

杨钦杰, 李蕾, 梁结, 等. 钦州市建筑物抗震性能普查及震害预测分析[J]. 华南地震, 2021, 41 (2): 83-91. [YANG Qinjie, LI Lei, LIANG Jie, et al. Seismic Performance Survey and Earthquake Damage Prediction Analysis of Buildings in Qinzhou City[J]. South China journal of seismology, 2021, 41 (2): 83-91]

钦州市建筑物抗震性能普查及震害预测分析

杨钦杰, 李蕾, 梁结, 韦王秋

(广西壮族自治区地震局, 南宁 530022)

摘要: 通过对钦州市主城区建筑物开展抗震性能普查, 摸清了钦州市主城区重要建筑、民用群体建筑和普通民居的抗震性能状况, 对建筑物抗震性能进行了分级评定, 找出了城市建筑抗震薄弱区。采用 PKPM 有限元结构分析软件对重要建筑中的砖混结构建筑进行了震害预测分析, 最后总结了钦州市主城区建筑物抗震性能存在问题并给出了建议。

关键词: 建筑物; 抗震普查; 抗震性能; 统计数据; PKPM; 震害预测

中图分类号: P315.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2021)02-0083-09

DOI: 10.13512/j.hndz.2021.02.12

Seismic Performance Survey and Earthquake Damage Prediction Analysis of Buildings in Qinzhou City

YANG Qinjie, LI Lei, LIANG Jie, WEI Wangqiu

(Earthquake Agency of the Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China)

Abstract: Through the seismic performance survey of the buildings in the main urban area of Qinzhou, the seismic performance status of the important buildings, the civil group buildings and the ordinary residential buildings in the main urban area of Qinzhou is found out, the seismic performance of buildings is graded and evaluated, and the weak seismic zone of urban buildings is found. The earthquake damage prediction and analysis of brick-concrete structures in important buildings are carried out by using PKPM finite element analysis software. Finally, the problems in the seismic performance of buildings in the main urban area of Qinzhou are summarized and the countermeasures are given.

Keywords: Building; Seismic survey; Seismic performance; Statistical data; PKPM; Earthquake damage prediction

收稿日期: 2020-09-12

基金项目: 广西壮族自治区地震局科研合同制项目资助(2018003)

作者简介: 杨钦杰(1982-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事地震安全性评价和工程抗震研究。

E-mail: 738964085@qq.com

0 引言

钦州市为北部湾经济区重要城市，是全国地震重点监视防御区，境内有防城至灵山、百色至合浦、巴马至博白和北部湾断裂带通过，具备发生破坏性地震的地质构造背景。第五代《中国地震动参数区划图》实施后，钦州市部分地区的抗震设防烈度由 6 度提高到 7 度，抗震设防水平大幅提高。为提高钦州市防震减灾能力，保障经济社会稳定发展和人民群众生命财产安全，钦州市实施了建筑物抗震性能普查工作，并对部分建筑进行

了震害预测分析。

1 建筑物抗震性能普查

1.1 工作范围

本次普查工作从收集资料开始到现场工作结束共历时一年时间，工作范围为钦州市建筑密集的主城区：西起钦防铁路沿线，东至 325 国道，北到城北市场，南至金海湾大道沿线，大致呈三角形的区域(红线内)，面积约 80 km²，如图 1 所示：



图 1 工作范围
Fig.1 Working range

1.2 普查对象及方法

根据《建筑抗震鉴定标准》等规范^[1-3]，本次普查的对象分为重要建筑和民用建筑。重要建筑包括防灾救灾建筑、医疗卫生建筑、教育设施建筑、基础设施建筑、文化体育建筑；民用建筑包括 300 户以上住宅小区、80 m 以上高层建筑、厂房等群体性建筑和普通民居建筑等。普查期间共调查建筑物约 3 万栋，其中详细调查建筑物 2614 栋，基本做到了重要建筑和民用建筑全覆盖。进行详细调查的建筑物数量统计见表 1。

重要建筑和民用群体建筑普查采用建筑抗震能力快速判定方法^[4]，分信息采集阶段、评价阶段开展。信息采集阶段识别出建筑基本属性信息(建筑年代、建筑结构类型、抗震设防烈度、建筑

表 1 普查数量统计表	
Table 1 Statistic table of the number of the surveyed buildings	
建筑类型	数量/(栋)
防灾救灾	75
医疗卫生	50
教育设施	298
基础设施	51
文化体育	14
群体建筑	2126

面积、高度、层数、建筑用途、建筑照片)和快速找出抗震薄弱环节，要完成建筑基本属性信息，填写登记表和拍摄建筑外观照片。评价阶段首先根据建筑基本属性信息给出建筑的抗震性能基本

评级, 然后根据识别出的抗震不利因素或有利因素, 进行评级修正, 并最终确定评定等级。对于量大面广的普通民居建筑, 通过现场宏观调查判定其抗震性能。

1.3 建筑物等级划分

建筑物按抗震性能现状, 分类为 A、B、C、D 四个等级: “A”类为建造年代新(2000 年以后)、房屋现状完好、结构形式利于抗震; “B”类为建造年代较新(上世纪 90 年代)、结构形式较利于抗震、抗震性能处于城区建筑中等水平; “C”类为建造年代较久(上世纪 80 年代)、结构形式不利于抗震、抗震性能差; “D”类为建造年代久(上世纪 80 年代以前)、结构形式不利于抗震、目前已处于危房阶段。

1.4 重要建筑普查

实地调查的重要建筑共 488 栋, 总面积达 2

208 754 m²。根据实际调查数据统计得出的各年代建筑的数量和相应的建筑面积及所占比例见表 2 和图 2。由表 2 和图 2 可知, 调查建筑年代越新, 所占比例越大, 1980 年以前和 80 年代建筑所占比例极少, 90 年代比例有所增加, 但依然不足 10%, 2010 年以后建筑比例最大。

将不同建设年代的重要建筑从建筑层数、抗震设防烈度、结构类型、完好程度、薄弱环节、抗震性能分级等方面进行比较分析, 不同方面的建筑面积及所占比例见表 3~8。

表 2 建造年代信息统计表
Table 2 Statistical table of construction age information

建造年代	数量/(栋)	建筑面积/(m ²)	面积占比/(%)
1980 年以前	24	37 197	1.68
80 年代	30	40 574	1.84
90 年代	77	160 921	7.29
2000 年代	163	948 456	42.94
2010 年以后	194	1 021 605	46.25

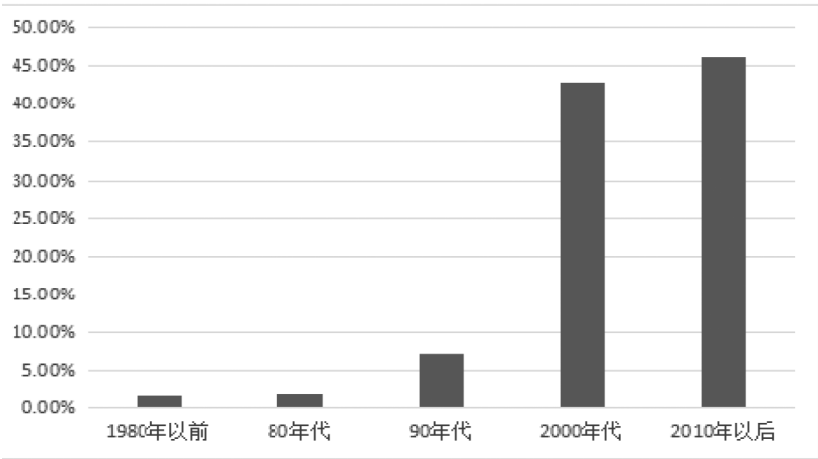


图 2 各年代建筑比例图
Fig.2 Portion of buildings in different ages

表 3 建筑层数统计表
Table 3 Statistics table of building floors

建设年代	单位	1~3 层	4~6 层	7 层及以上
1980 年以前	面积(m ²)	32 536	4661	0
	面积比(%)	87.5	12.5	0
80 年代	面积(m ²)	12 690	27 884	0
	面积比(%)	31.3	68.7	0
90 年代	面积(m ²)	32 716	71 883	56 322
	面积比(%)	20.3	44.7	35.0
2000 年代	面积(m ²)	73 399	425 091	449 966
	面积比(%)	7.7	44.8	47.5
2010 年以后	面积(m ²)	143 350	397 944	480 312
	面积比(%)	14.0	39.0	47.0

表 4 设防烈度统计表

Table 4 Statistics table of fortification intensity

建设年代	单位	不设防	6 度	7 度
1980 年以前	面积(m ²)	37 197	0	0
	面积比(%)	100	0	0
80 年代	面积(m ²)	25 357	15 217	0
	面积比(%)	62.5	37.5	0
90 年代	面积(m ²)	2308	158 613	0
	面积比(%)	1.4	98.6	0
2000 年代	面积(m ²)	1000	907 355	40 101
	面积比(%)	0.1	95.7	4.2
2010 年以后	面积(m ²)	1257	345 698	674 651
	面积比(%)	0.1	33.8	66.1

表 5 结构类型统计表

Table 5 Statistics table of structure types

建设年代	单位	砖混结构	框架结构	其它结构
1980 年以前	面积(m ²)	12 083	0	25 114
	面积比(%)	32.5	0	67.5
80 年代	面积(m ²)	22 865	17 709	0
	面积比(%)	56.4	43.6	0
90 年代	面积(m ²)	42 239	118 487	195
	面积比(%)	26.3	73.6	0.1
2000 年代	面积(m ²)	35 290	913 166	0
	面积比(%)	3.7	96.3	0
2010 年以后	面积(m ²)	5349	1 015 000	1257
	面积比(%)	0.5	99.4	0.1

表 6 完好程度统计表

Table 6 Statistics table of building integrity

建设年代	单位	完好	基本完好	局部破损
1980 年以前	面积(m ²)	360	31 930	5447
	面积比(%)	0.1	85.3	14.6
80 年代	面积(m ²)	1513	37 323	1738
	面积比(%)	3.7	92.0	4.3
90 年代	面积(m ²)	29 823	129 603	1495
	面积比(%)	18.6	80.5	0.9
2000 年代	面积(m ²)	866 559	81 897	0
	面积比(%)	91.4	8.6	0
2010 年以后	面积(m ²)	1 011 228	10 378	0
	面积比(%)	99.0	1.0	0

表 7 薄弱环节统计表

Table 7 Statistics table of the weak parts

建设年代	单位	顶部突出	平面不规则	底层开洞	其它
1980 年以前	面积(m ²)	0	4271	1862	28 904
	面积比(%)	0	11.5	5.0	77.7
80 年代	面积(m ²)	680	13 740	13 626	4000
	面积比(%)	1.7	33.9	33.6	9.9

(转下表)

(接表 7)

建设年代	单位	顶部突出	平面不规则	底层开洞	其它
90 年代	面积(m ²)	3166	91 312	15 461	21 751
	面积比(%)	2.0	56.7	9.6	13.5
2000 年代	面积(m ²)	61 302	558 973	84 166	32 686
	面积比(%)	6.5	58.9	8.9	3.4
2010 年以后	面积(m ²)	182 959	240 787	230 274	173 115
	面积比(%)	17.9	23.6	22.5	16.9

表 8 抗震性能分级统计表
Table 8 Statistics table of seismic performance classification

建设年代	单位	A	B	C	D
1980 年以前	面积(m ²)	0	3000	34 197	0
	面积比(%)	0	8.1	91.9	0
80 年代	面积(m ²)	0	40 574	0	0
	面积比(%)	0	100	0	0
90 年代	面积(m ²)	22 840	137 886	195	0
	面积比(%)	14.2	85.7	0.1	0
2000 年代	面积(m ²)	860 752	87 704	0	0
	面积比(%)	90.8	9.2	0	0
2010 年以后	面积(m ²)	1 004 096	16 253	0	1257
	面积比(%)	98.3	1.6	0	0.1
总计	面积(m ²)	1 887 688	285 417	34 392	1257
	面积比(%)	85.5	12.9	1.5	0.1

由表 3 可知,在建筑层数方面,1980 年以前建筑绝大多数不超过 3 层;80 年代时建筑大部分为 4~6 层,所占比例达到 68.7%;90 年代时出现 7 层以上建筑,比例占到总面积的三分之一;7 层以上建筑在 2000 年代时达到最大,并超过 4~6 层建筑所占比例;2010 年以后 4~6 层建筑占比持续降低。

由表 4 可知,在设防烈度方面,随年代增加,不设防比例逐步降低,到 90 年代时不设防情况已基本消失;6 度设防在 80 年代开始出现,90 年代时达到最大(98.6%);7 度设防在 2000 年代开始出现,2010 年以后所占比例达到三分之二。

由表 5 可知,在建筑结构方面,1980 年以前,砖混结构所占比例约为三分之一,由于有大面积的文物建筑存在,其它结构(砖木结构)比例约占三分之二;80 年代,砖混结构所占比例达到最大(56.4%),框架结构开始大量出现;从 90 年代起框架结构所占比例逐步提升,到 2010 年以后达到最大(99.4%),砖混结构基本消失。

由表 6 可知,在建筑完好度方面,从 1980 年以前开始,一直到 2010 年以后,完好的比例逐步

提高,基本完好和局部破损的比例逐步降低。

由表 7 可知,在建筑薄弱环节方面,薄弱环节主要集中在顶部突出、平面不规则和底层开洞等方面,同一栋建筑这几个方面往往交叉出现;顶部突出现象随着年代的增加呈逐步增加的态势,主要是建筑开始追求形状的多样化所致。

由表 8 可知,在抗震性能分级方面,1980 年以前,C 类建筑占绝大部分,B 类建筑很少;80 年代的建筑全部为 B 类;90 年代的建筑绝大部分是 B 类,A 类开始出现;2000 年代时,A 类建筑占绝大部分,B 类为少数;2010 年以后,A 类建筑占绝大部分。

总之,从整体上看,重要建筑年代较新,随着时代的发展,建筑物的各个方面都向着有利抗震的方向发展。

1.5 民用建筑普查

民用建筑普查期间共详细调查群体性民用建筑 150 处,2126 栋建筑。各年代建筑的数量及所占比例见表 9,建筑的设防烈度、结构类型、评价等级统计比例见表 10。

表 9 建设年代分布
Table 9 Construction age distribution

统计变量	1980 年以前	80 年代	90 年代	2000 年代	2010 年以后	合计
栋数(栋)	73	39	57	532	1425	2126
比例(%)	3.5	1.8	2.7	25.0	67.0	100

表 10 建筑数据统计表
Table 10 Statistics table of building data

统计变量	抗震设防烈度			结构类型			评价等级		
	不设防	6 度	7 度	框架	砖混	其他	A	B	C
栋数(栋)	122	1997	7	1647	469	10	1546	458	122
比例(%)	5.8	93.9	0.3	77.5	22.1	0.4	72.7	21.5	5.8

由表 9 可知,在建设年代方面,90 年代及以前建筑所占比例极少,从 80 年代开始,调查建筑年代越新,所占比例越大,至 2010 年以后达到比例最大值(67.0%),建筑总体较新。

由表 10 可知,在设防烈度方面,7 度设防建筑的比例极低,6 度设防比例最大,占绝大多数(93.9%),整体设防比例接近 95%;在结构类型方面,框架结构比例最大,占大多数(77.5%),其次为砖混结构(22.1%),对抗震有利的框架结构占大多数;在抗震性能等级方面,A 类建筑比例最大,占大多数(72.7%),其次为 B 类,C 类占极少数(5.8%),无 D 类。从整体上看,群体性建筑年代较新,设防情况较好,建筑物的抗震性能总体较好。

对于量大面广的普通民居建筑,调查发现其抗震性能主要分布于 B 和 C 之间,B 类约占总面积的 70%,C 和 D 类约占 30%。C 和 D 类建筑主要分布于城市老城区,这些建筑物普遍建设年代较早,结构形式大多是单层或多层的砖木结构和砖混结构,且无圈梁和构造柱等抗震措施,抗震性能较差,是城市抗震的薄弱区。

2 典型建筑震害预测分析

为了能够更为直观的研究钦州市建筑物的抗震性能状况,本文选取了对抗震救灾或维持城市功能有重要作用的重要建筑进行震害预测分析。在结构类型上选择了建设年代较旧、数量较多、

抗震性能相对较弱的砖混结构进行震害预测分析。

2.1 震害预测方法介绍

国内外专家学者对建筑物震害预测方法进行了大量研究^[5],形成了历史震害统计法、模糊类比法等方法。我国专家学者也对震害预测的应用进行了有益探索^[6-8]。本文采用《建筑抗震鉴定标准(GB50023-2009)》规定的“两级鉴定,综合评定”的方法对多层砌体结构进行抗震能力评估,再利用结构理论计算法^[9]对建筑物在不同烈度下的震害进行预测。

首先根据建筑物的竣工图纸资料,读取结构的实际详细设计信息,包括建筑物结构构件的布置情况、截面尺寸、材料强度、承重构件配筋情况、配筋信息、荷载分布情况等。其次进行一级鉴定,主要包括建筑总高度和层数层高,建筑结构体系平立面的规则性,体系抗震薄弱环节,承重构件截面尺寸,构件连接和支撑情况,非结构构件布置情况,材料强度,地基类型和基础形式等,根据核查的情况确定结构的体系影响系数和局部影响系数。再次进行二级鉴定,即采用 PKPM 有限元软件按照结构的实际设计方案建立三维计算模型,计算综合抗震能力指数。最后根据两级鉴定的结果确定结构可能发生的震害等级。

砖混砌体结构的楼层综合抗震能力指数与震害破坏等级之间的关系^[10]见表 11。

表 11 楼层综合抗震能力指数与震害等级的关系
Table 11 Relationship between comprehensive seismic capacity index of floors and earthquake damage grade

基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
$\beta \geq 0.9$	$0.75 \leq \beta \leq 0.9$	$0.6 \leq \beta \leq 0.75$	$0.45 \leq \beta \leq 0.6$	$\beta \leq 0.45$

2.2 震害预测实例分析

钦州市某学校教学楼，如图 3 所示，本工程为地上三层，建设于 1978 年。层高：3 m，结构型式为砖混结构，现浇钢筋混凝土楼板，楼板厚为 100 mm。地区抗震设防烈度为 7 度(0.10 g)，设计地震分组为第一组，场地类别为 II 类。抗震设防类别为丙类，基本风压为 0.3 kN/m²。墙厚 240 mm，砂浆 M10，普通砖 MU10，混凝土强度等级为 C20。

采用 PKPM2010-V4.3 系列程序中“鉴定加固”模块计算，以综合抗震能力指数为判断指标，结果计算见表 12：

表 12 震害预测结果		
Table 12 Results of earthquake damage prediction		
烈度	综合抗震能力指数	震害结果
6 度	0.83	轻微破坏
7 度	0.67	中等破坏
8 度	0.59	严重破坏



图 3 钦州市某学校教学楼
Fig.3 Teaching building of a school in Qinzhou

计算模型如下：

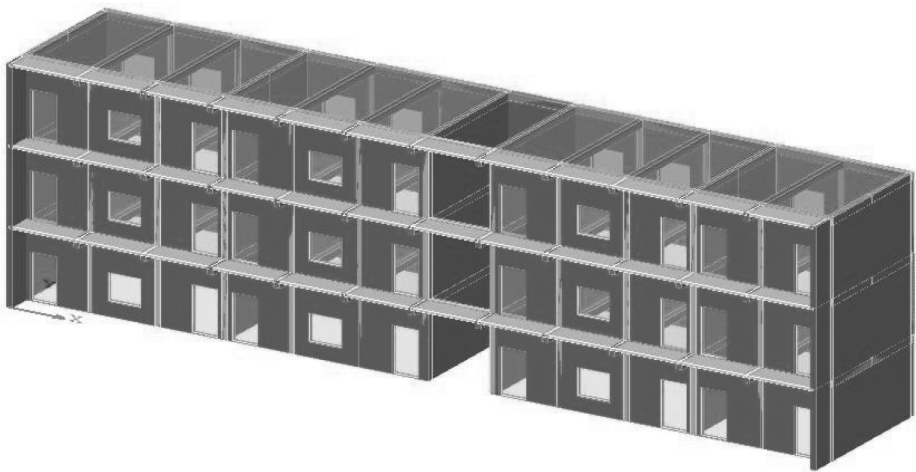


图 4 钦州市某学校教学楼模型
Fig.4 Model of a school building in Qinzhou

重要建筑中的其它砖混结构建筑在不同烈度下震害矩阵如表 13 所示, 由表可知, 砖混结构建筑在 7 度烈度时大部分达到中等破坏, 在 8 度烈度时大部分达到严重破坏, 而且建设年代越久, 破坏越严重, 建设年代对建筑物抗震性能的影响很大。

表 13 不同烈度下的震害预测结果
Table 13 Results of earthquake damage prediction under different intensity

名称	基本信息			在不同烈度下的震害结果		
	建设年代	楼层数	完好程度	6 度	7 度	8 度
武警综合楼	2008	4	完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
田寮村委	2013	4	完好	基本完好	基本完好	轻微破坏
鸿亭街道办	1978	2	局部破损	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
子材街道办	1993	6	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
物资仓库	1985	1	局部破损	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
南珠街道办	2005	3	基本完好	基本完好	基本完好	轻微破坏
沙埠社区办	1997	3	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
第十小学教学楼	1995	3	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
傍钦幼儿园	2012	2	完好	基本完好	基本完好	轻微破坏
文武学校教学楼	1977	3	局部破损	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
市一中教学楼	1986	3	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
商贸学校宿舍楼	1988	5	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
实验小学教学楼	1996	4	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
海豚学校办公楼	1992	3	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
农业学校实训楼	1987	4	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
扬帆学校宿舍	1977	2	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
水厂化验室	1986	3	完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
市燃气办公楼	1996	3	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏

3 结论与建议

3.1 结论

(1)重要建筑和民用群体建筑总体抗震性能较好。重要建筑中 A 类和 B 类建筑占比达 98.4%, 其中 A 类建筑占比高达 85.5%; 民用群体建筑中 A 类和 B 类建筑占比达 94.2%。

(2)建设年代越近, 设防情况越好。重要建筑中 6 度设防比例从 80 年代的 37.5%提高到 2000 年代的 95.7%, 7 度设防比例也从 2000 年代的 4.2% 提高到 2010 年以后的 66.1%。

(3)城市老城区和城中村是建筑抗震薄弱区。调查中的 C 和 D 类建筑主要分布于城市老城区和城中村, 这些建筑物普遍建设年代较早, 结构形式大多是单层或多层的砌体结构和砖木结构, 且

无圈梁和构造柱等抗震措施, 是城市建筑抗震薄弱区。

3.2 建议

(1)对于重要建筑, 应按照《中华人民共和国防震减灾法》有关规定对未采取抗震设防措施或者抗震设防措施未达到抗震设防要求的相关重要建筑进行抗震性能鉴定, 并采取必要的抗震加固措施。对于使用年限已接近设计年限的, 应优先考虑拆除重建; 对教育设施、医疗卫生类建筑应特别重视, 应按照重点设防类要求优先进行抗震鉴定和加固改造, 提高其综合抗震能力。

(2)对于民用群体建筑, 不符合抗震设防要求的民用建筑物的抗震鉴定及加固改造一般在重点建筑之后开展, 可随城区改造计划一并实施, 且宜结合民用建筑的修缮、改造进行, 对于使用年

限已接近设计年限、经济上无价值的建筑物应优先考虑拆除重建。建筑物加固时应充分考虑建筑物的抗震安全性,同时兼顾其使用性和经济性要求。

(3)对于普通民居,建议按照目前的“城中村”改造模式逐年对规划区内的城中村建筑进行全面改造。若属于建设年代较早的老旧房屋,建议全面拆除;对于优秀历史建筑,均应进行抗震鉴定,并按照不低于重点设防类的要求进行抗震加固,把保护和加固统一起来。

(4)对于新建建筑,抗震设防应严格执行《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50233-2008)及《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)(2016年版)对应设防要求的规定和有关技术标准、规程要求。重要建筑及生命线工程应按照《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50233-2008)要求,采取相应提高抗震能力的措施。特别重要的建设工程应按照《中华人民共和国防震减灾法》有关规定进行地震安全性评价。

(5)在抗震设防标准变动方面,虽然防震减灾法没有对未达到现行抗震设防要求的建设工程强制要求进行抗震加固,但随着我国经济实力的增强,国家地震安全能力的需求不断提升,对达到当时抗震设防要求但未达到现行抗震设防要求的建设工程可根据钦州市实际情况,在今后的一定

时期内有计划地开展抗震加固工作,对重要建设工程应优先开展,对于其他建设工程也应逐步开展抗震加固工作。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50023 建筑抗震鉴定标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50223 建筑工程抗震设防分类标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50011 建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [4] 万卫,薄景山,李孝波,等. 城市建筑物震害快速判定预测方法[J]. 自然灾害学报,2014,23(3):230-236
- [5] 崔玉红,邱虎,聂永安,等. 国内外单体建筑物震害预测方法研究述评[J]. 地震研究,2001,24(2):175-182
- [6] 范夕森,李少伟. 城市建筑群体抗震性能评价在抗震防灾规划中的应用[J]. 工程抗震与加固改造,2017,39(增刊):63-68
- [7] 何申海,王秋良,龚平,等. 十堰市农村房屋震害预测研究[J]. 地震工程学报,2017,39(增刊):195-201
- [8] 孟紫阳,郭明珠,赵慧乾. 保定市典型多层砖混结构震害预测分析[J]. 震灾防御技术,2012,7(4):397-403
- [9] 尹之潜,杨淑文. 地震损失分析与设防标准[M]. 北京:地震出版社,2004.
- [10] 孙杰,李涛,张扬,等. 河南范县农村民居抗震性能调查与分析[J]. 华南地震,2020,40(3):102-107.