

配 电 系 统 自 动 化 及 其 发 展

王明俊 于尔铿 刘广一 编著

中国电力出版社

内 容 提 要

配电系统的自动化正在从传统的一个个单项的自动化向系统的集成化方向发展。本书共分七章。第一章从DMS、DA和DSM几个概念的描述出发,引申出本书的主要内容——集成化的DMS。第二章介绍集成化DMS的开放式支撑环境和系统结构。第三章介绍运行环境下的DMS功能,在传统SCADA和LM功能的基础上,增加了一些新的功能和集成化的内容。第四章DMS的高级应用软件是实现DMS功能的主要部分,内容较新,目前尚在发展中。第五章的配电图资系统AM/FM/GIS与当代的多媒体技术相结合,发展较快,现已提供实时应用,并将成为配电自动化的基础。第六和第七章所分别讨论的配电自动化DA和需方用电管理DSM是当代学术界比较热门的话题,其中,第六章介绍变电站和馈线自动化,第七章介绍开展需方用电管理的情况和存在的问题。

本书可供关注DMS集成化方向,研究开发DMS、DA/DSM产品的有关科学研究、工程技术、教学和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

配电系统自动化及其发展/王明俊等编著. —北京:中国电力出版社,1997

(电力新技术丛书)

ISBN 7-80125-504-6

I. 配… I. 王… II. 配电系统-自动化 N. TM76

中国版本图书馆CIP数据核字.(97)第21988号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 邮政编码100044)

涿州一中印刷厂印刷

各地新华书店经售

1998年1月第一版 1998年1月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 32开本 6.5印张 142千字
印数0001 3780册 定价12.00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)

《电力新技术丛书》出版说明

我国电力工业的发展取得了举世瞩目的成就,从1978年到1997年的19年中装机容量及发电容量连续上两个台阶(1987年装机容量达1亿kW及1995年装机容量达2亿kW),到1996年底已居于世界第2位。电力工业的领导者向我们提出了建“一流电网”的号召,针对当前两个根本性转变的关键时刻,提出要进行由计划经济体制向具有中国特色的社会主义市场经济体制转变的第二次创业。其目标就是要保持电力工业持续、快速、健康地发展和电力供给与需求的平衡,从而保证国民经济的发展和社会的进步以及人民生活水平的日益提高。为达到建成“一流电网”的目的,必须有一流的人才,用一流的技术,并且得到各行业的关心、支持和理解。本套《电力新技术丛书》即是用深入浅出的叙述方法介绍有关一流电网的新技术。希望关心这些问题的有关人员可以用较短的时间理解这些问题的概要,加深对这些问题的关注和支持。

本丛书的作者们都是从事所写专题多年的工作者,并在该专题领域有开拓性的贡献。他们出于“甘为人梯”的想法,把自己的体会及资料尽可能深入浅出地写出,希望读者能用最少的投入,掌握作者的所知所得。

本丛书包括一些具有现实意义和广阔应用前景,并在国际上或国内处于前沿地位的高新技术。例如微机继电保护、电力网中的谐波、电网调度员培训模拟(DTS)、人工神经网络原理及其应用、配电系统自动化及其发展、面向对象设计的

开放式能量管理系统、模糊数学在电力系统中的应用、电力电子学在电力系统中的应用——灵活交流输电系统、直接法稳定分析、无功补偿的矢量控制等，读者可以根据需要与可能选用。

本丛书的宗旨是用读者容易理解的体系和叙述方法，深入浅出、循序渐进地就各专题题目的引出，专题的基本原理和理论及对电力系统的影响进行简要论述，并对专题的应用领域和前景及可能产生的效益作出评述。

本丛书的读者对象为：科研、教学、生产第一线的电力工程技术人员，特别是工作五年左右的年轻工程师及大、中专院校有关专业的学生。由于科学技术的飞速发展以及我们的水平有限，丛书肯定会存在许多不足，丛书的书目和内容也应当不断发展和更新。我们热诚地希望得到社会各界和广大读者的批评指正。

王平洋 周孝信

前 言

本书和这套丛书的《面向对象设计的开放式能量管理系统》(以下简称《面向》)密切相关。《面向》一书中前两章所介绍的开放系统和面向对象技术完全适于本书使用。这是因为,面向对象设计的电力系统模型已能同时支持能量管理系统和配电管理系统,而不需象传统的面向过程设计那样,针对不同过程的特点而分别设计不同的支撑平台。所以,本书对有关配电管理系统开放式支撑平台的叙述将力求从简。对这方面不太熟悉的读者,可在阅读本书之前作为预备知识去查阅《面向对象设计的开放式能量管理系统》一书的前两章;或在读完本书之后作为新的领域去进一步探讨。

《面向》一书中所介绍的能量管理系统 EMS (Energy Management System) 和本书介绍的配电管理系统 DMS (Distribution Management System), 都是为电力系统安全、经济和优质运行服务的计算机监视、控制和辅助管理系统。在由发电、输电、变电、配电和用电五个环节构成的电力系统中, EMS 主要是监视、控制和管理发电、输电和变电几个环节, 包括监视控制和数据采集 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)、自动发电控制 AGC (Automatic Generation Control) 和其他名目繁多的 EMS 高级应用软件。变电以下的供用电系统, 包括 SCADA、负荷管理 LM (Load Management)、自动绘图和设备管理 AM/FM (Automated Mapping/Facilities Management)、投诉电话热线 (Trouble Call) 等功能, 则属于 DMS 的范畴。但由于电力系统具有发、

供、用电一次同步完成的特点，故两者具有密切相关的联系。因此，EMS 和 DMS 的上述分工，主要是针对一定规模的电力系统而言的，对于较小的孤立系统，则两者可合二为一。

同属计算机监视、控制和辅助管理系统的 EMS 和 DMS，都是以 SCADA 为起点，但其发展特点却不尽相同。

假如我们把电力公司称为供方 (Supply Side)、用户称为需方 (Demand Side) 的话，由于 EMS 只和供方的发、输、变设备打交道，可以看成是一个纯粹的供方输电管理系统，共性问题相对较多，所要解决的问题和发展的方向也都比较明确。其特点是沿着 SCADA、AGC、EMS 高级应用软件的方向由浅而深纵向发展。当前，EMS 高级应用软件正从静态的状态估计、安全分析、调度员潮流等向动态和优化的方向发展，如在线稳定、优化潮流以及包括有动态特性的调度员培训模拟等，并已突破上述精确解的范畴，进入了开发专家系统、模糊数学、神经网络等知识型应用软件的新领域。

但 DMS 则比较复杂，它兼有供方配电管理和需方用电管理 DSM (Demand Side Management) 两重任务。因为，和它打交道的不仅是供方的变电配电设备和网络，而且还有为数众多、性质各异且经常变化增长的用户设备，其功能涉及到运行、规划、设计、管理等多个方面，个性问题相对较多。此外，加上以往电网自动化界的注意力主要集中在影响面较大的输电系统，热点逐渐转向配电系统才是最近十来年的事情。所以，除 SCADA 之外，并行发展了负荷管理、电量计费、自动绘图和设备管理以及故障定位隔离和自动恢复供电等单项自动化系统，由少到多横向发展，系统集成度差，因而有“多岛自动化” (Islands Automation) 之称。

80 年代后期，在计算机硬件性能价格比显著提高、工作

站网络技术快速发展的触动下，EMS 和 DMS 都处在一个反思过去、规划未来的阶段。1988 年 IEEE 冬季会议由包括用户在内的 26 位专家发表的 EMS 结构工作组报告和 1989 年冬季会议由 16 位专家发表的配电自动化 (Distribution Automation) 教材，就是这方面的代表作。90 年代初，随着开放系统和面向对象技术的兴起，提供了系统开放和系统集成的有利环境和手段，更加肯定了 EMS 和 DMS 的“开放”和“集成”方向，出现了 SCADA/EMS/DMS 系统集成和综合开发按需剪裁的新趋势。

由于 DMS 需解决的问题较多，再加上供电网具有量大面广的市场前景，因此，即使在 DMS 还没有取得一个公认定义的情况下，DMS 和 DA/DSM 的国际会议已举行过多次，国际上学术界和开发厂家对 DMS 领域的研究和开发，近十年来一直非常活跃。使用交流采样的数字仪表、数字继电保护和无变送器远动取代常规的变电站二次设备的变电站综合自动化，节约大量电缆、常规设备、占地面积和维护人力，显示了高科技带来的高效益。安装在馈电线路上的故障定位、隔离和自动恢复供电系统，使排除故障恢复供电的时间由平均 4h 左右缩短到 2min。DSM 计划的实施，改变了传统负荷控制的概念，整体经济效益尤为可观。传统上属于离线应用的 AM/FM (自动绘图和设备管理系统)，正与 SCADA 结合而提供在线应用。更重要的是，开放系统的发展和面向对象技术的应用，给传统的 DMS “多岛自动化”带来了前所未有的转机，大大地加快了 DMS 系统集成的步伐。

本书的目的，即在于从发展的角度，系统和全面地分析介绍 DMS 领域最新的研究开发成果和今后的技术发展趋势。

书中的前言和前三章由王明俊编写，第四章和后记由于尔铿执笔，刘广一编写第五、第七两章，并与王明俊合写第六章。本书由王平洋审阅。

虽然编著者们在搜集、归纳和补充 DMS/DA/DSM 的最新研究和开发成果，并力求使之系统化而引入“子输电系统”、“表前表后控制”、“DMS 应用软件层次化”、“不同层次的开放性”等新概念方面已尽了力，但由于 DMS/DA/DSM 的研究开发和实施，以及一些有关标准的制定尚处在发展与完善阶段，再加上编著者们的水平和经验有限，错误和不足之处在所难免。当前，国内的 DA 尚处于水平参差不齐的“多岛自动化”阶段，AM/FM 限于离线使用，DSM 正在市场机制的推动下酝酿起步，DMS 应用软件的使用则基本空白。本书的出版，旨在提供一些方向性的材料和见解，可供研究开发 DMS/DA 产品、开拓 DSM 领域、关注 DMS 集成化方向的有关技术人员和管理人员参考。

目 录

《电力新技术丛书》出版说明

前 言

1. 配电管理系统、配电自动化与需方用电管理	1
1.1 配电管理系统 DMS 的特点和功能	3
1.2 配电自动化 DA 的发展	10
1.3 需方用电管理 DMS 的主要内容	15
1.4 从“多岛自动化”到系统集成的 DMS 系统	19
2. 配电管理系统的开放式支撑环境	22
2.1 计算机开放平台	24
2.2 电网实时应用系统的性能和标准扩充问题	32
2.3 配电管理系统的几个特殊接口标准	37
2.4 配电管理系统开放式支撑环境的面向 对象设计	45
3. DMS 的 SCADA/LM 功能	47
3.1 数据采集和监视控制 SCADA 系统	48
3.2 负荷管理系统 LM	62
4. DMS 的高级应用软件	74
4.1 配电系统模型	77
4.2 网络接线分析	81
4.3 配电网的潮流分析	86
4.4 配电网的负荷预报	96

4.5	配电网的状态估计	101
4.6	配电网的电压和无功优化调度	107
4.7	配电网应用软件的组织	112
4.8	配电系统分析软件实例	117
5.	配电网资系统 AM/FM/GIS	122
5.1	地理信息系统 GIS 的基本概念与功能	124
5.2	AM/FM 系统的基本概念与功能	130
5.3	AM/FM/GIS 系统在配电网中的应用	135
6.	配电自动化 DA	144
6.1	配电网中的多种通信方式	144
6.2	变电站自动化	157
6.3	馈电线自动化	163
7.	需方用电管理 DSM	173
7.1	DSM 与负荷管理	173
7.2	DSM 的实施方案与实现的技术手段	176
7.3	DSM 的多种电价	184
	后记	189
	附录 缩写术语一览	193
	参考文献	196

1. 配电管理系统、配电自动化与需方用电管理

同属于实现计算机监视、控制和管理功能的配电管理系统 DMS，其定义和功能范畴远不如能量管理系统 EMS 那样简单明确。首先，从电力系统的分层来看，就不能简单地归纳为输电系统和配电系统，实际上中间还有一层于输电系统 (Sub-transmission System)，我国大部分地区级的供用电电网都具有这个特点。反映到二次监控系统上来，它们所装备的系统并不是 SCADA/DMS，而是没有自动发电控制 AGC 功能的 SCADA/EMS。如果这个地区调度所还兼管市区调度的话，则只有 SCADA/EMS/DMS 才能胜任此任务了。

其次，就市区级的配电网自动化而言，学术界和工业界广为引用的配电管理系统、配电自动化系统与需方用电管理都与配电网的自动化有关。但由于定义不明确，功能时有交叉，也着实使不少读者感到困惑。造成这种现象的原因，主要是 DMS 不象 EMS 那样是一个基本远动化的纯供方的输电管理系统。节点数量极大的配电网不可能全部远动化，这就需要采取一些有别于 EMS 的措施来保证配网的安全运行。此外，DMS 对负荷的控制也不象 EMS 的 AGC 那样直接与供方设备打交道，它仅能做到“表前控制”，只有通过实施 DSM 计划，调动需方参与用电管理的积极性才能实现最终的“表后控制”。上述这些原因，使得在 DMS、DA 和 DSM 之间必然产生某些功能的互补和交叉。如用于故障定位、隔离和

自动恢复供电的柱上断路器或是用于网损管理的静止补偿装置，其控制器一般均备有“远动”、“自动”和“人工”等功能。“自动”就象继电保护那样作为单项 DA 设备，按事先整定好的条件就地自动动作。“远动”时则改由调度中心的 DMS 根据全网情况进行远方控制。这里，显然已难划清 DA 和 DMS 的界限，就更不用说 DMS 中密不可分的 LM 和 DSM 的关系了。

除了上述原因外，DMS 的研究与开发起步较晚，这虽然可以吸收不少 EMS 的开发经验和成熟技术，但面临既成事实的“多岛自动化”局面，学术界和工业界在统筹解决配网自动化问题上取得共识，也需一定时间。可以欣慰的是，90 年代开放系统和面向对象技术的兴起，正有力地推动着多岛自动化加快系统集成的步伐。

为了叙述上的方便，并明确本书所讨论的主要内容，我们将配网控制中心 DCC (Distribution Control Center) 有关的各种监视、控制和管理功能，包括 SCADA、LM (含 DSM 有关部分)、AM/FM/GIS (地理信息系统)，以及网络分析、负荷预报、电压管理、投诉电话热线等应用软件纳入 DMS 范畴。凡具有就地自动控制功能的变电站综合自动化和馈线路自动化都列入 DA。至于 DSM，除了与 LM 有关的负荷控制装置外，还包括调动需方积极性参与用电管理的激励电价、冷热储能、自备电源协调等削峰填谷手段和技术措施。至于地区电网中子输电系统的 EMS 功能，不属于本书讨论的范围，请参阅本丛书中的《面向对象设计的开放式能量管理系统》一书，但两者可以使用同一个支撑环境，组成为某些地区调度所需的 SCADA/EMS/DMS 系统。

1.1 配电管理系统 DMS 的特点和功能

配电管理系统和能量管理系统均为电力系统的安全、经济和优质运行服务，且可使用相同的支撑平台，并具有某些类似之处。但由于输电网和配电网之间，无论是一次系统接线还是二次系统装备都有许多差别，这就导致两者应用上的一些不同。

1.1.1 配电管理系统的特点

配电控制中心的 DMS 与输电控制中心的 EMS 相比，有一些类似之处，但更具有较多不同的特点。

DMS 与 EMS 的类似之处是：

(1) 两者均通过 RTU 来收集电网中设备的状态和测量值，并实现监视控制的远方操作——SCADA 功能。

(2) 两者均具有基于彩色屏幕显示的图形用户界面 GUI。

(3) 两者均具有自动控制功能，但 EMS 控制的是发电设备 (AGC)，DMS 控制的是用电负荷。

(4) 两者均具有计算机辅助调度的高级应用软件，但内容和方法却不尽相同。

(5) 两者均存储有历史数据，供制表、检索和分析历史事件用。

(6) 两者均能和其他计算机应用系统（如管理信息系统 MIS）相连，共享数据和应用成果。

但由于两者存在一次接线和二次设备的差别，使得 DMS 具有更多不同于 EMS 的特点。这些特点是：

(1) 典型的配电网多为辐射型结构，而不象典型的输电

网那样网状连接。

(2) 配电网的许多设备（如分段器、重合器、补偿电容器、调压变压器等）是按配电线路长度安放的，往往装在电线杆上。而不象输电网的设备（如断路器、静止补偿器等）一般都是放在变电站内。

(3) 配电网内要求安装 RTU 的数量，通常比相连输电系统所需的数量要多一个数量级（10 倍）。

(4) 一处配电网设备的总数据量（如线路调压变压器上所采集的三相运行工况参数），约比一个输电变电站的数据量少一个数量级。

(5) 配电网的数据库规模，一般比所连输电网的数据库（千级）大一个数量级（万级）。

(6) 配电网内大多数的现场设备都是人工操作，而不象输电网那样，大多数的现场设备可以远方控制。

(7) 配电网的网络接线变化，常常发生在出事地点而不是在开关安装处。如由于交通事故而碰断某相线路，这样的接线变化就很少会发生在输电网上。

(8) 配电网设备名目繁多，数量极大，且而面临经常变动的需方负荷，检修更新频繁。因此设备管理和规划设计任务，较输电网繁琐。

(9) 配电网除供方的设备外，还连有大量需方的用电设备，有时还有包括联合循环发电在内的自备电源。不象输电系统那样，基本上全是供方的发、输、变电设备。

(10) 承担传送数据和通话任务的配电网通信系统，由于包含有各种类型的负荷控制和远方读表装置而具有多种通信方式的特点。但其通信速率，由于配网不考虑系统的稳定问题而不如输电系统要求那样高。

下面分析 DMS 的功能时，我们将可看到：DMS 的这些特点，使其在许多方面与 EMS 有很大的不同。

1.1.2 配电管理系统的功能

能量管理系统中，我们常用 SCADA/AGC/PAS 来概括其主要功能。对于配电管理系统的主要功能，也可用 SCADA/LM/PAS/(AM/FM/FIS) 来表示。其中，电力应用软件 PAS (Power Application Software) 则分别称为 EMS 应用软件和 DMS 应用软件。

现就配电管理系统的主要功能分述如下。

(一) 配电网的 SCADA 功能

配电网的 SCADA 系统，包括通过传统的变电站 RTU 收集配电网的实时数据，进行数据处理以及监视控制等功能。此外，和 EMS 不同，配电网的 SCADA 系统还包括有沿线分布的面向理场的 FTU (现场或馈线终端装置)，用以实现馈电线自动化的远动功能。

DMS 通过 RTU 所监视控制的配电变电站设备有：

- 1) 断路器和开关设备状态；
- 2) 重合闸开合状态；
- 3) 带负荷调整变压器的抽头位置；
- 4) 静补电容器组；
- 5) 数字保护装置的整定值组位置等。

DMS 通过 FTU 所监视控制的馈电线路设备有：

- 1) 线路重合器的整定和状态；
- 2) 分段器和柱上断路器状态；
- 3) 静补电容器组状态；
- 4) 电压调整器位置状态等。

关于配电网的 SCADA 功能，还有两点说明：

(1) 面向现场的 FTU, 大都是由无变送器的直接交流采样原理构成的 (以后将详细分析介绍), 且具有抗高温、耐低温等适应现场恶劣环境的能力。

(2) 由于配电网的节点数量极大, 难以全部实现运动化 (如为数众多的馈电线路, 就不可能全部装上由分段器、重合器所组成的故障定位、隔离和自动恢复供电系统), 因此, 许多监控点的数据采集和控制操作, 只能通过移动电话由调度员和现场人员配合完成。即使装有自动化设备的线路, 如果不具备通信能力, 也只能就地自动运行, 而不能进行远方操作。

(二) 配电网的负荷管理 LM 功能

负荷管理提供控制用户负荷, 以及帮助控制中心操作员制定负荷控制策略和计划的能力。其中, 削峰和降压减载为其主要的两个功能。此外, DMS 应用软件中估计负荷增减的预报模型, 以及在操作培训模拟 DTS 上按地区或按系统对控制方案进行评价研究的功能。也属于负荷管理的范畴。

前面已经提到, 和 EMS 的 AGC 不同, 配电网的 LM 由于涉及到需方的用电设备, 视监视与控制点的不同而分为“表前控制”和“表后控制”, 即以电能表为分界线的表前负荷控制和表后对用户设备的直接控制。

(1) 表前控制。

降压减负荷即为典型的表前控制, 它监视辐射型馈电线路的末梢电压, 在保证此电压不低于极限值的前提下, 通过降低该馈电线路的电压来达到减轻系统负荷的目的。此外, 紧急状态下的切断馈电线路 (拉路限电) 也是一种报端情况下的表前控制。

(2) 表后控制。

用于削峰目的的表后控制，是将在用户侧对需方用电设备直接进行的控制。由于它与需方用电管理 DSM 关系十分密切，因此，应分别从供方和需方两个角度来加以叙述。从供方来看，主要是通过装在用户侧的负荷控制终端（这也是一种面向现场的 F-RTU），按照供需双方协议直接控制某部分负荷，或对制冷电热设备等周期性负荷实行周期供电。如这些设备具有调控功能，还可通过改变其偏置值来压低负荷。从需方来看，主要是根据供方所提供的分时激励电价，由需方在电费较高的时段内自行压低负荷。

不管采用哪种机制，DMS 的负荷管理均应具有以下监视和控制功能。

首先，应对变电站馈电线路的负荷进行监视，以验证是否达到正常或紧急运行状态下所要求压低的负荷水平。其次是监视各个开关的状态，这是当负荷管理采取补救措施时所必需知道的系统配置信息。

控制功能应能分别对各个用户进行控制。在正常或紧急运行状态下，根据事先制定的负荷控制方案，切断有关的用户负荷以压低整个系统、变电站、或馈电线路的负荷水平。此外，还应能切换表计的整定值，并取回分时电价的电表记录，以适应分时电价的运行机制。

（三）配电管理系统的高级应用软件功能

和能量管理系统的高级应用软件类似，我们把与配电网络分析有关的应用软件称为高级应用软件，以便和 SCADA/LM 等应用相区别。

由于配电网不涉及系统稳定和调频这类问题，其主要任务是保证安全可靠供电、分配好负荷、搞好电压/无功管理等，乍看起来似乎比输电系统简单。其实不然，由于配电网具有