



牵引变电所及其自动化

孙继星 副教授

牵引供电研究所

Email: jxsun@bjtu.edu.cn

办公室：电气楼808

办公电话：010-51685212-602



◆ 教材：

- 《轨道交通牵引供电技术》，贺威俊、高仕斌等，2015
- 《高速铁路牵引变电所技术》，中国铁路总公司，2014
- 《交流电气化铁道牵引供电系统》，谭秀炳，西南交通大学出版社，2007

◆ 考核形式和成绩评定：笔试占成绩 80%。作业与讨论占成绩 10%。上课出勤占成绩 10%。

◆ QQ学习交流群：309392300



第一节 变电所自动化系统发展概况

一. 变电所自动化系统概述

变电所/站在电力系统中是电网中输电和配电的集结点，是电力系统中变换电压、接收和分配电能、控制电力流向和调整电压水平的重要电力设施，是电网能量传递的枢纽。同时，变电所/站是电网运行信息的最主要来源，也是电网操作控制的执行地。是智能电网“电力流、信息流、业务流”三流汇集的焦点。变电站的运行安全与否，将直接影响到电力系统的安全、稳定运行和供电可靠性。

变电所自动化系统是将变电所的二次设备(包括测量仪表、信号系统、继电保护、自动装置和远动装置等)经过功能的组合和优化设计，利用计算机技术、现代电子技术、通信技术和信号处理技术，实现对全所设备的自动监视、自动测量、自动控制和保护，以及与调度通信等综合性的自动化功能。



二. 发展概况

(1) **分离元件的自动化装置阶段**: 20世纪70年代以前主要采用模拟电路, 由晶体管等分离元件(没有运算能力)组成各装置独立运行, 互不相干, 缺乏智能性, 没有故障自诊断能力

(2) **智能自动装置阶段**: 微机保护装置、微机远动装置, 具有故障自诊断能力, 独立运行, 不能资源共享。

(3) **综合自动化系统阶段**: 变电站综合自动化系统是利用多台微型计算机和大规模集成电路组成的自动化系统, 代替常规的测量和监视仪表, 代替常规控制屏、中央信号系统和远动屏, 用微机保护代替常规的继电保护, 改变常规的继电保护装置不能与外界通信的缺陷。因此, 变电站综合自动化是自动化技术、计算机技术和通信技术等高科技在变电站领域的综合应用。变电站综合自动化系统可以采集到比较齐全的数据和信息, 利用计算机的高速计算能力和逻辑判断功能, 可方便的监视和控制变电站内各种设备的运行和操作。变电站综合自动化系统具有功能综合化、结构微机化、操作监视屏幕化、运行管理智能化等特征。



第二节 变电所自动化系统的构成和功能

一. 传统的牵引变电所自动化系统存在的问题

- ① 常规的继电保护、自动装置和远动装置采用大量的电磁式继电器或晶体管分离元件来实现装置的动作逻辑，一个元件故障有可能引发整个装置的拒动或误动，而且查找故障元件困难，定期检验的工作量大。
- ② 远动装置能够向上传送的信息少，且因装置和信道的可靠性差，无法担当遥控、遥调的重任。在紧急情况下，调度员仍必须通过电话向牵引变电所值班员发出事故处理命令，常常会错过事故处理的最佳时机。
- ③ 无运行参数记录功能，只能靠人工每天24小时定期抄表，这对于值班员来说是一种负担(尤其是在夜间)，以致运行参数日志中难免有一些人工推测的数据，不利于对设备健康状况的评估和管理部门的合理决策。
- ④ 各个断路器的控制与信号回路、各事故信号和预告信号均采用独立的信息传输通路，且这些通路一般都是从被监控的一次设备到主控室。这种信号的传输距离长，使电压、电流互感器的测量精度变低，且电缆用量巨大。
- ⑤ 无自动电压调节功能。对母线电压都是通过值班员监视控制屏上的电压表读数，来判定是否人工投切补偿支路或调整主变压器分接头，无法保证母线电压的长期持续合格。
- ⑥ 无法即时记录牵引供电系统故障时的保护与断路器的动作时间、一次设备在故障期间的运行参数，不利于事故分析。



二. 综合自动化系统的基本特征

变电站综合自动化的核心是自动监控系统，而综合自动化的纽带是监控系统的局域通信网络，它把微机继电保护、微机自动装置、微机远动功能综合在一起形成一个具有远方功能的自动监控系统。变电站综合自动化系统最明显的特征表现在以下几个方面：

1. 功能综合化。变电站综合自动化技术是在微机技术、数据通信技术、自动化技术基础上发展起来的。在综合自动化系统中，微机监控系统综合了变电站的仪表盘、操作屏、模拟屏、变送器屏、中央信号系统等功能、远动的RTU功能及电压和无功补偿自动调节功能；微机保护(和监控系统一起)综合了故障录波、故障测距、小电流接地选线、，自动按频率减负荷、自动重合闸等自动装置功能。上述综合自动化的综合功能是通过局域网各微机系统硬、软件的资源共享形成的，因此对微机保护和自动装置提出了更高的自动化要求。



2. 结构分布、分层化。综合自动化系统是一个分布式系统。按IEC(国际电工委员会)标准，典型的分层原则是将变电站自动化系统分为两层，即变电站层和间隔层，由此可构成分散(层)分布式综合自动化系统。

3. 操作监视屏幕化。变电站实现综合自动化后，常规庞大的模拟屏被CRT屏幕上的实时主接线画面取代；常规的在断路器安装处或控制屏进行的跳、合闸操作，被CRT屏幕上的鼠标操作或键盘操作所取代；常规的光字牌报警信号，被CRT屏幕画面闪烁和文字提示或语言报警所取代，即通过计算机上的CRT显示器，可以监视全变电站的实时运行情况和对各开关设备进行操作控制。

4. 通信局域网络化、光缆化。计算机局域网技术和光纤通信技术在综合自动化系统中得到普遍应用。系统具有较高的抗电磁干扰的能力，能够实现高速数据传送，满足实时性要求，组态更灵活，易于扩展，可靠性大大提高，而且大大简化了常规变电站繁杂量大的各种电缆，方便施工。



5. 运行管理智能化。智能化不仅表现在常规的自动化功能上，如自动报警、自动报表、电压无功自动调节、小电流接地选线、事故判别与处理等方面，还表现在能够在线自诊断，并不断将诊断的结果送往远方的主控端。这是区别常规二次系统的重要特征。运行管理智能化极大地简化了变电站二次系统，取消了常规二次设备，功能庞大，信息齐全，可以灵活地按功能或间隔形成集中组屏或分散(层)安装的不同系统组态，改变了常规保护装置不能与调度(控制)中心通信的缺陷。

6. 测量显示数字化。长期以来，变电站采用指针式仪表作为测量仪器，其准确度低、读数不方便。采用微机监控系统后，彻底改变了原来的测量手段，常规指针式仪表全被CRT显示器上的数字显示所代替，直观、明了。而原来的人工抄表记录则完全由打印机打印、报表所代替。这不仅减轻了值班员的劳动，而且提高了测量精度和管理的科学性。



三. 牵引变电所自动化系统的功能

国际大电网会议WG34.03工作组在研究变电所的数据流时，分析了变电所自动化需要完成的功能大概有63种，归纳起来可以分为以下7个功能组：

- ①控制、监视功能；
- ②自动控制功能；
- ③测量表计功能；
- ④继电保护功能；
- ⑤与继电保护有关的功能；⑥接口功能；
- ⑦系统功能。

牵引变电所自动化系统是多专业性的综合技术，它以微机为基础，实现了对牵引变电所传统的继电保护、控制方式、测量手段、通信和管理模式的全面技术改造，实现了牵引供电运行管理的一次变革。结合牵引供电系统的具体情况，将变电所自动化系统按照功能分为监控子系统、继电保护子系统、通信子系统。



(一) 监控子系统

监控子系统取代常规的侧量系统，取代指针式仪表;改变常规的操作机构和模拟盘，取代常规的报警、中央信号、光字牌以及RTU装置等。

1. **实时数据采集与处理。**采集变电站电力运行实时数据和设备运行状态，包括各种状态量、模拟量、数字量和保护信号，并将这些采集到的数据去伪存真后存于数据库供计算机处理之用。

- ◆ **模拟量的采集：**各段母线电压；线路电流、电压和功率值；馈线电流、电压和功率值；主变压器电流、功率值；电容器的电流、无功功率及频率、相位、功率因数。此外，还有主变压器的油温、变电站室温、直流电源电压、站用电电压和功率等。
- ◆ **状态量的采集：**断路器的状态、隔离开关状态、有载调压变压器分接头的位置、继电保护动作信号、运行告警信号等。
- ◆ **数字量的采集：**数字量的采集主要是指采集变电站内由计算机构成的保护或自动装置的信息。



(一) 监控子系统

2. 运行监视功能

所谓运行监视，主要是指对变电站的运行工况和设备状态进行自动监视，即对变电站各种状态量变位情况的监视和各种模拟量的数值监视。

通过状态量变位监视，可监视变电站各种断路器、隔离开关、接地开关、变压器分接头的位置和动作情况、继电保护和自动装置的动作情况以及它们的动作顺序等。

模拟量的监视分为正常的测量和超过限定值的报警、事故模拟量变化的追忆等。

当变电站有非正常状态发生和设备异常时，监控系统能及时在当地或远方发出事故音响或语音报警，并在CRT显示器上自动推出报警画面，为运行人员提供分析处理事故的信息，同时可将事故信息进行打印记录和存储。

对于一个典型的变电站，应报警的参数有：母线电压报警、线路负荷电流超限报警、主变压器过负荷报警、直流电压超限报警。



(一) 监控子系统

3. 故障录波与测距功能

变电站的故障录波和测距可采用两种方法实现：①由微机保护装置兼作故障记录和测距，再将记录和测距的结果送监控机存储及打印输出或直接送调度主站，这种方法可节约投资，减少硬件设备，但故障记录的量有限；②采用专用的微机故障录波器，并且录波器应具有串行通信功能，可以与监控系统通信。

4. 事故顺序记录与事故追忆功能

事故顺序记录就是对变电站内的继电保护、自动装置、断路器等在事故时动作的先后顺序自动记录。记录事件发生的时间应精确到毫秒级。自动记录的报告可在CRT显示器上显示和打印输出。顺序记录的报告对分析事故、评价继电保护和自动装置以及断路器的动作情况是非常有用的。事故追忆是指对变电站内的一些主要模拟量，如线路、主变压器各侧的电流、有功功率、主要母线电压等，在事故前后一段时间内作连续测量记录。通过这一记录可了解系统或某一回路在事故前后所处的工作状态，对于分析和处理事故起辅助作用。一般事故前的追忆时间为5s-1min，事故后为5s-1min。



(一) 监控系统

5. 控制及安全操作闭锁功能

操作人员可通过CRT屏幕对断路器、隔离开关进行分闸、合闸操作；对变压器分接头进行调节控制；对电容器组进行投、切控制，同时要能接受遥控操作命令，进行远方操作；并且所有的操作控制均能就地和远方控制、就地与远方切换相互闭锁，自动和手动相互闭锁。适应一次设备现场维护操作的“电脑五防操作及闭锁系统”。

6. 数据处理与记录功能

实现历史数据的形成、存储、处理及数据统计分析，其内容包括：①主变压器和输电线路有功功率和无功功率每天的最大值和最小值以及相应的时间；②母线电压每天定时记录的最高值和最低值以及相应时间；③计算受配电能平衡率；④统计断路器动作次数；⑤断路器切除故障电流和跳闸次数的累一计数；⑥控制操作和修改定值记录。



(一) 监控子系统

7. 人机联系功能

人机联系的桥梁，包括CRT显示器、鼠标和键盘。变电站采用微机监控系统后，无论是有人值班还是无人值班站，最大的特点之一是操作人员或调度员只要面对CRT显示器的屏幕通过鼠标或键盘，就可对全站的运行情况和运行参数一目了然，可对全站的断路器和隔离开关等进行分、合操作。显示内容包括：显示采集和计算的实时运行参数、实时主接线图、事件顺序记录(SOE)、越限报警、值班历史记录、历史趋势、保护定值和自控装置的设定值、故障记录显示、设备运行状况等。可输入数据：TA和TV变比、保护定值和越限报警定值、自控装置的设定值、运行人员密码。

8. 打印功能

①定时打印报表和运行日志；②开关操作记录打印；③事件顺序记录打印；④越限打印；⑤召唤打印；⑥抄屏打印；⑦事故追忆打印。



(一) 监控子系统

9. 运行的技术管理功能

变电站综合自动化系统能对运行中的各种技术数据、记录进行管理。主要体现在两个方面：(1)历史数据处理、存档、检索。历史数据处理包括历史统计值，历史累计值，历史曲线三部分。(2)统计值处理。监控系统可以对电压、潮流、功率因数等参数进行统计。进行技术管理内容主要有：①变电站主要设备的技术参数档案表；②各主要设备故障、检修记录；③断路器的动作次数记录；④继电保护和自动装置的动作记录；⑤运行需要的各种记录、统计等。

10. 谐波的分析 and 监视功能

电气化铁路电力机车是大谐波源，又是单相大负荷，造成三相负荷不平衡。电力机车在区间运行时，上下坡负荷变化甚大；平坡行驶时，两站间速度快，进出站速度慢；启动和行驶时，负荷急剧变化。因此电气化铁路是个不平稳的大谐波源。



(一) 监控子系统

11. 自诊断、自恢复和自动切换功能

自诊断功能是指对监控系统的硬件、软件(包括前置机、主机、各种模块、通道、网络总线、电源等)故障的自动诊断,并给出自诊断信息供维护人员及时检修和更换。在监控系统中设有自恢复功能。当由于某种原因导致系统停机时,能自动产生自恢复信号,将对外围接口重新初始化,保留历史数据,实现无扰动的软、硬件自恢复,保障系统的正常可靠运行。自动切换指的是双机系统中,当其中一台主机故障时,所有工作自动切换到另一台主机。

12. 自动控制装置的功能

典型的变电站综合自动化系统都配置了相应的自动控制装置,如电压、无功综合控制装置、备用电源自投控制装置等。无功综合控制是利用有载调压变压器和母线无功补偿电容器及电抗器进行局部的电压及无功补偿的自动调节,使负荷侧母线电压偏差在规定范围以内。在调度(控制)中心直接控制时,变压器的分接头开关调整和电容器组的投切直接接受远方控制,当调度(控制)中心给定电压曲线或无功曲线的情况下,则由变电站综合自动化系统就地进行控制。



(二) 继电保护子系统

变电站综合自动化系统中的微机继电保护主要包括输电线路保护、电力变压器保护、母线保护、电容器保护、自动重合闸。由于继电保护的的特殊重要性，综合自动化系统绝不能降低继电保护的可靠性。因此要求：

1. 系统的继电保护按被保护的电力设备单元(间隔)分别独立设置，直接由相关的电流互感器和电压互感器输入电气量，然后由触点输出，直接操作相应断路器的跳闸线圈。
2. 保护装置设有通信接口，供接入站内通信网，在保护动作后向变电站层的微机设备提供报告等，但继电保护功能完全不依赖通信网。
3. 为避免不必要的硬件重复，可以配给保护装置其他一些功能，但应以不因此降低保护装置可靠性为前提。
4. 继电保护应具有与监控系统通信的功能。继电保护能主动上传保护动作时间、动作性质、动作值及动作名称，并按控制命令上传当前的保护定值和修改定值的返校信息。



(二) 继电保护子系统

5. 具有与系统统一时钟对时功能。
6. 存储各种保护整定值功能。
7. 当地显示与远处观察和授权修改保护整定值。
8. 设置保护管理机或通信控制机，负责对各保护单元的管理。保护管理机(或通信控制机)在自动化系统中起承上启下的作用。把保护子系统与监控系统联系起来，向下负责管理和监控保护子系统中各单元的工作状态，并下达由调度或监控系统发来的保护类型配置或整定值修改信息；如发现某一保护单元故障或工作异常，或有保护动作的信息，应立刻上传给控制系统或上传至远方调度端。
9. 故障自诊断、自闭锁和自恢复功能。每个保护单元应有完善的故障自诊断功能，发现内部有故障，能自动报警，并能指明故障部位，以利于查找故障和缩短维修时间，对于关键部位故障，例如A/D转换器故障或存储器故障，则应自动闭锁保护出口。如果是软件受干扰，造成程序“出轨”的软故障，应有自启动功能，以提高保护装置的可靠性。
10. 自动重合闸功能。



(三) 通信子系统

通信子系统包括系统内部现场级的通信和系统与上级调度的通信两部分。现场级的通信主要解决系统内部各个子系统与监控子系统之间、各个子系统之间的数据通信和信息交换问题，它的通信范围是变电所内部。自动化系统必须兼有RTU的全部功能，应该能够将所采集的模拟量、开关状态以及事件顺序记录等信息远传至上级调度，同时应该能接收上级调度下达的各种操作、控制命令。

在牵引变电所自动化系统中，数据通信是一个重要环节，其主要任务体现在两个方面：一方面是完成自动化系统内部各子系统或各种功能模块间的信息交换。这是因为变电所自动化系统实质上是由分层分布式的多台微机组成的控制系统。在各个子系统中，往往又由多种智能功能模块组成。因此，必须通过内部数据通信，实现各子系统内部和各子系统之间的信息交换和信息共享。另一方面是完成变电所与调度中心的通信任务。



三. 牵引变电所自动化系统的结构形式

(一) 分层分布式结构的概念

所谓分布式结构，是在结构上采用主从CPU协同工作方式，各功能模块(通常是各个从CPU)之间采用网络技术或串行方式实现数据通信。如牵引供电系统中的馈线保护主要包括电流速断保护、过电流保护、电流增量保护、反时限过负荷保护、三段距离保护、一次自动重合闸等功能，所有的这些保护功能可由一个CPU单独完成。这样，一条馈线的保护可以配置一套微机保护装置完成，多条馈线则配置多套微机保护装置，微机保护装置再通过通信接口和监控子系统进行信息交换，一套保护装置故障不会影响其他装置的正常运行。

牵引变电所自动化系统的分层分布式设计就是将牵引变电所自动化系统需要完成的功能由多个微机系统来完成，对监控子系统来说是选择商用计算机或工控机来作为监控的平台，微机保护子系统则由不同功能的微机保护装置组成，全所的继电保护功能被分配到多个微机保护装置。



(二) 牵引变电所自动化系统的分层结构

在分层分布式结构中，牵引变电所自动化系统按照设备的功能被分为三层：变电所层、间隔层(或称单元层)、过程层(或称设备层)。

过程层主要指牵引变电所内的变压器、断路器、隔离开关及其辅助触点，电流、电压互感器等一次设备。

间隔层按一次设备组织，一般按断路器的间隔划分，具有保护、测量、控制部分，由单元装置来完成这些功能。间隔层一般按断路器间隔划分，包括测量、控制部件和继电保护装置。

变电所层包括监控主机、远动管理机等。变电所层和间隔层设通信网络，供各设备之间交换信息。

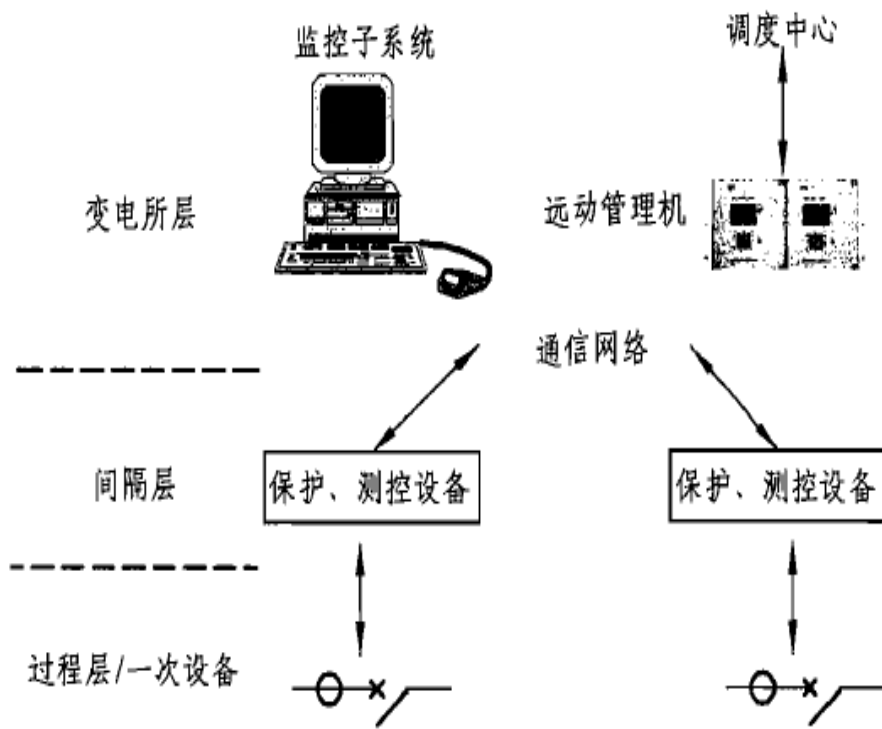


图 7.1 牵引变电所自动化系统分层结构

(三) 分层分布式结构的几种方式

1. 系统集中组屏

集中组屏的结构是把整套自动化系统按其不同的功能组装成多个屏(或称柜)，例如，变压器保护屏(完成变压器的保护、测量、控制功能)、馈线保护屏(完成一条或多条馈线的保护、测量、控制功能)、并补保护屏(完成电容器的保护、测量、控制功能)。

当地监控单元和远动通信装置采用控制台的方式(有人值班)，也可将所有后台和远动通信相关设备组装在一面屏。

集中组屏结构中，所有的变电所层、间隔层二次设备都放在控制室内，二次设备的工作条件较好，管理和维护方便，其主要的缺点是安装时电缆都要拉到控制室，导致电缆较多，增加了电缆的投资。

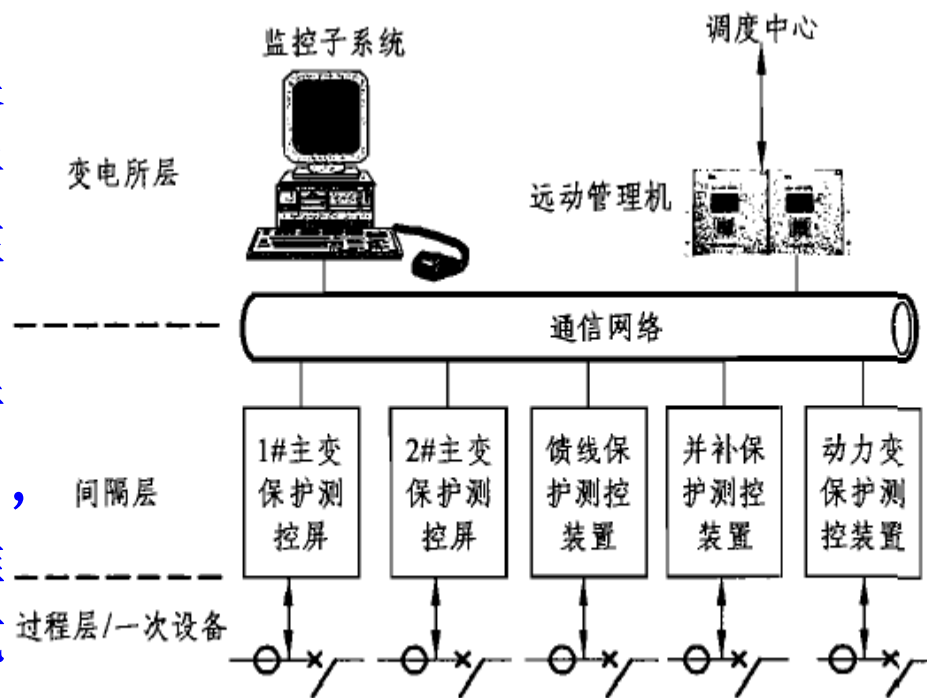


图 7.2 牵引供电变电所集中组屏的系统结构图

(三) 分层分布式结构的几种方式

2. 分散安装与集中组屏相结合

采用“面向对象”即面向电气一次回路或电气间隔(如一条馈线、一台变压器、一组电容器等)的方法进行设计的，**间隔层中保护测控装置就地分散安装在开关柜上或其他一次设备附近**。这样各间隔单元的设备相互独立，变电所层设备仅通过光纤网络对间隔单元进行管理和交换信息。

这是将功能分布和物理分散二者有机结合，对变电所二次系统进行优化设计的结果。通常能在间隔层内完成的功能(如保护功能)一般不依赖通信网络。这样组态模式集中了分布式的全部优点，此外还最大限度地压缩了二次设备及其繁杂的二次电缆，减少了控制室占地面积，节省了土地投资。这种结构形式本身配置灵活，从安装配置上除了能分散安装在间隔开关柜上以外，还可以实现在控制室内集中组屏或分层组屏。

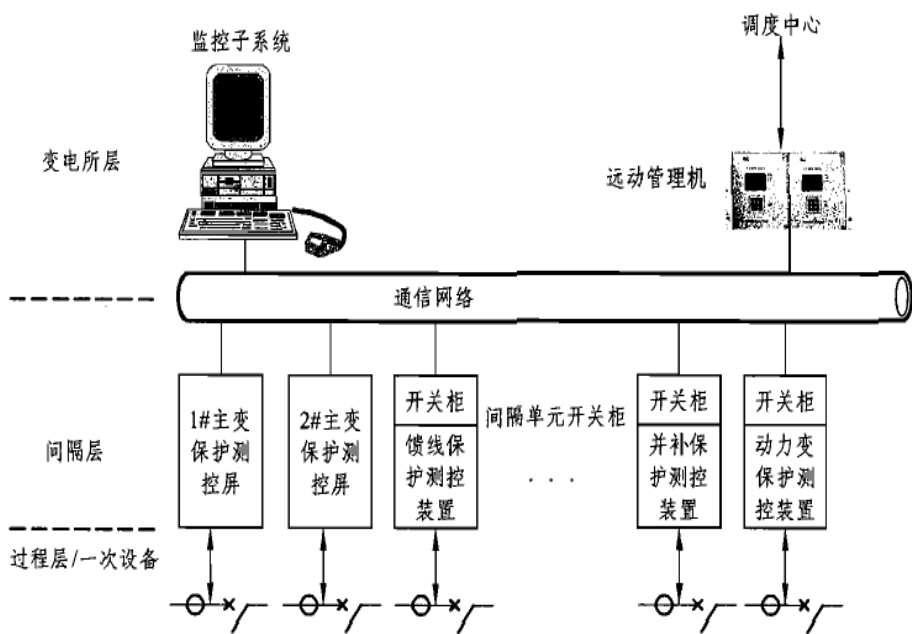


图 7.3 牵引变电所分散安装和集中组屏相结合的结构图



(三) 分层分布式结构的几种方式

3. 全分散模式

全分散式的自动化系统是指以变压器、断路器、母线等一次主设备为安装单位，将保护、测量、控制、闭锁等功能单元就地分散安装在一次主设备的开关柜上，安装在主控制室内的变电所层设备通过网络与这些分散的单元进行信息交换。

牵引变电所自动化系统按照全分散式设计较少，但在铁路的电力变配电所中已经实现了全分散的安装模式，新建客运专线的变配电所大都按照全分散的模式进行设计。随着牵引变电所自动化系统功能和结构的不断发展，全分散式结构一定是今后发展的方向。

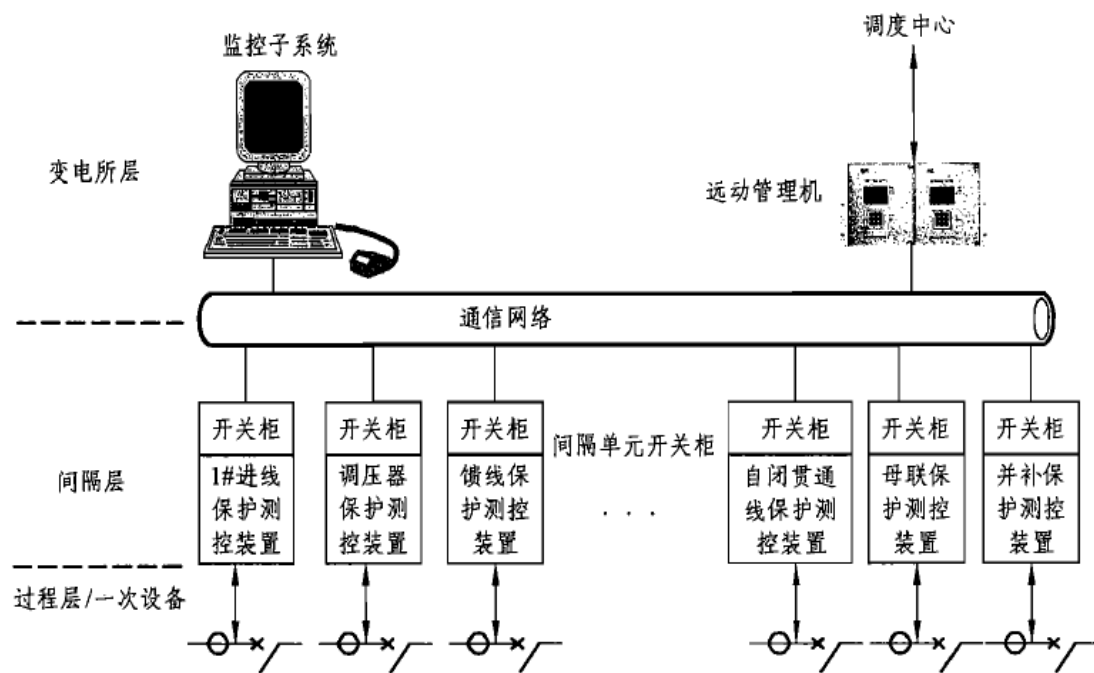


图 7.4 铁路电力配电所全分散安装结构图



第二节 变电所自动化系统的构成和功能

一. 通信概述

通信子系统包括系统内部现场级的通信和系统与上级调度的通信两部分。现场级的通信主要解决系统内部各个子系统与监控子系统之间、各个子系统之间的数据通信和信息交换问题，它的通信范围是变电所内部。自动化系统必须兼有RTU的全部功能，应该能够将所采集的模拟量、开关状态以及事件顺序记录等信息远传至调度，同时应能接收调度下达的各种操作、控制命令。

在牵引变电所自动化系统中，数据通信是一个重要环节，其主要任务体现在两个方面：一方面是完成自动化系统内部各子系统或各种功能模块间的信息交换。这是因为变电所自动化系统实质上是由分层分布式的多台微机组成的控制系统。在各个子系统中，往往又由多种智能功能模块组成。因此，必须通过内部数据通信，实现各子系统内部和各子系统之间的信息交换和信息共享。另一方面是完成变电所与调度中心的通信任务。

网络技术、通信协议标准、分布式技术、数据共享等均是变电所自动化系统通信的关键问题。



(一) 牵引变电所自动化系统通信子系统功能

1. 牵引变电所内的信息交换

- (1) 现场一次设备与间隔层间的信息传输。间隔层设备主要完成保护、测量、控制功能，需要从现场一次设备的电压和电流互感器采集正常情况和事故情况下的电压值和电流值，采集设备的状态信息和故障诊断信息，这些信息主要是：断路器、隔离开关位置，变压器的分接头位置，变压器、互感器、避雷器的诊断信息以及断路器操作信息等。目前情况下间隔层设备和一次设备的信息交互是通过电缆来完成的，随着技术的发展，一次设备开始智能化，也可以通过通信来与间隔层设备交互信息。
- (2) 间隔层内部的信息交换。在一个间隔层内部相关的功能模块间，即继电保护、测量、控制模块之间的数据交换，比如对变压器可能会配置主保护、后备保护、测控单元共三个智能设备，它们之间可能需要信息交换。
- (3) 间隔层之间的信息交换。有些功能需要在不同的间隔层之间交换数据，比如不同间隔的断路器、隔离开关的闭锁，变压器的自投等。



1. 牵引变电所内的信息交换

- (4) 间隔层与变电所层的信息交换。间隔层和变电所层之间的通信是最主要的通信，信息交换的内容很多，主要有以下三类：①测量及状态信息，包括正常及事故情况下的测量值和计算值，断路器、隔离开关、变压器分接开关位置，各单元层设备运行状态，保护动作信息等。②操作信息，包括断路器和隔离开关的分、合闸命令，主变压器分接头位置的调节，自动装置的投入与退出等。③参数信息，包括微机保护和自动装置的整定值等。
- (5) 牵引变电所层内部信息交换。变电所层可能由多台计算机设备来完成变电所层的功能，不同设备之间的通信，要根据设备的任务和功能的特点，传输所需的测量信息、状态信息和操作命令等。



2. 牵引变电所和调度中心的信息交换

牵引变电所自动化系统都具有远动功能，远动通信单元会把变电所内的相关信息传送到调度中心，同时能接收调度的数据和控制命令。变电所向调度中心传送的信息通常称为“上行信息”；而由调度中心向变电所发送的信息，通常称为“下行信息”。这些信息可按“四遥”功能划分，主要包括：

- ◆ 遥测信息，变电所上送模拟量的相关信息。
- ◆ 遥信信息，变电所上送开关位置信号、有关状态信号、保护动作信号等。
- ◆ 遥控命令，调度中心下发命令控制断路器、隔离开关位置，保护装置的保护元件的投入/退出，装置复归等。
- ◆ 遥调命令，调度中心下发命令改变变电所设备的工作状态和参数调整。

除上述“四遥”基本功能外，变电所自动化系统还需要完成整定值功能、详细故障信息功能、远传故障录波功能等。



(二) 牵引变电所自动化系统通信的特点和要求

由于数据通信在自动化系统内的重要性，经济、可靠的数据通信成为系统的技术核心，而由于变电所的特殊环境和自动化系统的要求，使牵引变电所自动化系统内的数据网络具有以下特点和要求：

1. **快速的实时响应能力。**牵引变电所自动化系统的数据网络要及时地传输现场的实时运行信息和操作控制信息。
2. **很高的可靠性。**牵引变电所是连续运行的，数据通信网络也必须连续运行，通信网络的故障和非正常工作会影响整个变电所自动化系统的运行。
3. **优良的电磁兼容性能。**牵引变电所是一个具有强电磁干扰的环境，存在电源、雷击、跳闸等强电磁干扰和地电位差干扰，通信环境恶劣，数据通信网络必须注意采取相应的措施来消除这些干扰的影响。
4. **分层式结构。**这是由整个系统的分层分布式结构所决定的，也只有实现通信系统的分层，才能实现整个变电所自动化系统的分层分布式结构，每一层都要有合适的网络系统。



(三) 数据通信基本概念

由于数据通信在自动化系统内的重要性，经济、可靠的数据通信成为系统的技术核心，而由于变电所的特殊环境和自动化系统的要求，使牵引变电所自动化系统内的数据网络具有以下特点和要求：

1. **快速的实时响应能力。**牵引变电所自动化系统的数据网络要及时地传输现场的实时运行信息和操作控制信息。
2. **很高的可靠性。**牵引变电所是连续运行的，数据通信网络也必须连续运行，通信网络的故障和非正常工作会影响整个变电所自动化系统的运行。
3. **优良的电磁兼容性能。**牵引变电所是一个具有强电磁干扰的环境，存在电源、雷击、跳闸等强电磁干扰和地电位差干扰，通信环境恶劣，数据通信网络必须注意采取相应的措施来消除这些干扰的影响。
4. **分层式结构。**这是由整个系统的分层分布式结构所决定的，也只有实现通信系统的分层，才能实现整个变电所自动化系统的分层分布式结构，每一层都要有合适的网络系统。



(三) 数据通信基本概念

1. 通信的基本结构和模型

(1) 数据通信的基本结构

- ◆ 数据终端设备DTE(Data Terminal Equipment): 指所有具有作为二进制数字数据源点或终点能力的单元, 即它产生或接收处理数据。DTE设备如计算机、嵌入式系统等。
- ◆ 数据电路终端设备DCE(Data Communications Equipment): 指任何能够通过网络发送和接收模拟或数字数据的功能单元都是。DCE设备如调制解调器。



图 7.5 网络通信的基本模型



(三) 数据通信基本概念

1. 通信的基本结构和模型

- (2) **信号传输方式**：数据在通过通信介质传输前必须转换为信号，信号分模拟信号和数字信号。模拟信号是随时间变化而平稳变化的连续波形；数字信号是离散的，它可以包含有限数目的几个预定值，在通信中常用的就是0和1。信号按照原样传输称为基波传输，将原信号调制成高频载波信号再传输称为载波传输。
- (3) **线路传输方式**。信息在互相连接的设备之间传输，信号流动的方向即线路传输方式分为3种：单工、半双工和全双工。
- (4) **通信速率**。比特率和波特率是数据通信中常用的两个术语。比特率是每秒传输的比特数，也称数据传输率，单位为bit/s。波特率是用来表示每秒传输的信号单元数，其中信号单元由一些比特组成。



- ① **物理层**：传送电信号的物理实体。它定义通信设备和传输介质之间的机械、电气特性，传输速率，物理拓扑结构等。
- ② **数据链路层**：通过一定的格式及流量、差错控制，保证报文以帧为单位在链路上的可靠传输。链路层数据帧中包含了发送方和接收方的物理地址。
- ③ **网络层**：负责将包从源地址传送到目的地址，数据帧中包含了发送方和接收方的逻辑地址。
- ④ **传输层**：实现主机-主机的连接，负责整个报文从源端到目的端(端到端)的传递过程。
- ⑤ **会话层**：用以建立进程-进程间的对话。
- ⑥ **表示层**：提供一套格式化服务，如代码转换、报文压缩、加密和解密等，是关于两个系统之间交换信息的语义和语法。
- ⑦ **应用层**：提供用户接口和服务支持，如电子邮件、数据库存取、远程访问等。

2. 串行数据通信

计算机的数据由字节或字组成，一个字节是八位，在通信过程中按同时传输数据位的多少可分为并行通信和串行通信。串行数据通信是数据位一位一位地顺序传送，数据的各位可以分时使用同一传输线。串行通信分为同步串行数据传输和异步串行数据传输。

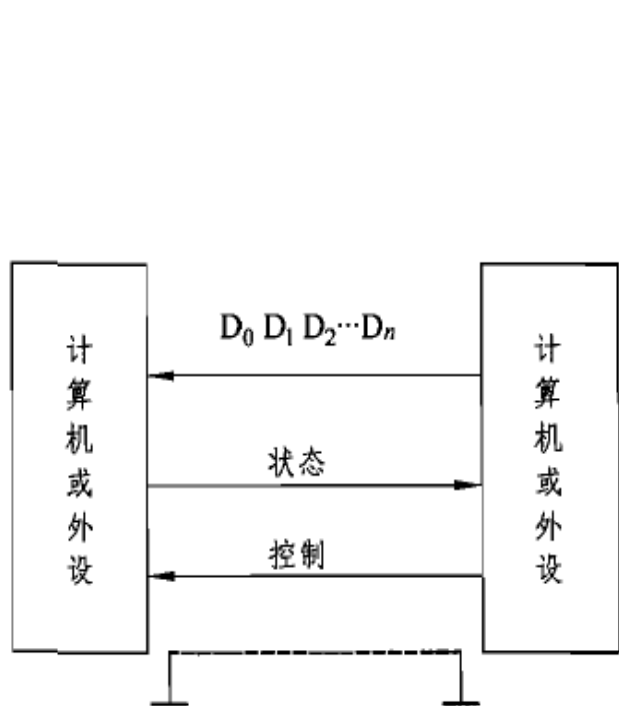


图 7.8 串行数据通信

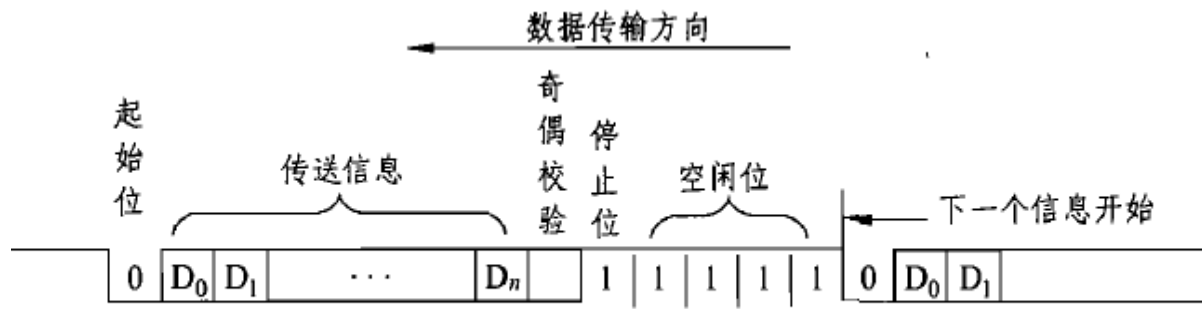


图 7.9 异步串行数据传输格式

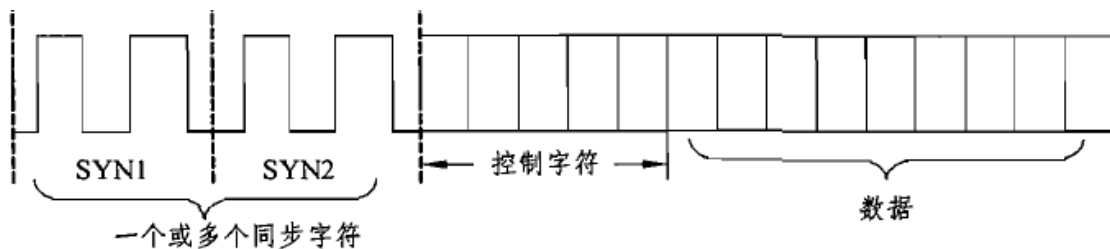


图 7.10 同步传输帧格式



二. 常用通信技术

变电所自动化系统的通信随着计算机技术和通信技术的发展，其采用的通信接口也在不断发展，RS232、现场总线技术、以太网技术都是目前正在采用的通信接口，它们分别应用于不同的场合。

(一) 现场总线技术

1. 现场总线用于现场智能化装置与控制自动化系统之间的一个标准化的数字式通信链路，可进行全数字化、双向串行多节点数字通信，实现互操作及数据共享。现场总线连接自动化最底层的现场控制器和现场智能仪表设备，网线上传输的是小批量数据信息，如检测信息、状态信息、控制信息等，传输速率低，但实时性高。
2. RS232、RS485只能代表通信的物理介质层和链路层，如果要实现数据的双向访问，就必须自己编写通信应用程序，但这种程序多数都不能符合ISO/OSI规范，只能实现较单一的功能，适用于一种设备类型，程序不具备通用性。现场总线技术是以ISO/OSI模型为基础的，具有完整的软件支持系统。现场总线设备自动成网，无主从设备之分或允许多主存在，在同一个层次上不同厂家的产品可以互换，设备之间具有互操作性。



(一) 现场总线技术

- 3. LON(Local Operating Networks)总线：** LON现场总线的神经元芯片拥有三个处理单元，一个用于链路层控制，一个用于网络层控制，另一个用于用户的应用程序。LON总线网络协议LonTalk提供了一个固化在神经元芯片的网络操作系统处理全部的通信任务，提供给用户的是一个简单的网络应用接口，一帧数据最大字节数为228个。这样可以使用户专注于应用设计，网络通信的具体实现不再困扰应用设计的实现。
- 4. CAN是控制器局域网(Controller Area Network)：** CAN总线协议也是建立在OSI参考模型的基础上，不过其模型结构只有3层，只取物理层、数据链路层和应用层。CAN总线为多主工作方式，支持点对点、一点对多点和全局广播方式接收/发送数据。它采用总线仲裁技术，当出现几个节点同时在网络上传输信息时，优先级高的节点可继续传输数据，而优先级低的节点则主动停止发送，从而避免了总线冲突。CAN总线的信号传输采用短帧结构，每帧有效字节数为8个，因而传输时间短，受干扰的概率低，当节点严重错误时，具有自动关闭的功能以切断该节点和总线的联系，使总线上其他节点的通信不受影响，具有较强的抗干扰能力。主要问题是对大信息量的自动化监控信息，必须进行多包传输才能完成。



(二) 工业以太网

1. **以太网的定义**：以太网是我们经常提到的局域网LAN(Local Area Network)的一种，有四种体系结构在局域网中占主导地位：以太网、令牌总线、令牌环、光纤分布式数据接口(FDDI)。以太网、令牌总线、令牌环都是IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers, 电气和电子工程师学会)的标准，是802标准的组成部分，FDDI是ANSI(American National Standards Institute, 美国国家标准协会)标准。

IEEE802标准和OSI模型之间的关系如图7.11所示，IEEE将数据链路划分为两个子层：逻辑链路控制子层LLC(Logic Link Control)和介质访问控制子层MAC(Media Access Control)。

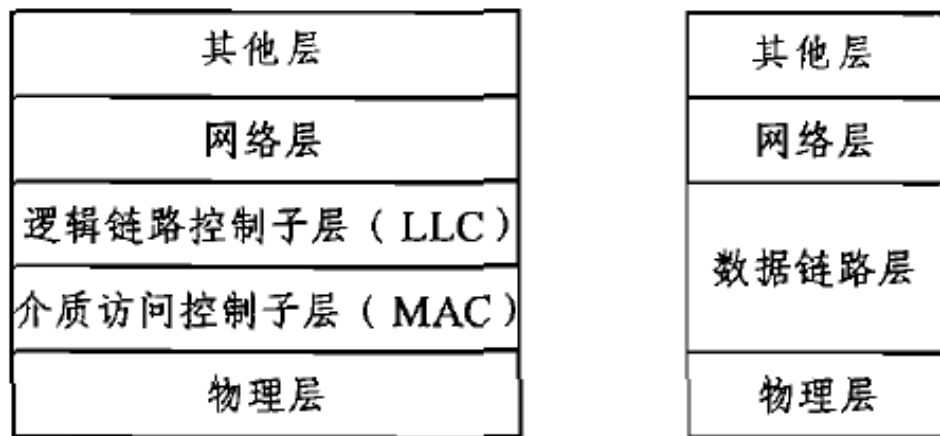


图 7.11 LAN 和 OSI 模型比较



(二) 工业以太网

2. TCP/IP协议和以太网：以TCP/IP(Transfer Control Protocol/Internet Protocol)是传输控制协议/网际网络协议的简称，是事实上的通信标准。TCP/IP是在OSI模型之前开发出来的，因此TCP/IP协议中的分层并不完全和OSI模型中的相匹配。TCP/IP协议的体系结构分为四层:应用层、传输层、网络层和链路层。

(1) 链路层：链路层在TCP/IP协议栈的最底层，也称为数据链路层或网络接口层。特别强调的是TCP/IP协议并没有具体定义链路层，只要是在其上能进行IP数据报传输的物理网络如以太网、令牌环网、FDDI、RS232串口等都可以作为TCP/IP的链路层，也可以说TCP/IP协议支持不同的链路层协议。

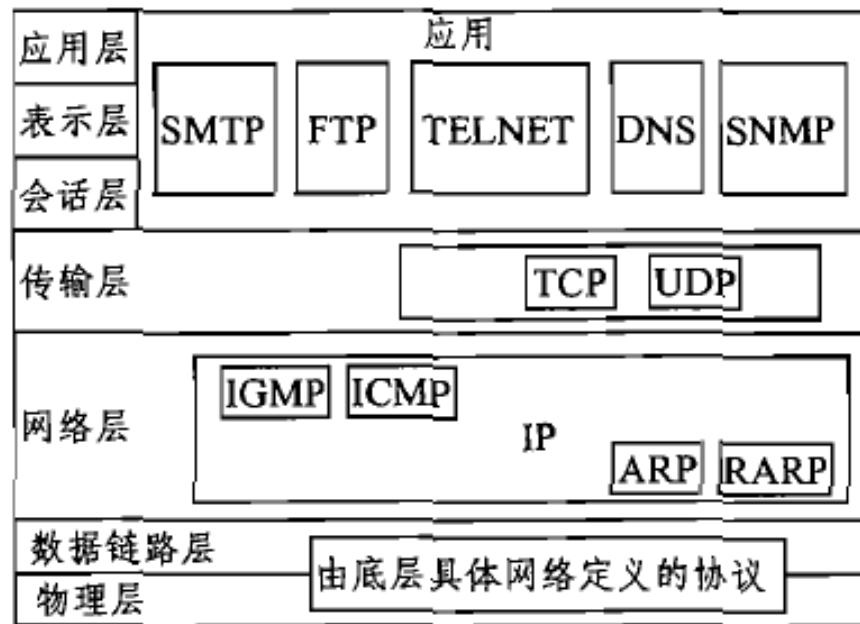


图 7.13 TCP/IP 和 OSI 模型



2. TCP/IP协议和以太网

- (2) **网络层**：该层的主要协议是IP协议，它是TCP/IP协议中最重要的一层。IP协议定义如何标识网络设备、数据传输中使用的传输机制、报文格式等。网络层支持的其他四个协议是ARP，RARP，ICMP和IGMP。地址解析协议ARP (Address Resolution Protocol)将IP地址与物理地址相联系。
- (3) **传输层**：两台主机之间的通信其实是两台主机上应用层程序之间的通信，传输层提供的就是应用程序之间的通信，也叫端到端的通信。TCP/IP传输层包含两个不同的传输协议：TCP和UDP。TCP提供端到端的可靠的数据通信，由确认和重发的机制来保证。UDP为应用层提供一种简单的服务，它只是把数据从一台主机发送到另一台主机，不能保证数据是否到达目的地，通信的可靠性必须由应用程序来保证。
- (4) **应用层**：应用层向用户提供特定应用程序，目前广泛使用的应用程序有远程登录(Telnet)、文件传输协议(FTP)、超文本传输协议(HTTP)、域名系统(DNS)、简单网络管理协议(SNMP)和简单邮件传输协议(SMTP)等。



3. 以太网在变电所自动化系统中的应用

工业控制网络不同于普通数据网络的最大特点在于，它必须满足控制功能对实时性的要求，即信号传输要足够快且满足信号的确定性。

以太网现在普遍采用星形拓扑结构，现代交换机均采用存储、转发技术，使各个端口之间输入和输出的数据帧能够得到缓冲，不再发生碰撞。全双工通信使同一端口可以同时收、发数据。这些技术使网络上的碰撞和冲突基本不复存在，以太网通信的确定性和实时性大大提高，满足了工业控制领域要求的稳定性与可靠性，正在逐步地走向工业控制领域。变电所自动化系统使用以太网，能够解决使用现场总线存在的种种问题，为变电所自动化提供开放式、全分布、可互操作性的通信平台。



三. 网络结构

牵引变电所自动化系统的网络结构和自动化系统采用的通信技术有关，和牵引变电所的规模有关，和智能装置采用集中组屏或分散安装有关，还和厂家给每个智能装置的功能分配有关。变电所自动化系统的智能装置有哪些呢?除了需要完成的变压器、电容器、馈线、动力变等的保护、测量、控制任务外，还有备用电源自投、自动重合闸功能等，对牵引供电系统来说还有故障测距功能，对完成这些功能的智能装置我们在后面都称为保护测控装置。另外变电所中还有一些其他的智能设备如交直流屏、智能电度表、一次设备在线监测装置等，它们的信息也可以通过通信接口接入变电所自动化系统中，这些设备一般都是第三方厂家的产品，我们将其称为智能设备，或称其为第三方设备。



(一) 牵引变电所自动化的通信装置

牵引变电所自动化系统的各个设备信息都需要得到有效的监控，信息需要上送到当地变电所层的当地监控单元，同时送到调度中心。当地监控单元采用通用计算机，一般只有有限的串行接口和以太网接口，在变电所自动化系统中不可能和设备采用点对点的连接方式。如果保护测控装置采用现场总线，则通用计算机必须配置相应的适配卡才能和装置进行通信。不同厂家的自动化产品的通信规约也不相同，连接到当地监控单元需要进行规约转换。这些因素导致了变电所自动化系统中有专门的通信装置来完成特定的通信功能，将整个变电所自动化设备连接在一起。



1. 规约转换器/网关

牵引变电所自动化系统的变电所层一般都采用通用计算机，通过以太网和外部设备进行通信，间隔层二次设备如果使用RS232/RS485或现场总线则需要将接口转换为以太网接口。当地监控单元使用的通信协议可能和二次设备使用的通信协议不一样，不同厂家的产品使用的通信协议也可能不一致，这也需要接口对通信协议进行转换。完成上述功能的通信装置被称为规约转换器，也称网关。

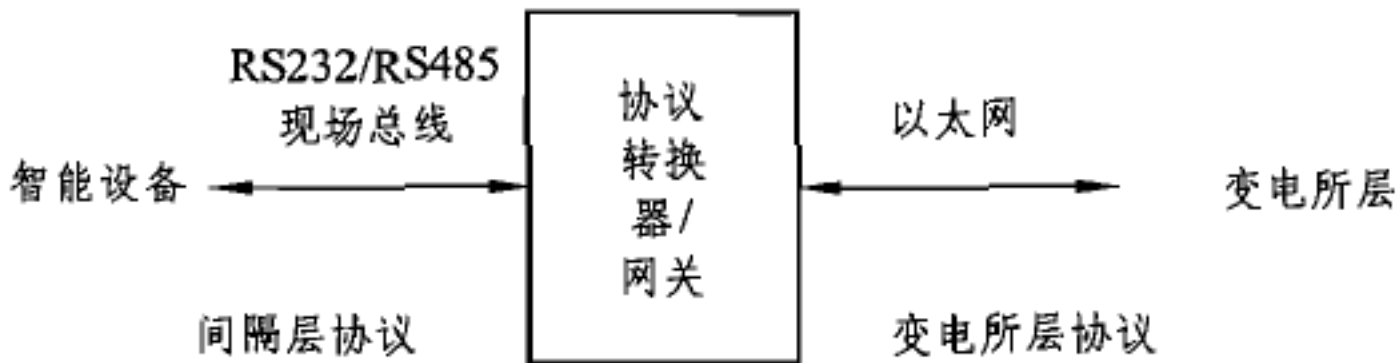


图 7.14 协议转换器功能示意图



2. 通信管理机

通信管理机，在有的自动化系统中又称为主控单元，作为变电所自动化系统的一个重要组成部分，它通过多种类型的标准通信接口和通信规约来沟通不同类型的继电保护装置、数据采集装置、智能测控装置与后台监控系统之间的信息联系，有些厂家设计的通信管理机还能够完成远动通信功能。它一方面通过与继电保护装置、数据采集装置、智能测控装置进行通信，搜集变电站运行中的各类实时信息送往后台监控系统和调度中心，供它们对变电所进行运行监视，另一方面接收和转发来自后台监控系统和调度中心的各类操作命令，对变电所的断路器、刀闸、变压器分接头等进行遥控、遥调操作。

通信管理机区别于网关。在变电所自动化系统中网关连接的装置数较少，系统中有多个网关，而通信管理机连接变电所内的所有保护测控装置和其他智能通信装置；网关可以直接和后台监控系统通信，也可能作为通信管理机的一个通信对象。为了保证系统的通信可靠，一般通信管理机都采用双机备用的配置方式。



3. 远动管理机

远动管理机，又称为远动主站或远动工作站，它的任务是收集变电所的信息传送给调度中心，接收调度中心的各类操作命令转发给智能装置执行，完成遥控、遥调任务。正如上面介绍的，在有的系统中远动通信的任务是由通信管理机完成的。在变电所自动化之前完成远动任务的是RTU，它和远动管理机的区别是：传统的RTU采集变电所的信息和控制是通过和一次设备的电缆连接完成的，对继电保护信息也是通过对继电保护装置的节点采集完成的，它和二次设备通过通信进行信息交换是有限的；在变电所自动化系统中，远动管理机对变电所信息的收集和调度命令的下发全部通过通信完成，它和二次设备的通信是通过网关、通信管理机完成的，在以太网的情况下也可以直接和二次设备进行通信。从调度自动化的年度来说，远动管理机也是一个网关，它连接变电所智能设备和调度中心，在远动通信网络和变电所自动化系统网络间进行接口转换，在远动通信协议和变电所自动化系统通信协议之间进行了一个转换。远动管理机另外的一个作用是信息过滤。

(二) 牵引变电所自动化系统网络结构

牵引变电所自动化系统是由二次智能设备和通信设备构成的网络。牵引变电所自动化系统的变电所层网络目前都采用以太网，网络结构中的不同之处主要在间隔层。

1. 现场总线的网络结构形式-(1)通过网关进行通信接口的转换

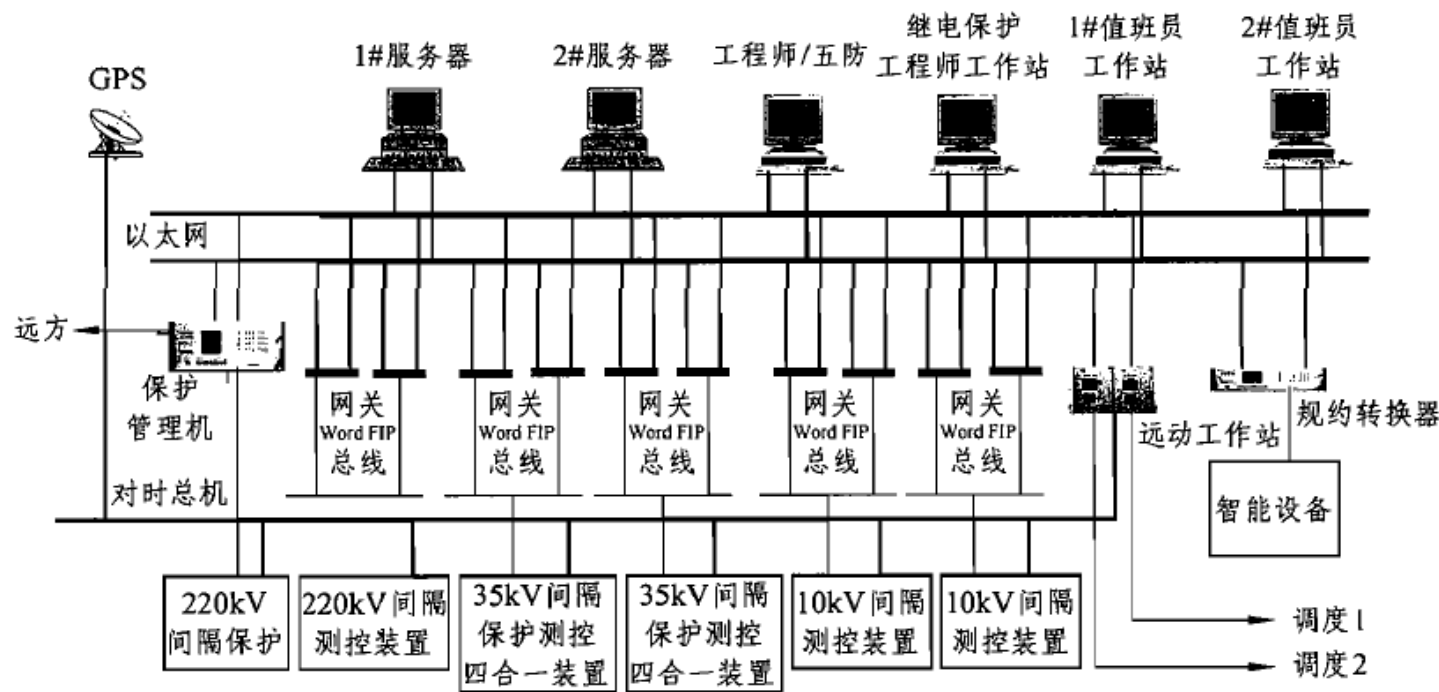


图 7.15 采用现场总线的自动化系统网络结构框图



(二) 牵引变电所自动化系统网络结构

1. 现场总线的网络结构形式-(2) 光纤自愈环网现场总线系统网络。

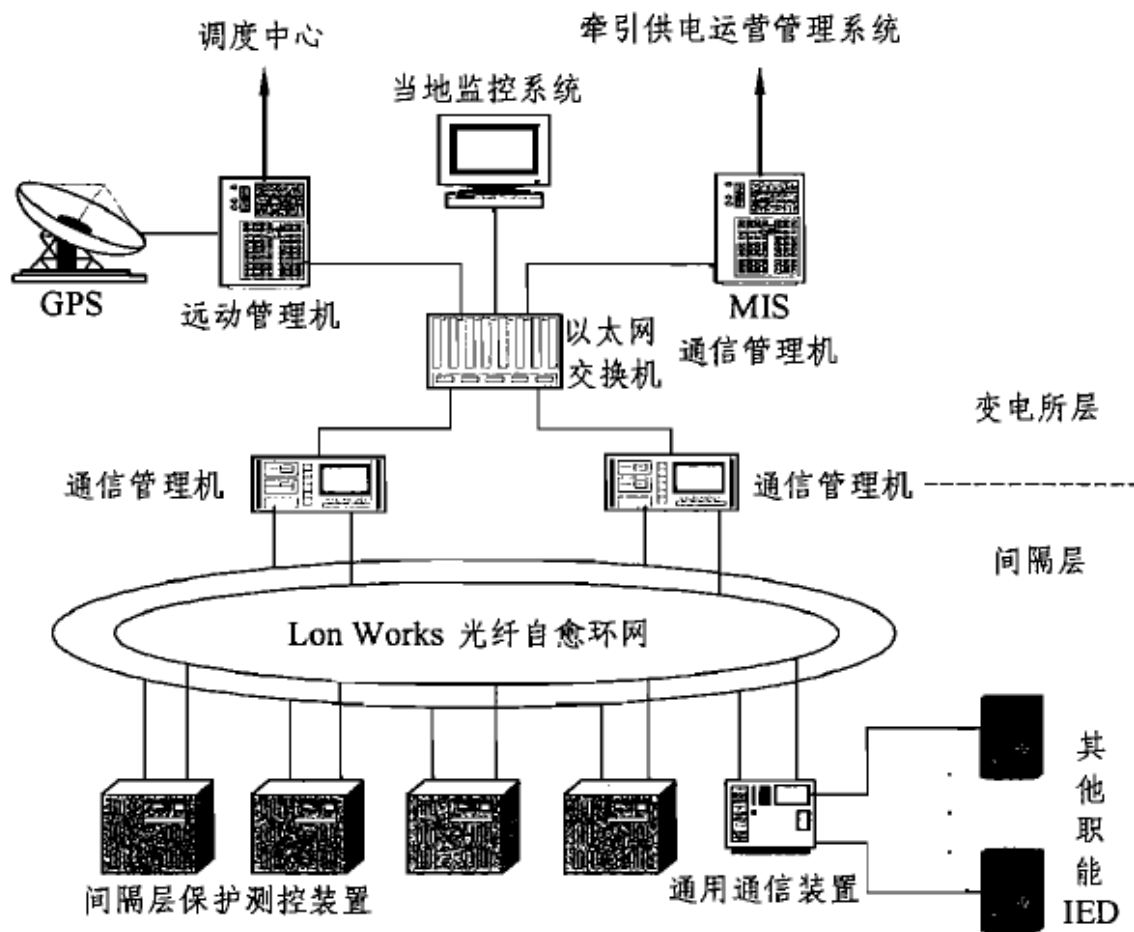


图 7.16 LonWorks 现场总线自动化系统结构示例

(二) 牵引变电所自动化系统网络结构

1. 现场总线的网络结构形式-(3) 总线型系统网络

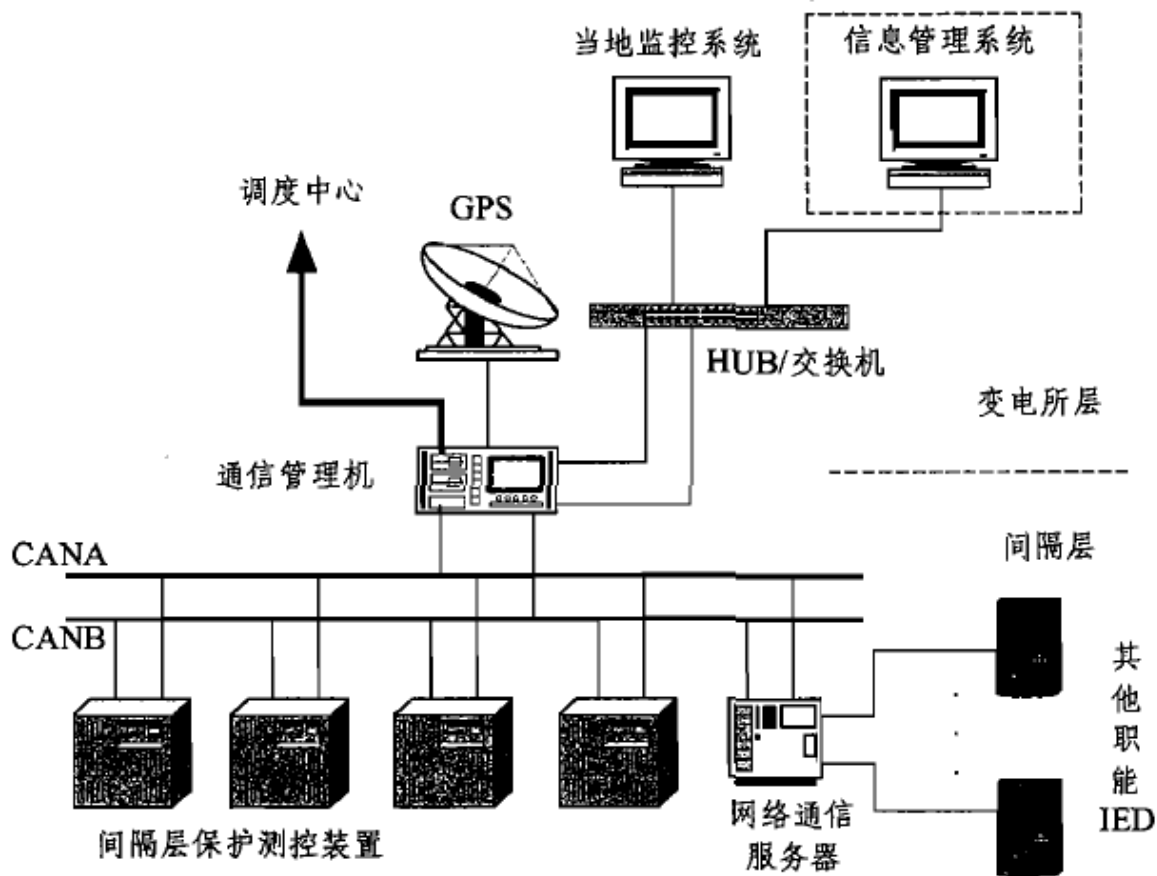


图 7.17 CAN 总线自动化系统结构示例



(二) 牵引变电所自动化系统网络结构

2. 以太网的网络结构形式-(1)星形结构

随着对变电所自动化系统的通信速度和当地监控系统画面响应时间的要求越来越高，在间隔层采用以太网进行通信成为一种要求。采用以太网可以省去通信接口转换设备，减少通信的中间设备，提高通信的可靠性。

图7.18是采用星形结构的变电所自动化系统实例，间隔层设备都采用以太网接口。通信管理机在这里实际上是完成远动管理机的功能。采用星形结构的问题是在分散安装时，通信电缆都需要从开关柜连接到控制室，增加了施工和维护工作量。

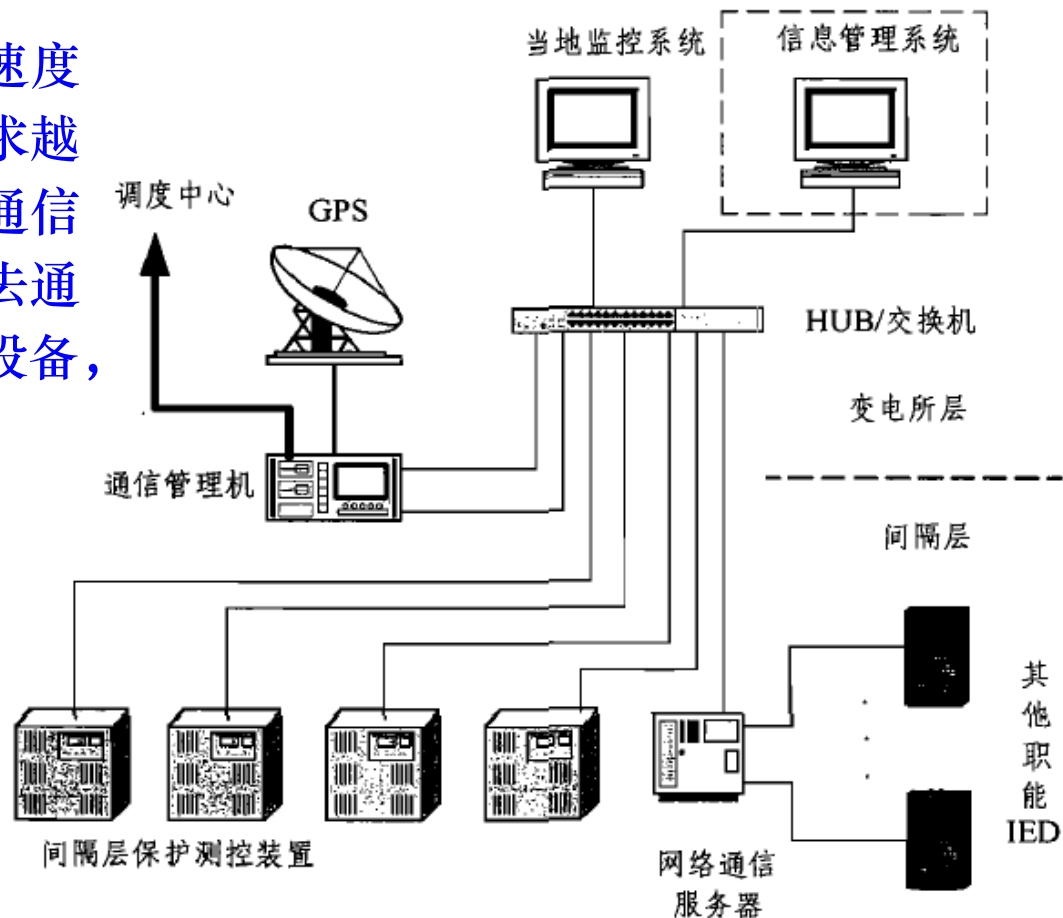


图 7.18 星形以太网自动化系统结构示例

(二) 牵引变电所自动化系统网络结构

2. 以太网的网络结构形式-(2)星形环网结构

采用这种网络结构形式可以很好地适应集中组屏和分散安装。对集中组屏，每面屏中有一个变电所层的光纤环网设备，在屏内是星形网络结构，在屏间和变电所层是环网结构。对分散安装，在每个间隔单元使用一个光纤环网设备，间隔单元采用星形结构，主干网络采用环形结构。

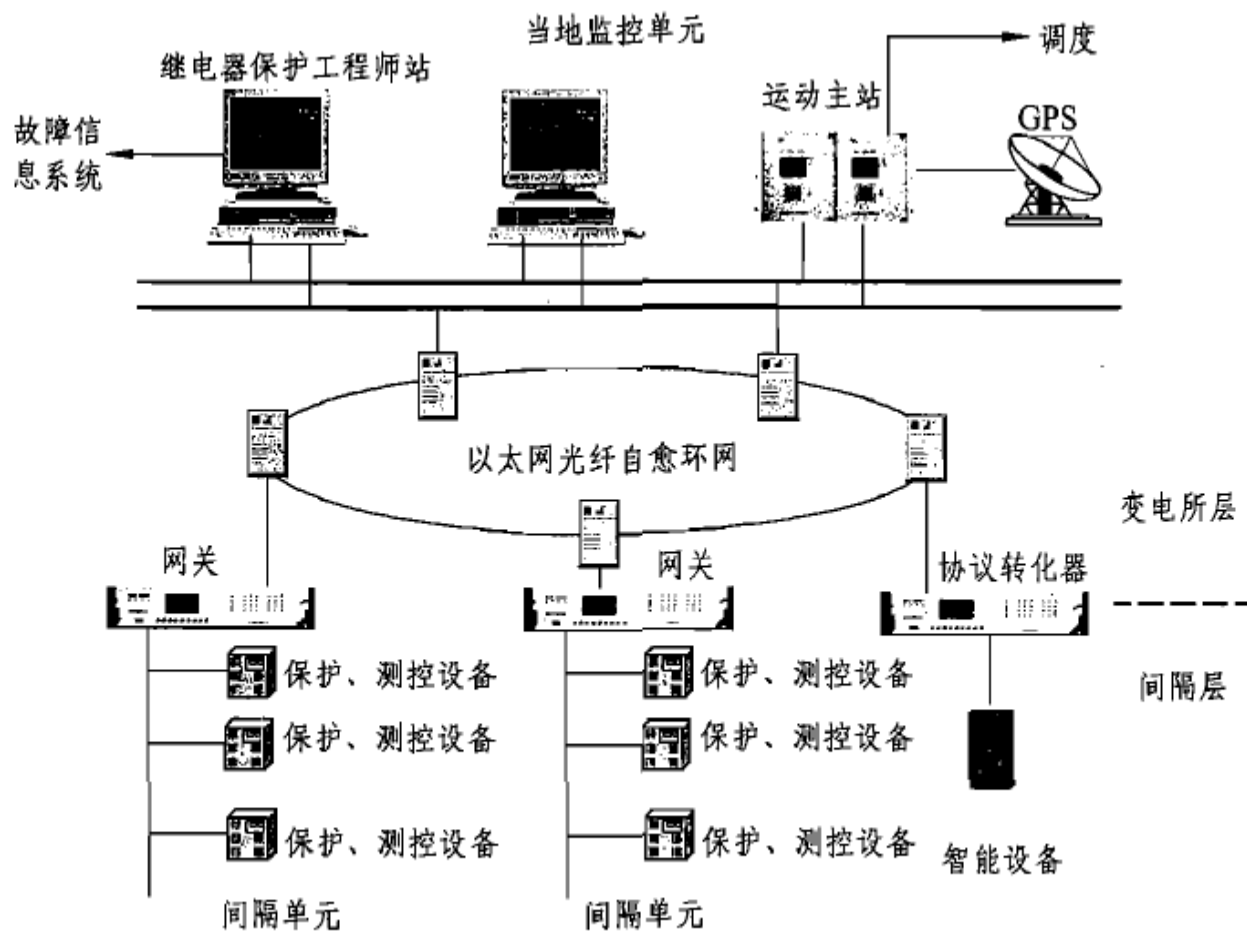


图 7.19 主干环网的自动化系统结构示例



四. 通信规约

(一) 变电所自动化系统通信规约概述

1. 牵引变电所层和间隔层设备通信的内容

- **故障信息。**微机保护能够提供保护动作元件和动作时间、保护动作时的故障电量和保护动作前后的故障电量波形。故障报告中还可以记录保护元件的启动、动作信息，给出了从保护启动到出口的全过程。
- **整定值功能。**整定值能够通过当地监控系统进行查看和修改。
- **事件、自检信息。**微机保护装置可以记录装置运行过程中的事件和状态变化，如遥控操作事件、定值修改、装置启动、装置自检信息等，更加全面地记录装置运行状态，为装置故障判断和维护提供更加全面的信息。
- **历史数据查询功能。**微机保护装置内部记录了故障报告、故障录波信息和事件、自检报告，可以在当地监控系统对装置进行历史数据的查询。
- **其他功能。**如负荷录波功能。



(一) 变电所自动化系统通信规约概述

2. 通信规约的定义和内容

- **应用数据的定义。**信息的内容和传送。例如，馈线断路器211位置从分位变为合位，这个遥信信息从保护测控装置传送到变电所层涉及两个问题：一个是怎么传送，一个是如何表示这个信息。传送的遥信信息需要包含：具体的遥信量，即哪个遥信量发生变化；遥信变位产生的时间；遥信变位发生的原因，即是遥控操作还是本体操作；遥信值是多少，即处于分位或合位。
- **数据传输规则。**比如通信接口采用RS485，如果两个装置同时发送数据，则发送将会产生冲突，导致接收数据出错。通信时必须保证在任一时刻只能有一个设备在发送数据。在变电所自动化系统的通信中，通信数据的传送规则主要有两种方式：一种是查询(问答)方式，通信一方作为主站，向从站发送查询报文，从站接收后按照查询要求回答报文；另一种是采用自发的工作方式，通信双方都可以主动发送数据，只在数据有变化的时候才发送。

(二) 具体通信规约介绍

为了实现变电所自动化系统内设备的互换性和互操作性，必须实现传输规约的标准化和传输网络的标准化。

1. 间隔层设备通信规约-IEC 60870-5-103 《继电保护设备信息接口配套标准》

(1) 规约结构：规约采用物理层、链路层和应用层三层参考模型。

- 物理层：串行通信系统，实际通信系统可以采用现场总线或以太网；
- 链路层：控制系统(实际通信中为通信管理机或网关)组成主站，继电保护设备(或间隔单元)为从站(子站)。通信的发起是由控制系统开始(启动站)，继电保护设备(或间隔单元)为从动站，通信方式为查询方式。

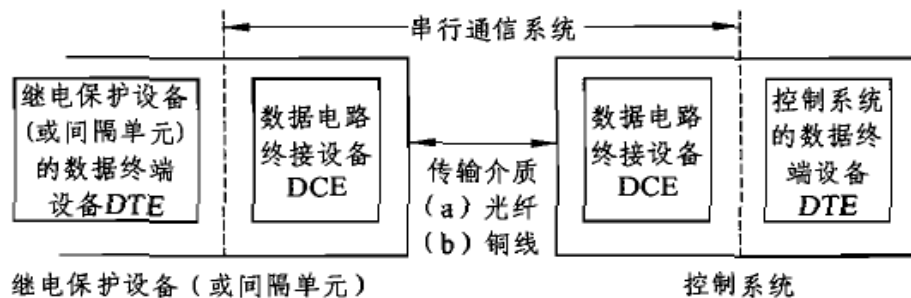


图 7.21 继电保护设备和控制系统的接口和连接



(二) 具体通信规约介绍

1. 间隔层设备通信规约-IEC 60870-5-103 《继电保护设备信息接口配套标准》
- (2) **应用服务数据单元定义**：数据类型标识、信息元素个数、传送原因、地址、功能类型(哪种保护)、信息序号(应用数据单元内的信息序号、功能类型、单元公共地址确定了唯一的信息点)、信息元素集、时标；
- (3) **传输帧格式**：规约中有固定帧长报文和可变帧长报文两种报文格式，前者主要用于传送“召唤、命令、确认、应答”等信息，后者主要用于传送“命令”和“数据”等信息。地址域-装置地址。
- (4) **用户数据收集过程**：103规约采用查询方式的工作过程，主站发起通信，从站响应。通信的一般过程是：控制系统上电后，依次发送“复位通信单元”命令、“总召唤启动”命令、“时钟同步”命令，然后转入循环召唤。在循环召唤过程中，主站发送召唤2级数据的报文，从站回答2级数据，如果从站有1级数据需要发送，则在回答2级数据报文的控制域置上有1级数据的标志，主站根据标志在下次召唤中发送召唤1级数据命令。如果在循环召唤过程中控制系统有其他命令下发，如遥控命令，则其他命令将代替召唤数据的报文，使控制系统能够得到及时的响应。在实际的变电所自动化系统中，主站就是通信管理机或网关，由它来完成用户数据的收集过程，并将收集的数据上送到变电所层。



(二) 具体通信规约介绍

2. 与调度中心通信规约-IEC 60870-5-103 《继电保护设备信息接口配套标准》

- (1) **循环传送远动规约**：循环传送远动规约CDT是以变电所的远动管理机为主动端自发地不断循环向调度中心上报现场数据的远动数据传输规约。在通信过程中，远动管理机周而复始地按照一定规则向调度中心传送各种遥测、遥信、事件记录等信息，调度中心也可以向远动管理机发送遥控、遥调等命令。
- (2) **IEC 60870-5-101**：2002远动规约：IEC 60870-5-101是查询式(问答式、应答式)的远动规约。101规约的帧格式和103规约是一样的，不同的是控制域和应用服务数据单元的定义。101规约中，应用服务数据单元公共地址是指变电所的地址。信息对象地址指具体信息的编号，变电所所有信息对象统一编号，遥信对象地址范围为IH—I000H，继电保护信息对象地址为1001H-4000H，遥测信息对象地址为4001H-5000H，遥控对象信息地址为6001H-6200H，从信息对象地址范围可以知道规约的信息容量。信息元素是信息对象的具体信息。
- (3) **IEC 60870-5-104**：2002远动规约：远动通信采用网络的方式进行。在建立网络连接后，由调度中心启动通信过程，变电所的远动管理机有数据则向调度中心发送，调度中心可以收到多帧才进行确认，如果双方没有数据传送，则在规定的时间内发送测试报文，保持链路的正常连接。



(二) 具体通信规约介绍

3. 实际通信中存在的问题

IEC制订的规约主要从传统RTU的功能出发定义了“四遥”信息，对微机保护装置应用后所能记录的信息和功能没有进行定义，如整定值功能、详细故障信息、对装置的历史数据召唤等。

协议对类型标识、信息序号(信息体地址)等应用服务数据单元的所有元素都有严格的定义，对传送几率比较高的信息都进行了定义，但是并没有将继电保护中的所有信息量都进行定义，如果信息没有定义或超出了它定义的范围，则需要厂家对协议进行扩展来完成。这就造成了标准的通信规约并没有达到设备的互换和互操作。



第三节 间隔层

一. 变压器间隔单元功能及设备

变压器的安全运行是保证铁路运输供电需求的必要条件，对它的保护和监控就显得特别重要。变压器间隔主要功能是：

1. **保护功能。**
2. **测量功能。**测量功能主要包括变压器高、低压侧的电压、电流、轨回流、地回流、有功功率、无功功率、频率、相位、功率因数、主变压器油温等，同时监视断路器和隔离开关的位置信号、故障信号等。
3. **控制功能。**实现对变压器间隔内所有断路器和隔离开关的控制，包括高低压侧断路器、进线隔离开关、中性点隔离开关、跨条隔离开关等。
4. **故障录波和负荷录波功能。**在牵引供电系统中没有配置专用的故障录波设备，因此，保护装置具有故障录波功能就显得很有必要。在系统运行过程中也可以通过负荷录波功能查看当前运行状态
5. **备用电源自投功能。**当主变压器故障或进线失压时，实现备用电源或变压器的自动切换，保证铁路运输的正常供电。



一. 变压器间隔单元功能及设备

(一) 保护功能

由于变压器的重要性，对变压器的保护分为主保护和后备保护，分别由两套微机保护装置来完成。主保护装置主要完成差动保护，变压器的电流互感器有差动绕组专门作为差动保护使用，其他的保护由后备保护装置来完成。

非电量保护是从变压器本体来的非电量节点(如重瓦斯、清瓦斯、压力释放等)接入保护装置，启动装置的跳闸回路断开断路器。非电量保护不依赖保护装置的运行，只是借用了保护装置的跳闸回路，保护装置检测到非电量信号将其故障和信号记录并上送相关信息到变电所层。完成非电量保护有两种做法：一种是将非电量引入主保护或后备保护装置中，利用保护装置跳闸并记录故障信息；另一种是设计专门的非电量保护装置，由它来完成非电量保护功能和信息上送。



一. 变压器间隔单元功能及设备

(二) 测控功能

1. 变压器需要测量的模拟量有高、低压侧的电压和电流、轨回流、地回流、变压器的油温和铜温，还需要根据模拟量计算有功功率、无功功率、功率因数、有功电度、无功电度等。牵引变电所完成变压器测量任务一般采用专门的测控装置，有一台变压器对应一台测控装置的模式，也有一台测控装置完成所内两台变压器测量任务的模式。如果变压器后备保护采用高、低压侧分开的模式，则高、低压侧的测量任务分别由各自的后备保护完成。
2. 变压器的控制有高、低压侧的断路器和相关的隔离开关，对应的遥信量有开关位置信号和开关状态信号(如控制回路断线、机构故障等)。采用一台或两台装置完成全所变压器间隔的控制和信号采集功能。
3. 备用电源自投功能是在变压器故障或电源进线失压后，进行变压器或电源进线自投，迅速恢复供电的自动控制功能。
4. 对断路器的操作，尤其是分闸操作有多种方式:正常的遥控操作、主保护装置保护跳闸、后备保护装置保护跳闸、自投操作，有多个装置需要操作断路器。



一. 变压器间隔单元功能及设备

(二) 测控功能

1. 变压器需要测量的模拟量有高、低压侧的电压和电流、轨回流、地回流、变压器的油温和铜温，还需要根据模拟量计算有功功率、无功功率、功率因数、有功电度、无功电度等。牵引变电所完成变压器测量任务一般采用专门的测控装置，有一台变压器对应一台测控装置的模式，也有一台测控装置完成所内两台变压器测量任务的模式。如果变压器后备保护采用高、低压侧分开的模式，则高、低压侧的测量任务分别由各自的后备保护完成。
2. 变压器的控制有高、低压侧的断路器和相关的隔离开关，对应的遥信量有开关位置信号和开关状态信号(如控制回路断线、机构故障等)。采用一台或两台装置完成全所变压器间隔的控制和信号采集功能。
3. 备用电源自投功能是在变压器故障或电源进线失压后，进行变压器或电源进线自投，迅速恢复供电的自动控制功能。
4. 对断路器的操作，尤其是分闸操作有多种方式:正常的遥控操作、主保护装置保护跳闸、后备保护装置保护跳闸、自投操作，有多个装置需要操作断路器。

一. 变压器间隔单元功能及设备

(三) 典型的变压器间隔配置

变压器间隔的保护、测量、控制、备自投的功能及实现是由多个装置共同完成的，因此对变压器一般采用集中组屏的方式。变压器间隔功能的实现在目前的牵引变电所中有两种典型的方式，即一种是测控装置完成自投功能的模式，另一种是专门的自投装置模式。而保护配置都是采用主保护和后备保护的方式。

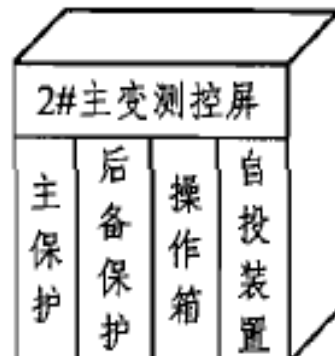
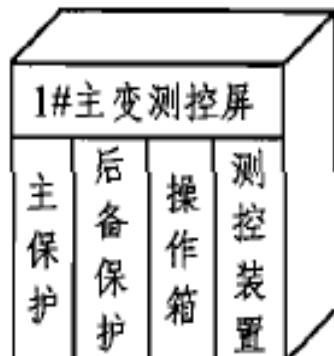
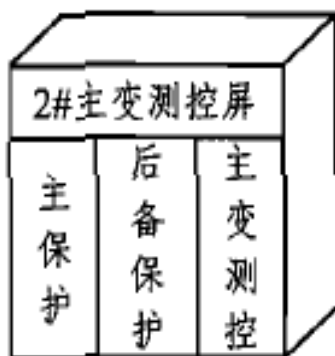
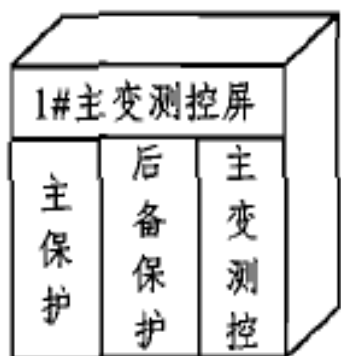


图 7.25 测控装置完成自投功能配置图

图 7.26 自投装置完成自投功能配置图



二. 馈线间隔单元功能及设备

牵引变电所馈线间隔单元完成向接触网供电，而接触网是整个牵引供电系统中的薄弱环节，出现故障的几率较高，对它的保护就显得特别重要。馈线间隔的主要功能有：

1. **保护功能。**
2. **测量功能。**测量功能主要包括馈线电压、电流、负荷角等，同时监视馈线断路器和隔离开关的位置信号、故障信号等。
3. **控制功能。**实现对馈线间隔单元内所有断路器和隔离开关的控制，主要包括馈线断路器、馈线隔离开关、旁路隔离开关等的合闸和分闸。
4. **故障录波和负荷录波功能。**
5. **故障测距功能。**当接触网出现故障，故障测距结果可以帮助维修人员快速到达现场，完成抢修任务，恢复供电。



二. 馈线间隔单元功能及设备

(一) 保护功能

牵引供电系统的馈线保护，由于电压等级低，并且使用备用断路器作为后备，保护功能都由一台装置完成，每台断路器都配一台保护装置。

在直供和BT供电方式下瞬时、永久故障的判别需要借助故障判别的硬件设备，从控制和判别的角度来说，首先需要合上故判的负荷开关，然后根据残压判别故障的性质。

故障判别可以采用两种方式：一种是由馈线保护装置操作故判负荷开关来进行故障性质的判别，它需要馈线保护装置有故判负荷开关的控制节点和残压采集的模拟通道，秦沈客运专线就是采用的这种方式；另一种方式是由专门的故判装置完成故障性质的判别，然后将结果告知馈线保护装置，馈线保护装置在重合闸时需要判断从故判装置来的故障性质判别结果。故判装置和馈线保护装置可以通过通信或节点连接的方式传送故障判别结果，故判装置可以通过网关或协议转换器接入变电所自动化系统。



二. 馈线间隔单元功能及设备

(二) 测控功能

馈线间隔的测量功能相对保护功能来说，模拟量的个数较少，因此可以用保护装置完成测量的功能。

在一个馈线间隔单元内，需要控制的隔离开关数，不同的主接线设计个数差别很大；另一方面，为了就地安装，馈线保护装置设计体积较小，限制了装置开入、开出的数量。因此，对馈线间隔单元的控制功能设计为馈线保护装置只控制断路器，不控制或只控制有限个隔离开关，其余的隔离开关控制和遥信信号采集由专门的测控装置来完成。

实际的馈线间隔单元设计为保护、测量、控制一体化装置，一套装置负责一台断路器的模式。如果馈线间隔需要控制的隔离开关较多，可以增加专门的测控装置负责完成。

馈线间隔可以采用集中组屏或分散安装的模式，每个间隔单元配置一台馈线保护测控装置。



三. 并补间隔单元功能及设备

从控制和测量的功能来看，并补间隔单元相对比馈线间隔单元和变压器间隔单元简单，可由一套装置完成保护、测量、控制功能。装置的设计面向并补单元，如果需要其他的测量和控制功能，则由专门的测控装置完成。

并补间隔单元需要完成的功能主要有：

- ◆ **保护功能。**
- ◆ **测量功能。**测量功能主要包括电流、电压，同时监视并补断路器和间隔内隔离开关的位置信号、状态信号等
- ◆ **控制功能。**实现对并补单元内所有断路器和隔离开关的控制。
- ◆ **故障录波和负荷录波功能。**



四. 其他间隔单元功能及设备

保护测控单元主要完成保护功能，能够完成的测量、控制、遥信功能有限，各个厂家都有专门的测控装置，来完成剩余的测量、控制、遥信采集任务。由于不涉及保护，因此测控装置具有较多的模拟通道、控制节点、开入节点，这些测控装置有面向特定间隔单元设计，主要用于特定的间隔单元，也有的按照通用要求设计。

除了变压器、馈线、并补间隔单元外，还有其他的保护间隔单元，如动力变间隔单元，这些间隔单元的设计考虑因素和前面的介绍一致。除了保护间隔单元，系统中还有一些其他的一次设备和二次设备，这些二次设备一般都不是变电所自动化系统厂家的产品，将它们接入自动化系统都采用协议转换器/网关的模式，如智能电度表、交直流屏。



第四节 站控层

一. 监控子系统的功能

变电所自动化系统改变了常规继电保护装置不能与外界通信的缺陷，取代常规的测量系统，如变送器、录波器、指针式仪表等；改变了常规的操作机构，如操作盘、模拟盘、手动同期及手控无功补偿等装置；取代常规的告警、报警装置，如中央信号系统、光字牌等；取代常规的电磁式和机械式防误闭锁设备；取代常规远动装置等；同时充分发挥微机监控的优点，扩展传统监控的功能。



二. 监控子系统的构成

牵引变电所自动化系统的监控子系统可以是单机系统，也可以是多机系统，它的构成与变电所的类型和规模有关，监控子系统的组成，从业务逻辑上可分为数据服务器、操作员站、继电保护工程师站、五防工作站。当变电所系统规模较小时，监控子系统可以由一台计算机组成，当变电所系统规模较大或为超高压变电所时，可以由多台计算机组成。牵引供电系统的变电所规模都比较小，实际应用的系统中都是由一台计算机完成全部的监控功能。

1. 数据服务器。数据服务器由实时数据库和历史数据库组成。实时数据库负责和间隔层的通信，并将数据在变电所层所有机器内保持同步。历史数据库采用商业数据库，负责各种历史数据的保存，提供查询服务。数据服务器负责整个系统的协调和管理，保持实时数据库的最新最完整备份;负责组织各种历史数据，并将其保存在历史数据库服务器中。



二. 监控子系统的构成

- 2. 操作员站。**操作员站是变电所运行人员的人机界面，完成对变电所的实时监控和操作功能，包括显示各种图形、数据、告警信息、管理信息，提供遥控、遥调、数据查询、事故追忆等操作显示界面。
- 3. 继电保护工程师站。**继电保护工程师站又称保护工程师站，主要提供保护工程师对变电所内的保护装置及故障信息进行管理维护的工具。保护装置的管理维护主要有整定值、装置版本信息、装置记录的事件和自检信息等，故障信息主要有故障记录和故障录波文件。
- 4. 五防工作站。**变电所五防系统由三层构成，分别是站控层防误、间隔层测控单元防误以及单元电气闭锁。在牵引供电系统中，闭锁关系相对简单，主要在间隔层测控单元防误和单元电气闭锁，没有在站控层采用专门的五防工作站。
- 5. 时钟同步装置。**时钟同步的目的是保持变电所层的计算机、间隔层的保护测控装置、网关、远动管理机、通信管理机等设备之间时钟的统一，实现对所内设备运行状况的全面监控，便于对故障原因的准确判断。



三. 监控子系统的举例

(一) 当地监护功能

系统的当地监控功能非常强大，这里只对主接线图、遥控、实时告警、报表、历史数据查询进行简要的介绍。

1. **主接线图。**系统运行的界面可以根据提供的组态工具进行自由定制。从主接线图上可以了解一次设备的布置情况和当前的实时状态，所有开关位置和测量值都是实时从间隔层设备得来。如果出现开关变位的情况，除了实时告警窗口提示外，主接线图上的开关还会闪动，帮助值班员确定一次设备的具体位置，值班员确认变位信息后开关才停止闪动。
2. **遥控操作。**所有需要遥控的变量都可以放置在主接线图上，用户可以在主接线图上选择进行遥控操作，也可以从装置信息图中进行遥控操作。遥控操作需要操作员有相应的权限，并在操作时进行身份验证，操作记录将会记入历史数据库。



三. 监控子系统的举例

(一) 当地监护功能

- 3. 实时报警功能。**“实时报警发布中心”消息框，它记录了监控系统的全部报警信息和各种系统事件，如操作员登录、注销，通信监视，保护事件，遥信变位信息，装置告警信息，遥测量越限，遥控操作信息等。当发生上述事件后，实时告警窗口都会主动弹出，每个告警信息可以关联声音告警信息，在告警窗口弹出的同时发出音响告警。在查看告警信息时可以将告警信息分类显示。
- 4. 报表功能。**系统提供功能强大、灵活自如的报表生成工具，用户可以自定义报表。系统提供常用的报表模板，系统中定义的数据都可以作为报表的原始数据。
- 5. 历史数据查询。**历史报警浏览提供了查询某个历史时间段内，本系统所有分类历史报警信息的功能。历史报警浏览有按照设备间隔和报警类型两个分类标准。



三. 监控子系统的举例

(二) 继保工程师站

继保工程师站在系统中担负着**继电保护处理、故障录波分析**等功能，在电网的稳定运行及事故反演等方面发挥着极其重要的作用。在功能上，继保工程师站相对独立于当地监控功能，也可以单独使用。继保工程师站直接同间隔层设备通信，与变电所内的各种继电保护装置、安全自动装置及故障录波器一起实现变电所的继电保护及故障录波信息处理，可作为继电保护及故障录波信息处理系统的子站。继保处理主要包括定值管理(定值查询、定值修改和定值区切换)、保护压板投退、保护动作报告显示和查询等工作。

- 1. 定值管理。**定值管理的工作包括定值查询、定值修改、定值区切换等。系统支持装置多CPU、多定值区的定义，同时可以设置定值范围，保证定值输入的正确性，定值的修改也需要操作员有相应的权限。在定值管理页面，定值参数显示内容包括定值序号、定值名称、定值单位、定值范围。



三. 监控子系统的举例

(二) 继保工程师站

2. **故障报告。**继电保护装置动作后，除了上送遥信和SOE事件外，还将上送详细故障信息，即前面分析的故障记录，也称故障报告。继保工程师站收到故障报告后将会主动弹出故障报告窗口
3. **装置数据查询和故障录波。**微机保护测控装置能够记录一定数量的故障报告、故障录波数据和事件记录，如果由于某种原因未能上送监控系统，则可以通过查询功能直接从装置查看历史数据。保护装置会保存最近若干次的故障报告，继保人员可以通过“保护动作报告查询”这项功能来查看这些保存在装置内的故障报告。在“保护动作报告查询”页面，选择故障报告的动作序号即可。如果启动了录波功能(点击“故障录波”菜单下的“启动录波功能”)，装置送出故障报告后，还会传送该故障的录波数据。故障录波传输完毕后将形成标准的故障录波文件进行保存，用户可点击“故障录波”菜单下的“故障录波分析”，启动录波分析软件对该波形进行分析。



第五节 牵引变电所自动化新技术

随着智能化开关、电子式互感器、一次运行设备在线状态监测，以及计算机高速网络在实时系统中的开发应用，势必对已有的牵引变电所自动化系统产生深刻的影响，全数字化的牵引变电所自动化系统正在成为现实。

一. 一次设备智能化

间隔层和过程层之间目前还普遍采用电缆连接，断路器、隔离开关的控制和信号采集都通过电缆接入相应的保护测控装置。同一个信号，如果两台装置都需要，则每台装置各自分别采集，对设备的监测也只能通过节点信号进行。智能化的开关电器可以通过通信接口和间隔层设备通信，它们之间的信息传递用通信来完成，大量的连接电缆缩减为一根通信电缆。

同时，智能化的开关电器可以更全面地监测开关设备的运行状态，为检修和处理故障提供更可靠的依据，从而提高设备的运行可靠性和经济性。

开关设备智能化还存在一些问题，涉及传感技术、抗干扰技术、微处理器集成技术、电网分析和故障诊断等多个领域，要达到功能完善、价格合理，还需要相当长的时间。但智能化将是开关设备发展的重要趋势。。



二. 数据采集数字化

数据的采集主要包括模拟量、遥信量、故障信息，间隔单元通过电缆采集一次设备信息。随着智能化的开关设备、光电式互感器或电子式互感器的使用，间隔单元和过程层的信息交互通过通信完成，传统的牵引变电所将发展成为数字化的牵引变电所。牵引变电所自动化系统的结构将朝着更合理、更可靠的方向发展，系统的功能和性能将更加完善，性能价格比更优。



三. 系统建模标准化

IEC60870-5-103规约只是定义了牵引变电所继电保护设备之间的通信规约，而新的牵引变电所自动化系统的通信标准IEC61850确立了电力系统的建模标准，为牵引变电所自动化系统定义了统一、标准的信息模型和信息交换模型。同时IEC61850标准通信系统的层次结构和设备信息模型的定义完全能够满足数字化牵引变电所的要求，开关设备的智能化和数据采集数字化都被纳入标准的体系结构中。

牵引变电所自动化系统的设备信息模型和调度中心的设备信息模型目前还不统一，牵引变电所和调度中心的通信还需要进行协议转换，电力系统无缝通信体系正在制订的过程中。**牵引变电所、调度中心通信协议的统一**，可以从过程层到间隔层、从间隔层到牵引变电所层、从牵引变电所到调度中心都采用一致的数据模型，不同厂家的设备在不同的层次上满足开放系统原理，包括在应用层之间也可任意交换数据，真正地实现设备的互换性和互操作性。统一电力系统内各自动化系统的信息模型和信息交换模型，消除由于缺乏统一建模和系统异构而导致的各种“信息孤岛”，实现整个系统的标准化。



四. 设备检修状态化

二次设备本身具有完善的自检手段，对一次设备而言，随着铁路提速和客运专线供电管理标准的提高，对供电设备的安全、可靠性也提出了更高要求。目前我国电气化铁道牵引供电设备的维修仍然采用定期停电检修的试验方式，由于检修时是在低压下模拟高压状态，测试结果不能全面反映设备在实际运行状态下的真实情况，并且停电也会对正常供电造成一定的影响。此外，检修周期之间，设备可能会出现带隐患运行，维护测试也带有一定的盲目性。因此对主要电气设备实现在线监测，实时监控设备运行状态，可以避免周期性检测造成的状态漏诊断，根据设备的实际运行决定检修的时间和项目，提高设备利用率。

对设备的在线监测是专门针对特定一次设备的在线监测设备，如果是智能化的一次设备，它本身就有在线监测信息。取得设备在线监测信息后，关键的问题是对数据的分析处理，也就是牵引变电所自动化系统需要增加新的功能。在数字化牵引变电所中，设备状态特征量的采集没有盲区。设备检修策略可以从常规变电站设备的“定期检修”变成“状态检修”。



第六章 牵引变电所综合自动化系统

结束