



移动扫码阅读

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.

XU Xueji, XU Wenwen, YIN Chengqi, et al. Study on the comprehensive utilization of photovoltaic energy in the expressway station area of Jiangsu province[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(2): 43-47.

江苏省高速公路站区光伏能源综合利用研究

许雪记^{1,2}, 徐文文^{1,2,*}, 殷承启^{1,2}, 曹亚丽^{1,2}, 字素平^{1,2}

(1.中设设计集团股份有限公司,江苏南京210014;

2.江苏省交通运输环境保护工程技术研究中心,江苏南京210014)

摘要:基于江苏省高速公路沿线服务区、收费站、办公楼屋面面积以及服务区停车场面积统计数据,估算了可利用屋面面积和进行光伏车棚改造的服务区停车场面积。测算了光伏屋面、光伏车棚的装机规模和发电量,结合高速公路用电情况分析运行方式。经测算:江苏省高速公路服务区 and 收费站屋面可安装光伏发电总装机容量为32 MW,首年发电量为3 200万 kWh,全省高速公路光伏屋面25年发电总量约7.3亿 kWh;江苏省高速公路光伏车棚可安装光伏发电装机容量约11 MW,25年发电总量约2.5亿 kWh;高速公路站区光伏系统所发电量均小于其昼间用电量,站区光伏发电能够以“自发自用”的模式运行。

关键词:江苏省;高速公路;站区;光伏

中图分类号:X382

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2020)02-0043-05

Study on the comprehensive utilization of photovoltaic energy in the expressway station area of Jiangsu province

XU Xueji^{1,2}, XU Wenwen^{1,2,*}, YIN Chengqi^{1,2}, CAO Yali^{1,2}, ZI Suping^{1,2}

(1. China Design Group Co., Ltd., Nanjing 210001, China;

2. Jiangsu Transportation Environment Protection Engineering Technology Center, Nanjing 210001, China)

Abstract: Based on the roof area of the service area, toll station, office building and the area of parking lot along the expressway in Jiangsu province, the roof area and parking area available for photovoltaic roofs/carpports reconstruction were estimated. The installed scale and power generation of photovoltaic roofs/carpports were calculated. The operation mode was analyzed based on the power consumption of the expressway. It is estimated that the available total installed capacity of photovoltaic roofs that can be installed is 32 MW. The power generation capacity of the first year is 32 million kWh. The total power generated in 25 years by photovoltaic roofs along the expressway in Jiangsu province is 730 million kWh. The total installed capacity of photovoltaic carpports that can be installed is 11 MW. The total power generated in 25 years by photovoltaic carpports is 250 million kWh. The capacity of the photovoltaic system in the station area of the expressway is less than the daytime power consumption, which shows the photovoltaic power generation in the station area can operate in self-use mode.

Key Words: Jiangsu province; Expressway; Station area; Photovoltaic panel

收稿日期:2019-11-12

基金项目:江苏省交通运输科技与成果转化项目(2017T11)

第一作者简介:许雪记(1979-),男,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向为交通污染防治及节能研究。E-mail:377167229@qq.com

通讯作者简介:徐文文(1991-),男,硕士研究生,工程师,主要研究方向为交通污染防治及节能研究。E-mail:361776849@qq.com

0 引言

江苏省高速公路是中国华东地区重要的交通枢纽。截至 2016 年底,全省高速公路里程 4 539 km,其中属于江苏交通控股公司投资管理的高速公路里程近 4 000 km,占比 87%;江苏省高速公路密度已居全国各省区之首,首轮规划的“四纵四横四联”高速公路网络主骨架全面建成,且已基本建成“五纵九横五联”的高速公路路网布局^[1]。此外,江苏省高速公路沿线站区服务设施数量多,经统计共有服务区 88 对,收费站 396 处,平均每个服务区面积 60~80 亩,利用高速公路服务区、收费站、办公楼屋面资源建设光伏发电系统为新能源的发展提供了广阔的应用空间^[2]。

另一方面,江苏省全年日照时数(绝对日照)平均为 1 300~1 450 h,空间分布上,江苏省全年日照时数(绝对日照)表现为由南向北递增的趋势,时间分布上,全省各地日照时数均以夏季最多,冬季最少,各占全年的 29.0%~32.8%、20.1%~21.3%,苏北地区春季多于秋季,苏南地区秋季多于春季。全省全年太阳天文辐射总量 4 600~5 440 MJ/(m²·a)^[3],空间上表现为由南向北递增、西部地区小于东部地区的分布特征,时间上呈现夏季>春季>秋季>冬季的分布特征。总体而言,江苏省太阳能资源丰富度属于我国第三类太阳能资源区域,适合建设光伏发电项目,且由南向北太阳能资源丰富度处于递增趋势^[4]。

考虑到江苏省的高密度高速公路路网及站区附属设施,利用我省高速公路沿线站区资源建设光伏发电项目显得尤为必要,既能实现社会效益,又能提升高速公路整体环境品质^[5],有利于打造“绿色、低碳、环保、节能”的江苏高速公路新形象,也有利于引导社会树立绿色发展理念^[6]。在了解江苏省高速公路沿线服务区、收费站、办公楼屋面面积以及服务区停车场面积的基础上,估算可利用屋面面积和可进行光伏车棚改造的服务区停车场面积,确定光伏屋面和光伏车棚的装机规模和发电量,并结合高速公路用电情况分析其运行方式。

1 站区光伏能源利用研究方法

1.1 装机规模的确定方法

在确定光伏屋面和光伏车棚装机规模时,首先通过现场调研结合问卷调查的方式确定屋面和

车棚可利用面积。

通过选择京沪高速、沪宁高速、宁杭高速、沿江高速四条典型高速公路开展江苏声高速公路典型服务区和收费站进行可利用面积分析。此外通过向江苏省各路公司发放站区调研问卷,调查表主要包括用电情况调查和屋顶信息调查两大项内容,用电情况调查包括 2016 年和 2017 年用电量以及电费的调查,配电房部分的调查,白天用电情况调查;屋顶信息调查包括站区屋顶总面积、其中平顶的面积、坡顶的面积和坡顶的坡度比等根据可利用面积占屋面总面积的比例,估算江苏省高速公路站区可利用屋面面积。

确定可利用车棚面积时,选择确定可利用的车棚类型,通过选择典型站区分析可利用车棚面积,再根据可利用车棚面积占站区总面积的比例,估算江苏省高速公路站区可利用车棚面积。确定光伏屋面和光伏车棚可利用面积后,根据光伏企业通过软件模拟及实际项目案例提供的单位面积安装量确定装机规模。

1.2 发电量计算方法

采用标准小时数法计算高速公路光伏屋面首年发电量,且采用综合估算、分屋面类型估算两种方法进行测算。综合比较分析后,确定江苏省高速公路光伏屋面首年发电量。根据首年发电量,计算 25 年合计发电量。

标准小时数算法是根据系统安装容量和标准日照小时数进行计算的方法^[7]。光伏电站发电量根据下式计算:

$$EP = P \times H \times K$$

式中, P 为光伏电站系统安装容量,kWp;

H 为光伏电站厂址所在地标准小时数,单位为 h;

K 为综合效率系数,一般取 75%~85%。

根据规定,光伏组件首年衰减不得超过 2%,以后每年的衰减不得高于 1%,25 年不得高于 20%(递进衰减);根据光伏企业调研数据,光伏组件一般年均衰减小于 0.5%。本报告估算 25 年内逐年发电量时,采取保守态度,首年衰减取值 1%,以后每年的衰减值取 0.6%,年发电量估算公式如下:第 N 年发电量=初始年发电量 \times (1- N \times 组件衰减率)。利用此公式计算逐年发电量,然后汇总计算 25 年发电量^[8]。

2 高速公路站区光伏屋面研究

2.1 江苏省高速公路光伏屋面总装机量

通过根据京沪高速、沪宁高速、宁杭高速、沿

江高速 4 条高速公路的分析结果,估算回收调查表中站区的屋面装机容量。在有效回收的高速公路光伏能源利用调查表中,共有服务区 79 对,收费站 274 个,总计屋顶面积约有 60.4 万 m^2 ,其中平屋顶面积为 18.7 万 m^2 ,坡屋顶总面积为 44.5 m^2 ,可利用屋顶总面积为 26 万 m^2 ,占比为 43.0%,可利用平屋顶面积为 11.2 万 m^2 ,占比为 18.4%,可利用坡屋顶面积为 14.9 万 m^2 ,占比为 24.5%。

江苏省高速公路共计服务区 88 对,收费站 396 个。据此估算出江苏省所有服务区和收费站共计屋顶面积约 83 万 m^2 ,可进行光伏能源利用的面积占比按 43% 计算,则约有 35 万 m^2 的屋面可进行光伏建设。其中,平屋面可利用面积为 15 万 m^2 ,坡屋面可利用面积为 20 万 m^2 ;按照光伏企业给出的屋面单位面积装机量,平屋面每平方米装机容量约 80 W,坡屋面每平方米装机容量约 100 W,计算得江苏省高速公路服务区和收费站屋面共计可安装光伏发电装机容量为 32 MW。

2.2 江苏省高速公路光伏屋面发电量测算

① 综合估算光伏发电量

采用标准小时数法计算时,综合效率系数取值不随屋面类型变化,为综合平均值,一般取 75%~85%。由于有很多坡屋面方位角和倾角没法调整至最佳,考虑其发电效率较低,综合效率取值比一般电站水平的最低值 75% 稍小,取 70%;江苏省平均日峰值日照时间为 3.93 h;光伏屋面装机量为 32 MW。计算得光伏屋面的首年发电量为 3 213 万 kWh。

② 坡屋面光伏发电量测算

根据京沪高速、沪宁高速、宁杭高速、沿江高速四条高速各类型屋面型式的统计分析,总结可利用面积中不同方位角坡屋面所占比例,具体见表 1。

表 1 可利用坡屋面中不同方位角屋面所占比例

序号	方位角	可利用屋面面积/ m^2	占比	太阳能利用效率/%
1	坡屋顶-10°~20°	27 301.50	0.540	100
2	坡屋顶-25°~-10° 和 20°~35°	12 287.80	0.245	90
3	坡屋顶-25°~-40° 和 35°~50°	5 138.80	0.100	80
4	坡屋顶-40°~-55° 和 50°~65°	5 768.89	0.115	75

注:向东偏设定为负角度,向西偏设定为正角度(下同)

由前期计算结果可知,可利用坡屋面总面积为 20 万 m^2 ,可利用平屋面总面积为 15 万 m^2 。根据表 1 中的计算结果,推求全省高速公路可利用坡屋面中不同方位角的屋面面积,并计算各方位角坡屋面的装机容量,具体计算结果见表 2。

表 2 全省高速公路站区不同方位角坡屋面面积及装机量

序号	方位角	不同方位角坡屋面的面积/ 万 m^2	单位装机量/ $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	装机量/ MW
1	坡屋顶-10°~20°	10.8	100	10.8
2	坡屋顶-25°~-10° 和 20°~35°	4.9	100	4.9
3	坡屋顶-25°~-40° 和 35°~50°	2.0	100	2.0
4	坡屋顶-40°~-55° 和 50°~65°	2.3	100	2.3

根据各方位角坡屋面的装机容量,考虑不同方位角屋面的太阳能利用效率,采用标准小时数法计算不同方位角坡屋面的发电量,具体计算结果见表 3,江苏省高速公路服务区和收费站坡屋面光伏系统首年发电量为 1 861 万 kWh。

表 3 全省高速公路站区不同方位角坡屋面光伏发电量

序号	方位角	装机量/ MW	太阳能利用效率	综合效率	日照小时/h	发电量/ 万 kWh
1	坡屋顶-10°~20°	10.8	100%	0.7	3.93	1 084
2	坡屋顶-25°~-10° 和 20°~35°	4.9	90%	0.7	3.93	443
3	坡屋顶-25°~-40° 和 35°~50°	2.0	80%	0.7	3.93	161
4	坡屋顶-40°~-55° 和 50°~65°	2.3	75%	0.7	3.93	173
5	合计	20.0	/	/	/	1 861

③ 平屋面光伏发电量计算

由于平屋面光伏组件安装倾角和方位角均可调节至最佳位置,其发电效率较坡屋面光伏系统高,计算时综合效率系数可取稍大值,采用光伏企业技术人员提供的建议值 78%;江苏省平均日峰值日照时间取 3.93 h;平屋面装机量为 12 MW。计算得全省平屋面光伏首年发电量为 1 343 万 kWh。

④ 站区光伏屋面总发电量

根据上文,江苏省高速公路站区坡屋面与平屋面的光伏发电量为:1 861 万 kWh+1 343 万 kWh=3 204 万 kWh。

比较分析综合估算值和分屋面类型估算值可知,两种估算结果差别很小,因此江苏省高速公路光伏屋面首年发电量取 3 200 万 kWh。

根据前文所述计算方法,计算得江苏省高速公路光伏屋面 25 年发电量如表 4,全省高速公路光伏屋面 25 年发电总量约 7.3 亿 kWh。

表 4 江苏省高速公路光伏屋面 25 年发电量 万 kWh

年份	1~5	6~10	11~15	16~20	21~25	合计
发电量	15 575	15 021	14 551	14 080	13 610	72 837

3 高速公路服务区光伏车棚研究

3.1 光伏车棚利用方案的建议

① 可进行光伏能源利用的停车场确定

服务区停车场分为小型车位和大型车位,其中小型车位光伏车棚所需净空仅 2.2 m 左右,方便实施,经济回报率较高,改造难度较低;大型车位光伏车棚所需净空不低于 4 m(有部分超高货车),车棚结构投资成本约小车车棚的 2 倍,经济回报率较低,改造难度大,因此建议车棚光伏化只针对小型车停车场^[9]。

收费站停车场主要用于站区工作人员内部车辆的停放,停车场面积很小,而且周围有收费站办公楼等其他建筑和绿化树木的遮挡,不建议进行光伏车棚改造。

综上,站区光伏车棚改造,仅选择高速公路服务区小型车停车场进行。

② 光伏车棚改造形式分析

目前,常用的车棚形式根据立柱设置情况,可分为单立柱和双立柱两种形式。为了减少对停车的影响,光伏车棚的立柱应尽可能减少,因此推荐采用单立柱形式。

3.2 光伏车棚装机容量估算

通过对江苏省各路公司服务区的平面布置进行了调研,本研究基于现有调研结果选择资料较为齐全的沿江高速、宁常高速、沿海高速、宁靖盐高速等高速的 9 个服务区,分析了小车位面积及服务区总面积情况,分析统计数据见表 5。表 5 中选取的 4 条高速公路在全省高速公路中具有较强的代表性,且沿线服务区覆盖苏南、苏中、苏北。因此,本报告利用表中统计的小型停车场面积占服务区总面积的平均比例 2.58%,估算江苏省高速公路服务区小型车停车场的面积。

江苏省高速公路沿线共有服务区 88 对,平均每个服务区面积 60~80 亩。因此,江苏省高速公路服务区总面积大约为 88×70 亩=4 106 669 m²,即约 411 万 m²。小型车停车位面积按照服务区总面积的 2.58% 估算,则江苏省高速公路服务区共计约 11 万 m²的小型车停车场可进行光伏车棚改造,即光伏车棚可安装光伏组件的面积为 11 万 m²。

光伏车棚光伏组件的安装形式与站区坡屋面光伏组件安装形式相似,光伏组件的安装倾角和方位角不可随意调整,需根据车棚的设计方位角和倾角直接满铺安装。采用光伏企业提供的经验数据,平均每平方米安装装机容量按 100 W 估算,则江苏省高速公路光伏车棚共计可以安装光伏发电装机容量约 11 MW。

表 5 部分服务区小型车停车场面积占服务区总面积的比例

序号	高速公路	总占地面积 /m ²	小车位面积 /m ²	占比 /%
1	沿江高速	163 422	4 370	2.67
3	宁常高速	213 337	3 780	1.77
6	沿海高速	151 937	2 898	1.91
8	宁靖盐高速	63 325	2 376	3.75
	均值	/	/	2.27

3.3 光伏车棚发电量估算

① 光伏车棚首年发电量估算

江苏省的平均日峰值日照时间取 3.93 h,光伏车棚的发电效率与光伏屋面相似,由于存在少部分阴影遮挡以及方位角和倾角不易调整等因素,发电效率较常规地面电站的发电效率低,光伏车棚综合效率系数取 70%。计算得江苏省高速公路服务区光伏车棚首年发电量为 1 105 万 kWh。

本报告取江苏省高速公路服务区光伏车棚首

年发电量为1 100万kWh。

② 光伏车棚25年发电量估算

根据前文计算方法,计算光伏车棚25年发电量,结果见表6,江苏省高速公路光伏车棚25年发电总量约2.5亿kWh。

表6 江苏省高速公路光伏车棚25年发电量 万kWh

年份	1~5	6~10	11~15	16~20	21~25	合计
发电量	5 354	5 164	5 001	4 841	4 679	25 039

4 站区光伏发电运行模式分析

目前,我国分布式光伏发电分为“自发自用”、“自发自用,余量上网”及“全额上网”三种运行模式^[10]。

站区光伏能源利用即站区光伏屋面和光伏车棚,位于高速公路服务区及收费站内,就并网条件来讲完全有条件接入站区,自发自用,但需要考虑站区对所发电能的具体消纳能力。

根据调研,高速公路站区昼间用电量约占高速公路总用电量的一半,约8 500万kWh,而站区光伏首年发电量约4 300万kWh,仅为站区昼间用电量的50%,从整个高速公路系统来分析,站区光伏发电量可以被站区完全消纳。考虑到高速公路各站区用电量存在差异,如要详细分析站区光伏发电自发自用的可行性,需具体分析每个站区的具体用电量及发电量,由于研究范围覆盖整个高速公路系统,随机抽取典型服务区和收费站进行自发自用可行性分析。随机选取的4条高速公路在全省高速公路中具有较强的代表性,且沿线站区覆盖苏南、苏中、苏北,在选择站区时还兼顾了用电量较大和较小的站区。

经过抽样分析发现,高速公路站区光伏系统所发电量均小于其昼间用电量,站区光伏发电可以完全以“自发自用”模式运行。

表7 站区光伏自发自用可行性分析

高速公路	装机量/ kW	发电量/ kWh	昼间用 电量/kWh	自发自用 可行性
沿江高速	689.4	69.3	245.7	可行
宁常高速	397.8	39.9	175.5	可行
沿海高速	540.8	54.2	99.7	可行
宁靖盐高速	482.8	48.4	106.6	可行

5 结论

① 江苏省高速公路服务区和收费站屋面共计可安装光伏发电装机容量为32 MW,首年发电量为3 200万kWh,全省高速公路光伏屋面25年发电总量约7.3亿kWh;江苏省高速公路光伏车棚共计可以安装光伏发电装机容量约11 MW,江苏省高速公路光伏车棚25年发电总量约2.5亿kWh。

② 高速公路站区光伏系统所发电量均小于其昼间用电量,站区光伏发电可以完全以“自发自用”模式运行。

参考文献

- [1] 江苏省交通运输厅. 江苏省2017年交通统计年鉴 [R]. 南京: 江苏省交通运输厅, 2017.
- [2] 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.
- [3] 周扬, 吴文祥, 胡莹, 等. 江苏省可用太阳能资源潜力评估 [J]. 可再生能源, 2010 (6): 14-17.
- [4] 刘光旭. 江苏省可用可再生能源资源评估研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2009.
- [5] 王宝玺. 太阳能光伏并网电站在高速公路的应用研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2013 (8): 80-81.
- [6] 刘胜强, 毛显强, 邢有凯. 中国可再生能源发展的环境影响及管理对策 [J]. 能源环境保护, 2011, 25 (3): 13-16.
- [7] 章海灿, 杨松, 罗易, 等. 光伏电站发电量计算方法研究 [J]. 太阳能, 2016 (8): 42-45.
- [8] 章激扬, 李达, 杨苹, 等. 光伏发电发展趋势分析 [J]. 可再生能源, 2014, 32 (2): 127-132.
- [9] 赵奇志. 太阳能光伏技术在高速公路中的应用探讨 [J]. 西部交通科技, 2006 (5): 50-53.
- [10] 胡筱, 赵喆, 朱美玲, 等. 分布式光伏电站自发自用模式下的逆功率保护优化配置研究 [J]. 自动化技术与应用, 2017, 36 (10): 124-127.