

井字梁系粘钢加固静载试验研究

杨建荣, 白羽, 杨晓东, 赵川

(昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 介绍建筑结构粘钢加固技术的基本原理, 通过实际工程的静载试验, 分别测试井字梁系在各级试验荷载作用下的应力及位移情况, 据此分析了粘钢加固井字梁系的受力特点特别是钢板与混凝土之间的协同工作问题. 最后对粘钢加固设计与施工提出几点建议并展望该技术的利用前景.

关键词: 粘钢加固; 钢筋混凝土梁; 静载试验; 应力分析

中图分类号: TU375.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2004)01-0081-03

An Experimental Study on the Beam Structure with Bonded Steel Plates under Static Load

YANG Jian-rong, BAI Yu, YANG Xiao-dong, ZHAO Chuan

(Faculty of Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: A brief review of the principles concerning the Bonded Steel Plates is involved. Based on the static analysis of real structures, some useful results are proposed for the method. Especially the problems relating to the cooperation of the steel plates and concrete beams are put forward for discussion. And a brilliant prospect of the method is set forth.

Key words: strengthening steel plates; reinforced concrete beam; static loading test; stress analysis

0 引言

在工程建设中, 一些已建成的建筑物由于功能或设备改变等原因, 使得该建筑的设计荷载或结构发生了变化, 这就需要对该建筑进行复核, 看其能否满足改变后的要求, 若不满足要求, 则需对该建筑进行加固. 目前采用的加固方法有: 植筋、粘贴钢板、碳纤维加固法等, 对于一般工业与民用建筑来说, 采用比较多的是构件外部粘钢法^[1]. 粘钢加固是用建筑结构胶将钢板粘贴到构件需要加固的部位上, 以提高构件承载力的一种加固方法. 它一般用于钢筋混凝土梁的受拉区加固, 钢板和混凝土之间通过粘胶层传递剪应力和正应力, 以达到共同工作的目的^[2]. 其优点是简单、快速、不影响结构外型, 施工时对生产和生活影响较小^[3].

目前这一领域的设计与施工均参照《混凝土结构加固技术规范》(CES 25:90)进行. 其中规定:“粘贴钢板前, 应对被加固结构进行卸载”. 但在实际工程中, 因受结构形式、荷载类型及使用要求等条件的限制, 不可能对被加固结构进行完全卸载, 一般是在结构承受不同荷载下进行粘钢加固. 这样一来结构内部将不可避免地出现二次受力现象, 致使实际结构的受力与规范的计算结果存在较大偏差. 因此, 就需要研究实际工程中粘钢加固结构在不同力学条件下的性能, 找到其受力机理, 为今后结构粘钢加固提供理论依据.

本文针对钢筋混凝土梁的补强加固, 通过粘钢加固梁的实际工程静载试验, 对粘钢加固钢筋混凝土梁的有关技术问题进行了相关研究与工程实践.

收稿日期: 2003-05-08.

第一作者简介: 杨建荣(1978.10~), 男, 在读硕士. 主要研究方向: 结构检测. E-mail: carpenter-yang@sina.com

1 工程概况

云南昆明集大广场原设计为一商住楼,由于裙楼部分1—4层的使用功能改变为集中式仓储售货商场,原试验区设计活载为 3.5 kN/m^2 ,改变使用功能后活载值为 6.86 kN/m^2 ,经过承载力验算发现原设计承载力已无法满足现有功能,需要对其进行结构补强.采取的方式为:对梁系进行粘钢加固,楼板进行碳纤维加固.完工后为检验楼板的加固效果及加固后的承载能力,对加固后的楼板进行了静载试验,在试验过程中发现井字梁系出现裂纹,因此进一步对该工程指定的粘钢加固井字梁系进行结构测试分析.昆明理工大学建筑工程学院工程抗震研究所受甲方的委托,对该工程的粘钢加固梁系进行静载试验.

2 静力荷载作用下结构的应力

2.1 试验方法

根据井字梁系的形式及受力特点,找出危险截面及位置,对梁底面混凝土及加固钢板粘贴应变片进行多级荷载作用下的静态应力测试,通过对实测结果作综合分析,为粘钢加固井字梁系结构的可靠性作出评定提供依据.

本次试验对指定选取的粘钢加固井字梁系结构进行应变测试(限于篇幅本文仅以四层A-B、12-15轴井字梁系为例).测试荷载采用正常使用极限状态的荷载值.指定楼板的测试采用与设计要求实际荷载一致的正位试验.加载方法采用人工装袋计量分级满布均匀加载,按七级加载,各级荷载的加载值如表1.测试采用静态电阻应变测试方法,即在选定的测点位置上粘贴电阻应变片,通过静态电阻应变仪采集应变数值.应变测点布置如图1所示.

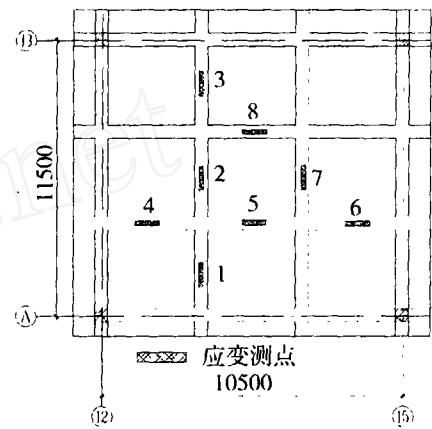


图1 应变测点布置

表1 本表根据试验每平方米加载值及指定的试验板位置制定

编号	楼层	位置	活载/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$	试验加载量/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$	加载面积/ m^2	加载总量/ kN
1	四	A-B、12-15轴	7.0	8.35	110	918.5
第一级加载值	第二级加载值	第三级加载值	第四级加载值	第五级加载值	第六级加载值	第七级加载值
/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$	/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$	/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$	/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$	/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$	/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$	/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$
2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.75	0.60

2.2 应变测试结果及分析

主要应变结果见图2,图3,其中C表示混凝土应变,S则代表钢板应变.字母之后的数字为测点编号.

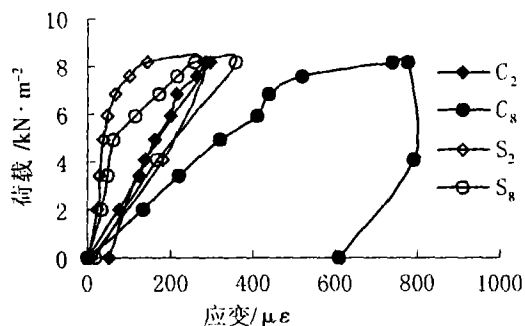


图2 中跨测点应变

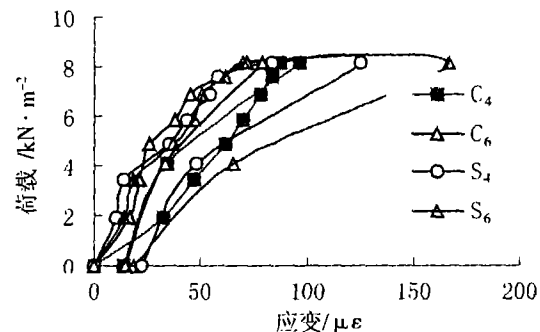


图3 边跨测点应变

加载初期,即荷载值小于 5.0 kN/m^2 时,同位置混凝土的应变值均大于加固钢板的应变值.这是因为加固结构的原结构在加固前已经荷载受力,截面应力水平一般较高.加之施工前结构不可能做到完全卸载,这导致加固钢板在加固后并不立即分担荷载,只有当第二次受力时才开始承担荷载.显然,整个结构在第

二次受力的过程中, 加固钢板的初期应变将滞后于混凝土的累加应变。

当荷载接近 5.0 kN/m^2 时加固钢板应变大幅增加. 继续加载, 边跨测点钢板应变值开始超过混凝土的应变值见图 3. 不过, 中跨测点混凝土应变值却始终大大超过钢板的应变值见图 2. 这说明在梁跨中受拉区混凝土因达到应力极限而开裂退出工作后, 钢板逐渐参与协同工作承担正应力. 由于边跨混凝土的初始应力不大这使钢板能很好地协同工作. 而在跨中, 混凝土裂缝继续开展其累加应变始终大于钢板应变。

荷载卸完之后所有混凝土测点的应变数值未能归零, 主要因为混凝土开裂后裂缝未能闭合。

3 静力荷载作用下结构位移测试

3.1 试验方法

静力荷载作用下结构位移测试是受弯构件检验的一项重要工作, 由于井字梁系属需要控制变形的结构构件, 应测量其整体变形. 主要是检测梁系的挠度是否满足设计要求以验证应力测试结果是否准确可靠. 试验中在梁跨中及梁结点处布置 10 只百分表, 测点的布置根据工程工情况及要求按图 4 所示布置。

挠度测试方法采用张线式安装测试仪表, 在测试楼板下一层的板面对应测点的垂直位置安装百分表, 用引线及重锤张紧连接测点与百分表并分荷载等级读取位移. 为消除张线的温度影响, 用相同的方法在位移测试影响范围外安装一百分表同时读取变形值消除温度影响。

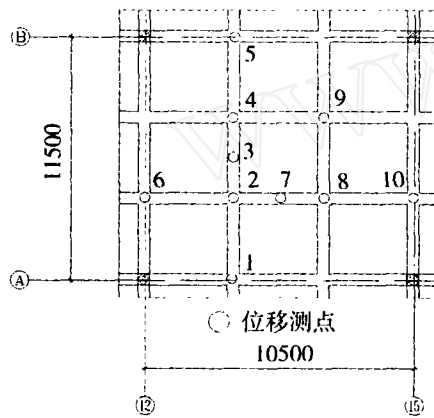


图 4 位移测点布置

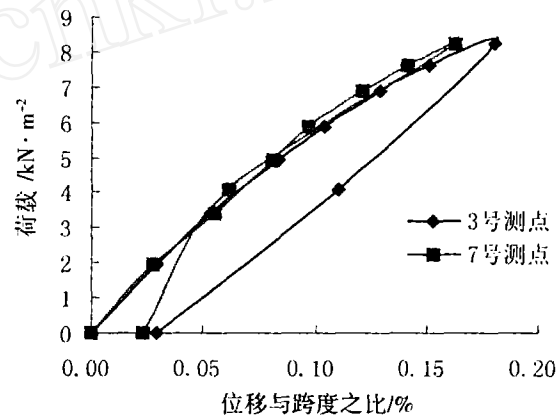


图 5 中跨测点荷载—位移图

3.2 位移测试结果及分析

各梁 10 个测点所测位移值经过修正后得到各梁跨中点位移. 如图 5 所示为检测荷载作用下各梁跨中点位移与跨度之比(f/L)的变化情况. 从图 5 中可以看到: 加载时各梁在各级荷载作用下 f/L 与荷载关系曲线接近直线, 处于近似弹性阶段; 卸载过程中由于构件加载时所产生的微裂缝及混凝土塑性形变作用, 各梁存在一定程度的残余变形. 这与荷载卸完之后所有混凝土测点的应变数值未能归零相一致。

梁系在最大荷载作用下的跨中位移最大值与梁跨比(f/L) = $1/1520$ 小于梁规范允许的 $1/200$, 满足设计要求. 梁在卸荷后位移基本恢复, 认为测试梁系回弹良好。

最后由上述分析可作出结论: 所测试的井字梁系粘钢加固满足设计要求。

4 结果分析及结论

粘钢加固法是一种经济简便的结构加固方法, 采用粘钢加固混凝土井字梁系可以有效地提高结构的开裂荷载和极限承载力, 减小挠度, 并且操作便捷加固效果好. 集大广场改造加固后用户比较满意, 这对其它建筑物的改造和加固都是有借鉴意义的。

(下转第 88 页)

减震方面的相关内容,以加速该项技术的实施进程.摩擦耗能器作为耗能减震技术之一,因其适应性强,可以给予大范围推广.

参考文献:

- [1] T T Soong, G F Dargush. Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering[M]. State University of New York at Buffalo. USA. 1997.
- [2] 周福霖. 工程结构减震控制[M]. 北京:地震出版社,1997. 24~26.
- [3] 潘文,叶燎原. 低造价耗能支撑装置及其计算模型[Z]. 中一意隔震消能合作研究专题研讨会,1997.
- [4] 欧进萍,吴斌. 组合钢板屈服耗能器性能及对其高层钢结构减振效果的试验研究[J]. 建筑结构学报,2001,22(1):26~32.
- [5] 周云,刘季. 新型耗能(阻尼)减震器的开发与研究[J]. 地震工程与工程振动,1998,18(1):71~79.
- [6] 王曙光. 耗能支撑钢筋砼框架结构的抗震性能研究及工程应用[D]:[博士论文]. 南京:东南大学,1999.
- [7] 周云,邓雪松,刘季. 钢屈服-摩擦复合耗能器的性能研究[J]. 地震工程与工程振动,1999,19(1):127~131.
- [8] Filiatrault A, Cherry S. Performance Evaluation of Friction Damped Braced Frames Under Simulated Earthquake Loads[J]. Earthquake Spectra, 1987, 3(1):57~78.
- [9] Filiatrault A, Cherry S. Comparative Performance of Friction Damped Systems and Base Isolation Systems for Earthquake Retrofit and Aseismic Design[J]. Earthquake Engrg. Struct. Dyn, 1988, 16, 389~416.
- [10] Aiken I D, Kelly J M, Pall A S. Seismic Response of a Nine - Story Steel Frame with Friction Damped Cross - Bracing[J]. Report No. UCB/EERC - 87/17, University of California, Berkeley, CA. 1988.
- [11] Aiken I D, Kelly J M, Pall A S. Earthquake Simulator Testing and Analytical Studies of Two Energy - Absorbing Systems for Multistory Structures[J]. Report No. UCB/EERC - 90/03, University of California, Berkeley, CA. 1990.
- [12] 刘季,周云,李暄. 新型摩擦耗能支撑试验研究[J]. 工程抗震,1996,(2):10~13.
- [13] 刘伟庆,魏琰,丁大钧,等. 摩擦耗能支撑钢筋砼框架结构的振动台试验研究[J]. 建筑结构学报,1997,18(3):29~37.
- [14] Filiatrault A, Cherry S. Seismic Design Spectra for Friction - Damped Structures[J]. Struct. Engrg., 1990, 116(5): 1334~1355.
- [15] 周云,刘季. 两种摩擦耗能器的比较试验研究[J]. 地震工程与工程振动,1997,17(1):40~48.
- [16] 周云,邓雪松. 影响摩擦耗能器性能的因素分析[J]. 工业建筑,1999,29(6):1~4.
- [17] 周云,徐彤,俞公骅,等. 耗能减震技术研究及应用的新进展[J]. 地震工程与工程振动,1999,19(2):122~131.

(上接第83页)

目前,国内使用的粘钢加固方法,为了确保施工质量,对各施工步骤提出了较其他加固方法更为细致的要求^[4].在通常情况下,施工质量很大程度上取决于原结构卸载完全与否.但在实际工程中,由于各种条件的限制,不可能对被加固结构进行完全卸载,因此进行结构加固设计时必须注意考虑由于原结构卸载不完全所产生的二次受力问题.

由于钢筋混凝土梁与钢板是通过结构胶粘接成为共同工作的整体,因此对结构胶的力学性能提出很高的要求,特别是其抗剪和耐久性能.另外结构胶的质量及施工工艺也非常关键,处理不当,钢板将不能完全发挥作用,建议设计时考虑现场操作工艺稳定性的影响.

参考文献:

- [1] 张树传. 构件外部粘钢法中加固点的快速确定[J]. 福建建筑,2001,(75):33~34.
- [2] 李文盛,符晶华,卢哲安. 不同卸载条件下粘钢加固梁的研究[J]. 武汉理工大学学报(理工版),2002, 24(6):48~50.
- [3] 魏强,常浩. 环氧树脂涂层钢筋、环氧树脂建筑结构胶在钢筋混凝土结构维护加固中的应用[J]. 宁夏石油化工,2001,(4):30~32.
- [4] 吴志国,白威,孙胜军. 建筑结构粘钢加固技术应用[J]. 宁夏工程技术,2002,(6):92~94.