

# 雷达遥测应用于台湾水利防灾可行性之探讨

陈文福 郑新兴

(中兴大学水土保持学系 台湾台中)

**摘要** 由于雷达遥测技术的突飞猛进,利用其不受天候及昼夜影响之特性,除了早期应用于军事探测之外,已逐渐广泛应用于地球资源之探测,其数值影像与地理资讯系统(GIS)整合功能已日益增强,藉由GIS整合遥测资料并将其应用于资源经营管理上,乃GIS发展的趋势。有效的洪水管理及水利防灾系统为一套整合许多地理空间资讯的系统,此系统可用于更新防洪区之范围图、洪患区域评估与洪水消减之时间分析等的功能,可应用于水利防灾之工作上。本文旨在分析雷达遥测之原理、特性、种类、影像资料之获取分析及其应用范围,并探讨合成孔径雷达(SAR)影像与相关遥测资料如何与GIS结合应用于水利防灾上。合成孔径雷达为测绘洪水区域范围较为理想可行的遥测工具;而SPOT卫星影像资料则是应用于土地利用分类上,以GIS整合两种资料并计算出洪泛区域之总面积及其土地利用形态,期能将人文、社会及经济等资料纳入洪水管理体系之发展,有助于水利防灾整套系统之运作。

**关键词** 雷达遥测 GIS 水利防灾

## Feasibility of Application of Radar Remote Sensing on Flood Disaster Provention in Taiwan

Wen-Fu Chen Sin-Hing Cheng

(Department of Soil and Water Conservation, Chung-Hsing University Taichung Taiwan)

**Abstract** Owing to the technology of radar remote sensing is not influenced by climate, either at daytime or nighttime, it possess characters those differ from general remote sensing. It's applied only on military probe early before, but it is extensively applied on probe global resource detection recently because the technique got great advance and the restrictions go broadening. The function to integrate digital images and the geographic information system got more powerful by time, Integrating the remote sensing information on water resource management is a lately trend of GIS development. To control flood and manage water resource effectively is a system which needs much more geographic spatial information. This system can update the flood zone map, evaluate the flood area, and analyze the time of flood mitigation, it can be applied on those works of water resource management and flood disaster prevention. The main

points of this article are to analyze the principles and characteristics, sorts of getting image data and the applying range of radar remote sensing. It also discussed the characters of synthetic aperture radar(SAR) images data as well as how GIS combines radar remote sensing with application of flood disaster prevention. Synthetic Aperture Radar is the more ideal remote sensing tool to survey the range of flood area; SPOT image data is applied to land use classification. It arranges two kinds data and computes the total area and the land use type of flood zone, and excepts to bring humanistic, social and economic data into the flood management system. It can help the operation and development of flood disaster prevention system.

**Key words** radar remote sensing GIS flood disaster prevention

1 前言

台湾位处于西太平洋亚热带地区, 因其地理位置及地形条件特殊, 夏季常受台风及热带性低气压造成豪雨之侵袭, 雨量常过于集中( 如表 1, 2, 3), 占全岛 2/3 之上游高山地区山高水急, 下游之平原地区则地平流缓, 由于地狭人稠加以土地利用变迁迅速, 每遇豪雨山洪常倾泄而下, 导致下游地区积水不易排除, 洪患频生, 造成生命财产之损失。依据台湾气象局统计, 1897 ~ 1990 年之间, 台湾即曾受到 340 次的台风侵袭, 如近年来之韦恩( 1986)、琳恩( 1987)、莎拉( 1989)、欧菲莉( 1990)、宝莉( 1992)、泰德( 1992)、贺伯( 1991) 及最近的瑞伯( 1998) 等台风, 均陆续给台湾带来极大的台洪及土石灾害, 尤其贺伯及瑞伯两台风更惨, 共夺走了几十条人命, 给社会、政治、经济极大之冲击。『政府』历年来投下庞大之防洪及排水工程经费, 随着河川下游及沿岸都会区之迅速发展及都市边缘山坡地之高度开发, 水患仍旧不断, 使防洪及排水工程设施之成效大打折扣, 故除继续加强防洪及排水工程建设外, 应辅以非工程之防洪措施如洪泛区划定、土地利用管制并施以洪灾保险、洪水预报及预警系统等, 始可能进一步消弥洪患, 况且目前非工程防洪措施已是世界各国发展水利防灾之趋势。

由于遥测技术的突飞猛进, 尤其雷达遥测, 因其不受天候与昼夜时间影响之特性, 除了早期本来只能应用于军事探测之外, 已逐渐广泛应用于地球资源之探测, 且其数值影像与地理资讯系统(GIS) 整合功能日益增强, 藉由 GIS 整合遥测资料并将其应用于资源经营管理, 乃成 GIS 应用发展之趋势。结合应用遥测、GIS 及全球定位系统(GPS) 等高科技并建立全省水利防灾管理查询系统, 以提供工程、非工程等防洪设施以及可能发生的洪水区域及灾害等资讯, 作为展示灾害情

表 1 降雨分布统计表

地区	年降雨量/ mm	5 ~ 10 月	11 ~ 4 月
北部	2 930	60%	40%
中部	2 080	78%	22%
东部	2 715	79%	21%
南部	2 500	90%	10%
全省	2 515	78%	22%

注: 资料来源: 水利处, 1998。

用于水利防灾之目的( 陈, 1997)。

本文乃就即针对以雷达遥测技术应用于水利防灾之经营管理。分析雷达遥测之原理、特性、种类、影像资料之获取分析及其应用范围, 并探讨合成孔径雷达(SAR) 影像与相关遥测资料应如

形或进行洪水预测之依据, 可提供即时且正确有关之防灾决策资讯, 同时建立完善之洪灾保险、洪水预报及预警系统等, 当能弥补工程方法之不足, 使洪灾损失尽可能降至最低。全省各河川流域内水陆变迁情形及低洼洪泛区域之淹水, 藉由雷达遥测资讯配合卫星定位系统现场查核, 可迅速地掌握, 进而达到整合遥测、GIS 及 GPS 等应

何与 GIS 结合以应用于水利与防灾上。由于近年来使用雷达遥测于水利防灾之研究及应用仍相当稀少,甚至才刚起步。经由选择较具代表性之相关文献及已发展之实例,研讨应如何利用 SAR 影像资讯为洪泛区域进行测绘;并比较 LANDSAT、SPOT 等卫星影像资料之应用,进而探讨以 GIS 整合主动式(雷达)及被动式遥测资料之可行性,期能利用遥测工具充分掌握洪泛区域总面积、淹没区域的土地利用形态,并将人文、社会及经济等资料纳入洪水管理体系之建置,可有助于水利防灾整套系统之运作及发展。

表 2      瑞伯台风( 10/ 13 ~ 10/ 17) 四天累积雨量						mm
站 名	站 址	累积雨量	站 名	站 址	累积雨量	
阳明山	台北市	921	台北	台北市	506	
鞍 部	台北县	788	成功	台东县	494	
花 莲	花莲县	548	基隆	基隆市	489	
宜 兰	宜兰县	542	苏澳	宜兰县	455	
台 东	台东县	5425	恒春	屏东县	378	

注: 资料来源于台湾气象局。

表 3      芭比丝台风(10/ 23 ~ 10/ 27) 四天累积雨量						mm
站 名	站 址	累积雨量	站 名	站 址	累积雨量	
新 寮	宜兰县	1 378. 5	大坪	台北县	929. 5	
寒 溪	宜兰县	1 149. 5	三星	宜兰县	927. 5	
罗 东	宜兰县	1 077. 5	双连	宜兰县	918. 0	
太 安	花莲县	953. 5	壮围	宜兰县	889. 0	
瑞 芳	台北县	932. 5	玉里	花莲县	863. 0	

注: 资料来源于台湾气象局。

## 2 台湾之水利防灾

台湾天然灾害之状况仍以水患为大宗,为解决台湾水患,必须透过现代科技对其水患基本特性的了解与体认,并深入探讨其成因再拟订因应方案,方为上策。“水利防灾”顾名思义乃兴修水利及防止水害,广义言之乃在加强水资源利用及消减旱涝灾害损失。狭义而言即在防治水、旱等天然灾害,分析水旱灾害的成因与特性,并提出有效的防治措施及其对策,以保护人民生命财产之安全。古有明训,治国必先治水,各项水利建设之良窳,治水救灾之成效,关乎社会之安定、政治之稳定及经济之成长,且古今中外皆然。所有防灾业务的基本目标即在减轻人民与社会的灾害风险,藉着防灾措施及对策的落实,当可大幅减少天然灾害所造成的受害人数、财产损失与环境破坏(陈, 1998)。完善的防灾救灾对策牵涉广泛,应涵盖土地利用规划、灾害潜势分析、灾害危险度评估、防救灾计划之拟订、规范和标准之制定、防救灾组织之建立、防救灾科技之应用、大众防灾教育之普及、财税诱因和保险之提供以及防灾救灾绩效之考量等。当然这些对策都必须有坚实的科技为基础,才能发挥最大功效。

### 2. 1 台湾水灾之特性

台湾地区特殊的地形及脆弱的地质为其天然不良之潜在因,在这一片土地上之开发行为与经济发展与水争地的结果,在台风期间因气流所挟带之大量的暴雨及其所引发的暴潮,则为发生洪灾之最主要天然诱因。由各大洪灾水患之显示,必然须重新思考是否“人定胜天”的课题,进而学习如何对大自然的尊重,并检讨对灾害之定义与认知。台湾水灾之发生,经归纳有六项特性:区域性、季节性、短暂性、经常性、轻忽性及突发性等,必须对水患之产生进行全盘了解,始能拟订妥善对策,以避免洪灾水患之威胁与损失。

(1) 区域性。由于地形地势及地理位置,会发生水患之地区,经统计结果均属特定区域,如洪

泛区、低洼地、严重地层下陷区、河岸地区、排水不良地区等。

(2) 季节性。受季节性之支配, 台湾地区台风侵袭之期间均在 4~10 月之间。

(3) 短暂性。从发布海上陆上台风警报至解除台风警报, 对台侵袭期间, 依统计约 1~4 d, 因属热带气旋一般均不会逗留很久, 又台湾地形高山陡峭四面环海, 河短流急, 再大的水患在几天后即可排除, 故有其一定的短暂性。

(4) 经常性。台湾位处台风频繁地区, 汛期期间有连续侵台之可能, 1994 年的 6 个连续台风及 1998 年之瑞伯、芭比丝等之接踵而至即可为例。

(5) 轻忽性。常淹水地区对淹水事件常感无奈, 亦经常发生灾情, 有时有失警戒而产生轻忽性。

(6) 突发性。洪水泛滥是人类无法抗拒却又必须经常面对的自然现象之一。洪水具有突发性, 在发生时间上较难预测。

## 2.2 土地利用变迁与洪灾预警

集水区内土地利用变迁对水文之影响最大(陈, 1996), 土地利用形态不但会影响径流系数、洪峰发生时间及洪峰量, 也会影响土壤保蓄雨水的能力及其冲蚀量, 这对水灾的损害程度均有直接的影响。此外, 因过量抽取地下水而导致地层下陷, 或在洪泛区从事经济活动, 也都是近年来渐有扩大水患损害的原因, 全省许多地层下陷区每逢雨季或台风季便有海水倒灌或积水不退的现象, 都在显示经济不当开发利用助长水患的事实。经济急速发展, 地狭人稠, 都会及城乡扩张快速, 常与水争地, 筑堤围水大兴土木, 土地利用变迁迅速, 因河川上游坡地开发致地形及土地覆盖改变, 必致集流时间缩短及洪峰流量增加; 而下游河川地被强度开发, 则自然河性河系及排水系统因而发生改变, 以变迁前所建立之集水区水文、地文资料所推估之洪讯及淹水区域图是否仍适用? 则有待商榷。另外河岸建堤以后, 往往造成河川下游两岸居民洪灾危机意识渐减, 有失防范与准备, 一旦发生超大雨量, 河川两岸及低洼地区仍会遭致严重的洪害与损失, 故工程方法自有其风险存在, 惟有建立完善的集水区地理资讯基本资料库, 应用遥测以能涵盖大面积、综观览要、多时定期摄像之特性, 精确掌握集水区即时状况, 并适时修改其水文及地文参数, 方能增加洪水预报模式之准确度, 提高洪水预警之效果。

人们与水争地的结果, 必然仍需面对水患之威胁, 对于常易受灾区或洪泛特定区进行警戒之划定与管制, 乃降低洪灾最直接而有效之方法; 若原为洪泛区但无人居住之处, 发生洪泛时未必显现灾害, 但筑堤后两岸居民靠岸而居, 即会升高受灾机率, 加上因排水系统维护不当, 而导致发生洪灾水患时, 是天灾抑或人祸? 值得深思! 然而天灾难防, 人祸可免, 故就水害之防范而言, 若能事先建立淹水预警制度, 让两岸居民知所警戒, 当能将洪灾损失减至最低程度。人们在亲水爱水之余, 如能提高水患洪灾之警觉, 才可避免洪患所遭致无谓之损失。基于安全考量运用高科技以协助提供现代防灾之需求, 以提升正确防灾观念与认知, 订定明确之淹水警戒区域及警戒事项, 提高洪水预报能力。为达洪水预警效果, 需建立完整精确之河川流域基本资料库及建立适合各区域之良好的淹水分析模式, 配合气象卫星及地面雷达遥测对雨量之预测资讯, 建立各地区之洪水预报系统, 以分析各种降雨情况下之淹水地区及时间, 将可能发生淹水之范围及灾害之程度预先通告当地居民, 以做好必要之防范措施而减少淹水损失。

## 2.3 潜在淹水区域之划定及管理

过去人们对于洪水的规模, 确难有效掌握, 现今运用 GIS 与水文科技, 可较精确地估算洪水发生的频率。藉著洪水频率之分析, 建立特定洪泛区的“洪水位与频率:  $H-P$ ”、“低地等高线高程与面积:  $H-A$ ”及“高程与蓄水量关系:  $H-V$ ”等曲线, 以研析其潜在洪水风险程度并划分潜

势洪泛区范围,进而绘制风险区带图。先行确认潜在洪水灾害的类型与区位,然后调查洪灾特性与危险范围,并评估其对社会与环境所造成的冲击与影响程度,再进行有效的管理对策。

洪泛区之确认与区划,非但在防洪工程的规划与设计上能提供极重要的资料数据,亦可提供工程防洪措施中不可或缺的关键资讯。无论是土地利用与开发的管制规范,甚至对民众的宣导与教育,都需依据要正确而可靠的洪泛区位资料。惟有完备精确的洪泛区图志,才能期望进行有效的洪水治理与管理。因此,洪水管理最基础的工作即在于洪泛区之确认以及潜在洪水风险范围图之绘制与更新。台湾地区排水不良经常淹水二日以上的低洼地区面积,1977年的调查约为 $647 \text{万 hm}^2$ ,1986年则增加到 $8.8 \text{万 hm}^2$ 。又近10余年来,台湾的环境已有相当程度的改变,山坡地的开发以及沿海地区持续的地层下陷,已促使淹水问题持续恶化,经常淹水区的范围不断增加。根据近几年的调查显示,仅仅地层下陷区的总面积就高达 $10 \text{万 hm}^2$ ;洪泛区的面积也有增无减。过去简略而未数值化的洪泛区资料,已不符现今的需要,有关台湾各地洪泛区的潜在危险性、确实区位与范围,有必要重新检讨,进行彻底的调查研究,绘制可靠的洪水风险图,俾供洪水管理使用与决策之参考。

当今台湾各河川下游洪水平原区之高度开发利用,如仅以“治洪与御洪”为主的防洪策略,在河川、海堤高水治理后,低洼地区之内水排水延时更长,自然排水机能降低(水利处,1998),下游已开发地区之防洪排水问题更趋复杂,单纯的工程手段非但不能根除洪水问题,反而可能会为其所保护的地区留下具毁灭性的潜在灾害,任何现存的硬体结构物在其防洪功能上都有其极限,不可能完全免除洪患。美、法、日等先进国家之防洪政策除了着重兴建硬体防洪措施外,尚运用洪泛区管理及洪灾保险制度等非工程防洪措施。因此,除了硬体工程手段之外,还须配合适当的非工程措施,才能有效地降低灾害损失,而非工程措施必须建立在完善的洪水平原管理整体架构基础上,才能发挥功能。

综上所述,土地利用变迁、洪水预报模式运作、洪泛区之确认、潜在洪水风险范围图之绘制更新、特定洪泛区的“洪水位—频率”、“低地等高线高程—面积,  $H-A$ ”及“高程与蓄水量关系,  $H-V$ ”等曲线之建立,为模拟现况或改善后情况之淹水分析,其现况分析结果必须与历年实际淹水情形比较,藉以修正模式中不当之假设及不正确之引用资料与不当之淹水区划分,该模式才能真实代表该排水区之特性(水利处,1998)。淹水潜势分析模式其实际淹水范围图仍需全面监测与验证,惟有藉助各种遥测工具,利用其遥测特性,以能大面积涵盖、多时定期拍摄、微波探测及快速电脑分析等优点,由单一时间之“现况调查(Surveying)”至多时段之“监测(Monitoring)”,并以综观览要(Synoptic View)来超越时间与空间(郑等,1997),才能在恶劣天候下进行多时段之水患实况调查及相关资讯之搜集。

### 3 雷达遥测之应用

遥感探测(Remote Sensing)相关之研究与应用,随着太空科技之发展,已逐渐受到重视并有增多之趋势,依遥测器之类别划分(表4),各遥测器均有其不同之工作波段(图1),遥测影像的来源主要可分为下列两大类:(1)被动式(Passive)遥测系统:主要为光学探测,较早被使用在资源探测及土地利用方面,主要有美国之Landsat及法国之SPOT卫星之光学影像及被动式之微波影像;(2)主动式(Active)遥测系统:主要为雷达探测,而在遥测环境中雷达探测系统以合成孔径雷达SAR(Synthetic Aperture Radar)影像为主。主动式遥测系由系统本身提供辐照所需之能源,利用地物与微波的交互作用及反射以获取地面资讯。主动式遥测系统几乎不受大气层、天候及光

线因素限制(Lillesand and Kiefer, 1996)。由于雷达遥测有别于可见光和红外光遥测, 因使用比可见光( 0.4 ~ 0.7  $\mu\text{m}$ ) 较长之波长, 对云雾具有穿透性并对地物具有适度之穿透性与地物表面之敏感性, 可克服恶劣天候并提供可见光和红外光所不能提供之信息, 在遥测领域中更具有许多优越性及其特殊应用空间。

3.1 雷达遥测之定义及原理

微波(Microwave) 是电磁波的一种形式, 将电磁波谱( 如图 2a) 按波长大小顺序排列, 可看出微波亦是无线电波的一种, 其波长从 1 mm 至 1 000 mm。微波遥测就是利用空载(Airborne) 或卫载(Spaceborne) 感测器接收地面各种地物发射或反射的微波信息, 藉以识别分析地物并提取所需地物资讯, 可分为主动及被动式两种, 其中(1) 被动式与接收太阳辐射原理相同, 由微波扫描辐射计接收地物的微波辐射, 然而微波的应用主要采取以不依赖太阳辐射而由感测器主动发射微波波束, 再接收地物反射回来之微波信息, 依所发射不同波长对地物之不同穿透能力, 波长越长其穿透能力越强, 以各波段之主要量测对象( 表 5), 来成像以探测地面地物之主要资讯。(2) 主动微波遥测影像常采用真实孔径雷达(RAR: real aperture radar) 和合成孔径雷达(SAR : synthetic aperture radar) 向侧向发射无线电波, 并同时接收地物表面之反射、散射、透射及吸收等不同程度之雷达回波讯号, 以进行探测地物类别, 故其影像称为雷达遥测影像(Radar images), 由于系侧向发射雷达波, 亦可称为侧向雷达影像。其方程式可由(1) 式表示:

$$P_r = \frac{P_t G_t^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

(1)

式中:  $P_t$ —— 雷达发射功率;  $P_r$ —— 雷达接收功率;  $G_t$ —— 天线增益;  $R$ —— 距天线距离;  $\sigma$ —— 有效散射截面积;  $\lambda$ —— 波长。

由式(1) 可求得散射体有效截面积  $\sigma$ , 再根据所求出的有效截面积  $\sigma$  与物理特性之相互关系, 由探测目标的散射特性和物理特性的关系可知散射体的特性( 刘等, 1993)。

雷达波之发射常广泛使用 L 波段、C 波段、X 波段及 P 波段, 对于不同波长, 相较于地物表面之粗糙度, 粗糙度不同其回波的效果亦是不同, 表面的光滑时所造成镜面反射多而后向散射则较少, 影像呈暗色, 当表面粗糙时向各方向之散射较多, 后向散射即明显增加, 影像将呈亮色。又因可随不同入射角之回波成像, 且为了提高距离解析力( $R_r$ , Range Resolution) 及方位解析力( $R_w$ , Azimuth Resolution) 如式(2) 及式(3) 所示, 距离解析力与天线和目标的距离( 天线高) 无关, 而与俯角有关, 这是雷达成像必须侧视(Side-look) 的主要原因; 另方位解析力之提高, 则必须靠采用较短的电磁波、缩短观测距离及加大天线孔径, 以合成孔径方法来代替真实孔径, 这也是目前雷达遥测大都采取合成孔径侧视雷达的主因。

表 4 主动型微波遥感器各波段和主要测量对象( 录自“遥感精解”1993)

波段	频率/GHz	波长/cm	测量对象
L	1 ~ 2	15 ~ 30	波浪
S	3 ~ 4	7.5 ~ 15	地质
C	4 ~ 8	3.75 ~ 7.5	土壤水分
X	8 ~ 12	2.4 ~ 3.75	降雨
Ku	12 ~ 18	1.67 ~ 2.4	风、冰、大地水准面
K	18 ~ 27	1.1 ~ 1.67	植被
Ka	27 ~ 40	0.75 ~ 1.1	雪

$$R_r = \frac{TC}{2} \sec \beta$$

(2)

式中:  $\tau$ —— 脉冲长度(Pulse duration);  $C$ —— 电磁波传播速度(光速);  $\beta$ —— 俯角(Depression angle)。

$$R_w = \frac{\lambda}{d} R$$

(3)

式中:  $\lambda$ —— 波长;  $R$ —— 斜距;  $d$ —— 天线孔径。

主动式雷达遥测影像不同于可见光和红外光影像之主要因素在于(1) 雷达波能穿透云层及雨雪, 可不分昼夜全天候作业, (2) 雷达波对地物具有一定之穿透能力, 可探求土壤水分及其他地表面下之相当资讯, (3) 可提供不同于可见光和红外光影像之信息, 如以干涉测量地面高度及距



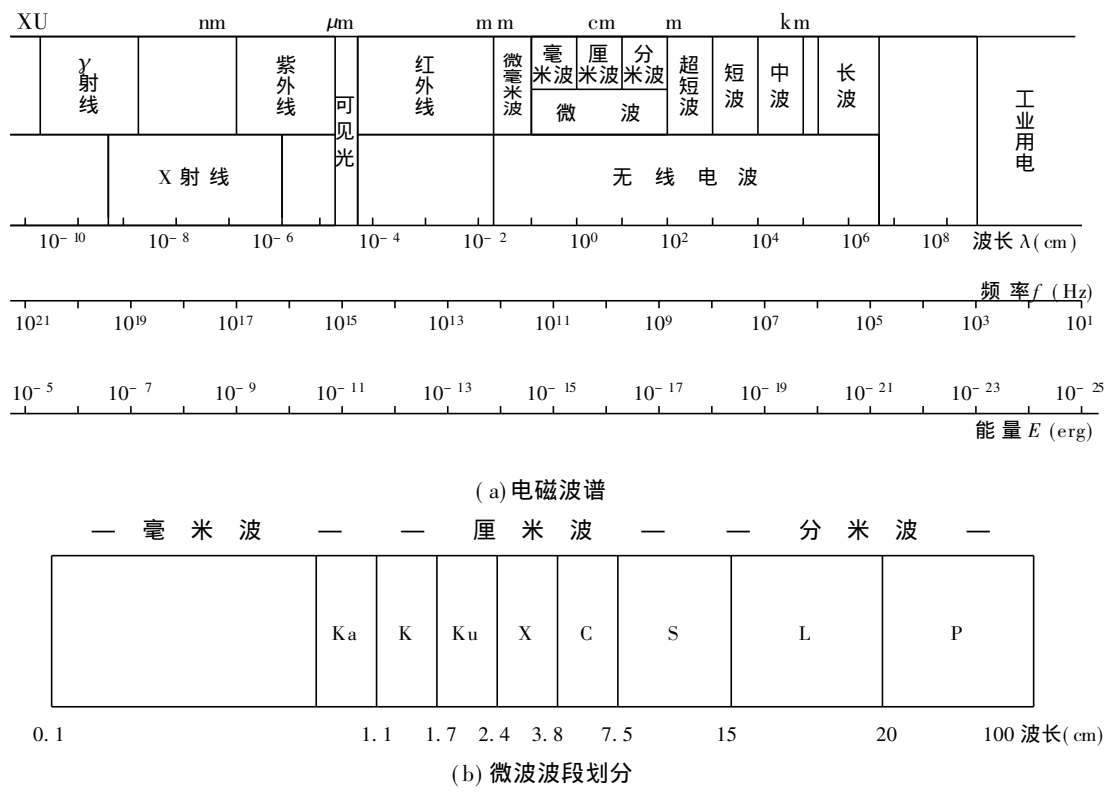


图 2 电磁波谱及微波波段分布图

3. 2 雷达遥测之种类及其特性

广义的雷达遥测包括测速雷达、设于地面观测云层的都卜勒雷达及观测地面的空载与卫载雷达, 本文仅就水利防灾之观点, 探讨较为实用的卫载合成孔径雷达。合成孔径雷达可搭载于飞机或卫星上观测, 由于飞机轨道无法像卫星轨道般稳定, 且只能在自己国内领空飞行获取影像, 再加上危险性高, 使得空载合成孔径雷达影像资讯大受限制, 虽可获得较清晰影像但尚不如卫载合成孔径雷达影像来得实用。由于主动发射并接收电磁波信号, 所以不受限于日间观测而可全天候获取影像资料; 采用波长较长的微波波段, 具有穿透云雾的能力, 故不受大气或天候不稳定之影响。目前一些先进国家已将卫载合成孔径雷达视为最重要的遥测工具之一。目前较广为人知的卫载合成孔径雷达如下:

- (1) 加拿大设计之 Radarsat 卫星, 于 1995 年在美国发射;
- (2) 欧洲太空总署于 1991 年 7 月发射之 ERS-1 卫星, 接着又发射 ERS-2, 目前仅 ERS-2 在运作;
- (3) 日本于 1992 年发射之 JERS-1(运行约两年);
- (4) 苏联于 1991 年发射之 Almaz-1 卫星(运行了 18 个月后来又发射相同任务的卫星)。

目前国内研究合成孔径雷达之单位, 除中央大学太空及遥测中心外, 因雷达相关研究已渐受学术机构重视, 而国内学术单位近年来对这方面的应用研究与技术发展亦开始有试探性的进展, 在影像取得与处理技术上较成熟的有 Radarsat 及 ERS-1/-2 两者, 因此以下针对此两种卫载合成孔径雷达加以比较探讨。

3. 2. 1 ERS-1/-2 雷达 目前台湾可获取之合成孔径雷达影像(SAR) 有欧洲太空总署(Euro-



pean Space Agency, ESA) 负责之卫星 ERS-2 及欧洲资源卫星(ERS)ERS-1 系以太阳同步轨道运行, 轨道高度约为 785 km, 轨道倾斜角约为 98.5°; ERS-2 已于 1995 年开始运作, 以 C Band 单波段之波长约 5 600 μm, 入射角 23°斜视地面物摄取雷达回波资料, 扫描轨迹宽约为 100 km, 扫描轨迹中心距离卫星轨道投影中心约为 294 km, 其影像解析力为 25 m, 轨道周期是 35 天(太遥中心, 1998)。

3. 2. 2 RADARSAT 雷达 RADARSAT-1 是加拿大太空总署(CSA) 与美国 NASA/NOAA 合作发展的第一颗资源卫星并于 1995 年 11 月发射升空命名为 RADARSAT-1 卫星, 其预定运作 5 年, 卫星上载有先进的合成孔径雷达系统, 主要任务为提供极冰、海洋、渔业、森林、农业、油气探勘及土地利用等领域作为研究分析与监测, RADARSAT-1, 为太阳同步卫星, 卫星飞行高度约 798 km, 通过台湾地区上空为清晨 5 时 45 分与下午 18 时 5 分, 轨道与赤道倾斜角为 98.6°; 绕地球一圈周期约 100.7 min, 一天可转 14.29 圈, 每 24 天通过同一地区, 全球共有 343 个轨道(Track)(参自太遥中心, 1998)。RADARSAT-1 升空之后, 即成为全世界相关研究领域瞩目的焦点。

Radarsat 商用雷达卫星拥有许多传统光学卫星与其他雷达卫星所无法达成的特性(如表 6)。

(1) 在空间解析度方面, Radarsat 提供了 10~100 M 解析度的影像资料, 使用者可依应用需求与研究目的加以斟酌选用。

(2) 在影像获取的入射角度(Incidence) 方面, Radarsat 的可调式的设计(10~60°) 提供了不同研究目的与应用需求的“最优化”影像。

(3) 在影像资料供给方面, Radarsat 提供不同层级的影像处理与即时性服务方式, 可满足使用者在资料获取时间上的要求。

表 6 合成孔径雷达(SAR) 卫星特性比较表

特性	Radarsat	ERS-1	JERS-1	Almaz-1
卫星高度(km)	798	785	568	300/ 360
波段- 极化方式	C- HH	C- VV	L- HH	S- HH
解析度(m)	10	30	18	10
	25			30
	30			
	35			
	50			
	100			
影像大小 (Range 方向宽度) (km)	100	100	75	350
	50			
	75			
	150			
	170			
	300			
	500			
入射角(°)	10~60	20~26	35~41	30/ 60
轨道倾斜角(°)	98.6	98.5	98.5	73
轨道遇期(d)	24	35	44	5/ 11
统行一周时间(min)	101	101	96	91

3. 2. 3 ERS 与 Radarsat 合成孔径雷达之比较 ERS-1/-2 卫星上搭载的合成孔径雷达系统是固定以 23°入射角来观测地面并获取回波资讯, 其一幅影像大小约为 100 km×100 km, 解析度约为 30 m, 只有一种影像模式。而 Radarsat 之合成孔径雷达系统目前有 35 种不同影像模式(Beam

Mode) 可供选择, 入射角提供可调式设计由  $10^\circ$  变化至  $59^\circ$ 。在解析度方面, 提供了  $10\text{ m} \sim 100\text{ m}$  的影像资料。至于—幅影像大小, 则随着以上条件不同而改变。小至  $50\text{ km} \times 50\text{ km}$ , 大到  $500\text{ km} \times 500\text{ km}$ 。此外在影像资料的供给上, Radarsat 亦有不同层级的影像处理速度与即时性服务方式。由于 Radarsat 影像有多重选择性, 可针对不同地区、不同目的来选取所需之影像(例如: 侦测海面油污时解析度不需太大)。同时, 亦可依影像时效的需求来选择不同速度层级之服务(例如: 欲获取天然灾害范围影像大多需使用近即时性处理(Near real time), 而观测地质则以一般时间(Regular time)处理即可。因此 Radarsat 之合成孔径雷达影像提供了较丰富、适时的资讯来加以应用。由于 Radarsat 可调适入射角的设计, 使得卫星可在不同轨道上获取同一地区的影像。该设计缩短了影像获取的时间周期, 提高了即时应用的能力。以亚洲地区而言, 其周期约为 3 天。相对于 ERSI/2 约一个月的周期, 表现较为优异。

### 3.3 雷达遥测之应用范围及实例

合成孔径雷达影像已经广泛地应用在许多领域上, 在农业、森林、地质、水文、测绘、海洋、土地利用及海冰调查等方面之应用, 从地面上农作物类型判释、作物状况估计、土壤湿度量测、建筑物、地质岩层、水体、洪泛区或森林的侦测, 到海岸调查、海面上船只或油污的监测等, 都有极高的利用价值。其与水利防灾之应用相关之国内外研究成果及其应用范围, 可举例说明如下:

(1) 以加拿大 Manitoba 地区西南方的 Assiniboine 河于 1995 年春天所发生的洪水为典型例子(David G. Barber. etc, 1996), 以 GIS 整合光学及微波遥测资料, 应用于洪水管理工作上, 采用空载及地球资源卫星 1 号(ERS-1)之合成孔径雷达资料, 再配合大地卫星(Landsat)影像资料, 以 GIS 整合上述资料并计算出受洪水影响区域之面积, 本研究旨在探讨合成孔径雷达资料确可界定出洪水区域的边界吗? 受洪水波及的土地利用形态及其面积, 是否可以迅速得知? 洪水的空间资讯可否由 ERS-1 卫星之合成孔径雷达资料求得? 其结论可归纳如下: 分别采用空载及卫星合成孔径雷达进行洪水区域的观测, 由观测结果发现, 卫星观测时的倾角( $23^\circ$ )比空载者( $45^\circ \sim 76^\circ$ )来得低, 卫星的网格大小( $12.5\text{ m}$ )又比空载者( $6\text{ m}$ )来的大, 空载合成孔径雷达所能区分的洪泛与非洪泛边界较卫星为佳, 以 GIS 整合大地卫星 TM 与空载合成孔径雷达资料, 可获得即时性的洪泛区、非洪泛区与其它土地利用形态之面积资料。

(2) 由于集水区之内土地利用/覆盖(Land Use/Cover)与水文特性之关系密切, 故掌握集水区之内土地利用/覆盖状况, 直接影响水利防灾各项措施之成效。利用雷达遥测在地覆辨识和分类之应用上, 黄凯易等(1997)在“ERS-1 SAR 波段对其与 Landsat TM 影像之结合应用于山区与平地地覆分类的效用”研究中认为 ERS-1 SAR 系统为单频雷达, C 波段加上它只有 VV 偏振模态与其采高俯角设计, 都不利于地覆辨识和分类之应用。若干前人研究结果指出使用多频、多偏振 SAR 影像于农作物或林型分类, 都可获得甚佳之分类准确度, 而且使用包含多频、多偏振 SAR 波段与 TM 或 SPOT 波段之组合影像可以明显改善组合影像之分类准确度, 获致相辅相成之效果。SAR 影像在低海拔且地势平坦之试区, 较不造成高海拔且剧烈起伏地区所特有之复杂地形效应, 所以在选择 SAR 影像时只需考虑波长及偏振之组合变化, 不需多费神于雷达俯角之选择。主动式雷达系统在山区受到地形效应的影响高于被动式遥测系统所受到之影响。故在崎岖之山区不但要对被动式遥测影像做地形效应纠正, 而对主动式雷达影像更要慎选俯角, 将地形效应最小化, 已成为结合主动式雷达影像及被动式遥测影像以收相辅相成效果之重要课题。

(3) 发生在美国西北部太平洋沿岸地区奥勒冈州最近的一次世纪大洪水中, 曾成功的以 RADARSAT 影像、GPS 及航空录影方式支援救灾行动。以 C-band( $25\text{ m}$  解析力)足以有效掌握

洪水状况, GPS 用来锁定航道并指示淹水区域( Charles L. Rosenfeld、Greg G. Gaston、Monte L. Pearson, 1996)。

(4) 于 1996 年发生在加拿大大草原之红河泛滥, RADARSAT 提供了每隔 2~3 天、可综观览要、全天候监测能力, 更由于可应用点对点传输系统, 在几小时内即可将影像传至使用者, 洪水监测工作站( Flood Monitoring Workstation, FWMS) 在洪泛季节可每隔几天即发出可能洪泛区界图及洪水通告( Scott Paterson, Terry Pultz, Ron Saper, Yves Crevier, 1996)。

(5) 以美国加州 1997 年使用 RADARSAT 监测洪水泛滥之经验, 曾在印度以平均每隔二天所获取之影像, 透过与 RSI 之直接网传可以得到 6 h 以内之近即时( Near-Real Time) 影像, 即时监测到堤防破堤情形。影像经影像处理( SAR Processing)、几何定位( Geocoding)、水体陆地之分类( Classification)、洪泛区向量化( Vectorization) 及与 GIS 整合等步骤, 即可快速地进行洪灾紧急应变、洪水预测、洪水模拟、洪泛区图更新及可提供淹水诉讼之依据( Litigation Support) 等工作( R. H. Saper, T. J. Pultz, D. M. Nazarenko, F. S. Verjee, 1997)。

(6) 于 1997 年在圣将河( Saint John River) 的大洪水, 使用空载合成孔径雷达 C-HH 影像来评估 RADARSAT 之洪水测绘能力, 获致以下之结论:<sup>1</sup> RADARSAT 适合洪泛区之测绘, 在所测试之光学解析度( Beam Mode) 其分类准确度皆可达 80% 以上; ④在通常 10~15 日之淹水事件中, 三天周期之 RADARSAT 已足以动态监测洪泛情况; ④配合数值地图、SPOT 及 Landsat 影像资料可准确估计洪灾损失;  $\frac{1}{4}$  高解析力之 Fine Beam Mode 可清楚地描述线形特征如道路等并可获得高精度之地面控制点;  $\frac{1}{2}$  较低解析力之 ScanSAR Mode 仍可测绘较大区域之洪水( Robert Leconte, Terr. J. Pultz, 1997)。

## 4 雷达遥测影像之应用分析与评估

### 4.1 洪泛区之划定

由于 SAR 影像在洪水淹没区及未淹没区之图像反差很大, 很适合用于洪水监测及洪泛区之划定( Flood mapping), 包括常淹水区域之勾绘以便作为灾害估计和洪水预测, 利用其全天候之特性, 可掌握常常发生在最恶劣天候之最大淹水面积, 这在其他影像是无法克服的。防洪、洪水评估与洪水消减为水资源经营的优先事项, 洪水管理目前常使用到的资料为地理空间资料, 其主要来源为光学与微波遥测资料。随着遥测技术的精进, 除了可以将洪水区域内的土地利用形态分类出来外, 近年来许多研究正在发展以微波遥测方式获取洪水表面之特性资料, 如此即可藉由雷达遥测完成洪水区域之测绘( 舒宁, 1996)。

### 4.2 结合 Landsat、SPOT、GIS、GPS 之应用

近年来由于资源探测卫星的发展, 自中央大学太空遥测中心于 1993 年 10 月建立资源卫星接收站以来, 台湾地面之卫星遥测资料愈易取得, 美国 LANDSAT、法国 SPOT 卫星影像相关之应用研究均迅速地展开, 不受天候影响之 SAR 雷达影像亦于最近加入了行列。由于卫星遥测影像乃地表景物的缩影, 它把地形、水系、植被、岩性、地质构造、市镇、交通及土地利用等以不同色调、形状、大小与图形等影像特征表现出来, 又能提供即时性、全面性、周期性及具光谱特性等数值化资料, 其数值影像资料经给予坐标( Geocoded) 修正后, 配合 GIS 坐标对位建档资料及 GPS 现场定位资料, 对于山坡地开发, 环境变迁侦测, 地面资源调查、规划等均能即时又有效地发挥其对大面积地面判释、土地利用/覆盖分类、定期监测及旱涝灾害预防等功能。河川流域内精确的土地利用/覆盖分类, 可将分类结果与其他地理资料进行叠图分析, 以划定流域内敏感地区及危险

地区, 提供水利防灾与预警之参考( 陈等, 1998)。集水区之内之遥测影像、各图籍资料、属性及统计资料等, 经由遥测与 GIS、GPS 系统整合应用, GIS 及 GPS 资料可用以辅助遥测影像分类及定位, 以迅速得到土地利用图层之资料更新; 而遥测影像分类结果可更新或提供 GIS 资讯, 俾供建立即时而完整之 GIS 资料库, 两者相辅相成, 相互为用( 郑, 1997)。台湾山多平地少, 人口相当稠密, 土地常被开发而致土地利用变迁极速, 惟有整合应用 GIS、GPS 及 RS 等高科技电脑化领域, 才能更快速而真实的掌握实际地面状况, 以电脑分析模拟现况, 有助于水患的防灾救灾效率之提升。

4. 3 雷达影像之获取

目前台湾可获取而方便引用之合成孔径雷达影像( SAR) 欧洲的 ERS-2 及加拿大的 RADARSAT 所拍摄影像, 兹述如后:

4. 3. 1 ERS-2 雷达 欧洲太空总署( European Space Agency, ESA) 之 ERS-1/-2 系列, ERS-1 及 ERS-2 已于 1995 年开始运作, 可订购由中央大学太空及遥测中心所接收之影像, 主要用来探测海域, 因其轨道周期是 35 天, 如应用于水利防灾, 以台湾水患快速涨退之情况下, 尚无法适时提供可靠的即时淹水面积。

4. 3. 2 RADARSAT 雷达 台湾锐锑科技公司与中央大学太空及遥测中心合作, 为 RADARSAT Inc. ( RSI) 在台湾的销售代表。RSI 为了针对使用者不同的需求, 除特别推出两种预先设定( Programming) 方案, 另增加紧急订购服务专案( Radarsat Emergency Response Subscription Service, RERSS) 使得使用者能更快速、更确切地得到所需之 SAR 影像, 分述如下:

( 1) Contingency Program: 当使用者需要得到环境快速变迁的影像, 如台风来袭或发生天然灾害等情况, 由于无法预期何时会发生, 而一旦发生时又要及早设定卫星来观测此一地区, 并及早得到卫星影像( Standard 或 Fine Beam Mode 格式之影像)。因此 RADARSAT 以 pre-sell 的方式, 也就是让顾客先预付 US \$ 23 000, 一有需求即通知 RSI 设定卫星, 在下次卫星经此特定区域时马上做观测( 约在 3 天之内), 费用由上述预付金额中扣除。这样一来, 可免除办理事前手续所浪费的时间, 以在最短的时间内收到 RADARSAT 之 SAR 影像。

( 2) Meteo Program: 即针对某一特定区域, 需要多张影像资料而设计的, 只要付给卫星设定( Programming) 的费用, 即可提供多幅( scene) 影像以供选择, 且每幅影像观测可多达三次( 即每一 scene 有三张影像), 可选择其中数张适用之影像, 只要再花费这几张影像的费用即可。卫星设定费用如下表:

		表 7 卫星设定费用表					%
幅( scene) 数	1	2	3	4	5	6 ~ 9	10
卫星设定费用 ( 影像费用%)	50	45	40	35	30	25	20

注: 影像费用以 Path Image 格式之影像为准。

( 3) RERSS Program: 在台湾地区同一地点可获取影像之周期为 1 ~ 3 天, 针对水灾紧急状况之需求, RSI 可经设定影像紧急获取( Emergency Acquisition)、近即时性( Near Real Time) 资料处理后, 透过电子网路或快递传送资料。RERSS 之运作经由妥善之计划与准备, 建立影像获取、紧急订购、资料传送及影像判释分析等操作程序, 可提供较为即时性的紧急状况需求服务。

4. 4 相关应用软体种类

目前较为常用之卫星影像处理套装软体有 ERDAS IMAGINE、PCI、ERMAP 等多种, 惟个自有其专属之档案格式且具有可分析雷达影像之模组。

#### 4.5 建立台湾地区易淹水区域 GIS 资料库

应用雷达遥测充分掌握易淹水区域之实际淹水范围及规模,建立该区域包括水文、地文、人文、社经、工程设施及历史水灾等之 GIS 基本资料库,并结合水文分析模式、淹水潜势分析及淹水预警系统等,进而模拟台洪情况,了解降雨量与淹水范围、淹水深度及时间之关系,方能据以拟订该区域之防救灾之对策,有效减轻台洪灾害损失(A. Gafoor, 1994, 许, 1998)。

### 5 总结

(1)应用合成孔径雷达之特性于观测洪水区域,可明确地界定出洪水区域的边界,因雷达不受天候之影响,即使在云量甚多的情形下,仍可得到观测区域的详细资料。

(2)主动式雷达遥测可贯穿云层不受天气影响且无关日夜,可侦测地表的粗糙度,可获取高程资讯,可作地表变迁监测,与其它不同波段(如可见光、热红外,红外光等)的资料相辅相成。

(3)RADARSAT 依实例探讨确可应用于水利防灾,惟影像档案需经高速网路传输,如经邮包投递方式因时间太长,以台湾水患快速涨退之情况下,较难适时提供可靠的即时淹水面积。往往局部地区小面积淹水之情况较难以明确描绘。惟可透过专案方式与 RSI(进行合作才可适时提供影像。

(4)经由遥测与 GIS 的整合,并对遥测影像进行分类,可迅速得到土地利用图层,其分类结果可提供或更新 GIS 资讯,俾供建立即时完整之 GIS 资料库,以迅速得到土地利用变迁资讯。

(5)随着地球遥测技术之精进、影像处理工具能力之提高与 GIS 整合能力之增强,不但可以提供大量且具即时性的洪水资讯外,亦可整合人文、社会及经济各层次之资料于洪水经营系统内,使其可以兼顾科技、人文与社经等领域,达到对水资源永续经营之目的。

#### 参考文献

- 1 陈文福,郑新兴.整合 RS、GIS 与 GPS 于水利防灾可行性之探讨.工程环境会刊,1997,55~70
- 2 黄凯易,苏婉霞,李旻旻,施胜诚.ERSI SAR 波段对其与 Landsat TM 影像之结合应用于山区与平地地覆分类的效用.第十六届测量学术及应用研讨会论文集.1997,645~655
- 3 高文亮,陈崑山.多光谱 SPOT 影像及多偏极 SAR 影像应用于土地利用分类.航空测量与遥感探测,1993,(25):25~51
- 4 陈家堂,陈崑山.全偏极合成孔径雷达滤波效应于地表分类之研究.第十六届测量学术及应用研讨会论文集.1997,645~655
- 5 陈崑山,颜世坤,蔡代华等.应用合成孔径雷达于农作物的分类研究.遥感探测,1994,20:55~71
- 6 许铭熙.“防灾国家型计划之推动与淹水潜势作业”.水资源管理研讨会,1998
- 7 日本遥感研究会编.刘勇卫,贺雪鸿译.遥感精解.测绘出版社,1993
- 8 舒宁.雷达遥感原理.测绘出版社,1997
- 9 Lillesand, T. M., and R. W. Kiefer. Remote Sensing and Image Interpretation. 1996
- 10 Engman, E. T., and R. J. Gurney. Remote Sensing in Hydrology, 1991
- 11 David G. Barber, Klaus P. Hochheim, Roy Dixon, David R. Mossop; and Michael J. McMullan, The Role of Earth Observation Technologies in Flood Mapping: A Manitoba Case Study Canadian Journal of Remote Sensing 1996, 22(1): 137~143
- 12 Saper R. H., T. J. Pultz, D. M. Nazarenko, and F. S. Verjee. Potential for Flood Monitoring in India Using RADARSAT GIS India, 1997, 31~35
- 13 Miranda, F. P. L. E. N. Fonseca, C. H. Beisl, and A. Rosenquist, Seasonal of Flooding Extent in The Vicin-

ity of The Balbina Dam Using RADARSAT -I and Jers-I SAR DATA, 1997

14 Rosenfeld, Charles L. , Greg G.Gaston, and Monte L. Pearson, Integrated Flood Response in the Pacific Northwest EOM . 1996, November. 20 ~ 23

15 Leconte·Robert and Terry J. Pultz, Evaluation of The Potential of Radarsat for Flood Mapping Using Simulated Satellite Sar Imagery, Canadian Journal of Remote Sensing, 1997, 17( 3) : 241 ~ 249

16 Jianbang, He and Tian Guoliang, Evaluating and Monitoring Natural Disasters in China GIS Asia Pacific, 1998

17 Paterson, Scott, Terry Pultz, Ron Saper, and Yves Crevier , Operational Flood Monitoring : A Reality with RADARSAT EOM 1996, September. 18 ~ 20

18 Gafoor, A. Remote Sensing Techniques for Flood Plan Mapping and Flood Monitoring Globe SAR Regional Seminar Bangkok Thailand 1994, 168 ~ 171

作者简介

陈文福: 中兴大学水土保持学系教授。

郑新兴: 中兴大学水土保持学系博士班研究生暨水利处副工程司。