

应用遥感技术进行地震灾害快速调查的研究

王瑞雪¹, 叶燎原²

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 随着全球城市化的进展,地震给人类带来的灾难愈加严重.地震发生后,采用现代遥感技术可以快速获取震后灾区的全面景观,根据震害分类分级及影像模型,判读图像,在1~2 d内确定灾情,为快速评估地震损失,救灾减灾提供决策.

关键词: 遥感技术;地震;快速调查

中图分类号: P315.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2003)04-0001-05

Quick Investigation of Seism Disaster Using Remote Sensing Technology

WANG Rui-xue¹, YE Liao-yuan²

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Faculty of Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: With the development of urbanization on the globe, the seism disasters have caused more and more harm to the human beings. Using the remote sensing technology can get the general images of the whole earthquake-stricken areas as quickly as possible. Those images will be interpreted according to the seism disaster classification and image model so as to make the fast evaluation about the harmfulness and relief plan in one or two days.

Key words: remote sensing technology; seism; quick investigation

0 引言

随着现代社会发展,全球城市化规模日趋扩大,高层建筑鳞次栉比,大地震给人类造成的损失越来越严重.地震发生后,各级政府部门需要快速调查清楚地震灾害造成的损失,以便制定迅速准确的救灾决策.航空遥感技术具有机动、灵活、快速、宏观等特点,摄影瞬间真实地记录了地球表面的自然地貌、人工景观以及人类活动的痕迹,能够准确客观、全面地反映地震后灾区的全面景观,为震害调查,损失快速评估提供科学依据,对地震保险、地震经济损失评估也具有重要意义.在美国的大地震紧急反应预案中,航空遥感已作为快速获取震害信息的主要技术手段之一.我国自1966年邢台地震以来,曾经对唐山等八次大地震进行过航空遥感调查工作,取得了较好的效果,制定了“地震灾害航空遥感快速调查技术方案”(流程设计)(图1).

现代遥感技术既可以采用传统的摄影模拟成像,也可以采用扫描成像.扫描成像技术可直接将遥感影像转化为数字影像,省去了冲洗像片的时间,可以直接与GIS、GPS等技术结合使用.如果有灾区震前的遥感资料,二者对比解译,将起到事半功半的效果.采用遥感技术可在地震发生后快速地获取地震区遥感图像,根据震害分类分级标及其影像模型快速处理,判读图像,在1~2 d内初步确定极震区位置,灾害范围,宏观地震烈度分布,建筑物和构筑物破坏概况,急需抢修的工程设施等,以便为震后速报灾情,快速评估地震损失,救灾减灾决策提供.

收稿日期:2002-12-09.

第一作者简介:王瑞雪(1973~),女,硕士,助理研究员;主要研究方向:国土资源遥感技术应用. E-mail:wraixue@hotmail.com

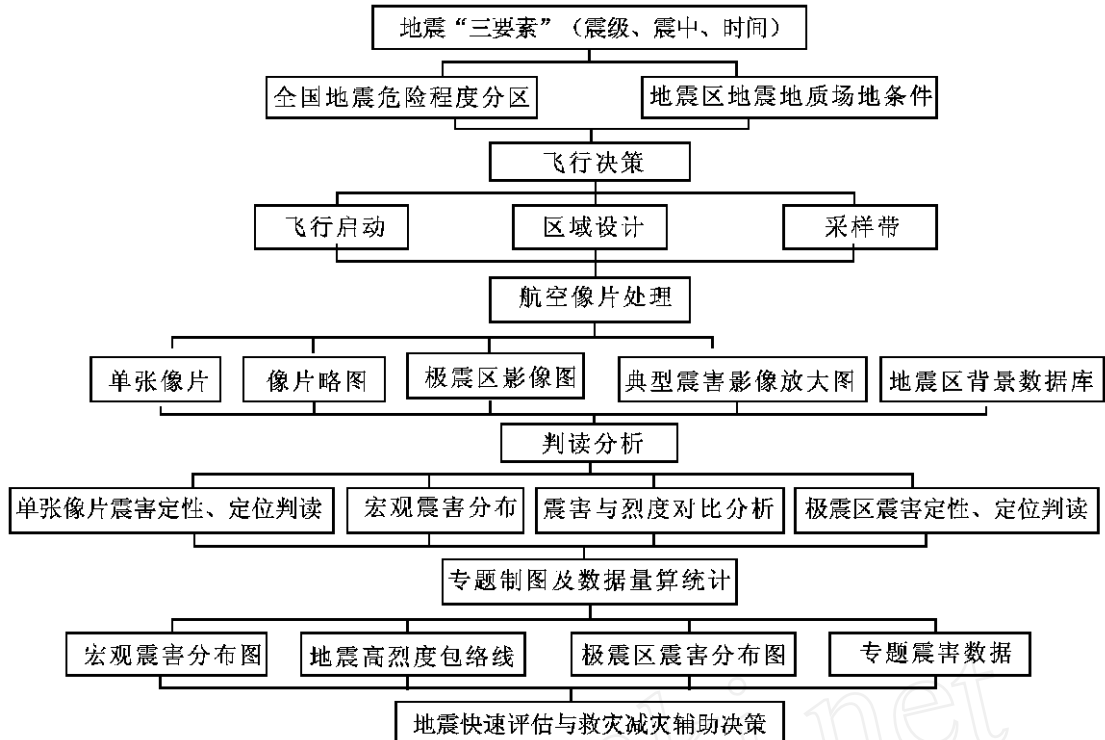


图1 地震灾害航空遥感快速调查技术方案(流程设计)(据魏成阶等,1993)

1 遥感信息源的快速获取

快速调查地震灾害需要的遥感图像比例尺应不小于1:1万的黑白和彩色红外航空像片,如有可能,可以购买高空间分辨率(米级)的卫星图像(如美国的IKONOS卫星图像,全色波段影像分辨率为1 m,多光谱影像分辨率为4 m,其飞行位置可由地面控制站调度)。地震发生后,应根据地震部门提供的地震震中坐标、震级、震时确定灾区范围。具体做法是:

- 1) 根据《全国地震烈度区划图》确定震区可能的最大烈度及其范围;
- 2) 震后4 h内,以卫星图像作信息源,分析发震的地震地质构造背景。

将以上信息复合处理,划定高烈度区的范围,以其形状设计需要航空遥感的灾区范围,或确定购买前和震后高分辨率卫星图像的地理坐标。

2 震害目标的判读

地震造成的破坏主要有两类^[1,5]: (1) 设施破坏,如建筑物和构筑物的倒塌、部分倒塌等;(2) 地表破坏,如滑坡、泥石流、崩塌、喷水冒沙、堰塞湖和地裂缝等。这两类破坏在几何形态和大小上相差很大。如建筑物只要发生较小位移就会倒塌或部分倒塌,尺度一般较小,其几何形态由建筑物本身的形状和倒塌堆积物构成,一般可用长和宽来表示,水塔、烟囱等具有圆形特征,可用圆的直径来表示,对设施破坏的航空遥感调查往往需要较高的地面分辨率,如查清典型目标的细节一般需要0.2~0.5 m的分辨率。而造成一定破坏程度的泥石流、滑坡、崩塌、喷水冒砂和堰塞湖等一般具有较大的个体或群体,在航空像片上反差较高,极易被发现,所以对地面分辨率的要求不高。由于其形态各异,常采用影响范围的面积来表示。地裂缝、公路和大坝裂缝其宽度一般较窄,某些地区又有植被覆盖,在航片上很难发现。但在某些裸露地区,由于构造地裂缝较长,有的甚至达几公里,其线性特征容易被发现。不同的判别程度对遥感图像的分辨率有不同的要求。

联合国国际卫星检测机构专家小组将目标判读的细节程度分为四级(见表1):

细节描述:可辨别出目标的特征和细节,一般被细节描述目标的大小应是遥感图像地面分辨率数值的

12 - 20 倍。 确认:可判读出同类目标的不同类别,一般被确认的目标的大小应该是地面分辨率数值的 7 倍。
 识别:能分辨目标的轮廓,从而可推断目标的类型或属性。一般被识别目标的大小应是地面分辨率数值的 4 ~ 5 倍。
 发现:发现目标的存在,但不能识别,一般被发现目标的大小应是地面分辨率数值的 2 倍。

表 1 不同比例尺航片上判读最小震害目标的尺度

比例尺	地面分辨率 [*] /m	细节描述/m	确 认/m	识 别/m	发 现/m
1 5 000	0.15	1.80 ~ 3.00	1.05	0.60 ~ 0.75	0.30
1 10 000	0.30	3.60 ~ 6.00	2.10	1.20 ~ 1.50	0.60
1 20 000	0.60	7.20 ~ 12.00	4.20	2.40 ~ 3.00	1.20
1 30 000	0.90	10.80 ~ 18.00	6.30	3.60 ~ 4.50	1.80
1 40 000	1.2	14.40 ~ 24.00	8.40	4.80 ~ 6.00	2.40

*以常用的 RC - 10 航摄仪和柯达航空彩色反转红外片 2443 性能计算

3 震害影像特征

遥感图像上的影像与地面目标在形状、大小、色调、色彩、阴影、纹理布局和地理位置等方面的特征有着密切的关系,这些特征被称为解译标志。人们就是根据解译标志去识别和解译某种地物和现象的。航空像片上,能充分显示各种目标,在三维空间,其形态和位置受地震动的影响,其质量和数量呈现变化的影像信息,是震害快速调查与评估的客观事实依据。室内震害的判读就是利用航片,借助于有关仪器和设备,在缩小的立体模型上再现地面景观,根据某一特性确定目标分类属性,根据震害特性确定目标破坏程度^[3]。

3.1 人工环境的震害影像特征

1) 单个目标几何形态异常。几何形态是地物外部轮廓在图像上所表现出的影像形状,地物的形状不同,其影像形状也不同,形状是识别目标的重要依据,地震动可使目标影像的立体几何形态轮廓模糊,或消失,或残缺,或变形或变位。

2) 布局异常。人工地物其平面布局具有独特的特征和要求,如城市道路一般呈网状,庙宇的房屋呈轴对称分布,大型工矿企业按其工艺流程安排厂房顺序等,这些地物在遥感图像上都能呈现一定的图案、花纹。地震将破坏群体目标或目标组合,其合理布局与匹配消失或紊乱,或布局变位,使其原本的图案、花纹变形。

3) 影像色调异常。地震虽未能将人工地物的几何形态破坏,但其内部已受到损伤,结构构造改变,导致其光谱特征产生变化,表现为其色调呈现块状,线状或零星不协调图斑。

4) 目标的本影和落影异常,本影、落影消失,或缩短、或残缺、或呈现不规则状态。

5) 目标周围地面上出现大量的倒塌堆积物,或部分堆积物,或零散瓦砾散布。这些松散堆积物的反射率较之母体高,常形成与背景色调不协调的浅色调斑块。

无论是民用建筑、工业建筑,还是城市生命线工程和水利工程的破坏,必须综合上述影像特征,才能确定其受到了地震动破坏。

3.2 天然环境要素的震害影像特征

1) 破裂影像特征,包括地震断层和地裂缝。其线状或带状破裂行迹常表现为色带异常或不同色调的界面,其线性界面可延伸一定长度。

2) 斜坡震害影像特征,包括崩塌、滑坡、泥石流和剥落现象。其影像是以色调差异显示出大致轮廓,有扇状、弧状、舌状或呈不规则形态,可见相应的滑动行迹,其附近可见到岩体,土体及混合体堆积物和散落堆积物。

3) 砂土液化,又称喷水冒砂,这种现象在图像上往往形成异常色斑,并组成线状、弧状、束状、放射状和网状等各种形态,色调上与背景区形成鲜明对比。

4) 沉陷,其影像以色调界面呈现出各种形态,地面下沉,坑内积水,道路出现突然中断。

4 主要震害要素的分级影像特征

4.1 设施破坏

1) 单个目标的震害分级影像标志.应用遥感图像进行快速调查与评估,由于时间要求快,且由于航片受中心投影方式限制,尽管各种目标的顶面暴露无遗,但房屋内部破坏往往被遮盖,其目标的立面不能充分显示,墙体开裂无法发现,在缩小的立体模型上鉴别目标,受到有效分辨力的限制,一些目标破坏,如裂缝、裂纹难于发现和确认,基于上述原因,杨哲等认为将震害效应分为毁坏、破坏和损坏三级较为适宜,而不必要也不可能与实地调查一样进行五级划分(见表2,表3,表4).

表2 单个房屋目标的震害分级影像标志

震害效应	影像特征	破坏程度
毁坏	几何形态破坏、轮廓模糊,屋盖系统毁坏,塌落移位;立面出现断墙残壁,梁柱残存;落影缩短,消失或残缺,周围出现大量浅色调瓦砾堆积.	房屋承重构件,如承重柱、承重墙、承重梁等毁坏,或严重毁坏,导致整体房屋倒塌,或坍塌,或倾倒.多层房屋或上部数层倒塌,下面数层残存.该房屋已无法修复
破坏	房屋原有几何形态局部变形,房角堕落,房顶局部塌落,装饰物件破坏;房顶烟囱破坏;房缘出现不规则变形,落影残缺,周围出现少量浅色调瓦砾堆积	房屋承重构件破坏,非承重构件严重破坏,部分倒塌,须经过修复才能继续使用
损坏	几何形态完整,本影与落影清晰,四周尚难见到瓦砾展布	房屋承重构件完好,个别承重构件轻微损坏,墙体出现裂缝、裂纹,房顶瓦片滑移.稍加修复,可继续使用.

表3 单个工业构筑物的震害分级影像标志(以砖结构烟囱和水塔为例)

震害效应	影像特征	破坏程度
毁坏	几何形态消失,四周呈现瓦砾堆积	整个目标倒塌,需要拆除重建.
破坏	立体镜下高度降低,落影缩短,呈现不规则形态,周围有少量堆积物.	整个目标上部倒塌,下部残存,须经过修复才能使用.
损坏	这种状况航片往往难以鉴别	整个目标依然直立,形态高度均不发生变化,仅是四周出现裂缝和裂纹,不加修复也可使用.

表4 桥梁震害分级影像标志

震害效应	影像特征	破坏程度
毁坏	线性影像中断,桥面悬空	墩台毁坏,桥梁折断,已无法使用
破坏	形态较完整,可见到桥面开裂和错位行迹,护栏出现不对称形态	可出现墩台裂缝或桥头裂缝,微量下沉或滑移,桥面拱裂或位移,护栏毁坏
损坏	这种状况航片往往难以鉴别	仅局部出现裂缝和裂纹

2) 房屋群体的震害分级标志.在地震高烈度区或局部烈度异常区,对于小区域(2 km × 2 km)范围内的房屋群体组合目标,为了快速调查与评估,还由于缺乏直接的分类依据,以房屋倒塌率为依据进行五级划分(见表5):

表5 房屋群体的震害分级标志

级别	房屋倒塌率	影像特征
A级毁坏区	81% ~ 100%	其影像无法计算房屋栋数,呈现一片瓦砾堆积,布局完全破坏,在判读视野内偶尔可见直立的几座房屋,但也无法继续使用
B级毁坏区	61% ~ 80%	局部可计算房屋栋数,只能对比推算栋数,其影像呈现众多瓦砾,房屋总体布局被破坏,局部地区可断续展现原始布局,可见到少部分直立房屋.
C级破坏区	41% ~ 60%	其影像能显示出总体布局,局部格局紊乱,尚能计算房屋栋数,倒塌瓦砾堆积较多,能见到部分直立房屋.
D级破坏区	21% ~ 40%	影像能显示总体布局,少量倒塌堆积展布,能较准确计算房屋栋数,能见到大多数直立房屋.
E级破坏区	1% ~ 20%	其总体布局完整,仅见到零星堆积物,能准确计算出房屋栋数,绝大多数房屋呈现直立景观.

4.2 地表破坏分级影像标志

1) 路堤路基震害分级影像标志: 毁坏. 路面出现大裂缝, 错位或沉陷或悬空, 路堤发生坍塌, 或路面出现崩塌、滑坡、泥石流等岩体与土体堆积物. 交通中断, 不修理不能通车. 条带影像中断或出现不协调斑块, 或可见到滑坡、泥石流、崩塌影像. 损坏. 路面出现小裂缝和微量形变, 但不影响车辆通行, 航片上难以识别.

2) 地震断层和地裂缝. 根据破裂延伸长度 L 确定其规模:

A 大型 $L > 1000$ m, B 中型 $100 \text{ m} < L < 1000$ m, C 小型 $L < 100$ m

3) 崩塌、滑坡、泥石流和剥落. 根据堆积物所占实地面积 S 来划定其规模:

A 大型 $S > 1000 \text{ m}^2$, B 中型 $500 \text{ m}^2 < S < 1000 \text{ m}^2$, C 小型 $S < 500 \text{ m}^2$

4) 喷水冒砂. 根据喷水冒砂与其背景面积之比确定震害效应的分级:

A 严重区: 喷水冒砂为 40% 以上. B 中等区: 喷水冒砂为 10% ~ 40% 之间. C 轻微区: 喷水冒砂在 10% 以下.

5 震害航空遥感调查的误差

1) 由于航空遥感的投影方式, 不可能获取地下管线、室内资产破坏程度和人员伤亡等方面的信息; 一定比例尺的分辨率对某些震害目标达不到细节描述或确认的程度. 但房屋倒塌一定程度上反映了地面震动的强度, 而地下管线、室内资产的破坏和人员伤亡与房屋破坏的程度呈正相关. 因此可以统计它们的相关性, 间接求得这些震害目标的破坏情况.

2) 由于地面分辨率产生的误差, 可用在不同比例尺航片上对震害目标的判读概率来表示. 对震害目标判读的精确程度即判读概率 P 可分为 A (> 0.8), B ($0.5 \sim 0.8$), C ($0.2 \sim 0.49$), D (< 0.2) 四个级别.

与地面震害调查的结果相比较, 航片上对 i 类震害目标判读的要求是 j 级, 则在比例尺为 $1/M$ 的航片上对震害目标 j 级判读的概率为震害航空遥感调查的内精度, 即在比例尺为 $1/M$ 的航片上对第 i 类震害目标 j 级判读的概率为:

$$P_{Mi}(j) = P(L_i > D_{Mj})$$

式中: $j = 1, 2, 3, 4$, 分别与目视判读的“细节描述”、“确认”、“识别”、“发现”相对应, $L_i = \min(L_{i\text{长}}, L_{i\text{宽}})$ 为第 i 类震害目标较小的一边的长度, $P_i(L_i > D)$ 表示第 i 类震害目标的 L_i 大于某一长度 D 的概率.

例如在 $1:30000$ 的航片上, “细节描述”和“确认”震害目标的最小尺度为 15 m 和 6.3 m, 对长为 $15 \sim 40$ m, 宽为 $10 \sim 20$ m 的多层砖房倒塌, $P(L > D_{M2} = 6.3) = A$, 即可以全部被“确认”; $P(L > D_{M1} = 15) = C$, 则可以被“细节描述”的此类目标的概率为 C , 因此, 在 $1:30000$ 的航片上, 对多层砖房倒塌的目视判读概率可表示为 $(2A, 1C)$.

由于不同地区震害的特点不同, 对震害目标判读的细节程度的要求是不同的. 例如, 城区倒塌的建筑物类型较多, 建筑面积差异很大, 需要详细调查各类建筑物的破坏情况并分类统计其面积, 因此在航片上需要对此类目标“细节描述”, 而乡村地区房屋类型较少. 大多数房屋的建筑面积相差不大, 因此只需要“识别”此类目标就可以满足震害调查的要求.

参考文献:

- [1] 魏成阶, 等. 地震灾害航空遥感快速调查技术研究——以唐山地震区作模拟实验场[C]. 重大自然灾害遥感监测与评估研究进展, 1993. 119 ~ 127.
- [2] 程家喻, 等. 震害航空遥感调查的精度估计[C]. 重大自然灾害遥感监测与评估研究进展, 1993. 133 ~ 139.
- [3] 杨哲, 等. 震害影像特征和主要震害要素的分级影像标志[C]. 重大自然灾害遥感监测与评估研究进展, 1993. 140 ~ 144.
- [4] 詹庆明, 肖映辉. 城市遥感技术[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000.
- [5] 陈述彭. 遥感大词典[M]. 北京: 北京科学出版社, 1990. 658 ~ 659.

表6 震害目标判读概率的表示

判读的细节程度 \ 判读概率	A	B	C	D
	1 细节描述	1A	1B	1C
2 确 认	2A	2B	2C	2D
3 识 别	3A	3B	3C	3D
4 发 现	4A	4B	4C	4D