

# 叠合梁创新实验课程的探讨

鲁书浓<sup>1</sup>, 韦林<sup>1</sup>, 何大凯<sup>2</sup>

(同济大学 1. 航空航天与力学学院; 2. 实验室与设备管理处, 上海 200092)

**摘要:** 为了探索创新实验, 拓展实验教学内容, 本文设计了叠合梁实验课程, 从实验仪器设备上采集实验数据, 对比理论计算结果并进行分析, 以便使学生们增加对叠合梁组合材料力学性能的感性认识。

**关键词:** 创新实验; 叠合梁

## Discussion about Composite Beam Experimental Course

*Lu Shu-nong<sup>1</sup>, Wei Lin<sup>1</sup>, He Da-kai<sup>2</sup>*

(1. School of Aerospace Engineering and Applied Mechanics;

2. Lab. and Equipment Administration, Tongji Univ., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** In order to create a new experiment and extend experimental teaching contents, this paper designed an experimental course of composite beams, and collected experimental data from the testing. Compared the experimental data with the results of theory, students can strengthen their perceptual knowledge in beams of composite materials.

**Key words:** new experiment; composite beam

## 1 引言

现实生活中, 很多地方尤其是建筑工程中都用到了组合材料, 例如上海南浦大桥与杨浦大桥的主桥部分均用到了钢梁与混凝土桥面板相结合的叠合梁<sup>[1]</sup>。虽然在材料力学教科书中也从理论上论述了组合材料的力学性能<sup>[2, 3]</sup>, 但相应的实验课还并未开设。

2005年同济大学设备处在全校组织了创新实验研究, 提倡各个实验室要开拓思路, 研究和探索一些创新实验, 拓展实验教学内容, 本文作者对叠合梁创新实验进行了一些探索和研究, 设计了叠合梁实验课程, 其目的就是为了增加学生们对叠合梁组合材料力学性能的感性认识, 使学生所学的知识能够更好地与工程实践相结合, 进一步提高学生分析工程问题、解决工程问题的能力。

## 2 总体设计思路

### 2.1 实验课程的内容设计

正确粘贴电阻应变片, 熟练操作 TS3861 恒流式静态电阻应变仪, 熟悉相关的静态应变处理软件, 从实验仪器设备上采集实验数据, 利用 Excel 软件对这些数据进行处理, 对比理论计算结果并进行分析。

---

作者简介: 鲁书浓 (1970-), 女, 浙江余姚人。工程师, 硕士。Tel: 021-65982267; Email: [lushn@163.com](mailto:lushn@163.com)

## 2.2 实验装置设计

利用实验室原有的纯弯曲梁实验装置，加工了三套由不同材料组成的叠合梁：铜-钢叠合梁、铝-钢叠合梁和铜-铝叠合梁。三种金属材料中钢的塑性最好，铝合金次之，黄铜最脆。由于脆性材料一般不适合受拉，故铜-钢叠合梁中，铜应在上部受压，钢应在下部受拉。同样道理，铝-钢叠合梁中，铝在上部而钢在下部；铜-铝叠合梁中，铜在上而铝在下。

沿叠合梁不同高度各粘贴一组电阻应变片，应变片的测量方向均平行于梁轴。然后把叠合梁放置在纯弯曲梁实验装置上，叠合梁加载及应变片分布示意图见图 1。把叠合梁上各电阻应变片的引出线依次接入相应的 TS3861 恒流式静态电阻应变仪各通道，并把静态电阻应变仪与计算机相连，利用静态应变处理系统，则可以把采集到的数据直接存储于计算机，见图 2。利用 Excel 软件对这些数据进行处理分析后，则可以直接得到各种叠合梁在不同级别载荷下的应变分布情况和应力分布情况。

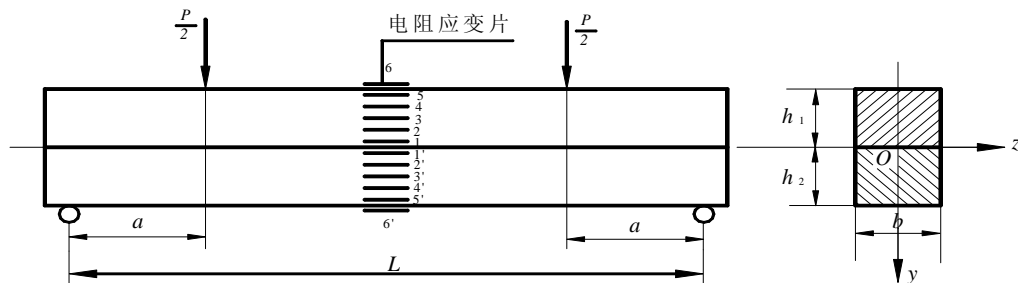
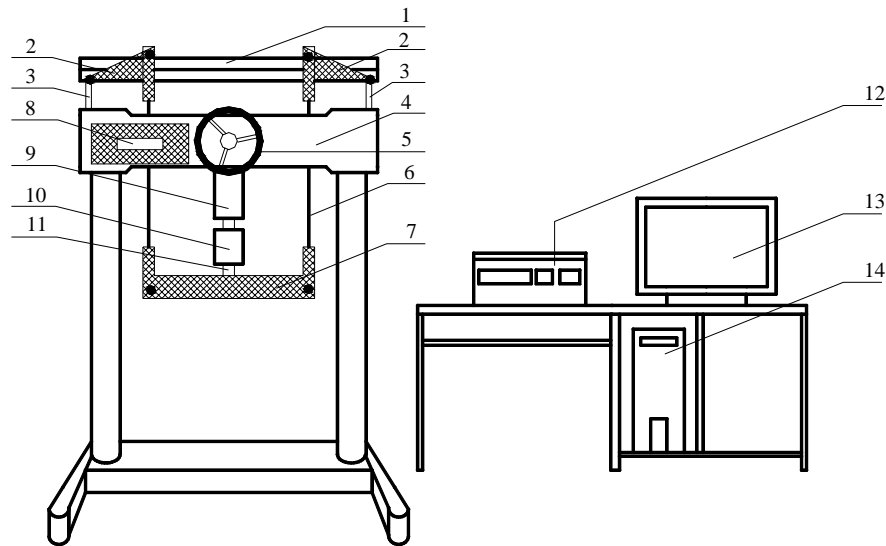


图 1 叠合梁加载及应变片分布示意图



1. 叠合梁
2. 定位板
3. 支座
4. 试验机架
5. 加载手轮
6. 拉杆
7. 加载横梁
8. 测力仪
9. 加载系统
10. 载荷传感器
11. 加载压头
12. 静态电阻应变仪
13. 计算机显示器
14. 计算机主机

图 2 实验装置示意图

## 2.3 叠合梁理论计算<sup>[4]</sup>

弹性模量比值系数

$$n = \frac{E_1}{E_2}$$

式中  $E_1$ 、 $E_2$  分别为叠合梁上、下层材料的弹性模量。

$$\bar{y} = \frac{A_1 y_{c1} n + A_2 y_{c2}}{A_1 n + A_2}$$

式中  $A_1$ 、 $A_2$ 、分别为叠合梁上、下层的横截面面积；

$y_{c1}$ 、 $y_{c2}$  分别为叠合梁上、下层截面的形心位置。

$$I = \frac{1}{12} n A_1 h_1^2 + n A_1 a_1^2 + \frac{1}{12} A_2 h_2^2 + A_2 a_2^2$$

式中  $h_1$ 、 $h_2$  分别为叠合梁上、下层截面高度；

$a_1$ 、 $a_2$  分别为叠合梁上、下层截面形心到叠合梁形心的距离。

$$\sigma_1 = \frac{M}{I} y_1 n; \quad \sigma_2 = \frac{M}{I} y_2$$

式中  $y_1$ 、 $y_2$  分别为叠合梁上、下层计算应力处截面离叠合梁形心的距离。

本实验所使用的铜为弹性模量  $E=100\text{GPa}$  的黄铜；所用钢材为 45#钢，弹性模量  $E=210\text{GPa}$ ；铝为弹性模量  $E=70\text{GPa}$  的铝合金。

## 2.4 实验数据的采集与分析

实验分四种工况。工况 1:  $P=0.5\text{kN}$ ，工况 2:  $P=1.0\text{kN}$ ，工况 3:  $P=1.5\text{kN}$ ，工况 4:  $P=2.0\text{kN}$ 。下面图 3 ~ 图 8 中， $\leftarrow\leftarrow\leftarrow$  表示工况 1， $\cdots\cdots\cdots$  表示工况 2， $\circ-\circ-\circ$  表示工况 3， $\text{——}$  表示工况 4。

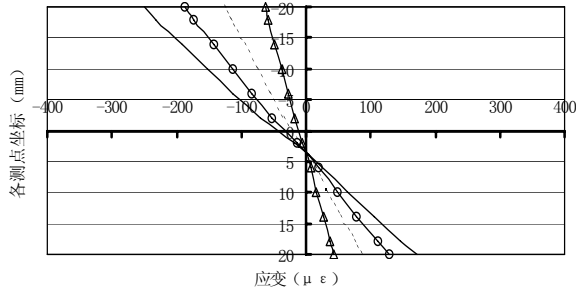


图 3 纯弯曲铜-钢叠合梁在不同工况下的应变分布图

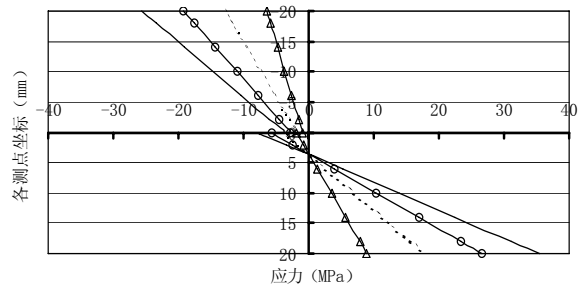


图 4 铜-钢叠合梁在不同工况下的正应力分布情况

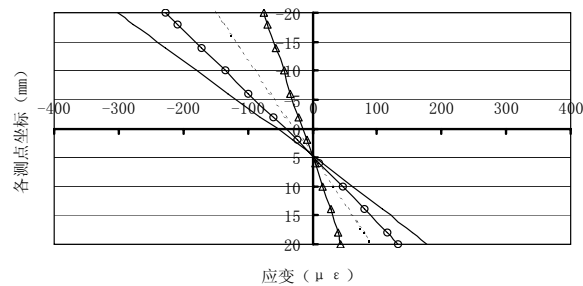


图 5 纯弯曲铝-钢叠合梁在不同工况下的应变分布图

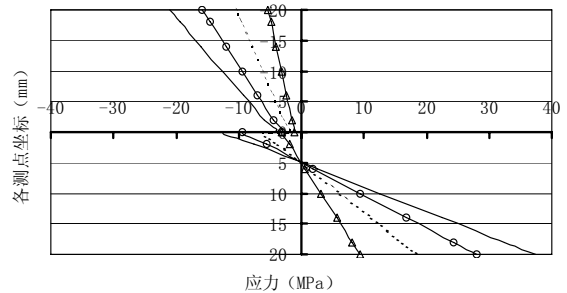


图 6 铝-钢叠合梁在不同工况下的正应力分布情况

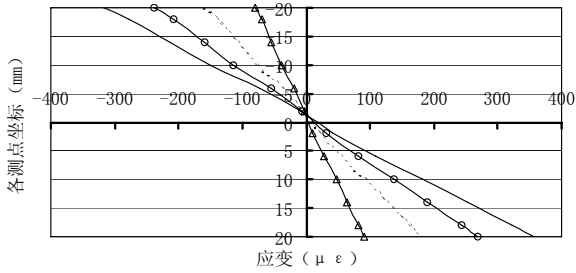


图7 纯弯曲铜-铝叠合梁在不同工况下的应变分布图

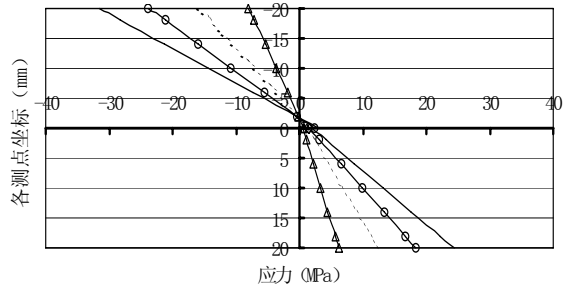


图8 铜-铝叠合梁在不同工况下的正应力分布情况

## 2.5 实验值与理论计算值的对比

限于篇幅, 本文仅选取工况4进行对比。下面图9~图11分别表示铜-钢叠合梁、铝-钢叠合梁和铜-铝叠合梁的理论应力和实测应力比较。

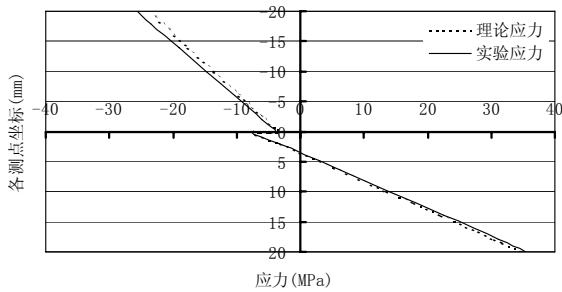


图9 铜-钢叠合梁在 P=2kN 时理论应力与实测应力的比较

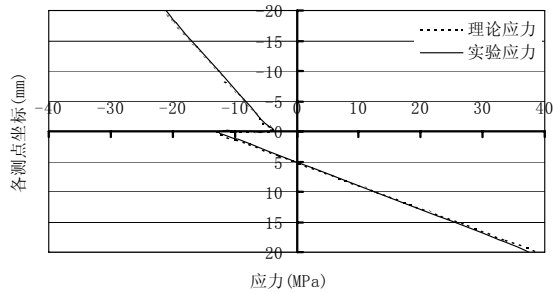


图10 铝-钢叠合梁在 P=2kN 时理论应力与实测应力的比较

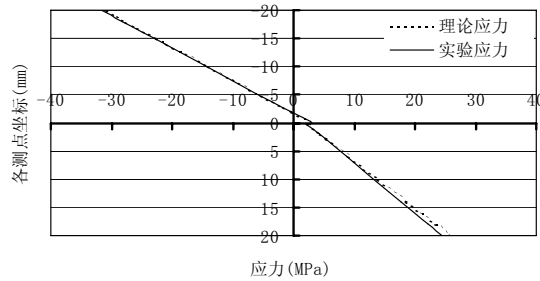


图11 铜-铝叠合梁在 P=2kN 时理论应力与实测应力的比较

对比分析:

- 1、由上述三种不同叠合梁在纯弯曲受力状态下的应变分布情况可以看出, 所有与梁轴垂直的截面在梁变形后仍然保持为平面, 说明叠合材料仍符合材料力学中的平截面假定。
- 2、从三种不同叠合梁的应变分布图和应力分布图可知, 三种叠合梁的中性轴均偏离了几何形心轴, 这是由于叠合梁上下层材料的弹性模量  $E$  不一样所造成的, 中性轴的偏离程度与两种材料的弹性模量比值系数有关。
- 3、由于组成叠合梁的两种材料弹性模量  $E$  不一样, 因此在应力分布图中不同材料结合处正应力发生突变。
- 4、从三种叠合梁的理论应力和实测应力比较图来看, 两者数据吻合较好, 实验结果印证了理论计算结

果。

5、不同材料只要能够很好的组合，就能共同作用。现实生活中的材料种类数不胜数,尤其是工程建筑材料种类繁多,在经济适用的条件下如何充分发挥建筑材料的性能是工程建设者长期追求的目标。例如对于梁式体系，在同一截面上分成受拉区和受压区，如果都采用受拉和受压性能都很优越的材料固然可行，但却很不经济，如果让不同性能的材料组合在一起共同作用，其经济性就非常明显。如常见的叠合梁桥，在受压区采用混凝土材料，这种材料的抗拉性能虽然非常差，但抗压性能却不亚于钢材，且经济易得；而受拉区对材料的抗拉性能要求比较高，在这个区域就要采用抗拉性能非常好的钢材。这种由混凝土和钢材叠合在一起的梁式结构，其受力性能不低于纯钢结构，但其成本能显著降低。

### 3 结 语

叠合梁实验课程在小范围尝试过程中反应较好，基本达到了开设这项实验课的目的，这项实验课在将来的教学过程中还要不断总结、不断完善。

#### 参考文献：

- [1] 项海帆. 中国桥梁[M]. 上海：同济大学出版社. 1993. 226, 228.
- [2] 宋子康等. 材料力学[M]. 上海：同济大学出版社. 1998.
- [3] 同济大学航空航天与力学学院基础力学教学研究部. 材料力学[M]. 上海：同济大学出版社. 2005. 138-142.
- [4] 蔺海荣. 材料力学[M]. 北京：国防工业出版社. 2001. 272-275.