

土壤储能的系统构建与效益分析

李波¹ 高玉辉² 党巍²

1 西咸新区城市设施管理有限公司, 陕西 咸阳 712000

2 陕西西咸新区创拓新能源发展有限公司, 陕西 咸阳 712000

[摘要]伴随着我国可再生能源利用率的不断攀升,构建新型的能源储能系统,提高系统储能能力及稳定性成为影响可再生能源利用的关键因素。作为一种适应性强、成本较低且受环境影响较小的储能方式,土壤储能技术逐渐获得关注。以土壤储能原理为核心,剖析其在区域储能系统搭建中的应用模式,提出依托土壤热-电协同调控的系统构建方案,从经济效益、环境效益及社会效益三方面来系统分析其可行性。基于土壤储能的区域能源系统在提升能源利用效率、减少碳排放以及优化能源结构上优势显著,为打造低碳、高效、智能的绿色用能体系开辟了新途径。

[关键词]可再生能源;土壤储能;热-电协同调控;效益分析

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16854

中图分类号: S718

文献标识码: A

Construction and Benefit Analysis of Soil Energy Storage System

LI Bo¹, GAO Yuhui², DANG Wei²

1. Xixian New Area Urban Facilities Management Co., Ltd., Xianyang, Shaanxi, 712000, China

2. Shaanxi Xixian New Area Chuangtuo New Energy Development Co., Ltd., Xixian, Shaanxi, 712000, China

Abstract: With the continuous increase in the utilization rate of renewable energy in China, the construction of new energy storage systems and the improvement of system storage capacity and stability have become key factors affecting the utilization of renewable energy. As an energy storage method with strong adaptability, low cost, and minimal environmental impact, soil energy storage technology is gradually gaining attention. Based on the principle of soil energy storage, this paper analyzes its application mode in the construction of regional energy storage systems, proposes a system construction plan relying on soil thermal electric collaborative regulation, and systematically analyzes its feasibility from three aspects: economic benefits, environmental benefits, and social benefits. The regional energy system based on soil energy storage has significant advantages in improving energy utilization efficiency, reducing carbon emissions, and optimizing energy structure, opening up new avenues for building a low-carbon, efficient, and intelligent green energy system.

Keywords: renewable energy; soil energy storage; thermal electric synergistic regulation; benefit analysis

引言

全球能源结构正经历深度转型,以可再生能源为主导的分布式能源体系,正稳步替代传统化石能源体系。在此背景下,要保障可再生能源的稳定供应,储能系统布局是核心要点,尤其是浅层地热能的热能存取上的能力,为区域热电联供及季节性调蓄系统的构建赋予独特优势。目前,土壤储能与区域能源系统整合研究缺乏系统性,实施的路径尚存在一些缺陷。本文将从系统设计、运行机制与综合效益三个层面,研讨基于土壤储能的区域能源系统搭建逻辑及实际应用功效。

1 土壤储能技术原理与适应性分析

1.1 土壤储能的基本原理

土壤储能技术主要依托土壤层本身所具有的热容量特性,土壤能够吸收并大量储存热能,这一特性为实现能源在不同季节之间的有效调节提供了坚实的物理基础。土壤的热容量使其成为天然的热能蓄存体,可以在夏季吸收

多余的热量并储存起来,在冬季则释放储存的热能,从而调节环境温度,减少对传统能源的依赖,提高能源利用效率。

土壤储能系统一般与热泵技术结合使用,热泵通过吸收或排放热量达成目的。在夏季可把多余热量存放至地下,冬季时释放提取已储存的热量进行供暖,也可在冬季把冷量储存起来,夏季时把储备的冷量释放,实现“冬天储存冷量、夏天释放冷量”和“夏天储存热量、冬天释放热量”的运作模式。土壤储能系统不仅提升了节能效果,还有效降低了环境负担,是一种绿色、可持续的能源利用方式^[1]。

1.2 区域气候与地质条件适配性

诸多自然条件影响了土壤储能的效果,尤其是区域地质构造、地下水活动状态以及土壤热传导性能等因素,地质结构影响着土壤的密度与组成成分,直接关系到热量在土壤中的传导效率。地下水的流动也发挥重要作用,稳定的地下水位可促进土壤温度保持均衡,以此强化储热及储冷的效果。而热量在土壤中的扩散速度与范围由土壤的

导热性决定,为影响储能系统性能的关键要点。

在季节温度差异明显的区域,由于冬夏之间温度差异大,土壤储能对季节的调节效果更为明显。在地下水位稳定的区域,土壤温度稳定性的维持效果更佳,使热能存储的高效程度增强,尤其是在城市群、产业园区般用能集中且需求颇高的区域。采用土壤储能系统可实现能源的高效利用,减少能源消耗,降低碳排放,引领实现绿色低碳的发展,这些系统不仅提升了能源利用效率,更为区域节能减排提供了有力支撑。

2 基于土壤储能的区域能源系统构建模式

2.1 系统结构设计

该系统主要由浅层地热埋管系统、热泵换热系统、热电联供模块、智能控制单元、用户端分布式负荷响应平台等核心部分组成。浅层地热埋管系统凭借埋入地下的管道,利用地表下恒定的温度资源作为供冷或供热的源头,实现对用户物冷热环境的调控。热泵换热系统通过吸收浅层地热的热能,增强能源利用成效,做到高效的冷热转化与输送。系统同样装有热电联供模块,能同步输出热能和电能,提升能源的综合利用水平。为保障整个系统实现智能化管理与优化运转,智能控制单元承担着实时对各部分设备运行状态进行监测与调控的工作,保障系统在各种工况下皆可呈现最佳性能^[2]。

值得强调的是,该系统并非仅依靠地热能作为热源,还可辅以太阳光能、生物质能这类的多种可再生能源,搭建起一套多能互补的能源体系。通过这种多能聚合的形式,系统能实现区域中多种能源形式的高效联合供给,切实改善能源的利用效率,减少对传统化石能源的依赖,推动实现绿色低碳发展。用户端分布式的负荷响应平台可根据用户现实用能需求和电网负荷的情况,弹性调节能源的供给和需求水平,增进系统响应速度及适应程度,实现能源的智能分派与高效管理模式。整个系统设计不仅把重点放在能源高效利用上,进一步突显了环保及可持续发展理念,为智慧能源管理提供了卓有成效的技术后盾。

2.2 热-电协同运行机制

采用智能控制系统对用户的电力负荷、冷热负荷进行动态辨识与调控,能实现能源的精准把控与高效利用。该系统借助先进的传感器技术和数据采集,即时监测用户内部温度的波动状况、用电需求以及外部环境因子,采用大数据分析对不同时段负荷特性开展深度挖掘和预测。凭借这种动态辨识能力,系统可依据实际需求灵活地对能源输出比例作出调整,保障能源供应与用户负荷实现最优契合,杜绝资源的盲目浪费。

在具体应用实施期间,智能控制系统参照电力负荷的时段性变化,恰当调配热泵系统的运行模式。在电力需求低谷的时段,系统会先运行热泵设备,利用低谷电价把额外的电能转化为热能,通过地下埋管系统将热能储进土壤中,该储能方式不但提升了能源的利用效率,更为后续用

能高峰阶段做好了能量储备。若进入到电力高峰时段,用户的用电需求量大,系统开始把土壤中储存的热量释放,应对用户的供暖或制冷需求,由此有效削减对电网的直接用电负荷,实现用电峰谷差平衡。采用这种智能调节途径,不但可以能源结构的优化,提高系统经济层面与稳定状态的水平,也可减轻电网运行的负荷压力,促进能源形成绿色可持续发展格局^[3]。

2.3 系统运维与能源管理策略

为了让系统的智能化程度与能源利用效率再上台阶,采用了分布式能源管理系统(DEMS)加上能效监测平台,能效监测平台借助大量传感器与监测设备的部署,完成整个能源系统实时数据的采集工作,全面把控各类能源设备的运行态势、能耗状况以及储能系统的充放状态。依托这些数据,平台有能力对储能系统的状态进行科学评估,及时揪出潜在隐患,且能为后续的优化调度给予精准凭证。

而分布式能源管理系统(DEMS)在这基础上,承担起不同类型能源资源的协调调度事宜,实现多能源系统协同运作。依靠先进算法及智能控制方法,DEMS可动态对能源输出和储存的比例作出调整,保障系统在供能稳定有保障的前提下,最大程度提升能源利用效率。尤其是在储能管理范畴,系统会按照实时的负荷要求及电价波动情况,恰当安排储能设备充放电的时间档期,实现能源使用成本的优化。此系统也有跟地方电网进行能量交换的能力,可灵活进入需求响应市场开展活动。通过响应电网所下达的调度信号,更改自身用电及发电的行为模式,对缓解电网峰谷差起到积极作用,还可拿到额外的经济增收。这般双向能量的流转与智能协同调度,既提高了系统的经济获利,同时强化了运行的灵活性及可靠性,为构建绿色、高效、智能的能源格局打下了坚实根基。

3 基于土壤储能系统的综合效益分析

3.1 经济效益

该系统在节能降耗表现十分出色,可极大降低制冷和制热的运行成本支出。与传统的空调以及锅炉系统相比,其能源利用效率提升显著,智能化控制与优化调节技术切实降低了能源的无谓消耗,使整体运行费用降低20%到40%。此节能效应不仅降低了企业以及用户的费用支出,也减少碳的排放量,有利于推进绿色环保及可持续发展进程。依靠高效的热交换装置及先进控制算法,实现对制冷制热过程的精准把控以及能源的合理分配与高效利用。与传统设备对比,减少非必要的能耗峰值和频繁开启次数,让设备的使用寿命变长,降低维护成本。系统所采用的模块化设计与灵活配置,让其可依据不同的用户物与需求,定制贴合需求的方案,进而提高了能效方面的表现^[4]。

在系统建设起始的阶段,纵然要有一定的资金投放量,但资金压力能通过各式各样的方式得到舒缓。合同能源管理(EMC)作为一种创新型的融资及运营模式,成为助

力用户降低前期资金支出的有效手段。采用 EMC 的办法,专业能源服务公司承担项目的设计、建造与运维工作,用户采用分期支付模式,用节约的能源费用支付投资成本,由此完成零或低成本的相关改造。这般做法减轻了资金上的压力,且凭借专业化管理保障了节能的成果。该投资回报机制增进了项目的经济吸引力,让用户投资所涉风险降低,助力节能技术的推广与实施。伴随系统运行效率不断增长和维护费用下降,整体的经济效益日渐明晰显现,助力用户收获长期稳定的节能效益。该系统凭借这种综合优势,在市场竞争中彰显出显著优势,驱动用户节能与能源管理踏入智能化、绿色化的崭新阶段。

3.2 环境效益

作为新型绿色能源技术的土壤储能系统,由于无燃烧环节,几乎不会直接产生有害排放,体现出明显的环境优势。过往的能源系统架构,尤其像燃煤装置和燃气装置,一般会伴随着大量二氧化碳等污染物的排放,成为影响区域空气质量及加剧气候变化的主要因素。土壤储能系统将地下土壤作为能量存储的介质,通过热能循环利用来实现制冷与制热目标,消除了燃烧阶段产生的碳排放,该特点使它成为实现低碳经济转型的一项重要技术路径。在综合运行条件下,土壤储能系统可明显降低区域的二氧化碳碳排放规模,预估可将排放量降低 30%~50%。该减排成效不仅缓解了环境面临的压力,还为国家及地区实现“双碳”目标奠定了坚实的技术根基。通过有效利用土壤热容量,系统能实现能源的高效利用,避免了能源的无谓消耗,由此实现整体能源利用效率大幅提升。

土壤储能系统可明显降低用户的能源总消耗量。城市能源消费中,用户能耗占据较大比例,尤其是在制冷、供热的过程中。该系统凭借土壤温度的相对稳定特性,降低了传统设备对电能及燃料的依赖程度,从本质上削减了能源消耗。伴随系统技术持续成熟与应用拓展,使用户能耗结构得到优化,能源利用更加合理和绿色。此项绿色转型呈现出的优势,正符合现阶段全球与我国推进的“双碳”战略背景。促进土壤储能系统的应用,能助力行业实现节能减排目标,推动绿色用能及智慧城市的成型。其无污染、低能耗的特质不仅与环境保护要求相呼应,同时增进了能源安全性与经济效益^[5]。

3.3 社会与政策效益

系统建设自身具有显著的节能环保优势,还可以有效促进本地绿色用户及可再生能源产业的发展。伴随该系统在各类用户中的推广应用,相关绿色材料、节能设备及智能控制技术需求日益增长,推动上下游产业链形成良性互动和协同共进格局。这种产业链形成的联动成效,不仅使本地产业的整体竞争水平有所提高,也带动了就业岗位增

长以及技术创新的发展,促使区域经济实现绿色转型及高质量增长。

用户作为可持续发展的关键组成部分,对节能技术和环保材料的依赖愈发强烈。系统应用推动用户对设计理念不断更新,使用户更关注节能减排以及资源的高效利用。可再生能源相关产业,如太阳能、风能、生物质能等,也因系统需求的扩充获取了更多市场契机,二者相辅相成,构建起绿色用能与可再生能源产业协同向好的理想局面。系统建设与政府推动清洁能源发展的政策要求高度吻合。现今各级政府纷纷制定支持绿色低碳发展的政策,支持节能环保项目建设和运营。系统借助其技术优势以及显著的节能减排成果,得到了政策层面的大力支持,包括资金补贴、税收优惠以及审批程序简化等多类扶持。这些政策扶持不仅使项目建设与运营成本降低,也加快了项目审批速度,增强了项目推广落地的成效。

4 结语

基于土壤储能的区域能源系统,是绿色低碳能源技术的重要实践形式,具有系统集成性突出、能效优异、环境兼容性高等诸多优势。采用科学的系统设计和运营管理措施,可切实增强区域能源利用的效果,为我国清洁能源转型与能源安全保障助力。未来可进一步结合数字孪生、人工智能等相关技术,推动该系统向智能化、多维协同方向拓展,实现应用范围更广、运营更高效的目标。

【参考文献】

- [1]顾治国,岳晨.基于城市区域的综合能源系统节能方案分析[J].暖通空调,2025,55(1):239-241.
- [2]朱爱华,孙志权,卢巍,等.基于纳什谈判的乡村多区域能源系统协同低碳经济调度[J].浙江电力,2025,44(4):61-71.
- [3]刘继彦,王瑞琪,朱峰,等.区域综合能源系统多能减碳装置多目标最优配置研究[J].全球能源互联网,2025,8(2):224-238.
- [4]韩中合,赵昕,杨世明,等.区域综合能源系统多目标优化及改进主客观评价[J].太阳能学报,2024,45(12):606-616.
- [5]陈佳琪.多区域综合能源系统协同优化研究[D].北京:北方工业大学,2024.

作者简介:李波(1985.11—),毕业院校:长安大学,所学专业:环境工程,当前就职单位:西咸新区城市设施管理有限公司,职称级别:工程师;高玉辉(1982.9—),毕业院校:中南林业科技大学,所学专业:道路与桥梁,当前就职单位:陕西西咸新区创拓新能源发展有限公司,职称级别:工程师;党崑(1990.12—),毕业院校:华北电力大学科技学院,所学专业:热能与动力工程,当前就职单位:陕西西咸新区创拓新能源发展有限公司,职称级别:工程师。