



流域水环境精细化模拟 与智能云平台技术应用

武汉大学 张万顺

13971480859

2021年12月





大纲

壹

研究背景

贰

关键技术

叁

成果与应用

肆

展望



壹

研究背景





一、研究背景

我国水环境和水生态的复杂形式

突发水污染事故



城市黑臭水体



水体富营养化



环境容量不足





水环境管理急需精细化、高效化



面对严重的水环境问题，我国的数据体系、制度体系和计算能力远远不够。

问题

水环境监测能力不够、标准不统一

水环境数据共享程度低、利用率低

水环境模拟预测能力不够

水环境数据分析效率低

水环境管理信息化不够

水环境管理与考核粗放

需求

密集的监测网络

标准化的数据共享

高精度的模型

高效的计算方法

智能的信息系统

精细化管理

水环境大数据

智慧水环保



关键技术

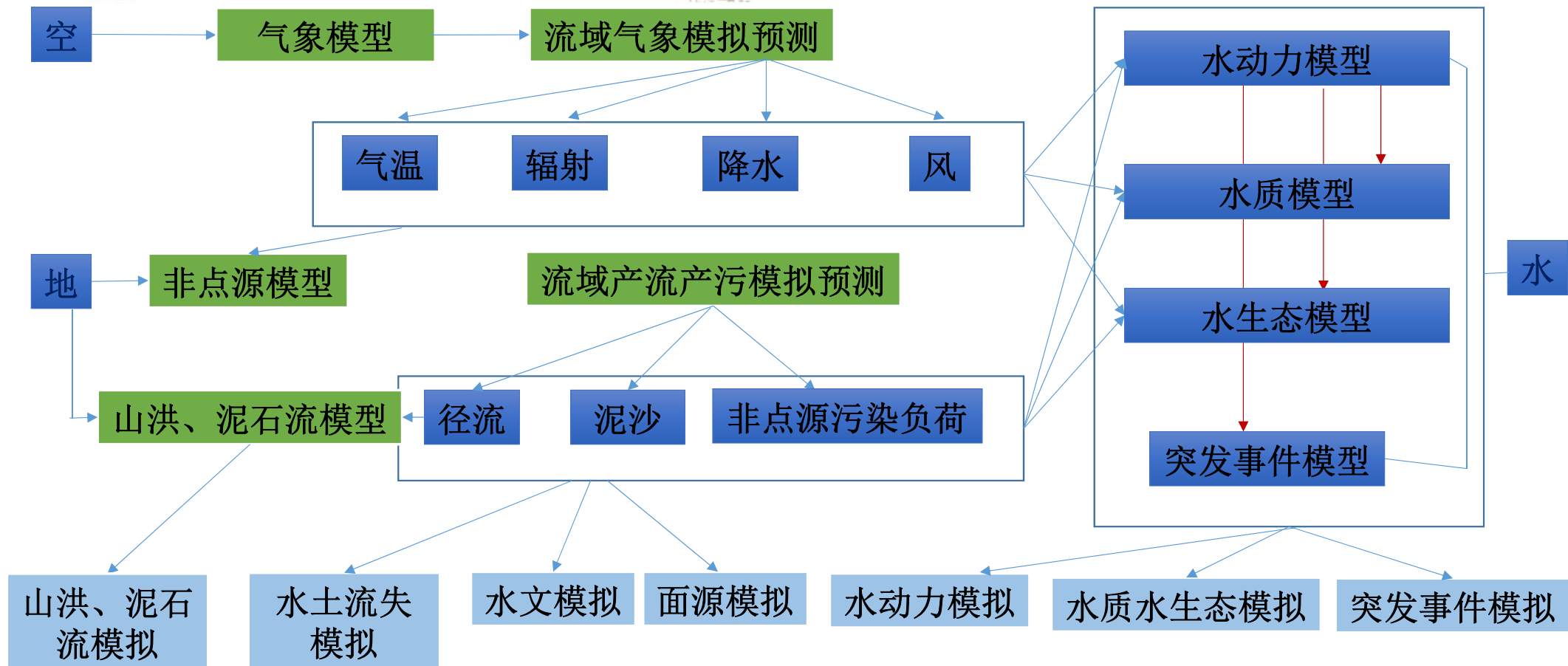
貳





流域精细化管理耦合模型体系

实现水环境大数据的全面-整体-高精度计算与分析



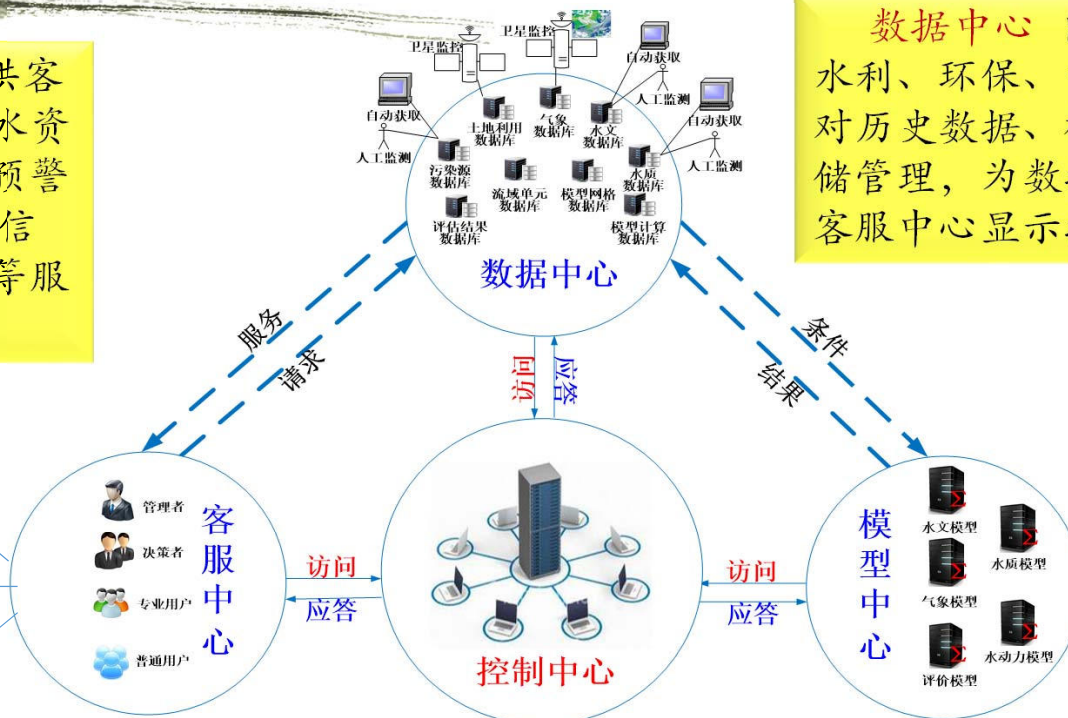
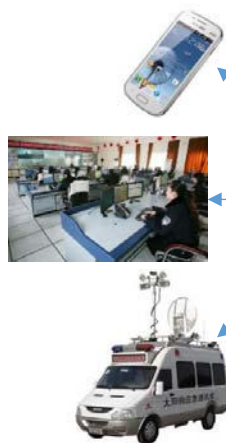
- 专利：水体水华风险快速预警方法 (ZL 201410367734.3)
- 专利：一种基于云技术的突发性水环境风险预测系统及方法 (201410305829.2)
- 软件：突发水污染事件应急预警预报软件 (2012SR028594)



智能云平台技术

实现水环境管理的自动化、智能化和业务化

客服中心 提供客户所需的水环境水资源监测、预报和预警信息;水环境警情信息的发布和报告等服务。



数据中心 自动收集、处理水利、环保、气象数据,实现对历史数据、模型运算数据存储管理,为数据计算与分析及客服中心显示提供数据支撑。

模型中心 依据系统管理中心指令,完成气象、陆地、水动力、水质和藻类模型运算,为决策分析提供数据支撑。

控制中心 管理系统运行流程,分配系统资源,使各中心协同分工合作,快速有序完成定制服务和应急服务。监控系统运行,处理系统故障,实现集群管理系统的自动化、智能化业务处理。

形成实时化、稳健化、服务化、智能化、业务化的“五化”信息系统

•专利: 一种多中心流域水环境分布式集群管理系统及方法 (ZL201410506093.5)

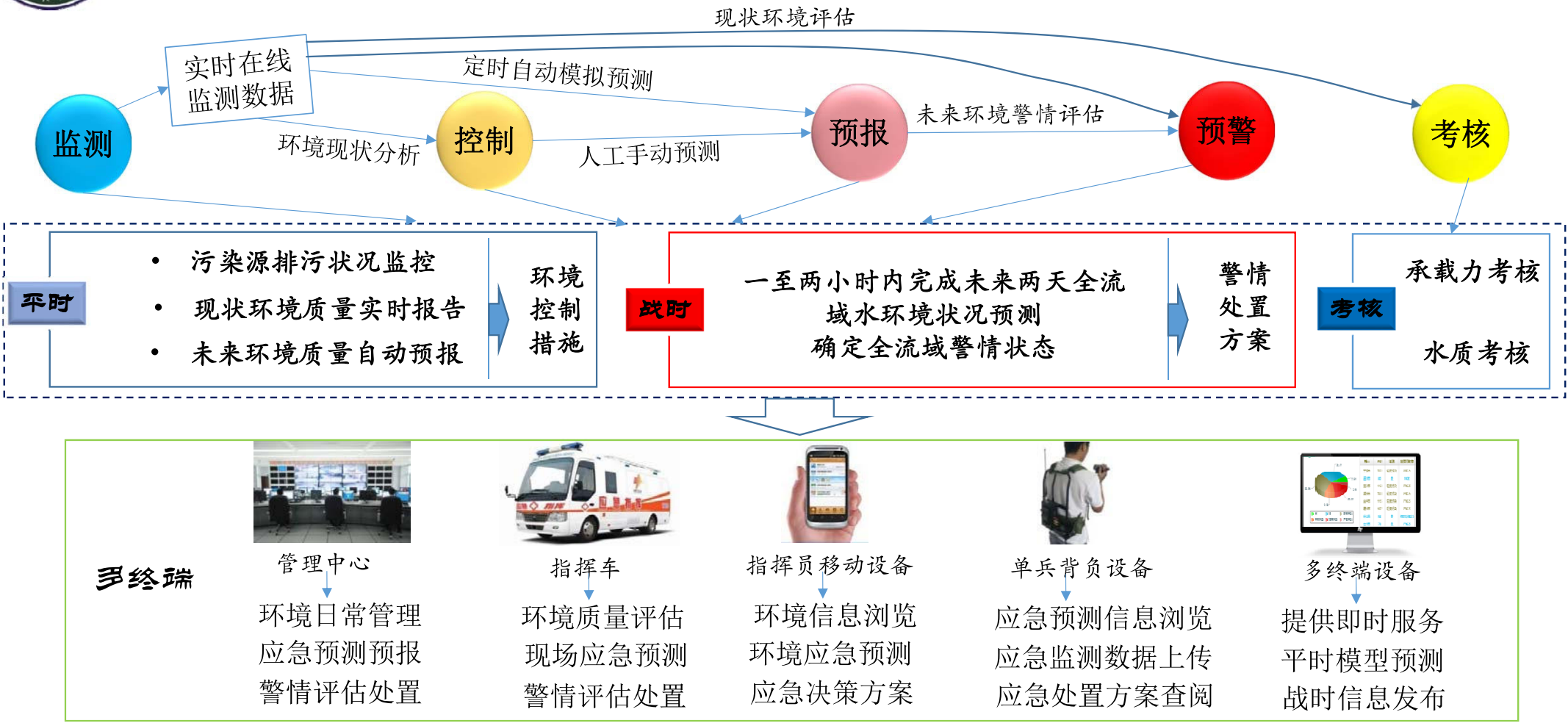


参 成果与应用



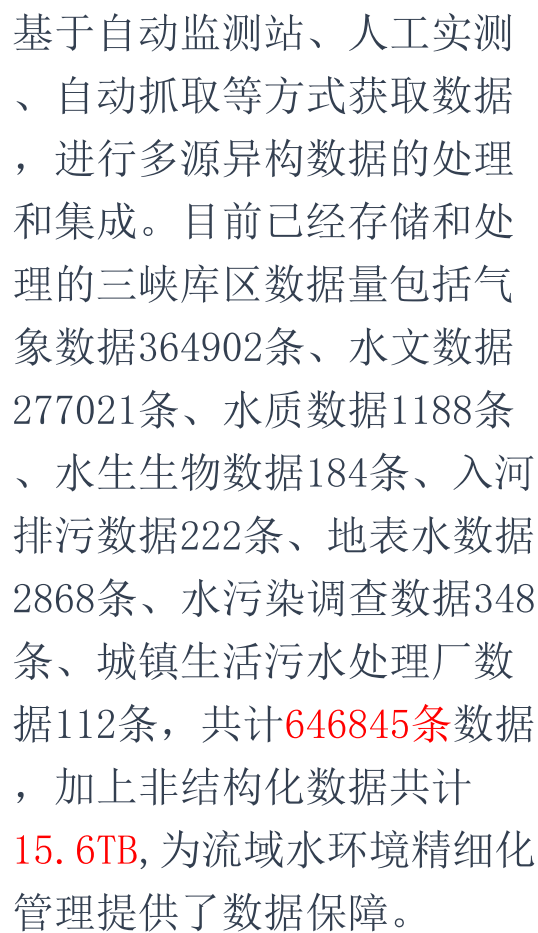


业务化应用



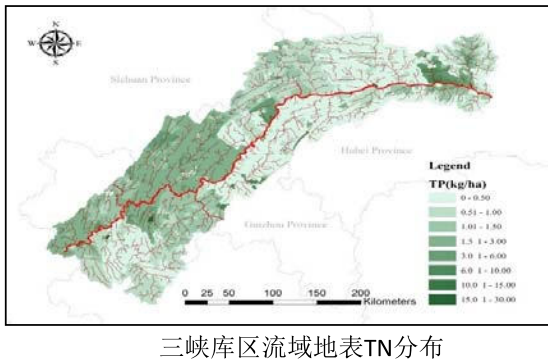


三峡库区水环境大数据管理





构建了涵盖三峡库区6万km²流域、26条支流，2680个分区单元到乡镇级别，划分左右岸的流域的分布式面源模型，包括八个演算模块，分别是水文、气象、泥沙、土壤和杀虫剂、营养物、作物生长以及污染物负荷（营养物）以及农业管理等。

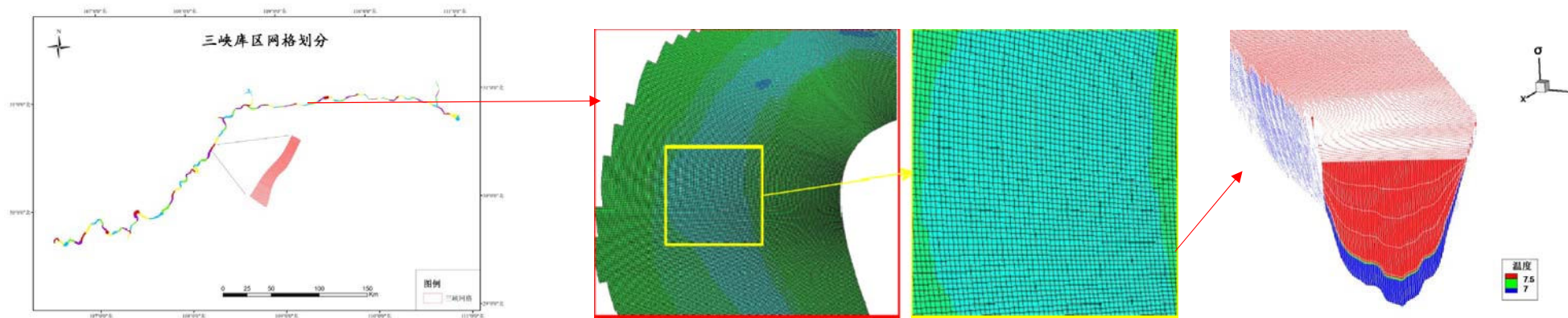




水环境精细化管理耦合模型

三峡库区水环境精细化管理-三维水动力水质水生态模型

划分了长江663km，网格范围 $20 \times 20\text{m}$ 的1800万个的三维网格，确保了耦合模型的空间精细化。



水动力模型包括有：水动力、湍流、温度和杀虫剂以及泥沙模拟预测的功能模块；

水质水生态模型包括有：总氮、总磷、氨氮、化学需氧量、DO、生物量、叶绿素等28项指标；

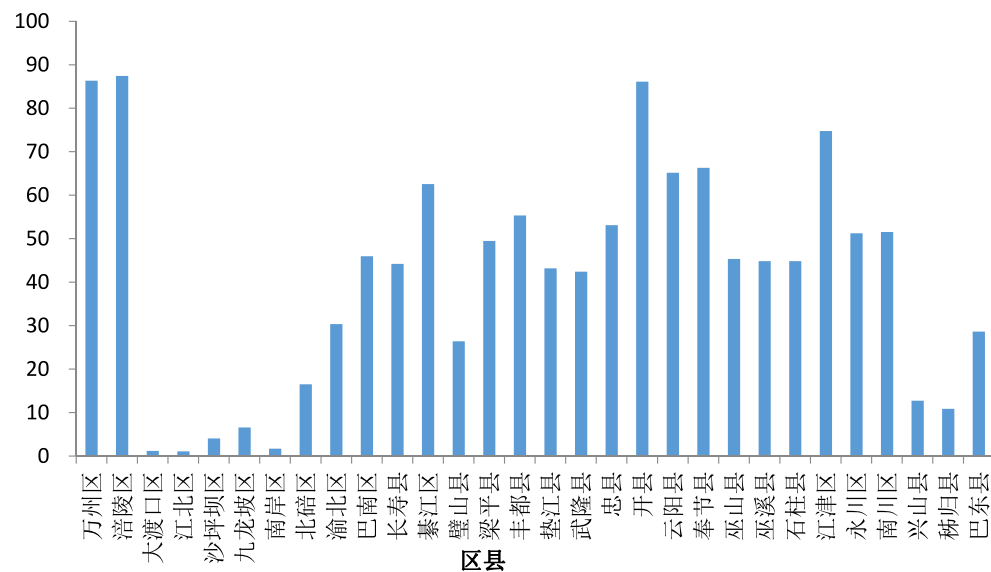
突发事件模型包括有砷、汞、六价铬、铅、镉等重金属、杀虫剂、苯化物、酚化物等各类化学物质100多种。

耦合模型采用动态集成的方式，能以不同的方式进行组合，针对各种应用开展模拟评估



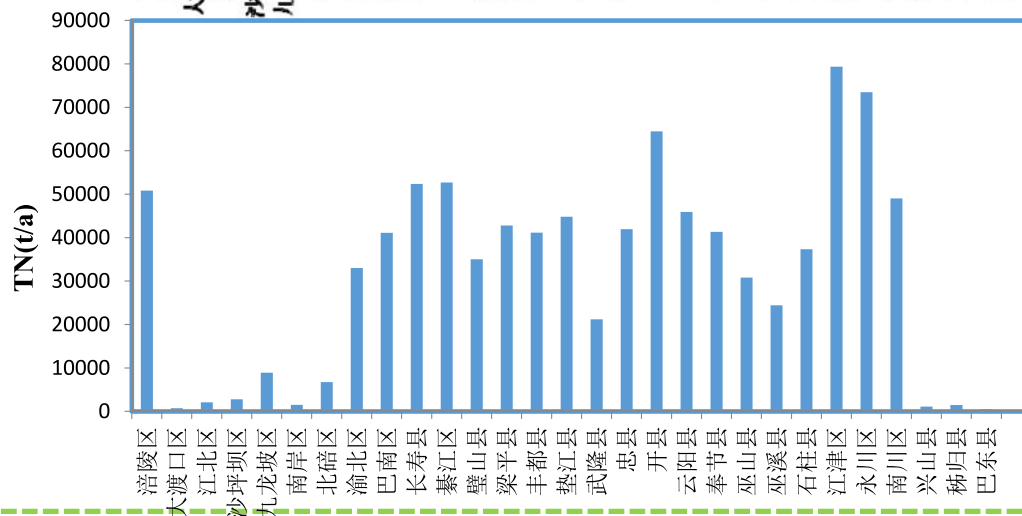
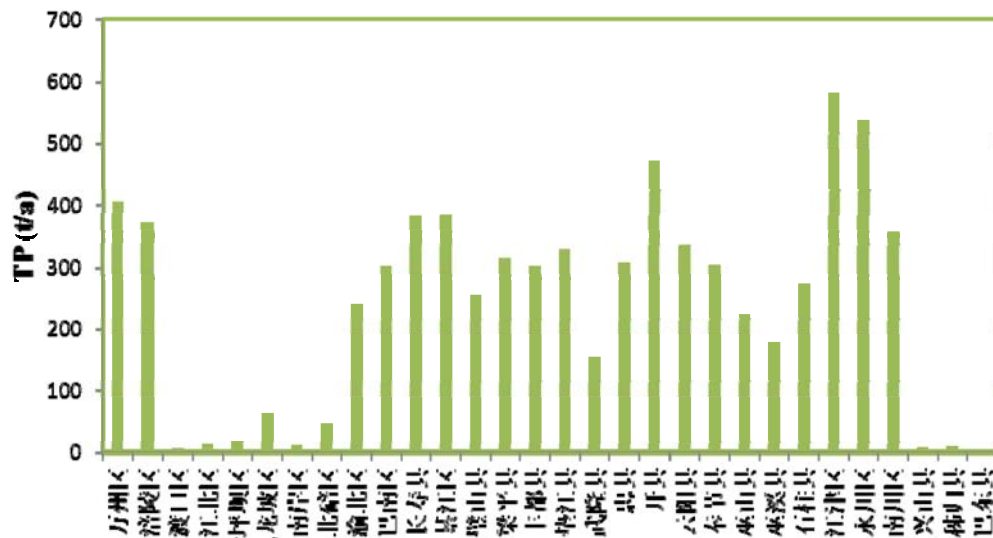
三峡库区各区县农业总氮、总磷负荷产量相对主要集中在万州区、梁平县、丰都县、忠县、开县、云阳县、奉节县、巫山县、巫溪县等区县。针对产污量多、排污量大的区县，需从流域尺度上进行精细化土地利用结构调整，控制化肥使用量。此外，畜禽养殖业产污、排污量随对环境的压力进一步增大，需进行规模化养殖及粪污处理利用技术综合研究。

| County | TN (t/a) | TP (t/a) |
|--------|----------|----------|
| 万州区 | 1230 | 1230 |
| 涪陵区 | 1250 | 1250 |
| 大渡口区 | 20 | 20 |
| 江北区 | 20 | 20 |
| 沙坪坝区 | 60 | 60 |
| 九龙坡区 | 100 | 100 |
| 南岸区 | 30 | 30 |
| 北碚区 | 240 | 240 |
| 渝北区 | 430 | 430 |
| 巴南区 | 660 | 660 |
| 长寿县 | 630 | 630 |
| 璧山县 | 890 | 890 |
| 铜山县 | 380 | 380 |
| 梁平县 | 710 | 710 |
| 丰都县 | 790 | 790 |
| 垫江县 | 620 | 620 |
| 武隆县 | 610 | 610 |
| 忠县 | 760 | 760 |
| 开县 | 1230 | 1230 |
| 云阳县 | 930 | 930 |
| 奉节县 | 950 | 950 |
| 巫山县 | 650 | 650 |
| 巫溪县 | 640 | 640 |
| 石柱县 | 640 | 640 |
| 江津县 | 1070 | 1070 |
| 永川区 | 740 | 740 |
| 南川区 | 740 | 740 |
| 兴山县 | 180 | 180 |
| 佛坪县 | 140 | 140 |
| 巴东县 | 360 | 360 |





| County | Average Annual Precipitation (mm/a) |
|--------|-------------------------------------|
| 万州区 | 2300000 |
| 涪陵区 | 2000000 |
| 璧山区 | 100000 |
| 江北区 | 50000 |
| 坪坝区 | 50000 |
| 龙威区 | 150000 |
| 南川区 | 100000 |
| 北碚区 | 550000 |
| 渝北区 | 700000 |
| 长寿县 | 900000 |
| 垫江县 | 900000 |
| 璧山县 | 600000 |
| 梁平县 | 750000 |
| 丰都县 | 700000 |
| 垫江县 | 750000 |
| 武隆县 | 350000 |
| 忠县 | 700000 |
| 开县 | 1100000 |
| 云阳县 | 800000 |
| 奉节县 | 700000 |
| 巫山县 | 550000 |
| 巫溪县 | 450000 |
| 石柱县 | 650000 |
| 江津区 | 1350000 |
| 永川区 | 1250000 |
| 南川区 | 850000 |
| 兴山县 | 400000 |
| 佛坪县 | 500000 |
| 巴东县 | 200000 |





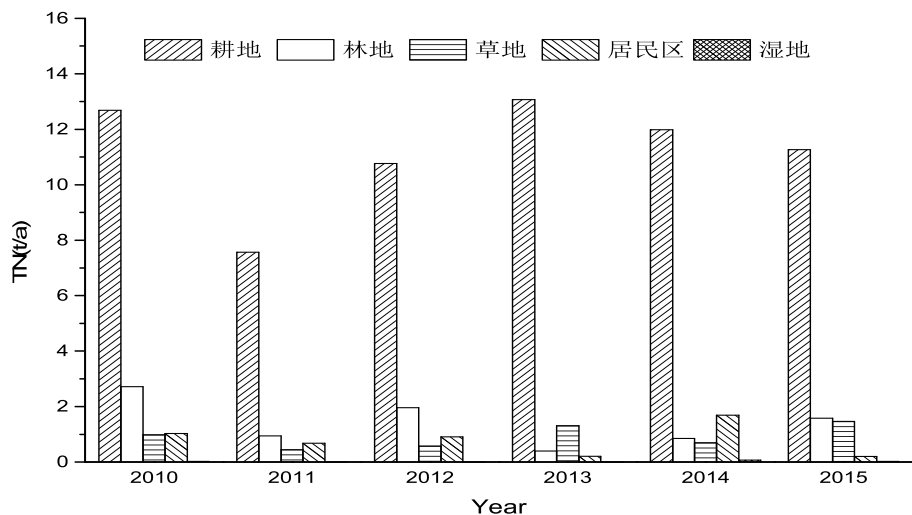
水环境精细化管理耦合模型应用

三峡库区不同土地利用类型非点源负荷综合分析—时间分布特征

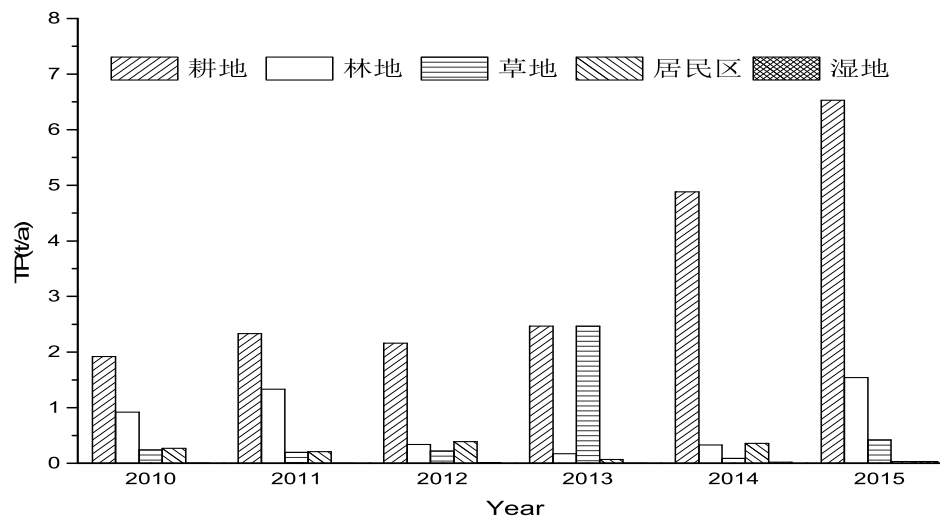
非点源负荷产生主要受所在流域土壤理化性质、降雨强度、地形地貌、植被覆盖以及管理方式等因素的综合影响。基于三峡流域陆地非点源模型，研究尺度精细到水文响应单元HRU，最小行政单元精细到乡镇级别，分析不同土地利用类型的非点源负荷分布规律。

整体上，三峡库区耕地所产TN、TP负荷最多，林地、草地次之，居民区所产TN、TP负荷也相对较多，湿地产负荷量最少。以澎溪河示范区为例，表明非点源负荷遵循耕地>林地>草地>居住区>湿地的规律。

不同土地利用类型所产TN负荷



不同土地利用类型所产TP负荷

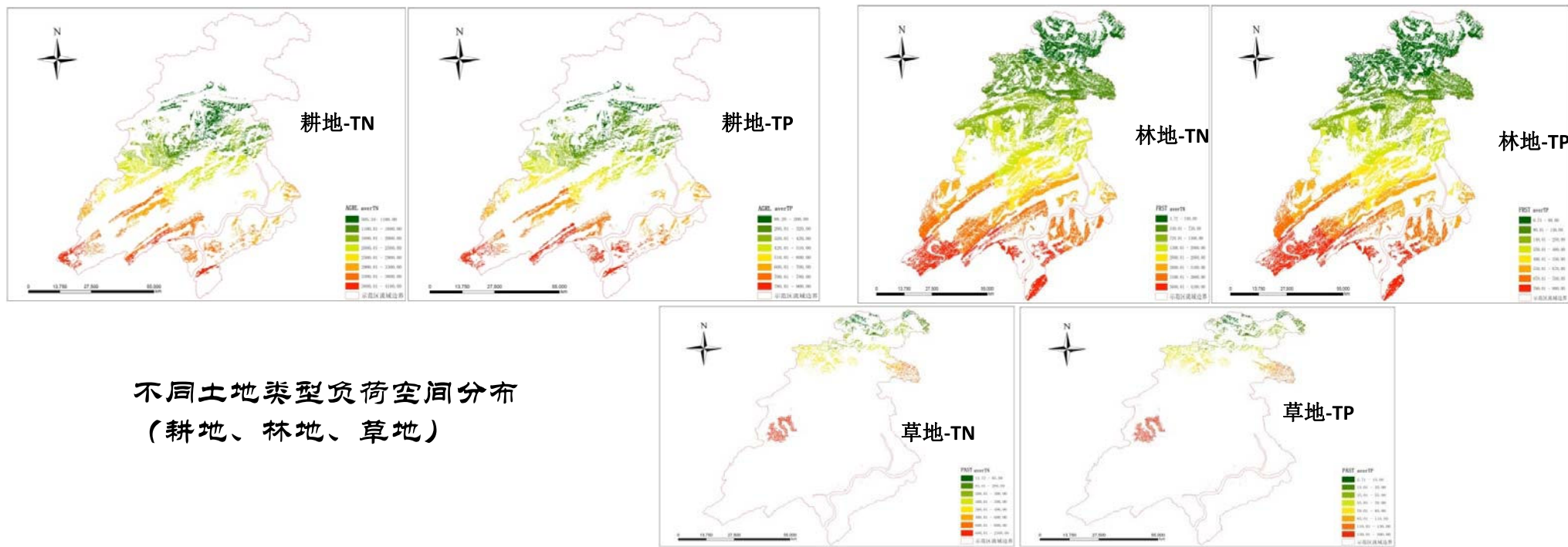




水环境精细化管理耦合模型应用

三峡库区不同土地利用类型非点源负荷综合分析—空间分布特征

以澎溪河示范区为例，主要土地利用类型—耕地、林地、草地所产非点源负荷在空间分布上表现为：整体上，西南部大于东北部，尤其在靠近河流的低缓地势区负荷尤为高。具体到耕地而言，其低缓坡处所产负荷较大，由于农耕地较多，人为耕作施肥等造成；林地覆盖范围广泛，加之经济林施肥等人为作用影响，所产负荷较多；此外，负荷空间分布除了受土地利用自身差异性影响之外，还与地形与土壤等因子有关。

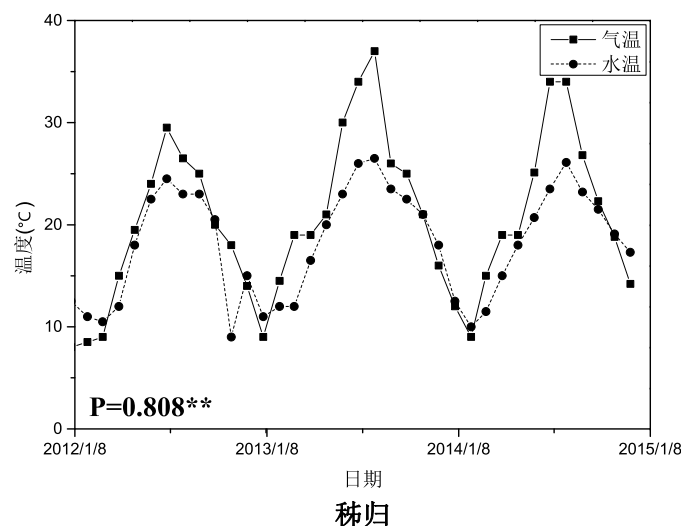
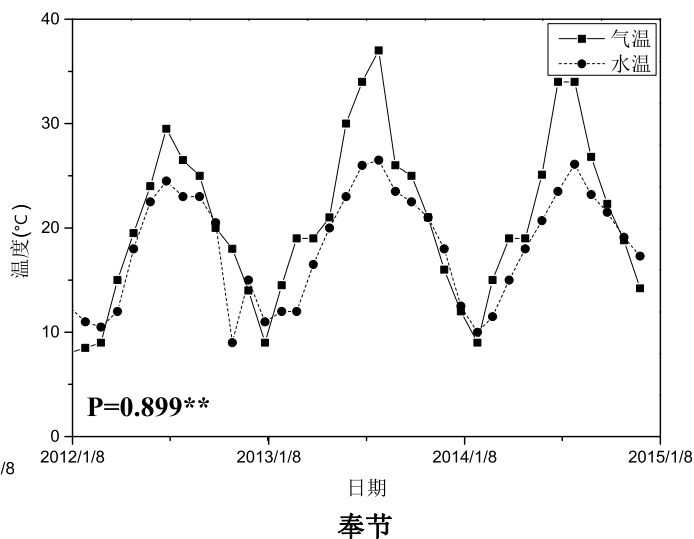
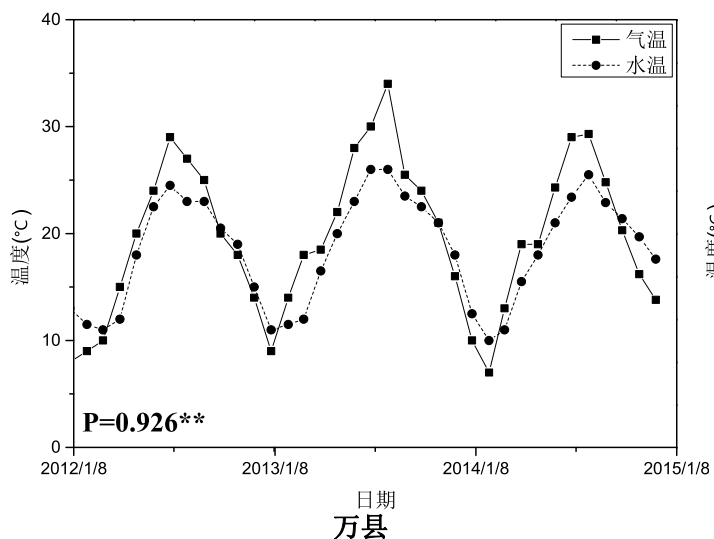




水环境精细化管理耦合模型

三峡库区s水体气温-水温相关关系

水体水温是受气温影响很大，并且水温变化滞后于气温变化的。以三峡库区万县、奉节和秭归等区域的气温 和模拟的水温数据进行相关性分析。采用pearson指数法进行相关性分析，三个站点的相关性系数分别为0.926,0.899,0.808，均在0.01 水平（双侧）上显著相关。



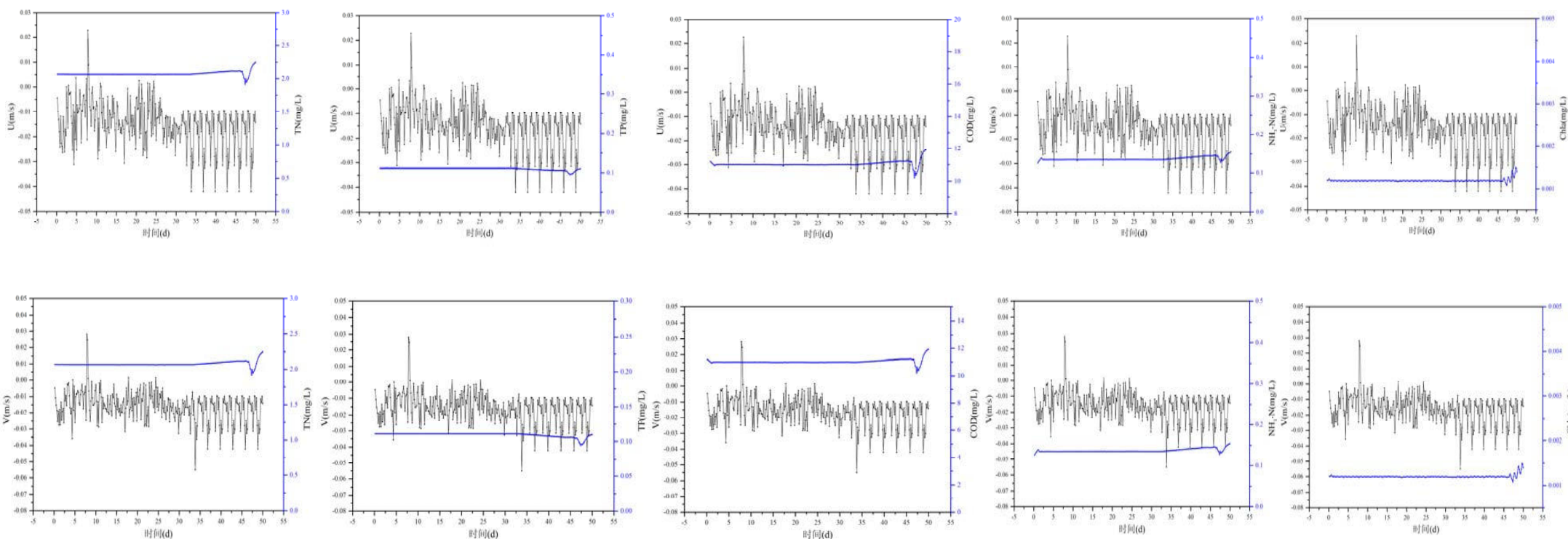
**表示在0.01 水平（双侧）上显著相关。



水环境精细化管理耦合模型

三峡库区水体水动力-水质模拟预测与相关分析

➤ 三峡库区干流



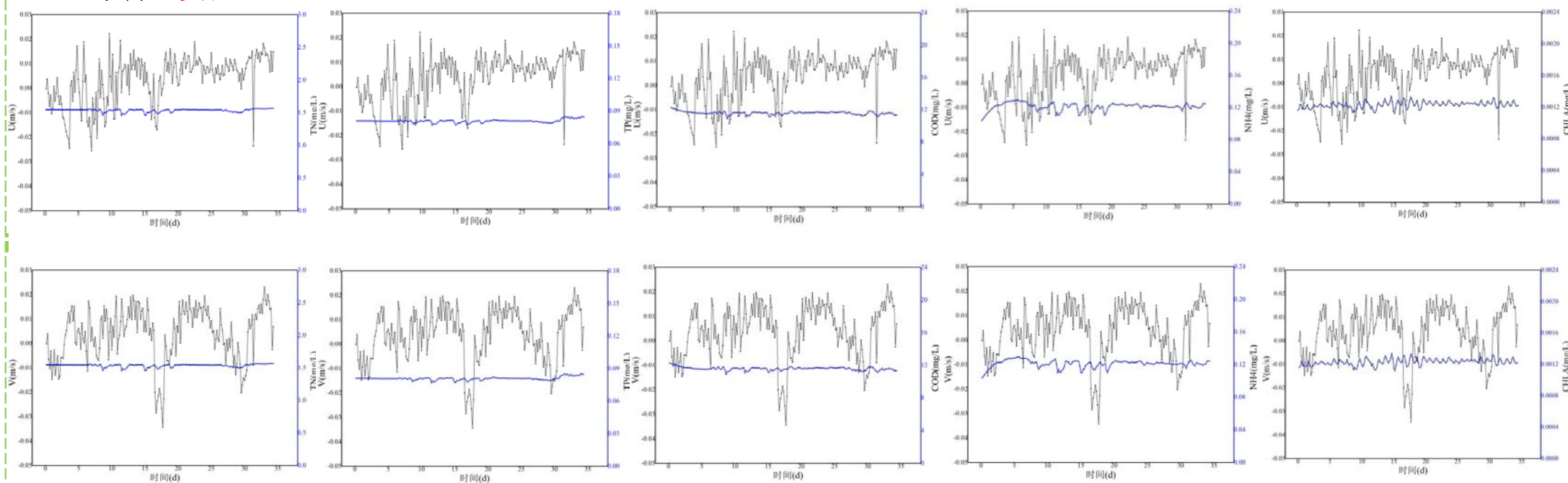
TN、TP、COD、NH₃-N和叶绿素a与流速呈负相关



水环境精细化管理耦合模型

三峡库区水体水动力-水质模拟预测与相关分析

三峡库区支流

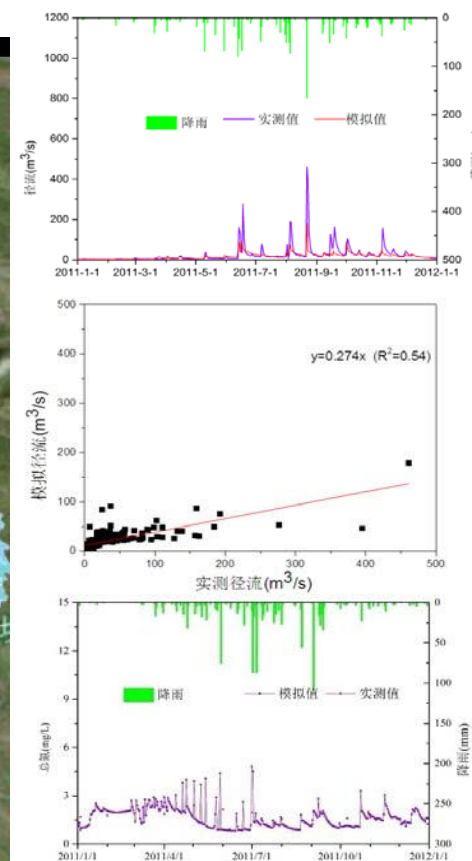


库区支流TN、TP、COD、NH₃-N和叶绿素a等指标与流速的相关性不明显，受面源入汇等影响显著



模型+平台应用：流域精细化管理

三峡库区水环境精细化管理-面源+水质



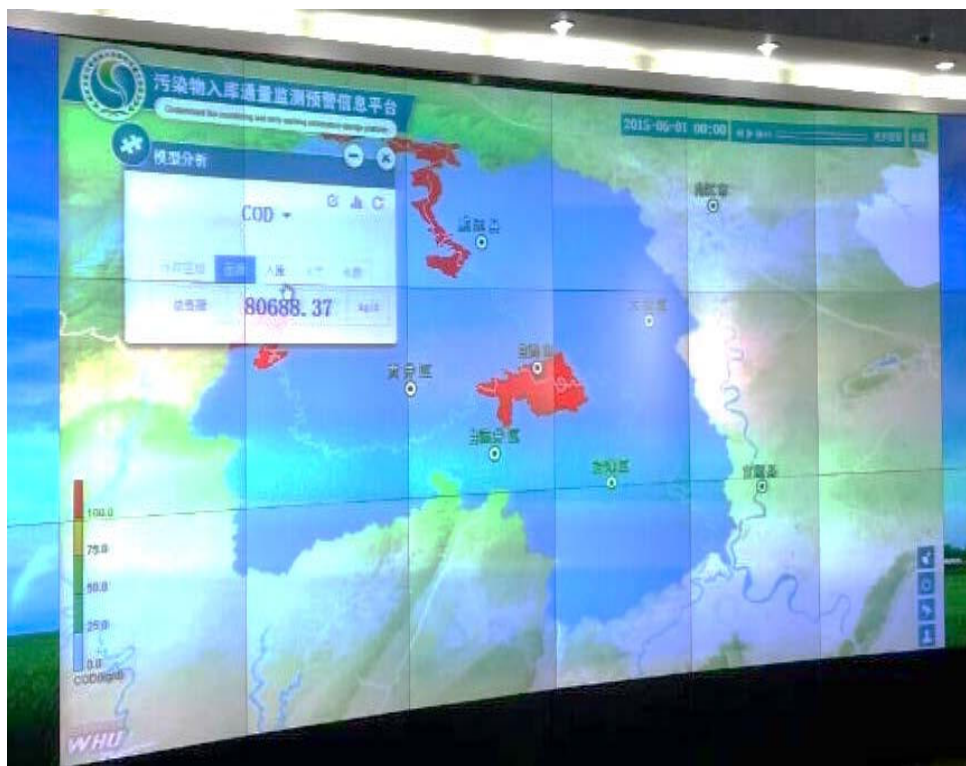
模型模拟结果与实测结果之间的整体拟合情况，R2在0.6以上，模型精度可靠。



模型+平台应用：流域风险评估

三峡库区上游流域面源通量风险预警平台（四川）

四川平台自2014年业务化运行以来，一共向业务管理人员推送了**14850多条水质信息**，监测了**120多万条数据**，主动识别发现了釜溪河上游企业**2起偷排事件**，并自动发出预警，在环保部门的及时处置下，避免了更大的损失。



四川省环境监测总站文件

川环监站〔2016〕57号 签发人：杜明

关于报送水专项课题三峡库区上游水质 预报预警短信的报告

四川省环境保护厅：

在省厅的领导和支持下，我站依托“三峡库区上游入库污染物通量监控预警技术研究及示范”（国家十二五专项2013ZX07503-001-02）子课题的成果，建立了三峡库区上游入库污染物通量监控预警平台。该平台已于去年5月在示范流域—釜溪河和思蒙河流域开始业务化试运行，TN、TP、 I_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度预测相对误差 $<30\%$ ，预测准确率 $>90\%$ ，并于去年12月向两个示范流域所在城市自贡和眉山进行了推广使用。

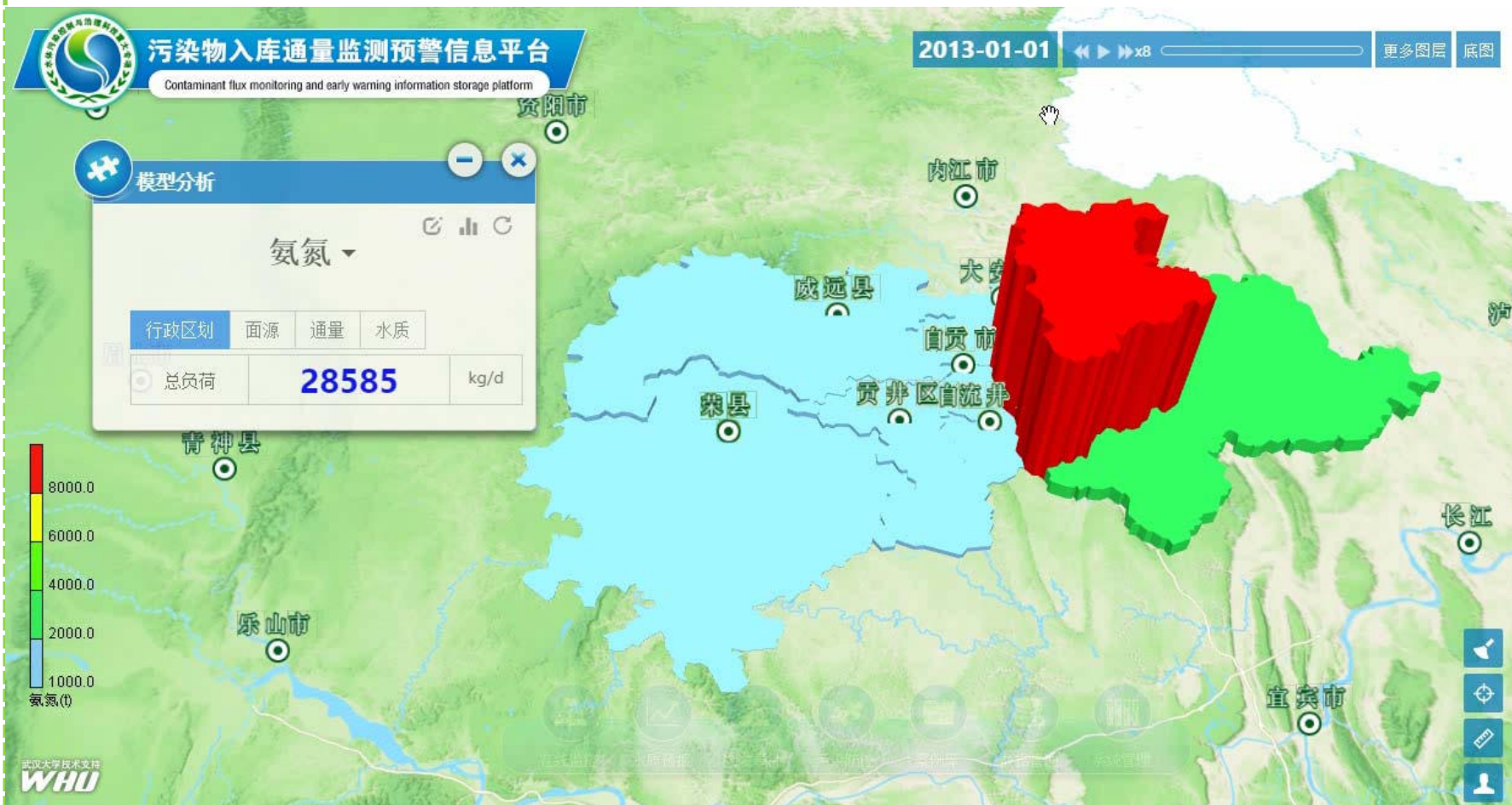
为了将此成果充分应用于环境部门污染防治管理和决策，应对流域污染风险，我站将为四川省环境保护厅、自贡市环境保护局、眉山市环境保护局开放水质预报预警短信平



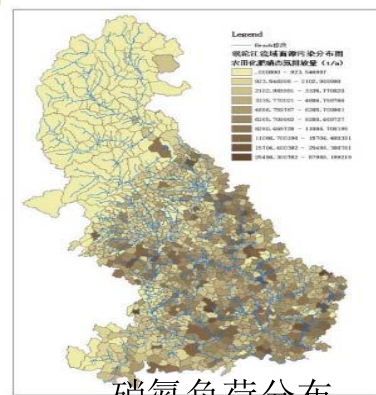
模型+平台应用：流域径流和面源管理

三峡库区上游流域面源通量风险预警平台（四川）

实现了实时自动在线的计算流域各控制单元的陆地水量水质过程及其分布



系统连接等17个气象站、釜溪河邓关等67个水质自动监测站、28个人工监测断面、81个工业点源以及污水处理厂，实现了监测数据的自动采集、模型计算和水环境评估。

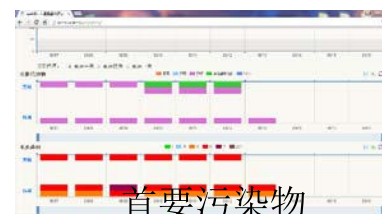
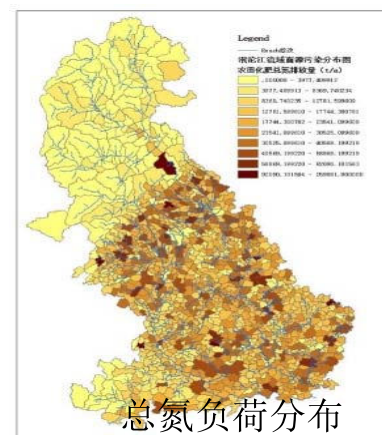




模型+平台应用：流域水质预测预报

三峡库区上游流域面源通量风险预警平台（四川）

每天自动评估预报各个断面、控制单元的水质未来水质类别和污染物浓度

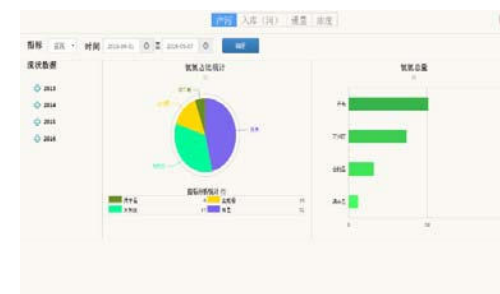




模型+平台应用：流域水环境风险追踪溯源-污染防控



重庆开县、云阳县、万州区和梁平县2016年4月6日的氨氮负荷情况



重庆开县、云阳县、万州区和梁平县自2016年4月1日至2016年5月7日氨氮的负荷占比统计分析

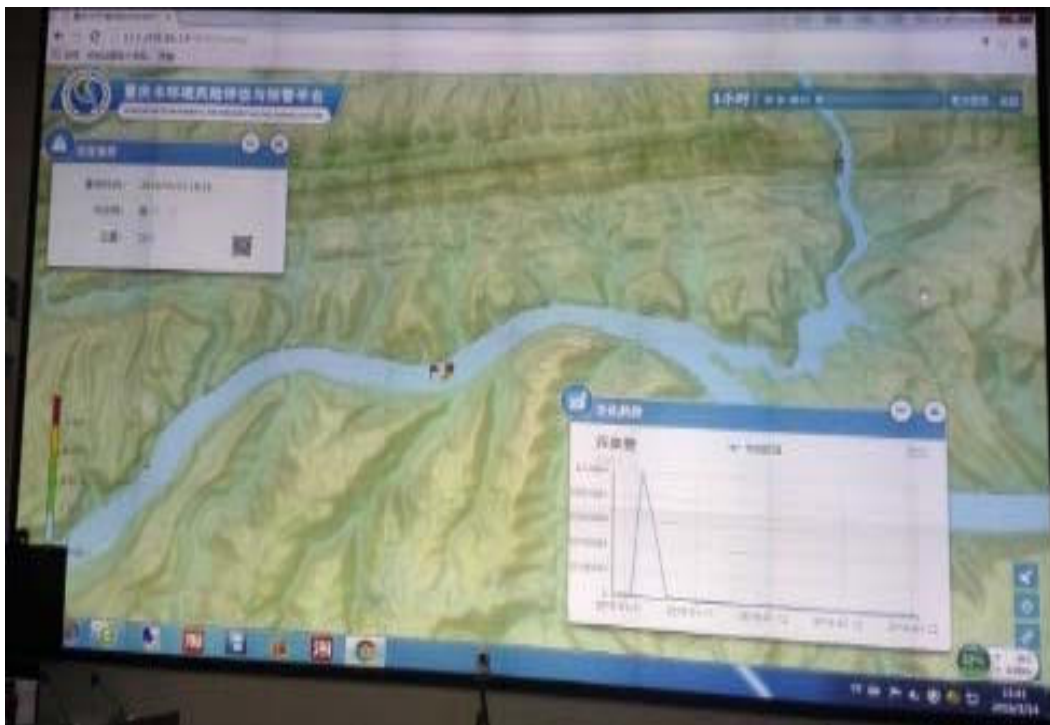
能进行污染现状跟踪和产污分析，管理者可直观了解流域水环境现状及不同区域的主要污染来源，区域污染物贡献率，有利于从源头控制水环境风险，保障水环境安全。



模型+平台应用：三峡库区水质水生态评估预测预警

三峡库区水质水生态评估预测预警平台（重庆）

重庆平台自2015年运行以来，平台自动抓取和收集重庆辖区万州等4个气象站气象预报数据、寸滩等8个水文站水位流量信息、8个水质人工监测断面的水质情况、503个工业点源及污水处理厂的基本信息，实现了从2003年至2015年的历史数据整理，已预知预告了3起水华事件，支撑了库区环境日常管理和发生污染事故的“战时”预报预警功能，保障了三峡库区重庆辖区水环境安全，将被动发现水华暴发事件，转变成了主动预测。



证明

由重庆市环境科学研究院和武汉大学共同研发的《重庆水环境风险评估与预警平台》于2016年初在重庆市环境应急与事故调查中心试用。该平台实现了三峡库区水资源水环境的监控预警业务化，平台具备在线监测、水质预报、突发事件污染模拟、环境累积性风险评估等功能，在重点断面水质预测、污染物迁移转化模拟、水华事件预警预测等业务领域得到较好的运用。该平台的多终端设计使得指挥人员在移动设备（手机）上即可浏览环境信息，现场人员利用手机APP即可模拟污染物迁移转化情况，对突发环境事件应急处置起到了较好的辅助决策作用。

重庆市环境应急与事故调查中心
2016年8月30日

总之，通过使用该平台，在河流治理以及流域整治方面，给我们提供了非常重要的协助，使我们在编制治理方案过程中，更加客观、准确，具有针对性。

重庆市环境科学研究院
2016年9月2日

重庆水环境风险评估与预警平台 使用证明

2016年1月以来，本单位便作为用户之一，使用三峡库区重庆辖区累积型“水华”风险评估与预警技术业务化运行监控预警系统，该系统在使用过程中比较顺利，单位在水华监测方面的业务能力得到了提高，在实际工作中得到了平台有效的帮助。

例如，2016年4月，在兰溪河及游溪河暴发的水华事件中，如果以传统的方式发现水华暴发的位置、时间、严重程度、可能影响范围等信息，一般都要经过几个阶段：

第一，水华暴发点附近居民报告，或者在巡查中刚好发现；第二，发现之后要到现场进行及时监测才能发现暴发原因；第三：针对水华暴发状况，采取相应对策。这一整个工作完成下来，需要2天时间，对于处置水华事件来说效率极低。

但是，利用三峡库区重庆辖区累积型“水华”风险评估与预警技术业务化运行监控预警系统之后，在水华暴发前，本单位就已经通过系统发出的警报，预知将可能发生水华的地理位置、出现时间、严重性、可能影响范围以及水华暴发的原因。因此，为防止和减轻水华暴发影响，我们提前向相关部门提出了预报和处置建议。能达到这个效果，都是基于该系统在水文、气象气候、水质监测等方面获取了足够且及时准确的基础数据，对可能出现的水华暴发进行了及时准确的预测。

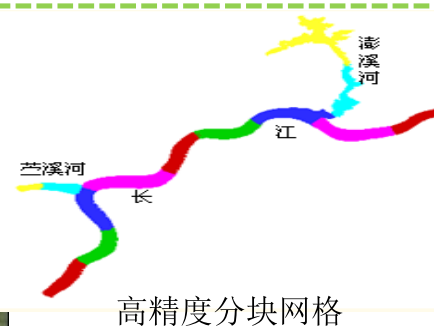
总之，通过使用该系统，一方面，使我们从过去的被动发现水华暴发事件，转变成了现在的主动预测发现，在时效上面得到巨大提高。另一方面，由于该系统基础数据来源及时可靠，能够从原理上发现水华暴发原因，因此能够准确预测水华暴发情况，从而提供水华预防及处置方向及措施。

用户单位名称（加盖公章）：重庆市万州区环境监测站
出具日期：2016年8月30日



模型+平台应用：三峡库区水质水生态评估预测预警

三峡库区水质水生态评估预测预警平台（重庆）



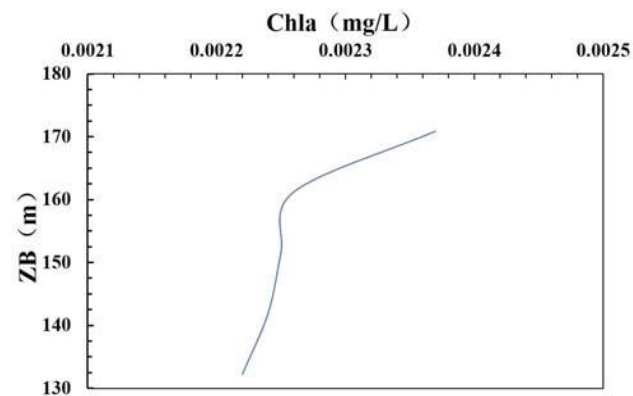
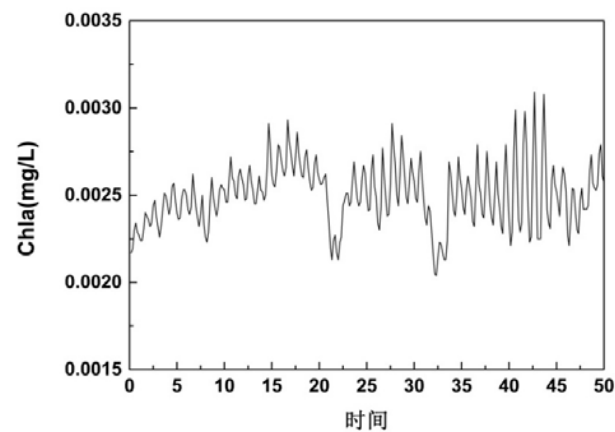
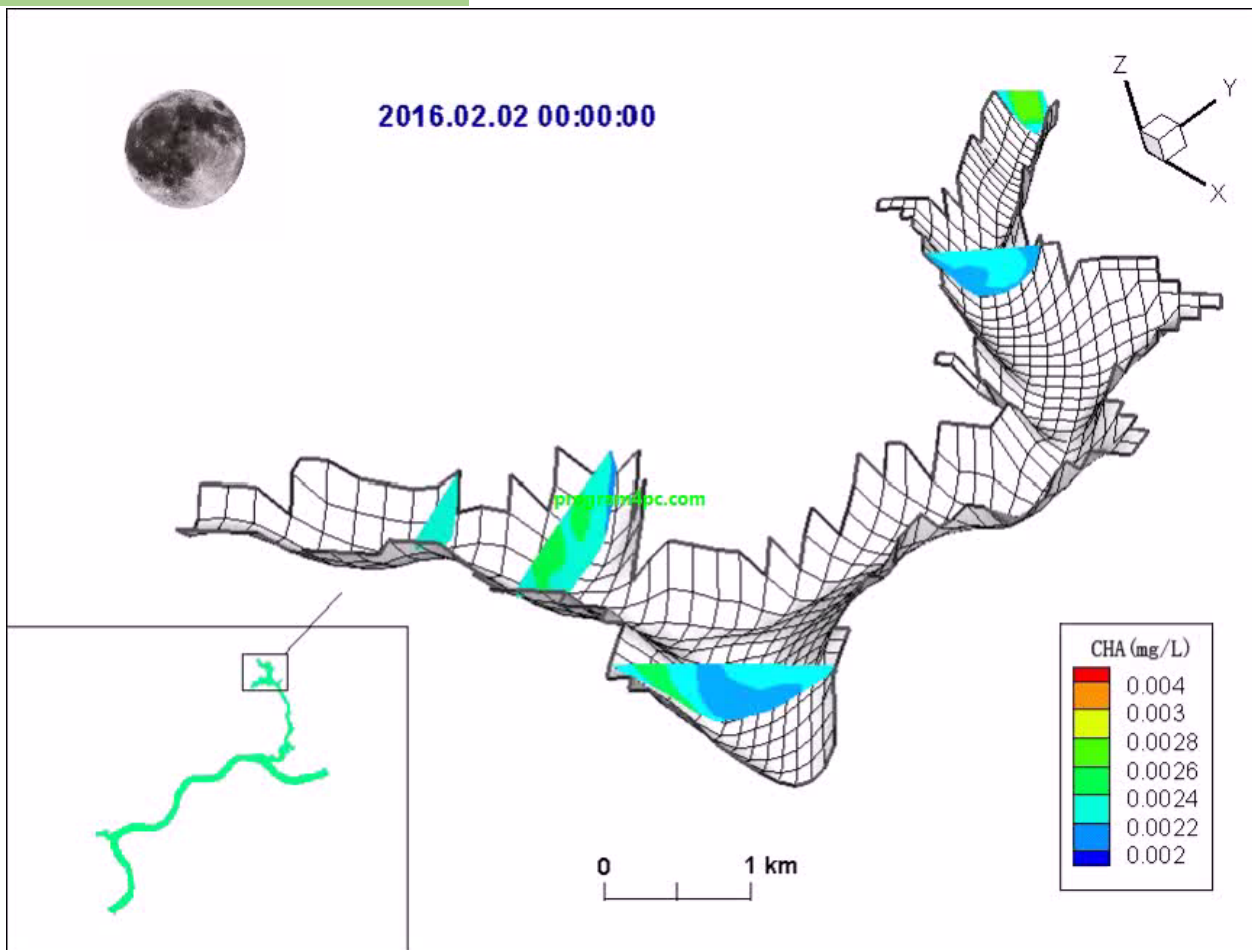
累积性水环境风险预测包括水华风险快速预测技术和具有生物动力学机理的富营养化模拟技术。快速预测技术能快速预测水华可能发生的时间、范围和影响程度；基于高性能技术，动力学机理模型能在1小时内高精度地模拟预测两天的藻类生长变化过程。



水环境精细化管理耦合模型

三峡库区水华模拟预测

彭溪河叶绿素浓度不同光照与温度条件下三维变化过程





模型+平台应用：突发与累积性水环境风险评估预警

水华&突发风险评估预警平台（重庆）



长江干流突发水污染事件模拟预测，三维立体的模拟突发事件中污染物的迁移变化过程，做到了三维精细化的模拟，10~20米级的网格分辨率，5分钟内模拟未来2小时污染物的迁移状况，从时间-空间的精度上，确保河道的上下游左右岸污染物的迁移扩散在掌握之中，辅助应急管理决策。



模型+平台应用：突发&累积性水环境风险评估预警

水华&突发风险评估预警平台（重庆）



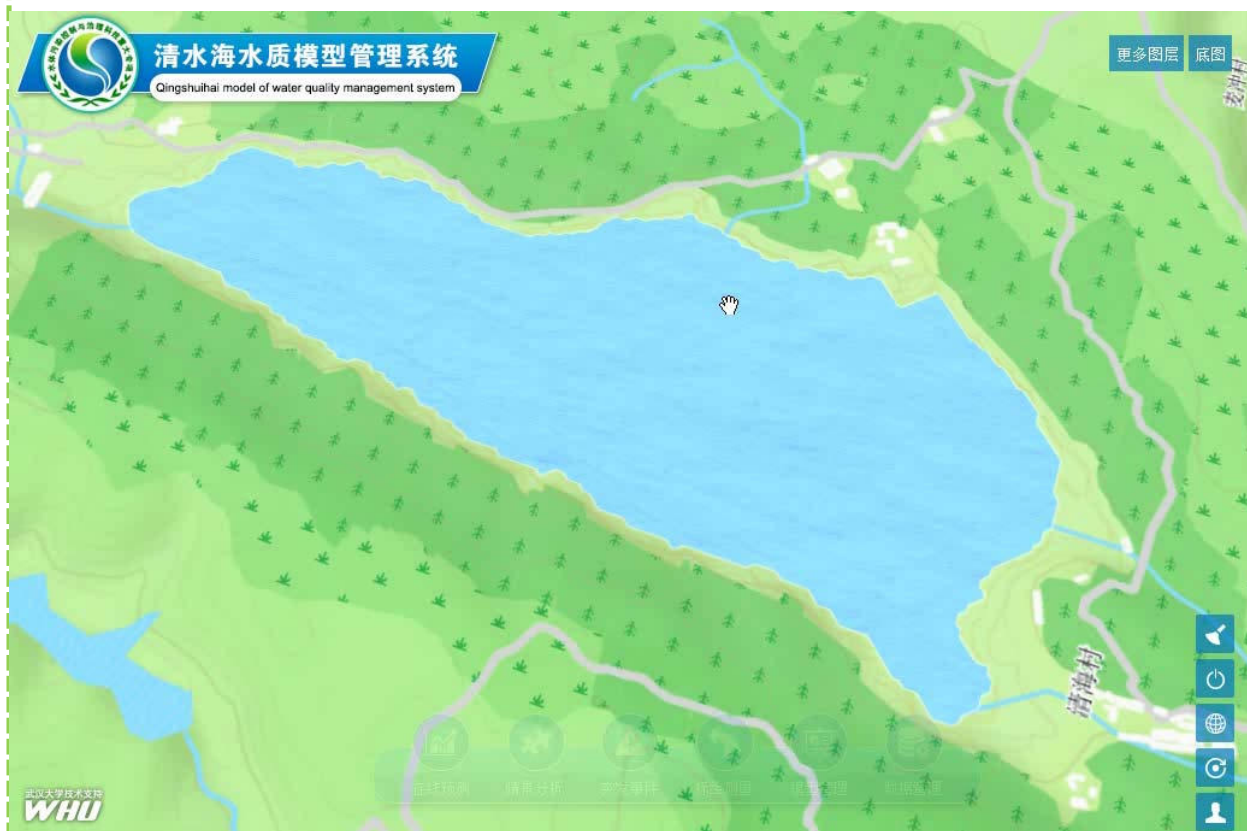
长江支流突发水污染事件模拟预测。平台系统内置了126中常见污染物数据库，并提供相关应急处置预案作为应急处置参考依据。包括理化性质、环境行为、环境标准、毒理学资料、防护措施、监测方法、水体污染应急处置等。





模型+平台应用：湖泊水质管理

在昆明饮用水源地清水海构建了水质管理系统，实现了对饮用水源地水质的实时模拟、三维动态展现和移动展现。该系统从2014年业务化运行以来，极大地保障了饮用水源地的水质安全。





模型+平台应用：无资料地区水环境风险评估预警

突发事件快速评估预警平台

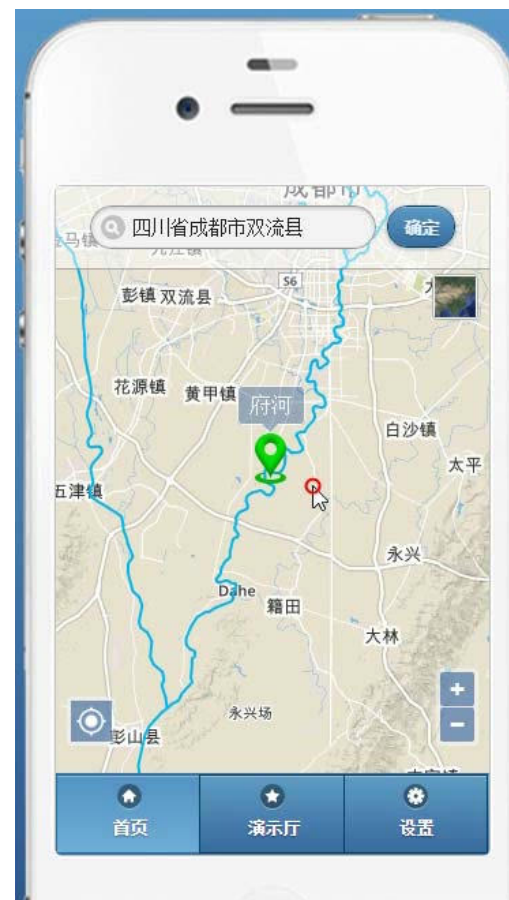
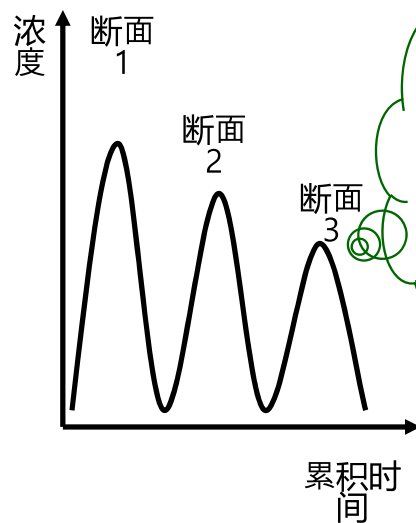
基于无资料地区突发水环境风险预警技术开发的小蝌蚪预警平台，已经成为四川省环境系统的标配，并正在湖北省全省范围推广。应用该平台成功应用于2014年4月30日晚重庆江津区3吨邻二甲苯泄漏事件和2015年11月24日锑尾矿库尾砂泄漏事件的应急处置，准确快速地模拟预测了河流水体中污染物的浓度变化过程，避免了盲目监测，及时有效地处置了突发事件带来的风险。



扫描下载App



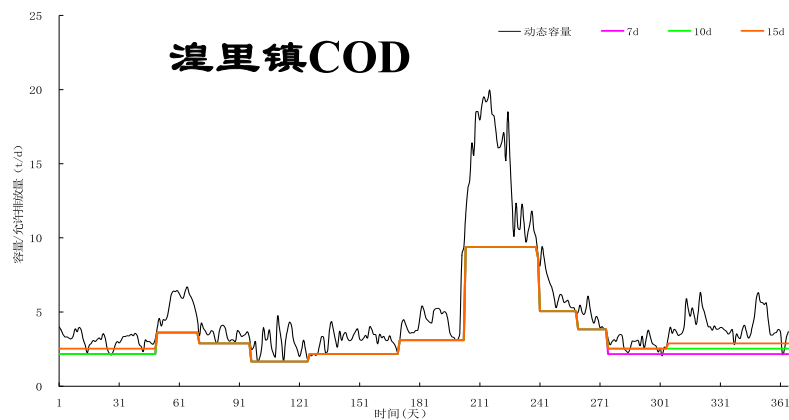
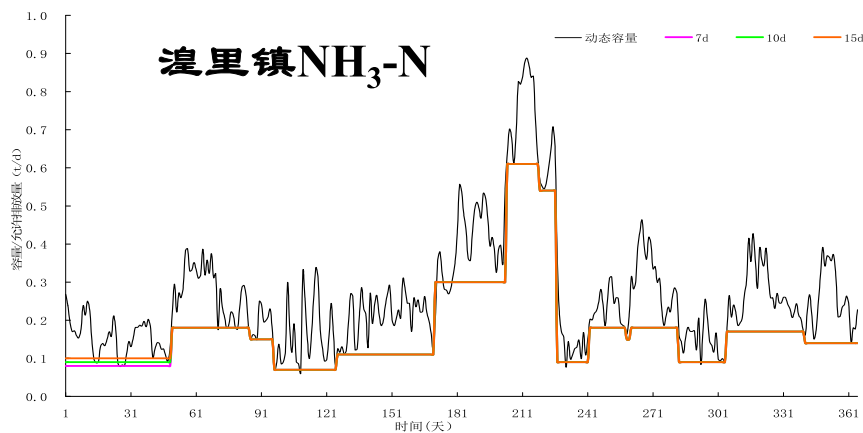
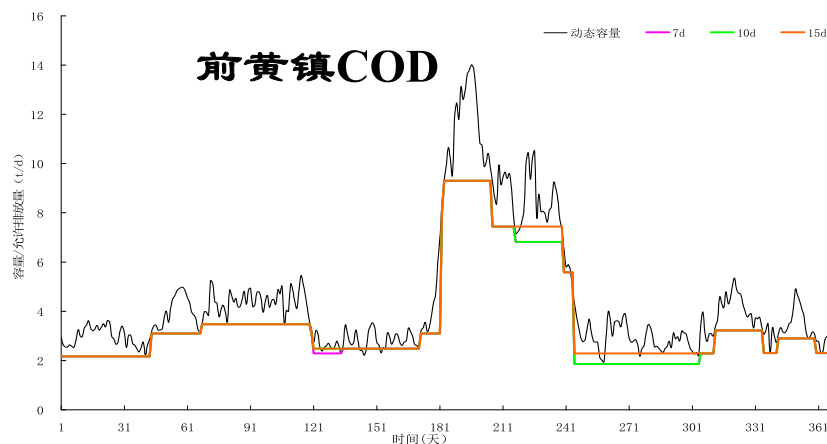
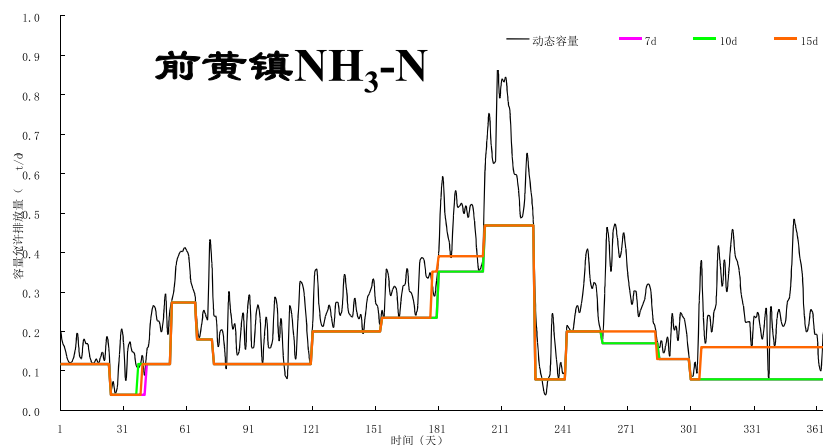
扫码在线运行系统



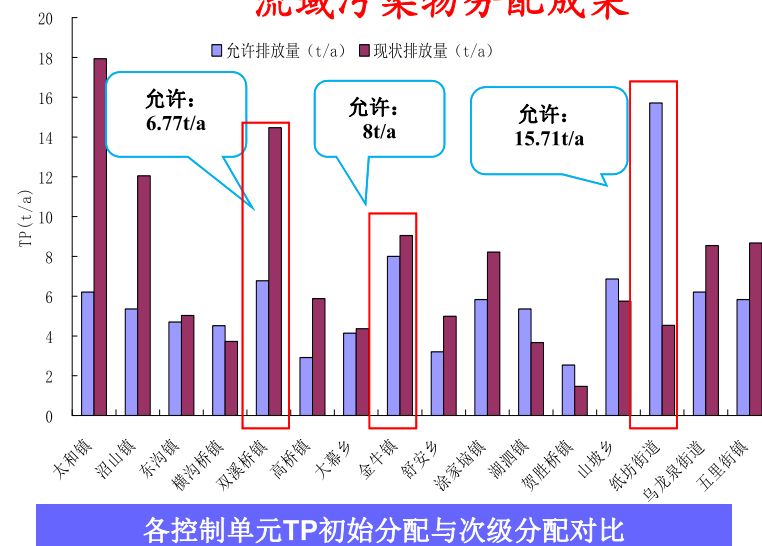


总量核算，承载力考核

太湖溇湖流域控制单元总量控制与考核



为了充分利用各控制单元的环境容量，并且便于控制断面监督考核，实施**梯级化总量控制**，为流域水环境**分期管理、考核**提供技术支撑。





生态补偿

四川生态补偿信息化管理

 四川省生态补偿系统 admin

业务功能

上传数据

查看结果

我的任务

统计图表

生成报告

同比环比

系统管理

用户管理

角色管理

权限管理

系统日志

断面管理

市县管理

上传生态补偿监测报告



模板下载



报告上传

批量上传

批量上传电子表格和原始扫描件



记录查询

四川各个地方站上传数据，系统自动统计分析，生成断面、地区、流域三个维度的业务报告，由省站发布最终生态补偿报告。系统自动运行、自动进行补偿决策支持，有效、科学地服务了当地水环境管理。



流域水体达标

枣阳市滚河流域水体不达标追踪溯源，首要污染源？污染物？



| 控制区 | 控制单元 | 长度（km） | 乡镇 | 水质目标 | 断面名称 |
|-----|-----------|--------|---------------------|------|------|
| 沙河 | 沙河新华桥断面上游 | 45 | 鹿头镇、新市镇 | III | 新华桥 |
| | 新华桥-彩虹桥 | 3 | 枣阳市中心城区 | III | 彩虹桥 |
| | 彩虹桥-二王 | 10 | 枣阳市中心城区 | III | 二王 |
| | 二王-锯湾 | 10 | 锯湾镇 | III | 锯湾 |
| 滚河 | 滚河杜岗断面上游 | 70 | 熊集镇、吴店镇、王城镇、兴隆镇、刘升镇 | III | 杜岗 |
| | 杜岗-锯湾 | 8 | 锯湾镇 | III | 锯湾 |
| | 锯湾-观音寺 | 22 | 锯湾镇 | III | 观音寺 |

首要污染源和污染物分析

| 类型 | 标记 |
|---------|----|
| 工业污染源 | 1 |
| 城镇生活污染源 | 2 |
| 城镇生活污染源 | 3 |
| 农业面源 | 4 |
| 畜禽养殖污染源 | 5 |

| 序号 | 控制单元 | 废水 | COD | NH ₃ -N |
|----|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| 1 | 沙河新华桥断面上游 | 2、3、5、4 | 2、3、5、4 | 2、3、5、4 |
| 2 | 新华桥-彩虹桥 | 2、5 | 2、5 | 2、5 |
| 3 | 彩虹桥-二王 | 1、2、5 | 1、2、5 | 1、2、5 |
| 4 | 二王-锯湾 | 2、3、5、4 | 2、3、5、4 | 2、3、5、4 |
| 5 | 滚河杜岗断面上游 | 2、3、1、5、4 | 2、3、1、5、4 | 2、3、5、4、1 |
| 6 | 杜岗-锯湾 | 2、3、5、4 | 2、3、5、4 | 2、3、4、5 |
| 7 | 锯湾-观音寺 | 2、3、5、4 | 2、3、5、4 | 2、3、4、5 |

造成枣阳市滚河流域水环境污染最大的是城区生活污染源和彩虹桥-二王段的工业污染。



流域水体达标

针对首要污染源和污染物，进行达标系统构建

城镇污水处理设施建设与升级



城区污水收集率提升至95%以上，污水处理厂排水提升至一级A标准。

工业治理



- 调整产业结构
- 加快转型发展步伐
- 矫正制度，为环境付费
- 集中整治沿岸涉水工业企业
- 强化工业园区管控

预期效果

各工业企业布局合理，污水处理设施得到改进，处理设备及技术得到相关部门认证批准；违规偷排、直排企业及工厂统一关停；工业园区官网利用率提升至80%左右；重点污染源均实现全方位监控，最大程度地减少偷排问题的出现，保障河道水环境安全。

生态治理

| 区域 | 治理方案 | 预算（万元） |
|------------|-------------|--------|
| 梯级水坝 | 河道整治、稳定塘、曝气 | 600 |
| 污水处理厂-彩虹桥 | 人工湿地、景观改造 | 1800 |
| 乡镇排污沟 | 稳定塘、生态廊道 | 75 |
| 沙河-滚河交汇处下游 | 人工湿地、河道整治 | 580 |

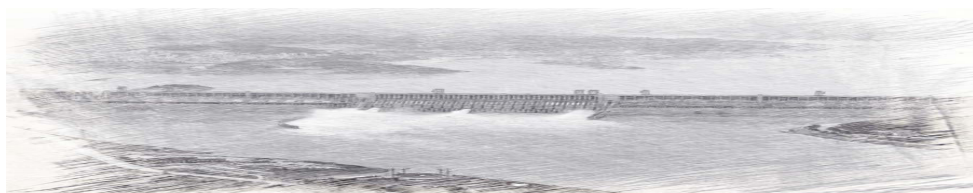


预期效果

针对不同区域的地形地貌、开发利用程度及水环境污染现状，采取特定的生态治理措施，最终使得水质满足Ⅲ类以上水质标准。



肆 展 望





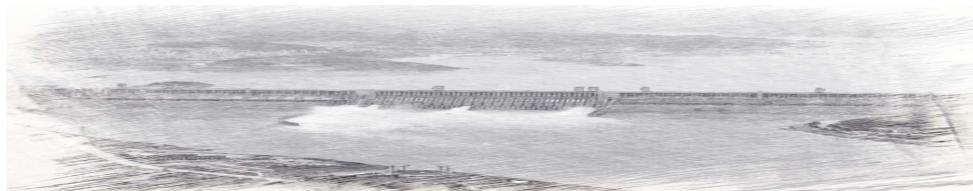
展望



1、构建了流域水环境质量风险预报-评估-预警智能云平台，开发了一套流域水环境管理的集成装备，为流域水环境管理，**提供全方位、智能化的技术支撑！**

2、**以水环境管理信息化平台为工具**，一链式的开展环境大数据采集-传输-存储-处理-计算-服务，使流域水环境科学研究和管理水平，更上一层楼！

3、通过多方的产学研合作地不断深入，以推动**“智慧水利、智能环保时代”**早日到来！





武漢大學

自強弘毅求是拓新

谢谢！

中華民國二十三年
國立武漢大學建