

# 含剪力墙钢筋混凝土结构抗震能力 评估软件的开发及应用<sup>\*</sup>

郝效强<sup>1</sup>, 杨仕升<sup>2 3</sup>, 秦 荣<sup>3</sup>

(1. 同济大学 建筑工程系, 上海 200092 2 广西壮族自治区地震局, 南宁 530022

3 广西大学 土木建筑工程学院, 南宁 530004)

**摘要:** 根据已有的含剪力墙钢筋混凝土结构抗震能力评估理论研究成果, 开发了含剪力墙钢筋混凝土结构抗震能力评估软件 EAC-RCSW。通过在一个工程实例中的应用, 证明该软件既能对结构进行抗震能力定量评估, 又能通过它详细了解结构单元的抗震特性。将本软件与 ETABS 软件相结合, 使结构的评估过程完全通过计算机来实现, 从而有助于含剪力墙钢筋混凝土结构抗震能力评估工作的普及和开展。

**关键词:** 含剪力墙钢筋混凝土结构; 抗震能力评估; EAC-RCSW

**中图分类号:** P311.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0666(2009)01-0074-05

## 0 引言

我国是世界上最上地震灾害最严重的国家之一, 而大量现有钢筋混凝土结构的原设计标准较低, 加之结构老化、损伤等因素, 对此类结构抗震能力的评估成了非常重要的工程实际问题。此外, 有些结构由于需要改造或加层等, 结构改变后的抗震能力是否满足要求也需要评估。杨仕升等 (2005 2006) 提出了基于强度与延性的钢筋混凝土框架结构的抗震能力评估方法及程序, 在此基础上, 笔者开发了含剪力墙钢筋混凝土结构抗震能力评估软件 EAC-RCSW 论述了该软件的计算方法、评估流程和功能特点, 并对具体的工程实例进行了评估分析 (杨仕升, 2006 郝效强, 2006)。

## 1 含剪力墙钢筋混凝土结构抗震能力的计算

梁、柱及剪力墙单元的强度, 可以根据单元的材料属性及截面尺寸, 按《混凝土结构设计规范》(2002) 进行计算。试验结果表明, 单元在反复荷载作用下的承载力比单调荷载作用下有不同程度的降低 (蓝宗建等, 2002), 因此, 按《混凝土结构设计规范》(2002) 计算出的梁、柱及剪力

墙单元的承载力应乘以相应的折减系数, 本评估方法中取折减系数为 0.8。

延性容量是结构或单元延性能达到的最大值。影响构件截面延性的因素很多, 如混凝土强度及其极限压应变、钢筋强度及其均匀伸长率、配筋特征值和混凝土保护层厚度等。此外, 柱和剪力墙单元的轴压比和剪跨比等也是影响其延性的重要因素, 但由于相关实验数据较少, 目前还没有普遍适用的计算结构单元延性的公式。本文中结构单元的延性容量, 主要根据实验数据及经验取值, 或者根据单元的具体情况取值。

根据单元的强度和延性以及弹性地震作用下单元的内力, 我们得到含剪力墙结构各楼层的抗震能力计算框图 (图 1)。楼层的抗震能力用楼层能抵抗的地震加速度表示, 若楼层能抵抗的地震加速度大于目标地震加速度, 则结构的抗震能力满足要求, 否则不满足。目标地震加速度可以用结构的剩余使用寿命按照等超越概率的原则求得。

## 2 含剪力墙钢筋混凝土结构抗震能力评估流程

含剪力墙结构的评估流程如图 2 所示。其中, 结构的建模和弹性地震作用分析采用的是 ETABS 软件, EAC-RCSW 程序则包括框架内力前处理模

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007-08-24

基金项目: 广西科学研究与技术开发项目资助 (桂科攻 0322022-2)

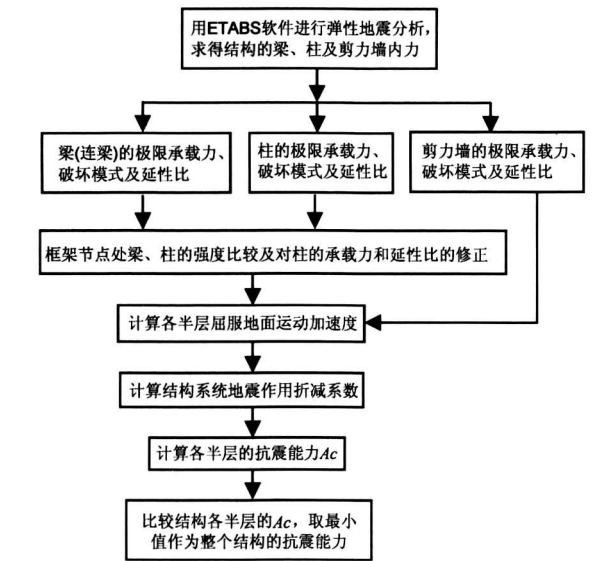


图 1 含剪力墙钢筋混凝土结构抗震能力计算框图

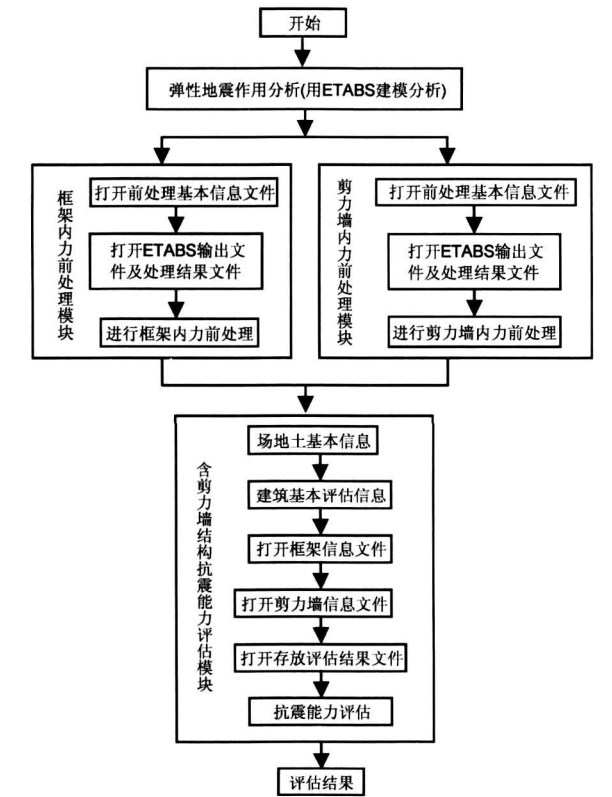


图 2 含剪力墙钢筋混凝土结构抗震能力评估流程块、剪力墙内力前处理模块和含剪力墙结构抗震能力评估模块。

### 3 EAC-RCSW软件的功能特点

#### 3.1 评估结果全面、详细

EAC-RCSW软件不仅能对已有结构进行抗震

能力定量评估，计算出各楼层的抗震能力及楼层破坏时对应的延性，还能预测梁、柱及剪力墙单元的破坏类型（包括弯曲破坏、剪切破坏或弯曲屈服后的剪切破坏，少筋梁、适筋梁或超筋梁，大偏心或小偏心受压等）、破坏时的延性等。

#### 3.2 全面考虑已有结构特性

基于强度与延性的钢筋混凝土结构抗震能力评估方法，考虑了场地土类型、结构损伤程度、设防烈度、建筑物重要性、剩余使用寿命等因素的影响，评估结果更接近结构的实际情况（杨仕升，2006，郝效强，2006），但单元的截面尺寸及材料特性数据量很大，直接在界面上输入不利于编辑，且容易出错，因此以数据文件形式输入，其余的数据输入界面如图 3所示。

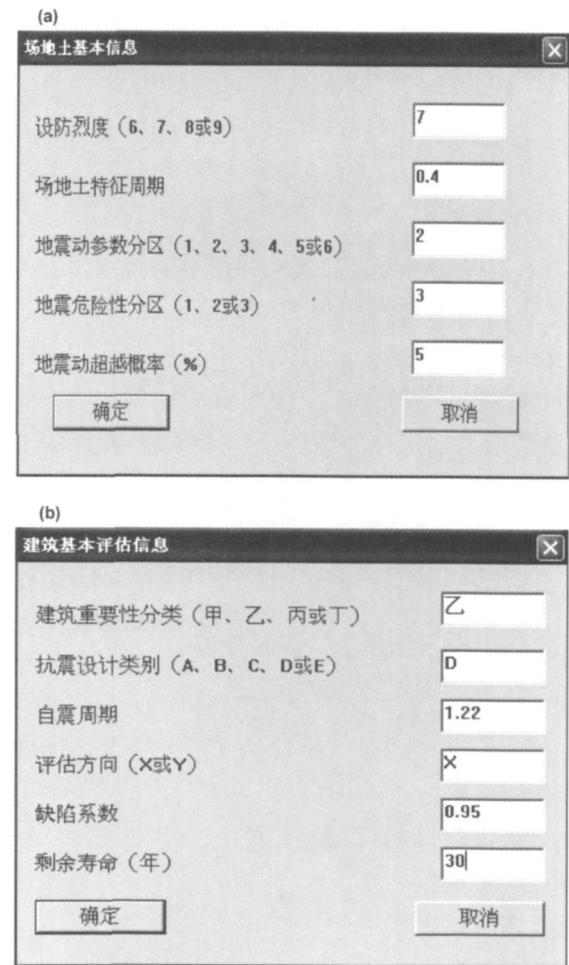


图 3 场地土 (a) 和建筑 (b) 基本信息

#### 3.3 界面友好、运行效率高

EAC-RCSW评估软件以功能强大的 VC++ 6.0 为平台开发，在 Windows 操作系统 (Windows 9x/

NT/Me/2000/XP) 环境下都可以运行, 界面友好、简单, 易于操作, 运行效率高。程序运行过程中有相应的提示, 具有一定的帮助功能与纠错能力。评估过程的每一步均实现了界面操作, 且评估流程简单, 一般工程技术人员都容易掌握, 从而大大减轻了工作人员的劳动强度, 有助于评估分析工作的迅速普及和开展。

3.4 与 ETABS软件相结合

EAC-RCSW软件虽不是基于 ETABS软件的二次开发, 但能结合 ETABS软件一起使用。ETABS软件是专业的建筑结构分析软件, 建模效率高, 功能强大, 而且 ETABS中已包含有中国最新的《建筑抗震设计规范》(2001)。EAC-RCSW软件与 ETABS软件的接口, 就是程序的框架内力前处理模块和剪力墙内力前处理模块。本文的框架内力和剪力墙内力指 ETABS软件计算出的结构弹性内力。

4 工程实例

4.1 工程概况

本工程实例为广西某广播电视技术大楼主楼。该楼采用钢筋混凝土框架—剪力墙结构, 总高度 94 m, 结构的三维立体图如图 4所示。I、II级钢筋的强度设计值分别为 210 N/mm<sup>2</sup> 和 340 N/mm<sup>2</sup>; 1~7层剪力墙、柱的混凝土强度等级为 C40, 8~14层为 C35, 15~26层为 C25, 楼面梁、板的混凝土强度等级为 C20。

该建筑 1996年竣工, 已使用 12年。因要对部分房间和演播室进行改造, 故需对改造前后结构的抗震能力进行评估。改造后, 结构承受的荷载发生了如下变化: 16、17层演播室的楼面活荷载由 5.8 kN/m<sup>2</sup> 增加到 8.0 kN/m<sup>2</sup>; 15层的仓库活荷载由 5.8 kN/m<sup>2</sup> 增加到 7.8 kN/m<sup>2</sup>; 21层由于大面积装修, 虽打掉了部分墙体, 但仍然增加了 1.5 kN/m<sup>2</sup> 的恒荷载。

4.2 评估参数

该建筑为 VII度设防, 抗震设防类别为乙类, 框架、剪力墙的抗震等级为二级, 重要性系数为 1.25, 场地土类别为 II类 (2组)。该建筑使用时间不长, 结构没有明显的损伤, 其缺陷系数可取为 1.0。由于该建筑属于高层建筑, 我们采用反应谱分析方法计算弹性地震作用。

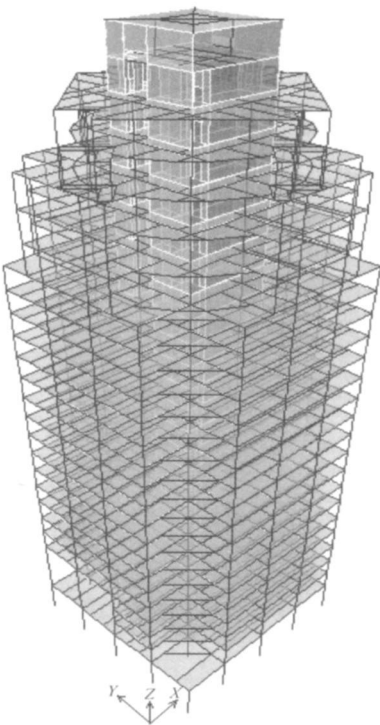


图 4 结构三维立体图

4.3 评估结果及分析

表 1列出了改造前、后结构各楼层的抗震能力。A<sub>0x</sub>、A<sub>1x</sub>为改造前、后 X方向楼层的抗震能力; A<sub>0y</sub>、A<sub>1y</sub>为改造前、后 Y方向楼层的抗震能力。楼层的上、下半层以楼板为中心划分, 即楼层上部为上半层, 楼层下部为下半层。

由于荷载的增加, 大部分楼层改造后的抗震能力均有不同程度的降低, 而由于结构荷载、刚度重分布的影响, 部分楼层的抗震能力有较小的增加。改造后, X、Y方向楼层抗震能力的最小值分别为 0.400 167 和 0.219 423。按照目前的抗震设防要求, 结构的目标地震加速度为 0.165 576。因此, 改造后结构仍满足抗震要求, 不需要对其进行加固。

表 2~5列出了部分楼层单元改造后的破坏特性预测信息 (1~5层, X方向)。结构框架梁都是延性较好的适筋梁, 仅有少量柱可能出现延性较差的剪切破坏, 不过, 加固后结构底部在 Y方向会有相当数量的强梁弱柱框架节点。剪力墙也是以延性较好的弯曲破坏为主。

5 结语

(1) 含剪力墙钢筋混凝土结构抗震能力评估

表 1 部分楼层改造前后的抗震能力及其对比

楼层		$A_{Qx}/g$	$A_{Qy}/g$	$A_{Qx}/g$	$A_{Qy}/g$
26	下半层	3.977 920	3.976 680	0.220 409	0.219 423
	上半层	3.977 920	3.976 680	0.402 374	0.400 654
25	下半层	1.975 120	1.972 480	1.131 310	1.124 130
	上半层	2.326 030	2.324 360	1.301 610	1.298 340
24	下半层	1.744 650	1.745 310	1.526 010	1.516 780
	上半层	1.836 070	1.837 910	0.940 421	0.937 810
23	下半层	1.337 250	1.338 650	1.187 060	1.188 170
	上半层	0.745 017	0.738 695	0.652 242	0.648 668
18	下半层	0.680 778	0.675 666	0.631 582	0.627 086
	上半层	0.630 233	0.623 598	0.538 040	0.531 196
15	下半层	0.586 206	0.579 809	0.534 281	0.530 689
	上半层	0.479 280	0.474 417	0.487 617	0.484 262
9	下半层	0.442 728	0.438 575	0.416 797	0.413 062
	上半层	0.455 641	0.451 437	0.480 474	0.477 764
8	下半层	0.423 185	0.419 452	0.388 240	0.384 898
	上半层	0.402 970	0.400 167	0.390 169	0.387 984
3	下半层	0.441 757	0.438 184	0.350 332	0.366 462
	上半层	0.408 370	0.400 684	0.395 975	0.393 821
2	下半层	0.457 098	0.453 459	0.393 827	0.391 619
	上半层	0.557 402	0.552 533	0.448 302	0.446 327
1	下半层	0.499 902	0.495 460	0.354 762	0.352 325
	上半层	0.445 777	0.441 769	0.322 215	0.319 959

表 2 改造后 X方向框架节点处不同破坏类型的梁截面数

楼层	剪切破坏	弯曲屈服后的剪切破坏	弯曲屈服破坏	超筋梁	适筋梁	少筋梁
5	0	0	34	0	34	0
4	0	0	36	0	36	0
3	0	0	34	0	34	0
2	0	0	34	0	34	0
1	0	0	38	0	38	0

表 3 改造后 X方向各楼层不同破坏类型的柱单元数

楼层	剪切破坏	弯曲屈服后的剪切破坏	弯曲屈服破坏	大偏心	小偏心	临界破坏
5(下半层)	1	9	12	2	19	1
4(下半层)	0	8	15	0	20	3
3(上半层)	1	9	13	1	19	3
2(下半层)	1	10	12	0	20	3
1(上半层)	0	7	16	1	19	3
1(下半层)	3	9	12	0	21	3
0(上半层)	0	11	13	2	19	3

表 4 改造后 X和 Y方向各楼层不同类型的框架节点数

楼层	X方向		Y方向	
	强柱弱梁	强梁弱柱	强柱弱梁	强梁弱柱
5	22	0	22	0
4	23	0	23	3
3	23	0	18	5
2	23	0	17	6
1	24	0	2	22

表 5 改造后 X方向各楼层不同破坏类型的剪力墙单元数

楼层	剪切破坏	弯曲屈服破坏	大偏心	小偏心
5 (下半层)	3	9	5	7
4 (下半层)	2	10	4	8
3 (上半层)	6	6	4	8
2 (下半层)	0	12	2	10
1 (上半层)	4	8	3	9
1 (下半层)	3	9	4	8
0 (上半层)	0	12	2	10

软件 EAC-RCSW以结构的强度和延性为基础评估已有建筑的抗震能力，软件界面友好、简单，易于操作，运行效率高。

(2) 笔者运用本软件评估了一个需改造的框架—剪力墙结构，结果表明 EAC-RCSW程序不仅可用于定量评估含剪力墙钢筋混凝土结构的抗震能力，还能通过它详细了解和预测结构单元的抗震性能，具有良好的工程应用前景。

参考文献:

郝效强 . 2006. 钢筋混凝土框架—剪力墙结构抗震能力评估 [ D].

南宁: 广西大学 .

蓝宗建, 梁书亭, 孟少平 . 2002. 混凝土结构设计原理 [ M]. 南京: 东南大学出版社 .

杨仕升 . 2006. 钢筋混凝土结构抗震能力评估研究 [ D]. 南宁: 广西大学 .

杨仕升, 郝效强, 秦荣 . 2005. 钢筋混凝土框架结构抗能力评估研究 [ J]. 地震工程与工程振动, 25 ( 5): 80—84.

杨仕升, 郝效强, 秦荣 . 2006. 结构抗震能力评估计算程序的编制 [ J]. 工业建筑, 36 ( 9): 14—16.

GB50010-2002 混凝土结构设计规范 [ S].

GB50011-2001 建筑抗震设计规范 [ S].

EAC-RCSW and Its Application in Reinforced Concrete Structure Including Shear Wall

HAO Xiao-qiang<sup>1</sup>, YANG Shi-sheng<sup>2</sup>, QIN Rong<sup>3</sup>

(1. Deparment of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

(2. Earthquake Administration of Guangxi Autonomous Region, Nanning 530022, Guangxi, China)

(3. School of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract

Reinforced concrete structure including shear wall (RCSW structure) is a very important structure type in the high-rising buildings in China. Based on the research of the existing RCSW structure, the computation program, Evaluation of the Anti-seismic Capability of the Reinforced Concrete Structure including the Shear Wall (EAC-RCSW), is developed. The program can quantitatively evaluate the anti-seismic capability of the existing RCSW structure, and the detailed anti-seismic characters of the elements can also be given. EAC-RCSW can be used with ETABS software, and the evaluation process can be realized by the computer completely, which will promote the development of evaluating the anti-seismic capability of RCSW structure.

Key words: reinforced concrete structure including shear wall; evaluation of the anti-seismic capability; EAC-RCSW