

电气化铁路电力贯通线无通道保护方案

林晓鸿¹, 林 圣¹, 温曼越², 孙建明²

(1. 西南交通大学 电气工程学院, 四川 成都 610031; 2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063)

摘要:为了实现通信条件不发达国家和地区电气化铁路电力贯通线路故障的快速切除与隔离,提出了一种不依赖通信通道的电气化铁路电力贯通线无通道保护方案。在分析传统无通道保护方案在铁路电力贯通线适应性的基础上,利用单端故障测距技术,加速电力贯通线路中段保护动作,解决了在铁路电力贯通长线路中段故障时,采用传统无通道保护导致故障切除时间过长的问題。根据铁路电力贯通线“双电源结构单端供电运行”的特点,提出了适用的改进无通道保护方案。仿真分析表明,该保护方案能够不依赖于通信信道进行铁路电力贯通线全线故障的快速切除与隔离,有助于解决通信技术欠发达国家和地区的铁路电力贯通线路的故障隔离问题,有效提高铁路电力贯通线供电可靠性。

关键词:铁路;无通道保护;电力贯通线;故障测距;故障切除与隔离;不对称故障

中图分类号:U 224.4

文献标识码:A

DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2018.09.031

0 引言

我国政府主导的“一带一路”战略致力于亚欧非大陆及附近海洋的互联互通,实现安全高效的陆海空通道网络,推进沿线国家发展战略相互对接^[1]。铁路运输作为交通基础设施,可为沿线国家经济贸易提供安全便利的国际运输通道,因此,铁路“走出去”成为“一带一路”战略的重要推动力^[2]。在此背景下,电气化铁路的安全可靠运行愈发受到关注,铁路电力贯通线作为铁路供电系统的重要组成部分,肩负着向沿线铁路信号、通信及沿线非牵引综合用电等负荷供电的重任,是列车安全准时运行的重要保障,因此,为保证铁路电力贯通线安全可靠供电,铁路电力贯通线保护作用日益凸显。

铁路电力贯通线一般采用线路首端电流保护实现贯通线路故障切除,造成故障切除后全线停电。为了缩短切除区间,提高铁路电力贯通线供电可靠性,可采用电力远动系统通过“四遥”技术确定并隔离故障区间。然而,在诸如非洲落后国家等通信技术欠发达的国家或地区,由于技术约束及外界因素干扰,并不具备采用通信技术实现铁路电力贯通线有选择性的故障区间隔离的技术条件与环境。为了克服这一难题,有必要提出不依赖通信的铁路电力贯通线故障区段自动隔离方案,作为铁路电力贯通线保护方案的一种补充方式,解决通信技术欠发达地区铁路电力贯通线路故障切除与隔离问题。

在电力配电线路中,国内外学者提出了采用无

通道保护实现不依赖于通信的输配电线路故障有选择性隔离^[3-5]。文献[6]采用 IEC60870-5-103 协议,研制了一种新型的铁路自闭(贯通)线路微机保护装置;文献[7]基于故障电流正序分量与参考相量的相位差判断故障方向,确定故障区段定位,实现保护有选择性配合工作;文献[8]提出了利用故障区间保护动作时限短的一端开关动作后,线路健全相产生的电气量突变信号加速对端开关动作,从而实现不对称故障隔离的无通道保护模式;文献[9-10]研究了对称故障下的无通道保护故障隔离方案,完善了无通道保护的适用范围,并解决了现场应用中与上级变电所保护配合的保护配置方法。因此,借鉴电力配电线路故障隔离方案,可利用无通道保护解决通信技术欠发达地区铁路电力贯通线路故障隔离问题,然而,由于“双电源结构单端供电运行”的铁路电力贯通长线路供电区间较多,直接采用传统的双电源配电线路无通道保护存在线路中段供电区间故障隔离时间过长的问題。

因此,本文在现有配电网无通道保护研究的基础上,考虑铁路电力贯通长线路“双电源结构单端供电运行”特点,建立铁路电力贯通线仿真模型,分析无通道保护方案对铁路电力贯通线的适应性,基于单端故障测距方法加速贯通线路中段保护动作,改进传统无通道保护方案,以解决铁路电力贯通长线路供电区间较多导致的线路中段供电区间传统无通道保护故障隔离时间过长的问題,最后通过仿真验证进行适应性分析。

1 铁路电力贯通线无通道保护适应性分析

1.1 无通道保护基本原理

无通道保护基于传统定时限保护,综合利用故障信号及断路器跳闸后造成的线路健全相电压电流二次扰动信号,在故障发生区间的一端断路器跳闸

收稿日期:2018-06-13;修回日期:2018-06-20

基金项目:中国铁路总公司科技研究开发计划(2016J010-A);珠海轨道交通健康运营协同创新中心资助项目(55560307)

Project supported by the Scientific and Technological Research and Development Program of China Railway Corporation(2016J010-A) and the Program of Rail Transit Health Operations Collaborative Innovation Center of Zhuhai(55560307)

后加速另一端断路器跳闸,实现更快速、有选择性的故障隔离^[4]。在单电源辐射状线路中,为了实现故障发生后能够从两端完全切除故障,单断路器保护装置均需要根据故障方向判断故障发生位置投入对应保护模块,保护相对于故障点位于电源侧时,投入过电流 OC(Over Current)保护和加速过电流 AOC(Accelerated Over Current)保护,保护相对于故障位于负荷侧时,投入带方向的低电压 DUV(Directional Under Voltage)保护和加速低电压低流 ADUCV(Accelerated Directional Under Current under Voltage)保护^[8]。

OC保护模块和AOC保护模块采用序电流比值 R_i 判断不对称故障^[11],OC及AOC保护的启动判据为:

$$\begin{cases} I_f > I_{\text{set}} \\ R_i > R_{i,\text{set}} \end{cases} \quad (1)$$

$$I_{\text{set}} = (K_{\text{rel}} K_{\text{ss}} / K_{\text{re}}) I_{L,\text{max}}$$

$$R_i = (I_0 + I_2) / I_1$$

其中, I_f 为故障相电流; K_{rel} 为可靠系数,可取为1.25; K_{ss} 为自启动系数,可取为1; K_{re} 为返回系数,可取为0.85^[12]; $I_{L,\text{max}}$ 为保护节点最大负荷电流; I_0 、 I_1 、 I_2 分别为线路零序、正序、负序电流分量; $R_{i,\text{set}}$ 为整定值,可取为0.2~0.4^[8]。

OC保护模块动作时限 t 超过整定动作时限 $t_{\text{set},m}^{\text{OC}}$ 时保护动作,即式(2)成立时保护动作。

$$t > t_{\text{set},m}^{\text{OC}} \quad (2)$$

其中, m 为保护编号。

AOC保护模块在加速动作时间窗内检测健全相是否产生电流二次扰动信号以加速保护动作^[8]。利用小波变换在故障检测中的优势^[13],选用db4小波^[14]对健全相电流信号进行离散小波变化,计算每层模极大值,实现健全相电流二次扰动信号的检测,设置AOC加速判据作为健全相电流二次扰动判据^[15]:

$$W_{\text{max}} > W_{\text{set}} \quad (3)$$

其中, W_{max} 为健全相电流最大小波变换模极大值; W_{set} 为设置阈值,一般可取为3。

DUV保护模块及ADUCV保护模块采用序电压比值 R_u 判断不对称故障,DUV及ADUCV保护的启动判据为^[8]:

$$\begin{cases} U_f < U_{\text{set}} \\ R_u > R_{u,\text{set}} \end{cases} \quad (4)$$

$$R_u = (U_0 + U_2) / U_1$$

其中, U_f 为故障相电压; U_{set} 为整定值,可取为额定电压的30%; U_0 、 U_1 、 U_2 分别为线路零序、正序、负序电压分量; $R_{u,\text{set}}$ 为整定值,可取为0.2~0.4^[8]。

DUV保护模块的动作时限 t 超过整定动作时限 $t_{\text{set},m}^{\text{DUV}}$ 时保护动作,即式(5)成立时保护动作。

$$t > t_{\text{set},m}^{\text{DUV}} \quad (5)$$

ADUCV保护模块在加速动作时间窗内检测健全相无电压无电流信号加速保护动作,ADUCV保护加速判据^[11]为:

$$\begin{cases} U_s < \varepsilon \\ I_s < \varepsilon \end{cases} \quad (6)$$

其中, U_s 为健全相电压有效值; I_s 为健全相电流有效值; ε 为近似0的正值。

为了保证保护选择性,上一级保护动作时限应比下一级保护动作时限大一个时限阶段 Δt ,根据采用的断路器型式,时限阶段 Δt 在0.35~0.65s范围内^[16],本文取为0.35s。OC保护模块按从负荷到电源的方向由小到大配置,DUV保护模块则相反^[8],即OC、DUV保护模块的动作时限可分别整定为:

$$t_{\text{set},m}^{\text{OC}} = 0.10 + 0.35(M - m - 1) \quad m = 1, 2, \dots, M - 1 \quad (7)$$

$$t_{\text{set},m}^{\text{DUV}} = 0.20 + 0.35(m - 2) \quad m = 2, 3, \dots, M \quad (8)$$

其中, M 为线路总保护个数; m 由潮流实际流向的电源侧向负荷侧增大。

AOC保护模块加速动作时间窗以潮流下游相邻断路器的DUV保护模块整定时间为基准设置在0.10s内,ADUCV保护模块的加速动作时间窗以潮流上游相邻断路器的OC模块整定时间为基准设置在0.10s内^[8]。因此,AOC及ADUCV保护模块的加速动作时间窗分别为:

$$\tau_{\text{set},m}^{\text{AOC}} \in (t_{\text{set},m+1}^{\text{DUV}}, t_{\text{set},m+1}^{\text{DUV}} + 0.10) \quad m = 1, 2, \dots, M - 1 \quad (9)$$

$$\tau_{\text{set},m}^{\text{ADUCV}} \in (t_{\text{set},m-1}^{\text{OC}}, t_{\text{set},m-1}^{\text{OC}} + 0.10) \quad m = 2, 3, \dots, M \quad (10)$$

保护模块通过动作时限及动作逻辑的相互配合实现电力贯通全线保护。各保护模块在动作时限或加速动作时间窗内检测线路状态,如果符合保护判据则保护动作。如果OC保护模块在达到整定动作时限前检测到故障相电流恢复正常则保护返回,DUV保护模块在达到整定动作时限前检测到健全相无流则保护返回,AOC及ADUCV保护模块加速动作时间窗内加速判据不满足则保护返回。

1.2 铁路电力贯通线无通道保护方案

考虑铁路电力贯通线“双电源结构单端供电运行”特点,需要根据潮流实际流向,配置2套独立的无通道保护,并分别按照实际供电电源端依照单电源辐射状线路无通道保护进行配置。因此需定义潮流正向及故障正向,并增加潮流方向元件及故障方向元件判别线路运行工况,据此选择对应保护出口。保护出口选择逻辑如图1所示^[8]。

根据铁路电力贯通线采用不同侧电源进行单端供电的运行工况,对于含有12个保护节点的铁路电力贯通长线路,考虑供电对称性,下文仅分析由电源PB₁供电运行工况,其对应OC₁、DUV₁、AOC₁及

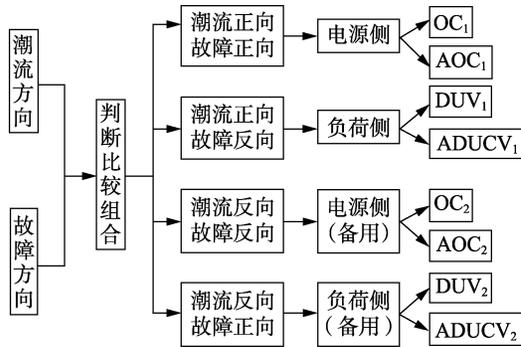


图 1 铁路电力贯通线无通道保护出口选择逻辑

Fig.1 Logic of non-communication protection exit selection for railway power transmission line

ADUCV₁ 保护配置及其整定动作时限,如图 2 所示,图中,P 为保护装置,B 为断路器。

1.3 铁路电力贯通线无通道保护适应性

在图 2 所示的铁路电力贯通线中,假设 0.11 s 时区间 2 发生 A 相接地故障。P₁、P₂ 判别潮流正向且故障正向,选择保护 OC₁ 及 AOC₁ 出口;P₃—P₁₂ 判别潮流正向而故障反向,选择保护 DUV₁ 及 ADUCV₁ 出口。

根据保护动作判据及时限,P₃ 的保护 DUV₁ 在故障 0.55 s 延时后(即 0.66 s)动作,B₃ 跳开,如图 3 所示;P₂ 的保护 AOC₁ 在动作时间窗(0.66~0.76 s)内检测到健全相电流二次扰动信号,满足加速判据,保护动作,则 B₂ 在 0.76 s 跳开,如图 4 所示。然后,故障区间被隔离,故障信号消失,其他保护返回。

同理,对于线路其他供电区间故障,各保护模块基于保护逻辑及动作时限相互配合,利用故障信号实现有选择性故障隔离。对于配置 12 个保护节点的铁路电力贯通长线路,采用无通道保护装置时,各供电区间故障隔离时间如图 5 所示。可见,采用传统无通道保护能够快速隔离铁路电力贯通长线路两端的供电分区故障,但是,对于线路中部的供电分区,存在故障隔离时间过长的问题,而对于需要设置更多保护节点的铁路电力贯通线路,基于保护模块采用时限阶段整定动作时限的原理,线路中部供电分区的故障隔离时间过长的问题会更加严重,降低了传统无通道保护的速动性。

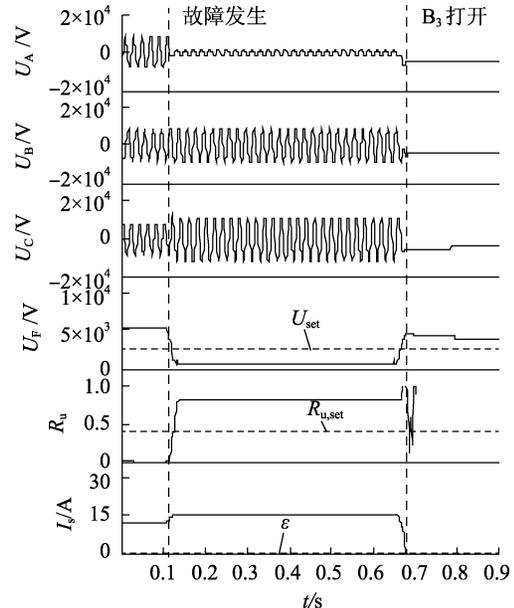


图 3 P₃ 的 DUV 保护模块的响应波形

Fig.3 Response waveforms of DUV protection module of P₃

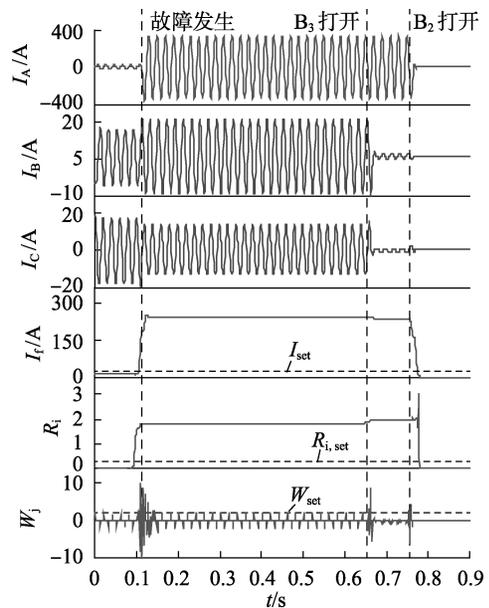


图 4 P₂ 的 AOC 模块的响应波形

Fig.4 Response waveforms of AOC protection module of P₂

2 铁路电力贯通线改进无通道保护

2.1 无通道保护改进方法

为缩短铁路电力贯通长线路故障时的停电范

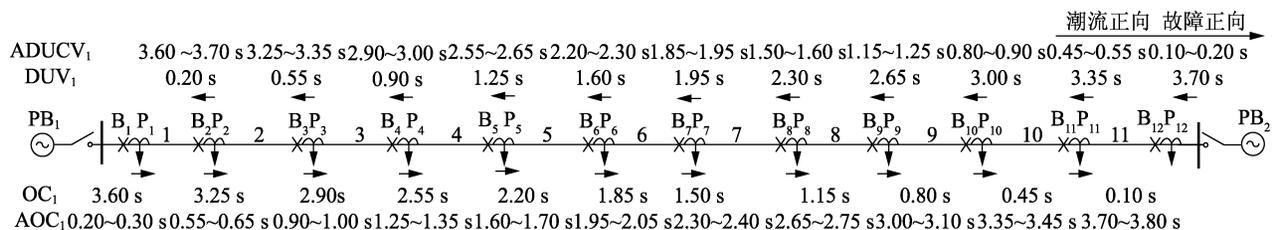


图 2 铁路电力贯通线无通道保护配置

Fig.2 Non-communication protection configuration for railway power transmission line

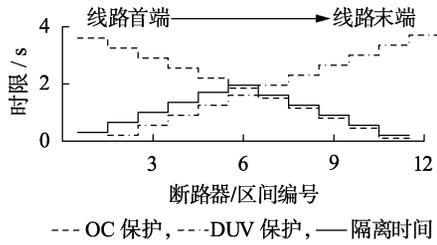


图 5 配备 12 个保护节点的无通道保护故障隔离时间

Fig.5 Isolation time of non-communication protection fault with twelve protection nodes

围,在采用无通道保护时,需要配置较多保护节点。按照故障隔离时长,可将线路大致均分为首段、中段及末段。线路首段 DUV 保护动作时限较短,故障通过 DUV 保护及 AOC 保护实现快速隔离;线路末段 OC 保护动作时限较短,故障通过 OC 保护及 ADUCV 保护实现快速隔离;但对于线路中段,由于 DUV 保护和 OC 保护的时限均较长,导致其故障隔离时间过长。

当前,故障测距法在输电线路保护中的应用已有研究^[17],而对于铁路贯通长线路,在线路首段及末段可按照传统无通道保护配置实际动作的保护模式,对于线路中段,则可在各供电区间潮流上游侧配置带故障测距保护 FLP(Fault Location Protection)模块加速保护动作,改进无通道保护。即线路中段发生故障时,位于潮流上游侧的 FLP 模块启动故障测距判断故障发生位置,从而判定是否加速保护动作,达到缩短线路中段故障隔离时长的目的。

2.1.1 基于故障测距的 FLP 判据

FLP 模块启动判据与 OC 保护模块相同,通过故障测距结果判断故障是否发生在 FLP 的保护范围内,若是则按照 FLP 的动作整定时限加速保护动作。具体动作判据为:

$$\begin{cases} L_{\text{dis}} \leq L_{\text{set}} \\ I_{\text{f}} > I_{\text{set}} = (K_{\text{rel}} K_{\text{ss}} / K_{\text{re}}) I_{\text{L,max}} \\ R_{\text{i}} > R_{\text{i,set}} \\ t > t_{\text{set}} \end{cases} \quad (11)$$

$$L_{\text{set}} = K_{\text{dis}} x_{\text{dis}}$$

$$R_{\text{i}} = (I_0 + I_2) / I_1$$

其中, K_{dis} 为 FLP 可靠性系数; x_{dis} 为保护区间长度; L_{dis} 为测距结果; L_{set} 为 FLP 的整定值。

对于单端供电运行系统,各保护通过监测电压电流波形判断系统故障类型。

a. 单相接地故障。

设单相接地故障过渡电阻为纯电阻,线路单位长度的正序阻抗、零序阻抗分别为 Z_1 、 Z_0 ,且正负序阻抗相同,则故障阻抗为^[18]:

$$Z_{\text{f}} = \frac{U_{\text{f}}}{I_{\text{f}}} = \frac{U_{\text{c}} - (I_{\text{c}} + 3KI_0)Z_{\text{r}}x}{I_{\text{c}}} \quad (12)$$

其中, U_{c} 为故障相电压; I_{c} 为故障相故障电流; $K =$

$(Z_0 - Z_1) / (3Z_1)$,为零序补偿系数; Z_{r} 为线路单位阻抗; x 为继电器与故障点的距离。

对 x 进行迭代搜索, $\text{Im}[Z_{\text{f}}]$ 最小值对应的 x 值即为故障距离 L_{dis} 。

b. 两相短路及两相短路接地故障。

两相短路故障的测距计算公式为^[18]:

$$L_{\text{dis}} = \frac{\text{Im}[U_{\text{md}}/I_{\text{md}}]}{\text{Im}[Z_1]} \quad (13)$$

其中, U_{md} 、 I_{md} 分别为两故障相电压、电流之差。

两相短路接地故障的测距计算公式为^[19]:

$$L_{\text{dis}} = \frac{\text{Im}[jU_{\text{md}}(I_{\text{mr1}}^* - I_{\text{mr2}}^*)]}{\text{Im}[jZ_1 I_{\text{md}}(I_{\text{mr1}}^* - I_{\text{mr2}}^*)]} \quad (14)$$

其中, I_{mr1}^* 、 I_{mr2}^* 分别为以非故障相为基准相的正序、负序故障电流的共轭向量。

2.1.2 FLP 选择性分析

考虑故障测距误差,FLP 可靠性系数 K_{dis} 可取为 1.2,为保证保护选择性,FLP 动作时限按从潮流下游至上游由小到大配置。对于 FLP 相邻潮流下游的 ADUCV 保护,在配合 OC 保护整定的动作时间窗 τ 的基础上,以 FLP 整定时间为基准的 0.10 s 内再配置动作时间窗 τ' 。另外,应保证 FLP 与 OC 保护对应 ADUCV 保护加速动作时间窗 τ 与 τ' 互斥,避免 ADUCV 误动,FLP 保护模块动作时限可整定为:

$$t_{\text{set},m}^{\text{FOC}} = 0.35(Q-q) + 0.30 \quad q = 1, 2, \dots, Q \quad (15)$$

其中, Q 为配置的 FLP 保护总数; q 为配置 FLP 保护编号,由潮流实际流向的潮流上游向下游增大。

特别地,对于编号最大的 FLP 模块,即按照潮流实际流向排序的最后一个保护节点,为了避免因下一区间首端故障造成 FLP 误动,需要缩短该 FLP 模块的保护范围。因此,针对该 FLP 模块,可靠性系数 K_{dis} 取为 0.8,相应供电区间末端故障则由 OC 保护按原整定时间动作实现故障隔离。

类似于其他保护模块投入整定原理,按照潮流实际流向,FLP 模块也需按照实际配置 2 套独立模块。

2.2 铁路电力贯通线改进无通道保护方案

在传统无通道保护的基础上,铁路电力贯通线无通道保护在线路中段保护配置了 FLP 模块,加速保护动作;另外,针对对称故障,在铁路电力贯通线首末两端的首个保护节点配置过电流速断 IOC(Instantaneous Over Current)保护,IOC 模块根据潮流方向投入,实现从线路首端快速动作切除对称故障,设定 IOC 模块的动作时限为 0.06 s^[15],IOC 保护的启动判据为:

$$\begin{cases} I_{\text{A,B,C}} > I_{\text{set}} \\ R_{\text{i}} < R_{\text{i,set}} \\ t > t_{\text{set}} \end{cases} \quad (16)$$

$$I_{\text{set}} = (K_{\text{rel}} K_{\text{ss}} / K_{\text{re}}) I_{\text{L,max}}$$

$$R_i = (I_0 + I_2) / I_1$$

其中, $I_{A,B,C}$ 为三相电流。

考虑铁路电力贯通长线路“双电源结构单端供电运行”特点,保护根据铁路电力贯通线潮流方向及故障方向自动选择保护出口。故障发生后,各保护按照改进无通道保护判据及动作时限,根据潮流方向及故障方向的判别结果选择保护出口,各保护出口选择逻辑如图 6 所示。

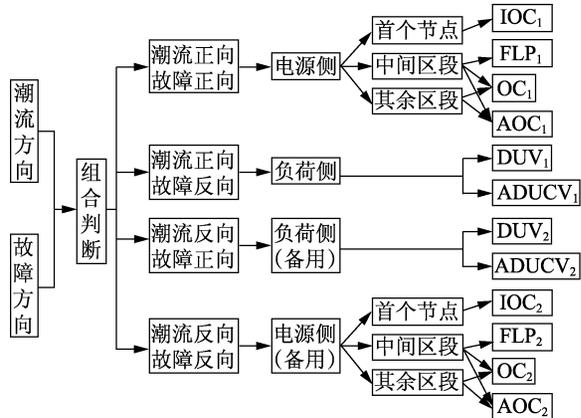


图 6 铁路电力贯通线改进无通道保护出口选择逻辑

Fig.6 Logic of improved non-communication protection exit selection for railway power transmission line

铁路电力贯通线发生故障时,各保护模块动作逻辑如图 7 所示。故障发生后,IOC 保护、FLP、OC 保护和 DUV 保护模块监测故障信号是否满足保护判据,若满足,则保护启动,在达到动作时限后,保护动作、断路器跳开;对于 ADUCV 和 AOC 保护模块,保护模块在检测到启动判据满足后,在相应加速动作时间窗内检测线路健全相是否出现电流二次扰动信号或者无压无流信号,从而判别加速判据是否满足,若加速判据满足,则加速所在节点保护动作、断路器断开,实现故障完全隔离;故障被隔离后,未动作保护根据线路状态判别其他保护已经动作,则保护返回。

3 仿真分析

3.1 铁路电力贯通线改进无通道保护整定方案

根据铁路电力贯通线改进无通道保护方案,对如图 2 所示的铁路电力贯通线进行无通道保护整定,基于无通道保护,在线路中段供电区间 5—7 配置 FLP 模块如图 8 所示,图中仅给出配置 FLP 的供电区间的保护配置情况。

3.2 中间加速区段故障分析

设供电区间 6、7 的长度分别为 0.81 km 及 2.86

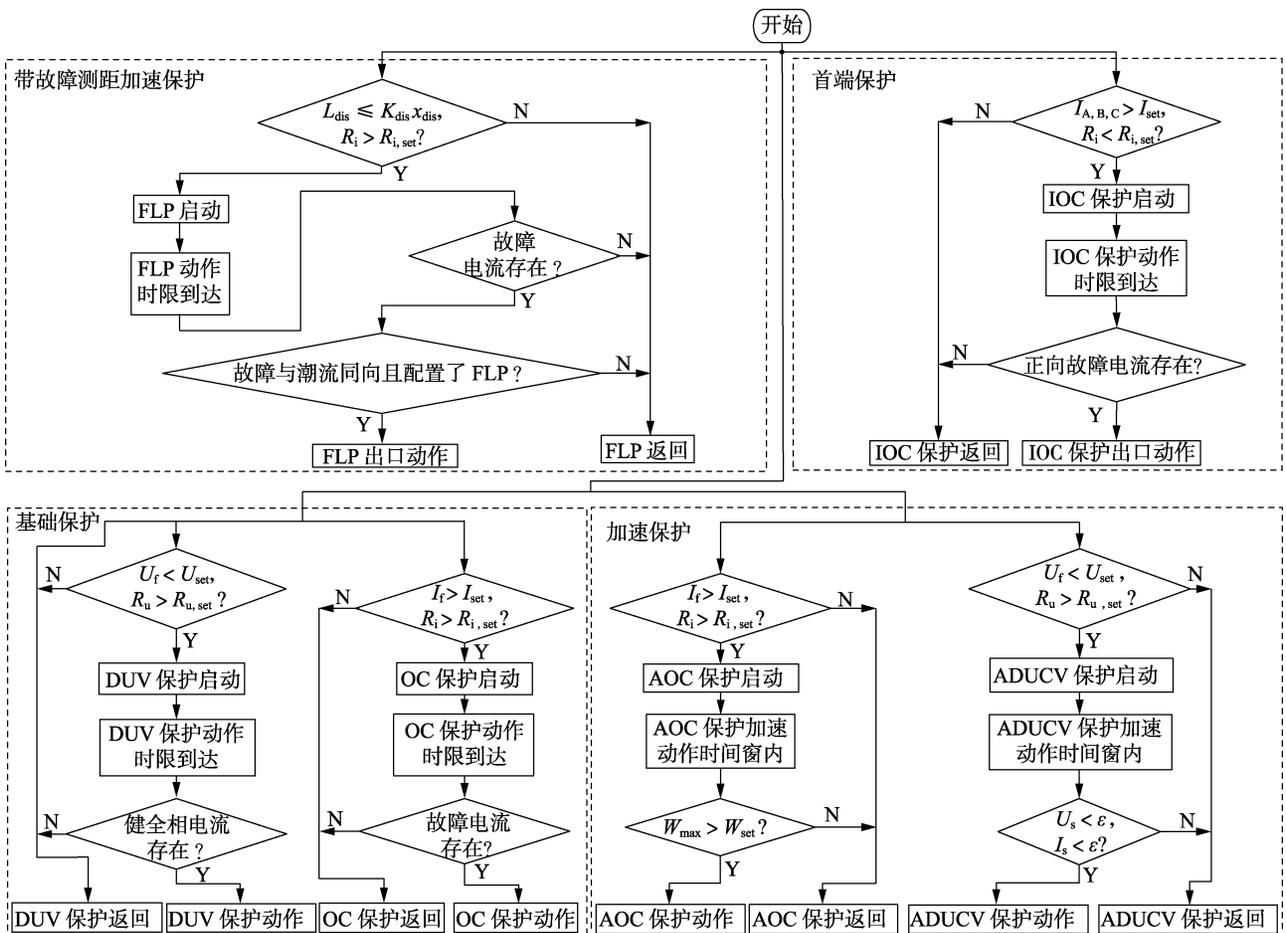


图 7 铁路电力贯通线无通道保护动作逻辑

Fig.7 Action logic of non-communication protection for railway power transmission line

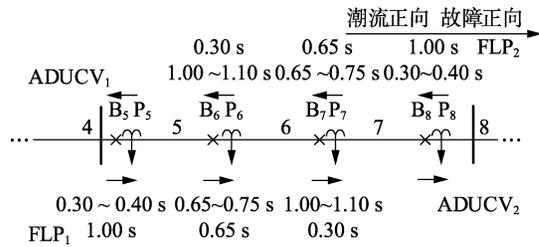


图 8 铁路电力贯通线中段无通道保护配置

Fig.8 Non-communication protection configuration in middle section of railway power transmission line

km。若在 0.18 s 时在区间 7 发生 B 相接地故障且与 P₇ 的距离为 0.86 km。P₁—P₇ 判别潮流正向且故障正向,选择保护 OC₁ 及 AOC₁ 出口,其中,P₅—P₇ 同时选择保护 FLP₁ 出口;P₈—P₁₂ 判别潮流正向而故障反向,选择保护 DUV₁ 及 ADUCV₁ 出口。根据保护动作判据及时限,P₇ 的 FLP₁ 在故障发生后经过 0.30 s 的延时(即 0.48 s 时)动作,断路器 B₇ 跳开,见图 9;P₈ 的 ADUCV₁ 在动作时间窗内(0.48~0.58s)检测到健全相电压电流降低,满足加速判据,保护动作,因此 B₈ 在 0.58 s 时跳闸,见图 10。然后,故障区间被隔离,故障信号消失,其他保护返回。

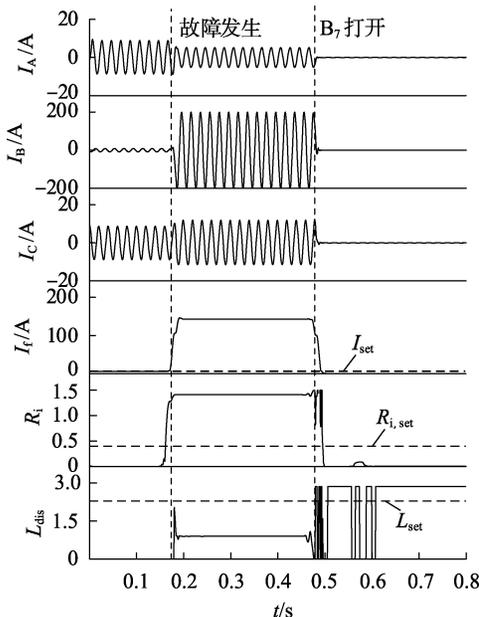


图 9 P₇ 的 FLP 模块响应波形

Fig.9 Response waveforms of FLP protection module of P₇

若 B 相接地故障发生于区间 7 且与 P₇ 相距仅 0.02 km,P₆ 及 P₇ 的 FLP₁ 的动作判据均满足,由于 P₇ 的 FLP₁ 的动作时限短于 P₆,因此 P₇ 将先于 P₆ 动作,从而避免保护误动,如图 11 所示。

3.3 对称故障下的保护响应分析

设在 0.20 s 时线路发生三相对称故障,P₁ 判别为三相对称故障且潮流正向,选择保护 IOC₁ 出口,在 0.06 s 延时后(即 0.26 s 时)保护动作,切除对称故障,响应波形如图 12 所示。

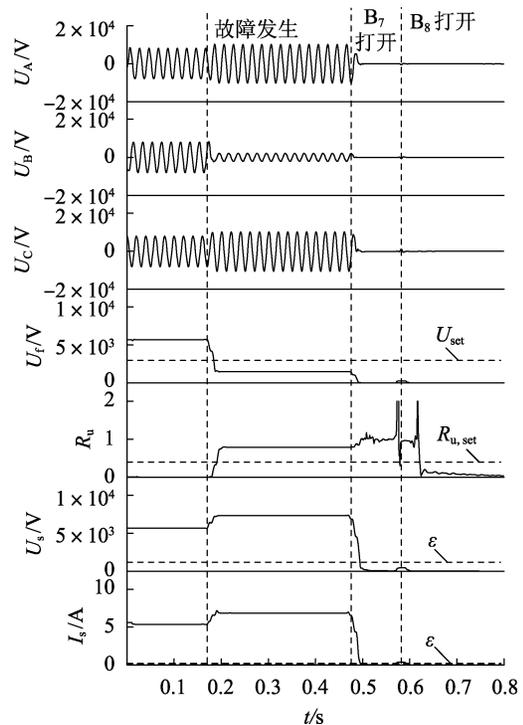


图 10 P₈ 的 ADUCV 保护模块响应波形

Fig.10 Response waveforms of ADUCV protection module of P₈

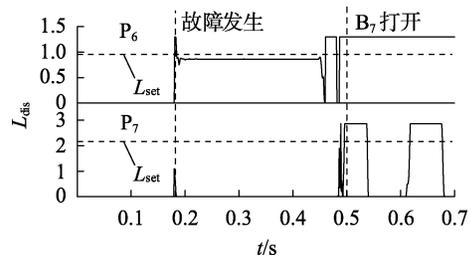


图 11 P₆ 和 P₇ 的 FLP 模块响应波形

Fig.11 Response waveforms of FLP protection module of P₆ and P₇

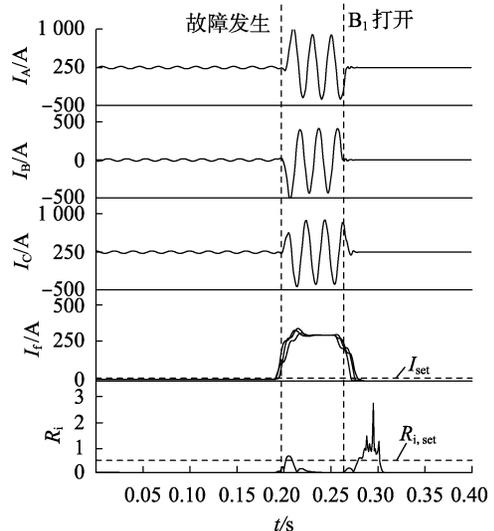


图 12 P₁ 的 IOC 保护模块在对称故障下的响应波形

Fig.12 Response waveforms of P₁ of IOC protection module under symmetrical fault

3.4 改进方案加速效果分析

对比采用改进无通道保护方案与传统无通道保护方案的配置 12 个保护节点的铁路电力贯通长线路各供电区间的故障隔离时间,如图 13 所示。由图 13 可见,采用改进无通道保护方案时全线最长的故障隔离时间较采用传统无通道保护方案时缩减了 0.60 s,区段 6—7 的故障隔离时间缩减更加显著,均缩减了 1.20 s。

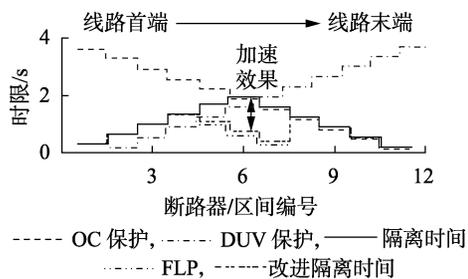


图 13 采用传统和改进无通道保护的配置 12 个保护节点的铁路电力贯通长线路的故障隔离时间

Fig.13 Fault isolation time of railway power transmission line with 12 protection nodes adopting improved and traditional non-communication protections

相比于传统无通道保护方案,改进无通道保护方案能够有效地缩短铁路电力贯通长线路故障隔离时间,在线路允许保护最迟动作时限的约束下,有利于铁路电力贯通长线路设置更多的保护节点,以缩短线路故障时需要切除的供电范围,从而解决了传统无通道保护方案为保证快速切除线路故障需要减少保护节点而造成故障切除后停电区域过大的问题,提高了无通道保护的可靠性,为通信条件不发达国家和地区的电气化铁路电力贯通线路的故障隔离提供保障。

4 结论

本文通过分析传统无通道保护在铁路电力贯通线的适应性,考虑铁路电力贯通线“双电源结构单端供电运行”特点,提出了利用单端故障测距技术加速保护动作的方法,改进了传统无通道保护,给出了适用于铁路电力贯通线的无通道保护自动投入方案,解决了传统无通道保护方案下铁路电力贯通长线路中段供电区间故障隔离时间过长的问题,实现不依赖于通信信道进行铁路电力贯通线故障区段的快速、准确隔离。文中提出的铁路电力贯通线无通道保护方案可作为铁路电力贯通线保护的补充方式,解决通信技术欠发达地区铁路电力贯通线路故障切除与隔离问题。

参考文献:

[1] 国家发展改革委,外交部,商务部. 推动共建丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动[N]. 人民日报,2015-03-29(4).

[2] 徐长山,金龙.“一带一路”战略下中国铁路走出去的时间价值、空间意义与约束条件[J]. 科技进步与对策,2016,33(16):111-115.
XU Changshan, JIN Long. The time value, space meaning and constraints of chinese railway going out under “the belt and road” strategy[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2016, 33(16):111-115.

[3] BO Z Q. Adaptive non-communication protection for power lines BO scheme. II. The instant operation approach[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2002, 17(1):92-96.

[4] 张梅,董新洲,薄志谦,等. 实用化的配电线路无通道保护方案[J]. 电力系统自动化,2005,29(12):68-72.
ZHANG Mei, DONG Xinzhou, BO Zhiqian, et al. Practical non-communication protection for distribution feeders[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(12):68-72.

[5] 刘建凯,董新洲,薄志谦. 有支配电线路无通道保护研究[J]. 电力系统自动化,2003,27(1):37-41.
LIU Jiankai, DONG Xinzhou, BO Zhiqian. Non-communication protection for distribution systems with the tapped-load[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(1):37-41.

[6] 梅勇,苗世洪,张洁,等. 一种新型的铁路自闭(贯通)线路微机保护装置[J]. 电力自动化设备,2004,24(6):65-67.
MEI Yong, MIAO Shihong, ZHANG Jie, et al. Microprocessor-based protection device of railway automatic block (power continuous) lines[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(6):65-67.

[7] 彭春华,张艳伟. 基于电流正序分量相位比较的主动配电网保护方案[J]. 电力自动化设备,2016,36(6):163-169.
PENG Chunhua, ZHANG Yanwei. Protection scheme based on phase comparison of positive-sequence fault current for active distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(6):163-169.

[8] 董新洲,施慎行,王宾,等. 新型配电线路自动化模式[J]. 电力系统及其自动化学报,2007,19(3):1-7.
DONG Xinzhou, SHI Shenxing, WANG Bin, et al. Novel distribution line automation mode[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2007, 19(3):1-7.

[9] 刘琨,董新洲,施慎行,等. 对称故障下基于无通道保护的配电线路自动化[J]. 清华大学学报(自然科学版),2011,51(11):1562-1567.
LIU Kun, DONG Xinzhou, SHI Shenxing, et al. Distribution line automation based on non-communication protection for symmetrical fault[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2011, 51(11):1562-1567.

[10] 施慎行,许刚,董新洲,等. 基于无通道保护的配电线路自动化系统现场应用方案[J]. 电工电能新技术,2013,32(1):94-97.
SHI Shenxing, XU Gang, DONG Xinzhou, et al. A field scheme of feeder automation system based on non-communication protection [J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2013, 32(1):94-97.

[11] 陈飞,董新洲,薄志谦. 快速有选择性的辐射状配电网无通道保护[J]. 电力系统自动化,2003,27(22):45-49.
CHEN Fei, DONG Xinzhou, BO Zhiqian. Fast and selective non-communication protection for radial connected distribution systems [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(22):45-49.

[12] 张保会,尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京:中国电力出版社,2005:24-25.

[13] 何正友,蔡玉梅,钱清泉. 小波熵理论及其在电力系统故障检测中的应用研究[J]. 中国电机工程学报,2005,25(5):38-43.

- HE Zhengyou, CAI Yumei, QIAN Qingquan. A study of wavelet entropy theory and its application in electric power system fault detection[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(5):38-43.
- [14] OSMAN A H, MALIK O P. Transmission line distance protection based on wavelet transform[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2004, 19(2):515-523.
- [15] 温曼越. 高速铁路10 kV 电力贯通线故障自动隔离方法研究[D]. 成都:西南交通大学, 2016.
WEN Manyue. Research on an automatic fault isolation method in high speed railway 10 kV power transmission line[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.
- [16] 刘学军, 段慧达, 辛涛. 继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社, 2012:58-59.
- [17] 王颖, 王增平, 潘明九. 故障测距法在输电线路保护中的应用[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(12):34-38.
WANG Ying, WANG Zengping, PAN Mingjiu. Application of fault locating in line protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(12):34-38.
- [18] 曾浩. 基于单端电气量的青藏铁路供电线路故障测距方案的研究[D]. 成都:西南交通大学, 2005.
ZENG Hao. Study on fault location of Qingzang railway distribution systems using one-terminal data[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2005.
- [19] 高振亚. 基于工频电气量输电线路故障测距研究[D]. 广州:广

东工业大学, 2011.

GAO Zhenya. Research on transmission line fault location based on power frequency quality[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2011.

作者简介:



林晓鸿

林晓鸿(1993—),男,广东揭阳人,硕士研究生,主要研究方向为继电保护与故障定位、地铁杂散电流分布特性(**E-mail**: xiaohong199312@163.com);

林圣(1983—),男,湖南长沙人,副教授,博士,通信作者,主要研究方向为电力系统继电保护与故障定位、牵引供电系统

健康诊断(**E-mail**: slin@swjtu.cn);

温曼越(1991—),女,湖北武汉人,助理工程师,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护(**E-mail**: wenmanyue@foxmail.com);

孙建明(1963—),男,湖北安陆人,教授级高级工程师,主要从事高铁或客运专线电气工程的设计研究工作(**E-mail**: sjmtsy@126.com)。

Non-communication protection scheme for electric railroad power transmission line

LIN Xiaohong¹, LIN Sheng¹, WEN Manyue², SUN Jianming²

(1. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

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

Abstract: In order to realize the failure removal and isolation of the ERPTL (Electric Railroad Power Transmission Line) in the countries and regions with poor communication conditions, a method of non-communication protection scheme for ERPTL is proposed. Based on the analysis of the adaptability of the traditional non-communication protection scheme for ERPTL, the single-terminal fault location technology is used to accelerate the protection action in the middle section of ERPTL, which solves the problem of long fault removal time of the traditional non-communication protection when fault occurs in the middle section of the long ERPTL. The scheme of the improved non-communication protection is proposed according to the ERPTL characteristic of "single supply operation of dual-power-supply structure". The simulative results show that being independent of the communication channel, the proposed protection scheme can realize rapid fault removal and isolation of ERPTL. It can help to solve the fault isolation problem of ERPTL in the countries and regions with poor communication conditions and improve the power supply reliability of ERPTL.

Key words: railroads; non-communication protection; power transmission line; electric fault location; fault removal and isolation; asymmetric fault