

智能变电站调控远方操作监视及分析研究

施蔚锦

(国网福建省电力公司泉州供电公司, 福建 泉州 362000)

摘要: 文章针对智能变电站调控远方操作监视及分析, 运用操作对象特征识别和控制流程分步关联的调控远方操作多协议关联建模和分析技术, 解决了调控远方操作全过程监视; 构建智能变电站调控远方操作交互模型和故障诊断知识库, 建立了调控远方操作故障诊断有向图, 通过收集远方操作事件驱动故障诊断有向图通路搜索, 解决了调控远方操作故障的分析诊断。基于上述技术研发的智能变电站调控远方操作监视系统已在福建泉州电网投入应用, 实现了智能变电站调控远方操作全过程监视, 辅助运行维护人员对智能变电站调控远方操作异常进行分析诊断, 通过准确定位故障环节, 有效缩短了故障处理时间, 同时发现自动化系统和设备缺陷, 指导自动化厂家对产品进行有针对性的消缺改进。

关键词: 智能变电站; 调控远方操作; 监视; 分析

Remote operation monitoring and analysis of intelligent substation regulation

SHI Weijin

(Quanzhou Power Supply Company, State Grid Fujian Electric Power Company, Quanzhou 362000, China)

Abstract: Aiming at the monitoring and analysis of dispatching remote operation in intelligent substation, this paper applies the multi-protocol correlation modeling and analysis technology based on feature recognition of operation object and step-by-step association of control flow to solve the whole process monitoring of remote operation in intelligent substation. By constructing the interaction model of remote operation in intelligent substation and the database for fault diagnosis of remote operation, the directed graph used in fault diagnosis of remote operation is established. The remote operation events are collected to drive searching for conduction path of the directed graph used in fault diagnosis of remote operation. Through searching conduction path of the directed graph, the cause of remote operation fault is found final. Based on the technology, the monitoring and analysis system of remote operation in intelligent substation has been developed and put into application in quanzhou power grid of fujian province, realizing the whole process monitoring of remote operation in intelligent substation, assisting operation and maintenance personnel to analyse and diagnose abnormality of remote operation in Intelligent Substation, effectively shortening fault processing time by accurately locating the fault links, at the same time, helping manufacturers to find the defects of automation system and equipment and improve their products.

Key Words: intelligent substation; dispatching remote operation; monitoring; analysis

0 引言

电网调控中心远方操作^[1]功能对于提升变电站集中监控效率具有重要意义。统计数据表明,

遥控功能缺陷主要来自厂站端的自动化系统。在我国电网中, 长期以来由于缺乏有效的监视分析手段, 导致难以实现对厂站端调控远方操作进行

全过程的监视和及时准确的故障定位。本文提出了一种基于操作对象特征识别和控制流程分步关联的调控远方操作多协议关联建模和分析方法,用于实现对智能变电站调控远方操作事件的智能采集;进一步提出一种基于事件驱动和分层有向图搜索的智能变电站调控远方操作故障诊断方法,用于实现对智能变电站调控远方操作故障进行智能分析诊断。基于上述方法研发的智能变电站调控远方操作监视系统已在泉州电网投入应

用,实现了智能变电站调控远方操作的全过程监视,并辅助维护人员对远方操作故障进行分析诊断,有效地提高了智能变电站调控远方操作功能的运维效率。

1 智能变电站调控远方操作事件的智能采集

1.1 智能变电站调控远方操作流程分析

智能变电站调控远方操作流程如图1所示。

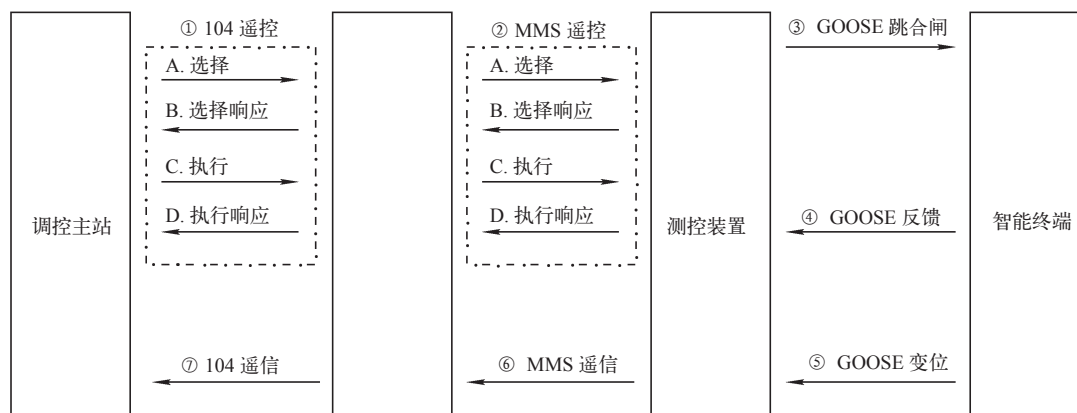


图1 智能变电站调控远方操作流程

Fig. 1 Flow chart of remote operation for intelligent substation control

将智能变电站调控远方操作划分为104遥控、MMS遥控、GOOSE跳合闸、GOOSE反馈、GOOSE变位、MMS遥信和104遥信7个环节,按从①~⑦的顺序编号(需要注意的是部分早期的智能变电站不存在GOOSE反馈环节)。

1.2 智能变电站调控远方操作各环节特征值索引识别和关联方法

为了实现对调控远方操作事件的智能采集,需要建立智能变电站调控远方操作模型。结合对操作流程的分析,建立智能变电站调控远方操作模型的关键是识别某个调控远方操作控点各操作环节的特征值索引,并寻求将各个环节的特征值索引关联起来的方法。表1列出了智能变电站调控远方操作流程各环节的协议特征值索引。

对智能变电站SCD文件和远动点表配置进行分析,给出如下的各环节协议特征值索引关联方法。

表1 智能变电站调控远方操作流程各环节协议特征值索引

Tab. 1 Index of protocol eigenvalues for each link of remote operation process of intelligent substation control

操作流程 环节编号	操作流程 环节	协议特征值索引
1	104遥控	104遥控点号
2	MMS遥控	MMS遥控的reference(引用名)
3	GOOSE跳合闸	GOOSE跳、合闸的reference(引用名)
4	GOOSE反馈	GOOSE反馈的reference(引用名)
5	GOOSE变位	GOOSE变位的reference(引用名)
6	MMS遥信	MMS遥信的reference(引用名)
7	104遥信	104遥信点号

(1) 104遥控和MMS遥控的关联

根据远动机导出的远动配置描述 (Remote Config Description, RCD)文件, 找到104遥控点号和MMS遥控的引用名(Reference)之间的对应关系, 可实现104遥控环节和MMS遥控环节的关联, 如表2所示。

表2 104遥控环节和MMS遥控环节的关联示例

Tab. 2 An example of relevance between 104 remote control link and MMS remote control link

序号	遥控点号	MMS遥控引用名	描述	遥控类型	控制模式
4	6	CB10003CTRL/CBdeaCSWI1\$CO\$POS	断路器强合	双点 (Double Point)	操作前选择 (sbo)

(2) MMS遥控和MMS遥信步骤关联

根据SCD文件中某个设备的ICD模型中MMS接入点下的遥控节点特征, 可实现MMS遥控、MMS遥信关联, 如表3所示。

表3 MMS遥控环节和MMS遥信环节的关联示例

Tab. 3 Examples of the association between MMS remote control link and MMS remote communication link

MMS遥控引用名	MMS遥控描述	MMS遥信引用名	MMS遥信描述
CTRL/CBdeaCSWI1\$CO\$POSSOper\$ctlval	断路器强合	CTRL/CBdeaCSWI1\$ST\$POS\$stval	断路器位置

(3) MMS遥控和GOOSE跳合闸关联

根据SCD文件中某个设备的ICD模型中MMS接入点和GOOSE接入点模型特征, 可以实现MMS遥控和GOOSE跳合闸环节的关联, 如表4所示。同一遥控对象, 二者属于相同实例号的CSWI节点。

表4 MMS遥控环节和GOOSE跳合闸环节的关联示例

Tab. 4 Examples of the relationship between MMS remote control link and GOOSE tripping and closing link

MMS遥控引用名	GOOSE跳合闸引用名
CTRL/CBdeaCSWI1\$CO\$POSSOper\$ctlval	PIGO/CSWI1\$ST\$OpOpn\$general (GOOSE跳闸)
	PIGO/CSWI1\$ST\$OpCls\$general (GOOSE合闸)

(4) GOOSE跳合闸、GOOSE反馈和GOOSE变位环节关联

在智能变电站SCD文件配置过程中, 需要配置GOOSE虚端子连线, 而GOOSE虚端子连线中, 已经包含测控的GOOSE跳合闸发送信号、智能终端发送的GOOSE反馈信号和智能终端采集的位置信号之间的关系, 直接根据GOOSE虚端子连线关系可以建立GOOSE跳合闸、GOOSE反馈和GOOSE变位环节的关联。

(5) 104遥信和MMS遥信环节关联

与104遥控和MMS遥控的关联类似, 根据远动机导出的RCD文件, 找到104遥信点号和MMS遥信的引用名(reference)之间的对应关系, 从而建立104遥信和MMS遥信环节的关联, 如表5所示。

表5 104遥信环节和MMS遥信环节的关联示例

Tab. 5 An example of relevance between 104 telecommunication link and MMS telecommunication link

序号	遥信点号	MMS遥信引用名	描述	遥信类别	取反设置
14	55	CB10003CTRL/CBSynCSWI1\$ST\$POS\$stval	断路器同期合	单点 (Single Point)	不取反

表1~表5中遥控或遥信对象引用名均遵循IEC 61850相关标准, 采用逻辑设备/逻辑节点/功能约束/数据对象/数据属性 (LD/LN\$FC\$DO\$DA)的结构加以描述。

1.3 智能变电站调控远方操作报文采集实现方法

依据上述可对智能变电站调控远方操作各环节进行关联建模, 针对每个调控远方操作对象描述其各操作环节的特征值索引。

1) 报文监听装置通过多个端口对多个协议报文进行监听^[2], 如图2所示。当调控远方操作事件发生时, 将对应的报文文件锁定存储, 并记录每个事件对应报文文件数据帧的位置, 将事件和报文文件关联。

2) 锁存文件不再随端口报文文件滚动删除, 而与调控远方操作报告一同管理, 这样可以在事后随时通过调控远方操作报告中的相关事件反查

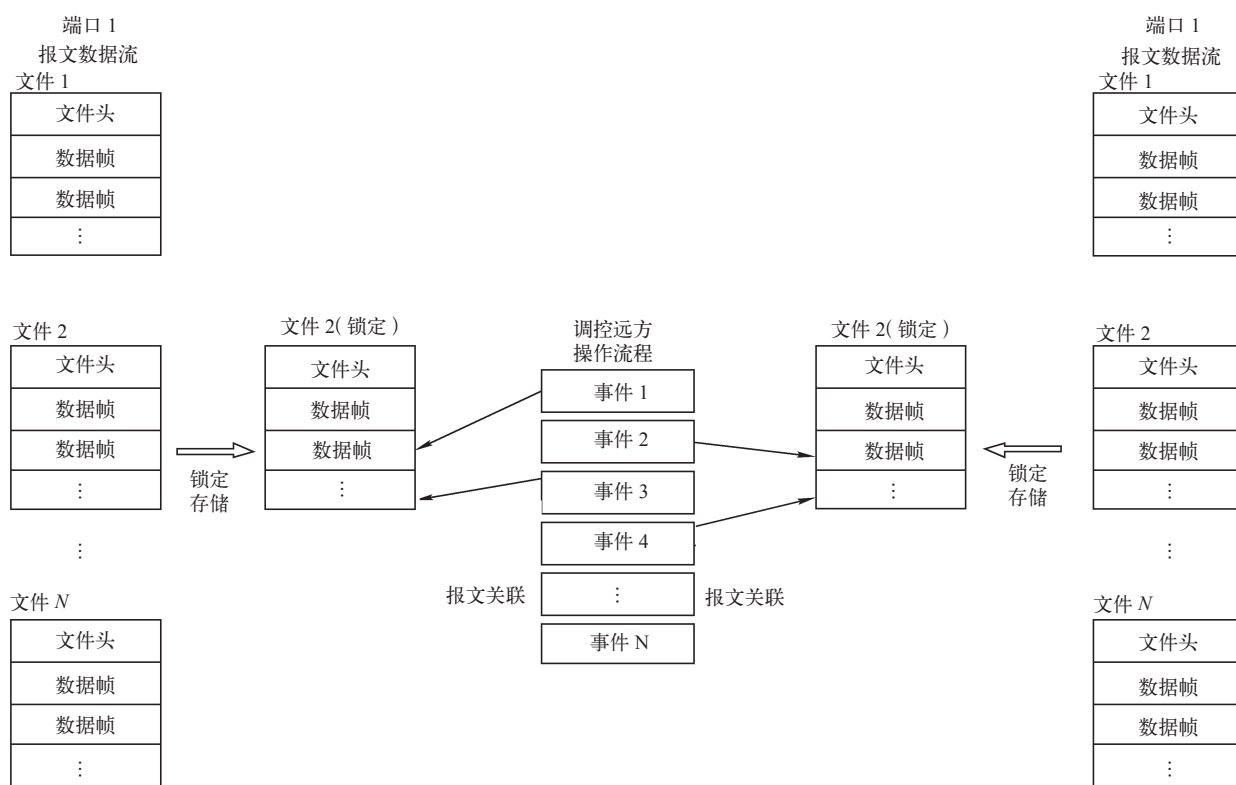


图2 关联调控远方操作事件的报文文件锁定存储

Fig. 2 Lock-in storage of message files associated with remote operation events

和分析对应的原始报文帧及其上下文，提高了事件的可追溯性和故障分析的方便性。当调控远方操作报告条数因达到上限而被删除时，同时将锁存的报文文件删除。

3) 如果有多条事件源于相同的报文文件，则对应的报文数据文件只锁存一份，将多条事件同时关联到相同的报文文件，这样不必为每个事件重复锁存文件，节省了磁盘存储空间。

2 智能变电站调控远方操作故障分析诊断

2.1 智能变电站调控远方操作流程的过程故障编码

根据图1，对智能变电站调控远方操作各环节进行故障编码。

(1) 用req_{ij}表示请求非法

$i=1,2,3$ ，依次代表104、MMS和GOOSE协议环节； $j=1,2$ ，依次代表选择和执行。

(2) 用res_{ij}表示响应报错或超时

$i=1,2,3$ ，依次代表104、MMS和GOOSE协议环节； $j=1,2,3$ ，依次代表选择、执行和遥信变

位上送。

2.2 智能变电站调控远方操作基本故障诊断有向图

根据智能变电站调控远方操作流程各环节交互逻辑^[3]，可以得到调控远方操作基本故障诊断有向图。图3~图5分别为res₁₁、res₁₂和res₁₃，即104协议选择响应、执行响应和遥信变位上传环节异常的基本故障诊断有向图^[5]。

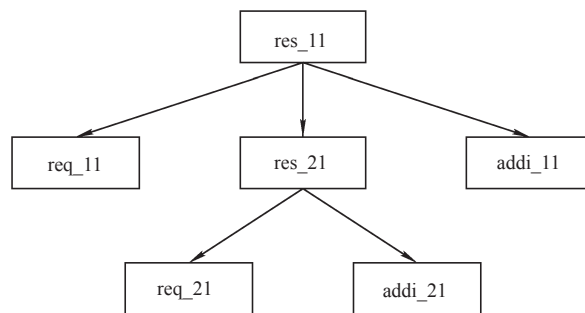


图3 选择响应环节基本故障诊断有向图

Fig. 3 Directed graph for selecting response link basic fault diagnosis

图3~图5中addi_{ij}表示除req_{ij}和res_{(i+1)_j}之外可导致res_{ij}的故障原因，如自动化装置程序运行异常等。

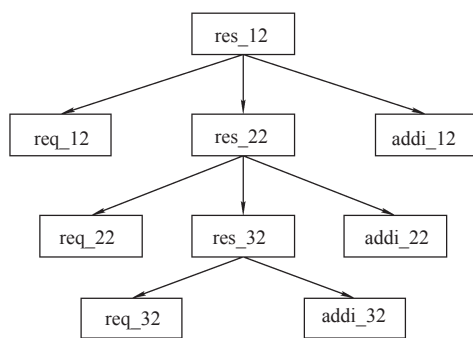


图4 执行响应环节基本故障诊断有向图

Fig. 4 Directed graph of basic fault diagnosis for executive response link

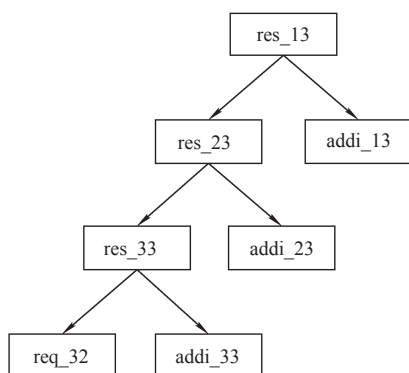


图5 通信变位上传环节基本故障诊断有向图

Fig. 5 Directed graph of basic fault diagnosis in telecommunication modification upload link

2.3 故障原因编码及故障诊断知识库构建

(1) 第一层次的故障原因编码及故障诊断知识条目^[3]

用 cau_m_n 表示直接导致 req_ij 和 res_ij 的故障原因。 m 的取值包括104、MMS和GOOSE协议名， n 的取值为自然数序列，分别枚举导致 req_ij 和 res_ij 的故障原因。定义如下的数据结构用以表示第一层次的故障诊断知识条目： $(req_ij, cau_m_n, para)$ 、 $(res_ij, cau_m_n, para)$ 。

$para$ 用于表示 cau_m_n 与 req_ij 或 res_ij 是否具有唯一对应关系，即 cau_m_n 是否为导致 req_ij 或 res_ij 的唯一原因，取值为“0”表示唯一对应；取值为“1”表示非唯一对应。举例来说， cau_mms_9 表示“控制被过程闭锁”，则有如下的知识条目： $(res_21, cau_mms_9, 1)$ 。

该知识条目表示过程闭锁可导致MMS协议环

节的选择响应报错。

(2) 第二层次的故障原因编码及故障诊断知识条目^[3]

用 $cau_m_n_x$ 表示导致 cau_m_n 的原因。 m 的取值包括104、MMS和GOOSE协议名， x 的取值为自然数序列，分别枚举导致 cau_m_n 的故障原因。定义如下的数据结构用以表示第二层次的故障诊断知识条目： $(cau_m_n, cau_m_n_x, para)$ 。

其中 $para$ 参数的含义与第一层次故障原因说明相同。举例来说， $cau_mms_9_2$ 表示“远方/就地切换把手处在就地位置”，则有如下的知识条目： $(cau_mms_9, cau_mms_9_2, 1)$ 。

该知识条目表示远方/就地切换把手打到就地位置是导致过程闭锁的其中一个原因。

2.4 智能变电站调控远方操作基本故障诊断有向图扩展

基于2.3节所述的故障诊断知识库，可对智能变电站调控远方操作基本故障诊断有向图进行扩展，以 res_11 为例，其扩展后的故障诊断有向图如图6所示，同样地可以得到 res_12 和 res_13 的扩展故障诊断有向图^[5]。

2.5 智能变电站调控远方操作故障诊断有向图通路搜索

通过对收集到智能变电站调控远方操作事件驱动故障诊断有向图进行通路搜索^[5]，找到从根节点(即 res_11 、 res_12 和 res_13)到末端叶节点的有向通路，给出智能变电站调控远方操作故障诊断结果。

搜索优先级依次为 res_11 、 res_12 和 res_13 ，即如果出现 res_11 ，则搜索 res_11 对应的故障诊断有向图，不再考虑 res_12 和 res_13 ；如果未出现 res_11 ，则检查是否出现 res_12 ，如果出现，则搜索 res_12 对应的故障诊断有向图；如果 res_11 和 res_12 均未出现，则检查是否出现 res_13 ，如果出现，则搜索 res_13 对应的故障诊断有向图。如三者均未出现，则不启动故障诊断有向图通路搜索。

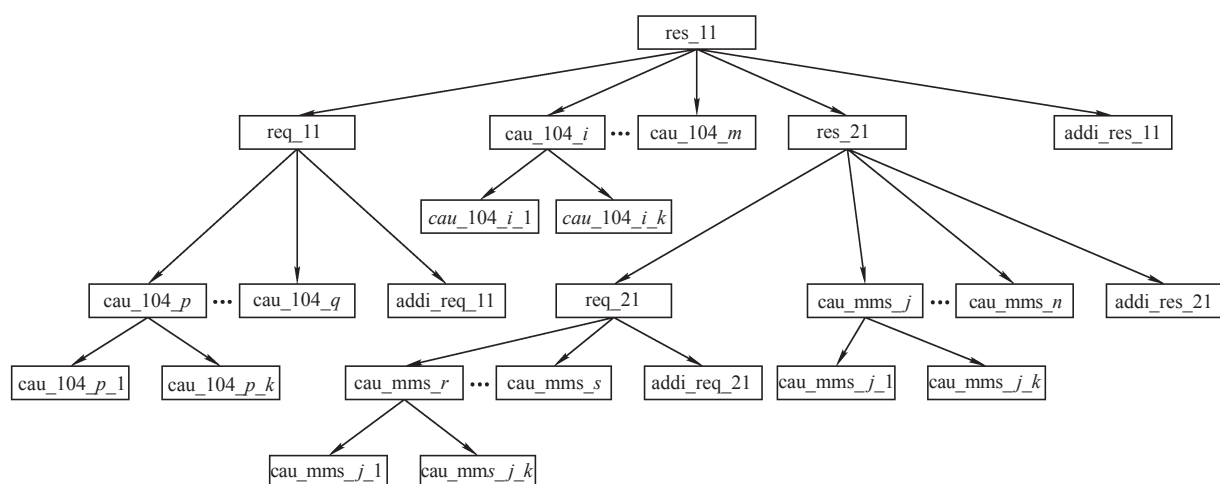


图6 响应异常的故障诊断有向图

Fig. 6 Fault diagnosis digraph with abnormal response

3 实际案例分析

结合泉州电网110 kV西郊变电站一起110 kV开关实际调控远方操作分析本文所述的智能变电站调控远方操作监视系统的有效性。

3.1 智能变电站调控远方操作监视系统概况

泉州电网110 kV西郊变电站为智能化变电站，采用三层两网结构：站控层远动机与110 kV线路测控装置采用MMS协议进行通信，110 kV测控装置与智能终端采用GOOSE交换机进行组网通

信，且调控远方操作不存在过程层GOOSE反馈环节。在主控室部署1套智能变电站调控远方操作监视系统，由1台管理单元和1台采集单元构成，采集单元分别与调度数据网交换机、站控层MMS交换机和过程层GOOSE连接，通过交换机端口镜像的方式监听104、MMS协议远方操作报文^[4]，采用订阅方式接收过程层GOOSE报文；管理单元负责智能站调控远方操作业务链监视及分析，其业务端口接入调度数据网实现与调控主站通信，上传智能站调控远方操作报告。系统结构如图7所示。

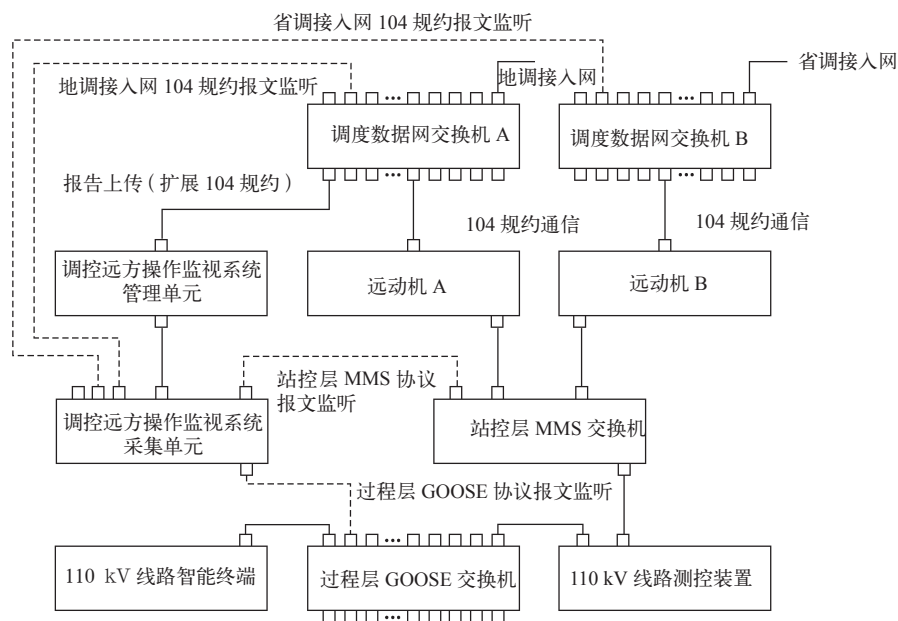


图7 泉州电网110 kV西郊变电站自动化系统结构图

Fig. 7 Structure chart of 110 kV substation automation system in west suburb of quanzhou power grid

3.2 调控远方操作实际案例分析

选取西郊变电站110 kV井郊线181开关进行实际调控远方操作，此前181开关调控远方操作未发现异常。将井郊线181开关由运行转至冷备用，依次执行如下操作。

执行井郊线181开关合闸操作，待返校正确后执行遥控撤销操作，结果如表6所示。

表6 操作1执行结果

Tab. 6 Operation 1 execution results				
操作性质	调控主站提示	调控远方操作报告		实际情况
		环节名称	执行结果	结果描述
由分转合	返校成功，遥控撤销命令发送成功	104遥控	失败	遥控选择终止
		MMS遥控	失败	遥控撤销成功
		GOOSE跳合闸	失败	超时
		GOOSE变位	失败	超时
		MMS遥信	失败	超时
		104遥信	失败	超时

调控远方操作监视系统管理单元展示的业务链信息如图8所示。

在井郊线181测控装置上将“遥控关联遥信”压板投入，之后在调控主站上先将井郊线181开关的状态置入“合”位，然后执行控分操作，结果如表7所示。

由于测控装置投入“遥控关联遥信”压板，测控装置检测到操作对象181开关已在目标位置，

表7 操作2执行结果

Tab. 7 Operation 2 execution result

操作性质	调控主站提示	调控远方操作报告		实际情况	操作条件
		环节名称	执行结果	结果描述	
由合转分	遥控选择命令返校错误	104遥控	失败	遥控选择失败	调控主站执行181开关合闸操作，收到返校错误信息
		MMS遥控	失败	目标位置已到达	
		GOOSE跳合闸	失败	超时	
		GOOSE变位	失败	超时	
		MMS遥信	失败	超时	
		104遥信	失败	超时	

故而将对远动机发送的MMS遥控选择请求进行否定响应。调控远方操作监视系统管理单元展示的业务链信息如图9所示。

通过以上两个实际操作案例验证了智能变电站调控远方操作监视系统的有效性，不仅实现了对智能变电站调控远方操作全过程的实时监视，同时可对调控远方操作故障进行分析诊断，准确给出故障原因。

4 结束语

本文针对智能变电站调控远方操作监视及分析，运用操作对象特征识别和控制流程分步关联的调控远方操作多协议关联建模和分析技术，解决了调控远方操作全过程的分析监视；构建调控



图8 操作1报告界面展示

Fig. 8 Operation 1 report interface display

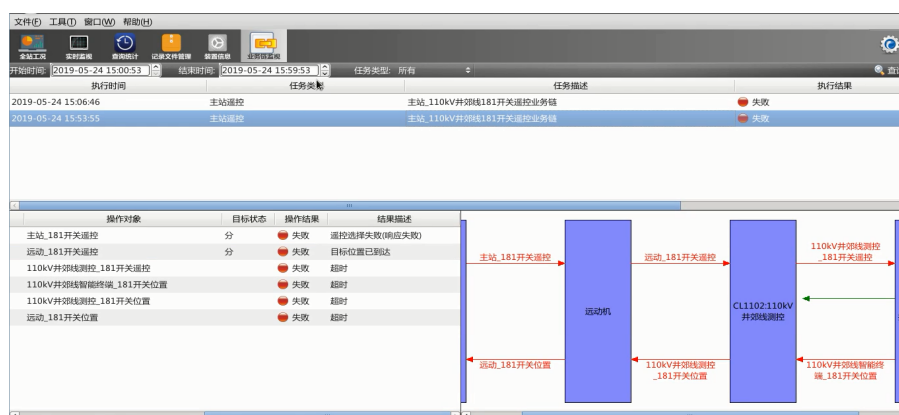


图9 操作2报告界面展示

Fig. 9 Operation 2 report interface display

远方操作交互模型和故障诊断知识库,建立了调控远方操作故障诊断有向图,通过收集远方操作事件驱动故障诊断有向图通路搜索,解决了调控远方操作故障的分析诊断。

基于上述技术研发的智能变电站调控远方操作监视系统,可在以下三个方面收到良好的效果。

1) 实现对智能变电站远方操作全过程进行监视,便于及时掌握影响智能变电站调控远方操作安全性、正确性和可靠性的设备异常和缺陷,缩短了缺陷发现和处理的时间。

2) 辅助自动化运行维护人员对调控远方操作故障进行分析诊断,通过准确定位故障环节,有效缩短故障处理时间,提高了运维效率。

3) 通过对调控远方操作过程的监视分析和故障诊断,发现自动化系统和设备的运行缺陷,指导自动化厂家对产品进行有针对性的消缺改进,保障了设备运行的安全性和可靠性。

[3] 李游. 智能变电站遥控故障的观察与处理分析[J]. 四川电力技术, 2017, 40(6): 68-74.

LI You. Observation and treatment of remote control faults in intelligent substations[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2017, 40(6): 68-74.

[4] 刘慧, 黄凯. 智能变电站遥控失败案例分析[J]. 河南科技, 2018(6): 47-50.

LIU Hui, HUANG Kai. Case analysis of remote control failure in intelligent substation[J]. Henan Science and Technology, 2018(6): 47-50.

[5] 刘鹏鹏, 左洪福, 苏艳, 等. 基于图论模型的故障诊断方法研究进展综述[J]. 中国机械工程, 2013, 24(5): 696-701.

LIU Pengpeng, ZUO Hongfu, SU Yan, et al. Research progress of fault diagnosis methods based on graph theory model[J]. China Mechanical Engineering, 2013, 24(5): 696-701.

参考文献

- [1] Q/GDW 11473—2015 智能电网调度控制系统集中监控应用功能规范[S].
- [2] 张劲松, 俞建育. 网络分析仪在智能化变电站中的应用[J]. 华东电力, 2011, 39(4): 665-668.
- ZHANG Jinsong, YU Jianyu. Application of network analyser in intelligent substation[J]. East China Electric Power, 2011, 39(4): 665-668.

作者简介



施蔚锦

施蔚锦(1974—),男,高级工程师,主要研究方向为电力系统调度自动化。

(收稿日期:2019-03-25)EA