

# 应对水污染，构建水环境的安全屏障

## ——三峡库区及上游流域水环境风险评估与预警研究解读

■用户评价

近日，由武汉大学牵头，联合四川省环境监测总站、重庆市环境科学研究院、湖北省环境监测中心站、长江水利委员会水文局等单位完成的“三峡库区及上游流域水环境风险评估与预警研究”课题，已经顺利通过业务化平台第三方评估，即将通过课题验收。

本课题是“水体污染控制与治理”国家科技重大专项的课题之一。经过三年的研究，该课题实现了三峡库区及上游流域水环境风险评估与预警业务化高精度模型“从无到有”的突破和业务化系统平台“从有到优”的进步。课题所取得的标志性成果能满足国家环保业务化的需求，在四川、重庆、湖北等地进行了示范应用，能及时、准确、有效地辅助业务部门进行风险处置，具有重大的环境效益、生态效益和经济效益。

### 三峡库区水环境亟待专业化风险评估和预警

流域水环境风险评估与预警是提高国家防灾减灾能力的重要内容，是确保水环境安全的前提与基础。三峡工程是世界闻名的巨型水利工程，该工程的实施以及库区水位的逐渐提高已导致库区水文情势、地形地貌特征等自然条件的变化，在水库蓄水及运行期间都会对库区、影响区乃至长江全流域的自然生态环境产生重大影响。

由于库区快速的城市化和城镇化，高强度的人类活动干预，使得在未来的10—15年间，三峡库区水环境保护形势将发生巨大变化，库区支流水质风险不断增加，库区水体发生突发性污染事故的可能性大大增加，库区的环境管理出现了新常态，对环境保护工作提出了更高的要求。

在此背景下，本课题于2013年正式启动，在水环境风险评估与预警的数据技术、模拟预测评估技术和业务化系统平台技术上取得了创新性的关键技术，形成了具有广泛适用性的水环境风险评估与预警成套设备，在生态环境大数据建设、环境风险评估上，提出了科学合理的政策建议。

### “空—地—水”一体化水环境模型体系：5分钟预测突发事故未来两天演进

据课题负责人张万顺教授介绍，该课题构建了具有动力学机理的、引入高效能计算技术的“空—地—水”一体化水环境模型体系，能实现两小时内预测三峡库区水体20米精度内未来两天的水环境变化趋势、5分钟内模拟预测突发事故未来两天内的演进过程；实现了对三峡库区水环境的高精度、高效率评估与预警，可以实时准确地模拟预测水环境风险的“发生时间、发生区域、影响范围以及影响程度”，解决了水专项实施前环境风险评估局限在局部区域和小尺度，且模型模拟精度无法满足业务需求的问题。

该体系将被动的水环境风险应急处理提升为自动化预测与管理，极大地提升了业务部门对水环境风险的预测能力，有效地保障了库区的环

境安全，该体系在技术上的创新点表现在：

(1)构建了能按业务化需求进行动态耦合的“空—地—水”一体化模型体系。基于流域大气、陆地、水体的物质能量循环流动机理，通过改进气象数值模型、陆地模型和水动力—水质—水生态模型，针对业务化水环境管理的需要，提出了“空—地—水”一体化水环境模型的动态耦合模式，实现模型间按业务需求进行耦合以提供针对性的模拟服务。无论是突发事故模拟预测、水华预测预报还是漂浮物风险评估或情景模拟，通过改变模型间的耦合方式，以一套模型实现模拟预测需求。

(2)提出了“空—地—水”一体化模型的三级并行耦合计算技术，实现了流域水环境模型的高效能计算。以流域环境大数据为分析对象，以流域大尺度高精度计算为目标，研究流域陆地模型、水动力模型和水质水生态模型的集成接口和并行计算耦合模式。基于空间分块技术和并行技术，提出了耦合模型的递进并行启动模式和分段控制运行方法，实现模型内部—分块—模型之间的三级并行耦合计算，将三峡库区的三维水质水生态计算网格精度提升到20米以内。水环境风险评估预测精度和速度的提高，满足了业务化管理对模拟预测速度和精度的需求，为“空—地—水”一体化模型支撑业务化水环境管理提供了基础条件。

“空—地—水”一体化模型体系具有很强的扩展性和可伸缩性，可适应于不同流域。

### 流域水环境风险评估与预警智能云平台：自动识别发现并主动监管风险

基于SOA和SAAS构架，突破分布式数据库技术、模型集成技术，研究构建了包含数据中心、计算中心、控制中心和业务中心的流域水环境风险评估与预警智能云平台。智能云平台涵盖了环境大数据下多源异构数据的融合、集成、挖掘、共享技术体系和空—地—水一体化模型及其高效能计算方法，能为流域水环境风险评估提供实时化、自动化、智能化、服务化和业务化的支撑。平台能按需进行模块组装和集成，实现业务化部署和运行。

四川省环境监测总站、重庆市环境科学研究院、湖北省环境监测中心站、长江水利委员会水文局的示范平台自运行以来，能及时准确地预测水体水质浓度时空分布情况，突发污染风险和水质风险的发生时间、发生位置、发生范围以及风险程度，针对风险自动发出预警。相比于专项开始前，将三峡库区水环境管理的被动监管转化到自动的风险识别发现及主动地监控管理，在诸多的风险评估与预警业务工作中得到了验证。

平台能克服传统流域模型体系由于串行计算引起的等待时间损耗、大尺度模拟运算速度效率低的问题，并解决了资源重复建设浪费的问题，极大地提高了流域水环境数据、存储器和计算器的使用效率。平台能整合全流域的硬件资源和数据资源，实现全流域的水环境现状评价、未来趋势预测以及突发事件应急模拟与决策支持，以保障流域水环境安全。该系统平台具有以下特点：

1)集成分布式数据库，所有监测数据、模型数据、地形数据、评价指标等都存储在数据中，可适应任意区域内业务需求。根据不同数据的不同特征，采用关系数据库、空间数据库、NoSQL等多种数据库技术，构建大数据管理模式，实现性能稳定、存储安全、并且弹性可扩展。

2)通过数据规则引擎对数据进行稽核，自动识别错误数据，并进行告警；数据不足时，可根据历史数据进行插补，保证数据可始终稳定运行，从而确保系统的业务化实现。

3)通过将大区域分割成小区域，大文件分解成小文件，单一进程扩充为多进程的方式，化整为零，在空—地—水一体化模型的三级动态并行耦合下，平时能按实时稳定预测未来几天内水环境状况，战时能自动快速获取流域内的水文水质和气象数据，实现对突发事件的快速评估和预测预警，并指导应急监测与应急处置。

4)平台以SOA和SAAS的开发理念构建，模块化和服务化的开发方式，用户能按需进行模块组装，实现为不同业务部门提供针对性的服务。

5)课题组提出的水环境风险评估与预警数据存储服务、管理技术，高效能高精度的水环境模型以及“五化”系统平台，适应我国精细化环境管理的国家战略需求和科技需求，能为我国新时代下的环境保护、治理与管理提供长效的科技

和设备支撑。

### 应大力推广流域水环境风险评估与监控预警平台

课题针对流域水环境风险评估与预警所涉及到的管理需求、政策方案以及落实流域水环境风险的监测、控制、预测、预警，从突发环境事件经济损失分析、水环境质量达标经济效益分析以及流域污染源解析和防治措施等方面提出了政策建议。包括：

(1)加强建设生态环境监管体制  
建设生态文明，必须建立系统完整的生态环境监管体系，坚持用系统论思维，以制度保护生态环境，着眼政府、企业、公众责任主体三方联动，完善基于政府监管、企业治理、公众监督三大责任主体的生态环境监管制度体系框架，构建系统完备、科学合理、运行有效的生态环境监管制度体系，完善生态环境法律、法规体系，优化监管主体结构配置，提高生态环境监管执行力，建立地方负责人约谈和离任生态环境审计制度，畅通公众参与监管机制。

(2)加强流域水环境风险评估与监控预警平台建设  
本课题所构建的流域水环境风险评估与预警平台，经过运行检验以后，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、突发环境事件污染模拟、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等业务领域得到较好的运用，对突发事件应急过程中的应急监测、应急处置可起到辅助决策作用。为减轻全国流域水环境突发事件造成的经济损失和社会影响，应在我国大力建设和推广流域水环境风险评估与监控预警平台。

(3)建设流域长效保护机制  
依靠国家政府实施环境经济激励引导，健全环境监测预警体系，完善法规，严格执法管理，建立“决策者—科学家—公众”三位一体的治河队伍，强化节水型社会建设，开展机制、政策创新，将流域生态环境保护管理手段由主要依靠行政办法的单一手段转变为既依靠行政手段，又依靠政策、法律、经济、技术等综合手段，建立流域的长效保护机制。

### 成果应用

## 准确预报、科学处置突发污染事件

本课题将“空—地—水”一体化模型体系和智能云平台两大成果，进行整合，研发了软硬件结合的流域水环境风险评估与预警成套装置。该装置可以整合全流域的硬件资源和数据资源，

根据多个业务部门的核心需求，按需进行模块组装和集成，实现了业务化部署和运行，能实现全流域的水环境现状评价、未来趋势预测以及突发事件应急决策。平台运行以来，能及时准确地预测水体水质浓度分布情况、突发污染风险和水质风险的发生时间、发生位置、发生范围以及风险程度，针对风险自动发出预警。相比于专项开始前，将三峡库区水环境管理的被动监管转化到自动的风险识别发现及主动地监控管理，在诸多的风险评估与预警业务工作中得到了验证。

应用平台对业务部门环境风险业务的开展起到了极大的辅助作用。四川示范区平台自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，主动识别发现了金沙河上游企业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；重庆示范区平台自2015年运行以来，已预知预告了3起水华事件，重庆云阳环境监测站、万州环境监测站和重庆环境监测站等业务部门通过使用本平台发出的警报，准确预知了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，进而提前向相关部门提出了预报和处置建议，将被动发现水华暴发事件，转变成了主动预测发现，在时效上得到巨大提高。

平台快速预测预报突发污染事故的发生时间、影响范围和程度，指导应急监测，节省了时间、人力、物力，极大地支撑了应急决策；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日锦尾矿库发生尾砂泄漏事件的应急处置。通过应用平台，应急部门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，确定了其污染范围、污染发展趋势，决策者根据模拟的结果，进行应急监测，避免了盲目监测；同时根据影响的程度安排应急人员和物资，既节省了人力物力，又有效地处置了突发事故带来的风险。

该系列成果得到了示范单位业务部门的高度认可。目前成套装置中的突发污染快速预警子系统已在四川省全省进行了推广应用，水质风险评估预警子系统已推广应用到昆明清水海等水库的水质保护工程中，应用效果表明，该装

置通用性强、准确度高、稳定性好，可广泛推广应用。

2016年12月14日—16日，课题四个示范工程“三峡库区上游污染物入库通量监控预警平台”“三峡库区重庆辖区水环境累积性风险评估与预警业务化运行平台”“库区湖北辖区水环境累积性风险评估与预警业务化运行平台”“三峡库区运行调度安全评估与预警系统”顺利通过国家水体污染控制与治理重大专项办公室的第三方验收，并获得了与会专家高度地赞扬与评价。

该研究还得到国际同行的肯定和关注。美国普渡大学农业与生物工程系主任Dr. Bernard Engel表示，期待在三峡流域应用的研究成果能与他能源和水资源等方面进行更深入的合作。都柏林大学UCD CWRR中心主任Pro. Michael Bruen评价：“你们在水资源管理方面的研究成果综合而全面，已经达到了世界领先水平，令我们印象深刻。”帝国理工大学模型应用与计算课组负责人Pro. Chris Pain评价：“你们的环境和洪水模拟研究已达到世界领先水平。”



2015年7月课题组在重庆市万州市、云阳县底泥采样工作。



三峡库区水环境累积性风险评估与预警平台业务化展示。

### 成都市环境保护局评价

我市对三峡库区上游污染物入库通量监测预警信息平台进行了试用，平台功能完善、分析工具多样化、表征方式直观，能很好推进水环境保护相关工作，是水污染防治工作的数据来源和技术分析工具，对掌握成都市相关流域污染情况具有较高参考价值，同时提高了环保工作信息化能力。

### 四川省眉山市环境保护局评价

三峡库区上游污染物入库通量监测预警信息平台的应用，逐渐建立了基于环境质量改善为目标的监测、评估、预警、预报技术体系，为我局应对流域污染风险、预警预报提供了有利的技术支撑。

### 重庆市环境应急与事故调查中心评价

重庆水环境风险评估与预警平台具备在线监测、水质预报、突发环境事件污染模拟、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化领域得到较好的应用。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作用。

### 重庆市万州区环境监测站平台应用证明

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化为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案及措施。

### 重庆市云阳县环境监测站平台应用证明

通过使用“重庆水环境风险评估与预警平台”，使我们的监控力量得到了更好的分配，在彭溪河上面投入的监控力量大大减少，但是监控效果更好了，这主要得益于该平台在技术上的革新。

### 长江委三峡水文局三峡清漂监测部评价

2016年1月以来，“三峡水库运行调度安全评估与预警系统平台”在本单位进行安装并交付使用，系统平稳运行8个月，该系统使用方便，对本单位在三峡库区漂浮物风险的监测、管理与处置上发挥了有效的作用，本单位清漂等实际工作得到了平台有效的帮助。

### 自贡市环境保护局评价

三峡库区上游污染物入库通量监测预警信息平台的应用，逐渐建立了基于环境质量改善为目标的监测、评估、预警、预报技术体系，为我局应对流域污染风险、预警预报提供了有利的技术支撑。



2015年7月课题组在重庆市万州市、云阳县进行三峡库区水文水质的勘测。



2016年3月课题组在湖北宜昌市兴山县进行长江支流——香溪河水文水质的勘测。



2016年5月课题组在湖北宜昌市兴山县进行长江支流——香溪河水文水质的勘测。



2015年7月课题组在重庆市万州市、云阳县进行三峡库区水文水质的勘测。