

建筑光伏一体化系统集成技术研究

李金杰

山东鑫康达建筑工程有限公司, 中国·山东 济南 256600

摘要: 随着世界各国对可持续发展的重视, 建筑光伏一体化技术 (BIPV), 作为将太阳能光伏发电与建筑相结合的创新技术, 具有广阔的应用前景。本文针对建筑光伏一体化系统的集成技术展开深入研究, 从光伏组件技术、电气连接技术、系统控制技术、建筑结构与光伏系统的集成技术、系统优化与评估技术等多个方面, 分析了该技术在建筑节能、环保和能源自给中的重要应用。研究表明, 建筑光伏一体化系统集成技术是促进我国建筑行业绿色低碳发展的重要途径, 随着技术水平的提高, 其应用范围将会越来越广泛。

关键词: 建筑光伏一体化; 系统集成技术; 太阳能发电; 绿色建筑

Research on Integrated Building Photovoltaic System Technology

Li Jinjie

Shandong Xinkangda Construction Engineering Co., Ltd., China Shandong Jinan 256600

Abstract: With the increasing attention to sustainable development worldwide, Building Integrated Photovoltaics (BIPV), an innovative technology that combines solar photovoltaic power generation with buildings, has broad application prospects. This paper conducts an in-depth study on the integration technology of building photovoltaic systems, analysing this technology from multiple aspects including photovoltaic module technology, electrical connection technology, system control technology, integration of building structures with photovoltaic systems, and system optimisation and evaluation technology. The study shows that the integration technology of building photovoltaic systems is an important approach to promoting green and low-carbon development in China's construction industry, and with the advancement of technology, its application range will continue to expand.

Keywords: Building-integrated photovoltaics; System integration technology; Solar power generation; Green building

0 引言

随着世界范围内能源需求的不断增长以及环境问题的日趋严峻, 可再生能源的开发与利用是实现可持续发展的重要途径。太阳能作为一种清洁、可再生的能源, 具有巨大的发展潜力。建筑光伏一体化 (BIPV) 是一种将太阳能光伏发电技术与建筑有机结合的新技术, 它不仅能满足建筑自身的能源需求, 而且能减少对传统能源的依赖, 还能降低建筑能耗, 实现节能减排。BIPV 技术为建筑行业提供了新的发展机遇, 但同时也面临着严峻的挑战。将光伏组件集成到建筑屋顶、墙壁和采光顶棚等部位, 能够使建筑从简单的能源消耗主体转变为能源生产主体, 符合绿色建筑和可持续发展的潮流。然而, 建筑光伏一体化系统的高效稳定运行面临一系列技术难题, 涉及光伏组件选型与设计、电力系统集成与优化、建筑安全性与适应性等方面。因此, 开展建筑光伏一体化系统集成技术的研究, 对于推

动我国建筑工业的绿色转型, 推动太阳能光伏发电技术的推广应用, 具有重要的理论和实际意义。

1 光伏组件技术

1.1 电池类型

目前太阳能电池的种类主要有两种, 一种是晶硅型, 一种是薄膜型。晶硅电池主要包括单晶硅片和多晶硅, 其中单晶硅片的转换效率较高, 实验室转换效率已超过 26%, 批量生产效率已接近 22%, 在充足的光照条件下可获得更高的发电效率。通常多晶硅电池的效率在 19%~21% 之间, 且成本较低。薄膜电池以其超薄和柔性的特点, 在碲化镉 (CdTe) 薄膜电池和铜铟镓硒 (CIGS) 薄膜电池等领域具有广阔的应用前景^[1]。目前, 碲化镉 (CdTe) 薄膜电池的光电转换效率已突破 22%, 其量产效率已达到 16%~18%。不同类型的电池, 其转换效率、成本、寿命和外观都会有很大的差别, 这取决于建筑的具体要求和使用环境, 如在

商业建筑中,为了提高发电效率,可使用单晶硅蓄电池,而对于一些造价较高的民用建筑,多晶蓄电池具有良好的应用前景。

1.2 组件设计

为了满足不同功能要求和美学要求,需要对光伏组件进行特殊设计。一般来说,光伏幕墙的透光率在10%~50%之间,能较好地平衡发电与采光需求。太阳能屋面组件必须具有良好的防水隔热性能,并且能够与屋面结构相协调。经过测试,这种高质量的光电瓦屋顶组件能够在每小时50毫米以上的降雨量下滴水不漏。基于以上研究,可以开发特殊类型的光伏组件(如彩色光伏组件、半透明光伏组件),使其更好地融入建筑设计中。彩色光伏组件可以通过多种颜色的组合来满足建筑外观的多样化需求,半透明光伏组件可以用于采光顶等部位,透光率一般在20%~40%左右。

2 电气连接技术

2.1 并网技术

建筑光伏发电系统通常采用并网方式,通过逆变器将光伏发电产生的直流电转换为交流电接入电网。并网技术的核心问题是保证逆变器输出的电能质量能够满足电网的接入要求,包括电压、频率和相位的稳定性和精确性。一般逆变电源输出电压偏差在10%以内,频率偏差在0.5赫兹以内。在实施过程中,各地区电网对电能质量的要求可能存在一定的差异,应因地制宜。在保证电网安全可靠运行的前提下,尽量减少光伏发电对电网的扰动,如装设防孤岛保护装置,当电网出现故障时,可在0.5秒内实现对光伏发电系统的切断。孤岛保护装置能够实时监测电网运行状况,一旦发现异常情况,可迅速采取措施,避免孤岛效应对电网造成的安全隐患^[2]。

2.2 直流配电技术

为了提高系统的运行效率和可靠性,部分大型建筑物采用了直流配电网,它将光伏组件所产生的直流电直接分散和输送出去,减少了交流电转换过程中的能量损耗。根据研究表明,采用直流配网技术可以减少10%~15%的网损。在长距离直流输电中,减小这种损耗的效果更加明显。直流配电技术不仅要解决直流电压的稳定运行,而且要解决直流线路的绝缘和保护问题,还必须开发相应的电气设备和控制装置。为保证设备正常运行,要求直流电压波动在5%以内,为了实现这个目标,需要采用先进的稳压技术,配以高精度的电压监测装置,实时调整直流电压。

2.3 智能电网技术

随着智能电网的发展,建筑光伏发电系统必须和智能电网有机地结合起来。通过智能电表和智能开关等设备,实时监测光伏发电系统,实现与电网的双向通信和交互,该智能电表具有0.5秒的精度,可准确测定光伏发电系统的耗电量。另外,智能电表还具备数据存储和远程传输的功能,使得用户和电网管理者都能第一时间得到相关的数据。智能电网技术可以使光伏发电系统的运行效率最大化,提高光伏发电系统接纳分布式新能源的能力,实现能源的高效利用和优化配置。例如,通过智能控制光伏发电系统,可使光伏发电效率提高5%~10%,减少电网峰谷差,提高电网稳定性。智能控制根据电网实时负荷情况和光伏发电容量自动调整光伏发电系统的输出功率,以达到合理分配能源的目的。

3 系统控制技术

3.1 最大功率点跟踪技术

由于光伏组件的输出功率受光照强度、温度等因素的影响,需要采用最大功率点跟踪技术,使得光伏系统总是在最大功率点附近工作。最大功率跟踪技术(MPPT)能够实时监控光伏组件的输出电压、电流等参数,从而实现光伏组件在任意时刻的最大功率输出,提高光伏发电效率。一般情况下,利用最大功率跟踪技术,可使光伏发电效率提高10%~20%。当光照变化剧烈时,利用最大功率点跟踪技术对逆变器参数进行快速调整,使光伏模块始终处于最佳工作状态^[3]。

3.2 能量管理系统

能量管理系统在建筑光伏发电系统中占有举足轻重的地位,针对光伏发电系统,综合考虑建筑用电需求、光伏发电状态以及电网电价政策等因素,设计合理的能源分配策略,实现光伏发电自发电、发电上网以及与电网的优化互动。研究表明,通过合理的能量管理可以使光伏发电系统的自发电效率提高30%~50%。同时对储能系统进行管理,实现电能的存储和释放,提高系统的稳定性和可靠性,当夜间或光照不足时,储能系统就能释放电能,满足建筑用电需求。在此基础上,通过对储能系统充放电状态的精确控制,根据不同的电价时段和用电需求,合理规划充放电时间,降低用电成本^[4]。

3.3 故障诊断与保护技术

为了保证建筑光伏一体化系统的安全可靠运行,迫切需要高精度的故障诊断与保护技术。该系统通过安装各种传感器和监测设备,实时监测系统的运行状况,及时发现

故障、报警和处理,如利用温度传感器实时监测光伏组件,当超过 80℃时发出报警信号,这些温度传感器分布在光伏组件的各个关键部位,能够准确地检测出温度的变化。另外,为防止因电气故障造成的安全事故,在电气设备上应加装过流、过压、漏电等安全保护装置。当电流超过额定值的 1.2 倍时,能在 0.1 秒内切断线路,起到过流保护的作用。

4 建筑结构与光伏系统的集成技术

4.1 结构设计

在建筑物设计阶段,应全面、细致地考虑安装光伏系统后对建筑物结构产生的影响。对于屋顶光伏发电系统,需要准确地测定屋面的承载力,并对不同的屋面结构形式如平顶和坡顶式做详细的分析。根据分析结果,合理选择屋面瓦形、斜形等安装形式,采用合适的螺栓紧固、夹具等固定方法,确保屋盖结构的安全可靠。一般来说,屋面的承重能力不低于 150 公斤,才能满足光伏组件的安装要求。针对光伏幕墙、采光顶等系统,需进行专门的结构设计,充分考虑建筑受力情况,利用先进的力学计算软件模拟分析,保证光伏组件在满足建筑力学性能要求的同时安装牢固,密封良好。

4.2 防水与密封技术

如何确保光伏组件与建筑结构之间的水密封,对于保障系统的长期稳定运行至关重要。在安装时,要谨慎地选用有效的防水密封材料,如优质防水胶、耐候密封胶条等。并且,要严格按照规范施工技术要求,对光伏组件边缘、接头等部位进行严密密封,不放过任何可能存在的渗漏点。如屋顶光伏系统,可采用防水胶、密封胶等材料对光伏组件边缘和接缝进行密封。为确保雨水能顺利排放,光伏幕墙需设置排水管线和接缝,排水口排水量应达到每平方米 5L/m²,并定期检查排水口是否堵塞,以保证排水畅通。

4.3 隔热与通风技术

光伏组件在发电的过程中会产生大量的热量,如果不能及时散热,就会影响光伏组件的发电效率和使用寿命。因此,为了降低光伏组件的工作温度,必须采取科学合理的保温和通风措施。如屋顶光伏发电系统可以采用架空安装的方式,通过精确计算架空高度,增加通风空间,提高散热效果。试验结果表明:采用架空安装方式,可以使太阳能电池组件的工作温度降低 5-10℃,达到节能的目的。在光伏幕墙中,可以设置通风百叶或通风腔,根据不同的季节和气候条件,调节百叶窗的角度,实现自然通风与机械通风^[5]。通风百叶箱可以根据需要进行调节,通常为

10-20m³/h,以保证室内空气流通。

5 系统优化与评估技术

5.1 系统性能优化

在光伏组件的布局和朝向优化中,要充分考虑当地的地理位置,太阳高度角,方位角等因素,借助专业的光伏设计软件模拟分析,确定光伏组件的最优布局和朝向,从而提高光的利用率。具体地说,针对不同季节太阳运动轨迹的变化,精确调整组件角度,确保最大程度地利用太阳直射时间。数值模拟结果表明,合理布局可使光能利用率提高 15%~20%。为实现电网参数的优化匹配,需对电缆规格、逆变器选型等进行详细的计算和分析,以降低线路损耗,如选用低阻电缆,则应根据电缆的长度和电流大小,选择合适的电缆规格,减少损耗。在此基础上,对系统控制策略进行优化,并根据光照、负荷等因素,采用先进智能控制系统对系统参数进行实时调整,达到对能量的高效管理和利用,使整个系统的发电效率提高 10%~15%。基于该模型,结合智能算法,自动识别光照强度变化,及时调整逆变器输出功率,避免能量浪费。

5.2 经济评估

通常情况下,太阳能光伏集成系统的投资成本为 8000-12000 元/千瓦,其中包含了光伏组件、安装材料、施工等费用。另外,由于不同品牌和质量的光伏组件价格波动较大,所以需要综合考虑成本因素。每年的运行维护费在 50-100 元/千瓦左右,主要用来维修、清洗和更换零部件。对于较大的系统,可采取定期检修、预防性维护等措施,以降低后期维修成本。发电收入受当地电价和发电量的影响,假设每度电 0.5 元,100 千瓦的发电系统年发电量 12 万度,年收益约为 60,000 元。此外,考虑到设备老化和气候变化等因素对发电能力的影响,需要构建收益预测模型,以便更加准确地评估企业的收益情况。通过对光伏发电系统的经济性评估,为项目投资决策提供依据,促进光伏发电技术在建筑领域的推广应用。

5.3 环境评估

评估光伏发电系统对环境的影响,包括二氧化碳减排、节能减排以及生态环境保护等。以一个 1 兆瓦的建筑光伏一体化系统为例,每年可发电约 120 万度,可减少二氧化碳排放约 1000 吨,相当于种植了 5 万棵树。进一步的分析显示,减少碳排放有助于缓解温室效应和改善气候环境。在环境评价方面,可以进一步分析其对氮氧化物、二氧化硫等其他环境指标的影响。由于光伏发电不需要燃烧,所以能有效避免化石燃料燃烧产生的各种污染物。通过环

境评估,可以体现建筑光伏一体化技术在可持续发展方面的优势,为政府制定相关政策和法规提供参考,同时也能提高公众对清洁能源的认知和接受度。

6 结语

建筑光伏一体化集成技术具有重大战略意义,应用前景广阔。该技术将太阳能光伏发电和建筑有机结合,实现了能源生产和建筑功能的有机结合,对缓解全球能源危机和环境污染具有重要意义。在此基础上,深入研究光伏发电一体化系统的核心技术原理和关键技术,包括光伏组件技术、电气连接技术、系统控制技术、建筑与光伏一体化系统的集成技术、系统的优化评估技术等,可进一步提升光伏发电系统的性能和可靠性,降低成本,推动光伏发电技术在建筑中的广泛应用。未来,太阳能光伏发电将会成为建筑领域的主流技术,这对于人类社会的可持续发展具

有重大的意义。

参考文献:

- [1] 宋媛,牛菲菲,韦古强等.高性能集成房屋及光伏建筑一体化融合技术的应用要点[J].建筑技术,2022,53(5):518-520.
- [2] 孙小童.太阳能建筑一体化光伏幕墙冷却散热集成系统研究[D].重庆:重庆交通大学,2024.
- [3] 袁云.新型光伏光热建筑一体化组件及系统性能研究[D].黑龙江:哈尔滨工业大学,2020.
- [4] 于桂坤.可持续性视角下光伏建筑一体化项目投资决策研究[D].山东:青岛理工大学,2024.
- [5] 张天翼.聚光光伏光热(CPV/T)一体化系统的热电性能研究[D].黑龙江:东北农业大学,2023.