

# 四川特高压交直流电网安全运行保障技术框架研究

庞晓艳, 李建, 张蓓, 刘柏私  
(四川电力调度控制中心, 四川 成都 610041)

**摘要:** 对四川特高压交直流电网安全稳定运行的保障技术框架进行研究和分析, 勾勒了建设愿景, 提出了保障技术框架的设计理念和原则, 描绘了该框架系统的总体构架, 最后对该系统中上级调度、本级调度以及下级调度机构所扮演的角色进行了说明。对指导四川特高压交直流电网安全稳定防御控制系统的工程实施具有一定的参考作用。

**关键词:** 特高压交直流电网; 技术框架; 运行保障

**Abstract:** The technical framework for ensuring the safe operation of Sichuan UHV power grid is studied and analyzed. The outline of the future vision and designs is established, the concepts and principles of this technical framework are proposed, and the overall architecture of the framework is described. Finally, the functions of three dispatching systems are introduced, which has a reference for guiding the implementation of the defense system for the security and stability of Sichuan UHV power grid.

**Key words:** UHV AC/DC power grid; technical framework; operation security

中图分类号: TM712 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)03-0011-04

## 1 智能防御系统的建设愿景

远距离、大规模交直流混合送端电网安全运行保障关键技术的研究旨在充分利用大电网安全稳定在线防御技术的已有成果, 结合远距离、大规模交直流混合送端电网特点, 分析其存在的安全稳定问题, 进行整体框架研究、关键技术与应用功能研究, 并根据送端电网实际情况分步实施, 从而构建完善的大规模交直流混合送端电网安全运行保障技术体系<sup>[1]</sup>。

安全运行保障体系应达到以下要求。

1) 完备的分析预警与辅助决策功能, 在已有的在线安全稳定防御框架基础上进行完善, 针对送端电网存在的各类安全稳定问题进行分析预警, 并给出辅助决策建议; 考虑故障引发安控装置的动作情况, 评估安控装置的切负荷量违反 599 号令的风险;

2) 能进行不同输电断面传输功率极限的协调优化, 计及不同输电断面的交互影响, 同时利用交直流、多直流通道的协调, 提升大规模电力的送出能力;

3) 具备集中协调控制的能力, 在调度中心站对送端电网内分层分区的安控系统协调, 提升安

控系统的适应性与经济性;

4) 提升电网应对严重故障模式的能力, 实现对于群发性故障或连锁故障模式的分析预警, 以及通过交直流、多直流通道的协调控制, 构建集中协调的安控系统分析、控制手段, 应对严重故障模式;

5) 提升电网应对外部灾害的能力, 通过灾害信息采集、灾害引发电力设备故障的机理研究, 在线自动生成灾害相关故障集与候选控制措施集, 实现应对灾害的预警与辅助决策功能, 为调度运行人员应对灾害提供支撑;

6) 提供便捷的分析研究手段, 通过送、受端电网多时间尺度数据的高效整合, 以及分析结果的及时反馈, 便于送端电网调度运行人员对不同时间尺度下对电网的安全稳定性进行研究;

7) 提升多级调度协调控制能力, 通过数据交互、数据整合、在线分析、控制决策等环节的协调技术研究, 提升送端电网调度中心与上、下级调度机构的协同分析控制的能力, 争取更大范围的调度控制资源保障送端电网的安全稳定性, 并降低安全稳定问题的控制代价。同时, 能够为外部电网以及全局的安全稳定分析、控制提供支持。

总之, 智能防御系统的建设能够有效提升电网调度运行控制决策水平, 提升电网安全稳定水平。

## 2 设计理念和原则

针对远距离、大规模交直流混合送端电网存在的安全稳定问题,传统的在线防御系统未能针对性地予以解决,需要在框架体系、信息采集、分析预警、控制决策等层面加以提升<sup>[2]</sup>。智能防御系统应能够在传统的在线防御框架基础上,针对性地解决送端电网存在的如下问题。

1) 目前送端电网安控系统分层分区就地控制,难以实现大范围内的由灾害或电网内部因素所引发的多点群发性故障或相继故障的有效防御,需要从全局角度加以考虑,综合利用中心站所采集的全局信息和候选可用措施,进行协调决策,并通过已有的安控系统实施;

2) 送端电网内部往往有较大规模的电厂群(水、火、风或者风火打捆等),通过送出通道连接到送端电网主网架,然后通过交直流通道输送到远方受端电网。对于这些送端电网内部的输电断面之间、外送的联络线断面之间以及内/外部断面之间需要统一协调,避免不利的交互影响并提升各断面的整体输电能力;

3) 对于大规模的电厂群串联送出情况,应考虑电源特点及安全约束,实现串联通道上不同电厂间的协调控制,以及不同串联通道间的协调优化调度与控制;

4) 对于交直流、多直流通道间需要统一的协调,以发挥直流的紧急调制能力,提升安全稳定程度及外送能力;

因此,为达成智能防御系统建设的目标愿景,智能防御系统的设计严格遵循“集中协调,分层分区决策控制”的设计理念与总体原则。

基于该理念设计的智能防御系统能够实现同一串联通道的电厂之间的协调控制、多输电通道间的协调优化控制,交直流、多直流协调控制,安控系统之间协调,多级调度间的协调分析与控制,自适应外部环境的安全稳定防御,极大地提升了电网安全稳定防御的智能化水平。

## 3 系统总体架构

为满足远距离、大规模交直流混合送端电网安

全、经济运行与控制的需求,以确保电网安全稳定运行,提升大规模交直流混合送端电网电力集中送出能力为总体目标,提出了大规模交直流混合送端电网智能防御系统的应用功能框架,如图1所示。该框架遵循已提出的“集中协调,分层分区决策控制”的设计理念与总体原则,能够综合利用送端电网和外部电网各类控制资源和手段,实现送端电网运行策略的在线自适应优化,预防控制、紧急控制措施的分层分区决策与集中协调优化<sup>[3]</sup>。

该框架以送端电网调度中心功能框架为核心,同时为适应大范围资源优化利用、电网结构整体性、运行控制一体化和局部安全稳定影响扩大化等远距离、大规模送端电网典型需求与特征,设计了与送端电网调度中心相匹配的上级和下级调度中心的功能框架,从而实现多级调度机构的有效协同,提升送端电网安全性,降低安全稳定控制的代价,同时降低送端电网故障对外部电网的影响。其中,送端电网一般有多个下级调度机构,而上级调度机构只考虑送端电网的直接上级调度。

### 3.1 送端电网调度中心功能

在送端电网调度中心,应用功能配置覆盖送端电网的三道防线,实现对于导则规定的各级别故障的有效防御,同时考虑灾害引发的送端电网内或连同外部电网在内的大范围连锁故障的有效防御。

智能防御系统的第一道防线涵盖了送端电网基态、超短期、操作前、日计划等不同时间尺度下的安全稳定综合预警、调度运行优化和控制辅助决策功能<sup>[4]</sup>。这里的基态包括电网实时状态、预想故障后和实际故障后三类状态,其中实时状态和预想故障后状态是基于电网的状态估计数据周期性的计算。而实际故障后的快速预警与辅助决策则是在送端电网或外部电网实际发生故障后快速启动,形成可靠的故障后电网工况数据并快速分析实际故障后电网的安全稳定问题,并给出消除安全稳定问题的预防控制措施,为调度运行人员进行事故的应急处理提供辅助决策。

智能防御系统的第二道防线对送端电网分层、分区稳控系统,包括直流功率紧急调制等控制手段,进行统一协调,实现稳控系统策略和定值适应性的在线校核,根据送端电网实时运行工况和分层、分区稳控装置的状态,对策略和定值进行在线优化并下发到装置,从而为实现送端电网分层、分区稳控系统的策略

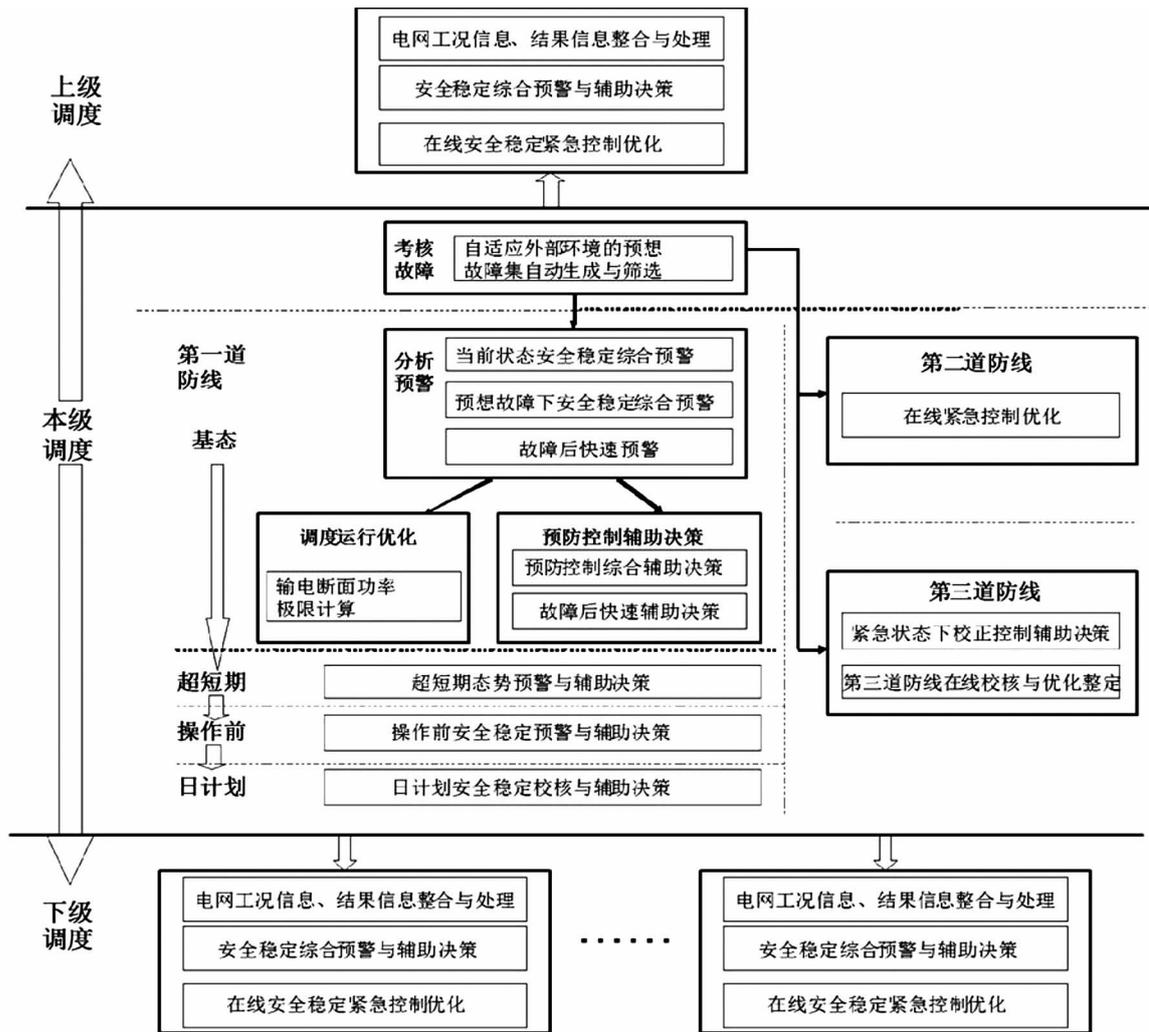


图1 智能防御系统应用功能框架

协调优化提供统一协调的机制和技术手段<sup>[5]</sup>。

送端电网往往大量配置的高周切机、失步解列等第三道防线装置,智能防御系统的第三道防线功能基于实时信息实现对这些装置定值的在线校核,并对电源集中区域的第三道防线的定值进行统一协调,避免由于定值不合理导致的过控甚至引发安全稳定问题。此外,对于电网中已经出现的不安全现象,如支路过载、电压越限、低频振荡等,智能防御系统应能够给出辅助决策措施或进行在线的闭环控制以快速消除不安全现象,这类功能也属于第三道防线的范畴。

### 3.2 上级调度中心功能

对上级调度中心而言,为有效实现与送端电网以及其他调度中心的协同防御,应当配置的应用功能可归结为以下几类。

(1) 电网工况数据、分析结果数据的整合与处理功能。依据在线实测数据校核并修正电网基础参

数,提高在线计算数据的准确性;针对不同调度机构EMS的电网运行数据时标不一致,基于多调度机构实时数据整合在线安全防御计算数据;针对不同调度管辖电网的安全稳定特点,结合调度运行控制的实际,选取外网数据并进行在线等值,进行局部电网实时数据异常(如通信中断、量测值异常)的评价及其实用处理。

(2) 安全稳定综合预警与辅助决策功能。针对大电网多级调度协同运行控制的需求,将对所辖电网的在线安全性影响显著的外网运行工况纳入实时监控范围,例如关联输电通道状态;配置旨在挖掘电网大范围输电能力的在线调度决策功能,以及安全稳定快速分析和辅助决策功能,以实现与下级调度的有效协同。

(3) 在线紧急控制协调优化。配置稳控系统紧急控制优化功能,基于整合后所辖各级电网(含送端电网)工况数据和稳控系统策略、定值,在线优化紧急

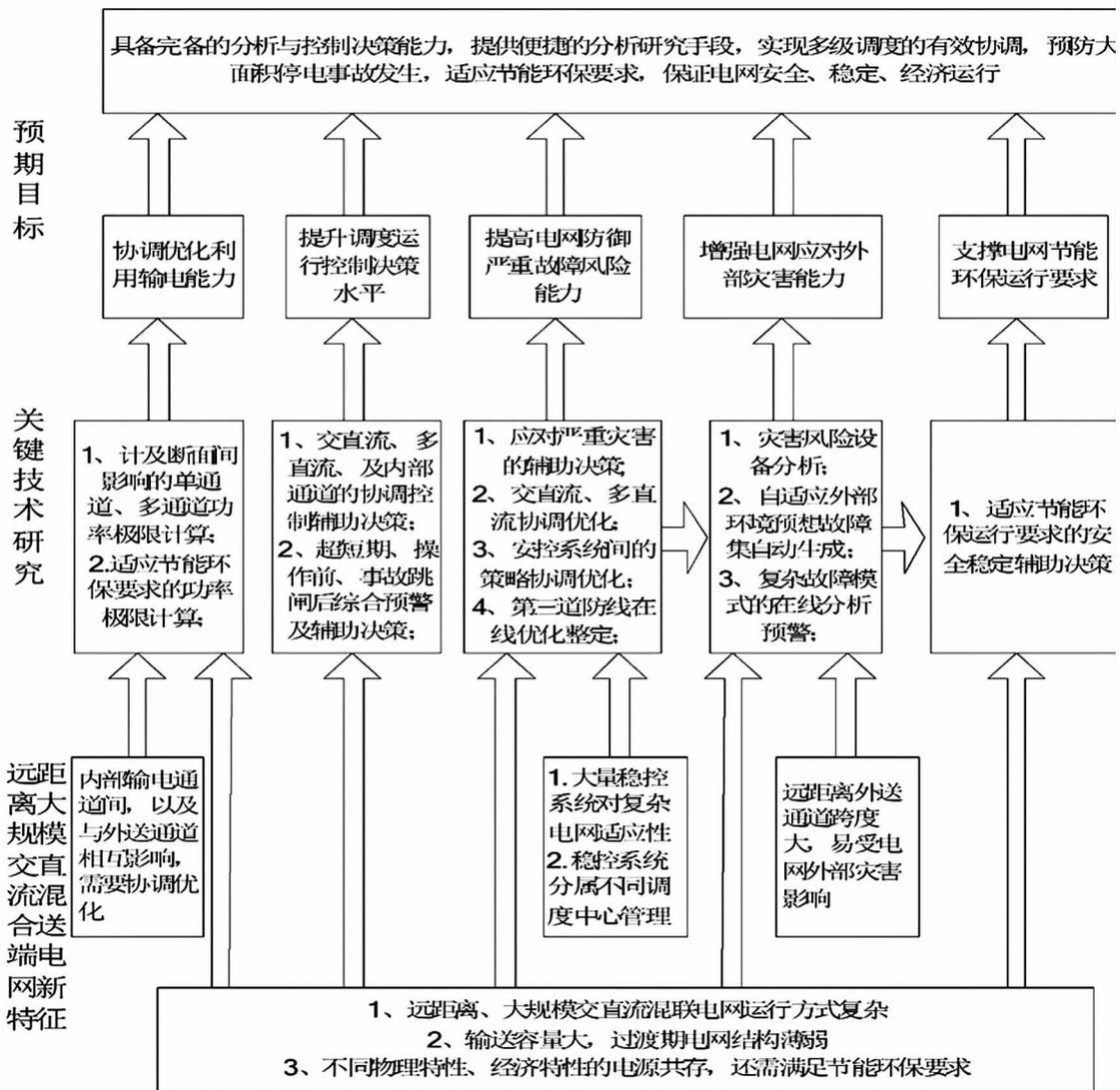


图2 大规模交直流混合送端电网智能防御系统预期目标及关键技术

控制策略,并下发到所辖的稳控装置或者下级电网的稳控装置。其中,不仅需要监视安控装置投运状态及其实际控制对象的运行状况,还要监视安控装置在值控制策略及控制后电网的安全稳定水平。

### 3.3 下级调度中心功能

对下级调度中心而言,为有效实现自身的安全稳定防御以及与上级(即送端电网)的协同防御,应当配置的应用功能可归结为以下几类。

(1) 电网工况数据、分析结果数据的整合与处理功能。根据上级调度(即送端电网)发送的外部工况数据,选取外网数据并进行在线等值,进行局部电网实时数据异常(如通信中断、量测值异常)的评价及其实用处理。

(2) 安全稳定综合预警与辅助决策功能。根据

下级调度的实际需求,可选择配置旨在挖掘电网输电能力的在线调度决策功能,以及安全稳定快速分析和辅助决策功能,以实现与上级调度的有效协同。由于调度级别较低,因而所考虑的安全稳定问题往往较上级调度简单,因而配置的安全稳定预警功能与辅助决策功能可少于上级调度。

(3) 在线紧急控制协调优化。可选择配置稳控系统紧急控制优化功能,基于整合后的电网工况数据和稳控系统策略、定值,在线优化紧急控制策略,并下发到所辖稳控装置,同时,可以接收上级下发的控制策略和定值。

智能防御系统的预期目标、关键技术及与大规模交直流混合送端电网安全稳定特性关联关系如图2所示。

(下转第45页)

译码地址为 00111 时为设置时钟模块的分频初值;译码地址为 00001 时是采集 A/D 转换后的数据进入 FIFO 中(图中设采集的前 8 个二进制数依次为 11111111、11110100、00000011、11000000、00001111、11110100、11111000)。当 FIFO 中的半满标志位为高时(为了仿真方便,设置的 FIFO 深度为 16,故数据存储深度为 8 时产生半满,实际电路中 FIFO 深度改变其参数为 2K 即可),译码地址为 00100 时,且读 RD\_信号有效时,对应读取 FIFO 中的数据到数据总线上 SD [7:0]。从图 5 的逻辑放大图中显示了数据总线 SD [7:0] 上依次读出数据时的波形:输出的数据依次为 255、244、3、255、192、15、255、248 (对应二进制数分别为 11111111、11110100、00000011、11000000、00001111、11110100、11111000) 共计 8 个数据。输出完 8 个数据时,半满标志位 HF 从 1 变为 0,从而 FIFO 中的数据自动不再允许读出。以防止 FIFO 中的数据读空。由图 4 知 CS\_、ADCK、WFIFOCLK 等信号时序均正确。根据电能质量监测系统的采样要求,采样频率设定为 10K。以上数据的正确读出验证了相关控制信号时序设计的正确性,也验证了整个设计方案的合理性。

## 4 结 语

为满足远程电能质量监测系统便携式监测终端的低功耗、小型化的需要,在一片 FPGA 上完成了多通道带串行接口的低功耗 A/D 的逻辑控制。设计中采用了 FSM、FIFO 等设计模块来完成其逻辑控

制的设计,经验证其控制逻辑能有效对采集的数据进行读写,实际应用中也达到了降低系统整体功耗的设计要求。采用 FPGA 的硬件描述语言的设计方案,使得电路的设计更加灵活、高效,也降低了电路制作 PCB 板的面积开销,也使得电路的集成度更高,系统更加稳定、可靠;由于 FPGA 具有可远程更新的能力,它能够满足了现代仪器网络化中对终端系统进行在线升级的要求。此 A/D 转换逻辑控制的方案不仅适用于前面所描述电能质量监测系统中,在其他对低功耗、小型化要求较高的便携式仪器的嵌入式系统的设计中也有较大的应用价值。

### 参考文献

- [1] HongLi Zhou. GPRS Based Power Quality Monitoring System[C]. Networking, Sensing and Control, 2005 Proceedings. 19 - 22 March 2005, Chalmers University of Technology. USA.
- [2] 刘芯宇. 基于 GPRS 的电费抄收催一体化技术在电力系统中的应用[J]. 四川电力技术, 2012, 35(3): 58 - 61.
- [3] IEEE Standard 1159. IEEE Recommended Praterice for Monitoring Power Quality [S].
- [4] 16\_Bit\_High Speed, Micro Power Sampling Analog - to - Digital Converter [OL]. <http://html.alldatasheetcn.com/html-pdf/56565/BURR-BROWN/ADS7835/501/1/ADS7835.html> 2011 - 10 - 11.
- [5] Bhasker, J. Verilog HDL Synthesis: A Proactical Primer [M]. Star Galaxy Publishing, PA, 1998.

作者简介:

沈 策(1954),男,专责工程师,主要从事电力系统及其自动化的研究和管理工。 (收稿日期:2013-02-01)

(上接第 14 页)

## 4 结 论

四川电网已形成了特高压交直流混联电网,未来还将形成特高压交直流并列运行的格局。为此,对四川特高压交直流电网安全运行保障技术框架进行了研究,对指导四川电网防御控制系统的实施具有一定的参考作用。

### 参考文献

- [1] CIGRE WG C2.02.04 Technical Brochure: Defense Plan against Extreme Contingencies [J]. Electra, 2007(231): 47 - 61.

- [2] 薛禹胜. 综合防御由偶然故障演化为电力灾难——北美“8.14”大停电的警示[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(18): 1 - 5.
- [3] 陈相宜, 陈允平, 李春艳, 等. 构建大电网安全防御体系——欧洲大停电事故的分析及思考[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(1): 4 - 8.
- [4] 李碧君, 许剑冰, 徐泰山, 等. 大电网安全稳定综合协调防御的工程应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(6): 25 - 30.
- [5] 汪际峰, 沈国荣. 大电网智能化的若干关键问题[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(1): 10 - 16.
- [6] 薛禹胜, 肖世杰. 综合防御高风险的小概率事件: 对日本相继天灾引发大停电及核泄漏事件的思考[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(8): 1 - 11.

(收稿日期:2013-02-05)