



中国电力科学研究院科技专著出版基金资助
国际电气工程先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

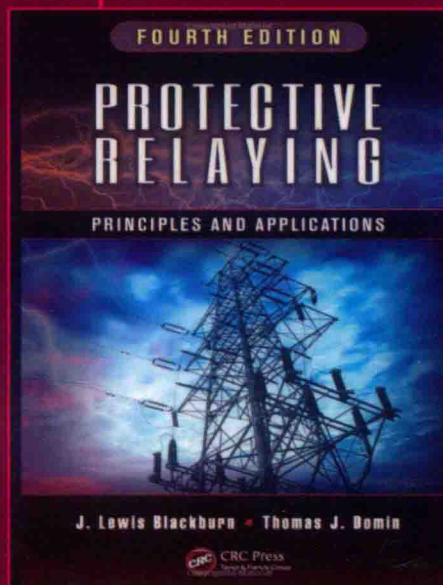
继电保护原理与应用

(原书第4版)

Protective Relaying
Principles and Applications (Fourth Edition)

J. 路易斯·布莱科本 (J. Lewis Blackburn)
[美] 托马斯 J. 多明 (Thomas J. Domin) 著

中国电力科学研究院有限公司继电保护研究所 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中国电力科学研究院科技专著出版基金资助
国际电气工程先进技术译丛

继电保护原理与应用

(原书第4版)

Protective Relaying Principles and Applications (Fourth Edition)

[美] J. 路易斯·布莱科本 (J. Lewis Blackburn) 著
托马斯 J. 多明 (Thomas J. Domin)
中国电力科学研究院有限公司继电保护研究所 译

机械工业出版社

Protective Relaying Principles and Applications 4th Edition / by J. Lewis Blackburn and Thomas J. Domin / ISBN: 9781439888117

Copyright © 2014 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版。版权所有, 侵权必究。

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2015-6189 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

继电保护原理与应用: 原书第 4 版/(美) J. 路易斯·布莱科本 (J. Lewis Blackburn), (美) 托马斯 J. 多明 (Thomas J. Domin) 著; 中国电力科学研究院有限公司继电保护研究所译。—北京: 机械工业出版社, 2017. 12

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Protective Relaying: Principles and Applications (Fourth Edition)

中国电力科学研究院科技专著出版基金资助

ISBN 978-7-111-58364-6

I. ①继… II. ①J… ②托… ③中… III. ①继电保护 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 263136 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 赵玲丽 责任编辑: 赵玲丽 责任校对: 肖琳

封面设计: 马精明 责任印制: 孙炜

北京中兴印刷有限公司印刷

2019 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·36.25 印张·697 千字

0001—2000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-58364-6

定价: 180.00 元



凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

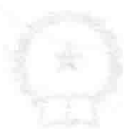
金书网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

本书的内容十分丰富，涵盖了从故障分析的基本方法，到电力系统发电机、变压器、母线、输电线路、电抗器等多种元件的保护技术，以及微机保护、变电站自动化、继电保护性能提升等继电保护专业的多个方面。全书没有繁琐冗长的数学推导和理论计算，而是采用平实的叙述、丰富的实例与图表，为读者构建了一个完整而清晰的继电保护专业技术体系。

本书非常适合继电保护专业的工程师和技术人员在工作中参考使用，也可作为大学水平课程的实践教材使用。



中国电力科学研究院有限公司
继电保护研究所
《继电保护原理与应用》翻译组

组 长 周泽昕

副组长 杨国生 杜丁香 余 越

成 员 (按章节排序)

夏 烨 王志洁 薛志英 曹 虹 王文焕

戴飞扬 药 韬 王丽敏 刘亚东 秦泽宁

王晓阳 李 伟 李 肖 李仲青 陈争光

詹智华 张逸帆 张晓莉 刘龙浩 詹荣荣

审 校 毕天姝 尹项根 和敬涵 王德林 吕鹏飞

刘 宇 晁 晖

译者序

继电保护对电力系统的正常运行起着非常重要的作用。随着电力系统的不断发展,继电保护也发生了很大的变化。

本书的作者结合国外最新的技术发展和管理规定,在第1版之后,又更新出版了第2~4版。考虑到专业技术的普及和推广,中国电力科学研究院有限公司继电保护研究所翻译组选择将这本专著的最新译本奉献给国内广大读者。

本书的内容十分丰富,涵盖了从故障分析的基本方法,到电力系统发电机、变压器、母线、输电线路、电抗器等各种元件的保护技术,以及微机保护、自动化、保护性能提升等继电保护专业的多个方面。全书采用平实的叙述、丰富的实例与图表,为读者构建了一个完整、清晰的继电保护专业技术体系。

随着分布式发电在电力系统的不断渗透,太阳能、风力发电在系统中所占比重日益增大。分布式发电的原理以及与电力系统的接口与同步发电机不同,第4版新增了分布式电源及其联络线保护的相关内容。

数字化设备计算能力的进步、电网通信技术的发展等,为建设更加灵活、智能的保护系统提供了可能。对一些诸如此类的技术发展的讨论也在本书中有所体现。

本书是为继电保护的应用者和实践者编写的。作者拥有几十年电力系统的工作经验,尤其擅长继电保护专业技术。除了详实的理论分析之外,作者还结合自己的工作经验,给出了大量实践算例。本书非常适合继电保护专业的工程师和技术人员在工作中参考使用,也可作为大学水平课程的实践教材。

参与本书翻译的人员全部来自中国电力科学研究院有限公司继电保护研究所。大家利用业余时间,历时两年完成。周泽昕总体负责,杨国生负责前言及第1~7章,杜丁香负责第8~13章,余越负责第14~16章。前言和第1章夏烨译,第2、3章王志洁译,第4章薛志英、曹虹译,第5章王文焕、戴飞扬译,第6章杨国生、药韬译,第7章王丽敏译,第8章刘亚东、秦泽宁译,第9章杜丁香、曹虹译,第10、11章王晓阳、戴飞扬译,第12章李伟、李肖、李仲青译,第13章陈争光译,第14章詹智华译,第15章张逸帆、张晓莉译,第16章余越、刘龙浩、詹荣荣译。为了忠实原著,在翻译过程中,我们对内容基本没有做改动,并尽可能按照中文的习惯进行表述。虽然我们在自己的专业领域有一些研究基础,但是翻译过程中存在的疏漏和差错在所难免,恳请读者批评指正。

本书第1~6章由华北电力大学毕天姝教授审校,第7~9章由华中科技大学

尹项根教授审校，第10~16章由北京交通大学和敬涵教授审校。三位教授在百忙之中抽出时间进行了章节的审校，并对译稿提出了大量修改意见，对此表示诚挚的感谢。感谢国家电力调度控制中心王德林、吕鹏飞、刘宇以及中国电力科学研究院有限公司晁晖对全书的审校，对翻译的成稿提出了许多有益的意见。大家的本职工作不尽相同，但是对继电保护专业的热爱却是一样的。

中国电力科学研究院有限公司继电保护研究所

《继电保护原理与应用》翻译组

2017年7月，北京

第 4 版前言

本书第 4 版加入了一些最近在电力系统保护中日渐重要的新主题。在保护系统的设计、应用、整定和监控中，规程正发挥着越来越重要的作用。本书第 4 版增加了电力系统保护相关规程及其对保护人员执行工作影响的讨论。继电保护在系统扰动工况下的性能受到了越来越多的关注。而对扰动的分析被认为是辅助保护系统设计、校正误差、识别故障设备和位置以及推广应用实践的有效手段。在本书的第 4 版中，加入了关于这个主题以及相应分析工具的讨论。

近年来，以光伏及风力发电为代表的可再生能源分布式发电正不断地渗透到电力系统中。而面向可再生能源分布式发电与面向传统同步发电机的并网设备在原理上显著不同，需要为其设计新的保护系统。对上述新式并网设备的保护系统要求的讨论分析同样加入了本书第 4 版中。

此外，数字化设备计算能力的提高以及电网通信系统功能的完善，为发展更智能、更灵活的继电保护系统创造了大量机会。相关讨论已纳入本书。

本书的核心价值在于为读者提供从入门到精通的电力系统保护领域的基础知识。近年来，尽管电力系统在技术上取得了巨大的进步，但是其分析的基本原理仍未改变。这些基础知识在本书第 4 版中得以保留，并在此基础上，增加了更多实例。应当指出，现阶段电力系统中同时包含老旧的和现代化的设备。因此，我们需要跨越设备年份的专业知识才能支持目前运行的典型电力系统的保护要求。本书第 4 版在保留老旧的设备类型信息的同时，还添加了一些最近开发的新类型装置及其应用的信息。

对于在电力系统继电保护领域工作的工程师以及有兴趣进入电力系统行业的学生，希望本书能够成为一个有用的工具。近年来，科技进步无疑极大地推动了这一领域的活跃性。总会有新东西要学习，有新事物要调查研究，有新挑战要面对。我相信这种趋势会持续到未来。

Thomas J. Domin

第3版前言

本书第3版继电保护包含了自第2版出版后新出现的有关继电保护新发展和新主题的信息。这个时间跨度代表了电力行业内重大技术进步和革命性结构变化的活跃期。这本书的格式类似于以前的版本，它以一种最简洁和最容易理解的方式，保留了 Lewis Blackburn 提出的保护基础的全部范围。我怀着谦卑和敬意承担了更新和拓展 Blackburn 成果的任务。

从技术角度来看，在电力系统的保护和控制中，数字处理设备的开发和应用进步显著。伴随基于微处理器的设备在保护方案中的应用，这个较为传统的研究方向重新焕发生机。近年来，电力工业的内部结构发生了显著变化，彻底改变了电力系统发展方式。本书第3版讨论了相关技术进步给保护功能带来的影响。此外，电网结构和监管的变化也促进了各类发电机在输配电系统中的配置。本书第3版增加了对分布式发电接入点保护要求的相关讨论，也添加了发电机励磁系统中保护系统和限制器的应用。其他增加或显著扩展的内容有：电容器保护、低频减载方案的设计和性能、电压崩溃和缓解、特殊的保护方案、故障和事件记录、故障定位技术以及变压器保护的最新进展。本书中所有资料已进行了相应的审核和更新。

此外，我希望自己在电力系统保护和运行方面的实践经验及个人见解，对读者来说是有益的。这些个人观点是我作为一名中等规模电力公司的保护工程师、一名在全世界许多电力公司担任过顾问的40多年的经验总结。基于上述经验，相信我能够洞察和鉴别许多希望在电力系统保护领域建立背景知识和培养直觉的工程师所面临的重大问题与挑战。本书的见解不止是理论上的，更多的是个人的、实际的，这是为了让本书的内容有一个从现实出发的角度。希望本书有助于把各种保护方法纳入一个更清晰的视角，并提供有用的信息，提高工程师从事高挑战性和高回报性的继电保护领域工作时的有效性。

Thomas J. Domin

第 2 版前言

本书第 2 版是对 1987 年出版的第 1 版继电保护中的许多重要主题的更新与扩展。本书第 2 版的架构类似于第 1 版，但每一章都经过了仔细检查和修改，使阐述材料更加清晰，更新了电力系统继电保护相关研究进展，并增添了应用实例。对发电机保护的章节进行了重新编写，力求反映行业当前的规章制度。许多图片以更紧凑的形式呈现，使其更容易参考。如同第 1 版那样，本书第 2 版的结尾处同样提出了额外的问题，以供进一步研究。我再次尝试以一种简单易懂的方式呈现材料，将重点放在对读者最有用的东西上。我希望本书第 2 版会像第 1 版一样获得好评。

J. Lewis Blackburn

第 1 版前言

继电保护是电力系统中一个重要的组成部分：其作用在系统正常运行过程中难以察觉，但在系统事故、故障、异常扰动的过程中却非常重要。正确使用继电保护可以隔离系统故障区域，从而使其余系统能够继续运行并提供电能。

本书介绍了在电力系统中广泛应用的继电保护装置的基本原理和技术及相应的保护规程。本书的目标是为执业工程师和技术人员提供有用的参考，以及作为电力领域大学水平课程的实践教材。本书包含了正常运行电压在 480V 以上的公用事业和工、商业系统的应用实例。

保护继电器的设计因制造商而异，同时伴随技术进步，其设计也在不断变化。相对独立于其设计及发展趋势，继电保护的应用仍然保持不变。因此，这本书并没有着重强调设计方面。在这一领域，不同制造商的信息会更加详细。

继电保护的专业性强，涉及并要求从业人员具备电力的生产、传输、分配、消耗等所有设备的相关知识。此外，还要能理解系统在正常、故障和异常条件下是如何运行的。因此，继电保护为各个领域的专业研究提供了一个极好的背景，对于系统规划、运行和管理尤为重要。

来自西屋（Westinghouse）公司、美国电气电子工程师学会（IEEE）、国际大电网会议（CIGRE）以及世界各地的许多公共事业和工业公司的 50 年的朋友、同事和学生都直接或间接地促成了这本书。对于他们的贡献和支持表示衷心的感谢。

特别感谢在这个手稿准备期间 Rich Duncan 的热情鼓励和支持。感谢 W. A. Elmore、T. D. Estes、C. H. Griffin、R. E. Hart、C. J. Heffernan 和 H. J. Li 提供的图片和额外的技术帮助。另外，感谢马塞尔·德克尔（Marcel Dekker）公司的 Eileen Gardiner 博士，他对我的工作给予了最耐心的鼓励和支持。

J. Lewis Blackburn

作者简介

Thomas J. Domin 是宾夕法尼亚州的注册专业工程师，拥有着丰富的电力系统工作经验。他的工作背景包括在宾夕法尼亚州电力公司超过 40 年的工作经验，该公司是一家总部设在宾夕法尼亚州阿伦敦的中型电力公司。

他的经验主要是在继电保护领域，重点是对电力系统继电保护设备的应用和调试。他的工作范围包括从高压输电系统到低压配电系统的电力设施，也包括电路保护需求的编制以及电力系统线路、变压器、发电机、电容器、电厂辅助设备和连锁电力网的非公共设施的保护性能分析。他的经验包括继电保护基本原理，标准和规范的编制，继电器和控制逻辑要求的规范，继电保护整定规范的编制以及电力系统的干扰分析。他还研究和分析了发电机励磁控制系统、电压控制、负荷潮流、系统稳定性和系统运行，并一直致力于电力事业扩展规划研究的发展。除了在美国国内电力系统的工作，Thomas J. Domin 还参与了许多涉及电气保护和电力系统运行的国际项目。

目 录

译者序

第 4 版前言

第 3 版前言

第 2 版前言

第 1 版前言

作者简介

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 典型继电器和继电保护系统	4
1.3 典型的电力断路器	7
1.4 术语和设备编号	8
1.5 典型的继电器和断路器接线	13
1.6 保护系统的基本目标	15
1.6.1 可靠性	16
1.6.2 选择性	17
1.6.3 速动性	17
1.6.4 简单性	18
1.6.5 经济性	18
1.6.6 小结	19
1.7 保护系统的影响因素	19
1.7.1 经济性	19
1.7.2 主观性因素	19
1.7.3 切断和输入装置的位置	20
1.7.4 故障指示器	20
1.8 继电器的分类	20
1.8.1 保护继电器	20
1.8.2 调节继电器	21
1.8.3 重合闸、同期检查和同步继电器	21
1.8.4 监测继电器	21
1.8.5 辅助继电器	21
1.8.6 其他继电器的分类	21

1.9 保护继电器的性能	22
1.9.1 正确动作	22
1.9.2 误动作	22
1.9.3 无结论	23
1.9.4 跟踪继电器性能	23
1.10 继电保护原理	23
1.11 有关应用的信息	25
1.11.1 系统配置	25
1.11.2 电力设备的阻抗和接线、系统频率、系统电压和系统相序	25
1.11.3 现有的保护和问题	26
1.11.4 操作程序和实践	26
1.11.5 保护系统设备的重要性	26
1.11.6 系统故障分析	26
1.11.7 最大负载和系统振荡极限	26
1.11.8 电流和电压互感器的位置、接线和比例	26
1.11.9 未来的扩展	27
1.12 电力行业内的结构变化	27
1.13 可靠性和保护标准	28
1.13.1 监管机构	29
参考文献	30
 第2章 基本单位: 标么值和百分值	 33
2.1 引言	33
2.2 标么值和百分值的定义	33
2.3 标么值和百分值的优势	34
2.4 电路参数之间的基本关系	34
2.5 基准值	36
2.6 阻抗标么值和百分值之间的关系	36
2.7 变压器单元的阻抗标么值和百分值	38
2.8 发电机的阻抗标么值和百分值	39
2.9 架空线的阻抗标么值和百分值	40
2.10 标么值(百分值)向不同基准值的转换	41
2.10.1 示例: 采用式(2.34)进行基准值转换	42
2.10.2 示例: 采用式(2.33)进行基准值转换	42
参考文献	43
 第3章 相量和极性	 44
3.1 引言	44

3.2 相量	44
3.2.1 相量表示	44
3.2.2 正弦量相量图	45
3.2.3 组合相量	46
3.2.4 相量图需附电路图	46
3.2.5 电流、电压命名法	46
3.2.6 相量图	48
3.3 三相对称电力系统的电路图和相量图	48
3.4 相量旋转和相位旋转	50
3.5 极性	50
3.5.1 变压器极性	50
3.5.2 继电器极性	52
3.6 极性应用于相故障方向判别	54
3.7 接地故障的方向判别: 极化电压	56
3.8 接地故障的方向判别: 极化电流	58
3.9 其他类型的方向判别接线方式	59
3.10 方向继电器的应用	60
3.11 本章小结	61
 第4章 对称分量法	 62
4.1 引言	62
4.2 正序分量	63
4.3 简化表示法	63
4.4 负序分量	63
4.5 零序分量	64
4.6 通用公式	64
4.7 序阻抗	65
4.8 正序电源	66
4.9 序网络	68
4.9.1 正序网络	68
4.9.2 负序网络	70
4.9.3 零序网络	71
4.9.4 序网络的简化	73
4.10 横向故障的序网连接	74
4.10.1 故障阻抗	74
4.10.2 变电站和杆塔的接地电阻	75
4.10.3 三相短路的序网连接	75
4.10.4 单相接地短路的序网连接	75

4.10.5	两相短路的序网连接	77
4.10.6	两相接地短路的序网连接	77
4.10.7	横向故障中其他元件的序网连接	78
4.11	算例分析:图4.16所示典型系统的故障计算	79
4.11.1	母线G处三相短路	81
4.11.2	母线G处单相接地短路	81
4.12	算例分析:自耦变压器的故障计算	82
4.13	算例分析:断相故障	86
4.14	算例分析:单相断相且一侧接地	88
4.15	纵向故障同时有其他故障	89
4.16	本章综述	90
4.16.1	横向故障的电压与电流相量	90
4.16.2	故障时系统中的电压分布	91
4.16.3	环网中单相接地时非故障相中的不平衡电流	93
4.16.4	不同故障条件下的电压、电流相量	95
4.17	本章小结	97
	参考文献	98
附录4.1	短路容量与等效阻抗	99
附录4.2	变压器(组)等效阻抗与序网连接	101
附录4.3	Y- Δ 联结变压器序分量的相移	107
附录4.4	架空线的阻抗	110
附录4.5	变压器的零序阻抗	123
第5章 继电保护的输入源		126
5.1	引言	126
5.2	电流互感器和电压互感器的等效电路	128
5.3	CT在保护系统中的应用	129
5.4	CT在交流对称分量上的性能	130
5.4.1	经典分析方法	130
5.4.2	CT特性曲线分析方法	131
5.4.3	ANSI/IEEE标准准确度等级	131
5.4.4	IEC的准确度等级标准	134
5.5	故障时的二次侧负荷	134
5.6	CT的选取和相故障时性能评估	136
5.6.1	单相设备的CT电流比	136
5.6.2	相过电流继电器抽头的选择	136
5.6.3	确定二次侧连接的总负荷	136
5.6.4	采用ANSI/IEEE标准确定CT的性能	137

5.7 接地继电器的性能评估	139
5.8 未通电 CT 对性能的影响	140
5.9 通量和电流互感器	141
5.10 直流分量对 CT 性能的影响	142
5.11 总结: CT 性能评估	143
5.11.1 由 CT 特性和二次侧负荷引起的对称交流电流输入饱和	143
5.11.2 由一次侧交流电流引起的直流补偿电流导致的饱和	144
5.12 CT 的剩磁和暂态过程	145
5.13 CT 二次回路中的辅助电流互感器	146
5.14 保护应用中的电压互感器	147
5.15 光学传感器	148
参考文献	149
第 6 章 保护的基本原理和基本设计原则	150
6.1 引言	150
6.2 差动原理	150
6.3 过电流、距离保护和保护的基本问题	152
6.3.1 时间方案	153
6.3.2 通信方案	154
6.4 后备保护: 远后备保护和近后备保护	154
6.5 基本设计原则	155
6.5.1 限时过电流保护	155
6.5.2 电流-电压速断继电器	157
6.5.3 方向传感功率继电器	158
6.5.4 极性元件	158
6.5.5 相间距离继电器	159
6.5.6 $R-X$ 图	160
6.5.7 姆欧特征	160
6.5.8 单相姆欧元件	163
6.5.9 多相姆欧元件	164
6.5.10 其他姆欧元件	165
6.5.11 电抗元件	167
6.6 接地距离继电器	167
6.7 固态微处理器继电器	168
6.8 本章小结	170
参考文献	170
第 7 章 系统接地原理	171
7.1 引言	171