

## 建筑电气系统中屋顶光伏与负荷协同运行研究

张培

河北能源工程设计有限公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**随着可再生能源的大力发展以及屋顶光伏在建筑中应用日益广泛,但光伏发电随机性强,建筑负荷不匹配易引发资源浪费、系统安全问题,现有的建筑电力系统在光伏发电、储能调节、负荷控制等环节还存在改进余地。文中以屋顶光伏与建筑负荷协调优化运行为研究主题,对负荷与光伏发电特点进行解析,探究光伏发电全额消纳、光伏-负荷-电网联动、储能-可调度负荷的影响及其策略,给出基于负荷预测的优化控制方案和建筑能源管理系统运用。结论认为,有效的协调控制能够提升光伏发电利用率,减少对外部电网需求,提高供电质量,保障系统稳定可靠,为绿色建筑清洁能源使用、节能减排提供理论依据。

**[关键词]**建筑电气系统; 屋顶光伏; 负荷; 协同运行

DOI: 10.33142/hst.v9i1.18978

中图分类号: TU18

文献标识码: A

### Research on the Coordinated Operation of Roof Photovoltaics and Load in Building Electrical Systems

ZHANG Pei

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

**Abstract:** With the vigorous development of renewable energy and the increasingly widespread application of rooftop photovoltaics in buildings, the randomness of photovoltaic power generation and the mismatch of building loads can easily lead to resource waste and system safety issues. There is still room for improvement in the existing building power system in areas such as photovoltaic power generation, energy storage regulation, and load control. The article focuses on the coordinated and optimized operation of rooftop photovoltaics and building loads, analyzing the characteristics of load and photovoltaic power generation, exploring the impact and strategies of full consumption of photovoltaic power generation, photovoltaic load grid linkage, energy storage dispatchable load, and providing an optimized control scheme based on load forecasting and the application of building energy management systems. The conclusion is that effective coordinated control can improve the utilization rate of photovoltaic power generation, reduce the demand for external power grids, improve power supply quality, ensure system stability and reliability, and provide theoretical basis for the use of clean energy and energy conservation and emission reduction in green buildings.

**Keywords:** building electrical system; rooftop photovoltaics; load; collaborative operation

#### 引言

全球能源结构变革及低碳发展战略背景下,建筑能耗占全社会总能耗比例不断增大,节能及清洁能源使用成为建筑行业研究与实践热点。屋顶光伏发电系统作为一种重要的分布式清洁方式,其不仅可以在建筑物本地进行供电减少输电线路负担,而且是促进建筑绿色化与提高建筑能耗水平的良好手段。但是光伏发电本身具有随机变化、不可控等特性,其出力与建筑内部用电需求在时间与空间上都不匹配的情况,如果不加以协调,就会出现光伏电能得到浪费、建筑用电不稳,甚至威胁到电网的安全等问题。

建筑电气系统内屋顶光伏如何做到与建筑负荷协调并网运行从而达到充分利用光伏电能、保障电能质量、增加系统效益的目的,也成为当今人们关注的重点问题之一。文章通过对建筑负荷特性的研究分析及光伏发电特点的研究,在此基础上提出光伏优先供电策略、光伏-负荷-电网协调机制及储能与可调负荷协调机制,进而给出以负荷预测与建筑能量管理系统相结合的控制方案,最后基于实际工程仿真进行建筑电气系统内屋顶光伏与负荷协调运行分析,得出相应的协调运行对于保证电能质量、系统安全性、系统经济性的作用。该文所得结论可以为建筑分布

式光伏系统的设计和运行管理、绿色能源型建筑的发展做出指导性的意见和建议,使建筑用能走向智能、低碳、高效的方向。

### 1 屋顶光伏与建筑负荷特性分析

屋顶光伏发电安装及应用是实现建筑物绿色化的一个重要手段,想要安全安装及长期可靠的运行就要建立在其对建筑物屋顶受力特征进行充分了解和合理评价的基础上。屋顶光伏电站会对建筑本身增加恒荷载和可变荷载,其中恒荷载是指光伏面板、支架、连接件、配套设备等重量;可变荷载包括风荷载、雪荷载、地震荷载及维修活荷载等,在光伏的设计中需要综合考量考虑这些因素,保证建筑物原有的以及经过加固之后的承载能力可以将它安全的承托起来,未经专业评估或者未做相应加固,屋顶光伏带来的附加荷载会给结构带来超载或者发生弯曲、开裂的情况,甚至会造成防水层破坏、风载失稳或者是遭遇地震时遭受部分损坏等后果。为了安全起见,屋顶受力及光伏安装需要整体化对待,包括恒荷载与活荷载的测算,不利荷载组合工况模拟,严格执行相应的国标规范,在评估基础上进行必要的结构加固或重新设计,比如采用轻质化组件、合理布局、屋面加强、环境适应性设计等措施,同时辅以智能化监测、定期巡检。在工程建设中,前期勘查、结构检测鉴定和一体化加固设计施工是保障安全的关键环节,安装、运行阶段严格按照标准操作,确保光伏系统与建筑负荷相适应并满足并网条件。

## 2 建筑电气系统中光伏与负荷协同运行模式

### 2.1 光伏优先消纳的协同运行原则

在建筑电气系统中,光伏优先消纳的协调控制策略是建筑电气系统内新能源最大化消纳以及经济性运行的主要内涵。其以“就地消纳和就近平衡”为基本原则。在保障建筑用电的基础上尽可能使建筑用电来源于建筑物屋顶光伏的发电电能,从而减少对公网电源的依赖程度。在光伏的出力可以满足建筑瞬时负荷情况下,通过对电力调度和能量的调度管理控制方式,使得光伏所产生的电能直接提供给照明、动力、空调以及其他用电器具,杜绝了弃光现象出现。而在光伏出力不够的情况下,则由电网补充电力供应来保障建筑用电的不间断性和稳定性<sup>[1]</sup>。同样,当光伏出力大于建筑负荷需求的时候,可以联合储能装置或者是具有可调性的负荷对多余的电能予以吸收及分配,减轻反送电对电网系统的压力。

### 2.2 光伏-荷-网协同运行机制

在建筑电气系统中,光伏-负荷-电网联合运行模式是保证建筑电气系统安全、稳定、经济运行的基础,它以调

节光伏发电、建筑用电负荷及公用电网之间的能量关系为手段,实现了多种供电方式有序互补,在运行过程中,屋顶光伏发电系统属于分布式发电源具有随机性和波动性的特性,建筑负荷呈现明显的时段性和多样性,所以必须要依托建筑电气系统的监控和调控作用,将三者协调起来。当太阳能光伏发电功率与建筑用电负荷匹配时,首先利用光伏电力为其提供电能,降低从电网购电数量,而当光伏发电功率较小不能够满足负荷用电需求的情况下,则由电网进行及时补充,保证建筑的稳定供电,在有剩余电力的情况下,根据电网接入条件和运行限制,合理地调整余电上网或通过储能以及负荷管理进行吸收消化,防止出现对电网的冲击和影响。

### 2.3 储能与可调负荷在协同运行中的作用

在建筑电气系统中,储能和可控负荷为光伏和负荷的有效协调提供了强有力的辅助措施,对于减轻光伏产生的间歇性以及提高系统的灵活程度有着重要的意义。因为屋顶光伏受到太阳光辐照的影响很大,光伏发电功率存在随机性和不确定性,仅靠电网调节难以达到最佳的调节效果,加入储能装置可以在太阳能发电充足的情况下将电力储存起来,在太阳能缺少或者用电量时将其放出,进而能够起到“削峰填谷”和平抑功率的作用,增加光伏发电的消纳。而可控负荷通过调节建筑内部一些用电器的用电时间段或用电功率,在一定程度上可以使得用电需求和光伏发电特点相结合,例如控制空调机组、热水器、充电桩等设备柔性用电,在不影响大楼日常使用功能及舒适度的前提下加强了负荷端对光伏发电变动的响应力度。

## 3 屋顶光伏与负荷协同运行控制策略

### 3.1 基于负荷预测的光伏协调控制方法

针对屋顶光伏和建筑用电负荷联合运行的控制系统设计,基于负荷预测的光伏协调控制技术是进行精细化管理和智能调度的重要措施,旨在通过“事先判断、超前调控”的策略最小化光伏出力波动对建筑电力系统运行带来的冲击影响。它利用建筑物用电历史数据、负荷变动规律、天气预报信息及设备工况等多种信息来源,建立负荷预测模型,对建筑物在不同时间尺度下的用电负荷做出相对精确的估计,以此作为制定光伏功率分配及能量调度策略的参考。实际应用中控制系统依据负荷预测值和预计的光伏出力走势提前做出协同控制方案,在预测到建筑物用电出现负荷高峰时段并伴随较好的光伏出力预期情况下优先增加光伏发电电量用于建筑物内就地消纳,合理规划储能装置充放电计划来缩减从公用电网取电规模;对于预测到用电负荷低谷或光伏出力波动较大的情况下,采取调整可

控负荷运行时刻、优化储能备用容量、调节电网功率交互等方式保证系统功率平衡及电压水平。此外,该控制策略还可配合实时采集数据反馈校正预测偏差,形成光伏功率出力、负荷需求和电网供电三者间的闭环控制系统,使之具备自动调节功能。

### 3.2 建筑能量管理系统在协同运行中的应用

屋顶光伏-建筑负载联合运行控制系统中建筑能量管理系统作为多能源协同管控及优化的关键节点,对整个系统的高效、智能化运行有着至关重要的影响。其通过对传感器设备、通讯网络及控制终端的融合,对屋顶光伏发电功率、建筑各类负荷耗电量、储能设备工作状况及与外网功率交换情况等进行全面监控与统一管理,从而搭建起以“发-用-储-网”为核心的综合性信息管理平台。在运行的过程中,建筑能量管理系统根据所采集的数据及时变的信息预测,统筹考虑屋顶光伏的出力曲线及建筑负荷的变化规律,及时调整能量配置及控制方案,在保障建筑内各类负载的正常用电及运行安全性基础上最大限度利用光伏发电,此外还通过调节储能系统充放电时间、可调控负载的工作顺序,使建筑内部用电负荷积极跟踪光伏变化趋势<sup>[3]</sup>,另外系统还会依据外部电网工况、电价政策做出合理的取电、用电、上网选择,在减少峰值功率、节约运行投入的同时,缓解对配电网电压及功率稳定性的冲击。

### 3.3 协同运行对电能质量与系统安全性的影响

屋顶光伏与建筑负荷协同运行过程中对电能质量和系统安全性的影响是评价协同控制效果的一个重要标准。屋顶光伏是一种典型的分布式电源,接入建筑物电力系统之后,发电功率呈现不确定性和间歇性的特点,在没有协同控制的情况下,容易引起建筑物内电压波动、频率偏差、谐波分量增加等一系列电能质量问题,影响建筑物内部用电器件的正常工作,而采取光伏与负荷协同运行控制手段,配合楼宇能量管理系统、储能单元与可调负载的联合调度,在光伏发电出力出现变动的时候可以即时调节平衡功率,抑制电压扰动,降低对配电网以及楼房电力网络的冲击,提高电能质量状况;此外,协同运行方式中通过对功率流的有序调控,减少了屋顶光伏发电随意向主网倒送电的情况,减小了高低压配电网及变压器的压力,有利于延长配电设备使用寿命并增强电网安全性;在安全性指标上,协同运行机制利用实时监控和智能控制技术提升了对特殊情况下运行状态的判别能力和应对反应速度,在光伏发电突然发生变化或者负荷急剧增减时,系统可以立即采取相应措施,避免过载、欠压、电压越界等问题的发生造成潜在危险。

### 3.4 储能与可调负荷的优化调度策略

屋顶光伏与建筑负荷联合运行控制策略中,储能与可控负荷的优化调度策略是增强系统灵活性、经济性和稳定性的重要措施,也是保障光伏电量最大化就地利用与建筑电力系统安全可靠的关键技术之一。此方案通过实时观测预测光伏的发电功率、建筑负荷需求量及储能情况,构建多目标优化模型,对储能充放电方式与可调负荷次序加以实时调节,达到多目标协调控制的目的<sup>[4]</sup>。在具体运用当中,若出现光伏出力大于建筑瞬时负荷,则系统首先向储能装置储存电能或者通过可调负荷消耗多余电能的方式来减少弃光现象并降低电网波动;反之,光伏出力小于建筑用电或者负荷突然增大时,储能装置迅速释放储存电量供建筑取用,可控负荷依据等级分时段降低或者推迟其运行,保障重要用电负荷稳定供电。

### 4 工程应用与效果分析

对于屋顶光伏与建筑负荷并行运行的实际工程项目,通过在真实建筑物上的电气系统应用测试,可以综合检验出并行运行方案是否可行以及其运行性能如何。在具体的工程项目中,系统布设屋顶光伏阵列、储能设备、可调负荷装置,借助建筑能耗管理系统实时控制光伏系统的发电、用户用电负荷、储能系统的充放电情况来实现三者之间的动态配合。经过现场实验的数据采集分析得出结论:并行运行提高了屋顶光伏系统的自发自用率,降低了弃光量并且有效的削减了建筑的高峰用电需求对电网的影响,在此基础上加入储能和可调负荷的存在,在光伏输出功率不稳定或者用户用电突然增加的时候系统都能及时地调整功率的供应分配来保证供电的持续性和平稳性,具体就体现在建筑内部负荷用电峰谷差得到了平衡,向电网拿电的数量明显减少,系统的运作成本降低,并且对于系统的电压波动、谐波分量、功率因数等电能质量的参数指标都在正常范围之内。另外通过对并行运行效果进行长期跟踪发现该系统具有较好的适应性,能够很好的应对突发事件所引起的负荷变化和光伏出力的不确定性问题,从而为其长期稳定的在建筑内并网接入提供保障。

### 5 结语

经过对建筑电气系统中屋顶光伏与负荷联合运行进行研究分析,可以发现合理的联合运行策略可以使屋顶光伏电能得到充分利用,使建筑的负荷用电需求得到满足,实现建筑负载与太阳能发电的实时匹配,同时也减少了屋顶光伏产生的波动对于电网及建筑物内部系统的影响。结合负荷预测的协调控制模式、建筑能量管理系统、储能装置与柔性负荷的调度等措施均可以在提高供电质量和增加系统

安全性的同时减少建筑能耗的成本支出,达到降低建筑能耗整体运行费用的最终目的,从而使得建筑电气系统能耗的经济性及可靠性大大提高。屋顶光伏与负载进行联合运行,在实际工程当中具有极大的应用前景,它给建筑内采用清洁能源供电以代替传统电力提供了切实可行的技术手段,为推进建筑节能减排,进行绿色能源供给改革,实现低碳化智能能源管控提供了有力借鉴与参考依据,为今后进行建筑分布式能源系统的优化设计与高效利用积累了宝贵经验。

#### [参考文献]

[1]李睿哲.屋顶光伏遮阳系统单元对室内冷负荷综合节能效果仿真分析[J].建筑技术,2025,56(21):2603-2608.

[2]史国正.北方地区光伏系统对建筑负荷影响研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2025.

[3]李芬,李雨欣,王亚维,等.考虑屋顶光伏热效应的短期净负荷预测[J].电力系统自动化,2025,49(9):146-156.

[4]李广昊.屋顶分布式光伏系统在工业园区中的应用效益与改进研究[J].深圳供电局有限公司龙岗供电局,2025(8):509-513.

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。