“ 光伏＋高速公路” 新能源开发方案探讨

蔡 玮

（信息产业电子第十一设计研究院科技工程股份有限公司南京分公司 ， 江苏 南京 210011)

摘 要： 基于“ 光伏＋高速公路” 的新能源开发模式 ， 探讨高速公路边坡 、服务区光伏电站的设计 方 案 ， 以及设计 方案中的制约因素和规划要点 。 同时 ， 结合相关案例探讨“ 光伏＋高速公路” 的新能源综合利用模式。

关键词： 高速公路边坡光伏； 新 能源发 电； 柔性支架

中图分类号： TM615 DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2022.18.013

DiscussiononNewEnergyDevelopmentModeof " Photovoltaic+ Expressway"

CAIWei

(TheITElectronicsEleventhDesign & ResearchInstituteScientificandTechnologicalEngineeringCo. , Ltd. ,

Nanjing210011 , China)

Abstract: Basedonthe new energydevelopmentmodeof " Photovoltaic + Expressway" ，thedesignschemeofhighway slopephotovoltaicandphotovoltaicpower stationinservicearea , aswellastheconstraintsandplanningpointsinthede- signschemearediscussed. Atthesametime , the new energycomprehensiveutilizationmodeof " photovoltaic + high- way" isdiscussedincombinationwithrelevant cases.

Keywords: highway slopephotovoltaic ; new energypowergeneration ; flexiblesupport

0 引言

为积极响应国家“ 碳达峰 、碳 中和 ” 的决策 目标 ， 推 动能源绿色低碳转型 ， 政府部 门积极推动新能源大基地项 目 、 多能互补示范项目 、大型共享式储能电站项目等行动 方案 ， 旨 在 全 面 贯 彻 新 发 展 理 念 ， 构 建 新 发 展 格 局。 “ 30·60 ” 的发展目标不仅对 发 电 集 团 、 大 型 能 耗 企 业、 电网系统给出新的方向 ， 同 时也让个人 、 单位 、 园 区乃至 各行业触发新 的发展模 式 。 交通行业早在光伏发展阶段， 就开展了高速公路光伏收费站的建设模式 。 文献[1] 给 出 了山西省高速公路收费站光伏应用研究案例模型 ， 提供 了 松庄收费站年用电 27.24万 kWh 、装机容量 37.18kW 的 量化数据 ； 文献[2] 给出了江苏省全省 高速公路光伏能源 综合利用估算装机容量 可 达 32 MW 的 规 划 数 据 。 2021 年 ， 交通运输部在《交通运输部关于推动交通运输领域新 型基础设施建设的指导意见》 中指 出 “ 鼓励在服务 区 、边 坡等公路沿线合理布局光伏发电设施 ， 与市电等并网发 电”。 2021年 11月 ， 山东高速集团选取部分高速公路路基 边坡开展了省 内首个 “ 高速 公路边坡光伏发电项目”， 实 际规划容量为 2.1 MW , 包含 2个 10kV 接入和 2个 0.4 kV接入项目 ， 给出了高速公路发展光伏新的方 向和模式。 本文基于现有以及新的发展方向 ， 探 讨 “ 光 伏 ＋高 速 公 路” 新能源开发模式的规划要点和制约因素。

收稿 日期：2022-02-13

1 光伏发电设备的发展

新能源发电的应用类型得 以扩展和创新 ， 首先要得益 于光伏发电相关设备的相应发展 。 技术的发展和创新 ， 一 方面从产品出发降本增效 ， 能够给光伏发 电平价上网提供 新的机遇 ； 另一方面使得曾经 的环境制约 因素得以缓解甚 至解决 ， 也将光伏发电的开发推 向新 的格局 。 而高速公路 光伏新能源的综合利用亦是如此 ， 下面就光伏组件和光伏 支架进行简要介绍。

首先是光伏组件方面 ， 大尺寸的导入使得 PERC组件 产能在 2020年继续扩张 ， 同时大基地光伏项目[3] 和整县规 划光伏项目的政策指导 、示范项目的推动 ， 也让新技术 N 型 TOPCon组 件 成 为 行 业 关 注 的 热 点 。 根 据 文 献 [4], TOPCon组件或具备更优的发电特性 ， 温度损失 、衰减损失 也更少 。 除了发电技术 ， 在组件的轻质化 、 柔性方面 ， 部 分组件厂家也给出了更优的方案。 由于采用特殊的封装复合 材料 ，组件的重量得以降低 ，低承重的优点使得光伏项目的 开发获得更多的可能性 ，部分采用传统组件需要高加固成本 的屋面光伏项目或能够获得更优方案。

然后是光 伏 支 架 方 面 ， 传 统 的支架方案包括固定支 架 、平单轴跟踪 、斜单轴跟踪等类型 。 近年来 ， 随着柔性 支架的发展 ， 光伏项目有了更广泛的应用 。 文献[5] 指 出， 对于受限于传统支架安装型式而不能利用 的地形 ， 可考虑 光伏柔 性 支 架 的 方 案 ， 从而规避类似山地起伏 、 植 被 较 高 、鱼塘水较深 、跨度较大等地形方面 的 因素 。 国 内 的应 用案例尤其以污水处理厂光伏项目的应用最为广泛 ， 文献

(c)1994-2022 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved.

http://www. cnki2noe2t2  18期  39

[6] 以湖南芙蓉区 4.16 MW 污水处理厂项 目为案例 ， 介绍 了柔性支架的设计应用 ， 指出柔性支架对于污水处理厂构 筑物跨度大 、铺设难度大的情形能够有更优的方案。

光伏组件和光伏支架的发展 ， 对于交通领域发展光伏 项目 ， 提供了新的思路 。 目前 ， 高速公路边坡光伏项目尚 处在示范科研阶段 ， 或受 限于地形 、 安全 、 植被 、 多方位 角发电损失等因素 ， 而光伏组件和光伏支架的发展或能够 为项目的开展打开思路。

2 “ 光伏＋高速公路” 新能源开发模式

2. 1 高速公路边坡光伏项目

2 . 1 . 1 设计方案

在设计方案方面 ， 高速公路边坡项目的开展思路首先 从电网接入点出发 ， 以接入定规划 ， 主要考虑高速公路服 务区高 、低压并网方案与沿线 10kV杆塔接入方案 ； 然后 进行路段排查 ， 从发电最优方位角 、 无 阴影遮挡 、 地质较 好 、坡较长 、坡角不宜过大等 因素进行考量 ， 选择与开发 高速公路路段 。 设备选型方面 ， 除 了传统方案 ， 可考虑大 跨度柔性支架和轻质柔性组件的设计方案 ， 一方面组件 的 无边框自清洁特性可以规避高速灰尘大 、 运 维 不 易 的 问 题 ， 另一方面轻质无玻璃的材质可 防止高速车辆发生碰撞 驶出公路撞到边坡光伏组件造成二次伤害 的 问题 ； 高速公 路路基一般由渣石土填充 ， 传统螺旋桩方案的施工有一定 的难度 ， 造成施工成本的增加 ， 而大跨度柔性支架增加了 立柱跨距 ， 部分规避了这一 问题 ； 同 时大跨距的方案还可 以优化排布 ， 解决边坡草皮减少导致 的水土流失问题 ； 逆 变器宜采用组串逆变器 ， 根据路段接入情况确定低压设备 或中压设备 ； 箱变设备受低压 电缆长度较长 、 压 降较大 的 制约 ， 容量不宜过大 ， 建议采用 1000kVA箱变。

光伏阵列的布置相对边坡的两侧均应考虑一定的安全 距离 ， 路面侧边沿建议不小于 1.5m , 下边沿不小于 2m 。 组件布置方案则根据边坡的侧边长度来综合考虑 ， 对于坡 长 8~9 m 以上 的边坡 ， 考虑竖 向 2排 、横 向 3排 的布置 方案 ； 若坡较长 ， 还可考虑竖 向 3排 的方案 。 容量规划方 面 ， 高速边坡项目建议在优选路段 的情况 ， 扣 除方位角损 失较大的北坡朝向区域 ， 每千米 暂估 0.5~1 MW 的规划 容量 ， 多个省份的高速公路均在几千千米 以上 ， 在满足路 段实施的可行性条件下 ， 高速边坡项 目 的投资存在规模性 开发的可能性。

2 . 1 . 2 制约因素

高速公路边坡新能源开发模式 的制约因素主要包括以 下几点。

(1) 边坡本身的可行性 。 要根据边坡的类型 、 长 度、 坡角具体情况分析 ， 如坡角过大 、边坡地质情况不允许的 地带 ， 可能无法布置。

(2) 阴影遮挡 。 高速公路部分路段经过山川峡谷 ， 生 态绿化较好 ， 存在较多近处和远处阴影遮挡。

(3) 管控难度大 。 高速公路的里程较长 ， 沿 线 管控难 度较大 ， 考虑部分路段有组件盗窃 、 丢失等人为因素 ， 不 予以布置。

(4) 方位角 、坡角 的 限 制 因 素 。 对于组件获取最大辐 照量有先天约束的路段 ， 建议不予以布置。

(5) 压降较大制 约规模 。 边坡布置模式导致电缆走线 较长 ， 受限于压降的问题 ， 不能离接入点太远。

以轻质柔性组件（尺寸 1770mm×1000mm×4mm) 、 大跨度柔性支架 以及 1000kVA箱变单元为例 ， 单元箱变 阵列示意如图 1所示 ， 低压交流 电缆长度在理想模型下可 接近 700m , 截面选择 240mm时压降大于 1% 。 如果采用 更高容量的箱变 ， 线缆更长 ， 压 降也继续增加 ， 就不 能满 足规范设 计 要 求 。 以国家电网分布式光伏的规模限制 6 MW 作为考量 ， 单个并网点的连接示意 图如 图 2所示 ， 可 知高压交流电缆的长度在理想模型下可达到 3.5km , 压降 或成为高速公路边坡项目不可回避的问题。

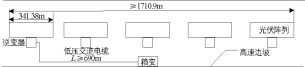


图 1 箱变阵列单元连接示意图

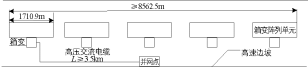


图 2 单个并网点连接示意图

2. 2 服务区等屋顶光伏项目

2 . 2 . 1 设计方案

各省市交通投 资规划方面 ， 已在多个服务区 、 收 费站 开展了一定数量的屋顶分布式光伏项 目 。 通常要对服务区 的屋 面 情 况 、 停车场布局情况（光伏车棚的建设面 积 占 比）、 用电负荷情况进行排查收资 ， 以确定项目实施的可行 性 。根据交通规范要求 ， 收 费站的建设间距一般不超过 50 km 。规划设计缺乏资料 的情况下 ， 一般可以依据全省高速 公路的里程 ， 按 40~50km分解 。 如江苏省历史数据 4539 km的高速公路 ， 建设服务 区 88对、 收 费站 396处 ； 浙江 省历史数据 3250km的高速公路 ， 建设服务区 84对、 收 费 站 200处 。考虑到未来电动汽车的发展 ， 光伏车棚的规划 可与交直流充 电桩规划统一实施 。 为不影响服务区的便利 性 ， 建议光伏车棚仅设立在小型车位区域 ， 直流 电动汽车 车位（充电桩的设置） 设置可按 10% ~20%的小型车车位 考虑 。光伏车棚的倾角一般在 5~10°左右。

2 . 2 . 2 制约因素

对于高速公路服务区 、 收 费站开展光伏项目 ， 主要 的

制约因素包括： 服务区屋面造型较 多 ， 方位角 多样化 ， 造 （下转第 43页）

40\_ l www. chinaet  net | 中国电工网

(c)1994 2022 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved.

http://www.cnki.net

3. 3 减少稀释和硼化量

反应 堆寿期末时硼浓度为 350ppm , 假 设 同 上 两 个 工况。

(1)320 MW 平台执行 PTGRE001和 PTGRE002 。 补偿功率亏损 ， 进行硼化：

V硼1 =165×ln =165×ln 735 =

1.41m3

补偿氙毒涨毒和升功率 ， 进行稀释：

V稀1 =165×ln  =165×ln  =39.81m3

补偿氙毒消毒 ， 进行硼化：

V硼2 =165×ln =165×ln =

1.23m3

补偿氙毒恢复至氙平衡 ， 进行稀释：

V稀2 =165×ln  =165×ln  =9.53m3

整个过程 ， 需要硼 化 V硼 =V硼1 +V硼2 =2. 64 m3 , 需 要稀释 V稀 =V稀1 +V稀2 =49.34m3 。

(2) 400 MW 执 行 PTGRE001 , 660 MW 执 行 PT- GRE002 。

补偿功率亏损 ， 进行硼化：

V ′硼1 =165×ln =165×ln 735 =

1.28m3

补偿氙毒涨毒和升功率 ， 进行稀释：

V ′稀1 =165×ln  =165×ln  =35.77m3

补偿氙毒消毒 ， 进行硼化：

V ′硼2 =165×ln =165×ln =

0.94m3

补偿氙毒恢复至氙平衡 ， 进行稀释：

V ′稀2 =165×ln  =165×ln  =6.36m3

整个过程 ， 需要硼化 V ′硼 =V ′硼1 +V ′硼2 =2. 22 m3 , 需 要稀释：V ′稀 =V ′稀1 +V ′稀2 =42.13m3 。

因此 ， 改变 功 率 平 台 ， 可 以 减 少 ΔV硼 =V硼 -V ′硼 = 2.64-2. 22=0. 42 m3 , ΔV稀 =V稀 -V ′稀 =49 . 34- 42.13=7.21m3 。

3. 4 减少产生三废的废水量

2021年 9月 17 日 ， 4号机组硼浓度为 1094ppm , 在 400 MW 平台执行 PTGRE001 , 在 655 MW 平 台执行 PT- GRE002 , 产生废水 14.88 m3 。 2020年 4月 4 日 ，4号机 组硼浓度为 954ppm , 在 320 MW 平 台执行 PTGRE001和 PTGRE002 , 产生废水 25.68m3 。 因此 ， 在机组硼浓度接 近 的条件下 ， 在 400 MW 功率平台比在 320 MW 功率平台 少产生废水 10.8m3 。

4 结语

在优化试验后的功率平台执行 PTGRE001 和 PT- GRE002给机组带来以下 收益： 机组更容易控制轴向功率 偏差 ΔI , ΔI变化在 ±5%以 内 ， 且控制棒棒位在 “ 反作用 带” 125步以上 ， 反应堆运行更安全 ； 增加发 电 收益 ， 每 年秦二厂增 发 485万 kWh电量 ； 减少稀释和硼 化 量 ， 每 次调门试验减少硼化 0.1m3 、稀释 7.3m3 ; 减少三废废水 的处理 ， 每次调门试验减少三废排放 10.8m3 。

（上接第 40页）

成太阳能利用率低 ， 发 电损失大 ， 影 响 收益 ； 服务 区 、 收 费站用 电 负 荷 小 ， 消 纳 情 况 一 般 ， 一 般 存 在 上 送 的 可 能 性 ； 单 个服务区规模化的可 能 性 小 ， 以低压并网项目 为主。

3 结语

“ 光伏 ＋高 速 公 路 ” 的开发模式随着光伏 行 业 政 策、 产品创新性的推动 ， 进入新 的发展阶段 ， 交通投资领域也 出现新的开发模式 ， 但本质上 ， 无论哪个开发方向 ， 首先 要与电网接入规划 同步进 行 ， 以接入和消纳情况定规划， 但又不能将思维局限于目前 的 既定情况 ， 要考虑实现多行 业 、 多部门 、 多方向的协同工作 ， 使项目开发实现规模化 的绿色发展。

参考文献

[1] 陈嘉璇，张 玉坤，张 文，等．高速公路光伏收费站设计[J] . 建 筑节 能，2017 , 45(9) :19-24 , 32.

[2] 许 雪记，徐文文，殷承启，等．江苏省高速公路站区光伏能源 综合利 用研 究[J] . 能源环境保护，2020 , 34(2) :43-47.

[3] 国家能源局网站．关于完善能源绿 色低碳转型体制机制和政 策措施的意 见[EB/OL] . (2022-01-30) [2022-2-11] . http:// zfxxgk.nea. gov.cn/2022-01/30/c\_\_131046431 3.htm.

[4] 汪 洋，吕欣，侯少攀，等. N 型 TOPCon-PERT双 面太 阳 电 池 发 电特性分析[J] . 太 阳 能，2020(11) :72-75.

[5] 王 雨．光伏组件柔性支架技术 方 案[J] . 太 阳 能，2018(3) :37- 40.

[6] 宁 勇平，袁翼珍，张 果，等．基于柔性支架的光伏电站的研究 与设计[J] . 清 洁 能源，2021(3) :55-59.

(c)1994-2022 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved.

http://www. cnki2noe2t2  18期  43