

Abstract

In the electric automated system of city at county level at present, a lot of automated systems mostly exist, for finishing different functions , roughly include the following several part in the automation of city at county level: Transformer substation complex automatic system , Dispatch automated system , Distribution automation system , Geographical information system ,Electric consumption check meter system,etc..

This text proceeds from real business demand and sets out with the technical feasibility angle to the construction mode of power automation of city at county level at present, have study the demand for the urban electric wire netting at county level, has studied the composition of the electric complex automatic system and function of each module , and trend is it makes to be comparatively deep research to calculate.

Through discovering thoroughly , it is very suitable to set up " Colligation Power system at county level " in the city at county level of this text, can improve the management water product of the urban electric network at county level from such all respects as the economy , efficiency ,etc. , reduce the enormous management cost for electric enterprises , make the electric complex automatic system of city at county level have enormous value to popularize.

Keyword:Distribution Automation 、 Distribution Network Analysis 、 Powerflow 、 Colligation Power system at county level

第一章 绪论

1.1 背景及概念的提出

当前,我国电力工业的发展速度,已由过去主要取决于投资规模逐步转变为由市场需求来决定,电力市场由卖方市场向买方市场转变已见雏形,对于电网的认识从原来的“重发、轻管、不管用”的危害,逐渐开始重视用电部分的建设,即配电网的发展,但是由于历史的原因,电网的建设缺乏统一规划的现象^[1]。

在全国电力体制改革会议上已明确提出:今后发电、供电、用电要同步建设,不要再“重发轻供不管用”。以往我国发电配电投资比为 1:0.12,大大落后于先进国家 1:0.6~0.7 的比例,将会得到较快的改善。此外,随着我国电力法的颁布,广大用户不仅要求有电用,而且要求供电安全可靠、电能质量符合质量标准。各供电局纷纷对用户作出有关供电质量和供电可靠性的各种承诺,其中北京供电局计划筹资 78 亿元来进行城网改造和配电自动化建设。这就足以说明广大配电市场驱动的力度,更不用说众多经济开发区对供电安全和质量所提出的更高的要求了。

我国县级城市调度自动化发展比较早,目前已经到了相对成熟的阶段,而我国配电自动化工作起步不久,面临着种种复杂局面,往往无所适从。据了解,许多配网上自动化项目的积极性很高,但由于投资水平有限,所要解决的主要问题也有所不同,可以说投资的效益比并不高,因此,目前都希望能找到一个“性能价格比”较好、符合当代技术发展方向、能“统一规划,分步实施”、不致因系统发展或技术进步而“推倒重来”的系统。

目前县级城市由于历史原因也像地级城市一样具有调度、配电等多套系统,笔者认为对于县级城市的电网规模(设备数量),建造多套自动化系统的必要并不大。而对于地级城市将目前的多套系统的状况采用一套系统并不太合理,应该考虑系统建设后的性能指标和处理的数据量和管理规模来考虑。

目前县级城市电力自动化系统主要包括:调度自动化、变电站综合自动化、配电自动化、地理信息、管理系统等。对于县级城市而言,由于电网规模、人员配置、人员技术水平、维护人员数量、售电效益等的因素,并不需要建设多个系统去各自完成自己的功能,完全可以通过一套系统实现现有系统的各个功能的全新系统,即:“县级电网综合自动化系统”。

“县级电网综合自动化系统”完全符合投资经济性和管理的需要，从技术角度讲也是完全可以实现的。从管理的角度讲更符合现行的管理规则。

所以发展“县级电网综合自动化系统”是符合县级城市发展的需要的，也是提高县级城市电网运行水平、合理降低投入的必要手段。

1.2 缩写说明

DMS: (Distribution Management System) 配电管理系统

EMS: (Energy Management System) 能量管理系统

DA: (Distribution Automation) 配电自动化

AM/FM/GIS: (Automatic Mapping /facility Management/geographic information System) 自动绘图/设备管理/地理信息系统

SCADA: (System of Control And Data Acquisition) 数据采集和监视控制

DJM: (Distribution Job Management) 配电工作管理

GPS: (global position System) 全球定位系统

RTU: (Remote Terminal Unit) 站内远方终端

FA: (Feeder Automation) 馈线自动化

FTU: (Feeder Terminal Unit) 馈线远方终端

TTU: (Transformer Terminal Unit) 配变远方终端

1.3 目前县级城市自动化系统状况

目前对于县级城市电力自动化系统中，各个系统一般采用分别建设的策略，在县级城市自动化中大致包含以下几个部分：变电站综合自动化系统、县级调度自动化系统、配电自动化系统、地理信息系统、电量抄表系统等。

我国电网地区调度自动化功能以 10kV 为界分为地区和配电两大部分，前者采用部分能量管理系统(EMS) 功能,后者采用配电管理系统(DMS) 功能。在 EMS 系统中包含变电站综合自动化系统。配电管理系统与调度自动化的划分如图 1.1 所示：

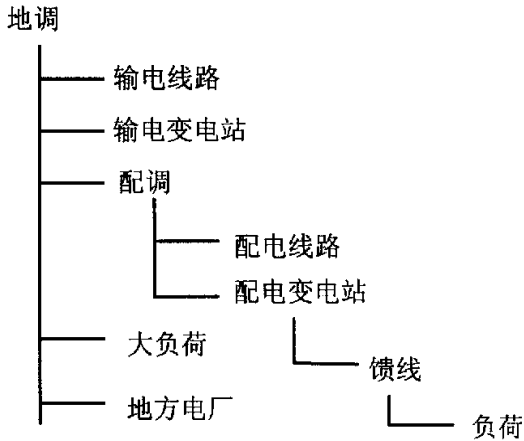


图 1.1 调度自动化与配电管理系统的划分

变电站自动化系统:八十年代末九十年代初,数字信号处理(DSP)技术的应用,导致免变送器 RTU 的问世。而免变送器 RTU 的问世,不仅使得随一次设备分散布置的分散式 RTU 很快地发展了起来,而且还提供了强有力的功能综合优化手段。如电压、功率和电度的测量,以前需要通过三种不同的变送器来实现,而免变送器的 RTU 可直接从 CT、PT 采样电流电压波形,通过分析计算,不仅可以得出电压、有功无功功率和有功无功电度,还可分出基波和谐波值,进一步计算出功率因数、频率以及零序负序参数等值。在变电站综合自动化中,这种分散布置的 RTU 模块通称为测量控制单元或 I/O 单元。与此同时,变电站站内传统的各种继电保护和重合闸、故障测距、故障录波等自动装置,同样受到 DSP 的冲击,直接从 CT、PT 采样电流电压波形,通过分析计算,不仅可以得出各种继电保护的运行值和整定值并进行比较,实现其保护功能,而且还可与重合闸、故障测距、故障录波、小电流接地系统单相接地选线等功能综合在一起,随一次设备分散布置。在变电站综合自动化中,这种分散布置的保护和自动装置模块通称为保护单元。I/O 单元和保护单元的出现,使得传统的集中控制的变电站自动化系统除变电站级的中央单元外,增加了一层由 I/O 和保护单元所组成的间隔级(baylevel)。因此, I/O 和保护单元有时也统称为间隔级单元。不同的是,I/O 单元主要是面向正常运行方式,而保护单元则是用于故障环境。因此,两者对 CT 变比的要求有所不同^[2]。

中央单元和间隔级单元之间,一般是采用光缆连接,并通过信息共享实现诸如“室内五防、室外四防”的软件闭锁,取代或简化传统上较为复杂的二次闭锁回路。此外,中央单

元还承担少量公用的 I/O 和管理任务,如接入对时用的 GPS 信息、无人值班时的入门监视和烟雾报警,以及和环网上的 FTU 配合实现信息转发、环网控制和接地选线等。这样,通过高一层次的综合优化,组成了变电站的综合自动化系统。

调度自动化: 县级城市调度自动化是利用计算机、通信等技术实现县级城市电网供电变电站的集中控制, 最终达到变电站无人值守的目的, 实现县级城市电网的自动化管理。县级电网调度自动化系统, 在电网的实时监控、故障处理、负荷预测和电网的安全、经济、稳定运行等方面, 发挥了重要作用, 同时也为各级领导和生产、管理部门提供科学准确的决策依据等方面发挥着重要的作用。县级电网调度自动化系统的应用彻底地改变了传统的电网调度方法, 为县级电网调度提供了高科技含量的新型电网调度手段, 是县级电网调度手段和方法的一次革新, 是县级电网安全、经济、稳定运行的重要保障^[3]。

配电自动化: 配电管理系统是建立在新的配电自动化设备和通信网络的基础之上, 应用计算机技术、自动控制技术、电子技术以及通讯技术, 对配电网进行在线和离线的智能化监控与管理, 使配电网运行在安全、可靠、经济、优质、高效的状态下。它为供电企业提供一种先进的管理手段, 给用户提供满意的供电服务。

由于配电网与输电网结构的不同配电自动化的组织一般采用分层分区集结的方式。配电自动化一般分为二到三层(大城市有四层结构), 分层的数目主要是考虑数据规模而定。配调主站层: 配调主站从各个配电子站获取配电网的信息, 对配电网进行全面监视和控制, 实现故障诊断、故障隔离和非故障区的恢复供电, 分析配电网的运行状态, 对整个配电系统进行有效的管理; 终端设备层: 包括开关监控单元 FTU、配变监测单元 TTU、环网柜 RTU、开闭所 RTU、馈线通信设备等, 该层主要完成对配网设备直接的采集控制。

按照电力管辖区域, 分别在变电站建设配电子站, 用于管理本区域内的配电设备和故障处理等功能, 按照以上设计原则配电自动化系统的体系结构如图 1.2 所示:

地理信息系统: 地理信息系统是一门集计算机科学、信息学、地理学等多门科学为一体的新兴学科, 它是在计算机软件 and 硬件支持下、运用系统工程和信息科学的理论, 科学管理和综合分析具有空间内涵的地理数据, 以提供对规划、管理、决策和研究所需信息的空间信息系统。

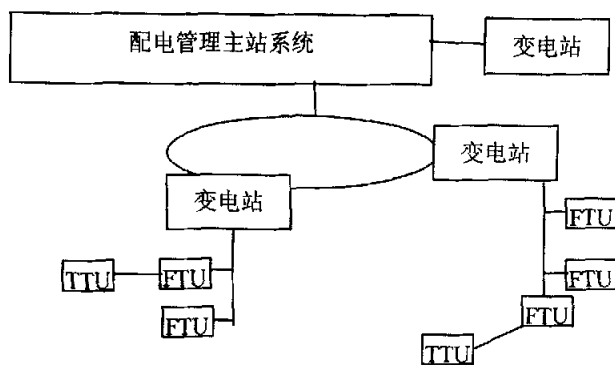


图 1.2 配电管理系统结构示意图

电力地理信息系统是将供电系统所涉及到的电线杆、架空线、电缆和所有电气设备输入到可任意缩放的电子地图中去,并提供丰富的对设备查询、编辑和统计手段,在此基础上对配电网进行科学的管理,并在区调一级逐步取代模拟盘。

电力地理信息系统发展到今天已经成为电力企业管理电力设备和空间数据的有效手段,电力地理信息已经成为电力企业的数据支撑平台。在电力事业的发展中发挥着举足轻重的作用^[4]。

居民用户抄表:电能数据采集及计费自动化系统是集电能数据自动采集、数据传输、计费结算、用电分析及用电监测于一体的自动化系统,是电网推行商业化运营和管理,电力走向市场的技术保障之一。从结构上讲,电能数据采集及计费自动化系统是集主站系统、远程数据采集终端、计量表计于一体的,全面实现发、输、配电网用户电能数据的自动采集、分析与计费功能的自动化系统^[5]。

比较大规模典型的电能量采集系统结构如图 1.3 所示:

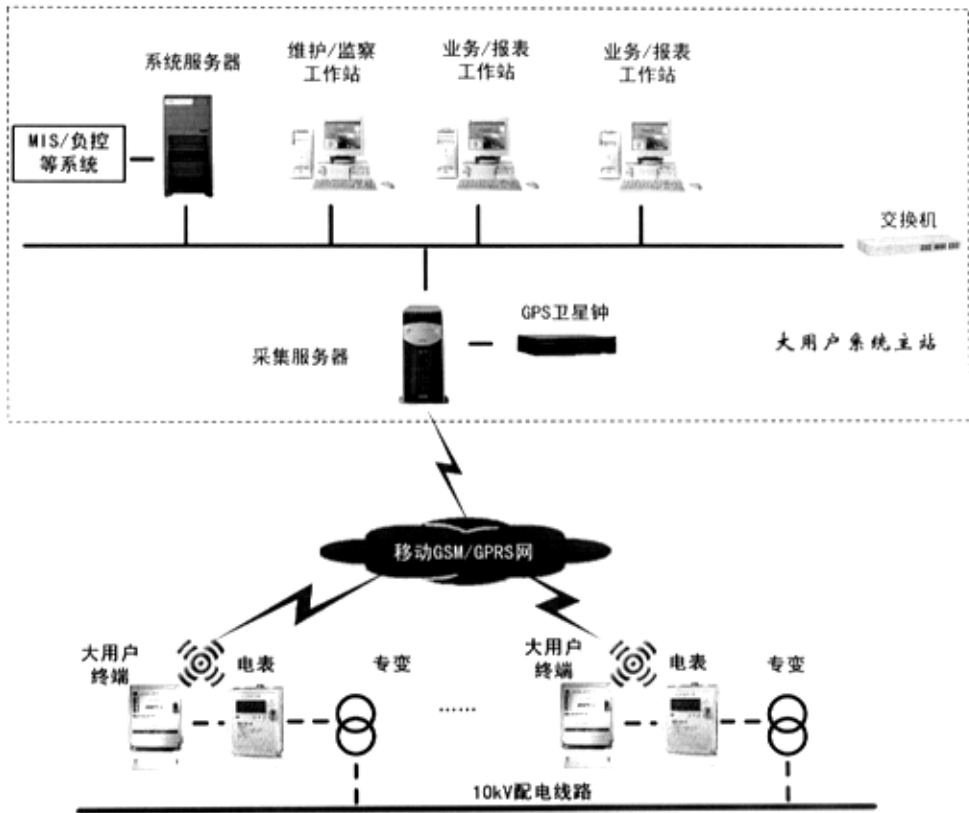


图 1.3 抄表系统组织示意图

以上是独立的抄表系统的结构，在县级城市电网综合自动化中，这些功能是由系统的 SCADA/GIS/TMR 等系统配合完成的。在工作站配置上，没有单独配置，可以在任何一台工作站上进行管理。

在抄表系统中一个比较重要的环节是通信系统，在以往没有其它自动化系统的情况下，抄表系统的通信是采用无线、载波等方式，但在建设了配电自动化以后，抄表系统的信道就直接可以采用配电自动化的馈线级通信实现。

1.4 本文论点

鉴于目前对于县级城市电网自动化的需求分析，本文将介绍“县级电网综合自动化系统”。即用一套系统实现县级城市的调度自动化、变电站综合自动化、配电自动化、地

理信息系统、管理系统、抄表等系统。

县级电网综合自动化系统（County Power Network Synthesized Automation System 简写 CPNSAS）是利用现代计算机技术、通信技术、软件技术，在一个系统平台上集成县级电网调度自动化、变电站集中控制、县城配网自动化、Web 信息发布、高级应用以及地理信息系统（GIS）等功能的新一代县调系统，用最新技术手段，实现信息共享。系统的应用能够有效提高县级电网的管理水平，保证电网的安全经济运行，提高供电可靠性和电能质量，为客户提供优质服务。

根据目前电力企业对设备归属权的划分，在地级城市中所有的变电站（包括变电站内的 10kV 设备）全部归地区调度管理，变电站以外的配电线路和配电线路上的设备全部归属配电调度管理，分界线一般时设在变电站出口。在地级城市的配电自动化实施过程中由于在配电网故障处理完成的情况下需要操作变电站出线开关，而开关的管理权限在地区调度一侧，所以给配电自动化的执行效率带来了许多负面影响。

县级城市综合自动化系统从各个角度分析都是可是实现的。

从管理权限和范围讲，在县级城市中不存在设备管理权的冲突，因为在县级城市从变电站所有设备到配电线路（馈线）上的所有设备均归属于县级供电企业一家管辖，这种管理范围给县级城市电力综合自动化系统提供了管理方面的条件。所以在处理故障网络故障时，不再需要变电站和配电线路单独处理，而是统筹考虑，使得故障处理和供电更加合理化。

从技术角度讲，实现“县级电网综合自动化系统”是完全可行的，因为一般的调度和配电自动化系统均含有 SCADA 功能，所不同的是两个系统所采集的设备对象不同而已。从网络数据一致性维护的角度讲，SCADA 和 GIS 系统之间数据的传输给电网数据的一致性带来了不利影响，而本文提出的“县级电网综合自动化系统”完全采用一致的数据完成电网的管理，从设计角度讲更加易于实现。

从经济角度讲，“县级电网综合自动化系统”相比以往单独孤立的各个系统的投资和费用，可以说得到了大大的提高。一般情况下，县级城市具有 3—4 个独立的系统去完成县级电网的管理，而“县级电网综合自动化系统”只用一套系统就可以完成，而且运行维护人员的数量也大大降低。

1.5 本文系统的推广意义和应用前景

鉴于县级综合自动化系统的比以往分别建设各个系统的巨大经济效益比和维护施工等方面的众多优点,在将来的推广中一定会有巨大的市场空间。

县级电力综合自动化系统在建设时可以完成的功能是以往变电站综合自动化系统、县级调度自动化系统、配电自动化系统、地理信息系统、电量抄表系统等多大 5 套系统的功能,同时硬件的投资并不是 5 倍,运行人员的配置也是大约原来的 1/3 左右,维护人员大约是原来的 1/2 左右。

不管从经济角度还是从维护、管理的角度讲,县级城市综合自动化系统的推广具有巨大的现实意义。

第二章 系统的结构和功能

2.1 综合自动化系统结构

2.1.1 系统的分层结构

根据县级城市电网特点“县级电网综合自动化系统”分为三层比较合理。

第一层为县级电网综合自动化系统主站，可以采用双机双网、双机单网或单机单网结构，客户机/服务器体系，可以采用 Windows 2000 操作系统或 UNIX 与 Windows 2000 混合操作系统，数据库管理系统可以选用 SQL Server 2000、Oracle 或 Sybase。采用面向对象设计、标准 C/S 模式、数据软总线技术、系统具有良好的实时性、开放性、易操作、易维护。

第二层为综自变电站层（或 RTU）和配电自动化子站层，配电子站用于 FTU、TTU 的信息集结，减轻主站通信负担，提高速度和可靠性。综自变电站层用于集结综自间隔层的保护监控设备。

第三层为配电自动化终端层，主要包括 FTU 和 TTU 等；以及综自间隔层的保护监控设备等。

县级城市电力综合自动化系统结构如图 2.1 所示。

2.1.2 系统数据流向和功能配合

以往的调度自动化系统主要是完成变电站设备（断路器等）的常规调度和在故障状况下对故障处理的监视任务，它所完成的功能范围完全集中在变电站设备的调度上，完全没有考虑和变电站外 10kV 线路的配合问题，这种分而制之的方式在县级城市中已经完全没有必要，同时也不符合电力网络的设备之间的配合。

本文提出的“县级电网综合自动化系统”对县级城市的变电站（110kV、35kV、10kV 出线）和 10kV 的配电网络所组成的电网进行统一的管理和调度。

县级电力综合自动化系统配置结构示意图

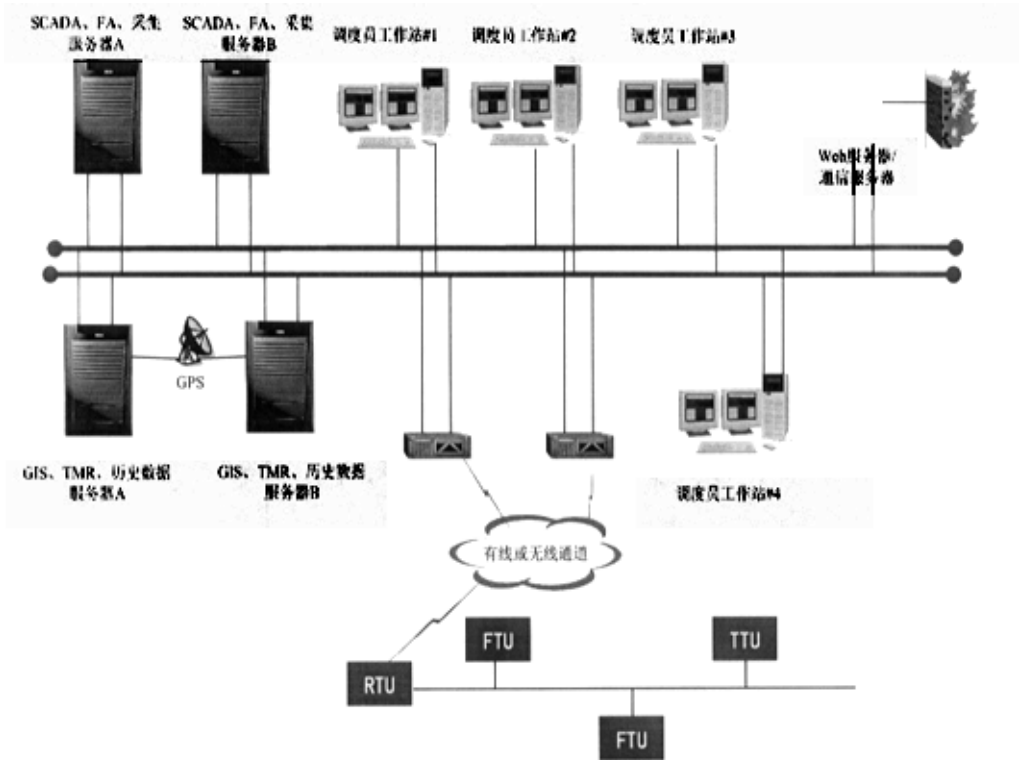


图 2.1 县级城市电力综合自动化系统结构图

在“县级电网综合自动化系统”中设有地理信息 GIS 功能、信息采集与控制 SCADA 功能、电量抄表 TMR 系统、电网综合调度功能、输配电一体化 PAS 功能等，几个主要的功能，各个功能之间数据流向和功能配合见图 2.2 信息流向和功能配合：

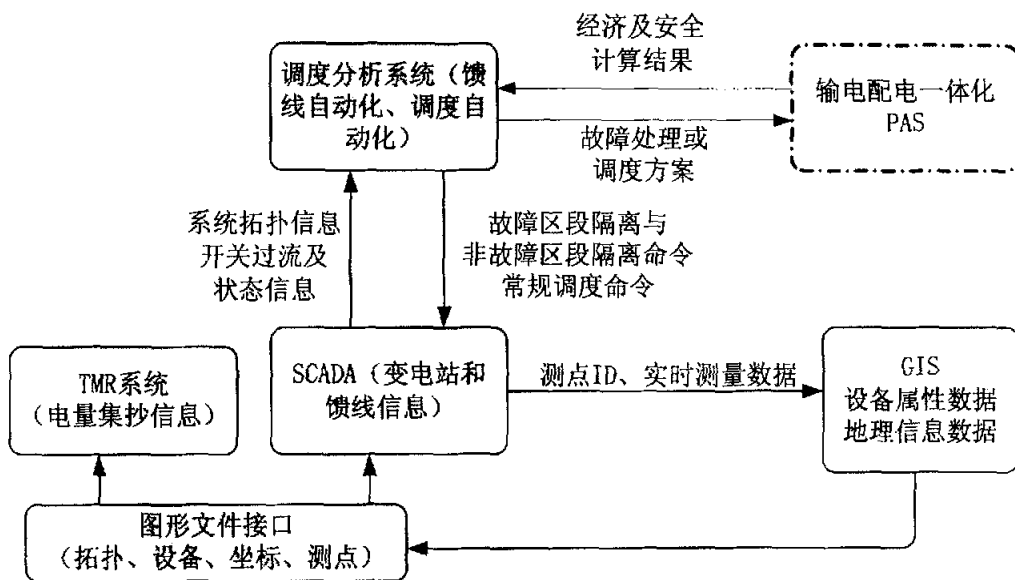


图 2.2 信息流向和功能配合

作为系统的静态数据管理和输入数据库的 GIS 功能，管理着电网的所有静态数据，包括变电站和馈线设备的参数数据等电气设备的固有信息，同时也包含着这些设备的地理位置信息、电网的调度图形，这些信息的输入和维护全部都在 GIS 上完成，这样就可以保证系统数据的一致性。

信息采集 SCADA 系统直接利用 GIS 中输入的电网图形，用于分析和调度，在 GIS 中输入时同时也生成了用于 SCADA 的设备 ID 信息，这样 SCADA 的所有基础信息就已经满足要求了，所以直接利用 GIS 中输入的数据就完全满足的数据维护一致性的问题。

电量抄表 TMR 系统也是直接利用 GIS 输入的图形和拓扑信息，进行电量累加和线损的分析计算。

调度分析系统利用 SCADA 提供的量测信息和拓扑信息通过逻辑上的方案给出电网的调度方案，这个方案只是拓扑上的可能方案，对这些方案输出给 PAS 进行分析，PAS 分析后给出各个方案的经济和安全指标，返回给 SCADA 系统供调度员选择进行执行。

这样就完成了系统所有数据的一致和系统在管理电网范围内全面调度，考虑安全和经济的综合优化结果。

2.2 综合自动化系统功能

2.2.1 系统调度子功能

县级城市电力综合自动化系统的调度功能区别于传统的调度功能，在这里调度功能包含传统意义上的变电站设备调度和配电网络调度功能，变电站调度和馈线调度的配合可以比以往调度更好的完成故障的处理和日常维护^[6]。

主要完成：

- 智能化网络建模：

网络建模主要是根据 GIS 中提供的静态数据进行分析，去除调度不感兴趣的多余信息，形成符合电力分析用模型。

- 拓扑分析：

网络拓扑分析根据开关刀闸的状态信息，确定整个电网的电气联通性关系，采用广度优先搜索的方法，对配电网络进行分析。对于变电站内网络采用深度优先搜索的方法，处理复杂的网络接线方式。

- 动态着色

- 量测系统的分析和维护：

由于量测设备的局限，实际的量测值在使用过程中难以满足要求。

- 状态估计：

县级城市的量测系统一般较弱，开发的专门的专家规则来进行拓扑排错，自动更正确定的拓扑错误，同时对可疑的情况进行告警处理。对于没有分接头量测的变压器也可以通过变压器变比估计。

- 负荷预测

负荷预测可以预测短期一周内的负荷曲线，用于及时对调度方案进行调整。

- 电网等值

电网等值功能主要是服务与潮流计算和故障计算、保护定值计算和整定时等软件。

- 潮流计算

潮流计算可以计算当前的实时潮流，也可以计算人工值数的状态的潮流，以便于分析设计和规划。

- 安全分析

安全分析分析故障后电网的安全运行分析,包括过载分析电气设备的安全度分析。

- 自动故障处理

- 无功优化

通过分析电网的电压是否越限、线路是否过载等分析,如果达到优化界线,则启动无功优化,这里的无功优化同时考虑变电站电容器优化和线路补偿电容器的配合优化,主要原则是优先优化变电站电容器,在依然不满足要求的状况下启动线路电容器优化。

- 故障计算

故障计算包括变电站设备故障和线路故障计算,故障计算包括两部分内容:第一部分是故障电流计算,即在网络的任何点上的故障电流计算,第二是网络故障处理模拟计算。

- 馈线自动化

馈线自动化(FA)的主要功能是馈线数据采集和监控。在正常情况下,远方实时监控馈线开关的状态和馈线电流、电压情况,实现线路开关的远方合闸和分闸操作,在负荷不均匀时,通过负荷均衡化达到优化运行方式的目的。

馈线自动化的基本功能是在故障时迅速切除故障,通过一定方式隔离故障区域并且恢复非故障区段的正常供电。

- 网络重构、优化

馈线系统具有环形网络,但是开环运行。因而,在满足负荷需要的前提下,可以适当地进行倒闸操作,改变负荷的供电路径(网络重构),以达到降低网络损耗,消除过载,提高电压质量的目的。网络重构软件可以根据优化原理得出优化刀闸操作表,可以考核刀闸操作的安全经济效益,给出每对刀闸操作的网损下降量。计算表明,根据不同系统的不同情况,网络重构可能达到降低网络损耗 5~20%的目标,经济效益巨大。

各个子功能之间的功能配合如图 2.3 所示:

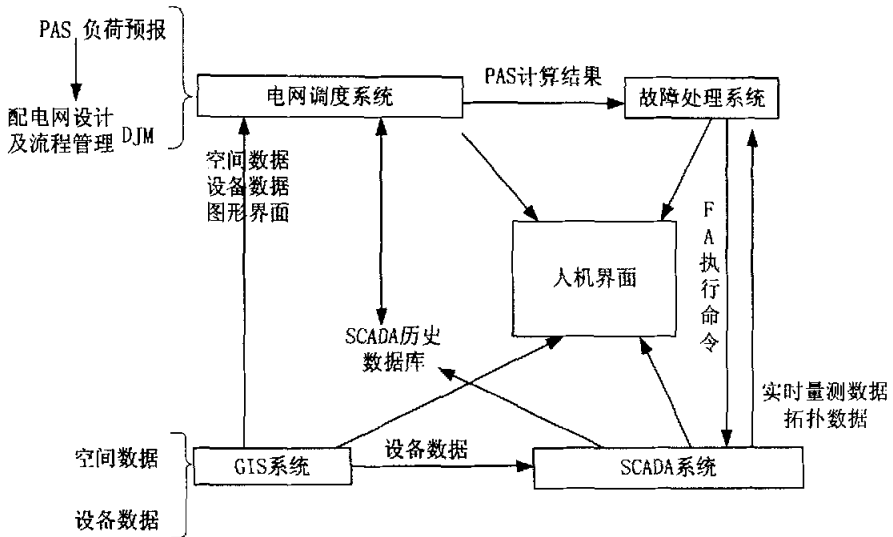


图 2.3 应用功能配合

2.2.2 系统 SCADA 子功能

配电网是电力系统向用户供电最后一个环节，直接面向电力用户。其安全可靠运行对国民经济正常发展、社会秩序稳定、人民生活有着重要意义。配电网实时监控系统是配网安全、经济、可靠运行的重要支柱。

SCADA 系统作为自动化系统的基础和核心，在电力系统中的主要功能和作用是采集电气设备的测量信息，对测量到的数据进行处理，对需要其它系统处理的数据发到相应的其它系统中^[7]。

一个完善的配电 SCADA 系统是 DMS 系统实现的基础，配电网具有以下特点：

- 1) 配电网的保护问题就是配电网的故障识别、隔离以及供电恢复问题；
- 2) 配电网的量测相对不足；
- 3) 配电网的测点相对分散；
- 4) 配电网的设备数量巨大，是传统调度的十几甚至几十倍；

基于以上特点，在配电网中对 SCADA 系统有着特殊的要求。

在本系统的“县级电网综合自动化系统”中 SCADA 主要具有以下功能：

通讯处理：

从现场 IED 采集数据，经过处理后向子站或主站发送数据。主要包括对串口硬件的支持、通信规约的解释（接收、转发、上模拟屏）、通道状态监视及通道切换、通道异常

告警等。

数据采集:

- (1) 对多种规约的接收: 如 CDT, U4F, DNP3.0, 101 等;
- (2) 常规远动信息采集:
 - 设备内容: 变电站、开闭所、环网柜、柱上开关、配电变压器、箱式变电站
 - 模拟量: 有功功率、无功功率、电压、电流、其他量测值
 - 状态量: 开关位置、刀闸位置、有载调压变压器抽头位置、无功补偿状态、储能信号
 - 脉冲量
 - 事故顺序记录 (SOE)
 - 电度量
- (3) 保护信息采集;
- (4) 保护装置保护定值;
- (5) 各种智能仪表信息采集: 如智能电度表分时电度、故障录波等;
- (6) 接收 GPS 时钟;
- (7) 通道运行工况: 包括通道误码数、失步数、上行通道状态、下行通道状态等;
- (8) 任务运行状态;
- (9) 工作站运行状态。

控制输出:

主要是对现场设备的控制操作:

- (1) 遥控: 包括开关分合, 保护压板投切、信号复归等;
- (2) 遥调: 变压器分接头调节、电容器的投切;
- (3) 对时: 统一系统时钟;
- (4) 电度冻结;
- (5) 保护定值整定下装。

数据发送:

- (1) 多种规约的转发: 如 CDT、U4F、TCP/IP、DNP、101 等;
- (2) 数值、状态上模拟屏;
- (3) 向子站或主站发送数据。

状态监视及切换控制:

(1) 通道监视及主备通道切换;

(2) 任务监视及主备任务切换。

规约解释:

采用一定的通信规约接受终端设备上传的数据, 并进行解释还原成成熟数据, 以供配电主站软件相应的处理。将主站的遥控、对时等命令按照预定规约打包下传。

数据处理:

完成常用数据的分析处理, 包括把数值与状态放入实时库, 产生告警, 特殊数据(如故障录波等)不在此功能范围之内, 根据用户的设定定时将数据存入历史数据库。

数据统计:

完成数据的进一步统计处理, 包括内部统计量值、自定义计算量值及生成量三种类型。内部统计量值和自定义计算量值在层次上是与实测量值同等的, 所有量值(包括内部统计量值、自定义计算量值)均可按需派生相应生成量以作进一步统计处理, 如对功率因数可派生越限记时以获得合格率等。

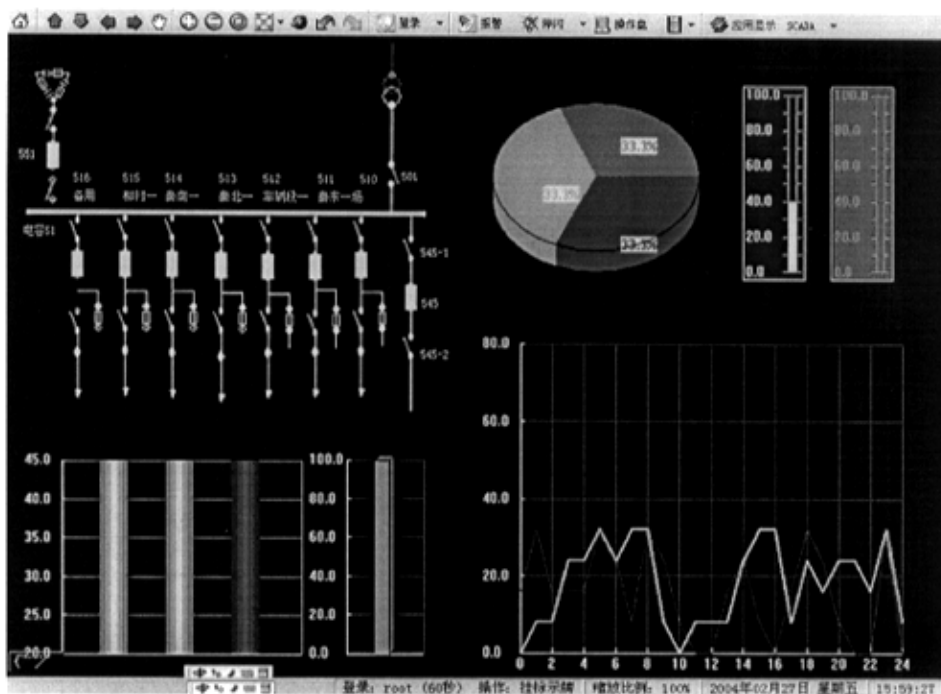


图 2.4 数据统计分析界面

事件及报警:

事件类型：数值越限、状态变位、瞬变状态、运行工况、保护信息、用户操作事件信息。

告警级别：

告警级别按量值统一设置，告警级别包括：0级不告警；1级重要告警，与事故告警等级；2级一般告警；3级次要告警；不同级别告警音响明显不同。

事件记录：

- ◇ 越限记录：越限事件起止时间、最严重值等；
- ◇ 变位记录：变位事件发生时间、性质等；
- ◇ 瞬变记录：瞬变事件发生时间；
- ◇ 停电记录：停电及恢复时间、停电时刻的负荷；
- ◇ SOE记录：精确到毫秒级的事件动作；
- ◇ 保护记录：保护事件发生时间及动作内容；
- ◇ 操作记录：记录遥控操作的全过程，包括预令、正令、取消、执行结果等各命令及事件的时间，操作员名字等。

语音功能：

- ◇ 硬件支持；
- ◇ 声霸卡；
- ◇ 电话语音卡；
- ◇ 语音告警：语音提示告警消息内容；
- ◇ 语音操作提示：语音提示操作对象及步骤；
- ◇ 电话语音查询：远程电话查询告警事件；
- ◇ 采用按对象录音及语音合成的方法，语音自然，录音工作量小；
- ◇ 瞬变状态告警不发音响。

数据库管理功能：

数据库管理模块为系统提供方便灵活的数据库维护界面，除实时数据库放在共享内存外，其他数据库均放在商用数据库中，数据库包括：

- (1) 实时数据库
- (2) 属性数据库（在GIS数据中）
- (3) 历史数据库
- (4) 事件，报警数据库

2.2.3 系统地理信息子功能

地理信息系统的一个重要应用领域就是各种管线的市政设施管理，对于这一特定的应用，一般称之为自动制图/设备管理 (AM/FM - Automated Mapping/Facilities Management) 或者 AM/FM/GIS。目前对它还没有一个统一的概念，一般可以认为，AM/FM/GIS 是包括对地理数据的输入、编辑、管理、输出等制图过程的自动化以及对地图上的设施及属性进行管理的地理信息系统。

城市配电设施是市政设施的一个重要组成部分，将 AM/FM/GIS 技术应用于城市配电网是目前国内外研究和发展的新领域。在许多欧美发达国家积极兴建的“数字电网”计划中，应用 AM/FM/GIS 技术成为了一个强有力的手段。例如，西班牙电力通用公司 (ERZ) 建成的监控和数据查询系统 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)，就是融自动绘图、设施管理和地理信息系统于一身的系统，为西班牙北部 450,000 多平方公里的面积提供电力服务，客户超 60 万。在我国相关的应用研究开始于 20 世纪 80 年代末 90 年代初期，经过十余年的发展，也取得了显著的成绩。深圳市雅都图形公司开发的 GROW 平台就是一个很好的 AM/FM/GIS 平台，武汉供电局利用该平台建立的“武汉供电局 AM/FM/GIS 系统”，是全国第一个分布式结构的、规模最大的配电 AM/FM/GIS 系统，应用规模和覆盖面积达 700 平方公里，系统在 1:2000 的地利背景图上建立了包括 62 个变电站、720 个配电室、4870 台公用配变、7800 台专用配变和 2690 公里 10 kV 配电网模型。实现了全部配网设备基础数据管理、线路接线图和网络图自动生成、报表统计、SCADA 信息引入、停电分析、负荷转供、线路搭接、理论线损计算、可靠性辅助设备统计以及 WEB 浏览器查询等功能。应该说该系统的建成表明了我国在配电 AM/FM/GIS 系统领域的研究能力和开发水平已跟国际同步。

早期的配电 AM/FM/GIS 系统主要局限于电网图形的可视化显示、电力设备的定位以及一些综合查询功能，这些都仅仅是一些离线方面的应用，很显然是不能满足配电网管理的要求。当代的配电 AM/FM/GIS 系统的功能比起早期已经有了很大的拓展，增加了很多在线方面的新功能，主要是反映配电网的运行状况、在线操作、负荷管理、停电管理以及与自动计费系统的连接。另外，新一代的配电 AM/FM/GIS 系统逐步拓展到配电网的优化设计、潮流计算、可靠性分析、故障的快速隔离、负荷的转移等应用中，增强了对配电网的分析和辅助决策功能。

地理空间数据是指以地理空间位置为参考的数据，地图是空间数据的一种表达形式，

控件位置通常是用空间实体与某参考坐标系统的关系来表达。

这种空间数据的组织能满足配电网自动化的要求，根据实际地理位置布置设备、线路，展示配电网的实际分布，采用层的概念来组织图形和管理基础数据，自由分层，层次之间又可以灵活地自由组合。

县级电网综合自动化系统配电地理信息管理功能由两个部分、六个功能子系统组成，包括图资系统管理（AM/FM/GIS）、WEB 浏览功能、接口功能、配电工作管理（DJM）、故障投诉管理（TCM）、配电分析功能（PAS），如图 2.5 所示。

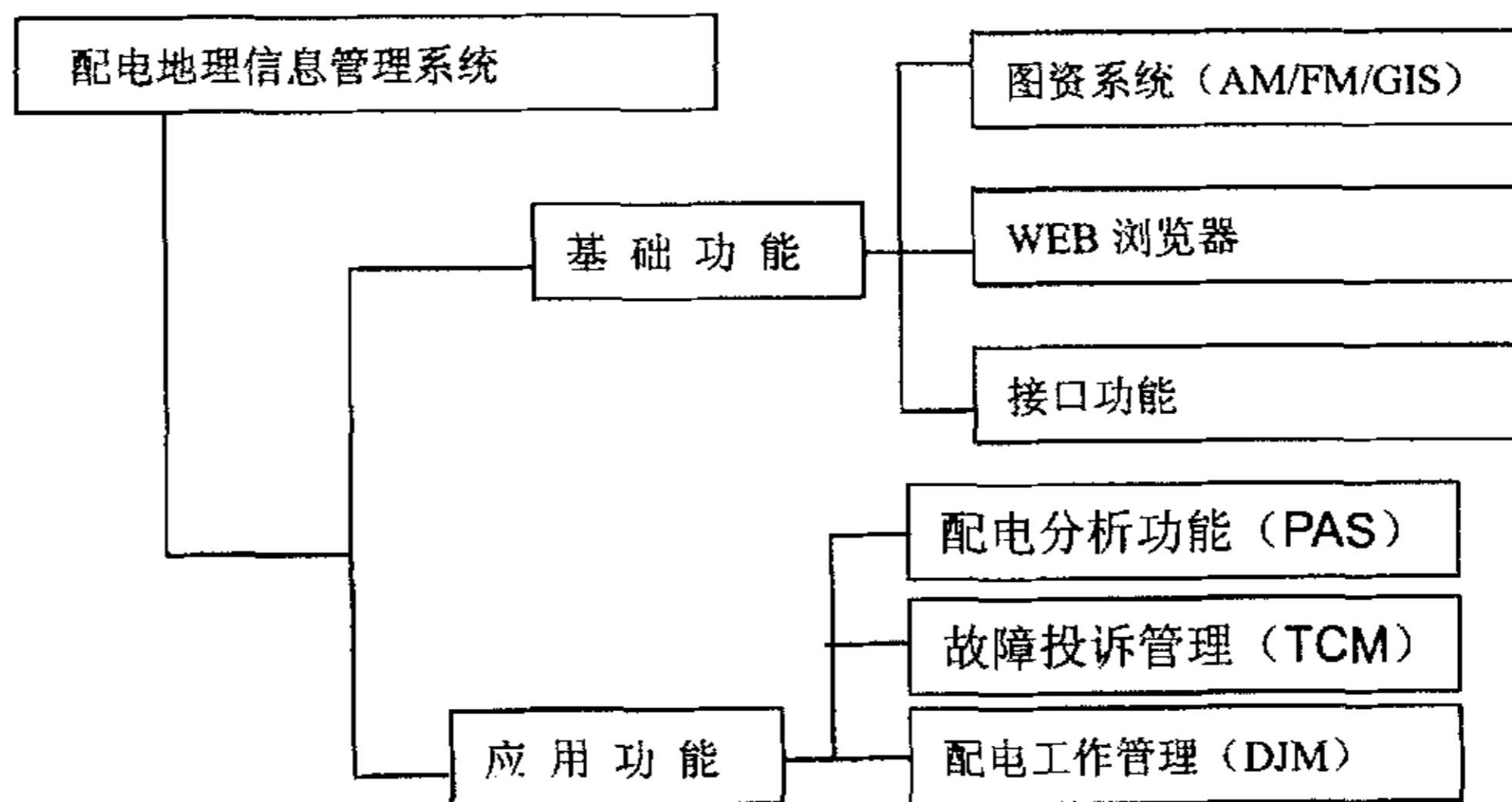


图 2.5 GIS 应用功能

配电网地理信息系统是一种操作直观简单、人机界面友好的地理信息系统。该系统利用软件技术对电力系统基础数据进行计算机管理，形成一个具有空间概念（地理环境信息）和基础信息（输电网络及设备资料、通信网络及设备、电力用户资料）的分层管理基础数据库，既能方便地进行查询和管理，又为电力系统的安全经济运行和管理提供一个有效的、具有地理信息的数据模型。主要指配电图资系统（AM/FM/GIS），是自动绘图、设备管理和地理信息系统总称。与输电系统不同的是配电系统从变电站、馈线线路一直到用户的电表能为止，配电系统的正常运行、计划维修、故障排除，恢复供电以及规划设计等都与地理信息有关。因而配电地理信息系统是开展各项自动化的基础^[8]。

配电图资系统（AM/FM/GIS）系统是配电系统整体管理水平提高的集中表现。

配电网资系统 (AM/FM/GIS) 是自动成图、设备管理和地理信息系统的总称, 自动成图 AM 就是将地理背景图形、电力设备图形合理地组织并保存到计算机中; 设备管理 FM 就是在地理背景图上绘制各种电力设备设施, 并可以检索其坐标位置以及包括实物图片在内的有关技术档案; 采用 GIS 技术能进行综合分析、拓扑追踪与空间分析, 并利用数据库技术把地物的空间数据与属性数据对应起来, 从而提高设备维护人员了解设备运行情况与解决设备故障的能力。

城市地理信息系统中, GIS 功能主要包括以下功能, 图形输入输出: 背景地图的 DXF 导入、图形 DXF 导出、GPS 设备坐标数据导入、图形打印输出;

图形操作: 图形的缩放、漫游、鹰眼导航、按比例缩放、图层的显示控制 (可视、可选、可点击、绘图顺序)、背景地图的分幅显示;

图形编辑: 各种电力设备的图形的录入, 图形对象的删除、移动、旋转, 图形对象的节点编辑, 电力设备图形符号的编辑, 站内部图的模板;

图形数据校验: 电力线路拓扑关系的校验、设备关联关系的校验、线路自相交检查、两点设备的检查、接头的检查、站内部设备的检查、馈线设备的检查

设备查询与统计: 设备对象浏览、设备树查询、馈线查询、空间区域内设备查询;

拓扑分析: 线路连通性分析、线路最短路径分析、供电范围分析、供电电源分析、最近接电点分析;

配电实用功能: 系统图、一次接线图、杆位图、电缆管理等功能模块, 这些实用功能是基于配电网图形资源的管理之上;

杆位图: 杆位图生成、杆位图更新、杆位图删除、杆位图增量处理;

一次接线图: 一次接线图生成、一次接线图删除、一次接线图调整、一次接线图增量处理;

系统图: 系统图生成、系统图复制、系统图删除、系统图调整、系统图上开关操作、系统图的增量设备处理;

设备编码: 单个设备编码、多个设备编码、低压设备编码、设备重码校验;

电缆管理: 电缆沟剖面图生成、工作井内部图生成、电缆沟内电缆的查询与定位;

开关操作: 闭合、断开、挂牌、退投、废弃;

日志管理: 登陆退出日志记录、设备对象操作日志记录、数据版本操作日志记录、开关操作日志记录、数据编辑审计;

2.2.4 配电工作管理 (DJM)

配电工作管理是将县级电力综合自动化系统的各个工作流程进行统一管理的系统，是将县级城市的工作进行信息共享的体现；

在县级城市电力综合自动化系统中配电工作管理的主要功能是：

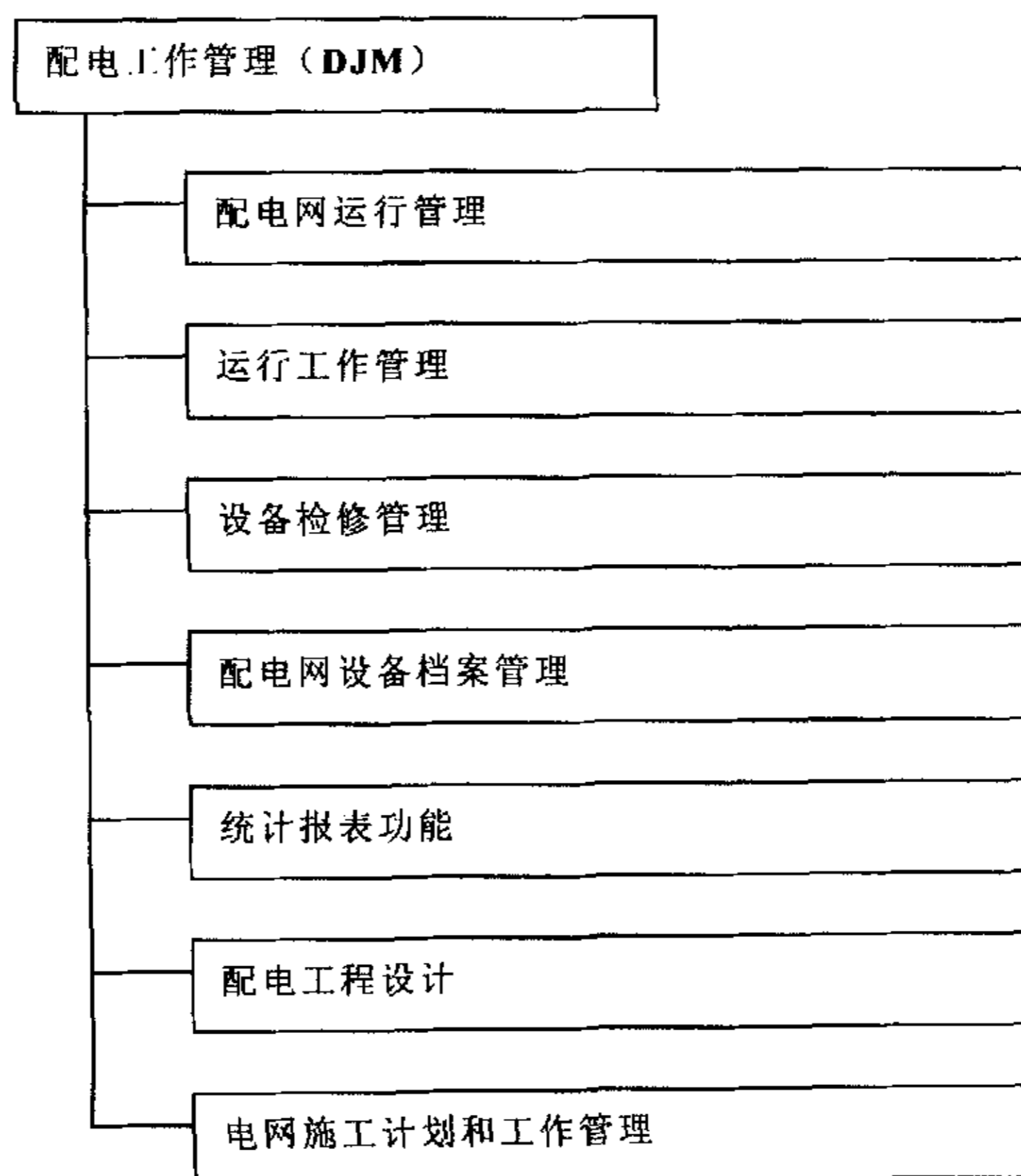


图 2.6 配电工作管理功能

系统的配电工作管理系统提供网络分析功能，可根据开关、刀闸和熔丝等的状态信息，以及配变的供电范围关系，构成配电网拓扑结构和供电域。在配电设备检修的方式下，优化供电接线方式，缩小停电范围并显示对用户的影响范围，同时自动检索检修区域内是否有特殊用户，以便及时处理。系统以地图为背景，图上设置状态与资料数据库建立有机的联系，显示设备档案，运行维护资料等。

具体功能为：运行工作管理、排设备巡视计划、对运行指标进行统计、对停电、故障网络提出恢复供电的优化方案、可提供运行管理使用的簿册管理手段；

设备检修管理：可根据检修管理指标，自动进行校核，自动列出各项指标的完成情况，提醒工作人员安排设备检修工作，并能提出设备检修计划；编制检修计划，按供电可靠性指标对设备停电时间和次数进行控制；对检修项目进行管理；开列工作票和操作票；对设备完好率、检修率进行统计；进行设备检修周期管理；进行设备大修管理；进行设备巡视周期管理；根据缺陷统计、配电设备运行记录和历史资料，进行综合分析，自动生成影响的相关地域范围和设备清单，提出最佳停电方案和工作时间；自动生成施工图及维修费用概预算；工作结束后，对相关的设备进行更新。

配电网设备档案管理：变电所/开关站：全站一次设备平面图，高压室布置图、结线图、公变、专变、开关室内所有电气设备铭牌、结线图、布置图、结构图；电缆：电缆及电缆沟走廊剖面图、敷设形式、检修井、电缆接头位置等；架空线：导线、杆塔、上杆电缆头、配变、柱上开关等杆上设备。这些设备信息，既包括生产厂家、出厂铭牌、技术参数、投运日期、检修次数、编号、备注等基本的管理信息，又包括设备的运行工况的数据。

统计报表功能：由计算机自动生成配电管理所需的各种生产月、季、年报表，并生成配电专业年报，报表格式应能方便设定。

2.2.5 配电高级应用功能（潮流计算）

配电网在结构和参数方面都与高压输电网有很大不同，具体表现在如下几点：在结构方面，配电系统多采用闭环式网络结构，开环运行；在参数方面， R/X 比值较大；在负载方面，配电负荷存在严重的三相不对称。这些特点决定了配电网的潮流算法和输电网的潮流算法不尽相同^{[9][10]}。

随着科学技术和电力工业的发展，配电网的潮流计算的研究大致经历了三个发展阶段：手算阶段、对称潮流计算阶段和三相潮流计算阶段。尽管对电力系统潮流的研究早在六十年代就已经开始，但由于配电系统在电力工业中没有得到足够的重视，直到七十年代末以前，配电网的潮流计算仍处于手算阶段。这个阶段的潮流算法为前推回代法^[11]，该方法即：假设全网的节点电压初始值为额定电压，从末端向首端逆潮流方向计算支路功率，再由首端向末端顺潮流方向计算各节点电压。这种方法原理简单，计算量小，不存在收敛问题，但仅适用于单电源开式网，此外对大型网络不容易程序化。

从八十年代初到九十年代中期，随着电力工业的发展，人们开始重视配电系统的线

损计算和规划问题等，潮流计算作为基础也受到重视，人们开始研究配电潮流的计算机算法，在这个阶段潮流方法的研究主要是针对对称负载的。出现了众多针对配电网特殊网络结构的对称潮流算法。此类算法大致可以分为两类，第一类是将输电网的计算方法作了改进应用于配电网的，如隐式高斯法，第二类是基于前推回代法的计算机算法，如功率分布系数法，二次设压法^{[12][13]}等。

配电网由于结构和参数等的不同，在计算方法上与传统的输电网的计算方法有较大差别，比如配电网可以不考虑对地导纳，配电网线路的电阻不能忽略等因素，配电负荷存在严重的三相不对称。这些特点决定了配电网的潮流算法和输电网的潮流算法不尽相同。传统的输电网计算方法在配电网中不能直接应用^[14]。

目前比较流行的配电网潮流算法大致可以分为两类，第一类是将输电网的计算方法作了改进应用于配电网的，如隐式高斯法，第二类是基于前推回推法的计算机算法，如功率分布系数法，二次设压法等^[15]。

本文针对配电网的辐射状和弱环网以及三相不平衡的特点，在前推回推的基础上，利用多端口混合补偿技术的三相潮流和故障计算的统一分析方法。实现了对各种故障具有统一形式的端口补偿电路，并且该方法在电网的正常和故障两种情况下具有统一的计算公式和迭代步骤^[16]。因而，故障计算与普通潮流计算具有相同的收敛性。并且，计算模型中可以考虑详细的负荷模型，提高了故障电流计算值的精确度。实际电网算例表明该方法具有很高的效率和计算精度^[17]。

对于前推回推的潮流算法只能针对辐射网络的局限性，本文中开发了专门的“环网补偿”方法来解决以上不足^[18]。通过完美结合前推回推的潮流计算、故障补偿矩阵、环网补偿矩阵，结合强大的拓扑处理功能，开发了一套适合与任何配电网结构的实用化的配电网潮流、故障计算方法^[19]。

根据以上原理笔者采用 C++ 程序实现了三相不平衡潮流计算，并达到了实用化的程度。

2.2.5.1 三相不平衡潮流研究的现状

状态估计是利用实时量测系统的冗余度来提高数据精度，自动排除随机干扰所引起的错误信息，估计或预报系统的运行状态。实际中人们根据不同仪器仪表及估计量的统计特性掌握的程度提出了不同的估计准则，得到了相应的估计方法，例如最小方差

估计、极大似然估计、极大验后估计和最小二乘法估计等。这些方法都属于统计学的估计方法，其中前三种虽然有较好的估计质量，但都要求事先掌握较多的随机变量的统计特性，这些在电力系统状态估计的实际计算中是难以做到的。而最小二乘法不需要知道状态变量和量测量的概率分布密度函数，因而目前在电力系统状态估计计算中广泛采用最小二乘法。

虽然从六十年代初期开始，国外就开始研究状态估计，但是这些早期所提出的状态估计方法主要是针对调度自动化 SCADA/EMS 系统的，不能直接应用于配电网中。直到从九十年代中期随着配电 SCADA 系统的不断发展，人们开始针对配电网的特点研究状态估计方法。目前基本具备了使用化的水平。

2.2.5.2 数学模型

我国中压配电网，即 10kV 的配电网，采用三相三线制。配电网的基本单元是馈线，拓扑描述和潮流计算可以以馈线为单位^[20]。10kV 配电线路的首端为松弛节点，即树状网络的根节点。在实际配电自动化系统中配电线路的首端为变电站 10kV 母线，在三相潮流计算中作为三相对称的电压源节点(电压源含有内阻)^[21]。

配电变压器低压测的量测点位于低压并联补偿电容器和低压负荷并环节点沿潮流方向的上方，在负荷点可以设置负荷的电压特性，即衡电流、衡功率、衡阻抗的比例^[22]。

电网的网络模型如下图 2.7 所示：

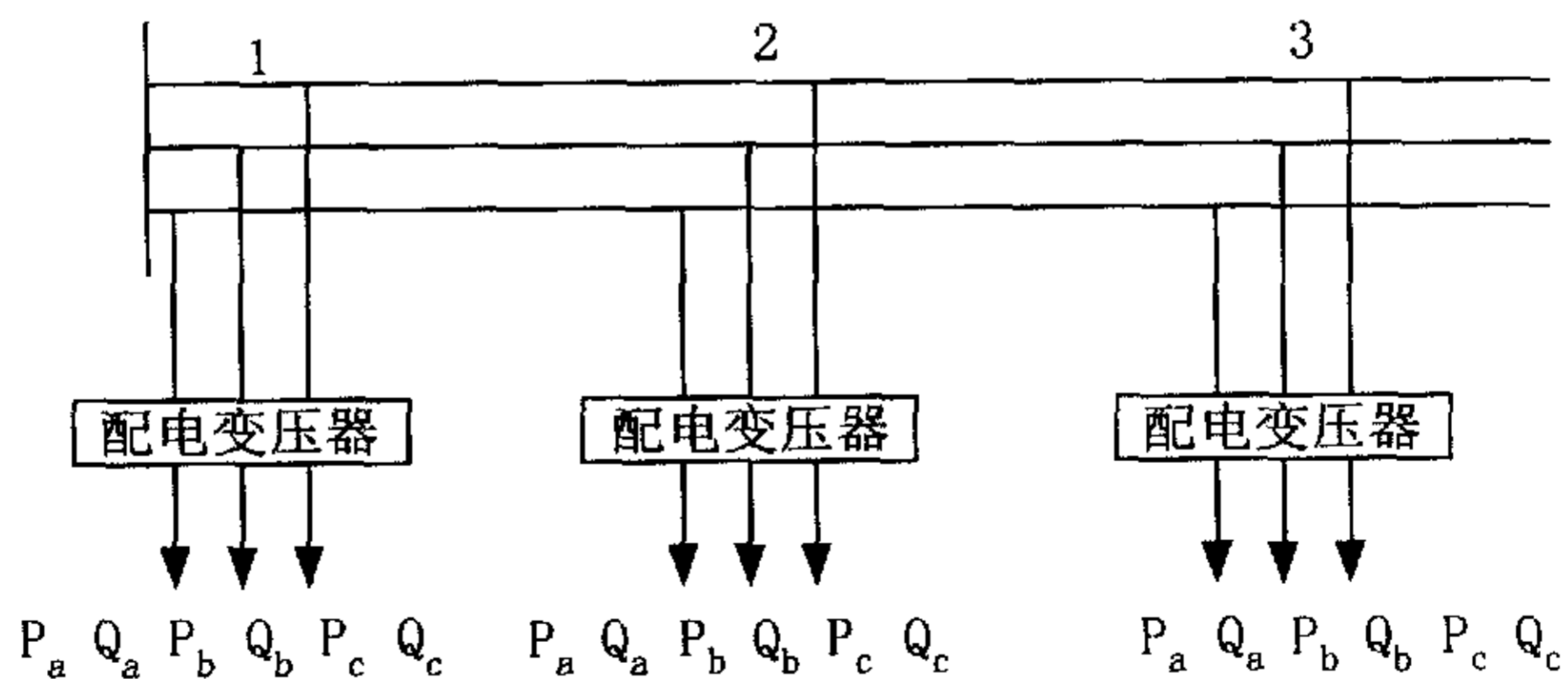


图 2.7 电网模型

其中各个点的 PQ 是给定的额定电压下的初始值，这个值在计算过程中会随节点实际电压值根据负荷特性比例改变。

(1) 配电变压器

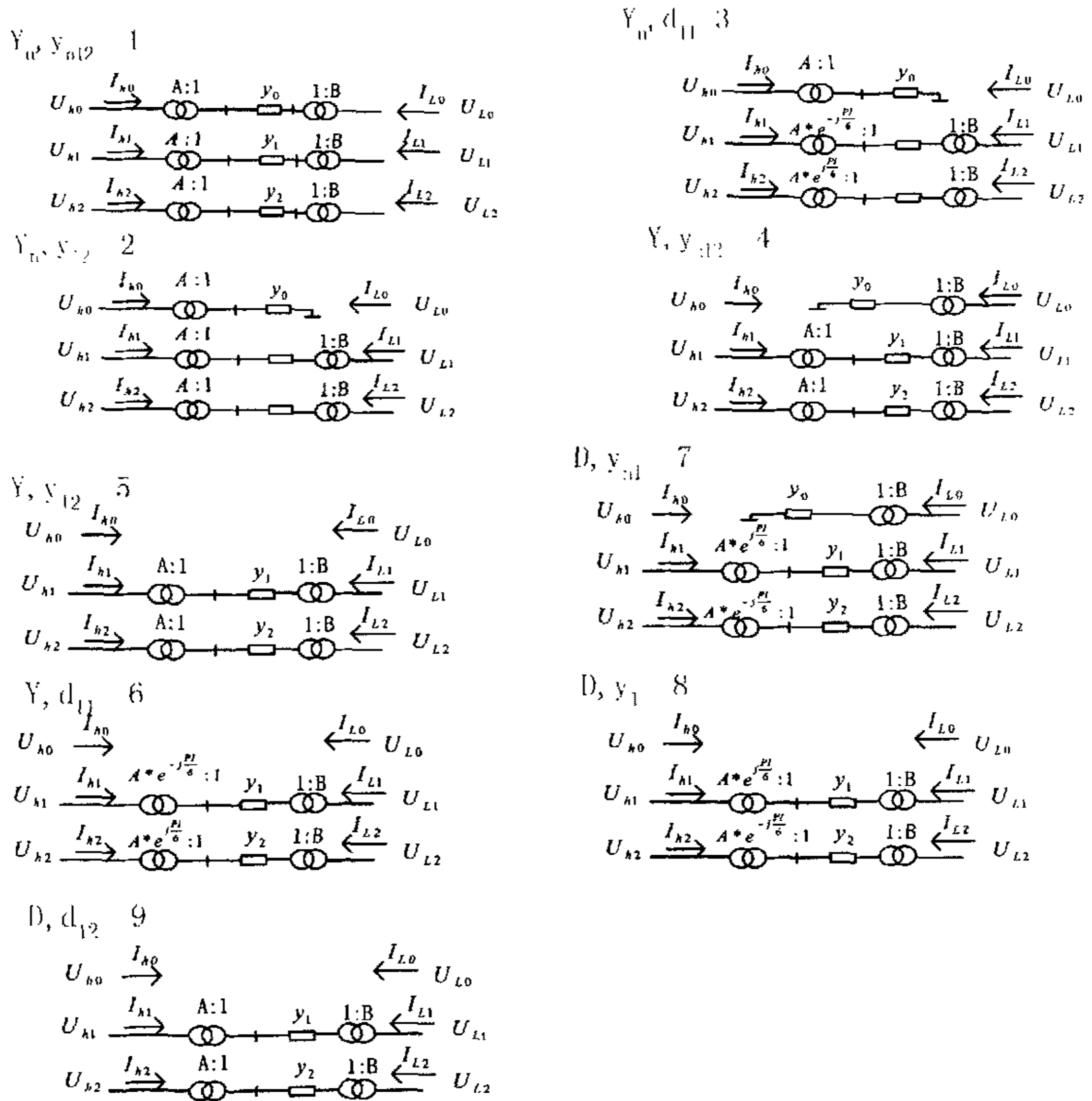


图 2.8 配电变压器序分量模型

对于具体的变压器转化为计算模型为：

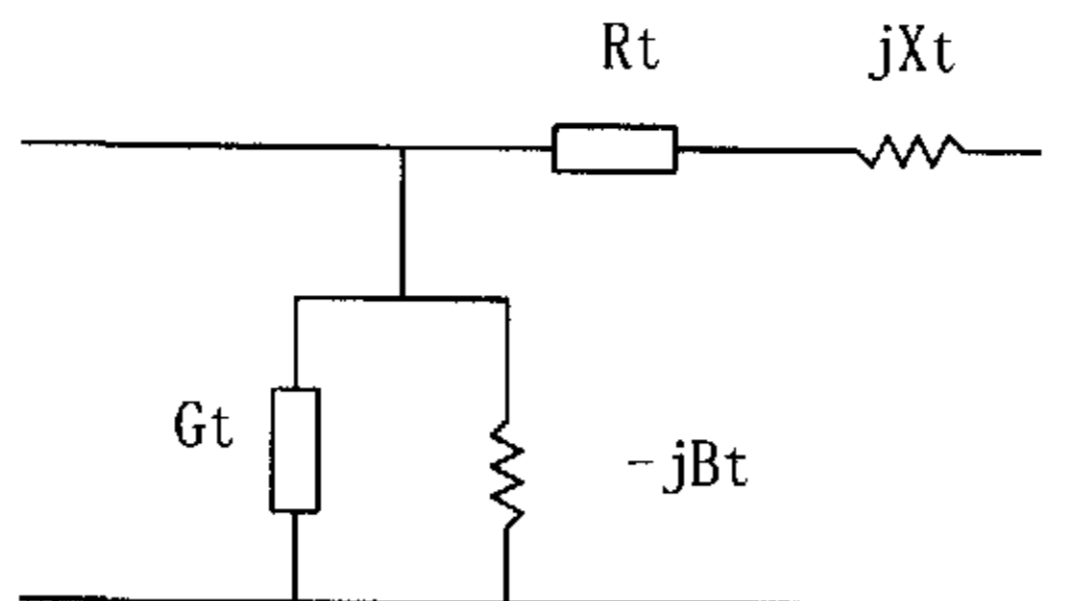


图 2.9 变压器数学模型

(2) 负荷模型

衡功率： 即负荷的有功无功在计算时不随节点电压的变化而变化，而是保持一个恒定值。

$$S_N = P_N + jQ_N = \text{常数}. \quad (2-1)$$

衡电流： 即负荷的电流大小和角度在计算时不随节点电压的变化而变化，而是保持一个与电源参考角度恒定的恒定值。

$$\text{衡电流计算: } I = \frac{S_N^*}{U_N^*} = \text{常数}. \quad (2-2)$$

$$S = U^* I_i^* = \frac{U^* S_N}{U_N} \quad (2-3)$$

S 在计算过程中是随节点电压的变化而变化的。

衡阻抗： 即负荷的初值转化为了一个恒定的阻抗保持恒定不变^{[23][24]}。

$$\text{衡阻抗计算: } Z = \left(\frac{U^2}{S_N}\right)^* = \text{常数}. \quad (2-4)$$

此时真正的负荷值是：

$$S = \frac{U^2}{Z_i} = \frac{U^2 * S_N}{U_N^2} \quad (2-5)$$

(3) 线路模型

考虑到 10kV 线路节点之间的长度较短, 计算中采用的是进一步简化了的 Z 型电路, 即忽略了对地导纳, 只计及导线的阻抗, 如图 2.10 所示。

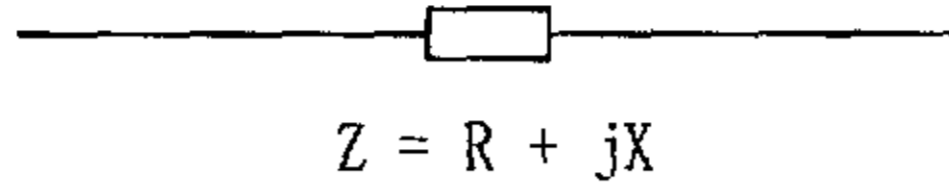


图 2.10 线路模型

任一支路阻抗可以用 3×3 阶矩阵 Z 表示如式 2-6:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

式中 Z_{aa} Z_{bb} Z_{cc} 为自阻抗, Z_{ab} Z_{bc} Z_{ca} 互阻抗。

2.2.5.3 电力设备类的抽象

根据现有配电电力设备的特点, 讲电力设备基本分为以下几个基类, 即 Node 点, SingleTerminalDevice(单端设备), DoubleTerminalDevice(双端设备), 在单端设备和双端设备的基础上设计实际的电力设备类即: 开关、线路、配变、电缆、负荷、电源、电容等设备^{[25][26]}, 设备类的设计见图 2.11:

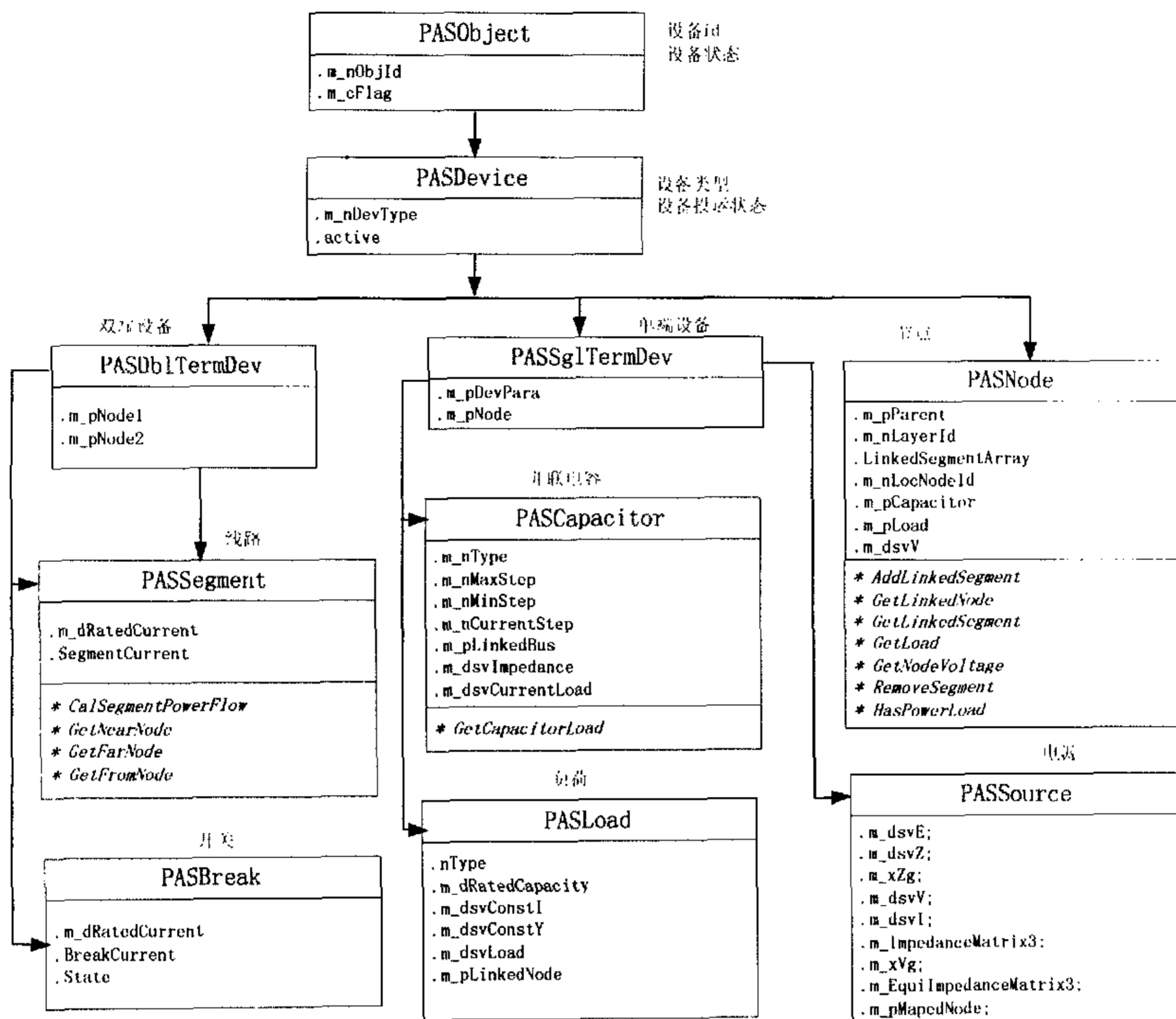


图 2.11 类层次设计

在负荷模型设计时程序考虑了负荷的电压特性，可以根据实际情况设定负荷的实际比例即：衡功率负荷、衡电流负荷、衡阻抗负荷，按照目前国际上得出的经验配电网中的负荷模型采用衡功率、衡电流、衡阻抗的比例为 60%：20%：20%构成，笔者在设计程序时充分考虑了灵活性，负荷特性的比例可以任意的人为设定^[27]。

2.2.5.4 拓扑分析

网络拓扑信息为电网计算输入的拓扑信息，即网络统一的节点、支路的编号及其关联关系。定义以下三个网络矩阵用以描述网络拓扑信息与原始拓扑信息的关系。

原始信息是指数据库中存放的网络拓扑的静态信息，在电网扩建或改造完成后由

运行人员直接修改数据库。定义网络原始信息关系模式如下：

系统通过以下基本信息描述电网状态和拓扑。

(1) 节点信息表：

表 2.1 节点信息表

节点 ID	节点号	节点类型	属性索引

(2) 支路信息表：

表 2.2 支路信息表

支路 ID	节点 1	节点 2	类型	属性索引

(3) 单端设备信息表：

表 2.3 单端设备信息表

设备 ID	连接节点 ID	设备类型	属性索引	描述

在以上基本信息的基础上可以形成以下网络分析矩阵

1) 网络支路编号矩阵

假设配电网中的线路段数为 M ，各线路段中的支路数分别为 m_i ($i=1, 2, \dots, M$)，取 $m = \max\{m_1, m_2, \dots, m_M\}$ ，则网络支路编号矩阵为式 2-7：

$$L_B = \begin{bmatrix} B_{11} \cdots B_{1j} \cdots B_{1m} \\ \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ B_{i1} \cdots B_{ij} \cdots B_{im} \\ \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ B_{M1} \cdots B_{Mj} \cdots B_{Mm} \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

矩阵中的元素凡为某支路的网络支路编号， i 为该支路所在的线路段号， j 为该支路的线路段支路编号。

2) 网络节点编号矩阵

假设各线路段中的节点数分别为 n_i ($i=1, 2, \dots, M$)，取 $n = \max\{n_1, \dots, n_M\}$ ，则配电网线路段节点关联矩阵为式 2-8：

$$L_N = \begin{bmatrix} N_{11} & \dots & N_{1j} & \dots & N_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ N_{i1} & \dots & N_{ij} & \dots & N_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ N_{M1} & \dots & N_{Mj} & \dots & N_{Mn} \end{bmatrix} \quad (2-8)$$

矩阵中的元素 N_{ij} 为某节点的网络节点编号, i 为该节点所在的线路段号, j 为该节点的线路段节点编号。在网络拓扑信息中一个线段有唯一的网络编号, 关联两个线路段的节点的网络编号会出现在网络节点编号矩阵的相应的两行中。

3) 支路节点关联矩阵

支路节点关联矩阵描述了支路与节点的关联关系, 假设某一子系统的支路数为 $BranchN$, 则该子系统的支路节点关联矩阵为式 2-9:

$$B_N = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} \\ \vdots & \vdots \\ N_{i1} & N_{i2} \\ \vdots & \vdots \\ N_{BranchN1} & N_{BranchN2} \end{bmatrix} \quad (2-9)$$

矩阵中 i 表示网络支路编号, 元素 N_{i1} 和 N_{i2} 分别表示第 i 条支路关联的两个节点的网络节点编号。

在以上矩阵的基础上, 网络拓扑信息的形成过程就是网络节点和支路的编号过程, 具体步骤如下:

步骤 1: 由“支路信息表”生成网络支路编号矩阵 L_B 。

支路信息表中, 网络支路的记录唯一, 因而以支路的记录号作为支路的顺序编号, 依次记录下每个线路段的网络支路编号从而形成网络支路编号矩阵。

步骤 2: 由“节点信息表”生成网络节点编号矩阵 L_N 。

首先设计一个向量 ID , 作为网络节点编号记录的标志向量。该向量以网络节点的编号为顺序, 记录对应节点的设备号, 其中“T型节点”和“母线型节点”的设备号为 0。节点标号的过程即为 ID 矩阵的生成过程, 从原始信息的“节点信息表”中顺序搜索各节点的类型, 如果为“T型节点”或“母线型节点”则 ID 元素记为 0, 记录数加 1,

对应着该节点的线路段号为 L-N 矩阵的行号，节点号为 L_N 矩阵的列号，元素即为该记录数；对于开关型和配变型节点读取相应的“设备号”，检查 ID 矩阵中是否已有该设备号的标志，如果没有则记录数加 1，在 ID 中记录该设备号，对应着该节点的线路段号为 L_N 矩阵的行号，节点号为 L_N 矩阵的列号，元素即为该记录数，如果已有标志则相应的 L_N 矩阵的元素即为 ID 矩阵的顺序号，检索下一节点。最终记录总数为节点总数。

步骤 3：由网络支路编号矩阵 L_B 和网络节点编号矩阵 L_N 以及“支路信息表”生成支路节点关联矩阵 B_N。

从“支路信息表”中顺序搜索每条记录对应着的线路段号、线路段支路编号和支路关联的两个线路段节点编号。查寻 L_B 矩阵，寻找网络支路编号 B_{ij} ，其中 i 对应着从支路信息表中搜索出的线路段号， j 对应着搜索出的线路段支路编号，则 B_{ij} 为 B_N 矩阵的横坐标；查寻 L_N 矩阵，寻找网络节点编号 N_{ij} ， i 为对应着从支路信息表中搜索出的线路段号， j 为线路段节点编号，如果 j 和“支路信息表”中的“节点号 i ”相等，则 B_N 矩阵的第 B_{ij} 行第一列的元素为 N_{ij} ，如果 j 和“支路信息表”中的“节点号 II ”相等，则 B_N 矩阵的第 B_{ij} 行第二列的元素为 N_{ij} ，依次搜索从而得到网络支路和节点的关联矩阵。

2.2.5.5 潮流计算流程

潮流计算主要由读入数据、网络拓扑分析、添加环网和故障补偿矩阵、辐射网潮流计算、根据辐射网潮流结果调整补偿矩阵、输出结果等部分构成^[28]。

潮流计算流程如图 2.12：

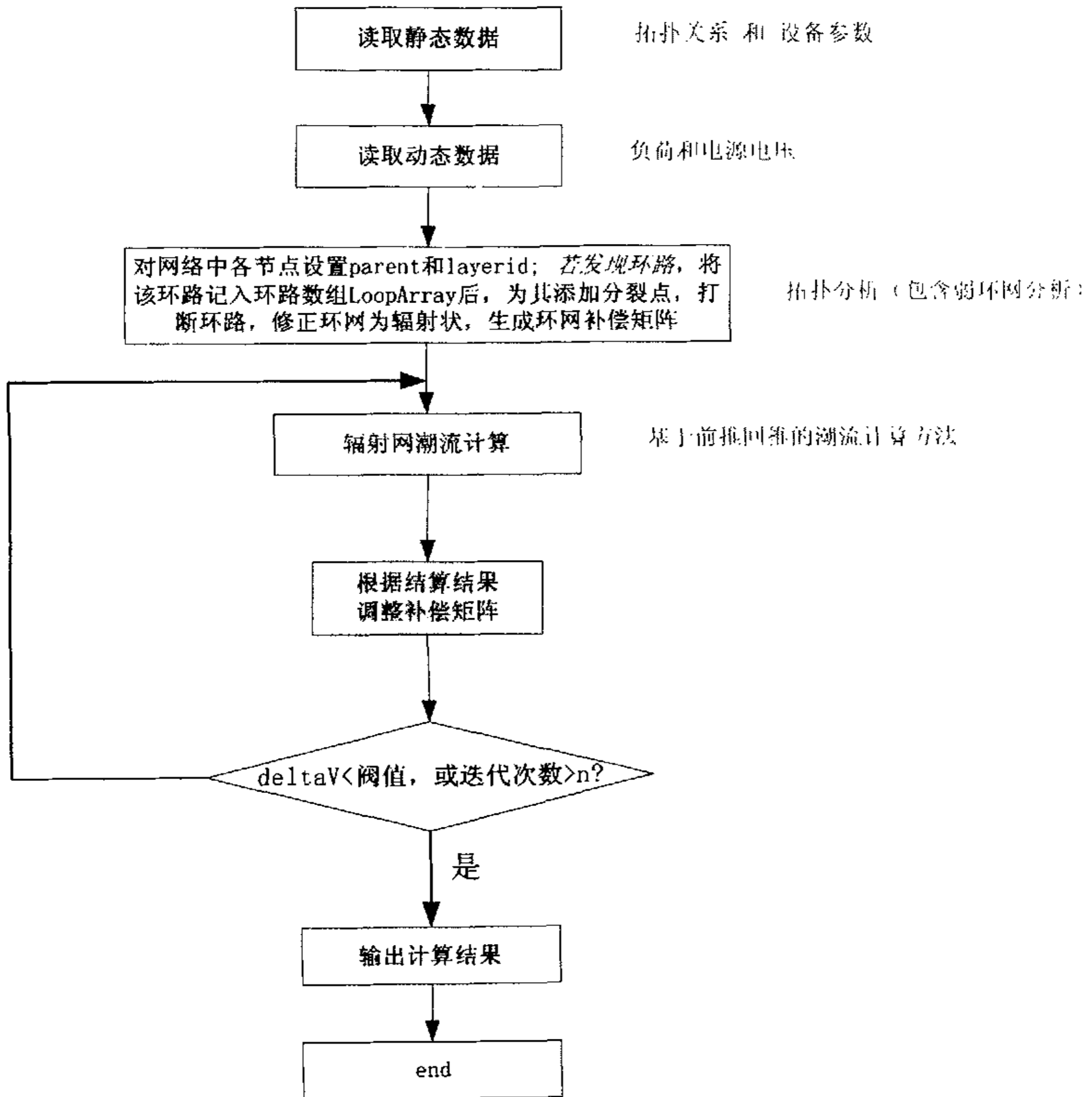


图 2.12 潮流计算流程设计

2.2.5.6 潮流计算结果验证

三相潮流程序应该既适用于对称负荷的潮流计算, 也适用于不对称负荷的潮流计算, 同时潮流计算可以作为系统其它分析模块的基础, 可以用于电容器优化等应用^{[29][30]}。为此本文首先对提供的对称负荷的配电网算例进行计算, 验证该算法和程序的正确性, 然后对西安小雁塔小区配电自动化系统做了工程实例计算。

2.2.5.6.1 验证算例

本文所采用的配电网网络拓扑如图 2.13 所示，给定的负荷是三相的总负荷，本文将负荷三等份，每相的支路参数也取相同值^[31]。网络原始数据如表 2.4 所示。

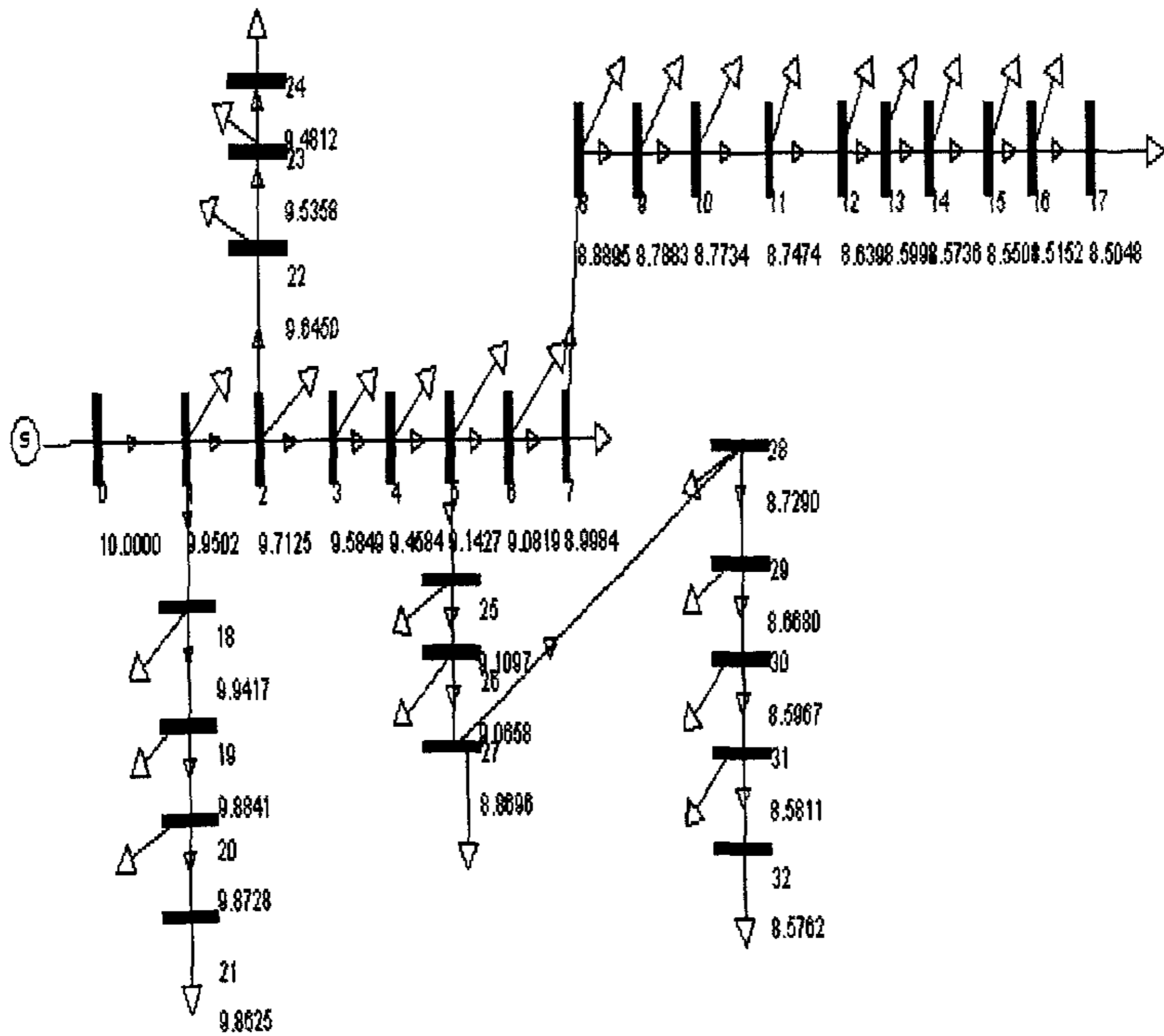


图 2.13 验证算例图

表 2.4 潮流计算输入—1

节点	Pa	Qa	Pb	Qb	Pc(kW)	Qc
32	20.0000	13.3000	20.0000	13.3000	20.0000	13.3000
31	70.0000	33.3000	70.0000	33.3000	70.0000	33.3000
30	50.0000	23.3000	50.0000	23.3000	50.0000	23.3000
29	67.7000	200.0000	67.7000	200.0000	67.7000	200.0000
28	40.0000	23.3000	40.0000	23.3000	40.0000	23.3000
27	20.0000	8.3000	20.0000	8.3000	20.0000	8.3000
26	20.0000	8.3000	20.0000	8.3000	20.0000	8.3000
25	20.0000	8.3000	20.0000	8.3000	20.0000	8.3000
24	140.0000	66.7000	140.0000	66.7000	140.0000	66.7000
23	140.0000	66.7000	140.0000	66.7000	140.0000	66.7000
22	30.0000	16.7000	30.0000	16.7000	30.0000	16.7000
21	30.0000	13.3000	30.0000	13.3000	30.0000	13.3000
20	30.0000	13.3000	30.0000	13.3000	30.0000	13.3000
19	30.0000	13.3000	30.0000	13.3000	30.0000	13.3000
18	30.0000	13.3000	30.0000	13.3000	30.0000	13.3000
17	30.0000	13.3000	30.0000	13.3000	30.0000	13.3000
16	20.0000	6.7000	20.0000	6.7000	20.0000	6.7000
15	20.0000	6.7000	20.0000	6.7000	20.0000	6.7000
14	20.0000	10.0000	20.0000	10.0000	20.0000	10.0000
13	40.0000	26.7000	40.0000	26.7000	40.0000	26.7000
12	20.0000	11.7000	20.0000	11.7000	20.0000	11.7000
11	20.0000	11.7000	20.0000	11.7000	20.0000	11.7000
10	15.0000	10.0000	15.0000	10.0000	15.0000	10.0000
9	20.0000	6.7000	20.0000	6.7000	20.0000	6.7000
8	20.0000	6.7000	20.0000	6.7000	20.0000	6.7000
7	67.7000	33.3000	67.7000	33.3000	67.7000	33.3000
6	67.7000	33.3000	67.7000	33.3000	67.7000	33.3000
5	20.0000	6.7000	20.0000	6.7000	20.0000	6.7000
4	20.0000	10.0000	20.0000	10.0000	20.0000	10.0000
3	40.0000	26.7000	40.0000	26.7000	40.0000	26.7000
2	30.0000	13.3000	30.0000	13.3000	30.0000	13.3000
1	33.3000	20.0000	33.3000	20.0000	33.3000	20.0000

表 2.5 潮流计算输入-2

馈线名称	首节点	末节点	电阻(Ω)	电抗(Ω)
32	31	32	0.3410	0.5300
31	30	31	0.3110	0.3620
30	29	30	0.9740	0.9630
29	28	29	0.5080	0.2590
28	27	28	0.8040	0.7010
27	26	27	1.0590	0.9340
26	25	26	0.2840	0.1450
25	5	25	0.2030	0.1030
23	23	22	0.8980	0.7090
24	24	23	0.8980	0.7010
22	2	22	0.5420	0.3080
21	20	21	0.7090	0.9370
20	19	20	0.4100	0.4780
19	18	19	1.5040	1.3550
18	1	18	0.1640	0.1570
17	16	17	0.7320	0.5740
16	15	16	1.2890	1.7210
15	14	15	0.7460	0.5450
14	13	14	0.5910	0.5260
13	12	13	0.5420	0.7130
12	11	12	1.4680	1.1550
11	10	11	0.3740	0.1240
10	9	10	0.1970	0.0650
9	8	9	1.0440	0.7400
8	7	8	1.0300	0.7400
7	6	7	0.7150	0.2350
6	5	6	0.1870	0.6190
5	4	5	0.8190	0.7070
4	3	4	0.3810	0.1940
3	2	3	0.3660	0.1860
2	1	2	0.4930	0.2510
1	0	1	0.0920	0.0470

首先利用 PowerWorld Simulator 软件进行计算，然后用 PAS 算法进行计算。结果对比如表 2.6 所示：

表 2.6 计算结果比较

PowerWorld Simulator 计算结果				PAS 计算结果		
节点	A 相电压	B 相电压	C 相电压	A 相电压	B 相电压	C 相电压
0	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
1	9.9503	9.9503	9.9503	9.9503	9.9503	9.9503
2	9.7126	9.7126	9.7126	9.7126	9.7126	9.7126
3	9.5849	9.5849	9.5849	9.5850	9.5850	9.5850
4	9.4584	9.4584	9.4584	9.4584	9.4584	9.4584
5	9.1428	9.1428	9.1428	9.1428	9.1428	9.1428
6	9.0819	9.0819	9.0819	9.0820	9.0820	9.0820
7	8.9984	8.9984	8.9984	8.9984	8.9984	8.9984
8	8.8895	8.8895	8.8895	8.8896	8.8896	8.8896
9	8.7883	8.7883	8.7883	8.7883	8.7883	8.7883
10	8.7734	8.7734	8.7734	8.7734	8.7734	8.7734
11	8.7474	8.7474	8.7474	8.7474	8.7474	8.7474
12	8.6398	8.6398	8.6398	8.6398	8.6398	8.6398
13	8.5992	8.5992	8.5992	8.5993	8.5993	8.5993
14	8.5737	8.5737	8.5737	8.5737	8.5737	8.5737
15	8.5501	8.5501	8.5501	8.5501	8.5501	8.5501
16	8.5153	8.5153	8.5153	8.5153	8.5153	8.5153
17	8.5048	8.5048	8.5048	8.5049	8.5049	8.5049
18	9.9418	9.9418	9.9418	9.9418	9.9418	9.9418
19	9.8842	9.8842	9.8842	9.8841	9.8841	9.8841
20	9.8728	9.8728	9.8728	9.8729	9.8729	9.8729
21	9.8626	9.8626	9.8626	9.8626	9.8626	9.8626
22	9.6451	9.6451	9.6451	9.6451	9.6451	9.6451
23	9.5358	9.5358	9.5358	9.5358	9.5358	9.5358
24	9.4813	9.4813	9.4813	9.4812	9.4812	9.4812
25	9.1098	9.1098	9.1098	9.1097	9.1097	9.1097
26	9.0658	9.0658	9.0658	9.0659	9.0659	9.0659
27	8.8697	8.8697	8.8697	8.8697	8.8697	8.8697
28	8.729	8.729	8.729	8.7290	8.7290	8.7290
29	8.668	8.668	8.668	8.6680	8.6680	8.6680
30	8.5968	8.5968	8.5968	8.5969	8.5969	8.5969
31	8.5811	8.5811	8.5811	8.5811	8.5811	8.5811
32	8.5762	8.5762	8.5762	8.5762	8.5762	8.5762

对该算例的计算时间为 0.02 秒，节点电压的 PowerWorld Simulator 计算结果和 PAS 算出的节点电压列于表 2.6，由表 2.6 可以看出节点电压的最大偏差为 0.02%，计算结果

表明了该算法的正确性。

2.2.5.6.2 实际电网验证

本文对浙江宁波市海曙局段塘变白云 299 线（一条馈线）的实时数据进行了计算，对称配网潮流计算结果和不对称的配网潮流计算结果进行了比较。

该配电线路的原始接线如图 2.14 所示，整个馈线共有 24 个负荷。选取其中的 10 个负荷为例，如图 2.14 所示。

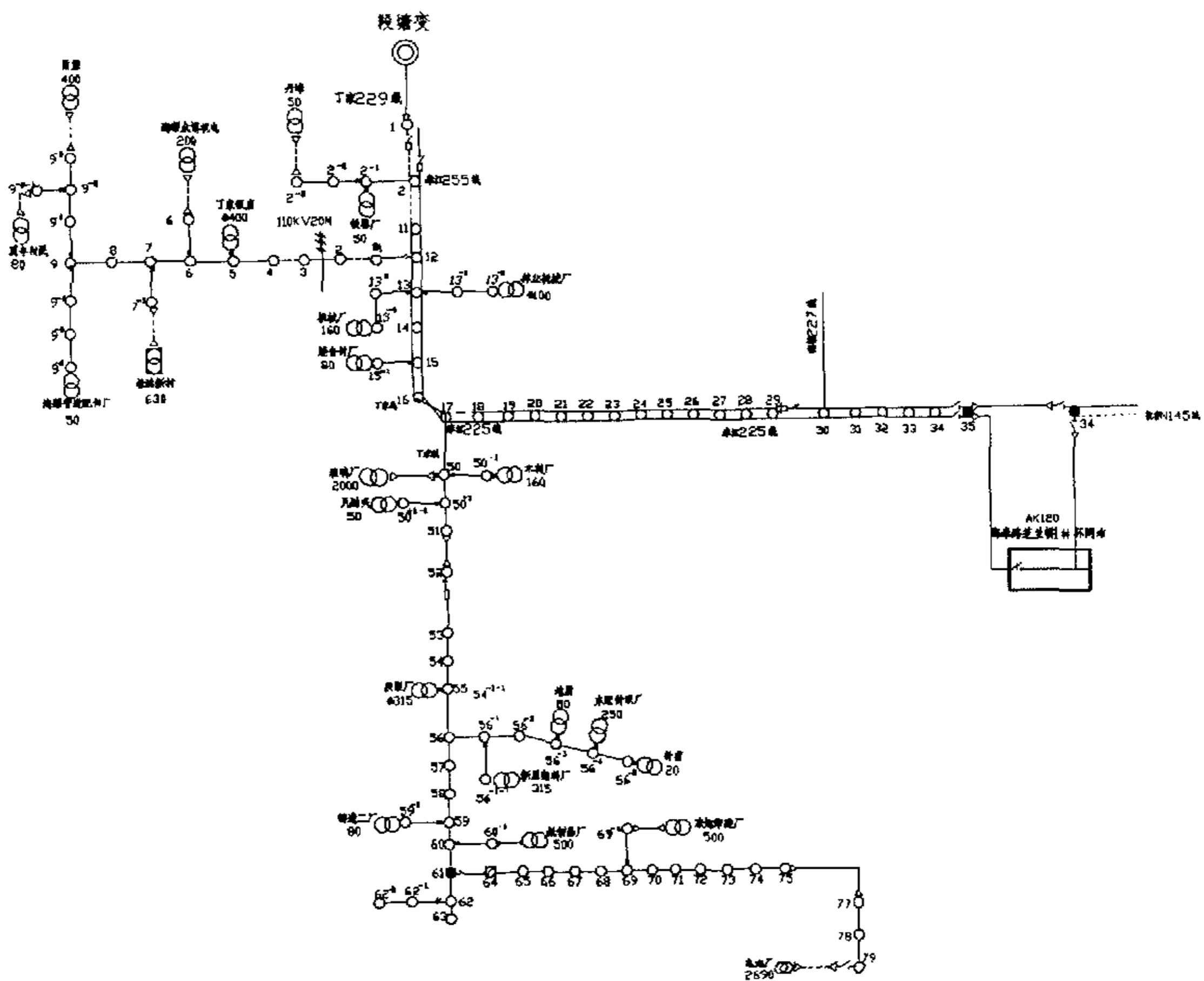


图 2.14 三相潮流计算算例

表 2.7 潮流计算结果列表

节点号	节点电压 (kV)			支路号	支路电流 (A)		
	A 相	B 相	C 相		A 相	B 相	C 相
2044518	10.4385	10.458	10.4543	2044515_7	9.742	7.51494	4.92782
2044512	10.4391	10.4586	10.4549	4581493_4	12.8397	8.60409	5.30868
2032004	10.4207	10.4461	10.4427	2032242_3	16.414	9.51888	6.04258
2044368	10.4619	10.4743	10.4707	2032451_3	7.45376	5.1175	3.20824
2044468	10.4286	10.4521	10.4451	2032478	5.76319	3.32515	2.72473
2044400	10.4343	10.4558	10.45	1354953	8.65684	5.23689	4.2356
2032497	10.4061	10.4361	10.4326	2032099	12.4959	8.44138	7.05363
2044543	10.4334	10.4547	10.4512	2044465	13.7331	11.2253	9.38707
2032454	10.4014	10.4328	10.4291	2044540_1	6.77918	4.79268	3.15703
2032425	10.3975	10.4301	10.4264	835404_9	-15.7868	-10.4525	-6.61652

经验证, 系统在运算速度和计算精度上都达到了较高的要求, 完全可以满足实际电力网络的应用。

2.2.6 电量抄表自动化

电力企业的电能综合信息管理是将变电站电能计量计费信息管理自动化系统、工业大用户用电综合信息管理自动化系统/配电线路综合信息管理自动化系统以及居民用电综合信息管理自动化系统相互独立建设, 但电力系统的网络模型、层次模型以及管理应用模型是统一的, 是基于全局整个电力系统的。所以在使用时造成各个孤立区域的电量分析, 而缺乏整体分析^{[32][33]}。

在县级电网综合自动化系统中, 由于对于电量的采集全部采用, 包括变电站电量信息、馈线配变电量信息、大用户电量信息等, 结合 SCADA 和 GIS 提供的网络拓扑信息, 可以对电网全局的信息进行管理和处理。

电能综合信息管理自动化系统主要功能模块包括: 电能数据采集、数据库维护、档案参数维护、网络平台管理、统计分析、自动旁路代电量计算、多级线损分析、用电异常分析、配变监测、曲线分析、系统报警、报表输出、WEB 浏览、理论线损、考核结算、负荷预报等^[34]。

数据采集: 采集各计量点电能量、瞬时量、电网事件、电能质量等电网数据, 做到自动、完整、准确、安全、及时、一致、可靠、灵活的采集、传输和存储, 支持周期定时采集数据和人工召测当前/补测历史数据, 并支持自动补测漏采数据与断点续传, 保证数

据不丢失，可实现电网重要关口电量准实时监测。通讯信道方面，系统支持多种通讯方式，典型的方式有：电话拨号方式、GSM/GPRS 无线通讯方式、无线电台方式、专线方式、TCP/IP 网络（包括电力数据通信网或宽带网）方式等。可灵活配置两个或多个通道互为备用，多通道根据任务繁重程度自动均衡负载^[35]。

参数设置：基于电网层次结构的电网设备、计量系统档案管理，以树型结构管理电网设备，可灵活构造电网层次结构^[36]。支持电网设备档案查询、录入，包括变电站、变压器、母线、电表、CT/PT、线路、大用户、配变等档案。支持业务变更录入，包括表计维护、记录，更换表计记录和校核表计数据记录，CT/PT 修改，挂表/拆表、旁路信息等。可根据计量点定义各种统计关系，包括变电站、变压器、母线、线路、大用户、配变等，设置统计项目如供电量、线损电量、变化率上限等。可以设置自定义对象的统计项目。设置各种统计对象的周期统计方案（提供日方案、月方案两种固定统计方案）。

数据管理：可分时间段、分采集终端、分计量点查看电能量、需量、瞬时量、功率因数、电压合格率、失压断相、表计状态等原始数据^[37]。测量记录包括：

1) 负荷测量记录

用表格的方式显示配电变压器及其负荷测量纪录，内容包括：配变编号、配变容量、CT 变比、分析日期、配变名称、安装地址、测量时间、三相电流、三相电压、三相功率、三相功率因数、视在功率、有功电量、不平衡率、负载率。

2) 统计查询

用表格的方式显示配电变压器某段时间内统计内容，包括：

统计对象：配变编号、配变容量、CT 变比、配变名称、安装地址、时间区间

电压极值：三相电压的最大值、最小值及其发生时间

电流极值：三相电流的最大值、最小值及其发生时间

15 分钟三相电流的最大值及其发生时间

15 分钟最大需量及其发生时间

停电时间和供电可靠率

电压越上、下时间和电压合格率

有功电量、不平衡电量、不平衡率、不平衡率超标累计、最大不平衡率

功率因数统计、负载率和最大负载率、过负荷时间、负荷率

安全管理：具备严密的安全保护措施，基于超级用户、系统管理员、部门、岗位、操

作员的多级权限管理。实现授权和业务分离。系统应用程序可以自动生成登录事件记录，所有运行人员在系统中的操作行为都记录在事件登录中。只能修改原始采集数据的副本数据，并将修改过程存入数据库中，同时置数据修改标志。对重要信息的操作（如，周期删除硬盘原始数据文件），系统能将操作内容、时间、结果及操作人员姓名登录，保存5年的档案（可转存到其它介质，保存数年），供查阅或打印。系统可以对同一界面的某些信息进行浏览封锁。

数据校核：对采集数据和统计数据实施数据校核，确保数据准确性^[38]。数据校核内容包括：奇异数据校核、缺数校核、主备表双表互校、费率数据和总数据校核、越限校核、变化率校核等，还可以通过和 SCADA/EMS 系统的积分电能量数据进行比较和判别。发现异常情况及时告警，并提供数据修补和电量追补手段。

旁路替代功能：系统具有旁路替代自动识别和旁路电能量自动加入被取代线路电能量的功能，旁路电能量时标与被取代线路电能量时标可做到无时标接缝^[39]。能够实现旁路自动替代计量功能，同时也具备人工置入旁路替代操作设备对象、时间，保证旁路替代时的电量正确统计。在系统信息不全的情况下，系统能对旁路代给出提示，由人工进行确认。

电量数据统计与分析：

具有按规定的不同时段、不同区域、不同类别分别累计电量的功能。系统提供定义每日时段划分个数，以及各时段的起至时刻^[40]。

根据电网的具体要求，对采集的电能量数据进行正确的分类：

- * 峰、谷、平等分时段的电量
- * 日、月、季、年统计和累加电量
- * 上网（购电）及网供电量（售电）
- * 地区间协议交换电量
- * 由统计公式产生的统计数据

系统具有对电量数据进行综合分析、评价功能，为电网运营提供参考信息，以便及时采取措施调整供电方式，提高电网运行的经济性。一般包括：

- * 购电曲线、受电功率统计分析
- * 网损、变损、线损、电压合格率及功率因数等统计计算及分析
- * 负荷预测精度考核

* 母线电量平衡计算

* 公司及分公司电量结算

多层次统计线损及理论线损分析：

系统以多种来源的原始数据为输入，实现电能量的分费率、分时段等全口径统计，完成线损及线损小指标（母线平衡/变损等）的统计、分析。电网线损实现分压、分区、分线统计分析，变压器损耗电量、母线不平衡电量的分析计算，并实现理论/统计线损比对，更有效提供降损分析决策依据。

大用户用电异常（反窃电）分析：

A. 电表及采集终端事件分析

配合大用户采集终端上传事件，主站可采取以下措施，提示可能存在窃电问题的用户及时间段。

表 2.8 时间分析表

	监测现象	防窃电措施	主站功能
电压回路	失压	生成失压事件	由终端判断后上传主站
	断相	生成断相事件	由终端判断后上传主站
	电压逆相序	生成电压逆相序事件	由终端判断后上传主站
电流回路	*CT 短路	生成 CT 短路事件	由终端判断后上传主站
	*CT 开路	生成 CT 开路事件	由终端判断后上传主站
	*CT 分流	生成 CT 分流事件	由终端判断后上传主站
	失流	生成失流事件	由终端判断后上传主站
	过流	生成过流事件	由终端判断后上传主站
	电流不平衡	生成电流不平衡事件	由终端判断后上传主站
	电流逆相序	生成电流逆相序事件	由终端判断后上传主站

B. 电量曲线突变分析

显示大用户对应电表的电量曲线

采用不同历史时期数据进行比较，系统提供与上月同期、去年本月同期、自定义时间历史数据进行比较，同时输出同比数据的极值分析结果。

用户根据电量趋势或同比变化判断是否存在窃电问题。

C. 瞬时量曲线突变分析

显示大用户对应电表的整点功率曲线

采用不同历史时期数据进行比较,系统提供与上月同期、去年本月同期、自定义时间历史数据进行比较,同时输出同比数据的极值分析结果。

用户根据电压、电流、负荷趋势或同比变化判断是否存在窃电问题。

D. 实时监测运行曲线(功率、电压、电流)

针对可能存在问题的大用户,可实时监测大用户三相功率、三相电压、三相电流数据变化。

配变运行监测管理:

供电部门的配电变压器数量大使用面广,安装情况十分复杂,运行情况也是千变万化,经常出现低压侧负荷严重不平衡、过负荷烧毁变压器、功率因数低、电压合格率低等情况。为使供电部门对配变的运行情况有较全面的了解,并提高运行的安全性和经济性。本系统开发了针对配变负荷综合监测管理模块系统。除对配变电量的准确采集外,还可对配电变压器运行(如配电变压器的不平衡率、负载率、供电可靠率、电量、功率因数、电压电流极值、通讯故障记录等)进行统计分析,实施有效的在线监测、远程通讯及离线分析,向供电局各专业部门提供可靠和有价值的基础数据。

报表系统:

系统在商用电子表格的基础上,功能强大,使用方便,报表格式与 EXCEL 格式兼容且能够转换。支持用户需要的各类报表,采用全图形、全汉化的显示和打印功能,人机界面良好,采用多窗口技术和交互式操作手段,画面的调用方便快捷,除日常报表外,特别有分析报表、统计报表、计划实际比较报表、综合报表等,支持图文混排。

友好人机界面:

丰富的曲线、WEB、GIS、图形(电网接线图)、报表表现形式,为用户提供友好的人机界面,符合电力企业工作人员使用习惯。系统能通过曲线来观察数据的变化情况,多条曲线能用不同的颜色绘制在同一窗口中^[41]。

工况监视及异常告警:

具有在线诊断和监视功能,既可监视主站系统自身的运行状况,又可监视厂站设备、通道的运行状况,具有远程对系统的测试和诊断功能。对于异常情况及时告警并记录到数据库中。系统的报警采用声音和屏幕窗口提示等方式。系统中的报警和事件信息作为长期纪录保存在指定的分类文件中。

2.2.7 继电保护配合

继电保护装置是电力系统不可分割的一部分，是电力系统安全运行的保证，合理配置与正确使用继电保护装置十分重要。

为满足电网对继电保护提出的可靠性、选择性、灵敏性、速动性的要求，充分发挥继电保护装置的效能，必须合理的选择保护的定值，以保持各保护之间的相互配合关系。因此做好电网继电保护定值的整定计算工作是保证电力系统安全运行的必要条件。

从电网继电保护整定计算的角度出发，需要考虑的因素是很多的，其中电网的接线方式和运行方式对定值计算的影响最大。随着电网的发展，电网规模愈来愈大，接线方式和运行方式日趋复杂。其中大环、小环相互重叠，长线、短线交错连接的状况已经比较普遍。这些都给保护定值的整定计算工作带来了困难^[42]。为了合理协调保护的灵敏性、选择性、速动性和可靠性这四者的关系，以使各保护达到最佳的配合状态，就必须对电网的各种运行方式及多种故障情况进行反复而周密的计算。

在县级电网综合自动化系统中保护定值整定与以往调度自动化中的定值整定的管理范围基本相同，主要区别在于如果馈线开关装设有保护定值，那么就需要配电线路上的保护定值与变电站出口处的定值进行配合，但在这种状况下保护定值的配合具有一定的难度。

保护定值整定具有以下功能：

2.2.7.1 故障计算

图形管理——图形和拓扑系统直接采用 GIS 中绘制的图形、参数及拓扑信息；

模糊处理——提供抗奇异矩阵的能力；

独特的相移处理技术——解决变压器的相移问题，真实反映故障后的电气量；

实用的零序互感处理技术——自动适应多互感情况；

可视化故障设置——方便自由地设置故障；

全面的专业数据输出——提供您想要的所有数据；

完备的网络操作接口——为整定奠定坚实的基础；

自定义运行方式——满足系统运行方式的变化需求；

2.2.7.2 整定计算

灵活的保护配置——定制您自己的应用环境；
完备的原则库——包罗规程中的所有整定原则；
实用化的整定流程——集诸位专家多年之经验；
自动整定——弹指一挥，完成整定；
手动整定——全程可视，任意干预，结果可信；
实时计算书——详细记录整定过程；

2.2.7.3 仿真校验

动态仿真——模拟系统故障，考察保护动作行为，对保护定值的正确性及合理性进行校验；

2.2.7.4 数据及定值单管理

管理查询——全面的专业数据查询；
定值单模板——自动生成各种定值单；
模板定制——使用户可自行定制定值单模板；
条件查询——快捷定位所需的数据；
树状结构——分层管理系统数据；
全程闭环管理——清晰完备，吻合实际保护运行周期；

2.2.8 系统设计子功能

2.2.8.1 配电工程设计

系统屏幕显示各类图形，如：地理环境图、电网系统图、街区地理图、不同电压等级的供电线路图、重要用户供电图及城市管线位置图等。利用图纸资料的不同分层，参照配网规划，以多种方式进行配网工程的施工设计，以及设备装备装置的改造方案设计^[43]。

- ◇ 完成用户申请报装接电设计任务工作传票的生成;
- ◇ 进行原有配网设计图纸、文件等资料的输入;调用地理信息和配电设备信息,采用计算机辅助设计手段进行交互式施工方案设计;
- ◇ 自动完成施工图纸及施工单;
- ◇ 对竣工资料进行校对、存档。

2.2.8.2 配电网施工计划和工作管理

系统提供根据规划、配电运行情况及其他相关因素,制定施工计划,并进行施工管理的功能。

- ◇ 配电网的施工计划
 - A. 年度计划安排;
 - B. 季度计划安排;
 - C. 月度计划安排;
 - D. 每周计划安排;
 - E. 进行历史计划的查询;
 - F. 根据实际情况进行计划调整。
- ◇ 施工工作管理
 - A. 根据可靠性优先原则确定施工方案;
 - B. 生成停电范围,并对所影响用户进行预告;
 - C. 进行工程预、决算编制,工程预决算管理,并生成预概算报告;
 - D. 开列施工图和材料清单,并开列工作票和操作票;
 - E. 进行施工流程管理;
 - F. 施工结束后,应能自动对相关设备档案进行更新;
 - G. 对完成情况进行统计。

2.2.9 系统培训子功能

系统的培训功能主要是为县级电网综合自动化系统培训调度员,使他们在上岗之前都可以熟悉系统具有系统操作的能力;

培训功能是利用系统提供的“研究态”完成的,“研究态”作为培训模拟功能,与实

际运行系统所不同的是信息流向是单向的，及 SCADA、GIS 等只是将信息发送到培训中心，所有信息处理的结果不返回到实际运行系统，而是以报表和其它形式保存起来。

2.2.10 系统维护子系统

系统从权限管理的角度提供了维护人员权限，在维护人员权限下，可以在系统中的 GIS 功能上进行电网数据的维护，各个子系统一般性维护等。

第三章 电网综合自动化系统的模型设计

基于对电网模型的认识，笔者在本系统中设计了以下类及类之间的集成关系：

从电网模型的角度讲，电力设备可以抽象为：

- **节点**：指设备的连接端点；
- **单端设备**：指电网中只有功率或电流的流出（可以是负值）的设备，而且这种设备在电网中只要知道连接点就可以确定在电网中的连接关系，比如电网中的电源、负荷、并联电容器等设备；
- **双端设备**：指在电网中是“串联”连接在网络中，这种设备的特点是功率或电流有流入，同时也有流出，可能这种设备会消耗部分功率或电流（比如电缆线路），这类设备在电网中表现为具有 2 个连接点，在配电网中，一般的双端设备都具有正方向（因为配电网是辐射中运行），这类设备一般有电力线路、电力电缆、变压器（主变为三端设备，但可以分节为 3 个双端设备）、串联电容器、串联电抗器、开关等；
- **量测类**：因为在研究电网时我们不但关心电网的一次设备，同时在计算机模拟时设备的电气量特征，所以引入量测类，用于反映电气设备在运行时的电气状态，量测类作为一个普遍的和各种电气设备之间在编程时用指针反映；
- **管理属性类**：管理属性类主要是为了体现设备的管理属性，主要是为了在 GIS（地理信息系统）中使用，用于实现设备的管理分类；

电力设备的类抽象如图 3.1 所示。

在系统中类的设计主要是考虑到电力设备在电力系统中的属性和特点，将电力设备转化为计算用模型，用于系统分析和计算。在程序具体实现时，本文考虑了数据计算的常用函数，如复数计算等。

在具体程序实现时，本文对变压器模型进行了详细的研究，实现了现有变压的所有类型，并进行了验证。

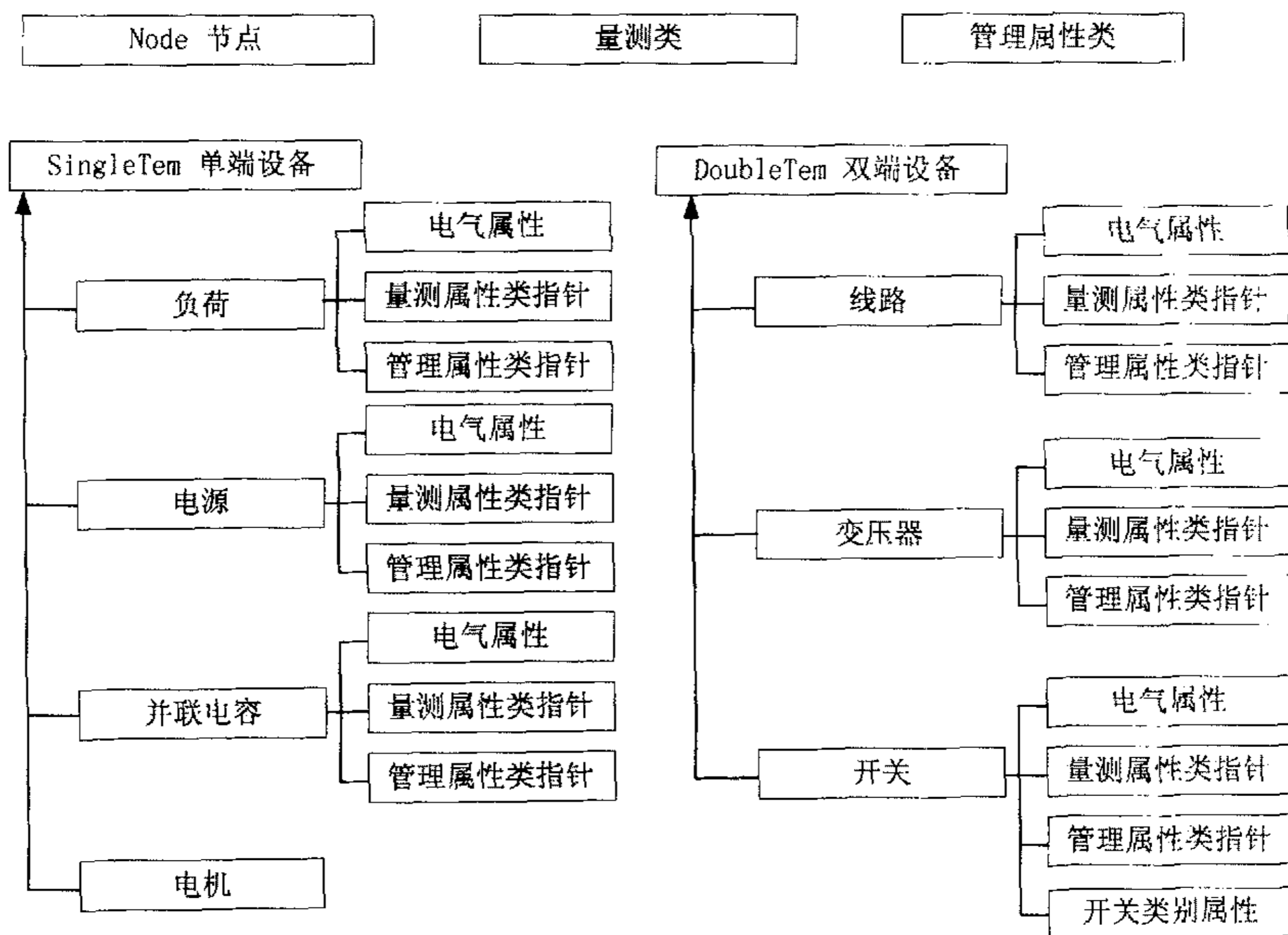


图 3.1 电网模型抽象

由于篇幅所限，下面就以在各种模型中最为复杂的变压器模型为例，列举变压器模型的实现。

在变压器模型采用“图 2.8 配电变压器序分量模型”，在模型中 $y_0 y_1$ 为变压器的零序和正序归算到低压侧的导纳。

$$Y_l = \begin{bmatrix} \frac{y_0+2y_1}{3} & \frac{y_0-y_1}{3} & \frac{y_0-y_1}{3} \\ \frac{y_0-y_1}{3} & \frac{y_0+2y_1}{3} & \frac{y_0-y_1}{3} \\ \frac{y_0-y_1}{3} & \frac{y_0-y_1}{3} & \frac{y_0+2y_1}{3} \end{bmatrix} \quad (3-1)$$

$$Y_{II} = \begin{bmatrix} \frac{2y_1}{3} & \frac{-y_1}{3} & \frac{-y_1}{3} \\ \frac{-y_1}{3} & \frac{2y_1}{3} & \frac{-y_1}{3} \\ \frac{-y_1}{3} & \frac{-y_1}{3} & \frac{2y_1}{3} \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

$$Y_{III} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} -y_1 & 0 & y_1 \\ y_1 & -y_1 & 0 \\ 0 & y_1 & -y_1 \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

在以上基本导纳阵的基础上可以得到变压器用于“前推回推”的导纳矩阵：

连接方式		自导纳		互导纳	
原边	副边	Y_{pp}^{abc}	Y_{ss}^{abc}	Y_{ps}^{abc}	Y_{sp}^{abc}
Yn	Yn	Y_1/α^2	Y_1/β^2	$-Y_1/\alpha\beta$	$-Y_1/\alpha\beta$
Yn	Y	Y_{II}/α^2	Y_{II}/β^2	$-Y_{II}/\alpha\beta$	$-Y_{II}/\alpha\beta$
Yn	D	Y_1/α^2	Y_{II}/β^2	$Y_{III}/\alpha\beta$	$Y_{III}^T/\alpha\beta$
Y	Yn	Y_{II}/α^2	Y_{II}/β^2	$-Y_{II}/\alpha\beta$	$-Y_{II}/\alpha\beta$
Y	Y	Y_{II}/α^2	Y_{II}/β^2	$-Y_{II}/\alpha\beta$	$-Y_{II}/\alpha\beta$
Y	D	Y_{II}/α^2	Y_{II}/β^2	$Y_{III}/\alpha\beta$	$Y_{III}^T/\alpha\beta$
D	Yn	Y_{II}/α^2	Y_1/β^2	$Y_{III}^T/\alpha\beta$	$Y_{III}/\alpha\beta$
D	Y	Y_{II}/α^2	Y_{II}/β^2	$Y_{III}^T/\alpha\beta$	$Y_{III}/\alpha\beta$
D	D	Y_{II}/α^2	Y_{II}/β^2	$-Y_{II}/\alpha\beta$	$-Y_{II}/\alpha\beta$

图 3.2 变压器计算用导纳矩阵

在变压器计算用导纳矩阵中 α 、 β 分别为变压器原边和负边变比。

- 在回推计算中，给定 U_p, I_s 计算 I_p ，利用矩阵 Y 可得：

$$I_p^k = KU_p^{k-1} + Y_{ps} Y_{ss}^{-1} I_s^k \quad (3-4)$$

其中 $K = Y_{pp} - Y_{ps}Y_{ss}^{-1}Y_{sp}$ 。

- (2) 在前代计算中, 给定 U_p, I_s 计算 U_s

$$U_s = K_p U_p + K_s I_s \quad (3-5)$$

其中 $K_p = -Y_{ss}^{-1}Y_{sp}$, $K_s = Y_{ss}^{-1}$

在程序实现时以上 U_p, I_s 等电气量全部采用三相设计, 用于同时考虑三相不平衡系统。

第四章 综合自动化系统数据库设计

电力系统是一个复杂系统，电力系统的信息管理与离线分析计算涉及的面广、数据量大，既包括设备参数(如发电机、变压器、线路等)，又包括网络的拓扑结构。因此，电力系统的分析计算人员需花费大量的时间和精力进行数据的收集、整理和加工，工作效率低，数据的准确性差^[44]。

4.1 数据库设计因素

在所有实时系统中，数据库是实现所有庞大功能的基础，所以本文在考虑县级城市综合自动化系统功能时，考虑了以下因素：

对于实时调度系统，系统对于信息的传递和反应速度要求是毫秒级的，所以系统的高实时性是实现所有信息采集和完成各种调度功能的前提条件。在高实时性方面系统在设计时主要用了线程池技术/连接池技术/高密度数据压缩技术等来提高系统的实时性的^[45]。

基本的网络调用其实大量的时间是耗费在网络的连接上（一般调用数据访问的60%的时间是在连接和断开上的），系统的中间件平台从根本上采用了国际上中间件开发所采用的成熟的连接池的技术，大大减少了节点间网络连接次数，大大提高节点间调用的高实时性。

在县级城市综合自动化系统中的实时数据库设计采用了以下技术：

实时消息驱动：系统的中间件平台提供了基于实时通讯中间件基础上的消息驱动。系统的各个模块间均是通过分布式消息进行驱动的，这样系统模块间的通讯和触发都具备了很高的实时性和可靠性，从而使整个应用系统也同样具备高实时性和可靠性保障。

数据库访问的高实时性：系统的数据库中间件访问也是通过上述实时性机制的，从而使上层应用的数据库的访问和调用具备极高的实时性。从而使整个应用系统也同样具备高实时性和可靠性保障。

在关键硬件设备进行冗余配置的同时，为了保障关键业务的高可用性，同时又避免不必要的多重设备资源冗余。

4.2 实时数据库

实时数据库在调度自动化主站系统中具有核心地位，它是系统进行数据与信息的存储、处理和分析中心。从某种程度上说，实时数据库是调度自动化系统应用的基石，它的体系结构合理性、功能完整性及其整体性能直接影响系统的应用水平，所以实时数据库的设计在自动化系统中是成败的关键。因此，实时数据库除了应符合作为数据库的一般要求外，还应具备以下重要特点：

- (1) 数据库访问快速，能满足系统的实时性要求；
- (2) 具备完备的数据处理和管理功能；
- (3) 满足电力系统网络分析的要求；
- (4) 高效的数据分布性能；
- (5) 多任务的并发处理机制；
- (6) 支持多个工程的数据库并存机制，各个工程的数据库间的数据切换方便，以提高工程管理效率；
- (7) 支持数据库的镜象功能机制，满足不同应用间的数据快速切换；
- (8) 提供数据库访问的规范接口，具有良好的数据安全性；
- (9) 开放性好，提供与其他系统数据交换机制。

本文充分考虑到商业关系数据库的功能强大、性能优越和开放性好等特点，采取了实时数据库和商用数据库集成开发的策略，在保证实时数据库实时性的前提下，充分利用商用数据库强大的内置功能。利用商用数据库的标准 SQL 访问接口，提供调度自动化系统与外围系统的数据共享机制，解决了数据开放性问题的。

在系统中设计的数据库由若干个数据库分区组成。分区是实时数据库物理存储结构中一个最基本和最完整的单位，分区包括头分区和若干个普通分区，其中头分区（Head Partition）由系统自动生成，存放数据库模式定义的时标和相关记录有效维长和最大维长等信息。引入分区这个概念主要是因为大多数应用程序只访问数据库局部而不是整体，它既能减少占用的内存又能提高并发操作的效率。

实时数据库作为一个扩展的关系型数据库，其中心结构是记录，一种记录通常描述一类实体，对应关系模型中的一张二维表也可是一张扩展的三维表。每个数据库中包含若干个记录，这些记录分布于该数据库的各个分区中，每个记录包含若干个字段，字段反映记录所描述的实体某一方面的特性，即关系模型中的域属性，字段由字段名和记录

名唯一标识，是数据库读取数据的最基本单位。应用程序或数据库管理程序可通过它来访问数据库。

为满足描述电力系统网络拓扑要求，实时数据库提供 2 种特殊字段。第 1 种是全局字段（Globe Filed），存放不宜重复的单个数据，本身不从属于任何记录；另 1 种是间接指针（Indrect Pointer），其值存放记录下标，主要反映表与表之间的关系。

4.3.1 数据库访问模式

数据库针对不同应用提供了 2 类访问模式，一类是直接的物理地址访问，另一类是通过规范的 API 访问。第 1 类模式具有很高的访问效率，特别适合于大型矩阵计算。其实现机理是通过数据库管理系统把实时数据库分区的共享内存部分映射到一个 C 语言的数据结构上，这样程序就可以访问局部变量相当的效率访问数据库的该部分内容。这种访问模式的缺点是明显的，由于其绕过了数据库管理系统，不能保证数据的安全性与完整性，并且只能访问本地的数据。为弥补以上缺陷，系统还提供了规范的 API 访问接口，通过该类接口可实现网络数据的访问。这类接口也具有较高的效率，平均每秒可进行近 7 万次的浮点数访问。

4.3.2 分布式机制及数据库镜象的实现

4.3.2.1 分布式应用模型

分布式应用的最典型模型是客户/服务器模型，并在实际应用中取得很大成功。本系统也采用该模型，但系统的服务器并不是固定的，每个节点既可充当客户也可充当服务器，即各个节点的数据库既具备客户功能也具备服务器功能。这种灵活的配置在很多应用场合都具有很高的实用性，如在网络上的节点配置修改将变得很容易。

在数据库底层网络功能的实现上，本文采取数据分流与冗余多网络的可靠通信，即系统中配置了多个相互独立的局域网，只要 1 条通信回路正常就可保证数据正确到达。这在实时监控系统中很有意义，因为实时系统要求数据具备高度可靠性，数据丢失在这种应用中是不能接受的。

4.3.2.2 布式机制

实时数据库提供客户/服务器交互访问、流式传输、异地镜象、报文广播等多种机制

来实现数据的分布功能。这几种机制有各自的优缺点和相应的应用场合。

4.3.2.2.1 客户/服务器交互访问

客户/服务器交互访问就是客户通过本地的数据库访问远方数据库服务器的内容,每次访问在客户与服务器之间存在一个应答交互过程,这是一种客户/服务器模型的典型应用,为大多数数据库管理系统所采用。但由于传输的网络报文小、频率高,容易造成网络负担过重、效率低下及服务器负载过重等问题。它的优势是不存在数据库间的数据同步问题,比较适合中小型系统中分布数据的访问。

4.3.2.2.2 流式传输

流式传输与客户/服务器交互访问有很大的类似性,它的基本原理是客户端向服务器一次性申请某些数据,而后服务器就会按指定时间间隔周期性地向客户端“送”数据,其特点是取消了客户/服务器交互访问中频繁的应答过程,且服务器可把向同一客户发送的数据进行重组,以增大网络报文的平均大小,减少网络报文数量,从而提高传输效率。

4.3.2.2.3 异地镜像

为提高数据库间数据同步效率以适应某些特殊的应用,本系统还设计了数据库的异地镜像功能。其实质是以数据库中一些基本结构为单位,进行整体数据的异地同步。系统提供以整个数据库、分区或记录为单位的多种异地镜像功能,并可实现不同家族的异地数据库间的异地镜像。异地镜像的最大特点是效率高,特别适合于一些需要大量数据传输的应用场合,它在这些特殊的应用中具有明显优势。例如,某一节点启动时,可指定它为另一节点的镜像数据库并从该节点启动,使它与另一节点的数据保持一致。另外,通过它可实现数据库的远程快速更新。

4.3.2.2.4 报文广播

报文广播采用 UDP 通信协议,它的特点是效率高但不可靠,适合于网络拓扑结构未知情况下的应用。分析发现,这种方式存在斑纹丢失,报文丢失主要发生在接收端而不

是在网络上，可能是网卡的中断处理效率不够，以及接收线程来不及处理连续的报文导致报文接收队列溢出所致。为提高可靠性，系统采取对小报文缓存合并，每个报文发送之间采取一定间歇及采取双收策略，实际应用表明这样可基本消除报文丢失现象。数据库报文广播机制的典型应用，有网络各节点运行工况的监视、管理及数据库的全局更新等。

4.3.3 并发冲突的解决策略

并发冲突是一个多任务系统中常见问题，解决策略一般采用数据区锁定方法，即当某一数据区被一任务独占式访问时，系统就锁定该数据区，其他任务将不能访问该数据区直到该任务结束访问。当一任务访问锁定的数据区时，系统产生一个例外(Exception)或将该任务挂起。在实际实现中，这是如何协调数据安全性和系统效率的问题，即数据库的锁定单元大小的选择问题。若锁定单元越大其安全性越好，但效率越低；反之效率越高，实现难度也越大。

本系统的策略是以数据库分区为锁定单元，而数据库分区的大小可由不同的应用设定，若要提高效率可把一个数据库分成多个分区以减少分区的尺寸。本系统的实现方法是系统把所有对数据库的访问转化为几类事件，访问同一分区的事件划分为同类事件。系统对同类事件是进行串行化处理的，即对同类事件按发生的时间顺序排队，当处理完前面的事件后才处理后面的事件。为避免事件死锁，每件事件的处理具有超时设定，这样就很好地解决了数据库访问的并发冲突问题。

4.3.4 与商业关系数据库的集成

将实时数据库与商业关系数据库集成时（以下把商业关系数据库简称关系数据库），要解决的关键问题是关系数据库与实时数据库的同步问题。其解决思路是在关系数据库中驻留实时数据库的完全备份，并且关系数据库中实时数据库完全备份的内容和结构与实时数据库是一一对应的。自动化系统分布式网络中的各节点的实时数据库不仅可从指定服务器的实时数据库中启动，还可从关系数据库中启动。当从商业关系数据库中启动时，关系数据库中实时数据库的完全备份就装载至实时数据库内，从而取得各节点实时数据库中数据的全网一致性，并且可直接获得上一次的各种电网分析结构数据，也就实现了实时数据库的存储柜功能。

要实现实时数据库与关系数据库的同步，首先必须解决关系数据库的存储结构模式问题，即设计数据存储的关系模型。这个关系模型必须与实时数据库结构一一对应，并且能随实时数据库模式的变化而相应地改变。逻辑存储结构方式的设计是二者实现内容同步的前提。

从维数角度看，实时数据库的字段可分为3类：0维、1维和2维。0维字段主要是全局字段，对应于关系模型，它不从属于任何关系表。1维字段是用得最普遍的字段，对应于关系模型中的普通字段。2维字段是一类特殊的扩展字段，从关系模型看，它应从一个三维表。关系库中必须建立与0，1，2维字段一一对应的关系模型表，以实现实时数据库与关系数据库的同步。针对本系统的特殊性，解决办法是：

- a) 以实时库分区 (Partition) 为一个基本单位组织关系库存储结构；
- b) 同一分区中所有0维字段组织成一张关系表；
- c) 同一分区中同一记录所属的所有1维字段组成一张关系表；
- d) 同一分区中任一2维字段构成一张关系表。

实时数据库是整个系统的基础，系统核心之一，为整个 SCADA 系统提供实时数据来源，主要功能：

- ◇ 接收数据处理后的熟数据，并保存在实时库中；
- ◇ 模拟量的定时更新，发送；
- ◇ 遥信量变位发送；
- ◇ 实时数据库的维护，包括：
 - 实时库表的维护，表的字段定义，修改等；
 - 子站的维护，包括添加，删除，修改；

主要包含的表有：

- ◇ 遥测表
- ◇ 遥信表
- ◇ 计算量表
- ◇ 电度量表
- ◇ 遥控表

4.3 历史数据库

历史数据库是存储 SCADA 采集的实时数据的定期或主动存放记录，历史数据库为系统提供历史数据源，用于状态估计、负荷预测等软件使用，同时也给实时系统的灾难恢复提供了必要的数据库备份。

主要功能：完成数据库的管理与维护，并为其他系统如报表提供方便的访问接口。

主要的库有：日历史库，月历史库，年历史库。

- ◇ 遥测量库
- ◇ 遥信量库
- ◇ 电度量库

4.4 系统数据的一致性方法

实际电网特别是配电网，由于经济的发展，一直是处于改造过程中的，所以是一个动态更新的网络。

对于这种状况目前的许多电力客户都没有认识到，系统中全局数据保持一致的重要手段的重要性。在建设初期 SCADA 和 GIS 等系统就应该考虑到几个系统之间数据自动化同步一致的重要性，保持一致的重要手段是在全部系统中保持数据源的唯一性。

在传统的各个系统分别建设的分立系统中，通常是采用数据一致性工具将数据从 GIS 系统导入到 SCADA 等应用系统，而在县级电网综合自动化系统中几个原有的系统是建立在了同一系统中的在 GIS 功能录入数据完成后其它各个系统是直接采用录入的数据和图形的。所以不存在数据同步的问题，系统中数据的唯一性保证手段就是数据的输入源一致——由 GIS 功能录入和维护数据。

第五章 系统界面设计

系统界面在县级电网综合自动化系统采用统一的界面，即 GIS、SCADA 等系统均直接采用在 GIS 功能中数据录入时的界面系统^[46]。

操作界面（MMI）是系统与运行人员面对面的接口，它集成了与运行人员正常运行监视及操作控制有关的所有功能。操作界面完全采用对象化设计，操作也完全是面向对象的，直观，简捷，界面设计中的模型采用 IEC 61970 设计。

操作界面的主要功能包括：

- 图形实时显示和统计查询；
- 对象实时操作；
- 实时图表查看；
- 人工设置对象属性；
- 告警事件处理；
- 实时数据查询；
- 语音处理；
- 操作防误闭锁；
- 配电工作管理；
- 系统电量统计分析；
- 继电保护定值分析；
- 调度员培训；

5.1 可视化图形系统设计

系统的可视化界面是为了要求在输入数据的同时将电网的参数也通过线材类型的选择直接输入到系统中。

可视化图形系统包括 2 部分主要功能，图元的二次编辑和图形的可视化录入。图元的二次编辑是指在利用最基本的点和线工具绘制出电路设备图元，将生成的图元添加到系统的电气设备模板当中，供以后工程中直接绘制电气设备。

在图形录入的同时，各个设备的 SCADA 测点信息也需要在录入时直接在生成在数

据库中，这称为“图模库一体化”技术，但在本系统中对图形系统的要求高于一般的“图模库一体化”，原因在于传统的“图模库一体化”是基于 SCADA 设计的，而在本系统中数据录入的同时也需要将地理信息数据一并录入。

5.2 可视化图形系统应用

5.2.1 可视化数据一致界面

在以上技术要求的基础上笔者开发了专门用于“县级电网综合自动化系统”中图形和参数的录入工具，以下是在实际系统中应用的图形界面实例。

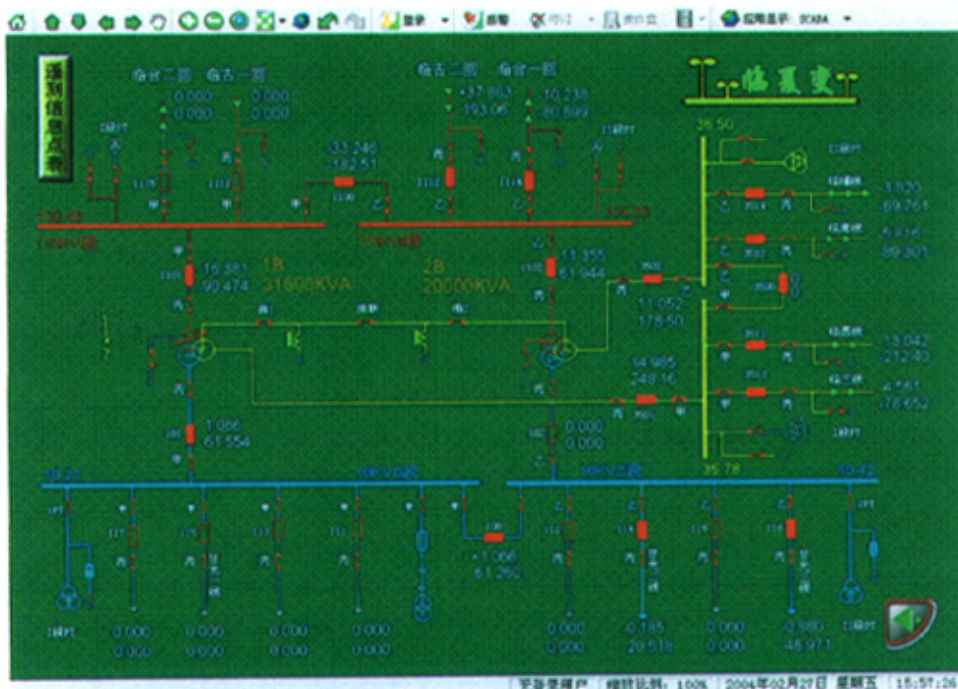


图 5.1 电力综合自动化系统调度功能主界面

5.2.2 可视化数据录入

可视化数据录入主要是指，所有设备的数据全部在图形界面上录入和管理，不再人

工操作数据库。

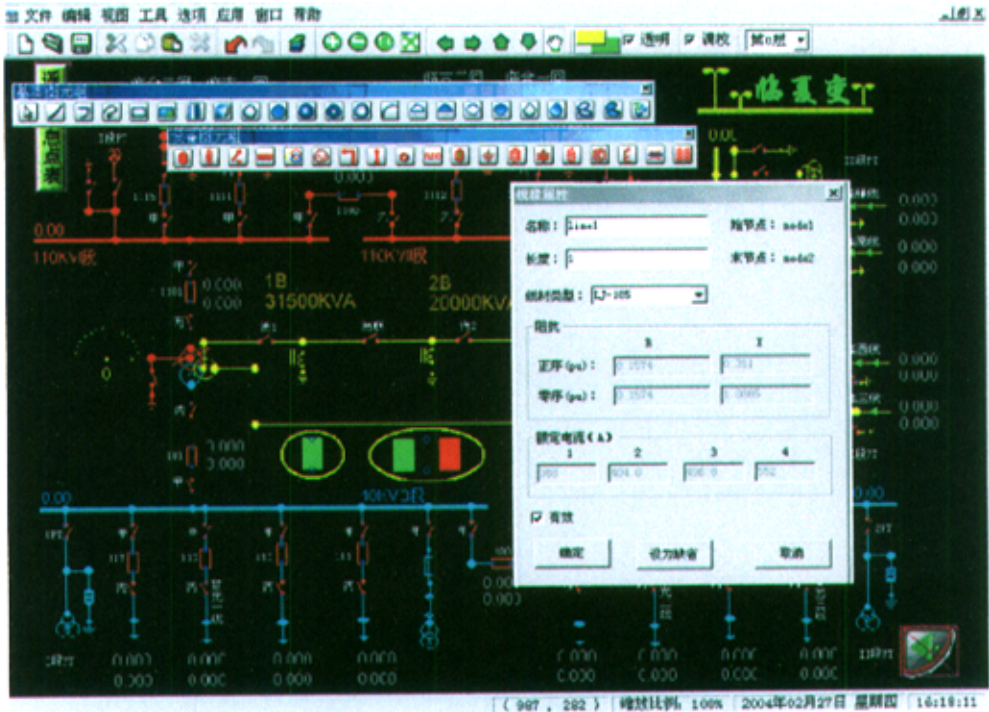


图 5.2 电力综合自动化系统设备属性编辑界面

5.2.3 图元拓扑生成

图元拓扑的生成是在录入过程中通过鼠标绘制图形后自动生成，图形系统对图形的录入具有要严格的检查系统（专家系统），用户在绘制图形时，如果不符合电力系统的常规。系统将拒绝操作，同时给用户相应的操作提示。

第六章 系统通信组织

6.1 县级电网综合自动化系统对通信系统的要求

县级电网综合自动化系统对通信系统的要求取决于配电自动化的规模、复杂程度和预期达到的自动化水平。总体上，配电自动化对通信系统的要求体现在以下几个方面。

6.1.1 通信的可靠性

县级电网综合自动化系统的通信系统是在户外安装的，意味着通信系统要长期经受不利的气象条件的考验。此外，通信系统将在较强的电磁干扰下工作，能够跨过故障区和停电区域保持通信，因此，配电自动化的通信系统必须设计成为能够通过常规维护，就可以在上述恶劣状况下工作的系统。

6.1.2 通信系统的费用

由于县级电网综合自动化系统的通信系统的造价很可观，因此通过恰当地选取合适的通信方式，可以节省大笔的建设费用。在对配电自动化的通信系统进行预算时，不仅要考虑设备的造价，还要估算通信系统长期使用和维护费用。

6.1.3 通信速率的要求

任何通信系统的带宽都是有限的，带宽越窄通信速率越低。从功能的角度，在配电自动化系统中，进线监视、馈线自动化对于通信速率的要求最高，其次是公用变压器的巡检和负荷监控系统，远方抄表和计费自动化对于通信速率的要求较低。从配电自动系统结构的角度的分析，集结了大量数据的主干线对通信速率的要求，要远高于分支线对通信速率的要求。

在选择通信方式之前，应当先估算配电自动化系统所需要的通信速率，应考虑到最坏的情形，并根据需要恰当选取合适的通信方式和通信网络组织形式。此外，在设计上应留有足够的频带，以满足今后的发展的需要。

6.1.4 双向通信能力

县级电网综合自动化系统的大多数功能要求双向通信，负荷控制仅需单向通信即可满足要求，控制中心只需向被控制的负荷发送投运或停运命令。但是，实时检测负荷控制设备是否正常却是需要的，为了实现这一功能，就必须借助于双向通信。

对于故障区段隔离和恢复正常区域供电的功能，则必须要求双向通信能力的信道。位于远方的终端必须能向控制中心上报故障信息以便确定故障区段，控制中心必须能向远方终端发布命令，以隔离故障区段和恢复正常区域供电。

6.1.5 通信不受停电的影响

配电网的调度自动化功能和故障区段隔离和恢复正常区域供电的功能要求，即使在停电的地区通信仍能正常进行。采用电力线作为通信信息传输媒介的通信方式，在这个问题上会面临许多困难。必须考虑故障或断线对通信方式的影响。另一个必须考虑的问题是在停电地区的远方通信终端设备的供电问题，应当为它们提供后备电源或其它供电手段。

6.2 几种通信方式比较

目前在国内配电自动化系统中主要采用的通信方式主要有以下几种：

- 光纤
- 无线电
- 双绞线
- 配电载波

6.2.1 无线通信

无线通信有微波、扩频、数传电台、商用电台等方式。微波投资较大，一般只是用于控制中心与大变电站或二级主站之间的通信。商用电台尽管价格低，但开启时间较长，传输速率低，难以满足实时控制需要，只是在负荷控制中应用较多。下面主要介绍无线扩频与数传电台。

1) 数传电台

县级电网综合自动化系统无线通信目前主要是采用数传电台。

数传电台目前国内主要使用 210-230MHz、400-450MHz 以及最近刚公开的 800-900MHz 频段。数传电台适于短距离通信（小于 10 公里），具有易于安装、施工成本较低、易维护、传输时延小的优点。数传电台本身具有信号调制解调功能，可以直接通过 EIA/RS232 接口与 RTU 连接。

但数传电台有抗干扰能力相对差、传输速率不高（最高 19200bps）、不适于多高层建筑物的市中心及山区使用等缺点。

由于数传电台发射功率大，需要向无线电管理委员会申请频点，而且无线专用通道比较拥挤，使数传电台的使用受到了一定的限制。

2) 无线扩频通信

无线扩频技术利用一组速率远远高于信号速率的伪随机噪声码（PN—Pseudo Noise Code 简称 PN 码），将所要传输的原信号的带宽拓展 100-1000 倍，使之成为宽频带、低功率信号。接收端利用相关解扩技术实现信号的高精度还原，从而获得信息的可靠传输。

扩频通信有以下特点：

- 发射功率在 1 瓦以内，不用申请无线频点。
- 通信速率高，可达 2Mbps。
- 通信距离远，直接通信距离达 50 公里之上。
- 可靠性高。抗干扰、噪声能力强，不论对窄带干扰、宽带干扰，解扩后均能消除。
- 设备体积小，功耗低。
- 可以是点对点通信方式，也可以是点对多点方式通信。

扩频通信价格较高（一对扩频电台接近 5 万元），而且要求两通信点之间应保证基本无障碍（视距），因此在国内配电自动化系统中暂时还没有应用。

6.2.2 有线

有线通信有导引电缆和双绞线两种方式，具有简单方便的特点，但抗干扰、抗雷电冲击能力较差，适用于短距离通信。实际应用中，常把它用作为一个小区内配电变压器监测、自动读表等智能装置与 FTU、配电自动化二级主站或其它数据转发装置通信连接。有线电缆连接方式为总线式，拓扑结构如图 6.1 所示：

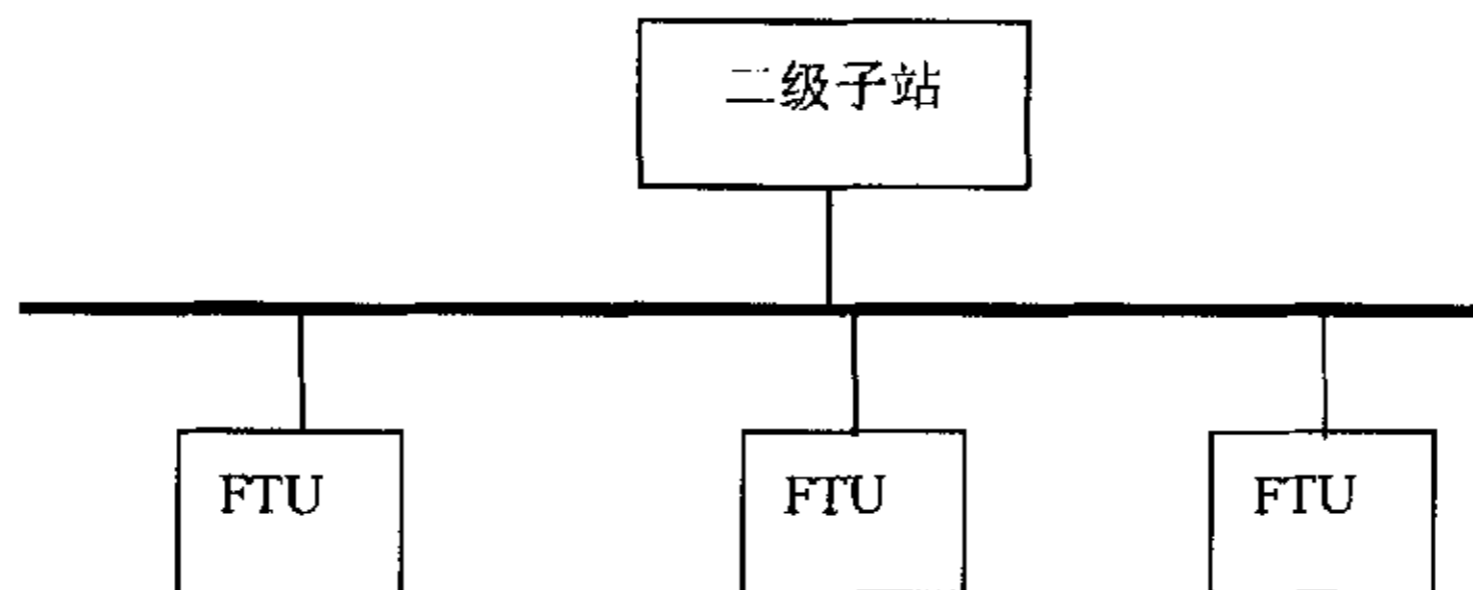


图 6.1 FTU 与子站拓扑结构图

有线通信方式有以下几种：

1) 通过 EIA/RS-485 接口连接

这种方式终端之间使用 EIA/RS-485 标准接口，进行点对点或者是点对多点的连接，具有简单、直接的优点，但抗干扰性能要差一些。采用 EIA/RS-485 连接的通信距离与通信速率有关，一般是在 2 公里以内。

2) 有线载波（总线 MODEM）

有线载波方式是在两个终端之间使用调制解调器（MODEM），将信号调制后传输，可以实现点对点之间的连接，也可以采用专用 MODEM（BELL202）进行点对多点连接。有线载波方式较 EIA 485 方式抗传输干扰能力强，通信距离远。

3) 现场总线

常用的现场总线连接有 LonWorks、CAN、PROFIBUS 等几种，具有抗干扰能力强、传输速率快、可靠性高的优点。要使用专用接口电路，通信距离一般两公里左右。

现场总线一般用于小区内近距离内监控节点间的通信连接。

4) 几种有线通信方式比较

表 6.1 通信速率比较

名称	最大传输距离	最大传输速率	通信协议	抗干扰能力	价格（元）
RS485	1500 米	9600bps	自定义	一般	400-800
MODEM	6000 米	2400 bps	自定义	较好	5000
LonWorks	2700 米	1. 25M	LonTalk	好	1000-2000

6.2.3 光纤通信

光纤通信速度快、抗干扰性能好、可靠性高，它可以沿架空线架设或与电力电缆一起敷设，是一种良好的配电自动化通信方式。光纤通信的不足之处是投资相对要大一些。光纤适用于数据传输量大、可靠性要求高的场合，如用于控制中心与大型变电站RTU之间的通信，在市区配电设备较集中的地区作为主干通信网。随着技术的发展，光纤及光端设备的价格还会下降，光纤会有更广泛地应用。

光纤可分为单模与多模两种光纤。单模光纤传输距离远（大于20公里），但光端设备价格过高。多模光纤光端设备价格较低，但传输距离不长（6.5公里以内）。配电网所用的光端设备是一种简单的光纤数据传输收发设备。具有T（发送）和R（接受）两个光端口，与光缆连接。光端机的数据通信接口与数据终端设备（主站、RTU等）相连接，通信接口采用EIA/RS 232/485标准。

光纤通信有以下配置方式：

1) 主从式

主从方式是环形通信系统，支持多点通信，只有一个作为主站，如图6.2所示。这种配置方式比较适合配电系统多点、分散通信的特点，是配电自动化光纤通信的首选方式。

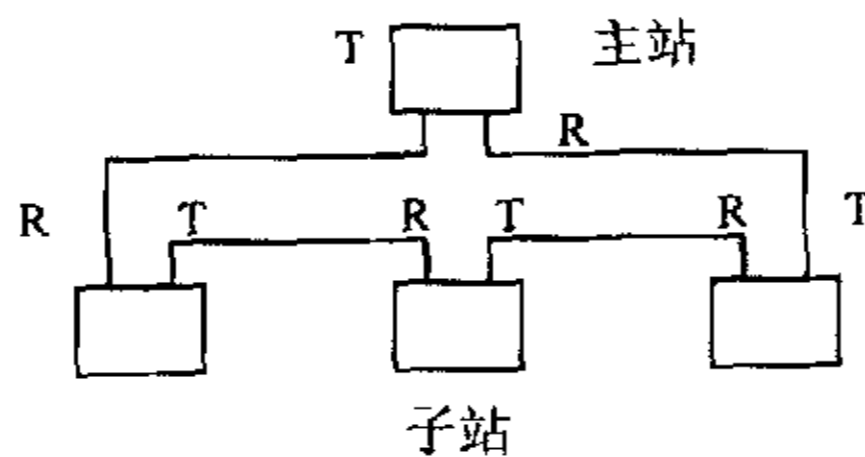


图 6.2 点对多点配置方式

2) 环路通信对等配置

该配置方式物理结构与图6.1一样，但环路上各点都可以成为主站，不过，每次数据传输时，只有一个主站。各站平时都处于子站状态，发送信息时，由软件控制转发开关置于“关”位置，该站上升为主站。

3) 双环自愈网

当环路上节点比较多时，为防止光缆或光端设备故障，造成通信中断，采用双光纤环路自愈网，如图6.3所示。环网上每个站配置支持具有自愈功能的光纤收发器，该收发器

具有自动切换和自愈功能。

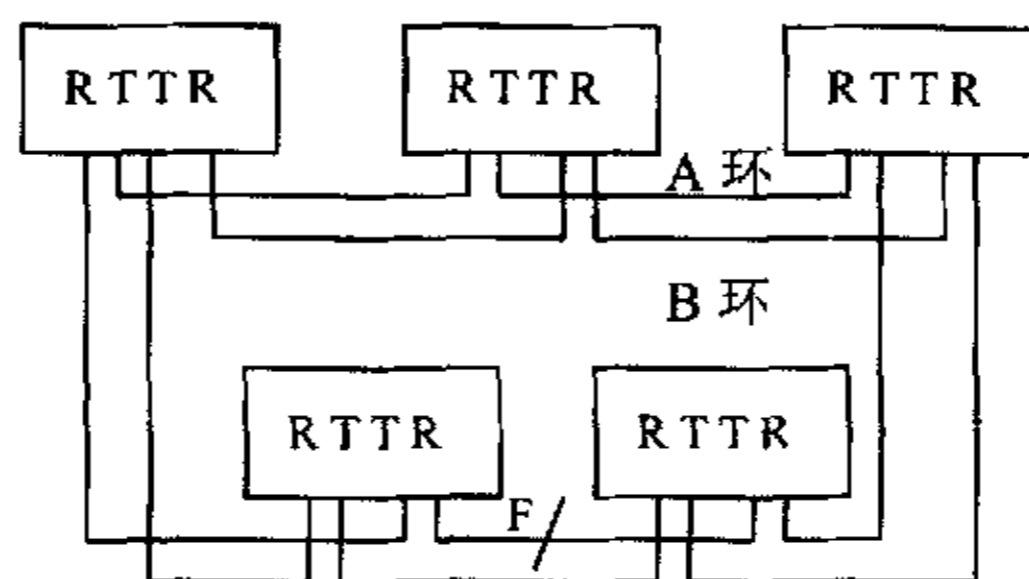


图 6.3 光纤双路自愈环网

正常情况下，通信报文分别在A环和B环里传输。子站同时接收来自A环和B环的信息，光端设备，只选择其中一个环路的信号传送给RTU/FTU。主站由一个串行口发送信息，同时在A环与B环里传送，由两个串行口分别接收A环和B环的信息。

当光缆出现故障时，如F点断开，两侧的光端设备只能接收到一个环路信息，经过一段延时，双环路切换控制器自动把接收的信号切换到另一个环路发送端，生成新的环路，即断点两侧的光端设备，A环和B环相互链接，构成新的光纤路径，实现光纤环路自愈功能。

6.2.4 光纤通讯系统的构成

根据所构建的光纤通讯系统主要包括光缆、终端接头盒（包括尾纤、尾纤适配器）、光纤收发器等几大部分。目前适用于电力部门的光缆主要有普通地埋式光缆、光纤复合架空地线（简称OPGW）、全介质自承式架空光缆（简称ADSS）。普通地埋式光缆和光纤复合架空地线适合于新建电缆或架空线路，可在电力线路铺设时一并施工。ADSS光缆适合于旧线路改造。ADSS本身不包含任何金属介质，能承受因高场强对光缆表面局部放电而导致老化等影响，可与高压线路同杆架设；同电力系统以往使用的捆绑式光缆相比，ADSS不必依附于电力相线或地线，单独架设于杆塔上，可在不停电条件下施工；ADSS本身直径小（ $\leq 13.5\text{mm}$ ）重量轻（自重 $\leq 150\text{kg/km}$ ），施工作业简单。鉴于以上几点，光缆选用四芯多模ADSS光缆来构建通讯网络。

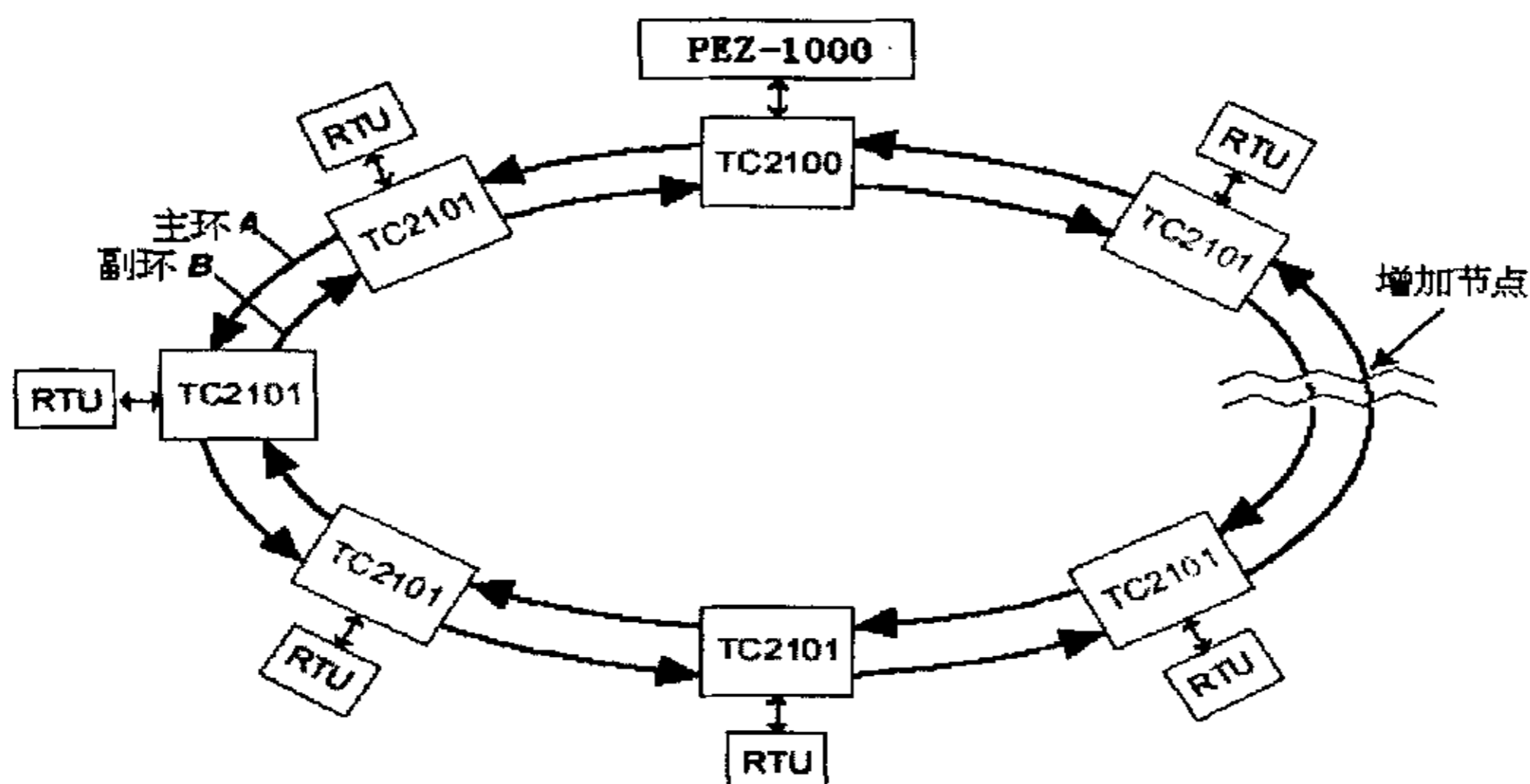


图 6.4 通信组织示意图

可以构建点对点、主从环网、对等环网等3种光纤通讯方式。在本次工程中采用主从环网方式。结构示意图见上图。

6.3 通信系统总体结构

通信是县级电网综合自动化系统系统的重要组成部分，对系统的实时性、可靠性及建设维护费用影响很大，应注意进行优化设计。

通过比较几种通信方式，笔者在设计本县级电网综合自动化系统通信网宜采用主干通道与小区分支通信网相结合的结构。选择数据量比较大的二级主站或线路FTU作为通信集中转发节点，集中转发附近小区内线路FTU、配变监测仪、自动读表终端等智能装置的数据。这样既可以优化通道配置，减少通道投资，又使得系统层次清楚，便于通道的建设、管理和维护。

该配电自动化系统由二级主站（或数据转发单元），柱上开关监控单元FTU，配变监测终端和通信网络四部分组成。其主要功能是线路和变压器运行状态的监控、故障定位和隔离、读取用户抄表信息等。

图中所示，柱上FTU是配电自动化系统的核心设备，它是系统“上传下达”的枢纽，是层次化通信系统的核心。

配电自动化系统设置如下：

- 1) 在变电站设置一个配电自动化二级主站，作为远方几个环路的FTU、TTU及抄

表信息数据处理的主节点。

2) 主通道通信网络采用多模自愈光纤环网, 所有干线开关监控终端 (FTU) 均置于光纤主通道。

3) FTU除具备监控功能外, 还是TTU数据转发的节点。

4) 变压器检测仪 (TTU) 和抄表系统的信息由FTU转发, 通信介质采用屏蔽双绞线。

5) 分支线分段开关监控终端通过LonWorks现场就近接入干线开关监控终端 (FTU), 通信介质采用屏蔽双绞线。

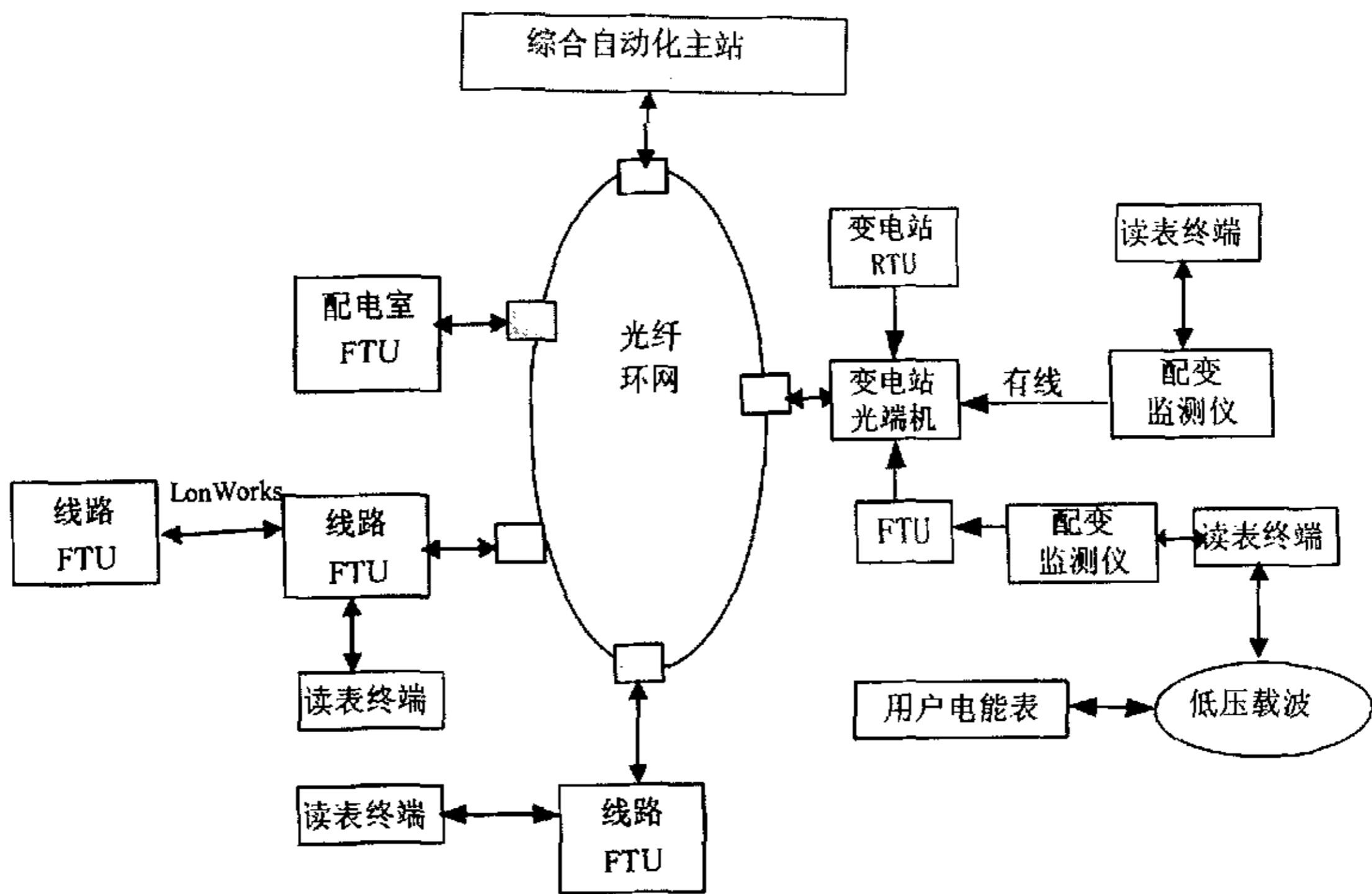


图 6.5 终端通信组织图

6.3.1 主干通道

主干通道采用光纤, 有两种方案供选择, 光纤单环网和光纤自愈 (双) 环网。笔者在设计本县级电网综合自动化系统通信主干通道采用光纤自愈双环网

通信终端采用美国 TC 通信公司的 TC2100/2101 自愈式光纤 Modem, 其具有如下主要特点:

- (1) 数据接口: RS232/RS485

- (2) 光接口： ST、FC、SMA 任选
- (3) 传输速率：可达 56.0 Kbps
- (4) 光纤类型：多模或单模
- (5) 网络结构：总线、环网和自愈环网（双环）等不同方案。
- (6) 供电电源：12VDC
- (7) 工作温度：-10℃~+55℃（TC2100T 支持-20℃~+70℃）

PZK-100/XK-100 可与 TC2100/2101 直接连接。

TC2100/2101 具有自愈功能，某一点或某一段故障时，故障点或段两端的光端设备能自动愈合，两端各自生成环路，保证通信畅通。但该通信模式的造价较高。

6.3.2 分支通道

为降低整个通信系统造价，分支通信通道可采用屏蔽双绞线。分支通信通道主要完成 FTU 转发多个配电变压器台数据集中器的数据。考虑到通信系统的抗干扰及防雷击，并降低系统的造价，采用光电隔离的 RS485 通信方式（如图 6.6）。

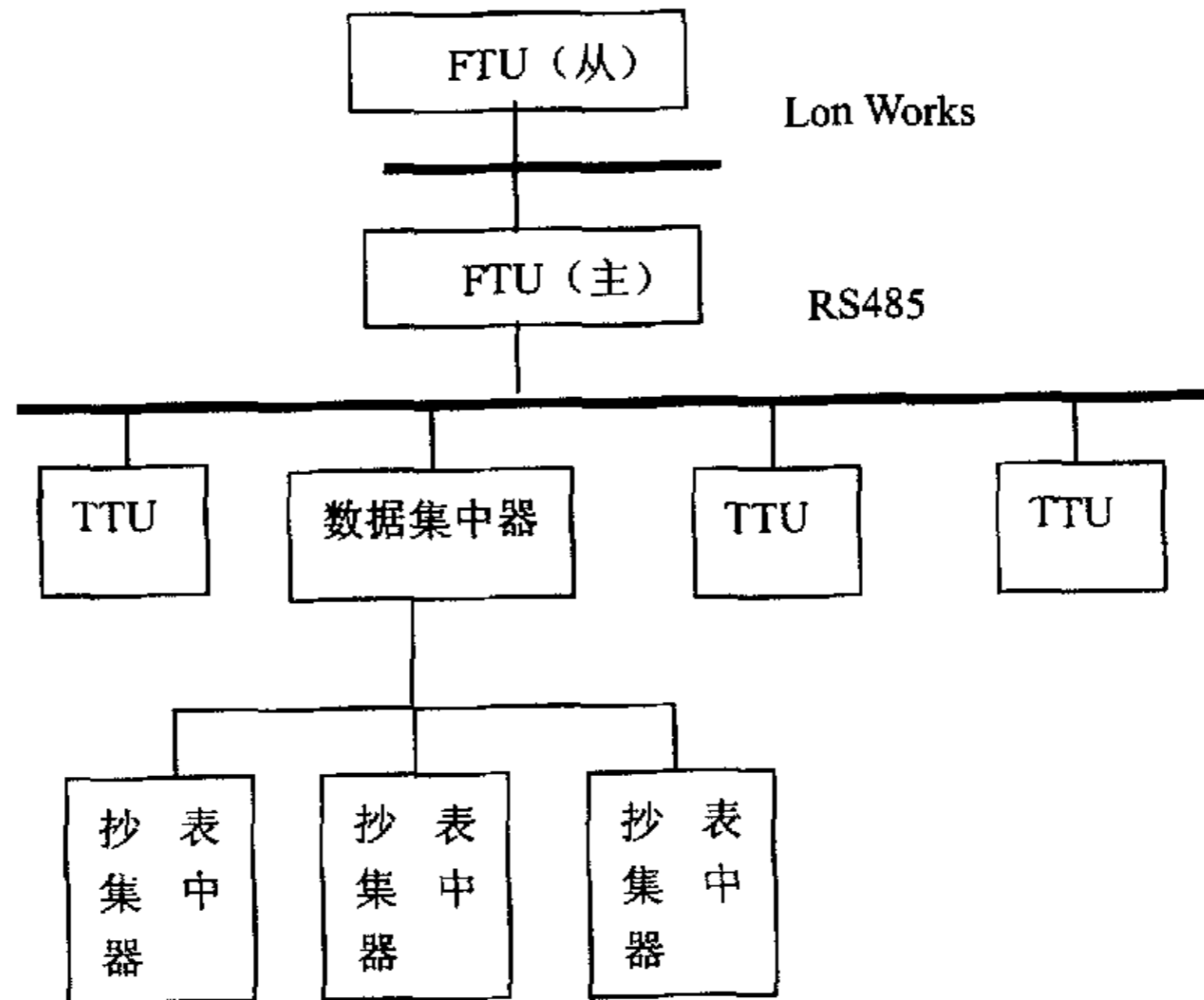


图 6.6 分支通信系统结构

6.3.3 通信规约

配电自动化是一个信息集成系统，系统中各种现场智能终端与控制中心之间以及不同的控制中心之间采用开放性的标准通信规约能够保证配电自动化各个子系统之间互连，实现数据共享，减少建设投资，可以避免造成“多岛自动化”现象。

配电自动化系统是一个技术复杂的计算机系统，涉及面广，包含大量计算机及智能终端装置，需要许多专业之间配合。在市场竞争激烈、专业化分工越来越细的今天，没有任何一个厂家能够生产制造系统所有的产品，因此，采用开放性标准规约，能够使所建设的配电自动化系统优选不同厂家的产品，优化系统配置，提高系统性能。

1) 主站与 FTU 间通信规约

DNP3.0 规约是一种比较合适的支持主动上报的配电自动化主站与 RTU/FTU 通信规约。DNP3.0 符合 OSI 系统模型的开放式规约，与 IEC870.5 基本兼容，我国一些开展配电自动化工作的供电部门也选择了 DNP3.0。

笔者在设计本县级电网综合自动化系统采用 DNP3.0 作为主站与 FTU 间通信规约。

2) FTU 与 TTU 间通信规约

FTU 与 TTU 之间的数据交换采用 FTU 主动轮循方式，通信协议可采用 ModBUS 规约或 SC1801 规约。因为 ModBUS 的模拟量传输采用 16 位格式，而 SC1801 的模拟量传输采用 12 位格式，为更好的保证传输数据的精度，通信协议采用 ModBUS 规约。

FTU 的轮循时间可采用短时间间隔轮循模拟量变化量（400V 单相失压）和整点轮循全部模拟量（TTU 和用户抄表）。

第七章 结论与展望

考察当前国内县级城市电力自动化系统的建设方式，大多采用多个独立的系统完成不同的功能的方式，这是有历史原因的，是原先技术水平和对电力自动化的认识等因素造成的。在传统的县级城市自动化中大致包含以下几个部分：变电站综合自动化系统、县级调度自动化系统、配电自动化系统、地理信息系统、电量抄表系统等。

本文描述的“县级电力综合自动化系统”就是在认真分析了现有县级城市电力自动化模式的情况下，针对县级城市电网特点和管理体制、管理水平等众多因素提出并实现了县级城市电力综合自动化系统。

县级电力综合自动化系统在建设时可以完成的功能是以往变电站综合自动化系统、县级调度自动化系统、配电自动化系统、地理信息系统、电量抄表系统等多达 5 套系统的功能，同时硬件的投资并不是 5 倍，而是 1 套硬件就可完成原有 5 套系统的功能，运行人员的配置也是大约原来的 1/3 左右，维护人员大约是原来的 1/2 左右。

在运行过程中，县级城市电力综合自动化系统还解决了以往多个系统孤立建设带来的数据不能共享和不能充分利用的弊端，使得所有数据均在同一套系统中相互关联的存在，对宝贵的历史数据可以很好的利用，给电网的管理和改造提供强大的数据支持。

本文描述的县级城市综合自动化系统通过在陕西户县等现场的运行，取得了显著的经济效益和社会效益。比如在供电恢复时，以往的调度自动化加配电自动化的模式切除故障到恢复供电的时间一般是 5—10 分钟（这也是配电自动化验收标准要求的指标），而县级城市电力综合自动化系统在完成故障切除到恢复的过程只要 10 秒以内的时间，大大提高了供电可靠性和操作方便性。

鉴于县级综合自动化系统比以往分别建设各个系统的巨大经济效益比和维护施工等方面的众多优点，在将来的推广中一定会有巨大的市场空间。不管从经济角度还是从维护、管理的角度讲，县级城市综合自动化系统的推广具有巨大的现实意义。

参考文献

1. 王明俊. 配电系统自动化的综合优化设计. 电网技术 1998 年 4 月
2. 王国厚. 变电站自动化的功能设计原则. 继电器 2002 年 1 月第一期
3. 于尔铿 陈竟成 张学松孙文英 王 静 王玉生. 地区电网调度自动化系统的应用功能. 电网技术 1998 年 3 月
4. 杭大建. 嘉兴电网 SCADA/EMS/DTS/DMS/MIS 的一体化管理. 电网技术. 第 24 卷第 5 期 2000 年 5 月
5. 王新余 章兢 叶佳卓. 电能数据采集及计费自动化系统的研究 . 计算机工程及应用 2002 年 6 月
6. 赵国忠 谷万明. 县级电网调度自动化系统的现状及建议 . 农村电气化. 2004 年第 6 期
7. 袁洪涛 宋 岱 . 电网计算数据库与 SCADA 数据交换的实现 . 电力系统自动化 2004 年 10 月 第 27 卷第 20 期
8. 黄志龙 邱家驹. 配电 SCADA 和 GIS 功能的集成. 电力系统及其自动化学报. 2000 年 8 月
9. 张 焰 陈章潮 . 电网规划中潮流分析方法综述. 水电能源科学. 第 15 卷 第 4 期 1997 年 12 月
10. 陈金富 王星华 段献忠. 基于面向对象技术的三相潮流计算. 电力自动化设备. 第 21 卷第 10 期 2001 年 10 月
11. V. C. Strezoski, *, L. D. Trpezanovski. Three-phase asymmetrical load-flow. Electrical Power and Energy Systems 22 (2000) 511 - 520
12. Carol S. Cheng Dariush Shirmohammadi . Three-Phase Power Flow Method for Real-Time Distribution System Analysis . IEEE Transactions on PowerSystems, Vol. 10, No. 2 May 1995
13. S. Civanlar J. J. Grainger H. Yin S. S. H. Lee . DISTRIBUTION FEEDER RECONFIGURATION FOR LOSS REDUCTION . IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 3, No. 3, July 1988
14. Mesut E. Baran Eric A. Staton DISTRIBUTION TRANSFORMER MODLES MODELS FOR

- BRANCH CURRENT BASED FEEDER ANALYSIS. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12. 2, May 1997
15. Carol S. Cheng Dariush Shirmohammadi . A THREE-PHASE POWER FLOW METHOD FOR REAL-TIME DISTRIBUTION SYSTEM ANALYSIS . IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No2, May 1995
 16. M. H. Haque . Load flow solution distribution systems with voltage dependent load models. Electric Power systems Reseach 36 (1996)151-156
 17. Whei-Min Lin Yuh-Sheng Su Hong-Chan Jen-Hao Teng. Three-Phase Unbalanced Distribution Power Flow Solutions with Minimum Data Preparation. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 3, August 1999
 18. Renato Cespedes G., Senior. NEW METHOD FOR THE ANALYSIS OF DISTRIBUTION NETWORKS. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 1, January 1990
 19. IEEE Distribution Planning Working Group Report. REDIAL DISTRIBUTION TEST FEEDER. Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 3, August 1991
 20. Anyan Tan, W-H. Edwin Liu, Dariush Shirmohammadi . TRANSFORMER AND LOAD MODELING IN SHORT CIRCUIT ANALYSIS OFR DISTRIBUTION SYSTEMS. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No. 3, August 1997
 21. V. C. Strezoski, *, L. D. Trpezanovski . Three-phase asymmetrical load-flow. Electrical Power and Energy Systems 22 (2000) 511 - 520
 22. 吴政球 荆 勇. 考虑负序零序非线性求解的三相潮流计算方法. 中国电机工程学报. 第 22 卷 第 4 期 2002 年 4 月
 23. 张学松 柳 焯 于尔铿 陈竟成. 配电网潮流算法比较研究. 电网技术. 第 22 卷第 4 期 1998 年 4 月
 24. 戴雯霞 吴捷. 基于支路电流的配网潮流前推后代法. 继电器. 2002 年 5 月
 25. 黄小耘. 理论线损计算中的负荷模型. 中国电力. 1998 年第 9 期
 26. 张学松 柳 焯 于尔铿 刘广一. 配电网追赶法潮流. 中国电机工程学报. 第 17 卷第 6 期 1997 年 11 月
 27. 索南加乐, 李怀强, 罗云照, 吴亚萍. 一种新的配网潮流常 jacobian 牛顿算法. 西安交通大学学报. 第 36 卷 第 12 期 2002 年 12 月

28. 曹春阳. 直角坐标牛顿-拉夫逊法潮流计算的改进算法. 南昌大学学报(工科版). 第 19 卷第 4 期 1997 年 12 月
29. 张伏生, 李燕雷, 汪 鸿. 基于 Tabu 搜索算法的配电网电容器优化配置. 电网技术. 第 27 卷第 4 期 2003 年 4 月
30. 王亚忠, 韦柳建. 配电网并联电容补偿网损最小化投切控制. 广西电力 2002 年第 2 期
31. 张勇军 任 震 李本河 郑风雷. 配电线路杆上无功补偿优化算法. 华南理工大学学报. 第 29 卷第 4 期 2001 年 4 月
32. 高颂九. 10 kV 配网供电能力综合评估及实时监测. 江苏电机工程. 2003 年 3 月第 22 卷第 2 期
33. 高颂九. 配电网地理信息系统在县城配电网规划与设计中的应用. 电网技术. 第 25 卷第 12 期 2001 年 12 月
34. 于跃海, 白义传, 陈新贺. 地区调度与配电管理一体化系统的网络设计. 电力系统自动化 2002 年 4 月 25 日
35. 吴文传, 张伯明, 王鹏. 一体化系统的分布式实时数据库管理系统. 中国电力. 第 33 卷第 10 期 2000 年 10 月
36. 李晓露, 高鸣燕, 丁振华, 段献忠, 何仰赞. 构件技术与开放的 SCADA/EMS/DMS 系统. 电力自动化设备. 第 21 卷第 6 期 2001 年 6 月
37. 吴文传, 张伯明, 徐春晖. 调度自动化系统实时数据库模型的研究与实现. 电网技术. 第 25 卷第 9 期 2001 年 9 月
38. 万磊. 车方毅. 高峰. 电力系统实时数据采集及其监控系统. 湖北电力. 1995 年第 4 期
39. 吴锦. 110kV 变电站综合自动化系统设计方案. 湖北电力. 第 25 卷第 1 期 2001 年 3 月
40. 马文奎, 曲茂强. 变电站电能计量装置电压回路改善方案的探讨. 内蒙古电力技术. 2001 年第 19 卷第 4 期
41. 刘栋, 袁荣湘. 基于 IEC 61970 公用信息模型的电网接线图形软件的设计. 电网技术. 第 28 卷第 16 期 2004 年 8 月
42. 李东峰. 单相接地引起线路误动作分析. 煤矿机电. 2002 年第 1 期
43. 余贻鑫, 王成山, 肖 俊, 严雪飞, 葛少云, 黄纯华. 城网规划计算机辅助决策系

统.2002年3月

44. 段献忠, 包黎昕. 电力系统电压稳定分析和动态负荷建模. 电力系统自动化. 第23卷第9期
45. 李予州, 杨宛辉, 王军, 许珉. 面向应用分析的电力集控站实时数据库. 郑州轻工业学院学报. 第17卷第3期 2002年9月
46. 乔毅, 孙岩, 焦连伟, 陈寿孙. 可视化输配电网状态分析软件包的开发和实现. 电网技术. 第25卷第2期 2001年2月

致 谢

衷心感谢吴国忠教授对我的悉心指导和亲切关怀,在研究生进修和论文完成过程中,吴老师严谨踏实的治学态度,开拓进取精神,给我留下了深刻的影响,有力地促进了我学习、研究,使我终身受用。

赵清洋

2005年4月

县级电网综合自动系统研究

赵清洋, 吴国忠

(浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 讨论对于县级城市而言, 由于电网规模、人员配置、人员技术水平、维护人员数量、售电效益等的因素, 并不需要目前建设多个系统去各自完成自己的功能, 完全可以通过一套系统实现现有系统的各个功能, 即: “县级电网综合自动化系统”。

关键词: 县级电网; 综合自动化; 设计

1 引言

目前在县级城市电力自动化系统中, 各个系统一般采用分别建设的策略, 在县级市自动化中

大致包含以下几个部分: 变电站综合自动化系统、县级调度自动化系统、配电自动化系统、地理信息系统、是量抄表系统等。

电话网 NO.7 信号方式技术规范 (暂行规定)》及其补充规范、《关于建设“95598”客户服务系统的实施意见》国电发【2001】829、《“95598”客户服务系统建设规范》国家电力公司 2001 年 12 月

(2) 先进性与成熟性: 采用客户服务中心领域的最新技术, 保证系统在建成后一段时间内不会因技术落后而大规模调整, 并能通过升级保持系统的先进性, 延长其生命周期, 同时又要保证先进的技术是稳定的、成熟的, 支持现有的多种呼叫功能和网络协议。

(3) 安全性: 在通过 WWW 为用户提供服务的同时, 要防止各类恶意或无意的黑客行为和病毒侵袭, 对外部接入设置防火墙进行安全检查和过滤, 内部员工对主机的访问设置验证和有限授权并进行审计, 防止未经授权的人员误用或进行违纪活动。

(4) 经济实用: 充分利用所有设备, 稳定高效地实现所需的业务功能, 和已有设施紧密配合, 避免重复投资, 降低工程造价, 并留有升级的余地。

(5) 满足对容量和容错的需求: 要充分考虑呼叫容量对线路流量和系统处理能力的要求, 程控设备和网络设备配备冗余的板卡和电源, 满足系统电容错的要求。

(6) 兼容性和扩展性: 系统平台应可以容纳已有或未来新增的不同品牌的设备, 并充分保证异种系统的互操作性。为满足未来软硬件的灵活活署和容量要求, 应考虑系统规模扩展的需求

和升级能力。

(7) 易于管理和维护: 出于企业管理和效益的考虑, 建立方便全面的网络管理对保证网络安全高效的运行是非常重要的。系统必须易于使用, 以减少员工培训费用; 同时, 系统维护应尽量集中、简单, 尽量避免复杂系统和多系统组合的维护开销, 减轻维护人员的负担, 提高网管和决策的效率。

6 结束语

目前, 许多供电企业都建立了自己的计算机局域网, 并以此为依托建立了 MIS, 有的还建立了客户服务中心, 综合查询系统、触摸屏查询系统和语音查询系统得到开发并投入使用, 收到了比较好的效果。但是, 从实际使用情况来看, 它们的功能有很多的局限性, 还不能称之为真正意义上的用电客户服务中心。真正的用电客户服务中心应该把企业计算机局域网为基础的供电企业 MIS, 和以电话为基础的呼叫中心, 以及互联网、触摸屏查询、营业大厅联结成为有机的整体, 把通信技术以及程控交换技术、计算机技术、互联网技术融合在一起, 这样可以极大地提高供电企业的服务水平和服务质量, 真正实现“以用户为中心, 为用户服务”的宗旨。另外, 从长远的眼光来看, 用电客户服务中心系统还可以实现增值业务处理功能, 为用户提供时事新闻服务、金融股票服务、电子广告和其他业务等。因此, 从企业的长远规划来看, 建立真正的用电客户服务中心是企业迈向全面信息化的重要一步。

我国电网地区调度自动化功能以大多为 10kV 界分为调度和配电两大部分,前者采用部分能量管理系统(EMS)功能,后者采用配电管理系统(DMS)功能。在 EMS 系统中包含变电站综合自动化系统。

2 县级城市综合自动化的现实意义

根据目前电力企业对设备归属权的划分,在地级城市中所有的变电站(包括变电站内的 10kV 设备)全部归地区调度管理,变电站以外的配电线路和配电线路上的设备归属配电调度管理,分界线一般是设在变电站出口。在地级城市的配电自动化实施过程中,由于在配电网故障处理成的情况下需要操作变电站 10kV 出线开关,而开关的管理权限在地区调度一侧,所以给配电自动化的执行效率带来了许多负面影响。

从管理权限和范围讲,在县级城市中不存在设备管理权的冲突,因为在县级城市从变电站所有设备到配电线路(馈线)上的所有设备均归属于县级供电企业统一管辖,这种管理范围给县级城市电力综合自动化系统提供了管理方面的条件。所以在处理故障网络故障时,不再需要变电站和配电线路单独处理,而是统筹考虑,使得故障处理和供电更加合理化和高效。

从技术角度讲,实现“县级电网综合自动化系统”是完全可行的,因为一般的调度和配电自动化系统均含有 SCADA 功能,所不同的是两个系统所采集的设备对象不同而已。从网络数据一致性维护的角度讲,SCADA 和 GIS 系统之间数据的各自录入给电网数据的一致性和维护带来了不利影响,而本文提出的“县级电网综合自动化系统”完全采用一致性和维护带来了不利影响,而本文提出的“县级电网综合自动化系统”完全采用一致的数据完成电网的管理,从设计角度讲更加易于实现。

从经济角度讲,“县级电网综合自动化系统”相比以往单独孤立的各个系统的投资和维护费用都大大的降低了。一般情况下,县级城市具有 3~4 个独立的系统去完成县级电网的管理,而“县级电网综合自动化系统”只用一套系统就可以完成,而且运行维护人员的数量也大大降低。

3 系统功能和结构

根据县城市电网特点“县级电网综合自动化系统”分为 3 层比较合理。

第一层为县级电网综合自动化系统主站,可以采用双机双网、双机单网或单机单网结构,客户机/服务器体系,可以采用 Windows2000 操作系统或 UNIX 与 Windows2000 混合操作系统,数据库管理系统可以选用 SQL Server 2000、Oracle 或 Sybase。采用面向对象设计、标准 C/S 模式、数据软总线技术、系统具有良好的实时性、开放性、易操作、易维护。

第二层为综自变电站层(或 RTU)和配电自动化子站层,配电子站用于 FTU、TTU 的信息集结,减轻主站通信负担,提高速度和可靠性。综自变电站层用于集结综自间隔层的保护监控设备。

第三层为配电自动化终端层,主要包括 FTU 和 TTU 等;以及综自间隔层的保护监控设备等。

县级城市电力综合自动化系统的调度功能区别于传统的调度功能,在这里高度功能包含传统意义上的变电站设备调度的配电网调度功能,变电站调度和馈线调度配合可以比以往调度更好地完成故障的处理和日常维护。主要完成以下功能:

(1) 智能化网络建模:

网络建模主要是根据 GIS 功能中提供的静态数据进行分析,去处调度不感兴趣的余信息,形成符合电力分析用模型。

(2) 拓扑分析:

网络拓扑分析馈线部分根据开关刀闸的状态信息,确定整个电网的电气联通性关系,采用广度优先搜索的方法,对配电网进行分析。对于变电站内网络采用深度优先搜索的方法,处理复杂的网络接线方式。

(3) 动态着色

(4) 量测系统的分析和维护:

由于量测设备的局限,实际的量测值在使用过程中难以满足要求,需要进行状态估计和不良数据辨识。

(5) 状态估计:

县级城市的量测系统一般较弱,需要专门的专家规则来进行拓扑排错,自动更正确定的拓扑错误,同时对可疑的情况进行告警处理。对于没有分接头量测的变压器也可以通过变压器变比估计。

(6) 负荷预测

负荷预测可以预测短期一周内的负荷曲线,

用于及时对调度方案进行调整。

(7) 电网等值

电网等值功能主要是服务与潮流计算和故障计算、保护定值计算和整定时等软件。

(8) 潮流计算

潮流计算可以计算当前的实时潮流，也可以计算人工值数的状态的潮流，以便于分析设计和规划。在本系统中潮流计算需要支持三相不平衡计算，负荷模型的建立需要考虑衡功率/衡电流/衡阻抗的混合负荷模型。

(9) 安全分析

安全分析分析故障后电网的安全运行分析，包括过载分析电气设备的安全度分析。

(10) 自动故障处理

(11) 无功优化

通过分析电网的电压是否越限、线路是否过载等分析，如果达到优化界线，则启动无功优化，这里的无功优化同时考虑变电站电容器优化和线路补偿电容器的配合优化，主要原则是优先优化变电站电容，然后在依然不满足电压要求的状况下启动线路电容器优化。

(12) 故障计算

故障计算包括变电站设备故障和线路故障计算，故障计算包括两部分内容：第一部分是故障电流计算，即在网络的任何点上的故障电流计算，第二是网络故障处理拟计算。

(13) 馈线自动化

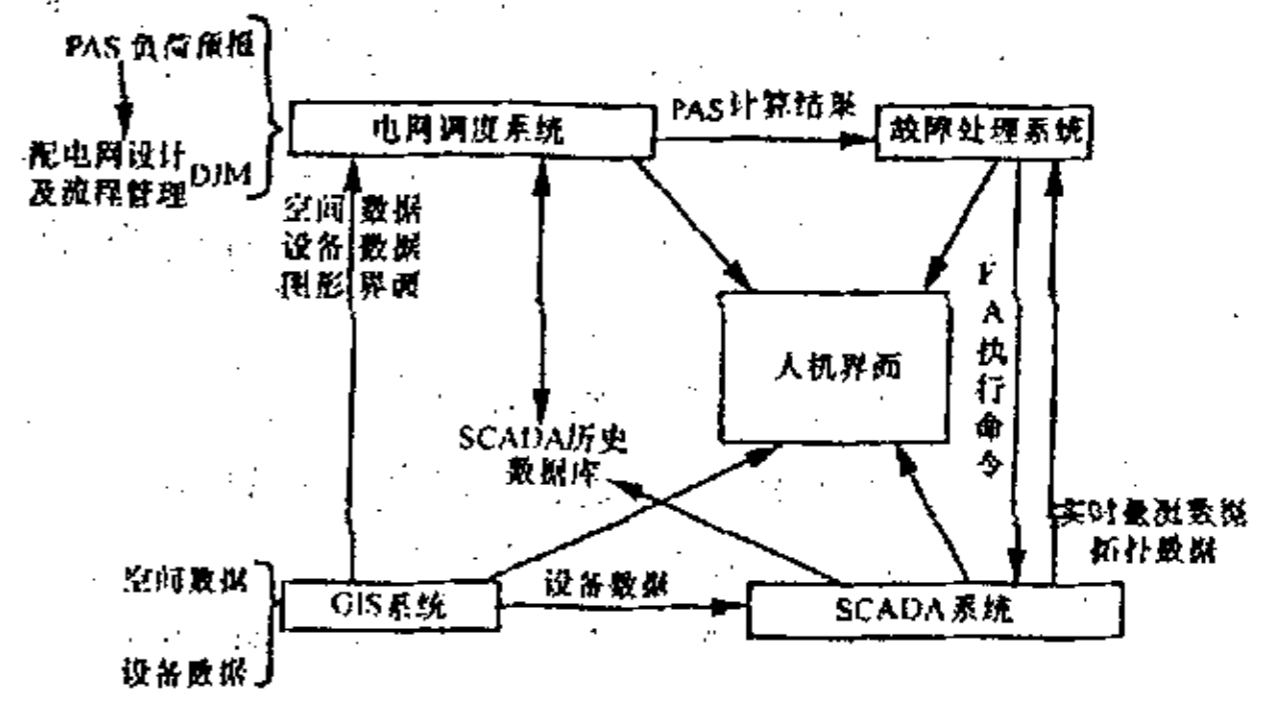
馈线自动化（FA）的主要功能是馈线数据采集和监控。在正常情况下，远方实时监视馈线开关的状态和馈线电流、电压情况，实现线路开关的远方合闸和分闸操作，在负荷不均匀时，通过负荷无衡化达到优化运行方式的目的。

馈线自动化的基本功能是在故障时迅速切除故障，通过一定方式隔离故障区域并且恢复非故障区段的正常供电。

(14) 网络重构、优化

馈线系统具有环形网络，但是开环运行。因而，在满足负荷需要的前提下，可以适当地进行倒闸操作，改变负荷的供电路径（网络重构），以达到降低网络损耗，消除过载，提高电压质量的目的。

各个子功能之间的功能配合如下：



4. 系统数据一致性方法

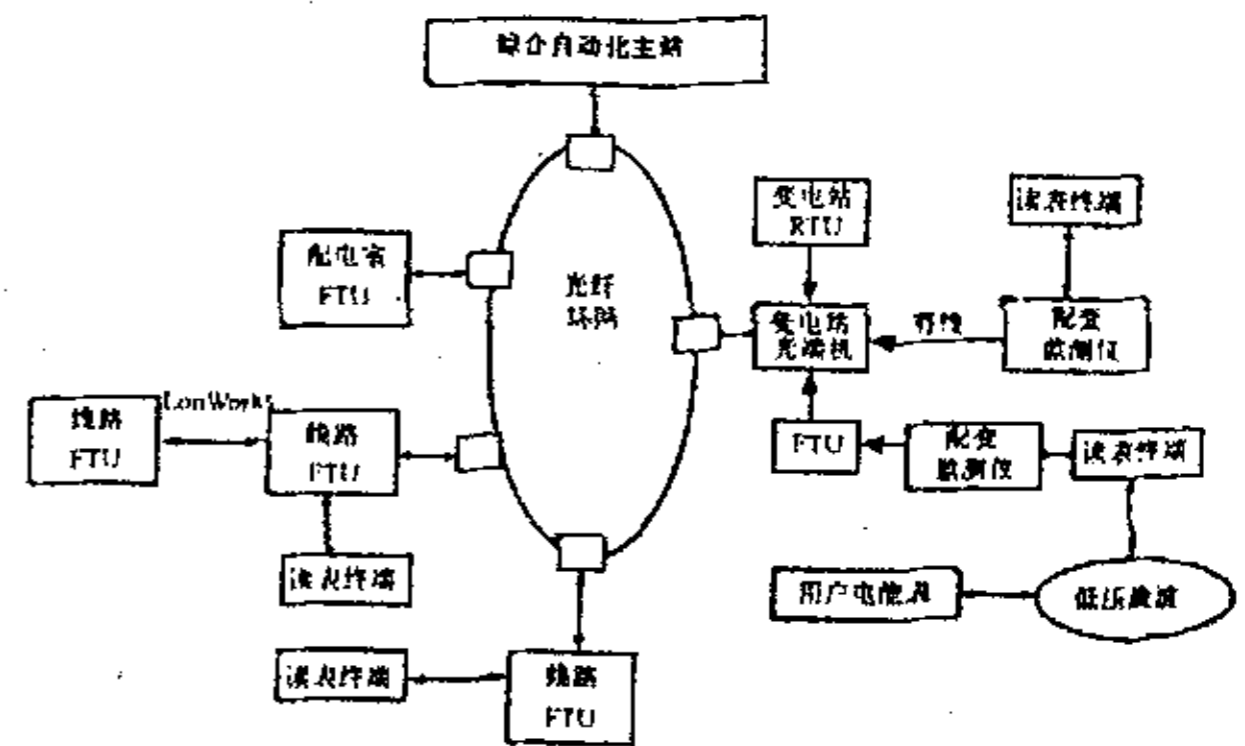
实际电网中特别是配电网，由于经济的发展，一直是处于改造过程中的，所以是一个动态更新的网络。

对于这种状况，目前的许多电力客户都没有认识到，系统中全局数据保持一致的手段的重要性。在建设初期 SCADA 和 GIS 等功能就应该考虑到几个系统之间数据自动同步的重要性，保持一致的重要手段是在全系统中保持数据源的唯一性。

在传统的各个系统分别建设的分立系统中，通常是采用数据一致性工具将数据从 GIS 系统导入到 SCADA 等应用系统，而且县级电网综合自动化系统中几个原有的系统是建立在了同一系统中的在 GIS 功能录入数据完成后其它各个系统是直接采用录入的数据和图形的。所以不存在数据同步的问题，系统中数据的唯一性保证手段就是数据的输入源一致——由 GIS 功能录入和维护数据。

5 系统通信设计

县级电网综合自动化系统中主干通道建议采用光纤，有两种方案供选择，光纤单环网和光纤自愈（双）环网。笔者在设计具体县级电网综合自动化系统通信主干通道采用光纤自愈双环网。



电网综合自动化通信系统结构

浅谈基于 HFC 有线电视网络的远程供电监控系统

张 炜

(北京电力公司, 北京 100031)

摘 要: 目前, 北京地区现有供电计量装置(电表)多为独立运行, 相当一部分电表还需要人工采集、传递参数信息, 对于用户的用电详细数据, 实时用电状态, 用电需求等重要参数都无法进行实时上报, 给电力营销工作带来了很大的不便。虽然有些地区已经部分采用专线网、低压载波, 485 总线等方式联接的集中抄表系统, 但这并没有从根本上解决问题。本文从现代用电计量工作的需求和网络科技发展的角度, 对于有线电视网络(HFC)在供电企业远程用电监控系统中应用做了简要分析。

关键词: 有线电视网络; 供电计量装置; 应用

在二十一世纪科技迅猛发展的今天, “互联网”作为交流、传递信息的基础平台, 已经越来越紧密的与人们的生活联系到一起, 成为信息化社会的重要组成部分。目前, 北京地区供电系统中针对用户的供电计量装置(电表)多为独立运行, 相当一部分还需要人工采集、传递参数信息, 对于用户的用电详细数据, 用电状态, 用电需求等重要参数都无法进行实时上报, 严重的制约了供电营销工作的深入进行。实际工作中, 非常需要建立一种具有可实时对每一个用电对象进行监测、控制; 其收费系统又可以自动与银行联网; 同时, 对电力网络故障能够自动监测和进行智能判别, 对窃电行为可以自动监测和分析, 能够将电力参数自动采集、处理和上报的系统, 以实现供电营销的自动化和网络化管理系统。

以前, 电力部门也开展过这方面的尝试工作, 例如建立了用电营销自动化系统, 但是其主要内容中除了使用电脑计算电费和一些电力参数外, 仅有电表集抄一项涉及营销自动化、智能化。而且, 其实现电表集抄时常用的 485 总线有线集抄、AC220V 交流载波抄表、手持红外抄表器抄表等方法, 存在着应用成本高、施工复杂、抗干扰性差等许多不足之处。就其本质而言, 它仅是一个单

一参数的采集及结果传递的计量系统, 是网络化的一种初期形式, 很难实现真正意义上的用电营销自动化与智能化。

随着科学技术的不断发展, 人们开始将互联网与用电监控系统联系在了一起, 于是有了“网络电表”的概念。现代互联网是基于服务器客户机的结构, 以 TCP/IP 协议作为主要特征的网络系统, 那么“网络电表”可以定义为: 使用 INTERNET 网络将电表进行连接, 使每只电表成为直接或间接的接入 INTERNET 网络中, 并拥有唯一 IP 地址的电表。这样的每一只电表都变成了网络的一个点, 原来各自独立的电表被直接或间接地接入了 INTERNET 网, 从而完成对用户的用电详细数据, 实时用电状态, 用电需求等参数的采集, 形成一个有效的用电远程监控系统。

从国内外的应用经验来看, “网络电表”在实施中主要包括两个方面的问题, 即用户端的电表(多功能数据采集器)和可用于电表与 INTERNET 主干网络相联接的拥有足够带宽、抗干扰性抢、运行稳定的数据传输网络(广义局域网)。目前适用于网络化的用户供电计量采集装置(电表)技术已经较为成熟, 不再多谈, 这里主要谈谈对数据传输网络的选择。

为降低整个通信系统造价, 分支通信通道可采用屏蔽双绞线。分支通信通道主要完成 FTU 转发多个配电变压器台数据集中器的数据。

参考文献

[1] 王明俊, 配电系统自动化的综合优化设计, 电网技

术, 2004, (4)。

[2] 童国福, 配电管理地理信息系统, 电力系统自动化, 1997, (8)。

[3] 赵国忠, 谷万明, 县级电网高度自动化系统的现状及建议, 农村电气化, 2004, (6)。

(三等奖)