

DOI:10.12158/j.2096-3203.2019.06.021

## 新一代 300 Mvar 调相机失磁运行特性及保护研究

刘春晖, 钱文晓, 杨朋威, 张平, 杜智超, 陈更

(国网内蒙古东部电力有限公司电力科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘要:**针对新一代 300 Mvar 调相机目前无实际的失磁运行数据支撑失磁保护的投退策略及定值整定,文中通过开展新一代调相机启动调试过程中失磁保护试验获得的关键数据,研究了失磁保护在调相机启动阶段及运行阶段失磁保护相应的定值调整及保护投退策略,详细阐述了新一代调相机启动调试工程中的失磁试验方法,并介绍了失磁试验过程中所需的实验条件。结合调相机额定进相运行工况、完全失磁运行工况下的实验,得到新一代调相机的最大进相深度及两种工况下的励磁电流、机端电压,并给出失磁保护励磁低电压定值建议整定值及启动阶段和运行阶段的失磁保护各段的投退策略,为今后投产的调相机提供参考。

**关键词:**300 Mvar 调相机;启动调试;失磁试验;失磁保护;定值整定

**中图分类号:**TM772

**文献标志码:**A

**文章编号:**2096-3203(2019)06-0154-06

### 0 引言

随着特高压交直流输电技术的发展及电力电子设备的大量应用,各区域电网运行特性发生较大变化,交直流电网混联、直流送端电网电压稳定问题日益突出。交流系统故障引起受端直流换相失败,受端直流换相失败传导致使受端交流故障进一步加重,大规模直流接入导致系统的动态无功补偿能力不足,送端、受端电网的电压稳定性和无功动态平衡等问题受到国内外专家学者的广泛关注。

电力系统的无功电源主要包括同步调相机、并联电容器、电抗器和静止补偿器等装置。文献[1—4]从运行原理、响应特性及应用实例仿真等多个角度出发,比较了新一代大容量调相机与目前电网中应用较多的静止无功补偿器(static var compensator, SVC)、静止同步补偿器(static synchronous compensator, STATCOM)一类基于电力电子技术的动态无功补偿装置之间的差异。对比分析的结果表明,新一代调相机具有更强的动态无功支撑能力与暂态电压调节能力,更适合于我国当前特高压直流工程输送容量大、送端短路容量不足、受端多回直流集中馈入下电压支撑能力不足的电网结构特点<sup>[5—8]</sup>。

同步调相机对于大电网系统中受电端、送电端的无功不足和过剩都可动态补偿,可加强系统的无功储备,维持电压和系统稳定。其调节范围可滞后/可超前(滞相/进相),能发出或吸收感性无功。作为同步旋转设备,同步调相机可向系统提供短路

容量,也可以通过强励提供动态电压支撑<sup>[9—11]</sup>。目前缺乏大容量调相机异常运行特性的分析研究,其继电保护配置方案及原理也为起步阶段,现 GB/T 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》(以下简称“规程”)里没有专门的调相机保护内容。1993 老版规程对调相机保护的部分要求为“可参照同容量、同类型发电机保护的规定装设保护”<sup>[12]</sup>。

文中通过介绍换流站内新一代 300 Mvar 调相机启动调试阶段开展的失磁试验,从理论上分析了调相机在过励磁、欠励磁、失磁情况下的运行状态,根据失磁保护试验数据研究了调相机失磁保护的配置方案及定值整定方法,为今后调相机工程提供借鉴。

### 1 调相机工作原理

调相机主要由调相机本体、励磁系统(图 1 蓝色虚线框)、升压变压器、静止变频启动系统(static frequency converter, SFC)(图 1 红色虚线框)、冷却系统、油系统和控制保护系统共 7 部分组成,如图 1 所示。新一代 300 Mvar 调相机采取隐极机,自并励磁方式,调节速度快,调节容量大。

调相机是一种接在电网上空载运转、用于动态调整系统无功功率的同步电机,在稳定运行期间既无原动机拖动,转子大轴也不驱动任何机械负载。在电网电压波动的情况下,调相机的自动电压调节器(automatic voltage regulator, AVR)能够快速自动调节其励磁电流大小,向电网提供无极连续变化的无功功率。

调相机的无功功率调节方式与同步发电机的类似。调相机励磁电流  $I_f$  和调相机电枢电流  $I$  的关

收稿日期:2019-06-26;修回日期:2019-08-19

基金项目:国家电网有限公司总部科技项目“含 UPFC 的多 FACTS、调相机与直流输电系统相互影响及协调控制技术研究”

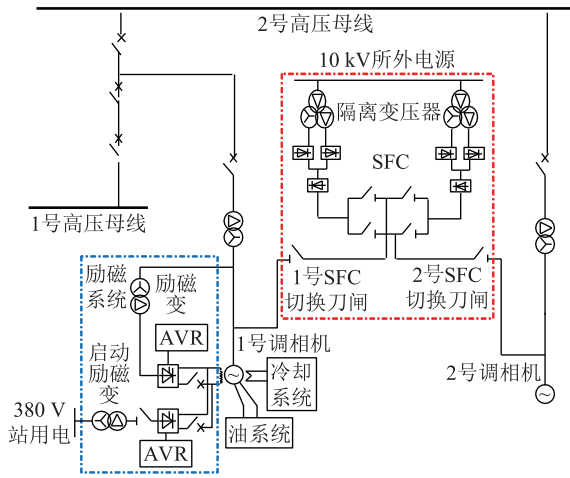


图1 新一代300 Mvar调相机系统

Fig.1 System diagram of new generation 300 Mvar synchronous condenser

系曲线如图2所示,对于 $\cos\varphi = 1$ 这点的电枢电流最小,全部为有功功率,理想运行工况下调相机有功功率为0。 $\cos\varphi = 1$ 的右侧,调相机处于过励磁状态,定子电流超前定子电压,调相机输出感性无功功率;  $\cos\varphi = 1$ 的左侧,调相机处于欠励磁状态,定子电流滞后定子电压,调相机输出容性无功功率。维持调相机运行工况电磁功率 $P_{em} = 0$ ,通过调节励磁电流 $I_f$ ,改变调相机的电枢电流和功率因数,使调相机的无功功率的大小和性质得以改变<sup>[13]</sup>。

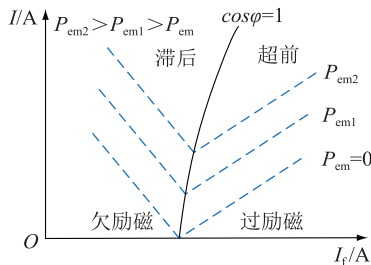


图2 调相机励磁电流调节曲线

Fig.2 Excitation current regulation curve of synchronous condenser

## 2 调相机失磁运行特性分析及保护原理

### 2.1 调相机失磁运行特性

调相机的同步电磁功率由基本分量、附加分量两部分构成,励磁电流产生电磁功率的基本分量以及磁阻功率为电磁功率的附加分量与励磁电流无关<sup>[14-15]</sup>,在失磁状态下(即励磁电流消失后)仍存在<sup>[16-18]</sup>。理论上隐极调相机直轴、交轴同步电抗相同,实际由于生产制造的误差以及转子大小齿的不同,会存在着直轴同步电抗大于交轴同步电抗(即 $X_d > X_q$ )的情况。同时,调相机无原动机驱动、不带负载,制动转矩及其他损耗很小,附加分量对应

的电磁功率较制动功率要大,附加分量的电磁转矩足以驱动调相机保持同步转速;另一方面,调相机剩磁建立的同步转矩一定程度上也会使调相机保持同步运行。综上,调相机具备一定失磁状态下的同步运行能力<sup>[19-21]</sup>。

调相机失磁运行的实质为其欠励运行的极限,此时调相机吸收系统无功功率达到最大值。考虑调相机失磁后对系统产生最严重影响的运行工况,失磁前调相机向系统稳定输出最大无功 $Q_1$ (对于新一代调相机为300 Mvar,过励状态),调相机完全失磁后从系统中吸收无功 $Q_2$ ,这样系统无功会出现 $Q_1 + Q_2$ 的缺额,系统电压可能下降。失磁保护可在励磁系统发生故障时动作切除故障,同时一定程度上消除调相机失磁对系统无功、电压的影响<sup>[22-28]</sup>。

### 2.2 调相机失磁保护配置

调相机失磁运行是由于调相机励磁异常下降或消失而引起的不正常运行工况。调相机失磁后转子出现转差,定子电流增大,定子电压下降,无功功率反向并逐渐增大。

目前各保护设备厂家用于失磁保护的判据包括励磁低电压判据、交流母线电压判据、逆无功判据以及若干闭锁判据,防止失磁保护在系统振荡、电压二次回路断线等情况下误动。调相机电压取自调相机机端电压互感器,调相机电流取自调相机机端电流互感器。

(1) 励磁低电压判据。励磁低电压判据的动作方程为:

$$U_f < U_{f.set} \quad (1)$$

式中:  $U_f$  为励磁电压;  $U_{f.set}$  为励磁低电压定值。

(2) 母线低电压判据。为了避免由于调相机失磁导致系统电压崩溃等情况,保护设有母线低电压判据,动作方程为:

$$U_m < U_{m.set} \quad (2)$$

式中:  $U_m$  为母线电压;  $U_{m.set}$  为母线低电压定值(线电压)。母线低电压判据受调相机升压变高压侧电压互感器断线闭锁。

(3) 逆无功判据。调相机失磁后,必然出现逆无功,并且在整个失磁过程中,无功始终为负值,故可利用此判据检测失磁。该判据为:

$$Q < Q_{set} \quad (3)$$

$Q_{set}$  的整定要考虑躲开调相机的进相运行区间。逆无功判据受调相机机端电压互感器断线闭锁。

此外,不同设备厂家为提高调相机失磁保护动作的可靠性和灵敏性,在上述判据的基础上增加了

闭锁判据和其他判据。

A 型号调相机变压器组保护装置增设了调相机未并网闭锁和负序电压闭锁 2 个判据,提高了失磁保护动作的可靠性。在调相机并网以前的升速升压过程中及解列后的降速降压过程中,为保证低励失磁保护不误出口,失磁保护仅在调相机并网运行期间投入,当调相机未并网时闭锁失磁保护。负序电压闭锁的判据为:  $U_2 > U_{2.set}$ , 负序电压定值  $U_{2.set}$  保护装置内部固定为  $0.06U_n$  ( $U_n$  为保护装置额定输入相电压,  $100/\sqrt{3}$  V)。当判据满足时,瞬时闭锁失磁保护,经 8~10 s 自动返回,解除闭锁。该判据的设置是为了避免非失磁的异常工况下失磁保护误动。

B 型号调相机变压器组保护装置为了提高失磁 I 段的响应灵敏度,额外增设机端低电压判据,与母线低电压判据相“或”置失磁 I 段低电压满足条件。为避免失磁 II 段在系统无功过剩,电压处于高位运行情况下过早切除机组,额外增设母线高电压判据,母线电压大于高电压定值时失磁 II 段仅告警。

### 3 调相机失磁运行对系统及主设备的影响分析

#### 3.1 调相机失磁试验

通过调相机失磁试验可以验证调相机进相运行能力,校核调相机失磁对系统及调相机主设备的影响,并为调相机失磁保护定值整定提供依据,验证调相机完全失磁工况下的运行能力。试验流程如图 3 所示,实验条件如下:

(1) 将调相机变压器组保护的失磁保护 I 段、II 段告警控制字置 1,失磁保护 I 段、II 段跳闸控制字置 0;

(2) 试验过程中 500 kV 母线电压不低于或高于电网调度允许的电压上下限值;

(3) 试验过程中调相机定子端部结构件(定子压指、压圈、铜屏蔽)温度不超过  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,定子铁芯不超过  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

(4) 试验过程中不允许调相机长时间异步运行,调相机转速不低于  $2\ 940\text{ r/min}$ ,如果调相机进入异步运行状态,立即手动解列停机。

换流站内 500 kV 母线电压维持在 523 kV,表 1 为调相机手动调节励磁电流试验结果,分别为调相机在 0, -75 Mvar, -150 Mvar 及励磁电流减至最低 4 个工况下测量所得。由表 1 可见,调相机在额定进相工况下,进相深度为 -150 Mvar,此时励磁电压为 10.81 V,励磁电流为 90.33 A,调相机各项参数无异

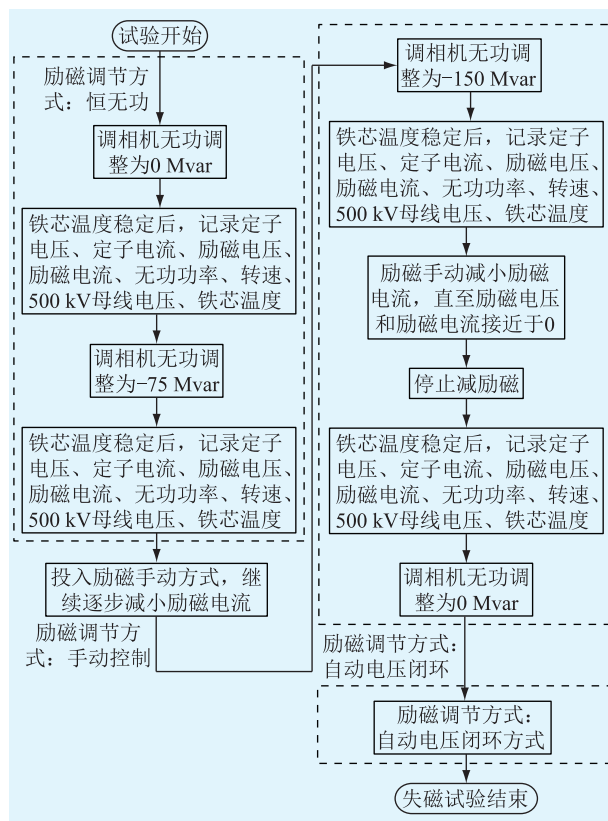


图 3 调相机失磁试验流程

Fig.3 Flow chart of loss-of-excitation protection test for synchronous condenser

常可以稳定运行;采用手动减励磁的方式,当励磁电流减至最小,调相机完全失磁工况下,进相深度为 -168.52 Mvar,此时励磁电压为 0.02 V,励磁电流为 2.53 A。

表 1 调相机手动调节励磁电流试验结果

Table 1 Test results of manual regulation of excitation current for synchronous condenser

励磁电流/A	励磁电压/V	无功功率/Mvar	机端电压/kV
2.53	0.02	-168.5	18.818
3.26	0.01	-168.3	18.815
90.21	10.45	-152.2	18.908
90.33	10.81	-152.1	18.910
490.39	53.56	-77.3	19.359
492.48	53.99	-76.9	19.369
863.14	93.53	-3.01	19.487
863.38	92.93	-3.21	19.488

#### 3.2 调相机失磁试验结果及保护分析

目前在运调相机变压器组保护的失磁保护定值除失磁 II 段励磁低电压定值、逆无功功率 II 段百分比 2 个定值需整定,其余定值均已在装置中固化。

(1) 失磁保护 I 段机端低电压。根据换流站建模仿真,在指定 500 kV 母线电压下限值为 515 kV 和调相机无功出力额定工况 (-150 Mvar) 情况下,

仿真可得机端电压一二次值,如表2所示。

表2 调相机机端电压值

Table 2 Terminal voltage of synchronous condenser

参数	数值
变压器变比	530/20
机端电压/kV	17.8
机端电压二次值/V	89.0

根据表2仿真结果可知,在调相机额定无功出力 $Q = -150$  Mvar、母线电压为515 kV的工况下,机端电压为17.80 kV( $0.89U_e$ ,  $U_e$ 为调相机机端额定电压,20 kV),调相机机端低电压判据为 $U_g < U_{g.set}$ ,机端低电压定值 $U_{g.set}$ 装置固化为 $0.9U_e$ ,机端电压仿真结果低于机端低电压动作定值,上文提到的B保护机端低电压判据满足,该套失磁保护将动作。

实际考虑到机端低电压最大返回系数1.05,实际机端电压只要小于 $0.945U_e$ ,在区外故障扰动时可能使机端低电压开放失磁保护I段动作。

(2) 失磁保护II段励磁低电压定值。一般电压保护定值整定可参照式(4):

$$U_{op} = \frac{K_f}{K_{rel}} U_z \quad (4)$$

式中: $K_{rel}$ 为可靠系数,取1.2~1.5; $K_f$ 为返回系数,取1.0~1.05; $U_z$ 为实测励磁电压下限,由表1试验结果得到励磁电压下限为10.81V。

当 $K_{rel}$ 取1.5、 $K_f$ 取1.05时, $U_{op}$ 为7.6V,试验期间临时整定定值为15V,励磁电压下限值显著低于整定值,失磁保护II段励磁低电压原件在调相机深度进相的情况下可能动作。

## 4 结论

整个调相机失磁保护试验过程调相机安全稳定运行,测试过程中调相机失磁相关电气量和非电气量在正常范围内,无异常情况发生。结合试验中所测得关键数据得出以下结论。

(1) 调相机在额定进相工况下,进相深度为-150 Mvar,励磁电压为10.81V,励磁电流为90.33A,调相机各项参数无异常可以稳定运行;

(2) 采用手动减励磁的方式,当励磁电流减至最小,调相机完全失磁工况下,进相深度为-168.52 Mvar,此时励磁电压为0.02V,励磁电流为2.53A。期间,调相机安全稳定运行,各项电气参数正常,调相机定子铁芯和结构件温度未超过限定值,因此新一代调相机最大进相深度为-168.52 Mvar。

(3) 建议失磁保护定值参考本次试验结果并结合实际运行需求进行整定,调相机失磁保护励磁低

电压定值建议整定值不大于7.6V。另外建议在失磁保护试验期间失磁保护II段控制字置告警,一方面可以反映调相机失磁保护试验期间的不正常运行状态,同时可以避免试验期间临时定值整定不当保护动作影响试验进程;

(4) 当换流站500 kV系统电压运行于正常允许范围下限515 kV,调相机处于最大进相-150 Mvar的工况时,机端低电压判据会开放。为避免失磁保护I段误动,建议正常运行时退出失磁保护I段。

## 参考文献:

- [1] 金一丁,于钊,李明节,等. 新一代调相机与电力电子无功补偿装置在特高压交直流电网中应用的比较[J]. 电网技术, 2018, 42(7):2095-2102.  
JIN Yiding, YU Zhao, LI Mingjie, et al. Comparison of new generation synchronous condenser and power electronic reactive-power compensation devices in application in UHV DC/AC grid [J]. Power System Technology, 2018, 42(7):2095-2102.
- [2] 付俊波,凌卫家,邓晖,等. 抵御浙江电网多馈入直流系统持续换相失败措施[J]. 电力建设, 2017, 38(8):102-108.  
FU Junbo, LING Weijia, DENG Hui, et al. Measures for continuous commutation failures of multi-infeed HVDC system in Zhejiang power grid[J]. Electric Power Construction, 2017, 38(8): 102-108.
- [3] 刘振亚,张启平,王雅婷,等. 提高西北新甘青750 kV送端电网安全稳定水平的无功补偿措施研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(5):1015-1022.  
LIU Zhenya, ZHANG Qiping, WANG Yating, et al. Research on reactive compensation strategies for improving stability level of sending-end of 750 kV grid in northwest China[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(5): 1015-1022.
- [4] 王雅婷,张一驰,周勤勇,等. 新一代大容量调相机在电网中的应用研究[J]. 电网技术, 2017, 41(1):22-28.  
WANG Yating, ZHANG Yichi, ZHOU Qinyong, et al. Study on application of new generation large capacity synchronous condenser in power grid[J]. Power System Technology, 2017, 41(1):22-28.
- [5] 陈锦铭,李岩,孔月萍,等. 含高渗透率分布式光伏的配电网故障停电损失评估[J]. 电力需求侧管理, 2017, 19(5): 18-22.  
CHEN Jinming, LI Yan, KONG Yueping, et al. Fault outage loss assessment of distribution networks with high permeability distributed photovoltaics [J]. Power Demand Side Management, 2017, 19(5): 18-22.
- [6] 吴恒,吴家宏,刘千杰,等. 面向多端直流配电网的协调稳定控制研究[J]. 供用电, 2018, 35(8):45-51, 60.  
WU Heng, WU Jiahong, LIU Qianjie, et al. Research on coordinated stability control for multi-terminal DC distribution network [J]. Distribution & Utilization, 2018, 35(8):45-51, 60.
- [7] 吴奕,徐敦彬,刘翌,等. 基于灵敏度分析的配电网可靠性提

- 升研究[J]. 供用电, 2017, 34(2): 50-54.  
WU Yi, XU Dunbin, LIU Yi, et al. Improvement of distribution network reliability based on sensitivity analysis[J]. Distribution & Utilization, 2017, 34(2): 50-54.
- [8] 陈大鹏, 于海, 于锋, 等. 特高压直流工程控制与保护系统内嵌式暂态数据录波方案[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(17): 125-130.  
CHEN Dapeng, YU Hai, YU Feng, et al. Built-in transient data recording scheme for control and protection system in UHVDC project[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(17): 125-130.
- [9] 许国瑞, 范士雄, 罗超龙, 等. 用于直流换流站动态无功补偿的调相机与 SVC 运行特性对比[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2019, 41(6): 47-53.  
XU Guorui, FAN Shixiong, LUO Chaolong, et al. Operation characteristic of synchronous condenser and SVC for dynamic reactive power compensation of DC converter station [J]. Journal of North China Electric Power University (Natural Science Edition), 2019, 41(6): 47-53.
- [10] 周孝信, 鲁宗相, 刘应梅, 等. 中国未来电网的发展模式和关键技术[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(29): 4999-5008.  
ZHOU Xiaoxin, LU Zongxiang, LIU Yingmei, et al. Development models and key technologies of future grid in China[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(29): 4999-5008.
- [11] 徐业荣, 包明磊, 李玉平, 等. 大型汽轮发电机失磁保护定值整定探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 154-159.  
XU Yerong, BAO Minglei, LI Yuping, et al. Discussion on setting calculation of large steam turbine generator loss-of-excitation protection [J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 154-159.
- [12] 邹东霞, 余锐, 聂娟红, 等. 300 Mvar 大型同步调相机的启动及继电保护[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 160-164.  
ZOU Dongxia, YU Rui, NIE Juanhong, et al. SFC start and relay protection of 300 Mvar large synchronous condenser[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 160-164.
- [13] 郑涛, 余青蔚, 詹荣荣, 等. 调相机接入对发电机失磁保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(4): 50-56.  
ZHENG Tao, YU Qingwei, ZHAN Rongrong, et al. Impact of synchronous condenser access on generator loss of excitation protection[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(4): 50-56.
- [14] 吴跨宇, 房乐, 卢岑岑, 等. 大型调相机励磁与无功电压协调控制策略探讨[J]. 浙江电力, 2018, 37(2): 36-41.  
WU Kuayu, FANG Le, LU Cencen, et al. Discussion on coordinated control strategy for large synchronous compensator and reactive power [J]. Zhejiang Electric Power, 2018, 37(2): 36-41.
- [15] 卢嘉华, 陈新琪, 王珍女, 等. 励磁系统误强励工况下发电  
机保护逻辑优化[J]. 浙江电力, 2017, 36(8): 18-23.  
LU Jiahua, CHEN Xinqi, WANG Zhennyu, et al. Protection logic optimization of generator in faulty forced excitation of excitation system [J]. Zhejiang Electric Power, 2017, 36(8): 18-23.
- [16] 吴大榕. 电机学(下册)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1979.  
WU Darong. Electrical engineering (Volume II) [M]. Beijing: Water Conservancy and Power Press, 1979.
- [17] 张宁宇, 刘建坤, 周前, 等. 同步调相机对直流逆变站运行特性的影响分析[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(3): 17-20.  
ZHANG Ningyu, LIU Jiankun, ZHOU Qian, et al. Analysis on the impact of synchronous condenser on DC inverter operating characteristic [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(3): 17-20.
- [18] 隋佳音, 毕天姝, 薛安成, 等. 新型发电机失磁保护加速判据研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(20): 69-73.  
SUI Jiayin, BI Tianshu, XUE Ancheng, et al. A novel accelerated criterion for loss of field protection [J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(20): 69-73.
- [19] 冯梓彬, 汪科, 葛晓慧, 等. 交直流混合微电网系统设计与控制架构分析[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(23): 143-150.  
FENG Yibin, WANG Ke, GE Xiaohui, et al. System design and control framework analysis of hybrid AC-DC microgrid [J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(23): 143-150.
- [20] 陶骞, 王庆, 阮羚, 等. 特高压直流工程大型调相机组启动调试及关键技术[J]. 中国电力, 2017, 5(12): 51-56.  
TAO Qian, WANG Qing, RUAN Ling, et al. Contents and key technical problems in start-up and commissioning of large-scale synchronous condenser in UHVDC project [J]. Electric Power, 2017, 5(12): 51-56.
- [21] 潘仁秋, 何其伟, 陈俊. 大型调相机的保护配置及其实现[J]. 江苏电机工程, 2011, 30(6): 45-47.  
PAN Renqiu, HE Qiwei, CHEN Jun. Implementation of protection configuration for large-scale synchronous compensator [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2011, 30(6): 45-47.
- [22] 李虎成, 袁宇波, 卞正达, 等. 面向特高压交直流大受端电网的频率紧急控制特性分析[J]. 电力工程技术, 2017, 36(2): 27-31, 109.  
LI Hucheng, YUAN Yubo, BIAN Zhengda, et al. The frequency emergency control characteristic analysis for UHV AC/DC large receiving and power grid [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(2): 27-31, 109.
- [23] 耿少博, 顾乔根, 常风然, 等. 交直流混合配电网分布式无功电压互动控制策略[J]. 电力工程技术, 2019, 38(4): 26-33.  
GENG Shaobo, GU Qiaogen, CHANG Fengran, et al. Distributed reactive voltage and voltage interactive control strategy for AC/DC hybrid distribution network [J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(4): 26-33.
- [24] ELSAMAHY M, FARIED S O, SIDHU T. Impact of midpoint STATCOM on generator loss of excitation protection [J]. IEEE

- Transactions on Power Delivery, 2014, 29(2): 724-732.
- [25] 张开宇,崔勇,庄侃沁,等. 加装同步调相机对多直流馈入受端电网的影响分析[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(22):139-143.  
ZHANG Kaiyu, CUI Yong, ZHUANG Kanqin, et al. Analysis of the influence of synchronous condensers on receiving-end grid with multi-infeed HVDC [J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(22): 139-143.
- [26] 汪一. 应用于特高压直流输电的同步调相机控制系统研究[D]. 北京:华北电力大学,2017.  
WANG Yi. Research on synchronous condenser control system for UHVDC transmission [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.
- [27] 张曼,许文超,牛涛,等. 特高压直流对 500 kV 变压器直流偏磁的影响分析[J]. 电力工程技术,2017,36(6):78-83.  
ZHANG Man, XU Wenchao, NIU Tao, et al. Analysis of influence on DC magnetic bias of 500 kV transformers of HVDC systems[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(6): 78-83.
- [28] KATSUYAY, MITANIY, TSUJI K. Power system stabilization by synchronous condenser with fast excitation control [C] // Proceedings International Conference on Power System Technology. Perth, Australia: IEEE, 2000: 1563-1568.

作者简介:



刘春晖

刘春晖(1990),男,硕士,工程师,从事电力系统保护与控制,新能源并网技术相关工作(E-mail:455416347@qq.com);

钱文晓(1972),男,硕士,高级工程师,从事电力系统及其自动化相关工作;

杨朋威(1989),男,硕士,工程师,从事电力系统继电保护及控制相关工作。

## Loss-of-excitation operation of new generation 300 Mvar synchronous condenser and its relay protection

LIU Chunhui, QIAN Wenxiao, YANG Pengwei, ZHANG Ping, DU Zhichao, CHEN Geng

(State Grid East Inner Mongolia Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Hohhot 010020, China)

**Abstract:** In view of the problem that the new generation of 300 Mvar Synchronous Condenser has no actual data of loss of excitation operation to support loss of excitation protection's cast or cancel strategy and relay protection setting calculation at present. Through the development of loss-of-excitation protection test in the start-up and commissioning process of a new generation of 300 Mvar Synchronous Condenser. The key data obtained from the loss-of-excitation protection test during the start-up and debugging of a new generation of synchronous condenser are presented. The corresponding relay protection setting adjustment and protection cast or cancel strategy of loss-of-excitation protection in the starting and running stages of synchronous condenser are studied. The loss-of-excitation protection test method in the start-up and debugging project of a new generation of synchronous condenser is described in detail, and the experimental conditions required in the loss-of-excitation protection test process are introduced. Combined with the experiment of rated leading phase operation and complete loss of excitation operation, the maximum leading phase depth, excitation current and terminal voltage of the new generation of condenser are obtained. Through the analysis and research of the data, the recommended setting value of the excitation low voltage setting value of the loss of excitation protection and the on-off strategy of each section of the loss of excitation protection in the start-up stage and operation stage are obtained, which provides a reference for the future production of the condenser.

**Keywords:** 300 Mvar synchronous condenser; start-up and commissioning; the loss-of-excitation test; loss of field protection; protective setting

(编辑 钱悦)