

配电自动化数据库基本数据模型的研究

杨明皓 谢菊芳 王永清

(中国农业大学 信息与电气工程学院,北京 100083)

摘要 研究和制定配电系统运行管理数据库的数据结构和规范是当前我国配电自动化实施过程中亟待解决的问题。针对我国配电系统结构以及配电生产运行管理的特点,分析了供电企业中各部门之间的工作联系,提出了配电系统运行数据、检修与巡视数据以及设备资产与网络拓扑数据的数据流图。这3个数据流图可以描述配电系统基本数据的产生、加工和传递全过程。在此基础上,采用面向对象的分析方法组织配电数据信息,建立了配电数据的全局ER模型并转换成相应的关系模式。

关键词 配电自动化;数据模型;数据流图;ER模型

中图分类号 TM 76

文章编号 1007-4333(2003)02-0029-06

文献标识码 A

Research of data models for power distribution automation database

Yang Minghao, Xie Jufang, Wang Yongqing

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract Data models and standards for distribution automation databases are needed urgently by distribution automation projects in China. By analyzing features of power distribution operation and management, data flow graphs of operation data, maintenance and patrol data, and assets and topological data for power service utilities were proposed. These three data flow graphs can be used to describe the whole procedures of data generation, data procession and data transfers in power distribution services. Based on these graphs Entity-Relationship models and their relational modules for distribution automation database were developed.

Key words power distribution; data models; data flow graphs; ER models

近年来,配电自动化在我国发展十分迅速,研究和开发配电 SCADA 系统、DMS 系统和 GIS 系统的工作在全国许多供电企业、有关科研院所、电力自动化生产企业全面开展。关系数据库具有坚实的理论基础,许多商用关系型数据库如 ORACLE、SYCLER SERVER、DB2、Xbase 系列等在配电自动化 DMS 中得到了广泛的应用,因此,研究配电生产、运行、管理全过程中基本数据的关系模式,建立统一的规范,既可保证企业生产活动的实际需求又可保证数据的一致性,对配电自动化硬软件产品的集成和系统功能的不断扩充具有重要意义。

本文中针对我国 10 kV 配电系统生产、运行、维护和管理的特点,首先分析供电企业中各部门之间的工作联系,得到配电基本数据信息及描述基本数

据信息产生、加工和传递的数据流,然后采用面向对象的方法来组织配电生产计划、调度运行、设备维修各环节所涉及的数据信息,抽象出数据信息的“实体”和“联系”,得到配电数据 ER 模型及其相应的关系模式。

1 配电数据流分析

配电基本数据按系统设备、运行、维护和管理的工作需求,可以分为:电网运行数据、检修维护数据、资产数据和网络拓扑数据 4 类。分析这 4 类数据在配电生产、运行、维护和管理各部门工作运转过程中如何产生和流动,以及各部门各种工作对数据的需求,是建立数据模型的基础。

供电企业中生产计划科(股)下设有线路工区、

收稿日期:2002-08-29

基金项目:国家电力公司软科学项目(SPZL005-1)

作者简介:杨明皓,教授,研究方向为电力系统运行与控制、配电自动化及电能质量与谐波。

配电工区、电缆工区和调度室,分别负责 10 kV 架空配电系统和 10 kV 电缆配电系统的运行、维护和管理等工作。线路工区负责架空配电线路,配电工区负责配电室、开闭站、箱式变压器、开关小室,电缆工区负责 10 kV 和 0.4 kV 电缆,调度室负责全系统的调度工作^[1]。在工区之下分别设有运行班组和检修急修班。虽然各工区负责的对象不同,但是运行和维护的工作任务有共性,因此以下数据流分析不区分工区(对象)而直接面向运行、维护和生产管理的工作任务。

1.1 运行数据流

配电基本运行数据是系统中主要配电设备(如配电变压、负荷开关、断路器等)运行状态的测量和记录数据,包括:运行状态数据(电流、电压、功率、电量和频率等模拟量和开关状态),事件记录数据(开关变位、保护动作、故障指示器动作、电流电压越限

以及报警信号动作记录等),低压无功补偿数据(补偿电容器动作记录、补偿容量及补偿前后运行数据记录等),电能质量数据(电流与电压最大值及其相应的时间、电压越限时间和电压测量总时间、各次谐波电流与电压有效值、停电次数、停电持续时间、停电原因等)。这些数据由 SCADA 系统、配变综合测量装置或人工抄表产生,形成图 1 中数据流,其历史记录为数据流。数据流和是配电负荷预测、技术经济指标统计与计算、电网运行分析、电网发展规划、运行方式研究和制定调度计划的基本数据,通过这些计算或人工处理产生的数据分别形成数据流~。运行人员或 SCADA 系统进行的控制操作为数据流(操作记录)。图 1 中数据流,和为基本运行数据,数据流~为基本运行数据加工后产生的数据,本文中仅讨论基本运行数据。

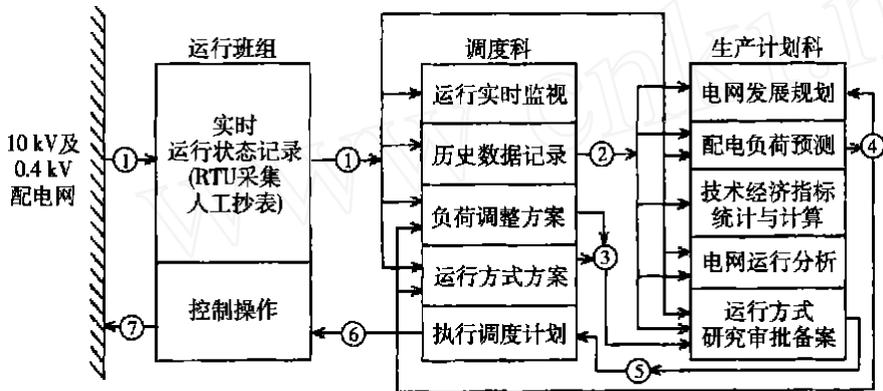


图 1 运行数据流
Fig. 1 Operation data flow

1.2 检修巡视数据流

检修维护数据包括缺陷及处理记录、事故及处理记录、巡视记录、测试和试验记录、检修停电记录等数据。

运行人员通过监视、巡视或试验发现设备缺陷,由此产生缺陷记录初始数据(管辖单位、线路名称和

编号或配电室编号、杆(柜)号、变压器编号、缺陷内容、缺陷类别、设备类型、缺陷程度、发现日期、发现人、处理意见等),由缺陷严重程度以及是否需要停电处理分别形成图 2 中数据流~。生产计划科分别在计划检修缺陷和需要及时处理严重缺陷的数据流、上增加缺陷处理审批数据(审批与否和缺

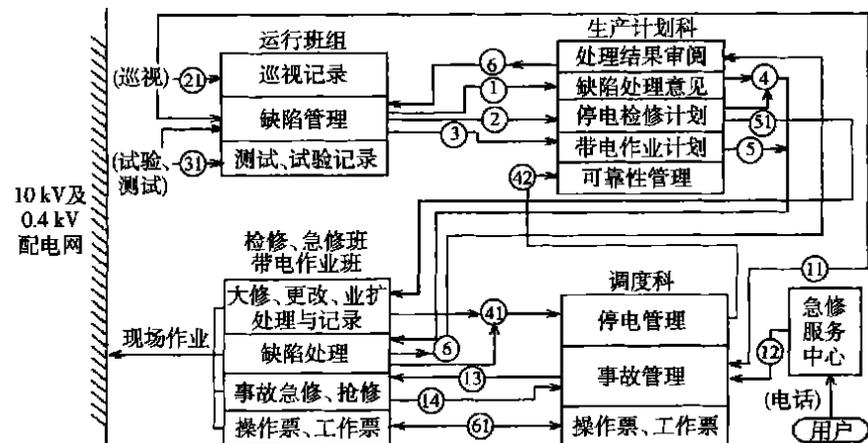


图 2 检修巡视数据流
Fig. 2 Maintenance and patrol data flow

陷处理开始时间),形成数据流。根据带电作业处理缺陷计划和业扩带电作业计划产生带电作业数据(作业单位、日期、站名、路名、开关号、线路编号、电压等级、作业方法、作业内容等),形成数据流。检修或带电作业工作人员到现场处理缺陷之后,在数据流或上增加缺陷处理数据(处理开始时间、处理班组、处理完成日期、处理情况等),形成完整的缺陷记录数据流。

事故记录数据(源于运行值班人员或用户向调度的电话报告(报告人、报告人电话号码、报告内容))形成数据流⑪和⑫,调度电话通知处理故障形成数据流⑬,事故处理完毕得到的完整的事故记录数据(管辖单位、线路名称、线路编号、杆号、设备名称、损坏程度、事故发生时间、事故性质、事故终止时间、处理人等)形成数据流⑭。

运行人员进行巡视和设备测试、试验后,分别产生巡视记录数据流⑲(线路名称、线路编号或配电室编码、巡视类别、巡视设备名称、巡视设备编号、天气、巡视结果、处理情况、巡视人等)和测试试验数据流⑳(设备编号、测试日期、温度、测试试验内容、测试人、测试试验结论等)。

对设备或线路进行大修、更改、清扫以及缺陷处理或事故处理需要向调度提出停电申请,从而形成图 2 中数据流④(停电申请时间、申请人、申请停电原因、设备编号或线路编号、位置、申请部门等)。经有关领导审批后,调度人员进行停电安排,在数据流④上增加停电审批和安排数据项(审批人、停电开始时间、停电结束时间和调度执行人等),形成完整的停电记录数据流。

1.3 设备资产和网络拓扑数据流

设备资产数据包括配电设备的技术参数和设备台帐数据,网络拓扑数据为描述设备相互连接关系的数据。配电设备的技术参数数据为:设备型号、生产厂家、额定电压、额定电流、额定寿命等额定参数数据。设备台帐数据为:配电主设备(如配电变压器、柱上开关、杆塔、柱上隔离开关、开关柜、断路器、电缆等)的设备号或调度号、安装地点、安装时间、投入运行时间、设备定级、辅助设备数据。配电系统的扩建、更新和改造产生设备资产数据和新的网络拓扑数据,形成图 3 中数据流;设备的定级试验测试数据形成设备资产数据流。图 3 中数据流为电网规划、电网计算、运行方式研究以及实时监控所需的基本设备参数及网络拓扑数据。

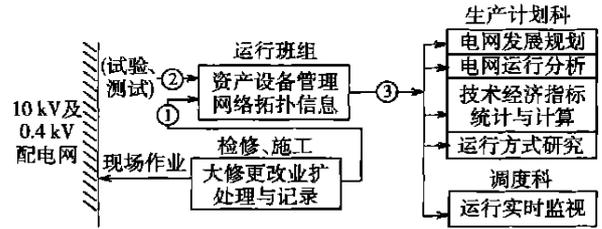


图 3 设备资产和网络拓扑数据流

Fig. 3 Assets and topological data flow

2 配电数据信息的组织与建模

ER 模型是数据库概念设计的重要工具,能够较好地描述客观世界的信息及信息之间的关系,此外,由 ER 模型很容易得到目前各种关系型商用数据库需要的关系模式。建立配电数据 ER 模型需要解决 2 个特殊问题。一是 ER 模型需要将客观世界的信息及其联系描述为二维关系,而电力企业大量的运行数据(通常称为动态数据)具有三维关系:数据源(某回线路或某个开关)、数据属性(电流、电压等)以及数据产生的时间;二是需要建立抽象网络拓扑数据与实际电网设备相互连接的对应关系^[2],当电网更新、改造或扩建之后应用程序能够从数据库中自动生成新的网络拓扑数据,以保证数据库系统中设备资产数据与拓扑数据的一致性。

目前,发、输电自动化系统中运行数据库与设备管理和维修数据库是相互独立的数据库系统,运行数据库多采用面向时序的方法建立运行数据的 ER 模型^[3],即按时段建立运行数据源与数据性质的二维关系,而设备管理与维修数据库则采用面向对象的方法建立电力设备与其属性的二维关系;因此二者很难保持数据的一致性。然而,配电系统的运行、管理和维护是一个供电企业生产活动的全过程,数据的共享和一致性尤为重要,需要建立描述配电运行数据、维护检修数据、设备资产和网络拓扑数据的全局的 ER 模型。

为此,本文中采用面向对象的方法来建立全局 ER 模型,将运行数据产生的时间作为数据源的特殊属性,来解决运行数据的时序问题;通过定义抽象对象“线路段”,来解决网络拓扑数据与实际电网设备相互连接的对应关系问题。

2.1 配电系统的对象

10 kV 配电系统的对象由架空配电线路和电缆配电线路组成。其中,架空配电线路由柱上开关设

备、架空导线、杆塔及其附属设备(绝缘子、横担等)和柱上配电变压器及附属设备(补偿电容器、TTU等)组成,电缆配电网络由导线、开闭站、配电室、开关小室、箱式变压器和箱式开闭器组成,而开闭站、配电室、开关小室、箱式变压器和箱式开闭器中的电网又由断路器或负荷开关和母线构成。架空配电线路或电缆配电网络这种复杂对象是由上述简单对象按地理位置和供电功率方向相互连接构成的。

注意到,当配电系统中联络开关状态改变(网络重构)时,组成各配电线路的简单对象将发生变化,而且是以“没有被开关元件分割的,连通的局部网络”为一个整体变化的。为了描述配电线路随配电系统运行方式变化的这种特征,将这样的局部网络对象定义为“线路段”。图4中虚线框内的局部网络即为线路段。电缆网络的线路段可以是连接2个开关的一段电缆(电缆型线路段),可以是一段母线及其引下线(母线型线路段),也可以是配电变压器(配变型线路段)。架空线路的线路段是由架空导线、杆塔和柱上配电变压器组成的一段局部的树状网(架空型线路段)。

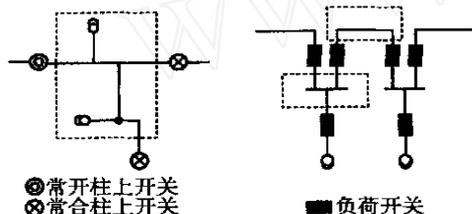


表4 配电线路段(虚线框内)

Fig. 4 Segments of power distribution feeders

图1所示生产计划科的各项网络计算任务都需要从数据库中获得网络拓扑信息,这种网络拓扑以电网中所有“T”接处或“母线”为节点,以节点之间的导线为支路。在架空线路中,定义连接线路中各分支线的“T”接处之间的一段导线为“架空导线”。在电缆网络拓扑中,节点为母线型线路段,支路为电缆型线路段。当电网运行方式改变后,节点与支路是否关联取决于连接它们的开关是否处于“合”状态。

2.2 配电系统的对象、实体与属性

对象与数据库 ER 模型中的实体有一定区别。对象是现实世界中具体存在的事物,每个对象都具有一定的状态(属性)和行为(功能)特征;实体具有属性特征但不一定具有行为特征。因此可以把一个配电对象处理成为若干状态实体和行为记录实体。

状态实体用以描述对象的属性特征,行为记录实体用以描述对象的行为或功能特征。

配电设备对象的属性数据可以分为2类。一类为描述每一台设备独有属性的数据,例如:设备编号、安装地点、投运日期、设备型号等,称为台帐数据;另一类为描述同一型号设备共有属性的数据,例如:同型号配电变压器有相同的技术参数属性数据(如配电变压器型号、额定容量、额定电压、额定电流、空载损耗、负载损耗等)。因此描述配电设备对象(配电变压器、负荷开关、断路器、线路单元等)状态特征的状态实体分为“对象(台帐)实体”和“技术参数实体”。描述其他复杂对象如架空线路、电缆线路、线路段、开闭站和配电室等状态特征的状态实体只有“对象实体”。

配电对象的行为记录实体有:“运行记录实体”、“试验测试记录实体”、“检修记录实体”、“巡视记录实体”、“缺陷记录实体”和“事故记录实体”。不同配电对象的行为记录实体如图5所示。行为记录实体是面向对象的,各行为记录实体的标识为记录日期和时间,各行为记录实体的其他属性由1.1和1.2中数据流分析得到的基本数据项构成。

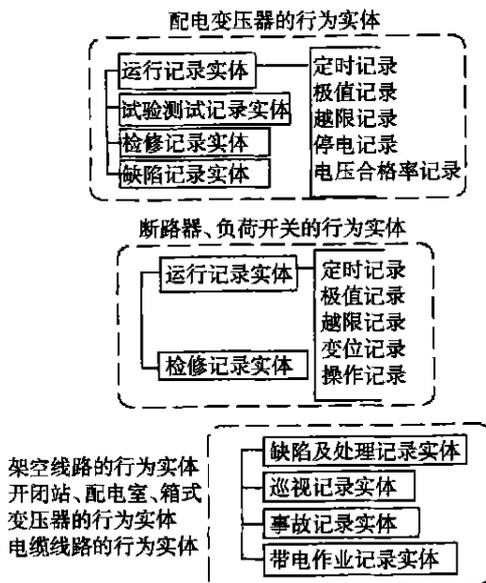


图5 配电对象的行为实体

Fig. 5 Performance entities of power distribution objects

2.3 配电数据的 ER 模型

建立实体(Entity)与实体之间的联系(Relationship),即建立 ER 模型。

在2.2中所有配电数据信息是按对象组织的,并将实体划分为对象实体、技术参数实体和多种行

为实体,这样行为实体和技术参数实体仅与其相应的对象实体有联系。下面首先建立配电对象实体及其联系的全局 ER 模型,然后简要说明对象实体与其技术参数实体以及行为实体的联系。

将配电设备对象实体分为主设备对象实体和辅助设备对象实体,为表达简洁,在全局 ER 模型(图 6)中仅表示出主设备对象实体和复杂对象实体相互之间的联系。其中,配电电源为变电站 10 kV 母线,用变电站名称来标识。在配电电源和配电线路之间定义了 2 个相同(架空线路和电缆线路)的联系,其含义为:1 个变电站可以向多条配电线路供电,即配电电源与配电线路之间是 1 N 的联系。开关和线路段与配电线路之间构成一个汇集层次,即多个开关和多个线路段构成一条配电线路。在架空线路段与柱上开关之间,以及电缆线路中的开关与线路段之间所定义的联系为:1 个线路段可以连接多个开关(例如母线线路段或架空线路段),1 个开关必须连接 2 个线路段,所以,线路段与开关之间是 M N

(M = 2)的联系。在架空线路中,杆塔、架空导线和柱上配电变压器形成一个汇集层次“架空线路段”。柱上开关和柱上配电变压器与杆塔的联系分别为:1 台柱上开关位于 1 个杆塔上,1 台柱上配电变压器安装在 1 个杆塔上,均为 1 1 的联系。杆塔与架空导线的联系定义为:1 段架空导线必须以 2 个杆塔为端点,1 个杆塔可以“T”接多段导线,所以杆塔与架空导线之间是 M N (M = 2)的联系。在电缆线路模型中抽象出 3 个泛化层次:超类“开关”被分为“断路器”和“负荷开关”2 个子类;超类“线路段”被分为“配电变压器”、“母线”和“负荷开关”3 个子类;超类“站室”被分为“开闭站”、“配电箱(室)”2 个子类。其他联系分别为:1 个开闭站内可以有多个母线,1 个开闭站可以有多个断路器,1 个配电室或配电箱内可以有多台负荷开关,1 个配电站室内可以有多台配电变压器(1 或 2 台);均为 1 N 的联系。图 6 中连线上的符号 | 和 o 分别表示联系的强制存在和非强制存在^[4]。

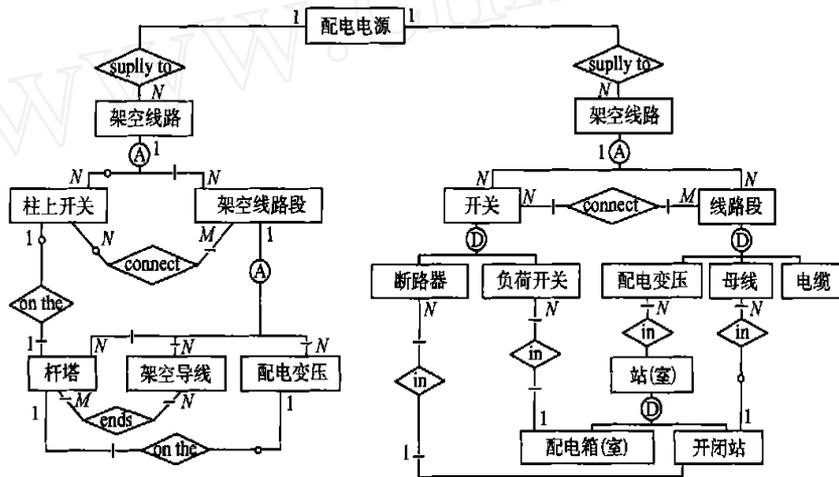


图 6 配电系统全局 ER 模型

Fig. 6 Overall ER models of power distribution systems

在辅助设备实体与其主设备实体之间定义了弱实体与父实体的联系(或称父子联系),辅助设备实体为弱实体,其主设备实体为父实体,辅助设备实体与其主设备实体具有存在依赖和标识依赖。

对象实体与其行为实体之间为“1 N”的联系。例如,1 台配电变压器有多条定时运行参数记录,1 台配电变压器有多条运行参数极值记录,1 台配电变压器有多条运行参数超限记录,1 台配电变压器有多条检修记录,1 台配电变压器有多条测试试验记录。设备对象实体与其技术参数实体为“N 1”的

联系。例如,多台配电变压器具有同 1 组技术参数。各种配电对象实体所具有的行为实体见图 5。

3 配电数据的关系模型

将 2.3 中的 ER 模型按一定规则转换成相应的关系模式,即可获得配电数据库中的表结构。转换方法和步骤简述如下:

1) 状态实体及其联系的转换。a. 每一个实体转换成一个关系模式,实体的属性就是关系模式的属性,实体的标识为关系模式的主码(键属性)。各对

象实体的标识为实际设备的设备编号,抽象出的超类实体“线路段”、“开关”和“配电站室”要给定编号作为惟一的标识。b. 将各对象的技术参数实体的主码作为外码,加到相应的对象实体的关系模式中(1:N 联系的转换)。c. 将主设备对象实体的主码作为外码,加到其辅助实体的关系模式中,并与辅助设备的主码构成联合主码(标识依赖弱实体的转换)。d. 将配电线路编号作为外码,分别加到柱上开关、架空线路段、开关和线路段的关系模式中;将架空线路段编号作为外码,分别加到杆塔、架空导线和柱上配电变压器的关系模式中(汇集实体的转换)。e. 将超类实体“线路段”、“开关”和“配电站室”的主码分别作为外码,加到相应的子类实体“母线”、“电缆”、“配电变压器”、“断路器”、“负荷开关”、“开闭站”和“配电箱室”的关系模式中,并与子类实体的主码构成联合主码(泛化层次的转换)。f. 将杆塔编号分别加到柱上开关和柱上配电变压器的关系模式中作为外码,将开闭站编号分别加到断路器和母线的关系模式中作为外码(1:N 联系的转换)。

2) 行为实体及其联系的转换。a. 将配电变压器、柱上开关和开关实体的主码作为外码,分别加到配电变压器各运行记录实体、柱上开关各运行记录实体和开关运行记录实体的关系模式中;b. 分别将配电变压器实体的主码和电容器的编码作为外码,加到电容器运行记录实体的关系模式中并作为其联合主码;c. 将配电变压器、开关实体的主码作为外码,分别加到配电变压器检修记录和开关检修记录实体的关系模式中;d. 分别将配电变压器、架空线路、开闭站、配电站室和电缆实体的主码作为外码,加到各自的缺陷记录实体的关系模式中;e. 分别将架空线路、开闭站、配电站室和电缆实体的主码作为外码,加到各自的巡视记录实体、事故记录实体和带电作业记录实体的关系模式中。

3) 拓扑联系的转换。 $M:N$ 联系的转换方法为:将联系换成一个关系模式,将 2 个相关实体的主码作为外码加入其中,构成此关系模式的联合主码。

在图 6 所示全局 ER 模型中有 3 个描述网络拓扑关系 $M:N$ 的联系,这 3 个联系转换成的 3 个拓扑关系模式为:柱上开关_架空线路段(柱上开关 ID, 架空线路段 ID)、开关_线路段(开关 ID, 线路段)和架空导线_杆塔(架空导线 ID, 架空导线 ID, 杆塔 ID)。

4 结 论

分析了供电企业中各部门之间的工作联系,得到配电基本数据信息以及描述配电数据产生、加工和传递的数据流。本文中归纳的配电运行数据流、维护检修数据流和设备资产及拓扑数据流不仅是建立数据库数据模型的基础,也是 DMS 应用软件开发的重要基础。

用面向对象的方法将配电生产、运行和检修各项工作任务作为配电系统对象的行为记录,然后按对象来组织配电数据信息,从而建立了全局 ER 模型。这种建模思想和方法的合理性表现在它与供电企业的自然分工方法一致,即工区按配电系统结构(按对象)划分,工区下设的班组按工作任务划分(对象的行为记录)。在这种自然分工中,人与人之间、部门与部门之间的联系已经最小化了,因此在所建立的 ER 模型中实体与实体之间的联系也就最小化了。

参 考 文 献

- [1] 中国华北电力集团公司. 配电工作标准(试行)[S]. 北京:中国电力出版社,1999. 18~95
- [2] 吴文传,张伯明. 基于图形数据库的网络拓扑及其应用[J]. 电网技术,2002,26(2):14~18
- [3] 刘天琪. 电力系统恢复计划决策及控制的过程数据库[J]. 四川大学学报(工程科学版),2001,33(3):109~112
- [4] 朱扬勇,凌力. 客户/服务器数据库应用开发[M]. 上海:复旦大学出版社,1997. 41~72