

***** 工 程 建 设 *****

技 术 标 准 动 态

对“高规”及“抗规”的几点理解和探讨

黄永贵^{1,2}

(1. 同济大学建筑工程系,上海 200092; 2. 上海申联建筑设计有限公司,上海 200082)

摘 要: 对设计人员经常遇到的“抗规”及“高规”中规范未十分明确的几个常见问题进行了分析和探讨,相关的结论和建议可供设计人员参考。

关键词: 框架; 剪力墙; 轴压比; 倾覆弯矩

SOME COMPREHENSIONS AND DISCUSSION ON “CODE FOR SEISMIC DESIGN OF BUILDINGS” AND “TECHNICAL SPECIFICATION FOR CONCRETE STRUCTURES OF TALL BUILDINGS”

Huang Yonggui^{1,2}

(1. The Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai Shenlian Architecture Design Co. Ltd, Shanghai 200082, China)

Abstract: This paper discusses some problems of “Code for Seismic Design of Buildings” and “Technical Specification for Concrete Structures of Tall Buildings” that are often encountered by designers, those problems are not specified clearly in the codes. The relative conclusions and suggestions may be referred by designers.

Keywords: frame; shear wall; ratio of axial load; overturning moment

1 框架-剪力墙结构倾覆弯矩、框架抗震等级的问题

GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》(2008年版)(以下简称“抗规”)6.1.3.1 框架-抗震墙结构,在基本振型地震作用下,若框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的50%,其框架部分的抗震等级应按框架结构确定,最大适用高度可比框架结构适当增加。“抗规”6.1.2、6.1.3 条文说明:钢筋混凝土结构的抗震措施,包括……当框架-抗震墙结构有足够的抗震墙时,其框架部分是次要抗侧力构件,可按框架-抗震墙结构中的框架确定抗震等级。加“89规范”要求抗震墙底部承受的地震倾覆力矩不小于结构底部总地震倾覆力矩的50%。为了便于操作,本次修订改为在基本振型地震作用下,框架承受的地震倾覆力矩小于结构总倾覆力矩的50%时,其框架部分的抗震等级按框架-抗震墙结构的规定划分。

框架承受的地震倾覆力矩可按下式计算:

$$M_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{ij} h_i$$

JGJ 3—2002《高层建筑混凝土结构技术规程》(以下简称“高规”)8.1.3 抗震设计的框架-剪力墙结构,在基本振型地震作用下,框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的50%时,其框架部分的抗震等级应按框架结构采用,柱轴压比限值宜按框架结构的规定采用;其最大适用高度和高宽比限值可比框架结构适当增加。8.1.3 条文说明:抗震设计时,如果按框架-剪力墙结构进行设计,……最大适用高度和高宽比限值比框架结构放松的幅度,可视剪力墙的数量及剪力墙承受的地震倾覆力矩来确定。非抗震设计时,框架-剪力墙结构中剪力墙的数量和布置,应使结构满足承载力和位移要求。

1.1 关于倾覆弯矩比及框架抗震等级

从“抗规”6.1.3 条文说明中计算公式理解, M_c 应是整个框架结构部分承受的地震倾覆力矩,即结

作 者:黄永贵,男,1974年出生,硕士,国家一级注册结构工程师。

E-mail:529274643@qq.com

收稿日期:2010-01-25

构底层(嵌固部位)的框架部分承受的地震倾覆力矩,而不是某一层框架部分承受的地震倾覆力矩。

然而在实际设计当中,经常会遇到大底盘单塔的框架-剪力墙结构(塔楼剪力墙数量较少),为了满足 GB 50045—95《高层建筑防火规范》的要求,塔楼一般均为偏心布置,计算中,为了减小底部几层刚度中心和质量中心的偏位,在裙房中也会布置相当数量的剪力墙,这就存在一个问题,若按“抗规”6.1.3 及条文说明的规定,结构底层的框架部分承受的地震倾覆力矩比可以满足小于 50% 的规范要求,框架部分的抗震等级可按框架-剪力墙体系确定,而实际上,裙房以上塔楼部分框架部分承受的地震倾覆力矩比均大于 50% (此时该值在 0.5 ~ 0.7,不同于配置少量剪力墙的框架结构),此时若按照框架-剪力墙体系确定框架部分的抗震等级,在地震作用下将偏于不安全。

根据框架剪力墙结构在地震作用下各自的工作特点分析,剪力墙承担的地震倾覆力矩自下而上应由大变小,框架承担的地震倾覆力矩自下而上应由小变大,框架剪力墙结构若抗侧刚度沿竖向均匀没有突变,剪力墙在上部承担地震作用会逐渐减小,因此,“抗规”6.1.3 条中所说的“框架承受的地震倾覆力矩”,对于实际工程当中遇到的单塔或多塔大底盘结构,塔楼为框架剪力墙结构时,根据上述两种意见可分别取裙房大底盘顶标高处或底部加强部位顶标高处来计算塔楼框架部分承担的地震倾覆力矩,并按不利结果来确定框架的抗震等级。

建议框架抗震等级按照以下原则确定:

1) 框架部分地震倾覆力矩百分比小于 50%,即 $M_F/M \leq 0.5$,此时,框架部分的抗震等级及柱轴压比按框架-剪力墙结构中的框架确定。

2) 框架部分地震倾覆力矩百分比在 50% ~ 60%,即 $0.5 \leq M_F/M \leq 0.6$,此时应按 JGJ 3—2002 规范 8.1.3 条和 GB 50011—2001 规范 6.1.3 条要求,框架部分的抗震等级及柱轴压比按纯框架结构确定。

3) 框架部分地震倾覆力矩比大于 60%,小于 75%,即 $0.6 \leq M_F/M \leq 0.75$,此时宜按 2003 年全国民用建筑工程设计技术措施(结构)11.2.4 条“框架-剪力墙结构中,当剪力墙部分承受的地震倾覆力矩小于结构总地震倾覆力矩的 40% 时,尚应按不设剪力墙的框架结构进行补充计算,并按不利情况取值。”此时,应按框架-剪力墙结构和框架结构分别进行计算,框架的抗震等级都按框架结构的抗震等级确定,并按两种情况最不利的计算结果进行后续设计。

4) 框架部分地震倾覆力矩比大于 75%,即 $0.75 \leq M_F/M$,此时结构体系属于含少量剪力墙的框架,框架部分的抗震等级及柱轴压比按纯框架结构确定,计算时应按框架-剪力墙结构满足剪力墙的承载能力和结构整体变形要求,此时剪力墙的抗震等级可从严格按照框架-剪力墙结构确定(也有观点认为:剪力墙配筋按计算要求,当剪力墙计算超筋时,在满足强剪弱弯的前提下按截面的最大配筋率配筋设计。其理由是:设置剪力墙的根本目的是控制框架结构的弹性位移值,使其满足规范对框架结构弹性位移限值的要求,在剪力墙能承担的范围内考虑剪力墙的承载能力要求,因此剪力墙可按其最大承载力要求配筋),同时框架部分还宜满足不计入剪力墙时的框架承载能力要求,位移可取框架剪力墙协同作用的计算结果。

5) 对单塔或多塔大底盘结构,塔楼为框架剪力墙结构时,可分别取裙房大底盘顶标高处或底部加强部位来计算塔楼框架部分承担的地震倾覆力矩,并按照不利结果确定框架的抗震等级。

6) 框架剪力墙结构,剪力墙在上部承担地震作用减少、符合框剪结构的工作特点。框剪结构若抗侧刚度沿竖向没有突变,在底部加强区以上,少数楼层剪力墙承受的总弯矩少于 50%,框架抗震等级可按框剪结构中的框架考虑,注意按框架-剪力墙结构来确定框架的抗震等级的条件是:底部加强区以上,少数楼层剪力墙承受的总弯矩少于 50%。

1.2 关于最大适用高度

框架结构,由于刚度稍差,如剪重比、层间位移与层高之比、位移比等很难满足规定限值,设置少量剪力墙,形成框架-剪力墙结构,当剪力墙分担的地震总倾覆力矩小于 50%,这种含有少量剪力墙的框架,“抗规”6.1.3 条:最大适用高度可比框架结构适当增加。

建议对布置少量剪力墙的框架结构的最大适用高度,可比框架结构的最大适用高度适当提高,提高幅度不超过 20% (该幅度是在框架结构最大适用高度的基础上,增加框架-剪力墙结构最大适用高度与框架结构最大适用高度差值的 20%,而不是将框架结构的最大适用高度直接放大 20%) 且不超过一层。

2 6 度区框架柱柱轴压比问题

关于地震作用的相关条文:

“抗规”1.0.3 条文说明:本规范的适用范围,继续保持“89 规范”的规定,适用于 6~9 度一般的建筑工程。鉴于近数十年来,很多 6 度地震区发生了较大的地震,甚至特大地震,6 度地震区的建筑要适

当考虑一些抗震要求,以减轻地震灾害。

“高规”3.3.1.2 乙、丙类建筑:应按本地区抗震设防烈度计算。3.3.1 条文说明:本条主要引用了规程 JGJ 3—91 曾规定,6 度抗震设防时,除 IV 类场地上较高的建筑外,可不进行地震作用计算。本次修订,鉴于高层建筑比较重要且结构计算分析软件应用较为普遍,因此,规定 6 度抗震设防时也应进行地震作用计算。通过计算,可与无地震作用效应组合进行比较,并可采用有地震作用组合的柱轴压力设计值计算柱的轴压比。

“抗规”及“高规”中关于柱轴压比的定义如下:

“抗规”6.3.7 附注 1:轴压比指柱组合轴压力设计值与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比值,可不进行地震作用计算的结构,取无地震作用组合的轴力设计值。

“高规”6.4.2 附注 1:轴压比指柱考虑地震作用组合的轴压力设计值与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积的比值。

“高规”5.6.5 规定,非抗震设计时,应按本规程第 5.6.1 条的规定进行荷载效应组合。抗震设计时,应同时按本规程第 5.6.1 条和 5.6.3 条的规定进行荷载效应和地震作用效应的组合;除四级抗震等级的结构构件外,按本规程第 5.6.3 条计算的组合内力设计值,尚应按本规程有关规定进行调整。

“高规”5.6.1 无地震作用效应组合时,荷载效应组合的设计值应按下式确定:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \psi_Q \gamma_Q S_{Qk} + \psi_W \gamma_W S_{Wk}$$

“高规”5.6.3 有地震作用效应组合时,荷载效应和地震作用效应组合的设计值应按下式确定:

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_W \gamma_W S_{Wk}$$

从“高规”5.6.1~5.6.4 可以看出,有地震作用组合和无地震作用组合下由于各分项系数以及荷载代表值的取值不一样,它们的荷载效应组合设计值是不一样的,工程计算实例表明,在 6 度区,场地类别较好(II 类或 I 类场地)的地区,此时在设计组合中起控制作用的往往不是地震作用组合,而是无地震作用组合。

比较“抗规”6.3.7 和“高规”6.4.2 可以看出,两者对柱轴压比的定义是不同的,“抗规”中轴压比指柱组合轴压力设计值与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比值,可不进行地震作用计算的结构,取无地震作用组合的轴力设计值。而“高规”中轴压比指柱考虑地震作用组合的轴压力设计值与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积的比值。

对于“高规”6.4.2、7.1.2 以及“抗规”5.1.3,笔者对“高规”及“抗规”的几点理解和探讨——黄永贵

者认为以下两个问题值得探讨:

1) 结合“高规”3.3.1 及其条文说明“通过计算,可与无地震作用效应组合进行比较,并可采用有地震作用组合的柱轴压力设计值计算柱的轴压比”,以 6 度区,场地类别较好(II 类或 I 类场地)的地区,设计组合中起控制作用的是无地震作用组合时的高层建筑为例,按照其条文说明,若与无地震作用效应组合进行比较,应该采用无地震作用组合下柱的轴力设计值来计算柱的轴压比,但“高规”6.4.2 中轴压比限值指柱考虑地震作用组合的轴压力设计值与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积的比值,此时按照无地震作用组合下柱的轴力设计值来计算柱的轴压比是否适用“高规”表 6.4.2 中关于柱轴压比限值的规定,或者说此时表中的轴压比限值对按照无地震作用组合下柱的轴力设计值计算的柱的轴压比的情况是否可以适当放宽。

2) 对于框架-剪力墙结构,框架柱的轴压比参照“抗规”或者“高规”的相关规定可以进行计算,但是对于剪力墙的轴压比,“抗规”6.4.5 以及“高规”7.1.2 关于剪力墙的轴压比均是指在重力荷载代表值作用下墙肢的轴压比,参照“抗规”5.1.3 及其条文说明,“重力荷载代表值 G_E 是指地震发生时恒荷载与其他重力荷载可能的遇合结果的总称”,如前所述,当不计算地震作用时,对于框架柱可以采用无地震作用组合下柱的轴力设计值来计算柱的轴压比,但是此时剪力墙的轴压比如何计算,规范并没有明确定义。实际上,目前应用比较广泛的结构计算软件 PKPM(截止 2006.02 版本),当在 SATWE 前处理计算参数中选择不计算地震作用时,对于框架-剪力墙高层建筑,计算软件在计算结果中只能给出框架柱的轴压比,剪力墙的轴压比均显示为零。这样,设计人员根本无法对剪力墙在有地震作用下的设计组合效应和无地震作用下的设计组合效应进行对比,此时,如何满足“高规”3.3.1 条及其条文说明,如何计算在不考虑地震作用下剪力墙的轴压比,值得探讨。

3 IV 类场地高层建筑及剪跨比 < 1.5 的框架柱轴压比的问题

框架-剪力墙结构,剪力墙轴压比应符合 JGJ 3—2002 规程 7.2.14 条规定,框架柱的轴压比应符合 JGJ 3—2002 规程 6.4.2 条、GB 50011—2001 规范 6.3.7 条的规定。

在实际工程中有些工程为 IV 类场地土,若框架-剪力墙结构柱地震倾覆力矩百分比大于 50%,

且底部少数楼层柱轴压比存在大于规范限值时,部分设计人员通常依据 JGJ 3—2002 规程注 4 及 GB 50011—2001 规范 6.3.7 注 3 的办法提高轴压比,来满足规范要求。但在这种情况下,若柱轴压比再超限,一旦当遭受相当于或大于本地抗震设防烈度的地震影响时,部分剪力墙退出工作,框架柱承担的地震作用将大大增加,柱的抗压能力和抗剪能力将不能承受过大的地震作用而产生严重破坏,给建筑物和人民群众的安全造成严重损害。因此,当遇到上述情况下的框剪结构设计情况时,不应按 JGJ 3—2002 规程注 4 及 GB 50011—2001 规范 6.3.7 注 3 提高轴压比限值,而应按该条正文“对于 IV 类场地土上较多的高层建筑,其轴压比限值应适当减小”的要求减小轴压比限值从严格控制框架柱截面,建议将轴压比的限值减小 0.05~0.1,或进行专门研究后确定。

对于“高规”表 6.4.2 注 3 中,对剪跨比小于 1.5 的柱,轴压比应专门研究并采取特殊构造措施,在实际工程中如何理解及应用。实际设计过程中,如果遇到剪跨比小于 1.5 的柱,宜优先考虑与建筑专业沟通,调整结构布置以改善其受力性能;当无法调整结构设计时,轴压比限值应专门研究,一般情况下可比表 6.4.2 中数值降低 0.1 采用。表 6.4.2 注 4、5 中加强箍筋和纵向钢筋的做法,是比较有效的提高框架柱延性的构造措施之一,可用作剪跨比小于 1.5 的框架柱设计措施。

4 6 度抗震设计四级框架柱轴压比的问题

按 GB 50011 抗震规范 6.3.7 条表 6.3.7 注 5、JGJ 3—2002 规程 6.4.2 条注 7 的说明,柱轴压比不应大于 1.05,但实际工程中,6 度设防、抗震等级为四级的框架结构,柱轴压比是否也不应大于 1.05。

对于该问题,部分专家认为,由于 GB 50011 规范表 6.3.7 中只有抗震等级为一、二、三级的情况,当抗震等级为四级时,对框架柱的轴压比无要求(即延性可放松),但设计时应该满足箍筋配置及加密等构造要求。

虽然“抗规”及“高规”对四级抗震的框架柱的轴压比没有具体规定,但由于轴压比大于 1 以后,随轴压比的增大,纵向受压钢筋的用量将大幅增加,从成本控制角度而言并不是一种经济的方案,应优先从优化结构布置方面调整框架柱的布置,建议四级抗震设计时,将柱轴压比控制不超过 1.2 比较合适。

以浙江省为例,《浙江省建筑抗震设防区钢筋混凝土房屋异型柱结构设计技术措施》第 2.0.15 条中规定:按国家规范规定可不进行抗震验算的结构,

异型柱的轴压比取非抗震设计的轴压力设计值计算,其轴压比限值仍应符合本技术措施表 2.0.14 的规定,可以看出,浙江省对于异型柱要求四级要参照三级轴压比限值。

5 关于大底盘塔楼结构中塔楼布置的问题

“抗规”3.4.1 建筑设计应符合抗震概念设计的要求,不应采用严重不规则的设计方案。

“抗规”3.4.1 条文说明“合理的建筑布置在抗震设计中是头等重要的,提倡平、立面简单对称。因为……才能设计出抗震性能良好的建筑。

本条主要对建筑师的建筑设计方案提出了要求。首先应符合合理的抗震概念设计原则,宜采用规则的建筑设计方案,强调应避免采用严重不规则的设计方案。规则的建筑结构体现在体型(平面和立面的形状)简单,抗侧力体系的刚度和承载力上下变化连续、均匀,平面布置基本对称。即在平面、竖向图形或抗侧力体系上,没有明显的、实质的不连续(突变)。

但《高层建筑防火规范》4.1.7 条规定,高层建筑的底边至少有一个长边或周边长度的 1/4 且不小于一个长边长度,不应布置高度大于 5.00 m、进深大于 4.00 m 的裙房,且在此范围内必须设有直通室外的楼梯或直通楼梯间的出口,该条规定主要是为了满足登高消防云梯车的扑救要求。在实际工程中,此类高层,为满足《高层建筑防火规范》4.1.7 条规定,塔楼大多为偏心布置,结构设计时,通常优先考虑在塔楼、裙房之间设置沉降缝或抗震缝,但这类处理方式,一定程度上影响建筑立面效果,且增加了立面的处理难度,通常不被建筑师接受。

由于大底盘特别是大底盘顶层楼盖是协调各塔楼共同工作的构件,也是结构上下刚度突变的地方,理论研究及试验结果表明,该部位受力复杂,实际震害也证明,在大震情况下,该部位是最先破坏且破坏最严重的部位,因此在结构设计中,应特别注意结构布置及构造加强。

在实际设计工作中遇到大底盘单塔或多塔结构时,应注意与建筑师的沟通,在尽量满足建筑立面及功能的前提下,采取必要的措施(如设缝、调整建筑立面等)把结构布置成对称、规则的体系,并按“高规”4.8.6 的要求加强抗震构造措施。

6 关于设置少量剪力墙的框架结构的设计及计算

设置少量剪力墙的框架结构通常均为多层建筑,也有极少数为高度超过 28 m 的高层建筑,设置的目的在于改善结构动力特性,解决按照纯框架结

构计算难以满足规范的位移及扭转要求,特别在 8 度抗震设防区,多层纯框架的计算位移往往不能满足规范要求,因此,在框架结构内布置少量剪力墙的做法也越来越多。

在纯框架结构中,每片框架的剪力都是下大上小,顶部为零,而在框架-剪力墙结构中,框架所受的剪力却是底部为零,下小上大。纯框架结构的控制部位在下部楼层。而框剪结构中的框架,控制部位在结构中部($x=0.3\sim 0.6$)甚至是顶层,两者的内力分布规律完全相反,因此,对于设置少量剪力墙(如:楼梯间墙、电梯井道墙、设备管道井墙等)的框架结构,必须按框架结构协同工作计算内力(按框架-剪力墙结构进行内力计算^[10]),不应简单按纯框架分析,否则不能保证框架部分的上部楼层的安全,“高规”6.1.7 中也有相关要求。

关于“少量剪力墙的框架结构”的定义,一般可以从框架与剪力墙在层剪力中所占百分比,倾覆弯矩分担百分比(建议当框架的倾覆力矩不小于结构底部倾覆力矩的 75%~80% 时,将其定义为配置少量剪力墙的框架结构)等指标出发,或从框架-剪

力墙结构的刚度特征值系数 $\lambda = H \sqrt{\frac{C_f}{EI_w}}$ 来定义,其中 C_f 为框架抗推刚度, EI_w 为总剪力墙刚度, λ 为综合框架与综合剪力墙刚度之比的参数,称为框架-剪力墙结构刚度特征值。

$\lambda=0$ 时为纯剪结构, $\lambda=\infty$ 为纯框架结构, $0 < \lambda \leq 1$ 时,框架的作用很小,框架-剪力墙结构的位移曲线基本上为弯曲线,剪力墙为主要抗侧构件;当 $\lambda \geq 6$ 时,框架的抗侧作用明显,成为主要抗侧构件,结构位移曲线变成剪切型,此时应以框架结构的抗震指标来限制结构的布置和设计较合理;当 $1 < \lambda < 6$ 时,结构的位移曲线介于两者之间,下部略带弯曲线,而上部略带剪切型,呈反 S 型,称为弯剪型变形,此时可按框架-剪力墙结构进行设计;当 $5 \leq \lambda < 6$ 时,此时剪力墙的作用较小,可按设置少量剪力墙的框架结构考虑。

关于设置少量剪力墙的框架结构的设计:

总的原则为根据结构体系概念和抗震设计的要求适当调整剪力墙的数量和布置(可参考“高规”6.1.7 的原则),从结构的内力分析和破坏过程来进行设计,从而在结构概念上把握设计措施,尽可能优先采用概念清晰,受力、体系明确且抗震性能较好的框架-剪力墙结构,当必须采用设置少量剪力墙的框架结构时,应主动提前与施工图审查单位沟通,以利于设计开展,审图通过。

由于剪力墙侧移刚度远较框架大,需要分担较大的地震剪力,故在剪力墙的设计上存在“放”和“抗”两种不同的观点:采用“放”的设计方式,即剪力墙按构造要求配筋,意味着地震时破坏是由墙开始的,因为剪力墙只用来加强框架结构,满足规范对框架结构在多遇地震下结构的弹性层间位移角限值要求,亦即用的只是剪力墙的弹性刚度,它只与 EI 有关,而与结构开裂以后的弹塑性刚度无关,该点有别于框架-剪力墙结构中的剪力墙(作为第一道防线);采用“抗”的方式,即剪力墙加强配筋或按最大配筋率配筋,意味着地震时框架先于剪力墙而破坏,此时只要设计中保证剪力墙及与之相连的周边框架不破坏,则结构局部或整体坍塌的可能性将大大减小。

建模计算时,可分别按 1) 框架-剪力墙结构、2) 纯框架结构(取消剪力墙)计算,且同时按照纯框架结构(取消剪力墙)验算框架结构在罕遇地震下的弹塑性位移并满足规范的要求。

对于计算结果,位移可按框架-剪力墙结构的计算结果采用,框架的抗震等级按纯框架结构确定,配筋按 1)、2) 的计算结果进行包络设计。关于剪力墙,抗震等级按框架-剪力墙结构中的剪力墙确定,配筋可按 1) 的计算结果及四级抗震构造要求进行包络设计,此时,在剪力墙及连梁计算结果超筋的情况下,可按最大配筋率配筋。

关于层间位移角的控制,建议根据剪力墙所承担的地震倾覆力矩的比值采用分级控制法,即当剪力墙承受的地震倾覆力矩不小于 50% 时,取为 1/800,当剪力墙承受的地震倾覆力矩为 0 时,取为 1/550,中间数值采用内插法确定。

参考文献

- [1] 朱炳寅. 建筑结构设计规范应用图解手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 136-139, 337-338.
- [2] 朱炳寅. 配置少量剪力墙的框架结构 [J]. 建筑结构, 2007(5): 3-5.
- [3] 全国民用建筑工程设计技术措施(结构) [S]. 北京: 2003.
- [4] 侯善民. 结构施工图审查技术问题 [R]. 南京市建筑设计研究院, 2008: 2-3.
- [5] 中国建筑科学研究院建筑工程软件研究所上海分所. PKPM 系列结构分析伸入应用专题讲座 [M]. 2006: 60-70.
- [6] JGJ 3—2002 高层建筑混凝土结构技术规程 [S].
- [7] GB 50011—2001 建筑抗震设计规范: 2008 年版 [S].
- [8] 方鄂华, 韦宇宁. 大底盘多塔楼结构地震反应 [J]. 建筑结构学报, 1995(6): 19-36.
- [9] 扈志恒. 关于框架加少量剪力墙结构抗震设计的探讨 [J]. 建筑结构, 2004(3): 70-71.