

一向少墙的高层钢筋混凝土结构的结构体系研究

魏 琰, 王 森, 曾庆立, 陈兆荣

(深圳市力鹏工程结构技术有限公司, 深圳 518034)

[摘要] 对一向少墙的高层钢筋混凝土结构的结构体系进行探讨, 提出结合层剪力比判别结构体系的方法, 并对少墙方向的结构抗侧力体系的组成进行了分析, 以 X 向为少墙结构为例, 指出了 X 向抗侧力体系包括 X 向布置的剪力墙、 X 向梁柱组成的框架、 Y 向墙和楼板组成的扁柱-楼板框架, 并建议限制扁柱-楼板框架承担的抗侧力, 而由剪力墙和梁柱框架承担全部水平地震作用。

[关键词] 结构体系; 层剪力比; 梁柱框架; 扁柱-楼板框架; 抗震设计

中图分类号: TU375 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2017)01-0023-05

Study on structural system of high-rise RC building with few shear walls in one direction

Wei Lian, Wang Sen, Zeng Qingli, Chen Zhaorong

(Shenzhen Li Peng Structural Engineering Technology Co., Ltd., Shenzhen 518034, China)

Abstract: The structural system of high-rise building with few shear walls in one direction was studied, and the method to identify the structural system combined with story shear ratio was put forward. The composition of the lateral resistant system of the structure in the direction with few shear walls was analyzed. Taking the structure with few shear walls in X direction as an example, the X -direction lateral resistant system consists of X -direction shear wall, X -direction beam-column frame and X -direction flat column-slab frame. It is suggested that the lateral force undertaken by the flat column-slab frame should be limited, the shear wall and the beam-column frame should bear all the horizontal seismic actions.

Keywords: structural system; story shear ratio; beam-column frame; flat column-slab frame; seismic design

0 前言

近年来, 由于建筑住宅户型的创新出现了在建筑一个方向剪力墙较多而在另一个方向剪力墙稀少的新型高层建筑结构, 这类结构在少墙方向的抗震安全性迄今尚未得到完全论证。随着城市的发展, 土地的缺少, 住宅层数逐渐增多, 有的达到 150~180m, 甚至更高, 这一问题引起了人们的担忧。这类一向少墙结构的结构体系如何判别、其抗侧力如何传递、抗震安全性如何保证是工程界亟待解决的问题。本文对此进行分析论述, 并对这类结构提出设计建议。

1 高规^[1]关于剪力墙结构的主要规定

关于剪力墙结构的基本组成, 高规^[1]7.1.1 条明确规定, 剪力墙结构“平面布置宜简单、规则, 宜沿两个主轴方向或其他方向双向布置”, “抗震设计时, 不应采用仅单向有墙的结构布置”。关于剪力墙结构体系的判别, 高规^[1]8.1.3 条规定, 根据规定水平力作用下结构底层框架部分承受的地震倾覆力矩 M_{1f} 与结构总地震倾覆力矩 M_0 的比值大小来判别是否可作为剪力墙结构体系, 具体如表 1 所示。

剪力墙所承受的地震倾覆力矩与结构总地震倾覆力矩的比值可由下式确定:

$$\xi_{1w} = M_{1w}/M_0 = 1 - M_{1f}/M_0 = 1 - \xi_{1f} \quad (1)$$

式中: ξ_{1w} 、 ξ_{1f} 分别为底层剪力墙、底层框架部分占的倾覆力矩比; M_{1w} 、 M_{1f} 、 M_0 分别为底层剪力墙、底层框架部分倾覆力矩以及结构的底层总倾覆力矩。

当 $\xi_{1w} > 0.9$ 时或 $\xi_{1f} \leq 0.1$ 时, 剪力墙结构才能成立。

以上规定明确了剪力墙结构必须是双向均有足够的剪力墙, 且结构底层的框架部分承受的倾覆力矩比 $\xi_{1f} \leq 0.1$ 或剪力墙承受的倾覆力矩比 $\xi_{1w} > 0.9$ 才能按剪力墙结构进行设计, 否则应按框架-剪力墙结构进行设计。

2 判别剪力墙结构的层剪力比

通过近年来的设计实践发现: 1) 剪力墙结构的倾覆力矩比受组成剪力墙的位置是否靠近质心位置关系较大, 同样截面尺寸的剪力墙靠近平面的两端时, 其倾覆力矩远大于其位置在靠近质心时, 这对于剪力墙数量不是很多的剪力墙结构体系判别有较大影响; 2) 剪力墙结构的倾覆力矩比在结构不同高度楼层是有变化的, 仅由结构底层的倾覆力矩比来判断剪力墙结构体系有时不够全面。

考虑到剪力墙结构在地震作用下剪力墙抗剪的重要性以及上述两个因素, 本文建议补充采用结构的层剪力比来对剪力墙结构体系进行判别, 定义第 i

作者简介: 魏琰, 研究员, Email: wl2002111@163.com。

高规剪力墙结构判别条件

表 1

框架部分倾覆力矩比	结构体系	框架抗震等级选取	剪力墙抗震等级选取
不大于 10%	剪力墙结构	按框架-剪力墙结构的框架	按剪力墙结构
大于 10% 但不大于 50%	框架-剪力墙结构	按框架-剪力墙结构的框架	按框架-剪力墙结构
大于 50% 但不大于 80%	框架-剪力墙结构	按框架结构	按框架-剪力墙结构
大于 80%	框架-剪力墙结构	按框架结构	按框架-剪力墙结构

注: 框架、剪力墙的抗震等级同时与结构高度相关, 具体可按照高规 3.9.3 条。

层剪力墙的层剪力比^[2]为:

$$u_{iw} = V_{iw}/V_i \quad (2)$$

框架部分的层剪力比为:

$$u_{if} = V_{if}/V_i = 1 - u_{iw} \quad (3)$$

式中: u_{iw} 、 u_{if} 分别为第 i 层剪力墙、框架部分的层剪力比; V_{iw} 、 V_{if} 、 V_i 分别为第 i 层剪力墙、框架部分层剪力以及第 i 层的层总剪力。

由于剪力墙在结构底层的层抗侧刚度大于以上楼层的层抗侧刚度^[3], 同样位置和尺寸面积的剪力墙在底层的层剪力比会远大于其上楼层剪力墙的层剪力比, 反映了上部楼层剪力墙和框架部分的层剪力比相互关系的变化, 表明剪力墙层剪力比由底层向上的变小是由框架部分在抗侧中所起的作用向上逐渐增大引起的。

由此看来, 同时采用倾覆力矩比和剪力比来判别剪力墙结构的结构体系会更为合理和妥善。参照规范对于倾覆力矩比的规定, 建议剪力墙层剪力比大于 0.9 或框架部分层剪力比不大于 0.1 时, 即 $u_{iw} > 0.9$ 或 $u_{if} \leq 0.1$ 时, 按剪力墙结构进行设计, 否则按框架-剪力墙结构进行设计。剪力墙底层倾覆力矩比和层剪力比计算结果有差异时, 取较小值; 当剪力墙层倾覆力矩比和层剪力比在结构上部楼层变化较大, 尤其是层剪力比变小很多时, 应更多关注上部楼层框架部分的抗侧作用。

3 少墙方向结构体系的判别

对于一向少墙的钢筋混凝土结构, 由于另一方向剪力墙很多, 一般设计单位未经判别结构体系, 就将整个结构按剪力墙结构进行设计是不妥的; 而现行软件分析结果不能发现这类结构在少墙方向的抗震承载能力可能存在的问题, 所以按照常规的设计方法进行设计实际上可能存在安全隐患。

由此可见, 对于一向少墙的钢筋混凝土高层结构, 不能将整体结构作为剪力墙结构考虑, 应首先对少墙方向的结构体系进行判别, 未经判别即简单按剪力墙结构考虑是不妥的。现行软件计算模型中剪力墙均按壳元处理, 在整体分析中已考虑剪力墙平面外刚度, 但程序中并没有对剪力墙面外的抗震承载能力进行计算, 因而现程序按剪力墙结构进行整体分析验算的结果是存在缺漏的。

这类高层建筑结构在多墙的一向(简称 Y 向)按剪力墙设计基本符合规范要求, 按照式(1)、(2)进行判别一般能符合剪力墙结构的条件, 但少墙一向(简称 X 向)未加分析按剪力墙结构考虑是没有根据的。计算表明, 在水平力作用下, 少墙一向的变形特征与剪力墙结构的变形特征有较大差别, 它包含了较多框架变形特征。研究表明, 少墙一向结构在 X 向的抗侧力体系由三部分组成: X 向布置的剪力墙、 X 向梁和柱(含剪力墙端柱)组成的框架、 Y 向墙和楼板组成的扁柱楼板框架。现行软件计算时均已考虑这三部分抗侧力体系的刚度, 结构的最大层间位移角结果往往能满足要求, 但框架部分的设计并未明确按框架-剪力墙结构中的框架考虑, 且并未验算扁柱楼板框架的抗侧承载力, 因此这样的设计在一定情况下可能存在安全隐患。

为了解决上述问题, 首先需分析明确少墙一向的结构体系。少墙一向不符合剪力墙结构的条件, 又与一般框架-剪力墙结构不同, 存在着梁柱框架、扁柱楼板框架两种不同框架参与 X 向的抗侧作用。因此要明确 X 向的结构体系应首先明确两种框架尤其是扁柱楼板框架参与抗侧作用的程度, 为此引入以下三个判别系数。

采用剪力比法进行判别则少墙一向结构的剪力比, 由以下三部分组成:

剪力墙部分:

$$\mu_{iw} = V_{iw}/V_i \quad (4)$$

梁柱框架部分:

$$\mu_{if} = V_{if}/V_i \quad (5)$$

扁柱楼板框架部分:

$$\mu_{iwf} = V_{iwf}/V_i \quad (6)$$

以上三部分和为:

$$\mu_{iw} + \mu_{if} + \mu_{iwf} = 1.0 \quad (7)$$

式中: u_{iw} 为 X 向剪力墙在 X 向的第 i 层剪力比; u_{if} 为 X 向框架柱在 X 向第 i 层剪力比; u_{iwf} 为 Y 向剪力墙在 X 向的第 i 层剪力比。

少墙结构的 u_{iw} 一般小于 0.9, 在少墙方向不符合剪力墙结构的条件, 应按照框架-剪力墙结构进行设计; 由于存在梁柱和扁柱楼板两种框架的抗震作用, 应进一步明确两种框架各自的抗侧作用。从抗

侧设计角度考虑,扁柱楼板框架是较弱的抗侧结构,设计时应采取措施限制其承受较大的侧力。

当扁柱框架剪力比小于 0.05 时,可不考虑少墙方向剪力墙和楼板的面外受力,这是根据两方向均为剪力墙结构时给出的数据;当扁柱框架剪力比大于 0.05 时,应考虑剪力墙面外及相应楼板的抗侧承载力。在竖向荷载作用下,当相邻楼板跨度相差较大或荷载相差较大时,计算楼板支座的弯矩时需考虑剪力墙面外刚度的影响。有关扁柱框架中楼盖的计算及加强措施将另有专文讨论。

4 两种框架中柱尺寸的确定

为了顺利进行结构设计,需确定梁柱框架和扁柱楼板框架两种框架中柱的位置及尺寸,参照高规^[1]7.1.6 条的规定,建议对以下七种情况 Y 向墙在 X 向起柱作用时,柱尺寸按照以下方法确定:1) Y 向一字墙墙端有梁时(图 1(a)),梁柱框架的柱宽度 $L_c = \max(2b_b, b_b + h_w)$,柱高度同墙厚 h_w ,其中 b_b 为梁宽度;2) Y 向一字墙墙端梁位置内移 b_1 时(图 1(b)),梁柱框架的柱宽度 $L_c = \max(b_1 + 2b_b, b_1 + b_b + h_w)$,柱高度同墙厚 h_w ;3) Y 向墙中部有梁时(图 1(c)),梁柱框架的柱宽度 $L_c = \max(2b_b, b_b + 2h_w)$,柱高度同墙厚 h_w ;4) Y 向墙有端柱时(图 1(d))端扁柱楼板框架的柱宽度 $L_c = \max(h_w, 300)$,柱高度同墙厚 h_w ;5) Y 向墙无梁端时(图 1(e))端扁柱楼板框架的柱宽度 $L_c = \max(h_w, 300)$,柱高度同墙厚 h_w ;6) Y 向墙墙端与 X 向墙相连时(图 1(f))墙端柱宽度 $L_c = \max(h_w, 300)$,柱高度同墙厚 h_w ;7) Y 向墙墙端有小墙肢时(图 1(g))墙端柱宽度 $L_c = \max(h_w, 300)$,柱高度同墙厚 h_w 。以上 Y 向墙中部无梁段的宽度可定义为扁柱楼板框架的中扁柱宽度。

5 框架抗震设计方法

根据第 4 节方法确定的柱与相应梁组成的框架,可按照规范关于框架-剪力墙结构中的框架的相关计算方法及规定进行设计。

按第 4 节方法确定的柱与相应梁组成的框架可按照规范关于框架-剪力墙结构中的框架的相关计算方法及规定进行设计。Y 向墙无梁墙段形成的扁柱楼板框架,其抗侧承载能力的计算应包括 Y 向剪力墙(扁柱)及楼板的抗侧承载力计算两项内容。其设计方法尚待研究完善。由于扁柱楼板框架是一种较弱的抗侧结构,设计时宜采取措施限制其承担的抗侧力。

从概念上而言,在 X 向起到框架作用的扁柱楼板框架在 Y 向是剪力墙,在 Y 向是主要的抗侧力构

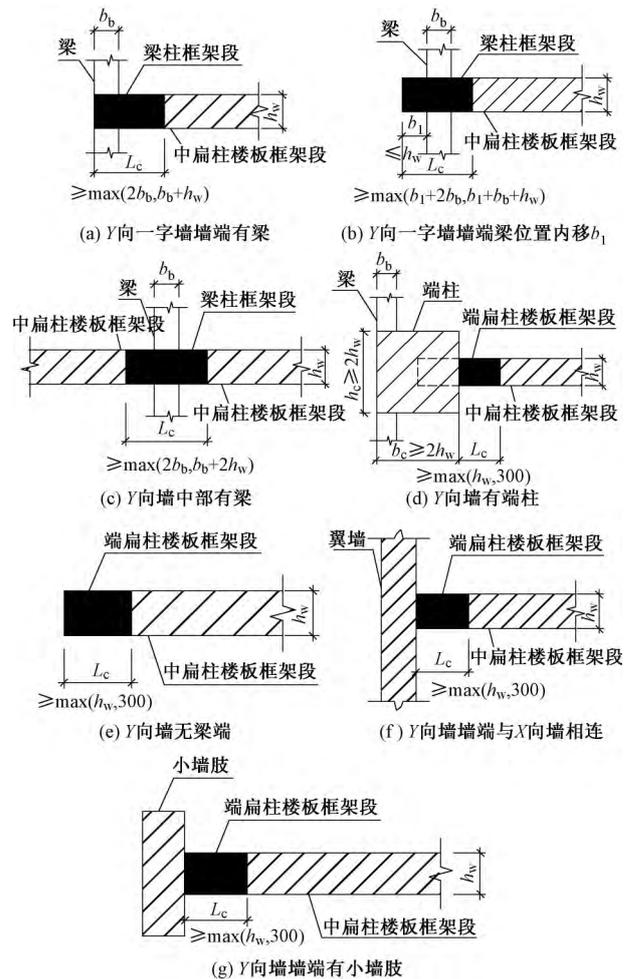


图 1 Y 向墙在 X 向起柱作用的七种情况

件,因此尚应注意避免扁柱楼板框架体系的破坏对另外一向剪力墙造成的不利影响,故设计时宜增设必要的剪力墙和加强 X 向梁、柱(含剪力墙端柱)框架的刚度,以控制扁柱楼板框架底层的剪力比在 0.1 之内,同时将剪力墙和梁柱框架设计成共同承担全部水平地震作用。

6 案例分析

6.1 案例概况

案例一、案例二的结构平面布置图见图 2,案例一、案例二均共 45 层,标准层层高 3m,总高度为 135m。案例二与案例一的区别是案例二在 X 向两端增设了 6 片 X 向剪力墙。本工程抗震设防烈度为 7 度(0.1g),设计地震分组为第一组,基本风压为 0.75 kN/m^2 。结构 X 向(纵向)长为 38m, Y 向(横向)长为 12.7m,长宽比为 2.99,高宽比为 10.63。楼面附加恒载为 2.0 kN/m^2 ,活载为 2.5 kN/m^2 。图中未注明板厚均为 100mm。外框梁尺寸为 400×800 ;内框梁尺寸为 300×800 ;连梁宽度同墙厚,高均为 800mm,其他构件详情见表 2。

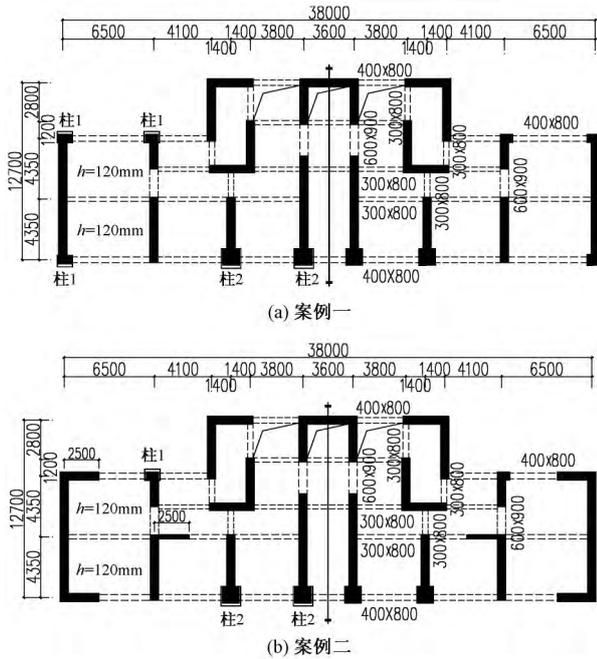


图2 案例结构平面布置图

上部结构的设计参数 表2

楼层	柱1尺寸/mm	柱2尺寸/mm	墙厚/mm	混凝土强度等级
31~45	400×600	800×800	400	C40
16~30	500×750	1000×1000	500	C50
1~15	600×900	1200×1200	600	C60

根据本文第4节柱宽度确定方法,采用ETABS建模时,扁柱楼板框架体系除了端柱采用柱单元模拟以外,其余扁柱段采用壳单元分段模拟;对于墙端有端柱的情形,端部框架柱段建模时的长度取为 $L_c + 0.5b_c$ 。

6.2 案例一 X 向结构体系判别

采用高规^[1]的规定水平力,通过ETABS计算分析,分别统计了X向少墙结构各抗侧力体系的倾覆力矩比、剪力比。其中,由于《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)^[4]6.1.3条规定的倾覆力矩计算方法存在内力不平衡的不合理因素,采用物理意义更明确的力学方法计算各抗侧力体系承担的倾覆力矩。计算得到各抗侧力体系的倾覆力矩比以及剪力比如图3、图4所示。

图3表明X向剪力墙的倾覆力矩比在底层约为0.1,随着楼层的增加其占比略有减小;梁柱框架倾覆力矩比在底层约为0.53;扁柱楼板组成的抗侧力体系层倾覆力矩比在底层约为0.37,随着楼层的增加其占比略有增大。根据层倾覆力矩比的判别方法,案例一X向的结构体系应定为框架-剪力墙结构,不能按照剪力墙结构进行设计。

图4表明X向剪力墙的剪力比在底层为0.55,

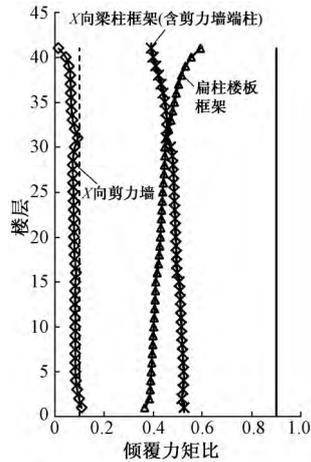


图3 案例一倾覆力矩比

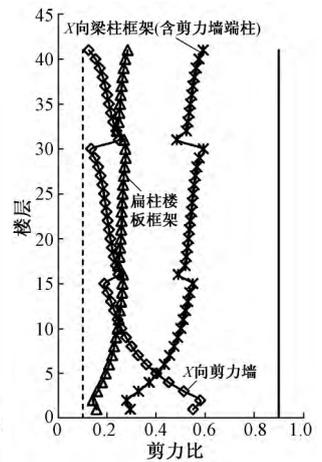


图4 案例一剪力比

随着楼层的增加其占比逐渐减小;梁柱框架的剪力比在底层为0.29,随着楼层的增加其占比逐渐增大;扁柱楼板框架剪力比在底层为0.16,应考虑剪力墙面外和楼板的受力和承载力验算,并采取加强配筋构造措施,也可适当增设X向剪力墙和加强梁柱框架刚度,使该剪力比降低,以减小剪力墙和楼板面外受力的影响。

6.3 案例二 X 向结构体系判别

案例二计算得到各抗侧力体系的倾覆力矩比以及剪力比如图5、图6所示。

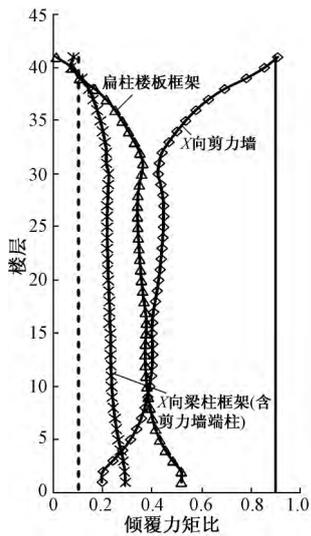


图5 案例二倾覆力矩比

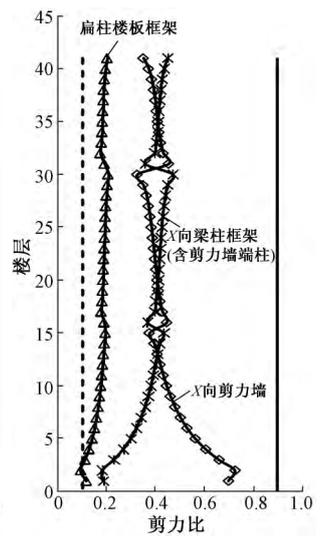


图6 案例二剪力比

图5表明X向剪力墙的倾覆力矩比在底层约为0.19,随着楼层的增加其占比逐渐增大;梁柱框架倾覆力矩比在底层约为0.29;扁柱楼板组成的抗侧力体系倾覆力矩比在底层约为0.52,随着楼层的增加其占比逐渐减小。根据倾覆力矩比的判别方法,案例二X向的结构体系应定为框架-剪力墙结构,不能按照剪力墙结构进行设计。

图 6 表明, X 向剪力墙的剪力比在底层为 0.69, 随着楼层的增加其占比逐渐减小; 梁柱框架的剪力比在底层为 0.19, 随着楼层的增加其占比逐渐增大; 扁柱楼板框架剪力比在底层为 0.12, 应考虑剪力墙面外和楼板的受力和承载力验算, 并采取加强配筋构造措施, 也可适当增设 X 向剪力墙和加强梁柱框架刚度, 使该剪力比降低, 以减小剪力墙和楼板面外受力的影响。

6.4 Y 向结构体系判别

计算结果表明, Y 向剪力墙的倾覆力矩比 ξ_{1w} 、剪力比 μ_{1w} 均大于 0.9, 所以 Y 向可按照剪力墙结构进行设计。

7 结论

(1) 应按 X 向剪力墙承受的层剪力比判断一向少墙结构的结构体系。当底层剪力比大于 0.9 时, 属于剪力墙结构, 当比值不大于 0.9 时, 不属于剪力墙结构, 应按照框架-剪力墙结构进行设计。

(2) 当 X 向剪力墙底层剪力比不大于 0.9 时,

属于框架-剪力墙结构。为了判别扁柱楼板框架所起的作用, 建议当扁柱楼板框架的剪力比小于 0.05 时, 可不考虑剪力墙面外及相应楼板的抗侧作用, 并由剪力墙和梁柱框架承担全部水平地震作用; 当扁柱楼板框架的剪力比大于 0.05 时, 应考虑剪力墙面外和楼板的受力及配筋设计。

(3) 当扁柱楼板框架的剪力比大于 0.1 时, 建议适当增设剪力墙和加强梁柱框架刚度, 使该剪力比适当降低, 以减弱剪扁柱楼板框架承担的抗侧作用。

参 考 文 献

[1] 高层建筑混凝土结构技术规程: JGJ 3—2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
 [2] 魏珺, 孙仁范, 王森, 等. 高层框筒结构框架部分剪力比的研究[J]. 深圳土木 & 建筑, 2014, 43(3): 23-30.
 [3] 魏珺, 王森, 孙仁范, 等. 高层建筑结构层侧向刚度计算方法的研究[J]. 建筑结构, 2014, 44(6): 4-9.
 [4] 建筑抗震设计规范: GB 50011—2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

《建筑结构》征订启事

2017 年全年期刊(24 本正刊+4 本减震技术通讯) 注: 因平邮丢失现象严重, 且后期无法跟踪, 建议选用挂号		432 元/套(每期挂号) 360 元/套(每期平邮)	
2016 年全年期刊(24 本正刊+4 本减震技术通讯)		360 元/套	
正刊合订本 (不含技术通讯)	2015 年(2016 年 4 月出版, 400 元, 上中下三册)		
	2014 年(2015 年 3 月出版, 400 元, 上中下三册)		
	2013 年(2014 年 3 月出版, 400 元, 上中下三册)		
	2012 年(2013 年 2 月出版, 200 元, 上下两册)		
	2010 年(2011 年 3 月出版, 160 元, 上下两册)		
	2009 年(2010 年 3 月出版, 160 元, 上下两册)		
	2008 年(130 元, 上下两册)	2007 年(130 元)	2006 年(95 元)
2005 年(95 元)	2004 年(70 元)	2003 年(70 元)	
光盘	2006~2010 年, 200 元/盘	2001~2005 年, 1991~2000 年, 1975~1990 年, 均为 150 元/盘	1975~2010 年一套(共 4 张盘) 优惠价 530 元
2016 年上半年增刊(第五届建筑结构抗震技术国际会议论文集)(上下册)		500 元	
2015 年下半年增刊(2015 城市地下空间综合开发技术交流会论文集)		300 元	
2015 年上半年增刊(第五届全国建筑结构技术交流会论文集)(上下册)		500 元	
2014 年下半年增刊(第四届建筑结构抗震技术国际会议论文集)		400 元	
2014 年上半年增刊(第二届大型建筑钢与组合结构国际会议论文集)		400 元	
2013 年下半年增刊(含城市地下空间综合开发研讨会论文专栏)		300 元	
2013 年上半年增刊(第四届全国建筑结构技术交流会论文集)(上下册)		500 元	
2012 年上半年增刊(建筑结构抗震技术国际论坛论文集)		300 元	
2012 年下半年增刊(建筑结构高峰论坛——复杂建筑结构弹塑性分析技术研讨会论文集)		200 元	
2011 年上半年增刊(第三届全国建筑结构技术交流会论文集) 简刻光盘版		150 元	

汇款方式: 银行帐号: 110908001310606; 开户行: 招商银行北京东三环支行; 单位名称: 亚太建设科技信息研究院有限公司。

注: 也可直接在《建筑结构》网站上通过支付宝完成付款、订购等事宜。联系方式: 010-57368777。

银行汇款后请将下列信息撰写完整后, 连同汇款底单一起传真至 010-57368781 或 Email 至 faxing@cadg.cn。

姓名: _____; 通信地址: _____ 省 _____ 市 _____; 邮编: _____; 手机: _____; Email: _____; 订阅内容: _____; 总金额: _____ 元; 发票抬头: _____ (如需增值税专用发票请特别说明)。

《建筑结构》微信小店上线啦! 扫描右侧微信小店二维码或者点击《建筑结构》官方微信(微信号: BuildingStructure)下方菜单栏中的“微信小店”直接选购喜欢的商品! 更多商品会陆续上线, 欢迎关注!

