

运用检修

HXD1B型电力机车主断路器闭合故障的原因分析及对策

翟后斌

(江岸机务段 技术科, 湖北 武汉 430301)

摘 要:介绍HXD1B型电力机车的运行情况,针对机车运行中主断路器HBV的闭合故障,调查并分析原因,提出相应的对策,以提高机车的可靠性和稳定性。

关键词:HXD1B 电力机车;主断路器;闭合故障;分析
中图分类号:U269.6;U264.3+5 文献标识码:B
文章编号:1000-128X(2012)01-0075-03

1 概述

HXD1B型电力机车(简称机车)从2009年7月开始上线,江岸机务段目前配属270台,担当武汉北—株洲、郑州、向塘、阜阳等区段4 500~6 000 t货物列车的牵引任务。

机车在运用初期的故障率较高,经过近2年的整改升级,机车的可靠性和稳定性有了较大幅度的提升。由于第150台之后的机车在逐步国产化,质量尚不稳定,造成部分配件故障率较高。目前,机车还有一些固有缺陷没有完全解决,如机车运行中主断路器(简称HVB)闭合故障等,严重影响列车正常运行。

2 故障情况

2009年7月至2011年5月,江岸机务段共发生HVB闭合故障500起。造成该故障有高压电器设备、HVB质量和相关控制逻辑、线路接点的原因,也有主变流系统及保护系统等方面的原因,具体原因见表1。

表1 HVB闭合故障原因统计

导致故障的部件或原因	故障次数
紧急按钮	1
网络通信	1
隔离开关	3
高压互感器	4
SKS3	7
检查无故障	12
HVB及相关	48
过分相	120
主变流器	304

由表1可知,造成机车HBV不能正常闭合的主要因素为主变流器、过分相和HBV及相关控制故障。

收稿日期:2011-07-12;收修改稿日期:2011-12-18

3 问题分析

3.1 主变流器故障

机车运行中因变流器故障突然发生HVB跳闸保护,短时间内机车没有功率输出,因此发生坡停和机破现象。从2009年7月至2011年5月,主变流柜总故障301件。国外供应商虽及时修改软件,将故障损失降至最小,但仍没有根本解决问题。图1为主变流器故障统计图。

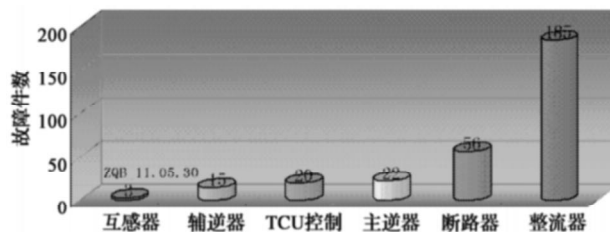


图1 主变流器故障统计

TCU控制造成的故障比例为6.64%,主、辅助逆变器造成的故障比例分别为7.31%和4.98%。早期表现故障率较高,后期质量基本稳定。

4QC的输入、输出断路器(简称Q)造成的故障比例为18.6%,主要集中在辅助联锁触点失灵导致Q闭合或断开反馈信号丢失,牵引控制单元(简称TCU)收不到Q工作状态的反馈信号,导致跳主断和实施禁止升弓保护。

4QC本身造成的故障比例为61.15%。通过调查,HXD1B机车在武汉铁路局和南昌铁路局的小号机车故障较高,而在郑州铁路局的大号机车故障较小,说明产品的一致性和适应性存在问题。从图2可知,4QC故障受环境因素的影响较大,而Q故障受环境温度影响较小。

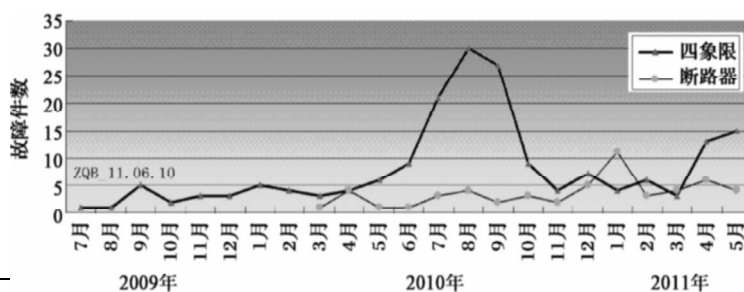


图2 四象限整流器和断路器的故障对比

统计表明,IGBT模块故障主要集中在IGBT芯片的边线区域内损伤。

芯片边线区域内损伤主要由模块制造过程中工艺控制疏漏导致,供应商已经承认这一点。

经过优化的IGBT在2010年9月开始装车后,此部分故障有明显改善,但在夏季还存在适应性问题。

3.2 HVB及相关控制环节

3.2.1 HVB本身故障

HXD1B机车上安装BVAC.N99D型真空主断路器,该产品在设计上存在一些不足,如合闸电磁阀通电后

热损,辅助联锁工作欠可靠、电线路虚接,机械传动机构卡滞,以及控制单元板在强电场和高温、高湿环境下工作的不稳定等,影响整机的正常工作。

3.2.2 HVB外部故障

运用初期主要是控制电路和智能输入/输出终端(简称SKS3)松动。但第200台之后的机车在运行途中开始频繁发生跳主断封锁,显示HBV反馈信号、中央控制单元(简称CCU)与TCU无法通信等故障,SKS3模块中的A30_A13出现多个通道输出短路。重新断电复位,系统自检时发生硬件环路故障。

经分析认为,机车批量投产后,配件的热稳定性能所选的标准有所降低是导致频繁跳HBV的主要原因。

3.3 871代码

2010年1月10日,HXD1B0110、HXD1B0095、HXD1B038机车TCU检测到HVB断开后变压器二次侧电压 $>500\text{ V}$ 后,封锁HVB和禁止升弓保护。检查HVB和变流器工作正常,解锁后故障消失。后来将变压器二次侧感应网压保护门限值从 500 V 提升至 984 V 后试验,故障基本消失,但个别机车的控制系统仍不稳定,发现在871代码故障发生前,发生HVB断开信号异常信息。另外还发现HVB控制的“逻辑关系”的不完善导致的一些故障。

3.4 机车过分相

HXD1B型机车由于软件监测网压感应门限值估算过低,造成控制系统感应高网压保护,导致过分相区后HBV不能正常闭合。将网压感应门限值调整到 16.5 kV/s 之后机车过分相时牵引单元封锁和降受电弓保护的故障基本消除,但是机车过分相时能自动断开不能自动闭合的故障仍有发生。通过调查分析,发现故障主要存在3种表现形式。

3.4.1 过分相时网压冲顶 HVB能自动断开不自动闭合

京广线株洲北—郑州北间电气化改造是90年代根据交传动电力机车牵引 $3\ 000\sim5\ 000\text{ t}$ 负荷设计的,当时采用SS4和SS6型电力机车牵引。现在全线已经全部采用HXD1B型电力机车牵引 $5\ 000\sim6\ 000\text{ t}$,由于牵引负荷的成倍增长及负荷的不对称性、不平衡性等因素的影响,对供电网的电能质量有较大的影响,经常造成网压波动并导致机车牵引封锁保护,致使HBV不能自动闭合。

交直型电力机车采用晶闸管相控整流,产生很大的3、5、7等低次谐波电流。通过牵引变电所内安装并联电容无功补偿装置兼顾滤波作用,可以减轻交直流型机车负荷对电力系统的谐波影响。

交直交型电力机车采用脉冲整流技术,其输入电网的低次谐波电流大大减少。由于采用PWM技术, $1.5\sim2.0\text{ kHz}$ 的高次谐波含量明显增加。由于HXD型机车在线路上运行时间不长,其产生的高次谐波及共振问题目前还没有进行有效的防治,机车因网压高保

护的概率上升。高次谐波不仅危害机车自身电气系统,同时也对处在同一电网当中的其他机车造成危害。

3.4.2 过分相时网压正常 HVB能自动断开不自动闭合

通过调查,晴热天气时故障非常突出,阴雨天气时故障基本消失。2011年2月4日添乘HXD1B0303机车株洲→武汉间,机车多次出现过分相区后不能自动闭合的故障。

表1 机车过分相情况调查

分相点	GFX3S信号接收情况	机车速度	过分相时描述
白马龙	预告\T2\T4\强迫	$<40\text{ km/h}$	牵引手柄回0位,收到T3信号自动分主断。过分相区后,主断不能自动闭合,司机手动合主断
	\T1\T3		
	主断断开		
	预告\T2\T4\T1\T3		
长沙东	过分相装置运行正常	$<40\text{ km/h}$	牵引手柄回0位,收到T3信号自动分主断。过分相区后,主断能自动闭合
	预告\T2\T4\强迫		
	\T1\T3		
	主断断开		
	预告\T2\T4\T1\T3		
	过分相装置运行正常		

牵引控制系统要求机车通过了分相区后,CCU在一个指令周期内,如果能正确检测到网压,网压能从正常值下降到0再升高到正常值($17.5\sim31\text{ kV}$),在过完分相区后,给出主断路器的合闸命令。但是在一个指令周期内,如果不能正确检测到网压,系统就忽略自动过分相,发生既不合闸也不报故障的现象。为什么在网压正常的情况下还会发生HVB不闭合的故障呢?这可解释为供电臂加长之后,钢轨的阻抗也增大,晴天供电网的线路内阻会比雨天偏大,或者在分相区两端轮轨间的接触电阻增大,或者在下一牵引区内的行车密度较大,延长了网压拉升恢复时间。机车从一个电分相末端进入另一个电分相末端时,CCU在一指令周期内,不能及时检测到网压的正确信号,所以就不能按时给出HBV的合闸命令。

3.4.3 乘务员操纵失误导致机车过分相后HVB封锁

部分区段的供电分相设置在“出站+上坡道”上,为防止机车坡停,乘务员往往选择手动过分相。在观察到机车通过分相、网压上升到最低标准时乘务员就赶紧合闸抢速。但此时机车还没有完全到达“地面合闸标”,网压也极不稳定,造成机车“欠压”保护。

3.5 HVB闭合及反馈控制的中间继电器

每年的4~10月份,容易发生继电器故障,原因分析如下。

1) 配件的使用环境问题

经统计,武汉北—郑州北区间机车往返 $1\ 000\text{ km}$ 最少的断合闸数 >40 次,继电器的使用频率非常高。继电器安装在密闭的低压柜内部,夏季,柜内的温度高于 70°C 。柜体内没有排风扇,潮湿气体进入后无法正常排出。继电器的使用环境非常恶劣,在高工作频率下发生故障的概率增大。

2) 继电器弹动干扰

任何一种触点开关,在接通或断开时,都不会是理想的一次动作(开或闭)。在将开未开、将闭未闭的瞬间要产生弹动(也称回跳、颤动)。

弹动是一种极不规则的短暂而且反复闭合和断开的振荡过程。触点弹动在线路中会形成干扰脉冲,如果叠加在触点开闭的理想信号上,会存在很大的误差,导致控制装置指挥失灵,影响设备的工作稳定性,严重时可能造成配件损坏。

3) 感性负载干扰

当接通或断开感性负载电源时,在电感线圈的两端产生高于电源数倍的反向电动势(简称反电势),它是工业控制装置主要的有害干扰源。使用继电器或其他触点式器件控制电感线圈时,由于弹动的关系,触点闭合及断开时,也会产生反电动势干扰。这一冲击电压,能使触点式控制器件的触点间产生电击穿,出现飞弧放电和辉光放电现象,导致触点开关瞬间虚接。

由上述分析可知,造成HVB闭合和断开控制不稳定和断开时间延长的主要原因是反电势干扰。经过综合考虑,选择D网络来抑制反电势干扰试验,它既能把反电势抑制到足够低,又能抑制触点弹动。电路如图3。

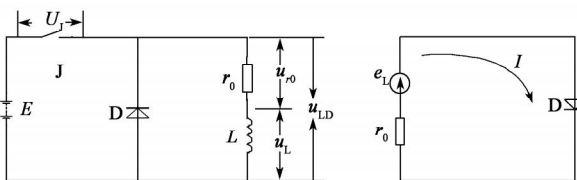


图3 D网络原理图及触点J断路时的等效电路图

接入D网络后,继电器线圈所产生的反电势,以及线圈的端电压都很低,不会成为干扰源。断路时触点两端的电压约等于电源电压,不需要考虑触点的电击穿问题,不会出现辉光放电现象,抑制触点接触不良的现象。

继电器线圈内阻 $>15\ 000\ \Omega$,工作电流 $<0.01\ \text{A}$,因此电磁机构释放延时可以忽略不计。

通过2台车的改造试用,效果非常理想。

3.6 高压电压互感器

机车上线运用至今共发生4起高压电压互感器(简称互感器)爆裂故障。2010年8月连续发生3起互感器爆裂故障、1起造成供电网断网的恶性事故。

分析故障数据,互感器在故障之前,CCU均连续预报网压 $>29\ \text{kV}$,之后TCU分断HVB后保护,说明此时电线圈内部已经发生局部短路,造成互感器的输出电压升高,必然会导致内部温度急剧上升。

夏季,电压互感器长期在高温下曝晒,密封体内部温度异常高,加上 $70\ \text{kV}$ 的谐波电压对它进行长期性的冲击,这对配件的电气绝缘性能是非常残酷的考验。当电气绝缘性能降低时线圈局部短路,与绝缘介质在高温下化学反应产生导电溶液,内部压力过大后密封

体爆裂并流出溶液,导致通过导电溶液对地放电。

铁道部2011年7月11~14日在武汉进行机车的车网匹配试验和与HXD3、SS6B机车间的相互干扰试验时,发现HXD1B机车产生的高次谐波造成SS6B机车RC支路电阻烧损、机车断电之后,在HXD3C机车上发现接触网压开始突升,并伴随着剧烈波动,验证了一个供电臂下交流机车多时,网压频率不会变但幅值会增大,这也是造成高压互感器爆炸故障的另一原因。2011年2月份HXD3机车大部分调出武汉铁路局后,武汉—株洲、郑州、阜阳、向塘全线使用HXD1B机车至今,没有发生一起高压互感器爆炸的事故,网压波动造成机车封锁的故障也大幅下降。说明不同控制类型的交流机车混用时对电网的影响较大。目前只发现HXD3和HXD1B机车四象限整流器的控制方式略有不同之外,其他尚需进一步的试验和理论推导来佐证。

4 措施及效果

因为造成HVB闭合故障有多种因素,只有加强机车的运用和日常维护管理,及时发现问题,对部分缺陷进行改造和升级,才能提高机车的总体质量。经过分析论证之后,制定以下几点方案,并逐步进行实施:

①升级AS 318模块的控制软件,降低CPU的发热量,减小设备对温度的敏感性。优化E版控制软件,更改GFX与CCU的通信协议,优化CCU、TCU控制程序,优化4QC的控制程序,提高4QC的可靠性,提高主变流器整机的稳定性。

②改造HVB合闸电磁线圈,整修控制线路,重新优化HVB的控制单元板,反馈HVB的控制逻辑问题和K01、K02继电器的改造试验结果。整修SKS3模块接插件及电器线路的电气特性及抗振性,加强配件的装配工艺控制。督促生产厂商加强互感器绕组漆包线材料质量和绕制工艺控制,提高产品的内在质量。

③更换怀疑批次的4QC,收集新工艺生产的模块缺陷,调查4QC故障的根源。

④关于网压波动和网压冲顶问题,明显是由机车产生的高次谐波和接触网末端共振引起的。下一步将研究滤除 $2.5\sim 3.5\ \text{kHz}$ 高次谐波的可行性方案,研究提高电力系统容量的解决方案,协调机车调度指挥能力,研究线路牵引变压器的接地系统对机车牵引控制的影响。

⑤成立技术攻关组,对一些惯性故障进行专项研究。建立机车数据下载和日常统计分析制度,发现故障隐患及时反馈信息。制定预防措施,防止机车带病上线。加强乘务员的专业知识和应急处理能力培训,纠正乘务员不良的操纵习惯,引导乘务员正确认识新装备的技术特性,以提升乘务员对HXD型机车的实际操作能力和对突发事件的判断及正确处理能力。加强与机车生产商和相关供应商间的信息沟通,及时反馈

(下转第87页)

表4 恒速手柄不能定速情况

日期	车组	车号	故障现象
2011-01-14	CRH5056A	1	恒速手柄不能定速
2010-02-27	CRH5035A	0	恒速手柄不能定速
2010-03-06	CRH5059A	0	恒速手柄不能定速
2010-03-07	CRH5040A	1	恒速手柄不能定速
2010-03-15	CRH5036A	1	恒速手柄不能定速
2010-03-17	CRH5041A	1	恒速手柄不能定速
2010-03-18	CRH5059A	1	恒速手柄不能定速
2010-04-16	CRH5041A	1	恒速手柄不能定速
2010-04-20	CRH5034A	0	恒速手柄不能定速
2010-05-06	CRH5059A	0	恒速手柄不能定速
2010-05-08	CRH5059A	0	恒速手柄不能定速
2010-06-08	CRH5034A	1	恒速手柄不能定速
2010-06-23	CRH5060A	1	恒速手柄不能定速
2010-08-02	CRH5056A	1	恒速手柄不能定速
2010-08-16	CRH5057A	0	恒速手柄不能定速
2010-09-05	CRH5059A	0	恒速手柄不能定速
2010-09-14	CRH5042A	0	恒速手柄不能定速
2010-09-27	CRH5056A	1	恒速手柄不能定速
2010-10-27	CRH5043A	0	恒速手柄不能定速
2010-11-13	CRH5060A	1	恒速手柄不能定速
2010-11-19	CRH5056A	1	恒速手柄不能定速
2010-11-21	CRH5056A	1	恒速手柄不能定速
2010-11-22	CRH5056A	1	恒速手柄不能定速
2010-11-22	CRH5038A	1	恒速手柄不能定速

司机控制器只能给出最小牵引力，牵引力不大于 10 kN，主要是因为司机控制器内部的编码器故障，造成无法输出信号。具体实例见表 5 所示。

表5 输出最小牵引力故障情况

日期	车组	车号	故障现象
2010-12-07	CRH5035A	1	输出最小牵引力
2010-12-21	CRH5039A	0	输出最小牵引力
2010-12-25	CRH5038A	0	输出最小牵引力
2010-12-25	CRH5038A	1	输出最小牵引力
2011-01-14	CRH5056A	1	输出最小牵引力

(上接第 77 页)

机车存在的趋向问题，共同研究解决方案，提高整车的可靠性。

通过近 6 个月的努力，目前机车机破故障稳步下降，机车质量得到基本控制。

5 结论

通过调查、分析和解决 HXD1B 型电力机车的运行中出现的故障，机车运行质量日趋稳定。由于第 150 台之后的机车在逐步国产化，肯定还有新的问题出现，因此需要继续深入研究，不断优化产品的设计和制造工艺，进一步提升整机的可靠性和稳定性。随着问题

5 检修维护建议

针对司机控制器故障提出如下检修维护建议：

① 一级修增加司机控制器测试内容。每次入库时，对动车组两端司机室控制器进行检测，使用 Serdeb98 软件检测各手柄微动开关位置状态信息及编码器输出数字量和模拟量等信息的有效性和正确性，可以提前防止设定速度与实际速度不一致、牵引力输出不大于 10 kN、定速不准等故障现象。

② 每天入库作业时，对手柄进行反复测试，连续对手柄进行提拉动作，从纵向和横向 2 个方向检查手柄是否存在松动或者固定不良现象，同时通过试验手柄前后运动情况来检测手柄齿轮连接处是否存在卡滞现象。

③ 二级修在 1 个月项目中增加司机控制器内部机械结构动作检查、触点检查、接线检查、齿轮等部件检查项目，通过目视和进行动作试验，能够提前防止因接线松脱造成的无法输出牵引力、手柄固定螺栓松脱造成手柄无法动作、齿轮啮合不良等故障现象。缩短司机控制器定期检修周期，由 3 个月减为 1 个月，能够及时防治手柄固定螺栓松脱故障的发生。

通过开展以上工作，郑州动车所 2011 年以来，防止司机控制器手柄螺栓松动故障 3 起、防止定速不准故障 5 起、防止牵引力输出不足故障 4 起，有效地避免了动车组在运行途中发生故障的可能性，增大了动车组运行的安全系数，有效地提高了移动装备质量。

参考文献：

- [1] 张中央. 动车组操纵与安全 [M]. 成都：西南交通大学出版社，2008.
- [2] 何成才，黄秀川. 动车组网络技术 [M]. 成都：西南交通大学出版社，2009.
- [3] 刘志明，史红梅. 动车组装备 [M]. 北京：中国铁道出版社，2007.

的陆续解决，相信在不久的将来，HXD1B 型电力机车的运行将更加稳定和可靠。

参考文献：

- [1] 中国南车集团株洲电力机车有限公司. HXD1B 型交流传动电力机车维修运用维修手册 [M]. 株洲：中国南车集团株洲电力机车有限公司，2009.
- [2] 中国南车集团株洲电力机车有限公司. HXD1B 型交流传动电力机车四象限整流器故障调查报告 [M]. 株洲：中国南车集团株洲电力机车有限公司，2010.
- [3] 韩刚，徐万玉. 工业电子控制装置的抗干扰技术 [M]. 北京：中国铁道出版社，1984.