2012年3月

齐文华、苏桂武、张素灵,2012,基于高分辨率遥感的建筑群在地震灾害中的脆弱性和风险分析方法及其应用,中国地震, 28(1),88~99。

基于高分辨率遥感的建筑群在地震灾害中的 脆弱性和风险分析方法及其应用

齐文华¹⁾ 苏桂武¹⁾ 张素灵²⁾ 刘新圣³⁾ 魏本勇¹⁾

1) 中国地震局地质研究所,北京市德外祁家豁子 100029

2) 中国地震台网中心,北京 100045

3) 北京师范大学地理学与遥感科学学院,北京 100875

摘要 近年来高分辨率遥感技术快速发展,其在灾害研究领域的应用也越来越广。将遥感 技术用于建筑群在地震灾害中的脆弱性和损失风险分析,不仅能保证建筑物类型和数量调查更 新的时效性,而且有利于进行不同时期损失风险的对比分析,以便揭示震灾损失风险的变化规 律。通过分析高分辨率建筑群的遥感影像特征,设计了一套提取建筑物属性信息(高度和面 积)的方法,并通过实地调查验证了其可行性:将提取的建筑群属性信息与传统的震灾风险分析 模型相结合,即可实现对研究区建筑群在地震灾害中的脆弱性和损失风险分析。以唐山市区和 9个乡镇 2009 年的建筑物为研究对象,提取了它们的属性信息,在设定地震烈度情景下,分析了 这些建筑物在地震灾害中的脆弱性和损失风险。

关键词: 高分辨率遥感 地震灾害 群体房屋 脆弱性 风险 [文章编号] 1001-4683 (2012) 01-088-12 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地震灾害是人类所面临的最严重的自然灾害之一,严重威胁着人民生命和财产安全。 特别是近年来,随着城市化进程的快速发展,房屋等承灾体的数量和类型都发生了巨大变 化,其面对地震灾害的脆弱性和损失风险也势必发生巨大变化。房屋震灾脆弱性和损失风 险分析对城乡防震减灾规划和宏观地震应急预案的编制具有重要意义。以往的房屋脆弱性 和损失风险评价都是通过人工调查的方式收集建筑物属性信息,不仅耗费大量人力和财力, 而且历时长,时效性差,不适用于范围大、变化快的地区,尤其是广大城乡过渡地区。

通过遥感影像能够对大范围的建筑群进行快速浏览,并且受地面状况影响小,便于影像的 获取。近年来,随着高分辨率遥感技术的迅速发展,这些卫星已能够提供亚米级空间分辨率的

[收稿日期] 2011-10-09

- [项目类别] 中国地震局地质研究所基本科研业务专项(IGCEA0903)、国家科技支撑计划(2008BAK50B03-03-03)和国家自然科学基金(40771011)共同资助
- [作者简介] 齐文华,男,1985年生,助理工程师,硕士,主要从事灾害机理与风险分析方面的研究。 E-mail:xiamin1985@163.com
- [通讯作者] 苏桂武,研究员。E-mail:suguiwu@263.net

全色影像和米级空间分辨率的多光谱影像。这些高分辨率遥感影像包含了高精度的建筑物空间信息,使得利用遥感技术提取建筑物属性信息成为可能,国内外学者在这方面做了大量的探究性研究和试验,并取得了大量实用的成果(Cheng et al,1995;Jensen et al,1999;Nanda,2004; Mueller et al.,2006;何国金等,2001;陈爱军等,2002;谢军飞等,2004;张桂芳等,2005;曹治华等,2006;Roy,2007;程兆广等,2008;刘龙飞等,2009;李铁铮等,2010)。本文在前人研究的基础上,将遥感技术用于房屋震灾脆弱性分析和损失风险评价,构建了基于高分辨率遥感的建筑群在地震灾害中的脆弱性分析和损失风险评价方法,并将该方法应用于唐山市区及周边乡镇,结果表明,该方法操作简单,普适性好,满足评价精度要求。

1 基于高分辨遥感的建筑群震灾风险分析方法

基于前人的研究思路和成果,本文构建了基于高分辨遥感影像的建筑群脆弱性和损失 风险分析方法,其流程见图1。该方法主要包括两大部分:①基于高分辨率遥感影像的建筑 群属性信息的提取;②设定地震烈度下建筑群在地震灾害中的损失风险评估。



图1 基于高分辨率遥感影像的建筑群震灾脆弱性和损失风险分析方法流程图

1.1 基于高分辨率遥感影像的建筑物属性信息提取

目前,人们公认的表示风险的标准公式是*R* = *E*•*H*•*V*。其中*R*为风险,*E*为暴露要素,*H*为自然灾害的危险性,*V*为承灾体的脆弱性(Carreno et al,2007)。建筑群相对于地震灾害的风险可以用地震灾害的危险性、建筑群的脆弱性和暴露于地震灾害中的数量来表示。房屋的脆弱性主要取决于房屋的结构类型,暴露数量则由房屋的总建筑面积表示。建筑物的高度(或层数)往往与结构类型密切相关,因此可以在实地调查的基础上通过房屋高度(或层数)推断房屋结构类型。因此,要从遥感影像上提取房屋的高度信息和面积信息。

1.1.1 原始影像处理

高分辨率卫星影像由全色图像和多光谱图像组成,全色图像空间分辨率高但色彩上表

现为黑白图像;多光谱图像可组合成 RGB 真彩色图像,但空间分辨率低。考虑到全色图像 和多光谱图像的特点,除对原始影像进行几何校正、影像配准处理外,本文对原始全色图像 和多光谱图像进行了数据融合,从而使影像空间分辨率与全色图像保持一致而又不失其光 谱特征。这里以 2002 年的 IKONOS 影像为例说明融合的效果。对 IKONOS 影像的全色和 多光谱图像进行主成分融合,融合后的影像(图 2)空间分辨率仍为 1m,同时保留了图像的 颜色特征。以融合后的影像作为提取房屋属性信息的基础,提高了所提取数据的精度 (Nanda,2004)。



图 2 融合处理前后的影像

1.1.2 建筑物高度信息提取及结构类型确定

1.1.2.1 提取建筑物高度信息

从目前的文献来看,利用高分辨率遥感影像提取建筑物高度信息的方法主要有两种:① 利用高分辨率遥感立体影像对进行立体量测(Mueller et al,2006;陈爱军等,2002;曹治华 等,2006;程兆广等,2008);②利用单幅高分辨率遥感影像中建筑物阴影推算建筑物高度 (Cheng et al,1995;何国金等,2001;谢军飞等,2004;张桂芳等,2005;刘龙飞等,2009;李铁铮 等,2010)。本文根据单幅高分辨率遥感影像中建筑物及其阴影的成像机理,以卫星、太阳 的高度角和方位角为参数,利用同像点距离快速计算建筑物的实际高度。所谓同像点距离 是指实际建筑物上某一点位的阴影在影像上的位置与该点位本身在影像上的成像位置之间 的距离(即图 3 中的 A₁与 A₂ 之间的距离)。

在这里,为了计算简化做如下假设:①假设建筑物处于平原地带,且四周地表平坦,无地 形因素的干扰;②假设建筑物垂直于地球表面。在以上两个假设条件下,根据太阳方位角和 卫星方位角的关系,建筑物成像可分为以下3种情况。

(1)太阳方位角和卫星方位角相等(图3(a))。图3中,A为实际房屋的屋顶角点,A₁为角点A的阴影在影像上的成像位置,A₂为角点A在影像上的成像位置,并称A₁A₂的长度(A₁A₂)为同像点距离。ω为卫星高度角,θ为太阳高度角,α为卫星方位角,β为太阳方位角。

当太阳方位角与卫星方位角相等时, A_1 和 A_2 位于建筑物同侧,且 $\triangle A A_1 A_2$ 所在的平面与地面垂直(图 3 (a)),房屋实际高度与 $A_1 A_2$ 长度之间的关系可表示为

$$H = \overline{A_1 A_2} \times \frac{\tan \omega \times \tan \theta}{\tan \omega - \tan \theta}$$
(1)

(2)太阳方位角和卫星方位角为 0~180°(图 3 (c))。太阳方位角和卫星方位之角差为 0~180°时,A₁和 A₂仍位于建筑物同侧,但与图 3 (a)中不同的是 $\triangle A A_1A_2$ 所在的平面不垂 直于地面(图 3 (c))。图 3 (c)中, $\overline{A_1D}$ 为房屋的实际阴影长度, $\overline{A_1O}$ 为遥感成像的阴影长度; \overline{AD} 为房屋高度 H; $\angle S_1A_1D$ 为太阳方位角 β ; $\angle S_2A_2D$ 为卫星方位角 α ; $\angle AA_1D$ 为太阳高度 角 θ ; $\angle AA_2D$ 为卫星高度角 ω 。

$$\pounds \triangle AA_1 D + , A_1 D = H/\tan \triangle AA_1 D = H/\tan \theta$$
⁽²⁾

$$\underline{A} \Delta A A_2 D + , A_2 D = H/\tan \angle A A_2 D = H/\tan \omega$$
(3)

$$\underline{A} \triangle A_1 A_2 D + , (\overline{A_1 A_2})^2 = (\overline{A_1 D})^2 + (\overline{A_2 D})^2 - 2\cos \angle A_1 D A_2 \times \overline{A_1 D} \times \overline{A_2 D}$$

$$(A_1 A_{\overline{2}})^2 = H^2 \times \frac{\tan \theta + \tan \omega - 2\tan \theta \tan \omega \cos (\beta - \alpha)}{\tan^2 \theta \tan^2 \omega}$$
(4)

$$H = \overline{A_1 A_2} \times \frac{\tan\theta \tan\omega}{\sqrt{\tan^2\theta + \tan^2\omega - 2\tan\theta \tan\omega\cos\left(\beta - \alpha\right)}}$$
(5)

(3)太阳方位角和卫星方位角差为180°(图3(b))。当太阳方位角与卫星方位角相差 180°时,A₁和A₂位于建筑物两侧,且△AA₁A₂所在的平面与地面垂直(图3(b)),房屋实 际高度与A₁A₂长度之间的关系可表示为



在同一幅遥感影像中卫星的成像参数信息相同。综合分析(1)式、(5)式和(6)式,建 筑物实际高度的计算公式可以简化为同像点距离与一个系数的乘积,即

$$H = \overline{A_1 A_2} \times \phi \tag{7}$$

式中 φ 为与成像参数(太阳、卫星等的相关参数)有关的系数。

如果已知遥感影像的成像参数(太阳、卫星的高度角和方位角),将遥感影像中量测的 同像点距离带入(1)式、(5)式和(6)式便可方便地计算出实际建筑物高度;对于同一影像 来说,如果成像参数未知,可通过获取该幅影像中某一建筑物的实际高度来反推(7)式中的 ϕ 值,从而可以计算出该幅影像中其他建筑物的高度信息。

1.1.2.2 提取建筑物面积信息

现有的一些建筑物平面轮廓自动提取方法只适用于形状规则的建筑(如平面轮廓为矩形、L形等建筑),且计算方法复杂,普适度不高,不能满足实际需要。基于此,本文在 GIS 软件中采用人工矢量化的方法提取建筑物平面轮廓。在 GIS 上可直接获取矢量化建筑物的单层面积,用建筑物的层数乘以建筑物的单层面积即可得到建筑物的总面积。

1.1.3 方法验证和精度检验

为了验证上述基于高分辨率遥感影像的建筑群结构类型和面积提取方法的可靠性,本 文以唐山市区及周边城乡过渡带乡镇为例,在该地区选取了59个调查点。在保证房屋样本 能覆盖该地区所有房屋类型的基础上,随机抽取了136栋进行方法验证和精度检验。利用 抽取的136栋房屋,本文对试验区房屋的基本结构类型、房屋层数与结构类型的关系进行了 确认;对提取的房屋高度数据和房屋面积数据进行了验证。通过对数据的验证,分析了造成 误差的原因,并评价了该方法提取数据的精度。

1.1.3.1 房屋结构类型及其与层数的关系

通过实地调研,唐山地区房屋按结构类型可分为3类:钢筋混凝土结构房屋(钢混结构 房屋)、砖混结构房屋和砖结构平房。随机抽取的136栋房屋中有钢混结构房屋41栋,砖混 结构房屋76栋,砖结构平房19栋(表1)。

表 1

试验区房屋结构类型与层数的比例关系

层数	合计(栋) -	钢混结构		砖注	昆结构	砖平房	
		栋数	比例(%)	栋数	比例(%)	栋数	比例(%)
1	19	0	0	0	0	19	100
$2 \sim 6$	78	3	3.85	75	96.15	0	0
≥7	39	38	97.44	1	2.56	0	0

通过实地调查,试验区房屋平均层高约为3m,并据此进行了房屋层数划分。划分的标准是房高低于4m的建筑物为平房,4~7m为2层建筑,大于7m而小于10m为3层建筑,以此类推划分建筑物的层数。

对 136 个房屋样本结构类型的统计结果表明:1 层的房屋都是砖结构平房;2~6 层的房 屋有 96.15%为砖混结构,只有 3.85%为钢混结构;7 层及以上的房屋有 97.44%为钢混结 构,仅 2.56%为砖混结构(表 1)。因此,本文以 2 层和 7 层作为试验区房屋结构分类的分界 层数,即 1 层房屋为砖结构平房,2 层~6 层房屋为多层砖混结构,7 层及 7 层以上房屋为钢 混结构。 1.1.3.2 房屋高度和面积数据的验证及精度评价

(1)数据验证和精度评价。为验证该方法的可靠性,本文在136栋房屋中选取了不同 类型的71栋进行了实地测量,其中砖结构平房9栋,砖混结构楼房46栋,钢混结构楼房16 栋。对71栋房屋建筑的计算数据和实测数据的误差进行了统计分析,结果如图4和图6。



图 4 高度相对误差统计图

图 4 表明近 93% 的房屋相对误差小 于 20%。图 5 是高度相对误差最大的 26 号建筑。从遥感影像上看,该建筑物的阴 影外边界落在了周围的树木上,影像上建 筑物阴影边界不清楚,发生变形,造成量取 的同像点距离与实际相差较大。通过计算 分析,在此幅影像中,(7)式中的 φ 值为 1.8,也就是说当测量的同像点距离与实际 长度有 1m 的误差时,计算的建筑物高度 将有 1.8m 的误差。1m 的误差用影像的 像元个数来计算也就是 1 个或 2 个像元





(对于1m和0.5m分辨率的影像),而在量测中产生2个像元的误差是不可避免的。



图 6 面积相对误差统计图

图 6 表明,通过该方法计算的 71 栋房屋中,有 95.8% 房屋面积的相对误差在 20% 以下,93% 的房屋面积的相对误差在 10% 以下。图 7 是面积相对误差最大的 45 号建筑。从 遥感影像上看,该建筑物较相邻建筑物的高度低,被相邻建筑物的阴影覆盖,造成建筑物的 一部分在遥感影像上不可见。此外,部分房屋屋顶的灰度特征与周边地物相同或相近,分辨 起来比较困难,因此在矢量化房屋轮廓时产生误差也是不可避免的。

综合统计得到:对于单体房屋来说,71 个样本的高度绝对误差平均为1.6m,高度 相对误差平均为9%,高度均方根误差是 1.59m;面积绝对误差平均为33.63m²,面 积相对误差平均为5%,面积均方根误差 是54.83m²。

对于建筑群来说,实测 71 个样本房屋 的 平 均 高 度 是 18.54m,平 均 面 积 是 736.16m²;用遥感方法计算的 71 个样本房 屋 的 平 均 高 度 是 20.01m,平均 面 积 是 721.74m²。平 均 高 度 的 绝 对 误 差 是 1.47m,相对误差是 8%;平均面积的绝对 误差是 14.41m²,相对误差是 2%。



图 7 45 号建筑遥感影像

与前人研究相比(谢军飞等,2004;张桂芳等,2005;刘龙飞等,2009;李铁铮等,2010), 该方法的误差更小,利用该方法提取房屋属性信息是可行和可靠的,且操作简单,具有普 适性。

(2)精度的影响因素分析。当影像各参数确定后,建筑物计算高度主要取决于同像点 距离,因此误差主要是由同像点距离的测量误差产生的。影响影像上同像点距离测量的主 要因素是其他地物对房屋成像的干扰,如房屋阴影若落在树木上就无法确定同像点。

造成面积误差的主要原因是高层或其他地物阴影对房屋的遮掩,使一部分屋顶不可见; 屋顶与周围地物的灰度相同或相近,使得屋顶轮廓很难分辨。此外,如果房屋形状复杂、屋 顶形式多样也会影响计算面积的精度。

1.2 设定地震烈度下建筑群震灾风险评估方法

根据相关的地震灾害预测方法(尹之潜,1996),建筑物的震害等级分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏5个等级。

1.2.1 建筑物地震灾害破坏面积分析方法

根据破坏概率矩阵,可以计算不同地震烈度下建筑物的破坏面积。当地震烈度为*I*时, S类建筑的总破坏面积为*A*_s,可表示为

$$A_{\rm s} = B_{\rm s} \cdot \sum_{i} P\left[D_{i} \mid I\right] \tag{8}$$

式中, A_s 为S类建筑的总破坏面积; B_s 为S类建筑的总面积; $P(D_j \mid I)$ 为S类建筑的破坏概率矩阵(j从轻微破坏到毁坏)。

当地震烈度为
$$I$$
时,所有建筑的总破坏面积 $A = \sum_{s} A_{s}$ (9)

1.2.2 建筑物地震灾害直接经济损失风险分析方法

地震造成各类建筑结构的经济损失主要包括两部分,一是建筑物被毁造成的经济损失, 即房屋自身损失,二是室内财产损失。有形财产的经济损失均与房屋的破坏等级相关。

参照尹之潜等的方法(尹之潜,1996;尹之潜等,2004),当地震烈度为 *I*时,房屋自身和 室内财产的经济损失由下式计算

$$L(I) = \sum_{s} \sum_{i} P[D_{i} | I] \cdot B_{s} \cdot b_{s} \cdot \varepsilon_{bi} + \sum_{s} \sum_{i} P[D_{i} | I] \cdot B_{s} \cdot \varepsilon_{ai}$$
(10)

式中, B_s 为S类建筑的总面积; b_s 为S类建筑单位面积的重建费用(元/m²); ε_{b_j} 为S类建筑 发生j级破坏时的损失比; a_s 为S类建筑单位面积室内财产(元/m²); ε_{a_j} 为S类建筑发生j级破坏时室内财产的损失比。

利用上述基于高分辨率遥感影像的房屋结构类型提取方法提取各类房屋的总建筑面积,运用(8)式、(9)式和(10)式就可以实现建筑群地震灾害脆弱性和损失风险分析。

2 方法应用——以唐山城乡过渡带为例

2.1 研究区和遥感数据

1976年唐山大震以来的30多年,随着中国的城市化进程,唐山震区的社会经济发生了巨大变化。本文选取唐山市区和周边9个乡镇(即路南区女织寨乡,路北区果园乡,开平区开平镇、越河镇、郑庄子镇、洼里镇,丰南区丰南镇,古冶区大庄坨乡、习家套乡)作为研究区。

本文采用 2009 年 GeoEye-1 数据,该卫星影像共有 5 个波段,全色影像分辨率为 0.41m,多光谱影像分辨率为 1.65m。所用遥感数据的卫星成像参数见表 2。

表 2

所用遥感数据的成像参数及覆盖范围

编号 —	太阳		卫星		要 关 芯 国	
	高度角(°)	方位角(°)	高度角(°)	方位角(°)	復	
1	1 20.954	167 240	66 752	355 040	唐山市区、开平镇、大庄坨乡、习家套乡、洼里	
1	50.854	107. 340	00.752	555.049	镇、郑庄子镇大部分、果园乡北部和越河镇北部	
2	31.008	167.500	81.660	271.080	果园乡南部、越河镇南部和丰南镇	
3	44.974	161.300	87.901	253.179	郑庄子乡部分	

2.2 结果分析

2.2.1 结果及建筑结构脆弱性

根据上述实地调查的结果和研究区影像特征可知,该地区房屋类型可分为3类:即钢混结构、砖混结构和单层砖结构。利用本文设计的基于高分辨率遥感影像的建筑群属性信息 提取方法,以2009年研究区 GeoEye-1影像为基础数据源,提取出了各单元不同结构类型房 屋的总建筑面积(表3)。

从图 8 和表 3 可以看出,研究区结构脆弱性低的房屋(抗震能力强的钢混结构和砖混结构)主要分布在唐山市区的西半部、丰南镇北部和大庄坨乡北部。研究区各行政单元中,市区房屋结构脆弱性最低,抗震能力强的钢混结构和砖混结构房屋占市区总房屋面积的 99.2%,抗震能力低的砖结构平房所占比例不足 1%。大庄坨乡、习家套乡、郑庄子镇、越河镇、果园乡和丰南镇房屋结构脆弱性也较低,开平镇和女织寨乡较高;洼里镇房屋结构脆弱 性最高,钢混结构和砖混结构房屋所占比例仅 2.4% (图 9)。

表 3	2009年研究区各结构类型房屋总建筑面积(m*)					
统计单元	钢混结构	砖混结构	砖结构平房	合计		
唐山市区	5,453,503	14,039,305	155,655	19,648,463		
大庄坨乡	788,560	1,494,957	746,774	3,030,291		
习家套乡	218,313	842,404	896,492	1,957,208		
洼里镇	—	39,379	1,636,137	1,675,516		
开平镇	1,274,413	1,485,959	3,142,172	5,902,544		
越河镇	1,080,907	303,833	1,573,173	2,957,914		
郑庄子镇	637,446	777,014	1,065,284	2,479,745		
果园乡	4,908,266	4,673,749	5,239,494	14,821,509		
女织寨乡	344,287	1,885,978	4,930,949	7,161,214		
丰南镇	2,902,065	5,091,162	3,854,459	11,847,685		
合计	17,607,760	30,633,740	23,240,589	71,482,089		



图 8 研究区不同结构类型房屋分布图

图 9 研究区各单元不同类型房屋比例图

5

10 km

开平

Lİ.

越河

习家套

洼里

七庄坨

比例

钢混结构

砖混结构

砖结构平房

.

郑庄子

市区

4

女织寨

0

果

园

丰南



图 10 模拟 1976 年唐山地震实际烈度时研究区震灾损失风险分布示意图

2.2.2 设定地震烈度下震灾损失风险

2.2.2.1 震害矩阵优化

本文在构建破坏概率矩阵时主要采用已有的矩阵进行优化组合,其中对 VI ~ X 度区采用了《地震损失分析与设防标准》中建立的我国不同结构类型房屋的标准破坏概率矩阵(尹

之潜等,2004),对XI度区采用了汶川地震时基于震害统计得到的不同结构类型房屋的震害 矩阵(国家减灾委员会、科学技术部抗震救灾专家组,2008),并根据实际情况进行了调整, 得到的破坏概率矩阵见表4~6。

表 4

钢筋混凝土结构房屋的震害矩阵

烈度	完好(%)	轻微破坏(%)	中等破坏(%)	严重破坏(%)	毁坏(%)					
VI	90.00	10.00	0.00	0.00	0.0					
VII	85.00	14.00	1.00	0.00	0.0					
VIII	70.00	25.00	5.00	0.00	0.0					
IX	50.00	31.50	14.50	3.50	0.5					
Х	20.00	30.00	35.00	10.50	4.5					
XI	1.69	3.38	10.02	34. 91	50.0					
表 5										
烈度	完好(%)	轻微破坏(%)	中等破坏(%)	严重破坏(%)	毁坏(%)					
VI	76.73	19.54	2.98	0.67	0.08					
VII	77.54	15.64	4.64	1.72	0.46					
VIII	68.35	17.21	9.00	3.98	1.46					
IX	53.18	19.10	15.24	8.22	4.26					
Х	28.00	19.52	21.95	17.64	12.89					
XI	0.30	1.50	4.70	11.70	81.80					
表 6		砖结构平周	房的震害矩阵							
烈度	完好(%)	轻微破坏(%)	中等破坏(%)	严重破坏(%)	毁坏(%)					
VI	49.0	24.15	13.05	11.98	1.82					
VII	28.0	21.29	22.08	20. 27	8.36					
VIII	12.0	16.33	23.09	30.30	18.28					
IX	8.0	10.53	17.66	26.14	37.67					
Х	2.2	4.81	11.90	17.25	63.84					
XI	0.0	0.00	0.00	5.00	95.00					

注:此表根据尹之潜等(2004)和国家减灾委员会、科学技术部抗震救灾专家组(2008)成果整合而成

2.2.2.2 震灾损失风险

表 7

本文在设定研究区遭受1976年唐山大地震时的实际烈度情景下进行群体房屋震灾损失风险分析。

利用从高分辨率遥感影像中提取的各行政单元不同结构类型房屋面积和优化后的震害 矩阵等参数,根据上述建筑群震灾损失风险评估模型,并结合当地经济数据,在重演1976年 唐山大地震实际烈度条件下,对唐山市区和周边城乡过渡乡镇进行了建筑群震灾损失风险 计算(表7),并利用 AreGIS 软件生成了研究区震灾风险分布示意图(图10)。

损失	行政单元									
	市区	大庄坨	习家套	洼里	开平	越河	郑庄子	果园	女织寨	丰南
面积(× 10^4 m ²)	1951.2	178.1	135.9	162.8	516.2	229.9	204.9	1247.4	715.5	496.7
经济(亿元)	176.2	5.1	4.7	7.3	21.1	9.0	7.7	78.0	41.4	17.1

模拟 1976 年唐山地震实际烈度条件下房屋破坏面积和直接经济损失

从图 10 和表 7 可以看出,在设定研究区遭受 1976 年唐山地震实际烈度时,不同地区的 震灾损失风险存在明显差异。唐山市核心区为震灾风险特高区,果园乡为高风险区,女织寨 乡为较高风险区,开平镇和丰南镇为较低风险区,越河镇、郑庄子镇、洼里镇、大庄坨乡和习 家套乡为低风险区。

3 讨论

把遥感技术用于建筑群地震灾害脆弱性和风险分析,不仅在进行震灾评估时省时省力, 保证时效性,而且有利于对不同时期的建筑群作脆弱性和风险分析。通过分析高分辨率遥 感影像上房屋的影像特征,设计了一套提取房屋属性信息(高度和面积)的方法,并通过实 地调查的71个样本验证了其可行性。综合对比分析的结果显示,对于单体建筑来说,71个 样本的高度均方根误差是1.59m,约0.5层,面积均方根误差是54.83m²;对于建筑群来说, 71个样本的平均高度绝对误差是1.47m,相对误差是8%,平均面积的绝对误差是14.4m², 相对误差是2%。

以唐山市及城乡过渡乡镇为例,利用该方法提取了研究区建筑群的属性信息,在设定地 震烈度情景下,分析了研究区 2009 年建筑群的地震灾害脆弱性和损失风险。研究区结构脆 弱性低的房屋主要分布在唐山市区的西半部、丰南镇北部和大庄坨乡北部;各行政单元中, 市区房屋结构脆弱性最低,洼里镇房屋结构脆弱性最高。

值得指出的是,本文在进行房屋结构类型分类时只用到了房屋高度信息,没用充分利用 高分辨率遥感影像的光谱信息,如通过房屋光谱特征可以识别屋顶材料,这会使房屋结构类 型的划分更加精细。此外,利用高分辨率遥感影像中房屋的图案特征、位置和空间组合关 系,结合当地具体的区域特点,还可以进行房屋年代的大致划分。这些方面都值得进行深入 讨论和研究。

参考文献

曹治国、陈华,2006,IKONOS卫星图像的快速三维场景重建,计算机与数字工程,34(11),9~15。

陈爱军、徐光祐、史元春,2002,基于城市航空立体像对的全自动3维建筑物建模,测绘学报,31(1),54~59。

程兆广、郭雷、赵天云,2008,基于航空立体像对的三维建筑物建模,微计算机应用,29(2),36~40。

国家减灾委员会、科学技术部抗震救灾专家组,2008,汶川地震灾害综合分析与评估,北京:科学出版社。

- 何国金、陈刚、何晓云等,2001,利用 SPOT 图像阴影提取城市建筑物高度及其分布信息,中国图象图形学报,6(5), 425~428。
- 李铁铮、翟永梅,2010,遥感技术在城市建筑震害预测中的应用研究,灾害学,25(增刊),333~38。

刘龙飞、王锐君、董卫平等,2009,一种快速提取建筑物高度的方法研究,遥感技术与应用,24(5),631~634。

谢军飞、李延明,2004,利用 IKONOS 卫星图像阴影提取城市建筑物高度信息,国土资源遥感,(4),4~6。

尹之潜,1996,结构易损性分类和未来地震灾害估计,中国地震,12(1),49~55。

尹之潜、杨淑文,2004,地震损失分析与设防标准,北京:地震出版社。

张桂芳、单新建、尹京苑,2005,高分辨率卫星影像图在震害快速预估中的应用,大地测量与地球动力学,25(2),63~68。

- Carreno M L, Cardona O D, Barbat A H, 2007, Urban seismic risk evaluation: a holistic approach, Natural Hazards, (40), 137 ~ 172.
- Cheng F, Thiel K H, 1995, Delimiting the building heights in a city from the shadow in panchromatic SPOT-image-part1-Test of Forty Two Buildings, Int. J. Remote Sensing, 16(3), 409 ~ 415.

Jensen J R, Cowen D C, 1999, Remote sensing of Urban/Suburban infrastructure and socio-economic attributes, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, **65** (5), 611 ~ 622.

99

- Mueller M, Segl K, Heiden U, et al, 2006, Potential of high-resolution satellite data in the context of vulnerability of buildings, Natural Hazards, (38), 247 ~ 258.
- Nanda B N,2004, Extraction of seismic risk related base data from multi source remote sensing imagery, Indian Institute of Remote Sensing, India.
- Roy D, 2007, Urban seismic risk assessment in Dehradun City using remote sensing and geoinformation techniques, Indian Institute of Remote Sensing, India.

A pilot research on high-resolution remote sensing-based method for determining the vulnerabilities and loss risks from seismic disaster of building groups and its application: Taking the buildings in Tangshan peri-urban zones as examples

Qi Wenhua¹⁾ Su Guiwu¹⁾ Zhang Suling²⁾ Liu Xinsheng³⁾ Wei Benyong¹⁾

1) Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China

2) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

3) School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract With the rapid development of remote sensing technology of the high-resolution, remote sensing technology will have a wider application in disaster relief field. The application of the high-resolution remote sensing technology to the analysis of building group vulnerabilities to seismic disasters can not only ensure the timeliness of the investigations of building types and quantity, but also help the comparative analysis of vulnerabilities and loss risks in different stages in order to reveal the changing regularity of loss risk from seismic disaster. Based on the analysis of the image characteristics of the buildings on the high-resolution remote sensing image, this paper designs a method which can be used to extract the attribute information (including height and area of building). The field investigation verifies the feasibility of the method. The analysis of earthquake vulnerabilities of building groups can be done by combining the attribute information of the buildings extracted from the high-resolution image with the traditional model. The paper takes the central area of Tangshan and its nine surrounding towns in 2009 as an example, analyzing the earthquake vulnerabilities of the building groups under the condition of the scenario seismic intensity.

Key words: High-resolution remote sensing Seismic disaster Building group Vulnerability Loss risk