

给水厂供电系统的优化设计与运行分析

文 / 马飞艳 广西路桥集团勘察设计有限公司

摘要：随着水资源处理需求的不断增加，给水厂供电系统的优化设计显得尤为重要。本文通过分析现有供电系统的功能与不足，应对系统中常见的运行效率、设备配置、监测管理、绿色理念等问题先提出优化设计原则及负电需求分析，再提出优化设计方案，并根据设计原则对优化设计后的供电系统运行分析，旨在提高系统的稳定性、能效及可持续性。研究表明，优化后的供电系统能够显著提升供电效率，降低能耗并改善运行可靠性。

关键词：给水厂；供电系统；优化设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.076

引言

给水厂作为重要的基础设施，其供电系统直接影响水处理工艺的可靠性与效率。然而，随着用电需求的增长和技术的不断发展，传统供电系统存在架构老化、能耗高和运行效率低等问题。因此，对给水厂供电系统进行优化设计，全面提升其运行稳定性与经济性，不仅对保证水厂的正常运行至关重要，也对节约资源和保护环境具有深远意义。

一、给水厂供电系统的现状分析

(一) 给水厂供电系统的功能与重要性

给水厂供电系统是确保供水设施稳定运行的核心组成部分，其功能在于提供连续、可靠的电力支持，通过高效的电能管理着供水系统的整体运行。供电系统的稳定性直接关系到水处理工艺的连续性与可靠性，而供电质量的高低亦会显著影响设备运行的能耗水平及使用寿命。同时，供电系统承担着为生产辅助设施供电的任务，如供水泵站、监测设备及自动化控制系统等，这些设备的正常运行均依

赖于供电系统的高效运作。因此，供电系统在整个给水厂中不仅是保障日常运行的基础设施，更是提升供水系统运行质量、降低运行成本的关键所在^[1]。

(二) 给水厂现有供电系统架构

当前给水厂的供电系统通常采用双电源供电方式，以确保供电的可靠性与安全性。其系统架构主要由高压供电线路、主变压器、高低压配电柜以及备用发电设备等组成。在典型的供电系统中，主电源通过高压线路接入变电站，经主变压器降压后，经由低压配电柜分配到各用电设备。其中，备用发电系统和UPS不间断电源系统作为冗余设计，为突发情况下的应急供电提供保障。如图1所示，现代供电系统逐渐引入智能化监控与管理系统，通过实时监测电网参数与设备运行状态，实现对供电系统的动态管理与优化。对于不同规模与运行模式的水厂，其对应的供电系统架构在负荷容量分配、供电方式选择及设备配置上会存在一定差异，这也为供电系统的优化设计提供了广阔的空间^[2]。

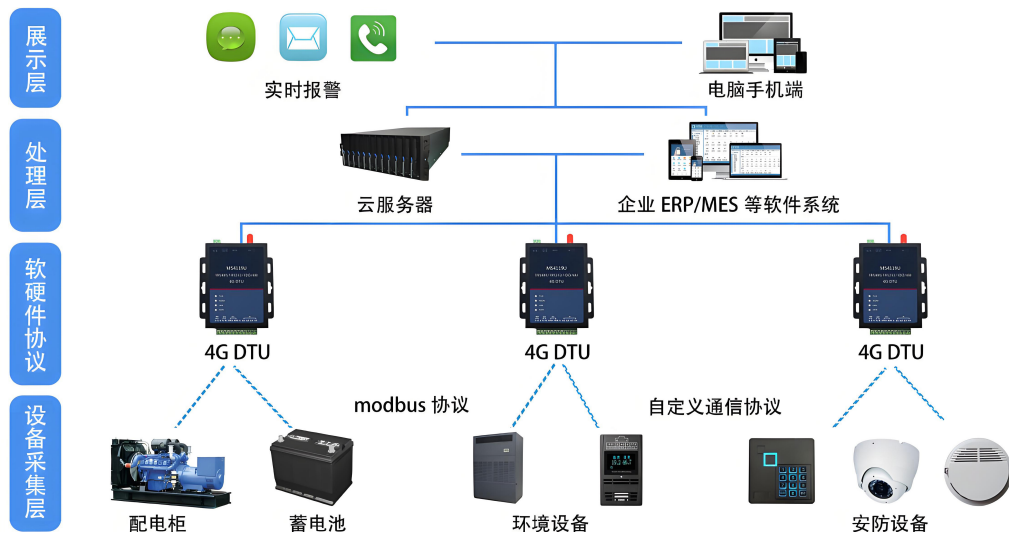


图1 现代供电系统的智能化监控管理示意图

(三) 当前系统存在的问题与不足

现有给水厂供电系统在一定程度上能够满足日常运行需求，但在运行效率、系统可持续性、系统监管可靠性以及关键设备环保选型等方面仍存在可优化的地方。第一，在运行效率上，部分供电系统因设计标准滞后或

运行时间较长，存在设备老化、技术水平低下的问题，导致电能传输效率降低以及运行维护成本增加。第二，在系统可持续性上，负荷需求变化较大的情况下，传统供电系统在负荷分配与调节能力方面表现出较大的局限性，无法满足现代化生产过程中对灵活性和适应性的要

求。第三，在系统监测结构上，供电系统的监控与管理手段多局限于基本的电气参数监测^[3]，缺乏对运行状态的深度分析与故障预测能力，导致供电故障发生时无法及时定位并快速恢复。第四，在关键设备环保选型上，由于绿色低碳理念在早期设计中未得到充分体现，现有供电系统的能耗较高，对环境的影响较为显著。

二、供电系统优化设计

(一) 设计原则与目标

在给水厂供电系统的优化设计过程中，必须遵循科学性、系统性与可操作性的设计原则，以实现供电系统在安全性、可靠性、经济性和可持续性方面的全面提升^[4]。安全性是供电系统设计的核心原则，要求通过冗余设计、保护装置配置及应急电源的部署，确保供电系统在突发情况下能够有效防控故障扩展，保障给水厂的连续供电。可靠性原则强调供电系统在运行中的稳定性，需通过合理的拓扑结构、设备选型和电网参数优化，减少供电中断的可能性，确保设备在不同工况下的正常运行。经济性原则旨在平衡初期建设成本与长期运行维护费用，通过选用高效节能的电力设备及优化负荷分配策略，降低系统的能耗和综合成本。随着低碳环保理念的不断深化，可持续性成为供电系统设计的关键目标，要求在设计中充分考虑资源利用效率和环境影响，推动绿色能源与节

能技术的融合应用。基于上述原则，优化设计的目标在于构建一个结构合理、运行高效、智能化程度高且环境友好的供电系统，以满足给水厂当前与未来的生产需求。

(二) 负荷需求分析

在优化设计给水厂供电系统的过程中，负荷需求分析是确保设计科学合理、满足实际运行需求的关键环节。该分析需要全面评估给水厂的用电负荷构成，具体包括生产用电负荷、辅助设备负荷以及办公和生活设施的非生产用电负荷三大部分^[5]。如表1所示，生产用电负荷主要来源于核心工艺设备，如水泵、鼓风机和加药设备等。这些设备对电力需求的特点表现为稳定性高、连续性强，是供电系统设计的主要依据。辅助设备负荷涵盖监控系统、水质检测设备以及自动化控制装置，其用电特点为负荷波动较小，但对供电的可靠性要求较高。而办公和生活设施的非生产用电负荷占比相对较低，但其供电设计需要关注舒适性与节能性的平衡。为了确保负荷需求分析的全面性与精确性，应结合水厂运行特点和未来发展规划，对各类用电设备的峰值负荷、平均负荷及负荷因数进行统计与预测。特别是在新建或改扩建水厂设计中，需充分考虑因处理能力提升、工艺设备升级或用电设备增加而导致的负荷增长需求。

表1 负荷需求特性表

负荷类型	主要设备	用电特点	设计要求
生产用电负荷	水泵、鼓风机、加药设备	稳定性高，连续性强	满足长时间运行需求
辅助设备负荷	监控系统、水质检测设备	负荷波动小，可靠性要求高	提供高可靠性供电
非生产用电负荷	办公设施、生活用电设备	占比比较低，关注舒适性与节能性	优化节能设计，确保舒适性

在负荷特性分析上，应特别关注负荷的时变性及季节性波动规律，明确用电高峰时段与低谷时段的分布情况，以便优化电能的分配与调度。对短路容量及设备承载能力进行分析时，应确保供电系统在正常运行和故障条件下均能满足负荷需求，避免因设备过载或设计冗余不足而引发安全隐患或运行效率低下的问题。

(三) 供电系统优化方案

1. 基于运行效率问题的供电方式优化

供电方式的科学选择是优化给水厂供电系统设计的核心环节，其合理性直接决定系统的可靠性、稳定性和经济性。基于给水厂对电力供应的高可靠性需求，双电源供电方式通常被视为最优选择，它能够在主电源发生故障时，确保备用电源的快速切换，从而实现供电的连续性和稳定性。对于地处供电条件复杂或具有特殊供电需求的水厂，应进一步配备应急备用发电机组和不间断电源(UPS)，以有效应对短期内的供电中断，保障关键设备的正常运行。与此同时，随着可再生能源技术的逐步成熟，对于规模较大的水厂，可结合实际条件引入区域分布式能源系统，通过利用太阳能、风能等清洁能源降低对传统电网的依赖，并提升能源使用效率。

2. 基于系统可持续问题的主变压器选型及容量配置

主变压器的合理选型与容量配置在供电系统优化设计中起着关键作用，直接影响供电质量和系统运行效率。

在选型过程中，应综合考虑给水厂的最大负荷需求、设备运行特性和未来用电增长的可能性，以确保主变压器在高效运行的同时具备适当的容量裕度，避免因容量不足导致设备过载或因过度冗余引发资源浪费。技术参数的优化，包括电压等级、短路阻抗及能效比，是选型的核心要素，需要在满足供电需求的基础上实现能耗最小化和运行经济性最大化。在容量配置方面，若采用多台主变压器并联运行模式，则需充分分析负荷的均衡分配及设备冗余能力，以确保在任一台变压器故障时，其他变压器能够接管全部负荷，从而维持供电的持续性与安全性。为应对未来可能的扩展需求，主变压器的容量配置应适度预留扩展空间，避免后期改造的高昂成本。

3. 基于系统监测问题的保护与监控优化

在保护系统方面，应采用智能化、数字化的保护设备，通过全面覆盖的保护机制确保供电系统在发生短路、过载等异常情况下，能够迅速切断故障源并维持非故障部分的正常运行。同时，应优化继电保护装置的配置，以提升系统在多种运行条件下的响应速度和精准度。在监控系统的设计中，可引入先进的在线监测技术和远程控制技术，通过对电压、电流、功率因数等关键参数的实时采集与分析，全面掌握供电系统的运行状态。基于大数据与人工智能技术的故障预测与预警功能，可有效降低设备故障率，并提高系统的运维效率。在保护与监控系统优化的整体设计中，

需注重各子系统间的协同运行,确保保护与监控功能的有机结合,从而实现供电系统的全方位、高可靠性运行。

4. 基于绿色可持续发展的关键设备优化设计

(1) 高效节能设备选型

在设备选型过程中,应优先考虑具有高能效比、低故障率和较长使用周期的先进设备,以适应给水厂供电系统的长期稳定运行需求。例如,在电动机、变压器等设备的选型上,可选用符合国家一级能效标准的产品,以最大程度降低设备运行能耗。同时,需关注设备在不同负荷工况下的性能表现,以确保其在满负荷和部分负荷运行时均具有较高效率。此外,还应充分考虑新型节能技术的应用,如高效变频器的引入,不仅可以实现精准的负载控制,还能显著提升能量利用效率。在设备选型的整体方案制定中,应综合考虑技术先进性、经济适用性以及与系统其他设备的匹配性,从而实现供电系统的高效能量传输与低碳环保目标。

(2) 供电设备网络拓扑优化

供电网络拓扑结构优化设计需充分结合负荷分布、电气设备布局及实际运行需求。优化后的供电网络应在简化线路路径的同时,确保电能传输的高效性,避免因节点过多或路径冗长造成能量损耗和管理复杂度上升。针对给水厂供电的高可靠性要求,建议采用环网结构或双环网结构,使供电系统在任一节点或线路发生故障时,能够通过其他路径快速恢复供电,从而显著提高系统的故障容忍能力。在此基础上,合理配置分支线路和配电设备的位置,从而降低运维成本并提升设备检修的便捷性。并结合当前智能化电网技术^[6]迅速发展的背景下,供电网络拓扑优化积极融入适配的监控与自动控制系统,实现对网络运行状态的实时监测和动态调整,以确保系统始终运行在最佳状态。

三、基于设计原则的供电系统运行分析

(一) 系统运行稳定性分析

在稳定性分析中,应重点考察系统在不同负荷条件、外部供电波动以及设备运行状况下的稳定运行能力。通过对电压、电流及频率等关键参数的长期监测,可评估系统的动态响应特性与抗干扰能力。特别是在应对突发负荷变化时,系统是否能够迅速恢复至正常运行状态是评估稳定性的重要依据。此外,针对电网可能的外部扰动,如短时断电或电压骤降,需验证系统的容错能力与冗余设计的有效性。通过全面的运行稳定性分析,不仅能够发现系统潜在的薄弱环节,还可为未来的运行优化提供数据支持,以确保供电系统始终处于高效、稳定的工作状态。

(二) 系统能耗及经济性评价

在能耗分析中,通过对变压器、电动机及供电线路的损耗进行详细测算,可识别主要的能量损失环节并提出针对性的改进措施。同时,需结合负荷变化规律,分析设备在不同运行工况下的能效表现,优化设备调度策略,以实现整体能耗的最小化。经济性评价方面,需综合考虑系统的建设投资、运行维护费用及能源消耗成本,评估供电方案在全生命周期内的经济可行性。此外,还应分析不同优

化措施对经济效益的影响,例如高效节能设备的投入能否通过降低运行成本在较短时间内收回投资。通过全面的能耗及经济性分析,可为供电系统的节能改造和成本控制提供科学依据,实现经济效益与能源效率的双赢目标。

(三) 系统故障与安全性分析

在故障分析中,主要考察设备故障率、线路故障发生率及故障波及范围等关键指标,通过故障树分析法或故障模式及影响分析法(FMEA)对潜在故障原因进行深入剖析,并提出相应的防范措施。安全性分析则需评估系统在故障条件下的快速响应能力和自愈能力,包括继电保护装置的动作准确性以及备用电源的切换速度。同时,应审视安全管理制度的完善程度,确保对设备运行及检修维护过程中的风险进行有效控制。通过科学的故障与安全性分析,能够提升供电系统的抗风险能力,保障其在复杂工况下的可靠运行。

(四) 环境影响与可持续性分析

在环境影响方面,应分析供电设备运行中的电磁辐射、噪声及其他潜在环境污染因素,同时探讨通过技术手段减轻环境负担的可行性。在可持续性分析中,应重点考察系统运行对能源资源的利用效率,特别是清洁能源和节能设备的应用比例,以及其在减少碳排放和能源消耗方面的实际效果。从全生命周期视角评估供电系统的环境友好性,包括设备制造、运行和报废处理过程中的资源消耗及环境影响。通过全面的环境影响与可持续性分析,可为实现绿色供电和低碳发展提供理论支持,并进一步推动供电系统向高效、环保的方向演进。

结语

本文围绕给水厂供电系统的优化设计与运行分析,从现状评估、负荷需求分析到优化方案制定,系统地探讨了提升供电系统效率与稳定性的途径。研究成果表明,优化设计在提高系统可靠性和节能性方面具有显著作用。然而,本文尚未充分涉及长期运行监测及智能化管理的实现路径,未来研究可进一步探索智能化供电技术的应用与多能源协同优化策略,以满足水厂不断发展的需求。

参考文献

- [1] 李剑宇. 牵引供电系统的可靠性与稳定性分析与优化[J]. 自动化应用, 2024, (01): 179-181+185.
- [2] 陈亢清波, 侯云飞, 黄文涛, 张胜利, 官令惠. 分布式供电系统双向DC-DC变换器优化控制方法[J]. 中国设备工程, 2024, (11): 99-101.
- [3] 杨磊, 雷成, 李亮, 王镜淇. 基于LSTM与电气参数的电机状态监测方法[J]. 机电工程技术, 2023, (07): 164-169.
- [4] 温琳苹, 孙海波, 徐进. 给水厂无人值守电控改造设计[J]. 天津建设科技, 2022, (04): 76-80.
- [5] 陆彬斌. 净水厂负荷计算和供电MD合理申请的分析[J]. 电世界, 2017, (06): 40-43.
- [6] 庞思奇, 吕世高. 分布式电源与智能化电网协同优化技术应用[J]. 集成电路应用, 2024, (06): 132-133.