

文章编号: 0451-0712(2007)02-0054-05

中图分类号: U448.216

文献标识码: A

# 波形钢腹板组合箱梁加载效率试验研究

李立峰, 王芳, 刘志才

(湖南大学土木工程学院 长沙市 410082)

**摘 要:** 体外预应力波形钢腹板组合箱梁是一种新型的钢—混凝土组合结构,其剪力主要由钢腹板承担,混凝土顶底板承受绝大部分弯矩;由于充分发挥了材料性能,提高了材料效率,有着很好的应用前景。为了研究波形钢腹板的加载效率,制作了2根模型梁,通过测试预应力张拉时结构应变和变形规律,利用空间有限元方法进行分析,试验结果与理论结果吻合较好,并得到了该组合结构在预应力作用下的加载效率规律。对不同厚度腹板的普通混凝土梁进行了参数对比分析,结果表明,波形钢腹板组合箱梁在预应力加载效率方面具有较强的优势。

**关键词:** 波形钢腹板箱梁; 模型试验; 体外预应力; 加载效率; 有限元

波形钢腹板组合箱梁是以波形钢板代替传统混凝土腹板的一种新型钢—混凝土组合结构。该结构充分发挥了钢与混凝土材料的各自优势,且各部分受力明确。与传统的混凝土结构相比,波形钢腹板体外预应力组合箱梁更为合理。其中很重要的一个原因在于,波形钢腹板的折叠效应使得其纵向刚度非常小,从而可以对其施加高效的体外预应力。本文设计了2片模型梁,测试了模型梁在预应力张拉时结构应变和变形的大小,并进行了参数分析,然后通过空间有限元分析与试验结果的对比,印证了该结构在施加高效预应力方面的强大

优势。

## 1 试验模型设计

### 1.1 模型概况

2根模型梁的总体布置见图1、图2所示。模型梁A高0.357 m,模型梁B高0.359 m,梁体总长5 m,计算长度为4.8 m。简支梁纵向设4道横隔板,即端部和三分点位置各1道,中横隔板兼作体外预应力筋的转向块。波形钢腹板采用A3钢,厚2.3 mm,具体尺寸见图3所示。波形钢腹板与混凝土顶底板之间采用剪力连接件连接。

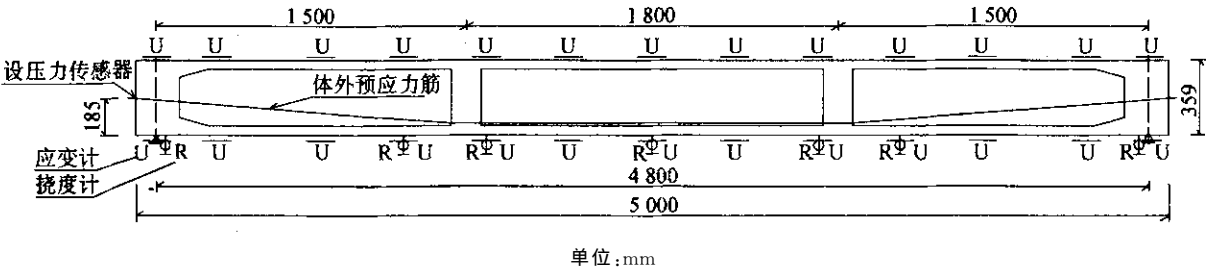


图1 试验梁纵向剖面

2片模型梁均采用顶、底板内普通钢筋和体外预应力筋的混合配筋方式。普通钢筋采用Ⅰ级钢,预应力筋采用2根 $\phi 15.24$ 钢绞线,张拉控制应力为1395 MPa,一端张拉,锚下埋设压力传感器。混凝土弹性模量实测结果为38.1 GPa。

### 1.2 应变和变形测点布置

为研究组合箱梁加载效率,应变片分别布置于混凝土顶底板和钢腹板,测量部位主要为跨中, $L/3$ 和 $L/4$ 断面,见图1和图4所示。模型梁试验照片见图5。

## 2 模型简化

### 2.1 波形腹板对抗弯的贡献



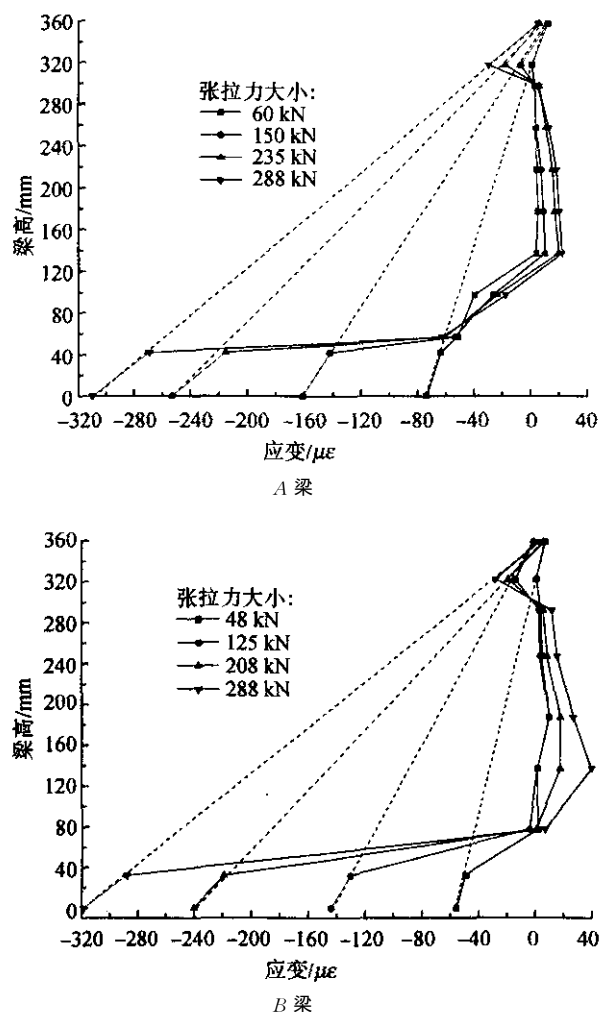


图7 试验梁跨中截面正应变沿梁高分布(受压为负)

腹板应变极值点出现在底板与腹板交接处,说明最大值是由于应力集中所致。这进一步验证了波形钢腹板对组合箱梁抗弯的贡献可以忽略。若忽略波形钢腹板的刚度,混凝土顶底板翼缘正应变分布近似符合线性规律,满足平截面假定。

## 2.2 模型的简化

由以上的理论分析和试验验证,在进行抗弯能力分析时,可以忽略波形钢腹板的贡献,认为弯矩仅由上下混凝土板来抵抗,从而将组合箱梁的横断面置换为仅由上下混凝土板构成的断面,如图8所示。日本规范也建议按此采用。

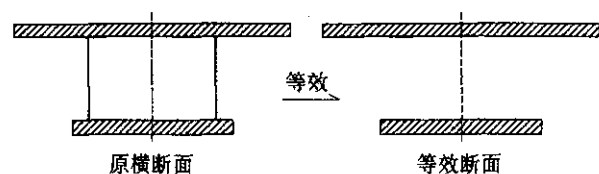


图8 波形钢腹板箱梁抗弯计算等效断面

## 3 预压应力值的内力分析与试验验证

### 3.1 基本假定

在以上分析的基础上,提出如下基本假定:

- (1)忽略波形钢腹板对抗弯承载力的贡献,即不考虑腹板的抗弯作用;
- (2)在弯曲荷载作用下,等效断面的上下混凝土翼板满足梁理论的平截面假定;
- (3)波形钢腹板与混凝土顶底板在弹性范围内完全共同工作,不发生相对滑移;
- (4)混凝土弹性模量为常值;
- (5)不考虑普通钢筋对刚度的影响,仅考虑预应力钢筋影响。

### 3.2 有限元分析

有限元分析采用大型通用计算软件ANSYS。混凝土顶底板和横隔板用8节点三维实体单元模拟,波形钢腹板用4节点板壳单元模拟,对于体外预应力索,选用三维空间杆单元模拟。横隔板与波纹钢腹板之间有粘结,预应力由温度荷载施加。空间有限元计算模型如图9所示。预埋在预应力筋锚下的压力传感器测得的永存预应力,A梁为288 kN,B梁为261 kN。

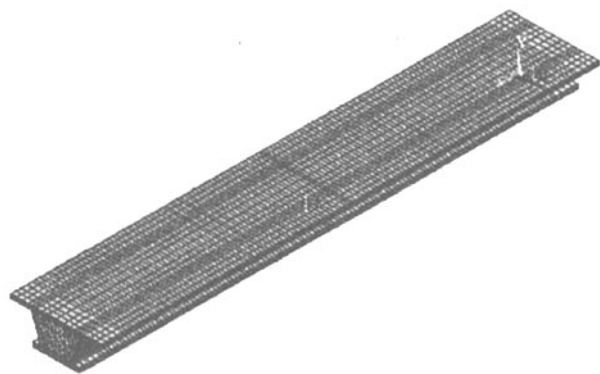


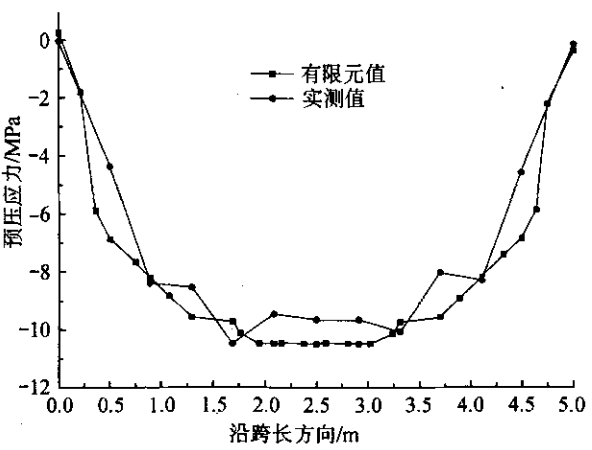
图9 波形钢腹板组合箱梁有限元计算模型

### 3.3 试验数据及对比分析

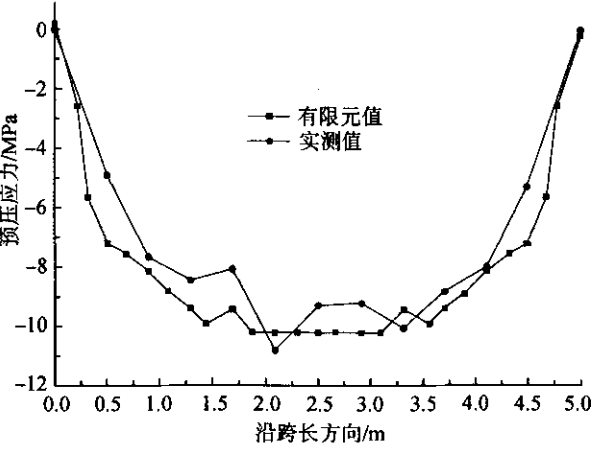
#### 3.3.1 应力对比

在张拉预应力束时,测量了2片试验梁底腹板内侧各截面的压应力值,并与有限元分析值一起列于图10。

图10结果表明,有限元值与实测值吻合较好,A梁的跨中截面下缘压应力理论值为10.5 MPa,实测值9.64 MPa,相差8.9%;而B梁的跨中截面下缘压应力理论值为10.22 MPa,实测值9.3 MPa,相差9.9%,略有偏大。



A 梁



B 梁

图 10 试验梁底板下缘混凝土正应力沿跨长的变化

3.3.2 反拱度对比

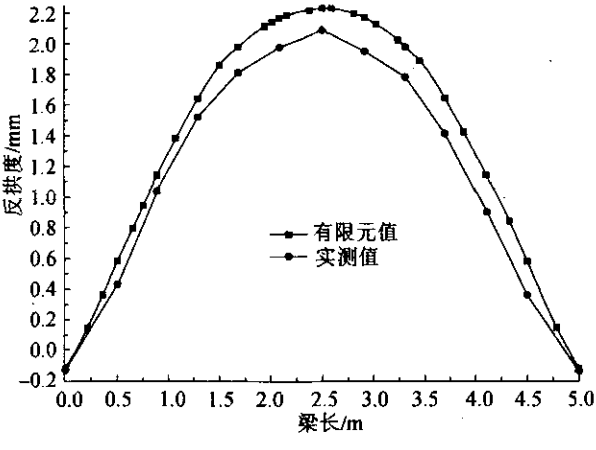
实测各主要断面的梁底反拱度值列于表1、表2。

表 1 A 梁反拱度对照 <span style="float:right">mm</span>							
位置	0	L/4	L/3	L/2	2L/3	3L/4	L
有限元	-0.12	1.64	1.98	2.23	1.98	1.64	-0.12
实测	-0.13	1.52	1.81	2.09	1.78	1.41	-0.14

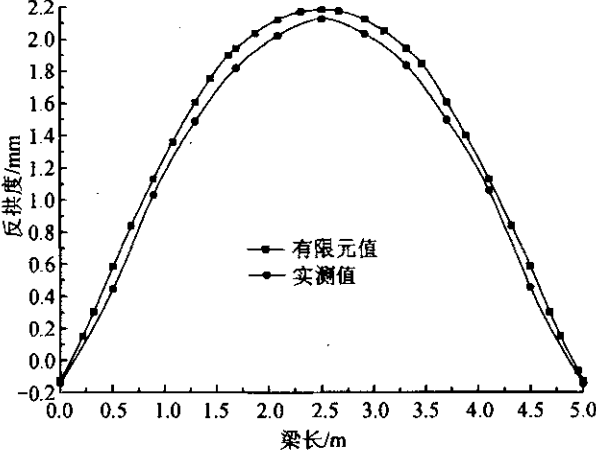
表 2 B 梁反拱度对照 <span style="float:right">mm</span>							
位置	0	L/4	L/3	L/2	2L/3	3L/4	L
有限元	-0.13	1.61	1.94	2.18	1.94	1.61	-0.13
实测	-0.14	1.49	1.82	2.13	1.84	1.49	-0.15

由表1、表2看出,梁底反拱度的有限元值与实测值相比略微偏大。以跨中截面为例,实测值与理论值之比:A梁为93.72%,B梁为97.71%,两者基本一致。

图11示出了在张拉预应力束时,2片试验梁底各截面实测的挠度值与有限元分析值。



A 梁



B 梁

图 11 试验梁沿纵向跨长的变形

4 参数分析

为进一步验证波形钢腹板组合梁结构在预应力加载效率上的优势,通过改变腹板材料及厚度,建立了4个普通体外预应力混凝土箱梁有限元模型,其跨径、顶底板厚度和宽度与试验梁B均相同。按照腹板面积占全截面面积的20%,25%,30%,35%进行设计,编号分别为1~4。腹板厚度分别为2.8 cm,3.7 cm,4.8 cm,6.0 cm,见图12所示。

由此计算了各梁在张拉力为261 kN时,各梁底跨中断面的预压应力值以及反拱度大小,对比结果列于表3中。梁底下缘跨中各截面压应力及反拱值的对照见图13。

图13结果表明,对于相同跨径,相同顶底板厚度的波纹钢腹板体外预应力组合箱梁和体外预应力普通混凝土箱梁,在进行同等大小的预应力张拉之后,前者跨中梁底的预压应力比后者提高10%~30%,相应的反拱度偏大13%~30%,已充分说明:

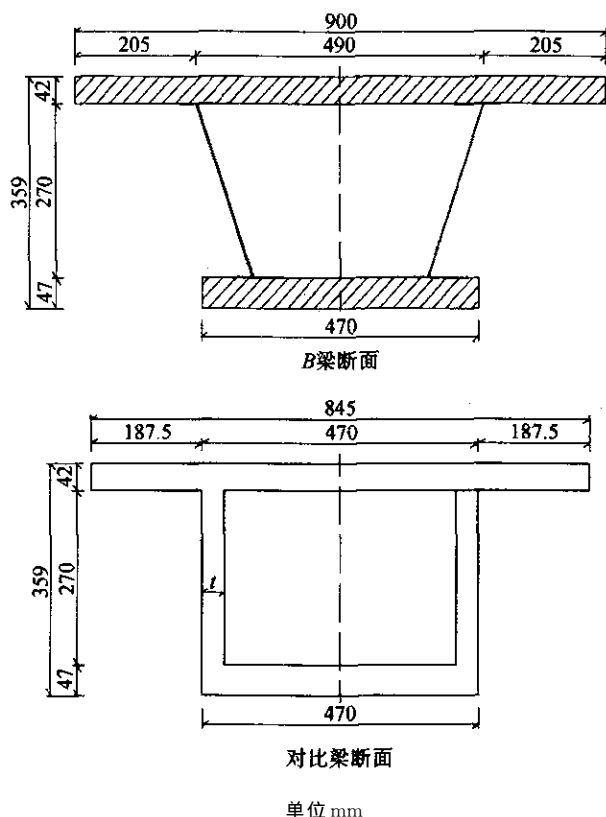


图 12 参数分析对比断面

表 3 对比结果

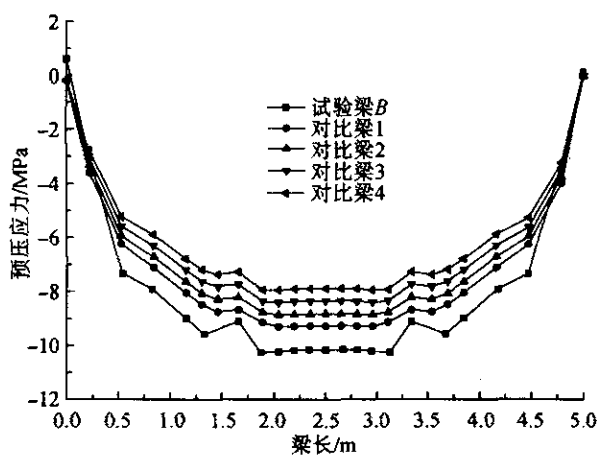
项目	B 梁	对比梁			
		1	2	3	4
跨中下缘压应力/MPa	10.16	9.26	8.82	8.33	7.88
跨中反拱度/mm	2.18	1.93	1.85	1.76	1.68

相对普通预应力混凝土箱梁,波形钢腹板预应力组合箱梁预应力的加载效率明显优于普通预应力混凝土箱梁。在弹性范围内,其压应力储备和工作性能将远高于同等跨径的预应力混凝土箱梁。

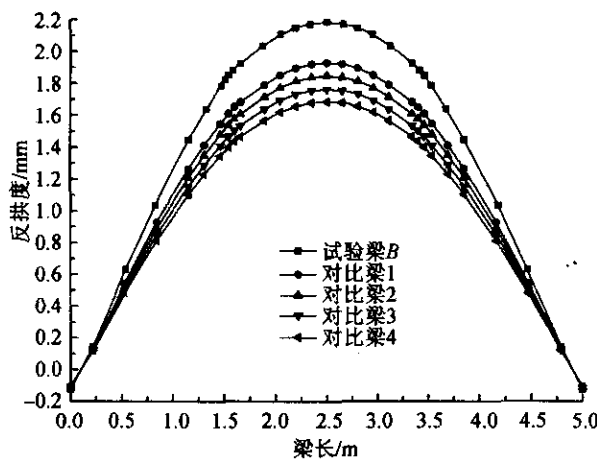
## 5 结语

(1)通过 2 根试验梁的预应力束的张拉试验,在弹性范围内,波形钢腹板上的纵向应变很小,数值接近于零,且纵向应变沿梁高呈非线性分布;同时试验结果验证了波形钢腹板对组合梁抗弯的贡献很小,可以忽略。

(2)波纹钢腹板体外预应力组合箱梁相对普通混凝土箱梁而言,波形钢腹板预应力组合箱梁预应力的加载效率有显著提高。在弹性范围内,其压应力储备和工作性能将高于同等跨径的预应力混凝土箱梁。从而可延缓箱梁底部裂缝的开展,增加了结



B 梁与各对比梁预压应力对比



B 梁与各对比梁反拱度对比

图 13 B 梁与对比梁对比

构延性。

## 参考文献:

- [1] JTG D62—2004, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [2] 刘玉擎. 组合结构桥梁[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [3] 邵旭东. 桥梁工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [4] Mo Y L, Jeng Chyuan-Hwan, Krawinkler H. Experimental Studies of Prestressed Concrete Box-Girder Bridges with Corrugated Steel Webs [J]. ASCE Conf. Proc, 2001(19).
- [5] 刘磊, 钱冬生. 波纹钢腹板的受力行为[J]. 铁道学报(增刊), 2000, 22(5).
- [6] 万水, 汤意, 王劲松. 波形钢腹板 PC 组合箱梁结构特点分析与试验研究[J]. 南京理工大学学报, 2004, 28(5).

文章编号: 0451-0712(2007)02-0059-05

中图分类号: U442.54

文献标识码: B

# 大跨径混凝土梁桥设计新思路

梁立农, 韩大建

(华南理工大学土木工程系 广州市 510507)

**摘 要:** 以大跨径预应力混凝土梁桥存在开裂、下挠过大等病害为对象,研究病害的主要成因和对策,试图探讨解决这些问题的设计新思路,即引入斜拉桥施工监控原理,对影响其应力、位移的主要因素,即自重、预应力摩擦损失、混凝土收缩徐变等进行施工和使用阶段的监控,并根据参数识别在施工阶段对预应力束进行股数调整,在使用阶段利用体内和体外备用束视监控情况进行内力调整,从而提高梁体的抗裂性能,达到有效预防混凝土梁桥常见的梁体开裂、跨中下挠过大等病害,文中对珠江大桥的设计做了简单介绍。

**关键词:** 连续梁; 连续刚构; 裂缝; 施工监控; 设计对策

## 1 大跨径混凝土梁桥的发展现状

混凝土梁桥包括连续梁和连续刚构,它以外形简洁、优美,采用自架设体系施工,特别是连续刚构不需进行体系转换,而具施工简便、风险小的优点。由于其施工状态与成桥使用状态的内力状态吻合,因而施工费用少、造价低、经济合理,同时结构刚度大、行车舒适、养护简单、费用低,在 250 m 以下桥跨

中得到了广泛应用,是极具竞争力而被广泛采用的一种桥型。

## 2 大跨径混凝土梁桥的主要病害及原因分析

### 2.1 主要病害

大跨径预应力混凝土梁桥在一定的跨径范围内是一种经济适用、美观的桥型,但由于对影响其内力

基金项目: 广东省交通厅科研项目(200536)

收稿日期: 2006-08-21

# Experimental Study on Loading Efficiency of Box Girder with Corrugated Steel Webs

LI Li-feng, WANG Fang, LIU Zhi-cai

(School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** The externally prestressed composite box girder with corrugated steel webs is a new type steel-concrete composite structure. The steel webs bear the most of the shear force, and the top and bottom concrete slabs bear the moment of flexure chiefly. The particular advantages of each material can be utilized sufficiently, so it will obtain extensive use in the future. The comparison between the loading efficiency due to prestressing of the finite-element analysis and the tests are satisfactory. Parametric studies are conducted to examine the effects of the type and thickness of the webs. The results indicate that the composite box girder with corrugated steel webs dominate over the aspect of the loading efficiency due to prestressing.

**Key words:** composite box girder with corrugated steel webs; model test; external prestress; loading efficiency; FEM