

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2019.06.012

城市轨道交通全直流照明系统设计探讨

王德发, 秦岭

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要: 针对目前 LED 照明灯具内置整流器存在效率低、谐波含量高、电解电容容易损坏的缺点, 讨论在城市轨道交通中使用全直流照明系统的可行性。结合城市轨道交通的特点, 直流照明系统的电压建议为 220 V, 通过验算末端电压损失, 证明更低电压虽然安全性更好, 但难以满足轨道交通的实际需求。有两种可行的整流方案, 一种是在变电所集中整流, 另一种是分散整流, 对这两种方案的用房和造价进行对比分析, 研究认为基于当前的现状考虑, 配电室及应急照明电源室分散整流方案是一种比较好的过渡方案, 此方案被接受后, 再过渡到变电所内集中整流方案。

关键词: 城市轨道交通; 直流照明; LED 光源; 直流电压

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2019)06-0063-04

Full DC Lighting System for Urban Rail Transit

WANG Defa, QIN Ling

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063)

Abstract: To address the disadvantages of low efficiency, high harmonic content, and weakness of electrolytic capacitor of built-in rectifiers in LED lighting fixtures, the feasibility of using a full DC lighting system in urban rail transits is discussed. Based on the characteristics of urban rail transit, the voltage of DC lighting system is taken as 220 V. By checking the voltage loss at the end of the system, it is proved that the lower voltage is safer; however, it is difficult to meet the actual needs of rail transit. There are two feasible rectification schemes: centralized rectification in substations, and decentralized rectification. According to the comparative analysis, the decentralized rectification scheme of distribution room and emergency lighting power supply room is shown to be a better transition scheme, which is accepted and then transitioned to the centralized rectification scheme in substations.

Keywords: urban rail transit; DC lighting system; LED light source; DC voltage

LED 光源为第 4 代光源, 具有低功耗、寿命长、环保且适应性强的特点。随着 LED 灯具全寿命周期综合成本的下降, LED 光源正逐步取代传统荧光灯成为主流照明光源, 越来越多的场合开始使用 LED 光源, 尤其是需要长时间点亮的公共照明, 如轨道交通、购

物商场、办公大楼等。据不完全统计, 近 3 年新开工的城市轨道交通项目中, 80% 以上的照明光源均选择 LED 光源, 其中公共区和区间照明, 100% 采用 LED 光源, 超过 50% 的设备区照明也采用 LED 光源, 广告照明和导向照明也基本是采用 LED 光源。

LED 光源是典型的直流负载, 在目前广泛使用的 LED 照明灯中均内置一个 AC-DC 变换电路, 将输入的交流电变换成直流电以驱动 LED 发光。但这种将 220 V 交流电降压整流的变换电路具有效率低、谐波含量高、电解电容容易损坏的缺点。如照明系统采用直

收稿日期: 2019-04-02 修回日期: 2019-05-20

第一作者: 王德发, 男, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事低压配电、FAS、BAS、ACS 的设计与研究, 94391813@qq.com

流供电,灯具外置(或内置)一个DC-DC降压变换电路,则不仅可以避免上述缺点,而且可以简化配电线路、降低灯具损耗、提高用电安全性、提高电能质量。目前在民用建筑^[1]和路灯照明^[2]等行业已经开始尝试使用全直流照明系统,笔者将探讨在城市轨道交通中使用全直流照明系统的可行性。

1 照明系统采用直流供电的优势

直流供电方式已经在通信系统^[3]、电动汽车和混合动力汽车^[4]、船用供电系统^[5-6]、列车牵引系统和高压直流输电系统^[7]中得到成功应用,照明系统如采用低压直流(low voltage direct current, LVDC)系统供电系,则具有以下优势:

1) 将整流单元集中放置在配电室或变电所内,则可以使用三相全波整流,相对于灯具内置的单相整流电路,三相全波整流电路可以极大地提高电路变换的效率,同时降低谐波含量,且电压更稳定,避免灯具频闪,光线质量好,更健康。

2) 整流单元集中设置后,可以采用模块化的方案,并冗余配置,便于照明配电箱(柜)标准化,同时提高系统的可靠性和维修便利性。

3) 直流配电不存在相序问题,且只需两芯线^[8],配电线路得到简化,末端配电的投资也节省了。

4) 由于灯具内少了AC-DC整流模块,电解电容容易损坏的问题得到解决,使得灯具寿命变长,维护工作量减少。

5) 直流配电没有线路电抗损耗,也不传输无功功率,因此损耗较交流配电系统小,同样的电压、同功率的负载、相同的电线截面,采用直流配电则压降更小、配电距离更长。

6) 人体对直流电流的耐受能力远超交流电流。直流电流没有确切的摆脱阈,即被直流电电击时易于摆脱;直流电流与其能诱发相同心室纤维性颤动概率的等效交流电流的有效值之比为 $3.75^{[9-10]}$ 。因此,实际应用中直流发生的事故比相同有效值的交流事故要少得多,可见采用直流供电,在安全性能上具有十分明显的优势。在规范(GB16895.21—2011/IEC 60364-4-41:2005)《低压电气装置 第4-41部分:安全防护 电击防护》中将直流电压不超过120 V定义为特低电压,而交流特低电压为不超过50 V。

7) 直流配电控制灵活,可实现载波控制,两芯线即可实现供电,又可实现信号传输,有利于智能化控

制。目前灯具采用交流供电,如要实现各灯具独立调节亮度,需要单独敷设控制线缆。

2 直流照明系统的电压选择

2.1 直流照明配电的电压选择原则

在城市轨道交通中引入直流照明配电系统,目的是提高电能质量、减少电能损耗、提高照明配电的安全性。照明配电电压的选择应主要考虑以下因素:①要综合考虑供电的安全性、经济性和可靠性;②供电容量及供电半径满足城市轨道交通的实际需求;③电压尽量在国家标准GB/T 156—2007《标准电压》中选取;④电压的选择应兼顾到用电设备关键元器件的生产制造和选型。

2.2 直流照明配电的电压确定

从上述电压选择原则上看,部分原则之间是相互矛盾的。从经济性来讲,电压高更经济;但从人体安全和设备安全来讲,电压越低越好,原则上不宜超过400 V^[11],最好是小于120 V的特低电压,但太低的电压,压降和损耗较大,供电容量和供电半径受到限制。

国家标准GB/T 156—2017《标准电压》中,小于750 V的直流电压优选值有400 V、220 V、110 V等多种。其中,400 V比当前的交流配电电压有效值高近一倍,采用此电压配电,压降和损耗会非常小,但是此电压等级的设备和关键元器件未普及,性价比较低,且缺乏必要的运行经验和技术标准;220 V与当前的交流配电电压有效值相同,因直流配电不传输无功,也没有电抗损耗,因此取代现有的交流配电系统,其损耗和压降更小,是可以满足实际需要的;110 V为规范中规定的特低电压,其安全性比较好,不需要间接电击防护措施,可使系统更简单,但是否能满足轨道交通中照明配电的供电容量和供电半径要求还需要进行以下计算。

考虑到城市轨道交通的实际情况,一般站内照明配电的距离在300 m以内,区间照明配电的距离在1500 m以内,以上距离为照明配电箱至回路最末端的灯具距离,如果超过上述距离,一般站内会增设配电室,区间则需要增设区间风机房。下面分别计算这两种情况下的电压损失。

1) 站内照明配电距离300 m,回路容量1 kW时。按灯具全部集中在回路末端考虑,当采用常用的 2.5 mm^2 电线时,末端的电压损失为33.8%,不满足规范中关于灯具末端电压损失的要求^[12],如要将末端电压损失

控制在 10% 以内, 需选用 10 mm^2 的电线, 如此粗的电线, 不仅会增加成本, 施工和接线也都不太方便。

2) 区间照明配电距离为 $1\ 500\text{ m}$ 时。区间照明采用 LED 灯具时, 一般灯具安装间距为 10 m 左右, 整灯功率通常不大于 18 W (实际使用中, 目前多数项目整灯功率不超过 15 W)。目前区间照明在采用交流供电时单个隧道一般分为 3 个回路, 按此条件如采用直流配电, 每个回路的功率为 900 W , 考虑灯具在回路中均匀布置, 当采用常用的 10 mm^2 电线时, 回路末端的电压损失为 19.2% , 同样不满足规范中关于灯具末端电压损失的要求^[12], 如要将末端电压损失控制在 10% 以内, 需选用 25 mm^2 的电线。

由以上的计算可见, DC 110 V 或以下的电压, 是难以满足城市轨道交通中的照明要求的。

DC 220 V 作为控制和动力电源在大中型发电厂、变电站内被广泛使用^[13], 相关的断路器、接触器等关键元器件技术成熟、性能良好、价格适中。

由以上分析可知, 城市轨道交通中直流照明系统电压采用 220 V 是可行的。

3 系统设计方案

城市轨道交通采用全直流照明系统, 有两种可行的方案, 一种是在变电所内集中整流, 整流可以采用模块化的方案, 然后将直流电引入配电室及应急照明电源室, 在配电室及应急照明电源室内实现电能的分配和控制; 另一种是分散整流, 不改变变电所内的设备结构, 从变电所引入交流电至配电室及应急照明电源室, 在配电室和应急照明电源室内实现集中整流、电能分配和控制。

3.1 变电所集中整流方案

目前城市轨道交通的变电所设计中, 一般是将每段母线照明负荷单独集中到一面柜子里(除广告照明, 因广告照明是三级负荷), 此时可每段母线增加一面整流柜。整流装置可采用模块式设计, 以提高设备的可靠性和可维护性, 将交流电整流成直流之后分配到各配电室。

广告照明在三级负荷配电柜内设置整流模块, 整流之后分配至各配电室。

各照明配电室内基本不变, 各照明配电箱内输入直流电源, 箱内断路器和接触器等元器件改为直流元器件, 重新分配后配电至各灯具, 输入输出均采用两芯线或两芯电缆。

应急照明方面, 根据已执行的(GB51309—2018)《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》要求, 设置在距地面 8 m 及以下的灯具需采用工作电压不大于 DC 36 V 的 A 型灯具。城市轨道交通除停车场、车辆段的局部区域外, 其他区域的灯具安装高度几乎都小于 8 m , 因此必须选用工作电压不大于 DC 36 V 的灯具。对于停车场、车辆段的局部区域灯具安装高度超过 8 m 的, 可以选用 DC 220 V (或 DC 216 V) 的灯具。末端灯具由集中电源或应急照明配电箱完成电压转换并供电, 集中电源或应急照明配电箱的电源引自所在防火分区的消防电源双切箱。

变电所内集中整流架构如图 1 所示。

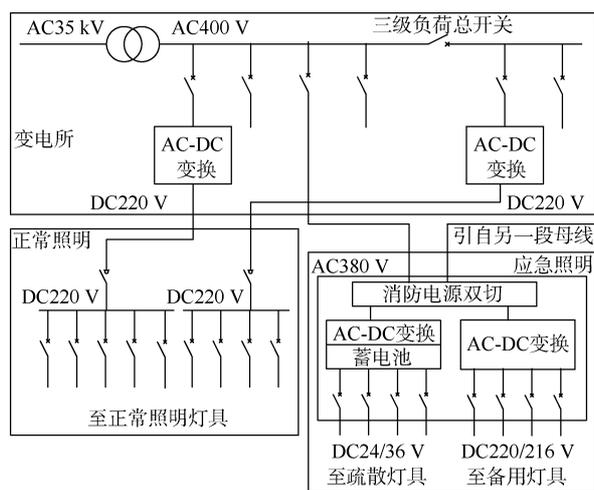


图 1 变电所集中整流架构

Fig. 1 Framework of centralized rectifier in substation

此方案整流装置放置在变电所内, 对变电所有一定影响, 各配电室无明显变化(电源由交流变成直流, 内部元器件、电缆等还是有不小的变化), 同时方便在变电所内进行集中谐波治理。

3.2 分散整流方案

分散整流即将交流电源引至配电室, 整流成直流后重新分配至各灯具。

各照明配电箱内均设置整流装置, 为提高设备的可靠性和可维护性, 整流装置可以采用模块化的方案, 应急照明的方案同集中整流。分散整流架构如图 2 所示。

此方案对变电所无影响, 整流设备均设置于配电室和应急照明电源室, 照明配电箱因增加了整流装置, 体积变大, 需增加相应房间的面积, 并增加通风或降温措施。

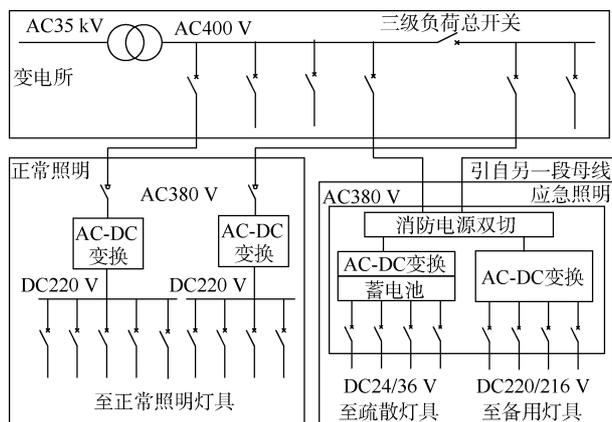


图2 分散整流架构

Fig. 2 Decentralized rectifier architecture

3.3 两种方案的选择

以上两种方案均是可行的方案,从系统的角度看,变电所内集中整流系统比较简单,造价也相对低廉,但要从目前的交流供电直接过渡到变电所内集中整流的直流供电方案,则实施难度较大,且实施过程存在一定的不确定性,实施中如出现问题,可能对其他设备的供电产生影响,业主方还难以接受此方案。因此,分散整流方案是一种比较好的过渡方案,此方案被业主接受后,再过渡到变电所内集中整流方案。

4 车站用房调整情况

1) 采用变电所内集中整流方案,此时变电所增加整流装置,设备略有增加,但考虑到目前城市轨道交通中变电所设计时一般都留有余量,增加两面整流柜几乎不增加变电所的面积。

2) 分散整流方案,此时原挂墙的照明配电箱因增加了整流模块,需要做成落地柜,设备体积的增加会略微增加照明配电室的面积。

由以上分析可知,城市轨道交通采用全直流照明系统方案后,设备用房变化不大,对土建基本不构成影响。

5 造价分析

1) 采用变电所内集中整流方案,一、二级负荷母线各增加一面整流柜,考虑到整流模块的冗余配置,内部整流模块按用三备一或用四备一计算(模块功率约 25 kW),需增加费用约 25 万元;两段三级负荷母线增加整流器(用于广告照明),整流模块按用二备一考虑(模块功率约 25 kW),需增加费用约 15 万元;减少电线电缆的费用在 5 万元左右;备用照明增加整流模块费用约 5 万元;其他费用基本持平,实际增加费

用约 40 万元。

2) 分散整流方案,每站共有 12 个配电箱需内置整流器,每个配电箱内整流模块按用四备一考虑(模块功率约 3 kW),预计增加 3 万元,减少电线电缆的费用在 5 万元左右,备用照明增加整流模块,费用约 5 万元,实际增加费用约为 36 万元。

由以上分析可知,采用直流照明供电后,车站照明系统的造价增加了 40 万左右,对于车站低压配电超过 1 000 万的投资来讲,增加的费用不到 4%,是完全可以接受的,且随着技术的发展和整流设备的大规模使用,相应的价格会进一步降低。

6 结语

LED 光源的长寿命和低功耗特性,使其在城市轨道交通中的应用日益广泛,目前的 AC 220 V 供电技术成熟,但存在供电效率低、谐波含量大的缺点,在整个车站均使用 LED 光源的前提下,采用 DC 220 V 供电,可有效解决 AC 220 V 供电存在的问题,同时还可以提高安全性。因直流供电只需要两芯线,使得整个系统的造价增加不多。

采用 DC 220 V 供电是笔者的设想,在通信及其他行业还有 DC 240 V(DC 250 V)、DC 326 V、DC 380 V 等电压等级,部分文献还提出 ± 110 V、 ± 220 V 等双极供电方式,这些电压等级在一定条件下也可以被采纳。

目前直流照明系统才刚刚起步,少量的项目在尝试,需要慢慢积累运行经验和完善技术标准,在使用过程中还存在一定的问题需要解决,如接地、保护等,这些问题留待后续进一步研究。

参考文献

- [1] 李忠, 严建海, 王福林, 等. 楼宇低压直流配电系统示范应用[J]. 供用电, 2018, 35(6): 33-40.
LI Zhong, YAN Jianhai, WANG Fulin, et al. Demonstration and application of building LVDC distribution[J]. Distribution & utilization, 2018, 35(6): 33-40.
- [2] 李建山, 刘海浪. 高压直流集中供电调光系统为道路照明带来新的方向[C]//2016 年中国照明论坛: 半导体照明创新应用暨智慧照明发展论坛论文集. 济南, 2016.
- [3] 赵莉华, 牛纯春, 雷晶晶, 等. 照明设备的谐波问题及抑制措施[J]. 电测与仪表, 2016, 53(8): 95-101.
ZHAO Lihua, NIU Chunchun, LEI Jingjing, et al. Harmonic problems of lighting equipment and its suppression measures[J]. Electrical measurement & instrumentation, 2016, 53(8): 95-101.

(下转第 79 页)