

高速动车组电制动失效分析及改进措施

李富平¹ 高盘龙²

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司铁路客车业务部,130062,长春;
2. 新疆铁道职业技术学院信息管理工程学院,830011,乌鲁木齐//工程师)

摘 要 为降低高速动车组电制动失效的故障率,首先对高速动车组电制动的控制原理进行分析,根据典型故障数据分析及现车测试,确定电制动失效原因;其次,分析在牵引和制动工况下电制动失效对车辆的影响;最后,通过调整牵引控制单元(TCU)控制软件中的网压限制电制动力输出参数,提高电制动的可靠性。

关键词 动车组;电制动;失效分析;网压参数

中图分类号 U270.1+1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.02.013

Analysis of EMU Electric Braking Failure and Improvement Measures

LI Fuping, GAO Panlong

Abstract To reduce the failure rate of EMU electric braking troubles, the working principle of EMU electric brake is firstly analyzed, the typical fault data are analyzed and tested on the spot to determine the failure causes. Secondly, the impact of vehicle electric braking failure under traction and braking working conditions on train operation is analyzed. Finally, by way of adjusting the net pressure of line voltage in TCU (traction control unit) software, the output parameters of the electric brake are constrain to improve the reliability of EMU electric brake.

Key words electric multiple unit (EMU); electric brake; failure analysis; parameter

First-author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

高速动车组的电制动系统通常在接触网网压 29 kV 以下、列车速度 10 ~ 200 km/h 的工况下工作。在电分相区段,高速动车组依靠制动电阻器消耗牵引电机产生的能量进行电制动(只有在速度高于 35 km/h 且需要电制动时可用,一旦激活可以在 10 km/h 时应用)。电阻制动器每列车安装 5 个,分别安装在 1 号、2 号、4 号、7 号、8 号车的车顶上。电制动能够有效降低高速动车组的空气制动闸片磨

耗量,并延长闸片的使用寿命。经现场测量发现,电制动失效时,高速动车组动轴制动闸片最高温度超过 600 ℃,而长时间的高温环境容易造成车下相关设备的损坏。

本文通过对铁路兰新线高速动车组电制动失效的分析,确定故障原因,制定有效的改进措施以降低电制动失效对车辆产生的影响。

1 网压采集原理

1.1 网压/网流检测装置

高速动车组通过集成仪表箱或集成检测装置采集接触网网压和网流,即通过电路将网压转换为 7 路模拟信号输出至 5 辆动车牵引控制单元(TCU)和本地牵引控制模块(CLT),将网流转换为 2 路模拟信号输出至 CLT。

1.2 网压信号采集

TCU 采集 3 号或 6 号车网压/网流检测装置发送的网压信号(见图 1),用于 TCU 内部逻辑运算^[1]。

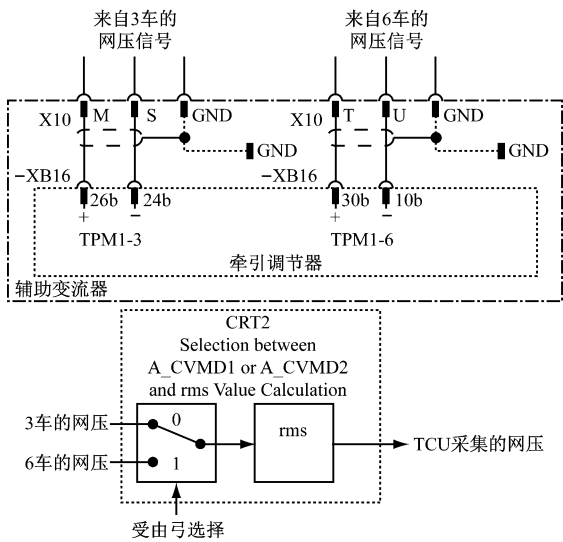


图 1 TCU 采集网压信号原理

CLT 采集 3 号或 6 号车网压/网流检测装置发送的网压和网流信号(见图 2)^[2],用于列车网络控制系统(TCMS)内部逻辑运算。由于 TCMS 采集网压信号时经过多次数据转换,故通过 TCMS 监控到的网压值与 CLT 设备和 TCU 监控的网压值存在一定误差。

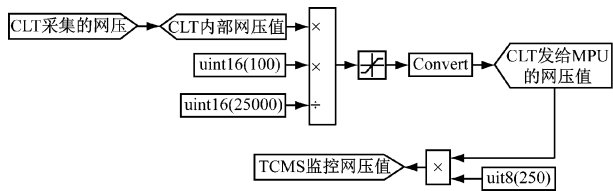


图 2 TCMS 采集网压信号原理

2 电制动失效条件

高速动车组电制动失效的条件如下:①当动车

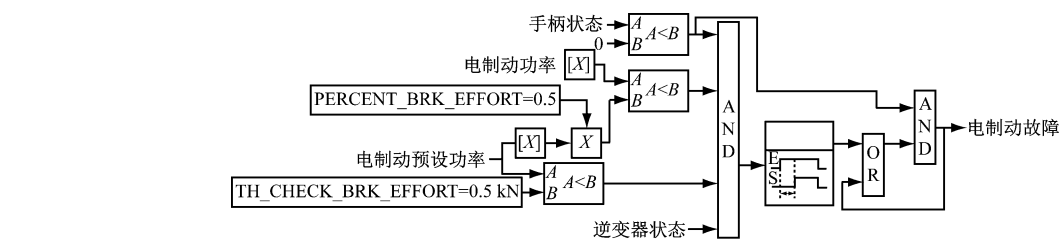


图 3 电制动失效原理

3 电制动失效故障典型案例

3.1 故障现车排查

2015 年 5 月 25 日,兰新线动车组在运行时发生电制动丢失情况。维保人员随后对兰州西—嘉峪关南区段承担 D2741、D2742 次列车交路的动车组进行了全面监控检查,具体检查结果如下:

(1) 下载 TCU 数据,分析变流器在电制动失效时段的故障数据,结果未发现任何故障数据记录,仅有状态数据记录(如接触网网压大于 29 kV 的记录)。

(2) 检查电制动切除按钮线路供电状态及相关控制板卡,结果未发现异常。

(3) 检查故障车辆的互锁阀,发现互锁阀均能正常动作。

(4) 检查故障车辆 TCU 数据记录中的冷却液温度,结果均在正常范围内(低于 70 ℃)。

(5) 检查制动变阻器的外观状态,结果未发现异常情况。

组在制动状态时逆变器关闭;②当动车组在电制动状态下,输出功率小于预设电制动功率的 50% 时,延时 3 s 电制动失效;③制动变阻器的温度超过 600 ℃;④互锁阀故障;⑤牵引辅助变流器冷却液超过 70 ℃。

根据时速 250 km 动车组技术条件和设计要求^[3]:高速动车组在 TCU 软件中设定了接触网网压与输出功率的关系曲线,网压在 29.0 ~ 31.5 kV 间输出功率线性下降至零,此时动车组逆变器停止工作,牵引电机不再输出功率。同时,根据电制动故障条件,当动车组在电制动状态,输出功率小于预设电制动功率 50% 时^[1],延时 3 s 电制动失效,如图 3 所示。

3.2 动车组数据分析

中央控制单元(MPU)数据如图 4 所示,TCU 数据如图 5 所示。数据显示 TCU 采集的接触网网压为 29.08 kV。

2015/10/24 20:54:53	1	N.I.	0000	3	N.G.	N.AV.	94	A	B	D	F
2015/10/24 20:55:12	1	N.I.	0000	3	N.G.	N.AV.	86	A	B	D	F
2015/10/24 20:55:40	1	N.I.	0000	3	N.G.	N.AV.	82	A	B	D	F
2015/10/24 20:55:43	1	N.I.	0000	3	N.G.	N.AV.	82	A	B	D	F
2015/10/24 20:55:43	1	N.I.	0000	3	N.G.	N.AV.	82	A	B	D	F
2015/10/24 20:55:44	1	N.I.	0000	3	N.G.	N.AV.	81	A	B	D	F
2015/10/24 20:55:54	1	牵引系统	16245	3	TCU检测到电制动故障	检查动车组车辆互锁阀	80	A	B	D	F
2015/10/24 20:55:54	2	牵引系统	16246	3	TCU检测到电制动故障	检查动车组车辆互锁阀	80	A	B	D	F
2015/10/24 20:55:54	4	牵引系统	16252	3	TCU检测到电制动故障	检查动车组车辆互锁阀	80	A	B	D	F
2015/10/24 20:56:01	4	N.I.	0000	3	N.G.	N.AV.	78	A	B	D	F
2015/10/24 20:56:06	4	N.I.	0000	3	N.G.	N.AV.	77	A	B	D	F
2015/10/24 20:56:06	4	N.I.	0000	3	N.G.	N.AV.	77	A	B	D	F
2015/10/24 20:56:07	4	N.I.	0000	3	N.G.	N.AV.	77	A	B	D	F
2015/10/24 20:56:12	4	N.I.	0000	3	N.G.	N.AV.	76	A	B	D	F

图 4 MPU 故障数据显示界面

通过对故障动车组的 TCMS 数据及 TCU 数据进行分析,发现故障发生时,TCMS 数据记录为“TCU 检测到电制动故障”,在电制动失效区段,TCU 记录的接触网网压超过 29 kV。

3.3 兰新线网压调查

对观花台牵引变电所 27.5 kV 母线电压情况进行检测,结果发现 T 线接触网电压为 28.8 kV;同时对观花台牵引变电所 330 kV 电压进行检测,结果发

2015-01-05 13:23:44.501	00:15-30	Absent	18	FWCF monitoring Loss of line volt
2015-01-05 13:23:28.301	00:15-30	Absent	19	FWCF monitoring Loss of line volt
2015-01-05 13:23:28.301	00:19-02	Absent	5	Neutral Section failed
2015-01-05 13:51:58.360	00:15-30	Absent	20	FWCF monitoring Loss of line volt
2015-01-05 13:51:58.560	00:19-02	Absent	6	Neutral Section failed
2015-01-05 14:02:39.941	00:15-30	Absent	21	FWCF monitoring Loss of line volt
2015-01-05 14:02:40.141	00:19-02	Absent	7	Neutral Section failed
2015-01-06 00:52:28.281	00:01-01	Absent	11	TCU power up
2015-01-06 00:51:45.766	00:01-01	Absent	12	TCU power up
2015-01-06 00:33:37.132	00:05-03	Absent	2	HPU life signal is dead
2015-01-06 00:34:27.131	00:05-04	Absent	2	HPU life signal is alive
2015-01-06 01:22:22.663	00:01-01	Absent	13	TCU power on

Variable	IO
CTA_time_v...	1.867+000
CTA_FWCF_f...	0.00000000
CTA_IRV_faul...	0.00000000
CTA_gsef1_V...	7.343+002
CTA_DSPF_VB...	0.000+000
CTA_DSPF1_V...	0.000+000
CTA_coolin...	6.802+000
CTA_DSPF_ID...	1.677+000
CTA_DSP3_ID...	3.835+001
CTA_DSP2_ID...	4.240+001
CTA_DSP3_ID...	3.325+003
CTA_drive_la...	0.0000070F
CTA_drive_la...	0.00968037
CTA_IRBV_op...	1.840+000
CTA_IRBV_op...	1.840+000
CTA_FWCF_op...	1.053+003
CTA_effort1...	0.000+000
CTA_DSPF1...	3.229+003
CTA_time_sar...	4.430+002
CTA_temp...	-1.145+000
CTA_temperature	58
CTA_slapsd...	0.001+004
CTA_gsef1...	2.050+004
CTA_time_sta...	0.00000000
CTA_time_sta...	2.189+004
CTA_delink...	3.594+003
CTA_time_y...	2.909+004

中间直流环节电压	
CTA_u_dclink...	3.594+003
CTA_u_line_y...	2.909+004

接触网网压	
CTA_u_dclink...	3.594+003
CTA_u_line_y...	2.909+004

图5 TCU 数据显示界面

系统 A、B、C 电压分别为 364.5 kV、365.3 kV、364.9 kV。

通过兰州—嘉峪关南区间接触网网压监控波形(见图6)可以看出:09:35:57—09:42:50时间段网压持续大于29 kV,持续时间近7 min;09:43:51—09:53:55时间段网压持续大于29 kV,持续时间10 min;10:00:34—10:08:34时间段网压持续大于29 kV,持续时间8 min。

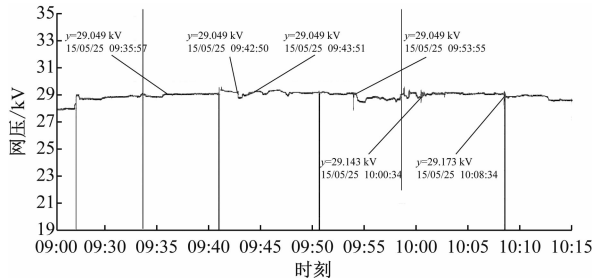


图6 高速动车组兰州—嘉峪关南区段供电网压监控记录

根据接触网网压调查可知,兰新线兰州西—嘉峪关南区段部分区段接触网网压大于 29 kV,且持续时间大于 5 min。

4 网压超限对动车组的影响

4.1 牵引工况下的影响

牵引工况下,接触网网压超限对动车组的影响主要表现在:

- (1) 网压在 22.5 ~ 29.0 kV 间牵引功率保持在额定功率范围内；
- (2) 网压在 22.5 ~ 19.0 kV 间牵引功率线性下降至额定功率的 84% ；
- (3) 网压在 19.0 ~ 17.5 kV 间牵引功率线性下降至零,辅助设备应正常工作；
- (4) 网压在 29.0 ~ 31.0 kV 间牵引功率线性下

降至零,辅助设备应正常工作。

TCU 监控显示,当网压超过 29 kV 时,列车处于减功率运行(正常牵引功率为 550 kW)状态,牵引力减小,如图 7 所示。

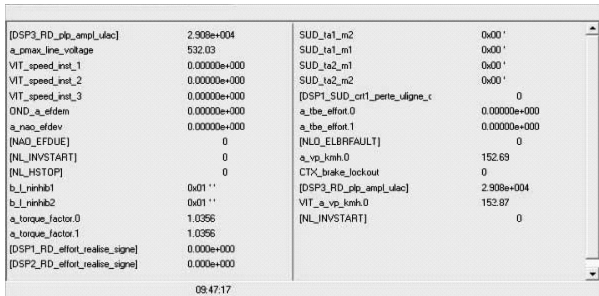


图7 网压超限时的列车减功率运行监控界面

4.2 制动工况下的影响

MPU 监控显示,当接触网网压超过 29 kV,且牵引制动手柄处于制动位时,为防止电制动进一步提升网压,此时禁止电制动施加,而采用空气制动进行补偿,但这会导致制动盘温度过高(见图 8)。

5 改进措施

为解决兰新线高速动车组经常出现由于网压偏高导致电制动失效问题,使高速动车组更好地适应兰新线网压高和长大坡道多状况,通过长期试验后,提出了以下网压适应性参数调整优化方案:将TCU 中网压限制电制动力阈值配置参数提高,由 29 kV 提升至 30.5 kV。参数调整可有效改善电制动丢失导致的制动摩擦副过度磨损问题。

通过牵引制动工况下牵引力和电制动力限制的测试,可以确认参数调整后,网压对牵引力限制仍为 31 kV,对电制动力限制变为 30.5 kV。软件修改可以提高网压对电制动力输出的限制判定阈值,且对其他无影响。

6 结语

当接触网网压大于 29 kV 且持续时间大于 5 min,TCU 检测到接触网网压为 29.0 ~ 31.5 kV,牵引电机输出功率线性下降至零。根据电制动故障条件,机组在电制动状态下,输出功率小于预设电制动功率 50% 时,延时 3 s 电制动失效。由于恒速功能通过电制动调节,故当电制动失效时动车组的恒速功能同样失效。

(下转第 65 页)

- 组速度传感器的电磁干扰机理及抑制[J]. 中国铁道科学, 2016, 37(6):69.
- [3] 严加斌, 朱峰, 李军, 等. 高速动车组速度传感器的电磁干扰测试与分析[J]. 电子测量与仪器学报, 2015(3):433.
- [4] 马云双. 新一代动车组电磁兼容关键技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- [5] HATSUKADE S, MAEDA T. Experiment and basic analysis of surges on a rolling stock's body[J]. IEEJ Transactions on Power and Energy, 2005, 125(8): 754.
- [6] HATSUKADE S. Reduction method of surge voltage on ac railcar's body[J]. Foreign Rolling Stock, 2010, 50(2):70.
- [7] 王晟. CRH2 型高速动车组车载信号系统电磁干扰分析与解决方案[J]. 铁道技术监督, 2015, 43(9): 32.
- [8] 严加斌. CRH3 型动车组轴端速度传感器的电磁兼容性研究[D]. 成都:西南交通大学, 2015.
- [9] 韩伟锋, 胡学永, 肖石, 等. 雷击接触网高速列车车体过电压分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2013, 10(4):117.
- [10] HATSUKADE S, FUJINO K, KANNO S. Suppressing over-voltage on carbodies of a highspeed EMU[C]// 2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications. Lille: IEEE, 2013:1.
- [11] 高国强. 高速列车运行状态暂态过电压机理与抑制方法的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- [12] 杨帅, 曹保江, 高国强, 等. 高速动车组降弓浪涌过电压分析[J]. 铁道学报, 2015(7):46.
- [13] 高国强, 刘耀银, 万玉苏, 等. 高速动车组升弓浪涌过电压研究[J]. 高电压技术, 2016, 42(9): 2909.
- [14] 马云双, 闻映红, 张丹, 等. 动车组屏蔽线缆间串扰特性及其试验验证研究[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(5): 1188.
- [15] 卡兰塔罗夫. 电感计算手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [16] 邱关源. 电路[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [17] 刘帆, 陈柏超, 卞利钢. 变电站二次电缆屏蔽层接地方式探讨[J]. 电网技术, 2003, 27(2): 63.
- [18] 肖飏. 圆形金属丝缠绕型外导体同轴电缆工作电容的计算[C]// 中国通信学会 2011 年光缆电缆学术年会. 成都:中国通信学会, 2011.
- [19] 聂颖, 胡学永. 高速动车组升弓浪涌过电压研究[J]. 机车电传动, 2013(4):9.
- [20] 陈盼. 高速动车组升降弓暂态过电压形成机理与抑制方法研究[D]. 成都:西南交通大学, 2016.
- [21] 国家质量监督检验检疫总局. 轨道交通机车车辆电子装置: GB/T 25119—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.

(收稿日期:2018-10-11)

(上接第 59 页)

网压	网流	列车速度	手柄角度	恒速模式	TCU反馈转矩	恒速手柄百分比	制动请求	电制动主锁闭	电制动使能	电制动命令使能	1年电制动故障	2年电制动故障	4年电制动故障
tzv125	tzccorr1	frveloc	tzenco	tzmarci	frtcueb	tzcoppi	tzrichf	tzinibi	frabilf	tzabilf	tzavafri	tzavafi	tzavafri
29000	151	197	126	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	153	197	126	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	151	197	126	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	148	197	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	149	197	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	146	197	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	137	197	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	135	197	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	139	197	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	151	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	153	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	156	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	157	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	156	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	150	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	148	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	149	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	146	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	143	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	139	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	146	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
29000	151	194	125	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1

图 8 网压超时禁止施加电制动的监控界面

根据电制动失效的运行情况分析,采用调整网压限制电制动力阈值的配置参数,能够有效保证电制动力的正常使用,降低制动摩擦副过度磨损问题,保证高速动车组的运行可靠度,在安全可靠的前提下拓宽网压的有效应用范围。

参考文献

[1] BOUCLET D. Software flow charts documents; Inverter handler

functions[R]. Savigiano; Alstom Villeurbanne Cedex, 2008.

[2] FIGINI G. Requirements secification for the clt application SW [R]. Savigiano; Alstom Sesto S Giovanni, 2008.

[3] BARBIERI D. Traction control unit interface requirements secification for EMU for MoR CA250 TCU[R]. Savigiano; Alstom Sesto S Giovanni, 2006.

(收稿日期:2018-10-11)