



# 关于发展空中光伏公路的探讨

广州发展能源物流集团有限公司 ■ 罗光明

**摘 要：**从我国光伏发电的现状入手，分析了国内外现有光伏示范公路的模式及存在的突出问题，并对空中光伏公路的发展思路、发展优势、可行性、路段选择、发展空间和发展前景进行了分析探讨。

**关键词：**空中；光伏公路；探讨

## 0 引言

随着能源技术的飞速发展，人类已经迎来了光伏发电大规模发展的新时代。根据我国发布的《智能光伏产业发展行动计划(2018-2020)》，国家将推动光伏产业智能化升级，探索在建筑、水利、农业等领域的应用示范建设，积极培育世界级先进制造业集群。我国即将迎来光伏发电“平价上网”的新时代，在此背景下，发展空中光伏公路大有可为。

本文从我国光伏发电的现状入手，在分析国内外现有光伏示范公路的模式及存在的突出问题后，对空中光伏公路的发展思路、发展优势、可行性、路段选择、发展空间和发展前景进行了分析和探讨。

## 1 我国光伏发电现状概述

近几年来，伴随着光伏发电成本的快速下降及光伏“领跑者计划”等的实施，我国光伏发电出现了超快速的增长。2015年，我国新增光伏

装机容量约为 15.13 GW<sup>[1]</sup>；2016 年的新增装机容量约为 34.54 GW<sup>[2]</sup>；2017 年的新增装机容量约为 53 GW，占全球新增光伏装机容量（约 102 GW）的比重为 52%<sup>[3]</sup>。2017 年我国累计光伏装机容量已经超过 130 GW，占全球光伏装机总容量的 25%<sup>[4]</sup>。

从光伏发电成本来看，我国第三批光伏领跑者基地——吉林白城项目的投标价格已经低至 0.39 元/kWh，仅比当地燃煤标杆上网电价(0.3731 元/kWh)高 4.5%，这意味着我国光伏发电行业将在未来 3 年内进入“平价上网”的新时代。

如今，我国不仅是名副其实的光伏制造第一大国，也是名副其实的光伏应用第一大国，但未来我国还需向光伏创造第一大国和第一强国转变。要实现这一转变，除已经实现规模化的地面光伏电站和分布式光伏发电等的快速发展外，还必须大力拓展光伏发电的应用场景和应用模式，通过加快光伏制造与应用技术创新，不断提高光伏发电效率，降低光伏发电成本，尽快实现“平

收稿日期：2018-04-02

通信作者：罗光明(1969—)，男，硕士，主要从事能源企业管理工作。evanluo@sohu.com



价上网”，持续做大光伏发电规模，持续快速提高我国光伏发电在电力行业的比重，加快我国能源结构优化的步伐。

## 2 目前光伏示范公路的模式及存在的问题

查阅目前国内外已有的光伏示范公路相关资料信息发现，当前光伏示范公路的建设模式仅限在路面铺设太阳能电池。而这种模式存在投资成本高、发电效率低、维护成本高、交通影响大、安全风险大等问题，下文将逐一进行分析。

### 2.1 投资成本高

由于需要重新设计或改造公路路面（针对现有公路），并需要采用能承受通行车辆（包括各种重型汽车、载重货车）重量的太阳能电池承重保护板，因此，光伏示范公路的投资成本远高于普通光伏发电的投资成本。

### 2.2 发电效率低

由于太阳能电池铺设在路面，并且需要在太阳能电池上增加承重保护板，再加上受地面尘土和公路两侧树林、建筑等障碍物的影响，太阳能电池的受光面积、受光程度和受光时间均会受到影响，从而降低发电效率。

### 2.3 维护成本高

光伏示范公路检修时，需要先由公路交通管理人员拦截车道和过往车辆，再由专业维修技术人员取出承重保护板及太阳能电池，然后才能进行维修，因此维护成本较高。

### 2.4 交通影响大

若在现有道路路面加装太阳能电池，在施工期间会严重影响交通，尤其是高速公路更加不可行。其次，维修时必须拦截车道和车辆，也会对交通造成较大影响。

### 2.5 安全风险大

在光伏示范公路运行期间，由于太阳能电池铺设在路面，长期受压导致承重保护板和太阳能电池的破碎风险增大；太阳能电池长期埋在路面下，散热差还会增大因太阳能电池及电缆等辅助系统过热

而发生火灾的风险，不仅会对交通造成影响，还可能造成车辆受损和人身伤害等衍生伤害。另一方面，在这种路面上光伏发电还要面临天气变化的极大考验，包括春、夏、秋、冬不同气候条件下造成的热胀冷缩，以及暴雨、下雪、结冰等极端天气变化带来的影响。

由以上分析可知，目前的光伏示范公路模式存在诸多问题，缺乏经济可行性，且配套技术并不成熟，只能停留在示范层面，不能大规模推广和产业化应用。

## 3 空中光伏公路的发展思路、优势及可行性分析

为了使光伏发电在公路系统得到大规模产业化应用，必须探索具有技术和经济可行性，能增加现有公路经济附加值，且有利于各参与主体（包括政府、公路相邻社区、公路业主和公路用户等）的发展模式，即发展空中光伏公路。

### 3.1 空中光伏公路的发展思路

经查阅有关文献，我国最早在 2010 年时已有人提出在高速公路上空建设空中光伏公路的思路，并已获得专利<sup>[5-6]</sup>。与现有光伏示范公路的模式不同，空中光伏公路的发展思路是：在公路上空搭建网架，然后将光伏组件铺设在道路空空的网架上。

网架建造和光伏组件铺设高度可根据道路监控立杆等交通监控设施的高度进行确定。经查，一般道路监控设施立杆的高度为 6.5 m，因此，光伏组件的铺设高度可考虑为 7 m 左右<sup>[7]</sup>。光伏组件的铺设宽度可根据公路的宽度进行确定；若公路两边无建筑物或防护林等阻碍，光伏组件铺设的宽度甚至可以超过公路的宽度。

### 3.2 空中光伏公路的优势分析

与现有光伏示范公路相比，空中光伏公路明显具有以下优势：

1) 成本优势明显。现有光伏示范公路模式需要增加透光性好的承重保护板，并需要对路面进



行重新设计或改造,投入很大,会成倍增加投资成本。而空中光伏公路不需要对路面进行改造,也不需要研发和采用透光性好的承重保护板,只需要增加空中网架的投资。

2) 发展空间大。现有光伏示范公路需对路面进行改造,会对交通造成较大影响且成本较高,不能在现有公路上进行大规模应用推广,使其应用范围受到极大限制。而空中光伏公路不需要对路面进行改造,可充分利用现有的公路资源,具有大规模发展的条件,市场空间很大。

3) 可有效提高公路和通行车辆的使用寿命。建设空中光伏公路相当于在公路上加装遮阳系统,避免了公路和通行车辆直接在太阳下暴晒。另一方面,建设空中光伏公路也相当于在公路上加装遮雨系统,大幅减少了公路和车辆被雨淋的几率。避免暴晒和雨淋均可有效提高公路及通行车辆的使用寿命。

4) 可提高道路交通效率。建设空中光伏公路将大幅减少或避免极端天气情况对道路交通造成的影响。如暴雨和下雪对交通的影响很大,甚至在极端天气情况下还需要关闭高速公路,而下雪对公路的影响时间更长,需要清扫路面的积雪后才能恢复通行。因此,建设空中光伏公路可有效减少或避免上述影响,提高道路交通效率。

5) 可提高车辆通行的安全性。建设空中光伏公路可减少交通隐患和事故的发生,主要是可减少或避免强光、暴雨、强风和大雪等对车辆行驶的潜在影响,减少交通事故隐患,提高驾驶员和乘客乘车的安全性和舒适性,从而提高通行安全性。

6) 可降低车辆运行成本。建设空中光伏公路后,在炎热天气情况下,通行车辆可以避免受到太阳的暴晒,因此可调低车辆空调和通风的功率并减少耗电量;在暴雨情况下,车辆也不需要减速行驶,从而可降低车辆运行成本。

7) 可减少电力资源调配。建设空中光伏公路后,其光伏发电产生的电力可就近接入路边充电站和电网,为将来汽车电动化创造有利条件,实

现发电的就地消纳,减少电力资源的调配和损耗。

### 3.3 空中光伏公路的可行性分析

#### 3.3.1 技术可行性

空中光伏公路不需要研发和采用保护太阳能电池的承重保护材料,可完全利用现有光伏发电技术进行建设,只需要在公路两边和上空加建承载光伏组件和电缆的网架结构,因此,在技术上是完全可行的。

#### 3.3.2 经济可行性

1) 我国光伏发电在未来3年内将实现“平价上网”,即使无国家补贴也可以产生利润,光伏发电已经具备大规模发展的经济可行性。

2) 发展空中光伏公路不存在新征土地,以及占用耕地、拆迁补偿等问题。

3) 建设空中光伏公路可利用现有公路的交通、通信和电缆等基础设施,而地面光伏和分布式光伏项目发电需要在交通、通信和电缆等方面进行投入。

综合来看,空中光伏公路在成本方面具有独特的竞争优势。

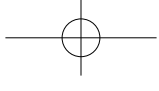
### 3.4 空中光伏公路的区域及路段选择建议

从建设成本、光伏发电效率等角度考虑,建议空中光伏公路首选区域及路段为:

- 1) 宜选择光照时间长和光照强度高的地区;
- 2) 应选择城市以外的道路,即道路两边建筑物少的路段;
- 3) 应首先选择公路两边无防护林带的路段;
- 4) 应选择平坦的路段。

## 4 空中光伏公路的发展前景展望

空中光伏公路具有多方面的优势,技术成熟、经济可行,并具有显著的环境效益和社会效益,政府相关部门(尤其是交通管理部门)、电力系统、光伏组件供应商、公路业主、车辆运行方和周边居民等众多参考者均将从中受益。因此,发展空中光伏公路能充分调动各参与方的积极性,极大地推动我国光伏制造和光伏发电产业的发展,加



快其技术创新和产业发展步伐,进一步巩固我国光伏制造与应用大国和强国的地位。

#### 4.1 空中光伏公路的发展空间分析

2017年,我国的公路总里程已达477万km<sup>[8]</sup>,若仅利用其中的1/10建设成为空中光伏公路,保守估计光伏装机容量可达1000GW,可实现年发电量1万亿kWh,相当于我国2017年总发电量的15%。

#### 4.2 推动公路系统的转型升级

随着电动汽车、自动驾驶技术、无线充电和智能交通等技术的飞速发展,未来交通将发生革命性的变革。而空中光伏公路系统可与这些技术系统进行有效地对接和融合,共同推动公路交通系统的转型升级,提升公路的综合效益和附加价值,最终实现智慧道路的目标。

#### 4.3 空中光伏公路的示范效应

空中光伏公路模式若能在光伏发电实现“平价上网”后得到成功应用,并在技术、经济、环保等方面得到验证后,可以通过以下途径进行推广应用:1)可以向铁路系统延伸,探索建设空中光伏铁路;2)可借鉴我国高铁和核电等行业走出国门发展的成功经验,将空中光伏公路模式向全世界推广<sup>[9]</sup>。

## 5 结语

本文对空中光伏公路的发展思路、发展优势、可行性、路段选择等进行了分析探讨,并对空中光伏公路的发展空间和发展前景进行了展望。我国即将迎来光伏发电“平价上网”的新时代,发展空中光伏公路大有可为。

#### 参考文献

- [1] 国家能源局. 2015年光伏发电相关统计数据[R]. 北京, 2016-02-05.
- [2] 国家能源局. 2016年光伏发电统计信息[R]. 北京, 2017-02-04.
- [3] 北极星太阳能光伏网. 光伏行业2017年发展回顾与2018年形势展望[EB/OL]. <http://guangfu.bjx.com.cn/news/20180124/876408.shtml>, 2018-01-24.
- [4] 北极星太阳能光伏网. 2017年中国光伏装机数据简析[EB/OL]. <http://guangfu.bjx.com.cn/news/20180208/879829.shtml>, 2018-02-08.
- [5] 别道平. 铁路高速公路光伏发电技术方法[P]. 中国: CN201010240289.6, 2010-12-15.
- [6] 林立州. 光伏公路护栏[P]. 中国: CN20170808426.9, 2018-03-20.
- [7] JTGB 01-2003, 公路工程技术标准[S].
- [8] 交通运输部综合规划司. 2017年交通运输行业发展统计公报[R]. 北京, 2018-00298.
- [9] 国金证券. 太阳能行业投资研究报告: 光伏平价上网 巨大市场空间释放[EB/OL]. <https://xueqiu.com/1291909236/102618663>, 2018-03-06. 太阳能

(接第32页)但当前依然面临挑战。IGBT芯片是光伏逆变器的核心,但目前光伏逆变器的转换效率已经达到98%,价格也低于0.15元/W。在这样的情况下,光伏逆变器还有什么潜力可挖掘,还有何创新空间?

于代辉表示:“的确,过去20年,无论是市场规模还是产量,中国光伏产业是一步步从零发展到世界领导地位。对半导体厂家来说,挑战的确很大,主要是在功率密度方面。光伏逆变器转换效率一个百分点的增长可以带来很高的经济效益,但再提升难度很大。英飞凌主要从2个技术角度提升光伏逆变器创新潜力:第一,与客户一起优化产品系统。比如减小体积、提高功率密

度,在传统IGBT的基础上可以定制化,优化系统产出,降低成本。第二,采用碳化硅芯片技术。因为碳化硅材料是未来复合化合物半导体的趋势,但不同领域、不同行业的成熟度不一样,而太阳能是成熟比较早的行业,碳化硅芯片是我们和客户联合进行系统开发的主要方向。还有一些方式可以降低成本,比如:电站运维;国家政策、市场规律的优化可以帮助光伏产业更好地成长;电力生产的污染问题,是否可以将传统火电企业对环境的污染成本计算到其电价里,来缩小光伏发电与火电的度电成本的差距,对光伏产业的可持续发展是非常有利的。太阳能