

黄河内蒙古段冰情预报系统的开发

卞雪军¹,冀鸿兰¹,姜新华²,高瑞忠¹

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古农业大学计算机与信息工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要:为了预报黄河内蒙古段的流凌和封开河日期,以多元线性回归理论与人工神经网络理论为基础,设计开发了黄河内蒙古段冰情预报系统预报内蒙古段各个站点的流凌和封开河日期。选用黄河内蒙古段水文、气象和冰情信息建立数据库,应用 ADO OLEDB 技术调用数据库,建立符合相关性要求的人工神经网络模型和多元线性回归模型,从而实现预报识别检验。使用 2003—2004 年度至 2007—2008 年度 5 年的资料进行预报检验,并与实际开河日期对比分析,预报结果合格率为 80% 和 67.7%,分别达到甲等和丙等预报精度,表明系统可以应用于黄河内蒙古段的冰情预报。

关键词:冰情预报系统;人工神经网络;多元线性回归;黄河内蒙古段

中图分类号:TV882.1;P338+.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2014)04-0062-04

Development and application analyze of forecasting system of ice conditions in Inner Mongolia reach of Yellow River//BIAN Xuejun¹, JI Honglan¹, JIANG Xinhua², GAO Ruizhong¹(1. School of Hydraulic & Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2. School of Computer & Information Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: In order to forecast the date of ice-run, freeze-up and break-up, the forecasting system of ice conditions in Inner Mongolia section of the Yellow River has been designed and developed at every station based on the theory of multiple linear regression and artificial neural network theory. After selecting hydrological, meteorological and ice information the system has established a database, which can be called by applying ADO OLEDB technology. Additionally, the models of artificial neural network and multiple linear regression are used to realize the prediction, identification, and inspection. The overall results based on the data of 5 years from 2003-2004 to 2007-2008 employed in the prediction test, the qualified rate of the forecast results is respectively 80% and 67.7%. These, respectively reaches the first and third class forecasting scheme, indicating that the system can be applied to forecast the date of ice-run, freeze-up and break-up in Inner Mongolia section of the Yellow River.

Key words: forecasting system of ice condition; artificial neural network; multiple linear regression; Inner Mongolia reach of Yellow River

凌汛灾害是高纬度地区河流普遍存在的一种自然现象。黄河凌汛主要发生在石嘴山至头道拐的宁夏河段以及下游的河南山东河段^[1]。黄河内蒙古段特殊的地理位置和冬季寒冷的气候条件以及多弯道的地形条件,致使每年冬季黄河都会有不同程度的凌汛发生。黄河内蒙古段的冰期每年持续 4 个月左右,进入 11 月后,北方地区开始逐步降温到 0℃ 以下,进入 11 月中下旬,黄河即开始流凌,进入 12 月底黄河宁夏蒙段基本全线封河,在次年的 1 月底至 2 月初黄河冰厚达到最大值,3 月中下旬黄河解冻开河。

目前,国内冰情预报的研究正处于一个不断更新和完善的阶段,各类数学模型不断应用到黄河的冰情预报中,如沈洪道^[2]依据热交换原理和冰力学理论成功地模拟了冰盖厚度和水温;张傲姐等^[3-4]利用人工神经网络和多元线性回归两个模型预报了黄河内蒙古段的流凌、封河和开河时间;冀鸿兰等^[5]运用模糊优选神经网络 BP 模型进行了开河预报。在系统研发方面,郭永鑫等^[6]尝试探讨了黄河宁夏河段冰情预报决策系统的设计与开发,但未在实践中完善;王涛等^[7]的自适应模糊推理系统是通过一

基金项目:国家自然科学基金(51369017,51369021);内蒙古水利厅科技计划(201007)

作者简介:卞雪军(1987—),男,内蒙古赤峰人,硕士研究生,主要从事水文学及水资源研究。E-mail:bianxuejun999@163.com

通信作者:冀鸿兰(1970—),女,内蒙古呼和浩特人,教授,博士,主要从事水文学及水资源研究。E-mail: honglanji@sina.com

种建模的形式组建的,缺乏系统性。鉴于此,考虑到预报模型的多样性与系统的实用性和通用性,本文设计开发了一套适用于黄河内蒙古段的冰情预报系统,该系统针对影响黄河冰情的不同因素,采用了不同的预报方法,从而使该系统可以更好地应用于黄河防凌防汛的实际工作中。

1 预报系统总体设计

黄河内蒙古段冰情预报系统是基于 VB 语言设计和实现的。系统由 3 部分组成:第 1 部分是数据库资料的获取、存储和管理的基础数据库系统;第 2 部分是基于预报因子建立的模型及冰情预报系统;第 3 部分是结果输出模块。黄河内蒙古段冰情预报系统结构见图 1。

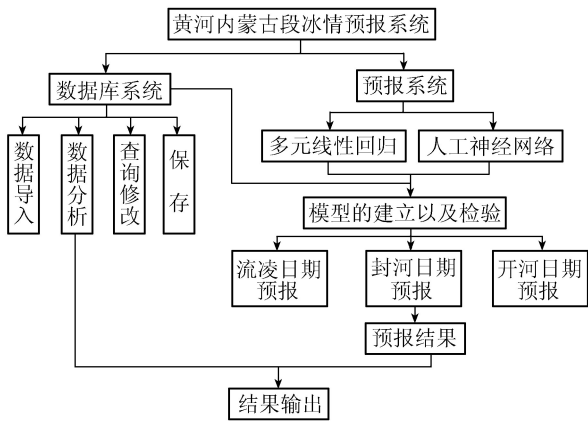


图 1 黄河内蒙古段冰情预报系统结构

1.1 数据库设计

参照中科软科技股份有限公司《数据库结构设计规范(20040512)》,结合黄河内蒙古段冰情监测要素与预报特点,采用关系型数据库管理黄河内蒙古段沿河各气象站的逐日气象资料和历史冰情资料、水文站水文资料等数据资料以及预报模型需要的所有预报因子。通过 VB 编程实现由用户选择神经网络模型输入因子和输出因子、多元回归模型自变量因子和因变量因子,运用 ADO 通过 OLEDB 获取数据库中的历史数据,为神经网络预报模型和多元回归预报模型提供数据支持。

1.2 冰情预报模型

冰情预报模型选用目前发展比较成熟和使用比较广泛的人工神经网络模型和多元线性回归模型。

神经网络模型的优点^[8-9]为:①由许多处理单元联结而成,预算速度更快;②采用的是分布式存储方法,使存储区和运算区合为一体,从而具有很强的容错性;③能够通过自学习不断适应环境,具有很强的自适应性;④由大量非线性处理单元构成,每个单元有多个输入通道和多个输出通道。

多元线性回归模型的优点^[10-11]为:①是一果多因的预报模型,可以用来研究多种不同因素对因变量的影响;②通过相关分析和显著性分析能够选择出影响较大的因子,从而增加了模型的适用性;③增加了一些有助于解释因变量的因素,自变量的变化就可以得到更好的解释,有助于模型的预报;④应用灵活,在分析过程中有利于对总体回归模型做出正确判断。

系统采用多元线性回归模型和神经网络模型进行预报,综合考虑了 2 种模型在预报过程中的优势,可以对它们的预报结果进行对比,达到相互验证的目的。

1.3 系统操作界面

系统选用 VB 编程技术开发设计,操作界面简洁友好,功能实用,易于操作维护,有较高的可靠性。冰情预报系统操作界面见图 2。

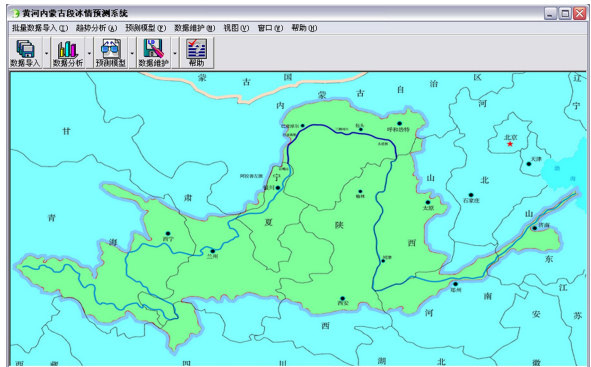


图 2 黄河内蒙古段冰情预报系统界面

2 系统功能及关键技术

2.1 系统功能

a. 批量数据导入。可将黄河内蒙古段各个水文站和气象站的历史实测值批量导入到系统数据库中。主要的数据库资料有黄河内蒙古段沿河气象站日气象数据资料,各个水文站的流量、水位、泥沙和历年流凌与封开河资料,系统预报运行需要的预报因子等。

b. 趋势分析。按照不同监测点、不同时段选择数据库中的水文、气象和冰情资料,并进行统计分析和图表输出,可了解多年来各河段冰情变化情况。

c. 预报功能。根据选择的预报因子,由系统提供的预报模型实现对流凌、封开河历时的预报。通过选择模型生成因子与数据时段,提取数据库中的历史数据,生成神经网络和多元回归预报模型,同时输出显示神经网络模型生成过程中的训练样本与检验样本,以及实际开河日期与检验值的对比误差,方便操作者观察预报模型的有效性。按照选择的因子,输入实测数据,预报流凌与封开河历时。可将生

成多元回归模型过程中的相关性分析结果以图表的方式显示,使预报模型之间有了对比和选择。

d. 数据维护。统一管理整个数据库中每一年的数据资料,主要包括保存、修改、删除等操作功能,是数据库管理的核心组成部分。

e. 结果输出。程序运行获得分析与预报结果后,可以通过导出图表、导出数据等方式输出分析与预报结果。

2.2 关键技术

a. VB 与 Excel 的无缝连接。黄河内蒙古段气象、水文历史数据资料多以 Excel 形式保存,为了实现这些历史数据的批量导入,采用 VB 控制 Excel 文件自动打开与关闭操作,并将 Excel 数据转换成二维关系数据批量存储到数据库中。由于 VB 的图表处理功能有限,而且一旦数据量增大时,图表很难完整体现数据变化趋势,并会给应用程序的维护工作带来极大的不便,因此系统采用 VB 语句操作数据库,提取历史数据,然后将数据转换为 Excel 格式,利用 Excel 的强大图表处理功能来实现气象、水文历史数据变化趋势分析。

b. ADO OLEDB 数据库访问。在 VB 开发环境中,常用的数据库访问接口有 ODBC、DAO、RDO 和 ADO,为了实现系统的可移植性,采用 ADO OLEDB 数据库访问技术^[12-13],底层数据访问接口采用 OLEDB。ADO 对 OLEDB 进行封装,避免了在 VB 应用程序中直接使用 OLEDB 接口,而且利用了 OLEDB 技术的统一、通用访问数据源的特性,可不考虑数据的格式与存储方法,能降低编程量,减少编程细节。系统采用 ADO 对象模型编程方式访问数据库(图 3),能提高数据库访问速度和减少内存占用。

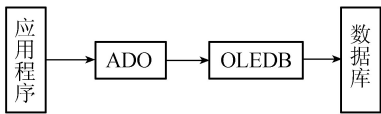


图 3 ADO 访问数据库体系结构

3 系统的验证

选用 1970—1971 年度至 2007—2008 年度共计 38 年的系列资料,其中前 33 年的资料用于模型训练,后 5 年的资料用于预报检验。在开河日期预报过程中,以 2 月 1 日作为起始时间计算开河日期。

在运用多元线性回归模型进行开河日期预报过程中,系统自动进行回归方程显著性检验和回归系数显著性检验,其中,巴彦高勒、三湖河口和头道拐 3 个水文站的 F 检验值分别为 13.175、13.698 和 8.983,显著性较好。图 4(a) 为实际开河日期与多元线性回归模拟值拟合曲线,可以看出拟合效果不

是很理想,说明该模型应用于开河日期的预报精度相对较低,但仍然在 GB/T 22483—2008《水文情报预报规范》^[14] 规定的范围内,可以用于开河日期的预报。

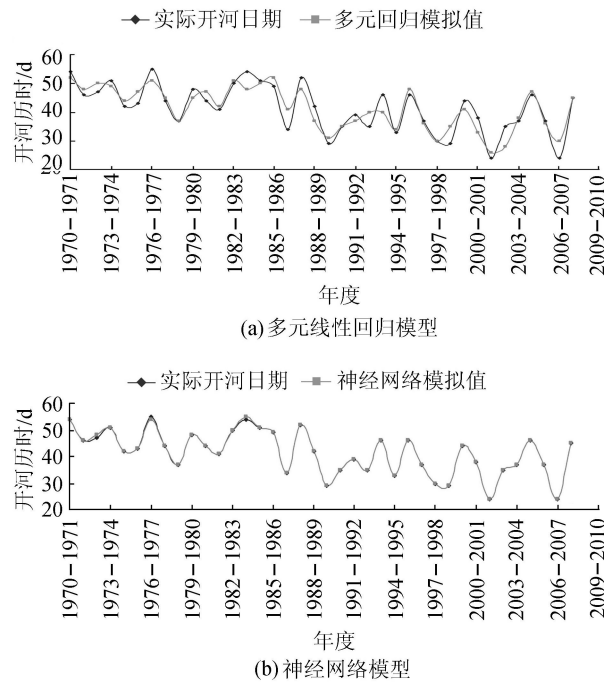
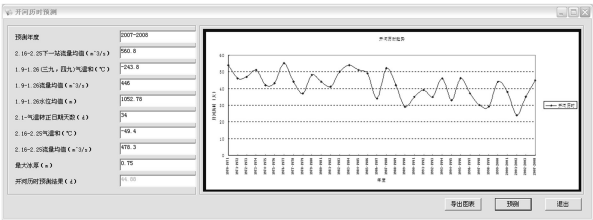


图 4 实际开河日期与预报系统模拟值的对比

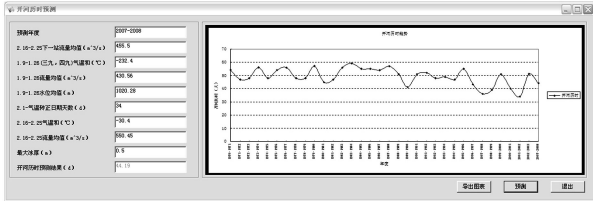
在进行人工神经网络模型进行开河日期预报过程中,首先要对神经网络模型中各个参数进行设定,初始学习速率为 0.9,初始动量因子为零,允许最大训练次数为 10 000 次,收敛误差和学习速率为 0.001,除此之外,3 个水文站预报过程中隐含层神经元个数分别为 13、16 和 40,自适应步长分别为 0.001、0.00001 和 0.00001。图 4(b) 为实际开河日期与神经网络模拟值拟合曲线,可以看出拟合效果较好,可以用于开河日期的预报。

利用 2003—2004 年度至 2007—2008 年度这 5 年的资料对黄河内蒙古段开河日期进行预报检验。选取 2 月 16—25 日石嘴山站流量均值、1 月 9—26 日逐日累计气温、1 月 9—26 日流量均值、1 月 9—26 日水位均值、2 月 1 日—气温稳定转正日期天数、2 月 16—25 日逐日累计气温、2 月 16—25 日流量均值、封冻期最大冰厚 8 个变量作为预报因子。黄河内蒙古段各站预报结果见图 5(左侧输入的为预报因子)和表 1。

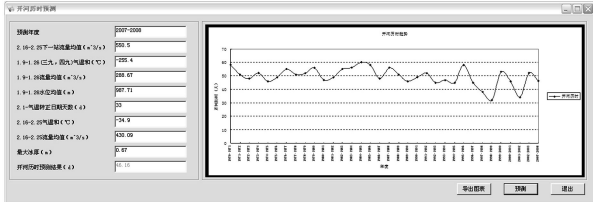
根据 GB/T 22483—2008《水文情报预报规范》^[14] 预见期为 10 d 的许可误差不超过 3 d 的标准,由表 1 可以看出,多元线性回归模型预报合格率为 67.7%,神经网络模型预报合格率为 80%,分别达到该规范丙等和甲等合格率标准,可见该系统预报效果较好,可以用于黄河内蒙古段冰情预报。



(a) 巴彦高勒站



(b) 三湖河口站



(c) 头道拐站

图 5 2007—2008 年度开河日期预报结果

表 1 2003—2004 年度至 2007—2008 年度开河日期预报结果与实际开河日期

水文站	年度	实际开河日期	预报值		误差/d	
			多元线性回归模型	神经网络模型	多元线性回归模型	神经网络模型
巴彦高勒	2003—2004	3月8日	3月11日	3月12日	3	4
	2004—2005	3月18日	3月21日	3月19日	3	1
	2005—2006	3月9日	3月9日	3月10日	0	1
	2006—2007	2月24日	2月5日	2月27日	11	3
	2007—2008	3月16日	3月16日	3月19日	0	3
三湖河口	2003—2004	3月14日	3月21日	3月17日	7	3
	2004—2005	3月21日	3月22日	3月21日	1	0
	2005—2006	3月19日	3月16日	3月17日	3	2
	2006—2007	3月17日	3月17日	3月20日	0	3
	2007—2008	3月21日	3月15日	3月18日	6	3
头道拐	2003—2004	3月14日	3月17日	3月16日	3	2
	2004—2005	3月19日	4月27日	4月22日	8	3
	2005—2006	3月15日	3月21日	3月18日	6	3
	2006—2007	3月16日	3月15日	3月13日	1	3
	2007—2008	3月14日	3月17日	3月23日	3	9

4 结 语

冰情预报是各级领导防汛指挥、调度、决策的重要依据,及时准确的冰情信息是减少凌汛灾害的有效措施。本文以黄河内蒙古段的冰情预报作为研究对象,集数据库、神经网络、多元线性回归、预报系统于一体设计开发了黄河内蒙古段冰情预报系统,并对巴彦高勒、三湖河口和头道拐 3 个水文站的开河时间进行了预报分析验证,结果表明,该系统可以应用于黄河内蒙古段的流凌和封开河日期的预报,开河预报

结果可以作为黄河内蒙古段冰情预报的参考。

参考文献:

[1] 冀鸿兰,卞雪军,徐晶. 黄河内蒙古段流凌预报可变模糊聚类循环迭代模型[J]. 水利水电科技进展,2013,33(4):14-17. (JI Honglan, BIAN Xuejun, XU Jing. Variable fuzzy clustering loop iteration model for ice-run forecast in Inner Mongolia reach of Yellow River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(4):14-17. (in Chinese))

[2] 沈洪道. 河冰研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2010.

[3] 张傲姐. 黄河内蒙段冰情特点及预报模型研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.

[4] 冀鸿兰,张傲姐,高瑞忠,等. 黄河内蒙古段开河日期预报模型及应用[J]. 水利水电科技进展,2012,32(2):42-45. (JI Honglan, ZHANG Aoda, GAO Ruizhong, et al. Application of the break-up date prediction model in the Inner Mongolia reach of the Yellow River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(2):42-45. (in Chinese))

[5] 冀鸿兰,朝伦巴根,陈守煜. 模糊优选神经网络 BP 模型在黄河内蒙段封开河预报中的应用[J]. 水利水电科技进展,2008,28(3):70-72. (JI Honglan, CHAOLUN Bagen, CHEN Shouyu. Application of fuzzy optimization neural network BP approach in forecasting freeze-up and break-up date in the Inner Mongolia reach of the Yellow River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(3):70-72. (in Chinese))

[6] 郭永鑫,王涛,杨开林,等. 黄河宁蒙河段冰情预报决策支持系统的设计与开发[J]. 水利水电技术,2005,36(10):67-69. (GUO Yongxin, WANG Tao, YANG Kailin, et al. Design and development of decision support system for ice regime forecast of Ningxia-Inner Mongolia reach of Yellow River [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2005, 36(10):67-69. (in Chinese))

[7] 王涛,杨开林,郭新蕾,等. 基于网络的自适应模糊推理系统在冰情预报中的应用[J]. 水利学报,2012,43(1):112-117. (WANG Tao, YANG Kailin, GUO Xinlei, et al. Appication of Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System to ice condition forecast[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(1):112-117. (in Chinese))

[8] 蒋宗礼. 人工神经网络导论[M]. 北京:高等教育出版社,2001.

[9] 李晓峰,徐玖平,王荫清,等. BP 人工神经网络自适应学习算法的建立及其应用[J]. 系统工程理论与实践,2004(5):1-8 (LI Xiaofeng, XU Jiuping, WANG Yinqing, et al. The establishment of self-adapting algorithm of BP neural network and its application [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2004(5):1-8. (in Chinese))

(下转第 81 页)

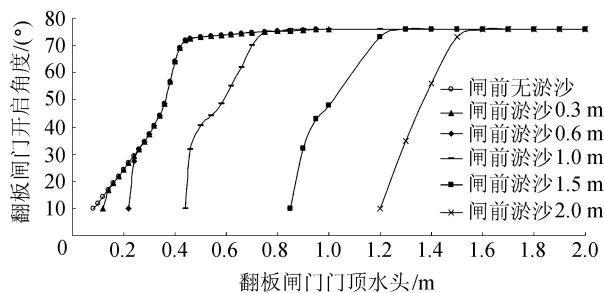


图3 水力自控翻板闸门启门曲线

闸门开启角度趋于稳定,说明已达到闸门的最大开启角度。

b. 当闸前有淤沙时,闸门开启所需的门顶水头要比闸前无淤沙时高,并且闸前淤沙越高,开启所需的门顶水头越高。经计算,当闸前淤沙高度为0.3 m、0.6 m、1.0 m、1.5 m、2.0 m时,水力自控翻板闸门开启时的门顶水头分别为0.12 m、0.22 m、0.44 m、0.85 m、1.20 m,尤其当闸前淤沙达到1.0 m以上时,水头达到或超过安全超高,将严重危及上游河道安全。由此可见,淤沙压力对水力自控翻板闸门的开启有影响。

c. 随着翻板闸门的逐渐开启,闸前淤沙逐渐被冲走,淤沙压力对闸门的抵抗力矩逐渐减小,当翻板闸门开度超过闸前淤沙高度时,闸门开启会有一个突然增大的过程,然后再根据闸前水位,逐渐与无淤沙工况的开启过程趋于一致,但闸门的突然增大会造成闸前的水位波动,说明淤沙压力对翻板闸门的运行过程有影响。

d. 闸前淤沙越高,闸门开启所需的水头越高,闸门开启后越易急开到最大开度,闸门急开极易使闸门产生“拍打”现象,并与闸前水位波动相互作用,影响闸门运行的稳定性。

3 结 语

通过对水力自控翻板闸门的开启分析,建立了考虑淤沙压力作用的闸门力矩平衡公式,分析了淤沙压力对水力自控翻板闸门开启的影响,并绘制出闸门的启门曲线。计算结果表明,淤沙压力对水力自控翻板闸门的开启和运行过程均有影响;对闸门开启的影响将使闸门开启所需的门顶水头随淤沙高度的增大而增大;对闸门运行过程的影响,将使闸前水位产生波动,并导致闸门运转不稳定,严重时将危及上游河道安全。

参考文献:

[1] 李宗健,江仪贞,王长德. 水力自动闸门[M]. 北京:水利电力出版社,1987.

[2] 涂启华,杨斐斐. 泥沙设计手册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.

[3] 湖南省水利水电勘测设计研究总院. 中小型水电站典型设计图集挡水建筑物分册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007.

[4] 吴培军,李玉建,王院生. 淤沙压力对多泥沙河流水力自控翻板闸门的影响研究[J]. 中国农村水利水电,2011(1):136-138. (WU Peijun, LI Yujian, WANG Yuansheng. Research on the effect of sediment pressure on hydraulic automatic control flap gate in sandy rivers [J]. China Rural Water and Hydropower, 2011(1):136-138. (in Chinese))

[5] 侯石华. 水力自动翻板闸门的稳定性分析与结构优化设计[D]. 南京:河海大学,2004.

[6] 刘长宝. 水力自动翻板闸门脉动压力对闸门结构及泄流量的影响分析研究[D]. 南京:河海大学,2007.

[7] 周经渊. 水力自控翻板闸门的研究与应用[J]. 水力发电学报,2007,26(6):73-76. (ZHOU Jingyuan. Research and application of hydraulic automatic flap gate [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 26(6):73-76. (in Chinese))

[8] 李利荣,文恒,王福军. 水力自动滚筒闸门动水压力的模型试验[J]. 水利水电科技进展,2009,29(1):26-30. (LI Lirong, WEN Heng, WANG Fujun. Model experiment study on dynamic hydraulic pressure of hydro-automatic roller gate [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, 29(1):26-30. (in Chinese))

(收稿日期:2013-09-07 编辑:骆超)

(上接第65页)

[10] 梅长林,王宁. 近代回归分析方法[M]. 北京:科学出版社,2012.

[11] 白秀琴,李瑞阁. 多元回归分析方法应用实证分析与比较[J]. 河南科学,2010,28(9):1083-1088. (BAI Xiuqin, LI Ruige. Applied comparison of multiple regression analysis in the practical [J]. Henan Science, 2010, 28(9):1083-1088. (in Chinese))

[12] 张宗飞. VB中基于ADO的数据库访问技术分析及应用[J]. 计算机与数字工程,2008(6):53-56. (ZHANG Zongfei. Analysis and application about database access technology based on ADO in VB [J]. Computer & Digital Engineering, 2008(6):53-56. (in Chinese))

[13] 李淑红,张巧荣. 利用OLE技术和Excel制作复杂报表[J]. 武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2004,26(5):74-76. (LI Shuhong, ZHANG Qiaorong. Complicated report generation using OLE and Excel [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Information & Management Engineering, 2004, 26(5):74-76. (in Chinese))

[14] GB/T22483—2008 水文情报预报规范[S].

(收稿日期:2013-10-10 编辑:熊水斌)