

遥感和 GIS 在干旱和半干旱地区水资源管理中的应用

李纪人

(水利部遥感技术应用中心, 北京 100044)

摘要:介绍遥感、GIS(地理信息系统)等高新技术在干旱和半干旱地区水资源管理中的应用, 包括水资源调查, 旱情与墒情的监测管理和预警, 沙漠化的动态监测以及治沙止漠效益评价, 生态的动态监测和生态需水量估算, 退耕还林还草的遥感调查, 灌溉面积调查与灌区发展规划, 土地盐渍化监测, 水环境监测, 水利工程的规划、建设与管理, 以及水资源实时监测管理系统等。

关键词:水资源管理; 遥感技术; 地理信息系统; GIS; GPS

中图分类号: P208; TV211

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2002)05-0001-04

我国的干旱和半干旱地区集中在北方, 尤其是西北. 黄河、淮河、海河三大流域和内陆河区的总面积为 420 万 km^2 , 占全国总面积的 43.9%. 多年平均降水量为 303 mm. 年水面蒸发量最少处为 758 mm, 而最高处为 2 578 mm. 多年平均径流量仅为全国平均量的 21.8 %, 多年平均水资源量仅占全国总量的 11.3%^[1]. 可见, 自然条件是造成干旱和半干旱地区水资源短缺的主要因素. 但也有人为的因素: 农业用水效率不高, 有浪费现象; 工业生产的单位产品耗水量偏高, 水的重复利用系数偏低; 水污染造成了水质性水资源短缺. 由于人口增加, 经济建设用水增加, 挤占了生态环境用水, 引发了一系列与水有关的生态环境问题.

水资源是干旱和半干旱地区社会经济可持续发展的基础. 在解决上面提到的许多问题中, 如地表、地下水资源和冰雪水资源的调查, 生态的动态监测和生态需水量计算, 现有灌溉面积调查和灌区规划, 土壤水和旱情监测, 土壤盐渍化调查, 退耕还林还草的规划和监测, 沙漠化动态监测, 河道变迁动态监测, 湖库淤积调查以及水利工程选址选线和规划、设计和建设等, 遥感、GIS 等高新技术在干旱和半干旱地区的水资源管理中可以发挥很大的作用. 从目前情况来看, 只要采取有力的工程和非工程措施, 是可以解决好我国干旱和半干旱地区的水资源问题的, 关键在管理.

1 水资源调查

河流径流量用水文监测的方法可以较精确地控制. 湖泊、水库的面积则可以用遥感手段来确定, 借

助于水位-面积-库容曲线, 可以确定湖、库中的水量. 通过丰、中、枯水期的多时相遥感资料和水位资料, 也可以建立起水位-面积-库容曲线. 这一技术路线要比进行水下地形测量经济得多, 关键是要有代表丰、中、枯水期的多时相图像以及相应的水位资料.

地下水是最重要的可再生自然资源, 是干旱地区人、畜饮用和农业灌溉不可缺少的重要资源. 遥感可提供地质、水文地质地貌、地层结构和城市环境分析的信息以帮助寻找地下水, 为野外详查提供线索, 提高找水的成功率. 在古河道、山前平原等地方, 雷达的穿透性有助于直接找到浅层地下水.

冰雪水资源的主要表征是冰川的大小, 雪盖的范围、厚度和性质等等. 要了解这些可采用遥感技术. 利用气象卫星时间分辨率高的优点, 根据云的位置是变化的这一特点, 就可以区分出云和雪盖. 微波遥感在雪的监测上能发挥更多的作用, 例如雪的厚度、性质、液态水在雪盖中占的比例, 从而可以更准确地估算融雪含水量和进行融雪径流预报. 1997 年底和 1998 年春天, 经过气象卫星的监测, 了解到长江上游的积雪面积比往年大得多, 这也是估计 1998 年长江会有大洪水的依据之一.

2 旱情与墒情的监测管理和预警

干旱一直是中国农业发展最主要的制约因素之一. 新中国成立 50 多年来, 年均受旱面积在 2 033 万 hm^2 左右, 约占全国耕地总面积的 20%, 其中成灾的面积超过 822 万 hm^2 , 因干旱造成的粮食减产平均每年达 1 102 万 t. 由于考虑的角度不同, 干旱有农

业干旱、气候干旱、水文干旱等不同标准,在干旱指标及分级上也不尽一致.覆盖面积大是干旱的特点之一,在一些样点采集的墒情数据必定存在着样点代表性的问题,即样点是否能反映大范围的旱情及其在空间上的分布.遥感技术宏观、客观、迅速和廉价的优势及其近年来的飞速发展,为旱情监测开辟了一条新途径,尤其在地理信息系统技术结合后,更是有了较大的进展.在与地面墒情监测或水文模拟等多种方法结合的基础上,遥感已在旱情监测中逐步实用化并将实现业务运行的目标.

随着遥感传感器的发展,用不同的传感器获取的数据,计算各种能直接或间接反映干旱情况的物理指标,已形成了很多种方法.我国目前采用的比较接近实用的方法有热惯量法、作物缺水指数法、归一化植被指数距平法、供水植被指数法以及用微波遥感法测定土壤水的方法.

地面监测的墒情是率定遥感旱情模型参数的主要依据.在采集、传输和处理的基础上纳入基于GIS的管理系统,可以实现双向查询,即从墒情站点的空间位置查墒情,也可以按墒情查空间位置.配合多媒体手段,当墒情低于某个程度时,系统能以声、光、色的方式示警.根据实测的墒情可以用水文模型方法计算土壤水的退水过程,从而实现预测.在这些信息支撑下,再结合作物分布及其与生长期相应的需水量,就可以对抗旱措施作出决策,确定何时从何地调多少水可以解除旱情.

3 沙漠化的动态监测以及治沙止漠效益评价

沙漠化与自然条件,尤其与气候和水资源的变化有关,也和过度的人类活动有关.沙漠化不但使农田面积和植被覆盖率减少、草原退化,而且是形成沙尘暴、污染大气的根源之一.中国目前沙漠化面积已达到 262.2 万 km^2 , 占国土面积的 27.7%^[2].

由于气候和水资源条件差异,沙漠化过程有 3 种类型,即沙质草原沙漠化,固定沙丘(沙地)活化和沙丘迁移入侵.

面对沙漠化仍在发展的严峻形势,朱镕基总理提出了“保护优先,预防为主,防治结合,统筹规划,综合治理,突出重点,分步实施”的治沙止漠的方针.在“十五”期间,重点抓 4 个区,并针对各个区的特点,采取不同的治理方针:①北京和天津周边地区以提高植被覆盖率为重点;②农业牧业交错地带,含 205 个县(旗),占 72.6 万 km^2 ,以退耕还林还草为重点;③草原地区,包括内蒙古自治区中部和东部的 4 个盟 32 个县(旗),占 72.6 万 km^2 ,以退耕还草,以草定畜(根据草地的情况限制放养牲畜的头数)为重

点;④绿洲带,以建成城市和道路的绿色生态屏障为重点,防止沙丘前移入侵和减缓沙尘暴的袭击.

遥感是监测沙化面积、植被及沙化状况、等级和空间分布等情况的最好工具.大多遥感影像都可以用于沙漠化的监测.由于治理的重点是正在退化的沙质草原,要根据其面积在水资源配置中安排一部分水用于治理正在沙化的草地,因此它是监测的重点,较高分辨率卫星的遥感监测在局部地区也是必要的.

4 生态的动态监测和生态需水量估算

不考虑生态需水量是以前水资源配置中存在的严重问题,也就是说以前的水资源配置是以牺牲生态为代价的.经济发展挤占了生态用水,导致了生态的严重恶化,塔里木河和黑河下游是最明显的例子.

遥感的优势之一是可以追溯历史,它是动态监测的有力手段.例如对塔里木河下游三次应急输水前后的生态变化,黑河下游生态要恢复到 20 世纪 80 年代水平,那时候的生态情况怎么样,这些都可以通过遥感手段来了解.例如,了解胡杨林、红柳、典型草地、退化草场和荒漠化草场的面积变化,覆盖度变化及其空间分布.由于在这些流域的下游,植被沿河分布的地带很窄,而生态的变化在短时间内又不会很大,因此高分辨率的遥感资料是必需的, TM(专题制图仪)或 ETM⁺(增强专题制图仪)可以作大范围的调查与监测,重点地区还需要用 SPOT(地球观测试验系统).

采用遥感手段与常规资料相结合的方法估计生态需水量,其基本思路为:①先作气候(温度和降水)作用下的一级分区(生态本底);②将遥感获取的土地利用与一级分区叠加,把非气候性水文因素(径流)和人类活动对生态本底的改变反映出来,分出可控和不可控生态需水量的二级分区;③通过土地利用图的详细分类,再细分二级分区,进行不同单元面积上生态需水的定量计算,即产生三级分区.

具体地说,一级生态分区是由 1:100 万 DEM(数字高程模型)和全国多年平均降水等值线图叠加,划出山区后,再根据降水量把平原划成平原荒漠,平原荒漠草原和干(典型)草原,森林草原和森林区等三个区.降水量 200 mm 是荒漠与荒漠草原的分界.二级生态分区是将土地利用叠加到一级分区上,先划出人工作用区,再区分非地带性植被,余下的就是地带性植被区.这样就把 4 个一级分区中的灌溉农业区、非灌溉农业区与本底区区分开来.在二级分区中多了灌溉农业区、非灌溉农业区和天然径流作用区.把二级分区图与年径流等值线对比,可分出径流作用

区和人类活动区、把土地利用图中分类的详细资料与二级生态分区图叠加分析、对比,可估算出各分区不同土地利用分类情况下的可控和不可控的生态需水量^[3]。

5 退耕还林还草的遥感调查

退耕还林还草是中央在西部大开发中为保护生态环境而采取的一项重要决策。但是,田退了多少,草和林又种了多少,要在大范围进行调查,遥感技术应是首选的手段。

由于退耕还林、还草的面积比较分散,单片范围不是很大,草与麦苗还不易分辨,再说也不能用价格昂贵的分辨率很高的遥感影像来做大范围的监测,因此在技术路线上还是值得研究的。

EOS-AMI(MODIS)(地球观测系统的中分辨率成像光谱仪)有36个通道,空间分辨率为250~500 m,每2~3 d过境一次。由于它的时间分辨率高,就可以从草地与麦苗的生长期上打时间差,来区分草与麦苗。此外MODIS也提供了计算生物量的有效信息,因此也可以从草与麦苗在生物量上的差别来区分草与麦苗,即判断是否已退耕,是否已种了草。至于面积可用ETM⁺,CBERS-1(中国-巴西资源1号卫星)来定量确定。这是有待试验的技术路线,如果有效,将比现行的逐级调查要准确、迅速、经济得多。林与草,尤其是草,耗水量比农作物少得多。这也是水资源开发利用与管理中的一项重要内容,对于干旱地区,不能过分强调粮食自给,宜农则农,宜林则林,宜草则草,宜荒则荒,一切以水为度。

6 灌溉面积调查与灌区发展规划

为了争水,有些地方盲目发展灌溉面积,统计上报的灌溉面积比实际的小。争水造成了下游无水,生态恶化。为了实现流域水资源统一调查管理,灌溉面积是重要的基础信息,也是遥感和GIS可充分发挥作用的一个方面。

有效灌溉面积的定义是土地平整、有灌溉设施和配套渠系、在正常年份下能灌到水的面积。在同一物候带,同一作物,有灌溉和无灌溉的产量可差3~4倍,甚至更大。由以上定义及表征可以看出,通过TM(ETM⁺)对耕地及主要灌渠的辨识以及通过气象卫星对作物长势的判断;可以用遥感手段确定灌溉面积,并建立基于GIS的信息管理系统。对河南全省有效灌溉面积的遥感调查试点表明,调查精度可以达到97%。

在干旱和半干旱地区,不宜强调扩大灌溉面积,如果有足够的当地水资源,则可以利用GIS进行灌

区发展的规划。其基本做法是将水体(河、湖、库)、降水、径流、土壤地下水位、地下水水质、气温、地形等多层数据进行空间叠加,对各种相关因子赋予一定的权重(与水资源有关的因子的权重要特别关注),得出优选方案,即选定最适宜发展灌溉面积的地方。

7 土地盐渍化监测

盐渍化也是干旱和半干旱地区的一种典型的生态环境现象。盐渍化在裸露地的遥感影像上具有直接解译标志。裸露土壤包括:收获地;受土壤盐渍化抑制,作物生长很稀疏的农田;农作物刚播种或栽植,正处于萌芽或幼苗期,作物叶片稀少的农垦地,等等。盐渍土最明显的直接解译标志是近白色的浅色调图斑,其边缘自由弯曲;图斑破碎形状有条带状、斑块状、环状、弧状、放射状和网状等。

在雨季的彩虹外相片上,土壤的浅色调源于碱化层以上的碱化土表面。它几乎没有盐霜或很少盐霜,但由于缺乏有机质及土粒散度高而具有不良的透水性和通气性,表土呈现出坚硬的灰白色结壳,有别于非盐渍土和降雨冲洗过的盐化土壤,表现出较高的反射率。在旱季,盐渍土的浅色调主要是由表土返盐形成的盐结壳或盐霜决定的。随着盐渍化程度的加重,反射率也随之增高。在可见光和近红外的波长范围内,反射率大体上逐渐增高,表现出偏黄色调的特征曲线,这是因为除白色的盐霜外,还有土黄色的土壤作为背景的缘故。

在盐渍土的遥感标志中,色调是主要的,但遥感影像的图形标志也有重要作用。如古河道两侧的白斑呈带状,滩形微高地上的白斑呈纺锤形,洼地四周的白斑呈环状,坡地上的白斑呈片状,决口扇扇缘上的白斑呈条带状等。

我国西北地区由于灌溉不当等原因造成的次生盐渍化面积已达200万km²,占全国盐渍化面积的1/3。

8 水环境监测

目前,遥感对湖泊、水库富营养化而形成的蓝藻、绿藻以及沿海地区的赤潮的监测十分有效。在水面实测资料的配合下,较粗地为水体水质分等级(五等)也是可以做到的。一般都采用ETM⁺的多波段合成,具体情况因地区(主要污染物)而异。利用高光谱定量确定水体中的各种化学成分,是世界各国正在研究的前沿课题。根据我们在北京官厅水库作的试验,浑浊度、电导率具有较好的关系。其技术路线主要是对光谱曲线取一阶或二阶导数。

9 水利工程的规划、建设与管理

水库和水利枢纽的选址除了要考虑水文因素和经济评价外,还要考虑地形和进行工程的地质评价,这些都可以根据遥感获取的信息,利用 GIS 作综合分析评价。调水工程的规划都可以在数字平台上进行,其中遥感是主要信息源之一,建立平台后,充分发挥 GIS 空间分析的作用,为决策提供依据。对于旱和半干旱地区而言,近期有南水北调的东、中线工程,工程完成后每年可适当增加黄河上游省区的分水指标;远期有每年可调水 150 亿 m^3 的西线工程。对于这些调水工程的规划、设计、建设和管理都可以充分发挥遥感和 GIS 的作用,建立信息平台,加入模型,进行模拟以及提供直观的三维显示等等。

10 水资源实时监测管理系统

鉴于水资源问题的重要性及其有关信息的广泛性,建立一个专门的实时监测与信息管理系统是十分必要的,可以在统一的信息平台上,为决策提供依据。该系统的信息来自常规手段和遥感手段,有实时的,也有非实时的;信息管理统一于以 GIS 技术为支撑的平台,可以实现基于网络的信息共享。

水资源实时监测管理系统可由信息采集、传输、处理和决策支持这 4 个子系统组成,可以实现实时采集水文(河道流量、水位,水库与湖泊水位,地下水水位,墒情)和水环境(水质)数据。在有条件的时候和地方可以实现自动采集,利用卫星、微波、超短波、短波或计算机网络实现到管理中心或分中心的传输。空间数据库中有实时数据也有历史数据。空间数据包括有基础地理(水体、地形、土地利用、土地覆盖、行政区划、交通、作物分布等)、社会经济、水资源

开发与利用(供水、需水)等,此外还有图形库和图像库。数据处理包括遥感图像的处理和其他数据的处理,也包括数据库的更新。在决策支持方面有模型库和知识库,可为决策提供全面综合的依据。

水资源实时监测管理系统的功能为:①查询。信息查询可双向进行,即由空间位置查属性,以及根据属性或条件查空间位置。②统计。可以进行空间以及时间上的统计。③预测、预报和预警。结合专门的模型,进行水资源预测、暴雨洪水预报、枯季径流预报、墒情预报、融雪径流预报、供需水预测等。④采用 WEBGIS 实现多终端及远程调用、操作,其中也包括矢量数形。⑤规划。包括水资源开发利用规划、灌区发展规划、水利工程规划、农作物区划规划、退耕还林还草规划等。⑥会商。为会商决策提供信息、方案、后果等方面的依据。⑦虚拟模拟及直观显示。⑧区域综合分析。

目前我国海河流域、太湖流域以及江苏省和辽宁省正在对水资源实时监测管理作试点。其中有资源型缺水地区,也有水质型缺水地区;有半干旱地区,也有湿润地区。要根据地区的特点与具体条件,尤其是实际需求,设计水资源实时监测管理系统,这是实现水资源管理现代化必须迈出的一步。

参考文献:

- [1] 钱正英,张光斗.中国可持续发展水资源战略研究报告集(第1卷)[M].北京:中国水利水电出版社,2001.4~5,241.
- [2] 田魁祥,马七军,李惠英.草业恢复与沙漠化防治[M].北京:气象出版社,2001.1~3.
- [3] 王芳,王浩,陈敏建.西北地区生态需水研究[J].自然资源学报,2002(2):10~15.

(收稿日期:2002-04-30 编辑:马敏峰)

《西北水力发电》征订启事

《西北水力发电》(国内统一刊号:CN61-1388/TK,国际刊号:ISSN1671-4768)是《中国电力网》《中国电力新闻网》《中国期刊网》《中国学术期刊(光盘版)》《万方数据资源网》《北极星电力电信网》入编、入网期刊。

《西北水力发电》主要报道水力、电力、风力等能源利用的新理论、新成果、新技术、新产品,主要反映有关水力、电力、风力与新能源的理论研究和试验成果,介绍水利工程、电力工程与新能源高新技术信息。内容包括:水库、大坝、电站、厂房、变电站、电网和供用电的勘测、规划、设计、施工和运行管理,水力机械及电气设备的设计、制造、安装和运行等,涉及水力计算、坝工技术、电站建设、厂房结构、设备制造安装、运行与监测、高电压输变电技术、电力系统与自动化、电器与仪表、计算机应用与网络、热工计量与测试、金属材料与性能、水轮机与发电机、库区旅游开发、环境保护与治理等方面的试验研究、生产经验总结、调查研究等,并介绍国外水电建设经验。

《西北水力发电》是西北地区惟一公开发行的水力发电期刊,作为陕西省水力发电工程学会会刊和西北五省(区)水力发电工程学会联系网网刊,将竭诚为读者服务,希望能继续得到大家的支持。

《西北水力发电》自办发行,全年邮购价为 30 元,欢迎订阅。地址:710048 西安市金花南路 5 号西安理工大学 202 信箱。电话:(029)3291827,2312694。传真:(029)3230217,E-mail:sxhy@mail.xaut.edu.cn