

# 零碳工业园区绿色电力建设方案研究

王 洁

(晶澳太阳能科技股份有限公司)

**摘要：**工业园区零碳路径的实现离不开绿色电力的使用，本文系统分析涵盖产生绿电的光伏设备及配套储能系统的建设方案、绿电交易布局方案在内的全方位零碳工业园区绿电建设方案。通过气象站提供的气象资料结合实际情况评估光伏设施的建设风险，针对气候条件规划相应建设方案；结合园区特点及要求，分析储能系统技术路线，电池类型选择方案；同时考虑到园区的零碳属性，新能源配置比例较高，易产生多余绿电，因此针对绿电交易现状及困境，布局绿电交易参与方案，提升园区绿电交易业务价值。以期为零碳园区建设提供参考方案，助力我国双碳目标的实现。

**关键词：**零碳工业园区；光伏；配套储能；绿电交易

## 0 引言

工业行业是我国排行第二的碳排放行业，工业园区是经济发展、产业转型升级的重要载体，但传统工业园区不可避免地存在资源消耗大、碳排放量大等问题<sup>[1]</sup>。我国一直致力于推动工业园区走生态优先、绿色低碳发展之路，并出台相关支持政策，零碳工业园区应运而生，且近年来数量不断增加，规模不断扩大、绿色发展水平不断提高。2021年1月，国内首个“碳中和”园区-金风科技亦庄智慧园区举行认证仪式<sup>[2]</sup>；同年10月，内蒙古自治区鄂尔多斯官方宣布全球首个零碳产业园正式落地内蒙古<sup>[3]</sup>；2023年9月，正泰新能源首次对外开放展示其零碳工厂布局……虽然这些零碳园区内的产业结构各不相同，但零碳实现路径都不可避免地依赖用能结构的优化，即高比例绿色电力的供应和消纳<sup>[4-5]</sup>。当前，绿电的产生主要方式是风力发电和屋顶光伏发电，但风机的

建设占地面积较大，容易对生态环境造成破坏<sup>[6]</sup>。因此，零碳工业园区搭建新型电力系统最主要的途径是屋顶光伏发电+配套储能，储能技术是智能电网、能源互联网、可再生能源接入、分布式发电、微网系统等发展必不可少的支撑技术之一。然而，目前园区建设更多关注的是最大比例使用绿色电力，以帮助园区最终实现零碳排放。其实，产生绿电的光伏设备的运行效率、配套储能的峰谷优化能力，都会通过提升新能源消纳能力、降低园区运营成本、为园区参与绿电交易提供保障等途径助力园区的零碳建设。

基于此，本文将结合园区场址所在地的气候条件分析光伏建设方案，同时研究储能系统技术路线选择和电池类型选择，提升储能系统移峰填谷效果，优化电网消纳能力，以提升绿电系统运营效率。最后，基于园区零碳属性和投资回报考虑，针对绿电交易面临的困境，为园区参与绿电交易提供布局方案。全面、系统

性地提出零碳工业园区绿色电力的建设方案，为推进我国零碳工业园区建设提供理论依据和方案建议。

### 1 园区应用屋顶光伏及配套储能的优势

1) 节省土地资源，对环境影响小。不同于风力发电，园区内光伏发电主要依靠屋顶光伏，有效利用屋顶面积的同时不会破坏城市生态环境，且不会产生光污染。

2) 太阳能收集效率高。工业园区一般设在郊区，建筑物四周无高楼大厦的遮挡，同时工业园区屋顶面积一般较大，光伏组件对太阳能的收集过程不易受影响。

3) 一定程度降低建筑能耗。光伏组件可充当室外与建筑屋顶间的过渡层，提高建筑保温、隔热性能，一定程度降低建筑的资源、能源消耗<sup>[7]</sup>。

4) 分布式光伏发展迅速，技术成熟，为工业园区应用所面临的问题和挑战提供坚实的技术支撑。

5) 储能系统响应灵活，可以有效辅助电网调峰调频，削峰填谷，减少弃光。

6) 零碳工业园区中新能源配比一般远超负荷用量，利用配套储能的方式，可帮助实现多余电力市场化交易，保证项目基本收益。

### 2 屋顶光伏建设方案

根据距项目所在地最近的、具有太阳辐射观测资料的气象站提供的气象数据分析气象条件对光伏项目的影响。

根据《太阳能资源评估方法》(QXT89—2019)，对于无太阳辐射观测资料的代表气象站，选择距离代表气象站最近、纬度与项目区域基本相同且气候相似的国家基准气象站作为参考气象站，收集其相关太阳辐射观测资料，利用气候学方法推算代表气象站的太阳辐射数据。

若距离最近的气象站无太阳辐射观测资料，可扩

大范围，由区县级气象站扩大到市级气象站，采用区县气象站气象数据分析气象条件对工程规划的影响，市级气象站太阳辐射观测资料分析太阳能资源条件对项目规划的影响。

#### 2.1 太阳能资源分析

在自然现象和社会现象中，大量的随机变量都服从或近似服从正态分布，因此可采用统计学中的正态分布来研究太阳辐射资料。通过选取的气象站近20年相同月份的太阳辐射量数据拟合正态分布曲线，选取高概率区间的实测值作为电站设计的基本计算参数，即每月对应的标准月辐射量和标准月日照时数，计算可知工程代表年太阳辐射总量。进而根据中国气象局制定的太阳能资源丰富程度评估标准可知该区域太阳能资源的丰富程度；同时，可根据气象站提供的资料分析太阳辐射量和日照时数的月际变化、年际变化，以此推断该区域太阳能辐射的稳定程度。根据太阳能资源丰富程度和稳定程度可推断建设光伏电站的风险大小。

#### 2.2 主要气象条件影响

根据气象站的数据资料并结合拟选场址区域的实际情况，进行特殊气候条件的初步影响分析并做出相应措施。

##### (1) 气温因素

光伏并网发电中将直流电逆变为交流电的并网逆变器的环境温度范围为-30~+60℃，光伏组件的工作温度范围为-40~+85℃。参照气象站提供的各类相关气象数据，分析气温条件对光伏组件的可靠运行及安全性是否有影响。并网逆变器应有一定采暖或保温措施以保证在极端低温下正常工作。在光伏组件的串并联组合设计中，需根据当地的实际气温情况进行相应的温度修正，以确保整个太阳能发电系统在全年中有较高的运行效率。

##### (2) 风速和风向因素

根据气象资料得知园区所在地近 30 年平均风速、最大瞬时风速以及主导风向等，因为太阳能电池组件迎风面积较大，组件支架设计必须考虑风荷载的影响。

### (3) 风沙因素

如果所在区域气候干旱，植被稀少，在大风季节里，极易出现沙尘天气。沙尘天气对大气的影晌较大，空气中粉尘量会剧增，大气透明度会大幅度降低，因此会阻挡和减弱太阳直射。沙尘天气对光伏电站的发电量影响较大，故在系统设计中应采取有效的防沙措施和方便可行的日常清洗方法。

### (4) 雷暴因素

电池阵列均固定金属支架之上，且阵列面积较大，因此雷电对光伏电站有一定的危害，电站应根据当地气候条件采取可靠的防雷接地措施。

### (5) 积雪因素

太阳能电池板最低点距屋顶的距离选取主要考虑以下因素：① 高于当地最大积雪深度；② 防止泥和沙溅上太阳能电池板；③ 高于当地洪水水位；④ 防止动物破坏。

## 3 储能建设方案

### 3.1 技术路线选择

储能系统能够将电能转换为化学能、势能、电磁能等形式进行储存，并在需要时重新转换为电能予以释放。在电网中采用储能系统能够有效实现需求侧管理、消除峰谷差、平滑负荷及提高电网运行的可靠性和稳定性等功能，是零碳工业园区实现绿电自发自用必不可少的系统之一。

根据电能转化后的形态，可以将储能分为电化学、机械、电磁、相变储能四大类。各种储能技术在其能量密度和功率密度方面均具有不同的表现，很少能有一种储能技术可以完全胜任电力系统的各应用场景。因此，必须兼顾双方需求，选择与电力系统匹

配的储能方式。在现有储能技术中，抽水蓄能和压缩空气储能可实现大功率、大容量电能储存，但是对建站选址要求较高。电化学储能技术对建设场址要求灵活，且当前电池储能技术众多，可根据实际应用情景要求综合考虑选择比较适宜的。

工业园区储能系统定位为电网侧储能系统，主要功能包括削峰填谷、调频调压等辅助服务。接入电网侧大规模储能对储能系统有其特殊要求：① 循环寿命长。② 响应速度快。③ 充放电效率高。④ 安全性好。⑤ 成本适中。⑥ 配置灵活，安装建设便捷，可扩容性好等。相较其他储能技术路线，电化学储能单位造价也较低，将是未来储能的主要选择。

### 3.2 电池类型选择

铅酸及铅炭电池系统充放电倍率较低，无法完全满足园区应用需求；全钒液流电池能量密度低，占地面积大，属于能量型电池，系统配置容量很大才具有经济性；钠硫电池目前只有日本公司可以提供工程化产品，运维受限；钒液流电池循环寿命较高、安全性较高，但价格较贵，效率较低。锂离子电池国内技术成熟，厂家众多，可以满足园区应用条件和应用目的。现阶段，主流的锂电池储能技术有三种：磷酸铁锂电池、三元锂电池和钛酸锂电池。现对三种锂电池技术性能进行分析对比，见下表，应综合权衡储能电池的技术性能、使用寿命、工程业绩、技术先进性

表 三种锂电池技术性能对比

电池类型	钛酸锂电池	三元锂电池	磷酸铁锂电池
能量密度	70~95Wh/kg	150~200Wh/kg	100~120Wh/kg
充放电倍率/最大	10C	3C	1C
效率	98%	97%	96%
温度适应性	-50~65℃	-25~50℃	-20~55℃
循环寿命	10000 次	3000 次	5000 次
热稳定性	高	低	中
安全性	高	低	中
技术成熟度	低	中	高
电池价格	4300 元/kWh	2300 元/kWh	1200 元/kWh

和成熟度、环保及环境友好型等指标做出适合于园区建设的选项。

### 4 绿电交易布局

零碳工业园区的建设存在一定经济投入，多余绿电参与现货交易是提高收益率、缩短投资回收期且符合社会绿色发展大趋势的选项。绿色电力交易是以风电、光伏等绿色电力产品为标的物，在电力中长期市场机制框架内设立的交易品种，能够全面反映绿色电力的电能价值和环境价值，并提供相应的绿色电力消费认证。

#### 4.1 面临困境及解决办法

目前，全国电力市场交易规模进一步扩大；风电、光伏发电装机规模扩大；新型电力系统建设朝数字化方向发展，电力系统可控对象从以源为主扩展到“源网荷储”各环节，控制规模呈指数级增长，但绿电市场化仍面临一定困境。2021年至今，新能源电力参与现货市场，但结算价格剧烈波动，最终结算价格在基准价上下浮动40%以内。主要有以下原因：

①新能源发电出力与电力现货市场价格负相关，即新能源大发的时候现货价格低，新能源小发的时候现货价格高；②新能源发电出力预测与气象条件息息相关，目前技术水平仅能覆盖15日导致大量电量进入价格波动剧烈的现货市场。

当前形势下，园区布局面对价格波动剧烈的困境，才能有效提高交易业务的价值。解决方法如下：

1) 签订长期PPA协议（购电协议）。新能源发电方可与电力用户或售电公司签订15~25年长期PPA协议，双方以确定的价格形成方式交易电量。

2) 配备交易团队。建立具备电力现货交易、算法、数字化能力的团队，通过收集发电/用电负荷、电网运行方式、历史价格、气象等信息，精准预测发电负荷及电价，通过交易策略优化，控制风险、提高新能源与储能收益。不断迭代将策略能力

沉淀在自身开发的辅助交易决策平台，通过对电力供需及价格的长期预测，指导新能源与储能投资。

3) 委托代理公司。委托外部成熟电力交易代理公司，同时逐步提升本公司电力交易能力，至少具备评价交易策略、监控交易行为、复盘交易结果的能力。

#### 4.2 未来发展方向

目前电力交易仍处于初级到中级阶段过渡期，市场存续交易水平良莠不齐，主要还是开展资源型电力交易工作，以双边协商为主要的电力交易盈利手段。随着电力市场化改革深入，电力交易会更为复杂、交易频次增加、交易评价难度将提升，资源型电力交易能力将难以支撑。未来，交易的技术性和专业性特点凸显，市场、技术、营销与金融多维融合，交易量价有机配合，因此需要建立以算法为核心的新能源发电交易能力。

随着新型电力系统的建设，单独的发电企业难以支撑新能源装机的大幅增长，新能源发电出力的波动性、随机性和一致性将对电网带来极大挑战，源网荷储一体化（虚拟电厂）是目前比较经济解决上述问题的方式，园区可尽早布局虚拟电厂项目。

### 5 结束语

开展零碳工业园区建设是近年来推动我国工业可持续、高质量发展的新理念、新模式，也是我国实现双碳目标的重要助力。绿电建设是零碳工业园区必不可少的一部分，本文全面、系统提出包括绿电交易在内的绿色电力建设方案，未来零碳工业园区发展需着力打造集虚拟电厂、绿电交易、碳交易、综合能源服务平台等功能在内的数字化管理系统，实现高比例可再生智慧能源发电、储能和用电的高效协调管理，同时参与市场化电力交易与区域智能能源调配，推动零碳园区智慧化、数字化高质量发展。

## 参考文献

- [1] 马永健. 零碳产业园区面临的现实挑战与空间规划应对策略[J]. 工程技术研究, 2023, 8(19): 223-225.
- [2] 国内首个“碳中和”园区落地北京[J]. 江西建材, 2021(2): 170.
- [3] 全球首个零碳产业园落地内蒙古[J]. 石油化工设计, 2021, 38(4): 61.
- [4] 周鑫, 陈明扬, 罗彬, 等. 近零碳排放园区建设思路和对策建议[J]. 四川环境, 2023, 42(5): 268-273.
- [5] 许幸荣, 刘琪, 梁鹏, 等. 工业“零碳”园区建设路径探讨[J]. 信息通信技术, 2023, 17(4): 63-68.
- [6] 张高锋. “双碳”目标下零碳园区综合能源利用潜力的研究与应用[J]. 建筑科技, 2023, 7(3): 153-155.
- [7] 张华. 城市建筑屋顶光伏利用潜力评估研究[D]. 天津: 天津大学, 2017.

(收稿日期: 2023-12-11)