

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2013.02.020

# 太阳能光伏发电在城市轨道交通中的应用

周 超

(中铁二院工程集团有限责任公司 成都 610031)

**摘 要** 分析将太阳能光伏发电应用到城市轨道交通的必要性,介绍光伏发电系统的原理、组成及应用现状。结合城市轨道交通的特点,提出适合城市轨道交通的光伏发电系统方案,并指出在应用中需注意的相关问题,为太阳能光伏发电在城市轨道交通中的应用提供指导。  
**关键词** 城市轨道交通;太阳能光伏发电;光伏组件;并网光伏发电系统

**中图分类号** U231.8    **文献标志码** A  
**文章编号** 1672-6073(2013)02-0077-04

随着煤炭和石化能源的大量消耗,不可再生能源正面临着资源枯竭和环境恶化的双重压力,开发利用可再生能源是增加能源持续供给能力、改善能源结构、保障能源安全、逐步恢复自然环境的重要措施。在新型可再生能源中,太阳能以其资源丰富、没有地域界线、获取便捷等优点,成为 21 世纪人们关注的热点。目前,太阳能的利用主要是光热利用、光化学转换及光伏发电 3 种形式。由于太阳能光伏发电是以电能为最终形式,具有传输极其方便的特点,在通用性、可存储性等方面具有前两者无法替代的优势,因此它是各国竞相发展的重点。城市轨道交通是能耗大户,节能降耗是其中一项重要的任务。将光伏发电技术与城市轨道交通相结合,符合国家节能降耗的要求,也是降低城市轨道交通运营成本的需要。

## 1 太阳能光伏发电应用现状

当今世界各国(特别是发达国家)对太阳能光伏发电十分重视,针对其制定规范和政策,增加投入,大力发展。截至 2011 年,世界光伏电力装机容量累计达到 67.4 GW,其中 2011 年新增安装容量 27.7 GW,较上年末增长 70%。目前,太阳能光伏发电主要集中在日本、

欧盟和美国,其发电量约占世界光伏发电量的 80%。截至 2011 年末,我国太阳能光伏发电装机容量已达 3 GW,占世界光伏发电装机容量的 4.45%,预计在 2012 年末突破 5 GW;同时,我国是世界上最大的光伏组件生产国,2011 年的光伏组件产量达到 18.2 GW。

近年来,太阳能光伏建筑集成及并网发电得到了快速发展。建筑光伏集成具有建筑的功能,同时又可用来发电,是太阳能光伏系统与建筑的完美结合,是电力工业可持续发展的理想范例,受到国际社会的重视。并网发电技术是当今世界光伏发电的发展趋势,并网光伏发电技术是光伏技术步入大规模发电阶段而成为电力工业组成部分的重大技术步骤。与独立运行的太阳能光伏电站相比,并网不必考虑供电负载的稳定性;光伏电池可以始终运行在最大功率点,大电网可以接纳太阳能所发的全部电能,提高了太阳能发电的效率;省略了蓄电池作为储能的环节,大大降低了光伏电站的建设和运营成本。

太阳能光伏发电在国内大型交通枢纽中应用较多,如上海虹桥枢纽光伏发电装机容量达 6.57 MW、杭州东站枢纽光伏发电装机容量达 10 MW、南京南站枢纽光伏发电装机容量达 10.67 MW 等。城市轨道交通与交通枢纽建筑相比,站房空间偏小,顶棚有一定弧度,项目一般位于城市建筑群密集地方。目前,国内太阳能光伏发电系统与城市轨道交通结合还没有成熟应用的案例。

## 2 太阳能光伏发电系统组成

太阳能光伏发电是利用半导体界面的光生伏特效应而将太阳能直接转变为电能的一种技术,其关键元件是太阳能电池。太阳能光伏发电系统主要由太阳能电池方阵、蓄电池组、控制器、逆变器及相关附属设施组成,系统构成如图 1 所示。

### 2.1 太阳能电池方阵

太阳能电池方阵是由若干个太阳能电池组件或太阳能电池板构成的直流发电单元,在机械和电气上按一定方式组装在一起,并且具有固定的支撑结构。它

收稿日期:2012-06-17    修回日期:2012-08-06  
作者简介:周超,男,硕士,工程师,从事城市轨道交通供电配电设计与研究工作,zhouchao1129@163.com

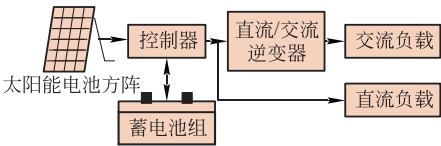


图1 太阳能光伏发电系统构成

是太阳能光伏发电系统的核心,也是价值最高的部分,其作用是将太阳辐射能量转化为电能。

2.2 蓄电池组

蓄电池组用在独立太阳能光伏发电系统中,用来储存太阳能电池方阵受光照时所发出的电能,并可随时向负载供电。并网太阳能光伏发电系统不需要蓄电池组,直接与供电网络并网供电。

2.3 控制器

光伏控制器是太阳能光伏发电系统的关键部件之一,也是平衡系统的主要组成部分,其作用是控制整个系统的工作状态。光伏控制器的功能主要有:防止蓄电池过充\过放电保护,系统短路保护、系统极性接反保护、夜间防反充保护,防雷击引起的击穿保护,温度补偿,显示光伏发电系统的各种工作状态。

2.4 逆变器

逆变器是将太阳能光伏组件所产生的直流电能转化为交流电能的转换装置,它使转换的交流电的电压、相位、频率等电气特性满足各种交流用电装置、设备供电及并网需求。

2.5 相关附属设施

附属设施包括直流配线系统、交流配线系统、运行监控和检测系统、防雷和接地系统,是太阳能光伏发电系统必不可少的组成部分。

3 城市轨道交通太阳能光伏发电系统

在城市轨道交通中,高架车站顶棚、高架区间声屏障、车辆段及停车场顶棚、办公楼及物业开发楼立面等,具备利用太阳能进行光伏发电的条件。

由于光伏组件垂直安装在高架区间声屏障上,其发电效率较低,安装区域长且面积又有限,发电点距用电设备地点远、输电损耗大,所以光伏发电系统的经济性较差;为了节约土地,车辆段及停车场的设计大多数都与物业开发相结合,安装太阳能光伏发电的技术条件不理想;办公楼及物业开发楼立面采用光电幕墙进行光伏发电,与民用建筑进行光伏发电区别不大,目前应用已很成熟。因此,下面主要以高架车站为例,介绍城市轨道交通的太阳能光伏发电系统方案。

3.1 太阳能电池选择

目前,市面上商业化的太阳能电池主要有单晶硅

太阳能电池、多晶硅太阳能电池、非晶硅太阳能电池、碲化镉电池、铜铟硒电池等,性能对比见表1。

表1 太阳能电池性能比较

种类	电池类型	商用效率/%	实验室效率/%	优点
晶硅电池	单晶硅	14 ~ 17	23	效率高,技术成熟
	多晶硅	13 ~ 15	20.3	效率高,技术成熟
薄膜电池	非晶硅	5 ~ 7	13	弱光效应好 成本相对较低
	碲化镉	5 ~ 8	15.8	弱光效应好 成本相对较低
	铜铟硒	5 ~ 8	15.3	弱光效应好 成本相对较低

薄膜电池由于转换效率低、功率衰减相对快、适用于小批量的示范项目,不适合大批量使用。晶体硅转换效率高、全球产能最大、性能最稳定、使用寿命最长、技术最成熟、应用范围最广、并网电站用量最多,适合在城市轨道交通中应用。

经过多年的发展,多晶硅与单晶硅在性能上基本相当,在城市轨道交通中选择单晶硅或多晶硅的电池都是可行的,但价格上单晶硅仍要略高于多晶硅。如果建设规模较大,为了降低建设成本,可以考虑采用多晶硅太阳能电池;对于较小的建设规模,可以考虑采用价格相对较贵的单晶硅太阳能电池。

3.2 光伏组件与高架车站顶棚结合

太阳能光伏组件与地铁高架车站顶棚相结合,有两种方案可供选择:一种是顶棚与光伏组件的结合,电池组件以支架等形式安装在顶棚之上,车站顶棚作为光伏组件的载体,起支承作用,即 BAPV 方案 (building attached photovoltaic unit);另一种是顶棚与光伏组件集成,太阳能光伏组件兼做顶棚建筑材料,光伏组件成为车站顶棚不可分割的一部分,即 BIPV 方案 (building integrated photovoltaic unit)。两种光伏组件与建筑的结合方案在国内外都有大量成熟应用的案例。

3.2.1 BAPV 方案

采用 BAPV 方案,不需要改变建筑物本身,只需将组件固定在顶棚上,即在顶棚上铺一层光伏组件。该方案适应面广,新旧屋顶均可安装,光伏组件选择的通用性强,不用特殊定制,组件可按最佳角度安装,光伏发电成本相对较低。图2为BAPV结合方案的实例。

3.2.2 BIPV 方案

BIPV 方案是将光伏组件作为一种建筑材料应用在建筑物上,是集发电、隔音、隔热、安全和装饰功能为一体的新型功能性建筑形式。BIPV 使建筑物整洁且



图2 BAPV 结合方案实例

有线条感,整体性效果更好;既增加了建筑的透光率,又有良好的遮阳效果,可以突出建筑物的美学光影关系,体现节能减排的观感效应,增强再生能源的可持续性发展。图3为BIPV结合方案的实例。

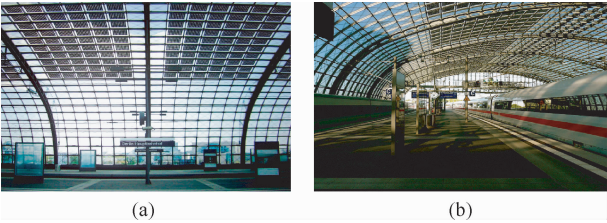


图3 BIPV 结合方案实例

地铁高架车站顶棚一般采用钢结构网架形式,顶棚设计时要综合考虑采光、遮阳、隔热等多种因素。车站顶棚通常采用金属面板,同时在顶棚上设有透明的采光带来满足车站的采光要求。因此,地铁高架车站可采用BAPV与BIPV相结合的方案。在非采光带部分的顶棚采用BAPV方案,光伏组件整体平铺于车站顶棚,组件与顶棚的倾角一致;在顶棚采光带部分采用BIPV方案,光伏组件作为顶棚材料安装于顶棚钢结构上。该方案既满足车站本身的美观性、采光性,也可达到光伏组件布置的合理性、发电的高效性、建设的经济性;同时,在站台候车的乘客也可以看到太阳能电池板,可起到良好的节能示范作用。由于太阳能电池组件吸收了太阳能辐射能量,这种结构比单纯的金属屋面有更好的隔热效果。图4为高架车站光伏组件与车站顶棚结合的效果。

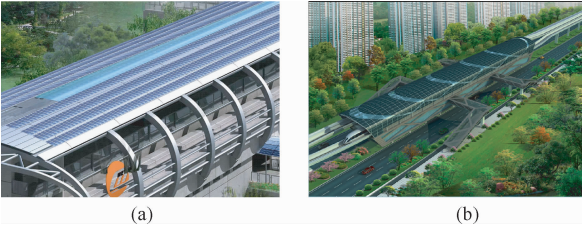


图4 高架车站光伏组件与车站顶棚结合的效果

### 3.3 太阳能光伏发电系统供电方式

光伏发电系统供电分为两类,一类是独立光伏发电系统,即在自己的闭路系统内部形成电路;另一类是并网光伏发电系统,即和公用电网通过标准接口连接,

像一个小型的发电厂。独立光伏发电系统首先把太阳辐射能量直接转化为电能供给负载,并将多余的电能以化学能的形式储存在蓄电池内。并网光伏发电系统将接收太阳辐射能量转换成直流电后,经过逆变器向电网输出与电网电压、相位、频率等电气特性一致的正弦交流电。并网发电系统较独立发电系统省掉了蓄电池,从而使发电成本大幅降低。

并网光伏发电系统有高压并网及低压并网两种方案。由于车站用电负荷较大,可供安装太阳能光伏组件的顶棚面积又有限,仅靠光伏发电不能满足所有的用电要求,此外小型光伏电站采用高压并网也不经济,故高架车站光伏发电系统宜采用低压并网方式。根据并网光伏发电系统的特点,在白天车站负荷优先使用光伏发电电能,在光伏发电量不够时,不足部分由地铁电网补给;在夜间或阴雨天光伏系统不能发电时,车站负荷由地铁电网供电。

太阳能光伏发电系统分别接入变电所低压侧两段母线上,如图5所示。通常,太阳能光伏发电系统通过两段母线给车站低压用电设备供电;当供电系统出现故障时,太阳能光伏发电系统停止供电,供电系统采取原有的保护措施。

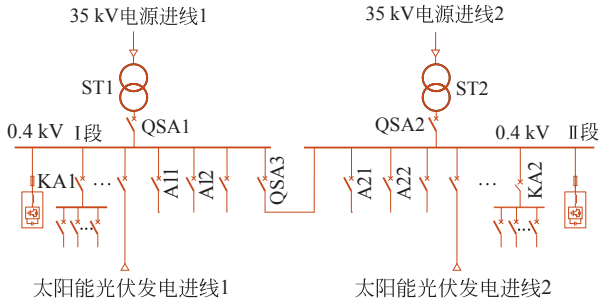


图5 车站太阳能光伏发电并网系统

在太阳辐射能量较大时,太阳能光伏发电系统的发电量可能超过车站低压侧的用电量。由于城市轨道交通对供电的可靠性要求非常高,为防止光伏系统电能向高压侧倒送,避免对高压侧保护装置造成干扰,光伏系统设置防逆流装置。在发电量超过车站低压侧用电量时,防逆流装置通过光伏控制器来减少光伏发电系统的发电量来避免电能倒送。

### 3.4 太阳能光伏发电系统防雷接地

太阳能光伏组件安装于车站顶棚上,在雷暴发生时,尤其容易受到雷击而被毁坏,并且太阳能电池组件和逆变器比较昂贵,为避免因雷击和浪涌而造成经济损失,有效的保护措施必不可少。因此,城市轨道交通太阳能光伏发电系统要与车站一起综合考虑防雷接地



设计,包括外部防雷保护和内部防雷保护。

3.4.1 外部防雷保护

光伏发电系统外部防雷的作用是为直击雷电流提供泄放通道,使雷电不会直接击中电池板,保护顶棚的太阳能电池板不被直击雷损坏。光伏发电系统与高架车站采用统一的防雷系统,利用车站顶棚的金属构件作为接闪器,选择车站墩柱的钢筋作为引下线,并在地面设置综合接地装置,接地装置的接地电阻不大于4Ω,并将顶棚金属构件与太阳能电池板金属边框进行局部等电位连接。

3.4.2 内部防雷保护

光伏发电系统的内部防雷重点是做好各种配电线路的防护,采取层层设防、逐级泄放的原则。通过在带电缆上安装浪涌保护器,减少电涌和雷电过电压对设备造成的损坏。太阳能光伏发电系统的雷电和浪涌入侵途径,除了太阳能电池方阵外,还有配电线路、接地线等。需要在逆变器的每路直流输入端装设浪涌保护装置,在并网接入控制柜中安装浪涌保护器,以防沿连接电缆侵入雷电波。另外,数据信号传输电缆的屏蔽层应具有良好的接地,各种设备、机箱外壳、金属线管等所有金属物都应做好等电位连接。

4 太阳能光伏发电系统设计应注意的问题

太阳能光伏发电系统与车站紧密结合,发电量及经济效益受多方面影响,是一个多专业的综合性学科。除上述的技术方案外,在设计时还应注意以下问题。

1) 太阳能光伏发电系统是依赖或依附于高架车站的一种新能源利用形式,其主体是车站,客体是光伏系统。因此,光伏发电系统应以不损坏和影响车站建筑整体效果、结构安全、功能及使用寿命为基本原则。

2) 太阳能光伏发电系统首先应对车站所处地的地理气候条件及太阳能资源进行评估,看其是否适合利用太阳能进行光伏发电;其次是考虑车站周边的环境条件,如被其他建筑物遮挡,也不适合利用太阳能进行光伏发电。

3) 为保证发电量,光伏组件应选择在夏至日和冬至日均可接收到太阳光的区域安装,尽量减少阴影对发电量的影响。作为一般设计原则,从上午9点至下午3点没有阴影为好。

4) 车站钢结构设计应与光伏发电系统紧密配合,结构设计应考虑组件的荷载,并与光伏发电系统协调,以此确定光伏组件的安装方式、隐蔽走线方案以及光伏组件的运输、安装、维护通道等。

5) 高架车站由于其顶棚有一定的弧度,所以太阳能电池组件一般可利用雨水自然清洁;如长时间没下

雨,需人工对组件上的灰尘或其他污物进行清洁,以保证系统的发电量。由于光伏组件安装在顶棚上,设计时应考虑清洁水源,可在车站站台两端设置清洗水源,水压要满足在顶棚上清洗的用水要求。

5 结语

太阳能光伏发电是一种洁净、可再生的新型发电形式,大规模的应用为子孙后代提供了可持续发展的空间。我国拥有丰富的太阳辐射资源,具备大规模发展光伏发电的条件。在过去十几年中,太阳能光伏发电技术取得了长足的进步,并在实践中得到了检验。城市轨道交通作为大力提倡的“节能、环保”的出行方式,其场地上的优势为太阳能光伏发电系统的应用提供了可能。将城市轨道交通与太阳能光伏发电技术相结合,既可降低城市轨道交通的运营成本,同时也在市民中起到良好的示范作用,这将是城市轨道交通发展中的一大亮点。

参考文献

[1] 李钟实. 太阳能光伏发电系统设计施工与维护[M]. 北京:人民邮电出版社,2010.  
[2] 周志敏,纪爱华. 太阳能光伏发电系统设计与应用实例[M]. 北京:电子工业出版社,2010.  
[3] JGJ 203—2010 民用建筑太阳能光伏系统应用技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.  
[4] GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2010.  
[5] 刘伟,彭冬,卜广全,等. 光伏发电接入智能配电网后的系统问题综述[J]. 电网技术,2009,33(19):1-6.  
[6] 曹涛,张蕾. 光伏建筑一体化设计探讨[J]. 智能建筑电气技术,2011,5(2):40-43.  
[7] 梅勇成,陈华晖. 独立太阳能光伏发电系统防雷技术探讨[J]. 气象科技,2009,37(6):763-766.

(编辑:郭洁)

Application of Solar Photovoltaic Power Generation in Urban Rail Transit

Zhou Chao

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031)

**Abstract:** On the basis of analyzing the necessity of applying solar photovoltaics to generate electricity for urban rail transit systems, the paper introduces the principles, composition and application of solar photovoltaics system. Considering the characteristics of urban rail transit, this paper proposes the options of solar photovoltaic technology adaptable to urban rail transit, and points out relevant issues to be addressed. This will provide effective guidance for the application of solar photovoltaic system in urban rail transit.

**Key words:** urban rail transit; solar photovoltaic; solar cell module; grid-connected solar photovoltaic system