

# 基于 CM的电力设备维护管理系统模型

黄蕾<sup>1</sup>, 王康元<sup>1</sup>, 梁继勇<sup>2</sup>

(1. 浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 宁波市电业局, 浙江 宁波 315000)

摘要: 国际电工技术委员会的 IEC61968系列标准对电力系统的设备对象建立了基本模型。本文按照国内对设备维护管理系统的实际需求, 在标准的公共信息模型 CM基础上从设备的资产、量测、工作、文档这些方面进行建模, 针对该模型的优点提出了在电力信息领域建立公共信息平台的概念。

关键词: 公共信息模型; 设备维护; 管理; 面向对象建模

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)07-0050-05

## 0 引言

随着计算机技术越来越广泛地应用在电力系统中, 电力系统的自动化程度不断提高。随着电力 MIS进程的逐步推进, 需要一些数据挖掘软件对其信息进行深度加工和预测, 电力设备维护也需要在此基础上对设备面向对象建模。为了能向电力设备维护部门提供一个标准的机制来交换和维护设备信息, 国际电工技术委员会(IEC)负责电力系统控制及其通信相关标准的第57技术委员会(IEC TC57)制定的 IEC61968系列标准中对电力系统的设备对象建立了物理逻辑的基本模型, 基本上概括了对设备、设备的量测、设备的维护和管理过程的描述<sup>[1]</sup>。由于该标准定义的电力设备模型是基于国外电力系统的情况, 本文按照国内对设备维护和管理的情况, 对设备对象进行了细化, 对量测、文档等对象进行了补充, 统一组织、共享设备管理和维护的信息, 建立一个面向管理、诊断和维护的电力设备对象模型。

## 1 设备维护管理建模的总体架构

### 1.1 建模表示法

公共信息模型(CM)是 IEC61968系列标准定义的重要部分。它是一个抽象模型, 表示在一个电力实体企业中有关实体操作的所有主要对象。通过提供一种用对象类和属性及它们之间的关系来表示电力系统对象的标准方法, 基本上包含了所有与电力生产相关的类模型<sup>[2]</sup>。CM用面向对象的建模技术定义。具体地说, CM规范使用统一建模语言(UML)表达方法, 它将CM定义成一组包。每一个包包含一个或多个类图, 用图形方式表示该包中的所有类及它们的关系。然后根据类的属性及与其它

类的关系, 用文字形式定义各类。UML语言定义了九种图, 其静态建模机制由类图、对象图、包、构件图和配置图组成, 对动态模型描述主要由用例图、状态图、活动图、顺序图和合作图组成<sup>[3]</sup>。本文使用用例图(Use Case Diagram)来从用户角度对应用系统的功能需求进行分析; 使用类图(Class Diagram)来描述电力系统客观物理设备对象的静态建模, 其中主要包含三种静态关系: 一般化(Generalization)、聚集(Aggregation)和关联(Association); 使用 Rational公司的 Rose工具来维护CM的模型。

### 1.2 设备维护管理模型的架构

对设备的维护管理工作, 需要针对成千上万的不同设备, 进行分类管理; 对管理过程中产生的动态量测数据, 对记录数据信息的各种文档, 进行有效的模型化, 因此模型需要覆盖维护管理工作的全过程。设备维护管理模型由资产包、量测包、工作包和文档包组成, 如图1所示。其中资产包定义了设备对象的物理电气层面模型和资产价值层面模型, 电力系统中设备的分类、继承, 资产的价值, 归属等都在此包中模型化; 量测包定义了用于设备管理的试验数据和量测数据; 文档包定义了与实际存在的文档相关的文档模型; 工作包描述操作设备对象的工作过程, 其包含于文档包, 因为从工作的产生、实施到结束的过程中都用一类文档工作单贯穿始终。这四个包基本概括了维护管理工作中设备的相关信息。

电力设备的维护团体包括了维护人员、专家和设备制造商。设备管理的流程一般为: 当设备运行部门报告设备故障后, 检修专家获得测试数据来确定故障原因; 维护人员使用量测手段得到设备的更深层次的信息; 设备制造商和运行部门提供详细的设备制造和操作信息; 由维护人员管理和维护设备; 以上所有的工作最后均被记录到文档中作为历史积

累和原有设备更新信息。图 2通过 UML 中的用例图描述了上述的流程。

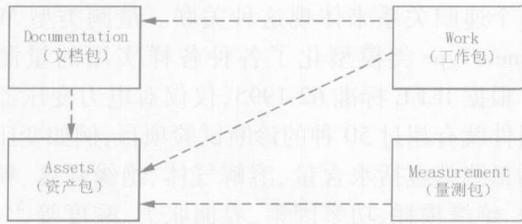


图 1 CM设备维护管理模型架构

Fig 1 Model of CM equipment diagnosis and management

## 2 设备对象的建模

根据以上模型框架和设备管理流程的描述,对设备对象的建模可以分为:对资产(物理设备)的描述。独立看待每种设备的健康状况和运行情况。

物理设备与量测量的联系。用以评估设备的健康状况和运行情况。文档的作用。对物理设备的各种工作都被记入文档,用于管理各种各样的标准和历史经验。

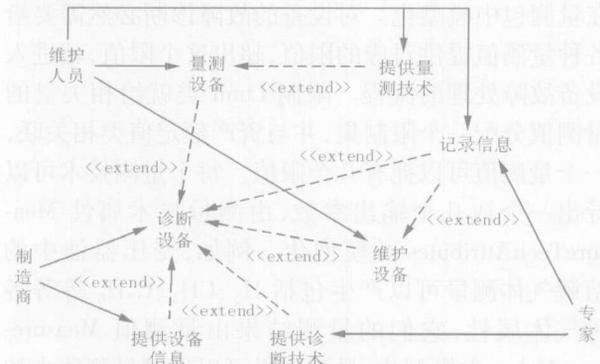


图 2 设备管理的用例图描述

Fig 2 Use case diagram description of equipment management

### 2.1 资产的模型

资产是电力企业的有形资源,包括电力系统设备、建筑物等等。由于资产具有一个复杂的生命周期,从购买、安装、维护、替换、维修、重装、折旧和退役会经过一个相对较长的时间,在不同的时间段中,资产从属于不同的组织,因此,对于设备的维护管理而言,资产所属的组织及组织角色都需要在资产定义中包含,如在生产期间,组织角色可以是生产厂家;而在建设期间,组织角色是建设厂家;在运行维护期间,组织角色是运行维护部门。对同一型号的资产来说,往往具有许多相同的属性,但是同一类型的资产往往由于不同型号的资产生产时的材质不同属性可能有所区别。如一般绝缘子和玻璃绝缘子在

属性上就存在差别。为了消除上万种设备大同小异的区别,可以采用纵坐标的方式来描述这些差异。即如果出现一个新设备型号具有一个新属性,则不必修改那种资产的属性,只是在资产模型中加入一种新资产模型,然后描述这种资产模型具有哪几个额定值、哪几种属性。为了描述资产模型所处的物理位置及大小,还需要建立设备的所在地区 Zone类和大小尺寸 Dimension类。这样,在资产的空间方面(物理位置关系)和时间方面(资产组织关系)上模型化了电力设备的资产。

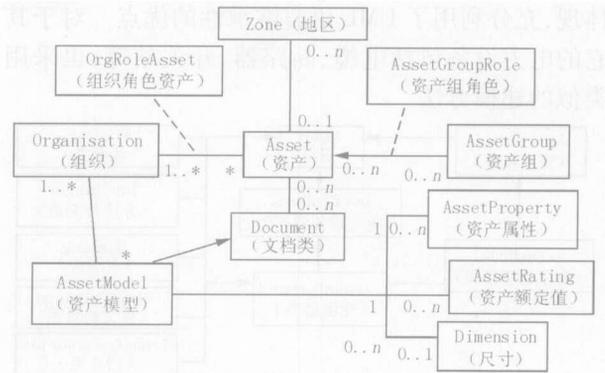


图 3 资产类的逻辑框图

Fig 3 Logical framework of asset class

电力系统中的资产总体上可以按照 CM中的点型资产和线型资产来分类,但 CM中并未对资产进行细化。为了国内电力系统维护与管理工作的便利,本文将资产重新细化如下。

1) 电气设备资产:指在电力系统中存在的点状资产,一次设备有变压器、避雷器、电抗器、开关、闸刀等,同时还有二次设备和三次设备。如在线路中存在绝缘子和电缆接头。

2) 导体资产:指在电力系统中存在的线状输送电能的资产。如电缆和架空线以及地线。

3) 建筑物资产:指在电力系统存在的可以支撑导体资产以及放置设备资产的建筑物。如变电站。

4) 建筑物支撑资产:指可以支撑资产的支撑物和支撑索。如杆塔基础和拉线金具。

5) 电缆沟组资产:指可以放置电缆的电缆沟、电缆井、电缆通道的总称。

6) 设备屏柜:指具有一定规范和体积的可以存放设备的柜子。

7) 工具:指进行一些试验和辅助用途的设备,如安全工器具,试验用的工器具。一般指那些不长期运行在某一个位置的资产。

所有细化的资产设备均是以资产 Asset类为父

类,继承了资产类的属性和其与其它相关类的关联、聚合等关系。举个例子,如图4所示,变压器资产继承于电气设备资产,构成变压器主体和提供绝缘、导电等功能的线圈、分接头、套管等设备既是强聚合于变压器的组件,又是继承于资产父类的一种设备资产。对于不同类型的变压器,如油浸风冷式,水冷式变压器等所具有的特殊属性,就在变压器模型类中枚举各个变压器模型,在其中添加特殊的属性。而对于一些设备的公共关系、属性,就不需要在各个具体设备中重复添加,而是在其父类的非私有属性中体现,充分利用了UML语言继承性的优点。对于其它的电力设备包括电缆、断路器、开关站等,也采用类似的建模方法。

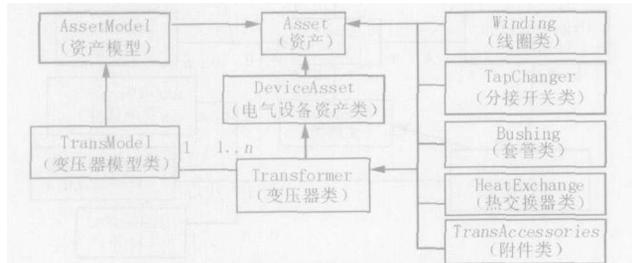


图4 变压器模型

Fig 4 Transformer model

## 2.2 量测模型

在电力设备试验和量测中有很多试验,包括运行前试验、维护试验、故障诊断试验等。这些试验会涉及到设备的绝缘、耐压特性等各种电气特性,测量参数针对不同的设备,需要包括电气、机械、化学、热等各方面,还有量测所用的技术<sup>[4]</sup>。在设备的维护管理中应该模型化所有的与设备试验和量测有关的信息。如图5所示,这些信息在量测包中定义。

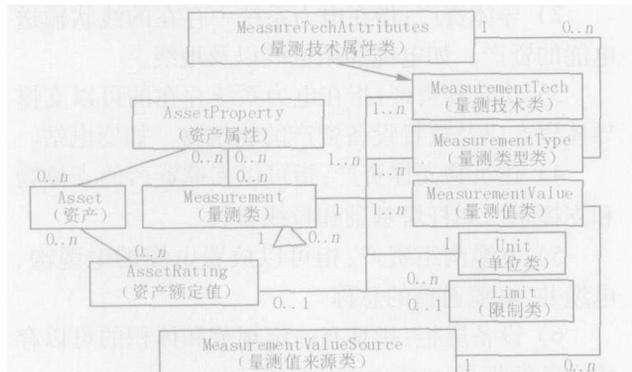


图5 量测类逻辑框图

Fig 5 Logical framework of measurement class

量测 Measurement类实体是量测包的核心,描述了关于量测发生的时间、原因和时间间隔等信息,

通过遍历量测类可以搜寻特定的试验结果和其他信息。由于不同量测事件之间可能存在关联,量测类用一个递归关系来体现这种关联。量测类型 MeasurementType类模型化了各种各样实用的量测类型。根据 IEEE标准 62-1995,仅仅对电力变压器及其组件就有超过 50种的诊断试验项目,例如变压器油的量测就包括水含量、溶解气体、绝缘强度、粒子计数、绝缘损耗、功率因素、界面张力、酸度等<sup>[5]</sup>,因此,量测类型与量测是多对多的关系,每一量测可以有多个量测类型,而每一量测类型也可应用于多个量测。同样,量测技术 MeasurementTech类与量测也是多对多的关系,它使每个试验项目可以应用一个或几个在量测技术类中被模型化了的技术。例如,局部放电测量就可以应用两种量测技术,分别是以皮库为单位的宽带测量和以微伏为单位的窄带测量。应用不同的量测技术将获得不同的量测结果,如果在信息交换中关于量测技术的信息被忽视时,就有可能得出错误的结论,因此关于量测技术和类型的信息对于故障分析和诊断是很重要的,也必须在量测包中模型化。对设备的故障诊断必然需要给各种量测值提供对应的限值,超出这个限值,就进入设备故障处理的流程。限制 Limit类就给相关量的量测值分配一个限制集,并与资产额定值类相关联,一个量测值可以拥有几个限值。每个量测技术可以导出一个或几个输出参数,由测量技术属性 MeasurementTechAttributes类模型化。例如,变压器油中的溶解气体测量可以产生包括 H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 等等各种气体属性,它们的量测结果由量测值 MeasurementValue类模型化,量测结果可以通过量测值来源 MeasurementValueSource类被进一步分类。单位 Unit类是使各个量测值具有重要意义的重要类,定义了全部量测值类型的集合,如兆瓦、千伏等。

量测包中所定义的量测相关类,通过对一个设备实体的量测展开,从量测发生的时间、原因(量测产生的地点则由与量测关联的资产包描述),到量测过程所采用的技术、手段,量测过程结束后产生的结果,对设备量测进行一个立体的描述,基本概括了设备维护管理实际工作中的量测过程。

## 2.3 工作和文档模型

文档通常是用来记录各种标准和历史经验的。对于设备维护和管理来说,详尽地记录设备的维护过程和单个设备的故障历史,可以方便今后维护工作的时间安排和故障设备的选择确定,对维护经验的积累和提高都有着重要的作用,因此模型化这些

信息也是很必要的。文档是信息交换的单元,是所有活动的记录。在电力 MIS应用中,有很多的信息流,具有大量的文档信息,设备维护管理过程中的文档类由图 6所示的框图描述。

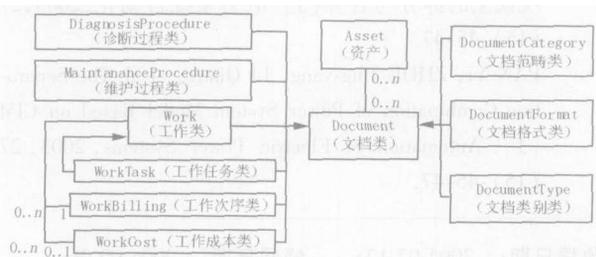


图 6 文档类逻辑框图

Fig 6 Logical framework of document class

设备管理、维护等各种活动均由文档 Document 类来记录,它是各种子文档的父类,定义了文档基本模型的三个方面:文档范畴 DocumentCategory 类,描述文档资源所属的范畴,如标准、白皮书、仪器手册或者说明书等;文档类别 DocumentType 类,描述了文档的用途,如测量、管理、维护、设备设计等;文档格式 DocumentFormat 类,描述了文档的格式,如文本格式、图片格式、表格格式等。这三个类模型化了文档的本身,用这个包能够泛化出各种各样的文档。在文档类包下面分为工作包、停运包、操作包和维护包等,在设备维护管理的各种活动过程中产生的信息,都有继承于文档类的相应子文档类来记录。如对设备管理、维护时产生的信息记录于诊断过程 DiagnosisProcedure 类和 维护过程 MaintenanceProcedure 类中;工作包中,从请求工作开始直至工作结束,有各种文档类的子类贯穿于其中,包括了工作次序 WorkBilling 类、工作成本 WorkCost 类等,用于模型化工作流程中的信息流。

文档包模型对设备管理和维护过程中需要进行信息记录的过程,提供了一个共同的文档父类,通过泛化形成各个具体过程的工作文档。当然,文档类中的子文档不仅仅是图 6 所示的几种,在任何需要进行信息记录、积累的工作过程中均可以形成自己的工作文档。这对于文后所提出的建立公共信息平台的概念是非常重要的。

### 3 模型的优点和展望

为了丰富设备管理和维护的知识和经验,设备管理和维护的信息经常要在系统内不同的变电所、供电局,甚至是电力局的科室部门之间进行交换和共享。对于一个电力企业来说,要实现对设备的维

护,就需要对试验系统、台帐系统等各个系统中的数据进行提取、加工,如果没有统一的数据模型和接口,对数据的处理将是非常繁琐的,各个系统中的私有数据、属性难以共享,要开发统一的设备维护管理系统将十分困难。而采用此模型对设备的物理属性、试验属性、量测属性进行建模,对设备的维护管理将在统一的数据平台上进行,设备维护系统的开发将基于简单明确的数据模型而不再复杂。并且在各个应用系统的数据通信方面,此模型已经可以用可扩展的标志性语言(XML)来描述,这样,模型就可以以标准格式进行交换。从国内外已经进行的多次基于 CM/XML 的互操作试验都验证了能够将该 CM 模型转换为 XML 文档,进行应用软件之间的信息交互<sup>[6]</sup>。

基于该模型开发的各种电力系统设备维护管理系统,不仅在一个电力局内可以通过标准化的接口进行互相通信,实现在互联系统中的“即插即用”,而且在整个互联系统下的各个电力局,都可以通过这种标准的数据模型实现信息的共享和整合。对于单个电力企业,其设备的故障率很低,设备的种类不多,对设备的物理属性、量测数据、故障处理方面积累有限,而大互联系统甚至全球的设备故障信息、处理手段就会比较全面,通过构架一种信息汇总、交换的平台,就可以为互联系统中的设备维护人员提供详尽的设备维护信息。这样,设备维护人员访问当前先进的设备管理和维护信息就会更加方便,而且通过信息的抽取和整合,使得信息平台上的设备信息更加完善,实现设备的远程维护 and 诊断,以及跨地区甚至跨国界的信息交换共享,对于未来基于信息互换和分散决策的电力系统具有十分重要的意义。

### 4 结语

针对设备维护建立统一的基于 CM 的设备维护和管理模型,是开发新一代电力设备运行专家系统的基础,目前宁波市电业局正在以此模型为基础开发设备台帐系统,研究新的电力生产应用系统结构。本文所提出的模型对设备的资产、量测、文档等的维护的相关方面做了模型化,并基于国内外电力系统公共信息模型互操作试验成功完成的事实,使得这一模型不仅便利了系统的开发,也对日后系统的升级、与其它系统的兼容使用奠定了基础,最后提出的在电力信息领域建立公共信息平台的概念,也是今后电力生产应用系统开发的研究方向。

## 参考文献:

- [1] 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  
XN Yao-zhong Development Trend of Power System Dispatching Automation Technique in 21st Century[J]. Power System Technology, 2001, 25(12): 1-10.
- [2] Draft IEC61970 Energy Management System Application Program Interface (EMS-API), Part301: Common Information Model (CM) Draft 6[S].
- [3] 王瑞金, 段会川, Gogolla M. 统一建模语言 UML 及其建模实例 [J]. 计算机应用研究, 2002, (8): 80-84  
WANG Rui-jin, DUAN Hui-chuan, Gogolla M. Unified Modeling Language and Its Application for Modeling[J]. Application Research of Computers, 2002, (8): 80-84.
- [4] DONG Xu-zhu, LU Yi-lu, Lopinto F A, et al Information Model for Power Equipment Diagnosis and Maintenance[A]. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting 2002 27-31.
- [5] IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus, Part I Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors[S].
- [6] 潘毅, 周京阳, 李强, 等. 基于公共信息模型的电力系统模型的拆分与合并 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27(15): 45-47.  
PAN Yi, ZHOU Jing-yang, LI Qiang, et al The Separation Combination of Power System Model Based on CM [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(15): 45-47.

收稿日期: 2004-07-12; 修回日期: 2004-09-06

## 作者简介:

黄蕾 (1981 - ), 男, 硕士研究生, 研究方向为计算机在电力系统及电力市场中的应用; Email: alarry8@163.com  
王康元 (1973 - ), 男, 工程师, 研究方向为电力企业信息整合及电力系统自动化;  
梁继勇 (1970 - ), 男, 工程师, 研究方向为电力生产管理信息化。

## Power equipment diagnosis and management system model based on CM

HUANG Lei<sup>1</sup>, WANG Kang-yuan<sup>1</sup>, LANG Ji-yong<sup>2</sup>

(1. Electrical Engineering School, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 2 Ningbo Power Bureau, Ningbo 315000, China)

**Abstract:** The IEC61968 series standard has established the basic model of power system equipments. According to the need of diagnosing and managing equipments in China, the paper models the aspects of equipment including assets, measurement, work and document. Based on the excellence of this model, the paper advances a concept of building a foundation in power system for common information sharing and storing.

**Key words:** common information model; equipment diagnosis; management; OOM

(上接第 20 页 continued from page 20)

- [7] 韩祯祥. 电力系统分析 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1993.  
HAN Zhen-xiang Power System Analysis [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1993.
- [8] Lakervi E, Holmes E J. Electricity Distribution Network Design [J]. IEEE Power Engineering Series, 1996.
- [9] Baran M E, Wu F F. Optimal Capacitor Placement on Radial Distribution Systems [J]. IEEE Trans on Power

Delivery, 1989, 4(1): 725-734.

收稿日期: 2004-07-22; 修回日期: 2004-11-11

## 作者简介:

王守相 (1973 - ), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统安全性与可靠性评估、配电系统自动化; E-mail: wangshouxiang@tsinghua.org.cn  
张鹏 (1975 - ), 男, 博士, 研究方向为电力系统实时仿真、稳定与控制、可靠性工程。

## Multi-objective network reconfiguration considering reliability in improvement and economy

WANG Shou-xiang<sup>1</sup>, ZHANG Peng<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China;  
2 University of British Columbia, Canada)

**Abstract:** Multi-objective network reconfiguration algorithm for distribution system reliability improvement is advanced based on implicit parallel search method, reliability assessment algorithm and three-phase unbalanced power flow. The result of reconfiguration is independent of the initial topology and the switch operation order either. The comprehensive optimization solution is obtained effectively, and global or nearly global optimum can be obtained considering single subject. The implemented software according to this method provides a powerful, flexible and easy-to-use tool for distribution system planning, field engineering and operations.

**Key words:** distribution system; network reconfiguration; reliability; economy of energy