

# Research on water saving technology and water resources optimization management in thermal power plant

Libing Lei Feili Wang

Huaneng Yunnan Dian Dong Energy Co., Ltd., Qujing, Yunnan, 655000, China

## Abstract

As an essential component of the energy supply system, thermal power plants consume a large amount of water and discharge substantial wastewater, imposing considerable pressure on regional water resources. To achieve water conservation, consumption reduction, and sustainable development goals, this study systematically investigates water-saving technologies and water resource optimization strategies for thermal power plants. It analyzes the principles and application effects of water-saving measures such as circulating cooling, wastewater recycling, and flue gas condensation, and explores key technologies for wastewater regeneration and zero-liquid-discharge processes. By establishing a water-saving dispatching system and a dynamic monitoring platform for water resources, the study realizes the coordinated optimization of water quantity, water quality, and energy efficiency. Results indicate that integrating advanced water-saving.

## Keywords

thermal power plant; water-saving technology; wastewater reuse; water resource management; green development

## 火电厂节水技术与水资源优化管理研究

雷犁兵 王飞丽

华能云南滇东能源有限责任公司, 中国·云南曲靖 655000

## 摘要

火电厂作为能源供应体系的重要组成部分,其用水量、排水量高,对区域水资源造成较大压力。为实现节水降耗与可持续发展目标,本文系统研究了火电厂节水技术与水资源优化管理路径。从循环冷却、废水回收、烟气冷凝等方面分析节水技术的原理与应用效果,探讨废水再生利用和零排放工艺的关键技术。通过建立节水调度系统与水资源动态监测平台,实现水量、水质与能效的协同优化。

## 关键词

火电厂; 节水技术; 废水回用; 水资源管理; 绿色发展

## 1 引言

随着中国能源结构以煤电为主的格局长期存在,火电厂的高耗水特征逐渐成为制约区域水资源安全的重要因素。据统计,火电行业用水量约占全国工业总用水的18%,部分干旱地区电厂甚至与城市生活和农业灌溉形成竞争关系。在“双碳”目标与节水型社会建设背景下,如何提升火电厂水资源利用效率成为行业关注焦点。近年来,循环冷却、烟气余热回收、污水回用等技术的应用取得显著成效,但仍存在工艺复杂、管理分散、信息化水平低等问题。本文旨在通过节水技术体系构建与水资源优化管理策略研究,为火电厂实现节水降耗、生态保护与经济效益协调发展提供理论依据与实施路径。

**【作者简介】**雷犁兵(1986-),男,中国云南曲靖人,本科,工程师,从事火电厂化学环保工作管理研究。

## 2 火电厂节水的重要性与现状分析

### 2.1 火电厂用水特征与主要耗水环节

火电厂在发电过程中大量依赖水资源,主要用于冷却、锅炉补给、除灰除尘及化学制水等环节。冷却系统是最大耗水单元,占总用水量的70%以上,冷却水蒸发损失与排污水排放构成主要水耗。锅炉补给水则需经多级净化和除盐处理,工艺复杂且能耗较高。除灰除尘系统因灰渣水比例控制不当,常导致水资源浪费。不同类型机组用水差异明显,燃煤机组单位发电耗水量约1.6—2.0m<sup>3</sup>/MWh,而燃气机组可控制在0.8m<sup>3</sup>/MWh以内。为实现节水目标,必须深入分析各系统的水量平衡与损耗路径,找出关键控制点并优化用水结构,使水循环率保持在90%以上,从根本上减少取水总量。

### 2.2 中国火电行业水资源利用现状

中国火电装机容量占总发电量的60%以上,用水量巨大,对区域水资源造成显著压力。东部沿海地区由于淡水水资源紧张,多采用海水冷却方式,但投资成本高、设备腐蚀严

重；而西北内陆地区则因干旱缺水，电厂多采用空气冷却系统，虽节水显著，但发电效率下降约3%—5%。据统计，全国火电行业年取水量约180亿立方米，回用率平均仅为85%，与发达国家90%以上的水平仍有差距。部分老旧机组水系统改造滞后，循环水冷却塔补水率偏高，废水未能有效回收利用。近年来国家出台《工业节水“十四五”规划》，推动火电厂节水技术升级与区域协同调度，节水潜力仍有20%以上提升空间<sup>[1]</sup>。

### 3 火电厂节水技术体系构建与关键路径

#### 3.1 循环冷却系统的节水改进技术

循环冷却系统是火电厂节水技术的核心领域。通过冷却塔结构优化、补水控制与循环水化学稳定处理，可有效减少蒸发与排污损失。采用高效填料与喷淋系统，可提升换热效率约12%，降低冷却水补给量20%。在水质管理方面，引入浓缩倍数控制与在线监测技术，使循环水重复利用率达到95%。干湿混合冷却技术的推广可根据气候条件自动调节运行模式，实现节水与能效兼顾。在部分干旱地区，空冷技术的应用使冷却用水量降至传统湿冷系统的10%，但需通过优化风机功率与冷端热交换效率弥补能耗增加问题。

#### 3.2 锅炉补给水与废水回收利用技术

锅炉补给水质量直接影响蒸汽系统的安全运行。通过采用反渗透、离子交换与电去离子等组合工艺，可实现高纯水制备与回收系统一体化运行。锅炉排污水、化学清洗水及地面冲洗水经膜分离与中水回用系统处理后，可作为循环水回流至生产系统。研究显示，火电厂内部废水再利用比例提升10%，可节约新鲜水取用量约5万吨/年。建设集中式水回收中心并采用动态调控系统，可实现水流再分配与多级回用，保证各工艺段供水稳定。优化废水回用系统不仅节水显著，也降低废水排放负荷，促进厂区资源循环利用。

#### 3.3 烟气冷凝与余热回收节水技术

烟气冷凝技术通过回收燃烧尾气中的水蒸气与余热，实现“以气生水”的节水思路。燃煤机组烟气中水蒸气含量约占总排气体积的8%—12%，若采用冷凝换热装置，可年回收冷凝水量达10万吨以上。冷凝水经脱盐处理后可替代部分补给水，用于循环冷却或锅炉补水系统。与此同时，余热回收系统可将烟气热能转化为低品位热源，供给脱硫塔再热或厂区采暖使用。通过设置高效换热器与防腐涂层结构，提升冷凝效率15%以上，延长设备使用寿命。该技术实现了节水与节能双重效益，为火电厂构建绿色运行体系提供了有效技术路径<sup>[2]</sup>。

### 4 火电厂废水处理与再生利用技术

#### 4.1 废水分类处理与零排放工艺优化

火电厂废水来源复杂，主要包括锅炉排污水、冷却排污水、脱硫脱硝废水及生活污水等多种类型，水质差异较大。

为实现高效利用与达标排放，需构建分类收集、分质处理与分级回用的系统模式。零排放工艺的核心在于将所有废水通过物理化学与膜分离技术处理，实现全部回用或蒸发结晶无外排。通过采用多效蒸发(MED)与机械蒸汽再压缩(MVR)组合工艺，可回收90%以上水量，浓缩液经结晶分盐后固体废物外运。各处理单元通过在线监测与自动控制实现动态调节，使排放水质稳定达到《火电厂水污染物排放标准》。该技术体系不仅减少新水取用量，还能降低污染物排放强度约50%，实现节水与减污协同。

#### 4.2 高含盐废水蒸发结晶与浓缩回用技术

高含盐废水是制约火电厂零排放实施的关键难点，其含有硫酸根、氯离子和钙镁等高浓度离子，若直接排放会造成严重环境污染。蒸发结晶技术通过高温蒸汽或余热驱动蒸发器，使水分蒸发后离子浓缩并结晶析出，达到固液分离目的。采用多级蒸发结构与热能回收系统，可降低能耗30%，浓缩液经调配后可作为脱硫补水或冷却塔补充用水。结晶盐通过离心脱水处理后可回收部分硫酸钠、氯化钠等工业原料，实现废盐资源化。结合MVR技术与热泵循环系统，可提高蒸发速率并降低运行成本。该技术在华北干旱地区火电厂应用后，使高含盐废水零排放率提高至95%，有效支撑了节水与资源化双目标的实现<sup>[3]</sup>。

#### 4.3 污水深度处理与分质回用系统构建

火电厂内部生产、生活及雨水系统产生的混合污水经初级处理后仍含较高有机物、氨氮及悬浮物，需开展深度处理。通过组合膜技术(UF+RO)、高级氧化(AOP)及生物滤池工艺协同运行，可使出水COD降低至30mg/L以下，氨氮降至5mg/L以下。构建分质回用系统，将处理后的中水按水质要求分别输送至循环冷却、灰渣冲洗及绿化用水系统，实现水质与用途的匹配管理。利用智能监控平台可实现各用水环节的实时调配，提高系统回用率并降低能耗。经优化设计的火电厂中水回用率可稳定在92%以上，新水取用量减少40%，同时降低废水排放总量与运行成本，为节水型电厂提供可复制的管理范式，图1为某火电厂污水深度处理回收利用的流程图。

### 5 水资源优化配置与综合管理策略

#### 5.1 节水调度系统优化运行的效能分析与数据对比

火电厂节水调度系统通过实时监测与动态优化，实现水资源在生产环节间的高效分配。以600MW机组为例，采用水量平衡模型后，循环冷却系统补水量从每小时260吨下降至195吨，节水率达25%。锅炉补给水回用比例由原来的68%提升到91%，年节约新水取用量约5.8万立方米。系统运行中引入智能预测算法后，可根据机组负荷变化自动调整冷却水流量，使机组热效率维持在39.6%，而总用水量减少18%。在线监测平台可在30秒内完成水量调度响应，实现“水量、水质、能效”三维协同优化。经运行评估，节

水调度系统可使厂区综合水耗降至  $0.95\text{m}^3/\text{MWh}$ ，较未实施系统时减少约  $0.32\text{m}^3/\text{MWh}$ 。

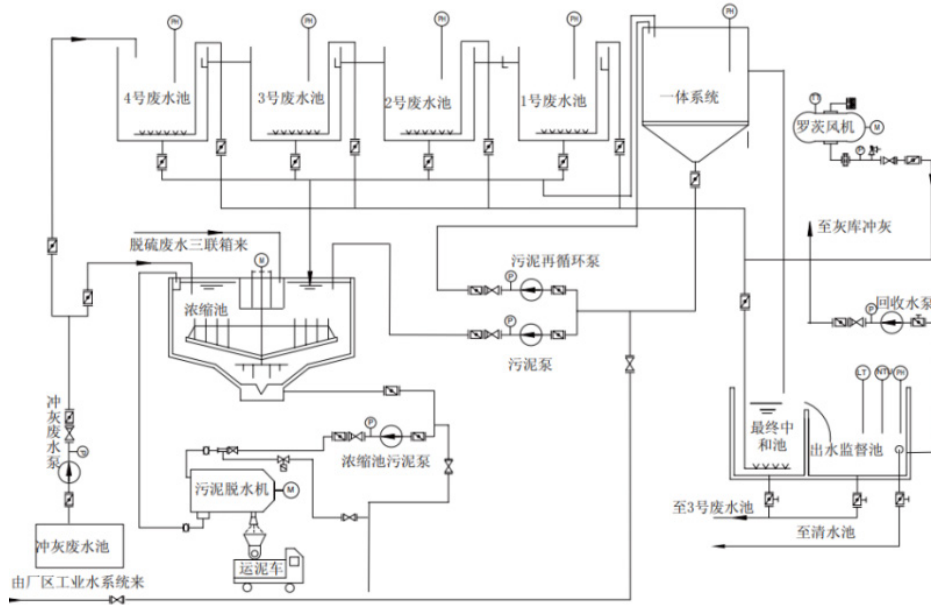


图1 某火电厂污水深度处理回收利用的流程图

### 5.2 循环冷却与废水回收工艺的节水量化成果评估

火电厂循环冷却系统优化后，换热效率提升12%，冷却塔蒸发损失降低15%，补水量由每小时300吨减至240吨。采用干湿混合冷却模式，全年节约淡水6.2万立方米。废水回收系统经改造后，脱硫废水与锅炉排污水通过两级反渗透处理，回收率达到88%，废水排放量由日均120吨降至15吨。冷却排污水经膜浓缩与中水回用装置处理后回用于除灰系统，节水率提升至27%。工艺集成后，厂区总回用率达到94%，单位发电水耗从  $1.7\text{m}^3/\text{MWh}$  降低到  $1.1\text{m}^3/\text{MWh}$ 。经运行分析，每年节约新水取用量约12万立方米，减少运行成本约45万元，实现经济效益与节水效益同步提升。

### 5.3 分质回用与零排放技术协同降耗效果数据分析

火电厂分质回用与零排放系统协同运行后，各工艺水质指标实现差异化供给。生活污水经A/O生化+超滤+反渗透处理后，COD降至  $25\text{mg/L}$ ，电导率控制在  $80\ \mu\text{S/cm}$  以下，处理水量日均400吨，可全部回用于循环冷却系统。高含盐废水经MVR蒸发结晶装置后回收水量约占总废水量的92%，结晶盐纯度达98%，实现固液分离与资源化利用。系统投运后，厂区实现零排放运行，废水外排量由每年2.6万吨降为零。全厂水循环利用率提高到96%，单位发电水耗由原来的  $1.5\text{m}^3/\text{MWh}$  降至  $0.95\text{m}^3/\text{MWh}$ ，节水幅度达36%。年综合节水量约18万立方米，减少COD排放820公斤，总节能折合标煤280吨，全面体现节水与能效协同提升的成果。

## 6 结语

火电厂节水与水资源优化管理是实现能源行业绿色低碳转型的重要支撑。通过完善循环冷却、废水回收、烟气冷凝、蒸发结晶及分质回用等核心技术，构建起全流程、系统化的节水技术体系，可显著提升水资源利用效率与生态环境承载力。与此同时，借助信息化与智能化管理平台，推动用水指标动态监控与节水调度的科学决策，实现技术创新与管理优化的深度融合。研究表明，火电厂若全面实施节水改造与区域协同管理模式，单位发电耗水量可降低30%以上，污染物排放强度显著下降。未来应持续强化节水技术升级与政策协同，为构建节水型、生态型现代能源体系提供坚实保障。

### 参考文献

- [1] 彭一胜,成海秦,梁国智,韦武光,莫才颂.火电厂循环水节水减排技术改造分析与应用[J].安徽化工,2024,50(06):108-110.
- [2] 李海渊.火力发电厂的废水处理技术及节水技术探究[J].节能与环保,2023,(09):65-67.
- [3] 李爱丽,海云飞,裴文林,王新冰,胡红兵.火电厂循环水排污水全资源化回用新技术试验研究[J].新型工业化,2022,12(06):222-227.
- [4] 姜琪,毛进,王璟,苏艳,刘亚鹏,王正江,李亚娟,王雷雷,吴迅,米立海,杨阳,吴火强,逯佳琪,孔祥贞,余耀宏.西安西热水务环保有限公司,西安热工研究院有限公司.基于氯元素减量及过程控制的火电厂节水减排关键技术研究与应用[Z].项目立项编号:HNKJ17-H15.鉴定单位:中国电机工程学会.鉴定日期:2022-05-31.