

咸水利用与超采区水资源补充协同治理研究

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.v9i3.2470

[摘要] 为破解咸水利用率低与地下水超采并存的矛盾,实现水资源高效利用与生态保护协同发展,本文以典型超采区为研究对象,开展咸水利用与超采区水资源补充协同治理研究。通过构建分质适配、水盐平衡、长效联动的治理体系,实施咸水分级淡化、井群协同回灌等关键技术,完成1200m³/d咸水淡化系统搭建及30眼回灌井群布设,得出不同矿化度咸水淡化参数及回灌效率数据,验证了协同治理模式的可行性。研究表明,该协同治理模式可有效提升咸水利用率,补充超采区地下水,解决新疆巴楚县干旱半干旱地区水资源短缺与超采问题。

[关键词] 咸水利用; 地下水超采区; 协同治理; 分级淡化; 井群回灌

中图分类号: TV213.9 **文献标识码:** A

Research on Collaborative Management of Saltwater Utilization and Water Resource Supplement in Overexploited Areas

Adilijiang Halili

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

[Abstract] In order to solve the contradiction between low utilization rate of saline water resources and overexploitation of groundwater, and to achieve the coordinated development of efficient utilization of water resources and ecological protection, this paper takes typical overexploited areas in Xinjiang as the research object, and conducts research on the coordinated governance of saline water utilization and water resource supplementation in overexploited areas. By constructing a governance system that adapts to different qualities, balances water and salt, and promotes long-term linkage, key technologies such as graded desalination of saline water and coordinated reinjection of well clusters were implemented. A 1200m³/d saline water desalination system was built and a group of 30 reinjection wells were arranged. Different salinity saline water desalination parameters and reinjection efficiency data were obtained, verifying the feasibility of the collaborative governance model. Research has shown that this collaborative governance model can effectively improve the utilization rate of saline water resources, supplement groundwater in overexploited areas, and solve the problems of water scarcity and overexploitation in arid and semi-arid regions of Xinjiang.

[Key words] utilization of saline water; Groundwater overexploitation area; Collaborative governance; Graded dilution; Well group reinjection

引言

新疆地区气候干旱少雨,年降水量不足200mm,蒸发量却高达1500—2500mm,水资源供需矛盾突出。该区域地下咸水资源丰富,总量约200亿立方米,占全国咸水资源总量的三分之一,但资源化开发利用不足5%,而天山南北麓、吐哈盆地等区域地下水超采问题突出,2025年前曾长期处于开采量大于补给量的状态。目前,国内外相关研究多集中于咸水淡化单一技术或地下水超采单一治理,存在治理碎片化、咸水利用与地下水补充脱节、忽视水盐平衡引发次生生态风险等不足。本研究创新构建咸水利

用与超采区补水协同治理体系,聚焦分质适配、水盐平衡与长效联动核心要点,优化咸水分级淡化与井群回灌技术,提升水资源利用效率,缓解地下水超采压力。

1 项目概况

本项目选址于新疆巴楚县,该区域属于典型干旱半干旱气候,年平均气温11.8℃,年降水量105mm,年蒸发量2200mm,地下水超采面积达86km²,超采量年均120万m³,地下水位年均下降0.35m。区域地下咸水矿化度分布在1.2—5.8g/L,其中矿化度1.2—3.0g/L的微咸水占比68%,3.0—5.8g/L的咸水占比32%,咸水

资源总量约1.8亿m³，具备规模化开发利用条件。项目占地面积18.6亩，主要建设咸水取水系统、分级淡化处理系统、井群回灌系统及监测管控系统，设计咸水处理规模1200m³/d，回灌补水量800m³/d，服务超采区周边12个村落及2.3万亩耕地，兼顾生态补水与农业灌溉补水需求，项目建设期12个月，运行期规划10年。

2 协同治理要点

2.1 分质适配

分质适配需根据咸水矿化度分级处理，结合不同用水需求实施精准匹配^[1]。治理单位需采用钻井取样方式，在项目区布设28个取样点，深度范围15—80m，检测各取样点咸水矿化度、pH值、硬度等指标，划分微咸水（1.2—3.0g/L）、中咸水（3.0—5.0g/L）、高咸水（5.0—5.8g/L）三个等级。区分农业灌溉、生态补水、生活杂用三类用水，明确各类用水水质标准。微咸水经简易过滤处理后用于农业滴灌，中咸水经深度淡化至矿化度≤1.0g/L后用于生态补水，高咸水经多级淡化至矿化度≤0.5g/L后用于生活杂用，同步搭建输水管道，实现分质输水、精准供给（表1）。

表1 不同等级咸水的处理工艺、适配用水类型及核心参数

咸水等级	矿化度范围(g/L)	处理工艺	适配用水类型	日处理量(m ³)	处理后矿化度(g/L)
微咸水	1.2-3.0	石英砂过滤+活性炭吸附	农业滴灌	700	1.0-2.5
中咸水	3.0-5.0	超滤+反渗透	生态补水	400	≤1.0
高咸水	5.0-5.8	预处理+二级反渗透	生活杂用	100	≤0.5

2.2 水盐平衡

水盐平衡需控制咸水淡化副产盐排放与回灌水质，避免土壤盐碱化与地下水污染^[2]。治理单位需在咸水淡化系统末端设置盐分离装置，收集淡化过程中产生的副产盐，采用蒸发结晶工艺进行固化处理，避免高盐废水直接排放。建立水盐监测网络，在回灌井周边、农业灌溉区、生态补水区布设32个监测点，每周监测土壤含盐量、地下水矿化度及pH值。根据监测数据动态调整淡化工艺参数与回灌量，确保回灌水质符合标准，同时控制农业灌溉区咸水用量，避免盐分在土壤表层累积。基于根区水盐平衡原理，计算水盐平衡，具体公式如下所示：

$$SW = \sum(W_{in} \times C_{in}) - \sum(W_{out} \times C_{out}) - S_{ads} \quad (1)$$

式中：*SW*为研究区域土壤盐分累积量(kg)；*W_{in}*为输入水量(m³)，包括咸水灌溉量、降水量；*C_{in}*为输入水含盐量(kg/m³)；*W_{out}*为输出水量(m³)，包括地表径流量、地下水补给量；*C_{out}*为输出水含盐量(kg/m³)；*S_{ads}*为土壤吸附盐分量(kg)，通过室内试验测定，取值范围为0.8—1.2kg/m²。通过该公式可精准计算土壤盐分累积情况，为水盐调控提供数据支撑。

2.3 长效联动

长效联动需实现技术落地与管理保障的协同推进，治理单位应组建技术与管理专项团队，明确分工，技术团队负责淡化设

备运维、回灌技术优化，管理团队负责用水调度、监测数据整理及政策落实^[3]。建立“技术研发、工程施工、监测评估、优化完善”闭环机制，每月开展技术复盘，每季度进行效果评估，及时解决设备故障、水质不达标等问题。衔接地方水利、农业、生态环境部门，建立信息共享机制，同步落实水资源税差异化征收政策，倒逼用水主体规范用水。通过技术团队、管理团队与地方职能部门的协同配合，确保协同治理工作持续稳定推进，避免出现技术与管理脱节问题。

3 协同治理方案

3.1 咸水分级淡化，提升补水适配性

咸水分级淡化采用“预处理—分级过滤—淡化分离”的工艺流程，治理单位应开展咸水取水，通过布设的12眼取水井抽取地下咸水，取水深度30—60m，取水流量控制在50m³/h，经管道输送至预处理车间^[4]。采用格栅过滤去除大颗粒杂质，过滤精度为0.5mm，再通过石英砂过滤去除悬浮物，悬浮物去除率≥95%，随后加入PAC混凝剂（投加量20—30mg/L），静置沉淀30min，去除胶体物质^[5]。微咸水采用活性炭吸附处理，吸附时间40min，去除异味及部分有机物；中咸水采用超滤+反渗透工艺，超滤膜孔径0.01μm，反渗透膜压力控制在1.2—1.5MPa，脱盐率≥90%；高咸水采用预处理+二级反渗透工艺，一级反渗透压力1.5—1.8MPa，二级反渗透压力2.0—2.2MPa，脱盐率≥98%。水质检测，每小时检测淡化后水质，确保符合对应用水标准，不合格水返回预处理环节重新处理。

3.2 井群协同回灌，精准补充超采地下水

井群协同回灌采用“分区布设—分层回灌—精准调控”的方案，治理单位应进行回灌井布设，根据超采区地下水位分布，将项目区划分为3个回灌分区，每个分区布设10眼回灌井，井深80—100m，井径300mm，相邻回灌井间距500m，回灌井采用滤水管结构，滤水段长度15m，滤料选用石英砂，粒径0.5—1.0mm^[6]。将淡化后的中咸水（矿化度≤1.0g/L）进行二次过滤，去除细小杂质，确保回灌水质无悬浮物、无异味。根据地下水含水层分布，浅层含水层（15—40m）回灌量控制在20—25m³/h，深层含水层（40—80m）回灌量控制在15—20m³/h，采用间歇回灌方式，每回灌4小时暂停1小时，避免回灌压力过大导致井壁坍塌^[7]。实时监测回灌井水位、回灌量及回灌水质，每2小时记录一次数据，当回灌水位上升速率超过0.05m/h时，适当降低回灌量。

3.3 分域精准管控，强化技术落地保障

分域精准管控围绕“用水管控—设备管控—监测管控”三个维度展开，治理单位应实施分域用水管控，将项目区划分为农业灌溉区、生态补水区、生活杂用区，农业灌溉区实行定额用水，每亩灌溉定额控制在280m³，采用智能滴灌系统，灌溉时间集中在清晨或傍晚，减少水分蒸发；生态补水区根据植被生长需求，每月补水2次，每次补水量1.2万m³，重点补给周边荒漠植被；生活杂用区实行计量用水，安装智能水表，严控用水量^[8]。建立设备台账，对淡化设备、回灌设备、输水管道进行每日巡检，每周清洁维护，每月全面检修，及时更换损坏的滤芯、密封圈等部件，

确保设备运行效率,淡化设备运行负荷控制在85%—95%^[9]。完善监测网络,新增15个地下水监测井、8个土壤监测点,采用自动化监测设备,实时采集地下水位、土壤含盐量、淡化水质等数据,数据传输频率为1次/小时,建立监测数据库,实现数据可视化管

4 协同治理效果分析

本研究选取新疆巴楚县超采区协同治理工程作为案例,该案例实施周期为12个月,涵盖咸水利用、地下水回灌、分域管控全流程。采用本研究提出的分质适配、水盐平衡、长效联动治理要点,实施咸水分级淡化方案,搭建1200m³/d分级淡化系统,布设30眼回灌井群,划分3个回灌分区、3个用水管控区,建立完善的监测管控体系与长效联动机制,同步落实水盐平衡调控措施,收集淡化副产盐120吨,实现无害化处理。治理过程中,全程监测地下水位、咸水利用率、土壤含盐量等指标,获取连续监测数据(表2)。

表2 案例治理过程中核心监测指标的变化数据

监测指标	治理前(平均值)	治理6个月(平均值)	治理12个月(平均值)	监测频次	监测点位数量(个)
地下水位(m)	38.6	38.9	39.2	1次/天	15
咸水利用率(%)	4.2	38.5	45.3	1次/周	12
土壤含盐量(g/kg)	3.8	3.5	3.2	1次/周	8
淡化水达标率(%)	-	97.2	98.8	1次/h	3
回灌效率(%)	-	88.6	92.1	1次/2h	30

治理12个月后,地下水位较治理前上升0.6m,咸水利用率提升41.1个百分点,土壤含盐量下降0.6g/kg,淡化水达标率达98.8%,回灌效率达92.1%,表明该协同治理方案可有效补充超采区地下水,提升咸水资源利用率,同时控制土壤盐分累积,未引发次生态风险,治理效果符合预期。结合监测数据分析,咸水分级淡化工工艺适配新疆地区咸水水质特点,井群协同回灌可精准补充地下水,分域管控措施保障了治理技术的落地见效,三者协同形成的治理体系,解决了单一治理模式的弊端,具备较强的针对性与可操作性。

5 结语

针对新疆地区咸水资源利用率低与地下水超采并存的问题,本研究开展咸水利用与超采区水资源补充协同治理研究,结合

新疆巴楚县工程实际,明确了协同治理要点,优化了咸水分级淡化、井群协同回灌等关键技术,提出了分域精准管控方案,通过工程案例验证了治理模式的可行性与有效性,为区域水资源可持续利用提供更有力的支撑。

[参考文献]

[1]刘利宁,张长锋,马长健,等.咸水灌溉改良滨海盐碱地的适用性研究进展[J].中国生态农业学报(中英文),2025,33(10):1909-1921.

[2]郑健,刘俊彦,宿智鹏,等.微咸水与沼液一体化灌溉对设施番茄干物质累积和产量品质的影响[J].灌溉排水学报,2024,43(9):1-11.

[3]范鹤至,杨鹏年,张胜江,等.新疆尉犁县绿洲区微咸水水化学特征及可利用潜力分析[J].人民黄河,2024,46(5):98-103.

[4]马强,苗国文,朱明霞,等.干旱咸水湖沉积型富硒土地的划定及开发利用探讨——以青海省洪水泉为例[J].物探与化探,2025,49(4):973-979.

[5]倪刚,贺晨,曾溢,等.盐碱地咸水/微咸水农业安全与高效利用研究进展与展望[J].灌溉排水学报,2023,42(12):149-156.

[6]高会,赵亮,刘斌,等.河北滨海盐碱地浅层轻度咸水资源冬小麦灌溉安全利用研究[J].中国生态农业学报(中英文),2023,31(7):1102-1109.

[7]赵立春,孟祥春,陈闯,等.临湖露天采动条件下水资源精准辨识及控水模式对比研究[J].矿产与地质,2025,39(5):1096-1103.

[8]井淼,张江江,刘瑾,等.水位、水量、产量联控的华北平原地下水超采区节水灌溉多目标优化[J].水资源保护,2025,41(2):184-192.

[9]李传科,徐扬,鲁帆.基于逐步回归的地下水超采区水位预测及控制指标研究[J].中国水利水电科学研究院学报(中英文),2023,21(4):360-368.

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。