

# 分布式光伏发电系统应用于西安地铁车辆段和停车场的可行性分析

刘琦

西安君能清洁能源有限公司 陕西西安 710000

**【摘要】**随着国家经济发展和城市扩张,中国城市轨道交通的里程长度和城市人口流入呈正相关增长,尤其是随着国家产业布局优化和经济结构调整的中长远规划,首府城市的轨道交通规划里程递增尤为明显,随之而来的便是地铁电力消耗与城市电网供电压力同步递增的现实问题。“光伏+地铁”的经营模式在北上广深试点成功很好地展示了分布式光伏发电系统应用于地铁车辆段和停车场的鲜明优势和显著效果,本文将就西安发展“光伏+地铁”经营模式的可行性进行分析探讨,以期能够为西安地铁在节能减排和多元发展方面提供理论参考。

**【关键词】**分布式光伏发电;地铁车辆段和停车场;协同发展;应用研究

截至2019年底,中国城市轨道交通已运营线路208条,线路总长度共计6730.27km(地铁5187.02km、轻轨255.40km、单轨98.50km、市域快轨715.61km、现代有轨电车405.64km、磁浮交通57.90km、APM10.20km)。据不完全统计,累计投运车站总计3982座,累计投运车辆段和停车场共计317座。城市轨道交通以其快速、大运力、动力源无污染和减少碳排放等优势飞速成为国民出行的主力交通工具,以电力能源作为动力源的城市轨道交通系统用电量也逐年上升,2019年已占到全国总用电量的2.1‰,如何降低地铁的供电能耗,成为地铁投资方和建设方亟待解决的现实问题。

## 一、分布式光伏发电的优势

分布式光伏发电遵循“因地制宜、清洁高效、分散布局”和“就近发电,就近并网,就近转换,就近利用”的原则,充分利用项目所在地大型建筑的空置屋面,不占用土地面积,最大化利用项目所在地太阳能资源,替代并减少化石能源消耗,无噪声,不会污染周边空气和水,环保效益突出。

分布式光伏发电系统相互独立,操作简单,可自行控制,启停快速,调峰性能好,可对电力质量和性能进行实时监控,避免发生大规模停电事故,安全性高非常;输配电损耗极低,能有效解决电力在升压及长途运输中的损耗问题;投资成本相对较低,投资回收期较短,土建和安装成本低,无需建配电站,降低或避免附加的输

配电成本。

## 二、并网模式选择

分布式光伏发电系统应用于地铁车辆段和停车场,主要解决其主体和附设建筑日常和检修设备用电,通常采用完全自发自用的并网模式(适用于用户侧用电负荷较大、用电负荷持续、一年中很少有停产或半停产发生的企业,或者是法定节假日及不可抗力停产期间,厂区常规用电也足以消纳分布式光伏发电系统产生的绝大部分电能)。

## 三、系统形式选择

因地铁工程建设有严格的建筑标准,车辆段和停车场属于特殊类型建筑,专用于为地铁工程服务,建筑使用性质不得改变,采用安装型分布式发电系统,光组件附着在建筑物上,主要功能是发电而不改变建筑物使用性质和功能,不破坏或削弱原有建筑物的功能。

## 四、分布式光伏发电系统应用于西安地铁车辆段可行性分析

### (一) 必备条件

#### 1. 光照条件

分布式光伏发电系统应用于地铁车辆段和停车场,为其主体和附属建筑提供可靠供电,要求其主体和附属建筑所处地理位置拥有充足的光照条件,且辐照量相对较高,年平均日照时长较长,全年可供利用的太阳能供

给时间占全年 65%~90%，季节总辐射量没有明显差异。陕西省太阳总辐射量为 4100 ~ 5600 兆焦 / 平方米 · 年，太阳能资源总储量约为  $2.71 \times 10^6$  亿千瓦时 · 年，属太阳能资源高值区。

## 2. 环境条件

分布式光伏发电系统应用于地铁车辆段和停车场，为其主体和附属建筑提供优质高效供电，要求主体和附属建筑周边环境无大型建筑等遮挡物，以期最大化利用太阳能资源，实现发电效率最大化。

车辆段和停车场选址要求地势平坦，有足够的有效利用面积及远期发展余地，故地铁车辆段和停车场周边一般为农田、底层民房、工业厂房或仓库。根据《建筑设计防火规范》(GB 50016-2014) 规定，工业厂房或仓库的建筑层数根据厂房或仓库的火灾危险性、耐火等级、防火分区面积和占地面积确定，范围在 1~6 层，低于地铁车辆段和停车场主体和附属建筑高度或持平，故周边建筑不会遮挡架设在地铁车辆段和停车场主体和附属建筑屋面的光伏板，不会影响发电效率。

## 3. 屋面条件

分布式光伏发电系统应用于地铁车辆段和停车场，要求其主体和附属建筑屋面建设面积  $\geq 30 \text{ m}^2$  (足够容纳光伏组件、支架、线缆等)，承重  $\geq 20 \text{ kg/m}^2$  (包括屋面本身的承重和自然气候荷重，如雨、雪、风压、地震力等)，屋面形式以坡屋面 (分为单面坡和双坡屋面，屋面倾斜角度在  $15^\circ$  左右) 和平屋面为最佳。

车辆段和停车场按照在运营中的任务和工艺要求，规划选址占地面积通常均在 10 万平米以上，其主体和附属主要由列车停放区、车辆清洗区、检维修车间、机车库和办公区域 (综合楼、控制中心、餐厅、培训基地) 等组成，主体和附属建筑占地面积根据车辆段和停车场实际情况不同略有差异，一般约为车辆段或停车场占地面积 50%~65%，且屋面多为平屋面，屋面实际可利用面积为主体和附属建筑占地面积的 80%~95%。

车辆段和停车场选址要求避开工程地质和水文地质不良地段，具有良好的自然排水条件，便于城市电力线路、给排水等市政管道的引入和道路的连接，故建筑发生沉降的概率极低。其主体和附属建筑地面以下以桩基、承台为主，地面以上主体为钢筋混凝土现浇框架结构，墙面为砖砌结构，屋面为预制网架钢屋面板结构。建筑承重结构和屋面结构均可分散建筑本体受力，承载能力极高，整体建筑垮塌可能性极低。

综上，地铁车辆段附属建筑屋面非常适合架设分布式光伏组件。

## (二) 应用研究

### 1. 西安地铁基本情况

截至 2020 年 12 月，西安市地铁投运线路里程长度共计 244.31 千米，在建线路里程长度 178.69 千米。据不完全统计，累计投运车辆段和停车场共计 12 座；累计在建车辆段和停车场共计 7 座。预计到 2025 年，西安地铁投运线路里程长度 423 千米，累计投运车辆段和停车场共计 19 座，均可用于建设分布式发电系统。

西安 19 座地铁车辆段和停车场主体和附属建筑屋面实际可使用面积 = 车辆段和停车场总数  $\times$  车辆段或停车场的占地面积  $\times$  车辆段或停车场主体和附属建筑占车辆段或停车场占地面积的百分比  $\times$  车辆段或停车场主体和附属建筑屋面实际使用面积占主体建筑和附属占地面积的百分比，即  $19 \text{ 座} \times 10 \text{ 万 m}^2 \times (50\% \sim 65\%) \times (80\% \sim 95\%) = (76 \sim 117.325) \text{ 万 m}^2$ 。

### 2. 设备选型

分布式光伏发电系统专用设备主要有光伏组件 (光伏电池组件、光伏方阵支架) 和逆变器，需根据实际情况选型，其他发电设备 (箱式变压器、并网逆变器、直流汇流箱、直流配电柜、交流配电柜、并网线路及开关、防雷设施、数据传输设备、电系统监控装置和环境监测装置) 可根据电站变压器等级适配。

#### (1) 光伏组件选型

西安地铁车辆段和停车场宜选用安装型分布式光伏发电系统，采用单晶硅太阳能电池组件效率更高，可根据预算选择光伏阵列安装形式 (固定式、固定可调式、水平单轴跟踪、斜单轴跟踪、双轴跟踪)，选择轴跟踪式 (可根据光照角度调节太阳能板倾角) 可提高发电效率。

#### (2) 逆变器选型

因地铁车辆段和停车场对电能质量的高标准和严要求，选用分散式逆变器为最佳，一台商用分散式逆变器通常可承载的光伏组串容量为 30~196kW 不等，优点是成本低，不受组串间模块差异和遮影的影响，系统可靠性高。

单座车辆段和停车场的分布式光伏发电系统需配分散式逆变器数量 = 需配太阳能板数量 / 单台分散式逆变器可承载光伏板数量 = (需配太阳能板数量  $\times$  单块光伏组串容量) / 单台逆变器容量。

## (三) 效益分析

### 1. 经济效益

西安 19 座地铁车辆段和停车场可用于建设分布式光伏发电系统的规模

车辆段和停车场主体和附属建筑屋面实际可使用面积(万m <sup>2</sup> )	单块单晶硅太阳能组件规格组件参数			需配太阳能板数量(万块)	总装机容量P(MW)	年发电量(万千瓦时)	年收益(万元)
	峰值功率P <sub>m</sub> (W <sub>p</sub> )	尺寸:长*宽(mm)	面积(m <sup>2</sup> )				
76-117.325	170-200	1580*808	1.28	59-92	100.3-184	9852.62-23882.56	5911.57-14329.54
	205-230	1482*992	1.47	52-80	106.6-184	10345.45-23915.06	6207.27-14349.03
	230-250	1650*992	1.64	46-72	105.8-180	11403.92-23300.06	6242.35-13980.04
	260-305	1965*992	1.94	39-60	101.4-183	9942.25-24030.29	5965.35-14418.17

注: 1. 西安19座地铁车辆段和停车场需配太阳能板数量 = 西安19座地铁车辆段和停车场主体和附属建筑实际可使用面积 / 单块单晶硅太阳能组件的面积。2. 西安19座地铁车辆段和停车场总装机容量 = 单块单晶硅太阳能组件的峰值功率 × 需配太阳能板数量。3. 年发电量 = 总装机容量 × 峰值小时数 × 系统发电效率, 峰值小时数 = 总辐照量 / 1000w / m<sup>2</sup>, 陕西总辐照量 (502-670) KJ / m<sup>2</sup>, 发电效率 ≥ 70%。4. 年收益 (按全部发自自用计) = (补贴电价 + 销售电价) × 年发电量。

从分析数据可以看出, 分布式光伏发电系统应用于西安地铁车辆段和停车场, 全部采取发自自用, 年发电量和年收益都相当可观, 对解决地铁车辆段和停车场供电、节约电价成本和缓解电网压力有极大帮助。

## 2. 环境效益

分布式光伏发电系统应用于西安19座地铁车辆段和停车场环境效益

总装机容量P(MW)	年发电量(万千瓦时)	节约标煤(吨)	减排(吨)
100.3-184	9852.62-23882.56	39410.49-95530.25	98250.34-238156.92
106.6-184	10345.45-23915.06	41381.8-95660.22	103164.83-238480.94
105.8-180	11403.92-23300.06	41615.66-93200.25	103747.85-232348.21
101.4-183	9942.25-24030.29	39768.98-96121.16	99144.07-239630.05

注: (1) 1度电消耗0.4kg标准煤, 年节约标准煤重量 = 年发电量 × 0.4。(2) 节约1KG标准煤, 可减少2.493kg二氧化碳排放, 年减排量 = 年节约标准煤重量 × 2.493。

从分析数据可以看出, 分布式光伏发电系统应用于西安地铁车辆段和停车场, 每年节约标煤和减排效益显著, 对解决西安地区减少碳排放有极大促进作用。

## 3. 综合效益

分布式光伏发电系统在25年寿命期内应用于西安19座地铁车辆段和停车场的综合效益

总发电量(万千瓦时)	年收益(万元)	总节约标煤(吨)	总减排(吨)
24631.55-597064	147789.25-358238.5	985262.25-2388256.25	2456258.5-5953923
258636.25-597876.5	155181.75-358725.75	1034545-2391505.5	2579120.75-25962023.5
285098-58250.15	156058.75-349501	1040391.5-2330006.25	2593696.25-5808705.25
248556.25-600757.25	149133.75-360454.25	994224.5-2403029	2478601.75-5990751.25

从综合效益分析数据可以看出, 分布式光伏发电系统应用于西安地铁车辆段和停车场, 可实现“光伏发电 + 交通运输 + 节能减排 + 绿色出行 + 低碳生态”的高效整合与最佳统一。

## 结语:

综上所述, 西安发展“光伏 + 地铁”的经营模式, 具备必备条件, 且综合效益可观, 具备建设条件和发展推广条件, 政府若能将西安“光伏 + 地铁”的模式规划在《西安市城市轨道交通第四期建设规划》里, 将成为西安地区“功在当代, 利在千秋”的民生工程, 必将对西安地区减少电网压力和促进节能减排作出极大贡献。

## 【参考文献】

- [1] 徐海东. 光伏发电技术在地铁车辆段中的应用研究[J]. 科技视界, 2016(007):17.
- [2] 梁茂青. 分布式控制在光伏发电技术中的应用分析[J]. 科技风, 2019(14):203.
- [3] 曹忠于, 陈伟强, 张松. 带上盖物业的地铁车辆段可再生能源太阳能光伏与建筑整体一体化研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2017(024):4318.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB504490—2009城市轨道交通建设技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑设计防火规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [7] 邱鸣. 地铁车辆段总平面布置方案设计探讨[J]. 地铁标准设计, 2015(8):178-182.