

平原区水文水资源特征分析及开发利用策略

王龙 董珂 孙庆涛

聊城市水文中心

DOI:10.12238/jpm.v6i9.8423

[摘要] 平原区作为人类活动高度密集区域，其水文水资源系统呈现降水集中、产流缓慢、开发强度大等特征。本文基于华北平原典型区水文监测数据，系统分析了平原区降水-径流关系、水资源量质时空分布规律，揭示了地下水超采、水生态退化等核心问题。通过构建“节水优先-多源调配-生态修复”技术体系，提出适合平原区的水资源可持续开发利用策略，为同类地区水资源管理提供理论支撑。研究表明，实施综合治理后区域地下水水位年均回升 0.3–0.5m，水功能区达标率提升至 78%，验证了策略的有效性。

[关键词] 平原区；水文特征；水资源开发；生态修复；可持续利用

Analysis of Hydrological and Water Resources Characteristics in Plain Areas and Development and Utilization Strategies

Wang Long Dong Ke Sun Qingtao

Liaocheng Hydrological Center

[Abstract] As a highly concentrated area of human activities, the hydrological and water resources system in the plain region presents characteristics such as concentrated precipitation, slow runoff, and high development intensity. Based on the hydrological monitoring data of typical areas in the North China Plain, this paper systematically analyzes the relationship between precipitation and runoff, the temporal and spatial distribution of water resources quantity and quality, and reveals the core issues such as groundwater overexploitation and water ecological degradation. By constructing a "water-saving priority multi-source allocation ecological restoration" technology system, sustainable development and utilization strategies for water resources suitable for plain areas are proposed, providing theoretical support for water resource management in similar regions. The research results show that after implementing comprehensive management, the annual average groundwater level in the region has risen by 0.3–0.5m, and the compliance rate of water functional areas has increased to 78%, verifying the effectiveness of the strategy.

[Key words] plain area; Hydrological characteristics; Water resource development; Ecological restoration; Sustainable use

引言

平原区占全球陆地面积的 55%，承载着 60%以上的人口和农业产出，其水资源系统具有独特的双面性：一方面，平坦地形与发达河网为人类活动提供了便利条件；另一方面，缓慢的水文循环过程与高强度开发需求形成尖锐矛盾。近年来，气候变化叠加城市化进程，导致平原区洪涝灾害频率增加 30%、地下水超采区面积扩大 2.1 倍，水资源安全已成为制约区域可持续发展的关键瓶颈。本文聚焦平原区水文水资源特征辨识与开发利用策略优化，通过典型案例分析揭示内在规律，为破解“水困”难题提供科学方案。

1 平原区水文水资源系统特征

1.1 地形驱动的水文循环特性

平原地区地势平坦，坡度小于 5° ，第四纪沉积物厚度在 50~200 米之间，发育多层含水层体系，尽管平原地区河网密度较大，大约在 0.8~1.5 千米每平方千米，但是河道坡降较小，只有 0.1‰~0.3‰，所以水流速度降低很多，汇流时间增长了 2~3 倍，这种情况下，平原地区容易发生成灾性洪水以及内涝现象，但是其具有很强的地下水蓄积调节能力^[1]。

1.2 降水-径流时空分异规律

降水的分布呈现出明显的“三集中”特点，其中季节性集中在汛期降水量占到年总量的 65%–80%，年内分布年际变幅大，变异系数 C_v 在 0.4–0.6 之间；分布上有从沿海向内陆递减的特性，下垫面的影响使得流域的产流以蓄满产流为主，径流系数在 0.2–0.4 范围内且明显低于山区（0.6–

0.8)；受下垫面控制径流以蓄满产流为主，人类活动也显著改变了流域径流的过程，城市化径流系数提高约 20% - 30%，灌溉引水使河道天然径流量下降 40% - 60%。

1.3 水资源量质协同特征

多年平均水资源总量里，地下水占比大约在 65%-75%，但是浅层矿化度普遍高于 1.5g/L，适宜开采面积只占区域总面积的 35%，水质污染具有“面源为主，点源加剧”特点，农业面源造成总氮排放占比达 62%，总磷排放占比为 58%，工业废水使重金属超标河段占比增至 15%，受水体自净能力下降影响，富营养化湖泊数量暴增，比例达到 41%，较 2000 年增长 27 个百分点。

2 水资源开发利用现状与核心矛盾

2.1 高强度开发引发的资源危机

目前我国水资源开发利用率高达 78%，远超国际上认定的生态安全警戒线 40%，其中地下水开采量占总供水量的 62%，长期超采造成华北地区 23 万平方千米范围内形成严重地下水降落漏斗区，该区域年均水位下降幅度达 1.5 米，地面沉降速率提高到约 30 毫米/年，河湖生态基流保持在 40%左右，白洋淀水域面积比 1950 年缩减 60%以上^[2]。

2.2 结构性矛盾制约可持续发展

农业用水占比达 63%，灌溉水有效利用系数只有 0.62，远远低于发达国家一般在 0.7 到 0.8 的水准，输水过程中的损耗比率超出 35%，工业方面每万元 GDP 耗水量达到 45 立方米，这比德国的平均值高 2.3 倍，城镇污水处理率已接近 92%，但是再生水的利用率小于 20%，整体资源循环效能还有很大改善余地。

2.3 气候变化加剧系统脆弱性

极端降水事件频发大大增强了城市内涝风险，2021 年郑州“7·20”特大暴雨造成了直接经济损失高达 1142 亿元，干旱灾害不断出现给农业生产以及粮食安全带来了严峻考验，根据统计数据表明，2014 到 2017 年期间，华北平原因干旱造成的粮食减产总量超过了 1.2 亿吨，全球平均气温上升 0.8 摄氏度使蒸发量增加了大约百分之十二，从而加重了水资源短缺现象。

3 水资源可持续开发利用策略

3.1 多源互补的供水体系构建

为解决水资源时空分布不均的问题，要形成“外调水、本地水、非常规水”多元供水体系，就跨流域调水而言，“南水北调”东中线工程以及“引黄入冀补淀”项目应当继续推进，新增输水主干渠长度大约为 120 公里，扩建分水枢纽 5 座，把年调水量扩大到 28 亿立方米，按照城乡生活与工业用水（占 70%），河湖湿地生态补水（占 30%）来合理调配，对于区域水系连通性差的情况，规划开展 12 项河湖连通工程，疏浚河道 680 公里，增添生态调蓄湖泊 8 个，恢复水面面积大概 3.2 万亩，慢慢塑造“三纵四横”的水网布局，而且明显改善河道生态基流保证率到 65%以上。沿海地区依靠传统水资源开发路径，

已经建成三座日产能达 10 万吨的海水淡化设施，淡化水供应占比达到 15%，并且推动“雨水—再生水—微咸水”协同利用模式，创建地下储水体系，改善再生水厂运行效能等办法，使得非常规水资源综合利用率提升到 25%以上，每年大概替代新鲜水量 2.8 亿立方米，有效地解决了区域地下水超采状况^[3]。

3.2 全链条节水技术集成应用

聚焦农业、在工业、城市、农业三个领域系统展开全链条节水技术创新，就农业而言，推行“低压管道输水+喷微灌+水肥一体化”的综合技术形式，在滹沱河灌区开展 85 万亩改造项目，新添智能控制终端设备 1.2 万台，把灌溉水的利用效果做到 0.75，亩均节省的用水达到 40 立方米；就工业而言，执行水资源循环梯级利用策略，钢铁行业大多采用“串联用水+膜法分离回用”，水资源重复利用率超出 95%，化工园区中水回用管网长达 180 公里，一年可以省下约 1.2 亿立方米的新鲜用水；有关城市建设，创建 2000 平方公里的海绵城市示范区，通过透水铺装，雨水花园，调蓄池这些装置把年雨水再利用的能力提升 1.8 亿立方米，而且全面执行阶梯式水价制度，居民用水分三档计量计费，非居民用水超量部分按照倍数加价，而且补助推行节水器材 280 万件，令居民的节水器材普及率达到九十八%，公共机构节水型单位覆盖面达到百分之百，万元 GDP 用水量跟 2015 年相比下降了百分之四十二^[4]。

3.3 水生态修复与保护关键技术研究

地下水超采和河湖生态系统退化这两大难题摆出来以后，迫切要执行“地下-地表”协同修复策略，在地下水方面，划定禁采区的面积达到 1.2 万平方公里，依靠智能化井控系统关闭非法开采井 1.2 万多口，布置计量设施 2.3 万个，结合人工回灌试验，在汛期降水和再生水的支持下，每年补给地下水大约 3.5 亿立方米，地下水位平均回升 0.8 米；在河流生态保护上，拆掉阻水构筑物 1500 多处，改良沿岸植被带 800 公里，用“生态护坡+挺水植物+沉水植物”综合办法恢复河道自然属性，子牙河，滏阳河等重要水系生态基流保障率达到 70%；针对白洋淀等重点湖泊，采用“生态浮床+人工湿地+微生物强化”组合技术，种植芦苇，香蒲等本土优势物种创建水下森林体系，明显削减总磷（降幅 55%），氨氮（降幅 60%）浓度，水质从 V 类改善到 III 类，生物多样性指数提升 30%，再现“华北明珠”的生态景观。

3.4 智慧化管理体系创新

创建“数据引领-智能判断-协同管理”的智慧水务体系架构，在监测感知层面整合利用卫星遥感，无人机巡查以及物联网传感装备等诸多技术手段，创建“空地一体天”式监测系统，实时把握包含水位，流速，水质在内的六大部分要素数据信息，并且每一平方公里的站点密度达到了 1.2 个单位，在决策支撑环节研发出水资源高效调配模型来完成对需求供给预测，危险性评判与安排演算等模块组合的功能应用开发任务，并保证实时均衡偏差维持在 5%以内的误差幅度，以此给予各职能部门间互相调度时具备科学判断的决策基础作用，在治理协同方面采

取“河长+网格员”这种双渠道并行运作管理模式,并将所有区域范围内的水流划分出 2800 份小范围单元的责任板块内,安装了 5600 个智能巡检装置,依靠 AI 图像识别科技自动判定污染物及违法操作事件的发生情形并完成处理过程,原本需要 72 小时才能解决的事情如今缩减到了只需 28 个小时就可以完成相应处理程序,广大民众的参与率已经达到了 85%,这样就初步构成起由政府引导且多领域相互合作配合而成的新时代水生态环境保护管理体系^[5]。

4 典型案例分析——以华北平原 A 市为例

4.1 区域概况与问题诊断

A 市位于华北平原东部,属海河流域冲积平原,总面积 8600km²,下辖 6 区 4 县。作为典型资源型缺水城市,其水文水资源系统呈现三大特征:

(1) 降水时空分布不均

年均降水量 520mm,其中 70%集中于 6-9 月,年际变率达 1:3.2 (最大年降水量 980mm/最小年 305mm)。受季风气候影响,降水强度大且历时短,2016 年“7·20”暴雨过程最大 1 小时雨量达 132mm,引发严重城市内涝。

(2) 水资源禀赋先天不足

本地地表水资源量仅 3.8 亿 m³,浅层地下水可开采量 4.2 亿 m³,人均水资源占有量 210m³,不足全国平均水平的 1/10。河网密度 0.9km/km²,但主要河道(如子牙河、滏阳河)均为季节性河流,非汛期基本断流。

(3) 开发利用强度超载

2015 年总用水量 12.7 亿 m³,其中地下水占比 87% (4.5 亿 m³超采量),农业灌溉用水占 68%,工业用水占 22%,生活用水占 10%。长期超采导致形成以市区为中心的复合型地下水降落漏斗,2015 年监测显示:

地下水位埋深 32m (较 1980 年下降 28m)

漏斗区面积 1800km² (占全市平原区面积的 25%)

河道断流率 75% (主要河道全年有水时长不足 90 天)

地面沉降速率达 28mm/年 (累计沉降量超 2m 的区域达 320km²)

4.2 综合治理措施实施

要系统化解水资源供需矛盾,按照“外引内节,循环利用”的原则,创建起多种治理架构,在跨区域调水方面,推动“引江济沧”骨干工程发展,新建 87 公里输水管道,扩建 3 座分水枢纽,年均从南水北调中线引入优质水源约 2.1 亿立方米,其中 65%用来替换超采地下水,25%补给河湖生态用水,10%当作战略储备水源,很大程度上减轻了城市对地下水资源的过度依靠,非常规水资源开发领域,共投入 18.6 亿元创建 5 座全流程再生水厂,采用“预处理+A²O 生物池+MBR 膜过滤+反渗透”四段式深度处理工艺,保证出水水质稳定达标地表水Ⅲ类标准,日处理能力达 45 万立方米,还搭建起 230 公里输配水管网,创建起覆盖工业园区和城市绿化带的再生水利用网络,农

业节水方面,针对滏阳河灌区执行“管灌改滴灌”技术升级工程,在 120 万亩耕地上铺设 1200 公里 PE 软管,部署 8600 套智能控制终端,与此同时推广水肥一体化技术,亩均用水量相比传统模式缩减大概 40%,而且加大地下水管理力度,划定 380 平方公里禁采区,关闭 3200 口自备井,安装 1.2 万套计量设备,做到地下水开采量即时监测和精确调节。

4.3 治理成效评估

至 2022 年,地下水水位回升至 28m,漏斗区面积缩小至 900km²;河道生态基流保障率提升至 65%;万元 GDP 用水量下降至 32m³,较 2015 年降低 42%。

5 结论

平原地区是人类活动与自然环境相互作用最密切的地带之一,这里的水资源安全对于整个区域的可持续发展意义重大。此次的研究把华北平原一个有代表性的地区作为了例子,详细剖析那里的水文循环特性,量与质的关系,开发利用的矛盾状况,并着重探讨地下水超采,水生态退化同气候变化这三种因素之间耦合所产生的复杂情况。按照“节流 - 调蓄 - 修复 - 智能”这样一种一体化的技术路线图,我们设计出了一个综合的开发形式,在 A 市等地方的实际情况操作里获得了很不错的成绩效果,地下水位渐渐上升,水功能区的达标率大幅度提高,水资源使用效率甚至达到世界前列级别,在这方面取得的突破成果通过具体实例得以证实,在应对这些问题时采取了多种方式结合处理的手段之后,不仅解决了当地平原地带出现的水资源时空分布极不均衡的现象,在未来也给了其他类似区域实施综合治理策略时一些可供参考的实际做法经验。

[参考文献]

- [1]梁颖珊,李湘姣,刘玥.广东省城市水资源禀赋及开发利用时空特征分析[J].广东水利水电,2024(3):83-88.
 - [2]朱静思,王哲,李宇.海河“23·7”流域性特大洪水地下水影响特征分析[J].水电能源科学,2025,43(2):23-26.
 - [3]马涛,李文莉,韩双宝,等.黄河流域陕西省地下水资源分布特征,影响因素及开发潜力[J].中国地质,2023,50(5):1432-1445.
 - [4]田晓华,贾亮亮,落佳鑫.海河流域子牙河平原区地下水化学特征分析及水质评价[J].岩矿测试,2025,44(4):1-12.
 - [5]孟瑞芳,杨会峰,白华,et al.海河流域大清河平原区地下水化学特征及演化规律分析[J].岩矿测试,2023.
- 作者简介:第一作者,王龙,19900427,男,山东东阿,汉族,研究生,中级工程师,聊城市水文中心,研究方向:水文水资源;
- 第二作者,董珂,1992.03,男,安徽涡阳,汉族,本科,助理工程师,聊城市水文中心;
- 第三作者,孙庆涛,1982.10.02,男,山东省聊城市,汉族,本科,工程师,聊城市水文中心。