

电网薄弱环节分类识别技术研究

黄道姗

(国网福建省电力有限公司电力科学研究院,福建 福州 350007)

摘要:文中充分利用生产和调度丰富的信息资源,通过计算机、网络技术和电力系统专业分析技术,跟踪电网运行状态的长期变化趋势,梳理影响电网运行特性的因素,以电网薄弱环节分类识别方法实现电网状态的纵向分析,保障关键性的薄弱环节尽快得到解决,从而保障电网安全、稳定、可靠、经济运行;提出电网薄弱环节跟踪及分析系统的框架设计;以实际案例论证电网薄弱环节分类识别方法的可行性及效果,并展望了该技术的应用前景,阐明该技术的目标是实现安全运行有裕度、事故事先有对策、睿智决策有依据。

关键词:电网;薄弱环节;分类识别

中图分类号: TM711

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2017)04-0091-07

0 引言

2013年美加“8.14”大停电事故以及随后的伦敦、悉尼等一系列大停电事故,引起了世界各国的高度重视,也给我国电力系统敲响了警钟。通过剖析事故原因,认为电力系统信息共享不充分,对电力系统的实时运行状态缺乏足够的了解和认识是事故发生的深层原因。因此,近年来各国都投入研发了多种电网实时分析的技术手段。

随着经济的发展、负荷的增长以及全国联网工程的逐步实施,我国电网的规模日益扩大,一些大规模和超大规模的同步和异步互联电网相继出现,电力系统整体的抗灾变能力得到大幅提升。而电网规模的扩大、电网结构上的复杂性,以及各种新型输电技术的应用,使得电力系统的调度运行更为复杂;在电网跨越式发展阶段,受网架建设、大电源投运、区域交换功率和清洁能源的季节性出力变化等因素影响,电网的运行特性也发生了巨大变化,仅依靠传统的年度运行方式分析以及日常离线分析,分析出来的薄弱环节不全面,且难以完全准确判断该薄弱环节对电网安全、稳定、可靠、经济运行的影响程度,更无法准确判断解决该薄弱环节的迫切性。

国内现有的调度控制辅助决策系统已建立了静态安全稳定、暂态安全稳定的在线分析功能。静态安全稳定分析功能主要应用于调度台上的辅助决策,暂态安全稳定分析功能主要应用于电网的紧急控制领域。但这些调度系统主要着眼于当前运

行方式的分析,对于历史积累的巨大数据未能全面梳理,更未充分利用丰富的历史数据进行深度挖掘以识别出电力系统的薄弱环节。

当前对于电力系统薄弱环节的识别和分析有3种方式。第一种是调度运行人员凭借工作经验,自行总结出电网的薄弱环节,但这种方式缺乏了数据支持,只是一种定性分析。第二种是依靠离线分析,在有限的、预定的运行方式下进行分析。系统分析人员根据管辖区域内电网的运行特点,建立年度若干个典型的运行方式,进行潮流分析、静态安全校核、短路电流水平计算、暂态稳定扫描、小干扰分析等,考察是否满足《电力系统安全稳定导则》(DL 755—2001)和实际运行需要,以此判断电网薄弱环节,为电网规划、建设、调度等提供决策依据。这种分析方法未能充分利用已有的信息系统资源,对于电网的薄弱环节是属于短期、长期或者季节性未能准确判断,也就无法把握解决该薄弱环节的迫切性。第三种是通过各种先进算法分析电网的脆弱性并得出电网的薄弱环节。如文献[1]针对电力与通信的复合系统开展脆弱性评估;文献[2]提出了电网运行安全风险在线评估的流程;文献[3]提出了一种基于最大潮流的复杂网络方法并用于电网脆弱性分析;文献[4]以功角稳定、频率稳定和电压稳定等三个大类和众多小类建立电网运行安全风险指标体系;文献[5-19]从可靠性、供电能力、电力流等角度在线或离线分析了电网在不同工况下的薄弱环节。

这些文献或者以离线方式对电网的薄弱环节进行辨识并验证算法的准确性,或者以单断面运行方式进行风险评估,未能充分利用历史数据识别出电网运营中迫切需要解决的薄弱环节,对电网实际

收稿日期:2017-01-08;修回日期:2017-03-09

基金项目:福建省引导性科技项目(特高压和大规模核电接入后福建电网全过程动态特性评估和防控策略研究)

规划、建设和运营的指导意义未能完全体现。

本文利用生产和调度丰富的信息资源,通过计算机、网络技术和电力系统专业分析技术,跟踪电网运行状态的长期变化趋势,挖掘电网实时运行状态评估结果,梳理影响电网运行特性的因素,并建立了全面、深层次的电网薄弱环节跟踪及分析系统,为保障电网的科学规划、安全建设、稳定运行和健康快速发展提供强有力的技术支撑。

1 电网长短期薄弱环节跟踪及分析方法

1.1 电网薄弱环节的内涵和外延

《电力系统安全稳定导则》规定了电力系统承受大扰动能力的安全稳定标准分为三级。对于电网薄弱环节的内涵,应从这三级的安全稳定标准着手,分析评估福建电网在正常运行方式、事故后运行方式、特殊运行方式以及基建项目建设过程的过渡运行方式下所存在的安全隐患,为电网的基建项目建设和规划发展提供决策依据;同时,在高温、灾害、两会等敏感时期,全面评估紧急措施的合理性和适应性,以应对突发性事件的发生。结合电力系统分析工作的职责和方式,电网薄弱环节的分析应涵盖潮流分析、静态安全校核、短路电流水平计算、暂态稳定扫描、小干扰分析、稳定裕度量化评估等多角度。

电网薄弱环节的外延从时间上可揽括历史、现在和未来,从空间上涉及 220 kV 及以上的主网架。因此,本文提出了电网薄弱环节分析应兼顾历史场景重现、在线跟踪量化、规划仿真分析 3 个方面。

1.2 电网长短期薄弱环节识别算法

从影响程度来看,电力系统的薄弱环节可分为 3 种。第一种是短期的薄弱环节,一年之内偶尔出现,是与运行方式的不合理安排有关;第二种是季节性的薄弱环节,在每年的固定时段都会出现,与电网所在区域的气候季节性变化有关;第三种是长期的薄弱环节,在全年度经常性地出现,是与电网的负荷发展和网架结构相关。在实际运行中,把季节性薄弱环节归入长期薄弱环节,予以共同的关注度,以便于尽快提出解决方案。

本文利用潮流计算、短路电流、静态安全校核、暂态稳定分析、小干扰分析、稳定裕度量化评估等多个电网运行状态在线评估手段,力求从多角度评估电网的薄弱环节,并综合提炼电网的长短期薄弱环节。具体做法如下:

(1) 潮流计算。在线计算电网的潮流分布,依据《导则》判断正常运行方式下各节点电压 U_i 和各

元件负载电流 I_l 是否越限。当某一个断面时刻 t 的节点电压有名值 $u_{i(t)}$ 大于该节点电压的允许最大值 u_{imax} ,电压越上限计数 $C_{imax(t)}$ 赋值为 1;同理,当某一个断面时刻 t 的节点电压有名值 $u_{i(t)}$ 小于该节点电压的允许最小值 u_{imin} ,电压越下限计数 $C_{imin(t)}$ 赋值为 1,即:

$$\begin{cases} C_{imax(t)} = 1 & u_{i(t)} \geq u_{imax} \\ C_{imin(t)} = 1 & u_{i(t)} \leq u_{imin} \end{cases} \quad (1)$$

取 α_{imax} 为节点 i 在一定时间段 $[t_0, t_1]$ 内的过压频度,则:

$$\alpha_{imax} = \frac{\sum_{t=t_0}^{t_1} C_{imax(t)}}{t_1 - t_0 + 1} \quad (2)$$

同理,可得节点 i 在一定时间段 $[t_0, t_1]$ 内的低压频度:

$$\alpha_{imin} = \frac{\sum_{t=t_0}^{t_1} C_{imin(t)}}{t_1 - t_0 + 1} \quad (3)$$

将各个节点的 α_{imax} 和 α_{imin} 进行排序,即可得到统计时间段内电压偏高或者偏低的节点序列。实际运行中 AVC 为投运状态,因此可以认为这些节点的电压已经过了方式调整,若节点电压越上限频度 α_{imax} 和节点电压越下限频度 α_{imin} 高于门槛值 λ_{node} ,即将该节点判为正常运行方式下的长期薄弱环节。

当某一个断面时刻 t 的线路负载电流有名值 $i_{l(t)}$ 大于该线路的长期允许载流量 I_{ll} ,负载越限计数 $L_{1l(t)}$ 赋值为 1;同理,当某一个断面时刻 t 的线路负载电流有名值 $i_{l(t)}$ 与该线路的长期允许载流量 I_{ll} 的比值大于重载率 β_{line} ,重载计数 $L_{2l(t)}$ 赋值为 1,即:

$$\begin{cases} L_{1l(t)} = 1 & i_{l(t)} \geq I_{ll} \\ L_{2l(t)} = 1 & i_{l(t)} \geq I_{ll} \times \beta_{line} \end{cases} \quad (4)$$

取 ε_{1l} 为线路 l 在一定时间段 $[t_0, t_1]$ 内的过载频度,则:

$$\varepsilon_{1l} = \frac{\sum_{t=t_0}^{t_1} L_{1l(t)}}{t_1 - t_0 + 1} \quad (5)$$

同理,可得线路 l 在一定时间段 $[t_0, t_1]$ 内的重载频度 ε_{2l} :

$$\varepsilon_{2l} = \frac{\sum_{t=t_0}^{t_1} L_{2l(t)}}{t_1 - t_0 + 1} \quad (6)$$

实际运行中,线路一旦超过长期允许载流量即可跳闸,因此,一般而言线路过载频度 ε_{1l} 基本为 0,

本文重点考察线路重载频度 ε_{2l} 。将各条线路的 ε_{2l} 进行排序,即可得到统计时间段内重载的线路序列。若线路重载频度 ε_{2l} 高于门槛值 λ_{line} ,即将该线路判为重点关注对象,但不作为电网亟需解决的薄弱环节。

将主变的额定容量和实际视在功率替换线路的长期允许载流量和实际负载电流,式(4)至式(6)可作为主变的薄弱环节识别算法。

(2) 短路电流计算。在线计算电网的三相短路电流 $I_{short3-i}$ 和单相短路电流 $I_{short1-i}$,并与开关的95%额定遮断容量 I_{Ni} 比较。一旦出现越限,即赋值节点短路电流越限标识 $\xi_i = 1$ 。由于电网实际运行中,不允许出现短路电流超过开关额定遮断容量,因此 $\xi_i \geq 0$,系统即可告警,并将该母线作为长期薄弱环节直接识别。

(3) 静态安全校核。在线对运行电网按 $N-1$ 原则,研究每个运行元件退出运行后,其他元件有无过负荷或者各节点电压是否越限。

静态安全校核的历史分析结果应用在薄弱环节识别算法上,与潮流计算的类似。不同之处为静态安全校核中考察线路的负载情况应采用短时允许载流量;线路只考察过载量,不考察重载量;开断线路引起其他线路过载或者过压,其状态计数应赋值在开断线路上。

(4) 暂态稳定分析。根据预先给定的电网故障集,对实时运行电网进行暂态稳定仿真,并根据《电力系统安全稳定导则》对电网暂态稳定的判据,自动判断故障集中各种故障下电网的暂态稳定情况。

根据《电力系统安全稳定导则》及长期进行电网安全稳定仿真的经验,设定一个机组相对功角的最大允许值 δ_{max} 。当暂态稳定仿真中,电网某元件、某线路或某个断面故障后,出现某台机组的功角摆动超过功角最大允许值时,暂态失稳计数 $T_{l(i)} = 1$ 。对一段时间 $[t_0, t_1]$,根据预想故障集,统计电网元件或断面故障引发系统失稳的频度 γ_i ,则:

$$\gamma_i = \frac{\sum_{t=t_0}^{t_1} T_{l(i)}}{t_1 - t_0 + 1} \quad (7)$$

对 γ_i 进行排序,可对电网的暂态稳定薄弱环节(或断面)进行评估,并可在电网规划与运行中考虑加强或调整措施。

(5) 小干扰分析。对电网实时断面对应的潮流、稳定数据自动进行小扰动计算(线性化并求取特征值),进而分析电网各机电振荡模式的阻尼是否满足有关技术规范对电网小扰动动态稳定的

要求。

根据《电力系统安全稳定计算技术规范》的要求,电网区域振荡模式以及与主要大电厂、大机组强相关的局部振荡模式,其阻尼比一般均应达到0.03以上。因此设定临界阻尼 $\zeta_{min} = 0.03$,实际运用中还可将阻尼处于0.03~0.05的振荡模式定义为阻尼较弱。对实时电网断面数据进行小扰动计算中,首先对计算出的振荡模式进行分类,根据振荡模式的频率(0.2~2.5 Hz)及该模式的机电回路相关比 ρ_i (根据计算经验应 $\rho_i > 0.5$)筛选出机电振荡模式,并进一步根据振荡频率划分出局部振荡模式(0.7~2.5 Hz)与区域振荡模式(0.2~0.7 Hz)。

对于局部振荡模式,若某个实时断面数据计算结果中某个振荡模式的阻尼 $\zeta_j < \zeta_{min}(0.03)$,则对该振荡模式对应的强相关机组 G_i 的小扰动稳定越限计数 $d_i = 1$;若阻尼 $0.05 < \zeta_j < \zeta_{min}(0.03)$,则对应机组 G_i 的阻尼较弱计数 $e_i = 1$ 。在一段时间段内 D_i, E_i 的统计值,且可在一定程度上反映机组 G_i 在实际运行中的动态稳定情况,即:

$$\begin{cases} D_i = \frac{\sum_{t=t_0}^{t_1} d_i}{t_1 - t_0 + 1} \\ E_i = \frac{\sum_{t=t_0}^{t_1} e_i}{t_1 - t_0 + 1} \end{cases} \quad (8)$$

对较长时间存在阻尼不足的机组,应考虑对其电力系统稳定器(PSS)参数进行优化调整,有条件时还可考虑加强网架结构,增强电厂与系统的联络。

对区域振荡模式,主要关注省际联络线交换功率较大的情况。对电网实时断面数据计算中,区域振荡模式阻尼不足时,可进行记录。通过后期对区域振荡模式阻尼与联络线输送功率的比对分析,可以获得实际电网运行中,联络线输送功率从动态稳定角度应控制的程度。

(6) 稳定裕度量化评估。依据特定的预想事故集 HFA (hypothetic fault aggregate),分别计算 HFA 中每个预想事故对系统稳定的影响,既预想事故下的稳定裕度 $\eta_i(t)$ 。若稳定裕度 $\eta_i(t)$ 小于门槛值 λ_η ,则提供电网的调整措施,包括发电机出力调整、无功补偿设备投退操作、切机、切负荷、解列等措施。若提供的调整措施是切机、切负荷、解列等紧急控制措施,则稳定裕度量化评估计数 $A_i(t) = 1$,系统即可告警,并将该故障元件作为长期薄弱环节直接识别。

2 电网薄弱环节跟踪及分析系统的实现

2.1 整体框架设计

依据上述电网薄弱环节的内涵和外延研究成果,本文提出了电网薄弱环节跟踪及分析系统的整体框架设计方案,如图1所示。

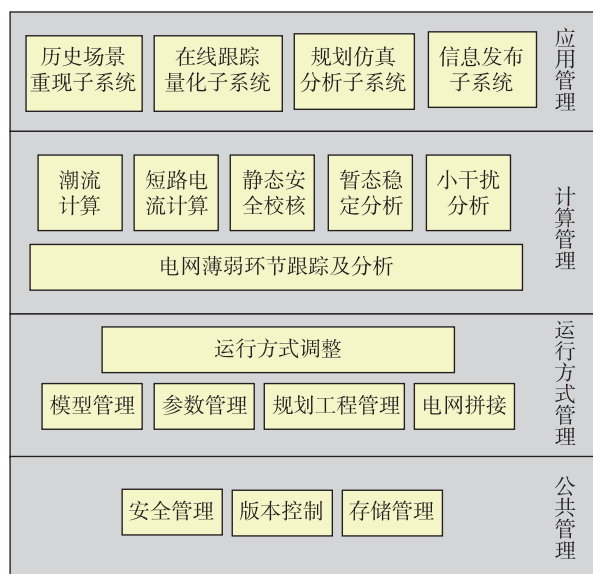


图1 电网薄弱环节跟踪及分析系统的总体框架设计

Fig.1 The overall framework design sketch of grid weak link tracking and analysis system

系统分成4层。第一层为公共管理,主要管理用户权限、存储海量数据优化和版本管理;第二层为运行方式管理层,主要通过模型、参数和规划工程管理,以及电网拼接功能,实现历史运行方式、实时运行方式和规划运行方式的管理;第三层为计算功能层,具备计算分析的调用平台,可以对运行方式层的所有功能进行组织,形成所需的运行方式和计算模型,并在此之上具备潮流计算、短路电流计算、静态安全校核、暂态稳定分析、小干扰分析等功能,从而建立电网薄弱环节跟踪及分析平台,对电网开展运行状态在线评估;第四层为应用功能层,具备历史场景重现子系统、在线跟踪量化分析子系统、规划仿真分析子系统等,并能够将分析结果综合发布。

历史场景重现子系统根据系统自动保存的数据,复现某一时刻的历史运行工况,分析存在的安全稳定问题及其处理手段的合理性,分析研究电网安全稳定性的变化规律并给出处理建议。

在线跟踪量化子系统根据预先设定的分析功能和自适应外部环境的预想事故集自动分析电网的实时运行状态,发现电网的薄弱环节并预警;同时,对用于电网薄弱环节跟踪分析的各类计算任务

的历史结果进行统计分析,形成表征电网运行的各类指标,并依据历史数据统计功能搜索定位电网的长短期薄弱环节。

规划仿真分析子系统根据规划网架和负荷预测水平,生成规划电网数据,并针对特定目的进行分析,形成初步分析报告;同时,该子系统可根据基建项目投产计划,对规划网架进行滚动分析,为规划网架和运行网架的衔接工作提供决策依据。

对于历史场景重现子系统和规划仿真分析子系统而言,都是对有限的若干个方式进行多角度分析。而对于在线跟踪量化子系统而言,是对历史的电网运行状态进行积累评判,从而得出与电网运行息息相关的薄弱环节,对于电网解决该薄弱环节的紧迫性有更直观的数据支持。这是本文的研究重点,即对电网的薄弱环节根据丰富的历史运行状态评估结果,识别电网的长短期薄弱环节。

2.2 技术关键和技术创新点

本文结合实现电网薄弱环节跟踪及分析系统的一些实践经验,对一些技术关键和技术创新点进行探讨。

(1) 研究分析电网的薄弱环节,应从电力系统运行状态评估的多种手段入手,寻求多角度识别薄弱环节的属性,并提炼电网薄弱环节识别的关键因素。

(2) 薄弱环节跟踪及分析不仅仅是对“限值”的比较,更多的是对电网运行状态的发展趋势进行监视。在实际运行中,趋势比限值更重要,特别在固定的“限值”不能确定的场合,对状态趋势的监视和判断将更有用。因此,要长期跟踪和储存电网的运行状态评估结果,以实现电网状态的纵向分析。

3 算例分析

电网经过多年的建设与完善,已有了长足的发展。从电网薄弱环节跟踪及分析系统的实际运行统计情况来看,在保护正确动作的情况下,暂态稳定问题已不再突出。

电网潮流分布上的问题主要集中在局部220 kV网架季节性水电送出瓶颈、负荷高峰期局部电网供电紧张。在运行电压方面,多为负荷低谷期部分城市电网因缆化程度较高而存在个别变电站母线电压较高(未越限),汛期部分山区变电站母线电压偏高的问题。以下通过系统统计的一部分结果进行分析。

(1) 算例1。对电网静态安全分析($N-1$)的统计结果进行分析,发现某220 kV断面(双回线)在4

月至6月的静态安全分析结果越限情况较为突出,如表1所示。

表1 某断面实时潮流静态安全分析(N-1)结果统计

Table 1 The static security analysis(N-1) result statistics for real-time power flow of a section

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月
断面 N-1	0	0	0.12	0.33	0.37	0.45
月份	7月	8月	9月	10月	11月	12月
断面 N-1	0.07	0	0	0	0	0

该220 kV断面(双回线)为某大型水电厂送出断面,水电厂高压侧有2个电压等级(220 kV与500 kV),220 kV出线6回,500 kV出线3回,其中1回500 kV线路、2回220 kV线路联接山区电网(该区域有较多小水电装机),其余线路联络负荷中心。由于该220 kV断面与负荷中心电气距离较近,因此汛期大量潮流从该断面送出。

根据分析表1的分析结果,分析人员提出一方面应在电网规划中考虑网架优化,使潮流分布合理化;另一方面在实际生产运行应该加强汛期对该断面线路的巡视巡检,保障安全。

(2) 算例2。从电网母线电压越限的统计中可以看出,某220 kV变电站在汛期月份存在电压越上限的情况,如表2所示。

表2 某220 kV变电站220 kV母线电压越上限(α_{\max})情况统计

Table 2 The over high-limit voltage (α_{\max}) situation statistics of the 220 kV bus voltage in a 220 kV substation

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月
电压越上限统计	0	0	0	0.001 9	0.000 2	0.000 6
月份	7月	8月	9月	10月	11月	12月
电压越上限统计	0	0	0	0	0	0

进一步调取日统计数据可知,电压越限情况主要出现在负荷低谷期,结合地区电网情况分析,该220 kV变电站下接径流式小水电较多(供区内小水电装机207 MW)。因小水电调节能力差,汛期大量功率倒送主网,致使低谷时段局部电网无功过剩,导致部分时间母线电压水平偏高。

对此应考虑进一步做好地区无功电力平衡,尤其是汛期低谷时段,必要情况下可考虑在合适的变电站适当安装电抗器以调节电压。

(3) 算例3。在小扰动分析模块中,某机组在3月至4月出现阻尼不足的情况,如表3所示。

表3 小扰动分析某机组阻尼不足(E_i)情况统计

Table 3 The under-damping (E_i) situation statistics via small disturbance analysis of a unit

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月
E_i	0	0	0.17	0.81	0	0
月份	7月	8月	9月	10月	11月	12月
E_i	0	0	0	0	0	0

经实地了解,该机组为600 MW汽轮发电机组,为某电厂的二期工程,建设时地区220 kV网架正在改造,机组投运后局部网架尚未改造完成,因此暂时和电厂一期机组并列运行(6回220 kV出线)。2月份双回220 kV新建线路接入后,该电厂一期与二期分厂运行,母线分段开关打开,600 MW机组通过双回220 kV线路接入系统。此时因与电网联络较弱,机组强相关的局部振荡模式阻尼在0.03~0.05,因此系统统计出现阻尼不足的情况。

为此在后期(5月份)安排了对该机组重新进行PSS参数整定试验,通过PSS参数的调整使阻尼比提高至0.15(试验数据)。通过对电网小扰动稳定性的分析,发现电网动态稳定的薄弱环节,及时调整改进,提升电网的动态稳定水平。

4 结论

本文根据电网运行的特点,从潮流、短路电流、暂态稳定、动态安全等多方面寻求电网薄弱环节的综合判据,跟踪分析电网薄弱环节,研究系统薄弱环节跟踪及分析平台的框架设计和关键技术,预期能全面定位电网的薄弱环节,有效增强抵御电力系统灾难的能力,避免大停电事故的发生,将给电力系统运行带来巨大的经济效益,应用前景广阔。具体体现为:

(1) 对于历史运行方式的分析有利于电网快速定位事故源头,解决稳定问题,对电网的安全稳定运行发挥着不可忽视的重大作用。

(2) 对电网薄弱环节的长期在线跟踪,积累了丰富的电网运行数据,为深层次挖掘电网的安全隐患提供研究方向,为合理安排电网运行方式提供数据资源和决策依据。

(3) 对规划网架的分析,有利于电网保持快速健康发展的势头,避免电网存在重大薄弱环节,给电网造成巨大的运行压力。

总之,本文的研究成果不仅为电网健康和谐发展、安全稳定运行等提供强有力的技术支撑,而且也对电力科研现代化的发展产生不可忽视的作用。

参考文献:

- [1] 汤奕,韩啸,吴英俊,等.考虑通信系统影响的电力系统综合脆弱性评估[J].中国电机工程学报,2015,35(23):6066-6074.
TANG Yi, HAN Xiao, WU Yingjun, et al. Electric power system vulnerability assessment considering the influence of communication system[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(23):6066-6074.
- [2] 李碧君,方勇杰,徐泰山.关于电网运行安全风险在线评估的评述[J].电力系统自动化,2012,36(18):171-177.
LI Bijun, FANG Yongjie, XU Taishan. Review on online operational security risk assessment of power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(18):171-177.
- [3] DWIVEDI A, YU X. A maximum-flow-based complex network approach for power system vulnerability analysis[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2013, 09(1):81-88.
- [4] 李碧君,徐泰山,刘强.用于在线评估与控制决策的电网运行安全风险指标体系研究[J].华东电力,2014,42(1):71-76.
LI Bijun, XU Taishan, LIU Qiang. Power grid operation safety risk index system for online assessment and control decision[J]. East China Electric Power, 2014, 42(1):71-76.
- [5] 纪静,谢开贵,曹侃,等.广东电网薄弱环节辨识及可靠性改善分析[J].电力系统自动化,2011,35(13):98-102.
JI Jing, XIE Kaigui, CAO Kan, et al. Weak part identification and reliability improvement analysis of guangdong power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(13):98-102.
- [6] CHEN Q, MILI L. Composite power system vulnerability evaluation to cascading failures using importance sampling and anti-thetic variates[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2013, 28(3):2330-2331.
- [7] 汤奕,万秋兰,于继来.基于电气剖分方法的阻塞分析与调控[J].电工技术学报,2007,22(11):146-152, 157.
TANG Yi, WAN Qiulan, YU Jilai. Congestion analysis and control based on electrical dissecting method[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2007, 22(11):146-152, 157.
- [8] 汤奕,陈斌,皮景创,等.特高压直流分层接入方式下受端交流系统接纳能力分析[J].中国电机工程学报,2016,36(7):1790-1800.
TANG Yi, CHEN Bin, PI Jingchuang, et al. Analysis on absorbing ability of receiving AC system for UHVDC hierarchical connection to AC grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(7):1790-1800.
- [9] 幸荣霞,姚爱明,谢开贵,等.大电网可靠性影响分析的潮流跟踪方法[J].电网技术,2006,30(10):54-58.
XING Rongxia, YAO Aiming, XIE Kaigui, et al. Power flow tracing method for impact analysis of large scale power grid's reliability[J]. Power System Technology, 2006, 30(10):54-58.
- [10] TENG J H, CHEN C Y, MARTINEZ I C, et al. Power system vulnerability assessment considering energy storage systems[C]. Power Electronics and Drive Systems (PEDS), 2013 IEEE 10th International Conference on. IEEE, 2013:903-907.
- [11] DL 755—2001 电力系统安全稳定导则[S].
DL 755—2001 Guide on security and stability for power system[S].
- [12] 谢春瑰,刘永谦,吕项羽,等.吉林电网的综合脆弱性评估[J].吉林电力,2013,41(5):5-8.
XIE Chunkui, LIU Yongqian, LYU Xiangyu, et al. Comprehensive vulnerability evaluation on jilin power grid[J]. Jilin Electric Power, 2013, 41(5):5-8.
- [13] YU X, SINGH C. A practical approach for integrated power system vulnerability analysis with protection failures[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2004, 19(4):1811-1820.
- [14] 刘盛松,秦旭东,汪志成,等.计及潮流断面稳定限额的分区电网最大供电能力研究[J].江苏电机工程,2015,34(4):5-9.
LIU Shengsong, QIN Xudong, WANG Zhicheng, et al. Study on total supply capability of zone grids considering interface flow limits[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(4):5-9.
- [15] 刘文颖,王佳明,谢昶,等.基于脆性风险熵的复杂电网连锁故障脆性源辨识模型[J].中国电机工程学报,2013,32(31):142-149, 230.
LIU Wenyong, WANG Jiaming, XIE Chang, et al. Brittleness source identification model for cascading failure of complex power grid Based on brittle risk entropy[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 32(31):142-149, 230.
- [16] 任震,何建军,谌军,等.交直流网络系统可靠性评估的 Monte Carlo-FD 混合法[J].电网技术,2000,24(5):13-19, 51.
REN Zhen, HE Jianjun, CHEN Jun, et al. Monte Carlo-FD comprehensive method for reliability evaluation of AC/DC hybrid network systems[J]. Power System Technology, 2000, 24(5):13-19, 51.
- [17] 叶勇,陆路,李杰.电网监控数据辅助分析系统的研发[J].江苏电机工程,2013,32(4):56-59.
YE Yong, LU Lu, LI Jie. Research and development of auxiliary analysis system for power grid monitoring data[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2013, 32(4):56-59.
- [18] 管永高,张诗滔,许文超.特高压直流分层接入方式下层间交互影响研究[J].电力工程技术,2017,36(2):32-37.
GUAN Yonggao, ZHANG Shitao, XU Wenchao. Study on hierarchical interaction of UHVDC hierarchical connection mode[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(2):32-37.
- [19] 王大江,江叶峰,仇晨光,等.江苏电网在线动态安全评估系统及应用研究[J].电力工程技术,2017,36(2):51-55.
WANG Dajiang, JIANG Yefeng, QIU Chenguang, et al. Research on the on-line dynamic security assessment system and application of jiangsu power grid[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(2):51-55.

作者简介:



黄道姗

黄道姗(1977—),女,福建莆田人,高级工程师,研究方向为电力系统安全稳定仿真与运行控制(E-mail:hds77@sina.com.cn)。

Classification and Identification of Power Grid Weak Links

HUANG Daoshan

(Electric Power Research Institutes of Fujian Electric Power Company Co., Ltd, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Long-term changes in power grid operating status are tracked, making use of production and dispatching information, and computer, network and power system analysis technology. Factors that affect power grid operating characteristics are sorted out. The longitudinal analysis of the grid state is realized by classification and identification of power grid weak links. The key weaknesses are guaranteed to be resolved as soon as possible. Power grid security, stability, reliability, economic operation is also guaranteed. The frame design of the weak link tracking and analysis system is proposed. The practical case demonstrates the feasibility and effect of the power grid classification method, and the application prospect of the technology is also prospected. The objective of the technology is to achieve safe operation margin, pre-existing countermeasures, decision-making basis.

Key words: power grid; weak link; classification and identification

(编辑 徐林菊)

(上接第 79 页)

LAN Jinbo, QIAN Guoming, JI Wei, et al. Key technology of Wuxi 220 kV Xi Jin smart substation [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2012, 31(2): 26-29.

[17] 杨睿,程桂林,徐懂理,等. IEC 61970 CIM 与 IEC 61850 SCL 模型互通性分析与研究[J]. 江苏电机工程,2016, 35(3):46-48.

YANG Rui, CHENG Guilin, XU Dongli, et al. Analysis and research on the interoperability between IEC 61970 CIM and IEC 61850 SCL mode [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(3):46-48.

[18] 姬源,黄育松. 智能电网综合评价模型与方法综述[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(3):81-84.

JI Yuan, HUANG Yusong. Review of comprehensive evaluation models and methods for smart grids [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(3):81-84.

作者简介:



杨启京

杨启京(1982—),男,江苏南京人,工程师,从事调度自动化系统标准化研究开发工作(E-mail:yangqijing@sgepri.sgcc.com.cn);

孟勇亮(1980—),男,江苏南京人,高级工程师,研究方向为电力系统自动化(E-mail:mengyongliang@sgepri.sgcc.com.cn);

岑红星(1976—),男,重庆人,工程师,研究方向为电力系统自动化(E-mail:cenghongxin@sgepri.sgcc.com.cn);

季堃(1981—),男,江苏南京人,高级工程师,研究方向为电力系统自动化(E-mail:jikun@sgepri.sgcc.com.cn);

翟毅(1984—),男,安徽六安人,工程师,研究方向为电力系统自动化(E-mail:zhaiyi@sgepri.sgcc.com.cn)。

Construction and Application of Mobile Simulation Master Station Environment for Substation Information Access Test

YANG Qijing, MENG Yongliang, CEN Hongxin, JI Kun, ZHAI Yi

(NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211106, China)

Abstract: A mobile grid dispatching simulation master station environment construction and application design method is proposed, according to the shortcomings of the debugging method and the maintenance means of the existing dispatching automation system to access the substation signal. The method builds a mobile grid dispatching simulation master station test environment using a variety of means such as plant model version management, measurement table curing, application verification and so on. The proposed master station simulation test environment, do not rely on the communication status of master station and substation. It can simplify the commissioning process and steps of substation automation equipment access automatic master station, simulate and verify the correctness and validity of the access substation information, and provide technical support and means for new equipment operation.

Key words: dispatching automation system; simulation master station; plant model version

(编辑 徐林菊)