

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2015.01.030

钢梁整体稳定教学实验装置改进设计

郭小农, 秦朗, 黄玮嘉, 王伟

(同济大学土木工程学院, 上海 200092)

摘要:稳定性是钢结构教学的重点和难点,配合土木工程专业钢结构基本原理课程的教学,同济大学在国内率先构建了钢结构多功能教学实验平台,将理论教学与实验教学有机的结合。钢梁整体稳定实验是观赏性较强的教学实验,然而,数年的教学实验结果表明:原钢梁夹支支座会导致整体稳定承载力偏高,从而影响教学效果。为了准确模拟钢梁的约束条件,文章对原有支座进行了改进,使实验结果更加接近理论值,收到了良好的教学效果。

关键词:教学实验;钢梁整体稳定性;夹支支座

中图分类号:TU391;G642.423

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2015)01-0123-04

钢结构是土木工程最重要的专业必修课程之一,各高校的土木工程专业都开设有此课程。在钢结构课程教学中,稳定问题既是重点也是难点。由于钢材重量轻、强度高,钢结构构件通常较轻较薄,与混凝土结构相比,稳定问题是控制钢结构承载能力的主要因素,是贯穿整个钢结构教学的重要知识点^[1]。同时,与普通的强度问题相比,稳定问题的概念更加抽象,公式更加复杂,给学生的理解和掌握造成了一定的难度,是一个教学难点^[2]。

教学经验表明,对于钢结构稳定问题,单纯的课堂理论讲解很难收到理想的教学效果。故笔者所在的国家级“钢结构”教学团队,不断改进钢结构稳定的教学方法,改善钢结构稳定教学的硬件和软件条件,开发了和理论课程配套的实验教学环节^[3,4,5]。钢梁整体稳定性教学实验是观赏性较强的一个实验,实验中选择了最典型的H型截面钢梁,通过吊篮对钢梁施加跨中集中荷载(图1),演示钢梁的整体弯扭失稳过程(图2),得到钢梁的极限承载力。实验充分调动了学生的学习热情和积极性,使学生了解了H型截面受弯构件发生整体弯扭失稳的失稳过程和破坏模式;认识了受弯构件整体稳定承载力的影响因素及其计算方法;掌握了受弯构件的整体稳定系数的计算方法。

在钢梁整体稳定性教学实验中,由于未考虑初始缺陷和残余应力的影响,按照弹性稳定理论计算出的临界弯矩 M_{cr} 应高于实验所得的极限弯矩 M_u 。然而,同济大学多年来的教学实验结果表明:钢梁的极限弯矩 M_u 比弹性临界弯矩 M_{cr} 高很多,实验结果的不准确极大影响了教学效果。通过分析发现,原有实验钢梁支座达不到理想的约束条件,故笔者对原有支座进行了改进设计。

收稿日期:2014-07-20

基金项目:国家精品课程和国家级教学团队“钢结构”建设项目;同济大学实验教学改革项目

作者简介:郭小农(1977-),男,同济大学土木工程学院副教授,博士,主要从事钢结构教学,(E-mail)

guo-xiao-nong@tongji.edu.cn。

一、原有支座及其教学效果

图1为进行H型截面梁整体稳定性实验采用的加载装置,梁跨中集中加载。在梁中央设置加载板,加载板开孔后通过钢索与测力传感器相连,测力传感器下悬挂吊篮,实验时将重物依次放入吊篮中以

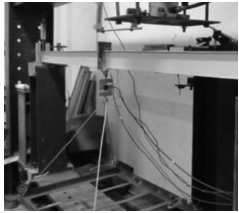


图1 加载装置

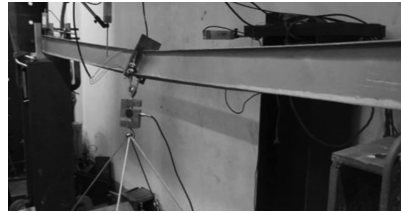


图2 钢梁弯扭失稳现象



图3 原有支座

图3为原有实验支座照片,图4为支座详图,支座的立杆和底杆都是采用带有倒角的三角形实心柱体。该支座的作用是模拟如下的理想约束条件:(1)

实现竖向悬吊重物加载,该吊载随构件平面外侧向位移可实现跟动,荷载值由测力传感器测出。在实验加载过程中,随着荷载的增加,试件发生弯扭失稳,整个构件产生很大的侧向位移和扭曲变形,破坏时的试件如图2所示。

钢梁端部可绕强轴自由转动;(2)钢梁端部可绕弱轴自由转动;(3)钢梁端部不可扭转;(4)钢梁端部可以自由翘曲。

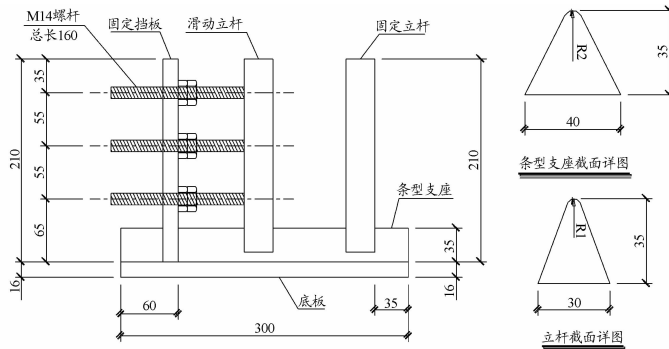


图4 原有支座详图

表1列出了从2009年到2013年同济大学完成的19组钢梁整体稳定实验数据。表中, M_u 为实验极限弯矩; M_{cr} 为钢梁的弹性临界弯矩; M_y 为边缘屈服弯矩; M_p 为全截面塑性弯矩。从表1可以看出,

实验所得的极限弯矩比弹性临界弯矩高出很多,最多高出了75%。由于实验结果和理论计算结果差异很大,经常会引发学生疑惑,影响教学效果。

表1 同济大学2009~2013年钢梁整体稳定性教学实验结果

实验时间	M_u (kN * m)	M_{cr} (kN * m)	M_y (kN * m)	M_p (kN * m)	M_u/M_{cr}	M_u/M_y	M_u/M_p
2009.05.06	3.72	2.62	4.63	5.52	1.42	0.80	0.68
2009.05.08	3.96	2.75	4.78	5.70	1.44	0.83	0.69
2009.05.13	3.41	2.62	4.60	5.50	1.30	0.74	0.62
2009.05.14	4.16	2.80	4.77	5.67	1.48	0.87	0.73
2010.05.19	2.30	1.64	5.16	6.21	1.40	0.45	0.37
2010.05.20	2.54	1.45	5.23	6.34	1.75	0.48	0.40
2010.05.21	2.99	2.10	5.73	7.00	1.42	0.52	0.43
2010.05.24	2.93	2.14	5.90	7.11	1.37	0.50	0.41
2010.05.26	2.23	1.70	5.84	7.00	1.31	0.38	0.32
2010.05.27	2.24	1.55	5.66	6.83	1.44	0.39	0.33
2010.05.28	2.63	2.00	5.32	6.42	1.31	0.49	0.41
2010.05.31	3.34	2.46	6.14	7.37	1.36	0.54	0.45
2011.05.11	2.45	1.56	4.45	5.24	1.57	0.55	0.47
2011.05.12	2.75	1.94	4.85	5.70	1.42	0.57	0.48
2011.05.13	2.99	1.90	4.74	5.56	1.57	0.63	0.54
2012.05.18	3.90	2.94	4.58	5.44	1.33	0.85	0.72
2012.12.11	4.55	3.29	4.70	5.58	1.38	0.97	0.81
2012.12.17	5.98	3.97	7.11	8.46	1.51	0.84	0.71
2013.11.12	3.77	2.82	4.59	5.48	1.33	0.82	0.69

二、原有支座约束刚度分析

为了分析原有夹支支座对钢梁的实际约束情况,图5将原有夹支支座简化为6个弹簧。其中, k_1 表示钢梁下翼缘处的轴向约束弹簧刚度; k_2 表示钢梁下翼缘处绕强轴的转动约束弹簧刚度; k_3 表示钢梁上翼缘侧向平动约束弹簧刚度; k_4 表示钢梁下翼缘侧向平动约束弹簧刚度; k_5 表示钢梁上翼缘绕弱轴的转动约束弹簧刚度; k_6 表示钢梁下翼缘绕弱轴的转动约束弹簧刚度。

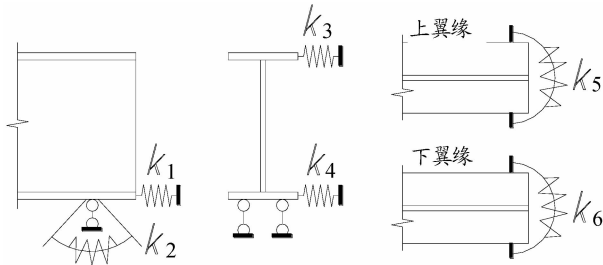


图5 支座约束条件分析

对于理想简支钢梁, k_1 和 k_2 的值应为零,然而由于摩擦的存在, k_1 和 k_2 均大于零;对于理想简支

钢梁, k_3 和 k_4 的值应为无穷大,然而由于支座立杆的刚度较小, k_3 和 k_4 均无法达到无穷大;对于理想简支钢梁, k_5 和 k_6 的值应为零,然而由于摩擦的存在, k_5 和 k_6 均大于零。上述 $k_1 \sim k_6$ 均为非线性弹簧,和接触紧密程度以及荷载大小密切相关,正是由于这些约束弹簧刚度和理想条件不一致,造成了实验结果的差异。

图6给出了有限元数值模拟得到的各弹簧刚度对钢梁承载力的影响曲线。图中纵轴为刚度影响系数 α ,即考虑实际刚度 $k_1 \sim k_6$ 时的临界弯矩和理想约束条件的临界弯矩之比;横轴分别为 $\lg k_1 \sim \lg k_6$ 。从图6可以看出: $k_1 \sim k_6$ 对临界弯矩都有一定影响, k_1 、 k_2 、 k_5 和 k_6 从零增大到无穷时,临界弯矩分别增大6%、50%、140%和6%; k_3 、 k_4 从无穷减小到零时,临界弯矩均减小8%。所有约束中, k_5 对临界弯矩的影响最大, k_2 其次;因此在改进支座时,应首先考虑 k_5 和 k_2 对临界弯矩的影响。

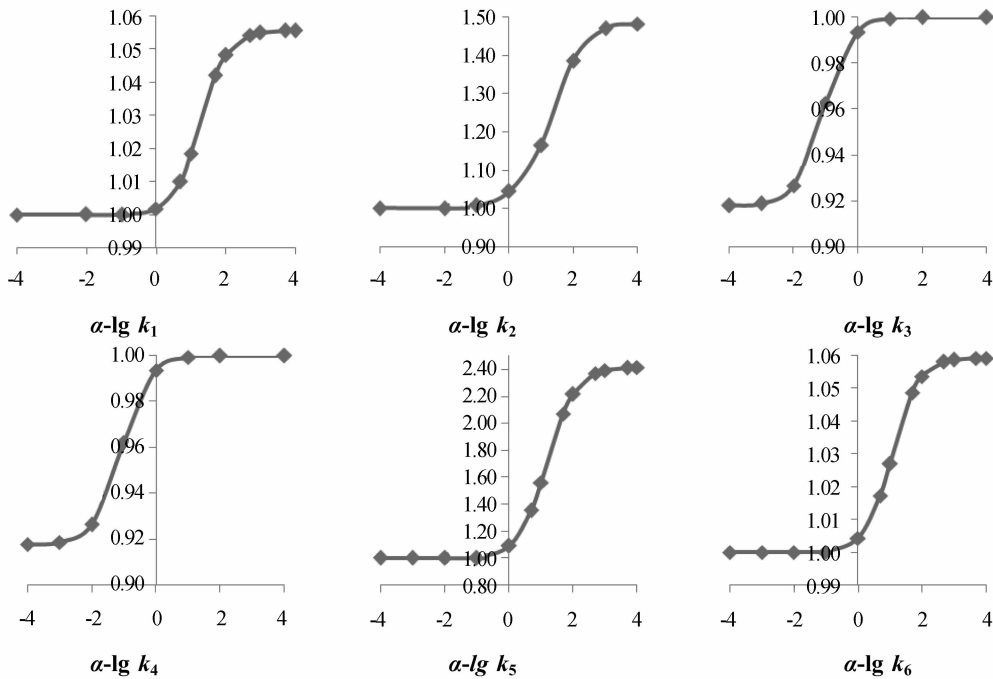


图6 约束刚度对钢梁承载力的影响

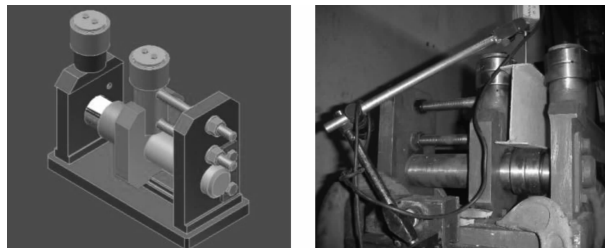


图7 改进支座

三、改进支座

根据对原有支座约束刚度的分析,可以得到改进支座(图7)。改进支座由底座、轴、定距套、活动立杆、滚动轴承、轴端挡圈、柱端挡板、螺杆、螺母、螺栓、垫圈等零件构成。轴由轴端挡板和螺栓固定在底座上,轴上用定距套固定滚动轴承,使轴承沿轴向不能移动。活动立杆能在轴和底座上滑动,可由螺杆和螺母固定。底座上固定立杆和活动立杆上各有一个滚动轴承,轴向固定,绕轴可自由转动。实验加载时,工字钢梁端下翼缘置于轴上滚动轴承上,上翼缘侧面分别与支座固定立杆与活动立杆上2个滚动轴承相接触。

由于底杆上采用了滚动轴承,将滑动摩擦改为了滚动摩擦,因此可以认为 k_1 和 k_2 的值为零;另外,改进支座的立杆截面比原有支座增大了很多,故 k_3

和 k_4 的值更加接近于无穷大;最后,由于在立杆上也设置了滚动轴承,故 k_5 和 k_6 的值也为零。综上,改进支座的约束条件更加接近于理想夹支支座。

使用改进支座与原有支座进行钢梁整体稳定性的对比实验,试件1的两端采用了新设计支座,试件2的两端采用了原有支座。表2列出了试件1和试件2的实验极限弯矩 M_u 、弹性临界弯矩 M_{cr} 、边缘屈服弯矩 M_y 和全截面塑性弯矩 M_p 比较结果。从表2可以看出,试件2的极限弯矩为临界弯矩的1.27倍,与往年使用原有支座的实验结果接近;而试件1的实验极限弯矩为临界弯矩的0.99倍,采用新支座的试验结果更加接近于理论值。采用新支座进行教学试验,可以获得更好的试验结果,收到更加良好的教学效果。

表2 改进支座和原有支座的实验结果对比

试件编号	M_u (kN·m)	M_{cr} (kN·m)	M_y (kN·m)	M_p (kN·m)	M_u/M_{cr}	M_u/M_y	M_u/M_p
1	2.61	2.63	5.10	6.00	0.99	0.51	0.44
2	2.76	2.18	4.79	5.63	1.27	0.58	0.49

四、结语

文章分析了钢梁整体稳定教学试验中钢梁支座的约束刚度,对原有支座进行了改进,进一步完善了钢结构教学实验平台,完善了钢结构课程的教学模式。采用改进支座进行教学试验,可以获得更加准确的试验结果,加深了学生对钢结构稳定问题的理解,开阔了学生的学术视野,收到了更好的教学效果。

参考文献:

[1] 沈祖炎,陈扬骥,陈以一. 钢结构基本原理(第2版)

[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.

[2] 郭小农,罗永峰,蒋首超,等. 钢结构稳定教学研究[J]. 高等建筑教育,2011,20(2):46-48.

[3] 王伟,赵宪忠,郭小农,等. 钢结构多功能教学实验平台的研制与实践[J]. 高等建筑教育,2009,18(2):102-104.

[4] 李国强,陈以一,朱合华等. 土木工程专业结构工程课程体系与教学内容改革总体方案[J]. 高等建筑教育,2002,11(2):53-54.

[5] 郭小农,王伟,蒋首超,等. 钢结构基本原理实验教学探索[J]. 高等建筑教育,2011,20(1):149-154.

Improved support design for overall stability of steel beam

GUO Xiaonong, QIN Lang, HUANG Weijia, WANG Wei

(College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China)

Abstract: Stability is the key and difficult point in steel structure teaching. As a supplement of the basic principle of steel structures course in civil engineering, Tongji University took the lead in building a multi-functional teaching experiment platform for steel structures in China, which combines theoretical teaching with laboratory practice. Experiment for overall stability of steel beam is one of the most ornamental experiment. However, teaching experimental results in the past few years showed that overall stability bearing capacity were higher than theoretical values because of support of beam, which had a negative effect to teaching. In order to simulate boundary conditions of steel beam accurately, the author improved the support, making the experimental values closer to the theoretical values and thus achieving good teaching effect.

Keywords: teaching test; overall stability of steel beam; support of beam