

# 轨道交通光伏的技术与应用

铃森

石家庄市轨道交通集团有限责任公司

**[摘要]**太阳能光伏发电系统(以下简称“光伏发电系统”)是利用太阳能电池直接将太阳能转换成电能的发电系统。将光伏发电系统产生的电能供给城市轨道交通车辆及其辅助设备,不仅能促进当地可再生能源的消纳,更能缓解城市轨道交通系统的供电压力,并在降低运营成本的同时促进“绿色交通”的构建,符合建立低碳交通模式的基本国策。

**[关键词]**轨道交通;光伏技术;应用

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.10.1421

## 一、城市轨道交通光伏发电系统的工程应用

目前,光伏发电系统在整个城市轨道交通供电网络的应用研究相对较少,因此,有必要对该系统的应用现状进行总结,分析将光伏发电系统接入城市轨道交通供电系统的方案及其技术问题。光伏发电系统通常以光导照明、车载光伏、光伏电站等形式接入城市轨道交通供电系统。其中,以光伏电站接入城市轨道交通系统为主流,且光伏电站通常以独立光伏发电系统、并网光伏发电系统、独立/并网光伏发电系统等3种形式接入城市轨道交通系统。

### (一)各种工程应用形式的特点

光导照明是一种无电照明系统,具有节能安全、采光面积小等特点,但受天气和位置影响较大,适用于顶层建筑、地铁上盖建筑等场所。车载光伏发电系统通常是将光伏组件铺设于车体上方,其适用于在郊区地面运行的市郊轨道交通。车载光伏发电系统可供车内照明用电或作为辅助系统的电源,但其发电面积受到车体限制。光伏电站的3种形式中,独立光伏发电系统所发电能直接给负载供电,负载与供电系统完全断开,且通常配置储能。此种形式控制策略简单,但供电可靠性较差。

独立光伏发电系统适用于负载容量较低,且供电可靠性要求较低的站内三级负荷、一般照明负荷等,其安装位置可选在城市轨道交通出入口及车辆段外需要照明的路段。并网光伏发电系统分为无逆流型和逆流型两种。前者为自发自用,即只向负载供电;后者为自发自用、余电上网,即向负载供电后剩余电能馈入电网。无逆流并网模式需添加限流器,以限制电流反向流入电网。该模式控制较简单,但对负荷匹配要求高,一般配置储能,在光伏发电容量与负荷规模相当的场所使用,如高架车站及部分规模较大的车辆段。逆流并网模式可实现富余电能上网,适用于光伏容量大、剩余电能较多的场所,如大型车辆基地。

并网光伏发电系统与城市轨道交通供电系统共同为负载供电,其可靠性较高。根据不同工况,独立/并网光伏发电系统可运行在独立和并网两种模式下。该发电系统将城市轨道交通供电系统作为光伏电源的备用,在负载进线处设置电源切换装置。在保证供电可靠性的前提下,由光伏发电系统给负载供电;当光伏发电系统电能不足时,即投入使用城市轨道交通供电系统。独立/并网光伏发电系统适用于光、储容量较小和负荷较低的场所,如高架区间、高架车站等。

### (二)工程应用现状

光导照明和车载光伏在城市轨道交通中的应用相对较少。某地铁21号线在停车场和运营指挥中心的地铁上盖,安装了光导照明系统,为运用库、地下室等场所提供照明中车正在开发搭载光伏发电系统的城市轨道交通新能源车辆,该车辆以光伏发电系统为主动电源为其提供辅助电源。介绍了一种针对直流电源车辆的光伏发电系统,采用该光伏发电系统,每辆客车可在30年内节电31.5万kWh。受城市建筑拥挤而空间受限的影响,地铁工程建设方通常利用郊外大面积的停车场、车辆段,以及沿线的高架车站等场所铺设光伏组

件,为不同等级负荷供电。

## 二、城市轨道交通光伏并网发电系统

### (一)光伏直流并网发电系统的结构及特点

将光伏发电系统直接接入城市轨道交通供电直流侧,减少了交流到直流的转换损耗。该模式具有电能质量高、谐波污染较小、不占用牵引变电站整流装置容量等优点。东日本铁路公司对比分析了将光伏接入AC6.6kV与DC1500V的功率损耗,结果显示,将光伏发电系统接入DC1500V效果更好,给出了轨道交通两种并网模式下的供电节能情况,结果证实,光伏直流并网模式下节能倍率更高。光伏直流并网发电系统需安装储能装置,对光伏进行削峰填谷,并回收再生制动能量。城市轨道交通牵引电机由于频繁启动、制动,而导致网侧电压波动大,控制策略也相对复杂。另外,由于初期需投入储能装置,造成投资成本较高。

### (二)技术难题

光伏交流并网发电系统可参考将光伏发电系统接入配电网系统及铁路交流牵引系统的情况。

#### 1.电能质量

牵引网电压在车辆频繁起停下承受着极大冲击,将光伏发电系统并入后可能造成电压、频率越限;加上光伏发电系统因不具有调压、调频能力而引起电压波动,这将加大对牵引网的控制和调度的难度。

光伏逆变器本就是一个谐波源。通过仿真分析说明了小容量光伏发电系统与交流供电系统间的谐波交互影响很小。但直流供电系统采用24脉波整流机组,会产生一系列谐波,其与光伏谐波将引发交互的问题。光伏发电系统仅输出有功功率,将其接入后无疑会对系统功率因数造成影响。若不对无功功率进行补偿,将引起功率因数下降,从而增加额外的功率因数调整电费。

#### 2.可靠性与稳定性

光伏发电系统与城市轨道交通供电负荷均具有时变性和非线性。供电系统并网后运行在双重不确定性与双重非线性状态下,加上光伏波动对牵引网暂态的影响,致使供电系统的可靠性和稳定性面临巨大挑战,因此,相关控制策略和负荷预测研究也更加复杂。城市轨道交通负荷的剧烈波动及其引发的电能质量问题,均可能导致光伏发电系统中相关设备不正常运行甚至发生脱网事故,这对光伏发电系统的高低电压穿越能力、设备过载能力要求也更加严格。

## 三、结束语

综上所述,将光伏发电技术与城市轨道交通供电系统相结合,不仅节能减排,也是降低城市轨道交通线路运营成本的需要。

### 参考文献

- [1]靳忠福.光伏发电在城市轨道交通中的应用及其关键技术[J].城市轨道交通研究,2020.
- [2]陈霞,韩春白雪,张晔,等.城市轨道交通光伏发电系统的应用现状及发展趋势[J].城市轨道交通研究,2021,24(6):6.