

工厂电气系统绿色能源利用模式研究

洪连辉

天津中集集装箱有限公司, 天津 300461

[摘要]当前,全球能源体系正处在一场以低碳化以及智能化作为核心的转型过程当中。工业生产属于能源消耗和碳排放的关键领域之一,所以其电气系统的绿色化改造已然成为一种无法扭转的发展趋势。不过,很多工厂的电气系统依旧很大程度上依靠传统化石能源来供电,存在着能耗偏高、碳排放强度较大以及用能成本出现明显波动等一系列问题。与此间歇性且波动性的可再生能源在大规模接入之后,也给工厂电网的稳定运行以及电能质量带来了全新的难题。所以说,去探索并且构建起一种可以高效地消纳绿色能源、保障系统稳定运行并提升综合效益的工厂电气系统利用模式,有着极为迫切的实际意义。此项研究着重对这一模式的理论根基、技术架构以及评价方法展开系统性的探讨,期望能够为工业领域的绿色低碳发展给予一定的学术方面的思考。

[关键词]工厂电气系统;绿色能源;微电网;光伏;风电;标准煤

DOI: 10.33142/hst.v9i1.18985

中图分类号: TM92

文献标识码: A

Research on Green Energy Utilization Mode of Factory Electrical System

HONG Lianhui

China International Marine Containers (Group) Ltd., Tianjin, 300461, China

Abstract: Currently, the global energy system is undergoing a transformation process centered around low-carbon and intelligent development. Industrial production is one of the key areas of energy consumption and carbon emissions, so the green transformation of its electrical system has become an irreversible development trend. However, the electrical systems of many factories still rely heavily on traditional fossil fuels for power supply, which presents a series of problems such as high energy consumption, high carbon emission intensity, and significant fluctuations in energy costs. After the large-scale integration of renewable energy sources with intermittency and volatility, it has also brought new challenges to the stable operation of factory power grids and the quality of electricity. Therefore, it is of great practical significance to explore and construct a factory electrical system utilization mode that can efficiently absorb green energy, ensure stable system operation, and improve overall efficiency. This research focuses on the systematic discussion of the theoretical basis, technical framework and evaluation methods of this model, hoping to give some academic thinking to the green and low-carbon development in the industrial field.

Keywords: factory electrical system; green energy; microgrid; photovoltaic; wind power; standard coal equivalent

能源安全是国家的生命线,危机下更为凸显。目前,可再生能源的增长速度尚无法完全满足新增的能源需求,短期内各国仍需适度保障传统化石能源的供给,以确保能源绿色低碳转型进程能够在保障能源安全的前提下合理、有序地推进。

1 工厂电气系统绿色能源利用的背景与意义

1.1 全球能源转型与工业绿色发展趋势

世界各国的主要经济体都已确立了碳中和的目标,这一目标促使能源结构发生转变,即从由化石燃料占据主导地位转变为由可再生能源来主导。这一转型的过程并不是

可选择性的,而是一项必须要完成的具有全球性质的任务。工业部门在达成这些目标方面起着极为关键的作用,毕竟工业部门所产生的碳排放量在全球总量当中所占的比例颇为可观。所以,发展绿色工厂以及打造零碳园区便成了工业领域针对全球气候治理做出响应的核心举措之一。就好比中国所提出的“双碳”目标,其正强有力地推动制造业朝着绿色制造以及智能制造的方向去转型升级。这样的发展趋势使得工厂的电气系统不得不从根源上改变自身的能源输入来源,也就是要从以往被动地消耗电网电力的状态转变为主动地去构建一种以本地绿色能源作为主体

的全新供能用电体系。

1.2 工厂电气系统能源利用现状与挑战

当前多数传统工厂的电气系统结构较为简单,基本上是单向从大电网获取电力,能源来源单一且难以控制。如此一来便出现了不少问题,其一,用能成本受电网电价政策的影响颇大,尤其在峰谷电价差不断拉大的地方,工厂电费支出的负担颇为沉重;其二,碳减排的压力日益增大,仅靠节能技术改造来减排的空间已经逐渐变小;其三,能源利用效率有待提高,工厂内部缺乏对分布式电源、储能、负荷进行协同优化的能力。更为重要的是,当工厂尝试引入光伏、风电等绿色能源时,会遇到并网技术复杂、出力波动对生产造成影响、投资回报周期不确定等诸多挑战。所以工厂电气系统绿色能源利用的现状可以说是挑战与机遇同在,急需一种系统性的解决办法来破解这些难题。

2 工厂绿色能源利用的关键技术基础

2.1 分布式可再生能源发电技术

分布式可再生能源发电技术乃是工厂达成绿色能源替代的关键源头所在,在这其中,光伏和风机发电技术已然最为成熟,能够充分利用工厂的屋顶、堆场、车棚等那些闲置的空间来展开部署,进而实现电力的就近生产。就好比中集集团各公司包括天津中集集装箱有限公司,其通过投资去构建分布式纯离网的光、电、储智能供电系统,进而形成一个独立的能源闭环。而风力发电则比较适合应用于风资源状况较为良好的厂区或者是其周边的区域^[1]。除此之外,工厂还能够凭借工业余热、余压来进行发电,以此达成能源的梯级利用。这些分布式电源所共有的特点便是靠近负荷中心,能够在一定程度上减少电力在远距离传输过程中的损耗,然而它们出力所具有的随机性以及间歇性恰恰是其融入现有电气系统时面临的主要技术方面的障碍所在。

2.2 储能系统技术

储能系统乃是平抑可再生能源出现的波动情况、达成能量于时空之间转移的关键装置,其在零碳园区里可称得上是“电力心脏”。就工厂场景来讲,储能系统发挥着“削峰填谷”、作为应急备用电源以及对电能质量加以调节等诸多作用。当下,锂离子电池储能因为自身能量密度颇高且响应速度较快,所以得到了广泛的应用;与此像全钒液流电池这类长时储能技术,在那些需要开展大规模能量调度的工业场景当中,同样呈现出了一定的潜力。技术方面的发展进步极为迅速,就好比构网型储能设备借助智能算法,居然能够把充电损耗降低 20%。还有钠离子电池等新兴技术,其成本也是在持续不断地降低,这无疑为它们实现大规模的应用开拓了可能性。储能系统的配置容量、

具体选型以及控制策略等方面的情况,是直接跟整个绿色能源利用模式的经济性以及可靠性相关联的。

2.3 电力电子与并网控制技术

电力电子技术在各类能源设备的高效灵活接入与转换方面起着桥梁作用,像逆变器、变流器、电能路由器这类电力电子装置,可完成直流电与交流电的变换以及不同电压等级间的转换,尤其基于第三代半导体的电能路由器突破了高频隔离等关键技术瓶颈,能让电力系统的柔性可控性得到很大提升,并网控制技术能确保分布式电源和储能系统安全稳定地接入工厂电网或大电网,包含并离网平滑切换、孤岛运行、频率电压支撑等功能。

3 工厂电气系统绿色能源利用模式构建

3.1 绿色能源接入与电气系统结构优化

传统放射状供电网络在多电源接入需求面前显得力不从心,所以工厂电气系统结构得优化才行。可在厂区搭建以直流母线为主的局部微网,把光伏、储能还有直流负荷像电动汽车充电桩、变频驱动设备等直接连上,如此一来能减少交直流变换次数,让转换损耗比交流系统降低 10%左右。另外还得保留和上级交流大电网的连接点,进而形成“微电网+大电网”的混合供电模式。这样的结构优化既能提升绿色能源本地消纳的能力,又能增强系统运行的灵活性。

3.2 微电网运行模式与能量管理策略

微电网属于工厂达成绿色能源高效运用的一种典型呈现形式。以天津中集集装箱有限公司 1.5MW 光伏和正在实施的 2 台共计 6MW 风机风能项目为例,将分布在不同车间区域发电就近采用汇流逆变功能并网进入各变压器低压侧和高压柜高压侧,最大程度减少距离等传输损耗和提升整体厂区用电均衡性,主要依靠分布式电源,借助储能系统以及控制装置展开调节操作,进而满足负荷方面的各类需求,实则是一种小型且呈模块化特点的电力系统。微电网所具有的运行模式一般来讲包含了并网模式还有孤岛模式这两种情况。当处于并网模式的时候,微电网会和大电网开展能量方面的相互交换活动,在电价处于较低水平时去购电或者售电,而当电价变得较高的时候,则会利用自身所拥有的电源来实施供电行为。而在孤岛模式之下,倘若大电网出现故障状况,那么微电网便能够独立自主地进行运转,以此来确保工厂那些关键负荷能够持续不断地获得供电保障。能量管理策略对于微电网而言就好比是大脑一般的存在,其需要凭借预测数据,像气象预测、生产计划以及实时数据等,去动态地去制定发电、储能以及用电等相关计划内容。

表 1 工厂绿色能源利用模式综合效益典型案例分析

效益维度	典型案例	关键量化数据	关联性
经济效益	天津中集集装箱有限公司绿色能源项目	年节省电费：324.4 万元	降低单箱成本，打造绿色低碳集装箱，成为世界大箱厂首选生产厂商。
	泰开工业园微电网	年节省电费：422 万元	直接降低企业运营成本，提升市场竞争力，是模式推广的核心驱动力之一。
	溧阳某工业园区微电网	年节省电费：>550 万元	表明规模较大的综合能源项目能够产生更显著的经济回报。
环境效益	天津中集集装箱有限公司绿色能源项目	年减排二氧化碳：约 23828.3t，节约标准煤 8488t	量化了项目的减碳贡献，相当于种植了约 3.5 万棵树的年碳汇量，生态效益显著。
	泰开工业园微电网	年减排二氧化碳：9295t，节约标准煤 3468.4t	直观展示了微电网系统在节能与减排上的协同效果，有力支撑工业领域“双碳”目标。
	南京格力“光储直柔”项目	年消纳绿色电力：1160 万 kW h	体现了工厂对本地可再生能源的高比例消纳能力，优化了区域能源结构。
技术效能	泰开工业园微电网	光伏自发自用率：从 50% 提升至 90%	关键技术指标。该效率的大幅提升是上述经济与环境效益得以实现的直接技术原因，显示了源储荷协同的价值。
	行业技术趋势	锂电储能系统中标均价：0.574 元/W h。同比下降超 47%	反映了核心设备成本正在快速下降，为整个模式的经济性改善和普及应用奠定了市场基础。

3.3 源储荷协同控制机制

要达成对绿色能源的充分利用这一目标，就务必要冲破原本那种源、储、荷各管各、互不相干的状况，进而构建起协同控制的相关机制。源-储-荷协同的关键之处就在于，要把那些能够进行调节的负荷同样视作是一种系统资源来看待。借助智能控制方面的算法，在绿色能源发电出现高峰的时段，可以自动地去启动能够被中断的负荷，或者对生产工序做出相应的调整；而在发电量不足的时段，那么就要凭借储能装置来放电，或者是对非关键负荷加以调节操作。

3.4 系统稳定性与电能质量保障

随着高比例的绿色能源接入到工厂电气系统当中，该系统的稳定性以及电能质量都遭遇到了严峻的考验。稳定性方面存在的问题涵盖了频率稳定这一层面以及电压稳定这个层面。鉴于光伏和风电均不具备惯性特点，当其大量接入之时，就会致使系统的抗扰动能力出现一定程度的降低情况。如此一来，便需借助储能系统，甚至部分能够实现可控的负荷来给予快速频率响应方面的服务以及电压支撑方面的服务。电能质量所呈现出来的问题，主要体现在电压会出现波动情况、存在闪变现象以及产生谐波等问题^[2]。电力电子装置在当下得到了极为广泛的运用，这有可能会引入谐波，而可再生能源出力呈现出快速变化的态势，又会引发电压出现波动的情况。所以，在系统设计的初始阶段，就需要去配置用于治理电能质量的相关设备，像是静止无功发生器 SVG、有源电力滤波器 APF 这类设备，并且还要制定与之相对应的运行控制方面的策略，以此来保障精密生产设备对于电能质量所提出的较为苛刻的要求能够得以切实满足。

4 绿色能源利用模式的效益评价与优化方向

4.1 经济性评价模型

评价绿色能源利用模式的可行性时，经济性因素无疑处于首要地位。在对经济性展开评价之际，并不能仅仅着眼于初始投资这而是应当着手去构建起全生命周期的成本收益模型。就成本方面而言，其主要涵盖分布式电源方面的投资成本、储能系统相关投资成本、电力电子设备的投资成本以及监控系统所涉及的投资成本等，此外还有后续运维环节所产生的各项成本。从收益方面来讲，则包含能够节省下来的电费支出、借助峰谷电价差实现的套利收益、来自政府的各类补贴以及碳交易所得收入等，另外还包括由于供电可靠性得以提升而使得生产损失有所减少所带来的收益。比如天津中集集装箱有限公司、泰开工业园以及溧阳工业园区所实施的绿色能源和微电网项目，如表 1 所呈现的那样，这三个项目每年分别可以节省电费达到 324.4 万元、422 万元以及超过 550 万元，这无疑直观且生动地展示了该模式所具备的经济价值。投资回收期以及内部收益率两项指标，在决策过程中占据着极为关键的地位，堪称核心决策指标。

4.2 环境效益分析方法

环境效益乃是工厂开展绿色转型的直接推动力量，其主要的分析办法在于核算温室气体减排量以及其他污染物减排量。具体而言，通过将采用绿色能源模式前后工厂的能源消费结构加以对比，便能够计算得出减少的标准煤消耗量，然后再依据排放因子将其折算成为二氧化碳等污染物的减排量。如表 1 所，天津中集集装箱有限公司绿色能源项目每年大约能够减少二氧化碳排放 23828.3t，而泰开工业园的微电网项目平均每年则能减少

碳排放 9295t。这些能够量化的环境效益，一方面履行了企业所应承担的社会责任，另一方面在未来的全国碳市场不断深化运行的大背景之下，也极有可能直接转化为碳资产收益。

4.3 能源效率评估指标

绿色能源利用模式在关注能源来源的“绿色”这一方面的也得留心能源使用环节的“高效”状况。要对能源效率加以评估，那就得运用综合性指标才行。除了传统的单位产品综合电耗这个指标之外，还应当引入像“绿色能源渗透率”“综合能源自给率”以及“系统能量转换效率”等这类指标^[3]。这些指标可充分反映系统对于绿色能源的消纳能力以及整体的能效水平情况。就表 1 来看，泰开工业园借助协同控制手段，成功把光伏自发自用率从 50% 提高到了 90%，而这恰恰是能源效率实现显著提升的关键所在，更是其达成经济效益的技术支撑要点。

5 结束语

工厂电气系统的绿色能源利用模式研究，属于一项涵盖技术、经济、管理等诸多方面的系统性工程。本文围绕着背景挑战、技术基础、模式构建以及效益评价等方面，针对这一课题展开了初步且相对较为完整的探讨。研究说明，借助分布式能源的接入、微电网的构建还有源-储-荷

协同控制等方式，工厂是有能力大幅度提高绿色能源利用程度的，并且能够获取到颇为可观的经济以及环境方面的效益。不过，这一模式在推广过程中依然面临着技术集成复杂程度颇高、投资门槛相对较大、标准规范尚未完善的诸多实际障碍。后续的研究应当更加着重于不同工业门类的个性化模式设计、高度智能化协同控制算法的开发，以及支持绿色电力交易的政策机制创新方面的工作。工厂电气系统的绿色化转型之路尽管布满挑战，但是它对于工业低碳发展乃至全球气候目标的达成而言，毫无疑问具备着不可取代的重要意义，是值得学术界与产业界不断投入资源、携手共同去探索的领域。

[参考文献]

- [1]陈健.绿色建筑电气系统的节能设计与实践[J].城市建设,2025(20):56-58.
- [2]滕宗伯,郭倩.基于绿色能源的建筑电气节能系统设计研究[J].电气技术与经济,2025(5):344-346.
- [3]侯婕,曲洋辰.绿色能源在建筑电气系统节能中的应用[J].现代建筑电气,2024,15(2):1-6.

作者简介：洪连辉（1979—），男，汉族，天津人，学士，天津中集集装箱有限公司，研究方向：智能制造，低碳节能。