性对其稳定性具有一定影响,但不是很大。双重非线性的影响较大,在桥梁设计、施工验算校核中应加以重视。

3.2 最高桥墩最大悬臂施工稳定分析

由 ANSYS 计算的最高墩最大悬臂状态稳定分析结果为一阶失稳特征值 27.91;二阶失稳特征值 31.74;三阶失稳特征值 205.18;四阶失稳特征值 216.61;五阶失稳特征值 472.14。最高墩最大悬臂状态

线性屈曲荷载为 2 239.58 MN,考虑几何非线性时的屈曲荷载为 1 756.32 MN,考虑双重非线性时的屈曲荷载为 1 326.25 MN。最高墩最大悬臂状态模型一阶、三阶屈曲模态如图 10、图 11 所示。

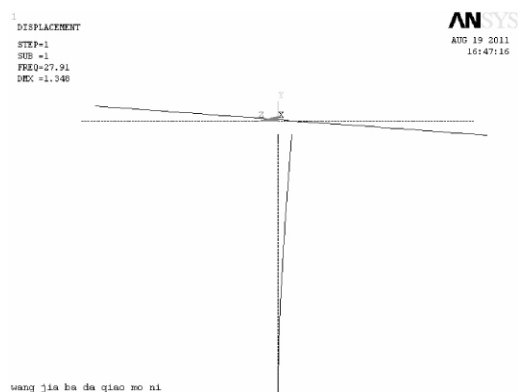


图 10 最高墩最大悬臂状态一阶屈曲

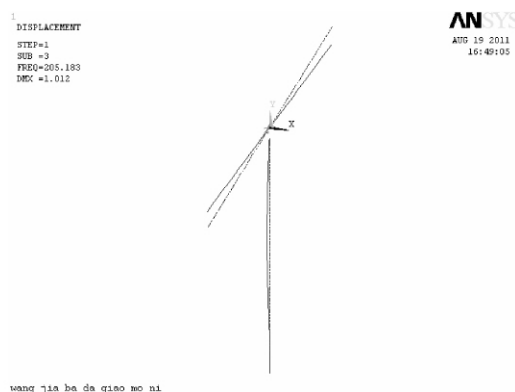


图 11 最高墩最大悬臂状态三阶屈曲

通过计算分析可以看出,几何非线性极限荷载约为一阶特征值的 78%,这与自体稳定计算结果比较接近,考虑双重非线性时的极限荷载约为一阶特征值的 60%。由此可见,最高墩最大悬臂施工稳定的非线性影响主要来自高墩的几何非线性及墩身的材料非线性耦合作用^[5],几何非线性影响单独影响较小,双非线性对最高墩最大悬臂施工稳定影响比最高墩自体施工稳定影响大。

3.3 成桥状态稳定分析

采用 ANSYS 分析的全桥成桥状态失稳特征值计算结果为一阶失稳特征值 34.758;二阶失稳特征值 53.156;三阶失稳特征值 60.919;四阶失稳特征值 218.907;五阶失稳特征值 221.792。成桥一、三、五阶屈曲模态如图 12~图 14 所示。

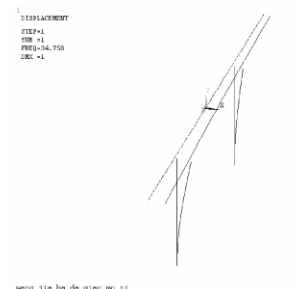


图 12 成桥状态一阶失稳

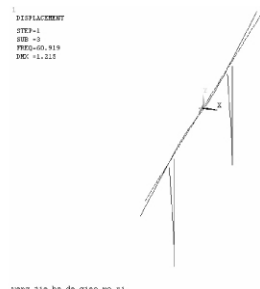


图 13 成桥状态三阶失稳

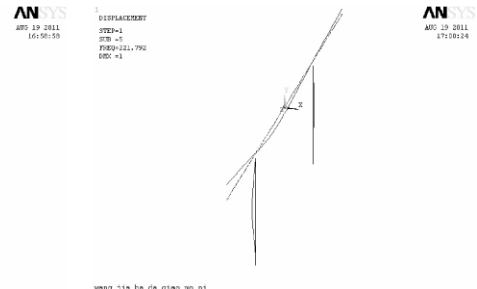


图 14 成桥状态五阶屈曲

从桥梁成桥状态的特征值分析可以看出,一阶失稳为面外失稳,且一阶失稳的特征值比最高墩最大悬臂状态自重作用下稳定屈曲特征值大,因此最高墩最大悬臂状态施工为稳定的最不利工况,应加强对该施工状态的控制。成桥状态为保证桥梁不向面外失稳,可将左右幅桥墩横向连接,这样可以更好的利于稳定。

4 结论及建议

对王家坝大桥施工阶段的稳定进行分析可以得出以下结论:

(1) 线弹性分析得到的是第一类稳定问题的解,只能得到屈曲荷载和相应的失稳模态,线弹性稳定分析得出的临界荷载普遍偏高^[6],为极限承载力的最大值,只能作为结构分析的参考。考虑了大变形、材料非线性等特征的非线性稳定分析,比线性稳定分析的计算结果更准确、更符合实际情况,在工程设计中应以非线性稳定分析结果为依据。

(2) 对桥墩自体施工进行稳定分析得出一阶屈曲特征值为 100,最高墩最大悬臂状态施工分析得出一阶屈曲特征值为 27,成桥状态下分析得出一阶屈曲特征值为 34.758,所以最高墩最大悬臂施工状态为稳定性最不利工况。

(3) 几何非线性对高墩连续刚构桥稳定性影响较小,双重非线性对高墩大跨连续刚构桥稳定性影响较大,考虑双重非线性的屈曲荷载计算值只有一阶特征值屈曲荷载的60%,可见在高墩悬臂施工中对非线性行为的影响应该重视。特别是最近设计的高墩大跨连续刚构桥上部结构越来越轻盈,截面越来越经济,在设计、施工验算校核中应考虑非线性对稳定的影响。

参 考 文 献

- [1] 华孝良,徐光辉. 桥梁结构非线性分析[M]. 北京:人民交通出版社,1997:1-67.
- [2] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京:人民交通出版社,2007.
- [3] 白浩,杨昀,赵小星. 高墩大跨弯连续刚构桥梁空间非线性稳定分析[J]. 公路交通科技,2005,22(5):36-40.
- [4] 王解军,梁锦锋. 风载作用下高墩连续刚构桥的非线性稳定分析[J]. 中南林业科技大学学报,2008,28(2):74-79.
- [5] Clough R W. The finite element method in plane stress analysis[J]. Proc. 2nd ASME Conference of Electronic Computation, pittsburgh, Pa, Sept. 1960,123(3):112-116.
- [6] Li Li, Peng Yuanchen. Nonlinear stability analysis of long-span continuous rigid frame bridge with thin-wall high pier[J]. Journal of China University of Geosciences, 2005,16(1):72-78.

Stability Analysis of Long-span Continuous Rigid Frame Bridge Construction Process

Wu Yongwang¹, Zhang Yunbo²

(1. Hebei Province Beijing-Hengshui Expressway Administrative Office, Hengshui 053000, China;

2. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Based on a typical long-span continuous rigid frame bridge with high piers—Wangjiaba Bridge construction, using ANSYS software, the model of the highest pier body construction phase, the model of the maximum cantilever construction phases at the highest pier and the model of the bridge closing phase are established. By comparing with the theoretical calculation, the influence factors of the stability in the bridge construction process are obtained.

Key words: continuous rigid frame bridge; cantilever construction; eigenvalue; stability; measures

(责任编辑 车轩玉)