

零碳园区建设中建筑屋顶光伏系统应用研究

张培

河北能源工程设计有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]在“双碳”战略不断深化的背景下，零碳园区是实现区域能源结构调整和产业绿色发展的重要平台，逐渐成为新型产业园区发展的趋势所在。建筑物既是园区内的主要耗能点也是主要的碳排放者，因此能否实现建筑物的低碳用能对整个零碳园区建设的成功与否至关重要。建筑屋顶光伏发电系统因其分布广且分散、就近利用以及技术相对可靠的特点而具备应用于零碳园区的价值潜力。文中基于零碳园区建设的目的，分别从建筑屋顶光伏发电系统的应用价值、建筑屋顶光伏发电系统的应用模式、建筑屋顶光伏发电系统的建设路径以及建筑屋顶光伏发电系统存在问题等方面进行详细剖析，分析了建筑屋顶光伏发电系统如何通过调整园区能源结构来减少碳排放并从中获得最大化的收益，并在此基础上提出相应的解决措施，以期对建筑屋顶光伏发电系统在零碳园区中的合理运用有所借鉴意义。

[关键词]零碳园区；建筑屋顶光伏；分布式光伏

DOI: 10.33142/aem.v7i12.18651

中图分类号: TU201.5

文献标识码: A

Research on the Application of Building Roof Photovoltaic Systems in Zero Carbon Park Construction

ZHANG Pei

Hebei Energy Engineering Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Against the backdrop of the continuous deepening of the "dual carbon" strategy, zero carbon parks are an important platform for achieving regional energy structure adjustment and industrial green development, gradually becoming a trend in the development of new industrial parks. Buildings are both the main energy consuming points and carbon emitters within the park, so achieving low-carbon energy consumption for buildings is crucial to the success of the entire zero carbon park construction. The rooftop photovoltaic power generation system has the potential to be applied in zero carbon parks due to its wide and dispersed distribution, nearby utilization, and relatively reliable technology. Based on the purpose of zero carbon park construction, this article provides a detailed analysis of the application value, application mode, construction path, and existing problems of building rooftop photovoltaic power generation systems. It analyzes how building rooftop photovoltaic power generation systems can reduce carbon emissions and maximize benefits by adjusting the energy structure of the park. Based on this, corresponding solutions are proposed to provide reference for the rational application of building rooftop photovoltaic power generation systems in zero carbon parks.

Keywords: zero carbon park; building rooftop photovoltaics; distributed photovoltaic

引言

伴随地球变暖趋势愈加严峻，加速能源结构调整朝着低碳化的方向转变已经成为世界各国共同的追求。中国在“双碳”发展战略目标的指导下也在探寻适合自身的低碳化发展方向，零碳园区是承载产业、能源和空间三大方面的有效载体对地区减碳和绿色发展可以起到良好的带头模范作用。园区内建筑物数目众多且能耗密集属于大型耗能体、排碳体。将可再生电力系统嵌入建筑内部是使园区走向零碳化有效方法。屋顶光伏系统是最主要的一种分布式发电形式，它具有安装环境比较成熟、与建筑物结合紧密等优点，在零碳园区的应用上具有很大的潜力。但是屋顶光伏系统的应用仍然有很多难题有待突破，例如技术适应性的问题、经济效益问题和管理制度的问题，需要我们对其进行系统的分析。

1 建筑屋顶光伏系统在零碳园区建设中的应用价值

1.1 优化园区能源结构与清洁能源供给能力提升

在零碳公园发展背景下，建筑屋顶光伏系统借助园区的各种建筑屋顶科学设置光伏板，把太阳能这种可再生资源直接转换成为电能并且及时消费。增加了园区内清洁能源的比例。在常规园区的能源结构之下，电能主要依靠外部公用电网提供，能源以燃煤发电为代表的化石类能源为主，能源利用率低，碳排放量大，不能达到绿色节能的发展目标，屋顶光伏的应用使得园区的能源供应模式从传统的集中式供电逐渐过渡到分布式及多元化的供电方式，提高了园区供电的稳定性以及灵活性，减轻了常规化石能源和外部电网输入的压力。此外，分布式发电依托建筑物主体就近发近用的方式也可以减少远距离送变电过程中电

能的损失，增加电能利用率，在一定程度上可以缓解电网的压力。随着屋顶光伏装机容量不断增加，园区可以实现以可再生能源为主的能源供应格局，从而带动整个园区能源结构向更清洁、更低碳、更高效率的方向转变。

1.2 碳减排效应与零碳目标支撑作用

在推进零碳园区的过程中，建筑屋顶光伏系统有明显的降碳效果，并成为了实现零碳化的一个主要支撑方式。光伏发电是一种常见的可再生清洁能源，在进行发电时不会有任何直接的碳排放，而且还可以代替园区内部以及从外网接入的电厂燃烧化石燃料所产生的电力来满足园区内的能耗需求，从而大幅度削减了燃煤发电以及燃天燃气发电所带来的间接碳排放。园区里屋顶光伏系统安装量越多，光伏发电在其能源系统中的比例越大，则该园区应用清洁能源的比例便越高，有利于对园区碳排放规模进行约束，在长期上也能对园区趋近于零排放起到可靠的技术保证作用。此外，屋顶光伏系统的发电特性与园区内的用电规律具有一定的时间上的契合度。尤其是到了白天日照强烈且用电高峰的时候，可以直接向建筑物输送绿色低碳的电能，对大电网的依赖较小，可以有效减轻电网尖峰时刻的供电负担。即发即用的模式不仅能提升能源的应用效率，而且还能增强园区能源系统运行中的低碳化程度以及自我调节水平。另外，屋顶光伏发电系统的普遍应用也为园区碳排放核算、碳排放权交易以及评估园区是否具备绿色发展能力提供了必要的基础数据信息支持。如此，使得整个零碳型园区构成了一个在能源供给、环境保护和经济效益三方面互为闭合联系且可循环持续的低碳发展模式，为其达成零碳化目标打下了牢固的基础。

1.3 园区经济效益与综合可持续发展价值

在经济方面来说，建筑物屋顶光伏系统除了有环保效应之外还能够给园区提供稳定的经济效益。园区可以通过自发电自用，多余电量并入电网等手段来降低其自身的用电花费，节约电费，增加利润。而与此同时随着技术的发展以及建设成本的日益降低，屋顶光伏系统带来的经济效益将会更加突出。同时屋顶光伏系统的建设以及运作可以推进相关产业的发展，提高园区形象，增加园区的综合实力。把经济效益跟社会效益及环境效应有效的结合起来，在推动园区可持续发展中建筑屋顶光伏系统有着巨大的作用。

2 零碳园区中建筑屋顶光伏系统的主要应用形式

2.1 不同类型建筑屋顶光伏配置模式

零碳园区建筑物种类繁多，不同类型建筑的功能用途、结构和屋面情况有所不同，相应的屋面光伏系统安装形式也有所不同，需要具体问题具体分析。工业厂房的屋面一般较大较规整，宜大规模安装光伏发电设备，是典型的光伏发电系统的应用对象。办公楼以及研发中心的屋顶结构较为复杂，可依据建筑设计进行光伏组件的一体化安装设计，做到实用和美观相结合。而公共服务设施的屋顶可以

安装分布式光伏发电系统起到良好的示范作用，增强园区整体绿色低碳的理念。针对不同类型屋面安装不同的光伏发电系统，能充分利用园区建筑物屋顶资源，提升光伏系统应用程度。

2.2 屋顶光伏与储能系统的组合应用

零碳园区的建设中，为了加强建筑物屋顶光伏系统的就地消纳水平及运行安全可靠性，更多的园区开始推进屋顶光伏和储能设施的深度融合应用。储能装置可以在光伏发电大发电、用电负荷需求较小的时间段，把多余的电量储存起来，在用电高峰或者光照较弱发电不足难以覆盖园区负荷需求时进行放电，给整个园区电网系统供电，以此达到供用电平衡。此模式下光伏与储能的配套使用既可以解决光伏发电的不稳定以及波动的问题，增加园区内能源系统的稳定程度和可靠性，又可以对电力调度计划做出调整，降低对大电网的依赖度，经过测算并制定合理的储能系统容量，这样园区就可以根据需要在不同的时间对电能做出调节控制，提高其能源利用的灵活性和自主性，增强自身抵御风险的能力。另外光伏加储能的配合运行也可以为园区的高比例低碳化工作提供技术支持，同时也可作为智慧能源管控平台优化调度的基础条件，使得光伏发电与储能、负荷之间形成闭环联动，进而促进园区向着更清洁、低碳、高效的能源格局转型。

2.3 屋顶光伏与园区智慧能源系统协同运行

随着信息技术和能源技术不断融合的趋势下，建筑物屋顶光伏发电系统开始向产业园区的智能能源综合管理系统有机结合，形成信息化、可视化及智能化的智慧能源管理方式。智慧能源管理系统通过采集监控光伏发电功率、园区负荷需求、储能装置运转状况、气象因素等多种信息并加以处理分析，实现对园区内部的生产、储备、消耗等一系列能源活动的准确协调控制，达到供需平衡的目的。其过程中，屋顶光伏发电不仅是清洁能源的供应者还是智慧能源系统的数据输入端口，协助智慧能源系统做出对光伏发电预测、负荷控制、储能的合理安排。联合运行方式提高了光伏的光电转化率及利用率，还通过智能管控节约了能源损耗，减少了不必要的开支。更为重要的是提升了园区供电系统的灵活度和适应性，可以根据实际负荷变化和自然光照情况调节自身运作，确保园区稳定可靠的供电供应。屋顶光伏系统成为了智慧能源系统不可或缺的一部分，在整个零碳园区的能源治理方面有着重要的支撑功能，不仅助力园区能源的绿色、低碳转型，同时也为之后产业园区的能源智能化管理和发展做好准备。

3 零碳园区建筑屋顶光伏系统的实施路径与关键措施

3.1 规划设计与技术路线选择

对于零碳园区的建设，建筑屋顶光伏系统的合理部署应该从园区总体规划环节开始综合考虑，在园区总体布局

规划设计和各单体建筑设计中首先应对建筑屋顶的结构承载力进行详细评估，计算屋顶允许安装的光伏板重量以及其他附件荷载情况，确保光伏系统的稳定安全应用；其次根据屋顶方位、倾斜角度、遮挡、光照时间等条件确定合理的光伏阵列排布方式，选择最优朝向，提高光伏发电量。对于技术路径的选择则应该根据园区用电负荷特点、用能需求曲线以及远期规划来合理选取光伏板种类、转换效率、逆变器型号、系统容量等，并充分考虑光伏板与建筑物的一体化设计、便于运维检修以及成本经济性等问题。通过提前的系统分析和规划设计能够有效避免日后因为扩容改造或者重新调整而造成不必要的浪费和经济损失，也使得光伏系统更好地融入到园区的整体能源体系并具有良好的扩展性。同时兼顾园区的能源中长期规划和减碳目标，还可以根据不同建筑用途制定差异化的光伏设计方案，例如工业生产车间、办公场所或者公共服务设施的屋顶光伏铺设可以有不同的安排，以达到整个园区内光伏系统最大化的利用效能，为打造零碳园区提供了强有力支撑和技术保障。

3.2 建设实施与运行维护管理机制

在项目建设期间需要强化施工管理与质量管理，保证屋顶光伏系统能够与整个建筑物牢固、可靠地结合在一起。在施工中要严格按照相关的技术规定及标准来实施，保证整个系统的安装质量。在投入运行阶段，要建立健全相应的运维管理制度，定期对光伏系统进行巡视检查以及性能测试，以便及时发现问题和解决问题。通过科学的运维管理，有利于延长光伏系统的使用寿命，使其能长期平稳的进行工作，为整个园区源源不断供应绿色能源。

3.3 投融资模式与政策保障措施

建筑屋顶光伏发电系统的推广离不开科学的投融资体系以及相应的政策扶持。合理地构建多种投融资机制，可以更好地为园区减轻对光伏系统投资的资金负担，提升了园区进行项目建设的可能性^[2]；完善相关政策措施如简化并网程序、完善补贴奖励政策等有利于提升园区建设方开展屋顶光伏建设的积极性。政策同市场机制相互配合，为零碳园区建筑屋顶光伏发电系统的广泛应用提供了政策基础。

4 零碳园区建筑屋顶光伏系统应用面临的问题与对策建议

4.1 技术条件与建筑结构约束问题

在现实操作过程中，一些园内建筑物因为屋顶构造复杂、承重较低导致限制了屋顶分布式光伏系统的布局规模与方式；而且各个建筑建造时期不同，设计标准也不尽相同，为光伏系统的一体化安装实施造成了一些阻碍^[2]。对此应当在园区总体规划的基础上做好技术性整合，在此基

础上合理评价并加固现有建筑结构。提高屋顶光伏系统的兼容性与安全性。

4.2 经济性与运营管理方面的现实挑战

虽然目前屋顶光伏发电系统的整体经济性随着技术的发展、组件成本降低不断提高，但是在一些零碳园区仍面临着投资回报期长、收益不稳定及经济收益不明朗等情况，从而在一定程度上打击了园区管理方及投资者的积极性。此外，光伏系统在使用过程中的监控管理、日常管理和故障检修方面都有较高的管理要求，但是很多园区缺乏系统的规范化运营管理政策，使得系统的发电性能以及经济效益无法达到最佳^[3]。因此，应该合理设计系统方案，提高系统运营管理效率，增加智能管理方法等措施，同时采用合理的商业模式如自发自用加余电上网的形式、第三方提供运维服务或开展分布式能源交易等手段，来增加屋顶光电系统的经济效益和稳定保障，使光伏发电系统能够长期稳定的持续运行下去，以达到零碳园区的减排目标和经济目标双优的结果。

4.3 标准规范与政策协同优化对策

目前零碳园区建设及屋顶光伏发电系统的应用，在相关的标准规范和配套政策上还有待进一步提高。一些技术规范和管理制度不能够满足对零碳园区发展的要求，政府扶持和协调力度不足。建立健全相应的标准制度，做好相关的政策规划和指引工作能够更好的促进屋顶光伏发电系统在零碳园区的应用和发展，使其有序化、规模化发展。

5 结语

建筑物屋顶光伏发电作为零碳产业园区能源系统中不可或缺的一部分，在调整能源结构，减少碳排放以及实现综合效益上有着重要影响，合理设计应用模式，健全实施方案，积极解决实际困难，可以更好的推动屋顶光伏发电系统对零碳产业园区的支持意义，今后应进一步在技术、管理和政策等方面进行深入研究，不断提高建筑屋顶光伏利用程度，助力零碳产业园建设与绿色发展。

【参考文献】

- [1]程宁远.“双碳”背景下杭州市高教园区屋顶光伏综合配置优化研究[D].杭州:浙江大学,2024.
 - [2]蒋庆哲,刘杨,蒲欣宇,等.零碳园区建设的系统路径、发展模式及治理生态 [J]. 中国人口·资源与环境,2025,35(5):13-23.
 - [3]刘佳.“双碳”背景下工业园区近零碳建设路径研究[D].长春:吉林大学,2024.
- 作者简介：张培（1994.1—），毕业院校：河北建筑工程学院，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：河北能源工程设计有限公司，职务：电气主设人，职称级别：中级。