

城市轨道交通中压供电网络分区划分的工程应用^{*}戴丽君¹ 杨立新² 张喜海² 成明华³

(1. 南京铁道职业技术学院铁道供电系, 210031, 南京; 2. 中国铁路设计集团有限公司, 300251, 天津;

3. 中国铁路上海局集团有限公司徐州供电段, 221000, 徐州//第一作者, 副教授)

摘 要 城市轨道交通中压网络是主变电所、牵引供电系统和动力照明供电系统相互连接的重要环节,同时也制约着主变电所位置及数量的确定。运营及在建线路环网分区的划分经历了“短分区”—“长分区”—“短分区”的过程。阐述了不同分区的几种保护方式的原理,从保护可靠性、供电系统维护等方面进行了分析;同时结合实际工程应用实例,对中压环网的分区形式进行比较,通过潮流计、保护方式选择及电缆投资对分区划分进行分析,可供设计参考。

关键词 城市轨道交通;中压供电网络;环网分区;电缆截面积;运营损耗

中图分类号 U223.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.05.033

Engineering Application of Partition of Medium Voltage Power Supply Network in Urban Rail Transit

DAI Lijun, YANG Lixin, ZHANG Xihai, CHENG Minghua

Abstract The medium voltage network of urban rail transit is an important link between main substation, traction power supply system and power and lighting power supply system. It also restricts the determination of the location and quantity of main substation. The division of ring network partition of operation and construction line has experienced the process of "short section", "long section" and "short section". The principles of several protection modes in different zones are expounded, and the protection reliability and power supply system maintenance are analyzed. At the same time, taking actual engineering application as example, the zoning forms of medium voltage ring network are compared, and division of partition is analyzed from aspects including tide current meter, protection method choice and cable investment, providing reference for design.

Key words urban rail transit; medium voltage power supply network; ring network zoning; cable section area; operation

loss

First-author's address Nanjing Institute of Railway Technology, 210031, Nanjing, China

中压网络是由两条以上与轨道交通线路平行敷设的电缆线路构成,其作用纵向把上级的主变电所和下级的牵引变电所、降压变电所连接起来,横向把全线的各个牵引变电所和降压变电所连接起来^[1]。环网投资在供电系统中占比较大,因此有效降低中压环网投资成牵引供电系统设计中亟待解决的问题。中压环网分区划分与每个分区所带变电所数量及电缆截面积密切相关。电缆截面积直接影响环网投资,同时分区内变电所数量对供电可靠性及中压网络保护的时限配合带来一些问题。本文将对目前国内的中压网络保护方案优缺点进行分析,结合实际工程对比不同分区方案中的电缆截面积及保护选择,可供设计参考。

1 轨道交通供电系统中压网络保护方案

目前,我国直流牵引供电系统中压环网的保护方案主要有两种:一种是光纤纵差保护+后备过流保护;一种是电流选跳保护+后备过流保护^[2]。其各自的基本原理与主要特点如下。

1.1 光纤纵差保护基本原理

纵联差动保护是以电流比较为基础的。在线路的两端各安装一台保护装置,两侧的保护装置分别测量本地的电流,同时通过光纤连接将对侧的电流参数传动到本地保护装置中进行电流大小和相位的比较。当比较电流的差值超出设定的整定值,线路两端的断路器就会同时跳闸,如图1所示。

1.2 电流选跳保护基本原理

电流选跳保护是以过流保护装置间的直接通

^{*} 南京铁道职业技术学院“青蓝工程”优秀教学团队项目(RCQL19213)

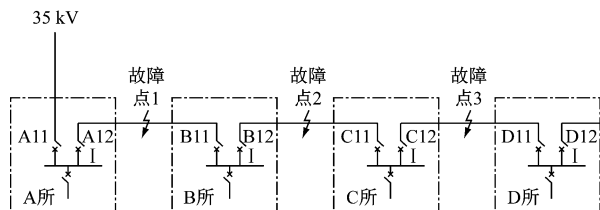


图1 中压网络保护原理示意图

信功能为基础。它通过逻辑编程,对线路两端过流保护装置的电流元件动作与否进行比较来判别线路故障区段,实现选择性地切除故障线路。

1.3 两种线路保护方案的性能比较

1) 保护性能。若光纤纵差保护与电流选跳保护作为中压网络的主保护,由于保护原理的差别,两种方案的动作时间差别比较大:光差保护动作时间小于12 ms;而选跳保护受过流保护原理的限制,最快跳闸出口时间为30 ms。光纤纵差保护使用分相差动加零流差动的原理,与负荷电流大小无关,其灵敏度很高;电流选跳保护必须躲开负荷电流,过流元件的启动值必须设得较高,因此对故障灵敏度较低,无法清除高阻故障,且级联的区间越多、离电源端越近,问题就越严重,灵敏度就越低。

2) 对故障的选择性和可靠性。光纤纵差保护是专门针对35 kV及以上电压等级的输配电线路设计,国家对其有严格的动模考核指标,光纤电流纵差保护对区内外单相和多相永久故障、转换性故障均能实现可靠动作。而电流选跳方案只能识别单

一故障,对区内外同相多点故障是无法区分的,可靠性低,电流选跳方案无法通过电力系统的动模试验,不能提供入网许可报告,这给轨道交通系统的运行带来风险和隐患。

3) 对于供电系统运行方式适应性,两种方案存在很大的差别。光纤纵差保护方案中差动保护的设置仅与被保护线路有关,不受系统运行方式的改变和未来扩建的影响,保护装置内部逻辑不用作出相应的变动。但电流选跳方案由于受选跳原理的限制,必须根据前后保护装置中过流元件动作的信号来判断故障点位置,从而有选择性地切除故障线路。因此,对于已经使用光纤纵差解决方案的轨道交通前期已投运的项目,在后期建设中用户可根据前期的运行情况自由选择不同品牌的供货商;但对于电流选跳方案,用户则必须接受同一品牌的解决方案。

1.4 后备保护的时限配合分析

当主保护(光纤纵差保护或电流选跳保护)退出运行时,主保护被闭锁,同时投入后备过流保护。这时,两种保护方案的选择性都只能依靠过流保护的时限来完成。在这种情况下,由于各供电区间均采用梯级供电方式(如图2所示),因此区间内的线路后备过流保护在时限上的级差配合是需要着重思考的问题。

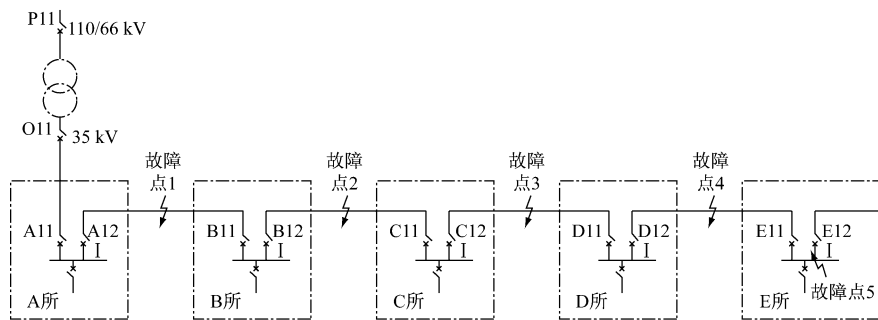


图2 中压网络保护原理示意图

图2中,若一个环网分区有5个变电所,当故障发生在末端变电所时,如发生在故障点5时需E11开关跳闸切除故障,但为了保证A、B、C、D变电所不会误动,根据过流保护时限配合的原理需将A、B、C、D变电所开关跳闸时间设定值大于E变电所开关跳闸时间。假设E变电所开关起跳时间为0.50 s,按照目前过流保护时限上的级差最小为0.25 s计算,D、C、B、A变电所开关起跳时间分别为

0.75 s、1.00 s、1.25 s、1.50 s,此时若要保证主变电所进线开关不会误动,P11开关的起跳时间需大于1.50 s。目前,一般城市为地铁主变电所设定的进线开关起跳时间为1.50 s,个别地区为1.20 s。

通过上述分析可知,后备过流保护由于受时限上的级差限制,决定了中压环网分区内变电所不能过多,一般情况下不应超过4个变电所。

2 工程应用分析

本文以天津轨道交通 10 号线为例,通过计算对环网分区的分区方案进行分析。天津地铁 10 号线一期工程正线全长 21.382 km,共设车站 21 座,均

为地下站,平均站间距 1.03 km。全线设梨园头车辆段 1 座,设主变所 2 座、牵引降压混合所 8 座、独立降压所 13 座。其方案一全线划分为 3 个供电分区,方案二全线划分为 6 个供电分区,其具体接线方案如图 3 和图 4 所示。

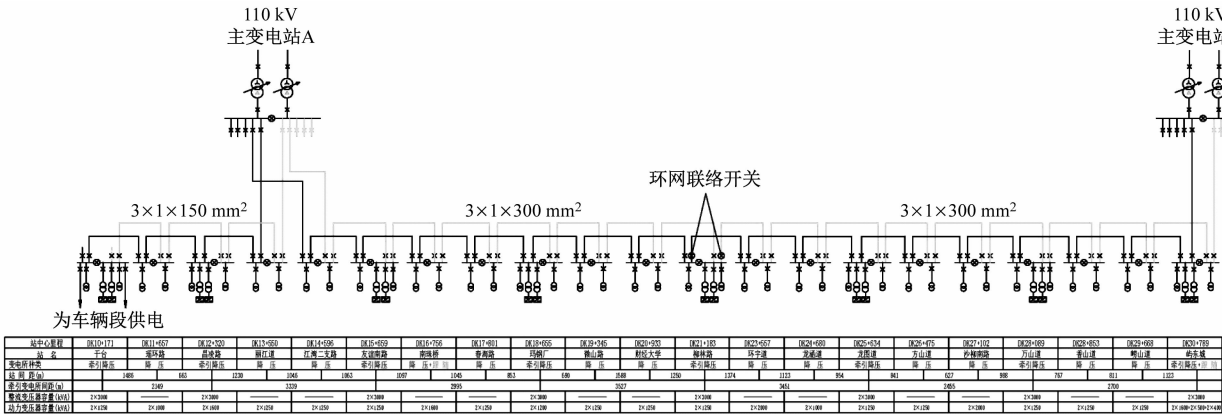


图 3 方案一：“长分区”供电方案

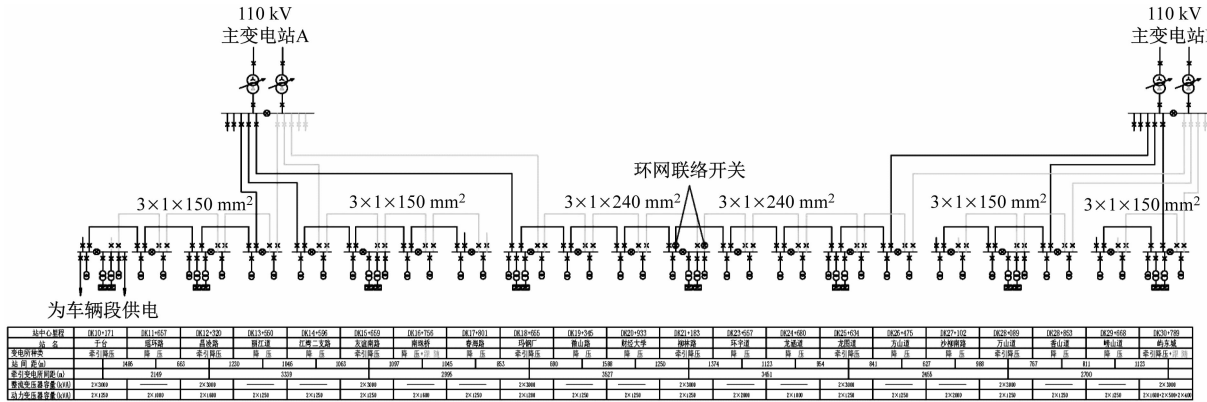


图 4 方案二：“短分区”供电方案

2.1 计算负荷选取

1) 牵引负荷。牵引供电负荷有动态性和瞬时性,各节点电流、电压、功率等电气参数随在线列车

数量、位置、旅行速度而变化^[3]。本工程运用“运行图”进行仿真计算,结果如图 5 所示。

牵引所编号	1	2	3	4	5	6	7	8
牵引所名称	于台	昌凌路	友谊南路	玛钢厂	柳林路	龙图道	万山道	屿东城
供电臂长度/m		2 160	3 328	3 000	3 558	3 423	2 455	2 711
I 段牵引功率/kW		4 059		4 331		4 273		2 227
II 段牵引功率/kW	1 715		4 640		4 515		4 023	

图 5 牵引负荷选取情况

2) 动力照明负荷。本工程车站均为地下车站,降压变容量选择为 1 250 kVA,跟随变容量选择为 630 kVA。动力负荷功率因数按 0.9 考虑,动力负荷代入计算时按 40% 负荷率考虑,三级负荷按总负荷的 30% 考虑^[4]。

2.2 最大负荷电流计算结果

最大负荷电流计算考虑发生在一座主变电所解列时或一路环网故障时,选取最大负荷电流作为电缆选型依据。按照以上思路,本次环网电缆计算结果如图 6 和图 7 所示。

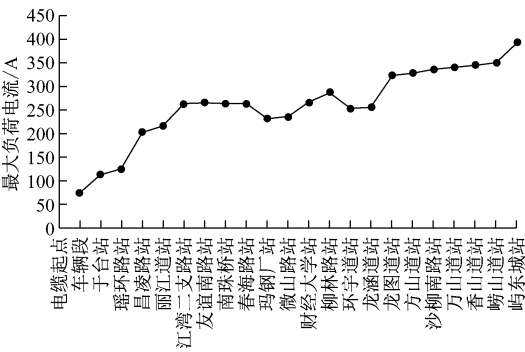


图 6 长分区方案最大计算负荷电流

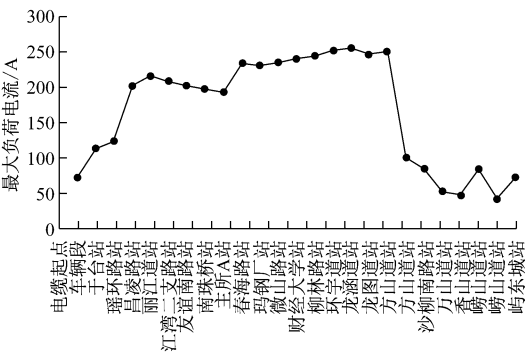


图 7 短分区方案最大计算负荷电流

2.3 电缆截面选择

由以上不同运行工况下的负荷电流可以看出：方案一由于分区车站数量较多，最大的负荷电流明显大于方案二，其电缆截面选择要大于方案二电缆截面，其中，方案一主变电所 A 外侧采用 150 mm² 电缆，两座主变电所环网通道采用 300 mm² 电缆；方案二主变电所通道采用 240 mm² 电缆，其余均采用 150 mm² 电缆。分区接线方案图如图 3 和图 4 所示。

2.4 方案的比较分析

1) 可靠性。两个方案均满足：当主变电所的一台主变压器解列时，由另一台主变压器承担该所正常供电范围内的牵引负荷和动力照明一、二级负荷；每座牵引变电所、降压变电所均有两回独立可靠的进线电源。当一回进线电源解列时，由另一回进线电源承担该两回进线电源正常供电范围内的牵引负荷和动力照明一、二级负荷。相对于方案一，方案二的供电分区中的变电所数目较多，故障影响范围相对较大，可靠性相对较低。

2) 电缆通道。目前，国内城市轨道交通工程中压供电环网电缆大多采用沿线路区间敷设至沿线变电所。由于区间内设置有疏散平台，中压供电环网电缆敷设在疏散平台下方，敷设空间相对紧张。

方案一中，单线区间内敷设的中压供电环网电缆数量均只有一回；方案二中，单线区间内敷设的中压供电环网电缆数量最多为三回。从电缆通道畅通、便于施工以及运营管理与维护的角度出发，方案一较优。

3) 工程投资。两个方案的中压供电环网电缆数量和工程投资对比表如表 1 所示。

方案	型号 I		型号 II		投资/ 万元
	截面积/ mm ²	数量/ km	截面积/ mm ²	数量/ km	
方案一	150	24.3	300	150.7	4 355
方案二	150	89.5	240	124.1	4 713

注：电缆投资仅为电缆本体投资，不包含电缆支架及敷设等费用，具体工程投资以实际招标价格为准。

由表 1 可知，方案一的电缆投资略低于方案二，因此方案一有利于节约中压供电环网的电缆工程投资。

4) 运营电能损耗。供电系统电能损耗主要由牵引网电能损耗、动力照明电能损耗、中压供电网络电能损耗和变压器电能损耗等组成。两个方案的牵引网电能损耗、动力照明电能损耗和变压器电能损耗基本相当。相对于“长分区”而言，“短分区”的中压供电网络分区多，分区内变电所数目较少、电流较小，中压供电网络电能损耗稍低。

5) 环网保护配置。方案一的中压供电环网电缆采用光纤纵差保护作为主保护，数字电流通信保护和零序电流保护作为后备保护。方案二的中压供电环网电缆采用光纤纵差保护作为主保护，过电流保护和零序电流保护作为后备保护。

6) 综合比较。中压供电网络接线方案综合比较如表 2 所示。

3 结论

1) 分区划分应结合运营需求。在设计中采用“长分区”方案主要原因是为了节省电缆投资，但实际情况并不一定能节省投资。以本工程为例，长分区方案节省电缆投资并不明显。分区方案应结合线路长度、主变电所设置、运营习惯等因素统筹考虑。由于大分区内车站较多，故障及检修影响范围较大，考虑运营检修方便，目前深圳、南京等城市已建议采用小分区方案。

表 2 中压供电网络接线方案综合比较表

比较项目		方案一	方案二
供电分区及电缆数量		供电分区少,电缆少	供电分区多,电缆多
供电质量		满足供电要求,供电质量稍低	满足供电要求,供电质量稍高
供电可靠性		供电可靠性相对较低,分区内变电所数量多,事故影响范围大	供电可靠性高,分区内变电所数量少,事故影响范围小
电缆通道		区间内敷设的电缆少	区间内敷设的电缆多
运营能耗		稍高	稍低
运营管理费用		略低	略高
投资增加		0	全线约增加电缆投资 400 万元
环网保护配置		采用光纤纵差保护作为主保护,数字电流通信保护和零序电流保护作为后备保护,技术原理先进,但成熟度和推广度稍逊	采用光纤纵差保护作为主保护,过电流保护和零序电流保护作为后备保护,保护配置方案成熟

2) 分区划分宜结合网络化供电。在工程实践中,分区划分中应考虑城市轨道交通全线网的网络化供电,广州、重庆、武汉等城市在建线路有条件的换乘站预留两面 35 kV 开关柜安装位置,以便在外电源条件困难情况下利用换乘站进行在轨道交通网络化运营后的应急支援供电。

3) 中压环网分区中的电缆选型应考虑留有合理的余量。考虑到地下工程的电缆更换且对运营的影响较大,因此通过适当增加前期投资,适当放大电缆截面以应对不可预见的需求。例如,应考虑线路可能延伸、客流预测的不确定带来运营组织方案的新需求等。

4) 保护的配置应结合分区方案的划分,同时应提前考虑线路延伸等条件。对于“长分区”方案,分

区内变电所数量多,电流选跳保护是目前最适合的方案,但应考虑延伸线路的保护选择必须采用同一品牌。

参考文献

[1] 于松伟,杨兴山,韩连祥,等.城市轨道交通供电系统设计原理与应用[M]. 成都:西南交通大学出版社,2008.

[2] 张颖,张海波.城市轨道交通供电系统中压网络的潮流分析[J]. 城市轨道交通研究,2010(8):43.

[3] 张海波.城市轨道交通供电系统中压网络的选择[J]. 城市轨道交通研究,2015(5):55.

[4] 张喜海.浅析地铁主变电所理论计算容量与实际测量值的差异[J]. 现代城市轨道交通,2018(5):4.

(收稿日期:2020-05-21)

(上接第 152 页)

法进行延伸,针对有用地红线和无用地红线 2 种情形,提出城市轨道交通设施三维空间权利确权要素测量内容及三维建设用地使用权确权方法。该方法已成功应用于广州地铁 7 号线石壁站站台的确权过程,并办理不动产权证书。

参考文献

[1] 杨延坤.土地使用权分层出让的模式研究:以厦门轨道交通 1 号线杏锦路站南侧地块为例[J]. 福建建筑,2019(2):1.

[2] 彭芳乐,赵景伟,柳昆,等.基于控规层面下的 CBD 地下空间开发控制探讨:以上海虹桥商务核心区一期为例[J]. 城市规

划学刊,2013(1):78.

[3] 刘咏梅,李谦,江南.三维地籍与城市立体空间开发的信息技术应用分析:以南京市为例[J]. 地球信息科学学报,2010(3):392.

[4] 中华人民共和国国务院.不动产登记暂行条例[Z]. 2015-03-01.

[5] 中华人民共和国国土资源部.不动产登记暂行条例实施细则[Z]. 2016-01-01.

[6] 郭仁忠,应申.三维地籍形态分析与数据表达[J]. 中国土地科学,2010(12):45.

[7] 刘敏,黄铎.城市地下空间三维地籍的建立[J]. 测绘科学,2007(5):154.

(收稿日期:2019-07-10)