

电网控制与管理的 计算机信息系统

〔德国〕迪特尔·鲁姆佩尔

著

〔中国〕孙继荣



机械工业出版社



施普林格出版社

电网控制与管理的 计算机信息系统

〔德国〕 迪特尔·鲁姆佩尔 著
〔中国〕 孙 继 荣



机械工业出版社



施普林格出版社

内 容 提 要

本书为德国施普林格出版社出版的《Netzleittechnik》一书的中文版, 它首次全面而系统地论述了建立电网现代化控制与管理的计算机信息系统的基本理论和实际方法。

全书共十三章: 1. 引言; 2. 电网的结构; 3. 电网的运行任务及运行组织; 4. 远动系统及数据传输; 5. 电网数据及数据模型; 6. 变电站数据处理及电网数据传输网络组织; 7. 电网控制中心及中央(调度)控制室系统; 8. 计算机硬件系统; 9. 计算机软件系统; 10. 专家系统; 11. 模拟训练系统; 12. 电网信息系统的设计和建立; 13. 附录。

该书注重明确电网计算机信息系统的整体概念以及复杂系统各部分系统间的潜在关系。不仅描述了该系统的功能和构成原理, 而且阐明了电网运行任务、运行组织及物理结构对信息系统产生的要求及影响, 还介绍了让计算机获得了解电网情况的方法。

无论对在电力系统及其计算机应用、自动控制、自动化、远动、通信、数据处理等专业领域学习的高等院校的大学生、研究生, 对在上述领域从事实际工作的科研、设计部门的专家、运行部门的工程师、电力企业的管理人员, 以及一切希望熟悉和了解电网计算机信息系统的工程技术人员, 本书都值得推荐阅读。

该书版权由机械工业出版社和德国施普林格出版社共同所有。

Netzleittechnik

Dieter Rumpel · Jirong Sun

© Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1989

*

电网控制与管理的计算机信息系统

[德国] 迪特尔·鲁姆佩尔 著

[中国] 孙继荣

*

责任编辑: 陈瑞藻 卢若薇 版式设计: 霍永明
陈国华

封面设计: 方 芬 责任校对: 张 媛
责任印制: 王国光

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 $29^{1/2}$ · 插页 2 · 字数 724 千字

1991 年 10 月北京第一版 · 1991 年 10 月北京第一次印刷

印数 0,001-1,400 · 定价: 30.00 元

*

ISBN 7-111-02630-6 / TM · 334

中文版前言

1988年10月在施普林格出版社出版的本书的德文版是在考虑到国际范围内缺乏一本系统论述电网控制与管理的计算机信息系统的著作的情况下被提上写作日程的。作为中国的一位作者，本人最大的希望首先在于将本书所总结的经验贡献给自己祖国的广大读者。对于中国机械工业出版社与德国施普林格出版社之间的国际合作以及中国机械工业出版社在为高质量地出版本书中文版的过程中所作出的一切卓有成效的努力，作者在此表示感谢。

孙继荣
1988年12月6日
德国杜伊斯堡市

前 言

本书是中国成都科技大学孙继荣教授作为访问学者在德国杜伊斯堡大学电力系统研究所工作期间与 Dieter Rumpel 教授合作的成果之一。写作本书的目的首先在于向大学生提供理解和掌握电网运行管理的信息系统的基础，同时也系统地向从事这一专业的工程师们描述出其面临的任务和提供解决问题的方法。

电网运行管理的任务以前是由人完成的。人理解和熟悉了电网，从而可完成这一任务。现在由于现代化的电网信息系统均采用了计算机，许多以前由人完成的任务都由计算机承担，这意味着电网必须为计算机所理解，有关电网的知识必须存入计算机。这也就表明，如果对电网运行管理的任务没有细致的了解，就不可能真正理解电网运行管理的信息系统的要求，也就不可能合理地设计和建立电网运行管理的信息系统。正因为如此，本书不仅注重描述电网信息系统的功能，也要描述出电网运行的任务、电网运行的组织、电网的物理结构以及让计算机获得有关电网知识的方法。

不论在硬件功能方面，还是在软件实现方法上，目前电网信息技术正在经历迅速发展的阶段。本书除了介绍当前的技术外，还阐明了与应用技术无关的普遍适用的基本原理，也指出了发展的趋势。

在电网运行管理中，很大一部分数据的输入和输出都采用字母数字形式。当应用汉字来完成相应的任务时，产生了特殊的问题。作者研究了这一问题并提出了建议。

作者特别感谢德国有关基金会和杜伊斯堡大学对本书写作提供的资助。

作者感谢 Tietze 先生（德国汉堡 Consulectra 公司）、van Son 先生（荷兰 SEP 电力公司）和陈景琪先生（中国华东电管局）对本书提出有益的建议。此外，作者还要感谢西门子公司和世界其它各国公司在本书写作过程中提供有用的资料和信息。同时也感谢国际大电网会议的有关专家及中国有关专家和同行对本书的希望和鼓励。Bosse 女士为打印本书手稿付出了大量的劳动，在此一并致谢。

最后，作者特别感谢施普林格出版社对出版本书所表示的兴趣以及为高质量地出版本书所作出的卓有成效的努力。

作者 Dieter Rumpel
孙继荣

1988 年 2 月 10 日于
德国杜伊斯堡市

SIEMENS

西 门 子

——电网控制现代化最富有贡献的 先行者和举足轻重的主导者

电网自动化系统是现代电力系统安全、经济运行不可缺少的、极为重要的工具。

《电网控制与管理的计算机信息系统》一书深入广泛地描述了采用先进技术手段建立电网自动化系统的完整的全貌。这一著作不仅对系统设计者，而且对系统咨询者、使用者和大学生都是有用的指南。

希望这一著作中文版的出版会有助于现代自动化系统在迅速发展的中国电网中的建立。
祝愿各位读者事业成功，个人幸福，未来充满希望。

西门子股份公司
电网自动化部
1990年12月6日

目 录

第一章 引言	1	3.8.3 计算机硬件的维护和监视	29
第二章 电网的结构	4	3.8.4 计算机软件开发	29
第一节 概述	4	3.8.5 数据维护及安全保障	30
第二节 联合多级电网的理想形式	4	第九节 电网的运行状态	30
第三节 联合多级电网的非理想情况	5	第十节 中国电网的结构及运行管理	32
第四节 变电站和开关系统	6	3.10.1 电能生产与消费	32
第五节 调节变压器	10	3.10.2 电网电压等级及高压线路	32
第六节 电厂	10	3.10.3 电网运行的特点	34
第三章 电网的运行任务及运行组织 ...	12	3.10.4 电网运行组织及控制中心	35
第一节 电网运行任务概述	12	第四章 远动系统及数据传输	37
3.1.1 电网管理	12	第一节 引言	37
3.1.2 电厂协作	13	4.1.1 简单时分远动线路的工作原理	38
3.1.3 安全检查	14	4.1.2 远动装置的功能	40
3.1.4 运行计划	14	4.1.3 各种类型信息的传输	43
3.1.5 综述	15	第二节 传输通道	44
第二节 运行组织的一般原则	16	4.2.1 概述	44
第三节 电网控制中心的多级形式	17	4.2.2 音频调制及音频通道	44
第四节 控制中心内部任务的理想划分	18	4.2.3 信号编码	52
第五节 任务划分的非理想情况	20	4.2.4 线路特性	54
3.5.1 变电站概念与电网物理关系		4.2.5 近距离电话通道	62
的非一致性	20	4.2.6 远距离电话通道	64
3.5.2 电厂的位置、电厂协作	23	4.2.7 电力线载波通道	68
3.5.3 运行计划	24	4.2.8 架空通信电缆相线结合电缆	
第六节 巡检、维修及电网扩展	25	以及绝缘地线通道	76
3.6.1 巡检	25	4.2.9 定向无线通道(微波、散射波、	
3.6.2 维修	25	卫星通信)	77
3.6.3 电网扩展	26	4.2.10 全向无线通道(流动通信)	79
3.6.4 对电网运行及其信息系统的		4.2.11 光导传输通道	81
影响	26	第三节 远动系统的工作方式	
第七节 电网运行的其它任务	27	及信息交换方式	91
3.7.1 与电力企业其它部门的协作	27	4.3.1 频分制与时分制	91
3.7.2 特殊的数据收集及分析	27	4.3.2 时分系统的工作方式	92
第八节 电网信息系统的运行及		4.3.3 远动电报的结构	94
组织任务	27	4.3.4 远动信息交换方式及远动	
3.8.1 概述	27	信息网	98
3.8.2 远动联络的计划、扩展与监视	28	第四节 远动数据传输的可靠性	104

4.4.1 概述	104	5.3.2 开关位置监视信息和命令信息 ...	166
4.4.2 信号校验	105	5.3.3 功能监视信息	168
4.4.3 信息重发	105	5.3.4 测量参数和整定参数信息	169
4.4.4 认错与纠错编码(块码)	106	5.3.5 计数值信息	170
4.4.5 信息传输系统的可靠性监视	114	5.3.6 变压器分级位置信息	171
4.4.6 其它可靠性检验措施	115	5.3.7 特殊的对象与信息	172
第五节 远动装置的输入及输出信号	116	5.3.8 特殊的传输方法	173
第六节 用于电网信息系统的其它 传输方法	120	5.3.9 信息系统的监视信息	173
4.6.1 脉冲频率传输法	120	5.3.10 控制中心的监视信息	174
4.6.2 计数脉冲传输法	122	5.3.11 人工输入及标记信息	174
4.6.3 正增值/负增值脉冲传输法	124	第四节 数据模型	174
第七节 计算机之间的远程数据传输	125	5.4.1 概述	174
4.7.1 概述	125	5.4.2 数据的识别	177
4.7.2 协议过程及传输控制	126	5.4.3 数据的排列	178
4.7.3 ISO 结构模型	131	5.4.4 数据的分类	179
4.7.4 HDLC 规程	132	5.4.5 数据的分离	180
第八节 音频控制系统	135	5.4.6 多级数据识别	181
4.8.1 概述	135	5.4.7 存取系统数据识别链	185
4.8.2 控制频率及电压	136	5.4.8 构成数据模型的实际观点	190
4.8.3 音频耦合方式	137	5.4.9 潜在拓扑	191
4.8.4 音频控制信号编码	140	5.4.10 事件簿记中的对象识别	192
4.8.5 音频控制系统的结构	140	5.4.11 其它数据表	193
第九节 流动通信系统	141	第五节 源数据、变更服务、数据保险 ...	194
第十节 用户电报及传真电报	144	5.5.1 基本要求	194
第五章 电网数据及数据模型	147	5.5.2 对象组成的源描述	195
第一节 电网数据的逻辑划分	147	5.5.3 潜在拓扑的源描述	200
第二节 运行术语	148	5.5.4 变更服务	201
5.2.1 概述	148	5.5.5 数据保险	205
5.2.2 类型	149	第六节 数据库及过程数据库	206
5.2.3 位置	150	5.6.1 数据库的功能	206
5.2.4 类型特征、状态及状态性质	151	5.6.2 数据库的类型	209
5.2.5 事件及事件性质	152	5.6.3 电网运行管理数据库 (过程数据库)	213
5.2.6 说明模式	153	第七节 无格式描述电网举例 ——电网数据语言	214
5.2.7 对象命名	154	5.7.1 引言	214
5.2.8 名称简化	156	5.7.2 对象描述符	214
5.2.9 注释	157	5.7.3 类型名	216
第三节 运行数据	158	5.7.4 词典	217
5.3.1 运行数据分类	158		

5.7.5 潜在状态和性质	221	7.2.9 中央(调度)控制室的结构	284
5.7.6 由数据语言源级到计算机内 数据模型级的翻译	222	第三节 自用电源及备用电源	287
5.7.7 数据库及变更服务	224	第八章 计算机硬件系统	290
5.7.8 潜在拓扑描述	228	第一节 概述	290
5.7.9 重复类型	231	第二节 计算机的结构及工作原理	291
5.7.10 电网描述	232	8.2.1 基本工作原理	291
5.7.11 运行说明	236	8.2.2 外围接口	297
5.7.12 其它可能性	238	8.2.3 通用寄存器和专用寄存器	298
第六章 变电站数据处理及电网 数据传输网络组织	241	8.2.4 字长和地址范围	299
第一节 变电站的运行任务	241	8.2.5 中断组织	301
6.1.1 装置闭锁控制	241	8.2.6 外存储器组织	303
6.1.2 程序化开关控制	242	8.2.7 计算机通道和外部总线	304
6.1.3 表计读数采集和总加	243	8.2.8 标准外围	305
6.1.4 测量值的信息处理	243	8.2.9 V·24 接口	309
6.1.5 实时监视信息的采集	244	8.2.10 过程接口方式	311
6.1.6 命令信息输出	244	8.2.11 局部计算机网络	313
6.1.7 保护功能	245	第三节 电网控制中心的计算机 系统	315
第二节 变电站数据处理的理想形式	246	8.3.1 概述	315
第三节 电网数据传输网络	252	8.3.2 单计算机系统	315
6.3.1 直接数据传输	253	8.3.3 双计算机系统	316
6.3.2 间接数据传输	256	8.3.4 多计算机系统	322
6.3.3 数据传输网络中的节点计算机 ..	258	8.3.5 远动接口方式	327
6.3.4 电网数据网络实现的实际观点 ..	260	8.3.6 发展趋势	332
第七章 电网控制中心及中央 (调度) 控制室系统	263	第九章 计算机软件系统	335
第一节 电网控制中心的建筑 设计与要求	263	第一节 概述	335
第二节 中央控制室(调度控制室) 系统	266	第二节 系统软件	336
7.2.1 人机通信	266	9.2.1 操作系统	336
7.2.2 调度控制台	268	9.2.2 汇编程序、翻译程序和 程序语言	340
7.2.3 屏幕显示装置	270	9.2.3 其它服务程序	343
7.2.4 数字图板	275	第三节 应用软件基础	344
7.2.5 模拟盘	276	9.3.1 多计算机系统中程序的 特征和任务	344
7.2.6 仪表盘和辅助监视信号盘	280	9.3.2 移植性和多重使用性	345
7.2.7 打印装置	281	9.3.3 数据的存储	346
7.2.8 汉字的输入和输出	282	9.3.4 程序外部的参数配置	348
		9.3.5 数据的正向供应和反向提取	356
		9.3.6 接口系统	358

9.3.7 数据管理系统	359	12.1.2 关于电站	438
第四节 一次处理软件系统	364	12.1.3 关于电网控制中心	439
9.4.1 一次处理的任务(操作功能)	365	12.1.4 关于数据传输网	439
9.4.2 一次处理的程序功能	367	第二节 系统设计	439
9.4.3 基本处理及程序	369	12.2.1 功能的配置	439
9.4.4 测量值处理	369	12.2.2 数据的定义	439
9.4.5 测量值的时间平均值	372	12.2.3 信息传输系统的容量	442
9.4.6 监视信息处理	374	12.2.4 控制室和基础结构	444
9.4.7 计数值处理	380	12.2.5 系统研究	445
9.4.8 开关操作处理	382	12.2.6 将来的人员配备	445
9.4.9 有序开关操作命令	385	第三节 定货与招标	445
9.4.10 图形更新	388	第四节 系统开发	446
9.4.11 功率频率调整(LFC)	389	12.4.1 开发阶段中的时间配合	446
9.4.12 交付功率(联络线功率)		12.4.2 装置和布线设计	448
调整	394	12.4.3 软件开发	449
9.4.13 即时最佳化调整	397	12.4.4 系统投入运行	451
9.4.14 记录(报告)文字输出	403	12.4.5 系统试运行	452
9.4.15 应答功能	406	12.4.6 文件制定和软件保险	452
9.4.16 评注(注释)管理	407	第十三章 附录	454
9.4.17 拓扑处理	409	常用的对象类型、缩略名及潜在性质	454
第五节 二次处理软件系统	410	13.1 对象类型	454
9.5.1 二次处理的任务	410	13.1.1 开关装置	454
9.5.2 状态估计	412	13.1.2 测量值、计数值、整定值	455
9.5.3 在线潮流分析	415	13.1.3 变压器	456
9.5.4 偶然性分析	418	13.1.4 电缆	457
9.5.5 负荷预测	418	13.1.5 保护和继电器	457
9.5.6 电网开机计划	421	13.1.6 辅助装置、一般监视信息	457
第十章 专家系统	428	13.1.7 标记、提示、短命令	458
第十一章 模拟训练系统	431	13.1.8 信息系统	458
第十二章 电网信息系统的设计		13.2 性质、缩略名	458
和建立	437	13.3 潜在性质	459
第一节 基本原则	437	西门子电网自动化系统简介	461
12.1.1 关于变电站	437		

第一章 引言

电网控制与管理的信息系统（简称电网信息系统）是为电网运行管理服务的特殊的信息系统。该系统与两个方面发生紧密的关系：即运行管理人员及其运行管理的对象。具体说来，电网信息系统必须向运行管理人员合理地提供必要的信息，同时也必须实现对电网的监视与控制。图 1.1 示出电网信息系统的组成，它包括中央控制室系统、计算机系统、远动系统、通信系统以及变电站本地控制系统。发电厂本地控制系统因其运行的特殊性，一般认为是独立的控制系统，因而不包括在电网信息系统之内。

首先应当指出的是，不通过运行管理人员的干预就能实现电网运行管理自动化的信息系统是不存在的。大多数运行控制决策都必须依靠人作出。当然，这并不排除部分运行任务已实现自动闭环控制（如发电机负荷的即时最佳分配）。电网信息系统的主要作用在于收集来自电网的信息，完成信息处理，清晰地提供给运行管理人员，以便迅速作出控制决策（如最大连续运行容量分析），或者自动地监视运行参数，在偏离正常情况时给出警报；另一方面，电网信息系统将运行管理人员的综合指示转换为一系列的控制命令并监视命令的执行（如开关装置顺序操作）。电网信息系统所要完成的主要任务可简述如下：

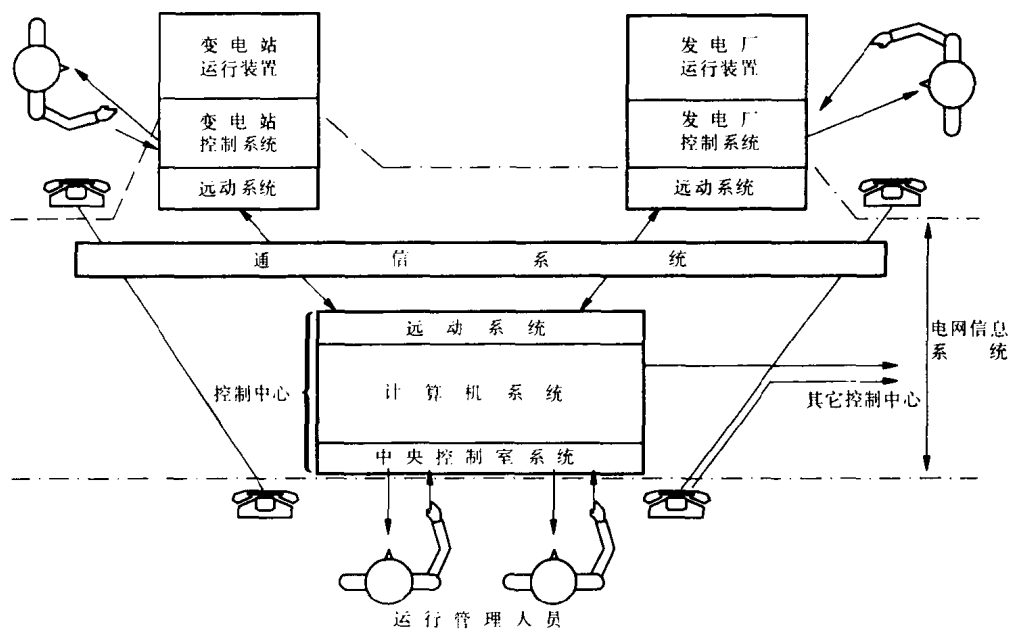


图 1.1 电网信息系统

(1) 由于电网分布在辽阔的地域，电网信息系统的主要任务之一是将电厂、变电站的信息传输到控制中心，相反地也要将控制中心的命令和整定值传向电厂或变电站。这一任务通常要由远动通信系统来完成。远动技术的发展曾经经历了继电器式、电子管式、半导体式各

个阶段，现代的远动装置均采用微处理器来实现信息的编码及信息处理过程的控制。远动终端装置一般是按电网控制和监视的具体要求设计的。而远动编码信息的传输所采用的方法和通道与电话传输采用的方法和通道并无两样。不同之处仅在于，远动通信通道一般不经过交换机，而是始终处于直通状态（常设线路）。另外，电力企业还充分利用自己具有的高压输电线路作为传输通道，这就是高压电力线载波。

就信息传输而言，一个电力企业内部或不同电力企业各控制中心之间的数据交换具有重要意义。而且越来越多地直接在计算机之间交换数据。这时所采用的数据传输方法和装置就不再是专为电网信息系统设计的，而是普通商用的计算机之间数据交换的方法和装置。为了达到有效地交换数据的目的，常常要求比电话通道频带宽得多的通道。在许多国家都由邮电或电话管理部门建立数据通信网提供宽频带数据传输通道。

(2) 电网信息系统的主要任务之二是要在控制中心完成对信息的处理和显示。目前采用中型到大型容量的计算机系统，由于可靠性要求以及合理分配任务的原因，大多数情况下采用多机系统。计算机系统中管理的大多数信息都是通过远动装置从电网获得自动传输的远动信息。但亦有许多信息是由运行管理人员人工输入存放的信息。建立一个功能俱全的控制中心，远远不只是一个计算机系统的问题。中央控制室是昼夜有人值班的。运行管理人员必须有合适的工作环境。数据必须按其重要性和直观清晰度分组显示，例如采用镶嵌式模拟盘或特殊仪表盘等。除了计算机和远动通信系统之外，在控制中心还必须具有其它通信手段，如电话通信系统。电网控制中心与电网运行所需要的其它服务部门有着密切的配合关系。电网控制中心建筑的要求就是要全盘考虑一个完整的方案来设计。

(3) 由于控制中心采用了计算机，产生了电网信息系统的第三个任务：即将所收集到的一系列数据分类存储，计算机容量不仅用于直接为电网运行服务，而且也借助复杂的数字模型和程序为进一步的分析（二次处理）服务。二次处理有着两方面的目的，即

- 根据当前的运行状态，诊断偏离正常运行状态及事故状态下可能出现的危险；
- 根据分类存储的数据，支持制定未来一个时期（一天、一周、一年）的运行计划。

由于二次处理任务要求计算容量，因而它对控制中心计算机及其系统的扩展有着重要影响。

(4) 电网信息系统的第四个主要任务是系统本身的运行管理任务。这一任务是由它所管理的电网的特点所决定的。这就是：电网运行涉及到的数据不仅量大而且种类繁多，而且电网本身不断扩大，运行装置不断补充，加之电网运行要求的可靠性和速度亦很高。这样就要求电网信息系统能够精确完整地描述电网的数据，不仅使人而且也使计算机均易识别；系统的数据描述要在不影响处理程序和不中断电网运行的情况下具有更改的灵活性；系统应当具有数据安全保险功能，以便在系统发生局部故障或整体故障时不仅能挽救电网数据描述而且亦能挽救来自电网，特别是人工输入的运行数据；此外，信息系统，主要是计算机系统和传输通路，要求具有冗余结构，并为此服务的信息及监视系统。

电网信息系统是电网运行管理的辅助手段，是有针对性的。它与电网的结构以及由此产生的运行任务，还与所选择的运行组织有着密切的关系。正是因为这些因素的影响，使得国与国之间，甚至同一国内不同电力企业之间信息系统的组成可能有相当大的差异。此外，高压、超高压电网与中压配电网对信息系统的要求和结构也有着显著的不同。

本书中主要论述用于高压、超高压电网的信息系统。尽管在中压电网控制中心也越来越

多地应用信息系统，但与中压电网本身的数量相比，实际实现的系统还是比较少。应当指出的是，人们一开始总是认为中压级信息系统要处理的运行问题比高压级简单得多，因而所用的计算机也相应地应当小得多。实际上这种想象并不现实。

本书描述的电网信息系统涉及到电网运行数据采集、远动数据传输、计算机内电网数据组织及处理、以及中央控制室技术、计算机系统硬件及软件各个领域（第四章到第九章）。为了能够更好地理解电网对信息系统的要求及影响，在具体描述该系统之前简要地介绍了电网的结构、运行任务及运行组织（第二、三章）。第十章扼要地介绍了设计电网信息系统的实际方法。

最后指出，由于电网信息技术的发展十分迅速，在全书中，作者总是力求论述系统的基本原理，讨论发展趋势，而不着重描述具体的装置。

第二章 电网的结构

第一节 概 述

在供电发展的最初阶段，所谓电网只是“岛网”，也就是说，电网只把或多或少的耗电用户同一座发电厂的一台或少数几台发电机连接在一起。今天这种孤立的岛网只存在于边远的地区，或者用作轮船或飞机的供电系统。不过，在供电发生严重事故时，或严重事故之后，联合电网恢复工作时，也可能暂时出现这种形式的电网。

今天，电网的典型形式是三相联合网络，它将辽阔地域上分布的所有电厂相互连接在一起，并向该地区的所有与它连接的用户供给电能。联合电网的特点是：

——许多不同的电厂向用户供电。当某电厂发生事故或检修时，其它电厂可以相互支援。同时也有可能是在低负荷期间停止某些电厂的运行，以及将用户需要的功率合理地分配到工作的发电厂，使整个发电成本为最低。

——多电压等级的多级结构。它可为从电厂（有时达若干吉瓦）直到小小的灯泡相差许多倍的电能流提供合适的传输线路。通过网络互连和多重供电可作到，用户对一个运行装置的故障毫无觉察或者采取开关措施仅短时中断后又重新供电。

第二节 联合多级电网的理想形式

图 2.1 示出了一个联合多级电网的理想形式。

1) 一级**输送网**覆盖整个国土或覆盖一个或几个直径为 1000km 左右的省域。为此所采用的（超高）电压为 220~700kV（将来可为 1200kV）。单线可输送功率约为 0.1~1GW。一级输送网由各发电厂供给电能。若要与其它地区或省交换电能，则在输送网中设有联络（桥接）站。

2) 二级**传输网**覆盖一个省或一个省的一部分，其直径可为 200~500km。为此所采用的（高）电压为 110kV，有时也采用 220kV。单线可传输功率约为 10~100MW。传输网通过变压器从输送网中吸取功率。相邻的传输网具有相互沟通的搭接线。不过搭接线只是在紧急情况下才使用，一般情况下是断开的，以防止电能与输送网并行地流经弱负荷线。

3) 三级**分配网**覆盖直径为若干千米到几十千米的一个地区（如一个市区、一个工业企业或若干乡镇）。对此采用 6~20kV 的（中）电压。单线可输送功率为 1~10MW。分配网的电能由传输网经供电站的变压器供给。从供电站的母线出发，许多电缆或导线引向配电站。多数情况下，配电站就像一连串珍珠一样排列在一条支线上。射线网①的缺点是当一个配电站或两个配电站之间的连线出现故障时，所有随后相接的各站均将受到影响。因此，多数情况下，支线又引回到同一供电站或引向相邻的站②③。这样在一个供电站两根母线之间或两个供电站之间形成的环形网通常并不是闭合的，而是在环路的某一位置（分离点）断开，以便有可能更好地断定故障范围，应用简单的保护（无方向过电流保护）并防止电能

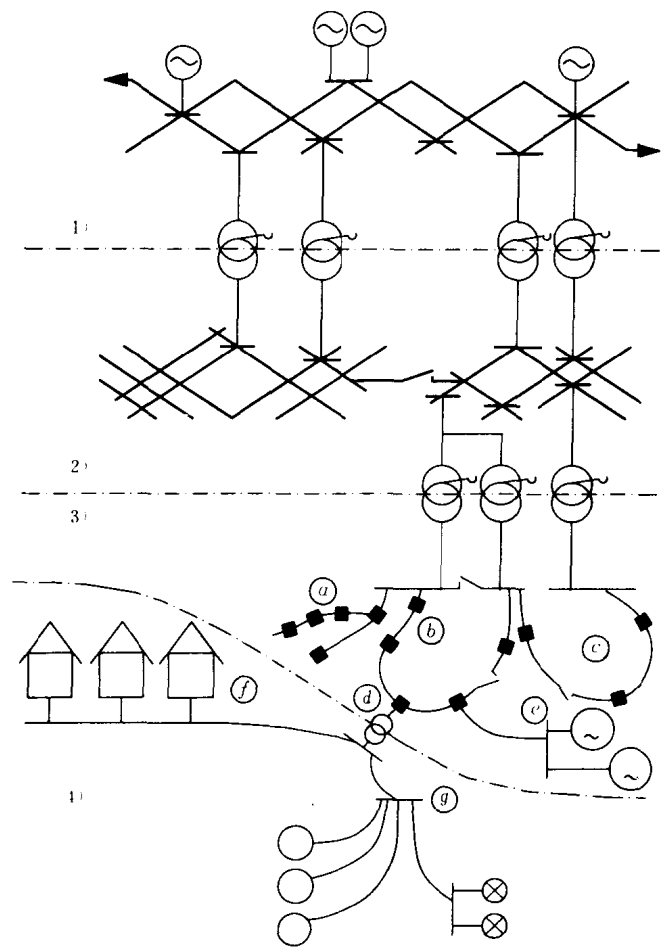


图 2.1 联合多级电网的理想形式

- 1) 一级输送网(超高压) 2) 二级传输网(高压)
3) 三级分配网(中压) 4) 四级低压网(低压)

与传输网并行地流经弱负荷线。

多数配电站中有一台容量约为 1000~2000kVA 的变压器（有时也有两台变压器并行工作的情况）向下一级电网供电。在工业分配网中，大功率的电动机也直接接到中电压的分配网⑥，此时的串接电压多为 6kV。

4) 四级**低压网**直接供给用户电能，采用的电压为 220V / 380V 或 110V / 190V。居民用户通过电缆或明线获得电能，一般这些支线沿街道架设，各建筑物通过配电板与它们相接。在工业用电网中接有若干耗电器组。因此，低压电能常常还要进一步分配⑧。

第三节 联合多级电网的非理想情况

联合多级电网的理想形式正好可以划分为四个电压级别，其额定电压可根据国家要求的传输距离以及标准电压系列范围内要传输的功率，最佳地加以选择。实际上，现存的电网具

有多种多样的形式。这一情况首先是由供电的历史发展造成的。旧设备不能迅速替换以免损害许多用电者的利益。考虑到设备投资成本的原因，人们总是力求物尽其用，直到不能再用于止。因而有可能造成这种状况，即输送网包含的不只是一个电压水平，而是两个电压水平（400kV 和 220kV）。同样，输送网和分配网也分别包含有若干电压水平。

电厂也常常接到传输网上，这是出自历史的原因或者对小容量水电站来说，接向输送网太费事而造成的。

采用直流输电，以便实现：

- 电能的远距离传输（由于稳定性）；
- 电能经远距离电缆传输，如跨越海峡（由于容性功率）；
- 在不同频率的交流电网之间交换电能。

直流传输通常在输送网内的两地之间或两个传输网之间进行。交流联络线或导线上的功率流与网络的阻抗有关，电网运行中，只有通过开关措施或将发送功率转移到其它发电厂来改变它（有时也偶而采用电压调节变压器）。采用高压直流传输时，直接调整被传输的有功功率，不传输无功功率（或故障情况下的短路功率）。因此，对电网的运行管理和电网信息系统产生了另外的可能性及任务。

分配网不同于理想形式，首先是网络网格化的程度。若一分配网在历史发展的过程中，只是不断地增添线路，而没有削减任何线路，其结果必然发展为一个非常复杂的网状结构。确定和管理这些将复杂的网状结构划分为辐射状子网的隔离开关，也对电网信息技术提出了相当高的要求。

低压网有时也设计成网状结构，以便提高供电的可靠性（如工厂、医院）。城市低压供电网，当负荷密度较小，如 $5\text{MW}/(\text{km})^2$ 时，也常常设计成网状结构。由于这时本地配电站要求配备回程功率保护及相应的信号系统；另一方面电网中负荷的分布和变化情况不易了解，在严重故障情况下，故障范围也不清晰，这样显然造成运行上的困难。所以当负荷密度较大时，一般均采用辐射网结构。

有许多国家，如欧洲无论是分配网还是低压网，都是按三相走线布置的。但也有些国家，如美国分配网中，离开供电站的线路就只是单相走线。低压网（工业用电网除外）为单相网络（110V 或 $2 \times 110\text{V}$ 带中线），相应地配电站的变压器也是单相形式。

在图 2.1 中表示出了输送网、传输网、分配网和低压网相互之间的物理分界线。正如后面第三章第五节所指出的，由于运行方面的原因，实际分界线也常常与理想的分界线有所差异。

第四节 变电站和开关系统

一个电能系统由电厂、电网和用户组成。电网又包括架空线、电缆和变电站。变电站这一概念指的是位于同一地方所有对电能进行开断、变换和分配的装置，也包括因此而需要的测量、保护及辅助装置。本来向低压网供电的配电站也应是一个小小的“变电站”，不过通常不这样命名。

特别重要的是需要明白，变电站这一概念在逻辑上与图 2.1 所示的按电压级别划分的联合网络的多级物理方案并不相对应。有些变电站只由同电压水平的一个开关系统所组成，在

图 2.1 中以一个交叉点来表示, 由此分出若干条线路 (图 2.2a)。但多数情况下变电站的开关系统多于一个, 而且还包括位于不同电压水平之间的变压器 (因此有时也称为变压站)。极端的情况下, 在一个大的变电站中, 联合多级电网各电压水平的开关系统均可出现 (图 2.2b)。因此, 变电站不是来自电网物理结构的概念, 相反地确是电网运行组织的一个非常重要的概念。

在很多国家, 所有较大的变电站总是一直配有值班人员。随着电网信息技术的发展, 有可能由一个控制中央对所有管辖的开关系统实现遥远监视和控制。在后一情况下, 只有少数大型的重要的变电站才保留人员。

世界各国的**开关系统**在结构上有很大不同, 这也导致了开关装置和母线的空间安排和布置的差异。对电网信息系统而言, 感兴趣的只是装置的电气安排和连接方式。图 2.3 示出了四种开关系统的形式, 不过只有前两种 a 和 b 是常见的。下面只对这两种情况加以说明。

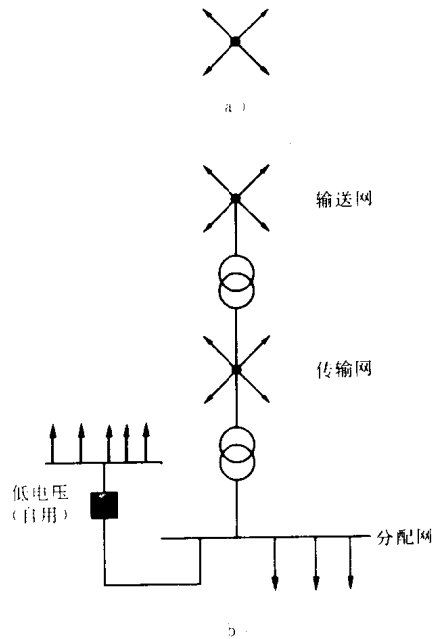


图 2.2 变电站的物理结构

a) 具有一个开关系统 b) 具有几个开关系统的变电站

欧洲地区普遍采用 **1 断路器开关系统**, 多数情况下配置两条主结母线, 有时配置得更多。图 2.3a 中所示的旁路母线和母线

分段也是常见的。由于多重母线和母线分段的采用, 在一个开关系统中可以构成的网络节点多于一个。这一点被充分利用。例如在短路补偿 (接地限流线圈) 时将电网划分为若干短路区或依靠邻近电厂减少电网中的短路功率。开关系统的布置应当使运行中的开关操作或变更不致引起电流的中断。这主要指的是隔离开关位置的变化, 不允许在有载负荷的状态下发生。由此需要接入有时是相当复杂的换接开关系统, 以便在线路转换时可将隔离开关并联桥接。

美国普遍采用的是 **$1^1/2$ 断路器开关系统**。在正常运行情况下, 整个开关系统构成一个节点。为切断一条支路, 虽然原则上必须操作两个断路器, 但几乎所有的操作方案都可只操作断路器而隔离开关保持不动来实现。隔离开关只是在检修作业、人员进入开关系统时才必须切换。

影响电网信息系统的不同的运行原则总是与开关系统的不同形式相联系的。因此, 采用 $1^1/2$ 断路器开关系统的电力系统, 电网信息技术常常根本不需要处理隔离开关, 这就是说既不在电网开关图上表示, 也不需要监视信号, 也不必控制, 相反地, 在采用 1 断路器开关系统时, 信息技术必须考虑处理隔离开关, 多数情况下也须遥控。当开关系统中隔离开关甚