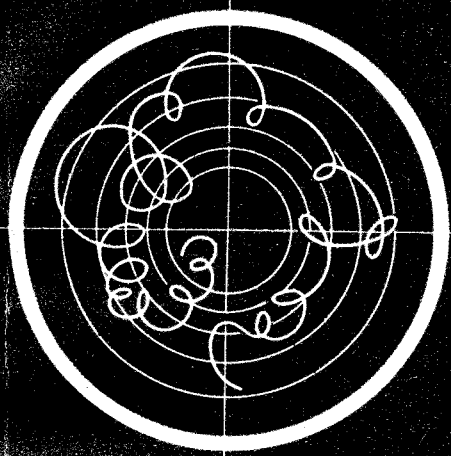




高频对称电缆平衡

913.32

基本建设局编 · 人民邮电出版社出版

GAOPIN DUICHEN DIANLAN PINGHENG

内 容 提 要

电缆平衡是高频对称电缆在建设中一项关键性的技术工作，是高频对称电缆载波干线施工和维护工作中的一个重要组成部分。

本书比较全面、系统地说明了四组高频对称电缆的平衡方法。全书共分三大部分：第一部分介绍高频对称电缆平衡的一般概念；第二部分介绍高频对称电缆单段平衡方法；第三部分介绍了高频对称电缆多段平衡方法。

本书内容通俗易懂，并力求做到理论联系实际，可供高频对称电缆的施工、维护人员使用，也可供教学人员参考。

高 频 对 称 电 缆 平 衡

邮电部基本建设局编

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1978年5月 第一版

印张：6 页数：96 1978年5月河北第一次印刷

字数：135 千字 印数：1—13,000册

统一书号：15045·总2207—有582

定价：0.50 元

前 言

建国以来，我国邮电通信事业在伟大领袖和导师毛主席和敬爱的周总理的亲切关怀下，得到了很大的发展。在长途通信干线建设方面，先后建设了高频对称电缆、小同轴电缆和中同轴电缆载波干线；采用新技术，逐步开通了多种通信。

在高频对称电缆干线的建设中，电缆平衡是技术上的关键，多年来，广大工人、干部、工程技术人员坚持“抓革命，促生产”的伟大方针，发扬了“独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国”的革命精神，从实践中积累了丰富的经验。本书总结了高频对称电缆平衡方面的经验，供今后高频对称电缆的建设中参考。其中有关技术问题，在邮电部组织的高频对称电缆载波工程验证段上，作了验证测试。参加编写工作的有邮电部第五研究所、邮电部设计院以及邮电部第三、四工程公司、南京邮电学院等单位的同志，编写过程中还征求了有关方面的意见。

本书提出的有关规定，邮电部各有关部门在高频对称电缆工程建设中可参照办理。

在电缆平衡中所需选用的元件数值，往往需要进行大量繁琐的计算，为了简化计算便于实用，在实践中经过大量验证已绘制成一套反耦合网络图表，编成《高频对称电缆反耦合网络手册》一书与本书同时出版发行，供读者查阅使用。

对本书的意见，请寄邮电部基本建设局。

邮电部基本建设局

一九七六年十二月

目 录

第一部分 高频对称电缆平衡的一般概念	1
第一章 高频对称电缆的结构.....	2
第二章 高频对称电缆回路间的串音.....	6
第一节 串音的形成.....	6
第二节 串音衰耗与串音防卫度.....	8
第三节 电缆回路间的等效串音耦合.....	11
第四节 电缆回路间的串音途径及其串音方程 式.....	14
第五节 电缆通信系统间的串音途径.....	20
第三章 减小串音的方法.....	23
第一节 交叉平衡法.....	23
第二节 集总平衡法.....	25
第三节 电缆平衡段的组成.....	40
第四章 电气标准.....	41
第一节 高频对称电缆系统的串音标准.....	41
第二节 有人增音段的串音标准.....	42
第三节 无人增音段电气标准.....	46
第四节 制造长度电气标准.....	48
第二部分 高频对称电缆单段平衡	51
第五章 平衡准备工作.....	51

第一节	电缆配盘	51
第二节	系统交叉	53
第三节	平衡准备	54
第四节	工作步骤	59
第六章	近端串音的平衡	60
第一节	集总平衡	60
第二节	交叉平衡	70
第三节	近端串音平衡步骤	72
第七章	远端串音的平衡	73
第一节	交叉平衡	73
第二节	组内远端串音的集总平衡	76
第三节	组间远端串音的平衡	86
第四节	远端平衡步骤及注意事项	92
第五节	平衡过程中经常出现的障碍及其原因	94
第八章	平衡点工作及平衡套管的安装	96
第一节	远端交叉平衡	96
第二节	平衡套管的正式接续	97
第三节	平衡套管内平衡元件排列与网络编号	100
第四节	远端集总平衡	101
第五节	平衡套管的外层包扎、封焊及结束工 作	103
第六节	增开的平衡套管	104
第七节	平衡套管的防潮	105
第九章	微调及竣工测试	106
第一节	微调	106
第二节	竣工测试	106
第三节	增音段竣工技术文件	109

第十章	有人增音段和转接段的调测	110
第十一章	高频对称电缆的测试	112
第一节	心线电阻及不平衡电阻测试	112
第二节	电气绝缘强度测试	113
第三节	绝缘电阻测试	113
第四节	地温测试	113
第五节	串音测试	115
第六节	回路工作衰耗测试	125
第七节	回路阻抗测试	126
第八节	工作电容测试	128
第九节	线路碰线或碰地地点的测试	129
第十节	线路断线障碍地点的测试	133
附录一	竣工技术文件中的记录图表填写绘制说明	137
附录二	术语代号及有关规定	154
附录三	有关设备的技术要求	155
附录四	平衡用仪表、工具、材料、元件配备参考表	159
第三部分	高频对称电缆多段平衡	165
第十二章	多段平衡的工作步骤及平衡前的准备	165
第一节	多段平衡的工作步骤	165
第二节	平衡前的准备工作	166
第十三章	测试系统的组成	168
第十四章	远端串音平衡	172
第一节	交叉平衡	172
第二节	集总平衡	179

第十五章	调盘及竣工测试.....	181
第一节	调盘.....	181
第二节	竣工测试.....	181
第三节	竣工技术文件.....	182
第十六章	常见障碍的处理.....	183
第一节	常见的故障.....	183
第二节	判别故障的常用方法.....	184

第一部分 高频对称电缆平衡的一般概念

对称电缆传输通信信号时，由于电缆线对之间不平衡的存在，各线对之间不可避免地要产生相互干扰。为了减少这种干扰，电缆结构设计时已采取一些措施，并规定了制造长度串音指标。例如四线组的结构采用星型排列，使四线组组内两个回路处于几何对称位置，这样可以减小四线组组内回路之间的串音；各四线组本身按不同节距进行扭绞，好像架空明线作了交叉，使四线组之间有了相互防卫交叉效果，从而减小了组间回路之间的串音；电缆采用金属外护套，可以降低外界电磁波对电缆心线的杂音干扰等等。但电缆在制造过程中，不可能完全按理想结构生产，如由于绝缘材料不均匀，扭绞节距的偏差，四线组心线几何位置的偏移等原因，使电缆线对之间的相互干扰仍相当严重，还不能保证通信信号的正常传输。为了进一步减小电缆线对间的这种干扰，还必须在电缆施工过程中，进一步采取措施，使电缆线对间的串音减小到一定的允许程度，这种措施即叫做电缆平衡。

固然对称电缆用来传送音频信号，有时也需要采取平衡的措施，但对称电缆用来传送高频载波信号时，由于传输距离长，传送的信号频率比较高，串音干扰远较音频电缆严重。所以电缆平衡是高频对称电缆在建设中一项关键性的技术工作，是高频对称电缆载波干线施工和维护工作中的一个重要组成部分。

分。同时，由于在综合中同轴电缆中含有高频四线组，这些四线组也同样需要进行平衡，所以电缆平衡在综合中同轴电缆的建设与维护中也是一项重要的技术措施。

本书着重说明四个四线组的高频对称电缆的平衡方法，对单四线组和七个四线组的高频对称电缆也可作为参考。

第一章 高频对称电缆的结构

用于多路通信的高频对称电缆，一般由四根绝缘心线组成一个四线组，四线组的截面按正方形对角排列，四线组按一定节距扭绞，即成为星形四线组。星形四线组所构成的电缆横截面积较小，所需护套的材料较少，因此比较经济。

由于一个四线组的两个通信回路是分别位于四线组截面的对角线位置，使得两回路相互间的不平衡导纳较小，因而两回路间的串音防卫度较高。

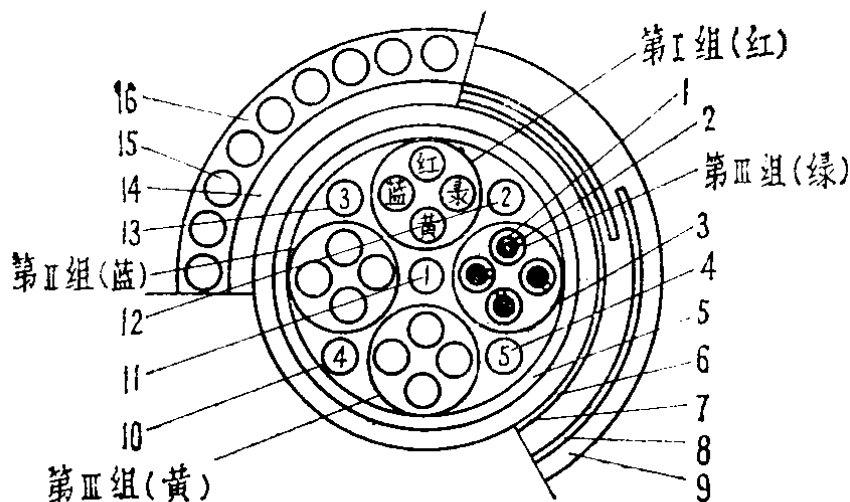
一条电缆内可由一个至几个四线组组成，各四线组有不同的扭绞节距，相当于四线组间做了交叉，从而提高了组间的串音防卫度。

另外，一条电缆内还根据需要配置了几根单心绝缘导线，供信号联络用，一般称为信号线。

纸绝缘四个四线组电缆的横截面如图1—1所示。

四线组内心线的序号，按心线绝缘纸的颜色，规定红、黄、蓝、绿分别代表心线序号1、2、3、4；心线1、2为第一线对，心线3、4为第二线对。

四线组的序号，按四线组外面扎线的颜色规定红、蓝、黄、绿分别代表Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组。



- 1.心线 2.纸捻 3.纸带 4.绿色信号线 5.绝缘纸带 6.铅护套
7.沥青纸(或塑料)带 8.二层钢带装铠 9.油麻保护层 10.黄色信号线
11.白色信号线 12.红色信号线 13.蓝色信号线 14.油麻层垫
15.钢丝铠装 16.外层油麻或塑料保护层。

图 1—1 四个四线组组高频对称电缆的横截面(A端)

信号线的序号，中心白色信号线为第1，红、绿四线组间的红线为第2，红、蓝四线组间的蓝线为第3，蓝、黄四线组间的黄线为第4，黄、绿四线组间的绿线为第5。

电缆端别，规定以面向电缆端，按四线组扎线颜色反时针方向排列顺序为红、蓝、黄、绿者为A端。

高频对称电缆的型号由两部分组成，一部分表示电缆类型和外护层的结构，一部分表示电缆心线的结构。HE代表长途对称通信电缆，Q代表铅包旁边数字代表外护层结构。

常用的铅包电缆外护层结构有下列几种：

HEQ—裸铅包高频长途通信电缆。用于无腐蚀的管道内及室内。

HEQ₁₁—塑料护套铅包高频长途通信电缆。用于有腐蚀地带。

HEQ₁₂—钢带铠装铅包高频长途通信电缆。埋设于一般

土壤中。

HEQ_{22} —塑料护套钢带铠装铅包高频长途通信电缆。用于埋设有腐蚀的地区。

HEQ_{13} —单层细圆钢丝铠装铅包高频长途通信电缆。用于敷设在需承受适当张力的地区和河流。

HEQ_{23} —塑料护套单层细圆钢丝铠装铅包高频长途通信电缆。用于敷设在有腐蚀的需承受适当张力的地区和河流。

HEQ_{15} —单层粗圆钢丝铠装铅包高频长途通信电缆。用于敷设在需承受较大张力的地区和河流。

HEQ_{25} —塑料护套单层粗圆钢丝铠装铅包高频长途通信电缆。用于敷设在有腐蚀的需承受较大张力的地区和河流。

常用的铜心高频对称电缆心线的结构有下列五种：

$$1 \times 4 \times 1.2 + 2 \times 1 \times 0.5$$

$$1 \times 4 \times 1.2 + 2 \times 1 \times 0.6$$

$$4 \times 4 \times 1.2 + 5 \times 1 \times 0.9$$

$$4 \times 4 \times 1.2 + 2 \times 1 \times 0.9$$

$$7 \times 4 \times 1.2 + 6 \times 1 \times 0.9$$

例如 $4 \times 4 \times 1.2 + 5 \times 1 \times 0.9$ ：前面第一个“4”表示4个四线组，第二个“4”表示由四根导线组成四线组，“1.2”表示导线的线径，单位为毫米，后面“5”表示五根信号线，“1”表示单根信号线，“0.9”表示信号线的线径，单位为毫米。

为了反映高频对称电缆能传输的最高频率，可在类型中用数字（如252表示252千赫）表示出来，例如：

$$HEQ-252 \quad 4 \times 4 \times 1.2 + 5 \times 1 \times 0.9$$

表示此电缆为裸铅包，心线为1.2毫米的四个四线组，有线径为0.9毫米的5根信号线，传输最高频率为252千赫的高频长途通信电缆。

第二章 高频对称电缆回路间的串音

第一节 串音的形成

当导体中通过变化的电流时，即在它的周围产生变化的电磁场。这变化的电磁场耦合到邻近的导体时，又在邻近导体上感应出电动势，因而形成了串音。

如图2—1所示，当1、2导线组成的第一回路传送信号时，其导线的周围便产生交变的电磁场。其某一瞬间的电场分布情况如图2—2(a)，由图中可以看出，位于电场中的由3、4导线组成的第二回路，由于3、4导线和1、2导线的排列不对称，导线4与导线1之间的距离小于导线3与导线1之间的距离，使导线4上感应的电位比导线3上的电位高，从而在第二回路中产生了干扰电流，其方向如图2—1中虚线所示。引起这种干扰电流的原因称为电耦合，电耦合系数用 K_{12} 表示。

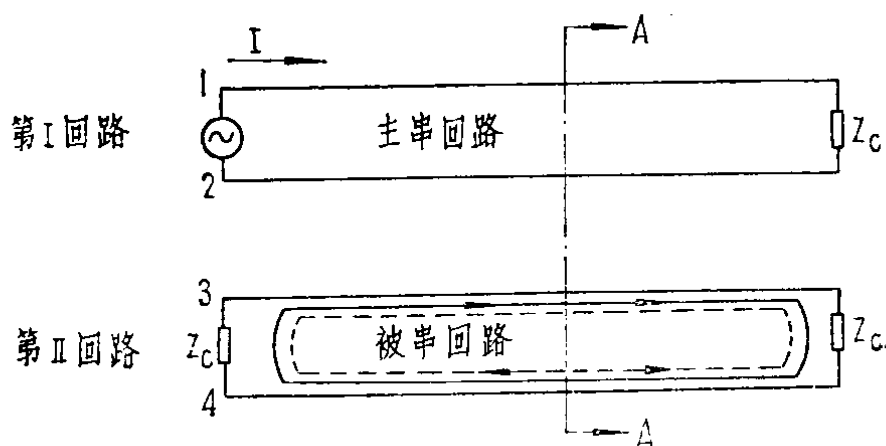
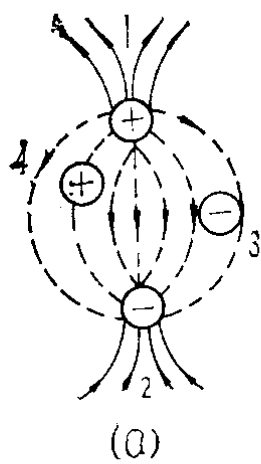
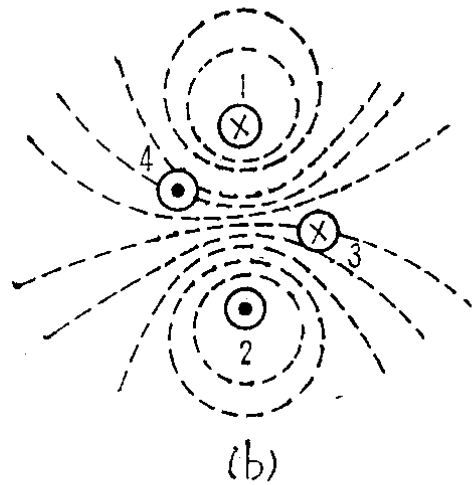


图 2—1 I 回路对 II 回路产生串音



电场分布情况



磁场分布情况

图 2—2 电磁场的分布

图2—2(b)为某一瞬间的磁场分布情况，由图中可以看出第一回路产生的磁力线有一部分穿过 3、4 导线围成的空间，从而也在第二回路中产生干扰电流，引起这种干扰电流的原因称为磁耦合，磁耦合系数用 M_{12} 表示。电耦合与磁耦合是相互依从的，它们的合成称电磁耦合。从图2—1可以看出从主串回路通过电磁耦合串扰到被串回路的串音电流有不同的方向。流向与信号源同端别的电流叫近端串音电流，是电、磁耦合引起的电流之和；流向另一端的电流叫远端串音电流，是电磁耦合引起的电流之差。

产生近端串音电流的电磁耦合叫近端电磁耦合，其耦合系数用 N_{12} 表示。产生远端串音电流的电磁耦合叫远端电磁耦合，其耦合系数用 F_{12} 表示。

回路间的近端电磁耦合系数 N_{12} 为电耦合系数与磁耦合系数之和，而远端电磁耦合系数 F_{12} 则为二者之差。故一般说来，近端电磁耦合系数 N_{12} 要比远端电磁耦合系数 F_{12} 大些。电磁耦合系数大，则说明串音大；反之，则串音就小。因而电缆回路间的近端串音大于远端串音。

第二节 串音衰耗与串音防卫度

回路间串音的大小，除了用电磁耦合系数表示以外，通常还用串音衰耗和串音防卫度的大小来衡量。串音衰耗或串音防卫度大，表示串音电流小；反之，则串音电流大。

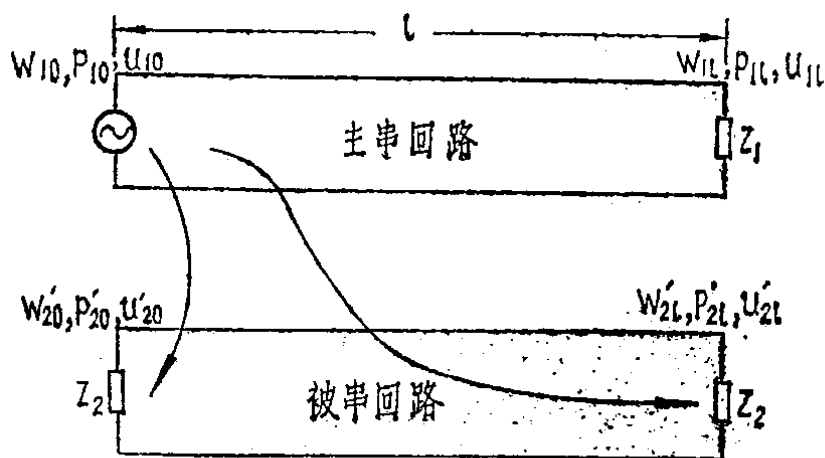


图 2—3 回路间的串音衰耗

用近端串音衰耗表示近端串音电流的大小；用远端串音衰耗或远端串音防卫度表示远端串音电流的大小。

图2—3中，

设：

W_{10} ， P_{10} ， u_{10} —分别为主串回路发送端的信号功率、电平和电压；

W_{1l} ， P_{1l} ， u_{1l} —分别为主串回路接收端的信号功率、电平和电压；

W'_{20} ， P'_{20} ， u'_{20} —分别为被串回路发送端的串音功率、电平和电压；

W'_{2l} ， P'_{2l} ， u'_{2l} —分别为被串回路接收端的串音功率、电平和电压。

Z_1 ， Z_2 —分别为主、被串回路的波阻抗。

一、近端串音衰耗(B_0)

$$B_0 = -\frac{1}{2} \ln \frac{W_{10}}{W'_{20}} \text{ 奈} \quad (2-1)$$

由于 $W_{10} = \frac{u_{10}^2}{Z_1}$, $W'_{20} = \frac{u_{20}'^2}{Z_2}$, 代入式(2-1)中得:

$$B_o = \ln \frac{u_{10}}{u_{20}'} - \frac{1}{2} \ln \frac{Z_1}{Z_2} = P_{10} - P'_{20} - \frac{1}{2} \ln \frac{Z_1}{Z_2} \text{ 奈} \quad (2-2)$$

当 $Z_1 = Z_2$, 则得:

$$B_o = \ln \frac{u_{10}}{u_{20}'} = P_{10} - P'_{20} \text{ 奈} \quad (2-3)$$

二、远端串音衰耗(B'_l)

$$\begin{aligned} B'_l &= \frac{1}{2} \ln \frac{W_{10}}{W'_{2l}} = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{u_{10}^2}{Z_1} / \frac{u_{2l}'^2}{Z_2} \right) = \ln \frac{u_{10}}{u_{2l}'} - \frac{1}{2} \ln \frac{Z_1}{Z_2} \\ &= P_{10} - P'_{2l} - \frac{1}{2} \ln \frac{Z_1}{Z_2} \text{ 奈} \end{aligned} \quad (2-4)$$

当 $Z_1 = Z_2$, 则

$$B'_l = \ln \frac{u_{10}}{u_{2l}'} = P_{10} - P'_{2l} \text{ 奈} \quad (2-5)$$

三、串音防卫度

当回路间的串音耦合既定时,被串回路中串音电流的大小,主要决定于主串回路信号发送电平的高低,主串回路的发送电平高,则被串回路的串音电平也高。但被串回路串音电平的高低尚不能全面反映该回路的通信质量遭受了多大的影响。因为,如果该回路在接收端的信号电平也相当高且大大超过串至此端的串音电平,则信号电平与串音电平相比,信号将掩盖串音,故对回路的通信影响并不大;如果该回路在接收端的信号电平就很低,虽然串至此端的串音电平不很大,但由于信号不能掩盖串音,甚至反被串音所掩盖,则将影响通信质量。因

此，衡量通信回路对串音的防卫能力，一般用“串音防卫度”来表示。

串音防卫度的定义：电路(或回路)上任意一点的有益信号电平与串音电平之差，即为该点的串音防卫度。

由图 2—3 可知，被串回路接收端的串音防卫度(B_l)可由下面求出：

在双电缆制通信中，一般要求同一电缆内各回路的发送电平平均相同或只允许有某一微小的差值，即 $P_{10} \approx P_{20}$ (P_{20} 为回路发送端的发送电平)；而两回路的波阻抗也相等，即 $Z_1 = Z_2$ ，则在被串回路接收端的有益信号电平(P_{2l})将等于主串回路在接收端的有益信号电平(P_{1l})。按串音防卫度的定义可知，被串回路接收端对串音的防卫度(B_l)为：

$$B_l = P_{1l} - P'_{2l} = \ln \frac{u_{1l}}{u_{2l}} \text{ 奈} \quad (2-6)$$

式(2—6)即为我们用比较法在接收端测得的远端串音防卫度。

设 b_1 —为回路 I 的工作衰减，奈；

α_1 —为回路 I 的衰减常数，奈/公里；

l —为线路的长度，公里

$$\text{则 } b_1 = \alpha_1 l = P_{10} - P_{1l} \quad (2-7)$$

$$\therefore P_{1l} = P_{10} - b_1 \quad (2-8)$$

代入式(2—6)中，得

$$B_l = P_{10} - P'_{2l} - b_1$$

$$\text{由式(2—5)得 } P_{10} = B'_l + P'_{20}$$

$$\text{故 } B_l = B'_l - b_1 \quad (2-9)$$

由式(2—9)可以说明远端串音防卫度 B_l 与远端串音衰减 B'_l 之间相差一个增音段的衰减值。