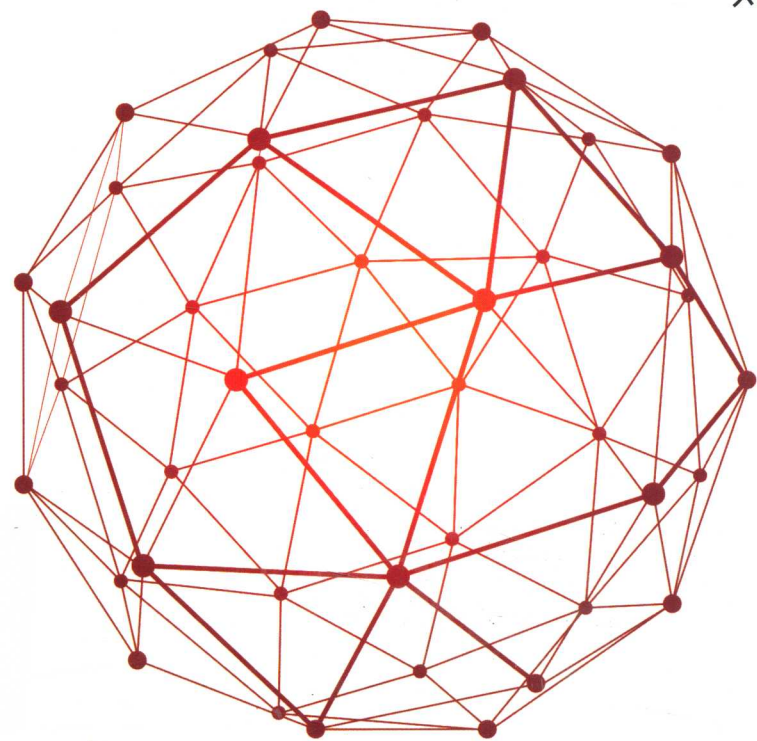


配电网规划 常用计算

PEIDIANWANG GUIHUA
CHANGYONG JISUAN

刘 军 赵江河 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

中国电力科学研究院专家出版基金资助

配电网规划 常用计算

PEIDIANWANG GUIHUA
CHANGYONG JISUAN

刘 军 赵江河 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

配电网规划设计的常用计算种类有负荷预测、潮流计算、短路电流计算、供电安全分析、可靠性计算、无功优化规划计算等,本书基本涵盖了上述方面的内容,包括计算的理论基础、程序设计方法以及实例验证等,希望读者通过本书能够掌握规划计算分析软件的开发。

本书以讲述传统的10kV中压配电网计算为主,同时兼顾35~110kV高压配电网计算,400V低压配电网计算略有涉及。

本书是从事配电网规划、设计、工程建设、管理等工作人员的参考书,也可以供高等学校电力类相关专业的研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

配电网规划常用计算/刘军,赵江河编著. —北京:中国电力出版社,2016.6

ISBN 978-7-5123-9289-2

I. ①配… II. ①刘… ②赵… III. ①配电系统—电力系统规划—计算 IV. ①TM715

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第092007号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

三河市万龙印装有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016年6月第一版 2016年6月北京第一次印刷

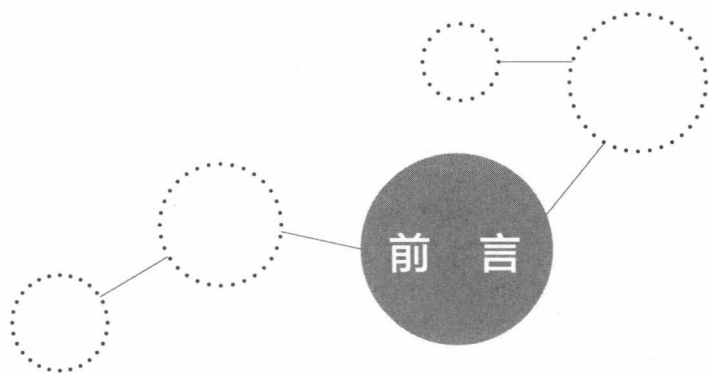
787毫米×1092毫米 16开本 11.5印张 258千字

印数0001—2000册 定价 58.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



Q/GDW 738—2012《配电网规划设计技术导则》明确规定了配电网规划计算分析要求，即通过量化计算，确定配电网的短路电流水平、供电安全水平和供电可靠性水平，以及无功优化配置方案，并研究提高配电网安全性、可靠性和适应性的措施。本书涵盖了上述方面的内容。

配电网计算与输电网计算差异较大，即使是常规的潮流计算，输电网常用的方法也不适用于配电网，需要研究配电网特有的计算方法。除此之外，因为网络异常复杂，配电网计算对信息系统的依赖，特别是对图形的依赖是输电网所没有的，需要重点研究数据模型和数据预处理技术。有关配电网计算问题，历来存在争议。一种观点认为，配电网欠账太多，即“重发、轻供、不管用”，在基础数据不全，管理水平低下的情况下，开展大规模分析计算时机不成熟，只能用统计的方法来分析配电网规划和运行的大体趋势。另一种观点认为，配电网计算应与高压输电网计算一样，需要精确的计算模型和计算结果，否则计算将会产生误导，达不到指导规划的作用。作者认为，这些观点无疑都有正确的一面，但绝不主张无所作为，而是要积极推进配电网计算工作向前发展。一方面，电力公司已经将解决“两头薄弱”问题提到了战略高度，配电网越来越得到重视，技术水平和管理水平得到了显著的提升，在特大城市，已经有了高可靠性的 A^+ 区域， A^+ 区域各种信息系统比较完善，区域内进行配电网相关计算已经没有任何障碍。即使其他区域，条件也在逐步改善，已将计算纳入配电网规划的工作流程，全局范围内的相关功能规范和数据规范也已发布。另一方面，在数据并不十分精确的情况下，通过计算进行趋势分析，特别是多规划方案比较时，由于对比条件一致，完全可以体现出定量分析的科学性和严谨性，也有利于规划者进行合理决策。当数据质量不高时，通过相关计算得到一个基本认可的结果；当数据质量越来越高时，计算结果会越来越准确，通过计算分析来促进数据质量的改进也是开展计算分析工作的理由。

中国电力科学研究院历来重视电力系统的计算分析工作。通过几代人的努力，已经形成了从特高压输电网到10kV中压配电网的计算软件序列。本书即为配电网计算软件开发经验的总结。本书重在实际的软件工程应用，在于解决实际的工程计算问题。为便于读者理解，在讲述计算过程时，一般简要介绍计算需要的理论基础。目前专门讲述配电网理论的专著和文献大多过于晦涩，全篇充满大量的公式和推导，验算案例又过于简单，将理论变成工程应用软件，还有相当大的距离，还需要做大量艰苦细致的程序设计和软件调试工作。现场情况千变万化，需要通过足够的计算样本来修正计算软件中的各

种错误，这些都需要长时间的经验积累和总结。当然，对于开发配电系统计算软件，电力系统理论素养是必不可少的，需要研发人员了解计算过程中的电气设备原理和计算过程的物理意义。本书希望缩短深奥的理论和实际的工程应用之间的距离，便于科技工作者和工程技术人员尽快利用计算机工具实现配电网计算软件的研制，使科技成果更好的应用到配电网实际规划工程中去。

本书主要为配电网规划编写，但提供的计算方法不仅适用于规划计算，配电网运行计算也可以采用，因为计算原理和方法是基本一致的。但配电网运行计算还存在许多障碍，如量测不全，数据质量较差等。计算方法多种多样，同样的算法，不同的程序设计人员也有不同的开发思路，更为重要的是，现在流行软件的“敏捷开发”，开发者需要和使用者面对面交流，软件要适应用户快速的需求变化并及时跟进，否则软件将很快失去生命力。针对具体的工程应用，单一的开发工具也不能胜任，为满足不同用户的需要，同样功能的程序也要经常用不同的开发语言编写，如用 C/C++、Java、Visual Basic、Delphi、PL/SQL、C# 等各种开发工具编写配电网计算程序。本书提供程序设计的详细思路，为便于理解，提供了大量的流程图，在必要环节使用伪代码讲述实现细节，重点部分用实例来进行讲述，相信读者可以根据本书提供的方法，使用任何计算机语言编写出高质量的配电网计算程序。

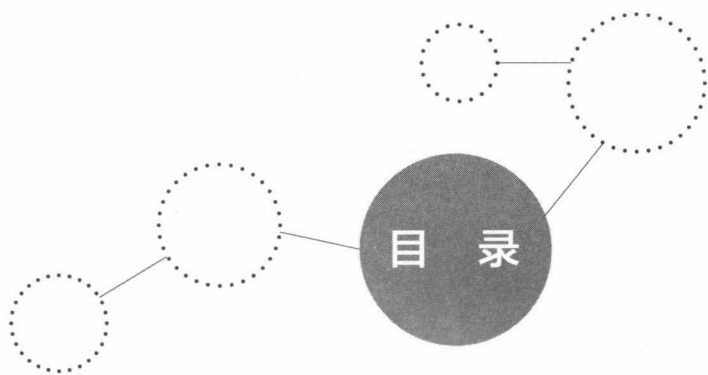
感谢中国电力科学研究院配电研究所的大力支持，本书的出版得到了中国电力科学研究院出版基金资助。特别感谢于尔铿老师、陈竞成博士、徐得超硕士、马文晓硕士、盛灿辉硕士，正是因为他们早期卓有成效的研究工作，为本书撰写提供了坚实的基础。在成书过程中，感谢苏剑、韦涛、刘海涛、刘伟、吕广宪、赵大溥、王立岩、马康、邱辰、张国宾、张伟、田田、邱佳等诸位同仁的大力支持。感谢上海交通大学刘东研究员、翁佳明博士在虚拟量测部分所做的贡献。

本书承蒙配电网领域资深专家、华北电力大学博士生导师张建华教授主审，张老师详细审阅了本书全部初稿，并提出了宝贵的意见，在此表示由衷的感谢。

希望本书的出版能起到抛砖引玉的作用，能促进配电网计算更好更快地向前发展。配电网技术发展很快，信息技术更新换代更加迅猛，加上编者水平有限，书中缺点和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2016年3月



前言

第1章 配电网数据模型	1
1.1 配电网 CIM 描述	1
1.2 CIM 解析与存储方法	7
1.3 CIM 解析程序设计	14
本章小结	20
参考文献	20
第2章 配电网计算数据预处理	22
2.1 设备属性校验	22
2.2 网络连通性分析	23
2.3 负荷数据处理	34
2.4 网络接线分析	38
本章小结	40
参考文献	41
第3章 配电网潮流计算	42
3.1 配电网潮流计算的基本原理	42
3.2 配电网潮流计算程序设计总流程	47
3.3 前推回代潮流计算	49
3.4 牛顿法潮流计算	52
本章小结	60
参考文献	60
第4章 配电网短路电流计算	61
4.1 配电网短路电流计算特点	61

4.2	配电网短路电流计算方法	65
4.3	配电网短路电流计算流程	68
4.4	配电网短路电流计算程序设计	71
4.5	计算实例	73
	本章小结	79
	参考文献	79
第5章	配电网供电安全分析	80
5.1	配电网 $N-1$ 定义	80
5.2	配电网 $N-1$ 计算方法	83
5.3	配电网 $N-1$ 计算程序设计	86
	本章小结	96
	参考文献	96
第6章	配电网可靠性计算	97
6.1	可靠性基本模型	97
6.2	可靠性指标	98
6.3	可靠性计算方法	100
6.4	可靠性计算软件实现	104
	本章小结	116
	参考文献	116
第7章	配电网无功优化规划计算	118
7.1	配电网无功优化计算模型	118
7.2	10kV 无功优化计算方法	122
7.3	环网无功优化计算方法	126
7.4	配电网馈线无功优化程序设计	129
	本章小结	136
	参考文献	136
第8章	总量与空间负荷预测	137
8.1	配电网负荷预测的特点	137
8.2	负荷预测常用方法	138
8.3	负荷预测计算程序的实现	142
8.4	负荷预测系统框架	150

8.5 实例分析	151
本章小结	154
参考文献	155
附录 A 面向对象的程序设计基础	156
附录 B 配电网数据库 DNDB 定义	159
附录 C 配电网常用国际标准算例	163
附录 D 配电网标准算例	171

配电网数据模型

配电网计算离不开数据和数据模型。研究配电网计算首先需要研究数据的组织、传输、处理和使用。与输电网不同，配电网点多面广，数据量巨大，对于数千条馈线的中等规模的配电网，其地理拓扑节点数已经达到数万或数十万个。手工数据收集不但工作繁杂，不堪重负，而且极有可能出现数据错误。研究通过标准模型从已有信息系统中导入数据是配电网计算的重要环节，甚至可以说，没有标准数据模型就不可能有真正实际意义上的配电网计算。

配电网国际标准 IEC 61968 中的电力系统公共信息模型 (Common Information Model, CIM) 是数据模型最基本的标准。CIM 率先由 IEC 61970 正式发布，主要解决输电网的数据信息互联互通问题。IEC 61968 引用了 CIM 并提出了扩展模型，用于配电网建模，实现中压配电网各应用系统之间高效率的数据交换和“即插即用”。为适应配电网数据交换的需要，在 IEC 61970/61968 CIM 基础上，国家电网公司内部发布 SG-CIM 标准，规范企业内部系统之间的数据交换。配电网计算领域使用 CIM 并不存在常有的多样性和复杂性，无论是 IEC 61970/61968 CIM 还是 SG-CIM 都能很好地满足计算系统的要求。CIM 是一个很广的研究领域，本章只关注 CIM 与计算相关的基本内容，包括 CIM 的基本概念、构成要素、解析与存储、实例校验，以及 CIM 解析程序构建等。有关 CIM 配电网资产和运行管理等方面的内容不做详细阐述，读者可以参考相关标准文档或相关书籍。

1.1 配电网 CIM 描述

1.1.1 CIM 模型包

CIM 由多个模型包组成。包将相关模型元件进行分组，便于模型设计、理解与应用。整个 CIM 划分为下面几个包，一个应用可能使用其中的 CIM 实体，图 1-1 展示了 IEC 61970-301 中定义的 CIM 基本包之间的依赖关系。

配电网计算相关引用的几个基本包如下：

1. 核心包 (Core)

这个包属于基础包，包含命名 (Naming)、电力系统资源 (Power System Resource)、设备容器 (Equipment Container) 和导电设备 (Conducting Equipment) 实体等，几乎每个设备都具有这些属性。

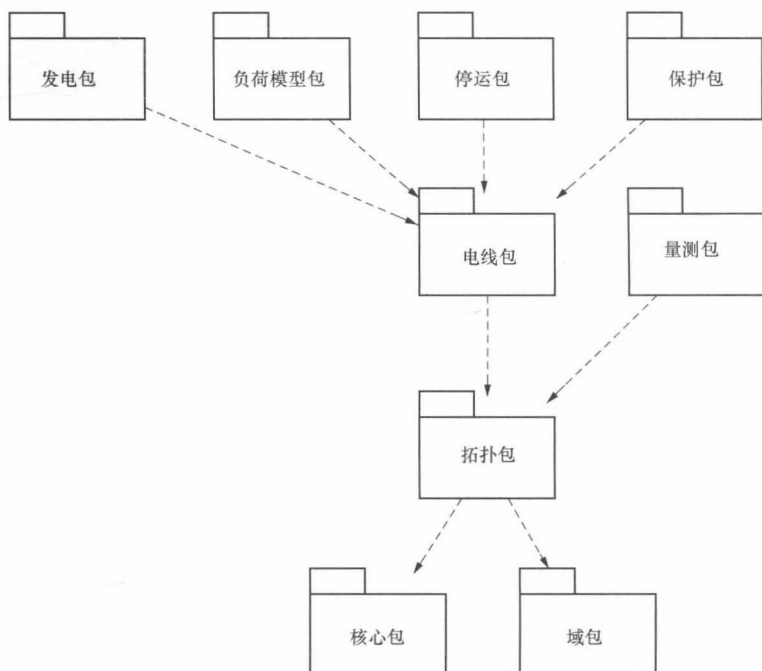


图 1-1 CIM 基本包之间的依赖关系

2. 拓扑包 (Topology)

Topology 包是 Core 包的扩展，它与 Terminal 类和 Connectivity 类一起建立了设备的连接关系。

3. 电线包 (Wires)

Wires 包是 Core 和 Topology 包的扩展，它建立了配电 (Distribution) 网络电气特性的信息模型。

4. 保护包 (Protection)

这个包是 Core 和 Wires 包的扩展，它建立了保护设备，例如继电器的信息模型。

5. 量测包 (Meas)

Meas 包含配电网中各个量测点的属性信息。

6. 负荷模型包 (LoadMoad)

以曲线及相关的曲线数据的形式提供系统负荷模型。这一信息由负荷预测 (Load Forecasting) 和负荷管理 (Load Management) 使用。

7. 域包 (Domain)

Domain 包是量与单位的数据字典，定义了可能被其他任何包中的任何类使用的属性，以及一个可能的量测单位 (unit) 等基础信息。

8. 停运包 (Outage)

Outage 包是与系统的可靠性计算相关的包，定义系统停运的相关信息。

9. 发电包 (Generation)

Generation 包主要关注配电网中的小型分布式电源。

从图 1-1 中可以看出，Topology 由 Core 和 Domain 引出（其中箭头指向含义：表示该包由箭头指向的包所派生），也就是说，Topology 继承了 Core 和 Domain 全部的属性，也可以扩展自己的属性。Wires 和 Meas 从 Topology 继承，Wires 又可以派生出其他的 Generation、LoadMoad、Outage、Protection 四个包。

1.1.2 配电网设备模型

设备建模主要对配电网中的导电设备（Conducting Equipment）的连接关系进行详细描述，同时管理设备相关参数，配电网常用计算，如潮流、无功优化等需要用到这些基本参数。

典型配电网设备包括变电站、开关站以及其中的母线、馈线及其分支线（包括架空线和电缆线）、各种类型的开关及配电变压器、高压集中负荷等。在 CIM 模型的核心包（Core）中描述了设备间的层次关系。建模时，变电站内的变压器只考虑其父类，子类仅按 2 端口或 3 端口区分。不同的导电设备属于不同的电压等级，设备间的继承关系不仅继承类的属性，而且继承类的关联关系，这样为增减设备提供了良好的扩展性。线路、开关、母线等在 Wire 包中定义，分别为导电设备类的派生类。

计算软件重点关注与计算分析相关的设备属性，如变压器的容量、短路电抗百分数、所属馈线等计算信息，通过将配电网各设备的唯一 ID 和相应的物理属性进行实例化，从而建立完整的配电网设备模型。

图 1-2 显示了 Wires 类图中 PowerTransformer（电力变压器，为保持 CIM 中的设备完整性和使用习惯，相关设备不再翻译成中文，以下同）设备模型的部分。

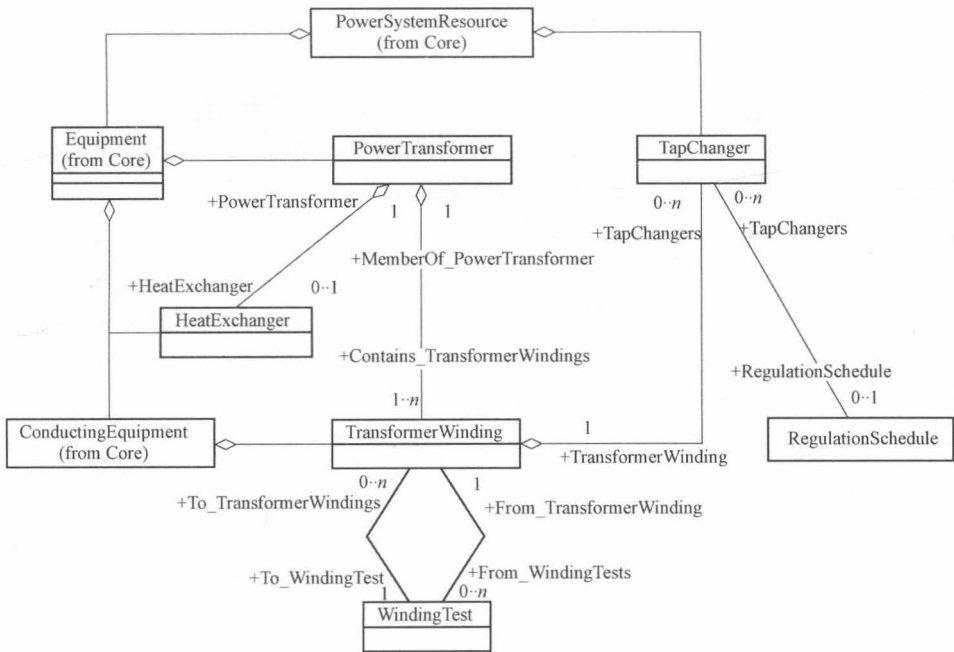


图 1-2 PowerTransformer 设备模型

如图 1-2 所示，PowerTransformer 是 Equipment 的特殊类（箭头表示派生关系），

Equipment 和 ConductingEquipment 与 TapChanger 一样，都是 PowerSystemResource 的特殊类。这是用普遍化类型的关系来表示的，它用一个箭头指向普遍类，因此允许 PowerTransformer 类从 Equipment 和 PowerSystemResource 继承属性。

PowerTransformer 还具有一个 TransformerWinding，这种模型的建立使用了聚集类型的关系，使用菱形符号从部分类指向整体类。如图 1-2 所示，一个 PowerTransformer 可以有（或包含）一个或多个 TransformerWinding（在线左侧用 $1 \cdot n$ 表示），但是一个 TransformerWinding 仅属于一个 PowerTransformer（或是 PowerTransformer 的一个成员，在线的菱形头右侧用 1 表示）。

TransformerWinding 还有其他的关系：

- (1) 与 ConductingEquipment 的普遍化关系；
- (2) 与 WindingTest 类的关联关系，因此一个 TransformerWinding 对象可以从 0、1 或多个 WindingTest 对象测试 (TestedFrom)；
- (3) 与 TapChanger 类的聚集关系，因此一个 TransformerWinding 对象可以具有 0、1 或多个 TapChanger 对象与其关联。

其他设备的对应关联关系与配电变压器类似。

1.1.3 配电网拓扑模型

CIM 拓扑模型用于解决配电设备之间的连接关系，是计算模型关注的重点。

CIM 拓扑建模主要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 (Conducting Equipment) - 终端 (Terminal) - 联结点 (Connectivity Node)”的关联关系来表现。终端是设备的终点，一个设备可有多个终端，联结点根据网络运行状态，把相关的终端连接在一起。

拓扑包 (Topology) 定义了拓扑关系的类，主要涉及 5 个类，即端点类 (Terminal)、连接节点类 (ConnectivityNode)、拓扑节点类 (TopologicalNode)、拓扑岛类 (TopologicalIsland)、导电设备类 (ConductingEquipment)。端点是导电设备的电气点，连接节点是导电设备端点的无电阻融合点，相当于开关节点模型 (电气计算模型，在后文将有详细阐述) 中的节点。一个端点一定属于一个具体的导电设备，一个连接节点有一个或更多端点。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，则表示这些端点融合在一起。拓扑节点是对连接节点整合后产生的动态节点，实际上对应于母线/支路模型 (电气计算模型，在后文将有详细阐述) 中的计算母线。拓扑岛对应于实际运行的电气岛，由一组具有电气连接的拓扑节点构成。CIM 模型定义了导电设备类与端点、端点与连接节点之间的关联关系。CIM 拓扑模型如图 1-3 所示。

同时，根据设备建立的先后顺序，给每个设备附加设备端点，创建连接节点表，用以描述设备间的拓扑关系。对于母线、电容器，可以归结为单端设备，即两端端子号相同。对于开关/隔离开关、双端变压器或三端变压器等，因各端点作用不同，各端端点号各异。

1.1.4 量测模型

量测包定义了用于设备管理的试验数据和量测数据。在计算系统中主要关注量测数据部分。量测是所有计算的基础，主要包括以下几个子类。

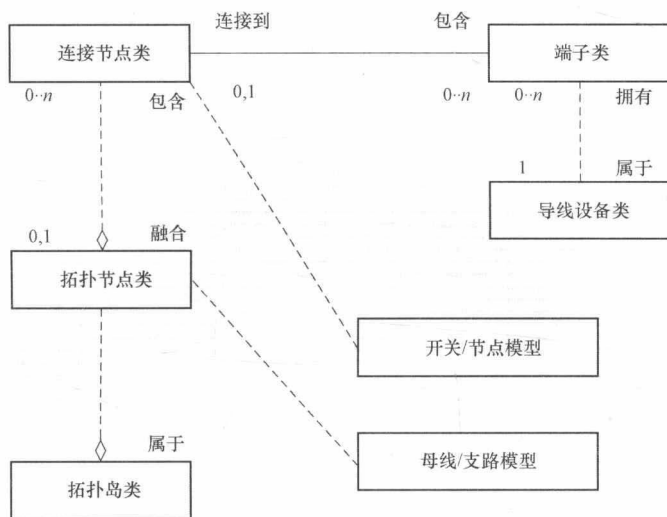


图 1-3 CIM 拓扑模型

1. 量测类 (Measurement)

一个量测类描述任何一个测量的、计算的或者非测量的、非计算的量。任何一个设备都可以包含量测，例如，一台变压器可以有与计算紧密相关的量测，如功率量测、电量量测等，也可以有与计算无关的量测，如油温等；一个间隔可以包含许多潮流量测；一个断路器可以包含开关状态量测和实时遥测量量测等。

2. 量测类型类 (MeasurementType)

指定量测的类型，例如，馈线首端功率、开关状态、母线电压、变压器电量等。

3. 量测值类 (MeasurementValue)

量测的当前值，一个值是来自特定源的一个量测实例。量测可以与多个量测值关联，每一个值表示该量测的一个不同的源。

4. 量测值质量类 (MeasurementValueQuality)

量测质量标记，如用 1 表示良好，0 表示不可用，2 表示可疑等。

5. 量测值来源类 (MeasurementValueSource)

量测值来源类描述了更新量测值的可选来源。

为了建立如电压和功率等模拟量的模型，每一个 Terminal 都与 Meas 包的 Measurement 类有一个关联。一个 Measurement 对象至少和一个 MeasurementValue 对象关联。每一个 MeasurementValue 对象可用某一个计算源替代。

1.1.5 综合模型

配电网综合模型包括变电站内的 10kV 母线、配电馈线、开关站、配电变压器等配电设备组成的辐射型网络模型及量测模型。配电网设备通过端点相互连接，这些端点成为连接节点，当所有开关闭合时形成的节点定义为原始拓扑节点，拓扑节点通过导线（架空线或电缆线）相互连接，把各配电网设备连接到一起，形成拓扑岛。配电网综合模型采用设备容器模式 (Equipment Container Pattern) 把各个设备连接起来，如图 1-4 所

示。设备容器模型中定义了厂站（包括开关站、环网柜、电缆分支箱、配电站等）、电压等级、配电设备（导电设备、开关、配电变压器等）之间的分级与连接关系。

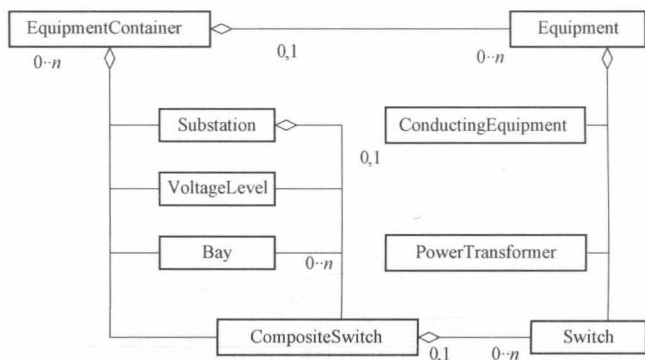


图 1-4 配电网综合模型

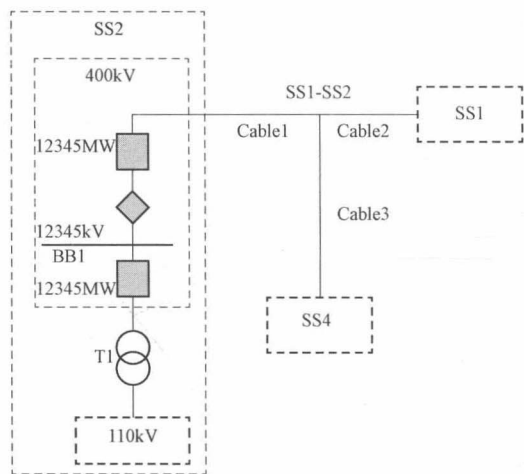


图 1-5 连接模型和包容模型的关系

下面用图 1-5 所示例子来阐述连接模型和包容模型如何表示成计算用的对象。

图 1-5 中有三个厂站（SS1、SS2 和 SS4）T 型连接的线路（SS1-SS2），其中 SS2 含有变压器 T1，母线 BB1 连接两个电压等级 110kV 和 400kV。线路包括两条不同的电缆 Cable1 和 Cable2。其中一个电压等级有一个母线段，该母线段包含一条单一母线和连接到该母线的两个非常简单的开关间隔设备。

图 1-6 显示了在 CIM 中怎样建立连接模型，以及在图 1-5 中建立包容模型的一种方法（但不是唯一的方法）。阴影框

代表 EquipmentContainers，白框代表 ConductingEquipment。黑色阴影表示 Equipment-Container，在包容层次结构中处于较高层（也就是说，Substation 在最上层，接下来是 VoltageLevel 等）。白圈表示 ConnectivityNodes，黑色的小圈表示 Terminals。一个 Terminal 属于一个 ConductingEquipment，一个 ConnectivityNode 属于一个 EquipmentContainer。这就意味着 ConductingEquipment 之间的边界（或者说接触点）是它们通过 ConnectivityNodes 相互连接的 Terminals。（导电设备含 Terminals，容器设备含 ConnectivityNode）。

线路 SS1-SS2 有两个 ACLineSegments——Cable1 和 Cable2。分离出的 Substation SS3 有 ConnectivityNode CN2，它建立了 ACLineSegments 之间的连接点模型以及到 Cable3 的 T 节点模型，Cable3 提供了 SS3 与 Substation SS4 的连接。每个 ACLineSegment 有两个 Terminals。Cable1 通过它的 Terminals 连接到 CN3 和 CN2 上。CN3 包含于 VoltageLevel 400kV。Breaker BR1 有两个 Terminals，其中一个连接到 CN3。

Measurements 由矩形标注表示，其箭头指向 Terminal。P1 连接到属于 Breaker BR1

的右端 Terminal 上。注意 P1 画在了表示 BR1 的方块内，这是因为一个 Measurement 属于一个 PowerSystemResource (PSR)，如 BR1。P2 画在了 VoltageLevel 400kV 内，意味着它属于 400kV VoltageLevel 而不属于 BR3。

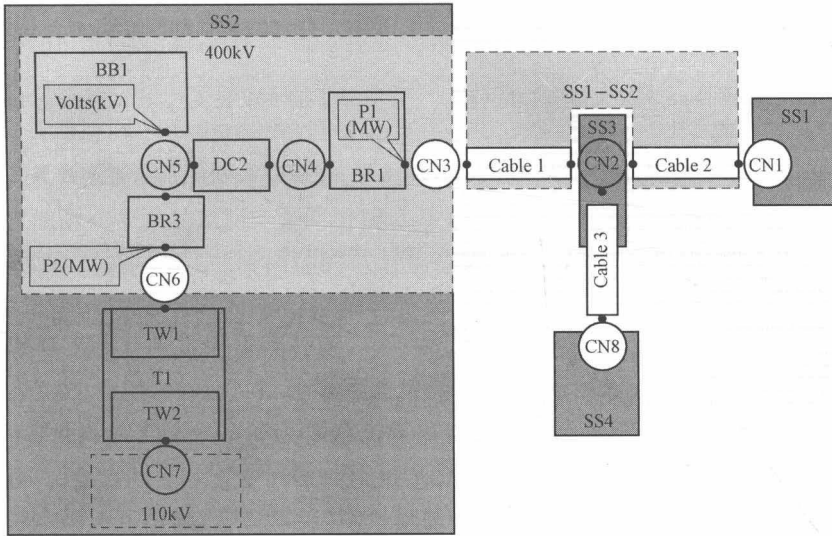


图 1-6 CIM 元件连接关系

1.2 CIM 解析与存储方法

1.2.1 CIM 文件的组织

CIM 利用 XML 描述公用信息交换的格式。资源描述框架 (Resource Draft Frame, RDF) 提供了一种容纳多种元数据标准的框架，建立数据模型后，就可以用 RDF 语法 (XML) 编码加以描述，而 RDF Schema 则定义了描述资源时用到的属性类及其意义。

由 CIM、XML、RDF 共同组成配电系统信息交换的 CIM/XML 文件，对该文件的生成和解析构成基于标准的信息交换。

由于 RDF 语义的特殊性，同样的一组数据，可以用不同的 RDF 语法来描述，例如厂站 Substation 和子控制区域 SubControlArea 的关系，可以将子控制区域作为厂站的一个属性，表示某厂站属于某子控制区，也可以将整个厂站元素嵌入到子控制区域中，变成子控制区域的子元素。在实际的使用中，如果元素里面套元素，将会给解析带来困难，为提高常规解析工具的效率，一般采用简化的语法来表征 CIM 模型的关系，也就是使用一个 RDF 语法的子集来创建 CIM/XML 文档，每个设备采用多个元素单元来描述，其属性只保留一个，值可选。表面上看起来，这种扁平状的结构虽然增加了 CIM/XML 文件的长度，但可以使 CIM/XML 文件的结构变得足够清晰，移植性更好。

下面是从一个 CIM/XML 文件中摘取的片段 (“<! -开关的 id 号->” 为注释语句，本章举例均采用 SG-CIM 标准)。

【例 1-1】 CIM/XML 文件的设备属性描述实例。

```

<cim:Breaker rdf: ID = "0D03DBE4115045D198BAB5D6B4BF504281040513407" ><! --开关的 id号--
>
  <cim:PowerSystemResource. PSRType rdf:resource = " #810405" /><! --所属资源类型-->
  <cim:Naming. KGBH>901</cim:Naming. KGBH><!--开关的调度编号-->
  <cim:IdentifiedObject. Analog3>1</cim: IdentifiedObject. Analog3><! --开关类型, 是
  否属于三遥开关-->
  <cim:Naming. name>XX 大厦 #1环网柜 (三遥) XX I 回 901 开关</cim:Naming. name><!--开
  关名称-->
  <cim:Switch. normalopen>FALSE</cim: Switch. normalOpen><!--是否是常开 (联络) 开关
  -->
  < cim: PowerSystemResource. Circuits rdf: resource = " # E2158F1EDDBF496AACD8CE9E939
  4B544421B0100010" /><! --开关所属馈线 id-->
  <cim:ConductingEquipment. BaseVoltage rdf:resource = " #BaseVoltage _ 22" /><! --开关
  所属电压等级-->
  <cim:Equipment. MemberOf _ EquipmentContainer
  rdf:resource = " # 3DD1268AFB7B4 4BA9531AE51CDC9E5E441130192595" /><! --开关所属容器
  id-->
  </cim:Breaker>

```

从上面的说明可以看出,CIM资源的属性有两类,第一类是以简单的字符串直接说明这个属性的值,按照数据类型来说,这个属性的数据类型是简单数据类型(如字符串、整数值、浮点数等),如“cim: Breaker rdf: ID=“ xxx””;第二类则是以另一个 CIM资源的值作为属性,也就是这个属性关联了另外的一个 CIM类型的数据,如“cim: E-q uipment. MemberOf _ EquipmentContainer”所关联的就是另外一个资源,并且语法上要在这个资源 id 的前面加上#,如“# 3DD1268AFB7B44BA9531AE51C DC9E5E441 130192595”就表示 ID 号为 3DD1268AFB7B44BA9531AE51CDC9E5E441130192595 的一个间隔或者变电站。

通过上面的方法就可以将一个开关及其属性进行完整的表述。

【例 1 - 2】 CIM/XML 文件的设备连接关系描述实例。

```

<cim: Terminal rdf: ID = " 67EF3490A093447C86676F8E1A43385B8104050326001" >
<cim: Terminal. ConductingEquipment
  rdf: resource = " # 0D03DBE4115045D198BAB5D6B4BF504281040513407" />
< cim: Terminal. ConnectivityNode rdf: resource = " # 67EF3490A093447C86676F8E1A43385B
810405 03260 _ 1" />
</cim: Terminal>
<cim: Terminal rdf: ID = " 67EF3490A093447C86676F8E1A43385B8104050326002" >
< cim: Terminal. ConductingEquipment rdf: resource = " # 0D03DBE4115045D198BAB5D6B4B
F504281040513407" />
< cim: Terminal. ConnectivityNode rdf: resource = " # 67EF3490A093447C86676F8E1A43385B8
1040503260 _ 2" />
</cim: Terminal>

```

例 1 - 2 描述了某个开关设备 (ID 号为 0D03DBE4115045D198BAB5D6B4BF50

4281040513407) 的设备连接关系, 也就是这个开关包含两个 terminal (其 ID 号分别为 67EF3490A093447C86676F8E1A43385B8104050326001 和 67EF3490A093447C86676F8E1A43385B8104050326002), 也可以说这两个 terminal 都包含于设备 0D03DBE4115045D198BAB5D6B4BF50428104051340, terminal1 对应 ConnectivityNode 的 ID 为 67EF3490A093447C86676F8E1A43385B81040503260_1, terminal2 对应 ConnectivityNode 的 ID 为 67EF3490A093447C86676F8E1A43385B81040503260_2, 这两个节点在开关设备的两端, 开关设备通过两个 ConnectivityNode 与其他设备相连。

1.2.2 CIM 关系模型的映射方法

CIM 实例由一个个的 XML 文件组成, 从数据安全和管理的角度来看, 一般采用数据库来管理 CIM 信息。CIM 所描述的电力系统模型采用面向对象的技术, 面向对象的数据库是首要选择, 中国电力科学研究院开发的基于 IEC 61968 的 XML 原生数据库系统 (该系统为早期数字化配电网应用开发, 现在已经发展到了智能配电网应用) 能够很好地支持 CIM 模型的管理, 但 XML 数据库系统有一个明显的缺点, 就是应用范围比较窄, 使用者很难掌握相关的实现技术, 管理和维护也存在一定的难度, 也就是说, XML 数据库系统过于“小众”, 可以作为模型研究和模型测试时使用, 不易规模化现场应用。涉及 CIM 实例的操作, 如存储、插入、查询、校验等操作, 最好将其解析存储到关系型数据库。关系型数据库应用广泛, 使用较方便, 可以运用简单的 SQL 语句进行操作, 特别是对大数据量处理更具优势。另外, 关系型数据库较成熟, 数据的安全性较高, 性价比也较好。目前的主流关系型数据库, 如 Oracle、SQL Server、MySQL 等具有性能可靠、简单易维护等特点, 本节结合 CIM 模型与关系型数据库, 讲述对模型实体进行有效存储和管理的方法。

配电网设备种类具有明显的层次关系, 如一个变电站有多条出线, 每条出线包括多种设备, 有厂站 (开关站、环网单元、电缆分支箱、配电室等)、导线、柱上变压器、柱上开关等, 厂站内包含多个母线、开关等, 使得配电网 CIM 模型的层次较深, 类之间的关系也较复杂。如果完全映射成关系型数据库中的表, 将不可避免地生成很多关系表, 使得数据库中的表数量较大。如果不映射关系, 只映射对象, 就不能得到可以用于计算的拓扑模型。

因此, 在 CIM 到关系模型的映射过程中, 需要根据配电网具体设备及拓扑关系特点采取不同的映射方法, 使得配电网数据模型在遵循 CIM 的前提下, 既能体现配电网的实际特点, 又能符合数据库的使用习惯。

配电网 CIM 模型到关系型数据库的映射, 大体上可以按照表 1-1 所示的对照结构进行。

表 1-1 配电网 CIM 与关系型数据库的对照

配电网 CIM	关系型数据库结构	配电网 CIM	关系型数据库结构
包		对象	记录
类	表	类的属性	字段

将 CIM 模型里面的相关设备类 (不一定是全模型, 但应是大部分的与计算系统软件有关的类) 和拓扑类 (主要有端点类 Terminal、连接节点类 ConnectivityNode、拓扑节