

特高压直流与常规直流工程最后断路器保护浅析

许卫刚¹, 张志宏¹, 单哲¹, 查申森², 汪道勇³

(1.常州供电公司,江苏常州 213003;2.江苏省电力设计院,江苏南京 211102;

3.国网运行分公司,上海 201708)

摘要:为防止逆变站交流系统甩负荷后引起的严重过电压,通常会在逆变站安装最后断路器保护。在±800 kV 向家坝—上海直流工程中,ABB公司采用了不同于常规直流的最后断路器保护设计理念。从保护信号采集、保护逻辑、存在隐患等方面,阐述了特高压直流和常规直流中的最后断路器保护,并进行了对比分析。指出了常规直流最后断路器保护在设计上的局限性以及特高压直流最后断路器保护在运行中可能存在的问题,并提出了改进意见。该研究有助于提高现有直流工程的运行可靠性,并对将要投产的特高压直流工程的运行维护工作有一定指导意义。

关键词:特高压直流;常规直流;最后断路器保护;过电压

中图分类号:TM86

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2010)05-0006-05

最后断路器保护是直流工程逆变站的重要保护。当逆变侧失去交流电源后,由于换流母线上连接的大量无功补偿设备不能立即切除,如果直流系统未能及时闭锁,直流系统将会继续向其充电,从而引起严重的暂时过电压,对阀、避雷器、换流母线等造成影响^[1-3]。为了防止这种情况的发生,在高压直流输电系统的逆变站中通常都安装了最后断路器保护,以确保在发生上述情况时可以迅速将阀闭锁^[4]。但是在常规直流的实际应用中,该保护暴露出一些问题,存在安全隐患。因此在±800 kV 向家坝—上海直流工程中,ABB公司采取了不同的保护思路。文中对特高压直流和常规直流最后断路器保护进行了对比分析,指出了可能存在的隐患,并提出相应的整改建议。对目前在运的直流换流站和将投产的特高压直流换流站的运行维护工作有一定指导意义。

1 常规直流最后断路器保护

1.1 保护信号

常规直流中的最后断路器保护,通常需要采集交流场的开关量和运行参数作为动作判据,交流场接线如图1所示。

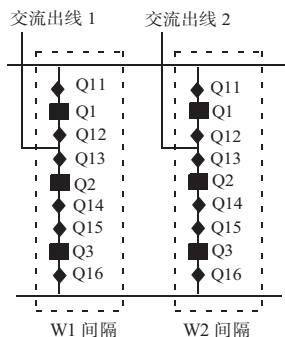


图1 交流场接线

1.1.1 断路器及隔离开关分合接点信号

通过采集断路器和隔离开关的接点信号,从而判断该间隔是否在隔离状态。一个断路器单元(包括一个断路器和两把隔离开关)中只要有一个设备在拉开位置,即判定该断路器单元在隔离(Disconnect)状态;当交流出线对应的边断路器单元和中断路器单元或两个边断路器单元都为隔离状态时,即判定该间隔在隔离状态。图2为通过断路器和隔离开关接点判断交流间隔是否隔离的逻辑,其中拉开为1,合上为0。

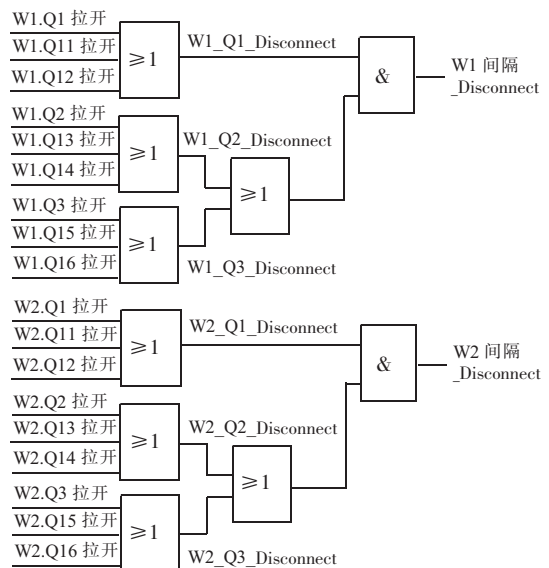


图2 来自接点的间隔隔离逻辑

1.1.2 线路电流信号

当故障发生在站外而不是站内时,无法通过断路器和隔离开关的分合接点来判断间隔是否隔离,因此必须加入电流的判据。当交流出线上的电流值低于电流参考值(政平站该参考值为50 A,华新站该参考值为70 A),且直流极为解锁状态时,即可判

定该间隔为隔离状态。图3为通过电流判断交流间隔是否隔离的逻辑。

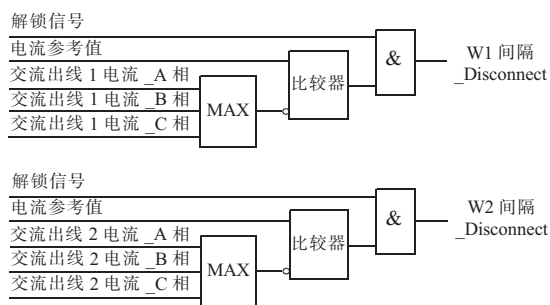


图3 来自电流的间隔隔离逻辑

1.1.3 断路器跳闸信号

通过采集断路器跳闸接点(early_make)信号来判断该间隔是否为跳闸状态(trip)。当交流出线对应的边断路器单元为隔离状态时,另外两个断路器只要有一个跳闸;或另两个断路器为隔离状态时,交流出线对应的边断路器跳闸,即可判定该间隔为跳闸状态。此外,在对侧交流站也装有最后断路器装置,它是一个PLC装置,通过对线路相关的本站断路器和隔离开关位置接点进行判断分析,并结合相关保护动作信号,从而确定是否给换流站发跳闸信号^[5,6]。图4为判断交流间隔是否跳闸的逻辑。

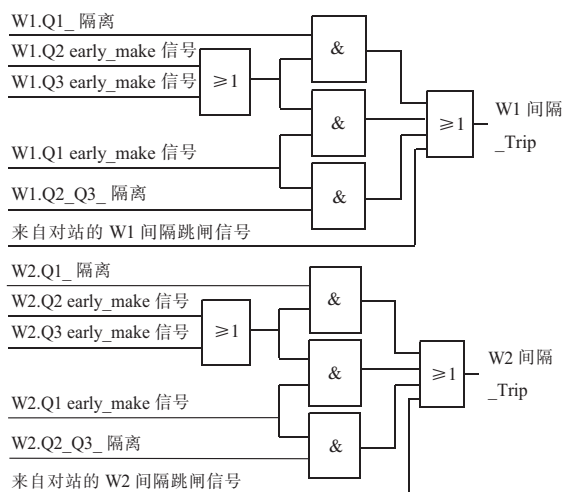


图4 间隔跳闸逻辑

1.2 保护逻辑

当一个间隔处于隔离状态时,如果发生另一个间隔跳闸的事件,最后断路器保护就会动作,使双极闭锁。如图5所示,当W1间隔在隔离状态时,如果W2间隔发生跳闸事件,同时还满足以下条件:(1)直流在解锁状态;(2)本系统为工作系统;(3)本站为逆变站,最后断路器保护就出口跳闸。当W2间隔为隔离状态时,跳闸逻辑也一样。动作后果为:(1)双极Y闭锁;(2)跳开交流侧换流变出线开关;(3)启动开关失灵保护;(4)启动故障录波;(5)闭锁禁止切换系统。

此外,当一个间隔隔离而另一个间隔不隔离时,系统会发出“只剩一条线路(only one line left)”的告警,提醒运行人员注意。该逻辑是通过异或门(相同为0,相异为1)来实现的。图5为常规直流最后断路器保护跳闸逻辑,来自ABB设计的三-常直流工程政平换流站Hidraw软件。

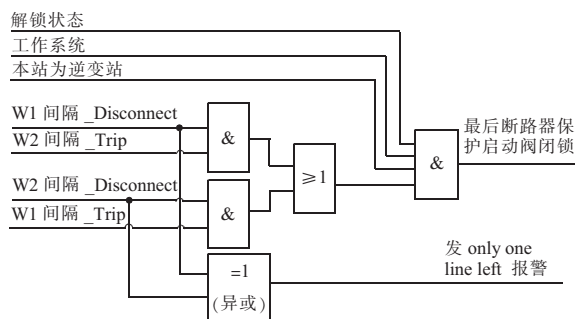


图5 常规直流最后断路器逻辑

1.3 存在隐患

正常情况下,采用上述保护逻辑是没有问题的,常规3000MW的直流系统的最小功率是300MW(低于最小功率时,极会闭锁)。在只有两条线路的情况下,如果线路电流低于50A或70A时,两条交流线路的功率相加才50~70MW,此时极早已闭锁。但在特殊运行工况下却可能存在安全隐患,龙政直流逆变侧政平换流站就存在这样的问题。

政平站建站之初,在从500kV武南站来的两回线路(政武5273线,政南5274线)上安装了最后断路器保护,2004年政平站扩建了到岷珠站的两回交流线路:岷政5271线,岷平5272线。由于岷珠站只有两台750MW的主变,在失去5273线,5274线的情况下,不足以支撑龙政直流额定功率运行,因此5273线,5274线的最后断路器保护仍保留了下来(5271线,5272线上没有设置最后断路器保护)。在秋冬季直流小功率运行方式下,受交流系统潮流影响,直流输送的大部分功率经过5271线和5272线送到岷珠站去,在5273线和5274线上输送的功率很小,有时功率潮流方向甚至会反向,即武南站的功率通过5273线和5274线转送到岷珠站。在这种情形时,5273线,5274线中的一次电流有效值就有可能在50A以下,按照保护逻辑(见图3),软件会将本处于运行状态的间隔误判为处于隔离状态,若此时5273线和5274线两条线路中一条电流小于50A,另一条发生故障引起线路保护动作跳闸,政平站最后断路器保护将会动作并导致直流双极Y闭锁。而实际上,此时的交流出线并未全部断开,系统不应该向换流器发出闭锁指令。而且这样的小功率完全可以通过5271线和5272线送到岷珠站,没必要双极闭锁。因此,在上述这种特殊的运行方式下,直流

系统的可靠性被大幅度降低。

此外,最后断路器保护逻辑中还存在另一个安全隐患:在 5273 和 5274 两条交流出线同时跳闸(或同时收到来自武南站的最后断路器跳闸信号)时,系统反而不会发出闭锁指令(见图 5)。如果此时双极运行在大功率下(如 3 000 MW)时,将导致大功率全部转移到岷政 5271 线和岷平 5272 线上,超过了岷珠站目前所能承受的容量,从而引起政平站内设备过电压。

1.4 改进措施

1.4.1 小负荷运行隐患

为了防止小负荷状态下交流最后断路器保护误动作,现场采取了一些临时措施,即当龙政直流较长时间处于低功率运行时,修改 Hidraw 软件,将电流判据由“50 A”改为“-50 A”(即取消最后一个断路器保护的电流判据),待大功率后再恢复^[7]。但该措施不够完善,由于需要人为判断功率水平并修改保护定值,存在一定风险,给现场人员带来很大安全压力,因此应该对软件逻辑进行修改。可以考虑在逻辑中加入判据。即设定一个功率参考值,在该参考值之下就退出最后断路器保护的电流判据,超过参考值就投入电流判据。图 6 为修改后的软件逻辑,虚线部分为增加的功率判据。

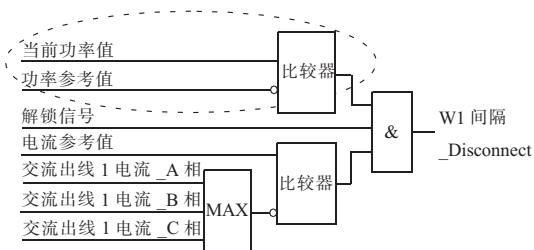


图 6 修改后的电流判断逻辑

还可以进一步考虑,当直流系统运行在大功率工况下时,如果发生最后断路器保护动作的情况,可以不闭锁双极直流,而是只闭锁单极或紧急降功率,这样可靠性大大提高,对系统的冲击也可以减小到最低。要实现相关功能有赖于对系统潮流的计算和仿真研究,对现有软件的改动也较大。

1.4.2 最后断路器保护拒动隐患

为了消除武南站最后断路器保护装置动作后政平站最后断路器保护不起作用的隐患,可考虑将两个间隔的跳闸状态取与,当同时为 1 时,即可启动保护跳闸。图 7 为修改后的最后断路器保护跳闸逻辑,虚线部分为增加的判断同时跳闸的逻辑。

2 特高压直流最后断路器保护

±800 kV 特高压直流系统输电线路长、输送容

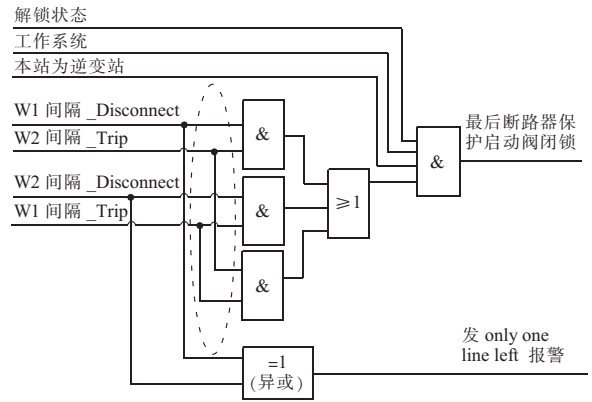


图 7 修改后的最后断路器保护跳闸逻辑

量大,两端换流站配置无功补偿设备的单组容量及总容量均比±500 kV 直流工程高得多,因此应更加重视最后断路器跳闸故障引起的过电压^[8]。

根据仿真研究,表 1^[8]列出了特高压直流双极额定功率运行时逆变站发生最后断路器跳闸后不同闭锁延时避雷器能耗计算结果(“—”表示能耗/电流为 0,避雷器不动作)。

表 1 逆变站最后断路器跳闸直流不同闭锁延时避雷器能耗

避雷器名称	代号	避雷器能耗(kJ)/电流(A)		
		延时 0 ms 闭锁	延时 10 ms 闭锁	延时 20 ms 闭锁
交流母线避雷器	Aa	200/81	926/771	1 163/867
换流变二次侧避雷器	A2	—	84/79	1 107/553
换流阀避雷器	V1	—	496/585	1 108/702
	V2	—	278/36	625/434
	V3	32/28	316/804	498/821
12 脉动桥间避雷器	C1	—	17/17	281/299
上组 12 脉动桥间避雷器	C2	—	26/35	320/490
下组 12 脉动桥间避雷器	M1	—	12/42	213/413
直流线路避雷器	DL	—	—	1 106/308
中性母线避雷器	E1	293/931	994/2 240	1 622/2 720

通过计算避雷器能耗,并与参考值进行比较,可以判断是否出现交流系统甩负荷,从而确定是否闭锁直流。以下以±800 kV 直流特高压奉贤换流站为例进行分析,图 8 为奉贤站高端换流变进线区域接线。

2.1 保护信号

2.1.1 电压量

从高端换流变进线区域的电压互感器 TV3 出来的三相电压量经过换相电压计算器后得到换流阀网侧电压,取其最大值,经一定时间保持后滤波得到

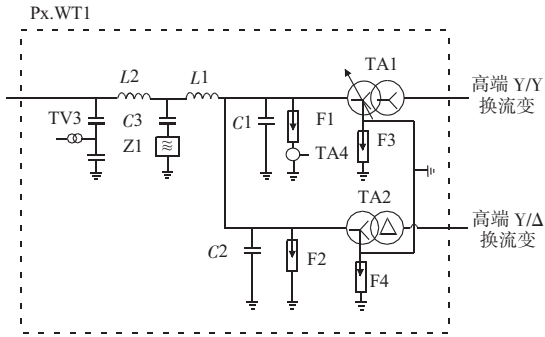


图8 奉贤站高端换流变进线区域接线

保护所需的电压量 U_{ac} 。

2.1.2 电流量

最后断路器保护所需的电流量来自高端换流变进线区域的电流互感器 TA4,该电流互感器用于测量流过避雷器 F1 的三相电流值。现场采集的数据通过 eTDM 总线到达保护主机后,经过滤波、取绝对值等处理,得到保护所需要的三相电流值 I_1, I_2, I_3 。

2.2 保护逻辑

2.2.1 能量积分

最后断路器保护按每相进行计算,以 A 相为例,当电压量 U_{ac} 超过电压定值 U_{high} (奉贤站为 460.0 kV) 时以及电流量 I_1 超过电流定值 I_{start} (奉贤站为 20.0 A) 时,选择器选通积分计算回路,将 I_1 与电压常数 U_{const} (奉贤站为 0.595 MV) 相乘,经积分器计算后与跳闸值 R_{trip} (奉贤站为 3.1 MJ) 进行比较,如果大于或等于跳闸值,就发 A 相最后断路器保护动作信号至总出口逻辑。图 9 为避雷器能量积分逻辑。

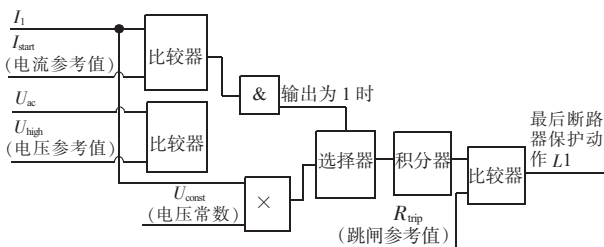


图9 能量积分计算逻辑

积分公式如下:

$$E_{L1} = E_{T-\Delta T} + \frac{\Delta T}{1\,000\,000} \times U_{const} \times I_1$$

其中: $E_{T-\Delta T}$ 为上一次积分的值; ΔT 为保护软件的中断周期,单位为 Tic, 1 Tic = 1 ms。

2.2.2 能量释放

最后断路器保护按每相进行计算,以 A 相为例,当电压量 U_{ac} 和电流量 I_1 中有一个或两个都小于定值时,开放能量释放计算。脉冲发生器每隔 1 000 Tic 就发出一次脉冲,由 0 变 1,进行一次能量释放计算。将避雷器散热常数 $R_{coolconst}$ (奉贤站为

1/3 600) 乘以 1 000 后与上次计算的积分值相乘并取负,经积分器计算后与跳闸值 R_{trip} (奉贤站为 3.1 MJ) 进行比较,如果大于或等于跳闸值,就发 A 相最后断路器保护动作信号至总出口逻辑。能量释放计算逻辑见图 10。

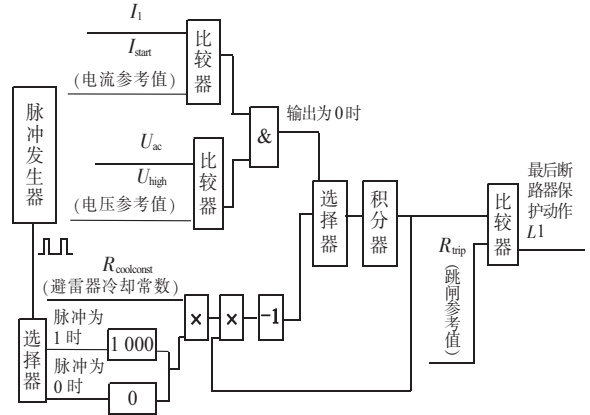


图10 能量释放计算逻辑

能量释放的积分方程如下:

$$E_{L1} = E_{T-\Delta T} \left(1 - \frac{\Delta T \times 1\,000}{1\,000\,000} \times R_{coolconst} \right)$$

2.2.3 出口逻辑

当同时满足以下条件时,最后断路器保护会出口:(1)任一相发最后断路器保护动作信号;(2) U_{ac} 大于电压定值 U_{high} (本条件起到联锁作用,防止保护误动);(3)最后断路器保护设置为可用;(4)换流站为逆变站;(5)没有收到闭锁最后断路器保护的信号。图 11 为特高压直流最后断路器保护出口逻辑。

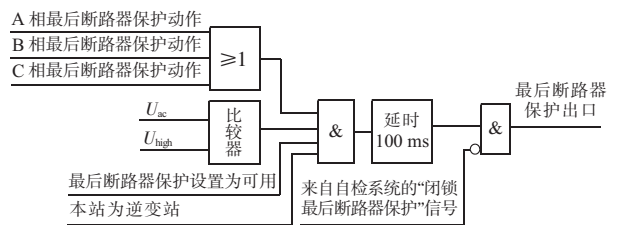


图11 特高压直流最后断路器保护出口逻辑

动作后果为:(1) Z 闭锁;(2)换流器隔离;(3)启动故障录波。

2.3 存在隐患

±800 kV 向家坝 - 上海直流工程是第一次采用避雷器动作特性作为最后断路器保护判据,相对于常规直流中采用的最后断路器保护设置,其更多地依赖一次设备的性能,因此对避雷器提出了更高的要求,必须要保证避雷器在交流甩负荷情况下的能耗能满足保护动作要求,使保护正确动作。在保护定值的设置上要考虑能躲开站内操作过电压,防止误动。由于避雷器存在个体差异,因此与其特性有关的定值,如散热常数等的设定也很重要。此外,在保护设置上还可能存在以下隐患:保护只采集高端换流

变进线区域的电压值以及避雷器电流值,如果高端换流变退出检修,出现一个完整极加一个 1/2 极运行的模式或者两个 1/2 极运行的模式时,将失去该极的最后断路器保护功能,从而带来安全隐患。

3 结束语

常规直流中的最后断路器保护主要检测断路器、隔离开关接点和线路电流,逻辑较为简单,在特殊情况下还可以修改定值,退出部分保护功能。但保护需要检测的环节较多,在特定工况下会出现动作后果不合理的情况。通过采取整改措施,可以进一步提高系统可靠性。特高压直流中的最后断路器保护采用计算避雷器能耗作为保护判据,需要检测的量比较少,但与一次设备的性能关系较紧密,其实际效果还需要经过系统调试和现场运行的检验。

在今后直流工程中应根据工程实际情况,综合考虑站内出线、电网潮流变化、设备可靠性等各种因素后,确定最后断路器保护的选型。

参考文献:

- [1] 赵晓君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2004.
[2] 蒋卫平,朱艺颖,吴娅妮,等. ± 800 kV 级直流工程过电压

研究[R].北京:中国电力科学研究院,2007.

- [3] 周静,马为民,石岩,等. ± 800 kV 直流输电系统的可靠性及其提高措施[J].电网技术,2007,31(3):7-12.
[4] 刘云,王明新,曾南超.高压直流输电系统逆变站最后断路器跳闸装置配置原则[J].电网技术,2006,30(6):35-40.
[5] 邓洁清,项巍.武南变最后断路器保护装置内部逻辑分析及优化[J].电力自动化设备,2008,28(7):121-123.
[6] 廖常初.PLC 基础及应用[M].北京:机械工业出版社,2004.
[7] 田庆.政平换流站最后断路器保护逻辑分析[J].水电能源科学,2009,27(1):177-179.
[8] 王华伟,蒋卫平,吴娅妮,等.云广 ± 800 kV 特高压直流工程逆变站最后断路器跳闸故障研究[J].电网技术,2008,32(18):06-09.

作者简介:

- 许卫刚(1977-),男,江苏常州人,工程师,从事高压直流系统的运行维护及管理工作;
张志宏(1975-),男,江苏常州人,工程师,从事高压直流系统的运行维护及管理工作;
单哲(1980-),男,湖北随州人,工程师,从事高压直流系统的运行维护及管理工作;
查申森(1980-),男,安徽芜湖人,工程师,从事变电站电气回路设计工作;
汪道勇(1981-),男,四川西昌人,工程师,从事高压直流系统的运行维护及管理工作。

Analysis of the Last Breaker Protection in UHVDC and Conventional HVDC Projects

XU Wei-gang¹, ZHANG Zhi-hong¹, SHAN Zhe¹, ZHA Shen-sen², WANG Dao-yong³

(1.Changzhou Power Supply Company, Changzhou 213003,China; 2.Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211102,China;3.State Grid Operation Company, Shanghai, 201708,China)

Abstract: The last breaker protection is usually installed in inverter station against the severe over-voltage caused by load shedding of AC system. A new last breaker protection design concept different from convention is adopted by ABB in ± 800 kV Xiangjiaba-Shanghai UHVDC project. The comparative analysis of the last breaker protection in UHVDC and conventional HVDC projects is pursued with protection signal acquisition, protection logic, safety hazard etc. The limits of the last breaker protection designed in HVDC project and problems possibly occur in UHVDC project are pointed out. Finally, the corresponding suggestion is also presented. The study is helpful to improve the reliability of existing HVDC projects, and is useful for the operation and maintenance of future UHVDC projects.

Key words: UHVDC; HVDC; the last breaker protection; overvoltage

(上接第 5 页)

Review on Handling Methods for Uncertain Unit Commitment

ZHAO Jin-quan, WANG Jing

(Energy & Electrical College, Hehai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: As the issue associated with uncertainty optimization in essence, the handling methods for uncertain unit commitment are becoming more and more important as a large number of renewable distributed power generation equipments represented by wind power are integrated into power grid. Three different technology including stochastic programming, fuzzy optimization and chance-constrained programming based on scheme tree are analyzed just from the aspects of essential data, the complexity of the calculation, the dependence of parameters and the solving methods. Since any of the three kinds of technology has its own advantages, choice may be made according to the actual situation.

Key words: unit commitment; uncertainty; stochastic programming; fuzzy optimization; chance-constrained programming