

文章编号: 1007-4619(2005)04-0503-06

# 2004 年印度洋海啸印度尼西亚齐省 灾情遥感监测与分析

黄诗峰, 李琳, 徐美, 李小涛, 苏东升

(中国水利水电科学研究院 遥感技术应用中心, 北京 100044)

**摘要:** 2004 年 12 月底印尼苏门答腊岛西北海岸发生里氏 9.0 级地震, 引发印度洋沿岸的印尼、斯里兰卡、泰国、印度等国家先后遭受强烈海啸。印度尼西亚齐省是遭受海啸灾害最严重的地区之一。为了评估海啸灾害造成的严重影响, 应用遥感和地理信息系统技术, 以 2005 01-07 英国 DMC 小卫星遥感影像为基础数据源, 结合收集到的该地区灾前 (2001 年) Landsat ETM+ 遥感影像, 对亚齐省进行了监测和快速评估。监测结果表明距离震中位置较近的亚齐省苏门答腊岛西海岸遭受影响较严重, 亚齐省苏门答腊岛西海岸由于距离震中位置较近遭受严重影响, 而苏门答腊岛东海岸则影响较轻, 受灾最严重的地区是亚齐省首府班达亚齐市附近。经统计, 整个亚齐省遭受海啸严重影响的地区面积约为 483km<sup>2</sup>, 其中城市建成区受淹面积约为 26.2km<sup>2</sup>, 乡村 (镇) 地区受淹面积约为 430.5km<sup>2</sup>。文章的最后还结合数字高程模型对海啸灾情的结果进行了分析。结果表明, 绝大多数因海啸而受淹地区高程低于 20m。

**关键词:** 印度洋海啸; 亚齐省; DMC; 遥感

**中图分类号:** TP79 **文献标识码:** A

## 1 印度洋海啸简介

为了评估海啸灾害造成的严重影响, 本文利用北京宇视蓝图科技有限公司获取的 2005 01-07 英国 DMC 小卫星遥感影像, 结合该地区灾前 (2001 年) Landsat ETM+ 遥感影像以及像元大小为 90m 的数字高程模型, 对该地区海啸灾情进行了遥感监测、评估与分析。

## 2 基于 DMC 小卫星的海啸灾情遥感监测

### 2.1 遥感数据源选择

遥感技术经过几十年的发展, 现已日趋成熟。尤其是在遥感数据获取方面, 一个多层次、立体、多角度、全方位和全天候的对地遥感观测网络已初步形成。相对于常规方法, 遥感技术具有宏观、快速、经济等特点, 在自然灾害监测中可以得到广泛应用。目前, 遥感技术已大量应用于洪涝灾害、旱灾、林火、地

震、雪灾等自然灾害的监测与评估中, 其中洪涝灾害遥感监测研究经过“七五”试验研究、“八五”理论和技术发展、“九五”技术集成和试运行三个阶段, 进入业务运行阶段<sup>[1]</sup>。一般来讲, 洪涝遥感监测可在 5 个级别的数据平台上进行: 气象卫星、星载 SAR、机载 SAR、中分辨率的 MODIS 卫星、直升机。其中, 气象卫星和 EOS MODIS 覆盖范围大, 空间分辨率低, 主要用于预警水平上的宏观的、大范围的、动态的遥感监测, 星载 SAR 主要用于灾情监测评估, 机载 SAR 主要用于紧急情况下重要工情的监测。由于洪涝灾害发生时, 天气状况多为阴雨天气, 可见光近红外遥感如 EOS MODIS、Landsat TM/ETM 及 SPOT 受气候因素干扰而难以获得理想数据。相对来说, 微波遥感如 ERS、Radarsat、Envisat 等具有全天候、全天时的数据获取能力和对一些地物穿透的能力, 这使其成为监测洪水灾害最为有效的手段<sup>[2]</sup>。

对于海啸灾害遥感监测来说, 与洪涝灾害有所不同, 海啸灾害并不一定伴随着阴雨天气, 因此不用考虑全天候、全天时监测问题。可见光红外遥感具有更高的地物分辨能力, 相对于具有全天候、全天时

收稿日期: 2005 03 02 修订日期: 2005 04 12

基金项目: “十五”国家科技攻关重大专项“高性能对地观测微小卫星技术与应用研究”。

作者简介: 黄诗峰 (1972—), 男, 1999 年毕业于中国科学院地理科学与资源研究所, 获博士学位, 目前主要从事遥感水利应用研究。

监测能力的雷达遥感更有优势。本文主要利用是英国 DMC小卫星获取的 2005-01-07 的遥感影像进行海啸灾情的监测与评估。

我们对 DMC 影像进行了纠正、去条带、信息增强等图像处理。在此基础上,结合收集到的该地区灾前(2001年)Landsat ETM+ 遥感影像对该地区海啸灾情进行了遥感监测与分析。

### 2 2 海啸灾情信息提取

海啸的破坏力是极大的,快速冲向海岸的巨浪常常可以给沿海岸建筑物带来毁灭性打击,甚至对于原先茂密的森林也可以一扫而光。对于海啸受灾区来说,在影像上有两个比较明显的标志:一是植被被冲毁,通过比较受灾前后影像植被变化,就可以比较容易提取海啸受灾区;另外一个标志是海啸时带

来大量海水涌上陆地,在短期内,海水会滞留在陆地上。如果海啸发生时或发生后极短的时间内能获得遥感影像,即可以通过提取涌上陆地的海水,来监测海啸的受灾区。一般海啸退水很快,但即使海水退去,海水留下的痕迹在遥感影像上也有一定的反映。本次获取的影像的时间距离海啸发生已有 10天左右,因此,本文从影像上提取海啸受灾区主要采取的办法是提取植被冲毁区为主、提取海水过水痕迹为辅的方法。植被被破坏的地方一般是遭受海啸较为严重的地方。受 DMC 影像分辨率的限制,海啸影响轻微的地区直接从影像上提取有一定困难。

对比灾前的 Landsat ETM+ 影像和灾后 DMC 卫星影像可以看出大量茂盛的森林被海啸摧毁,很多居民地被夷为平地。在 ERDAS 遥感图像处理软件支持下,通过目视解译矢量化提取海啸灾害受灾区(图 1)。

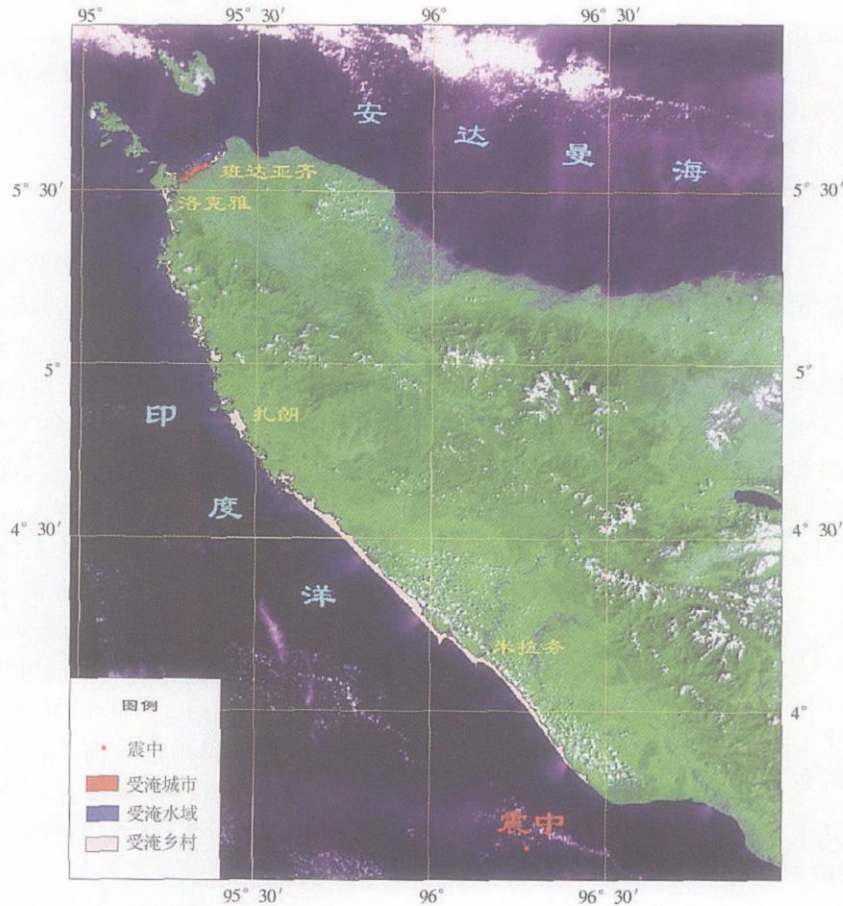


图 1 印尼亚齐省海啸灾情 DMC小卫星遥感监测图

Fig 1 Indian Ocean tsunami disaster monitoring based on DMC image in Aceh Province

### 2 3 监测结果分析

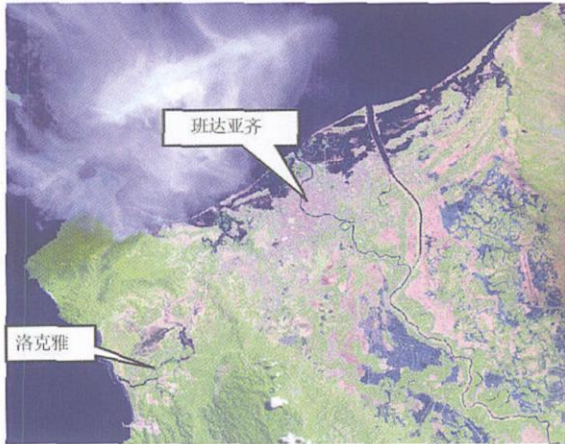
由于距离震中位置较近遭受严重影响,而苏门答腊岛东海岸则影响较轻,受灾最严重的地区是亚齐省首府班达亚齐市附近、米拉务镇、查(扎)朗镇等。

从图 1中可以看出,亚齐省苏门答腊岛西海岸

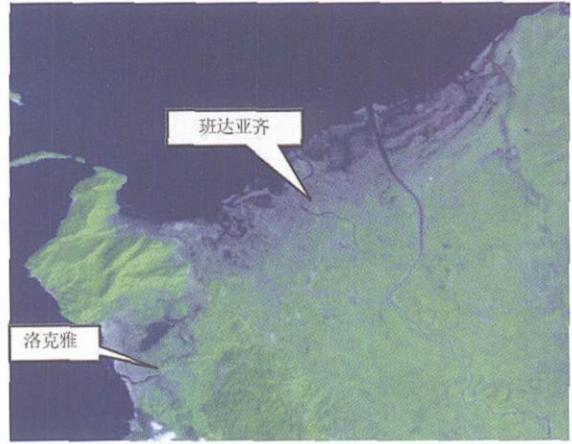
另外, 班达亚齐市西北方向的一些小岛也不同程度的遭受影响。

图 2 为班达亚齐市附近海啸前和海啸后遥感影像对比图。从图中可以看出海啸卷起的巨浪几乎把苏门答腊岛西北角切割成另一个岛。首府班达亚齐 (Banda Aceh) 原本整齐的海岸线荡然无存。班达亚

齐南部洛克雅 (Lhoknga) 镇, 也被海水冲毁, 一个小湖变成大湖, 几乎割断亚齐省西北角。班达亚齐是亚齐省首府, 经济发达, 人口众多, 因此在这次海啸灾难中, 人员伤亡及经济损失都是整个印度尼西亚受灾区中最大的。



(a) 海啸发生前 ETM 遥感影像 (2001)



(b) 海啸发生后 DMC 遥感影像 (2005-01-07)

图 2 班达亚齐市附近海啸前后遥感影像对比

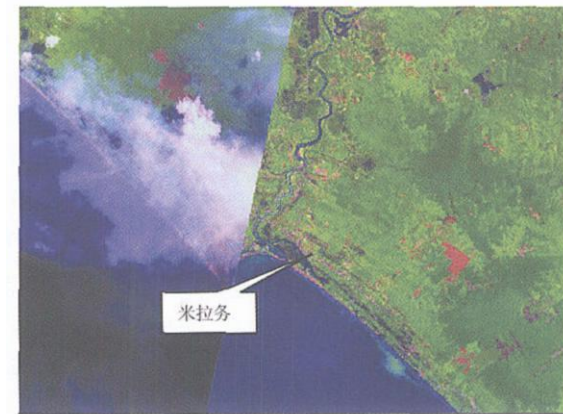
(a) ETM image before Tsunami (2001); (b) DMC Image after Tsunami (2005-01-07)

Fig 2 Comparison of remote sensing image before tsunami and after tsunami around Banda Aceh city

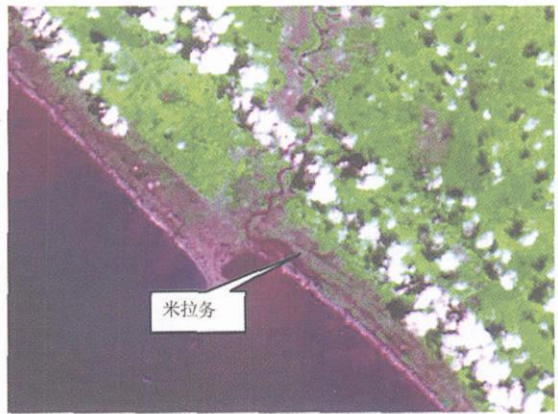
图 3 为米拉务镇附近海啸前和海啸后遥感影像对比图。米拉务镇位于苏门答腊岛西岸, 在班达亚齐东南方向约 200km 处。米拉务镇是亚齐省离地震中心最近的一个小城镇。距离震中大约 150km。海啸发生后, 这个城镇遭到严重破坏, 从海岸线向陆地大约有 2km 的地方植被、房屋完成被摧毁。

查朗镇附近海啸前和海啸后遥感影像对比图。从图中可以看出原先茂密的森林植被被海啸一扫而光, 可以肯定建筑物的损毁率也是极高的。

经过统计, 印度尼西亚亚齐省遭受海啸严重影响的地区面积约为 483km<sup>2</sup>。沿海地带是这次地震海啸灾情最严重的地区, 严重灾情绝大多数都发生在亚齐省西南部或北部沿海, 其中以班达亚齐和米



(a) 海啸发生前 ETM 遥感影像 (2001)

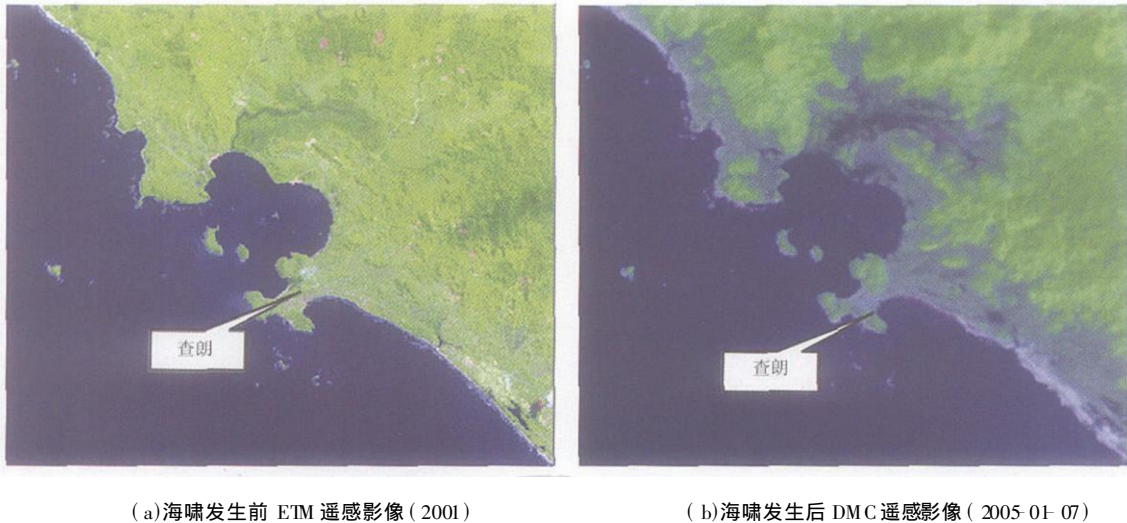


(b) 海啸发生后 DMC 遥感影像 (2005-01-07)

图 3 米拉务镇附近海啸前后遥感影像对比

(a) ETM image before Tsunami (2001); (b) DMC Image after Tsunami (2005-01-07)

Fig 3 Comparison of remote sensing image before tsunami and after tsunami around Meulaboh town



(a) 海啸发生前 ETM 遥感影像 (2001)

(b) 海啸发生后 DMC 遥感影像 (2005-01-07)

图 4 查朗镇附近海啸前后遥感影像对比

(a) ETM image before Tsunami (2001); (b) DMC Image after Tsunami (2005-01-07)

Fig 4 Comparison of remote sensing image before tsunami and after tsunami around Calang town

拉务、查(扎)朗等城镇的灾害十分严重,且最集中。

26.54km<sup>2</sup>,乡村地区受淹面积为 430.46km<sup>2</sup>。

### 3 基于 GIS 的海啸灾情快速评估

对于印度尼西亚齐省来说,在灾后特别短的时间内,收集受灾地区的社会经济数据是一件非常困难的事情。在几乎对于受灾地区社会经济情况一无所知的情况,能够利用的最好的信息只能是遥感信息。为此,本文利用灾前受灾区的美国陆地卫星遥感影像,从中提取受灾区的土地利用信息。众所周知,土地利用类型与社会经济之间存在着较为密切的联系。如:城市建成区受淹损失要比未利用土地受淹损失要高得多。

由于时间紧迫,加上对当地区域知识匮乏以及不可能进行实地验证,本文没有按照一般的土地利用分类体系进行土地利用信息遥感解译。具体做法是对海啸灾害发生前的 Landsat ETM+ 影像进行了初步解译,将受淹区分为城市建成区、原水域、乡村地区三大类。城市建成区主要指城市中心区,建筑物密度较高,不包括城市的郊县;乡村地区主要指乡镇农村地区;原水域是指在受灾前是湖泊、水塘或者湿地。解译结果参见图 1。

在 GIS 平台下,利用 GIS 强大空间分析功能,将土地利用遥感解译结果与海啸灾情遥感监测范围进行叠加,并进行空间统计分析,即可得到不同地类海啸灾害受灾面积。统计分析结果是城市建成区受淹面积为 26.17km<sup>2</sup>,原水域(包括湿地)受淹面积为

### 4 基于 DEM 的海啸灾情分析

对于海啸灾害来说,灾情的严重程度和其所处位置与震中的距离及相对关系密切相关。印度尼西亚苏门答腊岛由于距离地震震中仅几十公里,因此是这次印度洋海啸受灾最严重的地区。对于苏门答腊岛来说,西海岸由于正面对着地震震中,接受着海啸巨大的能量,因此损失尤其严重;东海岸相对来说由于背面对着地震,损失就轻微得多。除了与震中距离,还有一些其他因素,也直接影响了海啸灾情的严重程度,比如地形。下面主要利用 DEM 来分析地形与海啸灾情的关系。

由于难以获取研究区的大比例尺地形图,本文采用的是 SRTM DEM 作为地形分析数据源。SRTM 的全称是 Shuttle Radar Topography Mission 即航天飞机雷达地形测绘使命。2000年 2 月美国太空总署(NASA)和国防部国家测绘局(NIMA)利用“奋进”号航天飞机搭载的 SRTM 系统获取了北纬 60° 至南纬 56° 之间、覆盖全球陆地表面的 80% 以上雷达影像数据,并在随后的两年多时间里,处理制成了数字高程模型(DEM)。该 DEM 精度有 30m 和 90m 两种,称作 SRTM 1 和 SRTM 3。本文采用的是可以免费获取 90m 的 SRTM 3<sup>[31]</sup>。

SRTM 3 DEM 精度还不是很,且由于雷达后向散射不均,在有些地区存在数据的空洞,水体的高

程也不是平的。尽管存在这些问题,但用于宏观分析地形与海啸灾情之间的关系,是可以应用的。图 5 为苏门答腊岛亚齐省数字高程模型。从中可以发现,海啸灾情严重地区绝大多数沿海岸线分布且地势较为低平。在苏门答腊岛西北角海啸几乎将该地区分隔成另一个岛,主要是由于在班达亚齐市与洛克雅(Lhoknga)镇之间存在着一个地形较低的通道,海水直接贯通两地。另外,在苏门答腊岛西北部数百公里长的海岸线有两公里左右的陆地变成汪洋,也是由于该岸线较为低平所致。相对来说,苏门答腊岛西南部海岸线由于地势较高,遭受海啸淹没的范围就很小。



图 5 亚齐省数字高程模型

Fig 5 DEM of Aceh province

为了进一步分析地形与海啸灾情的关系,本文对基于 DMC 卫星影像提取的亚齐省海啸灾情较严重地区范围内的数字高程模型 (DEM) 进行了统计分析。图 6 为亚齐省海啸灾情较严重地区范围内高程直方图。整个受淹区平均高程为 8.1m, 78.6% 的受淹区高程低于 10m, 96% 低于 20m。

## 5 结 论

(1) 卫星遥感技术是监测灾害的有效途径。

遥感技术对自然灾害监测具有独特的优势与潜力。目前采用遥感技术对洪涝灾害进行实时的监测与评估已相对普遍。遥感技术的优势主要体现在宏观、快速,这对像洪涝这样紧急的灾害来说是非常重要的,对洪涝灾情的发展进行快速监测与评估,为洪

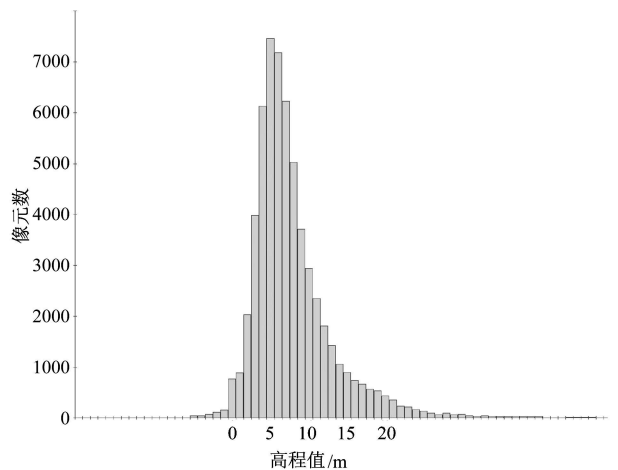


图 6 海啸受淹区高程直方图

Fig 6 Elevation histogram of flooded area due to tsunami

水科学调度决策的制定提供支持。本文的研究表明,对于海啸灾害监测评估来说,遥感技术同样可以发挥重要作用。

(2) DMC 小卫星影像可以广泛应用于灾害监测中。

目前已有 4 颗 DMC 小卫星发射升空并初步实现组网运行,对地球开展资源环境灾害监测。相对于其他卫星影像,DMC 小卫星影像具有成像幅宽大(约 600km)、时间分辨率高(2—3 天就可以获取同一地区影像)等特点,进行大范围监测的优势极为明显,完全适合灾后灾情监测与评估。中国通过国际合作研制的高性能对地观测微小卫星 DMC+4 是 DMC 国际灾害监测星座成员,将于今年 7 月份发射运行。该小卫星除具有 32m 空间分辨率的多光谱扫描仪外,还有 4m 空间分辨率的全色 CCD 相机,可对重点地区进行详细分析,两者有机结合可提高大范围灾情分析与评估的能力和准确性。对灾害监测有很大的应用潜力。

(3) 海啸灾情评估精度和深度受多种因素影响。

海啸灾情遥感监测、评估精度和深度受多种因素影响,本文研究虽然取得了一定成果,但还存在许多不足之处:①受 DMC 小卫星遥感影像空间分辨率相对较低(只有 32m)的制约,本文没有监测到海啸灾情轻微地区范围,对于受灾较严重地区具体受损情况如桥梁、道路及建筑物的损毁也未能有效监测;②由于严重缺乏研究区社会经济数据以及准确的本底水体数据等资料,本文的评估还难以做到经济损失评估及人员伤亡及影响评估,评估的项目相对较

粗,仅限于受灾土地利用面积。

**致 谢** 在进行印尼海啸遥感监测期间,得到了童庆禧院士、田国良研究员、迟耀斌研究员大力指导,特此感谢!

### 参 考 文 献 (References)

[ 1 ] Li J R, Huang S F. Guide of "3S" Technology Application on Water Resources[M]. Beijing: China Water Power Press, 2003. [李纪人, 黄诗峰. "3S"技术水利应用指南[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.]

[ 2 ] Xu M, Huang S F, Li J R. Quick Monitoring and Evaluation of Flood and Waterlogging Disasters in 2003 by RS and GIS for the Huaihe River Basin [ J ]. *Water Resources and Hydropower Engineering* 2004 35(5): 83-86 [徐美, 黄诗峰, 李纪人. RS与GIS技术支持下的2003年淮河流域洪涝灾害快速监测与评估[J]. 水利水电技术, 2004 35(5): 83-86.]

[ 3 ] Zhang Y S, Gong D C. High resolution Remote Sensing Satellite Application Imaging Model Process Method and Application Technology[M]. Beijing: Science Press, 2005 [张永生, 巩丹超. 高分辨率遥感卫星应用——成像模型、处理算法及应用技术[M]. 北京: 科学出版社, 2005.]

## Monitoring and Analysis of 2004 Indian Ocean Tsunami Disaster in Aceh Province Indonesia Based on Remote Sensing

HUANG Shi feng, LI Lin, XU Mei, LI Xiao tao, SU Dong sheng  
(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

**Abstract** A huge magnitude 9.0 earthquake occurred besides western coast of Sumatra Island, Indonesia on December 26, 2004. The earthquake created the huge tsunami in many countries along Indian Ocean, such as Indonesia, Sri Lanka, Thailand, India and so on. Tsunami disaster damage in Banda Aceh province of Indonesia is one of most serious events in the world. In order to assess the tsunami disaster damage, a scene of Disaster Monitoring Consortium (DMC) satellite image received on January 7, 2005 after the catastrophe, and several Landsat 7 ETM+ images received before earthquake were collected. Based on Remote Sensing and GIS technology, the tsunami disaster monitoring and quick assessment have been carried out. The result shows that the western coast of Sumatra Island in Aceh province, near earthquake center, suffered more seriously from tsunami disaster, and the eastern coast damage is insignificantly. In the whole Aceh province, the loss of Banda Aceh city, capital of Aceh, is most serious. About 483 square kilometers area had been flooded due to tsunami in western coast of Sumatra island of Aceh province, including 26 square kilometers urban building area, 430 square kilometers rural area and 27 square kilometers water area, such as wetland, lake and pond. In the end, Digital Elevation Model (DEM) is used to analyze the relation between terrain and tsunami destruction. The result shows that the elevation of flooded area due to tsunami, in general, is below 20 meters.

**Key words** Indian Ocean Tsunami; Aceh Province; DMC; remote sensing