DOI：10.13500/j.dlkcsj.issn1671-9913.2022.11.004

某高速公路服务区及沿线

风光发电和能源利用方案探讨

卢艳林，陶佳燕，高志新

( 中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司，湖北 武汉 430071)

摘要 ：随着高速公路系统不断发展，结合服务区及沿线资源条件和综合用能需求，通过对某高速服务区及沿 线场地资源条件、能源 ( 电力需求 (负荷 )、太阳能光伏发电、风力发电、电化学储能、氢能 ) 、当前相关的政策、 市场需求、发展趋势、经济性等方面作出综合分析，探讨高速服务区及沿线综合能源利用方案。

关键词 ：高速服务区 ；光伏发电 ；风力发电 ；电化学储能 ；综合能源

中图分类号 ：TM61 文献标志码 ：A 文章编号 ：1671-9913(2022) 11-16-06

Application of Photovoltaic and Wind Energy System for Expressway

LU Yanlin, TAO Jiayan, GAO Zhixin

(Central Southern China Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group,

Wuhan 430071，China)

Abstract: Since the continuous development of expressway, the energy demand of service area and the expressway along is increasing. Through the analysis of resource conditions, energy demand, solar photovoltaic, wind power, electrochemical energy storage, hydrogen energy , relevant policies at present, market demand, development trends, economics, etc., suggestions are provided for the integrated energy system application for expressway.

Keywords: expressway service area; photovoltaic; wind power; electrochemical energy storage system; integrated energy system

0 引言

目前，我国高速公路网规模大、覆盖广， 并处于不断发展完善阶段，截至 2020 年，我国 高速公路里程已超过 15 万 km。随着“5G+ 智慧 交通”时代的来临，电动汽车、智能充电桩、无 人驾驶等技术在交通领域不断革新，加上原有的 服务区用电设施、桥隧照明通风设施，高速公路 系统运营需要消耗大量的电能，在煤炭、石油等 不可再生资源逐渐枯竭的背景下，“碳达峰”和“碳 中和”目标的提出，以环保和可再生为特点的太 阳能、风能等开发利用已成为新主流。

2020 年 8 月，交通运输部发布《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》( 交规划发〔2020〕75 号 )，文件中

指出 ：引导在城市群等重点高速公路服务区建

设超快充、大功率电动汽车充电设施。鼓励在

服务区、边坡等公路沿线合理布局光伏发电设

施，与市电等并网供电 [1]。

2020 年 12 月，交通运输部印发《关于招

商局集团有限公司开展集装箱码头智能化升级

改造等交通强国建设试点工作的意见》( 交规划

函〔2020〕711 号 )，提出基于绿色能源的智慧

\* 收稿日期：2022-03-16

第一作者简介：卢艳林(1982-)，女，高级工程师，从事电气设计及研究工作。

. 第11期 <http://dlkc.cbpt.cnki.net>

高速公路关键技术研究与应用，开展高速公路 绿色能源建设模式与技术规范研究。开展绿色 能源综合服务模式与市场化电力交易盈利模式 研究，建设基于分布式光储系统的高速公路智 慧能源服务平台，促进绿色能源发用电产业一 体化发展。

本文以湖北某高速公路服务区及沿线拟开 展的综合能源工程建设为例，探讨分布式光伏 发电、风力发电、电化学储能等综合能源利用 方案，供后续类似工程参考。

1 项目用地条件

根据《湖北省高速公路管理条例》(2009 年 6 月 1 日施行 ) 第三十一条高速公路用地范围要 求，本项目考虑使用如下区域进行新能源项目 开发 ：

( 一 ) 高速公路边沟 ( 隔离栅 ) 外缘起 1 米 的区域 ；

( 二 ) 无高速公路边沟 ( 隔离栅 ) 的，为公 路路沿石外缘起 5 米的区域 ；

( 三 ) 高速公路桥梁为桥梁垂直投影面外缘 起 1 米的区域。

第三十四条从高速公路用地外缘起 50 米的 区域为高速公路建筑控制区。

国家《公路安全保护条例》第十一条规定， 属于高速公路的，公路建筑控制区的范围从公 路用地外缘起向外的距离标准不少于 30 米。

本项目场址区域涵盖了 4 条主要高速公 路，同时包含多个高速服务区，车流量大，具 有较好的风、光资源开发前景。项目拟在高速 公路

2 太阳能、风能资源分析

2**.** 1 太阳能资源

本文采用 Meteonorm8.0 软件对选定场址区 域的太阳能资源进行综合评价。项目所在地年 辐射总量 4167.6 MJ/m2 ，太阳能资源稳定度为 0.37。按 GB/T 37526—2019《太阳能资源评估 方法》 [2] ，场址区域属太阳能资源丰富、稳定度 稳定区域，从资源利用角度来说，适宜开发建 设光伏电站。

2**.**2 风能资源

场址区域处于中纬度季风环流区域的中部， 属于北亚热带季风气候。1981 年—2018 年期间 年均风速为 2.25 m/s，年最大风速为 22.0 m/s。

1) 风速特征

经统计气象站近 23 a 的气象资料，得到 1993 年—2015 年年平均风速为 2.0 m/s，平均风 速最大月为 3 月，风速为 2.3 m/s ；平均风速最 小月为 10 月，风速为 1.7 m/s ；风速年内变化幅 度较大。

2) 风向特征

资 料 显 示 风 向 较 为 集 中， 全 年 以 NNW ～ NNE 扇区风向较多，其中 N 扇区风向 频率占比最大。

3 高速服务区综合能源利用方案

在项目厂址范围内选定某典型服务区作为 研究对象，根据该高速公路服务区的用电需求 和发展趋势，充分利用场地空间条件，安装分 布式光伏、分布式风电、储能系统、电动汽车 充电桩和加氢站，与现有的配电设施、用电负 荷、监控和保护装置等组成微电网。建设智慧 能源信息中心，对微电网内部能量进行调度控 制，同时通过数据管理、监视、微网自控等灵 活且个性化的需求侧管理实现对“供 - 转 - 输 - 用”的全过程智能优化。

3**.** 1 高速服务区整体方案

高速公路服务区整体设计方案如图 1 所示。

直流充电桩

站内用电

交流母线

MPPT控制器

停车场光伏

微风发电

储能电池

地面光伏

屋面光伏

国家电网

逆变器

逆变器

PCS

图1 高速服务区整体设计方案

拟在高速公路服务区设置交流配电系统。 服务区的光伏发电系统、微风发电系统、直 流充电桩经逆变后就近接入交流配电系统 ；

<http://dlkc.cbpt.cnki.net> 第11期 .

储能系统经过过程控制系统 ( process contorol systems ，PCS) 接入交流配电系统。

正常情况下利用光伏发电系统、微风发电 系统为服务区的充电桩、正常生活用电设备供 电，多余的电量为配套的储能设备充电，若储 能设备充满后仍有富余的发电量，可通过交流 母线接入国家电网。

无太阳辐射、微风等特殊情况下，充电桩、 站内生活用电设备优先使用储能设备存储的电 量，待储能设备电量不足时，采用国家电网的 市电作为备用电源，保证服务区的正常运行。

3**.**2 服务区光伏系统选型、布置和发电量 估算

考虑光伏系统的技术成熟度、发展趋势及 设备供货能力，服务区拟选用 540 Wp 单晶硅组 件和 110 kW 组串式逆变器，16 个光伏组件组 成 1 个组串，每 15/16 个组串接入一台逆变器， 经逆变器逆变为 380 V 交流电后，接入服务区 的交流母线。

根据服务区南北区的具体情况，拟在服务 区设置地面光伏、停车场光伏和屋顶光伏系统， 光伏设施配置规模见表 1 所列。

表1 服务区光伏设施配置规模

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 电站 类型 | 光伏电站 安装位置 | 组件 串数 | 组件 个数 | 逆变器个数 | 占地 面积 /m2 | 南北区光伏装机容量/kWp | 合计装 机容量 /kWp |
| 地面 | 南区西侧 | 6 | 96 | 1 | 3 100 | 535.68 | 1 339.2 |
| 车棚 | 南区西侧 | 9 | 144 | 1 | 3 100 | 535.68 | 1 339.2 |
| 地面 | 南区东侧 | 10 | 160 | 1 | 3 100 | 535.68 | 1 339.2 |
| 车棚 | 南区东侧 | 5 | 80 | 1 | 3 100 | 535.68 | 1 339.2 |
| 地面 | 南区护坡 | 32 | 512 | 2 | 3 100 | 535.68 | 1 339.2 |
| 地面 | 北区 | 31 | 496 | 2 | 4 650 | 803.52 | 1 339.2 |
| 车棚 | 北区 | 47 | 752 | 3 | 4 650 | 803.52 | 1 339.2 |
| 屋面 | 北区屋面 | 15 | 240 | 1 | 4 650 | 803.52 | 1 339.2 |

按照实际安装容量 1.339 2 MWp 计算，预 计电站首年上网电量 126 4.7 MWh，首年利用小 时数为 944 h ，25 a 年均发电量为 1 191.2 MWh， 年均利用小时数为 889 h ，25 a 总发电量约为 29 672.9 MWh。

根据调研结果，服务区 2019 年 5 月—2020 年 4 月的年用电量约为 136 万度， 而服务区分布式

光伏 25a 年均发电量约 119 万度，光伏发电量

与服务区年年用电量基本持平，余电较少，与

本项目“自发自用、余电储能、电网备用”的

原则相吻合。

3**.**3 服务区风能利用方案

结合风资源情况，本服务区拟安装 4 台单

机容量为 5kW 的 SH-5 kW 型垂直轴风力发电机

组，总装机规模 20 kW，预计年上网发电量约

16 000 kWh。

3**.**4 电动汽车充电方案

按照《湖北省新能源汽车充电基础设施

建设运营管理暂行办法》要求“高速公路和普

通国省干道服务区， 以及有条件的加油 ( 气 )

站，应按不低于停车位总数量 10% 的比例逐步

改造安装、建设配备充电基础设施或预留安装

条件。”本项目根据服务区停车场车位分布以

及充电桩配置现状，拟在南区和北区各增 5 台

180 kW/750 V( 双枪 ) 直流快速电动汽车充电桩，

安装位置选在停车棚，满足电动汽车用户充电

需求。

3**.**5 储能方案

储能系统是综合能源系统的重要组成部分

和关键支撑，可以起到削峰填谷作用，提高可

再生能源的消纳水平，支撑分布式电源及微网，

促进能源生产消费、开放共享、实现多能协同。

结合本项目改善光伏接入质量，优化供

配电网络中功率平衡，在极端用电的情况下及

时为供配电系统提供备用电源及其他开发验证

性需求，推荐采用磷酸铁锂电池储能系统。国

家发展改革委印发《关于进一步完善分时电价

机制的通知》( 发改价格〔2021〕1093 号 ) 文

件部署各地进一步完善分时电价机制，服务以

新能源为主体的新型电力系统建设，促进能源

绿色低碳发展。在电网电价政策暂未落地无

套利空间的情况下，配置储能系统额定容量为

100 kW/200 kWh。未来电网电价政策变化，如

存在峰谷电价差则可通过谷期充电、峰期放电

实现套利，将结合服务区的用电量，对储能容

量进行进一步研究。

. 第11期 <http://dlkc.cbpt.cnki.net>

 压缩机

加氢机

燃料电池汽车

 长管拖车

站外供氢

为了方便运输和安装、减少占地空间，本 项目拟采用集装箱式储能系统，该储能系统由 集装箱箱体 ( 含配电 )、自动消防系统、温控系 统、储能变流器、电池系统 ( 含机架、电池组、 BMS) 等组成，如图 2 所示。

消防系统及 管道空调

变压器

变流器

监控柜

电池柜

空调

图2 集装箱式储能系统图

3**.**6 加氢方案

氢能是一种来源广泛、清洁无碳、灵活高效、

应用场景丰富的二次能源，是实现交通运输等 领域大规模深度脱碳的理想选择。

根据本服务区南区、北区大车及小车流量 数据，考虑车流量年增长、新能源汽车产业发 展等因素估算至 2025 年，服务区氢燃料电池大 车车流量约 26 辆 /d，氢燃料电池小车流量约 2 辆 /d。氢燃料电池客车、货车典型加氢量为 30 ～ 40 kg，小车典型加氢量为 4 ～ 5 kg。按 50% 的氢燃料电池车辆在本服务区有加氢需求， 则加氢站日加氢量约 460 kg。因此，本服务区 加氢站容量按 500 kg/d 考虑。

本项目加氢站考虑通过长管拖车将 20 MPa 的压缩氢气从氢气生产单位运送进固定站，然 后由加氢站内压缩机将氢气卸载至高压储氢罐。 车辆加氢时，长管拖车或储氢罐通过加氢机将 氢气充装到燃料电池汽车的车载储氢瓶中，工 艺流程如图 3 所示。

储氢罐

燃料电池汽车

加氢机

图3 加氢站工艺流程示意图

3**.**7 暖通方案

服务区冷热负荷比较集中，宜采用集中冷 热源空调方案或多联机中央空调系统方案以提 高制冷制热效率，从而实现节能目的。

在对本项目地理位置、气象条件、土壤源资 源以及地下水资源充分分析的基础上，从新能源 开发的初衷以及节约传统电能的角度出发，地源 热泵 + 夏季冷却塔辅助散热的空调方案能够利用 地热能，且本项目具有可利用停车区作为地埋管 占地使用的独特优势，可解决该方案占地面积大 的劣势 ；而从结合本项目的建筑和使用特点的角 度出发，多联机中央空调方案具有更节能、运行 模式及维护更简单灵活以及初投资更低等优势。

3**.**8 智慧能源信息中心方案

从服务区的能源供给情况和消费需求来看，

在供给侧，有外接市电、光伏发电、微风发电、 市政自来水管网等不同种类的能源供给形式 ； 在消费侧，同样有用电需求、供热需求、供冷 需求等不同品类的能源消费方式。

不同能源的供应成本、资源禀赋、能源消耗、 用户需求、环境影响等特点都不同，需要结合 服务区内综合能源系统运行状况，优化调度能 源运转的各个环节，确保服务区内能源系统运 行在高效率、高可靠性，达到示范工程的效果。 故本期考虑建设综合性的智慧能源信息中心。

在综合能源系统中，通过地源热泵、屋顶 分布式光伏、冷水机组、电动汽车充电桩、垂 直轴风机、电化学储能等方式，实现热、冷、 电等多种能源互补，以网源荷储一体化方式， 解决服务区的冷、热、电等需求 ；综合能源控 制中心包含综合能源管理系统、能源协调控制

<http://dlkc.cbpt.cnki.net> 第11期 .

管理系统、区块链电力交易系统等，通过多阶 段协同规划与运行仿真方法，实现能源生产、 转换、存储等环节的优化配置与互补集成，提 升服务区能量供给的经济性、可靠性。同时， 有效对综合能源系统中的能源设备进行监控管 理、优化调度、合理分配出力，实现综合能源 系统的优化运行和能源调度智能化等功能。

4 高速公路沿线能源利用方案

4**.** 1 高速公路沿线光伏方案

高速公路沿线拟利用高速护坡和高速互通 进行光伏发电系统的设置，拟以 405 kWp 装机 容量为一个子站系统。单个 405 kWp 子站系统 选用单晶单玻 540 Wp 组件总计 750 块，配置 110 kW 逆变器 3 台和 60 kW 逆变器 1 台。逆变 器将直流电逆变为 380 V 交流电，经光伏并网 柜就近接入附近的 0.4 kV 电网。

考虑到高速公路周边遮挡、地形地貌等外 在影响，从备选的 4 条高速公路中优选出 2 条 高速公路，充分利用高速公路朝南护坡的闲置 地，预估按照 4 km 安装一个光伏子站，装机容 量见表 2 所列。高速公路南侧护坡光伏项目安 装效果如图 4 所示。

表2 高速公路沿线预估装机容量表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 高速名称 | 高速公路预估 装机容量/kWp | 405 kWp光伏子站 安装数量/个 |
| 某高速公路1段 | 14 175 | 35 |
| 某高速公路2段 | 6 075 | 15 |
| 合计 | 20 250 | 50 |



图4 高速公路南侧护坡光伏项目安装效果图

优选的 2 条高速公路沿线有 3 个互通立交，

充分利用高速公路互通立交匝道圈大量的闲置

地建设光伏电站，预计每个互通立交可利用安

装光伏面积约为 4 000 m2 ，可利用安装光伏电

站的总面积约为 12 000 m2 ，预估光伏装机容量

约 9 720 kWp，光伏子站共计 24 个。高速公路

互通光伏项目安装效果如图 5 所示。



图5 高速公路互通光伏项目安装效果图

经计算，按照预估安装容量 29.97 MWp，

预计电站首年上网电量 30 084.6 MWh，首

年利用小时数为 1 004 h ，25 a 年均发电量为

28 233.28 MWh，年均利用小时数为 942.05 h，

25 年总发电量约为 705 831.89 MWh。

4**.**2 高速公路沿线风电项目

根据风资源禀赋及可消纳条件，拟选 4 个

服务区场址平均风速集中在 5 ～ 5.8 m/s，风能

主要集中在 5 ～ 11 m/s 风速段。风电场属低风

速风电场，风速风能分布相对较集中，风电机

组宜选择对低风速段风速利用较为充分的高效

能风机，通过对国内外风电机组生产厂家的调

研以及根据本风电场工程的风能资源、地形和

交通运输条件、湍流强度以及各类风机的成熟

性等特点，拟选取 WTG-156-3000 机型，各场

址装机规模见表 3 所列。

表3 拟规划的分散式风电规模

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 厂址 | 风速/(m/s) (中尺度) | 台数 | 单机容量 /MW | 总容量 /MW |
| 服务区A | 5.8 | 2 | 3.0 | 6 |
| 服务区B | 5.0 | 2 | 3.0 | 6 |
| 服务区C | 5.0 | 2 | 3.0 | 6 |
| 服务区D | 5.4 | 2 | 3.0 | 6 |
| 合计 |  | 8 |  | 24 |

. 第11期 <http://dlkc.cbpt.cnki.net>

风电年理论发电量为 6 720 万 kWh，预计 项目年上网发电量为 5 040 万 kWh，相应单机 平均上网电量为 630 万 kWh，年等效满负荷小 时数为 2 100 h，容量系数为 0.240。

5 财务评价主要原则

当前由于加氢站运营前景尚不明确，本项 目财务评价范围暂时仅包括光伏发电系统、风 力发电系统及储能系统等。

本项目注册资本金占动态投资的 30%，按 照 2021 年 6 月 21 日全国银行间同业拆借中心 公布的贷款市场报价利率，五年以上贷款年名 义利率 4.65%( 按季结息，年实际利率 4.73%)， 采用等额还本利息照付的还款方式。流动资 金中 30% 为自有资金，流动资金贷款年利 率 3.85%。

根据负荷情况，推荐新增光伏及风力发电 采用自发自用、余电上网的消纳方式。在现有 上网电价的前提下，采用正算方式，计算得出 项目投资所得税后财务内部收益率为 5.12%， 项目资本金财务内部收益率为 6.80%，投资方 内部收益率为 4.22%，说明本项目在财务上是 可行的。

6 结语

交通与能源作为我国两大全局性和基础性 行业，在“碳达峰碳中和”背景下，亟需加快 深度融合发展。随着高速公路服务区及路网近 年来不断扩建与修整，其能源需求逐渐增多。 当下在高速公路服务区中应用分布式太阳能光 伏、风力发电、地源热泵， 部署电动汽车充电桩、 加氢站等已成为了一种趋势，本项目高速服务 区综合能源综合利用效率达 80% 以上，可再生 能源渗透率高达 88.7%。上述应用能够节约更 多的自然资源， 减少碳排放 , 节省更多造价及环 境成本，社会效益显著，为“交通 + 能源”清 洁低碳沿路经济带发展提供新思想、新思路。

参考文献

[1] 交通运输部. 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：交规划发[2020]75号 [A/OL]. (2020-08-03)[2022-02-11]http：//www.gov. cn/zhengceku/2020-08/06/content\_5532824.htm.

[2] 国家市场监督管理总局. 太阳能资源评估方法： GB/

37526—2019[S]. 北京：中国标准出版社， 2019.

( 编辑 刘旭 )

(上接第15页)

3 结论

结合目前电池储能技术的发展状况和商 业化发展方向，中大型储能电站推荐采用直 流侧 1 500 V 输入的大功率 PCS 和非步入式 电池集装箱，非步入式电池集装箱不仅能够 最大化的提高单元装机容量和储能系统的安 全性，节省占地，还可以节省储能系统造价 约 2.7%。

参考文献

[1] 刘牛，徐波，陈亚新. 基于预制舱的电网侧储 能电站模块化设计[J]. 通信电源技术， 2019，

36(3)：231-233.

[2] 丁志康， 王维俊， 米红菊， 等. 新能源发电

系统中储能技术现状与分析[J]. 当代化工， 2020 ，49(7)：1519-1522.

[3] 甘江华，吴道阳，陈世锋，等. 电网侧大规模 预制舱式电池储能电站集成技术研究与应用[J].

供用电， 2018 ，35(9)：36-41 .

( 编辑 刘旭 )

<http://dlkc.cbpt.cnki.net> 第11期 .