

引用格式: Xiao Xiulai, Zhai Wei, Guo Xiao, *et al.* A Summary of Research Methods for Seismic Damage Information Recognition of Polarized SAR Buildings[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(3): 509–516.  
[肖修来, 翟玮, 郭晓, 等. 极化 SAR 建筑物震害信息识别研究方法综述[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(3): 509–516.]  
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2020.3.0509

## 极化 SAR 建筑物震害信息识别研究方法综述

肖修来<sup>1</sup>, 翟玮<sup>1,2</sup>, 郭晓<sup>1</sup>, 裴万胜<sup>3</sup>, 邓津<sup>1,2</sup>

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;  
2. 中国地震局黄土地震工程重点实验室, 甘肃 兰州 730000;  
3. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 合成孔径雷达具有全天候、全天时的对地观测优势, 全极化合成孔径雷达(PolSAR)能够同时获取4种极化信息, 利用PolSAR在震后进行震害评估具有及时性和准确性的优势。首先概述了PolSAR的发展状况及其在建筑物震害信息提取中的应用; 其次, 基于不同数据类型(多时相数据、多源数据、单时相数据), 概述了近10 a来 PolSAR数据在建筑物震害提取中的应用及其对比分析; 然后, 从极化分解方法、极化特征以及纹理特征3个方面对PolSAR数据的建筑物震害提取方法进行了详细阐述; 最后, 提出未来研究工作的设想, 以期结合地理信息数据POI补充PolSAR在震害评估精度方面的不足。

**关键词:** 全极化合成孔径雷达; 地震; 建筑物; 震害信息

**中图分类号:** TP79      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-0323(2020)03-0509-08

### 1 引言

破坏性地震严重威胁人类安全、能够造成大量人员伤亡和建筑物破坏, 严重时更会造成不可估量的经济和社会损失<sup>[1]</sup>。中国大陆地处亚欧地震带与太平洋地震带之间, 西南部受印度板块挤压, 形成独特的强震分布格局<sup>[2]</sup>, 这使得我国地震具有发震频度高、强度大、分布范围广等特点。地震给人类带来巨大损伤的往往是建筑物的倒塌<sup>[3]</sup>所造成, 因此, 快速获取地震灾区的房屋倒塌信息, 对抗震救援工作是不可或缺的, 而SAR遥感技术以其观测范围大、全天候、多方位等优势已成为震害评估的重要手段<sup>[4-5]</sup>。

早期的SAR是以单频、单极化状态工作, 而这

种模式的测量结果不能获得散射特征中的全部极化信息<sup>[6]</sup>。为了获取地物完整的极化信息, 全极化合成孔径雷达(PolSAR)逐渐走进人们的视野。近些年, 许多国家都开始发展极化合成孔径雷达理论和技术应用, 很多具有全极化对地观测能力的星载SAR发射成功, 如德国的 TerraSAR-X、意大利的 Cosmo-SkyMed、加拿大的 Radarsat-2、日本的 ALOS-PALSAR、中国的 GF-3, 主要的卫星参数如表1所示<sup>[7]</sup>。

国内外星载极化SAR系统的发展促使了极化SAR在多个行业中有了广泛的应用。在军事方面, PolSAR可以全天候地穿过一定障碍物检测与识别军事目标<sup>[6]</sup>。在民用方面, PolSAR已被应用于土地利用、农作物生长检测、水文监测以及自然灾害监

收稿日期: 2019-04-25; 修订日期: 2020-05-10

基金项目: 中国地震局地震科技星火计划(XH18049), 国家自然科学基金项目(41601479), 甘肃省地震局(中国地震局兰州地震研究所)地震科技发展基金(2015M02)。

作者简介: 肖修来(1994—)男, 江西吉安人, 硕士研究生, 主要从事SAR图像建筑物震害信息评估。E-mail: 1075997815@qq.com

通讯作者: 翟玮(1981—)女, 甘肃兰州人, 博士, 副研究员, 主要从事SAR影像信息提取、震害遥感技术与方法方面的研究。  
E-mail: zwxzzdsyqh@163.com

表 1 全极化对地观测的 SAR 卫星

Table 1 SAR satellites with fully polarized Earth observation

卫星名称	国家	发射时间 /年	波段	极化 方式	空间分辨率 /m
ALOS-PALSAR	日本	2006	L	全极化	24、89
Cosmo-SkyMed	意大利	2007	X	全极化	30、100
TerraSAR-X	德国	2007	X	全极化	3
Radarsat-2	加拿大	2007	C	全极化	8、12
ALOS-2-PALSAR-2	日本	2010	L	全极化	6、10
GF-3	中国	2016	C	全极化	8、25

测等领域<sup>[8]</sup>。

在利用极化 SAR 数据评估震害方面,国内外很多学者已经做了深入研究,产生了诸多有价值的科研成果,为极化 SAR 数据应用于地震开辟了道路<sup>[9-11]</sup>。本文总结近 10 a PolSAR 在地震灾害评估方面的应用:首先从所用数据类型方面概述学者们的研究成果,将其分为 3 类:①多时相 PolSAR 数据;②结合多源遥感数据;③单时相 PolSAR 数据。其次在利用单时相 PolSAR 数据的震害提取方法上,将学者们所用方法归为 3 类:①基于极化目标分解提取;②基于极化特征提取;③结合纹理特征提取。最后,在提高评估精度上给出展望,结合地理信息数据(比如:POI 数据)将提出的建筑物结果进行兴趣区域分类,以期获得更精确的震害评估结果。

## 2 基于不同数据类型的 PolSAR 建筑物震害识别

在利用数据类型方面,一般有多时相 PolSAR 数据(震前 PolSAR 数据—震后 PolSAR 数据)、PolSAR 数据结合多源遥感数据、单时相 PolSAR 数据(震后 PolSAR 数据)。利用多时相 PolSAR 数据的震害信息提取是通过对比两幅同一地区、不同时相的 PolSAR 数据,检测其中的变化信息<sup>[12]</sup>。结合多源遥感数据提取震害信息一般是结合同一地区的光学遥感数据或其他单极化 SAR 数据提取震害信息。由于地震的突发性,多时相 PolSAR 数据和多源遥感数据往往无法及时获取,而地震后震区的单时相 PolSAR 影像往往较于前二者容易获取,同时避免了配准操作,执行起来比较简便,能够满足地震应急的及时性要求。因此,基于单时相 PolSAR 数据的震害信息提取方法逐渐应用到建筑物震害识别研究中。

### 2.1 基于多时相 PolSAR 数据建筑物震害识别

应用多时相 PolSAR 数据一般采取变化检测

法,将获得的变化信息进行分类处理,得到图像中感兴趣的信息<sup>[13-14]</sup>。近些年,国内外很多学者对利用多时相 PolSAR 数据提取震害信息的方法进行了研究。

Watanabe 等<sup>[15]</sup>以 2011 年日本的 Tohoku 地震为例,利用震前震后的全极化 PALSAR 数据,得到受地震影响区域可由高熵的面散射表示,这表明该区域具有非反射对称的复杂散射机制,利用 HH 和 VV、RR 和 LL 的相干系数以及极化方位角和各项异性也能很好地提取受灾区域。Sato 等<sup>[16]</sup>以 2011 年 3 月 11 日发生的东日本大地震为例,利用 ALOS/PALSAR 以及 PiSAR 全极化数据,基于 Yamaguchi 四分量模型以及 Cloud 分解模型,通过分析震前震后散射机制的变化提取城市受灾区域。Singh 等<sup>[17]</sup>为了监测 2011 年 Tohoku 9.0 级特大地震提出了一种四分量散射功率分解方法,通过震前、震后研究区域内的二次散射功率、体散射功率以及表面散射功率的变化识别受损建筑物区域。Park 等<sup>[18]</sup>以 2011 年 Tohoku 地震为例,采用宫城县区的震前、震后 PALSAR 全极化数据,基于特征向量分解以及模型的目标分解法提取该区域的受损建筑物区域;实验中,完好的建筑物具有较高的二次散射,倒塌建筑物区域的二次散射却减小,但面散射和体散射却是增加,同时在受损建筑物区域,熵、平均极化散射角以及各向异性值均减小,利用这些散射机制以及极化参数可以最大化地提取建筑物震害信息。Yamaguchi<sup>[19]</sup>将 PolSAR 数据导成 RGB 彩图(R—二面角散射功率,G—体散射功率,B—表面散射功率),通过震前震后的颜色变化判断震害区域。Park 和 Yamaguchi<sup>[20]</sup>以 2011 年的 Tohoku 地震为例,基于 EM 的阈值选取算法以及马尔科夫随机分类法对 ALOS 图像的极化特征做震害信息提取,其精度相对于单极化数据提高了 50%。在 2010 年玉树地震后,Zhang 等<sup>[21]</sup>提出了一种新的倒塌建筑物提取方法,利用震前震后单极化 SAR 图像计算得到的去时间相干系数与震后 PolSAR 图像计算得到的共计划相干系数的比值来提取倒塌建筑物,以 2010 年玉树地震为例,设定阈值后利用该比值提取倒塌建筑物,正确提取率达 72.77%。薛腾飞<sup>[13]</sup>提出了基于极化 SAR 的雷达遥感震害指数,并对震前震后极化 SAR 影像进行变化检测,基于极化协方差矩阵服从复 Wishart 的分布理论,提出了全极化 SAR 似然比模型并对完好建筑物和倒塌建筑进行分类。多时相

遥感数据对震害信息提取方法比较如表2所示。多时相极化SAR数据信息丰富,对建筑物震害信息提取精度较高,但由于地震的突发性和星载极化SAR

的分辨率,震后很难满足快速提取震害信息的要求。因此,一些学者结合光学、其他单极化SAR数据构成多源遥感数据对建筑震害信息进行提取。

表2 多时相极化SAR数据对震害信息提取方法比较

Table 2 Comparison of multi-temporal remote sensing data for seismic damage information extraction methods

数据类型	所利用信息	方法	特点
多时相	强度信息	图像差分、比值等	计算简便,鲁棒性好,阈值难确定
	相位信息	相干性比、归一化相干系数法等	可减少冗余信息,计算简单,对图像质量要求高
	极化信息	似然比,基于EM阈值分类,基于MRF分类,彩色合成结合极化功率分解等	可对大区域进行变化检测、数据类型多,对图像配准等要求高

## 2.2 结合多源遥感数据的PolSAR建筑物震害识别

随着遥感技术的发展,结合多源遥感数据的研究已经应用到社会服务的多个领域方面:土地利用<sup>[22]</sup>、城市动态监测<sup>[23]</sup>、灾害监测<sup>[24]</sup>等。在震害评估中,PolSAR数据可以结合光学遥感图像、单极化SAR遥感图像、激光雷达(LiDAR)遥感图像<sup>[25]</sup>或地理信息系统数据(GIS)<sup>[26]</sup>做震害信息提取。鉴于光学遥感数据的直观性且目前高分辨率的光学影像较容易获取,在大地震突发后,结合目前的数据供应机构及流程机制,能够大量且较容易获取的往往是各类光学遥感数据,因此,一些学者做了PolSAR数据结和光学遥感数据的震害信息提取研究,尤其是震前存档的光学遥感数据结合震后PolSAR数据提取震害信息是目前较为现实的遥感震害估计方式<sup>[27]</sup>。下面主要概述国内外学者结合光学、其它单极化遥感数据进行震害信息提取的应用研究。

利用全极化SAR数据和光学遥感数据提取震害信息的研究还非常少,一些研究仅针对建筑物提取。罗丹<sup>[28]</sup>将光学与全极化SAR影像进行几何配准,生成多维组合特征影像,在此基础上对张掖市区的建筑进行提取,对比光学影像,提取精度提高5%~10%。Zhang等<sup>[21]</sup>以2010年玉树地震为例,加入由震前、震后单极化图像处理得到的干涉信息,提取了建筑物震害信息,提取精度相比较于纯相干法要高30%。Plank等<sup>[29]</sup>利用震前光学影像和震后PolSAR影像中的熵的变化对震害进行了研究。郑长利等<sup>[30]</sup>在FNEA算法基础上,将光学和极化SAR影像配准后,利用Singh四分量分解提出一种基于对象占优因子的对象极化后向散射类型判定方法,从而提取出建筑物。Jung等<sup>[31]</sup>基于震前震后建筑物的极化方位角(POA)的差异提出震害指数,利用震前光学图像(VHR)模拟的POA与震后PolSAR数据中提取的POA值计算震害指数,从而获得建筑

物的震害信息。

多种遥感数据结合能够使得不同遥感数据优势互补,充分利用每种数据的信息,进而获得更丰富的信息,在提取地物信息方面,目前应用最广泛的方法便是结合多源遥感数据的处理方法。但同时获取多种遥感数据并不是很简单,由其对于震后灾害信息提取,当震区天气不佳或在夜晚时,光学遥感手段无法对地进行有效成像,而震前存档的光学数据对于一些欠发达地区往往无法找到较近时间范围的数据,太远时间范围的震前光学影像参考价值不大。此外,震后PolSAR数据结合震后各种其它极化形式的SAR数据虽然比较符合震害快速评估的时效性要求,但是PolSAR数据包含的信息量已经能够满足初期快速震害评估的内容要求,因此这种结合方式重复利用了地物的后向散射信息,并不适合震后SAR数据资源不丰富的情况。综上所述,利用震后单景PolSAR影像进行震害信息提取是最符合震害快速评估要求的一种方式,下面将概述这种方法。

## 2.3 单时相PolSAR数据检测建筑物震害信息

由于SAR图像的特殊成像原理,其可解译能力不像光学图像那么直观,使得极化SAR图像目视解译比较困难,对人员素质要求非常高,不利于快速评估震害信息。因此,有必要发展基于计算机的建筑物震害信息自动提取方法。目前国内外学者提出了很多基于单时相震后极化SAR数据的震害信息提取方法。

用震后单时相PolSAR影像检测建筑物震害信息,通常是利用图像的强度或极化信息进行识别。Sato等<sup>[32]</sup>分析PolSAR影像提出了一种混合分类方法,以2004年新田县中部地震为例,结合基于物理散射性质的功率分解以及基于极化相关系数的散射特征分解提取了震区建筑物。Guo等<sup>[33]</sup>以2010



玉树地震为例,采用震后 RADARSAT-2 极化 SAR 数据,基于  $H-\alpha-\rho$  方法提取倒塌建筑物。Satake 等<sup>[34]</sup>以 2011 年日本东北地区太平洋沿岸的 9 级地震为例,采用震后机载 Pi-SAR 极化数据分析了建筑物损毁区域以及被海水淹没区域。2016 年翟玮等<sup>[35]</sup>利用  $H/\alpha/A$ -Wishart 非监督分类方法,并结合基于最小异质性准则聚合的层次聚类方法对建筑震害信息进行提取。陈启浩等<sup>[36]</sup>利用震后极化 SAR 数据,提出一种综合利用极化分解后多纹理特征的评估方法,对玉树城区和日本石卷城区的总体评估精度达到 74.39% 和 80.26%。

从以上利用单时相 PolSAR 遥感影像研究震害信息来看,单幅极化 SAR 数据可以满足震害信息提取要求,在数据获取方面更具有优势,所以相对多时相和多源数据,震后单时相 PolSAR 数据更适合震后建筑物震害信息提取。鉴于此,下面分类详细介绍基于震后单时相 PolSAR 数据的建筑物震害信息提取方法。

### 3 基于不同方法的单时相 PolSAR 数据建筑物震害信息提取

PolSAR 通过测量地面每个分辨率单元内的散射回波,进而获得其散射矩阵,例如 Mueller 矩阵或者 Stokes 矩阵。极化散射矩阵将目标散射的能量特性、相位特性、以及极化特性统一起来,相对完整地描述了雷达目标的电磁散射特性<sup>[37]</sup>。所以 PolSAR 包含的数据信息非常丰富,能够满足震害信息提取的要求。目前,基于震后单时相 PolSAR 数据的震害信息提取方法一般分为极化目标分解法、极化特征法、结合纹理特征法。

#### 3.1 基于极化目标分解法

在自然界中,散射矩阵  $[S_2]$  只能描述相干或纯散射体,从极化角度来看,这种矩阵不能描述所谓的分布散射体,因此,对于复杂目标一般进行采用非相干极化目标分解法。非相干分解就是将  $\langle [C_3] \rangle$  或  $\langle [T_3] \rangle$  矩阵分解为简单或者标准目标的二阶描述子的组合,这些分解理论可以表示为<sup>[38]</sup>。

$$\langle [C_3] \rangle = \sum_{i=1}^k p_i [C_3]_i \quad (1)$$

$$\langle [T_3] \rangle = \sum_{i=1}^k q_i [T_3]_i \quad (2)$$

其中:  $[C_3]_i$  和  $[T_3]_i$  表示分量响应,  $p_i$  和  $q_i$  分别表示分量响应的相应系数。

由于震后倒塌建筑的二面角结构遭到破坏,大

多成为体散射占优地物,这与倾斜建筑物的散射机制非常相似(排列方向与雷达飞行方向不平行的建筑物)。Yamaguchi 等<sup>[38-39]</sup>为提高四分量散射模型提取城市建筑物的精度,基于相干矩阵的旋转最小化交叉极化分量改进四分量散射模型分解方法,一定程度上提高了城市倾斜建筑物的提取精度。Chen 等<sup>[40]</sup>提出一种改进的 Freeman 分解法对玉树地震灾区的完好建筑物和倒塌建筑物提取,其总体精度达到 73.9%。Zhang 等<sup>[41]</sup>提出一种优化的极化对比度增强方法(OPCE),以玉树地震为例,结合建筑物取向信息,提取倒塌建筑物信息,其精度达 66.53%。

从以上研究可以看出,仅仅利用极化目标分解法提取建筑物震害信息精度普遍较低,因为没有一种极化分解方法能够适应所有区域,而且大多数针对倾斜建筑提取改进的极化分解方法很难适应具有较大方位角的倾斜建筑。根据目前的研究来看,在极化目标分解法的基础上结合极化特征参数做建筑物震害信息提取能够一定程度上弥补这种缺陷。

#### 3.2 基于极化特征法

PolSAR 数据拥有丰富的极化信息,能够提取出非常多的极化特征<sup>[8]</sup>,基于极化特征的震害信息提取成为 PolSAR 影像震害信息识别的主流研究方向。

Ainsworth 等<sup>[42]</sup>基于左、右旋圆极化相关系数,提出一种新的系数比值,即左、右圆极化相关系数与其归一化后的系数比:  $\rho/\rho_0$ , 较于自然地物,建筑物的相关系数比值较高,使得建筑物区域易于提取。Sato 等<sup>[32]</sup>利用 Pi-SAR 极化影像,基于入射功率分解方法以及强度和相位相关系数法,对 2004 年日本新潟县中越震区建筑物进行检测,结果发现该方法不仅对建筑物能精确识别而且在受灾严重的山区,该方法也可以很好地提取建筑物。Guo 等<sup>[43]</sup>以北川县为研究区,利用圆极化相关系数、反熵值和二面角分量提取了倒塌建筑物和完好建筑物,在试验中,完好建筑物的圆极化相关系数大于倒塌建筑物,极化散射角在倒塌建筑物中急剧减小,完好建筑物的二面角散射分量高于倒塌建筑物,而倒塌建筑物的熵值要比完好建筑物的低,因此 PolSAR 能有效地探测被地震破坏的城市倒塌建筑物,具有很大的城市应用潜力。Li 等<sup>[44]</sup>基于圆极化相关系数与倒塌建筑的相关性,采用  $H-\alpha-\rho$  和阈值分割方法,以 2010 年玉树震区为研究区,利用 H 和  $\alpha$  识别裸露地表,再用参数  $\rho$  区分完好建筑物和倒塌建筑,总体精度为 81%。Masaka 等<sup>[45]</sup>对极化 SAR 数据的

相干矩阵进行特征向量分解,并根据特征向量角计算出平均极化角 $\bar{\alpha}$ 、 $\bar{\beta}$ ,对此设置适当的阈值提取变形建筑物,结果发现该方法对于前后变形建筑物结构的识别效果不是很好,但是对于左右变形的建筑物结构却能够很好地识别。沈俊成等<sup>[5]</sup>利用RADARSAT-2数据对玉树震区采用由13维极化特征构成的特征模板提取建筑物震害信息,该方法在保证较高检出率的情况下降低了虚警率。Zhai等<sup>[46]</sup>在极化方位角补偿后,引入极化特征参数归一化二面角分量的差(NDDC)和 $\rho_{HHVV}$ ,经过Wishart监督分类,将玉树震区建筑物分为倒塌建筑物、倾斜建筑物、未倒塌建筑物,总体精度达到88.89%。

PolSAR图像中除了丰富的极化特征外,纹理信息也是不可忽略的。墙面与地面造成的二次散射使得建筑物在SAR图像上呈现很明显的亮线或亮点,使得建筑物在SAR图像上具有显著的纹理特征。结合纹理特征对倒塌建筑物进行提取,能够获得更高的提取精度。因此,结合PolSAR的纹理信息提取建筑物逐渐成为众多学者的研究热点。

### 3.3 结合纹理特征

完好建筑物在PolSAR图像上呈现规则的纹理特征,而倒塌建筑物的结构遭到破坏,其纹理特征呈现不规则形状且排列散乱。使用PolSAR影像的纹理特征,就是依据完好建筑物与倒塌建筑的纹理特征差异来提取建筑物震害信息。

Bombrun等<sup>[47]</sup>基于Fisher分布,分别提取出了PolSAR图像中的城市建筑物分布,并以此为基础建立了极化SAR纹理提取的Fisher模型。翟玮等<sup>[48]</sup>引入Mean、Homogeneity、Entropy和Correlation 4种基于灰度共生矩阵的纹理参数,利用PolSAR影像的纹理差异对倒塌建筑物和倾斜建筑物进行区分,提高了倒塌建筑的提取精度。刘斌等<sup>[49]</sup>以都江堰、北川和映秀镇地区的COSMO-SkyMed SAR影像为研究数据,提取了非相似性和同质性两种纹理特征和Sobel算子边缘,并将3个特征进行了RGB合成,而后判断震害信息。2016年翟玮等<sup>[50]</sup>发现基于灰度共生矩阵的均值、同质性、熵及相关性纹理特征能够有效地区分倾斜和倒塌建筑物。Sun等<sup>[51]</sup>以玉树地震为例,采用5个纹理描述子进行纹理提取,并采用随机森林分类器对建筑物的倒塌等级进行识别,其总体精度达到84.7%。Shi等<sup>[42]</sup>从玉树震后机载SAR数据中提取了138种纹理特征,采用随机森林分类处理后,发现提取结果优于极化和

相干特征的提取结果。Li等<sup>[53]</sup>利用不同统计模型的纹理参数识别PolSAR图像中倒塌建筑物和倾斜建筑物,在此基础上计算建筑物区块倒塌率(BBCR)并生成建筑物受损评估图,采用RADARSAT-2和ALOS-1数据实验得到倒塌建筑的总体提取精度分别为73.39%和68.45%。Zhao等<sup>[54]</sup>结合归一化圆极化相关系数(NCCC)与基于灰度共生矩阵的纹理特征,对2010年的玉树地震进行研究,发现结合极化和纹理特征的提取精度达到了79.7%。翟玮<sup>[55]</sup>在提取震害信息方面,提出了有效融合极化特征和纹理特征的方法,即精确加权多特征融合的方法(PWMF方法),有效融合了多种纹理特征和极化信息,获得了较高震害信息提取精度。

从上述研究可以看出,由于纹理特征能够较好地表征建筑物,倒塌建筑与完好建筑的纹理特征存在一定的差异,因此结合纹理特征提取建筑物震害信息能够获得更高的精度,结合纹理特征的震后单时相PolSAR数据识别震害信息是未来较有前景的发展方向。

## 4 结 语

由于科技的发展与进步,目前通过各种方法提取PolSAR的建筑物震害信息已经基本可以实现,加之SAR属于主动雷达遥感及不受太阳光照影响的优势,且PolSAR数据包含信息量足够丰富,卷积神经网络学习等技术日渐成熟,大量处理极化、纹理等信息已经成为可能。因此,通过PolSAR数据获取地震灾区的建筑物震害信息已成为一项热点研究。但是要对震害评估结果进一步精细化,例如获得建筑物的功能属性,包括居民楼、学校或者餐饮建筑物等属性,通过遥感图像是无法做到的。将提取的建筑物信息进行进一步功能分类是一个有意义的研究方向。由于遥感图像无法进行功能区识别,但有学者利用地理信息系统数据POI以及遥感图像对城市进行了土地利用分析<sup>[56]</sup>,从这一点上来看,可以结合地理信息对所提取的建筑物震害信息做进一步功能分类。利用PolSAR数据提取建筑物信息后,将研究区域内的POI数据与之对应匹配,可得到所提取建筑物信息对应的功能属性,进一步提高建筑物震害信息提取精度。

### 参考文献(References):

- [1] Zhou Meili, Hou Wei. Emergency Evaluation Method and Response Measure Study for Post-earthquake Building in China

- [J]. Fujian Architecture & Construction, 2018, 241(7): 94-100.[周美丽,侯炜.破坏性地震建筑物应急评估方法及对策[J].福建建筑,2018,241(7):94-100.]
- [2] Ju Yong, Yu Renbao. Statistics of Strong Earthquake Activity in Mainland China[J]. Seismological and Geomagnetic Observation And Research, 2017, 38(03): 1-7.[鞠永,于仁宝.中国大陆地区强震活动特征统计[J].地震地磁观测与研究,2017,38(03):1-7.]
- [3] Liu Yunhua, Qu Chunyan, Shan Xinjian, *et al.* Application of SAR Data to Damage Identification of the Wenchuan Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 2010, 32(2): 214-223.[刘云华,屈春燕,单新建,等.SAR遥感图像在汶川地震灾害识别中的应用[J].地震学报,2010,32(2):214-223.]
- [4] Gong Lixia, Zhang Jingfa, Zeng Qiming, *et al.* A Survey of Earthquake Damage Detection and Assessment of Buildings Using SAR Imagery[J]. Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2013, 33(4): 195-201.[龚丽霞,张景发,曾琪明,等.城镇建筑震害SAR遥感探测与评估研究综述[J].地震工程与工程振动,2013,33(4):195-201.]
- [5] Shen Juncheng, Xu Xin, Dong Hao, *et al.* Collapsed Building Extraction from Single Full Polarimetric SAR Image after Earthquake[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(14): 86-91.[沈俊成,徐新,董浩,等.震后单幅全极化SAR图像中倒塌建筑提取研究[J].科学技术与工程,2015,15(14):86-91.]
- [6] Liu Gaofeng. Research of Feature Extraction and Classification for Polarimetric SAR Image[D]. Xi'an: University of Electronic Science and Technology of China, 2014.[刘高峰.极化SAR图像特征提取与分类方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2014.]
- [7] Jin Dingjian. Methods of Extracting Building Damage from High Resolution SAR Imagery[D]. Beijing: Institution of Earthquake Science China Earthquake Administration, 2012.[金鼎坚.高分辨率SAR影像建筑物震害信息提取方法研究[D].北京:中国地震局地震预测研究所,2012.]
- [8] Jiang Yuan. Research of Feature Extraction And Classification for Polarimetric SAR Image[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2014.[姜媛.极化SAR图像特征提取与分类方法研究[D].成都:电子科技大学,2016.]
- [9] Yamaguchi Y, Yajima Y, Yamada H. A Four-component Decomposition of PolSAR Images Based on the Coherency Matrix[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2006, 3(3):292-296.
- [10] Singh G, Yamaguchi Y, Park S E. General Four-Component Scattering Power Decomposition With Unitary Transformation of Coherency Matrix[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2013, 51(5):3014-3022.
- [11] Zhang Jingfa, Li Qiang, Jiao Qisong. Multisource Remote Analyses Sensing Characteristics and Mechanism of Building Seismic Damages[J]. Acta Seismologica Sinica, 2017, 39(2): 257-272.[张景发,李强,焦其松.建筑物震害多源遥感特征与机理分析[J].地震学报,2017,39(2):257-272.]
- [12] Wu Shentong. Research on Change Detection Methods in SAR Images[D]. Shenyang: Northeastern University, 2014.[吴慎通.SAR图像的变化检测方法研究[D].沈阳:东北大学,2014.]
- [13] Xue Tengfei. Earthquake Damaged Buildings Extraction from SAR Images Using Change Detection Technology based on Multiple Features[D]. Beijing: Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, 2017.[薛腾飞.基于SAR多特征变化检测的震害建筑物提取研究[D].北京:中国地震局工程力学研究所,2017.]
- [14] Rasi R, Beuchle R, Bodart C, *et al.* Automatic Updating of an Object-based Tropical Forest Cover Classification and Change Assessment[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2013, 6(1): 66-73.
- [15] Watanabe M, Motohka T, Miyagi Y, *et al.* Analysis of Urban Areas Affected by the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake And Tsunami With L-Band SAR Full-Polarimetric Mode[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2012, 9(3): 472-476.
- [16] Sato M, Chen S W, Satake M. Polarimetric SAR Analysis of Tsunami Damage Following the March 11, 2011 East Japan Earthquake[J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(10): 2861-2875.
- [17] Singh G, Yamaguchi Y, Boerner W M, *et al.* Monitoring of the March 11, 2011, Off-Tohoku 9.0 Earthquake With Super-Tsunami Disaster by Implementing Fully Polarimetric High-Resolution POLSAR Techniques[J]. Proceedings of the IEEE, 2013, 101(3): 831-846.
- [18] Park S E, Yamaguchi Y, Singh G, *et al.* Polarimetric SAR Remote Sensing of Earthquake/Tsunami Disaster[C]// IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Munich, 2012, 1170-1173.
- [19] Yamaguchi Y. Disaster Monitoring by Fully Polarimetric SAR Data Acquired With ALOS-PALSAR[J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(10): 2851-2860.
- [20] Park S E, Yamaguchi Y, Kim D J. Polarimetric SAR Remote Sensing of the 2011 Tohoku Earthquake Using ALOS/PALSAR[J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 132(6): 212-220.
- [21] Zhang H, Wang Q, Zeng Q, *et al.* A New Method for Building Collapse Detection Jointly Using Interferometric and Polarimetric Information[C]// IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Milan, 2015, 3583-3586.
- [22] Wang Ping, Zhang Jixian, Lin Zongjian, *et al.* Extraction Experiment of LUCC Information based on Fusion of Multi-source RS Data[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2003(4): 14-17.[王萍,张继贤,林宗坚,等.基于多源遥感数据融合的土地利用/土地覆盖变化信息提取试验[J].测绘通报,2003(4):14-17.]
- [23] Mu Fengyun, Zhang Zengxiang, Chi Yaobin, *et al.* Dynamic Monitoring of Built-Up Area in Beijing During 1973-2005



- based on Multi-Original Remote Sensing Images [J]. Journal of Remote Sensing, 2007, 11(2): 257-268. [牟凤云, 张增祥, 迟耀斌, 等. 基于多源遥感数据的北京市 1973-2005 年间城市建成区的动态监测与驱动力分析[J]. 遥感学报, 2007, 11(2): 257-268.]
- [24] Fan Jianrong, Tian Bingwei, Cheng Genwei, *et al.* Investigation on Damaging Object Induced by The Earthquake of Wenchuan on May 12 Based on Multi-platform Remote Sensing [J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(3): 257-262. [范建容, 田兵伟, 程根伟, 等. 基于多源遥感数据的 5·12 汶川地震诱发堰塞体信息提取[J]. 山地学报, 2008, 26(3): 257-262.]
- [25] Li Qiang, Jiao Qisong, Zhang Jingfa. Research on Building Extraction of Earthquake Damage of Ground LiDAR Point Cloud based on Object-oriented [J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(19): 244-249. [李强, 焦其松, 张景发. 基于地面激光雷达技术点云的北川县城震害建筑物提取研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(19): 244-249.]
- [26] Chen Wenkai, He Shaolin, Zhou Zhonghong. Study on Rapid Evaluation Method of Earthquake Damage based on Multi-Source Data [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2010, 32(1): 76-81. [陈文凯, 何少林, 周中红. 基于多源数据的震害快速评估方法探讨[J]. 地震工程学报, 2010, 32(1): 76-81.]
- [27] Xu Yuanyuan. Joint Analysis of Seismic Damage Information of Buildings With Multi-source Remote Sensing Data [D]. Beijing: The Institute of Crustal Dynamics China Earthquake Administration, 2015. [宿渊源. 多源遥感数据建筑物震害信息联合分析[D]. 北京: 中国地震局地壳应力研究所, 2015.]
- [28] Luo Dan. Fusion of High Spatial Resolution Optical and Polarimetric SAR Images for Urban Land Cover Classification [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2015. [罗丹. 高分辨率光学与极化 SAR 影像城市地物协同分类[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2015.]
- [29] Plank S, Twele A, Martinis S. Landslide Mapping in Vegetated Areas Using Change Detection based on Optical and Polarimetric SAR Data [J]. Remote Sensing, 2016; 8(4): 307; doi: 10.3390/rs8040307.
- [30] Zheng Changli, You Shucheng, Wei Hai. Building Extraction From Polarimetric SAR Image based on Optical Image Aided FNEA Segmentation [J]. Remote Sensing Information, 2017, 32(2): 60-65. [郑长利, 尤淑撑, 魏海. 光学图像辅助分割的极化 SAR 建筑物提取[J]. 遥感信息, 2017, 32(2): 60-65.]
- [31] Jung M, Yeom J, Kim Y. Comparison of Pre-event VHR Optical Data and Post-event PolSAR Data to Investigate Damage Caused by the 2011 Japan Tsunami in Built-Up Areas [J]. Remote Sensing, 2018, 10: 1804; doi: 10.3390/rs10111804.
- [32] Sato R, Soma K, Yajima Y, *et al.* Classification of Stricken Residential Houses by the Mid Niigata Prefecture Earthquake based on POLSAR Image Analysis [C] // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Spain, 2007, 200-203.
- [33] Guo H D, Wang X Y, Li X W, *et al.* Yushu Earthquake Synergic Analysis Using Multimodal SAR Datasets [J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(31): 3499-3503.
- [34] Satake M, Kobayashi T, Uemoto J, *et al.* Damage Estimation of the Great East Japan Earthquake by NICT Airborne SAR (PI-SAR2) [C] // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Munich, 2012: 1190-1191.
- [35] Zhai Wei. Acquisition of Building Seismic Disaster Information based on Single Phase Full Polarization SAR Image [J]. Earthquake Research of Shanxi, 2016(1): 19-22. [翟玮. 基于单时相全极化 SAR 影像的建筑物震害信息提取[J]. 山西地震, 2016(1): 19-22.]
- [36] Chen Qihao, Nie Yuliang, Li Linlin, *et al.* Buildings Damage Assessment Using Texture Features Of Polarization Decomposition Components [J]. Journal of Remote Sensing, 2017, 21(6): 955-965. [陈启浩, 聂宇靓, 李林林. 极化分解后多纹理特征的建筑物损毁评估[J]. 遥感学报, 2017, 21(6): 955-965.]
- [37] Wang Chao. Fully Polarized Synthetic Aperture Radar Image Processing [M]. Beijing: Science Press, 2008. [王超. 全极化合成孔径雷达图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2008.]
- [38] Yamaguchi Y, Moriyama T, Ishido M, *et al.* Four-component Scattering Model for Polarimetric SAR Image Decomposition [J]. Technical Report of Ieice Sane, 2005, 104(8): 1699-1706.
- [39] Yamaguchi Y, Sato A, Boerner W M, *et al.* Four-Component Scattering Power Decomposition With Rotation of Coherency Matrix [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(6): 2251-2258.
- [40] Chen Q, Li L, Jiang P, *et al.* Building Collapse Extraction Using Modified Freeman Decomposition from Post-disaster Polarimetric SAR Image [C] // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Beijing, 2016: 5769-5772.
- [41] Zhang H, Wang Q, Zeng Q, *et al.* A Novel Approach To Building Collapse Detection from Post-seismic Polarimetric SAR Imagery by Using Optimization of Polarimetric Contrast Enhancement [C] // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Milan, 2015: 3270-3273.
- [42] Ainsworth T L, Schuler D L, Lee J S. Polarimetric SAR Characterization of Man-made Structures in Urban Areas Using Normalized Circular-pol Correlation Coefficients [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(6): 2876-2885.
- [43] Guo H. Study Of Detecting Method With Advanced Airborne and Spaceborne Synthetic Aperture Radar Data for Collapsed Urban Buildings from The Wenchuan Earthquake [J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2009, 3(1): 131-136.
- [44] Li X, Guo H, Zhang L, *et al.* A New Approach to Collapsed Building Extraction Using RadarSat-2 Polarimetric SAR Imagery [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2012, 9(4): 677-681.
- [45] Masaka M, Yamaguchi Y, Yamada H. Experimental Study on Detecting Deformed Man-made Objects based on Eigenval-

- ue/ Eigenvector Analysis[C]// IEEE 5th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (AP SAR), Singapore, 2015, 688-691.
- [46] Zhai W, Zeng W. Building Damage Assessment Using A Single Post-Earthquake PolSAR Image: A Case of The 2010 Yushu Earthquake[C]// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 57, 2017, 012018.
- [47] Bombrun L, Beaulieu J M. Fisher Distribution for Texture Modeling of Polarimetric SAR Data[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2009, 5(3): 512-516.
- [48] Zhai Wei, Pei Wansheng, Zhao Fei. Application Analysis of PolSAR Image Texture Features in the Extraction of Collapsed Buildings[J]. Recent Development in World Seismology. 2015(9): 127-127.[翟玮,裴万胜,赵斐. PolSAR影像纹理特征在倒塌建筑物提取中的应用分析[J].国际地震动态, 2015(9):127-127.]
- [49] Liu Bintao, Tao Heping, Fan Jianrong, *et al.* Application of High Resolution SAR Images in Wenhuan Earthquake Hazard Monitoring and Assessment[J]. Journal of Mountain Science, 2008, (3): 267-271.[刘斌涛,陶和平,范建容,等. 高分辨率 SAR数据在5·12汶川地震灾害监测与评估中的应用[J].山地学报,2008,(3): 267-271.]
- [50] Zhai Wei, Shen Huanfeng, Huang Chunlin. Collapsed Buildings Extraction from the PolSAR Image based on the Analysis of Texture Features[J].Remote Sensing Technology And Application, 2016,31(5): 975-982.[翟玮,沈焕峰,黄春林. 结合 PolSAR影像纹理特征分析提取倒塌建筑物[J]. 遥感技术与应用,2016,31(5): 975-982.]
- [51] Sun W, Shi L, Yang J, *et al.* Building Collapse Assessment in Urban Areas Using Texture Information From Post-event SAR Data[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing,2016,9(8):3792-3808.
- [52] Shi L, Sun W, Yang J, *et al.* Building Collapse Assessment by the Use of Post-earthquake Chinese VHR Airborne SAR [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2015, 12 (10): 2021-2025.
- [53] Li L, Liu X, Chen Q, *et al.* Building Damage Assessment from PolSAR Data Using Texture Parameters of Statistical Model[J]. Computers and Geosciences, 2018, 113:115-126.
- [54] Zhao L, Yang J, Li P, *et al.* Damage Assessment in Urban Areas Using Post-earthquake Airborne PolSAR Imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34 (24) : 8952-8966.
- [55] Zhai Wei. Study of the Building Earthquake Damage Information Extraction From A Single Post-earthquake PolSAR Image[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences University. 2016.[翟玮.利用单时相极化 SAR提取震后建筑物震害信息的研究[D].北京:中国科学院大学,2016.]
- [56] Zhang Y, Li Q, Huang H, *et al.* The Combined Use of Remote Sensing and Social Sensing Data in Fine-grained Urban Land Use Mapping: A Case Study in Beijing, China[J]. Remote Sensing, 2017, 9(9): 865; doi: 10.3390/rs9090865.

## A Summary of Research Methods for Seismic Damage Information Recognition of Polarized SAR Buildings

Xiao Xiulai<sup>1</sup>, Zhai Wei<sup>1,2</sup>, Guo Xiao<sup>1</sup>, Pei Wansheng<sup>3</sup>, Deng Jin<sup>1,2</sup>

(1.Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, China;

2.Key Laboratory of Loess Earthquake Engineering, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, China;

3.Northwest institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Synthetic Aperture Radar (SAR) can observe the Earth without the influence of the weather and sunlight, and Polarimetric SAR (PolSAR) even could acquire four kinds of polarization information at the same time. Therefore, extracting post-earthquake damage information by use of PolSAR has the advantage of timeliness and accuracy. This paper shows a summary of the methods for extracting seismic damage information based on PolSAR data. It firstly review the development of PolSAR and then summarizes the application and comparative analysis of the data types (multi-source data, multi-temporal data and single-temporal data) for extracting seismic damage of buildings in the past 10 years. Next, the methods of building earthquake damage extraction based on polarization decomposition and polarization characteristics and texture features is summarized. Finally, the research work is proposed to supplement the deficiency of PolSAR in earthquake damage extraction accuracy with the combination of geographic information data POI.

**Key words:** PolSAR; Earthquake; Building; Earthquake damage information