

## 摘 要

随着国民经济的迅速发展, 电力需求日益增加, 原有电力基础设施已经不能适应市场经济的要求。因此, 国家对各地电网实施了大规模的电网改造, 电力网络拓扑结构不断变化, 电力设备众多。在此背景下, 采取信息技术手段对设备管理实施信息化管理成为必然。但是, 在配网管理统一规划和集成化的发展趋势下, 传统上采用简单信息管理的模式已经不能适应现有管理要求。

在统一规划的配网管理系统的框架下, 要求各管理和生产控制子系统最大限度的实现应用系统、业务流程和数据层次的集成化, 在保证系统稳定性、安全性的前提下实现各系统共有功能要素的组件化和标准化、规范化的数据共享, 以为将来实现更高水平的配网管理信息化打下基础。本课题研究的配网图形化平台软件作为用户交互界面, 正是其中工作的重要部分。

课题研究目标是, 在集成化配网管理系统总体规划框架下, 研究组件、图形接口技术和公共信息模型 CIM 等技术在配网图形化平台软件开发中的应用。重点研究内容包括: 面向对象技术和软件组件技术及其发展; IEC 61970/61968 等相关标准和 CIM 建模; 配网图形化平台软件的基本技术结构和功能组件; CIM 建模技术在目标软件实现中有关技术问题及其解决。其中, 在对配网图形化平台软件技术实现研究中, 重点在借鉴 IEC 61970 标准的基础上对配电网面向对象建模, 配电网拓扑分析和 CIM 面向对象模型向关系模型的映射方法等进行了深入的探讨, 并给出了解决的方法。最后对实现的目标软件系统结合实际应用进行了评价, 达到了预期设计目标。

课题从贵阳市南供电配网管理现状出发, 结合软件组件开发、公共信息模型 CIM 建模等最新技术动态, 在配网管理系统的整体框架下为了提高系统各层次的可重用性、灵活性和可扩展性, 针对配网图形化环境的实现进行了研究, 重点对 CIM 在实现过程中的应用及其技术问题进行了探讨, 研究成果具有推广价值, 具有一定实用性和理论意义。

关键词: 配网管理 面向对象技术 软件组件 公共信息模型

## ABSTRACT

While national economy in China undergoing a fast increasing process, the demand towards electric power booms up, existing electric power infrastructure can't meet with the requirement of market economy. Therefore, our government has put a great deal investments into restructuring electric network on a large scale. Almost in every place, the topologies of local electric networks are restructured interactively with more complexity, so many electric equipments are set up. However, facing the general planning and integrating trend of distribution network, the traditional management scheme against simple information becomes unsuitable for the present and future requirement.

The planned framework of distribution network management system requires management and power supply controlling subsystems to realize the integrating the various application systems, business process and database on different layers. While keeping stability and security of the existing systems, public functional parts of these system shall be implemented by software components and standardization. The studied electric distribution management graphic software can be incorporated into the whole great work as an important part.

This paper aims to, under the framework of the planned integrated distribution network management system, study how these technologies of software components, graphic user interface and common information model etc, are applied in the development of distribution management graphics software. Among all, some issues are emphasized, including IEC 61970/61968 standardization series and CIM modeling; basic technical architecture and functional components of distribution network management graphics software; some technical solution for CIM modeling in target software development. For realizing the distribution network management graphics software, such problems are discussed, as object-oriented distribution network modeling with respect to IEC 61970/61968, distribution network topological analysis and the transformation from CIM model to relational data model. As a result, technical solutions are proposed in detail. Finally, the target software is evaluated with practical applications.

This project, standing on the present status of distribution network management of Guiyang Shinan power supply company, with up-to-date technologies including

software components, CIM modeling etc, studies the technical solutions of distribution network graphics software. It is proved that the development can enhance the reusability, flexibility and scalability of every software hierarchy, with emphasis on CIM modeling problems. In general, this study has some significant values in academic research with theoretical background, while its application shall be helpful in distribution network management.

**Keywords :** Distribution network management    Object-oriented technology  
Software components    Common Informatio Model

# 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得重庆大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：杨文举 签字日期：2006 年 11 月 25 日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解重庆大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权重庆大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

保密（），在    年解密后适用本授权书。

本学位论文属于

不保密（）。

（请只在上述一个括号内打“√”）

学位论文作者签名：杨文举 导师签名：

签字日期：2006 年 11 月 25 日 签字日期：    年    月    日

# 1 绪论

## 1.1 研究背景

供电企业具有业务种类多、业务环节多、专业差别大、相关性强、设备种类多、实时性强、安全要求高等特点，通过在生产、调度、营销、客户服务、办公管理等各业务环节实施信息化建设，提高信息的获取、处理和利用能力，是提高供电企业整体管理水平和服务质量，确保“以效益为中心”的目标，保证电力企业获得最大经济效益的重要手段之一。

但是，在长期的信息化建设过程中，覆盖企业各个部门或管理环节的系统由于缺乏统一规划和设计，缺乏实施中技术模式和开发平台的一致性，造成了整体系统的异质性和“信息孤岛”现象。据统计，在一个典型的大型企业内，平均拥有各种应用系统共 49 个。其中，有多于 2 种以上的数据库平台；一台计算机有多于 5 个以上的客户端安装程序；一个用户有多于 4 个以上的系统登录方式，有多于 5 个以上不同的用户名或口令；一个重要岗位有不少于 30 张报表要至少由 5 个以上的系统分别生成；一个设备的各种数据要到至少 10 个以上的软件系统中查找；一个公共数据至少有 5 处以上重复录入，至少有两处以上已经不一致。

由于企业信息系统架构自身发展惯性和信息技术应用的发展，以及保护原有投资的需要，这种“应用分割”和“数据分割”的情况还有增长的趋势。这些问题导致企业数据冗余、重复输入、部门之间难于进行数据共享。各个系统之间信息传输的困难，无法实现实时的信息存取和对业务流程透明化，无法实现对企业业务实施有效的全面控制，造成企业响应速度仍然较为缓慢，成本提高和效益下降，而信息基础设施的维护成本和周期增长，部分抵消了企业信息化建设的直接或间接效益。系统在更高层次上提高集成化程度和整合水平已成为现阶段企业在信息化建设中面临的最重要的问题之一。

解决这一问题的主要途径就是建立企业信息化的有关标准和规范化管理，包括业务规程、应用规范、技术标准、数据存储及交换标准，选择具有高可重用性和高扩展性的技术架构，并在此基础上统一规划和分步实施，使得企业信息化系统减少在低层次水平上重复投资和重复建设，也降低系统整体管理和维护工作量，使得企业能够将有限的信息技术资金和人才用于提高企业整体决策科学和管理规范的高层次信息化应用方面。

经过近二十年的努力，各供电企业已经普遍建立了建成了各个专业的应用系统，系统规模不断扩大，实用化率不断提高，建成并投运的系统包括办公自动化系统、用电营销和客户服务系统、SCADA/EMS 系统、变电站远动系统、电能量计费系统、

生产管理系统、管理信息系统及财务等信息系统。这些信息系统加强了供电企业的信息管理，提高了公司管理水平。随着我国电力体制改革的深化，电力企业正在从传统计划经济模式转向以电力市场为基础的运营模式，信息基础设施的发展与运用也成为电力企业运营中的重要因素。

电力体制改革深入，在电力行业完成组织机构重组和区域重新划分之后，“厂网分开、竞价上网”的经营模式将逐渐变为现实。在这一背景下，供电企业迫切需要一个既能集成和优化原有各应用系统，又能满足当前和未来挑战性需求的综合实时的信息共享平台，以实现整个电力运营的全过程管理和控制，及时真实地了解、应用、分析各方面的信息，从而提高判断与决策的及时性和准确度。在此过程中，有必要在数据集成、流程集成和应用集成等各层次上实现配网管理的集成化设计。

在信息化过程中，众多应用系统，如配网管理系统、SCADA 系统、负荷控制系统等自动化控制系统，以及资产管理、调度管理、工程管理等信息管理系统都需要采用图形化的电网管理交互环境。而现有各系统基本上都是各自独立开发，甚至互不兼容，这对于将来实现集成一体化的配网管理的目标会造成突出的技术问题。因此，有必要采取组件软件开发技术探索电力系统软件新的实现方式。同时，已有表格式管理系统在长期使用过程中，已经不能适应快速更新的设备信息管理要求，采用“所见即所得”的配电网图形一体化管理使得系统使用更加方便和友好，符合工作习惯，将有助于提高工作效率。

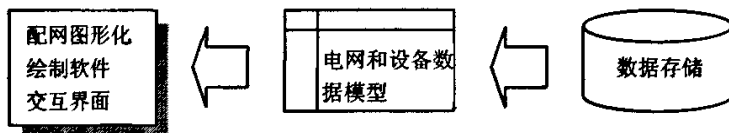


图 1.1 配网图形化平台软件研制的主要技术

Figure 1.1 Main technologies in the development of distribution network design software

配网图形化平台软件的交互界面负责与用户的交互，主要技术要求是实现其交互的图形化、易用性和具备与其它应用集成、互操作的能力；而该界面的实现必须以对电网和设备规范和恰当的抽象数据模型描述为基础，因此电网和设备数据模型的规范化和合理性是在研制该软件中的核心问题；电网和设备信息由关系数据库采用关系模式实现存储，但是当电网和设备数据模型并未以关系模式表达时，需要对两者之间的模式转换规则进行研究。

本课题就是在这—背景下，有针对性地研究配网图形化平台软件的研制和上述重要技术问题。这一课题的研究对于探索供电企业信息应用系统新的开发模式具有一定的工程实用价值和理论研究价值。

## 1.2 国内外研究现状综述

电力行业的信息化技术是一个正在迅速发展的领域。由于电力工业具有独特的自身特点，电网拓扑结构复杂，电力设备众多，在电力系统的规划设计、生产运行和调度、工程管理和安全监察等大部分业务部门都需要对电力设备实施信息化的管理，并要求分别与各个业务信息管理和自动化控制子系统进行数据交换和相互操作。因此，在统一分层的集成化配电网管理系统当中，设备管理处于核心地位，新型的电力设备管理系统需要具有较好交互性、智能性、图形化的技术特点。在电力信息化日益成熟的背景下，要实现这些技术特点，应当在总体规划的配电网管理系统（DMS）体系结构下，综合运用公共信息模型 CIM（Common Information Model）、GUI(Graphics User Interface)图形化接口技术、组件开发技术、数据接口技术等。

近十几年来，国内外电力配网管理系统的主流建设模式是采取客户服务器（Client/Server）或浏览器服务器(Browser/Server)应用模式，强调系统应保证设备相关信息的准确性和完整性。并且，从系统使用的方便性出发，采用图形化交互式的配网绘制功能是系统必须满足的功能要求。国内外都在该领域展开了深入研发，在配网管理中普遍采取了以配网接线图和地理信息系统的组合图形管理模式，如国内的南瑞、东方电子、北海银河和国外的通用电气、西门子等众多电力系统研发企业都提供了相应的产品。随着电力企业信息化水平的提高，对相关软件系统产品的图形化交互的用户友好程度提出了更高的要求，对制定和基于统一的电网信息建模和数据交换标准实现更高层次的集成一体化配网管理系统和更高水平的电网生产运营决策支持的呼声越来越高。在此过程中，必须解决配电网建模和图形化技术的相关问题，逐步完成配网管理系统在新的标准体系下的技术和系统升级。目前，针对能量管理系统和配网管理要求，IEC 已经或正在制定有关标准，如 IEC61970 和 IEC61968 等相关系列标准[1]。

同时，从目前已经使用的配网管理软件交互方式来看，在采用的实现技术方面，现有主要方式有：

**报表式管理：**即采取基本的数据表格交互方式，由操作人员直接处理设备信息报表，并采取 SQL 访问有关数据并形成最终的报表。这种方式的特点是实现简单，但是已经不能满足现有设备信息管理的要求；

**静态热点单线图方式：**即首先采取图板方式绘制配电网单线图或地理接线图，然后再把图中对设备单元、母线等标注为热点，支持在具备热点的静态图形中进行设备信息的管理维护。这种方式的特点是，能够支持用户的图形化操作，但是配电网图形不能支持自定义操作，也无法进行必要的拓扑分析等；

**交互式图形化方式：**能够实现地理接线图或单线图的自定义绘制，支持拓扑分析，支持设备信息的交互式管理维护，但是在电力系统信息化走向集成化的背景下，

不能有效提供与其他系统的互操作性和数据交互能力，因此只能作为专门的设备信息管理系统，缺乏与其他系统的集成能力，可重用性低，造成企业重复的技术投资和应用集成化程度较低。

因此，采用组件技术和电力企业通用的公共信息模型已经成为配网管理相关系统的必然发展趋势。当然，由于相关技术还处于快速发展当中，需要我们在实践中逐步探索和积累经验，并在理论中进行必要的总结和提高。

组件开发技术基于面向对象思想，将企业工业控制自动化和管理信息化应用开发成为可剪裁和可配置的封装部件，经过运行验证的各部件之间通过通用接口实现通信和互操作，使得软件系统能够根据需求由多个部件装配成为目标系统。这一技术使得工业应用能够以较低成本和较短周期快速实施，并且最大程度地实现了应用的稳定性、重用性、扩展性和灵活性。软件系统组件化是电力企业信息化应用的未来发展方向之一[3]。组件技术在化工、石油等许多行业的信息化应用中已经证明是大规模的企业信息化应用的必然趋势。国外大型企业已经普遍采用该技术作为构建行业应用系统的基本支撑技术，特别是在石油、电信、发电、化工、机械制造等行业。但是，由于国内电力信息化相对起步较晚，且缺乏统一规划和信息化建设相关标准，业务随意性较大和逻辑复杂，因此仍普遍未进行现有系统的组件化升级。

目前的主流组件技术主要是 COM+/DCOM 和 CORBA 技术。COM+/DCOM 技术主要应用于 Windows 系列操作系统平台的应用组件开发，而 CORBA 技术则适用于多种操作系统平台。前者规范和结构层次更加简化，而后者则比较繁琐。因此，在国内外组件软件应用开发中，以 Windows 为操作系统的各种控制和管理应用普遍采用 COM+/DCOM 技术，而以 Unix 或 Linux 为操作系统的各种控制和管理应用主要采用 CORBA 组件技术。

信息和业务建模技术，也是电网企业实现信息化管理中的重要技术。因此，对供电企业的业务过程和实体数据建模的标准化，在国内外电力行业信息化迅速发展的背景下也称为重要的研究领域。为了支持在电力系统信息基础设施中的数据共享和信息交换，国际电气工程师协会已经提出和正在研究 IEC 61970、IEC61968 等国际标准[2]。其中 IEC61968 电力设施应用集成标准正式将电力系统通用信息模型 CIM 作为协议组成部分，并采用中间件技术，用于实时、同步连接和交互通信模型建模。基于接口引用模型 (IRM, interface reference model)，用于配网管理系统 (DMS)，包括系统可靠性、电压管理、需求侧管理、线损管理、生产管理、自动拓扑识别和设备管理等环节。

国内有关电力企业和电力设备提供商也正在根据 IEC 相关标准，研究和制定国内电力系统信息应用和集成的标准和产品[4][5]。如南瑞、国电南自、东方电子、国家电科院等单位正在研制基于 IEC 61970 的变电站远程自动控制系统，浙江、湖北、



贵州等省电力公司正在结合自身实际和 IEC 61968 标准研究实施电力系统数据资源共享平台建设的技术方案和实施策略。

但是,总体来说,在国内供电企业生产管理中应用 IEC 提供的 CIM 公共信息模型标准还处于探索和尝试的阶段,考虑到已有大规模的信息基础设施投资,如何在尽量保障原有投资的情况下应用该标准,以及可能遇到的问题和效果,还有待在实际中深入研究和验证。

### 1.3 研究思路和技术路线

本课题目标是实现配网图形化平台软件,主要是指把配网图形交互式设计部分、配网信息管理部分、数据接口部分进行组件化的设计和开发。通过组件化的设计,使得目标系统不仅可以作为专门的配网设备管理系统运行环境使用,还可以与电力规划设计、调度运行、资产管理等系统进行集成,构成新的应用系统,能够极大地提高系统的可重用性、可扩展性和灵活性。其中,论文探讨的重点是图形化交互环境部分的研制,以及相关关键技术问题的解决。

论文通过对软件组件、公共信息模型 CIM 建模等技术进行综述和分析,并结合配网管理系统的发展和需求,分析系统可能的技术结构和实现方案。然后,再针对组件式配网图形化平台软件开发中的主要技术难点和问题进行分析,并解决方法进行了较为详细的阐述。论文研究内容包括:

- ① 软件组件技术及其特点,与面向对象建模;
- ② 公共信息模型及相关协议族分析;
- ③ 配网图形化平台软件的基本结构、设计原则
- ④ 对配网图形化平台软件实现中的部分技术问题进行分析 and 解决;

针对研究目标提出研究思路和技术路线如下:

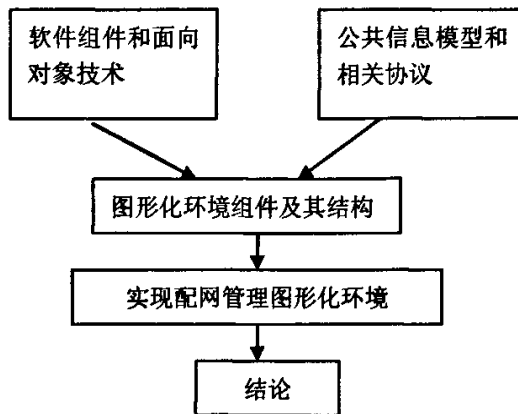


图 1.2 论文研究思路

Fig 1.2 Roadmap of research

## 1.4 本章小结

本章对研究课题提出的背景，以及研究的意义和价值进行了阐述，指出了软件组件技术在电力企业应用的发展趋势。进一步，对配网图形化平台软件实现中的技术发展动态展开综述。最后明确提出了论文的研究目标、研究内容和研究思路。

## 2 面向对象技术和软件组件

### 2.1 面向对象技术及其建模

面向对象技术是一种分析、设计、编程方法，更是一种新型的思维方法。面向对象程序设计是一种围绕真实世界的概念来组织模型的程序设计方法，它采用对象来描述问题空间的实体。面向对象方法学的出发点和所追求的基本目标是使人们分析、设计与实现一个系统的方法尽可能接近自然认识一个系统的方法，也就是使描述问题的问题空间和解决问题的方法空间在结构上尽可能一致。其基本思想是：对问题空间进行自然分割，以更接近人类思维的方式建立问题域模型，以便对客观实体进行结构模拟和行为模拟，从而使设计出的软件尽可能直接地描述现实世界，构造出模块化的、可重用的、维护性好的软件，同时限制软件的复杂性和降低开发维护费用。

面向对象技术具有四个基本特征：

①**抽象**：抽象就是忽略一个主题中与当前目标无关的方面，以便更充分地注意与当前目标有关的方面。抽象并不打算了解全部问题，而只是选择其中的一部分，暂时不用部分细节。如，对于学生成绩管理系统，重要的是对班级、学号、成绩等信息的管理，而不必重视其身高、体重等信息。抽象包括过程抽象和数据抽象两个方面。过程抽象是指任何一个明确定义功能的操作都可被使用者看作单个的实体看待，尽管这个操作实际上可能由一系列更低级的操作来完成。数据抽象定义了数据类型和施加于该类型对象上的操作，并限定了对象的值只能通过使用这些操作修改和观察。在面向对象技术中，对象和类是实现抽象思想的基本概念。所有系统中有意义的实体都可以抽象成为对象，并采用类（Class）的描述方法实现。

②**继承**：继承是一种联结类的层次模型，并且允许和鼓励类的重用，它提供了一种明确表述共性的方法。对象的一个新类可以从现有的类中派生，该过程称为类的继承。新类继承了原始类的特性，新类称为原始类的派生类（子类），而原始类称为新类的基类（父类）。派生类可以从它的基类那里继承方法和实例变量，并且类可以修改或增加新的方法使之更适合特殊的需要。继承性很好地解决了软件可重用性问题。

③**封装**：封装是对象和类概念的主要特性。封装是把过程和数据集成起来，对数据的访问只能通过已定义的接口进行。面向对象计算把现实世界描述成一系列完全自治和封装的对象。这些对象通过一个受保护的接口访问其他对象。一旦定义了一个对象的特性，则有必要决定这些特性的可见性，即哪些特性对外部世界是可见的，哪些特性用于表示内部状态。在这个阶段定义对象的接口。通常，应禁止直接

访问一个对象的实际表示，而应通过操作接口访问对象，这称为信息隐藏。事实上，信息隐藏是用户对封装性的认识，封装则为信息隐藏提供支持。封装保证了模块具有较好的独立性，使得程序维护修改较为容易。对应用程序的修改仅限于类的内部，因而可以将应用程序修改带来的影响减少到最低限度。

④多态性：多态性是指允许不同类的对象对同一消息作出响应，包括参数化多态性和包含多态性。多态性语言具有灵活、抽象、行为共享、代码共享的优势，很好地解决了应用程序函数同名问题。

采用面向对象方法来确立一个系统一般可以进行以下几个过程：

首先应用面向对象的思想进行系统分析，仔细的划分系统的各个部分，明确它们之间的层次关系，然后将各个部分作为一个对象进行功能上的分析。对于要完成一些重要功能的组件，我们可以单独将它作为一个对象看待，在具体的实现中，用单独一个类来表示。而一些并不是很重要的、只是在过程中需要用到的组件，就可以将它们集成到其他对象中去。各个对象之间的关系通过过程、内容、功能等耦合来实现。其次，对应用面向对象的思想进行系统设计。进一步确定各个对象的功能以及各个对象之间的关系。为了能够更好地帮助实现人员明白各个对象之间的关系，可以利用一些工具将这些组件的关系表示出来，如统一建模语言 UML。最后，进行程序编码。

正因为面向对象的方法具有以上这些特点；在软件开发和应用中面向对象程序设计具有得天独厚的优点：

开发时间短，效率高，可靠性高，所开发的程序更强壮。由于面向对象编程的可重用性，可以在应用程序中大量采用成熟的类库，从而缩短了开发时间。

应用程序更易于维护、更新和升级；继承和封装使得应用程序的修改带来的影响更加局部化，故障也较容易定位和排除。

公认的面向对象建模语言出现于 70 年代中期。从 1989 年到 1994 年，其数量从不到十种增加到了五十多种。到 90 年代中，一批新方法出现了，其中最引人注目的是 Booch 1993、OOSE 和 OMT-2 等。但促使 UML 出现的最终原因有：

①面对众多的建模语言，用户由于没有能力区别不同语言之间的差别，因此很难找到一种比较适合其应用特点的语言；

②众多的建模语言实际上各有千秋；

③虽然不同的建模语言大多类同，但仍存在某些细微的差别，极大地妨碍了用户之间的交流。

因此在客观上，极有必要在精心比较不同的建模语言优缺点及总结面向对象技术应用实践的基础上，组织联合设计小组，根据应用需求，取其精华，去其糟粕，求同存异，统一建模语言。

统一建模语言 UML(Unified Modelling Language)是一种定义良好、易于表达、功能强大且普遍适用的建模语言。它溶入了软件工程领域的新思想、新方法和新技术。它的作用域不限于支持面向对象的分析与设计,还支持从需求分析开始的软件开发的全过程。简单来说,它的主要目的有:UML 易于使用,能够进行可视化建模;与具体的实现无关,可应用于任何语言平台和工具平台;与具体的过程无关,可应用于任何软件开发的过程;简单并且可扩展,具有扩展和专有化机制,便于扩展,无须对核心概念进行修改;为面向对象的设计与开发中涌现出的高级概念提供支持,强调软件在开发过程中对架构、框架、模式和组件的重用;与最好的软件工程实践经验集成;有利于面向对象工具的市场成长。

UML 是由图和元模型组成的。图是 UML 的基本语法,而元模型则给出图的内涵,是 UML 的语义。UML 的语义是定义在一个四层建模概念框架中的,其层结构如下[21]:

- ①元元模型层,组成 UML 的基本元素“事物”,代表要定义的所有事物;
- ②元模型层,组成了 UML 的基本元素,包括面向对象和面向组件的概念。这一层的每一个概念都是元元模型中“事物”概念的实例;
- ③模型层,组成了 UML 的模型。这一层的每个概念都是元模型中概念的一个实例,这一层的模型通常叫做类模型或者类型模型;
- ④用户模型层,这个层中的所有元素都是 UML 模型的实例。这一层中的每个概念都是模型层的一个实例,也是元模型的一个实例。这一层的模型通常叫做对象模型或实例模型。

客观世界是一个复杂巨系统,需要从不同的角度来考察,才能真正理解这个系统。为了能支持从不同角度来考察系统,标准建模语言 UML 定义了下列 5 类、共 10 种模型图:

- ①用例图,从用户角度描述系统功能,并指出各功能的操作者。
- ②静态图(Static diagram),包括类图、对象图和包图。其中类图描述系统中类的静态结构。不仅定义系统中的类,表示类之间的联系如关联、依赖、聚合等,也包括类的内部结构(类的属性和操作)。类图描述的是一种静态关系,在系统的整个生命周期都是有效的。对象图是类图的实例,几乎使用与类图完全相同的标识。他们的不同点在于对象图显示类的多个对象实例,而不是实际的类。一个对象图是类图的一个实例。由于对象存在生命周期,因此对象图只能在系统某一时间段存在。包由包或类组成,表示包与包之间的关系。包图用于描述系统的分层结构。

③行为图(Behavior diagram),描述系统的动态模型和组成对象间的交互关系,包括状态图、活动图。其中状态图描述类的对象所有可能的状态以及事件发生时状态的转移条件。通常,状态图是对类图的补充。在实际应用当中并不需要为所有的

类画状态图，应仅为那些有多个状态其行为受外界环境的影响并且发生改变的类画状态图。而活动图描述满足用例要求所要进行的活动以及活动间的约束关系，有利于识别并行活动。

④交互图(Interactive diagram)，描述对象间的交互关系，包括顺序图和合作图。

其中，顺序图显示对象之间的动态合作关系，它强调对象之间消息发送的顺序，同时显示对象之间的交互；合作图描述对象间的协作关系，合作图跟顺序图相似，显示对象间的动态合作关系。除显示信息交换外，合作图还显示对象以及它们之间的关系。如果强调时间和顺序，则使用顺序图；如果强调上下级关系，则选择合作图。这两种图合称为交互图。

⑤实现图(Implementation diagram)，包括组件图、配置图。其中构件图描述代码部件的物理结构及各部件之间的依赖关系。一个部件可能是一个资源代码部件、一个二进制部件或一个可执行部件。它包含逻辑类或实现类的有关信息。部件图有助于分析和理解部件之间的相互影响程度。配置图定义系统中软硬件的物理体系结构。它可以显示实际的计算机和设备(用节点表示)以及它们之间的连接关系，也可显示连接的类型及部件之间的依赖性。在节点内部，放置可执行部件和对象以显示节点跟可执行软件单元的对应关系。

## 2.2 软件重用和组件技术

软件开发一直以来都受到以下几个方面的困扰：开发预算和开发进度时常超出预定的限制条件、维护成本增长过快、不恰当的功能设计、拙劣的性能、不断膨胀的 bug 和代码量、不兼容、重复开发等等。这些问题在最严重的情况下就会导致所谓的“软件危机”。组件技术是有望解决以上问题的最新思想和手段之一[12]。

组件技术和面向对象的方法紧密相关。组件是具有某种功能的独立二进制软件单元。组件单独开发并作为软件单元使用，具有明确的接口。软件就是通过这些接口调用组件所能提供的服务，多种组件可以联合起来构成更大型的组件乃至建立整个系统。组件必须是自包含的，组件开发过程包括需求、源代码和可执行代码、接口规范、分析和设计模型、测试等其它过程。在组件技术的概念模式下，软件系统可以被视为相互协同工作的对象集合，其中每个对象都会提供特定的服务，发出特定的消息，并且以标准形式公布出来，以便其他对象了解和调用。

基于组件的软件开发技术从根本上改变了软件的生产方式，与传统开发方法相比，它具有很明显的优势[17]：

①提高软件重用性，保护已有投资：开发者可以将原有软件运用组件技术封装起来，通过标准的组件接口将旧的程序代码进行包装制作成可以重用的组件，从而保护了软件的投资：

②降低对系统开发者的要求，使他们更好地关注业务系统；

③使开发的系统更加灵活，更加便于维护和升级：组件的模块化程度高，模块耦合度低。开发者在对软件进行改进时，往往只需增加新的接口即可：

④易于学习和使用：组件的开发一般由组件设计、生产和组装等过程组成，适合采用软件工程对组件开发过程进行规范；

⑤组件技术多样性可以让采用组件技术的机构大大降低系统风险。当更新系统中旧有的组件时，采用组件系统的机构仍然可以正常运转。组件技术促进了软件开发过程中的分工与合作；大幅度的提高了软件开发的效率；同时还促进了软件的工厂化生产。

随着计算机技术的广泛应用，电力系统的安全稳定运行越来越依赖于基于微机技术的硬件装置和软件产品。接线分析、潮流计算、故障计算等是许多电力系统分析计算软件的基本内容，通过多年的理论研究和工程实践，已形成一套成熟的理论和行之有效的算法。就理论本身而言，算法已能满足绝大部分工程需要，也就是说，多年来，相当一部分科研人员和工程人员不可否认地陷入工程的泥潭，多人多次地重复同一工作，不同企业、工作单元间无法共享代码，即使同一工作单元甚至同一个人编写的代码，很多情况下由于应用环境及客户需求的不同不得不推倒重来，造成资源的巨大浪费，很大程度上阻碍了应用软件的推广。

时至今日，组件软件技术已不陌生，从 OLE 到 ActiveX，从 COM 到 DCOM，微软将其独立于语言的二进制代码重用的构想变为现实，为解决软件开发过程中的诸多弊端提供了一剂良方，也为软件业开拓了广阔前景。

一般意义的面向对象编程某种程度上是软件业乐于接受的方案。简单地说，面向对象编程技术的目标并不是用模仿计算机逻辑的程序方式以方便编程，而是让开发者按照现实世界人们思考问题的模式编写程序。面向对象编程得到大规模普及是因为它允许开发者可以在完全不同的工程之间共享代码，但这种重用却局限于语言和应用环境。即它们一般要求原始的开发者和打算重用代码的人使用同样的编程语言。如某个类库使用 C++ 编写的，那么用其它语言编写的应用程序就基本上不能重用该代码；同样，Java 类就只能在 Java 程序中使用。

真正的代码重用意味着代码必须是以足够通用的方式为重建更大型的代码而编写，而且还能够按照代码的工作方式得到定制。所以，虽然使用面向对象编程比不使用它能获得相对多的软件重用，但却面对上述局限。如何将代码共享与重用应用到实际的、现实的编程中。虽然面向对象编程长期以来一直作为对这个问题的最直接解决方案，但显然未尽人意。

组件技术亦可理解为“基于对象”的编程技术。组件技术通过接口与实现的分离，使得代码完全走向市场，程序员不必重复许多人都已做过的工作，集中精力于新功

能的实现，甚至不需编写任何代码，即可组装功能完善的大型应用。正如 PC 厂商完全可以通过购买各种部件组装性能优良的 PC 机，而无需自己生产所有部件，亦不必关心部件的材质、构造等内部细节，只需部件具有所需的功能。这也正是组件对象的语言独立性、可重用性、互操作性及独立发展性等优点的集中体现。

## 2.3 主流组件技术

目前的主要的组件技术有三类，包括 COM+, CORBA 和 EJB。三种技术各有特点，各有其适用的领域[24]。

### 2.3.1 J2EE 体系与 EJB<sup>[36]</sup>

J2EE 是由 Sun 公司推出的一种全新概念的模型[31]。J2EE (Java 2 Platform, Enterprise Edition) 技术基于组件的方法设计、开发、装配和部署企业级应用程序，本质上是一种分布式对象技术。分布式对象技术主要是在分布式异构环境下建立应用系统框架和对象构件，在应用系统框架的支撑下，开发者可以将软件功能包装为更易管理和使用的对象。这些对象可以跨越不同的软硬件平台进行互操作。

J2EE 平台提供了一个多层结构的分布式的应用程序模型，该模型具有重用组件的能力，支持基于扩展标记语言(XML)的数据交换，支持统一的安全模式和灵活的事务控制。使用 J2EE 可以开发独立于平台的、基于组件的 J2EE 解决方案，而不受任何提供商的产品和应用程序编程接口的限制。提供商和用户可以自己选择最合适的业务应用，以及所需技术的产品和组件。

J2EE 规范定义了四个核心概念：J2EE 多层应用体系结构作为 J2EE 平台的基本架构；J2EE 应用组件 (JavaBean) 构成 J2EE 应用的软件元素；J2EE 企业服务 (Enterprise Java Beans) 定义了应用组件需要用到的一些公共服务设施；J2EE 容器是指 J2EE 运行时环境。

EJB (Enterprise Java beans) 和 JavaBeans 都是组件。两者都是 Java 的组件模型。其中，JavaBeans 重点是允许开发人员在开发工具中可视化地操纵组件，EJB 侧重于详细定义可以快捷部署 Java 组件的服务框架模型。

EJB 是 J2EE 体系的核心技术之一，是用于开发和部署多层结构的、分布式的、面向对象的 JAVA 应用系统的跨平台组件体系结构。EJB 用 JAVA 语言编写，是可被客户端程序存取的可重用服务器端组件，运行在 J2EE 服务器上。在客户/服务器系统中，EJB 提供类似于中间件 (Middleware) 的服务。J2EE 服务器提供应用系统级的服务，像事务管理，数据库存取等。开发人员不必自己开发系统级服务，可以集中精力处理应用系统中的业务逻辑。

EJB 组件结构是基于组件的分布式计算结构，是分布式应用系统中的组件。EJB 的上层的分布式应用程序是基于对象组件模型的，低层的事务服务用了 API 技术。



EJB 技术简化了用 JAVA 语言编写的企业应用系统的开发，配置和执行过程。

EJB 构件模型的目标是：成为用 Java 语言开发分布式的、面向对象的商业应用系统的标准构件体系结构；使得应用系统开发更容易，应用系统开发人员不需要理解底层的事务处理细节、状态管理、多线程、资源共享管理以及其他复杂的底层 API 细节；遵循 Java 的“Write once, run anywhere（一次编写，随处运行）”的原则。一旦一个 EJB 开发完成之后，那么就可以部署在任何支持 EJB 的平台上，而不需要重新编译或对源代码进行修改；EJB 支持在不同供应商的构件在运行时执行互操作；与已有服务器平台和其它的 JavaAPI、CORBA 等兼容；支持与 Enterprise Beans 和其他的非 Java 应用系统的互操作性；

完整的基于 EJB 的分布式计算结构由六个角色组成，且可以由不同开发商提供。每个角色所作的工作必须遵循 Sun 公司提供的 EJB 规范，以保证彼此之间的兼容性。这六个角色分别是[29]：

- ①EJB 组件开发者(Enterprise Bean Provider)
- ②应用组合者(Application Assembler)
- ③部署者(Deployer)
- ④EJB 服务器提供者(EJB Server Provider)
- ⑤EJB 容器提供者(EJB Container Provider)
- ⑥系统管理员(System Administrator)。

其中 EJB 服务器与 EJB 容器应由同一开发商提供，因为在 EJB2.0 规范中没有定义两者之间的接口。EJB 体系结构能够简化应用程序开发人员的工作。在 EJB 体系结构中，容器和代理服务承担了很多在其它环境中由程序设计人员承担的工作。

EJB 组件包括三种类型：会话 Bean、实体 Bean、消息驱动 Bean。其中，会话 bean 又分为状态会话 Bean (Stateful Session Bean)和无状态会话 Bean (Stateless Session Bean)。具体而言，会话 Bean 实现由调用客户端代码完成的工作。客户端与服务器建立联系时建立会话 Bean。状态会话 Bean 则在客户端和服务器建立连接之后，将一直在客户和服务器之间保持着用户的某个状态。无当客户机和服务器建立连接之后，由无状态会话 Bean 处理单一的用户请求或商务过程。无状态会话 Bean 不需要从以前的请求中提取任何状态。例如，用户的用户密码确认。用户输入密码后，发送请求。组件返回真或假来确认用户，一旦过程完成，无状态会话 Bean (Stateless Session Bean) 也宣告结束。

实体 Bean (Entity Bean)只是数据模型，不包括商务逻辑。实体 Bean 可以将关系/对象数据库的数据映射到内存中供其它组件使用。实体 Bean 在内存当中一直保持存在，而且具有很高的容错性能，能够允许多用户同时访问。

消息驱动 Bean（或称消息 Bean）是 EJB2.0 新增的类型，集成了 JAVA 消息服

务 (JMS) 和企业 Bean 的功能。和其他 EJB 类型一样, 消息驱动 Bean 生存在 EJB 容器之内, 也从 EJB 容器的各种服务受益, 如事物、安全以及并发控制等。然而, 消息驱动的 EJB 不能直接与客户交互。相反, 消息驱动的 EJB 是 JMS 消息监听器。客户把消息发布给 JMS 目的地, 然后 JMS 提供者和容器协作, 把消息发送给消息驱动的 EJB。

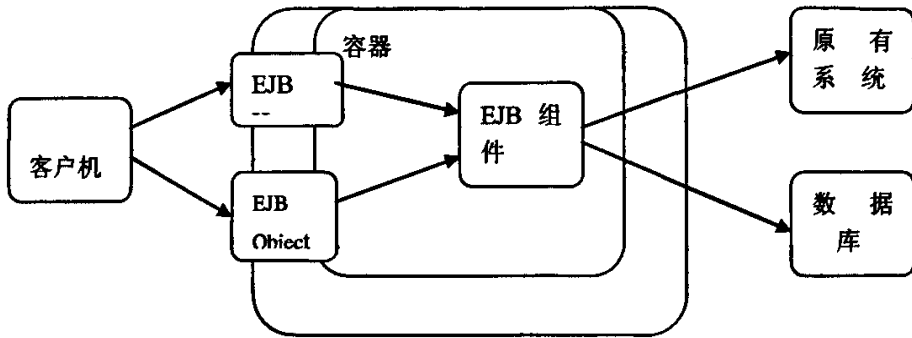


图 2.1 EJB 体系结构

Figure 2.1 EJB Architecture

EJB 服务器实际上是各种支持 EJB 安装的服务集合。服务包括分布式事务管理、分布式对象管理和对这些对象的分布式调用以及低层次的系统服务。简而言之, EJB 服务器管理支持 EJB 组件所需要的资源。

容器提供了一个可升级、安全和事务性的环境。在该环境中 Bean 可以操作。它处理对象的生命周期, 包括创建和销毁一个对象, 并负责 Bean 的状态管理。容器对客户是透明的, 容器上没有客户 API。当一个 Bean 被安装在容器中时, 该容器提供两种实现: Bean 的 EJBHome 接口的实现和 Bean 的远程接口的实现。容器也负责保证在 JNDI 中能够获得 Bean 的 EJBHome 接口。

企业 Bean 有其生命周期。开发人员通过对 Bean 生命周期的研究可以知道在编码中应考虑的状态管理、事务管理等。以下是一个有状态会话 Bean 的生命周期[32][33]。

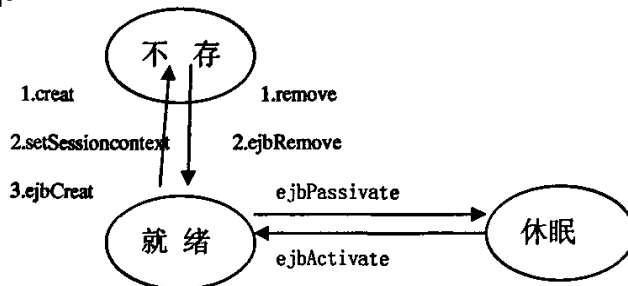


图 2.2 有状态会话 Bean 生命周期

Figure 2.2 Stateful Session Bean Lifecycle

### 2.3.2 CORBA 技术

CORBA (Common Object Request Broker Architecture, 公共对象请求代理体系结构) 是由 OMG (对象管理组织, Object Management Group) 在 1991 年提出的应用软件体系结构和对象技术规范, 其核心是一套标准的语言、接口和协议, 以支持异构分布应用程序间的互操作性及独立于平台和编程语言的对象重用。

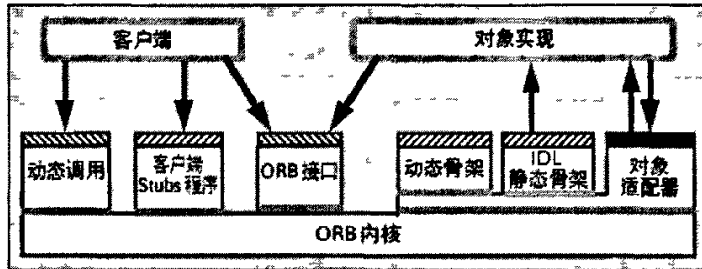


图 2.3 CORBA 体系结构

Figure 2.3 CORBA Architecture

CORBA 技术很好地结合了面向对象和分布处理技术, 而这两者的结合正是当今软件产业的发展方向。CORBA 有如下特点[26]:

①采用软构件及软总线, 实现了系统异构平台之间的统一, 客户端与服务器可在不同平台上, 用不同语言来编写应用, 具有很好的开放性和灵活性;

②通过对象引用技术来唯一确定分布式环境下的对象实例, 实现了分布式对象处理功能。

③一个对象实现可为多个客户端应用调用, 也可调用其他的对象实现, 实现了对象的可重用性和互操作性。原则上, 一个系统内部能够完成的操作, 在系统之间通过 CORBA 都可以实现。

④CORBA 提供的公共对象服务功能很强;

⑤CORBA 的面向对象的特点还保证了各对象的封装性和内部细节的隐蔽性. 不仅可以简化各种功能的使用, 还提高了系统的安全性。

CORBA 使用接口描述语言编写的对象接口, 使得与语言无关的独立性成为可能。CORBA 使用对象模型, 将 CORBA 系统中所有的应用看成是对象及相关操作的集合, 因此通过对象请求代理 (ORB: Object Request Broker), 使 CORBA 系统中分布在网络中应用对象的获取只取决于网络的畅通性和服务对象特征获取的准确程度, 而与对象的位置以及对象所处的设备环境无关。

为了创建一个遵循 CORBA 规范的应用, ORB 是 CORBA 必须提供的。没有 ORB, CORBA 应用程序无法工作。CORBA ORB 最显著的功能, 是对应用程序或是其他 ORB 的请求予以响应, 并实现对软件开发者的透明性。

在 CORBA 应用程序运行期间, ORB 可以对各种不同地访问请求所调用, 如查找并调用远程计算机上的对象、负责不同编程语言之间的参数转换 (如 C++ 到 Java)、用动态方法调用激活远程对象等。

图 2-4 所示为一个独立的 ORB 的结构, 箭头说明 ORB 的调用关系。为了提出一个请求, 客户端可以使用动态调用接口 (Dynamic Invocation) 或者客户端的 Stub 程序。客户端也可以直接和 ORB 交互。

对象通过 IDL 静态骨架 (IDL Static Skeleton) 或动态骨架 (Dynamic Skeleton) 的调用来接受请求。

CORBA 对象可以用任何一种 CORBA 软件开发商所支持的语言, 如 C、C++、Java、Ada 和 Smalltalk 等来编写。同样, CORBA 对象可以运行在任何一种 CORBA 软件开发商所支持的平台上, 如 Solaris、Windows 95/NT、Open VMS、Digital Unix、HP-UX 或 AIX 等。这意味着可以在 Windows 95 下运行 Java 应用程序, 同时动态调入并使用 C++ 对象, 而实际上该对象可能存储于一个在 Internet 上的 Unix Web 服务器上。

目前, 对于较为流行的编程语言 (包括 C++、Smalltalk、Java 和 Ada 95), 已经有了许多第三方的 ORB。CORBA 的特点是大而全, 互操作性和开放性非常好。目前 CORBA 的最新版本是 CORBA2.3。另外, CORBA 3.0 也已基本完成, 其中将增加有关 Internet 集成和 QoS 控制等内容。

CORBA 体系结构的缺点是[35]:

①CORBA 版本更新较慢: CORBA 标准委员会是非营利机构。OMG 接受一个新 CORBA 特征的论证时间过长, 导致 CORBA 规范不能及时对技术进步作出响应;

②CORBA 体系较为复杂: 对于不同平台和语言的兼容, 以及不同系统特征的描述, 使得 CORBA 体系庞大而复杂, 不易全面地掌握, 阻碍了其在系统实现中进行推广;

### 2.3.3 COM+技术

COM+是微软公司发布的组件技术标准, 是在 COM (Component Object Model) 组件对象模型和 DCOM (Distributed Component Object Model) 分布式组件对象模型基础上发展起来的。可以说, COM+是 COM、DCOM 和 MTS(Microsoft Transaction Server)的集成。

COM+的底层结构仍然以 COM 为基础, 并把 COM 组件软件提升到应用层而不再是底层的软件结构, 通过操作系统的各种支持, 使组件对象模型建立在应用层上, 把所有组件的底层细节留给操作系统。因此, COM+与 WINDOWS 操作系统的结合更加紧密。COM+有如下特点[30]:

**异步通讯：**COM+底层提供了队列组件服务，这使客户和组件有可能在不同的时间点上协同工作，COM+应用无须增加代码就可以获得这样的特性。

**事件服务：**新的事件机制使事件源和事件接收方实现事件功能更加灵活，利用系统服务简化了事件模型，避免了COM可连接对象机制的琐碎细节。

**可伸缩性：**COM+的可伸缩性来源于多个方面，动态负载平衡以及内存数据库、对象池等系统服务都为COM+的可伸缩性提供了基础，COM+的可伸缩性原理上与多层结构的可伸缩特性一致。

**继承并发展了事务管理器MTS的特性：**从COM到MTS是一个概念上的飞跃，但实现上还欠成熟，COM+则完善并实现了MTS的许多概念和特性。

**可管理和可配置性：**管理和配置是应用系统开发完成后的行为，在软件维护成本不断增加的今天，COM+应用将有助于软件厂商和用户减少这方面的投入。

**易于开发：**COM+应用开发的复杂性和难易程度将决定COM+的成功与否，虽然COM+开发模型比以前的COM组件开发更为简化，但真正提高开发效率仍需要借助于一些优秀的开发工具。

COM+不仅继承了COM、DCOM和MTS的许多特性，同时也新增了一些服务，比如负载平衡、内存数据库、事件模型、队列服务等。COM+新增的服务为COM+应用提供了很强的功能，建立在COM+基础上的应用程序可以直接利用这些服务而获得良好的企业应用特性。

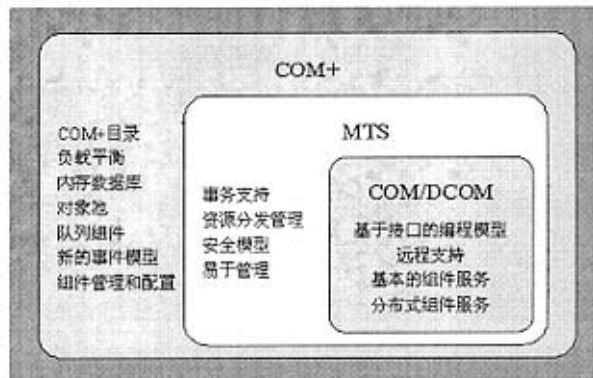


图 2.4 COM+ 体系结构

Figure 2.4 COM+ Architecture

COM+不再局限于COM的组件技术，它更加注重于分布式网络应用的设计和实现，已经成为Microsoft系统平台策略和软件发展策略的一部分。COM+继承了COM几乎全部的优势，同时又避免了COM实现方面的一些不足。

COM+标志着Microsoft的组件技术达到了一个新的高度，它不再局限于一台机器上的桌面系统，它把目标指向了更为广阔的企业内部网，甚至Internet国际互连

网络。COM+与多层结构模型以及 Windows 操作系统为企业应用或 Web 应用提供了一套完整的解决方案。但是 COM+也有其弱点；COM+紧紧地与操作系统结合起来，通过系统服务为应用程序提供全面的服务；正是由于其与操作系统结合紧密，使得对平台的兼容性大大降低。

COM 定义并实现了软部件机制，可将这些软部件统称为“对象”。COM 对象与 C++ 类很相似，它们都支持封装、多态性及继承。然而，作为二进制对象的 COM 对象又不同于 C++ 对象，COM 对象关心的仅是接口。COM 部件之所以能构造应用程序，完全依赖于部件所支持的接口，一个 COM 对象所具备的功能也是通过接口体现。结合数据库和网络技术，一个大型分布式应用完全可以由一系列功能独立的软部件来构建。

正是接口使得组件可与用户及其它应用程序进行通讯，没有接口，COM 组件就毫无用处；接口定义软件和组件能利用的公用功能，是组件对外界的唯一窗口。接口的设计取决于组件本身的功能及其与其它应用程序或组件的通讯，接口设计的合理与否直接关系到组件功能的有效实现及其与其它应用的通讯机制，进而影响整个应用的可重用性和可维护性。

组件的实现从接口的设计开始，根据组件所要实现的功能及其与其它相关应用的交互规划接口，并力求功能模块相互独立且可灵活交互，维护组件对语言及应用的独立性和组件间交互的灵活性；当一个组件需要调用其它组件的功能或将信息发送给其它组件时，还需妥善处理组件间的调用、触发关系；在大型分布式应用中，组件的功能划分也是设计初期须慎重考虑的问题。

## 2.4 组件软件技术在电力系统中的应用

电力系统中，由于各电网结构的差异及规划设计、运行分析等不同功能要求，应用软件的开发亦存在不同的侧重点。为特定系统研制的特定应用，很难推广。而这些应用中有相当一部分(如接线分析、潮流计算等)公共的、基本的功能，这势必造成相关应用中重复开发完成这些功能的代码[15]。

另外，面向对象技术通过实现继承实现的代码级重用，却限制了对象足够的独立发展性。再者，随着电力系统生产运行中科技含量的增加及电网规模化造成的调度负荷的增加，对电力系统应用软件灵活性的要求也日益增加，以往自成体系、闭关自守的封闭式应用往往捉襟见肘，难以两全。应用组件软件技术，将接线分析、图形环境等基本功能封装为独立的软部件，对外提供说明其功能的接口及功能函数，而不必考虑软部件将由谁怎样实用。客户调用相应的接口函数获得其所需的功能。当然，开发人员可以根据需要选择部件、以任意的方式构建自己的相应应用，而不需要自己生产任何源代码，不必拘泥于特定的结构方式。采取组建技术进行电力系

统软件开发,将提高其规范化程度,提高资源利用率,推动新技术、新方法的应用,更有效地保证电力系统的安全稳定运行[34]。

组件对象模型弥补了面向对象程序设计的不足。组件技术在电力系统软件设计中的应用尚处尝试阶段,还有很多细节需要深入研究;其广泛应用将促进研发人员间的交流合作,推动软件生产的标准化、规范化;它所倡导的多层分布式应用体系结构将是未来软件的总体模型[16]。

从电力系统应用实际来说,分析电力系统传统应用软件体系结构和设计思想等方面的原因,主要存在以下问题,造成软件生产及应用中的资源浪费[14]。

(1) 软件对应用环境的适应性差,很难在不同应用环境间共享代码;随着环境的变更,许多代码失去其生命力,不得不重复开发;软件可维护性差,难以适应设备配置、电网结构及保护整定原则的差异,难以及时应用新理论、新方法,适应生产运行的新要求。从而造成软件开发周期长、成本高的恶性循环。

(2) 软件严重依赖于编程语言,用不同语言开发的应用难以交互,开发人员必须在各种编程语言间做出取舍,在同一应用中难以荟萃各种编程语言提供的优良性能,因而软件产品不能满足多方面的需求。

(3) 封闭的应用程序体系结构缺乏必要的灵活性,各部分频繁传递数据,关系错综复杂,没有形成足够独立的功能模块,应用一旦成型,难再变更。

(4) 面向代码而非面向服务的设计框架缺乏开放性,难以满足日益广泛的分布式网络应用的需求[25]。

由于电力系统信息化应用中,90%以上的客户端软件都采用用户友好性较高的 Windows 操作系统环境,因此采用与 Windows 操作环境兼容性高,具有丰富对象开发库支持的 COM+组件技术是现有电力系统信息化应用开发中的主要选择。在本系统开发中,也采用 COM+组件开发技术。

## 2.5 本章小结

本章主要对面向对象及其建模方法,以及主要组件技术进行了初步阐释,为课题进一步研究建立理论基础。

## 3 供电企业信息化和 CIM 建模

### 3.1 企业信息化建设概述

企业信息化与国家经济信息化有着密切的关系，是国家经济信息化总体任务在企业里具体落实。企业信息化主要任务包括[17]：

#### (1) 建立企业信息基础设施

国家信息化要建立国家信息基础设施，同样，企业(尤其是大企业)的信息化建设也要搞好信息基础设施，这是大环境和小环境的关系。企业信息基础设施(EII)是指根据企业当前的业务和可预见的发展对信息采集、处理、存储和流通的要求，选购和构筑由信息设备、通信网络、数据库和支持软件等组成的环境。这是现代企业有效运作和参与市场竞争的最重要的企业基础环境。

#### (2) 建立信息资源管理标准

信息资源是企业最重要的资源之一，开发信息资源既是企业信息化的出发点，又是企业信息化的归宿。建立信息资源管理的基础标准，保证标准化、规范化地组织好信息是开发信息资源的基础工作。

#### (3) 开发企业集成信息系统

生产型企业重点要搞好生产过程的信息化，建立从设计到制造和经营管理的集成化的信息系统。服务型企业重点要搞好业务处理过程的信息化，既要开发企业各部门信息共享的内部集成化的信息系统，又要实现企业与业务伙伴或客户间的信息自动交换。外部互联的有效方法就是电子数据交换(EDI)的应用。实际上，应建立更大范围的集成化的信息系统。

#### (4) 信息化教育

提高全员信息化认识水平，激励全员参与信息资源管理和开发使用集成化的信息系统。企业领导重视企业信息化建设，主要体现在高层构思、策划组织和把握企业信息化的重要任务上。企业信息系统负责人和系统分析员，在探讨、选择科学的理论指导和寻求实用的方法、工具方面，负有重要责任，以保证企业信息化任务的完成。

詹姆斯·马丁在 1980 年代初提出了企业计算机信息系统以数据为中心的原理，写出了数据集成的理论和方法专著《信息工程与总体数据规划》。“数据中心”原理是指，只要企业的性质和目标不变，它的数据类就是稳定的，任何经营管理活动都离不开对这些数据的存取。信息系统的开发应该面向数据，而不应该面向处理过程，因为处理过程是多变的。他明确提出“数据环境”(Data Environment)的概念，认为企业的计算机应用有四类数据环境，反应了由低级到高级的发展过程。我们说，企业



信息系统集成的基础与核心任务是数据集成，就是要改造以数据文件和应用数据库为主的、混乱的、低档次的数据环境。企业信息系统集成的重要标志是达到高档次的数据环境——主题数据库和信息检索系统。

企业数据环境建设包括两个方面的数据集成，其一是企业内部的数据集成，以保证各部门的信息共享，从而使 IRM 问题集中在共享数据库的标准化、规范化设计上；其二是企业与外单位(政府部门、业务伙伴和客户等)的信息自动化交换，特别是远程异地的信息自动化交换，使信息资源管理问题集中在数据交换标准化、规范化的协调和设计上。IEC 标准化组织正是根据这一要求，逐步针对这一趋势逐步拟定有关电力产业的多套技术标准，如 IEC61850/61970/61968 等系列标准。另外，在化工、石油等重点行业和领域，面向信息和业务标准化的 CIM 公共信息模型已经制定和广泛实施，电力行业在该领域的应用是相对滞后的。

总的来说，国内企业信息系统经过十几年的发展，大致经历如下图所示的三个阶段，第三阶段是信息系统发展的高级阶段。目前多数管理信息系统都处于第一或第二阶段，众多厂商推出了名目繁多的产品和解决方案，企业也实施了各种各样的应用系统。但由于历史的原因，企业缺乏对信息资源进行集中统一管理，造成了企业信息资源闲置与信息资源不足并存的局面。因此，信息资源管理方式和技术手段陈旧已成为制约企业信息化进程的“瓶颈”，制约着企业信息资源向大纵深方向发展和利用。

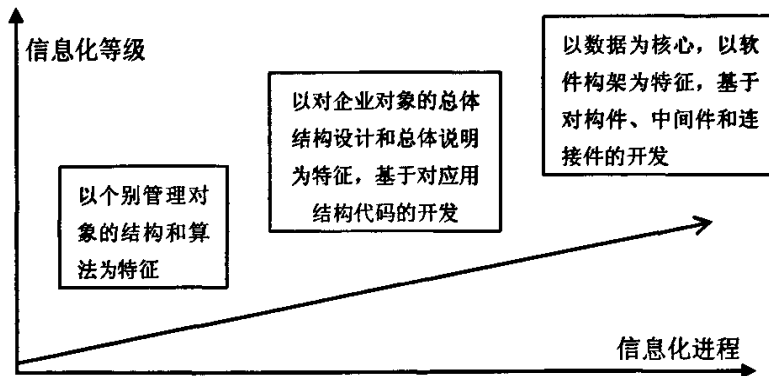


图 3.1 企业信息化建设的进程

Fig 3.1 The history of enterprise information infrastructure

在信息化时代和市场经济环境下，要求企业领导决策及时、科学和准确，往往需要查询多个基于各种异构数据源的业务系统和外部系统后，进行大量数据分析后才能作出此决策，工作量大，且容易出现人为差错，从而影响决策的质量，给企业发展带来风险。

同时,随着企业的发展和信息化建设推进,往往出现以下问题:对于大量的数据不能提供一个统一的数据接口,不能采用一种通用的标准和规范(如使用不同的指标代码体系和编码体系),共享通用的数据源。随着业务规模扩大,管理人员的操作越来越复杂,用户分散,相互联系程度低,信息相对封闭,共享程度低;大量日趋复杂的办公业务依然或多或少的靠手工处理进行流转;信息加工、处理手段差,影响信息质量,无法直接从各级各类业务信息系统采集数据并加以综合利用,无法对外部信息进行及时、准确的采集和利用,业务系统产生的大量数据无法提炼升华为信息,及时提供给决策部门;已有的业务信息系统平台及开发工具互不兼容,无法在大范围内应用;由于不同用户提供的数据可能来自不同的途径,其数据内容、数据格式和数据质量千差万别,有时甚至会遇到数据格式不能转换或数据转换格式后丢失信息等棘手问题,严重阻碍了数据在各部门和各软件系统中的流动与共享。

近几十年来,科学技术的迅猛发展和信息化的推进,使得人类社会所积累的数据量已经超过了过去 5 000 年的总和,数据的采集、存储、处理和传播的数量也与日俱增。企业实现数据共享,可以使更多的人更充分地使用已有数据资源,减少资料收集、数据采集等重复劳动和相应成本。这其中的关键问题是解决信息的标准化和规范化问题,同时又能保证信息采集、存储和利用的灵活性和扩展性。

### 3.2 供电企业信息化的特点和问题

供电企业由于生产过程的连续性、过程控制要求严格、电力需求的周期性、质量控制的复杂性等运营特性,对信息化解决方案也相应地提出了更高的要求。电力企业信息化包括从生产控制自动化、管理信息化到综合决策信息化的各个层面,是我国国民经济各部门中信息化建设开始较早的行业之一,总体上处于较高水平。由于电力生产安全性与稳定性的要求,电力企业对生产、调度过程控制的自动化应用一向比较重视,而对业务管理信息化和数据资源建设的重视却相对不足。我国供电企业信息化发展的特征如下[22]:

(1) 信息化基础设施相对完善:我国供电企业信息化起步于 20 世纪 60 年代,相比其他行业较为领先,到 2003 年底,各类规模局域网超过 2500 个,各电力公司本部主要岗位工作人员使用计算机的比率接近 100%。

(2) 电力生产、调度自动化应用成熟:对于电网企业,提高电力调度自动化水平和电网运行质量是信息化建设的重点。目前,电力调度自动化的各种系统,如 SCADA、EMS 和负控系统已建成,省电力调度机构全部建立了 SCADA 系统,电网的三级调度 100%实现了自动化。

(3) 电力营销管理系统得到广泛应用:原国家电力公司在 2002 年提出改革传统供电营销管理模式,实施电力营销全过程的计算机网络化改造。各省公司供电局

响应这种要求，普遍建立了用电管理信息系统，地（市）级供电企业基本实现了业务受理的计算机化。此外，各地供电部门积极进行客户服务中心的建设，一批供电客户服务呼叫中心初步建立起来。

(4) MIS 的建设与应用逐渐推进：MIS 建设初具规模。各公司逐步建立起数字化办公环境、企业综合业务系统、办公自动化系统、多媒体会议系统等，为公司业务管理和决策服务。但总体来看，管理信息化滞后于生产自动化的发展进程。

(5) 信息化机构建设尚须进一步健全

(6) 信息安全管理是信息化重点

(7) 管理革新滞后于信息化发展：相对于信息技术的发展与应用，供电企业管理革新处于落后状况，有的企业引入了先进的业务系统、管理系统，而管理模式未能实施有效革新，最终导致了信息系统未能发挥预期作用。供电企业需要启动一轮企业管理革新，从企业战略出发，实行业务调整、流程梳理与优化，引入信息技术的支持。

审视我国电力企业的信息化建设状况，我们发现还存在众多亟待解决的问题：

(1) 规划缺失导致信息化缺乏系统性：不同时期，我国电力企业不同部门为了满足业务需要而进行了一系列信息系统建设，数量众多。由于这些系统都是在未经科学合理的整体规划下建成的，各系统之间缺乏联系，信息不能共享，业务不能协同开展，对企业管理决策的作用十分有限。

(2) 缺乏统一的标准体系：目前，电力行业信息化尚未制定统一的信息化标准体系，电力企业内部信息系统的信息编码、技术标准、规范也不统一。这就造成企业内部“信息孤岛”无处不在、系统不能集成、资源不能共享的局面，严重制约企业信息化建设和应用。标准体系的缺乏影响了企业内部、上下级企业之间信息的共享与交互。

(3) 企业管理模式阻碍了信息化的快速发展

电力行业长期的垄断性经营导致了其特有的经营管理模式：重安全生产、轻企业管理，条块分割、信息分散，以安全生产为中心的意识深深植入电力企业的领导、职工的观念中。

(4) 信息化组织建设滞后

过去，各级电力企业的信息部门都不作为企业的生产部门来看待，一些专业的生产控制系统、调度系统的建设都由生产部门承担。信息部门在电力公司没有一个专门机构配置，没有规范的建制和岗位，信息化部门没有得到应有的重视。随着信息化的发展及企业信息化建设需求的扩展，电力企业的信息化涉及到业务与管理的各个方面，信息化需求从个别业务部门扩展到整个企业，大多数企业现行的信息化部门设置显然不能满足这种需求。由于信息化建设涉及到企业的各个方面，所以需

要既懂业务又熟悉信息技术的“复合型”人才来负责与实施。目前电力企业的信息化组织机构设置和人才状况已经滞后于信息化建设的需要，影响了信息化的推进。

#### (5) 硬件与软件投入上“重硬轻软”

由于对信息化认识上的误区，部分电力企业认为，搞信息化主要就是买机器、建网络。前几年，电力企业虽然加大了信息化的投入，但是将资金主要用在硬件设备的购置上，相应的软件系统投入明显不足，表现出一定程度的“重硬轻软”情结。这种做法的结果是，脱离了软件系统的硬件发挥不出应有的作用，信息化建设没有成效。

#### (6) 企业信息系统孤立存在不能发挥整合效益

电力企业要求生产过程的稳定、可靠、安全，所以厂站的生产控制自动化系统、电网调度自动化系统相对企业管理系统更完善，应用效果明显。但是，目前电力企业的生产自动化系统与管理信息系统处于相互分离状态，彼此不能有效结合，不能实现管控一体化，数据信息不能集成共享，不利于实现企业的综合管理。此外，由于缺乏总体数据规划、数据整合，存在或多或少的“信息孤岛”，部分数据有冗余和二意性，不能融合到整个管理信息平台上。

经过结构性改革与资源重组，电力企业的经营思路正从计划性生产向市场化运营转变。面对新的发展环境，面对机遇与挑战，电力企业必须降低运营成本，提高经营效益，提升管理水平，增强市场竞争力，内外动力的作用将促使电力企业加快推进信息化建设，通过信息化来积聚未来的竞争优势。

在这种背景下，结合前期信息化建设中出现的问题，我们认为在供电企业信息化建设中强调系统整体规划，强调信息标准化体系建设，强调提高软件重用程度是在技术层面必须加以重视和实施的。在这方面，IEC 61970/61968 根据电力行业特点制定的标准内容可以借鉴，国内也正在参考这些标准制定相应的国内标准。但是，在制定和实际推行过程中，还需要根据国内电力行业特点和实际，进行实际验证和作出适应性的调整。

### 3.3 IEC61970/61968 协议及其构成

随着电力系统向高电压、大电网、高度自动化发展，随着计算机技术、通信技术和电力电子技术的不断进步，电网能量管理系统(EMS)、配网管理系统(DMS)、电能计量系统(TMR)、变电站自动化系统、火电厂分布式控制系统/监视信息息统(DCS/SIS)、水电厂监控系统、电力市场交易管理系统(TMS)等各类自动化系统覆盖了电力生产发、输、配、售各个环节，共同构成了保障现代电网安全、经济运行的支柱。

近年来，各个应用系统之间信息共享和应用集成的需求越发迫切，其需求覆盖

了不同的层次,从电力公司内部不同应用之间,到不同电力公司之间,都要求方便、灵活地实现信息共享和应用集成。应用系统之间的信息的交换与共享需要在多个层次上进行,从最基本的数据交换,到模型信息的交换,到应用功能层面上的共享和集成。

针对蓬勃发展的信息共享和应用集成的需求,目前的应用系统接口已不能适应。通常情况下,各个应用系统由不同的开发商提供,所使用的数据库模型、应用接口、开发平台千差万别,大多数应用系统仍然基于专有的数据库。专有数据库限制了第三方的访问,使其很难在现有系统上开发新的应用,或是将第三方软件集成进已有的系统[2]。通常每个应用系统的数据格式/应用接口都是不同的,每个应用需要针对其他应用开发专门的数据接口转换程序以实现信息共享。随着应用系统数量的增加,这样做的成本很高,管理维护困难,不能灵活地实现各个应用间的互操作,不能充分有效地保护在各个应用中已有的投资。

针对以上的问题,解决方案是建立一个标准的、开放的电力系统信息模型,并提供通用的数据接口,支持应用功能的“即插即用”。“即插即用”应用定义为以最小代价和无任何代码改动就可以安装在系统中的一套软件。

1993年,美国电力科学研究院(EPRI)启动了“控制中心应用接口”(Control Center Application Program Interface, CCAPI)研究项目(RP-3654-1)[3],其主要目标是[23]:

- 1) 减少向 EMS 中增加新应用所需要的费用和时间。
- 2) 保护对 EMS 中正在有效工作的现有应用的投资。
- 3) 促进不同系统控制中心内部以及控制中心与外部系统之间信息交换的能力。

随着研究的逐步深入,在电力工业市场化改革的背景下,对网络安全计算的需求、对 SCADA/EMS 与 DMS 集成的需求,使 CCAPI 项目的用户需求和实施范围逐渐超出控制中心内部,扩展到发电、输电、配电等领域。

同时,软件技术的发展进步使传统的自顶向下的软件工程设计方法向面向对象的方法变化,组件技术或分布对象技术是其中一个很重要的发展方向。CCAPI 项目的重点从为应用系统集成框架服务制定标准逐步转移到为访问、共享公共信息的组件软件接口制定标准上来,从 1999 年开始确立了基于组件软件的相对稳定的 CCAPI 解决方案。

1996 年国际电工委员会第 57 技术委员会第 13 工作组(EMS API 工作组, IEC TC57 WG13)开始与 EPRI 紧密合作,在 CCAPI 项目基础上启动 IEC EMS-API 项目,使 CCAPI 项目的研究成果符合国际标准的规范,与其他国际标准化组织相互协调,并推动标准的广泛实施。CCAPI 的研究成果经 IEC TC57 WG13 提交为 IEC61970 系列标准。

IEC 61970 协议起源于 ERPI 的 CCAPI 项目,其主要目标是为 EMS 系统中不同厂商的应用功能之间,或不同的 EMS 系统之间,或 EMS 系统与电力行业其他应用系统之间的数据交换和应用集成提供便利,允许多个厂家的应用能够在 EMS 环境中运行,支持大范围的电力系统应用,允许长期的扩展和更新。

针对现有应用环境中,实现信息共享和应用集成的两个最大障碍[3]:

- ①各个系统的信息模型是专有的,缺乏公共、统一的数据模型;
- ②各个系统访问信息的机制也是专有的,缺乏标准的数据接口规范。

IEC 61970 协议提出,为现有的应用系统提供一个基于公共信息模型,公共体系结构的,基于组件技术的系统集成框架。通过定义标准的应用编程接口(Application Program Interface),应用系统可以以标准的方式访问公共数据,交换信息,不用关心信息在各系统内部是如何组织/表达的。各个 EMS 应用内部可以有各自的信息描述,但只要在应用程序(或构件)接口语义级上基于公共的信息模型,不同厂商开发的应用程序或不同系统的应用间就可以以同样的方式访问公共数据,实现应用间的相互操作和插件兼容。

IEC 61970 协议的两大支柱是公共信息模型(CIM)和组件接口规范(CIS)。CIM 信息模型定义了信息交换内容的语义,组件接口规范(CIS)规定了信息交换的语法。CIM 则是整个 619701 协议框架的基础和核心[7]。

#### ①组件接口规范CIS

组件接口规范(CIS)定义了基于组件技术的标准信息访问机制,解决如何具体交换信息的问题。

组件可以分布在网络的任何位置。对外界来说,它所需关心的只是组件的接口,即组件所提供的功能,客户可以通过接口的方法调用来访问它。随着组件技术和网络技术的成熟,CIS 的结构在长期的技术辩论后,2002 年才确定下来。它采用软件行业主流的组件执行系统作为集成基础设施,直接使用组件执行系统提供的公用服务,如命名、事件、事务、持久化和安全等服务[5]。CIS 包括三个主要部分:组件接口通用服务-40x;应用种类特定的信息交换模型(IEM)-450-499;组件接口规范到具体实现技术的映射规范-5xx。

组件接口通用服务则指定了遵循 61970 标准的组件(或应用系统)应实现的一些基本的接口服务,组件(或应用系统)通过这些通用接口,可以以标准的方式访问公共信息或相互之间交换信息。它为应用系统提供了使用公共 API 访问 CIM 数据和使用公共服务实现数据处理、存储和显示功能的机制。通用服务建立在现有的国际或工业标准之上,以尽量扩大应用范围。服务类型包括:命名(Naming)服务、筛选(Filtering)服务、事务(Transaction)服务、浏览(Browsing)服务。这些服务针对 EMS API 的特定应用环境,用叙述性文本、UML 和接口定义语言(Interface

Definition Language , IDL) 来定义标准化的接口功能, 涵盖了数据交换层次的主要的应用集成机制。接口功能主要有[8]:

通用数据访问(Generic Data Access , GDA) ;

高速数据访问(High Speed Data Access , HSDA);

通用事项记录和订阅( Generic Eventing and Subscription , GES) ;

时间序列数据访问(Time Sequence Data Access , TSDA) 。

定义这些通用服务的目的是尽量减少电力系统应用集成的代价, 将应用系统与下层的中间件(Middleware) 实现技术隔离, 充分发挥 CIM 模型的优点, 避免生成只面向特定应用的 API , 保证与 IEC 61970 中的其他协议兼容。

## ②公共信息模型 (CIM)

现代电力系统是一个涵盖发电、输电、配电、售电各个环节, 包括发电机、变压器、断路器、输电线路、用电设备等各类电气设备, 涉及到发电公司、电网公司、代理商、市场运营方、监管方、大用户、零售用户各方面, 实行实时闭环控制的复杂系统[7]。对这样一个系统进行建模、描述, 首先要抽象出问题域中的实体的类型、类型的性质。这些抽象的描述就是所谓的“元数据(metadata)”。元数据是指“关于数据的数据”或者“关于数据的结构数据”, 即关于数据的内容、质量、状况和其他特性的信息[10]。例如: 书的文本就是书的数据, 而书名、作者、版权数据都是书的元数据。元数据最基本的用途就是管理数据, 从而实现查询、交换和共享。对于电力系统域而言, 公共信息模型(CIM) 就是电力系统元数据的模式, 可以用来描绘具体的电力系统数据模型[11]。

在 IEC 61970 协议中, CIM 模型是 IEC 61970 协议整体框架的基础[19]。它是一种描述电力系统所有对象逻辑结构和关系的信息模型, 为各个应用提供了与平台无关的统一的电力系统逻辑描述, 尤其是在 EMS 系统领域。它定义了电力工业的标准对象模型, 提供了一种表示电力系统对象, 包括其属性和相互关系的标准。CIM 模型采用统一建模语言 (UML) 作为对象建模方法。

相对于 IEC61970 主要针对能量管理系统等的标准化, IEC61968 主要针对于配电管理系统的应用。但是就其公共信息模型部分的定义绝大多数内容基本上是一致的。因此, 国内外对电力企业 CIM 模型的讨论往往将两者在一起引用。

## 3.4 CIM 模型及其理解

通用信息模型 CIM(Common Information Model) 是整个标准框架的重要基础, 它定义了应用程序接口的语义部分, 包括公用类、属性、关系等。各类应用将以 CIM 为标准, 对电网进行描述, 并在此基础上交换信息。

CIM 模型中的对象本质上是抽象的, 可以应用在各个系统中。CIM 模型有助

于不同供应商开发的 EMS 系统的集成, 有助于 EMS 系统和其他涉及到电力系统运行操作不同领域的应用系统的集成, 例如发电管理和配电管理[18][20]。

从 1998 年 4 月开始, CCAPI 发布 CIM u07a.mdl, 开始采用面向对象统一建模语言 UML 来描绘 CIM。在 UML 中, 现实世界实体的类型被定义为“类”, 实体类型的性质被定义为“类的属性”, 实体类型之间的关系用“类之间的关系”来描述, 包括: 继承、关联、聚集[13]。

整个 CIM 很大, 为了便于管理, CIM 的开发者把 CIM 中的类组织为多个包 (Package)。一个包表示针对特定内容的相关的模型元素的组合, 往往针对某些特定的应用范围。

CIM 定义了端点和连接节点(以下简称 CN ode), 用以表达导电设备之间的连接。导电设备含有端点, 两个导电设备的连接是通过端点的融在基于母线/支路的模型中, 开关类元件将被略去, 只考虑线路、变压器、负荷、发电机等非零阻抗电气元件。这是因为一方面闭合的闸刀, 断路器并不对潮流的分布产生很大的影响, 同时在潮流计算中过多的小阻抗支路会对潮流计算的收敛性和精确度带来不利影响。在 CIM 表达的基于开关节点模型的电力系统数据中, 大量的 Switch 类元件。如在一个描述 IEEE 14Bus 完整系统的 CIM 文件中, 有交流线路对象和变压器线卷对象共 22 个, 而闸刀对象和断路器对象有 144 个。合理地略去闭合的闸刀、断路器, 形成拓扑点, 把网络中其他元件的连接关系转化为以拓扑点为基础的连接是拓扑分析要完成的工作。

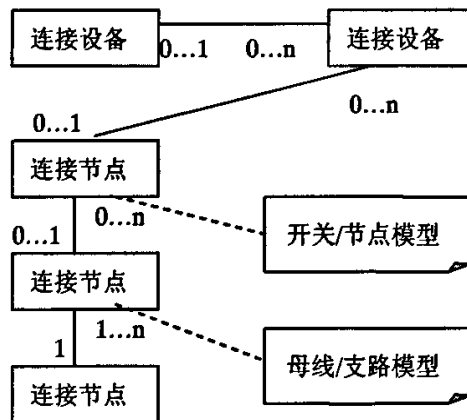


图 3.2 CIM 数据模型

Figure 3.2 data model of CIM

CIM 用面向对象模型方式定义了电力系统各个应用交互的数据模型, 分为三个部分, 301 是基本部分, 302 用于计划检修和财务部分, 303 是 SCADA 部分。其中 301 包括 9 个包, 核心包、拓扑包、电线包、停运包、保护包、量测包、负荷模



型包、发电包和域包。各个包从类的应用范围进行了分类，如核心包定义了厂站类、电压等级、电气间隔和基础电压等级等公用逻辑关系类模型；拓扑包定义了电气设备之间的拓扑关系模型，使用设备端点、连接节点、逻辑节点和电气岛对象形成电气设备结线关系；电线包定义了线路、变压器、发电机、电容器等设备类模型；量测包定义了有关量测类以及它们的关联关系，包括量测点、量测数据、量测类型、量测单位、量测数据源、量测限值等。

CIM 中的数据模型包含了电力系统应用所需数据，把这些类作为 C++ 语言实现中每个类的数据成员，对每个类添加对它的操作方法，并且可以根据实际应用软件的需要再添加其他数据成员。

CIM 电压等级类中没有基准功率对象，它包含两个数据成员：电压等级对象集合和基准电压值。在线路、变压器等设备类中定义有名值和标么值的转换方法时，不能从设备对象得到基准功率，给计算带来不方便，因此在基础电压中增加基准功率对象关联。

CIM 提供了一个关于电力能量管理系统信息的全面逻辑视图，是一个代表电力企业所有主要对象的抽象模型，包括了这些对象的公有类和属性，以及它们之间的关系[9]。通过对 CIM 的学习和理解，我们认为：

(1) CIM 不是数据库，而仅仅是数据模型(元数据)。

(2) 遵从 CIM 意味着公用接口的数据表示符合 CIM 3 方面的要求，包括语义、词法和

(3) 遵从 CIM 并不意味着数据库的结构与 CIM 的类图完全一致，也不意味着支持 CIM 的所有方面。只要在接口上遵循 CIM 原则即可。

(4) CIM 具有扩展性，由于 CIM 覆盖了电力系统的大部分领域，对于应用只要实现他所关注领域的 CIM 模型即可。随着描述对象不断出现新设备、新装置，在这些新设备的 CIM 标准没有出来之前，CIM 可以自己扩展。

总的来说，公共信息模型(CIM)的定义使得数据交换变得有标准可依，简单易行，系统开发和改造如果能基于 CIM 模型，则为电力信息一体化工作奠定了良好的基础。

### 3.5 本章小结

本章首先分析了供电企业信息化的特点及其存在的问题，指出重视信息标准化和规范化是解决这些问题的途径之一。然后，重点阐述了 IEC61970 标准内容及其结构，并对 CIM 进行了初步理解和阐释。

## 4 配网图形化平台软件的系统设计

### 4.1 贵阳市南供电局图形化配网管理的需求分析

贵阳市南供电局成立于 1995年10月23日, 供电范围覆盖贵阳市延安路以南城区、小河区、花溪区、清镇市、龙里县、惠水县、长顺县、罗甸县等八个市、区、县, 供电面积11175平方公里。现有固定资产23.08亿元, 拥有变电站超过60座, 总容量3915.5兆伏安; 管辖10千伏配电线路超过300条, 长度达近7000公里。2004年荣获“全国电力行业优秀企业”。

贵阳市南供电局在以往的信息化建设过程中, 已经逐步建立了覆盖全局的具有较高水平的通信网络。自1990年代中期以来, 已经建立应用于各业务部门的信息化业务系统30多个, 信息化建设取得了较为突出的成绩。

贵阳市南供电局近年来十分注重科技进步, 积极运用现代高新技术, 不断改造传统生产管理模式, 电力调度自动化、办公自动化系统等先进的设备和应用软件相继普及, 为供电局的生产安全和社会经济效益的提高发挥了重要作用。许多应用系统中也采用了图形化的信息一体化交互环境, 但是都没有在CIM模型基础上采用组件式的开发技术实现, 而又由于采用信息和图形一体化模式, 造成了系统之间信息管理各成体系, 互不兼容的情况。另外, 随着信息化水平的提高, 对各系统进行有规划的必要整合, 实施信息集成、流程集成和应用集成也成为了目前较为迫切的要求。因此, 从配网图形化平台软件作为切入点, 逐步展开在信息标准化和规范化基础上的系统整合研究, 是有实际意义的。

选择配网图形化平台软件作为研究切入点的原因在于: 在许多应用系统当中, 各部门配网图形化平台软件有着共同的需求, 又对其信息管理和功能各有侧重, 因此选择它作为切入点, 对于体现信息规范化、标准化, 以及基于软件重用取得较好的系统效益和树立示范作用都具有重要意义。下面, 我们先来对有关各业务部门的职能及其对配网图形化平台和应用的功能需求进行分析:

#### ①生产技术

职能: 公司的生产技术、工程建设、科技进步等工作。

需求: 将所有工程技术图纸电子化, 按专业分门别类组织图库目录树, 便于查询和维护; 图纸中能够集成必要的基础数据, 如设备技术参数、检修报告、缺陷资料等文档; 预留必要录入、集成以及链接功能, 其文件格式为/01或2/3; 设定信息录入、集成以及图纸链接功能。

#### ②信息中心

职能: 公司的计算机设备、网络及各类软件系统的管理。

需求：建立系统采用客户端/服务器模式，后台数据库使用关系型数据库；系统要具有良好的安全性和权限管理功能，并且与各应用软件管理系统链接，信息资源共享。

### ③战略规划

职能：工程项目的图纸设计工作。

需求：以图集形式分层级管理各线路、变电站的初步设计图纸、施工图纸和竣工图纸，通过严格的权限设置，对图库进行动态维护。

### ④调度管理

职能：电力调度工作。

需求：通过调度自动化系统对所属电网进行调度管理，对变电、线路图纸，能够快速浏览和技术参数查询。

### ⑤变电工区

职能：输变电设备的安全运行与维护。

需求：能够快速浏览、查询变电与线路设备的技术图纸和技术参数。

### ⑥修试所

职能：输变电设备的安装、检修。

需求：能够快速浏览、查询输变电设备的工程图纸、技术参数等。

### ⑦各供电分局

职能：城区线路及设备的运行、故障抢修。

需求：能够对城区配网线路、设备的技术图纸、参数等快速查询。

因此，从用户需求出发，要求目标系统设计思想和方案应注重软件系统设计的成熟性和现有技术资源；要求系统能针对供电系统工程技术图纸的管理现状，利用先进的技术、图库资源和信息库资源，进行高效整合和管理，消除数据冗余，使一线的生产技术管理部门获得快捷、高效的技术决策支持能力，提高生产工作中的快速反应能力。要求注重系统的易用性、可靠性、可维护性、可扩展性。

系统管理工程图库能采用层次分明的目录树形式，依照供电系统分级管理模式，进行任意层次的图集编目，具有良好的图库访问和维护功能。

系统能贴近各部门技术管理需求，根据实际的技术管理流程，使得未来能够在该系统基础上，进一步调整并完善系统的管理流程和体系架构，更适合供电系统各部门的使用。

现有电力设备管理系统的主要方式有：

报表式管理：即采取基本的数据表格交互方式，由操作人员直接处理设备信息报表，并采取SQL访问有关数据并形成最终的报表。这种方式的特点是实现简单，但是已经不能满足现有设备信息管理的要求；

静态热点单线图方式：即首先采取图板方式绘制配电网单线图或地理接线图，然后再把图中对设备单元、母线等标注为热点，支持在具备热点的静态图形中进行设备信息的管理维护。这种方式的特点是，能够支持用户的图形化操作，但是配电网图形不能支持自定义操作，也无法进行必要的拓扑分析等；

交互式图形化方式：能够实现地理接线图或单线图的自定义绘制，支持拓扑分析，支持设备信息的交互式管理维护，但是在电力系统信息化走向集成化的背景下，不能有效提供与其他系统的互操作性和数据交互能力，因此只能作为专门的设备信息管理系统，缺乏与其他系统的集成能力，可重用性低，造成企业重复的技术投资和应用集成化程度较低。

目前，在国内的相关应用系统中，静态热点单线图方式是主要的实现方式。

## 4.2 配网图形化平台软件的设计

### 4.2.1 系统设计原则

根据业务需求和软件组件技术要求，系统设计原则如下：

#### ①实用性和适应性原则

实用性是衡量软件质量体系中最重要指标，是否与业务结合的紧密，是否具有严格的业务针对性，是系统成败的关键因素。适应性是软件质量体系中的重要指标之一，系统的设计从最开始就应该以适应于多种运行环境，而且还必须具有应变能力，以适应未来变化的环境和需求。

#### ②先进性与发展性原则

采用COM+组件技术，参考IEC61970/61968 CIM模型进行技术实现。

#### ③标准化与开放性原则

在计算机系统总体结构设计中，所有软件产品的选择必须坚持标准化原则，选择符合开放性和国际化的产品和技术；在应用软件开发中，数据规范、指标代码体系、接口标准都应该遵循规范要求。

结合上述原则，针对课题提出的主要技术问题，我们提出相应的解决方法：

软件界面的实现采用COM+组件技术，支持与其他应用系统的集成和互操作，便于重用。采用CIM模型支持电网和设备的面向对象建模，实现数据开放共享，支持电网绘制的面向对象实现，支持基于CIM模型的全局和局部拓扑分析；支持从面向对象的CIM模型向关系模型的转换。

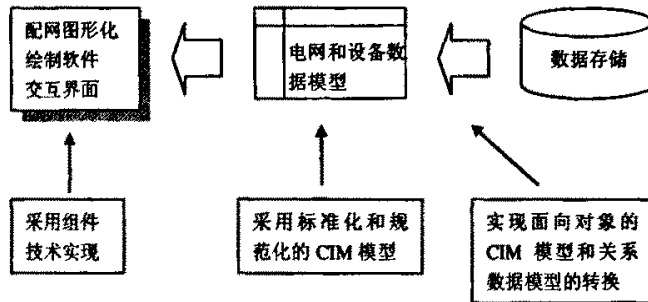


图 4.1 主要技术问题及其解决方法

Figure 4.1 Main technical problems and its solutions

下面，就针对各主要技术问题展开详细的研究。

### 4.2.2 功能组件及其结构

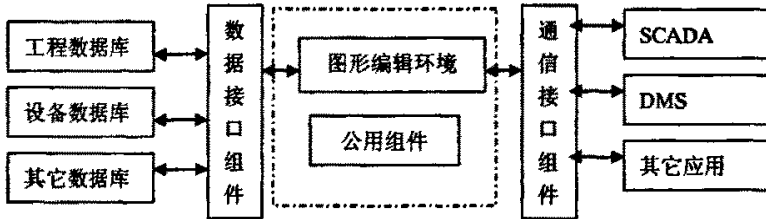


图 4.2 系统功能组件结构

Figure 4.2 System structure with functional components

本系统整体采用组件结构，每一功能部分都封装成为一个 COM 组件，通过接口提供外部访问和集成。主要组件包括：图形编辑环境组件、公用组件、数据接口组件和通信接口组件。图形编辑环境组件的研制是本论文讨论的重点。

图形编辑环境组件能够支持配电网“所见即所得”的绘制方式，图形环境能够同时进行电网接线图绘制和拓扑结构录入，免除了用户在另外的界面中录入元件连接关系的麻烦。而国内多数类似软件均采用图形浏览和图形编辑环境分离的结构，如 PSASP 等。该种方式给用户的修改和绘制带来了诸多不便。同时，本图形环境组件应当能够支持与其他应用通过数据访问接口和通信接口的集成。

公用组件主要是针对公用方法、报表处理、打印机管理等通用性功能的组合，便于在图形化环境下的输出和输入处理。

通信接口组件，支持各种电力行业通信协议，包括数据包的封装和解析、数据校验和纠错、数据缓冲区的控制和处理、通信链路的维护和管理等；

数据接口组件主要采用 ODBC 通用数据访问接口技术，并能支持多种数据库格式的处理和转换，支持数据的自定义。

在实现中，图形环境主要包括图形编辑、图元编辑、设备信息管理、环境参数

设置等功能组件。

(1) 配网图形编辑

配电网图形编辑包括：制作各种图形模块、设计工具菜单、工具栏和命令行命令、图元信息的输入和修改、文本显示与编辑、图元的相互关联等。

用户能够将不同类型的图元插入绘成配电网拓扑结构图。配电网中的电气元件按照功能划分有：变电站，变压器，线路，开关，互感器等。不同电气元件对应的图块不同，同种类电气元件与设备数据采用唯一标识号(ID)进行链接。图中的每一个元件在插入时，都自动生成节点的编号。节点的自动编号在图中不显示，各节点间的相互关联信息、及各元件的属性关系保存到数据库，形成网络拓扑结构。配网单线图绘制完毕，软件将自动检查图纸的合理性，确保网络接线的正确，并把配网图中的所有信息保存到数据库中。

(2) 配电网工程图图元以及工具栏的制作：

图元模块的制作：块是图形对象的集合，设计中是将创建好了的图块，插入到工程图中。配网拓扑结构图所涉及的图元模块(包括开关类的隔离开关，负荷开关等，电容，断路器等)如图 4.3 所示。在图元显示方式方面，可根据需要对图元的倾斜角度、颜色，乃至开关的闭合状态、电力线路的带电状态都可以进行区别显示。



图 4.3 配网相关图元

Figure 4.3 Graphic components of distribution network

(3) 图元信息的输入和修改

图元信息包括编号、名称等属性，进行编辑和修改涉及编号或属性值的改变，软件设置相应的链接将变化保存到数据库中。

#### (4) 图元的相互关联

软件提供图元相互关联功能：插入元件时，点击要接入的元件，即可读取该元件的属性值，并自动获得它的末端节点坐标、节点编号，再插入元件时节点编号会自动累加，并将该元件的属性值保存到数据库中。因此大大方便了设计中各个元件的连接和全局编号，便于通过优化节点编号来对配电网图进行拓扑分析、潮流计算以及无功优化。

能使用鼠标完成接线图绘制是可视化的基本要求，参照传统CAD设计界面，应实现电气元件的拖动、旋转、复制、粘贴、剪切、放大、缩小、撤销、重复等功能。

### 4.2.3 系统实现的其它技术要点

在该图形化环境实现中，按照系统设计，除了采用组件开发技术实现图形化交互界面以外，重点解决的电网和设备数据建模问题主要体现在以下几个方面：

#### (1) 配网拓扑的建模

电力系统由发电站、输电线、变电站、配电站、负荷等组成，变电站由断路器、变压器、电容器等元件组成。元件是电力系统的最基本组成部分。就设备的本质来说，所有的元件通过连接而形成网络，因此它们之间的关系主要表现为连接，也就是拓扑关系。元件之间按照相应的连接关系形成设备网络[6]。

配电网拓扑模型描述，是构建配网图形化平台软件环境的核心。合理的模型描述，不仅能够灵活和开放地描述图元之间的物理和逻辑联系，而且可以提高在图形绘制和拓扑分析中的系统效率。

#### (2) 配网拓扑的分析

在配网拓扑模型基础上，需要针对网络连通性，以及根据图元间的逻辑连接关系和物理连接关系进行分析。这是进行必要的电力系统分析计算功能的基础。

#### (3) CIM模型与关系存储模型的转换

由于CIM模型采用面向对象的建模思想，采取封装、继承等概念，而现有大多数数据库系统均采用关系数据模型。因此，在系统实现中需要解决从面向对象的CIM模型向关系数据模型的转换。

## 4.3 基于 CIM 的电力对象建模

### (1) 设备模型

设备模型指电力网络中的一次原件模型，例如线路、开关、母线等，在 Wires 包中定义。每种设备模型对应于 Wires 包中的一个类，设备模型之间的继承关系如

图 4.4 所示。

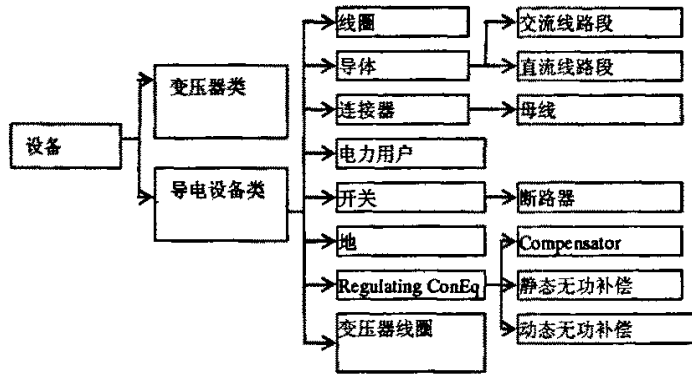


图 4.4 设备模型关系图

Figure 4.4 Relationship between equipment model

图中，阴影部分为实际的设备定义模型，对应实际电力系统元件；空白部分为虚拟类，仅是模型定义需要；箭头表示类的继承。在 CIM 定义的模型中，变压器 (PowerTransformer) 可看作是两个或三个变压器卷 (TransformerWinding) 的集合。

对于基于 CIM 模型建立的电力网络，拓扑分析可以利用面向对象技术，只需要处理各设备模型的家类- 导电设备类 (ConductEquipment)，而不用关心该设备的具体类型及具体属性。新的设备模型只需要根据图 4.4 所示的关系继承导电设备类，原有的网络拓扑仍可以正确运行。这使得拓扑分析具有充分的可扩展性和适应性。

### (2) 端点和连接点模型

CIM 模型中定义了端点 (Terminal) 和连接点 (ConnectivityNode) 模型。其中，端点是导电设备的电气点。连接点是导电设备端点的无电阻融合点，包含了一组端点。

在 CIM 模型中，一个导电设备包含几个端点 (Terminal)。例如，一个开关刀闸 (Switch 及其子类) 有两个端点、一个线路段 (ACL lineSegment) 有两个端点。每个端点属于某个连接点，如果几个端点指向的连接点相同，表示这些端点融合在一起，CIM 模型定义了这种导电设备类与端点、端点与连接点之间的关联关系。这样，端点和连接点共同建立起设备之间的电气连接关系。可以看出，基于 CIM 模型建立的网络接线图，网络结构变得更加复杂。

### (3) 拓扑点和拓扑岛模型

CIM 模型中，拓扑点 (TopologicalNode) 和拓扑岛 (TopologicalIsland) 是网络拓扑的结果模型，在 Topology 包中定义。其中，拓扑点是通过闭合开关合并的一组连接节点，拓扑岛是系统网络的一个电气连接的子系统。从概念上来说，拓扑岛实际就是一个为了管理方便而划分的电网子网。

根据 CIM 定义，拓扑分析需要建立连接点与拓扑点、拓扑点与拓扑岛之间的关



联关系。为了方便进行设备连接拓扑点的检索，形成拓扑节点后，又建立了导电设备与拓扑点之间的关联。各模型间的关联关系如下图所示。

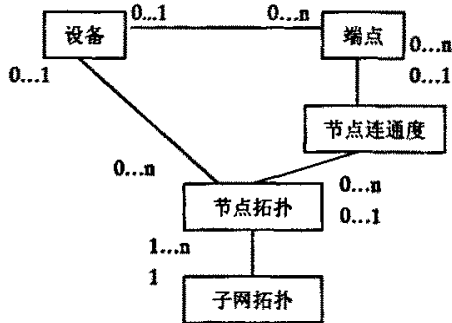


图 4.5 网络拓扑结构的关联关系

Figure 4.5 Association of network topology

闭合的开关或闸刀元件是一个阻抗近似为零的电气元件，两侧是等电位的，由此在高级应用中会略去该元件，并将其两端的CNode 元素合并归于同一个TNode元素中。随着开关类元件以串连或并联的方式扩展，更多的CNode元素可归属于该TNode元素。拓扑分析要求形成CIM 系统中所有的TNode元素，并找出每个TNode元素所包含的所有CNode元素。以下图为例，4~13 经处理后，将产生一个TNode，元件3、18 挂在该TNode 上；17 独立构成另一个TNode；变压器16则是连接两个TNode 的一条支路。

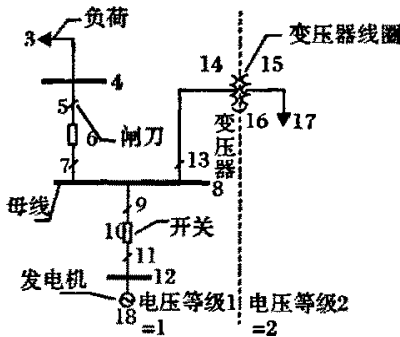


图 4.6 一个网络实例

Figure 4.6 A sample of network

#### 4.4 本章小结

本章对系统建设背景和需求进行了分析，并针对配网图形化平台软件的功能及其组件结构进行了初步设计，指出了在该环境开发中所要重点解决的技术问题。

## 5 CIM 在系统实现中的问题及其解决方法

### 5.1 基于 CIM 的配电网建模及其拓扑优化

配电网是个复杂而庞大的系统,采用何种有效而直观的方法来表示配电网的拓扑结构是个值得研究的问题。拓扑结构的表示是配电自动化高级功能,如:潮流计算、故障区段判断、网络重构的基础。好的拓扑表示应能够实现网络连通性的快速识别,适应事件变化(如开关变位,故障等),并且能满足配电自动化中不同功能的需求,同时还应节省存储空间。

面向对象技术从现实的事物出发,将实际问题划分为对象,通过对象的作用及对象间的功能来解决。它以对象为中心,将对象的属性、动态行为、领域知识和处理方法等有关知识“封装”在表达对象的结构中,能清晰地表达出抽象的概念。面向对象方法最主要的特征是对象之间的消息传递和各类之间的继承。它与以往的结构化程序设计方法相比具有提高程序的可重用性等优点。面向对象技术从现实的事物出发,将实际问题划分为对象,通过对象的作用及对象间的功能来解决。它以对象为中心,将对象的属性、动态行为、领域知识和处理方法等有关知识“封装”在表达对象的结构中,能清晰地表达出抽象的概念。面向对象方法最主要的特征是对象之间的消息传递和各类之间的继承。它与以往的结构化程序设计方法相比具有提高程序的可重用性等优点。

电力系统中拓扑结构表示的方法主要有元件/开关、元件/节点关联表法,矩阵表示法,面向对象表示法等。前两种方法计算复杂并需占用较大的存储空间,如能恰当地用面向对象的方法对电力系统进行建模则能克服以上缺点[27]。

目前在城市配电网中有架空线路和电缆线路两种结构。它们既有共同的地方也有不同之处,网架都是闭环设计,开环运行,呈放射状。架空线呈树状结构,被分段开关/联络开关分成多个以其为边界的馈线段,每个馈线段可看成是一个子树,馈线段内部不可控,只有边界上的开关是可控的,在开关处装设故障检测器。架空线的分支较多,一条馈线可能有多个联络开关。城市电缆线路多是双电源放射状结构,呈树状。采取何种数据结构和有效的搜索策略是配网图形化环境实用化需要解决的重要问题。

进一步分析,可以看到,配电网系统设备类电力系统网络具有层次性的特点。电力系统由发电站、输电线、变电站、配电站、负荷等组成,变电站由断路器、变压器、电容器等元件组成。元件是电力系统的最基本组成部分。就设备的本质来说,所有的元件通过连接而形成网络,因此它们之间的关系主要表现为连接,也就是拓扑关系。元件之间按照相应的连接关系形成设备网络。把CDevice做所有设备类的

基类，在该类中定义了所有设备共同的属性。按照程序的需要，所有电器元件都包括4方面的数据：电气参数；网络拓扑参数；图形绘制参数；在使用中的名称、编号和所在位置参数[28]。

针对配电网结构和面向对象技术的特点，可以采用如下方案。将配电网的表示分为两层：配电设备层和配电拓扑层。

### (1) 配电设备层

设备层表示电气元件的参数及标识信息。如图5.1所示。根据设备的连接特性，设备可分为串联设备和并联设备。将配网设备抽象为设备基类和母线，由设备类派生出串联设备类和并联设备类，串联设备是线路、变压器和开关的基类，并联设备是电容器和负荷的基类。

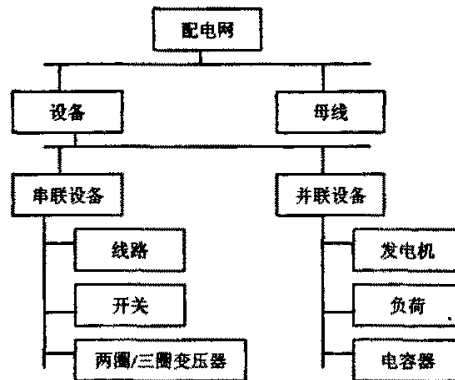


图5.1 配电网对象结构

Figure 5.1 Objects hierarchy of distribution network

设备类的代码描述分别如下：

```

class device    // 设备类
{
protected :
    int deviceid ;    // 设备标识号
public :
    device (int id) ;
    device () ;
};
  
```

通过类之间的继承关系继承共性，派生个性。串联设备的个性成员：起始节点，终止节点。线路：线路阻抗参数、线路长度、线路热稳定电流、线路动稳定电流。变压器分为两圈变压器和三圈变压器，

在潮流计算中三圈变压器将等效为有共同母线的3个两圈变压器，考虑到继承

层次过多将影响计算的效率，故而将它们组合在一个类中实现。开关：开关状态、开关类型(分段开关/ 联络开关/ 负荷开关)。并联设备的个性成员：所连接的节点。在各个具体的派生类中均封装了基于物理模型的设备参数。

```
class branchdevice : public device
{
protected :
    node f romnode ;    // 起始节点
    node tonode ;      // 终止节点
public :
    branchdevice (int id , node s , node t) ;
    branch () ;
};
class bus
{
protected :
    float voltage :    // 母线电压
    int busno ;       // 母线编号
    int stationno     // 母线所属变电站的编号
    list 3 feeder ;   // 母线的馈线链表
public :
{
    bus (float v , int bno , int sno)
    bus () ;
};
class node : public bus
{
protected :
    int feederno ;    // 节点所属馈线号
public :
    node (float v , int bno , int sno , int fno) ;
    ~node () ;
};
```

## (2) 配网拓扑层

将整个系统分解为变电站、母线和馈线。将系统以变电站双链表的方式存储，

母线以双链表存储, 变电站的馈线以母线为单位以双链表存储。从前述的配电网结构特点出发, 对于架空线, 将馈线用由馈线段所组成的树表示, 每一馈线段以分段 / 联络开关为边界, 馈线段的主要数据成员有: 主干线双链表、分支线链表、分支线小母线链表、指向边界开关的指针链表、父节点指针、左子节点指针、右子节点指针。采用这种数据结构的目的在于: ①能快速跟踪开关的变化; ②满足潮流计算的要求。

馈线段的主干线是这样定义的: 以来自电源方向的边界点为起点, 至联络开关间的路径即为主干线。如果馈线段有多个联络开关则生成多条主干线, 由于在实际的配电网结构中, 大部分馈线段都只有一个联络开关, 少数的有两个, 3 个以上联络开关的情况很少见, 所以采用这种方法不会占用过多的存储空间。采用主干线和分支线双层双向链表的方法, 在进行重构运算中, 馈线的分段及合并操作变得简便。它与通过树的分裂合并来实现馈线段的断开和合并相比具有减少搜索的优点, 这种方法当分段开关断开后需要以联络开关为根节点生成子树, 再将子树与联络开关另一侧的树相连。而由于按本方法定义的分支线在主干线功率方向发生改变时, 其功率方向不会发生改变, 因此只需将主干线双向链表原来的搜索方向反向即可, 不须做其他改动便可进行在新情况下的搜索。

通过指向边界开关的指针链表可以实现开关状态的快速跟踪。当某开关发生变位时, 根据开关所属的变电站号、母线号、馈线号, 由变电站号找到母线, 再由母线找到对应的馈线, 对馈线进行馈线段中的边界开关搜索, 即可找到开关的上游馈线段和下游馈线段。

由于双链表的结构相同, 只是其中的数据类型不一致, 所以采用类模板双链表来实现, 可以大幅度节约代码。用面向对象的方法建立配电网的设备模型和拓扑模型, 将对象的属性和方法封装在对象的结构中, 使模型更接近实际的事物。面向对象的编程思想使程序的易扩展性和代码的重用性得以提高。

## 5.2 配电网的拓扑分析

### 5.2.1 全局拓扑和局部拓扑

提高网络拓扑的速度一直是电力系统分析的一个重要内容。仅一小部分开关状态改变时, 进行局部拓扑, 可以大大提高拓扑的速度。但许多情况下必须进行全局拓扑, 提高全局拓扑的速度是十分必要的。网络拓扑作为连通图分析方法, 主要有树搜索法和关联矩阵法。关联矩阵法比较直观, 但内存和时间开销都很大, 大型网络的拓扑分析通常采用树搜索法。树搜索法既可以采用深度优先法, 也可以采用广度优先法。

无论哪种搜索方法, 搜索量都是很大的。缩小搜索范围是提高网络拓扑分析速

度的有效手段。输电网形成母线时可以采用厂站内搜索的方法来缩小搜索范围,但这种方法对由母线形成岛这一过程不适用。由于配电网一般没有厂站这个层次或厂站内节点很多,厂站内搜索方法无法使用或效果较差。这一方法对于输配电一体化分析也不适用。

给数据排序可以有效地缩小搜索范围,是提高网络拓扑速度的一个行之有效的途径。为此,本文提出把全局拓扑分成静态拓扑和动态拓扑两部分,静态拓扑只处理数据排序和形成主母线的一类工作,它与开关状态无关,可以事先算好,而不用每次网络拓扑时都进行这个工作,因而可以大大提高全局拓扑的速度。同时提出了使用节点支路关联数据形成岛的方法,由于节点支路关联数据也可以在静态拓扑中进行排序,从而进一步提高了网络拓扑的计算速度。

网络拓扑是电力系统分析的基础,它把通过开关等物理设备连接的物理模型,转换成能够为其它网络分析软件使用的数学模型。根据网络拓扑分析的范围,网络拓扑可分成全局拓扑和局部拓扑。对一个新的网络进行拓扑或当一个网络中有许多开关状态发生变化时,需要进行全局拓扑。当网络中只有少数开关状态变化或少量设备开断时,局部拓扑只分析变化的状态对拓扑结果的影响,对原有母线模型进行局部修改形成新的拓扑结果,因而可以极大地提高拓扑速度。

网络拓扑分析需要的数据一般主要包括两类:

- ①节点开关关联表,描述开关与节点的关联关系;
- ②母线支路关联表,描述支路与母线的关联关系。

另外,还有节点信息表、母线信息表等。

电网的网络拓扑分析主要分成两个步骤:

- ①搜索节点开关关联表,把通过闭合开关连在一起的节点组成母线。
- ②搜索母线支路关联表,把通过支路连在一起的母线组成电气岛。

传统算法就是按上述两个步骤进行网络拓扑分析的。为了提高速度,形成母线时,通常把搜索范围限制在厂站内甚至厂站中同一电压等级内。

网络拓扑是遍历连通图的搜索过程,分为形成母线和形成岛两个步骤,二者只是作用对象不同,方法是相同的。如由节点形成母线,搜索某个节点时,要查找与该节点通过开关相连的所有节点,必须从整个节点开关关联表中搜索这些数据。输电网中一个母线包含的节点都在一个厂站的同一电压等级内。根据这一特点,可以把由节点形成母线的过程的搜索范围缩小到一个厂站内,或一个电压等级内(如果有这一层次的话),但这种方法对由母线形成岛这一过程不适用,因为线路一般不在一个厂站内,甚至不在一个区域内。

配电网在网络层次结构上一般没有厂站这个层次,无法通过厂站内搜索法来缩小网络拓扑的搜索范围;有些系统虽然有厂站这一层次,但厂站内的节点很多,

使用厂站内搜索法的效果较差。另外，配电网的支路相对较多，形成岛所使用的时间要比输电网形成岛的时间长，因此如何缩小形成岛的搜索范围来提高网络拓扑速度对配电网显得更为迫切。

对节点开关关联表按节点排序，搜索范围可以只限定在该节点所连的开关数据范围内，缩小了搜索范围，可以有效地减少搜索时间，因此应该对这部分数据进行排序。在节点开关关联表中，虽然开关状态一直是变化的，但节点和开关的关联关系是不变的，不需要在每次网络拓扑时都对节点开关关联表重新排序，可以把节点开关关联表的排序工作独立出来作为静态拓扑，单独运行。因此，应把全局拓扑分成静态拓扑和动态拓扑两部分。有关算例表明，对数据排序是非常耗费时间的，占全局拓扑的大部分时间，把数据排序作为静态拓扑单独运行，其结果储存起来，供以后网络拓扑使用，可以极大地提高网络拓扑的速度。

另外在由母线形成岛所使用的数据——母线支路关联表中，支路与母线的关系不是固定的。每当开关状态发生变化，重新进行拓扑后，母线都要发生变化，因而支路两端所连接的母线是变化的。支路与母线的关系不固定就无法事先进行排序供以后使用。为了解决这个问题，这里使用节点支路关联表来代替母线支路关联表。由于支路与节点的关系是固定的，可以把对节点支路关联表的排序放在静态拓扑中处理，从而进一步提高了网络拓扑的速度。

静态拓扑和动态拓扑合在一起相当于通常的全局拓扑，全局拓扑的时间主要花费在静态拓扑上。把全局拓扑分成静态拓扑和动态拓扑，且由于静态拓扑只需在应用软件启动时运行一次，甚至由DMS(配电管理系统)或EMS(能量管理系统)在网络结构变化后调用一次即可。其它情况下，只需调用动态拓扑就可以完成传统的全局拓扑功能，因而可以大大提高各应用软件的计算速度。

### 5.2.2 全局拓扑的实现

传统拓扑方法主要采用深度优先的搜索策略，该算法从某一点出发，沿支路搜索到路径的末端。再回溯该搜索支路的节点，继续寻找新的搜索路径，直到搜索完所有支路和节点，同时保留当前的搜索路径以进行回溯。

基于CIM模型建立的网络接线图中，与传统的网络模型相比，结构更加复杂。采用传统算法处理这种复杂的网络接线图，需要重复搜索设备和节点(包括连接点和端点)，搜索效率较低。本系统提出了一种基于广度优先的搜索算法，克服了传统方法的缺点，分两个阶段进行拓扑分析。

第一阶段：采用基于广度优先的搜索策略，合并连接点，形成拓扑点。从任一个连接点出发，利用连接点与端点的关联关系，查找该连接点包含的所有端点，通过端点与设备的关联关系，找到该连接点上的所有闭合开关和刀闸。定位这些开关或刀闸另一端端点，可以找到相邻层次的连接点。接着从该相邻层次的连接点出发，

查找下一层的相邻点，直到相连的一组连接点都被访问到。最后，合并所访问到的连接点，形成一个拓扑点。再从下一个未被访问的连接点出发，按上述方式处理。最终，拓扑分析合并完所有连接点，形成全网的拓扑点。

第二阶段：采用基于广度优先的搜索策略，将全网划分为若干个子系统，形成拓扑岛。拓扑岛是电网结构中具有电气联系的子系统，因此可以在主设备接线图的基础上形成拓扑岛。这种等效的电气接线图结构简单，主设备间电气联系明确，极大简化了系统的一次网络结构，使网络拓扑可以快速准确的形成电气岛。搜索算法仍采用广度优先策略，这样可以有效的避免重复搜索主设备和拓扑节点，提高搜索效率。

按上述方法进行拓扑分析，不需要对已搜索的路径进行回溯，也不需要重复搜索节点和设备以探索新的路径，效率较高。形成拓扑点时，只分析闭合的开关和刀闸，提高了拓扑点的形成速度。形成拓扑岛时，针对简化后的等效电气接线图进行分析，大大加快了划分电气岛的过程。同时，拓扑模型遵循CIM 定义，拓扑过程使用IEC61970 定义的标准接口获取设备与端点、端点与连接点间的关联关系，使得网络拓扑可以运行于任何支持CIM 模型的系统平台上，实现即插即用功能。

### 5.2.3 局部拓扑的实现

在实际的运用中，经常出现开关类元件变位的情况。它会改变系统的拓扑结构，但仅仅是局部区域的变化。在已完成全局拓扑分析的基础上，此时已无须对整个网络的拓扑进行重新分析，而只是对变位元件涉及的区域进行拓扑的修正，以达到快速分析的目的。

#### ①元件由分位变合位

此类状态变化的处理较为简单。比较状变Switch 元件两端的CNode 所属的TNode，如相同，无需任何处理；如不同，将这两个TNode 合并。

#### ②元件由合位变分位

状态变化前，该Switch 元件属于同一个TNode 点，合至分的状变有可能增加一个新的TNode 。

在具体实现中，实现这两种状态变化的方法是：

##### (1) 遍历法

从该Switch元件一侧的CNode开始进行遍历，记录所访问过的CNode，如访问到对侧的CNode，则停止遍历，无需任何处理；否则，形成一个新的TNode，并将访问过的CNode 归于该TNode，同时从原先的TNode 中去除这些CNode。

##### (2) 邻接矩阵法

该方法通过矩阵运算重新进行确定对原TNode 内各CNode 的新的连接关系，来判断是否有新的TNode 点出现。它是在已知原TNode包含的所有CNode 的基础上



进行的。

对于原Tnode所代表的有 $n$ 个顶点的图来说，其邻接矩阵 $A$  是一个 $n \times n$  的方阵，其中的元素 $a_{ij}$  取值1或0。如果两个顶点 $i$ 、 $j$  ( $i \neq j$ ) 之间有边直接相连，则 $a_{ij}=1$ ，否则 $a_{ij}=0$ ，对角线元素 $a_{ij}=1$ 。注意应用开关状变后的 $a_{ij}$  值代入。定义运算的规则如下：

逻辑乘，用 $\wedge$ 表示： $0 \wedge 0=0$ ； $0 \wedge 1=0$ ； $1 \wedge 0=0$ ； $1 \wedge 1=1$

逻辑加，用 $\vee$ 表示： $0 \vee 0=0$ ； $0 \vee 1=1$ ； $1 \vee 0=1$ ； $1 \vee 1=1$

可以通过 $A$  矩阵的逻辑自乘得到顶点的连通情况。 $A^m$  为 $A$  矩阵的 $m$  次自乘，矩阵元素 $(a^m)_{ij}$  表示了顶点 $i$ 、 $j$  之间从第一到第 $m$  级的连通关系。对于有 $n$  个顶点的图来说，任意两个顶点之间最多有 $(n-1)$ 级连通。所以，对 $A$  进行 $(n-1)$  次自乘，就可以得到任意两个顶点之间的连通情况。如 $A^{n-1}$  非全1 矩阵，说明须根据1 的排列情况，将原TNode 拆成两个TNode 点。

开关状态变化时，网络拓扑需要重新划分拓扑节点及拓扑岛，以反映当前的网络状态。实际情况中，同时变位的开关往往只有少数几个。利用本文提出的拓扑方法，在基于CIM定义的网络拓扑模型上，可以实现局部网络拓扑。

开关变位时，仅影响同一电压等级下的网络接线部分。因此，只要确定该电压等级下的所有设备及节点，就可以划分出局部网络拓扑范围。

这样，厂站包含电压等级、电压等级包含连接点和电力设备、连接点包含端点，端点与设备间又有关联关系。通过开关找到其所在的电压等级，可以迅速地确定开关的影响范围。根据本文提出的方法，重新形成该影响范围内的拓扑节点，得到新的全网电气接线图。这样处理，极大的缩小了拓扑范围，减少了拓扑点形成时间。最后，在全网电气接线图上重新划分拓扑岛，获得相关拓扑信息。

根据上述分析基于CIM 模型的拓扑分析算法如图5.2所示。

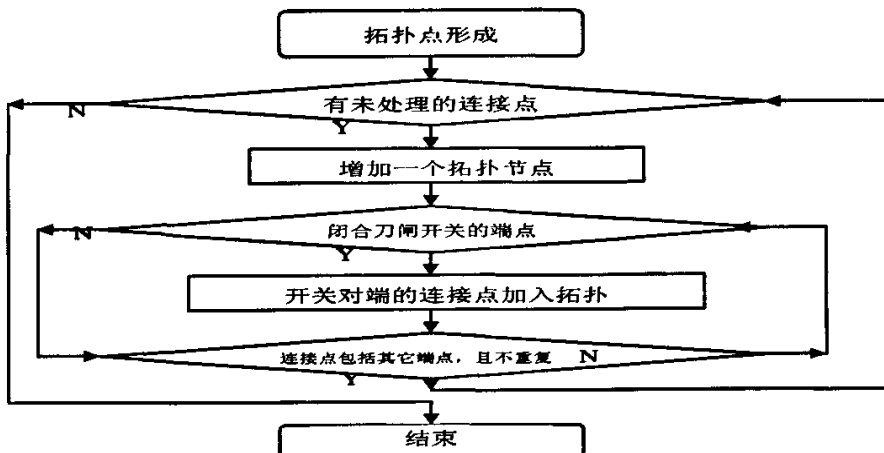


图5.2 配网拓扑分析算法

Figure 5.2 Topology analysis of distribution network

总的来说,在配电网拓扑分析中采用广度优先的拓扑算法,克服了传统拓扑方法搜索效率低的缺点。形成拓扑点时,只分析闭合的开关和刀闸,提高了拓扑速度。针对简化后的等效电气接线图进行拓扑岛分析,大大加快了划分电气岛的过程。采用面向对象的设计方式,拓扑过程不针对具体的设备类型,具有很强的适应性和扩展性。同时,拓扑模型遵循CIM 定义,使得网络拓扑可以运行在任何支持CIM 模型的系统平台上,实现即插即用功能。

### 5.3 CIM 模型向关系数据模型的转换

CIM 采用了面向对象技术来抽象电力系统的现实世界。通过提供一种对象类和属性及他们之间的关系来表示电力资源的标准。面向对象技术的优点是能更直观、更准确地表现现实世界;更符合软件开发的规律,缩短开发时间和减少开发费用;大大提高了软件的可重用性、可维护性和可扩充性。然而,目前面向对象的数据库发展还不成熟,而使用最广泛、技术最成熟的数据库管理系统大都是关系型的。因此,如何将CIM 模型与关系型数据库更好地结合起来,是实现电力软件标准化工作的首要问题。

在进行CIM 模型与关系型数据库的结合,即实现CIM 到关系型数据库的映射时,应考虑两个方面的问题:一方面是面向对象模型与关系型数据库系统的矛盾;另一方面,现实的电力系统具体情况也必然会影响问题的解决方案。

#### 5.3.1 现实电力系统的特征分析

现实电力系统的特征分析如下:①结构上是分层分级的拓扑结构,层次关系较为复杂;②设备种类虽多,但数据量较大的设备元件(比如线路,电压互感器,电流互感器,保护装置等)种类并不多,而大部分电气设备(如机组、母线等)的数据量却不大。

CIM 模型的关系较为复杂,如果完全映射成关系数据库的表将会不可避免的生成很多关系表来表达复杂的CIM 关系,使得数据库表数量增大。如果只是映射CIM 的对象,而不管关系的映射,数据库便不能完整地遵循CIM 模型,也就失去了标准的意义。根据工程经验和实验研究,影响数据库性能的一个很重要的因素是数据库中的“大表”(即记录最多表)。这些大表的记录往往是与现实相对应实体的实例;而关系表的记录是各个对象之间的关系实体,所以数据量是比较小的。数据库的管理很大程度上是对数据库的大表的管理。因此,本文的映射方法,是基于这样一条原则:关系的映射尽可能采用设立外键的方法;另外在不影响数据库性能的情况下,可以考虑建立一些必要的关系表,确保映射的关系型数据库完全表达CIM 模型的各种关系,以及随IEC61970 标准升级的可扩展性。

### 5.3.2 CIM 向关系数据模型的映射实现

这里采用Rational Rose 工具和UML 来表达映射过程。Rational Rose 用同样的符号来表达类和数据库的表。数据库名与类名相对， 域和属性相对。

#### (1) 泛化和聚合关系的表示

在映射关系之前， 首先将CIM 模型中的所有类， 分别按表名对应类名， 域名对应本身属性(Native Attributes ， 与继承属性(Inherited Attributes) 相对应)， 全部一一映射成数据库表。关系通过外键和专门的关系表来实现。

泛化关系是用来表达一个相对通用的类和一个相对专门的类之间的关系。相对专门的类可以继承相对通用的类的属性， 包含更多的信息 。比如子类继电器 (CurrentRelay) 不仅包含基本属性 (Native Attributes) ， 如最大最小电流 (currentLimit)、反向时标 (inverse TimeFlag)、时间延迟 (timeDelay)， 还包括从父类保护设备 (ProtectionEquipment) 继承的属性如保护设备延迟时间 ( ProtectionEquipment.relayDelayTime ) 、 保护设备上限 (ProtectionEquipment.highLimit)、保护设备下限 (ProtectionEquipment.lowLimit)， 保护设备电流方向标志 (ProtectionEquipment, powerDirectionFlag)和命名类 Naming(所有类都会继承其属性) 继承下来的属性， 如别名 (Naming1aliasName)、描述 (Naming1description)、全名 (Naming1name)、线路名称 (Naming1pathName)。

在关系数据库里要表达这种继承关系， 可在父类的属性中添加一个属性来表明子类的类型。以保护包为例， 如图5.3， 在父类ProtectionEquipment 对应的表中添加一个域：类型 (ProtectionEquipment.Type) ， 此域下记录的是其所有子类的类名。此外， 为了方便， 也可在子类所对应的表的表名中包含父类的名字如 CurrentRelayinheritedProtectionEquipment ， 以便辨认。

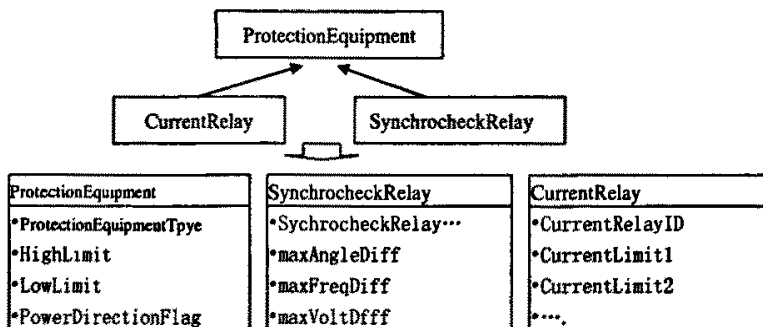


图5.3 类的泛化关系的表示

Figure 5.3 Diagram of class generalization sample

聚合关系是一种特殊的关联关系， 聚合说明了类之间的关系是整体与部分的关系。比如类变压器线圈 (TransformerWinding) 和类热交换器HeatExchanger 是

Power Transformer的两部分。变压器PowerTransformer不仅拥有基本属性（Native Attributes）和继承属性（Inherited Attributes），还会将类TransformerWinding 和类HeatExchanger 作为自身的一个属性包含进来。

在关系库里，映射聚合关系的方法是在“整体”类对应的表里添加“部分”类作为新的域。以电线包(wires package) 为例，如图5.4，在整体类PowerTransformer 对应的表里添加两个域： TransformerWinding（变压器线圈） 和HeatExchanger（热交换器）。

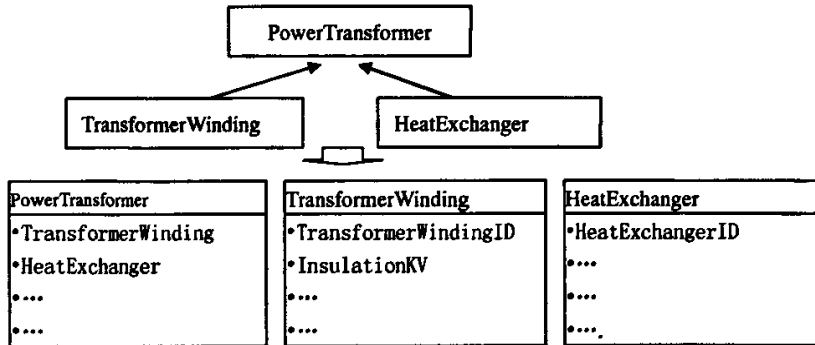


图5.4 类的聚合关系的表示

Figure 5.4 Diagram of class aggregation sample

简单关联是类在概念上的一种联系。CIM 里简单关联有3种表现形式。

(1) 一对一关系的映射

一对一关联映射成数据库的表，只需将外键隐藏在零或一对一的“零或一”表中。一对一关联，将外键隐藏在一对一的任意一张表中。以生产包为例，AirCompressor 对应零或一个CombustionTurbine。在表CombustionTurbine 里添加一个域AirCompressorID。

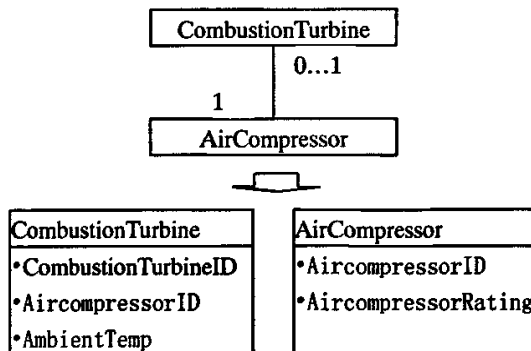


图5.5 1: 1关系的映射实例

Figure 5.5 A sample mapping to 1: 1 relationship

### (2) 一对多关系的映射

一对多映射方法是将在外键隐藏在多表中。以拓扑包为例，设备容器类 (EquipmentContainer) 和连接节点类 (ConnectivityNode) 是一对多关联。在连接节点类ConnectivityNode 相应的“多表”里添加域EquipmentContainerID (设备容器ID) 做为外键即可实现。

### (3) 多对多关系的映射

大多数情况下采用了外键的方法来实现映射，这是为了避免生成过多的关系表，影响查询效率。但是，对于简单关联中的多对多关联，主要采用建立关系表的方法实现映射，原因是建立关系表能更加清晰地反映对象之间的关系，而且更重要的是数据的冗余度将会大大减小。

多对多的映射方法是用一个单独的表来实现多对多关联。关联的主键是每个类的主键的合并。以核心包(Core Package) 为例，电力系统资源类 PowerSystemResource 和企业类Company是多对多的关系。关联表Association是表 PowerSystemResource和表Company派生出来的关系表，其中包括两个域 PowerSystemResourceID 和CompanyID，PowerSystemResourceID 和CompanyID 共同构成主键。

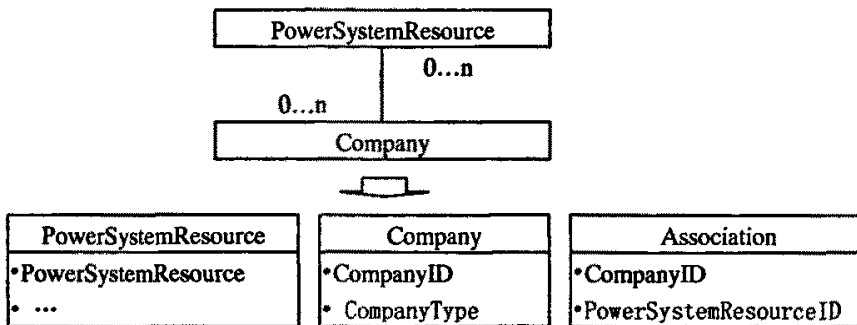


图5.6 m: n关系的映射实例

Figure 5.6 A sample mapping to m: n relationship

## 5.4 应用评价

基于CIM的配网图形化平台软件，已经完成包括配网图形编辑组件和部分公用组件、配网设备管理组件和数据访问组件的研制。由于该软件本身已经可以支持配网图形的编辑、配网设备信息的管理，因此目前暂时可以独立作为配网信息管理软件使用。同时，由于该软件研制采用了面向对象的组件开发技术，其它应用可以通过数据访问接口、通信接口来访问该组件所提供的数据结构和调用相应方法。因此，也可以广泛的应用于与电力系统仿真计算、配网管理系统 (DMS)、SCADA调度

自动化系统等各种应用的集成和互操作应用。



图5.7 配电网图形化辅助设计环境

Figure 5.7 Graphic computer-aided design environment of distribution network

目前，该软件在贵阳市南供电局配电网信息管理应用中，表现出了突出的特色：

(1) 图形化操作环境能够同时支持电网接线图绘制和拓扑结构录入，免除了用户在另外的界面中录入元件连接关系的麻烦，超越了PSASP等国内同类型软件，更加方便用户学习和掌握使用。以软件主界面为例，在该软件主操作窗口中可以自由使用设备图元面板绘制配电网拓扑结构图，所见即所得，设备之间的拓扑连接关系可以自动进行规整化处理，使得拓扑结构图更加整洁美观。主界面将图形的放大、缩小、移动、拓扑结构的分析、设备图元信息管理都集成于主界面中，用户可以通过简单地操作工具面板、快捷鼠标菜单就可以快速的进行功能定位，使用十分方便。为了解决用户在大量设备图元中迷路的问题，系统支持通过“缩略漫游图”和图元编辑器“设备树”等多种方式进行快速定位。总之，实际应用证明，该图形化软件能够较好地满足配网设备管理的各种应用需求。

(2) 使用COM+技术将软件封装为一个自动化服务对象，可方便地供其他应用软件进行本地或远程调用，并可利用COM+的事件订阅功能通知其他模块某事件的触发以执行相应动作。

通过数据访问接口，该软件实现了与理论潮流计算、短路计算、线损计算功能组件的集成和互操作，证明了该软件的组件结构达到设计要求，并能扩展应用于配电网其他信息管理或自动化控制系统应用；

(3) 该软件参照IEC61970/61968 际规范定义的CIM信息模型，建立相应设备图元信息库和配网建模，能够支持多达2000个图元以上的复杂配网拓扑结构，执行效率高，提高了信息管理规范化程度，为将来实施信息标准化和规范化管理打下了

基础。

## 5.5 本章小结

本章针对配网图形化平台软件在研制中的部分技术问题，包括基于CIM的配电网建模、拓扑结构分析，以及从CIM模型到关系模型的映射等，进行了分析，提出了解决方法。并且，最后对该软件在实际中的应用效果进行了初步的评价，认为达到了预期设计要求。

## 6 结论

本课题的研究目标是，在集成化配网管理系统总体规划框架下，研究组件、图形接口技术和公共信息模型 CIM 等技术在配网图形化软件开发中的应用。其原因在于，随着市场经济的快速发展，电网改造建设的如火如荼，对集成化和方便实用的配网管理软件的需求在各供电局日益紧迫。配网绘制软件的图形化和配网信息的标准化、规范化是实现这一目的的重要内容。

论文首先介绍了课题的研究背景，对电力系统软件的图形化、标准化和组件化的技术动态进行了综述，指出要实现电力企业信息化建设的进一步发展，实现应用集成、数据集成和流程集成是必然的系统建设发展方向。其中，必须解决配网管理图形化、标准化和组件化的应用推广问题。然后，论文指出了论文研究的目标、内容和进行研究的技术路线。

在第 2 章中，论文重点阐述了面向对象技术的一些重要的概念和基本思想，讨论了面向对象建模方法及其发展，指出统一对象建模已经成为面向对象建模的主要方法。进一步，论文认为组件技术正是在面向对象技术基础上发展起来的，在此基础上分别对主流的组件技术，包括 J2EE 和 EJB 组件技术、COM/COM+组件技术和 CORBA 组件技术的体系结构及其特点进行了详细的分析，并对组件技术在电力系统中的应用作了简单的总结。

然后，论文重点介绍了企业现阶段信息化的一般特点，以及供电企业信息化建设发展的特点及其存在的问题进行了较为详细的分析，指出软件组件化和信息标准化、规范化是供电企业信息化建设的必然要求。在此基础上，认为 IEC61970/61968 标准是可以借鉴的成熟技术标准，并对该协议族的构成及其技术特点进行了分析，特别是对其中的公共信息模型 CIM 部分进行了阐述，并作出了自己的理解。

论文在对技术基础进行讨论的前提下，针对贵阳市南供电局的信息化建设，及其在配网图形化方面的应用需求进行了阐述，指出了图形化管理的主要实现途径。在此基础上，论文根据实用性、扩展性和灵活性等系统设计原则，提出了系统实现的功能组件及其结构，并指出了系统实现中面临的技术要点问题，尤其对 CIM 在电力系统建模的作用和内容进行了阐释。

论文重点分别对配电网 CIM 建模和拓扑结构优化、拓扑结构分析，以及面向对象的 CIM 模型如何实现向关系数据模型的映射等技术问题进行了较为详细的探讨，并给出了解决方法。最后，论文对目标软件的实现和应用效果进行了初步评价，认为达到了预期设计要求。

在供电企业信息化建设面临升级的背景下，结合信息标准化、规范化和软件组



件化的要求，论文对采用组件技术、CIM 建模技术实现配网图形化平台软件的技术实现过程进行了研究，对于进一步在供电企业中实施系统集成化建设具有现实意义。因此，论文研究及其成果具有一定工程实用价值和理论研究意义。

## 致 谢

本文的研究工作是在导师吕厚余教授的精心指导和悉心关怀下完成的，在我的学业和论文工作中无不倾注着导师辛勤的汗水和心血。导师严谨的治学态度、渊博的知识、积极向上的人生态度、平易近人的师长风范和无私的奉献精神使我深受启迪，并将永远铭记在心。从导师的身上，我不仅学到了扎实的专业知识和技能，更学到了做人的道理，做事的方法。在论文完成之际，要向我的导师吕厚余教授致以最衷心的感谢！

最后，衷心感谢在百忙之中评阅论文和参加答辩的各位专家、教授！

作者：杨文凯

2006年11月于重庆

## 参考文献

- [1] IEC61970-1, EMS-API -Part1: Guidelines and General Requirements, Part2: Glossary[S].
- [2] 辛耀中. 新世纪电网调度自动化技术发展趋势[J]. 电网技术, 2001, 25 (12) : 1 -10.
- [3] 潘毅, 周京阳, 吴杏平, 等. 基于电力系统公共信息模型的互操作试验[J]. 电网技术, 2003, 27 (10): 25 -28.
- [4] 刘崇茹, 孙宏斌, 张伯明, 等. 基于 CIM XML 电网模型的互操作研究[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (14): 45 -49.
- [5] 于尔铿. 电力系统状态估计[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
- [6] 王湘中, 黎晓兰. 基于关联矩阵的电网拓扑辨识[J]. 电网技术, 1996, 20 (3): 30 -33.
- [7] Draft IEC 61970.Energy Management System Application Program Interface (EMS-API), Part301: Common Information Model (CIM) [S].
- [8] Draft IEC 61970.Energy Management System Application Program Interface (EMS-API), Part302: Common Information Model (CIM) Financial, Energy Scheduling, and Reservation[S].
- [9] Draft IEC 61970.Energy Management System Application Program Interface (EMS-API), Part303: Common Information Model (CIM) SCADA [S].
- [10] Draft IEC 61970.Energy Management System Application Program Interface (EMS-API), Part401: Component Interface Specification Framework[S].
- [11] Draft IEC 61970.Energy Management System Application Program Interface (EMS-API), Part402: Common Data Access Facility[S].
- [12] Dariush Shirmohammadi, H Wayne Hong. Reconfiguration of Electric Distribution Networks for Resistive Line Losses Reduction [J]. IEEE Trans On Power Delivery, 1989, 4(2): 1492 -1498.
- [13] ChengC, Shi mohammadiD. A Three-phase Power Flow Method for Real-time Distribution System Analysis [J]. IEEE Transaction Power System, 1995, 10(2): 671 -679.
- [14] Chen TH, Chen MS, Lee WJ. Distribution System Short Circuit Analysis[J].A rigid Approach IEEE Trans on Power Systems, 1992, 7(1): 444 -450.
- [15] 吴文传, 张伯明. 三相不平衡配电网的潮流故障统一分析方法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(10): 51 -54.
- [16] 张慎明, 刘国定, IEC61970 标准简介[J].电力系统自动化, 2002, 26 (14): 1~61
- [17] 胡继芳, 王宁. IEC61970 与新一代 EMS 数据库管理系统[J] 1 电力系统自动化, 2000, 24(24): 38~40;
- [18] 张慎明, 凡强, 姚建国, 杨志宏, 陈梅, 赵京虎, 曹阳, 遵循 IEC61970 标准的实时数据

- 库管理系统, 电力系统自动化, 2002, 26 (24): 26~30;
- [19] 樊涛, 吴杏平, 米为民, 胡建勇, 基于 IEC61970 标准的新一代调度自动化系统的研究[C] 1 第四届输配电技术国际会议论文集 1 长沙: 2003: 11040~10441
- [20] 赵江河, 郭中华, 董春晖. 基于 IM 模型的配电自动化[C]. 第四届输配电技术国际会议论文集; 长沙: 2003.11;
- [21] Michael Blaha. 使用 UML 设计数据库应用[N]; 张启鹏译 1 [http : //www1 umichina1com1](http://www1.umichina1.com1)
- [22] 高鸣燕, 陆文. 电网 SCADA/EMS/DMS 平台建设技术[J]. 电力系统自动化, Vol. 23, No. 14, 1999.
- [23] "Common Information Model (CIM) for the Control Center Application Program Interface", EPRI, Sep. , 19981
- [24] Lars - Ola G sterlund , "Component Technology", IEEE Computer Applications in Power , Vol. 13, No. 1, 2000.1
- [25] 曾克娥, 谢庆国. 基于构件技术的能量管理系统设计思想[J]. 电力系统自动化, Vol. 25 , No. 9 2001.
- [26] R. Otte , P. Patrick , M. Roy , 李师贤等译. CORBA 教程: 公共对象请求代理体系结构[M]. 清华大学出版社, 1999.
- [27] Mike Foley, Anjan Bose. "Object - Oriented on - Line Network Analysis", IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 10, No. 1, Feb. 19951
- [28] F.M. Cleveland , "Information Exchange Modeling ( IEM) and extensible Markup Language (XML) Technologies", IEEEWM 2000, Singapore.
- [29] 文本颖, 谈顺涛, 袁荣湘, 赵小利, 基于 J2EE 结构的分布式电网故障计算系统的实现, 电网技术, 2004 年; 28 (11);
- [30] 乐全明, 郁惟镛, 杜俊红, 基于 COM 技术的 SCADA 系统数据库设计与实现, 电网技术, 2004 年; 28 (11);
- [31] 姚建刚, 张喜铭, 陈立新, 李立颖, 余虎, 基于 J2EE 平台的发电企业商业运营及竞价决策技术支持系统的设计与实现, 电网技术, 2004 年; 28 (21): 69-74;
- [32] 周心铁 刘毓华. 组件技术与 GIS 的发展, 计算机世界, 1998-03-16;
- [33] 邹盟军, 黄炜. 基于组件的工作流管理平台的设计与实现, 电力系统自动化, 2004 Vol.28 No.10;
- [34] 薛敏, 陈家骏, 一种面向对象的电力系统监控软件模型, 计算机应用研究, 第 19 卷, 第 6 期, 2002 年 6 月
- [35] 林源, CORBA 技术及其在本地网网管监控系统中的应用, 通信世界, 2001 26 期;
- [36] 凌星, 金树福, 基于 EJB 的分布式应用开发, 计算机应用研究.1999 年 11 期;