文章编号：2095－6835（2022）04－0173－04

高速公路沿线发展分布式光伏发电项目可行性研究

李 义 1 ，刘志胜 2 ，3

（ 1.广州市北二环交通科技有限公司，广东 广州 510030；2. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室，上海 201804；

3.山西交通控股集团有限公司，山西 太原 030002）

摘 要：为分析光伏发电技术在公路工程领域推广应用的可行性，系统梳理了光伏发电技术研究与应用 现状以及光伏发电技术在公路工程中的应用情况，从分布式光伏发电的技术、节能、经济及市场需求等 方面分析了高速公路沿线发展分布式光伏发电项目可行性，并针对可能遇到的风险提出应对措施。研究 结果表明，分布式光伏发电技术成熟、节能环保效益显著、经济效益可观、市场需求广泛，按需求分步 实施，具有较好的推广应用前景。

关键词： 交通工程；公路沿线；光伏发电；可行性

中图分类号：U414 文献标志码：A DOI：10. 15913/j.cnki.kjycx.2022.04.053

随着全球经济发展、科技进步，世界各国对能源 提出了越来越高的要求。传统火力、水力、风力、核 能发电面临的资源枯竭、环境污染、季节影响、核泄 漏等诸多问题日益成为制约社会经济发展的瓶颈 ，越 来越多的国家和地区开始实施“ 阳光计划” ，开发利 用太阳能资源已成为世界各国领跑能源争夺赛、寻求 经济发展新动力的重要突破口[1-2] 。为支持光伏行业发 展，国家发展改革委、财政部、能源局及四川、山东、 新疆等地区陆续发布相关支持政策，有序引导光伏发 电技术在全国推广应用。2014 年，国家能源局印发的 《关于进一步落实分布式光伏发电有关政策的通知》 中明确提出“鼓励在火车站、高速公路服务区、机场 航站楼、大型综合交通枢纽、大型体育场馆和停车场 等公共设施系统推广光伏发电”[3]。财政部、国家发展 改革委、能源局联合下发的《关于促进非水可再生能 源发电健康发展的若干意见》《可再生能源电价附加 资金管理办法》合理确定新增补贴项目规模 ，充分保 障政策延续性和存量项目合理收益，完善市场配置资 源和补贴退坡机制。云南省发布光伏扶贫项目信息的 公示，包含已纳入和审批通过待纳入国家财补目录光 伏扶贫项目 ；福建出台了电力调频辅助服务市场交易 规则，积极推进福建省电力辅助服务市场试点工作。

高速公路沿线作为长期运营的封闭性交通基础设 施 ，用电耗能十分稳定且呈现增长趋势，据不完全统 计 ，各省份所辖收费站、服务区、隧道等用电耗能每 年电费支出在 3 ～ 10 亿元范围 ，各省高速公路管理集 团均属于工商业用电大户。各集团公司所辖的站区屋

顶、硬质边坡、隧道隔离带、互通枢纽闲置土地等区 域均为建设分布式光伏电站的优质资源，大力开发、 利用太阳能，既符合国家、地区低碳环保可持续发展战 略要求，又顺应绿色公路发展理念，还能盘活高速公路 闲置资产、培育管理公司新的利润增长点，拓展以光伏 发电应用达到“降本增效”的新模式、新途径，可为企 业实现提升经济效益和企业形象提供强有力的支撑。

1 光伏发电产业现状

中国作为一个能源消耗大国 ，一次能源储量远低 于世界平均水平，大约只占世界储量的 10% 。中国地 区宽广 ，太阳能资源蕴藏丰富 ，具有清洁、安全、充 裕、经济性等优点 ，是真正取之不尽、用之不竭的理 想能源。因此 ，大力发展光伏发电在内的可再生能源 已经成为中国保障能源安全、治理环境污染、应对气 候变化的战略性选择[4-6]。

1.1 光伏发电技术现状

1954 年，美国贝尔研究所成功研制单晶硅太阳能 电池，标志着光伏发电技术正式诞生。太阳能电池主 要分为硅基太阳能电池、多源化合物半导体电池等 ， 单晶硅光伏电池具有转换效率高、稳定性好等特点， 已成为市场上最主要的光伏太阳能电池。随着晶硅原 材料制备技术取得巨大突破，在实验室单晶硅电池的 光电转化效率已经从 20 世纪 50 年代的 6%提高到目前 的 25% ，量产单晶体硅电池的效率已达到 23%左右， 使用寿命可达 25 年以上。

光伏发电系统分为独立光伏发电系统和并网光伏 发电系统。独立光伏发电主要由光伏组件、控制器、

·173 ·

蓄电池组成 ，若要为交流负载供电，还需要配置交流 逆变器。并网光伏发电，光伏组件产生的直流电经过 并网逆变器转换成符合市电电网要求的交流电后 ，直 接接入公共电网。分布式光伏发电系统是并网光伏发 电系统的一种 ，因其具有负荷距离近、就近消纳等特 点，近几年得到了广泛应用。

1.2 光伏发电技术应用现状

1974 年， 日本率先启动国家“Sunshine 计划” ； 随后，德国、美国等先后提出“十万屋顶计划”“百 万太阳能屋顶计划” ；在 20 世纪 80 年代后期 ，中国 开始将太阳能发电技术引入国内，2002 年正式提出“光 明工程”[7-8]。

光伏发电屋顶。2018- 12 ，崇明三星田园“互联网 + ”智慧能源示范项目屋竣工，如图 1 所示，紧贴屋顶 安置太阳能光伏组件 ，不仅实现了“源网荷储”一体 化 ，还实现了并网系统和离网系统的统一管理，充分 证明了基于绿色能源灵活交易的智慧分布式低碳园区 微电网可行性。



图 1 “互联网+ ”智慧能源示范项目

2019-02 ，百度公司、北京海纳川汽车部件股份有 限公司、北京汇宝兴达商贸有限公司等入选北京市分 布式光伏能源资助项目名录，用户光伏发电示范项目 累计 53 MW 获得政府奖励 ，1 万 m3 以上具备条件的 屋顶覆盖率超过 80%。

光伏发电顶棚。2013-08，潞安集团太阳能公司和 中节能集团太阳能公司共同投资建设 50 MW 光伏农 业科技大棚，如图 2 所示，采用光伏电池组件替代传 统农业大棚顶棚材料，实现了“棚顶发电、棚下种植”， 解决了农业大棚照明、通风、供暖等用电问题，在同 等面积的土地上实现了立体生产。随后，山西寿阳农 业科技大棚等项目陆续建成，并顺利并网运行。



图 2 光伏发电农业科技大棚

野外光伏发电站。2019-06 ，由隆基股份与中国三 峡新能源联合建设的铜川光伏技术领跑基地宜君县峡 光 250 MW 光伏发电项目宣布并网发电；航天机电与 科左城合作投资光伏电站项目等标志着光伏发电已正 式进入市场竞争阶段。此外 ，山西、内蒙等省份光伏 扶贫电站工程的实施 ，光伏发电已进入农村各户 ，有 效促进了光伏发电技术的推广应用。 野外光伏发电站 如图 3 所示。



图 3 野外光伏发电站

1.3 光伏发电技术在公路工程中示范应用

现阶段 ，光伏发电在公路工程及相关行业主要集 中以太阳能路灯、机场跑道照明系统、隧道照明系统、 光伏声屏障等单独方式应用。

分布式光伏发电高速公路。2011-01 ，意大利建成 世界上第一条太阳能高速公路，如图 4 所示，卡塔尼 亚—锡拉库萨 A18 高速公路（西西里岛 600 km 高速公 路网络中新增的一段 30 km ）所需电力（包括路面照明、 隧道通风、应急电话等）全部由沿路安装的 8 万个太 阳能电池板提供，年发电量达 1 200 万 kW ·h。



图 4 意大利 A18 太阳能高速公路

光伏发电服务区供能系统[9- 12] 。2016-08 ，江西高 速电建公司依托江西省高速公路路域场地资源（服务 区、收费站、停车场等） ，以“ 自发自用、余电上网” 的分布式发电模式投资 8.2 亿元建设江西高速公路分 布式光伏发电工程项目 ，累积建设站点 132 个 ，装机 总量 12.73 MW ，覆盖服务区 48 对，收费站（养护中 心）等 84 个，年发电量达 1 600 万 kW ·h，项目投资回 收期预计 9.5 年[13]。

沪蓉高速麻武（麻城—武汉） 段中馆驿服务区利 用屋面 4 600 m2 建设晶体硅太阳能光伏并网发电站作为

·174 ·

补充能源，年发电量 42 万 kW ·h，每年节约用电 42 万元。 2016-08，南宁市五塘收费站管理区利用屋面4 626 m2，布 设光伏发电装机 300 kW ，年发电量约 39.3 万 kW ·h ， 预估项目投资回收期为 7.87 年。广东、安徽、河北、 内蒙古等省份在高速公路服务区均有光伏发电示范项 目。服务区屋面光伏发电系统如图 5 所示。





图 5 服务区屋面光伏发电系统

光伏发电隧道照明系统。2014-01 ，陕西高速集团 在十天高速汉中东段茶条岭隧道口建设了 110 kW 分 布式光伏发电系统 ，如图 6 所示，并入隧道配电房电 柜 ，年发电量可达 15 万 kW ·h ，预计每年可以节省用电 15 万元[14]。



图 6 隧道口光伏发电系统

光伏发电声屏障。2015 年苏州市在环路高架以市 政声屏障为载体，实施双面光伏发电声屏障项目，1 km 光伏声屏障每年发电 96 000 kW ·h，可供监控系统、照 明系统等基础设施使用，剩余电量可并入国家电网系 统，实现了广泛发电输出。

2 公路沿线光伏发电产业的可行性分析

2.1 技术可行

分布式光伏发电硬件相对成熟，一般直接采购光 伏板，光伏电站的建设与养护相对容易，现有技术足 以支撑[15- 16]。光伏电站的运营管理是关系项目的发展，

目前多依托第三方单位研发综合管理系统，实现光伏电 站的微网管控与运营管控。同时，相关企业已制定《分 布式光伏电站运维技术规范》，基本实现了高速公路分 布式光伏电站的专业化运维。为进一步推广分布式光伏 发电项目，“太阳能薄膜电池与建筑物、构筑物一体化 景观设计的研究”“光伏电站的远程控制及自动巡检技 术的研究”“多回路子系统组成的并网发电系统的优化 设计研究”等系列科技研发工作已陆续开展，将逐步形 成适用于高速公路分布式发电项目的成套技术。

2.2 节能环保效益显著

山西省某公司统计2019 年某一分布式光伏电站上 半年发电量数据，发电量共计约 200 万 kW ·h ，自用电 量约 175 万 kW ·h ，其余电量上网， 自用比例近 90%， 较预期数值提升约 12%；总电费收益约 110 万元， 自 用电量收益 100 万元，年等效利用 1 335 h 。山东省某 公司统计 2020 年近 30 个分布式光伏电站的发电量 ， 总装机容量约 3 000 kW，年发电量约 400 万 kW ·h，总 电费收益约 232 万元，运营单位每年节约电费支付约 24.3 万元。保守折算，每年可为国家节约标准煤约 1 700 t， 减少污染排放碳粉尘约 1 200 t 、CO2 约 2 000 t 、SO2 约 123 t、NO*x*（氮氧化物）约 62 t。

2.3 市场需求广泛

全国通车高速公路 16 万 km，按照沿途每隔 50 km 至少一处服务区的设置规范，可以估计中国高速公路 服务区大致在 3 200 对左右；按照 30 ～ 40 km 设一个收 费站，可以估算收费站 4 000 个；互通枢纽、隧道、硬 质边坡等数量难以统计。各站区屋顶、隧道出入口隔 离带、互通枢纽、硬质边坡阳面等均为光伏发电的绝 佳可利用资源 ，开展光伏发电项目，不仅可满足站区 照明、供热、取暖等用电需求 ，还能有效缓解隧道照 明、应急救援用电问题，更是将来特殊路段基础设施 病害监测、智能网联高速公路能源供给的有效途径。

2.4 经济效益可观

政策引导、技术驱动光伏发电不断升级，晶体硅 电池的效率提高 1% ，发电成本可下降 6% ，单晶硅 315 W（320 W ）主流光伏组件、逆变器等主要部件持 续降价 ，大幅降低了投资成本。按照现有技术，光伏 发电项目建设成本摊销为 5.3 元/W ，依据现阶段装机 容量、发电效率与利用率，投资回收期约 7 年。此外， 项目实施单位积极对接国家及地方发改委和能源局出 台的关于新能源产业相关优惠政策，争取获得补贴指 标，进一步提高项目的盈利能力[17]。

2.5 按需施策 ，分步实施

通过前期调研，预测某地区高速公路具备分布式

·175 ·

光伏发电开发潜能的总装机容量 ，可阶段实施，逐步 推广应用。选取代表性收费站、服务区进行区域示范 应用，初步形成规模优势。继续挖掘优质潜在装机容 量资源 ，着手隧道口、互通、高陡边坡等地面分布式 电站建设，启动区域智能微电网建设工作。根据科学 配建的思路，整合利用光伏、风力发电、空气源热泵、 相变储热、电储能等新能源系统 ，建设多种分布式能 源互补的小型发配电系统示范项目。

高速公路分布式光伏发电项目推行能源托管运营 新模式。构建统一的智能能源管理平台，通过对用能 设备设施的动态监测、集中分析、调控运行参数 ，引 导电能消纳与负载就地平衡，实现“提质增效，降本 增效”的目标 ，最终将消耗性用能资产转变为盈利性 良性资产。

3 发展前景

能源可持续发展需求。中国人口数量较多 ，传统 能源应用技术落后 ，效率较低 ，能源稀缺的威胁会提 前到来。能源供需缺口将成为光伏发电产业快速发展 的重要机遇。光伏发电项目作为清洁能源 ，符合国家 能源转型和绿色发展政策导向 ，所辖高速公路具有优 质的区域资源，行业前景光明。

独立性能源供给。在高速公路站区改造升级过程 中 ，部署光伏发电项目，有效利用屋顶、互通等既有 资源，以配备新能源汽车充电桩的太阳能停车棚等形 式 ，打造特色站区。建立与城市工业供电、市政用电 等相对独立的供电系统。

节省空间 ，经济性高。光伏发电设备一般都是安 装在建筑物的屋顶、外墙以及采光比较好的位置 ，充 分利用立体空间资源 ，节能环保。光伏发电项目 ，为 高速公路基础设施搭建能源供给平台 ，服务智慧高速 公路发展需求。

政策支持 ，保障行业发展。国家层面“打赢蓝天 保卫战”相关系列政策陆续出台，将促进光伏发电相 关产业健康发展。

4 风险分析及应对措施

国家政策和建设成本浮动变化是“分布式光伏发 电项目”经济收益的主要影响因素。综合分析国情及 交通基础设施建设现状，可采用以下应对措施，确保 该项目的顺利开展及今后的良好收益：①通过设计优 化 ，提高电量自用比例，提高电站投产收益 ；②持续 加强光伏项目设备采购及项目建设的管控 ，有效应对 市场变化，控制投资成本 ；③严控施工过程 ，严把工 程质量 ，使日后电站故障率最低化，降低后期运维成 本 ；④加强光伏发电资产巡视、维护 ，解决分布式光

伏发电站点多、维护难的问题 ，确保在有限的人力、 物力条件，实现资源利用的最大化；⑤山西省即将建 立“碳交易”相关的机制体系，面临新一轮环保政策 出台，提前布局能源供给体系，开辟新的经济收益点； ⑥利用高速公路闲置资源建设光伏发电站，“ 自发自 用，余量上网”，资源暂不对外开放，消除行业恶性竞争。

参考文献：

［1］于爽. 中国绿色能源行业现状与发展前景分析［J］. 中外企业家，2018（31）：196- 197.

［2］李博，李净净，张兰.浅谈分布式光伏发电的现状与 前景［J］.科技创新导报，2017，14（36）：66-67.

［3］王晶晶.加快分布式光伏发电发展利用高速公路建 设 太 阳 能 光 伏 电 站 ［ N ］ . 中 国 经 济 时 报 ， 2014-03- 12（012）.

［4］许大维.光伏发电技术的研究现状和应用前景探讨 ［J］. 中国市场，2019（15 ）：69-70.

［ 5 ］洪胜伟. 太阳能道路在智慧交通中的应用前景分析 ［J］.交通节能与环保，2018 ，14（4） ：39-41.

［6］江道康，杨占刚.徐官屯服务区光储充电站实践及 推广应用前景分析［J］. 中国能源，2018，40（ 5 ）： 44-47.

［7］ 苏涛. 分布式光伏发电在高速公路收费站的应用 ［J］. 西部交通科技，2018（2）：168- 171.

［8］樊红涛，邵文彬，丁巍.库房屋顶分布式光伏发电 工程应用前景的探讨与思考［J］.上海铁道科技， 2017（4）：157- 159.

［9］周同文，杨欣，韩浩.浅谈分布式太阳能光伏发电 在高速公路服务区中的应用［J］.公路交通科技 （应用技术版），2015 ，11（1） ：211-213.

［10］ 雷仕欢.分布式太阳能光伏发电在高速公路服务 区中的应用［J］.低碳世界，2017（8）：17- 18.

［11］ 简丽，杨艳刚，李振洋.分布式太阳能光伏并网 发电在高速公路服务区的应用效果研究［J］.公 路，2017 ，62（2） ：210-213.

［12］戚剑勇，陈贤哲，诸荣耀，等.分布式太阳能光 伏发电在高速公路服务区中的应用探究［J］.科 技创新与应用，2016（3） ：292.

［13］翁广良，柳海龙.分布式光伏发电在江西高速公 路运营全系统中的探索与应用［J］.公路交通科 技（应用技术版），2017 ，13（11） ：297-300.

［14］唐明涛，陈志强，王志刚，等.分布式光伏发电 在高速公路交通设施中的应用［J］. 太阳能，2016 （9） ：28-31.

（下转封三）

·176 ·

如图 8 所示。实际运输过程中，如果剥离之后胶带的 残留痕迹呈现碎片化 ，则有理由认定该胶带经过二次 粘贴，实验现场图如图 9 所示。

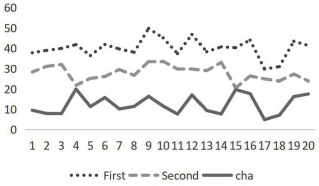


图 7 二次粘贴对防篡改胶带残留率的影响



图 8 二次粘贴呈现碎片化的防篡改胶带



图 9 现场实验图

3 结论及建议

防篡改胶带是一种能够辨识物品在物流过程中是 否受到自然或者非自然因素侵害的有效手段。上述的 实验结果以及分析可得出 ，在实际生产生活中，防篡 改胶带的粘贴应当尽量处于摩擦系数较大的物品上 ， 确保胶带残留物可以完全残留在材料表面 ；在进行剥 离时，尽可能采用 45°左右的角度剥离胶带。在运输过

程中，应当保持与地面相似的温度、湿度及大气压等， 这些条件在飞机货舱一般都能实现。

对于防篡改胶带的防篡改检验，如果不法分子用 一些特殊溶液处理之后打开包装 ，一般会使得胶带的 残留率下降 ；如果发现某些物品上的胶带残留率比同 样材料的残留率低 ，可以认为其经过了某些处理 ，并 且通过一些技术手段可以得出其经过了何种处理；如 果胶带的残留碎片化以及残留率较低 ，可以认为胶带 经过了二次粘贴等处理；一些不法分子还会采取低温、 高温等技术手段对防篡改胶带进行处理从而盗取物 品 ，因此可以采用热敏材料，低温显色材料来对胶带 进行处理，以判断货物是否被打开。防篡改胶带还有 很多的性质可以去研究，例如胶带的拉伸性、温度和 湿度的变化对胶带残留率的影响以及胶带在何种情况 下防伪性能最好等 ，防篡改胶带的研究对航空物流乃 至整个物流行业的安全性有着重要的影响。

参考文献：

［1］ 闵梓. 民航局公布 2019 年民航行业发展统计公报 ［N ］. 中国航空报，2020-06-09（007）.

［2］王晓红.材料防伪技术综述 4［J］. 印刷技术，2003 （20） ：43-45.

［3］潘琼龙，潘东华，席洪，等.一种防篡改胶带： CN208500858U［P ］.2019-02- 15.

［4］刘尊忠. 国外防伪安全胶带技术发展现状［J］. 包 装工程，2010 ，31（21）：119- 124.

［ 5 ］刘丽，杨文杰，汪雅婷，等.信息技术在印刷包装 防伪上的应用研究进展［J］. 包装工程，2019 ， 40（9） ：216-223.

作者简介： 张开宇（2001— ），男，本科，研究方向 为民航安全管理。

通讯作者： 罗嘉欣（1997— ），女，硕士研究生，研 究方向为民航安全管理。

〔编辑：丁琳〕

（上接第 176 页）

［15 ］丁绍江. 汇华分布式光伏发电项目可行性研究 ［D ］.广州：华南理工大学，2017.

［16］焦光华.分布式屋顶太阳能光伏发电项目可行性 研究［J］. 内蒙古煤炭经济，2014（ 5 ）：7-8.

［17］程飞，刘小粉. 江西高速公路服务区光伏发电项

目投资分析［J］. 交通财会，2015（7） ：4-7.

作者简介： 李义（1989— ），男，湖北黄梅人，硕士 研究生，工程师。

〔编辑：丁琳〕