

通信电缆线路障碍 测试技术

TONGXIN DIANLAN XIANLU ZHANGAI CESHI JISHU

徐丙垠 李胜祥 陈宗军 / 编著



华航Z0195942

北京邮电大学出版社

通信电缆线路障碍测试技术

徐丙垠

李胜祥 编 著

陈宗军

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 提 要

本书较系统地介绍了市话电缆障碍测试技术的基本原理及应用,在介绍了市话电缆障碍测试的基础知识后,深入分析了脉冲测试法、电桥测试法的原理,并对数字式脉冲测试仪及智能电桥测试仪的原理及使用方法作了详细的说明。本书文字力求通俗易懂,并引用了一定的图形实例,以供参考。本书适用于具有高中以上文化程度及大部分有实践经验的电缆测试人员。

图书在版编目 (CIP) 数据

通信电缆线路障碍测试技术/徐丙垠,李胜祥,陈宗军编著. - 北京:北京邮电大学出版社, 2000.9

ISBN 7-5635-0205-X

I. 通... II. ①徐...②李...③陈... III. 电话-通信电缆-测试技术
IV. TM248

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 44197 号

书 名: 通信电缆线路障碍测试技术
编 著: 徐丙垠 李胜祥 陈宗军
责任编辑: 刘 洋
出 版 者: 北京邮电大学出版社 (北京市海淀区西土城路 10 号)
邮 编: 100876 电 话: 62282185 62283578
网 址: <http://www.buptpress.com>
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京源海印刷厂
开 本: 850 mm × 1 168 mm 1/32 印张: 6.25 字数: 158 千字
版 次: 2000 年 9 月第 1 版 2001 年 2 月第 2 次印刷
书 号: ISBN 7-5635-0205-X/TN·77
定 价: 15.00 元

序 言

在通信大发展的今天，人们已经离不开电话，当电话线路发生故障时，电信部门的任务是要尽快修复障碍，尽量减少电话用户的停用时间，满足广大人民群众的需要。但往往有些电话线路障碍修复时间较长，其原因大多是电信部门对电话线路障碍位置的测试不够准确，而造成测试不准确的原因，是由于测试方法和测试仪器落后。早在 60 年代在长途线路上就开始采用了脉冲测试法，从而大大提高了线路障碍测试的准确度，减少了障碍历时，而这一先进的方法却久久不能用于市话电缆障碍的测试中来，究其原因主要有以下几个方面：

1. 市话电缆是音频电缆，线径较细，对含有丰富谐波的脉冲信号衰减很大，脉冲信号还没有到达障碍点，就已经衰减掉了，因而无法观察到障碍点反射波形。

2. 市话电缆的长度较短，一般为几公里，用户电缆只有几十米，这样短的距离给脉冲测量带来很大困难。这是因为整个线路距离，都在仪器的“盲区”之内，无法观察到反射脉冲波形。

3. 当市话电缆发生故障后，用户仍旧在拨号，拨号的脉冲电压产生较强的干扰信号，经脉冲测试仪器的接收放大器放大后，使荧光屏上显示的波形杂乱，也无法观察到障碍点的反射脉冲波形。

4. 市话电缆障碍的测量精度要求高，也限制了脉冲测量法在市话电缆障碍测试中的应用。由于市话电缆多埋在地下管道之中，人们在地面上是观察不到障碍点的，必须测出准确的障碍位置，才能进行修复。因此要求测量误差在 $\pm 1\text{m}$ 之内，也就是仪

器的分辨能力必须达到 1m，这就要求仪器的信号采样频率需要达到 100 MHz，这在当时的技术条件下，是很难做到的。

由于上述原因，脉冲测量法在市话电缆障碍测试中一直难以推广应用，在整整 30 年的时间里，曾被人们视为“禁区”。

进入 90 年代，由于电子技术和计算机技术的发展，为打开这个“禁区”，解决用脉冲法测量市话电缆障碍创造了有利条件。

90 年代初，原淄博科汇电力仪器研究所（现在的淄博科汇电气有限公司）由英国留学归来的徐丙垠博士，带领一班年轻人利用一年多的时间，攻克了上述四个难关，研制出了 T-C01 市话电缆线路障碍智能测试仪，并于 1993 年获国家发明奖。

该仪器的研制成功，改变了我国市话电缆障碍测试的落后面貌，使我国的通信线路测试水平跨入了世界先进行列，为我国通信事业的发展作出了贡献。

几年来该仪器不断得到改进，其功能更加先进和完善，也更加符合电信部门的需要，现已在国内通信部门中广泛使用。

原邮电部电信总局曾在《市内电话线路维护手册》中，把该仪器指定为市话电缆障碍测试的专用仪表，原邮电部劳资司曾把该仪器的原理与使用方法写入职工岗位培训教材中。

《通信电缆线路障碍测试技术》一书的出版，将会使我国线路测试人员对该仪器的基本理论、操作方法以及测试经验等有全面的了解，相信会对我国市话电缆障碍测试工作大有裨益。

贾玉明

2000 年 6 月 30 日于北京

前 言

随着通信技术的发展，信息交流日益广泛，人们对通信服务质量要求越来越高。市话电缆线路作为信息传输的重要载体，担负着传递长途电话、市内电话和其他通信业务的重要任务。提高市话电缆线路维护水平，减少障碍历时，保证市话电缆线路的畅通，是当前电信部门的一项重要任务。市话电缆障碍测试是查找线路障碍点的必要手段，是一项技术性较强的工作。近几年来，市话电缆线路障碍测试技术取得了较大的进步。计算机技术的应用，使市话线路障碍测试技术进入了智能化时代。

为了及时找到线路障碍点，缓解线务工作人员的压力，除了购买先进的线路障碍测试仪器外，还需要做好线路测试人员的培训工作，使其了解线路障碍测试仪器的的工作原理、构成及使用方法。本书写作的目的就是使线路测试人员能够全面地掌握电缆线路障碍测试技术，了解线路障碍测试的新方法、新设备，以便更好地开展电缆线路障碍的测试工作。

本书的第一章介绍了市话电缆线路障碍测试的基础知识，其中包括市话电缆障碍形成的原因、障碍的分类及障碍测试方法等，使读者对市话线路障碍及其测试方法有初步的了解；第二章讲述了有关传输线的基础理论知识，是了解脉冲反射测试方法的基础；第三章介绍了脉冲测试法的原理、脉冲反射波形的理解及平衡、差分等测试方法，并对双极性脉冲测试方法进行了理论分析；第四、五、六章则系统地介绍了脉冲测试仪的构成、使用及测试经验；第七章介绍电桥测试法，对经典电桥及现代智能电桥进行了较全面的分析；第八、九章对新一代市话电缆故障综合测

测试仪的构成及操作方法进行了全面的说明；第十章简要介绍了 T-C300 系列电缆故障综合测试仪后台分析软件。

本书是针对具有高中以上文化程度及大部分有实践经验的电缆测试人员编写的。理论问题以介绍物理概念为主，文字力求通俗易懂，便于自学。

参加本书编写的有淄博科汇电气有限公司徐丙垠、李胜祥、陈宗军等，承蒙全国著名线路测试专家贾玉明老师给予指导并对全书进行了审阅。感谢北京市话局、哈尔滨电信局、长春电信局、沈阳电信局、太原电信局、西安电信局、成都电信局、宁波电信局、原山东省邮电管理局等单位的多位专家提供支持和帮助。本书在写作过程中还得到科汇电气有限公司桑学义、李明华等同志的帮助，在此表示衷心地感谢。

编 者

2000 年 6 月 30 日

目 录

第一章 市话电缆线路障碍测试基础知识	1
§ 1-1 概述	1
§ 1-2 市话电缆线路障碍产生的原因	2
§ 1-3 市话电缆线路障碍分类	3
§ 1-4 市话电缆线路障碍测试的基本步骤	5
§ 1-5 市话电缆线路障碍测试方法综述	6
第二章 电磁波在传输线中的传播	9
§ 2-1 传输线的概念	9
§ 2-2 均匀传输线的一次参数	10
§ 2-3 均匀传输线的二次参数	16
§ 2-4 波速度与波阻抗	25
§ 2-5 电磁波的反射与透射	29
§ 2-6 传输线的不均匀性	42
§ 2-7 电磁波在传输线中的衰耗	43
第三章 市话电缆障碍的脉冲反射测试法	46
§ 3-1 脉冲反射法测量原理	46
§ 3-2 发射脉冲形状的选择	48
§ 3-3 脉冲反射波形的理解	50
§ 3-4 内部阻抗平衡技术	54
§ 3-5 差分测量法	57
§ 3-6 波形比较测量法	59
§ 3-7 波速度的自动补偿	60
§ 3-8 双极性发射脉冲	61

第四章 市话缆线障碍的脉冲测试仪器	64
§ 4-1 仪器的用途与特点	64
§ 4-2 技术指标	65
§ 4-3 仪器的结构	65
§ 4-4 仪器的硬件电路原理	73
§ 4-5 仪器的软件程序	80
§ 4-6 仪器主要功能实现	82
第五章 市话缆线障碍智能测试仪的使用	85
§ 5-1 测试前的准备工作	85
§ 5-2 直接测试法	87
§ 5-3 波形比较法	95
§ 5-4 差分测量法	98
§ 5-5 波速度的测量	101
§ 5-6 各种测量方法的选择	102
第六章 脉冲测试仪的使用经验	104
§ 6-1 使用零点键	104
§ 6-2 区分正常的接头、复接点与障碍点的反射脉冲	106
§ 6-3 近距离障碍的测量	107
§ 6-4 不同测量范围时波形的理解	109
§ 6-5 制作与使用标准记录	110
§ 6-6 仪器的测量精度是多少	111
§ 6-7 仪器能测多大电阻的障碍	112
§ 6-8 仪器能测多远距离的障碍	114
第七章 电桥测试法	116
§ 7-1 传统电桥法工作原理	116
§ 7-2 电桥法测试线路障碍	119
§ 7-3 电缆障碍的五次测量法	128
§ 7-4 智能电桥测试原理	136

§ 7-5 智能电桥测试的抗干扰措施	140
第八章 市话电缆故障综合测试仪	142
§ 8-1 仪器的功能与特点	142
§ 8-2 技术指标	143
§ 8-3 仪器的结构	144
§ 8-4 脉冲自动测试功能的实现方法	146
§ 8-5 智能电桥的实现方法	148
第九章 市话电缆故障综合测试仪的使用	150
§ 9-1 仪器的操作方法	150
§ 9-2 脉冲测试法	151
§ 9-3 电桥测试法	160
§ 9-4 远程测试及联机服务	169
第十章 T-C300 系列电缆故障综合测试仪后台分析软件	173
§ 10-1 软件的主要功能	173
§ 10-2 运行环境要求	173
§ 10-3 软件安装	174
§ 10-4 软件的使用	175
参考文献	185

第一章 市话电缆线路障碍测试基础知识

§ 1-1 概 述

随着我国通信事业的发展,为了满足社会对通信业务日益增长的要求,当前通信部门的一项重要工作就是提高设备维护水平,减少障碍历时,以保证通信服务质量。

市内电话电缆线路担负着传递长途电话、市内电话和其他通信业务的重要任务,是保证通信业务畅通无阻的关键环节。市内电话线路无论采取哪种建筑方式,都处在自然环境之中,由于受气候、周围环境、外力影响以及逐年腐蚀、老化等原因,线路特性会发生变化,以至出现断线、混线、接地等障碍,使通信质量降低,影响信道畅通。如果市话线路发生障碍,少则十几个用户,多则上千个用户会同时发生阻断;如果是多局制的中继电缆出现障碍,会使两个局的全体用户都不能相互通话。因此,市话电缆线路一旦发生障碍,对国家的政治经济活动和人民的物质文化生活都有很大影响。

减少线路障碍历时,寻找障碍点位置是关键。由于市话线路的通话线对都是封装在铅皮或塑料护套之内,有时还加铠装,发生障碍一般都很难以从外部直接观察发现,特别是地下电缆线路,障碍点查找就更困难了,往往要花费数小时,甚至是几天的时间。

市话线路障碍测试要求很高的精确度,一般应在1~2米之内。如果确定障碍点不准确,埋地电缆要从地下挖出来;管道电缆要把管道打碎;水线电缆要从水底打捞上来。如果电缆剖开后

又不是障碍点，就会浪费很多人力物力，并延误修复时间。现有的测量台一般只是通过测量线路的电阻、电容等参数来判断线路障碍性质（断线、混线或接地）及严重程度，给出的障碍点距离误差比较大，不能用于确定具体的障碍点位置。目前，比较精确的线路障碍测试方法是脉冲反射测试法及直流电桥测试法，由于测量台本身电路的限制及电桥测试需要远方接线配合等原因，这两种方法要集成到测量台系统中去还比较困难。因此，线路测试人员还需要借助专门的便携式测试仪器，进一步准确地测定障碍点位置，以缩短障碍查找的时间。

市话电缆线路及其障碍情况比较复杂，要迅速准确地查找障碍点，测试人员要了解线路情况并要有一定的测试经验。人们曾有这样的说法：“查找线路障碍点，七分靠仪器，三分靠人”。这说明单纯靠购买先进仪器是不能解决问题的，还需要重视测试人员的培训工作。生产单位与使用部门要经常交流信息、积累经验，加强市话线路障碍查找技术的研讨，以促进我国市话电缆线路障碍查找整体水平的提高。

§ 1-2 市话电缆线路障碍产生的原因

了解市话电缆线路障碍产生的原因，对于减少电缆的损坏，快速地判定出障碍点来说是十分重要的。

造成市话电缆线路障碍的主要原因有：

1. 电缆本身的障碍

电缆在生产过程中因扭矩、绝缘材料结构不均匀而引起的串音、杂音；产品质量不合格，个别线对出现接地、断线、混线等障碍；电缆护套有砂眼等漏洞，使电缆浸水，造成绝缘不良等障碍；等等。

2. 施工过程中造成的障碍

在施工过程中由于电缆芯线接续造成线对混线、接地或断线等障碍；线对因叉接、反接（跳接）等，产生了芯线间电容不平衡，电阻不平衡，造成串音、杂音等障碍；由于芯线去潮不当，造成绝缘不良障碍，或因封焊不良，电缆发生浸水障碍等。

3. 外力影响造成的障碍

市政建设、修建楼房、平整土地、绿化施工等会挖坏或碰坏电缆；行驶的车辆、地面的升降也往往会造成电缆的损伤；等等。有时外力损伤并不立刻引起线路障碍，在一段时间以后，损伤部位才发展成为障碍。

4. 电击及雷击造成电缆障碍

电缆被高压电力线烧伤或遭到雷电损伤，会造成电缆芯线出现接地、混线、断线、绝缘不良或电缆铅皮漏气、浸水等障碍。严重时，会将电缆烧毁几处，甚至熔断。

5. 自然灾害造成的障碍

如地震、洪水、台风、冰冻等。

6. 人为造成的障碍

如盗窃通信线路，战争等造成的破坏。

§ 1-3 市话电缆线路障碍分类

一般地说，市内电话电缆线路的障碍，按其性质，通常可分为五种：

1. 绝缘不良障碍

电缆芯线之间以空气、纸或塑料为绝缘材料。由于绝缘材料受到水和潮气的侵袭，使绝缘电阻下降，致使通话和信号电流外溢，造成通信不良，甚至阻断通信，这种现象称为绝缘不良障碍。其原因一般是由于接头在封焊前驱潮处理不当，或因电缆护层受伤引起浸水，或电缆充气维护中充入气体湿度过高，使芯线

绝缘突然或长期缓慢下降，造成绝缘纸发霉变色，甚至出现黑斑的电击穿现象。

2. 断线障碍

电缆芯线一根或数根断开，以致阻断通信，称为断线障碍。这种现象一般是由于接续或敷设时不慎，使芯线折断；或受外力损伤，如受强电流、雷击之后造成断线；在铝芯电缆中有时因接续不良，芯线两端形成高电阻的氧化铝而造成断线。

3. 混线障碍

混线障碍有“自混”和“他混”两种。同一线对的芯线由于绝缘层脱离，以致相互接触造成短路，称为“自混”障碍；不同线对的相邻两根导线之间，失去绝缘能力相互碰触，称为“他混”障碍。混线障碍的发生，一般是由于电缆接续工艺不良或电缆受外力作用的影响，使芯线绝缘层受伤，造成混线障碍。

4. 接地障碍

电缆芯线由于绝缘层损坏而碰触电缆铅皮（铅皮是接大地的）而造成阻断通信的障碍，称为接地障碍。接地障碍发生的原因，往往由于电缆接续不善或受外力磕、碰、砸、磨等原因损坏电缆芯线绝缘，致使电缆芯线直接或通过其他途径间接地接触铅皮，造成障碍。

5. 串、杂音障碍

在本对芯线上，其绝缘情况良好，电路通话正常，但可以听到其他线对上用户通话的声音，称为串音；如果在用户话机的受话器中，听到嗡嗡或咯咯的声音或其他不可懂的话音，则称为杂音。线路的串、杂音要与自动交换设备产生的串、杂音严格区分开来。线路的串、杂音主要是由于电缆芯线错接，破坏了芯线电容的平衡或线对接续处过于松动，引起电阻不平衡，或外界干扰源磁场窜入等影响而造成。

实际的市话电缆障碍可能是几种类型障碍的组合。比如，双

线接地障碍同时会造成线对自混；在电缆浸水、受潮比较严重时，所有的芯线及芯线对地之间的绝缘电阻均很低，就同时存在自混、接地和他混障碍现象。在判断障碍性质时应注意加以鉴别。

§ 1-4 市话电缆线路障碍测试的基本步骤

市话电缆线路障碍测量一般有障碍性质诊断、障碍测距与障碍定点三个步骤。

1. 障碍性质诊断

在线路出现障碍后，使用测量台、兆欧表、万用表等确定线路障碍性质与严重程度，以便分析判断障碍的大致范围和段落，选择适当的测试方法。

维护人员了解电缆线路安装情况，有助于迅速确定出障碍点。当电缆发生障碍后，对障碍发生的时间、产生障碍的范围、电缆所处的周围环境、接头与人孔井的位置、天气的影响及可能存在的问题等，进行综合考虑。

2. 障碍测距

使用专用测试仪器测定电缆障碍的距离，又叫粗测，即初步确定障碍的最小区间。具体细节见以后章节中的叙述。

3. 障碍定点

根据仪器测距结果，对照图纸资料，标定出障碍点的最小区间，然后携带仪器到现场进行测试，作精确障碍定位。这时，可根据所掌握的电缆线路的实际情况，结合周围环境，分析障碍原因，发现可疑点，直至找到障碍点。例如，如发现在确定障碍的范围内有接头，就大致可以判定障碍点就在接头内。在现场还可以采用其他辅助手段，如使用放音法，或应用漏气检测仪器，找出障碍点的准确位置。

一般来说,成功的障碍点查找要经过以上三个步骤,否则欲速则不达。例如,如果不进行障碍测距而直接用放音法去定点,沿着很长的电缆路径(可能有数公里长)逐步排除干扰,寻找障碍点是相当困难的。如已知障碍距离,确定出一个大体方位来,在很小的范围内来回寻找就容易多了。

§ 1-5 市话电缆线路障碍测试方法综述

目前,在电缆障碍查找中的主要方法有:

1. 电桥法

电桥法是一种传统的测试方法。利用电桥原理,采用直流、交流等测试方法,可以测定电缆的各种障碍点与测量端之间的距离等数据,并且可以进行电缆的电气性能测试。

电桥法的优点是原理简单,仪器制造成本低,在早期的电缆障碍测试中应用较普遍。但早期电桥测试方法操作复杂,测试时要求对方配合,并且需要知道准确的电缆长度等技术数据;测量精度受环境温度、电磁干扰等因素的影响大。一般线务人员不易掌握,无法达到准确测量的目的。

随着电子技术的进步,现已研制出基于微处理器的智能电桥仪器。智能电桥采用先进的电路设计及数据处理技术,简化了操作,有效地消除了温度、电磁干扰等影响,把电桥法测试技术提高到了一个新水平。

2. 放音法

放音法用于直接探测电缆障碍的部位。其原理是在电缆的障碍线对上,输入一个功率较高的音频电流信号,产生较强的交变磁场,穿透外皮扩散到电缆的外部;根据电磁感应原理,利用带有线圈的接收器,放于电缆的上方,电缆中交变的电磁场就可以在接收器中产生感应信号。在线路障碍点上,由于芯线上的交变

电流受到线路障碍的影响而突然下降,甚至消失,因而障碍点前后接收到的信号也就有明显的区别,这样就可以判定电缆的障碍点。该方法应用时易受外界环境干扰的影响,仅适用于测量电阻较小的混线障碍。

3. 查漏法

该方法通过检查充气电缆的漏气点,查找障碍。需沿电缆逐点排除干扰,进行检测,应用起来比较麻烦,且不适用于查找直埋电缆的障碍点。

4. 脉冲反射法

脉冲反射法又叫雷达法或回波法,向电缆发送一电压脉冲,利用发送脉冲与障碍点反射脉冲的时间差与障碍点距离成正比的原理确定障碍点。

脉冲反射法最早用于长途电缆线路障碍的测试中。由于市话电缆对高频脉冲信号的衰减大等原因,在市话电缆线路障碍测试中遇到了困难。随着科学技术特别是现代微电子技术的发展,该测试方法及其仪器有了很大的进步,其灵敏度也大大提高,已成功地应用到了市话电缆线路障碍测试中,并在世界范围内得到了推广,成为市话电缆线路障碍测试的主要手段。我国在 90 年代初推出了市话电缆线路障碍测试仪器。目前,全国各地已有上千个单位采用了国产脉冲测试仪器,它们在解决市话线路障碍查找难的问题中发挥了重要作用。

早期的脉冲反射仪器主要还是靠人工调整仪器、识别回波波形来判断障碍点距离。随着技术的进步,现在的仪器具备了自适应调整测试范围、信号幅度以及计算机辅助识别回波波形以确定障碍点距离的功能。脉冲测试仪器的发展趋势是不断提高仪器的自动水平。

5. 综合测试仪器

脉冲反射法依赖于障碍点阻抗的明显变化,不适用于测量电