

文章编号:1673-2049(2007)03-0031-05

钢板深梁屈曲分析

郑 宏, 杨飞颖, 张维刚

(长安大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710061)

摘要:介绍了一种新型的抗侧力结构体系——钢板深梁;利用有限元分析软件 ANSYS 分析了两侧加劲钢板深梁的弹塑性屈曲性能,讨论了深梁跨高比、宽厚比等参数对钢板深梁屈曲性能的影响。研究表明:极限承载力与钢板深梁跨高比近似成正比关系;对厚板与薄板而言,厚板的非线性由材料的弹塑性引起,而薄板的非线性由深梁严重面外变形和材料弹塑性共同引起;厚板对加劲肋的要求较低,可不布置中部加劲肋,而薄板对加劲肋的要求较高。

关键词:抗侧力体系;钢板深梁;弹塑性屈曲;极限承载力

中图分类号: TU392.4

文献标志码: A

Buckling Analysis on Steel Plate Deep Beam

ZHENG Hong, YANG Fei-ying, ZHANG Wei-gang

(School of Architectural Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: Steel plate deep beam (SPDB), as a new lateral resistant system, was introduced. The finite element analysis software ANSYS was adopted to analyze the elastic-plastic buckling behavior of SPDB with stiffened panel at both edges. The research work was focused on the influences of side length ratio, height-thickness ratio and so on. The result shows that the ultimate bearing capacity of SPDB is proportional to the side length ratio. The thick panel is different from the thin panel. The nonlinear behavior of the thick panel is resulted from the nonlinearity of material, but the nonlinear behavior of the thin panel is from both the nonlinearity of material and serious geometry deformation of the panel. In the design of SPDB, the interior stiffeners are necessary for the thin panel but not necessary for the thick panel.

Key words: lateral resistant system; steel plate deep beam; elastic-plastic buckling; ultimate bearing capacity

0 引言

钢框架及钢框架内填剪力墙(如钢板剪力墙)是2种常用的抗侧力体系,相对而言,框架的刚度较弱,钢框架内填剪力墙的刚度过强。两者反映了框架结构刚度变化的2个极端,刚度增幅是突变性质的。为了满足2个端点刚度值之间的要求,实现宽范围的刚度渐变调幅,即刚度插值,本文中提出了钢

框架内填钢板深梁抗侧力体系。内填构件的框架结构研究在20世纪中期以后比较活跃^[1]。Kahn等^[2]在研究内填构件钢筋混凝土框架结构抗侧力性能时,提出了内填钢筋混凝土深梁的框架结构形式。Kabele等^[3]建立了内填纤维混凝土深梁的钢筋混凝土框架结构模型,用于结构加固。Kesner^[4]将纤维混凝土深梁用于钢框架抗震加固,并对单个纤维混凝土深梁进行了参数试验研究,可变参数包括纤

收稿日期:2007-06-26

基金项目:国家自然科学基金项目(50678025)

作者简介:郑 宏(1964-),男,黑龙江哈尔滨人,教授,博士生导师,工学博士,博士后,E-mail:cezheng@sohu.com。

维类型、深梁尺寸和形状、骨料品种及深梁周边配筋率。对纤维混凝土与普通混凝土深梁水平力作用下伪静力的对比试验结果表明,纤维混凝土深梁抗侧承载力比普通混凝土深梁的高 40%,且耗能能力明显比普通混凝土深梁的高^[5-10]。国外研究和应用深梁加固框架结构主要是因其布置灵活,抗侧刚度、承载力、延性和耗能能力可调,且其制作简单、安装或拆卸方便,特别适用于震后加固某些重要功能建筑物,或加固旧建筑物以满足新的抗震设计规范要求^[11]。

1 钢框架钢板深梁抗侧力体系的构成

钢板深梁(图 1)的构成是将跨高比 $\alpha \leq 2$ 的钢板内置于框架结构中,钢板两端与上下层框架梁通过高强螺栓连接(图 2)。框架柱承受竖向力,内填钢板深梁只承受水平力。

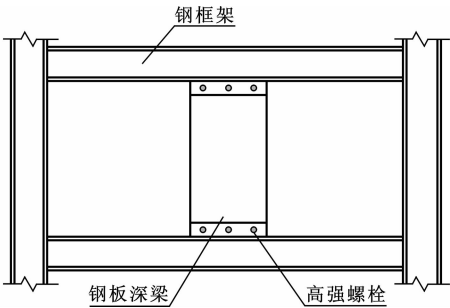


图 1 钢板深梁抗侧力体系

Fig. 1 Lateral Resistant System of SPDB

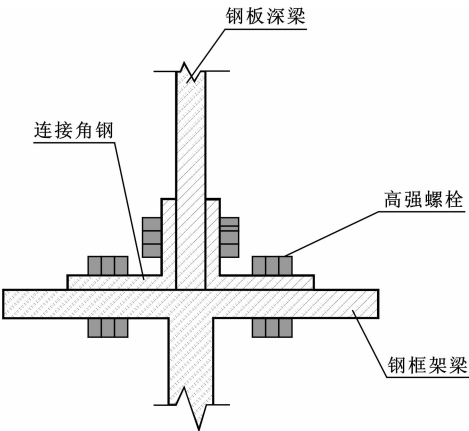


图 2 钢板深梁连接节点

Fig. 2 Joint Node of SPDB

在侧向力,如风荷载或地震力的作用下,钢板深梁以弯曲变形为主(图 3),不同于剪力墙的剪切变形形式,钢板深梁有利于钢板发展塑性性能,以提高钢板深梁的延性及耗能能力。

无加劲肋钢板深梁在侧向力的作用下,钢板两

侧容易发生面外变形,因此要有一定的约束钢板面外位移的刚度才能防止此面外变形。两侧加劲钢板深梁是在无加劲肋钢板深梁的基础上,在深梁外侧各焊一道加劲肋构成的,加劲肋的两端与深梁焊接在一起,如图 4 所示。两侧加劲钢板深梁可以看作是一段垂直放置的工字形梁,两侧加劲肋相当于其翼缘,中间的钢板相当于腹板。

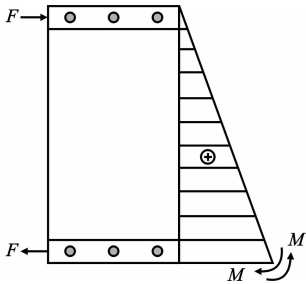


图 3 钢板深梁的受力特性

Fig. 3 Stress Characteristic of SPDB

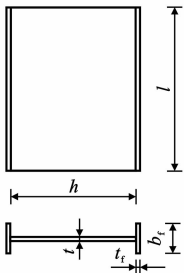


图 4 几何参数

Fig. 4 Geometric Parameters

两侧加劲钢板深梁的几何参数是:钢板高度 l 、宽度 h 和板厚 t ,以及两侧加劲肋的宽度 b_f 、厚度 t_f 。定义深梁跨高比 $\alpha = l/h$,深梁宽厚比 $\lambda = h/t$ 。

2 钢板深梁屈曲分析

本文中采用有限元分析软件 ANSYS 分析类型中提供的特征值屈曲(Eigen Buckling)分析来求解钢板深梁的临界荷载。特征值方法可以计算结构在给定载荷和约束条件下的各个特征值,也可以得出对应的各个屈曲模态。

2.1 构件参数

钢板的高度取 $l=2\ 700\text{ mm}$,参考《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)^[12]对深梁的定义,即深梁指跨高比 $l_0/h_0 \leq 2$ 的简支梁或跨高比 $l_0/h_0 \leq 2.5$ 的连续梁,本文中考虑的深梁跨高比变化范围见表 1。板厚 t 分别取 10、12、14、16 mm。两侧加劲肋的自由外伸宽度 $b_f/2$ 与其厚度 t_f ,可以根据《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)^[13]对梁受压翼缘的要求,即 $b_f/(2t_f) \leq 13\sqrt{235/f_y}$,可得到加劲肋的尺寸应满足 $b_f \leq 26t_f$ 。取 $t_f = t$,则可以确定加劲肋的宽度 b_f 。

2.2 ANSYS 分析模型

钢板深梁和加劲肋均采用 Soild45 板单元,两者之间采用 Number Control 黏结,见图 5。钢板深梁与框架梁的连接均为高强螺栓连接,因此,其边界条件为一端固结,另一端为滑动铰支座,见图 6。

表 1 构件参数
Tab. 1 Component Parameters

跨高比	宽度/mm	跨高比	宽度/mm
2.0	1 350	1.0	2 700
1.8	1 500	0.8	3 375
1.5	1 800	0.8	4 500
1.2	2 250	0.4	6 750

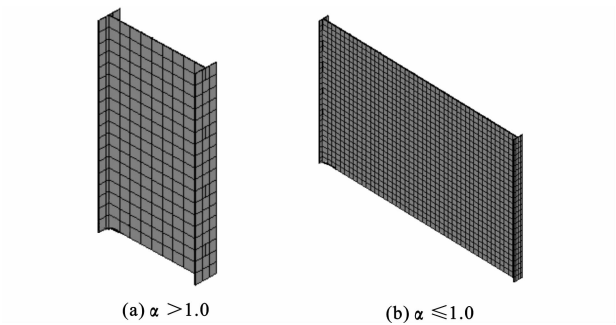


图 5 ANSYS 模型
Fig. 5 ANSYS Model

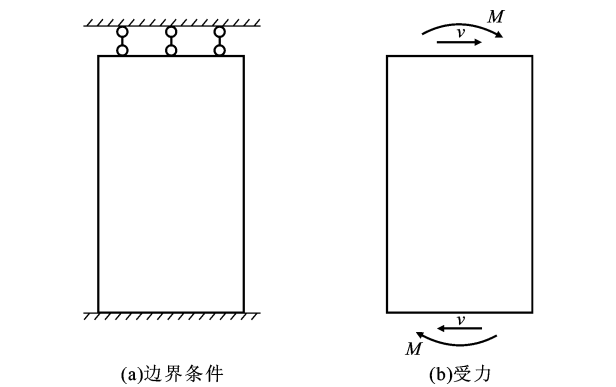


图 6 边界条件及受力
Fig. 6 Boundary Condition and Force

2.3 屈曲模态

以 $\alpha=1.0$ 为例,可计算出 t 分别为 10、12、14、16 mm 时的前 4 阶屈曲模态,如图 7 所示。

由图 7 可以看出,对不同厚度的钢板,其受力性质不同,相对较薄的钢板($t=10\text{ mm}$)会产生严重钢板面外变形,相对较厚的钢板($t=16\text{ mm}$)的面外变形较小。由此可见,薄板的非线性是由钢板严重面外变形和材料弹塑性共同引起的,而厚板非线性是由材料的弹塑性引起的。对钢板深梁而言,薄板对加劲肋的要求较高,可能还需要布置中部十字形加劲肋,而厚板对加劲肋的要求较低。

2.4 临界荷载

求出 t 分别为 10、12、14、16 mm 时钢板深梁对应的前 4 阶临界力及临界力 P 与宽度 h 关系曲线,

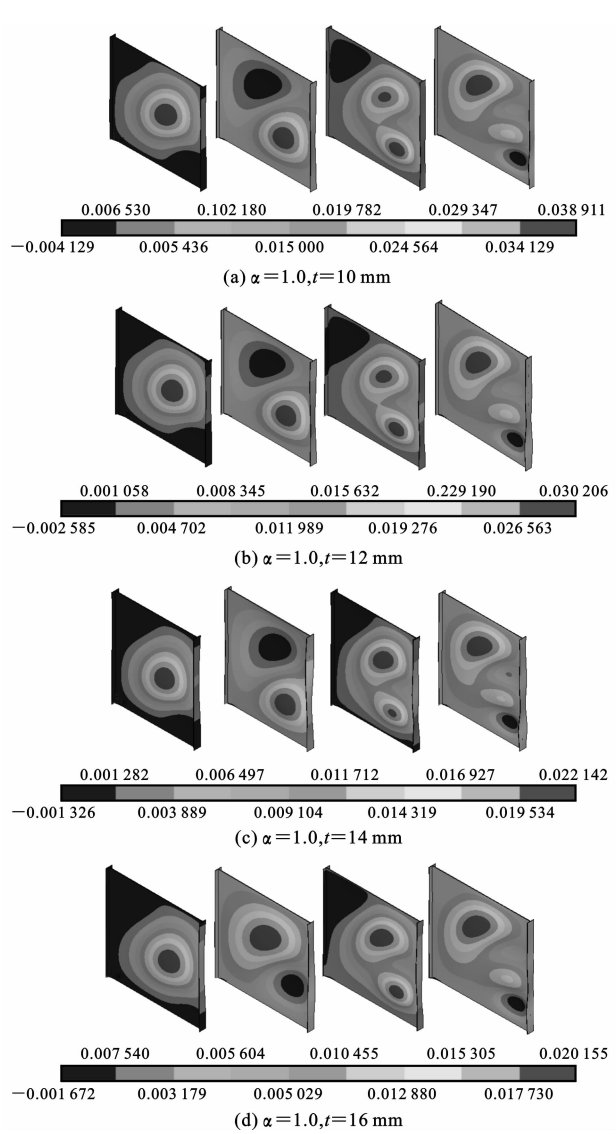


图 7 $\alpha=1.0$ 时的屈曲模态(单位:MPa)
Fig. 7 Buckling Modality at $\alpha=1.0$ (Unit:MPa)

如图 8 所示。

由图 8 中可以看出:① t 不变,钢板深梁的临界力 P 随着宽度 h 的增大而增大,但是,增幅逐渐趋于稳定;②1、2 阶屈曲荷载之间的增长率均较小,为 2%~8%;3、4 阶屈曲荷载之间的增长率为 4%~15%;2、3 阶屈曲荷载之间有一个跳跃,增长率为 35%~70%。

为了研究临界力随着钢板厚度 t 不同而产生的变化,绘出前 4 阶屈曲时临界力 P 与宽度 h 的关系曲线,如图 9 所示。

由图 9 可以看出:①当 h 相同时,钢板深梁的临界力 P 随着厚度 t 的增大而增大, h 较小时 P 的增幅亦小,宽度 h 增大时临界力 P 的增幅亦增大;②1、2 阶屈曲荷载的增长曲线呈下凸状,3、4 阶屈曲荷

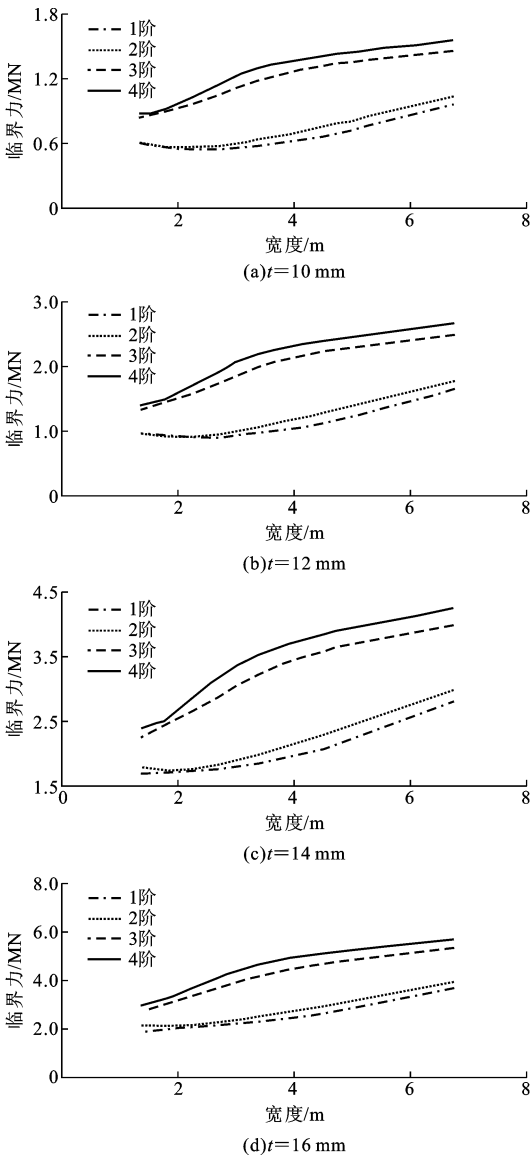


图 8 临界力与宽度的关系

Fig. 8 Relationship of Ultimate Bearing Capacity and Width

载的增长曲线呈上凸状。

3 结 语

本文中利用有限元分析软件 ANSYS 对两侧加劲钢板深梁的弹塑性屈曲性能进行了分析,讨论了深梁跨高比 α 、厚度 t 对钢板深梁屈曲性能的影响。研究表明:钢板深梁的稳定承载力随着跨高比 α 的增大而增大,且加劲肋必须具有一定的刚度才能有效地提高墙板的屈曲荷载;稳定承载力随着厚度 t 的增加,1、2 阶屈曲荷载的增长呈下凸状,3、4 阶屈曲荷载的增长呈上凸状。薄板深梁与厚板深梁的受力性质不同,薄板深梁会产生严重的面外变形,因此要提高薄板的承载力,还应适当布置中部加劲

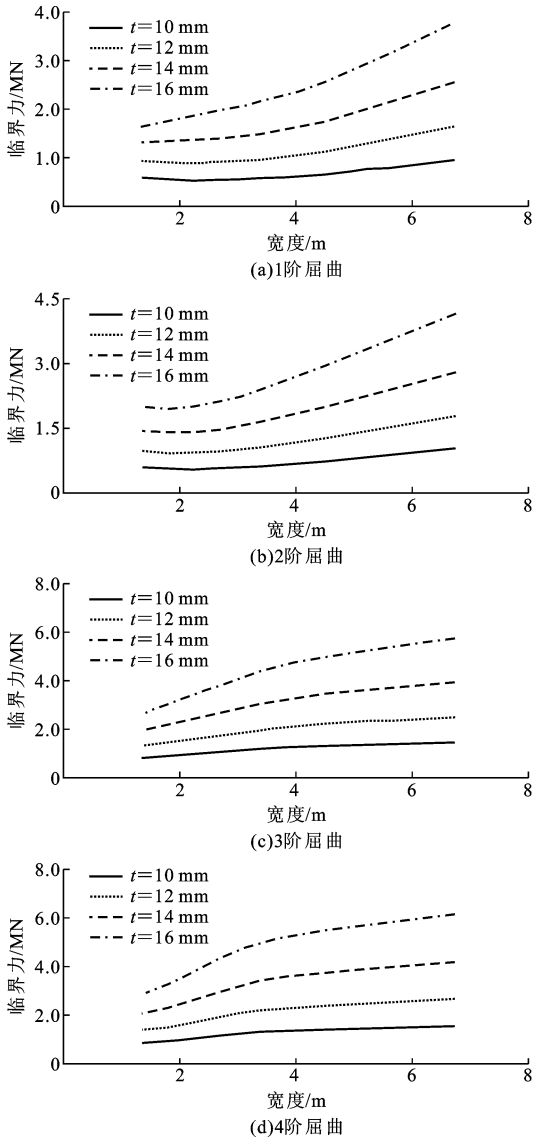


图 9 前 4 阶屈曲时临界力与宽度的关系

Fig. 9 Relationship of Ultimate Bearing Capacity and Width at the First Four Orders Buckling

肋,如十字形加劲肋。

参考文献:

References:

[1] ZHAO Qiu-hong, ABOIHASSAN A A. Cyclic Behavior of Traditional and Innovative Composite Shear Walls[J]. Journal of Structural Engineering, 2004, 130 (2): 271-284.

[2] KAHN L F, HANSON R D. Infilled Walls for Earthquake Strengthening[J]. Journal of Structural Engineering, 1979, 105(S4): 283-296.

[3] KABELE P, TAKEUCHI S, INABA K, et al. Performance of Engineered Cementitious Composites in Repair and Retrofit; Analytical Estimates[C]//REINHARDT H W, NAMAAN A. High Performance Fi-

- ber Reinforced Composites. Bagneux; RILEM Publishers, 1999: 617-627.
- [4] KESNER K E. Development of Seismic Strengthening and Retrofit Strategies for Critical Facilities Using Engineered Cementitious Composite Materials [D]. New York: Cornell University, 2003.
- [5] 张如杭, 王元清, 石永久, 等. 深肋组合扁梁肋部混凝土受力分析[J]. 建筑科学与工程学报, 2006, 23(3): 59-62.
- ZHANG Ru-hang, WANG Yuan-qing, SHI Yong-jiu, et al. Stress Distribution Analysis of Concrete in Deep Deck Flange of Composite Slim Beam[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2006, 23(3): 59-62.
- [6] 黄文金, 陈宝春. 钢管混凝土桁梁受弯试验研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2006, 23(1): 29-33.
- HUANG Wen-jin, CHEN Bao-chun. Experimental Research on Concrete-filled Steel Tube Truss Girder Under Bending[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2006, 23(1): 29-33.
- [7] 赵均海, 郭红香, 魏雪英. 圆中空夹层钢管混凝土柱承载力研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2005, 22(1): 50-54.
- ZHAO Jun-hai, GUO Hong-xiang, WEI Xue-ying. Research on Bearing Capacity of Concrete Filled Double Skin Steel Tubes Column[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2005, 22(1): 50-54.
- [8] 曹宝珠, 周绪红, 刘永健. 钢管混凝土桁架新型节点试验研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2006, 23(1): 45-48.
- CAO Bao-zhu, ZHOU Xu-hong, LIU Yong-jian. Experimental Research on New Joints of Concrete-filled Steel Tube Truss[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2006, 23(1): 45-48.
- [9] 聂建国, 秦凯, 张桂标. 方钢管混凝土柱内隔板式节点的抗弯承载力研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2005, 22(1): 42-49.
- NIE Jian-guo, QIN Kai, ZHANG Gui-biao. Experimental Research and Theoretical Analysis on Flexural Capacity of Connections for Concrete-filled Steel Square Tubular Columns with Inner Diaphragms[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2005, 22(1): 42-49.
- [10] 裴万吉, 赵均海, 魏雪英. 钢管混凝土的截面形式及其承载力分析[J]. 建筑科学与工程学报, 2006, 23(1): 49-53.
- PEI Wan-ji, ZHAO Jun-hai, WEI Xue-ying. Analysis of Section Types of Concrete-filled Steel Tube and Its Load Capacity[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2006, 23(1): 49-53.
- [11] KESNER K E. Investigation of Infill Panels Made from Engineered Cementitious Composites for Seismic Strengthening and Retrofit[J]. Journal of Structural Engineering, 2005, 131(11): 1 712-1 720.
- [12] GB 50010—2002, 混凝土结构设计规范[S].
- GB 50010—2002, Code for Design of Concrete Structures[S].
- [13] GB 50017—2003, 钢结构设计规范[S].
- GB 50017—2003, Code for Design of Steel Structures[S].

《空间结构》2008 年征订通知

《空间结构》是由国家教育部主管、浙江大学主办的全国性专业科技期刊, 1994 年创刊, 面向国内外公开发刊, 国内统一连续出版物号为 CN 33-1205/TU, 国际标准连续出版物号为 ISSN 1006-6578。

《空间结构》主要刊载空间结构的理论研究、分析设计、试验与实测、建筑造型、施工工艺、管理经验、工程实例、信息报导及有特色的空间结构工程照片等方面的内容。读者对象为科研单位、设计院、生产施工单位、质检管理部门的科技人员及大专院校师生。

《空间结构》为大 16 开本, 64 页, 每期定价 10.00 元(含邮费 1.00 元), 全年定价 40.00 元。本刊自办发行, 需要征订的单位或个人请直接汇款至本刊编辑部订阅, 尚有少量历年合订本供补订。本刊兼营广告, 10 月起征订下一年度广告。

地 址: 浙江大学玉泉校区空间结构研究中心《空间结构》杂志编辑部

邮 编: 310027

传 真: (0571) 87952414

电 话: (0571) 87952414

E-mail: yuanxf@zju.edu.cn