

统计模型在 B/S 架构的大坝安全监控系统中的应用

徐 鑫, 胡晓娅, 汤 强

(华中科技大学 控制科学与工程系, 湖北 武汉 430074)

摘 要:我国中小型大坝安全分析主要是对人工采集的监测数据进行后期离线分析,并结合丰富的实践经验和专业知识,判断大坝安全状态,该方法存在测量精度低、工作量大、实时性差等弊端。针对上述问题,提出了在基于 B/S 架构的大坝安全自动化监测系统上,结合 Java Builder 工具,调用 Matlab 算法,对大坝监测数据建立基于偏最小二乘回归算法的裂缝开合度统计模型,从而实现大坝安全实时分析。实验结果表明该系统能实现大坝实时、自动化安全分析,具有实用价值。

关键词:大坝安全;偏最小二乘回归;B/S

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)02-0242-04

Application of Statistical Model in Dam Safety Monitoring System Based on B/S Structure

XU Xin, HU Xiao-ya, TANG Qiang

(Department of Control Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Doing some off-line post-analysis based on the collected monitoring data and depending on the rich experience and professional knowledge to judge the statement of dam are the method of analysis on small and medium dam in China, which has a disadvantage of low-accuracy, huge workload, bad real-time performance. In order to address the problem, a new heterozygosity of crack statistical model based on the partial least squares regression algorithm is proposed for the dam's monitored data, which is in the dam's safety system of automation monitoring based on the B/S structure and combining the Java Builder tools as well as calling the Matlab algorithms. The real-time analysis on the safety of the dam is realized by the model. The performance evaluation shows that the system can realize the real-time and automatical analysis for the dam's safety and has practical value.

Key words: dam safety; partial least squares regression; B/S

0 引 言

20 世纪 20 年代以来,随着世界各国水利水电事业的发展,水库大坝的安全问题也越来越突出。国际上相继发生了 Vajont 坝(意)、Malpasset 坝(法)、Teton 坝(美)等垮坝事件,我国也先后发生了板桥、石漫滩(1975 年)洪水漫顶以及沟后水库(1993 年)渗透破坏等溃坝事件^[1]。据我国水利部 2008 年统计,我国大中型水库大坝安全达标率仅为 64.1%,病险率约占 36%,其中大中型水库的病险率接近 30%,小型水库的病险率则更高^[2]。因此,大坝安全问题已受到各界

的关注,相关领域的专家和科研单位也纷纷展开对大坝安全监测的研究。

中国工程院院士、水工结构专家吴中如院士在文献[3]中较全面系统地介绍了水工建筑物安全分析相关数理统计方法,并提出了大坝变形、裂缝开合度、位移量、渗流量等效应量的统计模型。文献[4]提出了采用遗传算法提高回归模型拟合精度,并以东北地区某宽缝重力坝挡水坝段为例,对历史监测资料建立遗传回归模型,拟合精度比混合模型有了明显提高。文献[5]为更好地反应各环境量对效应量变化的影响程度,提出加权面积法来衡量环境量对效应量的影响,并以新安江大坝 13#坝段 85m 高程正垂线测点 PL13-1 为例,介绍了加权面积法的应用。文献[6]应用分形学理论,将大坝视为具有不规则结构的复杂系统,从整体角度分析大坝安全状态,以陈村混凝土重力拱坝为例,使用 Hurst 指数和分形维数对大坝结构性态进行

收稿日期:2010-06-10;修回日期:2010-09-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60802002,60773190)

作者简介:徐 鑫(1985-),女,硕士,陕西西安人,研究方向为计算机集成控制与通信;胡晓娅,副教授,研究方向为无线传感器网络和计算机网络等。

后期分析,对原始监测数据建立大坝时间序列监控模型。文献[7~9]分别提出了各种智能算法,包括模糊控制理论、BP神经网络、遗传算法等对大坝安全进行离线分析。

在实际应用中,文献[10]指出了仪器观测局限性,建立混凝土大坝的数字监控系统,在大坝施工期同步运行,并使用反分析和有限元仿真技术,考虑大坝施工期的温度应力,地基渗流场等的影响,更加全面地评估大坝安全;文献[11]介绍了南瑞大坝公司研制的具有很强专业性的大坝安全监测资料分析建模客户端应用软件,更加高效和专业评估大坝安全。随着INTERNET/INTRANET技术的迅速发展,B/S结构已成为大坝安全分析的发展趋势,文献[12]比较了C/S结构与B/S结构在大坝安全监控中的应用,并使用Delphi的ActiveX技术建立B/S结构的大坝安全监控信息系统,实现大坝监测数据的实时查询、报表显示等。

综上所述,我国对大坝的安全监测研究侧重于寻找优化算法对历史监测数据建立模型,实现大坝安全离线分析。实际应用中,中小型大坝仍是人工采集监测数据,并对这些监测资料进行整理和简单的离线分析,如使用Excel绘制各监测数据趋势图,凭借丰富的工程实际经验判断大坝是否存在隐患。这种方法实时性差、测量精度低、误差大、工作环境恶劣、工作量大。

针对上述问题,文中在基于B/S架构的大坝安全自动化监测系统中,对大坝监测数据建立基于偏最小二乘回归算法的裂缝开合度统计模型,并结合Java Builder技术,在Java端调用Matlab算法实现大坝安全实时、自动化分析。

1 系统框架

本系统采用B/S架构实现大坝安全分析,大坝安全监测的总体框架如图1所示。

在大坝数据采集中心,数据采集装置将采集到传感器数据,通过数据转换单元及光纤传输到大坝安全监测服务器端,并接收来自控制中心机房的指令。

大坝安全自动化监测系统部署于控制中心机房的大坝安全监测服务器上,是整套系统的核心单元。大坝安全自动化监测系统采用基于J2EE(Java 2 Platform, Enterprise Edition)系统开发平台,整合Struts2+Hibernate+Spring框架实现B/S架构的大坝安全监测,实现数据自动化采集、转换、传输,实时查询,数据分析

和发布等功能,完成大坝安全实时、自动化监测。

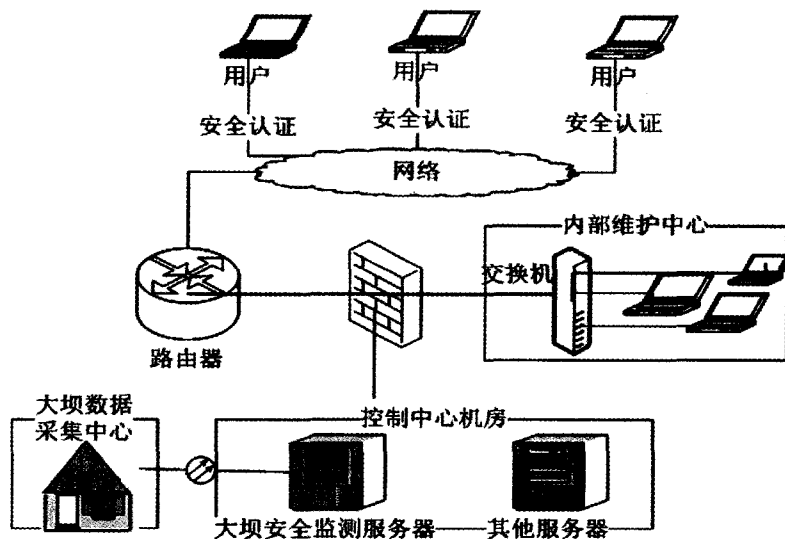


图1 系统整体框架图

2 相关理论

大坝原型观测资料分析及安全监控模型的建立是安全监测工作的最终价值体现^[11],而统计模型是目前应用最广的大坝安全监控模型,主要是运用回归技术,通过最小二乘算法建立模型。混凝土坝安全监测项目主要包括变形,渗流,应力、应变及温度,环境量等,其中变形监测项目主要有坝体变形、接缝、裂缝,以及坝基变形、滑坡体和高边坡的位移等^[13]。文中结合大坝的监测现状,选择裂缝作为监测项目,建立裂缝统计模型。

文献[3]中提到Well在20世纪60年代初期提出的裂缝开度(COD)概念,为分析裂缝开合度建立模型提供了方便。裂缝开度的计算公式为:

$$K_0 = \frac{4\sigma}{E} \sqrt{(a + r_p^*)^2 - x^2} \quad (1)$$

式中 σ — 裂缝顶端附近的应力;

E — 弹性模量;

a — 裂缝长度的一半;

r_p^* — 塑性区半径;

x — 距裂缝顶端之距离。

由式(1)可对特定位置的裂缝开合度建立统计模型:

$$K = F(\sigma_H, \sigma_T, \sigma_\theta) = K(H) + K(T) + K(\theta) \quad (2)$$

其中 $\sigma_H, \sigma_T, \sigma_\theta$ 分别为水压分量、温度分量、时效分量, $K(H)$ 是由水压因素引起的裂缝开合度分量, $K(T)$ 是由温度因素引起的裂缝开合度分量, $K(\theta)$ 是由时效因素引起的裂缝开合度分量,各分量的计算公式如下^[1]:

$$K(H) = \sum_{i=0}^4 a_i H^i \quad (3)$$

$$K(T) = \sum_{i=1}^m b_i T_i \quad (4)$$

$$K(\theta) = c_1 \theta + c_2 \ln \theta \quad (5)$$

其中 H 为水深, T 是各温度计测值, θ 从测量第一天起, 以 100 天为单位, 每增加一天 θ 增加 0.01。

由此建立大坝裂缝开合度的统计模型为:

$$K = \sum_{i=0}^4 a_i H^i + \sum_{i=1}^m b_i T_i + c_1 \theta + c_2 \ln \theta \quad (6)$$

3 实现模型

3.1 模型因子选择

以湖北省利川市某混凝土拱坝为例, 由于该大坝在运行初期, 采用人工测量数据, 相关数据不全面, 且有部分数据丢失, 这里选取同一天内各预报量和预报因子均有测值的记录作为样本数据。

根据该大坝实际运行和测量情况, 这里选取 9 个预报因子, 即 4 个水压因子: H 、 H^2 、 H^3 、 H^4 , 3 个温度因子: T_2 、 $TE1$ 、 $TE2$, 2 个时效因子: t 、 $\ln t$ 。预报量为大坝中轴线 525.3 高程处观测点的裂缝开合度。建立模型:

$$y = a_0 + a_1 H + a_2 H^2 + a_3 H^3 + a_4 H^4 + a_5 T_2 + a_6 TE1 + a_7 TE2 + a_8 t + a_9 \ln t \quad (7)$$

3.2 模型算法选择

求得各自变量相关系数矩阵如下:

表 1 自变量相关系数矩阵

H	H ²	H ³	H ⁴	T ₂	TE1	TE2	t	ln t
1	1	0.99	0.99	-0.94	-0.43	-0.60	0.95	0.94
	1	1	0.99	-0.94	-0.43	-0.60	0.95	0.94
		1	1	-0.94	-0.43	-0.60	0.95	0.94
			1	-0.94	-0.43	-0.60	0.95	0.94
				1	0.54	0.71	-0.99	-0.84
					1	0.93	-0.55	-0.51
						1	-0.73	-0.63
							1	0.87
								1

上述矩阵中的第 i 行第 j 列的数据, 显示了第 i 个因子与第 j 个因子间的相关性。如第 2 行第 4 列数据 0.99, 表示了 H^2 与 H^4 的相关性为 0.99。由上述矩阵可知, 自变量间存在严重相关性, 导致难以入选或入选后计算结果不合理的弊端, 而偏最小二乘回归算法则很好地解决了这种相关性问题^[14], 所以文中选取偏最小二乘回归算法实现统计回归模型的建立。

3.3 偏最小二乘回归算法

偏最小二乘回归算法通过主成分提取和交叉有效

性检验, 确保了在各因子存在严重多重相关性的情况下, 模型精度不受影响, 算法实现主要在 Matlab 端完成。

1) 提取成分。由于多重相关性对回归影响较大, 这里采用主成分分析法进行处理。从原始变量信息系统中综合筛选出具有最佳解释能力的新综合变量(即成分), 用这些成分进行回归建模, 提高回归模型精度。Matlab 端实现成分提取的主要算法如下:

```
w(:, i) = (X0' * Y0) / norm(X0' * Y0);
t(:, i) = X0 * w(:, i); % 成分 ti 的得分
alpha(:, i) = X0' * t(:, i) / (norm(t(:, i))^2);
e = X0 - t(:, i) * alpha(:, i); % 残差矩阵
X0 = e;
```

2) 交叉有效性。一般情况下, 并不需要所有的成分进行回归建模, 可通过截尾的方式选择前 m 个成分, 就可以得到预测性能较好的模型。提取的成分个数 m 可采用交叉有效性原则确定。交叉有效性定义如下:

$$Q_k^2 = 1 - \frac{\text{PRESS}_k}{\text{SS}_{(k-1)}} \quad (8)$$

其中 PRESS_k 为因变量 Y 的预测误差平方和, $\text{SS}_{(k-1)}$ 为 Y 的误差平方和。Matlab 端实现交叉有效性的主要算法如下:

```
if i > 1
    Q_h2(i) = 1 - press(i) / ss(i-1);
else
    Q_h2(1) = 1;
end
if Q_h2(i) < 0.0975
    r = i; % 主成分个数
break
end
```

3.4 模型实现步骤

首先: 搭建建模环境、配置相关环境变量。安装 Matlab R2009a 及 JDK1.6。

其次: 在 Matlab 端实现建模算法, 通过 Java Builder 生成可在 Java 端调用的 jar 包。Matlab 是 Mathworks 公司推出的针对数值计算的交互式软件, 具有强大的数值分析、矩阵运算功能。为了能够在安全监测系统内高效地实现回归算法, 需要借助 Java Builder 工具实现在 Java 程序中调用 Matlab 丰富的数值计算资源。

最后: 将生成的 jar 包和 Matlab 提供的 javabuilder.jar 包复制到大坝监测平台项目工程 lib 目录; 在 Java 端调用 jar 包中的方法, 完成大坝安全分析算法, 发布 web 工程。用户可通过 IP 或域名远程访问该系统, 完成大坝安全分析。以下为 Java 端调用算法:

Service 层:

```
Pls_web web= new Pls_web ();//实例化
result = web.pls_web (10,x,y,a);

Action 层:
//获取自变量相关系数矩阵
coef=(double[ ][ ]) ((MWEArray)result[6]).toArray();
for(int i=0;i<coef.length;i++){
for(int j=0;j<coef[i].length;j++){
coef[i][j]=Double.parseDouble(cF.format(coef[i][j]).toString());
}
}
coef2jsp[i][j]=cF.format(coef[i][j]).toString();
}
```

4 模型结果分析

使用上述模型对 2006 年 4 月至 2008 年 6 月大坝中轴线 525.3 高程处观测点的裂缝开合度建立模型如下:

$$Y = -0.4815 + (0.0004 H) + (0.000000312146 H^2) + (0.00000000337 H^3) + (0.00000000000039 H^4) + (0.0047 T2) + (0.0034 TE1) + (0.0026 TE2) + (-0.0038 t) + (0.0159 \ln t)$$

复相关系数 R=0.7357,F=2.4909,F 检验通过。
结果图形分析:

1)开合度拟合值和实测值比较如图 2 所示。由图可知,拟合值变化趋势与实测值相同,能够反映实测值的变化趋势。

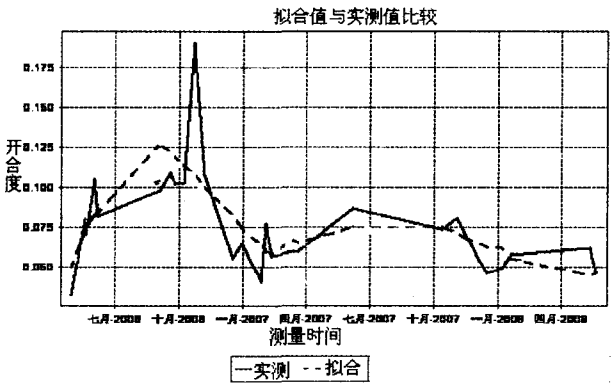


图 2 拟合值与实测值比较

2)温度变化对混凝土坝裂缝的形成和扩展极其敏感。为进一步找出裂缝与温度因子的关系,对裂缝测值进行分解,图 3 为温度分量随时间变化的过程线,由图可知大坝裂缝温度分量近似周期变化,较符合实际情况。

3)裂缝的产生和扩展与坝体的应力大小有关,而应力大小又与位移有关,所以水压对裂缝开合度的影响也应考虑在模型中。为进一步找出裂缝与水压因子的关系,对裂缝测值进行分解,图 4 为水压分量随时间变化的过程线,由图可知大坝裂缝随着水位的上升而

大坝承载压力变大,裂缝增加,符合实际情况。

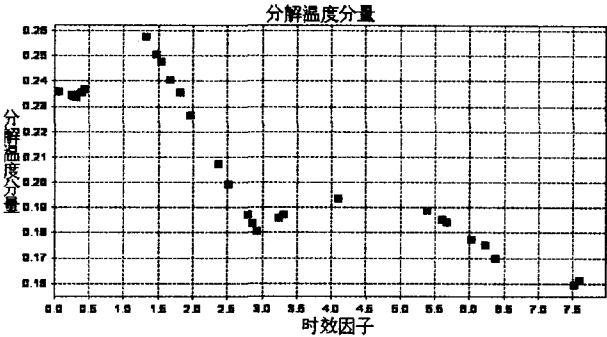


图 3 温度分量裂缝分解图

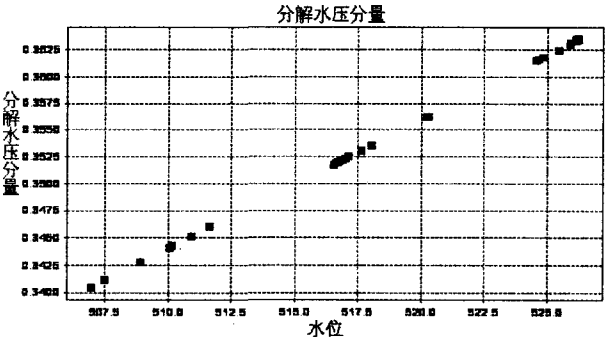


图 4 水压分量裂缝分解图

4)由于裂缝受坝体混凝土的徐变和缝端的塑性变形等影响,故需考虑时效的影响。分解裂缝测值,得到时效因子对大坝裂缝的影响,由图 5 可见裂缝刚开始随着时间变化较大,以后逐渐趋向稳定,符合实际情况。

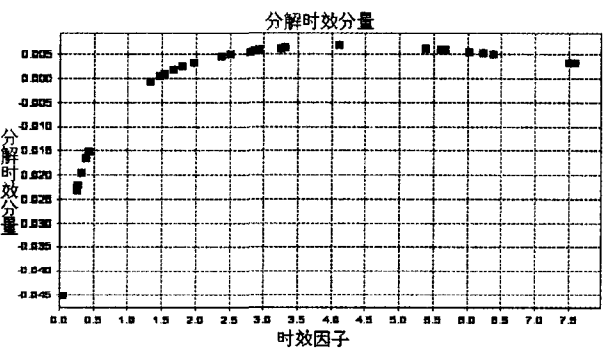


图 5 时效分量裂缝分解图

由上述结果可以看出拟合效果比较好,建立的回归模型基本符合实际情况。

5 结束语

影响大坝的因素是复杂的,在寻找预报量和各预报因子之间的关系时,一定会涉及到大量的数据处理和分析,文中结合 Matlab 强大的矩阵数据处理功能对监测资料建立统计模型,并将其应用到 B/S 架构的大坝安全监测平台中,实现大坝实时,自动化安全分析。

(下转第 249 页)

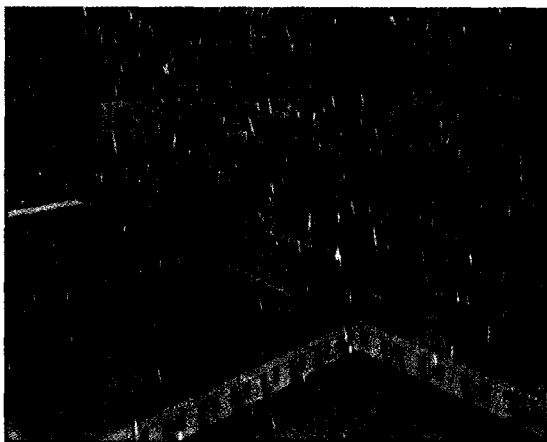


图5 大雨中的L楼和学生宿舍

基于粒子系统的对象模拟已经广泛的应用于军事仿真、游戏开发、几场飞行模拟等众多领域,本文中,粒子系统也应用到虚拟校园漫游系统的三维仿真平台中。文中所实现的雨雪天气模拟完全是为了适应用户对虚拟校园的视觉感受,造就出更为真实、实时性好的校园仿真系统。所模拟的雨雪模型主要依托于视景仿真软件 Vega 的特殊效果模块,效果也很真实。在今后,将更多的考虑到复杂气候环境下的雨雪粒子特征,实现更为逼真的雨雪天气环境。

参考文献:

- [1] 聂文兵. 基于 Vega 的虚拟战场中雨雪特效模拟[J]. 现代电子技术, 2009, 32(10): 48-50.
- [2] 王 乘, 李利军, 周均清, 等. Vega 实时三维视景仿真技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005: 183-218.
- [3] 杨述华, 廖守亿, 王仕成, 等. 基于粒子系统和 Vega 的实时雨雪模拟[J]. 计算机应用, 2008, 28(6): 238-240.
- [4] 赵 刚, 许国玉, 沈志峰. 基于粒子系统的林火模拟[J]. 计算机工程, 2008, 34(20): 249-251.
- [5] Loop C, Zhang Zhengyou. Computing Rectifying Homographies for Stereo Vision[C]//Proc. of IEEE' Cone on Computer Vision and Pattern Recognition. [s. l.]. IEEE Press, 1999: 125-131.
- [6] Richard S, David T. Surface modeling with oriented particle systems[J]. Computer Graphics, 1992, 26(4): 185-194.
- [7] 伍艳莲, 赵青松, 刘金定. 基于粒子系统的降雪过程模拟[J]. 西华大学学报, 2008, 27(1): 91-96.
- [8] 蒋恒恒, 章国稳. 利用粒子系统实现喷泉模拟[J]. 重庆邮电大学学报, 2008, 20(6): 749-753.
- [9] 魏 伟, 郭新宇, 赵春江, 等. 农业场景中下雪和积雪的实时模拟[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(24): 6350-6352.
- [10] 王功明, 郭新宇, 赵春江, 等. 基于 OpenGL 几何变换的虚拟漫游视点控制及应用[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(24): 5973-5976.
- [11] 肖 何, 何明耘, 白忠建. OpenGL 中基于粒子系统的喷泉模拟实现[J]. 计算机仿真, 2007, 24(12): 201-204.
- [12] Agui T. Generating 2-dimensional Flame Image in Computer Graphic[J]. IEEE Trans. of Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 1991, 74(2): 184-189.
- [13] work[C]//4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM '08. Dalian: [s. n.], 2008: 1-4.
- [9] Si Chundi, Lian Jijian, Qie Zhihong, et al. Research on the Genetic Regression Model of Earth-Rock Dam Safety Monitoring and ITS Application[C]//Proceedings of 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. [s. l.]: [s. n.], 2005: 2874-2879.
- [10] 朱伯芳, 张国新, 贾金生, 等. 混凝土坝的数字监控--提高大坝监控水平的新途径[J]. 水力发电学报, 2009(1): 130-136.
- [11] 潘 琳. 大坝安全监测资料分析建模系统及其应用[J]. 大坝安全监测, 2000(1): 213-217.
- [12] 谢俊莹, 王艳艳, 潘建波. B/S 结构的大坝安全监控信息系统的研究与实现[J]. 华北水利水电学院学报, 2007(5): 23-25.
- [13] 电力工业部. 混凝土大坝安全监测技术规范[S]. DL/T5178-2003. 2003.
- [14] 徐洪钟, 吴中如. 偏最小二乘回归在大坝安全监控中的应用[J]. 大坝观测与土工测试, 2001(6): 22-23.

(上接第 245 页)

参考文献:

- [1] 杨 杰, 吴中如. 大坝安全监控的国内外研究现状与发展[J]. 西安理工大学学报, 2002, 18(1): 26-30.
- [2] 陈文燕, 朱 林, 王文韬. 大坝安全监测的现状与发展趋势[J]. 电力环境保护, 2009, 25(6): 38-42.
- [3] 吴中如. 水工建筑物安全监控理论及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [4] 陈维江, 马震岳, 董毓新. 建立大坝安全监控数学模型的一种新方法[J]. 水力学报, 2002(8): 91-96.
- [5] 王 建, 吴中如, 顾冲时. 大坝监测资料分析中环境量影响综合评价的加权面积法[J]. 水力学报, 2002(8): 43-46.
- [6] 赖道平, 吴中如, 周 红. 分形学在大坝安全监测资料分析中的应用[J]. 水力学报, 2004(1): 100-104.
- [7] Wen Zhiping, Wu Zhongru, Su Huaizhi. Safety Monitoring System of Dam Based on Bionics[C]//Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. [s. l.]: [s. n.], 2004: 1099-1104.
- [8] Zhao Erfeng, Jin Yongqiang. Dam Deformation Monitoring Model and Forecast Based on Hierarchical Diagonal Neural Net-