

抗震设防烈度对多层混凝土结构性能的影响

贾慧娜¹, 岳高伟¹, 贾立文²

(1. 河南理工大学 土木工程学院, 河南 焦作, 454000; 2. 河南华森建设有限公司, 郑州 450000)

摘要:针对多层混凝土结构底层柱抗震能力较差的问题, 本文采取提高结构的抗震设防烈度方法, 计算分析七度、八度设防下框架梁、柱的轴力、剪力和弯矩。数值结果表明: 提高结构的设防烈度, 梁、柱的弯矩、剪力、轴力均增大, 在底层(第一层)变化最为突出。地震作用下, 结构的破坏形式主要表现为底层柱的破坏, 因而增大建筑设计中的设防烈度可从根本上解决这一问题。

关键词: 多层结构; 减震措施; 抗震性能

中图分类号: TU318

文献标志码: A

文章编号: 1674-4764(2012)S1-0116-04

Influence of seismic fortification intensity for multilayer concrete structure performance

Jia Huina, Yue Gaowei, Jia Liwen

(1. School of Civil Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000 He'nan, China;

2. Henan Hua Sen Construction Limited Company, Zhengzhou 450000)

Abstract: For multilayer concrete structure, the seismic ability of the ground floor column is very poor, improving the seismic fortification intensity of structure is adopted in this paper, the axial force, shear and moment of beam and column are calculated and analyzed in seven degree and eight degree seismic fortification intensity. Numerical results show that with improving the fortification intensity of the structure, the axial force, shear and moment of beam and column increase and the change of the ground floor is the most prominent. In earthquake the destruction of the structure mainly happens in the ground floor column, so this problem is solved fundamentally with increasing fortification intensity in architectural design.

Key words: multilayer structures; vibration-absorptive measures; anti-seismic performance

近年, 由于地震导致的人员伤亡触目惊心, 经济损失无法估量, 而随着经济的发展, 结构物内的装修、非结构构件、信息技术装备等费用往往大大超过结构物的费用, 建筑物的抗震设防问题, 是处于地震设防区域城市建设发展中所面临的一个重要课题。

地震发生时纵波先达横波后至, 而后者是造成灾害的主要原因, 它随结构承载力和刚度的增大而加大, 在高烈度区, 单靠结构的承载力和刚度已不是经济有效的抗震手段^[1]。目前, 提高结构抗震能力的方法主要有: 隔震和减震。基础隔震主要有软垫式隔震、移动式隔震、摆动式隔震、悬吊式隔震, 而层间隔震是一种结构隔震与抗震结合的方法, 上部减震效果在 10%~40% 之间, 隔震效果不及基础隔震。减震主要采用提高结构的阻尼比、采用高延性构件、附设耗能装置等措施^[2-5]。尽管国内外抗震技术已取得了长足的发展, 但这些抗震措施使结构的固有周期延长, 在软弱场地和下部结构变形较大的情况下不宜应用, 尤其是基础隔震造价偏高。

由于地震的不确定性, 实际地震力有时超出设计地震力较多, 从而使地震设计失效^[6]。以“小震不坏、中震可修、大

震不倒”作为设防水准, 按此以保障生命安全为基本的抗震设计理论所设计的既有建筑, 在地震中基本保障了生命安全, 却在地震中导致结构正常使用功能丧失, 从而造成巨大的经济损失^[7]。在这些建筑抗震设计中, 对抗震烈度设计偏低是造成多层建筑损害严重的主要原因^[8-9], 因此, 提高抗震烈度将成为提高结构抗震能力有效的方法。

本文采取提高结构的抗震设防烈度的方法, 对比分析了七度、八度设防烈度下框架梁、柱的轴力、剪力和弯矩等, 表明增大设防烈度对建筑结构抗震能力有较大提高。

1 多层混凝土框架结构的震害分析

根据《2008 年汶川地震建筑灾害图片集》^[10-11], 统计分析表明(见表 1): 框架柱破坏占 67%, 主要表现为底层柱头压碎、主筋压弯、主节点破坏、柱子倾斜、柱脚混凝土脱落等; 节点破坏占 9%, 主要表现为底层框架梁节点剪切斜裂缝、柱节点剪切破坏; 框架梁破坏占 12%, 主要表现为梁变形严重或梁端轻微裂缝, 柱子略有倾斜, 未倒塌; 顶部突出物破坏占 12%, 主要表现为出屋面水箱间、小楼倒塌严重, 柱节点破坏。

表 1 框架结构的震害统计

| 层数 | 破坏情况 | 破坏类型 | 百分比 |
|---------|---------------------------------|---------|-----|
| 2~7 层框架 | 梁变形严重或梁端轻微裂缝,柱子略有倾斜。未倒塌 | 框架梁破坏 | 12% |
| 3~8 层框架 | 底层柱头压碎,主筋压弯,主节点破坏,柱子倾斜,柱脚混凝土脱落等 | 框架柱破坏 | 67% |
| 3~6 层框架 | 底层框架梁节点剪切斜裂缝、柱节点剪切破坏 | 节点破坏 | 9% |
| 3~5 层框架 | 出屋面水箱间、小楼倒塌严重,柱节点破坏 | 顶部突出物破坏 | 12% |

分析可知,对于多层框架结构,导致建筑物倒塌的主要原因因为底层框架柱破坏和柱节点破坏,这也是在抗震设计中要求“强柱弱梁,强剪弱弯,强节点强锚固”^[12-13]的原因。加强底层柱的承载力及节点强度是提高结构抗震能力的关键。

2 算例及分析

2.1 算例简介

本工程为焦作商专办公楼的设计,采用钢筋混凝土框架结构,主体 8 层,建筑物平面为矩形,建筑面积为 14 783.2 m²,建筑高度 26.8 m(室外地坪算起)。基本雪压 S₀ =

0.4 kN/m²,抗震烈度 7 度,设计地震分组为第一组,Ⅱ类场地土,建筑工程等级为二级,建筑类别为二类,耐火等级为二级,抗震等级为二级,设计使用年限 50 年。基本风压 = 0.4,由于层高不大于 4 m、总高度不大于 28 m,风荷载对结构影响较小,故不予考虑。梁、柱统一采用混凝土强度等级为 C30,纵筋采用 HRB400,箍筋采用 HRB335,板筋采用 HRB335 级钢筋。

2.2 计算简图

本文取 8 轴线作为计算模型,平面布置图如图 1。梁截面 350 mm×700 mm 柱截面 700 mm×700 mm。

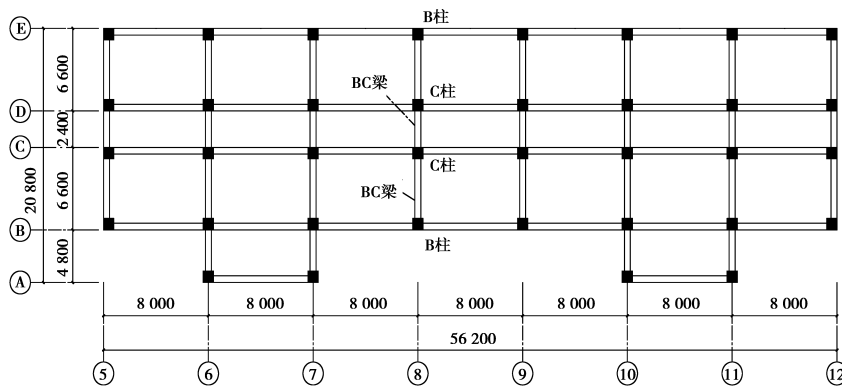


图 1 平面布置图

2.3 基本方程

梁端、柱端弯矩采用弯矩二次分配法计算,首先计算固端弯矩 M_{BC}(左端)

$$M_{BC} = -\frac{1}{12}q_1 l^2 - \frac{1}{12}q_2 l^2 \left[1 - 2 \times \left(\frac{l_1}{l} \right)^2 + \left(\frac{l_1}{l} \right)^3 \right] \quad (1)$$

其中, q₁ 为横梁自重为均布荷载形式, q₂ 为房间和走道板传给横梁的梯形荷载和三角形荷载, l 表示梁的跨度, l₁ 为三角形荷载的长度。

在框架结构中,现浇楼面可以作为梁的有效翼缘,增大梁的有效刚度,减少框架侧移。考虑到这一有利作用,在计算梁的截面惯性矩时,对现浇楼面的边框架梁取 I = 1.5 I₀ (I₀ 为梁的截面惯性矩);对中框架梁取 I = 2.0 I₀, 横向框架柱侧移刚度 D。

$$D = 12ak/h^2 \quad (2)$$

其中, k 为相对线刚度, h 为梁高, k_b 为梁的刚度, k_c 为柱的刚度, k = ∑k_b/2k_c (一般层), k = ∑k_b/k_c (底层); α 是考虑柱上下端节点弹性约束的修正系数 α = k/(2+k) (一般层), α = (0.5+k)/(2+k) (底层)。

顶点位移法是求结构基本频率的一种近似方法,将结构

按质量分布情况简化成无限质点的悬臂直杆,导出以直杆顶点位移表示的基本频率公式,可按下列式求得结构的基本周期 T₁。

$$T_1 = 1.7\alpha_0 \sqrt{\Delta T} \quad (3)$$

其中, α₀ 为基本周期调整系数,考虑填充墙使框架自振周期减小的影响,取 0.7; ΔT 为框架的定点侧移。

水平地震作用下框架结构的层间总位移 Δ_i

$$\Delta_i = \sum_1^{\infty} S_i \quad (4)$$

其中, S_i = ∑G_i/D_i 为层间相对位移, G_i 为第 i 层楼面的重力荷载代表值, D_i 为第 i 层横向框架柱侧移刚度。

水平地震作用下横向框架柱端剪力和弯矩可分别按下式计算:

$$V_{ij} = \frac{D_{ij}}{\sum_{j=i}^s D_{ij}} V_i \quad (5a)$$

$$M_{ij}^b = V_{ij} \cdot y_i h \quad (5b)$$

$$M_{ij}^t = V_{ij} (1 - y) h \quad (5c)$$

$$y = y_n + y_1 + y_2 + y_3 \quad (5d)$$

其中, V_{ij} 为第 i 层第 j 柱所分配的剪力, D_{ij} 为第 i 层第 j 柱的抗侧刚度 D 值, V_i 为外荷载在框架第 j 层所产生的总剪力, M_{ij}^u 、 M_{ij}^l 分别为第 i 层第 j 柱上下柱的弯矩; h 为梁的高度, γ 为反弯点高度修正系数, γ_n 为规则框架承受水平力作用时标准反弯点的高度比, γ_1 、 γ_2 、 γ_3 为上下层横梁线刚度比对 γ_n 的修正值。

梁端弯矩、剪力和柱轴力计算公式分别为:

$$M_b^l = \frac{k_b^l}{k_b^l + k_b^r} (M_{i+1,j}^p + M_{i,j}^r) \quad (6a)$$

$$M_b^r = \frac{k_b^r}{k_b^l + k_b^r} (M_{i+1,j}^p + M_{i,j}^r) \quad (6b)$$

$$V_b = \frac{M_b^l + M_b^r}{l} \quad (6c)$$

$$N_i = \sum_{k=i}^n (V_k^l - V_k^r) \quad (6d)$$

其中, M_b^l 、 M_b^r 分别为节点左、右的梁端弯矩, $M_{i+1,j}^p$ 、 $M_{i,j}^r$ 分别为节点上、下的柱端弯矩, k_b^l 、 k_b^r 分别为节点左、右的梁的线刚度, V_b 为梁的剪力, N_i 为第 i 层柱的轴力, l 为梁的跨度, V_b 为节点左端的剪力, V_i 为节点右端的剪力。

考虑了三种内力组合, 取各组合中内力的最大值。

$$\text{弯矩} \quad M = \gamma_{RE} [1.2(S_{GK} + 0.5S_{QK}) + 1.3S_{EK}] \quad (7a)$$

$$M = 1.35S_{GK} + S_{QK} \quad (7b)$$

$$M = 1.2S_{GK} + 1.4S_{QK} \quad (7c)$$

$$\text{剪力} \quad V = \gamma_{RE} [\eta_{vb} (M_b^l + M_b^r) / l_n + V_{Gb}] \quad (7d)$$

其中 S_{GK} 、 S_{QK} 两列中的梁端弯矩 M 为经过调幅后的弯矩(调幅系数取 0.8)。 S_{GK} 为永久荷载效应标准值, S_{QK} 楼面活荷载效应标准值, S_{EK} 为地震荷载作用标准值, γ_{RE} 为构件承载力抗震调整系数, 对于受弯梁 γ_{RE} 取 0.75, 对于受剪柱 γ_{RE} 取 0.8^[14], l_n 为梁净长, V_{Gb} 为荷载引起的剪力。

3.4 结果及分析

图 2 为 B 柱和 C 柱为 7、8 度设防烈度下不同楼层的轴力。从图 2 可以看出随着楼层增高, 柱轴力(受压)逐渐减小。同一楼层, 柱的轴力 8 度设防烈度时比 7 度设防烈度时大。其中在建筑底层, 增大设防烈度时的轴力急剧增大, 如在 8 级设防烈度时, B、C 柱的轴力分别为 605.2 kN 和 1 386 kN, 分别是 7 级设防烈度时 B、C 柱的轴力 184.59 kN 和 311.92 kN 的 3.28 倍和 4.44 倍, 而框架柱破坏占 67%, 主要表现为底层柱头压碎, 主筋压弯, 主节点破坏, 柱子倾斜, 柱脚混凝土脱落等。

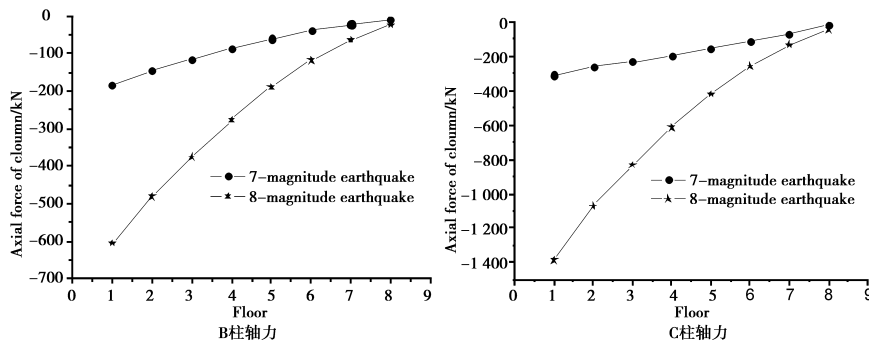


图 2 柱轴力对比

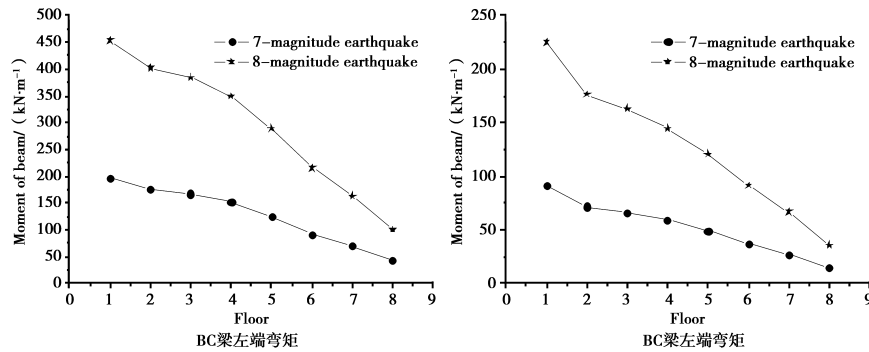


图 3 BC 梁端弯矩

图 3 和图 4 为 7、8 级设防烈度下 BC 梁和 CD 梁左、右端弯矩。从图 3 和图 4 可以看出, 梁端弯矩随着楼层增高, 弯矩逐渐减小。8 级设防烈度下梁弯矩明显比 7 级设防烈度下的要大, 其中底层变化最为突出, 如在 8 级设防烈度时, BC 梁左、右端弯矩分别为 453.42 kN·m 和 225.35 kN·m, 分别是 7 级设防烈度时 BC 梁左、右端弯矩 196.87 kN·m 和

91.32 kN·m 的 2.3 倍和 2.47 倍; CD 梁左、右端弯矩分别为 525.82 kN·m 和 525.82 kN·m, 分别是 7 级设防烈度时 CD 梁左、右端弯矩 234.82 kN·m 和 234.82 kN·m 的 2.24 倍和 2.24 倍。同一楼层, CD 梁左、右端弯矩相等, 这是因为结构以 CD 梁的中线对称, 而框架梁破坏占 12%, 主要表现为梁变形严重或梁端轻微裂缝。

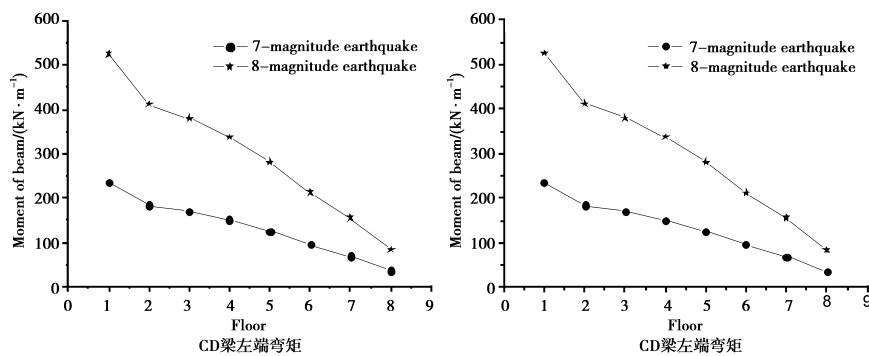


图4 CD梁端弯矩

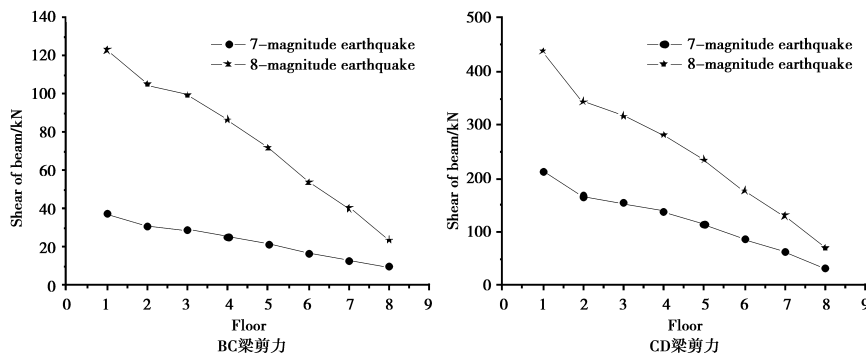


图5 梁端剪力

图5分别为7、8级设防烈度下BC梁、CD梁的剪力。从图5可以看出,BC梁和CD梁的剪力随着楼层增高,剪力逐渐减小。在同一楼层,8级设防烈度下的梁剪力明显比7级设防烈度下的梁剪光大,尤其在底层(第一层),不同设防烈度下的梁剪力变化最大,如BC梁剪力在8级设防烈度下为123.41 kN,是7级设防烈度下梁剪力37.64 kN的3.28倍;CD梁剪力在8级设防烈度下为438.18 kN,是7级设防烈度下梁剪力213.47 kN的2.05倍,节点破坏占9%,主要表现为底层框架梁节点剪切斜裂缝、柱节点剪切破坏。

从图2—图5可以看出,在地震作用下,建筑结构中梁、柱的弯矩、剪力、轴力等发生突变的位置都是在底层(第一层),提高结构的设防烈度,梁、柱的弯矩、剪力、轴力均增大,其中同一层柱轴力增大的幅度最大,并且在底层(第一层)变化最为突出。由多层混凝土结构灾害分析统计知:地震作用下,结构的破坏形式主要表现为底层柱的破坏,因而增大建筑设计中的设防烈度从根本上解决了这一问题。

4 结论

本文根据多层混凝土框架结构的震害统计,在工程实例基础上,采用提高结构的抗震设防烈度的方法,对8度和7度设防下多层混凝土框架结构中梁柱的内力进行计算,数值结果表明:提高结构的设防烈度,梁、柱的弯矩、剪力、轴力均增大,对抗震能力较弱的建筑底层增幅尤为明显,柱的轴力增大3~5倍,梁弯矩增大2~3倍,梁端剪力增大2~3.5倍。对比表明提高设防烈度对底层框架梁柱的抗震能力提高明显,由于导致建筑物倒塌的主要原因是底层框架柱破坏和柱节点破坏,故以提高设防高烈度的方法来提高多层混凝土结构的抗震性能是切实可行的。

参考文献:

- [1] 罗艳. 建筑抗震设防标准优化方法的基础研究[D]. 中国海洋大学,2009.
- [2] 赵宏旭. 高层建筑结构隔震减震技术研究[J]. 湖南科技学院学报,2009,30(8):150-151.
- [3] 江宜诚,唐家祥. 多层框架隔震结构的地震扭转反应分析[J]. 工程抗震,2000,13(2):12-14.
- [4] 周福霖. 工程结构减震控制[M]. 北京:地震出版社,1997.
- [5] 陈昱. 建筑结构隔震技术研究[J]. 山西建筑,2009,35(7):67-68.
- [6] 谢礼立. 2008年汶川特大地震的教训[J]. 中国工程科学,2009,11(6):28-35.
- [7] 王亚勇. 概论汶川地震后我国建筑抗震设计标准的修订[J]. 土木工程学报,2009,42(5):1212.
- [8] 李秀珍,邓红艳.“5·12”汶川地震滑坡特征及失稳破坏模式分析[J]. 四川大学学报:工程科学版,2009,41(3):72-77.
- [9] Wen Y K, Kang Y J. Minimum building life-cycle cost design criteria, I: Methodology and II: Application [J]. Journal of Structural Engineering, 2001; 127(3):330-346.
- [10] 中国建筑科学研究院. 2008年汶川地震建筑震害图片集[M]. 中国建筑工业出版社,2008:80-114.
- [11] 苏幼坡,刘瑞兴. 城市地震避难所的规划原则与要点[J]. 灾害学,2004,19(1):87-91.
- [12] GB 50023—2009, 建筑抗震鉴定标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [13] GB 50223—2008, 建筑工程抗震设防分类标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [14] 中华人民共和国行业标准, 混凝土结构设计规范. GB 50010—2002[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.