

浙江大学电气工程学院

---

硕士学位论文

---

面向智能电网的通信体系架构与标准应用研究

---

姓名：苏炳洪

---

申请学位级别：硕士

---

专业：电力系统及其自动化

---

指导教师：邱家驹;王康元

---

20100101

## 摘 要

标准化建设是电网实现智能化通信的关键性因素，过去不同设备制造商的电力系统通信装置应用需要私有接口的软体承载，随着电网通信应用的需求越来越多样化，更多独立的通信设备融入宏观的电力系统通信环境，而这些设备由于缺乏统一的数据共享标准和信息互联平台，因此它们之间的协调运作变得孤立和无序。电力系统各方的关注点不同和对信息交流的理解方式的差异，使得系统的建设与运行受到遗留系统、私有协议和特殊接口的困扰，为降低信息化标准的异构性对电力系统的不利影响，使通信体系架构能更好地满足智能化电网的实际运行需求，本文针对综合能源与通信架构的一些智能化实践的需求布置，分析 IEC61850 和 IEC61970 信息化标准的拓展应用，主要的研究内容如下：

结合目前电网规模不断增大和电力企业涉足的业务越来越广泛的情况，针对原有企业运算方式只嵌入特定应用的局限性，提出一种企业运算服务总线与功能组件模块相结合的信息化架构。CIM 标准中关于信息化集成的开放式体系是企业运算服务的重要模式，在此基础上分析各模块对解决模型管理、数据共享、可视化应用等一系列问题的功能实现，从网络服务在总线的具体构建出发，描述各个异构应用系统在 ESB 总线上的运算信息集成过程。

适应智能化需求的通信体系建设，除了在企业内部形成系统的信息流通机制外，在企业的外部应用方面，例如数字化变电站和调通中心各自的通信标准实践，又或者是以上两者之间的标准融合，更加需要形成可行有效的解决方案。在变电站信息规划的过程中，协调过程层、间隔层与站控层的通信数据处理，使得变电站设备与调度通信中心形成信息共享的数据模型是本文研究的一个要点。此外，本文探讨可交互电网地理信息可视化的实现方法，在 CIM/XML 模型文件作为电网参数数据载体的基础上，通过关联的元件类来表达电力设备的实际属性，设计 ODE 方式的外部操作环境实现电网拓扑关系的创建和图形元素的绘制与显示，从而在通信标准 CIM 规范的基础上构建电力系统表达及其信息展示。

关键词：通信体系；信息化标准；企业服务总线；运算通信应用；变电站信息规划；地理信息展示

## Abstract

Standardization of construction is the key factor in the realization of intelligent communications, in the past different power system communications device applications of equipment manufacturers require proprietary interface software support. With the growing demand for diversified grid communication applications, more and more independent communication equipments of the power system are put into the macro-environment, and these devices are lack of uniform standards for data sharing and information interaction on the platform, so the co-ordination between them become isolated and disorder. All parties of the power system concern and exchange the information in different ways makes the construction and operation of the system are troubled by the legacy systems, private agreements, and special interfaces. To reduce the adverse effects of heterogeneity for information technology standards in power system and make communication architecture meet the needs of the actual operation in intelligent power grid, this paper analyzes IEC61850 and IEC61970 standards for the expansion of information technology applications based on practical intelligent requirement configuration in an integrated energy and communications infrastructure. The main contents in the research are as follows:

Against the limitations of original computing application service model, a computing application architecture with Enterprise Computing Service Bus and function modules is proposed. It points out that the integrated open system based on the CIM standard is an important mode in enterprise information services, and starting with specific construction of Web Service in the bus, this paper describes the information computing integration process of various heterogeneous application systems in the ESB, then it demonstrates the specific role of Web component adapter in dealing with message handling and analyzes the implementation of a series of questions, such as the model management, data sharing, and visualization applications of function modules.

To adapt to the needs of intelligent communication system, in addition to the formation of information flow mechanisms within the enterprise, in the external applications of the enterprise, such as standard practice or standard integration among the digital substation and their own communication center, need much more to develop a viable and effective solutions. In the process of substation information planning process, how to coordinate data processing of process level, bay level and station level and make the equipment of substation and dispatching communication center cover an information sharing model is one key point in this paper. Moreover, an interactive geographic information visualization based on power network model is introduced. Based on the study of CIM/XML model file as grid geographical data carrier, associated component classes is used to express the actual property of power equipment, and through designing external operational environment of ODE interface, the grid topological relations are created as well graphical element is depicted and displayed, as well as a construction of power system description and its information display based on communication standard of CIM specification.

**Key Words:** Communication System; Information Standard; Enterprise Service Bus; Computing Communication Application; Substation Information Planning; Geographical Information Display

## 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，也不包含为获得浙江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：

签字日期：

年 月 日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解浙江大学有关保留、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。本人授权浙江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。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期：

年 月 日

签字日期：

年 月 日

学位论文作者毕业后去向：

工作单位：

电话：

通讯地址：

邮编：

# 第一章 绪论

## 1.1 课题来源

目前电力系统通信基础设施建设现状是,各个设备供应商之间缺乏一体化的兼容性接口,不同通信设备采取无法共享与理解的技术标准,在电力系统的运行层面,一个通信架构基本上是要融合为一个紧密和相互联系的有机整体,相对于单个基础技术和组件可能对未来能源系统的适应性需求,各个通信技术和组件之间的兼容性与互操作性集成应用则更加具有迫切性要求。独立技术和组件之间的集成通信体系和统一标准严重短缺,对基础应用技术包括计算机运算,电子仪器通信和现场设备监测等的协调运作产生障碍,虽然自由市场逐渐开发并完善独立应用的成熟产品,但是如何保证这些独立产品之间协调一致工作,从而形成总体设计和统一规范的电力工业通信体系架构,是目前电网实现智能化的关键因素。对于现在电力系统通信产品的非同步发展的情况是可以理解的,因为通信设备供应商的主要目标是分化,而不是统一<sup>[1]</sup>。因此,电力工业必须具备一个涵盖标准和技术的规划性通信基础设施,使不同设备供应商在符合成本效益的原则下进行产品之间的互操作开发,从而提高电力工业智能化通信的开发效率,降低产品功能集成和服务衔接的经济成本。

综合能源与通信体系架构(Integrated Energy and Communication System Architecture, IECSA)是由美国电力科学研究院资助并主持的致力于电网智能化的通信基础设施建设项目,它为我们描述的未来电力系统可以概括为:电力系统包含大量自动输电和配电系统,这些系统运行在一个高效、可靠且相互协调的模式下能够以自愈的方式处理紧急状况,对能源市场和电力公司的业务需求给予快速响应,电力系统能够服务于数量巨大的用户的同时具备一个智能的通信基础设施以实现及时、安全、自适应的信息交换,从而保证为社会提供可靠而经济的能源。标准应用作为智能电网通信体系建设的重要组成部分,从2000年开始我国许多专家就关注 IEC61850 标准并陆续发表有关介绍、分析和研究的文章,推动 IEC61850 标准的推广和变电站自动化的标准化。我国相应的标准名称为 DL/T860《变电站通信网络和系统》,由全国电力系统控制及其通信标准化技术委员会负责,整个标准共分 10 个部分和 14 个分册。而几乎在同一时期,国际电工技术委

委员会负责电力系统控制及其通信的相关标准的第 57 技术委员会(IEC TC57)制定 IEC61970 系列标准,使 EMS 的应用软件组件化和开放化,能即插即用和互联互通的同时降低系统的集成成本和保护用户资源。IEC 61970 标准系列分导则、术语、CIM 和两种级别的 CIS 共 5 个部分。总括来说,关于变电站自动化通信和电力调度中心通信的两个技术规范分别是国际电工委员会发布的 IEC61850 和 IEC61970 系列标准。IEC61850 是一个关于变电站自动化系统结构和数据通信的标准,它制定一个满足性能、质量和价格要求的通信标准,实现各个厂家设备之间的无缝通信和互操作,而 IEC61970 则定义组件间交互的公用信息模型(common information model,简称 CIM)和组件接口规范(component interface specification,简称 CIS),形成覆盖各个应用的面向对象的电力系统模型,从而实现通信体系下的信息共享。

## 1.2 目的和意义

一个企业级参考架构的基础设施建设是通过跨越许多不同的功能和系统应用,并且满足通信运行的常见要求(如反应时间或安全需要),由此形成系统工程的高层次概念。架构体系下专家评估独立设备的每一个共同点来确定最佳方案以满足智能化需求,而项目工程师则可以依循参考架构,选择抽象的共同需求,然后为每一个共同的需求订立方法实现的重点,并创建适当的解决办法。

IECSA 参考架构是信息基础设施建设和电力系统的行业范围内的基于体系结构框架,该框架包括电力系统业务需求分析,战略性的分布式信息处理,高层次智能化概念以及独立于技术之外的系统应用。IECSA 项目的研究和推广集中实现两个主要目标,即实现电力系统功能的全面理解和构建智能化概念的 IECSA 参考架构,其中电力系统功能的全面理解是指对目前存在或将来需要的电力系统操作应用功能有更深入的描述,并通过电力系统操作应用专家和设备供应商之间紧密的沟通和协调,逐渐明晰智能电网的各方需求,形成满足这些应用需求的逻辑用例。构建智能化概念的 IECSA 参考架构达到的预期效果是在电网运行层面实现独立于技术之外的信息分流架构,针对智能化电网的指标要求形成尽可能完善的技术解决方案并应用于实践。

综上所述,IECSA 架构体系的目的和意义包括以下几个方面:

- 1) 明晰电力系统行业的业务需要，如捕获和理解电力系统的运作功能，将这些功能融入智能化通信架构环境
- 2) 形成战略性愿景，其中涵盖高级别智能通信概念和分布式信息分流技术
- 3) 架构内的各个子系统拥有独立于技术之外的战术信息应用，这些主要以形成共同服务、信息模型和接口为主
- 4) 建立电力行业的标准化技术和最佳实践方案
- 5) 综合分类通信体系的技术分工，其中涵盖自动化架构建筑师、电力系统计划者、项目工程师、信息化专家、电力系统规划员、项目工程师，以及其他 IECSA 用户，并将这些角色融入到智能化通信体系的相应部分。

图 1.1 描述 IECSA 参考体系架构的组成部分，并明确其中的具体分布层次。

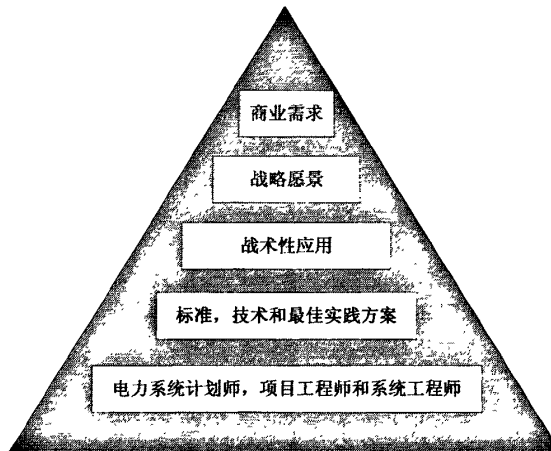


图 1.1 IECSA 架构的分布层次

为满足智能电网的应用需求，除了完善整个通信体系架构外，作为智能电网通信体系架构的适应性标准，IEC61850 系列标准建模了大多数公共实际设备和设备组件，这些模型定义公共数据格式、标识符、行为和控制在终端设备，例如变电站和馈线设备，诸如断路器、电压调节器和继电保护等<sup>[2-14]</sup>。IEC61850 在终端设备，例如以太网、TCP/IP、MMS 中采用先进的 IT 技术，依靠低廉的宽带设备实现高效的处理器能力，它在定义和传输数据的元数据(metadata)时可以重复使用标准名称和类型信息用以在线验证整个系统的数据库的集成和配置，同时具备的自我描述能显著降低数据管理费用、简化数据维护、减少由于配置错误而引起的系统停机时间。总的来说，采用 IEC61850 的无缝通信系统协议能大幅度改善信息技术和自动化技术的设备数据集成，减少工程量和现场验收、运行、监视、诊断和

维护等费用，从而节约大量时间并增加自动化系统使用期间的灵活性。

模型是对现实世界的抽象，信息模型是对现实世界中的一系列实物对象及其联系的精确描述。在电网智能化实现的过程中，IEC61970 规范建立的公共信息模型是对电网企业运营管理的典型实物对象和业务领域的精确描述体系，CIM 建模范围覆盖电网企业很多相关领域，包括资产管理、生产管理、基建管理、配网管理、地理信息系统、检修管理等。近年来，CIM 还拓展到了电力市场，电网规划等业务领域，CIM 建模正逐步扩展到覆盖电网企业几乎全部业务领域，并随着电网企业业务结构的变化而与时俱进<sup>[15-21]</sup>。IEC61970 标准不仅可以成为电力行业人员有效沟通的共同语言，更可以用于具体信息系统的建设和集成。从新的系统建设角度看，IEC61970 可以指导系统业务建模和数据建模，从信息系统集成角度看，IEC61970 又可以落地为消息规约，实现不同控制中心之间，不同企业之间，同一企业内不同应用系统之间的模型、数据交换。

### 1.3 本文所做的主要工作

通过系统研究电网智能化通信体系建设的规范，充分理解综合能源与通信体系架构中关于变电站自动化实现和电力企业通信的指导方针以及技术原则，在此基础上运用 IEC61850 和 IEC61970 信息标准规范<sup>[22-26]</sup>，形成开放式的电网运算服务<sup>[27-31]</sup>并探讨通信体系中数据通信与可视化展示部分的实现过程。文章中详细介绍了 IEC61850 和 IEC61970 应用到通信体系建设的关键技术和实现方法<sup>[32-50]</sup>，对其主要功能给出可行性的设计方案。本文具体完成的工作包括：

- 1) 明确综合能源与通信架构体系的功能实现和环境配置
- 2) 应用 IEC61850 系列标准分析变电站智能化通信的实现方法
- 3) 提出服务总线与 IEC61970 的通信解决方案并予以实践
- 4) 在 CIM 规范模型文件基础上实现数据通信与可视化展示



## 第二章 综合能源与通信体系架构

### 2.1 IECSA 通信功能组成

作为最初的 IECSA 项目活动范围的一部分，智能化电网中 400 多个电力系统职能已经被确定并在信息交换和发布方面进行了简要的评估，经过对这些 400 多种职能进行的审查，其中有一些被定为关键职能而进行更深入的分析 and 选择。IECSA 项目的电力系统专家组和外部的利益相关者组成的开发团队详细描述关键的智能化电力系统运行功能，这些功能中的每一个都被认为对架构方面具有独特和复杂的信息需求。功能发现过程中涉及用例说明，图表解释和详细开发步骤，并且使用统一建模语言的概念方法捕捉和表达功能间的相互作用。按以上的方法与步骤，IECSA 架构就可以交付与建立一个与电力系统操作相关的功能列表，这个列表涉及到 6 个方面，其中包括：（1）市场运作（2）输电业务（3）配电业务（4）主发电业务（5）分布式能源（6）客户服务。

电网智能化功能的确定在业务逻辑的最顶端层，结合这些主要功能就能够进行信息架构的需求性评估，如独特的配置要求，服务要求，严格的安全性要求和复杂的数据管理要求。另外从这些捕获的功能当中可以选取有几个代表性的主要功能进行分析和更深入的评价，以了解构架方面的重要需求。

### 2.2 IECSA 业务领域划分

#### 2.2.1 电力系统功能的明确

在开发 IECSA 架构的最初任务是明确界定架构范围的主要事务，特别重要的是识别和处理具有架构意义的电力工业或企业范围内电力系统运行功能。界定 IECSA 架构事务的范围关键在于确定和分类所有的利益相关者的主要活动及其潜在的相互作用与可能的运营和业务方案。此外，IECSA 架构评估现有的分布式计算和通信技术标准，草拟当前和今后电力工业智能化的通信环境配置行动指导细则，并把细则转变到一种可应用进程的格式要求，这些通信环境描述的是要阐明未来可能出现的新兴业务，从而引导利益相关者参与到电力工业智能化的轨道上。目前有大量的电力系统通信标准和潜在的利益相关者参加智能化电网的操

作应用探讨，而正因为有众多的利益相关者参与在未来智能化的通信应用进程中，从而 IECSA 架构功能明确的范围从能源生产企业环节覆盖到最终消费者。为了加快智能化电网功能识别的步伐，确定电力工业参与实体的活动并设置解决它们之间的相互作用的关键需求，这些模型建立一套现在和未来工业实体的之间工作关系，包括中间协调步骤以及垂直分布的行动重组。在商业模型的环境中，IECSA 项目团队创建企业活动的应用描述，推动利益相关者参与通信架构的需求收集，并且根据 IECSA 项目的通信功能进行领域划分。

IECSA 架构专家为不同功能领域设置质量属性的主要标准，分析每个领域通信功能对 IECSA 架构的具体影响，这些主要的评价标准包括：

- 1) 通讯配置要求，如一对多通信，移动通信，广域网通信，局域网通信等
- 2) 服务质量和性能要求，如可用性，响应时间，数据准确度等
- 3) 安全性要求，如认证，访问控制，数据的完整性，保密性和不可抵赖性
- 4) 数据管理的要求，如大型数据库，特别是跨组织数据库边界的频繁更新
- 5) 相关限制的技术问题，如多媒体带宽上的限制，系统计算限制，遗留系统的流行，未经验证通过的技术壁垒等。

在通信体系建设过程中，确定这些关键标准对架构是十分重要的，在明确这些标准之后，下一步是评估每个标准对企业活动的影响。具体来说，IECSA 架构确定企业通信服务方面的活动，对这些活动的重要程度设置 3 个评分等级（由 1 分到 3 分），并明确评分的确切性质和意义。因此，对于一个具体企业活动的安全性要求被评为 3 分时，则表明该项活动的保密性十分重要，而当服务质量和性能要求被评为 2 分时，则体现服务的可用性或响应时间等较为关键。

确定架构建立的重点后可以进行功能的开发，它是一个通过模型细节的域描述到业务功能的遍历。在这个过程中功能开发按下面的步骤执行：

- 1) 枚举许多实用的 IECSA 企业活动并明确利益相关者的建议
- 2) 定义企业应用活动的要求，阐述这些活动在通信系统上的进行方式
- 3) 排列企业活动的优先顺序，以确定哪些活动须达到通信架构的最高要求
- 4) 对企业单个通信应用活动进行详细的用例描述
- 5) 验证用于开发架构工具的有效性

枚举、定义、确定优先次序这三个步骤，作为需求定义的出发点适用于所有企业活动，同时还可以从利益相关者收集到更多的需求信息。

### 2.2.2 电力系统研究域识别

在 IECSA 构建初期要界定清楚电力系统功能的范围，并确定可能涉及到的利益相关者。目前许多电力系统应用和潜在的利益相关者已经参与电力系统通信设施的智能化建设，而今后将有更多的利益相关者，如实时价格响应的客户，分布式能源的业主，为电力销售市场、能源和配套提供高品质服务，或积极参与到电力系统的实时运行。同时，由于市场的力量将电力系统运行推到极限，新的扩大应用程序需要应对电力系统可靠性而增加的管理压力，因此电力系统的可靠性在数字经济过程中也被认为是日益重要的因素。识别和分类以上这些因素对于功能需求的理解是关键的，只有当这些因素被充分考虑时功能的分类才能确定下来并协同作用。下面是根据电力系统功能需求而分类确定的研究域：

#### 1. 市场操作

市场操作包括能源交易，电力系统调度，拥塞管理，应急电源系统管理，计量结算和资产审计。随着市场运作放松管制的到来，通信设施必须建立一个全新的应用集合，这意味着电力工业将出现一些以前不存在的新领域，而且新领域的功能开发将更具复杂性。事实上，许多这些新领域的功能开发仅在最近几年，有些人可能只存在纯粹的概念，但是还没有具体实现或广泛使用，即使有些已经开始实施试行，但一直在重复修改而无法推广。这主要是由于这样的情况：市场规则和电力系统的组织结构还没有稳定下来，国内外也没有权威的技术组织确立一个标准市场设计（SMD）的体系架构，现在建立的系统运营商也是各自独立运作，并没有演变成全面成熟的 RTOs 和 ISOs，这导致不同个体的应用程序如何一起工作，如何相互对接成为通信体系建设的难点所在。

#### 2. 输电业务

输电业务包括正常情况下的最优运行，防止事故发生，短期行动计划，紧急控制操作，输电维护业务和配电行动的支持。输电系统的目的是在电力系统正常运行的模式下提供充足，安全，高效运行条件，当遇到紧急情况则尽量减少对客户和电力系统各成员的损失。日臻完善的市场环境和能源通信结构重组的不确定性对目前电力系统运行提出一系列更高的要求并产生众多功能需求，这些功能需

求在输电系统方面的细节将在能源市场运行过程中不断变化,一些业务问题会被简化,造成功能需求的实际价值与其在市场上的代表性形成差异。例如,目前与能源合同有关的计算能源损失的方法可能对一些市场参与者不利而对另外一些有比较优势。因此未来输电系统必须更全面,准确,及时地提供电力供应服务,如动态传输业务,快速的预防应变能力和自我修复服务等。为满足这些要求,除了提高现有系统能力之外,新功能的补充是必需的,目前几乎没有完全自动化的输电业务,未来可以循着这个方向进行一些功能需求的探讨,而这些新的需求亦必须满足咨询模式的应用程序和按照建议的措施去执行。

### 3. 配电业务

配电业务包括电压调节,无功控制,自动化配电业务的分析,故障定位和隔离,恢复供电,电力线路的重新配置,故障调度和数据维护。配电自动化是智能电网自我修复不可或缺的功能概念。配电自动化的改进目标应着眼于屏蔽系统误操作的干扰,重新配置系统运行效率,提高可靠性和电能质量,并查明和解决系统问题。目前许多配电侧的自动化应用,还可以扩展到与客户服务协调,如时间的合理配置,实时定价,负载管理和电力分配。虽然有些配电自动化应用程序(例如许多变电站自动化功能)的实施仅使用本地信息,但是大多数应用程序,可以通过集中优化来提高整体性能,例如分布式系统就可以借助通信和信息交流来监测系统中不同地点的运行状况。

### 4. 客户服务

客户服务包括 AMR,实时定价,仪表管理,电能质量监测,停电管理,服务范围内设施的维护使用和客户的通信负载。随着电网智能化时代的到来,电力相关的客户服务不单单是以一个月为周期去记录每个用户的用电量和计算,通信设备的日益完善和电力政策管制的松动,电力企业与顾客的互动将会变得越来越重要,客户服务协调和控制系统业务扩展实现后,客户可以更好地控制基于过程化的电力供应系统,拥有管理发电设备和改善供电质量的业务途径,使消费终端真正变成整个系统管理的一部分,从而降低电网运行成本,满足用户电力可靠性和电能质量的要求。而对于形成客户服务的智能化通信,也必须密切协调配电自动化程序和分布式能源应用程序,这里面的主要工作有实时定价,负载管理和住宅客户应用,其中住宅客户应用则包括:

- 1) 针对实时定价激励的负载控制
- 2) 紧急情况下的客户能源管理和负荷控制
- 3) 根据客户的场地和负荷情况进行能源利用效率的评价和建议
- 4) 居民发电的状态评估和控制
- 5) 电能质量的评估和控制。

## 5. 主发电业务

主发电业务包括自动发电控制, 维修安排制定和风电场协调。随着电力工业转型, 输发电连接已逐渐摆脱垂直一体化的模式, 在输配电系统也拥有属于自己的发电装置。其他公用事业或独立电力生产商可能拥有单独的发电设备, 从而构成对输电和发电经营者的挑战, 如市场操作方面并没有形成一个利益相关者之间的信息流动的实时操作方案, 又如自动发电控制 (AGC) 和发电机维修应用越来越普遍, 但市场结构改组也没反映出输电和发电系统这一不断变化的相互关系。另一个值得关注的问题是分散风力发电厂增加电力传输系统的稳定性运行风险, 对于这个间歇性发电资源, 必须采取相应的措施减轻它的介入运行对输电系统带来的安全性风险。同时, 与其他的发电来源不同, 风力资源是无法运输和储存的, 这使得市场经营者在可能的实时交易时必须具备相应的操作方案。

## 6. 分布式能源

分布式能源业务包括参与市场操作, 监测和控制电力产业的利益相关者, 微电网管理和分布式设备维修管理。IECSA 在分布式能源方面的主要工作是对现行的分布式能源进行规划, 分析输配电自动化应用, 适当修改运行控制的智能化需求, 避免可能产生的不利影响和处理系统的安全问题。分布式能源管理设备 (Distributed Resource Equipment) 负责满足分布式能源输配电过程的监测和其间实时设备的控制, 在不久的将来分布式能源管理设备将会增加对输配电机构在运作方面的影响, 不仅是因为电力电子器件成本的下降和技术力的提高, 而且也是基于开放式电力市场的快速发展。这些因素促进了分布式能源的市场化, 并满足发电行业竞争日趋激烈的要求。辅助服务和其他能源服务是智能化通信的另一个考虑因素, 特别是在开放的电力市场, 通过管理各方面的信息资源并进行有效分配, 输配电中心就能更有效地采用节能的储备设备, 数据备份系统和无功控制应用进而提高电能质量。

## 2.3 架构的通信环境配置

### 2.3.1 通信环境配置要求

IECSA 环境某种程度被定义为一个信息环境，在该环境下电力系统的各种功能应用实现信息的交换或共享。相比于传统的电网通信，智能电网的需求更加多样化，为满足智能电网体系的这些具体需求，IECSA 基础上的通信环境配置在某些性能方面必须达到一些明确的指标，这些方面包括：

#### 1. 通讯配置要求

- 1) 提供两个实体之间的点对点相互作用
- 2) 支持单个客户端同一时间与很多服务器交互
- 3) 支持单个服务器和多个客户之间的相互作用
- 4) 通信环境中的多点同时性通信
- 5) 在更广泛的区域内支持通信互动
- 6) 支持多样化的广播能力
- 7) 支持配置或终端设备位置的频繁更换
- 8) 支持扰动下的强制性移动通信
- 9) 支持计算约束或媒体限制通信

#### 2. 服务质量要求

- 1) 提供高速通信（时间延迟小于 4 毫秒）
- 2) 支持合同性的时间约束（数据传输必须在特定时间内完成）
- 3) 支持高可用性的信息流
- 4) 支持高精度的数据
- 5) 支持数据的同步偏移
- 6) 支持高频的数据交换

#### 3. 安全要求

- 1) 提供身份的准入验证
- 2) 提供访问控制授权（有适当的访问权限规范）
- 3) 提供信息的完整性（数据不接受未经授权的更改）
- 4) 提供机密（只提供已授权的信息并拒绝窃听）
- 5) 提供域间安全（支持跨组织的安全要求边界）

- 6) 提供不可抵赖性（不能否认交互的发生）
- 7) 提供安全保证（确定另一个提供的安全级别环境）
- 8) 提供访问记录（负责制作纪录，跟踪安全相关事件）
- 9) 提供身份映射（域间身份转化的能力）
- 10) 提供凭据转换（一种访问凭证转换成另一种）
- 11) 提供凭据重建（通知用户其访问证书过期）
- 12) 提供路由路径和安全质量（确保一个安全的通信路径）
- 13) 提供防火墙横向保护
- 14) 提供隐私保护服务（确保个人信息不公开）
- 15) 提供用户个人资料管理
- 16) 提供安全协议映射（能够从一个协议转换为另一种）
- 17) 提供证书质量验证（确定转换证书的安全性）
- 18) 提供安全域查询（能够确定哪些安全服务可供使用）

#### 4. 数据管理要求

- 1) 提供网络管理（管理媒体，运输和通讯节点）
- 2) 提供系统管理（包括终端设备和应用程序管理）
- 3) 支持对大量数据流的管理
- 4) 支持保持数据的最新更新
- 5) 支持广泛的数据验证程序
- 6) 支持保持数据一致，跨系统的数据库同步
- 7) 支持多个不同用户的数据获得
- 8) 支持频繁变化的数据交换类别
- 9) 支持的数据管理，其类型可以在不同的差别很大实现
- 10) 支持特定标准或事实上的数据对象模型
- 11) 支持非结构化或特殊格式的数据（如文本，文档和交流示波数据）
- 12) 支持交易的完整性（包括交易各方的完整信息）
- 13) 发现社区服务对象（提供社区服务的自发寻找）
- 14) 提供协议转换和映射
- 15) 支持跨组织边界的数据管理

### 2.3.2 通信环境配置描述内容

随着电力系统的主要功能逐渐深入分析,信息架构环境的应用成为必然,没有任何的通信体系建议都将适合所有情况下,即使是同样的业务要求可能会出现很多不同的解决方案。一个可行的解决办法已经制定职能并对每个唯一的建议进行分析,但是这显然不会解决其他更高层面的问题,为此,IECSA 也提供了电力行业一个总体架构环境,架构环境的一些电力系统功能在评估信息的要求是在与许多目前的功能相似,这些类似的信息需求情况被称为 IECSA 环境。IECSA 环境被定义为一个信息环境,该环境的电力系统功能信息交流需要满足架构方面的基本要求,这些要求包括配置要求,服务要求,安全质量要求,和数据管理要求。满足以上要求的前提下图 2.1 是该环境描述<sup>[47]</sup>,它的内容包括:

- 1) 变电站内部的确定性快速响应(变电站环境内的快速响应,如继电保护,直接监测电力系统参数的电压和电流传感器)
- 2) 变电站内部的关键操作业务(提高变电站内部环境的安全性,如监控危险事故装置,安装继电保护装置和设定变电站设备的安全参数)
- 3) 现场设备之间的不确定性迅速响应(如现场自动开关之间的相互通信由本地的数据处理设备进行集中监测)
- 4) 操作相关的数据获取设备及其高安全性的相互作用(即认证,保密,拒绝未验证的访问服务,隐私保护等)
- 5) 控制中心和现场设备环境的通信安全(如变电站重点监测和控制的 SCADA 系统和 DA 设备,对外联系的设备控制和安全敏感度高的发电机组监测)
- 6) 控制中心和现场设备之间安全级别较低的数据获取设备(即可能只是需要身份验证而不需要证书验证),包括配电自动化设备,变电站运行设备,变电站内安全敏感度低的非电力系统设备
- 7) 控制中心内部(如 SCADA 系统,EMS 系统,实时操作数据库)
- 8) 控制中心之间(如公用事业控制中心之间,远程监督中心之间)
- 9) ESPs 的控制中心(如 RTP 协议,计量和结算市场操作)
- 10) 实时市场参与者的职能与效率评估
- 11) 控制中心至客户端设备(例如客户计量,需求响应互动,DER 管理)
- 12) 控制中心和外部企业(例如气象,监管,审计等部门或供应商)



- 13) 企业公司内部事务（例如企业内部规划，企业客户信息系统）
- 14) 企业之间的商业事务往来（例如电子商务）
- 15) DER 监测和控制（例如 DER 和 ESP 操作者之间的监测和控制）
- 16) 客户内部应用（例如配置管理系统，DER 管理）
- 17) 客户之间应用（例如微网管理，客户网站管理）
- 18) 客户至 ESP，客户与 ESP 的集成开发（如客户端计量服务）
- 19) 区域性的高压发电厂或枢纽变电站间通信（例如区域性电力系统范围内的发电厂和其他物理站点的共同电气耦合点）
- 20) 现场设备维护监测，统计数据收集，设备测试，故障诊断和资产管理（如可能需要进行的移动通信，不同类型数据间转换，基于不同角色的安全访问，资产识别管理等）

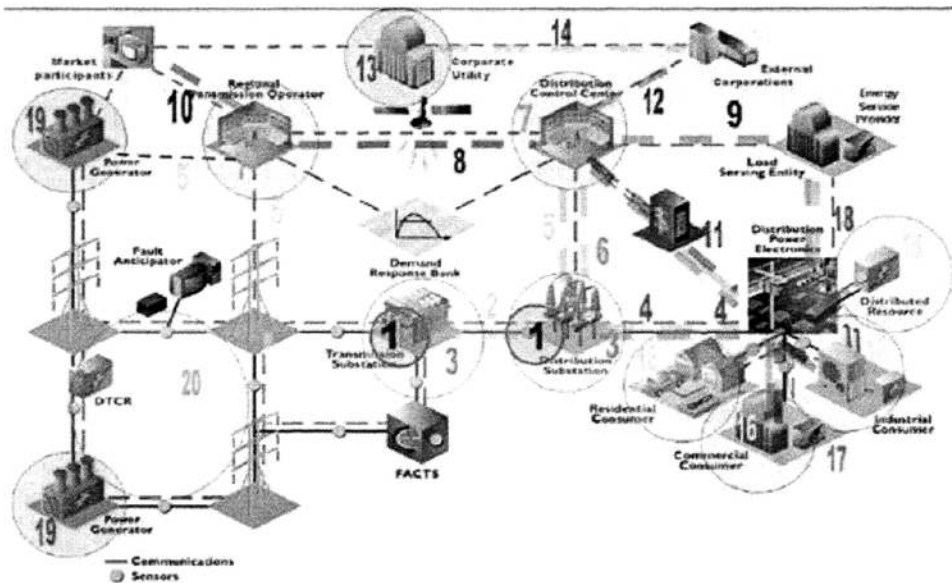


图 2.1 IECSA 环境描述

IECSA 环境反映信息交流的需要，但并不一定具体限定应用程序或数据库的位置（虽然这些可能成为影响信息交流的关键因素）。由于交流信息可以有多种的功能实现，而经过进一步分析智能化电网的 400 多种功能实现则形成 IESCA 的信息应用环境。作为信息应用环境的局部，一个典型的变电站监控和数据采集（SCADA）示例应用程序如下图 2.2 所示：

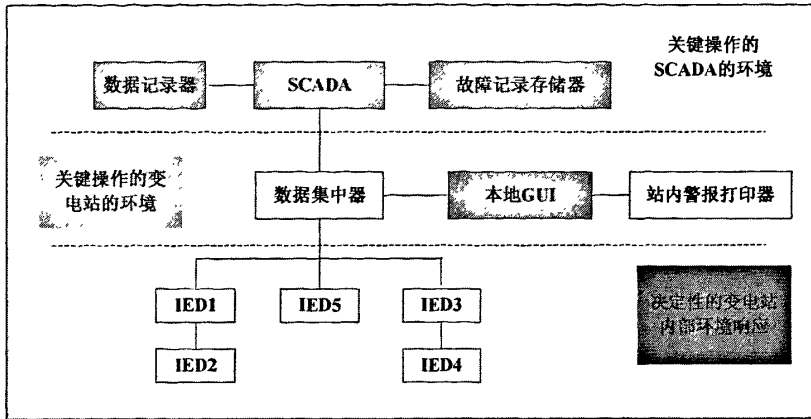


图 2.2 变电站示例应用

## 第三章 调度通信的 IEC61970 标准应用

### 3.1 公共信息模型

模型 (Model) 是对现实世界的抽象。信息模型 (Information Model) 是对现实世界中的一系列实物对象及其联系的精确描述。EPR/IEC 建立的通用信息模型 (Common Information Model) 是对电网企业运营管理的典型实物对象和业务领域的一套精确描述体系。CIM 最早起源于 ERPI 的 CCAPI (控制中心程序接口) 项目, 用于控制中心 EMS 系统建模和数据交换, 包括拓扑分析、状态估计、潮流计算、安全分析、SCADA、网络规划等业务领域, 后被国际电工委员会 IEC TC 57 WG13 工作组采纳为国际标准。IEC TC57 WG14 将 CIM 建模范围拓展到电网企业其他相关领域, 包括资产管理、生产管理、基建管理、配网管理、地理信息系统、检修管理等。近年来, CIM 还拓展到了电力市场, 电网规划等业务领域。CIM 建模正逐步扩展并覆盖电网企业几乎全部的业务领域, 且随着电网企业业务结构的变化而与时俱进。

CIM 模型不仅可以成为电力行业人员有效沟通的共同语言, 更可以用于具体信息系统的建设和集成。从新的系统建设角度看, CIM 可以指导系统业务建模和数据建模, 从信息系统集成角度看, CIM 可以落地为消息规约, 实现不同控制中心之间, 不同企业之间, 同一企业内不同应用系统之间的模型、数据交换。

#### 3.1.1 公共信息模型描述

CIM 用“类”、类的“属性”、以及“关系”来描述现实世界。例如, 下图 3.1 描述了 IEC61970 标准中一系列类之间的关系。一个变电站包含有多个电压等级, 而电压等级包含有多个设备。“变压器绕组”是一个更通用的类别“导体设备类”的子类。“变压器绕组”有“端点”并与“量测”关联, “变压器”有多个“绕组”且与量测关联。这里要指出的是, 图 3.1 是一个简图, 图中没有画出 CIM 中定义的与这几个类相关的所有关联关系。

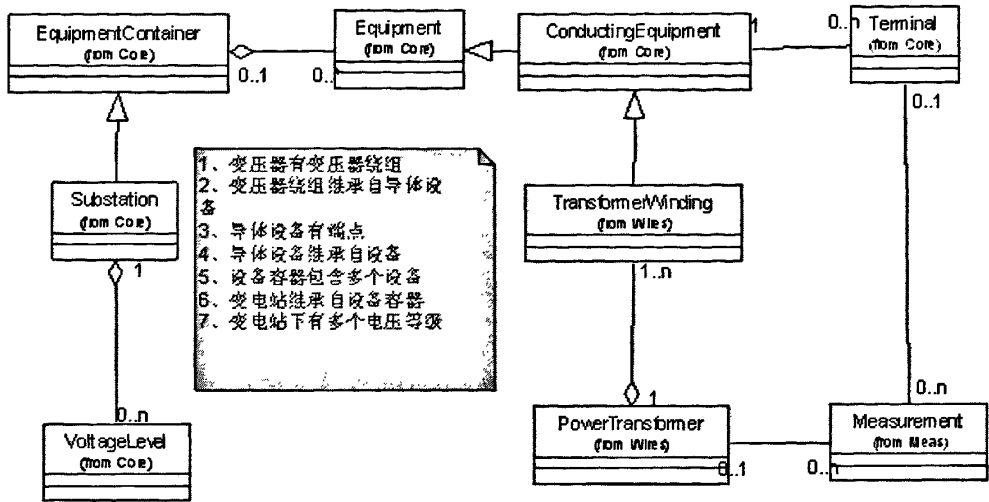


图 3.1 IEC 61970 CIM 电网模型片段

图 3.2 是 IEC 61968 CIM 中增加的资产模型中有关类的简单示意。PSR 是所有的逻辑设备、容器（例如变电站）的父类。在 CIM 中，“资产”指物理设备对象，与逻辑设备有关联关系，资产有“位置”属性，可以在图形上标示。

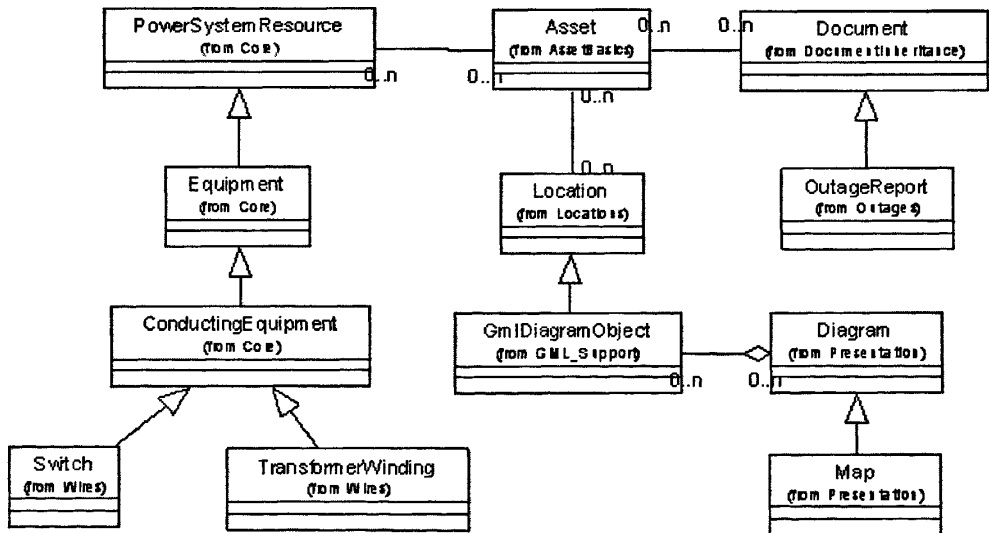


图 3.2 IEC 61968 CIM 资产模型片段

### 3.1.2 CIM 用于应用集成

应用集成就是实现不同应用程序之间的通信。CIM 解决了应用程序之间通信的语义问题，有了 CIM，各个应用程序通信就有了共同的词汇语法，而 XML 技术则用这些词汇语法写成描述通信信息的文件，然后 CIM/XML 再与具体的应用程序通信技术产品相结合，例如，与 CORBA、COM/DCOM、Web Services、

ESB 等相结合, 就可以实现电力企业内部各个应用系统或服务之间的通信, 这些通信技术相当于邮递员, 而 CIM/XML 相当于邮递的信件。由于 CIM 并不是针对某个特定的电力企业业务应用建模, 而是具有通用性, 因此 CIM 提供的词汇语法可以满足多个不同业务应用通信的需要。假如没有公用信息模型, 电力企业就需要用大量的点对点方式实现应用集成(如图 3.3)。有了公用信息模型, 系统集成需要的对照转换工作从  $N*(N-1)$  降低到  $N$ 。现有系统只需要定制满足公用信息模型标准的适配器, 通过符合 CIM 规范的 ESB (企业服务总线) 总线即可与其他系统集成(图 3.4)。

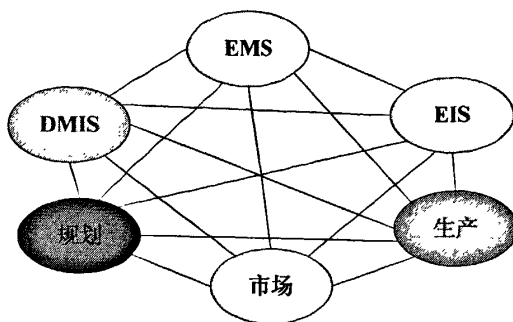


图 3.3  $N*(N-1)$  点对点集成

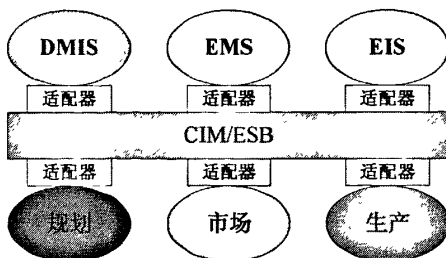


图 3.4 基于 CIM ESB 的  $N$  点集成

如前所述, ESB 是一种中间件软件, 是应用程序之间通信技术的最新发展, 并已经成为 SOA 架构必不可少的基础组成部分。ESB 主要完成以下 5 种功能:

- (1) 服务之间的消息路由
- (2) 请求者和服务之间的传输协议转换
- (3) 请求者和服务之间的消息格式转换
- (4) 处理各种来自不同业务的事件
- (5) 保证服务质量(安全、可靠和交互处理)。

在 ESB 布置方式下应用程序可以用类似 e-mail 的方式发送和接收 XML 消

息文档, 不过 e-mail 当初不是为了这个目的设计的, 不能满足应用系统之间通信的可靠性要求和效率要求。为此, 软件行业提供了消息中间件产品来实现应用程序之间的连接。ESB 消息中间件可以建立消息代理机制, 即消息路由。一个应用系统发送消息到消息代理器后, 消息可以临时存储起来, 再转发到内部或外部的其它应用。消息代理器是连接松耦合应用系统的最佳途径, 而消息的持久化机制则为消息队列提供了一个鲁棒的集成基础架构, 可以实现应用系统的异步通信, 在时间上相互解耦, 并且提供了故障恢复的基础架构。此外, 基于消息的集成总线通过消息发布/订阅机制, 则提高了应用系统的可分布性。通过发布/订阅机制, 消息源头按照主题发布消息, 消息使用方按照消息主题接收消息。这样将应用程序与数据源解耦因为发布方不需要了解订阅方, 而订阅方也无需知道发布方, 多个订阅方可以无需在发布方进行配置就接收消息, 多个发布可以提供同样的数据, 发布方只需要发布消息一次。

在 ESB (企业服务总线) 技术出现前, 电力企业传统上采用基于组件 COM/DCOM, CORBA 的集成架构, 实现应用系统之间的通信。但这种架构存在一些不足之处:

1) 部署和维护复杂, 代价高, 需要按照 CORBA, DCOM 提供厂商的特定要求去封装其他应用。

2) 难于优化, 基于 COM/DCOM, CORBA 等的架构, 在客户端和服务端的耦合过于紧密, 应用程序相互连接, 因此, 服务端的变动影响到客户端。要求一个安全域上下文, 函数调用规约, 二进制的数据类型, 以及定位和调用远程应用的方法。此外, CORBA 和 DCOM 通常要求服务端一直处于可用状态。因此, CORBA 和 DCOM 更适合集成紧密耦合的组件, 基于 ESB 的架构可以解决这些传统集成架构的不足。

近年来, 采用标准的 SOAP 传输协议的 Web Services 技术近年来在应用集成领域也得到了广泛应用, Web Services 实现了松散耦合的服务和粗粒度的服务, 但是 Web Services 本质上只是一个服务组件, 如果只采用 Web Service 而不采用 ESB 也会存在不足之处, 例如, 不方便集成多个服务。客户端需要联到每个 Web Services 服务端, 而不是简单地只需要联到一个集成的基础设施。Web Services 与 ESB 结合则可以克服这些缺点, 同时保持传输中性。在这种方式下, Web Services,

COM, CORBA, 或者其它的中间件如 Websphere, MQ 都可使用。同时, 总线可以起到一个代理服务的作用, 把所有服务端的命名空间整合到一起, 从客户端的角度看, 相当于只需面对一个虚拟的整合后的服务提供方 (如图 3.5)。这样, 点对点的连接得以避免。

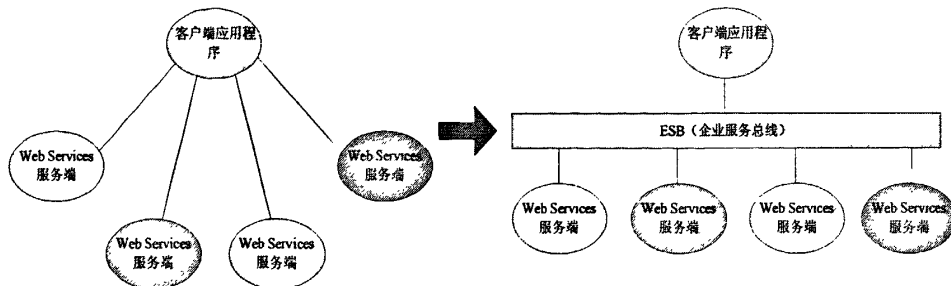


图 3.5 Web Services 技术与 ESB

### 3.1.3 CIM 用于数据仓库

CIM 并不只是可用于电力企业应用集成, 还可以用于指导数据仓库的构建。电力企业需要整合多个不同数据来源的数据仓库, 用于支持高级分析、统一展示、决策支持, 而 CIM 则构建了各种数据之间全局的清晰关系, 提供构建数据仓库的理想起点, 使数据仓库中从各个系统中抓取数据的适配器可独立用于应用集成, 这样, 在开发商选择和项目协调上可以获得更大的灵活性。

值得指出的是, 并不是所有的数据都需要集中存储。采用分布存储时, 只需要把各个应用程序的适配器向数据分析程序直接开放即可, 这样, 可以保持最大的灵活性, 同时节约成本。数据仓库也可以不通过消息总线而直接向查询报表等应用程序开放, 以提高性能。这些系统架构设计问题, 都可根据业务需求进行裁减, 以最适当地满足具体情况。此外, CIM 和 GID 虽然可以基于 CIM 的数据仓库实现不同组件之间信息的自动交换, 但是 CIM 标准不能解决对象的命名不一致问题。例如同一个开关在一个系统中命名与另一个系统中的命名不一致, 这时需要建立新的设备流程, 或设备统一命名或编码机制来解决。

## 3.2 CIM 标准的资产模型与电网模型

### 3.2.1 CIM 标准资产模型分析

#### 1) 资产模型基本属性

IEC 标准规范中资产是电力企业的有形资源,包括各种电力设备,建筑物等。对于电气设备资产在 IEC 61970-301 中定义了电气属性和拓扑关系,在资产模型中,重点关注资产的物理特性。所谓资产的基本属性指 IdentifiedObject 类和 Asset 类中定义的资产通用属性,例如,资产的统一编码 mRID,统一命名 name,别名 aliasName, serialNumber 序列号。资产模型基本属性如下图 3.6 所示:

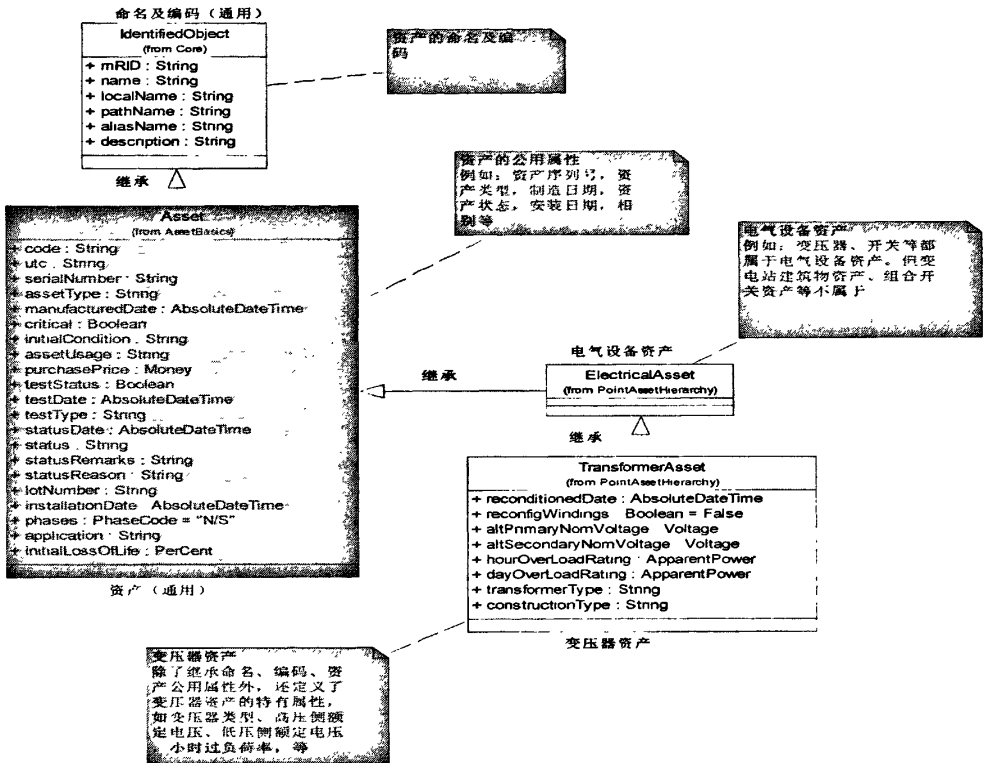


图 3.6 资产模型的基本属性

## 2) 资产模型财务属性

如图 3.7, IEC 资产模型中资产的财务属性包括资产价值、估价时间、投运日期、保修日期、实际购买价、成本类型等,资产与资产财务属性是一一对应关系。资产的历史价值变迁可以在资产的活动变更记录中找到。



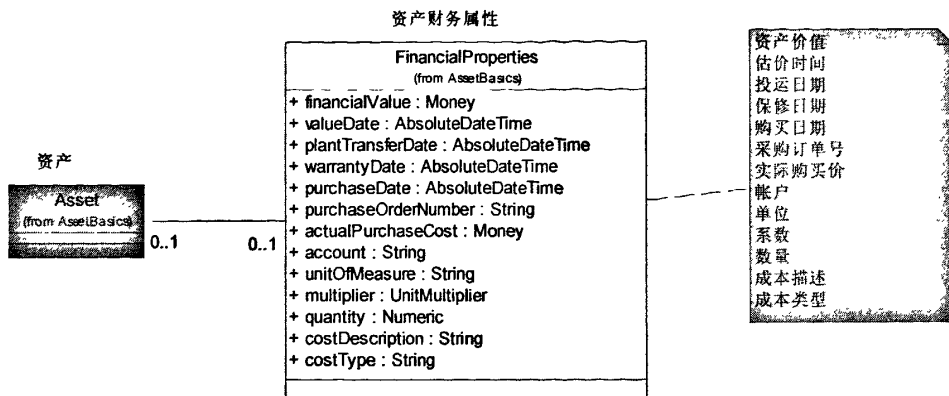


图 3.7 资产模型的财务属性

### 3) 资产模型组织属性

IEC 标准里组织指供应商、制造商、建设单位、运维单位等，组织在资产管理不同阶段承担不同职责。如图 3.8，上级组织可以有下级组织，组织有组织机构代码，状态，类型，成本中心标志等属性，组织机构与资产之间的所有权有股权关系。电网模型和资产模型可以分属不同组织。

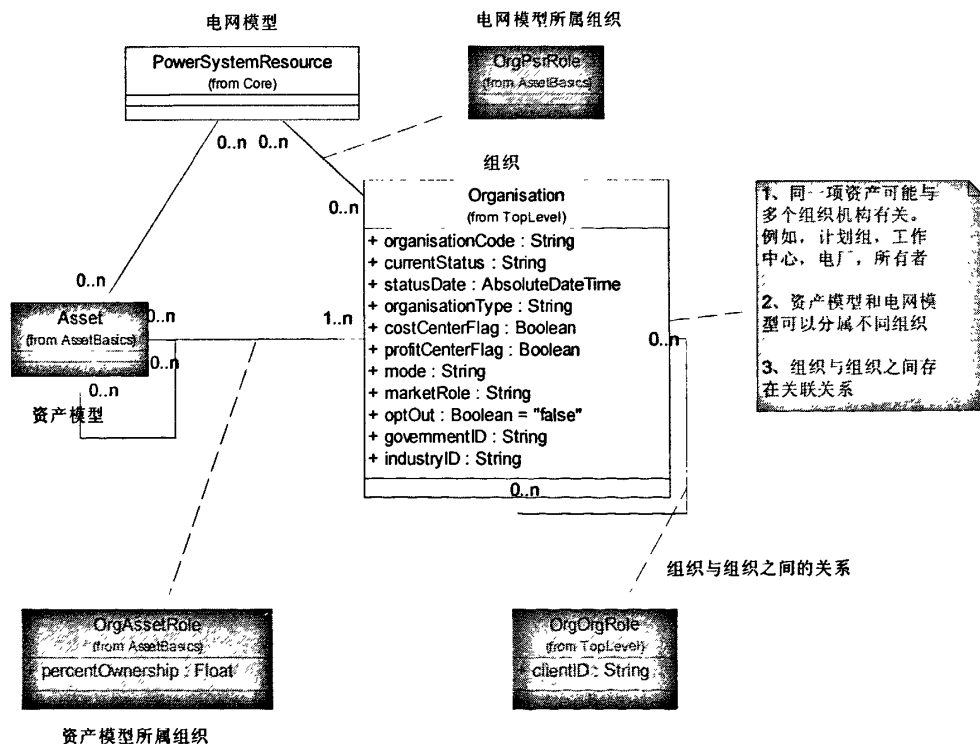


图 3.8 资产模型的组织特性

#### 4) 资产模型电气属性

IEC 资产模型中，如果是电气资产，则拥有的电气属性包括电阻，电抗，零序电阻，零序电抗，额定电压，额定功率等，在下图 3.9 的 ElectricalProperties 类中。同时，在电网模型中，一个导体设备拥有 r, x, g, b 等电气属性。电网模型与资产模型中的参数虽然类似，但针对的对象可能不同。例如，TransformerWinding 中的电气属性是标么值，而在 TransformerAsset 中的 ElectricalProperties 中的电气属性通常是有名值。

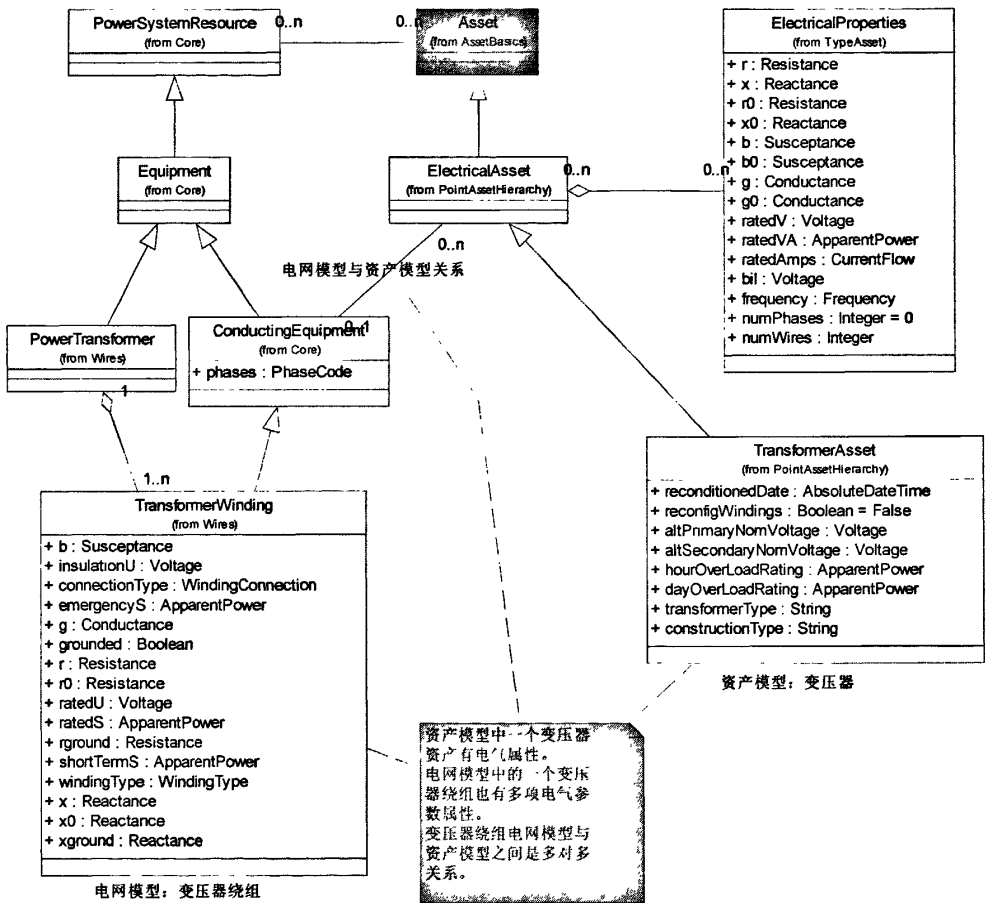


图 3.9 资产模型的电气属性

#### 5) 资产模型图形属性

IEC 标准中的 GML 包用于支持 GIS 与其他应用的集成。如图 3.10 所示，一幅图由多个图形对象组成，图形对象又可以由更多的图形元素组成。图形对象

是对资产的可视化，与资产存在对应关系。

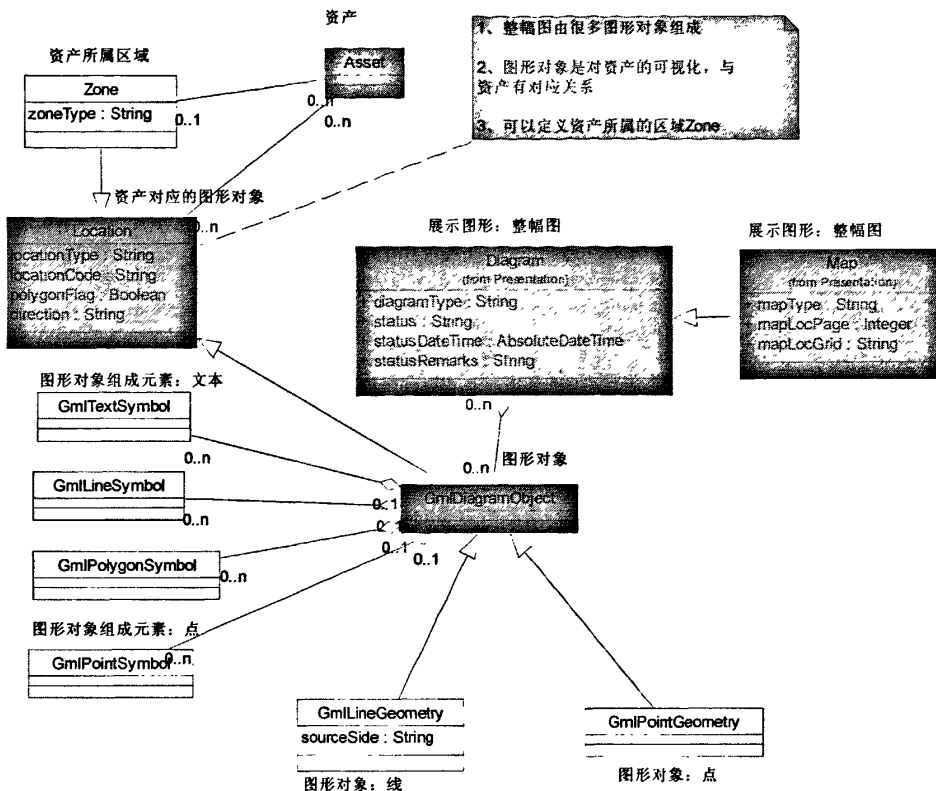


图 3.10 资产模型的图形属性

### 6) 资产模型量测属性

IEC 标准中量测 (Measurement) 可以代表任何实测值、累计值。任何设备都可以有量测，例如，变电站有温度量测、门开关状态量测，变压器有油温度量测，水压量测；间隔有多个潮流量测，开关有开关状态量测。要找出量测与那个物理设备对应，通常可以通过 `EquipmentContainer` 与 `Measurement` 的关联关系获得。也可通过 `Measurement-Terminal` 关系获得。当需要确定量测设备的位置时，需要建立 `Measurement-PSR` 关系。量测可分为模拟量测 `Analog`、累计量测 `Accumulator`、离散量测 `Discrete`。对于每套量测，有相应的限值 `LimitSet`。量测值是量测一个实例值。一个量测对象可以与多个量测值对应。

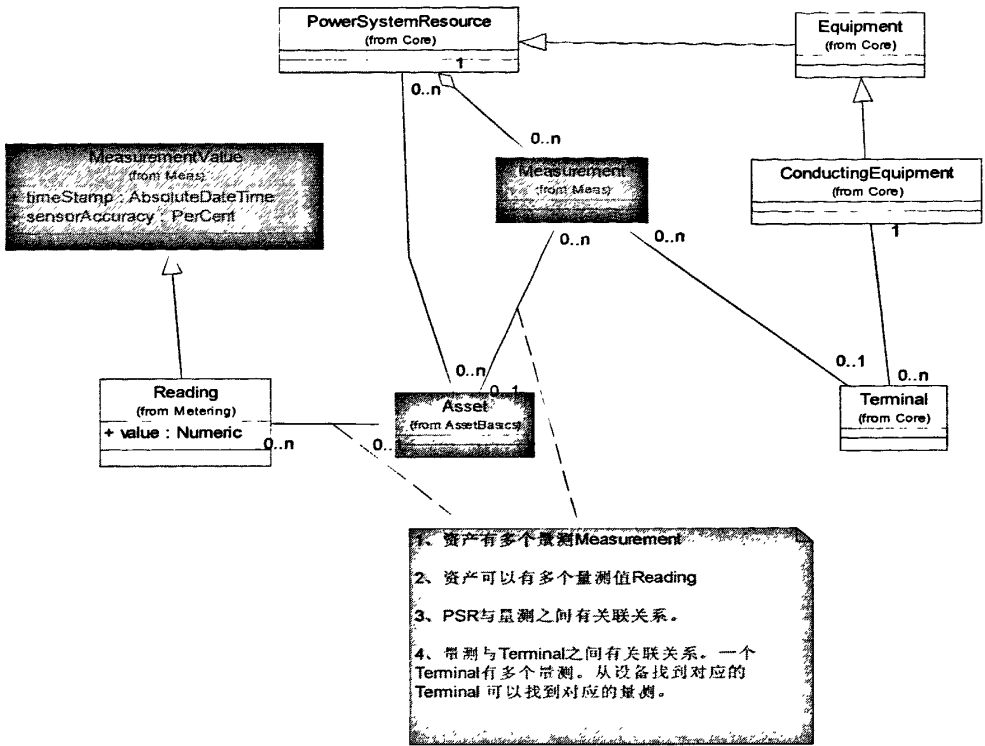


图 3.11 资产模型的量测属性

### 3.2.2 CIM 标准的电网模型分析

#### 1) 电网模型基本属性

IEC 标准每项模型对象 **PowerSystemResource** 应统一命名(IdentifiedObject), 并指定模型的维护机构 **ModelingAuthority**。对于每一个电网模型对象可以按应用需要分配 **PSRType**。

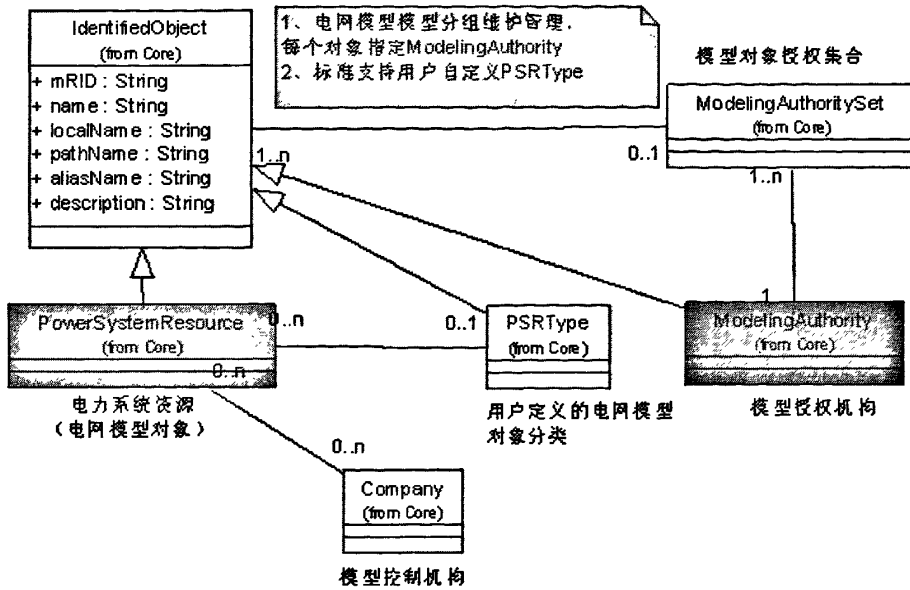


图 3.12 电网模型的基本属性

## 2) 电网模型类别属性

IEC 标准提供一套树形的设备分类结构。例如，将母线（BusbarSection）、结点（Junction）归集为连接（Connector）。将同步电机、静态无功补偿装置、并联补偿器、变频器归集为调节设备（RegulatingCondEq）。将直流线路、交流线路归集为导体（Conductor）。将断路器、接地刀闸归集为开关（Switch）。通过归集分类，提炼出同类设备的共有属性，降低了电网模型定义的冗余度。电网模型对象分类不同于资产分类，比资产的分类更精细。有一些抽象的电网模型对象，如负荷（EnergyConsumer），在资产模型中没有对应的物理设备。

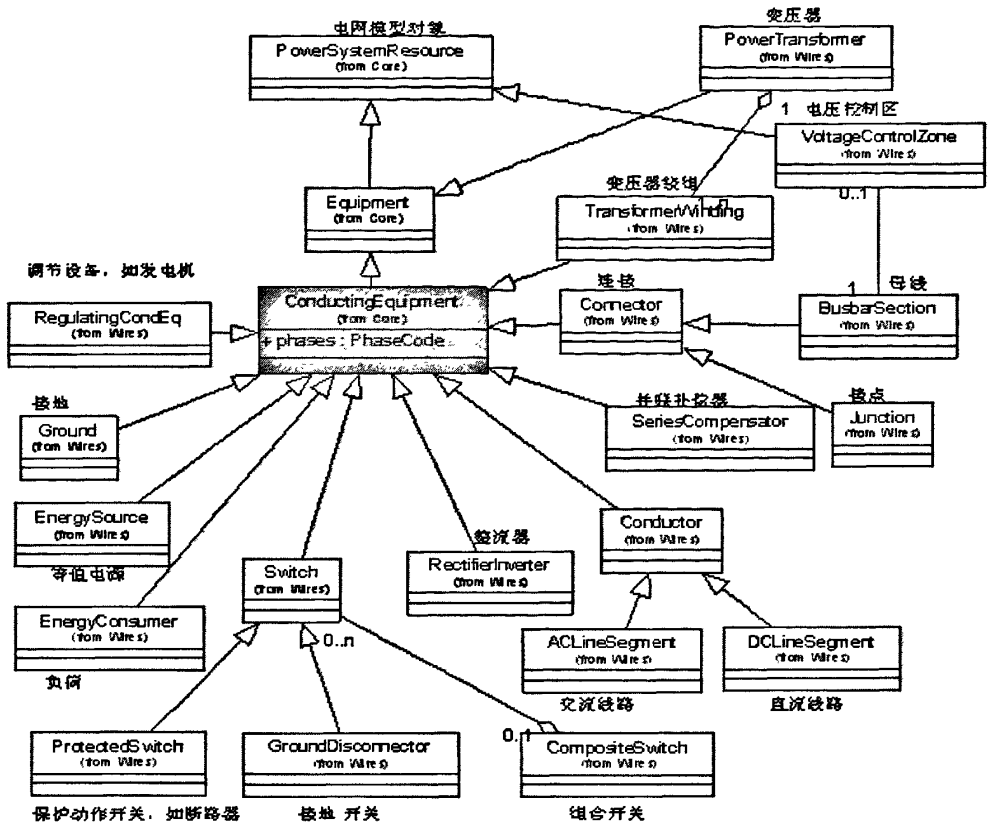


图 3.13 电网模型的类别属性

### 3) 电网模型拓扑属性

电气网络中电网模型导体设备对象 (ConductingEquipment) 的拓扑通过定义其拓扑端点 (Terminal) 来描述。Terminal 与物理连接点 (ConnectivityNode) 关联, 形成电网拓扑的开关接点模型 (Switch/Node Model)。把开关开断状态考虑进去, 连通的物理连接点 ConnectivityNode 组成拓扑连接点 (TopologicalNode), 即电网的母线支路模型 (BusBranch Model)。

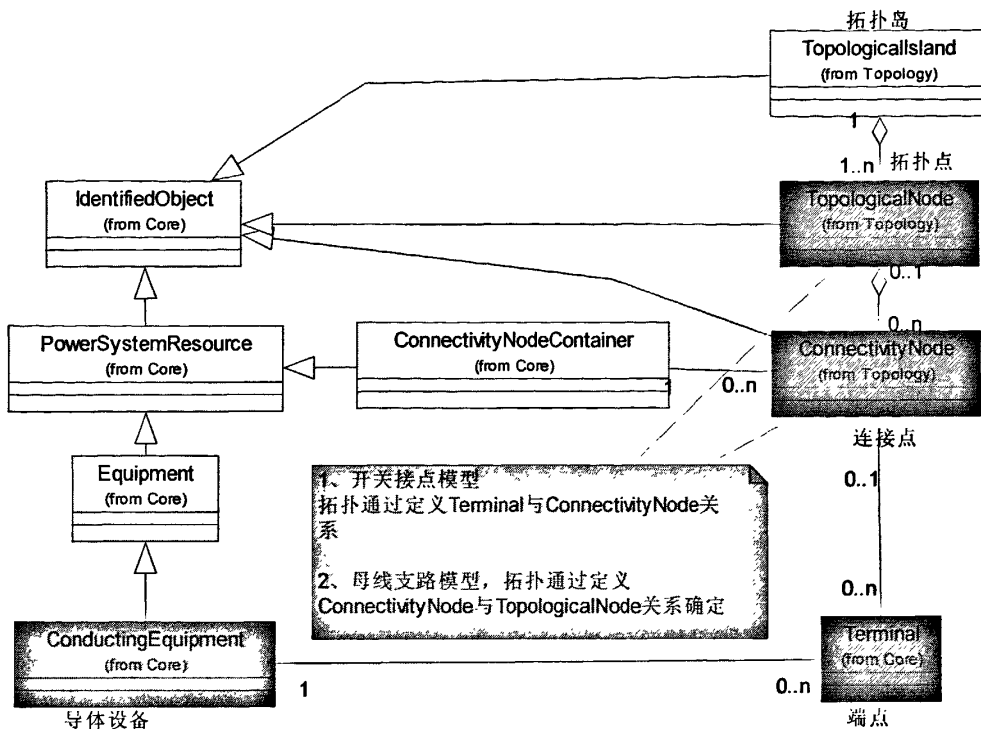


图 3.14 电网模型的拓扑属性

#### 4) 电网模型 SCADA 属性

IEC 标准中电网模型包含 SCADA 信息来在 RTU (RemoteUnit), RTU 有遥控 (RemoteControl)、遥测信息 (RemoteSource) 定义, 带时标的遥测信息放在 MeasurementValue 中。

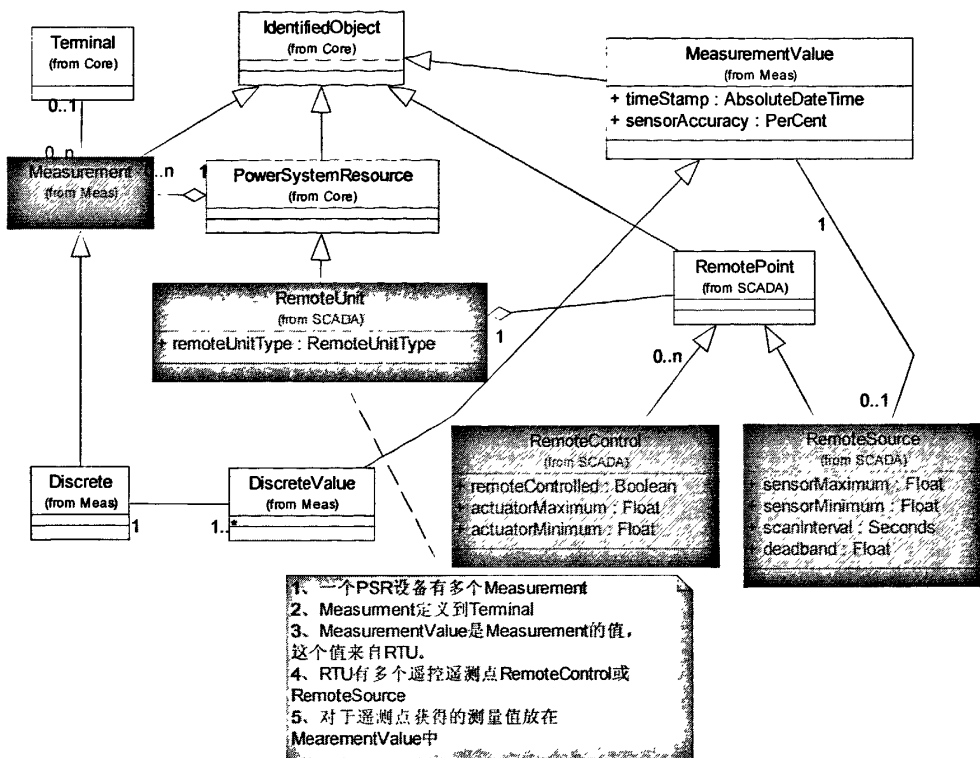


图 3.15 电网模型的 SCADA 属性

5) 电网模型量测属性

电网模型量测属性规范 PSR 拥有多个量测 (Measurement)，在 Measurement 中，定义了量测的类型、量测对应的电气位置 (Terminal)、量测对应的限额集 (LimitSet)、量测对应的值 (MeasurementValue) 等关键信息。带时标的量测的结果在 MeasurementValue 中。对于同一个量测，在不同情况下可能使用不同的限额 (Limit)，例如，导线温度不同时允许载流量不同。这些 Limit 组织在一个限额集合 (LimitSet) 中。



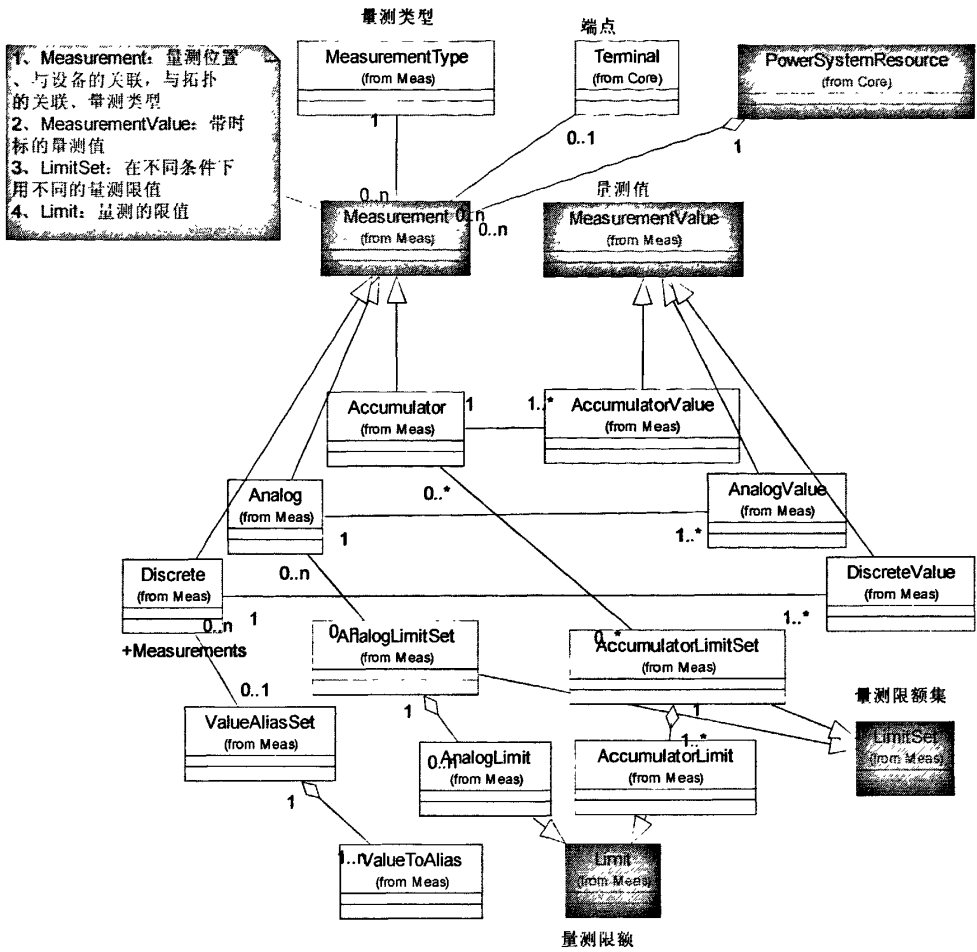


图 3.16 电网模型的量测属性

### 3.3 IEC61970 标准的组件接口规范

IEC61970 标准中的组件接口规范 CIS 是一套可应用于电网调度通信服务的公共组件, 它包括用于电网模型数据访问的通用数据访问(GDA)、实时数据访问使用的高速数据访问(HSDA)、事件和报警处理所需的通用事件订阅(GES)、以及报表和历史信息处理需要使用的时序数据访问(TSDA)。

GDA 是用于访问基于 CIM 组织的公共数据所需的 API 服务, 客户在只需要掌握 CIM 知识的条件下, 就可以访问由另一个构件或系统维护的数据, 而无需知道数据的逻辑模式。GDA 接口提供的服务主要包括资源标识服务、资源查询服务、资源更新服务和事件服务。由于实际运行时很少直接通过 GDA 接口对一

些系统进行更新，并且从安全角度出发，系统可以提供数据，但一般不允许通过接口进行更新，因此调度自动化系统 CIS 中允许数据读取涉及的资源标识、资源查询和事件服务，但禁止资源更新服务对其他系统开放。

CIS 组件规范定义的 HSDA 接口是高效交换数据的一个通用接口。采用服务器/客户端模式的接口访问时，HSDA 涉及的服务器接口、会话接口、浏览接口、组管理接口、客户接口都是必须的，同步、异步读写操作则由服务器实现者决定是否支持。

GES 接口是高效事件信息交换的一般化接口，调度自动化系统 CIS 使用过程中，它涉及的服务器和会话接口、浏览接口、客户接口对于传输事件和订阅信息是必须的，与它进行对接的相关软件模块也必须支持。

TSDA 接口提供一种标准、高效的时间序列接口访问方式。时间序列数据访问是能量管理系统（EMS）最基本的服务之一，它提供时间序列数据的访问、存储以及数据回放和订阅服务。该接口由调度自动化系统的报表、人机界面等模块使用，包括服务器、会话接口、管理接口、浏览接口和客户接口，其中读接口服务器必须完全支持，写接口可选。

## 第四章 变电站信息规划方案

### 4.1 基于 IEC61850 的分层组织

基于 IEC61850 标准变电站的信息组织考虑如下场景<sup>[48-50]</sup>：

过程层：实现模拟量数据的采集、控制命令的执行、断路器状态变化的上送，所有数据均在过程层网络中传输。

间隔层：基于过程层网络信息的决策，并实现基于站控层网络的信息传输，同时，实现某种面向电网调度的实时信息传送，如 SCADA/PMU。

站控层：基于站控层网络信息的各种应用，实现对间隔层/过程层装置的配置，控制命令的下达等。同时，实现信息向集控站或电网调度端的传送，信息传输机制在智能化应用过程中基于 IEC61850-80-1 系列标准。

考虑到变电站上送站内信息到调度中心的环节，因而需要建立变电站信息平台的概念。借鉴 IEC61970 的基本思路规划变电站内数据流，数据存储、数据应用以面向间隔的信息采集和面向全站的信息应用两方面为主，建立公共信息平台的同时实现变电站智能化的三类应用，细化变电站内信息流实现方案。

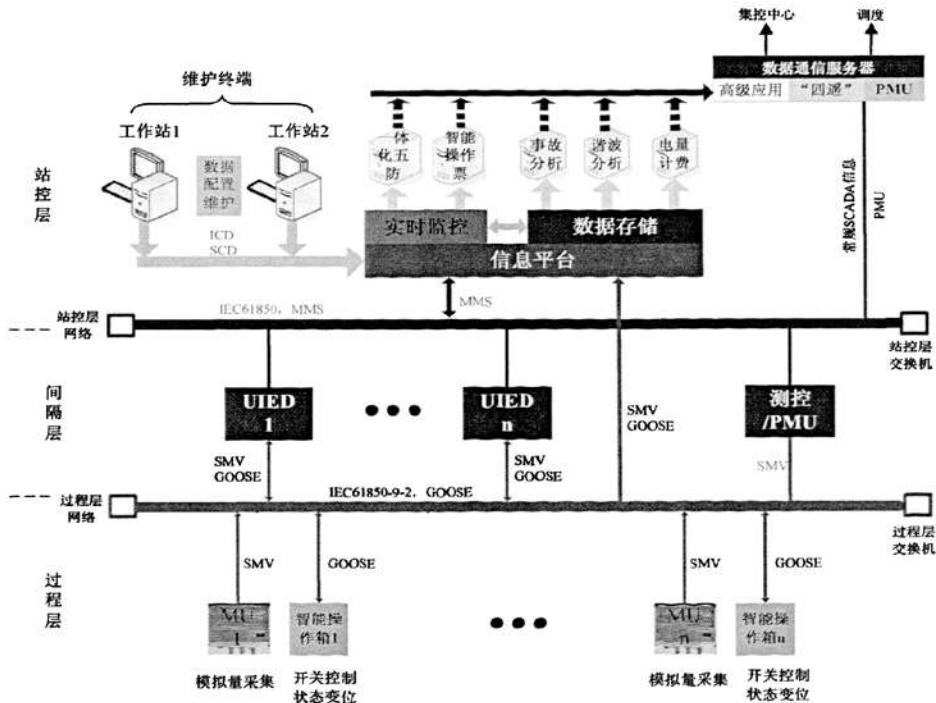


图 4.1 变电站信息流示意图

基于 IEC61850 标准变电站的信息规划结构见示意图 4.1，过程层和间隔层装置通过交换机实现信息的传输，其中大量的采样值信息流量是稳定的，突发性报文信息流量是相对有限的，如 GOOSE 跳闸命令信息。信息流可按：①就地控制、如全站式保护、低频/低压减载、备用投切、AVQC、程序化控制等；②实时运行，如 SCADA/PMU 信息传输、实时运行分析（状态检修）、事故分析等；③离线应用，如谐波分析、电量计费、仿真等。

## 4.2 IEC61850 的智能电子设备建模

智能电子设备（Intelligent Electronic Device）的信息模型和建模方法是 IEC61850 标准系列的核心，这是由于变电站信息交换机制主要依赖于表达准确的数据和通信模型。IEC61850 规范的信息模型包括模型结构和模型的语义约定，这一模型是解决数据的相互理解问题和实现互操作性的基础<sup>[46]</sup>。

对于遵循 IEC61850 标准来完成变电站自动化功能的智能电子设备来说，它的通信网络访问内容由 IEC61850 完全定义，并且在一定义下，设备模型的描述采用标准的基于 XML 的变电站配置语言（SCL），完成模型描述后选择特定通信服务映射（SCSM）在 IED 之间实现信息的传输。

根据 IEC61850 标准，IED 的信息模型为分层的类模型，信息模型的每一层都定义为抽象的类，并封装相应的属性和服务。IED 的分层信息模型自上而下分为 4 个层级：服务器（Server）、逻辑设备（Logical Device）、逻辑节点（Logical Node）和数据（Data），上一层级的类模型由若干个下一层级的类模型“聚合”而成，位于最低层级的 Data 类由若干数据属性（Data Attribute）组成。IEC61850 除了规范 IED 的信息模型结构之外，还定义了一套描述变电站功能实现的建模方法，下面是这一方法的具体步骤：

- 1) 确定逻辑节点和交换数据，逻辑节点是 IED 数据通信功能的最小部分。因此要准确描述 IED 的功能，首先要确定逻辑节点和需要交换的数据，明确该 IED 具有哪些功能，进一步确定在诸多功能中哪些是需要进行数据通信的，然后根据 IEC61850 标准，将每个需要进行数据交换的变电站自动化功能逐一分解为若干核心功能的逻辑节点。
- 2) 建立逻辑设备模型，逻辑设备模型主要由逻辑节点和附加的服务组成，一个

逻辑设备至少包含 3 种逻辑节点，即核心功能逻辑节点、物理设备信息（LPHD）和逻辑节点零（LLN0）。LPHD 定义了实际 IED 的一些公用信息，如物理设备铭牌、健康状况，LLN0 则为访问逻辑设备的公用信息提供通信服务模型，如 GOOSE 控制块、采样值模块和保护定值模块。

- 3) 创建 IED 的服务器实例，在 IED 分层信息模型中一个服务器至少包含 1 个逻辑设备。除了逻辑设备，服务器还包括由通信系统提供的其他一些公共基本组成部件，这些组件包括：①应用关联（Application Association），它提供设备间建立和保持连接的机制并实现访问控制；②时间同步（Time Synchronization），它为报告和日志提供毫秒级精度时间或为同步采样应用提供微秒级精度时间；③文件传输（File Transfer），它提供了大型数据文件的交换方法。④服务访问点（Service Access Point）属性，它是地址的抽象，用于底层特定通信服务映射的标识服务器。

## 4.3 变电站信息应用模式

### 4.3.1 就地控制

就地控制基本分为三类：①基于本地信息的决策控制，如变压器保护、母差保护、过流保护、距离保护、自投备用、小电流选线等；②基于局部区域/全站信息的控制，如光纤纵差保护、稳定控制、低频/低压减载、VQC 等。③运行操作控制，如程序化操作、基于安全约束的智能操作票等。对于上述各种控制功能的实现主要依据 UIED，例如 UIED1 作为变压器保护、UIED2 作为全站自投备用、UIED3 作为全站馈线保护（含小电流选线）、UIED4 作为光纤保护、UIED5 作为母差保护、UIED6 作为低频/低压减载、UIED7 作为安全自动装置等，而全站 UIED 的时间同步基于 IEEE1588 模式。

必须注意上述应用基于全站信息，过程层设备以硬件化为主，间隔层设备参考目前模块化的软件架构（如企业服务总线）实现集成化。未来过程层设备安装调试跟着一次设备走，来自一次设备模拟量、状态量的信息只采集一次。信息应用实现全站共享，决策基于全站的信息，功能实现可以在符合 IEC61850 的原则下自由组态。各种应用功能的实现全部由软件来体现，装置硬件实现按照“探针+PPC”方案，以 19 英寸整机箱布置，各 UIED 装置则具备功能集成的可能性。

采取上述布置,所有的 UIED 装置均具备就地控制的特性,但对于如何有效解决间隔层的独立性的同时,使得检修和扩建符合变电站建设运行的基本原则成为另一个难题。基于上述思路产生全站式综合测控的应用,在 110KV 系统中应用测控装置 UDC-531,该装置基于过程层网络所提供的 SMV 信息,完成所有潮流 P、Q,电流电压 I、V、频率的计算,并将上述信息经 UDC-531 网络口上送至站控层网络,为监控后台和 SCADA 应用提供基础信息,同时,执行各种联闭锁以及来自站控层/调度的控制命令,如 AVQC、程序化控制等,而各种功能的实现全部由软件来体现。

#### 4.3.2 实时运行

实时信息传输,如 SCADA/PMU 信息传输,PMU 正常以 20-100 帧/秒实时向调度传送信息。结合 IEC61850 的信息模型规范,SCADA 与 PMU 的信息传输将由不同的装置实现,其中 PMU 的实现机制见图 4.2。

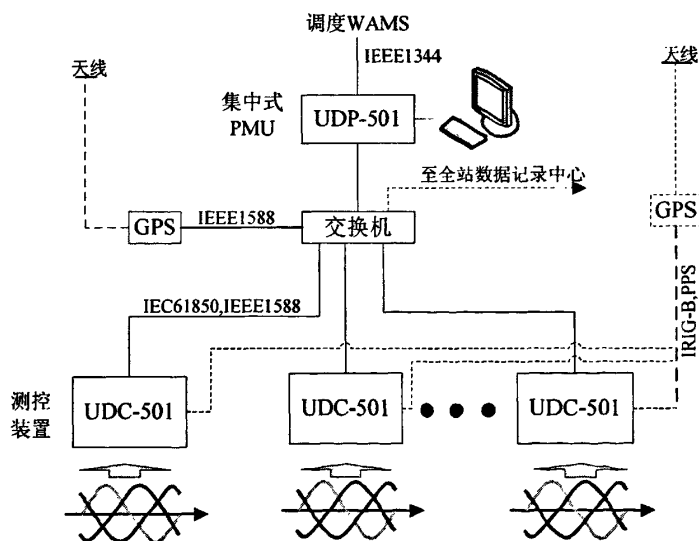


图 4.2 基于 220KV 综合测控 UDC501 的 PMU 实现方案

由于从 PMU 传来的数据信息是幅值和时间都连续的模拟信号,为了便于应用到闭锁领域,有必要将这些模拟信号转换成数字信号,利用已有的 SCADA 和 PMU 系统监视变电站的各关键节点的电压、电流的相位相角和电网连接处断路器开关状态信息并向全站的数据记录中心进行实时节点的电压存储,同时统计电网内各节点电压、相位在一定时期内的合格率,并以此确定关键节点的标准范围,

利用 PMU 测量到的相位等数据信息,运用数学模型和仿真等手段产生约束闭锁逻辑。电网状态是实时变化的,只有根据实时数据对操作结果进行评估才能得到接近最优的操作方案。

在综合测控 UDC-501 的 PMU 实现方案中,数字化测控装置 UDC-501 从变电站的过程层获取数据,再经过遵循 IEC61850 标准的数据规范保存在数据记录中心。同步相量测量单元 PMU 则利用全球定位系统提供的精确时间基准对电力系统的状态进行同步数据采集,采集并计算得到的电网运行方式所需的重要信息,如母线电压的相角及测量节点的电压量等,同样存储到数据记录中心。

### 4.3.3 离线应用

数字化变电站与常规变电站自动化系统方案的主要差异在于:所有的信息均在过程层网络和间隔层网络上传输,并且以标准的方式描述(SMV、GOOSE、MMS)。因此,这些信息具备“机读”的可能,并可有效支持各种离线应用的实现,如电网事故分析(含故障录波、故障信息系统功能),保护预警、谐波分析、倒闸操作的仿真模拟,保护仿真、计量等。

离线应用的核心是信息的存储、处理方案,因而可以借鉴 IEC61970 的概念建立类似 UIB 信息平台,各种应用以标准接口接入,如 CIS,同时,各种应用只是依据所需信息采取订阅方式。基于上述方式对于电网事故分析的主要依据应包括:①模拟量信息(SMV)、②保护动作信息(GOOSE)、③断路器跳闸信息、④保护整定值信息(MMS)。

鉴于过程层网络已经提供完整的实时模拟量信息,80 点/周或 256 点/周,因此,对于电网事故分析应用可以基于两种方案:①简要信息处理:如故障相识别,持续时间,断路器跳闸情况,保护动作情况,重合闸动作情况,故障测距结果等,这些信息主要取之于过程层和站控层网络上的直接结果,经预先确定的原则简单判断。②保护详细动作行为分析。

## 4.4 变电站信息的 CIM 融合

变电站 IEC61850 模型向 CIM 转换的主要工作是在适应变电站 SCL 模型的基础上对基准 CIM 的类层次进行调整,从而确立一个统一公共信息模型(UCIM)的整体类体系框架<sup>[45]</sup>,这里面包含的主要工作是继承层次根的确定和类继承层

次的调整。然而就目前的面向对象软件来说，它的系统开发流程一般只支持单个的继承层次根，而原有的 CIM 模型则是多根的继承关系，因此调整后的 UCIM 在类体系架构上必须采用单根模式，即类继承层次中不出现多个继承层次根，从而与面向对象的开发方式相适应。

在单根模式的管理中，越靠近继承层次根的元素对层次结构的影响越大，因此在 UCIM 形成之前首先确定继承根。目前 CIM 和 SCL 模型有共同使用的根类 BaseElement (SCL 中类型名为 tBaseElement)，采用 BaseElement 类作为 UCIM 类层次体系的根。

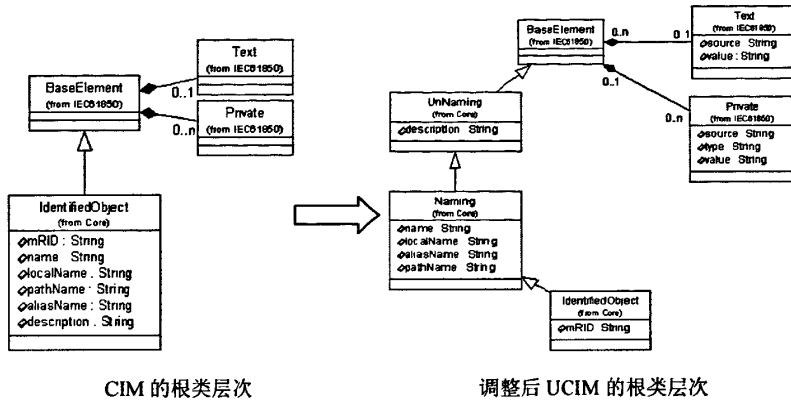


图 4.3 模型的根类层次变化

如图 4.3 所示，在模型的根类层次调整后，由于原来 CIM 中与 BaseElement 关联的 Text 和 Private 没有定义属性，因此在 UCIM 作相应的增加。同时 CIM 用 IdentifiedObject 替代了旧版本中的 Naming 类，IdentifiedObject 类中的属性增加到 6 个（数据类型都是 String），分别是：name、aliasName、localName、pathname、description、mRID；SCL 模型中，有部分类继承自 tBaseElement，还有很多的类继承自 tUnNaming、tNaming 类，因此在 UCIM 中，将 Naming 和 UnNaming 类作为 IdentifiedObject 和 BaseElement 的中间层次类定义出来。原属于 IdentifiedObject 类的 6 个属性的划分按下表 4.1 的方式处理：

表 4.1 分配 IdentifiedObject 类的属性

属性	所属类
description	UnNaming
name	Naming
aliasName	
pathName	
localName	
mRID	IdentifiedObject



这样划分的层次，可为源自 SCL 模型的类提供继承的根类，而 UnNaming 类、Naming 类、IdentifiedObject 类的语义也更清晰。同时，调整后的继承层次中 IdentifiedObject 也没有缺失任何一个属性，使得 UCIM 的模型信息可以完整正确，这也是模型合并处理中必须合理利用面向对象继承特性的原因。

变电站 SCL 模型向 CIM 转换的类继承层次调整中，CIM 引入 IEC61850 中一些类的同时采用了多重继承方式。下图中 LNodeContainer、FunctionContainer、SubEquipmentContainer 都是通过多重继承合并到了原有的类继承体系中。这几个通过多重继承引入的类只是处理对 LNode 和 SubEquipment 的包含关系。

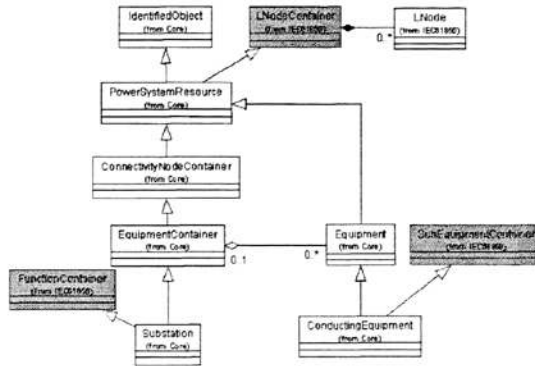


图 4.4 CIM 类体系中的多重继承

如上图 4.4 的多重继承在软件设计及实现方面有一定的负面作用，因为并不是所有的面向对象语言都支持多重继承，比如 Java 语言中，就只能继承一个类，另外要引入其他类只能通过实现接口的方式。但 CIM 是数据模型，出现在 CIM 中的类不宜理解为接口语义，因此 UCIM 将原有继承链调整，在保证语义不变的情况下将多重继承调整成单根继承方式。

转换成单根模式的处理方式有两种：一种是将其融入到主继承链中，另一种是将 PowerSystemResource 对 LNodeContainer 的继承、ConductingEquipment 对 SubEquipmentContainer 的继承、Substation 对 FunctionContainer 的继承修改成为关联关系。这里采用的前一种方式更符合面向对象的类形成原则。

## 第五章 企业服务总线的运算通信体系

目前,各级电网公司的运算应用服务大多都是内嵌在独立应用中的,如网络拓扑、潮流计算和状态估计、可视化监控等,各部门只针对各自特定的业务进行特定的运算,而这样的结果导致各业务部门之间的应用系统都是相对封闭的。随着各个系统的深入开展和应用的不断提高,整体的信息运算服务呈现出一系列缺点,如数据分散、网络模型参数得不到共享,因而增加系统参数和数据的维护难度,导致各系统的计算结果不统一;同时部门间设备命名、接口标准不一致,同一设备有多重命名方式,影响企业的运算管理水平提高。

基于电网企业现在的运算服务现状,一种开放式智能化电网运算应用体系应运而生,它提出 ESB 运算服务总线与功能组件模块相结合的信息化架构。电网运算的数据源来自不同业务应用系统,计算结果局限于内部独立应用,私有数据有各自的数据表达方式,该架构的 CIM 应用为企业运算服务提供全局可交换与理解的数据表达规范,而应用与应用具备相互认知的规则后,为避免通信接口的结构过于复杂和提高运算服务的可延展性,采取企业服务总线的部署方式,运用网络服务技术定义一组标准协议用于接口定义、方法调用,为运算服务提供异构联络<sup>[30-31]</sup>。

### 5.1 电网运算总线的信息服务

#### 5.1.1 电网运算总线

ESB,即企业服务总线,区别于传统的 EAI 技术,ESB 将更多的处理逻辑单元分配到多个的端点上,中央服务器不复存在,业务逻辑处理能力及系统压力可灵活调配<sup>[28-29]</sup>。总线对于 Hub 进行拓展,拓扑形式为模块组件连接,而组件相互联系的单一物理中心被虚拟化,分散到整个网络上,负载能力和灵活性都大大增加。ESB 逻辑布置实现系统模块间的松耦合,从而能够应对大规模应用集成。

电网运算服务在 CIM 规范指导下采取服务总线与功能模块相结合的方式,网络服务技术的事件注册、服务调用原理衔接模块间的功能实现,而功能模块在实现自身运算处理之后将结果在服务总线上传递,传递的过程由基于中间件技术的模块适配器完成。适配器将挂接在总线的功能模块数据抽取、封装、共享,并

遵照 CIM 标准封装为服务，实现一种面向服务的运算架构<sup>[27]</sup>。电网运算服务的逻辑架构如图 5.1 所示。

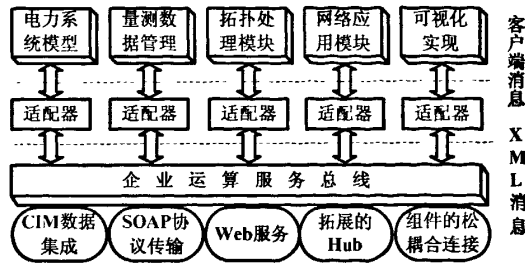


图 5.1 总线运算服务架构

### 5.1.2 运算架构的 CIM 应用

企业运算服务的开放式体系下 CIM 模型本质上就是一种对电力设备、电力量测数据等信息的本体定义<sup>[26]</sup>。如图 5.2 的层次结构所示，当运算服务总线组建新的模块应用时，从新的系统建设角度看，CIM 可以指导系统业务建模和数据建模，而对于总线原有功能模块的运算数据集成，CIM 也可以落地为消息规约，实现不同业务应用之间，同一业务部门内不同应用系统之间的模型、数据交换。目前存在的点对点应用集成与中央集线器联络服务方式都不可避免带来接口的复杂性，而 CIM 为基础的总线运算服务能屏蔽理解差异，实现异构运算应用之间的信息交换与通信。

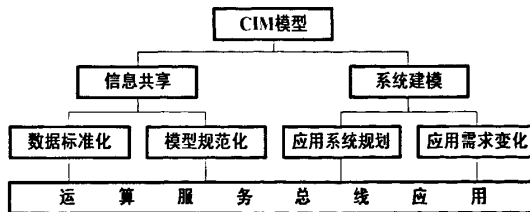


图 5.2 运算服务的 CIM 应用

### 5.1.3 总线与模块通信

由于电力企业部门间的应用系统大多情况下是异构的，而且 CIM 标准的业务与逻辑建模方式同样要求全局的运算服务总线方式具有跨平台、跨语言的通用性。基于信息运算架构的以上要求考虑，总线运算应用服务应采用网络服务技术。它是基于网络的、分布式和模块化的组件服务，其服务构建过程是应用集成的重要模式。

如图 5.3 所示，在网络服务方式的访问机制下，应用系统端写入特定的适配器将自身封装，而适配器将提供与 ESB 总线通信的接口。采用 ESB 方式的信息架构，各个异构应用系统都看成总线上的组件模块。当组件挂接到 ESB 系统总线时，组件可以通过总线上事件的注册来修改全局信息，如某一组件内部运算数据发生变化时，它可以发送 XML 变化消息到总线服务代理中，ESB 总线服务代理接收服务请求后，对该运算数据修改事件进行注册处理，并检查哪些组件使用相关数据，然后总线会将变化消息分派到使用这些特定数据的组件，最后组件通过模块适配器将消息转换成变化数据保存到各自的数据库当中，实现运算数据同步。同步过程中模块适配器的内部结构屏蔽应用差异，消息转换机制实现共享信息的交互处理。

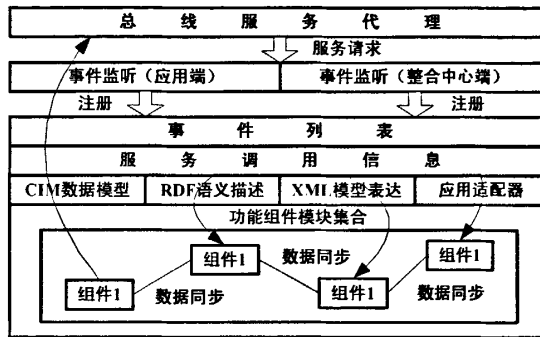


图 5.3 功能组件的数据同步

## 5.2 总线上的功能模块

### 5.2.1 电力系统模型模块

电力系统模型模块作用是管理电网模型，电网模型主要分为四个状态：历史态，实时态，规划态和研究态，其中历史态是一个过去的模型，实时态是当前电网运行的模型，规划态是增加已经批准但是没有投运的电网模型，研究态是增加一些研究的电网模型。图 5.4 是电网模型的管理流程。

电网模型用符合 CIM/XML 格式的文件进行表达，首先我们要确定一种描述 CIM 规范的数据格式，该 CIM 规范不仅要适应实时系统的模型，还要适应运方等规划部门的模型。采用 RDF Schema 方式的通用格式机制，可以较好地完成 CIM 模型的抽象 UML 转换。当 CIM RDF Schema 确定下来后，EMS 系统导出

的电网模型就可以转化输出为一个 XML 文档，即 CIM/XML 文件，并通过一定的融合机制将这些 CIM/XML 文件进行整合并根据版本特征存入模型库中。一旦电网模型的某个状态，如实时态模型发生变化时，电力系统模型模块会通过自身适配器的消息转换机制，将数据变化的情况变成 SOAP 协议的 XML 消息，并在运算总线上进行传递，使得其他功能模块作相应的同步响应。

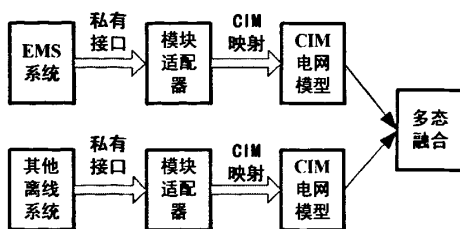


图 5.4 电网模型的管理模式

### 5.2.2 量测数据管理模块

量测数据管理模块是维护与电网模型所对应量测数据的功能模块。与现有的电网模型对应，量测数据分成四个状态：历史态、现时态、规划态和研究态。历史态记录与历史态模型所对应的历史数据。实时态用来记录与电网实时模型相对应的实时数据。规划态和研究态的量测数据主要是一些出力和负荷调整的数据。负荷的数据一般来自于负荷预测，而出力的数据一般要靠手工去维护。在总线运算应用服务架构中，量测数据管理模块从 EMS 中获取变化的量测数据并保存下来，而量测数据的变化信息由总线的消息通信实现。

### 5.2.3 拓扑处理模块

拓扑处理模块主要用来进行拓扑运算，将开关/节点模型转换为母线/支路模型，以供网络应用模块来进行计算。一般来说，规划态和研究态的模型是基于母线/支路模型的，而历史态和实时态的模型是基于开关/节点模型的。那么在拓扑处理模块中不仅需要将开关/节点模型转换为母线/支路模型，还需要将母线/支路模型对应某个开关/节点的历史模型来进行反向转换，转换与反向转换是为了实现不同模型基础上的网络应用模块运算服务。在转换后母线/支路模型中，考虑到闭合的闸刀和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，开关类元件将被

略去，只保留非零阻抗的电气元件。

#### 5.2.4 网络应用模块

网络应用模块，网络应用模块是基于母线/支路模型来进行计算的模块，典型的有潮流计算、状态估计、负荷预测等等。目前国内已经进行了几次有关 CIM 模型的互操作实验<sup>[22-25]</sup>，在 EMS 系统外部增加符合 CIM 标准的应用程序接口，利用 XML 文档作为网络应用的中间文件，在潮流计算或状态估计等过程中，XML 文档既作为自定义数据存储文件的目标输出文件，也作为潮流计算和状态估计的数据源文件。同时，对于该模块，也可以使用现有的计算软件，如 PSS/E、BPA、PSASP 等，设计特定的模块适配器并封装形成网络应用服务。

#### 5.2.5 可视化实现模块

可视化实现模块是将电力系统运行状态进行形象显示从而达到便利监控效果的功能模块。在企业运算服务总线的信息架构中，可视化实现模块处理的图形数据来自不同异构平台的应用系统，对于 SVG 文件数据描述的统一，可以利用 RDF Schema 的 XML 文件元数据定义规则，由于 SVG 本身也是一种基于 XML 标准的格式文件，因此在 RDF Schema 的数据映射模式下，可以将 SVG 文件中的数据描述转换到符合 CIM 标准的命名规则和关联关系，当 SVG 文件数据发生变化时，通过运算服务总线上挂接适配器的消息转换机制，使其他 SVG 应用进行相应的刷新操作。这种 SVG 的 CIM 应用使得异构图形系统之间也具备交互的通信方式。

### 5.3 某电网公司运算服务应用

#### 5.3.1 总线部署的运算数据集成

数据集成是将不同来源与格式的数据逻辑上或物理上进行集成的过程，过去该公司不同系统中的电网运算信息没有集中存储，因而不同数据源之间的信息很难相互对应和匹配，部分系统短期内难以提供直接的访问接口，例如调度自动化系统中的历史数据和实时数据，很多业务系统都想使用，但是访问时存在一定的困难。通过运算数据集成，可以将这些数据抽取到 UIP(Utility Integration Bus)的统一数据库，进而可以封装成 SOA 服务，提供标准的访问接口应用。

从该公司的信息应用布局分析, 运算数据源按照格式主要分为: 1) CIM/XML 文档文件, 如 EMS 系统导出的电网模型。2) 数据文本文件, 如 EMS 系统导出的实时断面文件。3) 运方和调度使用的数据, 如调度 DMIS 系统中的历史相关生产数据。4) SAP(Systems Applications and Products) 系统, 如资产财务、营销管理等相关数据。5) 发布在企业运算服务总线上的服务, 例如调度自动化系统可能将模型和数据访问封装成服务。

运算数据集成的主要处理流程如图 5.5 所示。首先根据数据应用(如辅助决策以及规划应用)的需求, 分析需要集成的数据, 并确定数据来源, 该来源可能是某业务系统, 也可能是发布在企业运算服务总线上的某个服务; 然后设计集成数据的模式, 并确定数据从源系统到数据仓库的抽取、清洗、转换逻辑, 例如在实现设备的统一编码之前我们需要处理设备的编码转换; 之后定制数据抽取、转换和导入过程, 将数据从各业务系统集成到数据仓库。集成到数据仓库中的数据, 一方面供辅助决策使用, 另一方面通过企业运算服务总线等方式发布出来, 供其他应用使用。

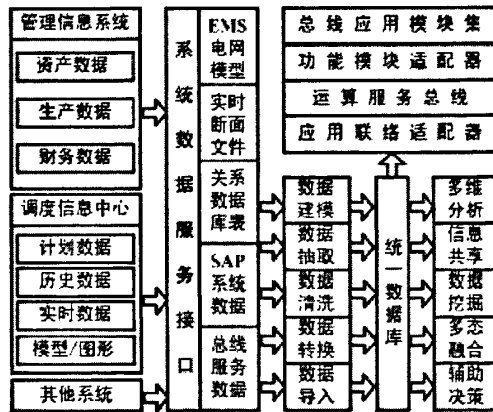


图 5.5 总线运算数据集成设计

### 5.3.2 总线运算通信应用

目前该电网公司搭建完成基于 IBM WebSphere Message Broker(WMB)产品的企业运算服务总线, 相对于 BEA 公司的 AquaLogic Service Bus, 根据第三方机构性能评测显示, 在轻负荷时两者性能相差不大, 但是在并发用户数增加的情况下, IBM WebSphere Message Broker 的处理能力更强, 而对比 SAP 公司的产品 NetWeaver, WMB 则在通信性能和支持异构系统集成方面更胜一筹。作为企业

异构应用消息通信体系的主要联络，IBM WMB 的功能主要有接收并发路由消息、转换消息格式、给服务订阅者发布消息、访问外部数据库处理增量消息或存储消息、事件应答和错误处理机制。

如图 5.6 所示，目前组建的 WMB 结构由两部分组成，一是服务消息代理的开发环境，它是基于 Eclipse 开发环境，开发人员或维护管理人员可以利用它进行代理应用程序开发和代理部署、管理；二是服务代理域，代理域里面有两个关键部件，配置管理器和消息处理器，对消息处理器的管理和维护工作都是通过配置管理器完成的，而消息处理器则是总线消息处理的核心单元,它主要包括路由配置、格式转换、异构匹配等功能部件。

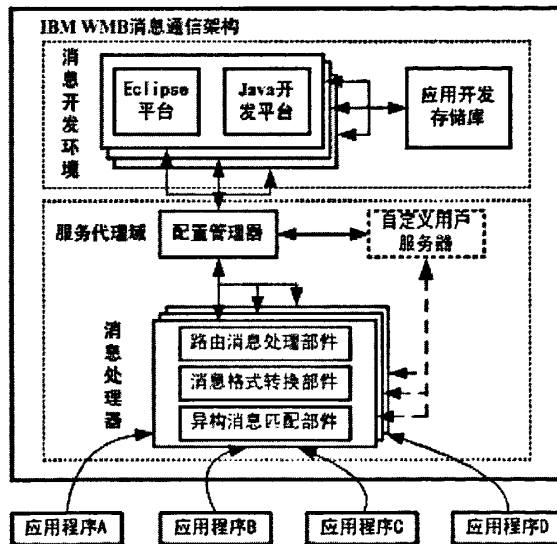


图 5.6 IBM WMB 消息通信结构

如图 5.7 所示，当完成作为应用消息通信联络的企业运算服务总线组建后，各模块的应用程序依据 IEC 61968 标准定义特定状态的事件信息，通过运算服务总线实现与其他应用程序之间的通信，例如总线上的 PSS/E 计算应用服务，该应用程序作为网络应用模块的一种高级应用，它首先经运算服务总线从模型模块中获取计算的必要信息，如母线/支路模型等等，根据这些信息进行 CIM 标准的数据与 PSS/E 私有数据进行转换，最后将计算结果再转换成量测数据进行保存。在规划场景需求应用的过程中，转换后的量测数据以断面文件的形式存储，而规划应用是基于某个断面开展的，那么可以认为某个断面就是一个 CIM 全模型，在此基础上增加一系列增量文件，通过增量文件和全模型的合并，来获得某个断面



上的规划态。

CIM 模型转换 PSS/E 文件的过程主要是将 CIM 中的母线/支路模型转换成开关/节点模型，然后将量测文件中的数据挂接到相应的各个设备中去，它包括以下几方面：

1)转换标识符。在规划计算应用中标识符的转换保留当前规划结果，例如预设的母线号，这不同于运行中的母线名。规划和运行实体（不同时间段中相同的实时对象）之间的关系需要表示。

2)转换运行设备到规划设备。这需要映射两个模型间的设备(设备到设备)，这个映射将不只是简单的一对一映射。不同类型的运行实体将映射到同一个规划实体，例如串联电容器和电抗器同样映射到支路部件。

3)等值负荷模型的转换。运行和规划模型可能在不同的层次上表示电网模型，当转换一个运行模型到规划模型时，方法是用一个等值负荷来表示。

4)转换网络状态。规划应用中增量模型的获取，这需要运行模型提供规划网络的一些必须值，如量测数据和设备参数。

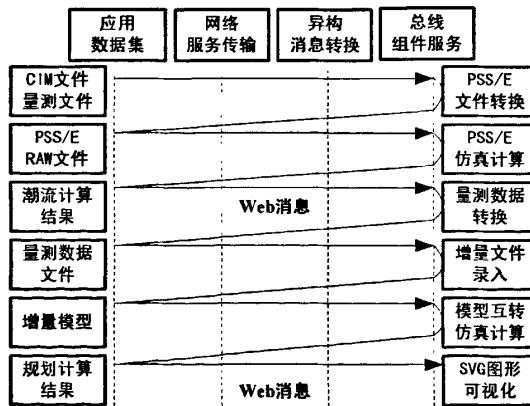


图 5.7 基于 CIM 的 PSS/E 规划运算

## 第六章 CIM 规范的数据通信与地理信息展示

地理信息可视化是电网运行状态监控和辅助决策的重要组成部分,作为一种电网可视化系统的环境实现平台,ARC/INFO 是美国环境系统研究所开发的典型地理信息系统软件<sup>[32-33]</sup>,该软件以数字形式来管理、分析和显示空间数据。然而现有的地理信息软件平台缺乏组织型的复杂数据存储单元,只能依赖离线的关系数据库,如 Oracle、EPS2003、SQL Server 等作为电网地理信息的数据载体<sup>[34-35]</sup>。离线的管理方式应对大规模的电网改造时,应用系统的维护人员需耗费大量的编辑工作来实现可视化应用和实际电网结构相匹配,而且孤立的系统维护和监控,难以满足电网的组织结构变化和运行状态的时效性要求。

本章研究基于电网模型的地理信息可视化实现方法,应用综合数据平台的模型接口程序导出 CIM/XML 电网模型<sup>[36-38]</sup>,其中电网模型包含的设备参数和量测数据是 EMS 系统、运行方式处和继电保护处三方的融合信息。在形成电网模型文件的基础上,该方法通过 DOM 文档解析和地理信息数据的导入程序执行,定义电力系统关联类来表达电网的实际属性并设计 ODE 接口(Open Development Environment)的外部操作环境,实现电网拓扑关系的创建以及一系列图形特征的绘制与显示。CIM 规范的电网模型实现运行状态显示使可视化系统与其他接口应用具备交互通信的数据载体,从而有效地衔接到电力企业的信息服务体系。

### 6.1 总体设计

从模型文件到地理信息可视化的实现,要解决大量的地理信息数据如何避免手动录入 ARC/INFO 数据管理系统的问题,如图 6.1 设计流程所示,这里采用编写语言开发程序从预定义的数据关联类导入信息数据库的方法,即相关 C++ 程序定义各种电力系统涉及的关联类,如线路类(Line)、变压器类(Transformer)、断路器类(Breaker)来表征实际电网中的设备元件,而与这些类数据成员相关的数组则存储经过解析的 CIM/XML 模型文件电网地理信息。在 XML 文件解析过程中,地理信息形成 DOM 树的数据组织结构并以树节点为最小提取单元将参数保存到预定义数组。此后 ODE 接口的外部操作环境完成参数从数组到 INFO 数据管理系统的传递,并形成图形显示的底层数据模型。数据模型是由 Coverage、GRID、属性表、TIN、影像和 CAD 图像来实现空间信息的表达和管理,而 ARCPLOT

单元实现交互式制图和绘图，ARCEDIT 模块则处理图形和数据管理系统的编辑工作，两模块包含绘制与编辑图形的各种命令，由此协助 ARC/INFO 执行程序最终利用 INFO 数据管理系统的地理信息进行电网拓扑创建和具体图形显示。

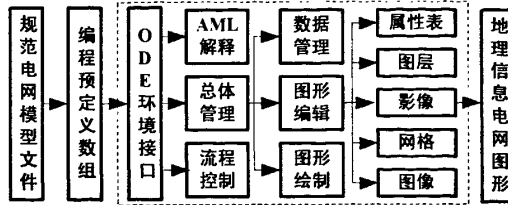


图 6.1 电网图形显示实现流程

## 6.2 电网信息的导入

### 6.2.1 元件关联类的定义

应用CIM/XML电网模型的地理图形显示过程中，电力系统中每一种实际设备都要对应一个电气元件类，包括母线、输电线、变压器、断路器、发电机、负荷等等，而这些元件类直接或间接继承自一个基类，其中变压器的类层次结构如图6.2所示。

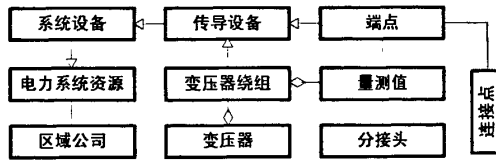


图 6.2 CIM 中的变压器类层次

在变压器类层次结构中，传导设备和系统设备是继承关系，图元的公有属性和方法定义在基类系统设备中，从基类中派生出的子类传导设备则定义私有的属性和方法，而量测类与变压器绕组类则是聚合的关系，聚合表明类之间一种整体与局部的联系，即量测值类是构成变压器绕组类的其中一部分，最后层次关系图中直线是一种简单关联，表明类之间存在某种概念上的数值联系。利用面向对象技术，所有元件类封装自身的属性和方法。其中属性包括描述图形信息的绘图属性和表示设备物理参数的物理属性，它的表达由编程语言环境中的数据成员确定；方法则分为实现图形绘制编辑的绘图方法和实现设备操作的物理方法，其定义方式由类成员函数实现。

### 6.2.2 设备的地理信息存储

考虑到标准的 CIM/XML 电网模型不包含地理信息, 本文将目前的电网模型加以扩展<sup>[39]</sup>, 形成一个独立存储电气元件地理坐标信息的 XML 文档文件, 坐标信息由综合数据平台维护静态参数的 ORACLE 数据库提供, 具体做法是对 CIM 模型规则下定义的设备类和设备容器类添加六个表示电力设备地理位置的公有属性, 即经度、纬度、起始点经度、起始点纬度、终点经度、终点纬度, 其中经纬度属性适用于单体设备, 而起始点和终点经纬度属性适用于两端子设备。添加的地理位置属性基本涵盖主要的电力系统元件类, 即包括发电机、变压器、线路、杆塔等等。如图 6.3 所示, 扩展后标记电力设备地理坐标属性单独以 XML 文档的形式保存, 在应用程序执行前期通过文档解析加以提取并作为编程语言环境中预定义数组的坐标数据。

```
<cim:Ganta rdf:ID="ganta_3">
  <cim:Naming.description> </cim:Naming.description>
  <cim:Naming.name> </cim:Naming.name>
  <cim:Naming.aliasname> </cim:Naming.aliasname>
  <cim:Ganta.GANTAID>71</cim:Ganta.GANTAID>
  <cim:Ganta.GTHORI>35.937</cim:Ganta.GTHORI>
  <cim:Ganta.GTLONG>114.299</cim:Ganta.GTLONG>
  <cim:Ganta.WEIHUDANWEI>安阳</cim:Ganta.WEIHUDANWEI>
  <cim:Ganta.FK_ACLINESEGMENT rdf:resource="ln_1丰涇线"/>
</cim:Ganta>
```

图 6.3 地理信息文档片段

### 6.2.3 电网模型的加载与解析

电网模型结构根据目前的 CIM 导出规则创建<sup>[40-42]</sup>, 而模型文件和地理信息文档的生成均使用 DOM 方法, 即首先创建 DOM 文档对象并调用该对象的 Load 方法加载一个本地文件, 然后构造文档内容字符串, 对文件注入 XML 内容, 最后调用 Save 方法保存文件。表 6.1 是该方法下接口程序导出区域电网模型文件的指标参数, 其中文件 1 为历史态模型, 文件 2 为实时态模型, 文件 3 为规划态模型。

表 6.1 模型导出参数表

参 数 类 型	区域数	节点数	记录数	耗时
模型文件1	18	376541	523426	37.7s
模型文件2	18	379635	531354	39.2s
模型文件3	18	381347	538670	40.1s

电网模型创建完成后可以对模型文件进行解析操作,提取特定的电网地理信息。目前解析XML文件有SAX和DOM方法,SAX方法利用回调和事件触发机制,返回应用程序需要的局部信息,该方法解析效率高,占用内存少,但由于返回的文件信息没有适应性的数据结构,不利于元件类在后续应用中的关系表示。而DOM方法解析时直接形成文档树,树节点为信息最小存储单元,树节点之间有明显的类层次关系,如父子节点中的继承关系,因此利用DOM树的层次结构,采取顺序递归的方法完成模型文件的信息抽取。解析模型文件的过程中程序以树节点元素的名称为搜寻标记,首先搜寻第一个树节点,该节点被定义为1级节点,节点数设为M1,在1级节点的基础上寻找它的子类节点,即2级节点,节点个数设为M2,依次递推,文档树末级节点数则为MN。每次搜寻都往下一级节点,忽略当前所在级别节点的节点查找,直到搜寻路径结束后返回初始搜寻节点开始路径搜寻。由于顺序递归是单纯的纵向查找而忽略横向的搜寻,因而循环次数是搜寻路径的数量MN而不是所有节点数之和( $M1+M2+\dots+MN$ ),查找效率有显著提高。

## 6.3 可视化元素的生成

### 6.3.1 ODE 接口命令传递

应用ARC/INFO的地理图形显示工具执行命令与功能传递,目前有两种不同的实现方法。一是它利用自身的AML语言开发环境,用户编制自己的菜单和程序,但AML语言在处理一些复杂的线程控制,如循环、条件嵌套是解释执行的,因而命令传递的执行延时长且效率低,对外部应用的可控制性差;相反,ODE接口是编译执行的,程序的流程和控制不再由AML解释器来控制,而是把AML命令映射到ARC/INFO的运行库上,仅在需要时才会调入AML解释器的部分模块。在编程语言环境中利用ODE接口可调用ARC/INFO后台的所有命令和功能,而实际系统运行也表明ODE方式替代AML语言的全局信息可视化时间由约12s减少至5s左右。

### 6.3.2 拓扑关系的建立

在ARC/INFO中可用CLEAN或BUILD执行命令建立图元特征的拓扑结构自动生成和修改。具体过程是在拓扑建立前通过ODE接口传递COORDINATE

命令, 根据预定义数组的坐标信息定位拓扑连接点位置, 在保证弧段标识码与多边形标识码都唯一的前提下, 调用 CLEAN 或 BUILD 命令创建连接点间的弧段或多边形拓扑结构。

CLEAN 和 BUILD 命令在定义特征拓扑关系和生成特征属性表时在某些功能上是有区别的<sup>[43-44]</sup>。建立点特征拓扑关系选用 BUILD 命令时带 POINT 参数, 建立线拓扑关系时, 覆盖层中的弧段无交叉选用 BUILD 命令带 LINE 参数, 弧段有重叠或不清楚时选用 CLEAN 命令, 而建立多边形拓扑关系时, 覆盖层中的无重叠弧段则选用 BUILD 命令带 POLY 参数。CLEAN 命令可以生成并更新点、线拓扑关系, 而在 BUILD 命令带 LINE 参数的情况下则无法完成更新操作。鉴于 CLEAN 和 BUILD 命令两者的区别, 在拓扑关系建立过程中, 必须根据特定情况来应用这两种命令, 使得拓扑关系与实际电网地理信息完全一致。下图 6.4 是某供电区域根据厂站和输电线路地理信息位置绘制的电网拓扑图。

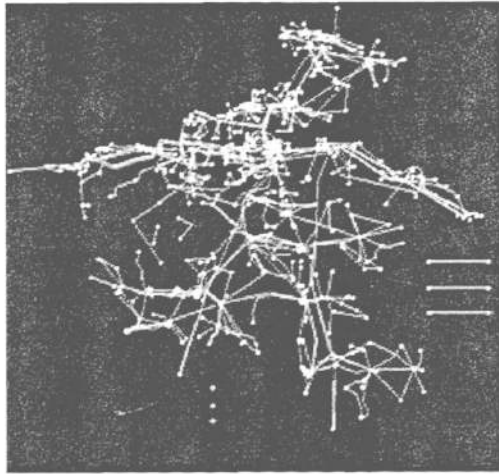


图 6.4 电网地理信息拓扑图

### 6.3.3 电网图形元素的显示

在 ARC/INFO 的图形显示功能中, 元件类属性都主要由简单的点、线、面特征表征, 而把这些点、线、面特征按主题信息组织成的一个集合被称为图层。每个图层都是通过一个内部序号与相应的属性数据相连接, 这些属性数据由一个关系数据库管理系统来进行管理和维护, 由此实现图形元素和空间数据的双向连接和查询。

完成拓扑关系的创建和电网信息导入后, 就可以进行图形元素的生成工作。

对于点和线电网图形元素，目前 ARC/INFO 中所提供的绘图编辑手段，可以用包含精确地理位置信息的背景地图为基础来绘制所需要的电网图。但是由于 ARC/INFO 所提供的绘制线路的手段是以编辑界面下手工绘图为基础的，所以在用程序自动生成一条线路时不能按照其原有的绘制方法（从一个端点开始一直画到另外一个端点结束）来完成，而且再考虑到 ARC/INFO 中对于 node 点与 vertex 点的概念区别和线路两端必须是 node 点的约束条件，因此点和线的电网图形元素绘制首先需要完成两个端点的定位，即确定出两个 node 点（也就是线路的首尾厂站）。端点确定后生成两端点直接连接的一条直线，再对直线进行调整，将线路上各个坐标的经纬度信息以 vertex 点的形式融合到已经生成的直线中去，得到所希望的一条具有精确定位信息的输电线路。而对于多边形和面特征图形元素来说，它主要表示电力网分布的行政区域或者供电区域。这些电网图形元素的空间数据与属性数据一般不经常更新或维护，因而其信息可以不依靠 XML 文件承载来导入到数据管理系统之中，而是直接将它们多边形程序自动生成的 Region 标识码和弧段标识号序列分别存储在 Region 属性表和弧段属性表中。当电网多边形和面特征图形元素信息获取后，直接用数字化的方法来表示电网的区域分布。

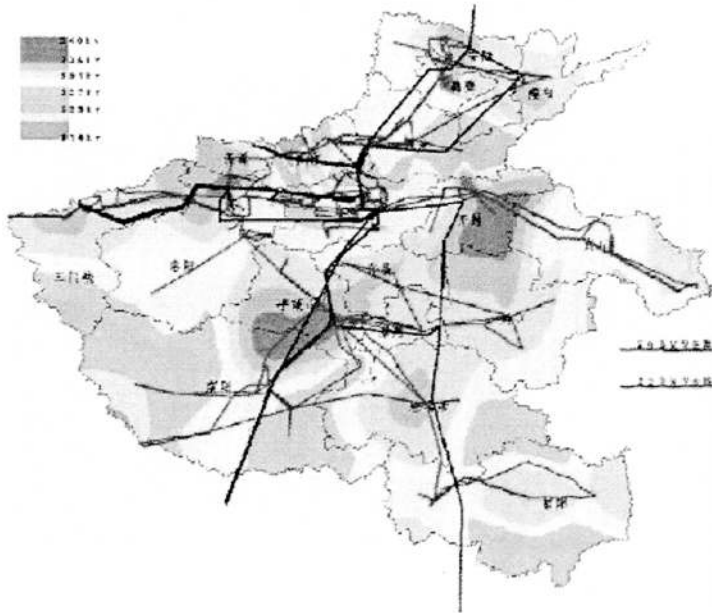


图 6.5 区域电压分布展示图

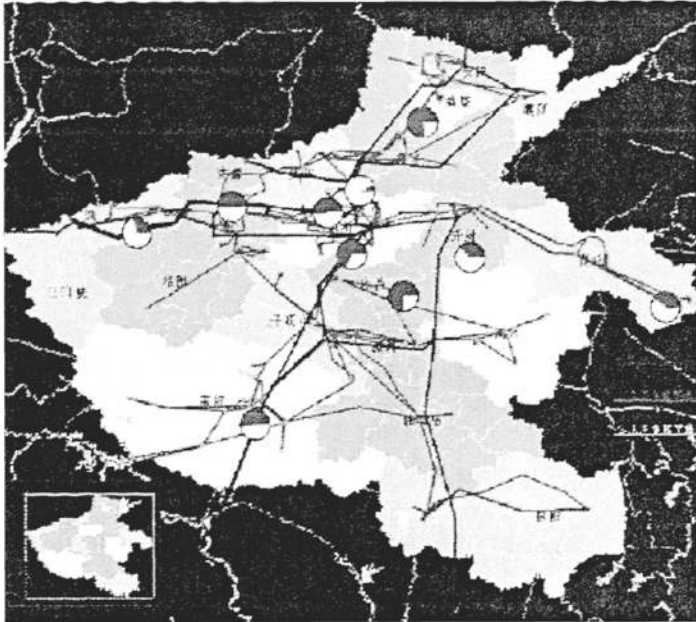


图 6.6 断面稳定极限状态图

按以上处理方法的同时结合综合数据平台的实时接口，与实际电网相关的点、线、面特征的图元元素都能够呈现出来，图 6.5、图 6.6 分别是电网运行过程中厂站的区域电压分布展示图和断面稳定极限状态图的实时效果。其中断面稳定极限状态图中饼状图形的红色部分显示当前运行断面的输送量占极限值的百分比，白色部分代表当前监视断面运行的稳定裕量。



## 第七章 小结与展望

通过综合能源与通信架构中标准的分析研究,确定智能化网络具备的功能及其相关运作,即架构建筑重要而必须的需求分析。这一步需要完成的工作是对全局系统的功能设置小组或分类,从而使得研究达到各分类功能需求的可行手段,这里的探索因素包括功能选择和重要的标准应用。

通信体系架构的特定需求确定之后,可以在全局的通信环境中的一部分内进行相关的标准应用,例如本文第三章所描述的企业服务总线与功能模块相结合的运算服务框架就是目前电力企业信息化异构融合的可行解决方案,这一方案在 ESB 原理和网络服务技术的基础上通过消息转换、事件注册和服务请求的业务逻辑方式集成各类嵌入式运算应用,从而打破企业内各业务部门之间应用系统联系相对封闭的状态。

而对于智能电网中建立变电站信息平台的概念,本文借鉴 IEC61970 的基本思路,首先规划变电站内数据流、数据存储、数据应用以面向间隔的信息采集和面向全站的信息应用两方面为主,然后建立公共信息平台的同时实现变电站智能化的三类应用,最后细化形成变电站信息流实现方案。除了站内的信息规划应用,变电站与调度中心之间的数据共享也是通信体系建设关注的焦点,一般而言 IEC61970 CIM 用于支持电力系统模型在控制中心间的交换,也用于控制中心内应用间信息交换,而 IEC61968 CIM 用于配网管理等系统的集成。IEC61850 SCL(变电站配置描述语言)通过逻辑节点描述智能电子设备,同时给出变电站一次设备和逻辑节点的连接关系,是变电站自动化应用领域较为完整的信息模型。IEC61850 在变电站一次设备定义方面与 IEC61970 部分有较好的对应关系,但更侧重于通信系统的描述。

本文第六章研究基于 CIM 规范的电网模型地理信息可视化实现,以独立的 XML 文档形式保存设备地理信息,当实际电网构造和布局发生变化时,利用综合数据平台的接口导出或其他方式修改文档信息,从而减少系统维护工作量并准确反映电网运行的状态变化。在系统实际应用中测试表明,该方法采用 ODE 方式而摒弃 AML 宏命令语言显著提高函数的调用和执行效率,从而有效缩短程序运行周期和刷新时间。另外,应用 DOM 方式解析模型文件可以得到较完备的数

据结构，有利于系统的后续扩展。

面向智能电网的通信体系标准应用未来应着眼于研究 IEC61850 模型和 IEC61970 模型到统一公共信息模型的映射处理规则，以及在统一公共信息模型和映射规则的基础上构建电力系统模型及应用系统的方式。然而，就目前的已经建立的映射规范和接口设计而言，仍未足以完整覆盖智能电网要求的所有实体对象，可能存在某部分关联类及其属性的缺失，如何弥补这一缺失并最终形成行之有效实践方案，是今后架构通信标准应用较具价值的研究方向。

## 参考文献

- [1] 柳明, 何光宇, 沈沉, 等. IEC61850 项目介绍. 电力系统自动化, 2006, 30(13): 99-104.
- [2] 谭文恕. 变电站通信网络和系统协议 IEC61850 介绍. 电网技术, 2001, 25(9): 8-12
- [3] 徐立子. 变电站自动化系统的分析和实践. 电网技术, 2000, 24(5): 24-29.
- [4] IEC61850-5 Communication network and systems in Substation Part 5-1 :  
Communication requirement for function and driver model, 1999.
- [5] 王勇, 何光宇, 梅生伟. 基于 IEC61850 的数字化变电站互操作试验. 电力自动化设备, 2009, 29(2): 136-139.
- [6] 窦晓波, 吴在军, 胡敏强, 等. 标准下合并单元的信息模型与映射实现[J]. 电网技术, 2006, 30(2): 80-86.
- [7] 黄益庄. 变电站综合自动化技术. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [8] 童晓阳, 王晓茹, 汤俊. 基于 IEC61850 的变电站智能电子设备的统一建模语言设计与改进[J]. 电网技术, 2006, 30(3): 85-88.
- [9] 辛耀中, 王永福, 任雁铭. 中国 IEC61850 研发及互操作试验情况综述, 电力系统自动化, 2007, 31(12): 1-6.
- [10] 罗四倍, 黄润长, 崔琪, 等. 基于 IEC61850 标准面向对象思想的 IED 建模. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 88-92.
- [11] 廖泽友, 孙莉, 贺岑, 等. IED 遵循 IEC61850 标准的数据建模. 电力系统保护与控制, 2006, 34(20): 40-43.
- [12] IEC61850 Communication Networks and Systems for Power Utility Automation-Part 7-410: Hydroelectric Power Plants-Communication for Monitoring and Controls.
- [13] IEC61850 Communication Networks and Systems for Power Utility Automation-Part 7-420: Basic Communication Structure-Distributed Energy Resources Logical Nodes.
- [14] 任雁铭, 秦立军, 杨奇逊. IEC61850 通信协议体系介绍和分析. 电力系统自动化, 2000, 24(8): 62-64.
- [15] 张慎明, 刘国定. IEC61970 标准系列介绍. 电力系统自动化, 2002, 26(14): 1-6.
- [16] IEC61970. Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 301: Common Information Model (CIM) base (Final Draft, October 2003), IEC TC57, USA, International Electrotechnical Commission (IEC).
- [17] IEC61970-401. Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 401: Component Interface Specification (CIS) Framework, 2005.
- [18] IEC61970-403. Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 403: Component Interface Specification (CIS) Generic Data Access, 2007.

- [19] IEC61970-404. Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 404: Component Interface Specification (CIS) High Speed Data Access, 2007.
- [20] IEC61970-405. Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 405: Component Interface Specification (CIS) Generic Eventing and Subscription, 2007.
- [21] IEC61970-407. Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 407: Component Interface Specification (CIS) Time Series Data Access, 2007.
- [22] 刘崇茹, 孙宏斌, 张伯明, 等. 公共信息模型拆分与合并应用研究. 电力系统自动化, 2003, 27 (15): 45-48.
- [23] 董越, 孙宏斌, 吴文传, 等. EMS 中公共信息模型的导入/导出技术. 电力系统自动化[J], 2002, 26 (2): 10-14.
- [24] 钱锋, 唐国庆, 顾全. 基于 CIM 标准的多级电网模型集成分析. 电网技术, 2007, 31(12): 69-73.
- [25] 潘毅, 周京阳, 等. 基于电力系统公共模型的互操作实验. 电网技术[J], 2003, 27(10): 31-35.
- [26] 潘凯岩, 寇强, 郑涛, 等. 基于公共信息模型的 EMS/DMS/DTS 一体化设计. 电网技术[J], 2004, 28(18): 62-65.
- [27] 李亚白, 郝文育, 王宁生, 等. SOA 中企业应用支撑环境的研究与实现. 应用科学学报, 2006, 24(4): 401-405.
- [28] 刘海涛, 赵江河, 苏剑. 基于 ESB 的配电网自动化及管理系统信息集成. 电力系统自动化, 2008, 32(16): 47-51.
- [29] 李晓东, 杨扬, 郭文彩. 基于企业服务总线的数据共享与交换平台. 计算机工程, 2006, 32(21): 217-219.
- [30] 王勇. Web 服务设计时系统的研究与实现. 计算机工程与应用, 2008, 44(1): 87-90.
- [31] 陆璐, 叶渝, 刘发贵. 网络控制系统 Web 服务器服务质量管理方案的研究. 计算机工程与应用, 2008, 44(2): 236-240.
- [32] 刘理峰, 孙才新. 选择地理信息系统平台的分析. 重庆大学学报, 2001, 24(3): 83-86.
- [33] 刘小生, 郭建平. 基于 ARC/INFO 的数字化技术研究. 铁路航测, 2003, 03(02): 13-14.
- [34] 李金莲, 刘晓玫, 贺巧宁. 基于 Geodatabase 模型的流域水文系统数据组织与实现. 测绘科学, 2005, 30(6): 115-118.
- [35] 裴亚波, 李广兰, 伦小伟. 面向 GIS 基础空间数据检查系统方案设计. 测绘通报, 2003, 10(21): 54-56.
- [36] 董越, 孙宏斌, 吴文传, 等. EMS 中公共信息模型的导入/导出技术. 电力系统自动

- 化, 2002, 26(2): 10-14.
- [37] 王林青, 顾建炜, 曹一家, 等. 基于 CIM/CIS 电力实时信息平台设计与实现. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(1): 46-51.
- [38] 董朝霞, 戴琦, 杨峰, 等. 基于 CIM 和 SVG 的电网建模技术. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(5): 58-61.
- [39] 刘念, 张建华, 熊浩, 等. 面向电力仿真系统异构性的 CIM 扩展方法. 电网技术, 2008, 32(21): 58-62.
- [40] 潘毅, 周京阳, 吴杏平, 等. 基于电力系统公共模型的互操作实验. 电网技术, 2003, 27(10): 31-35.
- [41] 潘凯岩, 寇强, 等. 基于公共模型的 EMS/DMS/DTS 一体化设计. 电网技术, 2004, 28(18): 62-65.
- [42] 张慎明, 卜凡强, 姚建国, 等. 遵循 IEC 61970 标准的实时数据库管理系统. 电力系统自动化, 2002, 26(24): 10-14.
- [43] 邓敏, 徐锐. GIS 面目标间空间关系的集成表达方法. 计算机工程与应用, 2009, 43(02): 39-43.
- [44] 樊红, 詹小国. ARC/INFO 应用与开发技术. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.
- [45] 谢善益, 高新华, 周伊琳, 等. IEC TC57 CIM 和 IEC61850 SCL 模型整合及 UCIM 构建. 电力系统自动化, 2009, 33 (17): 61-65.
- [46] 罗四倍, 黄润长, 崔琪, 等. 基于 IEC61850 标准面向对象思想的 IED 建模. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (17): 88-92.
- [47] Joe Hughes. The Integrated Energy and Communication Systems Architecture Volume 1: User Guidelines and Recommendations.
- [48] IEC61850 Communication Networks and Systems in Substations Part10-1: Conformance Testing(ACSI).
- [49] IEC61850 Communication Networks and Systems in Substations Part6: Configuration Description Language for Communication in Electrical Substations related to IEDs.
- [50] IEC61850 Communication Networks and Systems for Power Utility Automation Part7-420: Basic Communication Structure-for Substation and Feeder Equipment Compatible Logical Node Classes and Data Etasses.

## 攻读硕士学位期间发表学术论文

- [1] 苏炳洪, 李灿, 陈琰, 张春波, 王康元, 邱家驹. 基于 ESB 的模块化电网运算服务架构. 电力系统保护与控制, 2009, 20(11): 43-47.
- [2] 苏炳洪, 王虹富, 王康元, 邱家驹. 基于 MS.NET 的电网图形系统设计与改进. 华北电力技术, 2008, 12(11): 17-21.
- [3] 苏炳洪, 范斗, 王康元, 邱家驹. 基于电网模型的地理信息可视化实现. 机电工程, 2009, 17(8): 35-39.
- [4] 张春波, 陈琰, 王康元, 苏炳洪, 邱家驹. 基于 Google Earth 的电力系统 GIS 研究. 机电工程, 2009, 30(16): 63-66.

## 致 谢

两年半的研究生学习生活很快就要过去了，回想起这段美好时光，我不禁感怀颇多。在这段时间里，我得到了师长、学长和同学们的很多关心帮助。

衷心感谢导师邱家驹教授和王康元高工在我研究生学习阶段所给予的悉心指导和生活上的亲切关怀。邱老师在科研和教学领域里孜孜不倦、勤勤恳恳的作风，以及深厚的学术造诣、谦逊朴实的为人使我受益匪浅，让我终生难忘。王老师意气风发，在科研项目中披荆斩棘，引领我们深入其中，让我们在实践中学到很多知识，提高我们的科研、创新能力，同样令我们获益良多。再一次向两位老师致以衷心的感谢，祝两位老师身体健康、生活幸福。

真心感谢一起学习和生活的曹军师兄、王虹富、张春波、魏新颖、朱少华、罗明亮、黄宇保、张云晓、边巧燕、章美丹、屠竞哲、阎博等各位实验室兄弟姐妹，两年多来给了我很多精神鼓励和真挚关怀。非常感谢在生活上给予我很多帮助的罗明亮、毛航银两位寝室挚友。

更要感谢我的父母，一直以来，他们不畏酷暑严寒地辛勤劳动来支持我的学业，他们始终不渝的关怀和鼓励是我最大的精神支柱，让我在温暖和煦的环境中长大。从小到大，他们用自己的行动教我为人处事的方法，培养我顽强的意志、坚韧的毅力和优秀的品格。他们给我的教育，我将受用终生。谁言寸草心，报得三春晖，带着感恩的心回报父母无私的爱，是我一生的义务和荣耀。

感谢所有支持和帮助过我的朋友！

苏炳洪

2010年1月于求是园

# 面向智能电网的通信体系架构与标准应用研究

作者: [苏炳洪](#)  
学位授予单位: [浙江大学电气工程学院](#)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis\\_Y1686581.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1686581.aspx)