

发表于《特种结构》2009年第4期

地震受损框架建筑抗震性能评价方法的探讨

Discussion on the seismic evaluation method for damaged frame in earthquake

张瀑 鲁兆红 淡浩

Zhangpu Luzhaohong Danhao

(四川省建筑科学研究院 四川 成都 610081)

(Sichuan Institute of Building Research, Chengdu, Sichuan 610081)

摘要: 地震受损建筑的抗震性能评价是地震后开展建筑物修复、加固及提高其抗震能力的关键, 现行的鉴定方法应用于该类建筑时存在明显的不足。结合已有的研究成果及汶川地震建筑物震害的特点, 探讨适当的既有地震受损建筑抗震能力评价方法是必要的。本文在调查研究的基础上, 提出了受损混凝土建筑物的抗震性能评价方法, 通过实际工程的抗震性能评价表明该方法的结论是可行的。

关键词: 地震受损建筑 抗震性能评价

Abstract: The seismic evaluation is a key that repairing and strengthening building, and improving seismic capacity. The current authenticate method is obviously insufficient. So it is necessary to discuss the seismic evaluation method for damaged frame in earthquake combining with the already existing research and the earthquake damage features in Wenchuan, and this paper proposed the seismic evaluation method based on investigation and research.

Key words: damaged frame in earthquake, seismic evaluation

1 概述

5. 12 汶川地震造成烈度为 6 度以上的受灾区域达到 44 万平方公里, 在广大的受灾区域中有数千万平方米的建筑物受到影响, 造成了不同程度的损伤。如何恰当的评价该类建筑的实际抗震能力, 是指导地震受损建筑物的修复、加固及提高其抗震能力的关键。国内在建筑抗震性能方面进行了大量研究, 形成了较完整的设计方法, 而且经过地震的考验证明按其要求建设的建筑具有足够的抗震能力; 在既有建筑的抗震能力评价方面, 目前主要应用的方法是规范对比法和抗震鉴定标准鉴定法, 两种方法均有其特定的适用对象, 灾区大量的既有建筑物应用上述两种方法进行鉴定时具有明显的局限性。

因此, 在既有规范标准的基础上, 如何结合已有的研究成果及国内外抗震鉴定方法实际应用状况, 考虑汶川地震建筑物震害的特点, 研究适当的既有地震受损建筑抗震能力评价方法, 恰当地评价其实际抗震能力, 以期使地震受损建筑物的修复、加固及提高建筑抗震能力具有合理的安全性、经济性是必要的。

2 现行抗震鉴定方法存在的问题

我国现行抗震鉴定标准的目标是确保结构在遭受到相当于设防烈度的地震作用时，一般不致倒塌伤人或砸坏重要生产设备，经修理后仍可继续使用。其目标的表述明显低于现行的建筑抗震设防目标；其次，抗震鉴定标准采用两级鉴定方法逐级筛选的程序，若结构满足第一级鉴定的各项要求即可不进行第二级鉴定。这种处理方式主要是为了简化鉴定程序，减少鉴定工作量，但第一级鉴定仅针对建筑物中较少的构造措施进行核查，由此判定建筑物能够达到现行鉴定标准的设防目标是一种过于粗略的处理方式；而且该方法中仅对填充墙的有利影响进行了考虑，而未考虑填充墙刚度对建筑物的不利影响。因此，按建筑抗震鉴定标准所做的结论可能过高的估计了建筑抗震能力。

采用现行抗震设计规范对既有建筑物进行抗震性能评价时，由于既有建筑的实际设计使用寿命不足 50 年，完全采用现行抗震设计规范来对既有建筑进行抗震性能评价时，如不考虑延长既有建筑的使用年限，按照该方法所作出的评价结论其要求实际上已高于新建项目，明显存在不合理之处。

两种主要鉴定方法所针对的对象并未区别建筑物是否遭受过地震的影响，因此，并未考虑建筑物在地震中实际损伤程度，也未考虑建筑物经历地震作用后，施工质量缺陷的不确定性减少。

3 地震受损建筑的特点

地震对于建筑物而言是一种作用，在地震的作用下，建筑物必然会作出响应，地震损伤就是地震对建筑物作用的具体表现。

地震受损建筑物一般具有以下几个特点：1) 建筑可能出现局部损伤或破坏；2) 结构体系的缺陷会加重建筑的地震损伤；3) 施工存在的缺陷通常会表现在地震损伤中；4) 损伤或破坏一般出现在建筑的薄弱部位；5) 填充墙的作用可以通过实际损伤情况得到检验。

4 地震受损建筑抗震性能评价需要解决的主要问题

在地震受损建筑的抗震性能评价中，如何结合地震受损建筑的特点，既保证鉴定结论具有恰当的可靠性，又能够减少鉴定的工作量。结合汶川地震中建筑物震害的调查，建议在地震受损建筑抗震性能评价中应考虑以下主要问题。

4.1 地震损伤的量化指标。要建立与评价工作相关的建筑物地震损伤的量化评价指标，该指

标应大致与地震设防三水准相适应；

4.2 与现行抗震设计规范的关系。由于现行抗震设计规范会随着技术水平、社会经济发展水平的发展而进行调整，因此，鉴定方法应尽可能与现行抗震设计规范相适应，便于鉴定人员或设计人员了解鉴定结论的适用性；

4.3 建筑后续使用年限。该指标是明确鉴定目标并于现行标准相衔接的重要参数；

4.4 影响建筑抗震性能的主要因素。通过震害调查，影响结构抗震性能的主要因素可归结为建筑的平面及立面的规则性、填充墙的作用、柱的抗震性能、地震实际烈度与损伤程度等。

5 地震受损混凝土建筑抗震性能评价方法初探

5.1 建立构件损伤定量的评价指标

根据构件破坏的实验研究结果，结合地震后损伤调查，混凝土构件的损伤程度可以归纳为表 5.1。

表 5.1 构件损伤程度分类

损伤度	损伤情况
I 类（受损轻微）	近看始可看到其裂缝（裂缝宽度 $<0.2\text{ mm}$ ）
II 类（轻度破坏）	用肉眼即可看到其裂缝（裂缝宽度 $0.2\sim 1\text{ mm}$ ）
III 类（中度破坏）	虽有较大的裂缝，但混凝土仅保护层脱落（裂缝宽度 $1\sim 2\text{ mm}$ ）
IV 类（严重破坏）	甚多裂缝宽度超过 2 mm ，混凝土的剥落严重且钢筋有露出现象，个别受压钢筋有屈曲现象
V 类（完全毁坏）	主筋屈曲，混凝土碎裂，且柱或剪力墙在高度方向有变形、沉陷及倾斜现象，甚至有钢筋断裂的情形。

5.2 建立结构损伤定量评价指标

在对构件损伤程度调查的基础上，参照《民用建筑可靠性鉴定标准》GB50292-1999 中主要受力构件安全性等级评定的原则，依据某一楼层中某一类损伤达到某一比例的情况，对某一楼层的损伤程度做出评定。

按楼层分别统计柱（剪力墙）、梁不同损坏程度的构件占该层全部同类构件的百分比确定结构损伤程度。

[基本完好] 只含 I 类损伤构件，对应于小震不坏

[轻微损坏] 可含 II、III 类损伤构件，对应于小震不坏

[中度破坏] IV 类损伤构件+V 类损伤构件 $\leq 15\%$ 且 V 类损伤构件 $< 5\%$ ，对应于中震可修

[严重破坏] V类损伤构件 $\geq 5\%$ or IV类损伤构件+V类损伤构件 $> 15\%$, 对应于大震不倒

5.3 填充墙作用的评价。

由于填充墙的种类及影响其在地震中作用的因素繁多, 难以通过调查、分析准确掌握填充墙的作用, 而实际震害中反映出填充墙的作用又不能忽视, 因此, 通过对实际震害中填充墙破坏形式的调查, 并与实验研究的结果相对照, 从而定性地对填充墙的施工质量、实际作用作出判断, 提供在抗震验算中考虑其作用的方法。

5.4 影响建筑物抗震性能主要因素

5.4.1 结构规则性调整系数 ζ_1

该系数主要考虑建筑物平面或竖向刚度规则性。根据填充墙抗震作用评价确定如何考虑填充墙的刚度效应, 将填充墙计入分析模型, 通过分析判断建筑物是否存在平面或竖向的刚度不规则, 是否存在薄弱层。

平面及竖向均满足规则性要求取 1.0, 单项满足取 0.85, 均不满足取 0.7。

5.4.2 柱抗震构造措施调整系数 ζ_2

该系数主要考虑柱配箍率与现行抗震设计规范的符合程度。

满足现行抗震设计规范取 1.25, 满足抗震设计规范 GB50011-89 取 1.0, 其它取 0.8。

5.4.3 地震作用下结构损伤程度调整系数 ζ_3

该系数主要考虑建筑物经历地震作用后, 建筑物在设计施工中存在的结构性缺陷通常会反映在结构地震损伤上, 它反映了在地震作用下结构的完好程度。根据指数 A 的不同按下表确定 (A=遭遇烈度-原设防烈度):

表 5.4 结构损伤程度调整系数 ζ_3

	基本完好	轻微受损	中等破坏	严重破坏但可修
$A \leq -1.55$	1	0.95	0.8	0.5
$-1.55 < A < 0$	1.05	1	0.9	0.6
$1 > A \geq 0$	1.1	1.05	1	0.8
$A \geq 1$	1.2	1.1	1.05	0.8

5.5 依据下式判定建筑物抗震能力是否满足预设目标:

$$a_{gr} < \zeta_1 \zeta_2 \zeta_3 a_g$$

$$a_g = 0.1g \frac{V_k}{V_j}$$

V_j 对应于设防烈度 7 度时的各楼层弹性地震剪力；

V_k 各楼层的实际抗剪承载能力（根据填充墙抗震作用评价确定可计入填充墙的承载能力）

a_{gr} 根据后续使用年限（不少于 30 年）确定的鉴定用地面加速度值，可按参考文献[2]确定。

6 震损混凝土结构的抗震性能评价实例

以下是两个实际工程采用本文提出的方法和鉴定标准所做鉴定的基本情况。

这两个建筑项目均位于都江堰，原抗震设防烈度为 7 度，设计基本地震加速度值为 0.1g，设计地震分组为第一组（场地类别为 II 类），特征周期为 0.35s。现根据《中国地震动参数区划图》GB 18306-2001 第一号修改单，该地区抗震设防烈度调整为 8 度，设计基本地震加速度值为 0.2g，设计地震分组为第二组（场地类别为 II 类），特征周期为 0.40s。

6.1 项目一为 5 层框架结构房屋（局部 6 层），后续使用年限为 30 年。建筑第 1 层层高为 4.8m，第 2 层~第 5 层均为 3.6m，柱截面尺寸均为 400×400 mm，楼板为预制空心板，其结构平面布置如图 6.1 所示（涂黑处布置有红砖砌筑的填充墙，外纵墙处为通窗，其余填充墙均为轻质隔墙）。

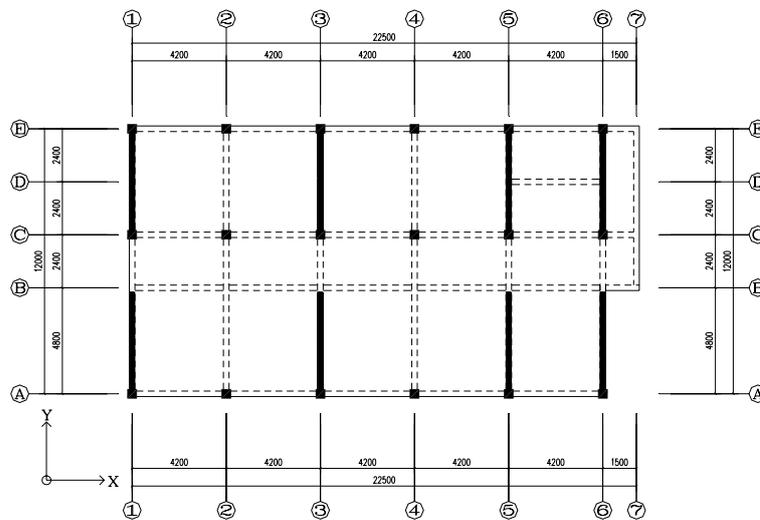


图 6.1 项目一结构平面布置图

该结构受 5.12 汶川地震影响，框架柱、梁及填充墙等均存在不同程度的损坏，评定为中等破坏。主要损坏情况如下：第 1 层和第 2 层个别框架柱顶存在裂缝、混凝土压碎，箍筋外露等现象；部分框架梁存在裂缝等现象，以第二层为主，其余各层较少；部分填充墙体存在裂缝等现象，以第一层的墙体最为严重，但嵌砌于柱和梁之间的实心砖填充墙受损轻微，起到了抗侧力作用。

在评价时，先按照 GBJ 11-89 附录三的方法计算填充墙的侧移刚度（计算时，刚度折减

系数 ψ_k ，第1层取为0.3，第2、3层取为0.6，第4、5层取为1.0)，再求得等代剪力墙的截面尺寸，使填充墙与等代剪力墙的侧移刚度相当，将等代剪力墙输入PKPM模型进行计算。计算结果表明，该结构竖向刚度不规则（第一层为薄弱层），且其楼层最大位移与层平均位移的比值大于1.2，其平面刚度也不规则。故结构规则性调整系数 $\zeta_1=0.7$ 。

6.2 项目二为4层全现浇框架结构房屋，后续使用年限为45年。建筑第1层层高为4.6m，第2层~第4层均为3.6m，柱截面尺寸为400×500mm（Z1）和500×500mm（Z2），楼板为现浇板，其结构平面布置如图6.2所示，A轴及B轴线纵墙墙体高度为0.9m，厚度为240mm，墙上为通窗。C轴线为外走廊护栏，墙体高度为0.9m。其填充墙为大孔洞页岩空心砖墙。

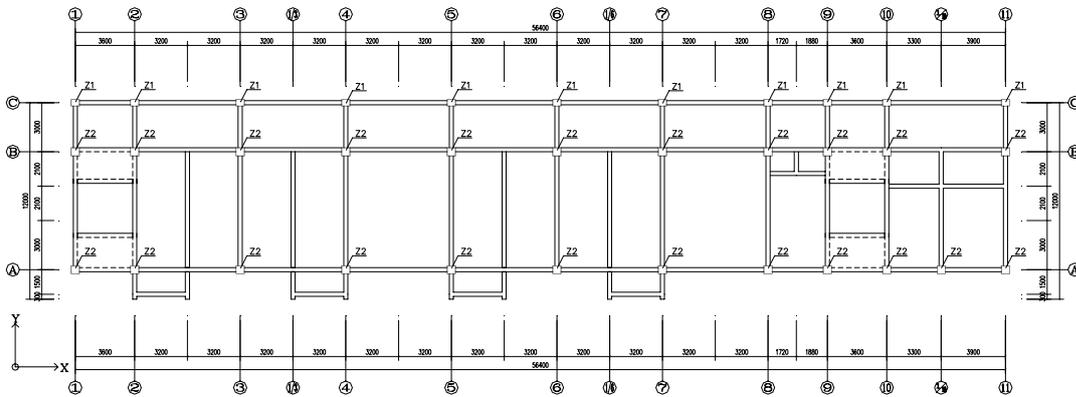


图6.2 结构平面布置图

该结构受5.12汶川地震影响，部分填充墙体存在裂缝、酥脆等现象，框架柱、梁几乎未受损坏，评定为轻微损坏。

由于砖体强度较小，计算楼层受剪承载力时不考虑填充墙的贡献。计算结果表明，该结构竖向刚度不规则（第一层为薄弱层），且其楼层最大位移与层平均位移的比值大于1.2，其平面刚度也不规则。故结构刚度规则性调整系数 $\zeta_1=0.7$ 。

6.3 分析评价结果

对上述两个项目采用两种方法进行分析评价，得到不同的结果，如表6.3所示。

6.3 分析评价结果汇总表

		后续使 用年限	原设防 烈度	遭遇 烈度	地震损伤 评价	ζ_1	ζ_2	ζ_3	鉴定标准 评价（ β ）	本办法评 价（ β ）
项目一	5层	30	7度 /0.1g	8	中等破坏	0.7	1.0	1.05	1.616	1.112
项目二	4层	45	7度 /0.1g	8	基本完好	0.7	1.25	1.1	1.17	1.18

备注	<p>1 按鉴定标准评价的主要算法如下：</p> <p>项目一按 A 类建筑进行鉴定，β 为第二级鉴定计算的楼层综合抗震能力指数；</p> <p>项目二按 C 类建筑进行鉴定，β 为楼层屈服强度系数，$\beta = \frac{V_y}{V_e}$，其中 V_y 为楼层现有受剪承载力，考虑 $\gamma_{RE}=0.85$，且各项材料强度标准值均为设计值；V_e 为楼层的弹性地震剪力，考虑 $\gamma=1.3$；</p> <p>2 按本办法评价的主要算法如下：</p> $\beta = \zeta_1 \zeta_2 \zeta_3 \frac{a_g}{a_{gr}}$
----	---

分析结果表明，对相同建筑物，本方法的抗震性能评价结论明显比抗震鉴定标准 A 类建筑的结论严格，与按现行抗震设计规范评价的 C 类建筑是桂平相当，且其实际震后受损情况与抗震性能评价结论相符。

7 结语

在地震中受到损伤的建筑其抗震性能评价具有其特点，一方面结构受到损伤降低了建筑的抗震能力，另一方面地震的作用减少了影响建筑抗震性能诸多因素的不确定性。正确地评价建筑地震损伤程度，结合建筑后续使用年限选择评价用地震参数，确定影响建筑抗震性能的主要因素，通过适当的计算分析来评价建筑物抗震性能是适当的。本文结合汶川地震的震害调查结果，提出了混凝土结构的抗震性能评价方法，通过对实际工程的试算证实该方法能够评价地震受损建筑物的抗震性能。

参考文献

- 1、毋剑平《考虑不同设计使用年限的建筑抗震功能设计》，中国建筑科学研究院硕士学位论文，2003.3
- 2、周锡元 曾德民 高晓安《估计不同服役期结构的抗震设防水准的简单方法》，建筑结构，第 32 卷 2002 年第 1 期
- 3、王亚勇 戴国莹《建筑抗震设计规范疑问解答》，中国建筑工业出版社，2006 年 1 月
- 4、《建筑抗震设计规范》GB50011-2001
- 5、《建筑抗震鉴定标准》GB50023-2009