



电 气 主 设 备 继 电 保 护 原 理 与 应 用

第 二 版

王维俭 编著

电力科技专著出版资金资助项目

中国电力出版社

第一版前言



(一)

电力工业的发展,促进了发电机组单机容量的迅速增大,从电力系统安全生产的客观需要出发,对大型机组继电保护技术提出了更高的要求;计算机和微电子学的飞速发展,为大机组保护技术的不断创新提供了物质条件;发电机组内部故障的分析计算新方法更为大机组继电保护奠定了坚实的理论基础。

在全国各部门同行的共同努力下,电气主设备保护已成为电力系统继电保护专业中必不可少的分支学科。数以万计的科技工作者,为了电气主设备的安全和本学科技术的发展,付出了辛勤劳动、积累了丰富的经验和成果,同时成长了新一代的电气主设备继电保护硕士、博士和专家。

在我长期从事主设备保护的科研、教学过程中,得到了设计、制造、基建和运行等部门同仁的支持和帮助;本书的出版得到了“电力科技专著出版资金”的资助,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!

谨以此书献给共同耕耘的同仁朋友们!

谨以此书献给始终支持我清贫笔耕的爱妻!

(二)

《电气主设备继电保护原理与应用》是为适应我国电力建设发展的需要、总结运行生产经验、介绍基本原理和推广新技术而编写的。它的特点是:

(1) 系统和完整地介绍电气主设备继电保护的基本原理,特别注意整定计算方法、运行中出现的问题和成功的经验、现场提供的宝贵试验资料。

(2) 以大机组为主,兼顾中、小机组。

(3) 以发电机(包括抽水蓄能机组)、变压器保护为主,同时编写了电抗器、电容器和电动机的保护,但按国内惯例,母线保护不作为主设备保护(一般在线路保护书籍中介绍)。

(4) 介绍了部分电气主设备的微机保护,目的在于引起读者注意,微机保护可以完成以往模拟式保护不可能实现的技术性能,发展前景广阔,有待进一步开发研究和逐步推广应用。

第一章着重介绍了高灵敏零序电流型横差保护的原理、试验和运行资料,它简单、灵敏、可靠,作者推荐它作为各种大中型发电机的一切内部故障第一主保护,即使是 30 万

kW 及以上的汽轮发电机, 只要中性点侧引出方式在电机制造时稍作改进, 也应推广使用这种横差保护, 其功能大大超过传统纵差保护。讨论了采用故障分量的几种微机保护, 还介绍了适用于各种发电机的不完全纵差保护, 后者也可用于大型发电机-变压器组。

第二章主要讨论了现代电力系统发生变压器内部短路时, 二次谐波引起的差动保护延缓动作问题, 并介绍了部分改进措施。本章还介绍了考虑励磁特性的变压器内部短路微机保护和分侧差动保护, 使励磁涌流不再成为变压器内部短路保护的一大技术难题。

第三章介绍了发电机、变压器后备保护的整定计算。

第四章进一步阐明大型发电机中性点消弧线圈接地的必要性和可能性, 吁请国内同行重视总结我国发电机消弧线圈接地的成功运行经验。本章对汽轮发电机的三次谐波电压作了新的讨论, 从不同角度深入分析三次谐波电压的分布和保护的机理。对扩大单元接线的发电机-变压器组, 介绍了行波接地保护的原理和试验资料。最后简要讨论了比相式三次谐波定子接地微机保护。

第五章讨论了转子两点接地故障引发的轴系和汽机磁化问题, 介绍了转子接地微机保护, 它能确定接地故障点位置和过渡电阻大小。

第六章尽量精简了失磁故障的数学解析推导, 增加了低励、失磁的微机保护一节。

第七章强调了失步保护最好有预测作用, 推荐了几种失步预测保护的方案, 但均限于可以等效为两机的系统。

第八章讨论发电机的负序电流保护, 即转子表层负序过负荷保护。

第九章对过励磁损耗作了深入分析, 提高了对过励磁保护的認識, 并提出了符合主设备技术要求的过励磁保护(微机型)新动作判据。

第十章在频率异常保护和轴电流保护方面作了较为全面的讨论, 详细介绍了汽轮发电机低频保护的整定计算, 也简单介绍了其它异常运行保护。

第十一章讨论发电机-变压器组保护总体配置问题, 强调了尽可能选用高灵敏零序电流型横差保护作为发电机一切内部故障的第一主保护, 贯彻了“加强主保护、简化后备保护”的原则。

第十二~十四章分别讨论了电抗器、电容器和电动机的保护, 特别介绍了原理先进的电动机微机保护。

最后一章介绍抽水蓄能发电-电动机组的继电保护基本情况, 并对其存在问题和解决方案作了初步讨论。

电气主设备的继电保护技术虽然有了较大进展, 但尚有不少问题需作进一步的研究开拓, 诸如: 汽轮发电机和变压器的内部短路计算方法和分析实例、主设备的在线故障诊断和故障预测、主设备保护的動作判据中某些重要参数的科学测定(如发电机短时转子负序发热参数 A 值、发电机和变压器的过励磁允许曲线、大型电动机的热模型参数等)。

承袁季修高级工程师审阅全书并予指正, 谨致衷心感谢。

作者

1995年2月北京

第二版前言



近几年全国电气主设备继电保护装置运行情况的调研，特别是 1997 年原电力工业部在哈尔滨召开的全国继电保护工作会议，对电气主设备保护工作是一个巨大的鞭策和促进。

电气主设备继电保护专业在十多年间已有显著的进步，但是它和我国大型发电设备迅速发展的形势尚不能完全适应，原因很多，其中最根本的一条是从事电气主设备保护的设计、制造、运行和科研开发人员亟待学习提高，要认真向超高压输电线继电保护技术人员的钻研和敬业精神学习；要造就一支埋头苦干、不怕困难、敢于攻关创新和兢兢业业工作的电气主设备继电保护技术队伍，我寄厚望于中青年科技工作者。

在广大同行的积极参与和认真切磋下，《大型发电机变压器继电保护整定计算导则》即将问世，二滩水电站正式投运成功，秦山核电厂（二期）和三峡水电站的电气主设备保护方案业已审定，大型发-变组继电保护微机型装置的四统一典型设计会议也已召开，这都为本书第二版的编写出版创造了良好条件。第二版的主要改写内容是结合国内重大电厂建设工程，深入分析计算它们的发电机内部故障，为确定主保护方案提供充分资料，并为某些长期没有定论的主设备保护问题提出理论上的科学解释。在第二版中还首次深入地讨论了变压器内部短路的分析方法，为今后的实用计算迈出了坚实的一步，它和发电机内部短路的分析计算一样，将在今后工作中积极提高电气主设备继电保护的理论基础和应用技术水平，澄清和阐明各种电气主设备内部绕组短路的物理特征，指导继电保护的设计研究工作。

从《大型机组继电保护理论基础》及其第二版到《电气主设备继电保护原理与应用》，作者与专业同仁不断探索主设备内部故障的机理，并在此基础上建立和完善主设备的主保护，读者不难看到在这一专业技术领域中由空白到逐渐认识和深化的全过程。回顾以往的经历，展望未来的发展，必须强调继电保护专业和电机专业的跨专业合作，没有这一条，主设备保护理论基础和技术水平的提高只能是一句空话。在此，我和主设备继电保护专业的同仁衷心感谢王祥珩电机学教授和他指导的博士和硕士研究生，是他们的刻苦钻研、持续奋进，奠定了主设备保护的故障分析理论基础。

在本书第二版出版之际，我再次感谢辛勤工作在各级岗位上的同仁们，是他们在生产实践中发现和提出问题、克服困难解决问题，为发展主设备保护技术作出了贡献；在我的一生科研和教学工作中，他们给了我宝贵的支持和合作，使我能在专业技术方面做一些力所能及的工作。期待他们在今后的岁月中为主设备保护技术的发展作出更大成绩。

徐振宇博士为本书出版审阅全稿，在此一并致谢！

我的几本主要著作，都是经袁季修高级工程师审阅定稿的，在我行将终止编写专著之际，特表示由衷的敬意和感谢。

作者谨识

2000年2月于珠海

符号说明



一、设备文字符号

A	调节器	QS	隔离开关
AD	灭磁装置	R	电阻器
AE	励磁调节器	RP	电位器
AJ	集成电路放大器	RT	热敏电阻
C	电容器	RV	压敏电阻
FV	避雷器	SB	按钮
FG	放电间隙	SD	灭磁开关
FU	熔断器	T	变压器
G	发电机	TA	电流互感器、自耦变压器
GE	励磁机	TAA	辅助电流互感器
K	继电器	TAL	电抗变压器
KA	电流继电器	TN	中性点接地变压器
KD	差动继电器	TR	整流变压器
KM	中间继电器、接触器	TU	升压（单元）变压器
KS	信号继电器	TV	电压互感器
KT	时间继电器	TVA	辅助电压互感器
KV	电压继电器	U	整流器、A/D 或 D/A 变换器
L	电抗器、消弧线圈	V	二（三）极管、光耦合器
LE	励磁绕组	VS	稳压管
M	电动机	VT	晶闸管
N	稳压器、运算放大器	XB	连接片
QC	换相开关	Z	滤波器、阻波器
QF	断路器		

二、主要物理量文字符号

B	磁通密度	b	电纳
-----	------	-----	----

c	电容、热容	s	滑差、斜率
E	电动势有效值	T	转矩、周期、时间常数
e	电动势瞬时值	t	时间
F	磁通势	U	交流电压有效值或直流电压
f	频率	u	交流电压瞬时值
$G(g)$	电导	V	电位
H	磁场强度	W	绕组匝数
I	交流电流有效值或直流电流	$X(x)$	电抗
i	交流电流瞬时值	$Y(y)$	导纳
j	电流密度	Z	阻抗 (复数)、总槽数
L	自感	z	阻抗
l	线路长度	δ	功角
M	互感	θ	相角、温升
P	有功功率	ρ	电阻率
p	极对数、微分运算符	φ	功率因数角、阻抗角
Q	无功功率	ψ	磁链
$R(r)$	电阻	ϕ	磁通
S	视在功率	ω	角频率、角转速

三、主要角标符号

A、B、C	三相 (原方)	in	输入、内部
a、b、c	三相 (副方)	k	短路
ap	非周期	L	负荷, 电抗器
as	异步	l	线路
b	分支、边界	lim	极限
cc	同型	m	幅值、互 (感)、机械量
co	补偿	max	最大
d	微分、差动	min	最小
ab	动稳边界	N	中性点
e	接地	n	额定
er	误差	op	动作
ex	输出	ou	外部
fb	反馈	0、1、2	正、负、零序
fd	转子绕组量	0	空载
g	发电机	p	保护
h	高压侧	per	周期

ph	相	set	整定
q	横轴	sen	灵敏
r	继电器	tb	暂稳边界
re	返回	unb	不平衡
rel	可靠	μ	励磁（专用于变压器和电流互感器等的励磁电流和励磁电抗）
res	制动		
s	系统		
sb	静稳边界		



第一版前言

第二版前言

符号说明

第一章 发电机内部故障主保护

第一节	概述	1
第二节	比率制动式纵差保护	7
	一、比率制动式纵差保护的基本原理 (8) 二、比率制动式纵差保护的整定计算 (8) 三、整定计算问题中几个疑点的讨论 (10)	
第三节	故障分量比率制动式纵差微机保护	15
	一、基本原理 (15) 二、各种工况下的动作情况分析 (17) 三、定值整定 (20)	
第四节	标积制动式纵差保护	21
	一、基本概念 (21) 二、制动系数 K'_{res} 的选取 (21)	
第五节	发电机横差保护	24
	一、三元件裂相横差保护 (24) 二、传统的单元件零序电流型横差保护 (25) 三、高灵敏单元件零序电流型横差保护 (26) 四、高灵敏双元件或三元件零序电流型横差保护 (31)	
第六节	发电机不完全纵差保护	33
	一、不完全纵差保护的定义与功能 (33) 二、接入不完全纵差保护的中性点侧分支数 N (34) 三、几种发电机纵差与横差保护的灵敏系数分析比较 (35) 四、标积制动式不完全纵差保护 (39)	
第七节	发电机综合差动保护	42
第八节	发电机其它主保护	45
	一、中性点侧只引出 3 个端子的发电机主保护 (45) 二、故障分量负序方向微机保护 (46) 三、故障分量负序正向和正序反向保护的基本原理 (55) 四、纵向基波零序过电压保护 (57)	
第九节	发电机内部故障主保护灵敏系数分析实例	60
	一、二滩水电站发电机 (60) 二、巨型火电厂 QFSN-650-2 型发电机 (75)	

第二章 变压器内部故障主保护

第一节	变压器差动保护概论	83
	一、P级电流互感器与差动保护快速性的矛盾 (84) 二、三相变压器的励磁涌流问题 (86) 三、变压器内部短路时流出电流对差动保护的影响 (95)	
第二节	变压器差动保护	98
	一、比率制动式差动保护 (98) 二、标积制动式差动保护 (109) 三、变压器分侧差动保护 (112) 四、零序差动保护 (114) 五、差动速断保护 (121)	
第三节	变压器微机型主保护方案的新思路	122
	一、差动原理应用于变压器保护的科学性讨论 (122) 二、基于回路方程算法的变压器微机型主保护 (123) 三、基于电感倒数等效电路的变压器微机型主保护 (125) 四、模糊逻辑在变压器差动保护中的初步应用 (129) 五、小波变换在变压器差动保护中的应用研究 (133) 六、基于励磁电抗 (或电感) 数值大小的空载合闸涌流判据 (137)	
第四节	特殊变压器的内部短路保护	137
	一、分裂绕组变压器的内部短路保护 (137) 二、自耦变压器的内部短路保护 (141) 三、全星形接线变压器的内部短路保护 (141) 四、多绕组变压器的内部短路保护 (142) 五、电气化铁道牵引变压器的内部短路保护 (143)	
第五节	变压器内部短路计算的研究	146
	一、变压器内部短路计算的基本方法 (146) 二、电感参数的计算 (147) 三、今后研究工作的主要内容 (152)	
第六节	暂态保护型电流互感器	152
	一、铁芯气隙对电流互感器的影响 (152) 二、TP型电流互感器选型时的有关参数 (153) 三、TP型电流互感器暂态特性校验实例 (拐点电压法) (154) 四、500kV变压器差动保护电流互感器的配置选型 (156)	
第七节	瓦斯保护	157

第三章 发电机、变压器短路故障的后备保护

第一节	发电机短路故障的后备保护	159
	一、过流保护 (159) 二、复合电压 (负序电压和线电压) 启动的过流保护 (159) 三、负序过流保护和单元件低压启动过流保护 (160) 四、自并励发电机的后备保护 (161)	
第二节	变压器短路故障的后备保护	164
	一、相间短路后备保护 (165) 二、接地短路后备保护 (169)	
第三节	发电机-变压器组短路故障后备保护	176

	一、相间短路后备保护配置原则和配置方案 (176)	二、时限电流速断保护 (177)	
	三、阻抗保护 (178)		
第四节	变电所故障的远后备保护.....		183
	一、工作原理 (183)	二、实现与应用 (185)	

第四章 定子绕组单相接地保护

第一节	概述.....	186
第二节	发电机的中性点接地方式.....	188
	一、电力系统中性点各种接地方式优缺点的比较 (188)	
	二、大中型发电机的中性点接地方式 (189)	
	三、发电机中性点经消弧线圈接地必须是欠补偿方式 (193)	
	四、中性点经消弧线圈谐振接地 (194)	
第三节	正常运行和单相接地故障时的基波零序电压电流和三相对地电压.....	197
	一、正常运行时 (197)	
	二、单相接地故障时 (199)	
	三、发电机中性点不同接地方式下单相接地基波零序电压保护的计算分析实例 (201)	
第四节	汽轮发电机的定子三次谐波电压.....	204
	一、汽轮发电机三次谐波匝电动势分布 (204)	
	二、汽轮发电机三次谐波电压的分布及其等效电路 (206)	
	三、汽轮发电机正常运行时三次谐波电压的现场测试 (212)	
	四、升压变压器高压绕组三次谐波零序电动势 $\dot{E}_{3H}$ 对汽轮发电机三次谐波电压的影响 (215)	
第五节	水轮发电机的定子三次谐波电压.....	216
	一、水轮发电机定子三次谐波等效电路的建立 (218)	
	二、正常运行时定子三次谐波电压的分布 (218)	
	三、单相接地故障时水轮发电机三次谐波电压的分布 (220)	
	四、扩大单元接线方式水轮发电机单相接地故障时三次谐波电压的分布 (221)	
	五、升压变压器高压绕组三次谐波零序电动势 $\dot{E}_{3H}$ 对水轮发电机三次谐波电压的影响 (223)	
第六节	基波零序电压型定子接地保护.....	223
第七节	三次谐波电压型定子接地保护在汽轮发电机上的应用.....	225
	一、 $ \dot{U}_s > a$ (阈值) (225)	
	二、 $ \dot{U}_n < b$ (阈值) (226)	
	三、 $ \dot{U}_s / \dot{U}_n > c$ 或 d (226)	
	四、 $ \dot{U}_s - K_P \dot{U}_n / \beta \dot{U}_n > 1.0$ (227)	
	五、三次谐波电压型单相接地微机保护 (228)	
	六、三次谐波电压型定子接地保护的应用实例 (229)	
第八节	三次谐波电压型定子接地保护在水轮发电机上的应用.....	233
	一、发电机-变压器组单元接线方式的水轮发电机 (234)	
	二、扩大单元接线方式的水轮发电机 (235)	
	三、三次谐波电压型定子接地保护的应用实例 (235)	
	四、提高三次谐波电压型定子接地保护灵敏度 (237)	
第九节	外加电源方式的定子接地保护.....	238
	一、外加 20Hz 交流电源的定子接地保护 (239)	
	二、外加 12.5Hz 交流电源的定子接地保护 (245)	
	三、采用电流突变量的外加电源方式定子单相接地	

保护 (249)	
第十节 选择性定子接地行波保护	250
一、定子接地行波基本概念和现场实测 (250)	
二、定子接地故障时行波电压的简单分析计算 (253)	
第十一节 相位判别式三次谐波电压型定子接地微机保护	259

第五章 发电机励磁回路接地保护

第一节 概述	263
一、发电机励磁回路故障的成因和形式 (263)	
二、励磁回路两点接地和转子绕组匝间短路时的转子磁化和轴电压 (轴电流) 问题 (264)	
三、发电机励磁回路接地保护的现状 (266)	
第二节 励磁回路一点接地保护	267
一、电桥式一点接地保护 (267)	
二、叠加直流电压式一点接地保护 (269)	
三、叠加交流电压式一点接地保护 (270)	
四、切换采样式一点接地保护 (276)	
第三节 励磁回路两点接地保护评述	277
第四节 励磁回路一点和两点接地微机保护	278
一、转子一点接地微机保护基本原理 (278)	
二、转子两点接地微机保护基本原理 (279)	
三、动作判据和软件框图 (280)	
四、灵敏度分析 (281)	
第五节 叠加变极性方波电压式转子一点接地保护	282
一、叠加方波电压式转子一点接地保护 (以 50Hz 交流电压为电源) (282)	
二、变极性直流偏置电压式转子一点接地保护 (285)	

第六章 低励、失磁保护

第一节 概述	287
第二节 低励、失磁过程的定性分析和试验资料	289
第三节 低励、失磁过程中的机端阻抗 (或导纳) 特性	294
一、低励、失磁过程中机端阻抗 (或导纳) 轨迹的全貌 (294)	
二、抵达静稳极限前失磁机机端阻抗 (或导纳) 轨迹 (等有功阻抗圆和等有功导纳圆) (295)	
三、静稳极限阻抗 (或导纳) 圆 (297)	
四、低励、失磁后的发电机异步阻抗分析 (300)	
第四节 低励、失磁保护的阻抗继电器	301
一、按异步边界整定的低励、失磁阻抗继电器 (301)	
二、按静稳边界整定的低励、失磁阻抗继电器 (303)	
第五节 低励、失磁保护的三相同步电压继电器	305
第六节 几种低励、失磁保护继电器在阻抗平面上的特性比较	307
第七节 低励、失磁阻抗继电器的误动问题	309

	一、机端两相经过渡电阻 $2R_f$ 短路 (309) 二、升压变压器高压侧两相经过渡电阻 $2R_f$ 短路 (310) 三、升压变压器高压侧单相接地短路 (311) 四、系统振荡 (311) 五、长线充电 (315) 六、自同步过程 (316) 七、电压回路断线 (316)	
第八节	静稳边界阻抗继电器 ($x_d \neq x_q$) 的作图整定	316
第九节	低励、失磁保护中的转子判据	318
	一、各种工况下励磁电压电流的变化特性 (319) 二、等励磁电压辅助判据 (324) 三、变励磁电压主判据 (327)	
第十节	低励、失磁保护装置的构成示例	331
	一、凸极发电机的低励、失磁保护装置 (331) 二、隐极发电机的低励、失磁保护装置 (334) 三、调相机的低励、失磁保护装置 (336)	
第十一节	低励、失磁微机保护	340
	一、原理和算法 (340) 二、低励、失磁微机保护原理框图及动模试验结果 (342)	

第七章 失步保护和失步预测保护

第一节	概述	344
	一、装设失步保护和失步预测保护的必要性 (344) 二、对失步保护和失步预测保护的基本要求 (345) 三、两机系统的规范化 (345)	
第二节	多阻抗元件的失步保护	346
	一、双阻抗元件失步保护 (346) 二、三阻抗元件失步保护 (原瑞士 BBC 生产 ZPT408-10 型滑板继电器) (351)	
第三节	测量振荡中心电压及其变化率的失步预测保护	363
	一、基本原理 (363) 二、整定计算 (364) 三、装置的构成 (364)	
第四节	测量视在电阻及其变化率的失步预测保护	365
	一、基本原理 (365) 二、动作特性及其整定分析 (368) 三、失步预测保护动作判据 (371) 四、动模试验 (375)	
第五节	以系统两点间相位差为依据的失步预测保护	375
	一、相位差算法 (376) 二、相位差预测值的算法 (377) 三、电流振荡检测元件 (378)	
第六节	采用李雅普诺夫直接法的失步预测保护	378
	一、李雅普诺夫直接法简介 (378) 二、应用李雅普诺夫直接法的失步预测判据 (379) 三、计算实例 (381) 四、李雅普诺夫直接法失步预测保护的评价 (382)	
第七节	多机系统发电机失步预测保护新判据	383
	一、问题的提出 (383) 二、多机系统发电机失步预测保护新判据的基本概念 (383) 三、多机系统的特例——单机对无穷大系统 (384) 四、预测功能的实现 (385) 五、转子角速度的测量 (386) 六、发电机转速测量的算法 (387) 七、本方案的数学仿真和动模试验 (389)	

第八章 转子表层负序过负荷保护 (负序电流保护)

第一节	概述	394
第二节	发电机长期承受负序电流的能力	395
第三节	发电机短时承受负序电流的能力	396
	一、发电机短时负序转子发热常数 A (396) 二、电力系统运行对 A 值的要求 (397) 三、判据 $I_2^2 t > A$ 的运行实践和修正 (399)	
第四节	转子表层负序过负荷保护的构成	401
第五节	反时限元件的分析	405
	一、两级恒流充电式反时限元件 (405) 二、平方-积分器式反时限元件 (407) 三、微机型负序反时限元件 (412)	
第六节	负序电流滤过器的运行分析	412
	一、利用感抗移相的负序电流滤过器 (413) 二、利用电容移相的负序电流滤过器 (414) 三、电流互感器一相断线对负序电流滤过器的影响 (414)	

第九章 过励磁保护

第一节	过励磁故障的起因和后果	417
第二节	变压器过励磁损耗分析	420
	一、主磁通在铁芯中产生的损耗 (420) 二、过励磁电流在绕组导体电阻上的损耗 (420) 三、漏磁通在绕组导体中引起的涡流损耗 (421) 四、漏磁通在铁芯表面造成的涡流损耗 (421)	
第三节	变压器、发电机的过励磁能力	422
第四节	过励磁保护的判据和动作特性	423
	一、两段式定时限过励磁保护 (423) 二、过励磁反时限保护之一 (424) 三、过励磁反时限保护之二 (425)	
第五节	过励磁保护装置原理	426
	一、 U/f 的测量电路 (426) 二、反时限电路 (427)	
第六节	反时限过励磁保护的整定计算	428

第十章 主设备异常运行的其它保护

第一节	过负荷保护	429
	一、发电机的过负荷 (429) 二、定子绕组的过负荷保护 (430) 三、励磁绕组的过负荷保护 (431) 四、变压器的过负荷保护 (431)	
第二节	过电压保护	432
第三节	逆功率保护	434

第四节	发电机频率异常保护	437
第五节	电流互感器二次断线保护	443
第六节	非全相运行保护	445
第七节	启动和停机保护	447
第八节	在盘车状态下的误合闸保护	448
第九节	断路器断口闪络保护	449
第十节	轴电流保护	451
	一、轴电流的产生及其对发电机组的影响 (451) 二、轴承座绝缘破坏的主要原因 (453) 三、轴电流保护 (453)	

第十一章 大型发电机-变压器组继电保护的总体配置

第一节	大型发电机-变压器组继电保护总体配置的要求	455
	一、大机组继电保护总体配置的原则意见 (455) 二、发电机三相定子绕组的结构对主保护配置的影响 (456) 三、关于定子绕组同相匝间或层间短路保护问题 (458) 四、定子绕组单相接地保护问题 (458) 五、汽轮发电机转子绕组两点接地保护问题 (459)	
第二节	大型汽轮发电机-变压器组继电保护的配置示例	459
第三节	大型水轮发电机-变压器组继电保护配置方案的特点	462

第十二章 并联电抗器保护

第一节	并联电抗器的纵差保护和电流速断保护	463
第二节	并联电抗器匝间和单相接地短路保护	464
	一、电抗器匝间短路时零序功率方向保护的動作分析 (464) 二、电抗器单相接地短路时零序功率方向保护的動作分析 (465) 三、电抗器非全相运行时零序功率方向保护的動作分析 (467) 四、分析结论 (468)	
第三节	过负荷保护及过流后备保护	469
第四节	并联电抗器内部故障的微机保护	469
	一、并联电抗器内部故障微机保护原理 (470) 二、并联电抗器 1 匝短路时的阻抗变化 (471) 三、微机保护中低通滤波器截止频率 f_m 、采样间隔 Δt 、积分区间 T 的优化选择 (471) 四、数字仿真试验结果和動作閾值 ξ_0 的选定 (472)	
第五节	干式空心并联电抗器的保护	473

第十三章 电力电容器保护

第一节	电力电容器的故障起因和后果	474
-----	---------------	-----

第二节	并联补偿电容器的投入暂态分析和故障稳态分析·····	474
	一、并联补偿电容器的投入暂态分析 (475) 二、电容器组内部故障时各种保护参数的稳态分析计算 (476)	
第三节	电容器组内部故障保护·····	476
	一、电容器的熔断器保护 (476) 二、单三角形接线电容器组的零序电流保护 (478) 三、每相两分支 (每分支电容 NC/M)、双三角形接线电容器组的三元件式横差保护 (479) 四、差电压保护 (480) 五、零序电压保护 (481) 六、双星形双电抗器接线中性点零序电压保护 (481) 七、双星形双电抗器接线中性点连线零序电流保护 (482) 八、双星形单电抗器接线中性点连线零序电流保护 (482) 九、桥形接线桥差保护 (或称电桥原理电流平衡保护) (482) 十、电力电容器的不平衡保护 (482)	
第四节	电容器回路相间短路保护·····	489
	一、电流速断保护 (489) 二、过电流保护 (489)	
第五节	系统异常的电容器保护·····	489
	一、过电压保护 (490) 二、低电压保护 (490)	
第六节	电气化铁道用并联补偿电容器组的保护·····	490

第十四章 电动机保护

第一节	电动机故障的形式和起因·····	492
	一、绕组损坏 (492) 二、轴承损坏 (493)	
第二节	电动机保护综述·····	493
	一、绕组保护 (493) 二、供电系统保护 (494) 三、轴承保护 (494)	
第三节	电动机的温度保护·····	495
第四节	电动机的热保护·····	496
	一、电动机的发热与冷却 (496) 二、电动机的过负荷温升及其极限允许值 (497) 三、对电动机过负荷热保护特性的要求 (499) 四、电动机热保护的缺点 (501)	
第五节	温度-电流保护 ·····	502
第六节	电动机的电流保护·····	503
	一、相间短路保护之一——电流速断保护 (503) 二、相间短路保护之二——差动保护 (505) 三、单相接地保护 (508) 四、电动机堵转保护 (509) 五、严重过负荷保护 (510) 六、三相电流不平衡保护 (510)	
第七节	电动机的电压保护·····	511
	一、低电压保护 (511) 二、负序电压保护 (511)	
第八节	采用电、热和机械仿真模型的电动机微机型热保护·····	511
	一、电气模型 (512) 二、热模型 (515) 三、转子热模型参数的改进 (516) 四、机械模型 (517) 五、电动机微机型热保护分析实例 (518)	
第九节	电动机综合保护·····	518

- 一、电动机过热保护的等效电流 I_{eq} (518) 二、过热保护 (520) 三、短路、启动时间过长和堵转保护 (I_1 、 t_1) (521) 四、不对称电流保护 (I_2 、 t_2) (521) 五、接地故障保护 (I_0 、 t_0) (522)

第十五章 抽水蓄能发电-电动机组继电保护

第一节	抽水蓄能电站在电力系统中的意义	523
	一、抽水蓄能电站的特殊功用 (523) 二、抽水蓄能电站的一般知识 (524)	
	三、抽水蓄能电站的经济效益 (527) 四、各国抽水蓄能电站的建设概况 (527)	
第二节	抽水蓄能机组的继电保护	529
	一、抽水蓄能机组继电保护的技术特点 (529) 二、我国抽水蓄能机组保护的实例介绍 (539)	
附录 A	并网运行发电机内部短路计算的多回路分析法	543
附录 B	数字滤波算法	558
附录 C	电力变压器内部短路时阻抗继电器视在阻抗的理论计算实例	560
附录 D	自耦变压器外部单相接地短路计算实例	562
附录 E	水轮发电机定子接地故障的行波分析	566
附录 F	发电机的运行容量 (P - Q) 曲线	573
附录 G	并联补偿电容器的内部故障分析	577
附录 H	LJ 型零序电流互感器	586
附录 I	汽轮发电机定子绕组在定子槽中的分布	587
附录 J	发电机定子绕组内部故障分析计算用原始资料	590
附录 K	保护用电流互感器的选择	592
附录 L	汽轮发电机内部故障分析	597
附录 M	凸极同步发电机定子绕组内部故障瞬态的研究	602
附录 N	变压器绕组内部故障分析计算用原始资料	613
参考文献		615