

山西地震 编辑委员会

主 编：陈宇坤

副 主 编：万 亮 李自红 张瑞芳（专职）

编辑委员：（按姓氏汉语拼音排序）

曹 筠	陈 石	董康义	冯希杰	高武平	韩晓明	胡玉良
黄金刚	季灵运	贾建喜	蒋海昆	蒋晓山	雷建设	雷启云
雷生学	李 斌	李 丽	李冬梅	李宏伟	梁 艳	刘瑞春
罗 勇	吕 芳	马朝晖	邵志刚	史双双	宋美卿	万永革
王跃杰	武艳强	解 滔	薛 艳	闫计明	晏 锐	杨 斌
杨 静	殷伟伟	曾金艳	张 合	张亮娥	张仰辉	张郁山
赵晓云	郑文俊	周克昌				

EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI
THE BOARD OF EDITORS

EDITOR IN CHIEF: CHEN Yu-kun

ASSOCIATE EDITORS IN CHIEF: WAN Liang LI Zi-hong ZHANG Rui-fang (specific duty)

BOARD MEMBERS: CAO Jun CHEN Shi DONG Kang-yi FENG Xi-jie GAO Wu-ping HAN Xiao-ming
 HU Yu-liang HUANG Jin-gang JI Ling-yun JIA Jian-xi JIANG Hai-kun
 JIANG Xiao-shan LEI Jian-she LEI Qi-yun LEI Sheng-xue LI Bin LI Li LI Dong-mei
 LI Hong-wei LIANG Yan LIU Rui-chun LUO Yong LV Fang MA Zhao-hui
 SHAO Zhi-gang SHI Shuang-shuang SONG Mei-qing WAN Yong-ge WANG Yue-Jie
 WU Yan-qiang XIE Tao XUE Yan YAN Ji-ming YAN Rui YANG Bin YANG Jing
 YIN Wei-wei ZENG Jin-yan ZHANG He ZHANG Liang-e ZHANG Yang-hui
 ZHANG Yu-shan ZHAO Xiao-yun ZHENG Wen-jun ZHOU Ke-chang

山西地震

SHANXI DIZHEN

EARTHQUAKE RESEARCH

IN SHANXI

季刊 Quarterly

1973年2月创刊

Established in February, 1973

2023年第3期(总第195期)

No.3 (Serial No.195) 2023

商标注册号: 327496

Number of Trade Mark Registration: 327496

主管单位：山西省地震局
 主办单位：山西省地震学会
 编辑出版：《山西地震》编辑部
 主 编：陈宇坤
 编辑部地址：山西省太原市晋祠路
 二段69号
 邮政编码：030021
 电 话：(0351) 5610534
 印 刷：山西省建筑科学研究院
 印刷科技有限公司
 地 址：太原市山佑巷
 发行范围：公开
 发行订购：《山西地震》编辑部
 网 址：<https://sxdz.cbpt.cnki.net/>
 电子信箱：sxdzjyb@163.com
 出版日期：2023年9月

Administration: Earthquake Administration of Shanxi Province
 Sponsoring Organization: Seismological Society of Shanxi Province
 Edited and Published: by the Editorial Office of ERS
 Editor in Chief: CHEN YU-kun
 Address of The Editorial Office: No. 69, Block 2 of Jinci Road, Taiyuan.
 Postcode: 030021
 Tel: (0351) 5610534
 Printed: Shanxi Academy of Building Research Printing Technology Co., Ltd.
 Address: Shanyouxiang of Taiyuan
 Distributed: Openly
 Distributor and Order Department: Editorial Office of ERS
<https://sxdz.cbpt.cnki.net/>
 E-mail: sxdzjyb@163.com
 Date of Publication: Sep. 2023

ISSN 1000-6265
CN 14-1107/P
CODEN SDIZEY

年定价：20.00元（不含邮费） 本期定价：5.00元

SHANXI DIZHEN



ISSN 1000-6265
CN 14-1107/P
CODEN SDIZEY

山西地震

二〇二三年

第三期

总第一九五期

山西地震®

EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI



2023 / 3

ISSN 1000-6265



山西省地震学会

全国优秀地震期刊 山西省连续十三年一级期刊
中国期刊网 中国学术期刊(光盘版) 万方数据库全文收录期刊
中文科技期刊数据库来源期刊 维普资讯网全文收录期刊
中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊

2023年第3期

山西地震

(季刊·1973年创刊)

(总第195期)

目 次

(山西省地震灾害风险普查工程专刊)

· 综述 ·

- 山西省地震灾害风险普查成果与推广应用综述…………… 曾金艳, 扈桂让, 刘艳春, 闫小兵, 史双双(1)
摸清底数 提高地震灾害风险防治能力——山西省地震灾害风险普查工程纪实…………… 李泽晖, 陶君丽, 董康义(5)

· 工程抗震 ·

- 山西中南部农村典型房屋建筑抗震性能调查分析…………… 史琳娜, 史双双, 王雷雷, 郝雪景(7)
芮城县房屋建筑抽样详查结果及典型结构抗震性能分析…………… 王雷雷, 韩晓飞, 王跃杰, 由文智, 焦洁钰(12)
基于遥感影像和经验估计初判山西省建筑物抗震能力…………… 赵 杰, 王跃杰, 程紫燕, 王飞剑, 郑树平(18)
临汾市浮山县不同结构建筑物特征研究…………… 马秀芳(23)
忻州市代县农村房屋抗震性能调查与分析…………… 焦晶森, 徐 博, 郑树平(27)
临汾市古县房屋抽样详查及抗震设防存在问题分析…………… 薛晓东, 韩晓飞, 任瑞国(32)

· 技术交流 ·

- 山西省地震危险性计算与制图…………… 扈桂让, 郝雪景, 刘艳春, 张 函(36)
山西省工程场地地震安全性评价活动断层探测成果数据库建设综述…………… 郝雪景, 扈桂让, 刘艳春, 任瑞国(41)

· 地震地质 ·

- 山西断陷带主要活动断层基本特征与避让区划…………… 史双双, 焦洁钰, 刘艳春, 闫小兵(46)
山西临汾市区上层剪切波速与埋深关系的研究…………… 任瑞国, 李宏伟, 扈桂让(52)

本期责任编辑:张瑞芳,张正霞; 英文译校:李 斌
期刊基本参数:CN 14-1107/P*1973*q*A4*56*zh*P*¥5.00*70*12*2023-09
本刊网址:<https://sxdz.cbpt.cnki.net/>
本刊电子邮箱:sxdzsjb@163.com

CONTENTS

(Special Issue of the Seismic Hazard Risk Assessment Project in Shanxi)

• **Review** •

- A Comprehensive Review of the Results and Promotional Applications of Seismic Hazard Risk Assessment in Shanxi Province ZENG Jinyan, HU Guirang, LIU Yanchun, YAN Xiaobin, SHI Shuangshuang(1)
Thoroughly Understanding the Baseline and Enhancing Earthquake Disaster Risk Prevention and Mitigation Capability — A documentary of the Shanxi Province earthquake disaster risk survey project
..... LI Zehui, TAO Junli, DONG Kangyi(5)

• **Antiseismic Engineering** •

- Investigation and Analysis of Seismic Performance of Typical Rural House Constructions in Central and Southern Shanxi SHI Linna, SHI Shuangshuang, WANG Leilei, HAO Xuejing(7)
Results of Sampled Detailed Inspection of Building Construction in Ruicheng County and Analysis of Seismic Performance of Typical Structures
..... WANG Leilei, HAN Xiaofei, WANG Yuejie, YOU Wenzhi, JIAO Jieyu(12)
Preliminary Seismic Resilience Assessment of Buildings in Shanxi Province Based on Remote Sensing Imagery and Empirical Estimation
..... ZHAO Jie, WANG Yuejie, CHENG Ziyang, WANG Feijian, ZHENG Shuping(18)
Study on Characteristics of Different Structural Buildings in Fushan County, Linfen City
..... MA Xiufang(23)
Seismic Performance Investigation and Analysis of Rural Houses in Daixian County, Xinzhou City
..... JIAO Jinmiao, XU Bo, ZHENG Shuping(27)
Sampled Detailed Inspection and Analysis of Seismic Defense Issues for Houses in Gu County, Linfen City
..... XUE Xiaodong, HAN Xiaofei, REN Ruiguo(32)

• **Academic Exchange** •

- Seismic Hazard Calculation and Mapping in Shanxi Province
..... HU Guirang, HAO Xuejing, LIU Yanchun, ZHANG Li(36)
Comprehensive Review of the Establishment of a Database for Seismic Safety Evaluation of Engineering Sites and Results of Active Fault Detection in Shanxi Province
..... HAO Xuejing, HU Guirang, LIU Yanchun, REN Ruiguo(41)

• **Earthquake Geology** •

- Basic Characteristics of Main Active Faults and Zoning for Avoidance in the Shanxi Rift Zone
..... SHI Shuangshuang, JIAO Jieyu, LIU Yanchun, YAN Xiaobin(46)
Study on the Relationship between Shear Wave Velocity and Burial Depth of Soil Layers in Linfen City, Shanxi
..... REN Ruiguo, LI Hongwei, HU Guirang(52)

Managing Editors for This Issue: ZHANG Ruifang, ZHANG Zhengxia;

Translator: LI Bin

<https://sxdz.cbpt.cnki.net/>

E-mail: sxdzjb@163.com

· 综述 ·

文章编号:1000-6265(2023)03-0001-04

山西省地震灾害风险普查成果与推广应用综述

曾金艳^{1,2}, 扈桂让^{1,2}, 刘艳春^{1,2}, 闫小兵^{1,2}, 史双双^{1,2}

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030002; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

摘要: 山西省地震灾害风险普查是全国第一次自然灾害综合风险普查的地震灾种地方工作。根据山西省地震灾害的特征, 地震灾害风险普查主要从摸清地震危险源分布、承灾体现状、地震灾害风险隐患和灾害风险水平等方面展开, 形成了涵盖地震致灾要素、孕灾要素、隐患评定、风险评估与区划等方面的成果。结合地震灾害风险普查成果在地震灾害防治基础能力的提升、太忻一体化经济区建设等多领域的推广应用, 提出山西省防震减灾工作今后发展的建议。

关键词: 防震减灾; 地震灾害风险普查; 成果推广

中图分类号: P315.94

文献标志码: A

0 引言

2018年10月10日, 习近平总书记主持召开中央财经委第三次会议, 明确提出实施灾害风险调查和重点隐患排查工程, 摸清自然灾害风险底数。2020—2023年实施“全国第一次自然灾害综合风险普查工程”, 该工程由应急管理部牵头组织实施, 其他行业部门共同参与。山西省地震灾害风险普查是“全国第一次自然灾害综合风险普查工程”中地震灾种的地方工作, 通过组织开展地震灾害风险普查, 摸清山西省地震灾害风险隐患底数, 客观认识山西省地震灾害风险水平, 为地方各级政府有效开展地震灾害防治和应急管理工作、切实保障社会经济可持续发展, 提供权威的地震灾害风险信息 and 科学决策依据。

本文介绍山西省地震灾害风险普查工程基本内容, 总结取得的成果及其应用情况。在分析普查成果的基础上, 展望风险普查工作的技术发展和成果服务应用前景, 提出今后山西省防震减灾工作的建议。

1 山西省地震灾害特征

山西省位于山西断陷带内, 境内活动断层发育, 地震构造复杂^[1-4]。地震灾害具有以下特征:

(1) 地震发生的危险等级高。

山西省地震构造环境复杂, 活动断裂发育。现有资料表明, 截至目前共发现61条断裂, 其中全新世活动断裂24条, 大部分为控盆边界断裂, 具有发生大震

的构造背景。区内地震活动频度大、强度高, 震源浅, 历史上曾发生6级以上地震21次, 最大为8级。

(2) 地震次生灾害发生的危险程度高。

山西省地处黄土高原, 黄土高边坡发育, 地震地质灾害隐患严重; 大量分布的矿产采空区会加重地震灾害的损失; 主要的人口和经济聚集于盆地内, 盆地内深厚土层的地质环境对地震波的放大作用将加重地震灾害的影响。

(3) 地震灾害损失的风险程度高。

首先, 山西属于能源重化工基地, 油气燃气管网分布密集, 煤矿与非煤矿山数量众多, 且分布有大量采空区; 其次, 随着城镇化进程的加快, 人口和财富相对聚集, 重大地震灾害事件发生后人员伤亡和经济财产损失的风险增加; 第三, 山西省农村房屋占全省房屋总量的90%以上, 且大部分未达到抗震设防要求^[5], 部分还是年代久远的土木、砖木等结构房屋, 由于大多采用脆弱材料砌筑, 地基基础形式较差, 墙体开裂、墙面腐蚀、酥脆等现象较普遍, 地震造成房屋破坏带来的人员伤亡和经济损失的风险程度较高。

2 地震灾害风险普查工作内容

山西省地震灾害风险普查主要包括以下几项工作:

(1) 摸清地震危险源分布。

整理城市活动断层探察和地震活断层数据, 收集已验收通过的活断层探测和地震安全性评价获得的活断层探测成果、活断层填图成果, 建设标准一致

收稿日期: 2023-06-19

第一作者简介: 曾金艳(1970—), 女, 湖南邵东人。硕士研究生, 正高级工程师, 主要从事地震灾害防治工作, E-mail: 13903412202@163.com。

① 山西省震灾风险防治中心. 山西省地震灾害风险评估与区划技术报告, 2023.

的空间数据库及档案数据库,编制山西省1:25万地震构造图和部分县(市、区)1:5万活动断层分布图;收集整理地震钻孔,建设山西省地震工程地质条件钻孔数据库。

(2) 摸清承灾体现状。

开展地震易发区(地震基本烈度Ⅷ度及以上区)房屋建筑抽样详查,掌握山西省房屋建筑的结构分布特征、易损性特点。

(3) 摸清地震灾害风险隐患和灾害风险水平。

开展山西省地震危险性分析,编制山西省1:25万地震危险性评价图。以公里网格为基本评估单元,开展地震灾害风险评估和区划,编制山西省1:25万地震灾害风险区划图。

(4) 提供减轻地震灾害的对策。

基于全省已完成1:5万地质地貌填图的14条断裂(带),开展地震灾害风险防治区划,编制14条断裂(带)涉及35个县(市、区)的地震活动断层避让区划图。

3 取得的成果

山西省地震灾害风险普查工程按照“调查为基础、评估为重点、区划为关键”的工作原则,经过试点、全面铺开调查、试点评估、全面铺开评估与区划、防治区划等技术环节,摸清全省地震灾害风险隐患,提出风险防治对策,形成调查类、评估类、区划类成果。成果内容涵盖地震致灾要素、孕灾要素、隐患评定、风险评估与区划等方面。成果表现形式包括各类各级方案近60份、各级成果报告285份、各级各类成果图件2143张、电子数据近10T。

3.1 调查类成果

本次地震灾害风险普查获得3类调查类成果。数据成果包括全省场地工程地震条件钻孔数据库、地震安全性评价断层探测成果数据库、建筑物抽样详查数

据库,图件成果包括山西省宏观场地类别分区图、省级1:25万地震构造图和地震危险性图、37个县(市、区)1:5万活动断层分布图;文字报告成果包括山西省现有地震工程地质条件钻孔基础数据库建设报告、山西省工程场地地震安全性评价活动断层探测成果数据库建设报告、省级1:25万地震构造图和地震危险性图编制成果报告、37个县(市、区)1:5万活动断层分布图说明书及成果报告。对重要成果简述如下:

(1) 场地地震工程地质条件钻孔数据库和山西省宏观场地类别划分。

收集整理已完成的全省117个县(市、区)地震安全性评价工作、岩土工程勘察、区域性地震安全性评价等近1000份成果报告的钻孔资料,整理归纳钻孔基本信息、地层信息、土层物性参数信息以及钻孔场地的地震危险性、场地地震动参数信息及关键数据相应的图像文件等资料,获得931个钻孔资料。基于此数据,编制山西省1:100万宏观场地类别分布图。

(2) 地震活动断层数据库。

对已完成的活动断层探测、重大工程场地地震安全性评价的活动断层探测工作开展收集、整理。按照统一数据模板完成全省具有代表性的地震安评工作活动断层探测成果数据整理,建设标准化的空间数据库14个。资料覆盖太原、大同、长治、晋城、晋中、运城、忻州、临汾、吕梁9个地级市。

(3) 省级1:25万地震构造图。

开展山西省内中强地震、深部结构、主要断裂带及其活动性、地层构造单元等资料的收集、整理,编制山西省1:25万地震构造图和说明书,综合评价山西省及周边地区的地震构造发育特征及地震危险源分布。

(4) 部分县(市、区)1:5万活动断层分布图。

整理1:5万地质地貌填图工作的14条活动断裂(带)资料,编制1:5万活动断层分布图。断裂分布涉及的37个县(市、区)如表1所示。

表1 1:5万活动断裂分布涉及的县(市、区)一览表

Table 1 List of counties (cities, districts) involved in the distribution map of earthquake faults for 1:50,000 activities

序号	市(县级个数)	县(市、区)	断裂(带)名称
1	大同市(6个)	大同市城区、浑源县、广灵县、阳高县、天镇县、灵丘县、	怀安-万全盆地北缘断裂、阳高-天镇断裂、口泉断裂、六棱山北麓断裂、太白堆山山前断裂、蔚广盆地南缘断裂、恒山北麓断裂
2	朔州市(5个)	怀仁县、山阴县、应县、宁武县、朔城区	恒山北麓断裂、口泉断裂、六棱山北麓断裂
3	忻州市(1个)	代县	恒山北麓断裂
4	太原市(3个)	太原市城区、清徐县、阳曲县	交城断裂
5	吕梁市(2个)	交城县、文水县	交城断裂
6	临汾市(7个)	襄汾县、洪洞县、侯马市、翼城县、福州市、曲沃县、尧都区	罗云山山前断裂、霍山山前断裂、峨嵋台地北缘断裂
7	运城市(9个)	永济市、盐湖区、夏县、闻喜县、河津市、稷山县、新绛县、万荣县、绛县	韩城断裂、罗云山山前断裂、中条山北麓断裂、峨嵋台地北缘断裂
8	晋中市(4个)	太谷区、祁县、平遥县、介休市	太谷断裂

(5) 建筑物抽样详查。

完成全省地震易发区(地震基本烈度Ⅶ度及以上)房屋建筑抽样详查,共调查房屋 13 173 栋,调查面积 2 612.24 万平方米,收集各类图纸近万份,数据表格 12 000 余条。通过详查工作,基本摸清全省房屋建筑分布规律、结构特征、使用现状以及抗震性能等信息。通过分析研究,得到山西省本土化不同建筑结构的震易损性矩阵。

3.2 评估类成果

本次地震灾害风险普查得到危险性评价成果和风险评 16 项核心成果。包括 50 年超越概率 63%、10%、2% 以及 100 年超越概率 1% 四个概率水准地震造成的直接经济损失和人员死亡评估结果及风险等级。

(1) 山西省地震危险性评价。

通过地震危险性分析,以 100 年 1% 超越概率水准,考虑场地条件影响的峰值加速度为指标,将全省行政区划分为地震高风险、中高风险、中低风险、低风险 4 个等级,行政区各风险等级按面积统计如图 1 所示。

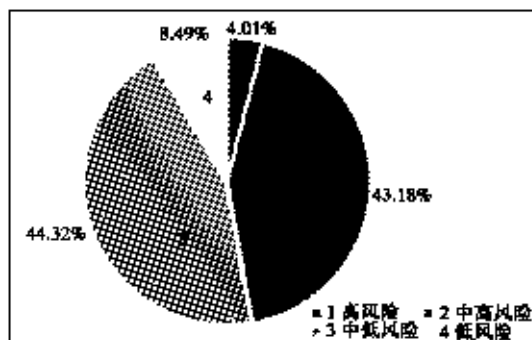


图 1 按面积统计的山西省地震危险性等级比例图

Fig. 1 Proportional map of earthquake hazard levels in Shanxi Province based on area

(2) 地震灾害风险评估。

以公里网格承灾体作为评估单元,分析在 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 1% 四种地震作用下,117 个县(市、区)的地震人员死亡和直接经济损失结果^[5-7]及产生根源。

3.3 区划类成果

地震灾害风险普查获得地震灾害风险区划和地震灾害风险防治区划 2 类成果。

(1) 地震灾害风险区划。

成果包括 117 个县(市、区)50 年超越概率 63%、10%、2% 以及 100 年超越概率 1% 四个概率水准地震造成的直接经济损失和人员死亡风险等级及图件。

以山西省遭遇本地震烈度(50 年 10% 超越概率水平)影响时为例,分析以各县(市、区)为单位统计的地

震直接经济损失和地震灾害人口死亡风险等级的结果表明,在此地震作用下,山西省地震灾害人口死亡无高风险区,地震直接经济损失高风险区占 5.98%,整体的地震灾害风险处于中—中低水平。

分析山西省地震灾害风险特征表明,随着地震危险性的升高,地震直接经济损失值显著增长;大、中城市由于房屋建筑承灾体众多,经济损失值相对较高;地震人员死亡风险表现出相同的特征;从各县(市、区)的地震灾害风险等级来看,大部分地区的地震经济损失风险比地震人员死亡风险高。

(2) 地震灾害风险防治区划。

地震灾害风险防治区划主要基于活动断层分布图,编制出表 1 中除宁武县和万荣县以外的 35 个县(市、区)1:5 万活动断层避让图。

4 成果应用成效

按照“边普查、边应用、边见效”的要求,地震灾害风险普查成果已在地震灾害防治基础能力的提升、太忻一体化经济区建设、国土空间规划、建设工程选址、应急管理服务等多领域取得良好的推广应用效果。

(1) 应用于地震灾害防治基础能力的提升。

场地地震工程地质条件钻孔数据库应用于新一代地震动参数区划图的修编,为区划图在编制过程中考虑场地效应的风险评估或风险区划提供可靠的数据支撑。全省房屋建筑抽样详查成果应用于地震灾害损失预评估工作,建立全省典型工程结构地震易损性模型及数据库,提高评估工作的精准度。基于风险普查成果,正在研发地震灾害风险普查成果技术服务平台,通过该平台可以识别强震危险源,获得场地地震效应影响特征,提供风险防治对策。

(2) 服务于经济社会发展重大战略。

着眼山西优化区域协调发展新布局的重大发展战略,聚焦山西转型综合改革示范区和太忻一体化经济区建设等重大工程,已将省级 1:25 万地震构造图成果应用于山西转型综合改革示范区阳曲产业园区、清徐县经济技术开发区、太忻一体化经济区(太原片区)等区域性地震安全性评价项目,以及太原铁路客运枢纽西环线工程项目规划设计、太原一和顺新建铁路工程线路勘测,为上述重大项目和建设工程提供地震活动性、地震构造评价、目标区断层分析等科学依据。

(3) 应用于国土空间规划编制。

普查成果已应用于国土空间规划编制工作,精准服务乡村振兴战略、综合规划利用和城乡规划建设。1:5 万活动断层分布图和活动断层避让图,可为建设工程项目规划选址、区域经济建设等提供重要参考,该成果已为重要工业园区的规划、太忻一体化建设、各市国土空间规划编制提供精准的活动断层空间位置。1:25 万地震构造图,是识别与评估强震危险源的重要

支撑性基础资料,可为国土规划利用、重大工程布局规避地震灾害高风险提供重要依据。

5 山西省震害防御工作的建议

基于地震灾害风险普查成果,结合山西省“十四五”防震减灾规划,对山西省震害防御工作提出以下建议:

(1) 加强活动断裂带附近活动断层探测和成果应用,进一步服务于国土空间规划和重大工程选址。

(2) 优先在山西省地震危险性中高风险以上县区加快推进房屋设施加固工程建设,完善房屋设施加固工程台账化管理制度,优先开展地震易发区重点区域抗震能力严重不足房屋设施的抗震加固,科学规划并高标准建设应急避难场所。

(3) 开展更精细化的地震灾害风险评估和防治工程,推进典型重大基础设施、企业的地震灾害风险评估工作。

(4) 在推进房屋设施加固工程时,建议以重点隐患清单中的承灾体为重点,根据国家相关技术标准开展可靠性和抗震性鉴定,根据鉴定结果及时开展必要的加固。

(5) 针对高烈度地区(基本烈度Ⅷ度)的城镇建筑和市政设施,选取新型减隔震技术或传统加固技术进行抗震加固;针对农村建筑,研发经济、实用、绿色环保

的农居抗震技术,指导农村新建建筑的抗震设计和已有建筑的加固改造。

(6) 加强地震科普宣传,提高公众地震安全意识,开展地震灾害自救互救培训和演习;优先在高风险县、区逐步推行地震巨灾保险;加强地震应急准备和演练,同时做好防范大震巨灾风险的准备,在经济发达和人口聚集的高危险区推进大震巨灾情景构建工作。

参考文献:

- [1] 徐锡伟,邓起东,董瑞树,等.山西地堑系强震的活动规律和危险区段的研究[J].地震地质,1992,14(4):305-316.
- [2] 易桂喜,闻学泽,徐锡伟,等.山西断陷带太原—临汾部分的强地震平均复发间隔与未来危险段落研究[J].地震学报,2004,26(4):387-395.
- [3] 刘嘉敏,苏桂武,邓砚,等.山西断陷盆地带与灾害高风险区[J].地震学报,2004,26(4):440-447.
- [4] 晋华,郑秀清.山西霍州西部地裂缝地质灾害成因分析[J].自然灾害学报,2006,15(5):28-31.
- [5] 孙柏涛,张桂欣.中国大陆建筑物地震灾害风险分布研究[J].土木工程学报,2017,50(09):1-7.
- [6] 张桂欣.基于多元数据融合的区域地震灾害风险分级评价方法研究[D].哈尔滨:中国地震局工程力学研究所,2020.
- [7] 张桂欣,孙柏涛,陈相兆.分区分类的生命线工程地震直接经济损失研究[J].地震,2017,37(04):69-79.

A Comprehensive Review of the Results and Promotional Applications of Seismic Hazard Risk Assessment in Shanxi Province

ZENG Jinyan^{1,2}, HU Guirang^{1,2}, LIU Yanchun^{1,2}, YAN Xiaolin^{1,2}, SHI Shuangshuang^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030002, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: The seismic hazard risk assessment in Shanxi Province is the first local work of type of earthquake disasters in the national comprehensive survey of natural disaster risks. Based on the characteristics of seismic hazards in Shanxi Province, the seismic disaster risk survey primarily involves identifying the distribution of seismic hazard sources, assessing the current vulnerability of exposed entities, identifying potential seismic disaster risk factors and hidden vulnerabilities, and evaluating the overall level of seismic disaster risk. This survey has produced comprehensive results covering various aspects such as seismic causative factors, disaster-prone elements, vulnerability assessment, risk assessment, and zoning. Building upon the results of the seismic disaster risk survey, these findings have been widely applied across various domains, including the enhancement of earthquake disaster prevention and mitigation capabilities and the development of the Taiyuan-Xinzhou Economic Integration Zone. The paper concludes by proposing recommendations for the future development of earthquake prevention and disaster reduction efforts in Shanxi Province.

Key words: earthquake prevention and disaster reduction; seismic hazard risk assessment; outcomes dissemination

摸清底数 提高地震灾害风险防治能力

——山西省地震灾害风险普查工程纪实

李泽晖^{1,2}, 陶君丽^{1,2}, 董康义^{1,2}

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

摘要:地震灾害风险普查工程是全省自然灾害综合风险普查工作的重要内容之一。按照“三年见成效”的要求,2023年是第一次全国自然灾害综合风险普查全面收官之年。文章全面总结分析地震灾害风险普查工作部署、机制建设、支撑保障能力建设、试点和全面铺开、成果及其应用等重要环节和不同工作阶段的主要经验做法和取得的成效,为下一步震防领域相关重大项目的组织实施提供借鉴。

关键词:地震灾害风险普查; 风险防治; 山西省
中图分类号: P315.99 **文献标志码:** A

0 引言

地震灾害风险普查是山西省自然灾害综合风险普查工作的重要内容之一。山西省地震局作为山西省自然灾害综合风险普查地震行业牵头部门,把地震灾害风险普查工程作为一项重要政治任务,聚焦重点,强化统筹,组建领导小组、工作专班和专家技术团队,争取落实专项资金,高质量完成试点工作任务,全面完成地震灾害风险普查工程各项省级和地方任务。

1 聚焦重点,超前谋划布局

全省地震灾害风险普查工程是新中国成立以来首次开展的摸底调查,环节多、内容广,既有省级专题,也有市县任务,既有规定动作,也有自选亮点。山西省地震局党组把推进地震灾害风险普查工程作为一项政治任务,聚焦重点、超前谋划、整体推进,先后召开20余次党组会和局长办公会,听取工作进展汇报,研究部署重大事项,及时解决发现的困难和问题。召开地震灾害风险普查动员部署会1次、工作推进会3次,将地震灾害风险普查纳入省市县三级年度目标和考核内容,压紧压实主体责任。成立由党组成员亲自负责、靠前指挥的风险普查领导小组和工作专班,组建实体化项目办公室、房屋建筑抽样详查技术团队,建立健全定期调度、信息通报和督查检查工作机制,挂图作战、稳步推进,为地震灾害风险普查工程顺利推进提供组织保障。

2 疏通堵点,理顺管理机制

由于机构改革以后,市县两级地震部门大多调整为同级应急管理部的下属事业单位,更名为防震减灾中心后对外协调能力逐步减弱。按照统一部署、分级负责、部门协同的工作原则,建立健全省市县三级地震灾害风险普查组织体系。山西省地震局发挥牵头抓总作用,负责全省地震灾害风险普查工作的统筹管理和协调调度,承担国家级和省级普查任务,强化技术指导和质量管控。各市应急管理局作为市级防震减灾工作主管部门,充分发挥属地组织协调和监督管理作用,组织推进本行政区域地震灾害风险普查工作任务。各市防震减灾中心发挥技术支撑与服务保障作用,具体承担钻孔数据收集、房屋建筑抽样详查等任务,开展技术指导、培训宣传、成果推广应用等工作。

在省级层面,山西省地震局成立地震灾害风险普查工作领导小组,牵头推进实施地震灾害风险普查工程,推动解决实施过程中的困难和问题,指导有关市县开展相关工作;成立实体化项目办公室,负责综合协调、技术培训及督促检查工作,组织任务实施;组建地震灾害风险普查工作专班(技术团队),负责实施省局承担的工作任务,提供技术支撑;组建房屋建筑抽样详查工作专家技术团队,建立分专题分片区负责制,指导市县开展工作,强化技术保障。在市级层面,各市均成立地震灾害风险普查领导机构和技术组,按照职责任务,推进本行政区域地震灾害风险普查工作的落地落实。

收稿日期:2023-06-11

第一作者简介:李泽晖(1988—),女,山西太原市人,硕士研究生,一级主任科员,主要从事震害防御及地震灾害风险普查管理工作,E-mail:153274454@qq.com。

3 攻克难点,强化技术支撑

全省地震灾害风险普查工程时间紧、任务重、难度大、技术新。山西省地震局相继集中组织举办全省地震灾害风险普查技术培训、房屋建筑抽样详查数据采集培训,派出管理人员和技术专家赴各市开展培训宣传和调研督导,强化业务指导,理清工作思路,明确技术要求。工作专班认真研究掌握专题任务技术思路和指标要求,积极指导市县超额完成地震钻孔数据收集任务,稳步推进省级专题任务。房屋建筑抽样详查专家和技术团队集中学习研讨《房屋建筑抽样详查技术指南》,结合山西省实际提出指标化的抽样详查工作量总体要求,相继派出15批次技术人员分赴各市现场指导详查工作,为全省地震灾害风险普查房屋设施抽样详查工作提供技术支撑和服务。

针对普查工作中市县专业力量薄弱、技术储备不足的实际,山西省地震局围绕市级普查业务开展强化培训,共开展6期地震灾害风险普查钻孔数据收集培训,对8个市近500人进行集中授课和实操教学;相继派出8批次专家分赴各市县开展点对点指导,召开房屋建筑抽样详查培训会及交流座谈会20余场次,为各市提供针对性的服务和指导,参与人数近1000人。各市县围绕技术方案编制、钻孔资料收集、房屋建筑抽样详查等关键环节,积极向省级技术团队咨询请教、集中攻坚,精心组织实施普查工作,高质量完成承担的普查任务。

4 打造亮点,致力提质增效

率先高质量完成试点任务。为保证山西省地震灾害风险普查工程试点任务顺利完成,2020年10月,山西省地震局组建试点工程项目组,安排专题负责人和总技术负责人,编制试点工程方案,为完成试点工作奠定扎实基础。经过8个月,完成广灵、阳高、孝义3个县(市)地震灾害风险普查试点任务,产出相关成果图件5幅、专题报告和说明书13份,于2021年4月26日首批通过验收并得到技术专家组的充分肯定。

完成地震灾害致灾调查。组织全省11市、108个县收集931个地震工程地质条件钻孔的基础数据资料,超额完成方案确定的800个钻孔任务。完成活动断层探测成果资料收集及数据库建设,对山西省境内完成的重大工程地震安全性评价报告、单条断裂活动断层探测资料进行梳理,完成14个活动断层数据库建设,超额完成规定的12个数据库的建设任务。编制完成省级1:25万地震构造图、说明书和成果报告;编制完成37个县(市、区)1:5万活动断层分布图及说明书,以县为单位建设数据库;编制完成全省1:25万地

震危险性图及说明书,完成各计算点地震危险性分级划分和山西省地震危险性等级划分,为地震灾害风险评估和其他相关灾种的风险评估提供基础数据。

完成房屋建筑抽样详查。在完成大同市150万平方米房屋建筑抽样详查规定任务基础上,山西省地震局结合实际,提出要实现全省地震烈度七度以上地区房屋建筑抽样详查“全覆盖”。为达到这一目标,山西省地震局印发《关于加强地震灾害风险普查房屋建筑抽样详查工作监管的通知》,指导市县编制房屋建筑抽样详查技术方案,加强数据质量管控。按照1%的抽样率,对全省约2612万平方米、共计13172栋建筑物进行抽样详查,实现全省抗震设防烈度七度以上地区房屋建筑抽样详查全覆盖,初步摸清全省房屋建筑典型结构类型及抗震设防性能。

完成“一省一县”(孝义市)和“一省一市”(阳泉市)地震灾害评估与区划试点工作。山西省孝义市和山西省阳泉市作为试点,率先开展评估与区划工作,分别取得16项核心成果。完成地震危险性分析与地震危险性图的编制;开展地震灾害风险评估与区划,编制地震灾害人员死亡风险分布图和地震灾害经济损失分布图,对试点地区的地震灾害风险等级进行划分;开展地震灾害重点隐患调查与评估,建立地震灾害重点隐患数据库,进行地震灾害隐患等级评定。

完成全省地震灾害评估与区划工作。按照《地震灾害风险评估技术及数据规范》要求,以公里网格承灾体作为评价单元,给出不同概率水平地震作用下人员伤亡和直接经济损失评估结果,完成全省地震风险等级划分。通过评估,获得了50年超越概率63%、10%、2%以及100年超越概率1%四个概率水准地震造成的直接经济损失和人员伤亡评估结果、风险等级成果。

完成全省部分县级地震灾害风险防治区划工作。按照《1:5万活动断层避让区划图编制规范》要求,对山西省已完成1:5万活动断层填图工作涉及的大同市新荣区等35个县(市、区)开展1:5万地震活动断层避让区划图工作。编制活动断层避让图及说明书。

5 结语

通过此次地震灾害风险普查工作,基本摸清了山西省地震灾害风险底数,以此为基础,山西省将继续推进地震灾害风险防治重点工程。进一步加强普查成果在区域发展战略、国土空间规划、重大工程建设等重点领域的应用研究,提升地震灾害风险防治成果共享能力、服务能力、防治能力,积极为经济社会持续健康发展提供地震安全保障。

(英文摘要见第40页)

·工程抗震·

文章编号:1000-6265(2023)03-0007-05

山西中南部农村典型房屋建筑抗震性能调查分析

史琳娜^{1,2}, 史双双^{1,2}, 王雷雷^{1,2}, 郝雪景^{1,2}

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030002; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

摘要: 基于山西省中部、南部 4169 栋典型农村房屋建筑的抗震性能调查, 得到抗震性能属性基本信息, 从房屋的地基与基础处理、材料性能与施工质量、结构承载力与整体性能等方面, 分析农村房屋在建筑结构抗震方面存在的缺陷。依据调查得到的房屋抗震共性问题, 针对性地提出现有房屋与新建建筑抗震性能提升的可行性方案。

关键词: 农村住宅; 房屋结构; 抗震性能

中图分类号: TU352.1

文献标志码: A

0 引言

我国地震多发且分布广泛, 小震致灾、大震巨害是一个基本现状^[1], 而广大农村地区房屋建筑长期以来在设计、施工等环节普遍缺少监管且自建房屋普遍未经过专业的抗震设计, 成为城乡韧性提升中的薄弱环节。震害调查结果表明, 地震致灾主要表现为对房屋建筑承载体、结构构件等的破坏, 此外地震引发的崩塌、滑坡、泥石流等次生灾害也会对房屋建筑等承载体造成一定的破坏。在汶川地震、玉树地震、鲁甸地震、泸定地震等破坏性地震中, 农村房屋的破坏甚至倒塌情况仍存在。有关部门统计, 房屋倒塌造成的财产损失约占地震总损失 80% 以上, 其中 50% 以上的经济损失和 60% 以上的人员伤亡出现在农村^[2]。因此, 开展农村地区房屋抗震性能普查具有重要意义。

依托第一次全国自然灾害综合风险普查, 研究团队在山西省中部、南部地区实地勘察农村典型房屋建筑 4 169 栋, 其中中部地区 604 栋, 南部地区 3 565 栋。通过分析, 得到房屋建筑的地理位置、建造年代、建筑面积、结构形式等基本属性信息, 依据房屋结构形式、有无抗震设计或抗震构造措施、外观及内部状况、建筑材料和基础形式、结构布置形式和房屋现状等评判标准, 对区域内民居的抗震性能做出初步评价。

1 农村房屋的主要结构形式及特点

对山西省中南部农村地区典型房屋现场勘察结果的整理、分析发现, 钢筋混凝土类自建房屋较少见, 主

要结构类型大致有单层或两层砖混结构、单层砖木结构、单层土木结构和石结构 4 类。实地勘察的 4 169 栋建筑中, 每种结构类型的数量及其占比如表 1 所示。

由表 1 可知, 单层和两层砖混结构房屋逐渐成为农村建筑结构的主流, 砖木结构和土木结构房屋次之; 石结构房屋数量较少。

表 1 房屋结构类型及数量占比

Table 1 Distribution and proportion of building structures

结构类型	砖混结构	砖木结构	土木结构	石结构
房屋(栋)	2 518	925	578	148
比例(%)	60.40	22.19	13.86	3.55

1.1 砖混结构

砖混结构是 20 世纪 90 年代以后在农村房屋建筑中兴起的结构形式, 该结构具有居住适宜性和低施工技术、低造价成本等特点, 在新建农村住宅中得到普遍应用^[3]。调查区域的农村房屋大部分为砖混结构, 房屋层数不高, 多为单层或两层, 墙体多采用烧结实心黏土砖或混凝土小型空心砌块采用混合砂浆砌筑, 砌筑质量较好(见图 1、图 2)。

农村砖混结构房屋的主要特征是采用纵、横墙作为竖向承重构件, 预制或现浇钢筋混凝土板进行层间水平分隔, 立面规则状况较好(见表 2)。居民为了满足使用、采光等功能需求, 横墙开洞、纵墙开设窗洞口过大、窗间墙尺寸(宽度)过小、圈梁构造柱缺失、层高较大、房屋进深数量少、房屋整体性不足等现象普遍

收稿日期: 2023-05-31

第一作者简介: 史琳娜(1980—), 女, 山西沁源人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事地震科学研究工作, E-mail: 623286306@qq.com。

通讯作者: 史双双(1984—), 女, 湖北随州人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事地震地质与新构造年代学研究, E-mail: 254468394@qq.com。

存在,且在必要的交接处缺少钢筋混凝土构件连接,这些不利因素均可能导致地震中农村自建砖混结构房屋普遍震害严重。



图1 单层砖混结构房屋
Fig.1 Exterior of single-story reinforced brick structure house



图2 两层砖混结构房屋
Fig.2 Exterior of two-story reinforced brick structure house

烂且耐火性差,使得房屋的使用年限较短。

1.3 土木结构

土木结构作为传统的结构形式,多修建于新中国成立至七八十年代,以泥土和木材为主要建筑材料搭建而成,墙体一般有三种类型,砖包土坯墙体、半砖半土墙体和半石半土墙体^[1]。横墙为主要承重构件,木檩条直接搭在土墙上。屋盖为木屋盖,材料易采集。砌筑方式简单,施工难度小,可就地取材且成本低廉,由于建筑材料低劣导致房屋承载能力差,整体性不足,耐火性及耐久性差。调查区内的土木结构(包含窑洞形式)多采用“砖包土坯”墙体,前脸纵向砖墙仅用作装饰,不参与竖向承重;墙体多为土坯墙,少见夯土墙,墙体砌筑方式多为叠砌,无延性材料(见图4)。



图3 砖木结构房屋示意图
Fig.3 Exterior of brick and wood structure house

表2 砖混结构平立面规则情况

Table 2 Statistics of regularity in plan and elevation for reinforced brick structures

布局形式	平立面规则	平面规则立面不规则	平面不规则立面规则	平立面均不规则
房屋(栋)	1947	273	181	117
比例(%)	77.32	10.84	7.19	4.65

1.2 砖木结构

砖木结构建筑年代跨度较大,现存房屋多建于二十世纪八九十年代,房屋一般为单层,层高在3.5 m左右,大多采用条形基础^[4]。房屋实地勘察结果显示,砖木结构建筑屋顶多为坡屋顶构造,屋架、梁、檩条多采用传统木质材料(见图3、图4);用于竖向承重的墙、柱等构件多采用烧结黏土砖配合混合砂浆砌筑;结构平面布置较规则。砖木结构施工工艺简单,方便取材,空间分隔方便,具有较好的经济性。由于木材易腐



图4 土木结构房屋示意图
Fig.4 Exterior of civil structure house

1.4 石结构

石结构房屋与土木结构房屋的建造年代相似,多为二十世纪七八十年代以前建造,房屋全部或大部分承重构件采用石材砌筑。石材本身抗压强度高、耐久性好、吸水率低且可就地取材,使得该结构具有地方建筑特色。砌筑方式分为无垫片座浆砌筑、有垫片座浆砌筑、有垫片干砌后甩浆三种类型^[4]。调查的石结构

房屋以窑洞为主要形式,墙体类型为毛石砌筑,墙体多采用咬砌砌筑,墙体延性很差(见图5)。



图5 石结构房屋示意图

Fig. 5 Exterior of stone structure house

2 农村房屋现存的抗震设防问题

合理场地选址及科学的抗震设计是提高房屋抗震能力的有效途径。现行的建筑抗震设计规范主要从场地条件、建筑物外形尺寸、平立面布置、结构形式、受力构件布置、荷载分布、非结构构件与主体结构的连接、建筑材料以及施工质量等方面来保证结构具有足够的抗震可靠性^[4]。现场调查结果表明,山西中部、南部地区的农村典型建筑物,其主流结构形式为砖混、砖木和土木结构,各种结构存在的抗震隐患如表3所示。一般情况下,在保证结构具有合理抗震设计理念的前提下,建筑物的抗震性能主要由地基和基础的处理方式、施工质量、材料性能、构件承载力和结构整体性等方面决定。下面从几方面对调查区内房屋的抗震设防情况进行分析。

表3 抗震隐患统计

Table 3 Types of seismic vulnerabilities

统计类型	完好	非承重体系有裂缝	承重墙有裂缝	地基不均匀沉降	墙体腐蚀酥碎	墙体歪闪
砖混结构	2 460	113	73	9	41	1
砖木结构	620	156	19	2	9	4
土木结构	187	162	148	5	37	4
石结构	68	23	1	0	17	0
合计	3 335	464	241	16	104	9

2.1 地基与基础处理

农村自建房屋基础类型单一,基本为条形扩展基础,通常采用砖基础或毛石、片石基础,埋深较浅,部分房屋在砖基础之上设置地圈梁,毛石或片石基础一般不设置基础圈梁^[6]。勘察结果表明,农村房屋普遍存在场地位置选择和地基处理方式不科学等问题,导致建筑物基础常处于软弱地基及持力不均匀土层之上。受场地选址、地基与基础处理不当等因素的影响,不均匀沉降、房屋地面与墙体出现裂缝、屋盖产生变形等现象较普遍(见图6)。

2.2 材料性能和施工质量

材料性能和施工质量是影响房屋抗震性能的重要

因素。农村建筑物墙体一般采用烧结黏土砖和混合砂浆进行砌筑,黏土砖自身的强度、砖与砖之间的粘结强度直接影响墙体的抗震能力^[6]。调查发现,较早修建的砖木、砖混结构大多使用黏土作为粘结材料,绝大多数石结构建筑是干砌。这一现象在21世纪以后的农村自建房屋中得到明显改善,新建的砖混结构房屋采用混合砂浆砌筑,但砂浆性能(主要指流动性、和异性与保水性)是否达标,配合比控制是否科学合理有待验证。农村自建房屋多由当地具有施工经验的施工队完成,难以按照规范标准建造,且材料性能差、建造成本低,施工质量多取决于工人经验。综合来看,农村自建房屋建筑材料性能是制约农村房屋抗震能力的不利因素之一,在进行抗震性能评价时需着重考虑。



图6 不均匀沉降导致屋盖变形

Fig. 6 Roof deformation due to uneven settlement

2.3 结构的承载力和整体性

截至目前,农村房屋通常按照房主的个人意愿由非专业施工队建造,缺少系统的结构设计、抗震设计及对结构整体性的科学规划。此类型房屋存在以下抗震缺陷。

(1) 关键构件连接不足,房屋整体性差。

主要体现在建筑物构件之间缺少必要的连接或约束。在砖混自建房屋中,圈梁、构造柱等构造措施的缺失或不足,结构整体性差,强度不大的地震作用下即开裂、破坏,极易引起结构局部甚至整体倒塌。在调查的4 169栋农村房屋中,超过80%的房屋未设置圈梁、构造柱或设置不充分;约17%的自建房屋虽设置圈梁、构造柱,但普遍存在构造柱布置不合理不充分、圈梁不闭合等问题;房屋纵、横墙交接处,梁柱、梁墙结合部位缺少必要的构造措施,砖木结构中的木梁、檩条直接搭接在砖墙或土坯墙上,纵横墙交接处缺少可靠连接。上述问题均会导致建筑物整体性下降,在地震过程中易出现墙体歪闪或倒塌现象。图7中的木梁直接搭在砖柱上,缺少必要的约束,在地震作用下,极易发生相互滑动,导致屋架塌落,砖柱成为顶端自由的悬臂结构

极易遭受破坏。

(2) 墙体洞口布置不合理, 导致各轴线刚度差异悬殊。

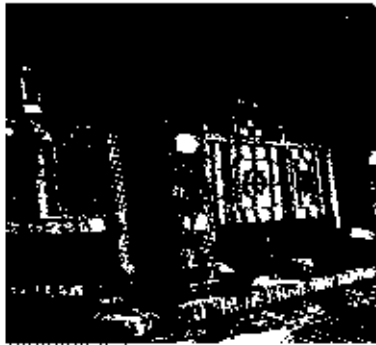


图7 梁柱之间缺少必要连接
Fig.7 Lack of necessary connection between beams and columns

主要表现在同层各轴线构件由于构造不合理导致抗侧向刚度分布不均。调查发现, 居民为满足房屋采光性和舒适性的要求, 纵墙开设较大的门窗洞口, 不同布局洞口在降低纵墙抗侧刚度与极限承载力的同时导致各轴线抗侧刚度出现差异。当刚度差异过大时, 将直接影响构件的受力机制而改变结构的地震破坏模式, 随意开设较大的门窗洞口, 使窗间墙宽度较小, 不满足相关规范对窗间墙最小宽度的要求。由图8看出, 房屋窗洞尺寸太大, 窗间墙不存在, 正立面墙体平面内刚度明显小于背立面墙体。当地震发生时, 背立面因墙体刚度较大, 地震剪力分配较大, 率先发生剪切破坏。由于缺乏结构安全意识与建筑抗震设防理念, 随意拆除房间内部横墙(或隔墙)的现象普遍存在, 导致结构承载力不足。有时为降低建造成本, 农村房屋门窗洞口上部常缺少过梁, 荷载直接由门框或窗框承受(见图9), 出现因窗框承载力不足而造成房屋局部或整体破坏。



图8 门窗洞口过大
Fig.8 Overly large window and door openings



图9 窗口缺少过梁
Fig.9 Lack of lintel above windows

(3) 相邻房屋高度不统一, 缺少必要抗震分缝。

由于农村房屋缺少统一科学的规划与布局, 毗邻建筑的结构形式、房屋高度往往出现较大差异。调查发现, 相邻建筑物之间高度差过大, 抗震缝宽度过小甚至未设置抗震分缝等现象较多(见图10、图11)。目前, 新建房屋一般为层高较高的单层或二层砖混结构, 与其毗邻修建时间较早的房屋, 容易形成房屋高度不统一的现象。由于相邻建筑物缺乏足够的抗震缝宽度且房屋整体刚度存在差异, 在地震作用下相邻建筑之间变形不协调导致发生碰撞, 对建筑物安全造成极大的隐患。如图11中左侧建筑物发生山墙歪闪, 则会引起右侧建筑物的倒塌或倾覆。



图10 相邻建筑物空隙较小
Fig.10 Small gap between adjacent buildings



图11 相邻建筑物高度差过大
Fig.11 Significant height difference between adjacent buildings

3 结论与建议

通过对山西省中部、南部农村房屋结构特征及抗震性能的分析,得出如下结论及建议:

(1) 山西省中部和南部典型农村地区的房屋建筑结构类型主要为砖混结构、砖木结构、土木结构和石结构。其中,土木结构和石结构房屋的新建数量越来越少,单层或两层砖混结构成为主流,钢筋混凝土结构在山西中南部农村地区未得到普遍应用。

(2) 自建房屋设计、建造全过程缺少科学系统的结构设计和抗震设计,缺少圈梁构造柱,随意开设门窗洞口以及洞口尺寸过大等问题降低了结构的抗震性能。

(3) 对年代较久远的土木结构和石结构房屋,应加强检测和加固,避免因承重构件失效导致结构倒塌,造成人员伤亡和财产损失。

(4) 农村地区对房屋抗震设防的意识淡薄,建筑物缺少统一科学的规划与布局。新建房屋时,注意周

围环境是否符合建设条件,避免与其他建筑物间存在高度差过大、刚度不均匀等问题。

参考文献:

- [1] 王波,郭迅,宣越.河北农村典型房屋抗震能力调查[J].华北地震科学,2016,34(03):1-6.
- [2] 李书进,毛羚,陶礼龙,等.湖北农村民居抗震性能调查与分析[J].震灾防御技术,2010,5(01):116-124.
- [3] 金赞赞,汪明,王亚安,等.云南典型民居建筑的抗震性能分析及其新问题探讨[J].华北地震科学,2014,32(02):29-35.
- [4] 刘阳,郭子雄,黄群贤.东南沿海村镇房屋安全性现状调查及统计分析[J].工程抗震与加固改造,2009,31(06):56-59.
- [5] 中国建筑科学研究院.GB 50011—2010 建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [6] 王毅红,韩岗,卜永红,等.村镇既有砌体结构民居建筑抗震性能现状分析[J].建筑结构,2010,40(12):101-104 | 121.

Investigation and Analysis of Seismic Performance of Typical Rural House Constructions in Central and Southern Shanxi

SHI Linna^{1,2}, SHI Shuangshuang^{1,2}, WANG Leilei^{1,2}, HAO Xuejing^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: Based on the seismic performance investigation of 4,169 typical rural house constructions in central and southern Shanxi Province, fundamental information regarding seismic performance attributes is obtained. Analyzing aspects such as foundation treatment, material properties and construction quality, structural load-bearing capacity, and overall performance, the study identifies deficiencies in the seismic aspects of rural house constructions. By addressing common seismic issues identified in the investigation, feasible strategies are proposed for enhancing the seismic performance of both existing and new rural house constructions.

Key words: rural housing; building structure; seismic performance

芮城县房屋建筑抽样详查结果及典型结构抗震性能分析

王雷雷^{1,2}, 韩晓飞^{1,2}, 王跃杰^{1,2}, 由文智^{1,2}, 焦洁钰^{1,2}

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030002; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

摘要:为摸清山西省芮城县地震灾害风险状况,基于山西省地震灾害风险普查工程,按照抽样相关规范规定,对芮城县房屋建筑开展抽样详查。对本次调查的79栋建筑物进行分析表明,城区中心、乡镇中心的建筑绝大多数结构使用功能正常;郊区、农村地区个别老旧建筑出现墙体腐蚀剥落、地基不均匀沉降,多数土木结构墙体开裂、地基不均匀沉降。根据详查结果,对该地区典型结构房屋建筑的抗震性能进行分析,并提出相应的地震灾害风险防治建议。

关键词:房屋建筑抽样详查;建筑结构抗震性能分析;地震灾害风险防治
中图分类号:TU352.1 **文献标志码:**A

0 引言

我国是世界上地震灾害最为严重的国家之一,地震活动频繁,地震强度大^[1]。我国的地震研究虽然起步较晚,但在地震监测预报、震灾防御等方面不断成熟。目前,开展的地震灾害风险普查工程,对掌握不同地区地震灾害风险状况,进行高效的地震灾害风险治理有一定的意义。

为摸清运城市芮城县地震灾害风险状况,对其房屋建筑开展抽样详查。芮城县地处三省交界^[2],县域东西长65 km,南北宽18 km,境内地形复杂,山丘沟川滩五型俱全^[3]。其多样地形造就多样建筑结构,主

要有:砖混结构、多层结构、高层结构、空旷结构、工业厂房结构、土木结构、砖木结构7种。

芮城县位于汾渭断陷带灵宝断陷盆地,盆地边界断裂发育,北界为中条山南麓断裂,南界为华山山前断裂、温塘断裂,西界为潼关-中条山西缘断裂,盆地内部地震活动强烈。其境内及周边有史料记载以来共发生破坏性地震($M \geq 4.7$)6次。根据GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》可知,芮城县风陵渡镇、阳城镇、永乐镇、大王镇、学张乡、古魏镇西部加速度为0.20 g,反应谱特征周期为0.40 s;古魏镇中东部、南卫乡、西陌镇、东炉乡、陌南镇加速度为0.15 g,反应谱特征周期为0.40 s^[4]。

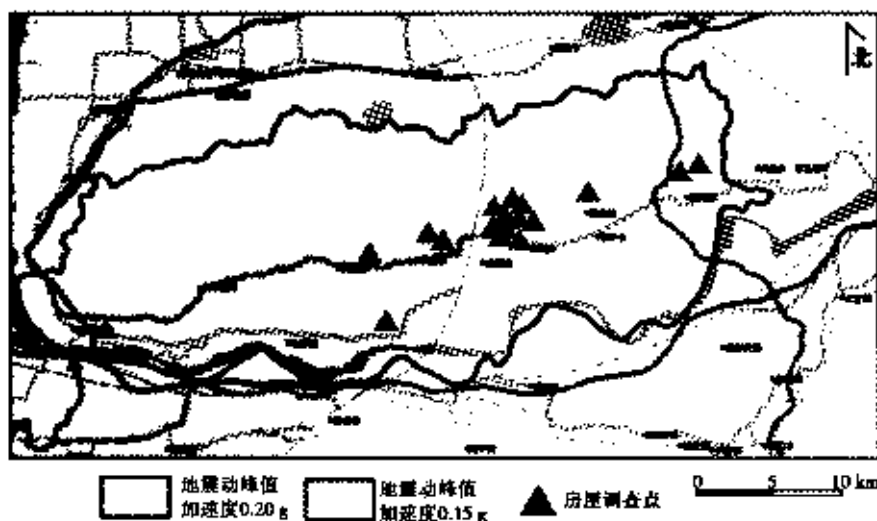


图1 芮城县地震动参数区划及抽样调查房屋分布图

Fig. 1 Zoning of seismic parameters and distribution of sampled investigation points in Ruicheng County

收稿日期:2023-05-30

第一作者简介:王雷雷(1996—),男,山西临汾市人。硕士研究生,助理工程师,主要从事房屋建筑结构地震灾害风险评估工作, E-mail: 420897482@qq.com.

1 不同结构房屋调查情况

本次详查在获取项目资料的基础上,依据工程结构易损性抽样要求确定详查对象,对提取的详查数据进行分析。根据普查结果和工程场地信息,按照抽样率分区分类确定房屋详查对象,根据对象资料的完整性展开不同精度的详查,对详查结果进行整理分析。

1.1 房屋抽样依据及原则

本次房屋抽样详查工作的主要依据有《房屋抽样详查技术指南(初稿)》《第一次全国自然灾害综合风险普查实施方案(修订版)》《山西省中南部区域房屋建筑抽样详查技术方案》。房屋建筑抽样面积确定原则:依据芮城县建筑普查抽样面积,按照住建部门房屋建筑普查面积1 600万平方米1%的抽样率确定的抽样详查面积为16万平方米,同时满足超过8层以上高层房屋建筑抽样详查面积不高于抽样详查总数据量的30%;除高层以外其他各种结构类型的房屋建筑抽样详查数量不低于5栋;不同结构类型房屋抽样详查考虑地理分布因素,尽量做到均匀分布;城区收集到图纸信息的建筑物面积占比不少于总抽样面积的80%。

根据前期普查结果及工程场地信息,按照抽样率分区分类确定详查对象,本着尽量涵盖各种结构类型建筑、不同年代建筑、各调查区对象分布均匀的原则,对抽样详查对象进行预选,确定大致抽样范围,再根据市、县城档案馆图纸资料,进行预选详查对象的调整,优先选取有图纸资料的建筑作为抽样对象,最后根据现场实地调研情况进行微调,去除不符合条件或已被拆除的建筑物,确定最终的抽样详查对象。

1.2 抽样详查情况

本次抽样详查范围广,建筑物多,一共详查79栋建筑物,详查总面积为209 262.48 m²(见表1)。不同结构类型的现场图如图2—图5所示,表2—表8为不同结构建筑物具体信息。

表1 不同结构建筑物统计表

Table 1 Statistics of different structural buildings

结构类型	栋数	栋数占比/%	面积/m ²	面积占比/%
砖混结构	32	39.70	58 081.19	27.76
多层结构	8	10.30	42 853.71	20.48
高层结构	5	6.40	97 751.35	46.70
空旷结构	2	2.60	3 883.65	1.86
工业厂房	5	6.40	4 557.58	2.18
土木结构	17	21.80	1 362.00	0.65
砖木结构	10	12.80	773.00	0.37
总计	79	100.00	209 262.48	100.00

1.3 抽样详查结果初步分析

本次抽样详查建筑结构涉及砖混结构、多层结构、高层结构、空旷结构、工业厂房结构、土木结构、砖木结构7种类型,结构种类多、信息完整。对整体调查结果

根据面积大小、栋数占比对不同结构建筑的统计结果如表1所示。



图2 高层、多层结构建筑物外观
Fig. 2 Exterior of high-rise and multi-storey structural buildings



图3 砖混、工业厂房结构建筑物外观
Fig. 3 Exterior of reinforce dbrick and industrial plant structure buildings



图4 空旷、砖木结构建筑物外观
Fig. 4 Exterior of open and brick-wood structure buildings



图5 土木结构建筑物外观
Fig. 5 Exterior of civil structure buildings

本次抽样建筑主要是 21 世纪 10 年代和 20 年代建筑。其中农村地区建筑主要是 20 世纪 70 年代和 80 年代,砖木结构多数为 90 年代建筑。建筑年代跨度较大,不同年代建筑抽样如表 2 所示。

表 2 不同年代建筑物抽样结果

Table 2 Sampled results of buildings from different eras

年代	抽样栋数	抽样面积/m ²	
20 世纪	70s 前	5	264.00
	70s	11	964.00
	80s	3	270.00
	90s	7	864.00
21 世纪	00s	4	1 809.26
	10s	39	147 274.44
	20s	10	57 816.78
共计	79	209 262.48	

在抽样详查过程中,可直观看到各类建筑物的外表情况。其中,有一栋砖混结构出现年久失修,墙体开裂的问题;土木结构中有 5 栋出现墙体开裂、屋架变形、地基不均匀沉降等问题,无法正常使用;除上述之外,其他建筑均在正常使用。表 3 列出不同结构建筑物正常使用情况统计结果。

综上所述,本次抽样详查所选建筑物建筑年代跨度较大、分布范围广、结构类型多。现场详查发现,21 世纪 10 年代、20 年代修建的高层框剪结构外墙装饰、构件均完好无损,地基无任何沉降;部分 20 世纪 70 年代、80 年代的建筑物没有构造柱和圈梁,墙体腐蚀掉皮,地基出现不均匀沉降等,有的已无法正常使用;多层框架结构的梁、板、柱结构完好,无裂缝、开裂及地基不均匀沉降等问题,均在正常使用中;空旷桁架结构主要用于车间和仓库,目前结构完好,没有开裂、

变形和维护墙裂缝等情况,在正常使用,多数土木结构出现地基不均匀沉降、墙体开裂腐蚀酥碎、屋架变形等情况,有些虽在正常使用但功能受限,需放弃使用或加固后使用;砖木结构建筑多数无构造柱和圈梁,为不设防建筑,虽然目前均正常使用,但存在一定的抗震隐患。

表 3 不同结构建筑物正常使用情况统计

Table 3 Statistics of normal usage conditions of different structural buildings

结构类型	数量/栋	正常使用数量/栋	占比/%
砖混结构	32	30	93.75
多层结构	8	8	100
高层结构	5	5	100
空旷结构	2	2	100
工业厂房	5	5	100
土木结构	17	12	70.60
砖木结构	10	10	100

2 典型结构抗震性能分析

2.1 选取结构类型

通过上述抽查结果发现,目前建筑结构较多的是高层框剪结构、多层框架结构和多层砖混结构,分布地区广,建筑面积大,集中人口多,与人民生命财产息息相关,因此,对此类建筑结构的抗震性能做重点分析。

2.2 有限元模型的建立及分析

根据图纸收集、实地调研、场地条件、建筑物分布范围、建筑物功能使用、结构类型情况,从详查的高层结构、多层框架结构、多层砖混结构的房屋中各选出一栋具有代表性的建筑,利用建模软件建立有限元分析模型,分析其抗震性能。不同建筑结构的平面图如图 6—图 8 所示。

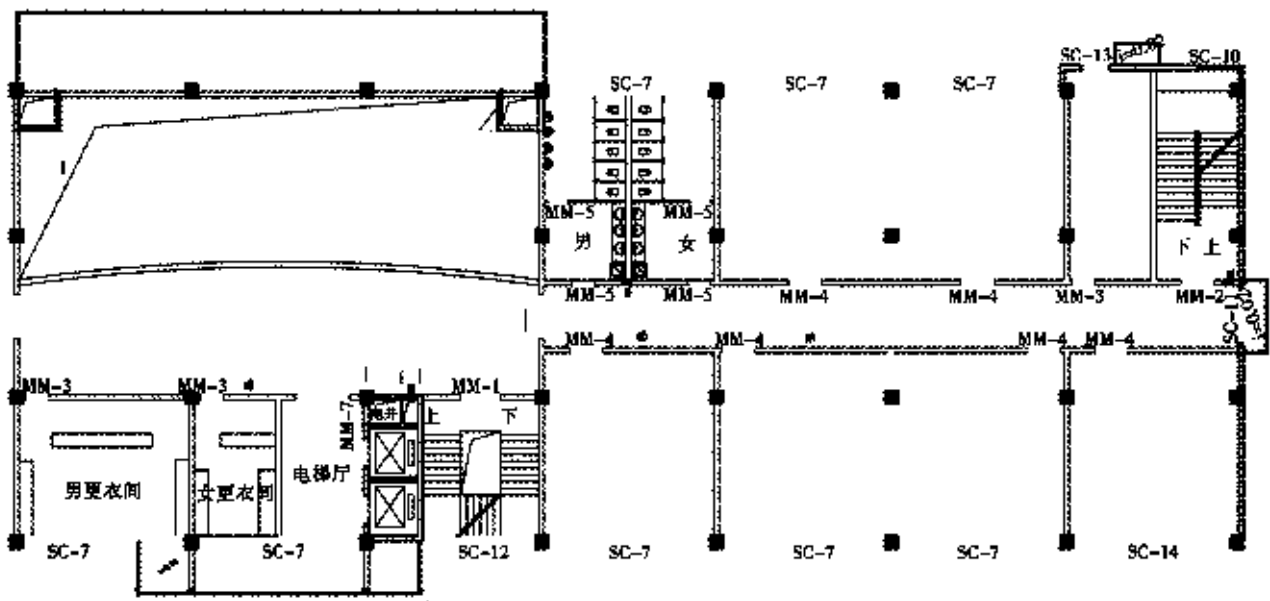


图 6 多层钢筋混凝土结构平面图

Fig. 6 Floor plan of multi-story reinforced concrete structure

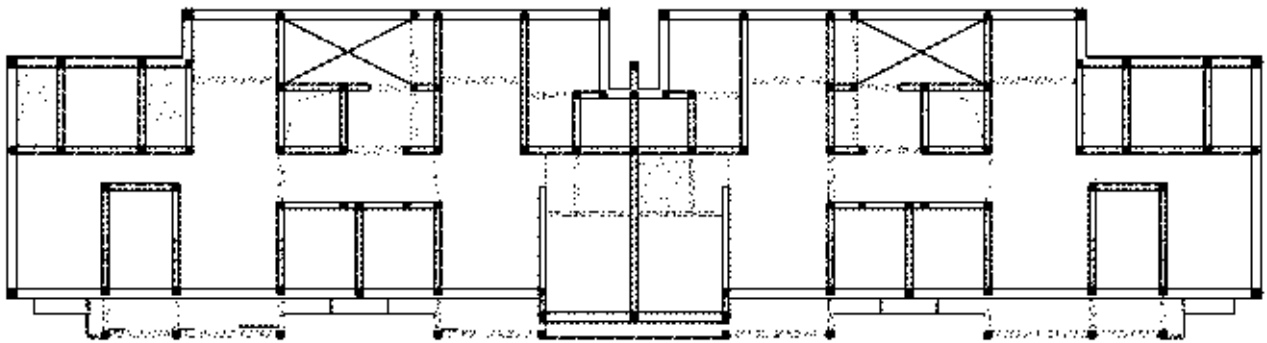


图7 砖混结构平面图

Fig. 7 Floor plan of reinforced brick structure

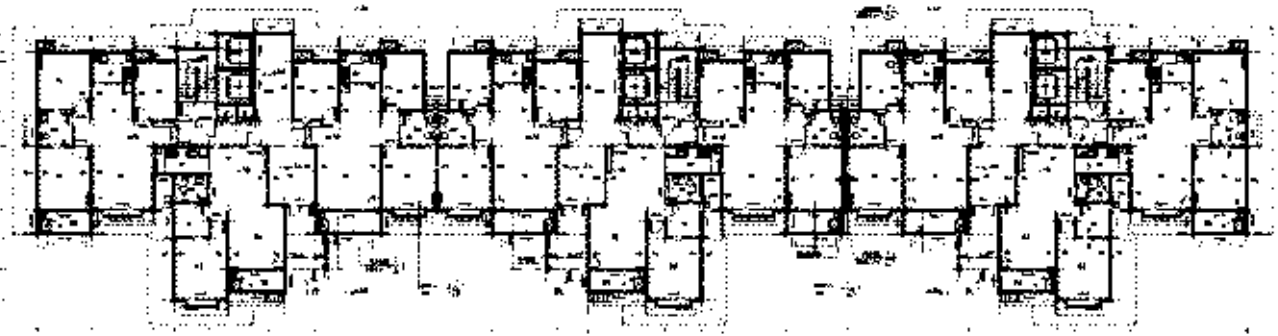


图8 高层结构平面图

Fig. 8 Floor plan of high-rise structure

反应谱分析,其核心是拟动力分析,使用动力方法计算质点地震响应,再使用统计的方法形成反应谱曲线,最后使用静力方法进行结构分析^[5]。根据选取结构类型和分析目的,所选结构损伤指标需能反应结构的性能水平,与整个结构刚度、延性、吸收地震能量有直接关联,所以选取层间位移和层间位移角作为结构性能分析指标^[6]。层间位移角可以综合反映结构的梁、柱、节点等构件的变形情况,能够反映结构的位移延性、描述结构的抗震性能。

通过反应谱分析,得到三种不同结构建筑物的层间位移和层间位移角(见表4—表6),不同结构建筑物X方向、Y方向反应谱分析结果如图9所示。

通过上述分析可知:

层间位移在X方向上,高层结构的层间位移最大(78.45 mm),多层钢筋混凝土结构次之,砖混结构最小。层间位移角在底层时,高层结构层间位移角最小(1/5618),但在顶层,砖混结构的层间位移角增大(1/1428)。

表4 高层结构建筑物反应谱分析结果

Table 4 Response spectrum analysis results of high-rise structural buildings

层号	层间位移/mm		层间位移角	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
1	1.75	1.60	1/5 618	1/2 597
2	1.91	1.94	1/2 283	1/3 155
3	2.92	3.02	1/2 062	1/2 358
4	4.75	7.82	1/2 397	1/1 295
5	6.57	13.04	1/2 500	1/1 175
6	8.50	17.19	1/2 364	1/1 083
7	10.99	21.64	1/2 309	1/1 015
8	11.50	24.24	1/2 262	1/1 107
9	13.05	27.98	1/2 208	1/1 101
10	15.64	31.88	1/2 160	1/1 094
11	17.28	34.93	1/2 088	1/1 097
12	19.94	40.12	1/2 062	1/1 096
13	21.61	44.43	1/2 049	1/999
14	23.28	48.87	1/2 045	1/997
15	25.95	54.42	1/2 049	1/964
16	26.62	58.08	1/2 049	1/960
17	29.27	63.83	1/2 062	1/958
18	29.91	67.66	1/2 083	1/957
19	31.53	72.54	1/2 110	1/956
20	32.12	78.45	1/2 146	1/956

表5 多层钢筋混凝土结构建筑物反应谱分析结果

Table 5 Response spectrum analysis results of multi-story reinforced concrete structure buildings

层号	层间位移/mm		层间位移角	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
1	1.18	1.37	1/3 108	1/2 828
2	2.99	3.42	1/1 964	1/1 755
3	5.11	5.78	1/1 701	1/1 526
4	7.59	8.51	1/1 448	1/1 320
5	10.41	11.54	1/1 278	1/1 188
6	13.52	14.84	1/1 157	1/1 091
7	16.9	18.38	1/1 065	1/1 015
8	20.54	22.25	1/988	1/930
9	24.25	26.53	1/969	1/840
10	28.4	31.05	1/1 013	1/930
11	30.12	32.67	1/2 098	1/2 226

由图9看出,在设防地震下,三种结构虽有较小突变,但均满足抗震设防需求。其中,高层结构层间位移角曲线较平滑,多层砖混结构突变程度较大,说明高层结构对层间位移角控制效果较好,能更好地消耗地震能量,使整个结构受地震响应较合理,不因局部突变导致

致结构损伤;多层砖混结构突变明显,表明在消耗地震能量时,部分区域消耗能量不均,可能发生构件损伤,使得结构功能受损。从抗震性能来说,虽选取结构数量少,但选取具有代表性,在一定程度上可反映该地区不同结构类型建筑的抗震性能。其中,高层结构耗能较合理,抗震性能较好;多层钢筋混凝土结构次之,多层砖混结构会发生局部突变,抗震性能较低。

表6 砖混结构建筑物反应谱分析结果

Table 6 Response spectrum analysis results of reinforced brick structure buildings

层号	层间位移/mm		层间位移角	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
1	0.38	0.70	1/2 203	1/1 805
2	1.06	1.80	1/1 986	1/1 657
3	2.18	3.10	1/1 798	1/1 323
4	3.69	4.61	1/1 879	1/1 466
5	4.82	6.63	1/1 731	1/1 286
6	5.63	8.45	1/1 998	1/1 428

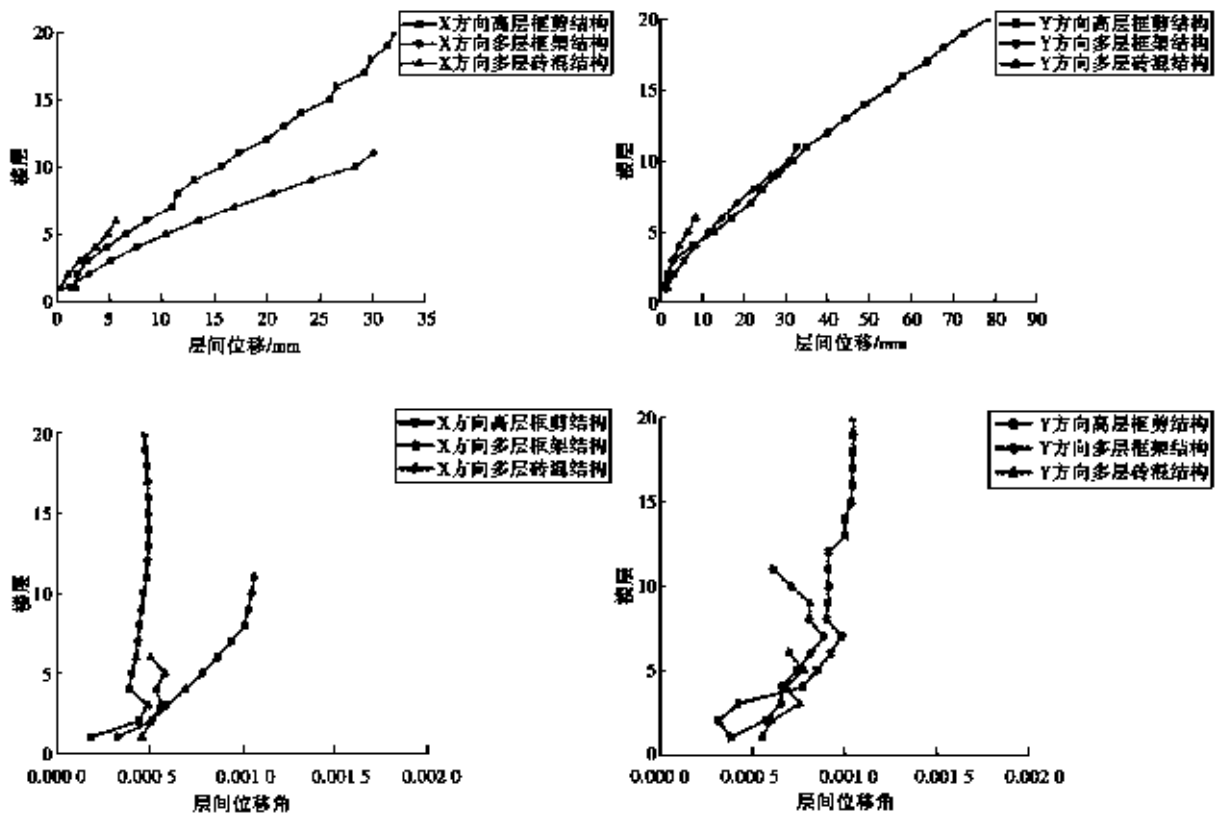


图9 不同结构建筑 X、Y 方向层间位移、层间位移角

Fig. 9 Inter-story displacement and inter-story drift in X and Y directions for different structural buildings

3 结论及建议

通过房屋建筑图纸资料收集、实地勘查、数据分析,详查芮城县七种主要建筑结构类型发现,城区中心、乡镇中心的高层结构建筑绝大多数均完好无损,未出现梁、板、柱等主要受力构件受损情况,地基不均匀沉降,结构使用功能正常;郊区及农村地区的个别老旧建筑无构造柱和圈梁,出现墙体腐蚀剥落、地基不均匀沉降等情况;多数土木结构墙体开裂,屋顶破坏,地基不均匀沉降,无法正常使用或需加固修复后才可正常使用。在今后类似的工作中,可加强对老旧房屋抗震性能的鉴定,排查清楚震害情况,对功能受损不适合使用的应放弃使用或加固修复达到标准后才可使用。

在对使用数量最多、分布范围最广、经济影响最大的结构类型典型建筑进行分析时,其中高层结构的地震响应最合理,抗震性能较好;多层钢筋混凝土结构和砖混结构会发生局部突变,其地震响应不够平滑均匀,抗震性能略弱。以上典型建筑的抗震性能在一定程度上

能反映该地区此类建筑的总体抗震性能。在今建设规划时,可采用抗震性能较好,经济效益较高的建筑结构类型。

参考文献:

- [1] 张效亮,钟慧,吴健.摸清风险底数 提升防治能力,地震灾害风险普查进展情况[J]. 防灾博览,2021,121(06):19-23.
- [2] 景昆俊,姚仰举.芮城县志[M]. 西安:三秦出版社,2011.
- [3] 景鹏.山西省芮城县体育旅游开发的探讨[J]. 搏击(体育论坛),2011,3(12):25-26.
- [4] 中国地震局地球物理研究所,中国地震灾害防御中心,中国地震局工程力学研究所,等. GB 18306—2015 中国地震动参数区划图[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [5] 徐敏,潘尚杰,范健康.基于SAP2000的小高层建筑结构抗震性能分析[J]. 河南城建学院学报,2019,28(06):16-21.
- [6] 徐秀凤,孙伟,杜秀丽,等. 框架结构损伤计算研究[J]. 建筑结构,2019,49(S2):178-182.

Results of Sampled Detailed Inspection of Building Construction in Ruicheng County and Analysis of Seismic Performance of Typical Structures

WANG Leilei^{1,2}, HAN Xiaofei^{1,2}, WANG Yuejie^{1,2}, YOU Wenzhi^{1,2}, JIAO Jieyu^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030002, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: To understand the seismic risk situation in Ruicheng County, Yuncheng City, based on the seismic hazard risk assessment project, a sampled detailed inspection of building construction in Ruicheng County was carried out according to the relevant sampling standards. A total of 79 buildings were investigated in this detailed inspection. The analysis results indicate that the majority of structures in the urban center and town centers are in normal functional condition. However, in suburban and rural areas, some older buildings exhibit wall corrosion, peeling, uneven seismic settlement, and cracks in most masonry structures, along with non-uniform foundation settlement. Based on the detailed inspection results, the seismic performance of typical structural buildings in the area is analyzed, and corresponding recommendations for seismic hazard risk prevention and mitigation are proposed.

Key words: sampled detailed inspection of building construction; seismic performance analysis of building structures; seismic hazard risk prevention and mitigation

基于遥感影像和经验估计初判山西省建筑物抗震能力

赵杰^{1,2},王跃杰^{1,2},程紫燕^{1,2},王飞剑^{1,2},郑树平^{1,2}

(1.山西省地震局,山西太原 030021;2.太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站,山西太原 030025)

摘要:房屋抗震能力是地震灾害风险评估、震后损失快速评估等工作的关键数据。文章给出基于遥感影像和经验估计初步判别山西省建筑物抗震能力的技术方法,描述辅助性基础数据收集的类型、遥感数据的来源、判别标准的建立、针对城市或农村房屋特点的判别方法。据此,完成山西省房屋抗震能力的初步判别工作,并基于实地调研、街景对比、空间分析等方法进行数据质检。结果表明,该方法工作效率高、成本低,可快速获得区域房屋的空间分布、数量和基本的抗震性能。

关键词:遥感影像;抗震能力;经验评估

中图分类号:TU352.1

文献标志码:A

0 引言

地震时建筑物的破坏及地震引发的次生地质灾害是造成人员伤亡的主要原因,其中建筑物的破坏和倒塌是造成人员伤亡最直接、最主要的原因^[1]。近几十年来,建筑物破坏导致的人员伤亡占伤亡总数的90%以上^[2-4]。目前常用的震后损失快速评估中,建筑物的抗震性能是最关键的参数之一。建筑物数据量大、涉及面广、专业性强,及部门间数据共享的困难等,一直无法有效支撑地震灾害风险评估^[5]。利用遥感影像解译是获取建筑物位置及其属性信息的一个重要方式,乔程等依据高分辨率遥感影像,采用面向对象的多尺度分割方法进行城市建筑物的提取^[6]。针对城区高分遥感影像存在大量异物同谱和同物异谱的现象,谭霄霖发展了一种从高分影像上基于知识规则的面向对象分类提取城区建筑物的方法^[7]。针对高分遥感影像具有丰富的地物属性“谱相”信息和空间分布及其组合“图式”息的特点,吴炜等提出一种光谱和形状特征相结合的建筑物自动提取方法^[8]。近年来,随着“深度学习”的兴起,发展了多种将“深度学习”应用于遥感影像处理的建筑物提取方法,比较典型的如季顺平等建立一套开源、大范围、高精度、覆盖广、多源数据的建筑物数据库(WHU building dataset),并提出一种基于全卷积神经网络的建筑物语义分割方法^[9]。

在地震灾害损失快速评估和风险评估工作中,建筑物的抗震能力和空间分布都是不可或缺的要害。李皓等利用遥感影像提取的居民地数据,结合实际调查,

以张家口怀安县为例构建该区域的房屋建筑基础信息^[10]。李姜等通过遥感影像提取房屋的基本信息,结合抽样调查得到的房屋年代和层数等信息,综合考虑当地抗震设防水平,以张家口万全区为例阐述该区的房屋抗震能力现状^[11]。朱达超等在地震重点危险区预评估工作中,采用基于遥感影像解译获得建筑物空间分布,结合现场抽样调查得到建筑物属性信息,构建地震重点危险区空间分布数据库^[12]。基于遥感影像获取建筑物空间分布的方法较多,在具有高分辨率遥感影像覆盖的城市地区采用该方法解译房屋分布较易实现。在获取建筑物抗震能力相关属性上,目前多采用抽样调查的方法,若是针对省级空间尺度建筑物的抗震能力分析,该方法仍存在局限性。由此,中国地震灾害防御中心开展了基于遥感影像和经验估计的房屋抗震能力初判研究,以其快速模型房屋分布与数量,宏观把握建筑物整体的抗震能力。通过遥感影像获得建筑物抗震能力数据具有快速、经济的优势。采用可公开获取的遥感影像,结合山西省农居状况抽样调查数据^[13]、第六次全国人口普查数据、地震重点危险区预评估实地调研数据等多源数据,结合不同结构类型、层数、用途的建筑物在遥感影像中的几何特征和空间特征,开展山西省全境建筑物的抗震能力判别。

1 研究方法

1.1 技术思路

基于遥感影像和经验估计的山西省房屋抗震能力初判,包括基础数据收集整理、建立基于遥感影像和经

收稿日期:2023-07-04

基金项目:山西省地震局科研项目(SBK-2114)。

第一作者简介:赵杰(1989—),男,山西原平人,硕士研究生,工程师,主要从事自然灾害监测及应急工作,E-mail:jiezha2009@qq.com。

通讯作者:王跃杰(1973—),男,山西临猗人,高级工程师,主要从事地震安全性评价和震害评估工作,E-mail:16528295@qq.com。

验估计的房屋抗震能力判别标准,根据房屋所在城乡位置及影像的清晰度进行分布判别、判别结果数据质检查、房屋抗震能力统计、分析和制图等步骤,具体流程如图1所示。

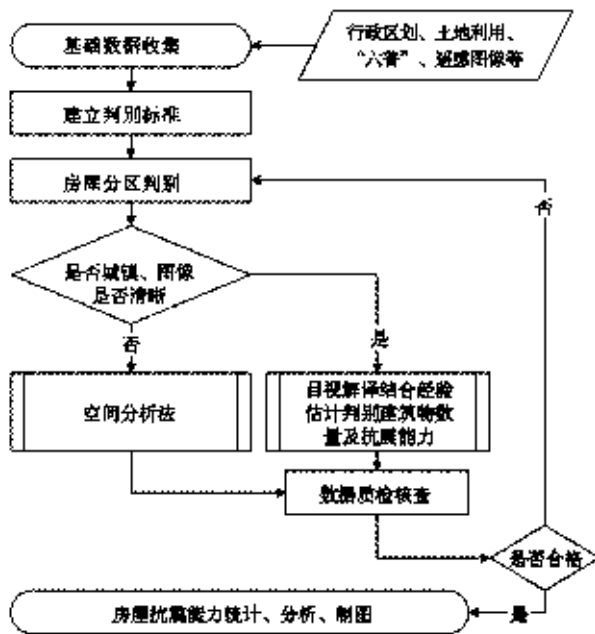


图1 判别技术流程图

Fig.1 Flowchart of the discrimination technique

1.2 数据整理

根据基于遥感影像和经验估计的山西省房屋抗震能力初判工作的要求,需收集整理以下几类辅助性数据:山西省农居状况抽样调查数据、第六次全国人口普查数据、土地利用数据、地震重点危险区预评估实地调研数据、行政区划数据、POI数据、易地搬迁和危房改造数据等。这些数据可以辅助识别房屋的建筑结构类型比例、房屋影响特征、房屋用途、高度等信息,同时可采用空间分析方法增补房屋抗震能力的属性数据。

多源遥感影像数据采用多个来源的遥感影像数据,包括天地图遥感数据、谷歌地球遥感数据、ArcGIS World Imagery、百度地图遥感数据等。上述遥感数据均可免费获得,空间分辨率基本满足目视解译房屋抗震信息的要求,房屋建筑情况变化频繁的城区遥感影像的时间分辨率在2年内。

1.3 建立判别标准

山西省城市房屋的抗震性能较好,4~8层住宅多为砌体结构房屋,9层及以上住宅多为框架结构和钢筋混凝土剪力墙结构,大空间的公共建筑多采用钢结构、框架结构或框架剪力墙结构,城中村房屋多采用砌体结构,其抗震性能较好。农村房屋主要建造为1~3层,多采用砖木结构、土木结构和砖混结构,少部分

为土(石)窑洞等,其抗震性能一般。

在城市地区的亚米级遥感影像上,可以直观看到房屋的纹理、空间分布、相对高度。在线地图标注海量的POI信息,可以了解不同房屋的用途。二者相结合,即可得到影响建筑物抗震能力的2个重要指标,房屋高度和用途。城市遥感影像的拍摄角度一般有一定的倾斜,可以看到房屋的侧面,根据其相对尺寸及日照阴影即可估计其高度。建筑物按照层数可以分为5类:低层(1~3层)、多层(4~6层)、中层(7~10层)、小高层(11~15层)、高层(16层以上)。建筑物用途可以分为3类:住宅、公共建筑、厂房。综合考虑房屋的高度和用途,大体确定其抗震能力。综合考虑房屋可识别的影像特征和山西省房屋抗震能力的统计资料,设置如下判定房屋抗震能力的规则。

第一类,估计抗震能力达标。该类型房屋按照抗震设防规范建造,主要包括城市多层及高层、农村4层以上的、农村经抗震加固及易地搬迁后的、大型公用建筑、特种建筑、大型厂房等。基本对应于《GB/T 17742—2020 中国地震烈度表》中的C类和D类房屋。

第二类,疑似抗震能力不足。该类型房屋包括农村地区3~4层房屋,根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015)中抗震设防要求提高地区的房屋。基本对应于《GB/T 17742—2020 中国地震烈度表》中的B类房屋。

第三类,疑似抗震能力严重不足。指的是无任何抗震设防措施的房屋,这类房屋主要是农村低层自建房。基本对应于《GB/T 17742—2020 中国地震烈度表》中的A1类房屋。

在地震烈度评定工作中,宏观调查评定Ⅵ度~Ⅹ度时,以房屋震害为主要的评审依据。上述方法中的房屋抗震能力分类与《GB/T 17742—2020 中国地震烈度表》中的房屋类型具有基本的对应关系,有利于后续地震应急快速评估和风险评估工作的开展。

1.4 判别方法

在城市地区,采用的遥感影像空间分辨率较高,来源于在线地图服务平台,只有RGB三个波段,主要采用遥感影像目视解译辅以POI及街景数据的判别方法。目视解译是根据遥感影像目视解译标志和解译经验,识别目标地物的办法和技巧,常用的方法包括直接判读法、对比分析法、信息复合法、综合推理法、地理相关分析法等^[14]。为了提高目视解译的质量,需做一系列的前期准备工作,包括明确解译的目标任务要求、收集整理相关资料、建议恰当的判读标志等。根据山西省重点危险区预评估工作经验,笔者初步建立房屋识别的判读标志^[15]。目视解译完成后,在质检阶段需要进行野外验证和补判,以检验目视判读的质量和精度,对于目视判读过程中不确定的部分,要在野外验证中补充判读。

在农村地区,采用基于面向对象的图像分类与空间分析法相结合进行房屋属性的获取。空间分析是利用一定的技术和理论对空间的拓扑结构、叠置、图像、空间缓冲区和距离进行分析的方法总称^[16]。由于部分农村地区的遥感影像空间分辨率不高,房屋多成片密集分布,同一个村子的房屋结构类型相似度高,可利用土地数据中的建筑图层,或者采用基于面向对象的图像分类算法提取农村居民地的轮廓线,综合考虑目标地区房屋的建造形式、面积等信息,利用空间分析法得到目标区域房屋的数量。“Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning.”^[17]是一种土地利用数据,分辨率为10 m,针对 Sentinel-2 影像采

用超过 50 亿个手工标注的标记,通过“深度学习”的方法获得土地利用分类数据。经测试,该数据集能较准确地圈定农村居民点的建筑物区域,将该数据集作为农村部分地区建筑物区域的数据源,结合区域建筑物平均面积,利用空间分析法可较快得到建筑物数量,数量误差在 3% 之内。

2 判别结果及分析

2.1 判别结果

结合多源先验数据和遥感影像,根据上述判别标准,综合使用目视判读和空间分析法,完成山西省建筑物抗震能力评估。初步评估结果的空间分布如图 2 所示。

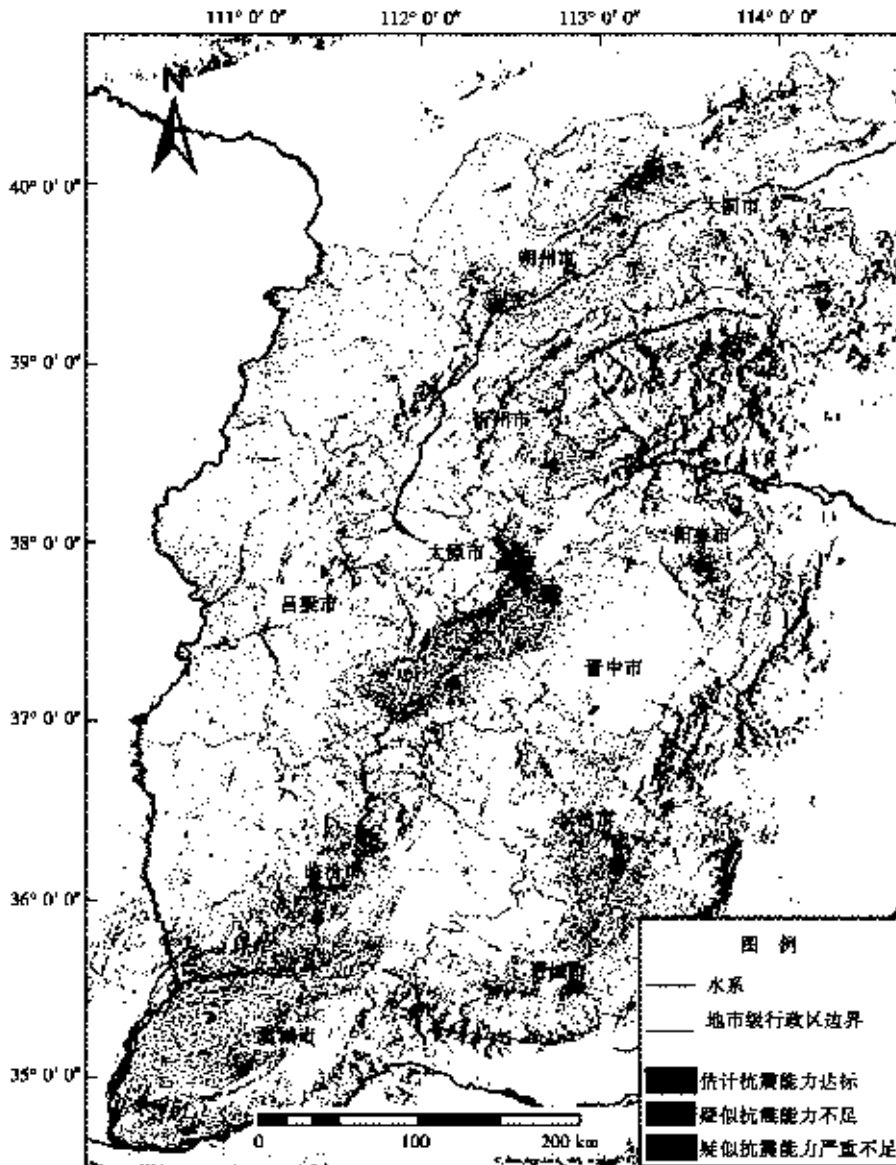


图 2 基于遥感影像和经验估计的山西省房屋抗震能力初步评估图

Fig. 2 Preliminary assessment of building seismic resilience in Shanxi Province based on remote sensing imagery and empirical estimation

2.2 结果分析

山西省 11 地市的判别结果显示,城镇房屋抗震能力较强,达标率状况较好,同一地区城镇的估计抗震能力达标房屋占比均高于农村地区,各地市城镇化水平越高,达标房屋占比越大。城镇中的城中村、城市近郊以疑似抗震能力不足和疑似抗震能力严重不足两类建筑为主,该区域也是城市抗震能力疑似严重不足的区域。

对于农村地区,房屋的抗震能力情况与当地经济条件、地形条件关系不大。例如运城市、临汾市、晋城市、阳泉市的农村疑似抗震能力严重不足比例较高,这几个地区中,运城市 85% 的地区位于平原区,阳泉市 85% 的地区位于山区,二者结果相差并不大。如果继续细化到县一级,一些山区的县市抗震能力严重不足占比房屋反而比平原地区低。分析主要原因是山区农村每户自建房屋较少,一般每户 1 栋,有的村已经整村拆除搬迁;平原地区经济发达,人口密集,每户建筑房屋栋数至少 2 栋,这些自建房只有极少部分有抗震防护措施,但需要更细致的调查才可以区分出来。因此农村地区房屋越多,其“疑似抗震能力严重不足”房屋占比就越高。从疑似抗震能力严重不足占比来看,各地市除太原外,没有明显差别。同样,从各地市抗震能力达标图可以看出,太原市房屋抗震能力估计达标情况远远高于其他地市。整体而言,从本次分析结果来看,太原市房屋抗震能力较好,其余地市略有差异,但总体的房屋抗震能力较差,与实际情况接近。

在此次研究中,出现疑似抗震能力严重不足建筑物数量远大于估计抗震能力达标和疑似抗震能力不足建筑物数量的情况。在城市地区出现上述情况的主要原因是,该结果中,房屋的计量方式采用栋数而非面积,估计抗震能力达标建筑物多为中高层建筑物,每栋建筑面积在 9 000~50 000 m² 左右,估计抗震能力达标和疑似抗震能力不足多为城中村及零散搭建房屋等建筑物,单栋面积在 500 m² 以下。若以建筑物面积作为其抗震能力的统计单位,三类建筑物的占比才能反映城镇地区建筑物抗震能力的真实比例。在农村地区出现上述情况的主要原因,首先是该方法中判别房屋抗震能力主要依赖于房屋的高度和用途,山西省农村地区建筑物多为自住的 1~2 层房屋,且其遥感影像空间分辨率较低,受限于判别方法和影像清晰度,房屋抗震能力更细致的分类无法实现;其次,经过抗震加固的农村房屋在本方法中无法有效识别;另外,根据山西省农村民居状况抽样调查项目统计,农居结构类型中的砖土结构占 34.8%,砖混结构占 33.6%,土木结构占 19.1%,窑洞及其他占 12.5%,其中砖混结构大多是未经正规抗震设防设计的自建房,农村建筑物的抗震能力本身较弱,该研究方法也未对农村砖混结构房屋进行详细的区分,导致上述结果。值得注意的是,文中

房屋抗震能力的估计抗震能力达标、疑似抗震能力严重不足、疑似抗震能力不足三类描述仅是基于遥感和经验估计的房屋抗震能力判别这种特定方法中的描述,不等同于《GB 50011—2010 建筑抗震设计规范》中描述的建筑物抗震设防是否达标情况。

2.3 数据质检

为保障基于遥感和经验估计的房屋抗震能力判别结果的可靠性,按照工作方案的要求,进行数据质检。本次主要利用百度街景地图、实地抽样调查和已有的基础数据资料,对判别结果进行对照复核。总计抽样 813 015 栋房屋,占总栋数的 8.55%,对山西省 117 个县市覆盖率达 100%。

根据对山西省 11 个地市的基于遥感影像初步判别的结果和经过实地调研等方式修正后的结果,对前后数据的误差率进行对比分析。在房屋抗震能力方面,由于分类标准比较宽泛、判别规则比较清晰,在抗震能力的判别上误差不大。在房屋栋数估计误差方面,11 个地市初判房屋总计 9 667 852 栋,修正后为 9 509 926 栋,整体误差率为 1.66% (见表 1)。总体看,对于数以百万计的房屋基数,误差率是较低的。

表 1 山西省房屋判别结果整体误差率
Table 1 Overall error rate of building assessment results in Shanxi Province

地市名称	修正前总栋数	修正后总栋数	整体误差率(%)
运城市	2 196 404	2 017 892	8.85
忻州市	1 142 542	1 179 935	3.17
临汾市	1 123 019	1 118 533	0.40
长治市	1 157 327	1 054 107	9.79
晋城市	808 812	829 696	2.86
晋中市	765 895	754 788	1.47
吕梁市	742 255	742 722	0.06
大同市	617 136	654 807	5.75
朔州市	368 745	408 867	9.81
太原市	401 239	396 377	1.23
阳泉市	346 478	352 202	1.63
全省	9 667 852	9 509 926	1.66

3 结语

根据区域建筑特征和基础数据情况,给出山西省基于遥感影像和经验估计的判别建筑物抗震能力的技术方法,包括辅助性基础数据收集的类型、遥感数据的来源、建立判别标准、针对城市或农村房屋特点的判别方法。据此完成山西省房屋抗震能力的初步判别工作,基于实地调研、街景对比、空间分析等方法进行数

据质检,对判定结果进行分析和讨论。山西省房屋的抗震性能跟城镇化水平相关性强,城镇房屋多为经过正规抗震设计建造的房屋,抗震能力较强。城镇中的城中村、农村地区的房屋多为自建房,抗震能力较差,且房屋的抗震能力跟当地的经济水平无显著关联。该方法工作效率较高,成本较低,能够快速掌握区域房屋的空间分布、数量和基本的抗震性能,从宏观上掌握区域房屋的抗震能力。在地震灾害风险预评估工作中,可以运用该方法结合实地调研、无人机倾斜摄影测量等手段,搞清楚房屋的抗震能力,提高人员伤亡评估的准确性。在地震灾害风险普查工作中,可以应用该成果进行房屋抽样详查的样本位置选择,提升工作效率。

参考文献:

- [1] 魏本勇,聂高众,苏桂武,等.地震灾害埋压人员评估的研究进展[J].灾害学,2017,32(01):155-159.
- [2] 张京.坍塌建筑中被困人员的自救自救研究[J].城市与减灾,2014(01):29-31.
- [3] 黄卫.加强建筑物设防抵御地震灾害[J].求是,2010(17):56.
- [4] 马玉宏,谢礼立.关于地震人员伤亡因素的探讨[J].自然灾害学报,2000,9(3):84-90.
- [5] 张效亮,钟慧,吴健.摸清风险底数提升防治能力:地震灾害风险普查进展情况[J].防灾博览,2021(6):18-23.
- [6] 乔程,骆剑承,吴泉源,等.面向对象的高分辨率影像城市建筑物提取[J].地理与地理信息科学,2008(05):36-39.
- [7] 谭德霖.高分辨率多光谱影像城区建筑物提取研究[J].测绘学报,2010,39(06):618-623.
- [8] 吴炜,骆剑承,沈占峰,等.光谱和形状特征相结合的高分辨率遥感图像的建筑物提取方法[J].武汉大学学报(信息科学版),2012,37(07):800-805.
- [9] 李顺平,魏世清.遥感影像建筑物提取的卷积神经网络与开源数据集方法[J].测绘学报,2019,48(04):448-459.
- [10] 李皓,张合,吕国军.基于遥感影像的建筑数据构建研究[J].震灾防御技术,2018,13(01):168-176.
- [11] 李雯,张合,刘志辉,等.基于遥感影像的建筑抗震能力分析:以张家口万全区为例[J].震灾防御技术,2021,16(02):371-380.
- [12] 朱达游,王东明.基于遥感影像的建筑物空间分布方法在地震灾害损失预评估中的应用[J].震灾防御技术,2021,16(03):510-518.
- [13] 甄盟,杨斌.基于抽样调查的山西省农村民居抗震性能分析研究[J].山西地震,2015(4):33-39.
- [14] 梅安新,彭望球,秦其明,等.遥感导论[M].北京,高等教育出版社,2001.
- [15] 郑树平,程紫燕,赵杰,等.遥感技术在山西房屋抗震普查中的应用[J].江西科学,2021,39(01):89-93. DOI: 10.13990/j.issn1001-3679.2021.01.017.
- [16] 李德仁,王树良,史文中,等.论空间数据挖掘和知识发现[J].武汉大学学报(信息科学版),2001(06):491-499.

Preliminary Seismic Resilience Assessment of Buildings in Shanxi Province Based on Remote Sensing Imagery and Empirical Estimation

ZHAO Jie^{1,2}, WANG Yuejie^{1,2}, CHENG Ziyang^{1,2}, WANG Feijian^{1,2}, ZHENG Shuping^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: The seismic resistance of buildings is a crucial data point for tasks such as earthquake disaster risk assessment and rapid post-earthquake loss evaluation. The article provides a technical method for preliminarily distinguishing the seismic resistance of buildings in Shanxi Province based on remote sensing images and empirical estimation, describing the types of auxiliary basic data collection, sources of remote sensing data, establishment of discrimination standards, and discrimination methods tailored to the characteristics of urban or rural houses. Utilizing this approach, the preliminary assessment of building seismic resilience in Shanxi Province is carried out, with data quality assurance achieved through on-site surveys, street view comparisons, and spatial analysis. The results indicate that this method has the advantages of high efficiency and low cost, the spatial distribution, quantity and basic seismic performance of the regional buildings can be obtained quickly.

Key words: remote sensing imagery; seismic resilience; empirical estimation

临汾市浮山县不同结构建筑物特征研究

马秀芳^{1,2}

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030002; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

摘要: 房屋建筑抽样详查是山西省地震灾害风险普查工程的关键内容之一,旨在摸清房屋建筑的抗震设防情况,为评估其抗震能力提供支撑。文章以2020—2022年临汾市浮山县房屋建筑抽样详查工作为基础,重点对房屋建筑的结构特征、年代特征及设防情况进行分析。结果表明,临汾市浮山县城关房屋以2000年新建的多层钢筋混凝土结构、砖混结构和高层建筑为主,均采用基本设防烈度8度(0.20g)进行抗震设防;乡镇及农村房屋以20世纪80年代修建的土木结构为主,基本未进行抗震设防。建议通过采取抗震加固措施进行加固,加强防震减灾科普宣传,提高民众的意识等方式,降低房屋的地震灾害风险。

关键词: 建筑物;抗震设防;抽样详查

中图分类号: TU352.1

文献标志码: A

0 引言

我国是世界上自然灾害最为严重的国家之一,灾害种类多、分布地域广、发生频率高、造成损失重。2020年,国务院办公厅印发《国务院办公厅关于开展第一次全国自然灾害综合风险普查的通知》,要求在全国范围开展自然灾害风险普查,旨在全力防范化解重大自然灾害风险,有效应对重大自然灾害,最大限度减轻灾害造成的人员伤亡和财产损失。房屋建筑抽样详查是摸清房屋建筑抗震设防能力的关键一环,为评估地震灾害风险提供基础数据。2022年,浮山县按照《关于加强地震灾害风险普查房屋建筑抽样详查工作监管的通知》和《房屋建筑抽样详查技术指南》等文件要求,开展房屋抽样详查工作。

浮山县属于典型的黄土丘陵地区,县城涉及中国地震动参数区划图(GB 18306—2015)峰值加速度中的0.20g和0.10g,大部分地区位于0.20g区,东部小部分地区位于0.10g区,整体位于高烈度区且建筑物结构类型多样,在山西省房屋建筑具有代表性。本文对浮山县房屋建筑抽样详查数据进行分析,以期摸清浮山县房屋建筑的地区特点、结构特征、年代分布及抗震性能,为后期分析地震灾害风险奠定基础。

1 浮山县概况与抽样调查

浮山县地处山西省南部,太岳山南麓,临汾盆地东

缘,属临汾市政府管辖,土地面积940.6 km²,全县辖9个乡镇。地貌呈东高西低,西部残垣平川区、中部坡梁沟壑丘陵区、东部和西南部土石山区。县城位于临汾盆地,属于盆地地貌,众多自然村镇分布在丘陵区。由前期的初步研究及相关文献可知,浮山县的房屋结构较多样^[1-15]。

根据普查数据显示,浮山县辖区内现有各类建筑总面积约500万平方米,抽样详查工作按照要求抽样率应不低于1%,详查工作的总面积不少于5万平方米。建筑物详查工作主要分以下五步:(1)收集结构图纸。从县档案室、质监站以及机关事务管理局收集房屋建筑结构图纸,按照一个住宅小区或工程项目收集1套建筑和结构施工图图纸的原则。(2)抽样样本定位。将收集的房屋结构图纸位置信息定位到空间,进行设防烈度、结构典型构造、房屋结构设计信息、年代分布等信息提取。(3)现场现状调查。对定位样本开展现场现状调查,通过拍照,同时与街景地图进行对比,掌握目标建筑结构现状。(4)结构信息汇总。根据房屋抽样详查技术指南,基于档案查询和现场调查情况完成信息汇总,填写调查表格。(5)数据入库与质检。按照风险普查验收要求,将详查数据导入数据库平台并完成质检。

本次房屋建筑抽样详查共完成47个样本,总面积10.2万平方米,其中城镇调查总面积9.9万平方米,抽样点分布于浮山县9个乡镇(见图1)。各乡镇的抽

收稿日期:2023-05-31

基金项目:山西省地震局科研项目(SBK-1932,SBK-2035);山西省基础研究计划项目(20210302123361);阳泉市地震局地震灾害预测采购项目;清徐县经济技术开发区区域性地震安全性评价项目。

作者简介:马秀芳(1980—),女,山西大同人,硕士研究生,高级工程师,主要从事地震地质灾害防御、活动断层探测、地震安全性评价和历史地震研究工作,E-mail:584131019@qq.com。

样情况如表 1 所示。

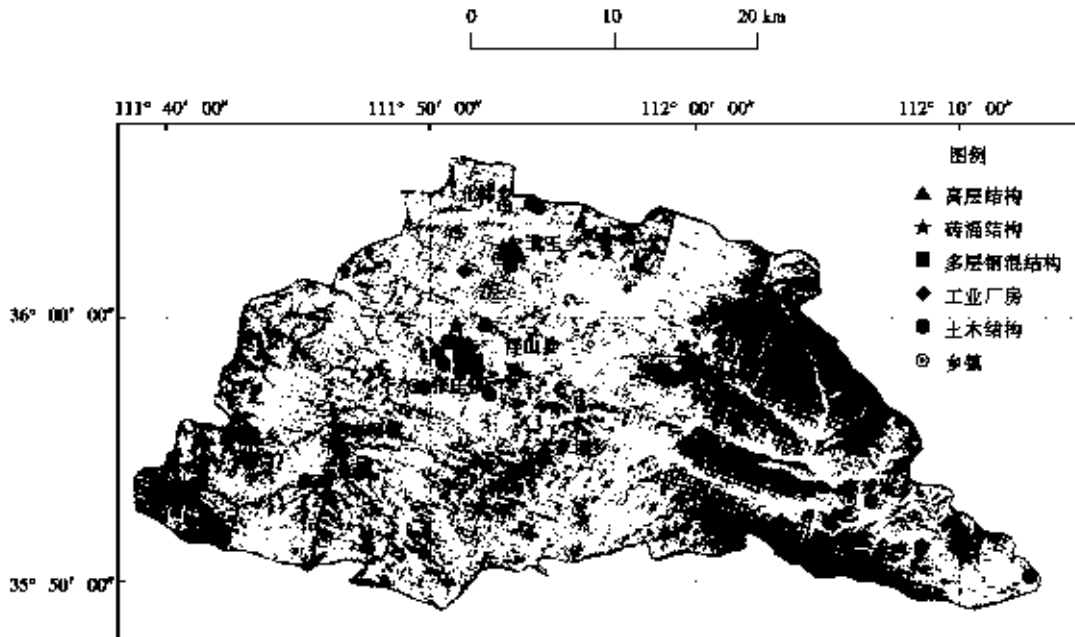


图 1 浮山县建筑物抽样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampled points for building constructions in Fushan County

表 1 浮山县各乡镇抽样对象面积分布

Table 1 Distribution of sampled objects by area in various townships of Fushan County

乡镇名称	各类型建筑面积/m ²				
	砖混结构	多层钢筋混凝土框架结构	土木结构	高层结构	工业厂房
天坛镇	22 456	25 301	570	31 883	9 370
响水河镇	0	0	310	0	0
张庄乡	0	0	228	0	0
东张乡	0	0	266	0	0
槐埭乡	0	0	360	0	0
北王乡	2 382	7 461	420	0	0
北韩乡	0	0	294	0	0
米家莊乡	0	0	264	0	0
寨圪塔乡	0	0	234	0	0
汇总	24 838	32 762	2 946	31 883	9 370
	101 799				

2 抽样调查结果

2.1 抽样调查不同结构房屋的面积与栋数占比

不同结构房屋面积和栋数占比如图 2 和图 3 所示。本次抽样面积 84% 的房屋为多层钢混—框架结构、高层结构和砖混结构，多层框架结构房屋主要分布在学校、医院、超市、公共事业等行业，高层建筑多用于住宅、商住两用，主要分布在城区内。土木结构房屋的栋数占比较高，达到 60% 以上，主要分布于农村地区。

2.2 不同结构房屋建造年代分析

根据详查结果，调查建筑物的建造年代涉及 20 世纪 70 年代、80 年代、90 年代，21 世纪 00 年代、10 年代、20 年代。80 年代及以前的建筑较少且图纸缺失，未收集到图纸。多数有图纸的建筑物在 90 年代，21 世纪 00 年代、10 年代和 20 年代，90 年代之后的建筑物根据中国地震区划图 8 度设防。由统计结果可见，砖混结构、多层钢筋混凝土框架结构、高层结构主要分布在城区，其年代分布横跨 20 世纪 90 年代到 21 世纪

20年代;土木结构建筑,主要分布在各乡镇,其年代分布横跨20世纪70年代到90年代。

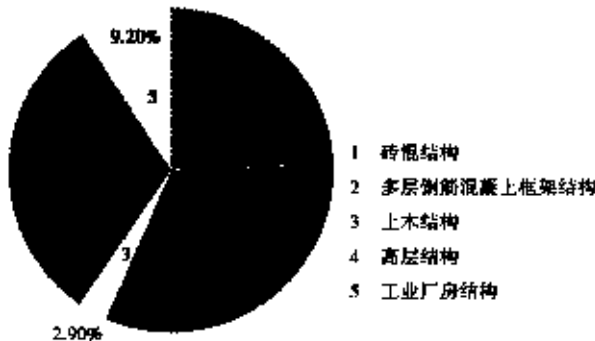


图2 浮山县全域抽样详查房屋结构类型占比

Fig. 2 Proportional distribution of different structural types in sampled detailed inspection of Fushan County

2.3 不同结构房屋特点

通过调查可知,浮山县建筑物结构种类较多,主要为高层结构、多层钢筋混凝土框架结构、多层砖混结构和土木结构。各种结构的特点如下:

(1) 高层结构。

高层结构多为2010年后的建筑,大量运用钢筋混凝土建造,材料强度较高。结构形式上多采用剪力墙或框架剪力墙结构,承重体系为板、梁、墙或柱,多采用片筏基础、箱型基础或桩基础。从当前的抗震设计角度来看,高层建筑拥有较好的抗震性能。

(2) 多层钢筋混凝土框架结构。

框架结构房屋中,结构体系采用钢筋混凝土建造,填充墙采用空心砌块或加气混凝土砌块砌筑,采样对象的结构平立面布局未见明显扭转、偏心等不利因素,调研对象中存在一栋设置了部分剪力墙墙肢的多层钢筋混凝土框架结构,这一做法值得在当地推广应用。从结构布局上看,未见单跨或两跨框架结构,均采用多跨形式,填充墙的布局规整,梁、柱配筋充分。从使用状态上看,房屋未见明显裂缝,整体处于良好状态。

(3) 多层砖混结构。

砖混结构房屋,从详查样本显示,均进行过系统的结构与抗震设计。从结构角度分析,样本在结构层数与高度、材料强度、平立面布局、结构分缝、门窗洞口设置、圈梁与构造柱的设置均符合规范要求,从使用状态来看,砖混结构房屋楼板、承重墙体均未见明显开裂,结构使用状态良好;从图纸信息与结构实地调研情况来看,可以按相对较好状态对砖混结构进行抗震性能评估与地震易损性指数的计算。

(4) 土木结构。

土木结构房屋普遍房龄较长,部分超过了30 a,有的甚至50 a。一般采用低级、脆弱材料砌筑,地基基本

采用天然地基,虽然后期有一定的维护及加固,仍存在墙体开裂、墙面酥脆等现象,安全隐患较大。

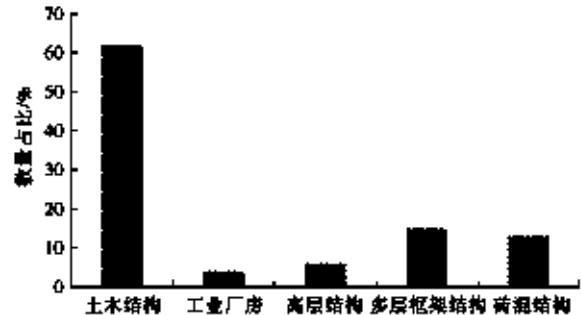


图3 浮山城区抽样详查的不同结构房屋数量占比

Fig. 3 Proportional distribution of different structural types in sampled detailed inspection of urban areas in Fushan County

3 结论与建议

浮山县房屋建筑形式多样、结构较复杂,主要有多层钢筋混凝土结构、砖混结构、高层建筑以及土木结构和工业厂房。城区房屋建筑以多层钢筋混凝土结构、砖混结构为主,从调查样本看,均按规范设防烈度设计建造,按8度(0.20 g)设防,抗震性能相对较好;农村地区的房屋建筑以土木结构为主,调查显示,土木结构房屋房龄较长,存在墙体开裂、墙面酥脆等现象,抗震性能较差。

城区房屋建筑总体较好,但城区人口密集,应对地震灾害风险而言,仍需对部分砖混结构的老旧小区进行重视;对于农村抗震能力薄弱的土木结构房屋,建议开展政府主导、农村自发的抗震加固建设。

本文初步分析浮山县房屋建筑的抗震性能,本次抽样调查的样本相对还有一定欠缺,今后将开展更深入的工作,以期对地震灾害风险评估提供更精准的参考依据。

参考文献:

- [1] 胡少卿. 建筑物的群体震害预测方法及基础设施经济损失预测方法探讨[D]. 哈尔滨:中国地震局工程力学研究所,2007:2.
- [2] 郑山锁,张秋石,程明超,等. 砌体结构的震害特征分析[J]. 四川理工学院学报(自然科学版),2016,29(6):65.
- [3] 王磊,孙海,高惠斌,等. 砌体和钢混结构建筑群的破坏概率模型研究[J]. 世界地震工程,2018,34(3):146.
- [4] 清华大学,西南交通大学,北京交通大学土木工程结构专家组. 汶川地震建筑震害分析[J]. 建筑结构学报,2008,29(4):1-9.
- [5] 刘桂秋. 砌体结构基本受力性能的研究[D]. 长沙:湖南大学,2005.

- [6] 周铁钢,赵冬. 5·12地震绵竹城区砌体结构房屋震害调查与分析[J]. 西安建筑科技大学学报, 2008, 40(5): 613-618.
- [7] 胡少卿,孙柏涛,王东明. 基于建筑物易损性分类的群体震害预测方法研究[J]. 地震工程与工程振动, 2010, 30(3): 96-101.
- [8] 孙柏涛,胡少卿. 基于已有震害矩阵模拟的群体震害预测方法研究[J]. 地震工程与工程振动, 2005, 25(5): 102-108.
- [9] 尹之潜. 地震灾害及损失预测方法[M]. 北京:地震出版社, 1996: 35-93.
- [10] 唐桂让. 山西北部某场地活动断裂探测研究[J]. 山西建筑, 2022, 48(16): 71-73.
- [11] 闫小兵,周永胜,李自红,等. 山西浮山断裂的晚第四纪活动与位移速率[J]. 地震地质, 2022, 44(1): 35-45.
- [12] 闫小兵,周永胜,李自红,等. 1695年临汾 $7\frac{3}{4}$ 级地震发震构造研究[J]. 地震地质, 2018, 40(4): 883-902.
- [13] 胡幸贤,高益潭,杜玮,等. GB 18306—2001《中国地震动参数区划图》宣贯教材[M]. 北京:中国标准出版社, 2001: 1.
- [14] 标准编制工作组. 国家标准 GB 18306—2001《中国地震动参数区划图》修订说明[M]. 北京:中国标准出版社, 2012: 1-2.
- [15] 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. 国家标准 GB 18306—2015《中国地震动参数区划图》[M]. 北京:中国标准出版社, 2012: 13.

Study on Characteristics of Different Structural Buildings in Fushan County, Linfen City

MA Xinfang^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030002, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: Sampled detailed inspection of building constructions is a crucial aspect of seismic disaster risk assessment, aiming to understand the seismic design and defense status of buildings and provide support for evaluating their seismic capacity. Based on the sampled detailed inspection work of building constructions in Fushan County, Linfen City, from 2020 to 2022, this study focuses on analyzing the structural characteristics, age features, and defense conditions of building constructions. The results indicate that in the urban areas of Fushan County, Linfen City, multi-story reinforced concrete structures, brick-masonry structures, and high-rise buildings constructed around the year 2000 are predominant, all designed for a basic seismic intensity of 8 degrees (0.20g); while in towns and rural areas, civil structures built in the 1980s are predominant, and seismic defense measures are generally lacking. Recommendations are made to reinforce buildings through seismic strengthening measures, enhance earthquake disaster prevention and mitigation awareness through public education, and continually reduce seismic disaster risk for buildings.

Key words: buildings; seismic defense; sampled detailed inspection

忻州市代县农村房屋抗震性能调查与分析

焦晶森^{1,2},徐博^{1,2},郑树平^{1,2}

(1.山西省地震局,山西太原 030021;2.太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站,山西太原 030025)

摘要:结合山西省地震灾害风险普查工程的目标任务,为摸清农村民房的抗震性能,开展抗震设防工作,对忻州市代县地区农村房屋的抗震能力展开实地调研初判。选取代县地区64个行政村,共计23342栋农村房屋进行调查和统计分析。根据木结构、砖混结构等房屋不同的建筑结构特点分析其存在的抗震薄弱环节,同时分析不同地形下不同结构房屋的比例及抗震性能。根据分析结果,提出提高代县地区农村房屋抗震性能的相关建议。

关键词:农村房屋;抗震性能;代县地区

中图分类号:TU352.1

文献标志码:A

0 引言

我国大部分农村住房的抗震性能较差,在诸如2008年汶川地震等多次破坏性地震中,农村民房的破坏较严重,在发生中小地震时,有时也出现老旧房屋墙体或者出屋面构件脱落,造成人员伤亡,导致“小震成灾”“中震大灾”的现象。因此,重视和研究农村住房的抗震设防,具有一定的现实意义。为贯彻落实“摸清风险底数,加强抗震设防”的防震减灾工作发展思路,对“城市高风险”“农村不设防”的状况给出相对科学的数据支撑,为各级政府的地震灾害风险防治和应急备灾提供参考,山西省地震应急中心开展农村房屋抗震性能调查工作。本文在此项工作的基础上,以忻州市代县作为试点,通过实地调查,对代县农村房屋的抗震性能进行分析,为该地区的地震灾害预评估提供基础数据支持。

调查区域位于山西省东北部,东临繁峙,西接原平,南界五台,北毗山阴,滹沱河由东向西横贯全境^[1]。区域内断裂主要有五台山西麓断裂、云中山山前断裂、五台山北麓断裂、恒山南麓断裂。有历史记录至今,代县境内发生较大的地震为1554年5.0级、1898年 $5\frac{3}{4}$ 级地震。调查区域的抗震设防烈度为8度,设计基本地震加速度值为0.20g,Ⅱ类场地基本地震动加速度反应谱特征周期值:上馆镇、阳明堡镇、峨口镇、聂营镇、峪口镇、新高乡均为0.40s,枣林镇、上磨坊乡、雁门关镇为0.45s。

1 现场调查

1.1 调查概况

对代县9个乡镇,每个乡镇选取30%以上的行政村作为调查点,采用调查问卷以及抽样详查的方式,共调查64个行政村(见图1),累计23342栋房屋。调查内容包括房屋结构类型、建筑年代以及是否采取抗震措施等。

1.2 调查结果

本次调查统计结果显示,代县农村房屋主要结构类型为木结构、砖木结构、窑洞结构以及砖混结构四种(见图2)。其中,砖混结构多为无抗震设防的现浇顶房屋,只有少数为近几年危房改造经过抗震设计的。代县农村房屋以院落为单位,基本一院一户,院落包括主房和辅房,辅房多用作堆放杂物,不计入统计。调查点房屋结构类型及比例如表1、图3所示。

由图3可知,木结构是目前代县农村自建房中最为常见的结构类型,无抗震设防设计的砖混结构房屋占比较大,有抗震设防的较少,多为当地政府危房改造工程,窑洞结构房屋最少。

2 房屋结构特点及抗震薄弱环节

2.1 木结构

木结构房屋是代县农村主要的房屋类型,一般建造于1970—1990年,层数为一层,开间多为3间和5间两种形式,围护墙体主要为砖和生土。木结构农房的木构件通过卯榫连接,前墙、后墙和山墙均由木柱承重,具有相对较好的抗震性能^[2]。现由于木材稀缺,

收稿日期:2023-06-30

第一作者简介:焦晶森(1992—),男,山西晋城人,硕士研究生,助理工程师,主要从事地震应急技术研究工作,E-mail:1508360754@qq.com.

传统技艺失传,导致此类房屋造价较高,90年代以后 农村基本不再修建此类房屋。

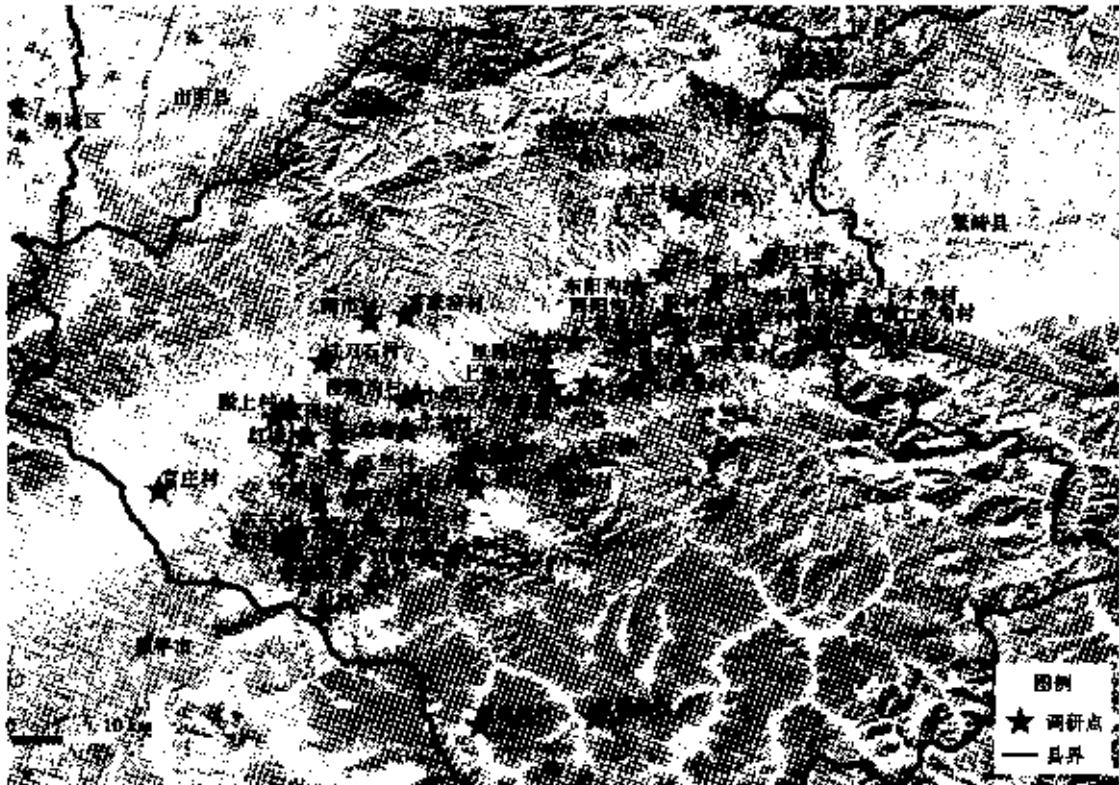


图1 调查点分布图
Fig.1 Distribution map of survey points

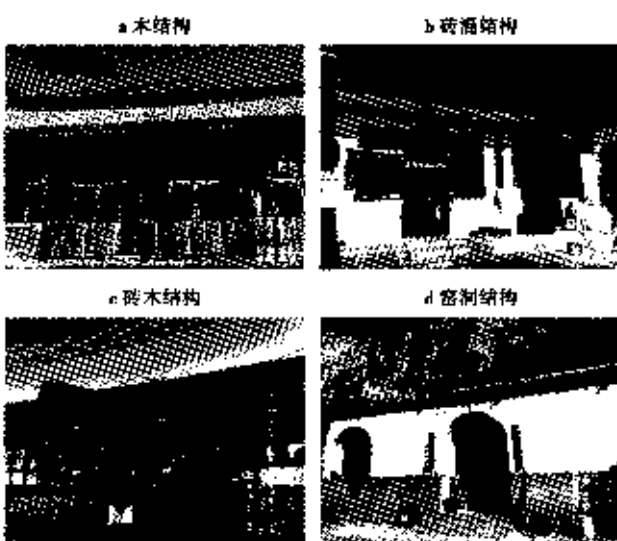


图2 不同结构房屋外形图
Fig.2 Exterior views of different structural houses

木结构的抗震薄弱环节主要为:部分围护墙体为生土,由于年代久远,墙体出现开裂、变形、腐蚀酥碎等破坏,木构架腐蚀,存在较大安全隐患。

2.2 无抗震设防砖混结构

此类房屋一般建造于1990—2010年,墙体采用黏土砖砌筑,砂浆一般使用混合砂浆,屋盖采用预制板或现浇板,未设置相应的构造柱、圈梁等抗震构造。

无抗震设防砖混结构的抗震薄弱环节为:房屋正立面开洞过大(见图4);现浇板屋盖房屋整体性稍好;预制板房屋的预制板之间基本未采取钢筋拉结措施,整体性较差,抗震性能一般^[3]。

2.3 砖木结构

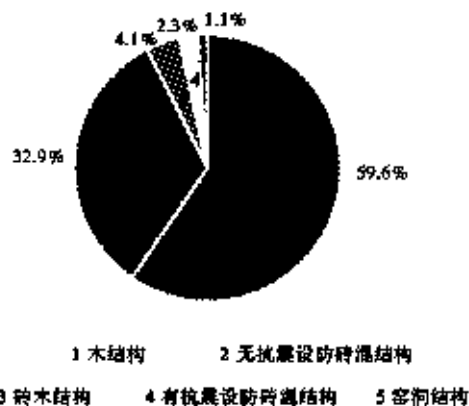
此类房屋一般建造于1990—2000年,承重墙采用红砖或者青砖砌筑而成,墙体一般为37 cm和24 cm两种厚度,屋面铺设青瓦或彩钢等材料。与木结构房屋的正面看起来相似,均由木柱子承重,开间多为3间和5间两种形式,由于90年代以后木材稀缺,考虑到造价问题,山墙及后墙不再搭建木架构,木檩条搁在山墙上,屋盖及梁仍采用传统木结构方式搭

建^[4]。

表1 调查区不同结构房屋占比统计
Table 1 Statistics of different Structural houses
in the survey area

乡镇	村庄	户数	木结构/ /%	砖木结 构/%	无抗震 设防砖 混结构 /%	有抗震 设防砖 混结构 /%	窑洞 结构 /%
上馆镇	阎市村	220	0	30	50	0	20
	檀槽沟村	160	10	0	80	10	0
	富家窑村	95	98	0	0	0	2
	小烟旺村	194	70	0	30	0	0
	北关村	575	0	40	60	0	0
	桂家窑村	165	70	0	30	0	0
	下田村	157	80	0	20	0	0
	五里村	132	50	0	50	0	0
雁门关镇	上田村	322	50	0	50	0	0
	殿上村	412	30	0	70	0	0
	红墙村	374	0	3	97	0	0
	试刀石村	147	30	0	70	0	0
阳明堡镇	东关村	530	70	0	30	0	0
	马站村	473	40	10	40	0	10
	古城村	498	30	40	0	0	30
	七里铺村	238	70	0	0	30	0
	下砂河村	186	80	0	20	0	0
	南关村	1160	60	0	40	0	0
	堡内村	600	50	0	50	0	0
	官庄村	249	50	0	50	0	0
	上磨坊乡	上磨坊村	340	80	0	20	0
朴村		354	40	0	60	0	0
里回村		257	50	0	50	0	0
东岩院村		310	70	0	30	0	0
下门王村		129	60	0	40	0	0
南家寨村		320	50	0	50	0	0
峨口镇	兴圣村	598	60	0	30	10	0
	佛光庄村	848	80	0	20	0	0
	上木角村	285	80	0	10	10	0
	下木角村	282	70	0	20	10	0
	东滩上村	440	95	0	5	0	0
	东下社村	415	80	0	20	0	0
	郝街村	445	70	0	30	0	0
	枣林镇	二十里铺村	531	60	0	35	5
大教寨村		238	60	0	0	40	0
西阳沟村		114	80	0	20	0	0
东阳沟村		303	50	40	10	0	0
段村		263	30	60	0	10	0
陀阳村		530	70	0	30	0	0
西马村		475	70	0	30	0	0
西村		371	70	0	30	0	0
显麻村		460	70	0	30	0	0
胡峪村		686	70	15	15	0	0
赤岸村		252	90	0	10	0	0

乡镇	村庄	户数	木结构 /%	砖木结 构/%	无抗震 设防砖 混结构 /%	有抗震 设防砖 混结构 /%	窑洞 结构 /%
峪口镇	滩上村	289	80	10	10	0	0
	高凡村	245	80	15	5	0	0
	东田村	142	70	0	30	0	0
	西田村	278	60	0	40	0	0
	西旺村	200	60	0	40	0	0
	胡家沟村	156	60	0	40	0	0
	下苑庄村	288	60	0	30	10	0
聂营镇	聂营村	1515	70	0	30	0	0
	西高泉村	355	50	0	50	0	0
	东段景村	560	60	0	40	0	0
	西段景村	430	60	0	40	0	0
新高乡	赵家湾村	100	100	0	0	0	0
	张仙堡村	401	90	0	0	0	10
	沿村	498	60	0	40	0	0
	赵村	666	50	0	50	0	0
	董家寨村	230	50	0	50	0	0
	刘街村	326	40	0	50	10	0
	金街村	178	50	0	50	0	0
	张家堡村	200	70	0	30	0	0
	河头村	152	50	0	50	0	0



砖木结构的抗震薄弱环节为:该地区砖木结构农房大多数横墙承重且均未设置相应的构造柱、圈梁等抗震构造,部分房屋还存在硬山搁檩(见图5),地震时檩条可能会抽出,导致房屋坍塌,抗震性能较差。

2.4 窑洞结构

此类房屋一般建造于1950—1970年,在代县农村房屋中占比较少,主要类型为靠崖式窑洞,房屋整体靠山依崖,结构简单规整,拱顶坡度较小。

窑洞结构抗震薄弱环节为:墙体、拱与拱之间无连接也无咬接,生土的抗拉、抗剪强度低,拱顶坡度小,易

发生渗漏等问题,基本无抗震设防能力。据有关研究,在Ⅷ度烈度区内,80%以上的生土窑会倒塌^[5]。

南面是五台山麓,中部为滹沱河谷地。全县基本地貌由山地、丘陵和河谷盆地盘结而成,其中山地约占全县总面积的70.5%,丘陵占16.9%,平川盆地占12.6%。由于调查点多数集中于平原地区,为使统计结果直观明了,从3种地形中分别抽取6个典型调研点进行统计分析(见图6),结果如表2所示。



图4 门窗开洞过大的砖混结构房屋
Fig.4 Brick-masonry structure with overly large door and window openings

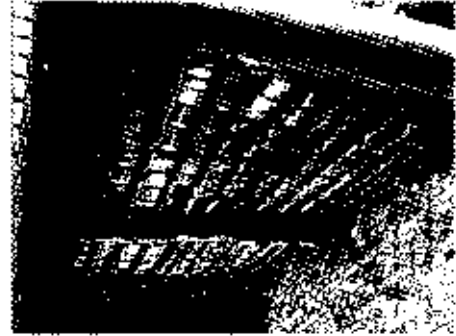


图5 砖木结构房屋的硬山搁檩
Fig.5 Hard mountain ridge purlins in brick-wood structure houses

3 房屋抗震性能分析

代县基本地貌为“两山夹一川”,北面是恒山余脉,

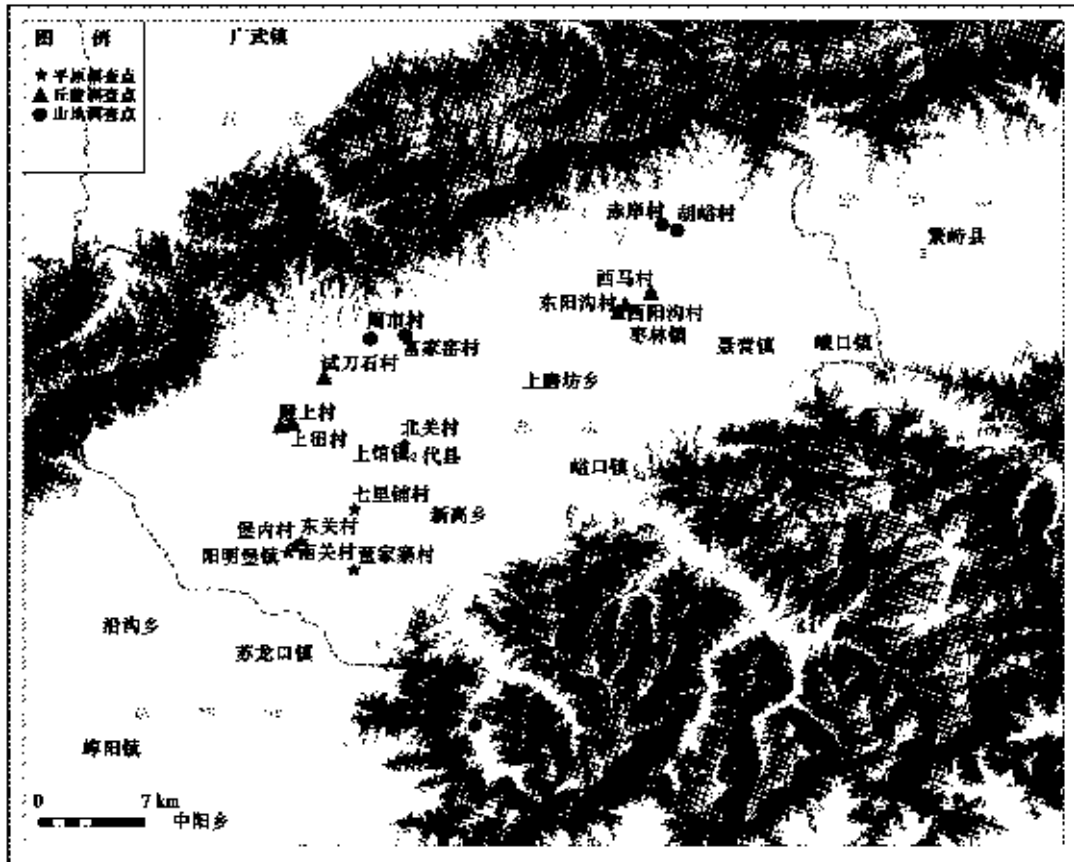


图6 典型调查点分布图
Fig.6 Distribution of typical survey points

表2 不同地形的各类结构房屋比例
Table 2 Proportional distribution of different structural houses in various terrains

房屋结构类型	木结构 (%)	砖木结构 (%)	无抗震设防砖混结构 (%)	有抗震设防砖混结构 (%)	窑洞结构 (%)
山地	74.7	7.5	12.5	0.0	5.3
丘陵	51.7	6.7	41.6	0.0	0.0
平原	50.0	6.7	38.3	5.0	0.0

由表2看出,木结构房屋在山地地区占比最高,丘陵地区和平原地区占比相近;有抗震设防的砖混结构房屋仅出现在平原地区;窑洞结构房屋全部出现在山地地区,占比不高。在山地地区现场调查期间发现,多数居民就地取材,房屋基础多为石块堆砌,未采用泥浆砌筑,连接不牢固。木结构房屋占比高,但多为年代久远的土坯墙,房屋整体性较差,存在一定的安全隐患。分析得出,山地地区房屋的整体抗震性能最差,平原地区的最好。主要原因在于,山地地区主要居民为老年人,收入方式只有种地,受经济限制,没有资金翻新房屋,年轻人多去县城打工,不在村中修建房屋,村中绝大部分房屋年代久远,抗震性能较差。

4 结论与建议

通过对代县64个行政村23342栋农村房屋开展现场调查,进一步分析代县农村房屋抗震薄弱环节及地形对房屋抗震性能的影响,得出以下结论和建议:

(1) 木结构房屋约占60%,是目前代县农村自建房中最常见的结构。木结构农房的木构件通过卯榫连接,具有相对较好的抗震性能,但存在一定数量的木结

构房屋年代较久远,围护墙体多为生土,存在一定的安全隐患,建议进行围护体加固,可在墙体四周布置角钢,使用打包带或纤维布把墙体紧紧包裹,增加墙体整体性,提高墙体承载力^[4];砖木结构及无抗震设防的砖混结构存在门窗开洞过大,无圈梁、构造柱,整体性差等缺陷,建议增设外加圈梁、柱,或采用配筋砂浆、高延性混凝土条带加固;窑洞结构房屋基本无抗震设防能力,建议将闹市村窑洞结构房屋的加固方法普及,窑洞顶部采用水泥砂浆面层,并采用钢架、锚筋等拉结措施进行加固^[2]。

(2) 代县的地质构造以及地形地貌可能会导致部分地区房屋存在次生灾害的隐患:位于恒山南麓断裂附近地区尤其是闹市村、富家窑村,存在构造地裂缝、断裂错动的影响,有可能发生崩塌、滑坡等地震地质灾害;位于滹沱河谷两侧低阶地区,砂土液化可能会对该地区建筑物地基的稳定性产生影响,建议采用钢筋混凝土柱或预制圈梁等加固地基。

参考文献:

- [1] 代县人民政府. 走进代县[EB/OL]. (2022-10-21)[2023-06-30]. http://www.daixian.gov.cn/zjdx/dxgk/201709/t20170921_115034.html.
- [2] 史英豪. 山西某县农村房屋抗震鉴定及加固方案研究[J]. 山西建筑, 2022, 48(13): 80-84.
- [3] 郑树平, 程紫燕, 赵杰, 等. 遥感技术在山西房屋抗震普查中的应用[J]. 江西科学, 2021, 39(1): 89-93.
- [4] 卢晨怡. 农村木结构房屋抗震加固措施的研究[J]. 山西建筑, 2017, 43(26): 39-41.
- [5] 乔敏敏. 忻州市农村房屋抗震设防现状及对策[J]. 首都师范大学学报, 自然科学版, 2015, 36(2): 63-71.

Seismic Performance Investigation and Analysis of Rural Houses in Daixian County, Xinzhou City

JIAO Jinniao^{1,2}, XU Bo^{1,2}, ZHENG Shuping^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: Based on the target task of the Shanxi Province Earthquake Disaster Risk Survey Project, in order to understand the seismic performance of rural houses and carry out seismic fortification work, a preliminary on-site investigation was conducted on the seismic capacity of rural houses in Dai County, Xinzhou City. A field survey and analysis were conducted on a total of 23,342 rural houses across 64 administrative villages in Daixian County. The investigation analyzed the seismic vulnerability of different building structures, including wood and brick-masonry, identifying weak points. The study also examined the proportion and seismic performance of different structural houses under varying terrain and transportation conditions. Based on the analysis, recommendations were proposed to enhance the seismic performance of rural houses in Daixian County.

Key words: rural houses; seismic performance; Daixian County

临汾市古县房屋抽样详查及抗震设防存在问题分析

薛晓东^{1,2}, 韩晓飞^{1,2}, 任瑞国^{1,2}

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030002; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

摘要: 建筑物抽样详查是地震灾害风险评估中的基础工作之一, 其结果可为建立科学、可靠的建筑物易损性模型提供基础数据。按照相关的技术规范, 对临汾市古县房屋建筑开展抽样详查工作, 结合搜集到的城乡住房建筑资料, 对古县的砖混结构、多层钢筋混凝土结构、高层结构、砖木结构、土木结构不同类型的房屋从建筑结构特点、存在的抗震设防问题等进行分析, 并提出相应的提高房屋抗震性能的建议。

关键词: 房屋建筑; 抗震设防; 结构类型

中图分类号: TU352.1

文献标志码: A

0 引言

地震灾害风险普查工程是自然灾害防治九项重点工程的基础性工作之一。通过实施该工程, 进一步摸清地震灾害风险隐患底数, 客观认识地震灾害风险水平, 不断提升地震易发区房屋设施的抗震能力, 降低地震灾害风险隐患。建筑物抽样详查是地震灾害风险评估中的基础工作之一, 是建立科学、可靠的建筑物易损性模型不可缺少的数据来源。

破坏性地震发生时, 房屋倒塌是造成人员伤亡和财产损失的主要原因。如, 2008年汶川8.0级地震造成农村民居的房屋倒塌率约85%^[1], 2010年青海玉树7.1级地震也造成大量的民房倒塌。临汾市古县由于经济水平相对落后, 民居抗震能力较差。为找出古县民居房屋结构在抗震设防方面存在的问

题, 对古县的建筑物展开抽样详查工作。

1 古县城乡住房建筑概况

古县位于山西省西南部, 抗震设防烈度为Ⅶ度区, 有历史记录至今, 境内未发生过 $M \geq 4 \frac{3}{4}$ 地震, 南部有浮山断裂穿入(见图1)。全县城乡住房建筑面积4 510 690 m², 城镇住房建筑面积1 709 778 m², 占31.6%; 农村住房建筑面积2 839 071 m², 占68.4%(见表1)。

2 古县房屋抽样详查概述

2.1 整体调查结果

据古县住建局提供资料, 古县房屋结构类型中的钢混结构占23%, 混合结构占28%, 砖木结构占26%, 其他结构占22%。

表1 临汾古县城乡住房建筑情况统计

Table 1 Overview of urban and rural housing construction in Gu County, Linfen City

乡镇	高层 (万平方米)	多层钢混 (万平方米)	多层砌体 (万平方米)	单层民宅 (万平方米)	其他类别 (万平方米)	总面积 (万平方米)
岳阳镇	3.031	4.547	9.118	8.562	7.178	32.436
北平镇	16.069	24.101	48.325	45.377	38.040	171.911
古阳镇	5.113	7.669	15.378	14.440	12.106	54.707
旧县镇	3.429	5.144	10.312	9.684	8.119	36.687
石壁乡	5.232	7.850	15.740	14.779	12.393	55.995
永乐乡	3.907	5.865	11.755	11.038	9.253	41.819
南垣乡	5.376	8.062	16.167	15.182	12.728	57.514

收稿日期: 2023-04-26

第一作者简介: 薛晓东(1982—), 男, 山西吕梁市人, 高级工程师, 主要从事工程地震、地球物理研究工作, E-mail: 41500273@qq.com.

依据《山西省地震灾害风险普查工程实施方案》《第一次全国自然灾害综合风险普查实施方案(修订版)》,本次抽样详查建筑的抽样率不低于1%,共调查古县7个乡镇,调查的建筑物面积为138 409 m²、建筑

物数量为50栋。抽样率为3%,满足规范要求。经过整理分析,古县现有的建筑类型有高层结构、多层钢筋混凝土结构、砖混结构、砖木结构和土木结构(见表2、图2)。

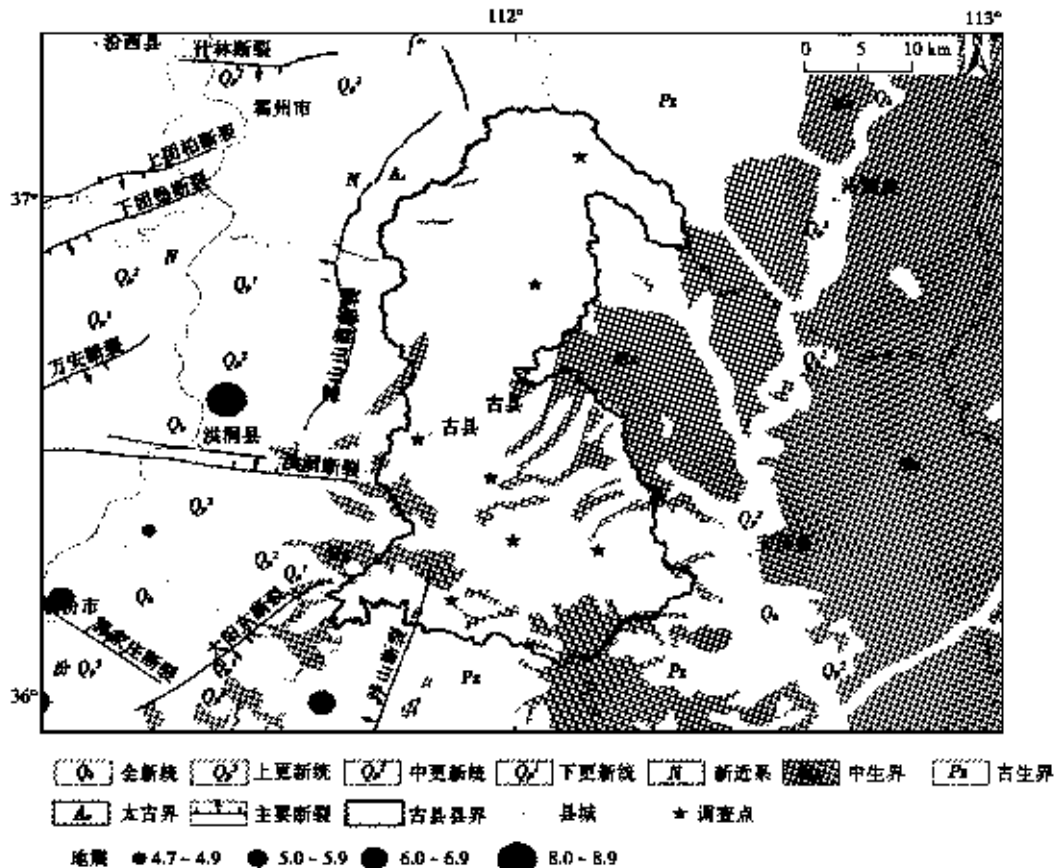


图1 古县及其邻区地震构造图

Fig. 1 Geological structure map of Gu County and its adjacent areas

表2 整体抽样结果统计表

Table 2 Overall sampled inspection results

序号	结构类型	总面积/m ²	面积占比(%)
1	多层钢混	22 159	16.01
2	高层	97 431	70.39
3	砖木	240	0.17
4	土木	450	0.33
5	砖混	18 129	13.10

2.2 不同结构建筑年代统计

根据建筑物详查结果,古县图纸资料涉及20世纪70年代、80年代,21世纪00年代、10年代的建筑,多数建筑物在21世纪00年代和10年代,其中10年代的数量最多;高层与多层钢筋混凝土房屋建造年代较近,基本在10年代及以后;土木结构建造年代集中于70年代以前至80年代之间。

2.3 不同结构建筑使用现状统计

根据建筑物详查结果,建筑物现状良好的有36栋;填充墙有裂缝的房屋9栋,墙体腐蚀酥碎的房屋4栋,主要为土木、砖木结构(见图3)。综合来看,古县样本建筑总体现状良好,土木、砖木结构房屋由于建造年代较久,存在填充墙有裂缝及墙体腐蚀酥碎现象。

3 古县房屋结构特点及抗震设防存在的问题

3.1 砖混结构

3.1.1 建筑结构特点

古县砖混结构建筑大致分为两类:城区内经过系统结构设计和抗震设计的多层砖混结构、乡镇及农村未经结构设计和抗震设计的单层或多层砖混结构。详查结果表明,城区内多层砖混结构建筑主要集中在21世纪00年代左右,进入2010年后逐渐减少。从设防标准来看,样本建筑均为7度设防。从详查房屋构

造看,样本建筑部分缺失圈梁、构造柱体系,平立面相对规则(见图4),承重方式基本为纵横墙承重,楼盖、屋盖基本都采用现浇混凝土制作,全部建筑物采用“层层设置圈梁”的构造,基础形式以“满堂红”和条形基础为主。调查建筑的外观表象均完好,主体结构及非结构构件(主要是填充墙)均未见明显裂缝,结构无不均匀沉降。

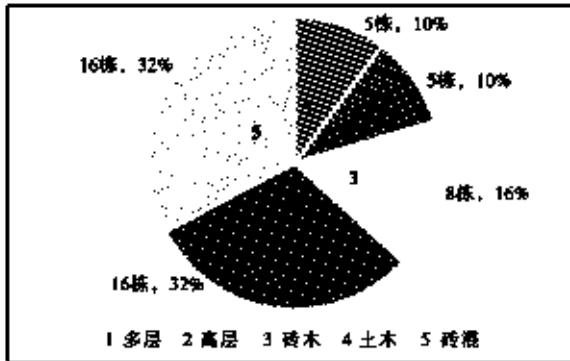


图2 古县详查房屋样本结构栋数及其占比
Fig. 2 Distribution of sampled building structures and numbers of units in Gu County

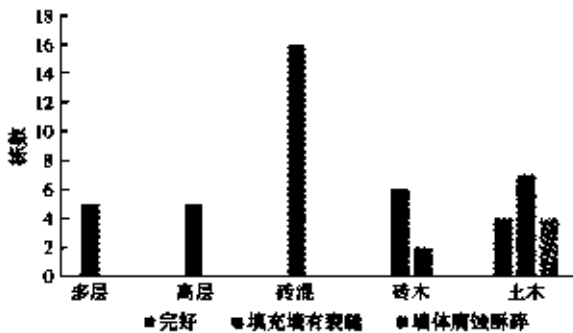


图3 抽查的不同结构建筑使用现状数量统计
Fig. 3 Quantity statistics of different structural types inspected

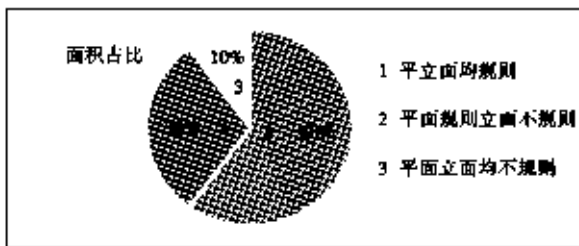


图4 砖混结构平立面规则统计图
Fig. 4 Statistics of brick-concrete structure facades

3.1.2 抗震设防存在的问题

在多层砌体结构中,构造柱和圈梁就像木水桶外面的铁箍,可以提高墙体的抗剪强度,大大增强房屋的抗变形能力。

(1) 构造柱。调查发现无论是城区还是农村,部分砖混结构房屋没有设置构造柱。因此,该类建筑物墙体的抗剪能力较弱,整体性较差,在地震纵波和横波的作用下首先使砂浆与黏土砖之间的粘结力减弱,墙体发生破坏。

(2) 圈梁。现场调查发现,圈梁的截面和配筋等均能满足抗震设计的基本要求,但存在圈梁在洞口处断开没有闭合或没有搭接的问题比较严重。因此,在这种情况下,即使设置了圈梁,也不能完全发挥圈梁加强纵横墙的连接、增强楼盖整体性、增加墙体稳定性、约束墙体裂缝的展开、提高墙体的抗震能力等作用。

3.2 多层钢筋混凝土结构

3.2.1 建筑结构特点

古县多层钢筋混凝土结构抽查样本的建造年代均为21世纪10年代以后。从结构形式上看,60%房屋采用剪力墙结构,20%房屋采用框架结构,剩余房屋采用框剪结构(见图5);从建筑功能上看,涵盖住宅、医院、学校等类型,建筑物基础形式以筏板基础为主,个别建筑采用独立柱基础。多层钢筋混凝土结构建筑均经过系统的结构与抗震设计,抗震设防烈度均为7度。被抽样建筑中,结构平面布局均规则。多层钢筋混凝土结构建筑物填充墙均采用混凝土空心砌块砌筑及多孔砖,砌筑砂浆为水泥砂浆、混合砂浆两种。建筑外观表象均完好,结构无不均匀沉降。

3.2.2 抗震设防存在的问题

(1) 沉降缝的设置。部分建筑物丁层高不相同的地方未设置沉降缝或者后浇带。这类建筑物在地质条件不好的情况时,首先发生不均匀沉降,可能造成各部位墙体开裂,同时引起部分构件屈服甚至破坏,进而在地震的纵波和横波的共同作用下增大整个建筑物的变形。

(2) 女儿墙的设计。调查发现,对于没有采用钢筋混凝土浇筑而采用黏土砖砌筑的女儿墙,虽然设有构造柱,但没有在构造柱和墙体连接的地方配置拉结筋,也没有压顶,一些地方甚至没有设置构造柱。因此,这样的附属建筑很有可能在地震横波和纵波的同时作用下破坏而脱落,导致人员伤亡。

3.3 高层结构

古县高层建筑均为21世纪10年代以后的新建建筑,主要为住宅楼、医院,样本房屋均为剪力墙结构,建筑层数均在9层以上。样本房屋均采用筏板基础,基础形式较好。全部样本外观表象均完好,结构主体及非结构构件(主要是填充墙)均未见明显裂缝,结构无不均匀沉降。

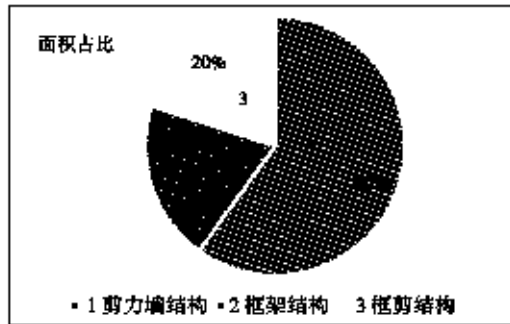


图5 多层钢筋混凝土结构不同形式分布图

Fig. 5 Distribution of various forms of multi-story steel-concrete structures

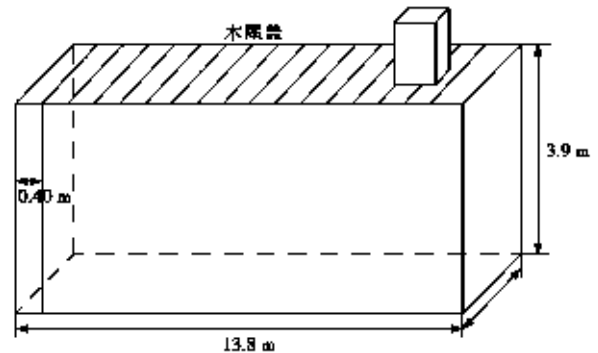


图6 典型土木结构示意图

Fig. 6 Illustration of a typical civil engineering structure in Gu County

高层结构多数按规范烈度设计建造,未发现抗震设防中的问题。

3.4 砖木结构

3.4.1 建筑结构特点

砖木结构房屋多为20世纪70年代至90年代建筑,该结构的实质集中在砖和木上。墙体类型为砖墙,楼板、屋盖和中间木柱梁为木质结构。此类房屋建筑面积均偏小(均值为 30 m^2),层数为1~2层,基础类型为砖基础,样本墙体为砖墙。

3.4.2 抗震设防存在的问题

该结构房屋由于建造年代较久,房屋没有墙体圈梁,大部分的屋盖都出现变形。由于未采取抗震措施,房屋不均匀沉降、墙体开裂情况时有发生。

3.5 土木结构

3.5.1 建筑结构特点

土木结构房屋多为20世纪70—80年代建筑,该结构的实质集中在土和木上。墙体类型为夯土墙,有些直接用生土夯实,有些在土中加入稻草再夯实;楼板、屋盖和中间木柱梁为木质结构。此类房屋建筑面积均偏小(均值为 30 m^2),为1层建筑(见图6),样本墙体均为土坯墙。

3.5.2 抗震设防存在的问题

现存的土木房屋保存不是很好,基本没有抗震措施,普遍存在墙体开裂、腐蚀酥碎等情况。

4 结语

通过对古县房屋建筑进行调查,发现在抗震设防方面存在的问题,并提出相关改进建议。

(1) 古县城区主要存在的建筑结构类型有高层结构、多层钢筋混凝土结构和砖混结构。城区内建筑多按规范烈度设计建造,地震设防烈度为Ⅷ度,样本建筑结构基本完好,梁、柱、楼板等受力构件无明显开裂。部分老旧住宅、家属楼填充墙有轻微裂缝。

(2) 古县农村地区主要存在的建筑结构类型有砖混结构、砖木结构和土木结构。砖木、土木房屋由于建造年代早及本身抗震性能的缺陷,普遍的抗震性能较差;新建砖混结构房屋整体抗震性能较好,但在村中占比较小。同时,各种房屋普遍存在附属设施安全隐患,在震后可能出现掉落、倒塌进而导致伤人,应予以重视。

(3) 建议开展房屋抗震性能排查,了解房屋抗震薄弱环节,严格推进加固改造,提升房屋的抗震能力;同时,增强农民的建房抗震意识,做好统一规划建设,确保新建房屋采取必要的抗震措施,提高房屋的抗震性能。

参考文献:

- [1] 陆鸣. 农村民居抗震指南[M]. 北京:地震出版社,2006.

· 技术交流 ·

文章编号:1000-6265(2023)03-0036-05

山西省地震危险性计算与制图

扈桂让^{1,2}, 郝雪景^{1,2}, 刘艳春^{1,2}, 张丽^{1,2}

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030002; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

摘要:地震危险性计算是山西省地震灾害风险普查工程的基础工作内容之一,文章基于概率地震危险性分析方法对山西省地震危险性进行计算。简述地震危险性计算的原理、数据处理与图件制作流程,将计算结果与第五代地震区划图潜源模型的计算结果进行对比分析,结果表明基于风险普查潜源模型的晋西北、晋东南山区计算结果稍有增大;汾渭断陷带内的计算结果略有降低,但差距很小,可认为结果基本一致。同时对产生差异的原因进行初步分析。

关键词: 概率地震危险性分析;GIS;地震灾害风险普查

中图分类号: P315-39

文献标志码: A

0 引言

国务院办公厅《关于开展第一次全国自然灾害综合风险普查的通知》决定在2020年至2022年开展第一次全国自然灾害综合风险普查工作。普查工作涉及地震灾害等六大类主要自然灾害,将摸清全国自然灾害风险隐患底数,查明重点地区抗灾能力,客观认识全国和各地自然灾害综合风险水平,为中央和地方各级人民政府有效开展自然灾害防治工作、切实保障经济社会可持续发展提供权威的灾害风险信息和科学决策依据。

根据各部门职责分工,中国地震局负责地震灾害风险调查和隐患排查工作,2020年中国地震局震害防御司印发《地震灾害风险调查和重点隐患排查工程2020年工作方案》。根据方案内容和工作安排,山西省进行地震危险分析计算,完成山西省1:25万地震危险性图的编制。此项工作是山西省地震灾害风险普查工程项目的的基础工作内容之一,为最终的地震灾害风险评估与区划工作提供不可或缺的评估基础数据。同时,通过该项工作可以摸清山西省各地的地震危险性情况,对山西省抗震设防工作具有一定的科学指示意义。

1 地震危险性计算原理简介

概率地震危险性分析方法是目前应用较广泛的地震危险性评估方法之一,是一种基于地震历史数据和

地震学原理评估未来地震发生可能性的方法。其基本思想是利用统计学方法对历史地震数据进行分析,并结合地质构造、地震活动性等因素,推断未来地震可能发生的时间、强度和空间分布,为地震风险评估提供依据^[1-2]。Cornell(1968)创建概率地震危险性分析方法^[3-4],20世纪80年代以来我国地震工程学家借鉴该方法,基于我国的地震工程、地震地质等理论成果提出地震危险性分析综合概率法模型,并编制相应的计算软件包。经过几十年的发展,该概率计算模型以及软件包不断迭代,日趋完善。

该方法中,潜源模型是进行概率计算的数据基础。本次计算过程中按照第五代区划图(以下简称五代图)的思路,采用三级潜源模型。三级潜源模型由地震统计区(地震带)、地震构造区(又称背景地震源)和潜在震源区(分为构造源和地震聚集源)构成^[1-6]。在地震统计区内部,根据地震构造条件和中小地震活动水平差异,划分背景源,在背景源内再根据断裂构造和地震活动条带划分潜在震源区。山西地区汾渭断陷带位于鄂尔多斯块体东缘,历来是进行地震地质、地震活动性研究的重要地区之一^[7-10],丰富成果为潜源模型的构建提供数据基础。

2 地震危险性计算过程

在对山西省区域历史地震及地震构造背景研究的基础上,确定对山西省地震危险性有影响的地震带及潜在震源区划分、地震带及潜在震源区的地震活动参

收稿日期:2023-06-20

基金项目:山西省自然科学研究面上项目(20210302123361)。

第一作者简介:扈桂让(1985—),男,山东菏泽人,硕士研究生,高级工程师,主要从事地震工程、地震灾害评估等工作,E-mail:408937470@qq.com。

数,运用确定的适合本区的地震动衰减关系,以地震危险性概率分析方法,进行山西省地域地震危险性分析计算。

依据第一次全国自然灾害综合风险普查技术规范《地震危险性图编制技术规范》,分省幅图件按照经纬度间隔不大于 $6''$ 确定控制点。将山西省北纬 $34.5^{\circ}\sim 41^{\circ}$ 、东经 $110^{\circ}\sim 115^{\circ}$ 的范围,按 $6''\times 6''$ 进行格网划分,取每个格网中心点作为控制点,以此计算,山西省共计约570万控制点。每个控制点需计算包含50年超越概率63%、10%、2%和年超越概率 10^{-4} 四个概率水准的水平峰值加速度(PGA)。

3 计算数据处理与制图

地震危险性概率计算得到的基岩峰值加速度对应 I_1 类场地峰值加速度。根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306-2015)场地调整方案,按照下式进行场地地震动峰值加速度调整。

$$a_x = a_n F_a$$

式中: a_x 、 a_n 分别为控制点场地和 I_1 类场地地震动峰值加速度; F_a 为场地地震动峰值加速度调整系数。如表1所示,取值按表中所给值采取分段线性插值方法确定^①。调整后得到各控制点场地地震动峰值加速度。

表1 场地地震动峰值加速度调整系数

Table 1 Site-Specific peak ground acceleration adjustment factors
单位:gal

I_1 类场地地震动峰值加速度	场地类别				
	I_0	I_1	II	III	IV
≤ 40	0.90	1.00	1.25	1.63	1.56
80	0.90	1.00	1.22	1.52	1.46
125	0.90	1.00	1.20	1.39	1.33
170	0.89	1.00	1.18	1.18	1.18
285	0.89	1.00	1.05	1.05	1.00
≥ 400	0.90	1.00	1.00	1.00	0.90

按照专题要求,需依据年超越概率 10^{-4} 的数据制作地震危险性等级面。由制图分级标准,以190 gal、380 gal和760 gal为界线将各控制点分为1级(低级)、2级(中低级)、3级(中高级)和4级(高级)。依据分组后的点数据生成地震危险性等级面,具体操作流程如图1所示。将地震危险性结果计算数据转为空间点shp格式,计算结果作为点属性字段,然后将该点数据与山西省宏观场地类别面数据空间连接,使其获得场地类别属性;将各点按场地类别进行分段线性插值,得到各控制点各概率水准下的场地地震动峰值加速度,按上述分界值进行危险性等级分组,得到进行地震

危险性分级后的点。分级后的点文件与山西省 $6''$ 格网数据进行空间连接,每个格网便得到危险性等级字段,以该字段对格网进行空间融合,得到地震危险性等级面。此时的边界为锯齿状,对其进行平滑、调整等操作,得到最终的等级面。

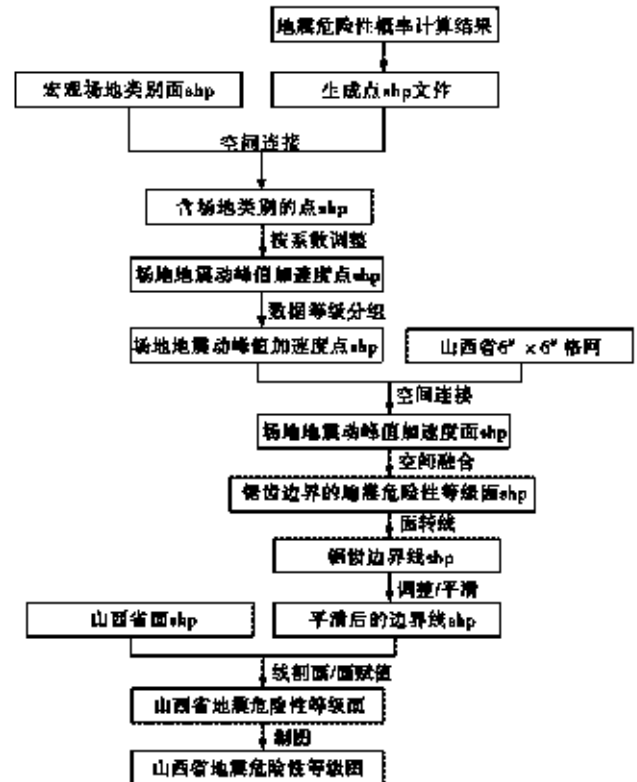


图1 地震危险性等级制图流程图

Fig. 1 Seismic hazard level mapping process

上述处理过程涉及大量的插值、空间连接、空间融合等操作,海量数据的处理是本次制图的关键问题,常规的处理手段已不能满足如此大规模的计算,同时对计算机内存等硬件设施也是一种考验。为此,本项目在处理过程中主要使用基于python的开源GIS库geopandas,借助dask并行计算库,即便如此,也只能保证计算过程不被卡死,且非常耗时。

4 分析与讨论

潜源模型是进行概率计算的数据基础,随着2010年以来取得的新成果、地震及地质新资料、新认识,本次计算的潜源方案(风险普查方案)与五代图潜源方案进行局部调整。为反映这种差异,自山西省境内均匀选取100个计算点,分别以五代图潜源方案和风险普查潜源方案计算各点的概率危险性,并将二种

① 中国地震局.《第一次全国自然灾害综合风险普查技术规范—地震危险性图编制规范》(FXPC/DZ P-01),2022.

结果进行对比分析(见表2)。

由各概率水准对比的箱型图、直方图(见图2)看出,50a63 概率下比率分布范围较大,最大为 18.5%,最小为-0.1%,70%的数据分布在 0~2%,且 93%的大于 0;50a10 概率下比率分布范围也较大,仅次于 50a63,最大为 15.55%,最小为 0.07%,75%的数据分布在 0~2%,且对比结果均大于 0,说明风险普查方案下计算结果均比五代图的计算结果大;50a2 概率下比率分布范围次于 50a10,最大为 12.19%,最小为-0.9%,约 61%的数据在 0~2%,27%的数据小于 0,说明近三成数据的风险普查方案下计算结果比五代图的小;100a1 概率下比率分布范围最小,最大为 8.41%,最小为-0.99%,约 71%的数据在-2~0%,小于 0,说明七成数据风险普查方案下的计算结果比五代图的小。

表 2 两种方案的计算结果对比汇总表
Table 2 Comparative summary of calculation results for two scenarios

统计值	rate63(%)	rate10(%)	rate2(%)	rate1(%)
总个数	100	100	100	100
平均值	1.931 6	2.112 2	0.897 8	0.449 1
标准差	4.282 173	3.333 193	2.461 387	1.766 132
最小值	-0.1	0.07	-0.9	-0.99
25%分位数	0	0.29	-0.175	-0.29
50%分位数	0.065	0.68	0	-0.28
75%分位数	1.04	1.957 3	0.68	0.265
最大值	18.49	15.55	12.19	8.41

注:rate63=((50a63-1)-(50a63-2))/(50a63-2)+(50a63-1)表示 50 年超越概率 63%水准下风险普查方案结果;(50a63-2)表示五代图方案结果;rate10、rate2、rate1 同理。

从图 3 所示的空间分布来看,不同概率水准下,在山西的西北吕梁山隆起区、东南部太行山隆起区,风险普查方案的计算结果明显超出五代图方案的结果,尤其是西北吕梁山隆起区(离石以西及忻州的西部山区)风险普查方案的计算结果超出五代图方案的最大;盆地地区即汾渭断陷带以及两侧一定范围内、山西的东北部,风险普查方案的计算结果小于五代图方案的结果,但差距很小。100 个抽样计算点中,最小的比率为-0.99%,可认为计算结果基本一致。

初步分析造成这种差异的原因有两方面。西北吕梁山隆起区风险普查方案的计算结果超出五代图比率最大,可能是由于该地区处在全国衰减关系分区图的边界处(东部强震活动区与西部中强地震活动区的分界处),而此次山西地域的地震危险性计算均采用东部强震活动区的衰减关系,使得该地区的计算结果在一定程度上有所提高;2010 年以后,随着对晋获断裂长治段的研究,更新了对该断裂的认识,将以晋获断裂长治段控制的长治潜在震源区的展布范围南延至晋城以南,将其震级上限自 6.0 级提高至 6.5 级,山西省东南

部太行山隆起区的计算值也略有提高,可能是由于这种潜在震源区调整的结果。

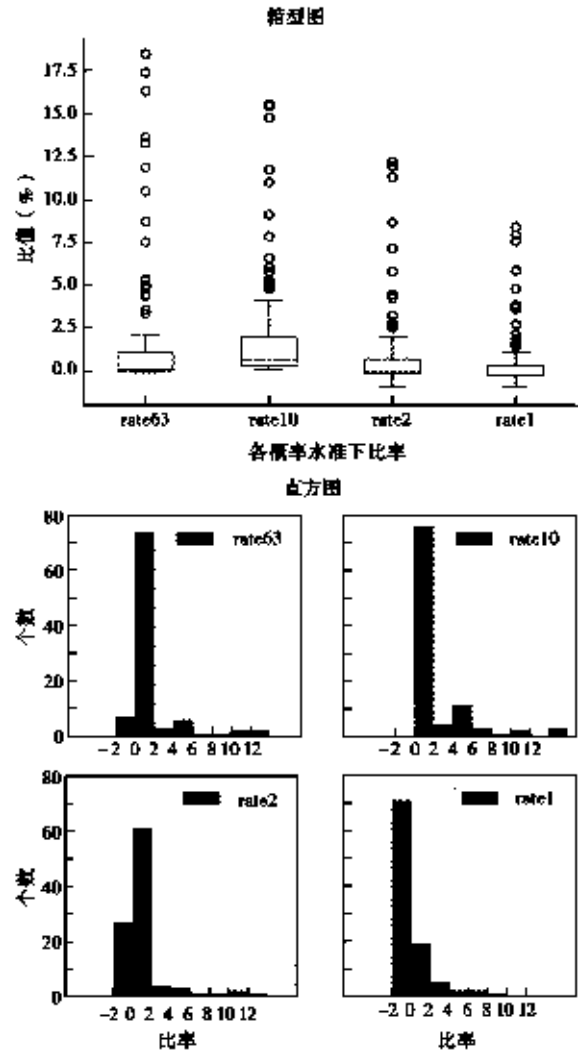


图 2 不同概率计算结果对比
Fig. 2 Comparison of results at different probability levels

这在一定程度上说明,此次地震危险性计算考虑了 2010 年以来新资料新成果的潜源划分方案,并统一采用东部地区的衰减关系,与五代图潜源计算模型相比,增大了晋西北、晋东南山区的结果,略降低了汾渭断陷带内的计算结果。

5 结语

地震危险性计算是山西省地震灾害风险普查工程项目的的基础工作内容之一,将本次计算结果与五代图潜源模型的计算结果进行对比,表明基于风险普查潜源模型的晋西北、晋东南山区的结果稍有增大;汾渭断陷带内的计算结果略有降低但差距较小,可认为结果基本一致。

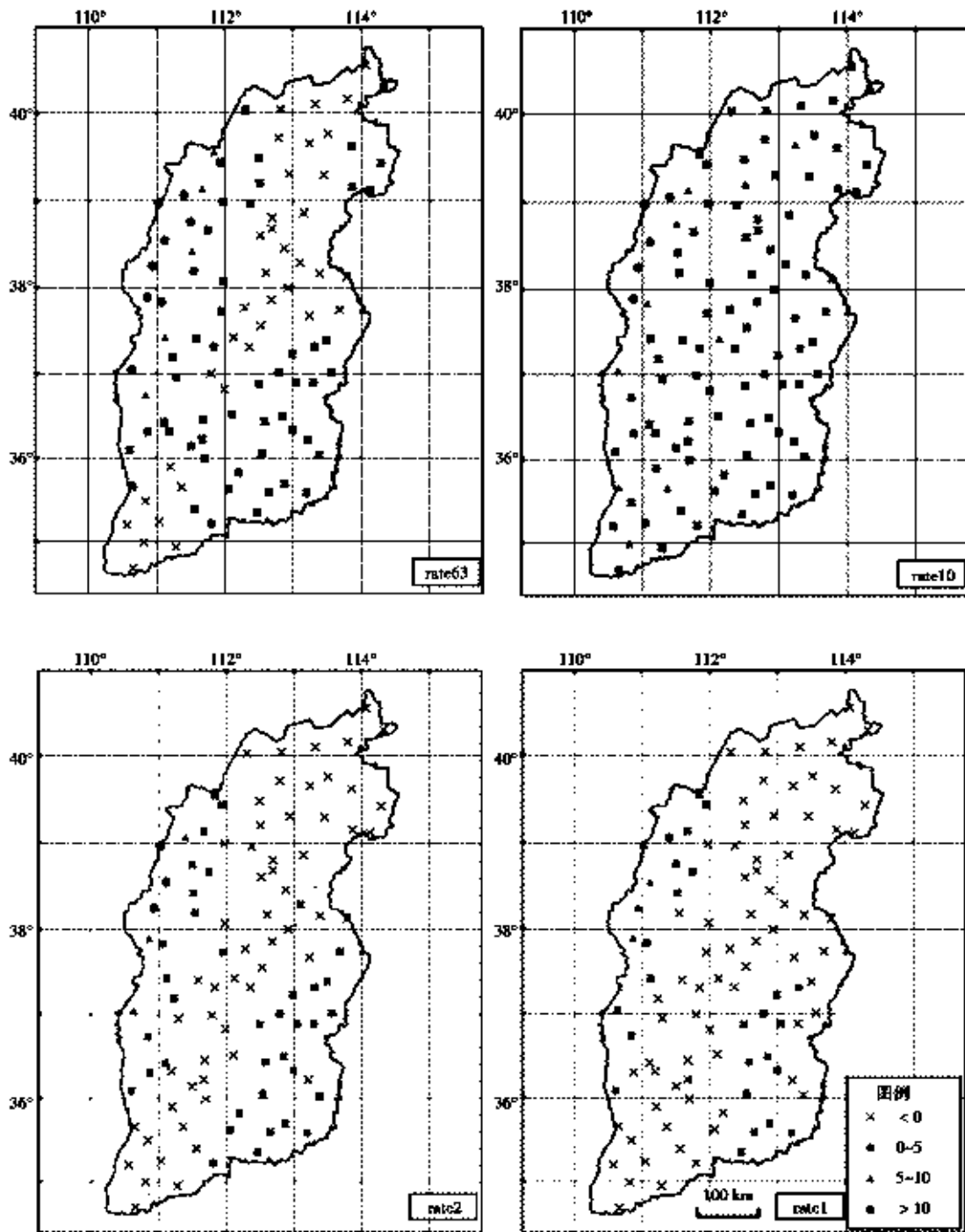


图3 不同概率水准下随机控制点两种方案比率空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of ratios between two scenarios at different probability levels using random control points

参考文献:

- [1] 高孟潭. GB 18306—2015《中国地震动参数区划图》宣贯教材[M]. 北京:中国标准出版社,2015:51-166.
- [2] 张宝一, 裴平, 王丽芳. 基于 mapgis 的概率性地震危险性分析[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2006, 31(5):

709-715.

- [3] 卢寿德, 高孟潭, 陈国呈, 等. 国家标准 GB 17741—2005《工程场地地震安全性评价》宣贯教材[M]. 北京:地震出版社, 2005:41-42.
- [4] 高孟潭, 卢寿德. 关于下一代地震区划图编制原则与关键技术的初步探讨[J]. 震灾防御技术, 2006, 1(1):1 - 6.

- [5] 潘华,高孟潭,谢富仁.新版地震区划图地震活动性模型与参数确定[J].震灾防御技术,2013,8(1),11-23.
- [6] 周本刚,陈国星,高战武,等.新地震区划图潜在震源区划分的主要技术特色[J].震灾防御技术,2013,8(2),113-124.
- [7] 国家地震局“鄂尔多斯周缘活动断裂系”课题组.鄂尔多斯周缘活动断裂系[M].北京:地震出版社,1988.
- [8] 马秀芳,赵晋泉,曹金艳,等.山西清徐地裂缝分布、类型与建筑物避让距离确定[J].山西地震,2023(1),21-23.
- [9] 闫小兵,周永胜,李自红,等.山西浮山断裂的晚第四纪活动与位移速率[J].地震地质,2022,44(1),35-45.
- [10] 曹金艳,李自红,陈文,等.运城盆地盐湖南岸断层晚第四纪活动特征研究[J].第四纪研究,2020,40(01),124-131.

Seismic Hazard Calculation and Mapping in Shanxi Province

HU Guirang^{1,2}, HAO Xuejing^{1,2}, LIU Yanchun^{1,2}, ZHANG Li^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030002, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: Seismic hazard calculation in Shanxi Province is a fundamental aspect of the seismic hazard risk assessment project. This article employs probabilistic seismic hazard analysis methods to calculate the seismic hazard in Shanxi Province. The study briefly outlines the principles of seismic hazard calculation, data processing, and map production processes. It compares the calculated results with those from the fifth-generation seismic zoning map's source model, analyzing the discrepancies. The findings indicate slight increases in the calculated results for the northwestern and southeastern mountainous regions of Shanxi based on the risk assessment source model, while results within the Fenwei Rift Zone show marginal decreases, suggesting overall consistency. And conduct a preliminary analysis of the reasons for the differences.

Key words: probabilistic seismic hazard analysis; GIS; seismic hazard risk assessment

(上接第6页)

Thoroughly Understanding the Baseline and Enhancing Earthquake Disaster Risk Prevention and Mitigation Capability —— A documentary of the Shanxi Province earthquake disaster risk survey project

LI Zehui^{1,2}, TAO Junli^{1,2}, DONG Kangyi^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: The seismic hazard risk assessment project is a crucial component of the comprehensive natural disaster risk survey in the entire province. According to the "three-year effectiveness" requirement, 2023 marks the comprehensive conclusion of the first national comprehensive natural disaster risk assessment. This article comprehensively summarizes and analyzes key aspects and different stages of the seismic hazard risk assessment project, including work deployment, mechanism establishment, supportive capacity building, pilot initiatives, comprehensive rollout, achievements, and their applications. It highlights the main experiential practices and accomplishments, providing valuable insights for the organization and implementation of significant seismic prevention projects in the upcoming stages.

Key words: earthquake disaster risk survey project; risk prevention and mitigation; Shanxi Province

山西省工程场地地震安全性评价活动断层探测成果数据库建设综述

郝雪景^{1,2}, 扈桂让^{1,2}, 刘艳春^{1,2}, 任瑞国^{1,2}

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030002; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

摘要:工程场地地震安全性评价活动断层探测成果数据库建设是山西省地震灾害风险普查工程中的一重要工作。文章介绍数据库建设使用的数据库模板、入库软件等, 简述资料收集整理、数据转换入库、检测汇交的过程, 并以运城市地震小区划项目为例进行成果展示, 讨论数据库建设中数据格式转换、坐标转换等关键点的技术处理。该数据库的建设方法可为其他数据库建设提供参考。

关键词:数据库; 活动断层; 地震安全性评价; 地震灾害风险普查

中图分类号: P315-39

文献标志码: A

0 引言

第一次全国自然灾害综合风险普查工程从2020年启动, 通过摸清地震、地质、气象、水旱、森林和草原火灾等主要自然灾害风险隐患底数, 查明重点地区抗灾能力, 为政府开展自然灾害防治工作提供风险信息和决策依据。地震灾害因突发性强、破坏性大、影响面广, 成为普查工作的重点对象。

山西省地震灾害风险普查工程由山西省地震局组织开展。工程场地地震安全性评价活动断层探测成果数据库建设, 是全国现有地震活动断层与地震工程地质条件钻孔基础数据库建设的主要内容, 是山西省地震灾害风险普查工程的专题工作。此项工作收集整理山西省内14个代表性重大工程场地地震安全性评价、地震小区划、区域性地震安全性评价等项目中活动断层探测成果的相关信息, 包括断层信息、地质调查成果、地球物理勘探、钻孔成果以及成果图件、成果报告等内容, 按照统一的数据标准, 建设全省范围的活动断层数据库, 通过中国地震局活动断层数据中心的检测。

工程场地地震安全性评价结果是重大建设工程场地选址、抗震设防要求确定的依据, 山西省地震局多年来开展大量的评价工作, 积累丰富的数据资料。工程场地地震安全性评价数据库建设, 是山西省首次将多个地震安全性评价项目收集整理, 对项目成果统一入库。这项工作有利于山西省地震安全性评价项目成果的统一管理, 为山西省地震灾害风险防治区划和第六代地震区划图编制奠定基础, 同时也为城市地震灾害风险评估与抗震设计规划提供参考依据。

1 数据库模板和入库软件

地震系统自“九五”时期开始, 逐步建设基于地理数据库 Geodatabase 的活动断层数据库系统^[1], 数据库能够将原始数据、处理结果、成果图件和成果报告等数据资料统一存储和管理。现行通用的活动断层探测数据库模板是基于 DB/T 65-2016《1:50 000 活动断层填图数据库规范》^[2]设计的, 城市活动断层探测、活动性鉴定、活动断层填图、地震灾害风险普查等项目均按照该模板入库, 版本为 CAFD20130904-GCS2000.gdb。

数据库模板是利用 ArcGIS 平台基于地理数据库 Geodatabase 构建, 包含要素数据集和表(见图1)。要素数据集按工作流程和工作内容划分, 包括调查区、基础地理数据、遥感、地球物理场、工作底图、地震信息、地质调查、微地貌、钻探、采样、地球物理探测、地球化学探测、火山、成果图制图、地震危险性分析和地震危害性分析。每个数据集下包含相应的要素类和关系类。数据库模板同时提供 excel 格式, 相当于 ArcGIS 格式的导出表格, 具有相同的属性表结构^[3], 便于统一分析、共享使用。

山西省工程场地地震安全性评价活动断层探测成果数据库(以下简称安评项目活动断层数据库)使用上述活动断层探测数据库模板, 入库使用中国地震局地震活动断层探测数据中心开发的“地震活动断层探测数据入库软件”(以下简称入库软件)。为区别于城市活动断层探测数据库, 本次数据库使用入库软件中的“风险普查”版本, 主要数据内容包括工作区、地震资

收稿日期: 2023-05-30

第一作者简介: 郝雪景(1994—), 女, 山西岢岚人, 助理工程师, 主要从事地震灾害数据库建设工作, E-mail: 461691938@qq.com。

通讯作者: 扈桂让(1985—), 男, 山东菏泽人, 高级工程师, 主要从事活动断层探测、地震工程等工作, E-mail: 408937470@qq.com。

料、地球物理资料、地震构造资料、活动性鉴定和成果数据六类。



图1 数据库结构 Fig.1 Database structure

入库软件可读取 shp、excel 文件导入属性数据，将工作区表单导出 excel 文件，将 excel 模板的录入和数据入库操作进行集成，统一规范要素 ID，导入档案文件，给出检查报告便于定位错误数据。入库软件以工程的方式进行数据管理，操作人员可以新建工程、读取工程、保存工程、关闭工程，便于数据库建设与修改。入库软件根据 ArcGIS 提供的 ArcPy 站点包，提前安装 ArcGIS 10.1 及 10.1 以上系列，在 window 7 和 window 10 系统上正常运行，第一次使用时，需要通过地震活动断层探索数据中心授权。

2 山西省安评项目活动断层数据库建设

安评项目活动断层数据库建设步骤概括为数据资料收集整理、数据转换与入库、数据检测汇交。

2.1 数据资料收集整理

安评项目活动断层数据库收集了山西省太原、大同、长治、晋城、晋中、运城、忻州、临汾、吕梁 9 个地级市重大工程场地地震安全性评价、地震小区划、区域性地震安全性评价项目，整理项目中活动断层探测成果的相关信息，包含工作区、目标区、地震目录、断层空间位置、属性信息、地质调查、地球物理勘探、探槽、钻孔、区域和近场地震构造图、成果报告等内容。

2.2 数据转换与入库

不同的数据资料需要转换为规范、标准化的数据，方可入库。对收集的各项资料数据进行挑选，具有空间特征信息的要素首先构建矢量数据，包括根据坐标点在 ArcGIS 中生成空间要素、对栅格图像进行地理配准和矢量化等，转换处理后进行数据入库，流程如图 2 所示。

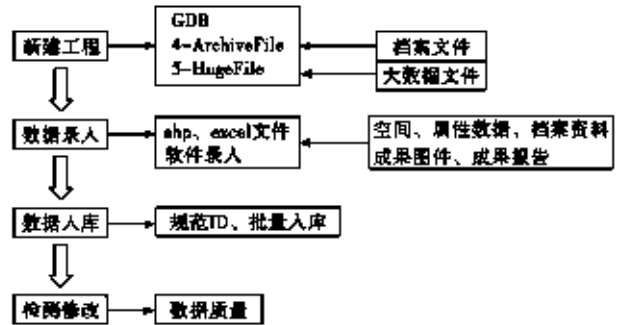


图2 数据入库流程 Fig.2 Data entry process

(1) 新建工程。数据库命名规则为 6 位行政区代码+3 位专题代码，在入库软件中新建工程，选择相应城市后自动给出城市行政代码，自行设定项目编码，在工程目录下自动创建一个 gdb 数据库、一个“4-ArchiveFile”文件夹和一个“5-HugeFile”文件夹。

(2) 数据录入。按专业数据集录入空间和属性数据、档案文件等，将构建好的矢量 shp 文件导入入库软件(见图 3a)，相应属性数据直接在入库软件输入，也可填写对应要素的 excel 表后导入入库软件(见图 3b)，对于预设属性在下拉选项中进行选择。成果图件和成果报告录入到 D_ResultMapTable 和 D_ResultReportTable 中，在入库软件中选“原始档案文件”即可，在 E_ArchiveRawDataTable 中可以查看文件路径。最后对必填项进行校验后，点击“保存数据”。

(3) 数据入库。入库软件可进行 ID 规范化和批量入库。数据录入后，点击“运行”，数据开始批量入库(见图 4)。数据存储到该工程下的 gdb 数据库中，档案文件存储到“4-ArchiveFile”文件夹中，大数据文件存储到“5-HugeFile”文件夹中。入库完成后，检查对应的 Geodatabase，确认数据是否入库成功，可以直接在 ArcGIS 中进行修改。

2.3 数据库检测与汇交

安评项目活动断层数据库由 14 个数据子库组成，建立标准的活动断层数据库后，进行数据检测，保证入库数据的规范和准确。数据质量检测内容包括数据格式、ID 规范性、关联关系、空间拓扑、必填字段、域值范围等^[1]。

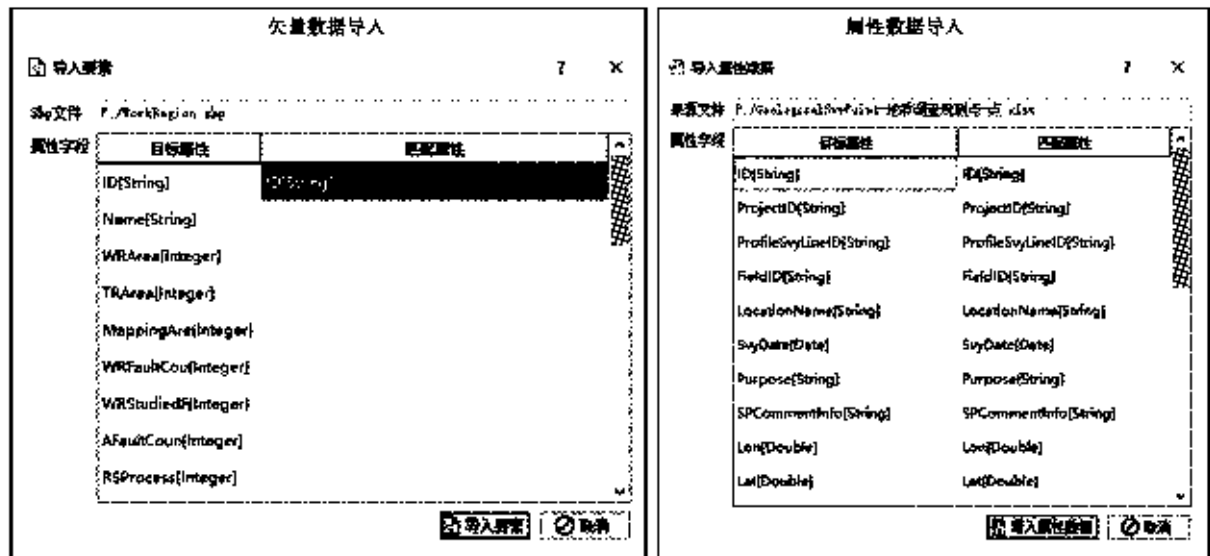


图3 数据导入界面
Fig.3 Data Import interface

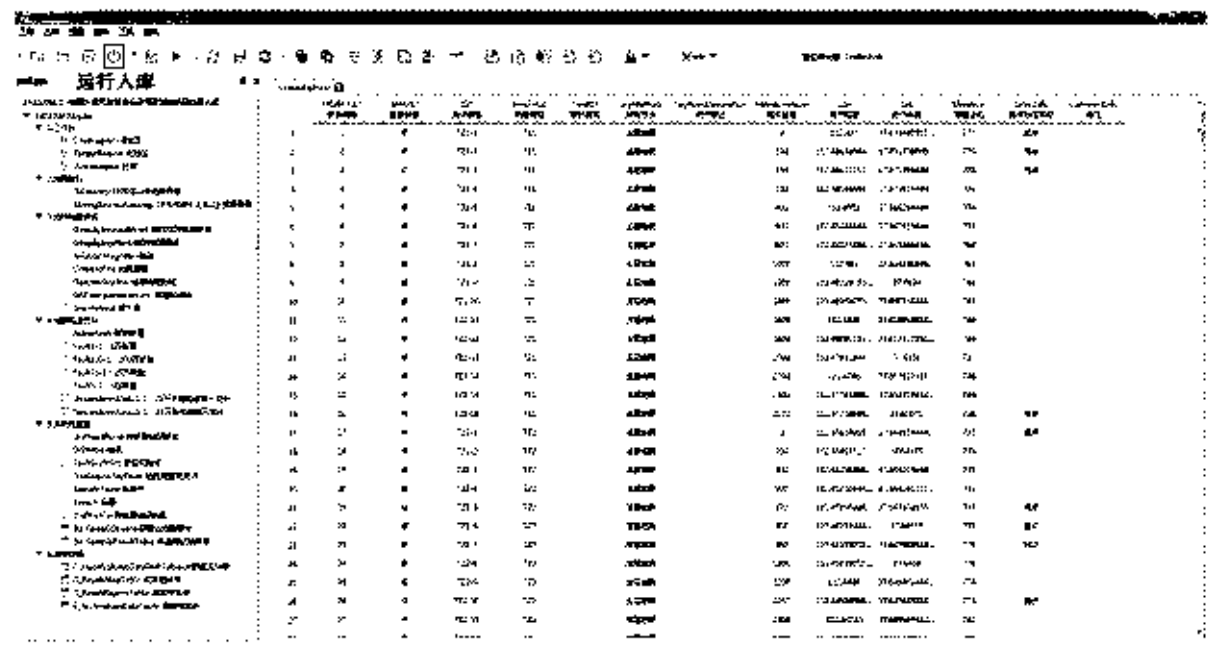


图4 数据入库主界面
Fig.4 Main database entry interface

数据库在提交中国地震局地震活动断层探测数据中心检测之前,可以利用入库软件进行初步检测,在进行入库操作后,软件会给出运行日志 LogReport.xls 和检查报告 ErrorReport.xls,工作人员根据检查报告中的错误指示进行修改,重新入库。软件检测并修改完成后,将资料收集工作表,资料收集成果图和数据库一起提交中国地震局活动断层数据中心进行检测,建库人员根据检测意见修改完善,汇交检测合格的数据库。

2.4 成果展示

安评项目活动断层数据库是对项目资料成果的标准化,通过数据库可快速进行数据查阅与管理,14个数据子库如图5所示。

以运城市地震小区划(新建开发城区)项目为例展示入库成果。该项目于2018年11月完成,地震小区划范围为运城市学院路以东,运风高速以南,南绕城高速以北,工作区面积约85 km²。数据库专题号为140800A01,数据库的建立是将纸质成果数字化,入库

内容见表1和图6,包括3条断层、5条浅层地震勘探线、34个拐点、3个断点、1个探槽、1个跨断层钻探剖面、16张图件和2份成果报告。通过图6a看出,运城市地震小区划探测工作成果中具有空间属性要素的空间位置,属性参数可通过数据库查询,如点击图6虚线框中的地球物理测线,可显示这条测线的相关属性(见图6b)。

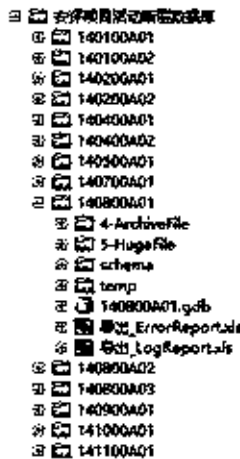


图5 安评项目活动断层数据库
Fig.5 Active fault database for seismic safety evaluation projects

本项目收集资料的数据类型主要有矢量数据、栅格数据、照片、表格、项目报告等。首先通过数字化、扫描、键盘输入等方式将源数据电子化,再对不同数据结构(栅格到矢量数据)进行转换,栅格文件通过坐标配准、矢量化可获取原始空间数据。

表1 运城市地震小区划(新建开发城区)数据库内容表
Table 1 Content table of Yuncheng City seismic zone delineation (newly developed urban area) database

数据名称	要素类型	要素数量	备注
Fault25	线	3条	盐湖南岸断裂 鸣条岗南缘断裂 万荣—东郭断裂
GeophySvyPoint	点	34个	浅层地震
GeophySvyLine	线	5条	浅层地震 17.697 km
GeophySvyFaultPoint	点	3个	盐湖南岸断裂 1个 万荣—东郭断裂 2个
DrillProfile	线	1个	盐湖南岸剖面
DrillFaultPoint	点	1个	盐湖南岸断裂
Trench	点	1个	陶村镇张良村探槽
跨断层钻探剖面图	栅格	1张	
探槽剖面图	栅格	1张	
近场区地震构造图	矢量+栅格	1张+1张	
区域地震构造图	矢量+栅格	1张+1张	
测线地质解释剖面	矢量+栅格	5张+5张	
运城市地震小区划(新建开发城区)报告	doc+pdf	1个+1个	

3 数据库建设中的关键点

3.1 数据格式转换

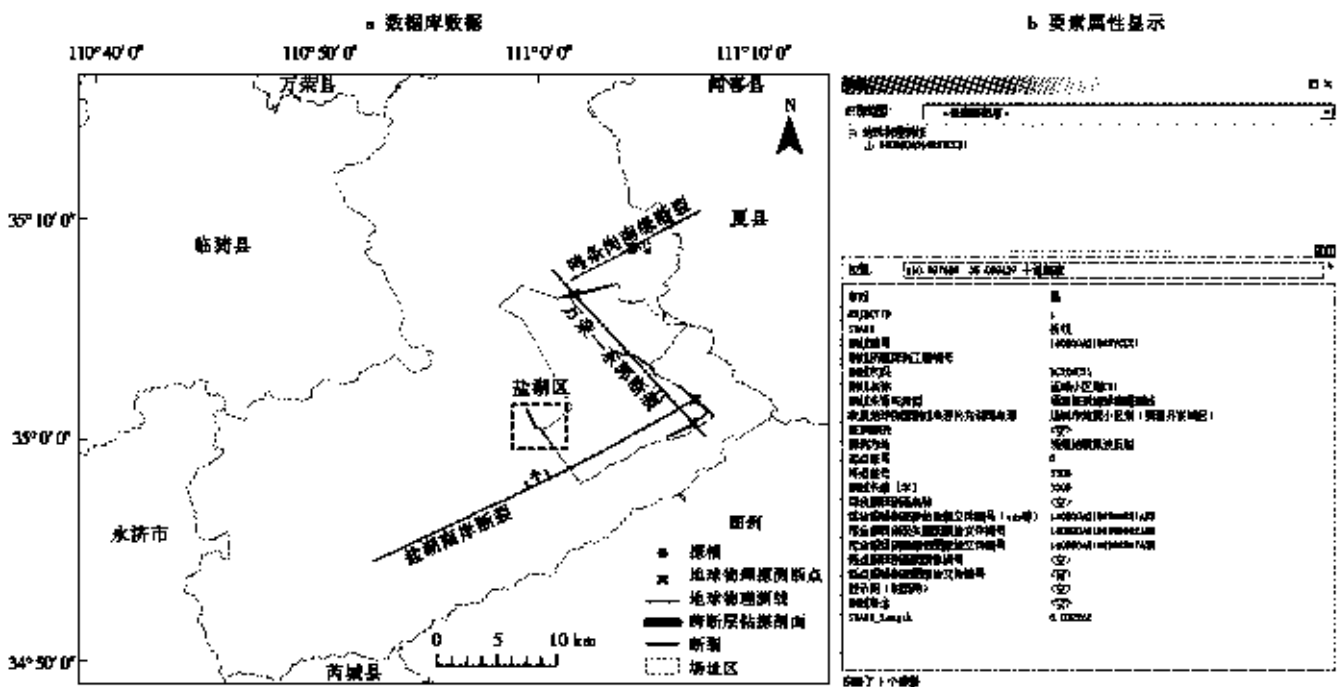


图6 运城市地震小区划(新建开发城区)数据库
Fig.6 Yuncheng City seismic zone delineation (newly developed urban area) database

3.2 坐标转换

数据库建设采用 CGCS2000 国家大地坐标系。收集到的资料坐标系统包括北京 54 坐标、西安 80 坐标、WGS-84 坐标和 CGCS2000 国家大地坐标系,需要将数据统一转换为 CGCS2000 国家大地坐标系后再进行入库。坐标系参数为国家机密,由测绘部门给出两个坐标系的转换参数。在进行投影变换后,数据空间位置和实际情况会存在误差,采用空间配准方法,在 CGCS2000 坐标系的基础地理数据中选取若干明显易于精确标识的地物特征,如道路交叉口、河流汇流处、电线杆等明显地物,作为控制点对,在 ArcMap 中使用 Spatial Adjust 工具进行空间配准,降低误差。

对于批量坐标点进行矢量化时,可以先将经纬度复制到 excel 中(采用十进制格式),再利用 ArcMap 中的“add XY”读取坐标点,最后根据原始坐标系统进行配准。

4 结语

山西省工程场地地震安全性评价活动断层探测成果数据库的建设,是山西省地震灾害风险普查工程重要的工作,于 2022 年完成。该数据库实现了对太原、大同、长治、晋城、晋中、运城、忻州、临汾、吕梁 9 个地

级市地震安全性评价相关项目成果的整理与标准化,便于数据与成果资料的存储、查阅与管理,为后续成果数据库的进一步完善和提升社会公共服务能力提供了技术支撑,也为未来全省的地震灾害风险防治区划和第六代地震区划图编制奠定了坚实的基础。

随着地震安全性评价项目数据要求的不断规范化、标准化,加强探测成果管理,建设标准化的数据库将是项目中不可或缺的部分。本次安评项目活动断层数据库建设工作的完成可为后续项目数据库建设提供借鉴经验。不断补充完善的安评项目活动断层数据库,可用于山西省重大工程选址、城市建设规划等方面,对城市抗震设防工作起到积极作用。

参考文献:

- [1] 于贵华,杜克平,徐锡伟,等.活动构造数据库建设相关问题的研究[J].地震地质,2012,34(04):713-725.
- [2] 中国地震局地质研究所,北京师范大学,宁夏回族自治区地震局,等.DB/T 65 2016 1:50000 活动断层填图数据库规范[S].北京:地震出版社,2016.
- [3] 崔强,柴炳章,王银.活断层数据库建设技术方法及操作综述[J].震灾防御技术,2014,9(2):271-279.

Comprehensive Review of the Establishment of a Database for Seismic Safety Evaluation of Engineering Sites and Results of Active Fault Detection in Shanxi Province

HAO Xuejing^{1,2}, HU Geirang^{1,2}, LIU Yanchun^{1,2}, REN Ruiguo^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030002, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: The construction of a database for seismic safety evaluation of engineering sites and results of active fault detection is an important task within the seismic hazard risk assessment project in Shanxi Province. This article introduces the database templates and storage software used in database construction, briefly describes the process of data collection and organization, data conversion and storage, and detection and delivery. Taking the Yuncheng earthquake community planning project as an example, the results are presented, and the technical processing of key points such as data format conversion and coordinate conversion in database construction is discussed. The construction method of this database can provide reference for the construction of other databases.

Key words: database; active fault; seismic safety evaluation; seismic hazard risk assessment

·地震地质·

文章编号:1000-6265(2023)03-0046-06

山西断陷带主要活动断层基本特征与避让区划

史双双^{1,2},焦洁钰^{1,2},刘艳春^{1,2},闫小兵^{1,2}

(1.山西省地震局,山西 太原 030002;2.太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站,山西 太原 030025)

摘要:山西断陷带是华北地区新近纪以来构造活动强烈的典型代表,其控盆边界断裂的活动是造成山西省地震灾害风险的重要因素之一。在山西断陷带14条断层填图研究的基础上,利用晚更新世以来滑动速率的比来表征断层的晚第四纪运动学特征,得出交城断裂、霍山山前断裂和六棱山山前断裂晚更新世以来的滑动速率分别为 >1.4 mm/a、 $0.76\sim 1.49$ mm/a和 1.6 mm/a,其余断层均小于 1 mm/a。同时,结合山西省地震灾害风险普查工程中的方案划分山西断陷带活动断层避让区划,探讨不断加强完善山西省活动断层探测工作。

关键词:活动断层;山西断陷带;滑动速率;断层避让

中图分类号:P315.2

文献标志码:A

0 引言

大量震例的研究表明,活动断层不仅是产生地震的根源,而且地震时沿断层线的破坏最严重,人员伤亡也明显高于断层两侧的其他区域^[1-2]。沿活动断层的同震地表错动及地震波引起的振动效应是造成严重破坏的主要原因。研究表明,地震灾害具有沿发震断层呈带状分布的特征^[3-4]。

随着20世纪90年代后期一系列大震的发生,世界各国政府认识到活动断层研究在减轻地震灾害方面的重要性,相继实施与活动断层相关的减灾项目^[5-7]。我国的地震灾害风险普查项目内容之一是通过编制活动断层避让区划,达到减轻地震灾害的目的。目前,山西省已完成14条活动断层1:5万条带状填图工作,涉及8市37县,跨越山西省主要的社会活动区域,影响范围广,均发生过历史强震。但是活动断层的探测及避让问题仍有待于进一步研究,其在地震工程方面的影响及灾害评价仍需进一步完善。

针对以上问题,本文在山西断陷带主要断裂大比例尺填图研究的基础上,选取重要边界断层开展晚更新世以来滑动速率的对比,表征断层的晚第四纪运动学特征,并初步划分山西断陷带活动断层的避让区划。

1 山西断陷带概况

山西断陷带是由一系列不对称的断陷盆地右行斜列而成的新构造活动带^[8],呈NNE向延伸,平面上呈“S”形展布,是鄂尔多斯块体周缘断陷盆地系中形成最晚的,开始于上新世,断陷盆地带中新生界堆积厚度明显小于其他断陷盆地^[9-11]。自北向南主要包括怀安—万全盆地、大同盆地、忻定盆地、太原盆地、临汾盆地、运城盆地与灵宝盆地等一系列断陷盆地,盆地之间由断块隆起区相隔(见图1)。

山西断陷带属于右旋剪切拉张带^[10],在这条张性区内分布着一系列北北东—北东东向正断层,控制着断陷盆地的构造形态。山西断陷带也是强震活跃带,发生过历史记录以来的6次7级以上强震(包含1次8级地震)^[12],长期以来受地震研究者的关注^[13-15]。武烈等在讨论山西地震带7次强震时指出,强震的发生与山西断陷带两组发震构造相关:一组和盆地走向一致,即北北东—北东向;另一组与盆地主干方向斜交,即北东东—近东西向^[16]。在这种构造条件下,对山西断陷带主干断层进行系统的对比分析,可为地震构造的判定提供新证据,同时指导山西省地震灾害风险评估工作。

收稿日期:2023-06-01

基金项目:山西省青年基金(201701D221019);地震科技星火计划项目(XH23008YA)。

第一作者简介:史双双(1981—),女,湖北随州人,博士研究生,高级工程师,主要从事地震地质与新构造年代学研究,E-mail:shishsh@126.com。

通讯作者:刘艳春(1981—),女,山西五台人,硕士研究生,高级工程师,主要从事GIS与活动构造方面的研究,E-mail:349326598@qq.com。

2 主要活动断层基本特征

山西断陷带自新生代以来,发育多组不同展布方向的活动断层。盆地边缘的断层规模较大,纵贯全区,是控制盆地形态的主干断层,是断陷带的主要发震构造^[11],山西省域内包含 18 条此类边界断层(图 1 中的 $F_1 \sim F_{18}$),最新活动时代均为全新世。物探资料表明,此类断层延伸较深,部分已延伸至莫霍面^[17]。其中一类边界断层呈近东西—北东东向,分布于盆地的南、北边缘,一般呈地堑、地垒或阶梯状断层向盆地过渡^[14],这可能与断陷带两端巨大的横向构造带牵制有关^[12];另一类边界断层呈北东向,分布于盆地的东西边界,断层的活动直接控制盆地的形成和发展,决定盆地的轮廓。上述 18 条边界断层除恒山南麓断裂(F_9)、五台山北麓断裂(F_9)、云中山山前断裂(F_{10})及系舟山山前断裂(F_{11})暂未进行大比例尺的填图工作外,其余 14 条断层是本次的主要研究对象。山西断陷带涉及的边界断层数量多,活动性较复杂,为便于对比,采用滑动速率指标来进行初步的断裂评价,旨在对比不同性质、不同空间展布活动断层的活动规律。

山西断陷带北部的怀安—万全盆地北缘断裂(F_1)、阳高一—天镇断裂(F_2)、蔚广盆地南缘断裂(F_3)和太白维山山前断裂(F_6)均以正倾滑为主,兼具左旋走滑分量^[19-22]。这 4 条断层具有相似的构造条件,属于晋冀蒙盆岭区主要盆地的边界断层,分别为怀安—万全盆地北边界、阳高一—天镇盆地北边界、蔚广盆地的南边界和灵丘盆地的南边界断层,走向均为近东西向。山西裂谷区主干部分的边界断层以右旋走滑分量为,自北向南包含口泉断裂(F_5)、六棱山山前断裂(F_4)、恒山北麓断裂(F_7)、交城断裂(F_{12})、太谷断裂(F_{13})、霍山山前断裂(F_{14})和罗云山山前断裂(F_{15})具右旋走滑特征,断层走向以 NE 向为主。山西断陷带的这种左旋与右旋分量主要与盆地的构造应力场相关^[13,22]。

对山西断陷带 14 条填图断层分别进行不同程度的断层运动学特征相关研究^[23,24-34],尤其是晚第四纪以来活动性均有详细调查分析的。不同学者通过不同的测量方法,如地质体位移量的测算^[35]、探槽剖面标志层测量^[24-26,36]、地貌面的位错测量^[37-38]、擦痕分析^[30,35]及 GPS 数据模拟^[35,40]等,结合年龄分析,获得断层晚第四纪活动特征及垂直和走滑滑动速率数值(见表 1)。为便于对比,本文主要采用晚更新世以来的滑动速率进行分析。

表 1 给出山西断陷带典型盆地晚更新世以来的滑动速率范围值。断层滑动速率的准确度主要与累积位错量和位错累积时间的量测准确度及其相互间是否匹配等相关。为进行比较,以正倾滑为主的断层取晚更新世以来的倾滑速率值、以走滑为主的断层取晚更新世以来的水平分量滑动速率值作为本次的评定标准。六棱山北麓断裂(F_4)是唯一的走滑分量远大于垂直滑移分量的断层,晚更新世以来水平滑动分量是垂直分量的 10 倍有余^[35],该条断层考虑以走滑速率来取值。部分断层具有少量走滑分量,由于研究程度的不同未能测算出水平滑移量,未获得断层的水平滑移速率值,该类断层仍以垂直滑动为主,考虑其倾滑速率作为判别标准。另外,同一条断层有多个研究结论的则综合考虑,尽量选择研究精度高的速率值作为比对标准,并给出滑动速率的综合范围。

图 2 是根据以上标准做出山西断陷带 14 条主干断层的滑动速率分布图。可以看出,以正倾滑为主的断层中,交城断裂和霍山山前断裂晚更新世以来的倾滑速率值分别为 $>1.4 \text{ mm/a}$ 和 $0.76 \sim 1.49 \text{ mm/a}$ 。以右旋走滑分量为上的六棱山北麓断裂晚更新世以来的水平滑动速率为 1.6 mm/a 。值得一提的是,对于活动断层来说,水平运动分量的破坏性更强,因此六棱山北麓断裂的活动情况应值得特别关注。

3 山西省活动断层避让区划

活动断层避让是一种有效规避地震灾害损失的方

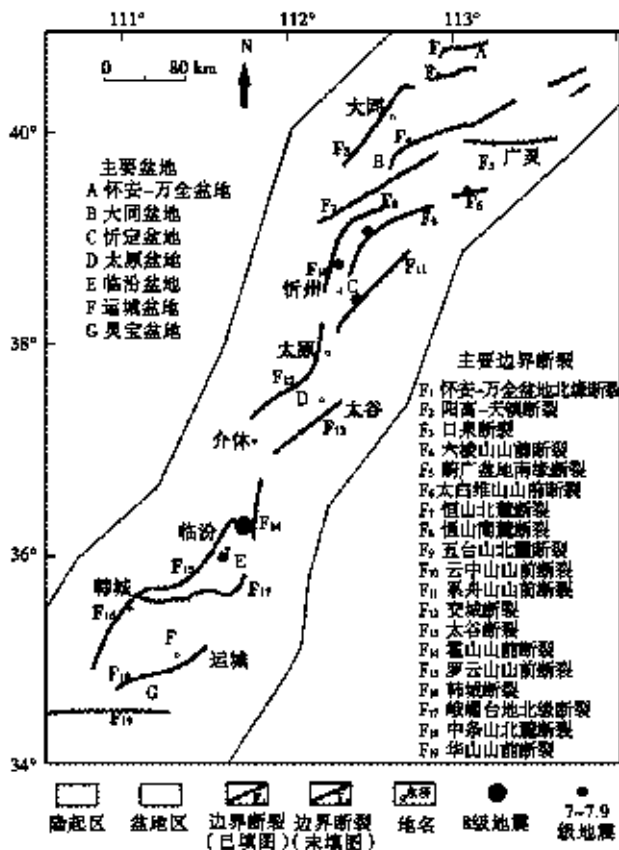


图 1 山西断陷带新构造略图

Fig. 1 Schematic diagram of new structures in the Shanxi Rift Zone

式,是工程界和学术界共同关心的热点方向。众多学者从不同角度研究活断层的避让问题^[50-52],如何在工程建设中避让活断层是一项复杂的工程^[30],避让带宽

度的确定需要依据大量地震地表破裂带宽度及同震位移量等实测数据统计^[51-54],但前提是要准确判断断层实际的空间位置。

表1 山西断陷带主要边界断层晚更新世以来的滑动速率
Table 1 Late Pleistocene slip rates of major boundary faults in the Shanxi Rift Zone

序号	断层名称	长度(km)	断层性质	前人研究的晚更新世以来滑动速率(mm/a)	本次研究滑动速率取值(mm/a)	地震活动	涉及县(区)
1	怀安—万全盆地北缘断裂	50	正倾滑/左旋走滑	0.21 ^[39] , 0.1~0.12 ^[25]	0.1~0.12	1628年河北怀安6 $\frac{1}{2}$ 级地震	天镇
2	阳高一天镇断裂	75	正倾滑/左旋走滑	0.12~0.20 ^[20]	0.12~0.20	1989年大同阳高同5.9、5.5级地震, 1991年阳高5.8级地震	阳高、天镇
3	口泉断裂	130	正倾滑/右旋走滑	0.17~0.54 ^[37]	0.17~0.54	1022年大同6 $\frac{1}{2}$ 级地震, 1305年怀仁6 $\frac{1}{2}$ 级地震	大同、怀仁、山阴
4	六棱山山前断裂	140	右旋走滑/正倾滑	0.1~0.56 ^[41] , 0.43~0.75 ^[36] , 0.19~0.63 ^[24] , 右旋走滑速率1.6, 垂直滑动速率0.12~0.2 ^[30]	1.6(走滑速率)	1989年大同5.9级地震, 1991年5.8级地震	阳高、大同、怀仁、应县
5	蔚广盆地南缘断裂	120	正倾滑/左旋走滑	0.42~0.66 ^[31,42]	0.42~0.66	-231年河北平阴6 $\frac{1}{2}$ 级地震, 1583年广灵5 $\frac{1}{2}$ 级地震	广灵
6	太白峰山山前断裂	62	正倾滑/左旋走滑	0.4~0.48 ^[43] , 横滑0.1~0.5 ^[22]	0.3~0.5	1626年灵丘7级地震	灵丘
7	恒山北麓断裂	130	正倾滑/右旋走滑	0.23~0.49 ^[27]	0.23~0.49		浑源、应县、山阴、朔城区、宁武
8	交城断裂	150	正倾滑/右旋走滑	>1.4 ^[28]	>1.4	1102年太原6 $\frac{1}{2}$ 级地震	阳曲、太原、清徐、交城、文水
9	太谷断裂	100	正倾滑/右旋走滑	垂直滑动0.12, 右旋滑动速率0.15 ^[29] , 0.16~0.19 ^[44]	0.16~0.19	1614年平遥6 $\frac{1}{2}$ 级地震, 1618年介休6级地震	太谷、祁县、平遥、介休
10	壶山山前断裂	116	正倾滑/右旋走滑	0.76~1.49 ^[30,39]	0.76~1.49	1303年洪洞8级地震	壶州、洪洞
11	罗云山山前断裂	145	正倾滑/右旋走滑	0.017~0.53 ^[24] , 0.18~0.54 ^[45]	0.18~0.54	1695年临汾7 $\frac{3}{4}$ 级地震	洪洞、尧都区、襄汾、新绛、稷山、河津
12	韩城断裂	120	正倾滑	0.13 ^[31] , 0.49 ^[46]	0.13~0.49		河津
13	峨嵋台地北缘断裂	120	正倾滑	0.1~0.36 ^[32,47]	0.1~0.36	863年翼城5 $\frac{1}{2}$ 级地震, 1882年曲沃5 $\frac{1}{2}$ 级地震	河津、万荣、稷山、新绛、侯马、曲沃、绛县、翼城
14	中条山北麓断裂	140	正倾滑	解州段0.45~0.83 ^[44] , 夏县段0.2~0.55 ^[48]	解州段0.45~0.83, 夏县段0.2~0.55	1642年安邑6级地震	减县型

山西省地震灾害风险普查工程对山西省已经具备条件的14条上述断裂开展1:5万活动断层避让区划图的划分工作,对《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223-2008)中规定的乙、丙类建筑进行科学避让,以距离活动断层(活动断层破裂带)最小避让距离为半径形成的缓冲区形成活动断层避让区划。本次避让区划

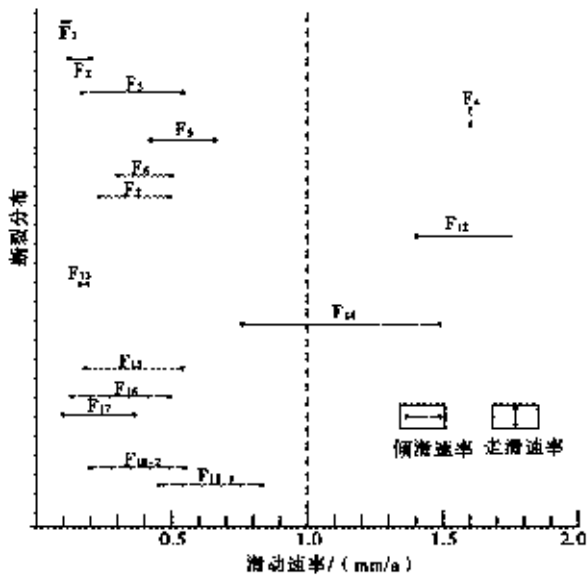
对乙类建筑设置与活动断层(活动断层破裂带)离开的最小安全避让距离不小于200m,对丙类建筑,最小安全避让距离不小于100m。

山西省14条活动断层的精确定位为断层科学避让提供前提条件,尤其是对活动强、滑移速率大的14条断层的避让更是一项亟待解决的问题。

4 讨论

4.1 断层运动性质

前文对前人的研究资料进行汇总对比,获得山西断陷带主要边界断层的性质。可以发现,山西断陷带主边界断层的活动特征及性质符合区域构造环境。



F₁ 怀安-万全盆地北缘断裂; F₂ 阳高-天镇断裂; F₃ 口泉断裂;
F₄ 六棱山山前断裂; F₅ 蔚广盆地南缘断裂;
F₆ 太白维山山前断裂; F₇ 恒山北麓断裂; F₈ 恒山南麓断裂;
F₉ 五台山北麓断裂; F₁₀ 云中山山前断裂; F₁₁ 系舟山山前断裂;
F₁₂ 交城断裂; F₁₃ 太谷断裂; F₁₄ 霍山山前断裂;
F₁₅ 罗云山山前断裂; F₁₆ 静乐断裂; F₁₇ 峨嵋台地北缘断裂;
F₁₈₋₁ 中条山北麓断裂解州段; F₁₈₋₂ 中条山北麓断裂夏县段

图2 山西断陷带滑动速率分布图

Fig. 2 Distribution of slip rates in the Shanxi Rift Zone

断陷带两端构造线以 NEE 向为主,对应怀安-万全盆地、大同盆地北端的阳高-天镇凹陷、蔚广盆地、灵丘盆地及断陷带南端的灵宝盆地。灵宝盆地的南边界华山山前断裂属于陕西境内,不做重点论述。北部 4 条盆边界断层具有较相似的几何学特征,即怀安-万全盆地北缘断裂、阳高-天镇断裂、蔚广盆地北缘断裂、太白维山山前断裂走向近东西向,且均具有左旋走滑分量,这种相同构造条件及应力场环境下孕育的活动构造具有相似的几何学特征和运动学规律。基于该结果,推测山西断陷带两端左旋走滑的动力学机制可能受鄂尔多斯周缘盆地交接部位的旋转引起,这与前人的研究结论基本一致^[53]。

同为大同盆地的边界断层,六棱山山前断裂具有截然不同的活动性质。跨越该断层的冲沟表现出一致性的右旋偏转,表明断层具有右旋走滑活动特征。这符合山西断陷带主体的右旋剪切拉张的构造环境。罗金星^[46]等通过多种技术手段获取断错地貌和地质体的右旋偏移量,并结合年代学限定获得六棱山山前断

裂西段的右旋走滑速率为 $(1.6+0.3)$ mm/a,同时具有垂直运动分量,垂直滑动速率为 0.2 mm/a。此结果表明,六棱山山前断裂在山西断陷带的右旋剪切活动中作用举足轻重。该断层中段和东段的水平拉张速率远小于西段^[43],因此,对于山西断陷带一些断裂的运动性质不能一概而论,需要分区分段来调查研究。

4.2 断层避让

如前所述,山西省地震灾害风险普查工程对山西断陷带活动断层的避让区划采用统一避让,即乙类建筑避开活动断层 200 m,丙类建筑避开活动断层 100 m。这种避让方案的设定符合现行的《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)(2016 年版),为城市工程规划和土地利用提供依据。

山西断陷带主要活动断层性质各异,以正倾滑断层为主,兼具走滑特征,也有像六棱山山前断裂这种走滑分量远大于垂直分量的走滑断层,不同性质断层的地震地表破裂带宽度和形态具有较大的差别^[50]。另外,盆地内部还存在着一些研究程度不高的边界活动断层,如五台山北麓断裂、系舟山山前断裂、云中山山前断裂及恒山南麓断裂,这些断层同样是控盆活动断层;在盆地内部还存在活动性较强的非控盆断裂,如郭家庄断裂等,由于不在本次填图断裂的范畴,未列入风险普查避让区划的研究范围。

当前对于活动断层地表破裂带宽度的确定及预测有较丰富的研究方法和实例^[51-54,56-57],但上述活动断层变形带宽度仍缺乏较统一的认定,部分断裂的地表破裂带范围缺乏较确切的证据^[54]。随着未来活动断层研究程度的提高,可设定更科学的避让方案。

同时,还应关注低滑动速率活动断层的潜在发震能力,这需要综合考虑活动断层的多种指标,建立综合危害性评价体系,通过活动断层综合评价来达到精准避让的目的。

4.3 断层探测

基于上述研究,提出山西活动断层探测工作的相关建议:

(1) 完善山西省内边界断层的大比例尺填图工作,特别是系舟山山前断裂、云中山山前断裂、五台山北麓断裂等边界断裂,亟需开展活动断层探测工作。

(2) 健全山西省活动断层危害性评价指标体系。针对山西断陷带不同运动学特征和动力学机制条件下发育的断层,开展具有针对性的活动断层危害性综合评价体系。

(3) 科学定制山西断陷带活动断层避让方案。考虑通过古地震探槽分析、数值模拟等技术手段获取可靠的断层近地表永久变形带宽度,制定科学合理的活动断层避让方案,为土地利用和活断层减灾提供科学依据。

5 结论

(1) 已完成山西断陷带 14 条边界断层 1:5 万的填图工作,均为全新世活动正断层。其中具有左旋走滑分量的断层有怀安-万全盆地北缘断裂、阳高一-天镇断裂、蔚广盆地南缘断裂和太白维山山前断裂,具有右旋走滑活动证据的断层有口泉断裂、六棱山山前断裂、恒山北麓断裂、交城断裂、太谷断裂、霍山山前断裂和罗云山山前断裂。韩城断裂、峨嵋台地北缘断裂和中条山北麓断裂均以正倾滑为主,暂未发现走滑证据。六棱山山前断裂是唯一的走滑分量远大于垂直分量的正断层。

(2) 根据滑动速率评价指标得出,交城断裂、霍山山前断裂及六棱山山前断裂滑动速率相对较高,分别为 $>1.4 \text{ mm/a}$ 、 $0.76 \sim 1.49 \text{ mm/a}$ 和 1.6 mm/a 。

(3) 山西断陷带主体属于右旋剪切拉张的构造环境,北端的怀安-万全盆地北缘断裂、阳高一-天镇断裂、蔚广盆地南缘断裂和太白维山山前断裂的左旋走滑动力学机制可能是由鄂尔多斯周缘盆地交接部位的旋转引起。

(4) 山西断陷带活动断层大比例尺填图工作仍未全面覆盖,地震地表破裂带的宽度有待进一步明确,避让带的划分有待进一步的深入研究。

参考文献:

[1] 马玉宏,谢礼立.关于地震人员伤亡因素的探讨[J].自然灾害学报,2000(03):84-90.

[2] 陈洪富,戴君武,孙柏涛,等.玉树 7.1 级地震人员伤亡影响因素调查与初步分析[J].地震工程与工程振动,2011,31(04):18-25.

[3] 黄润秋,李为乐.“5.12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(12):2585-2592.

[4] 张培震,邓起东,张竹琪,等.中国大陆的活动断裂,地震灾害及其动力过程[J].中国科学:地球科学,2013,43(10):1607-1620.

[5] Nakamura H, Horiuchi S, Wu C J, et al. Evaluation of the real-time earthquake information system in Japan [J]. Geophysical Research Letters, 36(L00B01), 2009.

[6] Allen R M, Brown H, Hellweg M, et al. Real-time earthquake detection and hazard assessment by ElarmS across California [J]. Geophysical Research Letters, 36(L00B01), 2009.

[7] 邓起东,徐锡伟,张先康,等.城市活动断裂探测的方法和技术[J].地学前缘,2003(01):93-104.

[8] 邢作云,赵斌,徐美义,等.汾渭裂谷系与造山带耦合关系及其形成机制研究[J].地学前缘,2005(02):247-262.

[9] 国家地震局“鄂尔多斯周缘活动断裂系”课题组.鄂尔多斯周缘活动断裂系[M].北京:地震出版社,1988.

[10] 徐锡伟.山西地堑系的新构造活动特征及其形成机制[D].北京:中国地震局地质研究所,1989.

[11] 王乃樑,杨景春,夏正楷,等.山西地堑系新生代沉积与构造地貌[M].北京:科学出版社,1996:224-225.

[12] 张培震,邓起东,张国民,等.中国大陆的强震活动与活动地块[J].中国科学(D辑),2003,33(S1):12-20.

[13] Xu X W, Ma X Y. Geodynamics of the Shanxi rift system, China [J]. Tectonophysics, 1992, 208(1-3): 325-340.

[14] 闫小兵,周永胜,李自红,等.1695 年临汾 $7 \frac{3}{4}$ 级地震震害构造研究[J].地震地质,2018,40(4):883-902.

[15] Xu Y R, He H L, Deng Q D, et al. The 1303 Hongdong earthquake and the Huoshan piedmont fault, Shanxi Graben, Implications for magnitude limits of normal fault earthquakes [J]. Journal of Geophysical Research, Solid Earth, 2018, 123(4): 3098-3121.

[16] 武烈,贾宝卿,许银贵,等.山西境内七次强震及有关几个问题的讨论[J].华北地震科学,1987(02):13-23.

[17] 李自红.临汾盆地地壳精细结构探测与孕震构造研究[D].太原:太原理工大学,2014.

[18] 郭秋娜.汾渭地震带地震活动性研究[D].北京:中国地震局地震预测研究所,2012.

[19] 方仲景,段瑞涛,郑炳华,等.河北省怀安盆地北缘断裂活动性研究[J].华北地震科学,1994,12(4):25-33.

[20] 罗全星,李传友,任光雪,等.阳高-天镇断裂晚第四纪活动特征及滑动速率[J].地震地质,2020,42(2):399-413.

[21] 王林.盆地边界活动正断层多尺度构造地貌研究:以京西北蔚广盆地南缘断裂带为例[D].北京:中国地震局地质研究所,2012.

[22] 陈立春.太白维山北麓断裂分布图(1:50000)说明书[M].北京:地震出版社,2017.

[23] 庄其天.山西地堑系太原盆地晚新生代沉积环境和盆地演化[D].北京:中国地震局地质研究所,2022.

[24] 谢新生,许建红,郭慧,等.罗云山山前断裂带分布图(1:50000)说明书[M].北京:地震出版社,2017:46-51.

[25] 陈文彬,宋毅盛,潘华,等.怀安-万全盆地北缘断裂(西段)分布图(1:50000)说明书[M].北京:地震出版社,2017.

[26] 田勤俭,王林,李德文,等.蔚广盆地南缘断裂带分布图(1:50000)说明书[M].北京:地震出版社,2017:29-33.

[27] 于慎涛.恒山北麓断裂 1:5 万条带状地质填图,中国地震活断层探索-华北构造区项目报告[R].北京:中国地震局地壳应力研究所,2013.

[28] 江娃利,郭慧,谢新生,等.山西交城活动断裂带分布图(1:50000)说明书[M].北京:地震出版社,2017:27-40.

[29] 谢富仁,荆振杰,张世民,等.太谷断裂带分布图(1:50000)说明书[M].北京:地震出版社,2017:18-30.

[30] 何宏林,徐岳仁,魏占玉,等.霍山山前断裂带分布图(1:50000)说明书[M].北京:地震出版社,2017:30-42.

[31] 李自红,扈桂让,闫小兵,等.韩城断裂带分布图(1:50000)说明书[M].北京:地震出版社,2017:38.

[32] 高战武,徐伟,杨源源.峨嵋台地北缘断裂带分布图(1:50000)说明书[M].北京:地震出版社,2017:29-32.

[33] 李有利.中条山北麓断裂分布图(1:50000)说明书[M].北京:地震出版社,2017.

- [34] 石峰. 六棱山北麓断裂 1:5 万断层填图专题-全国地震灾害风险普查试点项目[R]. 北京:中国地震局地质研究所, 2021.
- [35] 罗全昇, 李有利, 胡秀, 等. 山西地槽系北部六棱山北麓断裂西段晚第四纪右旋走滑速率的约束[J]. 第四纪研究, 2022, 42(03): 717-731.
- [36] 邓起东, 米仓伸之, 徐锡伟, 等. 山西高原六棱山北麓断裂晚第四纪运动学特征初步研究[J]. 地震地质, 1994, 16(4): 339-343.
- [37] 徐伟, 刘旭东, 张世民. 口泉断裂中段晚第四纪以来断错地貌及滑动速率确定[J]. 地震地质, 2011, 33(02): 335-346.
- [38] 卢本添, 李志刚, 梁浩, 等. 中条山北麓河流地貌特征及其对断裂构造演化的响应[J]. 地震地质, 2022, 44(04): 961-975.
- [39] 徐岳仁. 山西霍山山前断裂带晚第四纪活动特征研究[D]. 北京:中国地震局地质研究所, 2013.
- [40] 李焯航, 王庆良, 崔笃信, 等. 大间盆地口泉断裂的活动性及分段特征的数值模拟[J]. 大地测量与地球动力学, 2013, 33(04): 9-12.
- [41] 段瑞涛, 方仲景. 六棱山北麓断裂新活动特征[J]. 地震地质, 1995(03): 207-213.
- [42] Middleton T A, Elliott J R, Rhodes E J, et al. Extension rates across the northern Shanxi Grabens, China, from Quaternary geology, seismicity and geodesy[J]. *Geophysical Journal International*, 2017, 209(2): 535-558.
- [43] 申旭辉, 汪一鹏. 太白维山山前断裂活动特征的初步研究[J]. 华北地震科学, 1994(03): 17-26.
- [44] 荆振杰, 刘凤香, 杜义, 等. 山西太谷断裂南段晚更新世以来的活动特征[J]. 地质通报, 2016, 35(09): 1559-1569.
- [45] 孙昌斌, 谢新生, 许建红, 罗云山山前断裂中段土门-贾朱村晚第四纪断错地貌特征[J]. 中国地震, 2013, 29(03): 347-357.
- [46] 扈桂让, 李自红, 闫小兵, 等. 韩城断裂晚第四纪活动性研究[J]. 地震地质, 2017, 39(01): 208-217.
- [47] 徐伟, 高战武, 杨源源. 山西峨嵋台地北缘断裂晚第四纪活动性[J]. 地震地质, 2014, 36(04): 1064-1076.
- [48] 郭春杉, 李文巧, 田勤俭, 等. 中条山北麓断裂解州段晚更新世滑动速率研究[J]. 地震, 2019, 39(04): 13-26.
- [49] 苗德雨, 李有利, 吕胜华, 等. 山西中条山北麓断裂夏县段新构造运动[J]. 地理研究, 2014, 33(04): 665-673.
- [50] 张建毅. 工程场地活断层避让距离研究[D]. 哈尔滨:中国地震局工程力学研究所, 2015.
- [51] 徐锡伟, 郭婷婷, 刘少卓, 等. 活动断层避让相关问题的讨论[J]. 地震地质, 2016, 38(03): 477-502.
- [52] 王家琛, 王友林, 李晓昭, 等. 隐伏活动正断层地区地下建筑的避让问题:以渭河断裂咸阳段为例[J]. 地学前缘, 2019, 26(03): 122-128.
- [53] 郭婷婷. 汶川地震震害与活动断层“避让带”宽度的分析研究[D]. 北京:中国地震局地质研究所, 2013.
- [54] 黄静宜. 强震地表破裂评估方法研究[D]. 哈尔滨:中国地震局工程力学研究所, 2016.
- [55] 石云, 廖欣, 张达, 等. 软流圈物质运动对鄂尔多斯块体周缘断陷盆地运动特征的影响[J]. 地球物理学报, 2017, 60(07): 2614-2627.
- [56] 韩竹军, 冉勇康, 徐锡伟. 隐伏活断层未来地表破裂带宽度与位错量初步研究[J]. 地震地质, 2002(04): 484-494.
- [57] 何仲太, 马保起, 李玉森, 等. 汶川地震地表破裂带宽度与断层面上盘效应[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2012, 48(06): 886-894.

Basic Characteristics of Main Active Faults and Zoning for Avoidance in the Shanxi Rift Zone

SHI Shuangshuang^{1,2}, JIAO Jieyu^{1,2}, LIU Yanchun^{1,2}, YAN Xiaobing^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030002 China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: The Shanxi Rift Zone is a representative example of intense tectonic activity in the Neogene period in the North China region. The activity of its bounding faults significantly contributes to the seismic risk in Shanxi Province. Based on mapping studies of 14 faults within the Shanxi Rift Zone, this research utilizes comparisons of slip rates since the Late Pleistocene to characterize the Quaternary kinematic behavior of the faults. The study reveals that the Late Pleistocene slip rates for the Jiaocheng Fault, Huoshan Foreland Fault, and Liulengshan Foreland Fault are >1.4 mm/year, 0.76-1.49 mm/year, and 1.6 mm/year respectively, while the slip rates for the other faults are all less than 1mm/year. Furthermore, in conjunction with the seismic hazard risk assessment project in Shanxi Province, this study outlines zoning for avoidance of active faults in the Shanxi Rift Zone, emphasizing the need to continuously strengthen and improve the detection of active faults in Shanxi Province.

Key words: active faults; Shanxi Rift Zone; slip rate; fault avoidance

山西临汾市区土层剪切波速与埋深关系的研究

任瑞国^{1,2},李宏伟^{1,2},扈桂让^{1,2}

(1.山西省地震局,山西 太原 030002;2.太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站,山西 太原 030025)

摘要:土层剪切波速是地震小区划和工程场地地震安全性评价中的重要参数。选取临汾市汾河冲积平原一二级阶地和三级阶地共60个典型工程的土层剪切波速资料,分别采用三种经验模型进行统计回归分析,随机选取4个实测钻孔检验拟合程度。结果表明,该地区剪切波速与埋深存在明显的相关关系,将实测结果与拟合结果进行检验,经验关系式与实测的剪切波速值基本吻合,表明可用于该地区剪切波速的推测。

关键词:剪切波速;埋深;统计分析

中图分类号:P315.3

文献标志码:A

0 引言

地震灾害风险普查工程是全国自然灾害综合风险普查工作的重要内容之一,按照相关要求,2021年在山西省开展现有建设工程地震安全性评价钻孔和场地工程地质勘察钻孔资料收集,对全省931个收集钻孔和18个补充钻孔进行标准化和数字化处理,建立山西省地震工程地质条件钻孔数据库。

土层剪切波速是岩土工程的重要参数之一,其在划分场地土类型和建筑场地类别、确定覆盖层厚度、液化判别、场地地震反应分析等方面有着广泛的应用,是目前地震安全性评价和地震小区划工作中涉及的重要参数之一。剪切波速在建筑场地的选择和抗震措施的确定,在避免和减轻地震灾害对建筑物的破坏等方面具有重要的作用。剪切波速测试资料一般需要现场实测来获取,由于测试方法的差异、仪器精度、钻孔塌孔等原因,常常导致出现波速显著异常等,影响波速的准确判读。目前,已有的研究成果表明,土层剪切波速与埋深有较强的相关性,这些成果在深圳^[1]、苏州^[2]、合肥^[3]、南京^[4]、太原^[5]、朔州^[6]、大同^[7]等地均得到较好的验证。

基于以上思路,将山西省地震灾害风险普查工程中收集的临汾市区钻孔资料进行整理,考虑到样本的空间分布、年代划分、工程类别等因素又补充部分重大工程钻孔资料,共整理出临汾市区60个典型工程的土层剪切波速资料,采用三种经验模型进行统计回归分析。随机选取4个新实测钻孔检验拟合程度,为临汾市工程建设提供基础的参考资料,为该地区剪切波速

研究提供参考。

1 地质概况

临汾市主要位于临汾盆地沉降堆积平原区中的汾河冲积平原一二三级阶地。其中,一级阶地主要分布于河西,呈条带状分布,宽0.5~2 km,略向河面倾斜;二级阶地主要呈条带状分布于河西地带,兴旺庄、小榆东村至东靳北村一带;三级阶地广布与汾河以东区域,是构成汾河东部冲积平原的主体单元^[8-9]。

2 数据情况

将山西省地震灾害风险普查工程中收集的临汾市钻孔资料进行整理,考虑到样本的空间分布、年代划分、工程类别等因素,又补充近年来市区内地震安全性评价工作中的剪切波速资料。本次整理出60个地震钻孔的剪切波速测试点数据1784个,全部采用单孔检层法测试获得,采样点间隔为2 m或3 m。所选地震钻孔均匀分布于临汾市城区,保证样本的适用性和代表性,反映临汾市城区第四系地层的剪切波速和地层特征。收集钻孔的位置分布如图1所示。

3 统计分析

本次工作按照临汾市主要地貌单元的汾河冲积平原一二三级阶地和三级阶地,分别研究土层剪切波速与土层埋深的拟合关系(因一级阶地所占面积较小且地块不连续,本次工作将一二级阶地结合起来研究)。60个钻孔用以建立经验模型,随机选取4个新钻孔用以检验模型。前人的研究表明,土层剪切波速 V_s

收稿日期:2023-05-31

第一作者简介:任瑞国(1992—),男,山西寿阳人,工程师,主要从事活动构造和地震活动断层研究,E-mail:995051702@qq.com。

与埋深 H 之间的拟合关系主要有线性函数、二次函数和幂函数三种。

模型 1:

$$V_s = a + bH。$$

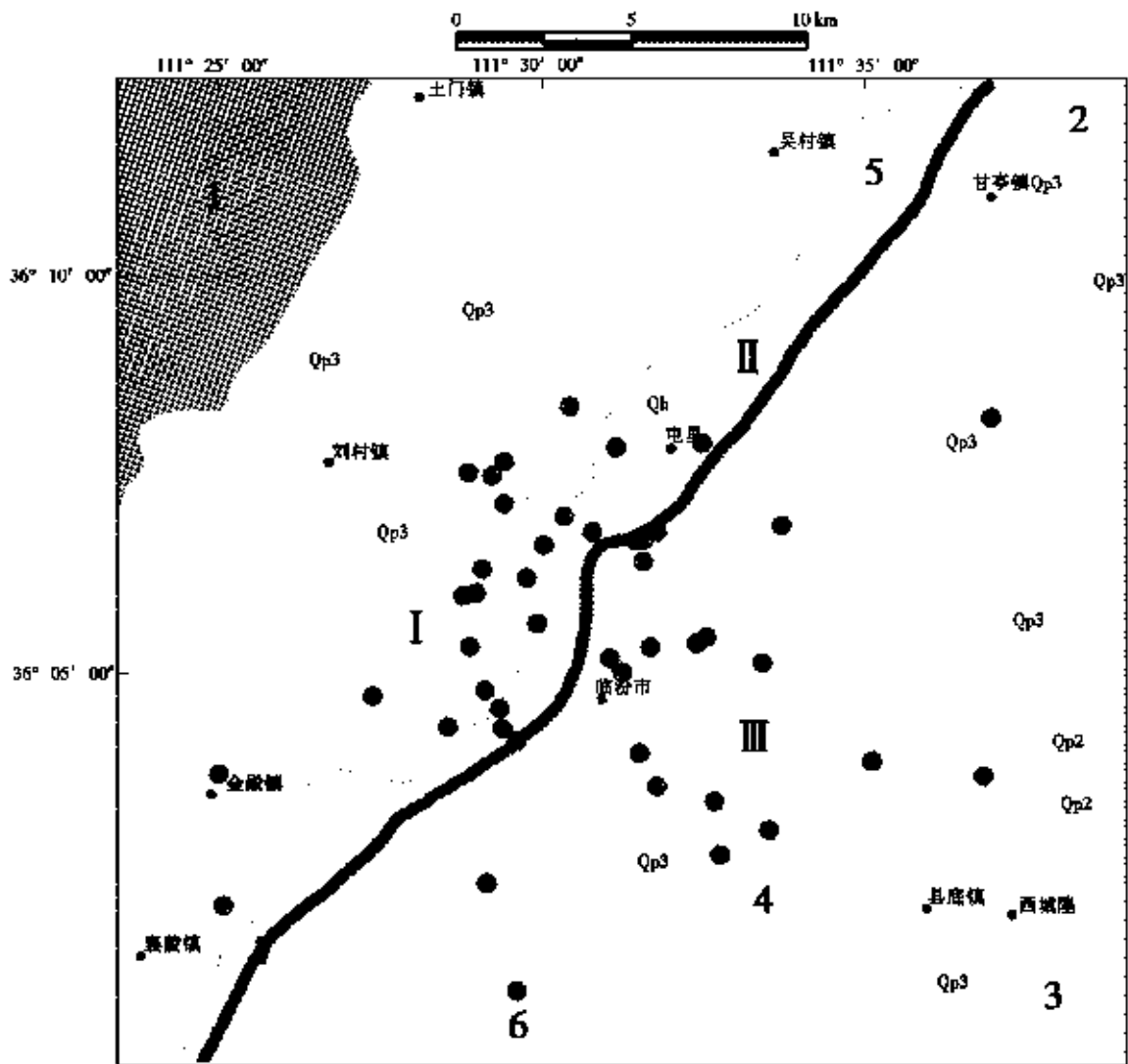
模型 2:

$$V_s = a + bH + cH^2。$$

模型 3:

$$V_s = cH^d，$$

式中: V_s 表示土层剪切波速 (m/s); H 表示埋深 (m); a, b, c, d 为拟合参数。本次采用以上三种经验模型进行统计分析, 采用拟合优度 R^2 和残差 RMSE 来检验经验模型对数据的拟合程度, 用来检验经验模型回归效果的优劣。拟合优度的范围为 $0 < R^2 < 1$, 拟合优度 R^2 越接近 1, 证明其拟合效果越好, 残差越小证明该模型拟合效果越好。三种经验模型的拟合情况如图 2—图 7 所示。



1 中生界; 2 下更新统; 3 中更新统; 4 上更新统; 5 全新统; 6 钻孔位置; 7 阶地分界线

图 1 收集钻孔的位置分布图

Fig. 1 Distribution map of drilling locations

从图 2—图 7 看出, 土层剪切波速与埋深表现出明显的相关性。三种经验模型拟合参数及拟合优度如表 1 所示。

由表 1 拟合参数看出, 所有经验模型的拟合优度 R^2 均大于 0.9, 汾河冲积平原—二级阶地和三级阶地

的三种经验模型中, 均是模型 2 二次函数的拟合优度 R^2 最高, 分别为 0.952 9、0.934 4, 残差 RMSE 也是模型 2 二次函数最小, 分别为 21.99、25.63。由此可见, 采用二次函数模型描述临汾市土层剪切波速与埋深间的关系更具优势, 得到汾河冲积平原—二级阶地的经

验关系式:

$$V_s = 146.9 + 7.193H - 0.031981H^2.$$

汾河冲积平原三级阶地的经验关系式:

$$V_s = 165.8 + 6.188H - 0.02H^2.$$

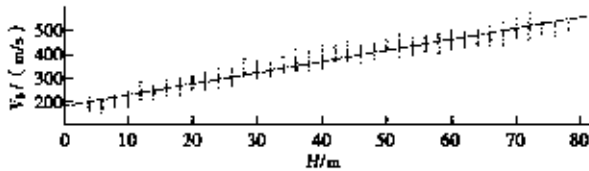


图2 一二级阶地模型1的线性函数拟合结果
Fig. 2 Linear model 1 fitting results for first and second terraces

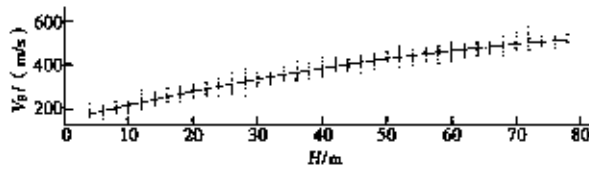
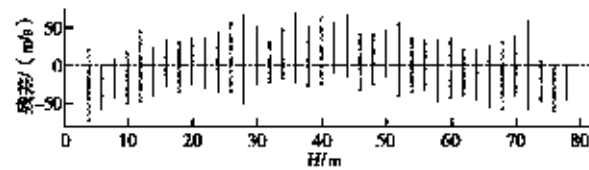


图3 一二级阶地模型2的二次函数拟合结果
Fig. 3 Quadratic model 2 fitting results for first and second terraces

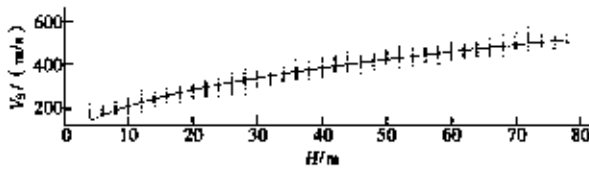
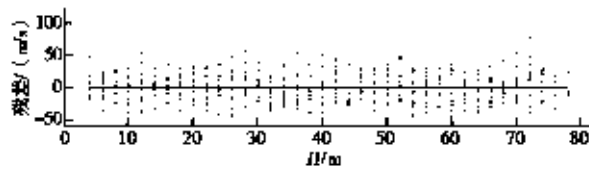


图4 一二级阶地模型3的幂函数拟合结果
Fig. 4 Power model 3 fitting results for first and second terraces

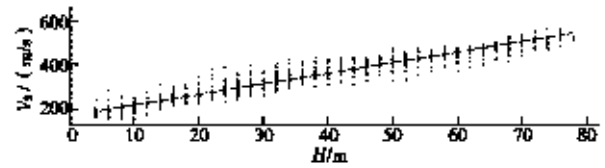
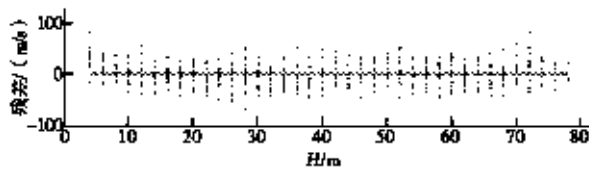


图5 三级阶地模型1的线性函数拟合结果
Fig. 5 Linear model 1 fitting results for third terrace

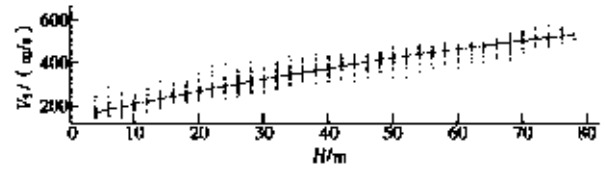
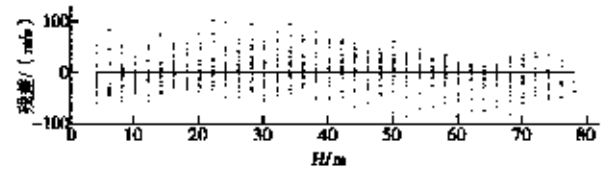


图6 三级阶地模型2的二次函数拟合结果
Fig. 6 Quadratic model 2 fitting results for third terrace

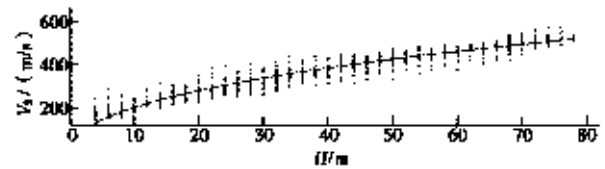
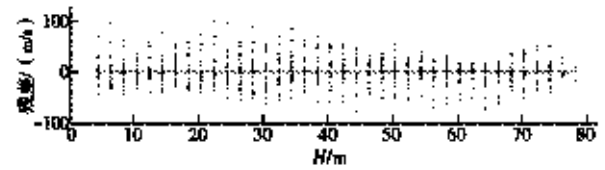
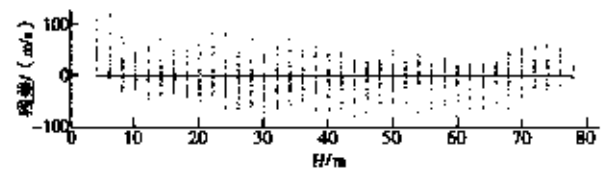


图7 三级阶地模型3的幂函数拟合结果
Fig. 7 Power model 3 fitting results for third terrace



4 结果检验

为验证得到经验关系式的精确程度,在汾河冲积平原一二级阶地和三级阶地分别随机选取2个新的实测钻孔进行验证。首先利用得到的经验关系式拟合出不同埋深的剪切波速,然后与实测值进行对比检验。通过检验结果图8和图9看出,本次得到的经验关系

式较理想,一二级阶地2个实测钻孔每个检验数据点均落在经验关系式95%的置信区间内;三级阶地的绝

大多数检验数据点落在经验关系式95%的置信区间内,只有1个检验点超出置信区间。

表1 土层剪切波速与埋深关系拟合参数及拟合优度

Table 1 Fitting parameters and goodness of fit for shear wave velocity and burial depth relationship

阶地	模型	参数值					RMSE
		a	b	c	d	R ²	
一二级阶地	模型1	182.4	4.676			0.9373	25.38
	模型2	146.9	7.193	-0.03198		0.9529	21.99
	模型3			78.82	0.4206	0.9481	23.09
三级阶地	模型1	187.8	4.621			0.9283	26.79
	模型2	165.8	6.188	-0.02		0.9344	25.63
	模型3			82.79	0.4192	0.9214	28.05

总体来看,一二级阶地的经验关系式拟合效果更好,三级阶地次之,认为得到的经验关系式可用于汾河冲积平原一二级阶地和三级阶地无剪切波速的场地参考使用。

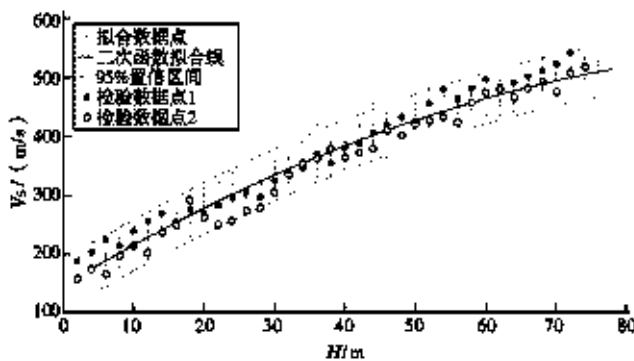


图8 一二级阶地二次函数检验结果

Fig. 8 Quadratic model test results for the first and second-level terraces

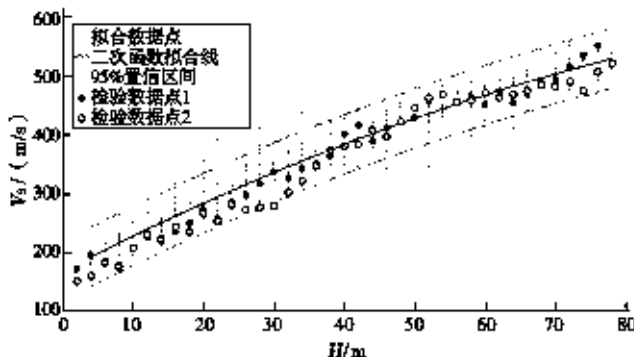


图9 三级阶地二次函数检验结果

Fig. 9 Quadratic model test results for the third-level terraces

5 结论

(1) 应用大量地震安全性评价项目的钻孔剪切波速测试数据,分析得到临汾市汾河冲积平原一二级阶地和三级阶地土层剪切波速与埋深的经验关系式,表明两者间有着明显的相关性。

(2) 为临汾市地震安全性评价工作中划分场地土类型和建筑场地类别、确定覆盖层厚度、液化判别、场地地震反应分析等提供定量依据,可以用经验关系式推测临汾市的土层剪切波速。

参考文献:

- [1] 程祖锋,李萍,李燕,等.深圳地区部分岩土类型剪切波速与深度的关系分析[J].工程地质学报,1997,5(2):161-168.
- [2] 战吉艳,陈国兴,刘建达.苏州城区深软场地土剪切波速与土层深度的经验关系[J].世界地震工程,2009(2):11-17.
- [3] 高玉峰,刘汉龙.合肥膨胀土剪切波速的特征分析[J].岩土工程学报,2003,25(3):371-373.
- [4] 陈国兴,徐建龙,袁焯勤.南京城区岩土体剪切波速与土层深度的关系[J].南京建筑工程学院学报,1998(2):32-37.
- [5] 安卫平,兰青龙,贺明华,等.太原地区剪切波速的深度分布[J].山西地震,1997(1):88-94.
- [6] 张龙飞,董斌,史双双,等.朔州市区土层剪切波速与埋深的统计关系[J].华北地震科学,2018,36(2):28-37.
- [7] 刘轲春.山西大同市区剪切波速与土层岩性及深度关系的研究[J].山西地震,2011(2):39-41.
- [8] 闫小兵,周永胜,李自红,等.山西浮山断裂的晚第四纪活动与位移速率[J].地震地质,2022,44(1):35-45.
- [9] 马秀芳,赵晋泉,曾金艳,等.山西清徐地裂缝分布、类型与建筑物避让距离确定[J].山西地震,2023(1):20-23.

Study on the Relationship between Shear Wave Velocity and Burial Depth of Soil Layers in Linfen City, Shanxi

REN Ruiguo^{1,2}, LI Hongwei^{1,2}, HU Guirang^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030002, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: Shear wave velocity of soil layers is an important parameter in seismic zone delineation and seismic safety assessment of engineering sites. This study selected shear wave velocity data from 60 typical engineering sites in the first and second terraces as well as the third terrace of the Fen River alluvial plain in Linfen City. Three empirical models were used for statistical regression analysis, and the fitting accuracy was verified with data from four randomly selected boreholes. The results indicated a significant correlation between shear wave velocity and burial depth in the area. The comparison between measured and fitted results demonstrated a good agreement, suggesting the applicability of the empirical relationships for shear wave velocity estimation in the region.

Key words: shear wave velocity; burial depth; statistical analysis

(上接第 35 页)

Sampled Detailed Inspection and Analysis of Seismic Defense Issues for Houses in Gu County, Linfen City

XUE Xiaodong^{1,2}, HAN Xiaofei^{1,2}, REN Ruiguo^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030002, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: Sampled detailed inspection of buildings is a fundamental task in seismic risk assessment, and its results serve as essential data for establishing scientific and reliable building vulnerability models. Following relevant technical specifications, a sampled detailed inspection of house buildings in Gu County, Linfen City, is conducted. Combined with collected data on urban and rural housing construction, this study analyzes different types of buildings in Gu County, including reinforced concrete structures, multi-story steel-concrete structures, high-rise structures, brick-wood structures, and civil engineering structures. The analysis encompasses architectural structural characteristics, existing seismic defense issues, and proposes recommendations to enhance the seismic performance of buildings.

Key words: building construction; seismic defense; structural types