

由英国电气工程协会授予翻译权



配电网规划与设计

Electricity distribution network design(2nd Edition)

©1995: Peter Peregrinus Ltd.

E.Lakervi E.J.Holmes 著

范明天 张祖平 岳宗斌 译

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是几十年来世界范围内有关配电网规划与设计的第一本专著。本书内容广泛,重点介绍了配电网规划和设计的基本理论和主要方法,并从技术和经济两方面,结合当前配电网的发展趋势,对配电网规划与设计中的设备和结构优化、电压特性分析、可靠性分析、特殊负荷的处理、AM/FM和GIS系统在配电网规划中的应用,以及规划配电网时要更多地考虑环境保护及与环境协调问题等进行了论述。

本书反映了国际上配电网设计理论与实践的最新成果,对我国在配电网理论和工程实践方面向国际先进水平接轨,使国内配电网的改造工作更加科学化具有一定的参考价值 and 指导作用,从而让有限的投资发挥最大的经济效益和社会效益。本书可作为国内供电企业、科研部门从事配电网规划设计的工程技术人员和科研人员,以及大学生、研究生等的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

配电网规划与设计/(芬兰)拉可维(Lakervi, E.),
(英)霍曼斯(Holmes, E. J.)著;范明天等译. —北京:中国
电力出版社, 1999

ISBN 7-5083-0032-7

I. 配… I. ①拉… ②霍… ③范… II. ①配电系统-电
力系统规划 ②配电系统-设计 IV. TM715

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第16869号

著作权合同登记号 图字:01—98—2113号

原 出 版 说 明

作者和出版社认为本书给出的信息和原则是正确的,但是所有使用本书的各方还必须依据自身的经验和判断。无论何人使用本书时由于错误和忽略所造成的损失和损害,作者和出版社不承担经济责任。

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>)

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1999年8月第一版 1999年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 14.5印张 350千字

印数 0001—4000册 定价 25.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

中 文 版 序

欧洲最早的公共电力是 100 多年前分别由当地的一些市政或私营公司以不同的电压和频率提供的。20 世纪 30 年代开始采用标准的电压和频率实现高压互联,从而改善了用户的用电可靠性。20 年后的 50 年代,欧洲电力系统通过 250kV 以上的超高压网络得到了进一步的加强。

因此,一个世纪以来,欧洲电力系统为了满足用户不断增长的各种新的需求,在不断改善系统特性以及采用安全标准的前提下,开发了许多新的配电系统元件,使得设备变得越来越有效。以计算机技术为基础的各种保护设备的使用,以及规划技术的进展已经极大地改善了系统的可靠性,计算机技术的深入应用已经改变了配电系统的整个规划和设计过程,而且技术方面的各种新进步也给规划工程师提供了用以改进系统效率的手段。这些技术进步也已经在非洲、亚洲和南美等发展中国家得到了应用。

本书是英国出版的第一本致力于现代配电系统规划与设计的专著。配电系统的形成意味着巨额的投资。为了对投资进行理性的决策,在考虑进行网络改造时,供电企业必须形成明确的网络设计政策,这种政策能够综合考虑费用和效益之间的关系,并采用最科学合理的设计过程。本书的大部分信息来源于作者 Lakervi 和 Holmes 的理论和实践知识。

随着电力负荷的迅速发展,目前中国的城乡配电系统也亟需进行新的改造,以避免出现过负荷的情况。为此,出版合适的中文技术书籍,以配合中国城乡的配电系统改造工作是很必要的,所以将本书从英文翻译成中文是一件非常有意义的工作。在本书的翻译过程中,我们与范明天博士和她的同事们交换了许多看法,不仅涉及技术方面的内容,也涉及由于英中两种语言不同的差异问题。

本书并非局限于一个国家的实践经验,它对其他国家电力专业的大学生、研究生,以及从事配电系统设计和管理的企业工作人员和咨询人员均有参考价值。我们很高兴参加这项合作出版工作,并感谢我们的中国同事,感谢他们将本书翻译成中文所作的一切努力。我们也希望所有的读者都会发现本书的有用之处。

E. J. Holmes

Stourbridge

英格兰

ejholmes@compuserve.com

E. Lakervi

赫尔辛基技术大学

芬兰

Erkki.Lakervi@hut.fi

1999 年 7 月

目 录

中文版序

第2版序

译者序

第1章 电力的供应	1
1.1 发电、输电和配电	1
1.2 电力供应的组织	5
1.3 配电系统	7
1.4 供电需求	9
1.5 网络接线方式	10
1.6 辅助系统	12
第2章 配电网规划	13
2.1 规划的基本思路	13
2.2 规划的各种目标	13
2.3 规划中工程和经济的结合	14
2.4 现有系统对规划的影响	15
2.5 各种发展趋势对规划的影响	16
2.6 制定长期规划的要点	16
2.7 参考文献	17
第3章 技术基础	18
3.1 概述	18
3.2 网络元件模型	18
3.2.1 元件	18
3.2.2 阻抗归算	19
3.2.3 标么值	20
3.3 潮流和损耗	21
3.3.1 潮流	21
3.3.2 损耗	22
3.3.3 负荷率和损耗因数	23
3.3.4 热效应	24
3.4 电压降	25
3.5 系统接地	26
3.5.1 概述	26
3.5.2 危及人身安全的电压	26
3.5.3 中性点接地方式	27
3.5.4 直接接地	27
3.5.5 经阻抗接地	28

3.5.6 经消弧线圈接地	28	6.2.5 不对称负荷	70
3.5.7 中性点不接地	28	6.3 架空线路	72
3.5.8 低压系统的保护性接地	29	6.4 地下电缆	75
3.6 故障计算	30	6.5 开关装置	78
3.7 不对称故障	33	6.5.1 简介	78
3.7.1 序网	33	6.5.2 断路器	79
3.7.2 系统序阻抗	37	6.5.3 隔离开关	80
3.7.3 接地故障	38	6.6 设备更换	81
3.8 过电压	42	6.7 参考文献	82
3.9 参考文献	45	第7章 系统保护	86
第4章 可靠性	47	7.1 概述	86
4.1 概述	47	7.2 过流保护	86
4.2 可靠性投资评估	47	7.2.1 熔断器	86
4.3 可靠性的基本理论	49	7.2.2 过电流继电器	87
4.3.1 元件	49	7.3 接地故障保护	90
4.3.2 辐射运行的系统	49	7.4 单元保护和距离保护	92
4.3.3 并联系统或网格状系统	50	7.4.1 单元保护	92
4.4 可靠性计算实例	52	7.4.2 距离保护	93
4.5 参考文献	53	7.5 自动重合闸设置	94
第5章 经济原则	56	7.6 过电压保护	95
5.1 引言	56	7.7 网络运行自动化	97
5.2 现值	56	7.8 配电管理系统	97
5.3 折现现金流量	59	7.9 参考文献	100
5.4 研究的时间年限和残值	62	第8章 高压网络和变电站	104
5.5 通货膨胀和利率	63	8.1 概述	104
5.6 灵敏度分析	64	8.2 高压网络	104
5.7 系统损耗	64	8.3 变电站的接线方式	106
5.8 其他因素	66	8.3.1 站址选择	106
5.9 参考文献	66	8.3.2 设计准则	107
第6章 设备	67	8.3.3 网状接线变电站	107
6.1 概述	67	8.3.4 单母线和双母线接线方式	109
6.2 变压器	67	8.3.5 中压母线接线方式	111
6.2.1 概述	67	8.4 辅助系统	112
6.2.2 损耗	68	8.4.1 简介	112
6.2.3 绝缘寿命	68	8.4.2 变压器保护	112
6.2.4 大型供电变压器的电抗	70	8.4.3 母线保护	113
		8.4.4 辅助供电	114
		8.5 参考文献	115

第9章 中压网络 116

- 9.1 概述 116
- 9.2 网络电压的选择 116
- 9.3 系统模型 118
- 9.4 确定导线截面尺寸的原则 119
 - 9.4.1 算例：根据经济原则选择
新线路的导线截面 120
 - 9.4.2 算例：为更换现有线路
选择导线的截面 122
- 9.5 运行方面的问题 123
 - 9.5.1 网络接线方式 123
 - 9.5.2 负荷转移方案 128
 - 9.5.3 保护装置和开关设备
的最优位置 129
 - 9.5.4 网络改造 131
- 9.6 参考文献 133

第10章 低压网络和配电所 135

- 10.1 概述 135
- 10.2 电缆连接的配电所 136
- 10.3 柱上配电变压器 138
- 10.4 低压网络的接线方式 139
- 10.5 接户线 142
- 10.6 参考文献 145

第11章 负荷数据 146

- 11.1 网络设计的负荷需求 146
- 11.2 监视负荷的措施 146
- 11.3 负荷分析与合成 147
- 11.4 负荷预测 150
- 11.5 短期负荷预测 152
- 11.6 参考文献 153

第12章 特殊负荷 155

- 12.1 概述 155
- 12.2 电弧炉 155
 - 12.2.1 负荷特性 155
 - 12.2.2 电压波动和灯光闪变 155

- 12.2.3 减少电压波动的方法 157

- 12.2.4 负荷加载周期和
变压器损耗 158

12.3 换流器 160

12.4 电动机 163

- 12.4.1 启动电流 163
- 12.4.2 电压波动 163
- 12.4.3 对短路电流的影响 163
- 12.4.4 电动机负荷对系统
影响的算例 165

12.5 铁路牵引机车 166

12.6 其他负荷 168

- 12.6.1 焊接设备 168
- 12.6.2 感应加热设备 168
- 12.6.3 其他各种负荷 169

12.7 电磁兼容性 169

- 12.7.1 国际规程 169
- 12.7.2 电压特性 171
- 12.7.3 电压特性的测量 172

12.8 参考文献 172

第13章 网络电压的调节性能 175

- 13.1 概述 175
- 13.2 电压调节 176
- 13.3 自动电压控制 178
- 13.4 线路压降补偿 178
- 13.5 配电变压器的抽头整定 180
- 13.6 电压调节器和电容器 180
- 13.7 电压控制设备的组合 182
- 13.8 电压不平衡 184
- 13.9 影响网络电压性能
的约束条件 185
- 13.10 用户电压的波动 186
- 13.11 谐波 187
- 13.12 参考文献 188

第14章 计算机辅助规划设计 190

- 14.1 概述 190
- 14.2 网络信息系统 191

14.2.1	概述	191
14.2.2	各个发展阶段	191
14.2.3	信息系统的各组成部分	192
14.2.4	网络数据库	193
14.2.5	数据库管理	196
14.2.6	应用程序	197
14.3	网络计算	198
14.4	网络规划的数学方法	200
14.5	各种应用实例	202
14.5.1	例1	202
14.5.2	例2	204
14.5.3	可靠性分析	206
14.6	网络规划的实例	208
14.6.1	数据和目标	208
14.6.2	当前状况	208

14.6.3	负荷预测	209
14.6.4	发展方案	210
14.6.5	变电站优化	210
14.7	参考文献	212

第15章 网络规划和设计中的

的合作关系

15.1	概述	215
15.2	市政和国家发展规划	215
15.3	与其他组织的合作	216
15.4	与环境协调的问题	218
15.5	制造商与咨询顾问	220
15.6	大学和研究中心	221
15.7	参考文献	221

第 1 章

电 力 的 供 应

1.1 发电、输电和配电

电力生产的主要目的是满足用户对电能的需求。发电厂一般建在使总体销售成本最低的地方，然后利用输电系统将大量的电能从各个主力电厂输送到主要的负荷中心。配电系统则是利用最适当的电压等级将电能输送给最终用户。因此，电力系统包括发电、输电和配电三个不同的部分。在一个特定的地区或区域内，一个独立的电力供应机构，通常只负责其中的某个部分。

电力可由不同的能源来生产。一些需要巨额投资的电厂，如水电厂和核电站，只有每年大部分时间都运行在最高出力才是经济的。另一方面，投资数额相对较少，但运行费用较高的电厂，如燃气电厂，则只有在调峰时短期运行才更经济。以矿物（煤、石油、天然气等）为燃料的火电厂，以及核电站和水电厂，提供了主要的电力来源。表 1.1 给出了 1992 年一些欧洲国家的能源消耗情况。图 1.1 表示 1991 年欧共体国家、美国、前苏联及日本等国，用这三种能源生产电能的比例。联合循环电站在一些国家也受到欢迎。在联合循环电站中，可利用凝汽过程中损失的能量给用户供热，因此，极大地提高了电厂的总效率。目前，全世界的柴油机、风能、潮汐发电，以及太阳能电池都只能提供非常有限的电力，虽然它们只在所应用的局部地区发挥重要作用，但这些分散电源在某些国家还是得到了迅速的发展。

表 1.1 1992 年欧洲国家各种能源所生产的电能 (TWh)

国 家	净发电	火 电	核 电	水 电	净输入	总发电
奥地利	43.4	10.4	—	33.0	0.7	44.1
比利时	68.4	26.1	41.1	1.2	—	68.4
丹 麦	28.2	27.4	—	0.8	5.7	33.9
芬 兰	55.0	21.8	18.2	15.0	8.2	63.2
法 国	434.7	45.7	321.3	67.7	-53.2	381.5
德 国	393.6	227.3	149.2	17.1	-3.7	389.9
英 国	295.7	222.7	68.4	4.6	16.7	312.4
希 腊	31.2	28.8	—	2.4	0.6	31.8
爱尔兰	14.6	13.9	—	0.7	—	14.6
意大利	214.2	169.1	—	45.1	5.2	249.4
卢森堡	1.2	0.6	—	0.6	3.9	5.1
荷 兰	60.3	56.7	3.6	—	8.6	68.9
葡萄牙	26.3	21.3	—	5.0	1.3	27.6
西班牙	140.5	67.8	53.4	19.3	0.6	141.1
瑞 典	141.0	7.5	60.8	72.7	-2.1	138.9
瑞 士	57.3	1.5	22.1	33.7	-3.7	53.6
前南斯拉夫	62.8	37.5	3.8	21.5	-1.7	61.1

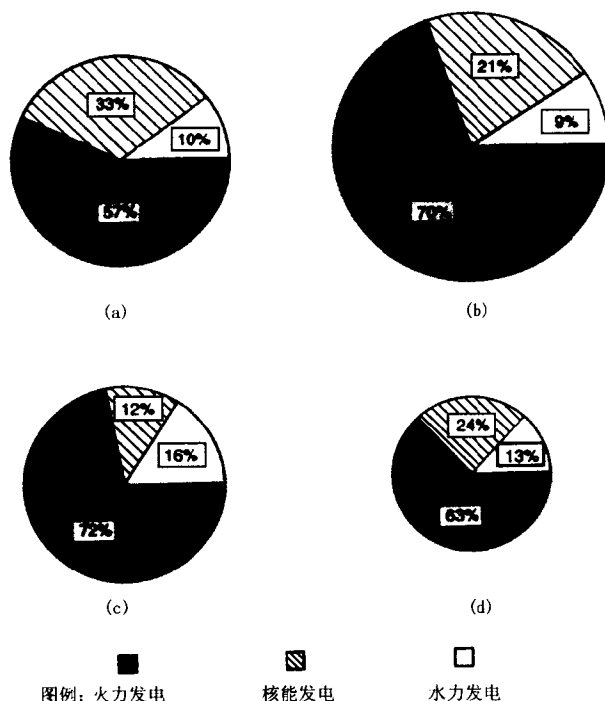


图 1.1 1991 年由各种能源所生产电能的比例

(a) 欧洲共同体, 1846TWh; (b) 美国, 3025TWh; (c) 前苏联, 1680TWh; (d) 日本, 838TWh

对任何国家而言,重要的是将资源集中用于建设高效的电厂,并在考虑投资的同时注重适当的环境保护。这些电厂应具有尽可能低的能源消耗,以及尽可能低的运行和维护费用。由于有利用不同类型的电厂发电的可能性,所以可以较好地、灵活地满足负荷变化的要求,从而可以在未来某个时候使得电能生产的总费用降到最低。例如在芬兰,核能和联合循环电站各生产近 1/3 的电力,水电厂生产 1/5 的电力,而传统的凝汽发电厂只能满足 1/10 的电力需求。

为了获得最大的总体效益,联合循环电站必须位于城市内,因为电站输出的热水可用于城市房屋的取暖。当然联合循环电站也可位于需要蒸汽的工厂内。适合建水电厂的落差大的河流一般都远离主要的负荷中心地区。地热电站也有同样的地理原因。出于安全的考虑,核电站必须远离主要的负荷中心地区。因此,对电力系统来说,最基本的要求是有一个足够强的电网,能把电能从这些大电厂输送到主要的负荷中心。为满足负荷的需要,不论电厂的位置在何处,都可以精确调度它的运行,安排机组的最佳出力,使电力系统在所有可能的运行条件下运行费用最小。一个强大的电网应该是经济合理的,因为不同发电形式的发电费用有很大的差别,而这种差别通常比额外的输电费用要高得多。

如果需要长距离输送大量的电力,就需要电压等级非常高的电网,有时称这种电网为主网或基本输电网。这样的系统一般运行在 300kV 以上,其典型值为 400kV、500kV 及 765kV。当输电系统在较低的电压等级(如 110kV 或 132kV)运行并可能发生过负荷时,就有必要在原有的系统上增加更高的电压等级。例如,英国在 50 年代时,由于当时的 132kV 系统已无法将大量的电力从北方输送到南方,而专门建立了 275/400kV 的互联网系统。

本书使用以下关于电压的定义: 低压 (LV) 是指低于 1kV 的电压; 中压 (MV) 通常是

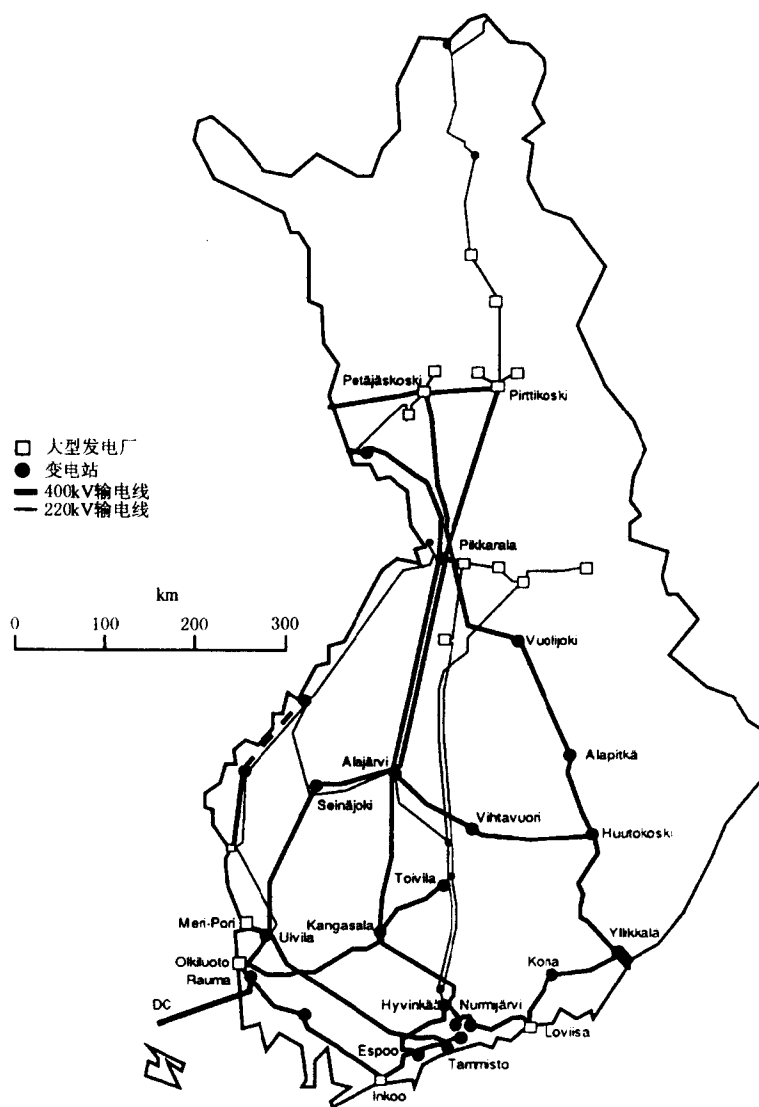


图 1.3 芬兰 1993 年的主网图 (IVO 输电有限公司惠供)

为了最经济地利用全系统的输电网和发电厂,并能处理任一区域电厂暂时出力不足的问题,在不同的国家和区域之间已经建立了一些超高压互联电网。在欧洲,这种最大的互联电网之一,在发输电协调联盟(UCPTE)主持之下运行。如图 1.4 所示,图中线段的粗细表示不同国家之间能源输送的相对值,而圆圈的大小表示 1992 年消耗电能的大致数量。90 年代由于政治上的原因,前南斯拉夫和希腊的部分网络与发输电协调联盟(UCPTE)的网络不同步。北欧四国的电力交换则是由北方电力(NORDEL)组织所协调的。从图 1.4 可以看出,俄罗斯、捷克、匈牙利和罗马尼亚的电网将来可能互联。由于欧洲以前的政治条件及东西欧电力系统在技术上的许多差异,可采用直流方法使这些系统互联。NORDEL 和 UCPTE 之间由直流(DC)互联,英国和法国之间由高压直流(HVDC)互联。美国和加拿大的各个区域电网之间由类似的超高压方法互联,从而可以集中发电能力。由于东欧政治局势的变化,以及整个世界有向新的大

互联系统发展的趋势,东西欧电网有互联的需求,而且这种互联在技术上也是可行的。

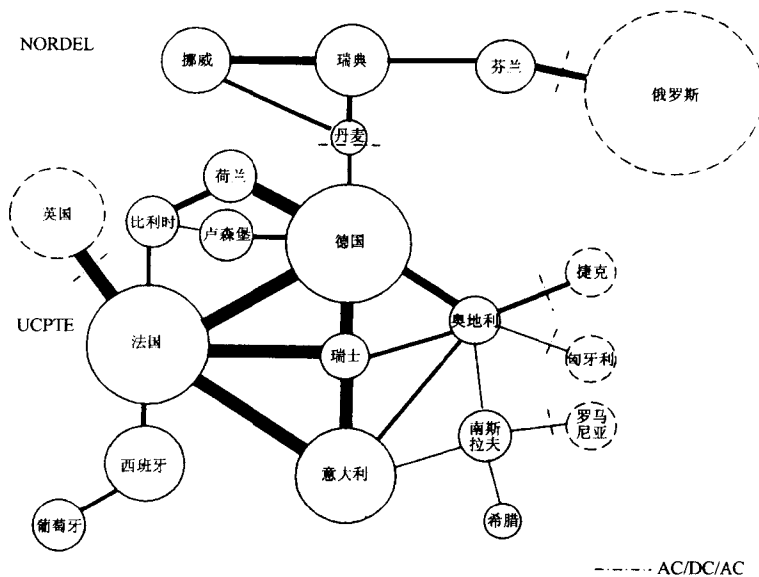


图 1.4 西欧 UCPTE 和 NORD-EL 的互联联络线

一条单回 400kV 线路可以输送出一个 2000MW 电厂发出的电力（如果不考虑稳定问题），当然这还取决于每相导线的条数、截面和距离。如果因线路故障停止送电 1h，所造成的损失将达到几百万英镑以上，因此为保证输电的经济性，有必要提高安全水平，如可以采用并行线路输电，以改善线路的可靠性和稳定性。由高压系统供电的工业负荷，如 20MW 以上的负荷，如果单一故障会严重影响用户的生产和设备，则需要采取特别的安全措施。因此，规划超高压和高压系统时，必须保证单一的线路故障不会使任何用户停电。这必须建立在有效的保护系统和适当的备用系统的基础上。

高压系统可以以互联系统或分散系统运行。当以互联系统运行时，这些网络可为高一级的电压网络提供备用容量。在输电系统下可能有 2~3 个配电电压等级，以便满足不同用户的各种供电需求。一般来说，中压和低压系统的运行方式为辐射形网络方式。本书的主要内容是论述有关中压、低压系统的运行和规划的理论和技术，同时也涉及一些为中、低压供电的高压系统的理论和技术。

1.2 电力供应的组织

电力供应中发、输、配电的三种业务是完全不同的，因此可以由不同的电力供应机构来承担。一般而言，发电和输电业务主要由相同的机构承担，而联合循环电站通常由工业公司或市政当局管理。

90 年代有这样一种趋势，即将电力工业的纵向组织结构按发电、输电及配电分成不同的商业领域。这种趋势包括输电网和配电网向发电厂家和用户开放，出现独立的电力生产单位。到目前为止，许多电力企业被认为是公共服务企业而不是商业企业。现在所进行的“放宽管理”（deregulation）进程的最终目标，是将电力作为一种可在市场上自由出售而不受任何官方

限制的商品。

作为“放宽管理”过程的一部分，欧共体内采取的最初立法行为具有以下各种目标：加强互联，取消贸易壁垒，改善供电安全，减少费用，提倡竞争等。欧共体内于1990年从法律上制定了两个相应的政策，即过境政策和电价透明政策。过境政策给予电力企业通过第三国自由输入或输出电力的权利；电价透明政策保证了能源市场不会被隐含的补贴所影响。

在某些国家，电力供应机构作为官方能源组织的一部分，由政府部门控制，配电系统也可能由一些地方政府来管理。此外，配电系统也可以由私营公司或公私合营企业共同管理。一个电力供应公司可以垄断一个给定区域内的供电，这个区域甚至可以是整个国家，当然也可以只是一个小城镇。然而，开放电力市场的大趋势将使发电、输电和配电三者相互分开，这将导致电力企业的重组。

在欧洲，配电企业“放宽管理”进程最快的国家有英国以及一些斯堪地那维亚国家。例如，挪威已将电力输送与发电分开，并开放了电力市场；芬兰和瑞典也分别于1995年和1996年开放了电力市场。在配电方面，“放宽管理”意味着允许用户从任何发电和售电组织购买他们所需的电力。因此，现在传统的配电公司或企业有必要将售电行为和网络管理分开，对售电行为进行放宽管理，并引入通常的商业竞争机制，而对网络运行则在某种程度上依然采用垄断的管理方式。此外，可以预见，不久的将来还会出现许多有售电行为的新公司；而在网络管理方面，为了保证任何配电网络传送电能的收费比较合理，还有必要进行管制。

芬兰的一个国有公司负责提供全国将近一半的电力，私营的工业公司或电力公司以及市政部门提供另一半电力。一个独立经营的国营公司负责绝大部分400kV输电网络的运行，220kV和110kV的网络。由其余几个机构负责约100个私营公司或市政部门负责配电，农村县级社团组织通常是他们所在地私营供电公司的主要股份持有者。

在欧共体中，只有英国的电力供应工业已经私营化，现在的电力供应工业是由原有的国有企业和一些较小的发电公司组成。在英格兰和威尔士，除了核电依然属于国有外，发电主要由两个私营公司经营，输电由一个公司负责，而配电分别由12个区域电力公司各自负责。在苏格兰，原有的两个公共组织已经私有化，现由有纵向关系的发电、输电和配电公司构成，而核电依然为国有。

在德国，发电、输电和配电领域约有1000个电力公司，其中以合资股份公司为主。9个互联电力公司提供了近80%的公共电力。一些工业公司自行发电以满足自己的电力需求，并将其剩余电力提供给公共电网。90%的输电线网络（超高压）由这9个互联电力公司所有，由55个区域公司负责当地的输电和配电工作。

在本书的写作过程中，意大利的发电、输电和配电正进行私营化，其余的国家，如阿根廷、哥伦比亚、新西兰和几个东欧国家，也正采取重要的步骤来开放他们的市场。

在法国，发电、输电和配电仍然由国有企业法国国家电力公司（EDF）所承担。在EDF之外，有一些与法国铁路和煤矿公司有关的公司进行独立发电业务；还有某些公共组织和合作组织，进行一些配电网络的运行业务，这些都处于国有工业以外。

在美国，电力企业的规模和类型很多。在发电、输电和配电的各个领域或其综合领域，约有3000个独立的公司。其中大约200个私人投资企业供应了约75%的零售电力用户。另外，还有约2700个市属、州属或国有企业。大约有900个合作社企业为特定的农村地区供电，它们是共同投资人所有的合营企业。美国联邦政府经营了7个大企业，其中包括田纳西电力局

(TVA) 和邦纳维尔电力局 (BPA)^①。

1.3 配电系统

配电系统的功能是把变电站或小型发电厂的电力输送给每一个用户，并在必要的地方转换成适当的电压等级。

图 1.5 表明了各级电压网络之间的相互关系，跨区域超高压输电线路给超高压/高压变电站供电，超高压/高压变电站给高压电网供电，连接在高压网络上的各个高压/中压变电站分别给各自对应的中压网络供电，高压网络和中压网络可直接给大用户供电，但大部分的用户是连接到低压网络上的，并由中压/低压配电所供电。这些用户与低压网络的关系，如图 1.5 中低压母线上的粗箭头所示。该图表明了一般所使用的低压、中压、高压、超高压等不同电压等级的电压范围。在某些国家，由于历史或地域的原因，还有一些不同的中压和高压电压等级。图 1.6 较详细表明了在这些不同电压等级的网络中，各种元件的使用情况。为简明起见，图中不包括超高压和高压隔离开关。由于各国甚至企业之间的设计实践有所不同，该图只表示了通用的系统接线方式，其中的一些设计实践将在以后的章节中讨论。

在农村地区，一般使用中压架空线路。虽然还存在一些早期使用的铜导线，但现在通常使用的是 $25 \sim 100 \text{mm}^2$ 的钢心铝导线及木杆，每年所架设的导线长度中铝导线约占 10%。在无法获得木杆或气候不适宜采用木杆的地方，可使用水泥电杆或钢制电杆。绝缘导线比较可靠，也更容易适应环境，因此得到越来越广泛的应用。在城市地区通常需要使用地下电缆，而在农村地区，只是因为环境所限才使用电缆，如变电站的线路出线空间比较狭窄，影响视觉效果等。

农村的配电所一般由容量为 $5 \sim 315 \text{kVA}$ 的柱上变压器组成，其中较小容量的变压器有时采用单相变压器。由中压电缆供电的城市地区，配电所的变压器容量为 $200 \sim 2000 \text{kVA}$ ，配电所可设置在砖、钢结构或钢筋混凝土的地上建筑中，或设置在办公楼或房屋的地下室内。

农村地区的低压配电网由架空裸导线或架空绝缘线构成。特别在农村、小城镇和森林地

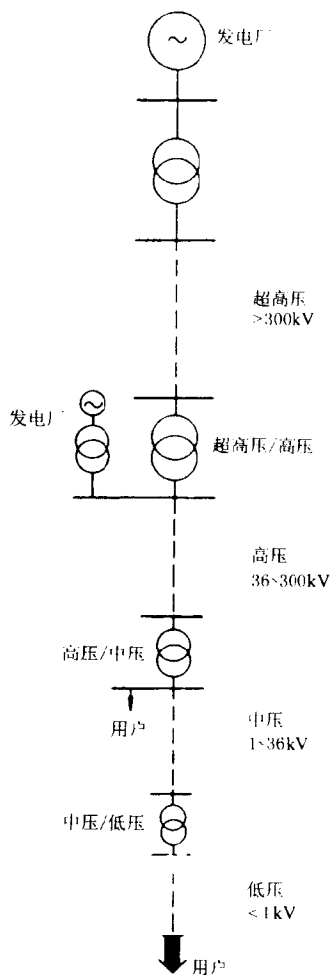


图 1.5 输电系统和配电系统的划分示意图

① 原作者提示：电力市场进展迅速，以上所述已有新变化和进展。——译者注

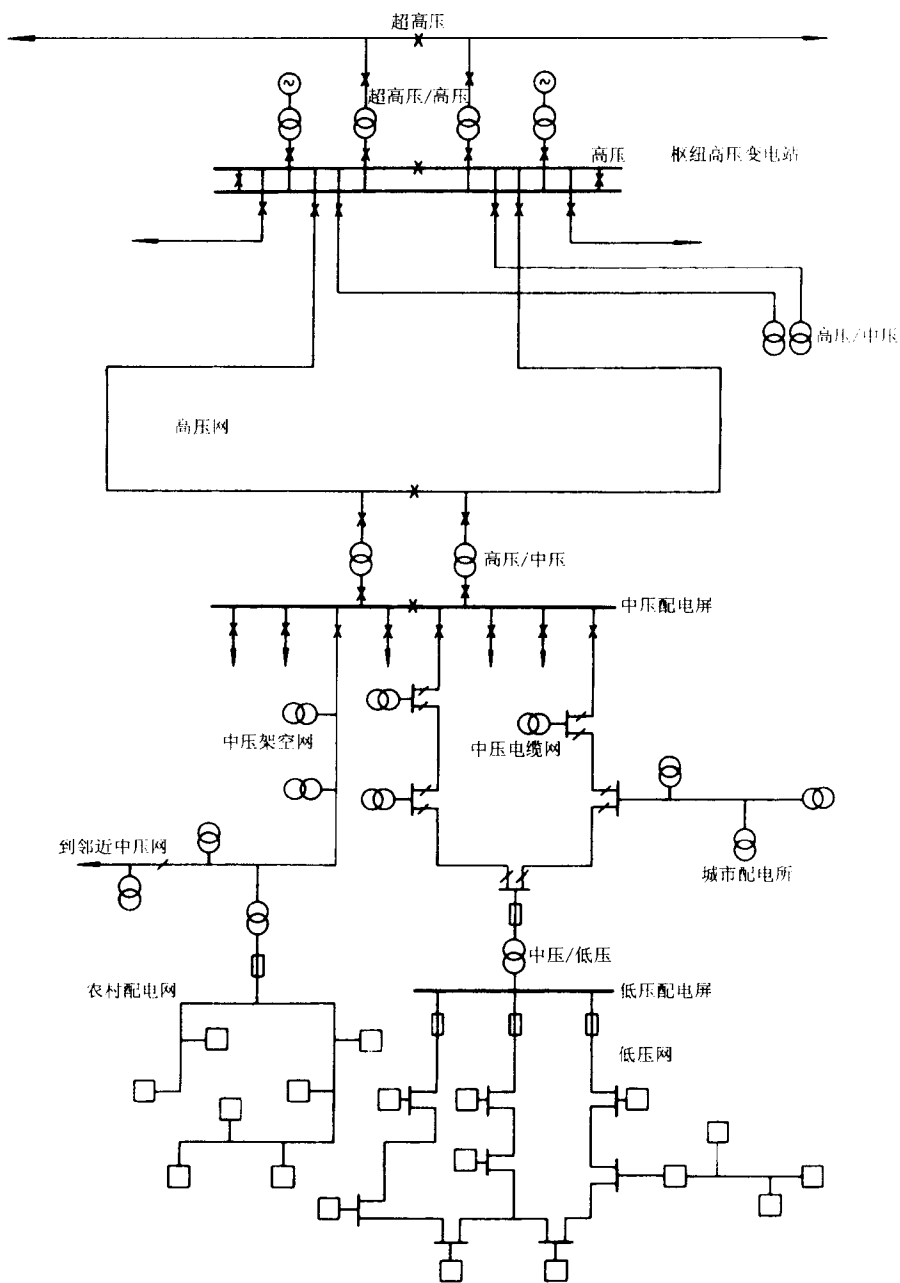


图 1.6 超高压/高压/中压/低压网络接线图

⊙ 发电机 × 断路器 ← 馈线 □ 用户
 ⊗ 变压器 / 隔离开关 — 熔断器

区，架空成束绝缘导线的使用越来越占主导地位。新架设的低压导线，其长度通常被限制在 500m 或更短的距离内，这取决于电压、相数和负荷等因素。在城市中心区，地下电缆占主导地位。城市地区的备用电源通常可由邻近的配电所提供。

电力供应处于起步阶段的国家，最重要的是必须选择适应当地社会和经济条件的系统设

计思想。在新开发地区，设计工程师可以有机会选择设备自动化、遥控和微机应用等先进技术。这些先进技术尤其适用于变电站之间距离很远，且通常跨越地形复杂的人烟稀少地区的电网。但即使是采用更先进的技术，从一种技术形式转换为另一种技术形式在经济上一般是不合理的，至少在短期内是难以有效的，所以最重要的是要设立适当的供电机构，制定出最适合本国国情的系统规划思想。在后续的章节中将讨论各种因素对下列问题的影响：如何选择电压等级，如何选择系统接地方式，采用三相还是单相供电方式，以及如何安排运行和保护的方式等。

1.4 供电需求

社会越来越依赖于电力的供应，对用户而言，最重要的是在经济的条件下获得可接受的供电可靠性、电能质量和供电安全性。用户必付的电价由发电、输电、配电的组合价格构成。特别对于系统中的大用户，电费的高低对其总体费用有重要的影响，并对其使用电力还是使用其他能源形式的决策可能有很大的影响。

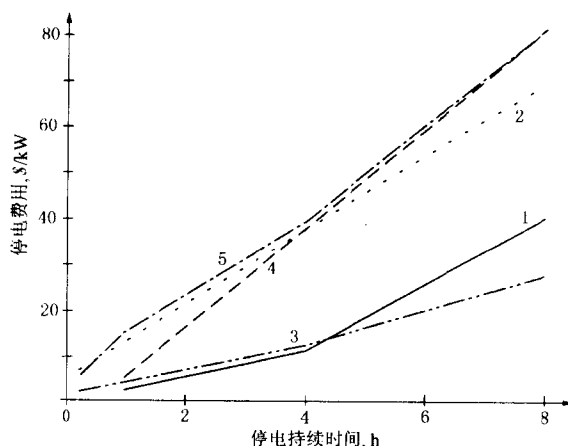


图 1.7 不同用户组的停电费用估计值
(芬兰 VTT 电力公司提供)

1—居民；2—工业；3—公共；4—农业；5—商业

几乎所有的用户都认为供电的可靠性是非常重要的。因为供电的可靠性会影响人们的日常工作和社会生活的各个方面，所以用户显然希望有 100% 的可靠性而不愿有哪怕是极短时间内的停电。但就供电企业来说，这在技术上和经济上都是不可能的。用户关心由于停电所造成的经济损失和不便。停电损失给不同的用户带来的影响是不同的，一些研究表明，不同用户由于停电所遭受的损失有着很大的差别。图 1.7 是芬兰 1993 年完成的有关这些研究的一个实例。

图 1.8 表示由于停电造成用户损失的费用。当有 100% 的供电可用率时，即 100% 的供电可靠性时，用户的停电损失费用为零。当供电可靠性每增加一个百分点，供电企业为改善供电可靠性而增加的费用将急剧增加，所以达到 100% 的供电可靠性在经济上是不现实的。曲线

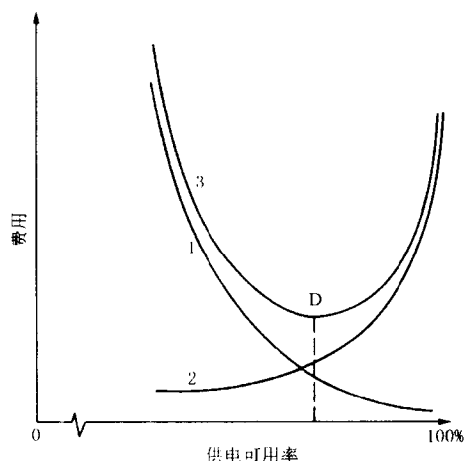


图 1.8 用户和企业之间的费用平衡曲线
1—用户的停电损失费用；2—供电企业提供可用
电力的费用；3—总费用，为费用 1 和费用 2 之和

计算可以用计算机进行，有关内容将在第 4 章，以及第 9.5 节和第 14.6 节中叙述。

另一个影响供电质量的因素是供电电压的实际值。为了使用户的设备能够正常运行，电压必须维持在给定的范围内。如果电压严重地偏离可接受的范围，则某些设备可能会被严重地损坏。异常高的电压通常是由于电压控制设备的故障或产生过电压的系统故障所造成的；而电压过低往往是由于配电网电压降太大。除了供电电压实际值的变化外，电压波形发生偏离正弦波的畸变则可能会使用户电器设备或企业的设备运行不正常。波形畸变的原因和其他关于用户电压方面的现象将在第 12 章与第 13 章中进行详细讨论。

本节开头所要强调的第三个问题是电力供应的安全性。除非预先采取了保护措施，配电系统本身可能以各种方式对人、畜以及财产造成损害。为避免过电流或故障引起的触电及火灾，用户的用电设备必须尽量合理地布置和运行，以使其不致发生故障。改善电力系统的安全性可以采用各种方式，例如，保持导体和地之间足够的安全净距，采用适当的网络接地方式，对所有电路和电器设备提供可靠的保护措施等。某些安全要求是由政府有关部门制订的，而由企业具体执行的法规，其中包括与设计有关的法规，一般应能确保实际应用的标准要高于法定的最低要求。但是这样仍不能保证绝对的安全，所以任何改善电力供应安全性的努力，还必须全面考虑对供电的其他方面的要求。

由于资金或其他资源的限制，有可能容许采用降低供电质量或供电标准的策略来尽快地扩展供电。然而随着电力系统的发展和新资金的投入，有必要提高和改进某些过低的标准。

1.5 网络接线方式

设计配电网络时，根据负荷密度和系统电压水平，可以采用很多种方式为系统中不同的

3 上的 D 点是社会总费用最小时所对应的点^①，这个点可以用来决定供电可靠性水平。

由于供电不可靠而造成的损失费用，与少供电力、停电时间的长短密切相关，因此，在制定相应的安全标准时，最好也考虑这些因素。一般可以把配电系统出现故障时，一组用户或变电站的综合负荷所受到的影响作为一个指标，且可依据这个指标来设定系统的各种安全水平。如果没有推荐标准，就会使供电条件好的地方可靠性越来越高，供电条件差的地方可靠性越来越低。

网络的供电可靠性可以认为是与投资和线损类似的一个费用因子。如果使用图 1.7 的费用或一些等价的费用因子，计算每个用户的停电估计时间与损失的负荷，那么就on能衡量供电可靠性。实际上，这种类型的可靠性

① 图 1.8 中 D 点对应于曲线 1 和曲线 2 的交点。——译者注