

电信工程技术手册

(电信线路)

苏联 H. H. 格罗涅夫等著

邮电部设计院译

人民邮电出版社

Гроднев И. И.
Климов М. А.
Шварцман В. О.

Гумеля А. Н.
Сергейчук К. Я.

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

(КАБЕЛЬНЫЕ И ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ)
СВЯЗЬИЗДАТ 1964

内 容 提 要

本手册论述长途通信线路的网路组织和使用方式。介绍在宽频带范围内使用的对称电缆和同轴电缆以及架空明线的结构数据和详细的电气特性。给出各种基本定义和计算传输参数、干扰参数的工程公式。研究在电缆及架空通信线路中防止相互影响的问题（交叉、平衡、屏蔽）。

叙述通信线路的电气测量方法及防止强电线路及天电干扰的措施。

介绍长途电缆和架空通信线路在设计、施工和技术维护等方面的主要参考资料。

本手册分为三个部分：在第一部分是长途电缆通信线路方面的资料；第二部分是架空明线方面的资料；第三部分是通信线路维护和建设中的一般问题。

本书由邮电部设计院翻译，本书的第一部分由钱宗旺同志校订，本书的第二、三部分由高攸纲同志校订。

电信工程技术手册（电信线路）

著者：苏联 И. И. 格罗涅夫 А. Н. 顾美格
М. А. 克里莫夫 К. Я. 谢尔盖伊楚克
В. О. 施瓦尔茨曼

译者：邮 电 部 设 计 院
出版者：人 民 邮 电 出 版 社
北京东四 6 条 13 号

（北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号）

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂
发行者：新 华 书 店

开本 850×1168 1/32
印张 15 26/32 页数 253
印刷字数 543,000 字

1955 年 3 月北京第一版
1965 年 3 月北京第一次印刷
印数 1—4,350 册

统一书号：15045·总1431—有309

定价：（科6）2.80 元

譯 序

在我国社会主义建設事业迅速发展的今天，通信綫路的建設任务也随之不断增加。我們看到了 1961 年苏联出版的电信工程技术手册（电信綫路），感到对我们工程技术人員尚有参考价值。

本手册共分三部份：

第一部份介绍了对称电纜和同軸电纜的結構和电气特性，介绍了这两类电纜的基本計算公式，并簡述了长途通信电纜綫路的設計、施工和維護的方法。

第二部份是架空明綫綫路。在这一部份中列出了回路的各种参数及其交叉程式和交叉計算公式；介绍了架空明綫綫路和介入电纜的結構，并且还介绍了水泥杆的程式，叙述了架空通信綫路的設計和施工方法。

第三部份是长途通信綫路建筑和維護方面的問題，其中包括：对外来影响的防护，电气測試方法以及綫路施工中的机械化問題。

本手册可供从事长途通信架空和电纜綫路設計、施工和維護的工程技术人員及电信高等学院师生参考使用。

本手册承邮电部基建总局 313 工程处参加了一部份翻譯工作，特此致謝。

邮电部設計院

1964年5月，北京

目 录

译者序

第一部分 电纜通信线路

第 一 章 长途通信电纜线路的构成和使用方式	1
1.1 通信电纜线路的应用范围	1
1.2 苏联长途通信网的組織原則	2
1.3 长途电纜通信网的分类	3
1.4 长途电纜干线通信的組織原則	3
1.5 通信电纜的分类和标識符号	6
第 二 章 基本定义和計算公式	8
2.1 基本定义	8
2.2 对称电纜的电气計算	8
2.3 加威电纜电气計算的特点	26
2.4 同軸电纜的电气計算	28
第 三 章 电纜材料及其性能	37
3.1 导綫材料	37
3.2 絕緣材料	41
3.3 屏蔽材料	53
3.4 电纜防护层材料	54
第 四 章 对称电纜的特性	57
4.1 对称电纜的結構元件	57
4.2 扭绳-紙絕緣低頻通信电纜	62
4.3 低頻长途通信綜合电纜	76
4.4 加威通信电纜	84
4.5 扭绳-紙絕緣干线通信电纜	90
4.6 扭绳-聚苯乙烯塑料絕緣干线通信电纜	95
4.7 聚乙烯絕緣长途通信电纜	102
第 五 章 同軸电纜的特性	105
5.1 干线同軸电纜	105
5.2 小型同軸电纜	111

5.3 水底同軸電纜·····	116
第 六 章 附屬器件、設備和材料·····	120
6.1 絕緣紙管和組環·····	120
6.2 平衡元件·····	121
6.3 鉛套管·····	123
6.4 鑄鉄接头盒·····	126
6.5 供特殊用途的套管·····	127
6.6 電纜終端盒·····	132
6.7 電感箱（加感箱）和電感綫圈·····	138
6.8 加感节距延長器·····	141
6.9 填充和灌澆剂料·····	142
6.10 電纜盤·····	143
6.11 无人增音站·····	144
第 七 章 設計和施工·····	149
7.1 電纜通信綫路的設計·····	149
7.2 通信電纜綫路的施工·····	160
7.3 已安裝妥的電纜增音段的电气特性·····	169
第 八 章 平衡系統和平衡方法·····	172
8.1 概述·····	172
8.2 交叉平衡法·····	172
8.3 附加反耦合網絡法·····	175
8.4 低頻加感回路的平衡·····	176
8.5 低頻不加感回路平衡的特点·····	181
8.6 干綫電纜的分支電纜的平衡·····	181
8.7 高頻回路的平衡·····	181
8.8 在改建和插入電纜時對使用中電纜的平衡·····	187
第 九 章 電纜充气維護·····	188
9.1 概述·····	188
9.2 气閉段·····	189
9.3 電纜進行充气維護時所使用的氣體·····	189
9.4 長途電纜內的容許气压·····	190
9.5 安裝過程中的電纜充气方法·····	191

9.6 电缆内的降压报警系统	193
9.7 电缆充气维护用的设备	199
9.8 电缆铅皮漏气地点的确定	204
9.9 利用放射性气态同位素来确定电缆外皮故障地点	204
9.10 利用氟利昂气体来确定障碍地点	206
第二部分 明线通信线路	
第十章 明线通信线路回路的参数	208
10.1 回路的一次参数	208
10.2 回路的二次参数	210
10.3 主要的电气标准	211
第十一章 明线通信线路的回路交叉	219
11.1 基本定义	219
11.2 电话回路交叉的基本规则	220
11.3 电话回路间串音衰减的标准	238
11.4 电话回路间线路近端和远端串音衰减的计算方法以及检查有色金属回路的工作衰减是否没有吸收峰现象	244
第十二章 明线通信线路的结构	264
12.1 计算用的气候情况	264
12.2 线条	266
12.3 附属器材	271
12.4 电杆	284
第十三章 明线通信线路的设计和施工	319
13.1 选线	319
13.2 电杆和导线的隔距	320
13.3 架挂导线	323
13.4 跨越装置	329
13.5 导线的单位负载	333
13.6 杆档中导线的计算	336
13.7 木杆的计算	340
13.8 新工程的材料消耗定额	345
第十四章 介入电缆	346
14.1 概述	346

14.2	有介入电缆的明线通信线路的回路电气特性	346
14.3	作介入电缆用的电缆的类型	351
14.4	电报回路中的介入电缆	351
14.5	引入电缆和介入电缆的设置	352
14.6	加感介入电缆和引入电缆设备的调整	356
14.7	在有色金属回路复用频率达 150 千赫时增音站的电缆引入设备	359
14.8	铜线回路开载波时增音站的电缆引入设备	362
14.9	介入电缆回路的平衡	363
14.10	引入电缆和介入电缆设备的安装	366
第三部分 通信线路运营及施工的一般问题		
第十五章	通信线路的电气测量	371
15.1	电气测量的作用	371
15.2	测量的分类	372
15.3	线路直流电气测量方法	377
15.4	线路交流电气测量方法	381
15.5	确定故障地点的电气测量方法	387
15.6	脉冲测试法	396
15.7	测量结果的处理	400
15.8	利用电缆寻找器寻找电缆路线	401
15.9	明线和电缆通信线路的测量仪器	402
第十六章	通信线路对危险影响和干扰影响的防护	412
16.1	通信线路上电磁影响的来源	412
16.2	高压输电线路对通信线路回路影响的分类	416
16.3	高压输电线路对通信线路回路的危险影响和干扰影响的标准	418
16.4	通信线路对高压线路危险影响和干扰影响的特殊防护措施	423
16.5	对通信线路危险影响的计算	432
16.6	高压线路干扰影响的计算	441
16.7	通信线路设备对天电的防护	451
16.8	长途报话通信设备对通信线路上产生的危险电压的防护	459
16.9	有线通信设备的接地	467
16.10	电缆的防蚀	468
第十七章	通信线路建筑和修理中所用的机械和工具	479

17.1 电缆通信线路建筑和修理中所用的机械·····	479
17.2 明线通信线路建筑和修理中所用的机械·····	485
17.3 线路建筑和修理中所用的工具·····	488
参考文献·····	495

第一部分 电 纜通信綫路

第一章 长途通信电 纜綫路的构成和使用方式

1.1 通信电 纜綫路的应用范围

用来传输各种信号电能 的通信綫路，是有綫通信体系的基本組成部分之一。通信电 纜干綫是一种最完善的現代化有綫通信工具，它可以保証在实际必需的距离内实现高质量的通信。

通信电 纜綫路的主要优点是：通路对气候影响和各种类型的干扰影响有較好的防卫性能，工作較稳定，綫路使用的年限很长，并且沒有地面上的設備。

随着通信綫路的电 纜化，通信质量将得到进一步提高。在改进电 纜技术方面的任务是加寬传输頻带。因此，必須改善电 纜的电气性能，以便保証沿高频通路能传输頻带高达 8.5 兆赫的各种信息。

表 1.1 所列 为 长途通信电 纜干綫的主要高频复用方式。

长途通信电 纜复用方式

表 1.1

复 用 方 式	电 纜程 式	高频通路数目	頻带(千赫)	增音段长度(公里)
K-12	对称电 纜	12	12—60	50
K-24	对称	24	12—108	40
K-60	对称	60	12—252	20
K-120	对称	120	12—552	15
K-180	对称	180	12—800	10
K-960	同轴电 纜	960	312—4100	10
K-1920	同轴	1920	312—8500	6
电 视	同轴	1	6000	6
K-300	同轴电 纜(小型)	300	6—1500	6

利用任何一条高频語路，均可传送 18—24 个电报或一个传真电报。广播节目是利用由两条或三条高频語路組成的併通路来传送的。高频的併通路(寬

頻帶通路) 可以用来传送电视、计算机数据及其他信息。

1.2 苏联长途通信网的組織原則

长途通信网, 是指由局(站)和通信线路所构成的通信体系而言。在长途通信网中, 采用高频设备复用的电缆线路, 微波线路和架空明线。

苏联的幅员很广阔, 因而, 不能靠在各主要城市之间敷设大量电缆或是在同一路由上增建微波线路的方法, 而是靠建立辐射汇接式的网路, 来解决国内干线通信的组织问题。在这种情况下, 每一个大中心局或省中心局, 都与不同的方向, 并且至少与两个方向保持联系, 也就是说, 形成了一个由电缆和微波干线所构成的“网”。这样, 利用迂迴路由和备用路由, 就保证了稳定和可靠的通信。

苏联的长途通信网是根据全国通信的总体规划建立起来的, 包括以下四类局: 大中心局、省中心局、区間中心局和区中心局^①。

图 1.1 为辐射汇接制网路组织的原理图。辐射汇接制的特点是: 同类的中心局不仅各自通达下级局, 在它们彼此之间也都是连通的。在辐射汇接制中, 还辅有沿最短路由连通的迂迴路线。有了这样的通信网路体制, 在苏联彼此关系密切的各大工业经济区之间, 可以不经过大中心局而建立直达的通信联系, 并且可以组织经济区内的通信(国民经济委员会同各厂之间的通信联系)。

辐射汇接制是比较经济的, 并且有很大的灵活性, 当任何一段线路发生故障时, 可以通过迂迴路由来保证通信的畅通。这种组织方式, 大大地提高了通信网的机动性和主要路由通信的稳定性, 并可保证组织不经大城市和工业中心的直达通信。

由于电缆回路的复用程度很高, 所以在建设电缆干线时主要采用 1×4 , 2×4 , 4×4 , 7×4 等型的小容量的对称电缆以及普通的 $2.6/9.4$ 同轴电缆和 $0.9/3.2$, $1/3.6$, $1.2/4.4$, $1.2/5.3$ 等小型同轴电缆。

为了缩短电缆干线的施工期限, 电缆的敷设、装卸、以及其他繁重的工作, 都广泛地实行了机械化。

电缆干线通信可以最大限度地实行自动化。在工厂中预先制成的无人值守增音站可以采用遙控和远供。

除了全国性的长途通信网之外, 还有属于其他部局(电力、石油和煤气

譯註①: 相当我国县間中心和县中心局。

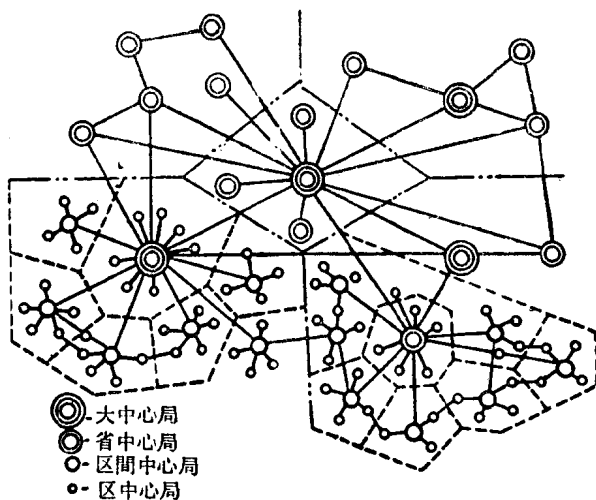


图 1.1 长途通信辐射汇集控制组织方式

管、电气化铁道及其他等)的通信网。

1.3 长途电缆通信网的分类

邮电部门的长途电缆通信线路,按用途区分,共分为三级:干线、省内和区内。

一级线路系指莫斯科与加盟共和国首都,边区中心和省中心之间,以及各加盟共和国首都、各边区中心、各省中心彼此之间的全苏性干线电缆线路。

二级线路系指省中心与省内各区之间,以及各区彼此之间的省内电缆线路。没有省一级建制的加盟共和国和边区内的电缆线路也列为二级线路。

三级线路系指区内通信电缆线路。

1.4 长途电缆干线通信的组织原则

电缆通信线路的利用方式,可以分为下列几种情况:

1. 低频通信和高频通信;
2. 二线制和四线制;
3. 单电缆制和双电缆制。

低频通信的频带约在 10 千赫以下,高频通信的频带在 12 千赫以上。

采用二线制时 (图 1.2), 来去两个方向的信号是沿同一线对传输的。采用四线制时, 去的方向是沿一个线对, 来的方向则沿另一线对。

采用单电缆制时, 来去两个方向的通路都在同一条电缆内。双电缆制要敷设两条电缆, 在一条电缆内, 是 $A-B$ 方向的所有回路, 而在另一条电缆中, 是 $B-A$ 方向的所有回路 (图 1.3)。

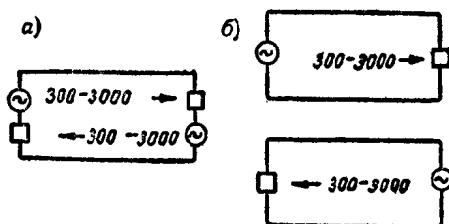


图 1.2 通信制式: a) 二线制, b) 四线制

所以, 通信的距离不会因增音机的稳定性而受到限制。但是, 四线制低频通信存在着一个主要缺点就是线路设备的费用高, 因为所需电缆的数量比二线制要多一倍。

只有在对线路进行高频复用的情况下, 四线制才能发挥出显著的技术经济效益。高频通信分为双频带制和单频带制两种方式 (图 1.4)。

采用双频带制时, 整个频谱分为低频带和高频带两部分。低频带供一个方向传输用, 高频带供另一方向传输用。这种二线 (双频带) 通信制, 有时被称为电气上的四线制。

单频带制要求在来去两方向各采取单独的回路, 即要求用四线回路。四线单频带回路的优点是不要分向滤波器。在双线双频带通信制中, 分向滤波器是必不可少的组成部分; 而滤波器乃是引起失真的来源, 并会使通信距离缩短。

在电缆线路上组织长途通信的最先进的方案是进行高频复用并采用单频带四线通信制。

二线制低频电话通信的通信距离是不能超过 1,000 公里的, 因为双向增音机的数目不应多于 8—10 个。

增大通信距离的切实可行的方法, 是采取四线制。采用四线制时, 去来两个方向的增音机彼此不发生关系, 因而不会产生振荡现象。

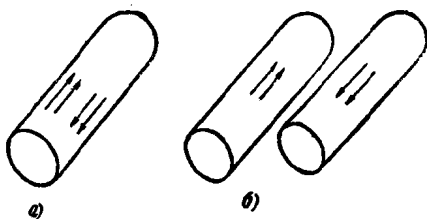


图 1.3 通信制式: a) 单电缆制, b) 双电缆制

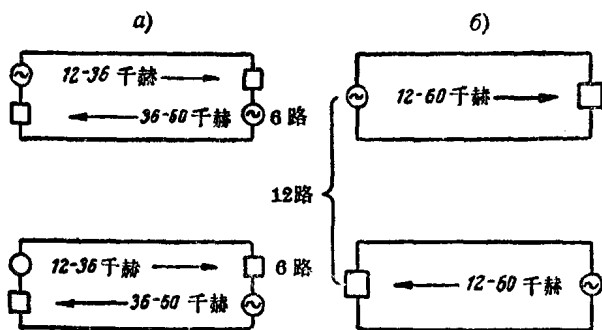
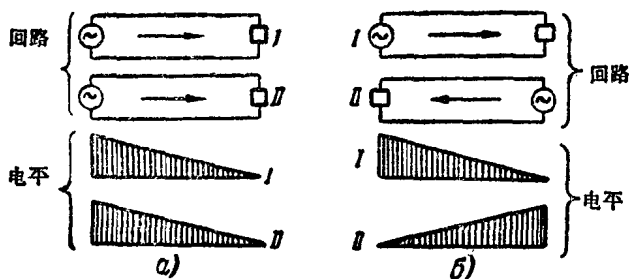


图 1.4 通信组织方式: a) 双频带, b) 单频带

为了对单电缆和双电缆制进行比较, 我们现在来研究一下高频通路中电缆回路间相互干扰影响的防护问题。高频传输时, 信号沿电缆回路传输的方向有同向和异向两种情况 (图 1.5)。就相互影响来说, 传输方向不同是最不利的情况, 这时, 主串回路中传输的高电平会串扰至被串回路的接收端, 因而产生很大的干扰影响。

图 1.5 电缆回路的传输方式:
a) 传输方向相同, b) 传输方向不同

当传输方向相同时, 沿主串和被串回路传输的能量的电平是相同的, 因而, 干扰影响比较小。

采用二线 (双频带) 高频通信制时, 电缆内回路中的传输方向相同。采用四线 (单频带) 制时, 回路中的传输方向相反。因此, 从相互影响的角度来看, 二线高频通信制比四线高频通信制有利。

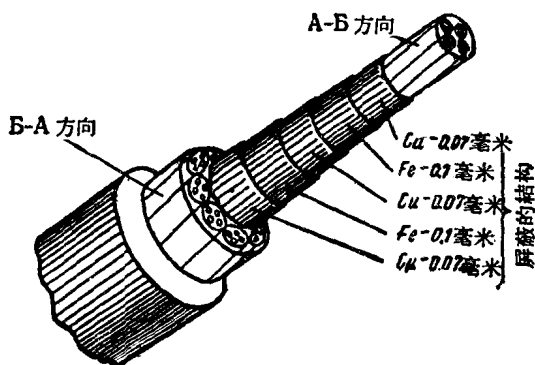


图 1.6 利用电磁屏蔽层将两个传输方向隔开

为了提高回路的串音防卫度和避免传输方向不同时所存在的不利情况，可以采用双电缆制。采用双电缆制时，传输方向不同的回路分别位于两条电缆中（传输方向为 A—B 的回路在电缆 1 中，传输方向为 B—A 的回路在电缆 2 中）。这样，在每条电缆中，全部回路都有相同的传输方向（图 1.3）。

除了双电缆制之外，也可以采取利用电磁屏蔽层将两个传输方向隔开的办法。有屏蔽层的电缆可保证在单电缆制的情况下利用四线（单频带）制回路开通高频多路载波（图 1.6）。

1.5 通信电缆的分类和标幺符号

对于现代通信电缆，可以根据下列特征进行分类：用途，应用范围，敷设和运用条件，传输频带，结构，绝缘材料和形状，扭绞方式，防护层的种类。

按照通信电缆的应用范围，分为长途通信电缆和地方通信电缆。长途通信电缆用来建设干线通信线路。地方（市内）通信电缆分为：市内干线电缆，配线电缆和用户电缆。此外，还有中继线路电缆，郊区通信电缆和局（站）以及中心站之间的电缆。无线电台天线馈电和无线设备安装用的射频电缆单独划为一类。

按照敷设和运用条件，分为地下电缆，水底电缆和架空电缆。

按照传输频带，通信电缆分为低频电缆和高频电缆。

通信电缆，根据结构的不同，可分类如下：

按照实线回路导线的相对位置，分为对称电缆和同轴电缆；

按照电缆内部的组成情况，分为单一电缆和综合电缆。

按照绝缘材料及其结构，分为：空气纸绝缘电缆，扭绳纸绝缘电缆，扭绳聚苯乙烯绝缘电缆，扭绳聚乙烯绝缘电缆，实心氟塑料绝缘电缆，泡沫聚乙烯绝缘电缆，实心橡皮绝缘电缆，垫片聚乙烯绝缘电缆及其他绝缘电缆。

按照绝缘导线扭绞成组的方式，通信电缆分为：对绞电缆，四线组（主要为星形）扭绞电缆，层绞电缆和束绞电缆。

最后，按照防护层的种类，分为：铅皮电缆和软皮（塑料外皮）电缆。这两种电缆，可以没有金属保护层，也可能有金属保护层（铠装电缆）。铠装有钢带（地下电缆），扁钢丝（抵御张力影响）和圆钢丝（水底电缆）等几种形式。

为了便于分类和使用，对每种电缆都规定了一定的标识符号，即电缆型号。

干线电缆用字母 M 来表示。“KM”表示干线同轴电缆。对绞电话电缆用字母“T”来表示。字母“3”表示星形四线组扭绞。如果电缆是聚苯乙烯塑料绝缘，则须另加一个字母“C”。电缆型号的最后字母表示铠装的种类。

按照保护层的种类来区别电缆的方法是：Г—表示光铅皮电缆，Б—钢带铠装，П—扁钢丝铠装，К—圆钢丝铠装。

依上述规定，扭绳纸绝缘干线对称电缆的型号有：МКГ, МКБ, МКП, МКК; 扭绳聚苯乙烯塑料绝缘干线对称电缆的型号有：МКСГ, МКСБ, МКСП, МКСК。

干线同轴电缆的型号为：КМГ, КМБ 等等。

对绞市话电缆的型号为：ТГ, ТБ, ТП, ТК。

市郊通信，中继线和中心站间用星绞电缆的型号为：ТЗГ, ТЗБ 等等（扭绳纸绝缘）和 ТЗСГ, ТЗСБ 等等（扭绳聚苯乙烯塑料绝缘）。

在型号的最后，应注明导线数目和线径。例如 МКСБ-60-7×4×1.2—扭绳聚苯乙烯塑料绝缘干线电缆，钢带铠装，用于开通 K-60 载波制式，电缆中有 7 个星绞四线组，导线直径为 1.2 毫米。

射频电缆主要分为两种：РК—射频同轴电缆和 РД—射频对称电缆。

第二章 基本定义和计算公式

2.1 基本定义

通信电缆的电气性能是用传输参数和干扰参数来表征的。

传输参数用来说明电能沿电缆回路的传播情况，干扰参数则用来说明电能从一个回路串到另一回路的情况以及回路相互间的串音防卫度和对外界干扰的防卫性能。

传输参数包括：

一次参数： R —有效电阻， L —电感， C —电容， G —绝缘电导；

二次参数： β —衰减常数， α —相移常数， Z_c —特性阻抗。

干扰参数包括：

一次参数： $K=g+i\omega\kappa$ —电耦合， $M=r+i\omega m$ —磁耦合；

二次参数： B_0 —近端串音衰减， B_c —远端串音衰减， B_s —回路防卫度。

如果说，在低频时，通信的质量和距离首先是决定于电缆回路衰减这一传输参数，那么，在高频复用时，回路最重要的特性则是干扰参数——串音衰减和杂音防卫度。

电缆回路相互间和对外界干扰的串杂音防卫度，是实现现代化长途高频通信的最重要的条件。

回路间的相互影响表现为可懂串音和杂音。可懂串音会降低语言的清晰度，而杂音则对通话产生干扰影响。

2.2 对称电缆的电气计算

传输参数

有效电阻 R 是指交流电通过回路时所遇到的电阻。 R 表征在电缆金属部分中的因涡流而发生的能量损耗。电缆回路的交流有效电阻的计算公式为：

$$R = R_0 + R_{ns} + R_{sA} + R_M,$$

式中， R_0 ——直流电阻；

R_{ns} ——集肤效应电阻；

R_{sA} ——邻近效应电阻；

R_M ——金属（在相邻的电缆回路和铅皮中）中的损耗电阻。

当回路长度为 1 公里时，它的直流电阻值可由下式确定：

$$R_0 = \rho \frac{8000}{\pi d^2} \frac{\text{欧姆}}{\text{公里}},$$

式中， d ——导线直径（毫米）；

ρ ——电阻系数，欧姆·平方毫米/米。

因为导线扭绞的缘故，电缆中回路的电阻比导线平行排列时的电阻要大些。

表 2.1. 列出了当电缆绞层直径不同时绞缩系数的数值 x 。

绞 缩 系 数

表 2.1

绞层直径 (毫米)	30以下	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80
x	1.010	1.016	1.025	1.037	1.050	0.070

铜线回路的直流电阻

表 2.2

铜线直径 (毫米)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
R_0 (欧姆/公里)	190.0	131.6	96.0	72.2	57.0	47.0	31.9	23.8

铜线电缆双线回路的直流电阻值 R_0 见表 2.2。

直径为 1.15, 1.55 和 1.8 毫米的铝心线电缆回路，其直流电阻值分别等于直径为 0.9, 1.2 和 1.4 毫米的铜心线回路。

当温度 t 不是 20°C 时，导线电阻的换算公式为：

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20)] \text{ 欧姆/公里},$$

式中， R_{20} —— $t = 20^\circ\text{C}$ 时的电阻；

α ——温度系数；

t ——确定电阻时的温度。

铜线的 $\frac{R_t}{R_{20}}$ 值见表 2.3。

如果导线不是均匀的，而是由数种材料制成（例如：钢和铜或钢和铝），那么，这种导线的直流电阻 R_{012} 应该按照导线并联的公式进行计算，即：