

# 高压电网 继电保护运行技术

东北电业管理局技术改进局 王梅义  
电力工业部生产司 梁定中  
电力科学研究院 郑奎璋 著  
谢森炎  
王大从

电力工业出版社

## 内 容 提 要

本书在总结我国一些主要高压电网继电保护运行经验的基础上，从运行角度出发就有关电网继电保护的几个基本原则进行了讨论，并对高压电网普遍采用的各种继电保护装置以及重合闸装置等，就其基本要求、运行性能、回路接线以及整定配置原则等方面，进行了较为详尽而全面的论述。书中还对电网故障进行了统计分析，用电压向量图法分析比较了各种常用距离元件的运行性能，简要介绍了电网的运行和实用故障算法。对电网安全自动装置的配置，对搞好继电保护试验工作等，也进行了简要的讨论。

本书适用于设计、科研、制造、运行以及大专院校等部门的本专业技术人员 and 教师阅读，也可供本专业的研究生和高年级学生学习参考。

## 高压电网继电保护运行技术

东北电业管理局技术改进局  
电力工业部生产司  
电力科学研究所 郑奎璋 谢葆炎 王大从

王梅义  
蒙定中 著

\*

电力工业出版社出版  
(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售  
水利电力印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 34印张 774千字  
1981年6月第一版 1981年6月北京第一次印刷  
印数 00001—15800册 定价 3.65元  
书号 15036·4184

## 前 言

为促进继电保护工作更好地为电力系统安全运行服务，在电力工业部生产司的组织下，我们结合电网的运行经验写了这本书，介绍目前在高压电网继电保护工作中经常遇到的有关问题，并就解决这些问题的不同具体做法，作了对比性的论述，力求有的放矢，切合实际，供具有一定技术基础从事继电保护工作的同志参考和研究。在书中较多地反映了东北电力系统继电保护的运行情况，同时也收集了一些其他系统的经验。我们了解的情况很局限，理论与技术上的错误，写作时的疏漏和立论不当之处，在所难免，敬请读者批评指正。

本书是在我们所在工作单位：电力工业部生产司、电力科学研究院、东北电业管理局调度局和东北电业管理局技术改进局的赞同和支持下写成的。其中第一、二、四、九章由王梅义同志编写，第五、八、十一章由蒙定中同志编写，第六、十章由郑奎璋同志编写，第十二章由谢葆炎同志编写，第三章由蒙定中、郑奎璋同志合写，第七章由谢葆炎、王大从同志合写，全书由王梅义同志主编。

一些单位的同志对本书的内容和要求提出了建设性的意见，吴竞昌同志在审阅全稿时对内容提出了许多宝贵建议，广东省电力局有关单位对我们的编写工作给予了热情支援，冯博文同志协助本书制图，在此一并表示感谢。

作 者

1980年9月

# 目 录

## 前 言

第一章 电网继电保护问题总论	1		
1.1 绪论	1		
1.2 对继电保护性能的基本要求	2		
1.2.1 安全性与可靠性。保护的双重化	1.2.2 速动性	1.2.3 选择性	1.2.4 灵敏性
1.3 保护装置的配置和简化问题。一次系统和二次回路间的协调	13		
1.4 电网保护和电网安全自动装置	17		
1.5 其他	19		
1.5.1 运行分析和经验总结	1.5.2 理论分析和试验验证	1.5.3 采用与推广新技术	
第二章 电网运行和过渡过程问题基础	22		
2.1 电网正常运行时的电流、电压及功率	22		
2.2 电网的稳定问题	25		
2.2.1 电网稳定问题的基本概念	2.2.2 提高系统稳定措施简述	2.2.3 系统失去稳定后的一些现象	
2.3 线路电流的过渡过程	32		
2.3.1 简单的过渡过程	2.3.2 长线路的电流过渡过程		
2.4 电流互感器的饱和问题	41		
2.4.1 电流互感器的稳态饱和	2.4.2 电流互感器饱和的过渡过程	2.4.3 一次电流断开后的二次回路过渡过程	
2.5 电容式电压互感器的过渡过程	46		
第三章 电网故障统计分析 with 实用故障计算	49		
3.1 高压电网故障的统计分析	49		
3.1.1 线路故障的分析	3.1.2 母线故障的分析	3.1.3 变压器及其差动范围内高压配电装置的故障	
3.2 系统振荡事故的初步统计及某些数据	53		
3.2.1 系统振荡事故的初步统计	3.2.2 系统振荡的某些数据		
3.3 高压电网故障计算的基本假定和网络参数	59		
3.3.1 高压电网实用故障计算的假设条件	3.3.2 电网参数		
3.4 用 $\alpha$ 、 $\beta$ 、0 分量法计算复故障	82		
3.4.1 $\alpha$ 、 $\beta$ 、0 分量	3.4.2 电力系统的 $\alpha$ 、 $\beta$ 电势与复故障计算		
第四章 距离元件运行性能分析	93		
4.1 距离继电器的构成原理	93		
4.1.1 距离测量电压	4.1.2 极化量	4.1.3 执行回路	4.1.4 距离继电器的阻抗特性和电压相位特性
4.2 阻抗分析法的局限性	117		

4.3 分析距离继电器运行性能的电压向量图法	119
4.3.1 简述	
4.3.2 故障前的各相电压向量全图	
4.3.3 求故障点处的各相电压及相间电压向量	
4.3.4 求网络中各母线电压向量	
4.3.5 求距离测量电压 $U'_{\phi}$ 的向量	
4.3.6 单纯A相断线时的电压向量全图	
4.3.7 求电压向量全图举例一(单回线情况)	
4.3.8 求电压向量全图举例二(无互感双回线情况)	
4.4 相间方向距离元件的运行性能	147
4.4.1 相间方向距离元件简介	
4.4.2 三相短路时的运行性能	
4.4.3 经串联电容三相短路时的运行性能	
4.4.4 两相短路和两相短路接地时的运行性能	
4.4.5 单相接地时的运行性能	
4.4.6 基本性能小结	
4.5 $\pm 30^\circ$ 接线相间方向距离继电器的运行性能	156
4.5.1 正常运行时的运行性能	
4.5.2 三相短路时的运行性能	
4.5.3 两相短路时的运行性能	
4.5.4 两相短路接地时的运行性能	
4.5.5 评论	
4.6 相间距离元件在振荡时的运行性能	160
4.7 接地方向距离继电器的运行性能	163
4.7.1 接地方向距离元件简介	
4.7.2 三相对称短路时的运行性能	
4.7.3 单相接地时故障相与非故障相元件的运行性能	
4.7.4 两相短路接地时的运行性能	
4.7.5 两相短路时的运行性能	
4.7.6 单相断线加振荡的运行性能	
4.7.7 基本性能小结	
4.8 保护相间短路的多相补偿距离继电器的运行性能	174
4.8.1 保护相间短路的多相补偿距离继电器简介	
4.8.2 两相短路时的运行性能	
4.8.3 经串联电容两相短路时的运行性能	
4.8.4 两相短路接地时的运行性能	
4.8.5 单相接地时的运行性能	
4.8.6 故障带振荡时的运行性能	
4.8.7 基本性能小结	
4.9 几种接地距离继电器的运行性能简论	184
4.9.1 几种接地距离继电器在单相接地时的运行性能比较	
4.9.2 $3I_0$ 极化接地距离继电器的运行性能	
4.9.3 某些距离选相元件的运行性能	
4.10 影响距离元件实际特性的因素	205
附录4.1 单回线情况下A相断线且接地时的电压向量图和零序电流	209
<b>第五章 相间距离保护</b>	<b>213</b>
5.1 相间距离保护的运行效果	213
5.1.1 相间距离保护的作用与必要性	
5.1.2 相间距离保护的不正确动作问题	
5.2 失压问题	214
5.2.1 失压误动的基本概念	
5.2.2 电压回路的三种切换方式	
5.2.3 防止失压误动的几种“电压”方法	
5.2.4 失压误动原因的分析	
5.2.5 用过电流构成距离保护的起动元件来防止失压误动作	
5.2.6 用负序加零序电流构成距离保护的起动元件来防止失压误动作	
5.3 振荡问题	221
5.3.1 几种振荡误动作及拒绝动作	
5.3.2 几种振荡闭锁方式	
5.3.3 使用振荡闭锁的原则要求	
5.3.4 系统正常运行及振荡时负序电流元件的不平衡输出	
5.3.5 振荡闭锁起动元件	
5.4 过负荷问题	234
5.4.1 过负荷引起误动作的分析	
5.4.2 防止过负荷引起误动作的措施	
5.5 故障起动元件与振荡闭锁接线	236
5.5.1 整流式增量元件及振荡闭锁接线	
5.5.2 实现在振荡时的可靠闭锁	
5.5.3 实	

现在失压及过负荷时的可靠闭锁	5.5.4 三相短路时的可靠动作问题	5.5.5 切除特殊故障的问题	5.5.6 半导体式增量元件与振荡闭锁接线	
5.6 相间距离保护装置				246
5.6.1 距离元件的相别切换问题	5.6.2 保护段数及保护段切换问题	5.6.3 距离元件的选择	5.6.4 相间距离保护在重合闸后的加速跳闸问题	5.6.5 相间距离保护接线
5.7 相间距离保护的整定				255
5.7.1 整定的原则要求	5.7.2 故障起动元件的整定	5.7.3 距离保护各段的整定		
5.7.4 过负荷的检查	5.7.5 振荡闭锁及其他元件的整定			
<b>第六章 电网的接地保护</b>				<b>264</b>
6.1 接地故障的特点				264
6.1.1 零序电流的幅值	6.1.2 零序电流与零序电压的相位关系	6.1.3 平行线的零序电流与零序电压		
6.2 在电网运行方式上为改善接地保护性能创造条件				268
6.2.1 合理安排设备检修, 尽量不使电网零序网络有较大变化	6.2.2 控制变压器中性点接地方式, 尽量保持变电所零序阻抗基本不变			
6.3 接地保护方式与它们的优缺点				269
6.3.1 零序电流保护的优缺点	6.3.2 接地距离保护的优缺点	6.3.3 变压器接地保护方式		
6.4 零序电流保护的构成				271
6.4.1 零序电流滤过器	6.4.2 零序功率方向继电器			
6.5 零序电流保护的配置				275
6.6 零序电流保护的整定配合原则及其定值的选择				276
6.6.1 电网运行方式的选择	6.6.2 故障类型和故障方式的选择	6.6.3 相邻保护逐级配合的原则	6.6.4 在满足选择性的条件下, 尽量加快保护动作时间	6.6.5 保护定值应保证对被保护设备故障有足够灵敏度
6.6.6 线路零序电流保护瞬时段定值的整定				
6.6.7 线路零序电流保护第二段定值的整定	6.6.8 线路零序电流保护第三、第四段定值的整定	6.6.9 几个与重合闸有关的保护段及其定值	6.6.10 整套保护的動作特性及上、下级保护的配合关系	6.6.11 零序(或负序)方向继电器的使用
6.6.12 关于接地保护整定配合上几个特殊问题	6.6.13 线路末端单相接地故障, 对侧开关单相跳闸后本侧零序电流幅值的变化			
6.7 接地距离保护的整定配合				298
6.7.1 接地距离保护第一段定值	6.7.2 接地距离保护第二段定值			
6.8 变压器零序电流保护和零序电压保护				307
6.8.1 变压器零序电流保护及其整定	6.8.2 变压器放电间隙零序电流保护及其整定			
6.8.3 变压器零序过电压保护				
<b>第七章 线路纵联保护</b>				<b>314</b>
7.1 综述				314
7.2 方向比较式载波保护				314
7.2.1 方向比较式载波保护的基本工作原理、分类及其构成原则	7.2.2 载波闭锁式距离保护		7.2.3 载波允许式距离保护	7.2.4 零序电流方向纵联保护
7.2.5 负序电流方向纵联保护				

7.3 电流相位比较式载波保护	334
7.3.1 起动回路    7.3.2 操作回路    7.3.3 相位比较回路    7.3.4 长距离线路采用 电流相位比较式载波保护的 特殊问题    7.3.5 单电源线路采用电流相位比较式载波保护的 问题    7.3.6 电流相位比较式载波保护在 线路非全相运行时的工作情况    7.3.7 保护装 置定值整定的一些问题	
7.4 继电保护使用电力线载波通道的几个问题	366
7.4.1 高频阻波器    7.4.2 长距离线路高频保护通道方面的一些问题    7.4.3 保护专 用收发信机的几个问题    7.4.4 通道的运行监视    7.4.5 与通信共用通道	
7.5 导引线保护	379
7.5.1 导引线保护的基本特点    7.5.2 导引线保护的基本运行性能    7.5.3 影响导引 线保护动作特性的几个因素    7.5.4 导引线保护的过电压保护问题    7.5.5 导引线的 监视	
附录7.1 零序与负序方向元件在 线路非全相运行时动作性能的分析	398
附录7.2 两相运行再发生单相接地时的 短路电流计算式	404
附录7.3 桥接线环流式保护在未调平衡时的 动作特性	405
<b>第八章 自动重合闸</b>	<b>408</b>
8.1 自动重合闸方式的选择	408
8.1.1 选用重合闸的基本原则    8.1.2 线路选用三相重合闸的条件    8.1.3 线路选用 单相及综合重合闸的条件    8.1.4 带分支的线路重合闸    8.1.5 母线重合闸 8.1.6 变压器重合闸	
8.2 故障点的消弧问题和重合闸时间的选择	415
8.2.1 一般单相重合闸线路的 潜供电流    8.2.2 带并联电抗器的单相重合闸线路消弧措施 8.2.3 同杆并架线路的潜供电流    8.2.4 单相重合闸线路带分支变压器 负荷引起的反馈 电流    8.2.5 消弧时间、断电时间与重合闸时间    8.2.6 重合闸时间的整定	
8.3 三相重合闸装置	426
8.3.1 装置接线的基本原则    8.3.2 三相重合闸装置的接线	
8.4 综合重合闸	431
8.4.1 相电流速断与选相元件    8.4.2 综合重合闸接线回路的基本原则    8.4.3 一般 零序电流保护及综合重合闸装置接线    8.4.4 使用相电流差突变选相元件的综合重合闸装 置接线	
8.5 重合闸的整定	457
8.5.1 选相元件的整定    8.5.2 选相元件(或分相跳闸元件)拒动时间的整定    8.5.3 非 全相闭锁时间    8.5.4 分相后加速    8.5.5 相间与接地故障判别元件    8.5.6 有关端 子的连接	
<b>第九章 双回线和分支线保护问题</b>	<b>463</b>
9.1 双回线的基本保护	463
9.2 双回线保护的 特殊问题	465
9.2.1 零序电流保护问题    9.2.2 接地距离保护问题	
9.3 分支线路保护的 特殊问题	476
附录9.1 求双回线中一回线A相一侧断线另一侧同时接地时的零序电流分配关系(故障前无负荷的情况)	479

<b>第十章 母线保护、开关失灵保护及其他</b> .....	482
10.1 母线保护 .....	482
10.1.1 母线保护的作用和要求	10.1.2 母线保护方式
10.1.3 母线保护的出口跳闸回路	10.1.4 电流互感器的布置
10.2 开关失灵保护 .....	493
10.2.1 开关失灵保护的作用	10.2.2 开关失灵统计分析
10.2.3 相邻元件后备保护的现状以及装设开关失灵保护的必要性	10.2.4 装设开关失灵保护的条件的
10.2.5 对开关失灵保护的要求	10.2.6 开关失灵保护的构成及其接线
10.3 母线联络开关、旁路开关的保护及其它 .....	499
10.3.1 加速跳开母线联络开关问题	10.3.2 母线充电保护
10.3.3 变压器开关和母线联络开关的非全相运行保护	
<b>第十一章 电网安全自动装置</b> .....	502
11.1 各种电网结构的安全稳定问题及措施简述 .....	503
11.1.1 长距离的单回线送电	11.1.2 长距离的双回线送电
11.1.3 单回线受电	11.1.4 特大环网送电
11.1.5 两级电压线路并联送电	11.1.6 链形多机系统
11.1.7 联网大系统	
11.2 安全自动装置的起动方式 .....	508
11.2.1 各种起动方式	11.2.2 由距离继电器构成的振荡起动装置
11.2.3 其他振荡起动装置	
<b>第十二章 保护装置的试验</b> .....	517
12.1 保护装置的试验问题 .....	517
12.2 几种基本测试方法 .....	519
12.3 试验项目和内容的安排 .....	525
12.4 模拟试验设备 .....	526
12.5 事故后检验 .....	530
附录12.1 模拟开关原理接线 .....	534



# 第一章 电网继电保护问题总论

## 1.1 绪 论

随着电网的发展，在正常情况下、故障当时以及故障后的恢复过程中，电力系统的许多运行操作日趋高度自动化，而所有电力系统的自动化问题，究其性质，大约又可分为两大类：

(1) 保证电力系统正常运行时经济性及供电质量的自动化技术及其装备，这就是一般理解的电力系统自动化的基本内容。这种性质的自动化属于生产过程的自动连续调节，它的动作速度相对迟缓，但在整个调节过程中要求有较高的稳定性，它把整个电力系统或其中的某一部分作为调节对象。监视、控制和改变电力系统正常运行方式的自动化技术、计算技术及其装备，也是这方面的一个重要内容。

(2) 当电网或电力系统设备发生故障，或出现影响安全运行的异常情况时，处理故障和消除异常情况的自动化技术及其装备。这种性质的自动化的特点是非调节性的（突然投入或切除某一设备）和要求快速动作。除了维持电力系统稳定运行的某些技术措施外，电力系统的继电保护就是其中最重要的内容。

上述两种自动化技术，研究的侧重点是不同的。前者着重研究电力系统的调节性能，而后者则着重研究电力系统的异常运行和突变过程，两者都是电力系统不可分割的组成部分。

为了实现继电保护，必须研究各种电力设备和电力系统整体在正常运行、发生故障或出现异常情况时的各种特性，从中找出可以迅速而又能正确地区分正常、故障或异常情况的判据，然后据此研究制造某种特殊的装置，把这些判据准确地转换成操作信息，作用于故障设备的开关，或操作某个电力系统元件，以达到预期的目的。

一般地说，电力系统的继电保护又可分为相互密切联系的两大类：

(1) 当发电机、变压器、输电线路、母线以及用电设备等发生故障时，要求用可能最短的时限和在可能最小的区间内，自动把故障设备从电网中断开，以减轻故障设备的损坏程度和对邻近地区供电的影响，完成这种任务的自动装置，在习惯上通称为继电保护装置。

(2) 为了在事故后迅速恢复电力系统的正常运行，或为了尽快消除电力系统出现的异常情况，以防止电力系统大面积停电和保证对最重要用户连续供电的自动化措施，例如线路和母线等的自动重合闸、备用电源的自动投入、自动切除供电负荷（包括按频率自动减负荷）、快速压火电机出力、电气制动、切除水轮机组以及在规定的开关上实现系统解列等等，实现这种任务的自动装置通称为电网安全自动装置。

多年的运行实践证明，电力系统继电保护工作的好坏，对电力系统本身以及重要用户能否安全运行，影响很大。好的继电保护工作，是保证安全运行不可缺少的重要手段。反

之,如果做得不好,不仅不能起到应有的作用,甚至可能成为扩大事故或酿成重要事故之源,对系统、对用户都可能造成灾难性的后果。从这个意义上来说,继电保护工作的重要性是很突出的。

电力系统的继电保护技术,理论性和实践性都很强,内容十分丰富。继电保护不只是电力系统的一个重要组成部分,而且和电力系统的许多方面都有联系,其中尤以与电网规划和电网调度运行的关系最为密切。熟悉电网运行性能,认真总结实践经验,深入研究并解决电网发展中出现的新问题,加强和调度运行与电网规划部门间的协作配合,实在是搞好电网继电保护的关键之一。

在继电保护专业内部,也存在着试验研究、设计、制造、调度管理和现场运行维护等各个环节。各个环节之间,紧密联系而又各有所侧重,也有一个搞好协作配合的问题。

继电保护是一门实用技术,判断它的优劣的标准,只能是在电力系统中的实践效果。对于电网的继电保护工作,必须以保证电力系统安全可靠运行的全局作为处理各种具体问题的根本出发点。有了这个根本前提,决定某些具体问题才有了明确的目标,在处理继电保护内外部关系的时候,才有共同的思想认识基础。在本章的以后各节中,拟据此来研究电网继电保护工作中的某些原则问题。

## 1.2 对继电保护性能的基本要求

在研究对继电保护性能的基本要求之前,需要对继电保护所包含的内容有全面的理解,这是针对可能把单独的继电保护装置本身误认为即是继电保护的全部内容这种想法提出的。实际上,实现任何一种继电保护,都必须包括两个方面,一方面应包括继电保护的设计、配置、整定、调试等方面的技术;另一方面应包括由取得故障判据的电流和电压互感器二次回路,经过继电保护装置或电网安全自动装置直到开关跳闸线圈的一整套具体设备,如果利用有线或无线通道,还包括有关的通道设备。继电保护的绩效如何,是以包括上述内容的整个继电保护为对象来说的。虽然许多问题表现在具体装置上,但其来源绝不仅仅在具体装置本身这一个方面。

对继电保护性能的基本要求,可以概略分为安全性、可靠性、速动性、选择性与灵敏性五个方面。这几“性”之间,紧密联系,既矛盾又统一。为了处理好它们之间的相互关系,必须对每一要求的本身和与之相关的其他方面同时予以研究。

### 1.2.1 安全性与可靠性。保护的双重化

安全性与可靠性是对继电保护性能的最根本要求。所谓安全性,是要求保护装置在不需要它动作时可靠不动作即不发生误动作。所谓可靠性,则要求保护装置在需要它动作时能可靠动作即不发生拒绝动作。

继电保护必须对电力设备和电网的故障或异常情况有迅速而准确的判别能力。当着这种情况出现时,能够立即作出反应并实现预定的操作;而当这种情况并没有在电力系统中实际出现时,不会由于内部或外部的某些假象导致它的误判断与误操作。也就是说,继电保护既不应该拒绝动作也不应该误动作。对于高压电网与大型机组的继电保护说来,这个

基本要求的重要性显得更为突出，这是因为它们不正确动作的结果会给电力系统带来十分严重的后果。

千方百计堵住可能产生误动作和拒绝动作的各种漏洞，是设计、制造、配置、整定、试验与运行继电保护最为重要的一个问题。发生误动作或拒绝动作的原因是多样的，或来自装置本身的缺陷（如元件及其回路的设计与制造质量，以及试验分析与运行维护问题等等），或由于整定配合不当，或由于装置的配置不合理，也可能由于电网结构或运行方式不合理等引起。

对于低压电网，很少议论关于继电保护在满足安全性与可靠性方面的困难，原因是电网结构和选用的继电保护都比较简单，同时继电保护动作所影响的范围也比较局限。但是在高压电网中，由于电网条件的需要，不但所采用的继电保护装置和安全自动装置比较复杂，而且它们的正确动作与否，对保证电网的安全运行往往有举足轻重的作用，这就促使人们不能不对它们在各种情况下的可能误动作和可能拒绝动作进行认真的探索和研究。而在研究分析的过程中，很自然地会出现关于正确处理防止误动作与防止拒绝动作之间的矛盾问题。

为正确解决这个矛盾，关键是要根据系统的具体条件处理好两者的主次关系，或者宜于强调防止拒绝动作，或者宜于强调防止误动作，并在实际上采取措施重点予以解决。但对强调的重点，不能作片面的理解。例如当着重强调采取措施防止误动作的时候，决不意味着可以允许拒绝动作。正相反，在解决重点方面问题的同时，必须特别注意可能给另一方面带来的不利影响，并尽可能采取其他的辅助措施来消除这些影响。力争在加强重点一方性能的同时，尽可能不削弱另一方的性能，这是实现继电保护的一个基本原则。

先以线路继电保护为例。在有的超高压电网中，规定设计线路继电保护的指导原则是，把防止故障时的拒绝动作放在为主的位置，首先保证故障时的可靠动作跳闸，但力争防止保护装置的误动作。在一定的具体条件下，例如电网比较强大，联系紧密，联络线路多，各级超高压线路迭加环并运行，系统备用容量较多等情况下，这样的设计原则看来是合理的。因为在故障时，如果线路保护装置拒绝动作，对系统影响的后果，会比个别甚至好几回线路的误动作跳闸还要严重。

为了保证在故障时的跳闸可靠性，许多电网对于220千伏以上的超高压线路继电保护采用了二中取一的双重化配置原则，即在每一回线路上都装设两套完全独立的各自性能都满足电力系统稳定要求的继电保护装置。为了使两套保护尽可能互为备用，每一套保护装置所用的直流电源、互感器二次绕组、控制电缆、出口回路等也都完全分开，而且两套保护的動作原理也往往不相同（例如一为闭锁方式，一为允许跳闸方式等），以期在运行性能上互为补充。

有的系统对电力系统设计的稳定标准比较严格，例如，当第一台大型机组投产时，配以两回超高压线路，当一回线跳开时，机组仍可以满发稳定送电；当第二台同型机组投产时，再同时投入两回超高压线路，按两回线同时跳开、全厂仍稳定满发送电进行校核。有的对某些大型电厂设计的稳定标准是按高压母线出口三相短路，一相开关拒动由后备保护切开故障后仍能保持稳定。由于按照这类条件来校核系统稳定，所以在这样的系统中认为

线路保护（例如距离保护）在电力系统失去同期的情况下动作是合理的，只有在特殊情况下才采取措施防止在同期摇摆（例如两侧等价电源电势角不超过 $120^\circ$ ）时的不正确动作。

前面所述，是把防止拒动放在首位的情况。而在另一种条件下，当着电网正处于形成与发展中，电源联系比较松散，系统稳定水平较低，主要送电线路特别是电源联络线的负荷往往很重，系统又缺乏备用容量的情况下，对于超高压线路，特别是那些重要电源联络线的继电保护，则要着重强调防止它们在各种可能情况下的误动作，并对它们提出较为严格的要求，而把防止拒绝动作列为第二位，应当更为合理。

但是，即使在后一种电网条件下，对线路继电保护的要求也不能千篇一律。例如，当一个变电所超高压母线配出的线路中，如果除了重要的电源送电线，还有其他次要的供电线路的话，那么，对于那些次要线路的继电保护来说，适于采用“故障时要求可靠动作优先于防止误动作”的原则，以确保重要联络线的安全送电，这是照顾全局的观点。对于这些次要线路，防止误动作当然同样是应当的，但必须以不妨碍故障时的可靠动作为前提。由此可见，由于具体条件不同，强调的重点也应有所区别。

为了更进一步说明这一论点，以我国即将出现的500千伏电网为例。我国500千伏线路的出现，首先是为了向现有电网传送远距离新建大容量电厂的电力。这些500千伏线路传输的电力较大，尤为重要的是在建成后的一个时期内，所传输的电力将占整个电力系统容量相当大的比重，而且在短期内，线路也没有备用（没有第二回并联线路或强大的较低电压并联环网线路），这和某些大系统为加强电网内部联系，在强大的较低电压线路网周围迭加环并高一级电压线路的情况有很大的不同。针对我国具体条件下初期建设的500千伏电网的继电保护，需要着重提出如下问题：

（1）对500千伏线路以及母线等的继电保护，宜特殊强调以防止误动作为主的原则。应该采用高质量的、技术成熟并充分反映了自己运行经验的保护装置。对那些在某一方面虽有较好指标但不利于安全性的技术和措施的采用，宜慎重研究。除非不得已，不宜在500千伏电网中首先试点。

（2）可靠地进行重合闸，是500千伏电网的重大安全措施之一。要强调保证单相接地故障时的正确选相、可靠跳闸以及重合闸。对于环状和并列运行的500千伏线路，三相重合闸当然也具有同样的重要性。

（3）对于500千伏线路送、受端变电所配出的较低一级电压（例如220千伏）线路的继电保护，宜特殊强调不能因为它们的动作性能不完善而影响500千伏线路的安全送电。在某些具体电网条件下，这些线路或母线的故障是否能被快速切除，对保证500千伏线路的安全稳定运行，可能有重要影响，对它们当然更要特殊注意解决各种可能拒绝动作的问题。为了使这点得以落实，在设计新建500千伏线路的同时，需对相关连的220千伏电网提出稳定要求，校核现有220千伏电网有关继电保护的性质是否满足要求。如果有必要，需提出对继电保护的改造规划和进行具体设计。

实际运行经验证明，不管电力系统的稳定措施如何完备，总有可能因为预计不到的偶然原因使电力系统失去稳定。实践也同时证明，如果听任线路继电保护在系统失去稳定后无计划地跳闸，往往容易扩大事故，造成系统瓦解和大面积停电。因此，即使电网相当强

大，也需要防止和不允许线路继电保护装置在系统各种可能失去稳定的情况下无计划地跳闸。除特殊的预定作为解列点处的继电保护外，线路等元件的继电保护不能在系统失去同期时误动作，这是设计线路继电保护较为合理的一个原则。至于系统失去同期后如何处理，则属于电网安全自动装置的范围，在下面还要专门谈到这个问题。

对于多环网线路的继电保护，一般以采用二中取一的双重化配置方式较为合理，这同样是以其误动作或拒绝动作对电力系统的影响为前提而提出的。

前述二中取一的双重化配置，具体有两种方式：

(1) 主要保护的双重化。例如在线路上装设阶段式的零序电流保护和相间距离保护作为基本保护，再配以一套纵联保护。对于线路的所有故障，都有两套各自独立的保护装置可以分别动作于切除故障，达到了互为备用的目的。在实际配置的保护装置中，常以基本保护为基础增设载波通道部分构成方向比较式纵联保护。此时，纵联保护中的接地保护部分宜完全独立，使得接地故障实现保护双重化。

(2) 快速保护的双重化。在基本保护之外，再配以两套纵联保护。在一些大电网的高一级电压的超高压线路上，往往采取这种方式，这首先是以确保严格的稳定要求为前提。对220千伏线路，除为了确保继电保护整定配合时的特殊需要外，一般没有采取这种配置方式的必要。

二中取一方式的另一特点是便利检修，可以停用一套进行维护试验而不影响线路正常运行。实现二中取一双重化方式要着重注意每一套保护装置的安全性。因为有两套互为备用，也为每一套装置采取安全性措施提供了便利条件。为了使每一套保护装置能够可靠不误动作，需要把防止可能产生误动作这一指导思想贯彻到方案设计、性能分析、研究试验、产品质量直到维护运行（包括整定值的选取）等继电保护工作的每一环节中去。因为对任一环节的疏忽，都将最终导致整个装置的不正确动作。

至于母线保护，由于它的误动作可能给电力系统带来严重后果，故应着重防止误动作，一般以采用二中取二的双重化配置方式较为适宜。所谓二中取二方式，是指需要两套相互独立的保护装置同时动作才能最后作用于操作开关，这样就避免当某一环节单独误动作时引起整个保护装置的误动作。二中取二方式的缺点是增加了拒绝动作的可能性。但就可靠跳闸来说，母线故障时，相邻元件都应有足够灵敏度的后备保护（虽然带有一定延时）可以动作切开故障，在这个意义上来说，母线专用保护与相邻元件的后备保护两者已经具有二中取一的基本性质。

对于开关失灵保护，情况和母线保护相类似，也宜于选用二中取二的双重化方式，以防止可能产生的误动作。这是指一般的情况。

二中取一与二中取二两种方式有一个共同特点，即两套保护之间必须在每一环节上都确实地相互独立。前者的两套保护是并联工作，而后的两套保护是串联工作。如果有公用环节存在，当这一公用环节出现了问题时，就使双重化完全失去了意义。因此，必须尽可能避免出现这样的情况。

还有一种三中取二的双重化配置方式，实际用在某些特大型机组的保护中，即装设三套独立的完整保护，当任何两者同时动作时切除机组。这是考虑大型机组保护的误动作或

拒绝动作都会带来巨大的经济损失，需要从保护方式来确保既不误动作又不拒绝动作。虽然因此带来某些投资的增大，但在经济技术的总体说来仍然是合理的。

二中取一与二中取二方式的双重化原则，同样也适用于构成继电保护装置的某些环节。善于在逻辑回路的设计中有意识地运用这样的原则，有利于提高继电保护本身动作的可靠性与安全性。

总的说来，不管二中取一的方式也好，二中取二的方式也好，它们的基本要求是当一方有问题时能够从另一方取得可靠动作或可靠不动作的保证。但是，这种保证只能建立在每一方都独立地具有高度可靠性的基础上。同一条线路上装了两套独立的继电保护，都因为性能不完善，在本线路故障时同时拒绝动作的事故实际上发生过，这是一个教训。同样，采用二中取二方式，就需要特别注意在某些特殊情况下的同时可能误动作。

保证可靠动作与可靠不动作的问题，不仅表现为采用什么双重化配置方式，也表现为具体选用什么保护方式，选取什么整定值，采用什么接线回路等方面。这些问题，只有在设计、整定继电保护时，结合具体情况恰当解决。

为了确保事故情况下的保安电力，重要工矿企业都要求双电源供电，但是否能收到双电源之效，继电保护起着关键作用。需要充分研究在各种可能事故情况下（包括考虑某些保护装置可能拒绝动作或误动作以及某个开关拒动），如何通过整个继电保护系统的正确动作，以确保保安电力不中断。否则，恐徒有双电源之名，而在事故时却不能收双电源之效，这也是有实际教训的。

确保重要工矿企业保安电力的重要措施之一，是在企业自备电厂与地区系统的恰当地点之间设置自动解列点。考虑到在需要解列而不能解列时可能产生的恶果，对这些解列装置宜选用二中取一的配置方式，例如以定限时的低电压和低频率装置并联跳闸。如果必要，两套解列装置还可以分别作用于不同变电所的开关。自备电厂发电机的后备保护也宜于先动作切开解列开关。

对于装设在电网中的解列装置，由于正常运行时应经常调整解列点的功率使之尽可能达到最小，因而，一般以优先采用防止可能拒绝动作的原则较为适当。

为满足安全性与可靠性的要求，最后还要提出两点：

（1）必须采用性能良好、质量符合要求的装置，当然也包括有关的二次回路在内。装置的质量主要取决于制造部门，关键在于提高工艺水平和充分反映运行经验。而二次回路则与设计有很大关系，例如，当在电网中采用半导体保护时，二次回路的抗干扰就是一个很重要的问题。在装置投入系统运行时，不仅要通过检查试验把住质量关，同时要制定合适的运行维护规程，使运行值班人员对装置能正确地进行运行维护，这些都是保证保护装置可靠运行极为重要的方面。

（2）在满足系统要求的前提下，应当尽可能选用最简单的保护方式、可能最简单的元件和回路构成保护装置。装置愈简单，运行愈安全可靠。

### 1.2.2 速动性

所谓速动性，是要求继电保护以可能最短的时限把故障或异常情况自电网中切除或消除。对于超高压电网，除了要求减轻对故障设备的损坏而外，提高系统运行的稳定性往往

是要求快速切除故障的一个关键因素。问题还不止此，有些情况下，在保证安全性前提的同时，保护装置的动作愈快，愈有可能增加保护装置本身的可靠性和重合闸成功的可能性（特别是当短路电流很大时）。实践证明，许多相间故障都是由于单相故障发展而成，如果保护装置动作快速，就可以减少多相故障的机率，充分发挥单相重合闸的效能，这一点对单回电源联络线尤为重要。以一次实际系统事故为例。某 220 千伏变电所一条线路的电流互感器故障，由于切除故障时间慢，逐渐由单相发展为两相又发展为三相故障，虽然本侧开关快速切开，但因对侧切除故障时间过长（2.0秒），最后由电流互感器故障发展为母线故障，造成部分地区的大面积停电，充分说明了保护装置快速动作的重要性。

在超高压电网中，由于一次系统时间常数很大，比较容易出现电流互感器的暂态饱和问题。但由故障开始到电流互感器开始饱和总需经历一定时间，只要保护装置的動作足够快速，能够赶在电流互感器饱和之前正确判断故障，就可以大大减轻甚至免除对电流互感器的额外要求。有的线路保护装置和母线保护装置就是按照这样的原则来动作的。这就说明，在一定条件下，保护装置的快速动作提高了它本身动作的可靠性。

还可以举出另一个保护装置快速动作与提高可靠性高度统一的例子。例如在图1-1(a)中，假如变电所B位于系统振荡中心附近，当在由B母线配出的线路A上发生故障，如果A线路上的保护装置动作时间过慢，致使所联的两等价电源系统E及E'之间失去同期时，由于在振荡过程中，即使没有故障，B母线电压也将在最大值与接近于零值间作周期性的波动，结果使故障线路电流 $i_a$ 与电源联络线的电流 $i_b$ 也产生了周期性的变动，如图1-1(b)，使带时限过长的故障线路保护装置因中途复归而拒绝动作（ $i_a$ 在振荡过程中减小），但是联络线的保护装置却能因振荡而更可靠地动作（ $i_b$ 在振荡过程中反而增大），导致越级跳闸而扩大事故。类似情况，在实际运行中不止一次地发生过。

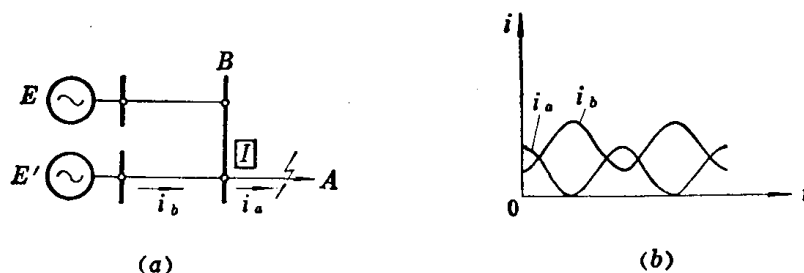


图 1-1 位于振荡中心附近的变电所的配出线故障  
(a)一次接线；(b)振荡时的短路电流包络线

因此，在电网中，凡属位于电气振荡中心附近的变电所，都应该尽可能加速配出线路（包括由高压母线配出的高压线路或经变压器后配出的低压线路及母线）的保护动作时间，特别是当该保护区内发生能使联络母线电压大量下降的故障，尤应加速动作予以切除。最好根据稳定计算的要求来考虑对保护装置动作时间的要求。但单独为了保护装置本身的可靠动作，可粗略估计如下：

(1) 对由这类变电所配出的高压线，一定要有保证末端故障有足够灵敏度，同时动作时间不大于约为 0.5 秒的相间及接地保护，不管线路有无纵联保护，都应满足这样要求。

(2) 对由这类变电所配出的低压线路, 发生凡足以使高压母线电压下降到60~70% 额定电压左右的故障, 其保护装置的动作时间也不宜大于0.5秒。

(3) 对于这类变电所, 除高压母线外, 低压母线也应增设比较快速动作的母线保护。

由图也可以想到, 当着故障线路故障电流下降之时, 母线电压也必然同时随之成比例降低。因此, 如果必要, 可以采取经低电压元件自保持的办法来确保故障线路保护装置的可靠动作, 但要注意考虑当低压环网相邻线路纵续切除故障时不致误动作, 且只宜用在中低压线路上。

以上着重谈了保护装置快速动作的好处。但是, 在许多情况下, 如果保护装置动作过快, 由于系统、互感器以及继电器本身过渡过程等的影响, 往往可能带来比较大的误差, 甚至引起误动作和严重的超越动作, 这是对速动保护必需特别注意研究和解决的问题。

在超高压电网中, 一些易使继电保护不正确动作的因素, 都较之中压电网严重, 例如, 一次系统直流分量、低频与高频分量电流的影响, 电容式电压互感器输出电压的暂态失真, 电流互感器的暂态饱和, 快速动作的继电器本身易于当外界故障条件转换时产生误动作等等。因此, 有意识地适当增加一点故障判别元件的动作时间, 往往是可靠躲开过渡过程的简单有效办法。在没有确切把握的情况下, 特别对超高压电网的保护装置, 将故障判别元件的固有动作时间增大半个周波左右, 用牺牲一些速动性来换取动作的更为安全, 是值得考虑的问题。当然, 增加这一点时间必须有效地用在确实可以换得安全性的关键环节上。总之, 在考虑保护装置速动性时, 必须以保证安全性为前提, 对超高压电网, 尤应如此。

要避免既无补于安全性而又增加动作时间的做法。对快速保护所接入的中间出口继电器回路, 如果不是有特殊需要, 最好直接经出口跳闸继电器跳闸。有的由于缺少对二次回路的综合设计, 往往出现快速保护不必要地经过两个慢动作中间继电器跳闸的情况, 既不利于保护的动作用安全性又增加了动作时间。在超高压电网中, 采用具有高度可靠而动作时间又十分快速的出口中间继电器, 在许多情况下是降低保护装置动作时间最简单有效而又最可靠的办法。

对于在运行中的继电保护装置, 凡是无时限的保护段, 宜改为快速出口, 而对于某些旧型号的相差保护, 为了防止区外故障转换时的误动作, 反以接入动作时间较长的出口中间继电器为宜, 原因是希望经过两次连续比相才能动作于跳闸, 以提高其安全性。

在保护装置的逻辑回路中, 往往要求几种不同功能的元件同时动作后, 才允许发出跳闸命令。对于无时限的第一段保护以及纵联保护的跳闸出口回路, 最好是各个元件直接(不经过其他中间环节)串联起动出口中间继电器, 这是一个争取快速动作简而易行的方法。但跳闸回路要注意全面考虑, 防止不同保护盘间由于经不同熔断器供给直流电源, 可能在操作过程中产生寄生回路引起的误动作。

### 1.2.3 选择性

所谓选择性, 是要求继电保护在可能最小的区间内把故障自电网中断开。它包含两方面的意思: 其一应由装设在故障元件上的保护装置动作切除故障, 其二要力争相邻元件的保护装置能对它起后备保护作用。就这两点而论, 客观上存在着上、下级保护之间需要选



择配合的问题。

(1) 满足选择性的基本原则,是上级保护与下级保护之间对所有故障都必须在灵敏度与动作时间上取得配合,即上级保护装置相应保护段的灵敏度应较下级保护装置相应保护段的灵敏度低,或者说,上级保护相应段保护范围要短于下级的保护范围,同时这个相应的上级保护段的动作时间必须大于下一级相应段保护的動作时间,两者缺一不可。

一般来说,在时间上必须取得配合这一点已为大家所掌握,而且在实际上都已这样做了,但对于灵敏度也必须配合这一点则未尽然,因而出现的非选择性动作并不罕见。

在检查灵敏度配合时,需要选取相对最不利的故障形态与运行方式。而当进行选择配合的保护段中有几个元件串联工作的话(例如接地保护中的零序方向元件与零序电流元件),则应以在该种故障下最不灵敏的那个元件的灵敏度作为本级灵敏度的标准与上一级保护进行校核(而如果接地方向元件具有反时限特性的话,还要以下一级的接地方向元件动作时间作为时间配合的标准)。总之,应当选取当下一级保护区内发生故障时,对下一级保护灵敏度与动作时间相对最不利的一种运行方式、故障形态以及保护本身动作条件的综合因素作为选择性配合的条件。

(2) 上、下级保护间的选择性配合虽然是一个整定技巧问题,但与保护配置的关系也很大。一般地说,动作原理相同的保护段之间的选择性配合较易,而不同原理上、下级保护之间的整定配合则较难,例如距离保护与电流保护之间就是如此,其中的一个原因是保护范围与允许故障电阻值差异很大(当然,对于以电压作极化量的上、下级距离保护之间,理论上也有经电阻短路不配合的问题),因而实现严格的选择性往往不可能办到。虽然过份追求理论上的灵敏度的绝对配合也许并无实际意义,但却不可不对此予以适当考虑。上、下级保护的配合,涉及电网保护的总体规划,为了配合需要,在某些情况下,有意识地使上一级带时限的第二段与下一级无时限的第一段采用同一原理的保护,将给运行整定带来便利。

至于保护范围最长的末段保护,一般作为内外部故障时的后备,严格考虑与相邻保护间的配合是十分必要的。

(3) 对于只能在被保护区内故障时动作的无时限保护段和纵联保护,也有选择配合的问题。例如对于无时限的第一段保护,为了获得在母线故障时的选择性,需要掌握在短路初期故障判别元件的暂态性能,如暂态超越以及方向性等,同时包括受一次系统过渡过程以及互感器的失真等影响在内,这些就需要由制造部门对这些元件通过正确的模拟试验提供典型数据,同时在运行整定时,还需要在总结运行经验的基础上综合各种误差选择适当的安全系数,才能保证安全。

涉及两侧工作的纵联保护,更有内部选择配合的问题。以闭锁式方向比较纵联保护为例,它有两个元件串联工作,一个是只决定于本地电气量的元件,它直接由本地的互感器输入故障量,因而其动作是快速的,另一个是在收到对侧信息才起作用的元件,其动作相对较慢。这样就需要考虑:①当本侧区外故障时,由本侧发出信息,用以闭锁对侧保护使之不能跳闸的元件灵敏度,必须高于对侧允许保护跳闸的元件灵敏度;②本侧保护接通允许跳闸回路的时间,必须迟于收到对侧闭锁信息的最迟时间;③当外部故障切除后,必须