

JIDIAN BAOHU JI ZIDONG ZHUANGZHI YUNXING YU WEIHU

继电保护及自动装置 运行与维护

黄国平 余 江 倪伟东 等 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

JIDIAN BAOHU JI ZIDONG ZHUANGZHI YUNXING YU WEIHU

继电保护及自动装置 运行与维护

黄国平 余 江 倪伟东 等 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以继电保护及自动化装置相关技术规范为依据,结合日常维护、缺陷处理、故障排查心得编写而成。本书共分九章,主要内容包括概述、自动装置运行维护技术、线路保护现场运行维护技术、变压器保护运行维护技术、母差及失灵保护运行维护技术、故障录波器和继电保护故障信息系统运行维护技术、小电流接地系统运行维护技术、电流互感器运行维护技术、电压互感器运行维护技术。

本书可作为从事继电保护自动装置设计人员、管理人员、现场调试维护人员及高等院校相关专业师生的参考书,还可以作为继电保护高级工、技师、高级技师考试培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

继电保护及自动装置运行与维护/黄国平等编. —北京:中国电力出版社, 2018.8
ISBN 978-7-5198-2315-3

I. ①继… II. ①黄… III. ①继电保护 ②继电自动装置 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 183965 号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:翟巧珍 (010—63412351) 高 芬

责任校对:黄 蓓 李 楠

装帧设计:郝晓燕

责任印制:邹树群

印 刷:北京时捷印制有限公司

版 次:2018 年 8 月第一版

印 次:2018 年 8 月北京第一次印刷

开 本:710 毫米×1000 毫米 16 开本

印 张:17.75

印 数:0001—2000 册

字 数:311 千字

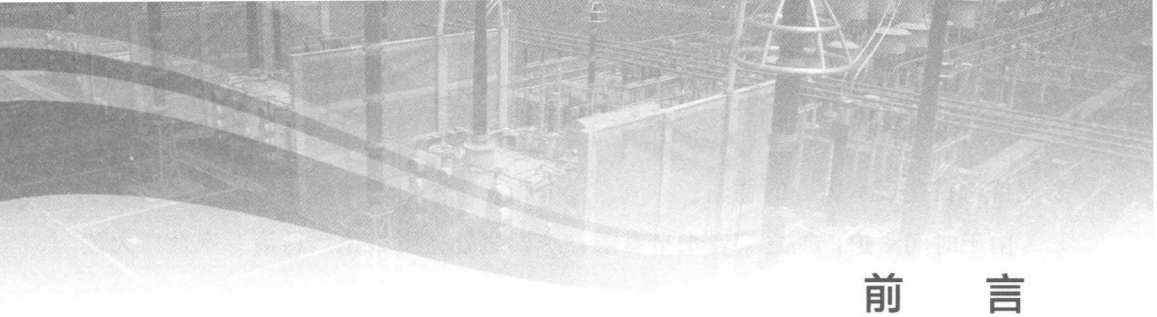
定 价:69.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

编委会名单

黄国平	余江	倪伟东	曾耿晖	陈桥平	刘振国
张瑾华	杨雪飞	何通	王炳焱	刘志雄	陈锦荣
陆锦培	许明雷	石进发	黄锸	黎永豪	曾永浩
邓子剑	欧晓妹	汤志锐	吴树鸿	黄华斌	欧巧新
罗斌彬	王跃强	董明	羽祖荫	卢迪勇	徐梅根
甘双文	池莲庆	莫颖生	谭志聪	卢庆光	潘国斌
郭伟明	李强	廖峰	许晓阳	刘秋英	张焕
黄道弟	郭小华	肖伟杰	贺紫渊	蒋国顺	张宁
洪妙	袁亮荣	刘世丹			



前 言

随着电力系统的不断发展以及大电网的产生,电网的运行和技术管理发生了深刻的变化,特别是随着变电站综合自动化技术的不断发展,继电保护及自动装置技术也日新月异,这就对现场运行维护人员提出了新的要求。

为保证继电保护及自动装置更安全、可靠地运行,提高维护人员的技术、技能,编者结合继电保护及自动装置的技术规范要求及日常维护、缺陷处理、故障排查的实践,撰写了本书,以便读者通过该书解决继电保护自动装置现场运行与维护工作中所遇到的问题,领会继电保护自动装置在运行过程中出现故障的维护方法,降低继电保护自动装置现场维护工作的难度,从而提高对继电保护自动装置维护工作的兴趣,培养分析问题、解决问题的能力。

本书立足于现场,理论联系实际,并紧密联系了现代继电保护自动装置的新技术、新规范、新反措,主要包括:概述、自动装置运行维护技术、线路保护现场运行维护技术、变压器保护运行维护技术、母差及失灵保护运行维护技术、故障录波器和继电保护故障信息系统运行维护技术、小电流接地系统运行维护技术、电流互感器运行维护技术、电压互感器运行维护技术,共九章。全书贯彻了实用和通俗的原则,从继电保护及自动装置的日常运行维护出发,列举了大量现场运行维护及典型事故缺陷分析处理实例,从技术规范要求、管理要求、运行维护要求等方面,由浅入深地进行阐述并与现场实际相结合,是从事继电保护自动装置维护及运行管理人员的技能培训读物,可供从事电力系统继电保护自动装置的科研、设计的技术人员及高等院校相关专业的师生参考阅读,也可以作为继电保护自动装置高级工、技师、高级技师培训考试指导用书。

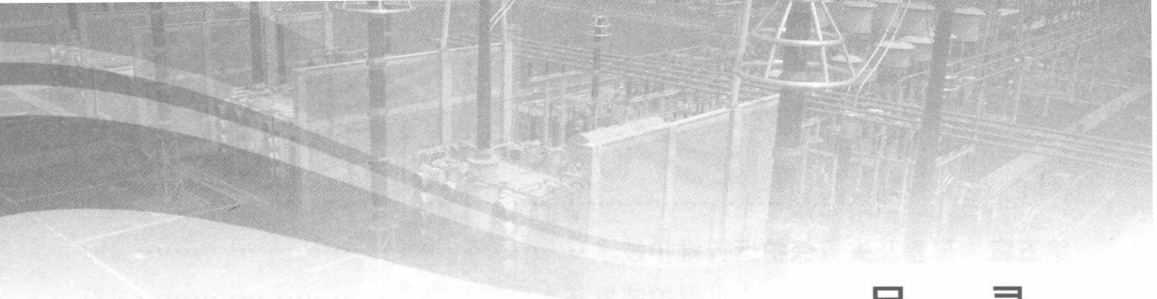
在本书编写过程中得到了佛山供电局局长张良栋、副局长梁敏杰的指导和大

力支持，在此表示衷心的感谢！

由于时间紧迫，加之编者水平有限，疏误之处在所难免，恳请专家及广大读者批评指正。

编者

2018年5月



目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 继电保护及自动装置基础知识	1
第二节 继电保护运行管理技术	6
第三节 自动装置运行管理技术	14
第四节 继电保护与自动装置的运行配置要求	19
第二章 自动装置运行维护技术	24
第一节 稳控装置现场运行维护技术	24
第二节 备自投装置运行维护技术	27
第三章 线路保护现场运行维护技术	61
第一节 输电线路保护的配置	61
第二节 线路纵联保护	67
第三节 线路距离保护	71
第四节 线路电流、零序过电流保护	85
第五节 220kV 单侧充电线路保护运行技术	90
第六节 500kV 线路常见运行方式保护运行技术	91
第七节 分相式纵联保护代路运行技术	98
第八节 重合闸运行与维护技术	112
第九节 断路器保护和短引线保护运行技术	136
第十节 过压及远跳保护装置运行技术	143
第四章 变压器保护运行维护技术	149
第一节 变压器保护装置的配置	149
第二节 变压器保护装置的运行技术	155
第三节 主变压器代路操作期间主保护拒动的风险分析	159
第四节 220kV 电气三相联动分相操作的主变压器（母联）断路器控制	

回路完善	173
第五章 母差及失灵保护运行维护技术	181
第一节 母线差动及失灵保护装置基本原理及要求	181
第二节 220kV 双母双分段母差失灵保护的分析	189
第三节 母线差动及失灵保护装置的运行技术	193
第六章 故障录波器、继电保护故障信息系统运行维护技术	198
第一节 线路故障保护动作录波图分析基础	198
第二节 母线故障保护动作录波图分析基础	206
第三节 主变压器故障保护动作录波图分析基础	210
第四节 故障录波器、继电保护故障信息系统运行技术	217
第七章 小电流接地系统运行维护技术	219
第一节 小电流接地系统的不同接地方式并列运行和配网合环 转供的影响	219
第二节 小电流接地系统运行技术	225
第八章 电流互感器运行维护技术	227
第一节 电流互感器特性	227
第二节 电流互感器二次回路上工作发生事故的典型案例分析及 防范措施	249
第九章 电压互感器运行维护技术	259
第一节 电压互感器特性	259
第二节 电压互感器二次回路作业过程中危险点分析及控制	261
第三节 电压互感器二次回路接线问题引起设备跳闸事件的分析及 防范措施	270

第一章 概 述

第一节 继电保护及自动装置基础知识

一、继电保护及自动装置的定义

继电保护装置是指安装在被保护元件上，反应于被保护元件的故障或不正常运行状态并作用于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。

安全自动装置（简称自动装置）是一种为提高供电可靠性、保证电能质量、提高电能生产和分配经济性及减轻劳动强度的自动装置，包括电力系统稳定控制装置（简称稳控装置）解列装置、联切装置、低频低压自动减载装置、设备过负荷自动减载装置、备用电源自动投入装置（简称备自投装置）等保证电力系统安全稳定运行的装置。

电力系统的运行状态分为正常状态、警戒状态、紧急状态、失步状态、恢复状态。保证电力系统安全稳定运行的三道防线如图 1-1 所示。

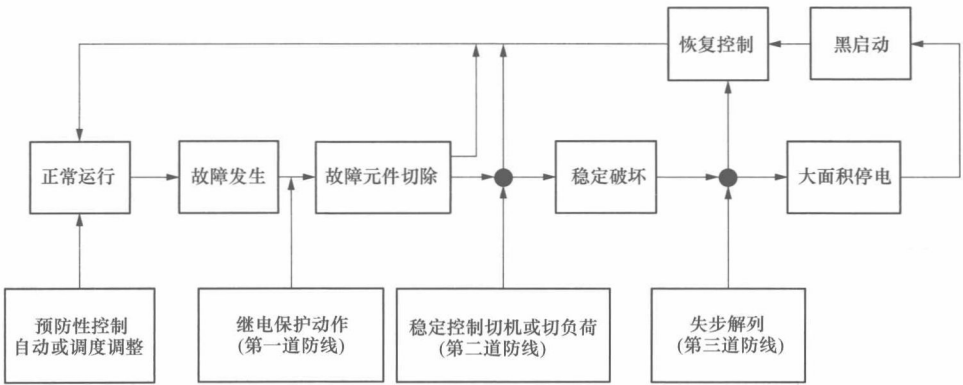


图 1-1 保证电力系统安全稳定运行的三道防线

(1) 装置正确检测出故障并快速动作切除故障元件，切除的速度越快对电力

系统的影响越小，使电力系统能够继续稳定运行，这是第一道防线。

(2) 当电力系统发生单一严重故障或多重故障，在故障切除后系统可能存在暂态稳定、设备过载或电压稳定问题，此时依靠稳定控制装置在送端电厂采取切机，受端电网采取切负荷、直流功率快速调制等措施，维持系统事故后的安全稳定运行，这是第二道防线。

(3) 当出现多重故障或稳定控制的量不足，系统可能失去同步或出现电压、频率不稳定状态，在此紧急关头采取解列失步的系统，按低频、低压尽快切除一定量的负荷（送端系统高周切机），使解列后的电网实现功率重新平衡，有效制止事故的扩大，防止系统崩溃及大面积停电事故，这是第三道防线。

继电保护及自动装置是电力系统的重要组成部分，对保证电力系统的安全经济运行，防止事故发生和扩大起到关键性的决定作用。由于电力系统的特殊性，电气故障的发生是不可避免的。一旦发生局部电网和设备事故，若得不到有效控制，就会造成对电网稳定的破坏和大面积停电事故。

二、电力系统对继电保护及自动装置的基本要求

动作于跳闸的继电保护，在技术上一般应满足四条基本要求，即选择性、速动性、灵敏性和可靠性。

(1) 选择性。选择性是指继电保护装置动作时，仅将故障元件从电力系统中切除，保证系统中非故障元件仍然继续运行，尽量缩小停电范围。

一般地，把满足系统稳定和设备安全要求，能以最快速度有选择地切除被保护设备和线路故障的保护称为主保护（如纵联保护）。当主保护或断路器拒动时，用来切除故障的保护称为后备保护；后备保护可分为远后备保护和近后备保护（如失灵保护）。在复杂的高压电力系统中，当主保护或断路器拒动时，由相邻电力设备或线路保护来实现的后备保护称为远后备。当主保护拒动时，由本电力设备或线路的另一套保护来实现后备的保护；当断路器拒动时，由断路器失灵保护来实现的后备保护称为近后备。为此，在每一元件上装设单独的主保护和后备保护，并装设断路器失灵保护。由于远后备保护是一种完善的后备保护方式，它对相邻元件的保护装置、断路器、二次回路和直流电源引起的拒动，均能起到后备保护作用，同时它的实现简单、经济，因此应优先采用。只有当远后备保护不能满足要求时，才考虑采用近后备保护方式（220kV 及以上系统均采用近后备保护方式）。

(2) 速动性。快速地切除故障可以提高电力系统运行的稳定性，减少用户在

电压降低情况下的工作时间，缩小故障元件的损坏程度。因此，在发生故障时，应力求保护装置能迅速动作，切除故障（如 220kV 及以上系统，要求全线快速切除故障，以确保系统稳定）。

（3）灵敏性。灵敏性是指对于保护范围内发生的故障或非正常运行状态的反应能力。满足灵敏性要求的保护装置应该是在事先规定的保护范围内部发生故障时，不论短路点的位置、短路的类型如何以及短路点是否有过渡电阻，都能敏锐感觉、正确反应。

（4）可靠性。保护装置的可靠性是指在其规定的保护范围内发生了应该动作的故障时，不应该拒绝动作；而在任何其他该保护不应该动作的情况下，则不应该错误动作。这是可靠性的两个方面，前者称可信赖性，后者称安全性。保护装置的拒动率越低，其可信赖性越高；误动率越低，其安全性越高。

继电保护装置误动作和拒动作都会给电力系统造成严重的危害，但提高其不误动的可靠性和不拒动的可靠性措施常常是相互矛盾的。由于电力系统的结构和负荷性质的不同，拒动和误动的危害程度有所不同，因而提高保护装置可信赖性和安全性的着重点在各种情况下也应有所不同。例如，对于传送大功率的骨干输电线路保护（如 220kV 及以上输电线路），一般宜强调可信赖性；而对于其他线路保护，则宜强调安全性。

提高继电保护安全性的措施，主要是采用元件及工艺质量优良的装置并对其经过全面的分析论证及试验（测试）运行以确认其技术性能能满足要求。而提高继电保护的可靠性，除采用上述措施外，重要的还可以采用装置双重化。

继电保护及自动装置的四个基本要求之间既有在一定条件下统一的一面，又有矛盾的一面。

（1）继电保护的可靠性是电力系统对保护装置最基本的性能要求。为了提高可靠性，防止继电保护或断路器拒动的可能性，就需要设置后备保护。因此，保护设备的主保护和后备保护之间及后备保护之间就存在灵敏系数的相互配合的问题，只有正确地计算保护整定值和校验其灵敏系数，才能使得各继电保护的動作具有选择性。可见，继电保护的可靠性与选择性和灵敏性是相辅相成的。

（2）保护的选择性除了通过故障量参数的整定来获取外，还需要通过保护动作时限的整定来配合。这种保护动作的时限，使得保护装置为了获取选择性而牺牲了保护的速动性。反之，凡是瞬时动作的保护，显然不具备后备保护的功能。为了提高整套保护装置的可靠性，瞬时动作的保护还必须配有后备保护，以构成

完整的保护装置。可见，保护的“快速性”与保护的“选择性”、“可靠性”之间是相互制约的。

(3) 对自动装置，同样应满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求。即自动装置该动作时应可靠动作，不该动作时应可靠不动作；能有选择性地按预期实现控制作用；装置的启动元件和测量元件在系统故障和异常运行时能可靠启动和正确判断；装置应动作迅速，以满足系统稳定和限制事故影响的要求。

三、继电保护及自动装置的任务和作用

继电保护的作用就是在电力系统发生故障和不正常运行时，迅速而有选择性地切除故障元件，保证非故障部分能继续安全运行并及时发出报警信号。因此，继电保护装置的基本任务为：

(1) 自动、迅速、有选择性地将故障元件从电力系统中切除，使故障元件免于继续遭到破坏，并保证其他无故障元件迅速恢复正常运行。

(2) 反应电气元件不正常运行情况，并根据不正常情况的种类和电气元件维护条件，发出信号，由运行人员进行处理或自动地进行调整或将那些继续运行会引起事故的电气元件予以切除。

自动装置一方面配合继电保护装置提高供电的可靠性（如自动重合闸、备自投）；另一方面不断调整系统电压和频率，以保证供电质量及并列运行机组间的功率合理分配。

四、继电保护的基本原理、构成

（一）继电保护的原理

电力系统中任何电气设备发生故障时，必然有故障信息出现，而故障信息可分为内部故障信息和外部故障信息两大类。这两类信息是继电保护原理的根本依据。在具体的保护装置中既可单独使用一类信息，也可联合使用两类信息。内部故障信息用于切除故障设备，外部故障信息用于防止切除非故障设备。利用内部故障信息或外部故障信息的特征来区分故障和非故障设备，是继电保护的最基本的原理。

在按照上述原理构成各种继电保护装置时，可以使它们的参数反应于工频电

气量（如过电流保护、电流速断保护、低电压保护、电压与电流比值的变化构成的距离保护等）或工频电气变化量（工频变化量距离保护、工频变化量差动保护等），还可以使之反应于上述两个量的对称分量（如负序、零序、正序电气量及其变化量）。正常运行时，负序和零序分量很小；发生不对称接地短路时，负序和零序分量却有较大的数值；发生不接地的不对称短路（包括断线故障）时，虽然没有零序分量，但负序分量却很大，因此利用这些分量及其变化量构成的保护装置一般都具有良好的选择性和灵敏性。

此外，除了反应于各种工频电气量的保护原理外，还有反应非工频电气量的保护，如高压输电线路的行波保护和反应于非电气量的电力变压器的气体（瓦斯）保护、过热保护等。

（二）继电保护装置的构成

继电保护装置由测量部分、逻辑部分、执行部分组成，其原理结构如图 1-2 所示。

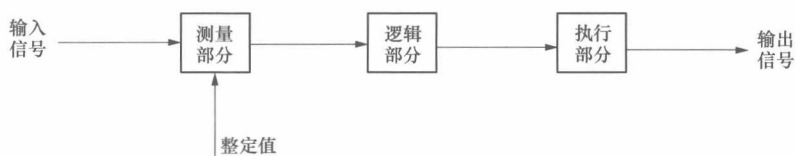


图 1-2 继电保护装置的原理图

（1）测量部分。测量被保护对象输入的各类故障信息，并与给定的整定值进行比较，根据比较的结果，给出模拟或数字的输出信号，以供保护逻辑部分判断使用。

（2）逻辑部分。根据测量部分各输出的组合，使保护装置按一定的逻辑关系工作，最后确定是否应该使断路器跳闸或发出信号，并将有关命令传给执行部分。常用的逻辑有“或”“与”“否”“延时”“记忆”等。

（3）执行部分。根据逻辑部分传送的信号，完成保护装置最终的跳闸动作和发告警信号。

测量部分、逻辑部分、执行部分三个组成部分对任何继电保护装置都适用，不同的仅仅是构成这三个部分的结构及原理不同而已。如对微机保护而言，逻辑部分主要是由软件的程序实现；而继电器式保护装置的逻辑部分是由硬件组成的逻辑回路实现。

第二节 继电保护运行管理技术

继电保护是保证电力系统安全稳定运行的第一道防线，应对其制定相应的技术规范要求和运行管理要求，统一继电保护运行的基本规定、加强定值执行管理、完善其通道的定义和调度命名、定义其运行状态，确保继电保护安全可靠运行。

一、继电保护装置运行的基本规定

(1) 任何设备都不允许在无保护的情况下运行。

(2) 运行中的保护装置出现异常情况，现场运行人员应及时向相关当值调度员或监控员汇报，并根据相关规定，决定是否申请退出该保护；任何保护装置在确认为误动的情况下，现场运行人员应立即向相关当值调度员或监控员申请退出该保护装置；线路的一侧纵联保护申请退出时，相关当值调度员还应下令退出该线路另一侧对应的纵联保护，同时，现场运行人员应通知继保人员尽快处理。

(3) 各运行维护单位对继电保护装置异常情况的处理应当实事求是，不得隐瞒。

(4) 保护装置动作后，无论正确与否，现场运行人员都应立即将相关信息准确、全面地向相关当值调度员或监控员汇报。

(5) 下列情况可退出不停电设备的保护装置进行检查或试验：

1) 用已投入运行的母联断路器保护或临时保护代替。母联兼旁路断路器替代出线断路器运行接线如图 1-3 所示，当线路保护故障需要退出时，采用母联兼旁路断路器保护代替，可继续运行。

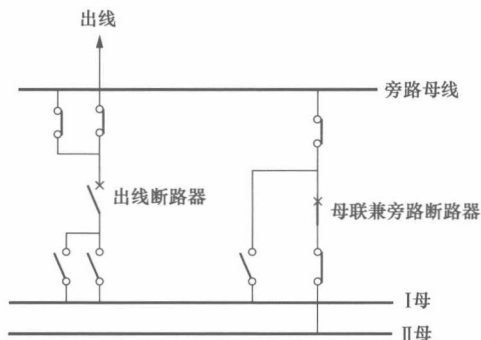


图 1-3 母联兼旁路断路器替代出线断路器运行接线图

通过母联断路器为线路充电如图 1-4 所示，利用母联保护为新投产线路 1 充电，为了保护全线故障的切除，并根据系统稳定的要求，应将线路 1 相间、接地距离Ⅱ段时间缩短，此整定时间应确保与极限切除时间有足够的时间级差，该配合级差主要考虑保护动作时间、断路器开断时间以及一定的时间裕度，220kV 及以下系统一般改为 0.2s，当线路 1 发生故障时，母联保护动作跳开母联断路器，线路 1 相间、接地距离Ⅱ段也可能跳闸。

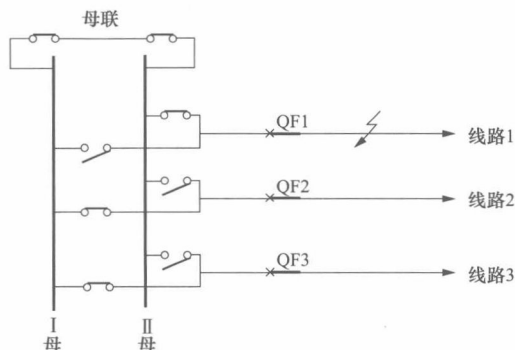


图 1-4 通过母联断路器为线路充电

2) 正常运行的双配置保护装置，如遇需要退出（非故障退出）其中之一进行更改定值，可直接向相应调度当值调度员申请；应轮流进行定值更改。

3) 上一级保护正确投入且具有远后备保护功能时，110kV 及以下设备停用全部保护进行定值更改时，应获得相应调度当值调度员的许可，并在天气良好的情况下尽快完成定值更改工作。某远后备保护接线如图 1-5 所示，当需要更改保护 3 整定定值时，需将保护 3 跳闸出口退出，QF3 将失去保护，此时当出线发生故障，将由远后备保护 1 切除故障，但应在天气良好的情况下尽快完成定值更改。

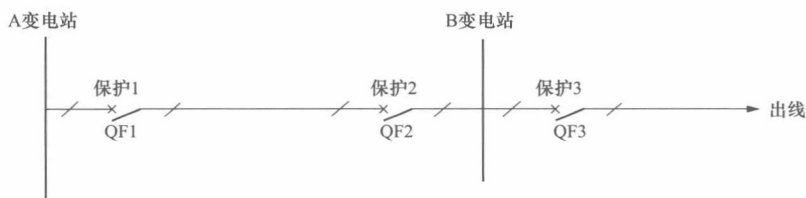


图 1-5 某远后备保护接线图

(6) 新投运或检验工作中可能造成交流回路有变化的保护装置，原则上应制

定设备启动方案，应在设备投运前或重新投入前利用负荷电流和工作电压对交流回路的正确性进行相量检查；确实无法在设备投运前或重新投入前利用负荷电流和工作电压对交流回路的正确性进行相量检查的，应征得继保专业管理部门的同意，并在送电后立即利用负荷电流和工作电压对交流回路的正确性进行相量检查，并将检查结果及简要结论汇报相应调度当值调度员。

1) 测试时负荷电流不应小于 TA 额定电流的 10%。

2) 投运后进行保护相量检查时，应有能够保证切除故障的其他保护。

3) 如保护装置投运后，因负荷小，对相量检查有怀疑时，运行单位应填写继电保护带负荷测试备忘录并附保护采样值，报继保专业部门同意并采取措施后可投运。投运后应尽快创造条件安排带负荷测试，将检查结果及简要结论汇报继保专业管理部门。

4) 微机保护装置投入运行后感受到的第一次系统故障，保护人员应及时打印保护装置和故障录波器报告，以校核保护交流采样值、收发信开关量、功率方向以及差动保护差流值是否正常，该检查结果视同检验报告签名、归档。凡电流、电压回路变更时，应补充上述工作。

5) 220、110kV 母线 TV 二次解线恢复送电时，若其开口三角零序电压已接入，必须退出相应变压器保护相应侧的零序过电压保护，TV 送电正常，测量零序电压值正常，测量零序过电压保护出口无异极性后投入该保护。合 TV 二次空气开关或熔断器前，必须在 TV 二次空气开关或熔断器两侧对相正确后，才能并列。

6) 在新设备投产过程中，不要求用保护试跳断路器。跳闸回路的完好性检验在设备投产验收阶段时完成。

【案例】

××年××月××日，雷击使××站 1 号主变压器低压侧 501 断路器柜损坏，断路器柜需更换，断路器柜厂家协助现场安装并负责完成断路器柜内接线，抢修工作前没有制定施工方案及验收启动方案，对验收工作只采用口头汇报形式。抢修工作完成后恢复 10kV I 母线供电，2h 后，1 号主变压器差动动作跳两侧断路器，10kV I 母线失压。

事故原因：经检查发现 1 号主变压器低压侧 501 断路器柜柜内电流互感器差动保护用二次绕组极性接反，把 A481、B481、C481 接到 1K2，把 N481 接到 1K1（正确接法应为 A481、B481、C481 接到 1K1，N481 接到 1K2），造成 1 号主变压器差动保护出口跳闸。启动前技术人员未认真核对 501 断路器柜 TA 接

线,同时,由于1号主变压器带负荷测试时,负荷较轻(小于TA额定电流的10%),受技术水平限制,现场测试人员未能判断出差动回路TA极性接反,造成事故的发生。

(7) 变动保护装置的硬件、软件、定值及其二次回路必须经所属调度管辖的保护管理部门批准后方可进行。运行单位应制定相应的管理办法及审批手续,保证图纸、资料与运行设备的一致性,保证保护装置及其二次回路变更的正确性。

(8) 护装置的投入、退出等操作均需得到相应调度当值调度员的指令或许可(当装置本身有故障或有误动危险时除外,但退出后应及时向相应调度当值调度员汇报),由运行值班人员进行操作。

(9) 如保护装置的某些投、退方式仅由所在厂、站的运行方式决定时,其投、退方式规定应纳入现场运行规程,不必由调度下令。

(10) 在下列情况下应退出整套微机继电保护装置:

1) 微机继电保护装置使用的交流电压、交流电流、开关量输入、开关量输出回路作业。

2) 装置内部作业。

3) 继电保护人员输入定值(220kV及以上保护双重化时,可逐一退出进行定值修改;上一级保护正确投入且具有远后备保护功能时,110kV及以下设备停用全部保护修改定值时,应在天气良好情况下在规定的时间内完成定值修改)。

(11) 投、退某保护装置(功能)时,除按要求投、退该保护装置(功能)外,还应投入、退出其启动其他保护、联跳其他设备的功能,如启动失灵等。退出保护一般不应断开保护装置及其附属二次设备的直流。

(12) 闭锁式纵联保护装置如需关闭直流电源,应在两侧纵联保护退出后,才允许关闭直流电源。

(13) 系统一次设备倒闸操作时,应特别注意如下事项:

1) 高压电气设备充电时,必须有可靠的瞬动保护。

2) 双母、双母分段接线母线各有一组TV的厂、站,正常情况下保护装置交流电压应取自该元件所在母线的TV。倒母线操作拉合母线隔离开关后,应检查电压切换继电器的切换状态是否正确。

3) 双母、双母分段接线方式,对设备进行由一组母线倒至另一母线操作时,对无自适应功能的母差保护,应先投入母线互联压板、并将母联(分段)断路器的操作直流电源断开;断开母联(分段)断路器的操作直流电源前,投入母差保护、失灵保护互联压板;合上母联(分段)断路器的操作直流电源后,退出母差