

运用检修

HX_D3B 机车牵引变压器虚假过热
故障的分析王辰永¹, 崔光玮², 许玉清¹, 高位朋¹(1. 石家庄电力机务段 技术科, 河北 石家庄 050000;
2. 石家庄电力机务段 总工室, 河北 石家庄 050000)

摘 要: 分析了 HX_D3B 机车牵引变压器真实过热故障与虚假过热故障的不同, 并针对机车运用过程中出现的牵引变压器虚假过热故障, 从 HX_D3B 机车牵引变压器油温检测及保护原理入手, 分析了造成牵引变压器虚假过热故障的原因, 提出了相应的改进措施和建议。

关键词: HX_D3B 机车; 变压器; 油温; 过热

中图分类号: U269.6; U264.3+6 **文献标识码:** B

文章编号: 1000-128X(2012)04-0085-04

1 概况

自 2011 年 1 月 20 日至 5 月 22 日, 石家庄电力机务段支配使用的 32 台 HX_D3B 机车, 有 8 台机车发生变压器虚假过热故障 (共发生 16 件次, 详情如表 1 所示), 给列车的正常运行和机车运用带来很大的影响。

之所以把表 1 中的变压器过热故障称为虚假过热故障, 是因为这类故障与平常所说的变压器过热 (油温高) 在故障现象上有很大不同。为了能准确判断牵引变压器过热故障是真实过热还是虚假过热, 必须要了解清楚两者之间的区别。

表 1 HX_D3B 机车牵引变压器虚假过热故障情况表

车号	发生日期	故障现象	处理情况
143	2011-01-05	变压器过热, 主断路器合不上	紧固出口 2 油温传感器 329# 线
134	2011-01-20	变压器过热, 跳主断路器	电出口 1 油温传感器 329# 线
143	2011-01-22	变压器过热, 跳主断路器	检查紧固油温传感器线路
136	2011-01-31	变压器过热	电出口 1 油温传感器 325# 线
143	2011-02-01	变压器过热, 跳主断路器	电出口 1 油温传感器 347# 线
144	2011-02-07	变压器过热, 跳主断路器	电顶层油温传感器 321# 线
143	2011-04-06	变压器过热	换出口 1 油温传感器
149	2011-04-20	变压器过热, 跳主断路器	检查紧固 33A、34A 插头
143	2011-04-28	变压器过热	33A X4 插头不良, 电 325# 线
143	2011-05-09	变压器过热, 跳主断路器	换模拟量输入输出模块 34A
145	2011-05-13	变压器过热	33A X4 插头不良, 电掉 326# 线后由 60℃降为 34℃
138	2011-05-16	变压器过热	检查处理 33A、34A 插头
138	2011-05-17	变压器过热	电顶层油温传感器 345# 线, 油温由 64℃降为 51℃
143	2011-05-19	变压器过热	检查紧固 33A X4 插头, 电 325# 线
145	2011-05-13	变压器过热	检查处理 33A X4 插头
152	2011-05-22	变压器过热, 跳主断路器	检查处理 33A、34A 的 X4 插头

收稿日期: 2011-08-22; 收修改稿日期: 2012-02-20

2 牵引变压器真实过热与虚假过热的区别

2.1 变压器真实过热的故障现象

2011 年 5 月 6 日, 石家庄机务段 HX_D3B139 机车在运行途中出现变压器过热故障, 造成牵引封锁、主断路器断开。机车回段后, 立即上车检查, 发现变压器顶层油温、变压器出口 1 油温、变压器出口 2 油温分别为 82℃、79℃、80℃, 变流器 1、2、3 的冷却液温度分别为 54℃、57℃、57℃, 辅助变压器 1、2、3 的温度分别为 92℃、59℃、92℃。查询故障记录, 其中多次记录变流器冷却液温度高、变流器隔离、牵引电机隔离、牵引变压器过热、辅助变压器温度报警等信息。用手触摸车下变压器油管, 感觉非常烫手, 测量冷却塔 1 的风速为 3.0~5.4 m/s, 冷却塔 2 的风速为 0.2~4.0 m/s。拆下通风滤网发现滤网上均有一层毛毯状柳 (杨) 絮。更换滤网后, 测量冷却塔 1 的风速为 11.0~14.2 m/s, 冷却塔 2 的风速为 9.2~12.6 m/s。开冷却塔风机通风冷却一段时间, 变压器油温很快下降, 变流器冷却液温度及辅助变压器温度也降低到常态。

从上例可以看出, 牵引变压器真实过热故障是因机车车顶进气间的通风过滤网灰尘多、冷却风量不足而引起的。变压器过热故障发生的同时, 一般伴随着辅助变压器过热、变流器冷却液温度高、变流器隔离等故障的发生, 故障时的变压器油温、辅助变压器温度、变流器冷却液温度往往都比较高, 超出正常值。机车在运行过程中如果因牵引变压器真实过热造成主断路器跳开后, 往往需要停车冷却较长一段时间, 才能合上主断路器。机车回段检查时, 手触变压器油管会感觉烫手, 测量冷却塔风速会远低于技术要求规定值。

2.2 变压器虚假过热的故障现象

2011 年 4 月 28 日, HX_D3B143 机车途中发生一次牵引变压器过热故障, 机车回段检查时, 变压器顶层油温、变压器出口 2 油温分别为 36℃、32℃, 而变压器出口 1 油温在 72~84℃之间来回变化, 更换出口 1 油温传感器仍无效。而后把出口 1 温度传感器的 325# 线电掉, 变压器出口 1 油温变为 33℃。5 月 9 日, HX_D3B143 机车在途中又发生一次牵引变压器过热故障, 机车回段时变压器顶层油温、变压器出口 1 油温、变压器出口 2 油温分

别为 55℃、71℃、50℃。检查变压器油管温度正常,测量冷却塔风速也符合要求。当用手振动模拟量输入输出模块 33A、34A 的 X4 插头时,变压器出口 1 油温在几秒钟内上升到 107℃,再次振动时,温度又降到 50℃。

牵引变压器虚假过热故障的主要表现可以总结为:机车在牵引运行或停车过程中往往因变压器某一点油温值突然超过临界值造成牵引封锁或主断路器跳开,微机显示屏提示“变压器[TM1]过热”。变压器过热故障发生的同时,一般不会伴随辅助变压器过热、变流器冷却液温度高、变流器隔离等故障的发生。发生这类故障的机车,变压器油温一般都能在短时间内恢复正常,主断路器断开后不久就能合上。故障发生时,用手接触变压器油管不会感觉烫手,测量冷却塔风速也符合要求,变压器油温传感器工作正常,而变压器顶层油温、变压器出口 1 油温、变压器出口 2 油温这 3 个点的油温数值往往有一点过高,与另外两点的油温值相差过大,最少高 10℃。在处理此类故障过程中发现,在振动或拍动这些机车 TDMS 柜内的模拟量输入输出模块 33A、34A 的 X4 插头时,这 3 个点中某一点的油温值往往会急速上升或下降,此时如果甩掉温度异常的

油温传感器的一根接线,该点的温度值就能迅速下降到正常水平(三点的温差最大不大于 8℃)。此类变压器过热故障不是变压器油温真的高,所以称此类故障为牵引变压器虚假过热故障。

3 牵引变压器虚假过热故障原因分析

要对牵引变压器虚假过热故障的原因进行分析,首先要了解 HXd3B 机车牵引变压器油温检测、保护的基本原理以及机车的布线方式。

3.1 变压器油温检测原理

HXd3B 机车的牵引变压器设置 3 个 PT100 温度传感器(ST1、ST2、ST3),分别安装在变压器箱盖和 2 个出油管上,检测变压器顶层和 2 个油循环支路出口油温,依次被定义为变压器顶层油温、变压器出口 1 油温、变压器出口 2 油温。HXd3B 机车变压器油温检测电路具有冗余设计,这 3 个 PT100 温度传感器实际均由 2 个温度传感器构成,一个与微机柜模拟量输入输出模块 33A 相连,另一个与模拟量输入输出模块 34A 相连(如图 1 所示),从而确保当某一个传感器故障时,整个油温检测系统仍能正常工作。

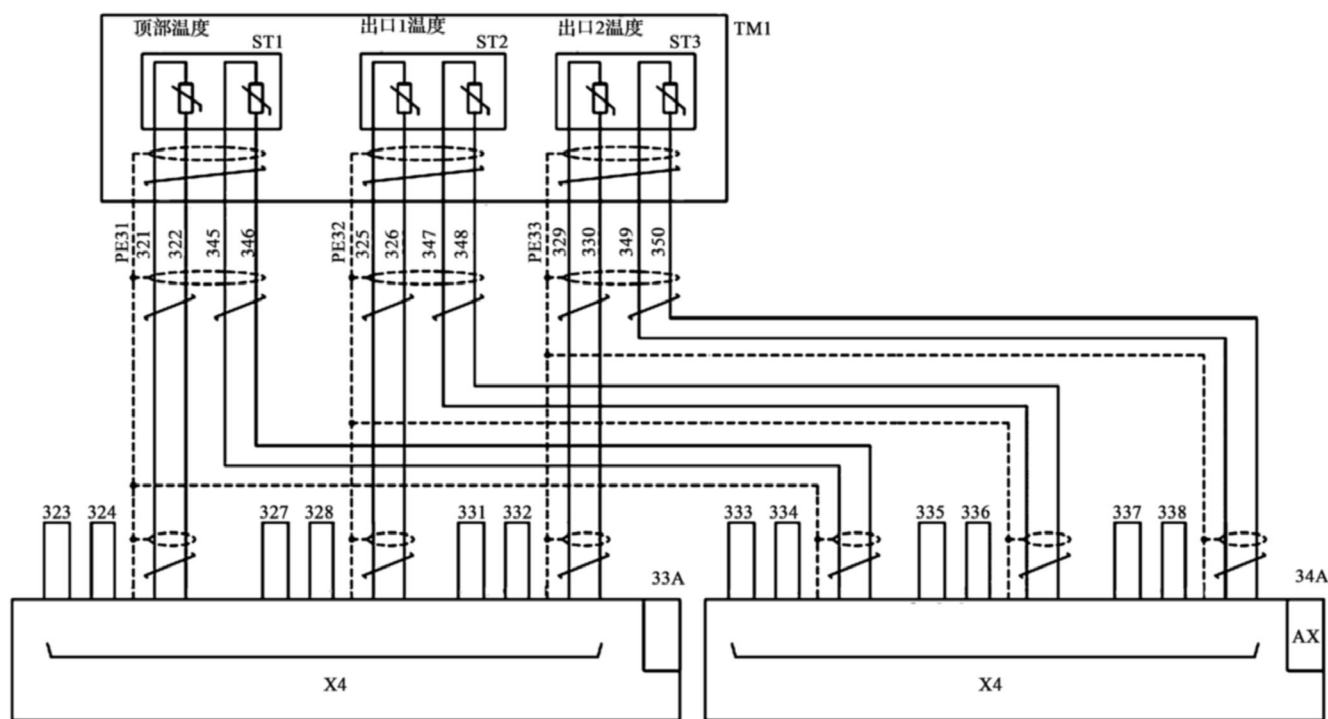


图 1 HXd3B 机车变压器油温检测原理图

3.2 PT100 温度传感器的布线方式

PT100 是一种以铂(Pt)制成的电阻式温度传感器,因为铂电阻在氧化性介质中,甚至在高温下物理、化学性质都非常稳定,因此它具有精度高、稳定性好、性能可靠、耐高压等特点。它的阻值会随着温度的变化而改变,属于正电阻系数,其电阻和温度存在如下关系:

在 -200~0℃ 范围之间

$$R(t) = R_0 \times [1 + At + Bt^2 + Ct^3](t - 100)]$$

在 0~850℃ 范围之间

$$R(t) = R_0 \times (1 + At + Bt^2)$$

式中: $R(t)$ 为在温度 t 时铂电阻的阻值, Ω ; t 为温度, $^{\circ}\text{C}$; R_0 为铂电阻在 0℃ 的阻值, 100 Ω ; $A = 3.9083 \times 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$, $B = -5.775 \times 10^{-7} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-2}$, $C = -4.183 \times 10^{-12} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-4}$ 。PT100 的

电阻—温度关系曲线如图2所示。

根据精度和经济性能的要求, PT100 铂热电阻在使用中一般有3种接线方式, 分别是二线制接法、三线制接法和四线制接法。

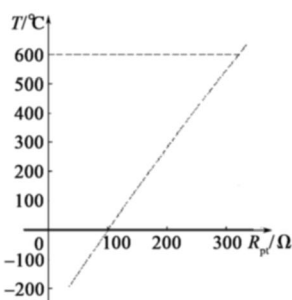


图2 PT100 的电阻—温度关系曲线

3.2.1 二线制连接

如图3所示, 二线制连接的优点是接线简单。但这种接线容易导致较大误差, 通过计算可以得知, 一个1 Ω的附加电阻(导线电阻、焊接点的接线电阻、接头电阻等)能够导致PT100变送器端产生2.56 °C的误差。虽然该误差作为偏移(零点漂移)能够被分散掉, 但是由于温度、振动、线路老化等原因, 这些电阻的阻值不是固定的, 特别是连接点的阻值(导线电阻、焊点、接头、接线端子等), 这些变化会导致明显的误差。通常, 二线制技术用于对精度要求不高的场合, 或者是连接线较短, 阻值较低的场合。

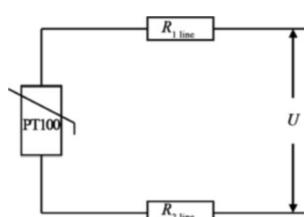


图3 二线制连接原理图

3.2.2 三线制连接

三线制连接仅适用于某些特定的场合, 即3根导线的阻值必须和接点的阻值完全匹配。在三线制的接线中, PT100 引出的3根导线截面积和长度均相同(即 $r_1=r_2=r_3$)。测量铂电阻的电路一般是不平衡电桥, 铂电阻(PT100)作为电桥的一个桥臂电阻, 将一根导线(r_1)接到电桥的电源端, 其余2根(r_2 、 r_3)分别接到铂电阻所在的桥臂及与其相邻的桥臂上, 这样两桥臂都引入了相同阻值的引线电阻, 电桥处于平衡状态, 引线电阻因环境温度变化所引起的测量误差能够被大大抵消。如图4所示, 当 $R_3 \times (R_1+r_3+r_2) = R_2 \times (r_2+R_{PT100}+r_1)$ 时, 电桥平衡, $U=0$; 当PT100电阻受温变化后, 电桥不平衡, $U \neq 0$ 。

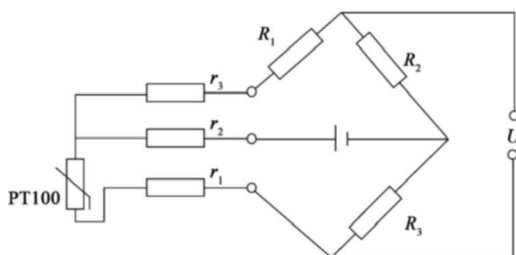


图4 三线制连接原理图

3.2.3 四线制连接

这种连接中2根导线用来传送和反馈恒定测量电流, 另外2根传感器导线用来测量电阻传感器的高阻

值压降。所有由于接触电阻或线路电阻而出现的影响几乎完全被消除。这些阻值或许有完全不同的数值, 或许会随着时间的变化而变化, 但不会影响输出信号。虽然这种接线方式需要更多导线, 但总体上来说, 由于不需要调整, 可以说是一种比较经济的方式。

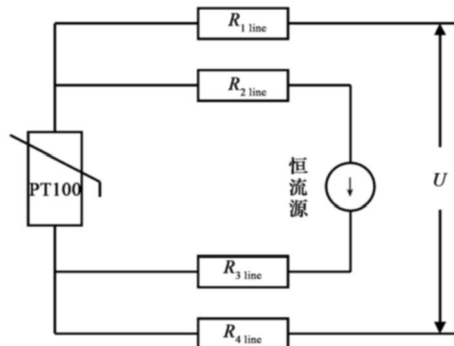


图5 四线制连接原理图

3.3 故障原因分析

3.3.1 线路接触电阻大

由图1可知, HX_D3B 机车牵引变压器油温传感器PT100接线方式采用的是二线制, 由于变压器油温的变化是通过温度传感器的电阻变化经微机网络控制系统采集并转化处理后输出到微机显示屏上, 所以温度传感器至33A、34A之间的电线路连接状态对变压器油温检测值有很大影响。HX_D3B 机车的变压器油温传感器接线是经车下接线盒、TCMS 柜XP403插头以及输入输出模块的X4插头进入模拟量输入输出模块, 每个检测线路中有4个接点。3个变压器油温传感器(6支)检测线路共有24个线路连接点, 这24个接点中任何一点接触不良、接触电阻过大都有可能造成其对应的温度传感器所检测到的变压器油温值升高。

目前通过对机车故障处所的查找, 基本确定大部分的接触不良发生在模拟量输入输出模块(33A、34A)的X4插头与模块的连接处, 其插头(母连接器)、插座(公连接器)为HARTING公司生产的48针连接器, 发生故障后现场不易处理。

3.3.2 传感器测量精度低

HX_D3B 机车牵引变压器油温传感器PT100为大连久茂自动化公司生产, 其温度测量范围为-50 ~ 200 °C, 允许通过的电流 ≤ 10 mA。为了减少传感器自热效应对测量精度的影响, 应该选择尽可能小的测量电流。在大多数情况下, PT100 温度传感器的制造商通常定义测试电流为1 mA, 因为1 mA的测量电流可以被视为无影响。经测试, HX_D3B 机车牵引变压器PT100 温度传感器的测试电流在9 mA左右, 比制造商要求的最佳测试电流(1 mA)要大很多。由于传感器的自热效应, 这同样会造成变压器油温测量值偏高, 显示值高于其实际值, 这种影响在牵引变压器油不循环的状态下更为明显。

3.3.3 采用的保护模式不合理

目前的油温检测程序是取6个传感器中的最大值,

即 $T = \text{MAX}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}$, 当检测到的油温最大值 T 超过 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, DCU(变流器控制单元)将控制牵引变流器线性降低功率, 并在操作台的微机显示屏上显示诊断信息。当油温最大值超过 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 主变流器停止输出功率, 并在操作台的微机显示屏上显示诊断信息, 冷却系统仍正常运转。当油温最大值超过 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 机车将断开主断路器。这种方式最大的问题就是不能对整个变压器油温进行准确判断。因为变压器油在机车运用中是循环散热的, 3个变压器油温传感器检测到的油温度差正常应该不大于 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 现在只要有一个传感器检测到温度值超过临界值, 无论其他的传感器检测到的温度值多低, 温差有多大, 微机即提示“变压器过热”故障并进行相应的保护, 这就很容易造成误判。

4 改进措施及建议

4.1 对HXD3B机车变压器油温检测线路进行普查

由大连机车车辆有限公司组织, 庞巴迪及机务段相关技术人员共同制订普查及处理方案, 切实杜绝此类故障。庞巴迪公司负责对模拟量输入输出模块33A、34A的普查, 大连机车车辆有限公司负责对33A、34A外部接头及温度传感器相关外部线路的普查, 确保相关线路紧固、插接良好。

4.2 改进接线方式以提高可靠性

重新对模拟量输入输出模块(33A、34A)的X4插头进行改进, 减少插接处的接触电阻, 提高插接的可靠性。建议大连机车车辆有限公司协同庞巴迪公司把PT100的温度测量电路改为四线制, 从而最大限度地消除线路电阻对温度检测值的影响, 提高温度检测的可靠性和精确度。

4.3 提高PT100温度传感器的测试精度

建议庞巴迪公司改进设计, 将PT100温度传感器的测试电流降低至 1 mA , 从而最大限度地减少温度传感器的自热效应对测量精度的影响。

4.4 改变变压器油温保护方式及数据的运算方式

为了防止虚假变压器油温高故障的发生, 建议由庞巴迪公司负责, 尽快对微机控制程序进行升级, 将现有程序所设计的一个温度传感器检测温度值超过临界值即提示变压器油温高甚至封锁牵引力、跳主断, 改成对3个PT100温度传感器检测6个温度值进行综合比较分析, 从而准确判断是变压器温度高还是温度传

感器相关线路故障。比如可以将变压器的油温值进行如式(1)所示数学运算, 将运算的结果 T 作为变压器油温的真实检测值, 用这个 T 值作为变压器油温保护的依据。

$$T = \left(\frac{\sum_{i=1}^6 \sqrt[3]{t_i}}{6} \right)^3 = \left(\frac{\sqrt[3]{t_1} + \sqrt[3]{t_2} + \sqrt[3]{t_3} + \sqrt[3]{t_4} + \sqrt[3]{t_5} + \sqrt[3]{t_6}}{6} \right)^3 \quad (1)$$

即当 T 值超过 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, DCU(变流器控制单元)将控制主变流器线性降低功率, 并在操作台的微机显示屏上显示诊断信息。当 T 值超过 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 主变流器停止输出功率, 并在操作台的微机显示屏上显示诊断信息。当 T 值超过 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 机车断开主断路器。同时, 可以将各点的温度值 t_i 与真实检测值 T 进行比较, 如果某点的检测温度 t_i 与 T 的差大于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 及时在微机显示屏上进行提示, 以便机车回段后进行相关线路检查, 确保油温检测回路正常。

4.5 提高机车运用水平

机车在运用过程中, 尤其在机车挂车换端时, 乘务员要使用“停车位置”功能, 确保换端过程中主断路器不断开, 变压器油泵始终在工作状态, 减少温度传感器自热效应对测量精度的影响。当机车发生变压器故障时, 乘务员要查看变压器3个检测点的油温值并做好记录, 以便回段更好地查找、处理故障。

5 结语

通过改变HXD3B机车牵引变压器油温保护方式及数据的运算方式, 对机车微机控制程序进行升级, 大幅减少了HXD3B机车牵引变压器虚假过热故障的发生。提高PT100温度传感器的测试精度和改进接线方式, 可以提高温度检测的精确度和可靠性, 从根本上减少牵引变压器虚假过热故障的发生, 为机车的安全运行提供可靠保证。

参考文献:

- [1] 孙云霞, 吕国义. 提高温度传感器测试准确性的方法[J]. 计测技术, 2009(3).
- [2] 孙洪岗. PT100温度传感器在温度数据实时监测系统中的应用[J]. 电脑开发与应用, 2011(4).
- [3] Pt100热电阻[M/OL]. [2011-08-06]. <http://baike.baidu.com/view/2939939.htm>.

(上接第84页)

3) 技术关键

- ①温度传感器ST的选型, 参数确定及安装调试。
- ②中间继电器MKA的参数调整。

5 结语

该保护装置装车使用3年来, 有效地防止了DF_{8B}型

机车电阻制动带的烧损。同时, 该保护装置原理和结构简单, 易于在其他内燃机车上进行推广改造。如果电力机车装用该保护装置, 当电阻带温度超过设定值时, 可暂时退出电阻制动工况, 然后由通风机对电阻带实施强迫冷却, 能更有效地保护电阻制动装置。可见, 该过热保护装置具有较高的推广价值。