

城市轨道交通车辆基地光伏发电方案分析思路构建

林志立

广州地铁设计研究院股份有限公司

摘要：本文首先阐述了城市轨道交通光伏发电系统现状，并分析了光伏发电在城市轨道交通车辆基地的应用价值，然后对城市轨道交通车辆基地光伏发电方案展开深入研究，从而为轨道交通车辆基地光伏发电系统的推广和发展奠定坚实基础。

关键词：城市轨道交通；车辆基地；光伏发电；方案分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.22.011

引言

随着城市轨道交通的快速发展，其规模在不断扩大，相应的能源消耗也越来越多，现如今人们又非常重视绿色环保，因此就需要不断提升系统的节能降耗水平，针对这方面内容的研究也成为当前社会关注的焦点。太阳能光伏发电是一种绿色、环保的技术，随着科学技术的不断发展，在很多领域都得到广泛应用。对于城市轨道交通车辆基地来说，拥有面积较大的车库屋顶，可以充分应用光伏发电系统，并且具有十分广阔的发展空间和前景。因此，需要继续深入研究城市轨道交通车辆基地光伏发电系统，并制定科学合理的发电方案。

一、城市轨道交通光伏发电系统现状

维持城市轨道交通的正常运行需要消耗大量的电力资源，当前阶段包含地铁在内，我国城市轨道交通每年大约消耗103亿度电量，在全国总体耗电量中占据着较大的比例，约为1.7%。随着社会的快速发展，我国轨道交通总里程也会不断增加，2020年达到了13385 km，包含大多数城市在内，一年的电量消耗高达468亿kw，占当前阶段全年总电耗的7.7%左右，为了节省电能资源，就需要不断对发电系统进行改造和优化，为了实现这一目标，可以科学应用光伏发电方式代替以往的传统发电方式^[1]。城市轨道交通系统中包含停车场、车辆段、地面及高架车站、高架区间、地面出入口等，这些场所为光伏发电系统提供了广阔的应用空间。

二、光伏发电在车辆基地的应用价值分析

全面分析屋顶光伏电站的特点，并以此为依据制定出光伏和建筑屋顶相结合的方案，让建筑物的空间得到有效应用，从而节省了大量的土地资源，能够将城市建设和环境保护统一性呈现出来。由于光伏发电过程中不会产生废气，所以也就不会出现废气排放问题，自然环境也不会受到破坏，是一种环境友好型的发电技术。通过光伏发电产生的电能可以在城市轨道交通中直接应用，可为列车运行提供动力，还能用于照明系统。在车

辆基地中应用光伏发电，可以使外电源提供的电能消耗进一步减少，从而实现节能减排的目的。此外，应用到供电系统、升压变电、并网、和电量监控等方面还能为之后的工程提供参考。

三、光伏发电系统方案总述

在城市轨道交通供电系统中，采用的电压等级为AC 35 kV，牵引供电系统采用DC 1500V，低压动力照明系统采用AC400V / 230V。太阳能光伏组件通过汇流、逆变后可以输出AC400 V交流电。对于光伏发电系统来说，可以将发电容量作为重要参考依据，根据这个依据将接入城市轨道交通供电系统的方式确定下来，通常情况下可以采取下面两种方法：（1）在低压动力照明系统中直接接入光伏发电输出的交流电，采取400V侧并网方式，然后再与轨道交通降压变电所内的低压400V开关柜相连接^[2]。（2）光伏发电输出的交流电在升压变压器中经过，采取35kV侧并网发电方式，将两个40.5kV的开关柜设置在变电所35kV母线上，将其作为光伏系统接入目标。低压逆变系统是400V侧并网光伏发电系统的重要组成部分，35kV侧并网光伏发电系统中包含低压逆变系统和升压系统。

四、低压逆变系统设计

光伏组串、直流配电装置、交流配电装置和并网逆变装置等共同组成了低压逆变系统，每一个环节都发挥着十分重要的作用。利用光伏组串可以将太阳能成功转化为直流电，然后通过汇流、逆变转化成和电网同步的正弦交流电，并将其接到电网中。

（一）光伏阵列设计

首先，要科学合理的选择光伏组件，比较常的是单晶硅组件。其次，选择光伏阵列角，对当地的太阳辐射情况进行分析，通过分析获得精确的数据信息，并以此为依据将最大的光伏阵列倾角确定下来，与此同时还要将光伏系统和建筑结合的外观作为考虑对象，然后对安装角度进行合理调整。最后，安装光伏组件，通常情况下会在钢架上面安装光伏组件板，并对钢架采取有效固定措施，光伏组件板成排成列布置。

（二）直流配电系统设计

为了在逆变装置中科学接入直流配电系统，让故障点进一步减少，需要对车库屋顶上的光伏组件按照不同的区域进行划分，然后并联汇流接入到防雷汇流箱装置上，由于汇流输出不同，需要在变电所房间中的直流配电柜中接入，最后在逆变器装置中接入，如此一来不仅可以为维护工作提供很大便利，而且还能有效提升系

统可靠性。其中，变电所设备房间内的直流配电柜和车库屋顶上的防雷汇流箱属于直流配电装置。防雷汇流箱具备较高的防护等级，非常适合在室外运行，可以承受多种因素的影响，具有较强的防水密封性能，其组成部分有熔丝、二极管、断路器和避雷器等；断路器、避雷器、测量仪表等共同组成了直流配电柜。

（三）监控系统设计

在所有的光伏发电系统中都需要安装监控装置，并将监控系统设置到变电所控制室内，这样做的目的是对光伏发电系统的具体运行状态和工作情况进行实时监控，有利于及时发现运行过程中存在的问题。

（四）保护方案

在具体的光伏发电过程中，网侧电压信号可以通过并网逆变器进行采集，利用闭环控制让并网逆变器输出的交流电流与网侧电压之间同相位，保证功率因数能够控制在1.0左右。具体的保护措施如下：

（1）孤岛保护。在网逆变器中采取孤岛保护措施，当并网逆变器检测到不良问题之后，就可以自动退出系统；当网侧电压被重新检测到时，并网逆变器还会对电网信号进行一段时间的检测，等到完全恢复正常状态后才能正式投入并网运行。

（2）电气隔离设置。隔离变压器存在于并网逆变器装置中，通过隔离变压器能够实现有效隔离逆变器的直流输入和交流输出电气的目的^[3]。

（3）逆变器直流侧接地保护。直流侧的光伏元件为“悬浮地”，正负极和地之间相互隔离，逆变器在具体运行过程中，对直流侧正负极的对地阻抗进行实时检测，检测过程可以采用绝缘阻抗来完成。如果有事故发生，需要对负极对地的漏电流进行检测，并将对应的负极对地绝缘阻抗计算出来，利用比较器与设置的阈值作对比，并将对比结果作为及时可靠触发保护动作的判断。

（4）防雷接地保护。结合光伏组件方阵的实际高度，以及所占面积的大小，科学合理的选择直击雷的防护措施，可以和建筑已有的防雷接地网连接到一起。将并网逆变器接到光伏组件支路之前，需要设置两级避雷防护，将避雷器分别安装到防雷汇流装置、室内的直流配电装置的正负极上面，避雷器的接地端和接地网相连接。在并网逆变器交流输出侧，将避雷器安装到低压交流配电柜输出端，将此作为防雷设施。光伏发电系统的安装支架、设备基础、设备外壳等通过接地扁钢或接地电缆接至建筑专业预留的接地点，并确保接地电阻不大于1欧姆。

（五）系统运行方式

在白天时间，太阳能通过光伏元件成功转变为直流电，再通过逆变器逆变成400V交流电。到了夜晚之后，夜间光伏发电系统就会回到待机运行状态，交流电网侧向光伏发电系统充电。

五、升压系统设计

（一）升压系统接线方案

低压逆变系统可以输出400V交流电，然后经过升压变压器的升压处理后，接入到轨道交通变电所35kV母线上，通过中压环网为整条轨道交通线路的牵引和动力照明负荷供电。

（二）防逆流控制系统

为了确保轨道交通负荷可以直接消耗掉光伏发电系统所发出的电能，可以科学设置防逆流控制器。利用防逆流控制器对接入点的电压与电流进行实时检测，如果发现存在通讯故障或是其他系统故障时，防逆流控制器可以让逆变器停止运行，从而实现向市电网上送电能的目的。

（三）电力监控系统设计

利用升压系统在轨道交通供电系统内接入光伏发电量，并对光伏并网系统相关设备进行监控，此项工作由轨道交通控制中心负责。

（四）保护与计量

35kV开关柜可以实现过电流保护和零序保护的。将表计设置在35kV开关柜内，对并网点电压、电流、有功功率、功率因数、有功电度等进行测量，并将测量结果通过电力监控系统传输到轨道交通控制中心。

（五）系统运行方式

系统运行方式可以分为两个部分，一个是正常运行方式，另一个是故障运行方式。首先是正常运行方式：在白天时段，在轨道交通变电所35kV母线上接入低压逆变系统，和配电变压器共同运行。夜晚时间段，升压系统变成降压系统，由供电系统向光伏发电系统充电，光伏发电系统处于停机状态。其次是故障运行方式：如果有一台升压变压器或对应回路电缆出现了故障问题，需要及时将相应回路的断路器切除，其他回路可以正常运行。如果变电所母线或者电缆受到破坏时，需要及时将35kV母线的断路器切除，确保不会对轨道交通变电所的正常供电造成影响。

六、结语

城市轨道交通车辆基地光伏发电方案已经在某些城市得到应用，而且还获得了比较理想的节能效果。光伏发电系统对可再生的太阳能进行了充分利用，发挥出良好的节能减排作用，相关研究人员应继续进行深入研究，争取取得更好的应用效果。

参考文献

- [1] 宋昕, 何治新, 韩春白雪, 等. 城市轨道交通光伏发电系统的总体设计方案与并网模式分析[J]. 太阳能, 2020, 314(6): 24-30.
- [2] 李国胜. 城市轨道交通停车场及车辆段内的接触网道岔定位方案设计要点[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(1): 147-149.
- [3] 李森. 太阳能光伏发电系统在轨道交通中的应用研究[J]. 智能城市, 2020, 6(11): 152-153.