

遥感与水利事业发展

李纪人

(中国水利水电科学研究院遥感技术应用中心 北京 100044)

摘要 介绍自 1980 年以来,遥感技术在水利行业所经历的学习、试验、应用和发展等四个阶段,显示了遥感技术客观、宏观、快速、动态和经济的优势,并着重从洪涝灾害监测评估、水资源和水环境调查、土壤侵蚀和水土保持、河道及水库泥沙淤积监测、河湖及河口演变调查以及土壤水分及早情监测等几个方面反映了遥感这一新技术在水利事业发展中所发挥的作用。

关键词 遥感;水利;水旱灾害监测;水资源调查;泥沙淤积监测

自 1980 年遥感技术引进到水利行业以来已有近 20 个春秋,经历了学习、试验、应用和发展这几个阶段,遥感技术以其宏观、客观、快速、动态、经济等优势,为水利事业和传统的水利科学研究注入了新的活力,使一些原来做不到的或做不好的事轻而易举地得到了解决,取得了明显的社会效益,为水利行业的发展发挥了一定的作用。回顾近 20 年来遥感技术在水利行业的应用,发展最为突出的有以下几个方面:洪涝灾害的监测评估、水资源和水环境调查、土壤侵蚀和水土保持、河道及水库泥沙淤积监测、河湖及河口演变调查、土壤水分及早情监测。本文将围绕这几个方面作一简单的介绍,从这些侧面反映遥感这一高新技术在水利事业发展中所发挥的作用。

1 洪涝灾害监测评估

遥感技术很早就开始用于洪涝灾害调查。水利部遥感技术应用中心早在 1983 年就利用陆地卫星 MSS 图像监测了三江平原挠力河的洪水,后来又曾采用过 NOAA(AVHRR)、机载侧视合成孔径雷达(SAR)、航空彩红外等手段监测过洪水。近 10 年来的发展主要表现在以下 5 个方面:一是研制成功了机载 SAR 的实时传输系统,装载 SAR 的飞机在几千千米以外飞越灾区上空时,将地面的真实情况实时地在位于北京的监测中心显示、存储、硬拷贝,滞后仅几秒钟;二是广泛应用了星载 SAR,包括 RADARSAT, ERS-1, ERS-2 和去年已失效的 JERS-1,使监测洪水的机会大大增加;三是组成了以航天(星载 SAR)、高空(机载 SAR)、低空(直升飞机)和地面观测站所组成的立体监测网,再加入气象

卫星的宏观与动态监测,基本上可以保证对洪涝灾情及工情的监测;四是在灾情评估方面有了新进展,正在建设 7 大江河流域的基础背景数据库,数据层面有数字高程模型(DEM)、水体、水利工程、土地利用、社会经济、交通等等;五是已在水利部遥感技术应用中心初步建成了以集成系统为基础的洪、涝、旱灾害监测评估业务运行系统,该系统目前已投入试运行,从 2001 年开始正式运行。正是由于这些发展,使遥感技术在 1998 年我国长江和东北地区发生特大洪水期间发挥了重大作用,及时为国务院和国家防汛抗旱总指挥部提供了科学的信息。水利部遥感技术应用中心用星载 SAR 作了 5 次监测,用机载 SAR 作了 4 次监测。嫩江决堤后的图像及淹没范围专题图连夜送往大庆油田后,在油田及大庆市的防洪指挥及生产调度中发挥了极大的作用。即将开始的洪涝灾害监测评估业务运行,意味着在任何情况下都要按规定的技术、质量和时间要求、作业流程、操作方式完成对水旱灾害的遥感监测评估任务。这是遥感技术在防洪减灾实际工作中迈上的新台阶,是遥感技术走上生产第一线的又一新标志。

2 水资源和水环境调查

我国水资源短缺,人均水资源量仅为世界平均水平的四分之一,在各国中列第 88 位。目前黄河、海河的季节性断流,湖泊大面积萎缩,地下水位降低,我国可用水资源的短缺已成为社会与经济可持续发展的主要制约因素之一。水资源对其它环境要素起着制约的作用,水资源的短缺也造成了生态环境的恶化,植被减少、沙漠化、生物种类减少等也

日趋严重.此外,水的化学污染、油污染、热污染也是我国面临的十分紧迫的问题,水环境的影响不亚于水资源的短缺.因此,水资源和水环境是水利工作中一个极其重要的方面.遥感技术在这方面也发挥了一定的作用.

2.1 地表水体提取

在地表水体提取上,80年代用近红外遥感图像比较多,而在近10年来则更多地利用了SAR图像,提取河流、水库、湖泊等地表水体.遥感结合地理信息系统技术还可以寻找地下水.通过遥感图像可查明与地貌、岩溶地貌、第四季地质和新构造有密切联系的水文地质条件,结合物探结果,可较准确地评价地下水资源.重视遥感资料的地质和水文地质分析是我国用遥感调查裂隙水准确率较高的原因.此外,主动微波遥感对地面有一定的穿透能力,可以发现地下古河网的踪迹,寻找地下潜水层.

分布式或半分布式水文模型可以充分考虑下垫面条件(植被、土壤、土地利用、地形)空间分布的不均一性,从而更准确地反映产流量的时空变化和提高水文预报或模拟的准确性^[1].这是大尺度或区域性水文模型,也是与大气模型耦合的水文模型的基本和必要的结构形式.遥感可以为这类水文模型提供反映下垫面条件,从而确定模型参数或直接提供输入.此外,气象卫星和多普勒测雨雷达在降雨定量预报和测定方面的研究近年来也有了较大进展,已接近实用的要求.这些遥感手段可以变传统的点雨量监测为面雨量监测,充分地反映降雨在空间分布上的不均匀性,弥补雨量站稀少或没有所造成的欠缺,为分布式水文模型中各个网格提供了降雨量的输入,并且大大延长洪水预报的预见期.这些水文模型不但是水文预报和模拟的有力工具,也是估算区域水资源(包括地表和地下水)的有效手段,尤其是可以反映产流量的时空分布及部分水资源的空间分布.

遥感对雪盖范围、雪的状态以及雪盖融雪程度的监测十分有效.近10年来,用SAR对雪盖厚度的测定有了新进展,从而对雪盖水当量的估算更加精确.1998年长江大洪水的预测成功与1997年冬和1998年春用遥感手段对青藏高原积雪的监测有密不可分的关系.融雪是我国西部地区水资源的重要组成部分,目前遥感是冰川、融雪水资源调查最为有效的手段.

2.2 水环境监测

水资源的质量与数量同样重要.在经济飞速发展的同时,我国的环境污染,其中包括水污染日趋严重,成为亟待解决的非常紧迫的任务.国家对水环境问题也十分重视,例如在淮河流域采取的零点行动,

上海市对苏州河的治理,北京对城区河道的治理等都已取得了明显的成效.但水污染的治理还有一段漫长的路要走,水环境的监测则是一项长期而艰巨的任务.

遥感在水环境监测方面也同样大有可为.利用航空红外热扫描图像确定热电厂排水口外水体的热污染所造成的承载水体的升温及其空间分布;利用SAR图像或红外扫描仪确定海面油污染的范围和油膜的厚度;利用TM图像确定水生物(藻类)、赤潮的范围等都是在此领域应用遥感技术的例子.近10年来,对构成水质量的一些要素进行定量监测的研究有了一定进步,这些要素包括混浊度、总悬移质泥沙含量、pH值、总含氮量等等.采用高光谱对水体所含化学要素的定量遥感测定的研究目前正在北京官厅水库和太湖等水体积极进行.相信在几年之后能有可应用于生产实际的成果,为进行大面积的水环境监测提供先进、同步、快速和廉价的手段,取代传统的取水样化验的方法.传统方法存在样点代表性和不能同步监测的问题,而且作业时间长,取样和化验成本也比较高.

3 旱情监测

旱灾是影响我国农业生产和人民生活的又一重要自然灾害,从其影响的程度和范围来讲,甚至比洪涝灾害还要严重,一直是造成我国严重经济损失的主要自然灾害之一.旱情的遥感监测是难度比较大的一项工作.各部门关心的角度不同,因此有气象干旱、农业干旱、水文干旱等不同物理标准.在干旱指标上也各不相同.目前发展的以遥感数据为基础的方法虽然很多,如热惯量法、归一化植被指数距平法、作物供水系数法、作物缺水系数法、微波遥感等,但与农业生产的实际需要还相差甚远.不过近10年来的进展也还是明显的.首先是有了全国的耕地空间数据库,可以只对农田而不是土地进行旱情的评估.其次是有方法已注意到了从土地表层含水量推求土壤剖面含水量,例如水热耦合方程,而这正是微波遥感擅长之处.此外还有进一步考虑植被影响的方法,例如农田蒸散双层模型^[2].

目前发展的方法各有其适用的季节或适用的地区,由于受参数率定所需地面墒情资料的限制,有些模型在应用区域上还无法推到全国;有些方法也无法及时获得与卫星监测同步的气象因子而难于投入实际使用;各种方法之间所采用的干旱标准不一;不同季节的模型之间不能无缝连接.正是由于以上问题,目前在旱情监测上,以遥感数据为基础的方法,还没有达到实用化,离业务运行还有一段距离.

利用微波遥感测定土壤水分是十分有前景的途径,土壤的介电常数与土壤含水量有密切的关系,而介电常数与微波后向散射系数又有很好的关系。

常用的包气带水量平衡方程为

$$W_{t+1} - W_t = P_t - R_t - E_t \quad (1)$$

式中: W 为水量; $t, t+1$ 为时段; P 为时段降雨量; R 为时段径流量; E 为时段蒸散发量。其中蒸散发量一方面取决于单纯由气象条件(温度、风力、太阳辐射、湿度等)决定的蒸散发能力,另一方面也取决于土壤含水量,即供水能力。水文上有比较成熟的三层蒸发模型模拟这一过程,将蒸散发量与土壤含水量联系起来。而遥感在监测无法直接测量的流域蒸散发量方面也有一定的进展。因此多学科的综合能使遥感对土壤含水量、流域蒸散发的监测,继而对旱情监测的实用化在不久的将来有较大的突破,为旱情监测评估的业务运行奠定坚实的基础。遥感应用的发展从来都离不开学科的综合,而不是仅仅依靠遥感技术本身。

4 水土流失调查

土壤侵蚀受到多种自然因素和人类活动的综合影响,除了与降雨、径流的量与过程有关外,还与土壤、岩性、地质、地貌、植被、地形、土地利用、水系分布等因素有密切关系。而遥感技术正是获取这些宏观信息得天独厚的方法。

土壤侵蚀根据动力因素可分为水蚀、风蚀和融冰侵蚀这3大类型;根据侵蚀强度可分为剧烈、极强、强、中、轻、微这6个等级;而侵蚀的危险程度可分为毁坏、极险、危险、较险、无险这5个等级。

由水利部遥感技术应用中心组织的全国第一次土壤侵蚀遥感普查编制了各省、市、自治区1:500 000以及全国1:2 000 000, 1:2 500 000和1:4 000 000的土壤侵蚀现状图,建立了全国水土保持信息系统。这一成果于1992年经国务院批准正式发布,为国家制定水土保持规划和农业发展纲要提供了依据。目前,有关单位正在进行全国第二次土壤侵蚀遥感普查。通过这第二次普查,除了可以了解90年代初和目前全国土壤侵蚀的状况外,还可以了解近10年来所采取的各种水土保持措施的效益,比较治沟、治坡等工程措施以及生物措施的效果。

由遥感技术获取的丰富的下垫面信息也是研制流域产沙汇沙模型所需要的基础资料。得益于遥感技术,近10年来研制的这类模型所考虑的下垫面因素已大大增加,仅考虑土壤性质的模型已经落伍。遥感技术与数学模型的结合可以为土壤侵蚀及水土保持效益的预测以及模拟提供可行的手段。

5 河口、河道、湖泊和水库泥沙淤积调查

遥感影像可提供悬移质泥沙含量的信息,多时相枯水期的影像对比可以反映河口、河道、湖泊和水库等水体中由于泥沙淤积而形成的沙洲、浅滩等的变化以及水深的变化。

黄河是世界上著名的多沙河流,河床冲淤的频繁变化使之成为游荡性河道,并造成了河势的频繁变化。每年汛期中泓所向都有变化,这对大堤的防护与抢险造成了极大威胁,而黄河大堤的安危是事关我国社会经济大局的。因此,每年汛前,尤其是利用枯水期或断流时的遥感影像确定黄河中下游河道的河势是不可或缺的一项重要工作。

河道与河口的冲淤变化对航道工程及港口建设也非常重要。在长江南通河段、长江口、珠江口已用遥感技术作了一些卓有成效的工作。对防止河口与航道淤积,保持港池内的水势平稳发挥了重要作用。遥感影像可以记载历史,可以为分析冲淤的时空变化提供条件,这也是遥感技术的优势之一,当然它与水文及其它资料的互补也是十分必要的。

由于泥沙淤积,水库库容量逐年变化。及时、准确地了解这些变化是水库调度最基本的要求,对于防洪、发电、灌溉等都十分重要。利用多时相不同水位(包括建库后水位较低时)时的遥感影像以及建库前的DEM,可以确定水库库容和库容曲线。与用全球定位系统联合回声测深仪测量的方法相比,上述方法具有快捷和成本低的优点,但精度也相对较差。鉴于我国目前大多数大、中型水库建库后没有进行过库容测量而淤积情况又比较严重的状况,上述方法虽然精度稍差,仍不失为一种简捷有效的方法。采用多时相遥感影像测量新安江水库的库容量曲线就是一个成功的例子。对于湖泊而言,用前期的水下地形测量成果作成DEM,也可以采用类似的技术途径测定湖泊蓄水容量的变化和蓄水量与水位的关系曲线。这些都是近10年来在水利行业中因生产实际需要而在遥感技术应用方面的拓展。

6 大型工程选址和环境效益评估

大型跨流域引水(例如南水北调)工程的选线和大型水利工程的选址以及环境效益评估是遥感技术在水利水电领域中发挥重要作用的重要方面,它不但与工程本身的建设和安全有关,也直接影响当地和上下游居民的生产生活以及与生态环境的平衡,有重大的社会和经济效益。

大型工程不仅对拟建地的自然条件,特别是区域环境工程地质条件有许多严格的要求,还要从技

术经济的角度对不同方案进行评价.遥感技术可以为此提供各种所需的信息,提高工作的效率和质量.在三峡、小浪底、万家寨、二滩、东风、龙滩等水电站,引沁入汾和珠澳供水工程中都广泛利用了遥感资料,在区域稳定性和选择规划方案等方面起了重大作用.目前正开始进行的南水北调西线预研究中,遥感技术在称为世界屋脊的青藏高原更能发挥不可替代的重要作用,尤其是用干涉雷达(INSAR)或立体对图像确定高程更引起了广泛的关注.

水库技术经济评价和环境效益评估中的重要内容之一是水库的淹没调查.它涉及移民、安置和赔偿等一系列复杂而又敏感的问题.遥感技术可以调查淹没损失,例如建库后将被淹没的耕地、房屋、果园、林地等等.在三峡、二滩、黑龙江上中游梯级开发规划中和十几个水库建库前都采用了这一技术方法.此外遥感技术还可以调查移民安置区的环境容量和移民状况,确定安置区在水、土(坡度较小的可开垦耕地的面积)和其它资源方面承受移民的能力以及了解移民安置区已安置的移民数量(通过居民地面积)及生产状况(通过耕地).在三峡库区移民规划中,就进行了这项工作,这对于完成三峡水库移民任

务并避免移后复返具有重要意义.使移民工作从单纯的赔款淹没损失调查向妥善安置移民的生活和生产前进了一大步.

综上所述,近10年来遥感技术在水利行业中有更广和更深入的应用,已替代了许多传统的手段.作为一种先进和有效的工具,遥感技术已被越来越多的水利工作者所了解,但在水利行业,遥感技术应用的较突出的问题是还要进一步实用化,解决问题要更到位.只有这样,才能使更多的水利专业人员使用遥感技术,反过来又推动水利遥感技术的发展.人类涉及的所有信息中80%与空间位置有关,可以通过对地观测的手段获取.可以肯定,在下一世纪,在信息时代到来的时候,遥感技术必将成为解决大多数水问题中不可缺少的手段和工具.

参考文献

- 1 李纪人.遥感和地理信息系统在分布式流域水文模型研制中的应用.水文,1997(6):8~12
- 2 隋洪智,田国良.遥感旱灾模型综合分析.自然灾害学报,1996,5(3):87~93

(收稿日期:1999-08-31 编辑:马敏峰)

·简讯·

三峡工程进展情况

三峡工程自1993年开始全面准备,1994年12月14日由李鹏总理宣布正式开工以来,充分运用社会主义市场经济机制,全面推行项目法人负责制、招标承包制、建设监理制和合同管理制.全体三峡建设者精心设计、精心管理、精心施工,使工程建设取得了阶段性胜利.

1997年11月8日,三峡工程胜利实现大江截流,圆满地完成了第一阶段施工任务,顺利转入第二阶段工程建设.在业主及各施工、设计、监理等各方面的共同努力下,担负三峡工程二期导流期通航的临时船闸按计划于1998年5月1日实现通航,高质量地完成了三峡工程二期土石围堰施工,并经受了1998年长江特大洪水和8次洪峰的严峻考验;永久船闸土石方开挖已完成95%,业已开始浇筑闸首段混凝土;第二阶段大坝及电站厂房工程基础开挖已全面完成,进入了混凝土浇筑施工阶段,为其配套的各项砂石和混凝土拌和系统正在加紧建设或完善,各类先进的施工机械和设备已进入施工现场安装、调试和运行,大规模的混凝土浇筑高峰正在逐步形成.

至1999年5月,三峡工程已完成固定资产投资384亿元,完成土石方开挖16503万 m^3 ,其中主体工程完成11016万 m^3 ,完成土石方填筑6804万 m^3 ,其中主体工程完成578万 m^3 .

截止1998年底,三峡总公司对三峡工程单元工程质量评定总计72635个,合格率为100%,优良率为79%;通过各种招标形式形成各类合同总计3804个,总金额达311.73亿元.

三峡工程通过6年多来的建设,达到了预期的建设计划,工程进展满足了设计进度的要求,工程总体质量好,满足了设计要求,工程静态、动态投资均控制在国家批准的初设概算及预测投资范围内.

三峡工程第二阶段工程建设从1998年至2003年共6年,目标是在2003年实现首批机组发电,水库初期蓄水和双线五级船闸通航,工程建设具有工期紧、强度高、工序复杂、技术难度大等特点,其混凝土浇筑总量为1800万 m^3 ,年混凝土浇筑强度最高达500万 m^3 ,属世界水电建设之最.根据这一目标,1999年主体工程的重点由土石方开挖填筑转移到大坝、厂房和船闸混凝土工程的大规模浇筑施工,混凝土浇筑将达448万 m^3 ,工程总投资为111.7亿元人民币.1999年三峡工程建设资金到位情况良好,1~5月份,已完成固定资产投资31亿元人民币,完成土石方开挖277.91万 m^3 ,完成土石方填筑146.61万 m^3 ,完成混凝土浇筑112.45万 m^3 ,各项主体工程正在稳步向前推进.广大三峡建设者也正以百倍的信心迎接混凝土浇筑施工高峰的到来.

(中国长江三峡工程开发总公司新闻宣传中心供稿)