

±800 kV直流输电工程对地区电网750 kV变压器直流偏磁的影响及治理措施

直流输电工程在单极—大地回线或双极不平衡方式运行时，由于在大地回路中电流的存在，会引起附近变压器产生直流偏磁现象。应用基于场路耦合模型的直流分布计算软件，计算了天—中直流单极不平衡运行方式下甘肃酒泉地区电网各750 kV变电站变压器的中性点直流电流分布情况，并对各站计算值与实测值进行了比对。选择存在较大直流偏磁电流的750 kV沙洲变电站主变压器，通过相关参数计算和选择，提出了隔离变压器中性点直流偏磁电流的措施。提出的直流偏磁治理方案对750 kV变压器的直流偏磁治理具有一定的借鉴意义。

胡春江¹ 张忠元² 温定筠¹ 范伟捷³ 王 亮⁴/1.国网甘肃电力公司电力科学研究院 2.国网甘肃省电力公司 3.北京送变电公司 4.安徽正广电电力技术有限公司

天山（哈密南）—中原（郑州）直流输电工程距甘肃酒泉地区变电站较近，天山换流站接地极距750 kV沙洲变电站直线距离约为300 km，由于750 kV一般为中性点直接接地方式，本文利用数值模拟计算与实验验证相结合的方法分析了该直流输电工程对酒泉地区电网750 kV变压器直流偏磁的影响，并提出了解决方案。

1 750 kV变压器直流偏磁电流的计算及实测

1.1 750 kV变压器直流偏磁电流的产生机理

在直流输电系统中，单极—大地回线运行方式或双极不平衡运行方式下，正负线路出现不平衡时，直流输电送/受端接地极会流过工作电流或不平衡电流，该电流在进入大地后形成直流电位梯度，从而引起不同地点变电站变压器中流过直流电流，引起偏磁现象，如图1所示。一般750 kV变压器中性点为直接接地方式，换流站附近的交流

0 引言

随着西北地区直流特高压输电工程的相继投运，当特高压直流输电工程在单极—大地回线运行或双极不平衡运行时会造成附近电网中性点接地变压器出现直流偏磁现象，当中性点接地变压器—输电线路—大地组成的回路直流分量较大时，会造成变压器严重的偏磁现象，甚至可能导致变压器损毁^[1-4]。



胡春江/高级工程师

关键词/Keywords

- 直流偏磁 ·
- 直流电流分布 ·
- 地区电网 ·
- 隔离措施 ·

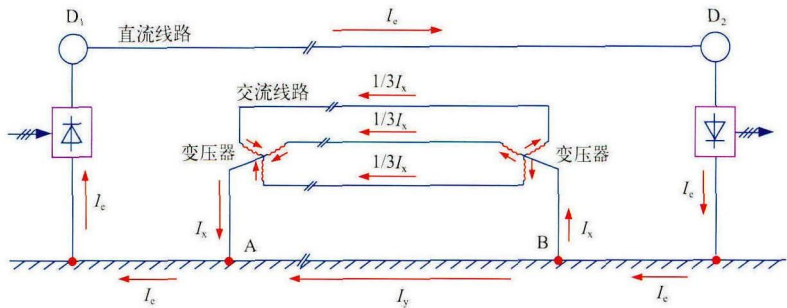


图1 750 kV变压器直流偏磁电流回路原理图

I_e —单极—大地回线的工作电流或不平衡电流 I_x —流入变压器中性点的直流 I_y —A、B两地之间的大地电流

变压器的中性点接地于A，通过交流输电线路连接另一台变压器，中性点接地于B，此时A、B两地间的交流线路通过中性点接地回路与大地形成并联电路，一旦在A、B两地有直流电位差，交流输电线路—变压器—大地中将会形成直流电流回路，从而影响运行中的变压器，出现直流偏磁现象^[5-10]。本文依据酒泉地区电网结构，对该地区750 kV变电站变压器在天—中直流接地极存在入地电流情况下，直流偏磁电流的分布进行了计算与实测。

1.2 750 kV变压器直流偏磁电流的计算

本文应用的大地—线路—变压器回路直流偏磁电流分布计算工具是基于场路耦合方法的计算软件，该计算软件是将接地极、交流输电线路视为一个由位于地上的电阻网络和位于地下的电流场组合的系统，从而建立交流电网直流电流分布的数值计算模型。在本项目中，由于750 kV变压器中压绕组为自耦结构，低压63 kV侧采用三角形接法，因此只需考虑330 kV及750 kV线路网架结构。依据上述电网结构利用计算软件对酒泉地区电网750 kV变压器中性点直流分布情况进行了估算，当天—中直流输电工程接地极入地电流为4 500 A时，各变电站计算值如表1所示。

表1 750 kV变电站计算值

变电站	计算值	距天山换流极距离/km
750 kV敦煌变电站	6.838	172
750 kV沙洲变电站	17.693	299
750 kV酒泉变电站	6.212	276

1.3 750 kV变压器直流电流分布实测结果

2014年1月7~8日，在天—中直流输电工程启动调试期间开展了酒泉地区直流偏磁实测工作，当天—中直流在极1为200 MW，极2为2 000 MW，接地极电流为4 500 A时，酒泉地区750 kV变电站各站测量数据如表2所示。

从表2中可以看出，在天—中直流输电工程入地电流对酒泉地区交流电网750 kV变压器直流偏磁电流的影响中，750 kV沙洲变电站中性点直流

表2 750 kV变电站中性点直流实测数据

变电站	天山换流极 (4 500 A) /A
750 kV敦煌变电站	- 7.345
750 kV沙洲变电站	- 18.548
750 kV酒泉变电站	- 5.618

电流最大，达到-18.548 A，远超出750 kV酒泉、敦煌变电站中性点直流偏磁电流值，因此考虑先对750 kV沙洲变电站主变压器采取治理措施，加装直流偏磁电流隔离装置，对其他两变电站进行重点监测。

2 酒泉电网直流偏磁治理措施分析

2.1 750 kV变压器直流偏磁的治理方案

对于直流偏磁的治理主要是减小或阻断变压器绕组中流过的直流电流，目前主要技术措施是在变压器中性点串联电阻或串联电容。

串联电阻法。原理上是加大中性点接地回路中的直流阻抗，减小与A、B两地间地电阻的分流，该方法有一定的减弱效果，不能彻底治理。另外，该电阻不宜选得过大，否则会影响变压器的继电保护，更重要的是当变压器发生不对称短路故障时，还会抬升中性点电压，加重中性点避雷器动作负载，存在与阻值选择之间的矛盾问题。

串联电容法。原理上利用了电容的“隔直通交”的特性，可以彻底阻断偏磁直流分量，治理变压器偏磁现象，其原理简单、效果显著。直流隔离方案主要由隔离直流电容器、保护避雷器及快速转换开关等组成，系统原理图如图2所示。

图2中，JN为检修隔离开关；GN为运行隔离开关；TA为电流互感器；C为隔直电容器；FR为多路氧化锌并联组件；FU为熔断器；VFC为快速开关（旁路）。

2.2 750 kV变压器偏磁电流电容法隔直方案参数计算与选择

750 kV沙洲变电站1#主变压器参数如表3所示。依据上述偏磁电流隔离治理方案进行相关参

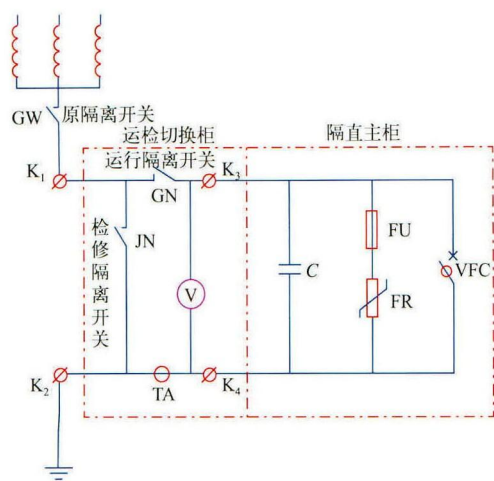


图2 变压器直流偏磁隔直装置原理图

数计算选择。

表3 750 kV沙洲变电站1#主变压器参数

项目		参数
额定容量/MV·A	高	$S=700$
	中	$S=700$
	低	$S=233$
电压比		765/345/66 kV
短路阻抗(%)	高	$U_{k高\sim中}=17.61$
	中	$U_{k高\sim低}=57.77$
	低	$U_{k中\sim低}=36.73$
绕组接线形式		Y/Y/Δ

(1) 单相短路电流计算

该变压器高压与中压系自耦绕制，中性点为公用，因此需要了解中压绕组（330 kV）的单相接地短路电流，理论计算结果为

$$I_{k330}^{(1)} = \frac{700}{\frac{345}{\sqrt{3}} \times 17.61\%} \text{ kA} = 19.96 \text{ kA}$$

根据相关资料，750 kV沙洲变电站母线单相短路电流最大值为15.87 kA。

(2) 隔直装置参数的选择

1) 隔直电容器参数的选择。依据上述计算，隔直电容器参数的选择为：额定电压 $U_{NC}=280 \text{ V}$ ；电容器10 s耐压水平满足 $U_{NC-\max}=2.15 \times \sqrt{2} U_{NC}=851 \text{ V}$ ；装置所需容抗 $X_c=0.5 \text{ }\Omega \pm 10\%$ ；电容容量 $Q=U_{NC}^2/X_c=(280^2/0.5) \text{ kvar}=156.8 \text{ kvar}$ 。

2) 氧化锌参数确定。氧化锌残压：取绝缘配

合系数 $k=0.85$ ， $U_{FR-\max}=U_{NC-\max}k=851 \text{ V} \times 0.85=723 \text{ V}$ ；氧化锌并联数：氧化锌0.7 s通流能力为 $I_{ZM}=90 \text{ A}$ 。因此，选择氧化锌的并联路数为 $n=19.96 \text{ kA}/90 \text{ A}=222$ 路。考虑冗余，设计选取240路氧化锌并联。系统电流特性仿真结果如图3所示。

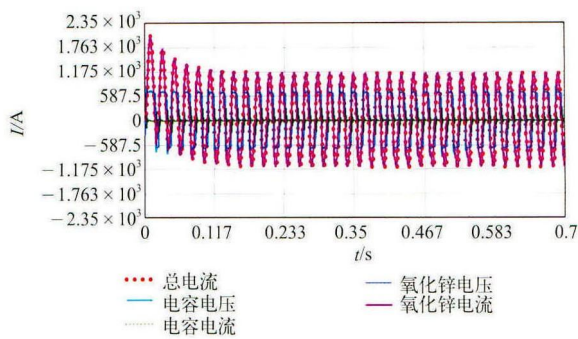


图3 隔直方案动态特性仿真结果

3) 隔直装置旁路开关选择。旁路快速开关在恒流源的情况下合闸，使短路电流过零点合闸，开关合闸时预测电流过零点的计算精确到0.4 ms。开关合闸分散度控制在0.2 ms。

3 结束语

依据直流偏磁电流大地—线路—变压器回路的等效模型，利用场路耦合法的计算软件对天—中直流输电工程对甘肃酒泉地区750 kV变电站直流偏磁电流的分布进行计算和实测，依据上述结果选择偏磁电流较大的750 kV沙洲变电站主变压器，提出了隔离偏磁直流电流的方案，并对方案参数进行计算选择。通过仿真计算表明，所提出的偏磁电流治理方案具有高可靠性、抗短路冲击能力强的特点，可用于750 kV变压器的中性点接地回路中直流偏磁电流的治理。

参考文献

[1] 刘康, 温定筠, 胡春江, 等. 变压器直流偏磁产生机理及偏磁电流实测研究 [J]. 电工电气, 2014 (12): 26-30.

[2] 于永军, 杨琪, 侯志远, 等. 天中直流工程入地电流对新疆哈密地区交流电网的影响 [J]. 电网技术, 2014, 38 (8): 2298-2303.

[3] 蒋伟, 吴广宁, 肖华, 等. 变压器组直流偏磁及

其内部特性的研究 [J]. 变压器, 2011, 48 (1) : 21-24.

[4] 刘曲, 李立涅, 郑健超. 复合土壤模型下HVDC系统单极大地运行时的电流分布 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27 (36) : 8-13.

[5] IEEE Transmission and Distribution Committee Working Group. Geomagnetic disturbance effects on power systems [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1993, 8 (3) : 1206-1216.

[6] Albertson V D. SolarInduced current in power system: causes and effects [J]. IEEE Transactions on PAS, 1973, 92 (1) : 471-477.

[7] Fuehs E E, You Y, Roesler D. Modeling and simulation and their validation of three-phase transformers with three legs under DC bias [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1994, 14 (2) : 443-449.

[8] 张泽强, 刘勇, 王亮. ± 800 kV天中线直流输电对哈密地区变压器影响分析及治理措施研究 [J]. 电工技术, 2015 (7) : 10-12.

[9] 王华伟, 林少伯, 王祖力, 等. 溪浙特高压直流隔直装置存在的问题分析及改进 [J]. 电网技术, 2015, 39 (6) : 1600-1604.

[10] 刘曲, 郑健超, 李立涅. 考虑海洋影响的直流输电单极大地运行时变压器中性点直流电流研究 [J]. 电网技术, 2007, 31 (2) : 57-65.

(收稿日期: 2015-12-24) EA

信息动态

欣旺达综合能源喜获“2016年度软科学成果奖”

深圳市欣旺达综合能源服务有限公司喜获“国家电网2016年度软科学成果奖三等奖”，包括孙威总经理在内的多名深圳市欣旺达综合能源服务有限公司科技人员受到国家电网提名表彰。该奖项主要是为调动能源行业及社会各界开展能源软科学研究的积极性和创造性，提高政府部门科学管理和决策水平，促进能源行业科学发展，对作出杰出贡献的优秀企事业单位进行表彰。

本次获奖的“能源互联网中储能应用商业模式及市场前景研究开题报告”课题，由中国电力科学研究院、深圳市欣旺达综合能源服务有限公司及深圳市前景科技创新系统研究院通力合作完成，获奖成果得到评审专家的一致好评。获奖课题主要针对三个方面进行深入研究：①各类型储能技术在智能电网及能源互联网中的适用领域和发展前景研究；②大规模储能在智能电网中的应用方向和商业模式研究；③智慧城市、社区等局域能源网场景中，储能的应用方向和商业模式。

深圳市欣旺达综合能源服务有限公司、中国电力科学研究院及深圳市前景科技创新系统研究院三方通过对国内外现有储能项目进行大量调研、场景细分和典型案



例分析，得到各类型储能适用的领域和前景。在此基础上，提出不同场景和技术方案下储能应用商业模式，包括储能的投资主体、盈利模式、运营管理模式以及交易方式等。考虑高比例新能源发电场景，对储能的需求及综合效益进行预测，进而考虑未来能源市场环境，对内部成本、外部补贴政策和电价等敏感因素进行分析，提出储能的市场化机制和政策需求，并最终形成储能在未来10~20年的市场化发展路线。