

配电网 CM 综合模型的构建与应用

朱见伟, 丁巧林, 杨宏, 王晶

(华北电力大学, 河北 保定 071003)

摘要: 根据配电网拓扑结构特点和各应用系统对配电网模型的要求,从计算分析和需求管理两方面出发,运用面向对象技术的 CM 模型对电力系统资源的通用描述,提出了建立配电网 CM 模型的三步建模方法,以完整描述配电网各设备属性和连接关系,从该模型可以得配网计算和设备管理维护所需的信息。最后建立了一个典型馈线系统的 CM 标准模型,基于此模型进行了线损计算。

关键词: 公共信息模型; 配电网; 面向对象; 馈线系统; 线损计算

中图分类号: TM73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897 (2006) 10-0060-04

0 引言

电力系统出于经济、安全等考虑,常常需要对多个系统模型进行交互操作,比如大电网联合仿真、配电网潮流计算等。而控制中心的不同应用功能是由不同厂家提供的,数据模式不尽一致,这给互操作带来了困难^[1]。为此,需要在各系统之间定义转换接口,如果没有一个通用转换接口, N 个应用所需要的接口转换程序数量为 $N * (N - 1) / 2$ 。

国际电工技术委员会制定的一个“即插即用”应用程序接口 (API) - - IEC61970,其核心部分是控制中心接口的公用信息模型 (CCAPI-CM)。CM^[2]描述了电力系统中的绝大多数对象实体,文献 [3] 对 CM 包作了详细介绍。CM/XML 为各种应用平台的交互提供了一个通用转换接口,逐渐成为电力系统模型转换和信息交互的公共语言。IEC61970 尚处于研究和完善阶段,目前,国外与国内分别进行了 5 次互操作实验^[4,5],CM 针对不同应用还需要做扩展与修改,文献 [6,7] 为建立配电网模型和电力设备故障诊断与维护对 CM 进行了扩展。

本文分析了传统的配电网建模方法及其优缺点。根据配网拓扑特点和应用系统对配网模型的要求,从计算分析和需求管理两方面出发,提出了配电网 CM 综合模型的三步构建方法,以完整描述配网各设备属性和连接关系,满足配网计算和设备管理所需的信息要求。本文最后建立了一个的典型馈线系统的 CM 标准模型,根据模型进行了配电网的理论线损计算应用。

1 配电网常用建模方法

配电网具有结构复杂、多分支、多联络、网络庞大且复杂等特点,其拓扑表示应有效且直观,好的拓扑表示应能实现网络连通性的快速跟踪、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多种功能的需求,同时还应节省存储空间。

目前国内外的拓扑表示方法有以下几种: 元件/开关/元件/节点关联表法^[8],该方法多用于电力系统的实时结线分析。这种方法不适用于配电网结构复杂庞大变化的特点。矩阵表示法及等长邻接表法^[9],它是以图论为基础,从配电网的结构特点出发,基于网基矩阵,基形变换,弧点变换和矩阵运算的方法。该方法运算复杂,不直观,需要较大的存储空间,当网络结构发生变化时,需要对整个网络进行搜索。目前一些国际著名的 DMS 产品中,也仍采用与输电网相同的网络数据库结构和建模方法,文献 [10] 分析了带来的一系列问题。为了解决这些问题,提出了面向对象的建模方法,面向对象表示法从现实物体的物理特性出发,对对象进行建模,直观且易于维护,如能恰当地运用面向对象的方法对配电网进行建模,则能克服关联表法和矩阵表示法的缺点。该方法如果没有依据一个统一标准,仍然会给多应用平台的互操作带来了接口瓶颈问题。

2 CM 面向对象的建模方法

CM 是一套规范化的、面向对象的抽象模型,通过采用对象类、对象属性以及相互之间的关系来描述电力系统资源。该规范使用统一建模语言

(UML)表达,将 CM 定义成各种包,每一个包包含一个或多个类图,用以表示该包中的所有类及它们的相互关系。然后根据类的属性及与其它类的关系,用约定的字符定义各资源。Resource Description Framework (RDF) 是 W3C 推荐的一种语言,用于表达元数据,很适用于图形化模型,因此被 CM 采用。CM RDF Schema 用来定义 CM 抽象对象(用 UML 描述)的元数据。XML 是一种标准化的可扩展标记语言,有成熟的解析方法(如 DOM)和解析工具。结合 CM - RDF Schema,能很好地描述符合 CM 的电网模型。

CM 模型在常用面向对象特性如封装性、继承性和多态性的基础上,还应用了对象组合、类结构递归等方法,既能直观地表达配电网,也能方便地用于配网计算。

3 配电网三步建模

本文提出了配电网 CM 综合模型的三步构建方法,使所建的 CM/XML 文档结构较为清晰:首先,对对象模型进行整体分析,理清整个网络的拓扑关系,以变电站(substation)为基本单元进行网络划分,建立拓扑框架。然后,对配网设备进行分类,提取必要参数,进行详细描述。设备有串联、并联之分。串联设备包括线路、变压器、开关等。线路又可分为架空线和地下电缆,有三相、两相、单相之分;变压器分为两圈变压器和三圈变压器,运行状态有三相平衡与不平衡之分;需要对每一相作描述。开关有两种状态,除了必要参数说明外还要描述其运行状态。并联设备包括负荷、发电机、电容器等。最后,用 CM 模型构建的设备容器(EquipmentContainer)把配网上的各种设备联接起来,形成以变电站为单元的整个配电网型。

3.1 拓扑建模

CM 拓扑包用于定义如何连接配电网各设备,设备连接关系通过“导电设备(ConductingEquipment)—终端(Terminal)—联结点(ConnectivityNode)的关联关系来表现。终端是设备的终点,一个设备可以有多个终端,联结点根据网络运行状态,把相关的终端无阻抗地连接在一起。

图 1 是一个 12 节点馈线模型,具体参数见文献 [11]。图 2 是 CM 的拓扑模型。

一个导电设备有多个终端,和其它设备的终端联结在一起,形成一个联结点,多个联结点类聚成一个设备容器类。这些类都继承了 Naming 类属性。

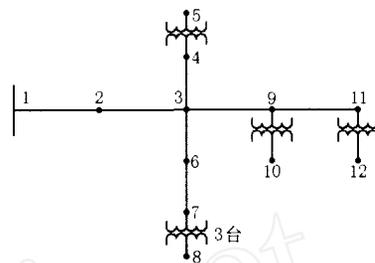


图 1 12 节点馈线模型

Fig 1 12 Node feeder model

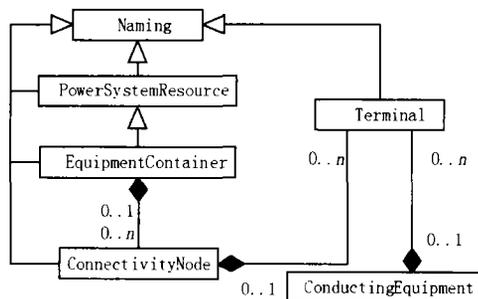


图 2 CM 拓扑模型

Fig 2 CM topological model

表 1 是馈电线 L1 - 2 根据上述模型建立的 CM/XML 文档。

表 1 L1 - 2 拓扑 CM/XML 文档

Tab 1 CM/XML document for L1 - 2's topology

```
< cim: ACLineSegment rdf: D = "101" /> // 线路编号定义
< cim: ConnectivityNode rdf: D = "301" /> // 联结点定义
< cim: Naming name > CN1 </ cim: Naming name >
</ cim: ConnectivityNode >
< cim: ConnectivityNode rdf: D = "302" />
< cim: Naming name > CN2 </ cim: Naming name >
</ cim: ConnectivityNode >
< cim: Terminal rdf: D = "401" /> // 馈电线终端定义
< cim: Naming name > Terminal_1_of_Line1 - 2 </ cim: Naming name >
< cim: Terminal ConductingEquipment rdf: Resource = "#101" />
< cim: Terminal ConnectivityNode rdf: Resource = "#301" />
</ cim: Terminal >
< cim: Terminal rdf: D = "402" />
< cim: Naming name > Terminal_2_of_Line1 - 2 </ cim: Naming name >
< cim: Terminal ConductingEquipment rdf: Resource = "#101" />
< cim: Terminal ConnectivityNode rdf: Resource = "#301" />
</ cim: Terminal >
```

3.2 设备建模

设备建模也就是对拓扑模型中的传导设备(ConductingEquipment)进行详细描述,含有配电网计算和设备管理所需的参数。一条三相交流馈电线的模型如图 3。

图 1 模型中的馈电线路 L1 - 2 是双回路形式,因此对 ACLineSegment 类扩展了一个属性 Loop-

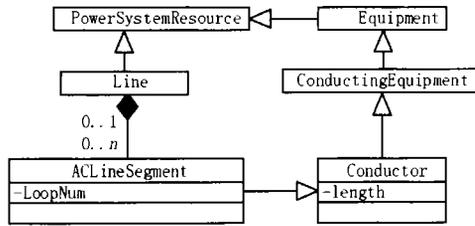


图 3 三相交流线模型

Fig 3 Three-phase AC line model

Num,用于描述馈电线的回路数。从根据线损计算的要求,对 PowerTransformer类也进行了扩展,根据线损计算要求,增加了一个 Purpose属性,以区分变压器是公开的还是专用的。表 2是上述模型的简化 CM/XML文档。

表 2 馈电线 L1-2和变压器 CM/XML文档

Tab 2 CM/XML documents for L1-2 and power transformer

线 L1 - 2模型

```
<cim: ACLineSegment rdf: D = "101" >
<cim: Conductor length>0.162 </cim: Conductor length >
<cim: Naming name>L1 - 2 </cim: Naming name >
<cim: LoopNum >2 </cim: LoopNum >
</cim: ACLineSegment >
```

变压器 S7 - 400模型

```
<cim: PowerTransformer rdf: D = "201" >
<cim: Naming name >S7 - 400 </cim: Naming name >
<cim: Purpose >public </cim: Purpose >
<cim: Equipment MemberOf_ EquipmentContainer rdf: Resource = "#10001" / >
</cim: PowerTransformer >
```

3.3 模型组装

为了描述配电网内所有设备对象之间的联系,采用设备容器模式 (Equipment Container Pattern)把所有设备联结起来,如图 4所示。

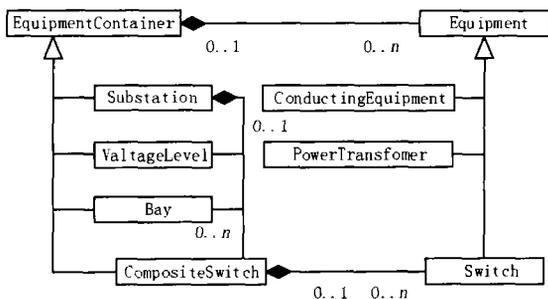


图 4 设备容器模型

Fig 4 Equipment container model

一个设备容器包含多个设备对象。可以是多个容器的集合,当然也可以自行扩展容器范围,以适应特定应用。表 3是馈电线 L1 - 2组装后的设备容器

模型 CM/XML文档。

表 3 馈电线 L1-2的设备容器 CM/XML文档

Tab 3 CM/XML document for L1-2 s equipment container mode

```
<cim: Substation rdf: D = "10000" >
<cim: Naming name >Substation1 </cim: Naming name >
</cim: Substation >
<cim: EquipmentContainer rdf: D = "10001" >
<cim: Naming name > EquipmentContainer - NO. 1 </cim: Naming name >
<cim: EquipmentContainer MemberOf_ Substation rdf: Resource = "#10000" / >
</cim: EquipmentContainer >
<cim: ACLineSegment rdf: D = "101" >
<cim: Conductor length >0.162 </cim: Conductor length >
<cim: Naming name >L1 - 2 </cim: Naming name >
<cim: LoopNum >2 </cim: LoopNum >
<cim: EquipmentContainer MemberOf_ EquipmentContainer rdf: Resource = "#10001" / >
</cim: ACLineSegment >
```

4 线损计算

CM模型利用设备容器模式描述配电网中各设备的关系,而馈线段模型基于设备容器模式的,它是设备容器类的子类。文献 [12]提出利用现场监控单元上传的三相实时数据,一种以馈线段而不是整条馈线为基本计算单元的三相实时线损计算方法。该方法利用变结构耗散网络理论,将馈线划分为馈线段,并基于馈线段对段内各个设备进行数学建模,在结合系统实时运行数据的基础上,不仅可以获得比旧有方法精确许多的线损计算结果,而且能计算出所有馈线段内各个设备的详细线损情况,使系统内的线损分布一目了然。显然,由设备容器模式描述的配电网模型,也能计算出所有馈线段内各个设备的详细线损情况。

我们对图 1一个典型馈线系统进行 CM建模。为简化模型,通过 DOM对该 CM/XML文档进行数据的抽取,根据文献 [13]提供的平均电流法,利用 JAVA语言进行编程,程序流程图如图 5所示。计算该馈线系统的理论线损情况,符合文献 [11]的计算结果。表明所建模型包括了线损计算所需要的所有参数,并且符合 XML文档格式。

5 结论

为了电力企业应用平台整合的需求,配网综合模型需要建立在公共信息模型标准的基础上,以支

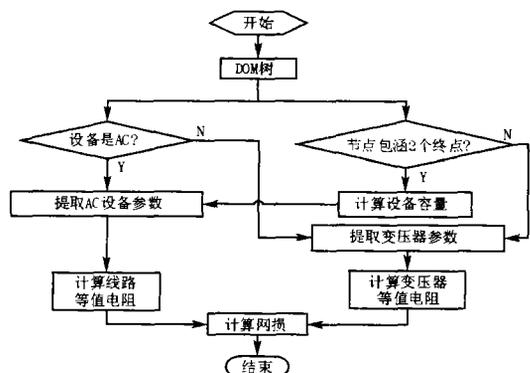


图5 线损计算程序

Fig 5 Program for line loss calculation

持大电网的互操作。本文根据配电网拓扑特点和应用系统对配电网模型的特殊要求,从计算分析和需求管理两方面出发,提出了配电网 CM 模型的三步构建模。结合自定义的 CM RDF Schema 模式规范(本文未作详细说明,具体见文献 [14]),可以对 CM 原型进行扩展,以适用于本文的线损计算。CM 模型还处于互操作实验阶段,为了能更普遍适用还需要对配网 CM 模型作更多的测试和修正。

参考文献:

- [1] 孙宏斌,吴文传,张伯明,等. IEC61970标准的扩展在调度控制中心集成化中的应用[J]. 电网技术, 2005, 29(16): 21-25.
SUN Hong-bin, WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming, et al Application of Extension of IEC61970 Standard in Control Center Integration[J]. Power System Technology, 2005, 29(16): 21-25.
- [2] Draft IEC61970 Series Standards, Energy Management System—Application Program Interface (EMS-API), Part 301, the Common Information Model, Draft 6[S].
- [3] 张慎明,刘国定. IEC61970标准系列简介[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(14): 1-6.
ZHANG Shen-ming, LIU Guo-ding Introduction of Standard IEC 61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(14): 1-6.
- [4] Khadem M. Progress Report on CM XML for Model Exchange Interoperability Tests[A]. Summer Meeting of the IEEE Power Engineering Society, Vancouver(Candana): 2001. 840-841.
- [5] 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): 31-35.
PAN Yi, ZHOU Jing-yang, WU Xing-ping, et al Interoperability Test Based on Common Information Model[J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 31-35.
- [6] WANG Xiao-feng, Schulz N N, Neumann S. CM Extensions to Electrical Distribution and CM XML for the IEEE Radial Test Feeders[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(3): 1021-1028.
- [7] Dong X H, Liu Y L, LoPinto F A, et al Information Model for Power Equipment Diagnosis and Maintenance[A]. Winter Meeting of the IEEE Power Engineering Society, New York: 2002. 10-14.
- [8] 于尔铿. 电力系统状态估计[M]. 北京:水利电力出版社, 1985.
YU Er-keng State Estimation of Power System[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1985.
- [9] 刘健. 变结构耗散网络配电网自动化新算法[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1999.
LIU Jian New Algorithm for Distribution Automation in Variable-structure Dissipation Network[M]. Beijing: China Water Power Press, 1999.
- [10] 陈竟成,张学松,等. 配电网建模与网络结线分析[J]. 电网技术, 1999, 23(5): 52-54.
CHEN Jing-cheng, ZHANG Xue-song, et al Distribution Network Modeling and Connectivity Analysis[J]. Power System Technology, 1999, 23(5): 52-54.
- [11] 方富淇. 配电网自动化[M]. 北京:中国电力出版社, 2002.
FANG Fu-qi Distribution Network Automation[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [12] 张锋,江道灼,黄民翔. 基于配电监测数据的 10kV 配网实时三相线损计算[J]. 继电器, 2003, 31(3): 15-19.
ZHANG Feng, JIANG Dao-zhuo, HUANG Min-xiang A Real-time Loss Calculation for 10 kV Distribution Based on Three-phase Distribution Monitored Data[J]. Relay, 2003, 31(3): 15-19.
- [13] 吴官安,倪保珊. 电力网线损[M]. 北京:中国电力出版社, 1996.
WU Guan-an, NI Bao-shan Power Network Line Loss[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.
- [14] Draft IEC61970 Series Standards, Energy Management System—Application Program Interface (EMS-API), Part 501, CM RDF Schema, Draft 2[S].

收稿日期: 2005-10-24; 修回日期: 2005-11-17

作者简介:

朱见伟 (1980-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力信息分析与处理; E-mail: 2000hiz@163.com

丁巧林 (1962-),女,副教授,主要研究方向为电力信息分析与处理。

(下转第 72 页 continued on page 72)

- ZHANG Jun-long, CHEN Yang-zhou, GAO Jun-xia, et al. State Estimation of Power System Based on the SHGM Method [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(1): 34-36
- [10] 宁永香,郝延锦. 误差理论与抗差估计 [J]. 煤炭技术, 2001, (1): 54-56
- N NG Yong-xiang, HAO Yan-jin. Error Theory and Robust Estimation[J]. Coal Technology, 2001, (1): 54-56
- [11] 周维虎, 费业泰, 丁叔丹. 最小二乘参数估计若干问题的讨论 [J]. 宇航计测技术, 1999, 19(3): 6-8
- ZHOU Wei-hu, FEI Ye-tai, D NG Shu-dan. Discussion on Some Least Square State Estimation Problems applica-

tion [J]. Aviation Methodology and Measurement Technology, 1999, 19(3): 6-8

收稿日期: 2005-11-03; 修回日期: 2005-12-02

作者简介:

郑健(1969-),男,工程师,从事电力系统自动化方面的研究; E-mail: wch0670@263.com

王承民(1970-),男,讲师,从事电力网络分析和电力市场方向的研究;

张强(1960-),男,工程师,从事电力系统自动化方面的研究。

Robust estimation application in state estimation of distribution system

ZHENG Jian¹, WANG Cheng-min¹, ZHANG Qiang², LIU Zhi-qiang³

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200230, China; 2. Henan Quality Supervise Institute, Zhengzhou 450000, China; 3. Liuan Power Supply Company, Liuan 237010, China)

Abstract: A robust state estimation algorithm is presented. The initial data is preprocessed at first, then the universal M-estimation is transferred to WLS (weighted least square) and the weight coefficients are related with the errors. The gross error is handled effectively, which will result in a great deviation from the true value because of the constant weight coefficients in the conventional WLS method. Application of the proposed method to a distribution network shows that this method can effectively decrease the gross error influence.

Key words: weighted least square; distribution network; state estimation

(上接第 63 页 continued from page 63)

Construction and application of electrical distribution CM model

ZHU Jian-wei, D NG Qiao lin, YANG Hong, WANG Jing

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: According to the characteristics of distribution networks and requirements of the application systems, based on both sides of computing analysis and equipment management, using the general description of almost all of the power system resources of the object-oriented CM model, this paper presents a method of three steps for the distribution networks modelling to illuminate the attributes of equipments and connectivity relations. Information of distribution computing and equipment management can be obtained from this model. And a power system standard model meeting the CM criteria is developed according to a typical feeder system. Based on this model, loss calculation is done.

Key words: common information model (CM); distribution network; object-oriented; feeder system; loss calculation

《继电器》杂志文摘编写要求

根据国际检索的要求,《继电器》杂志对投稿摘要的编写作以下修改说明:

1. 摘要应是一篇独立的短文,应包含与论文同等量的主要信息,主要由三部分组成,即:研究的问题、过程和方法、结果。
2. 摘要中应排除本学科领域已成为常识的内容,切忌把引言中出现的内容写入摘要,一般也不要对论文内容作诠释和评价,尤其是自我评价。
3. 摘要应用第三人称编写,不必使用“本文”“作者”等作主语。应尽量取消或减少背景信息。
4. 摘要应使用规范化的名词术语,不用非公知公用的符号和术语,新术语或尚无合适汉文术语的,可用原文或译出后加括号注明原文。
5. 摘要一般不用数学公式或化学结构式,不出现插图、表格,不用引文。缩略语、略称、代号首次出现时必须加以说明。
6. 中文摘要一般在 200~250 个字之间,英文一般 150 个单词左右,关键词一般应列出 5~8 个。