

潮汐河水水质变化及影响因素分析

王慧, 王绍聪, 刘英, 张春霞

山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250013

DOI:10.61369/ETQM.2026010022

摘要 : 潮汐河段的水质会因海水的定时性侵入而产生大幅改变, 其关键之处在于含盐量的变动情况。文章全面剖析了潮汐河水盐度在时空维度上的变化规则, 涵盖倒灌时期盐度的变化幅度、时间特性以及不同海域之间的差别。研究探寻了盐度起伏给离子合成、营养盐、有机物质以及微生物等水质要素带来影响的原理, 而且考量了由于这种情况而产生的饮用水不安全因素、工业设备被腐蚀现象、污水处理费用增加等问题。最后, 从预警监测、水源调度与工艺强化等方面提出适应性对策, 为潮汐河网地区的水资源安全保障提供理论依据和管理思路。

关键词 : 潮汐河水; 水质变化; 含盐量; 海水倒灌; 生产用水; 生活用水

Water Quality Variation and Influencing Factors of Tidal River

Wang Hui, Wang Shaocong, Liu Ying, Zhang Chunxia

Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co., LTD., Jinan, Shandong 250013

Abstract : The water quality in tidal river sections undergoes significant fluctuations due to periodic seawater intrusion, with salinity variations being the key factor. This study comprehensively analyzes the spatiotemporal patterns of salinity changes in tidal rivers, examining variations in salinity amplitude, temporal characteristics, and regional differences during backflow periods. The research explores how salinity fluctuations affect water quality parameters including ion composition, nutrient levels, organic matter, and microbial communities. It also addresses associated challenges such as drinking water safety risks, industrial equipment corrosion, and increased wastewater treatment costs. Finally, adaptive strategies are proposed from three dimensions: early warning monitoring, water source management, and process optimization, providing theoretical foundations and management approaches for water resource security in tidal river networks.

Keywords : tidal river; water quality change; salinity; seawater backflow; production water; domestic water

引言

潮汐河流位于陆地和海洋之间, 其水文过程和水质特征受海洋潮汐动力强烈约束。海水定时回流是这类水域最突出的特点之一, 造成河水盐度、离子合成以及各种污染物浓度出现复杂规律性的改变。这样的水质动态波动给沿岸地区的供水安全、生态系统健康以及工业生产可持续性带来直接而重大的考验。所以, 深入了解潮汐河水水质, 特别是含盐量的改变规律及其激发机制, 科学考量其对社会经济活动的潜在影响, 并找寻有效的解决办法, 具备重要的理论价值和实际意义。本文力求系统整理有关本质规律, 为相关领域的研究与实践提供清晰框架。

一、潮汐河水含盐量变化特征

(一) 海水倒灌期间含盐量变化范围

海水倒灌直接造成潮汐河水含盐量增大。当潮汐动力很强时, 海水会大量逆流到上游河段, 从而致使河口以及上游河段的水体盐度短期内大幅上升。这种变化幅度很大, 水体盐度可能由

淡水迅速升至接近甚至达到当时海水的盐度。这种变化幅度受上游径流量大小的强烈制约。在枯水季节或者特枯年份, 上游来流对海水的顶托作用减弱, 海水倒灌距离更远, 强度更大, 造成影响河段盐度峰值更高, 高盐度状态持续时间更长。而在丰水期, 强大的径流可以把盐水压制在河口附近, 致使上游大面积区域的盐度处于较低水平。所以, 倒灌期间含盐量的变化范围属于

动态区间，其上下限由潮汐强度和上游径流共同确定。^[1-3]

（二）含盐量变化周期规律

潮汐河水含盐量的变化具有多时间尺度的周期规律，其中最突出的周期与天文潮汐周期相符，即为日周期和半月周期。在一个太阴日里，涨潮和落潮不断交替，河水盐度就会随之起伏。一般而言，涨潮期间盐度上升，退潮之时盐度下降。从半月时间范围看，朔望大潮期间潮差最大，海水倒灌动力最强，盐度峰值也最高；上下弦小潮期间潮差最小，海水倒灌势力减弱，盐度峰值就会下降。从年际角度来看，含盐量变化存在季节性规律。雨季时流域降水丰富，径流较大，河水盐度一般处于较低水平；旱季时径流缩减，海水倒灌增多，河水盐度明显上升，从而产生一年中的高盐时期。^[4-8]

（三）不同海域倒灌对含盐量的影响差异

不同海域的自然地理及水文特征存在差异，这种差异会直接影响左右海水倒灌针对潮汐河水含盐量所产生的作用效果。海域自身的盐度背景值属于关键要素。盐度较高的海域，其倒灌进河口的盐水团起始盐度便较高，因而对河水盐度改善的效果更为显著。海域的潮汐特性十分关键。潮差较大的海域，像部分喇叭形河口外的海域，潮汐动力很强，可促使盐水团向内陆河流上游流动很远，影响范围较广。潮差小的海域，海水倒灌的强度和规模一般较小。海底地形以及河口地貌会经由改变潮波形态和能量散发间接决定盐水入侵的方式与强度。因而，处于不同海域环境下的潮汐河水，其盐度变化规律表现出突出的区域性特征。^[9-10]

二、潮汐作用对水质参数的影响

（一）盐度与主要离子变化规律

盐度的改变实质上是水体里主要离子浓度发生改变的一种综合表现形式。海水倒灌的时候会带来高浓度的氯化钠，并且会改变河水原先的离子构成比例，使得河水从碳酸盐型或者碳酸盐-钙镁型朝着氯化物-钠型方向转变。当盐度逐步提升时，氯离子和钠离子就成了占据绝对优势的阴离子和阳离子，其浓度与盐度呈高度正相关。钙、镁、硫酸根、碳酸氢根这些离子的浓度会增加，不过它们在总体离子里所占的比重渐渐靠近海水原本的构成情况。这样的离子构成发生本质上的改变，会影响到水体的化学性质，比如离子强度、渗透压之类的，还会影响水体的物理化学性质以及水生生物的生理机能。

（二）营养盐与有机物浓度响应特征

潮汐作用给营养盐和有机物的输移与转化过程造成复杂影响。海水入侵常常带有来自外海的富集营养盐的水体，这也许会使河口区域氮、磷等营养盐的浓度上升。盐度发生极大改变时，会影响到水体里浮游植物和微生物的群落结构及其活性，进而改变营养盐的摄取、释放以及循环途径。有机物方面，咸淡水交汇引发的絮凝作用也许会促使部分胶体态与溶解性有机物发生沉降，造成局部水域有机物浓度出现变化。而且，盐度梯度会对有机物的降解速率产生影响，还可能引起沉积物里营养盐和有机物的重新释放。这些过程造成了营养盐和有机物浓度对于潮汐作用

的响应表现出非线性特点。

（三）微生物指标与悬浮物变化规律

盐度出现波动时，会对水体里的微生物群落造成很大影响，这包含指示菌和病原菌在内。很多淡水微生物无法适应盐度骤然升高的环境，它们的存活率就会变低。不过，有些源自海洋或者具备耐盐性的微生物也许会渗入到河水当中，从而改变微生物群落的形成及其数量分布情况。咸淡水混合的时候，电解质浓度变大，这会使胶体颗粒表面的电荷被中和，破坏其稳定性，引发絮凝和沉降现象，造成水体浊度在咸淡水锋面附近出现显著改变。这个物理过程另外影响水体透明度，也关联着悬浮物吸附的污染物归宿。

三、水质变化对生活用水的影响

（一）饮用水源氯化物超标风险

潮汐河水是关键的水源地，它的盐度，特别氯离子浓度存在定时性超标情况，这形成主要威胁。当前饮用水水质标准针对氯化物含量设定了限定值。海水倒灌时，水源水中的氯离子浓度会快速增多，如果超过了水厂常规处理工艺所能应对的限度，就有可能引发出厂水氯化物超标。长期饮用氯化物含量过高的水，也许会给人体健康带来潜在不良影响，对于高血压患者这些敏感人群而言更是如此。即便只是短期超标，也必定会突出改变水的感官特性，令使用者感到不适。保障供水安全乃是解决咸潮入侵问题的关键所在。

（二）供水系统腐蚀与消毒副产物变化

高盐度水体对于城镇供水系统的腐蚀性较强，这包含输水管网和蓄水设施。氯离子会破坏金属管道表面的钝化膜，促使铁、钢、铜等管材加快腐蚀速度，有可能造成水中重金属离子（例如铁、锰、铅）浓度增大，从而引发“红水”“黄水”现象。盐度的改变会左右消毒流程。高离子强度有可能影响到像氯这样的消毒剂的消毒效果，还可能导致诸如三卤甲烷之类的有害消毒副产物增多，进而加大饮用水化学层面的安全风险。所以，水厂必要按照原水盐度的波动情况及时对消毒工艺参数作出调整。

（三）终端用水口感与健康影响

对于终端用户来说，河水盐度上升后，饮用水口感变差会是最直观的感受。含氯化钠量较高的水会有明显的咸味或者苦涩味，这会影响到饮用时的舒适度。而且不只存在口感方面的问题，如果长时间用高盐度的水洗澡，也许会对皮肤敏感的人造成刺激。日常烹饪时若使用这种水，也许会改变食物原本的味道。经由饮用水摄取的盐分占总体膳食摄入量的比例往往较低，但对于那些须要严格控制食盐摄入量的特殊群体来说，还是要留意其中可能存在的叠加效果。

四、水质变化对工业生产的影响

（一）高盐度对工业设备的腐蚀效应

工业用水对水质有一定的要求，高盐度给很多工业过程带来

很大威胁。氯离子是一种很强的腐蚀推动剂，可以穿过设备金属表面的保护层，造成电化学腐蚀，大幅缩减锅炉、热交换器、冷却塔、反应釜等重要设备以及输送管道的使用期限。企业若要控制腐蚀现象，则常常需加大缓蚀剂的投放量或者选用更高级的耐腐蚀材料，这会直接提升设备的投资费用和守护成本。而且，腐蚀产物一旦混入产品或者工艺介质当中，也许会影响到产品质量，甚至造成生产出现故障。

（二）冷却水系统与工艺用水水质要求冲突

在电力、化工、冶金等行业当中，许多水体被用来达成冷却效果。冷却水对盐度有着严格的限定，如果盐分过大，就会致使结垢现象加重，腐蚀风险提升，进而减小换热效率，极端情况下还会引发管道堵塞。当出现海水倒灌状况时，倘若采用盐度不合格的河水作为冷却水的补充水源，那么整个冷却系统的安全稳定运行将会遭遇重大考验。电子、食品、医药、精密制造这些对水质要求很高的行业，它们的工艺用水常常要经过深度纯化。高盐度的原水会大幅加重预处理单元的负担，明显提升纯化过程的能耗并加快树脂再生的频率，使生产成本急剧上升。

（三）产品品质控制与处理成本增加

水质出现波动会危及工业产品品质的稳定性。以食品饮料业为例，水中有咸味，会影响产品的风味。纺织印染业中，水中盐分发生改变，可能会致使织物着色不匀。在制造高纯化学品时，如果离子含量过多，就会使产品等级降低。要应对水源水质的波动状况，企业需加大进水检测力度，还要投入更多资金来创建和升级水处理设施，比如安装反渗透或者电渗析之类的脱盐装置。这些举措不仅会提升固定资产投资规模，也造成持续的运行能耗以及化学品消耗，从而引发产品综合成本上涨，影响到其市场竞争力。

五、水质管理与适应性对策

（一）咸潮预警监测体系构建要点

创建高效又可靠的咸潮预警监测体系，这是积极应对的前提所在。此体系需包含针对上游径流量、河口潮位以及重点断面盐度这些关键指标的即时在线监测网络。通过水文模型并结合数据同化技术，达成对海水入侵强度、距离及其持续时长的动态预测目标。警报信息要尽快传达给水务部门、有关企业以及公众，从

而为执行避咸、蓄淡举措赢得珍贵的时间。需巩固流域内水文、环保、气象、海洋等部门之间的资料共享及协作交流，以改进警报的精准度与时效性。

（二）多水源调度与蓄水避咸措施

减轻咸潮影响的关键在于水资源的改良调度。咸潮高发之前，依靠水库等水利工程蓄存多余水量填补枯水期，维持河道一定生态基流，用径流动力抑制盐水逆流而上。执行区域多水源联合调度，在咸潮时期及时加大地下水、水库水等其他水源的供水量，缩减对受损河段的用水量。在河道两岸创建避咸蓄淡水库，当河水盐度低的时候抓紧时间储存优质的淡水，等到咸潮来袭时开启闸门放水，以此来满足区域的供水需求。改良取水口的分布状况并调整取水的时间，这些都是行之有效的工程措施。

（三）水处理工艺抗盐强化方向

对于那些只能采用潮汐河水作水源的水厂以及工业企业来说，要改良其水处理工艺以增强抵抗盐类冲击负荷的能力。就饮用水处理而言，可以加强传统工艺，亦或是采用膜处理技术（纳滤、反渗透等）来执行深度除盐，不过应当协调好处理成本与出水水质之间的关系。

工业水处理需按照用水水质要求选取恰当的除盐技术，离子交换、电除盐等均为可选技术。开发并应用效率更高、耐盐性能更强的缓蚀剂、阻垢剂同样十分关键。工艺改进旨在形成一道技术壁垒，使得即便水源水质出现波动，也能持续产出符合标准的用水。

六、结语

潮汐河水水质处于动态变化之中，其中含盐量存在周期性波动，这属于自然水文过程和社会人类活动相互交织的复杂问题。海水倒灌会改变水体主要的物理化学特性，而且还会左右供水安全、工业生产成本等情况，为临岸区域的经济社会发展造成深远影响。要想有效地解决这个问题，就要深入领会其中蕴含的规律，采用监测警报、资源调配以及工艺改良等多种综合性的管理策略。未来，随着气候变化和海平面上升可能带来的潜在影响，加强相关研究，提升应对能力，对于保障潮汐河网地区水资源的可持续利用显得愈发重要。

参考文献

- [1] 黄文平. 潮汐—连续垂直流湿地对高污染河水的净化特性研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2017.
- [2] 王林林. 潮汐对黄河三角洲感潮河段水质影响机理研究 [D]. 山东师范大学, 2024.
- [3] 苏芬芬, 梁紫湾, 陶益. 深圳龙岗沙湾河水污染特征及水质评价 [J]. 广州化工, 2024, 52(12): 107-113.
- [4] 刘传咏, 柴一荻, 徐亮根, 等. 南方某河水水质荧光指纹特征及污染溯源 [J]. 光谱学与光谱分析, 2021, 41(07): 2142-2147.
- [5] 柴宁馨. 汾河流域河水污染的地球化学示踪 [D]. 长安大学, 2021.
- [6] 赵金香, 于志强. 潮河水系水质污染特征分析与防治对策 [J]. 水利技术监督, 2019, (05): 115-117.
- [7] 云晋, 宋凤芝, 范宇成, 等. 山区城市内河水水质变化与污染源分析 [J]. 乡村科技, 2019, (14): 105-106.
- [8] 邱志伟. 基于“三位一体”的大凌河水生态修复技术体系研究 [J]. 水土保持应用技术, 2025, (03): 25-27.
- [9] 黎广. 联盟河流域水质提升及水生态修复策略研究 [J]. 中国资源综合利用, 2024, 42(08): 198-200.
- [10] 张巨星. 农村污染河道生态修复措施 [J]. 农村经济与科技, 2024, 35(08): 65-67+82.