

问题讨论

交流传动电力机车主变流器
接触器故障分析及改进

杨文昭

(株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心,
湖南 株洲 412001)

摘 要: 对HXD1C和HXD1等交流传动电力机车主变流器使用的充电接触器和线路接触器的现场故障进行了统计和归类, 并进行了充分的试验和解剖分析, 提出了改进意见, 改进后的接触器在性能和可靠性方面有了较大的提高。

关键词: 交流传动电力机车; 主变流器; 充电接触器; 线路接触器; 卡分/卡合; 吸合时间; 释放时间

中图分类号: U264.3⁺2 文献标识码: B
文章编号: 1000-128X(2015)06-0091-04
doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2015.06.024

1 故障统计分析

多年来HXD1C(6轴7 200 kW)和HXD1(8轴9 600 kW)等交流传动电力机车主变流器使用的充电接触器和线路接触器故障频发。根据统计数据, 自2012年10月至2014年5月, 充电接触器故障107起(8次机破), 线路接触器故障37起(2次机破), 期间这2种接触器的故障数占接触器类现场总故障数的48.8%, 而在2013年上线运行的安康线HXD1机车充电接触器故障率一度达到8.6%。故障发生时直接造成所属主变流器不能工作, 严重影响了机车的正常运用。

同期各型号接触器在运行现场质量统计情况见表1。

表 1 各厂家接触器物料现场质量统计

接触器型号	用户现场 故障次数	用户现场 故障比率
直流接触器(LTHS800/2P\2NO+2NC,110VDC)	37	12.54%
直流接触器(LTHH40/1P/NO/V/110/2/N)	107	36.27%
接触器(LTC300/2P\2NO+2NC,110VDC)	10	3.39%
直流接触器(LTHS650/1P\2NO+2NC,110VDC)	2	0.68%
直流接触器(C195A/110EC-U2)	2	0.68%
接触器(C193AE/1-110V)	4	1.36%
线路接触器(SEC10.10 01 1 1 0)	4	1.36%
CONTACTOR(BMS15.002NC) 接触器	83	28.14%
交流接触器(3RT1017-2KF41)	2	0.68%
接触器(3TF4522\1*F4)	14	4.75%
接触器(3TF4922\1*F4)	10	3.39%
空气开关(5SY6303-7)	8	2.71%
中间继电器(3TH4022\1XF4)	10	3.39%
真空接触器(EVS\701\1-110DC)	2	0.68%

收稿日期: 2015-07-07

对线路接触器和充电接触器故障统计见表2。从统计数据可见, 故障现象主要表现为卡分/卡合故障。

表 2 线路接触器和充电接触器故障现象统计

故障品名称	卡分 / 线圈 卡合 烧损	接头 连接螺 栓烧损	触点 松动	灭弧罩松 动 / 开裂	不明	拆回 检测
直流接触器 (用作线路接触器) (LTHS800/2P\2NO +2NC,110VDC)	24	2	3	0	0	2
直流接触器 (用作充电接触器) (LTHH40/1P/NO/ V/110/2/N)	94	1	0	1	2	4

从接触器控制和状态判断逻辑上分析, 接触器线圈由控制器DCU内部开关节点控制, 控制器发出接触器闭合/分断指令后, 通过接收接触器辅助触点(比如31-32)的通断信号来判定接触器的工作状态(见图1)。如果在设定的延时时间后检测到的状态与闭合/分断指令不符合, 则判断为卡分/卡合故障。

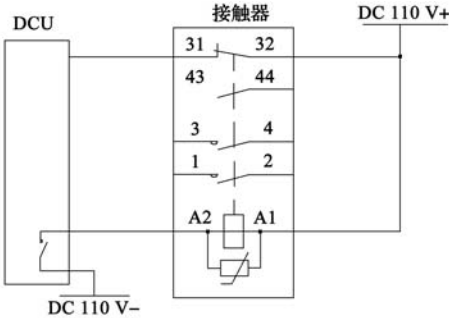


图 1 接触器驱动和状态检测原理

2 针对线路接触器故障的试验研究和改进措施

2.1 卡分/卡合故障的试验研究

为找到主变流器线路接触器(LTHS800/2P)的卡合/卡分故障原因, 对各批次线路接触器进行了以下研究性试验:

- ①在机车上对线路接触器的合闸时间、分闸时间、蓄电池电压进行了现场测试。
- ②对返修的故障接触器在常温下各种控制电压条件(DC 77 V、DC 110 V、DC 137.5 V, 控制电压范围依据参考文献[1], 浮充电蓄电池类)下的合闸时间和分闸时间进行了测试。
- ③高、低温环境试验, 对各种环境温度(-40℃、-25℃、常温、+45℃、+75℃)、各种控制电压条件(DC 77 V、DC 110 V、DC 137.5 V)下线路接触器的合闸时间和分闸时间进行了测试。
- ④常温下最低吸合电压、最低释放电压测试。
- ⑤2 000次磨合动作试验。
- ⑥解剖分析辅助触头盒。

经过以上试验, 发现线路接触器(LTHS800/2P)存在以下问题:

- ①8轴9 600 kW机车调试现场检测16台线路接触器的吸合时间和释放时间, 其中有2台的释放时间大于1 s。

②返修故障品中 2 台线路接触器辅助触头顶杆螺母松动, 闭合时顶不到位, 造成辅助触点不能动作, 见图 2。

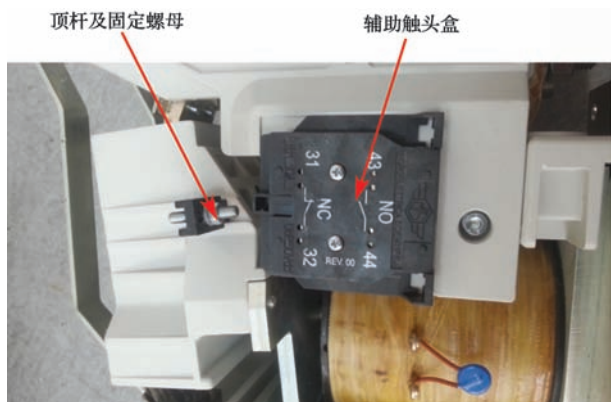


图 2 辅助触头动作机构

③额定控制电压下, 线路接触器的吸合时间 (320 ms 左右) 和释放时间 (50 ms 左右) 均大于样本规定参数 (≤ 280 ms 和 ≤ 45 ms), 但不至于引起卡分 / 卡合故障。

④辅助触头压缩弹簧力反力小 (4.8 N), 弹簧压缩过程中扭曲等, 见图 3。

⑤高低温环境试验结果显示, 当环境温度为 45℃时, 5 台线路接触器中有 2 台在 DC 77 V 不能合闸, 有 1 台动作不稳定, 而当环境温度为 75℃时, 所有线路接触器在 DC 77 V 控制电压下都不能合闸, 最低合闸控制电压在 DC 90~95 V。由于 8 轴 9 600 kW 机车采用主辅一体牵引变流器, 线路接触器动作时充电机没有工作, 由蓄电池供电, 机车调试现场测得的控制电压为 DC 89 ~ 99 V。因此在夏季机车主变流器内高温环境下, 线路接触器很可能报卡分故障。

2.2 控制线圈烧损故障的试验研究

早期装车的线路接触器发生过批量控制线圈烧损故障, 见图 4。针对该故障进行了控制线圈的温升试验, 接触器线圈长时

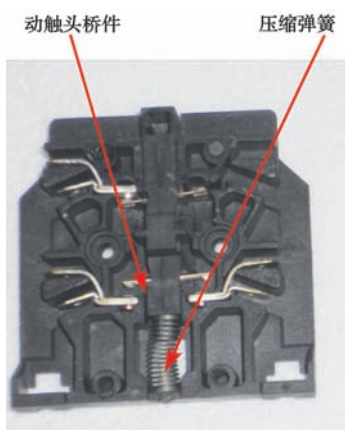


图 3 辅助触头盒内部结构



图 4 线圈烧损情况

间通电后的线圈表面稳定温升为 58℃左右, 线圈内部平均温升为 82℃左右, 最高温升为 94℃。

2.3 原因分析及改进措施

2.3.1 高温环境线路接触器最低吸合电压偏高问题

1) 原因分析

由于线圈导线的电阻率 [见式 (1)] 具有正温度系数特点, 温度越高线圈电阻越大, 线圈电流减小, 电磁力越小。若设计的电磁力和反力弹簧配合不当, 则高温时接触器不能吸合。电阻率公式:

$$\rho_t = \rho_{20} \times [1 + (\alpha + \beta)(t - 20)] \quad (1)$$

式中: ρ_{20} —导线材料 20℃时的电阻率, $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, 对于紫铜材料为 $0.018 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; ρ_t —导线材料 t ℃时的电阻率, $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; α —导线材料电阻温度系数, $1/\text{K}$, 对于紫铜材料为 $1/234.5 \text{ } 1/\text{K}$; β —导线材料线膨胀系数, $1/\text{K}$, 对于紫铜材料约为 $17 \times 10^{-6} \text{ } 1/\text{K}$; t —线圈温度, ℃。

2) 改进措施

重新设计线圈, 或者调整反力弹簧减小反力 (有延长释放时间的风险)。经过计算和试验验证, 对于 LTHS800/2P, 在常温下 (20℃左右) 最低吸合电压调整到 DC 65 V, 能够保证高温 (75℃) 时最低吸合电压不大于 DC 77 V。

2.3.2 线路接触器辅助触头顶杆螺母松动, 闭合时顶不到位, 造成辅助触点不能动作问题

1) 原因分析

辅助触头顶杆固定结构设计不合理, 在振动环境下工作时固定螺母容易松动。

2) 改进措施

新品重新设计辅助触头顶杆固定方式, 对现场使用的旧接触器采取涂螺纹胶防松措施。

2.3.3 辅助触头压缩弹簧反力小、弹簧压缩过程中扭曲等问题

1) 原因分析

辅助触头盒设计或选型不合理: ①压缩弹簧反力小造成触点接触不稳定; ②压缩弹簧扭曲造成弹簧力分散性大; ③运动结构为直动式结构, 分断速度较慢, 易造成辅助触点分断时拉弧, 引起触头烧损或氧化。

2) 改进措施

选用结构强度好、反力大、瞬动结构的速动开关。

2.3.4 接触器的释放时间大于 1 s 问题

1) 原因分析

问题源于组装结构的卡滞、电动力与反力弹簧的配合、辅助顶杆的调整以及辅助触头动作不到位。

根据 DCU 控制逻辑, 当合闸和分闸指令发出后, 若 1 s 时间内没有收到接触器辅助触点的反馈信号, 则报卡分 / 卡合故障。

2) 改进措施

作为接触器生产质量的最终控制, 出厂试验增加

2 000 次磨合筛选试验，试验中监测常开触点（包括主触点）和常闭触点的动作时间（定为≤ 1 s），淘汰不合格产品。

在不影响主变流器工作的前提下，将 DCU 检测卡分 / 卡合故障的时间阈值由 1 s 改为 2 s。

2.3.5 控制线圈批量烧损问题

1) 原因分析

源于线圈绝缘材料耐热等级不够，绝缘材料原为 B 级（温度指数 TI 为 130℃，半值 HIC 为 11.0 K），根据线圈温升试验结果，线圈内部最高温升为 94℃，即便在 45℃ 环境温度下，绝缘材料的使用寿命也只能够保证 11 343 h（实际使用不到 2 年）。

根据参考文献 [3-4]，在温度应力作用下，绝缘材料的使用寿命计算：

$$T = T_0 \cdot 2^{\frac{\theta_{TI} - \theta}{\theta_{HIC}}}$$

(2)

式中：T₀—绝缘材料温度指数（TI 值）的推出时间，默认值为 20 000 h；θ_{TI}—绝缘材料温度指数；θ_{HIC}—绝缘材料半差值；θ—绝缘材料工作温度。

2) 改进措施

采用 H 级（温度指数 TI 为 180℃）以上的线圈绝缘材料。

3 针对充电接触器故障的试验研究和改进措施

3.1 卡分 / 卡合故障的试验研究

针对主变流器充电接触器（LTHH40/1P）的卡合 / 卡分故障，从 2012 年 10 月起至 2014 年 3 月陆续对各批次充电接触器进行了以下研究性试验：

①对返修的故障接触器在常温下各种控制电压条件（DC 77 V、DC 110 V、DC 137.5 V）下的合闸时间和分闸时间进行了测试，并对辅助触点接触电阻进行了测量。

②高、低温及恒定湿热环境试验，对各种环境温度（-40℃、-25℃、常温、+45℃、+75℃）、恒定湿热（40℃、93%）、各种控制电压条件（DC 77 V、DC 110 V、DC 137.5 V）下充电接触器的合闸时间和分闸时间进行了测试。

③常温下最低吸合电压、最高释放电压测试。

④轴套耐磨性及轴心偏转测试。

⑤电磁铁吸力及反力弹片弹力测试。

⑥ 20 万次机械动作试验（依据参考文献 [2]，A2、C2 类器件）。

经过以上试验，发现充电接触器（LTHH40/1P）存在以下问题：

① 部分接触器辅助触点接触电阻超标，接触器辅助触点接触电阻正常应为≤ 100 mΩ，实际最大接近 3 000 mΩ，且辅助触头盒接线端子有氧化现象，见表 3 和图 5。

表 3 辅助触头接触电阻实测值

序列号	接触端	辅助开关阻值 /mΩ									
0436	1-2 端	89	80	76	74	112	76	74	77	69	69
	3-4 端	15	12	12	11	12	11	11	9	8	8
	5-6 端	62	59	58	57	56	56	56	55	55	55
	7-8 端	17	17	19	23	24	19	19	18	23	19
0270	1-2 端	39	37	36	24	23	21	20	19	18	18
	3-4 端	205	220	182	70	64	60	58	57	56	55
	5-6 端	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	7-8 端	525	3 818	202	2 646	272	2 646	272	68	66	65
0817	1-2 端	67	62	60	59	58	56	55	54	52	56
	3-4 端	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5-6 端	185	183	276	135	127	101	96	93	91	89
	7-8 端	34	28	26	25	29	27	25	106	26	25



图 5 接线端子氧化情况

②转架与轴套间摩擦阻力较大，造成接触器卡滞。在故障接触器转架与轴套间垫光滑垫片后卡分 / 卡合现象消失，见图 6。

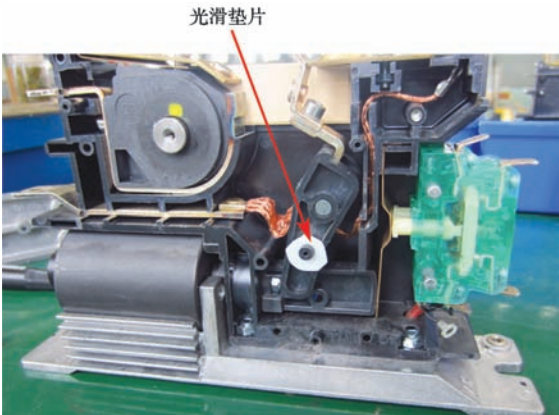


图 6 轴套耐磨性验证

③轴套磨损或松动后偏心，造成接触器卡滞，引起卡合 / 卡分现象，见图 7。



图 7 模拟轴套偏心

④电磁线圈吸力和反力弹片弹力均偏小, 导致机构动力过小, 在阻力稍大的情况下就会造成卡分 / 卡合故障。正常情况下, 反力弹片弹力应不小于 2.3 N, 而部分故障接触器实测力 1.9~2.2 N。

⑤20 万次动作试验后, 推杆与转架、推杆与主框架、轴套均有较严重磨损, 见图 8。



图 8 机械动作试验及磨损情况

3.2 原因分析及改进措施

3.2.1 接触电阻过大及端子氧化问题

1) 原因分析

接触器触点表面往往有一层气体和杂质吸附薄膜, 同时因氧化、硫化等作用形成不同程度的非金属薄膜。一般情况下触头闭合时的撞击和电压可以击穿绝缘薄膜, 但偶然情况下不能接通或接触电阻过大; 接线端子氧化严重情况下也可能引起接触不良。以上均可能造成接触器状态信号无法传输。

2) 改进措施

辅助触头采用镀金触点, 以及提高辅助触点盒 IP 防护等级, 同时接线端子由插片连接改为线环螺栓连接。

3.2.2 转架与轴套间摩擦阻力较大, 造成接触器卡滞问题

1) 原因分析

所选材料的自润滑性不好。

2) 改进措施

选用自润滑性好的转架和轴套材料, 或在转架与轴套间加润滑垫片。

3.2.3 轴套松动偏心后造成接触器卡滞问题

1) 原因分析

两侧板轴套的同轴度不够。

2) 改进措施

配置工装保证轴套装配的同轴度, 并固定轴套。

3.2.4 长期工作后, 推杆与转架、推杆与主框架、轴套均有较严重磨损问题

1) 原因分析

所选材料的自润滑性和耐磨性不好。

2) 改进措施

各摩擦零部件选用自润滑性和耐磨性更好的材料。

3.2.5 电磁线圈吸力太小, 反力弹片弹力太小问题

1) 原因分析

其中电磁铁吸力过小易造成接触器吸合过程卡滞, 反力弹簧弹力过小易造成接触器释放过程卡滞。反力弹片与设计和加工工艺有关, 电磁线圈吸力与设计有关。

2) 改进措施

加大电磁线圈吸力, 加大反力弹片弹力并改进反力弹片加工工艺, 防止反力弹片变形。

另外, 与线路接触器一样, 作为接触器生产质量的最终控制, 出厂试验增加 2 000 次磨合筛选试验, 试验中监测常开触点 (包括主触点) 和常闭触点的动作时间 (≤ 0.5 s), 淘汰不合格产品。

4 结语

生产厂家在 2014 年 5 月至 2015 年 4 月根据以上提出的改进措施, 对前面提到的 2 种接触器进行了部分设计和工艺上的改进, 新生产的接触器经过对比性能测试和可靠性试验, 确认在性能和可靠性方面较老产品有较大提高, 现场改造工作已基本完成。

参考文献:

- [1] 全国牵引电气设备与系统标准化技术委员会. GB/T 21413.1—2008, 铁路应用 机车车辆电气设备 第 1 部分: 一般使用条件和通用规则 (IEC 60077-1: 1999, IDT) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [2] 全国牵引电气设备与系统标准化技术委员会. GB/T 21413.2—2008, 铁路应用 机车车辆电气设备 第 2 部分: 电工器件 通用规则 (IEC 60077-2: 1999, IDT) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [3] 全国电气绝缘材料与系统评定标准化技术委员会. GB/T 11021—2007, 电气绝缘 耐热性分级 (IEC 60085: 2004, IDT) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [4] 全国电气绝缘材料与系统评定标准化技术委员会. GB/T 11026.1—2003, 电气绝缘材料 耐热性 第 1 部分: 老化程序和试验结果的评定 (IEC 60216-1: 2001, IDT) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

动态消息

中国高铁再添新利器 CRH2G 型高寒动车组赢得“通行证”

2015 年 11 月, 由中车青岛四方机车车辆股份有限公司自主研制的 CRH2G 型高寒动车组, 获得国家铁路局颁发的“型号合格证”和“制造许可证”。这标志着 CRH2G 型高寒动车组历经近 3 年的研制、试验和线路考核后, 正

式取得市场“通行证”, 我国高铁再添一款新利器。

据了解, 作为我国高铁全新的一款高寒车型, CRH2G 型高寒动车组攻克了耐高寒、抗风沙、耐高温、适应高海拔、防紫外线老化五大技术难题, 能同时适应高寒、风沙、高海拔等恶劣运营环境, 是我国高速动车组领域的又一重大技术创新成果。其成功研制, 为我国高寒、沙漠和高原地区的高铁线路提供了适应性更强的动车组车型。预计 2015 年底, CRH2G 将在兰新高铁正式投入运营。

(朱一迪)