

地震灾害遥感综合评估与示范

张景发 龚丽霞 李 强 著



 科学出版社

地震灾害遥感综合评估与示范

张景发 龚丽霞 李 强 著

本书出版由以下项目资助

- 国家高技术研究发展计划项目(863 计划, 2012AA123404)
- 国家自然科学基金项目(41374050)



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书简要介绍了多源遥感原理、图像特征及图像处理方法,剖析了典型震害遥感机理和不同震害对象的遥感图像表现特征,在此基础上,以较大篇幅系统地介绍了多源遥感影像震害信息定性与定量提取方法,并结合具体震害实例,介绍了多源遥感震害综合评估系统及近年来典型地震灾害的综合评估工作流程。

本书可以作为从事遥感震害评估应用研究的科研人员的专业用书,也可以作为地图学与地理信息系统、航空摄影测量与遥感等相关专业人员的辅修参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地震灾害遥感综合评估与示范/张景发等著. —北京:科学出版社, 2016.3

ISBN 978-7-03-047795-8

I. ①地… II. ①张… III. ①遥感技术-应用-地震灾害-评估 IV. ①P315.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 055343 号

责任编辑:彭胜潮 赵 晶 / 责任校对:韩 杨

责任印制:张 倩 / 封面设计:黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 3 月第一次印刷 印张:16 1/2

字数:390 000

定价:96.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

欣悉张景发研究员的著作《地震灾害遥感综合评估与示范》即将由科学出版社出版。作者自 1990 年以来一直从事遥感地震应用方面的研究,是我国开展遥感强震应急及震害评估研究的少数践行者之一,做了许多有价值的工作。近年来,在国家高技术研究发展计划(863 计划)“地震遥感综合评估技术与示范应用”课题的支持下,作者及其团队在多源遥感震害评估的研究方面取得不少新的进展,结合他近 20 年的研究工作和实践经验,累累成果汇聚成书,祈能裨益于我国乃至世界的防震减灾事业。

地震灾害是群灾之首,中国的地震活动频度高,强度大,震源浅,分布广,地震灾害严重,1900 年以来中国死于地震的人数约占全球地震死亡人数的一半。我国正处于社会和经济的飞速发展、城市化进程不断加快的时期,地震等重大自然灾害对人民经济和社会的影响也日益显著。虽然地震给人类带来巨大的损失和严重的后果,但是地震灾害是完全可以减轻和防御的。城镇防震减灾体系可以通过“4P-4R”技术体系概念来实现,4P 即:Plan(计划、规划)、Prediction(预测、预报)、Prevention(预防)和 Pre-warning(预警);4R 即:Rescue(救生)、Relief(救济)、Resettlement(安置)、Reconstruction(重建)。中国地震局在 2004 年提出了防震减灾工作的指导方针,即:“坚持防震减灾同经济建设一起抓,实行以预防为主、防御与救助相结合的方针。切实加强地震监测预报、震灾预防、紧急救援三大工作体系建设,进一步完善地震灾害管理机制。”

世界防震减灾经验表明,在地震发生后采取快速应对的措施能够有效减轻灾害带来的损失,是有效减灾的重要措施。传统的地震灾害评估方法主要依赖专家深入现场调查,速度慢,周期长,满足不了地震应急救援的要求;甚至由于通往震区的道路堵塞、通信阻断等原因,使实地调查无法进行,耽误了实施救灾应急措施的最宝贵时间。遥感技术提供了快速、经济、安全的灾情评估方式,是有效获取可靠灾情信息的重要手段。近年来,卫星遥感呈多元化发展趋势,与之相关的遥感技术也不断发展,在地震应急和防震减灾工作中发挥了越来越重要的作用。

本书作者在系统总结震害遥感评估基本原理基础上,发展了多种评估技术,建立了多源遥感震害综合评估技术体系和工作流程,为今后的科学研究和地震应急救援工作奠定了坚实基础。作者和他的团队还利用这些成果在 2008 年汶川地震、2010 年玉树地震、2013 年雅安芦山地震等应急工作中发挥了其他技术难以取代的作用。本书的出版凝聚了作者多年的经验和智慧,结合实例深入浅出地将遥感科学、地震学、计算机科学、工程科学、测绘学等多学科的知识,向广大专业技术人员、政府灾害管理部门以及这个领域的高校师生作了详尽的介绍。期盼这一专著的出版,能进一步推动震害遥感评估技术的发展,为防震减灾事业贡献一份力量。

中国工程院院士

2015 年 12 月

前言

我国是地震多发国家。随着社会经济的发展,地震造成的经济损失和人畜伤亡均呈上升趋势。目前我国的房屋建构筑物、基础设施等抗震能力不强。地震发生后,快速、准确地获取灾情信息,开展有效救援工作,可以大大减轻灾害损失,是地震应急与评估工作中的重要环节。汶川地震以来,遥感技术在我国地震应急救援中发挥着越来越重要的作用。为继续提高我国地震灾害应急评估的效率和精度,需要深入研究多源遥感技术的综合评估方法。本书从遥感成像基本理论出发,通过剖析典型震害遥感机理,阐明不同震害对象的遥感图像表现特征,深入研究震害信息定量提取技术,并结合具体震害实例,探讨基于高分辨率遥感的地震灾害损失评估方法。最后,本书介绍多源遥感震害综合评估系统及近年来典型地震灾害的综合评估工作流程。

虽然遥感技术在地震应急救援和灾后评估工作中发挥了重要作用,但是目前尚没有系统介绍遥感震害评估的专著。在本书编写过程中,我们也参考了一些很受读者欢迎的教科书和专著,如《遥感应用分析原理与应用》《遥感导论》《遥感原理与应用》等。当然,地震遥感综合评估技术体系囊括了包括遥感科学、地震学、测绘学、计算机科学等多学科交叉的综合性高新技术,所以任何一本书要想包括其中所涉及的全部内容是不可能的。本书力争在阐明震害遥感机理及震害遥感表现特征的基础上,建立震害遥感综合评估技术体系与方法流程,以为相关科研人员及震害评估专业工作者提供参考。

编写本书的目的是梳理震害遥感评估的基本原理和具体应用方法,建立多源震害遥感综合评估技术体系和工作流程。希望本书在博采众长的同时,也能体现应用遥感技术开展震害综合评估的特点及专业性。在编写本书的时候,尽量做到通俗易懂,所以除必要的基本公式以外,舍弃了相关算法的中间推导过程。

本书共分10章,主要内容包括:第1章,绪论;第2章,遥感基础;第3章,震害遥感图像处理技术;第4章,震害遥感机理与特征分析;第5章,监督与非监督震害信息提取;第6章,面向对象震害信息提取;第7章,遥感图像变化检测震害信息提取;第8章,遥感地震信息与震害评估;第9章,多源遥感震害综合评估系统;第10章,震害遥感应用示范。其中第1~3章重点阐述震害遥感的基本原理;第4~10章重点阐述震害信息识别、提取与定量评估的具体方法及研究实例。具体编写分工如下:第1章由张景发、申文豪编写;第2章由龚丽霞、蒋洪波、焦其松编写;第3章由龚丽霞、焦其松编写;第4章由张景发、焦其松、赵福军编写;第5章由李强、蒋洪波编写;第6章由李强、赵福军、安立强编写;第7章由张景发、安立强编写;第8章由张景发、李强、申文豪编写;第9章由李强、薛腾飞、张景发编写;第10章由龚丽霞、张景发、李强、焦其松编写。全书由李强、薛腾飞校对,最后

由张景发统一校阅定稿。王文清、张庆云、康帅、陈艳、王娜、王德华等对书稿也作了大量的校订工作,在此对他们的工作也表示感谢。

本书出版得到了国家 863 计划课题(2012AA121304)、国家自然科学基金课题(41374050)的资助,科学出版社也给予了大力支持,在此表示感谢。

由于编者水平所限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者和有关专家指正,以便后续修订完善。

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 地震与地震烈度	1
1.1.1 地震灾害的宏观现象	1
1.1.2 地震烈度	2
1.2 遥感震害评估背景与意义	3
1.3 国内外研究现状	4
1.4 需要解决的问题与难点	7
参考文献	8
第 2 章 遥感基础	9
2.1 可见光遥感	9
2.2 微波遥感	10
2.2.1 辐射特性	11
2.2.2 几何特性	12
2.2.3 极化特性	15
2.3 激光雷达遥感	18
2.3.1 机载 LiDAR	18
2.3.2 地面 LiDAR	20
2.4 常用震害遥感数据源	21
2.4.1 光学遥感数据源	22
2.4.2 SAR 遥感数据源	25
参考文献	27
第 3 章 震害遥感图像处理技术	28
3.1 震害图像几何校正	28
3.1.1 光学遥感图像误差校正	28
3.1.2 SAR 图像几何校正	29
3.2 图像震害信息增强	30
3.2.1 辐射增强	30
3.2.2 空间增强	32
3.2.3 彩色增强	33
3.2.4 震害信息组合增强	34
3.2.5 SAR 图像噪声抑制与增强	35
3.3 震害图像融合	36

3.4 震害图像纹理分析	37
3.4.1 统计法	38
3.4.2 灰度共生矩阵法	39
3.5 地面三维激光点云数据处理	41
3.5.1 数据配准	42
3.5.2 数据缩减	42
3.5.3 数据分割与数据分类	43
3.5.4 三维建模	44
参考文献	45
第4章 震害遥感机理与特征分析	47
4.1 震害遥感分类和分级	47
4.1.1 建筑物震害	47
4.1.2 交通道路震害	48
4.1.3 地震次生灾害	49
4.2 光学图像震害特征与机理	50
4.2.1 建筑物震害特征机理	50
4.2.2 交通道路震害特征机理	58
4.2.3 次生灾害震害特征机理	63
4.3 SAR 图像震害机理	69
4.3.1 建筑物震害特征机理	69
4.3.2 交通道路震害特征机理	78
4.3.3 次生灾害震害特征机理	80
4.4 LiDAR 图像震害特征	84
4.5 多源图像建筑物联合剖面分析	91
4.5.1 平顶建筑物剖面分析	91
4.5.2 尖顶建筑物剖面分析	94
4.6 遥感图像震害解译标志	97
4.6.1 光学图像震害解译标志	98
4.6.2 SAR 图像震害解译标志	100
参考文献	101
第5章 监督与非监督震害信息提取	102
5.1 分类原理与基本过程	102
5.2 监督分类	103
5.2.1 最大似然分类	104
5.2.2 决策树分类法	105
5.2.3 支持向量机(SVM)	107
5.3 非监督分类	109
5.3.1 K-均值聚类法	110
5.3.2 ISODATA(迭代自组织法)	111

5.4	分类结果后处理	112
5.4.1	主/次要分析	112
5.4.2	聚类分析	113
5.4.3	过滤分析	114
5.5	精度评价分析	114
5.5.1	混淆矩阵	115
5.5.2	ROC 曲线分析	115
5.5.3	面积或长度比计算	116
	参考文献	116
第 6 章	面向对象震害信息提取	118
6.1	面向对象信息提取概述	118
6.2	遥感图像分割	121
6.2.1	图像分割	121
6.2.2	图像分割方法	122
6.3	多尺度分割	123
6.3.1	基本概念	123
6.3.2	多尺度分割算法	124
6.3.3	最优分割尺度选择	125
6.4	遥感图像对象特征	130
6.4.1	对象特征	130
6.4.2	类间相关特征	136
6.4.3	全局特征	137
6.4.4	遥感震害数据库及特征规则	137
6.4.5	典型震害特征规则集	141
6.5	面向对象遥感图像分类方法	145
6.5.1	最近邻分类法	145
6.5.2	模糊分类	145
6.5.3	基于产生式规则的知识表示	147
6.6	基于面向对象的震害提取	147
6.6.1	震害建筑物信息提取	147
6.6.2	震害道路信息提取	151
6.6.3	次生灾害信息提取	156
6.7	精度评价	160
	参考文献	160
第 7 章	遥感图像变化检测震害信息提取	161
7.1	变化检测原理	161
7.2	变化检测应考虑的几个问题	162
7.2.1	遥感系统因素的影响及数据源的选择	163
7.2.2	图像匹配	164

7.2.3 阈值选择	164
7.2.4 检测窗口的尺度效应	166
7.3 变化检测的基本方法	166
7.3.1 基于光学的变化检测方法	166
7.3.2 基于 SAR 图像的变化检测方法	175
7.4 变化检测后处理与精度评价	181
7.4.1 变化检测的后处理	181
7.4.2 精度评价	182
参考文献	182
第 8 章 遥感地震应急与震害评估	184
8.1 遥感应急响应与震害评估流程	184
8.2 地震遥感应急	186
8.3 地震灾害遥感评估	188
8.3.1 遥感震害评估基本流程	188
8.3.2 震害指数	190
8.3.3 遥感震害评估统计与计算方法	192
8.4 多源数据震害快速评估	194
8.5 评估成果产出	196
8.5.1 震害道路	196
8.5.2 震害建筑物	200
8.5.3 次生灾害	203
参考文献	205
第 9 章 多源遥感震害综合评估系统	207
9.1 系统概述	207
9.1.1 遥感评估系统需求	207
9.1.2 系统开发环境	208
9.2 系统功能模块介绍	210
9.2.1 系统构成	210
9.2.2 功能模块介绍	210
9.3 业务应用运行	226
9.3.1 业务运行流程	226
9.3.2 业务产品内容及形式	227
参考文献	228
第 10 章 震害遥感应用示范	229
10.1 汶川地震遥感应用示范	229
10.1.1 震害信息提取	230
10.1.2 地震遥感烈度评估	238
10.2 雅安芦山地震遥感应用示范	241
参考文献	253

第 1 章 绪 论

地震具有突发性、破坏性强的特点。地震发生后,往往带来毁灭性的灾难,到目前为止,地震的快速预报还很难实现,因此需要在地震发生后的短时间内快速地获取受灾情况及灾害分布信息。遥感技术手段具有快速、宏观性、不受地面因素影响的特点,在灾后可大面积地获取灾害信息,为地震应急及抗震救灾提供信息支撑。

本章在简述地震及地震烈度基本知识的基础上,详述了遥感震害评估的背景与意义,总结梳理了国内外遥感震害评估的研究现状及存在的问题;总结了遥感震害评估发展趋势,分析了技术难点,为之后章节的展开提出了需求。

1.1 地震与地震烈度

在软流层作用下地球板块与板块之间相互挤压碰撞,造成板块边沿及板块内部产生错动和破裂,地壳快速释放能量产生地震波引起地面震动,这种自然现象就是地震。地震作为一种不可抗拒的自然现象具有突发性、持续性、破坏性等特点。毫无疑问,地震是自然灾害中对人类危害最大的灾难之一。据统计,自公元 1~1995 年全世界地震死亡人数为 625 万~656 万,年平均死亡人数为 3 208 人;在此期间世界范围内地震及其次生灾害造成的经济损失共计 2 500 亿~5 500 亿美元,年平均约 1.3 亿美元。中国是大陆地震最多的国家。统计结果显示,自公元 1~1995 年我国地震灾害损失在全世界范围的损失比重(中国/世界)是:死亡人数占 37%、经济损失占 3.5%。

1.1.1 地震灾害的宏观现象

地面的持续性振动是地震的基本现象,地震波从地内向地面传来,纵波首先到达,横波接着产生大振幅的水平方向的晃动,由于纵波和横波的相互干涉叠加会出现波形的转换,使地下介质质点按一定轨迹运动形成一种新的能量很强且集中在地表附近的波动,这就是瑞利面波和勒夫面波。横波使地面发生前后、左右抖动,破坏性较强,面波波长长,振幅强,只能沿地表传播,是造成建筑物强烈破坏的主要因素。

地震造成的灾害首先是破坏房屋和构筑物,造成建筑物损毁倒塌,进而引起人员伤亡,如 1976 年中国河北唐山地震中,70%~80%的建筑物倒塌;2010 年青海玉树地震中玉树县城房屋平均倒塌率为 53%,人员伤亡惨重。

大地震能使局部地形改观,或隆起,或沉降,使城乡道路开裂、铁轨扭曲、桥梁折断。由于地震的强烈振动,使得原已处于不稳定状态的山崖或塬坡发生崩塌或滑坡,引起山崩和滑坡,常造成掩埋村镇的惨剧。崩塌的山石堵塞江河,在上游形成地震湖。滑坡和崩塌这类地震的次生灾害主要发生在山区和塬区,使整村整户人员全被埋没。

地震的晃动使表土下沉,浅层的地下水受挤压会沿地裂缝升至地表,形成喷沙冒水。地震时海底地层发生断裂,造成从海底到海面的整个水层发生剧烈“抖动”,引起地震海啸。地震引起水库、江湖决堤,或是由于山体崩塌堵塞河道造成水体溢出等,都可能造成水灾。在现代化城市中,由于地下管道破裂和电缆被切断造成停水、停电和通信受阻。煤气、有毒气体和放射性物质泄漏可导致火灾和毒物、放射性污染等次生灾害。

1.1.2 地震烈度

地震烈度是指地震引起的地面震动及其影响的强弱程度。一次地震只有一个震级,但遭受地震影响的地区不同,其地震烈度也不同。地震烈度是地震影响的宏观反映,它的直接含义是地震引起的后果的严重程度的一种衡量尺度。

地震烈度的评定是依靠地震烈度表来完成的。目前,除日本采用八个等级以外,全世界基本上都采用十二度的烈度表。实际烈度等震线图使用的烈度基本上是Ⅵ~Ⅹ,正好也是工程领域比较关心的地震烈度。因为更低的烈度对工程基本无影响,更高的烈度又超过了人们的防御能力。

我国的地震观测和强震动观测起步较晚,至今尚不能高密度覆盖地震区,然而,我国有世界上最为久远和丰富的历史地震及其震害的宏观描述,也有较充裕的人力资源进行震害调查和烈度评定,因此,烈度概念及其评定结果在中国有最广泛应用,主要表现在以下4个方面。

1. 震后应急救援

地震烈度可简单粗略地表示一次地震的影响范围和不同区域的破坏程度,这是震后政府和社会公众急切关心的资料。迅速的烈度评定便于了解灾情,用于指导应急救援。例如,地震烈度Ⅶ度地区,一般将发生房屋损坏,应及时进行灾民的安置,稳定社会秩序;地震烈度Ⅷ度以上地区,将出现房屋严重破坏、倒塌和人员伤亡,应快速开展压埋人员的搜救;地震烈度达到Ⅹ度,在居民和建筑稠密地区将造成重大灾难,应紧急调动全社会力量开展救灾和恢复重建。

2. 地震学和地震工程学相关研究

根据地震震级和震中烈度的统计关系,可估计历史地震的震级,这为了解和研究各地的地震活动性,进行地震危险性分析、研究地震发生趋势等提供了宝贵的基础资料。根据历史地震等震线的长轴方向,可以判断发震断层的走向或断层破裂传播方向;通过烈度分布的形状和震中区面积,可以推测震源深度并用于震源机制等相关研究。历史地震烈度衰减资料可以反映区域的地震能量衰减特征,运用转换方法可估计没有或缺乏强震观测记录地区的地震动参数衰减关系。

3. 工程抗震设计

地震动输入是进行工程结构抗震设计所必需的物理参数,地震烈度蕴含了地震动强弱的概念。烈度与地震动参数相关性的研究,是决策采用抗震设计地震动的基础之一。

例如,我国长期习惯将烈度与地震动加速度幅值相对应,进行不同设防烈度下的结构抗震分析和抗震验算。另外,采用合理的抗震措施是抗震设计的重要环节,我国抗震设计技术标准中有关采用抗震措施的要求,也是区别烈度做出不同规定的。

4. 防灾规划和震害预测

结构的地震易损性多是基于烈度和相应震害的经验资料得出的,故在防灾规划编制和结构震害预测中,多采用地震烈度作为地震动强弱的指标,进而估计不同烈度下房屋和各类工程结构的预期破坏等级,评估城镇现有的抗震能力和抗震薄弱环节。

1.2 遥感震害评估背景与意义

对地震灾害的快速反应是减轻地震损失的重要环节。传统震害评估工作以现场人工调查为主,由于强震的突发性和高破坏性,且震后往往伴随着交通和通信中断,给救援指挥部门及时了解灾情、制定救灾对策带来很大困难。遥感技术能够客观高效地获取大范围灾情信息,是抗震救灾初期重要的信息获取途径。在目前人类对地震孕育发生的原理、规律还没有完全认识,地震预报尚未取得突破性进展的情况下,地震发生后采取及时有效的地震应急和评估工作,可以大大降低地震灾害损失。

随着遥感技术的发展,卫星遥感技术的出现和日益成熟,不同传感器、不同波段和不同分辨率的卫星遥感数据逐渐成为地震灾情信息获取的重要手段。这些多源的遥感数据能够提供给人们更多的灾情信息,从而能够让人们对灾情有更全面、更准确的了解。在最近十余年,多光谱、高分辨率航空及航天遥感技术相继在国内外许多震例中得到应用,用于灾情信息的快速获取,包括澜沧-耿马地震、台湾南投 7.6 级地震、集集地震、伊朗巴姆地震、阿尔及利亚地震、汶川地震等,相关研究工作促进了遥感技术在震害评估中的应用。国内外利用遥感技术在地震快速应急与评估工作的广泛应用,以及目前遥感技术在地震中发挥的巨大作用,彰显了遥感技术在地震快速评估中的重要性。

近年来的应用实践证明,卫星遥感技术以其速度快、范围大、动态性好等技术优势已在地震灾害调查和评估中发挥越来越重要的作用。我国利用高分辨率卫星和航空图像资料已开展了一些震害评估的研究,然而在灾情信息获取的时效性、准确性、应用层次、应用系统开发水平等方面还与国外存在差距。

新型遥感技术的发展,为开展地震灾害研究提供了新的技术手段。比如我国南部地区大震发生后往往多云多雨多雾,无法在震后第一时间获取有效的光学数据产品,这时,需要雷达遥感为地震应急救援与指挥工作提供第一手灾区信息资料。相对于光学对地观测设备,合成孔径雷达(SAR)具有全天候、全天时等特点。因此在地震之后可以不受气候、天气等因素的影响,在第一时间利用机载或航天 SAR 传感器获取震区图像,为地震应急提供快速服务。SAR 可以有效地弥补震后光学传感器不能快速发挥作用的不足,已经成为目前地震应急中不可或缺的数据源。

激光雷达技术(light detection and ranging, LiDAR)是近年发展起来的新型技术,通过机载激光探测和测距系统,可以量测震后灾区内各种建筑物和边坡的三维坐标,生

成 LiDAR 数据图像和数字高程模型,从而获取其位移形变量及沉降高度值,为地震灾后评价提供重要的基础数据。机载激光雷达具有自动化程度高、受天气影响小、数据生产周期短、精度高等特点,与人工检测方式相比,载有激光雷达的飞机可深入到交通遭受严重破坏的重灾区,快速地对大范围区域进行数据采集,可以快速判断灾后受损情况,并可为避免次生地质灾害发生提供信息支撑和灾害预警。LiDAR 技术通过快速获取研究区数字地面模型,快速判断地震对房屋、道路造成的三维形变,检测房屋的形变特征,从而判断房屋的受损状况及人员伤亡情况;快速检测地震灾区边坡健康状况;及时排查病险地段,重点确定高危地段,用于指导救灾抢险、疏散人群。可对已滑坡地段其受损后的形变发展趋势进行预测,指导灾后恢复、重建的规划、滑坡风险评价等。

近几年,全球范围内强烈地震频繁发生,如 2008 年中国汶川 8.0 级地震、2010 年于田地震、2010 年智利 8.8 级地震以及日本 9.0 级地震等,预示着全球地震相对活跃周期的到来,在我国社会经济高速发展形势下,利用多源遥感技术开展地震灾害的快速定量评估,已成为防震减灾工作中的重要环节。

1.3 国内外研究现状

1957 年 10 月,世界上第一颗人造地球卫星由苏联成功发射升空,代表着人类开始进入遥感对地观测时代。1906 年美国旧金山 8.3 级地震后,美国科学家首次利用风筝记录了地震后的图像,并据此开展了震害信息调查。自此以后的 100 多年以来,随着航空航天、电子、计算机等相关学科的发展,搭载在卫星、飞机或飞艇等平台的可见光、红外、雷达等传感器,获取了大量的不同时相、具有不同光谱及空间分辨率的对地观测数据。随着对地观测技术的发展,大量卫星发射升空,为减灾领域提供了丰富的数据源。现有 Landsat、SPOT、IKONOS、QuickBird、WorldView、CBERS、P5 等几十个可见光数据平台,MODIS、MERIS 等红外平台,以及 ALOS、JERS、ERS、ASAR、Radarsat、TerraSAR、Cosmo 等 SAR 数据平台。随着卫星遥感技术的迅速发展,在未来 15 年内,对地观测技术将呈现立体化、全方位、全天候观测,遥感卫星轨道呈现高、中、低分布,涵盖大、中、小型卫星,微波与光学并举的局面。卫星系统可随时随地地提供有效的不同空间分辨率、时间分辨率、光谱分辨率、辐射分辨率的图像数据。近年来国内外发生的几次破坏性中强地震都利用了海量遥感数据开展地震救援和震害评估工作。目前可应用于震害信息调查研究的数据已经较为丰富,并将逐步能满足需要。

早期基于遥感图像的震害信息提取以目视判读为主,随着遥感图像处理技术的发展,目前的震害信息提取方法大体可分为基于图像分类技术和基于变化检测技术两大类。基于图像分类的方法主要是应用图像纹理等特征进行分析和基于对象的分析方法;基于变化检测的方法分为基于地物灰度的变化检测与基于特征的变化检测。

基于结构及纹理特征的震害信息提取包括统计纹理分析方法和空间结构分析方法。2000 年 Miguel Es-trada 等采用主成分分析的方法,计算了 1999 年土耳其科贾埃利地震 TM 图像数据中的主成分变量,发现震害信息主要集中在前两个主成分变量中。2000 年 H. Mitomi 等利用多尺度分割的方法,提取了 1999 年土耳其科贾埃利和我国台湾地震震

害信息,其参与的特征主要有色调、饱和度、亮度和边缘特征。2001年 H. Mitomi 等基于震后航空图像采用最大似然法提取损毁建筑物信息。2002年张景发等概括分析了不同震害等级的遥感图像特征,建立了图像特征参量模型,分析了参量组合及阈值范围的确定方式。2004年 Masashi Matsuoka 等利用2003年阿尔及利亚地震、伊朗巴姆地震后不同空间分辨率的 Radarsat、Envisat 和 ERS-2 SAR 图像提取建筑物等震害信息,发现,遥感图像震害信息提取精度与空间分辨率有关。2005年 Ellen M. Rathje 等基于 Quick-Bird 图像利用最大似然分类法,融合图像的纹理特征提取了2003年阿尔及利亚北部震害信息。2004年 M. Turkey 和 B. T. San 利用 Prewitt 滤波的方法检测建筑物的图像边缘,并结合建筑物的多边形矢量 GIS 数据对土耳其地震造成的倒塌建筑物进行研究。2005年柳稼航等依据震害房屋纹理结构的统计特性对高分辨率卫星图像进行震害信息自动识别和分类。2013年李强等结合高分辨率遥感图像的纹理特征与几何特征准确地提取了玉树地震震害建筑物信息。2015年李强等分析了高分辨率遥感图像中光谱特征、纹理特征、几何形状特征等特征组合对信息提取精度的影响。

面向对象图像分析就是采用图像分割技术生成有意义的多边形对象,以单个图像对象为信息提取的基本单元,运用模糊数学分类方法实现类别信息的自动提取。2005年 T. Thuy Vu 等采用面向对象分类方法中的多尺度分割后进行聚类分析并对伊朗巴姆地震后的 QuickBird 图像进行了实验,提取了完好建筑物与破坏建筑物的信息。2005年 Luca Gusella 利用面向对象图像分析技术对2003年伊朗巴姆地震进行研究,给出了震后损失的评估结果。2005年 Supanee Tanathong 对2004年印度洋海啸造成的泰国某海边旅游区房屋受损情况进行了研究,通过建立知识库、模糊分类器的方法实现房屋对象信息变化情况的自动提取,得到了准确的识别结果。2005年 K. Kouchi 对2003年阿尔及利亚地震利用面向对象的分割与分类方法进行了震害检测。2008年张磊等人基于面向对象的方法对建筑物倒塌率计算方法进行研究。2009年黎小东研究了遥感图像面向对象分类方法在城市建筑物震害信息提取中的应用。2009年王岩比较了基于像元的方法和基于对象的方法在汶川地震信息提取中的不同。2011年安立强等人利用面向对象的方法对汶川地震次生灾害信息进行提取。2012年刘明众等人基于高分辨率遥感图像利用面向对象方法提取震害道路信息。2012年李强等人利用面向对象的方法与 GIS 相结合提取了震后损毁道路信息,得到了准确率较高的识别结果。2014年刘明众等全面总结了面向对象方法在震害评估中的应用。

遥感图像变化检测技术是指通过图像处理和模式识别等方法比较同一地区不同时期的遥感图像,检测出该地区的地物变化信息。根据变化检测的信息层次,变化检测方法可分为三类:基于像元的变化检测、基于特征的变化检测、基于目标的变化检测。基于像元的变化检测主要是对比遥感图像上对应像元的辐射强度来检测变化信息。2008年杨希等用图像差值法对湖南长沙城区的 SPOT 图像进行变化检测,成功获取了地表变化信息。基于特征的变化检测主要是通过对比图像的形状、纹理和光谱特征来检测变化信息。2005年 Charles K. Huyck、Beverley J. Adams 等利用地震前后图像边界角点变化进行震害信息提取。2005年 Huyck 和 Adams 利用基于邻域的边缘差异度变换检测算法对伊朗巴姆地震进行研究。基于目标的变化检测是利用图像识别、分类等方法识别出多时

相图像上的地物目标(对象)的变化,这是目前最高层次的变化检测。2013年龚丽霞等以玉树地震 QuickBird 图像为例,将面向对象方法与变化检测技术相结合,提取了震后倒塌建筑物信息。2014年李强对变化检测技术在震害信息提取中的应用进行了总结。

此外,国内外用 SAR 图像进行震害评估的相关研究近几年均取得了一些进展。由于 SAR 成像机理不同以及震后环境的恶化,传统的变化检测方法容易受到地形、地貌景观、大气变化等因素的影响,实现困难地区和复杂地形下的滤波、配准及辐射校正是 SAR 精确变化检测处理需要解决的问题,简单借用光学图像处理的思路处理 SAR 图像,使得 SAR 处理与解译几何精度低、可判别的类别不够、解译可信度低、处理效率低, SAR 图像数据解译震害目标受到极大限制。2003年 Matsuoka 和 Yamazaki 基于房屋倒塌区后向散射特性和相干特性提出了震害自动检测方法,并将之应用于 2003年阿尔及利亚地震,通过与 QuickBird 图像的目视解译结果进行对比,证明了这种方法的有效性。2011年 Dong 等根据地物后向散射强度对汶川地震造成的滑坡和堰塞湖进行变化检测,发现不同空间分辨率的 SAR 图像可以用于不同类型的变化检测,结合 GIS 基础数据和高分辨率光学数据,可以进行建筑物震害提取。2000年郭华东根据统计模型分析,得出比值方法比图像差值法更适用于变化检测。2002年张景发等依据地震前后的 SAR 图像,研究了典型震害遥感图像的分类和估计方法,并探索了地震前后应用变化检测技术流程。2006年 Stramondo 等比较了 1999年伊兹米特地震和 2003年伊朗巴姆地震后不同图像震害信息提取的精度,利用 SAR 图像中的强度相关、相位相干及光学图像,实验证明,利用 SAR 图像提取震害信息,利用其强度信息提取精度较高,利用 SAR 和光学图像融合分析,利用 SAR 图像的相干信息提取精度更高。2008年 Zhu 利用分水岭分割算法对建筑物震害信息进行提取,并在此基础上进行变化检测。2010年 Guida 等利用震前震后的两景配准的 SAR 图像,检测出震前图像中由墙面和地面组成的二面角所产生的二次反射亮线,并与震前、震后的比值图相乘,通过比较二次反射的变化,提取损毁建筑。2013年刘金玉基于 SAR 图像成像机理详细分析了 SAR 图像震害特征。2013年龚丽霞等按照不同的图像分辨率详细总结了城镇建筑震害中 SAR 遥感探测与评估应用。2015年龚丽霞等利用 SAR 强度图像之间的相关性提取了建筑物震害信息。2016年薛腾飞等人结合 SAR 图像相关性变化检测和光学图像面向对象的方法提取了都江堰地区震后建筑物震害信息,相较单一利用光学图像提取准确率较高。

LiDAR 技术的不断成熟完善,使其逐渐成为对地观测领域一个新的发展方向,它可以快速获得目标高密度及高精度的三维信息。在地震研究领域,尤其是地震断层调查、地震灾害应急方面都得到了应用,并取得一些研究成果。Hudnut 等利用机载激光雷达精确估算了美国加利福尼亚州 Hector Mine 地震震后的断裂位移。Oskin 等利用机载 LiDAR 获取地形数据,对 2010年墨西哥 ElMayor-Cucapah 地震发震断层进行震前震后差分研究,得到了断层微观位移场的信息及同震变形分布图像。机载 LiDAR 技术在我国的应用尚处于起步阶段,台湾学者利用机载 LiDAR 获取高精度 DEM 对集集地震开展研究,通过构造地貌分析揭示出小规模次生活动构造并分析了地震前后整体地形的差异。马洪超等就机载激光雷达在“5·12”四川地震灾区快速获取数据的若干关键问题进行了探讨,对该技术在灾害应急响应中的应用具有较好的参考价值。沈永林等利用 LiDAR 数据对海地地震震后形成的滑坡进行了识别,识别准确度较高。

地面 LiDAR 成本较低, 操作简便, 自动化程度高, 便于开展工作, 可快速生成局部区域的大比例尺数字地图, 在测量区域地形复杂, 特别是对陡崖、峡谷等复杂危险地形区域, 传统的测量方法难以开展工作, 地面 LiDAR 的技术优势更容易得到发挥, 因此, 地面 LiDAR 在地形获取方面的应用相对集中。在地震领域, 何秉顺等对汶川地震形成的安县肖家桥、罐滩堰塞湖周边开展激光扫描测量, 获取的高精度地形信息保障了科学、快速的应急抢险。玉树地震以后, 袁小祥等应用地面激光雷达技术, 对同震地表破裂上的禅古寺段上的一点进行了地基 LiDAR 扫描, 获得了该点地表破裂带的精细三维数据, 并测量了垂直同震位错以及水平同震位错。在危险区动态监测方面, Alba 等利用地面三维激光扫描仪对高边坡及悬崖岩石位移情况开展监测, 用于滑坡预警研究。在地面三维激光扫描仪与机载 LiDAR 结合方面, Pfeifer 等利用机载 LiDAR 和地面激光扫描获取 DTM 和 DEM, 生成全方位三维地貌图像。

1.4 需要解决的问题与难点

遥感震害信息提取技术的研究趋势是: 图像分析的数据源从中低分辨率遥感图像向高分辨率遥感图像发展; 图像分析方法从基于像元的方法向基于对象的方法发展; 图像特征的选择从以光谱特征分析为主向光谱、形状、纹理、上下文等综合特征分析发展; 传统图像信息提取方法向基于知识的智能信息提取发展; 震害信息提取手段由单一向综合发展; 信息提取需求从定性分析向定量计算发展。

目前, 遥感震害信息提取技术的研究尚存在如下问题。

(1) 对于遥感图像上各种典型震害的特征分析, 多数研究以目视判读为主, 停留在对震害地物几何外形描述和光谱分析上, 很难提取出实用的震害特征参数; 图像分类时, 选择什么样的特征参数往往依赖于研究人员的经验, 缺乏科学的选择依据; 为获得比较好的图像分类结果, 通常需要多次测试, 造成图像分类效率低, 自动化程度不高。

(2) 在遥感震害信息提取的方法上, 以基于像元的遥感图像变化检测和图像分类技术居多, 此类方法适应于中低分辨率遥感图像, 能够获得较好的信息提取结果, 但大多只是定性和半定量分析, 无法实现定量计算。随着遥感图像分辨率的提高, 此类方法已不再适用, 新近发展起来的面向对象图像分析方法在震害信息提取中的研究较少, 仅有的个别研究也只停留在方法的简单应用上, 没有针对震害特点建立合适的遥感震害知识库, 没有形成有效的震害信息提取方法和处理流程, 定量分析的精度不高。

(3) 在震后遥感震害信息提取的方法上, 震后短时间内, 大多数只是关注建筑物(尤其是民用住宅)的破坏和倒塌情况的提取, 缺乏高效、快速识别严重影响震后应急救援的典型地面交通线路损毁、造成重大危险和破坏的典型次生灾害信息的方法, 从而影响灾区灾情信息量获取时效, 影响地震应急救援和指挥决策。

(4) 遥感震害信息提取的应用多数只是给出了地震影响范围内个别地区的提取结果, 没有充分利用多源遥感数据对整个地震区进行比较全面的震害识别和灾情获取, 因此也无法综合统计整个地震影响范围内的地震灾情, 无法较为准确地评估地震烈度分布。缺乏系统化的遥感地震应急分析与处理技术工作流程。