



2018年中国水利学会大禹奖

济南市水生态时空变异驱动机制及自动监测模式

获奖等级： 三等奖

完成单位： 济南市水文局 北京师范大学

完成人员： 相华 杨胜天 商书芹 赵长森 杨增元 朱中竹 王帅帅 郭伟 刘鹏 贾丽

一、立项背景

济南以泉水闻名于世，素有“泉城”之美誉，但随着经济社会的快速发展，济南市水资源面临的形势十分严峻。作为全国首个水生态文明建设试点城市，济南市提出了符合“泉城”特色的水生态文明城市建设目标。2013年5月，水利部水文局确定济南市为全国水文系统水生态监测试点市，为强化水文对水生态文明建设的支撑和保障作用，探索性的开展水生态监测工作。

二、项目介绍

本研究以济南市水文-水质-水生态联合自动调控为远景目标，在大规模、长时期水生态系统动态采样调查的基础上，分析水生态系统对水文、水质等背景因子的定量响应机制与响应模式，开展济南市水生态系统演化驱动机制的研究，构建水生态系统质量自动监测模式，为济南市水生态文明城市建设提供坚实的科技支撑，为保护和改善济南市的水生态环境提供了重要科学依据，具有重大的理论和社会意义。

(1) 基于2014-2016年10次大范围、长时期的水文-水质-水生态监测基础数据库，构建了水生物优势种识别模型，分别遴选出济南市鱼类、底栖动物、浮游植物、浮游动物的优势物种。在此基础上，对优势物种与水文水质因子进行典范对应梯度分析，遴选出四类水生物的主要驱动因子。

水生物优势种识别模型如下：

$$I_{importance,i} = \omega_1 P_{a,i} + \omega_2 P_{b,i} \tag{式1}$$

其中， $I_{importance}$ 代表物种的优势度， P_a 和 P_b 代表物种相对于整个群落的丰度和生物量的比例，即 $P_{a,i} = \frac{N_i}{\sum N_i}, P_{b,i} = \frac{B_i}{\sum B_i}$ ， N_i 表示第*i*个物种的丰度， B_i 表示第*i*个物种的生物量； ω_1 和 ω_2 是丰度和生物量的权重。 ω_1 和 ω_2 满足以下关系：

$$\begin{cases} \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{a}{b} \\ \omega_1 + \omega_2 = 1.0 \end{cases} \tag{式2}$$

其中，

$$\begin{cases} a = \frac{\sum P_{a,i} N_i}{\sum N_i} \\ b = \frac{\sum P_{b,i} B_i}{\sum B_i} \end{cases} \tag{式3}$$

$$\kappa = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}} \tag{式4}$$





2018年中国水利学会大禹奖

济南市水生态时空变异驱动机制及自动监测模式

k表示优势度曲线的曲率，在优势度曲线上，某点之后的曲率要明显小于该点之前的曲率值，我们称其为breakpoint。通过这种方式可以比较容易的选择出在水生物种群中的优势种。

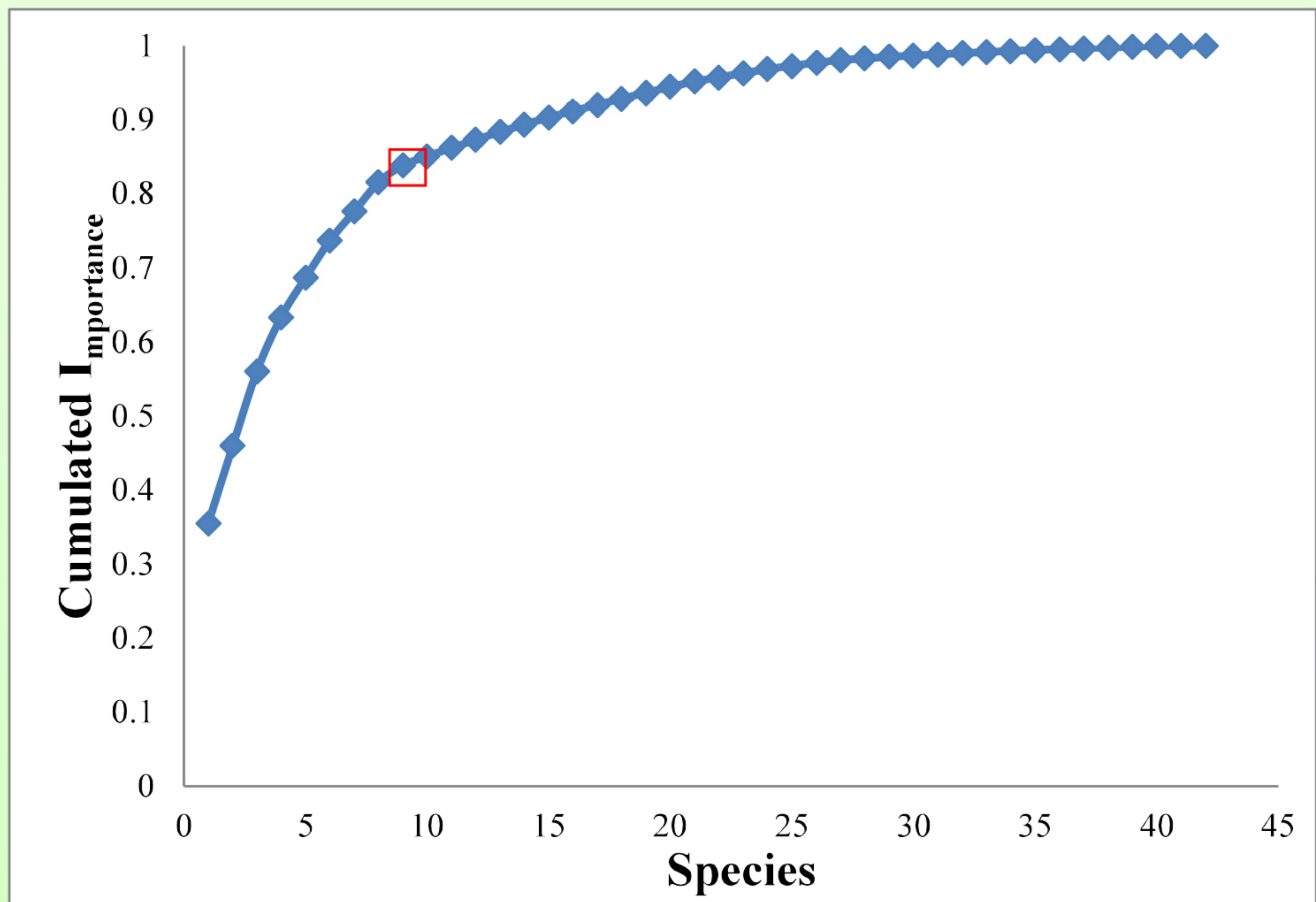


图1 2014-2016所有鱼类的优势度指数渐变曲线（Cumulated Importance 代表优势度累积量，Species 代表按优势度从大到小排列后各物种对应的序号）

（3）在探索关键水文水质因子与关键物种间相互作用机制的基础上，进一步确定了水生态系统关键物种的自动预测模型，构建了济南市水生态系统自动监测模式，便于政府快速、准确对水生态状况作出判断。

图1中breakpoint为（9，0.838），对应鱼类种群中的优势种为：鲫、乌鳢、泥鳅、餐CAN、麦穗鱼、棒花鱼、褐栉鰕虎鱼、鲤、彩鲫鲮。

（2）构建了济南市水生态系统Ecopath模型。基于2014-2015年6次采样数据，利用模糊聚类分类法，综合生物、水质、水文三方面21个因子，确定了10个典型点。利用Ecopath模型对典型点进行关键种群的筛选，又通过水文水质指标利用DPS数据处理系统对关键种群的生态位宽度和生态位重叠进行分析，分析水生态系统关键种群的喜好生态位，探究了关键物种对背景资源的竞争与协同机制。

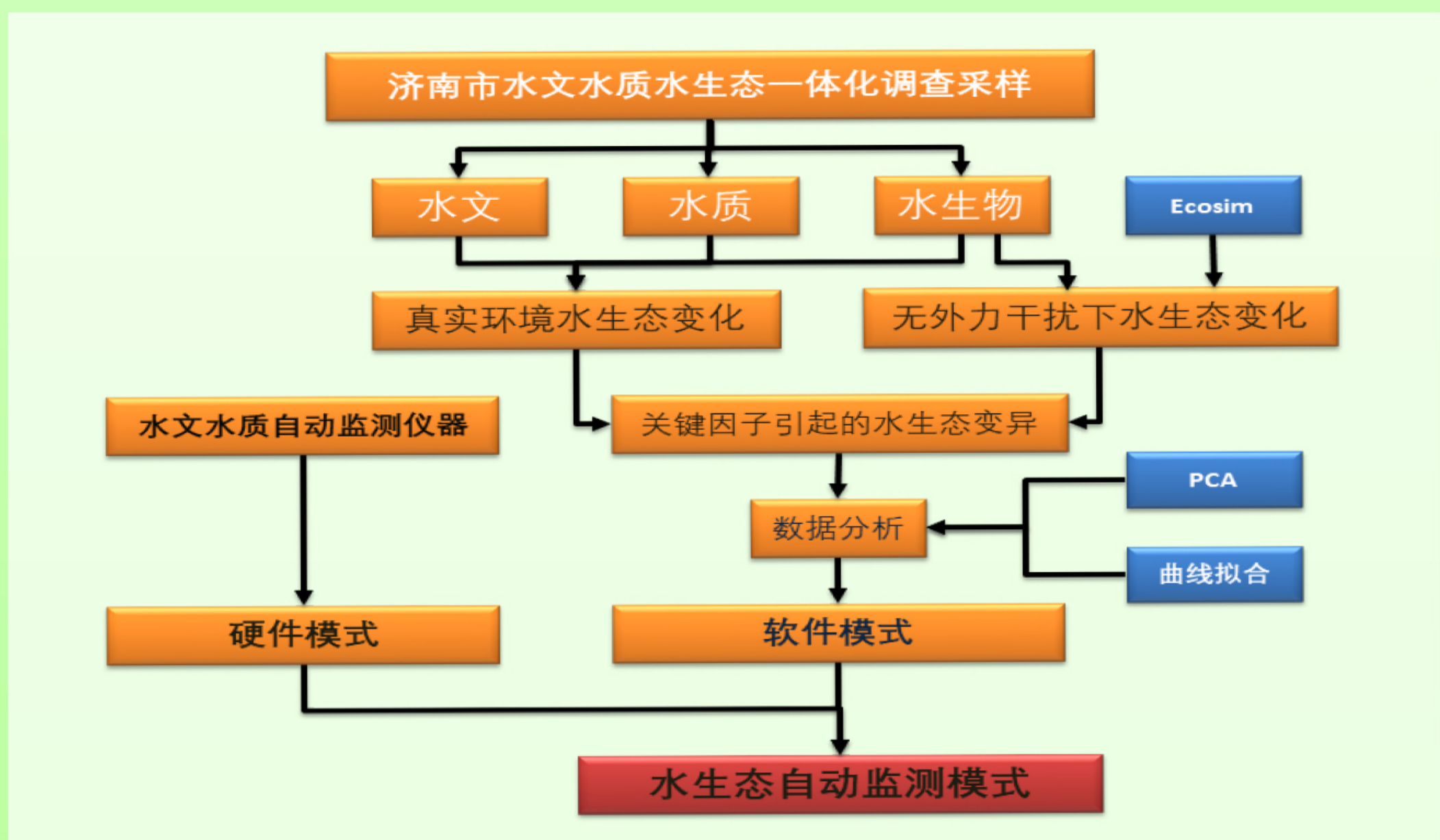
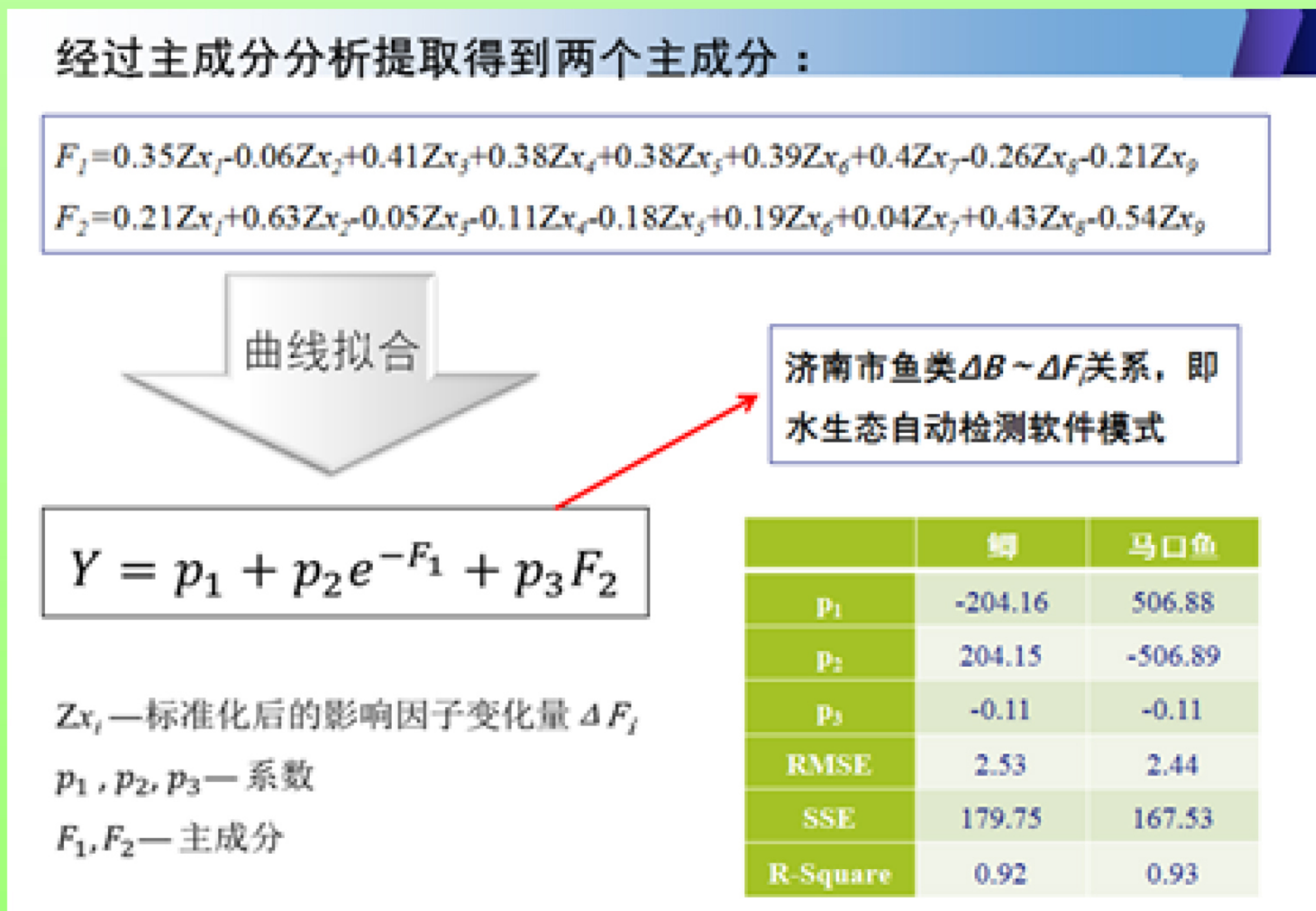


图5.1 自动监测模式构建技术路线图

研究发现，关键鱼类生物量变化量与水文水质关键因子变化量构成的主成分F1、F2具有形如

$$Y = P_1 + P_2 e^{-F_1} + P_3 F_2$$

的关系，不同鱼类的 p_1 p_2 p_3 系数不同，利用此模型可根据评估水环境背景要素变化对水生物甚至水生态系统造成的影响。同时由于研究过程中使用生物量（影响因子）变化量作为成员参与计算，使得最后构建的 $\Delta B \sim \Delta F_i$ 模型天然的具有水生态质量自动监测的基因，使用时只需利用现有水文水质监测仪器测量关键影响因子，与已知数据进行对比即可得知水生物状况。





2018年中国水利学会大禹奖

济南市水生态时空变异驱动机制及自动监测模式

(4) 首次确定了济南市水生态分区。在对环境要素与水生态因子的相关性进行分析的基础上，结合“自上而下”分类法与“自下而上”聚类法，进行了济南市一、二、三级生态分区。

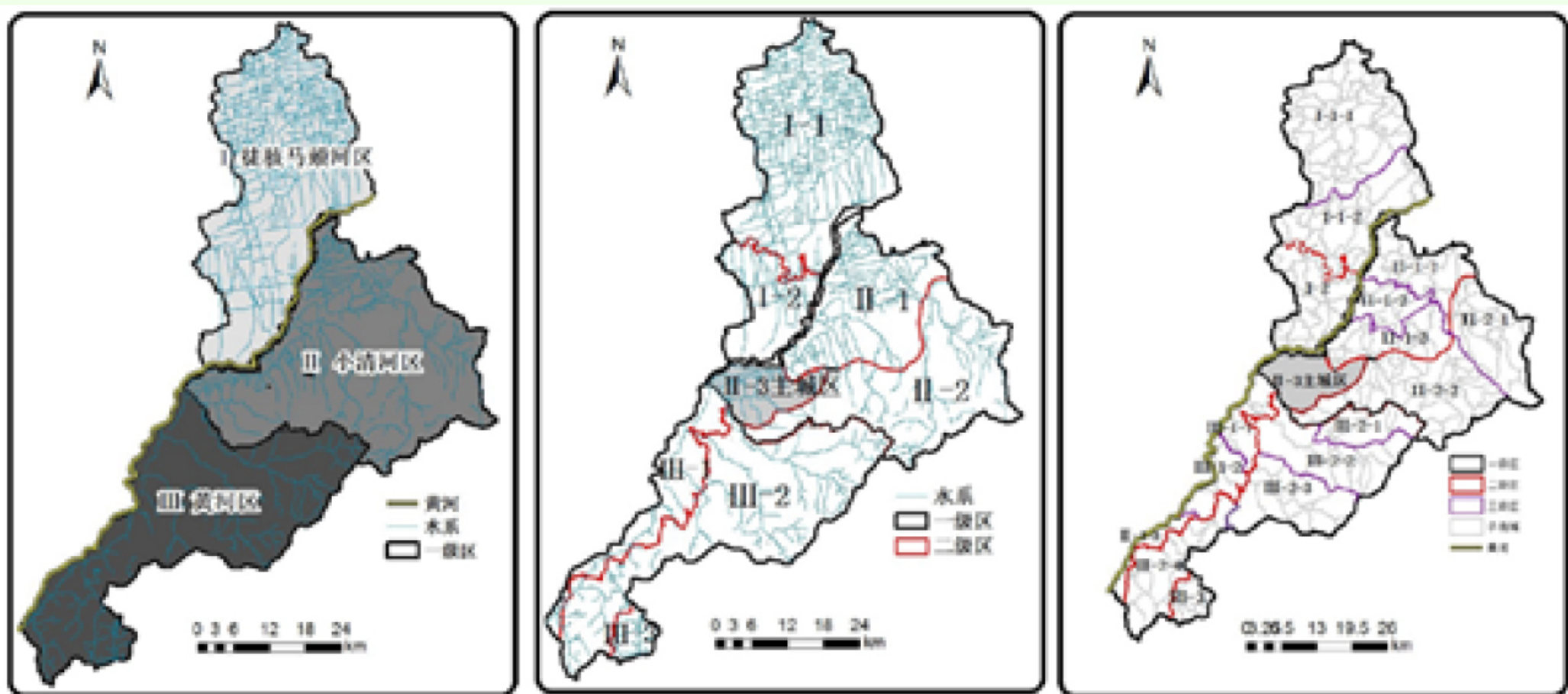


图 济南市一级、二级、三级水生态分区图

(5) 成功构建了水生态文明城市建设效果定量评估模型和鱼类群落生态优先因子识别模型。

水生态文明城市建设效果定量评估模型：

此模型理论方法简单、对生态系统资料要求低、易于掌握和推广使用。该方法以易获取的鱼类及其对水文水环境因子的喜好选择为基础，基于生态位和栖息地适应性指数，无须对鱼类进行专业生态鉴定，计算群落修复潜力（Potential）。Potential数值在时间、空间上的变化可定量反映生态修复效果、确定未来修复重点，有助于及时评价生态修复效果，以便及时调整措施，大大提高修复成功率。

$$Potential = \frac{(1.0 - d_{HB}) + (1.0 - d_{HO})}{2} = 1.0 - \frac{d_{HB} + d_{HO}}{2} \quad (1)$$
$$d_{HB} = [w_1^r (1.0 - IHSI)^r + w_2^r (1.0 - INB)^r]^{\frac{1}{r}} \text{ with } r \geq 1 \quad (2)$$
$$d_{HO} = [w_1^r (1.0 - IHSI)^r + w_2^r INO^r]^{\frac{1}{r}} \text{ with } r \geq 1 \quad (3)$$

其中，Potential代表水生态可修复潜力； d_{HB} 表示以栖息地指数—生态位宽度联合反映离理想生境的距离； d_{HO} 分别表示以栖息地指数—生态位重叠联合反映离理想生境的距离； w_* 表示权重，可采用熵权法确定；IHSI表示综合栖息地指数；INB表示综合生态位宽度；INO表示综合生态位重叠。

鱼类群落生态优先因子识别模型：

模型中新开发了4个子模型：物种对群落贡献权重计算模型、多物种栖息地适宜性因子、栖息地因子适宜度模型、栖息地因子的修复优先度模型。传统模型需要大量的生物信息，且只考虑物种属性中的空间分布，对数量和生物量的考虑不足，导致结果不确定性大，此模型对生物信息、专家经验要求低，质心理论与曲率识别拐点的方法使得群落优势物种的确定更加客观高效，有效降低了结果的不确定性。理论容易被河流管理部门和利益相关者掌握、对信息要求低使得该模型可广泛应用于世界范围内缺乏系统水生态调查的国家和地区，可为全世界的水生态修复，尤其是中国的生态文明建设提供可广泛推广的方法基础和科学依据。

三、成果及应用

1、为济南水生态文明城市建设提供了理论与技术支撑。

先后构建了1个水生态文明建设效果评估模型、1个鱼类群落生态修复优先因子识别模型，将为全面定量评估济南市水生态文明城市建设效果与河流健康保护提供有力的理论与技术支持。

2、创建了济南市水生态自动监测模式，为济南市水生态修复提供科学依据。

3、对济南市水生态进行了一、二、三级分区，并对各区的功能特点、主要生态环境问题及修复重点进行了详细阐述，为未来功能区的管理和保护提供了重要参考。

