

碳中和导向下泵站能源系统重构与微电网设计

赵金刚 刘冬侠 卢荻

徐州市水利工程运行管理中心，江苏徐州，221000；

摘要：在全球碳中和目标的大背景下，能源结构转型成为各行业发展的关键方向。泵站作为能源消耗大户，其能源系统的优化与重构对于实现碳中和目标具有重要意义。本文首先分析了碳中和导向的重要性以及泵站能源系统的现状，进而探讨了泵站能源系统重构的路径，包括能源结构优化、设备能效提升和能量管理策略完善等方面。同时，详细阐述了微电网在泵站中的设计要点，如微电网的构成、能源协调控制以及经济性与环保性平衡等。最后，结合实际案例进行分析，并对未来泵站能源系统与微电网的发展趋势进行了展望，旨在为泵站领域实现碳中和目标提供理论与实践参考。

关键词：碳中和；泵站；能源系统重构

DOI：10.69979/3060-8767.25.10.025

引言

随着全球气候变化问题加剧，碳中和成国际社会共同目标，各国出台政策推动能源结构向清洁、低碳转型。泵站是水利、市政、工业等领域重要基础设施，运行耗电多，是能耗和碳排放重要来源，其能耗在社会总能耗中占比受关注。因此，在碳中和导向下重构泵站能源系统、设计合理微电网，对降碳、提效有重要意义。研究此课题，能支撑泵站行业绿色发展，为高能耗行业转型提供借鉴。优化泵站能源系统、提高可再生能源占比，可减碳助力碳中和；微电网设计能提升泵站能源供应稳定性和灵活性，降成本、提效益。国际上，多国重视泵站节能降耗与低碳发展，发达国家采用先进技术和设备取得显著成效，如欧洲部分国家引入太阳能光伏系统结合储能设备。国内，随着碳中和目标提出，泵站能源系统优化重构受关注，研究机构和企业开展相关研究，部分泵站尝试集成可再生能源、探索微电网应用模式。但与国际先进水平比，国内在泵站能源系统整体设计、可再生能源利用及微电网控制等方面有差距，需深入研究。

1 碳中和导向的相关理论

1.1 碳中和的概念与内涵

碳中和是指企业、团体或个人在一定时间内直接或间接产生的温室气体排放总量，通过植树造林、节能减排等形式，以抵消自身产生的二氧化碳排放量，实现二氧化碳“零排放”。其核心内涵是通过能源结构调整、产业转型升级、技术创新等手段，减少温室气体排放，同时增加碳汇，实现人与自然的和谐发展。

1.2 能源系统转型的趋势

在碳中和目标的驱动下，全球能源系统正朝着清洁化、低碳化、智能化的方向转型。传统的以化石能源为主的能源结构将逐渐被以可再生能源为主的能源结构所替代，太阳能、风能、水能、生物质能等可再生能源的占比将不断提高。同时，能源系统的智能化水平也将不断提升，通过先进的信息技术实现能源的高效调度、优化配置和精准管理，提高能源利用效率。

1.3 微电网在碳中和中的作用

微电网是由分布式电源、储能装置、能量转换装置、相关负荷和监控、保护装置汇集而成的小型发配电系统。在碳中和目标中，微电网具有重要作用。一方面，微电网可以充分利用当地的可再生能源，减少对传统电网的依赖，降低碳排放；另一方面，微电网能够提高能源供应的可靠性和灵活性，当主电网出现故障时，微电网可以独立运行，保障重要负荷的供电。此外，微电网还可以通过能量管理系统实现能源的优化分配，提高能源利用效率，进一步促进碳中和目标的实现。

2 泵站能源系统现状分析

2.1 泵站的能源消耗特点

泵站的主要功能是通过水泵将水从低处输送到高处，其能源消耗主要集中在水泵的运行过程中。水泵的能耗与流量、扬程、效率等因素密切相关，具有以下特点：一是能耗量大，由于泵站需要长时间连续运行，且水泵的功率较大，因此能源消耗总量较高；二是负荷波动大，泵站的运行负荷会随着季节、用水量等因素的变化而发生较大波动，导致能源消耗不稳定；三是能源利用效率不高，部分泵站由于设备老化、控制方式落后等

原因,水泵的运行效率较低,存在能源浪费现象。

2.2 当前泵站能源系统存在的问题

能源结构不合理:目前,大多数泵站主要依赖传统的化石能源发电,如燃煤、燃气等,可再生能源的利用比例较低,导致碳排放量大。

设备能效水平低:部分泵站的水泵、电机等设备老化严重,技术性能落后,运行效率低下,增加了能源消耗。

能源管理方式落后:缺乏有效的能源管理系统,对泵站的能源消耗情况缺乏实时监控和数据分析,无法及时发现和解决能源浪费问题。

电网依赖性强:泵站的能源供应主要依赖主电网,当主电网出现停电等故障时,会影响泵站的正常运行,可靠性有待提高。

2.3 碳排放情况分析

由于泵站能源消耗以化石能源为主,且能源利用效率不高,导致其碳排放量较大。根据相关测算,泵站的碳排放主要来自于电能消耗所产生的间接排放,以及设备运行过程中产生的直接排放。随着泵站规模的不断扩大和运行时间的增加,其碳排放量也将持续增长,对环境造成较大压力。因此,降低泵站的碳排放量是实现碳中和目标的重要任务之一。

3 泵站能源系统重构路径

3.1 能源结构优化

可再生能源的引入:根据泵站的地理位置和资源条件,引入合适的可再生能源,如太阳能、风能、水能等。例如,在光照充足的地区,可以在泵站的屋顶、周边空地等安装太阳能光伏发电系统;在风力资源丰富的地区,可以安装风力发电设备。通过利用可再生能源,减少对传统化石能源的依赖,降低碳排放。

传统能源的清洁化改造:对于仍需使用传统能源的泵站,进行清洁化改造,如采用燃气轮机替代燃煤锅炉,提高能源利用效率,减少污染物排放。

3.2 设备能效提升

高效水泵与电机的选型:选用高效节能的水泵和电机,根据泵站的实际运行工况,合理确定水泵的型号和参数,确保水泵在高效区运行。高效电机具有较高的功率因数和效率,能够有效降低能源消耗。

变频调速技术的应用:采用变频调速技术对水泵进行控制,根据用水量的变化实时调节水泵的转速,实现水泵的变流量运行。与传统的阀门调节方式相比,变频

调速技术能够显著降低能源消耗,提高水泵的运行效率。

3.3 能量管理策略完善

建立能源监控系统:通过安装传感器、智能仪表等设备,对泵站的能源消耗情况进行实时监控和数据采集,包括用电量、用水量、设备运行参数等。建立能源管理平台,对采集的数据进行分析和处理,及时发现能源浪费问题,并制定相应的改进措施。

优化运行调度方案:根据泵站的负荷变化和可再生能源的发电情况,制定优化的运行调度方案。在可再生能源发电充足时,优先利用可再生能源为泵站供电;在可再生能源发电不足时,合理调配传统能源和储能设备,确保泵站的正常运行,同时最大限度地减少能源消耗和碳排放。

4 泵站微电网设计要点

4.1 微电网的构成

分布式电源:包括太阳能光伏发电系统、风力发电设备、小型水力发电装置等可再生能源发电设备,以及柴油发电机等备用电源。分布式电源的容量应根据泵站的负荷需求和当地的资源条件进行合理配置。

储能装置:储能装置是微电网的重要组成部分,其作用是储存多余的电能,在可再生能源发电不足或负荷高峰期时释放电能,保障微电网的稳定运行。常用的储能装置包括蓄电池、超级电容器等。储能装置的容量应根据微电网的运行特性和负荷需求进行设计。

负荷:主要包括泵站的水泵、电机、照明、控制系统等用电设备。根据负荷的重要程度和供电可靠性要求,将负荷分为重要负荷和一般负荷,以便在微电网运行过程中进行优先供电。

监控与保护系统:负责对微电网的运行状态进行实时监控和保护,包括分布式电源的运行状态、储能装置的充放电状态、负荷的用电情况等。当微电网出现故障时,监控与保护系统能够及时发出报警信号,并采取相应的保护措施,确保微电网的安全稳定运行。

4.2 微电网的能源协调控制

能量管理系统的设计:能量管理系统是微电网协调控制的核心,其主要功能是实现分布式电源、储能装置和负荷的优化调度和管理。通过采集微电网的运行数据,预测可再生能源的发电量和负荷需求,制定最优的能量分配方案,确保微电网的经济、稳定运行。

分布式电源与储能装置的协调控制:根据可再生能源的发电情况和储能装置的荷电状态,实现分布式电源

与储能装置的协调运行。当可再生能源发电量大于负荷需求时,将多余的电能储存在储能装置中;当可再生能源发电量小于负荷需求时,由储能装置释放电能,不足部分由备用电源补充。

与主电网的互动:微电网可以与主电网进行连接,实现能量的双向流动。在主电网供电稳定且电价较低时,微电网可以从主电网购电;在可再生能源发电充足且主电网电价较高时,微电网可以向主电网售电,提高微电网的经济效益。同时,当主电网出现故障时,微电网可以切换到独立运行模式,保障重要负荷的供电。

4.3 微电网的经济性与环保性平衡

经济性分析:在微电网设计过程中,需要进行经济性分析,包括初始投资、运行成本、维护成本等。通过优化微电网的构成和运行策略,降低微电网的建设和运营成本,提高其经济效益。例如,合理选择分布式电源和储能装置的容量,避免过度投资;优化运行调度方案,减少能源采购成本。

环保性分析:微电网的设计应充分考虑环保性,最大限度地减少碳排放。通过提高可再生能源的利用比例,减少传统能源的消耗,降低污染物排放。同时,选用环保型的设备和材料,减少对环境的影响。

平衡策略:在微电网设计中,需要在经济性和环保性之间进行平衡。通过综合考虑两者的因素,制定合理的设计方案。例如,在可再生能源资源丰富的地区,可以适当增加分布式电源的容量,提高环保性;在电价较高的地区,可以优化储能装置的运行策略,降低运行成本。

5 案例分析

选取某地区一座用于农业灌溉和城市供水的大型泵站为研究案例,其总装机容量 5000kW,年用电量约 2000 万 kWh,以市电为主能耗高、碳排放量大。为实现碳中和,对其能源系统重构,设计微电网系统。

能源结构优化方面,在泵站屋顶和周边空地安装 2000kW 太阳能光伏发电系统,预计年发电量约 250 万 kWh,同时引入 1000kW 燃气轮机作备用电源,减少市电依赖。

设备能效提升方面,将原有低效水泵和电机换为高效节能产品,水泵效率提高 10%-15%,电机效率提高 5%-8%,并对水泵采用变频调速技术,根据负荷实时调节转速。

能量管理策略完善方面,建立能源监控系统,实时监控和采集用电量、太阳能发电量、燃气轮机运行状态

等数据,通过能量管理系统优化运行调度,优先用太阳能发电,不足部分由燃气轮机和市电补充。

微电网构成上,由 2000kW 太阳能光伏发电系统、1000kW 燃气轮机、500kWh 蓄电池储能装置及泵站用电负荷组成,监控与保护系统采用先进自动化控制技术。

能源协调控制方面,能量管理系统根据太阳能发电量、负荷需求和蓄电池荷电状态制定最优分配方案,太阳能发电多余时为蓄电池充电,不足时先由蓄电池放电,再由燃气轮机供电,故障则切换市电。

经济性与环保性分析显示,微电网初始投资约 1500 万元,预计年节约电费约 200 万元,减少碳排放约 1500 吨,投资回收期约 7.5 年,环保效益良好。

方案实施后运行效果佳,太阳能光伏发电系统稳定,年发电量达预期,高效水泵和变频调速技术使能耗降低 20%,微电网与主电网可靠互动保障泵站运行,既降低成本,又助力碳中和。

6 结论

本文在碳中和导向下深入研究泵站能源系统重构与微电网设计。分析泵站能源系统现状与问题,提出能源结构优化、设备能效提升和能量管理策略完善等重构路径,阐述微电网构成、能源协调控制及经济性与环保性平衡等设计要点,并结合案例分析。研究表明,重构泵站能源系统与合理微电网可降低碳排放量、提高能源利用效率,实现经济与环境效益双赢。未来,随着碳中和目标推进和技术创新,泵站能源系统与微电网发展有以下趋势:高比例集成可再生能源,随着其技术成熟、成本降低,泵站将更多集成,降低碳排放;提升智能化水平,引入先进技术实现精准能源调度、高效设备管理和可靠运行监控;实现多能互补与协同优化,结合多种能源提高供应稳定性与灵活性,通过协同优化实现高效转换利用;创新商业模式,探索能源共享、需求响应等模式提高经济效益与竞争力。总之,在碳中和导向下,泵站能源系统重构与微电网设计前景广阔,通过技术创新与实践探索,将为泵站行业绿色可持续发展及国家碳中和目标作贡献。

参考文献

- [1] 刘俊峰,罗燕,侯媛媛,等.考虑广义储能的微电网主动能量管理优化算法研究[J].电网技术,2023.
- [2] 控制科学与工程.计及预测不确定性的智能微电网协调控制与优化运行研究[D].2024.
- [3] 王帅.光储直流微电网运行控制策略与能量管理研究[D].东北大学,2021.