



国际电气工程先进技术译丛

配电网保护

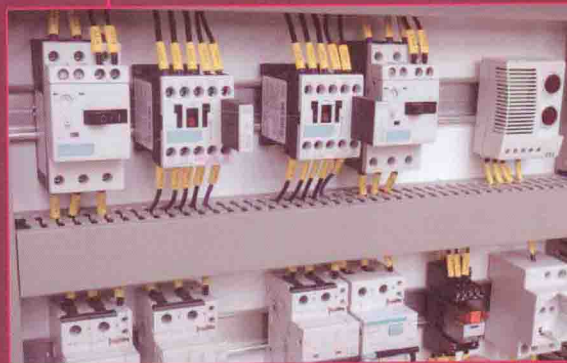
(原书第3版)

Protection of Electricity Distribution Networks
3rd Edition

[美] 胡安 M. 赫尔斯 (Juan M.Gers) 著
[英] 爱德华 J. 霍姆斯 (Edward J.Holmes) 著
郭丽萍 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

配电网保护

(原书第3版)

[美] 胡安 M. 赫尔斯 (Juan M. Gers)

[英] 爱德华 J. 霍姆斯 (Edward J. Holmes)

郭丽萍

著

等译



机械工业出版社

本书内容广泛,详细介绍了配电网络保护的理论和主要方法,并结合当前配电网络的最新发展趋势,对数字继电器、电力系统自动化的通信网络等进行了讨论。本书共14章,覆盖了电力系统配电网的各个部分:第1~3章介绍了继电保护的基本原理;第4~9章详细探讨了配电网中各种继电保护的整定方法和配合;第10、11章着重介绍了工业系统的保护;第12章主要讨论了变电站的保护方案;第13章则介绍了最新的电力系统通信协议标准 IEC 61850;第14章主要介绍了系统的保护的安装、测试和维护。

本书可供国内供电企业、科研部门从事配电网络保护设计的工程技术人员和科研人员使用,也可作为高等院校相关专业大学生、研究生、老师的参考用书。

Original English Language Edition published by The IET, Copyright© 2011, All Rights Reserved.

本书中文简体字版由 IET 授权机械工业出版社独家出版,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。版权所有,侵权必究。

北京市版权局著作权合同登记图字:01-2013-3788号。

图书在版编目(CIP)数据

配电网保护:第3版/(美)赫尔斯(Hers, J. M.), (英)霍姆斯(Holmes, E. J.)著;郭丽萍等译. —北京:机械工业出版社, 2015.3

(国际电气工程先进技术译丛)
书名原文:Protection of electricity distribution networks, 3rd edition
ISBN 978-7-111-49063-0

I. ①配… II. ①赫…②霍…③郭… III. ①配电系统-继电保护 IV. ①TM727

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第311789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:王欢 责任编辑:王欢

责任校对:肖琳 封面设计:马精明

责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2015年2月第1版第1次印刷

169mm×239mm·18.5印张·363千字

0001—2500册

标准书号:ISBN 978-7-111-49063-0

定价:78.80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

服务咨询热线:(010)88361066

读者购书热线:(010)68326294

(010)88379203

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

译者序

配电网保护对于电网的正常运行起着至关重要的作用。而伴随着智能电网的推进，配电网保护也发生了很多的变化，受到越来越多的关注。

本书的两位作者在前两版的基础上，结合国外最新的技术发展，于2011年出版了本书。而我有幸可以尽我所能，将最新的译本奉献给读者。

本书覆盖了配电网保护的各个方面，从继保的基本原理、短路电流的计算、保护器件、整定方法，到最新的通信网络技术，以及实际应用中保护系统的安装、测试和维护。本书可供国内供电企业、科研部门从事配电网保护设计的工程技术人员和科研人员使用，也可作为高等院校相关专业大学生、研究生、老师的参考用书。

书中采用了大量实际工作中的案例和图示，能够为规划、设计及维护人员提供有价值的素材，尤其是那些从事配电系统保护整定和设计的工作人员。

考虑到计算机技术、通信技术等的快速发展和应用，本书新增了数字继电器、IEC 61850等最新的技术内容。结合书中继电保护（简称继保）的基本原理，读者可以更好地理解相关的内容。

本书是为应用者准备的，全书避免了烦琐的数学推导，采用深入浅出、循序渐进的方法系统地介绍了配电网的保护知识。本书叙述严谨、基础坚实、实例与图表丰富，便于读者理解与掌握。

在本书中，作者安排了大量的习题，这些详细的案例和习题，有助于读者快速理解和掌握相关内容。为方便读者自学，本书附录给出了所有习题的完整答案。

本书主要由郭丽萍负责翻译和整理，由高宁进行审校，参与本书翻译工作的还有崔丽波、赵大海、黄伟明、杨靖、朱文翔、李明、王磊、张崑、杨林。为了忠实原著，在翻译过程中对内容基本没做任何改动，并尽可能按照中文的文字习惯进行翻译。

我的本职工作主要涉及输配电产品的检测，虽然对配电保护比较熟悉，但本书的疏漏和差错在所难免，恳请读者批评指正。

此外，要特别感谢杨自佑老师的鼓励和崔强老师的推荐，以及来自家庭的支持，让我得以顺利完成本书的翻译。在此表示衷心的感谢。

郭丽萍

2014年12月于上海

原书第3版序

继电保护的基本原理一直以来都是一样的，但是软件、硬件和通信技术的发展极其迅速。这些技术都已经被引入了保护系统，并起着积极的作用，尤其在提高继电保护的可靠性和快速性方面。

全世界所有的电力公司都非常重视配电系统，因为它们的服务质量很大程度上取决于最终的运行状况。而继电保护对于配电系统的正常运行起着至关重要的作用，继保必须始终动作可靠、快速和有选择性。非常有趣的是，和所有计算机相关的电子设备一样，继电器价格已经大幅下降。当然，随着计算机技术的发展，现代的继电器也发生了巨大的改变。

为了实现配电网自动化，配电系统中增加了很多的设备，而继电器必须要适应目前可能有着多种方式的网络结构。适应性准则是很好的解决方法。但这要求对所有的运行方式进行研究，才能进行正确的继电保护整定。配电网继保整定变得更为有趣，但更为复杂和费时。

本书第3版对于继保基本原理方面的内容没有大的改动，但是在新技术应用方面增加了很多内容。为了增加可读性，以及方便与前两个版本内容进行对比，在章节安排上没有大的改动。另外，删除了“警报处理”部分，取而代之的是第13章“电力系统自动化的通信网络”，详细介绍了标准 IEC 61850。

很遗憾的是，我们的老朋友 Holmes 因病没能参与第3版的准备工作。我仍然非常怀念我们一起准备本书前两版的时光。那时，我们经常进行长时间且卓有成效的讨论。尽管如此，本书的基本理念和技术水平并没有因此而有一丝的改变。

首先要特别感谢 James Ariza 在通信网络这一章对我们的帮助，感谢 Cesar Gallego 在多个课题方面的建议，Francisco Pacheco 认真细致的制图，Francia Solis 对材料整体组织上的帮助，以及 GERS 公司的同事们长期以来在保护系统领域做出的贡献。

我还要感谢 IET 出版社对我们的信任，特别是 Lisa Reading 对新版的热情支持，以及 S. Ramya 对文字的细致修改。

最后，要始终感谢我的妻子 Pilar 和 Ted 的妻子 Maggie 长期以来对我们工作的理解和支持。

J. M. Gers

Weston, 佛罗里达州, 美国

jmgers@gersusa.com

原书第 2 版序

距离本书第 1 版发行已经有 6 年了。这 6 年里，继电保护设计发生了翻天覆地的变化。强大的数学算法和数字技术的进一步发展，大大拓宽了保护系统的含义和范围。最新的继保装置除了具备传统的保护功能以外，同时还将控制、测量、记录、警报等功能集于一身。此外，新的继保装置还配有良好的通信设备，使它们几乎可以应用于所有的自动化系统。因此，现代的继保装置保护功能更为强大，而且通过编程，现代的继保装置可以根据系统拓扑结构和操作方式的变化而自动调整，并互相配合。

本书的第 3 章和第 5 章对数字继电器进行了详细的介绍。第 12 章，保护设计方面的内容也根据新技术的发展进行了更新。而最后一章关于试验步骤的内容中增加了很多数字保护的内容。

我们对第 1 版中很多章节的内容也都进行了修改，并且增加了“警报处理”的内容。因为大量的警报信息会由电力系统网络进入控制中心，如何高效快速地处理这些警报信息，与整个系统故障处理的速度有着密切的关系。在此，非常感谢斯特拉斯克莱德（strathclyde）大学（位于苏格兰的格拉斯哥市）的 K. L. Lo 教授在警报处理内容方面对我们的有力帮助。

最后，要再次感谢我们各自的妻子 Pilar 和 Maggie 对我们工作的支持。

J. M. Gers

Weston, 佛罗里达州, 美国

jmgers@gersusa.com

E. J. Holmes

Stourbridge, 英格兰, 英国

ejholmes@compuserve.com

原书第 1 版序和感谢

电源质量对于社会经济发展的任何一个领域来说，都是极其重要的。客户停电时间的 75% 都是由于配电网故障引起的，客户当然期望拥有安全而稳定的电源供给。尽管通过配电网设计优化并使用优质的设备，可以获得安全而稳定的电源，但是合理的继电保护配置和整定也是必要的。因为这样可以确保快速切除故障，尽可能缩短停电时间，并改善电源供给的连续性。

基于上述的想法，笔者完成了本书，为专业工程师或学生提供参考。在本书中，笔者采用了很多实际工作中的案例，希望这些详细的案例和练习，能够为规划、设计及维护人员提供有价值的素材，尤其是那些从事配电系统保护整定和设计的工作人员。

Gers 先生提供了本书的原始资料，原为西班牙文，由 Holmes 先生将其翻译为英文。然后，基于原始资料，笔者大大扩展了主要的内容，并加入很多最新的信息。在完成本书的过程中，有着不同背景和经历的两作者，经常进行讨论，使本书在“配电网保护”这个主题上有着更为深入的思考。

我们要感谢哥伦比亚瓦尔（Valle）大学和哥伦比亚科学院（COLCIENCIAS）的资助；还有英国文化协会长期以来对科研院所之间交流访问的支持；在初稿阶段 C. Delgado 先生提出了极其有价值的建议，GERS 公司的同事提供了有力的支持和帮助。我们还要感谢 F. Pacheco 负责制图，斯特莱斯克莱德大学的 K. L. Lo 教授给我们的指导，Stephen 和 Philip Holmes 无私分享他们的计算机专业知识。此外，还要特别感谢给予我们资料的各个机构，这些资料对我们帮助极大。最后，还要感谢我们各自的妻子 Pilar 和 Maggie，四年来对我们的理解和支持。

J. M. Gers

Cali, 哥伦比亚

gers@cali.cetcol.net.co

E. J. Holmes

Stourbridge, 英格兰, 英国

ejholmes@compuserve.com

目 录

译者序

原书第3版序

原书第2版序

原书第1版序和感谢

第1章 绪论	1
1.1 概况	1
1.2 电力系统基础知识	1
1.3 保护要求	3
1.4 保护范围	4
1.5 主保护和后备保护	5
1.5.1 主保护	5
1.5.2 后备保护	5
1.6 方向保护	6
1.7 习题	7
第2章 短路电流的计算	9
2.1 短路电流计算模型	9
2.1.1 系统阻抗影响	9
2.1.2 旋转电机的影响	11
2.1.3 故障种类	12
2.1.4 故障电流计算	13
2.2 计算短路电流的方法	15
2.2.1 各序网络的构建和重要性	18
2.2.2 使用对称分量法进行不对称故障计算	20
2.2.3 电力系统等效阻抗	20
2.3 保护系统的电流和电压信号	21
2.4 用计算机进行故障计算	22
第3章 继电器的类别和功能	24
3.1 分类	24

VIII 配电网保护

3.1.1 按结构分类	24
3.1.2 按输入信号分类	24
3.1.3 按功能分类	24
3.1.4 电气继电器的国际分类	25
3.2 电磁继电器	26
3.2.1 吸引继电器	26
3.2.2 带移动线圈的继电器	27
3.2.3 感应继电器	27
3.3 保护继电器的发展	31
3.4 数字保护	31
3.4.1 概述	31
3.4.2 数字继电器的特点	31
3.4.3 数字继电器的典型结构	32
3.4.4 数字继电器的标准功能	33
3.5 继电器供电	34
第4章 电流互感器和电压互感器	35
4.1 电压互感器	35
4.1.1 等效电路	35
4.1.2 误差	35
4.1.3 负载	36
4.1.4 电压互感器的选择	37
4.1.5 电容式电压互感器	37
4.2 电流互感器	39
4.2.1 等效电路	39
4.2.2 误差	40
4.2.3 交流饱和	41
4.2.4 负载	41
4.2.5 电流互感器的选择	44
4.2.6 ANSI 标准定义的准确级	45
4.2.7 直流饱和	46
4.2.8 使用电流互感器的注意事项	47
第5章 过电流保护	49
5.1 简述	49
5.2 过电流继电器种类	49

5.2.1 固定电流值继电器	49
5.2.2 定时限/定电流继电器或定时限继电器	51
5.2.3 反时限继电器	52
5.3 过电流继电器整定	52
5.3.1 速断单元整定	52
5.3.2 保护变电站间连接线路的速断单元覆盖范围	53
5.3.3 延时过电流继电器参数整定	54
5.4 继电器配合的限制条件	58
5.4.1 最小短路电流水平	58
5.4.2 发热限制	59
5.4.3 启动电流值	61
5.5 与 Dy 联结变压器的配合	69
5.5.1 三相短路故障	70
5.5.2 相间短路故障	70
5.5.3 单相接地故障	71
5.6 与熔断器的配合	78
5.7 与负序单元的配合	78
5.8 带电压控制的过电流继电器	79
5.9 用软件技术设置过电流继电器	80
5.10 数字继电器中数字逻辑的使用	81
5.10.1 简述	81
5.10.2 数字逻辑基础	81
5.10.3 逻辑关系图	82
5.11 群组整定变化的适应性保护	84
5.12 习题	85
第 6 章 熔断器、重合闸和分段器	89
6.1 设备	89
6.1.1 重合闸	89
6.1.2 分段器	92
6.1.3 熔断器	92
6.2 配电系统的时间/电流设备的配合原则	94
6.2.1 熔断器-熔断器的配合	95
6.2.2 重合闸-熔断器的配合	95
6.2.3 重合闸-重合闸的配合	98
6.2.4 重合闸-继电器的配合	98

X 配电网保护

6.2.5 重合闸-分段器的配合	99
6.2.6 重合闸-分段器-熔断器的配合	99
第7章 方向过电流继电器	102
7.1 结构	102
7.2 动作原则	103
7.3 继电器的连接	103
7.3.1 30°连接 (0°AMT)	103
7.3.2 60°连接 (0°AMT)	104
7.3.3 90°连接 (30°AMT)	105
7.3.4 90°连接 (45°AMT)	105
7.4 接地故障方向继电器	106
7.5 速断单元的配合	111
7.6 方向过电流延时继电器的整定	114
7.6.1 启动电流整定	114
7.6.2 时间刻度整定	114
7.7 习题	119
第8章 差动保护	121
8.1 概述	121
8.2 差动保护的分类	123
8.3 变压器差动保护	123
8.3.1 基本因素	124
8.3.2 CT的选择和连接	125
8.3.3 接地故障时差动继电器保护的绕组的百分比	130
8.3.4 确定斜率	131
8.3.5 电力变压器中的故障电流分布	132
8.4 发电机和旋转电机的差动保护	134
8.5 线路差动保护	137
8.6 母线差动保护	138
8.6.1 多个制动线圈的差动保护系统	138
8.6.2 高阻抗差动系统	138
8.7 习题	140
第9章 距离保护	142
9.1 概述	142

9.2 距离继电器的种类	142
9.2.1 阻抗继电器	144
9.2.2 方向继电器	146
9.2.3 感抗继电器	147
9.2.4 姆欧继电器	148
9.2.5 完全极化的姆欧继电器	149
9.2.6 透镜特性的继电器	150
9.2.7 多边形特性的继电器	150
9.2.8 混合特性继电器	150
9.3 整定距离继电器的保护范围和动作时间	151
9.4 距离继电器馈入电流的影响	154
9.5 距离保护中的弧阻影响	158
9.6 剩余补偿	159
9.7 距离继电器测得的阻抗	159
9.7.1 相单元	159
9.7.2 接地故障单元	160
9.8 电力系统振荡	160
9.9 距离继电器的有效保护范围	163
9.10 最大负载检查	164
9.10.1 姆欧继电器	164
9.10.2 多边形特性的继电器	165
9.11 画出继电器整定值	165
9.12 联锁跳闸	174
9.12.1 欠范围直接跳闸	174
9.12.2 允许的欠范围联锁跳闸	174
9.12.3 允许的超范围联锁跳闸	175
9.13 在串联补偿线路中的距离继电器	175
9.14 在 T 形回路中距离保护的考虑因素	177
9.14.1 两个端口有馈入电流的 T 形回路	177
9.14.2 所有三个端口都有馈入电流的 T 形回路	179
9.15 采用距离继电器发现发电机励磁故障	179
9.16 习题	181
第 10 章 工业系统的保护	184
10.1 保护设备	184
10.1.1 过电流继电器	184

XII 配电网保护

10.1.2 普通断路器和塑壳断路器的直接动作器件	184
10.1.3 热继电器、接触器和熔断器组合使用	184
10.2 电机相关过电流保护的整定原则	185
10.2.1 热继电器	185
10.2.2 低压断路器	186
第 11 章 工业负载切除系统	194
11.1 失电后的系统运行	194
11.2 自动减载系统的设计	195
11.2.1 简单发电机模型	195
11.2.2 建立减载系统的参数	195
11.3 整定频率继电器的原则	196
11.3.1 动作时间	196
11.3.2 确定频率波动	197
11.4 计算和整定某工厂的频率继电器的案例	197
11.4.1 过载计算	197
11.4.2 需要切除的负载	197
11.4.3 频率水平	197
11.4.4 负载切除阶段	197
11.4.5 确定频率继电器整定值	199
11.4.6 动作的验证	201
第 12 章 保护方案和变电站设计图	204
12.1 保护方案	204
12.1.1 发电机保护	204
12.1.2 电动机保护	205
12.1.3 变压器保护	209
12.1.4 线路保护	212
12.2 变电站设计图	213
12.2.1 单线图	214
12.2.2 变电站布置图	214
12.2.3 交流连接图	215
12.2.4 直流连接图	215
12.2.5 接线图	216
12.2.6 逻辑图	216
12.2.7 电缆列表	216

第 13 章 电力系统自动化的通信网络	218
13.1 IEC 61850 概述	219
13.2 IEC 61850 的内容和特点	220
13.3 系统配置语言	224
13.4 IEC 61850 设备测试的问题	225
13.5 GOOSE 信息的配置和验证	227
13.5.1 系统配置	229
13.5.2 系统验证试验	229
13.6 变电站 IT 网络	229
13.7 过程总线	230
第 14 章 保护系统的安装、测试和维护	231
14.1 保护设备的安装	231
14.2 测试保护方案	232
14.2.1 工厂测试	233
14.2.2 安装前测试	233
14.2.3 周期性维护	237
14.3 安装数字保护	238
14.3.1 设置参数	238
14.3.2 运行测试	239
附录 习题答案	242
参考文献	277

第 1 章 绪 论

1.1 概况

随着社会对电的依赖与日俱增，无论是在发展中国家还是发达国家，如何用较低的成本获得相对可靠、优质及安全的电源，对于所有的客户来说都是非常关键的。对于任何供电系统，合理的设计和规范的维护都是至关重要的，因为这样可以限制可能发生的故障数量。

配电网络中有很多辅助设备，这些设备的主要作用就是使电源满足安全、可靠、优质的要求。而其中最重要的就是保护系统，保护系统主要用来切除故障和限制故障对配电网的伤害。雷电、绝缘老化、人为破坏、树枝、动物接触电路网络等，是常见的故障原因。大部分的故障都是暂时的，不用停止供电就可以清除，或者只是极短时间的断电。但是永久性的故障会造成长时间的停电。因此，为了减小停电损失，所有的线路和电力设备都要安装可靠适合的保护装置。继保装置可以隔离网络中的故障段，使系统中其他部分正常供电。这样，用户就可以获得持续和优质的电源。

合理配置的保护装置，对于确保配电网的安全是至关重要的，包括电网中的各个设备、工作人员、公共设施及整个网络。保护装置的自动运行是很有必要的，因为这样可以快速隔离故障点并最大限度地降低损失。装置的成本和实际的益处也是必须认真考虑的，以便在允许的成本范围内设计最佳的保护方案。此外，如何减少供电不足的损失也受到了越来越多的关注。

在所有的供电网络中，继保装置必须遵循以下的基本原则。在发生故障或异常情况时，保护系统必须立即发现故障以便将其隔离，由此保证电网其他部分可以正常供电，并尽可能防止其他设备受到破坏。被隔离的设备数量应尽可能少。保护装置必须具有高灵敏度，在最小故障参数情况下可靠动作，而在相关设备最大额定电流（可能仅为短时）情况下不动作。保护装置还必须动作快速及可靠，以快速切除故障并最大程度减小故障对设备的损害。在多数系统中都采用了后备保护以提高保护系统的可靠性，因为后备保护在主保护失效时动作。在一些电网中，仍然还在使用电磁继电器，但是其整体的趋势是终将被微机 and 数字继电器所取代，尤其是在更为复杂的保护系统中。

1.2 电力系统基础知识

任何供电系统的主要目标都是满足所有客户的需求，为其提供电能。无论是否

以最合理的价格卖出，电厂总是要发电的。输电系统用来将大量的电能传输至主要的负荷中心，配电系统将具有合适的电压水平的电能供给最终的用户。远距离传输大量的电能要采用超高压（Extra High Voltage, EHV）系统，有时也称作一次输电系统。这些系统额定电压在 300kV 以上，常见的为 400kV、500kV、765kV。

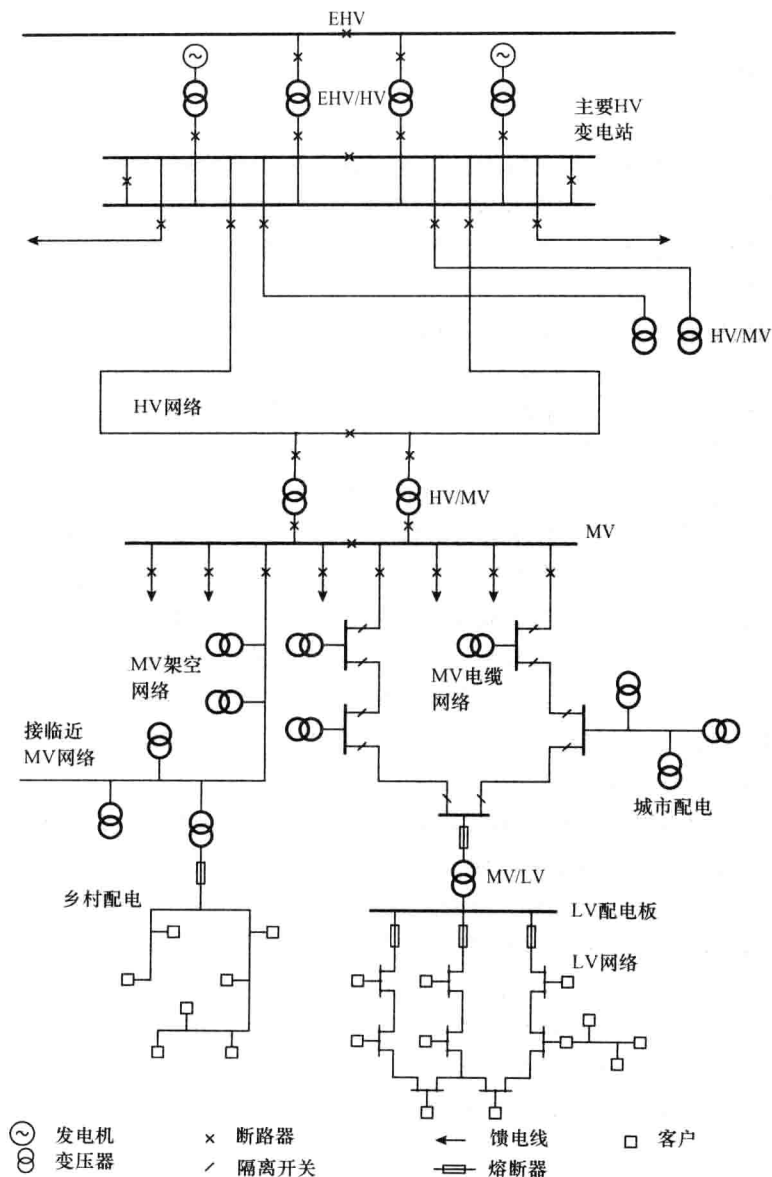


图 1.1 EHV/HV/MV/LV 网络布置 (LAKERVI, E. , and HOLMES, E. J. : “Electricity distribution network design”, Peter Peregrinus, 1995, 2nd Edn. ; revised 2003)

高压 (High Voltage, HV) 输电网络在一定范围内传输大量的电能, 这些网络可以各自独立运行也可以互相关联。在一个输电网络里, 可以有 2 种或 3 种配电电压, 以满足不同用户的需求。一般来说, 中压 (Medium Voltage, MV) 和低压 (Low Voltage, LV) 网络呈辐射状分布。

图 1.1 所示的 EHV/HV/MV/LV 网络布置说明了各种网络间的联系。HV 网络由 EHV/HV 变电站供电, 而 EHV/HV 变电站由 EHV 线路供电。HV/MV 变电站位于 HV 网络附近, 为 MV 网络供电。HV 和 MV 网络可直接为大客户供电, 而对于绝大多数的客户, 由 HV 和 MV 网络通过 MV/LV 配电变电站和相关网络, 为其提供低压电源, 如图 1.2 所示。

1.3 保护要求

所有电力系统的保护设计都必须考虑以下基本原则:

1. 可靠性, 即保护装置可正常动作。这包含两个含义——稳定性和安全性。即, 在其保护范围内发生故障时可以正常动作, 而保护范围外发生故障时不会误动。

2. 速动性, 以最短时间切除故障, 以避免故障对设备造成破坏。

3. 选择性, 隔离最小范围的故障段, 保持持续供电。

4. 经济性, 以最低的代价获得最完善的保护。

实际上, 保护系统不可能同时满足以上所有的原则, 所以不可避免地要有一个折中的最佳方案。

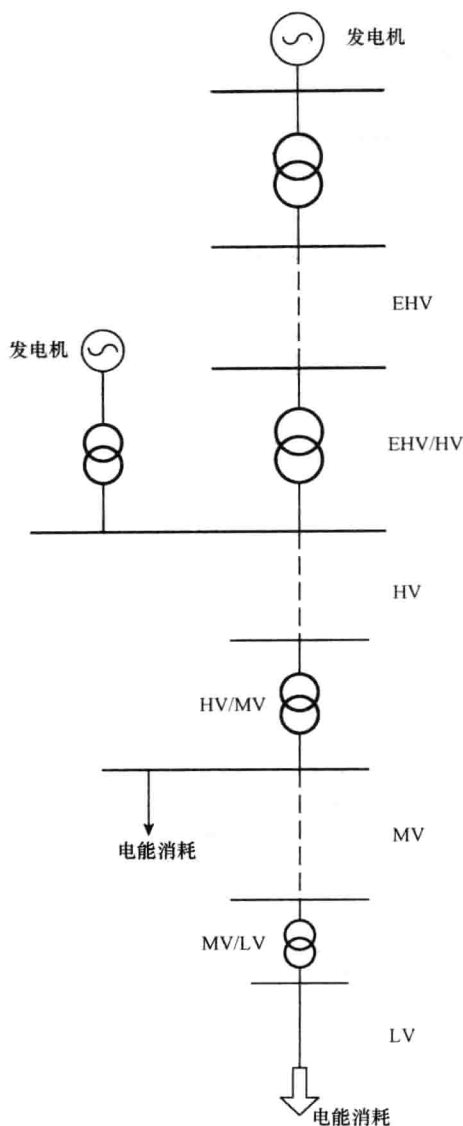


图 1.2 输配电系统块状图 (LAKERVI, E., and HOLMES, E. J.: “Electricity distribution network design”, Peter Peregrinus, 1995, 2nd Edn.; revised 2003)