

# 中国南方电网调度自动化实时通信的现状分析和研究

谈苏伟

(国网电力科学研究院, 江苏 南京 210003)

**摘要:** 着重分析了第 4 代调度自动化实时通信系统的硬件平台、运行模式、通信协议集成、PMU 通信、通信网关等特点。在第 4 代调度自动化系统统一支撑平台上,可以根据需要集成一个或多个应用实时通信子系统。举例说明了第 4 代调度自动化前置通信子系统在中国南方电网多区域大电网全景能量管理系统和在贵州电网应用 TASE.2 协议实现 EMS 系统互联工程中的应用,对 IEC 61850 协议通信进行了探讨。

**关键词:** 电网调度自动化; 智能调度; 广域动态监控系统; 实时通信; 前置通信子系统

## Analysis and research of real-time communication current situation in power dispatch automation for China south power grid

TAN Su-wei

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The features of the fourth generation power dispatch automation real-time communication subsystem are analyzed in detail, such as hardware platform, operation model, communication protocol integration, PMU communication, gateway, etc. Based on application requirements, one or more real-time communication subsystems can be integrated in the unified supporting platform of the fourth generation dispatch automation system. Applications of the fourth generation front-end communication subsystem are explained. For example, it is applied to full-vision energy management system real-time communication for China southern power grid and to the EMS communication project with TASE.2 protocol for Guizhou power grid. IEC61850 protocol communication is furtherly discussed.

**Key words:** power network dispatch automation; smart dispatch; wide area measurement system (WAMS); real-time communication; front-end communication subsystem

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)22-0109-06

## 0 引言

智能调度是未来电网发展的必然趋势。智能调度技术采用调度数据集成技术,有效整合并综合利用电力系统的稳态、动态和暂态运行信息实现对电力系统运行状态的监视与优化,预警和动态预防控制等<sup>[1]</sup>。智能调度的基础是电网调度自动化系统,智能调度对电网实时信息在数据量、实时性、高密度、同步性等方面提出了更高的要求,电网调度自动化实时通信系统面临新的挑战。目前已开发出并投入运行的第 4 代调度自动化系统是一套支持能量管理系统(EMS)、配电网管理系统(DMS)、广域动态监控系统(WAMS)和公共信息平台等应用的电网调度集成系统,它采用公共对象请求代理体系结构(CORBA)开放式的设计思想,遵循 IEC 61970

公共信息模型(CIM)/组件接口规范(CIS)和可缩放矢量图形(SVG)标准,为电力市场环境下的 EMS 用户和其他自动化系统提供了一套开放、可扩展、面向对象的电力企业自动化系统支撑平台<sup>[1-3]</sup>。第 4 代电网调度自动化实时通信系统(即前置通信子系统)既是电网调度集成系统与电力系统的直接接口,它通过与远方 RTU、PMU(相量测量单元)的通信实现对电网实时信息的采集,将实时信息提供给应用服务的实时数据库,并按照应用所下达的指令实现对远方设备的调控功能;也是和其他计算机系统互联的实时数据通信网关。前置通信子系统作为电网调度集成系统实时数据源和通信网关的关键地位<sup>[4]</sup>,要求具有高度的可靠性和强大的 I/O(输入/输出)能力以保证智能调度的信息传输畅通无阻。

### 1 第4代电网调度自动化实时通信系统的典型硬件配置

第4代电网调度自动化实时通信系统的典型硬件构成可分为三层，如图1所示。

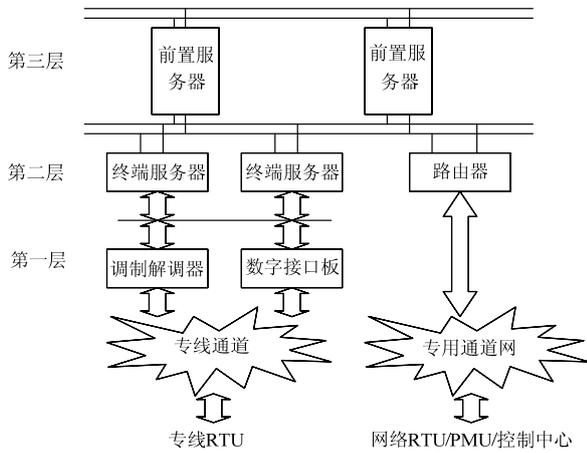


图1 典型三层硬件配置

Fig.1 Typical three layer hardware configuration

第一层由串行（专线）通道接口板组成。调制解调器将模拟专线通道上的信号转换为RS232串行信号，数字接口板实现数字专线通道上的信号光电隔离。智能调制解调器和数字接口板还具备同异步和波特率转换等功能。

第二层由网络通信设备组成。终端服务器实现分布式（网络上的）RS232串口，通过调制解调器或数字接口板连接专线RTU；路由器连接网络RTU和PMU等。

第三层由前置服务器组成，服务器处理通信协议并为后台应用提供数据采集和数据通信服务。

### 2 第4代电网调度自动化实时通信系统的特点

#### 2.1 数据通信设备网络化

前置通信子系统硬件平台历经了串并转换控制器（Communication Control Unit, CCU）、PC机+智能卡、工业控制机+目标板<sup>[5]</sup>、服务器+网络设备<sup>[6]</sup>（终端服务器和路由器）的发展历程，随着网络通信和终端服务器技术的发展，数据通信设备网络化，终端服务器实现了网络通信和串口通信之间的转换。在EMS和专线RTU进行串行通信时，前置服务器可以通过网络透明地访问终端服务器RS232端口数据收发缓冲区。从通信方式上看，电网调度自动化实时通信系统有RS232串行模式和TCP/IP以太网方式两种，当采用串行通信方式时，调度中心和变电站通信为“点对点”方式（电力专

线通道)；当通道为IP网络方式时，物理关系为一点对多点，EMS（WAMS）通过路由器采用TCP/IP方式与网络RTU（PMU）通信，前置服务器在逻辑上建立多条链路。每一条链路（通道）可以采用不同的应用层通信协议。

#### 2.2 集群

前置通信子系统在运行模式上由双机互为主备<sup>[5]</sup>、通信口互为主备<sup>[7]</sup>发展至分组集群<sup>[6]</sup>。集群就是一组计算机或网络设备，它们作为一个整体向用户提供一组网络资源。集群具有扩展性好、负载均衡和故障自动切换的优点。在较小规模的调度自动化系统中一般采用双前置服务器集群，而对于大规模的调度自动化系统则采用多前置服务器（两台机器以上）集群。在正常情况下，集群中的前置服务器都处于“在线”状态，通过将同一厂站不同通道和不同厂站的值班通道动态均分在前置服务器上实现负载均衡。前置服务器的集合为后台应用提供所有厂站透明的数据采集和数据通信服务。当某台前置服务器发生故障“离线”后，该机上所有通道会自动转移到其他相应机器上。网络设备（终端服务器、路由器）也不再是成组值班，而是被划分到每一个端口，同一个网络设备上可以有某些端口值班，而另一些端口备用；当某台网络设备发生故障时，其对应设备上的备用端口会自动切换成值班状态。前置服务器和网络设备都是集群节点，可按需要增减。可以通过配置管理控制前置服务器上通信任务的分配和动态再分配。

在全景一体化能量管理系统中，可以根据EMS和WAMS应用的需求和特点不同，采取EMS和WAMS应用前置通信子系统分组集群方式。EMS应用前置集群采集RTU稳态数据，WAMS应用前置集群采集PMU动态和暂态（录波）数据，EMS应用前置集群和WAMS应用前置集群集成在电网调度集成系统统一支撑平台上，为调度自动化二次信息整合与共享提供必不可少的实时数据。从I/O的观点来看，EMS和WAMS实时通信系统可以采用一体化的设计和实现方法<sup>[8]</sup>，通过配置管理生成不同应用的前置通信子系统。

#### 2.3 通信协议集成

##### 2.3.1 主流通信协议

经过10年的推广应用，IEC 60870-5-101、IEC 60870-5-104已逐步替代CDT（循环式远动协议）而成为EMS与RTU之间的主流远动通信协议，IEC 60870-6 TASE.2已逐步替代DL476-92（电力系统实时数据通信应用层协议）EMS之间的主流计算机通信协议<sup>[9]</sup>。

IEC 60870-5-101 是基于 RS232 串口通信的远动协议,通过规定的报文格式传送信息。远动通信报文包含基本三要素,即报文头(信息类型)、报文长度(信息对象数目)、信息对象(地址、数值、质量码)。EMS 和 RTU 通信双方直接应用层组装和解析通信报文,在有限的通信带宽上提高传输效率。远动通信协议一帧报文传送的信息对象有限(如 IEC 60870-5-101 报文长度不超过 255 个字节),当发生变化信息时,可以尽快在下一帧优先传送。IEC 60870-5-104 将 IEC 60870-5-101 用在 TCP/IP 网络协议之上。

TASE.2 协议是应用层网络协议, TASE.2 协议定义了一组对象模型及方法,为不同 EMS 系统间互连提供了一个标准的模式及解决方案。遵循 TASE.2 协议的不同厂家的 EMS 系统在互连时不再需要关心彼此的数据格式及实现细节,可以与任意具备该功能的 EMS 系统进行通信。TASE.2 协议基于 MMS 协议,实现了按网络名(英文名)传送信息对象。国内 TASE.2 协议通信软件一般基于美国 SISCO 公司提供的 ICCP Toolkit for MMS-EASE 开发,利用 ICCP 工具包提供的函数定义信息对象,通过调用预先命名的用户自定义回调函数来发送和接收数据。

### 2.3.2 通信协议集成

过去由于计算机能力等诸多因素的限制,人们习惯上将远动通信和计算机通信分开,前者称为前置机,后者称为 SCADA 通信机。计算机和网络通信技术的飞速发展发展为远动通信协议和计算机通信协议的集成提供了强大的软硬件平台。远动通信协议和计算机通信协议的集成可以为电网调度自动化系统提供统一的实时数据通信接口,使电网调度自动化系统的应用层次结构更加清晰,便于统一维护和管理电网调度自动化实时通信系统,有利于实现多种通信介质、多种通信协议、多种通信方式的互为热备用。

针对目前通信协议多种多样的情况,利用面向对象技术提供的可重用性、继承性与多态性相结合的特点,将通信协议做成通用的“软件集成块”,提高软件开发的效率和集成度。可以通过选用现有的成品进行组装,或在现有成品的基础上增添新的功能来集成新的通信协议,而不是一切从头开始。将协议处理的共性部分抽象为基类,利用封装特性实现数据隐藏,抽象基类公共接口定义了独立的访问数据方法,当类的内部实现改变后,应用程序也可以保持原有的公共接口不变。

### 2.4 PMU 通信

RTU 采集的是稳态、低密度、不同步的电网时

间断面信息,为保障电网安全、经济、优质地运行提供了有力的信息保证;PMU 采集的是具有高密度(25~100 帧/s)和精确时间断面的同步相量信息,调度人员据此可以监视和控制电网的动态过程。RTU 稳态信息、PMU 动态和暂态信息(简称三态数据)等电网全景信息的集成,为电网调度自动化系统功能从传统的监视、分析和控制进一步延伸到广域保护和协调防御夯实了不可或缺的信息基础,从而实现调度由经验型、分析型向智能型的转变。

WAMS(包括 WARMAP(电网安全防御及实时预警系统))与 PMU 的通信基于高速网络,通信协议采用国家电网公司发布的《电力系统实时动态监测系统技术规范》。PMU 报文有数据帧、配置帧、头帧和命令帧 4 种类型。前三种帧由 PMU 发出,后一种帧支持 PMU 与调度中心之间进行双向的通信。数据帧是 PMU 的测量结果,包含模拟量、开关量等相量信息;配置帧描述 PMU 发出的数据以及数据的单位;头帧由使用者提供,仅供人工读取;命令帧包含了 PMU 的控制和配置信息。所有帧都以 2 字节的同步字开始,其后紧随 2 字节的帧长度(字节数)和 4 字节的世纪秒时标。同步字 4~6 位定义了帧类型,最后以 CRC16 校验字结束。

针对 PMU 采集的数据具有高密度及带时标等特点,WAMS 前置数据预处理缓冲区采用二维数据表设计,寻址方法采用哈希方程,即把关键码值直接映射到表中一个位置来访问记录以加快查找速度,数据对象时标为哈希函数的自变量<sup>[8]</sup>。

### 2.5 通信网关

在省地调基于 TASE.2 协议互联项目中,由于一些较老的 EMS 系统因种种原因无法在系统内部实现 TASE.2 服务,需要在这些系统外外挂 TASE.2 通信网关实现 TASE.2 通信。在省地调采用同一 TASE.2 协议通信网关便于在省调(中心站)对地调(子站)的 TASE.2 通信平台进行统一维护和管理。因此在设计前置通信服务器时要考虑和后台应用可分可合,通过 EMS 开放式接口<sup>[10]</sup>为第三方应用提供集成 TASE.2 等各种通信协议的实时数据通信和协议转换服务,满足用户各种需求。

## 3 第 4 代电网调度自动化实时通信系统的典型应用

### 3.1 南方电网多区域大电网全景能量管理系统

南方电网多区域大电网全景能量管理实时通信系统硬件构成如图 2 所示。

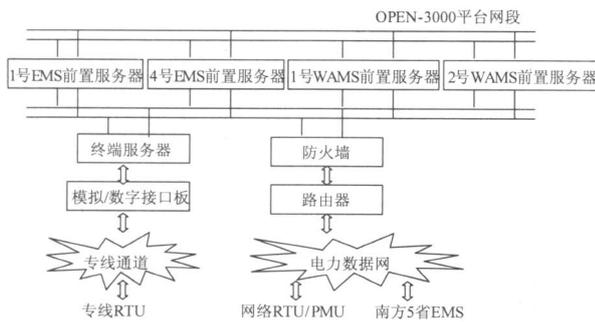


图2 全景能量管理实时通信系统硬件构成  
Fig.2 Configuration of full-vision EMS real-time communication hardware

南方电网多区域大电网 OPEN-3000 全景能量管理实时通信系统特点如下：

1) 在 OPEN-3000 统一平台支撑下，EMS 和 WAMS 前置通信子系统共用中心交换机，通过划分不同的虚拟局域网来提高网络的通信效率。由于 WAMS 前置通信子系统采集带时标的动态数据，实时数据量相当大，因此采用 EMS 和 WAMS 前置通信子系统分组集群。避免增加 EMS 前置服务器的 CPU 负荷，保证 EMS 和 WAMS 前置采集系统的高效率。

由 4 台前置服务器组成 EMS 前置通信子系统集群，其中 1、2 号前置服务器分别采用 IEC101、IEC104 等协议采集直属电厂和变电站的稳态数据 ( $\leq 1/3$  Hz)，3、4 号前置服务器采用 TASE.2 协议和南方 5 省 EMS 交换信息。由 2 台前置服务器组成 WAMS 前置通信子系统集群，负责采集所属各厂站 PMU 高密度同步数据 (25~100 Hz) 以及事件过程中 PMU 装置记录的录波数据 ( $\geq 2400$  Hz)。

2) 前置通信子系统以通道为对象管理通信，通道继承厂站属性。在通道表里定义了通道类型、通信协议、通信路径、通道优先权等属性域。可以通过协议菜单选择前置通信子系统集成的各种通信协议，如：IEC101、IEC104、TASE.2 等。每个厂站（省调 EMS）可拥有 1~4 个通道，这些通道的通信介质、通信协议、数据来源均可不同。通道的主/备工作状态可以自动或手动切换。通信进程通过改变和终端服务器端口、网络 RTU、EMS、PMU 等通信节点的 TCP 逻辑连接路由实现软件通道切换。

3) 南网总调和各中调之间采用 TASE.2 协议一致性块 8（传送帐目）传送计划曲线。传送方式通过菜单方便设定，具有自动发送、手动发送、自动召唤、手动召唤等功能。计划曲线传送要求返校确认，计划曲线传送的过程和结果在告警窗提示并存入历史数据库。

4) 量测对象和 TASE.2 网络名自动导入<sup>[11]</sup>

模型量测对象的导入采用了模型拼接技术，即利用总调和各中调 EMS 系统具备的电网模型/图形，依据分布式建模的思路，以 XML 文件方式导出/导入各中调的 IEC 61970 CIM 模型，实现全网 EMS 模型的在线拼接。从各中调上传的《TASE.2 对象描述表》提取非模型量测对象的厂站和设备名称信息，采用增量变化更新的方式，刷新数据库。通过《TASE.2 对象描述表》获取各省调 EMS 生成的 TASE.2 网络名和设备对象描述信息，利用各省调 EMS 系统中量测对象厂站和设备名称均未改变的特点，定位量测对象，从而实现 TASE.2 网络名和量测对象的自动映射。

3.2 贵州电网应用 TASE.2 协议实现 EMS 系统互联

贵州电网应用 TASE.2 协议实现 EMS 系统互联，如图 3 所示。

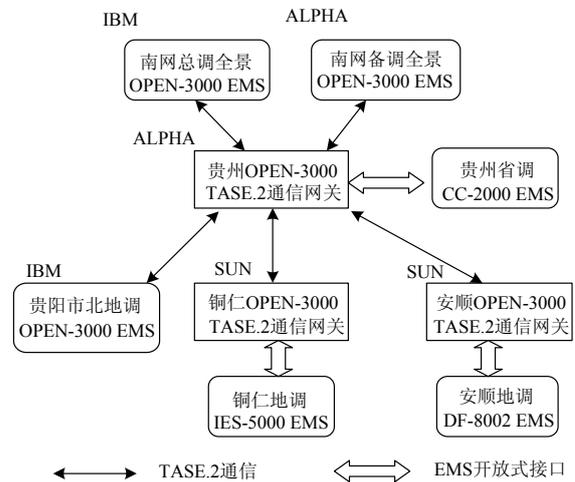


图3 贵州电网 TASE.2 互联应用

Fig.3 Application of TASE.2 communication in Guizhou power network

贵州电网应用 TASE.2 协议实现 EMS 系统互联工程特点如下：

1) 在中调和地调 EMS（非 OPEN-3000）系统之外外挂一套 OPEN-3000 前置通信子系统作为 TASE.2 协议通信网关，建立基于全网统一管理的通信传输机制。在该通信网关上集成了各种常用的通信协议，可以方便地实现数据重组和协议转换。前置服务器根据用户需求分别采用 ALPHA、IBM 和 SUN 机型。

2) 提高了贵州中调 EMS 系统获得各地调 EMS 系统信息的速度，如在原先 CDT 通信方式下，一个开关变位经安顺地调到省调需要 7~8 s，采用 TASE.2 协议以后，一个开关变位从安顺地调到省调

小于 2 s, 由于传输速度的提高, 使得 PAS (高级应用软件) 可以得到更加同步的信息, 从而计算精度大大地提高。

3) 自动导出并上传《TASE.2 对象描述表》<sup>[11]</sup>

根据 EMS 系统中量测对象和设备对象之间的关系, 从设备对象描述中提取反映该量测对象物理意义的信息并转换为 TASE.2 对象名标识符所规定的字符串, 按一定规则拼接出 TASE.2 网络名, TASE.2 网络名和量测对象描述的集合构成《TASE.2 对象描述表》。OPEN-3000 TASE.2 通信网关自动导出《TASE.2 对象描述表》并上传至南网总调和备调全景 EMS。

4) EMS 开放式接口规范<sup>[6]</sup>

OPEN-3000 TASE.2 通信网关和当地 EMS 系统接口采用国内主流 EMS 厂家普遍认可的 EMS 开放式接口规范, 即 TASE.2 通信网关通过自动或手动方式从 EMS 系统读取可选通信对象名称, 生成订阅界面供用户按名订阅, 并将注册后生成的本地数据库记录 ID 自动返回给 TASE.2 通信网关, 在低层采用扩充的 DL476-92 协议按注册数据库记录 ID 进行双向通信, 在高层则提供给用户按名通信的界面, 通信过程对用户透明。EMS 侧用户免维护。

#### 4 IEC 61850 协议通信

电力系统数据通信协议是对电力自动化系统数据传送方式的规定, 对通信的可靠性和效率有至关重要的影响。目前变电站内 IEC 60870-5-103 和 IEC 61850, 变电站和调度中心之间 IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-102 及 IEC 60870-5-104, 以及调度中心计算机之间的 IEC 60870-6 TASE.2 诸多协议之间无法完全兼容, 必须经过协议转换才能互联起来, 既不利于用户使用, 又增加了厂家用于实时信息交换、集成和维护的成本。2000 年 6 月, IEC TC57 SPAG 会议决定以 IEC 61850 标准作为制定电力系统无缝通信系统体系标准的基础, 实现将来的统一传输协议<sup>[12]</sup>。目前在国内, IEC 61850 协议已广泛使用于数字变电站自动化系统中, 但在调度中心与变电站通信应用方面还处于研究阶段<sup>[13]</sup>。主要有以下几点原因:

1) IEC 61850 和 IEC 61970 数据模型不一致, 虽然 IEC 61850 协议具有面向设备、对象建模、面向应用开放、完善的自我描述等优点, 但其数据模型在调度中心不能使用, 调度自动化系统还需要按 IEC 61970 标准建立数据库, 因此体现不出该协议的巨大优势。

2) 目前国内 IEC 61850 协议通信软件均基于美

国 SISCO 公司提供的 MMS-EASE for 61850 支撑软件, 需要向其支付费用, 增加了通信成本。

3) IEC 61850 协议基于高速网络通信环境, 而目前省地调度中心与变电站通信时, 还在使用很多低速的远动通信专用通道。

#### 5 结束语

为了统一 IEC 61850 和 IEC 61970 的对象建模, IEC TC57 正在研究制定 IEC 61850+<sup>[12]</sup>。笔者相信在不太远的将来, 随着 IEC 61850+协议的出台、国内厂家对 MMS 研发的深入和网络技术的迅猛发展, IEC 61850+必将成为从变电站过程层至调度中心具有应用开放、网络开放的统一通信协议, 为调度自动化实时信息的传输、管理和提供服务提供强有力的信息载体支撑。

#### 参考文献

- [1] 姚建国, 杨胜春, 高宗和, 等. 电网调度自动化系统发展趋势展望[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (13): 7-11.  
YAO Jian-guo, YANG Sheng-chun, GAO Zong-he, et al. Development trend prospects of power dispatching automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (13): 7-11.
- [2] 姚建国, 高宗和, 杨志宏, 等. EMS 应用软件支撑环境设计与功能整合[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (4): 49-53.  
YAO Jian-guo, GAO Zong-he, YANG Zhi-hong, et al. Supporting platform design and function integration for EMS application software[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (4): 49-53.
- [3] 高宗和, 戴则梅, 翟明玉, 等. 基于统一支撑平台的 EMS 和 WAMS 集成方案[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (16): 41-45.  
GAO Zong-he, DAI Ze-mei, ZHAI Ming-yu, et al. Integrative EMS and WAMS based on a unified supporting platform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (16): 41-45.
- [4] 汤磊, 张伯明, 孙宏斌, 等. 一种能量管理系统中实时数据的处理方法[J]. 电网技术, 2001, 25 (5): 15-19.  
TANG Lei, ZHANG Bo-ming, SUN Hong-bin, et al. A processing method of real-time data in energy management system[J]. Power System Technology, 2001, 25 (5): 15-19.
- [5] 谈苏伟, 陆淦林, 马新平, 等. SD-6000 EMS 的前置机系统[J]. 电力系统自动化, 1998, 22 (3): 41-44.  
TAN Su-wei, LU Gan-lin, MA Xin-ping, et al. The front-end system of SD-6000 EMS[J]. Automation of Electric Power Systems, 1998, 22 (3): 41-44.

[6] 谈苏伟, 梁寿愚, 陈宁, 等. 中国南方电网 EMS 前置子系统的工程应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (17): 95-99.  
TAN Su-wei, LIANG Shou-yu, CHEN Ning, et al. Engineering application of front-end subsystem in energy management system for China southern power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (17): 95-99.

[7] 谈苏伟, 陈谦昌, 刘国定. 广东省能量管理系统前置机特色[J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (10): 53-55.  
TAN Su-wei, CHEN Qian-chang, LIU Guo-ding. The characteristic of front-end computer system in EMS for Guangdong provincial dispatching center[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (10): 53-55.

[8] 谈苏伟. 电网调度自动化前置子系统实时数据库的设计与实现[J]. 电力自动化设备, 2009, 29 (7): 130-133.  
TAN Su-wei. Design and implementation of front-end subsystem real-time database for power dispatching automation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29 (7): 130-133.

[9] 辛耀中. 电力系统数据通信协议体系[J]. 电力系统自动化, 1999, 23 (1): 40-44.  
XIN Yao-zhong. Data communication protocol series for power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23 (1): 40-44.

[10] 谈苏伟, 赵大方, 葛云鹏, 等. 一种按名通信数据接口方案的实现[J]. 江苏电机工程, 2008, 27(6): 59-62.  
TAN Su-wei, ZHAO Da-fang, GE Yun-peng, et al.

Realization of the data communication interface plan by object name[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2008, 27 (6): 59-62.

[11] 谈苏伟, 赵云峰, 姜小忠, 等. TASE.2 网络名自动生成和映射的实现[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (增刊): 82-86.  
TAN Su-wei, ZHAO Yun-feng, JIANG Xiao-zhong, et al. Automatic generation and mapping of TASE.2 network name[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (S): 82-86.

[12] 谭文恕. 远动的无缝通信系统体系结构[J]. 电网技术, 2001, 25 (8): 7-10.  
TAN Wen-shu. Seamless telecontrol communication architecture[J]. Power System Technology, 2001, 25(8): 7-10.

[13] 胡靓, 王倩. 基于 IEC61850 与 IEC61970 的无缝通信体系的研究[J]. 电力系统通信, 2007, 28(182): 15-20.  
HU Liang, WANG Qian. Research on seamless communication system based on IEC 61850 and 61970[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2007, 28 (182): 15-20.

收稿日期: 2009-11-11; 修回日期: 2009-12-17

作者简介:

谈苏伟 (1958-), 男, 研究员级高级工程师, 工学硕士, 主要从事电网调度自动化系统研究和开发工作. E-mail: tansuwei@sgepri.sgcc.com.cn

(上接第 79 页 continued from page 79)

XIA Cheng-gang. The application and research of project progress management in construction schedule of Shenzhen electrical power transmission and substation projects[D]. Nanning: Guangxi University, 2007.

[5] Project Management Institute Standards Committee. A guild to the project management body of knowledge[M]. New York: Project Management Institute, 2000.

[6] 王瑞良. 建设项目进度控制[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.  
WANG Rui-liang. Progress control of construction project[M]. Beijing: China Water Power Press, 1999.

[7] 齐东海, 宋向群. 工程项目进度管理[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2001.  
QI Dong-hai, SONG Xiang-qun. Progress management of project[M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2001.

[8] 朱永芳. 现代施工组织设计与现代施工管理[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1998.  
ZHU Yong-fang. Modern construction management plan and modern construction management[M]. Shanghai:

Shanghai Scientific and Technological Literature Publishing House, 1998.

[9] 徐玉凤. 项目进度管理[M]. 北京: 对外经济贸易大学出版社, 2006.  
XU Yu-feng. Progress management of project[M]. Beijing: University of International Business and Economics Press, 2006.

[10] 朱宏亮. 项目进度管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.  
ZHU Hong-liang. Progress management of project[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.

收稿日期: 2009-11-14; 修回日期: 2010-06-03

作者简介:

陈松石 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护及综合自动化; E-mail: husjtu2008@sina.com  
范春菊 (1967-), 女, 博士, 副教授, 长期从事人工智能在继电保护及综合自动化中应用的研究及教学工作;  
崔新奇 (1974-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事变电站的运行与管理工作的运行与管理工作的。