

# 太阳能光伏与建筑屋顶一体化构造深化研究

马登彪

(中铁十九局集团第五工程有限公司, 辽宁 大连 116000)

**摘要** 全球气候变化和能源转型的双重推动,使太阳能光伏与建筑的深度融合成为当今建筑发展的大势所趋。我国作为世界第一大建筑市场和第二大经济体,建筑能源消费巨大而结构单一。如何实现建筑领域的低碳转型,是关系到国家能源安全和长远发展的重大战略课题。将高效的光伏技术与建筑主体完美融合,不仅能极大地减少建筑运营的碳排放强度,还能进一步丰富建筑的功能,提高舒适性并促进土地资源的复合高效利用。本文以建筑施工方的视角,重点分析太阳能光伏与建筑一体化技术在未来乡村和城市建设中应用的潜力与前景。

**关键词** 太阳能光伏; 建筑一体化; 乡村城市

**中图分类号**: TK51

**文献标识码**: A

**文章编号**: 2097-3365(2024)04-0013-03

当前,我国正处于新型城镇化和乡村振兴的重要战略机遇期。《“十四五”现代农业产业体系发展规划》明确提出,大力发展乡村旅游、特色小镇,建设美丽宜居的乡村。在此背景下,乡村城市建设迎来了重要机遇。与此同时,我国提出 2030 年前非化石能源占一次能源消费比重达到 25% 的目标,大力发展清洁可再生能源。太阳能光伏作为清洁可再生能源的重要来源,发电成本不断下降,技术也日益成熟,在建筑领域的应用前景广阔。

## 1 太阳能光伏与建筑一体化技术发展现状

### 1.1 太阳能光伏发展现状

当前我国太阳能光伏发电正处于高速增长期,2020 年新安装的光伏发电量达到了 48.2GW,同比增长 26%,累计安装总量达 253GW。这主要得益于光伏组件转换效率的不断提高、制造成本的大幅降低以及国家政策的大力支持。从技术上看,当前商业化的晶硅光伏组件效率已经达到了 22% 左右,一些实验室的研究也已经实现了 26% 甚至更高的转换效率。随着技术的不断进步,预计商业组件效率到 2025 年可以达到 24%。从成本看,光伏发电的标准化上网电价也在不断下降,2020 年已降至 0.28~0.39 元/kWh,有竞争力的区域已接近煤电平价。未来随着制造规模效应的进一步提升,预计到 2025 年电价可以降低至 0.2 元/kWh。从政策上看,国家已明确提出 2030 年前光伏发电总装机将达到 1200GW 的目标。因此,我国太阳能光伏产业仍处于快速增长的黄金机遇期。<sup>[1]</sup>

### 1.2 建筑一体化技术情况

建筑一体化技术是将光伏组件与建筑材料或构件

整合在一起,实现建筑发电的技术方式。当前常见的技术主要有太阳能光伏玻璃、光伏建材(瓦、板材等)和光伏支架等。太阳能光伏玻璃通过在普通玻璃基板表面覆盖光伏薄膜,可以直接替代建筑的窗玻璃使用;光伏瓦和板材则在保证基础功能(遮阳防水等)的同时,嵌入了光伏电池,可在发挥主要功能的同时发电;光伏支架则与普通建材分离,直接安装于墙体或屋顶上。随着技术的进步,未来光伏建材的转换效率预计可以达到 18% 以上,部分产品寿命可以与建筑本体匹配,这将极大地降低光伏建筑的整体发电成本。目前建筑一体化光伏发电已成功应用于多项示范工程,但由于制造成本相对传统散件光伏稍高,大规模应用仍需技术突破和成本下降。

### 1.3 存在问题

尽管太阳能光伏与建筑一体化技术发展迅速,但在实际应用中仍存在一些有待解决的问题,比如技术整合度不高导致功能发挥受限,很多光伏建材只是简单机械堆叠没有实现与建筑材料的深度融合;制造成本较高,目前多数光伏建材比普通建材贵 50% 以上,严重影响经济性;使用寿命和建筑结构匹配性差,大多光伏建材寿命只有 10~15 年,而建筑使用寿命数十年;美观度有待提高,大面积使用光伏建材会对建筑外观产生一定的负面影响;政策扶持力度不够,建筑一体化光伏发电补贴标准远低于普通电站光伏发电,新能源政策亟待进一步完善。这些问题的存在无疑制约了光伏建筑的推广速度和应用规模,下一步行业亟须加快技术创新步伐,大幅降低制造成本,吸引更多社会资本和政策支持,以促进建筑一体化光伏产业快速增长,推动我国建筑节能减排和可再生能源消纳。<sup>[2]</sup>

## 2 太阳能光伏与建筑一体化技术运用的必要性分析

### 2.1 实现建筑自身的清洁供能

实现建筑自身的清洁供能是太阳能光伏与建筑一体化技术运用的当务之急。传统建筑能源消耗巨大,我国建筑能耗占全社会总能耗的1/3。而电力及供热主要依赖煤电,导致建筑运营过程中产生大量碳排放。光伏建筑可以利用自身屋顶及墙体进行发电,实现对能源需求的自供自足。根据太阳辐射资源与建筑面积匹配计算,一座标准写字楼通过建筑一体化光伏设计,可实现年发电量达到电力需求总量的30%~50%。这相当于减少建筑30%~50%的外购电量,降低碳排放强度。同时配备储能系统,光伏发电与建筑负荷实现最优匹配,使节约用电成本降到最低。在分布式能源与智慧微网相关政策推动下,未来建筑可实现“多发少购零排放”的供能模式,真正达到零碳排放。这将大幅减轻大城市的“煤电锁定”现象,也使偏远农村地区建筑实现自给自足。可见,太阳能光伏与建筑一体化不仅决定了建筑的清洁化与低碳化,更将极大地推动我国能源体系转型升级。

### 2.2 丰富建筑功能,提升舒适性

太阳能光伏与建筑一体化技术的运用可以极大地丰富建筑的功能,提升室内舒适性。传统建筑采暖通风与照明系统分散设置,调节不灵活,同时能耗较大。而光伏建材可根据建筑使用需求动态调节发电模式,发挥建材供暖、通风、采光的多功能性。例如光伏木质百叶可以按照运行算法自动打开不同角度,实现建筑采暖通风及遮阳的自主控制;光伏玻璃幕墙更可以检测室内温湿度和光照等数据,动态控制光电转换效率,以达到室内温度和采光最优。这类多功能光伏系统可取代传统空调及照明设备,减少建筑60%以上的能耗。与此同时,太阳能光伏与建筑结构的深度融合可以提供美学、耐久性、隔热保温等方面的升级,大幅提高建筑使用舒适度。综上所述,光伏建材的建立不仅意味着清洁能源的获取,更开启了建筑从“消耗型”到“生产型”的变革,使建筑由能源的被动接受方转变为主动的管理者与参与者,具有重要的技术意义和应用前景。<sup>[3]</sup>

### 2.3 提高土地空间利用效率

光伏建筑通过立体式设计,可以实现光伏系统与建筑主体的叠加利用,发挥光伏发电与建筑主功能的双重效用,比土地分开单独建设光伏电站和建筑物合理利用土地多出一倍以上。具体来说,屋顶及墙体安装的光伏系统不仅可以发电,还可以作为建筑外墙结

构发挥遮阳、隔热、保温等功能;同时与建筑主体结构相适应,确保安全性。此外,光伏建筑系统还可以与农业大棚、车棚等基础设施有机结合,实现农牧业设施与清洁能源的高效复合开发。光伏农牧业生态系统不但可以增加可利用日照资源约60%,提高农作物和草场的单位面积产量,还可以发挥调节环境温湿度、阻隔恶劣天气等多重生态效益。可以说,太阳能光伏与建筑的结合是土地空间高效复合利用的典范,也是推动我国能源多元化的重要切入点。其规模化发展也将带来巨大的经济效益和社会效益。

### 2.4 促进相关产业链发展

太阳能光伏与建筑一体化技术的发展和應用将有力推动储能技术、智能电网、建材新材料等多种战略性新兴产业的重大进步。光伏与建筑深度融合需要搭配使用智能化储能系统和精细化电力电子设备,以实现太阳辐射强度变化与建筑负荷需求动态平衡。这将极大地促进电力电子技术创新,推动逆变设备大功率化、智能化及质量可靠性整体提高,加速推进电池技术进步和智能微电网建设。与此同时,光伏建材的设计制造也需要高效薄膜电池、新型材料、先进光学薄膜等多种新材料和技术支持,带动新材料高端化及“多功能一体化”特性的产业化应用。此外,光伏建材产业链所延伸的建筑节能技术咨询与设计、工程安装施工、运维管理服务等相关服务业也将获得长足发展。据预测,到2025年,我国光伏建筑及相关产业总产值将超过万亿元人民币。特别是在全球“双碳”目标推动下,该领域商机巨大,技术及产业发展前景广阔。

## 3 太阳能光伏与建筑一体化技术在乡村城市建设中的运用

### 3.1 建筑结构设计

在乡村城市建设中,要充分运用太阳能光伏与建筑一体化技术,关键是要从建筑设计开始,采用适应光伏发电的结构体系。具体来说,有以下几点:第一,选择南北朝向布局。根据我国大部分地区光照资源主要分布在建筑南侧,建筑宜采用南北走向布局。合理设置南墙体系,确保光伏系统得到充足的太阳辐射;北侧重点考虑采光照明和通风设计。第二,加强屋顶结构处理。屋顶是设置建筑一体化光伏的主要位置,要充分考虑光伏板的分布布置,合理加固屋顶承重结构,确保安全。常见的有两种设计:激光与屋面成一定角度的支架上安装光伏板;直接将薄膜光伏组件与防水层和屋面材料一体化构造。这需要屋面的材料与组件之间实现良好粘结。第三,创新墙体结构方案。除屋顶外,建筑墙体也可以通过支架安装光伏或者采

用光伏砖、光伏外墙板等一体化建材。这需要在保证墙体主要功能(如承重、保温、防水等)不受影响的前提下,做好与光伏产品的匹配。第四,优化建筑总布局。要根据建筑功能合理规划室内外分区,保证光伏建材及系统的最佳使用;同时关注建筑朝向自然通风与采光效果,减少能源消耗。第五,智能化系统联动。光伏建材要与建筑环境控制系统、供配电系统实现高度协同,建立动态优化的运行机制,并充分利用物联网、云计算等技术手段,实现对复杂建筑系统的精细化监测和管理。总之,为充分发挥太阳能光伏与建筑的协同效应,建筑设计阶段就应采用整体系统化思路,使建筑形态、布局和结构实现光电建材理念的最优化落实。这是相关技术大规模应用于乡村城市建设的基础与前提。<sup>[4]</sup>

### 3.2 施工环节注意事项

光伏与建筑一体化施工过程中,需要注意许多重要环节以保证工程质量和发电效果,首先是光伏组件的运输与存放,要注意防护减震,避免材料在运输及仓储过程中受损;其次是支架的制作安装,不同位置建筑面应采用适宜的支架模式,确保连接牢固构造合理;同时光伏组件的串联过程中要注意极性不能错误,每一串组件的参数应高度一致;另外还要重点关注防水层与支架安装对建筑主体的影响,如需破坏房顶墙体防水层,施工完毕必须修复严密,防止未来渗漏;此外,还需要检查光伏增加的额外载荷对建筑结构的影响,必要时适当加固;电气系统方面线路配置要规范隔离,逆变器设置要便于监测管理,调试与并网运行要确保控制协调;最后,通过至少 72 小时的连续观测确认各项指标达标。只有严格落实好施工的种种细节,才能确保光伏建筑工程质量,发挥设计功能。

### 3.3 操作维护要点

为保证系统长期安全可靠运行,使用单位的维护与管理工作尤为重要,需要注意以下要点:第一,建立巡检制度。光伏建筑系统和设备要建立周期性巡检计划,重点检查组件外观、接线端子、支架连接、防水层等易损易老化部位。一般季度检查 1 次,及时发现隐患。第二,组件清洗维护。尘垢覆盖会降低发电效率,应定期对光伏板进行清洗,一般半年 1 次,也可以根据污染情况适当增加频次。清洗时不能使用酸、碱类溶剂,最好采用无污染的纯水来降低成本。第三,遮阳检查与修剪。光伏建筑附近如有高大树木,每季要查看遮阴情况并及时修剪,确保充足光照,这也是屋顶光伏经常被忽视的一环。第四,逆变器更换更新。高温和长时间转换运行会加速电子器件老化,一般 5

年更换 1 次逆变器,时刻注意转换效率下降情况。更新投运后要重新进行调试。第五,系统性能监测。光伏系统的发电量、供建筑用电情况要持续监测记录,月度汇总分析是否达预期。相关软硬件需要保证持续正常运行。第六,故障处理和系统升级。针对运行期间出现的各类故障,要制定相应的应急预案并建立完善的处理流程体系。及时更新和完善光伏建筑的监测与控制系统,确保设备发挥最大效用。通过科学规范的运维管理,可以延长光伏建筑使用寿命至 20~30 年,使之真正成为建筑的“永久器官”,为使用者提供持续的环境与经济效益。<sup>[5]</sup>

## 4 未来乡村城市的应用构想

随着光伏新材料和一体化技术的不断创新与进步,太阳能建筑在未来乡村城市建设中的应用前景巨大而美好。预计到 2030 年,我国乡村和城市的大部分新建建筑将会实现光伏系统的标准配置。到 2050 年,几乎所有老旧屋顶都会改造实施建筑一体化光伏。届时,无论城市高楼还是农家小屋,都将通过自身完成清洁低碳的供能与发电。这将极大地减少中国对化石能源的依赖,也将万家千村变成宜居宜业的生态社区。同时,以光伏建筑为基础的智慧微电网和分布式能源体系将完全崛起,支撑城乡的绿色智能化进程。我们有理由相信,太阳能与建筑的深度融合必将开创我国美丽乡村建设和可持续城镇化的全新篇章。

## 5 结语

本文从施工单位角度出发,着眼未来乡村城市建设对太阳能光伏与建筑一体化技术的需求,深入研究该技术在乡村城市建设中的运用。研究发现,该技术的应用前景广阔,但仍需解决技术与管理等问题。本文为推动该技术在乡村城市建设中的应用提供了参考借鉴。后续可继续深入开展技术经济分析、示范工程建设等研究。

## 参考文献:

- [1] 崔静恩,李锐,范磊,等.太阳能光伏与建筑屋顶一体化构造深入研究[J].建材技术与应用,2021(02):48-53.
- [2] 张杨,屈志浩,曾文明,等.太阳能光伏建筑一体化系统设计分析[J].中国建筑装饰装修,2023(18):57-59.
- [3] 李瑛杰.太阳能光伏与建筑一体化技术推广研发与应用示范[J].城市建设理论研究(电子版),2023(24):85-87.
- [4] 刘国旗.太阳能光伏发电系统在建筑设计中的应用[J].工业建筑,2023,53(04):249.
- [5] 范文慧.民用建筑中应用太阳能光伏发电系统的思考[J].智能建筑与智慧城市,2022(06):130-132.