

# 低碳理念下河流水源自来水生产处理工艺运行优化研究

三坪水厂 李依静

克拉玛依市水务有限公司责任公司 新疆克拉玛依 克拉玛依 834000

**【摘要】**：在碳达峰碳中和战略持续推进的背景下，城镇供水行业的节能降碳成为水厂运行管理面临的现实课题。本文以新疆克拉玛依市中心城区以河流水源为主的自来水生产处理系统为对象，围绕低碳理念对制水目标和运行方式提出的新要求，分析长距离开放式渠道输水、水质季节反差、药耗能耗偏高、生产废水回收与碳管理薄弱等问题，从原水水质保育、工艺参数分季节调控、药剂精准投加与泵组调度、废水回用与智慧管控等多个方面提出运行优化路径。研究立足当地远距离输水和严酷气候条件，把降碳要求嵌入取水、混凝、沉淀、过滤、消毒各环节，为同类河流水源水厂统筹供水安全与低碳运行提供参考。

**【关键词】**：低碳理念；河流水源；自来水；生产处理工艺；运行优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.13.053

## 引言

城镇供水是能源与资源密集的市政公用事业，制水过程消耗的电力和药剂构成水厂运行阶段的主要碳排放来源。克拉玛依市地处准噶尔盆地西北缘，属资源性缺水城市，戈壁环绕、本地径流匮乏，饮水困难，干旱多风、寒暑悬殊的自然条件决定了城市供水对外调水源的高度依赖。为破解缺水瓶颈，当地建远距离输水通道引入远区径流，每一方水都来之不易；供水范围覆盖中心城区。来水汇入多座集中式饮用水源地，经开放式渠道和调蓄设施输送后，进入以微砂压载高速澄清池配套气水反冲洗滤池和次氯酸钠消毒为主体的主力净化水厂<sup>[1]</sup>。河流水源在长距离输送和开放式调蓄过程中，受蒸发、风沙、径流和气温变化影响，水质类别和浊度呈现明显的沿程变化与季节波动，水厂处理负荷随之起伏。在低碳理念下，如何在稳定出水水质的前提下降低制水电耗、药耗和自用水率，成为当地自来水生产运行亟待解决的问题。

## 1 低碳理念对河流水源自来水生产处理提出的新要求

### 1.1 制水目标由单一水质达标转向多目标协同，能耗碳排约束趋紧

长期以来，自来水生产以满足国家生活饮用水卫生标准为核心目标，工艺配置和运行调度围绕出水水质合格展开。对典型城镇给水厂运行阶段的核算显示，其碳排放强度约为0.17至0.19千克每立方米，其中外购电力产生的碳排放占比达87.80%，净水药剂生产环节占12.13%，聚合氯化铝和次氯酸钠是药剂排放的主要构成<sup>[2]</sup>。这一结构表明，水质达标过程本身伴随着可观的能源消耗与隐含碳排放，单纯以水质论运行的管理方式已难以适应低碳发展要求。

低碳理念要求水厂把电耗、药耗、自用水率和碳排放强度与水质指标并列纳入运行目标，在取水、混凝、沉淀、过滤、消毒和输配各环节建立量化约束。对于克拉玛依这类依赖远距离调水的城市，原水提升和多级输送抬高了制水电耗基数，多

目标协同意味着在保障供水水量水质的同时，需要为单位产品的能源和资源消耗设定上限并持续压降，使降碳由外部倡导转化为日常运行的内在指标。

### 1.2 运行方式由经验粗放转向精细智能，全流程低碳转型提速

传统水厂运行较多依赖操作人员经验，药剂投加量、机组开停和滤池反冲洗周期相对固定，面对原水水质波动时往往以过量投加和保守运行换取出水稳定，能耗物耗的冗余长期存在。低碳理念推动水厂运行从经验判断向数据驱动转变，要求以在线监测掌握原水和各工艺单元的实时状态，以自动控制实现参数随水质水量动态调整。

全流程低碳转型还体现在资源循环和能源替代上。澄清池排泥水、滤池反冲洗废水经处理后回用，可以减少外取水量和取水能耗；厂区分布式光伏发出的电力就地消纳，可以降低外购电比例。对克拉玛依河流水源水厂而言，转型不是单一设备的更换，而是把源头水质保育、过程精准控制、末端废水回用和清洁能源利用串联为整体，使生产组织方式与低碳目标相匹配。

## 2 当前河流水源自来水生产处理工艺存在的不足

### 2.1 长距离开放式渠道输水受蒸发风沙困扰，原水水质沿程衰减

克拉玛依河流水源经长距离开放式渠道输送，渠线穿越戈壁荒漠，输水距离长、停留时间久。在年蒸发量远超降水量的气候条件下，渠道水体浓缩明显，大风天气沙尘和地表碎屑落入水中，沿程山洪沟和坡面径流还在降雨时带入泥沙和盐分。源头接近I类、II类的优质来水，经数百公里开放式渠道和多座调蓄设施串联调蓄后，进厂时浊度、溶解性总固体等指标升高，水质常降至II类，个别时段逼近III类。原水水质沿程衰减直接增加了混凝沉淀负荷和药剂用量，处理端的碳排放随之上移。

### 2.2 水温水质季节反差强烈，净水单元抗冲击能力不足

当地冬季严寒漫长，渠道和调蓄设施存在冰冻期，原水低温低浊，水中胶体颗粒碰撞概率低，形成的絮体轻细松散，沉

降速度慢;微砂压载工艺借微砂增重使絮体密实、沉降速率快,对低温低浊原水具有较好适应性,但水温过低、浊度极微时仍存在絮体偏细、穿透风险。夏季引洪和山汛期可能短时出现高浊原水,悬浮物负荷成倍增加;本地未发生过高藻现象,现有工艺无除藻单元,仅简易备用。现有净化工艺多按常规水温水质设定参数,絮凝时间、沉淀负荷和反冲洗制度调整不及时,面对冬季低温低浊和夏季高浊交替出现的工况,单元适配弹性不足,出水浊度波动时只能依靠加大投药量维持,运行的经济性和低碳性受到影响。

### 2.3 药剂投加粗放、机组运行低效,制水能耗物耗偏高

河流水源远距离输送和多级提升使取水机组长时间在高扬程工况下运行,部分机组服役年限较长,实际工况偏离高效区间,变频改造和机组搭配不到位,闸阀节流和定速运行造成的电力损耗较为普遍。混凝剂和次氯酸钠等药剂的投加较多沿用经验定值,前馈反馈调节不健全,原水浊度和水量变化时投加量调整滞后,水质较好时段投加量未同步下调。外购电在水厂碳排放中占比超过八成,机组低效与药剂过量叠加,使单位制水量的能耗物耗居高不下,成为低碳运行最直接的制约。

### 2.4 生产废水回收利用率低,精细化碳管理基础薄弱

澄清池排泥水和滤池反冲洗废水水量较大、发生集中,部分水厂回用设施容量不足或处理工艺不配套,废水经简单沉淀后即外排,水厂自用水率偏高,其中夹带的混凝剂和悬浮物也随之流失。与此同时,厂内能耗计量和水质在线监测点位覆盖不全,各工艺单元的电耗、药耗数据难以分项归集,制水过程缺少常态化的碳核算,降碳措施无法量化评估;当地光照资源优越,但厂区光伏建设和余热、污泥资源化利用进展有限,清洁能源替代和精细化碳管理的基础尚未夯实。

## 3 低碳理念下河流水源自来水生产处理工艺运行的优化路径

### 3.1 推进输水渠道封闭防护,实施原水水质全过程保育

原水水质保育从输水通道治理入手。对风沙频繁和蒸发强烈渠段,结合渠道除险加固实施暗涵化或加盖板改造,减少水面与干热空气、风沙的直接接触;对暂不具备封闭条件的渠段,完善混凝土防渗衬砌并在渠堤两侧营造灌草结合的防护带,固结地表、阻滞坡面碎屑入渠。渠道沿线的排洪交叉建筑物同步梳理,在山洪沟入口设置拦沙沉沙设施,降雨引洪时先沉沙后入渠,削弱泥沙和盐分输入。

在此基础上,把开放式渠道、调蓄设施和水厂取水口纳入统一的水质管理。在渠道关键节点、调蓄设施进出口和进厂断面布设浊度、水温、溶解氧等在线监测,形成沿程水质梯度数据,当某一节点指标异常升高时,及时核查风沙、排污和引洪来源并处置。调蓄调度中发挥沿途各调蓄节点的沉蓄作用,高浊来水先在设施内沉淀澄清,水厂取水口采用分层取水方式,

按水温和浊度变化选取适宜水层,把水质问题消解在进厂之前,从源头减轻后续处理的药耗能耗。日常管理中建立渠道和调蓄区巡查制度,风沙、降雨后核查渠内积沙和水面漂浮物并组织清理,巡查记录与监测数据一并归档;水源管理涉及水利、生态环境和供水单位,可通过定期会商明确各段管护责任,使封闭防护、水质监测和调度指令衔接运转<sup>[3]</sup>。

### 3.2 分季节调控混凝沉淀过滤参数,增强极端水质工况适配性

针对河流水源冬夏反差,建立按季节和实时水质切换的工艺参数体系。冬季低温低浊期,保障微砂投加与循环回流稳定,调控斜管池上升流速,在混凝环节投加助凝剂的同时配合预氧化,改善絮体密实度;运行中适当延长絮凝反应时间、降低前段搅拌强度,使絮体有条件长大,同时下调沉淀池表面负荷、延长沉淀停留时间,缓解轻细絮体难沉降的问题;滤池相应降低过滤水位、缩短反冲洗周期,拦截穿透的细小絮体。

夏季高温高浊期,把运行重心移到澄清和排泥上。进厂浊度升高时,提前提高混凝剂投加梯度,保持微砂压载絮凝的砂循环浓度,加密斜管池排泥频次,抑制积泥抬高和污泥上浮;本地未发生高藻,现有工艺无除藻单元,仅预留次氯酸钠、粉末活性炭接口,减轻滤池堵塞和滤后嗅味。滤池气水反冲洗的强度、历时和周期随过滤水头损失与滤后浊度动态设定,替代固定时长的反冲洗制度,在冲洗到位的前提下减少反冲洗水量和风机、水泵电耗。

换季时段编制参数切换表,明确不同水温和浊度区间对应的投加量、搅拌强度、排泥频次和反冲洗参数,使岗位操作有据可依。参数值不以一次设定长期沿用,水厂按旬或在水质明显变化时开展烧杯搅拌试验,比对不同投加量下的絮体形态和沉淀后浊度,据此修正投加率和搅拌梯度,把试验结论转化为当班参数。

### 3.3 精准投加净水药剂,改造泵组并优化输水运行调度

药剂投加实行前馈与反馈结合的自动调节。以进厂流量、浊度、水温作为前馈参数,按混凝试验建立的水质-投加量关系初步确定投加率,再以沉淀后和滤后浊度作为反馈修正,形成随原水变化连续微调的闭环;次氯酸钠投加按出厂水余氯和微生物指标在线校正,水质较好时段自动下调投加量<sup>[4]</sup>。

泵组节能围绕高效运行展开。结合机组能效测试,淘汰效率偏低的老旧泵和电机,按常见扬程流量区间配置高效泵组并加装变频装置,把闸阀节流调节改为转速调节;多泵联合运行时编制泵组搭配方案,根据时段供水量组合开机,使工作泵处于高效区间。用足清水池和调节池的调蓄容积,按用电峰谷时段安排取水和送水,低峰时段蓄水、高峰时段供水,削平取水量峰差,减少泵组频繁开停。取水泵房的开机台数随净化厂进水需求同步调整,减少来水在配水环节溢流或空等;泵组建立轮换运行和定期维保台账,结合检修清理叶轮和管路结垢,

使机组效率维持在测试水平。

### 3.4 回用排泥反冲洗废水，搭建智慧化低碳管控平台

生产废水按照分质收集、处理回用的思路组织。澄清池排泥水引入浓缩池，经浓缩后上清液回流至配水端，浓缩污泥脱水后形成泥饼外运处置；滤池反冲洗废水汇入回收水池，沉淀澄清后回用于生产。回用水进入流程前在线监测浊度，按比例均匀兑入原水，控制回用比例，削弱一次性集中回流对混凝过程的冲击。通过系统回用，把水厂自用水率压降到较低水平，为干旱缺水地区水厂提供了可参照的回用深度。

智慧管控平台以数据贯通为基础。在取水、混凝、沉淀、过滤、消毒和送水各单元分项安装电表、水表和药剂计量，与水质在线监测数据一并接入平台，实时呈现各单元的水量、水质、电耗、药耗<sup>[5]</sup>；在此平台上嵌入碳核算模块，按外购电量、药剂消耗量和排放因子定期计算碳排放强度，把降碳成效量化到班组和时段。智能调度功能根据次日供水预测、水源水质和分时电价生成运行方案，联动投药、泵组和滤池反冲洗。同时

利用水厂沉淀池、建筑物屋顶和厂区空地布置光伏，新疆地区光照时数长、辐照强度高，具备就地发电就地消纳的条件，自发电力用于制水生产，可直接压低外购电占比。

## 4 结语

低碳理念下河流水源自来水生产处理工艺的运行优化，是供水安全与节能降碳在水厂日常生产中的具体结合。本文结合克拉玛依市中心城区远距离调水、开放式渠道输送和严酷气候条件下的水质特征，提出以原水水质全过程保育减轻处理端负荷，以工艺参数分季节调控适配低温低浊和夏季高浊工况，以药剂精准投加和泵组经济运行压降能耗物耗，以生产废水回用、智慧管控和光伏替代深化低碳运行的优化路径。上述路径相互衔接，覆盖了从源头到出水的主要环节。受运行数据积累和改造投入节奏限制，部分措施的成效仍需在长期运行中持续检验，后续可结合水厂碳核算结果细化各单元的降碳指标，推动河流水源自来水生产处理在稳定供水的基础上不断向低碳方向演进。

## 参考文献：

- [1] 克拉玛依市生态环境局.克拉玛依 2024 年水污染防治工作进展情况[EB/OL].(2025-01-23)[2026-10-05].<https://www.klmy.gov.cn/klmys/sthj/202505/7e77a85f2a9a4ebaa6d4ea2ab47539b0.shtml>.
- [2] 陈芑宇,唐守娟,黄文鼎,等.江西某典型城镇给水厂碳核算与碳减排潜力分析[J].中国给水排水,2025,41(23):70-76.
- [3] 陈灿瑜.自来水厂工程建设中的质量管理探究[J].江西建材,2022,(1):207-208+211.
- [4] 全合华,徐霁,李其秀.自来水生产工艺的新方法应用研究[J].大众标准化,2020,(4):91-92.
- [5] 何孙胃,张纳新,张杰峰,等.自来水厂排泥水处理系统优化改造及效果研究[J].城镇供水,2025,(6):3-7.