

文章编号:1001-5485(2010)01-0052-05

空间信息技术在灌区信息化中的应用探讨

张 穗¹, 谭德宝¹, 崔远来², 汪朝辉¹, 张治中¹

(1. 长江科学院 空间信息技术应用研究所, 武汉 430010; 2. 武汉大学 水利水电学院, 武汉 430072)

摘要:灌区信息化是灌区现代化的基础和重要标志,也是水利信息化的重要内容。随着以“3S”技术(遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS))为主体的空间信息技术的不断发展,其在农业方面的应用已经越来越深入和广泛。以湖北省漳河灌区为例,对空间信息技术应用于灌区信息化的几个重要方向及其技术关键和难点进行了探讨,对具体技术问题提出了解决方法。

关键词:灌区信息化;遥感;漳河灌区;关键技术

中图分类号:TP79 **文献标识码:**A

1 概 述

我国是农业大国,农业灌溉用水量约占全国用水总量的70%,灌溉用水又是农业用水的主体。农业水资源短缺与灌溉事业发展对水资源的巨大需求已构成尖锐的矛盾,实现灌区现代化管理,用管理手段提高灌区水的利用效率是今后灌区发展的必然趋势。要提高灌区管理水平,必须突破传统的治水思路,依靠信息技术,实现灌区管理信息化。

灌区信息化的概念随着信息技术的发展而提出,随着信息技术的发展而展开。灌区信息化主要包括两大方面的内容,一是基础信息的采集与基础数据库的建立,二是用水决策管理支持系统的建立,这两方面的内容相辅相成,缺一不可。其中,灌区内信息的快速获取与更新,是整个信息化过程的基础。

“3S”技术(遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)),结合数字摄影测量技术,虚拟现实技术,统称为空间信息技术,在农业方面的应用已经越来越深入和广泛。

灌区信息化是指运用先进的数据采集、传输和管理手段,建立一个以提高灌区管理效率和用水效率为目的的管理信息系统。具体来说,就是借助计算机网络技术、数据库技术、空间信息技术、遥控遥测技术等现代化手段对灌区地理地貌、资源环境、种植情况、用水信息等各方面的海量数据和信息以数字化的形式进行获取和存储、动态监测与管理,以此

为基础,建立覆盖全灌区的一体化的数字集成平台和虚拟环境系统,为灌区水利工程管理、农业生产、防汛抗旱、灌溉用水管理、节水灌溉、环境保护、水土保持、信息服务等不同职能部门提供具有较高科学性和预见性的决策支持和信息服务。

传统的灌区管理方法在这些方面存在不足,如土地利用信息地面调查不准确,而它又是灌区水管理最基础的数据;同步大量布点监测土壤墒情不仅不准确,且费用高;灌区灌排渠系具有空间拓扑结构,用传统的方法难以描述;采用传统方法大范围的估算灌区内部当地水源状况相当困难等等。而空间信息技术正好满足这些方面的需求,遥感技术在数据快速采集与更新方面具有强大的优势,GIS技术最适合大规模数据的组织、管理和平台集成,GPS技术能够将不同来源、不同地理坐标的地面数据结合在一起,虚拟现实技术能够实现灌区地面信息的真实模拟,GIS平台同时能够支持用水管理、优化水资源配置的计算模型。

本文拟结合湖北省漳河灌区为例对空间信息技术应用于灌区信息化的几个重要方向及其技术关键和难点进行了探讨,对具体技术问题提出了解决方法。

2 漳河灌区基本情况

漳河发源于湖北南漳县境内的荆山南麓之三景庄,流经保康、远安、荆门、当阳等县、市,在当阳市两

收稿日期:2009-11-10

基金项目:科技部农业科技成果转化资金项目(05EFN216800404);长江科学院科研基金项目(YJJ0804)

作者简介:张 穗(1976-),女,湖北武汉人,工程师,硕士,研究方向为3S技术在资源环境中的应用,(电话)027-82926550(电子信箱)zhangsui@mail.crsri.cn。

河口与西支沮河汇流,全长 202 km,流域面积 2 980 km²。流域内土地肥沃,气候温暖,雨量丰沛,环境宜人。上游山区森林密布,覆盖良好,森林及宜林面积占总面积的 40% 左右,主要森林有松、杉、杨、柏,而以松林为最多,是湖北省重要林区之一。流域内煤、铁、铜、硫磺、石膏等矿藏资源丰富,其中煤炭最多,是湖北省汉江平原工业生产与生活用煤的主要源地。

漳河灌区以漳河水库为主要水源,以农业灌溉为主,工业和发电为辅,灌溉是兴建漳河水库工程综合开发利用的主要目标之一。该灌区工程于 1961 年开始动工,1966 年 10 月,灌区开始全面通水受益。漳河灌区担负着荆门、荆州、宜昌等 3 个省辖市 6 个县(市、区)的农业灌溉用水。灌区设计灌溉面积 17.37 万 hm²,渠道总长 7 167.56 km,渠系建筑物 17 547 座,灌区兴建有中、小型水库 314 座,总库容 8.45 亿 m³。其中兴利库容达 4.88 亿 m³,塘堰 81 595 口,蓄水能力 1.90 亿 m³,30 kW 以上的电灌站 432 处,总装机 673 台,计 101 896 kW,提供流量达到 248.72 m³/s。灌区已初步形成以漳河水库为骨干,中小型水库为基础,电灌站作补充的大中小、蓄引提相结合的灌溉体系。

自 1990 年以来,漳河灌区已先后研究建成了防洪调度自动化系统、实时灌溉预报及灌溉水动态管理系统试点、大坝安全自动监测系统试点、水利通信专网、办公自动化计算机局域网、城镇供水遥测系统等信息化系统、漳河水利信息网站,并根据我国灌区输水系统的特点和现有的管理水平,进行了高淹没度智能型量水成套技术推广项目、CMC 超声波明渠(河流)测流系统项目方面的研究,初步奠定了漳河灌区信息化的研究基础。

作为水利部全国大型灌区信息化第一期 30 个试点灌区之一,从 2004 年开始,漳河灌区信息化建设得到了进一步的发展,初步建立了计算机网络系统、土壤墒情监测系统、雨水情遥测系统、闸门视频监控系统等。信息化系统的建设为实现漳河水库从传统水利向现代水利、可持续发展水利转变夯实了基础,有力地促进了漳河水资源管理的现代化。

3 空间信息技术在灌区信息化中的应用方向及趋势

以 3S 技术为核心的空间信息技术,在漳河灌区信息化中,发挥了十分重要的作用,主要表现在以下几个方面。

3.1 直接提取地面信息

地面信息的直接提取是遥感数据最主要的作用之一,在这个方面,遥感信息源大范围、同步提取和质优价廉的优势非常明显。从遥感影像上提取地面信息的方法相对比较简单,一般通过影像融合或者增强的方法,突出需要提取的地物特征,然后利用计算机自动提取的方法提取,最后在难以自动提取的区域进行手动提取作为补充。信息提取的方面很多,在此不详细叙述,针对不同地面信息,提取的方法与数据的选择也有区别。

渠道信息:渠道通常在遥感影像上表现为线状的特征,渠道一旦建立在比较长的时间周期内都没有变化,因此一般无需更新,但是有的渠道比较窄,需要高分辨率的数据资源,对于漳河灌区,一般采取 2.5~5 m 左右的遥感信息源一次性提取;

水域:水域是随季节变化比较大的地面特征,根据需求,利用相应时相的遥感影像(分辨率在 10 m 左右即可),直接用边界提取法提取水域边界;

土地利用:土地利用信息的提取已经是比较成熟的技术,一般采用 ETM 影像通过监督分类的方法提取,1:100 000 比例尺完全可以达到灌区管理的需要;

种植面积:种植面积是十分重要的信息,以往采取统计的方法获取,但是总会产生数量偏大或偏小的情况,采用遥感手段进行调查,即快捷又准确。

目前在漳河灌区已经实现了基于 2.5 m SPOT 遥感影像的渠道、水库边界的提取,以及基于 ETM 数据的土地利用类型的提取。由于漳河灌区地面耕地分布比较复杂,田块小,田埂比例大,因此要求更高精度的地面数据源。

3.2 灌区基础地理信息平台建设

以往灌区信息集合都以地面调查、纸质地图的方式为主,这种方法存在着工作量大、信息更新困难、调查信息难以以点代面的问题。

灌区是一个有固定边界(范围固定),内部由点状(如闸门)、线装(渠道、河流)和面状(湖泊、田块)等不同特征的地理信息组成的信息集合,特别适合用地理信息系统的拓扑结构来描述。

灌区相关的信息类别多、来源杂,主要分为基础地理信息与实时信息两大部分,基础地理信息包括区域内地形、河道、湖泊水库、渠道、闸门等,实时信息包括土地利用、种植状况、作物长势、水文、气象、田间及灌排系统中的水情、工程运行情况、社会经济等。这些信息往往在数据精度和比例尺等方面具有很大的差异,要将灌区所有灌水相关的信息集成到一个统一的信息数据库中,才能保证数据的可靠性、

准确性与全面性。

2006 年开始,漳河灌区建立起基于 GIS 的灌区基础地理信息平台,就是一个以遥感、地理信息系统、数字摄影测量技术为核心技术手段,从灌区管理的实际出发,建设的高精度、现势性强、可共享的数字化平台。目前该系统已投入实际使用,为漳河灌区用水决策支持系统提供数据管理服务,运行效果良好。

3.3 灌区水资源量调查

灌区当地已有的水资源量是灌溉决策中需要用到的重要信息,这一信息必须真实、实时。计算水资源量的方法比较复杂,常规方法几乎不可能实现,我们应用的是计算水库库容的原理。该方法是根据灌区内的 DEM,计算出水库或者塘堰在各个水面高度条件下的库容,然后加和得到区域内的现有水资源量总和。长江科学院在有关研究的基础上,根据以上原理自主开发了库容计算软件 kurong,该软件在三峡水库静库容复核及荆江分洪区蓄洪量计算工作中取得了较好结果。

kurong 软件中把 DEM 值作为格网 4 个角点的高程值,对库容的计算方法为

$$V(H) = \sum_{i=1}^n P_s \times [H - (h_i + h_{i+1} + h_{i+2} + h_{i+3})/4] \quad (1)$$

式中: $V(H)$ 为水库库容(m^3); n 为 $(h_i + h_{i+1} + h_{i+2} + h_{i+3})/4$ 小于 H 的 DEM 格网个数,当 $(h_i + h_{i+1} + h_{i+2} + h_{i+3})/4 > H$ 时该格网不参与计算; H 为指定水位的高程值(m), h_i 为格网角点高程值(m), P_s 为单个 DEM 格网的面积值(m^2)。

3.4 地表水份状况调查

3.4.1 区域干旱状况调查

传统的干旱状况调查方法多采用地面布点监测的方式,这种方式投入巨大,维护费用高昂,而且难以以点代面,真实反映地面状况。随着气象遥感技术的发展,气象卫星(如 NOAA, AVHRR)遥感已经成为干旱监测的主要手段,提高地面监测精度、寻找新的更高效的遥感数据源已经成为干旱监测迫切需要解决的问题。

EOS(对地观测卫星)MODIS(中分辨率成像光谱仪)传感器因为其高时间分辨率、高光谱分辨率、适中的空间分辨率等特点,非常适合大范围、长时期、动态的干旱监测。长江科学院和武汉大学基于 MODIS 在旱情监测上的诸多优点,同时参考以往的各种干旱监测模型,充分考虑引起干旱的水热条件以及土壤覆盖类型等因子,提出了基于 MODIS 数据的干旱监测模型。该模型纳入了与干旱有关的各种

参数,包括昼夜温差、云指数、归一化植被指数、归一化积雪指数、降水距平、灌溉区分类、前期干旱情况。MODIS 干旱监测模型的表述为

$$DI = (\sum X_i \times P_i) + F(PDI), \quad (2)$$

式中: DI 为 MODIS 综合干旱指数; X_i 为干旱模型中可能考虑的各参数(即昼夜温差、云指数、归一化植被指数、归一化积雪指数、降水距平、灌溉区分类)得出的干旱等级; P_i 为各参数对 MODIS 干旱综合预警指数的影响权,该权应根据数据的可信度给出; PDI 为前期干旱指数, F 为一函数,表示前期干旱指数与当前干旱指数呈某一函数关系,该函数的确定与监测区的地理位置、监测时间及其跨度等有关。

由上述模型计算得出的干旱综合预警指数分为 6 类: 水体 D_0 ($-2.0 \rightarrow -1.5$)、湿 D_1 ($-1.5 \rightarrow -0.5$)、正常 D_2 ($-0.5 \rightarrow 0.5$)、轻旱 D_3 ($0.5 \rightarrow 1$)、中旱 D_4 ($1 \rightarrow 1.5$)、重旱 D_5 ($1.5 \rightarrow 2.0$)。对于永久水体,直接判定为无旱(过湿或正常);对于灌溉区,结合实际情况,如果其它指数预示有干旱发生,在地面观测可行的情况下,应该了解灌溉是否能满足农业生产的需要,如果灌溉水源有保障,则灌溉区应该直接确定为无旱(过湿或正常)。该模型已经在湖北省得到应用,获得了比较好的效果^[1]。

3.4.2 水稻缺水预警

水稻是中国南方的最重要农作物。一般采用植被指数法来监测植物缺水状态,但是这样的做法有比较大的滞后性,很难对灌水管理的工作起到指导作用。我们提出以下方法:根据种植习惯,水稻田缺水的重要标志,就是田里是否有水,因此我们直接用遥感影像监测水稻田里是否有水层覆盖,如果没有,说明需要灌溉。这种方法的困难在于:第一,这样的监测在一个水稻生长季节里,需要进行 2~3 次,因此要选择周期比较短的遥感数据源,或者采用几种遥感数据源联合运用的方法;第二,水稻田里有水层的时候,很容易和水库、塘堰等水体混淆,很难单独把水稻田提取出来。

3.4.3 土壤含水率调查

土壤含水率是灌区非常重要的指标,在北方灌区,土壤水分可以直接反映灌区的干旱状况,而在以水稻为主的南方灌区,土壤含水率的监控也是一个重要的步骤。落干晒田是现代水稻灌溉技术的一个重要环节,它能够控制禾苗的无效分蘖,促进根系发育,从而有效地吸收田间土壤深层水分,达到增产的效果。实践证明,落干晒田的程度要适度,既不能过轻,也不能过重。过轻达不到效果,晒田过度会导致相反结果。而“适度”的控制方法是通过田间土壤

含水率来反映的。

遥感监测土壤水分的研究方法很多,都是为了找到一个简单准确的计算土壤含水率的方法。大部分学者提出采用植被指数法反映土壤水分状况,这种方法相对比较简单,对土壤水分情况反映比较准确,但是植被指数对土壤含水率的反映有一个滞后效应,在农业上的应用效果不理想。能够直接从最新的卫星影像上获得土壤含水率的值,对实时把握土壤旱情,及时采取灌溉措施更有实际意义。

研究表明,雷达遥感是监测土壤含水率的有效手段,我们选择了欧空局 2002 年发射的 ENVISAT 雷达卫星,其搭载的 ASAR 是一种高分辨率成像雷达,空间分辨率达到 30 m 左右。并且于 2006 年 9 月,对漳河灌区三千渠灌溉范围进行了光谱采样和土壤样本采样。采样范围大约 1 000 km²,共 45 个采样点。

取光谱分析样点同步的实测土壤含水率(12 cm 深度)为 87.6%,76.1%,52.4%,42.8% 4 个样本(soil1, soil2, soil3, soil5),根据光谱仪的采样结果,分别计算 4 个样点在 TM1(450~515 nm),TM2(525~605 nm),TM3(630~690 nm),TM4(775~900 nm)光谱范围内的平均值,形成对应关系。

图 1 表明土壤含水率与其光谱反射特征有着明显的相关性。4 个样点中,除 Soil5 样点是被草木灰覆盖的土壤样点外,其他 3 个均为裸露的土壤。裸露土壤的表面光谱反射率随着土壤含水率的降低而升高,并且在 450~900 nm 范围里随着波长的增加而升高。这一结论与近年来相关研究是相符的^[2,3]。

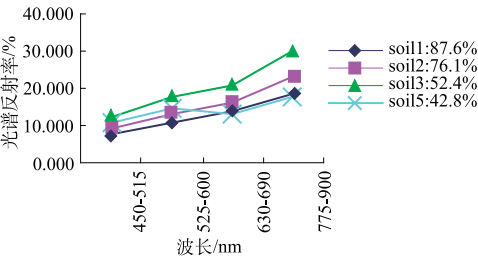


图 1 土壤反射率与 TM1 – TM4 波段相关性
Fig. 1 Relationship between soil reflectance and TM1 – TM4 wave range

将实测土壤含水率数据与 TM 遥感影像光谱数据进行相关性比较,发现 TM4 波段的影像与实测土壤含水率的自然对数值有明显的线性相关性(见图 2)。

选取采样点中 9 个裸露土壤的样本,研究实测土壤含水率与 ASAR 的 HV 极化方式影像的对数值的关联性,发现二者的二次相关度高达 90% 以上(见图 3)。

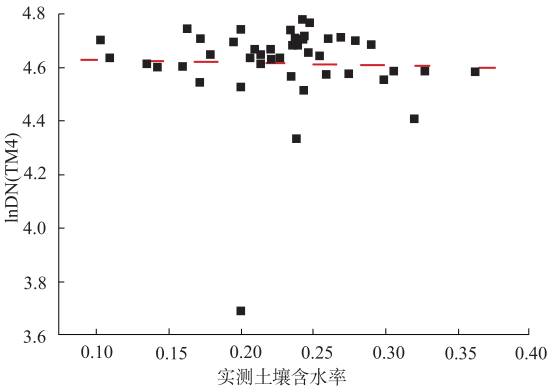


图 2 lnDN (TM4) 与实测土壤含水率的线性关系
Fig. 2 Linear relationship between lnDN_(TM4) and soil moisture

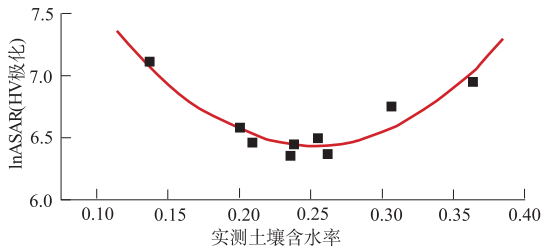


图 3 lnASAR (HV 极化) 与实测土壤含水率的线性关系
Fig. 3 Relationship between lnASAR (HV 极化) and soil moisture

3.5 灌区农作物分布现状调查及农作物长势现状调查与估产

3.5.1 灌区农作物分布现状调查

采用遥感数据分辨地表不同的农作物分布是一个比较新的课题,也有一定的难度。因为植被在多光谱影像上的特征大体相同,只有根据不同植被的生长季节、高度、颜色和种植特征来区别它们。从遥感的角度来说,涉及到分辨地物颜色、高度、长势、生长特征等方面的内容。因此,区分不同的植物,方法也是不同的。香港中文大学和长江科学院联合建立的长江 ASAR 数据应用研究中心,在这方面已经做出了初步的研究,在广东地区提取水稻种植区域,精度达到 80% 以上。下一步准备在漳河灌区进行试验推广。

3.5.2 农作物长势现状调查与估产

对于农作物的长势监测,国际上一般使用的都是植被指数法,最多的是均一化植被指数 NDVI。LANDSAT7 的 ETM+ 遥感影像有 7 个波段和 1 个全色波段,是提取植被指数技术应用最为成熟的遥感数据源。

雷达遥感也开始被应用于水稻长势监测及产量估计方面,邵芸等^[4]以水稻为对象,研究出一套行之有效的技术方法,在利用雷达遥感技术进行水稻长势监测和产量预估方面获得成功。该方法在国际上较

早提出了利用雷达遥感技术进行水稻长势监测的设想,解决了多云雨地区,特别是我国南方水稻遥感监测的数据源问题。提出了雷达遥感水稻长势监测及产量预估的最佳时相及图像获取频率选择组合的模式,并在国内外得到了应用。

3.6 灌区三维交互式可视化系统

灌区三维交互式可视化系统,是以大量高精度的基础数据为依托,采用空间信息技术,构建成的一个综合数据查询、分析三维虚拟和动态配水模拟的系统。系统的总体思路是通过对地形 DEM(数字高程模型)的加工,还原真实地形;通过对相应区域的航空照片处理,还原逼真的地貌;将两者根据坐标叠加,还原真实、逼真的地形地貌;通过模型建模还原真实的人工建筑物。可视化系统将能够真实模拟闸门开启关闭、渠道水流演进、渠道灌水等过程,任意路线、任意角度地浏览灌区地面真实状况。该技术正准备应用于漳河灌区。

4 讨 论

综上所述,以 3S 技术为核心的空间信息技术是灌区信息化工作的核心技术。空间信息技术将在数据采集、更新,数据平台建设,空间分析,旱情监测,农作物监测等方面为灌区信息化管理解决实际技术问题。

随着信息技术的进一步发展,空间定位精度的提高,GIS 技术的进一步成熟,高分辨率、高光谱的遥感信息源的普及,其在灌区信息化当中发挥的作用将会更加重要,将更好地为提高灌区水资源利用效率提供决策依据。

参考文献:

[1] 谭德宝,刘良明,鄢俊洁,等. MODIS 数据的干旱监测

模型研究[J]. 长江科学院院报,2004,(3):11-15. (TAN De-bao, LIU Liang-min, YAN Jun-jie, et al. Research on drought monitoring model based on MODIS data [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2004,(3):11-15. (in Chinese))

[2] Etenne Muller, Henry Decamps. Modeling soil moisture-reflectance[J]. Remote Sensing of Environment, 2000,(76):173-180.

[3] LIU Wei-dong, BARET F, ZHANG Bing, et al. Using hyperspectral data to estimate soil surface moisture under experimental conditions[J]. Journal of Remote Sensing, 2004,(9):11-14.

[4] 陈劲松,邵芸,林晖. ENVISAT ASAR 数据的特点及其在多云多雨地区的应用前景[J]. 遥感技术及应用,2004,(6):517-520. (CHEN Jin-song, SHAO Yun, LIN Hui. Characteristics and analysis of application of envisat-ASAR data [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2004,(6):517-520. (in Chinese))

[5] 李青云,谭德宝,程学军. 荆江河段洪水预警公共信息平台总体设计思路[J]. 长江科学院院报,2004,(3):41-46. (LI Qing-yun, TAN De-bao, CHENG Xue-jun. General design of public information platform for flood warning in Jingjiang reach of Changjiang River[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2004,(3):41-46. (in Chinese))

[6] 郑顺义,万幼川,谭德宝. 河道三维可视化技术研究[J]. 长江科学院院报,2004,(3):67-70. (ZHENG Shun-yi, WAN You-chuan, TAN De-bao. Study on 3D interactive browsing and roaming system of river channel [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2004,(3):67-70. (in Chinese))

[7] 谭德宝,张治中,雷天兆. 河道交互式三维可视化平台的建立[J]. 人民长江,2006,(8):21-23. (TAN De-bao, ZHANG Zhi-zhong, LEI Tian-zhao. The establishment of river interactive 3D visualization platform [J]. Yangtze River, 2006,(8):21-23. (in Chinese))

(编辑:曾小汉)

Discussion of Spatial Information Technology Application in Irrigation District Informationization

ZHANG Sui¹, TAN De-bao¹, CUI Yuan-lai², WANG Zhao-hui¹, ZHANG Zhi-zhong¹

(1. Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China;

2. Wuhan University, College of Water Resources and Hydroelectricity, Wuhan 430072, China)

Abstract: Irrigation district informationization is the base of irrigation district modernization. As the "3S" technology progressed rapidly in recent years, its use in agriculture has become more and more widely. In this article, several important key issues are discussed. By taking Zhanghe River irrigation District as an illustration, resolution methods of some concrete problems are put forward.

Key words: irrigation district information; remote sensing; Zhanghe River Irrigation District; key technology