

基于直流远供技术的市域快线 LTE 远端设备供电方案研究^{*}

景龙刚¹ 宋 爽²

(1. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州; 2. 惠州工程职业学院, 516023, 惠州)

摘 要 [目的] 针对市域快线长大区间设备供电需求, 传统城市轨道交通区间的 WLAN(无线局域网)、TD-LTE(分时长期演进)远端设备的点对点、交叉冗余供电方式, 存在线缆浪费、电力资源损耗、冗余度低等问题。[方法] 尝试提出运用直流远供技术解决电力资源远距离输送, 进而优化长大区间远端设备供电方案。[结果及结论] 直流远供技术可以满足市域快线长大区间供电需求, 单点故障不会造成无线通信中断, 可进一步提升供电系统冗余度、可靠性。设备配备的监控子系统, 可同步纳入信号微机监测系统, 以实现供电系统闭环管理。

关键词 城市轨道交通; 市域快线; 长大区间; 分时长期演进; 直流远供; 冗余度; 可靠性

中图分类号 U239.58

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.09.029

Research on the Power Supply Scheme for LTE Remote Equipment on Urban Rapid Tran- sit Lines Based on DC Remote Power Supply Technology

JING Longgang¹, SONG Shuang²

(1. Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China; 2. Huizhou Engineering Vocational College, 516023, Huizhou, China)

Abstract [Objective] With regard to the equipment power supply demand for long-distance section of urban rapid transit lines, the traditional point-to-point and cross-redundant power supply method for remote equipment in urban rail transit sections with WLAN (wireless local area network) and TD-LTE (time division long term evolution) exhibits various defects such as cable waste, power resource wastage, and low redundancy. [Method] A resolution of using DC remote power supply technology for the long-distance power resource transmission is put up, thereby optimizing the power supply scheme for the remote equipment in long-distance sections. [Result & Conclusion] The DC remote power supply technology can

meet the power supply demand for long distance section of urban rapid transit lines, and a single point failure will not cause interruption of wireless communication, thus further improve the redundancy and reliability of the power supply system. The monitoring subsystem installed in the equipment can be synchronously integrated into the signal microcomputer monitoring system to realize the closed-loop management of the power supply system.

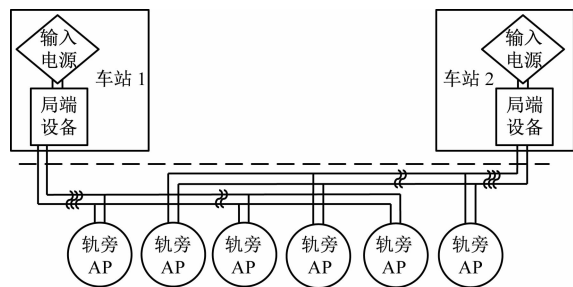
Key words urban rail transit; urban rapid transit line; long-distance section; TD-LTE; DC remote power supply; redundancy; reliability

随着市域快线的快速发展, 伴随线路特征的长大区间将频繁出现。市域快线因区间负荷远离车站供电点, 随着用电负荷加大及距离的延长, 对区间通信、信号专业远端设备供电带来极大挑战。目前, 国内信号系统基本选用 CBTC, 无线通信质量的好坏将直接决定信号系统的可靠性、可用性指标^[1-2]。但传统城市轨道交通基本采用点对点的直接供电方式, 即从电源屏模块端子直接到远端设备。随着距离的增长, 常规导线的线损将逐渐加大, 其导致的压降难以保证设备正常运行; 而另一方面考虑区间安全及经济问题, 又不能无限制地加大线径。本文依托广州某线路, 研究论证直流远供技术在市域快线工程应用的可行性, 克服市域快线长大区间电缆远距离、高损耗、无冗余可靠等不利因素, 以解决长大区间轨旁远端设备供电难题。图 1 为该线基于 WLAN(无线局域网)技术的无线通信系统轨旁 AP(无线接入点)供电拓扑图。

1 直流远供技术

直流远供电源系统通过利用 PWM(脉冲宽度

^{*} 广州地铁设计研究院股份有限公司研究课题(KY-2018-102)



注: 代表2根电源线; 代表3根电源线; 余类推(下同)。

图1 基于WLAN技术的无线通信轨旁AP供电拓扑图

Fig. 1 Power supply topology of wireless communication trackside AP based on WLAN technology

调制)技术实现直流电能的远距离传送,由局端设

备、远端设备和监控系统等组成^[3]。作为一种网络化的传输系统,它可以将车站稳定的电能通过光电复合电缆、双绞线缆或电力线缆,以低损耗、多路径方式输送给区间直放站或基站设备,为设备提供不间断的、稳定的、恶劣条件下免维护的电力资源。

直流远供电系统按组网方式可分为:链形结构、网状结构、星形结构。图2为直流远供电系统拓扑图。局端设备包括配电、电源转换模块、防雷和监控单元,主要功能是通过电源转换模块把站房的输出电转换为高压直流电。该模块可实现提供不同功率、不同电压的电源输出。其结构多采用并联均流方式,具备热插拔功能。

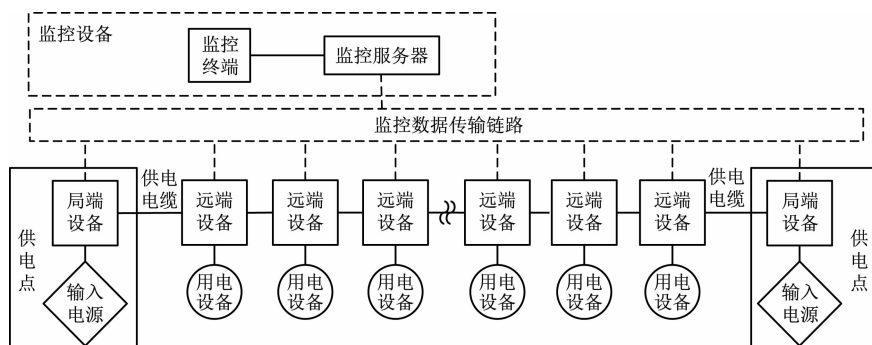


图2 直流远供电系统拓扑(链形)图

Fig. 2 Topological (chain) diagram of DC remote power supply system

远端设备包括配电、电源模块、防雷和监控单元。主要功能是利用电源模块把电力电缆传输的高压直流逆变为设备所需交流电源。远端设备可以通过更换、增减电源模块的方式实现不同功率、不同电压的输出,具有较强的灵活性。为提升设备可靠性,直流输出电源模块单元采用并联均流冗余设计,交流输出电源模块单元采用主备单元自动转换冗余设计。

直流远供系统配置监控设备,实现系统内的电力调配、性能管理、故障监测等监控和告警功能^[4]。监控数据可利用光纤或用电设备提供的传输链路,监控单元和防雷故障不会影响局端设备的正常供电。

2 市域快线供电方案研究

广州某市域快线全长 61.4 km,均为地下线。设站 9 座,疏散救援点 2 座,平均站间距 7.6 km;最大站间距为 10.5 km,最小站间距为 2.3 km。广州某线车站分布和站间距情况统计见表 1。信号系统

采用 CBTC,无线传输采用 TD-LTE(分长期演进)技术,技术参数详见表 2。

表 1 广州某市域快线车站分布和站间距情况统计表
Tab. 1 Statistics of station distribution and distance between stations of an urban rapid transit line in Guangzhou

车站编号	中心里程	站间距/m
1	YDK1 + 136.917	7 809.709
2	YDK8 + 946.000	10 536.000
3	YDK19 + 509.00	5 968.000
4	YDK25 + 473.80	9 342.600
5	YDK34 + 820.400	9 083.640
6	YDK43 + 906.100	3 865.718
7	YDK47 + 770.00	4 916.755
8	YDK52 + 684.093	2 304.331
9	YDK54 + 985.800	3 808.992
10	YDK58 + 790.200	2 822.000
11	YDK61 + 612.200	

表 2 TD-LTE 技术参数表

Tab. 2 TD-LTE technical parameter list

指标或参数	指标值或参数值
频段/MHz	1 787 ~ 1 790
信道带宽/MHz	3
复用方式	TDD
RRU 电气参数	220 V 交流(功率 250 W/350 W)
单个 RRU 覆盖直径/km	1.04 ~ 1.36
小区边缘网络速率/(Kbit/s)	1 024.00
可用性	≥99.99%
平均无故障时间/h	$>8 \times 10^4$
后备电源可供电时间/min	≥30
防水防尘等级	≥IP 54

注:TDD 为时分复用。

2.1 常规供电方式

市域快线若采用常规供电方案,以表 1 车站 2 至车站 3 区间为例说明。图 3 为 LTE 轨旁设备供电示意图。由图 3 可知,该常规供电方案采用点对点的供电方式,单个轨旁 RRU(遥控射频单元)需直

接从信号设备室电源屏端子取电,通过独立芯线的电力电缆实现为远端 RRU 供电。该方式可以最大限度缩减故障影响区域、提升系统可靠性。但根据 RRU 小区覆盖半径,结合轨旁 RRU 布置原则可知,其蜂窝小区无法实现邻近小区的信号重叠覆盖、冗余设计,即单个小区的 RRU 设备通信或供电故障只能依赖冗余设置的综合承载网保持通信,否则单个 RRU 失点将造成无线通信和运营服务的中断。

由此可知,LTE 网络工程建设虽然考虑冗余设计,但常规供电技术的单一供电方式,使得 RRU 的供电需求成为信号系统最薄弱环节,必将极大影响系统整体可靠性。

2.2 直流远供技术供电方式

若市域快线采用直流远供方式,则以区间两端车站 2、车站 3 作为电源输入点,通过两座车站的局端设备和区间电缆构建一条区间一级负荷母线,再经远端设备变压后为轨旁 RRU 提供所需电能^[5-6]。图 4 为直流远供技术的 LTE 轨旁远端设备供电示意图。

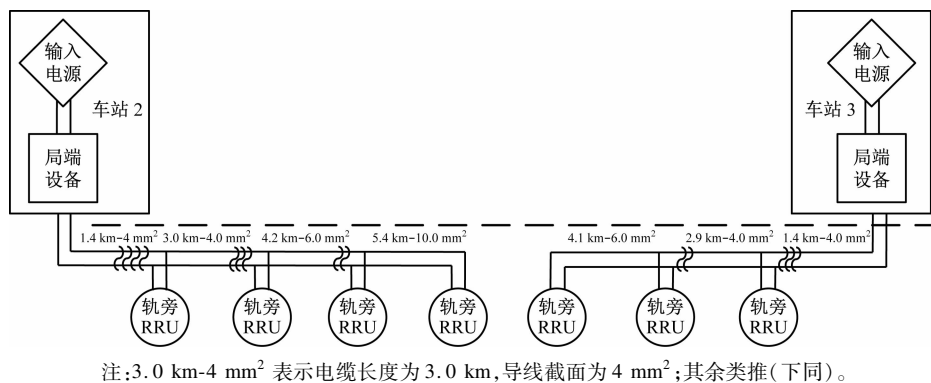


图 3 常规方式的 LTE 轨旁设备供电示意图

Fig. 3 Schematic diagram of LTE trackside equipment power supply with conventional method

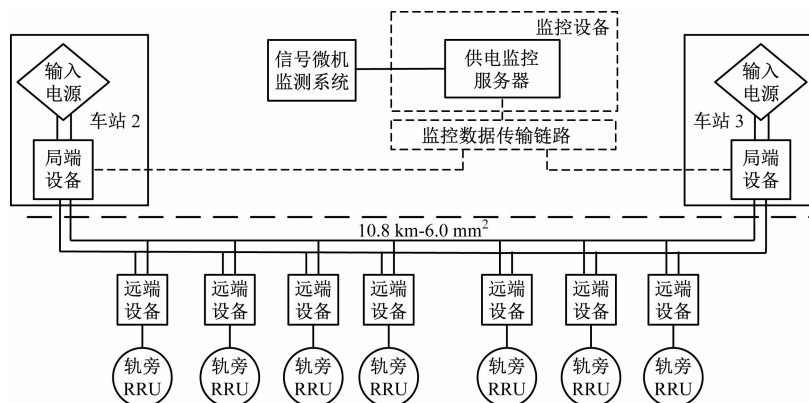


图 4 直流远供技术的 LTE 轨旁设备供电示意图

Fig. 4 Schematic diagram of LTE trackside equipment power supply with DC remote power supply technology

由车站2、车站3的局端设备分别引入两路单相交流220 V或三相交流380 V,经电源模块转换升压为直流400~800 V,通过电力电缆由两端车站向区间双方向并网供电,实现用2芯电缆完成一级负荷供电。区间轨旁远端设备将电缆上的高压直流电源逆变为RRU所需220 V交流电源。

该远端设备具备自动配网功能、逐级启动,可实现故障隔离,在供电线路开路、短路时,能保证用

电设备不停电。图5为直流远供技术在故障状态下的设备供电示意图。直流远供技术以区间两端车站设置的局端设备为基础,构建区间双路、双方向的供电方案,实现若一端车站断电或局端设备故障,则另一端车站局端设备可为全部区间用电设备供电;同理,若供电线路发生短路、开路时,由远端设备调整供电策略,实现故障有效隔离,不会干扰其他设备运行,可降低系统的影响范围。

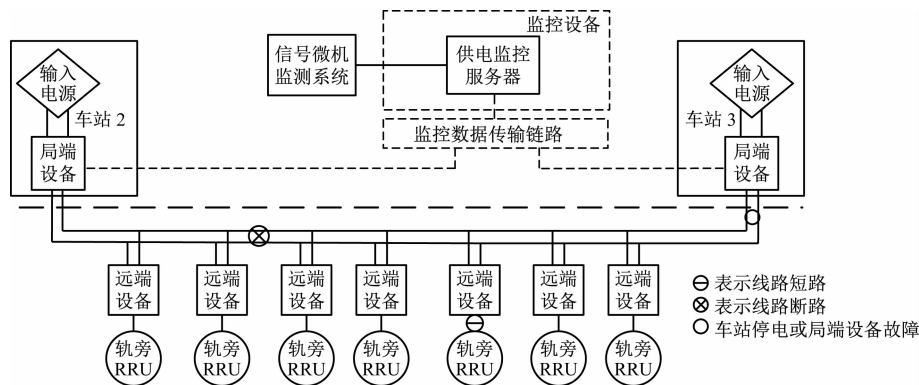


图5 直流远供技术在故障状态下的设备供电示意图

Fig. 5 Schematic diagram of equipment power supply under fault condition with DC remote power supply technology

3 供电方案分析

广州某市域快线车站2至车站3区间共设置7个轨旁RRU单元,若采用常规供电方式,供电电缆全部采用单拉形式,共需电缆约21.4 km,其中10 mm² 电力电缆5.4 km、6 mm² 电力电缆8.3 km、4 mm² 电力电缆7.7 km。采用直流远供技术,利用6 mm² 电力电缆贯通区间,约10.8 km,构建区间一级母线,可实现双方向供电。因此,基于直流远供技术构建的区间一级母线供电方案在材料、施工等方面相对更简单。

通过上述两个方案的对比分析不难发现,针对市域快线长大区间的供电方案,选用直流远供技术在适应电能类型、传输距离、可靠性、投资、可扩展性、运维便利性等方面优势明显。表3为不同供电方式对比表。

4 结语

市域快线作为城市轨道交通发展的新趋势,在国内正处于探索阶段。如何保证建设方案的合理性、科学性是工程建设的重要因素。本文通过调研直流远供技术发展前景,提出在市域快线中应用直流远供技术,以解决长大区间LTE设备远距离供电

表3 市域快线长大区间不同供电技术对比表

Tab.3 Comparison of different power supply technologies for long-distance sections of urban rapid transit lines

比较项目	常规供电	直流远供技术
适应电能类型	仅支持特定类型电压	为用电设备提供多种类型电压,如直流12 V和48 V、交流24 V、交流220 V
传输距离	3~5 km(长距离需加粗电缆)	无距离限制
电能利用率	线损大,电能利用率低	需多次变压,电能利用率一般
电能质量	一般	实现轨旁的二次变压,压降小、质量高
可靠性	无冗余、可靠性低	局端双向供电、区间一级负荷母线、可靠性高
施工便利性	电缆数量多、种类杂(4、6、10 mm ²),施工不便	一根母线电缆(2芯),施工便利
工程投资	大	投资比常规小
可扩展性	难	易
运维便利性	被动式运维,检修繁杂	设置监测系统,能主动运维

问题。研究结果表明,直流远供技术方案可以很好地解决市域快线长大区间供电电缆多芯、大线径、

高损耗、无冗余的不利因素,且单点设备或供电故障不会造成设备供电中断,其高安全、可靠特性可以满足市域快线信号系统应用需求。

参考文献

- [1] 宁滨,刘朝英.中国轨道交通列车运行控制技术及应用[J].铁道学报,2017,39(2):1.
NING Bin, LIU Chaoying. Technology and application of train operation control system for China rail transit system[J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 39(2): 1.
- [2] 华晟,苏阿峰.地铁信号系统轨旁无线设备供电可靠性分析[J].城市轨道交通研究,2017,20(7):27.
HUA Sheng, SU Afeng. Reliability analysis of TRE power supply of metro signal system[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(7): 27.
- [3] 王同俊,陈刚.直流远供技术应用探讨[J].通信与信息技术,2013(2):60.
WANG Tongjun, CHEN Gang. Discussion on application of DC remote power supply technology[J]. Communication & Information Technology, 2013(2): 60.

(上接第165页)

法、改进熵权-突变级数的线性组合评价法,这3种方法均通过了一致性检验。推荐采用改进熵权-突变级数的线性组合评价法,该组合评价法具有一定的动态性,可以有效降低单一评价方法的不足,保证评价结果的客观、稳定。

参考文献

- [1] 潘丽莎,陈龙,刘兰,等.基于层次分析法和熵值法的城市轨道交通车站安全评价[J].城市轨道交通研究,2015,18(9):48.
PAN Lisha, CHEN Long, LIU Lan, et al. Evaluation of urban rail transit station security based on ahp and entropy method[J]. Urban Mass Transit, 2015, 18(9): 48.
- [2] 张建平,张凌翔,张宁,等.目标导向的多层次城市轨道交通运营安全风险评价指标体系[J].都市快轨交通,2018,31(2):135.
ZHANG Jianping, ZHANG Lingxiang, ZHANG Ning, et al. Goal-oriented safety risk evaluation system of multi-level urban rail transit operation[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018, 31(2): 135.
- [3] 彭金栓,方媛,徐磊.基于突变模型的轨道换乘效率评价[J].都市快轨交通,2017,30(4):50.
PENG Jinshuan, FANG Yuan, XU Lei. Rail transfer efficiency evaluation based on catastrophe model[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017, 30(4): 50.
- [4] 潘海泽,贺建,陈梦捷,等.基于突变级数法的地铁车站基坑施工风险研究[J].地下空间与工程学报,2017,13(3):840.

- [4] 徐娜,张姣姣.直流远程供电在监控系统改造中的应用[J].中国交通信息化,2016(2):133.
XU Na, ZHANG Jiaojiao. Application of DC remote power supply in the transformation of monitoring system[J]. China ITS Journal, 2016(2): 133.
- [5] 魏意.基站直流远供系统工程设计[J].电信快报,2018(12):36.
WEI Yi. Engineering design of remote DC power feeding system[J]. Telecommunications Information, 2018(12): 36.
- [6] 彭维英.直流远供电源在既有铁路GSM-R改造工程的应用研究[J].铁路通信信号工程技术,2018,15(4):28.
PENG Weiying. Application of DC remote power supply in GSM-R reconstruction project of existing railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(4): 28.

· 收稿日期:2022-06-06 修回日期:2022-11-14 出版日期:2024-09-10
Received:2022-06-06 Revised:2022-11-14 Published:2024-09-10
· 通信作者:景龙刚,工程师,jinglonggang@gmdi.cn
· ©《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

- PAN Haize, HE Jian, CHEN Mengjie, et al. Research about construction risk of foundation pit of subway station based on catastrophe progression method[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2017, 13(3): 840.
- [5] 姜安民,董彦辰,刘霁.基于突变级数法的地铁站施工风险预测模型研究[J].安全与环境学报,2020,20(3):832.
JIANG Anmin, DONG Yanchen, LIU Ji. Probe into the risk prediction model for the metro station construction based on the catastrophe series method[J]. Journal of Safety and Environment, 2020, 20(3): 832.
- [6] 汪瑞琪,张纓.城市轨道交通网络拥堵易发点的识别及评价[J].城市轨道交通研究,2021,24(8):165.
WANG Ruiqi, ZHANG Ying. Identification and evaluation of congestion-prone points in urban rail transit network[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(8): 165.
- [7] 范德成,宋志龙.基于Gini准则的客观组合评价方法研究:以高技术产业技术创新能力评价为例[J].运筹与管理,2019,28(3):148.
FAN Decheng, SONG Zhilong. A combinational evaluation method based on Gini criterion[J]. Operations Research and Management Science, 2019, 28(3): 148.

· 收稿日期:2022-05-11 修回日期:2022-09-18 出版日期:2024-09-10
Received:2022-05-11 Revised:2022-09-18 Published:2024-09-10
· 通信作者:贾清天,工程师,13029818701@163.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