

# 多水源联合调控保障流域水质安全

近一年来,北京市各种媒体上争先恐后地报道着密云水库蓄水增长好消息,毕竟素有“首都大水库”之称的密云水库,从上游来水量锐减造成入不敷出,到今日水面持续上升已有近20年。从2017年7月17日,密云水库蓄水量突破18亿立方米,到今年8月9日,密云水库蓄水量超过25亿立方米,这一系列振奋人心的消息的背后,有着一大批科技工作者的贡献。

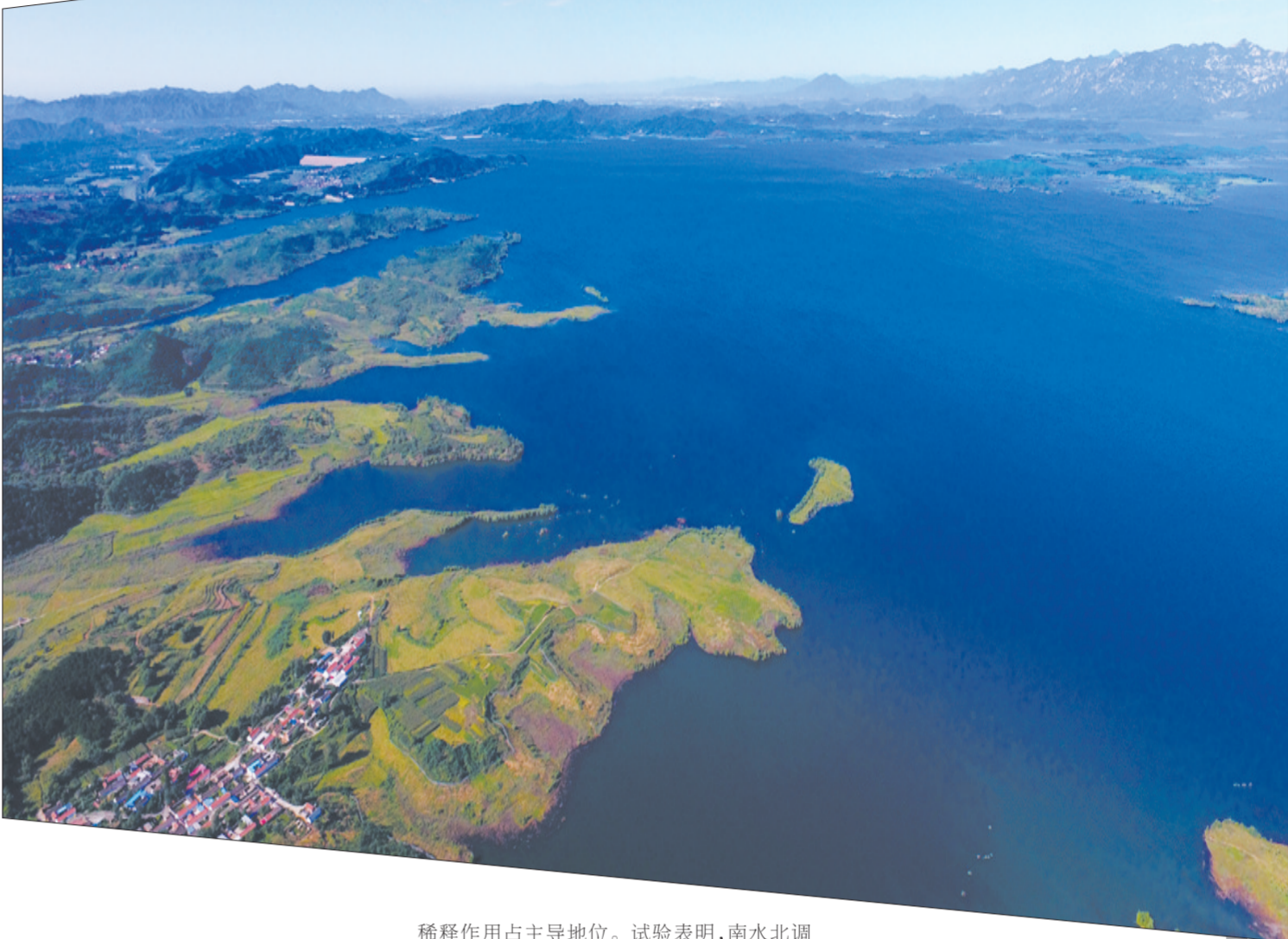
据国家水专项“海河流域水资源调蓄区水质保障及生态修复关键技术与示范”课题负责人、北京市水科学技术研究院孟庆义教授级高工介绍,随着2014年底南水北调中线工程的建成通水,海河流域的水资源格局正悄然发生变化。海河流域水资源调蓄区的水资源优化配置、不同类型调蓄区的水质安全保障、调蓄区所在河流水系的水环境改善等已成为未来海河流域水污染防治和水安全保障的重要任务。

潮白河流域密云水库及其下游的密云、怀柔、顺义等区是北京城市集中供水的重要水源地,承担着保障城市安全供水的重要功能,战略地位十分重要。自1999年以来,遭遇连续干旱,潮白河流域水库蓄水量下降,地下水超采严重,河道断流,水污染态势加剧。为最大限度用好南水,充分发挥工程效益,研究确立了“喝、存、补”用水原则。按照《北京市南水北调配套工程总体规划》,密云水库及其下游的密云、怀柔、顺义等区地下水源地将作为南水北调来水的调蓄库,这

将有效缓解北京市多年连续干旱造成水库蓄水不足、地下水超采严重的现状,同时由于跨流域调水带来地表、地下水条件变化可能引起水质及水生态变化,引起了社会各界的广泛关注。

面对这一需求,孟庆义表示,这确实是一个重大科学技术问题。因为水源地水质安全保障不能简单套用水质目标管理的技术方法。因为水源地水质安全是区域生态环境圈内各类要素,如库容、大气、风场、阳光、食物链等变动带来的水质波动,超过风险阈值的情况属于小概率事件,这里面要做的是风险识别、监测预警,通过模拟进行过程分析和结果预测,相应地实施各类保护措施;而我们常说的水质目标管理是针对受损水体的以水环境容量总量为核心的管理技术体系。即是针对常态化超标的大概率事件,需要算清容量总量和排放总量,通过负荷分配,制定削减方案,实施污染精准治理。

确定了这样一条技术路线,课题组随即投入大量人力物力,围绕库区水质安全,开展了库区周边土地利用、植被特性、土壤有机和无机组分分析,以及外调水、上游来水、底泥释放、大气干湿沉降等水库氮磷输入监测及分析,取得了大量的基础资料。同时,课题组加强了对密云水库历史监测数据的整理分析,明确了密云水库水质变化的基本规律。这些工作为南水北调来水和上游流域来水叠加影响下的水质变化趋势分析奠定了基础。



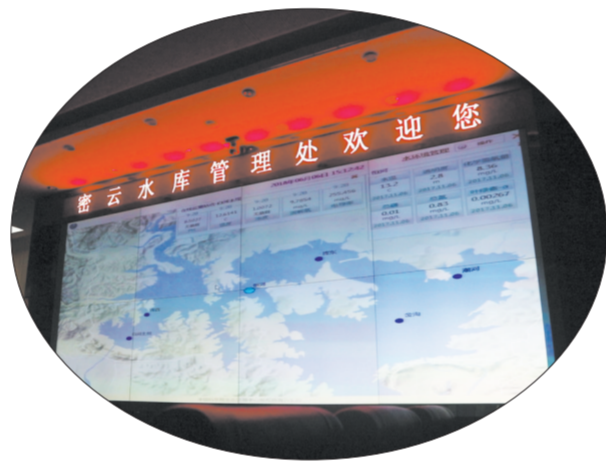
## 集成风险源模拟、水生生物行为与水质实时监控,建立调蓄区水质演变预测预警技术,为密云水库水质安全提供技术保障

水情景下密云水库的氮磷营养盐及叶绿素a浓度的变化情况。各种情景下的模型模拟表明:密云水库水质及水生态演变主要受上游来水的影响,外调水影响轻微。调水后密云水库总氮浓度略有上升,而总磷、叶绿素浓度略有降低,夏秋两季蓝藻在藻类总生物量的比例下降1%~6%,硅藻上升5%~8%。

在掌握不同情景下水库水质及水生态演变的总体态势后,课题组还结合当今水源地水质监测技术发展现状,开展了生物在线监测预警技术研究,以应对突发性水质变化。该技术以各类有毒污染物对水生生物(鱼)的生物行为响应、生态毒理效应乃至环境风险的综合预警为目标,从群落水平及多营养级生物交互作用模式出发,构建了针对水生脊椎动物(鱼)敏感性污染物的生物预警模型,确定受水区水质安全相关污染物暴露下生物行为变化的反应阈值。针对水源地水质安全保障,课题组开发出多参数水质变化对生物行为影响的污染物风险预警模型和数据库;特别是开发出富营养化初级生产力预警模型,并确定了受水区营养物胁迫因子对藻类初级生产力的生态响应阈值,可以实现水体富营养化预警;在上述化学—生物—生态响应模型构建基础上,集成各预警模块开发污染物生物预警软件系统。

模型是给人用的,生物在线监测预警是要有人管理。为进一步与密云水库水环境管理工作相结合,课题组搭建了密云水库水质安全保障综合管理平台。平台可以进行水污染源信息和环境质量信息的数据维护存储、信息查询,实现密云水库水环境质量现状评价、水环境污染模拟预测的综合性可视化,直观、形象和动态地跟踪显示密云水库水环境质量的时空变化和未来的发展趋势。目前平台已实现业务化稳定运行,为水库水环境系统的评价和管理提供相应的数字化管理工具,为首都供水安全提供保障。

针对南水北调对密云水库调蓄区水环境可能产生的影响,开展调水前后受水区氮磷平衡及风险分析,得出影响受水区水质的主要因素包括:上游营养物质输入,调水入流的水量、营养盐浓度及入流时间,库容及库区水位等。基于此,构建基于EFDC的水动力—水质模型,通过设计不同水文年型,不同调水入库水量及入库时间,不同入流氮磷浓度等情景,来预测一系列调



水源地水质安全保障综合管理平台

## 基于库滨带分区风险识别,同步实施库滨带外源污染控制和浅水区源净化,保障水源地水质安全

总量。构建库区水质模型,预测干湿交替和南水北调来水后的水位变幅带污染物释放对库区水环境的影响。结果表明,在最不利情景下,水库来水后新增淹没面积土壤释放对密云水库库区水质的影响范围小、程度低。二是针对新增淹没区以上的陆向保护区,开展降雨径流实验,观测土壤侵蚀过程及入库氮磷负荷,弄清外源入库的环境风险。

明确了环境风险,接下来就需要开发相应的工程技术。针对易发生水华的水库浅水区,通过生物载体材料特征识别、适宜条件及水质净化效果试验,比选出人工水草新型生物载体,完成2.6万平方米的工程示范;同时,针对水库调蓄区外源风险防控,研发不同植物品种及配置方案的陆向保护区林草缓冲带外源污染防控技术,并建设完成3公里示范区。第三方监测表明,示范区内泥沙平均削减率可达48%~61%、TP平均削减率可达36%~66%。同时在水库二级保护区内,建设小流域生态恢复示范区工程5个,实现了示范区“清水下山、净水入库”的生态目标。

“问渠哪得清如许,为有源头活水来。”有了扎实的科技保障、政府工程的保驾护航,加上一批保水护水人的担当,才有了今天的密云水库风清气爽、微波荡漾。可以想象,将来密云水库的水面会更加宽阔,水质也将更加的清澈。

## 数值模拟和现场试验相结合,确定地下水回补方案,实现南水北调涵养地下水水源地、多水源联合调控改善地下水水质

实验,并运用数学模型进行跨流域调水回补的情景分析。第一,“能不能补?”是个机理性问题。课题组初步查清了南水北调水源经过包气带入渗过程中阳离子交换吸附以及氨氮解吸、硝化反应等复杂的水岩相互作用机理,明确了南水北调水源对地下水的

随着南水调入密云水库调蓄,水库水位将持续上升,水位变化条件下的库滨带土壤及植被等因素对水库水质变化起着重要作用。为此课题组建立了基于库滨带分区风险识别技术。一是针对南水北调来水造成的新增淹没区,监测分析不同剖面污染物的含量、形态分布及释放,构建污染物—释放通量模型,计算出新增淹没区氮磷的释放

与地表水系统相比,地下水系统显得更为复杂多样,并表现出立体结构的特点。南水北调来水不仅可以增加密云水库的水源储备,还可对北京市的地下水进行回补,有效遏制地下水水位下降趋势。这里面又有什么科技问题呢?基于地下水调蓄区内再生水利用的现状及水文地质条件,课题组围绕“能不能补?在哪儿补,怎么补?”等关键技术环节开展室内模拟试验及现场试

验,并运用数学模型进行跨流域调水回补的情景分析。第一,“能不能补?”是个机理性问题。课题组初步查清了南水北调水源经过包气带入渗过程中阳离子交换吸附以及氨氮解吸、硝化反应等复杂的水岩相互作用机理,明确了南水北调水源对地下水的



密云水库智能化综合集成生物预警监测站



潮白河再生水补给河段生态恢复

稀释作用占主导地位。试验表明,南水北调水源为优质水源,其中的化学组分浓度较低,南水北调水源入渗过程中,地下水的硬度和盐分呈降低的变化趋势,地下水水质得到稀释淡化,水质改善效果较为显著。第二,“在哪儿补,怎么补?”是个工程技术问题。课题结合南水北调水源状况、调水路由和再生利用河段,制定了4种南水北调水源回补与再生水利用调控方案,利用数学模型预测了各种调控方案下的地下水水流场和水化学场的变化状况,以地下水资源涵养和地下水水质改善为目标,对各种调控方案进行了比较遴选,确定出最优的调控方案。

据了解,为了进一步论证南水北调水源进入水源地回补的可行性,课题组还利用南水北调水源向潮白河试验补水工程开展了现场监测,结果表明补水效果良好。自2015年8月向潮白河试验补水以来,至2017年11月,已累计向潮白河调水8865万立方米,河道中的南水北调水源快速入渗补给地下水,补给地下水资源量8600万立方米,河道周边的地下水水位最大升幅为18米,地下水资源涵养效果极为显著。

为进一步做好密云、怀柔、顺义等区地下水源地的保护和管理,课题组在200多平方公里的范围内,开展了工业、再生水、畜禽养殖、农业、垃圾填埋场、加油站和入河排污口等七类地下水污染风险源调查,确定不同地下水潜在污染源可能带来的风险因子,形成地下水污染源及污染风险因子清单,通过野外采样测试明确了区内浅层地下水污染因子为氨氮、硝酸盐和邻苯二甲酸二正丁酯。

作为技术储备,课题组开展了污染源地健康风险评估,建立用于阻隔技术筛选的评估指标体系,获得适用于不同目标污染物的工程控制技术。针对区内分布较广泛的加油站风险源,以BTEX作为石油类污染场地典型污染物开展了土壤气相抽提技术(SVE)修复技术研究,在-15℃至0℃低温环境条件下,对苯的去除率达到90%。

从管理方面来说,科学地划分和建立地下水源地保护区是保护地下水源地地的有效手段。课题组构建三维地下水渗流数值模型,分析地下水源地群影响效应,基于质点追踪和GIS空间分析技术,对调蓄区内第八水厂和怀柔应急水源地进行保护区的科学划分。为了最大程度地规避地下水污染风险,保护地下水资源环境,课题组还结合北京市地下水保护和污染防治行动方案,开展了多项工程示范和管理支撑:一是针对报废机井,通过室内的渗透试验和强度试验,筛选出以水泥砂浆为主料,以塑性混凝土、优质黏土、砂砾石为辅助的机井封填材料。制定了第四系松散土层报废机井和基岩报废机井的封填方案,对区域内的183眼报废机井进行了封填,有效阻止了地下水经过井管的单层污染;二是充分利用调蓄区内30眼地下水环境监测井,构建了调蓄区地下水监测与数据管理系统,直观展示流域地下水的水位、水质变化,直观反映流域地下水的水质质量。

在采访过程中了解到,潮白河流域地下水水质保障综合示范区的范围达到210平方公里,地下水质量维持在Ⅲ类水平,区内一块浅层地下水污染场地修复完全达到了既定目标:地下水中的氨氮削减率达到81%,修复后的氨氮浓度达到地下水质量Ⅲ类标准;高锰酸盐指数削减率为51%,修复后的浓度达到Ⅰ类标准;亚硝酸盐削减率高达98%,修复后的浓度达到Ⅱ类标准。

## 水质改善与生境修复并举,构建鱼类种群放养——栖息地环境改良——生境修复系统,改善再生水补给型河道生态

针对水源地下游河道水资源短缺、新蓄水段的水生态系统不完整、水生态功能不稳定等难题,课题组基于多年再生水补给型河道水质改善经验,筛选出“管用、好用、实用”的技术,并进行技术提升。一方面采用快速渗滤的技术原理,针对性研发河道滤井循环净化技术,对藻类具有良好的去除效果,有效抑制水华发生;研发了基于传统生物浮床原理的悬浮式人工湿地。考察了填料类型、植物配置与生长状况、曝气量等参数下运行效果。以该技术为核心的河道水体旁路强化净化生物塘技术非常适合处理合流制排水口及雨水口的排水。另一方面,研究鱼类在再生水水质条件下的生长变化,揭示鱼类栖息地环境、生态特征与调蓄区下游河道理化环境之间的关联性,明确了影响调蓄区鱼类生长的最主要理化因子为总氮和溶解氧。研究通过鱼类先锋种类、投放条件特点,提出了补水河道的鱼类种群恢复原则,通过生态修复和生境改良措施,形成适于鱼类恢复的生态环境;通过河岸水陆交错带进行跟踪监测并开展植物配置研究,掌握了不同植物配置方式的缓冲带对污染物的去除率和沿程变化趋势,对各类岸带水生植物配置提出合理化建议,为补水条件下的水陆交错带水生植物恢复及污染物净化提供科学依据。

基于以上水质保障和生态修复成套技术,顺义区在潮白河建设完成了水生植物恢复、悬浮式人工湿地旁路净化、人工滤井净化、鱼类种群重建等多样化生态工程建设,生态补水保障了干涸河道的生态基流,河道生态环境明显改善。来到潮白河畔,当你在岸边向远处眺望,清清的河水与岸边的丛林相互辉映,美景尽收眼底。

潮白河流域只是海河流域特别是京津冀地区众多河流流域中一个典型代表,面对京津冀地区共同的水安全关键问题与挑战,课题以保障水源地水质安全为核心目标,建立了集风险评估——监测预警——保护与治理于一体的流域水质维持及生态修复技术体系,支撑了水专项“从源头到龙头饮用水安全多级屏障与全过程监管”重大标志性成果。研究成果将为京津冀受水区水安全保障和水生态环境建设提供有力支撑。

刘晓明