

# 森林公园景观水系自动监测水质预警体系研究

## Study on the Water Quality Early Warning System Associated with Automatic Monitoring of Forest Park Water System

倪福勋, 徐 速

(北京清华城市规划设计研究院 北京 100084)

**摘要** 以奥运森林公园南区景观水系为背景,探讨了如何建立基于自动监测的水质预警体系。水质预警体系中包含 5 个部分:风险因素自动识别、风险因素定量化分析和预测、水质预测、水质警报指标体系与水质预警、对策及防范措施。结合奥运森林公园南区景观水系的具体情况,分析了上述水质预警体系中各部分的主要实现方法,给出了动态率定法、统计模型法、机理模型法、水体营养状态随机变量指标体系法、专家法相集成的方法,形成了完整的基于自动监测的水质预警体系。

**关键词** 森林公园 自动监测 水质预警

**Abstract** Based on Olympic Forest Park South Area water system, this paper discussed the way to build water quality early warning system associated with automatic monitoring. The system included five parts: risk factor automatic identification, risk factor quantification and forecast, water quality forecast, water quality warning, countermeasures. According to the details of Olympic Forest Park South Area, main implement methods of water quality early warning system were discussed, and methods of automatic parameters identification, statistics model, mechanism model, water body nutrition status random variable index system and expert opinion were presented. An integrated and complete water quality early warning system was formed.

**Key words** Forest Park Automatic Monitoring Water Quality Early Warning

奥林匹克森林公园位于北京市市区北部,城市中轴线的北端,主湖位于森林公园南区,根据主湖的景观定位、实际使用功能以及来水水源的特点,将主湖水质目标定为 III - IV<sup>[1]</sup>类之间。要求主湖水质指标尽量控制在 III 类水平,对来水水源难以控制的污染物指标(TN、TP),允许超出 III 类限值,但要控制在 IV 类以内。为了保障森林公园的水质要求,在水系内设置自动监测站,监测指标包括 DO、TN、TP、叶绿素 a 等。并要求在此基础上建立水质预警体系,以保障景观水系的稳定运行,对水质风险进行预警。

### 1 水质预警体系

为了保障森林公园南区水系的安全稳定运行,充分利用自动监测获得的信息,在本研究中建立了风险因素诊断与预测相结合、预警与处置相结合的

自动监测水质预警体系,该体系由风险因素自动识别、风险因素定量化分析与预测、水质预测、水质预警、对策及防范措施分析等构成,见图 1。

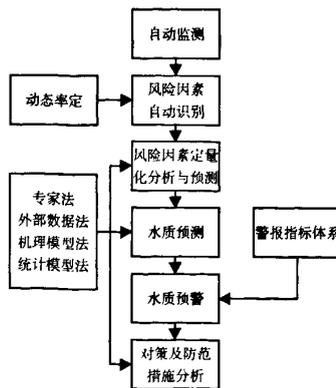


图 1 水质预警体系

(1) 风险因素自动识别。风险因素自动识别

收稿日期:2010-08-02

作者简介:倪福勋(1981-),男,高级工程师。研究方向:环境系统分析。

是基于自动监测和动态率定技术对水系中的水质风险进行自动的识别。

(2) 风险因素定量化分析与预测。风险因素定量化分析与预测是基于专家法、外部数据法、模型法等计算方法对识别出的风险因素的发展趋势进行预测。

(3) 水质预测。水质预测是基于风险因素预测的结果,采用专家法、外部数据法、模型法等方法对水系的变化情况进行预测。

(4) 水质预警。水质预警是将水质预测的结果根据预定的水质警报指标体系进行预警。

(5) 对策及防范措施分析。对策及防范措施分析针对水质预警的结果,给出应对和防范风险手段的建议。

## 2 水质预警方法

### 2.1 风险因素自动识别

为了使风险识别准确可靠,本研究中风险因素自动识别的方法采用的是自动监测技术和动态率定技术相结合的方法。其中自动监测技术是指通过自动监测的手段进行风险识别的技术,主要用来识别外部风险。动态率定技术是指基于一定的机理诊断模型,结合自动监测的实时数据,判断系统结构特性是否发生显著变化的技术。由于系统结构特性通常表征为系统所对应的模型的参数,从而,动态率定就是动态计算模型参数的过程。该技术主要用来识别不能直接观测或不利于直接观测的内部风险。

经过对森林公园南区景观水系静态风险分析,水系运行的风险包括 6 类,分别为:工程风险、外部负荷风险、水文风险、气象风险、人为风险和系统结构风险。所谓工程风险是指森林公园水系中包含的人工湿地工程、氧化塘工程不能正常运行或运行不能达到设计标准的风险,外部负荷风险是指森林公园采用再生水进行补水时,再生水水质不能达到再生水厂设计标准的风险,水文风险、气象风险是指森林公园所处的水文、气象条件不稳定的风险。系统结构的危险是指水生生态系统的特性发生不可逆变化的风险,如底泥中微生物生长异常、水体中藻类生长异常等风险。

工程风险、外部负荷风险、水文风险、气象风险、人为风险利用自动监测法进行识别。系统结构风险采用动态率定技术进行识别,率定的参数包括:藻类生长速度;藻类死亡速度;藻类对 TN 的吸收速度;藻类对 TP 的吸收速度;底泥对 TN 的去除速率;底泥对 TP 的去除速率等。

本研究中动态率定技术的数学算法采用 HSY 法<sup>[2,3]</sup>,具体步骤如下:

(1) 将上一时点自动监测数据设置为水质模型的初始条件,以本时点自动监测数据为模型的校准数据。

(2) 将上一时点到本时点范围内的自动监测的负荷数据、气象数据、水文数据等作为外部条件输入水质模型。

(3) 对上一时点计算出的模型参数分布(即上次模型率定出的结果)进行蒙特卡洛采样,将蒙特卡洛采样产生的参数带入本时点的水质模型,进行模拟,计算出本时点的水生生态系统浓度场。

(4) 以本时点实际自动监测数据上下 5% 为界限,从模拟出的计算浓度中进行筛选,从而得到筛选后的浓度数据及相对应的采样参数的数据。

(5) 计算筛选后采样参数的分布。

(6) 对筛选后参数的分布和上一时点计算出的参数的分布进行 K-S 检验,检验参数是否发生显著性变化。

### 2.2 风险因素定量化分析与预测

针对风险因素的特征不同,风险因素定量化方法也不尽相同。本研究整合了风险因素定量化分析与预测的主要方法包括专家法、外部数据法、机理模型法、统计模型法等。专家法用于主观的风险因素的分析,外部数据法用于专业的风险因素分析,统计模型法和机理模型法用于环境领域内的风险因素的分析。

人为风险采用专家法进行定量化分析,水文风险、气象风险采用外部数据法进行分析,即利用水文领域、气象领域已经预测的结果,工程风险、外部负荷风险采用统计模型法进行分析。

根据森林公园水系水处理工程和再生水厂出水自动监测的结果,水处理工程运行和再生水厂负荷排放相对稳定,所以采用移动平均法进行定量化分析和预测,即根据 10 d 工程自动监测的数据,建立 10 d 水处理工程去除率移动平均模型和再生水厂负荷排放移动平均模型<sup>[4]</sup>,即:

$$DP(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i(k), k \text{ 为去除率指标或外部}$$

负荷监测指标,  $n$  为监测时间点数,  $D$  为监测指标,  $DP$  为预测指标。  $n = 10 \times m$ ,  $m$  为每天监测点数。

### 2.3 水质预测

水质预测采用机理模型法,采用了富营养化模型的简单通用机理,  $\text{NH}_3 - \text{N}$  机理、磷机理、藻类机理分别如下:

$$\frac{dNH_3}{dt} = \text{BOD 降解释放} - \text{完全硝化} - \text{植物摄取} - \text{微生物摄取} + \text{异养呼吸}$$

$$\frac{dPO_4}{dt} = \text{BOD 降解释放} - \text{植物摄取} - \text{微生物摄取} - \text{异养呼吸}$$

$$\frac{dCHI}{dt} = \text{叶绿素生长} - \text{叶绿素死亡} - \text{叶绿素沉积}$$

### 2.4 警报指标体系的建立与水质预警

根据景观水系的主要风险为湖泊富营养化的风险,本研究建立了水体营养状态随机变量预警体系,该体系中,将水体的营养状态记为随机变量  $x$ ,以 3、2、1、0 作为随机变量的取值分别代表水体营养状态分级表中的超富营养状态、富营养状态、中营养状态和贫营养状态,以  $p_3, p_2, p_1, p_0$  分别为发生上述水体营养状态的概率<sup>[5]</sup>,见表 1。

表 1 营养状态分级随机变量分布

营养状态	透明度/m	叶绿素 a /mg·m <sup>-3</sup>	湖泊表层总磷/mg·L <sup>-1</sup>	随机变量	概率
贫营养状态	> 4.0	< 2.6	< 0.012	0	$p_0$
中度营养状态	2.0~4.0	2.6~7.2	0.012~0.024	1	$p_1$
富营养状态	0.5~2.0	7.2~55.5	0.024~0.096	2	$p_2$
超富营养状态	< 0.5	> 55.5	> 0.096	3	$p_3$

由此,建立水体营养状态随机变量的两个数字特征建立警报指标体系为:营养状态期望为:  $EX = 0 \times p_0 + 1 \times p_1 + 2 \times p_2 + 3 \times p_3$

富营养化概率为:  $PE = p_2 + p_3$ ,警报指标体系,见表 2。

表 2 营养状态期望警报指标体系与富营养化概率警报指标体系

随机变量期望	警报名称	营养状态概率	警报名称
2.5~3	红色警报	> 90%	重大警报
2~2.5	橙色警报	80%~90%	中级警报
1.5~2	黄色警报	70%~80%	初级警报
1~1.5	蓝色警报	50%~70%	常规警报

上述指标体系针对单一空间点进行预测,实际工程中可以按照各空间点均值达到上述各分级指标进行综合预警。即为:

$$EEX = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m EX_i, m \text{ 为空间网格数, } EX \text{ 为随机变量期望, } EEX \text{ 为数学期望的空间均值。}$$

$$EPE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m PE_i, PE \text{ 为营养状态概率, } EPE \text{ 为营养状态概率空间均值。}$$

由此,即可对水质预测的结果根据  $EEX, EPE$  两个水质警报指标体系进行预警。

### 2.5 对策及防范措施分析

结合森林公园各种应急及防范措施已经研究较为深入的特点,本研究中对策及防范措施分析的方法采用专家库法,即根据不同预测的警报等级,建立预警与决策响应的专家库,实现决策支持的功能专家库的内容包括日常维护、应急监测、应急处置等多个方面。

### 3 结论

通过本研究建立了奥运森林公园南区景观水

系自动监测水质预警体系。体系中包含了 5 个部分:风险因素自动识别、风险因素定量化分析和预测、水质预测、水质警报指标体系与水质预警、对策及防范措施。并分别研究了 5 个部分的主要技术方法,给出了动态率定法、统计模型法、机理模型法、水质警报随机变量分布及期望指标体系法、专家法相结合的方法,形成了完整的基于自动监测的水质预警体系。

### 参考文献

- [1] 国家环境保护总局. GB3838 - 2002 地表水环境质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,2003.
- [2] 徐一剑,曾思育,张天柱. HSY 算法在环状河网动态容量估算中的应用[J]. 系统工程理论与实践,2006,(5):117 - 121.
- [3] 曾思育,陈吉宁,王志石. 基于不确定分析技术的两种水质模型率定方法比较[J]. 系统工程理论与实践,2004,(2):139 - 141.
- [4] 高铁梅. 计量经济分析方法与建模[M]. 北京:清华大学出版社,2010.
- [5] 程声通. 环境系统分析教程[M]. 北京:化学工业出版社,2006.