DOI: 10.7667/PSPC180989

变电站远动机串行接口分路装置设计与应用

谢宇威[1]，张永辉[1]，张仕鹏[2]

(1.海南大学信息科学技术学院，海南 海口 570228;
2.中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，广东 广州 510663)

摘要：根据电力调度自动化系统提出的升级改造需求，要求将还未接入地调和备调系统的站点通过调度数据网接入地调和备调系统，并实现多调度系统一体化。但一些变电站正在使用的远动机没有足够的接口，无法同时接入到多个调度系统。为此，通过分析调度主站和变电站远动通信规约工作模式，设计了一种串行接口分路装置。将装置连接到变电站远动机上，即可实现远动机与多个调度自动化主站系统实时通信。分路装置的应用使变电站在不更换远动机的情况下，实现多个调度主站对变电站的实时监测与调度，通过测试和试点运行，表明其能够满足电力调度系统一体化的接入需求。

关键词：电力调度；一对多通信；串行接口分路；远动通信；智能切换

Design and implementation of serial interface shunt device for substation remote engine

XIE Yuwei[1], ZHANG Yonghui[1], ZHANG Shipeng[2]

(1. College of Information Science and Technology, Hainan University, Haikou 570228, China;
2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd, Guangzhou 510663, China)

Abstract: According to the upgrade and transformation requirements put forward by the power dispatching automation system, it is required to connect the site that has not yet been connected to the local tuning and tuning system to the localization and adjustment system through the dispatching data network, realizing the integration of the multi-scheduling system. However, some remote engines that are being used in substations do not have enough interfaces to access multiple dispatch systems at the same time. To this end, a serial interface shunt device is designed by analyzing the working mode of the telecontrol communication protocol of the dispatching master station and the substation. By connecting the device to the substation's remote engine, real-time communication between the remote engine and multiple dispatching automation master stations can be realized. The application of the branching device enables the substation to realize the real-time monitoring and dispatching of the substation by multiple dispatching main stations without replacing the remote motives, meeting the integrated access requirements of the electric power dispatching system through testing and pilot operation.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 61561018).

Key words: power dispatch; one-to-many communication; serial interface shunt; telecontrol communication; intelligent switching

0 引言

在电力系统中，远动控制技术的主要任务是完成对电力系统的遥控、遥信、遥测和遥调，确保电力系统运行的稳定可靠和经济性，主要包含了调度终端以及执行终端(发电厂、变电站等)两个部分[1-2]。远动机是为了完成调度主站与变电站之间各种信息的采集并实时进行自动传输和交换的自动装置。

项目所涉及的电力调度自动化系统接入工作要求保留原有串行通道接入县调系统的同时将变电站通过调度数据网接入新的地调和备调系统，使 3 个调度主站能同时监控变电站的运行状况[3-4]。调度数据网作为现代互联电网的重要组成部分，是实现电网调度自动化的基础[5-11]。其采用网络的方式进行数据传输，需要远动机提供网络接口，但现有一些

基金项目：国家自然科学基金项目资助(61561018)；赛尔网络下一代互联网技术创新项目资助(NGII20170308)

站点远动机没有网络接口，且只有一个串行接口，无法为每个调度主站分配一个接口，若更换所有变电站远动机所需成本太高，且工作量较大。一些通过重新设计远动机主控 CPU，替换原有装置的相应模块，扩展远动机的通信接口，以此来接入调度数据网[12]。此方法也解决了某些变电站接入调度数据网的问题，但由于不同变电站所使用的远动机可能生产厂商或型号不同，远动机硬件结构也不同，因此，这种方式缺乏通用性，无法大规模地推广使用。本文研制了一种适应多种远动规约的串行接口分路装置，结合串行接口联网服务器，实现了在不更换远动机的情况下，保留原有县调系统的同时，通过调度数据网接入新的地调和备调系统，并在各个调度主站可以实时地对变电站进行监测与调度，实现多调度系统一体化的改造需求[13-19]。

1　分路装置整体结构与接入方法

1.1　分路装置系统整体结构

串行接口分路装置的整体结构如图 1 所示，包括高性能 ARM 微控制器、电源模块、串行接口电平转换模块、指示灯模块、蜂鸣器模块及按键模块。ARM 微控制器作为装置的控制核心，对各模块进行控制，实现变电站远动机利用单个串行接口与多个调度主站的一对多通信功能以及装置的配置、指示与复位功能。电源模块用于为系统提供稳定的电压，其将输入进行滤波后，采用开关电源的方式将宽电压输入转换成稳定的 3.3 V 电压，并在滤波后为系统提供稳定的电压。

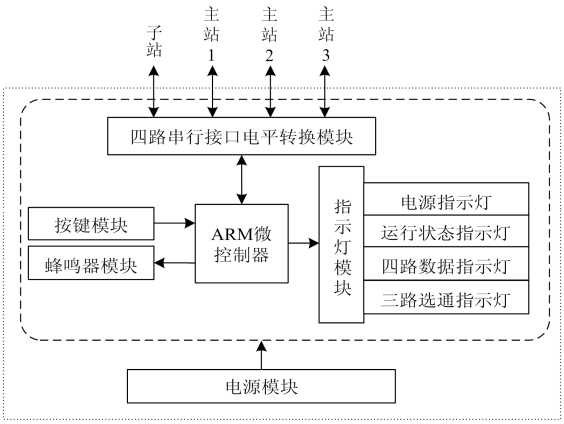


图 1　系统整体结构图

Fig. 1 System overall structure

串行接口电平转换模块将 ARM 微控制器串行接口输出的 TTL 电平转换成 RS-232 电平，使分路装置具有四路 RS-232 串行接口，包括一路子站接口和三路主站接口，子站接口用于与变电站远动机通信，3 个主站接口则分别与不同调度主站进行通信，实现远动机串行接口的扩展。指示灯模块由电源指示灯、运行状态指示灯、四路数据收发指示灯及三路通道选通指示灯组成，分别用于指示电源状态、运行状态、四路串行接口收发数据情况及三路下行通道选通状态。按键用于对装置进行配置和复位，以及上电时按下按键，可以使装置进入 ISP 模式，实现装置固件程序的在系统编程[20-21]。

由于不同变电站所采用的远动规约可能不同，通过分析不同远动规约的工作模式，设计的一对多通信方法能够支持不同的远动规约，其功能主要通过分路机制、自动封锁屏蔽机制与智能识别切换机制之间的相互协作来控制变电站远动机单串行接口与多个调度主站之间的实时通信，使多个调度主站都能监测变电站的运行状态并实时对变电站进行遥控与遥调等。

1.2　变电站通过分路装置接入多调度主站架构

变电站通过调度数据网接入新的地调和备调系统结构如图 2 所示。在原远动机和 Modem 间加入一个串行接口分路装置，其包括一个子站接口和三个主站接口，子站接口与远动机相连。串行接口分路装置将远动机发送给调度主站的上行数据分成三路，其中一路与原通道 Modem 相连，通过传输网发送给原县调或地调主站。另外两路发送给串行接口联网服务器，其会将两路 RS-232 串行接口接收到的数据通过网络的方式发送出去，以实现变电站远动机通过调度数据网接入新的调度主站。串行接口联网服务器与调度主站之间采用 C/S 通信模式，

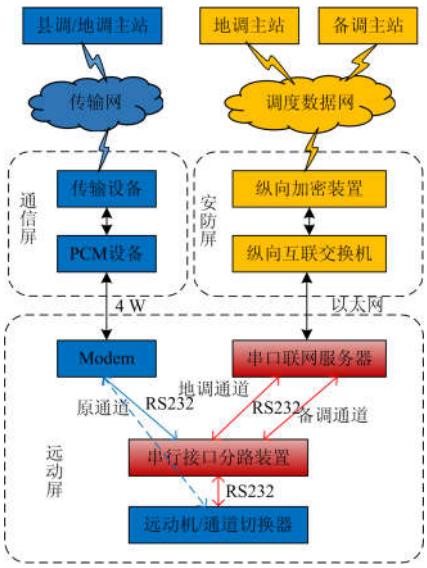


图 2　远动机接入多调度主站系统架构图

Fig. 2 Architecture diagram of remote engine access multi-scheduling master station system

其中串行接口联网服务器作为 Server 端，并为两路通道分别配置一个端口号，两个调度主站系统作为 Client 端，通过调度数据网访问对应通道的端口号，实现远动机通过调度数据网接入到新的地调和备调系统。

2　一对多通信方法

通过分析远动规约的工作模式，提出一种一对多通信方法。该方法通过分路机制、自动封锁屏蔽机制以及智能识别切换机制之间的相互协作，实现变电站单串行接口远动机与多个调度主站通信，使得在多个调度主站能实时监测到变电站运行状态并能够对变电站进行调控。在需要接入调度数据网的变电站中，常用的远动规约为 CDT 循环规约和 IEC 60870-5-101 规约，简称 101 规约。CDT 循环规约是一种以变电站远动机为主动方，按照一定的时间间隔主动向主站端发送数据信息的规约；调度主站只在进行遥控、遥调、对时等操作时才下发命令数据；101 规约则是一种问答式规约，需要主站端发送召唤用户数据命令或遥控、遥调等命令给变电站远动机，远动机才会将变电站数据发送给主站端[22-25]。

2.1　分路机制

分路装置具有四路 RS-232 串行接口，其中一路为子站接口连接到远动机，三路为主站接口分别用于与 3 个调度主站通信。由于需要在 3 个调度主站端都能接收到变电站远动机发送的上行数据，设计了一种分路机制，主要对变电站发送给调度主站的上行数据进行分路处理。其工作原理为子站接口在接收到远动机上行数据时，将接收到的上行数据实时地通过三路主站串行接口分别发送给 3 个调度主站，实现上行数据的分路，分路机制示意图如图 3 所示。

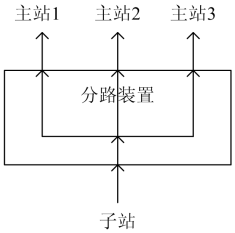


图 3　分路机制示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the split mechanism

2.2　自动封锁屏蔽机制

调度主站系统正常运行时，会按照设定的时间间隔发送命令给变电站远动机，若采用的是 101 规约，则在正常运行时，3 个调度主站发送给远动机的命令都为召唤用户数据命令。若采用的是 CDT 循环规约，则一些调度主站会持续发送同步帧命令。由于装置子站和主站串行接口所采用的波特率相同，若将 3 个主站接口接收到的下行命令都转发给子站，容易造成数据拥塞。且当采用的是 101 规约时，若将 3 个主站的召唤数据命令都转发给子站，会干扰远动机通信处理逻辑，容易造成通信混乱甚至导致远动机宕机。因此，为保证三个调度主站与远动机正常通信，设计了一种通道自动封锁屏蔽机制。

自动封锁屏蔽机制实现原理为在初始状态时，三路主站到子站的下行通道处于自动选通状态。当其中一路主站接口最先接收到数据时，将该主站到子站的下行通道设置成开启状态，称该通道为选通通道，其他两路主站通道设置成屏蔽状态，称为未选通通道。每次选通后，通道会持续开启一段时间，称这段时间为通道活跃时间，通道活跃时间可以自主配置。若选通主站通道在活跃时间内没有再次接收到主站数据，主站通道会自动恢复到自动选通状态。其通道状态变化如图 4 所示。

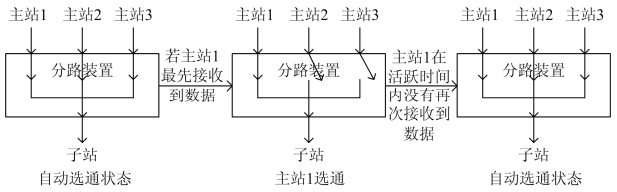


图 4　自动封锁屏蔽机制通道状态变化示意图

Fig. 4 Schematic diagram of channel state change of automatic blocking and shielding mechanism

若选通通道在活跃时间内接收到数据，通道状态保持不变，即选通的通道会一直处于开启状态，其他通道则一直处于屏蔽状态。自动封锁屏蔽机制的设计使得在同一时间内，只有处于选通状态的主站下发的命令能够到达远动机，其他主站下发的命令则被屏蔽，这样保证了多个调度主站系统与变电站远动机正常通信，结合分路机制，使得在多个调度主站都能监测到变电站的运行状态。自动封锁屏蔽机制与分路机制保证了多调度主站与变电站远动机在正常运行、不需同时地对变电站进行遥控或遥调时的正常通信。

但若要在下行通道被屏蔽的调度主站对变电站进行遥控或遥调，需要将其他调度主站设置成监听状态，在该状态下，调度主站不会给远动机发送召唤用户数据命令，只接收远动机返回的数据并解析。因此，装置处于选通状态的主站在通道活跃时间内没有再次接收到命令，通道状态会恢复到自动选通状态，重新进行通道选择，此时在需要进行遥控的

调度主站发送遥控或遥调命令可以对变电站进行遥控或遥调。但这样就不能在多个调度主站实时对变电站进行遥控、遥调，针对这一问题，设计了一种智能识别切换机制。

2.3 智能识别切换机制

智能识别切换机制用于识别远动规约的控制命令，根据调度主站发送的命令类型进行通道切换和数据处理。分析实际调度系统中远动通信规约工作模式，当其中一路主站通道选通后，不管采用 CDT 循环规约还是 101 规约，调度主站都会持续发送下行命令给变电站远动机，则装置处于选通状态的主站会持续接收到数据并一直处于开启状态，其他主站下行通道则持续处于屏蔽状态，这会导致处于屏蔽状态的主站无法实时地对变电站进行遥控。因此，设计了一种智能识别切换机制。

其工作原理为当装置主站通道中的一路通道处于选通状态，其他处于屏蔽状态时，处于屏蔽状态的主站接口在接收到数据后，装置会对数据进行缓存，并自动判断是否接收到一帧完整的数据，其判断依据为接收到的数据字节数达到预期的帧长度或超过合理的时间间隔没有再次接收到数据，则认为主站已接收完一帧报文，接收完一帧报文后，会根据规约类型识别报文是否为控制命令，并对其完整性和正确性进行校验。若是完整正确的控制命令，则等待处于选通状态的主站通道将正在接收的数据帧接收完，然后将其设置成屏蔽状态，并将接收到控制命令的主站通道设置为选通状态。在完成通道的切换后，将缓存的控制命令通过子站串行接口发送给远动机，实现在多个调度主站间控制权的自动切换。该切换过程对调度主站是完全透明的，无需在主站进行额外的操作，主站即可按需实时地对变电站进行遥控或遥调。智能识别切换机制通道切换变化示意图如图 5 所示。

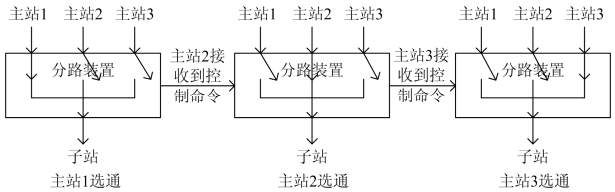


图 5 智能识别切换机制通道切换变化示意图

Fig. 5 Schematic diagram of channel switching change of intelligent identification switching mechanism

该机制的设计，使得主站通道不管是选通状态还是未选通状态，在多个调度主站都可以实时地对变电站进行调控。除控制命令外，若采用的是 101 规约，未选通通道在接收到请求链路状态、复位远方链路以及总召命令时，也会根据收到的命令不同，进行不同的处理，使多个调度主站能与变电站正常通信。其实现流程图如图 6 所示。

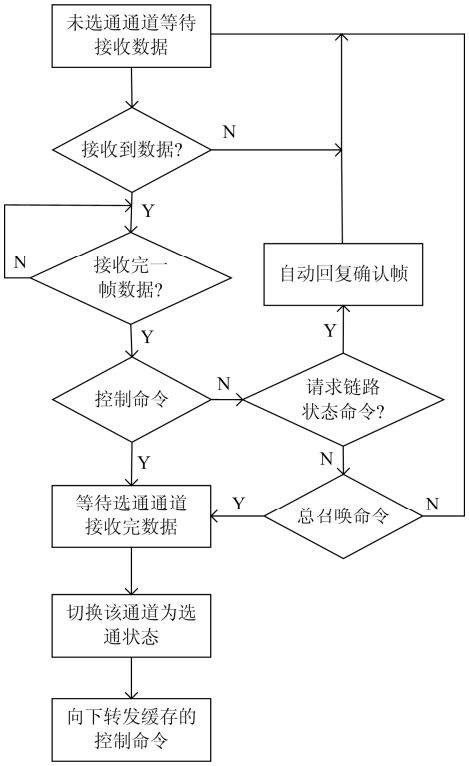


图 6 101 规约智能识别切换机制流程图

Fig. 6 Flow chart of 101 protocol intelligent identification switching mechanism

3 通用性设计

在不同变电站，远动机所采用的串行接口波特率、数据位、校验位、停止位可能不同，为使装置能应用在不同的变电站，在装置中实现了配置功能，配置以命令行的方式实现，对装置进行配置时，需先给装置发送进入配置模式指令，使其进入配置模式。进入配置模式后，通过串行接口给装置发送对应参数的配置指令即可完成配置。因此，安装调试时只需对装置进行简单配置，使其串行接口参数与远动机所采用的串行接口参数相一致，即可使装置用于不同变电站。在配置装置串行接口波特率时，需先计算出串行接口配置所需要除数 *DL* 和小数分频值 *FDR*，具体计算公式为

$$baudrate=\frac{PCLK}{16\times(UnDLM:UnDLL)}\times\frac{MULVAL}{(MULVAL+DIVADDVAL)} \tag{1}$$

其中：*PCLK* 为外设时钟；*UnDLM* 和 *UnDLL* 分别

是除数 *DL* 的高 8 位和低 8 位，*DIVADDVAL* 和 *MULAVL* 分别是小数分频值 *FDR* 的低 4 位和高 4 位，且各参数取值遵循条件如式(2)。

$$\begin{cases} 0 < MULVAL \le 15 \\ 0 \le DIVADDVAL < 15 \\ DIVADDVAL < MULVAL \end{cases} \tag{2}$$

除串行接口参数外，不同变电站远动机采用的远动通信规约也可能不同，因此，在智能识别切换机制中所需要识别的规约命令也不同。在装置中设计了两种通道选通模式，模式 1 支持 101 规约，模式 2 支持 CDT 循环规约，在配置时需要根据变电站所采用的远动规约配置装置通道的选通模式。在配置完成后，装置会将修改的参数信息保存到片内 flash 中并重启，在掉电重启后装置会自动读取保存的配置信息，使装置以掉电前的状态工作。同时在装置中加入了多种复位功能，可以将保存的配置信息有选择恢复为默认值。

4　分路装置功能测试与变电站安装测试

4.1　一对多通信测试

串行接口分路装置的使用，使远动机可以同时与多个主站端实时通信并且主站端都可以随意设置为值班状态或监听状态。在此，以 IEC 60870-5-101 通信规约为例进行测试，为使测试结果更直观，将装置的一路子站和三路主站用 USB 转 RS232 串行接口线连接到电脑，然后打开 4 个 PMA 远动规约模拟软件，其中 1 个工作模式设置为从站模式用于模拟变电站远动机，另外 3 个则设置为主站模式用于模拟 3 个主站端。测试表明，3 个主站端能同时接收到子站返回的数据并正确解析。当主站 1 通道处于选通状态，其他处于屏蔽状态，以主站 2 为例，在主站 2 发送双点遥控命令，主站 2 对应的通道自动切换为选通状态并将控制命令下发给子站，子站接收到控制命令后返回执行确认信息给主站，由主站端进行执行确认，如图 7 所示，在主站 3 进行遥控操作时装置也可自动切换并正常执行。由此说明在 3 个调度主站都可以实时地对变电站进行控制。

4.2　变电站现场安装应用

为测试分路装置功能及接入方案的可行性，在海口某变电站进行了现场安装测试。在接入前，先对分路装置与串行接口联网服务器进行配置，分路装置需要配置其串行接口参数与工作模式，使其与远动机所采用的串行接口参数和远动规约相一致。本次安装测试变电站远动机所采用的串口参数波特率为 1 200 bps，数据位为 8，校验位为偶校验，停

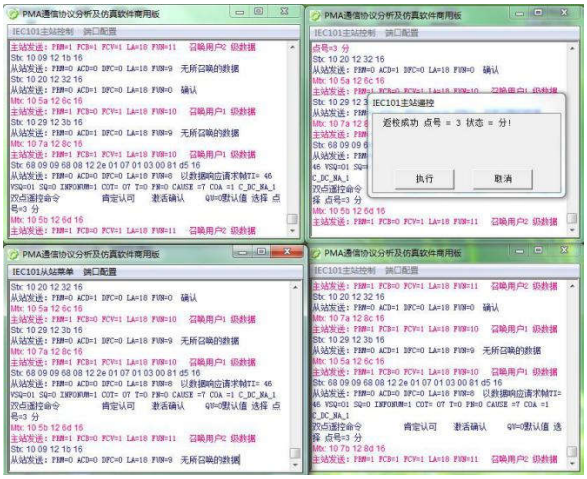


图 7　一对多通信测试

Fig. 7 One-to-many communication test

止位为 1，所采用的远动规约为 101 规约。通过分路装置任一串行接口连接到电脑上，在电脑上打开串口软件，发送对应的配置命令给分路装置，配置其串口参数与工作模式。

串行接口联网服务器具有两路 RS-232 接口、一个网口，需配置其 IP 地址为分配给变电站的 IP 地址，配置其 RS-232 接口参数与远动机相同，并配置其工作模式为 TCP Server，其中每个串行接口对应一个端口号。配置好后，将分路装置子站接口与远动机相连，三路主站接口则分别连接到串行接口联网服务器与原串等通道，在调试数据网加密装置中加入串行接口联网服务器的 IP 地址及对应的端口号，放开访问权限，使调度主站能够通过加密装置访问串行接口联网服务器。安装配置好后，在 3 个调度自动化主站端准确接收到远动机发送的数据并解析，且在任意调度主站对变电站做遥控预置测试，均可以实时地对变电站进行遥控。

5　结论

本文设计的串行接口分路装置实现了变电站远动机与多调度自动化主站的实时通信。使得在多个调度自动化主站均可以实时监测到变电站运行状态且都能实时地对变电站进行遥控、遥调等，很好地满足了调度自动化系统的升级改造及主备调系统一体化的需求。本文设计的装置及接入方案已在海南地区投入使用，且装置具有较强的通用性和实用性，支持多种远动规约，在无需更换变电站远动机及其他设备的情况下就可以实现多调度主站的接入。因此，其具有很强的推广应用价值，可以以低成本、高效率的方式实现电力系统多调度自动化系统一体

化的升级改造。

参考文献

[1] 张策, 王帅. 远动控制技术在电力系统自动化中的应用[J]. 电子制作, 2014(1): 56-56.
ZHANG Ce, WANG Shuai. Application of telecontrol technology in power system automation[J]. Practical Electronic, 2014(1): 56-56.

[2] BO Z Q, LIN X N, WANG Q P, et al. Developments of power system protection and control[J]. Protection and Control of modern Power Systems, 2016, 1(1): 1-8. DOI: 10.1186/s41601-016-0012-2.

[3] 喻振帆, 刘嘉宁, 董锴. 广东电网备用调度中心运行策略分析与实践[J]. 广东电力, 2017, 30(12): 97-102.
YU Zhenfan, LIU Jianing, DONG Kai. Analysis and practice of operation strategy for standby dispatching center of guangdong power grid[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(12): 97-102.

[4] 章熙, 王宏宇, 陈胜. 调度自动化系统运行监管信息模型建模研究[J]. 广东电力, 2017, 30(2): 110-115, 142.
ZHANG Xi, WANG Hongyu, CHEN Sheng. Research on modeling for operating supervising information model of dispatching automation system[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(2): 110-115, 142.

[5] 叶飞, 金鑫, 朴林, 等. 基于电力调度数据网双平面的主站控制多机多链路采集方案[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(8): 155-158.
YE Fei, JIN Xin, PIAO Lin, et al. A scheme for multi-machine and multi-link acquisition of control center based on electric power dispatching data network dual plane[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(8): 155-158.

[6] LE J, WANG C, ZHOU W, et al. A novel PLC channel modeling method and channel characteristic analysis of a smart distribution grid[J]. Protection and Control of modern Power Systems, 2017, 2(2): 146-158. DOI: 10.1186/s41601-017-0044-2.

[7] 刘梦璇, 张顺先, 任博强, 等. 调配一体化数据采集网的可行性方案设计[J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 28(1): 91-96.
LIU Mengxuan, ZHANG Shunxian, REN Boqiang, et al. Feasibility scheme design of data integrated network[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2016, 28(1): 91-96.

[8] 李高望, 鞠文云, 段献忠, 等. 电力调度数据网传输特性分析[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(22): 141-148, 7.
LI Gaowang, JU Wenyun, DUAN Xianzhong, et al. Transmission characteristics analysis of the electric power dispatching data network[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(22): 141-148, 7.

[9] 刘丽榕, 王玉东, 肖智宏, 等. 国家电网调度数据网建设方案研究[J]. 电力系统通信, 2011, 32(2): 18-21.
LIU Lirong, WANG Yudong, XIAO Zhihong, et al. Discuss on the construction scheme of power dispatching data network[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2011, 32(2): 18-21.

[10] 曹艳, 高宏. 调度自动化系统远动技术网络化的研究[J]. 机电技术, 2012, 35(2): 166-168.
CAO Yan, GAO Hong. Research on networking of telecontrol technology in dispatching automation system[J]. Mechanical and Electrical Technology, 2012, 35(2): 166-168.

[11] 周雅. 智能化电力调度数据专网建设方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 133-137.
ZHOU Ya. Analysis on intelligent construction scheme for power dispatching data network[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 133-137.

[12] 李涛, 黄凯, 王琼, 等. 某变电站远动终端延寿改造设计[J]. 电子世界, 2017(4): 106-107.
LI Tao, HUANG Kai, WANG Qiong, et al. Design of the extension of the telecontrol terminal of a substation[J]. Electrics World, 2017(4): 106-107.

[13] 安永帅, 李刚, 樊占峰, 等. 新一代智能变电站控制保护一体化智能终端研究与开发[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(8): 138-146.
AN Yongshuai, LI Gang, FAN Zhanfeng, et al. Research and development on intelligent terminal units incorporated with control and protection functions in new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(8): 138-146.

[14] 冯树海, 姚建国, 杨胜春, 等. “物理分布、逻辑集中”架构下调度系统一体化分析中心总体设计[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(12): 138-144.
FENG Shuhai, YAO Jianguo, YANG Shengchun, et al. Overall design of integrated analysis centre for physically-distributed and logically-integrated dispatch system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(12): 138-144.

[15] 李永照, 茹东武, 陈哲, 等. 运行变电站增加告警直传和远程浏览功能的实现方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(17): 112-117.
LI Yongzhao, RU Dongwu, CHEN Zhe, et al. Implementation method of adding the functions of alarm transmission and remote browser in working substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(17): 112-117.

[16] 金芬兰, 王昊, 范广民, 等. 智能电网调度控制系统的

变电站集中监控功能设计[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 241-247.
JIN Fenlan, WANG Hao, FAN Guangmin, et al. Design of centralized substation monitoring functions for smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 241-247.

[17] CAI H, CHEN Q, GUAN Z, et al. Day-ahead optimal charging/discharging scheduling for electric vehicles in microgrids[J]. Protection and Control of modern Power Systems, 2018, 3(3): 93-107. DOI: 10.1186/s41601-018-0083-3.

[18] 朱桂英, 张鸿, 黄海峰, 等. 一种应用于智能变电站和调度主站之间的通信映射方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(14): 112-116.
ZHU Guiying, ZHANG Hong, HUANG Haifeng, et al. A mapping method of communication applied to smart substation and control center[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(14): 112-116.

[19] 沈凤杰, 才洪全, 徐洪涛, 等. 省地两级电网紧急控制装置协同监控系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(6): 126-132.
SHEN Fengjie, CAI Hongquan, XU Hongtao, et al. Design of collaborative monitoring and control system for emergency control device used for province-district two-level power grid[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(6): 126-132.

[20] 黄伟, 彭显刚, 邓小康, 等.一种可自适应多通信模块的智能电表设计[J]. 陕西电力, 2017, 45(2): 43-48.
HUANG Wei, PENG Xiangang, DENG Xiaokang, et al. Design of intelligent electric meter with self-adaption multi-communication module[J]. Shaanxi Electric Power, 2017, 45(2): 43-48.

[21] 呼文强, 陈博, 李颖瑾, 等. 智能变电站综合 IED 的研究与设计[J]. 智慧电力, 2017, 45(10): 83-87.
HU Wenqiang, CHEN Bo, LI Yingjin, et al. Research and design integrated IED for smart substation[J]. Smart Power, 2017, 45(10): 83-87.

[22] 郑丽娟, 朱萍, 任永昌. 循环式远动规约数据采集方法设计[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(4): 71-74, 78.
ZHENG Lijuan, ZHU Ping, REN Yongchang. Design of data acquisition method of cycle distance transmission[J]. Computer Technology and Development, 2013, 23(4): 71-74, 78.

[23] 王昕, 曹敏, 李仕林, 等. 远动设备 IEC60870-5-101 非平衡规约的测试研究[J]. 化工自动化及仪表, 2016, 43(3): 308-312.
WANG Xin, CAO Min, LI Shilin, et al. Test study of IEC60870-5-101 unbalanced protocol for telecontrol equipment[J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 2016, 43(3): 308-312.

[24] 张士勇, 陈春, 贾大昌, 等. 应用 101(104)规约的“电网调度自动化系统”在现场调试维护中的关键技术分析[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 148-152.
ZHANG Shiyong, CHEN Chun, JIA Dachang, et al. Analysis of the pivotal technique in fieldwork of electric power grid SCADA system which applied 101(104) protocols[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(5): 148-152.

[25] 李翔, 张学刚, 任涛, 等. 基于 101 规约的智能分析软件设计与实现[J]. 电力信息与通信技术, 2013, 11(11): 87-91.
LI Xiang, ZHANG Xuegang, REN Tao, et al. Design and implementation of intelligent analysis software based on the IEC 870-5-101 protocol[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2013, 11(11): 87-91.

收稿日期：2018-08-04；　　修回日期：2018-09-26

作者简介：

谢宇威(1993—)，男，硕士研究生，研究方向为智能嵌入式系统与工程；E-mail: 875432949@qq.com

张永辉(1974—)，男，博士，教授，研究方向为智能嵌入式系统与工程；E-mail: zhyhemail@163.com

张仕鹏(1974—)，男，通信作者，硕士研究生，高级工程师，研究方向为电力系统自动化。E-mail: zhangshipeng@gedi.com.cn

(编辑　魏小丽)