

地下水超采区综合治理技术与成效分析

阿地力江·哈力力

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.32629/gmsm.v9i2.2433

[摘要] 为解决地下水超采引发的生态退化、水位下降等问题,本文以典型地下水超采区为研究对象,采用现场勘查、监测分析、技术试验与工程示范相结合的方法,系统开展超采区诊断、综合治理技术研发及实施方案优化,构建“管控-替代-回补-修复”一体化治理体系。治理后研究区地下水超采量减少,地下水位回升,超采危害量化指标下降。表明一体化综合治理技术可有效遏制地下水超采态势,提升地下水资源可持续利用能力。

[关键词] 地下水超采区; 综合治理技术; 人工回补; 生态修复; 新疆

中图分类号: P641.8; **文献标识码:** A

Comprehensive Management Techniques and Effectiveness Analysis of Groundwater Over-Extraction Areas

Adilijan Halili

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] To address ecological degradation and declining water levels caused by excessive groundwater extraction in Xinjiang, this study focuses on a typical over-exploitation area in the region. By combining field investigations, monitoring analyses, technical experiments, and engineering demonstrations, the research systematically conducts over-exploitation diagnosis, develops comprehensive management technologies, and optimizes implementation plans. An integrated governance system encompassing "control, substitution, recharge, and restoration" is established. Post-treatment, the study area shows reduced groundwater over-exploitation, rising water levels, and declining quantitative indicators of over-exploitation hazards. The findings demonstrate that this integrated comprehensive management approach can effectively curb groundwater over-exploitation and enhance the sustainable utilization capacity of groundwater resources.

[Key words] groundwater overexploitation areas; comprehensive management techniques; artificial recharge; ecological restoration; Xinjiang

引言

新疆地处西北干旱半干旱区,降水稀少、蒸发强烈,地下水是区域工农业生产及生态用水的重要保障。当前,国内地下水超采治理多侧重单一技术应用,存在技术适配性差、治理成效不稳定、缺乏针对性等不足,尤其是针对新疆干旱区气候、水文地质特点的一体化治理技术体系尚未完善。本研究立足新疆地下水超采区实际,聚焦“精准诊断-技术适配-成效量化”核心,研发适配新疆区域特点的综合治理技术,优化实施方案,为区域地下水超采治理提供技术支撑。

1 地下水超采区概况及诊断

1.1 研究区基本概况

研究区位于新疆天山北麓,涵盖昌吉州、哈密市部分区域,总面积1286km²,属温带大陆性干旱气候,年均降水量186mm,年

均蒸发量2150mm。区域地下水资源总量12.36亿m³,可开采量4.82亿m³,2024年实际开采量5.64亿m³,超采量0.82亿m³,超采率17.01%,主要超采区域集中在农业灌溉区及城镇供水区,水文地质以松散岩类孔隙水为主,含水层厚度18—42m。

1.2 超采区划定与分级标准

依据《地下水管理条例》《全国地下水超采区划定成果》要求,结合研究区水文地质条件,采用“开采量-水位动态”双指标法划定超采区,按超采程度分为一般超采区、严重超采区两级(表1)^[1]。

表1 研究区地下水超采区分级的核心指标及量化标准

超采分级	超采率(%)	年地下水位降幅(m)	含水层疏干程度
一般超采区	5.0-17.0	0.3-0.8	轻度疏干,疏干率<15%
严重超采区	>17.0	>0.8	中度-重度疏干,疏干率≥15%

1.3超采成因及现状诊断

经现场勘查及数据监测分析，研究区地下水超采主要成因包括三方面：农业灌溉方式粗放，滴灌、喷灌等节水技术覆盖率仅62%，灌溉水利用系数0.56，农业开采量占总开采量的81.3%；城镇供水以地下水为主，地表水替代能力不足，地表水供水量仅占总供水量的23.7%；水资源监管机制不完善，监测网络覆盖率仅78%，部分区域存在违规开采现象^[2]。现状诊断显示，研究区超采面积856km²，其中一般超采区502km²，严重超采区354km²，超采区域地下水位较2019年平均下降3.12m，部分严重超采区含水层疏干率达22.7%。

1.4超采危害量化分析

研究区地下水超采引发的危害呈现多元化特征，采用量化指标体系对危害程度进行分析^[3]。选取地面沉降速率、土壤沙化面积占比、植被覆盖率降幅、地下水水质恶化程度4项核心指标(表2)。

表2 超采危害量化数据

危害类型	量化指标	一般超采区	严重超采区	背景值
地面沉降	年沉降速率(mm)	12.3	38.7	≤8.0
土壤沙化	沙化面积占比(%)	18.6	42.1	≤15.0
植被退化	植被覆盖率降幅(%)	9.8	27.5	≤5.0
水质恶化	矿化度升幅(mg/L)	186	523	≤100

2 地下水超采区综合治理技术

2.1地下水开采管控技术

地下水开采管控技术以“总量管控、精准施策、动态监测”为核心，治理单位应开展全域机电井排查，对研究区2386眼机电井逐一核查，建立“一井一档”，明确取水许可量、开采用途、井口坐标及含水层类型，排查出违规机电井179眼，其中超量开采103眼、无许可开采76眼^[4]。实施分级管控措施，一般超采区将年开采量控制在可开采量的94%以内，严重超采区关停违规机电井118眼，剩余机电井开采量削减42%，同步将37眼灌溉机电井转为应急补充灌溉井。完善监测网络，新增监测井96眼，结合原有监测站点实现超采区全覆盖，监测井间距控制在1.3—1.9km，安装自记水位计及在线计量装置，数据每25分钟传输1次，确保数据到报率96%以上。

2.2替代水源供给技术

结合新疆区域水资源禀赋，采用“地表水置换+矿井水资源化+再生水回用”三位一体替代水源供给技术(图1)^[5]。治理单位应推进地表水置换工程落地，依托研究区塔里木河支流、区域性水库等地表水资源，修建输水管道28.6km，建设14万m³调蓄水池1座，设计年引水量342万m³，对原有27.8km灌溉渠道进行防渗改造，防渗系数提升至0.96以上，减少地表水渗漏，置换地下水灌溉面积4.02万亩。开展矿井水资源化利用，针对研究区高盐矿井水特性，采用“混凝沉淀+过滤+一级反渗透+电渗析”联合工艺，建设日处理能力1.02万m³矿井水处理厂，处理后水质达到GB5084-2021《农田灌溉水质标准》，年处理矿井水372.3万m³，

全部用于周边农业灌溉及生态绿化。推进再生水回用，在城镇区域建设再生水处理站2座，采用MBR膜生物反应器工艺，处理规模分别为0.48万m³/d、0.29万m³/d，处理后再生水用于道路清扫、绿化灌溉及工业冷却，年回用再生水285万m³，替代地下水开采量279万m³。

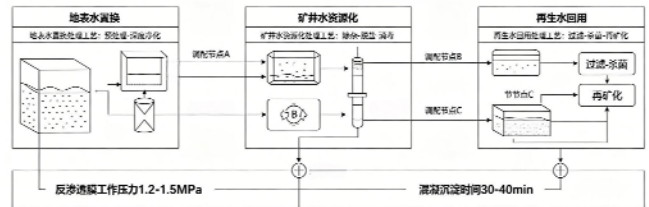


图1 替代水源供给技术工艺流程图

2.3人工地下水回补技术

针对新疆干旱区回补水源不足、入渗效率低的问题，采用“河道生态补水+坑塘回补+辐射井回补”协同回补技术^[6]。治理单位应筛选并净化回补水源，选取符合GB/T14848-2017《地下水质量标准》III类的地表水及处理后矿井水作为回补水源，通过石英砂过滤、活性炭吸附预处理，去除水中悬浮物及有机物，预处理后悬浮物含量≤4.5mg/L，COD≤28mg/L。实施河道生态补水回补，在研究区主要河流断面修建生态补水闸2座，每年6—8月丰水期下放生态补水量77.3亿m³，控制补水流速0.7—1.1m/s，通过河道渗漏回补地下水，预计回渗入渗率达39.2%，覆盖回补面积278km²。建设坑塘回补工程，在严重超采区开挖回补坑塘11座，规格为长48m、宽29m、深7.8m，底部铺设土工布及砂垫层，每座坑塘设计回补量4.8万m³，采用滴灌式回补，控制回补速率0.48m/d，避免扰动含水层。

2.4生态修复配套技术

结合新疆超采区生态退化特征，构建“土壤改良+植被恢复+湿地修复”一体化生态修复配套技术^[7]。治理单位应开展土壤改良，针对沙化、盐渍化土壤，采用“客土改良+微生物改良”结合方式，沙化区域铺设黏粒含量22%—32%的客土，厚度0.28m，混合腐熟羊粪1900kg/亩；盐渍化区域采用淋溶洗盐工艺，每亩灌溉淋溶水量78m³，配合施用脱硫石膏480kg/亩，将土壤含盐量控制在0.3%以下。实施植被恢复，筛选梭梭、红柳、沙棘等11种耐盐先锋植物，采用“育苗移栽+直播造林”结合方式，种植密度2.1株/m²，种植深度0.48—0.78m，种植后采用滴灌灌溉，流量1.9L/h，每周灌溉1次，确保植被成活率达53%以上，全年新增植被覆盖面积2180亩。开展湿地修复，在水位回升区域修复天然湿地7处，总面积116km²，清理湿地周边垃圾及杂草，疏通水系，补充生态用水，控制湿地水位1.1—1.4m，种植芦苇、香蒲等水生植物，提升湿地净化能力。

3 综合治理技术实施方案

3.1技术选型

技术选型遵循“因地制宜、精准适配、经济可行”的原则，开展研究区水文地质、气候条件及超采现状详细勘察，划分不同

超采类型区域,明确各区域核心治理需求^[8]。针对不同区域特点进行技术选型,农业灌溉超采区重点选用地下水开采管控+地表水置换技术,适配农业用水量大、地表水可利用性强的特点;城镇供水超采区选用再生水利用+人工回补技术,适配城镇用水集中、回补空间充足的特点;生态敏感超采区选用生态修复+人工回补技术,适配生态脆弱、需优先恢复生态功能的特点。

3.2 实施流程

综合治理技术实施流程分为前期准备、分阶段实施、监测评估三个阶段,前期准备阶段(1-2个月),完成超采区排查、监测网络建设、技术试验及方案优化,明确各技术实施节点及责任分工^[9]。分阶段实施阶段(3-12个月),第一阶段(3-6个月)实施地下水开采管控及替代水源供给工程,第二阶段(7-9个月)实施人工地下水回补工程,第三阶段(10-12个月)实施生态修复配套工程。监测评估阶段(每月),开展技术实施效果监测,及时优化调整实施方案。

4 地下水超采区综合治理成效分析

以新疆哈密市伊州区地下水超采区为典型案例,该区域总面积420km²,属严重超采区,2024年开采量1.87亿m³,可开采量1.23亿m³,超采率52.03%,采用本文构建的“管控—替代—回补—修复”一体化综合治理技术,实施期限1年。实施地下水开采管控,关停违规机电井47眼,削减开采量0.64亿m³;建设地表水置换工程,年引地表水0.42亿m³,置换地下水灌溉面积1.8万亩;实施人工回补工程,建设辐射井1眼、回补坑塘4座,年回补量0.18亿m³;开展生态修复工程,改良土壤8000亩,种植耐盐植被650亩,修复湿地3处。治理成效通过监测数据量化分析(表3)。

表3 新疆哈密市伊州区地下水超采区综合治理成效

监测指标	治理前	治理后	变化量	变化率(%)
地下水开采量(亿 m ³)	1.87	1.23	-0.64	-34.22
地下水位(m)	62.3	62.71	+0.41	+0.66
土壤含盐量(%)	0.58	0.32	-0.26	-44.83
植被覆盖率(%)	28.7	42.3	+13.6	+47.39
地面沉降速率(mm/年)	38.7	19.2	-19.5	-50.39

该区域经综合治理后,地下水开采量降至可开采量范围内,地下水位实现止跌回升,土壤含盐量显著下降,植被覆盖率大幅

提升,地面沉降速率减半,各项指标均得到明显改善,表明一体化综合治理技术可有效遏制超采态势,治理成效显著,适配新疆严重超采区治理需求。

5 结语

针对新疆地下水超采区生态环境脆弱、治理难度大、现有技术适配性差等问题,开展地下水超采区综合治理技术研究,通过超采区精准诊断,构建“管控—替代—回补—修复”一体化综合治理技术体系,优化实施方案,明确技术操作流程、关键参数及控制要点,结合典型案例验证技术成效。研究表明,该技术体系可有效压减地下水超采量,提升地下水位,改善区域生态环境,解决了单一技术治理成效不稳定的难题,具有较强的针对性和实用性。

[参考文献]

- [1]张宛宛,杨晓灵.南方典型地下水超采区综合治理特点和手段——以广东省湛江市为例[J].中国水利,2022(7):86-88.
- [2]魏怀斌,赵士威,刘静,等.地下水超采综合治理效益评价[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2024,45(3):51-59.
- [3]山西省水利厅.山西省地下水超采综合治理实践成效[J].中国水利,2022(6):前插9-前插14.
- [4]刘聪丽,刘飞,甄品娜,等.河北典型压采区地下水水化学变化特征及控制因素[J].环境科学,2025,46(4):2193-2205.
- [5]李磊,李伟.基于成本收益分析“一提一补”节水政策实施问题与对策研究[J].中国农村水利水电,2023(8):180-184.
- [6]王志恒,梁永平,史浙明,等.古堆—南梁泉域岩溶水环境问题现状与泉源区保护[J].地质科技通报,2023,42(5):228-240.
- [7]李磊,李伟,常宝军,等.超采区农业取用地下水管理指标研究[J].中国水利,2023(3):47-50.
- [8]李晓婕,丁蓓蓓,张雪靓.河北省浅层地下水超采区土地利用适宜性评价[J].农业资源与环境学报,2022,39(5):990-1000.
- [9]王锋,候雅东,刘翠,等.阿克苏地区温宿县地下水超采区评价[J].能源与环保,2022,44(5):107-113.

作者简介:

阿地力江·哈力力(1999—),男,维吾尔族,新疆阿图什人,硕士,从事研究方向:水文地质。