

张波, 陈学良, 杨晓宁, 邱利军, 李宗超, 2021. 新区划图双参数调整对剪力墙结构土建成本的影响. 震灾防御技术, 16 (2): 339—345. doi: 10.11899/zzyf20210212

新区划图双参数调整对剪力墙结构土建成本的影响¹⁾

张波^{1,2)} 陈学良¹⁾ 杨晓宁³⁾ 邱利军²⁾ 李宗超¹⁾

1) 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

2) 河北建筑工程学院, 土木工程学院, 河北张家口 075000

3) 中土大地国际建筑设计有限公司, 石家庄 050000

摘要 考虑到《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015) (中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等, 2016), 提出了双参数调整原则, 即对场地地震动峰值加速度和反应谱特征周期进行同时调整, 以确定设计地震动反应谱, 这势必会增加结构的土建成本。因此, 基于 II 类场地, 对抗震设防烈度 7 度 (0.15 g) 的剪力墙结构在不同场地类别下的地震动参数进行推导。采用单一控制变量法, 对某 12 层剪力墙结构按不同抗震设防烈度和不同场地类别进行设计, 使其满足规范最低标准, 计算相应的钢筋和混凝土材料用量; 根据现时市场定额, 比较分析单一地震动参数变化时的土建成本, 研究结果可为工程实践提供一定参考。

关键词: 地震动峰值加速度 反应谱特征周期 剪力墙结构 抗震设防烈度 场地类别 土建成本

Influence of Double Parameters Adjustment in New Zoning Map on Cost of Construction of Shear Wall Structure

Zhang Bo^{1,2)}, Chen Xueliang¹⁾, Yang Xiaoning³⁾, Qiu Lijun²⁾ and Li Zongchao¹⁾

1) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

2) Hebei University of Architecture, School of Civil Engineering, Zhangjiakou 075000, Hebei, China

3) Zhongtu International Architectural Design Co., LTD, Shi Jiazhuang 050000, China

Abstract The National Standard GB 18306—2015 “Seismic Ground Motion Parameter Zonation Map of China” that is implemented in 2016 put forward a principle of double parameter adjustment. The design ground motion response spectrum is determined by adjusting the peak ground acceleration and the characteristic period of response spectrum. This will cause the construction cost of structure to increase. Therefore, based on the site II, the paper derived seismic parameters of different design intensity 7 (0.15 g) under different site classifications. A 12-story shear wall residential building is designed by using PKPM that is a structural design software. It is designed in different protect intensity and different site classification, which meets the minimum standard of the code. And also, the amount of the reinforcement and concrete is calculated. Then, according to the current market quota, the cost of civil engineering with the change of single ground motion parameters is compared and analyzed. Some useful conclusions are obtained and it provides reference for engineering practice.

Key words: Ground motion peak acceleration; Characteristic cycle of response spectrum; Shear wall structure; Protect intensity; Site classification; Construction cost

1 基金项目 国家自然科学基金 (51978633); 国家重点研发计划 (2019YFC1509403); 中国地震局地球物理研究所基本科研业务专项 (DQJB21Z15); 河北省教育厅 2018 年度河北省高等学校科学研究项目 (Z2018021); 张家口市科技计划项目 (2021028D)

[收稿日期] 2020-11-30

[作者简介] 张波, 女, 生于 1989 年。在读博士研究生。主要从事工程结构抗震及混凝土理论方面的研究。E-mail: xiaobotd@126.com

[通信作者] 邱利军, 男, 生于 1987 年。讲师。主要从事工程结构及变形数据处理方面的研究。E-mail: qiulijun@126.com

引言

历次破坏性地震的相关统计分析论证了房屋及建筑物倒塌是造成人员伤亡的主要原因,因此,根据地震区划图对工程结构进行合理的抗震设防是必要的。2016年实施的《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2016)相对于2001年版区划图(国家质量技术监督局,2004)变化很大,其以抗倒塌为编图的基本原则,采用双参数调整原则,提出“四级地震作用”,并取消不设防区,全国设防参数整体提高。抗震设防烈度、地震动峰值加速度、反应谱特征周期和反应谱平台值等地震动参数的改变均会影响工程结构的土建成本。

目前关于工程结构的抗震设防研究以设防烈度的影响居多。韩森等(2009)和张海等(2016)分析比较了不同抗震设防烈度下6层框架结构土建成本,发现提高抗震设防烈度会增加土建成本。韩森等(2010b)和谈一评等(2010)均研究了10层框架——剪力墙结构在不同抗震设防烈度下,土建造价的异同;韩森等(2010a)和孟祥良等(2018)研究表明剪力墙结构随着抗震设防烈度的提高,其相应的土建成本会增加;袁丽等(2013,2014)分别研究了砖混结构和框架结构农居在不同抗震设防烈度下的工程造价,并分析了提高抗震设防烈度造成增加土建成本的原因。而场地类别改变对工程造价影响的研究较少。场地条件的改变不仅影响地震动加速度反应谱特征周期,也会影响地震动峰值加速度,进而影响反应谱平台值(李小军等,2001;吕悦军,2008;李小军,2013;刘晓东,2015),这必定对工程结构的土建成本产生影响。张海等(2016)对比分析了改变场地类别对框架结构土建成本的影响。目前,剪力墙结构因刚度大、抗震能力强,成为高层住宅小区常用的结构形式,这是本文研究新区划图双参数调整对剪力墙结构土建成本影响的出发点。本文选取典型的钢筋混凝土剪力墙结构,分别研究在抗震设防烈度和场地类别单一地震动参数改变时的土建成本改变量,从而为其在新一代区划图下的工程概预算提供借鉴,有助于《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2016)的推广应用。

1 工程概况

某工程为地上12层、地下1层的钢筋混凝土剪力墙结构,位于唐山市乐亭县。工程实际抗震设防烈度为7度;设计基本地震加速度为 $0.15g$;设计地震分组为第三组;场地类别为II类,非液化场地,场地特征周期 T_g 为 $0.45s$;基本风压为 $0.4kN/m^2$;地面粗糙度为B类;基本雪压为 $0.4kN/m^2$;结构安全等级为二级;建筑抗震设防分类为丙类;结构环境类别:地下室和地上梁板墙柱外侧为二b类,地上梁板墙柱内侧为一类,地下室梁板墙柱内侧为二a类。建筑总高度 $33.6m$,其中地下室层高为 $3m$,标准层层高为 $2.8m$,13层层高为 $2.2m$ (机房层)。各种工况下的楼板厚度均相同,其中地下室顶板厚 $180mm$,标准层板厚 $100、130mm$,12层及机房层顶板厚 $120mm$ 。混凝土强度等级为C30,钢筋级别为HRB400。在分析抗震设防烈度和场地类别改变对土建成本的影响时,不包括地基基础的成本变化。

利用PKPM软件进行结构设计计算,结构建模、荷载输入、内力计算、内力组合、截面设计及构造设计等均符合规范(中华人民共和国住房和城乡建设部等,2010,2011;中华人民共和国住房和城乡建设部,2011)允许范围内。在计算分析过程中,严格控制某些限制条件(如层间位移角、周期比、层刚度比、刚重比、剪重比、轴压比等),使其更接近规范限值要求。标准层平面布置如图1所示。

2 不同抗震设防烈度下土建成本计算分析

工程结构造价主要包括土建、设备和装修成本。通常随着工程结构抗震设防烈度的提高,其所承受的水平地震作用相应地提高,进而导致土建成本增加,但对设备和装修成本的影响较小。因此,改变单一地震动参数时仅考虑土建成本的变化,此时土建成本的增加主要是钢筋和混凝土的材料使用成本。仅考虑不同抗震设防烈度下材料的使用量和使用成本,并比较提高一个设防烈度时土建成本的增加值以及增加比例。

不同抗震设防烈度下的剪力墙结构抗震等级及抗震构造措施抗震等级(中华人民共和国住房和城乡建设部等,2010)如表1所示。不同抗震设防烈度下的结构基本自振周期根据《高层建筑混凝土结构技术规程》第4.3.17条(中华人民共和国住房和城乡建设部,2011)的规定,并由SATWE结果文件(WZQ.OUT)得到。绘制II类场地时,不同抗震设防烈度下的多遇地震动地震影响系数曲线如图2所示。

在不同抗震设防烈度下对所建立的模型进行反复调试、计算和配筋。在规范允许范围内,各结构构件选

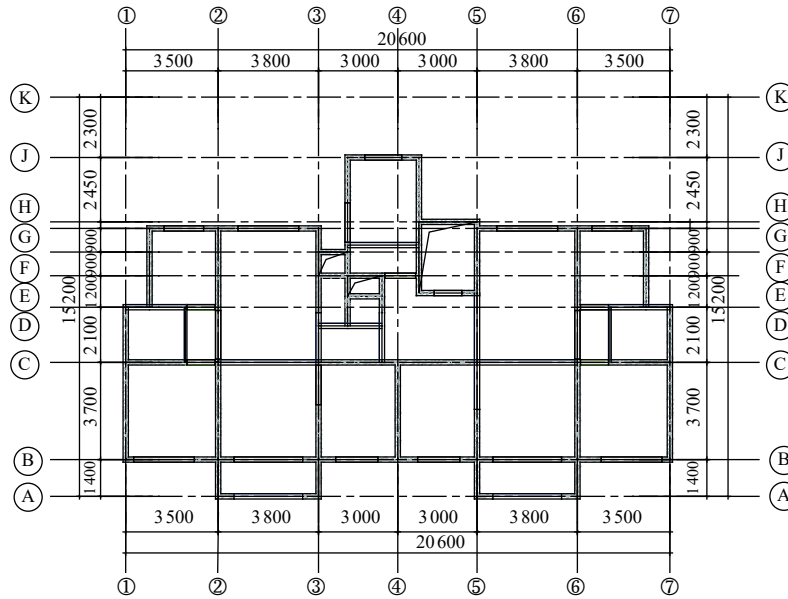


图 1 结构平面布置图

Fig. 1 The plan layout of structure

表 1 剪力墙结构抗震等级及抗震构造措施的抗震等级 (II 类)

Table 1 Seismic grade of shear wall structure and seismic structural measures (site II)

设防烈度	6度 (0.05 g)	7度 (0.1 g)	7度 (0.15 g)	8度 (0.2 g)	8度 (0.3 g)
抗震等级	四级	三级	三级	二级	二级
抗震构造措施抗震等级	四级	三级	三级	二级	二级

取及截面尺寸的确定均按规范最小允许值确定，从而得到不同抗震设防烈度下的抗震墙墙厚，如表 2 所示。

利用 SATWE 模块分析计算剪力墙结构在抗震设防烈度分别为 6 度 (0.05 g)、7 度 (0.1 g)、7 度 (0.15 g)、8 度 (0.20 g) 和 8 度 (0.30 g) 时的钢筋和混凝土用量，按现时市场定额对材料成本进行分析。钢筋价格为 5400 元/t，C30 混凝土价格为 580 元/m³，材料取废系数按 1.3 取值。计算得到剪力墙结构单位土建成本增加值及增加比例，如表 3 所示。

由表 3 可知，抗震设防烈度由 6 度 (0.05 g) 提高至 8 度 (0.3 g) 时，剪力墙结构抗震等级提高，通过增加抗震墙厚度和增大配筋率可提高其抗震能力。整体上看，随着设防烈度的提高，剪力墙结构单位土建成本增大。当设防烈度为 7 度 (0.15 g) 以下，抗震设防烈度每提高 1 度，单位土建成本增加值为 50 元以下；当设防烈度由 7 度 (0.15 g) 提高至 8 度 (0.2 g)、由 8 度 (0.2 g) 提高至 8 度 (0.3 g) 时，单位土建成本增加值已达 80 元以上，增幅较大。在低烈度区，抗震设防烈度每提高 1 度，单位土建成本增加比例较小，基本上在 15% 以内；但在高烈度区设防烈度由 7 度 (0.15 g) 提高至 8 度 (0.2 g) 和由 8 度 (0.2 g) 提高至 8 度 (0.3 g) 时，单位土建成本增加比例已达 19% 以上，说明此时通过改变抗震墙厚度和增大配筋率提高结构抗震能力无法达到“最经济”。由图 2 可知，随着抗震设防烈度的增大，剪力墙结构基本振型所对应的地震影响系数逐步增大，所受的地震作用增大，故抗震墙厚度增加，抗震承载力提高，土建成本增加。加大抗

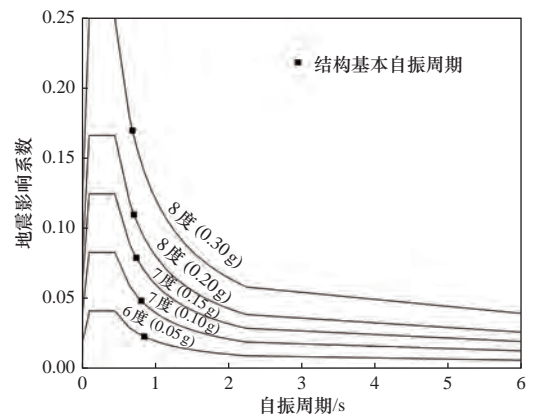


图 2 不同抗震设防烈度的地震影响系数曲线 (II 类)

Fig. 2 Seismic influence coefficient curve with different design intensity (site II)

表 2 不同设防烈度下的抗震墙墙厚 (II 类)

Table 2 The thickness of shear walls with different design intensity(site II)

抗震设防烈度	层数 (该层抗震墙厚度/mm)
6 (0.05 g)	-1 (250, 180), 1 (200, 180), 2~12 (160), 13 (160)
7 (0.1 g)	-1 (250, 200), 1 (200, 180), 2~12 (180), 13 (180)
7 (0.15 g)	-1 (250), 1 (250, 200), 2~12 (200), 13 (200)
8 (0.2 g)	-1 (300, 250), 1 (300, 250), 2 (250), 3~12 (250, 220), 13 (250, 220)
8 (0.3 g)	-1 (300), 1~2 (300), 3~12 (300, 220), 13 (300, 220)

表 3 不同设防烈度下主要建材用量和成本分析 (II 类)

Table 3 The construction cost and comparison of different design intensity(site II)

设防烈度	6度 (0.05 g)	7度 (0.1 g)	7度 (0.15 g)	8度 (0.2 g)	8度 (0.3 g)
总建筑面积/m ²	2567.6	2567.6	2567.6	2567.6	2567.6
混凝土总用量/m ³	672.3	746	766.3	981.8	1106.2
钢筋总用量/t	44820	54410	78820	75070	96820
单位土建成本 /元·m ⁻²	320.0	367.8	407.3	493.6	589.6
设防烈度等级提高	6 (0.05 g) → 7 (0.1 g)	7 (0.1 g) → 7 (0.15 g)	7 (0.15 g) → 8 (0.2 g)	8 (0.2 g) → 8 (0.3 g)	—
单位土建成本增加 /元·m ⁻²	47.9	39.5	86.2	96.0	—
增加比例/%	15.0	10.7	21.2	19.4	—

震墙厚度虽会导致结构的刚度增大, 抗震能力提高, 但会导致结构质量增加, 进一步导致结构水平地震作用增大。

3 不同场地类别下土建成本计算分析

考虑场地类别对土建成本的影响时, 首先考虑场地类别对剪力墙结构抗震等级及抗震构造措施抗震等级的影响。本工程抗震设防分类为丙类, 场地类别为 II 类 (中华人民共和国住房和城乡建设部, 2008), 根据《建筑抗震设计规范》第 6.1.2 条 (中华人民共和国住房和城乡建设部等, 2010) 查询 II 类场地剪力墙结构抗震等级和抗震构造措施抗震等级, 并根据第 3.3.2 条和 3.3.3 条进行调整, 结果表 4 所示。不同场地类别下结构基本自振周期依据《高层建筑混凝土结构技术规程》第 4.3.17 条 (中华人民共和国住房和城乡建设部, 2011) 的规定, 并由 SATWE 结果文件 (WZQ.OUT) 得到。绘制抗震设防烈度为 7 度 (0.15 g) 时, 不同场地类别下多遇地震动地震影响系数曲线, 如图 3 所示。

表 4 剪力墙结构抗震等级及抗震构造措施抗震等级 (0.15 g 区)

Table 4 Seismic grade of shear wall structure and seismic structural measures (zone 0.15 g)

场地类别	I ₀	I ₁	II	III	IV
抗震等级	三级	三级	三级	三级	三级
抗震构造措施抗震等级	四级	四级	三级	二级	二级

在不同场地类别下对所建立的模型进行反复调试、计算和配筋。在规范允许范围内, 抗震墙截面尺寸均按规范最小允许值确定, 得到不同场地类别下抗震墙厚度, 如表 5 所示。

场地条件对土建成本的影响还表现在其对地震动的影响, 即场地类别影响地震动参数, 进一步影响地震作用。场地类别的改变不仅影响地震动加速度反应谱特征周期, 还影响反应谱平台值和地震动峰值加速度。新区划图考虑到这一点, 给出了反应谱特征周期按场地类别的调整值, 并指出非 II 类场地的地震动峰值加速度和水平地震影响系数最大值应按照 II 类场地予以修正, 且给出调整系数。查阅《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015) (中华人民共和国质量监督检验检疫总局等, 2016) 和《中国地震动参数区划图》宣

贯教材（高孟潭，2015）得到场地类别分别为 I_0 类、 I_1 类、II 类、III 类和 IV 类时，地震动加速度反应谱特征周期、基本和多遇地震动峰值加速度及水平地震影响系数最大值，如表 6 所示。

利用 PKPM 的 SATWE 模块分析计算时，不同场地类别下地震动参数取值按表 6 选取。分析计算时，通过调整水平地震影响系数最大值实现不同场地类别分区峰值加速度的调整。分别计算相同结构在不同场地类别下的主要建材用量，按现时市场定额对材料成本进行分析。钢筋价格为 5400 元/t，C30 混凝土价格为 580 元/ m^3 ，且材料取废系数按 1.3 取值。当场地类别等级提高时，土建成本增加值及增加比例计算结果如表 7 所示。

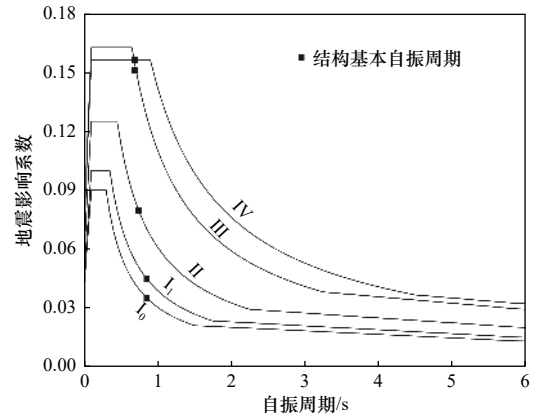


图 3 不同场地类别下地震影响系数曲线 (0.15 g 区)

Fig. 3 Seismic influence coefficient curve with different sites (zone 0.15 g)

表 5 不同场地类别下抗震墙墙厚 (0.15 g 区)

Table 5 The thickness of shear walls in different sites(zone 0.15 g)

抗震设防烈度	层数 (该层抗震墙厚度/mm)
I_0	-1 (250, 180), 1 (200, 180), 2~12 (160), 13 (160)
I_1	-1 (250, 180), 1 (200, 180), 2~12 (160), 13 (160)
II	-1 (250), 1 (250, 200), 2~12 (200), 13 (200)
III	-1 (300), 1~2 (300), 3~12 (300, 220), 13 (300, 220)
IV	-1 (300), 1~2 (300), 3~12 (300, 220), 13 (300, 220)

表 6 反应谱特征周期、地震动峰值加速度和水平地震影响系数最大值 (0.15 g 区)

Table 6 The characteristic cycle of response spectrum, ground motion peak acceleration and platform value of response spectrum (zone 0.15 g)

场地类别	I_0	I_1	II	III	IV
特征周期/s	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90
基本地震动峰值加速度/g	0.113	0.125	0.150	0.173	0.165
多遇地震动峰值加速度/g	0.036	0.040	0.050	0.065	0.063
水平地震影响系数最大值 α_{max}	0.090	0.100	0.125	0.162	0.156

由表 7 可知，场地类别改变对土建成本的影响不可忽视。场地类别由 I_0 类提高至 IV 类，剪力墙结构受地震作用影响增强，通过增大抗震墙截面尺寸和配筋率可提高其抗震能力。整体上看，随着场地类别的提高，对剪力墙结构抗震越来越不利，导致单位土建成本增大。由 I_0 类提高至 I_1 类、由 III 类提高至 IV 类，单位土建成本增幅分别为 1.2 元和 1.1 元，增幅较小。结合图 3 可知，原因在于 I 类场地是较好的坚硬场地，且由 I_0 类提高至 I_1 类，结构基本振型所对应的水平地震影响系数变化不大；同理，III 类和 IV 类场地中结构的水平地震影响系数变化幅度较小，故土建成本变化不明显。而由 I_1 类提高到 II 类和由 II 类提高到 III 类，单位土建成本增幅较大，增加比例达到 27% 以上。再结合图 3，场地类别由 I_1 类提高到 II 类和由 II 类提高到 III 类时，基本振型所对应的水平地震影响系数增幅较大，地震作用增幅较大，从而导致土建成本增加，以提高抗震承载力。总之，软弱场地对地震动有放大作用，且场地类别越高放大作用越明显，反应谱特征周期越大地震动低频长周期成分越明显，对高层建筑结构的影响越大。为避免共振效应或烈度异常区的出现，应对 III 类或 IV 类场地上的结构自振周期加以控制。

表 7 不同场地类别下主要建材用量和成本分析 (0.15 g 区)
Table 7 The construction cost and comparison of different sites (zone 0.15 g)

场地类别	I ₀	I ₁	II	III	IV
总建筑面积/m ²	2567.60	2567.60	2567.60	2567.60	2567.60
混凝土总用量/m ³	672.30	672.30	825.10	1106.20	1106.20
钢筋总用量/t	44.65	45.09	60.36	93.32	93.74
单位土建成本 /元·m ²	319.50	320.70	407.30	580.00	581.10
场地类别改变	I ₀ →I ₁	I ₁ →II	II→III	III→IV	—
单位土建成本增加 /元·m ²	1.2	86.6	172.7	1.1	—
增加比例/%	0.38	27.0	42.4	0.20	—

4 结论

基于《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等, 2016), 本文对抗震设防烈度为 7 度 (0.15 g) 的剪力墙结构在不同场地类别下的地震动参数加以修正, 并给出了不同场地类别下的地震影响系数曲线。选取某 12 层剪力墙结构, 利用 PKPM 建模, 采用单一控制变量法, 对比分析了不同抗震设防烈度及不同场地类别下土建建材用量和单位土建成本增加值及增加比例, 得出以下结论: (1) 当工程结构抗震设防烈度提高时, 在低烈度区, 土建成本增加幅度较小, 可在土建成本较小增加的前提下, 使设防水准提高 1 个等级; 在高烈度区, 土建成本增加幅度大, 这说明在高烈度区采用改变构件截面尺寸和配筋率提高结构抗震能力无法达到“最经济”。(2) 场地类别对土建成本的影响不容忽视, 可直接影响反应谱特征周期和地震动峰值加速度, 进而影响设计反应谱形状, 影响地震影响系数, 从而对地震作用产生影响。(3) 对高层建筑结构进行设计时, 应考虑结构自振周期与场地特征周期相协调, 以避免共振效应或烈度异常区的出现。

参考文献

- 高孟潭, 2015. GB 18306—2001《中国地震动参数区划图》宣贯教材. 北京: 中国标准出版社.
- 国家质量技术监督局, 2004. GB 18306—2001 中国地震动参数区划图. 北京: 中国标准出版社.
- The State Bureau of Quality and Technical Supervision, 2004. GB 18306—2001 Seismic ground motion parameter zonation map of China. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- 韩淼, 刘健兵, 高孟潭, 2009. 地震设防水准对典型框架土建成本的影响. *震灾防御技术*, 4(2): 209—214.
- Han M., Liu J. B., Gao M. T., 2009. Effect of protect standard on typical framework cost. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, 4(2): 209—214. (in Chinese)
- 韩淼, 那国坤, 2010a. 设防水准对剪力墙结构工程造价的影响. *工程抗震与加固改造*, 32(6): 137—140.
- Han M., Na G. K., 2010a. Effect of design intensity on construction cost of shear wall structure. *Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting*, 32(6): 137—140. (in Chinese)
- 韩淼, 李守静, 2010b. 设防水准对框架-剪力墙结构工程造价的影响. *工程抗震与加固改造*, 32(6): 132—136.
- Han M., Li S. J., 2010b. Effect of design intensity on construction cost of frame-shear wall structure. *Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting*, 32(6): 132—136. (in Chinese)
- 李小军, 彭青, 刘文忠, 2001. 设计地震动参数确定中的场地影响考虑. *世界地震工程*, 17(4): 34—41.
- Li X. J., Peng Q., Liu W. Z., 2001. Consideration of site effects for determination of design earthquake ground motion parameters. *World Earthquake Engineering*, 17(4): 34—41. (in Chinese)
- 李小军, 2013. 地震动参数区划图场地条件影响调整. *岩土工程学报*, 35(S2): 21—29.
- Li X. J., 2013. Adjustment of seismic ground motion parameters considering site effects in seismic zonation map. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 35(S2): 21—29. (in Chinese)
- 刘晓东, 2015. 新版国家标准《中国地震动参数区划图》(GB 18306-2015)的主要变化. *中国标准导报*, (9): 23—26.

- 吕悦军, 彭艳菊, 兰景岩等, 2008. 场地条件对地震动参数影响的关键问题. *震灾防御技术*, **3**(2): 126—135.
- Lv Y. J., Peng Y. J., Lan J. Y., et al., 2008. Some key problems about site effects on seismic ground motion parameters. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, **3**(2): 126—135. (in Chinese)
- 孟祥良, 张海, 尤红兵等, 2018. 抗震设防烈度对剪力墙结构土建成本的影响分析. *世界地震工程*, **34**(1): 1—8.
- Meng X. L., Zhang H., You H. B., et al, 2018. Influence analysis on cost of double parameter adjustment of new district drawing on shear wall structure. *World Earthquake Engineering*, **34**(1): 1—8. (in Chinese)
- 谈一评, 杨文旻, 2010. 提高建筑抗震设防烈度对土建造价的影响. *四川建筑科学研究*, **36**(4): 193—194.
- 袁丽, 王婧, 陈圆圆, 2013. 不同抗震设防标准对框架结构农居工程造价的影响. *自然灾害学报*, **22**(6): 104—109.
- Yuan L., Wang J., Chen Y. Y., 2013. Influence of different seismic fortification criteria on cost of frame structures of rural residence project. *Journal of Natural Disasters*, **22**(6): 104—109. (in Chinese)
- 袁丽, 王婧, 陈圆圆等, 2014. 砖混结构农居工程造价受抗震设防标准的影响分析. *地震工程学报*, **36**(1): 153—157.
- Yuan L., Wang J., Chen Y. Y., et al., 2014. Influence of seismic fortification criterions on the cost of rural residential projects of brick-concrete structure. *China Earthquake Engineering Journal*, **36**(1): 153—157. (in Chinese)
- 张海, 肖凯, 尤红兵等, 2016. 新区划图双参数调整对框架结构土建成本的影响分析. *世界地震工程*, **32**(4): 150—156.
- Zhang H., Xiao K., You H. B., et al, 2016. Influence of double parameters adjustment in new zoning map on cost of construction of frame structure. *World Earthquake Engineering*, **32**(4): 150—156. (in Chinese)
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2016. GB 18306—2015 中国地震动参数区划图. 北京: 中国标准出版社.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration Committee, 2016. GB 18306—2015 Seismic ground motion parameters zonation map of China. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2008. GB 50223—2008 建筑工程抗震设防分类标准. 北京: 中国建筑工业出版社.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, 2008. GB 50223—2008 Standard for classification of seismic protection of building constructions. Beijing: China Architecture & Building Press. (in Chinese)
- 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2010. GB 50011—2010 建筑抗震设计规范. 北京: 中国建筑工业出版社.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2010. GB 50011—2010 Code for seismic design of buildings. Beijing: China Architecture & Building Press. (in Chinese)
- 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2011. JGJ 3—2010 高层建筑混凝土结构技术规程. 北京: 中国建筑工业出版社.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, 2011. JGJ 3—2010 Technical specification for concrete structures of tall building. Beijing: China Architecture & Building Press. (in Chinese)
- 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2011. GB 50010—2010 混凝土结构设计规范. 北京: 中国建筑工业出版社.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2011. GB 50010—2010 Code for design of concrete structures. Beijing: China Architecture & Building Press. (in Chinese)