

DIANLANXIANLU DE WEIHU JI GEZHI

电缆线路的维护 及故障处理

潘绍询 编著

中国铁道出版社

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是依据铁道部对通信电缆的有关规定和《铁路通信施工规范》,针对铁路通信现场人员在维修工作中遇到的实际问题而编写的内容,涉及通信线路的电气特性、电缆线路的维护、各种电缆故障及判断方法、电缆线路的接地等。

本书是在作者多年从事电缆维修工作的基础上总结出来的,通俗易懂,简便易行,对于现场维护人员,在通信电缆的日常维护、气压测试、电缆故障处理以及接地装置的制作方面具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电缆线路的维护及故障处理·潘绍询编著. —北京:
中国铁道出版社,2000.9
ISBN 7-113-03818-4

I. 电… II. 潘… III. 铁路信号—电缆—维修
IV. U284.77

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第46313号

书 名:电缆线路的维护及故障处理·

作 者:潘绍询

出版发行:中国铁道出版社,(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:任 军

封面设计:马 利

印 刷:北京市彩桥印刷厂

开 本:787×1092 1/32 印张:2.375 字数:53千

版 本:2000年9月第1版 2000年9月第1次印刷

印 数:1~3600册

书 号:ISBN 7-113-03818-4 TN·128

定 价:6.00元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

本书是针对铁路通信现场人员在维修工作中遇到的实际问题而编写的。内容涉及到通信线路的电气特性、电缆线路的维护、各种电缆故障及判断方法、电缆线路的接地等。与其他教材不一样的是,本书侧重在:根据《铁路有线通信技术维护规则》和《铁路通信施工规范》,通过对通信电缆的日常维护来满足维规提出的要求,同时在气压维护、电缆故障处理以及接地装置的制作方面为现场维护人员提供了一些有益的经验。

随着通信技术的不断发展,有线通信的传输线路逐步由对称电缆、同轴电缆向光缆过渡。但由于铁路通信的特殊性,含有对称线、对绞线的综合光缆和一光一缆已是铁路长途通信线路的主要形式。铁路信号电缆在各车站站场拥有数量较多,在自动闭塞区段,甚至贯穿于整个区间。随着电话的普及程度大大提高,市话电缆在城市及铁路的运用也相当普遍。此外,在铁路其他部门,如车辆系统的红外线专用电缆、供电系统的电力电缆,都存在着故障处理和日常维护问题。因此,电缆的运用及故障处理方法还不会过时。处理各种电缆故障,仍然是铁路通信、信号、车辆、电力以及其他与电缆有关的部门的一项重要工作。

编 者

2000年8月

目 录

第一章 电缆线路的电气特性	1
第一节 通信电缆的单盘电气特性.....	1
第二节 通信电缆线路的电气特性.....	4
第三节 信号电缆电气特性.....	8
第二章 电缆线路的维护	10
第一节 电缆线路的测试	10
第二节 电缆线路的气压维护	16
第三章 各种电缆故障及判断方法	23
第一节 电缆的各种故障	23
第二节 用直流电桥测量故障点	24
第三节 用电缆故障测试仪测量故障点	27
第四节 用数字万用表测量电缆故障的方法	44
第四章 电缆线路的接地	63
第一节 电缆线路接地的基本概念及分类	63
第二节 电缆线路接地装置的设置原则及要求	64
第三节 接地装置的加工及施工	66
第四节 接地装置的测量	70

第一章 电缆线路的电气特性

第一节 通信电缆的单盘电气特性

一、直流电阻

电缆导线直径一定时,单根芯线在 20℃时的标准值及实测平均值,见表 1-1。

表 1-1 电缆导线的直流电阻

线径(mm)	标准值(Ω/km)	实测平均值(Ω·km)	实测回线不平衡 电阻差(最大)
1.2	15.95±0.1	11.7~15.3	1 Ω/50 km
0.9	28.50±0.2	26.0~27.1	
0.6	65.80±0.6	60.0~61.5	
同轴内导体	≤16.1		

在电缆故障处理方面,通常我们要使用电缆回线的环线电阻 R_H 。电缆的环阻由下式决定:

$$R_H = 2\lambda\rho \frac{l}{S} = 2\lambda\rho \frac{4 \cdot 000}{\pi d^2} (\Omega/\text{km}) \quad (1-1)$$

式中 ρ ——导线的电阻率($\Omega \cdot \text{m}$);

S ——导线的截面积(mm^2);

l ——导线的长度(m);

d ——导线的直径(mm);

λ ——导线的总绞合增长系数。

一般电缆芯线均为铜芯线,铜芯线的电阻率 ρ 为 $1.748 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ (当温度为 20℃时)。

当温度不是 20℃时,电缆环线电阻 R_H 将随温度的升高

而增加 当温度为 t 时, 其实际环阻为

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha_{20}(t - 20)] \quad (1-2)$$

式中 R_{20} 环阻 R_{20} 在温度为 20 °C 时的电阻值;

α_{20} 电缆铜芯线在温度为 20 °C 时的电阻温度系数, 单位为 1/°C。铜芯线在温度为 20 °C 时的电阻温度系数为 3.9×10^{-5} (1/°C);

R_t 温度为 t 时的实际环阻;

t 测试时的实际温度。

由于电缆芯线组和绞合芯在生产过程中要进行绞合, 因此电缆芯线的实际长度要大于电缆的长度。这样就使回线电阻略有增加。这种增加量用总绞合

表 1-2 电缆导线的绞合增长系数

组间的直径(mm)	增长系数
<30	1.005~1.015
30~40	1.01~1.02
40~50	1.02~1.03

增长系数 λ 来反映。电缆导线每次的绞合增长系数, 见表 1-2。总绞合增长系数为各次绞合增长系数的乘积。

二、绝缘电阻

电缆导线绝缘电阻, 分为导线对地绝缘电阻和线间绝缘电阻, 其质量一方面取决于绝缘材料的电气性能, 另一方面决定于结构的均匀性及稳定性。

电缆导线绝缘电阻(直流测试)的标准值及实测值见表 1-3。

表 1-3 电缆导线绝缘电阻的标准值及实测值

名称	标准值 (MΩ/km)	实测值 (MΩ/km)	名称	标准值 (MΩ/km)	实测值 (MΩ/km)
高低频纸绝缘	10 000	10 000~50 000	信号线	5 000	
高低频泡沫 聚乙烯绝缘	10 000	不稳定	同轴对	10 000	

三、绝缘电气强度

绝缘电气强度是表示电缆绝缘介质的耐压性能。其标准见表 1-4。

表 1-4 电缆的绝缘电气强度

名 称	电压(V)	名 称	电压(V)
电缆高低频芯线对金属护套	1 800	小同轴内外导体间	$\geq 2 000$
电缆高低频芯线间	1 000	小同轴外导体对金属护套间	≥ 300
信号线对金属护套及四线组间	700	及外导体间	

注：表中电压为 50 Hz 交流电压，持续加压 2 min。

电缆的绝缘电气强度，用击穿电压来表示。电缆的绝缘介质在一定温度和湿度条件下，当外加电压达到一定数值时，就会使绝缘介质丧失绝缘性能。因此，电缆的绝缘电气强度也是反映单盘电气特性好坏的一项指标。

四、工作电容

工作电容是指回线两芯间的电容。它取决于芯线间的距离、电缆芯线的直径及芯线间的介质常数。它决定回线运用的工作频率。工作电容是电缆电气特性的一个主要参数。其标准及实测值见表 1-5。

表 1-5 电缆的工作电容

回线绝缘方式及线径		工作电容标准值 (nF/km)	实测值 (nF/km)
纸绝缘 1.2 mm	高频四线组	26.5 ± 1.0	26~27
	低频四线组	34~36	

续上表

回线绝缘方式及线径		工作电容标准值 (nF·km)	实测值 (nF·km)
泡沫绝缘 1.2 mm	高频四线组	25+1.5	23.6~26.3
	低频四线组	28.5	23.6~26.3
泡沫绝缘 0.9 mm		23.0	19.0~23.0

注:1.上表工作电容标准值为电缆厂标准,测量频率 800 Hz。

2.泡沫绝缘 0.9 mm 的电纜,各厂家的绝缘厚度不同,其标准值也不同。

3.由于长途对称电纜外层芯线比内层略长,且在高频时的邻近效应大,其电容外层比内层也略大。

4.单盘电纜的工作电容可作为判断电纜断线故障的依据,详见第三章第四节。

第二节 通信电纜线路的电气特性

根据铁道部的规定,电纜线路的电气特性标准规定如下:

一、直流电特性

1. 绝缘电阻

电纜的绝缘电阻标准如表 1-6。

表 1-6 电纜的绝缘电阻

项 目	标 准
(1) 芯线和金属护套间	
长途	$\geq 1\,000\text{ M}\Omega \cdot \text{km}$
地区(不论长短)	$\geq 5\text{ M}\Omega$
(2) 两线间	
长途	$\geq 2\,000\text{ M}\Omega \cdot \text{km}$
地区(不论长短)	$\geq 10\text{ M}\Omega$
(3) 不平衡绝缘电阻	$\leq 30\%$
(4) 小同轴内外导体间	$\geq 5\,000\text{ M}\Omega \cdot \text{km}$
(5) 小同轴外导体对金属护套间	$\geq 2\,000\text{ M}\Omega \cdot \text{km}$

由表 1·6 看出, 长途通信电缆的绝缘电阻单位为 $M\Omega \cdot km$, 即线路越长, 其绝缘电阻就越小。

例如线路长 10 km, 则实测绝缘电阻只要不小于 100 $M\Omega$, 就符合维规要求

线路中存在接头、分歧、电缆引入盒、气闭、加感线圈、告警器、区间电话等附属设备, 这些设备对线路的绝缘有一定影响, 根据《铁路通信施工规范》, 电缆线路各种附属设备的等效长度 L' 由下式决定:

$$L' = L_{\text{接}} + L_{\text{分歧}} + L_{\text{盒}} + L_{\text{气闭}} + L_{\text{加感}} + L_{\text{区间}} + L_{\text{告警}}$$

式中 $L_{\text{接}}$ 每个接头绝缘电阻为 $10^7 M\Omega$, 等效电缆为 100 m;

$L_{\text{分歧}}$ 按实际分歧电缆长度计算;

$L_{\text{盒}}$ 电缆分线盒等效电缆为 2 km;

$L_{\text{气闭}}$ 每个气闭头等效电缆为 2 km;

$L_{\text{加感}}$ 每个加感箱等效电缆为 1 km;

$L_{\text{告警}}$ 每个告警器等效电缆为 10 km;

$L_{\text{区间}}$ 每个区间电话柱端子板等效电缆为 10 km。

则某段电缆的有效长度等于实际长度 L 与该段电缆线路各种附属设备的等效长度 L' 之和。

2. 环路电阻及不平衡电阻

电缆线路的环路电阻及不平衡电阻标准如表 1-7 所示。

表 1-7 电缆线路的环路电阻及不平衡电阻

项目	内 容	标 准	备 注
环路电阻	(1) 长途对称线对及信号线	不超过标准值的 5%	
	(2) 小同轴对 内 导体 外 导体	$\leq 16.4 \Omega \cdot km$ $\leq 8.2 \Omega \cdot km$	
	(3) 地区电缆	不超过标准的 10%	
不平衡电阻	(1) 长途高频电缆	$\leq 1.5 \Omega$	在一个增音段
	低频电缆	$\leq 2 \Omega$	
	(2) 地区电缆	$\leq 3 \Omega$	

与本章第一节单盘电缆的直流电阻相同,电缆线路外层的环路电阻要比内层大。由于某些线路中存在加感线圈,加感回线的直流电阻又要比非加感回线大。

正常回线的环路电阻可作为判断电线混线故障的依据。详见第三章第四节。

不平衡电阻若超标,将会引起串、杂音,超过标准越大,由此引起的串、杂音就越大,尤其在电气化区段更为显著。

二、交流电特性

1. 线路衰耗

线路衰耗标准见表 1-8。

表 1-8 线路衰耗标准

项 目	测量频率	单 位	标 准	
高频四线组	0.9 mm 线径	150 kHz	dB/km	≤ 2.9
	1.2 mm 线径	150 kHz	dB/km	≤ 2.2
低频四线组	0.9~1.2 mm 线径	800 Hz	dB/km	≤ 0.17
小同轴对		1 000 kHz	dB/km	$\leq 5.3+0.2$

由于高低频电缆在生产中结构的特殊性,以及线路施工中所作的不同平衡,尽管高低频芯线线径一致,它们在传输频带方面也有很大差异。因此高低频电缆的测量频率不同。

2. 杂音电压

杂音电压标准见表 1-9。

表 1-9 杂音电压标准

项 目	测量频率	单 位	标 准	备 注	
非电气化区段	调度回线	800 Hz	mV	≤ 1.0	用杂音计测量时,应用高阻挡,输入端并接等十电缆输入阻抗 Z 时,实测值应乘以 $\sqrt{\frac{Z}{600}}$
	一般回线	800 Hz	mV	≤ 2.0	
电气化区段	调度回线	800 Hz	mV	≤ 1.25	
	一般回线	800 Hz	mV	≤ 2.5	

在非电气化区段,低频回线的杂音电压主要来源于电缆芯线及附属设备的热噪声。在电气化区段,线路的杂音电压则主要来源于电气化强电磁场的干扰。

3. 近端串音衰耗及远端串音防卫度

近端串音衰耗及远端串音防卫度规定标准详见表 1-10。

表 1-10 近端串音衰耗及远端串音防卫度标准

项 目	测量频率	单位	标准	备 注	
近端串音衰耗	高频四线组	10~150 kHz	dB	≥61	一个九人段
	低频四线组	800 Hz	dB	≥74	
	小同轴对	60 kHz	dB	≥107	
远端串音防卫度	高频四线组	10~150 kHz	dB	≥68	
	小同轴对	60 kHz	dB	≥98	

串音衰耗的定义为:主串回线输出电平与被串回线上量得的串音电平之差称为串音衰耗。

串音防卫度的定义为:被串回线接收有用信号电平与串到该回线上的串音电平之差称为串音防卫度。

4. 电缆护套电特性

根据《铁路通信施工规范》规定:电缆接续套管、电缆金属护套裸露部分和电缆聚乙烯外护套破损处,均应进行绝缘防腐处理。因此,电缆施工后,金属护套及钢带铠装不接地时,金属护套对地绝缘电阻应满足表 1-11 要求。在电缆的维护中,由于电缆线路金属护套及钢带铠装已良好接地,故不能测到对地绝缘电阻。根据表 1-11 标准及“规范”要求,除了金属护套及钢带铠装良好接屏蔽地线外,该电缆其他部分不应与其他物体及土壤接触。

表 1-11 电缆护套电特性的标准

项 目	单 位	标 准
金属护套直流电阻	Ω/km	≤ 0.25
(1) 长途对称电缆和小同轴小综合电缆		
(2) 小同轴大综合电缆		≤ 0.2
塑料金属护套对地绝缘电阻	$\text{M}\Omega \cdot \text{km}$	≥ 5

由表 1-11 可知,金属护套直流电阻较小,电气化回流容易通过电缆的金属护套构成通路,从而给通信造成干扰。因此,也要求金属护套对地绝缘电阻要高。

第三节 信号电缆电气特性

普通型信号电缆电气特性见表 1-12。综合扭绞型信号电缆电气特性见表 1-13

表 1-12 普通型电缆电气特性表

电 气 特 性	测试频率 (kHz)	单 位	标 准	长 度 (m)	换 算 公 式
导线直流电阻在 20℃ 时不大于	直流	Ω	23.5	1 000	$\frac{L}{1 000}$
芯线绝缘电阻不小于	直流	$\text{M}\Omega$	500	1 000	$\frac{1 000}{L}$
任一线芯对连接到地的其他线芯之间的电容在 20℃ 时不大于	电容档 频率	μF	0.15	1 000	$\frac{L}{1 000}$
芯线间及芯线与钢带间耐压	0.05	$\text{V} \cdot 2 \text{ min}$	1 000	制造 长度	

表 1-13 综合扭绞型电缆电气特性表

电 气 特 性		测试频率 (kHz)	单位	标准	长度 (m)	换算公式
导线直流电阻在 20℃ 时不大 于		直 流	Ω	23.5	1 000	$\frac{L}{1 000}$
工作对导线直流电阻差在 20℃ 时不大于				环阻 的 2%	制造 长度	
芯线绝缘电阻不小于			MΩ	3 000	1 000	$\frac{1 000}{L}$
四线组工作电容在 20℃ 不大 于		0.8~1.0	μF	0.05	1 000	$\frac{L}{1 000}$
对绞组工作电容在 20℃ 时不 大于				0.07		
任一线芯对连接到地的其他 线芯间的电容在 20℃ 时不大 于				0.1		
耐压	芯线间	0.05	V·2 min	1 000	制造 长度	
	芯线与地间			18 000		

注：表 1-12、1-13 中电缆芯线直径为 1.0 mm，导线直流电阻系单根芯线电阻。

第二章 电缆线路的维护

第一节 电缆线路的测试

一、直流电测试

1. 直流电阻的测试

通过对电缆线路的直流电阻测试,可以发现线路是否存在混线、断线、接触不良等潜在故障,电缆直流电阻一般用直流电桥进行测试,也可用普通数字万用表(如DT 890)进行测试,其精度也能满足要求。下面介绍几种用直流电桥进行直流电阻测试的方法。

(1) 环线电阻的测试

回线的环阻是两根导线 L_1 和 L_2 的直流电阻 R_1 和 R_2 之和 R_{12} ,即

$$R_{12} = R_1 + R_2$$

环阻测试原理如图 2-1。

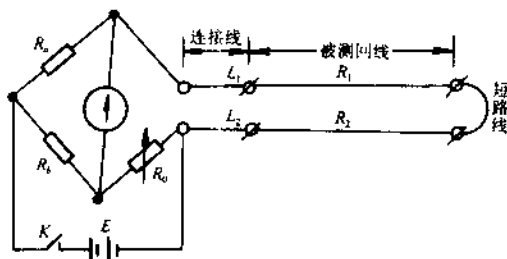


图 2-1 环路电阻测试原理图

图中 R_a 和 R_b 为直流电桥比例臂的两个桥臂电阻, R_c 为

可调臂电阻,调整 R_0 使电桥平衡时,则环线电阻 R_{12} 为:

$$R_{12} = \frac{R_2}{R_0} R_0 = nR_0 \quad (2-1)$$

(2) 单线直流电阻的测试

在进行单线直流电阻测试时,需要利用三根芯线,用三环路法分别测量其三个双线回路环线电阻,然后计算出单线直流电阻。测试原理如图 2-2。

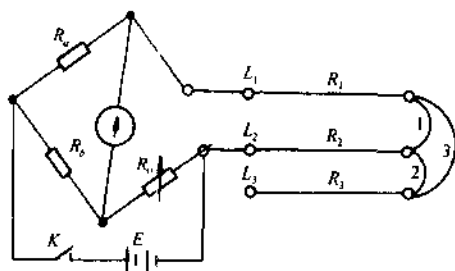


图 2-2 三环路法测试电路

图中, R_1 、 R_2 、 R_3 表示被测芯线 L_1 、 L_2 、 L_3 的直流电阻。

按图 2-2 分别测出三个不同组合的环阻为:

$$R_{12} = R_1 + R_2$$

$$R_{23} = R_2 + R_3$$

$$R_{13} = R_1 + R_3$$

解上列方程式得

$$R_1 = \frac{R_{12} + R_{13} - R_{23}}{2} \quad (2-2)$$

$$R_2 = \frac{R_{12} + R_{23} - R_{13}}{2} \quad (2-3)$$

$$R_3 = \frac{R_{23} + R_{13} - R_{12}}{2} \quad (2-4)$$

式中 $R_{12} = \frac{R_1}{R_2} R_{11}$, $R_{23} = \frac{R_1}{R_2} R_{12}$, $R_{13} = \frac{R_1}{R_2} R_{11}$ 。

R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} 分别为可调臂在三次环线连接时的值。

(3) 回路不平衡电阻的测量

回路中两根导线的电阻之差,称为不平衡电阻。在电气化区段线路的不平衡,将会引起电气化对通话的干扰。

为了精确地测出不平衡电阻值,可以用上述测试单线电阻值的方法,分别测量并计算出被测回线中两根导线的电阻值 R_1 和 R_2 ,再求出其差 $\Delta R = R_1 - R_2$,就是该回线的不平衡电阻值。测量回路的不平衡电阻时,也可用直流电桥按图2-3的电路来测试。

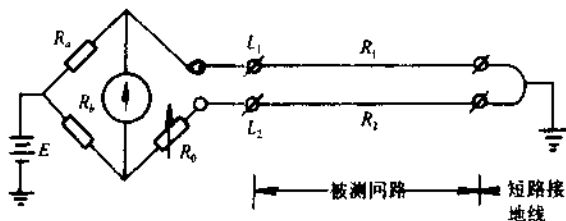


图 2-3 不平衡电阻的测试电路

但在电气化区段,人为将电缆芯线接地,将使直流电桥因电气化干扰而无法读数。用单线直流电阻的测试法即可测量计算出回线的不平衡电阻值。

用数字万用表代替直流电桥对某回线 L_1 、 L_2 进行单线直流电阻测试时,需找一根辅助线 L_3 按上述办法(三环路法)测出 R_{12} 、 R_{13} 、 R_{23} 代入式(2-2)、(2-3),即可得到所测回线 L_1 、 L_2 的单线直流电阻值 R_1 、 R_2 。这两个值之差即为该回线的不平衡电阻差。将其与表 1-1 的标准进行比较,即可知该回线这项指标是否合格。

2. 绝缘电阻的测试

电缆线路绝缘电阻的大小,对通信质量有一定影响。绝缘电阻越小,线路衰耗就越大,串、杂音防卫度就减小。在对称电缆和同轴电缆中,还影响远供电源。所以在直流电测试中,绝缘电阻的测试非常重要。

在日常维护中,测量电缆线路的绝缘电阻,用兆欧表(即摇表)即可,一般用 500 V 兆欧表以转速每分钟 120 转进行测量。

在电缆线路绝缘电阻的测试中,某回线绝缘电阻是否合格,不仅要看该线路的长度 L ,而且还要计算该线路各种附属设备的等效长度 L' (详见第一章第二节绝缘电阻)。将测试值和 $(L+L')$ 的乘积与标准比较,即可知该线路的绝缘电阻是否符合规定标准。

二、交流测试

1. 线路衰耗测试

线路衰耗大小反映该线路在使用频带中的传输质量,是交流电特性的一项重要指标。

在实际测试中,测量线路衰耗常使用电平差法,电平差法又叫直读法,利用振荡器和电平表来进行测量。测量电路如图 2-4。

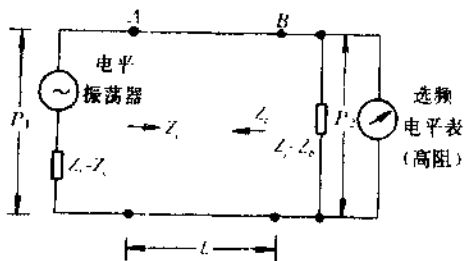


图 2-4 电平差法测回线衰耗