

## 数字流域水资源环境监测评价指标体系及指标库研究

赵 强<sup>1,3</sup>, 宫辉力<sup>2</sup>, 赵文吉<sup>2</sup>

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012;

2 首都师范大学资源环境与旅游学院, 资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100037;

3 太原师范学院地理系, 太原 030012)

**摘 要:** 基于 3S 技术的数字流域水资源环境监测评价可以获取传统监测手段所无法取得的更多信息, 已成为目前国内外水资源环境监测评价的重要技术手段。提出了基于 3S 技术与传统监测手段综合集成的数字流域水资源环境监测评价信息处理基本模式, 对数字流域水资源环境监测评价指标体系建立的理论基础、基本原则进行了探讨, 以西北干旱区内陆河流域石羊河为例, 建立了石羊河流域水资源环境监测评价指标体系。提出指标库管理的思想, 并用 VC++ 6.0 为开发工具, 初步实现了石羊河流域水资源环境监测评价指标库系统。

**关键词:** 石羊河流域; 水资源环境; 监测评价指标体系; 指标库系统

**中图分类号:** TP79; S273

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2003)02-0017-04

## Study on Indicators and Its Library System Monitoring and Evaluating Water Resources and Environment in Digital Riverbasin

ZHAO Qiang<sup>1,3</sup>, GONG Hui-li<sup>2</sup>, ZHAO Wen-ji<sup>2</sup>

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun, 130012 Jilin, China;

2 College of Resources Environment and Tourism, Beijing Key Lab for Resource Environment and GIS, CNU,

Beijing 100037, China; 3 Geographic Department of Taiyuan Teacher's College, Taiyuan 030012 Shanxi, China)

**Abstract** More information may be obtained in monitoring and evaluating water resources and environment through "3S" techniques. It has been an important technique monitoring and evaluating water resources and environment in China and other countries. A fundamental digital riverbasin information processing model of monitoring and evaluating synthetically water resources and environment is put forward through "3S" techniques and ground test. The theoretical foundation and fundamental principle of the indicators monitoring and evaluating water resources and environment in digital riverbasin are also probed. Indicators monitoring and evaluating water resources and environment in Shiyanghe riverbasin was established. The authors analyse the indicators DBMS and builds up the indicators library system monitoring and evaluating water resources and environment in Shiyanghe riverbasin.

**Key words:** digital riverbasin; water resources and environment; monitoring and evaluating indicators system; indicators library system

### 1 引言

基于 3S 技术的数字流域水资源环境监测评价研究主要是利用 RS(遥感技术)、GPS(全球定位系统)和 GIS(地理信息系统)集成分析流域水资源环境及其生态变化响应的定量性质, 识别主要影响因子, 监测其动态变化过程; 通过分析水资源环境及其生态变化背后的各种驱动因子来揭示水资源环境及其生态变化响应的机制, 从而模拟流域水资源环境变化及其在不同时空尺度下的生态变化响应。

国际上数字流域水资源环境研究的最突出进展主要是利用新技术获取更多的信息, 加深对水文机理以及它与生态系统和人类活动之间的复杂反馈机制, 探索水文过程的复杂性, 建立可描述时空变异性、多变量、参数化的现代流域水资源环境模型。

近 20 年来, 由于气候变化和人为因素的干扰, 使流域水循环条件发生了很大变化, 导致水资源无论在数量上、质量上, 还是在分布规律上都发生了很大变化。以往的评价结果

收稿日期: 2002-12-15

基金项目: 科技部社会公益研究专项资金项目资助(编号: 2001D1A10005-3)。

作者简介: 赵强(1967-), 男, 博士研究生, 讲师, 从事资源、环境遥感与地理信息系统的理论和应用研究工作, 已公开发表学术论文 10 多篇, 参编著作 1 部。

已不能反映当前水资源数量、质量及其时空分布特征。尤其是在西北内陆地区,由于水循环条件的改变,造成土壤盐碱化、地下水位下降、土地沙漠化等一系列生态环境问题,严重影响着流域经济的可持续发展。

多年来,我国流域水资源环境研究的基础资料一直主要是基于测站、断面的点数据,这既存在点的代表性问题,又存在如何由点及面的困难。对流域水资源环境的监测评价也还存在着时空局限性以及技术、经济水平的限制,很多方面跟不上当前环境变化的需要,同时,由于技术的局限性和理论上的困难,尚未形成一套较完整而实用的技术方法体系。将流域水环境生态系统作为一个整体研究对象,在 3S 技术和数值模拟技术支持下,结合野外实测工作,建立水资源环境动态监测与评价技术方法体系,揭示流域水分在地表水-地下水-生态环境系统中的行为过程,揭示流域水资源环境变化的环境生态效应,促进水资源环境监测评价研究在理论、方法与技术方面的创新与深化,已成为目前流域水资源环境研究的重要课题。

本文以河西走廊典型内陆河石羊河流域为研究对象,探

讨在 3S 技术与传统手段综合集成的基础上,建立流域水资源环境监测评价指标体系的理论和方法,为国内水资源环境相关领域的研究提供借鉴依据。

## 2 基于 3S 技术与传统监测手段综合集成的数字流域水资源环境监测评价信息处理的基本模式

基于 3S 技术与传统监测手段综合集成的数字流域水资源环境监测评价信息处理的基本模式是:在 3S 技术与传统的常规监测手段获取的数据源的信息初步处理的基础上,通过信息综合集成,获取流域水资源环境变化的位置信息、类型信息和变化的数量、质量信息,进而理解流域水资源环境格局信息包括静态分布特征和动态演变特征,得到流域水资源环境数量、质量时空现状和流域水资源环境时空变化评价信息,在此基础上,加入领域辅助决策信息,通过流域水资源环境监测信息综合处理、流域水资源环境格局与过程的互动分析,理解流域水资源环境过程信息,从而对流域水资源环境进行模拟分析包括流域水循环过程模拟分析和流域水环境生态响应过程模拟分析(图 1)。

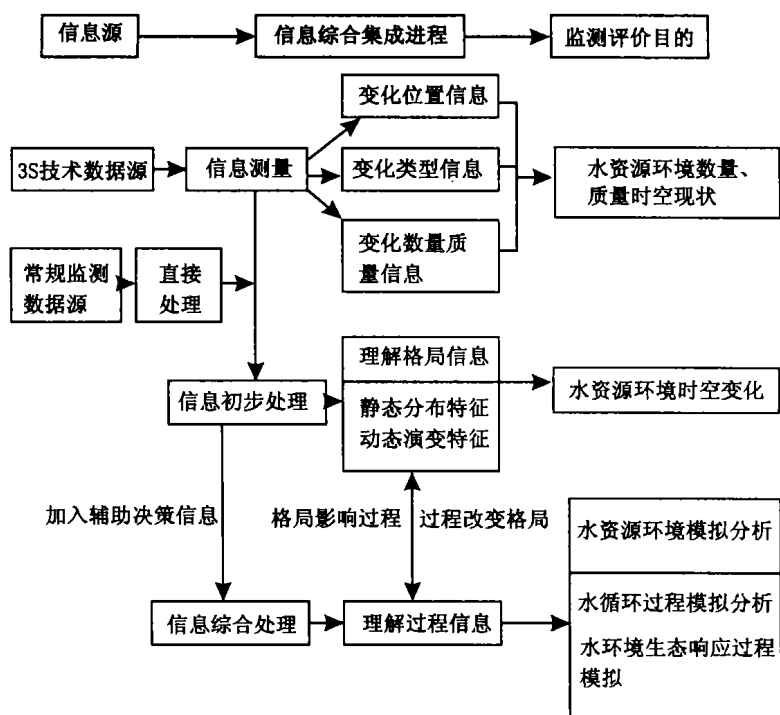


图 1 基于 3S 技术与传统监测手段综合集成的数字流域水资源环境监测评价信息处理基本模式图

## 3 数字流域水资源环境监测评价指标体系建立的理论基础

流域水资源环境监测评价是一个系统集成过程,也是一门系统集成技术,包括水资源环境数据采集、信息处理、监测

评价指标体系的建立、流域水资源环境时空变化分析以及解决流域水资源环境问题的相关建议与对策。从各国开展的流域水资源环境评价来看,流域水资源环境监测评价指标的选择和评价内容均具有较强的针对性和综合性,内容涉及水资源环境污染、水质恶化、水数量减少、水时空分布、水资源环

境生态背景、人类土地利用活动等诸多要素与内容,强调水资源环境监测评价的空间尺度和异质性,体现水资源环境的空间格局与生态过程,与我国目前进行的水污染评价有很大差异,而与我国的生态质量评价有相似之处。综合各国的水资源环境监测与评价工作的重点,系统理论、景观生态学理论、空间异质性理论、时间尺度理论以及空间尺度理论是流域水资源环境监测评价的理论基础。

### 3.1 系统理论

系统理论认为,系统是具有特定功能、相互联系、相互作用的要素的集合。它具有两个基本特征:整体性和相关性。整体性是指系统作为一个整体存在而表现出特定的功能,它是不可分割的。相关性是指系统的各个部分、要素之间是相互联系的,存在物质、能量与信息的交换。组成系统的实体之间相互作用而引起的实体属性的变化,用状态变量来描述。系统是在外界环境的不断变化中产生活动的。流域是具有层次结构和整体功能的复合系统。

### 3.2 景观生态学理论

根据 Forman 和肖笃宁的观点,景观是一个由土地单元镶嵌组成,具有明显视觉特征的地理实体,处于生态系统之上,大地理区域之下的中间尺度单元。景观生态学以景观为研究对象,它以生态学的理论框架为依托,吸收现代地理学和系统科学之所长,研究景观的结构(空间格局)、功能(生态过程)和演化(空间动态),研究景观和区域尺度的资源、环境以及经营管理等问题,具有综合整体性和宏观区域性的特色。

### 3.3 空间异质性理论

异质性是系统或系统属性的变异程度,自然生态系统分异的原动力来自于地球在太阳系的空间位置和运动规律以及地球本身内力作用,自然生态系统的空间分布、空间结构主要受自然力的影响,形成自然地域系统的基本框架,同时生物系统本身演替、进化使自然地域系统变得纷繁复杂。景观尺度上的异质性包括空间组成、空间构型和空间相关三个部分,景观异质性同景观抗干扰能力、恢复能力、系统稳定性和生物多样性有密切关系,景观异质性程度高将有利于物种共生,有利于污染物的自净与生态恢复。

### 3.4 空间尺度理论

尺度是研究客体或过程的空间维和时间维,是对研究客体细节了解程度的体现。空间尺度是指研究客体的面积大小或最小信息单元的空间分辨率水平,而时间尺度是其动态变化的时间间隔。地球系统的尺度,通常划分为反映气候类型分异的大尺度、反映地表结构分异的中尺度以及反映土壤、植被、河流和小气候分异的小尺度几种类型。不同空间尺度的水资源环境系统遵循不同的生态规律,具有不同的水分生态传输过程,小尺度生态过程可能会导致个别生态系统出现激烈波动,而对于大尺度可能只会是某个环节的波动。

### 3.5 时间尺度理论

时间尺度理论是指研究客体或过程的时间维,是研究客体或过程随时间变化的特征和趋势。时间尺度理论是研究水资源环境及其生态响应动态变化监测评价的重要基础理论。

系统理论、景观生态学理论、空间异质性理论、空间尺度理论以及时间尺度理论是对流域水资源环境系统结构、功能与过程规律性的总结,以这些理论作为流域水资源环境监测评价的基础理论,有利于人们对于流域水资源环境系统自身规律的认识和深化。

## 4 数字流域水资源环境监测评价指标体系建立的基本原则

根据以上水资源环境监测评价指标体系建立的理论基础,数字流域水资源环境监测评价指标体系建立的基本原则如下:

### 4.1 系统性和综合性原则

系统性和综合性原则是系统理论在水资源环境监测评价领域的体现。系统性原则是指按照系统论的理论进行考虑,确定相应的水资源环境监测评价指标层次,构成完整的评价指标体系。综合性原则是指在重点考虑水资源环境监测评价指标的基础上,全面衡量与水资源环境密切相关的其它诸多环境因子(大生态环境),进行综合分析和评价。

### 4.2 典型性和代表性原则

典型性和代表性原则是空间异质性理论和空间尺度理论在水资源环境监测评价领域的体现。空间异质性要求在不同的区域要选择能反映该区域特点的典型性、代表性的水资源环境监测评价指标。空间尺度理论要求在不同的空间尺度下,要选择可能导致与该空间尺度相适应的水资源环境生态系统出现激烈波动的监测评价指标。

### 4.3 过程性和动态性原则

过程性和动态性原则是时间尺度理论在水资源环境监测评价领域的具体体现。这项原则要求在水资源环境监测评价中,要选择对于水资源环境及其生态系统在时间维上的动态变化能定量描述的监测指标。如因人类活动所引起的水资源数量和重要生态问题(如沙漠化)的发生面积在时间维上的动态变化的监测指标。

### 4.4 景观生态格局和生态功能性原则

这项原则是景观生态学理论在水资源环境监测评价领域应用的体现。由于景观生态学主要研究景观的结构(空间格局)、功能(生态过程)和演化(空间动态),研究人类对景观干扰的程度,该原则要求选择对人类开发性活动造成的水资源环境生态破坏及所引起的生态系统的组成、结构和功能变化的监测指标;水质环境污染对生态系统的组成、结构和功能影响的监测指标。

## 5 数字流域水资源环境监测评价指标体系的建立

根据上述信息处理模式、理论和原则,我们以石羊河流域为例,提出了数字流域水资源环境监测评价指标体系(表1)。整个指标体系分为水资源数量指标、水资源质量指标、水循环过程指标、水资源环境动态变化指标和水环境生态响应指标等5部分,既有反映水资源环境静态分布特征的指标(如水资源数量和水资源质量指标),又有反映水资源环境动态变化特征的指标(如水资源环境动态变化指标),还有反映水循环和水环境生态响应的指标。整个指标体系宏观、中观、

微观相结合, 空间分布与时间变化相结合, 充分体现了流域的系统性与层次性特征, 流域的空间分布的异质性与空间单元的尺度性特征, 体现了流域各景观单元的组成、结构与功能。

6 数字流域水资源环境监测评价指标库管理及指标库系统

数字流域水资源环境监测评价指标库管理是指用数据库的方式来建立流域水资源环境监测评价指标库, 实现流域

水资源环境监测评价指标体系的浏览、查询、更新、显示、增删等功能, 加强流域水资源环境监测评价指标体系的科学化、信息化管理, 以便与流域水资源环境监测评价库、模型库相结合, 从而达到流域水资源环境监测评价的全方位的数字化管理。

基于以上考虑, 我们初步建立了石羊河流域水资源环境监测评价指标库系统, 该指标库系统采用的开发工具为 VC++ + 6.0 (图 2)。

表 1 石羊河流域水资源环境监测评价指标体系

1. 流域水资源总量	1. 地表水水质指标 (包括 pH、总硬度、硫酸盐、氯化物、溶解氧、高锰酸盐指数、BOD5、氨氮、硝酸盐氮、挥发酚、氯化物、砷、汞、六价铬、铅、大肠菌群等)	1. 年降水量	1. 流域水资源总量变化指数	1. 水—植被生态指标
2. 流域地表水资源总量	2. 地下水水质指标 (1) 水化学指标: 总硬度、氯化物、pH 等 (2) 有机物污染指标 (溶解氧、化学耗氧量、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐等) (3) 有毒污染物 (挥发酚、氰化物、六价铬、砷化物、汞等) (4) 综合类 (pH、砷、镉、六价铬、铜、汞、铅、酚、总硬度、氨氮、亚硝酸盐氮、氯化物、氰化物、硫化物等)	2. 年蒸发量	2. 流域地表水资源总量变化指数	(1) 河流面积变化指数与植被盖度面积变化相关系数
3. 流域地下水资源总量		3. 河流出口年径流量	3. 流域地下水资源总量变化指数	(2) 地下水位变化指数与植被盖度变化指数相关系数
4. 人均水资源量		4. 小沟小河径流量	4. 河流面积变化指数	2. 水—土生态指标
5. 单位土地面积均水资源量		5. 浅山区年径流量	5. 湖泊面积变化指数	(1) 地表水量变化指数与土地沙化面积相关系数
6. 人均缺水量		6. 农田灌溉水量	6. 流域地下水位变化指数	(2) 地表水量变化指数与绿洲变化指数相关系数
		7. 河道入渗量	7. 地表径流量变化指数	(3) 地下水位变化指数与土地沙化指数相关系数
		8. 渠系入渗量	8. 地下径流量变化指数	(4) 地下水位变化指数与土地盐碱化指数相关系数
		9. 田间入渗量	9. 地下水开采量变化指数	
		10. 地下径流 (山前侧渗、河床潜流)	10. 土地沙漠化面积变化指数	
		11. 大气凝结水	11. 绿洲面积变化指数	
		12. 植被蒸腾量	12. 土地盐碱化面积变化指数	
		13. 地下水位	13. 弃耕撂荒地面积变化指数	
		14. 地下径流量	14. 农防林面积变化指数	
		15. 地表径流量	15. 植被面积变化指数	
		16. 上、中、下游灌溉定额	16. 植被盖度变化指标	
		17. 地下水开采量		
		18. 生态用水量		
		19. 植被截流量		
		20. 土壤含水量		



图 2 石羊河流域水资源环境监测评价指标库系统 (执行浏览功能)

7 结论

目前还没有一套系统完整的基于 3S 技术的数字流域水资源环境监测评价理论方法体系, 本文对数字流域水资源环境监测评价中 3S 技术与传统监测手段综合集成的基本模式、数字流域水资源环境监测评价建立的基本理论、基本原则以及指标体系的建立和指标库管理等问题进行了探讨, 试图建立一套实用的、通用的理论方法体系, 取得了一些初步进展。但数字流域是一个复杂的巨系统, 水资源环境监测评价需要做的工作还很多, 如何建立科学的指标库、评价库、专家库和知识库以及如何将它们有机地集成在一起, 将是需更进一步探讨的问题。

参考文献:

[1] 夏军 区域水环境及生态环境质量评价—多级关联评估理论与应用[M] 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 1999  
[2] 肖笃宁 景观生态学理论、方法及应用[M] 北京: 中国林业出版社, 1991.  
[3] 陈建春 Visual C++ 开发 GIS 系统[M] 北京: 电子工业出版社, 2001.