

文章编号:1673-9469(2011)04-0006-04

## SPSW 对钢框架结构体系抗震性能影响分析

史三元, 穆金花

(河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038)

**摘要:**利用有限元分析软件 SAP2000 建立了 6 层钢框架和钢板剪力墙 (SPSW) 厚度不同的钢框架—钢板剪力墙平面模型, 分析了两种结构体系在 8 度罕遇地震作用下的地震响应, 从抗侧力、自振周期和动力时程分析结果中结构的顶点位移、最大层间位移角方面比较厚度不同的 SPSW 对钢框架结构体系抗震性能的影响。结果表明: SPSW 可以显著提高钢框架结构的抗震性能, 且随着 SPSW 厚度的增加, 结构的顶点位移逐渐减小; 当厚度为 8~16 mm 时钢框架和 SPSW 的协调变形能力表现效果最佳。

**关键词:**钢框架; 钢板剪力墙; 抗侧能力; 抗震性能

**中图分类号:** TU391

**文献标识码:** A

## Effect of SPSW on seismic resistance ability of steel frame system

SHI San-yuan, MU Jin-hua

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** The plane models of a six-store steel frame and steel frame-steel plate shear wall with steel plate shear wall (SPSW) in different thickness were established by using the finite element analysis software SAP2000, the structural response of which were analyzed under the eight seldom occurred earthquake, and the impacts of SPSW with different thickness to the steel structure were mainly compared from the aspects of stiffness, natural vibration period and relation of the coping displacement, relative store displacement of the models. The results shows that SPSW can enhance capacity building of the earthquake obviously, and the coping displacement of the models is decreasing with the increase of the steel's thickness; the structure with the thickness of 8~16mm has the best compatible stain performance.

**Key words:** steel frame; steel plate shear wall (SPSW); lateral resistant ability; seismic resistance ability

钢板剪力墙 (steel plate shear wall, SPSW) 的框架结构是一种适合于高烈度区的双重抗侧力体系, 具有自重轻, 抗震性能强, 用钢量少等优点<sup>[1]</sup>。目前国内苏幼坡<sup>[2]</sup>、王迎春<sup>[3]</sup>等曾从 SPSW 在框架中的应用着手, 对在框架中使用的 SPSW 进行了试验, 提出了 SPSW 抗剪承载力的简化设计公式, 证明 SPSW 可用于地震地区既有建筑的加固或者作为新建筑的抗侧力体系。截至目前我国对于 SPSW 的研究只局限理论方面, 对于常用的钢

板厚度变化范围和 SPSW 对周边框架柱刚度的影响等研究不足, 使得现阶段 SPSW 在框架中的应用还不是很广泛<sup>[4]</sup>。本文从研究 SPSW 对钢框架的抗震性能影响出发, 分别建立钢框架与 SPSW 厚度不同的钢框架—钢板剪力墙有限元分析模型, 分析两种结构体系抗震性能的变化规律, 探讨 SPSW 对钢框架结构体系抗震性能的影响, 并进一步比较 SPSW 厚度不同对钢框架—钢板剪力墙结构体系抗震性能的影响。

收稿日期: 2011-09-02

基金项目: 河北省自然科学基金项目 (E201001012) 特约专稿

作者简介: 史三元 (1959-), 男, 河北乐亭人, 教授, 从事钢结构方面的研究。

### 1 有限元计算模型

建立了典型的3跨6层钢框架和钢框架-钢板剪力墙平面模型(图1),截面设计符合在多遇地震作用下我国规范要求<sup>[5]</sup>。恒荷载  $g_k = 16 \text{ kN/}$

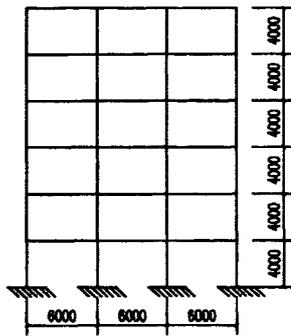
$\text{m}$ ,活荷载  $q_k = 7 \text{ kN/m}$ ,抗震设防烈度为8度,II类场地,第一组。梁柱截面尺寸见表1。

采用有限元软件SAP2000进行计算。材料采用Q235钢材,弹性模量  $E = 2.01 \times 10^5 \text{ MPa}$ ,泊松比  $\mu = 0.3$ ,假定钢材均为理想弹塑性材料。

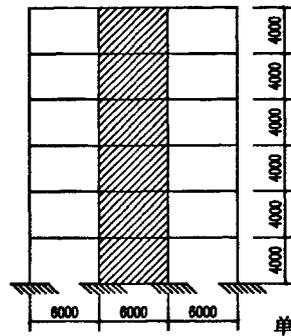
表1 框架杆件截面尺寸

Tab.1 The components of the frame system

杆件	梁(H钢)	柱(H钢)
截面	300mm × 300mm × 12mm × 12mm	350mm × 350mm × 10mm × 16mm



方案A: 纯框架



方案B: (t=6 mm)

单位: mm

注: 方案C~G中SPSW的布置位置同方案B, 钢板厚度依次为8mm、12mm、16mm、20mm、24mm。

图1 框架计算模型

Fig.1 The computation model of steel frame

### 2 抗侧力分析

带SPSW的钢框架作为双重抗侧力体系,其整体刚度必大于普通钢框架<sup>[6-7]</sup>。本文先对结构顶点施加大小为10 kN的水平方向荷载进行简单分析,并计算结构的抗侧刚度进行比较。

柱抗侧刚度  $D$  是指柱节点有转角时使柱端产生单位位移所需施加的水平推力。钢框架  $D$  计算公式如下<sup>[8]</sup>:

$$D = a \frac{12i_c}{h^2} \quad (1)$$

其中,  $\alpha$ —刚度修正系数;  $i_c$ —柱线刚度,  $i_c = E I_c / h$ ,  $E I_c$  为柱抗弯刚度;  $h$ —层高。钢框架—钢板剪力墙  $D$  计算公式为<sup>[8]</sup>

$$D = \frac{V}{\delta} \quad (2)$$

其中,  $V$ —结构剪力;  $\delta$ —结构平移变形的层间位移。

计算结果如表2所示。可以看出,带SPSW的钢框架结构的抗侧刚度远远大于钢框架结构,

表2 结构的抗侧刚度

Tab.2 The stiffness of the structure

方案	位移/( $\times 10^{-3} \text{ mm}$ )	比例	刚度/( $\times 10^4 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-1}$ )	比例
A	5.816	1.000	2.017	1.000
B	0.600	0.103	19.526	9.681
C	0.548	0.093	22.747	11.281
D	0.472	0.080	25.375	12.579
E	0.418	0.070	29.661	14.712
F	0.376	0.065	31.288	15.512
G	0.342	0.059	34.301	16.981

SPSW 厚度为 6 mm 的钢框架-钢板剪力墙的抗侧刚度为普通钢框架结构的 9.681 倍,且随着 SPSW 厚度的增大钢框架-钢板剪力墙结构的抗侧刚度逐渐增大。

### 3 模态分析

结构的模态(振型)分析用于确定结构的振型及其对应的自振周期,结构振型和自振周期是结构的固有特性,是反映结构动力特性的主要量,是结构动力分析的基础<sup>[9]</sup>。本结构模态的求解采用

Ritz 向量分析方法。Ritz 向量法考虑了动力荷载的空间分布,可以为后面时程分析提供更精确的振型基础。

利用 SAP2000 计算不同方案的自振周期(表 3),可以得出该例中钢框架结构第一周期为 1.6 s,反映了结构的整体刚度小的特点,而带 SPSW 的钢框架结构的自振周期要明显小于钢框架结构,并且各方案自振周期大小关系是:方案 A > 方案 B > 方案 C > 方案 D 方案 E > 方案 F > 方案 G。

表 3 结构的自振周期

Tab. 3 The natural vibration period of the structure

模态	方案 A	方案 B	方案 C	方案 D	方案 E	方案 F	方案 G
1	1.600 54	0.470 91	0.450 72	0.422 03	0.401 17	0.384 71	0.371 14
2	0.501 67	0.117 60	0.108 17	0.096 18	0.088 52	0.083 22	0.081 26
3	0.272 72	0.080 96	0.080 94	0.080 91	0.980 84	0.080 58	0.078 24
4	0.177 00	0.057 20	0.052 14	0.045 77	0.041 71	0.038 81	0.036 59
5	0.129 68	0.038 80	0.035 05	0.030 44	0.027 58	0.027 66	0.027 95
6	0.107 51	0.030 55	0.027 42	0.023 62	0.024 01	0.025 57	0.024 04

### 4 时程分析

结构的地震反应的时程分析方法,是将地震波将地震输入,然后通过运动方程的积分求出地震持续时间内结构的内力和变形随时间变化的过程,是一种直接动力法,能比较真实的描述结构地震反应的全过程。时程分析方法建立在动力方程的基础上,动力平衡方程形式如下<sup>[10]</sup>:

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = F(t) \quad (3)$$

其中  $t$ —时间;  $K$ —刚度矩阵;  $C$ —阻尼矩阵;  $M$ —对角质量矩阵;  $u$ —结构的位移。

本文采用比较典型的 El-Centro 加速度时程波对结构进行计算分析。罕遇地震取  $400 \text{ cm/s}^2$ , 时间间隔均为 0.02 s, 共作用 30 s。

鉴于 SPSW 框架结构的时程曲线较为接近,以方案 A、方案 D 为例,比较了 2 种框架结构在 El-Centro 波  $400 \text{ cm/s}^2$  加速度作用下,顶点位移及基底剪力时程曲线(图 2)。可以看出,带 SPSW 的钢框架结构的顶点位移明显小于钢框架的顶点位移,钢框架结构所受基底剪力明显小于钢框架-钢板剪力墙结构体系。

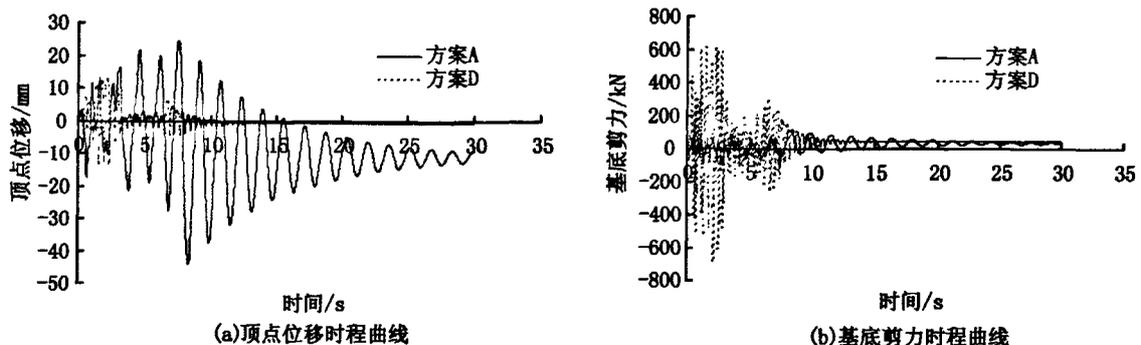


图2 顶点位移与基底剪力时程曲线

Fig. 2 The vertex displacement and base shear of eight degree

表4列出钢框架及SPSW厚度不同的的钢框架-钢板剪力墙在El-Centro波 $400\text{cm/s}^2$ 加速度作用下的顶点最大位移,可以看出钢框架结构顶点位移最大值为 $43.96\text{mm}$ ,SPSW厚度为 $6\text{mm}$ 的

钢框架-钢板剪力墙顶点位移最大为 $16.70\text{mm}$ , $24\text{mm}$ 的钢框架-钢板剪力墙顶点位移最小为 $10.41\text{mm}$ ,即随着SPSW厚度的增加,钢框架-钢板剪力墙位移逐渐减小。

表4 顶点最大位移值

Tab.4 The maximum of vertex displacement

方案	A	B	C	D	E	F	G
最大位移/mm	43.96	16.70	16.62	15.50	13.50	12.17	10.41

由结构的顶点位移和层间位移角之间的关系如图3所示,可以看出钢框架结构的最大层间位移角出现在第二层,内填钢板后结构的最大层间位移角上移而且没有明显的薄弱层;当 $\text{SPSW} \geq 20\text{mm}$ 时,由于结构的刚度很大,顶点位移很小,但在

下部产生较大的层间位移; $\text{SPSW} \leq 6\text{mm}$ 时,结构底部位移明显增大;SPSW厚度在 $816\text{mm}$ 范围内结构呈现较好的层间位移协调工作变形曲线,效果最佳。

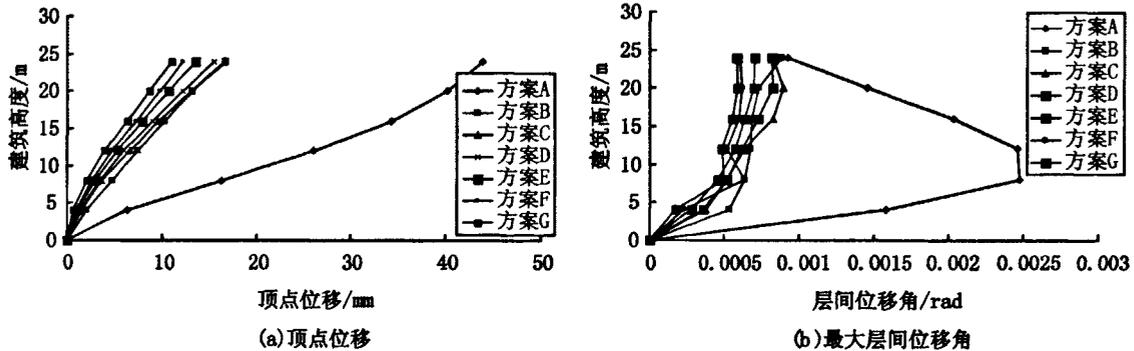


图3 8度地震作用下结构顶点位移与最大层间位移角

Fig.3 The maximum story displacement and story drift under the action of eight degree

### 5 结论

1)SPSW可以显著提高钢框架结构的抗侧刚度,减小层间位移,即对控制结构在水平力作用下的侧向变形非常明显,适合应用于8度地区,而纯钢框架结构体系则会出现明显的薄弱层,不适宜8度地区使用。

2)SPSW厚度不同的钢框架-钢板剪力墙结构在El-Centro波 $400\text{cm/s}^2$ 加速度作用下,顶点位移变化趋势基本一致。随着SPSW厚度的减少,结构顶点位移逐渐增加。

3)在实际应用中应充分考虑钢框架与SPSW的协调变形能力,充分发挥SPSW的作用,选择合适的钢板厚度。该文中所举结构体系在SPSW厚度为 $816\text{mm}$ 时,表现效果最佳。

### 参考文献:

[1] 郭彦林,董全利. 钢板剪力墙的发展与研究现状[J]. 钢结构, 2005, 20(1): 1-6.  
 [2] 苏幼坡,刘英利,王邵杰. 薄钢板剪力墙抗震性能试

验研究[J]. 地震工程与工程振动, 2002, 22(4): 81-84.

[3] 王迎春,郝际平,李峰,等. 钢板剪力墙力学性能研究[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版, 2007, 39(2): 181-185.  
 [4] 朱华. 多高层钢结构住宅结构体系及钢板剪力墙体系综述[J]. 中国建材科技, 2009(6): 56-60.  
 [5] GB50011-2010, 建筑抗震设计规范[S].  
 [6] 史三元,郭维光,陈鑫,等. 高层钢结构抗震体系的力学性能分析[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2008, 25(4): 1-3.  
 [7] 史三元,侯桂欣,苏晓亮,等. 小高层钢结构住宅抗震性能研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2010, 27(2): 12-15.  
 [8] 方鄂华,钱稼茹. 高层建筑结构设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.  
 [9] 陈昌宏. SAP2000结构工程案例[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.  
 [10] 王社良. 抗震结构设计[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,2010.

(责任编辑 马立)