

兰州小西湖黄河大桥剪力滞效应分析及试验研究

李龙生

(兰州市政研究所, 甘肃兰州 730000)

摘 要:小西湖黄河大桥为部分斜拉桥, 采用薄壁箱形截面梁, 为了解箱梁的剪力滞效应, 对其进行了剪力滞效应的有限元理论分析和模型试验研究, 结果表明, 试验结果与理论分析结果基本相符。

关键词:剪力滞; 部分斜拉桥; 模型试验; 薄壁箱形梁

中图分类号:U448.27 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)04-0095-03

1 概述

兰州市小西湖黄河大桥是兰州市城市交通中的重要工程之一, 对兰州市的经济发展和城市快速交通网的形成有着十分重要的意义。兰州市小西湖黄河大桥主桥采用单索面矮塔斜拉桥方案, 斜拉索在主梁上锚于箱梁对称中央, 桥跨布置为 81.2 m+136 m+81.2 m, 单索面, 塔高 17 m, 主梁采用梯形截面单箱三室箱梁, 梁高 2.6 m~4.5 m, 底宽 15.4 m, 顶宽 27.5 m, 塔梁固结, 墩梁分离。

小西湖黄河大桥主梁为薄壁箱形截面梁, 为确保结构的安全, 需要考虑梁体的剪力滞效应, 故须对其实际受力状态进行详细的分析。该文采用有限元方法对实桥进行了分析, 并利用有机玻璃模型对该桥箱梁的剪力滞效应进行了理论分析和模型试验研究。

2 实桥有限元分析

对比较复杂的空间箱梁进行剪力滞效应计算, 可采用多种解析或实用方法, 比较精确的方法是采用有限单元法 (如采用板壳元或实体单元利用有限元分析程序进行分析) 和试验相结合。该课题采用板壳元法进行计算机仿真, 研究箱梁剪力滞效应在桥跨纵向及横向的分布情况。

2.1 板壳模型

采用 ANSYS 中的 SHELL63 单元来模拟箱形梁的顶板、底板、腹板、翼缘板及横隔板, 箱形梁板厚的变化部分按分段等厚度考虑, 斜拉索采用 LINK8 单元来模拟, 桥塔选用变截面梁 BEAM44 单元。采用壳单元建立的分析模型如图 1 所示。壳模型共划分 21954 个单元。

2.2 梁模型

采用 ANSYS 中可自定义截面的 BEAM189 单

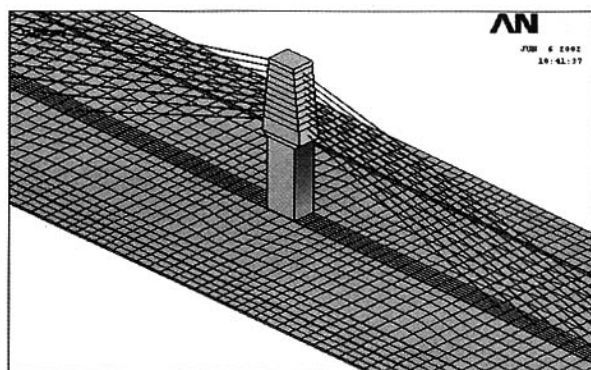


图 1 板壳有限元模型

元模拟主梁, 按箱形梁顶板、底板、腹板、翼缘板的实际尺寸和梁高建立主梁各节段的截面, 由 ANSYS 程序自动计算截面特性, 桥塔仍采用 BEAM44 单元模拟, 斜拉索采用 LINK8 单元来模拟。为了与壳模型进行比较, 主梁中的横隔板重量在静力分析中用集中荷载来考虑。采用梁单元的结构分析模型如图 2 所示。

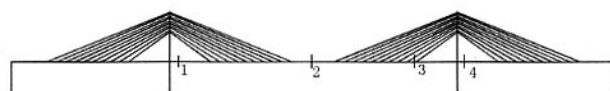


图 2 梁单元分析模型

2.3 有限元分析结果

理论计算选择 7 个断面进行分析, 限于篇幅, 仅对其中 4 个断面进行分析, 各计算截面的位置见图 2。

实桥有限元分析各截面最大剪力滞系数列于表 1。

表 1 各截面最大剪力滞系数

截面号	顶面最大剪力滞系数		底面最大剪力滞系数	
	不考虑预应力	考虑预应力	不考虑预应力	考虑预应力
1# 截面	1.26	1.26	1.07	1.09
2# 截面	1.20	1.33	1.10	1.03
3# 截面	2.52	1.56	1.03	1.04
4# 截面	1.25	1.25	1.07	1.09

由表 2 可以看出:

(1) 3# 截面由于离第一根索很近 (1.4 m), 产

收稿日期: 2006-04-24

作者简介: 李龙生 (1954-), 男, 山东莱芜人, 高级工程师, 主要从事市政工程研究工作。

生了局部应力效应。

(2)在恒载作用下,1# 和 4# 截面(塔根处)的剪力滞效应最显著,最大剪力滞系数(在顶板上)为 1.26。各截面的剪力滞系数均为顶板大、底板小。

(3)考虑预应力影响后,跨中截面(2#)顶板的剪力滞效应最大,其最大值为 1.33。1# 和 4# 截面(塔根处)的剪力滞效应也较大,其最大值为 1.26。3# 截面的局部应力效应影响相对降低。各截面底板的剪力滞系数均小于顶板。

3 模型试验

3.1 模型设计

试验模型采用有机玻璃模型,实测模型关键截面的剪力滞效应及各截面的应力分布情况,并与模型的有限元理论分析结果进行比较。

模型桥梁的材料参数列于表 2。

表 2 模型桥梁材料参数		
材料类别	弹模 E (kPa)	体密度 (t/m^3)
主梁有机玻璃	2.865×10^6	1.18
桥塔有机玻璃	2.865×10^6	1.18
斜拉索钢丝	2.0×10^8	7.85

主桥整体模型的相似比为 $S_l=1/40$,模型全长 7.5 m。梁、塔、墩均用有机玻璃制作。斜拉索用细钢丝制作。

模型试验的相似条件为:应变相似系数 $S_\epsilon=1.0$,主梁应力的相似系数 $S_\sigma=S_E=1:12$ (S_E 为有机玻璃与混凝土弹性模量的相似系数)。对于斜拉索,由于模型的材料与原型相同,故应力相似系数为 1.0,索面积的相似系数为 $S_A=S_l^2 \cdot S_E$ 。模型设计中对各部件的考虑如下。

(1)主梁

主梁用有机玻璃制作,在梁长方向严格按照 1:40 比例制作,截面具体尺寸及构造很难完全按同一比例制作,实际制作时尽量选用接近 1:40 比例的尺寸。

(2)桥塔

桥塔也用有机玻璃制作,为了锚固斜拉索,在桥塔中心增加了一块锚固钢板。在实桥上是在梁上锚固的,但在模型试验时为方便起见,将锚固位置设在塔上。

(3)斜拉索

在实桥中,同一位置的两根并行斜拉索的面积之和为 0.0085 m^2 ,模型试验时将两根索合成一股。按照相似关系,模型斜拉索的面积应为 0.437 mm^2 ,相应的钢丝直径为 0.75 mm 。实际选用的钢

丝直径为 0.775 mm 。

(4)支座

固定支座用钢辊轴制作,可以转动但不能移动。活动支座分别采用了钢辊轴和橡胶板两种方案。经比较,两种支座均能满足活动支座的约束要求。

(5)桥墩

采用有机玻璃制作,墩底固结于置于地面的刚性块上。

(6)测点布置

各测试箱梁截面顶、底板的应力测点布置如图 3 所示。

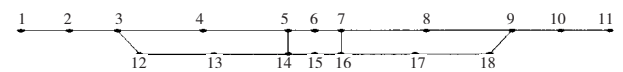
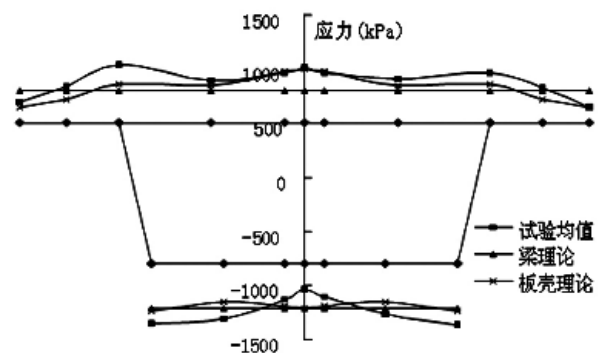


图 3 各截面应力测点位置编号

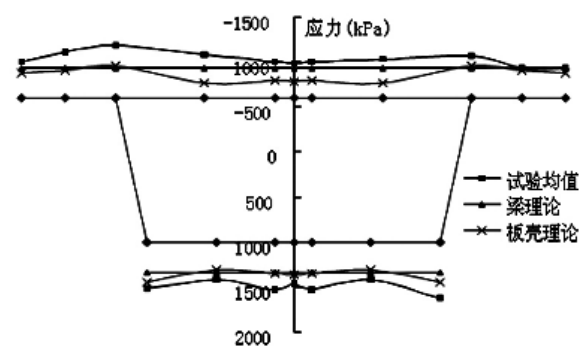
3.2 试验结果

模型试验的荷载仅考虑自重及二期恒载,自重及二期恒载采用堆砂袋的方法施加。线荷载集度的相似系数为 $S_w=S_\sigma \cdot S_l$ 。斜拉索中的初张力通过应力相等的条件确定,采用同时吊重的方法对全部斜拉索施加初张力。

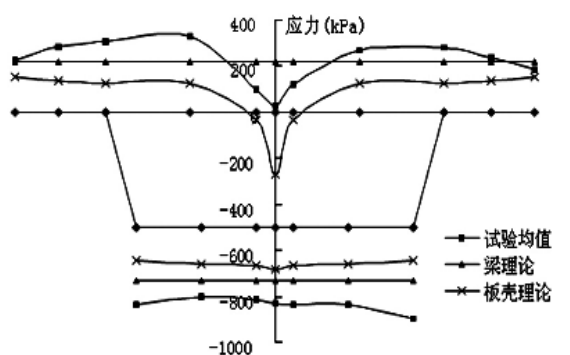
在自重和二期恒载作用下的试验结果与理论计算值的比较见图 4。



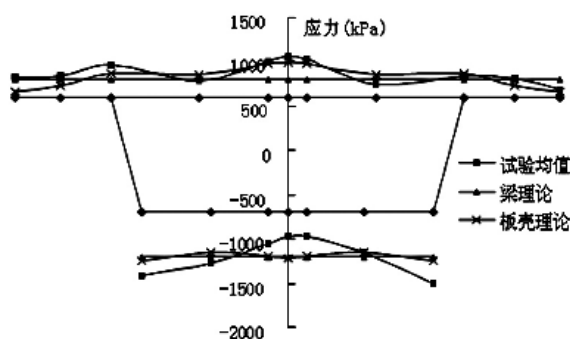
(a) 1 # 截面



(b) 2 # 截面



(c) 3# 截面



(d) 4# 截面

图 4 实测应力与理论计算结果比较

模型梁各截面的最大剪力滞系数示于表 3。

表 3 各截面最大剪力滞系数

截面号	梁顶面最大剪力滞系数		梁底面最大剪力滞系数	
	试验结果	板壳结果	试验结果	板壳结果
1# 截面	1.18	1.21	1.12	1.04
2# 截面	1.18	1.12	1.08	1.06
3# 截面	1.55	0.70	1.07	1.03
4# 截面	1.22	1.19	1.26	1.04

(上接 94 页) 部区域会出现一些比较大的拉应力,这些拉应力由挂篮锚点力的应力集中所引起的,可用锚点的局部构造措施来进行减弱。

(3) 箱梁顶板在挂篮施工荷载作用下会产生很大的横向拉应力,这会使顶板混凝土在施工过程中开裂,因此必须采用有效方法来降低顶板的拉应力。如果在进行挂篮浇筑下一节段的混凝土前,张拉本节段的所有或部分横向预应力,可以降低顶板的拉应力,但这与设计所要求的施工顺序相冲突,破坏了横向预应力在箱梁节段之间的连续性。

(4) 当箱梁节段的断面变小时,挂篮锚点 1 作用点位置距腹板的中心线有一定的距离,在底板的一定区域内产生比较大的横向弯矩,由于底板的厚度较小,再加上纵向预应力管道的削弱,使底

由图 4 及表 3 可以看出:

(1) 3# 截面由于靠近第一根斜拉索,产生了较大的应力集中现象,其测试结果与板壳理论分析结果相差较大,该截面处底板结果与理论分析结果较为接近;

(2) 对于模型结构,其他截面处应力测试结果与板壳分析结果较为接近,且趋势一致;

(3) 除 3# 截面外,顶板最大的剪力滞系数为 1.22,底板最大的剪力滞系数为 1.26。

(4) 由表 1 和表 3 可以看出,模型试验较为接近地反映了该桥的实际情况。

4 结论

通过对小西湖黄河大桥模型试验及有限元分析的对比较研究,可以得出以下结论:

(1) 模型试验给出了关键截面的应力分布,对于同类工程的设计具有一定的参考价值。

(2) 通过模型试验得到了部分斜拉桥箱梁的剪力滞系数,其数值与实桥是一致的。

(3) 有限元分析结果与模型试验结果基本相符,采用板壳有限元方法能够较好地计算出部分斜拉桥箱梁的剪力滞系数。因此,可以通过有限元分析计算出实桥在各种荷载工况下的剪力滞效应。

板产生很大的横向拉应力。这些拉应力随着相应截面的纵向位置与锚点作用力之间的距离增大而衰减;但是,即使扣除了锚点力的应力集中效应与作用力偏大等因素,底板的拉应力还是远远超过 C60 的标准抗拉强度 2.85 MPa,使底板混凝土局部开裂的可能性非常大。当然,对底板进行极限强度与裂缝宽度的验算,也是设计与施工要注意的重要事项。

参考文献

- [1] 韩大建,梁立农等.珠江大桥有限元仿真分析[J].桥梁建设, 2004,(3):34-37
- [2] James G. MacGregor, F. Michael Bartlett. Reinforced Concrete—Mechanics and Design.[M].Prentice hall Canada Inc., Scarborough, Ontario, 2000