

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.06.006

河流健康诊断系统的设计与应用

林俊强¹ 夏继红² 韩玉玲³ 胡 玲³ 罗 帷⁴ 蒲前超¹

(1.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098;2.河海大学农业工程学院,江苏 南京 210098;
3.浙江省河道管理总站,浙江 杭州 310009;4.海宁市水利局,浙江 海宁 314400)

摘要:为全面、有效地诊断河流的健康状况,构建了基于 GIS、数据库管理和决策支持等先进技术的河流健康诊断系统.该系统的主要功能包括数据资料管理、诊断模型管理、健康诊断与决策及专题图管理.采用多库联动式智能诊断设计,实现了河流健康的智能诊断与康复措施的决策生成.应用该系统对海宁辛江塘进行了健康诊断,结果表明,该系统能对河流健康做出较为有效的诊断.

关键词:河流健康;诊断系统;GIS;多库联动;辛江塘

中图分类号: X143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2009)06-0640-05

随着社会经济的发展,河流的健康状况越来越受到人们的广泛关注.早在 20 世纪 80 年代,国内外就相继提出了“河流健康”的概念^[1-6].目前,对河流健康的研究多数集中在现状评价方面.一般对河流健康的评价是建立一定的评价指标体系,根据调查和监测资料,运用具体的评价方法和数学模型对河流健康状况进行分析和评价^[7].现有的研究成果缺乏对导致河流健康受损因素的系统分析,更无有效的智能诊断系统对河流健康状况进行全面诊断.因此,研究与设计出能够智能诊断河流健康状况与受损因素,自动提出治理建议,并可实现诊断结果可视化等功能的河流健康诊断系统是非常必要的,这将有利于管理部门及时掌握河流健康现状,明确河流退化原因,总结以往河流建设得失,为管理者提供决策支持.本文利用 GIS、数据库管理和决策支持等技术,探讨河流健康诊断系统的设计,并结合海宁辛江塘的实际情况,讨论系统的应用.

1 河流健康诊断系统的总体设计

1.1 系统可行性分析

河流健康诊断是从河流系统自身的特点出发,分析其内在机理和服务价值,定义合理的河流健康内涵,建立有效的诊断指标体系,科学诊断河流健康状况(病症诊断),查明引起河流健康受损的主要原因(病因诊断),最后提出恢复和维护河流健康的主要措施(康复措施)^[8].有效的河流健康诊断必须考虑众多的因素:在纵向上,要考虑河流尺度因素;在横向上,要考虑水面、水流条件及陆上田地等因素;在垂向上,要考虑土质、地形及地下水等因素;在时间上,要考虑长系列的水文、气象和生物演替等因素^[9].在诊断中,还涉及多个分析计算模型,如权重计算模型、有序度计算模型、偏最小二乘计算模型等^[10],以及多种专家知识和技术标准.对于这些众多的影响因素、理论方法、计算模型及所涉及的海量数据,特别是空间尺度和时间尺度跨度较大的河流,传统的人工方法难以处理,需要借助 GIS、数据库管理及决策支持等现代先进技术^[11],设计合理的数据库、模型库、指标库和知识库,并采用多库联动式数据通信,才能对河流系统的健康状况进行智能化诊断.多库联动式河流健康诊断系统可以有效地实现河流健康的智能诊断,可以为管理者提供数据的查询浏览,可以为决策者提供智能决策支持信息.

1.2 系统总体结构

河流健康诊断系统是应用用户输入界面将各类数据(包括河流自然特征、水文气象特征、生态环境特征、社会经济特征等)图形、专家经验、技术标准等资料输入系统,运用 GIS 技术将各类数据以属性数据库、空间数据库、图形库和知识库形式等存储,通过数据库管理技术对各类数据进行管理.将有序度计算模型、权重计

收稿日期:2008-10-09

基金项目:国家自然科学基金(40871050)浙江省水利科技重点项目(RB0811)

作者简介:林俊强(1984—)男,福建泉州人,博士研究生,主要从事河流健康与河流生态治理研究.

算模型、偏最小二乘分析模型以模型库形式存入系统,应用模型库管理技术进行管理.健康诊断过程是利用 GIS 技术将各类库耦合,读取各类库中的信息,并进行计算、推理分析,实现河流健康的智能化诊断,再将诊断结果通过 GIS 技术以专题图和数据表格形式输出.可见,河流健康诊断系统在逻辑结构上主要包括用户输入界面、数据与模型管理、诊断与决策以及可视化输出等部分,其总体结构如图 1 所示.

1.3 系统主要功能

从系统的总体结构上看,河流健康诊断系统主要包括文件操作、视图操作、数据资料管理、诊断模型管理、知识库管理、健康诊断与决策、专题图管理和帮助等功能模块.其中数据资料管理、诊断模型管理、健康诊断与决策和专题图管理是系统的核心功能.

数据资料管理是利用属性数据库、空间数据库及图形库实现文字资料、统计数据表、河流地图及多媒体资料等各种类型的数据资料的存储、查询和浏览等功能.诊断模型管理是利用模型库实现评价指标模型、评价准则值模型、指标隶属度模型、权重确定模型、有序度模型、偏最小二乘分析模型等诊断模型的选择、查询、添加、删除与更新等功能.健康诊断与决策是读取数据库中的数据资料,调用模型库、知识库中的诊断模型和专家知识,运用决策支持技术进行后台计算分析,诊断河道的健康现状,分析引起健康问题的主要原因,提出主要治理建议.专题图管理是运用 GIS 专题图管理技术,以图形库中的图形为底图,实现各专题信息的专题图生成、叠加、截取和电子漫游等功能.

2 多库联动式智能诊断设计

河流健康诊断中涉及数据库(此处及以下数据库均特指属性数据库与空间数据库)、图形库、模型库、指标库、知识库等多种类库.诊断过程是通过各库的联合调用存取、协调运行来完成的.所以,河流健康诊断是多库联动式智能诊断,主要包括图形库与数据库联动、模型库与数据库联动以及知识库、模型库和数据库之间的联动.

2.1 智能诊断与决策流程

河流健康的智能诊断与决策是在数据充分的基础上,由系统自动分析河流的健康状况和主要致病因素,并提出河流的有效康复措施.根据用户的基本参数设置,如河道类型(平原河流、山区河流或丘陵河流)和主要功能(供水、灌溉、发电、航运等)来选择病症诊断指标.在此基础上,系统调用相应病因诊断数据库、指标库和模型库中的有序度计算模型、权重计算模型,计算各河段的自然健康指数、生态健康指数、社会服务健康指数和总体健康指数,将计算结果与知识库中的健康等级标准进行比较,确定河流健康等级.在病症诊断的基础上,用户选择病因诊断指标,由系统调用病因数据库、指标库和模型库中的偏最小二乘法计算模型,在后台确定病因回归方程,计算病因重要性指数,并由此判断导致河流受损的主要原因.在明确河流致病原因后,系统将读取知识库,运用模型库中的专家推理模型,分析河流治理的相应对策,决策生成康复措施,为管理者提供决策支持.系统智能诊断流程如图 2 所示.

2.2 图形库与数据库之间的联动机制

河流健康诊断系统的最终目的是将河流的诊断结果及一些相关统计数据直观地显示在地图当中,或是利用这些数据对地图进行渲染,生成更为形象的专题图.因此,在图形库与数据库之间构建良好的联动机制是实现这一目的的有力保证.系统图形库的存储单元由图形文件和交叉索引文件 2 部分组成.交叉索引文件记录了图形文件中各图层、图元与相应数据库、数据表和数据字段之间的交叉索引关系.图形库与数据库之间通过 MapX 地图控件实现跨库联动.系统通过 MapX 控件访问图形库中的图形矢量数据,调用 Oracle 数据库的底层 OCI(oracle call interface)数据接口,读取图形库中的交叉索引文件,由此实现图形库与数据库之间的数据互访与实时更新.

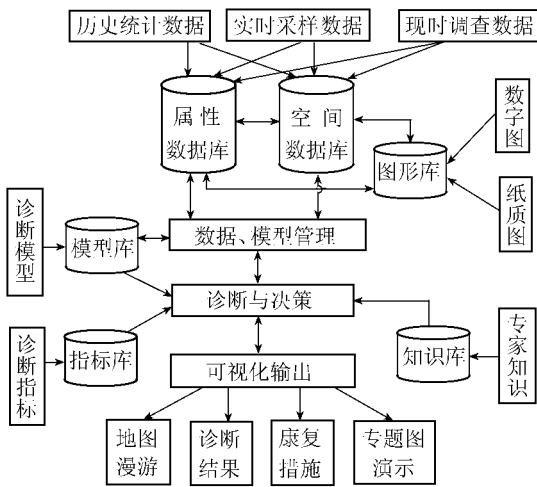


图 1 系统总体结构
Fig. 1 General structure of system

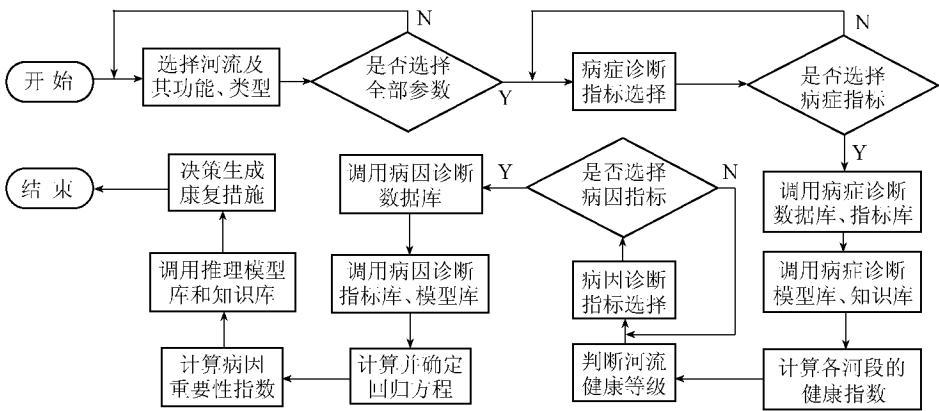


图 2 智能诊断流程

Fig. 2 Flow chart of intelligence diagnosis

2.3 模型库与数据库之间的联动机制

河流健康诊断涉及诸多模型,良好的数据联动模式能够提高系统的整体诊断效率.系统模型库的存储结构是由参数匹配表、特征数据子对象^[12]和程序算法子对象³部分组成.模型调用时,通过读取参数匹配表中的模型 ID 和参数 ID 唯一确定其特征数据子对象和程序算法子对象.模型库与数据库之间的联动是通过特征数据子对象中的接口函数来完成的.接口函数读取参数匹配表中参数 ID 的数据来源路径,并由此读取数据库中相应的数据表和字段,暂存于特征数据子对象中,供程序算法子对象调用.程序算法子对象完成模型计算后,将计算结果反馈到特征数据子对象中,再由接口函数将数据写入数据库中.

2.4 知识库、模型库和数据库的联动机制

知识库存储河流治理与修复的专家知识和技术标准.知识库由事实对象和规则对象 2 部分组成.事实对象存储河流的病症事实和病因事实;规则对象存储河流治理与修复的各条规则的前提和结论,规则采用 < IF(前提) THEN(结论) > 的产生式表达形式.系统在完成病症诊断和病因诊断后,通过接口函数将诊断结果从数据库中取出,赋值给知识库中的事实对象,调用模型库中的推理模型,用病症事实和病因事实在规则对象的前提中进行逐一匹配,匹配成功后,将规则对象的相应结论赋值给推理模型,得出推理结论,再将此结论输出到康复措施数据库中.可见,实现知识库、模型库和数据库的多库联动是系统智能提出河流康复措施的基础.

3 系统的实现与应用

3.1 系统的实现

系统以 Windows XP 为平台,以 Visual Basic 6.0 Professional 为开发环境,同时集成 MapX 地图控件和 Oracle 数据库管理平台,进而实现大尺度地图漫游、数据库访问、多库联动式智能诊断及诊断结果可视化.

3.2 系统的应用

将该系统应用于浙江省海宁辛江塘的健康诊断,取得了很好的效果.辛江塘是海宁市“六纵九横”河道网络框架中西引东泄的主干河道,全长 22.528 km,西起盐官下河,东至袁硖港,中连斜郭塘、绵长港、平阳堰港、唐家堰港、麻泾港、木场桥港等诸多河流,是典型的平原河流.

为了保证诊断结果的有效性,同时考虑河流系统的空间变异性,将辛江塘划分成 12 河段.河段的划分是以河道的汇水口为主,同时结合行政区划、功能区划以及断面的结构形式特点.搜集辛江塘的河道特征、河岸特征、水文特征、污染物排放、植物、动物、周边社会经济等相关统计资料,分河段逐一输入到本系统的数据库中,将辛江塘的 CAD 地图转化为 MapInfo 格式的数字地图,导入系统的图形库.完成上述前期工作后,开启诊断工具栏,按照诊断流程依次单击其功能按钮,完成河流类型选择、河流主要功能选择、指标选择等基本参数设定后,利用系统的诊断与决策模块对辛江塘分别进行病症诊断和病因诊断,并根据诊断结果决策生成康复措施.辛江塘的诊断结果如图 3 和图 4 所示.

从图 3 各河段健康指数表中可以看出:辛江塘大部分河段总体健康指数在 0.6 以上,处于基本健康状态;从图 3 总体健康指数专题图中可以看出:辛江塘从上游到下游健康状况总体越来越好(颜色较深的河段

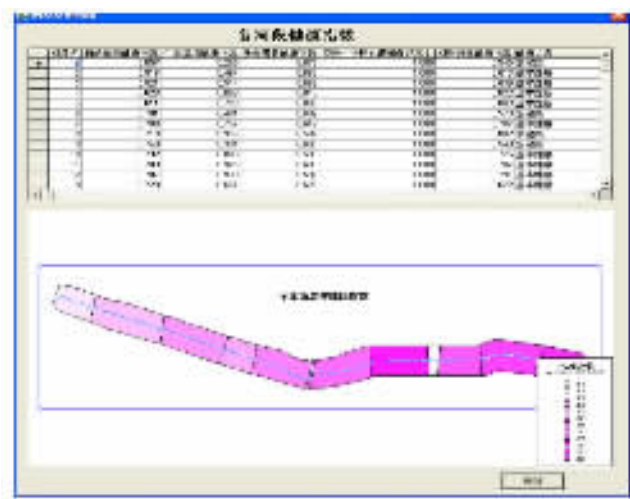


图 3 辛江塘病症诊断结果

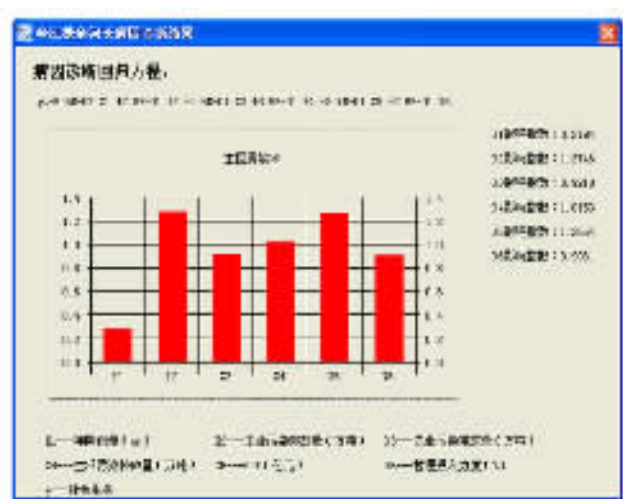


图 4 辛江塘病因诊断结果

Fig. 3 Results of symptom diagnosis of Xinjiangtang River **Fig. 4 Results of reason diagnosis of Xinjiangtang River**

健康状况较好),但也有较差的区段,如第 1 段、第 6 段和第 9 段。从图 4 可以看出,影响辛江塘社会服务功能的 6 个因子中,其影响程度的大小顺序为工业污水排放量、GDP、生活污水排放量、农业污水排放量、管理投入力度、年降雨量,可见工业污水的排放、GDP 和生活污水的排放是辛江塘的主要致病因素。由系统得出的康复措施为:控制沿线水体污染,特别是沿线企业的工业污水排放,提高生活污水的处理能力,加强沿线植被的管护和生态系统的构建。以上结论均与实际情况基本相符。

4 结 语

河流健康诊断系统整合了 GIS 的地图浏览和空间分析功能、DBMS 的数据库管理功能和 DSS 的决策支持功能,能够在输入相应河段、河流或流域的相关数据资料后,多库联动、智能分析河流的健康状况和主要致病因素,并根据病症诊断和病因诊断的结果决策生成相应的康复措施。实际应用表明,本系统能够对平原河流及相类似的河流做出合理的健康诊断。

在未来设计中,用户参与部分有待进一步加强。此外,更科学的河流健康诊断必然要涉及大范围、跨行政区划的流域尺度,因此基于 Internet 的 WebGIS 技术的引入将成为未来发展的必然趋势。研究和开发基于 WebGIS 的河流健康诊断系统,将有助于实现跨行政区划、全流域范围的河流健康诊断。而从河流管理的角度出发,开发河流健康预警系统是河流健康研究的另一趋势。动态监控河流健康状况及其变化趋势,对健康状况朝着恶化方向发展的河段、河流或流域发出预警,将有助于河道管理部门及时采取措施,扭转恶化趋势,引导河流朝着健康、可持续发展的方向。

参考文献：

[1] KARR J R. Biological integrity :a long neglected aspect of water resource management[J]. Ecological Applications ,1991(1) :66-84.

[2] MEYER J L. Stream health :incorporating the human dimension to advance stream ecology[J]. Journal of the North American Benthological Society ,1997 ,16(2) :439-477.

[3] VUGTEVEEN P. Redefinition and elaboration of river ecosystem health :perspective for river management[J]. Hydrobiological ,2006 ,565 :289-308.

[4] 李国英.黄河治理的终极目标是“维持黄河健康生命”[J].人民黄河 ,2004 ,26(1) :1-3.(LI Guo-ying. Keeping healthy life of the Yellow River :an ultimate aim of taming the Yellow River[J]. Yellow River ,2004 ,26(1) :1-3.(in Chinese))

[5] 杨文慧,严忠民,吴建华.河流健康评价的研究进展[J].河海大学学报 :自然科学版 ,2005 ,33(6) :607-611.(YANG Wen-hui , YAN Zhong-min ,WU Jian-hua. Advances in river health assessment[J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences ,2005 ,33(6) :607-611.(in Chinese))

[6] 杨文慧,杨宇.河流健康概念及诊断指标体系的构建[J].水资源保护 ,2006 ,22(6) :28-30.(YANG Wen-hui ,YANG Yu. Concept and assessment indicator system of river health[J]. Water Resources Protection ,2006 ,22(6) :28-30.(in Chinese))

[7] 杨文慧.河流健康的理论构架与诊断体系的研究[D].南京 :河海大学 ,2007.

- [8] 胡玲, 韩玉玲, 夏继红. 浙江省河流健康诊断思路及关键内容[J]. 河海大学学报 : 自然科学版, 2008, 36(3): 322-325. (HU Ling, HAN Yu-ling, XIA Ji-hong. Process and key contents of river health assessment in Zhejiang Province[J]. Journal of Hohai University : Natural Sciences, 2008, 36(3): 322-325. (in Chinese))
- [9] 夏继红. 生态河岸带综合评价理论与应用研究[D]. 南京 : 河海大学, 2005.
- [10] 韩玉玲, 胡玲, 夏继红, 等. 海宁市辛江塘河道健康诊断及病因分析[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(6): 36-39. (HAN Yu-ling, HU Ling, XIA Ji-hong, et al. River health diagnosis and analysis of the Xinjiangtang River in Haining City[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(6): 36-39. (in Chinese))
- [11] 夏继红, 严忠民. 生态河岸带综合评价与 GIS 耦合研究[J]. 河海大学学报 : 自然科学版, 2006, 34(4): 366-369. (XIA Ji-hong, YAN Zhong-min. Application of GIS coupling technology to comprehensive assessment of ecological riparian zone[J]. Journal of Hohai University : Natural Sciences, 2006, 34(4): 366-369. (in Chinese))
- [12] 杜江, 孙玉芳. 基于面向对象模型库的 DSS 可重用体系结构研究[J]. 系统工程理论与实践, 2000(1): 1-6. (DU Jiang, SUN Yu-fang. Research on the methodology of development of DSS based on object oriented model[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2000(1): 1-6. (in Chinese))

Design and application of river health diagnosis system

LIN Jun-qiang¹, XIA Ji-hong², HAN Yu-ling³, HU Ling³, LUO Wei⁴, PU Qian-chao¹

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. College of Modern Agriculture Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

3. River Management Station of Zhejiang Province, Hangzhou 310009, China ;

4. Water Conservancy Bureau of Haining, Haining 314400, China)

Abstract : In order to completely and effectively diagnose river health, a river health diagnosis system was established based on advanced techniques such as GIS, database management and decision-making support. The main functions of the system included data information management, diagnosis model management, river health diagnosis, decision-making, and thematic map management. The multi-base linkage type of intelligence diagnosis design was employed to realize the intelligence diagnosis of river health and the decision-making of rehabilitation measures. The system was applied to the diagnosis of the health of the Xinjiangtang River in Haining City. The results show that the present system can make an effective diagnosis of river health.

Key words : river health ; diagnosis system ; GIS ; multi-base linkage ; Xinjiangtang River