

直流融冰装置对贵州电网电压稳定性的影响研究

姚刚,石珂,胡吟,赵翔宇,宋弦,贺先强
(贵州电网有限责任公司电力调度控制中心,贵州 贵阳 550002)

摘要:目前,国内外电网均缺乏大规模应用直流融冰装置的实践经验,随着大量融冰装置的应用,对系统电压稳定性的影响已经不能忽略,在电网遭受到大面积严重覆冰灾害时,由于大量线路覆冰严重,为保证电网安全运行,需要同步进行融冰操作。在考虑电网安全约束、分区分层原则、线路分类以及气象因素等多约束条件下,以对更多线路进行不同类型的融冰。通过研究对实时运行系统中的可投运的融冰装置节点进行电压稳定性分析,给出现有实时融冰装置节点的电压强弱排序,为下一步研究直流融冰装置的优化调度策略打下基础,提高电压水平,改善电能质量,为已投运的直流融冰装置的无功管理提供具体策略,对构建坚强的智能电网,具有十分重要的理论意义和实用价值。

关键词:直流融冰;电压稳定裕度;脆弱度
文章编号:2096-4633(2018)06-0051-07 **中图分类号:**TM752 **文献标志码:**B

随着融冰装置的普遍应用,装置的投入对系统的影响已经不能忽略,因此对于融冰装置接入系统的稳定性研究也具有非常重要的意义^[1]。直流融冰技术将覆冰线路作为负载,加以直流电,通过电流加热导线的方式使覆冰融化,具有除冰效率高。可操作性行强等特点,是非常有效的融冰方法^[2-4]。

相对于交流融冰技术,直流融冰主要有以下优点:^[5-9]线路损耗小、可以限制短路电流、调节快速、运行可靠、实现对超高压线路进行融冰。随着融冰装置容量的不断增大,换流器运行时需要消耗大量的无功功率。额定功率下,通常换流器需要消耗的无功功率占融冰功率的40%~50%。为保证换流器的安全可靠运行,需保证无功功率的供给,但无功功率过剩或不足将直接造成交流电压的不稳定,严重时可能危及整个交、直流系统的安全稳定运行。所以保证换流器所需无功,限制无功过剩或不足的无功控制研究具有重要的理论意义和实用价值。

直流融冰技术是将交流转换为直流,在这个实现过程中,整流器是必不可少的一部分。由于触角 α 和换相角 μ 的存在,使得整流器交流侧的电流总是滞后电压,即整流器在运行中需要吸收无功功率。同时,整流器的功率因数 $\cos\varphi$ 与触发角 α 及换相角 μ 有关。随着触发角的增加,功率因数变小,整流器需要吸收更多的无功功率。整流器对于交流系统而言总是一种无功负荷。直流融冰装置接入系统时,

系统的无功功率特性和电压特性,以福泉变的无功、电压稳定仿真为例说明融冰给电力系统带来的无功和电压稳定的问题,并针对多条线路融冰情况下的电压稳定问题进行了分析。

1 直流融冰装置对电压稳定性的影响

由于融冰装置接入系统吸收系统的无功,无功负荷的增大,会导致节点电压降低,带来电压稳定的问题。其电压稳定性问题是负荷稳定性的一个重要方面。尽管电压失稳和电压崩溃是一个复杂的过程,但是可以通过一个简单的长线路终端接负荷的典型系统说明其发生和发展的机理,如图1所示。

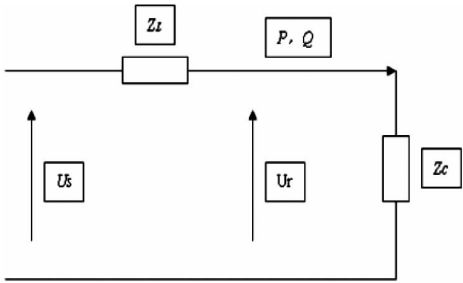


图1 典型电压稳定研究回路

Fig.1 Circuit of typical voltage stability research

图1所示为典型的电压稳定性研究回路,其中 U_s 为无穷大母线电压, U_r 为受端负荷母线电压, P 、 Q 分别为负荷吸收的有功和无功功率。实际发生电压崩溃的可能性取决于负荷特性,如果为刚性的恒

定功率负荷,如电动机负荷,电压崩溃会加剧;而电阻负荷具有软特性,即电压下降时其功率下降很快,所以减缓了电压崩溃的出现。

电压崩溃还可能在多回路并联输电的系统结构中发生,由于故障切除了三回并联线路中的一回路,使等值电抗增大,线路充电电容降低。从而使输电功率因数发生变化,线损增加。因此,系统可能发生电压不稳定。如果受端有发电机接入,且其与负荷中心的电气距离较近,联络阻抗小。当受端电压降低时,发电机无功出力会自动增大,起到支撑电压的作用。因此,可以允许输电线路送很少的无功功率。但是,通常受端发电机离负荷中心的电气距离仍较远,联络阻抗大。所以电压降低时,发电机的无功出力增加很小,这就要求在末端增加无功补偿。为了衡量一个系统的电压稳定性,常采用电压偏差、电压波动及闪变、电压正弦波畸变率以及频率偏差等指标来衡量其稳定性。针对此次贵州电网对于电压稳定的研究内容,我们将采用电压稳定裕度作为电压弱节点的判断指标^[10]。

2 电压稳定裕度指标

从系统给定运行状态出发,按照某种模式,通过负荷或传输功率的增长逐步逼近临界电压,则系统当前运行点到临界状态的电压距离称为电压稳定裕度。

2.1 电压稳定裕度计算方法^[11-12]

由于直流融冰装置投入使用之后主要消耗的是无功功率,因此在分析融冰时的电压稳定问题是,通过无功负荷的逐渐增长来使系统电压逐步逼近临界电压,找到临界点对应的临界电压值,即可计算到稳定裕度。计算融冰状态下部分节点电压稳定裕度的步骤为:

- (1) 选定线路进入融冰状态;
- (2) 将分析节点的无功负荷按照一定的步长增加,其他负荷节点功率保持不变;
- (3) 找到该节点电压失稳点,及节点的临界电压 V_a ;
- (4) 由公式计算得到该节点的电压稳定裕度 V_{mi} 。

通过计算,可以比较启动融冰装置前后电压稳定裕度的变化情况,分析单个节点的电压稳定裕度是否符合要求,并将其作为一个指标来对多个节点的脆弱性进行排序。

2.2 节点脆弱度排序法

在冰灾严重需要对多条线路进行融冰时,需制

定融冰策略,本部分在计算可投入直流融冰装置节点的电压稳定裕度之后,电压稳定裕度最小的节点便是弱节点。同时针对各个负荷节点,特别是可投入直流融冰装置节点按电压稳定裕度的大小进行排序,帮助调度人员制定融冰策略。节点电压脆弱度排序流程如图 2,步骤如下:

- (1) 计算直流融冰装置接入前系统的稳态潮流;
- (2) 采用无功增长的负荷增长方式,计算各节点从稳态到临界态积累的初始节点电压稳定裕度指标;
- (3) 确定第一个直流融冰装置接入点,断开融冰线路,令 $p=1$;
- (4) 计算第 p 个融冰装置接入后(或故障后)系统的稳态潮流与临界状态潮流;
- (5) 计算各节点从稳态到临界态积累的节点电压稳定裕度指标 V_{mi} ;
- (6) 按节点电压稳定裕度指标由大到小顺序对节点进行电压脆弱性排序;
- (7) 判断是否接入新的融冰装置,或是否将出现某种故障,如果是,令 $p=p+1$,跳到步骤(4);如果否,即达到搜索深度,则结束。

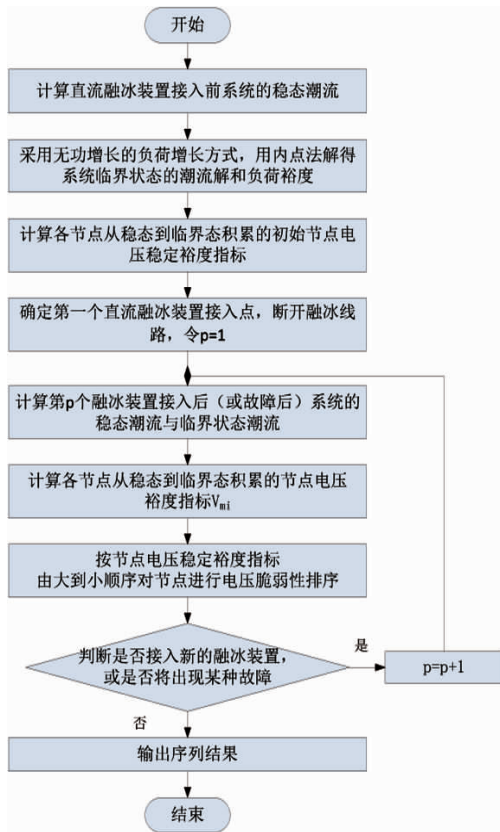


图 2 节点电压脆弱度排序流程

Fig. 2 Sorting process of node voltage vulnerability

根据节点电压脆弱性排序, V_{mi} 越大, 表示稳定运行点离崩溃点越远, 节点脆弱度越小; 反之, V_{mi} 越小, 则节点越脆弱。

脆弱节点需要配置无功补偿装置, 可以通过配置具有 SVC 功能模式的直流融冰装置, 既能实现对覆冰线路的融冰, 又能提供对节点的无功补偿。同时, 存在脆弱节点表明该组合融冰方式不可取。

3 直流融冰装置对贵州电网电压稳定的影响分析

本节通过分析在采用直流融冰装置对贵州电网多条线路进行融冰时, 各变电站的稳定裕度变化情况, 将稳定裕度作为对节点脆弱度排序的依据, 对选择的几条线路进行排序, 排序结果可应用于直流融冰优化调度排序的一个标准。^[13-17]

3.1 福泉变融冰装置对电压稳定性的影响

利用潮流程序对 2018 年典型大方式下福泉变电站融冰时对系统电压的影响进行分析, 计算时设定以下条件:

(1) 由于融冰装置本质上是个整流装置, 因此可以利用直流输电准稳态模型进行直流融冰装置有功、无功消耗的计算。

(2) 潮流计算时将融冰装置处理为一个静态负荷, 负荷中有功、无功的大小可根据融冰模型提前计算。

(3) 可以预计融冰装置的接入对系统电压影响较小, 因此, 在进行有功、无功消耗计算时, 母线电压考虑为额定电压。

(4) 忽略整流桥的有功消耗, 忽略整流变压器的有功、无功消耗。

考虑 500 kV 线路融冰断线的工况, 可以计算得到在福泉变电站增加无功负荷情况下的电压稳定裕度。

工况 A: 福青线融冰。可以得到 500 kV 福泉变 500 kV 侧母线电压随负荷增加而变化的关系图如图 3 所示。

由图 3 可知, 当福青线融冰时, 500 kV 福泉变的失稳临界电压为 310.30 kV。由此可见, 在融冰装置启动前后, 电压稳定裕度会由 41.35% 下降至 41.10%。

工况 B: 福施线与施铜线串联融冰。可以得到

福泉 500 kV 变电站 500 kV 侧母线电压随负荷增加而变化的关系图如图 4 所示。

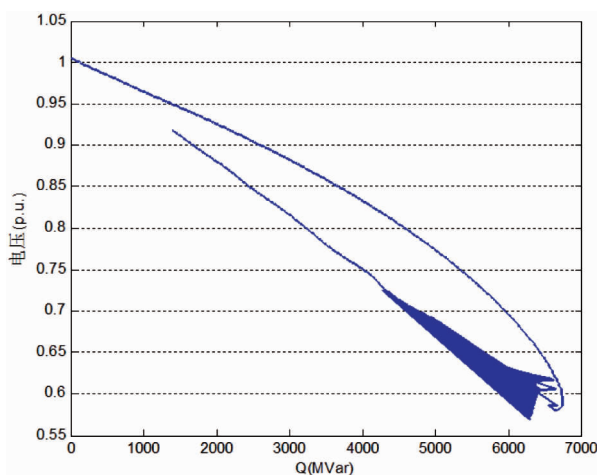


图3 福青线融冰时福泉变电站 Q—V 曲线

Fig.3 The Q-V curve of Fuquan substation when Fuqing line melts.

由图 4 可知, 当福施线与施铜线串联融冰融冰时, 500 kV 福泉变的失稳临界电压为 304.5 kV。由此可见, 在融冰装置启动前后, 电压稳定裕度会由 42.44% 下降至 42.03%。

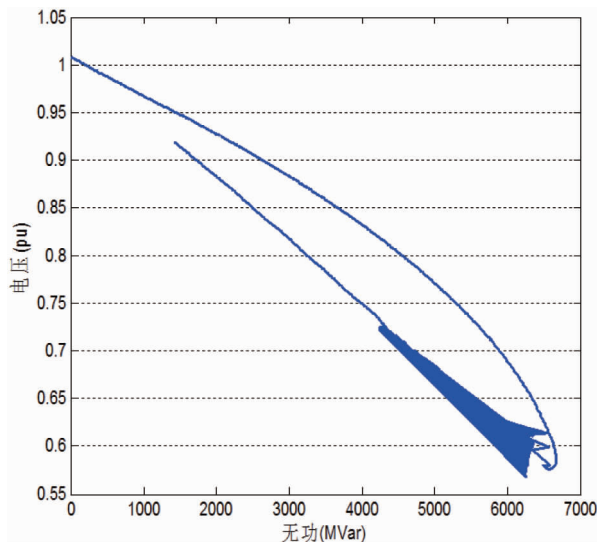


图4 福施线与施铜线串联融冰时福泉变电站 Q—V 曲线

Fig.4 The Q-V curve of Fuquan substation when Fuqing line and Shitong line series of melting ice

工况 C: 醒福线与贵醒线串联融冰。可以得到 500 kV 福泉变 500 kV 侧母线电压随负荷增加而变化的关系图如图 5 所示。

由图 5 可知, 当醒福线与贵醒线串联融冰融冰时, 500 kV 福泉变的失稳临界电压为 307.965 kV。由此可见, 在融冰装置启动前后, 电压稳定裕度会由

41.79% 下降至 41.35%。

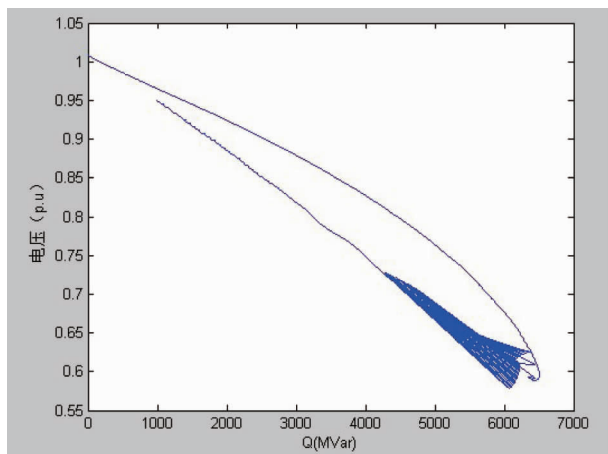


图 5 福施线与施铜线串联融冰时福泉变电站 Q—V 曲线
Fig. 5 The Q-V curve of Fuquan substation when Fushi line and Shitong line series of melting ice

通过分析,得出如下结论:

(1)在 2018 年典型小方式下,在福泉变电站进行单点融冰,不会对系统的电压产生太大的影响,在不投入无功补偿设备的情况下,福泉变 500 kV 侧电压最多下降 4.0 kV,220 kV 侧电压最多下降 3.1 kV,而 35 kV 侧电压最多下降 0.83 kV。虽然下降幅值可控,但在恶劣的运行条件下电压会下降更多,即使暂时保持稳定,在进一步遭受其他断线故障时,极容易引发电压崩溃。

(2)在 2018 年典型小方式下,在福泉变电站进行单点融冰,系统的电压稳定裕度会降低,但变化不大,福泉变电站的电压稳定裕度最低下降至 41.1%。虽然下降幅值可控,但稳定裕度的降低,会导致系统的可靠性降低,使电网结构变得脆弱,故在融冰时仍然应保证无功补偿量。

3.2 无功补偿容量需求

由上文计算可知,当在福泉变电站单点进行直流融冰时,系统电压不会受到严重的影响。但是,根据无功就地补偿的原则,依然建议在福泉 500 kV 变电站就地对直流融冰装置消耗的无功进行补偿。当利用直流融冰装置对 500 kV 线路进行融冰操作时,最大的无功需求量为 61.08 Mvar,而对 220 kV 线路进行融冰操作时,最大的无功需求量为 29.89 Mvar。

根据《500 kV 福泉变直流融冰装置 SVC 功能的控制方案报告》,福泉变电站为直流融冰装置配置的滤波器基波容量总共为 18.74 Mvar,无法完全满足直流融冰的需求,需要借助本地原有的无功补偿

装置。

经调研,福泉变电站本身装配的电容数量为 8 组,每组容量 6 Mvar。因此,可以算得福泉站的容性无功装配容量为 66.74 Mvar,应该可以满足需求。

在无功补偿配合方面,可以考虑采用以下的方式:

(1)当对 500 kV 线路融冰,融冰电流达到 1 kA,或者对 220 kV 线路融冰,融冰电流达到 0.5kA 时,建议投入 11/13 次谐波滤波器,在滤除谐波的同时,实现无功补偿。

(2)当对 500 kV 线路融冰,融冰电流达到 2 kA,或者对 220 kV 线路融冰,融冰电流达到 1 kA 时,建议同时投入 5、7、11、13 次谐波滤波器,在滤除谐波的同时,实现无功补偿。

(3)当对 500 kV 线路融冰,融冰电流达到 3kA,或者对 220 kV 线路融冰,融冰电流达到 1.5 kA 时,在投入所有滤波器的同时,利用本地的无功补偿装置进行无功潮流调节。

3.3 多个直流融冰装置接入贵州电网的电压稳定问题

在最小运行方式下对 500 kV 线路同时投入四台直流融冰装置,融冰线路分别为黔西电厂—息烽站(单回)、息烽站—贵阳站(单回)、贵阳站—安顺站(单回)、安顺站—青岩站(单回),若同时对这四回线路进行融冰,分别计算各个站的电压稳定裕度。

四回线路同时融冰时,500 kV 息烽变 500 kV 侧母线电压随负荷增加而变化的关系图如图 6 所示。

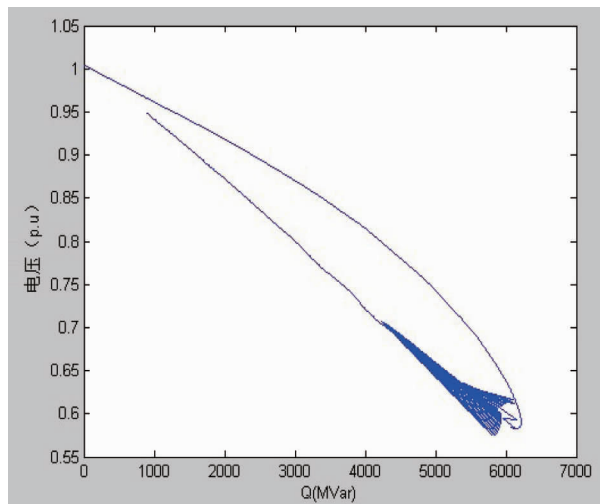


图 6 四条线路融冰时息烽变电站 Q—V 曲线
Fig. 6 The Q-V curve of Xifeng substation when four lines melt ice

由图 6 可知,四条线路同时融冰时,息烽 500 kV 变电站的失稳临界电压为 297.97 kV。由此可见,在融冰装置启动后,电压稳定裕度为 40.40%。

四回线路同时融冰时,贵阳 500 kV 变电站 500 kV 侧母线电压随负荷增加而变化的关系图如图 7 所示。

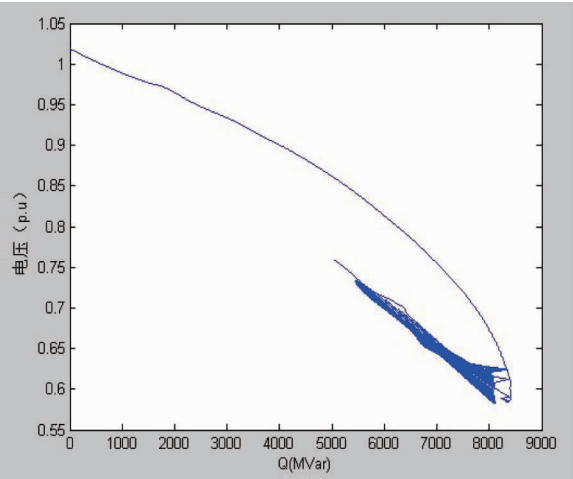


图 7 四条线路融冰时贵阳变电站 Q—V 曲线

Fig. 7 The Q-V curve of Guiyang substation when four lines melt ice

由图 7 可知,四条线路同时融冰时,500 kV 贵阳变的失稳临界电压为 295.47 kV。由此可见,在融冰装置启动后,电压稳定裕度为 40.90%。

四回线路同时融冰时,500 kV 安顺变 500 kV 侧母线电压随负荷增加而变化的关系图如图 8 所示。

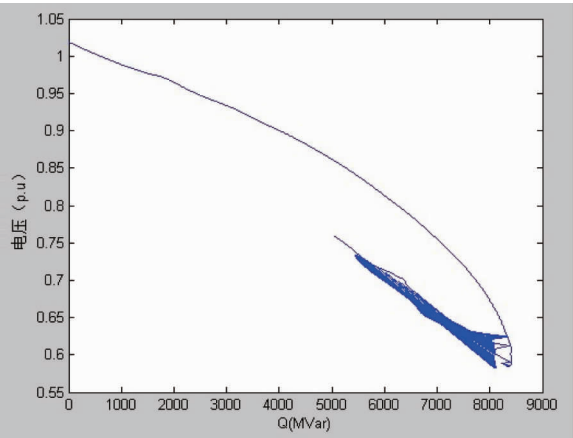


图 8 四条线路融冰时安顺变电站 Q—V 曲线

Fig. 8 The Q-V curve of Anshun substation when four lines melt ice

由图 8 可知,四条线路同时融冰时,安顺 500 kV 变电站的失稳临界电压为 303.89 kV。由此可见,在融冰装置启动后,电压稳定裕度为 39.22%。

四回线路同时融冰时,青岩 500 kV 变电站 500 kV 侧母线电压随负荷增加而变化的关系图如图 9 所示。

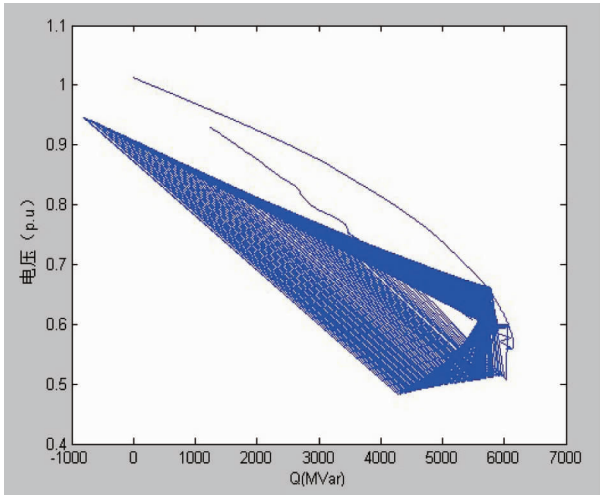


图 9 四条线路融冰时青岩变电站 Q—V 曲线

Fig. 9 The Q-V curve of Qingyan substation when four lines melt ice

由图 9 可知,四条线路同时融冰时,500 kV 青岩变的失稳临界电压为 284.07 kV。由此可见,在融冰装置启动后,电压稳定裕度为 43.18%。

通过分析可知,在需同时针对这四条线路进行融冰时,各 500 kV 变电站的电压稳定裕度从大到小排序依次为:青岩站 > 贵阳站 > 息烽站 > 安顺站,即在融冰时青岩变电站能承受的冲击更大,稳定性最好,在融冰时应优先考虑青岩站—安顺站(单回),其次是贵阳—息烽,然后是息烽—黔西电厂,最后是贵阳—安顺站。通过本文所采用的方法,可以对多条融冰线路进行电压稳定裕度排序,稳定裕度越大,在融冰时越优先,该顺序可应用于贵州电网的直流融冰优化调度决策中。

4 结语

目前融冰工作效率低、融冰装置配置有待优化等问题制约了直流融冰装置在抵御电网大面积冰灾方面作用的发挥,随着融冰装置的普遍应用,装置的投入对系统的影响已经不能忽略,需要深入加以研究。针对直流融冰装置接入系统运行所产生的影响,本文研究了直流融冰装置对系统的电压稳定性影响及基于节点静态能量裕度指标的节点电压脆弱度排序。以贵州电网 2018 年典型大方式下福泉变电站对 500 kV 线路融冰为算例,计算分析了直流融

冰对系统电压的影响及无功补偿装置的投切策略,为融冰调度决策提供部分参考数据。

本文通过研究直流融冰过程中对电力系统的无功和电压稳定性的影响,在此理论上,针对某一变电站进行直流融冰仿真分析,发现直流融冰过程消耗的无功是不可忽视的^[18-20],由于无功问题会进一步引起电压稳定性问题,故继续分析了贵州电网内单个变电站进行融冰时的电压稳定性变化,采用无功增长的方式计算节点电压稳定裕度,将其作为判断节点脆弱性的指标,在针对多条线路融冰时,用于对各节点进行脆弱度排序,将排序结果作为贵州电网实际直流融冰顺序决策的一个指标来考虑。

参考文献:

- [1] 程改红,康义. 直流融冰装置应用对电力系统运行影响[J]. 南方电网技术,2014,8(05):47-50.
CHENG Gaihong, KANG Yi. Impact of DC deicer installation upon power system operation[J]. Southern Power System Technology, 2014, 8(05): 47-50.
- [2] HORWILL C, DAVIDSON C C, GRANGER M, et al. An application of HVDC to the de-icing of transmission lines[C]//Proceedings of IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, Dallas: TX, USA, 2006.
- [3] WALKER G R, SERNIA PC. Cascaded DC-DC converter connection of photovoltaic modules[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2004, 19(04): 1130-1139.
- [4] HUNEAULT M, LANGHEIT C, BENNYJ, et al. A dynamic programming methodology to develop deicing strategies during ice storms by channeling load currents in transmission networks[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2005, 20(02): 1604-1610.
- [5] 陆佳政,朱思国,李波,等. 兼具无功补偿与有源滤波功能的新型融冰装置[J]. 高电压技术,2016,42(07):2207-2214.
LU Jiazheng, ZHU Siguo, LI Bo, et al. State key laboratory of disaster prevention and reduction for power transmission equipment[J]. High Voltage Engineering, 2016, 42(07): 2207-2214.
- [6] 李妍红,王奇. 500 kV 独山变电站直流融冰兼 SVC 装置经济运行研究[J]. 电力电容器与无功补偿,2012,33(06):9-16
LI Yanhong, WANG Qi. Research on economic operation of DC De-icer and SVC device in 500 kV Dushan substation[J]. Power Capacitors, 2012, 33(06): 9-16.
- [7] 刘豪,周海. 直流融冰兼 SVC 装置技术应用研究[J]. 贵州电力技术,2014,17(08):6-7.
LIU Hao, ZHOU Hai. The application research of DC melting ice and SVC devices technique[J]. Guizhou Electric Power Technology, 2014, 17(08): 6-7.
- [8] 赵国帅,李兴源,傅闯等. 线路交直流融冰技术综述[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(14):148-154.
ZHAO Guoshuai, LI Xingyuan, FU Chuang, et al. Overview of de-icing technology for transmission lines[J]. Relay, 2011, 39(14): 148-154.
- [9] 巢亚锋,杨力,彭晓亮等. 输电线路覆冰特点及防冰技术研究综述[J]. 高压电器,2014,50(10):131-138.
CHAO Yafeng, YANG Li, PENG Xiaoliang, et al. Review of the researches on icing characteristics of transmission lines and anti-icing technologies[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(10): 131-138.
- [10] 丁少倩,林涛,徐遐龄等. 基于电压稳定裕度的电网状态脆弱性评估方法研究[J]. 电测与仪表,2016,53(09):62-66.
DING Shaoqian, LIN Tao, et al. Research on vulnerability assessment method of grid state based on voltage security margin[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2016, 53(09): 62-66.
- [11] 林涛,范杏元,徐遐龄. 电力系统脆弱性评估方法研究综述[J]. 电力科学与技术学报,2010,25(04):20-24.
LIN Tao, FAN Xingyuan, XU Xialing. Summary of power system vulnerability assessment methods[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2010, 25(04): 20-24.
- [12] 谢春瑰,方菲,吕项羽,等. 电网脆弱性评估方法研究[J]. 电网与清洁能源,2013,29(05):35-38.
XIE Chunguil, FANG Fei, LV Xiangyu, et al. Research on power grid vulnerability assessment methods[J]. Power System and Clean Energy, 2013, 29(05): 35-38.
- [13] 阮启运,顾雪平,陆佳政,等. 湖南电网 220 kV 线路直流融冰问题研究[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(09):131-136.
RUAN Qiyun, GU Xueping, LU Jiazheng, et al. Study on problem of DC ice-melting of the Hunan 220 kV power grid[J]. Relay, 2011, 39(09): 131-136.
- [14] 胡毅. 电网大面积冰灾分析及对策探讨[J]. 高电压技术,2008,34(02):215-219.
HU Yi. Analysis and countermeasures discussion for large area icing accident on power grid[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(02): 215-219.
- [15] 马晓红,赵立进,李巍,等. 直流融冰技术在贵州电网的应用[J]. 南方电网技术,2009,3(05):107-110.
MA Xiaohong, ZHAO Lijin, LI Wei, et al. Application of DC based De-icing technology in Guizhou power grid[J]. Southern Power System Technology, 2009, 3(05): 107-110.
- [16] 陈亦平,刘文涛,和识之,等. 直流融冰装置在南方电网的应用分析[J]. 南方电网技术,2011,5(04):74-77.
CHEN Yiping, LIU Wentao, HE Shizhi, et al. Analysis on the Application of DC deicer in China Southern power grid[J]. Southern Power System Technology, 2011, 5(04): 74-77.
- [17] 杨刚,杨奇逊,张涛等. 直流融冰及无功功率补偿系统研究[J]. 中国电力,2016,49(01):119-126.
YANG Gang, YANG Qixun, ZHANG Tao, et al. Research on DC

deicing and reactive power compensation system [J]. Electric Power,2016,49(01) :119 – 126.

[18] 申屠刚,程极盛,江道灼等. 500 kV 直流融冰兼动态无功补偿系统研发与工程试点[J]. 电力系统自动化,2009,33(23): 75 – 80.

SHENTU Gang, CHENG Jisheng, JIANG Daozhuo, et al. Research and pilot project of DC deicer-SVC system for 500 kV transmission lines [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009,33(23): 75 – 80.

[19] 王敦青,张厚荣,罗望春,等. 强寒潮下超高压输电线路直流融冰效果差异分析[J]. 广东电力,2016,29(12):110 – 114.

WANG Xiaoqing, ZHANG Hourong, LUO Wangchun, et al. Analysis on differences in DC de-icing effects on EHV power transmission lines under strong cold wave weather[J]. Guangdong Electric Power,2016,29(12):110 – 114.

[20] 李伟,马佳等. 在精细化气象要素下输电线路覆冰预测预警研究[J]. 电力大数据 2018,20(02):1 – 7.

LI Wei, MA Jia, et al. Research on prediction and warning of overhead line icing under refined meteorological elements [J]. Power Systems And Big Data,2018,20(02):1 – 7.

收稿日期:2018 – 05 – 15

作者简介:



姚 刚(1980)男,硕士,工程师,主要从事电力系统调度运行与控制,新能源和电网规划等研究。

(本文责任编辑:范 斌)

Research on the influence ofDC ice-melting devices on voltage stability
of Guizhou power grid

YAO Gang,SHI Ke,HU Yin,ZHAO Xiangyu,SONG Xiang,HE Xianqiang

(Power Dispatching and Control Center of Guizhou Power Grid Co. ,Ltd. ,Guiyang 50002 GuiZhou,China)

Abstract: At present,domestic and foreign power grids lack the practical experience of applying DC ice-melting devices in large-scale applications. With the application of a large number of DC ice-melting devices, the impact on system voltage stability cannot be ignored. When the power grid was subjected to large-scale severe ice-covering disasters,a great number of line were severely covered with ice, and in order to ensure the safe operation of the power grid, ice melting operations must be performed simultaneously. Considering the safety constraints of the power grid, the principle of stratified zoning, line classification and meteorological factors and other constraints,different types of ice melting would be carried out for more lines. Through studying the voltage stability analysis of the operational ice-melting devices nodes in the real-time running system,the voltage strength of the existing real-time ice-melting device nodes was sorted,which lays the foundation for further research on the optimal scheduling strategy of DC ice-melting devices. Improving voltage levels,ameliorating power quality,providing specific strategies for the reactive power management of DC ice-melting devices that have been put into operation. It is of great theoretical and practical value to build a strong smart grid.

Key words:DC ice-melting;voltage stability margin analysis;vulnerability