

文章编号:1006-2106(2015)09-0092-05

津秦客运专线信号电缆受电磁影响测试与分析^{*}

常媛媛^{1**} 吴命利² 韦继肖³

(1. 中铁通信信号勘测设计(北京)有限公司, 北京 100036; 2. 北京交通大学, 北京 100044;
3. 国网山西省电力公司侯马市供电公司, 侯马 043000)

摘要:研究目的:高速铁路沿线的信号电缆会受到牵引供电系统电磁危险影响。本文结合津秦客专联调联试,在唐山牵引变电所供电区段对一段2.7 km铁路信号电缆进行感应电压测试,设置电缆屏蔽层单端接地和双端接地,测试不同速度级正常行车情况下和接触网短路故障情况下,信号电缆芯线和屏蔽层的感应电压(电流),为评估高速铁路信号电缆受电磁干扰影响程度以及优化今后信号电缆电磁防护设计提供依据和参考。

研究结论:(1)津秦客运专线正常行车情况下信号电缆芯线感应电压可达36 V,接触网故障情况下可达360 V;(2)目前信号电缆采用每3 km分段单端接地的设计方案在接触网正常运行情况下满足电磁干扰防护要求;(3)电缆近侧线路负荷产生的纵向感应电动势为远侧线路的1.3倍,牵引网直供方式产生的纵向感应电动势为全并联AT供电方式的4倍以上;(4)测试电缆屏蔽层双端接地时,对回流的分流很小,但同时在接触网发生短路故障时存在造成电缆烧损的风险,因此应根据信号电缆信息传输可靠性要求等级以及线路的具体情况来合理选择屏蔽层接地方式;(5)本研究成果能够为高速铁路信号电缆接地方式的选择和电磁兼容设计提供指导和参考。

关键词:高速铁路;信号电缆;电磁影响;牵引供电系统

中图分类号:U228.2 **文献标识码:**A

Test and Analysis of the Electromagnetic Influence of Signal Cable on Tianjin – Qinhuangdao Passenger Dedicated Railway Line

CHANG Yuan – yuan¹, WU Ming – li², WEI Ji – xiao³

(1. China Railway Communication and Signal Survey & Design (Beijing) Co. Ltd, Beijing 100036, China; 2. Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 3. State Grid Shanxi Electric Power Company Houma Power Supply Company, Houma, Shanxi 043000, China)

Abstract: Research purposes: The signal cables along high speed railway are always affected by the traction power supply system. Combined Tianjin – Qinhuangdao Passenger Dedicated Line's alignment joint – test, we took a series of test measuring the induced voltage on signal cable by an electromagnetic interference causing from the traction power supply system. The length of the testing cable is 2.7 kilometers, and we set two kinds of shielding layer grounding mode, one is single ended grounding, the other is double ended grounding. The signal cable's voltage and current of both core wire and shielding layer were tested under the condition of traction power supply's normal operation and short – circuit fault condition. This paper can offer rich data and effective analysis on the field of electromagnetic influence from traction power supply and the signal cable electromagnetic protection design.

Research conclusions: (1) The core wire's induced voltage can reach to 36 V under the normal condition of contact

* 收稿日期:2015-06-08

** 作者简介:常媛媛,1982年出生,女,工程师。

line, 360 V under the fault condition. (2) The design specification that making shielding layer signal ended grounding every 3 kilometers is tolerable in electromagnetic protection design under connect line's normal operation condition. (3) Longitudinal induction electromotive force produced by the cable side line load is 1.3 times of the far side line, longitudinal induction electromotive force produced by the direct feeding power supply system is more than 4 times of the all parallel AT power supply mode. (4) When the shielding layer was double end grounding, the induced voltage can fall to half of the former value, but there will be current flowing in the shielding layer and the current will cause dangerous when the contact line was short circuited. So we should chose different grounding method according to the safety level requirement of signal cable and special condition of railway line. (5) This research result can provide guidance and reference for signal cable grounding method selection and electromagnetic compatibility design of high speed railway.

Key words: high speed railway; signal cable; electromagnetic influence; traction power supply system

1 引言

我国新建高速铁路沿线强、弱电线电缆较多,主要依靠铁路综合接地系统实现良好的电磁兼容。铁路信号电缆一般与贯通地线同槽敷设,是最易遭受牵引网电磁感应影响的弱电线电缆。高速铁路牵引供电系统普遍采用全并联 AT 供电方式,供电与回流网络结构复杂。尽管国内以前开发过牵引网对信号电缆的电磁感应计算软件,但其建模相对简单,并没有考虑综合接地系统贯通地线和等电位横连结构的影响^[1-4],在高速铁路技术条件下,是否能获得可靠计算结果需要验证。遗憾的是,尽管国内开通的高速铁路已有多条,但联调联试中缺乏对信号电缆电磁感应影响的系统测试;在公开的国内外文献中,也很难见到类似的专题测试^[5-7]。本文结合津秦(天津-秦皇岛)客运专线联调联试,在唐山牵引变电所供电区段开展了牵引供电系统对信号电缆的电磁感应测试,获得了正常行车及牵引网短路故障情况下的信号电缆纵向感应电动势数据,为评估高速铁路信号电缆受牵引供电系统电磁感应影响程度以及优化沿线信号电缆电磁防护设计提供支持和参考。

2 测试条件

2.1 测试位置

经过现场勘查,牵引供电系统及被测信号电缆位置如图 1 所示。选择唐山站附近位于老庄子线路所和 39# 基站之间的一段防灾用电缆,电缆总长度 3.1 km,其中与线路平行接近段长约 2.7 km。信号电缆布置在下行线路侧的信号电缆沟内,电缆型号为 PTYL23-12,为 12 芯铜导线、聚氯乙烯绝缘、铝护套、绕包双钢带铠装、聚乙烯外护层的铁路专用信号电缆,结构如图 2 所示。信号电缆终接于两头站房机柜下方,方便更改屏蔽层(信号电缆钢带铠装、铝护套和内屏蔽护套)

接地方式。同时,测点靠近牵引变电所,牵引回流相对集中,有利于捕捉信号电缆电磁感应电压最大值。

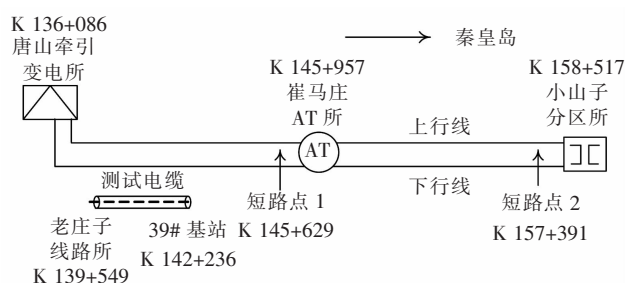


图 1 测试区段供电方案及信号电缆位置

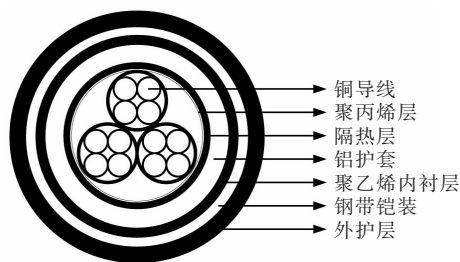


图 2 电缆结构

2.2 测试接线

依据《电信线路感应纵电势和对地电压、电感应电流及杂音计电压的测量方法》(GB/T 13998—1992)确定测试方法,将信号电缆 39# 基站一端的屏蔽层和被测芯线接地。为了对比信号电缆屏蔽层不同接地方式对芯线纵向感应电动势的影响,老庄子线路所一端的信号电缆屏蔽层分接地和不接地两种情况。在老庄子线路所测试芯线对地电位、屏蔽层对地电位和屏蔽层电流(双端接地时),测试接线如图 3 所示。

2.3 测试设备

测试设备安装在老庄子线路所内,如图 4 所示。测试前分别对电缆芯线和屏蔽层进行了状态确认,确

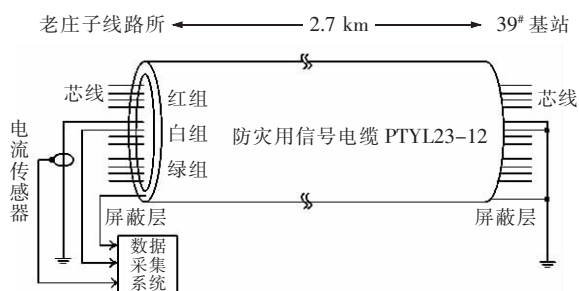


图3 测试接线

认电缆连接情况良好、芯线无断路。

测试期间,同时在唐山牵引变电所、崔马庄 AT 所和小山子分区所安装了电压、电流测试设备,测试牵引网相关电气量。所用到的测试设备有数据采集系统、电流钳、电压探头、笔记本电脑等。

在正常行车测试中,数据采集系统以 3 s 为间隔进行录波,采样频率为 20 kHz,每次采集存储采样点数为 2 000,即每 3 s 记录 100 ms 波形数据。在接触网短路测试中,数据采集系统采用触发工作模式,每次短路试验利用电压上升沿信号触发,记录 5 s 的波形。

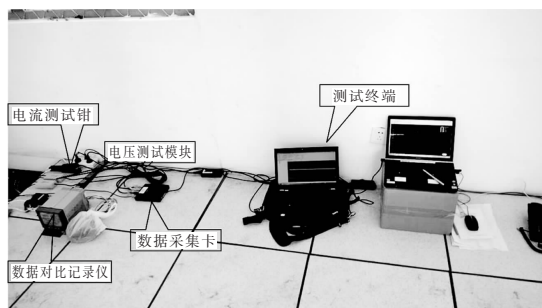
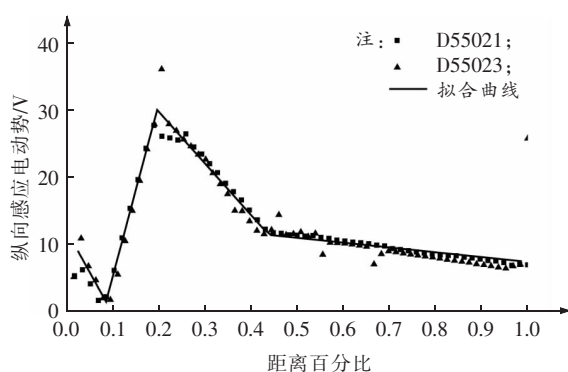


图4 测试设备

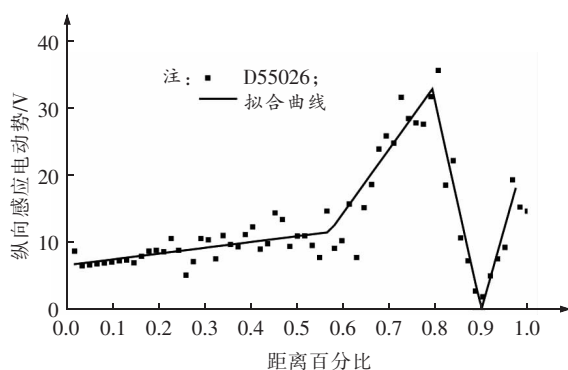
3 正常行车测试结果

3.1 电缆屏蔽层单端接地

根据《高速铁路设计规范》(TB 10621—2014),信号电缆屏蔽层应采用分段单端接地。为此首先测试了屏蔽层单端接地情况下,动车组通过供电臂时信号电缆芯线和屏蔽层的纵向感应电动势。测试结果表明,这种情况下电缆芯线纵向感应电动势与电缆屏蔽层纵向感应电动势相等。根据牵引变电所同步测得的负荷电流数据,把纵向感应电动势的测试结果统一折算成对应 1 000 A 电流的数据。图 5 给出了下行线分别通过下行列车、上行列车时的芯线纵向感应电动势的变化曲线,其中横坐标距离百分比表示列车位置距唐山牵引变电所的距离与供电臂总长度的比值。



(a) 下行车



(b) 上行车

图5 下行线通过列车时信号电缆芯线纵向感应电动势

由拟合曲线可以看出,在下行线路上,分别通过下行方向列车和上行方向列车时,感应电动势曲线对称,这实际上表明列车处在线路任一位置在电缆上产生的感应电动势大小只与电流大小有关,而与行车方向无关。根据电缆平行接近段长度,可以计算出 1 000 A 电流在单位长度信号电缆芯线上产生的纵向感应电动势最大值约为 12 V/km。

另外,上行线通过列车时,信号电缆纵向感应电动势曲线与图 5 类似,只是幅度变小,纵向感应电动势最大值为 9 V/km。

3.2 电缆屏蔽层双端接地

电缆屏蔽层双端接地情况下,芯线也会因磁感应影响产生纵向感应电动势,由于在屏蔽层中的纵向感应电动势会导致屏蔽层与两端大地之间的环流,而这个环流同样会在芯线上产生纵向感应电动势,其效果是会抵消一部分芯线原有的纵向感应电动势,即双端接地的屏蔽层会对芯线起到电磁屏蔽作用。图 6 为电缆屏蔽层双端接地情况下的下行线通过上行列车时的芯线感应电压,与图 5(b) 相比,其总体形状相似,但峰值消减了约 50%。对几十趟列车测试结果的统计分析表明,电缆屏蔽层双端接地的屏蔽系数平均值为

0.46。

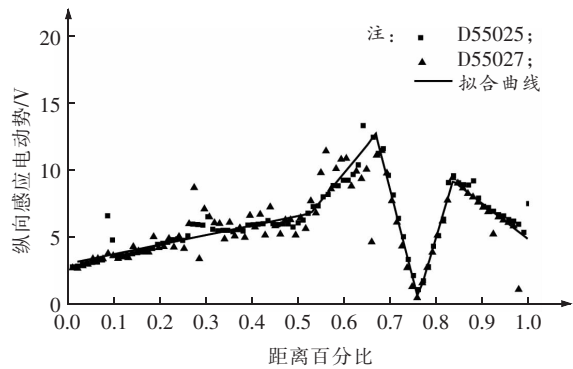


图6 电缆屏蔽层双端接地时下行线通过上行列车时的芯线纵向感应电动势

电缆屏蔽层双端接地时,屏蔽层中会产生感应电流。图7给出了测试得到的屏蔽层电流和牵引负荷电流的关系。由测试结果可见,信号电缆屏蔽层双端接地时,屏蔽层电流约为牵引负荷电流的0.55%。

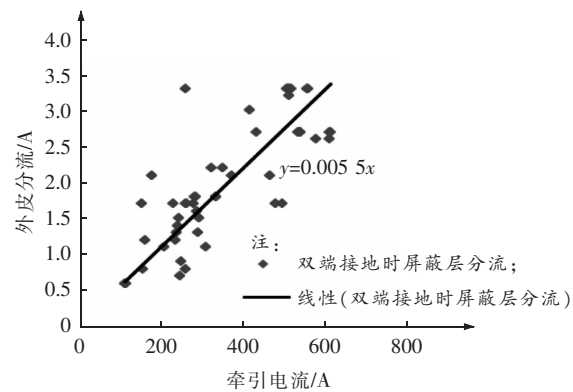


图7 屏蔽层双端接地时与牵引电流的分流关系

4 接触网短路测试结果

接触网短路点和测试电缆相对位置如图8所示,共在2个短路点进行5次短路试验,信号电缆芯线纵向感应电动势测试结果如表1所示。

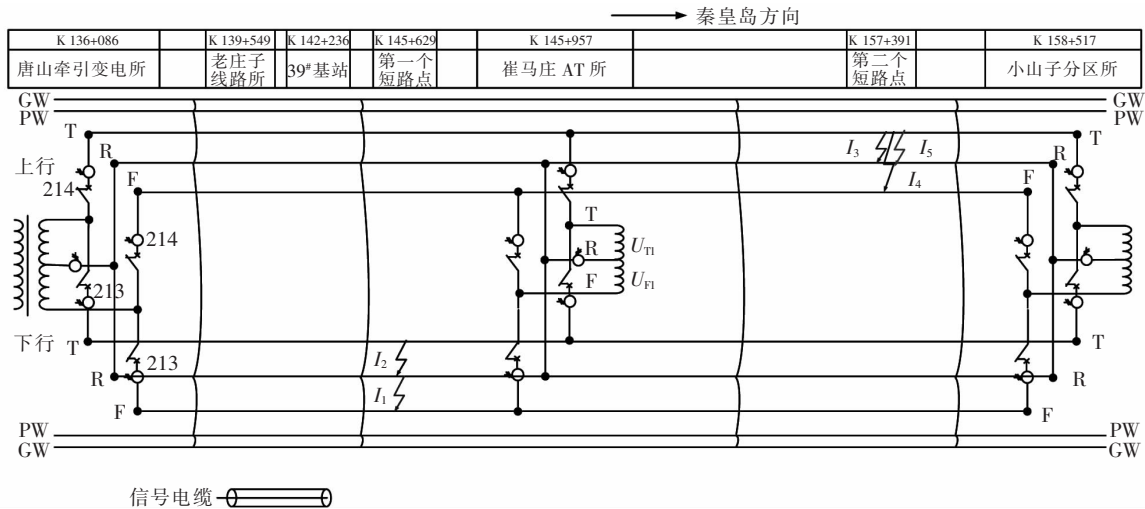


图8 接触网短路试验设置

表1 接触网短路时信号电缆芯线纵向感应电动势

短路名称	短路点1		短路点2		
	全并联AT方式				直供方式
	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次
	下行F线对钢轨	下行T线对钢轨	上行T线对钢轨	上行T线对F线	上行T线对钢轨
芯线纵向感应电动势/V	104	149	38.0	20.6	166
短路电流/A	9 510	9 830	6 922	7 828	3 124

测试结果表明:同一地点T-R短路电流和F-R短路电流相差不多(对比第1、2次短路试验),但引起的信号电缆芯线纵向感应电动势的大小比值约为1.5:1;同一地点T-R短路和T-F短路引起的信号电缆芯线纵向感应电动势比值约为1:0.5(对比第3、4次短路试验)。同一地点直供方式T-R短路和AT方

式T-R短路引起的信号感应电动势比值约为4.4:1(对比第3、5次短路试验),这说明AT供电方式对小牵引供电系统对信号电缆的电磁影响效果明显。

5 结论

根据测试结果,对于屏蔽层采用单端接地的2.7 km

平行接近信号电缆,考虑我国高速铁路动车组 16 辆编组最大牵引电流可达 1 000 A 以及牵引供电系统采用全并联 AT 供电方式 T-R 短路电流可达 10 000 A,则正常行车情况下信号电缆芯线感应电压可达 36 V,接触网故障情况下可达 360 V。按《电信线路遭受强电线路危险影响的容许值》(GB 6830—1986)的规定:电气化铁路正常运行状态,信号电缆芯线纵向感应电动势容许值为 60 V,接触网短路故障时容许值为 430 V。说明信号电缆芯线纵向感应电动势在屏蔽层单端接地方式下不超标。

测试表明,电缆近侧线路负荷产生的纵向感应电动势为远侧线路的 1.3 倍,牵引网直供方式产生的纵向感应电动势为全并联 AT 供电方式的 4 倍以上。

尽管电缆屏蔽层采用双端接地可以使纵向感应电动势降低为原来的一半,但这会导致屏蔽层流过一定数值的电流,这在接触网发生短路故障时会比较危险,不利情况下可能会造成电缆的烧损。对于个别电缆分段距离较长的情况,或者不存在承受接触网短路电流风险的场合,可以采用屏蔽层双端接地,对信号电缆芯线进行电磁屏蔽保护。

参考文献:

- [1] 史集芬. 再谈高速铁路的电磁兼容问题[J]. 铁道工程学报,1998(4):123-126.
Shi Jifen. Talking on the Electromagnetic Compatibility of High-speed Electrified Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society,1998(4):123-126.
- [2] 吴德范,唐永忠,林栩,等. AT、BT、简单供电系统及其干扰影响的电算方法[R]. 北京:中国铁道科学研究院,1986.
Wu Defan, Tang Yongzhong, Lin Xu, etc. Computer Calculation of Electromagnetic Interference of AT, BT and Simple Power Supply System[R]. Beijing: China Academy of Railway Sciences,1986.
- [3] 唐永忠,林栩. 利用模量变换理论计算供电网络及对通信系统影响的电算方法[R]. 北京:中国铁道科学研究院,1989.
Tang Yongzhong, Lin Xu. Computer Calculation of Communication System's Electromagnetic Interference from Power Supply Net Based on Modulus Transformation Theory[R]. Beijing: China Academy of Railway Sciences,1989.
- [4] 吴命利. 牵引供电系统电气参数及数学模型研究[D]. 北京:北京交通大学,2006.
Wu Mingli. Research on Electrical Parameters and Mathematical Model of Traction Power Supply System[D]. Beijing:Beijing Jiaotong University,2006.
- [5] Sangmu Lee, Pyung - Dong Cho. Shielding Effect by a Metallic Pipe Against Electromagnetic Interference with ELF from High Speed Railway System[C]. Microwave Technology & Computational Electromagnetics (ICMTCE), 2011 IEEE International Conference:5-8.
- [6] Sangmu Lee, Changsoo Eun, Pyung - Dong Cho. Analysis on the Shielding Effect by Metallic Pipe Line Against Electromagnetic Reduced Voltage [C]. ICMMT2010 Chengdu, May 2010:1837-1840.
- [7] 杨世武,张旭,梁伊横,等. 铁路信号电缆接地方式研究和纵向电动势测试[J]. 仪器仪表学报,2013(2):254-259.
Yang Shiwu, Zhang Xu, Liang Yiheng, etc. Study on Grounding of Railway Signal Cable and Test of Longitudinal Electromotive Force[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2013(2):254-259.
- [8] 余立伟. 朔黄铁路降低信号电缆屏蔽层接地电流的探讨[J]. 铁道技术监督,2012(S):85-87.
Yu Liwei. Discussion on Reducing the Grounding Current of the Signal Cable Shield in the Huang Shuo Railway[J]. Railway Quality Control,2012(S):85-87.
- [9] 高攸刚. 感性耦合和阻性耦合[M]. 北京:人民邮电出版社,1979.
Gao Yougang. Inductive Coupling and Resistive Coupling[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press,1979.