

## 一起 500 kV 并联电抗器振动异常的分析处理

逯怀东<sup>1</sup>, 陈玉峰<sup>2</sup>, 朱文兵<sup>2</sup>, 尹奎龙<sup>2</sup>, 王宝利<sup>3</sup>

(1. 山东省电力集团公司, 山东 济南 250000; 2. 山东省电力研究院, 山东 济南 250002;  
3. 山东省电力超高压公司, 山东 济南 250020)

摘要: 介绍了一起运行中的 500 kV 并联电抗器出现的 4 次波纹管损坏事故, 分析了电抗器异常振动引起波纹管损坏的原因, 提出了处理措施。处理后的电抗器经一年多时间的运行, 情况良好。

关键词: 并联电抗器; 波纹管; 振动; 分析

中图分类号: TM472

文献标志码: B

文章编号: 1001-1609(2008)02-0153-03

### Analysis and Treatment of a 500 kV Shunt Reactor Abnormal Vibration

LU Huai-dong<sup>1</sup>, CHEN Yu-feng<sup>2</sup>, ZHU Wen-bing<sup>2</sup>, YIN Kui-long<sup>2</sup>, WANG Bao-li<sup>3</sup>

(1. Shandong Electric Power Corporation, Jinan 250000, China; 2. Shandong Electric Power Research Institute, Jinan 250002, China; 3. Shandong Electric Extra High Power Company, Jinan 250020, China)

Abstract: This paper introduced four bellows accidents of a 500 kV shunt reactor, analyzed the cause of the accidents due to shunt reactor abnormal vibration, and provided treatment measures. The treated shunt reactor has worked well for more than one year.

Key words: shunt reactor; bellows; vibration

### 0 引言

500 kV 并联电抗器是超高压电力系统中进行远距离输电的重要设备, 它可以补偿长线电容效应, 限制电压升高, 维持无功平衡。

与变压器相比, 并联电抗器的振动问题要突出, 这与其结构有关系<sup>[1]</sup>。单相 500 kV 并联电抗器铁心是由辐射式环氧浇注的铁心饼叠成, 饼间垫以特殊气隙垫块, 运行中电抗器产生振动有两个原因, 一是铁心磁畴伸缩导致铁心振动, 这与变压器一样, 另一个是电抗器绕组产生的主磁通通过由高导磁的铁心饼和低导磁的气隙垫块组成的铁心主柱时, 铁心饼之间会产生使磁场能量变小趋势的吸引力-麦克斯韦力, 在麦克斯韦力作用下气隙垫块发生伸缩引起铁心饼振动, 这是电抗器整体产生振动的主要原因。为此, 在电抗器设计和制造时一般采取以下措施来控制振动和噪声<sup>[2]</sup>: 提高气隙垫块材料的硬度; 铁心柱采取强力压实措施, 一般采用蝶簧压紧结构; 器身与油箱间放置弹性垫减振。并联电抗器结构简图见图 1。

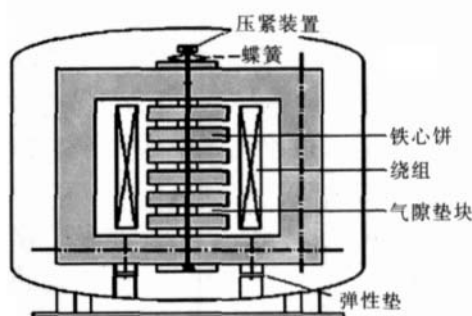


图 1 并联电抗器结构简图

这些措施的采用有效地减小了电抗器运行时的振动和噪声, 但如果在制造过程中工艺控制不当, 电抗器在运行时会产生异常振动引发故障, 下面对一起 500 kV 电抗器异常振动引起波纹管损坏事故进行介绍和分析, 供大家参考。

### 1 电抗器故障情况

该电抗器型号为 BKD-60000/500, 额定电压 525/ $\sqrt{3}$  kV, 额定电流 197.95 kA, 安装在 143 km 长的线路上。

收稿日期: 2007-09-13; 修回日期: 2007-12-21

作者简介: 逯怀东(1964-), 男, 高级工程师, 主要从事变电检修技术管理工作。

1.1 第1次故障情况

2005年12月1日12:00, 500 kV 变电站运行值班人员发现 A、B 相高抗连接油枕与瓦斯继电器的波纹管接口处渗漏油, 每秒 2 滴左右, 初步分析认为是波纹管材质不良造成的, 12 月 3 日高抗停电, 对 A、B 相高抗渗漏的波纹管进行了更换。

1.2 第2次故障情况

2006年1月12日, A 相高抗油枕与瓦斯继电器间的波纹管接口处开裂喷油, 见图 2, 高抗停电, 更换了该波纹管, 进行了补油及与油和本体相关的试验检查, 无异常后投入运行。随后电抗器制造厂家采用其它波纹管厂家的产品进行更换, 并对以前的波纹管进行了机械强度试验, 试验结果合格。

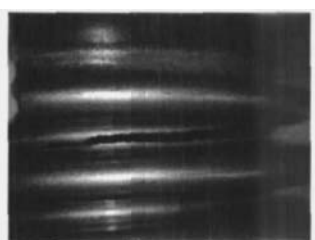


图 2 波纹管裂口

1.3 第3次故障情况

2006年7月6日, A 相高抗的波纹管再次漏油, 停电后更换了一个新的波纹管, 测量了波纹管两法兰的同心度, 结果发现波纹管瓦斯侧法兰与油枕侧法兰不同心, 偏差见图 3, 图中 D 为 12 mm, V 为 17 mm, 安装前进行了调整, 调整后 D 为 0, V 为 5 mm。为进一步查清波纹管损坏的原因, 分别在高抗 A、B、C 三相上布置测振探头, 送电后进行振动测试, 并检测噪声, 受测试设备测试探头数量限制, 仅对本体上的 7 个点进行测试, 测点布置见图 4。振动和噪声试验数据见表 1、2。

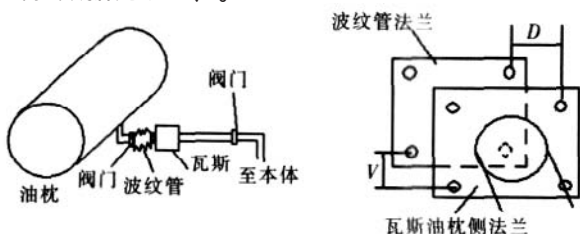


图 3 波纹管两侧法兰不同心示意图

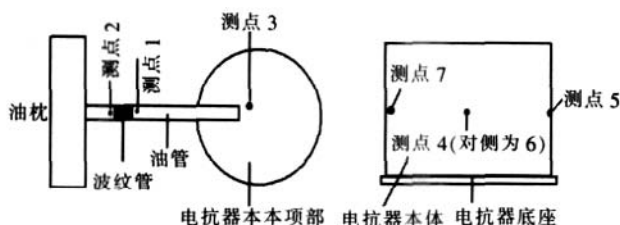


图 4 振动测试测点布置图

表 1 高抗振动测试结果

位置	A 相峰-峰值/ $\mu\text{m}$	B 相峰-峰值/ $\mu\text{m}$	C 相峰-峰值/ $\mu\text{m}$
1	17.50	12.71	0
2	9.50	4.98	0
3	17.70	14.90	0
4	0.99	1.84	0.20
5	3.30	0.60	2.05
6	2.89	5.90	4.15
7	2.65	6.99	0.30

表 2 A 相高抗噪声测试

测点	高抗			测点	高抗		
	A 相	B 相	C 相		A 相	B 相	C 相
1	71.9	71.2	69.1	11	73.1	74.7	71.3
2	74.5	75.8	73.0	12	75.4	78.9	71.0
3	80.2	77.3	74.6	13	77.5	76.2	78.8
4	79.4	78.4	75.2	14	78.9	82.4	75.7
5	77.0	73.2	77.1	15	76.5	79.9	72.5
6	75.7	79.3	69.5	16	76.0	78.8	73.5
7	73.6	76.3	70.2	17	73.6	74.2	72.5
8	72.6	75.1	73.5	18	69.3	74.8	71.2
9	73.1	77.4	71.3	19	71.4	70.8	71.3
10	74.9	74.3	68.8	20	77.9	75.0	73.5

注: 测点布置在规定轮廓线上, 规定轮廓线距离高抗基准发射面 0.3m, 测点间隔 1m。

从测试数据看, 振动和噪声值按相别从大到小依次为 A 相、B 相、C 相, 但没有发现振动点和噪声特别大的点, 也满足交接试验标准要求; 现场对同心度的检查, 偏差从大到小也依次为 A 相、B 相、C 相。综合分析认为, A 相波纹管损坏的原因主要是电抗器振动引起的, 而波纹管两端的不同心度过大也是导致其在运行中破裂的原因之一。为此经过研究决定采取减振措施, 如在底座和安装基础间加装橡胶减振垫等。但由于当时负荷和运行方式等原因, 以上措施还未曾实施。

1.4 第4次故障

7月20日 A 相高抗波纹管再次破裂喷油。由生产管理部门、科研单位及制造厂家等单位共同召开了分析处理会议, 一致认为电抗器 A 相波纹管已经 4 次出现破裂漏油故障, 不是波纹管制造质量造成的, 根据前 3 次的现场处理情况, 以及电抗器振动、噪音测量的结果分析, 该组电抗器明显存在 A、B 两相振动高于 C 相的异常现象, 振动异常是造成波纹管金属疲劳破裂的主要原因, 虽然未测到异常振动点, 也必须从电抗器本身查明缺陷原因, 随即决定吊罩检查, 以彻底消除设备缺陷。考虑到当时电网负荷紧张, 先恢复电抗器运行, 立即更换损坏的波纹管, 采取减振措施, 在 A 相电抗器本体底部与基础之间

加装橡胶减振块,在A相电抗器本体与瓦斯继电器的连管上加装金属支撑架,见图5,支撑架安装在靠近瓦斯继电器侧,支撑架与下部的油枕支撑横梁采用硬连接,与上部被支撑的油管之间加装橡胶减振块。

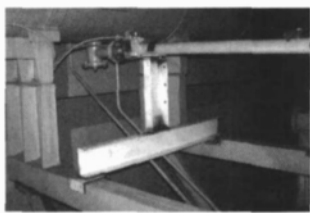


图5 安装的金属支撑架

同时制定电抗器吊罩检查的方案,并由制造厂家准备好有关工装设备运送到现场,对电抗器本体内部进行彻底检查,吊罩时间根据系统负荷和方式决定。

电抗器送电后进行了两次测振,分别采用不同的仪器,增加了测点,并改变了测点位置,均未发现振动异常。

## 2 现场吊罩检查

2007年9月11日,对高抗A、B两相进行了现场吊罩检查,结果发现A相铁心顶部的压紧蝶簧第4层有7~8mm的缝隙(见图6中黑框所示),重新进行了紧固,B相稍有间隙。



图6 铁心压紧蝶簧有缝隙

此外还对内部的磁屏蔽及箱壁、电抗器器身、线圈、围屏以及所有的紧固螺栓进行了检查和紧固。投运后,一直运行至今未再出现异常。

## 3 原因分析及处理

(1) 根据故障和吊罩情况分析,电抗器瓦斯与油枕连接的波纹管多次破裂漏油的主要原因是由于电抗器铁心在制造过程中未压紧压实,蝶簧留有7~8mm的空隙,在麦克斯韦力的作用下,使铁心振动过大造成;而本体与油枕间的连管振动时作为杠杆对振动进行了放大,使波纹管由于机械疲劳发生破裂。

(2) 由于安装工艺控制不严,造成的波纹管两端不同心度偏差大,进一步加剧了波纹管的机械损伤,

也是其破裂的重要原因。

(3) 由于高压并联电抗器的结构,不可避免地存在较大的振动,而在制造过程中采用压紧铁心和缓冲减振等措施能有效降低振动及噪声,当由于制造质量不良在运行中出现振动异常时,采用在本体及安装基础间加装减振橡胶也是有效的措施,第四次故障后加装了减振胶垫,在吊罩前近两个月的时间内未再发生波纹管破裂事件也说明了这一点,但要想彻底消除异常振动,还必须吊罩检查压紧装置状况。

## 4 讨论与建议

电抗器振动测量在出厂试验时为特殊试验项目,GB/T 10229-1988《电抗器》中规定<sup>[3]</sup>:如果规定需进行振动测量,则在做试验之前,必须就下列各项取得一致意见:①是单台电抗器作型式试验还是全部电抗器作出厂试验;②当额定电压和最高连续运行电压不一致时,是在哪一个电压下进行试验;③在哪个位置,如何进行测量(一般是在油箱的4个侧面,并取足够的测量点求得平均值)。测量的结果用振动波的主波峰高度来表示,最大值不超过200 $\mu\text{m}$ 。对于大容量电抗器,若不可能在制造厂实现振动测量,经制造厂与使用部门协商,可在安装现场进行此项试验。而GB 50150-2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》中规定交接时“在额定工况下测得的箱壳振动振幅双峰值不应大于100 $\mu\text{m}$ ”<sup>[4]</sup>。两者比较,出厂标准明显偏松,这不利于对制造质量的严格考核。而且在工厂中进行的型式或出厂试验与安装后进行的交接试验的条件不具可比性,电抗器安装后固定在基础上,这会大大减少其振动和噪声值。

因此建议开展现场振动和噪声量值的实际测量研究工作。从这台电抗器的故障情况看,目前的交接标准明显偏松。此外建议对交接试验标准中电抗器振动的试验方法、测点布置、试验条件等进行研究,作出更明确的规定,以指导现场实际。

## 参考文献:

- [1] 刘孝为,陈楚羽,王宏.超高压并联电抗器的结构特点和运行情况综述[J].陕西电力,2006(2):40-43.
- [2] 官俊军.高压并联电抗器损耗降低与噪声控制措施[J].电力设备,2006(12):15-17.
- [3] GB/T 10229-1988.电抗器[S].
- [4] GB 50150-2006.电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S].