

# 城市轨道交通车辆基地用电节能新技术的应用<sup>\*</sup>

张邦力

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043, 西安)

**摘 要** **[目的]** 车辆基地用电量占城市轨道交通总用电量的比例较大。为了降低车辆基地的用电量,需结合用电节能新技术研究其在城市轨道交通车辆基地中的应用。**[方法]** 通过分析车辆基地的功能布局和设备设施用电量,结合用电节能新技术的应用状况,对光能技术、节能灯具技术及智能照明控制技术等车辆在车辆基地中应用的可行性进行了研究,分析了太阳能加热器、光伏发电设施、管道式日光照明系统、高大厂房光源、智能照明控制系统等的节能效果及效益。**[结果及结论]** 太阳能加热器、光伏发电设施及管道式日光照明系统等用电节能新技术在车辆基地的应用中能够取得显著的节能效果;无极灯在车辆基地高大厂房的应用中具有较强优势,能避免产生大面积的光晕现象,较金卤灯年节省用电量 39.8%;智能照明控制系统可对车辆基地照明系统实现智能管理和控制,使车辆基地照明按最佳经济方式运行,较非智能照明系统可节能 10%~20%,有效降低了运营成本。

**关键词** 城市轨道交通; 车辆基地; 用电节能新技术

**中图分类号** U279.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.03.042

## Application of New Electricity Saving Technology in Urban Rail Transit Depot

ZHANG Bangli

(China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China)

**Abstract** **[Objective]** The electricity consumption in vehicle depot accounts for a large proportion of the total in urban rail transit. In order to reduce the depot electricity consumption, it is necessary to do research on the application of new electricity saving technology in vehicle depot. **[Method]** Based on the analysis of the function layout, the power consumption of equipment and facilities in vehicle depot, and in view of the application status of the new energy-saving technologies, the feasibility study is conducted on utilizing solar energy technology, energy saving light technology and intelligent lighting control technology in vehicle depot. The energy-saving effects and benefits of solar heater, photovoltaic power generation facilities, tubular solar lighting system, light source for

tall and big workshops, and intelligent lighting control system are analyzed. **[Result & Conclusion]** Utilizing new energy-saving technologies such as solar heater, photovoltaic power generation facilities and tubular solar lighting system can achieve remarkable energy-saving effects. The electrodeless lamp has strong advantages in tall and big workshop, avoiding large area halo phenomenon and saving 39.8% electricity consumption compared with the halogen lamp. Intelligent lighting control system can realize intelligent management and control of lighting system in vehicle depot and enable the lighting system in the depot to run in the best economic way, saving 10% to 20% of energy compared with the non-intelligent lighting system, and effectively reducing operation cost.

**Key words** urban rail transit; vehicle depot; new electricity-saving technology

车辆基地作为检修、整备、物资存储等的重要后勤保障基地,其用电量占城市轨道交通总用电量的比例较大。降低车辆基地用电量,提升用电节能技术水平,降低运营成本,一直是车辆基地设计者及运营者不断追求的目标。车辆基地用电包括牵引用电与非牵引用电两大部分,其中非牵引用电主要包括照明用电、检修用电、办公生活用电等。经调研,北京某车辆段 2020、2021 年非牵引用电量分别为 468 万 kWh、476 万 kWh,占该车辆段全年用电量的比例分别为 79.0%、79.1%;广州某车辆段 2020、2021 年度非牵引用电量分别为 500 万 kWh、507 万 kWh,占该车辆段全年用电量的比例分别为 80.3%、80.4%。由此可见:车辆基地非牵引用电量已占其总用电量的 80%。而车辆基地内的牵引用电,除车辆因素外,还与运营组织、检修、洗车、调车频率及车辆基地内线路长度等因素有关,因此节约牵引用电量效果不显著。

目前国内已对车辆基地建筑节能、水节能设计等进行了大量研究,但对车辆基地如何有效提升用

<sup>\*</sup> 中铁第一勘察设计院集团有限公司科研课题(院科 20-20, KY23-B026)

电节能设计研究相对缺乏,尤其在可再生能源的利用以及新节能光源和能源智能化管控等方面的设计尚处于探索阶段。

本文通过分析车辆基地功能布局、设备设施用电量,以及结合用电节能新技术的应用状况,从光能技术、节能灯具技术及智能照明控制技术等方面对车辆基地用电节能技术进行了研究与分析,可为城市轨道交通车辆基地用电节能技术研究提供思路及参考。

## 1 光能技术的应用分析

### 1.1 太阳能加热器

车辆基地制备热水主要用于检修、维修中心人员作业后的洗浴。由于车辆基地功能布置要求的特殊性及其复杂性,目前大多数车辆基地热水的获取靠电加热。虽然电加热器已采用节能技术,但由于人员使用时间的不确定性,其一直处于运行状态,不可避免地造成用电量的浪费。

根据车辆基地功能设计及人员分布情况,可将洗浴室集中设置于综合楼内,在楼顶合适位置设置太阳能加热器,以充分利用光能技术。当室外日照无法满足太阳能加热器正常产出热水时,可自动开启辅助电加热器制备热水,以保障使用需求。太阳能加热器配套设置有单向电磁阀、智能温度及液位控制器等<sup>[1]</sup>,并考虑采用防雷、防风、防雹及防震等措施。

以上海某城市轨道交通车辆段为例,对电热水器与太阳能加热器(带辅助电加热器)进行经济性对比分析,如表 1 所示。

表 1 电热水器与太阳能加热器的经济性对比  
Tab. 1 Economic comparison between electric water heater and solar heater

名称	功率/ kW	数量/ 台	运行时间/ (h/年)	用电量/ (kWh/年)
电热水器	2.4	12	1 460	29 433.6
太阳能加热器	1.5	12	1 460	10 512.0

由表 1 可见:太阳能加热器(带辅助电加热器)较电热水器每年节约用电量 18 921.6 kWh,节能率达 64.3%。

### 1.2 光伏发电设施

光伏发电技术作为新能源技术已逐渐被推广应用,但城市轨道交通自身的特点限制了此技术在

城市轨道交通中的应用<sup>[2]</sup>。车辆基地建设有大面积工业厂房,其作为大宗性用地,主要具有检修、维护等功能。经研究,在满足自然通风、采光的前提下,光伏发电设施可结合厂房屋顶进行布置,以达到节约占地面积、提升光照效果的目标。

以坐落于上海崇明岛的陈家镇停车场为例,分析了分布式光伏发电设施的设计应用。依据《上海市崇明区总体规划暨土地利用总体规划(2017—2035)》新建建筑原则不超过 18 m 的要求,该停车场周边无高大建筑物的遮挡,运用库屋顶采光较好,常年接受阳光强度大,有利于分布式光伏发电设施将太阳能转换为电能,实现可再生资源的利用,为停车场提供电力能源,降低了环境污染,响应了绿色生态建设的要求。

对陈家镇停车场运用库采光、通风天窗布置,以及分布式光伏发电设施布置进行设计。在满足运用库内自然采光、通风的前提下,经优化调整后可在其屋顶铺设分布式光伏发电设施(见图 1),其面积约为 1.2 万 m<sup>2</sup>。



图 1 运用库屋顶分布式光伏发电设施铺设效果图  
Fig. 1 Distributed photovoltaic power generation facilities on depot roof

在运用库辅助用房内设有光伏发电设备房,其面积约 100 m<sup>2</sup>。该设备房内配置有直流汇流箱、直流配电柜、逆变器及交流配电柜等,用于电能的变换、存储、控制及输配等。经逆变转换的 AC 380 V 可接至跟随所(配电间)低压柜,用于车辆基地内综合楼、辅助用房、路灯等照明设施用电。

陈家镇停车场所采用的分布式光伏发电设施光电转化率为 13%~15%,计算所得设计的光伏发电站实际发电效率约为 65%,最大装机量为 1.5 MW,发电量约为 100 万~110 万 kWh/年,节省电费约为 80 万元/年。

### 1.3 管道式日光照明系统

随着土地资源日益紧张,城市轨道交通车辆基地进行物业开发或全地下建设成为了今后的设计

趋势,同时自然采光效果差成为其不可避免的问题。为满足运营、生产、管理的照度要求,需设置大量照明灯具,且停车列检库、咽喉区、道路等照明时间达 24 h/d,用电量较大。

对于上盖物业或全地下车辆基地而言,可结合上盖物业进行开发布置及景观设计,白天将自然光线引入盖下,增加自然光的照明<sup>[3]</sup>,以节约大量电能,降低运营成本,提升绿色生态设计水平。对某上盖物业开发为绿地的城市轨道交通停车场,进行了库内采用管道式日光照明系统的设计研究,即通过室外采光装置收集自然光,并将其导入系统内部,经导光管传导后,至系统末端的漫射装置,将自然光均匀散发到室内,其日光照明效果如图 2 所示。



图2 运用库内日光照明效果

Fig. 2 Solar lighting effect inside the depot

综合考虑上盖物业的道路布置、楼宇布置,以及盖下设备管线布置等因素,在运用库及检修库内分别布置了 56 套管道式日光照明系统。经计算,在可利用日光的条件下库内照度可达 80 lx。车辆检修时可通过开启部分灯具来补强照度,使之达到设计标准要求;其余时间的照明需通过库内灯具来解决。

据气象部门的数据,崇明岛年日照时长约为 2 928 h,按 80% 的利用率计算,日光照明系统的使用时长约为 2 342 h/年,则该基地全年可节约用电量约 31.8 万 kWh,节省电费约 25.4 万元。

## 2 节能灯具技术的应用分析

车辆基地高大生产车间内照明灯具品质的优劣,对检修或物资管理等人员的使用至关重要。根据分析研究,这些高大厂房可选用的光源主要有金卤灯、LED 灯及无极灯等。

### 2.1 金卤灯性能分析

1) 光衰:金卤灯光衰较大,使用 7 000 h 后,其

光通量维持率约为 50%<sup>[4]</sup>。

2) 寿命:金卤灯寿命为 0.6 万~2.0 万 h。

3) 启动时间:金卤灯达到 100% 发光强度需 5~15 min,电源中断恢复供电后,光源需冷却 5~15 min 才能再次点亮。

4) 显色指数:金卤灯显色指数为 0~70,处于良好级。

5) 频闪:金卤灯有频闪,易使人视觉疲劳。

6) 节能性能:较差。

### 2.2 LED 灯性能分析

1) 光衰:LED(发光二极管)灯光衰较低,使用 7 万 h 后,其光通量维持率约为 50%<sup>[5]</sup>。

2) 寿命:LED 灯寿命为 5 万~10 万 h。

3) 启动时间:LED 灯达到 100% 发光强度需要约 1 min,电源中断恢复供电后,无需等待即可重新点亮。

4) 显色指数:LED 灯显色指数约为 70,处于良好等级。

5) 频闪:LED 灯有频闪,易使人视觉疲劳。

6) 节能性能:优越。

### 2.3 无极灯性能分析

1) 光衰:无极灯光衰很低,使用 6 万 h 后,其光通量维持率仍可保持在 70% 以上<sup>[6]</sup>。

2) 寿命:无极灯光源寿命极长,理论可达 10 万 h,实际使用寿命 >6 万 h。

3) 启动时间:无极灯达到 100% 发光强度约 1 min,电源中断恢复供电后,无需等待即可重新点亮。

4) 显色指数:无极灯显色指数 >80,处于优级。

5) 频闪:无极灯无频闪,人视觉不会产生疲劳。

6) 节能性能:优越。

由上可知,无极灯较金卤灯具有较大优势,虽与 LED 灯性能相近,但其光衰很慢且无频闪等特性,使其在车辆基地高大厂房中应用具有一定优势。

### 2.4 照度及均匀性分析

以广州地铁 21 号线(以下简称“21 号线”)设置上有盖物业的镇龙车辆段运用库为例,分别对其采用金卤灯与无极灯进行了照度及其均匀性分析。试验条件:①灯具使用环境相同,均为运用库;②运用库照度不低于 100 lx;③两种灯具数量和布置间距相同;④安装高度均为 5.4 m。基于上述试验条件进行了照度及其均匀性模拟分析。两种灯具的伪色表现模拟图如图 3 所示。



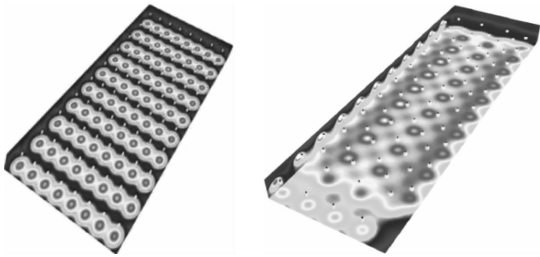


图 3 两种灯具的伪色表现模拟图

Fig. 3 Pseudo-color performance simulation of two types of lamps

由图 3 可知:金卤灯光线扩散程度较低,光衰减较快,照度均匀性较差,会出现光晕,易使人员产生视觉疲劳感。而无极灯照度均匀性较好,且能避免产生大面积的光晕现象。经测量,采用无极灯时,库内地面平均照度较金卤灯高出约 25 lx,在满足照度标准的前提下,可减少无极灯数量,节约工程投资。综上,无极灯在高大厂房内应用具有较大的优越性。

2.5 经济性分析

镇龙车辆段运用库、检修库、调机库、工程车库及物资库均位于盖下,自然采光较差。在满足各库房照度及使用功能要求的前提下,对各库房分别采用相同数量的金卤灯与无极灯进行了用电量对比分析。金卤灯与无极灯用电量对比,如表 2 所示。

表 2 金卤灯与无极灯用电量对比					
Tab. 2 Comparison of electricity consumption of metal halide lamp and electrodeless lamp					
使用区域	金卤灯		无极灯		使用时长/(h/d)
	功率/W	数量/套	功率/W	数量/套	
运用库	250	543	150	543	24
检修库	250	175	150	175	12
调机库	150	21	100	21	12
工程车库	150	15	100	15	12
物资库	150	80	100	80	9

经计算,镇龙车辆段各库房采用无极灯较金卤灯每年节约用电量为 54.3 万 kWh,节省电费约 43.4 万元/年,较大程度节约了运营成本。

3 智能照明控制技术的应用分析

镇龙车辆基地占地面积和建筑面积较大,灯具布置数量较多,尤其上盖物业开发使得车辆基地灯具数量增加,照明时间加长,如不能有效管理,则会带来较为严重的用电量浪费<sup>[7]</sup>。经研究分析,该车辆基地可采用智能照明控制系统来实现对灯具的智能管理,到达高效节能的目的。

镇龙车辆基地智能照明控制系统主要由照明总配电箱内的模块、网关及面板、彩色触摸屏、通信网络及应用软件等组成<sup>[8]</sup>。该系统组成及控制示意图如图 4 所示。

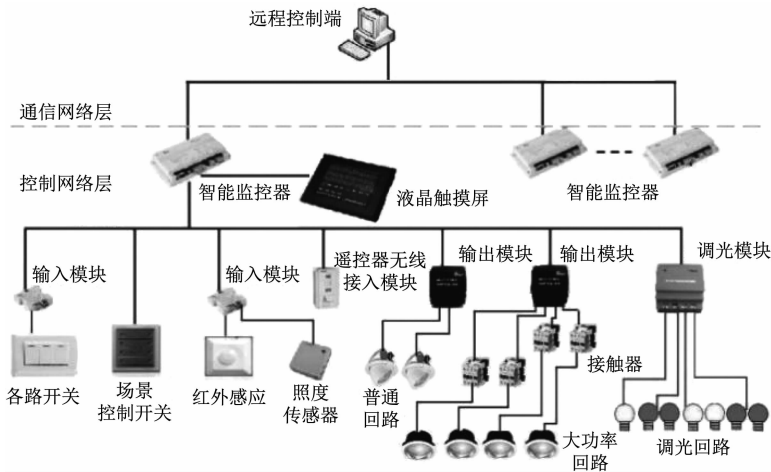


图 4 镇龙车辆基地智能照明控制系统组成及控制示意图

Fig. 4 Schematic diagram of intelligent lighting control system composition and control in Zhenlong Vehicle base

图 4 中,室内智能照明模块设置在相应区域的照明配电室内,室外照明智能模块设置在门卫照明配电室,远程控制器与智能照明模块间通过网关和

总线电缆进行通信,同时预留 BAS(环境与设备监控系统)通信接口,将远程控制终端设置在 DCC(车辆基地调度中心)内。车辆基地智能照明控制系统

具有各照明回路分合控制功能,以及具有时间、模式、群组等预设场景模式自动控制功能,可根据运营需求对所控区域的灯光预先设定全开/闭、部分开/闭、区域开/闭、照度控制等多场景。

镇龙车辆基地智能照明控制系统可与管道式日光照明技术相结合,通过照度传感器及红外感应来检测、感知库内某区域照度是否达标,并通过照度智能监控器来控制调节调光模块,补强或减弱灯具的亮度。通常可按设定好的场景控制方式自动打开、关闭相应区域的灯具,实现对库内外照明灯具的智能控制和管理。

采用智能照明系统,可使镇龙车辆基地内智能照明控制系统按最佳的经济方式来运行,最大限度地实现用电节能,与非智能照明系统相比,可实现10%~20%的照明节能,经济效益显著。

### 4 结语

1) 对上海镇龙车辆段热水制备分别采用太阳能加热器(带辅助电加热器)及电热水器的应用对比得出,太阳能加热器(带辅助电加热器)较电热水器节约用电量18 921.6 kWh/年,节约率达64.3%,节能效益显著。

2) 对陈家镇停车场运用库屋顶采用的分布式光伏发电设施进行了分析,其最大装机量为1.5 MW,发电量为100万~110万kWh/年,节省电费约80万元/年,提升了绿色生态设计水平。

3) 对设置有上盖物业的停车场采用管道式日光照明系统的可行性进行研究,实现了将自然光线引入盖下厂房内。经分析得出该停车场节约用电量约31.8万kWh/年,节省电费约25.4万元/年,取得了较好技术和经济效益。

4) 通过与金卤灯、LED灯对比得出,无极灯在性能、照度、均匀性、伪色表现等方面优势较强。以21号线设置有上盖物业的镇龙车辆段为例,计算得出采用无极灯较金卤灯可节约用电量为54.3万kWh/年,节约率为39.8%,节省电费约43.4万元/年,较大程度节约了运营成本,提升了节能设计水平。

5) 研究了车辆基地智能照明控制系统的组成,实现了对库内外不同区域照明的管理和控制,可与管道式日光照明技术相结合,实现自动检测并调节区域照度,提升高效照明,实现有效节能。

### 参考文献

[1] 闵行博,王雯翥,陈晨,等. 太阳能热水系统性能指标检测分析研究[J]. 建筑节能(中英文), 2021, 49(4): 111.  
MIN Xingbo, WANG Wenfei, CHEN Chen, et al. Analysis and research on performance index of solar water heating system[J]. Building Energy Efficiency, 2021, 49(4): 111.

[2] 郑林涛,李晓歌,白雪,等. 光伏发电系统在地铁高架车站的应用研究[J]. 建筑科学, 2019, 35(8): 131.  
ZHENG Lintao, LI Xiaoge, BAI Xue, et al. Application of photovoltaic power generation system in elevated subway station[J]. Building Science, 2019, 35(8): 131.

[3] 路建岭,麦粤帮. 广州市某办公建筑地下车库光导照明改造工程浅析[J]. 建筑节能, 2018, 46(4): 117.  
LU Jianling, MAI Yuebang. Retrofitting Project of light-guide lighting for underground garage of an office building in Guangzhou[J]. Building Energy Efficiency, 2018, 46(4): 117.

[4] 周锋凯. 无锡地铁库房使用金卤灯和LED灯优劣分析及研究[J]. 大众科技, 2021, 23(3): 40.  
ZHOU Fengkai. Analysis and research on advantages and disadvantages of metal halide lamp and LED used in Wuxi metro warehouse[J]. Popular Science & Technology, 2021, 23(3): 40.

[5] 沈瑞田,余玉梅. LED综合节能照明装置在地铁工程中的应用[J]. 都市快轨交通, 2012, 25(2): 87.  
SHEN Ruitian, YU Yumei. Application of comprehensive energy-saving LED lighting in metro[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2012, 25(2): 87.

[6] 肖至峰. 高大车间照明无极荧光灯的选择分析[J]. 现代建筑电气, 2014, 5(8): 59.  
XIAO Zhifeng. Analysis of induction lamp selection in high workshop lighting[J]. Modern Architecture Electric, 2014, 5(8): 59.

[7] 宋新启. 基于智能低压配电系统的地铁配电电能管理系统[J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(12): 114.  
SONG Xinqi. Electric energy management system based on intelligent distribution[J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(12): 114.

[8] 孙建新. 城市轨道交通低压配电系统智能化管控终端设计[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(5): 40.  
SUN Jianxin. Design of low voltage power distribution system for urban mass transit intelligent terminal device[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(5): 40.

· 收稿日期:2021-09-15 修回日期:2022-01-27 出版日期:2024-03-10  
Received:2021-09-15 Revised:2022-01-27 Published:2024-03-10  
· 作者:张邦力,高级工程师,396564052@qq.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license