

DOI: 10.7667/PSPC180041

# EMS 与 DMS 间数据交互的数据传输与 安全控制操作方法研究

王雷<sup>1,2</sup>, 李乐为<sup>2</sup>, 史金伟<sup>2</sup>, 赵景涛<sup>2</sup>, 黄强<sup>3</sup>

(1. 南京工业大学机械与动力工程学院, 江苏 南京 211800; 2. 南瑞集团有限公司, 江苏 南京 210061;  
3. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 210061)

**摘要:** 随着电力系统的发展, 尤其受城乡电网建设与改造的影响, 对配网管理系统(DMS)改善电能质量提出新的要求。能量管理系统(EMS)与配网管理系统间的数据交互越来越多, DMS 通过 EMS 进行控制操作的需求越来越急切。基于 IEC104 规约在 EMS 与 DMS 间的扩展应用, 并通过遥控信息冗余校验的概念, 给出遥控信息冗余校验判断策略, 提出了 EMS 与 DMS 间数据交互和安全遥控操作的方法, 实现 EMS 向 DMS 转发遥测、遥信数据。华东地区的应用情况验证了该方法的可行性和实用性。

**关键词:** IEC104 规约; 能量管理系统; 配网管理系统; 跨系统安全操作; 遥控信息冗余校验

## Research on data transmission and security control operation method of data interaction between EMS and DMS

WANG Lei<sup>1,2</sup>, LI Lewei<sup>2</sup>, SHI Jinwei<sup>2</sup>, ZHAO Jingtao<sup>2</sup>, HUANG Qiang<sup>3</sup>

(1. College of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211800, China; 2. NARI Group Corporation, Nanjing 210061, China; 3. State Grid Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 210061, China)

**Abstract:** With the development of the power grid, and especially influenced by the construction and transformation of power grid in urban and rural areas, it puts forward new requirements for power quality improvement in Distribution Network Management System (DMS). So the data exchanges between Energy Management System (EMS) and DMS are increasing, and the function of sending control signals between DMS and EMS is also becoming more and more urgent. Based on the extended application research of IEC104 protocol between DMS and EMS, the function of transmitting the remote measuring data and remote communication data to DMS via EMS is realized. Using the concept of remote control information redundancy check, the judgement strategy of remote control information redundancy check is given. Then, the method of data interaction and safety remote control between EMS and DMS is proposed. The application in East China has proved that the method is feasible and practical.

This work is supported by National Key Research and Development Program of China: Research on AC/DC Hybrid Renewable Energy Technology based on Power Transformer (No. 2017YFB0903300).

**Key words:** IEC104 protocol; energy management system; distribution network management system; cross system security operation; redundancy check of remote control information

## 0 引言

我国经济快速发展对电能需求越来越大, 电力系统运行的安全性、可靠性以及经济性面临着新的

挑战。EMS 主要为调度生产服务<sup>[1]</sup>, DMS 是着眼于配电和用电的综合自动化系统<sup>[2-6]</sup>。尽管输电网与配电网系统的网络结构、参数及运行情况不同, EMS 和 DMS 都具有数据采集和监控等基本功能。目前国内已经普及了以 SCADA 功能<sup>[7-8]</sup>为主的地调自动化系统, 采集信息较完善、可靠。配电系统对断路器的控制操作需要考虑变电站设备运行情况, EMS

基金项目: 国家重点研发计划项目资助(2017YFB0903300)  
“基于电力电子变压器的交直流混合可再生能源技术研究”

采集变电站低电压等级(一般 10 kV)的电力设备信息也正是 DMS 需要采集信息。研究配电网管理系统与能量管理系统间数据安全、可靠交互方法,实现 DMS 通过 EMS 获取变电站的断路器等一次设备的位置信息,并进行控制操作,一方面配网运行控制操作能综合考虑整个变电站层面运行情况,确保配电系统运行的安全性,另一方面 DMS 通过 EMS 获取变电站断路器等设备信息,降低电网运行成本,对于提高电网运行安全性和经济性具有重要意义。

在不同系统间进行信息交互,一些学者从模型层提出异构公共信息模型的映射方法,从数据层提出信息交互方法<sup>[9]</sup>。目前大力推广的智能化变电站采用 IEC61850 规约,该规约的应用在一定程度上促进了变电站自动化系统通信技术的进步,但同时也暴露了诸多问题<sup>[10]</sup>。IEC60870-5-104 规约(简称 IEC104 规约),因其健全的机制,在传输速度、稳定性、安全性等性能指标方面优于其他大多数电力系统中的通信规约,特别是具有受干扰数据不至丢失、报文编码易读性强、具有超时机制等诸多优点,国内目前调度系统间主要采用 IEC104 规约作为首要的通信传输规约<sup>[11-12]</sup>。基于 IEC104 规约的扩展应用,可实现 DMS 和 EMS 间数据安全、快速、准确交互。

DMS 获取 EMS 电力设备测量、位置状态信息的主要方式是 EMS 向 DMS 进行数据转发实现。一般情况下,EMS 仅将遥测、遥信数据转发给 DMS,EMS 与 DMS 分别维护模型与传输数据间关联关系,双方各自制作数据转发库和接收库,双方均进行信息点表核对。随着电网规模的不断扩大,变电站数量越来越多,海量信息的筛选和核对也增加了运维人员的劳动强度。EMS 向 DMS 转发的数据是经过 EMS 处理后的熟数据,与源端数据即变电站站内数据存在差异。EMS 处理数据需要开销时间,这就使得数据转发的精度和实时性受到影响。同时 EMS 多采用周期扫描方式发送数据,会导致 DMS 产生接收盲区。

为降低主站与厂站间因设备信息点表不一致导致的误遥控情况,目前依赖模型定义描述作为遥控校验依据,多采用设备编号和点号双重校验、测控装置 IP 校验的方法,同时设置五防系统等防误措施<sup>[13-15]</sup>等技术手段,实际操作运行中主站对厂站的遥控操作还是存在一定的误遥控风险<sup>[16]</sup>。文献[17]提出在遥控报文中增加设备编码项的方法,遥控命令的辨别由单一因子变成双因子,降低了遥控误操

作风险。文献[18]提出了远动安全校核的遥控双校验方法。相比较主站与子站间的控制操作,实现 DMS 通过 EMS 对变电站中设备进行安全控制操作难度更大。变电站同一设备模型在 EMS 和 DMS 中的模型描述定义、设备唯一性标识码不同,因此 EMS 不支持对 DMS 直接通过 EMS 进行遥控操作。即便 EMS 与 DMS 为同构系统,由于运维人员水平差异,EMS 与 DMS 模型对象属性定义的差异性也决定了 DMS 直接通过 EMS 控制操作不具备可行性。从 EMS 和 DMS 模型内部实现细节上考虑,主站与子站间的控制操作技术手段不能消除 EMS 与 DMS 间双方系统关于模型定义描述与设备唯一性标识码匹配不一致带来的控制操作安全隐患问题。

本文基于 IEC104 规约在 DMS 与 EMS 通信中的扩展应用,通过整厂转发模式从 EMS 向 DMS 转发遥信、遥测数据,研究 DMS 通过 EMS 对变电站中设备进行安全操作控制的方法,实现 EMS 与 DMS 系统间的数据交互和安全控制操作。

## 1 EMS 与 DMS 系统间的数据交互关键技术

### 1.1 EMS 与 DMS 间的数据交互模型统一方法

同一变电站中的设备模型定义在 EMS 和 DMS 中各不相同,EMS 与 DMS 这两个异构系统间数据信息交互须遵照统一的模型定义。当前跨系统间数据模型的交互方法,主要有模型拼接和远程浏览两种。模型拼接通常应用于上下级调度系统间,由于 EMS 与 DMS 应用于电力传输不同阶段,两系统间的操作频繁,模型拼接不适用于 EMS 与 DMS 间模型交互;而远程浏览虽然不需要遵循统一的模型定义,但由于远程浏览一般采用电力系统图形描述规范 CIM/G 格式作为图形文件的标准格式,且遥控功能尚未有大规模推广使用的经验,所以也不适用于 EMS 与 DMS 间的模型交互<sup>[19]</sup>。

考虑到 EMS 与 DMS 间的交互只是进行数据模型信息交互,数据接口的方式能有效实现两系统间的数据快速、准确交互。数据接口方式指的是双方设备模型的同步主要采用 EMS 自动生成遥测、遥信、遥控设备模型描述文件,DMS 通过 ftp 或 sftp 的方式从 EMS 中取走文件。用户在 DMS 上人工干预确认文件是否读取成功、是否导入成功以及是否校验成功。确保 EMS 和 DMS 交互信息准确性的关键在于校验设备信息唯一性标识码。单个测点的信息格式如图 1 所示,以下信息内容能唯一确定 EMS 与 DMS 交互的某一指定测点。

表号	记录号	域名	厂名	设备名	值域名	点号(遥测或遥信)	遥控点号
----	-----	----	----	-----	-----	-----------	------

图 1 单个测点信息格式

Fig. 1 Single point information format

图 1 中, 表号、记录号、域名为设备信息唯一

表 1 遥信模型文件示意图

Table 1 Remote communication model file schematic table

表号	记录名	域名	厂名	设备名	值域名	点号	遥控号
434	32854	20	华东. 太仓	全站事故总	值	0	-1
434	59422	20	华东. 太仓	5031 开关测控装置异常	值	1	-1
434	59423	20	华东. 太仓	常仓线 5032 开关测控装置异常	值	2	-1
407	536879526	40	华东. 太仓	华东. 太仓/500 kV. 常仓线 5032 开关 A 相	遥信值	3	-1
407	536879527	40	华东. 太仓	华东. 太仓/500 kV. 常仓线 5032 开关 B 相	遥信值	4	-1
407	536879528	40	华东. 太仓	华东. 太仓/500 kV. 常仓线 5032 开关 C 相	遥信值	5	-1
407	536871121	40	华东. 太仓	华东. 太仓/500 kV. 常仓线 5032 开关	遥信值	6	1
	⋮						
136	245						
434	132806	20	华东. 东善桥	事故总	值	0	-1
407	5368871010	40	华东. 东善桥	华东. 东善桥/500 kV. 东峰线 5011 开关	遥信值	1	0

表 1 表示在通信厂站 A 中传输的信息包含了 B 厂站信息个数为 1911, 对应的厂站编号 223, C 厂站信息个数为 136, 对应的厂站编号 245。生成的模型文件中, 单个测点的信息格式依次是: 表号、记录号、域号、厂名、设备名、值域名、点号、遥控点号。其中, 表号、记录号、域号等组成了设备唯一性标识码。EMS 与 DMS 之间的数据信息交互, 将生成遥测、遥信两个模型文件。遥测模型文件与遥信模型文件单个信息的差异, 主要表现在遥测模型文件无“遥控点号”字段, 而遥信模型文件中的“遥控点号”即 EMS 接收 DMS 发送的遥控点号。

## 1.2 IEC104 规约扩展数据传送方式

整厂转发模式<sup>[20]</sup>指的是变电站发送给 EMS 的信息顺序号, 同样应用于 EMS 发送给 DMS, 无需人工干预模型匹配关系。将 1 个或多个站端系统(或电力控制中心)的全部数据通过 EMS 与 DMS 建立 TCP 通信链路传输。多个变电站的数据可以通过 EMS 与 DMS 建立的 1 个通信链路进行传输。传统的转发方式, 需消耗操作系统多个 TCP 链接, 人工维护模型映射关系和核对信息的工作。采用整厂转发模式能有效提高传输效率。由于整厂转发模式是时分复用的, 对 IEC104 规约中“ASDU 公共地址[10]”意义作拓展, 用以表示“转发数据所属厂站”, 而电力调度自动化监控系统中厂站是通过“厂站编号”进行区分的。通过扩展“ASDU 公共地址[10]”

性标识码。EMS 与 DMS 间的遥控操作的安全控制校验内容主要由图 1 所示信息和“系统权限”组成遥控冗余校验信息。双方分别在各自的系统中维护设备描述与传输信息顺序号的对应关系。以华东地区应用为例, EMS 与 DMS 交互的遥信文件示意表格如表 1 所示。

应用, EMS 向 DMS 转发遥测、遥信数据示意图如图 2 所示。图 2 显示内容意义为, 在 1 个 EMS 与 DMS 通信的厂站中, 传输了厂站编号为 28,155,33,39 的遥测数据, 对应 IEC104 中的 ASDU 公共地址“0x1C 0x00”、“0x9B 0x00”、“0x21 0x00”、“0x27 0x00”; 传输了厂站编号为 144,45 的遥信数据, 对应 IEC104 中的 ASDU 公共地址“0x90 0x00”、“0x2D 0x00”。

[Tue Feb 16 00:00:07 2017]发送(遥测): 6812FC427E06 0D 01 03001C00 AE400E88D463F00  
 [Tue Feb 16 00:00:07 2017]发送(遥测): 681AFE427E06 0D 02 03009B00 0941000DCBD4100 0B410033B3D84100  
 [Tue Feb 16 00:00:07 2017]发送(遥测): 681200437E06 0D 01 03002100 E6400198EA14300  
 [Tue Feb 16 00:00:07 2017]发送(遥测): 681A02437E06 0D 02 03002700 85400F5DB874200 86400E1DE8A4200  
 [Tue Feb 16 00:00:07 2017]接收: 680401000643  
 [Tue Feb 16 00:00:08 2017]发送(遥信): 682006437E06 1E 02 03009000 F306000127230000500210 F30600000820000500210  
 [Tue Feb 16 00:00:09 2017]发送(遥信): 682E06437E06 01 01 03002D00 23020000  
 [Tue Feb 16 00:00:10 2017]发送(遥信): 68150A437E06 0E 01 03002D00 23020000E1210000500210  
 [Tue Feb 16 00:00:11 2017]发送: 680443000000  
 [Tue Feb 16 00:00:11 2017]发送: 680483000000

图 2 整厂转发数据示意图

Fig. 2 Data forwarding diagram of the whole substation

采用上述数据传送方式, 对 DMS 而言, 数据源等同于来自变电站监控系统, 提高了数据传输的实时性和准确性, 更加符合电力系统安全生产的要求。同时因为 DMS 通过模型文件获取了 EMS 中设备的唯一性标识和设备模型定义描述, 从技术上保证了控制操作的安全性, 即操作的设备属性同 EMS 保持高度一致。此时, EMS 的地位等同于 DMS 中的数据采集模块。特别地, 单个 EMS 与 DMS 通信的控制中心生成的遥测、遥信模型文件中可以包含 EMS 中多个厂站的模型, DMS 通过 EMS 下发遥控

命令时，也支持多对一的关系。即多个厂站的控制命令可以通过 1 个已建立 TCP 链接的 EMS 与 DMS 通信控制中心下发给变电站，如此进一步提升 EMS 与 DMS 间信息交互的效率。

## 2 EMS 和 DMS 间安全控制操作方法

### 2.1 IEC104 规约对控制命令的扩展定义

为实现 DMS 通过 EMS 对低电压等级(主要是 10 kV)断路器设备进行安全控制操作，在标准单点

遥控报文后增加遥控信息冗余校验，对 ASDU 结构中的类型标识进行扩充，从规约设置层面保障控制操作设备信息的准确性。冗余校验信息由冗余校验信息字节数和冗余校验信息组成，其中冗余校验信息主要包含 EMS 中设备关键字信息，设备所属厂站名称、设备测点名等。遥控类型采用扩展类型 74，在标准单点遥控报文后增加了设备的 KEYID 结构信息进行冗余校验。如表 2 所示。

表 2 ASDU 结构

Table 2 ASDU structure

0	1	1	1	0	1	0	0	类型标识 可变结构限定词 传送原因 ASDU 公共地址 信息对象 SCO=单命令，DL/T634.5101-2002 的 7.2.6.15 中定义 冗余校验信息字节数 冗余校验信息	数据单元标识符在 DL/T634.5101-2002 的 7.1 中定义  信息对象
0	0	0	0	0	0	0	1		
在 DL/T634.5101-2002 的 7.2.4 中定义									
在 DL/T634.5101-2002 的 7.2.4 中定义									
在 DL/T634.5101-2002 的 7.2.5 中定义									
S/E	QU				0	SCS			
校验信息字节数(char) 1 byte									
系统权限(short) 2 byte									
表号(short) 2 byte									
记录号(int) 4 byte									
域号(short) 2 byte									
厂站名(string) 32 byte									
测点名(string) 128 byte									

### 2.2 安全控制操作多条件校验技术

为了加强遥控操作安全性，防止遥控误操作，对控制操作增加了多条件验证。

1) 遥控报文后增加遥控信息冗余校验，确保遥控操作信息准确性。

2) 在 EMS 中对接收到的遥控设备信息进行表级验证，即在 EMS 中增加存储可遥控的设备信息。即便 DMS 发送的遥控信息校验通过，但不满足 EMS 中存储的表级验证要求，遥控指令不会被执行。

3) 结合配网的生产实际情况，EMS 接收 DMS 发送的遥控命令时，对校验信息中的设备所属的电压等级进一步判断，一般仅允许 10 kV 的断路器设备遥控可被执行。

同时，“系统权限”作为控制安全操作的判据，仅允许具有遥控操作权限的用户进行遥控操作。

遥控操作的流程如下所述。

1) DMS 向 EMS 发送遥控预置报文(类型 74)，附带遥控校验冗余信息。

2) EMS 处理接收到的遥控预置报文，处理过程如下：校验冗余信息，由遥控点号寻找设备实际的所属厂站，校验信息正确性。如果校验出错，发送返校失败报文给 DMS；如果校验通过，发送遥控预

置报文给变电站内自动化监控系统，等待变电站内自动化监控系统的返校报文，在 15 s 内收到的变站内自动化监控系统返回的返校成功或失败报文，同时转发返校信息给 DMS。在 DMS 返校成功或失败后，EMS 如果在 10 s 内没有收到 DMS 的遥控执行或遥控撤销报文，则发送遥控撤销报文给变电站内自动化监控系统。

3) EMS 处理执行报文过程同处理预置报文的过程。主要差别在于处理执行报文时不需要等待变电站内自动化监控系统的实际执行结果，直接返回执行确认给 DMS。DMS 系统通过接收到的遥信变位判断是否遥控成功。DMS 通过 EMS 遥控操作流程如图 3 所示。

## 3 应用实例

### 3.1 测试结果

对 DMS 通过 EMS 对断路器遥控控制操作功能进行测试，测试结果表明了本文提出的 EMS 和 DMS 间的安全控制操作技术的可行性。EMS 中接收 DMS 发送的遥控命令报文如下例所示。

68 b7 26 0 44 1 4a 1 6 0 c9 0 2 60  
0 80 a8 97 1 70 a 0 0 28 0 ba f9 c2 ab b5 ba

```

2e b2 e2 ca d4 d5 be  0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 74 65 73 74 35 33
31 34 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0
    
```

则返回错误; 表级校验成功后, 按照遥控冗余信息校验规则校验, 校验通过后 EMS 转发遥控控制命令至变电站监控设备, 否则返回校验失败信息至 DMS。具体应用效果如图 4 所示。

```

[chan:423]接收DMS的遥控预置报文<预置>(2017-4-20 16:10:27):
68 b9 6 0 1a 0 4a 1 6 0 21 4 12 60 0 81 aa 2 0 97 1 1b 25 0 73 28 0 f4 f7 e9 bd b1 e4 31 32 33 0 0 0 0 0
[chan:423]接收的遥控点号: 17, 遥控值: 0x81, 记录id: 1929389339, 域id: 40, 厂站名: 葫芦岛测试站, 设备名: 葫芦
岛测试站 #1主变10kV开关
[chan:423]校验数据库信息 不成功, 出错返回值:-102
[chan:423]立即返回DMS的遥控报文(2017-4-20 16:10:27):

[chan:423]接收DMS的遥控报文(2017-4-20 16:12:27):
68 b9 6 0 1a 0 4a 1 6 0 21 4 12 60 0 81 aa 2 0 97 1 12 25 0 73 28 0 f4 f7 e9 bd b1 e4 31 32 33 0 0 0 0 0
[chan:423]接收的遥控点号: 17, 遥控值: 0x81, 记录id: 1929389330, 域id: 40, 厂站名: 葫芦岛测试站, 设备名: 葫芦
岛测试站 #1主变10kV开关
从接收到的record_id得到设备名和厂站ID, dev_name_check:葫芦岛测试站 #1主变10kV开关, fac_id_check:
113997367497195892
[chan:423]校验数据库信息 成功, 遥控信息校验后得到的实际厂ID:1929380212,遥控点号: 17
[chan:423]发送一个新的遥控预置
[chan:423]Send Message To FES_NET,msg_type:PREV
[chan:423]接收到fes_net返回的实际遥控报文返校成功的报文, key id:1929389330 40,发送遥控返校报文给DMS, 此遥控通
道:423
[chan:423]判断iscada动作后返回DMS的遥控报文 (2017-4-20 16:12:27) :
返校成功!
    
```

图 4 遥控操作应用效果图

Fig. 4 Application effect diagram of remote control operation

### 4 结语

通过开展 DMS 与 EMS 间的数据交互与安全控制操作方法的研究与应用, 实现 DMS 通过 EMS 获取断路器等相关设备信息进行控制操作功能, 华东地区的实际应用验证了本文所提出方法的可行性。该技术手段的应用对于提高供电可靠性, 提高了电网运行自动化水平, 降低电网运行成本具有实际意义。该方法除了应用于 EMS 与 DMS 间的数据交互与安全控制操作外, 还可以推广应用于其他外部系统与 EMS 间。本文的研究对跨系统间的安全控制操作研究具有先驱作用, 为后续进一步研究提供指导方向。

### 参考文献

- [1] 王强, 罗鲁东, 刘远龙. 新一代能量管理系统在地区电网调度中的应用与分析[J]. 供用电, 2011, 28(3): 27-30, 60. WANG Qiang, LUO Ludong, LIU Yuanlong. Application and analysis on the new generation energy management system in regional network dispatching[J]. Distribution & Utilization, 2011, 28(3): 27-30, 60.
- [2] 王成山, 王丹, 周越. 智能配电系统架构分析及技术挑战[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(9): 2-9. WANG Chengshan, WANG Dan, ZHOU Yue. Framework analysis and technical challenges to smart distribution system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(9): 2-9.
- [3] 徐丙垠, 李天友, 薛永端. 智能配电网与配电自动化[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 38-41. XU Bingyin, LI Tianyou, XUE Yongduan. Smart distribution grid and distribution automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 38-41.
- [4] HE Jinghan, LIU Lin, DING Fanfan, et al. A new coordinated backup protection scheme for distribution network containing distributed generation[J]. Protection

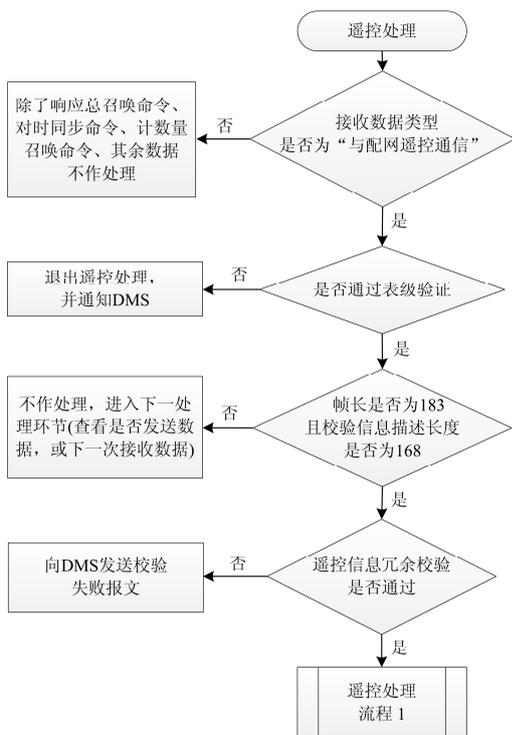


图 3 遥控操作流程

Fig. 3 Remote control operation process

报文解析内容为: “遥控点号为 1, 遥控值: 0x80, 记录 id: 2672, 域 id: 40, 厂站名: 葫芦岛测试站, 设备名: test5314”。EMS 进行遥控信息冗余校验, 根据结果决定是否将该遥控命令下发给变电站监控设备。

### 3.2 运行实例

目前, DMS 通过 EMS 控制操作变电站内设备的功能已在华东地区部署实施。实际应用表明本文提出的 EMS 与 DMS 间的数据交互与安全控制操作方法的实用性。图 4 所示为 DMS 遥控操作某变电站站内 10 kV 断路器, DMS 发出遥控预置命令后, EMS 对收到的操作指令首先进行表级验证校验, 判定该设备是否在允许操作的设备信息中, 如不存在

- and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(2): 102-110. DOI: 10.1186/s41601-017-0043-3.
- [5] 刘燕, 姜彤, 李美燕, 等. 鞍山 10 kV 配电网管理系统的研究与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(7): 74-76.  
LIU Yan, JIANG Tong, LI Meiyun, et al. Research and realization of 10 kV distribution network management system in Anshan[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(7): 74-76.
- [6] 王良. 智能配电网自动化应用实践的几点探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 12-16.  
WANG Liang. Discussion on application practice of distribution automation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 12-16.
- [7] 胡春潮, 侯艾君, 马凯, 等. 基于 OPNET 的电网 SCADA 系统通信建模与仿真[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 54-59.  
HU Chunchao, HOU Aijun, MA Kai, et al. Communication modeling and simulation of SCADA system of power grid based on OPNET[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 54-59.
- [8] 樊腾飞. 一种 SCADA 系统和视频与环境监控系统在电力系统中联动的应用方法[J]. 电子设计工程, 2016, 24(24): 113-115.  
FAN Tengfei. A linkage application method of SCADA system and video & environmental monitoring system in power system[J]. Electronic Design Engineering, 2016, 24(24): 113-115.
- [9] 谢婧, 刘东, 陆一鸣, 等. 基于异构模型映射的配电网信息交互方法[J]. 电网技术, 2016, 40(11): 3559-3565.  
XIE Jing, LIU Dong, LU Yiming, et al. Information interaction method for smart distribution network based on heterogeneous model mapping[J]. Power System Technology, 2016, 40(11): 3559-3565.
- [10] 高志远, 黄海峰, 徐昊亮, 等. IEC 61850 应用剖析及其发展探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(1): 162-169.  
GAO Zhiyuan, HUANG Haifeng, XU Haoliang, et al. Discussion on applications of IEC 61850 and its development[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(1): 162-169.
- [11] 余存, 黄利军, 黄浩然, 等. 基于 UML 状态图和 Qt 状态机框架的 IEC104 规约的分析与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(15): 118-125.  
YU Cun, HUANG Lijun, HUANG Haoran, et al. Analysis and implementation of IEC 104 based on UML statechart and Qt state machine framework[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(15): 118-125.
- [12] 梁竹靓, 韩兵, 彭永. IEC60870-5-104 规约在分布式电力监控系统中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(4): 124-127.  
LIANG Zhuliang, HAN Bing, PENG Yong. Application of IEC 60870-5-104 protocol in distributed electric supervisory control system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(4): 124-127.
- [13] 刘孝刚, 施琳, 张帆, 等. 智能变电站二次安措策略自动生成和在线校核技术[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(23): 82-89.  
LIU Xiaogang, SHI Lin, ZHANG Fan, et al. Automatic generation and online checking technology for secondary safety measures of smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(23): 82-89.
- [14] 张旭升, 李江林, 赵国喜. 智能变电站二次安措防误系统研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(11): 141-146.  
ZHANG Xusheng, LI Jianglin, ZHAO Guoxi. Research and application of the anti-misoperation system for the intelligent station secondary equipment security measures[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(11): 141-146.
- [15] 王少杰, 文玉瑞, 朱世民. 110 kV 变电站控制回路中闭锁信号混乱原因的分析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(24): 240-244.  
WANG Shaojie, WEN Yurui, ZHU Shimin. Analysis of the signal fault and confusion in the 110 kV substation control closed loop[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(24): 240-244.
- [16] 王顺江. 关于电力自动化遥控安全问题的研究[J]. 东北电力技术, 2012, 33(2): 25-28.  
WANG Shunjiang. The study of power automation's remote control on safety[J]. Northeast Electric Power Technology, 2012, 33(2): 25-28.
- [17] 黄国政, 郑广勇, 邱玩辉, 等. 一种远动遥控防误创新技术研究[J]. 广东电力, 2015(6): 70-74.  
HUANG Guozheng, ZHENG Guangyong, QIU Wanhui, et al. Research on innovated technology for mistake-proof of remote control[J]. Guangdong Electric Power, 2015(6): 70-74.
- [18] 刘必晶, 徐海利, 林静怀, 等. 远动遥控的双校验方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(8): 134-138.  
LIU Bijing, XU Haili, LIN Jinghuai, et al. Research on double check method of remote security check[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(8): 134-138.
- [19] 史金伟, 杨启京, 肖艳炜, 等. 异构系统间数据远程调阅的方法与实现[J]. 江苏电机工程, 2014(3): 44-47.  
SHI Jinwei, YANG Qijing, XIAO Yanwei, et al. Method and implementation of data remote access between heterogeneous systems[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014(3): 44-47.
- [20] 史金伟, 丁德鑫, 高敏, 等. 整厂转发在电力调度系统中的研究与应用[J]. 供用电, 2016, 33(11): 75-79.  
SHI Jinwei, DING Dexin, GAO Min, et al. Research and application of whole plant forward in electric power dispatching system[J]. Distribution & Utilization, 2016, 33(11): 75-79.

收稿日期: 2018-01-09; 修回日期: 2018-04-18

作者简介:

王雷(1983—), 男, 通信作者, 博士研究生, 高级工程师, 研究方向为计算智能在风电领域的应用以及电力系统自动化。E-mail: 516240179@qq.com

(编辑 姜新丽)