

文章编号: 1005-0523(2009)01-0012-07

框支剪力墙中框支梁的力学性能分析

范蓉蓉, 张 敏

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:分析竖向荷载、风荷载、地震作用下框支剪力墙中框支梁的力学性能,表明框支梁截面高度对框支梁的力学性能影响很大,当框支梁截面高度不超过该梁净跨的 $1/7$ 时,框支梁内力较小,且框支梁挠度及框支楼层的层间侧移均能满足建筑功能要求,这为框支梁的设计提供了实用的理论根据.

关键词:框支剪力墙;框支梁;跨高比;地震

中图分类号: TU375

文献标识码: A

框支剪力墙是为了适应高层建筑底部大开间的要求而采用的一种结构形式,该结构底层为框架,上部剪力墙支承在下部框架上,结构上部的竖向及水平荷载全部由底部的框架承受,并且结构侧向刚度在底层楼盖处发生突变,地震作用下,常因底部结构成为薄弱层而发生破坏^[1],对于该结构设计我国《高层建筑钢筋混凝土结构技术规程》JGJ 3-2002^[2]做了严格规定,尤其是框支层的结构计算、构造要求等都作了严格限制,例如对该结构中框支梁的截面要求如下:框支梁截面宽度不宜大于框支柱相应方向的截面宽度,不宜小于其上墙体截面厚度的 2 倍,且不宜小于 400 mm,该梁的截面高度,抗震设计时不应小于计算跨度的 $1/6$,非抗震设计不宜小于计算跨度的 $1/8$.

但也有学者认为,上述规范对框支梁的规定过于严格,按上述规范设计框支梁,往往造成框支梁截面高度过大,难以满足房屋的净高要求,从而影响该建筑的使用功能,由此认为框支剪力墙中可以将一个楼层的剪力墙当做框支梁看待^[3],框支梁截面没有必要设计得过高,降低框支梁截面高度满足建筑对楼层净高要求是现代框支剪力墙设计的必然要求.

本文分析竖向荷载、风荷载、地震作用下框支剪力墙中框支梁的力学性能,以此为基础分析框支梁截面高度对框支梁力学性能的影响规律,从而提出框支剪力墙中框支梁截面高度的合理设计要求,来满足该结构的工程设计需要.

1 分析算例

图 1 框支剪力墙,剪力墙采用 C30 混凝土,框支柱和框支梁采用 C45 混凝土,框支梁截面宽 0.4 m,框支柱截面为 $0.5\text{ m} \times 0.6\text{ m}$,结构共 22 层,底部框支层层高 4 m,上部楼层层高 3 m,柱开间 6 m.分析时,竖向按等效荷载标准值为 14 kN/m^2 考虑;水平方向风荷载按深圳地区取 $w_0 = 0.75\text{ kN/m}^2$,场地类别 D 类,按倒三角形荷载分布考虑,并考虑地震波作用进行时程分析.

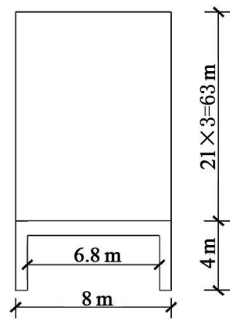


图 1 框支剪力墙结构简图

收稿日期: 2008-10-27

基金项目: 江西省自然科学基金资助项目 (2007GZC0841)

作者简介: 范蓉蓉 (1984-), 山西平遥人, 硕士研究生.

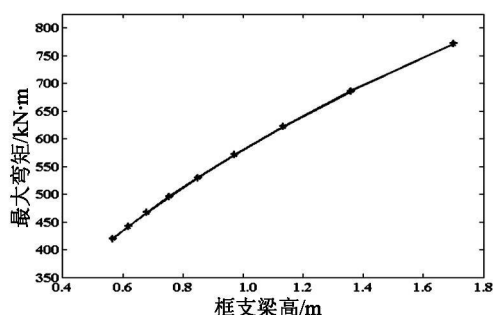
1.1 竖向荷载作用下框支梁力学性能分析

分析时, 梁、柱分别采用 Beam4 单元, 剪力墙采用 Shell63 单元, 并考虑各构件弯曲、剪切、轴向变形等, 采用 Ansys10.0 通用软件进行有限元分析, 其计算简图如图 1 所示, 在各楼层处施加竖向荷载.

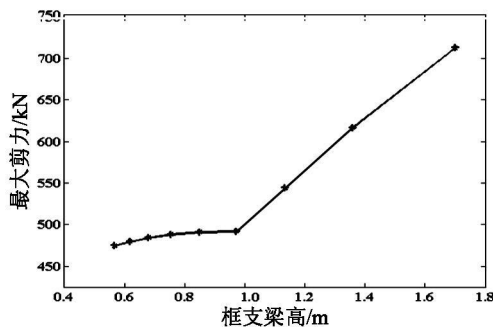
竖向荷载作用下, 框支梁截面高度取 $L_n/4 \sim L_n/12$, 可得框支梁内力、框支梁跨中挠度与框支梁高的关系, 见表 1 及图 2 其中 L_n 为框支梁净跨度.

表 1 竖向荷载作用下框支梁高与内力关系

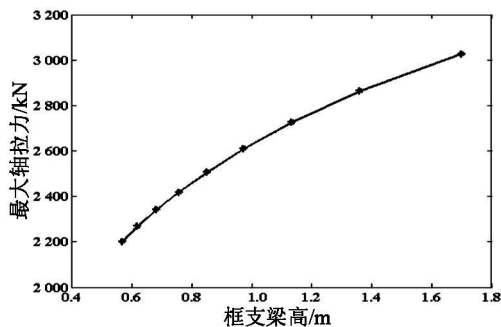
框支梁高	框支梁高 /m	最大弯矩 /kN·m	最大剪力 /kN	最大轴力 /kN	跨中挠度 /mm
$L_n/4$	1.7	771.670 263	712.791 192	3 026.626 4	3.729 306 319
$L_n/5$	1.36	686.457 922	616.871 094	2 864.389 94	3.777 283 665
$L_n/6$	1.133	622.051 71	544.007 381	2 726.699	3.816 716 713
$L_n/7$	0.971	571.372 124	492.039 096	2 610.451 24	3.850 248 311
$L_n/8$	0.85	530.365 025	491.157 987	2 507.290 33	3.879 425 354
$L_n/9$	0.756	496.277 814	488.388 465	2 419.339 44	3.905 402 108
$L_n/10$	0.68	467.039 965	484.432 002	2 341.686 24	3.929 195 902
$L_n/11$	0.618	441.897 265	479.775 113	2 268.943 04	3.950 989 884
$L_n/12$	0.567	420.215 854	474.757 605	2 201.492 43	3.970 946 568



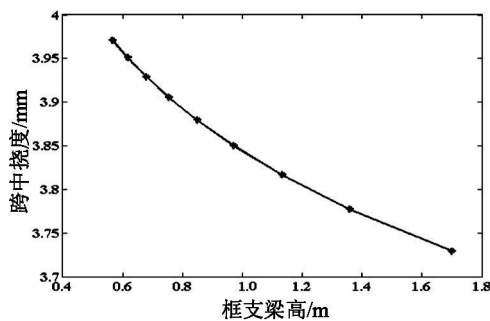
(a) 最大弯矩与框支梁高关系图



(b) 最大剪力与框支梁高关系图



(c) 最大轴力与框支梁高关系图



(d) 跨中挠度与框支梁高关系图

图 2 竖向荷载作用下框支梁高与内力关系

图 2 表明:

(1) 框支梁高小于 $L_n/7$ 时, 随梁高增大, 梁剪力变化不大, 当框支梁高大于 $L_n/7$ 时, 随梁高增大, 梁剪力明显增大.

(2) 弯矩、轴力随着框支梁高的增大而增大.

(3) 梁挠度随框支梁高增大而减小, 但挠度最大值与最小值之差不超过最小值的 6.5%, 可见减小框支梁截面高度对框支梁挠度影响不大.

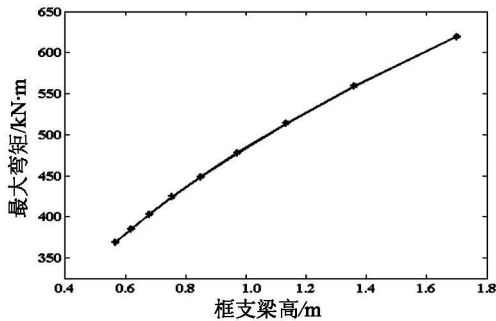
1.2 风荷载作用下框支梁力学性能分析

在水平风荷载作用下, 框支梁截面高度取 $L_n/4 \sim L_n/12$, 可得框支梁内力、框支梁楼层侧移与框支梁高的

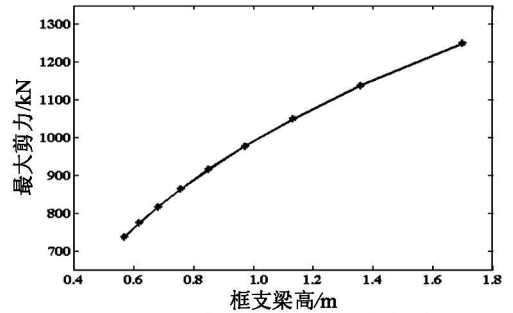
关系,见表 2及图 3,其中 L_n 为框支梁净跨度.

表 2 风荷载作用下框支梁高与内力关系

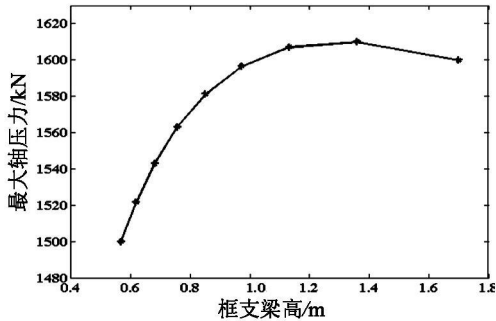
框支梁高	框支梁高 /m	最大弯矩 /kN·m	最大剪力 /kN	最大轴力 /kN	侧移 /mm
$L_n/4$	1.7	619.293 07	1 249.933 59	1 600.001 36	0.013 884 625
$L_n/5$	1.36	559.468 345	1 138.036 62	1 610.146 2	0.013 923 486
$L_n/6$	1.133	514.088 872	1 050.063 05	1 607.218 02	0.013 996 149
$L_n/7$	0.971	478.206 074	977.881 127	1 596.579 92	0.014 090 426
$L_n/8$	0.85	449.007 131	916.934 906	1 581.288 95	0.014 198 709
$L_n/9$	0.756	424.586 843	864.085 3	1 563.109 26	0.014 316 654
$L_n/10$	0.68	403.505 982	816.826 377	1 542.888 69	0.014 442 898
$L_n/11$	0.618	385.257 855	774.501 89	1 521.591 37	0.014 573 86
$L_n/12$	0.567	369.417 516	736.558 253	1 499.968 47	0.014 706 472



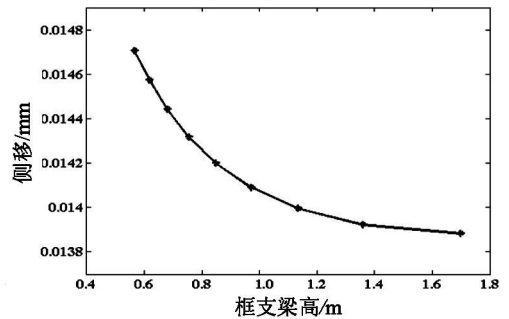
(a) 最大弯矩与框支梁高关系图



(b) 最大剪力与框支梁高关系图



(c) 最大轴力与框支梁高关系图



(d) 侧移与框支梁高关系图

图 3 风荷载作用下框支梁高与内力关系

图 3表明:

(1) 框支梁最大弯矩、最大剪力随梁高的增大而增大.

(2) 框支梁最大轴压力在梁高不超过 $L_n/5$ 时,随梁高的增大而增大,梁高超过 $L_n/5$ 时,轴压力随梁高的增大而略有减小.

(3) 框支楼层侧移随梁高增大而减小,但最大侧移与最小侧移之差不超过最小侧移的 5.9%,可见减小框支梁高对侧移影响不大.

1.3 振型分解反应谱法分析框支梁地震作用效应

考虑设防烈度为 7度,设计基本地震加速度为 0.30 g 第一组, II类场地^[4],特征周期为 0.35 s 框支梁截面高度取 $L_n/4 \sim L_n/12$ 考虑 8阶振型.

(1) 模态分析

经分析,可得不同框支梁高的前 8阶周期见表 3.

表 3 不同框支梁高下框支剪力墙结构自振周期

框支梁高 自振周期	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
$L_n/4$	2.696	0.611	0.266	0.122	0.067	0.042	0.028	0.021
$L_n/5$	2.701	0.616	0.268	0.123	0.067	0.042	0.028	0.021
$L_n/6$	2.704	0.620	0.269	0.123	0.067	0.042	0.028	0.021
$L_n/7$	2.708	0.625	0.271	0.123	0.067	0.042	0.028	0.021
$L_n/8$	2.711	0.629	0.272	0.123	0.067	0.042	0.028	0.021
$L_n/9$	2.713	0.632	0.273	0.123	0.067	0.042	0.028	0.021
$L_n/10$	2.716	0.636	0.273	0.123	0.067	0.042	0.028	0.021
$L_n/11$	2.718	0.639	0.274	0.123	0.067	0.042	0.028	0.021
$L_n/12$	2.720	0.643	0.275	0.123	0.067	0.042	0.028	0.021

当框支梁高为 $L_n/4, L_n/12$ 时的前 4 阶振型图, 见图 4.

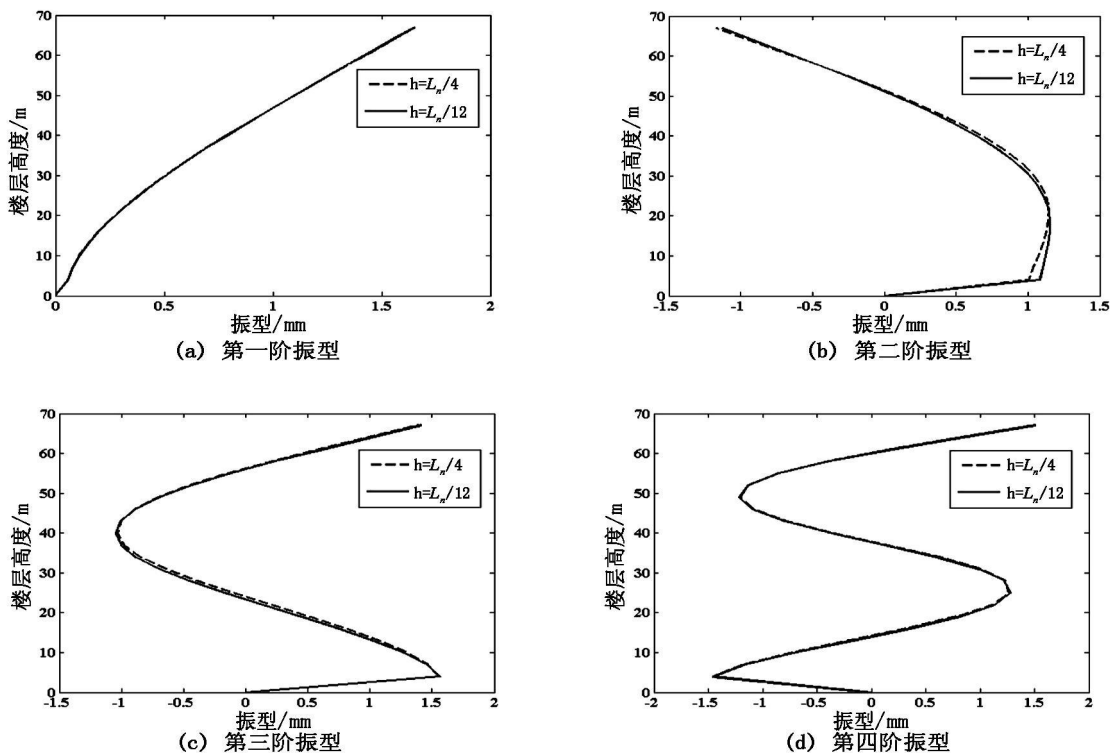


图 4 振型图

(2) 地震作用效应分析

框支梁内力、框支梁楼层侧移与框支梁高的关系, 见表 4 及图 5, 其中 L_n 为框支梁净跨度.

表 4 振型分解反应谱法分析框支梁高与内力关系

转换梁高	转换梁高 /m	最大弯矩 /kN·m	最大剪力 /kN	最大轴力 /kN	最大侧移 /mm
$L_n/4$	1.7	187.933 542	384.541 784	351.221 554	5.356 586 039
$L_n/5$	1.36	175.247 366	366.930 695	353.919 405	5.439 167 345
$L_n/6$	1.133	164.935 203	352.450 085	354.143 496	5.519 155 254
$L_n/7$	0.971	156.238 493	339.951 918	352.815 297	5.596 039 674
$L_n/8$	0.85	148.732 715	328.846 436	350.472 46	5.669 539 014
$L_n/9$	0.756	142.112 145	318.735 754	347.470 51	5.739 967 922
$L_n/10$	0.68	136.114 587	309.274 893	343.989 993	5.808 345 461
$L_n/11$	0.618	130.691 861	300.477 644	340.220 864	5.873 953 015
$L_n/12$	0.567	125.798 552	292.314 17	336.314 856	5.936 271 506

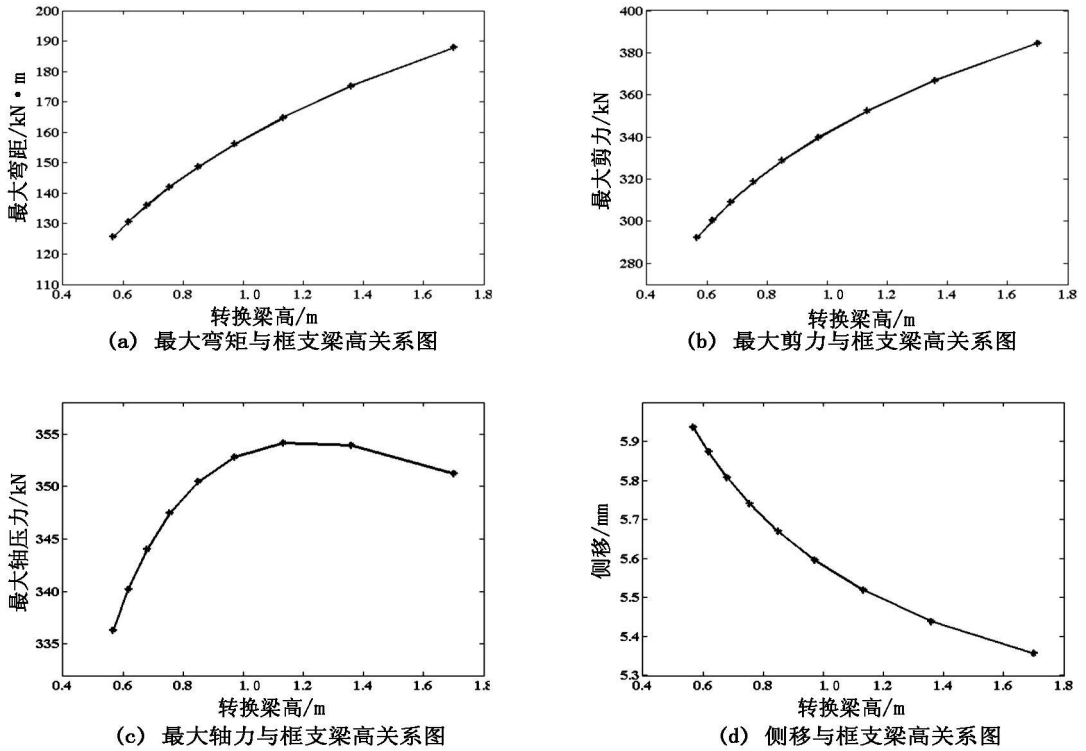


图 5 振型分解反应谱法分析框支梁高与内力关系

图 5 表明:

(1) 最大弯矩、最大剪力随框支梁高增大而增大。

(2) 框支梁最大轴压力在梁高不超过 $L_n/6$ 时, 随梁高的增大而增大, 梁高超过 $L_n/6$ 时, 轴压力随梁高的增大而逐渐减小。

(3) 框支楼层侧移随梁高增大而减小, 但最大侧移与最小侧移之差不超过最小侧移的 10.8%, 可见减小框支梁高对侧移影响不大。

1.4 地震作用下框支梁内力的时程分析

考虑设防烈度为 7 度, 设计基本地震加速度 $0.30 g$ 多遇地震最大加速度^[5]为 55 cm/s^2 , 分析 EI Centro 地震波作用下框支剪力墙结构的 seismic 效应。

EI Centro 波作用于框支剪力墙结构, 分析框支梁内力、框支楼层侧移与框支梁高关系见表 5 及图 6, 其中 L_n 为框支梁净跨度。

表 5 E1地震波作用下框支梁高与内力关系

框支梁高	框支梁高 /m	最大弯矩 /kN·m	最大剪力 /kN	最大轴力 /kN	侧移 /mm
$L_n/4$	1.7	147.947 076	292.439 479	318.096 224	4.634 395 928
$L_n/5$	1.36	141.028 031	289.343 023	318.051 164	4.734 950 004
$L_n/6$	1.133	133.674 287	283.420 568	314.848 994	4.790 999 903
$L_n/7$	0.971	127.456 996	278.039 902	310.894 065	4.855 830 968
$L_n/8$	0.85	121.758 816	272.451 703	306.241 509	4.913 478 655
$L_n/9$	0.756	116.498 179	267.368 437	301.190 956	4.973 425 473
$L_n/10$	0.68	111.559 013	262.100 211	295.861 858	5.035 882 131
$L_n/11$	0.618	106.962 897	256.772 32	290.438 777	5.093 130 731
$L_n/12$	0.567	102.718 548	251.491 98	285.063 732	5.145 150 054

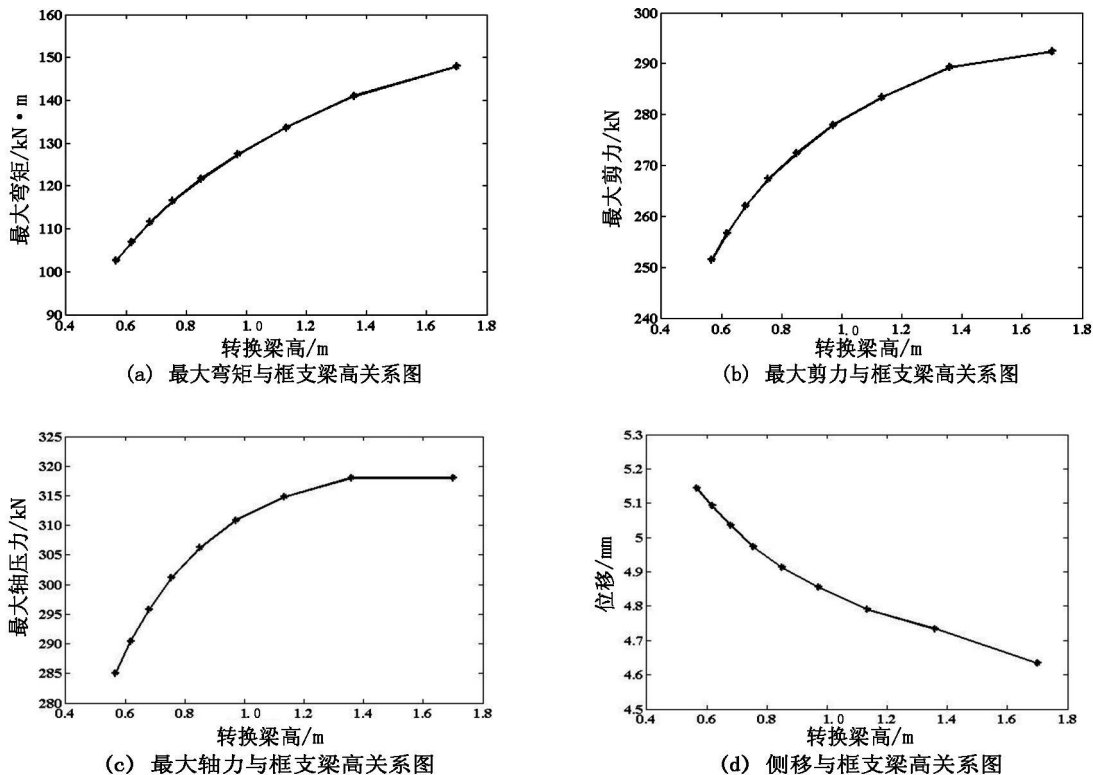


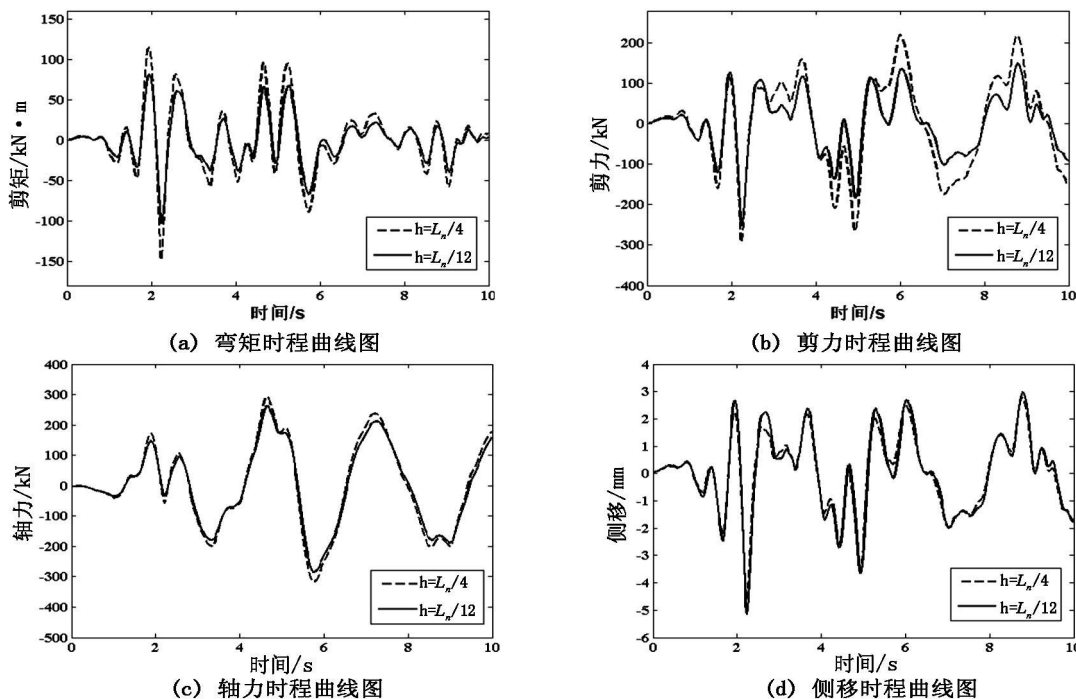
图 6 E 地震波作用分析框支梁高与内力关系

图 6 表明:

(1) 最大弯矩、最大剪力, 最大轴力随框支梁高增大而增大.

(2) 框支楼层侧移随梁高增大而减小, 但最大侧移与最小侧移之差不超过最小侧移的 11%, 可见减小框支梁高对侧移影响不大.

E 地震波作用下框支梁上最大弯矩、最大剪力、最大轴力、最大侧移时程曲线见图 7.



经分析, Taft地震波、宁河地震波作用下, 该结构性能与 EI Centro地震波作用相似.

2 分析结论

文章分析经与中国建筑科学研究院编制设计程序 PKPM 系列的有限元分析模块对比, 发现两者计算结果吻合较好, 说明本文分析结论可靠.

前述分析表明, 框支梁高不超过 $L_n/7$ 时, 竖向荷载作用下框支梁剪力较小, 并且梁高对框支梁剪力影响不大, 最大弯矩与最大轴力均较小, 而挠度与框支梁高较大时比较增大不多; 水平荷载作用下, 当框支梁高不超过 $L_n/7$ 时, 框支梁受内力、框支楼层侧移均较小, 因此建议框支梁高不超过 $L_n/7$ 为宜.

3 结束语

根据前述框支剪力墙的力学性能分析, 得出了框支梁内力、挠度、框支楼层侧移与框支梁高的变化规律, 表明框支梁高不超过 $L_n/7$ 时, 框支梁内力、挠度均较小, 框支楼层侧移增加不大, 能满足结构受力与建筑功能要求. 因此建议框支剪力墙结构中框支梁应设计梁高不超过 $L_n/7$ 为宜.

参考文献:

- [1] 任文锋, 李 芳. 考虑楼板变形时框支剪力墙结构的框支层合理设计研究 [J]. 铁道科学与工程学报, 2008, 5(2): 34-37.
- [2] JGJ 3-2002. 高层建筑混凝土结构技术规程 [S].
- [3] 赵玉祥. 钢筋混凝土高层建筑设计中若干问题的探讨 [J]. 建筑结构学报, 1998, 4(2): 12-22.
- [4] 包世华, 张铜生. 高层建筑结构设计和计算 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [5] 张 敏. 建筑结构抗震分析与减震控制 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2007.

An Analysis of Mechanical Properties of Transforming Beam in Frame-supported Shear Wall

FAN Rong-rong ZHANG Min

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In this paper, the mechanical properties of transforming beam in frame-supported shear wall subjected to vertical load, wind load and seismic action are analyzed. The result indicates that the height of transforming beam may have an extraordinary influence on mechanical properties of the beam. When the cross-section height of the beam may not exceed $1/7$ of its net span, the internal force of the beam may be smaller, and the deflection of the beam and lateral displacement of supporting frame can satisfy the architecture requirements, which can provide practical theoretical basis for the design of beam.

Key words: frame-supported shear wall; transforming beam; span-to-depth ratio; earthquake

(责任编辑:王全金)