

区域电网联络线功率控制策略应用现状分析

黄文洁¹, 汤奕¹, 孙洁²

(1.东南大学电气工程学院,江苏南京 210096;2.山东大学威海分校机电与信息工程学院,山东威海 264209)

摘要:频率是交流系统电能质量的主要指标之一,随着区域电网互联规模的扩大,原有的频率控制评价标准出现了一定的局限性,特别是大规模风电和光伏等新能源的接入,对原有的评价标准提出了新的要求。文中通过对国家标准以及五个区域电网联络线功率控制现状的分析,总结了现有频率控制模式的不足,分析了不足存在的原因,并提出了改进建议,为大区域互联电网的频率控制评价体系的完善提供了有益参考。

关键词:频率控制;互联电网;区域控制误差(ACE);风电

中图分类号:TM76

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)02-0081-04

随着经济的快速发展,社会对电能的需求迅速增加,区域电网间的协调配合日趋重要。区域间联网且有助于网际之间的能源互补,提高电网的安全稳定性和经济效益^[1]。然而,联合电网却增加了稳定破坏事故连锁反应的风险,加大了系统频率、电压以及潮流控制的难度。区域联络线控制的主要目标是保证传输潮流不超过联络线本身的安全范围,保证联络线在系统振荡,特别是低频振荡时系统的稳定。

1 联络线功率控制模式概述

区域控制误差(ACE)是根据电力系统当前的负荷、发电功率和频率等因素形成的偏差值,反映了区域内的发电与负荷的平衡情况。

1.1 单个控制区的基本控制模式

恒定频率控制(FFC):维持系统频率偏差在一定范围之内,ACE仅反映系统频率的变化。FFC控制模式的控制对象是整个互联电网的频率(即整个互联电网的功率平衡),因此,适用于独立系统或联合系统的主系统^[2]。

恒定交换功率控制(FTC):维持联络线净交换功率接近于计划值,ACE仅反映控制区联络线净交换功率的变化。FTC控制模式不能对整个互联电网提供一次调频的支持,因此,仅适用于联合系统的小系统。

联络线偏差控制(TBC):维持ACE在一定范围之内,ACE同时反映系统频率和联络线净交换功率的变化。TBC控制模式的控制对象是本控制区的功率平衡,因此,适合于任何没有特殊任务的控制区采用。

除了上述3种基本模式外,还有计及计划外交换电量偿还和电钟偏差校正等控制模式。

1.2 上下层级控制主体之间的基本配合方式

我国电网调度管理体制是“统一调度、分级管理”,存在国、网、省、地多个层级的控制。上下级控制主体之间的控制配合方式,对所辖范围内的电网安全、优质、经济运行有很大影响。上下级控制主体之间控制配合的基本方式有三种,分别为对等控制区方式、主子控制区方式和单一控制区方式^[3]。

在对等控制区方式下,上级控制主体与其直接调度的发电厂构成一个独立的控制区,与下级控制主体及其直接调度的发电厂所构成的控制区在联络线功率控制上处于对等的地位,共同进行所辖电网的频率和功率控制。在主子控制区方式下,上级控制主体与其直接调度的发电厂构成一个控制区,负责所辖电网整体的频率控制或对外的联络线功率控制。下级控制主体及其直接调度的发电厂构成电网中的子控制区,负责所辖子区域的联络线功率控制。在单一控制区方式下,下级控制主体及其直接调度的电厂不再构成独立的控制区。以华东电网为例说明,华东电网控制主体配合模式示意如图1所示。

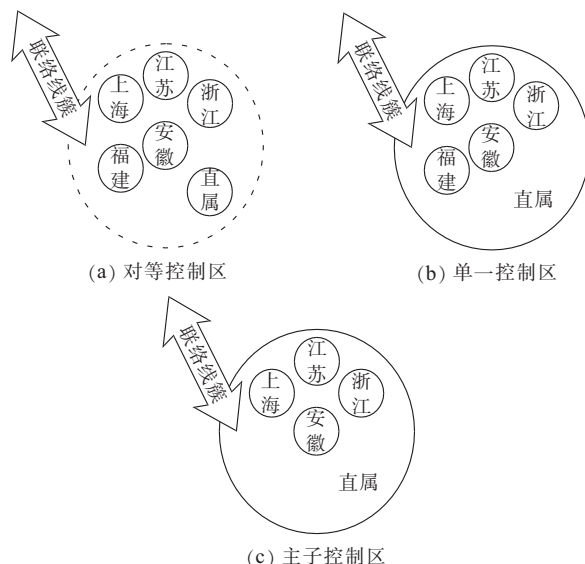


图1 华东电网控制主体配合模式示意图

1.3 性能评价标准

根据北美电力系统可靠性协会(NERC)可靠性标准,控制性能标准的定义是:“在特定的时间周期上为平衡主体的区域控制偏差设定限值的可靠性标准”。在我国电力系统中,联络线功率控制目前沿用控制区的概念,但在最近制定的“联络线功率控制技术规范”中,提出了与“平衡主体”相当的“控制主体”的概念。联络线功率控制性能标准是对控制主体的联络线控制行为设定的性能要求。目前国内电力系统普遍采用的控制性能标准有:A标准(A1,A2)、C标准(C1,C2)和T标准(T1,T2)^[4]。

其中A标准是北美电力系统流行了几十年的控制性能标准,强调各控制区严格实现本区域有功功率的平衡^[5,6],但由于其缺乏充分的理论依据、无法定量评价以及发电机组无谓的调节量大等问题,已逐渐被控制性能评价标准(CPS)所取代。C标准是对北美CPS标准的等效采用,将CPS标准中对控制性能的两段(有害、无害)^[7]式划分发展为三段(有害、无害、有益)式划分,并推广应用到对短期(10 min)控制性能的要求。T标准以联络线功率为控制目标,鼓励各控制区对恢复联络线功率提供支援,当联络线对侧控制区存在功率缺额时,本侧控制区的功率支援将加大系统频率的偏差。

2 各大区域电网频率控制模式现状

2.1 国家标准中对频率控制的要求

《智能电网调度技术支持系统电网自动控制功能规范》中提到对频率控制的要求。支持接收上级调度机构下发的ACE值,直接用于自动发电控制(AGC),并和本地计算的ACE互为后备;应具有ACE滤波功能,以消除高频随机分量对控制系统的影响。

AGC控制合格率:A标准A1不小于90%,A2不小于90%;C标准CPS1不小于100%,CPS2不小于90%。应支持如下两种多控制区域模型。

(1) 支持建立包括本控制区域在内的多控制区域模型,以便对外部控制区域进行监视,必要时可以直接接管其控制权。

(2) 支持在本控制区域内部建立多个子控制区域,不同的子控制区域可以有不同的控制目标和控制模式,提供子控制区域及其控制目标的定义功能。区域内的机组可在线切换不同的控制目标和不同的控制模式。

2.2 部分大区电网频率控制模式

2.2.1 跨区联络线控制评价标准

跨区联络线控制评价采取功率波动标准,即联

络线功率偏差(ΔP)一分钟平均值的绝对值大于规定值作一个不合格点,规定值试电网容量而定。不合格责任由大区电网的ACE偏差决定,ACE与 ΔP 符号相同的一方承担责任,当双方都需要承担责任时,责任的大小与双方 $ACE \times \Delta P$ 值成正比。

2.2.2 跨省联络线控制评价标准

(1) 华中电网于2005年开始CPS标准试运行,2006年1月1日废除A标准,正式实施CPS标准。四川、湖南、江西、河南等省主要依靠AGC进行联络线和CPS控制。1000 kV长治—南阳—荆门特高压试验示范工程建成后,特高压线路作为华中、华北电网之间的跨区联络线,将存在一定幅值的功率波动^[8]。为做好特高压联络线控制,华中网调采取水电厂定联络线功率的AGC控制模式跟踪调整特高压联络线的功率偏差 ΔP 。华中电网内各省调采取TBC模式,控制各自联络线偏差ACE。

华中电网跨省联络线考核采取改进的CPS标准,考核周期为15 min,CPS1>100%,ACE<L₁₅均不满足是被考核,L₁₅为省网的CPS2考核带宽。

$$CPS1 = (2 - CF) \times 100\% \quad (1)$$

$$CF = ACE \times \Delta f / (-10B \cdot \varepsilon_1^2) \quad (2)$$

$$L_{15} = 1.62 \cdot \varepsilon_{15} \cdot \sqrt{(-10B)(-10B_{net})} \quad (3)$$

式(1—3)中: Δf 为频率控制偏差;B为控制区设定的频率偏差系数;B_{net}为整个互联电网的频率偏差系数; ε_1 为互联电网对全年1 min频率平均偏差的均方根的控制目标值。

(2) 华东电网于2001年10月推行控制性能标准CPS1/CPS2考核指标对省(市)联络线进行考核。近年来随着电力供需矛盾趋缓,于2009年1月推行扰动控制标准(DCS)考核指标,客观评价和考核华东电网内各控制区运行备用的预留、调用和恢复情况,确保功率缺失扰动的快速准确处理。自2009年8月1日起,华东电网实施动态ACE考核标准。动态ACE是在标准ACE基础上,考虑控制区之间联络线功率控制责任的转移,让其他控制区共同承担某控制区内出现大功率扰动的调节,体现了故障发生后各控制区间的紧急支援。和标准ACE相比,动态ACE优化了备用共享,更符合实际电网运行和发展需要。动态ACE的实施,进一步完善了华东电网的频率控制考核体系^[9],使得互联电网的频率控制更加合理、有效。

(3) 华北电网由京津唐电网、山西电网、河北南部电网、内蒙古电网、山东电网组成。2001年华北电网与东北电网实现互联,2004年华北电网与华中电网实现互联,2005年山东电网与华北电网实现互

联,目前华北电网的各个网、省间联络线均采用TBC控制方式,按照A1/A2控制标准进行调整。由于华北网调兼任京津唐中调,华北电网的网间联络线调整实际是由京津唐电网负责,华北电网的其他各省网负责本省网的联络线调整。其中,A1/A2标准要求:A1为ACE在每个考核时间段内必须至少过零一次,即再考核时间段之内ACE有正的时段也有负的时段;A2为ACE考核时间段内的算数平均值不超过给定值 $\pm L_d$ 。 L_d 是根据电网容量选择的。

(4) 西北电网现有的控制模式为分子区域平衡^[10],子区域分散获取资源和调用资源的模式,即网调采用FFC控制,网调负责频率控制,各省调采用FTC控制,各自对所辖发电机组进行AGC备用容量配置。根据西北电网特点,划分为6个控制区:陕西控制区、甘肃控制区、青海控制区、宁夏控制区、新疆控制区和直调风水控制区。直调风水电控制区:由青海省境内网调直调水电与甘肃省境内网调直调风电组成,主要以应对大规模风电波动、直流功率突变、全网紧急调频、应对突发事件、完成水库综合应用计划为目标。陕西、甘肃、宁夏、新疆联络线按TBC方式控制(除青海控制区外),按CPS模式考核。青海联络线按定功率方式控制,按L1,L2模式考核。风水控制区按FFC方式控制系统频率。

$$L1 = \frac{1}{60} \sum_{i=1}^{15} \Delta P_{AVEi} \cdot \Delta t \quad (4)$$

$$L2 = \frac{1}{60} \left| \sum_{i=1}^{15} \Delta P_{AVEi} \right| \cdot \Delta t \quad (5)$$

式(4,5)中: ΔP_{AVEi} 为1min内的联络线功率偏差 ΔP 的平均值,每1min采样一次; Δt 为积分时间间隔。

(5) 东北电网实行统一调度、分级管理。网调负责东北电网公司只管水电厂、内蒙东部电厂、绥中电厂和省间联络线的调度;辽宁、吉林和黑龙江省内的发、供电设备分别由各省调调度^[11]。鉴于我国电网与北美电网等国外电网的差异、东北电网与华东、华中电网的差异,东北电网的CPS标准有别于NERC和华东、华中,其主要包括三个部分^[12]:

① 频率合格指标CPS1要求在一个长时段(如1年)内,控制各区 E_{ACEi} 满足下式要求:

$$\frac{\overline{E_{AVEi \cdot 1 \min}} \cdot \overline{\Delta f_{1 \min}}}{E_i} \leq \varepsilon_1 \quad (6)$$

式(6)中: $\overline{E_{AVEi \cdot 1 \min}}$ 为 $\overline{E_{AVEi}}$ 的1min平均值; $\overline{\Delta f_{1 \min}}$ 为系统频率偏差的1min平均值; E_i 为控制区域*i*的频率偏差系数; ε_1 为频率控制目标,是一个固定常数。

② CPS2规定控制各区ACEi 15min平均值在限值 L_{15} 内,即:

$$\text{AVG}(\overline{E_{ACEi \cdot 15 \min}}) \leq L_{15} \quad (7)$$

③ 频率越限指标主要考查在系统频差超出某一指定限值的时段内各控制区域的表现。

2.2.3 对比总结

现阶段中国区域互联电网的有功功率控制模式属于2级调度体制:区域电网电力调度通信中心(简称网调)直调机组通常承担调频或按计划曲线调整的任务,有时也承担特定的控制任务,如跨区特高压互联线路的调整等;各省级控制区通常采用联络线频率偏差控制(TBC),以维持本省控制区有功功率的就地平衡。各大区网调联络线功率控制模式对比如表1所示。

表1 各大区网调联络线功率控制模式对比

网调名称	网调控制模式	省调控制模式	联络线考核标准	考核方式特点
华中	水电厂定联络线功率控制	TBC	CPS标准	特高压联络线功率控制作为重点
华东	FFC	FTC	CPS与DCS	动态ACE
华北	TBC	TBC	A1/A2	—
西北	FFC(包括风水控制区)	陕西/甘肃/宁夏/新疆按TBC方式控制青海联络线按定功率方式控制	CPS标准L1/L2	采用考核电量形式方便执行
东北	FFC	各省联络线调整、全网频率辅助调整	CPS标准	—

3 新形势下的频率控制评价标准的变化

3.1 大规模新能源接入对频率控制模式的影响

目前,风电和光伏发电等新能源利用成为趋势,由于新能源普遍有出力波动较大且难以预测的特点,大规模新能源并网给互联电网有功功率控制带来了新的挑战。现有模式下,省网有功功率就地平衡控制模式要求各省网都具有一定的调节资源,调节资源匮乏的省网往往需要其他省网的功率支援,这种支援通过CPS考核标准来实现,其支援量非常有限。此外,现有的调度模式缺乏协调性,当包括新能源出力波动在内的有功扰动发生时,各省控制区间AGC缺乏有效的协调与配合,影响频率和联络线功率的控制效果。同时,受调度管辖权的掣肘,网调直调电厂的作用不能充分发挥,一些优质的调节资源得不到有效的利用。

3.2 常规ACE公式不能完全适用

当互联电网发生大的频率扰动初期,系统频率的恢复完全依靠系统频率一、二次调节,互联电网内所有机组的AGC均根据本控制区域的ACE情况动

作,因而对互联电网的频率恢复将会造成几方面的不利影响:(1) 电网频率恢复缓慢,没有发挥全网备用共享的作用;(2) 电网承受连续频率扰动能力下降,频率越限可能性上升;(3) CPS,DCS 考核在脏数据时段无法合理考核各控制区域频率调节能力;(4) CPS,DCS 考核促进各控制区提高频率调节能力的效用被削弱。

目前,国内只有华东电网采用了动态 ACE 计算方法,动态 ACE 使得 CPS 不但可以更好地评估控制区域 AGC 调节性能,也可以与 DCS 结合评估紧急情况下的控制区域 AGC 调节性能。但是动态 ACE 也不能在所有情况适用,动态 ACE 的完善仍需进一步研究讨论。

3.3 现有控制性能标准适用性不足

我国电网调度管理体制是“统一调度、分级管理”,存在国、网、省、地多个层级的控制。“三华”同步联网以后,在国家电网核心区将形成国调、网调、省调等多个层级控制主体协调配合、共同进行联络线功率控制的局面。控制区之间的控制模式配合策略则随各控制区的控制对象和上下级控制主体之间的配合方式而变化。在此情况下,对各控制区的联络线功率控制性能要求显得相当复杂。现有的标准未覆盖所有可能的控制配合策略,难以适应多层级的控制方式。

4 结束语

随着国内调度自动化水平的不断提高,各级调度中心已具备各种智能化监视、分析、预警及决策能力。相比省调而言,网调更具有快速获取全网信息、全局统筹调度的优势。全网集中控制可以考虑到整个电网的安全约束,实现更大范围内 AGC 资源的优化配置,是适应大规模风电等新能源接入的理想模式。然而目前在技术和管理上还有一定困难,因此以全网集中控制为目标、分级协调控制为过渡,逐步实现。在控制标准方面,当前控制标准已不能

完全适应电网变化,今后 ACE 计算方式仍需进一步完善。除华东电网的动态 ACE 外,按调频任务划分为短周期和长周期分别建立控制评价方法,研究建立通用的评价标准都将是研究的热点方向;此外,CPS 参数对考核结果的影响,对参数和考核标准进行改进等也都是值得研究的方向。

参考文献:

- [1] 熊观佐. 互联系统分析与运行[M]. 北京:水利电力出版社,1995.
- [2] 刘维烈. 电力系统调频与自动发电控制[M]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [3] 高宗和,滕贤亮,涂力群. 互联电网多层次联络线功率控制方式的探索[J]. 华东电力,2010,38(9):1327-1331.
- [4] 高宗和,滕贤亮,涂力群. 通用的联络线功率控制性能标准的研究[J]. 华东电力,2011,39(1):1-8.
- [5] Glossary of Terms Used in NERC Reliability Standards[S/OL]. <http://www.NERC.com>, 2010.
- [6] Control Performance Standards and Procedures for Interconnected Operation[R]. EPRI report TR-107813,1997(4).
- [7] Performance Standard Training Document [EB/OL]. <http://www.nerc.com>,2009.
- [8] 刘志成,王春明,何毅斌. 1 000 kV 长治—南阳—荆门特高压联络线功率控制分析[J]. 华中电力,2009,22(2):5-13.
- [9] 高伏英. DCS 性能评价标准在华东电网应用探讨[J]. 电力系统自动化,2007,31(22):99-103.
- [10] 西北电力调度中心. 风电比重增加条件下西北电网省间联络线控制模式研究[R]. 南京:国网电力科学研究院,2010.
- [11] 东北电力调度中心. 风电比重增加条件下省间联络线控制方式研究[R]. 南京:国网电力科学研究院,2010.
- [12] 罗亚洲,李远卓,环加飞. 华北电网联络线 TBC 控制标准探讨[J]. 华北电力技术.2006(11):1-3.

作者简介:

- 黄文洁(1988),女,江苏常州人,硕士研究生,研究方向为电力系统分析;
- 汤 奕(1977),男,江苏常州人,副教授,研究方向为电力系统分析;
- 孙 洁(1978),女,黑龙江大庆人,讲师,从事混沌分形控制、电力系统控制研究工作。

Application Status Analysis of Tie-line Power Control Strategy in Regional Power Grid

HUANG Wen-jie¹, TANG Yi¹, SUN Jie²

(1.Southeast University, Nanjing 210096, China; 2.Shandong University, Weihai 264209, China)

Abstract: Frequency is one important index of AC system power quality. With the expansion of the regional power grid scale, the existing assessment standard system has a certain limitation. Especially as new energy such as wind power and PV are accessed into grid, the traditional assessment system meets some new requirements. This paper studied national standard and tie-line load control status of five regional power grids. The problems and the reasons were summarized. Finally improvement suggestions were proposed to provide a useful reference for the perfection of the existing assessment system.

Key words: frequency control; interconnected power grid; area control error(ACE); wind energy