

内 容 提 要

本书分为五章,主要内容有:继电保护设计基本知识;继电保护设计图纸;电网的继电保护设计;电力变压器的继电保护设计以及发电机的继电保护设计。在书后还附有常用的继电器及继电保护装置的型号与参数。

本书内容力求理论联系实际,在阐明继电保护设计原则的基础上,着重介绍继电保护设计的技术要求和方法。本书是为满足中等专业学校电力类专业课程设计及毕业设计的需要编写的,也可供从事电力系统继电保护设计、安装及调试等的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统继电保护设计指导/钟松茂,李火元合编. -北京:
中国电力出版社, 1996

ISBN 7-80125-142-3

I. 电… I. ①钟… ②李… III. 电力系统-继电保护-
设计 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 03621 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

北京市地矿局印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1996 年 7 月第一版 1996 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 6.375 印张 140 千字

印数 0001—3660 册 定价 7.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

本书是根据原“全国电力中专电类专业教学研究会”的安排，为满足中专电类专业的课程设计及毕业设计的需要而编写的。

本书在讲清继电保护设计原则的前提下，着重介绍继电保护的 actual 设计。考虑到电力系统的发展，高参数大机组的增多，在发电机继电保护设计实例中，向读者介绍的是 300MW 发电机与变压器组式接线方式下的继电保护设计。

全书分为五章，第一、二章和附录由钟松茂同志编写，其余各章由李火元同志编写。全书由李火元同志统稿，由钟松茂同志审订。

本书由北京电力高等专科学校陈景惠同志主审，在编写过程中南京电力高等专科学校的金建源同志提出了宝贵意见，在此一并表示感谢。

由于我们水平所限，编写经验不足，书中的错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

1994. 12

目 录

第一章 继电保护设计的基本知识	1
第一节 继电保护设计的目的和要求	1
第二节 继电保护设计的内容和设计步骤	2
第三节 主保护、后备保护和辅助保护	3
第四节 对继电保护设计的基本要求	4
第五节 电力系统中性点接地点选择的原则	8
第六节 一次系统对保护整定计算的影响	10
第七节 短路电流计算简介	12
第二章 继电保护图纸设计	27
第一节 继电保护原理图、展开图和安装图	27
第二节 继电保护屏的屏面布置图、端子排图、屏后 接线图和电缆连接图	31
第三章 电网继电保护设计	45
第一节 概述	45
第二节 110kV 电网继电保护设计举例	49
第四章 电力变压器的继电保护设计	77
第一节 概述	77
第二节 电力变压器继电保护设计举例	79
第五章 发电机的继电保护设计	90
第一节 概述	90
第二节 大型发电机——变压器组继电保护设计举例	96
附录 A 继电保护设计参考题	111
附录 B 继电器与继电保护装置的型号与参数	131

第一章 继电保护设计 的基本知识

第一节 继电保护设计的目的和要求

电力系统在运行中，可能会发生各种故障和不正常运行状态，除应采取各项积极措施消除或减少发生故障的可能性外，若故障一旦发生，必须迅速而有选择性地将故障元件切除，这是保证电力系统安全运行的最有效的方法之一。切除故障的时间常常要求小到十分之几秒甚至百分之几秒。实践证明，只有在每个电气元件上装设继电保护装置，才有可能满足上述要求。

电力系统继电保护的设计与配置是否合理会直接影响到电力系统的安全运行。若设计与配置不当，保护将不能正确工作，从而会扩大事故及停电范围，有时还可能造成人身伤亡或设备损坏事故。故必须合理地选择保护方式和正确的整定计算，才能保证电力系统安全、稳定运行。

进行电力系统继电保护设计的目的要求：

(1) 能把所学过的理论知识进行综合运用，从而达到巩固、加深及扩大专业知识，并使之系统化。

(2) 正确领会和贯彻党和国家的方针、技术经济政策，培养正确的设计思想，并掌握设计的基本方法。

(3) 培养运用所学的理论知识，提高独立分析和解决问题的能力，掌握实际工程设计中的一些基本技能。

(4) 培养作为工程技术人员必须具备的计算、绘图、使用规程、手册、资料及编写设计说明书等的技能。

第二节 继电保护设计的内容和设计步骤

一、设计内容

1. 题目类型

(1) 额定电压为 35~110kV (或 220kV) 两侧电源开式网络 (或单电源环形网络) 继电保护 (并考虑自动重合闸装置的配置) 的配置与整定计算。

(2) 一个中等容量变电所主要元件的继电保护配置和其中一台变压器继电保护的整定计算。

(3) 一个中等容量发电厂主要元件的继电保护配置和一台发电机——变压器组继电保护的整定计算。

2. 主要内容

系统运行方式的分析; 短路电流的计算; 保护方式的选择配置与整定计算; 继电器和保护装置的选型; 绘制保护原理图、展开图、端子排图、屏面布置图、屏后接线图, 以及编写设计说明书。

二、设计步骤

(1) 根据设计题目给定系统的情况与《继电保护和安全自动装置技术规程》的规定, 拟定有关线路和主要元件的继电保护及自动装置方案。

(2) 对原始资料进行分析, 确定整定计算用的各种运行方式和变压器中性点的接地方式 (系统运行方式一般只考虑最大、最小运行方式和经常的运行方式, 不考虑稀有的特殊方式)。

(3) 短路电流计算。

(4) 继电保护装置和自动装置方式的选择、整定计算、灵敏度校验以及继电器的选择。

(5) 绘制保护装置及自动装置配置图。

(6) 绘制保护原理图、展开图、屏面布置图、端子排图及屏后接线图。

第三节 主保护、后备保护和辅助保护

在电力系统中，所有的电气元件（线路、变压器、发电机、母线等）应装设反应短路故障和异常运行情况的继电保护装置。

反应短路故障的保护分为主保护、后备保护和辅助保护，这些保护均动作于断路器跳闸。

主保护：是指能满足电力系统稳定及安全运行的要求，并能以最短的时限、有选择性地切除被保护元件和线路全长故障的保护。主保护可由一套保护担任，也可由两套或两套以上的保护担任。如线路上通常采用的主保护有高频保护、差动保护、距离保护（Ⅰ、Ⅱ段共同组成）、零序保护（Ⅰ、Ⅱ段共同组成）、平行线路的横差方向保护等。

后备保护：是指在主保护或断路器拒动时，用来切除故障的保护。它分为远后备保护和近后备保护两种：当某一元件发生故障，其主保护或断路器拒动时，由相邻元件或线路的保护切除故障实现后备保护的，称之为远后备保护，如距离保护的第Ⅲ段或阶段式电流保护的第Ⅲ段；当主保护拒动时，由本元件的另一套保护实现后备保护，或断路器拒动时，由断路器失灵保护实现后备保护的，称之为近后备保护。

辅助保护：是为了弥补主保护和后备保护的不足（如切除故障不够快，或有死区，以及电压互感器装在线路上等）而增设的简单保护，通常采用电流速断保护作为辅助保护。

进行保护整定计算时，应着重改善主保护的效果，兼顾后备保护。对分段的成套保护，一般以Ⅰ、Ⅱ段作为主保护，而以Ⅲ段或Ⅲ、Ⅳ段作为后备保护。

反应电气元件异常运行情况的保护，通常采用简单的电流、电压保护，它延时动作于信号。

第四节 对继电保护设计的基本要求

对动作于断路器跳闸的保护装置，应满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性四项基本要求。对作用于信号的保护装置，速动性的要求可降低一些。

一、可靠性

要求保护装置经常处于良好状态，随时准备动作。用简单的话来说，就是“该动的就动，不该动的则不动”。为了保证保护装置动作的可靠性，在设计、安装和运行维护中应注意以下几点：

（1）原理设计合理。

（2）保护装置的逻辑环节要尽可能少，接线简单，辅助元件要少，串联触点要少。

（3）主保护采用双重化时，两套保护用的继电器应采用不同型式的（如电磁型与晶体管型），分别采用不同保护原理（如相差高频与高频闭锁距离保护），以及分别采用不同制造厂的产品等。

(4) 元件的质量要高，安装质量符合要求，运行中的操作变动要少，改变定值要少。

(5) 保护装置应便于整定计算、调试和运行维护。

二、选择性

为了保证继电保护的选择性，在设计时必须满足相邻元件即上、下级保护之间的动作时限与保护范围应相互配合；即从故障点向电源方向的各级保护，其动作时限逐级增长，灵敏度则逐级降低。

选择性是继电保护中的一个很重要的问题，一般不允许无选择性的动作。只有在某些情况下，必须加速切除故障或提高灵敏度时，才允许保护无选择性的动作，但必须采取补救措施（如采用自动重合闸来纠正等），以恢复无选择性切除的非故障元件的供电，缩小停电范围。

三、灵敏性

灵敏性一般用灵敏系数（或保护范围）来衡量，用 K_{lm} 表示。

灵敏系数是指在被保护对象的某一指定点（通常指被保护对象的末端）发生金属性短路，故障参量与整定值之比（反应故障参量上升的保护，如过电流保护）或整定值与故障参量之比（反应故障参量下降的保护，如低电压保护）。

故障参量（电流、电压、阻抗等）的最大、最小计算值，应根据常见的最不利运行方式、短路类型和短路点来计算。

在设计继电保护和灵敏度校验时，各类保护装置的灵敏系数，应根据《继电保护和安全自动装置技术规程》的规定，不应小于各类短路保护的最小灵敏系数表中所列数值。

在复杂电网中，计算最小运行方式有时是很复杂的，由于电网的正常运行方式占 90% 以上的机率，若电网较大时，

其运行方式变动相对影响也较小。为了简化计算，在不影响保护的灵敏度和保护与自动装置配合的情况下，可按下述方法来校验灵敏度。

一般按正常或常见的检修运行方式校验主保护各段的灵敏度，但要求灵敏系数适当提高（例如提高为 1.5 以上）；某些稀有的运行方式，则由后备保护段保护或采用临时改变定值的办法提高灵敏度。在此基础上，只着重于分析较少的运行方式和变化大的运行方式（例如出现单电源、单机、以及大电源断开的情况）。

灵敏度愈高愈好，但衡量保护的灵敏度一般以最小灵敏系数表示。

校验灵敏度应注意的几个问题：

(1) 计算短路电流值较小的短路类型。例如零序电流要以单相接地或两相接地短路进行比较；相电流稳定值则以三相短路与两相短路相比较。

(2) 选择可能出现概率最小的运行方式。目的在于确定被校验保护反应灵敏系数最小的那种运行方式。例如多电源变为单侧小电源的情况。

(3) 保护动作时限长的，短路电源要考虑衰减。

(4) 经 Y, d11 接线变压器的不对称短路，对不同接线、不同相别的保护装置反映的灵敏系数则不同。

(5) 两侧电源及环形网络中的相继动作能使保护的灵敏度提高或降低。

(6) 对瞬时性故障，当大系统断开后，因短路点电流突然变小，可能会使故障自行消失（例如，在 110kV 系统中，根据经验，短路电流降至约为 300~500A 时，故障可能会自行消失）。

(7) 负荷电流对保护灵敏度的影响，在远处短路时，因分支线路端电压较高，还要吸取一定的负荷电流，从而减小了短路支路的电流；某些容量较大的同步电动机，在短路开始瞬间（对速动保护）要向短路点送出短路电流，因而又增大了短路支路的电流。

四、速动性

保护装置应快速切除故障，以提高电力系统并列运行的稳定性，有利于减轻故障元件的损坏程度，为用户创造尽快恢复供电的条件。

在设计保护时，主保护的動作时间，一般需经过系统稳定计算来决定，也可由电力系统的有关部门提供。

目前常用的无时限整套保护的動作时间为：

带方向或不带方向的电流电压速断保护装置

0.06~0.1s；

各型距离保护装置

0.1~0.25s；

高频保护装置

0.04~0.15s；

线路横差或纵差保护装置

0.06~0.1s；

元件纵差保护装置

0.06~0.1s。

在装有管型避雷器的线路上，为了在避雷器放电时不致引起保护误动，保护的動作时间应不小于0.08s，装置中起动元件的返回时间应小于0.02s。

由上述分析可知，四项基本要求中，可靠性是保护的基础，没有可靠性就没有保护功能；速动性是保护的核心，特别在超高压电网中，速动性显得更重要，为了实现速动性，通常是采用主保护双重性的办法来解决。在保护设计中，要正确认识和处理好四项基本要求之间既相矛盾又相统一的辩证关系，缺少任何一项都不能达到保证电力系统安全稳定运行

的目的。

事实上对继电保护的四项基本要求，不是由一套保护完成的。就一套保护而言，它不可能完全具备四项基本要求的。例如，电流保护简单可靠，具备了可靠性、选择性，但速动性较差；而高频保护，具备了速动性、灵敏性、选择性，但其装置复杂，相对而言，可靠性较差。

故在设计保护装置时，既不能片面强调某一方面的要求，也不能使某一方面达不到要求。可以概括以下原则来掌握，即：严格的选择性、需要的速动性、足够的灵敏性和必要的可靠性。

第五节 电力系统中性点接地点选择的原则

在 110kV 及以上中性点直接接地的系统中，接地故障是常见的故障形式。对中性点直接接地系统中的变压器，要配置接地保护，用来反应接地故障，并作为变压器主保护的后备保护和相邻元件接地短路的后备保护。

变压器中性点是否应直接接地运行与变压器绝缘水平有关。对高压侧绕组为分级绝缘的变压器，其中性点绝缘水平不同。在 500kV 系统中，中性点绝缘水平为 38kV 的变压器，其中性点必须直接接地运行；在 220kV 系统中，中性点绝缘水平为 110kV 的变压器，其中性点可直接接地运行，也可在系统不会失去中性点接地的情况下，不接地运行。对于全绝缘变压器，其高压侧绕组中性点可直接接地或不接地运行。

当系统中发生接地短路时，零序电流的大小及分布与系统中变压器中性点接地数目和位置有关。对中性点绝缘水平较高的分级绝缘变压器及全绝缘变压器，可安排一部分变压

器中性点接地运行，另一部分变压器中性点不接地运行，并使系统在各种运行方式下，变压器中性点接地数目及位置尽量不变，以保证零序保护的保护区稳定，且有足够的灵敏度。

变压器中性点接地的具体选择原则如下：

(1) 在单电源网络中，终端变电所的变压器中性点一般不应接地，这样，可提高线路首端零序电流保护的灵敏度。

(2) 对多电源网络，每个电源处至少应有一个中性点接地，以防止接地短路可能引起的过电压，对变压器产生危害。

(3) 发电厂和变电所有多台变压器并联运行时应有部分中性点接地；双母线有条件时，最好每条母线上均有变压器中性点接地。这样，当接地运行的变压器检修停运时，可将中性点不接地运行的变压器的中性点接地，从而使中性点接地的数目和位置保持不变。

(4) 当降压变压器的中压侧和低压侧有电源时，中性点应接地。但在个别情况，如电源较小，零序保护不能动作或使系统保护复杂时，也可不接地，但应装设变压器过电压的保护措施。

(5) 带负荷调整电压分接头的变压器，因绝缘要求，应将中性点优先接地；当没有条件接地时，只要能运行在中性点接地系统中，也可不接地，但应取得制造厂的同意。

(6) 对有三台以上变压器的 110kV 或 220kV 双母线运行的发电厂，一般按两台变压器中性点接地运行，且分别接于两组不同母线上，当其中一台中性点接地变压器停用时，可将另一台中性点不接地变压器的中性点接地。

(7) T 接线上的变压器中性点一般不要接地；当有电源时，可参考上述“(4)”的规定。

(8) 对某些中性点必须接地运行的高压变压器，如分级绝缘的变压器和自耦变压器等，则不应只从继电保护的观点来考虑其中性点是否应接地，而应按它本身的要求来确定。

第六节 一次系统对保护整定计算的影响

一、电力系统振荡对保护的影响

电力系统发生振荡原因，主要是短路切除较慢引起系统动态稳定的破坏；线路输送功率过大，超过静态稳定极限；在联系较弱的系统中，投入或切除某一重负荷线路或设备等。电力系统发生振荡后，在自动调节装置的作用下一般可以恢复同步运行，因此，不允许保护误动作，以免事故扩大。即使不能迅速恢复同步运行，还可由解列装置将系统解列，或切除部分负荷或机组来加速恢复同步，这时，保护也不应该误动作。在线路进行非同期重合闸时，一般都要经历一个振荡过程，然后线路两侧系统才逐步拉入同步，此时更不允许保护误动作。为此，必须研究电力系统振荡对各种保护的影响，从而找出避免保护误动作的措施。

电力系统振荡有下列特点：

(1) 系统失去稳定后，两侧电动势间的夹角在一定范围内往复摆动，通过各电气元件的电流发生由大到小周期性的变化，其最大值可能大于三相短路电流，保护装置的测量元件将会误动作；系统各点的电压也发生由高到低的变化，在振荡中心处的电压最低可能到零，保护装置的低电压元件将会误动作。

(2) 系统振荡时，三相是对称的，不出现负序分量和零序分量。利用负序分量或零序分量构成的保护装置不会误动

作。

(3) 系统振荡时电流、电压出现最大值到最小值的时间叫振荡周期，随系统具体情况不同振荡周期也不同。振荡过程中最短的振荡周期约为 $0.1 \sim 0.15\text{s}$ ；在系统恢复同步前最后一个振荡周期最长，一般约为 3s ，故可认为系统振荡周期为 $0.1 \sim 3\text{s}$ 。据运行经验证明，保护装置的动作时间大于 1.5s 时，一般就不会误动作。

(4) 系统发生振荡后，电流、电压均发生周期性变化，故距离保护的测量阻抗也将发生周期性变化，当它小于阻抗元件的动作阻抗时，阻抗元件将误动作。

从上述分析知，系统振荡时，电流、电压、阻抗等电气量都会发生周期性变化，反应这些量的保护在振荡过程中都可能误动作。为了避免保护的误动作，可利用其动作整定值（如令瞬时电流速断保护的動作电流大于最大振荡电流；电流、电压保护和距离Ⅲ段的时限大于 1.5s ）来躲开系统振荡时对保护的影响；也可采用零序分量或负序分量构成的保护，以及纵差、相差高频保护等来躲开系统振荡对保护的影响。

二、分支线对线路保护的影响

在电力系统中，由于从经济上考虑，常在主要高压输电线路上接有分支线。分支线对线路保护的影响与分支线侧有无电源、分支点的位置、电网的结构和分支线的接线方式等有关。在有分支线路上装设保护遇到的困难与分支线路有无电源关系很大。当分支线路无电源时，主要讨论对主干线有电源的两侧的保护问题；当分支线路有电源时，称为多端线，则要讨论各侧的保护问题。

(1) 分支线路对距离保护的影响，主要是降低保护的灵敏度；对多端线可能会使距离Ⅰ段的保护区缩小，在某线段

内短路时，各侧距离Ⅰ段均可能不动作，出现“死区”，这时只有靠距离Ⅱ段切除故障，这对高压电网是不允许的，故这类电网应采用高频保护来满足保护的要求。

(2) 分支线路对相差高频保护与高频闭锁方向保护均有不良影响，由于分支线路的存在，会使保护的灵敏度降低。

(3) 分支线路对平行线路横差电流方向保护与电流平衡保护的影响，会使其相继动作区增大。

第七节 短路电流计算简介

在继电保护设计中，计算短路电流的目的是为了选择保护方式、整定计算以及分析研究保护动作行为。本节主要介绍短路计算中的一些具体应用问题及有关常用的计算方法。

一、短路电流计算的应用问题

1. 电路中的电阻及短路点的过渡电阻

(1) 电路中的电阻，原则上当 $R_e \geq \frac{1}{3} x_e$ 时才计及电阻，用 Z_e 计算。一般对于 35kV 以上的网络可不计电阻。对 35kV 以下网络要计算电阻；但主干线，若导线截面较大（如 JCG-120 型以上）的也不计算电阻。

(2) 短路点的过渡电阻，在一般情况下，短路电流的计算和继电保护的整定均假定为金属性短路，不计及过渡电阻。但实际上，电力系统发生短路一般都不是金属性的，在短路点存在有过渡电阻。对于相间短路，其过渡电阻主要是电弧电阻；在接地短路时，杆塔接地电阻是过渡电阻的主要部分。

由于过渡电阻的存在，将使短路电流减小，母线残压升高，电流、电压间的相位角会发生变化；又因该电阻是非线

性的，还可能使残压波形发生畸变，它们对继电保护工作都有较大影响。如对距离保护，在保护安装处测量阻抗的数值和相位会改变，都不利于该保护的起动，它将使距离Ⅰ段保护范围缩小、Ⅱ段保护的灵敏度降低、某些情况下可能引起该保护的非选择性动作。故在继电保护设计、整定和调试时必须引起注意。

2. 关于设备参数问题

(1) 发电机参数。次暂态电抗 x_d'' ，一般用不饱和值，因在短路计算中是假定略去饱和作用的。如果为了可靠也可用饱和值。

次暂态电抗标么值 x_d'' ，是以发电机额定容量为基础的。有的发电机铭牌标有几种工作情况，按国家标准，它是对应于小容量工况的。例如：一台发电机 $P_N=100\text{MW}$ ， $\cos\varphi_N=0.85$ （指其入口风温为 40°C 时的）； $\cos\varphi=0.8$ （是指入口风温为 30°C 时的），则其 x_d'' 是以 $\cos\varphi_N=0.85$ 的容量为基础，也即是以 $S_N=\frac{100}{0.85}=117.5\text{MVA}$ 为基础的。

(2) 变压器参数。正序电抗 x_1 ，通常用其铭牌值（即出厂试验值）。

零序电抗 x_0 ，对于 YN, d11 接线的单相变压器组，其 $x_0=x_1$ ；对于三相三柱式变压器，其 $x_0<x_1$ ，一般为 $x_0\approx(0.75\sim0.8)x_1$ 。

(3) 架空线路参数。经验证明，正序电抗 x_1 可采用计算值。

对于零序电抗 x_0 ，因受大地电导率及其它屏蔽等影响较大，对有架空地线的单回线，其范围一般为 $x_0\approx(2.5\sim3.5)x_1$ ；而单回分裂式导线为 $x_0\approx(3\sim3.5)x_1$ 。

3. 短路电流衰减

短路电流的周期分量，由暂态过渡到稳态的过程约为 $3 \sim 5s$ 。短路点的远近，对衰减也有很大影响。若采用运算曲线时，当计算电抗（以电源容量为基础的标么电抗） $x_{js*} \geq 3$ 时，即不考虑衰减。

对多电源的降压系统，不论保护动作时间多少，均不考虑衰减。

对多电源靠近电厂出线的短路点，当保护动作时间在 $2.5s$ 左右时，一般不考虑衰减；若保护动作时间在 $2.5 \sim 3s$ 以上时，应计算距离短路点较近电厂的衰减。

对单机、单电厂的电源，因电源容量和短路点的远近对短路电流衰减均有影响，故应以 $x_{js*} \geq 3$ 来判断，通常对 $2s$ 以上动作时间的保护才考虑短路电流的衰减。

考虑短路电流衰减的常用方法是运算曲线法，尽管此法还有不足之处，但因其比较简便，故常采用。

对不同型号的发电机组成的电源，应查平均运算曲线。

二、短路电流计算步骤

在工程设计中，短路电流的计算多采用运算曲线法。现将其计算步骤简述如下：

(1) 选择计算短路点。

(2) 绘出等值电路图。①首先去掉系统中的所有负荷分支、线路电容、各元件的电阻，发电机电抗用次暂态电抗 x_d'' 。②选取基准容量 S_B 和基准电压 U_B （一般取各级平均电压 U_F ）。③将各元件的电抗换算为同一基准值的标么电抗。④绘出等值电路图，并将各元件电抗统一编号。

(3) 网络的简化。为计算不同短路点的短路电流值，需将等值网络分别化简为以短路点为中心的辐射形等值网络，