

高效节水技术在电厂给排水系统中的应用研究

石茜, 王慧, 谢一鸣

山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250013

DOI:10.61369/WCEST.2025060008

摘 要 : 水资源短缺已经成为影响电力工业可持续发展的主要因素, 电厂是工业用水大户, 因此电厂给排水系统高效节水技术改造与应用十分必要。本文概述了电厂给排水系统的主要组成及其用水特征, 介绍了电厂节水技术的应用背景及潜在优势。其次, 对循环冷却水系统节水技术、废水回用与近零排放技术、非常规水源利用等关键技术进行了系统分析。在此基础上构建节水效果评价、经济效益评价、环境效益评价的多维评价体系。最后针对当前技术运用过程中出现的一些阻碍提出运行管理方面的建议, 对电厂节水减排技术未来发展趋势进行展望, 以期为推动电厂节水减排工作提供理论参考。

关 键 词 : 高效节水; 电厂; 给排水系统; 废水回用; 技术评价

Application of High Efficiency Water Saving Technology in Power Plant Water Supply and Drainage System

Shi Qian, Wang Hui, Xie Yiming

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

Abstract : Water scarcity has become a critical factor affecting the sustainable development of the power industry. As major industrial water consumers, power plants require essential upgrades to their water supply and drainage systems through efficient water-saving technologies. This paper outlines the main components and water usage characteristics of power plant water systems, while discussing the application context and potential benefits of water conservation technologies. Subsequently, it conducts systematic analyses of key technologies including water-saving solutions for circulating cooling water systems, wastewater reuse and near-zero discharge techniques, and utilization of unconventional water sources. A multidimensional evaluation framework is established to assess water conservation effectiveness, economic benefits, and environmental impacts. Finally, the paper proposes operational management recommendations to address current challenges in technology implementation, and provides insights into future trends in water-saving and emission-reduction technologies for power plants, aiming to offer theoretical references for advancing water conservation and emission reduction initiatives.

Keywords : water-saving efficiency; power plant; water supply and drainage system; wastewater reuse; technical evaluation

引言

电力工业属于国民经济的基础产业, 也是水资源消耗的重点部门, 在碳达峰, 碳中和的战略目标背景下, 电力行业既要做到能源结构的绿色低碳转型, 自身用水效率和节水能力同样面临更高要求。电厂的给排水系统就像人的血液循环系统一样, 它要给电厂发电机组供应各种各样的用水, 还要处理排放的废水, 它的运转情况直接影响到电厂的钱包状况和环保程度。传统粗放的用水方式既造成了大量水资源浪费, 又增加了废水排放量和处理费用。因此, 开展高效节水技术的研究, 并将高效节水技术全面应用于电厂的给排水系统, 对于提高电厂用水率、降低电厂运营成本、减少环境负担具有重要的现实意义和战略意义。

一、电厂给排水系统及节水概述

(一) 电厂给排水系统的构成与特性

电厂给排水系统是一个比较复杂且精密的系统, 它的主要作

用是保证发电过程所需要的各类水质稳定供应, 并对产生的一系列废水进行有效的处理和处置。给水系统一般包含原水取水单元, 净化处理单元和锅炉补给水处理单元, 原水经由混凝, 沉淀, 过滤, 除盐等一系列工序之后, 制造出符合锅炉, 冷却等不

作者简介: 石茜 (1983.02—), 女, 汉族, 山东省济南市人, 本科学士, 高级工程师, 从事电厂水工艺系统设计。

同用途的优质用水。排水系统用来收集并处理全厂的全部废水，工业冷却排水，锅炉排污水，脱硫废水，冲洗废水以及生活污水等。这些废水成分繁杂，处理起来困难程度也不尽相同，所以要采取分级、分质处理的方法。电厂给排水系统的特点是用水量大、用量稳定，冷却水系统是电厂的用水大户，约占全厂总用水量的百分之七十以上。另外，系统对水质要求高，不同的用水需求其水质标准相差甚远，这也导致了水处理工艺的多样化、复杂化。

（二）电厂应用节水技术的必要性分析

电厂推广应用高效节水技术的必要性体现在多个方面，其中首要的一点在于日益严峻的水资源短缺形势，迫切要求我们必须积极采取行动。我国水资源的时空分布不均匀，很多电厂建设在缺水地区，所以节水直接关联着电厂能否保证生产的安全与持续。其次，节水也是电厂减少运行成本、提高经济效益的内在要求。取水费用、水处理药品消耗与废水处理排放费都是电厂开支的重要项目。采用节水技术来减少新鲜水取用量以及废水排放量之后，能直接削减这两方面的费用开支，进而加强电厂自身的市场竞争力。最后节水是电厂承担社会责任实现绿色发展必经之路，随着环保法规、限制条件越来越严格。积极采用节水技术，在源头上减少废水量，并使废水得以资源化是电厂实现与环境和谐共生的重要途径。

（三）电厂节水潜力分析

电厂的节水潜力很大，主要集中在以下几方面。最大节水潜力即冷却水系统，提高循环冷却水浓缩倍数可以降低系统的排污水和补水量。采用空冷技术或者闭式循环冷却技术，从根本上减少冷却用水量才更有意义。其次，废水回用有着巨大的节水潜力。将处理过的工业废水、生活污水等替代新鲜水，在对水质要求不高的场合使用，如冷却塔补水、灰渣拌湿、绿化冲洗等，则可以大幅减少外部取水量。要达成梯级用水以及分质供水，这是挖掘节水潜能的方向。此外，加强用水管理，杜绝跑冒滴漏，优化运行流程，同样可以挖掘可观的节水潜力。通过水平衡测试，精准掌握全厂水量的流向与损耗点，为制定针对性的节水措施提供科学依据。

二、高效节水技术分析

（一）循环冷却水系统节水技术研究

循环冷却水系统节水是电厂节水的核心，提高浓缩倍数是循环冷却水系统最直接、最有效的节水途径。利用高效缓蚀阻垢剂，杀菌灭藻剂等水处理药剂，并配以精确的自动加药及在线检测体系来把循环水的浓缩倍数保持在较高的水平，就能极大地削减因排污而造成的损失。采用替代型冷却技术是更彻底的节水办法，空冷技术使用空气而不是水降温，几乎没有水资源损耗，非常适合富煤缺水的地区。尽管其初始投资和运行电耗较高，但节水量极大，而且闭式循环冷却方式可使冷却水与空气进行间接换热，从而减小水的蒸发损失和飘散损失。

（二）废水回用与近零排放技术研究

废水回用是电厂水资源循环利用的关键，废水回用的主要核

心技术是深度处理，常用的深度处理技术为超滤、反渗透、电除盐的膜分离技术。这类技术能去除废水里的溶解性盐类、有机物以及微量污染物，产水质量高，可当作锅炉补充用水或循环冷却水系统的补充水。

近零排放技术是废水回用技术的进一步深化，将无法回用的少量高盐废水作为最终去向。其工艺路线一般采用膜法浓缩、蒸发塘或者机械蒸汽再压缩蒸发结晶等。该技术将废水中溶解性固体最终以结晶盐的形式回收或无害化填埋处置，达到废水近零液态排放的目的。虽然能耗、成本高，但这是解决电厂废水最终出路的尖端技术，是实现环境效益最大的技术。

（三）非常规水源利用技术

开发利用非常规水源是电厂拓展水源的有效途径，城市再生水是经由城市污水处理厂处理并达标的出水，是一种比较稳定的替代水源。电厂应针对再生水水质特性，开展有针对性的深度净化处理，如去除残留有机物、营养盐等，使其达到锅炉补给水或冷却水水质要求。

海水淡化是沿海电厂获取淡水资源的关键途径，主要采用反渗透法、多效蒸馏法。反渗透技术的能耗较低，应用范围广，但是对预处理要求较高。蒸馏法则可以利用电厂的低品位蒸汽，实现能源梯级利用。雨水收集利用也属于一种补充手段，对厂区的雨水进行收集储存，简单的处理以下，可以用于厂区内绿化、道路洒水等杂用水。

三、节水技术应用成效评估

（一）节水效果评价指标

评价节水技术应用效果，首先要建立节水效果评价指标体系。最为根本的指标就是单位发电量取水量，它反映了电厂生产和耗水的量化关系，是反映节水水平的综合指标。另一个重要指标就是水的重复利用率，它显示了电厂内部用水循环利用的情况，比率越高就表明节水效果越好。浓缩倍数属于评判冷却水系统运作效能的关键参数，倍数越大，表明该系统的补水率以及排污率越小。而且废水回用率也是一个直观的指标，是回用水量占总用水量的比例。直观体现了废水利用的程度。这些指标就组成了评价体系的基础。

（二）经济性评价方法

节水技术的应用要考虑是否具有经济上的可行性，经济性评价通常采用全生命周期成本分析法，不仅考虑技术的初始投资成本，还要对整个服务寿命期内的技术运行成本、维护成本、能耗成本以及最终残值回收进行综合计算。把采用节水技术之后节约下来的水费、排污费以及水处理药剂费等收益同项目投入的总成本加以比较，从而算出项目的投资回收期，净现值或者内部收益率这些关键财务指标。一个技术上的先进节水方案，只有在经济上可行，即投资回收期处在可接受范围或者净现值为正的情况下，才具备大规模推广的现实依据。

（三）环境效益分析

节水技术的环境效益也是其价值的一种表现形式，最直接的

环境效益就是减少对自然水体取水，一定程度上缓解当地水资源供应压力，对于保护区水生态环境有一定的积极作用。同时废水排放量的降低直接减少了受纳水体的污染负荷，有利于改善水环境质量。而近零排放技术的应用，更是使电厂对环境可能带来的污染影响降到极低水平。节水还带来了间接的节能降碳协同效应。因为取水、原水的处理和废水的处理都需要能源，节水即节能，这样可以降低温室气体的排放量。所以，环境效益分析要从保护水资源，减少污染排放，应对气候变化等很多方面来全面评价。

四、节水技术应用的问题与展望

（一）技术应用中的问题分析

尽管高效节水技术有着诸多优点，但是在实际推广运用的过程中也存在着一些困难，一是部分先进技术如废水近零排放系统，在初始投资方面就十分巨大，并且在运行时能耗、化学品消耗成本很高，这就导致电厂面临着巨大的经济压力从而阻碍了其普及应用。其次，部分技术存在较高的运行维护要求。如膜分离技术受水质波动影响较大，容易出现污堵、结垢现象，需要细致的预处理和专业的清洗保养工作，对操作人员技术水平的要求也比较高。不同技术之间的集成优化存在困难，各种节水技术如何能够有效的组合在一起发挥协同作用，避免相互干扰，需要深入的实践探索。

（二）优化运行管理建议

为解决上述问题，改善运行管理非常关键，电厂要有完备的水务管理制度，做好细致的水平衡经营，利用在线监测仪表随时了解关键点的水量和水质情况，给优化运行给予决策帮助。加强设备预防性养护，制定合理的清洗、检修规程，保证节水系统长期稳定高效运转。

推行合同节水管理等新方式，采用专业的节能服务公司，能

缓解电厂的资金和技能压力。加强对人员的培训，提高运行人员的技术水平及节水意识，是使节水技术真正发挥作用的前提。要让节水项目发挥出最大的综合效益，必须依靠管理革新和技术应用共同作用才行。

（三）未来技术发展方向

未来电厂节水技术向低能耗、高效率、智能化方向发展，新材料新技术是关键，例如研制出抗污染能力强、通量大、能耗低的新材料分离膜，高效、低毒、可生物降解的新型水处理药剂等，将从根本上提升技术经济性。智慧水务系统深度应用是又一重要趋向，依靠大数据、物联网及人工智能技术来打造智能化的给排水系统监管与改良平台，完成对用水进程的精确预估，智能调节以及故障剖析，做到节水工作的明智决断和精细管理。其次，资源回收的概念将会更进一步，从简单的废水处理转为对水及有价值物质(如盐类)的回收，推动电厂向真正的“零排放”和循环经济模式迈进。

五、结语

高效节水技术在电厂给排水系统中的应用，是涉及技术、经济、管理等多个方面的综合性工程。本文对系统认知阶段，技术分析阶段，效果评价阶段，问题展望这几个环节进行了系统的梳理，经过分析可以得知，推广适用的节水技术，持续推进技术创新和管理优化，在保障能源安全供给的前提下做到水资源消耗最少化，环境影响最轻量化是电厂能够达到的目标。面对水资源约束日益趋紧的未来，大力发展并深度集成高效节水技术，将是电厂实现可持续发展的必然选择和核心路径。

参考文献

- [1] 郭宁. 燃气电厂深度节水及零排放技术研究 [J]. 电气技术与经济, 2023, (08): 283-284+348.
- [2] 王云. 电厂循环冷却水系统节水及零排放技术研究 [J]. 中国新技术新产品, 2023, (17): 77-79.
- [3] 陈晓清. 基于水量水质统筹的火电厂水系统节水优化研究 [D]. 广西大学, 2021.
- [4] 程永生. 油田电厂节水减排技术改造路线分析 [J]. 黑龙江电力, 2020, 42(06): 543-550.
- [5] 赵巍巍. 电厂循环冷却水系统节水及零排放技术研究 [J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(07): 182-184.
- [6] 张建斌. 燃煤电厂节水及废水零排放探讨 [D]. 西安建筑科技大学, 2020.
- [7] 钟立勋. 燃气电厂节水和废水零排放技术应用 [J]. 智能城市, 2019, 5(21): 126-127.
- [8] 张志国, 邓瑞霞, 郝同杰. 燃气电厂水平衡测试及节水建议 [J]. 华电技术, 2019, 41(07): 43-45.
- [9] 彭一胜, 成海秦, 梁国智, 等. 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.
- [10] 王小航, 陈卓彬. 节水智慧平台在火电厂的应用 [J]. 资源节约与环保, 2022, (04): 1-4.