

# 高分辨率遥感图像在城市快速震害预测中的应用研究<sup>\*</sup>

赵 琪<sup>1</sup>, 翟永梅<sup>2</sup>, 李铁铮<sup>3</sup>

(1. 同济大学 结构工程与防灾研究所, 上海 200092; 2. 同济大学 上海防灾救灾研究所, 上海 200092;

3. 中国建筑东北设计研究院, 辽宁 沈阳 110006)

**摘 要:** 以河南省某县城为例, 通过分析高分辨率遥感图像, 获取建筑物的属性信息, 结合相关调查数据, 建立震害矩阵, 得到震害预测结果, 计算综合地震危险性指数, 评价该区域综合抗震能力。与实际调研结果对比后发现, 基于高分率遥感图像的建筑物信息提取技术具有较高精度, 能够满足大范围快速震害预测的需要。

**关键词:** 高分辨率遥感影像; 建筑物信息; 震害矩阵; 综合地震危险性指数; 震害预测

**中图分类号:** P315.9    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1000-811X(2012)02-0072-05

## 0 引言

地震灾害是一种突发性强、破坏力巨大的自然灾害。资料显示, 地震中人员伤亡总数的 95% 以上是由房屋倒塌造成的, 仅有不足 5% 的人员伤亡是直接由地震及地震引发的水灾、山体滑坡等次生灾害导致的。同时生命线工程的破坏、某些次生灾害也在不同程度上受建筑物破坏的影响。我国是地震多发国家, 地震引发建筑物及各类工程设施破坏、倒塌, 造成了的巨大损失。因此建筑物破坏程度及其分布情况是衡量城市地震灾害规模的重要指标<sup>[1-2]</sup>。

震害预测分析工作具有重要的意义, 它是一个城市制定抗震防灾规划的基础依据。建筑物的信息是城市防震减灾数据的重点, 因此其数据的质量直接关系到城市抗震防灾工作的成败。然而目前建筑物信息大多通过人工调查获得。这种传统的方法不仅耗费大量的人力物力财力资源, 而且由于历时长, 失去了时效性。高分辨率遥感图像具有快速、实时、全面、客观、直观的特点。随着技术的进步, 遥感卫星图像的获取越来越容易, 同一地区图像获取周期越来越短, 图像精度越来越高, 费用也越来越低。因此, 以高分辨率遥感图像作为信息源来进行震害预测具有越来越

明显的优势<sup>[3]</sup>。

## 1 城市建筑物高度的计算原理和方法

建筑物的阴影表征了其位置、几何高度、太阳、卫星位置之间的关系, 通过计算其长度, 再结合四者的相对几何位置关系进行三角函数运算, 可求得建筑物的高度。为了便于计算, 假设地面平坦, 建筑物垂直于地表。

(1) 当遥感卫星图像中卫星的相关参数, 如太阳高度角、太阳方位角和卫星高度角等已知时, 设建筑物的高度为  $H$ , 阴影可见长度为  $L$ , 卫星高度角为  $\alpha$ , 太阳高度角为  $\beta$ , 则这些参数之间的关系为:

当太阳、卫星位于建筑同侧

$$H = L \cdot \tan \alpha \cdot \tan \beta / (\tan \alpha - \tan \beta) \quad (1)$$

当太阳、卫星位于建筑异侧

$$H = L \cdot \tan \beta \quad (2)$$

(2) 当遥感卫星图像中卫星的相关参未知时, 在同一副遥感图像中, 卫星高度角为  $\alpha$ , 太阳高度角  $\beta$  均为定值, 由式(1)和式(2)可见,  $H$  与  $L$  成正比关系, 此时可调查一栋建筑物的高度与阴影之间的关系, 求出比例系数, 得到其余建筑物的高度。

\* 收稿日期: 2011-11-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51178351)

作者简介: 赵琪(1987-), 男, 陕西安康人, 硕士研究生, 主要从事工程抗震与城市综合防灾减灾方向研究。

E-mail: cvzhao@yahoo.com.cn

## 2 阴影信息提取

本文利用 ENVI 软件,以河南省某县城局部的遥感图像为例说明遥感图像中阴影信息的提取步骤,所采用的遥感图像的分辨率为 0.61 m。

阴影在高分辨率遥感图像中具有明显的光谱特征,即具有比较低的灰度值,而且不同阴影之间的灰度值有较强的统一性。可以认为,高分辨率遥感影像中的阴影具有一致的灰度集,充分利用这一特点,就可以实现对阴影的提取<sup>[3]</sup>。具体提取步骤如下:

### (1) 图像增强处理

拉伸图像的直方图,统一最小化阴影区域的灰度值,同时增大非阴影地物的灰度值,以进一步提高阴影和非阴影区域的对比效果。本文对图像采用交互式线性拉伸。设置最小拉伸值为 75,最大拉伸值为 205。经过增强处理后的图像见图 1。

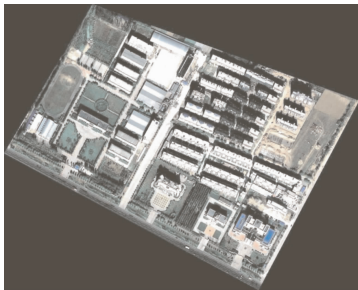


图1 增强后的预测区域遥感影像

### (2) 训练样本选取

为了收集阴影光谱响应模式的数字特征,反映信息类型光谱类别的所有组成,需要在多个目标区域选取有代表性、完整性的训练样本。本文选取的训练样本见图 2 中红色高亮部分。

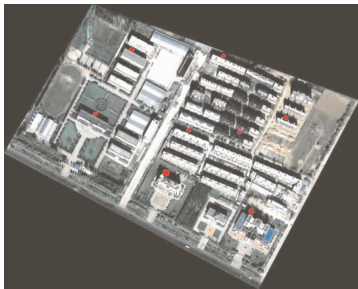


图2 训练样本

### (3) 干扰区域剔除

利用边缘检测及图像分割方法将与震害预测无关的干扰地物类型(如河流、绿地等)划分出来,并以特定灰度值替代,在后续计算中可以方便地剔除这些区域的图像,以减少工作量,提高计算

速度。

### (4) 图像分类

本文采用平行六面体分类法,选定一些已知地物类别的训练样区,建立分类标准,然后计算机将按同样的标准对整个图像进行识别和分类。

### (5) 图像分类后处理

由于光谱信息的干扰,经过分类处理后的遥感图像上会分布一些散落、孤立的“斑点”,“空洞”。通过腐蚀和膨胀运算可有效消除“斑点”和“空洞”,提高分类的质量。

### (6) 分类结果矢量化

经过一系列处理之后,阴影可以被较好地提取出来,在此基础上对提取结果进行矢量化,使其能够被 GIS 系统读取,计算所需数据。阴影信息的提取结果见图 3。

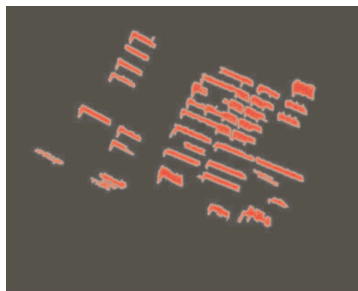


图3 阴影信息提取结果

### (7) 可见阴影长度计算

可见阴影长度的计算方法较多,许妙忠<sup>[4]</sup>、王树根<sup>[5]</sup>等均提出了一些方法,但是误差不易控制。本文采用矢量图分割法来直接读取阴影长度,其原理如图 4 所示。在太阳光投射方向上做一系列平行直线,使其与各阴影矢量图相交,这些矢量图内的线段长度便是阴影的可见长度。本文通过 MATLAB 的图像处理工具箱编程来实现该算法,计算可见阴影长度。

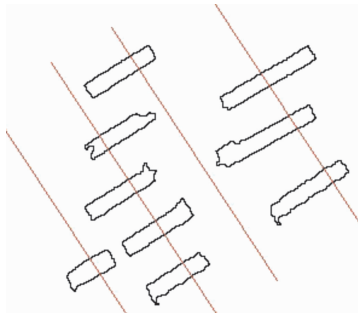


图4 矢量图分割法原理示意图

## 3 建筑物层数计算

### 3.1 建筑物层数的自动计算

得到阴影长度后,可用式(1)或式(2)计算建

筑物高度。由于图像中的卫星参数未知，故采用式(2)计算。结合现场调研数据，可以利用遥感影像处理软件 ENVI 的 Measurement Tool 计算比例系数  $K$ 。实地调查及计算结果见表 1。取平均值计算得，住宅： $K=0.234$ ，公用建筑： $K=0.192$ 。

表 1 建筑实测层数与计算投影长度

编号	实测层数	可见阴影长度(pixel)	$K$ 值	类型
A	6	24.550 0	0.243	住宅
B	6	25.153 4	0.239	住宅
C	6	25.350 0	0.237	住宅
D	5	26.000 0	0.192	公建
E	8	41.776 9	0.192	公建
F	10	51.750 0	0.193	公建

采用上述比例系数，结合式(2)，可计算整个目标区域内建筑物的高度。本文以 3 m 作为标准层高来划分建筑物层数，4 m 以下的为一层建筑，4 m 到 7 m 之间为两层建筑，7 m 到 10 m 之间为三层建筑，依次类推。实际调研结果与计算结果见表 2。

表 2 目标区域内建筑计算层数

建筑编号	1	2	3	4	5	6	7
计算层数	2	7	2	4	5	6	5
实际层数	2	8	2	4	5	6	5
建筑编号	8	9	10	11	12	13	14
计算层数	6	6	8	5	6	6	6
实际层数	6	5	8	5	7	6	6
建筑编号	15	16	17	18	19	20	21
计算层数	6	10	6	6	1	2	3
实际层数	6	10	6	6	1	2	3
建筑编号	22	23	24	25	26	27	28
计算层数	4	5	6	7	8	9	9
实际层数	4	5	6	7	7	8	9
建筑编号	29	30	31	32	33	34	35
计算层数	5	6	7	4	7	7	12
实际层数	5	6	7	4	7	7	11

3.2 精度分析

分析计算层数与实际层数，可发现：在总的 35 栋建筑中，仅有 6 栋结果出错，且出错均为 1 层，均方根误差为 0.414，说明该方法在建筑物层数的提取上具有很高的精度，能够适用于城市群体性震害预测中大范围建筑层数信息的提取。

4 建筑物平面信息提取

4.1 城市建筑物高度的计算原理和方法

城市建筑物的屋顶由于建筑材料不同而呈现

出不同的光谱特征，给平面信息的自动化提取造成了很大困难，并且建筑物几何形状多种多样，缺乏统一性，现有的计算方法普适度不高，满足不了实际应用的需求。本文对建筑物的提取采用人工矢量化的方法，经过经纬度配准，可通过 GIS 平台直接获取最终提取结果。本文中目标区域的提取结果如图 5 ~ 图 7 所示。

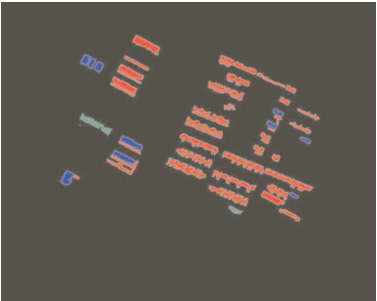


图 5 住宅建筑平面信息提取结果



图 6 公共建筑平面信息提取结果



图 7 厂房建筑平面信息提取结果

4.2 建筑信息统计处理

综合提取出的建筑物层数信息与平面信息进行信息后处理。将层数信息分别与各自的平面信息对应，厂房均按照单层厂房计算。目标区域内各类型房屋建筑面积统计结果见表 3。

4.3 精度分析

比较计算面积和实际面积，可发现：计算结果的相对误差均在 10% 以内，对于目前使用较多的钢筋混凝土结构，误差更小。说明该方法在建筑面积的上提取具有很高的精度，能够适用于城市群体性震害预测中大范围建筑面积信息的提取。

表 3 房屋建筑面积统计 m<sup>2</sup>

房屋类型	住宅建筑	公共建筑	厂房	总计
砖混结构	计算结果	145 106	14 186	0
	实际面积	137 561	13 051	0
	相对误差	5.52%	8.70%	0
钢筋混凝土结构	计算结果	36 644	66076	0
	实际面积	35 438	62 309	0
	相对误差	3.40%	6.04%	0
单层厂房	计算结果	0	0	24 965
	实际面积	0	0	23 417
	相对误差	0	0	6.61%
低矮民房	计算结果	9 404	0	0
	实际面积	8 717	0	0
	相对误差	7.87%	0	0

5 基于易损性分析的震害预测

建筑物震害预测方法较多, 其中易损性分析方法由于计算简便结果可靠, 应用实例较多<sup>[6]</sup>。建筑按照其结构易损性可分为 A、B、C、D 四类:

A 类结构主要包括钢和钢筋混凝土结构, 如钢筋混凝土框架结构、框剪结构等。

B 类结构主要包括砖混结构、工业建筑等。这类结构是 20 世纪 80-90 年代的主要结构类型, 抗

震性能次于 A 类。

C 类结构主要包括白灰砂浆砌筑的砖结构房屋, 墙厚 24 cm 的空旷砖结构房屋等。

D 类结构主要包括农村里的生土结构, 如土坯房屋、土坯窑洞、碎石结构等, 是抗震性能最差的结构。

本文中预测区域建筑物结构类型由层数来判断, 判定标准是: 一层的建筑为平房(包括土坯房、简易房和一层砖房); 两层到六层的为多层砖混结构; 七层以上为钢筋混凝土框架结构、框剪结构。

5.1 震害预测结果计算

尹之潜根据我国历次地震破坏结果、实验资料和弹塑性地震反应分析资料的统计分析结果, 考虑地区和年代差异, 建立了基于不同地震烈度下的震害矩阵, 本文采用的矩阵见表 4(该地区抗震设防烈度为 VII 度)。

表 4 基本烈度为 VII 度地区的震害矩阵<sup>[7]</sup> %

类别	完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
A	75	23	2	0	0
B	63.37	23.11	8.97	3.60	0.96
C	28.00	21.29	22.07	20.28	8.36
D	16.50	18.50	20.00	26.00	19.00

分别根据已经计算出的各类结构的建筑面积和实际数据, 结合震害矩阵, 可以计算得到震害预测结果, 见表 5。

表 5 VII 度地震作用下震害预测结果 m<sup>2</sup>

类别	完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
A	计算值	77 041	23 656	2 054	0
	实际值	73 310	22 482	1 955	0
	相对误差	5.08%	5.22%	5.06%	0
B	计算值	116 764	42 582	16 528	6 633
	实际值	110 282	40 218	15 610	6 265
	相对误差	5.88%	5.87%	5.88%	5.87%
C	计算值	2 633	2 002	2 076	1 906
	实际值	2 477	1 883	1 952	1794
	相对误差	6.29%	6.32%	6.35%	6.24%
总计	计算值	196 438	68 240	20 658	8 539
	实际值	186 069	64 583	19 517	8 059
	相对误差	5.57%	5.66%	5.85%	5.96%

5.2 综合抗震能力评价

为了得到更直观、有效的震害预测结果, 通常在城市震害预测中, 把建筑物的破坏程度量化, 量化结果称之为破坏指数, 如表 6 所示。破坏指数值越小, 表示其破坏程度越小; 反之, 则表示破坏程度越大。

表 6 破坏程度与破坏指数<sup>[8]</sup>

破坏程度	完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
破坏指数	0	0.2	0.4	0.7	1.0

地震危险性指数为破坏指数与震害矩阵中对应项的乘积之和。城市里各类建筑的地震危险性指数

加权平均值代表这个城市建筑物总体的地震危险性程度,称之为建筑物的综合地震危险性指数。数值愈小表示这个建筑物地震危险性愈小。因此建筑物的综合地震危险性指数可以作为评价一个城市建筑物总体抗震能力的指标。这个指数可由式(3)计算。

$$\overline{Cd(I)} = \sum_s \frac{A_s}{A} Cd_s(I), \quad (3)$$

式中:  $A_s$  为  $s$  类建筑的面积总和;  $A$  为各类建筑面积总和;  $Cd_s(I)$  为地震危险性系数。

根据遥感数据计算得该地区在 7 度地震作用下综合地震危险性指数为 0.102 6; 根据实际数据计算所得结果为 0.102 5, 两者均小于 0.2, 根据文献[8]中的建议, 可以认为达到了 10 年减灾目标中工程性防御性能的要求。

### 5.3 误差分析

由表 5 可见, 基于遥感图像信息的震害预测结果与基于实际调研数据的预测结果很接近, 误差在 7% 以内, 可以满足实际工程要求。综合地震危险性指数的绝对误差仅为 0.000 1, 相对误差为 0.09%。可见, 基于遥感图像的震害预测方法具有较高的精度, 能够应用于城市防灾规划工作中。

## 6 结论

开展震害预测工作, 制定实施抗震防灾规划, 可以有效减轻城市地震灾害。建筑物信息的提取是震害预测的基础工作。基于高分辨率遥感图像的建筑信息自动化提取技术能够克服工调查方法耗资耗

力, 时效性差的缺点, 大大减小工作量, 快速获得所需数据。通过对河南省某县遥感图像的分析, 获取了进行建筑物震害预测所需的数据, 与实际调研数据进行比较, 结果表明通过高分辨率遥感影像可以获得精度较高的建筑物信息数据。本文结合震害矩阵进行了震害预测, 计算出综合地震危险性指数, 给出了预测结果, 评价该区域建筑物的综合抗震能力, 并与实际调研结果比较。结果表明, 基于高分辨率遥感图像的建筑物信息提取方法精度较高, 误差符合实际应用要求, 能够适应大范围区域震害预测工作的需要, 适用于城市抗震防灾规划。

## 参考文献:

- [1] 孙海, 冯启民, 林岩钊. 基于 WEBGIS 的城市建筑物震害评估方法研究[J]. 灾害学, 2010, 25(S0): 325-332.
- [2] 樊跃新, 非明伦, 余庆坤. 汶川 8.0 级地震所引发的防震减灾工作启示[J]. 灾害学, 2009, 24(4): 73-76.
- [3] 翟永梅. 城市震害预测和快速评估中高分辨率遥感技术的应用研究[D]. 上海: 同济大学, 2009: 8-9.
- [4] 许妙忠, 余志惠. 高分辨率卫星影像中阴影的自动提取与处理[J]. 测绘信息与工程, 2003, 28(1): 20-22.
- [5] 王树根, 王军利, 王爱萍. 基于整体变分模型的影像阴影检测算法研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(8): 663-666.
- [6] 李书进, 毛羚. 湖北农村民居现状调查与震害预测[J]. 灾害学, 2010, 25(3): 141-142.
- [7] 尹之潜. 地震灾害及损失预测方法[M]. 北京: 地震出版社, 1995.
- [8] 尹之潜, 杨淑文. 城市地震防御能力评价和防御水准问题[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(1): 28-30.

## Study on Application of High Resolution Remote Sensing Images in Rapid Prediction of Earthquake Disaster in Urban Area

Zhao Qi<sup>1</sup>, Zhai Yongmei<sup>2</sup> and Li Tiezheng<sup>3</sup>

- (1. Institute of Structure Engineering and Disaster Prevention of Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Shanghai Institute for Disaster Prevention and Relief of Tongji University, Shanghai 200092, China;
3. China Northeast Building Design Research Institute, Shenyang 110006, China)

**Abstract:** Taking a county in Henan province as an example, this paper analyzed the high resolution remote sensing image, got the building information successfully, built the damage matrix and assessed the seismic ability under frequent and rare earthquake with comprehensive earthquake risk index. Contracted with the filed survey, the HRRSI method has high precession with low error, which can meet the practical application satisfyingly. The result shows that HRRSI is extremely helpful and promising in the earthquake damage prediction.

**Key words:** high resolution remote sensing image; building information; earthquake damage matrix; comprehensive earthquake risk index; earthquake damage prediction