

大型发电机组继电保护 整定计算与运行技术

第二版

高春如 编著



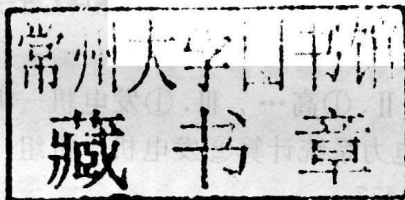
中国电力出版社
www.cepp.com.cn

图例、附录、参考文献、索引、中英文对照、术语、符号、单位、附录

大型发电机组继电保护 整定计算与运行技术

第二版

高春如 编著



本文作者长期以来从事发电厂继电保护整定计算及研究工作，在发电机组继电保护整定计算、现场调试以及技术管理等方面做了大量的实际工作。

本书具有与时俱进、务实求真的特点。作者紧跟继电保护及电气技术的发展，在第一版基础上进行了修订和扩充，及时地进行了相关内容的修正和应用介绍。作者从短路电流

计算、系统稳定、中压电动机保护、高压电动机保护的整定计算，对不同厂型电动机进行了分析，并

详细介绍了电动机、馈线、起备变等保护的计算方法，并对励磁



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书总结 30 多年来大型发电机变压器组继电保护整定计算和运行经验,对国内外各种不同类型的微机保护以动作判据为起点,结合运行经验讲述保护整定计算方法及应注意的问题。全书着重讲述和讨论大型发电机、变压器、发电机变压器组微机保护和高低压厂用系统中高低压电动机、高低压厂用变压器、高低压厂用馈线常用的各种不同类型微机综合保护以及发电厂电气自动装置的整定计算方法,书中列举不同类型保护应用于不同容量、不同机型的整定计算实例。并介绍发电机继电保护整定计算以外的其他运行技术问题。本书主要针对大型发电机组同时亦适用于中小型发电机组继电保护及电气自动装置的整定计算;高低压电动机及高低压厂用变压器的整定计算,同时适用于大中型工矿企业用电设备继电保护的整定计算。

本书可供设计、运行、制造、科研部门继电保护专业的工程技术人员学习使用,也可供大专院校师生参考,可作为广大电气专业的工程技术人员在较短时间内了解和掌握继电保护整定计算的培训教材。

读者对象,发电厂、电力自动化设备厂、电力设计院、电力科学研究院的电气技术人员及大专院校相关专业师生,同时可作为电气专业技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

大型发电机组继电保护整定计算与运行技术/高春如编著. —2 版. —北京:中国电力出版社,2010.6
ISBN 978-7-5123-0168-9

I. ①大… II. ①高… III. ①发电机—机组—继电器整定配合—电力系统计算②发电机—机组—电力系统运行 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 034079 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 1 月第一版

2010 年 6 月第二版 2010 年 6 月北京第三次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 41.75 印张 1003 千字

印数 6001—9000 册 定价 68.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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



2009年,我国电力装机容量已超过8亿kW,近年来1000MW火电和核电机组、700MW水电机组陆续投入运行,从而使我国电力技术水平接近和达到国际先进水平,并且在电力二次技术方面尤其是继电保护方面走在国际前列。

继电保护是电力系统能够正常运行的重要保障,而整定计算则是继电保护装置可靠运行的关键。由于发电机自身结构复杂,各种类型不同容量发电机对保护配置方案和保护原理要求都有所不同,因此,发电机定值计算具有保护原理、配置方案等方面的复杂性。而目前发电机组保护整定计算的依据只有DL/T 684—1999《大型发电机变压器继电保护整定计算导则》,近年来,大容量发电机组保护发展了一些新原理,定值计算需要相适应的指导原则;发电机保护定值的设定除依据保护动作判据外,在很大程度上需要结合设备现场安装、运行的实际情况而调整;发电机所配置的保护除满足发电机本身的安全运行要求外,还需要与电网保护配合,确保设备的安全性和系统的稳定性。发电厂的厂用电和自动装置等电气设备接线方式复杂多样,导致了厂用电保护的定值整定计算缺少理论依据及应用指导。对于发电厂和工矿企业用电部门,迫切需要系统地进行分析和提供实用的整定指导方法,从而确保发供电设备处于良好的运行状态。

本文作者长期以来从事发电厂继电保护应用及研究工作,在发电机组继电保护以及厂用电保护整定计算、现场调试以及技术管理等方面做了大量的实际工作,积累了丰富、宝贵的经验。作者注重理论联系实际,具有与时俱进、务实求真的敬业精神。作者紧跟继电保护及电气自动装置技术的发展,在第一版基础上进行了修订和升级,适时地进行了相关内容的修正和应用介绍。作者从短路电流计算着手,全面系统地介绍了大型发电机变压器继电保护的整定计算,对不同厂家产品判据给出了分析,并列举了多个整定计算实例,具有很好的参考价值。厂用电继电保护整定计算介绍了电动机、馈线、起备变等保护的计算方法,并对励

磁调节装置、同期装置、厂用电快切、零功率切机等自动装置的整定计算进行了分析与举例，方便了现场整定，起到了良好的指导作用。本书介绍的大型发电厂继电保护和自动装置的运行技术，拓展了本书的内涵。

本书反映了我国发电厂继电保护运行实际，内容充实完整，有助于更多的继电保护专业人员和电气运行技术人员在较短时间内有效地了解、掌握整定计算方法，我相信本书的发行和推广可以提高发电厂继电保护整定计算的相关知识和运行技术。

沈国荣

2009年9月5日

前 言



本书第一版问世后，不断收到广大同仁、读者来信来电建议本书内容应随着电力工业迅猛发展和大型发电机组继电保护技术的进展作调整补充，特别是为了用好已引进的国外保护装置，应增加在国内运行的国外相关保护的整定计算内容及实例。为此根据广大同仁、读者建议，第二版增加以下内容：

(1) 第一章增加变压器中性点经小电阻接地系统短路电流计算、断相与断路器断口闪络故障计算。

(2) 第二章对发电机定子绕组单相接地保护和转子绕组一点接地保护进行大幅度修改补充并增加 600MW 及 1000MW 机组整定计算实例。

(3) 新增加第三章，重点介绍 ABB、GE、西门子继电保护整定计算。

(4) 第四章第二节新增加 0.4kV 第一类智能保护和第二类智能保护整定计算。

(5) 第五章新增加第四节大型发电机组零功率切机装置的整定计算。

在此应说明：书中内容仅给读者提供使用装置整定计算时参考，内容篇幅多少和保护的优劣无关。

诸多同仁对第二版内容提供了很多宝贵的资料、建议，并协助在现场做了大量有关的实验。他们有：嘉兴电厂周平，北京圣海汇泉电力科技发展公司李红军，宁海电厂一期于海东，宁海电厂二期罗保顺、周志刚，乐清电厂林彤，望亭发电厂林伟、周怀南、苏汉章，秦山核电一期朱芳、陆玲，秦山核电三期张金水，江苏大唐国际吕四港发电有限责任公司李玮，桐柏抽水蓄能电站吴耀富、叶炜敏、龚剑超，琅琊山抽水蓄能电站邢继宏、吴培枝，天荒坪抽水蓄能电站朱兴兵、李建光、朱中山，上海外高桥三厂王雷、徐新平，邹县发电厂卜繁薇，无锡惠联热电有限公司杨海明，华东电力研究院王红青，山东电力研究院王大鹏、刘延华、王昕、王涛、井雨刚、张国辉、牟旭涛，上海电力公司卢菊良、杨景华，

华东电监局李耀芳，江苏省电力试验研究院周栋骥、袁宇波，浙江电力研究院黄晓明、孙德本，山西省电力研究院景敏慧，广东电力研究院刘军，华东电网公司胡宏、韩学军、倪腊琴，浙江电力公司裘愉涛、陈水耀、方愉冬、方天宇，中国电力科学研究院沈晓凡，河北省电力研究院范辉，国电华北电力工程有限公司李和，清华大学桂林，南瑞继保沈全荣、陈俊、王慧敏，许继集团张旭琛、赵斌、张鹏远，东大金智叶留金、郭伟，常熟开关厂朱大华、管瑞良、殷建强，西门子高迪军，ABB公司龚卫星、徐永生，GE公司尹治标，施耐德公司曾思萌。本书第四章第二节《四、0.4kV 第一类智能保护整定计算》和《五、0.4kV 第二类智能保护整定计算》由无锡供电公司高旭平执笔。在第二版编著过程中始终得到江苏省电力公司生产技术部部长鲁庭瑞，无锡国联环保能源集团公司总经理蒋志坚、副总经理秦春森的鼓励、支持、帮助。本书第二版全稿由华北电力大学研究生院副院长王增平教授初审，清华大学王维俭教授复审。在此一并致以衷心的感谢！

由于本人水平有限，书中错误难免，敬请各位读者及同仁不吝指正。

高春如

2010年3月 无锡

继电保护作为保障电网安全稳定运行的第一道防线，担负着保卫电网和设备安全的重要职责。多年来在一大批继电保护专业技术人员的不懈努力下，我国的继电保护专业技术水平取得了长足的进步和发展，同时产生了许多富有理论、实践经验的专家和技术人员，本书作者即为其中一位。正是通过他们卓有成效的工作，使我国继电保护的装备水平和运行管理水平不断提高和完善，为保障电网安全稳定运行做出了贡献。

众所周知，继电保护任何不正确的动作（拒动和误动）都将造成或扩大事故，有时甚至会加重电气主设备损坏程度或造成大面积停电和电力系统瓦解的重大事故，国内外电力系统中发生的大面积停电事故大多和继电保护的不正确动作有关。随着电力系统的快速发展和全国联网的逐步形成，大型发电机组在电力系统中的作用越来越重要，其继电保护装置的设置、应用水平也不断提高，同时对大型发电机组继电保护的要求也越来越高，大型发电机组继电保护正确、合理的整定计算是提高其应用水平和保证其正确动作的关键和重要环节。

本书作者长期以来在多家发电厂从事大型发电机组继电保护整定计算和继电保护现场调试、检验等技术管理的一线工作，积累了大量宝贵的经验、教训。作者以其丰富的实践经验和充实的专业理论，全面系统地介绍了大型发电机变压器继电保护和自动装置的整定计算问题，并广泛讨论发电厂厂用系统的继电保护整定计算等技术问题及在整定计算中对容易发生的错误而应引起注意的问题，列举应用实例，便于读者在使用过程中参考，实用性很强，同时总结和介绍了发电厂继电保护其他多方面的运行技术经验。

《大型发电机组继电保护整定计算与运行技术》一书反映我国发电厂继电保护运行实际，内容翔实，不失为一本既适用于提高继电保护专业人员整定计算的技术水平，同时又适用于广大电气技术人员在较短时间内了解和掌握、普及发电

机组继电保护整定计算知识和其他运行技术的专业参考书。

在此谨向以高度的事业责任感和严谨的工作作风完成此书的作者致敬。希望继电保护专业人员继续发扬刻苦钻研、认真负责、爱岗敬业精神，不断完善继电保护技术管理和运行管理工作，以提高整个电网的安全稳定运行水平。

王玉玲

2005年7月12日



作为电网安全生产体系中的重要环节，继电保护在电力安全生产中起着重要的作用，继电保护快速性、灵敏性、选择性、可靠性的体现在很大程度上取决于保护装置本身的可靠性及保护整定值设置的合理性。作为电力系统生产发电、输电、配电、供电四个环节中的重要组成部分，发电机因其结构上的复杂性和价格上的昂贵性，使得发电机相关保护的配置一直比较复杂，保护的配置方案也往往因现场的主接线方式的不同而有所差异。因此，发电机结构上的特征带来的对设备故障判定的难度，以及发电厂所涉及电气设备、接线的复杂性，一直以来使发电厂保护的整定计算呈现为一种比较困难的状况。

为有效地指导现场对发电机保护的应用，国调中心牵头组织编写了《大型发电机、变压器保护整定计算导则》，为规范发电机保护的整定计算提供了依据。但发电机保护整定值的设定除依据保护动作原理等因素外，在很大程度上需要结合设备现场安装的实际情况，才能获取比较合理的整定值设置，使发电机所配置的保护除满足发电机本身的运行要求外，还可以比较好地与电网的保护取得合适的配合，确保设备的安全性和系统的可靠性。

作者长期以来从事发电厂生产一线继电保护现场工作，积累了丰富的整定计算和现场调试检验经验，在本书的编写过程中充分结合了运行中出现的问题，阐述整定计算的要点和注意事项，采用简单的经验公式和改进计算方法避开了复杂理论的数学公式推导。该书根据各种不同类型、不同判据微机发变组继电保护的应用特点，较全面地介绍了目前常用的高低电压厂用电动机、高低电压厂用变压器、高低电压厂用馈线等多种类型综合保护的整定计算，对于大型发电机组及中、小型发电机组继电保护的整定计算与运行具有较高的实用参考价值。

发电机保护整定必须掌握内容较为复杂的继电保护工作原理，本书的编写充分注意理论联系实际，根据保护动作判据提出的整定计算方法和过程，确定动作

判据中的有关参数，辅之以严格的计算过程确定保护装置的整定值，有助于更多的继电保护专业人员和电气运行技术人员在较短时间内有效地掌握发电厂继电保护整定计算相关知识。

高翔

2005年7月15日

第一版前言



本人从事（前期从事中小型发电厂，后30年从事大型发电厂）发电厂继电保护整定计算和现场继电保护调试、检验工作近50年，本书是在众多继电保护老前辈和同仁们的教导帮助支持下编写整理而成。

本书大纲经清华大学王维俭教授、华东电网公司调度通信中心陈建民副总工程师、东南大学陆于平教授审核并提出很多宝贵意见。望亭发电厂韩秀芳、毛潮海、杨纬、沈俭、吴政华，华能石洞口第二发电厂张立人，华能石洞口第一发电厂李大伟，华能太仓发电厂周耀忠、周肖平、王玲，南瑞继保公司沈全荣，东南大学陆于平，黄岛发电厂贺秀兰，江苏电网公司调度通信中心屈蕴华、浦南桢，华东电网公司调度通信中心林敏成，常熟供电局沈文怀，青岛电业局于立涛，新安江水力发电厂陈学珍，无锡惠联热电厂任文兴，无锡友联热电厂赵旭东，无锡双河尖热电厂顾晓明、丁峰，无锡协联热电厂刘俊良、杨健军、曹大真等同仁均对本书提出诸多宝贵意见。全书插图由华能太仓发电厂许伟铭、姚晓峰、彭慧韬、张玖利、姜有志等同志画制，无锡供电局高旭平协助画制部分插图及全书实例的复算工作，由胡琛老师进行全书文字修饰工作，全书由清华大学王维俭教授审稿并提出很多深刻的宝贵意见后帮助定稿，在成书过程中自始至终得到华能太仓发电厂童旭生总经理、廖成虎总工程师及叶志刚、许世诚，望亭发电厂孙孜平厂长、吕国强副厂长、何玉书副厂长，无锡地方电力公司无锡双河尖热电厂徐振华厂长，无锡协联热电厂朱朝煌总经理等领导的大力支持和帮助，在此一并致以衷心的感谢！

谨以此书献给生我养我的祖国和家乡父老乡亲们！

谨以此书献给辛勤耕耘的同仁朋友们！

谨以此书献给在我最艰难贫困时支持和帮助我完成一生最关键时刻学业的恩师胡琛老师和我的叔父高振生先生！

谨以此书献给病魔缠身而始终支持我笔耕的妻子!

本书共分五章,第一章短路电流计算,重点叙述经 YNd11 变压器短路时变压器两侧电流电压的计算方法。第二章大型发电机变压器组继电保护整定计算,重点叙述发电机变压器组不同类型微机保护的判据、整定计算方法和应注意的问题。第三章厂用系统继电保护整定计算,重点叙述高低压厂用系统中高低压电动机、高低压厂用变压器、高低压厂用馈线常用的各种不同类型微机综合保护判据、整定计算方法及应注意的问题。第四章发电厂电气自动装置的整定计算,重点叙述发电机微机励磁调节装置、自动准同步装置、厂用电快速切换装置的判据、整定计算方法及应注意的问题。第五章发电厂继电保护运行技术,叙述整定计算以外的运行技术问题。本书主要针对大型发电机组,同时也适用于中小型发电机组继电保护及电气自动装置的整定计算;高低压电动机及高低压厂用变压器保护的整定计算,同时适用于大中型工矿企业用电设备继电保护的整定计算。

本书始稿于望亭发电厂,终稿于华能太仓发电厂。

由于作者水平有限,书中错误难免,敬请各位读者及同仁不吝指正。联系方式:0510-85800401,18921130136;邮箱 gaochunru36@sina.com。

作者

2005年2月于华能太仓发电厂

符号说明

一、设备文字符号

名称	符号	名称	符号
自动励磁调节器	AVR	电压继电器	KV
放电间隙	FG	断路器	QF
熔断器	FU	隔离开关	QS
发电机	G	接地开关	QSE
变压器	T	母线	W
电动机	M	电流互感器	TA
励磁机	GE	辅助电流互感器	TAA
继电器	K	电压互感器	TV
电流继电器	KA	中性点接地变压器	TN

二、主要物理量文字符号

名称	符号	名称	符号
视在功率	S	阻抗	Z
有功功率	P	电阻	R
无功功率	Q	电抗	X
电压有效值	U	系数	K
电动势有效值	E	变比	n
电流有效值	I	匝数	W
电压瞬时值	u	功角	δ
电流瞬时值	i	角差	θ
频率	f	功率因数角	φ
时间	T, t	角速度	ω
滑差	s		

三、主要角标符号

名称	符号	名称	符号
零、正、负序	0、1、2	励磁涌流	ee
三相（高压侧）	A、B、C	断 开	off
三相（低压侧）	a、b、c	接 通	on
非周期	ap	起 动	st
同 型	cc	自启动	ast
发电机（一、二次）	G、g	残 余	rem
电动机（一、二次）	M、m	分 流	di
变压器（一、二次）	T、t	计 算	c (cal)
系统（一、二次）	S、s	联 系	con
短路（一、二次）	K、k	有 功	a
额定（一、二次）	N、n	无 功	r
动作（一、二次）	OP、op	有 效	rms
高压侧	H、h	误 差	er
中压侧	M、m	内 部	I (in)
低压侧	L、l	外 部	O (ou)
周 期	per	保 护	p
返 回	re	中性点	N、n
可 靠	rel	始 端	i
制 动	res	终 端	f
饱 和	sa	相	p、ph
整 定	set	信 号	s
灵 敏	sen	线 路	L
等 效	eq	直 轴	d
不平衡	unb	交 轴	q
平 衡	bal	励 磁	fd
允 许	al	励磁机励磁	fde
正 向	po	静稳极限	sl
反 向	ne	动稳极限	dl
差 动	d	上 限	up
速 断	qu	下 限	dow
导前（超前）	ah	切断、遮断	brk
闭 锁	atr	最 大	max
强行励磁	fo	最 小	min
发 热	he	基 准	bs
散 热	eh	极 限	lim
过 程	unl	总 和	Σ
分 支	bra	平 均	av
反 馈	fb	振 荡	osc
转 移	tr	制 动	res

序	
前言	
第一版序一	
第一版序二	
第一版前言	
符号说明	
第一章 短路电流计算	1
第一节 概述	1
一、电力系统或电气设备的短路故障原因(1) 二、短路种类(1)	
第二节 对称短路电流计算	2
一、阻抗归算(2) 二、常用网络变换(4) 三、对称短路电流计算(6)	
第三节 不对称短路电流的计算	8
一、对称分量法(8) 二、两相短路电流计算(11) 三、单相接地短路电流计算(15) 四、两相接地短路电流计算(20) 五、电源分支电路不对称短路电流计算(26)	
第四节 经变压器后的短路电流计算	30
一、Yd11 接线变压器两侧电流及电压的基本关系(30) 二、Yd11 接线变压器 Y 侧 B、C 两相短路电流的计算(34) 三、YNd11 接线变压器 YN 侧 A 相单相接地短路电流计算(39) 四、YNd11 接线变压器 YN 侧 B、C 两相接地短路电流计算(44) 五、Yd11 接线变压器 d 侧 b、c 两相短路电流计算(48) 六、无分支 Yyn0 接线变压器 yn 侧 A 相单相接地短路电流计算(53) 七、无分支 Dyn1 接线的变压器 yn 侧单相接地时短路电流计算(56) 八、变压器中性点经小电阻接地系统短路电流计算(56)	
第五节 短路电流计算实例	58
一、短路点 K1 三相短路电流计算(60) 二、短路点 K1 B、C 两相短路电流计算(61) 三、短路点 K1 A 相接地短路电流计算(64) 四、短路点 K1 B、C 两相接地短路电流计算(70) 五、短路点 K2 三相短路电流计算(75) 六、短路点 K2 b、c 两相短路电流计算(77) 七、计算结果(80)	
第六节 断相与断路器断口闪络故障计算	83
一、概述(83) 二、单相断线计算(83) 三、两相断线计算(88) 四、断路器断口单相闪络(flashover)计算(90) 五、断路器断口两相闪络计算(92) 六、故障	

分析计算所用发电机正序阻抗说明(96)

第二章 大型发电机变压器组继电保护整定计算(一)	97
第一节 概述	97
一、继电保护整定计算的目的和任务(97) 二、继电保护整定计算前的准备工作(98) 三、继电保护整定计算的技巧和应注意的几个问题(99) 四、整定计算步骤(99)	
第二节 大型发电机变压器组继电保护整定计算方法	100
一、发电机纵差动保护(100) 二、发电机横差动保护(110) 三、发电机纵向基波零序过电压保护(114) 四、发电机变压器组及主变压器纵差动保护(118) 五、发电机及发电机变压器组不完全纵差动保护(133) 六、变压器零序电流差动保护与变压器高压绕组单侧分相差动保护(134) 七、发电机定子绕组单相接地保护(140) 八、发电机转子绕组接地保护(164) 九、发电机定子绕组过电流保护(168) 十、发电机转子表层负序过负荷保护(172) 十一、发电机转子绕组励磁过电流保护(176) 十二、发电机低励及失磁保护(183) 十三、发电机失步保护(194) 十四、发电机定子绕组过电压保护(201) 十五、发电机变压器组过励磁保护(201) 十六、发电机逆功率保护(206) 十七、发电机程序跳闸逆功率保护(207) 十八、发电机频率异常保护(208) 十九、发电机变压器组低阻抗保护(211) 二十、发电机变压器组复合电压闭锁过电流保护(214) 二十一、主变压器高压侧零序过电流保护(215) 二十二、主变压器高压侧中性点间隙接地保护(217) 二十三、发电机突加电压保护(218) 二十四、电压回路断线(电压不平衡)保护(225) 二十五、断路器非全相运行保护和非全相运行失灵保护及断路器三相失灵保护(227) 二十六、非电量保护(232) 二十七、高压厂用变压器纵差动保护(234) 二十八、高压厂用变压器(简称高压厂变)分支相间短路保护(237) 二十九、高压厂用变压器组相间短路的后备保护(241) 三十、高压厂用变压器单相接地保护(243) 三十一、交流励磁发电机和自并励励磁变压器保护(244)	
第三节 大型发电机变压器组继电保护整定计算实例 1	247
一、准备工作(247) 二、发电机纵差动保护整定计算(253) 三、发电机变压器组及主变压器纵差动保护整定计算(256) 四、发电机定子绕组匝间短路保护整定计算(261) 五、发电机定子绕组单相接地保护整定计算(262) 六、发电机转子接地保护整定计算(264) 七、发电机定子绕组过电流保护整定计算(264) 八、发电机转子表层负序过负荷保护整定计算(265) 九、发电机转子绕组励磁过电流保护整定计算(266) 十、发电机失磁保护整定计算(268) 十一、发电机失步保护整定计算(270) 十二、发电机定子绕组过电压保护整定计算(271) 十三、发电机及主变压器过励磁保护整定计算(271) 十四、发电机逆功率及程序跳闸逆功率保护整定计算(272) 十五、发电机频率异常保护整定计算(272) 十六、发电机变压器组低阻抗保护整定计算(273) 十七、发电机变压器组复合	