

# 地铁配电变压器继电保护整定配合方案比选

赵云云 王洪杰 申正超

(广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州//第一作者, 高级工程师)

**摘要** 阐述了配电变压器的定时限过电流保护与 0.4 kV 进线的定时限短延时过电流保护的基本原理及其整定原则, 结合具体案例, 指出其二者相互配合存在的不合理问题。提出的 2 个整定方案均能有效地解决两者之间的配合问题。对整定方案进行比选分析。比选结果显示, 基于 GOOSE 机制的数字通信电流保护方案, 虽然成本稍高, 但拥有更好的速动性和更可靠的选择性。

**关键词** 地铁; 牵引供电系统; 定时限过电流保护; 整定配合; 数字通信电流保护

**中图分类号** U224.4: U231

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.01.038

## Comparison and Selection of Relay Protection Setting Schemes of Distribution Transformer in Subway Power Supply System

ZHAO Yunyun, WANG Hongjie, SHEN Zhengchao

**Abstract** The basic logic and the setting principle of definite time over-current protection of the distribution transformer and short-delay over-current protection on 0.4 kV incoming line are expounded. According to specific cases, the unreasonable problems existing in mutual coordination are pointed out, against which two corresponding setting schemes that can effectively solved the coordination problems are proposed. Then, the two setting schemes are compared selected. The result shows that the digital communication current protection scheme based on GOOSE mechanism has quicker motion performance and better reliability despite the higher cost.

**Key words** subway; traction power supply system; definite time over-current protection; setting coordination; digital communication current protection

**Author's address** Guangzhou Subway Design and Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China

目前, 地铁配电变压器配置有电流速断保护、定时限过电流保护、零序过电流保护和过负荷保护等, 0.4 kV 进线配置有电流速断保护 (OFF)、定时限短延时过电流保护及长延时过电流保护等。

在地铁运营过程中, 配电变压器的定时限过电流保护与 0.4 kV 进线的定时限短延时过电流保护存在着彼此配合不合理的现象。当出现短时过负荷或长时间过负荷时, 配电变压器定时限过电流保护可能会发生误动作或越级跳闸, 无法保证保护动作的选择性, 影响地铁正常运营。配电变压器定时限过电流保护作为 0.4 kV 进线的短延时过电流保护的后备保护, 由于冷水机组与环控进线柜等均设有断路器, 故 0.4 kV 进线的短延时过电流保护的整定值较大, 从而导致配电变压器定时限过电流保护可能先于 0.4 kV 进线的定时限短延时过电流保护动作。

此外, 由于地铁继电保护项目整定工作常由多家不同设计单位不同专业承担, 所以整定配合工作有一定困难。

根据相关文献, 地铁 0.4 kV 配电系统的继电保护装置尚处于独立工作状态<sup>[1]</sup>, 基于 GOOSE 机制的中压环网的继电保护优化方案能有效解决传统过电流保护级差配合困难的问题<sup>[2]</sup>。文献[3]针对电流特点, 对配电变压器保护提出了相应的整定方法, 研究了保护范围和配合关系。文献[4]分析了地铁配电变压器定时限过电流保护与 0.4 kV 进线短延时过流保护之间的配合问题, 但未给出具体的整定配合方案。

本文基于配电变压器定时限过电流保护和 0.4 kV 进线定时限短延时过电流保护的的原理和整定计算分析, 研究两者的动作配合问题, 提出可行的整定方案。

## 1 问题分析

### 1.1 配电变压器过电流保护

根据文献[5], 配电变压器过电流保护的的动作电流  $I_{op,1}$  需躲过变压器可能出现的最大过负荷电流, 故有:

$$I_{op,1} = K_{rel}K_{jx} \frac{K_{gh}I_{1rT}}{K_r n_{LH,h}} \tag{1}$$

式中:

- $K_{gh}$ ——过负荷系数,为由电动机自启动引起的过电流倍数,一般取 2~3;
  - $I_{1rT}$ ——变压器高压侧额定电流;
  - $K_r$ ——继电器返回系数,一般取 0.85~0.95;
  - $K_{rel}$ ——可靠系数;过电流保护时,DL 型继电器取 1.2,GL 型继电器取 1.3;
  - $K_{jx}$ ——接线系数,接于相电流时取 1,接于相电流差时取 $\sqrt{3}$ ;
  - $n_{LH,h}$ ——变压器高压侧电流互感器变比。
- 保护装置的灵敏度系数按照电力系统最小运

行方式下,低压侧两相短路时流过高压侧(保护装置处)的短路电流  $I_{2k2 \cdot \min}$  来校验,即:

$$K_{sen} = \frac{I_{2k2 \cdot \min}}{I_{op}} \geq 1.5 \tag{2}$$

其中, $I_{2k2 \cdot \min}$  应取地铁供电系统各种运行方式下的两相短路电流的最小值。

保护装置的动作时限应与 0.4 kV 进线定时限过电流保护的動作时限相配合。

根据地铁供电系统运营的实际特点,需要考虑各种电流特点<sup>[3]</sup>。目前,地铁配电变压器均采用 Dyn11 接线。当低压侧发生不同形式短路时,高压侧流过继电器的电流分布情况如表 1 所示。

表 1 Dyn11 接线变压器及继电器中的短路电流分布情况表

短路形式	短路相别	变压器高压侧各相电流		
		$i_{k1}$	$i_{k2}$	$i_{k3}$
三相短路	$abc$	$I_k/(n_{LH,h} \cdot n_T)$	$I_k/(n_{LH,h} \cdot n_T)$	$I_k/(n_{LH,h} \cdot n_T)$
	$ab$	$I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$	$2I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$	$I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$
两相短路	$bc$	$I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$	$I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$	$2I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$
	$ca$	$2I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$	$I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$	$I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$
	$a$	$I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$	$I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$	0
单相短路	$b$	0	$I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$	$I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$
	$c$	$I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$	0	$I_k/(\sqrt{3}n_{LH,h} \cdot n_T)$

注: $n_T$  为变压器变比; $I_k$  为变压器低压侧短路电流; $i_k$  为继电器电流

1.2 0.4 kV 进线的短延时过电流保护

根据文献[5],0.4 kV 进线过电流保护的動作电流  $I_{op,2}$  需躲过 0.4 kV 母线可能出现的最大过负荷电流,并需和 0.4 kV 所有馈线过电流保护进行配合,故有:

$$I_{op,2} = \max\left(K_{rel}K_{jx} \frac{I_{gh}}{K_r n_{LH,l}}, I_{0.4}\right) \tag{3}$$

式中:

- $n_{LH,l}$ ——变压器低压侧电流互感器变比;
  - $I_{0.4}$ ——0.4 kV 所有馈线过电流保护的動作电流最大值。
- 保护装置的灵敏度系数按照最小运行方式下 0.4 kV 母线处两相短路电流来校验,而保护装置的動作时限也应与下一级过电流保护的動作时限配合。
- 由于 0.4 kV 馈线各断路器均设有反时限短延时过流保护,如果不配置时间级差,必然会导致 0.4 kV 进线的短延时过电流保护的整定值过大。此时,

若配电变压器的过电流保护倍数  $K_{gh}$  取值较小,且没有充分考虑短时过负荷,则会导致配电变压器过电流保护整定值偏小。

例如,某牵引降压所的配电变压器容量为 1 250 kVA,按照上述原则进行整定可得,0.4 kV 进线短延时过电流保护整定值为 7 500 A,折算到高压侧为 85 A,超过了配电变压器的过电流保护的整定值 54 A。由于整定值设置不合理,故配电变压器过电流保护先于 0.4 kV 进线短延时过电流保护動作。此外,反时限过电流保护具有短路电流越大则動作时间越短的优点,应用于部分地铁线路,但若其動作电流整定值不合理,则会造成反时限过电流保护与定时限过电流保护的配合问题。配电变压器过电流保护動作延时整定值通常为 0.25 s,故配电变压器过电流保护、0.4 kV 进线过电流保护及 0.4 kV 馈线过电流保护之间存在動作延时分配的问题,需要结合具体情况进行合理整定。

## 2 整定配合方案

为了满足继电保护“选择性、速动性、灵敏性、可靠性”的要求,保证地铁配电系统的安全可靠运行,本文提出两个整定配合方案。

### 2.1 方案一

方案一采用传统的整定方法来确保继电保护装置的准确动作。方案一的配电变压器过电流保护需要综合考虑短时过负荷电流和长时过负荷电流情况进行整定,建议  $K_{gh} = 3$ 。此时虽然配电变压器过电流保护的灵敏度降低了,但仍然满足灵敏度要求。若灵敏度无法满足要求,还可考虑增加低电压闭锁的带时限过电流保护<sup>[5]</sup>,该保护装置的动作电流应满足式(1)要求。

保护装置的动作电压的整定值  $U_{op,1}$  为:

$$U_{op,1} = \frac{U_{min}}{K_{rel} \cdot K_r n_{YH}} \quad (4)$$

式中:

$n_{YH}$ ——电压互感器变比;

$U_{min}$ ——运行中可能出现的最低工作电压。

动作电流的灵敏系数与过电流保护计算方法相同,动作电压的灵敏系数为:

$$K_{sen} = \frac{U_{op,1}}{U_{sh,max}} = \frac{U_{op,1} \cdot n_{YH}}{U_{sh,max}} \quad (5)$$

式中:

$U_{sh,max}$ ——保护装置处的最大剩余电压。

另外,0.4 kV 馈线各开关可配置时间级差,也可配置具有区域选择性联锁功能的智能化断路器。当发生短路或者过流时,只有紧靠短路点的断路器处于瞬时保护状态,而其他所有断路器处于延时保护状态。这样就可以保证断路器动作的选择性,使 0.4 kV 进线短延时过电流保护的整定值不会过大。

总之,为了确保保护配合的选择性,配电变压器过电流保护与 0.4 kV 进线短延时过电流保护的配合需满足下面约束条件:

$$I_{op,1} \geq (K_{rel} \cdot I_{op,2} \cdot n_{LH,1}) / (n_T \cdot n_{LH,h})$$

$$t_1 \geq t_2 + \Delta t \quad (6)$$

式中:

$t_1$ ——配电变压器过电流保护装置的动作时限;

$t_2$ ——配电变压器过电流保护装置的动作

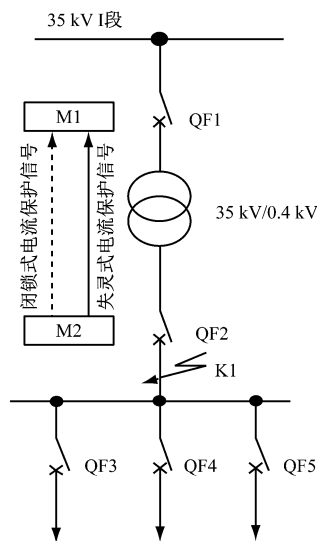
时限;

$\Delta t$ ——固定延时,一般取 0.25 s。

### 2.2 方案二

方案二是以 GOOSE 光纤以太网为基础,以闭锁逻辑为核心的数字通信电流保护方案<sup>[2]</sup>。方案二能较好地解决中压环网继电保护间的配合问题,所以可考虑增加几台数字通信电流保护设备来解决配电变压器定时限过电流保护和 0.4 kV 进线短延时过电流保护动作时限的配合问题。由于方案二不需要考虑动作时限的配合,在一定程度上能有效保证保护动作的速动性和选择性。

数字通信电流保护的 GOOSE 信号传递如图 1 所示。当 0.4 kV 进线 K1 处发生短路时,断路器 QF1 和 QF2 同时检测到短路电流;当 QF2 处的故障电流大于启动整定值时,QF2 向 QF1 发送 GOOSE 闭锁式电流保护信号,如图 1 中虚线所示,QF2 判定其为区外故障,QF1 电流保护被闭锁,待延时 120 ms 后再判断,并由 QF2 电流保护动作。当 QF2 电流保护失灵而无法正常工作动作时,QF2 向 QF1 发送 GOOSE 失灵式电流保护信号,如图 1 中实线所示,待 QF1 收到信号后,跳开相应的断路器。



注:QF 为断路器;M1、M2 为数字通信电流保护装置

图 1 GOOSE 信号传递示意图

### 2.3 方案比选

方案一需要全面考虑具体的负荷水平与过电流保护之间准确配合,才能有效地解决保护配合不合理的问题。

方案二需要增加数字通信电流保护设备,布设

电缆,其成本较高。如果电缆出现断线,就会出现拒动和误动的问题,此时需要考虑设置后备保护<sup>[6-7]</sup>,即由 35 kV 进线的后备保护过电流保护与零序保护进行切除故障。但这必然会使故障影响范围扩大,这是不允许的,故可以利用 GOOSE 提供的心跳/重传机制(断链检测功能),检查通信连接是否正常。如果通信出现故障,必须在控制应用算法中增加异常处理机制,以保证保护动作的选择性与可靠性;也可采用双通道通信来提高可靠性,但是会增加冗余度<sup>[8]</sup>。

与方案一相比,方案二能更好地保证保护动作的速动性和选择性。鉴于目前部分地铁中压环网已经采用基于 GOOSE 机制的数字通信电流保护,也为符合继电保护的发展趋势,可在 0.4 kV 地铁配电系统应用方案二,以实现继电保护网络通信的一体化。

### 3 结语

配电变压器过电流保护与 0.4 kV 进线过电流保护之间的准确配合,对继电保护的准确动作显得尤为重要。

本文分析了配电变压器过电流保护和 0.4 kV 进线短延时过电流保护的整定原则,提出了两种配合方案。经比较,基于 GOOSE 机制的数字通信电流保护,成本稍高,但拥有更好的速动性和更可靠

的选择性,可简化整定工作。

### 参考文献

- [1] 田胜利. 轨道交通供电系统继电保护网络化技术探讨[J]. 电气铁道, 2016(增刊): 37.
- [2] 吴仕平, 王汉林, 吕良君. 基于 GOOSE 机制的城市轨道交通中压环网继电保护方案优化[J]. 城市轨道交通研究, 2014(11): 91.
- [3] 王蛟, 张刚. 城市轨道交通低压配电继电保护整定方法[J]. 城市轨道交通研究, 2016(8): 15.
- [4] 魏听. 地铁低压配电系统中保护配合问题分析[J]. 电气铁道, 2014(5): 51.
- [5] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [6] MONADI M, KOCH-CIOBOTARU C, LUNA A, et al. A protection strategy for fault detection and location for multi-terminal MVDC distribution systems with renewable energy systems [C]//Proceedings of 2014 International Conference on Renewable Energy Research and Application. Milwaukee, WI: IEEE, 2014.
- [7] 王来军, 文明浩, 李丰, 等. goose 方式变压器后备保护探讨[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(2): 84.
- [8] 范开俊, 徐丙垠, 陈羽, 等. 配电网分布式控制实时数据的 GOOSE over UDP 传输方式[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(4): 116.
- [9] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

(收稿日期: 2018-03-13)

(上接第 157 页)

主要有轮轴分解机、轮对跑合试验台、电气综合试验台、天车、各类部件检修专用设备, 以及其他各类工器具等。

### 5 结语

当市域铁路车辆基地有高级修及新造需求时, 且基地规模较小时, 应按照“修造合一”理念设计。本文针对市域铁路车辆特点, 研究了车辆检修和新造工艺、站段关系, 提出了两种典型“修造合一”理念的车辆基地总平面布置方案及相应的关键工艺

设施设备, 对市域铁路车辆修造基地的设计具有一定参考意义。

### 参考文献

- [1] 王伟立. 市域铁路与国铁互联互通的技术条件研究[J]. 铁道工程学报, 2013, 30(6): 92.
- [2] 欧阳全裕, 李际胜, 杨作刚. 城市轨道交通市郊线特点与线路技术参数研讨[J]. 城市轨道交通研究, 2008(9): 7.
- [3] 中国铁道学会. 市域铁路设计规范: T/CRCS 0101—2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

(收稿日期: 2018-03-23)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. com