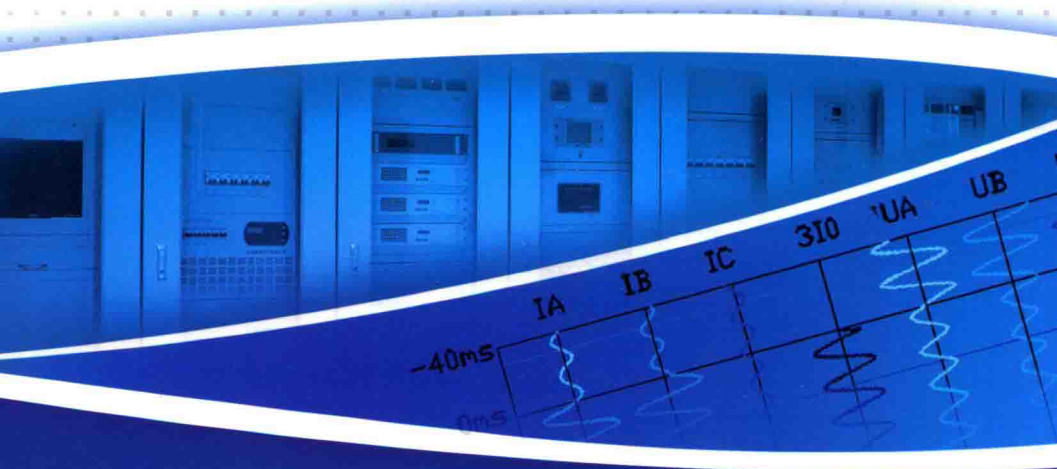


JIDIAN BAOHU JI ERCI HUILU SHIYONG JISHU

# 继电保护及二次回路 实用技术

国网冀北电力有限公司管理培训中心 组编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

JIDIAN BAOHU JI ERCI HUILU SHIYONG JISHU

# 继电保护及二次回路 实用技术

国网冀北电力有限公司管理培训中心 组编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书在总结归纳继电保护传统知识和新技术的基础上,简要介绍了线路保护、变压器保护、母线保护、断路器保护的功能配置和保护原理;详尽介绍了从事继电保护工作的技术人员在运行工作中需要掌握的知识和技能,以及故障录波图的作用、阅读方法和故障分析方法;特别介绍了智能变电站继电保护设备、IEC61850 相关知识以及运行要点。书中还重点讲解了二次回路的作用、特点以及二次回路图的识读方法。

读者通过本书的学习,可基本掌握继电保护的基本原理及现场运行要点,了解继电保护的新技术、新知识,为进一步提高工作效率、保障操作安全打下良好的基础。本书适合从事继电保护工作的工程技术人员阅读、学习,也可供大专院校相关专业的师生作为参考教材使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

继电保护及二次回路实用技术 / 国网冀北电力有限公司管理培训中心组编. —北京: 中国电力出版社, 2015.7

ISBN 978-7-5123-6966-5

I. ①继… II. ①国… III. ①继电保护-基本知识②二次系统-基本知识 IV. ①TM77②TM645.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 308682 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2015 年 7 月第一版 2015 年 7 月北京第一次印刷

700 毫米×1000 毫米 16 开本 17.5 印张 323 千字

印数 0001—3000 册 定价 48.00 元

## 敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



## 本书编委会

主 任 姚建中

副 主 任 郑超达 高 旭 马宝忠

委 员 顾振江 尚润田 王志慧 朱 琳

主 编 顾振江

编写人员 王岩鹏 宋 巍 李爱民 李国武

李小虎 顾 颖 郭 鑫 王 翀

赵丽萍 程奕梅 朱 琳

主 审 马宝忠

审 核 王岩鹏 李爱民 程奕梅

(排名不分先后)




# 前言

加快建设坚强智能电网，提升安全稳定运行水平是国家电网公司的重要发展目标。智能变电站大规模建设，调控一体化、变电站无人值班等发展趋势对继电保护的整体工作要求进一步提高，继电保护专业对电网安全运行的责任日益重大。

智能变电站等新技术的应用使得继电保护技术复杂程度大为增加，对继电保护人员技术能力和专业管理水平要求更高，亟需加强对继电保护从业人员的培训工作，在夯实相关人员传统保护技术“基本功”的同时，尽快对新知识、新技术消化吸收。同时，各级专业管理部门也需通过对专业工作进行规范化和标准化，提高工作效率和管理水平。

国网冀北电力有限公司管理培训中心组织编写的《继电保护及二次回路实用技术》，以“服务生产运行、提升专业管理”为主旨，在总结归纳继电保护传统知识和新技术的基础上，从专业管理的角度对相关技术要点进行详细论述，力求使读者在迅速掌握技术要点的同时，将专业管理要求与生产实践紧密结合。通过将继电保护专业管理的重要工作进行规范化和标准化，使得相关工作的执行效率和受控水平均能显著提升。

本书在编写、出版的过程中，得到了国网冀北电力有限公司各级领导、专家的关心和指导，谨对所有参与和支持本书编写、出版工作的同志们致以衷心的感谢和崇高的敬意。



# 目录

## 前言

<b>第一章 线路保护</b> .....	1
第一节 电力系统继电保护区域重叠的重要意义 .....	1
第二节 线路保护的功能配置 .....	4
第三节 线路纵联电流差动保护 .....	6
第四节 线路距离保护 .....	20
第五节 零序电流方向保护 .....	35
<b>第二章 变压器保护</b> .....	40
第一节 变压器的故障和异常运行类型 .....	40
第二节 变压器继电保护设备配置 .....	40
第三节 变压器保护基本配置及其主要作用 .....	41
第四节 纵差动保护 .....	43
第五节 复合电压闭锁方向过电流保护 .....	55
第六节 零序方向过电流保护 .....	60
第七节 变压器阻抗保护 .....	64
第八节 变压器过励磁保护 .....	66
第九节 变压器中性点间隙保护和零序电压保护 .....	66
第十节 TV 断线判据 .....	67
<b>第三章 母线保护</b> .....	68
第一节 母线保护在电力系统运行与管理中的重要作用和意义 .....	68
第二节 母线的接线方式 .....	68
第三节 装设母线保护的基本原则 .....	69
第四节 对母线保护的要求 .....	70
第五节 与其他保护及自动装置的配合 .....	70
第六节 母线差动保护基本原理概述 .....	71
第七节 微机母差保护 .....	71
<b>第四章 断路器保护</b> .....	89
第一节 保护功能整体简介 .....	89

第二节	断路器失灵保护	89
第三节	断路器死区保护	91
第四节	三相不一致保护	92
第五节	断路器充电保护	93
第六节	自动重合闸	94
<b>第五章</b>	<b>厂站端自动化</b>	<b>99</b>
第一节	变电站自动化在电力系统运行与管理中的重要作用和意义	99
第二节	变电站自动化系统的功能	99
第三节	变电站自动化系统的结构、设备组成	101
第四节	变电站自动化系统的技术要求	109
第五节	变电站自动化系统的二次回路及工作中应注意的问题	110
第六节	变电站自动化系统的信息通信协议	115
第七节	电力二次系统安全防护	127
<b>第六章</b>	<b>智能变电站继电保护</b>	<b>134</b>
第一节	智能变电站概述	134
第二节	IEC61850 体系相关知识	136
第三节	智能变电站继电保护系统的设备	139
<b>第七章</b>	<b>继电保护“六统一”标准化设计</b>	<b>146</b>
第一节	220kV 线路保护标准化设计	147
第二节	220kV 母线保护及断路器失灵保护标准化设计	157
第三节	220kV 变压器保护标准化设计	167
第四节	220kV 变电站其他设备标准化设计	178
<b>第八章</b>	<b>二次回路及图纸识读</b>	<b>183</b>
第一节	二次回路的基本原理	183
第二节	变电站二次回路的特点	186
第三节	二次回路图识读举例	191
<b>第九章</b>	<b>互感器</b>	<b>195</b>
第一节	互感器在继电保护中的作用和重要性	195
第二节	互感器的类型	200
第三节	保护电流互感器类型选择	201
第四节	互感器对保护的影响	202
第五节	互感器的使用及反事故措施	204
第六节	互感器的检查和验收要求	208
第七节	电子式互感器	211

<b>第十章 保护直流供电系统</b> .....	216
第一节 变电站直流系统的基本原理、接线方式 .....	216
第二节 直流熔断器、快速开关的基本特性、配置方式 .....	217
第三节 直流接地的危害及处理方法 .....	220
第四节 继电保护以及自动装置对直流电源的配置要求 .....	221
第五节 反措对继电保护直流电源的配置要求 .....	222
<b>第十一章 故障录波图分析</b> .....	225
第一节 故障录波 .....	225
第二节 正确分析故障录波图 .....	237
<b>第十二章 继电保护验收要点</b> .....	245
第一节 防止继电保护事故措施 .....	245
第二节 现场验收要点 .....	254
第三节 智能变电站工程继电保护系统相关工作 .....	258





# 第一章

## 线路保护

### 第一节 电力系统继电保护区域重叠的重要意义

电力继电保护动作区域的重叠是有效保障电力设备在任何情况下都不失去保护功能的重要举措。

#### 一、主保护与母线差动保护范围重叠

220kV 及以上系统元件（线路、变压器）的主保护与母线差动保护范围交叉是防止保护死区的重要举措。

##### 1. 纵联电流差动保护区域

现在 220kV 及以上电网采用的纵联电流差动保护主要有南京南瑞继保电气有限公司（以下简称南瑞继保）的 RCS-931、北京四方继保自动化股份有限公司（以下简称北京四方）的 CSC-103 以及许继电气股份有限公司（以下简称许继电气）的 WXH-803 等型号。其主要特点是由分别安装在线路两侧的两个“半套”装置构成一整套保护，线路两侧用于纵联电流差动保护的电流互感器之间的区域为保护的保护区，如图 1-1 所示。

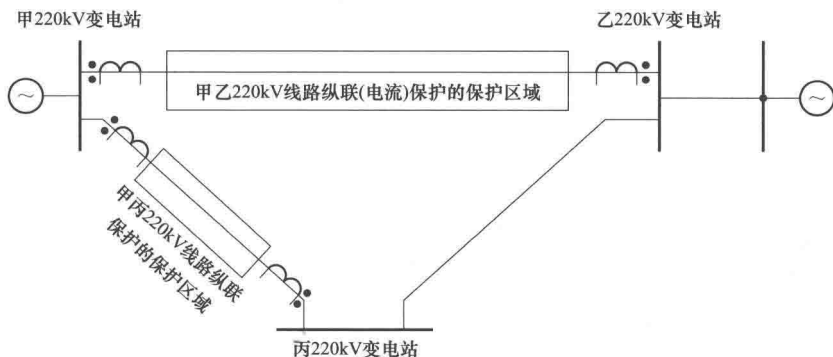


图 1-1 纵联电流差动保护范围

### 2. 母线差动保护区域

母线差动保护区域是指由母线所连接的各个元件（包括母联断路器）接入母差保护的电流互感器绕组位置所确定的区域。

需要明确的概念是：在双母线差动保护中，大差元件是母线内部故障的选择元件，而小差元件是故障母线选择元件。以大差元件为例，接入电流是母线上所有连接元件的电流（不包括母联），这样大差启动元件的保护范围如图 1-2 所示。

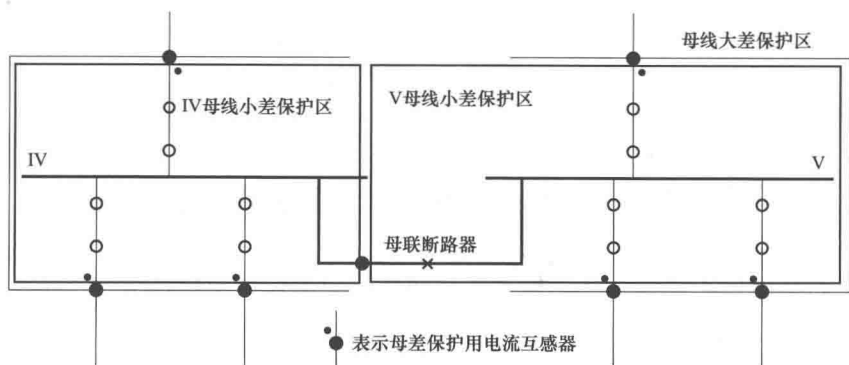


图 1-2 母线差动保护范围

### 3. 保护区域的交叉

根据继电保护运行规定，任何电力设备不得在无继电保护的的状态下运行，对于 220kV 及以上多电源系统，为保证系统运行的稳定性，任何位置的故障必须保证“0s”切除。如图 1-3 所示，若编号为“1”的电流互感器接入母线差动保护，编号为“2”的电流互感器接入线路保护 1，编号为“3”的电流互感器接入

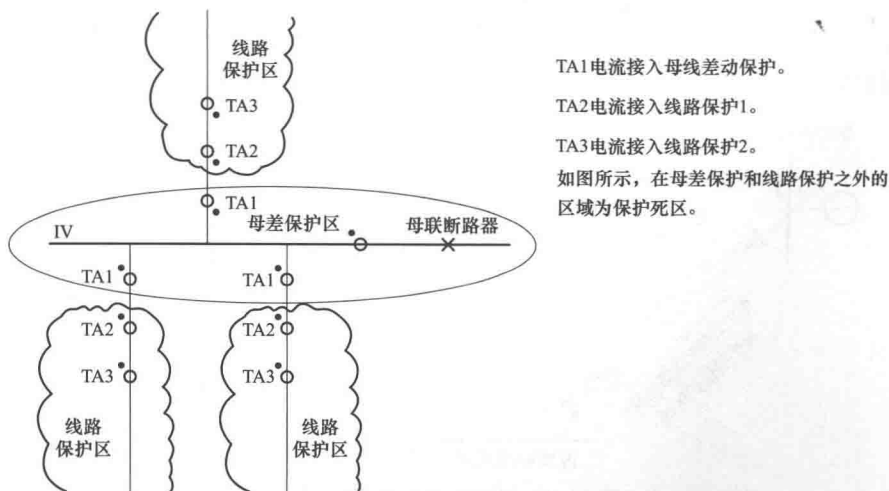


图 1-3 保护区未实现正确的交叉

线路保护 2，就会出现保护死区，即母差保护区域与线路保护保护区之间的部分为继电保护死区。该死区在电流互感器的内部，发生的概率尽管较少，但对系统影响很大。

正确配置方案应该是，编号为“1”、“2”的电流互感器接入线路保护 1、2，编号为“3”的电流互感器接入母线差动保护，二者有公共保护区，如图 1-4 所示。

需要说明的是：系统发生故障时，若线路保护与母线保护同时动作，则说明是公共区域发生故障，实际该公共区域在电流互感器的内部。

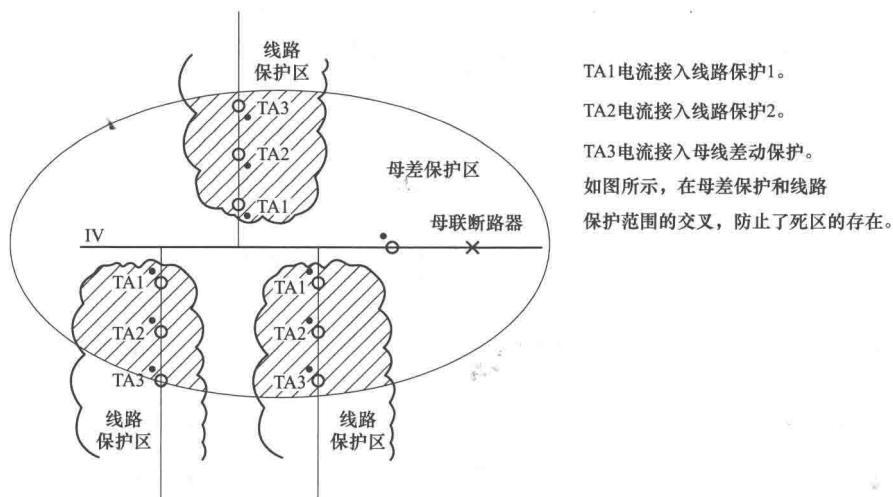


图 1-4 保护区实现正确的交叉

## 二、后备保护依靠定值的阶段性配合，实现保护区的重叠

后备保护的保护区大小以整定的定值进行划分，以距离保护为例，距离 I 段一般按照本线路全长的 80%~85%整定，其保护区不超过本线路全长，距离 II 段不超过下一线路 I 段保护区，并且有 0.5s 延时，同时也实现了保护区的交叉，如图 1-5 所示。

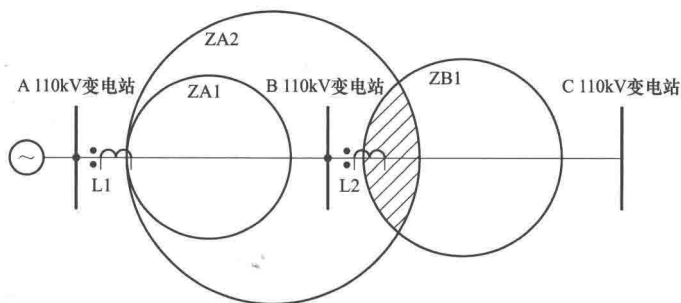


图 1-5 阶段式后备保护实现保护范围的交叉



经就地判别”方式跳闸，实现了完全的独立和双重化。

## 二、220kV 线路保护的配置

配置两套独立的主、后一体化保护，每套保护均具有完整的主保护及后备保护功能。主保护为能保证全线路速动的纵联保护（南瑞继保的 RCS-931、北京四方的 CSC-103、许继电气的 WXH-803、深圳南瑞科技有限公司（以下简称深圳南瑞）的 PRS-753 属纵联电流差动保护，南瑞继保的 RCS-901、LFP-901 为纵联方向保护，北京四方的 CSL-101、国电南京自动化股份有限公司（以下简称国电南自）的 PSL-602G 为纵联距离保护）；后备保护为阶段式相间距离保护、接地距离保护以及零序（方向）过电流保护，为了防止 TV 断线情况下，由于装置自动退出距离保护及零序方向保护段而失去后备保护功能，设置 TV 断线情况下自动投入的“TV 断线下相过电流保护及零序过电流保护”。

仅使用其中一套线路保护中的重合闸功能（单相重合闸、三相重合闸、停用三种方式）。

对于三面屏配置的线路保护，有独立的辅助屏，有公用的具备两个跳闸线圈的操作箱，合闸回路为一套。在早期的保护配置中，操作箱中还配置有两套线路保护公用的电压切换插件，另外本屏配置的失灵保护启动装置（如 RCS-923C）还完成失灵保护启动电流判据的功能。

继电保护标准化设计工作开展以来，220kV 线路保护均采用两面屏配置，在每一套独立的线路保护屏上配置该保护专用、独立配置的操作箱及电压切换单元。两套保护完全独立的理念有了进一步的推进。

## 三、110kV 线路保护的配置

110kV 线路保护功能配置有两种方案。

(1) 以纵联电流差动保护作为主保护，主要用于双侧电源的 110kV 线路、发电厂与电网联络线等。另外，配置阶段式相间距离保护和接地距离保护，其中距离第一段仍然为线路保护的主保护，距离保护的二、三段作为相间故障或接地故障的后备保护。同时，配置阶段式零序（方向）电流保护，其中第一段作为线路主保护，二、三段作为接地故障的后备保护。为了防止 TV 断线情况下，由于装置自动退出距离保护及零序方向保护段而失去后备保护功能，设置 TV 断线情况下自动投入的“TV 断线下相过电流保护及零序过电流保护，上述在 TV 断线情况下自动投入的功能也称为“紧急状态保护”。

对于双母线接线方式的线路保护装置中，配置电压切换插件，实现保护装置采用的计算电压随着线路运行方式的变化而选择对应母线电压。

线路保护装置中配置独立的断路器操作插件，完成断路器的分闸、合闸、位置指示及压力闭锁等功能。

根据电网发展的需要，110kV 线路保护装置中还配置有按频率减负荷功能，

但一般不采用该功能。(低频减载功能一般在 35、10kV 层级电网中实现)

(2) 另外一种 110kV 线路保护, 不配置纵联电流差动保护, 其他与上述方案基本相同, 用于单侧电源的负荷线路。

#### 四、35kV 及以下电压等级线路保护

一般仅配置三段式或多段式过电流保护, 按照定值和时限配置实现主保护和后备保护功能, 具备独立的操作回路插件, 具备三相一次重合闸功能。分布式的按频率自动减负荷功能, 保障电网有功功率平衡及频率的稳定性。

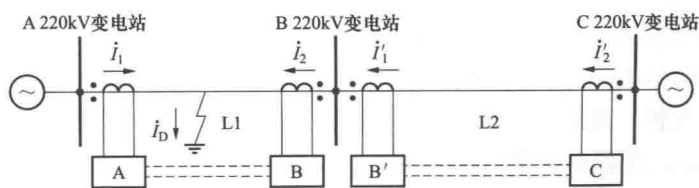
### 第三节 线路纵联电流差动保护

输电线路保护经历了技术原理革新的长期阶段, 线路横差保护、高频相差保护已经在电力系统中退出运行, 纵联方向保护和纵联距离保护曾经在 220kV 及以上电压等级线路的安全稳定运行中发挥了重要的作用, 如今在电网中运行的套数也在逐渐减少, 纵联电流差动保护在 220kV 及以上电网线路保护中的应用越来越多。

#### 一、纵联电流差动保护基本原理

纵联电流差动保护通过比较被保护线路两端电流大小及相位构成的继电保护装置, 由于任一侧保护动作条件中需要同时计算对侧电流的大小及相位, 所以必须将对侧信息传输至本侧(包括电流的采样值、对侧差动保护功能投退压板、对侧断路器位置及远跳信息)。

双电源的线路系统纵联电流差动保护配置如图 1-6 所示。AB 线路发生区内故障, 对于 BC 线路是区外故障。



AB 线路发生区内故障(以两侧 TA 为界), BC 线路为区外故障。

图 1-6 双电源线路系统纵联电流差动保护配置

对于故障线路, 差动电流  $I_{CD} = I_1 + I_2 = I_D$  ( $I_D$  为故障点的故障总电流),  $I_1$ 、 $I_2$  电流方向均为母线流向线路, 所以  $I_{CD} = I_1 + I_2$  流入保护装置的差动电流很大, 保护动作。

对于非故障线路, 差动电流  $I_{CD} = I'_1 + I'_2 = 0$ ,  $I'_1$  电流方向为线路流向母线,  $I'_2$  电流方向为母线流向线路, 而且  $I'_1$ 、 $I'_2$  大小相等、方向相反, 按照 KCL 电流

定律流入等于流出，差动电流理想上为 0，保护不动作。

对于正常运行的负荷电流与区外故障分析相同。

## 二、保护动作条件分析

内部故障差动示意图如图 1-7 所示。

线路内部故障，M、N 两侧保护动作行为相同，以 M 侧纵联电流差动保护动作为例进行介绍。

### 1. M 侧保护动作条件

- (1) M、N 侧保护装置之间通信通道正常。
- (2) M、N 两侧保护连接片均正确投入（对侧差动保护投入连接片是否投入在对侧传送过来的信息中提取）。
- (3) M 侧保护启动、N 侧保护跳闸允许（对侧保护启动情况及跳闸允许由通道传输标志字实现）。

### (4) M 侧比率差动元件动作（达到动作定值）。

### 2. 分析

(1) 第一个条件要求，当保护通道故障时，闭锁差动保护，两侧应由运行人员退出差动保护功能。

(2) 由第二个动作条件可知，纵联电流差动保护是由被保护线路两侧保护装置共同组成的一整套保护功能，所以要求两侧“纵联保护功能”同步投退。如在 CSC-103B 装置中，有“差动压板不一致”信号，主要是对差动保护第二个动作条件是否满足进行监视。

(3) 压板投退问题。在线路保护屏上有两种类型的压板，一种为保护功能投退压板，另一种为保护出口压板，若仅需要单独退出纵联电流差动保护，则线路两侧把“纵联电流差动保护投入压板（黄色）”退出即可，这时后备保护继续运行，出口压板主、后备保护公用。

(4) 第三个条件，在双电源网络中较容易满足，但如果线路一侧为负荷侧或线路空载充电运行时，如何实现全线速动保护呢？这就是弱电源反馈问题。

## 三、弱电源反馈问题

弱电源反馈，在一些应用中，也有称作“负荷单带退出总出口方式”。这一功能主要杜绝的是线路无电源（或小电源）侧保护启动元件不动作的问题，这时第三个动作条件不能满足。采用的方法是：把第三个动作条件中，N 侧启动元件动作加入电压启动继电器动作，也就是说，当无电源（小电源）N 侧收到 M 侧差动元件动作信息后，并且本侧有一相或相间电压低于规定值，由 N 侧向 M 侧发送启动信号（即差动允许信号），电源侧 M 侧可以正确跳闸。如图 1-8 所示。

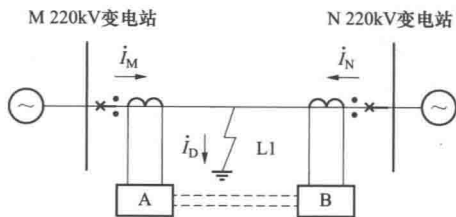


图 1-7 内部故障差动示意图

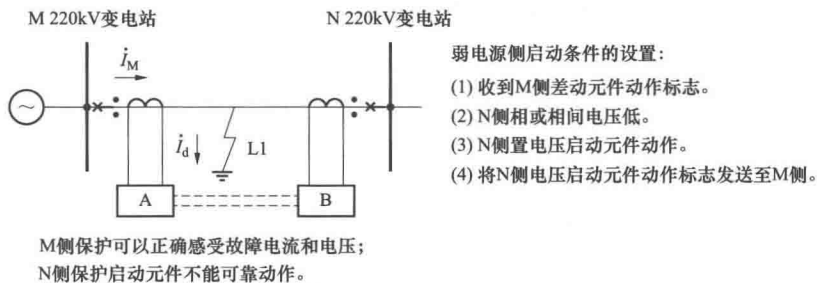


图 1-8 纵联电流差动保护在弱电源系统中的应用

按照保护装置的工作原理，这时电源侧及负荷侧仍然可以正确地选相跳闸，即单相故障可以单跳并进行单相重合闸。

根据比较普遍的运行习惯，对于双电源线路转为负荷单带模式，需要结合一次系统运行方式的调整进行继电保护的调整操作。强电源侧投入主保护功能及后备保护功能，出口跳闸连接片正确投入；弱电源侧（负荷侧）仅投入“纵联电流差动保护投入”功能连接片，出口均退出。对于重合闸功能，在双侧电源运行中一般投入单重方式，当系统转为“负荷单带”方式运行时，强电源侧重合闸由“单重”方式改为“三重”方式，弱电源侧（负荷侧）重合闸功能退出。

需要特别注意的事项有：在一次系统由双电源线路转为单电源线路运行方式改变时，继电保护运行方式在哪个步骤进行调整呢？应该在一次系统运行方式调整完毕之后，才可以进行继电保护运行方式的调整，理由是若在一次系统仍处于双电源运行方式下，先将二次继电保护系统准备转为负荷侧的保护跳闸出口退出，并且将强电源侧的重合闸方式改为“三重”方式。存在的第一个问题是将一侧的跳闸出口退出（此时仍为电源侧），若这时系统发生故障，退出跳闸出口的一侧保护将拒动，事故扩大；存在的第二个问题是“预备负荷侧”退出重合闸而电源侧投入“三重”方式，当线路两侧的电源不是同一系统而有失去同步的可能性时会造成“非同期合闸”。

#### 四、一侧电源空载充电线路，另一侧断路器在分闸位置

由图 1-9 可以看出，当空载充电线路上任一点发生故障时，由于 N 侧断路器断开，N 侧电流互感器无电流，N 侧保护不启动，M 侧保护由于不能得到 N 侧的“差动允许”命令而拒动。

为解决上述问题，在 N 侧增加 DLN

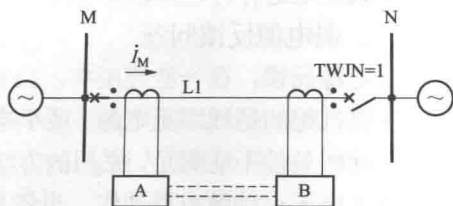


图 1-9 线路空载情况下纵联电流差动保护动作分析



跳闸位置转发允许 M 侧跳闸的信号, 即当 N 侧收到 M 侧传送的差动元件动作信号, 而且本侧开关在分闸位置 ( $TWJN=1$ ), 然后由 N 侧向 M 侧发允许信号, 使 M 侧差动保护瞬时跳闸。

操作注意事项: TWJ 的正确开入 N 侧装置是 M 侧差动保护动作的条件之一, 所以即使 N 侧开关断开, 但 N 侧的控制电源也应正常保持, 以保证 TWJ 继电器正确动作。

纵联电流差动保护运维管理实例分析如图 1-10 所示, 分析如下。

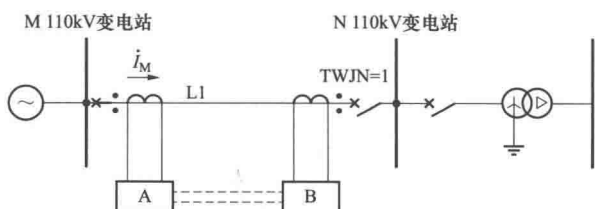


图 1-10 纵联电流差动保护运维管理实例分析

因为 N 变电站全站设备要停电检修, 为保障安全, 调度命令将 N 变电站进线开关 DLN 断开, M 侧线路保护继续运行 (具备纵联电流差动保护及后备保护功能), 但 N 侧变电站运行人员将 DLN 断路器断开之后, 随后将保护装置 (RCS-943A) 连接片全部退出, 关闭保护装置电源, 取下 DLN 断路器控制电源, 在此过程中, 运行人员的操作应注意纵联通道、纵联保护连接片的操作、TWJ 转发允许信号的功能等问题。

### 五、纵联电流差动保护中的远跳功能

远跳功能主要作用是防止断路器与电流互感器之间发生故障时的死区问题, 如图 1-11 所示。当断路器 DLM 与电流互感器之间的 K 点发生故障时, 可以看出, K 点在母差保护区内, 母线差动保护正确动作, M 侧母线差动保护跳开 DLM, 这时对 MN 线路的纵联电流差动保护为穿越性区外故障, 所以 K 点故障仍然不能切除, 只能由 N 侧后备保护延时跳闸。

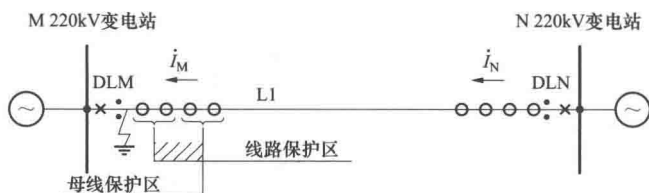


图 1-11 纵联电流差动保护远跳功能

远跳功能: 当 M 侧母线差动保护跳闸时, 将 M 侧母差保护动作接点接入 MN 线路的 M 侧纵联保护经通道向 N 侧发送远跳信号, 使得 DLN 瞬时跳闸, 切