

ABSTRACT

On the base of summarizing manage status of Hunan 500kV substations, this paper analyzes the feasibility and necessity of 500kv unmanned integrated automation substation and plans the realization of integrated automation system of UHV centralized control center, then the critical systems of 500 kV power grid running centralized control center are designed, the main works done in the paper include:

(1) This paper adopts the design scheme of independent computer monitoring system and distributed open LAN switching technology based redundant dual-network in the design of centralized control center. The paper researches in depth design requirements, system structures and functions of computer monitoring system, remote video monitoring system and UPS system.

(2) The design scheme of communication system can meet the requirements of the real-time data communication between the centralized control center and 500kV substations, between the centralized control center and power network dispatch control center, province power dispatch control center and EHV MIS. The paper studys in depth the communication channels configuration, the communication scheme and the dispatching program-controlled switch configuration of system.

(3) The designs of lightning protection and surge protection of system mainly include the protection of power system and signal system, according to the characteristics of centralized control center, a set of novel, simple and reliable lightning protection scheme is designed.

(4) Telecontrol system is an important part of centralized control center of 500KV power grid and dispatching automation system, for network transmission of telecontrol system of 500KV power grid, telecontrol communication protocols based on network and the choice of networking technology, the paper carries on in-depth analysis, research and design. A perfect network access of IED is designed in the paper, through researching into IP2022 chip, the network interconnect interface based on IP2022 for meeting the interconnection between IED and telecontrol transmission network is designed, and its hardware and software respectively are achieved.

(5) The paper researches in depth the design schemes and functional requirements of the main subsystems of the centralized control center, and proposes

a set of comprehensive and feasible configuration scheme according to the actual condition. The main subsystems of the centralized control center include FES subsystem, SCADA subsystem and DTS subsystem.

Key Words: Power system; Centralized control center; Substation; Computer monitoring; Unmanned substation

长沙理工大学

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所提交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名： 日期：2010年5月28日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权长沙理工大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。同时授权中国科学技术信息研究所将本论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并通过网络向社会公众提供信息服务。

本学位论文属于

- 1、保密 ，在 _____ 年解密后适用本授权书。
- 2、不保密 。

(请在以上相应方框内打“√”)

作者签名： 日期：2010年5月28日

导师签名： 日期：2010年6月1日

第一章 引言

1.1 湖南 500kV 电网变电站无人值班概况

随着湖南电网的不断发展，输变电资产逐年增加，但生产一线人员数量几乎没有变化，电力公司生产一线班组普遍存在结构性缺员的问题，特别是一些电网发展较快的地区，根据国家电网公司的人力资源政策，所需新增的运行人员数量难以满足要求。

1.1.1 500kV 变电站发展前景

依据湖南电网“十一五”规划及 2020 年发展目标，“十一五”末湖南电网 500kV 变电站将达 18 座，220kV 变电站达 139 座；“十二五”末 500kV 变电站 21 座，到 2020 年，500kV 变电站 27 座，同时将配套新建大量 220kV 变电站。

1.1.2 500kV 变电站缺员情况及解决办法

目前，湖南电力公司 500kV 变电站运行人员为 184 人，220kV 及以上变电站运行人员为 1078 人。按照现在有人值班的运行管理模式和国家电网公司《供电劳动定员标准》（大型站 23 人/站，中、小型站 19 人/站），至 2015 年，500kV 变电站运行人员将需要 483 人，缺员 299 人。

在现有用人机制和体制的情况下，解决变电运行人员缺员的最好办法就是变电站实行无人值班，这一点在 220kV 及以下变电站已经得到充分体现。通过实施 500kV 变电站的无人值班，既可以解决 500kV 变电站运行人员不足的问题，同时也可以将 500kV 变电站撤下来多余的运行人员充实到 220kV 变电站运行管理队伍，可以一定程度地缓解变电运行结构性缺员的问题。

1.2 500kV 变电站实行无人值班的必要性和可行性分析

1) 500kV 变电站实行无人值班将会带来安全和经济效益。湖南电力公司 220kV 及以下变电站实行无人值班以来，至今还没有在无人值班变电站发生过恶性误操作事故，也没有由于无人值班造成变电站设备故障和电网事故处理不及时的情况。500kV 变电站实行无人值班后可实现减人增效的规模效益，通过技术经

济比较效益显著。

2) 500kV 变电站实行无人值班将会进一步促进公司技术进步和管理水平的提高。2006 年国家电网公司正式颁布了《国家电网公司新技术推广纲要》，将 500kV 变电站无人值班工作列入新技术推广应用重点工程。500kV 变电站开展无人值班工作符合国家电网公司技术管理发展方向，湖南省电力公司为尽快成功实施 500kV 变电站无人值班，将在 500kV 主网系统，从技术管理、设备管理以及运行检修管理等方面展示实力，使该项工作走在国家电网公司前列。

3) 湖南电力公司成功实现 220kV 及以下变电站的无人值班，为 500kV 变电站无人值班建设积累了丰富的经验。湖南电力公司 110kV 及以下变电站无人值班工作始于 1996 年，目前除少数农网变电站外，已基本实现无人值班；220kV 变电站无人值班工作始于 2001 年，至今已经有 49 座实现了无人值班，还有 18 座变电站正在改造或已立项进行改造，到 2007 年底 220kV 变电站无人值班比率达到 87%，该项工作已经走在全国前列。而且通过 220kV 变电站的无人值班，已经积累了高电压等级变电站无人值班建设、改造和运行管理的经验，可以为 500kV 变电站的无人值班建设提供借鉴。

4) 湖南电力公司所管辖 500kV 变电站设备装备水平可以满足无人值班的要求。虽然云田、岗市和民丰变电站投入时间较早，但都已在 05、06 年相继进行了一、二次设备的改造；其余 5 个变电站都是在 2001 年后投运的，其一次设备和保护、通讯、自动化可靠性程度较高，基本不需进行大的改造就可实施无人值班。

5) 外省的成功经验为湖南省 500kV 变电站的无人值班建设提供借鉴。根据前一段时间调研收资的情况，其他网、省公司也在进行 500kV 变电站无人值班建设的探索，山东省电力公司超高压局已全部完成 500kV 变电站无人值班的改造，正在进行无人值班运行过渡；江苏苏州和南方电网公司已正式实行无人值班、少人值守^[1~4]。

1.3 500kV 变电站实行集中运行管理的优势

1) 有利于安全生产。集中优势资源后，安全管理体系得以统一，可改善 500kV 变电站运行管理水平参差不齐的现状；实行集中运行的专业化管理，便于加强 500kV 变电站运行管理人员和各级生产管理人员的安全知识和专业技能的统一培训，也便于统一开展反事故演习等安全活动，以提高全员安全意识和技能水平，从而更好地确保 500kV 变电站安全稳定运行^[5]。

2) 有利于无人值班建设。如果在现有运行管理模式上实行 500kV 变电站的无人值班，将会要求在每个电业局建立 500kV 变电站的监控中心和维操队；如果

实行集中运行管理可只建设 1~2 个集中监控中心和 2~3 个区域维操中心,从而可大大减少无人值班的建设成本。集中运行管理可统一对监控中心和区域维操中心进行整体规划,合理调整人员配备。

3) 有利于提高运行管理水平。设备维护信息互通、资源共享和统一设备评估,可实现精细化和信息化管理,从而提高变电运行综合管理水平和资产管理水平^[6]。

4) 有利于节约成本。500kV 变电站统一归属一个单位实施扁平化管理,能节约生产和管理成本。

1.4 500kV 变电站无人值班建设方案

1.4.1 运行管理模式

1.4.1.1 国内 500kV 变电站无人值班的运行管理模式

目前国内实现 500kV 变电站无人值班的运行管理模式有以下两种:

1) 集中监控+操作队模式:设置集中监控中心,负责 500kV 无人值班变电站的运行监视和遥控操作;成立操作队,负责大型和复杂操作;变电站仍有少数值守人员负责变电站巡视、维护、简单操作,不监盘。现苏州电业局采用的就是此种模式。

该模式的优点是基本不改变现有调度关系,500kV 变电站有人值守,可以保证操作和事故处理的及时性。缺点是减人增效不明显。

2) 集中监控模式:设置集中监控中心,负责 500kV 无人值班变电站的运行监视和遥控操作,变电站仍有少数值守人员负责巡视、维护等工作,不监盘,根据集中监控中心的指令进行操作(如监控中心不能完成的操作,手动操作的接地刀闸、保护压板投退等)。现南方电网公司超高压南宁局就是此种模式。

该模式的优点是减人增效明显,不设置维操队。缺点是监控中心要转发调度指令,增加了调度指令的中间环节。

1.4.1.2 湖南省 220kV 及以下变电站无人值班的运行管理模式

采用监控中心+维操队的模式,即把原来有人值班变电站的运行管理工作分为了两块,监盘和遥控操作由监控人员负责;现场操作、事故处理和设备巡视、维护由维操人员负责。

各电业局成立地区监控中心,负责 220kV 变电站及城区 110kV 变电站的监控。县局不单独设置监控中心,采用与调度合一的方式。

各电业局变电管理所和县局按照地域范围设置 1 个或多个维操队,其基地站大多数设置在变电站,辐射管理周围的 5~10 个变电站。

1.4.1.3 湖南省 500kV 变电站无人值班的运行管理模式

参照国内 500kV 变电站无人值班的运行管理模式,结合 220kV 及以下变电站无人值班管理的经验和教训,湖南省 500kV 变电站无人值班的运行管理模式建议采取分阶段推进。

集中监控中心设立于超高压管理局,负责 500kV 无人值班变电站的运行监视和遥控操作。目前可只设置一个监控中心,今后随着电网发展,500kV 变电站数量达到 20 个及以上可考虑设立第二监控中心。

第一阶段:集中监控+少人值守(班)。

集中监控中心负责 500kV 集中监控变电站的运行监视。变电站运行管理属地模式暂维持不变,每站的人员核减为 7 人(含站长)。

第二阶段:实现集中监控+区域维操+少人值守。

集中监控中心负责 500kV 集中监控变电站的运行监视和遥控操作、事故和异常处理。

成立多个区域维操中心,负责 500kV 变电站的巡视、维护,大型、复杂以及不能遥控操作设备的操作,事故处理。可成立湘中和湘南两个维操中心,将现有 500kV 变电站分成两片进行管理。

500kV 变电站设置少量值守人员,可负责单一操作(比如单一接地刀闸、保护压板投退等);与维操中心距离较远的变电站可设一定数量的值守人员,有利于事故的快速处理。

1.4.2 湖南 500KV 集中监控中心建设方案

1.4.2.1 整体要求

根据湖南省超高压管理局的整体规划,将 500kV 电网运行集中监控中心设立于超高压管理局青园基地,建筑面积为 1000 平方米(其中监控大厅 150m²,电源室 40m²,机房 200m²等)。

监控中心必须实现“五遥”功能(遥控、遥信、遥测、遥调、遥视)。包含五大系统:计算机监控系统、通信系统、保护故障信息系统、远程图像监视系统,

以及交、直流电源等辅助系统。

辅助系统包括：UPS 系统、动力环境及监控系统、电源和照明系统、机房通风及精密空调系统^[7]。

1.4.2.2 超高压监控中心监控保护、图像监视通道要求

超高压监控系统作为湖南省调度数据网的汇聚层节点，采用 $8 \times 2\text{Mb/s}$ 接入省调骨干节点，采用 2 个不同路由。

各变电所监控系统(含保护软报文)至超高压监控中心的主用通道采用调度数据网，备用通道采用 1 路 2M 可调专线。

各变电所图像监视系统至超高压监控中心采用 2 路 2Mb/s 专线。

1.4.2.3 超高压集控中心与调度关系

成立 500kV 变电站集中监控中心及维操中心后，原 500kV 变电站属网调、省调或地调的调度模式将发生改变，监控中心和维操中心值班人员均属于网、省或地调的调度对象，需要与网调作必要协调和衔接，以取得网调的同意和支持。

系统发生事故或异常情况时，监控中心值班人员应迅速正确地向值班调度员报告有关无人值班变电站的保护动作、开关跳闸及设备异常情况，并立即通知维操队检查现场设备，维操人员必须在规定时间内赶到变电站^[8]。

1.5 本文所做的主要工作

本文以湖南省 500KV 电网运行集控中心关键系统的设计为研究对象和研究基础，在分析湖南 500KV 电网运行现状的基础上，提出了超高压集控中心的设计方案，对远动系统的网络传输、集控中心主要子系统的设计和功能分别进行了深入的研究。主要工作归纳如下：

(1) 通过研究现有的计算机监控系统，提出在超高压集控中心的设计中采用独立的计算机监控系统方案，并对其整体结构进行了设计；对远程图像监控系统、集控中心系统通信方案进行了深入的研究和设计；针对集控中心的特点，分别从电源系统防雷和信号系统防雷两方面着手，提出了一种新颖、简单、可靠的防雷防浪涌设计方案，并给出了相应的电路设计原理图。

(2) 在深入研究相关远动通信规约的基础上，依据集控中心建设实际，选择最佳的远动通信规约方案，并对 500KV 电网的远动通信网进行了规划和设计，此设计方案能有效保证远动系统的高效可靠运作。对系统中 IED 的网络接入问题

进行了深入的研究，设计了一种基于 IP2022 芯片的网络互联接口，实现了 IED 与远动传输网络间的互联，并对此接口的硬件和软件部分分别进行了实现。

(3) 对集控中心的主要子系统（FES 子系统、SCADA 子系统和 DTS 子系统）的特点和主要功能分别进行了详细介绍和说明，在深入研究 FES 子系统的结构、运行方式、系统框架、数据流和主要实现功能等的基础上，对集控中心 FES 子系统提出全面可行的配置方案。对基于南瑞 OPEN3000 系统的 SCADA 子系统的特点、数据流及功能做了深入研究。

第二章 超高压集控中心设计方案

近年来随着电网向超高压、运距离、系统化方向的发展,使原来 500KV 电网旧的管理模式已经不能适应发展的需要,在这种情况下对超高压集控中心的研究和设计显得十分重要。因此可以说超高压集控中心既是现代科学技术和现实生产力的具体结合,又是管理模式的更新换代。超高压集控系统是将 500KV 变电站的二次信息(包括控制设备、信号传输、继电保护及自动装置、远动装置)利用微机技术,经过功能的重新组合,实现信息共享,对 500KV 变电站实施自动监控、测量、控制和协调的一种综合性集中控制系统。超高压集控系统具有功能综合化、结构微机化、操作监视屏幕化、运行管理智能化四种基本特征。超高压集控系统通过优化的结构和强大的自动化功能,能及时的向集控中心值班人员和调度人员提供详细的信息,同时可以向其提供改变系统运行参数的各种参考性意见和监控操作平台,对变电站的安全、经济运行提供了强有力的技术保证。

超高压集控中心的设计必须实现对 500KV 电网的“五遥”功能(遥控、遥信、遥测、遥调、遥视)。超高压集控中心主要包含五大系统:计算机监控系统、通信系统、远程图像监视系统、保护故障信息系统,以及交、直流电源等辅助系统。辅助系统主要包括:UPS 系统、动力环境及监控系统等。为保证超高压集控中心各系统设备安全可靠运行,本章还将对集控中心的防雷防浪涌系统进行设计。

2.1 系统硬件配置

系统硬件配置如下:

(1)主站硬件系统应是功能分布的双以太网结构,利用标准的接口和介质,将功能相对独立的模块分布到若干处理器上完成^[9]。

(2)系统的参考配置参见图 2.1。主站硬件系统主要由如下几个部分组成:

- 实时数据采集子系统
- 实时数据服务子系统
- 历史数据服务子系统
- SCADA 应用服务子系统
- 系统维护和开发子系统
- DTS 培训模拟子系统
- GPS 时钟子系统
- 网络互联和计算机通信子系统
- 实时信息 WEB 查询服务和综合数据库子系统

- 网络安全防护子系统
- 电子值班子系统
- 输出终端设备

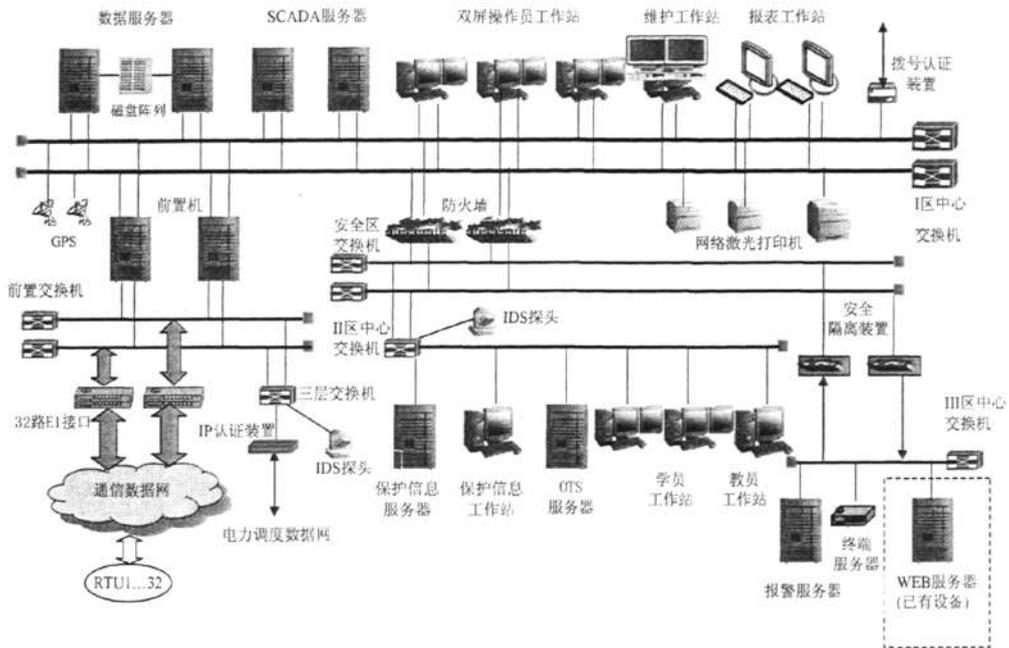


图 2.1 监控系统网络结构图

2.2 计算机监控系统

2.2.1 方案比较

根据省内外监控中心建设的经验，计算机监控系统既可以采用独立监控系统的方式，也可以采用调度自动化系统工作站的方式。两种方式均不影响各级调度现有权属范围和运行信息采集。

方案一：建设独立的计算机监控系统

监控中心建设独立的计算机监控系统，该系统直接与变电站监控系统通信，实现对 500kV 变电站的实时监控，数据通道以调度数据网为主通道，专线通道作为备用通道，同时需配备电力二次系统安全防护设施。

方案二：利用省调 EMS 系统平台

省调 EMS 系统为监控中心配置相对独立的工作站，该工作站通过与省调 EMS 系统实时通信并利用省调 EMS 系统平台处理后的数据，实现对 500kV 变电站实时监控，数据通道同方案一。

两种建设方案比较见表 2.1。

表 2.1 两种建设方案比较

	方案一	方案二
安全性	调度EMS或监控中心监控系统任意一个故障时，不会失去对500kV变电站的全部监视	调度EMS故障后，调度、监控中心都不能监视到500kV变电站运行状况
管理合理性	监控中心监控对象主要是500kV变电站设备，而调度主要监视500kV和220kV电厂和变电站电网信息，本方案可以满足两者管理方面明显不同的要求	不利于满足监控中心、调度管理对象明显不同的要求
技术合理性	监控中心要求采集500kV变电站全部远动信息，每站大于4000个点，而调度EMS仅采集变电站部分远动信息，每站不超过200个点，单独的监控系统可以充分满足监控中心的技术要求。	使得调度EMS的结构、功能过于复杂，导致EMS的性能下降，不满足监控中心的技术要求。
经济性	需要增加建设监控系统的费用约800万元	在建设省调EMS时需要增加监控子系统的费用约80万元

建设独立的计算机监控系统需增加较大投资，但从保证电网安全运行、便于运行维护管理角度考虑，方案一的优越性明显高于方案二，所以在湖南超高压运行监控中心的建设中采用了方案一^[10]。

2.2.2 整体结构设计

根据湖南省 500kV 电网实现无人值班的要求，在湖南省超高压管理局设置一套 500kV 集中监控系统，实现 SCADA/OTS/监控中心(500kV)/保护信息管理一体化功能。超高压集中监控系统网络结构设计如下（监控系统网络结构图具体见图 2.1）：

(1) 系统计算机网络结构采用分布式开放局域网交换技术，双重冗余配置，由 100/1000M 后台局域网交换机及 100M 前置交换机的三层结构组成。

(2) 系统采用冗余的双交换式局域网结构，具有双网分流功能。正常时，两套网络设备同时发挥作用，降低了网络负载。当某一节点上的一块网卡或一条网线故障时，系统自动停用此网卡，所有信息都使用另一块网卡；当一台交换机发生故障时，系统自动降为单网运行模式。所以无论是单网故障，还是网上节点

内的单点网络故障都不影响系统功能。

(3) 本监控中心系统计算机网络结构具体配置如下：系统采用 100/1000Mbit/s 的双以太网网络结构，后台局域网采用千兆骨干网构建，采用双网配备，数采服务器、SCADA 服务器、历史数据服务器都直接接入千兆网，DTS 服务器、调度员工作站、维护工作站、报表工作站、保护及故障信息管理服务器接入双主交换机的百兆网；实时数采服务器共配置 4 块网卡，分别接入骨干网和前置数采百兆网，同时实时数据采集的前置专线网络、路由器接入数采百兆网；保护及故障信息管理服务器共配置 2 块网卡，接入 II 区百兆网；500kV 监控值班工作站由 3 台双屏工作站构成，直接接入骨干网^[14]。

2.2.3 技术措施

(1) 系统采用统一的一体化平台，实现 SCADA/PAS/OTS/500kV 变电站监控中心/保护信息管理一体化功能。

(2) 遵循 Valmet-SV、IEC60870-5-101/104、TASE2、CDT 等规约标准设计新系统的数据库平台，为用户的功能扩展和软件升级提供开放强大的底层支持，为湖南省电力公司综合信息统一平台提供可能接口。

(3) 新系统具备完善的监控功能，适应无人值班站的运行管理需求，达到减人增效目的。

2.3 远程图像监视系统

2.3.1 设计要求

对管辖的湖南省多个 500kV 变电站（暂按接入 30 个考虑）的图像和数据进行集中监控和管理，实现在监控中心对所管辖的所有变电站进行日常巡检，对重要设备和地点进行预置位定点监控。

监控中心远程图像监视系统监视范围包括管辖区域内的湖南省多个 500kV 变电站，包括各变电站内的主控楼入口、主控楼楼顶、通信机房、各继电器小室、220kV 配电装置、500kV 配电装置、主变压器及 35kV 配电装置、380V 所用变及配电室及变电站围墙等。

2.3.2 系统结构及功能

监控中心图像监视系统是所辖 500kV 变电站图像集中监控操作、维护和集中

管理的中心,与动力环境监控系统一并布置在监控中心监控主机房的环境监控区内。监控中心图像监视系统通过将厂站端上传的数字信号转换成模拟视频信号,实时监测所辖任意 500kV 变电站前端所有摄像机、网络硬盘录像机、环境监测、报警设备,并联动报警录像、电子地图等,同时管理后端所有上网监控用户。监控中心图像监视系统支持多级组网结构^[11~12]。

监控中心图像监视系统从功能上分为图像管理系统和图像显示系统^[15]。图像管理系统由图像转发服务器,图像管理服务器,录像存储服务器,图像解码服务器(可选)等服务器组成;图像显示系统推荐按大屏幕电视墙配置,由 DLP 显示单元(内置图像处理功能)、图像处理器、专用底座、分配器及大屏网络控制软件等组成。监控系统结构图如下图 2.2 所示。

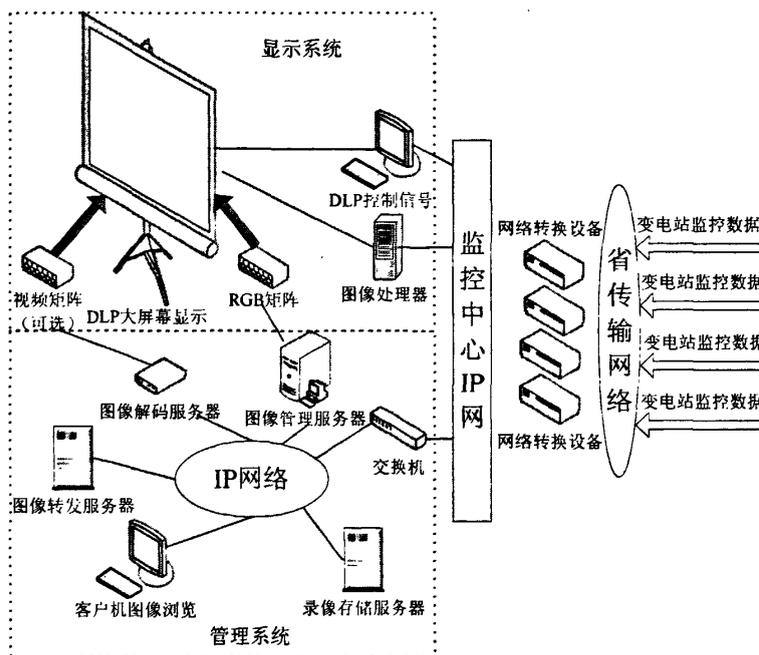


图 2.2 系统结构图

2.4 系统通信设计方案

在湖南省 500KV 电网运行集控中心的通信系统设计中,网络通信需实现 500kV 变电站监控中心与 500kV 变电站间的实时数据通信,远景还需实现本系统与网省调、超高压管理局 MIS 系统间的数据通信^[13]。外部网络通信基于客户/服务器模式,上级为主站即客户端,下级为子站即服务器端,通信规约采用 TCP/IP,应用层协议采用 IEC60870-6.TASE.2 协议或其它计算机标准协议。与外部网络互连必须设置防火墙并考虑与外网的物理隔离机制,必须有网络访问安全策略,以确保系统安全^[16]。

外部网络通信必须具备以下功能与性能：

- 以同步或异步方式更新网络通信服务器的实时数据库和历史数据库，以实现内部数据外传；
- 以同步方式更新 SCADA 各节点数据库的有关数据，实现外部数据内传；
- 周期性采集外部系统实时数据，采集周期 1~10 秒（周期可调）；
- 可按照用户定义的多个数据集分别与外部不同系统通信；
- 可使用多种通讯线路进行通信；
- 与外部系统实时通信容量满足设计要求，并可扩充；
- 可定义新的通信节点，通信系统应能自动识别新加入的节点；
- 可处理活动通信节点的正常或异常退出；
- 提供对网络通讯节点通信状态监视及告警功能；
- 提供网络通信调试软件工具；
- 提供网络通信编程接口；
- 必须制定网络访问安全策略。

湖南省 500KV 电网运行集控中心的通信系统设计范围为湖南省超高压公司监控中心至各 500kV 变电站的信息传输通道配置。监控中心通信系统配置主要内容包括：光纤通信系统、光缆线路及调度电话交换系统、通信电源系统等。

2.4.1 通道配置

监控中心调度电话组网：2×2Mbit/s 通道。

远动通道：各 500kV 变电站至监控中心主用通道为 2Mbit/s 调度数据网通道，备用通道为 2Mbit/s 通道。

工业电视通道：各 500kV 变电站至监控中心 2×2Mbit/s。

省调至监控中心调度数据网通道：2×8×2Mbit/s。需采用 2 个不同路由。

2.4.2 系统通信方案

2.4.2.1 传输网络

由于现有超高压青园基地 NEC 公司的 C-Node 光传输设备的各种板件不能冗余配置，且满配置也只能有 32 个 2Mbit/s 通道，目前 MIS 系统和其它交换机已占用了大部分通道。本设计约需 2×40×2Mbit/s 通道。为满足监控中心系统通信的需求和可靠性^[19~20]，在监控中心配置省网和华中网层 STM—16 光纤通信设备各 1 套，作为省网和华中网通信站，华中网层 STM—16 光纤通信设备经双光缆

路由在省调接入华中网层光纤通信网络，省网层 STM—16 光纤通信设备分别在超高压公司青园基地和红星变接入湖南省光纤通信网络。

PCM 配置按监控中心～湖南省调 1 对(利用现有设备扩容)，监控中心～华中网 1 对设计。

2.4.2.2 调度程控交换机配置

在监控中心装设一套调度程控交换机，其配置为：主机容量本期不小于 300 端口，主系统 1+1 热备、两套 64 键智能调度台及一套维护终端。交换机将接入华中 500kV 调度电话交换网。

该交换机采用 2M 数字中继线（光纤通道）和 Q 信令等方式接入华中调度电话交换网。华中电力调度电话交换网内现有 HARRIS 系列、塔里兰公司 CORAL 系列调度交换机，湖南省内 500kV 电网各厂、站的调度电话交换系统均参与组网。在设计中新装的交换机应能与华中电网已有的交换机以及相关光纤、微波等中继电路一起组成完整的调度通信网。

2.4.2.3 通信电源

监控中心通信电源系统必须按冗余配置。必须安装 2 套高频开关电源、2 块交直流配电屏和 2 组 48V/500Ah 免维护蓄电池。

2.5 UPS 系统

2.5.1 UPS 设计要求

为保证监控主机房各类服务器、通信设备的安全可靠运行，要求供配电系统具有非常高的可靠性，需配置 UPS 不停电电源，当市电全部断电后，由 UPS 系统供电来保证机房内通信、网络、服务器设备供电的连续性。UPS 容量为 40kVA，外电源失电后支持时间不小于 2 小时，按双套 1+1 冗余配置。UPS 单独配置蓄电池，蓄电池组架安装在电池室。UPS 供电网采用辐射状供电，设置馈线柜 2 面。UPS 供电范围：监控中心主站的工作站、服务器、GPS、网络设备、打印机等。

2.5.2 UPS 系统组成

UPS 系统由整流器、逆变器、静态开关、手动维修旁路开关、馈线开关以及

本系统所有设备间联接电缆等组成。UPS 应包括本机液晶监视器、电池适时监测系统、本机诊断系统以及与变电所计算机监控系统的通信接口，调试、监视和维修专用通信口等。UPS 主屏交、直流输入回路要求有空气开关，其中交流回路 2 路，直流回路 2 路，UPS 馈线屏总输入回路要求有空气开关，馈线回路输出三十二路，其中 100A 两路，50A 三十路，选用进口小型断路器，并加标识牌标明馈线名称。

2.6 系统防雷防浪涌设计

集控中心是电力系统的重要组成部分，通信网络是集控中心重要的工作平台。然而通信网络的核心部件都是采用高度灵敏、小型化、高集成的大规模和超大规模集成电路元器件，这些元器件体积小、耐压低，只有几十伏就足以被毁坏。雷电不仅是直接损坏微电子器件，还由于它们耗能少、灵敏度极高，很小的电场或磁场脉冲就可以使其受到干扰。因此，对安装有通信设备的建筑应按特殊的防雷要求进行防雷设计，既要根据建筑物及其建筑结构特点提出直击雷的防护措施，又要防止雷电电磁脉冲对建筑物内的电子设备造成干扰和损坏。

雷电主要通过两种形式损坏集控系统设备，一种是通过金属管线或地线直接传导雷电致损设备；一种是闪电通道及泄流通道的雷电电磁脉冲以各种耦合方式感应到金属管线或地线产生浪涌致损设备。

根据雷电入侵的特点，集控中心通信网络的防雷主要可分成三部分：一、系统接地及抗干扰；二、直击雷防护；三、电源系统防护；四、信号系统防护。

2.6.1 系统接地及抗干扰

监控主机房须有安装良好的接地系统，为电源提供一个稳定的零电位，并可作为供电系统电压的参考电压。接地方式采用联合接地和等电位连接。机房接地须设有四种形式，以保证机房内各种设备的运行安全，即计算机专用直流接地、配电系统交流工作接地、设备安全保护接地、防雷保护接地。计算机系统应有良好的工作接地，如果同大楼合用接地装置，接地电阻小于 0.5Ω 。机房区为防止感应雷(防直接雷由大楼设计完成)，必须在相应的部位安装与被保护设备有关的参数一致的天馈避雷器、信号避雷器、电源避雷器。

监控主机房还应考虑防静电、防电火花干扰及防电磁辐射等要求，应有可靠屏蔽措施。地面利用抗静电专用地板。机房内的导体必须与大地做可靠连接，不得有对地绝缘的孤立导体。电缆屏蔽层应可靠接地等。

2.6.2 直击雷防护

直击雷的防护主要通过避雷针、避雷带、避雷网来实现，它可以有效地防止雷击对建筑物的损害，并降低了网络传输线和网络设备及电源线被雷电直接击中的可能性，在一定程度上起到了网络防雷的作用。直击雷防护措施可分为三部分：接闪器、引下线和接地。接闪器高耸于被保护的建筑物之上，它将产生最强的向上迎面放电，它必最先与先导流注通道汇合，从而形成主放电，雷电流通过引下线和接地体安全泻入大地。

2.6.3 电源系统防护

2.6.3.1 电源系统防护措施

雷电感应过电压是造成通信网络系统电子设备损坏的根本原因。电源防雷主要是防止雷击过电压从电源供入端窜入设备，保障设备供电安全，免受过电压侵袭。电源系统的主要防护措施有：

(1) 电源供电系统通常采用 TN-C-S 系统，在电源进线点进行总等电位连结。

(2) 引入室内的交流电力线建议采用电力电缆，并且采用直埋式低压电力电缆，通过埋地引入机房，其电缆金属护套的两端应作良好的接地。

(3) 系统通过采取完善的屏蔽措施，可有效防止雷电过电压波的伤害。

(4) 将电缆外皮及保护钢管与电子设备在电缆进出用户处接地、连接；在转换处应装设低压配电线路适用的避雷器，并将避雷器、电缆金属外皮、绝缘子铁角连在一起接地；机房内所有交流用电及配电设备都应采取接地保护措施；交流保护接地应从接地汇集线上专门引出，严禁采用中性线作为交流保护接地线。

(5) 安装一组三相电源防雷装置在机房楼层配电箱处，作为一级保护；安装单相电源防雷装置在机房内配电箱处，作为第二级防护，防止感应雷沿电源线侵入设备。

2.6.3.2 电源防雷装置设计

由于集控中心通信系统耐压水平低，雷电波侵入电源系统时易导致设备的损坏，严重影响了电力系统的正常运行。雷电主要由高能的低频成份与极具渗透性的高频成份组成。通常采用的防雷接地设计、等电位连接和屏蔽措施等均无法完全防止雷电波中极具渗透性的高频成份对通信系统的侵害，因此在电源装置前加装电源防雷装置是电源防雷的重要一环。

本文根据雷电波的特点结合集中监控中心的实际状况,设计了一种简易新颖且防雷性能良好的电源防雷装置,通过在通信机房一年多的试运行,表明该装置对雷电波有较好的预防效果。此设计可以有效降低雷电波对集控中心电源系统的危害,有利于提高电力系统的供电可靠性。下面以单相为例,介绍该电源防雷装置的工作原理和特点。

本节设计的电源防雷防浪涌电路主要由压敏电阻,保险丝,发光二极管,电容,电阻等元器件组成。具体工作原理如图 2.3 所示^[17~18]。

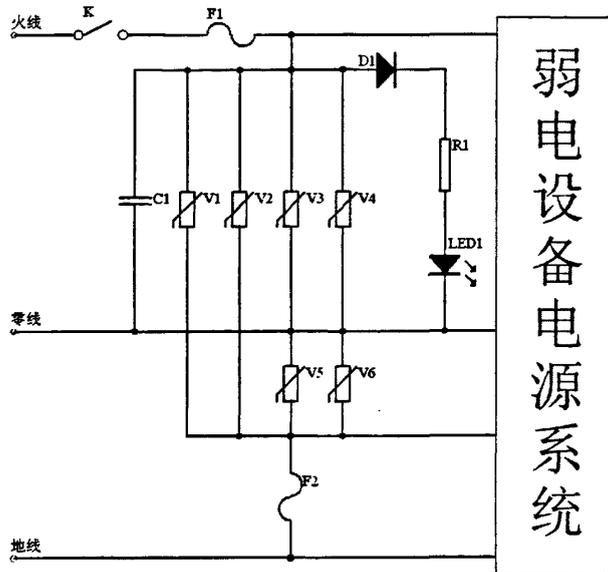


图 2.3 电源部分防雷防浪涌设计原理图

当发生雷击时,火线与零线、火线与地线、零线与地线间的电压都有可能发生急剧变化,下面就这三种情况分别进行分析:

(1)当火线与零线间产生过电压时,压敏电阻 V_3 、 V_4 迅速导通,流过它的电流激增,相当于阀门打开,从而有效抑制电路中出现的异常过电压,保护系统免受过电压的损害。如果过电压不高且持续时间短,则浪涌过后,压敏电阻又马上恢复到高阻值状态,系统恢复正常;如果过电压较高,电流较大,则保险 F_1 断开,从而起到保护设备的作用。

(2)当火线与地线间产生过电压时,压敏电阻 V_1 、 V_2 的阻值迅速减小到短路状态,从而保护电路设备免受过电压损坏。如果过电压较高,电流较大,则保险 F_1 、 F_2 断开。

(3)当零线与地线间电压大于压敏电阻 V_5 、 V_6 的阈值时,压敏电阻处于开阀状态,从而可以有效防止过电压的窜入。

其中,电容 C_1 是用来保护压敏电阻免受雷击浪涌的损坏。事实上,当雷击发生时,电容 C_1 对于火线与零线之间急剧增加的过电压起到一个缓冲的作用。 LED_1 在开关 K 闭合后会发光,它起到电源指示灯的作用。

通过在通信机房进行的一年多的安全试运行来看,本电源防雷装置既可有效地防护雷电电磁脉冲,也可使雷电高频分量得到有效抑制,从而有效保证了集控中心电源装置的安全、可靠运行。

2.6.4 信号系统防护

由于通信机房内具有大量的数据线、数据端口、控制电路等,它们传输信号的电平低,速度快,在雷击发生时网络线路感应到过电压也会影响网络的正常运行,甚至导致整个网络瘫痪。因此,对它们进行有效的防护就显得极为重要。

2.6.4.1 信号系统雷电入侵途径

信号系统的损坏绝大部分是由感应雷入侵造成的,感应雷主要是由静电感应和电磁感应产生,感应雷电波的形成概率很高,它对建筑物内的弱电设备造成极大的威胁。经过分析,信号系统的雷电过电压过电流主要有以下三种入侵途径:

(1)由电源线路入侵

架空电力线路遭受直击雷和感应雷的袭击,从而由室外架空电力线路输入室内;直击雷击中室外高压电力线路,经过变压器耦合到 380V 低压侧,从而侵入通信系统供电设备;另外,低压线路也可能被直击雷击中或感应出雷电过电压。在 220V 电源线上出现的雷电过电压平均可达 10000V,如此高电压对通信网络系统可造成灾难性的打击(电源系统的雷电防护措施已经在 2.6.3 节进行了详细分析)。

(2)由通信线路入侵

由通信线路入侵可分为以下三种情况。

情况一:当通信线路附近的地面物体遭直击雷打击时,强雷电压将邻近土壤击穿,雷电流直接入侵到线路电缆外皮,进而击穿外皮,使雷电高压侵入通信线路。

情况二:当雷雨云对地面放电时,在线路上感应出上千伏甚至更高的过电压,击坏与线路相连的电气设备,通过设备连线侵入通信线路。这种过电压沿通信线路传播,涉及面广,危害范围大。

情况三:在通过一条多芯电缆连接不同来源的导线或者多条电缆平行铺设的情况下,当某一导线被雷电击中时,相邻导线上会感应出过电压,从而损坏相关电子设备。

(3)由接地体入侵的地电位反击电压

雷击发生时,强大的雷电流经过引下线和接地体泄入大地,在接地体附近将产生放射型的电位分布,若附近有连接电子设备的接地体时,将发生高压地电位

反击，入侵电压可高达数万伏。建筑物防直击雷的避雷针引入了强大的雷电流通过引下线入地，在附近空间将产生强大的电磁场变化，会在相邻的导线(包括电源线和信号线)上感应出雷电过电压。通信网络系统等设备的集成电路芯片耐压能力很弱，通常在 100V 以下，因此必须建立多层次的通信防雷保护系统，层层防护，以确保通信系统的安全。

2.6.4.2 信号系统接口防雷装置的配置

由于信号传输距离远、传输线路长，因此遭受感应雷击的概率也就大大增加，同时通信硬件设备的工作电压低，抗雷击的能力弱。综合信号系统的这些特点，为保证各种通信设备的安全运行，加装避雷器显然是十分必要的。根据通信设备的具体情况，由室外引入的信号线路的防雷保护将被主要考虑。网络电涌保护装置的主要用途是：将瞬时的雷电流泄流入地，同时将感应过电压限制在设备可承受的水平，使设备免受过电压的冲击。防雷装置主要串接在线路与通信设备的接口处。

(1)在服务器 100M 输入端口处安装单口 RJ45 端口信号防雷装置，以保护服务器。

(2)24 口网络交换机串联 24 口的 RJ45 端口信号防雷装置，路由器以太网端口串联单口 RJ45 信号防雷装置，这样可以避免因雷击感应或电磁场干扰沿双绞线窜入而毁坏设备。

(3)在 X.25 专线接收设备上安装单口 RJ11 端口信号防雷装置，保护 X.25 专线上的设备。

(4)在卫星接收设备前端安装同轴端口天馈线避雷器，以保护接收设备。

2.6.4.3 信号系统接口防雷装置的设计

下面以 RJ45 和 RJ11 端口为例，进行信号防雷装置设计。

RJ45 和 RJ11 端口是在通信网络中最常见的接口，其防雷防浪涌设计电路如图 2.4 所示^[18]，具体原理如下：

(1)RJ45 接口

当雷击发生后，线路有瞬时过电压窜入时，气体放电管 $GAS_1 \sim GAS_4$ 被击穿，其阻抗迅速下降，几乎是短路状态。放电管将大电流通过线路接地进行泄放，将电压限制在低电位，从而保护了网络线路及设备。当过电压浪涌消失后，其阻值又迅速的恢复到高阻状态，保证网络线路的正常工作。

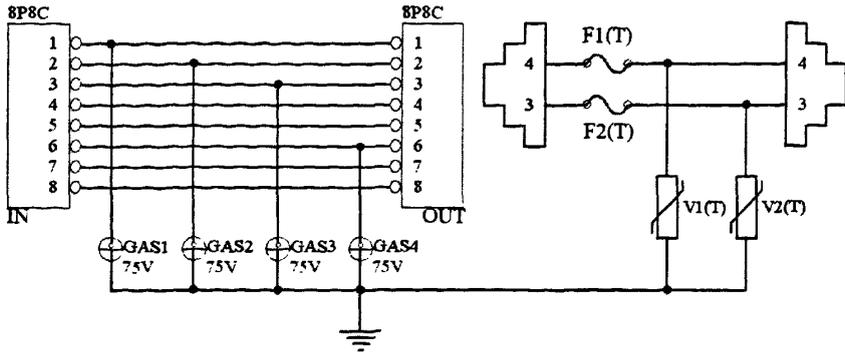


图 2.4 网络和电话接口部分防雷防浪涌设计电路图

(2) RJ11 接口

雷击发生后，过电压经由电话线输入端引入，压敏电阻 $V_1(T)$ ， $V_2(T)$ 两端的电压急剧增加，从而迅速被击穿，相当于短路状态。大电流经由保险 $F_1(T)$ ， $F_2(T)$ 时，保险断开，从而保护了通信设备免受浪涌损坏。

通过在通信机房进行的一年多的安全试运行来看，此设计能有效防止雷击或电压变化而产生的有害浪涌对信号系统的损害。

2.7 本章小结

本章详细介绍了超高压集控中心的系统硬件配置；通过比较，提出了超高压集控中心采用独立的计算机监控系统方案，并对其整体结构进行了设计；提出了远程图像监视系统的设计要求和设计方案；提出了系统通信设计方案，并对相关的信号通道进行了详细配置；对集控系统的防雷防浪涌问题进行了重点的研究，从电源系统防护和信号系统防护两方面着手，提出了一套切实有效的雷电防护方案，并分别对电源防雷装置和信号接口防雷装置进行了设计。

第三章 远动系统的网络传输

500KV 变电站是 500KV 电网的主要监控点，同时也是电网的信息源。从网络的概念来进行理解，变电站实际相当于网络节点，500KV 变电站自动化系统与超高压集控中心、网调、省调数据网的通信也非常重要，它是电力系统远动通信网络传输的基础。

电力系统远动是一种为电力系统监控、调度服务的远距离监测、控制技术。由于发电厂和负荷中心之间的距离一般非常远，整个电力系统的分布区域也十分广泛，其中 500KV 变电站的地理位置更是非常分散，它和集控中心之间的距离也远近不一，最远的甚至达到数千公里。随着 500KV 电网的快速发展，通常的采用的通过机械联系或电路联系来传递控制信息或反馈数据的方式已不能满足 500KV 电网远动信息传输的要求，借助远动技术手段来监控和管理分布甚广的众多厂站、设备和元器件的运行工况才能适应 500KV 电网的迅猛发展。

各个子站的运行工况被远动系统转换成便于传输的信号形式，为防止传输过程中的外界干扰，在传输过程中必须加上保护措施，经过调制后信号通过专门的信息通道传送到集控中心。集控中心主站对接收到的信号进行解调，使其还原为对应于子站工况的一些原始信号并显示出来，从而达到运行人员对整个 500KV 电网运行进行监控的目的。

由此可见，远动系统是 500KV 电网运行集控中心的重要组成部分。随着计算机、通信、网络等技术的飞速发展，500KV 电网对集控系统的信息传输要求也不断提高，信息传输的网络化和数字化时代已经来临。融合了计算机、控制、保护、通信、网络等技术于一体的网络化的远动系统终将取代常规的远动系统，现行的专业分工将被打破，同时，也必将引起远动系统设计领域的一场革命^[25]。

本章将针对 500KV 电网远动系统的网络传输、基于网络的远动通信规约和组网技术的选择进行分析、研究和设计。针对 IED 网络接入的问题，文中还将对基于 IP2022 芯片的网络互联接口进行设计，使得 IED 与远动传输网络间实现网络互联。

3.1 基于 TCP/IP 的 IEC60870-5-104 规约

自动化设备厂家对变电站远动信息网络传输的研究和实践开始于本世纪初，多年来，此项工作的大部分一直处于实验阶段性质应用，真正进行实际应用的很少，造成这种状况的根本原因在于长期以来没有制定和实施一个基于 TCP/IP 协议的远动规约。虽然实现远动信息的网络传输的规约也存在，比如 Polling(问

答式数据传输)+TCP/IP, 或者 CDT(循环数据传输+TCP/IP), 但是此类规约存在许多问题: 如仅支持点对点的单向传输方式, 传输数据的方式单一, 在高速率、大数据量的传输方式下, 数据传输效率、通道利用率低; 对时机制在网络方式下会产生误差, 其只适合于低速通道; 与 TCP/IP 传输层接口的 APCI(应用规约控制信息) 未被定义, 在应用层的数据传输无启/停控制、抗重复传输和抗报文丢失的保护功能^[22~24]。

所以, 国际电工委员会电力系统控制及其通信技术委员会在原有规约 IEC 60870-5-101 的基础上, 根据远动信息发展的要求, 又制定了 IEC60870-5-104 规约, 104 规约是利用标准传输协议子集 101 的网络访问规约^[26~28]。

在 IEC60870-5-104 规约中, IEC 60870-5-101 的平衡传输模式被采用, 远动信息通过 TCP/IP 协议来进行传输, 104 规约适用于各种 PAD(分组装拆)的数据传输网络。IEC60870-5-104 规约的应用协议数据单元结构是在 IEC60870-5-101 结构的基础上进行了少许变动, 具体如下:

(1) 保留了 IEC60870-5-101 规约的大部分应用功能(召唤 1 级用户数据、召唤 2 级用户数据和时钟同步功能除外)。因此, 要想在 RTU 或变电站自动化系统和集控中心之间通过网络来传输远动信息(只要 RTU 或变电站自动化系统采用了 IEC60870-5-101 传输协议), 几乎不需要变化原有的应用服务数据单元, 只需要增加相应的网络硬件和软件即可, 开发的工作量很小, 便于实现和推广;

(2) 因为在网络传输中无法对时, 所以将只能表示从毫秒到小时的 3 个字节时标扩充为能够表示从毫秒到年的 7 个字节时标;

(3) 保留 1 个帧长 L、1 个启动字符, 删除第 2 个帧长 L、第 2 个启动字符、结束和校验字符, 增加传输层所需要的 4 个控制字, 可以实现启动、停止、测试等控制功能, 可计数的信息传输功能和可计数的监视功能。

3.1.1 IEC60870-5-104 规约的网络结构

基于 104 规约的远动传输网络的实现, 包含不同广域网类型(如: ISDN、X. 25、帧中继等)的路由器通过 TCP/IP 局域网接口的互联, 包含传输 DL/634. 5101—2002ASDU 的远动设备的局域网。主站路由配置有冗余和无冗余的网络实现模型如图 3.1 所示。

3.1.2 IEC60870-5-104 规约的特点

IEC60870-5-101 规约自 1995 年出版以来, 得到了非常广泛的应用, 随着以太网传输远动信息的方式在一些发达国家的集控、调度和厂站端逐步应用, IEC 为适应电网发展的要求, 在总结大量实践经验的基础上, 于 2000 年出版了网络

访问规约 IEC60870-5-104:2000，该规约采用了标准的传输文件集 IEC60870-5-101。

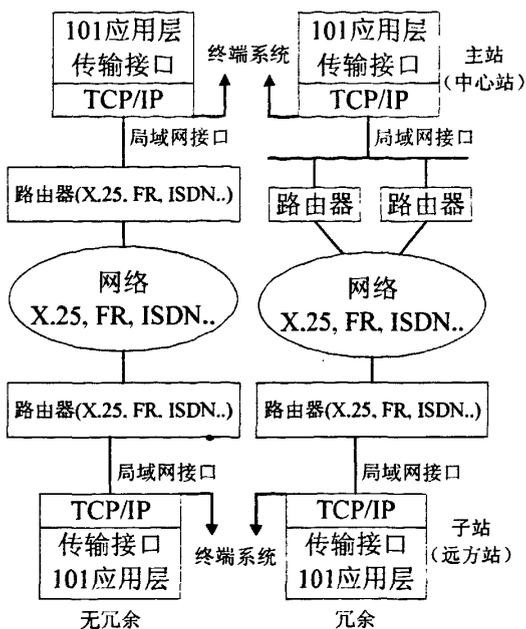


图 3.1 104 规约网络实现模型

IEC60870-5-104 规约实际上是将 TCP/IP 提供的网络传输功能与 101 规约相结合，使得 101 规约在 TCP/IP 内的各种网络类型下都可使用，包括帧中继 FR(Frame Relay)，X.25，综合业务数据网 ISDN (Integrated Service Data Network) 和异步转移模式 ATM (Asynchronous Transfer Mode)。

104 规约是一种具有可靠性高、实时性好、便于信息量扩充、支持网络传输、数据流量大等优点的国际标准协议，在内容和功能方面涵盖了保护的定义，它既可以应用在集控、调度与变电站端，也完全适用于变电站内的网络通信。采用建立在固定电路连接基础上的传统串口低速传输时，同一个子站必须建立多个实际的物理通道才能和多个调度端或是集控中心连接，而采用 104 规约运行于以太网和 TCP/IP 协议之上实现网络化传输之后，要解决 1 发多收的问题只需在子站端建立 1 个局域网通道即可，变电站的实时信息能被各相关主站同时共享，这将为监控系统、电网安全分析系统和配调系统获取统一时刻的准确数据提供了技术平台，为电网的经济和高效运行奠定了坚实的基础。

建立在以太网和 TCP/IP 之上的 IEC60870-5-104 规约必须面对虚拟电路连接带来的一系列问题，由于 104 规约的特殊位置，101 规约的链路控制信息不可能再被采用。104 规约的特殊性在于它通过使用应用规约控制信息和一整套的传输机制来克服网络传输过程中的不确定性^[33]。

3.1.3 IEC60870-5-104 规约与 TCP/IP 协议关系

104 规约和 DNS、SMTP 及 FTP 一样，对应着在网际上两台计算机共同参与事先约定好执行的任务或进程，可以将它理解成一种网络应用层的协议，它是整个协议栈的最高层，由它利用网络所提供的服务来完成集控中心和子站之间所传递的各种数据信息。

104 规约的下层是负责在两个任务或进程间进行通信的 TCP，TCP 的主要任务是将报文交付给适当的任务或进程，而要完成这个任务的适当条件就是通信进程或任务的双方具有共同的端口号 2404。整个网络的信息由 TCP 掌握，TCP 利用下面各层提供的服务，为应用层提供端到端的通信，TCP 起着承上启下的作用，它工作时就如同两个相邻节点在进行通信，TCP 是整个层次协议的关键所在，使高层程序提出的要求能与底层程序所提供的资源相互匹配是 TCP 的一项非常重要的任务。

IP 层是 TCP 的下层，负责在计算机间的通信是 IP 层的主要任务，IP 层处理将信息数据包从网络中的一个节点传送到另一节点有关的各种事项，由于源节点常常不是和目的节点直接相连的，因此在数据报文传输的过程中，必须要通过其它节点来进行中转，IP 作为网络层协议，只能把报文交给目的计算机，最终，只能借助 TCP 来完成这种不彻底的交付。具体通信示意图如图 3.2 所示。

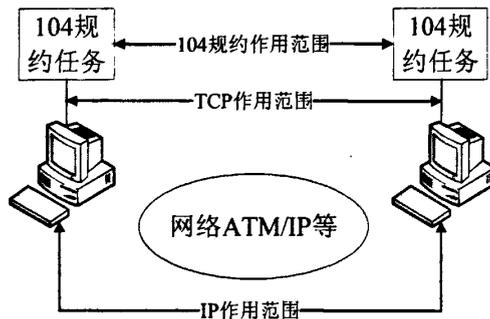


图 3.2 104 规约与 TCP/IP 作用范围

3.2 IEC60870-5-103 规约

继电保护设备信息接口配套标准 IEC60870-5-103 传输规约于 1997 年由 IEC 完成。我国也同等采用 IEC60870-5-103 规约作为电力行业标准：DL/T667-1999。

IEC60870-5-103 规约是用于继电保护设备的信息接口配套标准，主要传送针对继电保护的相关信息，而 IEC60870-5-101 规约传送的信息则主要是 SCADA 的监控信息。

继电保护设备和间隔单元的信息接口描述由 IEC60870-5-103 规约提供,103 规约主要用于变电站控制系统与保护设备之间的信息交换, 这些信息包括:

(1) 开入信息(遥信状态)和告警信号:通过采用多帧报文上送,利用“总查询”报文采集全遥信,可以获得保护装置的所有开入通道状态。在某一路开入状态发生变化的情况下,保护装置将置“一级数据”标志于下一帧报文中,控制系统将进行“一级数据”查询,同时,遥信变位信息将立即被保护装置上送,变位发生的时刻也将被记录下来(因为报文带有时标)。

(2) 采样值(遥测值):所有的遥测值由 103 规约采用 1 帧报文上送。

(3) 遥控:通过后台或者远方采用双命令的方式来进行断路器的分合。此外还包括如下的一些内容:主变档位分接头的升降;保护定值区的远方读取、远方修改;保护定值远方读取,远方修改;继电保护设备的投退命令;接地试跳命令;扰动数据、故障录波数据的传送;电能脉冲计数量上送;时间同步。

(4) 保护动作信息:在保护动作后,通过将“一级数据”标志置位来控制系统进行“一级数据”查询,同时上送保护动作元件信息,记录保护元件动作的时刻(因为该类报文带有时标)。

(5) 保护装置自检信息(自身状态监测):由于微机保护装置都具有监测自身运行状态的功能,假如有某部分出现不正常运行,比如模拟量采集回路故障、电源故障等,则会立即向监控单元发出告警信号。

103 规约使用的是增强性能的网络模型结构,这点与 101 规约相同,即仅用到 ISO-OSI 七层结构参考模型中的三层:物理层、链路层和应用层。103 规约是在 IEC60870-5 系列标准的基础上,采用 FT1.2 帧格式,对物理层、链路层、应用层、用户进程作了大量的具体的规定和定义。根据远动系统的特点,并考虑到传输速率,采用这种结构在出现故障时可以迅速响应^[29~31]。

3.3 IEC61850 规约简介

当前电力系统对变电站自动化的要求越来越高,为方便变电站中各种 IED 的管理以及设备间的互联,就需要一种通用的通信方式来实现。特别值得关注的是 IEC61850 变电站通信网络和系统的国际标准草案在 2002 年正式获得通过,IEC61850 提出了一种公共的通信标准,通过对设备的一系列规范化,使其形成一个规范的输出,实现系统的无缝连接。实现不同厂商产品之间的互操作性是制定 IEC61850 的最终目的。因此,该协议对变电站自动化系统采用了自顶向下的方式进行了对象建模、系统分层和功能定义,并详细定义了其一致性检测问题。

IEC61850 规约主要包括面向对象的标准、接口和映射、通信网络性能要求、一致性测试、系统和项目管理等多方面的详细内容。它是第一个关于变电站自动

化系统的完整的通信标准体系。该协议不仅用于变电站和集控中心之间的通信，而且可用于变电站的内部通信。 IEC61850 规约与传统的通信协议体系相比在技术方面具有如下显著特点：

- a. 使用分层、分布体系；
- b. 使用抽象通信服务接口 (ACSI)、特殊通信服务映射 (SCSM) 技术；
- c. 使用面向对象的建模技术；
- d. 具有互操作性；
- e. 使用 MMS 技术；
- f. 具有开放的、面向未来的体系结构。

IEC61850 作为变电站自动化系统的通信网络和系统的标准，采用了面向对象的建模技术和高层抽象映射到低层的 MMS 技术，使得变电站自动化系统产品的互操作性和协议转换的问题得到了很好的解决。另外采用该标准还可使变电站自动化设备具有即插即用、自诊断和自描述的优良特性，这些特性可以在很大程度上方便变电站自动化系统的集成，降低变电站自动化系统的建设费用。因为开放性的通信模型在该标准中被采用，所以其可用于远动信息的网络传输，它的通信能力也得到进一步的扩展了。随着对 IEC61850 规约研究的不断深入，作为电力系统中从集控中心、调度中心到变电站、变电站内以及配电自动化的无缝自动化标准，它在我国电力系统中的应用也将会得到快速的发展^[40]。

3.4 500KV 电网的远动通信网规划

3.4.1 远动通信规约选择

IEC61850 是目前较新的电力规约。从 IEC60870-5 系列规约的发展可以看出，IEC61850 和其它规约一样，必然需要一个现场证明、改进、用户接受的过程。在现有技术水平条件下，IEC61850 大部分规约的可行性研究及实验证明是可行的，但 IEC61850 规约在国内的大规模应用尚需一个过渡时期。作为关系国计民生的电网，理应选择成熟和可靠的技术，可以预见的是 IEC61850 还无法在短期内取代 IEC60870-5。同时，将 TCP/IP 技术用于网络传输远动信息是未来的发展趋势，基于 TCP/IP 协议的 IEC60870-5-104 是一套成熟完善的网络传输远动信息的规约，因此本文采用已经成熟的 IEC60870-5 系列标准作为远动通信规约。

3.4.2 站内继保通信规约选择

鉴于变电站继电保护系统通信数据的特点，采用 IEC-60870-5-103 标准应该

是目前变电站继保系统的站内通信协议的最为合理的一种选择^[41~43]。

1997年国际电工委员会正式出版的 IEC60870-5-103 规约定义了变电站控制系统与保护设备之间相互通信的配套标准。随着变电站综合自动化的飞速发展和电力系统标准化的逐步实施,103 规约作为电力系统的行业标准在电力系统的产品中得到了非常广泛的应用,比如南瑞继保电气有限公司近几年推出的所有的超高压、高压、低压线路保护装置、主设备保护装置、安全自动装置、测控装置都具备 103 规约通信的功能。

利用这个规约,在保护信息系统与微机保护装置之间、微机保护装置与二次设备之间建立通信连接,不但可以远方遥控继保装置动作,而且可以获得保护装置的定值、开入状态、采样值、保护动作元件等信息。

103 规约对保护动作发生、保护动作元件信息,变位信息,信息量更新,保护装置内部自检信息等都可做出准确、迅速的反应。103 规约所具有的响应迅速,信息量大等优点使得它非常适合于在继电保护系统中应用^[21]。

103 规约既具有标准协议的兼容性,又能满足继电保护故障信息的传输要求。103 规约与 101 规约同属 IEC60870-5 系列标准的配套标准,由于它们具有相同的应用数据结构和应用信息元素的定义与编码,因此能非常方便地对通信数据进行处理。由于 103 规约在继电保护装置的 RS485 串行通信接口中被采用,因此继电保护装置的通信可靠性和协议的标准化都能很好地得到保证。同时,基于 IEC60870-5-103 的站内信息能通过协议转换器或设计的相关互联接口(具体参考文中 3.5 节)与基于 TCP/IP+IEC60870-5-104 协议的主站网络进行完美通信^[32]。

在继电保护装置的 RS485 串行通信接口中,IEC60870-5-103 规约已被广泛采用。在目前我国电力系统的建设中,继电保护装置的通信接口也明确要求采用 IEC60870-5-103 规约。

3.4.3 远动系统网络结构设计

500KV 电网的远动系统主要分为两部分。一部分是网调、省调、地调及集控中心分别通过调度数据网和远动数据通道、综合自动化系统远动管理机(RTU)、计算机小室交换机、保护小室交换机、测控装置等设备来实现对 500kV 电网的“五遥”功能(遥信、遥测、遥调、遥视);另一部分是省调、网调和集控主站通过子站保护信息系统、计算机小室交换机、微机保护装置和故障录波等设备来实现对 500kV 电网的微机保护及控制功能^[44~50]。同时,继电保护信息也通过子站保护信息系统、规约转换器、RTU、传到调度和集控中心。具体远动系统架构如下图 3.3 所示。

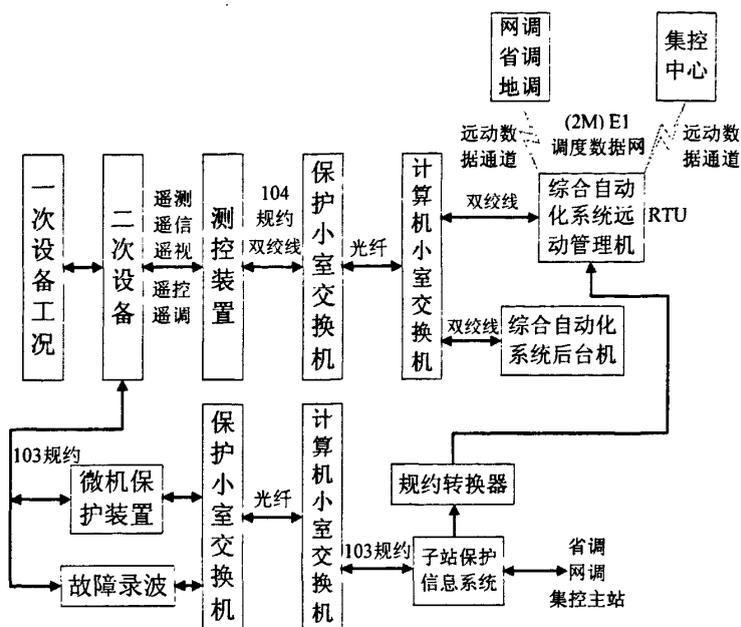


图 3.3 远动系统网络架构

在 500KV 子站内，由综合自动化系统后台机来实现站内所辖设备的“五遥”功能，此部分通信采用的是 IEC60870-5-104 规约；由子站保护信息系统来实现站内所辖设备的继电保护功能，此部分通信采用的是 103 规约。

在此远动系统通信网络设计中，采用了 SCADA 数据信道和继保数据信道分开原则，同时，继保数据作为远动数据的一部分，通过规约转换器，由子站保护信息系统传给综合自动化系统管理机，输送到集控中心和调度中心。这样，既保证了 500KV 电网系统继电保护对灵敏性、可靠性、选择性、速动性的信道要求，又保证了集控中心和调度中心对整个 500KV 电网的监控和数据采集功能。

在设计中，测控装置作为网络节点通过交换机(或交换式集线器)直接连入以太网^[37~39]，这种设计彻底改变了主站和子站之间的主从关系，并且无任何转换环节，“信息直采直送”，解决了信息传输的时间延迟和数据通信的瓶颈现象，真正实现了各个通信终端的网络平等，保证了数据传输的一致性、安全性，同时，数据传输通道也在很大程度上得到了简化，这样不仅节省了大量的设备投资，而且减少了现场的维护工作量，大大提高了实时数据传输的能力。

3.5 IED 的网络接入设计

在本设计方案中，通信是基于 TCP/IP 模式，物理层和数据链路层遵行 IEEE802.3 规约，支持 IEC60870-5-104 和 TCP/IP 技术规约，具体通信模式如图 3.4 所示。

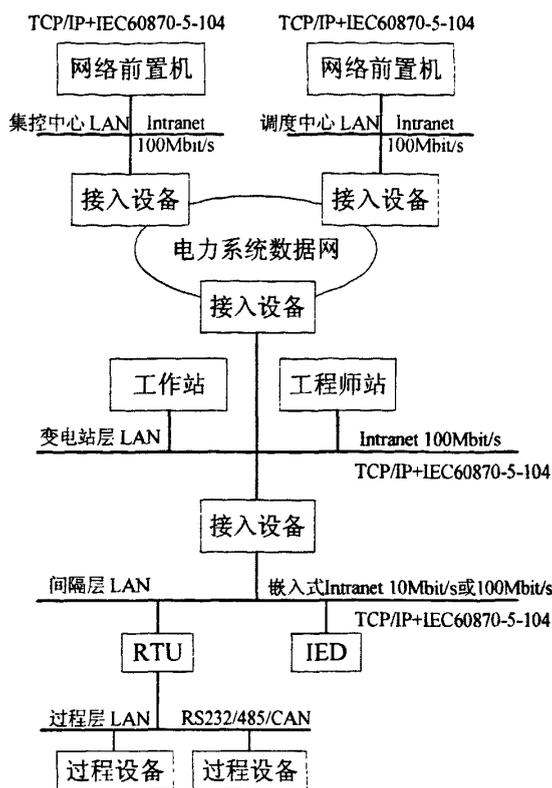


图 3.4 TCP/IP 通信模式

IED 设备要想在 TCP/IP 模式下进行通信，关键是要解决其网络接入问题。因为在传统的变电站监控系统中，IED 大多是采用 IEC60870-5-101 和 IEC60870-5-103 的通信协议，只有使其支持 IEC60870-5-104 和 TCP/IP 规约，才能真正实现监控系统数据的网络传输。

可以采用两种方法来解决这一问题，一种是采用以太网规约转换设备，IED 通过规约转换设备来实现与以太网间的互联，IED 所传输数据的封装和规约转换由转换器来完成，这种方法的缺点是系统不能对以太网进行有效控制，通信速率受限。第二种方法是开发设计支持与以太网互联并具有规约转换能力的 IED 网络互联接口，这样既可以避免串口通信的局限性，同时，IED 作为网络节点直接与互联网相连，又使得整个监控系统的组网方式变得更加灵活^[34~36]。

因此，在原有嵌入式设备的基础上开发设计以太网接口，是整个系统设计实现的重点和保证。文中以 IP2022 网络处理芯片为核心，设计实现了带有 RS485 串口的 IED 与以太网间的互联系统。该系统实现了通用异步收发机 (UART)、TCP/IP 网络协议栈和以太网驱动器外设功能，为实现 IED 与以太网间的互联提供了一个良好的软硬件平台。

3.5.1 IP2022 简介

IP2022 是美国 Ubicom 公司推出的一颗网络通信处理芯片，它的功能十分强大，利用其内部的锁相环(PLL)电路，在 4.8MHz 晶振的驱动下，CPU 的工作频率可以达到 120MHz，其大多数指令均为单周期执行，它具有能满足各种新型网络连通应用数据吞吐量要求的出色性能^[60]。IP2022 的内部结构如图 3.5 所示。

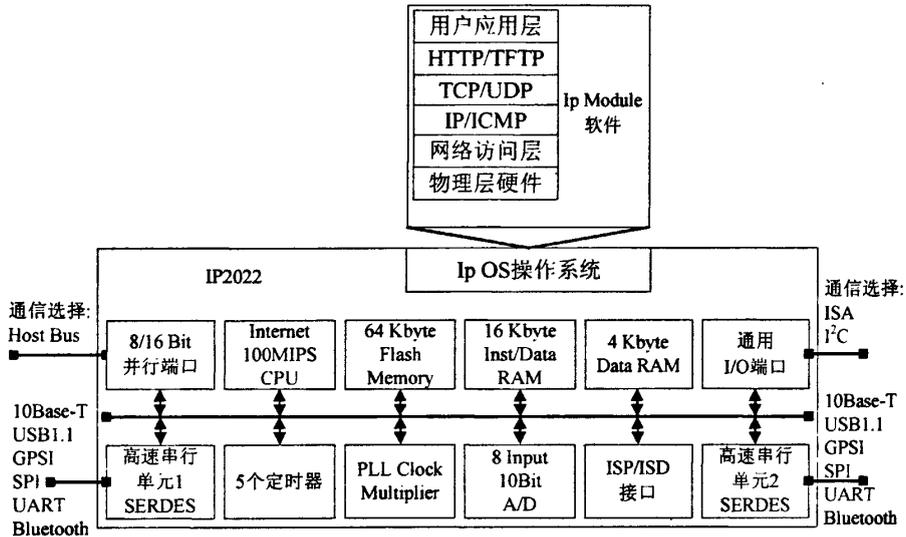


图 3.5 IP2022 内部结构框图

内含全双工串化器/解串器(Ser/Des)的 IP2022 芯片能直接与各种常用网络接口进行连接，并可实现片内 10Base-T 以太网(PHY 和 MAC)、UART 等各种快速串行协议。

IP2022 芯片是通过软件模块(ip Modules)的形式来实现外设通信和控制功能，与传统硬件相比，它具有很大的系统设计灵活性。IP2022 不仅提供有 TCP/IP 的网络协议栈，而且还具有一系列完整的端到端连通方案所必须的附加软件。由于 IP2022 内含两个 Ser/Des 部件，能十分方便地将数据从一种格式转换成另一种格式，因此 IP2022 也能做规约转换器^[58]。

IP2022 提供有包括 Ubicom 集成 IDE 和 Ubicom 配置工具在内的完善的软件开发工具。利用 Ubicom 集成 IDE 所提供的直观的用户界面，用户可以很方便进行软件工程的项目管理与最终的实现，这些用户界面主要包括项目管理器、编辑器、器件编程和调试的工具。Ubicom 配置工具可以方便地设置软件包所用的 IP2022 硬件资源，确定各软件包之间的关系，添加软件包，自动链接到目标代码。

在设计中只需使用一个 IP2022 芯片和少量的外部电路就能实现 IED 的以太

网接入。其中，ipOS 操作系统模块是专为网络应用而优化的，它是由 Uvicom 设计的可配置的嵌入式实时操作系统。ipStack 协议栈模块能提供直接的 Internet 寻址功能，它是符合现行工业标准的 TCP/IP 网络连接协议栈，在设计嵌入式网络设备时，设计人员不需要使用任何外部物理接口芯片或 PC 网关就能达到设计目的。ipUART 串口模块为用户提供了异步串口通信功能，系统在加载 ipUART 软件模块后，就具备了能够支持串口通信的异步收发(UART)能力。10Base-T 以太网物理层接口(包括 MAC 和 PHY) 功能则由 ipEthernet 以太网模块来实现。

3.5.2 基于 IP2022 的网络接口硬件设计

3.5.2.1 网络接口硬件总体结构

网络接口的硬件主要由 IP2022 网络处理器、以太网接口电路、RS485 接口电路和电源电路等部分组成。IP2022 网络处理器主要完成数据的转换和系统的控制，它是整个系统的核心部分。系统通过以太网接口电路来实现与 10Base-T Ethernet 的连接。RS485 接口电路实现系统与带有 RS485 接口的 IED 连接。系统所需的+5V、+3.3V 电源由电源电路提供。系统的硬件结构如图 3.6 所示。

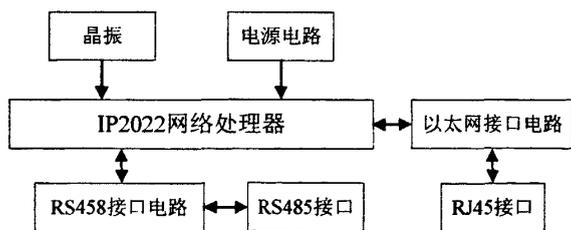


图 3.6 系统硬件结构图

3.5.2.2 RS485 接口电路

包括电子式互感器在内的 IED 设备的数字输出形式主要包括电信号和光信号两种。IEC 相关规约在对电子式电流互感器等 IED 设备数字输出的规定中指出，IED 的数字电信号传输系统必须与 RS485 标准兼容。在标准中建议使用 D 型 9 针连接器，屏蔽双绞线电缆，也可以使用带屏蔽的 RJ45 连接器代替。对于数字光信号的输出只需将输出的电信号按一定要求进行电/光转换。

RS485 标准具有良好的抗噪和抗干扰性能，适合较长距离的信号传输及多站传输，其已经成为 IED 数据传输的首选标准。在此电路设计中，采用了两片 SN75LBC184 型芯片，该芯片具有抑制瞬变电压的功能，通过将输入和输出的线路分开，使输入和输出信号互不干扰。SN65LBC184 是 SN5176 行业标准范围内的

差分数据线收发器，它带有内置高能量瞬变噪声保护装置，这种设计特点使得其抵抗数据同步传输电缆上的瞬变噪声的能力得到了显著提高。在设计中，还采用了一款逻辑电平转换芯片 74LVX4245，74LVX4245 是一种双电压（一边是 3.3V，另一边是 5V）供电的双向驱动器，实现系统内电平转换。RS485 接口电路的设计原理图如图 3.7 所示。

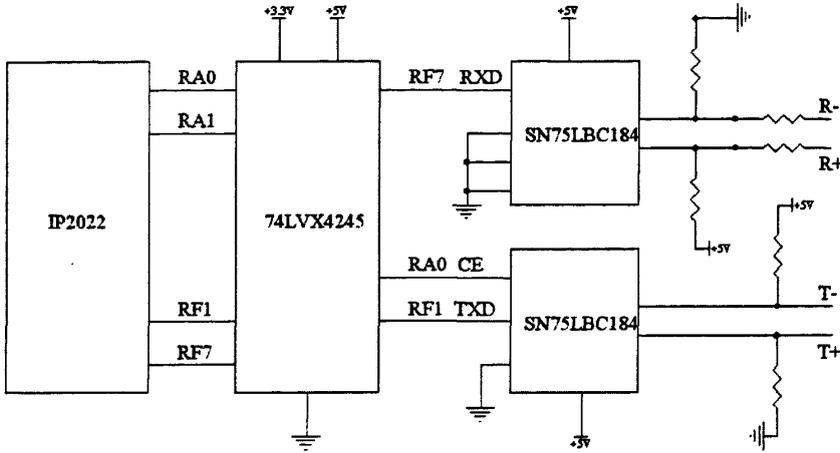


图 3.7 RS485 接口电路原理图

3.5.2.3 以太网接口电路

IP2022 芯片内含能够实现片内 10Base-T 以太网 (MAC 和 PHY) 的全双工串化/解串器 (SER/DES)。在设计外部接口电路时，通过采用 CMOS 缓冲器，将 IP2022 的输入输出信号线与网络变压器进行连接。系统的以太网接口电路的原理示意图如图 3.8 所示。

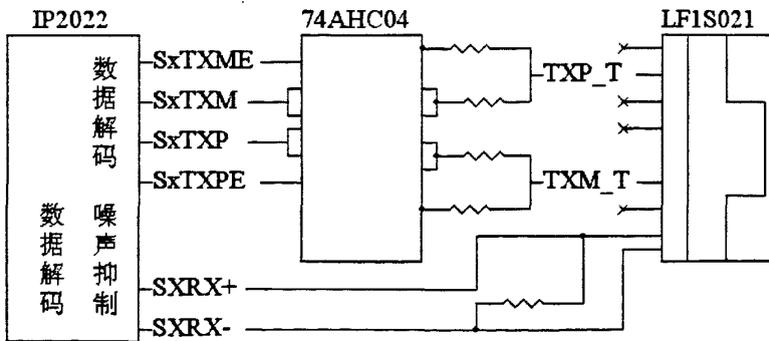


图 3.8 以太网接口电路原理图

在以太网接口电路的设计中，IP2022 的 6 根 I/O 引脚被使用，这 6 根 I/O 引脚分别与串化器/解串器相连。其中，TX 为差分发送线，RX+/RX- 为差分接收线，采用差分平衡传输模式，传输速度可达到 10Mbps。

IP2022 芯片上的 I/O 端口工作电压为 3.3V，而以太网接口的电压为 5V，在

电路中接入一个 5V 的 CMOS 缓冲器 74AHC04 可以使其两端的电压相匹配。LF1S021 是内置了以太网变压器的 RJ45 端口。其中，在 RX+和 RX-之间跨接 100Ω 的耦合电阻是为了提高通信线路的稳定性。

3.5.3 基于 IP2022 的网络接口软件设计

3.5.3.1 IP2022 操作系统 ipOS 简介

ipOS 是美国 Ubicom 公司设计的可配置的嵌入式实时操作系统，它的主要作用是优化网络应用。众所周知，执行通信网络协议的目的是为了更好地支持各种不同通信缓冲区/数据包 (Buffer/Package) 的协议层。ipOS 所采用的网络缓冲区 (Netbuf) 和数据结构除了能够很好地达到此目的之外，还可以做到最少地使用存储器。

ipOS 既支持单任务操作模式，也支持多任务操作模式。通过在配置工具中关闭多任务选项来选择单任务模式。在单任务模式下，要快速轮询调用各个物理接口和一些操作系统函数。因为在单任务模式下只有一个任务，所以必须要尽可能快地返回任何在轮询循环 (Polling loop) 中被直接或间接调用的函数，因为这些函数会对其它系统进程的继续进行造成阻碍。有一点非常重要，就是函数在等待 I/O 的情况下，不能对进程的执行造成阻塞^[59]。

3.5.3.2 软件实现

基于 IP2022 的互联接口主要是用来完成 RS485 串口和以太网之间的数据转换和传输，在拥有了以太网 RJ45 接口和 RS485 接口等硬件的基础上，在软件方面，还必须利用 IP2022 的配置工具加载 ipOS、ipStack、ipUART 和 ipEthernet 四个软件模块。

IP2022 芯片的相关应用软件是在 Ubicom 公司的 Unity 平台上用 C 和汇编语言来进行软件开发的，在 Unity IDE 的开发环境下，生成一个工程一般需要包含 3 个主要文件:entry.s, irs.s, main.c，下面对这三个文件分别进行介绍。

(1) entry.s 是引导程序代码文件，当 IP2022 上电时，它将跳到复位向量处执行引导程序代码。将 Flash 中的程序段加载到程序 SRAM 的初始端是它的主要功能；

(2) main.c 是应用程序的主体结构，主要包括配置块 (CONFIG_BLOCK) 和 main() 函数。配置块是系统配置参数的信息，存储在 IP2022 的 Flash 存储器中，它控制着 PLL 分频系数、系统时钟和其它的一些系统参数；

(3) `irs.s` 是中断服务程序，当一个异步事件发生时，对应的中断服务函数就会被执行，`timer 0` 的初始化是在主程序中完成，在文中 2 个虚拟外设的应用中，都是用 `timer 0` 来控制周期性的进程。

主函数的程序流程如图 3.9 所示。

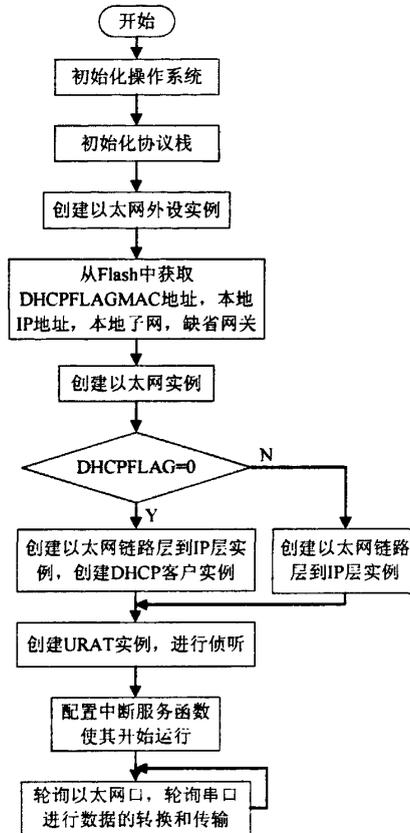


图 3.9 主程序流程图

主程序中的初始化动作主要是初始化操作系统和协议栈。初始化操作系统的作用主要是初始化系统调试支持代码、系统定时器、主要的寄存器；初始化协议栈的作用主要是初始化 IP2022 的 TCP 协议、`netbuf/netpage` 存储机制。

通过利用 IP2022 的配置工具来增加 `ipEthernet` 以太网的软件模块，设置与以太网接口相关的 IP2022 硬件端口参数，通过调用软件包 `ipEthernet` 中的函数 `ip2k_eth_instance_alloc()` 来创建虚拟外设和以太网驱动器。

通过调用软件包 `ipStack` 中的函数 `dhcp_client_instance_alloc()` 来创建 DHCP 实例，调用 `ipStack` 中的函数 `eth_ip_arp_instance_alloc()` 来创建以太网链路层到 IP 层的实例。

通过利用 IP2022 中的配置工具来增加 `ipUART` 的软件模块，设置所用的 IP2022 串口波特率、硬件端口等参数，通过调用软件包 `ipUART` 中的函数 `uart_vp_instance_alloc()` 来创建一个虚拟外设 UART，调用 `ipUART` 中的函数

uart_listen()来达到对串口进行侦听的目的。

下面是使用 UART 虚拟外设的主程序：

```
int main(void)
{
    struct uart_instance *uart;
    /*初始化操作系统*/
    debug_init();
    heap_add((addr_t)(&bss_edd), (addr_t)(RAMEND-(DEFAULT_STACK_SIZE-1)
)-(addr_t)(&bss_edd));
    timer_init();
    /*创建 UART 实例，并进行侦听。uart_recv_intr 是用户编制的回调函数*/
    uarti=echo_uart_vp_instance_alloc();
    uarti->listen(uarti, uarti, NULL, uart_recv_intr, NULL);
    /*配置中断服务函数，并使其开始运行*/
    tmr()_init();
    set_int_vector(isr);
    global_int_enable();
    /*重复循环动作，轮询 UART*/
    while(TURE)
    {
        echo_uart_vp_recv_poll(uarti);
        echo_uart_vp_send_poll(uarti);
        timer_poll();
    }
}
```

在 main() 函数中，主程序的结构很简单。首先，通过调用 3 个函数 debug_init()、timer_init() 和 heap_add 对操作系统进行初始化；然后，创建虚拟外设实例并进行侦听，侦听函数的参数是用户的回调函数 (Callback Function)；接着，设置中断服务函数并使其开始运行；最后，轮询虚拟外设端口。当轮询函数检测到端口的某种状态时，就会调用相应的回调函数进行处理。这些回调函数一般是用户自己设计的相关处理函数。

从图 3.9 中可以看出，当系统进入主循环后，首先对以太网口进行轮询，然后再对串口进行轮询，这样可以保证能够及时优先地处理从以太网口传来的指令。如果轮询到某端口有数据发送或接收，就对其数据进行规约转换和传输，具体程序流程如图 3.10 所示。

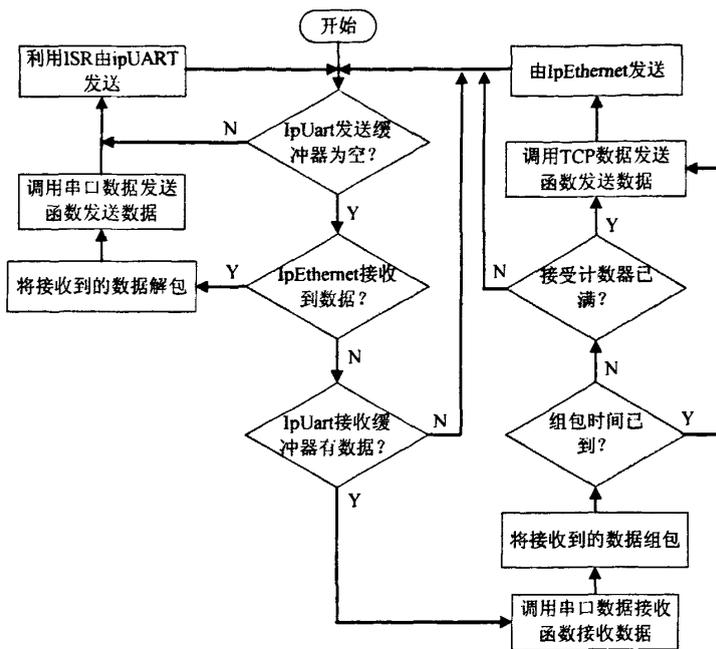


图 3.10 数据协议转换流程图

本互联接口实现了带有 RS485 串口的 IED 设备与基于 TCP/IP 协议的以太网的互联，从而实现了在集控中心对 500KV 电网的 IED 设备的远程监控，具有较高的实用价值。IP2022 模块实现了 IED 装置的低成本以太网接入。在 500KV 电网中，IED 通过基于 IP2022 的互联接口，经过网络接入设备与远动网络实现互联，从而实现“五遥”功能。在远动传输网络架构（见图 3.4）中，也可采用此设计的基于 IP2022 的互联接口来替代规约转换器，从而完成子站保护信息系统与综合自动化系统之间的通信功能。

3.6 本章小结

本章在深入研究 IEC60870-5-104、103 规约的基础上，对 500KV 电网的远动通信网进行了规划和设计，对基于网络的远动通信规约和组网技术的选择进行了分析和研究。针对 IED 网络接入的问题，本章设计了一种基于 IP2022 芯片的网络互联接口，使得 IED 与远动传输网络间实现网络互联，并对该互联接口分别从硬件和软件部分进行了设计和实现。

第四章 集控中心主要 subsystem 设计及其功能

集控中心系统采用基于冗余双网的分布式开放局域网交换技术。系统硬件和软件支撑平台在符合分布式的前提下，遵循国际开放式标准和规范。应用开发基于面向对象的应用开发体系，FES、SCADA、DTS 等主要 subsystem 是基于采用一体化设计的应用支撑平台。

集控中心系统是建立在具有实时特性的多任务、多用户、完全汉化、全图形人机界面、开放式网络结构环境之上的，并能实现功能分布和分布处理的系统、计算机工作站或服务器。系统采用以双智能快速以太网为基础的分布式网络环境，并可方便地升级，适应开放式体系结构的要求，主要设备遵循开放系统和其它国际标准。新功能的扩展可以通过增加新的计算机节点的方式来方便地实现^[51~52]。

4.1 FES subsystem

4.1.1 FES subsystem 概述

前置 subsystem (Front End System) 作为集控系统中实时数据输入、输出的中心，主要承担了集控中心与各所属厂站之间、与各个上级调度中心之间、与其它系统之间以及与集控中心内的后台系统之间的实时数据通信处理任务，也是这些不同系统之间实时信息沟通的桥梁。信息交换、命令传递、规约的组织 and 解释、通道的编码与解码、卫星对时、采集资源的合理分配都是前置 subsystem 的基本任务，其它还有象通讯报文监视与保存、站多源数据处理、为站端设备对时、设备或进程异常告警、SOE 告警、维护界面管理等任务^[5]。

4.1.2 FES subsystem 结构

FES subsystem 采集的远方数据信号通过专线通道或网络通道输送到终端服务器或路由器，此时的数据信号没有经过处理，称为生数据。由 3#、4# 网段组成绿色通道，将生数据送入数据采集服务器，处理后成为熟数据，再通过 1#、2# 网段，将熟数据送入 SCADA 服务器，成为系统数据。FES subsystem 结构如图 4.1。

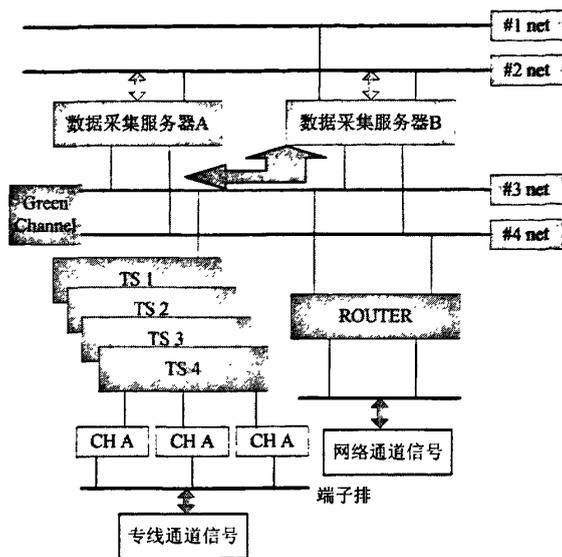


图 4.1 FES 子系统结构框图

FES 子系统结构具有如下特点：

(1) 网段分明：

数据采集网段与当地局域网网段分开，确保生、熟数据分开，使得网络畅通；减少网络干扰数据，使得网络使用效率提高；对于 3#、4#网络的管理及使用是完全透明的，并能象前置系统其它设备一样被监视且给出报告；在 3#、4#网络硬件至少有一条通路正常的情况下，绝无前置机双主机之忧，而且要求 3#、4#网络至少是 10M/100M 自适应网络。

(2) 配置灵活：

提供给用户的配置方式不再是单一的，也不会将某种配置强加给用户，而是让有能力的用户点菜吃饭。最大配置全部是双冗余的，不仅能解决所有单点故障、双点交叉故障而且能解决部分的三点交叉故障。

(3) 通讯管理：

通过网络通讯的厂站及外部接口与通过专线通讯的厂站都进入前置系统并统一处理，分工更明确，一个口子对外，数据发布具有高度的一致性及其权威性，同时方便运行管理。

4.1.3 “按口值班”运行方式

有关设备的值班和备用情况见图 4.2。

(1) 系统中配置的所有采集设备不再被人为地分成哪些是主用设备，哪些是备用设备，完全是根据各自的运行状态而动态调整。

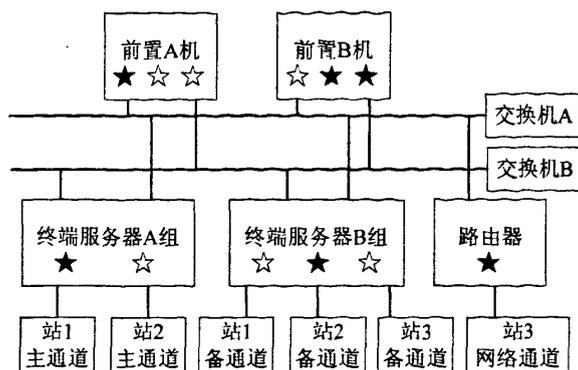


图 4.2 按口值班运行方式示意图

(2) 摒弃设备的集中或成组冗余方案，而是将采集设备细化到设备内部的各个独立端口。具体讲，系统中若有一台以上的计算机在运行，那么任一台正常运行的机器都不再同时对所有的厂站值班，而是将对所有厂站的值班权分布到几台不同的机器上；终端服务器是按冗余方式配置的，每个终端服务器往往都有 8—32 个串行端口，也不是让某一组终端服务器上的所有端口都同时值班，或者另一组终端服务器的所有端口都是备用，而是同样将值班权分配到不同终端服务器的不同端口上；通道有主通道和备通道之分，当然也不是让所有的主通道都值班，或者是让所有的备通道都备用，而是让通道运行情况较好的通道值班，另一个运行情况较差的通道作为备用。

(3) 所有运行设备的值班和备用状态都可以是动态调整的，但也支持人工调整，最好是通过人为设定条件让软件自动调整。比如某个厂站有光纤和载波两个通道，通常情况下，光纤通道的误码率总比载波通道的误码率低，如果人为固定将光纤通道设定为值班通道，一旦光纤通道中断，那么载波通道再好也无权值班；反之，如果仅将光纤通道设定为优先通道，光纤通道就能优先值班了。关键是所有设备的工作状态能受到监视，无论是值班设备还是备用设备故障了，除了决定值班权是否转移外，还要能对故障设备给出报警。

图 4.2 给出了“按口值班”工作模式下的设备值班或备用情况，明显可以看到值班设备或备用设备不是由成组设备来完成的，而是将原来成组的设备细化到一个个具体的端口，一个设备上可以有某些端口是值班的，同时该设备上的另一些端口又可能是备用的。按口值班的值班模式具有负载均衡、系统资源利用充分、备用设备得到监视、采集设备的无扰动切换、取消了传统意义上的主备机的概念等优点。

4.1.4 系统框架

系统框架主要由前置服务器、交换机、终端服务器、路由器、Modem、RTU、

GPS 等部分组成，具体如图 4.3 所示。

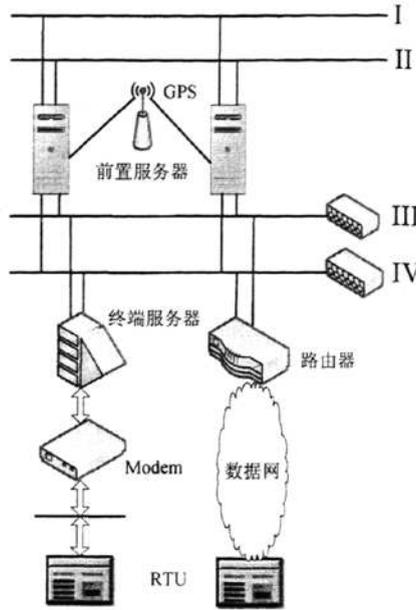


图 4.3 系统框架图

4.1.5 配置方案

(1) 前置服务器配置

系统中可以允许有多台前置服务器，具体讲可能有一台/二台/三台/四台前置服务器，下面分别就各种配置情况介绍系统运行方式：

1) 一台前置服务器

可以看成二台机器中的一台故障。此时，应能接收所有通道的能力。而且当另一台恢复时，能自动均分负荷。

2) 二台前置服务器

这个作为最佳推荐方案，最多允许接收 4 个通道/每个厂站，不采用硬件切换，全部通过软件切换。选出一个值班通道。这多个通道可以在一台机器也可以在一台机器上，但须考虑负载均衡。

3) 三台前置服务器

可以理解为四台前置服务器中的某一台服务器故障方式。

4) 四台前置服务器

为了适应有些设计方案将网络通讯与串行通道采集机器分开，其中两台服务器作为网络通讯服务器，另两台服务器作为串行通道采集服务器。这样四台服务器两两作为主备，不再做功能交叉转移。

(2) 终端服务器配置

- 1) 应选用带有双独立网口的终端服务器。
- 2) 终端服务器最好是冗余配置。
- 3) 主备通道最好接入不同的终端服务器。
- 4) 可以用带有串口模块的路由器作为终端服务器使用。

4.1.6 FES 子系统数据流程

4.1.6.1 子系统间数据流

前置子系统与其它数据采集设备和系统间的数据流向有多条路径，如图 4.4。

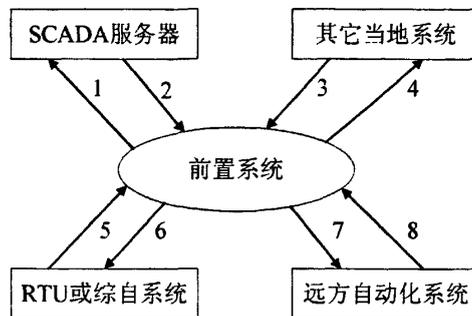


图 4.4 子系统间数据流图

(1) 数据流 1 的内容包括：传送的是熟数据

- 变化的遥信信息
- 变化的遥测信息
- 遥控返校信息
- 请求的数据回答
- 全数据刷新

(2) 数据流 2 的内容包括：

- 遥控命令（选择、执行、撤消）信息
- 遥调命令
- 特定数据召唤

(3) 数据流 3 的内容包括：

- 数据召唤
- 控制命令

(4) 数据流 4 的内容包括：传送的是熟数据

- 变化的遥信信息

- 变化的遥测信息
- 变化的工况信息
- 请求的数据回答
- 全数据刷新

(5) 数据流 5 的内容包括：传送的是生数据

- 变化的遥信信息
- 变化的遥测信息
- 分接头位置信息
- 遥脉信息
- 遥控返校信息
- 遥调确认信息
- 命令结束信息
- 时钟确认信息
- 过程信息
- 肯定确认
- 否定确认
- 请求的应用数据回答
- 请求的链路报文回答
- 全数据

(6) 数据流 6 的内容包括：

- 链路召唤
- 链路命令
- 变化数据召唤
- 全数据召唤
- 特定数据召唤
- 遥控命令（选择、执行、撤消）
- 遥调命令
- 参数命令
- 对时命令

(7) 数据流 7 的内容包括：类 6

(8) 数据流 8 的内容包括：传送的是生（或熟）数据，类 5

4.1.6.2 子系统内数据流

经远方 RTU 采集的数据通过网络通道或传统的串行通道，输送到路由器或

终端服务器，再通过交换机的数据采集网段，发送到前置终端服务器，然后通过消息总线和交换机 1# 和 2# 网段，被 SCADA 服务器接收并处理成系统数据。具体如图 4.5 所示。

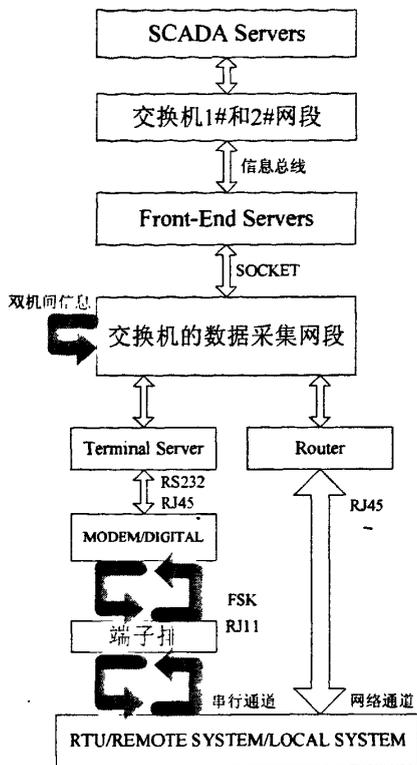


图 4.5 子系统内数据流图

4.1.7 FES 子系统主要功能

4.1.7.1 信息交换

在多个系统（SCADA 服务器、其他当地系统、RTU 或综自系统、其他自动化系统）之间进行信息传送，传送的信息可以是遥信量、遥测量、系统内部的计算量、系统的工况状态等等^[5]。

4.1.7.2 命令传递

在多个系统（SCADA 服务器、其他当地系统、RTU 或综自系统、其他自动化系统）之间进行控制、请求命令的传输，支持多种控制请求方式，支持各种网络接口，支持多种通信协议。

4.1.7.3 规约的组织和解释

按照各种规约对接收或发送的数据进行解释或组织。规约处理模块不再是一个总的模块，而是由若干个不同的规约进程独立运行。优点是各个规约间互不干扰，容易查找故障，方便添加新的规约模块。

4.1.7.4 通道的编码与解码

在按照规约进行解释和组织后再按照通道的具体通信设置进行编码与解码工作，支持通道的各种波特率、各种校验方式、支持同步模式、支持异步模式、支持模拟信号、支持数字信号。

4.1.7.5 卫星对时

与天文钟进行对时操作，并作为 XNTPD 服务的服务器进行全系统的对时，其中与天文钟的对时采用串口直接操作，将时差降到最低，确保系统的时钟与天文钟保持一致。

4.1.7.6 采集资源的合理分配

所有正常的采集资源中智能的对资源进行合理分配，多台前置机之间协调管理所有的通信值班任务，总体原则是对于同一个厂站的多个通道会被分配在不同的机器上处理，对于全部的通信值班任务按照负荷均分的原则。

4.1.7.7 通讯报文监视与保存

提供多种方式对通讯报文进行监视，同时可以预约或者同步保存。提供对报文的报文翻译、对总召唤、对时的手动秩序、对固定报文的自动查证、对校验码的人工校验等等。

4.1.7.8 站多源数据处理

对站多源进行处理，合理分配，按具体工作状态选择最合适的站数据，更具每一个站的具体通信状态进行自动或人工干预进行选择。

4.1.7.9 为站端设备对时

以站端为单位，对每一个站端设备进行自动或人工对时，对时的精度按照所选择规约可以各有不同。

4.1.7.10 设备或进程异常告警

对 FES 系统中的运行设备和核心进程进行实时的监控，提供实时报警服务，当主要进程故障或异常时自动进行任务转移，同时告警。

4.1.7.11 SOE 告警

对站端的 SOE 信号，直接告警，上告警窗，登录告警历史库。减轻了 SCADA 的负担，分摊了系统的负载。

4.1.7.12 维护界面管理等任务

对 FES 系统提供全方位的维护界面和管理，确保每一个过程全部透明，突出个性化及通用化的特点，确保对系统的生成、维护、监视都有友好的界面，确保所有操作都方便、明了、易操作。

4.2 SCADA 子系统

4.2.1 SCADA 子系统概述

实时监控子系统（SCADA）是集控系统的最基本应用，接收前置子系统（FES）送来的实时数据，实现完整的、高性能的实时数据监控与处理，为 EMS 其它应用提供可靠的数据服务。SCADA 应用利用系统软件支撑平台提供的服务，主要实现以下功能：数据处理、数据计算与统计考核、控制和调节、事件和告警处理、拓扑着色、趋势记录、事故追忆（PDR）及反演、人工操作、集控功能等。

南瑞 OPEN-3000 的 SCADA 子系统实现了 SCADA 概念升级，突破了传统的“面向测点”、“面向设备”的数据监控方式，采用“面向网络”的实时数据监控方式，有利于系统实现更多的全自动计算与分析功能，如动态拓扑着色、自动旁路代、自动平衡率计算、操作防误等，大量减少了维护工作量。SCADA 子系统创新性地应用了站多源与点多源相结合的多数据源设计，既可以面向厂站、按厂站切换、避免重复建立设备和测点，也可以面向测点、采用事前触发处理技术，保证数据处理的时效性。

子系统采用数据保险箱机制，保证了 SCADA 应用服务器主备切换时实时数据不丢失。全景 PDR 功能可以全面地保存电网事故状态，真实、完整地反演电网事故过程，再现当时的电网模型、运行方式及事件，作为网络分析的数据基础。SCADA 子系统提供集控系统所需的信息分层、责任分区、间隔处理、操作防误与闭锁、保护与故障信息处理等功能。调度/集控一体化设计有效地减少了用户的投资及维护工作量^[54]。

4.2.2 SCADA 子系统技术特点

所采用的南瑞公司 OPEN-3000 的 SCADA 子系统已经不再是传统概念上的 SCADA。它经过了从传统 SCADA（面向测点）到 OPEN-2000（面向设备）再到 OPEN-3000（面向网络）的两次重大的概念升级，尤其是 OPEN-3000 系统对 SCADA 的概念升级使得 OPEN-3000 的 SCADA 与传统的 SCADA 有了本质上的飞跃。

OPEN-3000 的 SCADA 是面向网络（模型）的。传统观念认为只有 PAS 需要网络，其实随着 SCADA 功能要求的不断提高，在没有网络的情况下很多功能虽然能够做到但很费事或者需要用户的大量定义与维护，而如果有了网络，这些功能都可由软件轻松地实现自动处理且不需要用户进行繁琐的数据定义。在 OPEN-3000 的 SCADA 中，由于有了网络，自动旁路代可以自动由软件完成，动态拓扑着色则是与 PAS 的软件模块共用相同的算法，平衡率计算也由软件自动完成，防误操作也有了可靠的拓扑基础，所有这些工作都不需要用户进行任何特殊的定义^[35]。

在面向网络的前提下，OPEN-3000 的 SCADA 能够做到更多的全自动的计算与分析功能。

4.2.2.1 多数据源设计

多源数据是指对于实时数据库中的某一数据点拥有多个数据来源。它有两层含义，其一为对于某一厂站的同一测点，由不同数据通信方式（常规 RTU、变电站综合自动化、网络 RTU、与外部系统通信）获取的数据；其二为状态估计、操作员置数等软件或人工操作产生的数据。

同一测点的多源数据在满足合理性校验后按照人工定义的优先级存放（优先级的次序可由用户灵活设置），经判断后将最优数据放入实时数据库中，提供 SCADA/EMS 系统的各个应用功能使用。可人工指定最优源。多源数据的处理可应用到画面显示、报表和相关系统的数据交换。同一测点不同方式获得的数据，在数据库和画面显示、报表中有区分标志。同一测点的多源数据满足系统维护上的可观测要求。

多源数据的处理并不复杂,关键在于如何对测点进行多源数据的定义及其应用效果。通常的多源数据处理方式设计中,对于多源数据的测点往往需要进行重复定义,会给用户的维护带来重复的工作量。比如 A 厂站有一路 RTU 直收的信号,同时还有一路由其它系统转发过来的信号,为直收的 RTU 信号需建立一套设备和测点,而为转发而来的信号往往又要建立一套设备或测点。

为了避免上述问题,除了通常的按测点的多源数据处理方式外,还设计了避免建立重复设备和测点的按厂站处理多源数据的方式:

(1) 点多源技术:以测点为对象,在数据库中预定义该测点的相关来源数据及优先级,在接收实时数据的同时根据测点的数据质量码选优,将最优数据放入实时数据库,即事前触发处理技术,而不是常规的事后周期判断的处理方式,有效地提高了数据处理的时效性。

(2) 站多源技术:对于某厂站有多路信号来源的情况,比如有两路主备直收的信号、一路网络来的信号、一路其它系统转发来的信号,只需要建立一套设备和测点,在接收信号时根据各路信号的质量判断使用哪一路的结果。另外,由下级转发来的信号在很多情况下是多个厂站合并成一路信号,无法直接按上述办法简单处理,在 OPEN-3000 中又设计了虚拟站多源技术,将这样的转发信号逻辑上拆分成多路转发信号,分别与相应的厂站直收信号进行站多源技术处理。OPEN-3000 创新地应用了站多源与点多源相结合的多数据源设计,有效的减少了用户的维护量,提高了多源数据处理的效率。

4.2.2.2 全景 PDR

OPEN-3000 系统具备全部采集数据(模拟量、开关量等)的追忆能力,可以全方位地记录、保存电网的事故状态,并且能够真实、完整地反演电网的事故过程,即使电网模型已经发生了很大的变化也能够真实地反映当时的情况。

(1) PDR 的启动

正常情况下,OPEN-3000 系统将在磁盘文件系统和数据库中循环记录 PDR 所需的数据和 EMS 系统的断面,存储区域满足 24 小时循环记录数据的容量需求。每个 PDR 记录包括触发事件发生前后预定义时间(区间可调,最大不超过 2 小时,即前 1 小时,后 1 小时)的全部数据和当时的场景。

OPEN-3000 系统本身没有对 PDR 记录的个数作限制,因而如果数据库容量充裕的话,系统具备保存足够多的 PDR 记录的能力。用户可按照常规的 PDR 方式,触发记录 PDR 数据,即:扰动数据记录通过检测到一些预定义的扰动触发条件或调度员请求自动触发。也可在事故发生后 24 小时内,由人工启动 PDR 记录(人工启动 PDR 记录必须输入事故发生时间)。

(2) 事故反演

OPEN-3000 系统使用研究态实现全景 PDR 重演。在研究态下，系统根据给定的 PDR 时刻自动匹配并调出相应的系统模型断面，再调出事故发生前的数据断面以重构当时的场景，在此基础上反演当时发生的事件序列，并由用户控制反演的进度。PDR 数据能在 CRT/LCD 上重放整个事件过程，并能以单线图/表等多种方式重新显示扰动数据的变化。PDR 能够以设定的刷新周期在图形上一步一步重新显示，并能由操作员任意控制，如下图 4.6 所示。



图 4.6 事故反演

PDR 重演不仅逼真再现当时的电网模型与运行方式，而且具有实时运行时的全部特征，包括告警信息的显示、语音、推画面等，并可在此基础上进行网络分析（如状态估计、调度员潮流等），所以称为全景 PDR。

4.2.2.3 调度/集控一体化

SCADA 子系统设计时充分考虑了集控侧需求，提供了适应集控系统所需的信息分层、责任分区、间隔处理、操作防误与闭锁等多种功能。调度/集控一体化设计有效的减少了用户的投资及维护量。

4.2.2.4 数据保险箱

结合平台支撑软件提供的服务，通过完备的切换机制，确保在 SCADA 主备服务器切换时不影响数据采集、不丢失数据。

4.2.3 SCADA 子系统数据流程

4.2.3.1 子系统间数据流

子系统间数据流具体参考图 4.7。

SCADA 子系统与 FES 子系统通过支撑平台的消息总线交互数据，按照功能及类型主要划分为四类数据通道：

(1) 上行实时数据通道：遥测、遥信、遥脉等实时数据，FES→SCADA；

- (2) 上行控制数据通道：遥控、遥调返回信息，FES→SCADA；
- (3) 下行实时数据通道：实时数据召唤请求，SCADA→FES；
- (4) 下行控制数据通道：遥控、遥调请求数据，SCADA→FES。

客户机（不仅是工作站，还包括其他应用如 AGC、AVC 等，从 SCADA 的角度来看，也相当于客户机）与 SCADA 子系统主要通过两种方式交互数据：通过 CORBA 中间件交互数据及通过消息总线交互数据。其中，消息总线方式主要可划分为两类数据通道：

- (1) 操作数据通道：操作信息，如人工置数、遥控等；
- (2) 变化数据通道：实时数据，SCADA 处理后的变化数据发送至该通道，客户机可从消息总线需要获取该类数据。

通常情况下，系统有两台 SCADA 服务器（不限于两台，最多支持十六台），以互为热备用的方式运行。主备服务器的数据来源是一致的，处理的任务也基本一致。

主备服务器处理任务的差异主要有两点：

- (1) 告警任务一般由主服务器提交至平台的告警服务；
- (2) 写商用库任务一般由主服务器提交至平台的数据库服务。

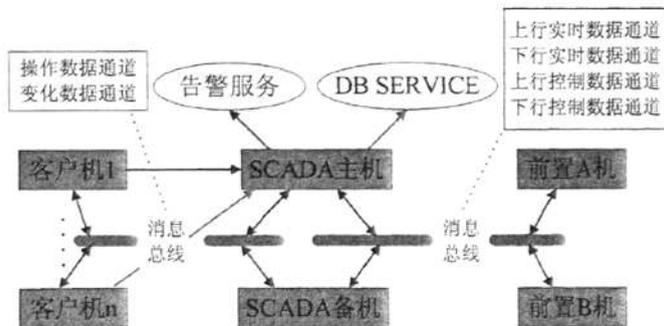


图 4.7 子系统间数据流

4.2.3.2 子系统内数据流

子系统内数据流具体如图 4.8 所示。

SCADA 子系统以实时库为中心，将多种类型的实时数据保存至实时库，主要有如下三类：

- (1) 实时数据：接收 FES 子系统送出的实时数据，保存至 SCADA 实时库，主要有遥测、遥信、遥脉三类；
- (2) 计算统计数据：根据指定的计算类型和统计类型，将处理的结果保存至 SCADA 实时库，如公式计算、极值潮流统计等；
- (3) 操作数据：人工操作数据，如人工置数、人工封锁、挂牌等。

SCADA 实时库与商用库之间主要通过如下两种方式联系：

(1) 数据下装：通常在 SCADA 应用启动时，需从商用库下装相关的表至服务器，建立 SCADA 实时库；

(2) 数据采样：通过采样服务，保存历史数据。

另外，SCADA 子系统还提供了基于历史库的计算与统计功能。对应数据的查询，分为实时查询及历史查询两类，分别从相应的数据库中获取。

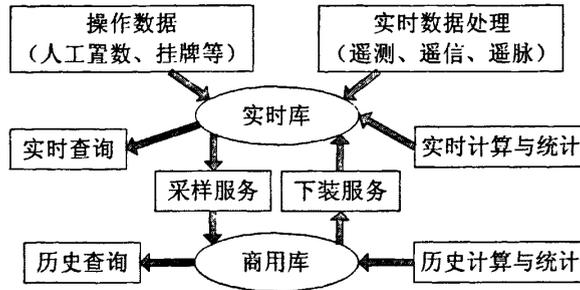


图 4.8 子系统内数据流

4.2.4 SCADA 子系统主要功能

4.2.4.1 遥测处理

遥测是电力系统远方监视的一项重要内容。从厂站采集的遥测数据，是计算量及其它高级应用的基础。历史数据采样和实时数据追忆，都必须依赖准确可靠的实时遥测数据。遥测量具有多种质量标志。

前置 (FES) 服务器从厂站端 (RTU) 获取数据，经过初步处理，然后通过消息总线送至 SCADA 服务器，由 SCADA 遥测处理模块进行后续处理，主要功能如下：

- (1) 合理性检查：滤除无效数据，并给出告警，提示出错原因。
- (2) 更新实时库：接收前置报文，更新本地实时库，这是最基本的功能。
- (3) 跳变处理：当数据的变化超过指定范围时，给出告警，并可启动 PDR。
- (4) 旁路代处理：当使用旁路开关时，可自动或人工用旁路的量测替代被旁路代运设备的量测；在设备开关恢复运行时，可自动或人工将相关代路状态还原。
- (5) 对端代处理：在线路量测不正常时，可自动或人工用线路对端的量测替代；在线路量测恢复正常时，可自动或人工将相关替代状态还原。
- (6) 点多源处理：一个遥测有多个来源，在数据库中存在多份定义，系统可根据各来源优先级和数据质量进行数据的优选。可利用点多源信息表定义点多

源遥测的各来源，其中优先级高的排在前面，并可人工选择某个来源。用户可利用数据质量信息表自定义数据质量的优先级，只需设置“多源优先级”域，数值越大，优先级越高。此外，用户还可通过画面查看各来源实时数据及人工选择某个源值。

4.2.4.2 遥信处理

电力系统中的遥信数据处理是很重要的数据处理，遥信值及其状态是系统其它数据处理的基础，也是系统可靠运行的关键，准确、及时、不丢失变位信息是遥信处理的核心。遥信量具有多种质量标志。

前置（FES）服务器从厂站端（RTU）获取数据，经过初步处理，然后通过消息总线送至 SCADA 服务器，由 SCADA 遥信处理模块进行后续处理，主要功能如下：

（1）合理性检查：滤除无效数据，并给出告警，提示出错原因。

（2）更新实时库：接收前置报文，更新本地实时库，这是最基本的功能。

（3）变位处理：收到前置送出的遥信变位信号后，形成告警信息并保存至历史库。

（4）双位遥信处理：在厂站端，一个开关对应应有常开、常闭两个节点，本系统称之外主、辅节点。对双位校验错误的遥信形成遥信坏数据告警；对双位校验正确且在指定时间内（可自定义）同时收到的变位则按普通变位处理；对双位校验正确且在指定时间范围外先后收到的变位，则分别形成主、辅遥信变位告警，以区别正常的变位。

（5）事故判断：根据事故总信号、保护信号及开关状态判断开关是正常分闸还是事故跳闸，并可启动 PDR。

（6）数据保险箱：确保遥信变位信号在 SCADA 主备服务器切换期间不丢失。

（7）其他处理：对非 RTU 上送而由前置系统判断形成的变位则形成特殊变位告警，以区别于正常的变位；对遥信抖动产生的变位形成误遥信变位告警，以区别于正常的变位；自动统计开关变位次数及事故变位次数，超过指定次数（可自定义）给出告警提示。

4.2.4.3 计算与统计

在 SCADA 中，经常要通过现场采集的实时量计算系统需要的实时数据，比如系统总加、关口数据等。为满足用户多种多样的计算要求，OPEN-3000 提供了强大的计算功能。计算功能具备丰富的运算符、运算函数以及可自定义函数、公式，计算包括数学计算、逻辑计算、统计计算、任意组合的计算公式、时间转换

子例程等^[35]。计算功能主要包含：

- (1) 周波及电压合格率计算
- (2) 最大值、最小值、最大值出现时间、最小值出现时间、平均值统计
- (3) 负荷率计算
- (4) 总加计算
- (5) 积分计算
- (6) 有载调压变压器档位计算（包括 BCD 码或其他方式档位计算）
- (7) 负荷超欠值计算
- (8) 功率因数计算
- (9) 平衡率计算
- (10) 电流有效值计算
- (11) 旁路代计算

实际应用中的主要计算功能说明如下：

1. 电度计算

电度计算分为硬电度与软电度计算。硬电度为系统直收的脉冲值；软电度由系统的量测实时值积分计算而得。软电度算法可分为梯形与矩形算法两种积分方式。软电度的计算周期可自定义（最小 5 秒）。服务进程根据计算周期将所计算的正负电度保存至采样库，采样方式为触发式采样。

2. 极值潮流计算

根据遥测定义表中“是否统计”生成极值统计相关记录，系统统计需要监测的量测极值以及相应出现的时间。极值包括日最大值、日最小值、月最大值、月最小值、年最大值、年最小值。极值与极值潮流回顾结合可显示需要查看的极值数据。极值潮流计算提供过滤遥测值的突变数据，有如下两种方式：

(1) 设置极值潮流的上下限值，范围之外的值被过滤；

(2) 设置极值潮流的基值与变化率限值，如果遥测值变化率大于基值与变化率限值的乘积，该值被过滤。过滤信息提交至告警服务并保存至历史库，用于事后查询。

3. 限值计算

根据遥测定义表中“是否限值”生成限值相关记录，处理该遥测点是否越限，存在越限形成告警，登录历史库，如果该遥测点为遥测封锁状态，则不进行越限处理。系统最多可设置四组限值，设置限值组数决定该遥测存在几组限值。限值判断原则是先判断最低限值下限，逐次判断紧邻下限，然后判断最高限值上限，同样判断紧邻上限。限值可触发事故，通过事故定义界面定义越限触发事故。限值计算存在简单与延时计算两种方式：

(1) 简单算法：读取遥测值与限值进行比较判断。

(2) 延时算法：存在两种条件，遥测值不进行越限处理，其一是判断时间与上次越限时间小于该遥测值定义的延时时间；其二是遥测值在上限与越上限范围之和或下限与越下限范围之差范围之外。限值类型有无动态限值、时段限值与曲线限值三种，缺省值为无动态限值。

4. 动态限值计算

限值表的限值类型有无动态限值、时段限值与曲线限值三种，时段限值与曲线限值为动态限值：

(1) 时段限值：根据时段表的定义，通过限值定义表设置不同时段的限值（系统最大可设置八个时段限值）；

(2) 曲线限值：根据限值表相关计划值 ID，获取计划值的限值作为该遥测值的限值。

以上两种限值都是针对限值表的第一上下限。

5. 公式计算

用户可利用公式定义专用界面（formula_define）在公式定义表定义所需的公式。

(1) 公式计算启动时间、公式计算周期（最小 1 秒）、公式计算优先级可自定义；

(2) 公式计算支持多应用；

(3) 公式计算结果在指定时间范围不变化可告警。

6. 特殊计算

适用于算法特殊且固定的计算，在特殊计算表定义：

(1) 档位计算：按特殊计算表的 $ID1*1 + ID2*2 + ID3*3 \dots ID*$ 为 $ID*$ 域的断路器分合状态， $ID*$ 的数目由来源数目决定。

(2) 功率因数计算：根据实时有功值、无功值计算。

7. 稳定断面监控

用户可利用稳定监控公式定义专用界面（online_formula）在稳定监控公式定义表定义所需的公式。

(1) 需定义条件公式、实际值公式、限值公式、告警门坎等。

(2) 仅计算满足条件的公式，对于不满足条件的公式则保留上次计算结果。

(3) 越限告警，分临界越限、越限两种。

8. 设备越限

对母线、线路、变压器、发电机四类设备进行越限判断，并通过电压等级、有功、无功计算出旁路开关、线路、变压器、发电机四类设备无实测的电流值。数据库中需定义设备限值，具体如下：

(1) 母线：电压上限、电压下限；可形成电压越上限、电压越下限告警；

(2) 线路：电流正常限、电流事故限；可形成电流越正常上限、电流越事故上限告警；

(3) 变压器：额定功率、功率事故限、有功正常限、有功事故限、无功正常限、无功事故限；可形成有功越正常上限、有功越事故上限、无功越正常上限、无功越事故上限、功率越正常上限、功率越事故上限告警。

(4) 发电机：有功正常上限、有功正常下限、无功正常上限、无功正常下限；形成有功越正常上限、有功越正常下限、无功越正常上限、无功越正常下限告警；

此外，还可查看设备越限信息表获得当前所有的设备越限信息。

9. 区域统计

用户可利用统计区域专用定义界面 (area_manager) 定义统计区域及设备的区域属性。一个设备可以属于多个统计区域，设备所属哪些统计区域体现在数据库相关设备表中的如下四个域：所属统计区域一、所属统计区域二、所属统计区域三、所属统计区域四。计算程序对发电机和变压器相关的量测进行处理，在统计区域定义表形成的最终的统计结果：发电有功、发电无功、发电容量有功、发电容量无功、发电能力有功、发电能力无功、发电有功裕度、发电无功裕度、用电有功、用电无功。相应的统计规则如下：

- (1) 发电有功=该区域所有发电机组的实时有功出力之和；
- (2) 发电无功=该区域所有发电机组的实时无功出力之和；
- (3) 发电容量有功=该区域所有发电机组的有功功率容量之和；
- (4) 发电容量无功=该区域所有发电机组的无功功率容量之和；
- (5) 发电能力有功=该区域当前所有运行机组的有功功率（最高技术出力）之和；
- (6) 发电能力无功=该区域当前所有运行机组的无功功率之和；
- (7) 发电有功裕度=该区域发电能力有功-该区域发电有功；
- (8) 发电无功裕度=该区域发电能力无功-该区域发电无功；
- (9) 用电有功=该区域所有变压器有功之和+该区域所有发电机有功功率之和；
- (10) 用电无功=该区域所有变压器无功之和+该区域所有发电机无功功率之和。

4.2.4.4 画面操作

SCADA 子系统的画面操作是指在图形浏览器 (Gexplorer) 界面上、SCADA 应用下的右键菜单操作。一般分为通用菜单操作和各图元右键菜单操作。

4.2.4.5 拓扑着色

“拓扑着色”可以将每个设备当前的带电状况通过颜色直观地显示在厂站接线图上。其中，主电气岛内正常状态的设备显示电压等级色，非正常状态的设备显示非正常状态色（在色彩配置器中预先设定），电气子岛显示该子岛的色彩（预设），停电岛显示停电岛的色彩（预设）。从而，用户可以直观地从图形显示上了解整个电网的运行状态。在图形浏览器界面上，打开厂站接线图，然后，点击“拓扑着色”按钮，接线图将根据拓扑结果，显示主岛、子岛以及停电岛。

4.2.4.6 事故追忆与反演

系统具备全部采集数据（模拟量、开关量等）的追忆能力。完整、准确地记录和保存电网的事故状态。

1. 事故追忆的主要功能

- PDR 采用先进的记录报文的方式。

- PDR 自动存储事故前后的必要的电力系统数据和结线方式，数据和图形保持一致。

- 系统采用大容量的商用数据库存储管理 PDR 数据，PDR 具备同时记录多重事故记录的功能。

- PDR 由定义的事故源起动的，也可由人工触发 PDR 记录。

事故源可由用户定义，其类型可以为：开关量的变位加事故总信号动作；开关量的变位加相关保护信号动作；开关量的变位；频率、电压及其他数据越限或跳变；用户指定的其他事故源定义方式。

- 可以单线路、网络图、方框图、曲线、图表等方式重演 PDR 数据。

- PDR 具备重演及局部重演功能，重演时具有事故发生时的所有特征如报警、静态图等。

2. 事故反演功能

用户可以通过任意一台工作站进行事故重演，同时，可以允许多台工作站进行事故重演。进行重演的工作站，可以同时运行实时画面。用户通过专门的重演控制画面，在已经记录的各个时段电力系统状态中，选择已经记录的各个时段中的任何一个小的时段作为重演的对象（局部重演）。用户可以设定已选定的小时段中任意一个时刻，作为重演的起始时间。用户可以设定重演的速度。用户可以随时暂停正在进行事故重演，可以再继续进行，也可重新选定一个小时的电力系统状态作为新的重演对象，并可重新设定重演的起始时间及重演速度。

4.2.4.7 极值潮流统计与回顾

系统可实时统计预定义的量测极值及发生时间，并提供专用界面用于统计指定时间段的极值并可调出当时的数据断面。

(1) 极值潮流统计

- 统计指定量测的极大值及发生时间、极小值及发生时间；
- 是否保存极值发生时间的数据断面可自定义；
- 日统计结果保存至历史库；
- 专用界面可查询任意日的极值统计信息，并可统计任意时间段（最小单位为日）的极值及发生时间。

(2) 极值潮流回顾

类似于事故反演，用户可以通过任意一台工作站进行极值回顾；同时，可以允许多台工作站进行极值回顾。进行极值回顾的工作站，可以同时运行实时画面。

4.2.4.8 集控功能

(1) 责任区管理和权限管理

可通过专用界面在线定义及管理责任区域。可按厂站及电压等级划分责任区，系统每个设备可以对应一个或多个责任区，每个节点对应一个责任区。通过平台统一的权限管理工具可对每类操作设置权限，为每个用户分配具体的权限。相应的，用户只能对管辖范围内的设备进行指定权限的操作^[56~57]。

(2) 信息分层处理

所有的实时信息根据责任区的定义发送到系统相应的节点，提高网络的效率，实现信息的分层处理。

(3) 间隔处理

通过平台的支撑软件可方便的定义间隔及相关信息，并可在画面上快速查询间隔信息，提供多种实用的间隔操作功能，如间隔挂牌、间隔告警抑制等。

(4) 多种遥控方式

普通遥控：选点->预置->执行。

直接遥控：选点->执行，预置可由软件自动完成，不需干预。

单席操作：无需监护

双席操作：需监护员确认，可灵活定义监护节点。

单点遥控：在画面上选择一个点控制。

多点遥控：在画面同时选中多个点，逐一控制。

顺控：按预定义的顺序连续执行或由操作员逐步执行多个遥控。

群控：与顺控类似，有所不同的是群控没有顺序依赖的要求。

其他：用户所需的其他方式。

4.2.5 湖南超高压集控中心 SCADA 界面结构

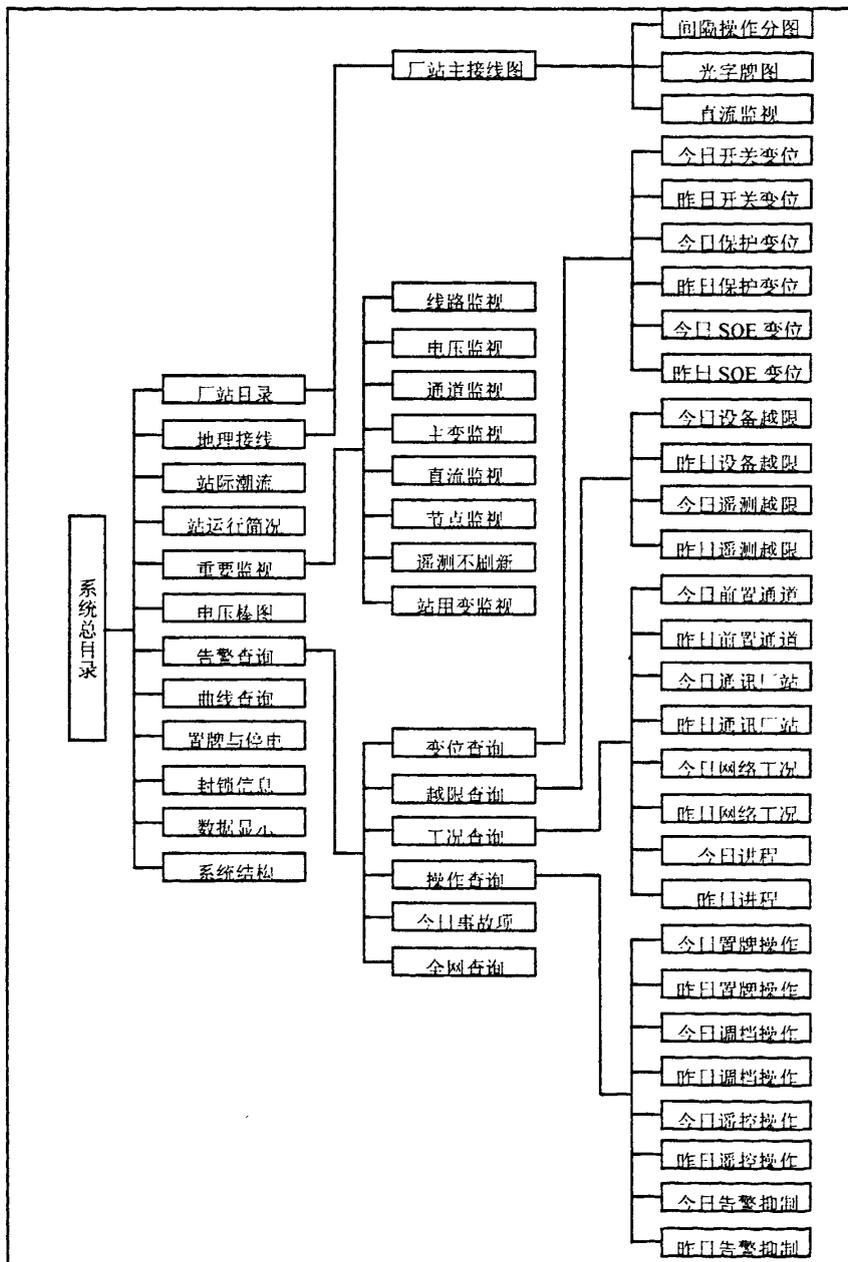


图 4.9 SCADA 界面层次结构图

4.2.5.1 常用界面

1)地理接线图。图形浏览器的默认初始界面，可直接进入各变电站的厂站接线图。

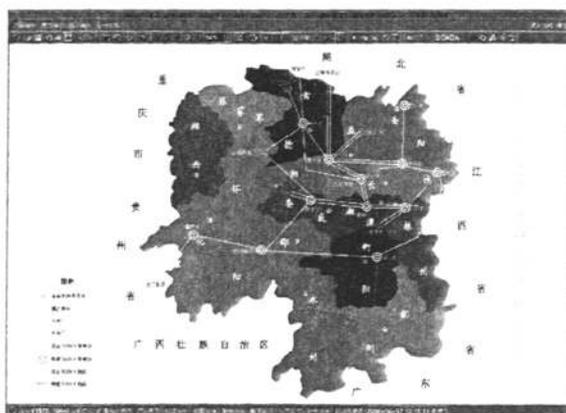


图 4.10 地理接线图

2)系统总目录。图形浏览器最上层界面，可进入其它所有界面。



图 4.11 系统总目录

3)厂站目录。可进入各变电站的厂站接线图，并可观察通道的通断情况。



图 4.12 厂站目录

4) 站际潮流图。用于观察湖南省 500kV 电网的潮流变化情况，以及全省所有 500kV 线路的负荷情况。

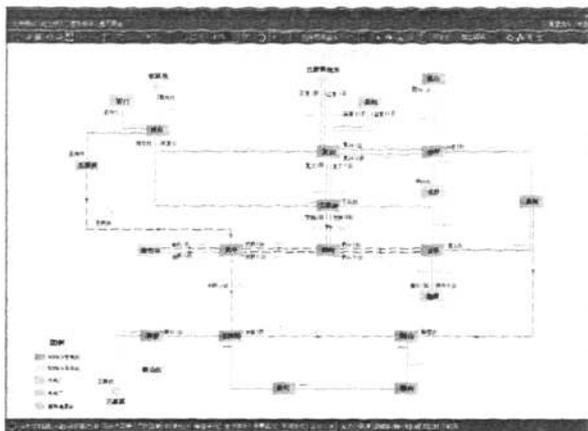


图 4.13 站际潮流图

5) 站运行简图。用于快速观察各变电站断路器的分/合情况。

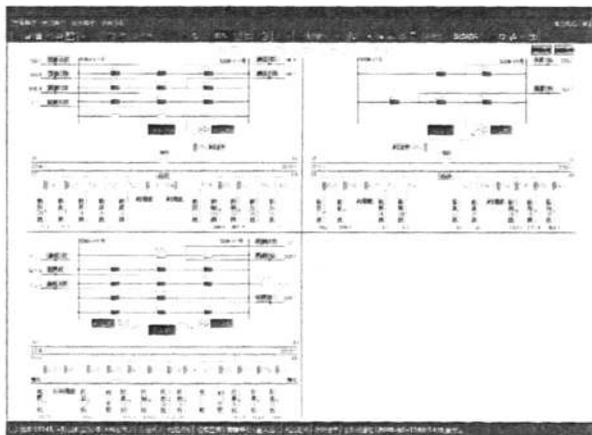


图 4.14 站运行简图

6) 电压棒图。用棒状图显示各变电站 500kV 和 220kV 母线电压情况。



图 4.15 电压棒图

4.3 DTS 子系统

4.3.1 DTS 子系统概述

调度员培训系统（DTS）是培训调度员的最佳工具。它能模拟电力系统的静态和动态响应以及事故恢复过程，使调度员在实际控制中心完全相同的调度环境中进行正常操作、事故处理及系统恢复的培训，掌握 EMS 的各项功能，熟悉各种操作，在观察系统状态和实施控制措施的同时，高度逼真地体验系统的变化情况。DTS 还能够进行电网运行方式的研究和制定，继电保护和安全自动装置整定配置的研究^[53]。

DTS 系统主要由数字化仿真电网、模拟监控中心、DTS 教员台和 DTS 学员台等几大部分组成。其中，模拟监控系统与实际 EMS 中的实际监控系统是完全镜像系统，DTS 系统与 EMS 系统运行在同一平台上，DTS 系统可作为 EMS 系统的备用调度中心。DTS 系统总体结构如图 4.9 所示。

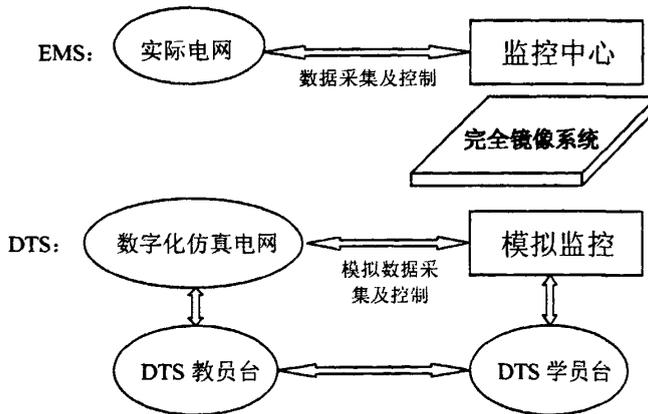


图 4.9 DTS 系统总体结构

4.3.2 DTS 主要特点

DTS 由三个功能模块构成。其核心部分是电力系统仿真模块 PSM（Power System Module），它包括了电力系统元件和控制装置模型、电网模型以及 SCADA 系统中的数采子系统模型。控制中心仿真模块 CCM（Control Center Module）由除数采系统外的 SCADA/EMS 系统的所有软件组成。教员控制功能模块 ICM（Instructor Control Module）包括培训前准备、培训中操作控制、培训后评估等功能。ICM、PSM、CCM 三者之间的关系是 ICM 向 PSM 提供各种模型及参数、初始潮流和事件表，启动 PSM 运行，PSM 的仿真结果以 RTU 格式送至 CCM，CCM

将学员的操作控制命令以 RTU 格式送至 PSM 并告知 ICM，改变 PSM 运行条件；学员的电话控制命令则由教员在 ICM 侧完成，教员可以临时在事件表或厂站图上增加事件。DTS 系统的主要特点如下：

1. 和 EMS 使用相同的支持软件，共享网络数据库和画面资源。

2. DTS 三个功能模块可以在两台机也可以在三台机上运行，也可借用 EMS 平台上的其他应用节点执行。支持学员和教员背对背培训和学员自我培训。支持多学员台和多教员台进行联合协调培训。

3. 除电力系统静态仿真功能外，还提供电力系统短、中、长期动态全过程仿真，三期之间的转换是自动的、连续的、平滑的，短中期仿真接近实时，仿真计算用时间和电力系统被仿真时间之比小于 3，全动态过程仿真达到实时。支持多岛计算，可仿真发电机的解并列、系统振荡。

4. 电力系统元件模型齐全，发电机有二阶到五阶模型任选。励磁调节器、调速器、汽机、锅炉、水轮机有多种模型可选，还有抽水蓄能、燃气轮机和核电机组模型，直流输电模型。

5. 继电保护仿真提供逻辑判断和电气量参数比较两种方式，安全自动装置模型齐全，有 RTU 数采系统模型。

6. 用户可在画面上方便地选择要连续记录、显示和打印的任意动态仿真数据，记录内容可用曲线、表格、角度图等形式显示，还提供监视同期合闸用的同期表。

4.3.3 DTS 系统的设计原则

1. 实用性

系统总体功能和各模块的具体功能都按照用户的要求设计，操作界面和操作方式均由最终用户——调度员裁决。

2. 真实性

DTS 能逼真地再现学员（受训的调度员）所在的电网的静态或动态过程，DTS 与实际系统有一样多的发电机、调速器、励磁机、线路、变压器、电抗器、母线、开关、刀闸等发输变电设备，能选择不同的运行方式进行研究分析。在发生负荷变化、联络线潮流变化、发电机出力及电压变化、变压器分接头的调节及开关投切以及各种事故时，DTS 能忠实地再现各种运行方式下的潮流分布和系统的动态过程，同时对操作或扰动有快速的实时响应。NARI DTS 的动态和静态仿真速度以及故障模拟速度都达到实时。DTS 的真实性还反应在学台 EMS 仿真子系统具有真实性，与在线 EMS 系统功能完全一致。

3. 先进性

在实用性的前提下采用新的计算机技术和先进的电力系统仿真技术。

4. 一致性

DTS 实现了与 SCADA/EMS 系统的一体化,能逼真地再现学员所在的电网控制中心 SCADA/EMS 系统环境,可产生一个数据采集和处理手段与调度室相同的培训环境,即与调度室有相同的显示器、操作台、监控内容和通信设备的培训环境。人机界面与在线系统一样,不需要单独维护,软件功能也与在线系统安全一致。学员在培训室受训时就会有一种身临其境的感觉,从而取得比较好的培训效果。这样,学员可以受到使用同样的调度工具的培训,尽快熟悉他所负责的工作,在培训中获得系统故障时的快速反应能力。

5. 灵活性

DTS 有灵活的培训支持功能。教员可很方便地执行学员下达的各种调度命令或任意设置故障,操作应灵活方便,使系统能尽快进入新的运行状态,有足够的教案进行演示,并可进行必要的培训控制和评估,以满足各种要求的运行方式研究和培训的需要以及提高效率。

6. 开放性

DTS 采用了国际标准并满足开放性要求,具有良好的可移植性、可扩充性和可升级性。

4.3.4 DTS 子系统主要功能

4.3.4.1 电力系统仿真

1. 电力系统仿真模型和方法

DTS 根据实用性的原则,采用了两套电力系统运行特性的仿真模型,即电力系统稳态仿真和电力系统动态仿真模型,电力系统动态仿真是暂态、中期、长期全过程动态仿真。

(1) 电力系统稳态仿真

电力系统稳态仿真又称静态仿真,它把发电机看成是无机电动态变化过程但可静态变化的电源,也就是计算电力系统在扰动引起的动态变化过程平息后的运行状态,和动态仿真相比,稳态仿真所用模型简单,模型参数也少,而且容易确定,因此仿真计算结果易于和电力系统实际稳态变化情况相符,电力系统稳态仿真的初始条件的准备要简单得多,因此提供了稳态仿真,它可以用在下述不必考虑动态变化过程的培训课程上:

- 母线切换操作
- 设备检修操作

- 电压、负荷、发电机出力的人工调节和控制
- 消除被监视参数的越限
- 事故后电力系统恢复操作
- 设备缺陷引起的系统异常的处理

DTS 的电力系统稳态仿真是计算扰动引起的动态过程平息后，电力系统达到的一种新的平衡状态时所有发电机的出力、母线电压、线路功率、电流、变压器潮流和系统频率的稳态变化情况，因此稳态仿真主要包括网络拓扑分析、动态潮流软件、频率计算三个电力系统仿真软件^[53]。

在稳态仿真中还对某些特殊情况提供了以下功能：

- 潮流计算不收敛时的自动处理；
- 超高压输电线路单端开断处的开路电压；
- 抽水蓄能机组运行方式的变化；
- 带负荷调压变压器、调相机、静态补偿装置作用仿真；
- 系统解列成多个孤岛后，每个孤岛都进行稳态仿真；

电力系统稳态仿真所用的电力系统元件模型如线路、变压器、电容器、电抗器、负荷等，都与动态仿真所使用的一样。发电机的模型是将其看成为一个静态可变的电源，在计算系统频率时考虑了发电机的转动惯量和一次调频的作用。

（2）电力系统动态全过程仿真

真实性是 DTS 的基本要求之一。电力系统分析计算与实际情况的吻合程度取决于采用模型的准确性。DTS 动态全过程仿真必须正确反映系统的动态过程，因此，所选的模型必须具有足够的精度。另一方面，DTS 动态全过程仿真又必须满足实时性的要求，对各种操作和扰动应有快速的实时响应。这又要求在保证一定精度的前提下，对元件的动态模型作适当的简化。为了让调度员比较全面地了解电力系统中各种元件的动态特性，在 DTS 动态全过程仿真中对每一种元件都采用了不同复杂程度的动态模型，用户可以根据需要任意选择并自动组装，以形成仿真用完整的系统模型。

为了提高动态仿真的整体效率，将整个动态过程分为暂态过程和中长期动态过程三个阶段，在不同阶段采用不同精度的元件模型，并根据系统所处的状态自动进入不同阶段的仿真计算。

在动态全过程仿真中所采用的主要元件的动态模型有：电源模型、发电机模型、励磁系统模型、原动机模型、核电站模型等。

2. 继电保护和安全自动装置仿真

电力系统的事故有两类：一类是短路和线路断线故障；另一类是运行参数异常，如电压和频率过高、过低和设备过载等。前者需要立即切除故障设备，后者处理可以略慢。前者用继电保护判别并切除故障元件，后者则用安全自动装置按

预置的方案投切某些元件和负荷，消除异常现象。

4.3.4.2 RTU 数据采集子系统仿真

数据采集不仅包含了 RTU 采集并往上送至控制中心的发电厂变电站的各种运行参数值和设备的状态，而且包括了控制中心往下经 RTU 送至电力系统控制设备的各种调节和控制命令。RTU 数据采集仿真模型是 DTS 的电网仿真模块和控制中心仿真模块的接口。电网仿真的计算结果是存放在电力网络数据库中的，它们在库中的分类和排列顺序与 E&TS 中的电网分析软件数据库一样。而 E&TS 系统在调度一侧的 SCADA 主计算机是按 RTU 的数据报文格式发收数据的，所以数据采集子系统仿真就是做电网仿真数据格式与 RTU 数据格式之间的转换。在实际系统中 RTU 数据是经过前置机送至 SCADA 主机的，而控制中心仿真中只有 SCADA 主机中的功能，仿真模块没有前置机的功能模块，因此，RTU 报文的格式是从实际系统 SCADA 主机看到的格式而不是前置机通讯控制器看到的格式。模拟的 RTU 报文与用户所用的 RTU 规约无关。此外，实际 RTU 的许多报文都可以不要，如初始化报文、查询报文、参数设置报文、应答控制报文等，所仿真的 RTU 报文的格式种类如下：

(1) PSM 送至 CCM 的 SCADA 监控模块报文

包括遥测量和遥信量、电度量、SOE 等。

(2) CCM 送至 PSM 的报文

包括遥调遥控报文，AGC 控制命令。

4.3.4.3 控制中心 SCADA/EMS 功能仿真

控制中心 SCADA/EMS 功能仿真是 DTS 的一个重要组成部分，可为调度员创造一个真实的环境，使调度员有一个身临其境的感觉。

所实现的 SCADA/EMS 功能包括：

- 派生数据计算和数据处理
- 越限和变位监视
- 报警处理
- 远方调节和控制操作
- 数据统计
- 人机界面
- 调度员工作站的人机操作功能
- RTU 和通道投/停控制

4.3.4.4 AGC/EDC 功能仿真

AGC/EDC 功能仿真包括两个部分，其一是网内 AGC/EDC 功能的仿真，其二是外网 AGC 功能的仿真。

网内 AGC/EDC 功能的仿真无须另外开发软件，对 DTS 而言，被控发电机组的模型，AGC/EDC 的命令通道已经存在，只需将实际的 AGC/EDC 软件安装在 SCADA/EMS 仿真系统上即可。

对外网的 AGC 功能，本 DTS 提供简化的模型，这些模型 3 种控制模式：恒定联络线功率、恒定频率、恒定联络线功率和频率。

4.4 本章小结

本章深入研究了 FES 子系统的结构特点和“按口值班”的运行方式，并对 FES 系统进行了设计和配置，详细介绍了 FES 子系统的数据流程和主要功能实现；详细介绍了 SCADA 子系统的技术特点，并对 SCADA 子系统的数据流程和主要功能实现进行了研究；本章还对 DTS 系统的主要特点、设计原则和主要功能实现进行了研究。

第五章 结束语

5.1 全文总结

本论文以 500KV 电网运行集控中心关键系统的设计作为研究对象,通过大量的文献阅读和相关的实践实习对研究对象作了一定的研究和分析工作,在对相关领域的广大学者所做工作进行了总结后,结合自己的理念和导师的指导,完成了此课题的研究设计工作。现将论文所做工作总结如下:

1. 此课题的研究目的在于逐步实现 500kV 变电站的无人值班,这样可以在一定程度上缓解变电运行结构性缺员问题,并将会带来安全和经济效益,进一步促进电力公司技术进步和管理水平的提高。本文简要介绍了目前湖南 500KV 电网变电站运行概况,对 500kV 变电站实行无人值班的必要性和可行性进行了详细分析,并在对 500kV 变电站运行管理模式研究分析的基础上,提出了 500KV 集中监控中心的建设方案。

2. 本文在深入研究了湖南 500KV 电网的基础上,通过对比目前计算机监控系统的实现方案,在超高压集控中心的设计方案中,选择了独立的计算机监控系统。本文对集控中心的远程图像监视系统、通信系统、UPS 系统分别结合实际进行了研究、配置和设计。为了保证集控中心的安全可靠运行,在研究雷电特性和集控中心实际状况的基础上,文中提出了一套新颖、简单、可靠的系统防雷防浪涌设计方案,并分别从电源系统防雷、信号系统防雷两方面着手进行了设计。

3. 本文在深入研究相关远动通信规约的基础上,依据集控中心建设实际,着重对 500KV 电网的远动通信网进行了规划和设计。在此远动系统通信网络设计中,采用了 SCADA 数据信道和继保数据信道分开的原则,同时,继保数据作为远动数据的一部分,通过规约转换器或网络互联接口,由子站保护信息系统传给综合自动化系统管理机,输送到集控中心和调度中心。这样,既保证了 500KV 电网系统继电保护对灵敏性、可靠性、选择性、速动性的信道要求,又保证了集控中心和调度中心对整个 500KV 电网的监控和数据采集功能。文中还对 IED 的网络接入问题进行了研究,在基于 IP2022 芯片的基础上,设计了一种 IED 装置与远动传输网络进行互联的网络互联接口,并对其硬件和软件部分分别进行了设计。

4. 本文对集控中心的主要子系统(FES 子系统、SCADA 子系统和 DTS 子系统)的特点和主要功能分别进行了详细介绍和说明,在深入研究 FES 子系统的结构、运行方式、系统框架、数据流和主要实现功能等的基础上,对集控中心 FES 子系

统提出全面可行的配置方案。对架构在南瑞公司 OPEN-3000 统一支撑平台上的 SCADA 子系统的特点、数据流及其功能做了深入研究。调度员培训系统 (DTS) 是培训调度员的最佳工具, 文中对 DTS 的结构特点、设计原则和主要功能实现进行了深入研究和详细说明。

5.2 展望

超高压集控中心将成为未来电力系统发展的一种趋势。湖南 500KV 电网运行集控中心作为目前国内第一个 500KV 省网超高压集控中心, 它的成功设计和运行, 将对后续全国其它地区超高压集控中心的建设起到借鉴和参考作用, 使湖南省内 500KV 变电站的无人值班模式变成现实, 同时满足了电力系统“集约化”发展的需要。

本文对 500KV 电网运行集控中心的关键系统设计作了大量的研究工作, 并取得了一些卓有成效的研究结果, 为今后国内其它省份 500KV 电网集控中心的建设和 500KV 变电站的无人值班改造提供了可靠的参考依据。

随着基于 IEC61850 的数字化变电站技术的日趋成熟和配套智能化电气设备的发展, 特别是智能化开关、光电式互感器等机电一体化设备的应用, 我国数字化变电站时代即将到来, 这对我国智能电网建设将产生深远影响。IEC61850 协议在经过数年的过渡期之后, 必将最终取代 104 协议成为远动信息网络传输和变电站自动化局域网内部的最重要的协议, 那么由现在的 104 协议向将来的 61850 协议的升级和转化等相关问题将是本课题今后所要研究的重点。

参考文献

- [1] 王明俊.我国电网调度自动化的发展——从 SCADA 到 EMS. 电网技术,2004, 28(4): 43-45
- [2] 辛耀中. 新世纪电网调度自动化技术发展趋势. 电网技术, 2001, 25(12): 2-6
- [3] 杨奇逊.变电站综合自动化技术发展趋势.电力系统自动化,1995,19(10):7-9
- [4] 曾庆禹.变电站自动化技术的未来发展(一) --电力市场与协调型自动化. 电力系统自动化, 2000,24(18):1-4
- [5] 唐涛, 诸伟楠, 杨仪松等.发电厂与变电站自动化技术及其应用.北京:中国电力出版社, 2005
- [6] 黄益庄.变电站综合自动化技术.北京:中国电力出版社, 2000
- [7] 湖南电机学会.无人值班变电站的新建改造与运行.北京:中国电力出版社, 2000
- [8] 冯永青,夏翔,周显甬.杭州电力信息集成发展规划.电网技术,2004, 28(19): 51-54
- [9] 柯小琳.集控站自动化系统研究.山东电力技术, 2003, 1: 70-72
- [10] 张颖, 熊德智, 梁运华等. 500kV 电网运行集控中心设计与实现. 中国电力. 已录用
- [11] 张颖, 何怡刚, 金维香等. 断路器变位与工业监控系统联动的实现方案. 电网技术, 2006, 30(18): 85-88
- [12] 唐慧明, 张健. 变电站远程图像监控系统设计. 电力系统自动化, 2001, 25(7): 56-58
- [13] 杨晓松, 阙连元, 唐涛, 等. 500 kV 超高压变电站综合自动化系统应用. 电力系统自动化. 2000, 24(8): 65-66
- [14] 畅广辉, 代飞等. 500kV 变电站计算机监控系统的发展建议. 电力系统自动化, 2002, 26(24)
- [15] 袁毅. 基于嵌入式 Web 服务器的网络视频监控. 电网技术, 2000, 24(5): 71-73
- [16] 蒋馄, 欧安杰等. 变电站运行管理自动化的实现. 电力系统自动化. 2001.25(21)
- [17] 熊德智, 张颖, 茹新伟. 基于由主控端负荷控制受控端供电的智能节电控制系统. 节能, 2008, 27(2)
- [18] 张颖, 熊德智, 闫庆开等. 一种新颖的多功能智能节电控制系统设计. 电工技术, 2009, 338(2)
- [19] 国家电网调度通信中心, 湖南电力调度通信中心. 电网调度自动化与信息技术标准. 北京:中国电力出版社. 2002

- [20] 曹宁, 胡弘莽. 电网通讯技术. 北京: 中国水利电力出版社. 2003
- [21] 王梅义. 电网继电保护应用. 北京: 中国电力出版社. 1999
- [22] William A 著. 高传善等译. 数据通信与网络教程. 北京: 机械出版社, 2000.
- [23] 苗来生, 等. 三种 IP 网络通信模型比较. 计算机应用. 2001, 2: 91-93.
- [24] 任雁铭. IEC61850 通信协议体系介绍和分析. 电力系统自动化, 2000, 24(8): 62-64.
- [25] 孙军平, 盛万兴, 王孙安. 远动信息网络传输方法. 电网技术, 2002, 26(11): 22-24.
- [26] 赵渊, 沈智健. 基于 TCP/IP 的 IEC 60870-5-104 远动规约在电力系统中的应用. 电网技术, 2003, 27(10).
- [27] DL/T634.5104-2002/IEC60870-5-104, 远动设备及系统第 5-104 部分: 传输规约, 2000.
- [28] 唐岳, 廖力清, IEC 60870-5-104 远动规约在电网调度中的应用, 电力系统通信, 2005, (04): 33-36.
- [29] IEC TC57 WG03. IEC60870-5-103. Telecontrol Equipment and Systems, Part5: 103: Transmission Protocols, Section 103 Companion Standard for the Informative Interface of Protection Equipment[R]. 1997, 10-15.
- [30] 孟祥萍, 李颖, 孟祥印. IEC60870-5-103 规约的分析和应用[J]. 电力标准化与计量. 2004. 50(4): 29-32.
- [31] 周森, 郑玉平, 刘晗, 张毅, 纪南, 侯国俊, 陆咏. IEC 60870-5-103 规约在微机型继电保护测试系统中的应用[J]. 继电器. 2005, 33(23): 16-18.
- [32] 廖泽友, 蔡运清. IEC60870-5-103 协议和 IEC60870-5-104 协议应用经验. 电力系统自动化. 2003. 27(4): 66-68.
- [33] IEC TC57 WG03. IEC60870-5-104: Network Access for IEC 60870-5-101 Using Standard Transport Profiles[R]. 1998.
- [34] Hauser. C. Comments to U.S.-Canada power system outage task force regarding the interim report. Technical Report EECS-GS-004. Nov. 2003.
- [35] Hauser. C. H. Bakken. D. E. Bose. A. A failure to communicate. IEEE Power and Energy Magazine, 2005, 3(2): 47~55.
- [36] Chan. W. So. A. Lai. L. Internet based transmission substation monitoring. IEEE Transactions on Power Systems, 1999, 14(1): 293~298.
- [37] Babb. M. The future of industrial switched Ethernet. Computing and Control Engineering. 2004, 15(1): 10~11.
- [38] Pozzuoli. M. P. Ethernet in substations automation applications-issues and requirements. Distribut TECH Conference and Exhibition, Orlando, Florida, USA, January 18-19, 2004.
- [39] Bisson. K. Troshynski. T. Switched Ethernet testing for avionics applications. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. 2004, 19(5): 31~35.

- [40] 童晓阳, 王晓茹, 汤俊.基于 IEC61850 的变电站智能电子设备的统一建模语言设计及改进.电网技术, 2006, 30 (3): 85-88, 93
- [41] 周士跃, 王劲松, 金小达.地区供电网调度实时数据网络安全分析及对策.电网技术, 2003, 27 (10): 52-55
- [42] 陈升.网络化变电站自动化系统的应用.电网技术, 2003, 27 (2): 72-75
- [43] 田国政.变电站自动化系统的通信网络及传输规约选择.电网技术, 2003, 27 (9): 66-68
- [44] Xie Da-wei, Yang Xiao-zhong.Implementation of networking telecontrol technique in dispatching automation system.Power System Technology,2004, 28 (4): 34-37
- [45] Yuehui Deng,Jian Cheng.Research on intelligent architecture of real-time dispatching automation for power systems. Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation(Cat.No.02EX527), 2002,2(2):6-8
- [46] Feng Hua,Zhuang Jia-ming.Discussion on centralized station operation for 220 kV substation.East China Electric Power, 2004, 32 (6): 6-23
- [47] Zhang Shenming, Huang Haifeng.Architecture of power dispatching automation system based on IEC 61970 standard.Automation of Electric Power Systems,2002,26(10):45-47
- [48] 何卫, 马新平, 张焱.变电站自动化分布式通信控制系统的设计.电力系统自动化, 2000, 24 (16): 48-50
- [49] Cai Chun-yuan.Discussion on the safety operating of electric power network dispatching automation system.Relay, 2005, 33(7): 66-69
- [50] Wang Wei-guo, Dai Wei, Wan Lei.Discussion on data sharing mode in electric power network dispatching automation system.Automation of Electric Power Systems.2005, 29 (4): 88-91
- [51] 颜俊, 刘沛, 苗世洪.自组网在变电站自动化中的应用.电网技术, 2005, 29 (17): 54-57
- [52] 王巧玲,欧阳修明.电网调度自动化系统的设计和应用.微电子学与计算机, 2004, 21 (4): 56-57
- [53] 俞涛,吴国忠.集控站中培训仿真系统面向对象数据库的设计.继电器, 2004, 32 (11): 44-48
- [54] 刘东, 闫红漫, 丁振华.SCADA 主站系统集成测试技术研究.电网技术, 2005, 29 (2): 62-67
- [55] OPEN3000FES-SCADA 技术手册.南京南瑞继保电器有限公司, 2007(5)
- [56] 冯锐峰.电网调度自动化系统的运行管理与维护.中国煤炭.2006,32(3):50
- [57] 马龙. 500kV 变电站无人值班综合自动化控制系统改造研究:[山东大学硕士

学位论文]. 山东: 山东大学电气工程学院, 2006, 1-5

[58] 李丹美. 网络处理器 IP2022 的原理及应用. 国外电子元器件,2002,5:31-34

[59] IP2022 Programmer's Reference Manual. Ubicom Corporation, 2002

[60] 刘映杰, 马义德, 李升刚等. 嵌入式设备与以太网互连系统的设计. 微计算机信息,2008,24(32):8-10

致谢

本文的研究工作是在导师张颖教授的精心指导下完成的。近三年来，导师以其严谨的治学作风、执着的敬业精神、虚怀若谷的高尚人格，传道、授业、解惑，孜孜不倦地传授学生做学问和做人的道理，使学生受益终身。无论在学习、科研还是在生活上面，导师始终给予了学生极大的关心和帮助。语言文字实难以表达自己对导师的感激，惟有在今后的学习工作中兢兢业业，力争取得一些成绩，方能不负导师的谆谆教诲。

论文的研究过程中还得到了湖南省超高压管理局的有关专家的大力帮助，在此表示诚挚的谢意！

最后，感谢我的父母和家人，在整个学习期间始终得到他们的理解、关心和支持！感谢在百忙之中评阅论文和参加答辩的各位专家、老师！

附录A（攻读硕士学位期间发表论文目录）

- [1] Ying Zhang, Dezhi Xiong, Donglai Liu, Design and Implementation of 500KV Power Grid Running Centralized Control Center, Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC2010), 2010, Chendu.
- [2] 张颖,熊德智,梁运华等.500kV 电网运行集控中心设计与实现.中国电力.已录用.
- [3] 熊德智,张颖等.检测易燃气体的智能报警装置设计.工矿自动化,2009,154(1)
- [4] 张颖,熊德智,闫庆开等.一种新颖的多功能智能节电控制系统设计.电工技术,2009,338(2)
- [5] 熊德智,张颖.基于由主控端负荷控制受控端供电的智能节电控制系统设计.长沙理工大学博力学术论坛,2008,11.（此论文获得最佳创意奖）
- [6] 熊德智,张颖,茹新伟.基于由主控端负荷控制受控端供电的智能节电控制系统.节能,2008,27(2)

附录B（攻读硕士学位期间所获得奖励）

- [1] 《一种新颖的多功能智能节电控制系统》获湖南省第八届“挑战杯”大学生学术科技作品竞赛上海世博会专项竞赛三等奖。（作为项目负责人）
- [2] 《检测易燃气体的智能报警装置设计》获湖南省第八届“挑战杯”大学生学术科技作品竞赛上海世博会专项竞赛三等奖。（作为项目负责人）