

运用检修

HXD3C型电力机车高压电压互感器故障与分析

王 瑞¹, 李 新¹, 张立臣¹, 张继元², 高洪光¹

(1. 大连机车车辆有限公司, 辽宁 大连 116022;

2. 中国铁道科学研究院 机车车辆研究所, 北京 100081)

摘 要: 针对HXD3C型电力机车高压电压互感器多次出现故障的现象, 对高压电压互感器工作环境进行测试, 通过研究与分析, 指出分相区内的铁磁振荡、供电电网谐波含量高等问题是导致互感器故障的主要原因, 建议通过提高互感器的适应性等措施来解决互感器故障所导致的机破事故。

关键词: HXD3C型电力机车; 高压电压互感器; 工作环境; 铁磁振荡

中图分类号: TM451; U269.6

文献标识码: B

文章编号: 1000-128X(2014)03-0106-04

自2007年以来, “和谐”型交流传动电力机车开始陆续在我国干线铁路上担当运输牵引任务, 缓解了铁路运力紧张的局面。但随着“和谐”型电力机车投入运用数量的快速增加, HXD3C型机车出现高压电压互感器故障的现象也明显增多, 严重时甚至烧损接触网, 影响了铁路运输的正常秩序。为了查清原因, 需要对高压电压互感器的工作环境进行全面分析。

1 故障情况

1.1 故障统计

2012年是HXD3C型电力机车高压电压互感器(以下简称互感器)故障发生的高峰期, 全年共计发生互感器故障26起, 分别出现在9个铁路局, 累计维修时间达到了96天, 严重影响机车正常运用, 具体故障统计数据见表1所示。

表1 2012年HXD3C型电力机车高压电压互感器故障统计

配属铁路局	故障次数	故障等级	维修时间/d
北京局	1	机破1	10
成都局	3	机破1, 临修2	10
广铁集团	7	机破4, 临修3	21
济南局	1	机破1	16
南昌局	2	机破1, 临修1	3
上海局	4	机破3, 临修1	17
沈阳局	1	临修1	6
武汉局	6	机破3, 临修3	32
郑州局	1	机破1	1

1.2 故障现象的简单分析

互感器结构图如图1所示, 通过对故障互感器进行

拆解和比较, 将故障现象分为2类:

第1类: 故障互感器整体比较完整, 一次侧绕组部位有烧损的裂纹, 内部有黑色烧熔物溶出。对其解体解剖, 发现一次侧绕组最外一段有均匀烧毁现象, 表现在层间绝缘材料完全烧毁, 一次侧绕组漆包线损坏严重; 进一步解剖至一次侧绕组的线圈里层, 绕组线圈完好, 层间绝缘纸及漆包线没有损伤; 解剖至二次侧绕组的线圈, 发现二次侧绕组线圈完好无损, 漆包线光亮如新。

第2类: 故障互感器绝缘本体整体树脂崩裂, 裂纹延伸至安装底板, 内部一次侧绕组线圈及器身露出。对产品实行解体解剖, 一次侧绕组只有最外层绝缘及屏蔽烧毁, 进一步解剖至一次侧绕组线圈里层, 发现线圈部分完好, 包括层间绝缘纸及漆包线没有损伤; 解剖至二次侧绕组, 其线圈完好无损, 漆包线光亮如新。

这2类故障现象的共同特点是: ①一次侧绕组最外层均有烧损现象, 其他部分完好; ②二次侧绕组完好无损。由此可以断定, 一次侧绕组烧损是引发互感器故障的直接原因, 由于一次侧绕组的烧损而导致互感器外壳有不同程度的损坏。

2 工作环境测试方案

2.1 被测参数的确定

互感器在机车电气线路中的原理如图2所示。互感器TV1的一次侧绕组高压侧与2个高压隔离开关QS1、QS2和主断路器MCB的主触点QF1连接, 一次侧绕组另一端与大地连接, 相当于同牵引变压器TM1一同并联在25 kV供电电网中。

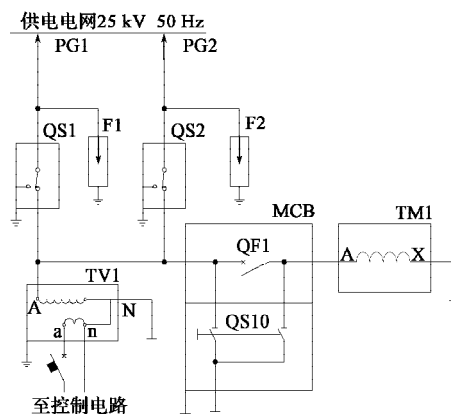


图2 HXD3C型机车网侧电气线路原理简图

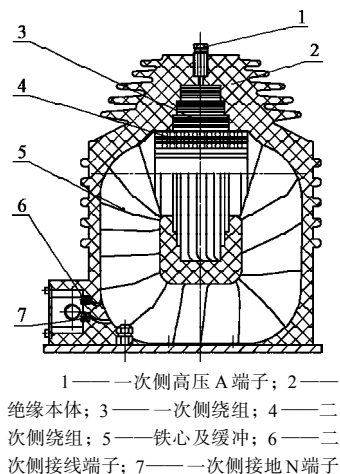


图1 HXD3C型电力机车高压电压互感器结构图

互感器在机车电气电路中的连接关系比较简单, 与之相关的电气参数也很少, 其一次侧绕组所承受的网侧电压是与之最为密切的物理量, 网侧电压的品质将对互感器的工作环境起决定性的影响。

流过互感器一次侧绕组的电流也是一个重要的参数。在互感器出现问题的最初阶段, 进行过多次测试, 可都没有对一次侧绕组的工作电流进行测量和研究, 虽然提出的改进措施降低了互感器的故障率, 但没有从根本上消除互感器故障现象。互感器一次侧绕组的工作电流不仅受网压影响, 同时还取决于自身的参数, 包括绕组导线截面积、匝数、电感量等。不同型号的互感器将会有不同的工作电流状态, 因此需要测试互感器一次侧绕组的工作电流。

此外, 从HXD3系列其他型号电力机车互感器的运用情况来看, HXD3型电力机车早期采用的进口互感器工作状态一直良好, 未出现过故障情况, 将HXD3型机车装用的进口互感器与HXD3C型机车国产互感器在同等工况下进行工作环境的对比测试, 找出其工作状态的差异, 将有助于发现互感器故障的根本原因。

由此确定, 需要测试以下4个参数: ① HXD3C型机车国产互感器一次侧绕组所承受的网压; ② HXD3C型机车国产互感器一次侧绕组工作电流; ③ HXD3型机车进口互感器一次侧绕组所承受的网压; ④ HXD3型机车进口互感器一次侧绕组工作电流。

2.2 测试方案

互感器的二次侧绕组输出的电压信号可以反映电网的网压变化状态, 同时也有利于对比2种互感器在同一供电网下的响应状态。因此, 确定通过监测互感器二次侧绕组输出的电压信号来代表互感器一次侧绕组所承受的网压信号。

测量互感器一次侧绕组工作电流信号比较困难, 第一它位于高压电路中, 要注意人员安全和设备安全; 第二它幅值很小, 应该在十几毫安左右, 受测量仪器精度的限制较大, 同时易受干扰, 很难测出准确值。本测试中采用了在一次侧绕组接地端处串入2个并联的电阻, 通过测量电阻两端的电压波形来折算一次侧绕组的工作电流。因为互感器一次侧绕组的工作电流很小, 即使串入等效5 k Ω 电阻后, 电阻上的分压也不会超过100 V, 对于额定电压为25 kV的电网来说, 可以忽略, 也不会影响机车正常的牵引功能。2种互感器都采用串联相同阻值的电阻来测量一次侧绕组的工作电流。

在试验机车的车顶临时安装HXD3型机车装用的进口互感器, 以保证2种互感器处于同样的运用环境, 测试电气原理图见图3所示。

3 测试工况和测试数据

本次测试在京广线广州-株洲区间和广州-郴州区间进行, 试验机车为同一台HXD3C型机车, 测试区段内

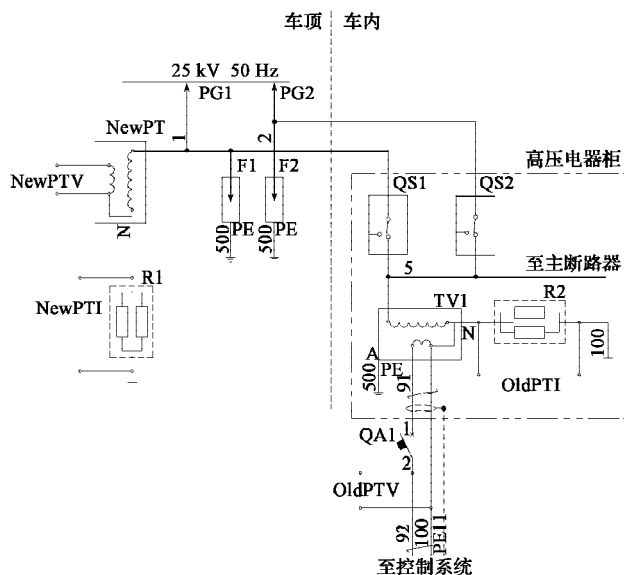


图3 互感器工作环境测试电气原理图
NewPTV——HXD3型机车进口互感器的二次侧绕组输出电压; NewPTI——HXD3型机车进口互感器的一次侧绕组工作电流; OldPTV——HXD3C型机车国产互感器的二次侧绕组输出电压; OldPTI——HXD3C型机车国产互感器的一次侧绕组工作电流

试验机车均牵引旅客列车。在测试过程中, 持续测试2种互感器的工作环境, 重点记录机车以手动、自动和半自动方式通过分相区前后的互感器工作状态。

在测量现场, 通过仪器的波形显示, 可以获得以下信息: ①同一供电臂下不同时刻的供电品质存在差异, 不同区域的供电品质也存在很大的差异; ②电网谐波含量越大, 互感器一次侧绕组工作电流就越大; ③进口互感器的一次侧绕组工作电流较国产互感器的工作电流大; ④过分相时, 机车快速划过无电区域时, 2种互感器一次侧绕组仍有电流流过; ⑤过分相时, 国产互感器一次侧绕组冲击电流的倍数比进口互感器大; ⑥过分相时, 互感器的工作状态与机车所采用的过分相方式无明显关联。

4 测量数据的分析与总结

4.1 铁磁振荡现象

在京广线HXD3C型机车互感器运用环境测试中多次出现高压电压互感器铁磁振荡现象:

①试验机车于京广线广州-株洲间往返运行时, 出现4次;

②试验机车于京广线广州-郴州间往返运行时, 出现9次。

发生铁磁振荡现象时, 大部分情况会持续整个中性区, 个别情况在中性区中途消失, 还有一少部分情况是在刚刚进入中性区的时候有形成铁磁振荡的趋势, 但一进入中性区后迅速消失。

4.1.1 互感器铁磁振荡的典型波形

出现铁磁振荡现象时测得机车互感器二次侧绕组输出电压、一次侧绕组工作电流波形见图4和图5。

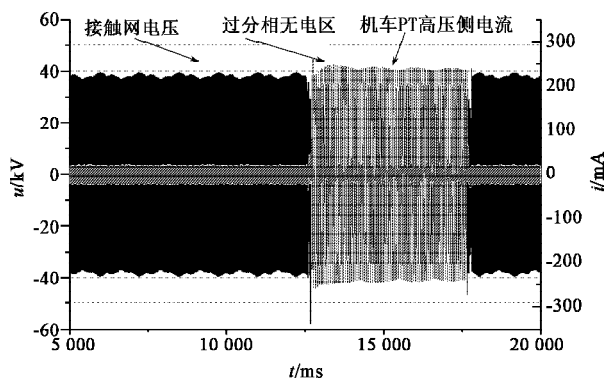


图4 机车通过分相区时出现铁磁振荡的波形

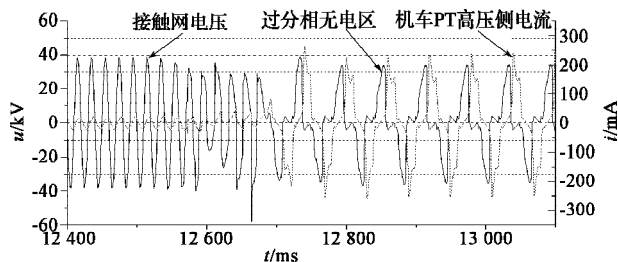


图5 分相区内铁磁振荡时波形放大图

4.1.2 互感器铁磁振荡的特点

机车高压电压互感器铁磁振荡现象的特点为:

- ①铁磁振荡均出现在机车过分相时的接触网中性区;
- ②出现铁磁振荡现象时中性区接触网电压峰值约为26~43 kV间(不出现铁磁振荡现象时中性区接触网电压峰值约为4~8 kV间);

- ③出现铁磁振荡现象时中性区供电网网压、互感器一次侧绕组工作电流中主要为基波的1/3次谐波;

- ④出现铁磁振荡时互感器一次侧绕组工作电流的峰值达到274 mA,而非振荡时电流约为10~30 mA;

- ⑤出现铁磁振荡时,进口互感器一次侧绕组工作电流的增大倍数较国产互感器增大倍数小。

4.1.3 互感器铁磁振荡的形成原因分析

HXd3C型机车在接触网中性区出现铁磁振荡现象的原因分析如下,等效电路如图6所示。

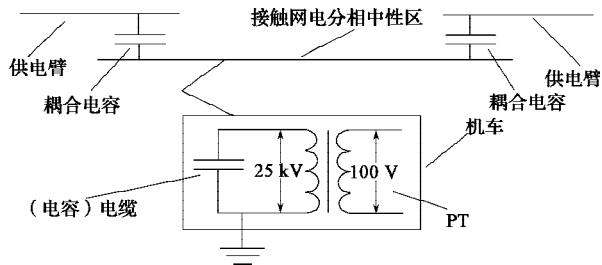


图6 HXd3C型机车参与铁磁振荡相关元件示意图

机车进入中性区前主断路器分闸,牵引变压器与接触网分离,机车高压供电电缆以电压形式或机车互感器(图6中PT)以电流形式保持能量。这些能量在由机车高压供电电缆和互感器构成的L、C回路中形成振荡电流。接触网中性区两侧供电臂与中性区接触网形成电容耦合,向L、C振荡回路提供能量。

由于互感器铁心的非线性,导致L、C回路电流畸

变。L、C回路振荡电流的频率,按照铁磁振荡的性质,由外部电源频率和L、C回路参数决定,为外部电源频率的分数次谐波。在京广线测得的振荡电流的主要谐波电流频率为基波的1/3次谐波(16.7 Hz)。

测试结果表明,与频率为16.7 Hz的互感器端电压对应,此时互感器铁心中的磁通是50 Hz相同电压值时磁通的3倍,由于铁心的饱和,出现铁磁振荡时互感器一次侧绕组工作电流明显增加,达到正常运行的15倍以上。

4.2 互感器的性能差异

为比较互感器的性能差异,试验机车在车顶临时增加1台进口电压互感器与机车国产互感器同时投入运行。

当接触网电压畸变较小时,2台电压互感器输出相近,二次侧绕组输出电压波形基本重合,见图7。

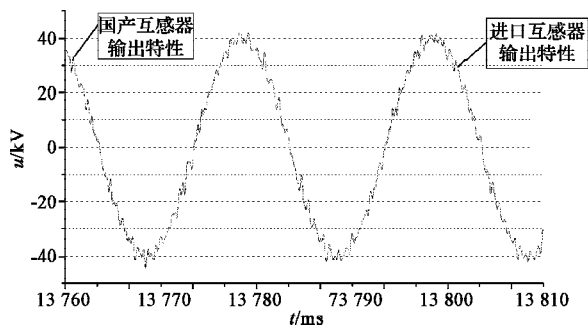


图7 互感器特性对比1

当接触网电压畸变严重时,2台互感器输出高频成分有较大差别,见图8所示。

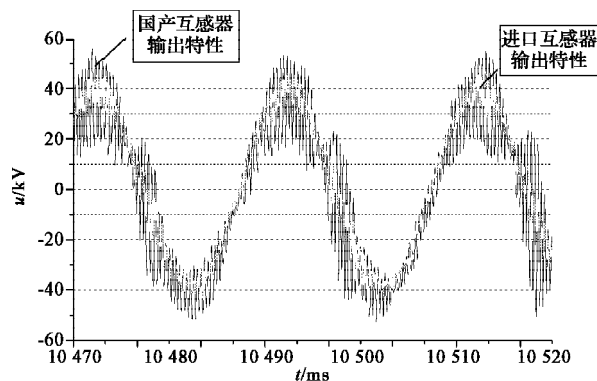


图8 互感器特性对比2

4.3 电网的谐波畸变

试验机车牵引客车于京广线测试期间,在不同区段、时段测试到接触网电压存在明显畸变,且畸变电压存在不同的谐波分布。

在运行测试期间,捕捉到供电网具有典型的高谐波含量的波形见图8。在某一时刻,进口互感器测得的电网峰值电压为48 kV,而国产互感器测得的电网峰值电压为55 kV。对于图8所示2台电压互感器输出电压波形的谐波分析结果见图9和图10。可以看出,2台电压互感器输出的谐波分布具有同样的趋势,都是在2 750 Hz

附近出现谐波最大值,但谐波量值的差别却达到1倍以上。由于生产厂家对互感器的高频(>800 Hz)输出结果没有指标规定,但高频特性的差异将对机车控制系统检测网压的准确性产生影响。

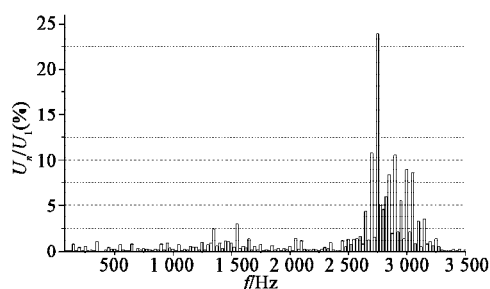


图9 机车国产互感器输出电压谐波/基波分布

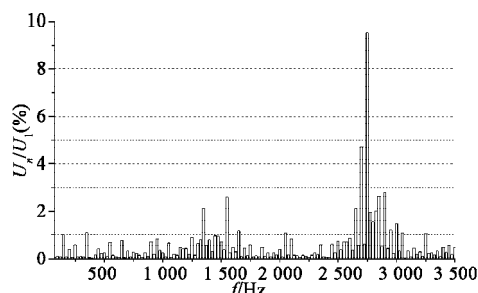


图10 进口互感器输出电压谐波/基波分布

5 故障的原因分析

对在京广线HXd3C型机车互感器工作环境的测量结果进行分析可得,引起高压电压互感器故障的最主要的原因有2点。

1)互感器一次侧绕组工作电流经常数十倍增大

互感器一次侧绕组工作电流经常数十倍增大的原因主要有两点:①由于供电电网大部分区域或同一区域不同时刻的谐波含量很大;②在过分相区时,经常发生铁磁振荡现象。

这2个因素,使得互感器无论在供电区域还是在分相区域,一次侧绕组都经常处于大电流工作状态,尤其是在分相区内发生铁磁振荡时,互感器一次侧绕组工作电流成十几倍甚至20倍的增大,且工作时间较长。

2)互感器承受的工作电压经常超限

在京广线测试中接触网电压畸变较严重,电压波形在不同区段呈现不同的谐波成分。电压畸变使电压峰值大于额定值。此外,如果在分相区内发生铁磁振荡现象,互感器所承受的电压最高达到了43 kV,而且一次侧绕组的工作电流与供电区域相比增大了十几倍,因此分相区内的高压冲击是互感器绝缘破坏的主要原因。

综合以上2个原因,一次侧绕组工作电流的倍增使得互感器内部局部区域的温升迅速提高,反复的过电流导致层间绝缘材料被逐步地破坏,同时互感器还承受着供电电网高谐波电压的冲击。在分相区内发生铁磁振荡时,2种因素同时作用,将产生致命的影响,这与运用单位反映“互感器故障经常发生在通过分相区后”,以及故障互感器均为经过了一段时间的运用后才出现故障的现象相吻合。

由此,可以判断分相区内的铁磁振荡现象以及供电电网谐波含量高是导致HXd3C型机车高压电压互感器故障的主要原因。

6 结语

通过对HXd3C型机车高压电压互感器工作环境的测试,充分掌握了互感器的工作状态,发现了分相区内的铁磁振荡现象、网压谐波含量高等互感器工作环境特点,并分析了导致互感器故障的主要原因。根据互感器工作环境测试和分析的结果,对HXd3C型机车互感器进行了针对性的改进,消除了分相区内的铁磁振荡现象,同时使互感器能够适应供电电网的谐波冲击。改进的互感器于2012年11月开始装车应用,截至2013年底,1 000多台HXd3C型机车全部完成了更换。改进的互感器至今已运用了1年多时间,未出现一例故障。

参考文献:

- [1] 王威,杨守君,柳占宇. HXd3C型交流传动客货通用电力机车[J]. 电力机车与城轨车辆,2011(1).
- [2] 周福林,李群湛,贺建闽,等. 基于概率的机车过分相过电压仿真测试及其机理研究[J]. 机车电传动,2008(6).

(上接第99页)

空气管路原理图[G]. 大同:中国北车集团大同电力机车有限公司,2012:6.

[3] TOSHIBA. SCHEMATIC DIAGRAM of TCMS for HX₂C

[G] 大连:大连东芝机车电气设备有限公司,2010:1-4.

[4] 中国北车集团大同电力机车有限公司. HXd2C机车(A方案)空气管路原理图[G]. 大同:中国北车集团大同电力机车有限公司,2011:6.

