

空间信息技术在水电工程全生命周期中的应用综述

朱 强^{1,2} 樊启祥¹ 金和平¹ 李纪人³

(1. 中国长江三峡集团公司 湖北 宜昌 443002 ; 2. 北京大学遥感与地理信息研究所 北京 100871 ;
3. 中国水利水电科学研究院 北京 100038)

摘要 简要介绍以地理信息系统、遥感和全球卫星导航系统为代表的空间信息技术的基本情况 , 针对空间信息技术在水电工程规划、建设实施和运行全生命周期的应用分别进行详细阐述。最后指出空间信息技术在水电工程应用中存在的问题并给出建议。

关键词 空间信息技术 ; GIS ; RS ; GNSS ; 水电工程 ; 全生命周期 ; 综述

中图分类号 : TP393 **文献标识码** : A **文章编号** : 1006-7647(2010)06-0084-06

Review on application of spatial information technology in lifecycle of hydropower projects // ZHU Qiang^{1,2} , FAN Qi-xiang¹ , JIN He-ping¹ , LI Ji-ren³ (1. China Three Gorges Corporation , Yichang 443002 , China ; 2. Institute of Remote Sensing and GIS , Peking University , Beijing 100871 , China ; 3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research , Beijing 100038 , China)

Abstract : A brief introduction was given to the spatial information technology including geographic information system , remote sensing and global navigation satellite system. Application of the spatial information technology in the lifecycle of hydropower projects during the planning , construction and operation stages was presented. Finally , some suggestions were proposed for the existing problems in the application of the spatial information technology in hydropower projects.

Key words : spatial information technology ; GIS ; RS ; GNSS ; hydropower project ; lifecycle ; review

据统计 , 人类社会所有信息资源的 80% 是空间信息 , 世界各国都非常重视空间信息的建设和应用。作为信息技术重要组成部分的空间信息技术的发展和应用是 20 世纪最有冲击力的科技突破。美国劳工部曾将空间信息技术与纳米技术和生物技术并列为全球新兴和正在发展的重大技术^[1]。通常 , 空间信息技术以“3S”技术为代表 , 分别指地理信息系统 (GIS)、遥感 (RS) 和全球卫星导航系统 (GNSS)。

空间信息技术从 20 世纪 60 年代逐渐发展壮大 , 技术不断成熟并完善。目前已经广泛应用在环境、资源、军事、农业、水利、国土、卫生等领域 , 在水利领域的应用主要体现在水资源、水灾害、水环境等方面 , 国内外相关研究和应用非常多^[2-4]。在水利工程方面 , RS 和 GIS 技术最早应用在与水利工程相关的地质调查领域 , 后来逐步扩展到生态环境评价、移民调查、水环境监测、影响评估等方面。由于水电工程的建设周期长、涉及的专业领域较多 , 目前尚没有专门的文献对空间信息技术的应用做一综合描述 , 笔者从水电工程全生命周期的理念出发 , 详细介绍

空间信息技术在水电工程规划、建设实施和运行 3 个阶段的应用情况。

1 空间信息技术在水电工程中的应用

一般来讲 , 水电工程的生命周期包括了预可行性研究 (预可研) 、可行性研究 (可研) 、施工准备 (包括招标设计) 、建设实施、生产准备、竣工验收、运行和后评价等阶段。在此基础上 , 又可以归纳为项目决策 (即规划) 、工程实施和生产运营 3 个阶段^[5]。文中将其分为规划、建设实施和运行 3 个阶段分别进行阐述。

1.1 水电工程规划阶段

水电工程规划阶段是指工程可研核准前的阶段 , 包括预可研和可研 2 个时期。空间信息技术在水电工程规划阶段的主要作用是获取各类专题信息 , 然后进行分析处理 , 为工程规划、工程建设方案的制定提供科学合理的决策支持 , 节省工程前期预可研工作的时间和经费投入。在水电工程规划阶段 , 空间信息技术主要应用于流域规划、地形测绘、

地质调查、移民安置规划、辅助设计、方案比选、环境影响评价等方面。

20 世纪 80 年代以来,RS 技术已经成为我国水电建设前期最重要的调查手段。从 80 年代初的二滩水电站,到后来的红水河龙滩、黄河龙羊峡、长江三峡工程,以及金沙江下游的溪洛渡、向家坝、白鹤滩及乌东德等电站,在工程建设前期都开展了大规模的航空遥感摄影测量工作,其获取的多比例尺(1:10 000,1:50 000,1:100 000 等)、多通道(可见光、红外等)的航拍资料在工程区域稳定性分析、库区滑坡和泥石流分布、淹没损失调查评估、生态及环境影响评价、移民等工作中发挥了重要的作用^[6]。

1.1.1 流域规划

采用空间信息技术可以缩短规划周期、提高规划效率、节约规划成本。在规划阶段,开展长期、全面的水文、地质、土地、植被、社会和生态环境等调查是一项重要而艰巨的任务。我国 70%~75% 的水能资源集中在西部,该地区地势险峻、地质构造复杂,给人工调查带来了巨大的困难。日臻完善的多时相、多波段、高分辨率的 RS 技术为解决数据源问题提供了新的选择,同时 GIS 的空间分析功能在进行专业分析时也可发挥独特的优势^[7-8]。随着空间信息技术的发展成熟,其在国家级、流域级水电发展规划中的作用将愈加显著。

1.1.2 地形测绘

基于天基或地基的雷达技术已经成为测绘领域的重要生产技术手段。它改变了传统地形测绘必须依靠人工逐点勘测的模式。雷达可以不受气候和地形条件的影响,在短时间内获取当地的地形基础数据。航空摄影测量结合重点地区的地面实测是水电工程前期地形测绘的有效方法。在技术层面上,目前美国 NASA 航天飞机完成的 SRTM(shuttle radar topography mission)数据提供了全球北纬 60°至南纬 56°之间的陆地地表高程数据,包括 30 m 和 90 m 这 2 种分辨率,机载的合成孔径雷达(SAR)和干涉雷达(INSAR)的精度则可达到分米级分辨率,能够用于 1:5 000 的 4D 产品的生产^[9]。同时,利用 SAR 和可见光数据进行浅水水下地形的探测也正在研究,随着技术的发展和成熟,将在河道水下地形的测量中起到一定的作用^[10]。

1.1.3 地质调查

水电工程地质调查是工程可行性论证阶段最基本的调查内容。地质调查是遥感最早在水电工程中应用的领域。目前,地质遥感调查技术已经十分成熟,一般在 1:200 000 地质调查的基础上进行,枢纽工程区则进行 1:50 000,1:10 000 或者更大比例尺的

调查。常用到的遥感数据有 Landsat MSS, TM, ETM, SPOT, Aster, 航空遥感等可见光及红外影像等。水电工程地质调查主要包括区域、水库区、枢纽工程区工程地质调查三部分。

区域工程地质调查主要包括岩性调查和构造调查。岩性调查以大中比例尺彩色红外航片为主,与卫片相结合。调查中,常以航片解译岩类、岩性和产状,在卫星影像上追踪其分布、总体产出形态及相邻岩类的接触情况。构造调查以中小比例尺卫星图像为主、大中比例尺彩色红外航片为辅进行电站坝址及库区的地层褶皱、断裂、新构造活动形迹等调查。

水库区的工程地质调查主要是库岸稳定性调查,包括崩塌、滑坡调查和泥石流调查等。RS 技术可以较为准确、快速地获取库岸岩性结构、地貌形态、崩塌、滑坡,以及泥石流的分布、数量、类型和规模等数据,从而可以较为合理地根据这些因素进行库岸稳定性分区。库岸崩塌、滑坡调查以大中比例尺航片解译为主,通过航片上所显示的侧壁、堆积体、裂缝、凹地等要素特征识别崩塌、滑坡,并可通过 DEM 计算其体积,确定活动状态。泥石流遥感解译也以大中比例尺彩色红外航片为主,根据图像上的堆积扇区及流域的形态、规模、色调识别泥石流,并可结合 DEM 数据计算堆积扇面积、主沟道长度、比降等信息。

1.1.4 移民安置规划

移民工作是集社会、经济、管理和信息于一体的复杂的系统工程,直接影响着移民的切身利益和水利水电工程的建设进度。移民工作的好坏是衡量一个水利水电工程成败的重要标志之一^[11]。空间信息技术在水电工程移民工作的应用主要表现在实物调查、信息管理和辅助决策支持等方面。

a. 实物调查。淹没实物指标调查是移民工作的基础。RS 技术可以作为规划阶段或预可研阶段移民实物指标调查的辅助手段。需要强调的是,尽管 RS 技术在移民实物指标辅助调查中发挥了突出的作用,但其不能替代人工入户调查。RS 技术在移民调查中应用的程度一方面取决于 RS 技术本身的性能指标,同时也取决于国家和政府的移民政策。

RS 辅助调查主要以航空摄影影像为主、卫星影像为辅。应用时,一般采用大比例尺的航拍数据,解译并判读淹没区的地物类型及属性,包括土地利用、植被覆盖、房屋建筑、道路、基础设施、文物古迹等;然后在此基础上对实物进行更详细的判读或统计计算,如根据立体像对估算房屋的高度、层数和种类,根据树木的形状、纹理并结合地形判断树种,以及依据当地的经济条件、人口密度等估算城镇、村庄的居

住人口等。对于移民安置地调查,主要是分析计算土地资源、环境容量等指标,用于移民安置的规划。

b. 信息管理。水电工程移民安置工作涉及的数据和信息是海量的。移民搬迁安置活动具有鲜明的地理区域分布特征,在工程移民决策实施中必须收集、管理和分析大量的空间数据。借助 GIS 不但能够准确表达移民相关信息,而且能将移民工作中涉及的实物指标的属性、位置以及相应的资金补偿有机地关联起来,统一管理。在表达方式上可以利用二维 GIS 和三维 GIS 实现平面信息和立体信息的全方位显示、查询和分析。同时,还可以根据设定的淹没水位计算淹没区域及其所属的实物损失价值。因此,基于 GIS 的移民管理信息系统是水电工程移民安置工作中的重要工具。目前,在怒江、金沙江等许多在建的水电工程都已经开展了移民地理信息系统的建设和应用^[12-15]。

c. 辅助决策支持。在实物指标调查和数据管理的基础上,可以进行移民综合管理工作,即业主和各级政府移民主管机构负责的在建工程的移民安置和已建工程的移民经济开发工作,业务工作综合性强、内容繁杂。在综合管理过程中,将空间信息技术和决策支持系统相结合,建立空间决策支持系统,系统内嵌水库淹没损失赔偿模型、水库移民安置模型、移民安置区土地资源评价模型、移民安置区环境容量评价模型、公共信息发布模型等^[13],可为移民管理工作提供辅助决策支持。

1.1.5 辅助设计

尽管水电工程的二维平面设计比较成熟,但在工程可视化辅助设计(VCAD),即工程设计条件可视化、设计建模过程可视化、计算分析过程可视化和设计成果可视化(包括三维真实感图形显示及非空间数据的图表、文档输出)等方面仍处于相对较低的水平。GIS 的空间数据管理、分析和显示的优势,注定了其与 VCAD 的同源性和互补性^[16-17]。将两者相结合并建立二、三维一体化的数据结构,可以大幅度提高工程设计的立体可视化效果,包括工程条件的数字化及可视化、设计过程的交互与可视、分析计算过程的动态可视化仿真、设计对象的真实感图形显示以及设计成果的直观提交等方面,同时也为建立水电工程数字档案打下基础。

1.1.6 方案比选

在工程规划阶段,空间信息技术可以应用在项目建设方案的比选和优化工作中。如最常用的道路选线设计方面,水电工程区道路设计不仅要考虑到道路的长度,更多的是考虑到每个设计方案所选路径的地形地质条件。基于数字地质模型和数字高程

模型的道路选线方法可以快速地选出技术可行的路线方案,并且可以计算出不同路线所需的开挖量,从而选择最优路径。同时,在导流河道、地下厂房开挖建设等设计方面也可以利用三维 GIS 技术进行方案的比选。

1.1.7 环境影响评价

环境影响评价是水电工程可行性研究阶段的重要环节。利用 RS 技术获取地表专题信息,通过 GIS 技术将基础地理信息与土壤、土地利用、水土保持、敏感区等环境要素信息结合在一起,利用空间分析模块对工程可能造成的环境影响进行客观、全面的评价,从而为工程规划批复提供决策支持^[18-19]。

1.2 水电工程建设实施阶段

空间信息技术在水电工程建设实施阶段的主要作用是在规划阶段监测数据的基础上,继续发挥数据采集的优势(尤其是 GPS 定点观测),对各类数据进行集成管理和发布显示,其应用主要体现在施工进度管理、环境监测、物流管理、安全监控、数字档案和资产维护等方面。

1.2.1 施工进度管理

应用 GIS 技术实现施工计划的三维动态模拟,不仅可以较好地表现建筑物的外形及其与工程环境的关系,还能将施工系统各部分及其在进度计划中的相互关系通过形象直观的立体图形表现出来,同时在三维模型的基础上实现工程信息的三维可视化查询,为工程施工管理提供有力的支持^[17]。如在大坝混凝土浇注过程中,利用定制的三维仓面模型可以实现盯仓管理、浇注查询,并可实现混凝土浇注和灌浆的周、月和年进度查询及进度展示。目前这项技术已经应用在金沙江向家坝水电站和溪洛渡水电站的施工管理中。另外,基于移动 GIS 和 GPS 技术的工程预埋仪器管理也是重要的应用方向。

1.2.2 环境监测

水电工程建设期的环境监测主要包括施工区的污染监测、噪声监测以及水土保持监测等。GIS 可以实现对施工生产区及生活区的水质监测点、大气监测点和噪声监测点的实时监测、管理和可视化查询,同时将测站的各监测指标结果通过 WebGIS 向管理部门和公众发布。工程区的土壤侵蚀监测则可以通过多源遥感数据进行定期监测,从而制定、采取相应的水土保持防治措施。

1.2.3 物流管理

大中型水电工程建设规模大,耗用物资种类和数量多,质量要求高。施工过程的不均衡性使得物资的需求和供应不均衡,且物资必须在多个项目中协调平衡,这些都增加了水电工程施工物流问题的

复杂性^[20]。而物流的关键问题是把施工所需要的物资在正确的时间、按正确的数量供应到正确的位置。GIS 技术恰恰可以解决时间、数量和空间位置的问题。建立水电工程物流地理信息系统可以对每批物资和设备进行可视化管理和分析,提升传统物流管理的效率,保证工程顺利进行。此外,利用 GIS 技术,结合 FRID、GPS 和 GPRS 技术,可以实现物流或施工车辆的跟踪管理,使监控车辆准确地进入施工位置,避免发生事故、耽误工程进度。

1.2.4 安全监控

由于水电工程规模巨大,塔吊等大型施工设备分布密集,如何管理这些施工设备并保证施工安全非常重要。利用安装在塔吊机械臂上的基于差分 GPS 的防撞系统,可以实时监控塔吊的位置和高度,并进行报警,预防设备碰撞事故的发生。

1.2.5 数字档案

水电工程工程量庞大,施工周期较长,诸如临时船闸、导流明渠等临时工程随着水电工程的推进将不复存在。对于工程管理来讲,保存、管理不同性质工程的档案以及临时工程的模型场景十分必要。三维 GIS 可以针对施工的不同阶段进行三维建模,工程完工后,可查询或再现任意施工阶段的工程建设情况。在工程建设期建立数字档案系统,将档案的时间、位置以及所属的建筑物集成在一起,方便工程管理及后期维护查询。

1.2.6 资产维护

资产维护是工程管理的重要内容。基于数字化成果,尤其是三维设计成果的水电工程水利、电力资产管理与维护是空间信息技术应用的重要方向,也将逐步取代传统的基于二维属性表的管理模式。目前,国内外已经有许多水电工程设计单位进行了尝试。

1.3 水电工程运行阶段

空间信息技术在水电工程运行阶段的作用主要是动态监测各类数据并加以综合管理,为水电工程的安全生产运行提供技术保障,也为水库运行的后评价提供决策支持。其应用主要体现在水库联合调度、大坝安全监测、生态环境效应监测与评价、灾害监测与预警、航道管理、枢纽区管理、旅游宣传等方面。

1.3.1 水库联合调度

流域的梯级开发使水库联合调度成为可能。水库联合调度主要是针对流域、水库和电站开展水电调度管理、未来趋势预测和历史资料分析等工作,其包括短期洪水预报、中期水文预报、发电调度、防洪调度、渠化航道水资源调度、风险分析、决策支持等

内容。联合调度的前提是建立针对流域的分布式数据采集平台和统一的分析预测模型,而空间信息技术在降雨监测、水资源监测、水文模型构建、水电调度目标函数分析和规则制定等方面都发挥着重要的作用。

在水文预报方面,利用 GPS、多普勒雷达和气象卫星进行降雨预报,根据实时气象、水文、地形、工程运行等数据,通过基于 GIS 和 RS 的水文模型进行计算、水文模拟和预报。在防洪调度方面,根据流域预报洪水、历史洪水、不同频率的设计洪水数据和水情测报的实时数据,实现利用水库的蓄泄能力对入库洪水进行蓄泄控制、拦蓄洪水、削峰错峰,根除或减少洪水灾害,使洪水造成的损失最小。GIS 主要应用在库容分析计算、防洪调度模型计算、防洪调度结果展示和防洪调度方案评估比选等方面。在水电联合调度方面,GIS 发挥着强大的优势,其应用包括调度目标函数分析和规则制定、水电联合调度模型计算、水电联合调度结果展示和水电联合调度方案评估比选等。

1.3.2 大坝安全监测

水库大坝在侧向水压力的作用下会产生位移,当位移达到一定程度的时候会造成溃坝。而大型水坝在汛期一旦发生溃坝将造成无法估计的经济损失,危及下游广大人民群众的生命安全。监测大坝在各种外界环境作用力的作用下运行是否正常,是水电站运行管理的一项重要工作^[21]。GPS 以全天候、高精度、自动化、高效益等优点成功地应用于大坝变形监测领域。国内外许多理论分析以及大量实际测试结果证明,经过较长时间的测试数据积累并进行有效的处理,GPS 测量的相对精度可达 $(0.1 \sim 1) \times 10^{-6} \text{m}$,点位误差可达亚毫米级。在 1998 年夏季长江流域的特大洪水中,隔河岩水利枢纽工程使用大坝外观变形地理信息自动监测系统,提供变形数据以确保在大坝安全的前提下最大限度地控制流量,在错峰调节洪水中发挥了重要作用。

1.3.3 生态环境效应监测与评价

水力资源蕴藏丰富的地区通常地势起伏、河流落差大,由于自然环境的限制人类活动相对较少,对当地生态环境的影响也比较小。实施大型水电资源开发之后,人类活动的影响强度必将大幅度增加,开展工程影响的动态监测和评价对于维护当地生态平衡和区域可持续发展非常必要。对开发区域生态环境进行详细调查和定期监测、评估,可保证大型水电工程的设计与规划更符合可持续发展战略。而在建设期间对工程实施区及生态敏感区等重点位置的高精度监测,可以获取建设过程的最直接生态环境反

馈,以便及时调整与规范合理的建设方案和进程。大型水电工程群的社会经济以及生态环境效应在正常蓄水运行之后才会逐渐体现出来,因此必须对大型水电工程群进行长期监测^[22-23]。

建立基于多源遥感数据的水电工程区生态环境遥感动态监测系统,可以定期监测工程及周边区域的土地利用状况、植被状况、水土流失情况,通过建立生态环境状况指数,并集成基于GIS的空间分析模块,可以对目标区域的生态环境做出科学的评价。对于梯级开发的河流,多级水电站的兴建会造成生态环境影响在一段时间内累积增强,必须动态监测生态环境的累积效应。近期库区温室气体(CH_4 , N_2O 等)的排放引起了国内外很大的争论^[24],相对于地面定点观测,遥感监测将为该研究提供新的思路和方法。

1.3.4 灾害监测与预警

以滑坡为代表的地质灾害是库区经常发生的自然灾害。实时监测灾害易发区的滑坡情况对于通航安全及大坝安全都有重要的意义。目前,在滑坡监测方面,GPS监测技术比较成熟;同时,雷达遥感监测滑坡也是一项精度比较高的技术手段。GPS定位技术目前在滑坡、地面沉降、地震、地裂缝等地质灾害监测方面应用广泛,且可进行连续监测,具有全天候、高精度、全自动等优点。该技术以坐标、距离和角度为基础,用新值与初始坐标之差反映目标的运动,从而实现变形监测。该技术适用于监测滑坡在不同变形阶段的地表三维位移。GPS滑坡监测内容包括滑坡体与地表水平位移和垂直位移^[25]。另外,运用合成孔径雷达干涉测量技术(InSAR技术)以及以此为基础的合成孔径雷达差分干涉测量(differential InSAR)进行滑坡监测,理论上可以达到毫米级的精度,不仅能够反映滑坡静态信息,而且可以反映滑坡的动态变化规律;通过对滑坡区的相关测量,可以探测地面变形的早期信号,有助于确定滑坡的范围并预测潜在事件发生的可能性;通过记录相关特征的变化史,建立灾害的演变模型,有效地制定减灾措施。

此外,基于GIS的应急处置系统在水电工程中也有很大的应用空间,可以针对自然灾害及人为事故的应急处理进行统一响应并做出处置。

1.3.5 航道管理

航运是流域干流电站肩负的一个重要任务。通过三维仿真技术的应用,利用航空遥感获取的大比例尺DEM数据和高分辨率遥感影像可以构建出航道的逼真三维场景,在较大比例尺三维场景中展示沿河地形、地貌和重要防洪枢纽等信息,并构建重点

水电枢纽的三维仿真模型,实现与流域三维空间场景的无缝链接。在此基础上,可以全天候、全VTS区域对港口、航道中任意地点、任意船只及其周围信息进行实时查询,从而为船只监控、导航和调度、航行指导、应急管理提供有力的支持。

1.3.6 枢纽区管理

枢纽区管理涉及面比较广,建立枢纽区市政地理信息系统,可以实现枢纽区基础地理信息、管网、安全保卫、绿化环卫、土地、交通、物业等业务的综合管理,方便信息的输入、管理、查询、分析及各类专题图制作等。空间信息技术已经在我国“数字城市”的建设中发挥了重要的作用,而枢纽区可以看成是一个功能简单的小城市,因此将GIS技术应用于枢纽区的市政管理是可行的。

1.3.7 旅游宣传

大多数水电站都建在山清水秀的地区,具有丰富的旅游资源。旅游信息中有许多属空间信息,具有定位性,并且信息时序特征十分明显,可按时间尺度进行划分,称其为旅游地理信息。处理这些区域性、动态变化的空间信息,普通的管理信息系统很难做到,而以空间数据作为主要处理和操作对象的地理信息系统可以实现对其定位、定性、定量和拓扑关系的描述,并利用地理空间分析能力和快速的空间定位搜索及复杂的查询功能,实现系统支持下的决策支持,准确地根据旅游地理信息的特点对其进行管理。而且,三维GIS系统在电站对外宣传展示中有着不可替代的作用,可以使用户全方位地了解水电工程的情况。虚拟现实地理信息系统(VRGIS)具有极高的仿真性、交互性、人工性,游客通过操作数据手套即可身临其境,仿佛置身于真实的旅游世界。

2 结 语

如何利用先进的科技手段和信息技术为水电工程的决策、实施和管理提供科学合理的依据及手段,是一项重要的课题。以“3S”为代表的空间信息技术凭借其数据获取、处理、分析与显示等方面的优势,成为水电工程建设和管理中不可或缺的技术力量。空间信息技术在水电工程中的应用是自始至终的,无论是在规划、建设实施还是运行阶段,都发挥着巨大的作用。但要说明的是,文中只是针对空间信息技术在水电工程全生命周期各个环节中的主要或重点应用进行了介绍,在实际应用中,并没有明确的界限划分,比如生态环境监测是贯穿在工程规划、建设和运行整个过程的。目前,RS、GIS和GNSS技术都比较成熟,应用也比较广泛。但仍有一些问题亟待解决:

a. 统一规划。空间信息技术在水电工程的应用是贯穿其整个生命周期的,而水电工程从规划建设、运行是一个漫长的过程,需经历几十年甚至几百年。因此,在开展空间信息技术应用时,首先应该针对不同时期的应用做统一规划。这对水电工程的业主单位乃至相关政府机构都是一劳永逸的。在规划的指导下开展系统的应用可以更加节约资源,提高效率。

b. 统一数据模型和基础数据库。数据是所有地理信息系统的基础,而数据的基础则是数据模型。水电工程涉及的领域众多,包括水文、地质、水工、机电、环境等,参与建设的部门也比较多,不同时期都有不同的单位参加。因此在工程规划建设之初就应建立详细统一的数据模型,使工程各阶段采集的数据符合统一标准,并在此基础上建立统一的基础数据库,供不同的部门使用,避免重复建设。

c. 统一平台。目前空间信息技术在水电工程中的应用是零散的,缺乏系统性。主要集中在诸如地质调查、土地覆盖监测、洪水淹没区监测、基础地理数据管理、变形监测等相对比较成熟的应用点上。各个业务部门建立自己的应用系统时大多只考虑本部门业务的需求,系统建立时采用的地理信息系统平台也各不相同。由于平台的不同导致采用的基础数据格式不同,这是水电工程业主实施统一管理的主要障碍。因此,在应用空间信息技术时应该全盘考虑,统筹规划,对于同类的业务尽量采用统一的平台,在统一平台的基础上开展不同的应用,避免重复选型,并可降低成本。

d. 业务和技术紧密结合。在应用系统建设中,要紧密结合各专业的应用目标和要求开展应用,不能简单地认为建设 GIS 系统就是买一套 GIS 软件或平台。目前的应用中,深度不够是当前普遍存在的问题。无论是 GIS 技术还是 RS 技术,都是一种手段、一个工具而已。空间信息技术与行业核心业务流程真正融合是关键。因此,一定要开展大量的需求调研工作,深入挖掘行业的业务需求,抽象、提炼出对应的功能模型和数据模型,建立完善的系统平台,为水电事业的可持续发展提供科学的决策支持。

参考文献：

[1] 李德仁. 地球空间信息学的机遇[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2004, 29(9): 753-756.
[2] 李纪人, 黄诗峰. 遥感与 GIS 在水利行业的应用与展望[J]. 水利信息化, 2004(11): 49-52.
[3] SCHMUGGE T J, KUSTAS W P, RITCHIE J C et al. Remote sensing in hydrology[J]. Advances in Water Resources, 2002, 25(8): 1367-1385.

[4] 李纪人. 数字地球与数字水利[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(1): 14-17.
[5] 陆佑楣. 工程建设管理的实践: 以三峡工程为例[J]. 中国工程科学, 2008, 10(12): 17-23.
[6] 王治华. 遥感技术在我国水电建设前期工作的应用[J]. 国土资源遥感, 1995(25): 1-8.
[7] CURTIS B, LEWIS L Y. Examining the economic impacts of hydropower dams on property values using GIS[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90(S3): 258-269.
[8] SUREKHA D, SINHA A K, INAMDAR S S. Assessment of small hydropower potential using remote sensing data for sustainable development in India[J]. Energy Policy, 2006, 34(17): 3195-3205.
[9] 张继贤, 杨明辉, 黄国满. 机载合成孔径雷达技术在地形测绘中的应用及其进展[J]. 测绘科学, 2004, 29(6): 24-26.
[10] FU B, HUANG W, FAN K. Retrieval of shallow Water topography surface currents from SAR image[C]//Proceedings of the SPIE Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, and Large Water Regions, 2008. Cardiff, Wales: SPIE, 2008. doi: 10.1117/12.800040.
[11] 李松慈, 杨建设, 阎高辉. 遥感技术与水库移民[J]. 人民黄河, 1995, 17(5): 52-54.
[12] 姚松岭. GIS 在工程移民研究中的应用[J]. 人民黄河, 2000, 22(6): 32-34.
[13] 陈雪冬, 杨武年. 水库移民 GIS 辅助决策支持系统的设计和实现[J]. 测绘科学, 2004, 29(3): 67-71.
[14] 李益敏, 孔俊. 怒江六库水电站建设移民搬迁地的 GIS 分析选择[J]. 地球信息科学, 2007, 9(2): 55-59.
[15] 周竟亮, 姚英平, 龙 等. 浅谈水电工程移民管理信息系统的建设[J]. 人民长江, 2009, 40(11): 90-91.
[16] 刘东海, 钟登华. 基于 GIS 的水电工程可视化辅助设计理论与方法[J]. 水利水电技术, 2003, 34(9): 8-12.
[17] 张海平, 袁永博. 基于 GIS 水电站施工进度三维可视化模拟[J]. 水科学与工程学报, 2007(1): 36-38.
[18] 薛联青, 赵学民, 崔广柏. 利用 GIS 与遥感技术进行流域梯级开发的环境影响评估[J]. 水利水电技术, 2001, 32(5): 40-43.
[19] 吴海毓, 王桥, 王昌佐. 遥感在大型工程生态环境影响评价中的应用[J]. 环境与可持续发展, 2009(1): 48-49.
[20] 邓婷婷. 水电工程施工期物流管理信息系统设计与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
[21] 阴学军. GPS 在水电站大坝变形监测中的应用研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.
[22] FINCH J W. Monitoring small dams in semi-arid regions using remote sensing and GIS[J]. Journal of Hydrology, 1997, 195(1/2/3/4): 335-351.
[23] DAOUST J, GWYN Q H J, BALLIVY G, et al. Remote sensing of cracks appearing on concrete dams[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1991, 28(5): 290.
[24] QIU J. Chinese dam may be a methane menace[EB/OL]. [2009-09-29]. <http://www.nature.com/news/2009/090929/full/news.2009.962.html>.
[25] 裴世建, 王祖军. GPS 在滑坡监测中的应用[J]. 工程勘察, 2007(10): 55-57.

(收稿日期 2009-12-23 编辑 骆超)