

地震作用下高厚比对钢板剪力墙影响分析

郭奕宏¹, 樊贞祥²

(1. 河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038; 2. 山西中煤华晋能源有限责任公司, 山西 运城 043300)

摘要:考虑钢板的高厚比在地震作用下对多层钢板剪力墙的影响,采用有限元法建立了四层单跨钢板剪力墙和四层三跨钢框架-钢板剪力墙抗侧力分析计算模型,对钢板剪力墙进行了应力和位移的分析。结果表明,钢板的高厚比对结构的抗震性影响较大;四层三跨钢框架-钢板剪力墙结构比四层单跨钢板剪力墙结构的抗震性能好;建议一般情况下,多层单跨钢板剪力墙钢板高厚比的取值为 $\lambda = 200 \sim 300$,多层多跨钢板剪力墙钢板高厚比的取值为 $\lambda = 200 \sim 400$ 。

关键词:钢板剪力墙;地震作用;高厚比;位移;应力

中图分类号: TU392.1

文献标识码: A

Depth - thickness ratio to influence of steel plate shear wall analysis in the action of earthquake

GUO Yi - hong¹, FAN Zhen - xiang²

(1. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. Shanxi Zhongmei Huajin Energy Limited Liability Company, Shanxi Yuncheng 043300, China)

Abstract: Comprehensively considering depth - thickness ratio in the role of the earthquake on the influence of multi - layer steel plate shear wall, the stress and displacement of the steel plate shear wall were analyzed by using the finite element method to establish the four layer single span steel plate shear wall and four layer three span steel frame - steel plate shear wall lateral force resisting analysis calculation model. The result shows that the steel structure of the depth - thickness ratio influence on earthquake resistance; the four layer three span steel frame - steel plate shear wall system is better than the four layer single span steel plate shear wall system seismic performance; it is suggested that under normal circumstances, the multi - layer single span steel plate shear wall thick steel plate is depth - thickness ratio values for $\lambda = 200 \sim 300$, multilayer high multi span steel plate shear wall plate depth - thickness ratio values for $\lambda = 200 \sim 400$.

Key words: steel plate shear walls; earthquake action; depth - thickness ratio; displacement; stress

钢板剪力墙作为一种多高层抗侧力构件^[1-3],具有较高的抗侧刚度,强度和延性,同时滞回曲线稳定及有很大的塑形耗能能力,适用于高烈度地震区。结构的地震作用计算可采用按外荷载计算、按惯性力计算、按瞬态动力影响计算和按谱响应计算四种方案,一般而言,对于一般钢框架结构的抗震设计,建议采用前两种方案,对于重

要结构的抗震设计,建议采用后两种方案^[4-5]。

本研究选取的模型为一般钢框架剪力墙结构,采用计算相对简便的地震作用按惯性力计算的方案,研究钢板高厚比钢板剪力墙在地震作用下结构的位移和应力影响的分析。通过两个计算模型比较,得出一般情况下,多层钢板剪力墙钢板高厚比的适用范围。

表1 地震加速度谱数据
Tab. 1 Earthquake acceleration spectrum data

时间步/s	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3
竖向加速度/ (mm/s ²)	117.2	131.3	-299.1	-227.1	721.7	139.2	40.6	-368.2	89.8

1 剪力墙地震作用分析

1.1 基本假定

(1) 框架梁, 框架柱抗弯刚度无限大, 轴向变形很小, 可以忽略不计。

(2) 各层梁, 柱能为剪力墙钢板提供足够的约束作用。

1.2 剪力墙的分析方法

采用地震作用按惯性力计算, 计算时只考虑水平地震对结构的影响, 不计风荷载等外力的影响; 地震作用只考虑动力放大系数, 不考虑分项系数和组合系数。

采用天津市 1976 年测得的竖向加速度数据, 截取时间步 3.5 ~ 4.3 s 之间的竖向加速度测量数据, 数据如表 1 所示。有限元分析计算时, 将表中数据换算到 8 度地震谱标准抗震设防烈度下的数值, 所用公式如下^[6]。

$$K = \frac{0.25g}{2a} \quad (1)$$

式中: K - 地震谱换算系数; g - 重力加速度, mm/s²; a - 竖向加速度, mm/s²。

从表 1 选取时间步数为 3.9 s 时的竖向加速度数值, 带入式(1)中 $K = 1.6991$ 。

换算后的竖向加速度为

$$a' = K \cdot a \quad (2)$$

式中: a' - 换算后的竖向加速度, mm/s²。

将 1.6991 代入式(2)中, $a' = 1226.24$ mm/s²。

水平加速度数据按竖向加速度的 2 倍计算, 模拟分析中计算取最大水平加速度, 并考虑动力放大系数 β_E, β_E 通常取 5.0, 最大水平加速度为

$$amax = 2a'\beta_E \quad (3)$$

式中: $amax$ - 最大水平加速度, mm/s²; a' - 换算后的竖向加速度, mm/s²; β_E - 动力放大系数。

将 1226.24 mm/s² 代入式(3)中, $amax = 1226.24$ mm/s²。

分析中施加的荷载竖向重力加速度为 9810 mm/s², 水平最大加速度为 1226.24 mm/s²。

2 有限元模型分析

2.1 模型的建立

选取的分析模型为四层单跨钢板剪力墙和四层三跨钢框架 - 钢板剪力墙双重抗侧力结构。采用 ANSYS13.0 软件进行分析, 钢板、框架梁柱分别采用 shell181, beam188 单元; 钢柱钢梁的尺寸为工字钢 600 mm × 400 mm × 20 mm × 25 mm, 工字钢 500 mm × 300 mm × 11 mm × 18 mm, 弹性模量为 2.06E5, 泊松比为 0.3, 材料密度为 7.85E-9。

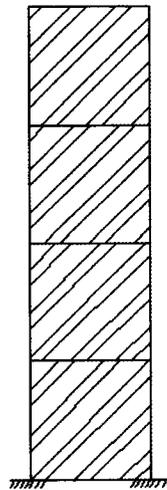


图1 四层单跨剪力墙模型

Fig.1 Four single span shear wall model

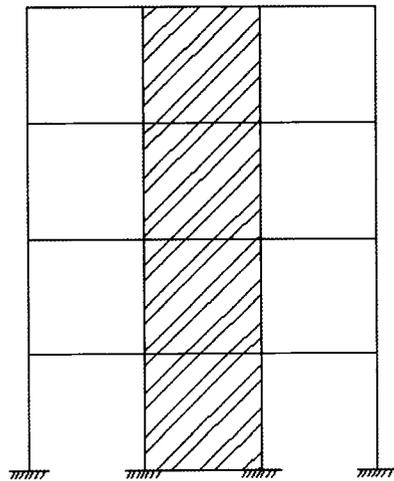


图2 四层三跨钢框架-钢板剪力墙模型

Fig.2 Four three span steel frame-steel plate shear wall model

2.2 四层单跨钢板剪力墙分析

通过 ANSYS13.0 有限元分析软件研究四层单跨钢板剪力墙在地震作用下,高厚比 $\lambda = 200, 300, 400, 500, 600$ 时剪力墙钢板的最大位移和最大应力,钢板剪力墙的尺寸为 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$,结构为四层,计算分析数据如表 2 所示。

表 2 四层单跨剪力墙最大位移和应力数据
Tab.2 Four single span shear wall maximum displacement and stress data

四层单跨	最大位移/mm	应力/MPa
$\lambda = 200$	-29.781	179.195
$\lambda = 300$	-66.991	267.979
$\lambda = 400$	-119.086	356.732
$\lambda = 500$	-186.083	445.471
$\lambda = 600$	-267.955	534.19

对比表 2 中的数据,可以看出,随着高厚比的增大,结构中钢板剪力墙的最大位移和最大应力逐渐增大;高厚比越大,钢板越容易出现屈曲。

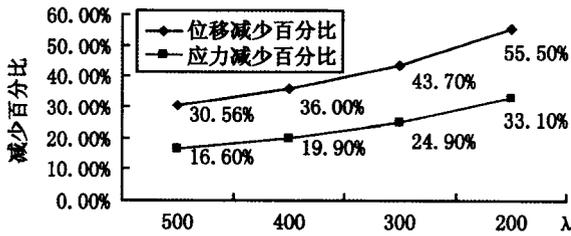


图3 四层单跨剪力墙高厚比变化钢板位移和应力减少百分比

Fig.3 Changes of four single span shear wall depth-thickness ratio plate displacement and stress reduction percentage

图 3 为四层单跨剪力墙高厚比变化钢板位移和应力减少百分比曲线。可以看出,当高厚比逐渐减小时,结构的位移和应力的减少百分比逐渐增大,位移的减少百分比大于应力减少百分比,位移最高减少百分比为 21%,而且随着 λ 的减少,效果更明显。在位移曲线中,当 $\lambda = 200$ 时,位移的减少比 $\lambda = 300$ 时高 55.5%,而当 $\lambda = 300$ 时,位移减少百分比是 $\lambda = 400$ 的 1.3 倍;在应力曲线中,提高的倍数相同,对结构抗震效果十分明显。所以,在四层单跨钢板剪力墙结构中高厚比建议取值为 $\lambda = 200 \sim 300$ 。

2.3 四层三跨钢框架-钢板剪力墙分析

通过 ANSYS13.0 有限元分析软件研究四层三跨钢框架-钢板剪力墙在地震作用下,高厚比 $\lambda = 200, 300, 400, 500, 600$ 时剪力墙钢板的最大位

移和最大应力,钢板剪力墙的尺寸为 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$,结构为四层三跨,中间跨设置钢板剪力墙,其余边跨为框架结构,计算分析数据如表 3 所示。

表 3 四层三跨剪力墙最大位移和应力数据
Tab.3 Four three cross shear wall maximum displacement and stress data

四层三跨	最大位移/mm	应力/MPa
$\lambda = 200$	-3.628	12.427
$\lambda = 300$	-6.403	20.193
$\lambda = 400$	-10.264	26.826
$\lambda = 500$	-15.306	33.285
$\lambda = 600$	-22.067	39.761

从表 3 数据可以看出,四层三跨钢框架-钢板剪力墙在地震作用下,随着钢板 λ 的增加,结构中钢板剪力墙的位移和应力都逐渐增大。

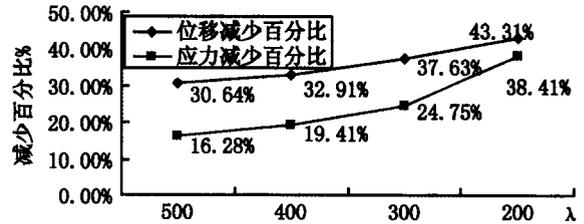


图4 四层三跨钢框架-钢板剪力墙高厚比变化钢板位移和应力减少百分比

Fig.4 Changes of four three cross span shear wall depth-thickness ratio plate displacement and stress reduction percentage

图 4 为四层三跨钢框架-钢板剪力墙高厚比变化钢板为位移和应力减少百分比曲线。可以看出, λ 对结构位移的影响强于对应力的影响,在地震作用下,主要对结构的位移进行控制,结构位移过大不能满足其适用性。随着 λ 的减少,钢板的位移减少百分比从 $\lambda = 400$ 到 $\lambda = 300, \lambda = 300$ 到 $\lambda = 200$ 约为 1.1 倍;从应力减少百分比曲线可以计看出,由 $\lambda = 300$ 减少到 $\lambda = 200$ 时,曲线的斜率最大,应力减少的最为明显,高厚比 $\lambda = 200$ 到 $\lambda = 300$ 时,是高厚比 $\lambda = 300$ 到 $\lambda = 400$ 应力减少百分比的 1.3 倍,效果明显,所以在四层三跨钢框架-钢板剪力墙结构中,剪力墙钢板的高厚比建议取值为 $\lambda = 200 \sim 400$ 。

2.4 模型分析对比

通过 ANSYS 有限元分析,对比在地震作用下四层单跨钢板剪力墙和四层三跨钢框架-钢板剪力墙的位移和应力。

2.4.1 模型位移分析对比

图 5 为在相同地震作用下最大位移变化曲

线。可以看出,四层三跨钢框架-钢板剪力墙结构的位移明显小于四层单跨钢板剪力墙的位移,随着高厚比增大,结构的位移的减少量逐渐增大,这表明,钢框架在地震作用时,也承担一部分外力,这种双抗侧力结构具有更大的抗震作用。

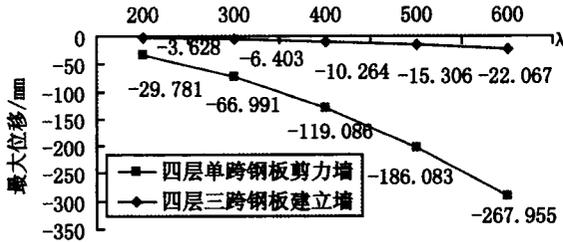


图5 四层单跨钢板剪力墙和四层三跨钢框架-钢板剪力墙位移图

Fig.5 Four single span steel plate shear wall and four layer three span steel frame-steel plate shear wall displacement diagram

2.4.2 模型应力分析对比

图6为在相同地震作用下,两种结构的最大应力曲线。四层单跨钢板剪力墙结构,λ对其影响明显,而四层三跨钢框架-钢板剪力墙结构的应力明显减少,而且随着钢板高厚比的增大,这种差距也越来越大。

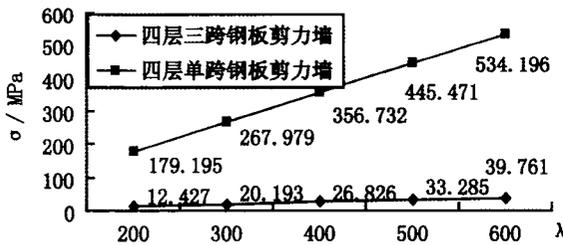


图6 四层单跨钢板剪力墙和四层三跨钢框架-钢板剪力墙应力图

Fig.6 Four single span steel plate shear wall and four layer three span steel frame-steel plate shear wall stress diagram

对于四层单跨钢板剪力墙,钢板的高厚比起决定了决定性作用,要提高多层单跨的钢板剪力墙的抗震性能和结构承载力,只能通过减小高厚比,这

样结构的经济性不理想;而对比四层三跨钢框架-钢板剪力墙这种双重抗侧力结构,钢板的高厚比适当放宽,在实际应用工程中,可提高结构的经济性能。

3 结论

1)高厚比对四层单跨钢板剪力墙的最大位移和最大应力有很大的影响,随着高厚比的减少,结构的位移和应力明显减少,在λ=200,300时效果最为突出,建议实际多层单跨剪力墙的钢板高厚比取值为λ=200~300。

2)四层三跨钢框架-钢板剪力墙结构,随着高厚比的减少,结构的最大位移和应力也相应减少,由于钢框架在地震作用下也起到明显的作用,所以,高厚比在λ=200,300,400时效果都比较突出且减少百分比的倍数相近,建议一般多层多跨钢板剪力墙结构的高厚比取值为λ=200~400。

3)对比两种模型,四层三跨钢框架-钢板剪力墙结构的抗震性能优于比四层单跨钢板剪力墙结构,采用多层多跨钢框架-钢板剪力墙体系能提高结构的经济效益。

参考文献:

[1] 童根树. 钢结构设计方法[M]. 北京:中国建筑业出版社,2007.
 [2] 张华,位翠霞,黄鹂. 变截面框剪结构二阶效应分析的精细积分法[J]. 河北科技大学学报,2012,33(4):364-368.
 [3] 郭彦林,周明. 非加劲与防屈曲钢板剪力墙性能及设计理论的研究现状[J]. 建筑结构学报,2011,32(1):1-16.
 [4] 董全利. 防屈曲钢板剪力墙结构性能与设计方法研究[D]. 北京:清华大学,2007.
 [5] 徐鹤山. ANSYS 建筑钢结构工程实例分析. 北京:机械工业出版社,2010.
 [6] 陈国栋,郭彦林. 钢板剪力墙低周反复荷载试验研究[J]. 建筑结构学报,2004,25(2):19-38.

(责任编辑 马立)