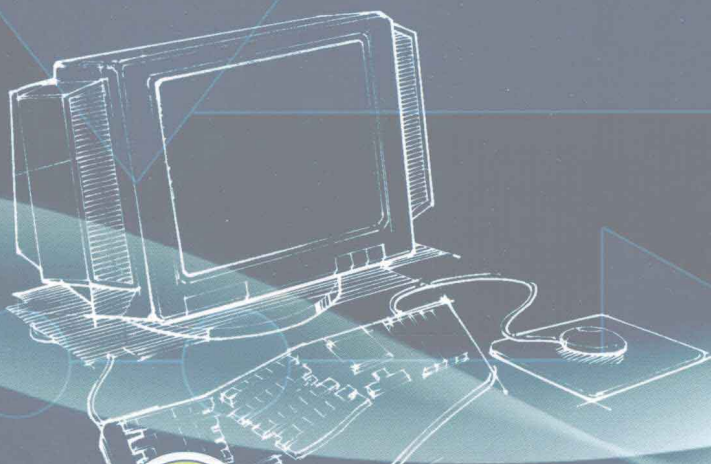


面向对象的 电力系统自动化

刘 东 张沛超 李晓露 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

面向对象的 电力系统自动化

刘 东 张沛超 李晓露 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以面向对象的分析方法阐述了电力系统自动化的理论与技术体系,结合当前电网监控和能量管理的 IEC 61970、IEC 61850 和 IEC 61968 系列标准,介绍了电力系统面向对象信息建模、电网调度自动化系统、变电站自动化系统、配电自动化以及电力系统信息集成相关技术的业务需求、功能及技术实现,并阐述其研究现状及新技术的发展方向。

本书可供从事电力系统自动化及电力信息化领域的设计、开发、运行及维护人员使用,也可供大学电气工程与自动化专业和电气工程及其自动化专业高年级本科生、研究生作为教学用书或教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

面向对象的电力系统自动化/刘东,张沛超,李晓露
编著. —北京:中国电力出版社,2009

ISBN 978-7-5083-8248-7

I. 面… II. ①刘… ②张… ③李… III. 电力系统-
自动化 IV. TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 204714 号

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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 3 月第一版 2009 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10 印张 240 千字

印数 0001—3000 册 定价 20.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

电力系统自动化是保证电力系统安全、优质、经济运行的一项综合性技术,它是信息技术、计算机、自动控制技术在电力系统中的具体应用,已经成为电气工程类专业学生必备的专业知识之一。

我国电力系统的自动化水平不断进步,未来的电力企业应该是一个实时监控信息和企业管理流程全面集成的数字化电网及信息化企业,并逐步向智能电网方向发展,它建立在先进的经营理念、管理方法、信息技术和监控技术的基础上,并能够通过集成化的企业战略框架不断改进,适应电力体制改革的发展。

电力系统自动化技术更新换代很快,为了适应技术的飞速发展,本书以面向对象的分析方法,基于公共信息模型 CIM 为核心阐述了电力系统自动化的理论与技术体系,结合当前电网监控和能量管理的 IEC 61970、IEC 61850 和 IEC 61968 系列标准,介绍电力系统面向对象信息建模、电网调度自动化系统、变电站自动化系统、配电自动化以及电力系统信息集成的相关技术的业务需求、功能及技术实现,并阐述其现状及新技术的发展方向,帮助读者全面了解面向对象的新一代电力系统自动化的技术内涵。

本书第 1、2、3、5 章由上海交通大学刘东编写,第 4 章由上海交通大学张沛超编写,第 6 章由烟台东方电子信息产业股份公司李晓露编写,全书由刘东统稿。

限于编著者水平,书中难免有不足与错误,敬请读者批评指正。

编著者

上海交通大学

2008 年 10 月

作者简介

刘东 男，1968 年 10 月出生，博士，研究员，博士生导师，教育部新世纪优秀人才，现就职于上海交通大学电子信息与电气工程学院。研究方向为调度自动化及计算机信息处理，配电自动化及配电管理系统。曾担任烟台东方电子信息产业股份有限公司董事、常务副总工程师、配电自动化事业部总经理，作为技术负责人完成国家高技术产业化示范工程 DF9000 配电自动化及配电管理系统项目，作为第一发明人完成软件著作权三项和实用新型专利四项，获得多项省部级鉴定科技成果及省市级科技奖。完成专著 2 本，参与多个电力行业标准的起草，领导并直接参与了全国 50 多个城市的配电自动化系统的工程设计、工程实施与验收工作。2004 年 10 月～2005 年 2 月在德国 Technique University of Darmstadt 做高级访问学者。

主要学术兼职：

- IEC 国际电工委员会 TC57 WG09 工作组通信成员
- 全国电力系统管理及其信息交换标准化技术委员会 配网工作组成员
- 中国电机工程学会，城市供电专业委员会 委员
- 中国电机工程学会，电力系统自动化专业委员会 配电自动化学科组 委员
- IEEE 国际电子电气工程师协会 会员

张沛超 男，1970 年 7 月出生，博士，副教授，现就职于上海交通大学电子信息与电气工程学院。“上海交大一许继智能电网技术”研发中心主任。1996 年留校从事教学、科研工作，研究方向为智能电网技术、电力系统继电保护、调度自动化以及数字式变电站、电力系统仿真。2005 年 6 月～2006 年 7 月在美国 Texas A&M University 做访问学者。

李晓露 女，1971 年 3 月出生，博士后，高级工程师，现就职于烟台东方电子信息产业股份有限公司。研究方向为电力企业应用集成的系统架构研究。领导实施了广州供电局准实时数据平台、杭州电力局生产系统集成平台、绍兴电业局 PI 应用集成平台、安阳数据总线、北京市电力公司综合数据平台等项目。目前为全国电力系统管理及其信息交换标准化技术委员会第四届 EMS-API 工作组成员。

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 电力系统自动化内容及其功能	2
1.3 本书的体系安排	4
第 2 章 电力系统面向对象信息建模	6
2.1 引言	6
2.2 面向对象的分析与设计	7
2.3 电网现实模型与信息模型	10
2.4 公共信息模型 CIM	13
2.5 小结	19
第 3 章 电网调度自动化系统	20
3.1 引言	20
3.2 电网调度自动化的领域模型	20
3.3 电网调度自动化的用例分析模型	23
3.4 电网调度自动化实现机制	34
3.5 电网调度自动化系统的组成	49
3.6 小结	50
第 4 章 变电站自动化系统	51
4.1 引言	51
4.2 常规变电站自动化系统	52
4.3 面向对象的变电站通信网络与系统——IEC 61850	62
4.4 数字化变电站系统	79
4.5 小结	85
第 5 章 配电自动化系统	86
5.1 引言	86
5.2 配电自动化的领域模型	87
5.3 配电自动化的用例分析模型	90
5.4 配电自动化实现机制	95
5.5 配电自动化系统的组成	114
5.6 小结	117
第 6 章 电力系统信息集成	119

6.1	引言	119
6.2	电力企业的集成需求与信息流分析	119
6.3	信息集成策略分析	121
6.4	信息集成的组件接口规范 CIS	125
6.5	业务集成实例	146
6.6	小结	150
附录	常用缩略语.....	151
参考文献		153

绪 论

1.1 引 言

电力系统的安全运行是国民经济发展的基础,我国2002年发电量完成7724亿kWh,位居世界第二。在21世纪前10年,全国装机容量预计可达到540GW,前20年可达到850~900GW。虽然当前少数发达国家已经有兆瓦级的电能储存装置的应用,但在电网中大规模储存电力仍然非常遥远,保持电能的发电量与用电量的供需平衡是电力调度部门首要的安全职责。由于电力负荷始终是变动的,加上系统故障的不可预见性,大面积停电事故在国内外还是时有发生。例如:2003年8月14日,美国东北部和加拿大联合电网发生大面积停电事故;2006年11月4日,西欧发生大面积停电事故;1996年美国西部联合电网、1987年日本东京、1981~1983年法国、瑞典和比利时都曾发生几次有影响的大停电事故。

美国东部时间2003年8月14日16时11分,包括纽约在内的美国东北部8个州和加拿大南部大部分地区的联合电网发生了自1965年以来最严重的断电事件,波及的人口达5000万。据专家估计这次停电给北美地区造成的经济损失达500亿~600亿美元,停电对社会及人民生活造成严重影响,引起了世界各国的普遍关注。

2006年11月4日,西欧发生大面积停电事故,影响面涵盖西欧大陆大部分国家,受影响较大的地区包括法国和德国人口最密集的地区以及比利时、意大利、西班牙、奥地利的部分地区。为保持系统发供电平衡,西欧诸国电网被迫切除部分工业及民用负荷总计达17000MW。这次事故影响很大,是欧洲历史上没有过的。法国约有500万人受到影响,损失负荷500万kW左右。德国有超过半数(4100万)居民受到停电影响,涉及5个州,铁路也一度中断。

所谓“大停电”,一般都是由电网局部故障扩大造成电力系统功率供需不平衡,偏离正常状态,逐步演变造成电网瓦解。引起大面积停电的严重恶性事故,其电力系统运行状态一般可以分成正常运行状态、警戒状态、紧急状态、崩溃状态以及恢复状态。各种运行状态及其相互间的转变关系如图1-1所示。

正常运行状态是指电力系统在承受合理的预想事故集的扰动后,同时

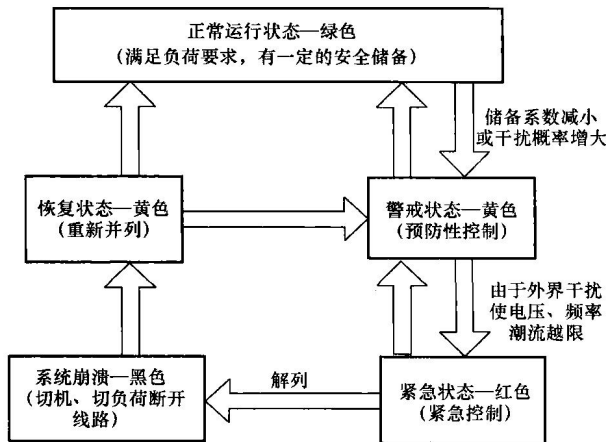


图 1-1 电力系统运行状态

满足功率平衡约束条件（等式约束条件）和运行约束条件（不等式约束条件），并且具有适当的安全储备。

运行在正常状态下的电力系统，在承受规定预想事故集的扰动过程中，只要有一个预想事故使系统不满足不等式约束条件，就称该系统处于警戒状态。

当系统运行在不满足不等式约束条件的状态下时，系统即处于紧急状态。在紧急状态下，系统违反不等式运行条件，但等式运行条件满足，系统仍然保持其稳定性。

当系统已经处于紧急状态下，如果来不及采取有效的措施，则有可能使系统运行状态继续恶化，导致整个系统的瓦解或崩溃。

保障电力系统的安全与经济运行，需要从发电厂、输电网、变电站、配电网等各个环节对电力系统运行状态进行实时监视并加以控制，使得电力系统始终处于正常状态运行。

电力系统的高速发展对电力系统自动化功能和性能的要求越来越高，发电、输电、变电、配电、用电各个环节的自动化系统和自动装置已成为电力系统安全与经济运行不可或缺的技术保障。

1.2 电力系统自动化内容及其功能

现代电力系统自动化是信息技术、计算机技术及自动控制技术在电力系统中的应用，针对电力系统发电、输电、变电、配电、用电等 5 个有机联系的环节分别有对应的专门自动化系统和自动装置进行监控。电力系统自动化总体结构如图 1-2 所示，其中，在发电环节有火电厂自动化系统、水电厂自动化系统以及其他类型发电厂的自动化系统，在输电环节有电网调度自动化系统，在变电环节有变电站自动化系统，在配电、用电环节有配电自动化系统。

在发电厂、变电站、配电站等现场的电力设备一般都有自动装置在当地进行控制，例如：在发电厂有励磁自动控制装置对电压和无功功率进行调节，有自动调频控制装置或系统对频率和有功功率进行调节，有同期控制装置对发电机并网进行控制和调节；在变电站有电压自动控制装置 AVC（Automatic Voltage Control）对电压和无功功率进行调节，有备用电源自动投切装置实现备用电源自动投切；在配电站有自动减载控制装置进行负荷调节等等。

但是，这些自动装置往往只能完成当地功能，当需要和调度中心的调度员进行人机对话或远程监控时，就需要在发电厂、变电站以及配电站配置远动终端装置 RTU（Remote Terminal Unit）、发电厂电气控制系统 ECS（Electrical Control System）或馈线终端装置 FTU（Feeder Terminal Unit）。对这些电力设备和自动装置进行信息采集和远距离控制，要完成这些功能还必须通过电力通信系统，并配置通信设备和接口实现远方通信和监控，在调度中心主站系统配置相应的前置处理系统（也称前置机）完成通信处理，通过主服务器和工作站系统完成监视控制功能，并提供人机联系设备给调度员接收电网监控信息并发送控制指令。

电网调度自动化系统连接发电、输电、变电环节，通过发电厂和变电站的 RTU 采集电网运行的实时信息，通过信道传输到调度中心的主站系统，主站系统可以通过 RTU 对输电网进行数据采集和实行远程控制，可以根据收集到的全网信息，实施能量管理系统的功能，对电网的运行状态进行安全性分析、负荷预测以及自动发电控制、经济调度控制、调度员模拟培训等。

变电站自动化系统完成的功能有：变电站的电气设备数字化采集处理、变电站电气设备

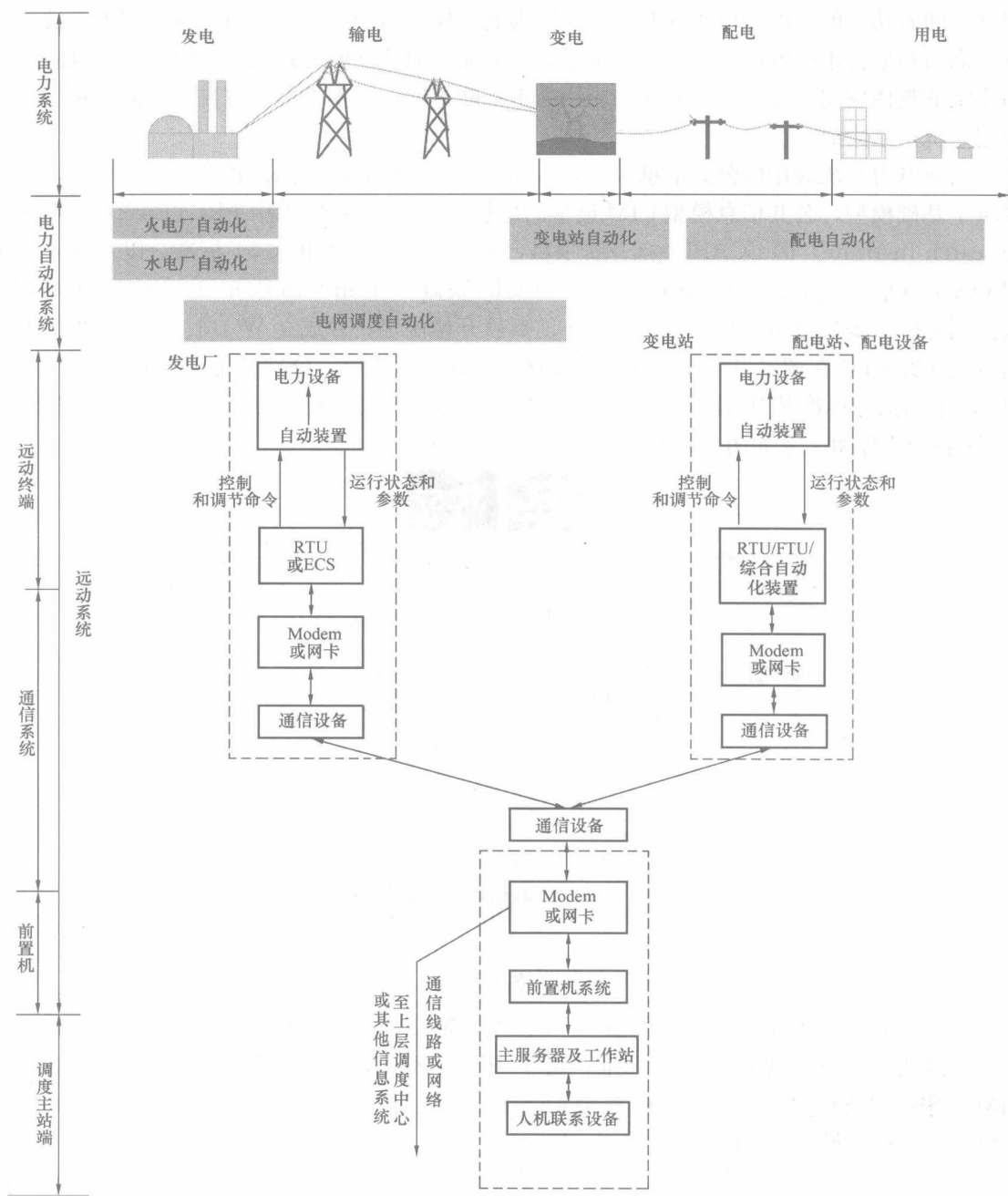


图 1-2 电力系统自动化总体结构

遥控与遥调、计算机继电保护、电压无功控制、故障信息处理及“五防”闭锁操作功能等。

配电自动化系统完成的功能有配电网数据采集和监控、馈线自动化、配电站自动化、地理信息系统及配电管理等。

电力系统自动化技术随着信息技术、计算机技术及自动控制技术的发展而日新月异，系统升级换代很快，由于传统的自动化系统中的电力系统模型大多是为了实现单个监控目标而

建立，随着功能的扩展和应用的升级往往因为底层模型本身不能满足新的应用需求而被迫放弃。面向对象技术的发展使得可以从本质上全面完整地建立电力系统信息模型，可以满足电力系统的整体应用，并可以针对新的应用需求不断扩展，实现不同电力自动化监控和信息化应用系统信息集成。

面向电力系统应用的公共信息模型 CIM 的建立为电力系统自动化及信息化的应用集成提供了基础模型，公共信息模型 CIM 最早的思想来自于美国电科院 EPRI (Electrical Power Research Institute) 的 CCAPI & CME 项目，并结合了 ISO 的相关 IT 标准，以及开放应用组 OAG (Open Application Group) 和开放 GIS 联盟 (Open GIS Consortium) 的 GML 规范由国际电工委员会 IEC TC57 从 2000 年前后就开始制定，并成立 WG13、WG14 两个工作组分别研究 CIM 在调度自动化、配电自动化两个方面的应用，分别制定了 IEC 61970、IEC 61968 系列国际标准描述输电网及配电网的信息建模和监控技术与功能。与 CIM 有关的 TC57 各个工作组关系如图 1-3 所示。

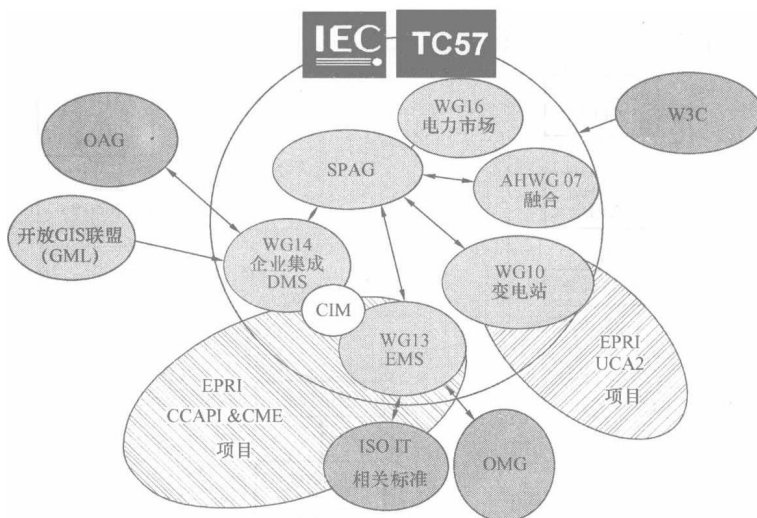


图 1-3 TC57 各个工作组关系图

WG10 工作组针对变电站自动化进行了模型的定义，并以此为基础制定了 IEC 61850 面向对象的变电站自动化系统系列标准，由于 IEC 61850 对变电站的建模和公共信息模型 CIM 几乎同时进行，所以，两个模型对变电站的描述有一些不一致。目前，IEC 相关的工作组正在对两个模型融合的问题进行探讨和研究。

1.3 本书的体系安排

第 1 章对电力系统自动化的地位和作用以及组成和内容进行了分析。

第 2 章介绍了电力系统面向对象信息建模、电网现实模型与信息模型、电网监控 IEC 61970 的公共信息模型 CIM 的相关类图。

第 3 章介绍了电网调度自动化、调度自动化功能的用例分析，研究 SCADA 的实现机制以及系统的组成。

第 4 章介绍了远动终端及其主要功能、常规变电站的主要功能和典型结构、IEC 61850

的核心思想和建模方法，并对数字化变电站的关键技术和典型结构进行了分析和讨论。

第 5 章介绍了配电自动化的主要功能及其技术需求，对配电监控、馈线自动化的模式及实现技术进行了探讨，并对基于 IEC 61968 的配电管理系统的接口规范以及综合数据平台进行了分析和讨论。

第 6 章介绍了电力企业中的集成需求及其发展历程以及如何基于 IEC 61970 及 IEC 61968 标准进行信息集成，重点阐述了组件接口规范（CIS）的实现技术。

电力系统面向对象信息建模

2.1 引言

针对电力系统物理特性的数学描述而建立的电力系统数学模型，是对电力系统进行分析的基础。同样对于电力系统监控也需要从电力系统现实模型进行抽象，建立系统的信息模型。

对电力系统进行监控的自动化系统以及对其进行管理的信息系统，都需要对电力系统的设备及其相互关系进行描述，对其监控或管理的需求进行描述，对其数据结构及业务流程进行描述。作为电力系统计算机监控和管理的基础，这个描述的过程也就是对电力系统进行信息建模的过程。基于不同应用目的的监控系统和信息系统都需要在其设计开发中建立各自的信息模型，如图 2-1 所示。

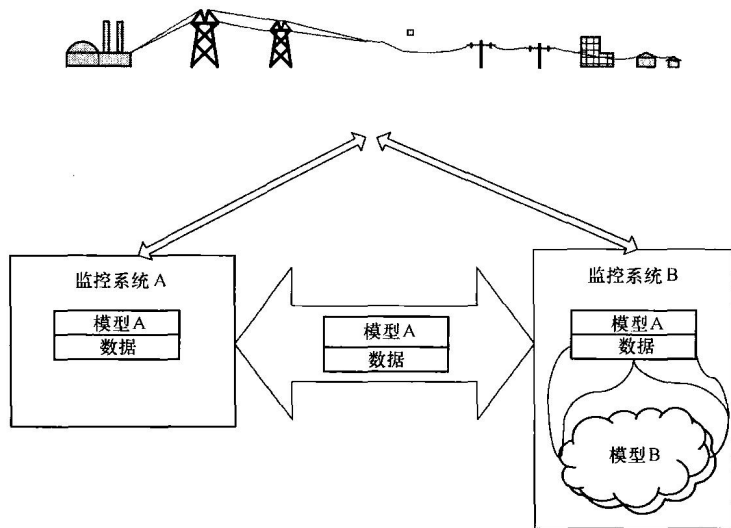


图 2-1 电力系统监控信息交换与模型

传统的电力监控系统和信息系统都是根据自己特定的需求建立独立的信息模型，但是，当不同的系统需要交换信息时，就需要对模型进行翻译或转换，才能把相关的数据在监控系统 A 和监控系统 B 之间共享。如果需要交换的信息超过 2 个系统，则不同系统之间共享信息时需要经过大量的模型翻译或转换，造成大量的信息资源浪费。

如何解决这个问题呢？

为电力系统建立一个公共的信息模型是一个良好的解决方案，如图 2-2 所示。如果不同的监控系统或信息系统都是基于一个公共的模型建模，则在 A、B 两个系统进行信息交换时

就不需要进行模型翻译或转换，而直接将需要交换的数据发出去，对方系统就可以识别和接收。

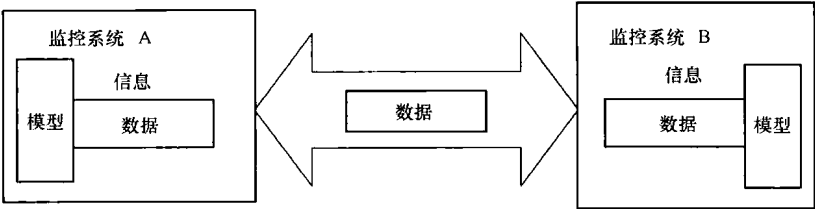


图 2-2 电力系统公共信息模型交换信息

近年来发展起来的面向对象分析技术为电力系统信息模型的建立提供了有效的方法和工具，它提供了一个桥梁将电力系统现实世界的特征和相互关系与计算机分析的电力系统信息世界联系在一起，运用面向对象分析思想对事物进行归类 and 综合，提取共性并加以描述。在面向对象的系统中，现实世界被看成是独立对象的集合，对象之间通过消息相互通信。有关面向对象的基本概念参见参考文献 [5] 和参考文献 [6]。

国际电工委员会 IEC TC 57 就是在面向对象分析方法的基础上，通过面向对象的工具提出了电力系统公共信息模型 CIM，使得电力应用的信息交换与共享有了公共参考的模型，并扩展形成了 IEC 61850、IEC 61970 及 IEC 61968 系列国际标准描述输电网、配电网及变电站的信息建模、监控技术与功能等。

通用的面向对象分析技术如何与电力系统的分析相结合，如何对电力系统的现实模型进行抽象形成电力系统的信息模型，以及公共信息模型又是如何来表述电力系统监控特征和内容，将是本章着重阐述的内容。

7

电力系统面向对象信息建模

第 2 章

2.2 面向对象的分析与设计

所谓面向对象技术，就是以对象观点来分析现实世界中的问题，从普通人认识世界的观点出发，把事物进行归类 and 综合，提取共性并加以描述。在面向对象的系统中，世界被看成是独立对象的集合，对象之间通过“消息”相互通信。对象之间的静态关系主要有聚集关系、关联关系、泛化关系。

- 1) 聚集 (Aggregation)：表示部分与整体关系。
- 2) 关联 (Association)：系统中对象之间的逻辑关系。
- 3) 泛化 (Generalization)：类的一般和具体或普遍与特殊之间的关系。

对象被描述为数据属性以及基于这些数据的行为的复合体，对象具有“智能化”的结构，它将数据和消息“封装”在一起，对一个对象的访问完全通过其外部接口来进行，内部实现细节、数据结构对外是不可见的。对象是主动体，而过程是被动体。

(1) 面向对象方法的应用。面向对象方法的应用有几层含义，根据应用过程中是只注意软件编程时采用面向对象技术，还是贯穿于软件开发的全过程，可以分为面向对象分析 OOA (Object Oriented Analysis)、面向对象设计 OOD (Object Oriented Design) 以及面向对象编程 OOP (Object Oriented Program) 等。

面向对象编程 OOP 的产品或系统，虽然在软件编程和生产的效率上有所提高，但从整

个软件系统来看, 由于没有能够从应用系统的建模上采用面向对象的分析和设计, 当描述的产品或系统的底层模型更新和发展的时候, 改进起来就很困难, 甚至要推倒重来, 而达不到面向对象软件重新使用的目的。

面向对象分析 OOA 注重在问题领域内描述对象或概念, 对现实世界对象进行抽象, 关注从对象的角度创建领域描述需要的概念、属性和关联等。

面向对象设计 OOD 定义软件对象以及它们如何协作以实现需求, 是概念上的解决方案而不是其具体实现。

面向对象的分析和设计可以表示为领域模型 (Domain Model)、用例模型 (Use Case Model) 和设计模型 (Design Model) 几个层次。

1) 领域模型描述的是概念透视图, 用图来描述现实世界中关注领域的事物及其相互关系, 表达对研究领域内重要概念的认识, 阐明概念类的内涵和外延, 与其相关联系系统的边界, 也能表达一些领域的规则和基础数据。在领域模型中展示重要的领域概念或对象, 但领域模型并不是对软件对象的描述, 而是使概念和想象可视化。

2) 用例模型描述系统的参与者实现某些目标或完成某些功能的情节, 主要用于信息系统需求的发现和记录中。

3) 设计模型关注对象的职责和对象之间协作的顺序, 用例模型是领域模型和设计模型之间的桥梁, 它将涉及领域模型描述领域的基本概念类与设计模型中对象的职责和协作关联起来。

(2) 面向对象的分析可视化。在面向对象的分析中需要使抽象的真实世界概念可视化, 对于拥有相同属性、操作、方法、关系和行为的对象集的描述符称为类 (Class), 但这个术语包含各种现象, 如物理事物、抽象概念、软件事物和事件等等。在领域模型中表示的是真实世界的概念类, 设计模型中的设计类图表示的是软件类, 在编程语言中涉及的是实现类。

1) 概念类 (Conceptual Class): 是指现实世界中的概念或关注领域中的事物, 在领域模型中表述概念。

2) 软件类 (Software Class): 是指在面向对象的分析和设计过程中, 表示软件组件在规格、说明或实现透视图中的类, 用来描述软件的具有规格说明和接口的组件, 但是并不约定特定的实现。

3) 实现类 (Implementation Class): 是指特定 OOP 语言中的类, 描述特定编程语言中的软件实现。

要注意的是, 尽管软件类图和实现类图不同于领域模型的概念类, 但是其中的一些软件类名和内容是从领域模型和用例模型的建立和分析中启发而来, 或者说是从领域模型和用例模型分析中逐步抽象和迭代设计而来, 是对领域模型的真实世界的客观反映, 这种逐步迭代设计的过程, 缩短了软件组件和我们要研究的领域模型之间的差距。

对于面向对象分析和设计, 如果仅仅用符号来表示和说明问题, 效率是非常低下和不直观的, 而我们的大脑对于图形信息的接受和分析可以更为便利地观察客观世界的全景, 发现软件元素或分析之间的联系, 同时忽略或隐藏旁枝末节, 以便更快地掌握对象间的关系和本质。因此, 可视化的工作方式是面向对象分析和设计的主要方式。

(3) 统一建模语言 UML。统一建模语言 UML (Unified Modeling Language) 是描述、