

# 变电站增设统一潮流控制器的监控系统整合方案研究

针对统一潮流控制器（Unified Power Flow Controller, UPFC）依托于已有变电站实施的特点，通过对比UPFC的三级控制方案和变电站监控系统的分层构架，提出了变电站增设UPFC监控系统整合方案及实现方法，并通过某示范工程应用该整合方案，分析了整合方案的工程投资、工程实施方面的优势。

顾立新 神祥明 施铃泉/上海电力设计院有限公司

## 0 引言

统一潮流控制器（Unified Power Flow Controller, UPFC）能快速地对线路的阻抗、线路端电压幅值及其相角进行控制，从而快速地、连续地调节线路潮流和节点电压，起到串联补偿、并联补偿和移相调节等多方面的作用，因而是柔性交流输电技术中最引人注目、最有应用价值的一种控制系统<sup>[1-2]</sup>。

UPFC监控系统主要完成UPFC装置接入的电力系统节点相关电压电流的测量及功率计算、开关状态量的监测与控

制、系统频率电压电流功率波形记录以及UPFC装置级变换器的工作状态监视和控制等功能<sup>[3-4]</sup>。目前，UPFC监控系统的研究工作和工程示范应用均是按照独立站点进行，将监控系统划分为调度级控制、系统级控制及设备级控制进行设计，并配置相应的软硬件设备。

考虑到提高土地利用率、增强工程可实施性，输电线路装设UPFC通常依托于变电站内规划预留土地建设，本文主要针对上述情况，对UPFC监控系统与变电站监控系统进行整合方案研究。

## 1 UPFC监控系统的三级控制方案

柔性交流输电装置一般都是采用三级控制方案，UPFC作为柔性交流输电系统（Flexible AC Transmission Systems, FACTS）大家庭中的一员，同样经常采用经典的三级控制方案<sup>[5-7]</sup>。三级控制方案架构如图1所示。



顾立新/高级工程师

### 关键词/Keywords

统一潮流控制器 ·  
监控系统 ·  
整合方案 ·  
工程投资 ·  
变电站 ·

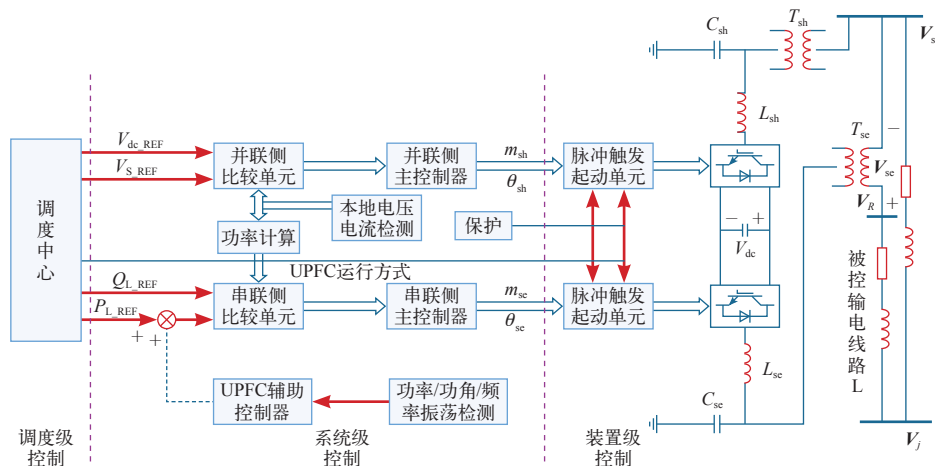


图1 三级控制方案总体构架

国网上海市电力公司科技项目“统一潮流控制器在上海电网应用的工程技术研究”。

第一级控制，又被称作是调度级控制，其具体方法是对电网运行时的实时数据进行采集，用该数据来确定UPFC的运行状态，也可以根据调度指令确定运行状态，即被控输电线路L所期望的有功潮流 $P_{L\_REF}$ 、无功潮流 $Q_{L\_REF}$ 、线路母线电压 $V_{S\_REF}$ 以及UPFC直流侧电容电压 $V_{DC\_REF}$ ，并将这些数据作为指令下发至下一级控制器。第二级控制为系统级控制，其核心部分是UPFC的主控制器和辅助控制器，主控制器根据第一控制发出的指令值 $P_{L\_REF}$ 、 $Q_{L\_REF}$ 、 $V_{S\_REF}$ 和 $V_{DC\_REF}$ ，以及通过实时检测和计算所得UPFC的电压、电流以及功率量，按照确定的主控制策略，计算出串、并联变流器功率管的触发功率角 $\theta_{sh}$ 、 $\theta_{se}$ 和调制比 $m_{sh}$ 、 $m_{se}$ 。同时，该级控制还通过实时检测系统的振荡功率、功角或频率，进行UPFC的辅助控制，更有效地提高阻尼，抑制系统低频振荡。第三级控制为装置级控制，该级控制根据第二级控制所得到的 $\theta_{sh}$ 、 $\theta_{se}$ 、 $m_{sh}$ 和 $m_{se}$ ，利用脉冲宽度调制（Pulse Width Modulation, PWM）控制获得

功率变流器开关管的触发和关断信号，使UPFC并、串联侧变流器正常工作，达到既定的控制目标。

近年来，国内已经投运和在建的UPFC工程大多数均采用三级控制方案的监控系统。典型的系统配置示意图如图2所示。

## 2 监控系统整合方案

依托已有变电站建设UPFC，可提高变电站的土地利用率，便于工程实施，这种情况下，基于已有变电站监控系统<sup>[8]</sup>进行与UPFC监控系统的整合，从技术经济性具有较高的价值。通过变电站监控系统与UPFC监控系统的整合，在满足远传调度中心要求的情况下，可以节省部分公共设备的投资。

### 2.1 整合方案分析

通过对比UPFC监控系统的构架和变电站监控系统的构架，各控制等级的功能对照如下表所示。

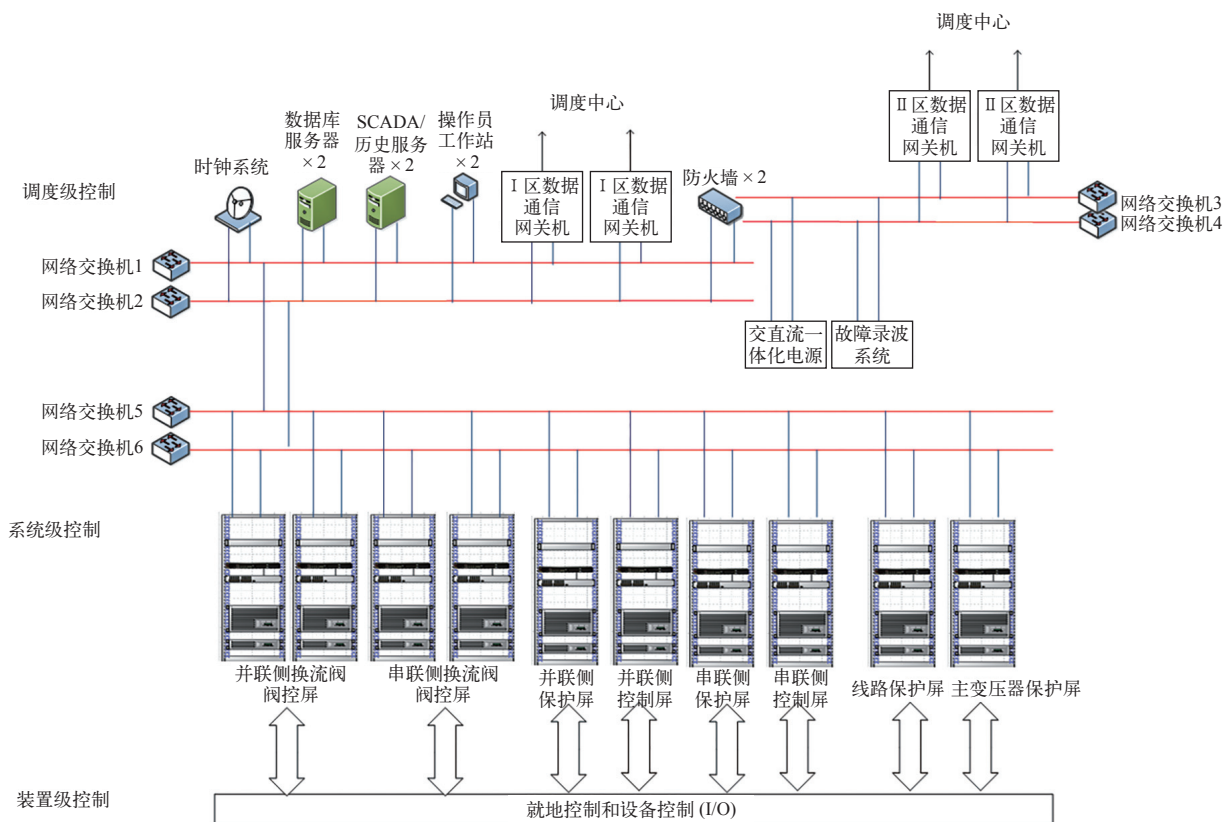


图2 UPFC监控系统配置示意图

表 功能对照

| 序号 | UPFC  | 变电站 | 对比分析 |
|----|-------|-----|------|
| 1  | 调度级控制 | 站控层 | 类似   |
| 2  | 系统级控制 | 间隔层 | 类似   |
| 3  | 装置级控制 | 过程层 | 类似   |

因此，整合方案可以考虑通过连通功能类似的监控系统层级进行实现。

当装置级控制和过程层网络物理连通，变电站和UPFC电气设备，阀控单元等的模拟量、开关量的数据传输在同一物理网络中，大量数据运行在同一物理网络中，但这一层变电站数据和UPFC数据交互量较少，在网络风暴等情况下，风险较大，网络的安全性降低，因此不建议装置级控制和过程层网络物理连通。当系统级控制和间隔层物理连通时，变电站的测控、继保装置、计量、同步相量测量装置（Synchronized Phasor Measurement Units, PMU）及电能质量等信息以及UPFC并联保护、串联控制和换流阀阀控等信息运行在同一物理网络中，这种情况下，同样由于数据交互量较少但网络风险提高，安全性降低，因此不建议这两层网络互联。当调度级控制和站

控层物理连通时，UPFC系统与调度中心信息交互可以利用变电站的通信网关机，UPFC监控系统可以节约通信网关机，相应的UPFC工程实施还可以节约至调度中心通信通道的调度数据网、电力系统通信设备；此外，调度级控制和站控层连通，也能够作为装置级控制和过程层网络，系统级控制和间隔层网络信息交互的传输通道。

## 2.2 整合方案实现

通过上节分析，变电站增设UPFC监控系统整合方案应采用UPFC调度级控制和变电站的站控层网络物理连通来实现，方案如图3所示。方案中所示变电站的站控层网络交换机应具有光口，UPFC调度级控制网络交换机也同样具有光口，交换机物理连接通过之间的联络光缆来实现。这样，UPFC至调度中心的数据传输就可以利用变电站已有的通信网关机以及通信通道。

## 3 工程示范应用

某示范UPFC工程依托于已有220 kV变电站进行建设，对220 kV线路的阻抗、线路端电压幅值

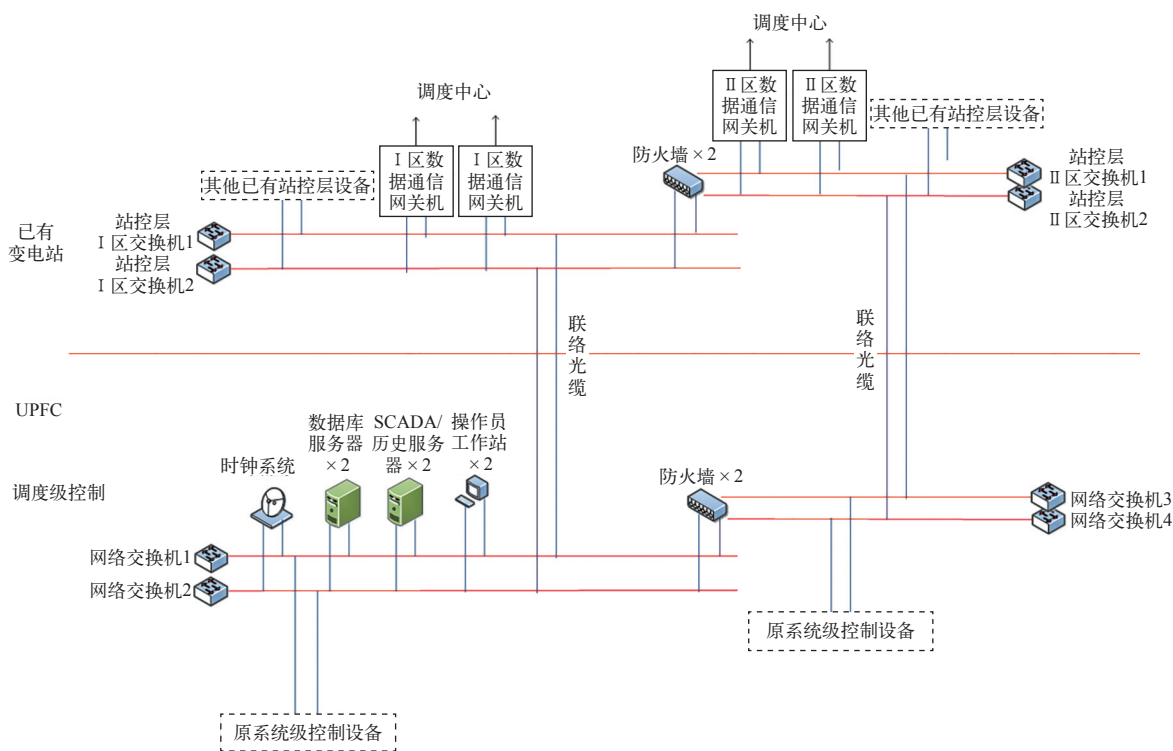


图3 整合方案物理连接示意图

及其相角进行控制,应用上面的整合方案来进行示范UPFC工程的优化。

### 3.1 工程投资优化

采用整合方案前,该UPFC示范工程的监控系统配置 I 区网关机双机, II 区网关机双机,配置双套调度数据网设备、双套省级骨干通信网设备,并建设了UPFC控制室至已有变电站的通信光缆,以保证系统调度自动化信息远传需求。

采用整合方案后,该UPFC示范工程的监控系统可以节省 I 区网关机双机, II 区网关机双机,工程可以节省双套调度数据网设备、双套省级骨干通信网设备,保留UPFC控制室至已有变电站的通信光缆,合计节省投资大约240万元。

### 3.2 工程实施优化

通过采用整合方案,在装置级控制、系统级控制的安装及调试过程中与其他UPFC工程基本一致,没有变化。但在调度级控制的安装及调试过程中,由于利用已有的通信网关机、调度数据网及系统通信设备,节省了对应的设备安装调试时间、各类远动通道的开通时间、系统通信及调度数据网通道调试时间,直接可将信息远传调度中心及接受调度中心的指令。通过这种方案,压缩了工程实施时间,对于安装调试方案也没有大的变动,大大有利于工程建设进度。

## 4 结束语

本文通过物理连通UPFC调度级控制和变电站的站控层网络,整合UPFC监控系统和变电站监控系统,利用变电站已有的通信网关机及通信通道,实现调度中心至UPFC的调度通信。通过某示范工程对该整合方案的实际应用,从节约工程投资和优化工程实施角度,体现了整合方案的优越性。该整合方案为后续的UPFC研究及工程应用提

供了参考和示范借鉴。

但是,在实际应用中,针对UPFC调度级控制和变电站的站控层网络互相连通后如何进行数据的相当逻辑隔离、如何防止网络风暴等问题,有待进一步深入研究。

### 参考文献

- [1] 刘黎明,康勇,陈坚,等.统一潮流控制器控制策略的研究与实现[J].中国电机工程学报,2006,26(10):114-119.
- [2] 朱鹏程,刘黎明,刘小元,等.统一潮流控制器的分析与控制策略[J].电力系统自动化,2006,30(1):45-51.
- [3] 侯丽,刘琦,鲁宝春,等.UPFC控制器设计[J].电力自动化设备,2010,30(9):51-54.
- [4] 鞠儒生,陈宝贤,邱晓刚,等.UPFC控制方法研究[J].中国电机工程学报,2003,23(6):60-65,70.
- [5] 邱成龙.统一潮流控制器潮流控制策略及选址定容研究[D].重庆:重庆大学,2014.
- [6] 周飞,何维国,包海龙,等.适合城市电网的级联型统一潮流控制器[J].电网技术,2012,36(3):174-178.
- [7] 赵雨欣,赵峰,阎宏,等.基于功率协调控制的统一潮流控制器控制策略研究[J].科学技术与工程,2013,13(34):10172-10176.
- [8] 樊陈,倪益民,窦仁晖,等.智能变电站一体化监控系统有关规范解读[J].电力系统自动化,2012,36(19):1-5.
- [9] 杨洲,宫俊,车文彬,等.智能变电站状态估计的工程应用[J].电气工程学报,2017,12(10):31-36.

(收稿日期:2017-12-05) **EA**

.....

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告