

文章编号: 1672-3031(2008)03-0224-07

水利遥感应用技术研究进展回顾与展望

路京选

(中国水利水电科学研究院 遥感技术应用中心, 北京 100044)

摘要: 从 9 个方面对遥感中心成立近 30 年来的主要创新性科研工作及其成果进行了较为系统的介绍。首先对中心所走过的历程作了简要回顾, 并以水旱灾害监测为主线, 尤其突出了防洪遥感应用, 最后提出了对水利遥感学科今后发展的一点粗浅认识。希望借助此文, 能使读者对我国遥感技术的水利应用状况、所做出的贡献及进一步发展的潜力有一个较为系统的了解。

关键词: 遥感; 洪水监测; 干旱监测; 土壤侵蚀调查; 信息系统; GIS

中图分类号: TP79

文献标识码: A

1 水利遥感应用技术研究的历程回顾

遥感的水利应用范围很广, 可为水旱灾害监测评估、水资源评价与规划、节水型社会建设评价、灌区调查与用水管理、水土流失调查评价、流域管理、工程建设管理与水行政执法等几乎所有的水利业务提供信息支持。面对国内外遥感技术快速发展的机遇, 更为了促进遥感技术在水利行业的应用, 提高遥感技术为水利业务的信息支撑能力, 于 1980 年成立了水利部遥感技术应用中心, 成为国内最早的一个行业遥感技术应用研究机构。

中心成立近 30 年来, 围绕遥感等高新技术进行洪涝、干旱灾害监测和灾情评估以及水资源、水环境与水生生态调查、监测、分析与评价, 曾连续主持国家重点科技项目, 3 次获国家科技进步一、二等奖。经过多个 5 年计划的科技攻关, 建成了洪涝灾害监测评估业务运行系统, 其中的机载 SAR(侧视合成孔径雷达)实现了基于机-星-地实时传输的洪涝灾害全天候监测, 取得一批高水平成果, 在国内外产生较大影响。近年来, 中心研究领域进一步向多元化方向发展, 综合利用遥感(RS)与地理信息系统(GIS)等现代空间信息技术, 在更广的领域开始更多的探索。

中心的发展主要经历了两个阶段。第一阶段(1980~1997 年), 从小到大, 为快速成长发展期, 通过一系列国家科技项目的实施不仅取得多项具有重大影响的科研成果, 尤其是在洪涝灾害遥感监测方面。培养了一支稳定的技术队伍, 并初步奠定了基本的软硬件条件。第二阶段(1997 年至今), 即中心从水利部归并至中国水利水电科学研究院(下称中国水科院)以来, 为走向多学科交叉的稳定发展期, 科研条件进一步得到改善, 人才队伍走向年轻化、多样化和高素质化。目前的主要研究方向包括水旱灾害遥感监测评估、水资源与生态环境遥感应用、应用水利信息系统开发以及空间水信息获取与处理等。

中心的发展历程就是我国水利遥感应用的缩影。前 20 年围绕防洪这一水利核心业务取得巨大进展, 最近 10 年面向所有水利业务开始了更全面的应用研究。面对机遇与挑战, 需要站在一个更高的层次和一个更广的视野, 思考和布局中心的发展方向, 以推动水利遥感应用更快、更广、更深和更好发展, 促进水利遥感学科更健康成长。

2 主要开创性工作

2.1 20 世纪 80 年代的防洪遥感试验 遥感对于重大自然灾害的监测与评估具有特殊的优势, 尤其是

收稿日期: 2008-07-30

洪涝灾害。利用遥感监测评估洪涝灾害在中国已有较长历史,走在其它遥感应用的前面。由于遥感图像上水陆边界十分明显,遥感解译简单直接,因此从一开始就用于洪水调查。从20世纪80年代初期的局部探索性应用开始,经过80年代后期的全面防洪遥感实验研究,我国防洪遥感监测水平提升了一个层次。

1987~1990年在国家科委组织下,水利部、中科院、国家测绘局、国家气象局和空军等众多部门合作,先后在永定河下游、黄河下游、长江荆江河段和洞庭湖区以及淮河干流开展了大规模的防洪遥感应用试验^[1,2]。其中,16家单位于1988年汛期参加了黄河下游防洪遥感应用试验,范围包括郑州至济南黄河段滩区和大功、北金堤、东平湖滞洪区^[3]。

到1990年,参加项目的单位达24个,参试人员更高达900人,试验规模之大,参加部门之多,动员力量之强,涉及范围之广,在国内外遥感应用中鲜有实例。研究首次建立了全天候和准实时监测洪水的遥感系统,国家防汛抗旱总指挥部首次能在远离洪水几百甚至几千公里之外的指挥部里看到洪水现场,及时了解洪水泛滥的范围和发展趋势。为了进一步了解洪水造成的损失,在上述试验区易发洪水地段建立了防汛数据库,包括地形高程数据(DTM)、土地利用数据、居民点和经济社会数据等。不仅可快速进行灾情评估,还可开展洪水预演和避险迁安研究。

1991年我国东部地区发生特大洪涝灾害时,利用该系统曾对太湖流域、淮河流域、滁河-巢湖流域以及武汉地区的洪水进行了监测,在太湖与淮河流域还进行了准实时图像传输。此外,利用已建立的防汛数据库和遥感图像,对东部5210km²的洪涝灾情进行了调查,编绘了1:10万和1:25万彩色灾情分布图,并量算了受灾面积^[3]。系统共飞行13架次,几乎对东部地区洪水都进行了监测^[4]。所获得的雷达洪水图像还被用在国家防总的抗洪救灾现场以及国务院和中央政治局的抗洪救灾会议上,对及时了解洪水灾情和部署抗洪救灾工作发挥了很大作用。由于所发挥的重大作用,受到国务院领导和国家防总的高度评价和国内外同行的广泛重视,成果先后获得水利部和国家科技进步一等奖。

2.2 全天候实时航空遥感系统的研制 防汛遥感应用试验之后,国家又用“八五”重大科技攻关和863两个计划共同支持了全天候实时航空遥感系统的研制。在国家科委、水利部、中科院和空军等4个部门共同组织下,同时吸收了电子工业部、国家教委和邮电部的有关单位参加,项目自1991年4月开始启动。经过反复的总体方案论证、关键技术预演、各分系统研制、大系统联调以及试飞,在1996年4月通过了国家验收^[1,2]。总体设计采用机-星-地模式,由航空遥感平台、雷达实时成像、航空卫星通信及地面图像信息处理4个分系统组成,实现了全天候、图像实时传输、机动灵活、覆盖面大及可评估灾情等5大功能。系统在1994~1996年的汛期连续对7省区的洪水进行了实时监测,发挥了重大作用。

此外,还与中国遥感卫星地面站、中国测绘科学院以及国家统计局合作,利用汛前陆地卫星图像的土地利用、行政境界以及部分经济社会统计数据等建立了应急灾害信息系统,与实时获得的雷达图像相复合。分县分类评估了上述地区的灾情,监测评估结果及时提供给国家防办、广东省、湖南省和河北省,均受到好评。1995年7月24日,姜春云副总理与农口各部部长及中办、国办领导专门听取本系统研制与应用情况汇报,给予了充分肯定并希望尽快推广应用。由于系统研制过程中攻克了多项关键技术,总体设计和系统集成进入国际同领域的领先行列,国家计委、国家科委和财政部将该项目列为“八五”攻关10大世界领先水平项目的首位。

全天候实时航空遥感系统是综合利用微波遥感、全球定位系统、航空卫星通信、计算机图像处理以及地理信息系统等多种高新技术,采用机-星-地模式研制成功的。无论就整个系统,还是所攻克的关键技术而言,对相关领域的技术发展都有很大推动作用。经过“九五”进一步的科技攻关,系统实时传输雷达图像的分辨率从6m提高到3m,并在数据实时压缩、GPS数据与雷达数据实时复合与传输、系统可靠性及工程化方面做了许多改进,使系统具有快速、准确、高分辨率、实用化的特点^[5]。航空遥感实时传输系统工程化与试运行成果获得中国水利水电科学研究院2000年度科技进步应用一等奖,2003年又获得大禹水利科学技术三等奖。

2.3 重大自然灾害监测评估业务运行系统的建立 “九五”期间,中心承担了国家重点科技攻关项目“水、旱灾害监测与评估业务运行系统的建立与试运行”,按业务化和实用化的要求,对水旱灾害监测与

评估中仍未解决的关键技术继续进行科技攻关。

项目解决了星载和机载洪涝灾害遥感监测的系统集成这一关键技术,实现了软硬件、模型和方法以及数据的集成,建成了一个可业务化运行的集成系统。用于洪涝灾害监测评价的基础背景数据更加丰富,建成多个地区不同类型的背景数据库。通过一系列技术难点的攻克,系统的快速反映能力大大提高,成果更加规格化,模型与方法进一步实用。利用通信卫星实现了监测结果的快速传输,并做成网页送入国家防汛抗旱总指挥部的内部网,可方便地查询现势和历史的监测评估成果。

系统于1998、1999及2000年开展了业务试运行,为国家防汛抗旱总指挥部以及通过国家遥感中心向国务院办公厅秘书局提供了大量监测服务^[6]。1998年,系统集成工作尚还未完成就执行了9次监测任务,大多在36h内完成任务,在98'大洪水监测中发挥了极其重要的作用。1999年4月系统集成后,处理速度大大提高,高分辨率卫星监测评估时间均不超过24h,而机载SAR也缩短到36h。2000年由于灾区范围不大,同时由于基础资料条件的完善,高分辨率卫星监测评估全部在12h以内完成。成果2001年被评为“九五”国家重点科技攻关计划优秀科技成果,2000年获中国水利水电科学研究院科技进步应用一等奖,2003年又被评为水利部大禹水利科学技术三等奖。

2.4 历次洪涝灾害遥感监测应用案例 中心最早在1983年就利用陆地卫星MSS图像成功地监测了三江平原挠力河的洪水^[7~9]。1984年和1985年,中心又分别调查了淮河安徽合肥洪水和辽河地区洪水,并首次利用机载合成孔径雷达SAR图像监测了辽河流域盘锦地区的洪水^[10]。1991年利用刚刚建立的准实时全天候的洪涝灾害监测系统进行了全面监测,1994、1995、1996、1998、1999和2000年又进一步利用所建立的机载实时传输遥感监测系统成功进行了洪水监测。

1998年长江和嫩江发生大洪水,中心利用所建立的水旱灾害遥感监测与评估系统进行了多次监测^[9,11],为国家防办以及通过国家遥感中心向国务院办公厅秘书局提供了大量灾情信息服务,被评为98'抗洪先进集体。利用机载SAR对大庆市及大庆油田的监测评估成果连夜送往大庆,对大庆市的抗洪斗争以及大庆油田的生产调度发挥了很大的作用。

2000年以来,中心坚持对重大洪水进行遥感监测,先后对2000年西藏贡嘎藏布发生的滑坡堰塞湖、2000年淮河蓄洪区运用情况、2003年淮河大水、2005年西江梧州大水、2005年西藏帕里滑坡堰塞湖以及2008年汶川地震灾区堰塞湖进行了大量监测。

2.5 干旱遥感监测技术研究与应用 20世纪90年代初中心在河南、山东和吉林省开始了旱情遥感监测的试验研究。钟劭南^[12]等利用卫星雷达图像在山东莱阳、招远等地调查水资源,并利用机载雷达进行同步土壤水分监测试验。在“九五”科技攻关“水、旱灾害监测与评估业务运行系统的建立与试运行”专题研究中,中心与国家气象局合作,利用包括热惯量法、植被指数距平法、供水指数法和缺水指数法在内的干旱宏观监测方法,建立了基于气象卫星NOAA(AVHRR)数据的旱情遥感监测系统。

2001年起,中心开展了旱情遥感监测实用方法与业务化实验研究,提出了改进的旱情遥感监测模型,通过黑龙江省的试验研究,建立了旱情遥感监测信息系统以及基于新安江水文模型的墒情预报系统和网络信息发布系统。2004年该项成果验收时,专家认为国内外集旱情监测、墒情预报、信息管理和网络发布于一体的实用化集成系统还不多见,系统具有逐旬墒情监测、预报和发布的能力,在理论方法和应用上以及系统集成方面具有突破和创新。该项成果作为真正意义上的利用遥感手段的全国第一个业务化的省级干旱监测系统,为抗旱决策、水资源合理利用、灌溉计划制订等提供了技术平台。旱情遥感监测实用方法与业务化实验研究获2004年度中国水利水电科学研究院科技进步应用二等奖。

中心与黑龙江省水利科学研究院共同开发的黑龙江省旱情遥感监测预报与信息管理系统已于2005年3月26日开始业务化运行,系统每10d发布一期旱情通报,在抗旱严重期可按需加密发布。通过以计算机网络为中心的卫星接收系统、墒情数据采集系统和遥感监测预报系统等,实现了旱情信息的实时更新、动态管理、在线分析、预测预报及抗旱技术指导。目前,正在就进一步改进该业务化运行系统的相关技术开展后续研究,包括基于旱情监测结果的灌溉需水管理决策。同时,正在基于该省级干旱遥感监测系统,进行河南省的干旱遥感监测系统开发,并引入MODIS数据,新系统将采用IDL语言开发,以取代在黑龙江省系统开发中采用ARCVIEW的不足,用户界面将更加友好,使用更加便捷,运行更加

稳定。

2.6 水旱灾害遥感监测预警技术体系的建立 在洪涝灾害遥感监测评估技术及其实际应用已经取得重大进展和旱情遥感监测初步具备建立业务化运行系统之后,建立规范、实用和有效的水旱灾害遥感监测与预警技术体系成为一项重要工作。中心从 2003 年开始,承担了科技基础性工作与社会公益研究专项“水旱灾害遥感监测预警技术体系研究与建立”项目,对建立基于空间技术的水旱灾害监测评估与预警技术体系以及技术体系中相关关键技术进行了为期 3 年的研究,并开展了广泛的应用示范。提出了对数据与技术的支撑要求,以保证整个技术体系适用于不同类型地区 and 不同监测条件和基础背景数据条件下的监测、评估和预警,能够满足不同响应时间和精度的要求,从而构成一个整体的、可行的和实用的技术体系。

针对所研究的新型遥感数据源的特点,开发了洪涝水体的自动提取模型,在 GIS 平台上建立的基于空间信息格网的洪涝灾害损失评估模型,使得基于 GIS 与 RS 技术的洪涝灾害损失评估更加实用可行。特别是在基于 GIS 的数字流域水文模型制作、水文模型下垫面信息的获取,土壤湿度遥感反演等方面均有所突破。所建立的基于 GIS 格网的洪水淹没分析模型,解决了江河两侧广大农村地区灾前的洪水淹没预演问题,以及灾中洪水遥感监测淹没范围内水深空间分布信息的计算等问题。所建立的洪涝灾害预测预警技术体系,使得从降雨就可以直接预测可能的洪涝灾情信息。建立了不同旱情遥感监测数据的预处理和计算方法,提出了夜间遥感图像云识别的新方法,并开发了基于 BP 神经网络的土壤墒情预报模型和基于水量平衡的土壤墒情预报模型,建立了基于上述模型的土壤墒情预报方案。在土壤湿度反演与旱情监测方面有所突破,并构建了旱情遥感监测预报系统。

2.7 水土流失遥感监测与评价技术研究 我国是世界上土壤侵蚀最为严重的国家之一,但从新中国成立到 1990 年,国民经济建设所需的土壤侵蚀数据一直在沿用 20 世纪 50 年代的统计资料。这些统计数据不仅没有包括新疆、西藏、台湾等 6 个省市自治区,也未按严格的科学分类、分级统计,而且也仅限于水力侵蚀部分。为此,全国农业区划委员会 1984 年会同水利部,组织水利系统和首都 3 所高校从事遥感应用及水土保持的单位,利用覆盖全国的 580 幅美国陆地卫星图像及部分地区的国土普查卫星资料,按照科学的土壤侵蚀分区、分类和分级标准,采用双指标和多要素的分析方法,结合实测资料,一次解译成图,对全国土壤侵蚀现状进行了调查,并编制多种比例尺的土壤侵蚀图^[1]。

项目由中心组织,采用目视解释并结合野外调查和样方测量等手段,将全国土壤侵蚀分成以水力、风力和冰融侵蚀为主的 3 大类型,划分出微度、轻度、中度、强度、极强度、剧烈 6 级侵蚀强度,无险、较险、危险、极险、毁坏 5 种危险程度。遥感调查的基本比例尺为 1:50 万,其它专题图主要包括:1:50 万、1:200 万、1:250 万的中国土壤侵蚀图,1:400 万、1:1800 万的中国土壤侵蚀区划图,以及 1:25 万或 1:50 万的各省与 7 大流域片土壤侵蚀图。项目还建立了全国水土保持信息系统,具有数据输入、编辑、拼接、更新以及查询检索与自动制图功能。调查数据经国务院批准对外发布,得到广泛应用,已先后应用于全国水土保持法制定、全国水土保持规划纲要编制以及水土保持重点治理区、重点防护区和重点监督区确定、全国农业区域开发总体规划与生态治理区划分以及各流域水土保持规划等,之后每 5 年开展一次基于遥感的全国土壤侵蚀调查形成了一种制度。项目获 1993 年水利部科技进步奖一等奖(应用类)和 1995 年国家科技进步二等奖。全国水土保持信息系统作为全国资源与环境信息系统的一部分,也获得国家测绘局科技进步二等奖以及国家计委、国家科委和财政部 1991 年颁发的“七五”科技攻关重大成果奖。

中心之后还先后开展过几项相关研究,如“九五”期间完成的应用遥感技术调查云南盘龙江流域土壤侵蚀及河流泥沙推算^[3]、应用 3S 技术建立嘉陵江流域重点产沙区泥沙运移动态监测系统与水保减沙遥感分析评判(获长江水利委员会 2002 年科技进步二等奖)、嘉陵江流域土壤侵蚀变化遥感分析^[14]。

2.8 其他方面的水利遥感应用技术研究 遥感技术在几乎所有水利业务中都有广泛应用。由于卫星遥感对自然界环境动态监测远较常现方法全面、仔细、精确,且能获得全球自然环境动态变化的大量数据与图像,对于研究区域水文过程,乃至全球水循环、水量平衡等重大水文课题具有很大优越性。

2.8.1 跨境流域调查与监测 遥感不受地域限制的优势在边远地区以及环境恶劣地区,尤其是跨境流

域境外地区的调查与动态监测中作用不可替代。1985年中苏重新谈判界河开发时,黑龙江上规划的13个梯级枢纽在41个比较水位下的淹没范围因为自然环境恶劣,既难以实地调查,也无法跨境调查,后采用遥感手段正好解决了这一难题^[1]。中心利用卫星遥感图像,解决了卫片几何畸变较大和校正困难等技术问题,调查编制了包括9类土地的1:5万淹没损失图与损失统计表。该项目不仅获得了水利部科技进步三等奖,也获得了1990年的国家科技成果奖。最近几年,围绕跨境流域遥感调查与动态监测,中心已经完成和正在开展的科研项目有多项,成为中心科研工作的一个重要新领域。

2.8.2 土地利用遥感调查 中心1988年承担了应用遥感调查三峡水库移民安置区土地资源任务,在制定遥感调查流程和技术要求基础上,利用航片、部分卫片及1:1万地形图与其它专业图件,完成了移民安置区1:1万土地资源图。中外专家两次实地检查后给予成果很高的评价,世行据此重编的三峡库区移民可研报告不仅顺利通过验收,而且被专家称为世界大型水利工程中编写最好的移民报告^[1]。

20世纪80年代后期,中心参与了黄河三角洲多学科遥感应用试验,所编制的1:20万黄河三角洲土地利用现状图经实地验证,基本反映了当地土地利用的实际^[1]。包括这个课题在内的“国土卫片在黄河三角洲地区国土资源与环境调查的应用研究”先后获得航天工业总公司科技进步一等奖、1993年水利部科技进步一等奖和1995年国家科技进步二等奖。

90年代中期,中心选河南省作为试点,建立了一套有效灌溉面积遥感调查的技术方法和作业流程,证明了遥感技术的可行性和有效性^[15]。徐美等^[16]利用不同月份的多期遥感影像,采用分层提取方法获取了2004年青铜峡灌区的作物种植结构。

2.8.3 区域水环境变迁遥感调查 通过不同时相遥感影像数据的比较分析,可了解一个地区水环境状态的变化过程。尤其是近几十年来人类活动对环境的影响越来越大,下垫面环境发生重大改变,对区域水循环规律和防洪减灾形势产生明显影响。

珠江口地区由于人工填海造地、修建过河大桥以及泥沙自然淤积等原因,水陆边界变化较大,防洪情势出现新的情况。中心协同院内其它所,在国内首次将整个珠江三角洲网河8大口门和近海湾作为整体,通过珠江河口大系统水沙数值模型开发,并结合遥感宏观解译分析,建立了河口大系统一体化的综合分析技术。成果获2003年水利部大禹奖三等奖。此外,遥感也被用于塔河下游应急输水前后生态变化的监测^[17]、黑河下游额济纳绿洲治理前生态恶化及治理后生态修复效果的评价^[18],以及黄河调水调沙后河口水沙环境的变化分析^[19,20]。

2.9 基于3S技术的应用空间水信息系统开发 3S技术在水利信息化管理中得到广泛应用。基于3S等空间信息技术的各种应用水信息系统开发成为中心最近几年的一个重要研究领域。

2000~2002年,由院内多个所共同完成了江西省防汛指挥决策支持系统一期研究。项目完成了系统总体设计,先期开发了防汛指挥信息管理和综合数据库系统,以及工情安全评估、水库洪水预报调度、蓄滞洪区防洪辅助决策等子系统。系统以现代计算机技术、网络技术、通讯技术、多媒体技术、遥感遥测技术、人工智能和信息工程、系统工程、软件工程等技术手段为基础,具有信息自动采集、实时传输、综合分析处理和决策支持等功能。系统集成化程度高、运行稳定、界面友好、操作简便,具有实用性、开放性和可维护性等特点,较好地满足了江西省防汛指挥决策支持工作的需要,2001年起在典型地区得到了应用,并在江西省2002年防汛中发挥了重要作用。该项目获得中国水利水电科学研究院2003年度科技进步应用一等奖。

中心近几年还开发完成了多个空间信息系统,包括基于WEBGIS的全国水环境信息管理与发布系统^[21]、全国湖泊沼泽动态变化信息系统、松花江地方管理信息系统、黑龙江灾情评估系统等。正在开发的有松花江洪水管理系统、基于3S技术的江河流域水污染自动化监测与应急处理系统等。

3 水利遥感学科的发展展望

目前卫星遥感技术正在进入一个全新的发展阶段,在遥感数据多元化、信息定量化、应用动态化、技术产业化、产业网络化等发展趋势下,水利遥感学科必须重点关注以下几点:

(1) 多源遥感数据源的综合利用研究。遥感数据源越来越丰富,如何更有效地充分利用已成为进一步提高水利遥感应用水平的重要课题,尤其应针对我国水旱灾害遥感监测体系与平台建设的实际需要,积极开展多源遥感数据源的综合利用应用研究。

(2) 全方位的遥感信息定量化研究。实现海量对地观测数据的定量管理、分析、预测与模拟是遥感当前重要的发展方向之一,应围绕水利业务需要,广泛开展各种相关水参数的遥感定量化反演研究,如降水、土壤水分、蒸发蒸腾、积雪等。

(3) 遥感技术的全面业务化应用研究。全国基于遥感的业务化运行系统众多,惟独水利行业还鲜有真正走上业务化的遥感监测系统。笔者认为,只有全面走向业务化,水利遥感才能迎头赶上其他行业遥感应用飞速发展的步伐。无论从需求还是从技术,水利遥感走向全面业务化的时机已经成熟,建议重点在以下方面推动遥感的业务化:

■ 洪涝灾害遥感监测评估与预警

■ 旱情遥感监测评估与预报

■ 国际河流遥感监测评价

■ 全国真实节水效果遥感评价

水利遥感学科 30 年来的发展经历过辉煌,也面临过徘徊和思考。笔者希望借此机会,向为我国水利遥感应用做出卓越贡献的前辈们表示敬意,向关心和支持过水利遥感应用工作的专家、领导和部门表示谢意。遥感依然是一个蓬勃发展的朝阳学科,尽管遥感并非万能,但国内外的经验以及水利遥感本身的发展历程告诉我们,遥感技术无疑是一个非常有效的现代工具。认识遥感,相信遥感,支持遥感,呵护遥感,更重要的是使用遥感,就如汶川地震中堰塞湖的应急遥感监测一样。只有这样,水利遥感学科才会不断发展。

参 考 文 献:

- [1] 曹述互. 水利遥感应用回顾与效益分析[A]. 1998 全国地方遥感应用协会年会[C]. 141- 146.
- [2] 曹述互. 防洪救灾遥感信息系统的研制与应用[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2004, 14(1): 141- 146.
- [3] 曹述互. 黄河防洪遥感应用实验简介[J]. 国土资源遥感, 1989, (2): 58- 64.
- [4] 曹述互. 中国的防洪遥感信息系统及其应用[J]. 遥感信息, 1992, (1): 11- 14.
- [5] 李茂堂. 航空遥感实时传输系统及应用[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2007.
- [6] 李纪人, 苏东升. 重大自然灾害监测评估运行系统的建立[J]. 中国水利, 2000, (7): 29- 30.
- [7] 曹述互. 遥感技术在防洪中的应用[J]. 水文, 1983, (4): 25- 26.
- [8] 曹述互. 遥感技术在防汛中的应用[J]. 中国水利, 1996, (7): 26- 27.
- [9] 李纪人. 遥感与水问题[J]. 国土资源遥感, 1999, 41(3).
- [10] 曹述互, 丁力, 肖清福. 应用气象卫星图像监测辽河洪水[J]. 遥感信息, 1987, (3): 42.
- [11] 李纪人. 遥感技术在 1998 年洪涝灾害监测与评估中的应用[J]. 中国航天, 1998, (11): 3- 5, 9.
- [12] 钟劭南. SAR 图像在水资源调查和土壤水分监测中的应用研究[A]. 第 11 届全国遥感技术学术交流会议论文集[C]. 海口, 1999, 5.
- [13] 陈子丹, 李琳, 严慕绥. 基于 GIS 多因子分析及其信息融合技术的土壤侵蚀分级制图研究[J]. 遥感信息, 1998, (2): 16- 19.
- [14] 李小涛, 黄诗峰, 李琳, 等. 嘉陵江流域土壤侵蚀变化遥感分析[J]. 泥沙研究, 2006, (6): 65- 69.
- [15] 陈子丹, 李纪人, 夏夫川. 有效灌溉面积遥感调查方法研究与应用: 以河南省试点工作为例[J]. 遥感信息, 1997, (2): 19- 24.
- [16] 徐美, 黄诗峰, 李小涛, 李纪人, 杨海波. 黄河口近十年变化遥感监测及水沙条件分析[J]. 泥沙研究, 2007, (6): 39- 46.
- [17] 孙涛, 李纪人, 杜龙江. 塔里木河下游应急输水前后生态变化遥感监测分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2004, 2(3): 179- 183, 188.
- [18] 路京选, 何宏谋, 钟劭南, 李琳, 潘世兵. 基于遥感的内陆荒漠绿洲生态修复效果分析[J]. 水文, 2006, 26(12)

增刊): 107– 110.

[19] 徐美, 阮本清, 黄诗峰, 鲍子云. 灌区作物种植结构遥感监测及其应用[J]. 水利学报, 2007, 38(7) : 879– 885.

[20] 杨海波, 李纪人, 李小涛, 黄诗峰, 徐美. 黄河三角洲河口地区土地利用及生态环境景观分析[J]. 水利水电技术, 2007, 38(3) : 82– 84.

[21] 黄诗峰, 李纪人, 徐美, 等. 基于 Web GIS 的全国水环境信息系统的设计与初步实现[J]. 水文, 2003, 23(4) : 22– 25.

Review on 30 ears’ achievement of remote sensing application
in water resources

LU Jing-xuan

(Remote Sensing Technology Application Centre, IWHR, Beijing 100044, China)

Abstract This paper systematically introduces the main technical achievements of remote sensing applications in China’s water sector during the past 30 years. Innovative research outputs are reviewed under 9 aspects with focus being on flood monitoring and draught monitoring. Moreover, the evolution and current situation of the Remote Sensing Technology Application Centre is briefly described with some recommendations for its future development. It is hoped that this review paper will provide an overall insight into remote sensing contribution and technical progress in China’s water sector.

Ke words: remote sensing; flood monitoring; drought monitoring; soil erosion mapping; hydroinformatic systems; GIS



作者简介: 路京选(1961–) , 男, 陕西人, 教授级高级工程师, 遥感中心副主任, 主要从事 3S 技术在水利上的应用研究。

(责任编辑: 李福田)