

铁路信号抗电力 牵引电流的干扰

吴运熙 毕红军 孙亮勤 编译

中国铁道出版社

1992年·北京

很有借鉴价值的。为此我们翻译了其中一些重要部分，供有关科研工作的人员参考。

第二章至第六章英文原名如下：

第二章：Transportation System Center, Cambridge, MA, "Inductive Interference in Rapid Transit Signaling Systems. Volume 1. Theory and Background", May 1986.

第三章：(u.s.)Transportation System Center, Cambridge, MA, "UMTA Rail Transit EMI/E-MC, Program: An Overview and Summary", Feb.1987.

第四章：Transportation System Center, Cambridge, MA, "Conductive Interference in Rapid Transit Signaling System. Volume 1. Theory and Data" Nov.1985.

第五章：Transportation System Center, Cambridge, MA, "Conductive Interference in Rapid Transit Signaling Systems. Volume 2. Suggested Test Procedures", May.1987.

第六章：Brain Mellitt, "Signal interference effects with chopper controlled traction", Railway Gazette International, Nov.1979.

本书第四章由毕红军翻译，第二、三、五、六章由孙亮勤翻译。全部译文由吴运熙校对。

限于编译者水平，加之时间仓促，书中定有不妥之处，希望读者批评指正，不胜感谢。

编译者

1991年11月于北方交通大学

(京) 新登字063号

内 容 简 介

本书共分六章：第一章简明地介绍了我国在电气化铁路三种供电方式下信号系统受干扰的测试、分析和抗干扰对策；第二章至第六章介绍了美国、英国城郊快速铁路电力供电网对信号系统的干扰及防干扰研究。美、英快速铁路部门在建模、测试及防干扰等措施方面的研究，对我国铁路防干扰有借鉴价值。

本书可供从事电气化铁路抗干扰工作的技术人员、管理人员使用。

铁路信号抗电力牵引电流的干扰

吴运熙 毕红军 孙亮勤 编译

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 魏京燕 封面设计 翟 达

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米1/32印张：8 字数：180 千

1992年8月 第1版 第1次印刷

印数：1—3000 册

ISBN7-113-01332-5/TP·132 定价：4.40元

编 译 者 序

铁路电气化是铁路现代化的主要标志之一，电力牵引和重载运输是我国铁路扩能的主要方式之一。随着我国国民经济的发展，将会修建更多的电气化铁路，因此，对电气化铁路的研究，势在必行。

电气化铁路供电系统与信号的信息传输系统共用钢轨作为公共传输通道，彼此之间存在着电磁兼容性(EMC)的问题。同时，随着电力牵引朝着重载方向发展，牵引供电系统对信号设备产生干扰，从而影响行车效率的情况时有发生。为了更加深入研究电气化铁路对信号设备的干扰情况，了解目前国内外抗电气化干扰的研究资料，我们特编译此书，供研究电气化铁路和地铁抗干扰的科技工作者们参考。

“七五”期间，在铁道部科技司、电务局和建设司领导的关心指导下，由北方交通大学主持，电气化工程局、北京铁路局和第三勘测设计院参加，分别在京秦铁路(AT供电方式)、大秦铁路一期工程(AT)、丰沙铁路(BT)及北同蒲铁路一期工程(直供)，对“电力牵引电流对信号系统轨道电路的传导性干扰”进行了测试，并提出了一些相应的对策。这些科研成果由吴运熙编写，作为本书的第一章。

美国、英国的城郊快速铁路电气化供电网对信号系统的干扰及防干扰研究，很有成果，尤其在建模、测试及防干扰措施等方面的研究很成功，对我国地铁防干扰的研究有重要的参考价值。虽然，美、英城郊快速铁路的牵引供电系统、信号设备与我国铁路的制式有所不同，但是其研究方法还是

目 录

第一章 中国铁路电力牵引电流对信号设备干扰的	
测试与分析·····	1
第一节 引 言·····	1
第二节 高精度的电流动态测试与分析系统·····	3
第三节 大秦、京秦铁路AT方式电力牵引电	
流对信号设备干扰的测试与分析·····	22
第四节 丰沙铁路BT方式电力牵引电流对	
信号设备干扰的测试与分析·····	33
第五节 北同蒲铁路直供方式电力牵引电流对	
信号设备干扰的测试与分析·····	50
第二章 美国快速铁路信号系统中感应干扰的	
理论与数据·····	87
第一节 引 言·····	87
第二节 音频轨道电路·····	89
第三节 斩波干扰的产生——斩波器电路·····	95
第四节 斩波干扰的产生——钢轨电路·····	100
第五节 斩波干扰信号系统的观察和记录·····	102
第六节 斩波干扰的抑制及其诊断分析·····	107
第七节 结 论·····	110
第三章 美国快速铁路的电磁干扰和电磁兼容·····	111
第一节 引 言·····	111
第二节 信号系统工作原理·····	113
第三节 电磁干扰(EMI)理论和建模工作·····	117

第四节	测试步骤的研制和验证	121
第五节	电磁干扰管理	122
第六节	电磁干扰及电磁兼容的科研中的 测试设备	125
第七节	交流牵引供电	126
第八节	微处理器技术	127
第九节	结论和建议	128
第四章	美国快速铁路信号系统中传导性干扰的 理论和数据	132
第一节	引 言	132
第二节	传导干扰模型	134
第三节	交流钢轨阻抗与频率和直流电流的关系	136
第四节	轨道阻抗计算值和测量值的比较	144
第五节	利用集肤效应理论实测的钢轨电感	148
第六节	具有第三轨、轨道电路和道碴的轨道 电路分析	156
第七节	多节车厢列车的干扰源特性: 电路影响	173
第八节	多节车厢列车的干扰源特性: 统计	179
第九节	传导性干扰的测量: 技术和数据	187
第十节	结 论	199
第五章	美国快速铁路信号系统中传导性干扰的 测试方法	201
第一节	牵引控制系统的传导性干扰机理	201
第二节	报告格式、记录及文件程序	209
第三节	传导性干扰的建议性实验方法	211
第六章	英国直流斩波牵引供电对信号设备的 干扰影响	234
第一节	引 言	234

第二节	斩波设备对轨道与列车上的信号	
	设备的影响	235

第一章 中国铁路电力牵引电流 对信号设备干扰的 测试与分析

第一节 引言

随着国民经济的发展，近年来在我国出现了越来越多的电气化铁路。特别是铁道部制定了电力、内燃两大牵引动力并行发展的技术政策后，电力牵引由山区走向平原，在铁路运输中起着越来越重要的作用。

电气化铁路本身有很高的能力，但如果没有一个好的自动闭塞系统进行合理的行车调节和安全控制，这个能力是发挥不出来的。我国现有的自动闭塞制式几乎都是以轨道电路作为信息传输通道和列车占用表示。同时，数百安的牵引电流回流也以钢轨作为回到变电所的通道。这个牵引电流回流是轨道电路和机车信号极大的干扰源。它影响了轨道电路和机车信号的正常工作，从而影响了运营效率的提高，造成了各种行车事故。因此，在电气化铁路迅速发展的今天，摆在信号工作者面前的一个大的任务就是：如何有效地防止电气化铁路的干扰，从而避免行车事故，提高效率。

按干扰的性质分类，电气化铁路对信号设备的干扰大致可划为五类：

1. 轨道电路和机车信号受钢轨中不平衡牵引电流回流的传导性干扰；

2. 信息传输电缆受牵引网系统的感性、容性耦合的

干扰;

3. 运动中的电力机车上的电动力系统对其下面的轨道电路的感应性干扰;

4. 沿线及站场的固定电力电子设备(区间自动闭塞的收发设备、调度集中设备、信号设备的检测系统、电气集中设备、自动闭塞电源系统、驼峰测速雷达及场间作业单传输系统等)受电力牵引系统的放射、耦合、回流地电位升等的影响。

5. 机车上机车信号、自动停车及相应的传输线等受电力机车的电、磁、电磁放射源的影响。

除了上述五类外,还存在着危险电压对维修人员人身安全的影响。在实际分析中,可将此类归到第二类中。

对上述五类干扰的研究属于电磁兼容学科范围。研究信号设备在这五种干扰下的电磁兼容性的测试,应完成如下两项测量:

1. 干扰(施扰)参量强度的测量和受干扰程度的测量。

2. 信号设备在受干扰的工作环境下误动的敏感度测量。

在上述五类干扰中,第一类干扰应优先受到重视,也就是说,轨道电路和机车信号受不平衡牵引电流的影响最为严重;所以,“七五”期间根据铁道部下达的任务,北方交通大学信号抗干扰教研室在京秦线、大秦一期工程线、丰沙线及北同蒲线上测试了牵引电流回流沿钢轨分布规律及不平衡电流对轨道电路的影响,并在室内进行了分析和研究,提出了相应的对策。对另四类干扰有待继续开展工作。

第二节 高精度的电流动态测试 与分析系统

电气化铁路信号抗干扰工作的第一步应是对干扰的各种情况进行全面的分析，而分析的基础是应有一套完善的精度高的测试和分析系统。

目前，世界上一些发达国家已有这方面的系统和经历。如法国对BB15000晶闸管机车进行的高速铁路牵引电流对轨道电路干扰的测试系统，德国慕尼黑实验所构成的高速列车干扰电流源测试车系统，美国的ECAC（电磁兼容分析中心）为美国联邦铁路总署所作的电力机车干扰源的综合分析，日本的新干线电气化铁路对通信信号干扰的预测分析等。由于上述国家在这方面投入了较大的精力和经费，因此，这些国家的轨道电路系统具有较好的电磁兼容性。

我国以往没有进行电气化铁路对信号轨道电路干扰的综合全面的理论分析，又由于前述一些国家的运营体系、电力牵引系统和信号控制系统及经济状况都与我国有很大区别，因此，前述国家的研究成果仅能参考，无法套用。可见，我们必须在国外工作的基础上研制出适合我国国情的“电气化铁路牵引电流回流对轨道电路和机车信号的干扰的测试系统”进而摸清我国的具体情况，进行抗干扰的对策分析。

对测试系统总的要求应该具有如下特性：（1）实时性；（2）准确性；（3）实用性；（4）经济性。

所谓实时性是要求测试系统一旦投入测试，就应能全部地捕捉到干扰源及轨道电路、机车信号的各种情况，做到信息不丢不漏，并能维持较长的时间。

所谓准确性是要求测试系统能够相对不失真地得到干扰源和轨道电路、机车信号受扰的各种实际情况，获得的数据

应具有较高的可信度，在技术上应做到能除去系统的各种固有系差，并将系统的不确定度减到最低。

所谓实用性和经济性是要求测试系统操作简单、适于现场测试、且符合我国少花钱多办事的原则。

据以上原则，参考了法国、德国、美国的已有系统，终于建成了BJD-1型电流动态测试和分析系统（获1988年铁道部科技进步二等奖）和BJD-2型数据处理系统。

一、BJD-1型电流动态测试和分析系统

对测试系统来说，应实时地得到干扰源的全部情况，因此，先记录后处理目前是最好的方案，因为这可以做到不失真地记下机车运行过程中机车和地面的全部信息，然后在实验室进行重放分析。这样的多次重放分析可得到不同目标的各种结果，如：电流的频域构成、沿线的不平衡情况、地面与机车的各种对应关系等等。另外，用这种方案可以减少现场的测试时间、减少测试工作对运营的影响，又因为这种方案可以做到一组数据反复重放，因此可以降低实验室处理系统的价格，大大节省开支。

根据这样的思想，我们构成了两个系统：现场实时测试系统和实验室数据处理系统。

1. 现场测试记录系统

现场实时测试记录系统由传感、滤波、记录、监视四部分组成，根据测试目标不同而分为车下部分（地面测试系统）和车上部分（机车上测试系统），分别见图1—1和图1—2。

图中差传感器是两个50A/2.5V的宽频带高精度电流传感器，和传感器是500A/2.5V的宽频带高精度电流传感器。由于电流传感器是测试系统的第一个环节，它的精度和频响

将限制全部数据的精度，因此，该系统没有采用传统的工业电流互感器和电流分流片，而是采用了经过特殊研制的传感器。该传感器用的是磁调制的办法进行直流和甚低频传感；用零磁通比较法从根本上提高了精度；用最小分布电容的绕线工艺展宽了传感频带；用一系列外屏蔽措施有力地防止了外部引入的干扰和系统内部的互扰（该传感器获1987年度北京市科技进步三等奖）。

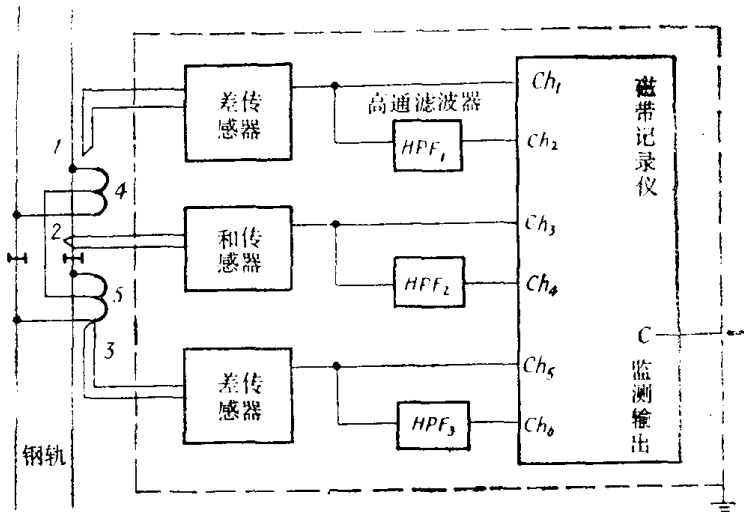


图 1-1 地面测试系统

注：图中 1、2、3 为传感器探头；
4、5 为扼流变压器。

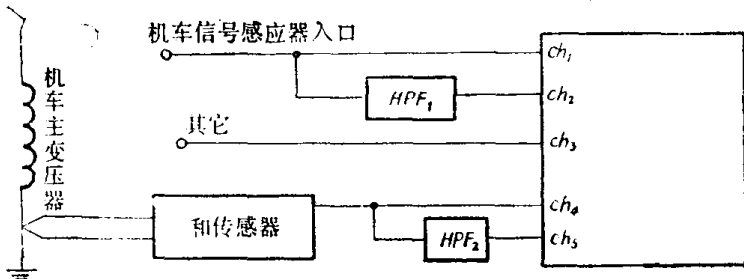


图 1-2 机车上测试系统

记录设备采用TEAC公司的SR-50模拟信号磁带记录仪和KYOWA公司的RTP-800模拟信号磁带记录仪。其指标如下:

19.05cm/s时: 频带0Hz~5kHz

信噪比 $>48\text{dB}$

非线性失真 $<0.15\%$ (-50dB)

抖动失真 $<0.1\%$

由于电力牵引电流回流的20次以上的谐波要比基波小40~50dB左右,尤其是50次以上的谐波可能比基波小60多个dB。这样,在记录和分析的过程中,实际上高次谐波已被记录仪的噪声淹没,因此,为了保证能够相对不失真地记下牵引电流回流的高次谐波,就必须使记录仪的两个指标提高到:

信噪比 $>68\text{dB}$

非线性失真 $<-70\text{dB}$

这样指标的记录仪是十分昂贵的。经过充分论证,决定以现有指标的记录仪为基础,在记录之前将被记录信号进行预处理,从而从整体上提高被记数据的质量。具体的做法是:利用记录仪可进行多通道同步记录的性能,将牵引电流回流分成两个通道记录。一个通道直接记录牵引电流回流,另一个通道将牵引电流回流经过高通滤波后再放大20dB,然后进入记录仪记录。这样,由于牵引电流中较小的高频成分在记录前得到了放大,因此,牵引电流中高频分量的能量增强了,信噪比和失真度就自然都得到了一个数量级的改善。

高通滤波器采用了5阶巴特沃兹滤波器,截频选在700Hz,在实际设计和调试中达到了1000~5000Hz之间增益波动小于0.3dB,又由于采用了高增益运放构成有源滤波器,故可忽略输入输出阻抗的匹配,且滤波器通带的非线性失真极小。

依上述构成测试系统，误差合成分析和实测表明，该系统在 $0 \sim 500\text{Hz}$ 之间记得数据的总不确定度为 0.5% ； $0.5 \sim 1\text{kHz}$ 之间记录的数据的总不确定度为 1% ； $1 \sim 2\text{kHz}$ 之间记录的数据的总不确定度为 2% ； $2 \sim 5\text{kHz}$ 之间记录的数据的总不确定度为 5% 。

在地面测试系统中（见图 1—1），差传感器用于测量牵引电流在钢轨中的不平衡成分，其接法见图 1—3。

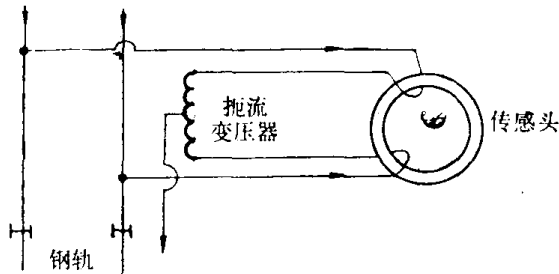


图 1—3 差传感器接法

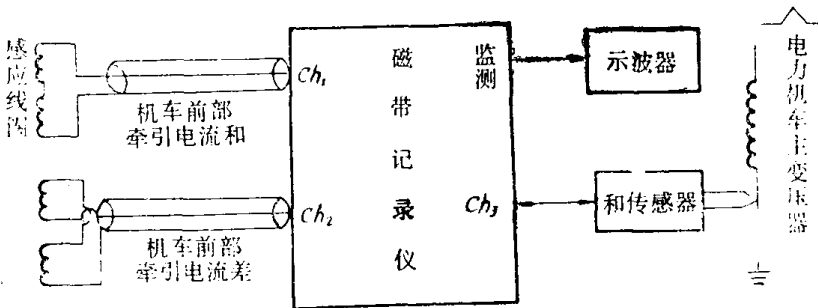


图 1—4 机车测试系统的局部示意图

图 1—4 是机上测试系统的局部示意图。图 1—4 中，机车前部牵引电流差利用了已有的机车信号感应器；而机车

前部牵引电流和取自新装的一对专门感应器，其接法与机车信号感应器的接法相反。

2. 实验室数据处理系统

以IBM-PC/XT为核心构成的实验室数据处理系统框图见图1—5。

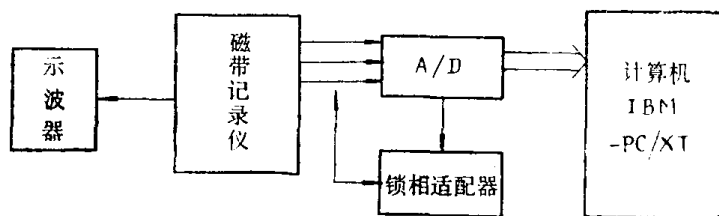


图1—5 实验室数据处理系统

这个数据处理系统将现场记录到的数据通过磁带记录仪重放出来，经过A/D采集后变成数字量进入计算机处理。所采用的A/D转换器为美国AD公司产生的12倍高精度A/D转换片。由于不经过任何运算放大器放大，故系统带入的失真极小。同时，输入口的16位模拟通道转换器采用莫特洛拉公司的MX-1606，其输入阻抗为30MΩ，且有完善的过压保护和过载屏蔽功能。

数据采集软件分为锁相采样和定时延采样。锁相采样借助于锁相适配器将采样率严格地适配在20480Hz（每通道10240Hz）或2048Hz（每通道1024Hz）。这样的严格适配保证了在DFT（离散傅里叶变换）数学矩阵中，1024个点恰好为被分析的工频信号的5个周期或50个周期。因此，处理后的频域结果消除了高次谐波分析中可能出现的不定点。

对实测结果的数据分析包括：数据检索、牵引电流回流的频域分析和轨道电路不平衡系数动态分析。现分别说明如下：

(1) 数据检索

现场实测记录下来的数据量是非常大的。这些数据中有些是典型的、有用的数据。有些则是重复的或没有多大价值的。为了找到有用的数据，得到典型的结果，必须在详细处理之前进行数据检索。检索软件的功能是对某一通道所记录的信号进行实时重放采集，由软件统计出当前每个单位时间的电流或电压有效值，然后从这组值中找出典型值进行处理。这样，检索软件就可得到沿线干扰源的变化趋势，此趋势就可作为总体情况的参考。

数据检索分成粗检索和细检索。粗检索时将记录的电流信号连续地从记录放出，检索软件实时地求出每个单位时间的电流值，存入计算机缓冲区，然后存盘、输出曲线、输出矩阵。电流粗检索程序框图见图 1—6。

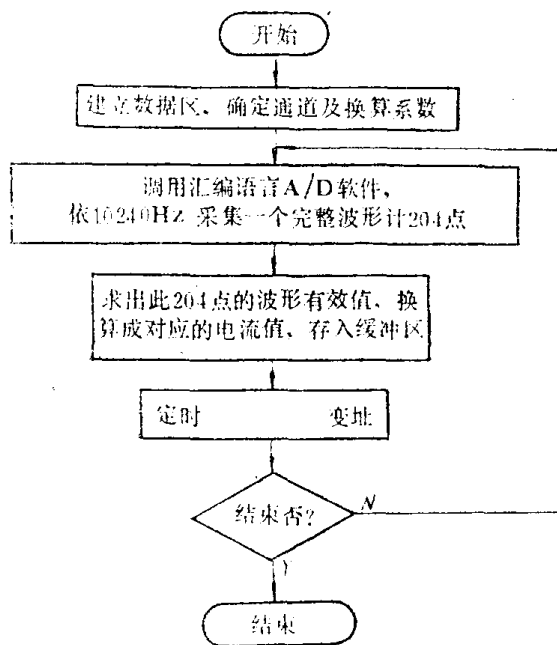


图 1—6 电流粗检索程序框图