

# 基于GIS的南水北调中线水源区生态环境 监测体系平台构建

付景保<sup>1a</sup>, 孙庆辉<sup>2</sup>, 魏涛<sup>1b</sup>

(1. 河南工程学院 a. 经济贸易学院; b. 计算机学院, 郑州 451191;  
2. 解放军信息工程大学 地理空间信息学院, 郑州 450052)

**摘要:** 南水北调中线工程水源区生态环境问题非常突出, 依据GIS理论, 建立一体化的信息监测平台, 有利于水源区生态环境保护。在研究GIS在水源区生态环境监测中的应用基础上, 对水源区生态环境监测体系的构建进行了研究, 包括监测思路对策研究、监测指标体系构建研究、监测体系平台结构设计研究、监测体系平台日常应用研究等, 重点对监测体系平台进行了详细的阐述。系统按照应用逻辑自上而下分为应用层、中间层、数据层以及远程监测层; 监测体系平台采用了B/S和C/S结构相融合的模式构建, 平台功能结构设计了八大数据库和六大应用子系统。

**关键词:** GIS; 南水北调中线工程; 水源区; 生态环境; 监测体系平台设计

**中图分类号:** TV 68    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0119-05

## Construction of GIS based Ecological Environment Monitoring System Platform for Water Source Area of the Middle Route of South to North Water Diversion Project

FU Jing bao<sup>1a</sup>, SUN Qing hui<sup>2</sup>, WEI T ao<sup>1b</sup>

(1. Henan Institute of Engineering, a. College of Economics and Trade; b. College of Computer, Zhengzhou 451191, China;  
2. Institute of Surveying and Mapping of Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** The ecological environment of the water source area of the middle route of South to North Water Diversion Project has outstanding issues, and the construction of integrated information monitoring system platform based on GIS is beneficial for the ecological environment protection of the water source area. Based on the study of application of GIS in the ecological environment monitoring, the construction of ecological environment monitoring system of water source area includes the following aspects: the countermeasures of ecological environment monitoring, construction of monitoring index system, design of monitoring system platform structure, and daily application of the monitoring system platform, and the monitoring system platform is illustrated in details. The system can be divided into four layers from top to bottom according to the application logic, including the application layer, intermediate layer, data layer, and remote monitoring layer. The monitoring system platform adopts the model construction of the combination of B/S and C/S structures. The platform function structure has eight databases and six application subsystems.

**Key words:** GIS; Middle Route of South to North Water Diversion Project; water source area; ecological environment; monitoring system platform design

南水北调中线工程是一项缓解我国京、津及华北地区日益严重的水资源短缺、改善北方地区的生态系统、保障经济社会可持续发展的重大战略性跨流域调水工程。南水北调中线工程水源区(以下简称水源区)主要是指为工程渠首——丹江口水库补给水源的水源汇聚区, 其生态环境保护工作直接关

系到整个工程调水的水质质量安全。随着2003年南水北调中线工程的开工建设, 区内生态环境的保护与治理问题受到社会各界的广泛关注, 国内不少学者也开始了水源区生态环境方面的研究, 内容较多涉及水源区生态环境污染防治与生态环境保护<sup>[1-3]</sup>、生态环境质量评价<sup>[4]</sup>、生态环境容量<sup>[5-6]</sup>等。

收稿日期: 2013-03-19    修回日期: 2013-06-13    网络出版时间: 2013-07-28

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1311.044.html>

基金项目: 国家自然科学基金(41271450); 国家社会科学基金项目(12BJL046); 河南省自然科学基金重点资助项目(122300410015); 河南省政府决策研究招标课题(2012B176)与河南省教育厅人文社会科学研究重点资助项目(2013ZD-023)联合资助

作者简介: 付景保(1966-), 男, 河南南阳人, 副教授, 硕士, 主要从事旅游地理与区域可持续发展方面研究。E-mail: fujingbao@126.com

近年来, GIS 技术在生态环境方面的应用研究已逐渐成为一种趋势, 并取得不少成果, 内容涉及生态环境保护<sup>[7]</sup>、生态环境评价与监测<sup>[8,9]</sup>、生态环境效应分析<sup>[10]</sup>等, 这些研究为促进生态环境的保护与可持续发展提供了理论参考。已有学者开始针对水源区生态环境的监测进行研究<sup>[11,12]</sup>, 但总体而言相关研究还较少, 理论性、定性研究较多, 系统性、技术性、可操作性较少。GIS 具有数据采集、检验与编辑, 数据格式化、转换、概化, 数据的存储与组织, 查询、检索、统计、量算、基本空间分析、显示表达以及空间分析、模型分析等众多功能。目前, 水源区内范围面积广大, 行政区划分割复杂, 监测体系各自为政, 手段与方法落后, 很难保证监测资料的普遍性、准确性、及时性与科学性; 另一方面, 水源区生态环境问题具有复杂性、特殊性、重要性, 用传统的技术手段已难以实现系统而全面的管理, 因此, 运用 GIS 技术构建水源区生态环境监测体系平台, 对水源区生态环境的保护与可持续发展, 确保水源库区水质的安全与科学全面管理具有重要的理论与实践意义。

## 1 GIS 在水源区生态环境监测中的应用

GIS 集成了遥感技术、信息技术和地球科学技术, 在各个行业应用广泛。基于 GIS 技术将水源区生态环境相关的基础空间信息、社会人文信息、工程建设信息以及实时动态监测信息等进行集成, 可以完成“一站式”<sup>[13]</sup>的信息查询、管理和应用分析, 从而更高效地服务于南水北调工程建设和实施<sup>[14,15]</sup>。总体来讲, GIS 技术在水源区生态环境监测方面的应用主要归纳为以下 4 个方面。

(1) 水源区信息管理和显示。能够高效、实时、动态地管理水源区的基础地理信息、人文信息、专题信息和其它动态信息, 实现各类信息的可视化表达和制图分析。水源区生态环境监测相关的专题信息包括监测点、监测指标、日常监测数据等。监测点的实时监测信息, 以图形、图像、视频、数据等方式可以实时上传到系统平台中, 便于管理和分析应用。

(2) 模型管理和分析。在基础信息的基础上, 融合专业的监测分析模型, 对日常动态监测信息进行生态环境相关的分析工作。

(3) 信息表达。可将水源区生态环境监测相关的基础信息、模型分析结果、日常统计信息等以地图、专题图、报表、图片以及文字等方式表达。

(4) 决策分析。对生态环境监测进行模拟、推演, 并能提供预测分析结果, 为日常生态环境保护提供决策支持。

## 2 GIS 技术下的水源区监测体系构建

为了南水北调中线工程的需要, 特别是丹江口水库水环境现状评价以及环保设计工作的需要, 相关部门采取了大量的水环境监测措施<sup>[16]</sup>。但是由于中线水源区点源污染较多、地质和人文社会情况复杂、水资源管理缺乏统一有效的运行机制、水环境监测布局不合理等原因, 使水源区的生态环境监测工作很难得到全面科学有效地开展。为此, 急需构建高效、合理的水源区生态环境监测体系。本文基于 GIS 技术针对水源区生态环境, 构建了一体化监测体系平台, 以便服务于水源区的生态环境监测和保护, 确保水源库区水质的安全。

### 2.1 研究区生态环境概况

南水北调中线工程从河南南阳丹江口水库陶岔闸引水, 经长江流域与淮河流域的分水岭方城垭口, 沿唐白河流域和黄淮海平原西部边缘开挖渠道, 通过隧道穿过黄河, 沿京广铁路西侧北上, 自流到北京、天津。输水干渠全长 1 267 km, 向天津输水干渠长 154 km。调水量远期将达到年均 130 亿 m<sup>3</sup><sup>[17]</sup>, 重点解决北京、天津、石家庄等沿线 20 多座大中城市的缺水, 并兼顾沿线生态环境和农业用水。

南水北调中线工程水源区主要是指丹江口库区及其上游地区, 北部以秦岭与黄河分界, 南部以米仓山一大巴山与嘉陵江为界, 东北以伏牛山与淮河流域为界, 西南以米仓山与嘉陵江流域为界, 东部是南阳盆地。区内涉及陕西、湖北、河南、四川、重庆、甘肃 6 省(市) 11 个地(市) 共计 48 个县(市、区), 土地总面积 9.52 万 km<sup>2</sup>。水源区内有 1 300 多万人口, 其中大部分为农民, 区域内经济以农业为主, 多为粗放型生产, 化肥、农药和腐烂有机质是非点源污染的主要来源<sup>[18]</sup>。现阶段非点源污染呈现加剧的趋势, 污染问题日显突出。另外, 水源核心区丹江水库的生态环境状况也十分严峻, 生态环境呈局部好转总体恶化的趋势, 严重影响着库区的水质。水源区上游的秦巴山地是我国的主要贫困地区之一, 经济发展极端落后, 居民环保意识淡薄, 长期以来, 不合理的土地利用状况造成大面积的坡耕地、植被破坏和水土流失, 加速了生态环境的恶化。可见, 南水北调中线工程水源区内生态环境脆弱, 农业经济落后, 水土流失严重, 面源污染突出, 环境保护与治理的任务十分艰巨。

### 2.2 基于 GIS 的水源区监测体系的内容

在构建水源区生态环境监测体系过程中, 需要解决 4 个方面问题。

(1) 明确水源区生态环境监测的思路。包括确立“水源区生态环境和水资源的统一管理、流域管理和区域管理相结合”的原则和“强化河流监测、潜在污染源监测、突发事故污染监测”的目标, 以及采取“建立生态环境预警预报系统、日常生态环境监测机制”等措施与对策。

(2) 构建水源区生态环境监测指标体系。对于水源区来讲, 生态环境监测指标体系主要是能反映水源区生态环境现状、日常动态以及发展趋势且对水源质量造成影响的一系列因素。可以细分为水文、气象、水质、动植物以及突发事件应急监测指标等。构建该体系时, 首先要确定水源区生态环境监测指标的选择, 其次确定监测指标的优先监测内容, 然后确定针对这些指标如何进行监测, 即满足指标监测体系的技术和方法。

(3) 对基于 GIS 的监测体系平台的设计。在工作思路和监测指标体系确定后, 利用 GIS 技术进行监测体系平台的设计, 包括数据库构建、系统功能划分、系统应用子系统确立、系统数据更新策略以及系统应用策略等。

(4) 监测体系平台日常应用研究。为了确保监测体系平台的运行, 需要研究与此相关的日常业务开展策略。

上述内容中, 基于 GIS 的监测体系平台设计是本文的重点工作内容。基于 GIS 的南水北调中线工程水源区生态环境监测体系平台结构设计见图 1。该监测系统按照应用逻辑

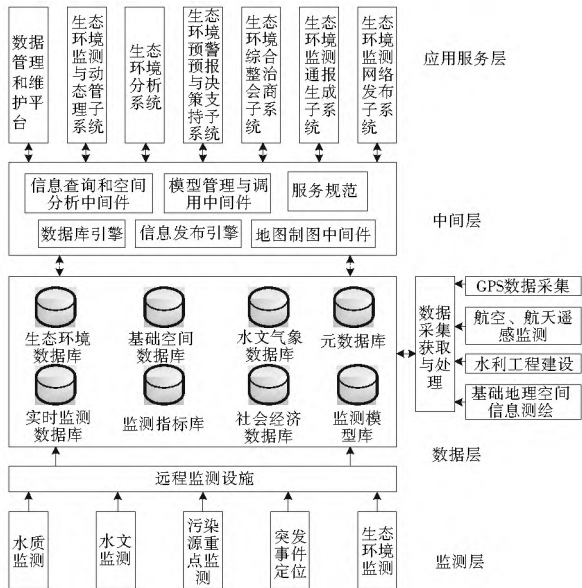


图 1 监测体系平台功能结构图

Fig. 1 Function structure diagram of the monitoring system platform

自上而下分为应用层、中间层、数据层以及远程监测层。

**监测层:** 主要包括分布于水源区内各个点位上的监测设备或传感器、水文监测设施、手持移动设备以及其它的生态环境监测设备。这些设备, 通过自动方式或人工方式上传水源区生态环境相关的监测数据、突发事件位置及描述数据、图片数据等。监测层是监测体系平台实现实时动态监测的基础。

**数据层:** 其功能是实现对水源区基础空间地理信息、水文气象信息、生态环境信息、监测指标体系数据、应用模型、社会经济信息、实时动态监测信息以及系统元数据进行管理。数据层中很多信息可以进行动态更新, 如可以通过遥感、外业测绘以及测绘部门获得数据, 进行基础空间信息更新; 也可以通过 GPS 信息采集更新系统的基础空间信息、突发事件分布信息、污染源分布信息等。数据层的完备性、现实性以及准确性, 是监测体系平台有效应用的保障。

**中间层:** 监测体系平台通过组件化方式设计各个功能模块, 并封装成为中间件。这些中间件主要包括数据引擎、信息查询和空间分析、模型管理与调用、地图制图以及信息发布引擎等, 可以用来便捷地构建各个应用子系统, 并根据应用的需求及时调整各个子系统的功能逻辑, 使得系统应用更有针对性。

**应用服务层:** 根据水源区生态保护的需求, 应用层主要包括数据管理与维护平台、生态环境监测与动态管理系统、生态环境分析系统、生态环境预警预报与决策支持子系统、生态环境综合整治会商子系统、生态环境监测通报生成子系统以及生态环境监测网络发布子系统等。对于应用服务层各系统来说, 可以根据具体应用需要进行功能逻辑的调整, 也可以通过网络服务的方式进行封装和发布, 使各个系统之间信息共享。

## 2.3 体系平台构建关键技术

### 2.3.1 分布、多源、异构数据集成

水源区监测体系平台中, 涉及到大量的空间数据、水质

数据、动植物分布数据、社会经济数据、污染源分布数据等。这些数据的特点是: (1) 数据往往分布到不同的单位和部门; (2) 数据来源包括实地测量数据、航测遥感数据、DEM 数据、统计数据等多种形式; (3) 由于数据来源、数据专题的不同, 导致数据往往具有不同的空间结构或数学基础。同时这些信息又具有分布存储量大和格式繁多的特点。如何有效地集成这些数据是系统的一个难点。

目前, 在 GIS 系统中实现分布、多源、异构数据集成的方法是数据标准化、操作标准化以及服务标准化模式<sup>[19]</sup>。数据标准化是指多源数据通过一个数据格式转换器, 转换为同质的数据格式, 实现系统多源异构数据集成; 操作标准化是指采用统一的规范接口, 如 Open GIS 规范等, 实现系统数据的集成; 服务标准化就是指将各类应用功能或系统数据封装成为标准的 Web Services 服务, 服务提供者发布服务, 服务应用者依据服务注册信息查找和调用服务。

在水源区生态环境监测体系平台中, 拟采用如下的途径来实现多源信息的集成: 在数据访问模块的底层, 设置一个负责与外部数据源的数据库管理系统进行通讯的访问适配器, 支持不同访问协议, 支持所有主流数据库厂商的数据库管理系统的数据库访问接口与数据访问标准, 以实现这些数据的无缝集成与访问。这一个适配器中集成了数据标准化模式、操作标准化模式以及服务标准化模式, 以便具有更好的数据兼容性, 其主要功能必须同各个数据源相结合, 解决系统的分布性和异构性。因此, 适配器生成、身份认证与访问控制、数据推送服务等需要重点解决。

### 2.3.2 GIS 与应用模型集成

为了提高生态环境分析模型的预测、模拟能力及易用性, 在水源区生态环境监测工作中, 需要对监测结果进行详细地分析和模拟, 因此要将大量的应用模型集成到体系平台中去, 从而发挥 GIS 工具对数据管理、功能分析方面的优势。GIS 与应用模型之间的集成, 按照集成程度的不同一般可分为三种形式<sup>[20]</sup>: 独立集成、紧密耦合和完全集成。不同集成方式各有优势, 其中独立集成通过文件交换实现系统和模型之间的交互; 紧密耦合是将模型通过编程接口进行系统化汇集; 完全集成是将模型完全融入到系统中去。

水源区生态环境监测体系平台融合了上述三种集成模式。按照应用模型的分类和应用特点, 进行不同的集成方案设计, 并在平台中设置集成接口 API, 可以方便地进行系统扩展。

### 2.3.3 生态环境监测应用子系统设计

由于应用的逻辑不同, 各个行业对监测体系平台的要求也不尽相同, 而应用子系统的设置是关系到系统成功应用的关键, 通过分析, 认为这些应用子系统一般应包括以下内容。

(1) 数据管理子系统。分为数据管理子系统、文档管理子系统以及系统维护子系统。主要实现体系平台的数据管理与日常维护、文档资料的管理以及系统后台维护功能。

(2) 水源区生态环境监测与动态管理子系统。主要实现水质监测、实时数据处理、水质评价和预测、系统维护等功能。

(3) 生态环境预警预报与决策支持子系统。依据监测信息, 进行生态环境现状分析、模拟推演、预警预报等, 并能依据生态环境评判指标和应用模型, 进行相应的决策支持分析。

(4) 生态环境综合整治会商子系统。依据监测结果,进行生态环境损害评估、多部门(水利、农业、建设、城管以及市政等)协同作业和会商。

(5) 生态环境分析子系统。包括生态评价、生态需水、生态放水、风险评估等功能模块。

(6) 生态环境监测通报生成子系统。将生态环境监测、会商、评估以及预测的结果,形成正式的通报文书,并以地图、图片、影像、文字相结合方式进行表达和描述,可以打印输出成为报告书插图等功能。

(7) 生态环境监测网络发布子系统。根据系统需要将生态环境监测区域基础地理空间信息、监测点分布、监测结果查询以及相应的通知公告等发布到网络平台上,利用 Web GIS 技术,将这些信息集成到一个发布平台上去,以便向公众和部门开放(考虑的到数据的安全性和权威性,依据权限设定,或内容取舍,限定发布的内容或内容的详细程度)。

### 3 体系平台实现

#### 3.1 体系平台架构设计

由于水源区生态保护监测体系平台具有业务部门和应用领域的多样性、数据来源的多元化、功能服务的多层次化等特征,因此,监测体系平台架构设计需要适应这些特征。本系统平台采用了 B/S 和 C/S 结构相融合的模式构建。其中,C/S 结构主要应用到各个业务部门层面,包括数据处理、日常业务应用系统以及系统维护等应用;B/S 结构主要应用信息发布系统,如监测信息发布系统,通报生成系统等。

对于 B/S 结构,采用并遵循“SOA 架构+API(中间件)+Web Service 技术规范”的技术路线,设计成为具有三层结构的信息系统体系结构框架,见图 2。这 3 个层次分别是资源层、平台功能层和应用服务层,其中资源层包括了系统的各类数据库以及数据更新,平台功能层将图 2 中的平台中间层以及应用服务层部分功能进行功能封装成为功能服务,应用服务层主要是对外的各个标准网络服务以及服务应用系统。

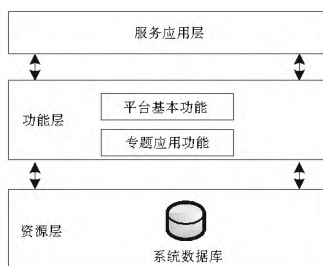


图 2 系统 B/S 结构图

Fig. 2 Structural diagram of B/S system

#### 3.2 体系平台实现

基于 ArcGIS 系统软件,进行体系平台软件开发。ArcGIS 具有强大的地图制作、空间数据管理、空间分析、空间信息整合、发布与共享的能力。ArcGIS 不但支持桌面环境,还支持移动平台、Web 平台、企业级环境、以及云计算架构。ArcGIS 同时为开发人员提供了丰富多样、基于 IT 标准的开发接口与工具,使得系统的开发和应用更方便。

C/S 体系架构下的开发采用 C++ 语言,利用 ArcGIS

Engine 开发包进行;B/S 架构下的开发采用 C#、Java、JSP 和 ArcIMS 完成。体系平台实现流程见图 3。系统平台实现截图见图 4。在该系统平台中,已经初步实现了生态环境监测体系的基本功能,包括数据管理、地图显示、信息查询、模型集成、监测系统集成等功能。通过实验室模拟,结果表明该设计可以为水源区生态环境监测提供技术支持。

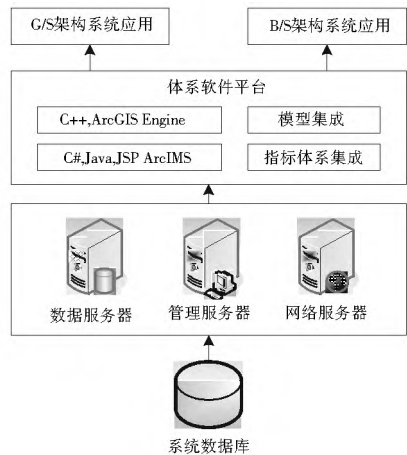


图 3 体系平台构建技术路线图

Fig. 3 Technical roadmap of system platform construction



图 4 体系平台界面截图

Fig. 4 Screenshot of system platform interface

### 4 结语

南水北调中线工程水源区内生态环境脆弱,环境保护与治理的任务十分艰巨,因此,积极开展南水北调中线工程水源区生态环境监测研究具有重要的现实意义。本文在分析生态环境监测思路、监测指标体系、监测体系平台设计、应用研究等内容的基础上,运用 GIS 技术,构建了水源区生态环境监测体系平台。南水北调中线工程水源区生态环境监测系统按照应用逻辑自上而下分为应用层、中间层、数据层以及远程监测层,系统平台采用了 B/S 和 C/S 结构相融合的模式构建;系统设计了生态环境数据库、基础空间数据库、水文气象数据库、元数据库、实时监测数据库、检测指标数据库、社会经济数据库、监测模型库等八大数据库;在此基础上,又设计了水源区生态环境监测与动态管理子系统、生态环境预警预报与决策支持子系统、生态环境综合整治会商子系统、生态环境分析子系统、生态环境监测通报生成子系统、生态环境监测网络发布子系统等六大应用子系统。模拟实验结果表明,该设计可以为水源区生态环境监测提供技术支持。

## 参考文献(References):

- [1] 李新民, 敖荣军, 刘仁忠, 等. 南水北调中线工程与汉江流域生态环境保护[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2003, (3): 433-435. (LI Xinmin, AO Rongjun, LIU Renzhong, et al. Mid Route Water Transfer Project of South to North and Ecological Environment Protection of Hanjiang River Basin[J]. Journal of Huazhong Normal University (Nature Science), 2003, (3): 433-435. (in Chinese))
- [2] 樊万选. 南水北调中线水源区污染防治与生态环境保护研究[J]. 环境保护, 2006, (2): 64-68. (FAN Wanxuan. On Pollution Prevention of Mid Route Water Source Area of South to North Water Transfer and Ecological Environment Protection[J]. Environment Protection, 2006, (2): 64-68. (in Chinese))
- [3] 蒋国富, 陈小幸. 南水北调中线工程水源区生态敏感区保护与利用[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2007, (6): 612-616. (JIANG Guofu, CHEN Xiaoxing. Ecological Sensitive Area Protection and Use of Mid Route Water Source Area of South to North Water Transfer[J]. Journal of Henan University (Nature Science), 2007, (6): 612-616. (in Chinese))
- [4] 王立辉, 黄进良, 杜耘. 南水北调中线丹江口库区生态环境质量评价[J]. 长江流域资源与环境, 2011, (2): 161-166. (WANG Lihui, HUANG Jinliang, DU Yun. Evaluation of Ecological Environment Quality on Mid Route Project of South to North in Danjiangkou Reservoir Area[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, (2): 161-166. (in Chinese))
- [5] 李晓玲, 吴波. 南水北调中线水源区汉江流域水环境容量研究[J]. 水土保持通报, 2009, (6): 221-224. (LI Xiaoling, WU Bo. On Water Environmental Capacity of Mid Route Water Source Area of South to North Water Transfer in Hanjiang River Basin[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2009, (6): 221-224. (in Chinese))
- [6] 党志良, 吴波, 冯民权, 等. 南水北调中线陕西水源区水环境容量预测研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, (4): 660-666. (DANG Zhiliang, WU Bo, FENG Minquan, et al. On Water Environmental Capacity Prediction of Mid Route Project of South to North in Shanxi Water Source Area[J]. Journal of Northwestern University (Nature Science), 2009, (4): 660-666. (in Chinese))
- [7] 何艳, 徐建明, 施加春. GIS在环境保护中的应用现状与发展[J]. 环境污染与防治, 2003, (6): 359-361. (HE Yan, XU Jianming, SHI Jiachun. Application and Development of GIS in Environment Protection[J]. Environment Pollution and Control, 2003, (6): 359-361. (in Chinese))
- [8] 黄方, 刘湘南, 张养贞. GIS支持下的吉林省西部生态环境脆弱态势评价研究[J]. 地理科学, 2003, (1): 95-100. (HUANG Fang, LIU Xiangnan, ZHANG Yangzhen. Study on Vulnerability Evaluation of Ecological Environment in Jilin Province under Support of GIS[J]. Geographical Science, 2003, (1): 95-100. (in Chinese))
- [9] 黄明, 彭苏萍, 张丽娟. GIS、SMS/GPRS的环境监测系统设计与实现[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2008, (7): 749-754. (HUANG Ming, PENG Suping, ZHANG Lijuan. Environment Monitoring System Design and Implementation of GIS, SMS/GPRS[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2008, (7): 749-754. (in Chinese))
- [10] 林彰平. 基于GIS的东北农牧交错带土地利用变化的生态环境效应案例研究[J]. 地域研究与开发, 2002, (4): 51-54. (LIN Zhangping. Case Analysis on Ecological Environment Effect of Land Use Change in Northeast Farming-Pastoral Zone based on GIS[J]. Area Research and Development, 2002, (4): 51-54. (in Chinese))
- [11] 边志华. 南水北调生态环境监测管理系统设计[J]. 测绘与空间地理信息, 2011, (4): 88-90. (BIAN Zhihua. Management System Design of Ecological Environment Monitoring of Water Transfer Project of South to North[J]. Surveying and Spatial Geographical Information, 2011, (4): 88-90. (in Chinese))
- [12] 梁子安, 李玉英, 胡兰群, 等. 南水北调中线水源区生态监测及其富营养化评价[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2006, (1): 175-178. (LIANG Zian, LI Yuying, HU Lanqun, et al. Ecological Monitoring and Eutrophication Assessment of Mid Route Water Source Area of South to North Water Transfer[J]. Journal of Henan Normal University (Nature Science), 2006, (1): 175-178. (in Chinese))
- [13] 王家耀, 成毅, 孙庆辉, 等. 地理信息系统的研究与进展[J]. 测绘科学技术学报, 2008, 25(4): 235-239. (WANG Jiayao, CHENG Yi, SUN Qinghui, et al. Research and Development of Geographic Information System[J]. Journal of Surveying and Mapping Science and Technology, 2008, 25(4): 235-239. (in Chinese))
- [14] 胡鹏, 黄杏元, 华一新. 地理信息系统教程[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001. (HU Peng, HUANG Xingyuan, HUA Yixin. Tutorial of GIS[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2001. (in Chinese))
- [15] 陈述彭, 周成虎, 鲁学军, 等. 地理信息系统导论[M]. 北京: 科学出版社, 2002. (CHEN Shupeng, ZHOU Chenghu, LU Xuejun, et al. Introduction to Geographic Information System[M]. Beijing: Science Press, 2002. (in Chinese))
- [16] 赵文耀. 保护南水北调中线水源质量的措施及对策[J]. 水利技术监督, 2004, (6): 36-38. (ZHAO Wenyao. Measures and Countermeasures of Protecting the Water Quality in Mid Route Water Source Area of South to North Water Transfer[J]. Technical Supervision of Water Resources, 2004, (6): 36-38. (in Chinese))
- [17] 国务院南水北调工程建设委员会办公室. 南水北调工程总体规划内容简介[EB/OL]. [http://www.nsb.gov.cn/zx/gcgh/200308/t20030825\\_195165.html](http://www.nsb.gov.cn/zx/gcgh/200308/t20030825_195165.html), 2003-08-25. (Construction Committee Office of Water Transfer Project of South to North of State Council. Brief Introduction to Overall Planning of Water Transfer Project of South to North[EB/OL]. [http://www.nsb.gov.cn/zx/gcgh/200308/t20030825\\_195165.html](http://www.nsb.gov.cn/zx/gcgh/200308/t20030825_195165.html), 2003-08-25. (in Chinese))
- [18] 李璐. 南水北调中线水源区多尺度生态环境综合评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010. (LI Lu. Comprehensive Evaluation of Multiple Scales on Ecological Environment of Mid Route Water Source Area of South to North Water Transfer[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010. (in Chinese))
- [19] 孙庆辉, 王家耀, 钟大伟, 等. 空间信息服务模式研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2009, 34(3): 344-347. (SUN Qinghui, WANG Jiayao, ZHONG Dawei, et al. On Spatial Information Service Model[J]. Journal of Wuhan University (Information Science Edition) 2009, 34(3): 344-347. (in Chinese))
- [20] 孙永旺, 朱建军, 王蕾, 等. 基于GIS的水环境管理信息系统的研究[J]. 测绘科学, 2007, 32(5): 165-167. (SUN Yongwang, ZHU Jianjun, WANG Lei, et al. Research on Water Environment Management Information System based on GIS[J]. Surveying and Mapping Science, 2007, 32(5): 165-167. (in Chinese))