

分布式光伏发电在污水处理厂的应用案例及收益分析

黄佳琦

上海市建工设计研究总院有限公司, 上海

收稿日期: 2023年3月4日; 录用日期: 2023年4月5日; 发布日期: 2023年4月12日

摘要

基于污水处理作为能耗密集产业消耗大量电能的现状, 本文以温岭市某污水处理厂分布式光伏发电方案为例, 提出将分布式光伏发电应用于污水处理厂, 从光伏组件倾角、方阵布设、发电量估算等方面进行设计要点介绍。同时, 以25年为运行周期, 对该污水处理厂运营期间产生的经济效益进行分析, 综合每年利润率可达到14.24%左右。除此之外, 该污水处理厂可实现节约土地资源、节约能耗等环境效益, 积极响应“双碳目标”的实施。本研究为分布式光伏发电系统设计提供了数据指导和参考。

关键词

分布式光伏发电, 双碳, 污水处理厂, 光伏方阵布置, 节能

Application Scheme and Revenue Analysis of Distributed Photovoltaic Power Generation in Sewage Treatment Plants

Jiaqi Huang

Shanghai Construction Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai

Received: Mar. 4th, 2023; accepted: Apr. 5th, 2023; published: Apr. 12th, 2023

Abstract

Based on the current situation that sewage treatment consumes a lot of electricity as an energy-intensive industry, this paper takes the distributed photovoltaic power generation scheme of a sewage treatment plant in Wenling City as an example, and proposes to apply distributed photo-

voltaic power generation to the sewage treatment plant, and introduces the design points from the aspects of photovoltaic module inclination, square array layout, and power generation estimation. At the same time, taking 25 years as the operating cycle, the economic benefits generated during the operation of the sewage treatment plant are analyzed, and the comprehensive annual profit rate can reach about 14.24%. In addition, the sewage treatment plant can achieve environmental benefits such as saving land resources and energy consumption, and actively responds to the implementation of the “dual carbon goal”. This study provides data guidance and reference for the design of distributed photovoltaic power generation system.

Keywords

Distributed Photovoltaic Power Generation, Carbon Peaking and Carbon Neutrality, Sewage Treatment Plant, Pv Array Arrangement, Energy Conservation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

污水处理是传统的能耗密集型产业，2017 年全世界范围内污水处理厂的能耗占全社会总能耗的 1%~3% [1]。与发达国家相比，我国目前污水处理的能耗仍处于较高水平。其中，电能是污水处理厂的主要能源消耗类型，占污水处理厂总能耗的 70%~80% [2]。研究表明，2020 年，我国污水处理厂消耗电能总量约为 1.84×10^{10} kWh，约占全社会用电量的 0.24% [3]。随着我国污水处理厂的提标改造、污水收集水平的提高，未来我国污水处理厂能耗总量必然依旧呈现上升趋势[4]。2021 年，中共中央提出“碳达峰”、“碳中和”行动目标，鼓励水处理企业综合利用场地空间，采用“自发自用，余量上网”模式建设光伏发电项目[5]。

将光伏发电技术应用在污水处理厂中有许多优势。首先，污水处理厂选址一般在远离居民区的空旷地带，没有高楼阻挡，日照条件较好。其次，污水处理厂的很多处理单体如初沉池、二沉池等占地面积很大。利用池体顶部及构筑物单体屋顶放置分布式光伏发电系统可以节约城市用地，对土地资源进行综合利用。另外，污水处理厂耗电量大，光伏发电系统能在白天用电高峰最大程度降低用电成本。

本文针对当前污水处理厂能耗较高的现状，提出污水处理厂可进行光伏发电改造的思路方向，具体以温岭市某污水处理厂为例，对其光伏组件倾角、方阵布设进行设定，估算其发电量并计算经济效益，以为后续污水处理厂的光伏发电改造提供思路方向和数据参考。

2. 光伏发电方案设计

光伏发电方案设计以温岭市某污水处理厂为例。光伏组件是分布式光伏发电系统中最重要的部分，与多晶硅和非晶硅光伏电池相比，单晶硅在转化效率、衰减率和光照敏感度等主要参数上均有较大优势 [6]。本次设计选择某品牌功率为 415 W 的单晶硅光伏组件，光伏电池尺寸为 1722×1134 mm。

光伏发电系统由光伏组件、逆变器和低压并网柜组成，如需储存电能供夜间使用可添加蓄电池模组。

2.1. 光伏组件倾角

为使光伏组件获取更多的太阳辐照，需设置合适的倾角和方位角[7] [8]。以温岭市为例，温岭市纬度

为北纬 28°，根据光伏组件倾角经验公式(1) [9]，计算得到光伏组件倾角 β 为 22°，光伏组件方位角为正南方向。

$$\beta = \varphi - 6 \quad (1)$$

式中： β ——组件倾角；
 φ ——污水厂纬度。

2.2. 光伏方阵布置

光伏方阵布置时，需要保证各光伏组件在太阳辐照峰值时间无相互遮挡，根据公式(2)计算[10]光伏组件两排阵列之间的距离，得到 $D = 1.09 \text{ m}$ ，设计取值 1.2 m。

$$D = L \sin \beta \frac{0.707 \tan \varphi + 0.4338}{0.707 - 0.4338 \tan \varphi} \quad (2)$$

式中： D ——两排阵列之间的距离，m；
 L ——阵列倾斜长度，取值 1.722 m；
 β ——阵列倾角，取值 22°；
 φ ——当地纬度，取值 28°。

每个光伏组件占地面积根据公式(3)计算，计算结果为 $S = 2.5 \text{ m}^2$ 。

$$S = L_1 + \frac{D}{2} * L_2 \cos \beta + 0.05 \quad (3)$$

Table 1. List of main structures of a sewage treatment plant in Wenling City

表 1. 温岭市某污水处理厂主要建构筑物表

序号	名称	数量	单位	构筑物尺寸
1	粗格栅泵房	1	座	23.3 m × 11.5 m × 8.0 m
2	细格栅曝气沉砂池	1	座	22.0 m × 5.5 m × 5.0 m
3	AAO 池	1	座	52.5 m × 62.5 m × 7.0 m
4	二沉池	2	座	$\varphi 30.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$
5	反硝化深床滤池	1	座	18.6 m × 25.1 m × 7.0 m
6	高效沉淀池	1	座	17.6 m × 19.0 m × 6.5 m
7	V 型滤池	1	套	34 m × 16.9 m × 7.2 m
8	消毒、出水提升泵房 及出水渠	1	座	12.5 m × 5.0 m × 4.6 m
9	污泥脱水机房	1	套	27.0 m × 10.0 m
10	加药间	1	座	20.0 m × 10.0 m
11	鼓风机房	1	套	27.0 m × 7.0 m
12	除臭设备区	1	座	18.0 m × 7.0 m
13	维修车间	1	套	25 m × 8.0 m
14	综合楼	1	座	38 m × 15.0 m

如表 1，根据温岭某污水处理厂主要建构筑物表，计算得到光伏组件布置数量为 3400 块。

2.3. 发电量计算

将光伏组件以倾斜角度 22°，方位角为正南方向，两排之间距离为 1.2 m，同一排两个光伏组件之间

的距离为 0.1 m 的排布方式进行光伏方阵的布设。通过查询全国各省市斜面辐射量, 计算得到温岭市所在的浙江省平均斜面日辐射量为 14,153。平均峰值日照时数 T 由式(4)计算[11], 得到 $T = 3.93$ h。

$$T = \frac{\text{斜面日辐射量}}{3600} \quad (4)$$

污水厂光伏阵列首年产生电量 Q 由式(5)计算, 得到 $Q = 134.9$ 万 kWh。

$$Q = \frac{P \times K \times T}{F} \times \text{组件数量} \times \text{天数} \quad (5)$$

式中: P ——光伏组件单板峰值功率, 取值 415 W;

K ——交流回路损耗率, 取值 0.8;

T ——平均峰值日照时数, 取值 3.92 h;

F ——蓄电池放电容量系数, 取值 1.2。

3. 收益分析

分布式光伏污水处理厂的收益分析可以从经济收益如投资利润率、回收成本时间等参数进行考量, 环境收益可以从减少碳排放及主要污染物指标减排进行核算。

3.1. 经济收益分析

Table 2. Distributed photovoltaic power generation system 25 years power generation and income schedule

表 2. 分布式光伏发电系统 25 年发电量及收益明细表

年	衰减率	发电量(万度)	收益(万元)
1	3%	134.90	111.97
2	0.50%	130.85	108.61
3	0.50%	130.20	108.06
4	0.50%	129.55	107.52
5	0.50%	128.90	106.99
6	0.50%	128.26	106.45
7	0.50%	127.61	105.92
8	0.50%	126.98	105.39
9	0.50%	126.34	104.86
10	0.50%	125.71	104.34
11	0.50%	125.08	103.82
12	0.50%	124.46	103.30
13	0.50%	123.83	102.78
14	0.50%	123.21	102.27
15	0.50%	122.60	101.76
16	0.50%	121.99	101.25
17	0.50%	121.38	100.74
18	0.50%	120.77	100.24
19	0.50%	120.16	99.74
20	0.50%	119.56	99.24
21	0.50%	118.97	98.74
22	0.50%	118.37	98.25

Continued

23	0.50%	117.78	97.76
24	0.50%	117.19	97.27
25	0.50%	116.60	96.78
总计	/	3101.25	2574.03

晶硅型的光伏组件由于其衰减的特性,会导致发电量的减少[12]。选取的单晶硅光伏组件的衰减率首年取3%,之后每年取0.5% [13],光伏组件发电周期直接以光伏组件产品的功率质保时长25年为准(表2)。

3400块415W的光伏组件以每瓦4元计算成本,前期总投资为564.4万元。温岭市某污水厂实行浙江省大工业用电价格,由于光伏发电在白天高峰时段,所以取电价为0.83元/度。在无政府补贴情况下对光伏发电系统发电量及收益进行核算,光伏系统在6年内收回成本,每年投资利润率为14.24%。

3.2. 碳排放及污染物核算

根据我国标准,1Kg标准煤产生的热量为7000Kcal,单位换算后得1度电折合为标准煤123.03g,温岭市某污水处理厂分布式光伏发电系统25年发电量折合为标准煤3815.46吨,标准煤折合主要污染物减排情况如下表3所示。

Table 3. 25-year emission reductions of distributed photovoltaic systems

表3. 分布式光伏系统25年减排量

25年发电量 /万kWh	折合标准煤/吨	减排CO ₂ /吨	减排SO ₂ /吨	减排NO _x /吨	减排烟尘 /吨
3101.25	3815.46	9510.29	286.10	143.05	2589.68

在经济收益和环境收益两方面来分析,分布式光伏发电系统可以产生巨大的经济效益,同时节约了宝贵的城市用地。另外在“碳达峰,碳中和”的政策大背景下,帮助污水处理这一能耗密集产业弥补碳赤字[14],为转变公众对污水处理厂传统印象做出杰出贡献。根据我国能源局数据,温岭市所在的浙江省为我国太阳能资源较丰富带,温岭市某污水处理厂采用分布式光伏发电尚且可产生较为可观的经济与环境收益。目前,我国光伏污水处理厂建设主要集中在我国东部沿海地区,在太阳能更为丰富的西北地区污水处理厂推行分布式光伏发电系统的新建及旧有污水处理厂的光伏化改造是当务之急。

4. 结语

本文在前人工作的基础上,研究了浙江省温岭市一小型污水处理厂光伏化设计可带来的经济与社会效益,对光伏发电系统的布置提出了具体的数据指导。以采用分布式光伏发电的温岭市某污水处理厂为例,在光伏组件倾斜角度为22°,方位角为正南方向,两排之间距离为1.2m,同一排两个光伏组件之间的距离为0.1m的参数条件下,以25年为运行周期,该污水处理厂可产生电量3101.25万度,综合每年投资利润率为14.24%,具有良好的经济效益和社会效益。

布设分布式光伏发电在我国太阳能较丰富地区尚且能产生较好的经济与环境收益,因此更值得在太阳能丰富的西北干燥区域的污水处理厂推广光伏化改造与新建项目。在东南沿海污水处理厂进行污水处理厂光伏发电建设或改造的同时需要考虑柔性钢索支架对台风等极端天气的承受能力,可通过适当改变光伏组件的倾斜角度得到改善。在西北地区进行污水处理厂光伏发电建设和改造则需考虑风沙在光伏组件上的堆积导致的发电效率折损。

参考文献

- [1] 钱媛媛, 王永杰, 杨雪晶. 光伏与“光伏 + 水务”在污水处理厂的应用现状[J]. 工业水处理, 2022(6): 40-50.
- [2] 房镇, 傅洪波, 丁良才. 分布式光伏发电系统在污水处理厂的应用[J]. 节能与环保, 2019(9): 86-87.
- [3] 常纪文, 井媛媛, 耿瑜, 等. 推进市政污水处理行业低碳转型, 助力碳达峰, 碳中和[J]. 中国环保产业, 2021(6): 9-17.
- [4] 郭怡. 高标准出水对污水厂实现双碳目标的影响及减排对策分析[J]. 净水技术, 2022(S2): 111-114, 126.
- [5] 魏泓屹, 卓振宇, 张宁, 等. 中国电力系统碳达峰·碳中和转型路径优化与影响因素分析[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(19): 1-12.
- [6] 李江华. 光伏发电技术在水处理行业中的运用[J]. 产业创新研究, 2022(14): 148-150.
- [7] 王辉, 冯征, 王恩镇, 等. 光伏组件不同布置倾角对发电量影响的研究[J]. 能源与节能, 2022(11): 7-12.
- [8] 谢彤, 李可成, 马昭键, 等. 光伏阵列倾角及方位角的最优化研究[J]. 计量学报, 2020, 41(1): 4.
- [9] 文露. 光伏发电系统在某污水处理厂的应用[J]. 建筑电气, 2019, 38(7): 3.
- [10] 曾伟. 固定式光伏阵列间距的优化设计[J]. 中国战略新兴产业, 2017(12X): 2.
- [11] 何道清, 何涛, 丁宏林. 太阳能光伏发电系统原理与应用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [12] 周猛, 周义君, 刘好. 工程应用中的光伏组件输出功率衰减率评估[J]. 太阳能, 2022(2): 58-61.
- [13] 李铁成, 曾四鸣, 孟良, 等. 晶体硅光伏组件功率特性及衰减评估分析[J]. 电源技术, 2022(8): 920-924.
- [14] 郝晓地, 黄鑫, 刘高杰, 等. 污水处理“碳中和”运行能耗赤字来源及潜能测算[J]. 中国给水排水, 2014, 30(20): 6.