

HXD1 型电力机车避雷器炸损故障与分析

茹锡勇¹, 彭 赞², 郭小华¹, 吴 军¹

(1. 西安铁路局安康机务段, 陕西 安康 725005;
2. 中车株洲电力机车研究所有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 针对HXD1型电力机车在襄渝南线麻柳—巴山下行区间的松麻供电臂多次发生的避雷器炸损故障, 通过对故障数据分析, 并测试故障区间机车网压、网流, 确认牵引网频繁出现的过电压是引起避雷器炸损的主要原因, 分析了引起牵引网过电压的原因并提出相应建议和措施。

关键词: HXD1型电力机车; 避雷器; 谐振过电压; 低频振荡; 供电容量

中图分类号: U269.6; U264.7⁺2 文献标识码: B
doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2018.01.029

1 故障情况

1.1 故障统计

自2016年8月至10月, 在襄渝南线麻柳—巴山下行区间的松树坡供电所麻柳供电臂, 机车先后发生多起避雷器炸损故障, 对线路正常运行产生较大影响。图1为故障发生位置示意图。

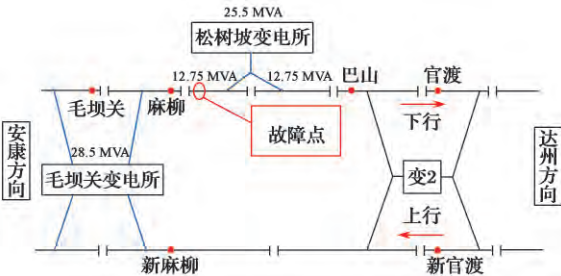


图1 HXD1型电力机车避雷器炸裂故障发生位置示意图

1.2 故障现象分析

多起避雷器炸损时的故障现象和波形类似, 均为过分相后机车重载运行, 网压存在有效值被拉低的情况, 且剧烈波动, 持续一段时间后避雷器炸损接地, 网压降至0V。典型故障波形如图2所示。

从图2可以看出, 机车经过麻柳分相点后, 在过分相后的第39s, 整车功率加载至7800kW时, 网压有效值从27.5kV跌落到22.5kV左右且波动剧烈, 约126s后, 网压突降至0V, 主断路器因网压低保护断开。

收稿日期: 2017-06-02; 修回日期: 2017-11-16

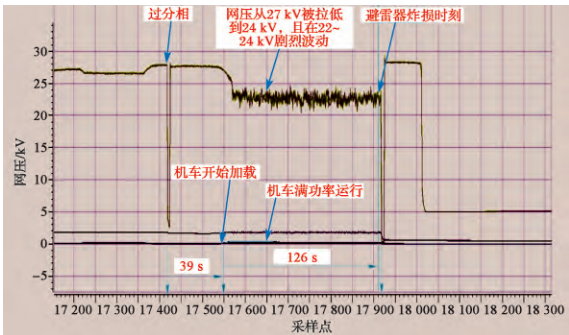


图2 机车故障波形

2 避雷器故障机理分析

HXD1机车避雷器型号为YH10WT 42/105, 依据GB 11032—2010标准, 42kV电压等级, 主要参数见表1。

表1 避雷器主要参数

项目	参数
型号	YH10WT 42/105
系统额定电压	27.5 kV
避雷器额定电压	42 kV
避雷器持续运行电压	31.5 kV
避雷器在1 mA漏电流条件下直流参考电压	58 kV
额定频率	50 Hz
标称放电电流	10 kA
谐波冲击电流下残压	≥ 18 kV
雷电冲击电流下残压	≥ 105 kV
操作冲击电流下残压	≥ 89 kV
通流容量 2 ms 方波	18次 (400 A)
通流容量 4/10 大电流	2次 (65 kA)
局部放电量 (在1.05U _c 下)	≥ 10 pC
爬电比距	≤ 25 mm/kV
质量	13 kg

避雷器在机车高压电路中安装在变压器高压侧与高压隔离开关之间, 如图3所示。所有炸损避雷器均位于升弓侧。

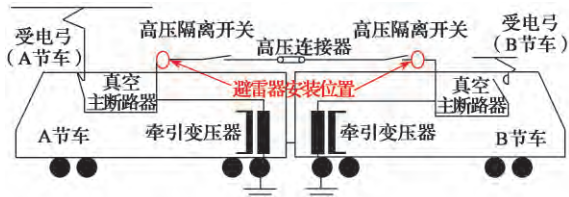


图3 HXD1型电力机车避雷器安装位置示意

根据车载避雷器的工作特性, 当施加在避雷器两端的过电压瞬时值超过 58 kV, 避雷器内部电阻片随之流过超过 1 mA 的电流, 从而产生 58 W 以上的瞬时发热功率。过电压峰值越高, 对应的电流和发热功率越大。在短时期内多次出现过电压或出现持续时间较长的过电压, 促使积累在避雷器内电阻片上的热量超过避雷器的散热能力, 电阻片短路、温度急剧上升, 出现热崩溃^[1]。过电压消失后, 电阻片熔断或不能恢复高阻态, 最终失效开路或接地。

对避雷器故障品进行解剖并进行原因分析, 可以确定接触网频繁出现了超过 58 kV 的过电压, 导致了避雷器内部出现了典型的热崩溃故障现象, 避雷器最终失效。

3 测试方案与数据分析

3.1 测试方案

利用试验机车 HX_D1-1189, 在毛坝关—官渡下行供电区间 (毛坝关—麻柳、麻柳—松树坡、松树坡—巴山、巴山—官渡 4 个供电臂) 进行多次测试, 记录机车的网压和网流数据。测试时试验车辆编组 50 辆, 载重 3 300 t。

3.2 测试数据

测试记录的机车网压、网流典型全程波形如图 4 所示。

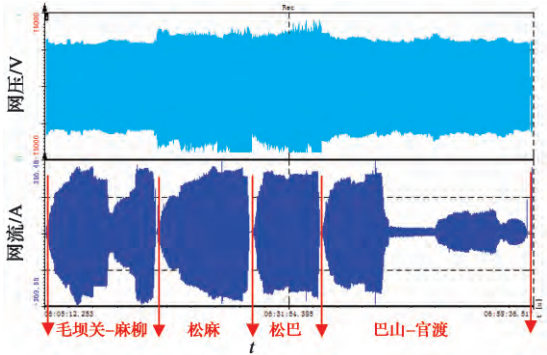
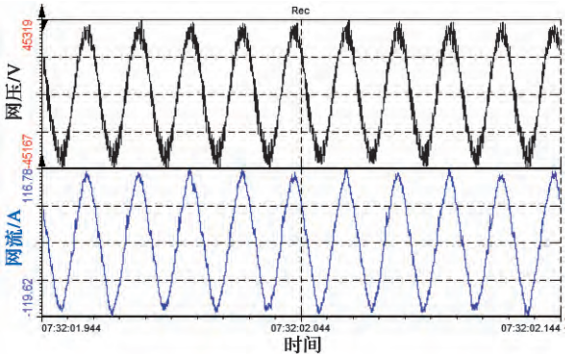
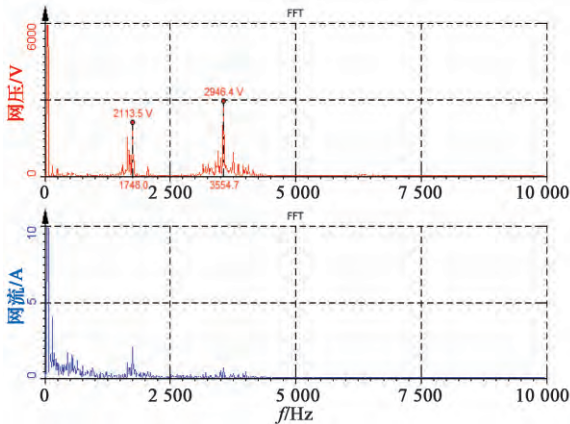


图 4 毛坝关—官渡区间全程的机车网压网流波形

从机车运行全程波形图 4 中选取毛坝关—麻柳和松树坡—麻柳区间的供电臂网压波形峰值最大处进行局部展开并进行 FFT 分析, 如图 5~ 图 6。

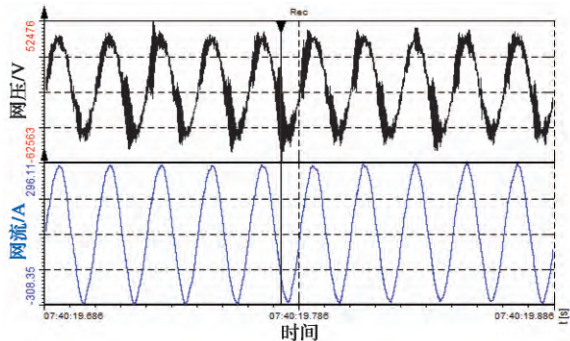


(a) 机车网压和网流

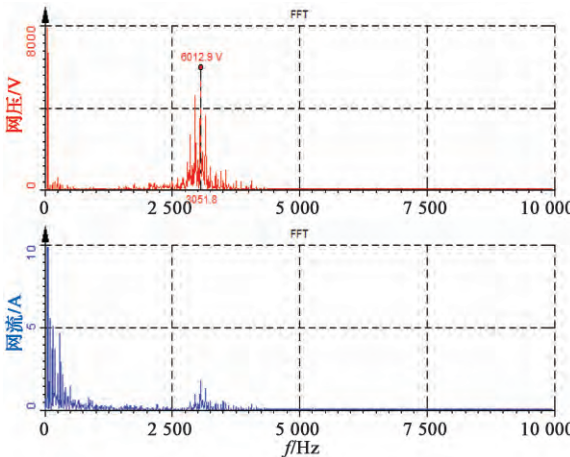


(b) 机车网压和网流频谱分布

图 5 毛坝关—麻柳供电臂下机车网压网流波形及 FFT 分析



(a) 机车网压和网流



(b) 机车网压和网流频谱分布

图 6 松树坡—麻柳供电臂下机车网压网流波形及 FFT 分析

由图 4~ 图 6 可得数据如表 2 所示。

表 2 HX_D1-1189 机车测试网压网流典型数据

供电 区间	网压 /V		网压频谱分布		网流频谱分布	
	峰值	有效值	频率 /Hz	幅值 /V	频率 /Hz	幅值 /基波占比
正常 毛麻	45 319	27 461	3 554	2 946	3 554	0.66 A/0.57 %
区间 巴官	47 867	27 574	3 549	3 417	3 549	0.63 A/0.46 %
异常 松麻	62 563	27 808	3 051	6 012	3 051	1.67 A/0.71 %
区间 松巴	52 407	27 603	3 154	3 569	3 154	1.39 A/0.65 %

3.3 数据分析

从以上测试波形和数据分析可以得出以下结论：
①机车从正常区间 (由其他变电所供电) 进入麻柳—巴山区间 (由松树坡变电所供电) 后, 网压谐波

明显增大,主要谐波次数集中在 60~75 次之间,最高单次谐波幅值占比约 10%,造成松麻供电区间网压过电压达 60 kV 以上。②无论是在网压正常区间还是在异常区间,机车网流谐波没有明显差异,高频谐波次数与网压一致,网流最高单次谐波幅值占比在 1% 以下。

4 过电压产生原因分析

4.1 牵引网高频谐振引起过电压

通过以上对现场测试数据的分析,在机车网流没有明显差异的条件下,不同供电区间网压谐波却差异显著,且出现高频过电压,是典型的牵引网高频谐振现象^[2]。牵引网谐振在全国多条线路的交流传动机车和动车组运行过程中曾多次发生,牵引网谐振会直接导致网压谐波变差和谐振过电压^[3]。如 2011 年京沪先导段 CRH380AL 与 CRH380BL 动车组试运时,发生了牵引网谐振,造成 CRH380BL 避雷器炸毁。其典型波形如图 7。

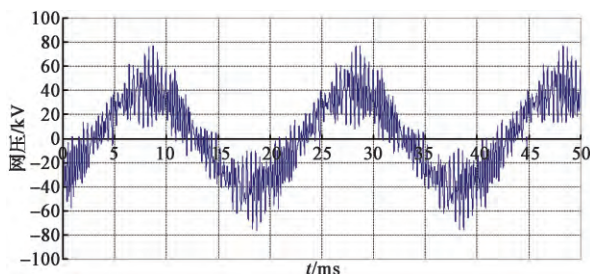


图 7 牵引网谐振过电压波形

牵引网谐振的典型规律和特征^[4]如下:①牵引网谐振是牵引网分布电容与等值电源电感(包括牵引网线路电感、变电所牵引变压器漏感、外部电源短路阻抗)的并联谐振,并联谐振会导致比较高的谐波过电压。②牵引网的谐振频率由其自身电气参数及外部电力系统阻抗频率特性决定。当机车电流谐波频率等于或接近谐振频率时,经牵引网传输存在谐波电流放大现象,而谐波电压由谐波电流和谐波阻抗共同决定。③机车工况和位置影响谐波放大倍数。机车离变电所越远,谐波电流放大倍数越大,即谐波阻抗越大,因而网压谐波及谐振过电压也越高。

车网系统中出现谐振过电压的大小由电力机车的谐波特性、牵引网的谐振频率、机车位置共同决定。另外,同一供电区间运行的机车数量对谐振过电压也有较大影响。随着机车数量的增多,网压谐波含量增加,谐振过电压越高^[5]。

根据现场测试数据统计发现,HXD1 机车进入松栎坡变电所的麻柳供电臂后,谐振过电压次数明显增加,频繁超过避雷器直流参考电压(1 mA 下)58 kV 动作门槛,发生避雷器炸损机车所处的位置也非常接近,这与牵引网谐振规律吻合。另外,统计发现 HXD1 机

车发生避雷器炸损时松栎供电臂下运行的机车数量多数时候都同时有 2 台机车,也说明谐振过电压大小与运行机车数量有关。

4.2 供电容量不足导致网压低频振荡过电压

松栎坡变电所牵引变压器的接线方式为 V/V 形式,容量为 12.75 MVA+12.75 MVA,负责向麻柳—巴山下行区间的 2 个供电臂供电,2 个供电臂长度均为 9 km。

由于麻柳—巴山供电线路处于连续长大坡道上坡区段(+10‰左右),因此要求机车通过麻柳分相点之后速度不低于 60 km/h,才能顺利闯过下一个分相,故在机车刚进入该区间时,司机多将牵引手柄推至满级位提速,机车功率均大于 8 000 kW。2 台 HXD1 机车同时运行在该供电臂下时,牵引网供电容量明显不足。

以往多次测试数据表明:当牵引供电容量不足时,牵引网压容易发生低频振荡;同一供电臂下运行机车数量越多,网压振荡越明显。图 8 为在徐州北枢纽所多台 HXD2B 机车运行时引发网压低频波动^[6]。

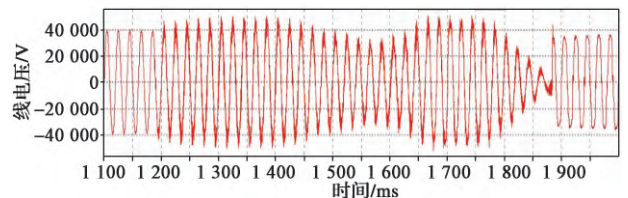


图 8 多台 HXD2B 机车运行时引起网压基波剧烈波动

牵引网低频振荡的本质是车网交互功率的低频振荡。当牵引供电容量不足时,车网系统的阻尼减小,系统非线性特性越明显,因此容易产生低频振荡,主要表现为牵引网压的低频波动。

测试到 HXD1 机车在松栎供电区间运行时,网压波形如图 9 所示(图中网压为折算到牵引绕组的电压,且经过滤波处理只含基波),可以推算出网压基波峰值已有至少超过 5 kV 的低频波动。

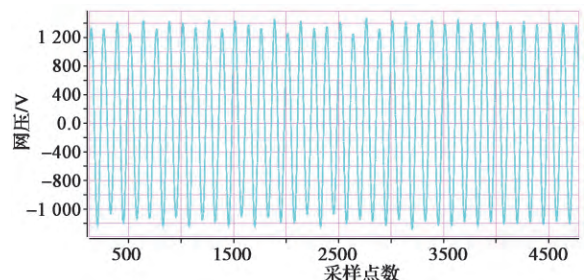


图 9 HXD1-1465 机车网压基波波形

4.3 过电压原因分析

HXD1 机车在麻柳—巴山区间运行时出现过电压的原因为车网匹配不良导致的牵引网高频谐振过电压与供电容量不足导致网压低频振荡引起的基波过电压相互叠加,最终使机车故障位置处的牵引网压过电压较高,频繁超出避雷器的承受范围,导致避雷器炸损失效。

5 改进建议

考虑到电网匹配的复杂性以及机车正常运行的需要, 建议从两方面措施解决避雷器炸损故障。

1) 牵引网谐波过电压优化措施

①寻求软件优化处理的方案, 尝试通过调整控制策略来改变机车谐波特性, 避开该区段的谐振频率。

②考虑变电站扩容或者加装地面谐波治理设备。

2) 避雷器改进措施

①在符合 GB 11032—2010 和 TB/T 1844—87 的条件下, 选取新型避雷器, 如选用 YH10WT 42/120 型避雷器, 直流参考电压 (1 mA 下) 为持续运行电压 65 kV, 提高避雷器的过电压抵御能力。

②在避雷器的设计过程中, 考虑避雷器对谐振引起的高频谐波的耐受性能, 增强其耐受高频谐波电压的能力, 避免电力机车避雷器在运行过程中发生炸损的现象。

③加强避雷器的维护、保养和检测, 及时更换存在质量隐患的产品, 避免电力机车避雷器在运行过程因自身质量引起的损坏故障。

6 结语

本文通过对 HXd1 型电力机车故障数据进行分析,

以及对在故障区间的测试数据进行分析, 确定了避雷器炸损失效的原因。同时分析出牵引网高频谐振过电压与低频振荡引起的基波过电压相互叠加, 是牵引网过电压产生的主要原因, 对避雷器安全运行有较大影响。

参考文献:

[1] 张凡, 顾沈卉, 张越喜. 几起过电压击穿避雷器的故障分析[J]. 农村电气化, 2011(8): 32-33.
[2] 崔恒斌. 高速铁路高频谐波谐振分析与抑制[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.
[3] 杨其林. 牵引供电系统与高速列车牵引传动系统耦合振荡研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
[4] 胡海涛. 高寒铁路牵引供电系统谐波传输及谐振规律研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.
[5] 杨其林. 牵引供电系统与高速列车牵引传动系统耦合振荡研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
[6] 李静. 徐州北铁路枢纽牵引网低频振荡研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.

作者简介: 茹锡勇 (1972—), 男, 长期从事机车运用及质量管理工作。

广告索引

深圳市宝创科技有限公司 (封 2- 前插 1)
无锡东电化兰达电子有限公司 (前插 2)
广州金升阳科技有限公司 (前插 3)
株洲庆云电力机车配件工厂有限公司 (前插 4)
北京赛为达科技有限公司 (前插 5)
咸阳亚华电子电器有限公司 (前插 6)
湖南中车时代电动汽车股份有限公司 (前插 7-8)
南通江海电容器股份有限公司 (前插 9)
雷莫电子 (上海) 有限公司 (前插 10)
汕头华兴冶金设备股份有限公司 (前插 11)
宁夏银利电气股份有限公司 (前插 12)
株洲中车时代电气股份有限公司 (中插 1)
湖南中车时代通信信号有限公司 (中插 2)

株洲中车时代电气股份有限公司半导体事业部 (中插 3)
株洲中车时代装备技术有限公司 (中插 4-5)
襄阳中车电机技术有限公司 (中插 6-7)
中铁检验认证株洲牵引电气设备检验站有限公司 (中插 8-9)
湖南省宁乡县中南散热器有限公司 (中插 10)
上海意兰可电力电子设备有限公司 (后插 1)
深圳通业科技股份有限公司 (后插 2)
舟山市庆丰铁路仪表有限公司 (后插 3)
温州市龙电绝缘材料有限公司 (后插 4)
宝鸡中车时代工程机械有限公司 (后插 5)
珠海金电电源工业有限公司 (后插 6)
中车戚墅堰机车车辆研究所有限公司 (后插 7)
安徽省康利亚股份有限公司 (后插 8)
株洲时代新材料科技股份有限公司 (封 3)
深圳市中电华星电子技术有限公司 (封 4)