

DIANLI WANGLUO JIDIAN BAOHU DE JISUANJI ZHENGDING JISUAN

电力网络继电保护的计算机整定计算

主 编 张永浩 副主编 龚仁敏 仇向东



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANLI WANGLUO JIDIAN BAOHU DE JISUANJI ZHENGDING JISUAN

电力网络继电保护的计算机整定计算

主 编 张永浩 副主编 龚仁敏 仇向东



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书较全面地叙述了电力系统继电保护计算机整定计算的基本原理和方法, 主要内容包括概述、故障分析基础知识、电力网络简单故障计算、电力网络复杂故障的通用计算方法、大型电力网络分块计算的实用化计算方法、地区电网的供电方式、电力网络继电保护整定计算的基本原理、面向原理保护的整定计算程序设计、面向保护装置的整定计算程序设计、保护定值仿真的程序设计以及整定计算电网模型及方式图形信息。本书意在反映当前国内外电网继电保护计算机整定计算的动向和新成就, 从新颖、实用角度出发, 力求编写的内容与我国当前电网继电保护整定计算的实践紧密结合。

本书既可作为高等学校继电保护专业及其相关专业学生的参考书, 也可作为从事电力系统整定计算工作人员的工作手册。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力网络继电保护的计算机整定计算 / 张永浩主编. —北京: 中国电力出版社, 2016.6

ISBN 978-7-5123-8769-0

I. ①电… II. ①张… III. ①电力系统—继电保护—电力系统计算 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 025748 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>)

三河市百盛印装有限公司

各地新华书店经售

*

2016 年 6 月第一版 2016 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 283 千字

印数 0001—5500 册 定价 58.00 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

《电力网络继电保护的计算机整定计算》

编 委 会

主 任 王增平 周庆捷

委 员 张 举 张永浩 仇向东 龚仁敏

主 编 张永浩

副 主 编 龚仁敏 仇向东

编写人员 李广绪 刘 聪 夏 芸 王新花

金小波 李雪冬 葛爱茹

本书以利用计算机进行电力系统继电保护整定计算为主线, 共计 11 章, 其中第 2、3 章总结了继电保护整定计算常用的故障分析方法、汇总了易出错的知识点(如计及接电抗自耦变压器各侧零序阻抗计算方法, 接地系统发生接地故障不接地侧零序电压的计算方法等)。第 4~11 章全面阐述了当前主流继电保护整定计算开发所涉及的关键环节(图模描述方法、通用故障分析方法、面向原理整定、面向装置整定、定值仿真程序设计), 并且针对当前大电网以及地区电网的特点, 提出了针对性的解决方案, 可作为新一代电力网络继电保护计算机整定计算开发的指导书。

本书由北京中恒博瑞数字电力科技有限公司的张永浩主编, 第 1 章由仇向东、龚仁敏编写, 张永浩审核, 第 2 章由李广绪编写, 张永浩、龚仁敏审核, 第 3~5 章由龚仁敏编写, 张永浩、周庆捷教授审核; 第 6~11 章分别由刘聪、夏芸、王新花、金小波、李雪冬、仇向东编写, 张永浩、仇向东、王增平教授审核; 本书的算例由北京中恒博瑞数字电力科技有限公司继保工程部葛爱茹等编写, 华北电力大学中恒博瑞研究生工作站学生参与了本书的文字编辑、校核等工作。

本书经华北电力大学张举教授审阅, 并提出了许多宝贵意见, 谨致以衷心的感谢。在编写过程中, 得到了电网公司网、省、地调各级用户的关心、帮助, 提供了许多参考资料, 在此, 一并致以衷心的感谢。

本书既可作为高等学校继电保护专业及其相关专业学生的参考书, 也可作为从事电力系统整定计算工作人员的工作手册。

由于编者的水平和经验有限, 书中错误在所难免, 诚恳希望读者批评指正。

编 者

2015 年 10 月 27 日

前言

第 1 章 概述	1
1.1 电力系统继电保护的基本内容.....	1
1.2 电力网络继电保护计算机整定计算.....	5
1.3 小结.....	8
1.4 参考文献.....	8
第 2 章 故障分析基础知识	9
2.1 标幺制.....	9
2.2 网络化简、电流分布系数和转移电抗.....	13
2.3 算例.....	20
2.4 参考文献.....	25
第 3 章 电力网络简单故障计算	26
3.1 简单不对称故障边界条件及故障点电压、电流计算方法.....	26
3.2 母线电压计算方法.....	29
3.3 支路电流计算方法.....	31
3.4 基于某一单一故障快速计算其他故障类型支路电流和节点电压的方法.....	36
3.5 故障测距算法.....	37
3.6 测量阻抗算法.....	41
3.7 算例.....	45
3.8 小结.....	53
3.9 参考文献.....	54
第 4 章 电力网络复杂故障的通用计算	55
4.1 电力网络数学模型的选取与建立.....	55
4.2 伴有拓扑结构与参数变化的大型电力网络方程的求解.....	56
4.3 等值链支支路阻抗矩阵 Z_c 的计算.....	58
4.4 非对称断相故障的模拟.....	59
4.5 复杂故障的数学模型.....	59
4.6 故障边界条件方程.....	64
4.7 多端口序网方程.....	68
4.8 故障口电流的计算.....	69
4.9 任意节点电压的计算.....	71

4.10	任意故障类型支路电流快速计算方法	71
4.11	分支系数的快速计算方法	75
4.12	算例	80
4.13	小结	83
4.14	参考文献	84
第5章	大型电力网络分块计算的实用化计算方法	85
5.1	大型电力网络的特点	85
5.2	支路切割法简介	86
5.3	支路切割法的实用化	88
5.4	特殊问题处理	89
5.5	计算速度对照表	90
5.6	小结	90
5.7	参考文献	90
第6章	地区电网的供电方式	91
6.1	地区电网特点	91
6.2	网络模型及基本概念描述	91
6.3	供电路径方案分析	92
6.4	实例分析	94
6.5	小结	95
6.6	参考文献	95
第7章	电力网络继电保护整定计算的基本原理	97
7.1	整定计算的一般规定	97
7.2	相间距离保护整定计算原则	97
7.3	接地距离保护整定计算原则	101
7.4	零序电流保护整定计算原则	105
7.5	参考文献	110
第8章	面向原理保护的整定计算程序设计	111
8.1	原理保护整定计算的特点	111
8.2	面向原理保护的整定计算程序设计	111
8.3	实例分析	117
8.4	小结	130
8.5	参考文献	130
第9章	面向保护装置的整定计算程序设计	132
9.1	保护装置概述及特点	132
9.2	基于保护装置的整定计算	132
9.3	基于专家系统知识平台的保护装置模型建立方法	133
9.4	面向保护装置整定流程	137
9.5	算例	137
9.6	小结	149

9.7	参考文献	149
第 10 章	保护定值仿真的程序设计	150
10.1	常规仿真方法介绍	150
10.2	面向保护装置的定值仿真	151
10.3	实现流程	156
10.4	算例	156
10.5	小结	160
10.6	参考文献	160
第 11 章	整定计算电网模型及方式图形信息	161
11.1	一次电网物理模型描述	161
11.2	电网方式模型描述	174
11.3	二次设备信息	180
11.4	基于 CIM-G 的图形模型描述	187
11.5	小结	188
11.6	参考文献	189

概 述

1.1 电力系统继电保护的基本内容

1.1.1 电力系统继电保护的基本要求

电力系统继电保护是继电保护技术和继电保护装置的统称，它的基本任务是：

(1) 当电力系统发生故障时，自动、迅速、有选择地将故障设备从电力系统中切除，保证系统的其余部分迅速恢复正常运行，并使故障设备不再继续遭到破坏。

(2) 当发生不正常工作情况时，自动、及时、有选择地发出信号由运行人员进行处理，或者切除那些继续运行会引起故障的电气设备。

可见，继电保护是任何电力系统必不可少的组成部分，对保证系统安全运行、保证电能质量、防止故障的扩大和事故的发生，都有极其重要的作用。

根据电力系统继电保护的任務，对于作用于断路器跳闸的继电保护装置，提出以下几点基本要求，主要包括选择性、速动性、灵敏性和可靠性。

(1) 选择性。电力系统发生故障时，继电保护的動作应当具有选择性，它仅将故障部分切除，而非故障部分能继续运行，尽量缩小中断供电的范围。

例如，在图 1-1 所示的电力系统中，K-1 处发生短路时，要求系统中只有线路保护装置 1 和 2 动作使断路器跳闸，A-B 线路被切除，而 B-C 线路和 B 变电所仍继续运行。

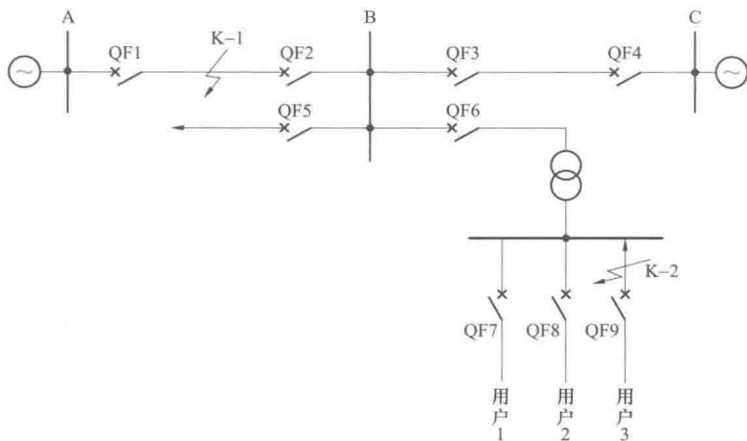


图 1-1 电力系统图

K-2 处发生短路时，只有线路保护装置 9 动作使断路器跳闸，切除故障线路，用户 3 停电，而系统中其他线路和变压器仍继续运行。

B 变电所的主变压器故障时，只有主变压器的保护装置动作使 QF6 跳闸，切除主变压器，用户 1~3 也都停电。

K-2 处发生短路时，如果 B 变电所主变压器的保护装置动作使 QF6 跳闸；或者 B 变电所的主变压器发生短路时，A-B、B-C 线路的保护装置动作切除 A-B、B-C 线路，这些都称为无选择性的动作。

必须指出，K-2 处短路，万一由于保护装置或断路器的缺陷而造成 QF9 不跳闸，这时允许 B 变电所主变压器的保护装置动作使 QF6 跳闸，切除故障，主变压器的保护装置起到了对相邻元件后备保护的作用。同样，对 A-B、B-C 线路的保护装置，也要求它们对相邻元件能起到后备保护的作用。这种由电力系统中相邻供电元件（如送电线路、变压器、发电机等）的继电保护装置来完成后备保护作用的方式，称为远后备保护，实现这种方式比较简单和经济。

但是，在某些高压电网中，实现远后备保护可能会比较困难（灵敏度或动作速度不能满足要求）。在图 1-1 所示的电力系统中，如果电源容量相对较小，线路相对较长，在主变压器内部发生故障时，流经线路的短路电流不大，因此，线路继电保护装置不能启动，对主变压器不能起到后备保护的作用。遇到这种情况，主变压器只能采用近后备保护方式，即主变压器装设两套保护，当变压器内部发生故障时，如果一套保护不能动作，则由另一套后备保护装置动作于跳闸。如果，还考虑到 QF6 可能有缺陷而拒动的情况，则再装有断路器失灵保护，它动作后将变电所 B 的系统电源供电线路的 QF2 和 QF3 也跳闸。

在我国，一般 110kV 及以下电网采用远后备保护方式，而 220kV 及以上电网采用近后备保护方式。

(2) 速动性。电力系统发生故障后，要求继电保护装置尽快动作，切除故障部分，这样做的好处是：

1) 系统电压恢复得快，减少对广大用户的影响。

2) 电气设备损坏程度减轻。

3) 防止故障扩大，对高压电网来说，快速切除故障更为必要，否则会引起电力系统震荡甚至失去稳定。

4) 有利于电弧闪络处的绝缘强度恢复，当电源切除后又自动重新合上（即采用自动重合闸装置）再送电时容易获得成功（即提高了自动重合闸的成功率）。

要求继电保护动作十分迅速，同时又要保证动作具有选择性，在实施时往往要选用较复杂的继电保护装置，投资较大、维护不便。因此，应根据不同的保护对象在电力系统中的地位和作用，来确定其保护对动作迅速的具体要求。例如：对大容量的发电机和变压器，要求保护装置的動作时间在工频几个周期之内；对特高压和超高压输电线路，要求保护装置的動作时间在工频 1~2 个周期之内；但对某些低压线路，则允许为 1~2s，甚至更长。再有，对后备保护的動作时间，允许大于主保护的動作时间。

(3) 灵敏性。灵敏性是指继电保护装置反应故障的能力，一般以灵敏系数的大小来衡量。对于保护总是期望其保护范围稳定，对于各种方式下各种故障类型均反应灵敏，但实际上做不到，或者其保护范围是变化的，所以为保证最不利情况下满足规定的最小保护范围要求，灵敏性要求范围尽可能大。

对不同类型的继电保护灵敏系数的计算方法和数值要求不同，将在第 7 章详细介绍。

(4) 可靠性。电力系统中每一个继电保护装置都有明确的任务和保护范围。如果某一保护装置理应动作(在它的保护范围内发生故障)却未动作,则称为拒动;如果电力系统在正常运行或在该保护装置的保护范围以外发生故障,理应不动作却动作了,则称为误动。继电保护装置拒动或误动,都将严重威胁和破坏电力系统的安全运行。

可靠性是四性要求的前提,在设计、制造、整定和维护保护装置时都必须给予充分的考虑。为了提高保护装置动作的可靠性,在满足系统运行要求的前提下,应当选择最简单的保护方式,采用高质量的元件和尽可能简单地接线方式构成性能良好的装置,并采取必要的检测、闭锁和双重化保护等措施。此外,保护装置还应便于整定计算、调试和运行维护。

可靠性可用保护装置的正确动作率来衡量,它综合地反映了继电保护全面工作的效果,即

$$\text{正确动作率} = \frac{\text{正确动作次数}}{\text{总动作次数}}$$

以上对继电保护装置所提出的四个方面的要求有时是互相紧密联系的,有时又是互相矛盾的。例如:为了保证选择性,有时就需要保护动作必须具有一定的延时;为了保证灵敏度,有时就允许保护装置无选择地动作,再采取自动重合闸装置进行纠正;为了保证动作迅速和灵敏度,有时就采用比较复杂和可靠性稍差的保护。因此,在设计继电保护和使用继电保护装置时,要根据具体情况(被保护对象、电力系统条件、运行经验等),分清主要矛盾和次要矛盾,统筹兼顾,获得相对最优的结果。

1.1.2 继电保护整定计算目的及任务

为了满足电网对继电保护提出的四性要求,充分发挥继电保护装置的效能,必须合理地选择保护的定值,以保持各保护之间的相互配合关系。因此做好电网继电保护定值的整定计算是保证电力系统安全运行的必要条件。

继电保护整定计算是继电保护工作中的一项重要工作。不同的部门其整定计算的目的是不同的:电力生产的运行部门,例如电力系统的各级调度部门,其整定计算的目的是对系统中已经配置、安装好的各种继电保护,按照具体的参数和运行要求,通过计算分析给出所需的各项整定值,使全系统中各种继电保护有机协调地部署,正确地发挥作用;电力工程的设计部门,其整定计算的目的是按照所设计的电力系统进行计算分析,选择和论证继电保护的配置及选型正确性,并最后确定其技术规范等,圆满地完成设计任务。

继电保护整定计算是一种系统工程,其基本任务是要对各种继电保护给出整定值;而对电力系统中的全部继电保护来说,则需编制出一个整定方案。整定方案通常可按电力系统的电压等级或设备来编制,并且还可按继电保护的功能划分成小的方案分别进行。例如,一个220kV电网的继电保护整定方案,可分为相间距离保护方案、接地零序电流保护方案、重合闸方案、高频保护方案、设备保护方案等。这些方案之间既有相对的独立性,又有一定的配合关系。

各种继电保护适应电力系统运行变化的能力是有限的,因而,继电保护整定方案也不是一成不变的。随着电力系统运行情况的变化(包括基本建设发展和运行方式变化),当其超出预定的适应范围时,就需要对全部或部分继电保护重新进行整定,以满足新的运行需要。

对继电保护整定方案的评价,以整体保护效果的优劣来衡量,并不着眼于某一套继电保

护的保护效果。有时以降低某一个保护装置的保护效果来改善整体保护的保护效果，也是可取的。一个整定方案由于整定配合的方法不同，会有不同的保护效果。因此，如何获得一个最佳的整定方案，将是从事继电保护整定计算工作的工程技术人员的研究课题，也是个整定技巧问题。经过不断实践，能比较熟练地运用各种整定原则和熟知所保护的电力系统运行特征时，就能做出比较满意的整定方案。

必须指出，任何一种保护装置的性能都是有限的，或者说任何一种保护装置对电力系统的适应能力都是有限的。当电力系统的要求超出该种保护装置所能承担的最大变化限度时，该保护装置便不能完成保护任务。

举例来说，零序电流保护是一种原理简单、性能良好的接地保护装置，但当电网结构比较复杂（例如环状网络多、双回线路多、短线路多、有零序互感的线路多等）、运行方式变化又很大时，零序电流保护的灵敏度将变得很低，动作时间将很长，保护效果大为降低。此时，即使选取最佳整定方案也难以改善保护效果。又如，距离保护装置较电流保护装置性能优异，适应运行方式变化的能力较强。但用于短线路（约为5~10km）或短路电流较小（一次值约为8~10A）的情况时，整流型的距离保护也难以使用，这时就需要重新进行继电保护的配置和选型，以满足电力系统对继电保护的要求。

进一步说，当继电保护的配置和选型均难以满足电力系统的特殊要求时，必须考虑暂时改变电力系统的需要或采取某些临时措施加以解决。

整定计算的复杂性与保护原理相关，电力系统采用的保护原理基本是以工频量构成判据，常用的有电压、电流、功率方向、序分量、阻抗等，所以整定计算离不开正确的故障计算。从保护原理所采用的电气量上看，又分为两大类：一类是反应两侧电气量的保护，一类是反应单侧电气量的保护。反应两侧电气量的保护从保护对象的两侧获得电气量来判断故障是在区内还是区外，这种原理的保护其选择性、灵敏性、速动性实现了高度的统一，保护之间不存在相互配合关系，整定计算相对简单，此类保护在高压电网、发电机、主变等场合得到广泛应用。反应单侧电气量的保护从保护对象的一侧获得电气量判断故障位置，这种保护从原理上难以明确区分区内还是区外故障，一般是以阶段式构成，保护之间存在着严格的配合关系，其选择性、灵敏性、速动性相互影响，需通过整定计算来协调，此类保护在低压辐射型电网得到广泛应用。

总之，继电保护整定计算既有自身的整定技巧问题，又有继电保护的装置与选型问题，还有电力系统的结构和运行问题。因此，整定计算要综合、辩证、统一地运用。

整定计算的具体任务有以下几点：

- (1) 绘制电力系统接线图。
- (2) 绘制电力系统阻抗图，包括正序、负序、零序三个序网。
- (3) 建立电力系统设备参数表。
- (4) 建立电流、电压互感器参数表。
- (5) 确定继电保护整定需要满足的电力系统规模及运行方式变化限度。
- (6) 电力系统各点短路计算结果列表。
- (7) 建立各种继电保护整定计算表。
- (8) 按继电保护功能分类，分别绘制出整定值图。
- (9) 根据保护装置，编制整定定值通知单。

(10) 编写整定方案报告书, 包括但不限于接线图、基础设备参数、计算书、定值通知单等内容, 着重说明整定的原则问题、整定结果评价、存在的问题及采取的对策等。

1.2 电力网络继电保护计算机整定计算

整定计算一般采用人工计算, 但由于网络大、涉及方式多, 采用人工计算解决不了。利用计算机进行整定计算只是工具变了, 其本质的计算算法没有变化, 只是将大量的计算交给计算机完成, 所以本节介绍采用计算机进行整定计算的必要性。

1.2.1 利用计算机进行整定计算的必要性

利用计算机对继电保护整定计算涉及的电网图、设备参数、定值进行信息化管理, 存储可靠、易于修改和信息传递、浏览直观、查询方便, 可大大提高继电保护整定计算的效率和方便性。

从电网继电保护整定计算的角度出发, 需要考虑的因素是多方面的, 其中电网的接线方式和运行方式对定值计算的影响最大。随着电网的发展, 电网规模愈来愈大, 接线方式和运行方式日趋复杂。其中大环、小环相互重叠, 长线、短线交错连接的状况已经比较普遍。这些都给保护定值的整定计算工作带来了困难。为了合理协调保护的灵敏性、选择性、速动性和可靠性这四者间的关系, 使得各保护达到最佳的配合状态, 就必须对电网的各种运行方式及多种故障情况进行反复周密的计算。在当今电网规模以及复杂的电网结构和多变的运行方式下, 仍然采用人工计算难以满足生产实际的要求, 利用计算机进行整定计算是唯一的选择, 从根本上提高工作的时效性, 满足电网的快速发展。

对一些复杂的计算, 以往只能做若干简化或根本不予考虑——如只计及电抗分量、正负序网近似等同、多回平行线间的零序互感的影响、变压器变比的改变、多重复故障的计算、非全相运行和非全相振荡的计算, 这样会造成计算结果与真实情况不相符, 很难保证定值的选择性和灵敏性。而利用计算机进行整定计算可实现计及电阻的复数计算、正负序网可分别对待、可考虑多回线间的零序互感、可进行多重复故障的计算, 大大提高了整定计算的正确性。

因此, 有必要研究开发继电保护定值计算的计算机辅助软件。

1.2.2 继电保护整定计算软件发展简介

从 20 世纪 70 年代开始, 保护定值的整定计算便向利用数字计算机的方向发展。基本方法是将过去保护定值计算中有关各种故障的分析计算, 改用通用数字计算机来完成。这种方式在算法上虽然可以计算很多以往用计算台难以计算的问题, 使定值计算的速度和精度都发生了质的变化, 但是利用通用短路电程序序的计算方法, 仍然需要计算者用人工方式调整计算内容、查找计算结果、并用人工方法最后算出保护的定值。

20 世纪 80 年代以后, 利用计算机技术提高整定计算工作效率的研究一直受到人们的重视, 出现了基于 DOS 操作系统的整定软件(如, 东北电力学院研制的故障计算软件、湖南省中调研制的故障计算软件), 大幅度提高了计算速度和精度。但由于计算机技术等条件的限制, 基于 DOS 操作系统的整定软件不仅缺乏友好的人机交互界面、操作使用不方便, 另外电网模型的建立繁琐, 不能很好地适应电网运行方式较大的变化情况, 而且计算规模受限

制，在复杂问题的处理方面还有许多不足。这些缺点严重制约了这类软件的推广使用。

20 世纪 90 年代以后，计算机技术蓬勃发展，软件开发技术大幅度提高。硬件价格迅速下降，严重制约各类软件计算速度、计算规模和处理图形等复杂问题的硬件瓶颈得以改善，同时电网发展迅速，由此出现了很多科研院所积极开发整定计算软件，各电网用户也积极支持整定软件开发的局面。

在计算机软件方面，Windows 操作系统和相关支持软件的发展，大大简化了各类专业应用软件的开发过程。随着新技术的出现，例如软件工程的思想、面向对象及组件技术的编程方法、人工智能及自适应技术、数据库技术等，开发出的图形化继电保护整定计算软件，实现了整定计算全过程的自动化，提供了方便直观的人机交互界面，完善了数据和信息的组织管理模式，有效解决了方式组合等复杂问题，成为新一代整定软件的发展方向。

基于 Windows 操作系统的图形化继电保护整定计算软件在 20 世纪 90 年代末、21 世纪初在各网省、地调、县调迅速得到了推广应用，主流整定计算软件厂家包括北京中恒博瑞数字电力科技有限公司、华中科技大学、山东鲁能集成电子，尤其是北京中恒博瑞首次提出了图形化继电保护整定计算软件五大经典功能模块（图形建模、故障计算、整定计算、定值仿真、数据管理），这一体系在业界成为标准模式，引领了整定计算软件领域的发展。

伴随电力系统电压等级不断提高，网络规模不断扩大，全国已经形成了东北电网、华北电网、华中电网、华东电网、西北电网和南方电网 6 个跨省的大型区域电网，并基本形成了完整的长距离输电网架。随着全国联网络局的形成，大范围优化配置资源能力的不断提高，相较以前，继电保护整定计算人员配备并未显著提高，现有的图形化继电保护整定计算软件系统已不能很好地适应当前需求。同时，随着智能电网建设的推进，国家电网提出“横向集成、纵向贯通”的发展要求，为了规范和推动“大运行”体系下继电保护整定计算工作，国家电网公司颁布《继电保护一体化整定计算技术规范》和 Q/GDW 422—2010《国家电网继电保护整定计算技术规范》相关标准规范，为继电保护整定计算一体化奠定了技术基础。三大主流整定计算软件厂家依托前期试点的一体化整定计算软件项目的实施经验，也参与了规范的编写。

一体化整定计算软件是建设智能电网在优化资源配置能力和整定计算方向更高要求下的产物。在此基础上，研究的继电保护整定计算系统旨在实现继电保护横向、纵向的一体化。建立全网统一模型，实现数据的交换和共享，横向上实现与其他系统的无缝接口，定值在线校核和远方修改定值等功能；纵向上加强各级电网运行方式衔接，在继电保护整定中加强各级调度、各级电网之间保护界面定值的相互配合以保证继电保护协调运行的思路，实现多级电网的纵向联合计算、集中校核和定值会商制度，按权限分层分区进行电网的建模和维护。其目标以联合整定计算为手段，统一整定原则、统一整定流程、统一建模、统一数据平台，提高整定计算工作的效率和质量，更好地满足继电保护的“四性”要求，确保电网安全稳定运行。

1.2.3 智能电网下一体化继电保护计算机整定计算的主要研究内容

随着智能电网的建设，为满足“大运行”体系下继电保护整定计算工作的要求，一体化整定计算将不同运行特点的网络连接为一张电网，包括环网、辐射网，网络复杂多变，运行特点各不相同，因此，智能电网下一体化继电保护计算机整定计算的主要研究内容有：

（1）通用故障分析方法及快速计算能力。

一体化整定计算需要解决各种不同运行特点网络遇到的故障计算问题，如：不对称过渡

电阻短路、串补电容不对称击穿、同杆双回线跨线故障、不同地点同时发生故障等情况，采用传统的对称分量法无法解决这些问题，因此，需要研究复杂故障的通用分析方法。

另外，支路电流和分支系数（两者简称整定计算参数）是继电保护整定计算的重要参数，要计算最保守的整定计算参数，而不要考虑不同运行方式、不同故障点的组合关系，因此，研究快速计算整定计算参数的方法也非常必要。

（2）环网、辐射网的分层计算方法。

一体化整定计算研究对象为环网、辐射网不同特点的电网。省、网调为环形网络，网络联系紧密、规模巨大，需要解决大型电网的快速计算问题；而地区电网一般是环形布置，开环运行，需要解决一张网中同一受电区由不同大电源供电方式的快速生成问题。因此，要做好一体化整定计算，需重点解决以下两个方面内容：

1) 大型电力网络分块计算的实用化计算方法；

2) 地区电网的供电方式。

（3）整定计算程序设计。

继电保护整定计算是一门系统工程，涉及各类因素，从定值的角度主要分为两类：原理定值与装置辅助定值。

1) 面向原理定值整定。原理定值一般根据导则及现场实际运行经验进行整定，需要考虑电网接线方式、运行方式、整定计算原则、定值取舍，与电网的运行方式息息相关，一般按保护类型分类整定，其程序设计主要关注断点的选取、运行方式的组合、实际整定经验在定值选取的应用等问题，这些问题都需要在设计原理保护整定功能时充分考虑。

2) 面向装置整定。保护装置的定值项除了原理定值项，还包括保护装置自身的一些特有参数，如：启动值、闭锁值、原理值、保护控制字、出口控制字、压板定值等，这些定值项的整定除了需要满足相关配合关系以外，还与装置本身的设计原理密切相关。因此，面向装置整定的程序设计关键是建立基于专家系统的装置自定义平台。

（4）保护定值仿真程序设计。

定值整定完成之后，为了模拟定值在故障情况下保护的動作情况，校核定值整定的正确性，需要人工模拟故障，查看保护的動作行为，对保护定值进行仿真。保护定值仿真程序设计的关键问题是保护装置特性的模拟、仿真时刻的选取等。

（5）通用的标准基础数据模型。

电力系统是一个互联互通的系统，要实现一体化运行管理，需要建立通用的标准基础数据模型，以便达到各级调度、不同专业应用的融合，解决不同整定计算软件厂家、不同系统的数据壁垒问题。

1.2.4 新形势下继电保护计算机整定计算的发展前景

（1）新原理继电保护的提出，简化了定值整定计算工作，计算机整定计算向自动化和免整定方向发展。现代经济和社会的发展使电力系统的电压等级升高、电网复杂程度增加，给电力系统的安全稳定运行带来巨大挑战。作为保障电力系统安全稳定运行“三道防线”中第一道防线的继电保护也面临严峻的考验，传统保护整定配合越来越困难。

随着国家电网公司智能电网建设的开展，智能电网的特征带来的网络重构、分布式电源接入、微网运行等技术，对继电保护提出了新的要求，基于本地测量信息及少量区域信息的

常规保护在解决这些问题时面临较大的困难；同时，新技术（如新型传感器技术、时钟同步及数据同步技术、计算机技术、光纤通信技术等）的研究与应用也给继电保护的发展提供了广阔的发展空间。在以上因素的促进下，未来的继电保护将朝着立体化、多层次的方向发展，除了当前基于间隔的保护之外，利用丰富的全站同步信息可构成站域保护，此外基于广域测量信息，从系统的角度综合考虑继电保护设计和配置的广域继电保护得到了越来越多的关注。广域保护系统在获取电网广域测量信息基础上，以全新的方式解决了大电网继电保护和自动装置之间的协调问题，是今后继电保护的发展方向。

因此，未来继电保护整定计算更加容易，对传统整定软件的智能性需求大大降低，更易实现计算机的批量整定计算，继电保护计算机整定计算将更加注重继电保护的管理工作，并向整定自动化、免整定方向发展。

(2) “云计算”模式的整定计算也将成为未来的发展趋势。“云计算”模式的整定计算也将成为未来的发展趋势。“云计算”是一种新的计算模式，能够快速部署资源及获得服务，按需扩展和使用，并且可以快速处理大量数据。“云计算”的基本原理是将部署在企业内部、部署在 IT 基础上的应用移到网络，转移到云端，构建资源池，利用网络把庞大的计算程序分拆成无数个较小的子程序，再利用多部服务器组成庞大的系统对程序进行搜索、计算和分析后，把结果传回给用户。

“云计算”可以理解为一台“超级计算机”，它的主机是由无数台电脑组成的基础架构(IaaS)，而 PaaS（平台）即服务则是运行在这台主机上的操作系统，由软件供应商放在“云计算”平台上的 SaaS（软件）即服务则是安装在这台超级计算机上的应用，用户可以通过浏览器访问这台“超级计算机”，根据用户类别对这台“超级计算机”进行不同的操作，包括云存储、云计算、云软件应用等，最终结果直接显示在终端显示器上。

引入“云计算”技术的一体化继电保护整定计算系统，利用“云计算”的上述优势能够提高整定计算速度，将整定软件做成服务，部署在电力云平台上，实现 B/S 模式，使得未来继电保护计算机整定计算分析及管理工作更加方便。

1.3 小结

继电保护整定计算是一门系统工程，涉及电网结构、运行方式、保护原理、定值含义、计算原则、取舍利弊、数据来源、误差评估等问题。一体化整定计算软件是建设智能电网在优化资源配置能力和整定计算更高要求下的产物，在智能电网建设新形势下，一体化整定计算是智能电网建设的重要组成部分。

1.4 参考文献

- [1] 张举.电网继电保护及安全自动装置整定计算 [M]. 北京：华北电力大学，1998.
- [2] 陈永琳.电力系统继电保护的计算机整定计算 [M]. 北京：中国电力出版社，1994.
- [3] 张志竟，黄玉铮.电力系统继电保护原理与运行分析 [M]. 北京：中国电力出版社，1997.

故障分析基础知识

2.1 标幺制

某电量用实际值表示其大小时，这个值称为它的有名值；如果选定一个基准值，用实际值与基准值的比值表示其大小，则这个值称为它的标幺值。所以，标幺值是一个无量纲的相对值。在电力系统故障分析计算中，广泛应用标幺制。由于标幺制有很多优点，它可使复杂的物理量之间的关系和过程变得简化，使计算变得容易。在标幺制中各种物理量都用标幺值（即相对值）来表示，计算结果也为标幺值，如果要得到有名值，可用标幺值乘以基准值得到。

2.1.1 标幺值

标幺值的一般数学表达式为：

$$\text{标幺值 (相对值)} = \frac{\text{有名值 (有单位的物理量)}}{\text{基准值 (与有名值同单位的物理量)}} \quad (2-1)$$

对于任一物理量均可用标幺值表示。例如，电阻、电抗的标幺值分别为：

$$\left. \begin{aligned} R_* &= \frac{R}{Z_B} \\ X_* &= \frac{X}{Z_B} \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

式中： R 、 X 为电阻、电抗的有名值， Ω ； Z_B 为阻抗基准值， Ω 。

又如，有功功率、无功功率、视在功率的标幺值分别为：

$$\left. \begin{aligned} P_* &= \frac{P}{S_B} \\ Q_* &= \frac{Q}{S_B} \\ S_* &= \frac{S}{S_B} \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

式中： P 为有功功率，MW； Q 为无功功率，Mvar； S 为视在功率，MVA； S_B 为功率基准值，MVA。

2.1.2 基准值的选取

一般情况下，基准值可以是任意值，但是为了计算简便，要求各电量的基准值之间满足一定的关系。下面以三相电路为例进行说明。