

ICS 33.120.20
M 42



中华人民共和国通信行业标准

YD/T 838.1-2016

代替 YD/T 838.1-2003

数字通信用对绞/星绞对称电缆 第 1 部分：总则

Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications
Part 1: Generic specification
(IEC 61156-1:2009, Multicore and Symmetrical Pair/Quad Cables for Digital Communications Part 1: Generic Specification, NEQ)

2016-01-15 发布

2016-04-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	3
4 安装条件	6
5 电缆材料和结构	6
6 试验方法	8
附录 A（资料性附录）不平衡衰减	27

前 言

YD/T 838《数字通信用对绞/星绞对称电缆》分为如下4个部分：

- 第1部分：总则；
- 第2部分：水平对绞电缆；
- 第3部分：工作区对绞电缆；
- 第4部分：主干对绞电缆。

本部分为YD/T 838的第1部分。

本部分按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本部分代替YD/T 838.1-2003《数字通信用对绞/星绞对称电缆 第1部分：总则》。

本部分与YD/T 838.1-2003相比主要变化如下：

- 对各类规范性引用文件进行了必要的更新和增加（见第2章，2003年版1.2）；
- 重新编写第3章的“术语和定义”，对部分术语和定义作了补充或修订，将定义中有关计算关系的公式合并到第6章“试验方法”中（见第3章，2003年版第2章）；
- 第6章中除了对各项目试验方法的要求进行了必要的更新和修订外，还增加了“相时延和时延差”、“外部近端和远端串音”、“耦合衰减”、“平均特性阻抗”、“有毒有害物质的限量”等项目的试验方法（见第6章，2003年版第3章）；
- 删除资料性附录A《特性阻抗和SRL/RL方法》（2003年版附录A）。

本部分使用重新起草法参考IEC 61156-1: 2009《数字通信用对绞/星绞多芯对称电缆 第1部分：总规范》编制，与IEC 61156-1: 2009的一致性程度为非等效。

本部分与IEC 61156-1: 2009的主要差异如下：

—— 关于规范性引用文件，本部分做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第2章“规范性引用文件”和对试验方法引用标准的要求中，具体调整如下：

- 用GB/T 6995.2-2008代替IEC 60304；
- 用YD/T 837.2-1996代替IEC 60189-1、IEC 60708；
- 增加引用了GB/T 26125-2011和GB/T 26572-2011。

- 删除了国际标准的前言部分；
- 小数点符号用“.”代替“，”；
- 按照中文习惯对一些编排格式和表述进行了编辑性修改；
- 增加了转移阻抗和耦合衰减的术语及定义；
- 删除了不适用的机械性能试验和尺寸测量的试验要求；
- 删除了不适用的环境性能试验要求；
- 增加了资料性附录A“不平衡衰减”。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中国通信标准化协会提出并归口。

本部分起草单位：成都大唐线缆有限公司、江苏俊知技术有限公司、成都泰瑞通信设备检测有限公司、成都亨通光通信有限公司、江苏亨通光电股份有限公司、中国信息通信研究院、江苏中博通信有限公司、大唐电信科技产业集团。

本部分主要起草人：黄 堃、李克坚、刘湘荣、宋志佗、王耀明、薛梦驰、刘 泰、陈宁虎、彭 媛、张 磊、程奇松、郭志宏、张维潭、时 彬、管泽根、淮 平。

本部分于1996年4月首次发布，2003年7月第一次修订，本次为第二次修订。

数字通信用对绞/星绞对称电缆

第1部分：总则

1 范围

本部分规定了数字通信用对绞或星绞对称电缆（以下简称电缆）的定义、要求及试验方法。

本部分规定的电缆适用于局域网等数字通信系统。

本部分规定的定义与试验方法也适用于其他用户楼宇布线用对称电缆。

2 规范性引用文件

下列文件对于本部分的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2421.1-2008 电工电子产品环境试验 第1部分：概述和指南（IEC 60068.1，IDT）

GB/T 2951.11-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第11部分：通用试验方法——厚度和外形尺寸测量——机械性能试验（IEC 60811-1-1，IDT）

GB/T 2951.12-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第12部分：通用试验方法——热老化试验方法（IEC 60811-1-2，IDT）

GB/T 2951.13-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第13部分：通用试验方法 密度测定方法 吸水试验 收缩试验（IEC 60811-1-3，IDT）

GB/T 2951.14-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第14部分：通用试验方法——低温试验（IEC 60811-1-4，IDT）

GB/T 2951.31-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第31部分：聚氯乙烯混合料专用试验方法——高温压力试验——抗开裂试验（IEC 60811-3-1，IDT）

GB/T 2951.41-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第41部分：聚乙烯和聚丙烯混合料专用试验方法——耐环境应力开裂试验——熔体指数测量方法——直接燃烧法测量聚乙烯中碳黑和矿物质填料含量——热重分析法（TGA）测量碳黑含量——显微镜法评估聚乙烯中碳黑分散度（IEC 60811-4-1，IDT）

GB/T 2951.42-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第42部分：聚乙烯和聚丙烯混合料专用试验方法——高温处理后抗张强度和断裂伸长率试验——高温处理后卷绕试验——空气热老化后的卷绕试验——测定质量的增加——长期热稳定性试验——铜催化氧化降解试验方法（IEC 60811-4-2，IDT）

GB/T 3953-2009 电工圆铜线（IEC 60028，NEQ）

GB/T 4910-2009 镀锡圆铜线

GB/T 6995.2-2008 电线电缆识别标志方法 第2部分：标准颜色

GB/T 7424.2-2009 光缆总规范 第2部分：光缆基本试验方法（IEC 60794-1-2，MOD）

GB/T 11327.1-1999 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套低频通信电缆第1部分：一般试验和测量方法方法（IEC 60189-1，NEQ）

GB/T 14733.2-2008 电信术语 传输线和波导（IEC 60050.726，IDT）

YD/T 838.1-2016

GB/T 17650.1-1998 取自电缆或光缆的材料燃烧时释出气体的试验方法 第1部分:卤酸气体总量的测定 (IEC 60754-1, IDT)

GB/T 17651.1-1998 电缆或光缆在特定条件下燃烧的烟密度测定 第1部分: 试验装置 (IEC 61034-1, IDT)

GB/T 17651.2-1998 电缆或光缆在特定条件下燃烧的烟密度测定 第2部分: 试验步骤和要求 (IEC 61034-2, IDT)

GB/T 18380.12-2008 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第12部分: 单根绝缘电线电缆火焰垂直蔓延试验 1kW预混合型火焰试验方法 (IEC 60332-1-2, IDT)

GB/T 18380.22-2008 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第22部分: 单根绝缘细电线电缆火焰垂直蔓延试验 扩散型火焰试验方法

GB/T 18380.31-2008 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第31部分: 垂直安装的成束电线电缆垂直蔓延试验 试验装置 (IEC 60332-3-10, IDT)

GB/T 18380.35-2008 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第35部分: 垂直安装的成束电线电缆垂直蔓延试验 C类 (IEC 60332-3-24, IDT)

GB/T 21204.1-2007 用于严酷环境的数字通信用对绞或星绞多芯对称电缆 第1部分:总规范 (IEC 62012-1, IDT)

GB/T 26125-2011 电子电气产品 六种限用物质 (铅、汞、镉、六价铬、多溴联苯和多溴二苯醚) 的测定 (IEC 62321:2008, IDT)

GB/T 26572-2011 电子电气产品中限用物质的限量要求

YD/T 837.2-1996 铜芯聚烯烃绝缘铝塑综合护套市内通信电缆试验方法 第2部分:电气性能试验方法

JB/T 3135-2011 镀银软圆铜线

IEC 60169-22 射频连接器 第22部分: 与屏蔽对称电缆配用双极卡口锁紧射频连接器 (BNO型) (Radio-frequency connectors – Part 22: RF two-pole bayonet coupled connectors for use with shielded balanced cables having twin inner conductors (Type BNO))

IEC 62153-4-3 金属通信电缆试验方法 第4-3部分: 电磁兼容性 (EMC) 表面转移阻抗 三同轴法 (Metallic communication cables test methods–Part 4-3: Electromagnetic compatibility (EMC) –Surface transfer impedance–Triaxial method)

IEC 62153-4-5 金属通信电缆试验方法 第4-5部分: 电磁兼容性 (EMC) 耦合或屏蔽衰减.吸收夹紧法 (Metallic communication cable test methods - Part 4-5: Electromagnetic compatibility (EMC) - Coupling or screening attenuation - Absorbing clamp method)

IEC 62153-4-9 金属通信电缆试验方法 第4-9部分: 电磁兼容性 (EMC) 三同轴法测量屏蔽平衡电缆的耦合衰减 (Metallic communication cable test methods–Part 4-9: Electromagnetic compatibility (EMC) –Coupling attenuation of screened balanced cables, triaxial method)

IEC 62255 宽带数字通信 (高速率数字接入通信网络) 用对绞或星绞多芯对称电缆 户外电缆 (Multicore and symmetrical pair/quad cables for broadband digital communications (high bit rate digital access telecommunication networks) –Outside plant cables)

ITU-T G.117: 1996 通信线路对地不平衡的传输特性 (Transmission aspects of unbalance about earth)

ITU-T O.9: 1999 确定通信线路对地不平衡的测量装置(Measuring arrangements to assess the degree of unbalance about earth)

3 术语和定义

GB/T 14733.2-2008界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电阻不平衡 Resistance Unbalance

对绞线组或星绞线组中同一对线（以下统称线对）两导体间或不同线对两导体间的电阻差异。

注：电阻不平衡用（%）表示。

3.2

对地电容不平衡 Capacitance Unbalance to Earth

线对中两导体间或星绞组中一对线两导体间的电容算术差。

注：对地电容不平衡单位用（pF/100m）表示。

3.3

工作电容 Mutual Capacitance

线对中两导体间或星绞组中一对线两导体间的电荷存储参数。

注：工作电容单位用（nF/100m）表示。

3.4

传播速度（相速度）Velocity of Propagation (Phase Velocity)

正弦波信号在电缆线对中的传播速度。

注1：传播速度单位用（m/s）表示。

注2：传播速度也可用波速比表示，波速比是波在电缆中传播速度与波在自由空间传播速度之比，后者应取作 299 792

458 m/s。

3.5

相时延 Phase Delay

一个正弦波的特定相位通过电缆上两个给定长度间隔点的时间。

注：相时延单位用（s）表示。

3.6

相时延差[偏移] Differential Phase Delay [Skew]

电缆中任意两线对间相时延的差值。

注：相时延差单位用（s）表示。

3.7

衰减 Attenuation

沿电缆线对传输的电信号，其传输功率大小下降的幅度。

注：单位长度电缆的衰减单位用（dB/100m）表示。

3.8

不平衡衰减 Unbalance Attenuation

电缆中任一线对的传输信号其共模功率与差模功率之比的对数值。

YD/T 838.1-2016

注：不平衡衰减单位用（dB）表示。

3.9

近端串音衰减 Near-End Crosstalk Loss (NEXT)

被串线对在近端耦合到的来自主串线对近端信号的串音信号的功率衰减。

注：近端串音衰减单位用（dB）表示。

3.10

远端串音衰减 Far-End Crosstalk Loss (FEXT)

被串线对在远端耦合到的来自主串线对近端信号的串音信号的功率衰减。

注：单位长度电缆的远端串音衰减单位用（dB/100m）表示。

3.11

近端或远端串音衰减功率和 Power Sum (PS) of Near-End or Far-End Crosstalk Loss

一个被串线对在近端或远端耦合到的来自所有电缆内其他主串线对的串音信号的功率总和。

注：近端串音衰减功率和单位用（dB）表示，单位长度电缆的远端串音衰减功率和单位用（dB/100m）表示。

3.12

近端衰减串音比 Attenuation to Crosstalk Ratio, Near-End (ACR-N)

来自主串线对的近端串音衰减与被串线对在电缆长度上的总衰减之间的算数差。

注：近端衰减串音比单位用（dB）表示。

3.13

远端衰减串音比 Attenuation to Crosstalk Ratio, Far-End (ACR-F)

来自主串线对的远端串音衰减与被串线对在电缆长度上的总衰减之间的算术差。

注：远端衰减串音比单位用（dB）表示。

3.14

外部近端串音衰减 Alien (Exogenous) Near-End Crosstalk Loss (ANEXT)

包含在不同电缆内的主串线对与被串线对间的近端串音衰减。

注：外部近端串音衰减单位用（dB）表示。

3.15

外部远端串音衰减 Alien (Exogenous) Far-End Crosstalk Loss (AFEXT)

包含在不同电缆内的主串线对与被串线对间的远端串音衰减。

注：外部远端串音衰减单位用（dB/100m）表示。

3.16

外部近端或远端串音衰减功率和 Power Sum (PS) of Alien (Exogenous) Near-End or Far-End Crosstalk Loss

一个被串线对在近端或远端耦合到的来自所有不同电缆中的主串线对的串音信号的功率总和。

注：外部串音衰减功率和适用于近端或远端的外部串音衰减，外部近端串音衰减功率和单位用（dB）表示，单位长度上的外部远端串音衰减功率和单位用（dB/100m）表示。

3.17

特性阻抗 Characteristic Impedance (Z_C)

规定频率范围内无限长均匀线路的输入阻抗，特性阻抗在高频时的近似值表示为 Z_{∞} 。

注：特性阻抗单位用 (Ω) 表示。

3.18

输入阻抗 Terminated Input Impedance (Z_{in})

远端连接系统标称阻抗时，在规定频率范围内从近端（输入端）测量的阻抗值。

注：输入阻抗单位用 (Ω) 表示。

3.19

拟合特性阻抗 Fitted Characteristic Impedance (Z_m)

通过最小二乘法用函数拟合阻抗的测量值，计算得到的阻抗值。

注：拟合特性阻抗单位用 (Ω) 表示。

3.20

平均特性阻抗 Mean Characteristic Impedance (Z_{∞})

特性阻抗在足够高频率（ ≈ 100 MHz）可忽略虚部时的近似值 Z_{∞} 。

注：平均特性阻抗单位用 (Ω) 表示。

3.21

回波损耗 Return Loss (RL)

在电缆线对的输入端反射功率与输入功率的比例。

注：回波损耗单位用 (dB) 表示。

3.22

转移阻抗 Transfer Impedance (Z_T)

二次（内）回路上的纵向感应电压与一次（外）回路中通过的电流之比。

注：转移阻抗单位用 $(m\Omega/m)$ 表示。

3.23

耦合衰减 Coupling Attenuation (a_c)

导体中传输功率与由被串共模电流传导和产生的最大辐射峰值功率之比。

注：耦合衰减单位用 (dB) 表示。

3.24

平衡—不平衡变量器 balun

平衡到不平衡阻抗匹配用的变量器。以下简称为平衡变量器或巴伦。

3.25

载流量 Current Carrying Capacity

导体表面温度不超过电缆允许的最大工作温度（允许超过环境温度）时，电缆所能承载的最大电流。

3.26

环境温度 Ambient Temperature

房间或空间内电缆周围环境的温度。

注：环境温度单位用 $(^{\circ}C)$ 表示。

3.27

YD/T 838.1-2016

3.28 工作温度 Operating Temperature

电缆运行时的导体温度。

注：工作温度单位用（℃）表示。

4 安装条件

电缆结构设计应满足图1所示的任一区域所适用的安装条件。

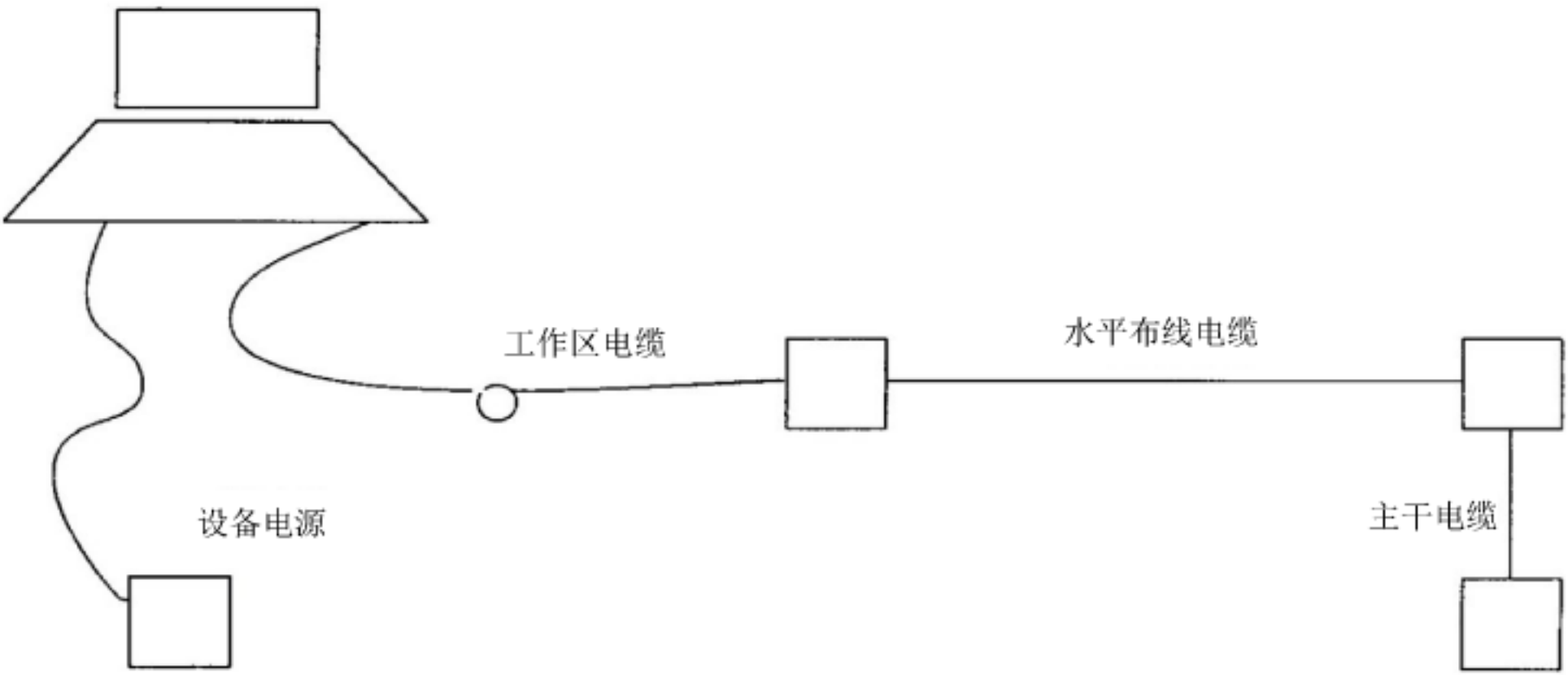


图1 电缆布局

图 1 中，各类电缆的安装条件如下：

- a) 设备电缆：适用于工作站与外围设备（如打印机）之间；
- b) 工作区电缆：适用于工作站与通信插座之间，电缆安装或运行时的温度范围为-20℃~+60℃；
- c) 水平布线电缆：适用于工作区通信插座与配线间之间，电缆安装或运行时的温度范围为-20℃~+60℃；
- d) 主干电缆：适用于水平安装或楼层之间的垂直安装，电缆安装或运行时的温度范围为-20℃~+60℃。

注：工作区电缆和设备电缆通常在其一端或两端带有适当的连接器。连接器的型式不包括在本部分中。

5 电缆材料和结构

5.1 一般说明

电缆材料和结构的选用应适合电缆的预期用途及安装条件，应特别注意电磁兼容性（EMC）或防火性能，以满足任何特殊要求。

5.2 电缆结构

5.2.1 导体

导体应由均匀一致、无缺陷的退火铜制成。导体可以是实心结构或绞合结构，具体要求包括：

——实心导体应采用具有圆形截面的裸铜线、镀锡铜线或镀银铜线。裸铜线应符合GB/T 3953-2009中TR型软圆铜线的要求；镀锡铜线应符合GB/T 4910-2009中TXRH型可焊镀锡软圆铜线的要求；镀银铜线应符合JB/T 3135-2011中TRY型镀银软圆铜线的要求。实心导体通常应是整根拉制而成。实心导体允许有接头，接头处的抗张强度应不低于相邻无接头导体的85%。

——绞合导体应由多根裸铜线采用同心式或束绞方式绞合成圆形截面。绞合导体的单根铜线应采用裸铜线或镀锡铜线。单根铜线通常应是整根拉制而成，单根铜线允许有接头，接头处的抗张强度应不低于相邻无接头导体的85%。除非在有关电缆详细规范中规定并允许外，绞合后的导体不允许整体接头。

注：对于绞合导体的接头，不推荐采用绝缘压穿连接（IDC）的接头方式。

当有关电缆详细规范中规定时，实心或绞合结构导体的直流电阻和电阻不平衡应符合规定值的要求。

5.2.2 绝缘

导体绝缘应由一种或多种适宜的介电材料组成，绝缘结构可分为实心 and 泡沫组合式（如皮一泡一皮）等形式。

绝缘应适当紧密包覆在导体上，表面应连续、完整且厚度均匀。

绝缘芯线应采用颜色识别标识，颜色应符合GB/T 6995.2-2008的要求。

由绝缘芯线所构成线对的颜色色序在有关电缆详细规范中给出。

5.2.3 电缆线对组

5.2.3.1 一般要求

电缆线对组一般分为以下两种：

——两根绝缘芯线一起扭绞成一线对，分为“a”和“b”线；

——四根绝缘芯线一起扭绞成一个星绞组，按旋转方向顺次分为“a”线、“b”线、“c”线和“d”线。

电缆线对组绞合节距的选择应充分考虑到串音性能、加工性能的要求和线对或星绞组的完整性。

5.2.3.2 电缆线对组屏蔽

当线对或星绞组需要屏蔽时，其屏蔽方式可分为以下4类：

- a) 由一层单面铝塑复合带组成；
- b) 由一层单面铝塑复合带和一根镀锡铜线或裸铜线（排流线）组成，铝塑复合带与排流线应连通；
- c) 由一层裸铜线或镀锡铜线编织层组成；
- d) 由一层单面铝塑复合带和一层镀锡铜线或裸铜线编织层组成，铝塑复合带与编织层应连通。

应特别注意当不同类型的金属互相接触时，为了防止电流互动所带来的干扰，可在屏蔽层内或外采用包带保护。

5.2.4 缆芯

电缆元件可由同心层绞式或单位式绞合成缆芯。缆芯外可用非吸湿性包带保护。

注：为保持缆芯的圆整可使用填充物。

5.2.5 缆芯屏蔽

缆芯屏蔽方式可分为以下5类：

- a) 由一层单面铝塑复合带与护套粘结组成；
- b) 由一层单面铝塑复合带和一根镀锡铜线或裸铜线（排流线）组成。铝塑复合带与排流线应连通；
- c) 由一层裸铜线或镀锡铜线编织层组成；
- d) 由一层单面铝塑复合带和一层镀锡铜线或裸铜线编织层组成。铝塑复合带与编织层应连通。
- e) 由一层裸铜带或裸铝带组成。

应特别注意当不同类型的金属互相接触时，为了防止电流互动所带来的干扰，可在屏蔽层内或外采用包带保护。

5.2.6 护套

护套应有足够的机械强度与弹性，在正常使用期限内应保持这些性能足够稳定。

护套表面应连续、完整且厚度均匀。

护套应适当紧密包覆在缆芯上。对于带屏蔽的电缆，除有意需要粘接外，护套不应与屏蔽层相粘连。

护套颜色可在相关电缆详细规范中规定。

5.2.7 识别标记

5.2.7.1 电缆标志

在电缆长度上应标有生产厂厂名和电缆详细规范规定的其他标识，必要时还应标识制造年份。

标识可采用下列方法之一：

- a) 颜色线或颜色带；
- b) 印字带；
- c) 在缆芯包带上印字；
- d) 在护套上标记。

5.2.7.2 标签

每个成品电缆标签或产品外包装上应给出以下信息：

- a) 电缆型号及规格；
- b) 生产厂厂名或专用标志；
- c) 制造年份；
- d) 电缆长度，单位为 m。

5.2.8 成品电缆

成品电缆在贮存和装运过程中，应具有适当的防护功能。

6 试验方法

6.1 一般说明

除非另有规定，所有的试验应在GB/T 2421.1-2008规定的试验条件下进行，电缆长度一般应不小于100m。

当电缆在其原包装内测量时，工作电容和衰减参数的测量值有时会偏高10%。这种差别是由于包装紧密和相互卷绕效应造成的。

在有怀疑时，工作电容、特性阻抗、衰减和串音的测量应在除去包装的电缆试样上进行。

电缆试验样品的典型试验配置可在以下3种方式中任选其一：

- a) 试验样品展开后放置在非金属的工作平面或场地上，距离导电源的间隔应不少于 25mm；
- b) 试验样品展开后采用非金属支架悬空支撑，样品间的间隔应不少于 25mm；
- c) 试验样品在线盘上采用单层螺旋形的方式，绕成一个固定间隔的螺旋形线圈，线圈之间的间隔应不少于 25mm。

测试电缆外部串音时需要使用不同于a)、b)、c)的配置，详见6.3.8。

共模端接电阻应按以下要求进行配置：

- 线对屏蔽结构的电缆：0Ω；
- 为总屏蔽结构的电缆：25Ω；

——非屏蔽电缆：45~50Ω。

6.2 电气性能试验

6.2.1 导体电阻

导体电阻的测量应按照YD/T 837.2-1996的规定进行。

6.2.2 电阻不平衡

电阻不平衡的测量方法和测量设备的精度应按照YD/T 837.2-1996的规定进行。

6.2.2.1 线对电阻不平衡

线对两导体间或星绞组中一对线两导体间的电阻不平衡，按式（1）计算：

$$\Delta R = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\max} + R_{\min}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

ΔR — 电阻不平衡，单位为 %；

R_{\max} — 导体较大电阻值，单位为 Ω；

R_{\min} — 导体较小电阻值，单位为 Ω。

6.2.2.2 线对间电阻不平衡

缆芯中线对与线对间或任一两线对间的电阻不平衡，按式（2）计算：

$$\Delta RP_{i,k} = \frac{\left| R_{\max i} \cdot R_{\min i} \times (R_{\max k} + R_{\min k}) - R_{\max k} \cdot R_{\min k} \times (R_{\max i} + R_{\min i}) \right|}{R_{\max i} \cdot R_{\min i} \times (R_{\max k} + R_{\min k}) + R_{\max k} \cdot R_{\min k} \times (R_{\max i} + R_{\min i})} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

ΔRP — 线对间电阻不平衡，单位为 %；

R_{\max} — 线对中的导体较大电阻值，单位为 Ω；

R_{\min} — 线对中的导体较小电阻值，单位为 Ω；

i, k — i, k 值从1~ n ，且 n 为线对序号。

6.2.3 介电强度

导体 / 导体、导体/屏蔽以及屏蔽 / 屏蔽间的介电强度测量应按照YD/T 837.2-1996的规定进行。

6.2.4 绝缘电阻

导体 / 导体、导体 / 屏蔽以及屏蔽 / 屏蔽之间的绝缘电阻测量应按照YD/T 837.2-1996的规定进行。除非有关电缆详细规范中另有规定，试验电压应在直流100V~500V之间。

6.2.5 工作电容

多芯对绞电缆或星绞电缆线对的工作电容测量应按照YD/T 837.2-1996的规定进行。

6.2.6 电容不平衡

多芯对绞电缆或星绞电缆线对的电容不平衡测量应按照YD/T 837.2-1996的规定进行。非被测线对或星绞组的导体应连接到一起并接地，如有屏蔽也应连接到一起。

6.2.7 转移阻抗

转移阻抗的测量应按照IEC 62153-4-3的规定进行。

测量转移阻抗的频率范围及要求应由有关电缆详细规范规定。

6.2.8 耦合衰减

耦合衰减的测量应按照IEC 62153-4-9或IEC 62153-4-5的规定进行。

测量耦合衰减的频率范围及要求应由有关电缆详细规范规定。

6.2.9 载流量

待研究。

6.3 传输特性试验

6.3.1 通则

电缆传输特性的测量应在平衡模式下进行，试验设备应由网络分析仪、信号发生器/接收器和平衡变量器及被测电缆所组成。

平衡变量器的选择应使试验设备在试验频率上与电缆标称特性阻抗匹配并符合表1给出的性能特点。为了补偿平衡变量器的剩余失配，宜将平衡变量器连接到一根短段被测电缆上（<1m）进行系统的初始校准。

6.3.2 传播速度（相速度）

传播速度应在有关电缆详细规范指定的频率下测定。未指定频率时应采用测定特性阻抗所用的频率。测量应在平衡条件下用传输法（用平衡变量器把电缆连接到设备）或反射法（用平衡阻抗试验装置按开/短路法）进行。

在采用传输法测量时，求出使输出信号的相位与输入信号相比旋转了 2π 弧度的频率间隔 Δ_f 值。在采用反射法测量时，电缆的远端需开路。

传播速度表示为：

——对于用传输法测量，应按式（3）计算：

$$V_f = L \cdot \Delta_f \quad (3)$$

——对于用反射法测量，应按式（4）计算：

$$V_f = 2L \cdot \Delta_f \quad (4)$$

式中：

L — 被测电缆长度，单位为 m；

Δ_f — 频率间隔，单位为 Hz；

V_f — 传播速度，单位为 m/s。

为了使算出的频率间隔 Δ_f 具有满意的精度，可以测出旋转 n 个 2π 弧度的频率差 Δ_{f1} ，计算按式（5）进行：

$$\Delta_f = \Delta_{f1} / n \quad (5)$$

式中：

Δ_{f1} — 旋转 n 个 2π 弧度的频率差，单位为 Hz；

n — ≤ 10 。

6.3.3 相时延和相时延差

相时延按式（6）计算：

$$T = \frac{L}{v_P} \quad (6)$$

式中:

T — 相时延, 单位为 s;

v_P — 传播速度, 单位为 m/s;

L — 电缆长度, 单位为 m。

相时延差按式 (7) 计算:

$$\Delta T = L \left(\frac{1}{v_{P1}} - \frac{1}{v_{P2}} \right) \quad (7)$$

式中:

ΔT — 相时延差, 单位为 s;

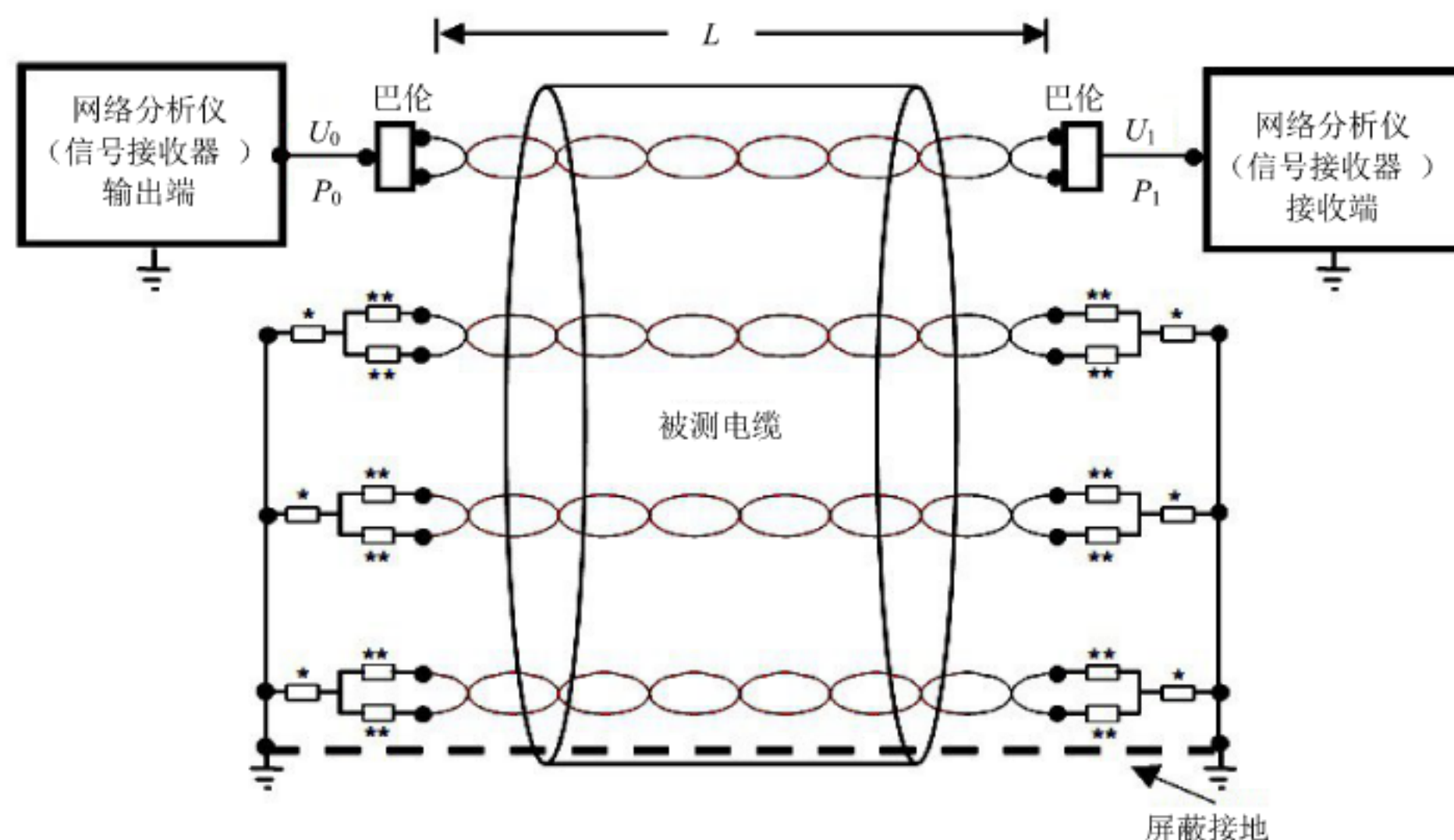
v_{P1} — 第1对线的传播速度, 单位为 m/s;

v_{P2} — 另一对线的传播速度, 单位为 m/s;

L — 电缆长度, 单位为 m。

6.3.4 衰减

衰减应在相关电缆详细规范指定的频率范围内测量, 试验电路构成如图2所示。



说明:

CUT — 被测电缆;

* — 共模端接电阻 (见 6.1);

** — 差模端接电阻 (线对匹配);

L — 被测电缆长度, 单位为 m;

U_0 — 网络分析仪或信号发生器的输出端电压 (V);

U_1 — 网络分析仪或信号接收器的接收端电压 (V);

P_0 — 网络分析仪或信号发生器的输出端功率 (W);

P_1 — 网络分析仪或信号接收器的接收端功率 (W)。

图2 测量衰减的试验电路构成

测量仪器的精度应达到 $\pm 5\%$, 并在平衡条件下进行。

在试验设备为不平衡时, 线对的两端应通过平衡变量器接到试验设备。

测量应在环境温度下进行, 100m长电缆的衰减常数按式 (8) 计算:

$$\alpha=10\lg\frac{P_0}{P_1}$$
$$=20\lg\frac{U_0}{U_1}$$

(8)

式中：

α — 衰减常数，单位为 dB/100m；

P_0 — 网络分析仪或信号发生器输出端功率，单位为 W；

P_1 — 网络分析仪或接收器的接收端功率，单位为 W；

U_0 — 网络分析仪或信号发生器输出端电压，单位为 V；

U_1 — 网络分析仪或接收器的接收端电压，单位为 V；

对于1MHz以上的频率，衰减常数应按式（9）修正到20℃。

$$\alpha_{20}=\frac{\alpha}{1+0.002\times(T-20)}$$

(9)

式中：

α — 被测电缆衰减常数，单位为 dB/100m；

T — 环境温度，单位为 ℃；

α_{20} — 修正到20℃的衰减常数，单位为 dB/100m。

6.3.5 不平衡衰减

6.3.5.1 设备

试验设备应满足以下要求：

a) 不平衡衰减与频率及电缆长度有关。因此，测量应在 100m±1m 的长度上进行。对于非屏蔽对绞电缆，应要建立一个明确的返回通路（共模）。通常返回通路是由所有其他线对接地来构成；

b) 应选择符合规定频率和动态范围的网络分析仪或发生器/接收器设备；

对不平衡衰减测量，两个平衡变量器应有位于平衡输出中点的共模端口和表 1 中给出的特性；时域反射计（可选）。

表1 平衡变量器性能特点

项目	平衡变量器种类		
	A-250	A-600	B 类
初级阻抗 ^a	50Ω 不平衡	50Ω 不平衡	50Ω 不平衡
次级阻抗	100Ω 平衡匹配	100Ω 平衡匹配	100Ω 平衡匹配
共模口回波损耗 ^b	10 dB 最小值	15 dB 最小值, 5~15 MHz 20 dB 最小值, 15~400 MHz 15 dB 最小值, 400~600 MHz	10 dB 最小值
次级回波损耗	20 dB 最小值	12 dB 最小值, 5~15 MHz 20 dB 最小值, 15~550 MHz 17.5 dB 最小值, 550~600 MHz	6 dB 最小值
额定功率	0.1 W 最小值	0.1 W 最小值	0.1 W 最小值
纵向平衡度 ^c	60 dB 最小值	60 dB 最小值, 15~350 MHz 50 dB 最小值, 350~600 MHz	35 dB 最小值

表 1 (续)

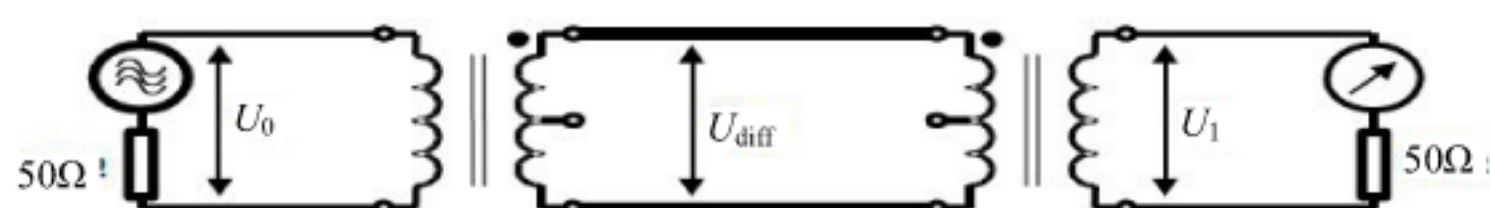
项目	平衡变量器种类		
	A-250	A-600	B 类
输出信号平衡度 ^c	50 dB 最小值	60 dB 最小值, 15~350 MHz 50 dB 最小值, 350~600 MHz	35 dB 最小值
共模抑制比 ^c	50 dB 最小值	60 dB 最小值, 15~350 MHz 50 dB 最小值, 350~600 MHz	35 dB 最小值
平衡变量器使用要求: 1) 应采用符合 IEC 60169-22 标准规定要求的巴伦连接器; 2) 测试到 250 MHz, 应使用 A 类 250 巴伦; 3) 测试到 600 MHz, 应使用 A 类 600 巴伦。 对于使用 B 类巴伦, 需要对插入损耗和回波损耗的测试有一个权衡。使用一个衰减器, 可以增加插入损耗而提高回波损耗。如果回波损耗小于 10dB, 插入损耗应小于 5dB; 如果插入损耗大于 5dB, 回波损耗应高于 10dB			
^a 初级阻抗可能会有所不同, 必要时初级阻抗可以不同于 50Ω, 根据网络分析仪的输出阻抗确定。 ^b 将两个平衡变量器平衡输出端连接在一起, 测量回波损耗。平衡变量器的不平衡输入端应端接 50Ω 负载。 ^c 测量应按照 ITU-T G.117: 1996 和 ITU-T 0.9: 1999 标准的规定进行			

6.3.5.2 平衡变量器校准

平衡变量器的校准应按以下要求进行:

a) 将用于校准的同轴电缆连接在网络分析仪的输出端和输入端, 在整个频率范围内进行 (0dB) 的基准线校准。此校准方法, 应满足表 1 所示的平衡变量器性能特点的要求。

b) 测量平衡变量器差模损耗的试验电路构成如图 3 所示。采用相同的两个平衡变量器, 平衡变量器应在对称侧背靠背连接, 并在指定的整个频率范围内进行衰减测量, 两个平衡变量器的连接线应具有小得可以忽略的损耗。



说明:

U_0 —— 网络分析仪或信号发生器输出端电压 (V);

U_1 —— 网络分析仪或接收器的接收端电压 (V);

U_{diff} —— 巴伦对称端口的电压 (V)。

图3 测量平衡变量器差模损耗的试验电路构成

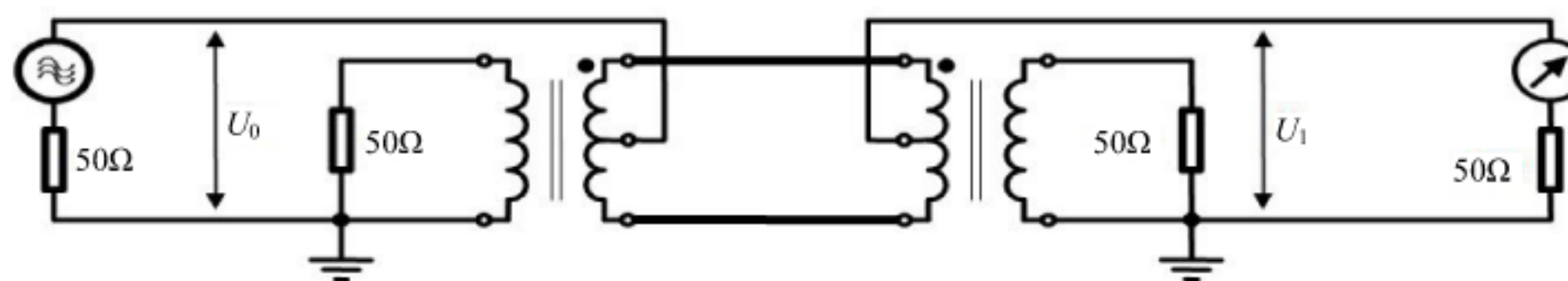
平衡变量器的差模损耗按式 (10) 计算:

$$\alpha_{diff} = 0.5 \times \left(20 \lg \left| \frac{U_1}{U_0} \right| \right) \quad (10)$$

式中:

α_{diff} —— 平衡变量器的差模损耗, 单位为 dB。

c) 测量平衡变量器共模损耗的试验电路构成如图 4 所示。两个平衡变量器仍按 b) 项用短线相连, 平衡变量器的不平衡端口用标称阻抗终端, 而把信号发生器和接收器分别连到两个平衡变量器的共模端 (中心抽头)。



说明:

U_0 —— 网络分析仪或信号发生器输出端电压 (V);

U_1 —— 网络分析仪或接收器的接收端电压 (V)。

图4 测量平衡变量器共模损耗的试验电路构成

平衡变量器的共模损耗按式 (11) 计算:

$$\alpha_{com} = 0.5 \times \left(20 \lg \left| \frac{U_1}{U_0} \right| \right) \quad (11)$$

式中:

α_{com} —— 平衡变量器的共模损耗, 单位为 dB。

d) 平衡变量器的工作衰减 α_{balun} 为平衡变量器的共模损耗和差模损耗之和, 计算按式 (12) 进行:

$$\alpha_{balun} = \alpha_{diff} + \alpha_{com} \quad (12)$$

式中:

α_{balun} —— 平衡变量器的工作衰减或插入损耗, 单位为 dB。

注: 为了得到更精确的结果, 可对调两只平衡变量器来测量 α_{diff} 和 α_{com} 并平均其结果, 或者使用三个平衡变量器进行交替测试。在这种情况下, 式 (10) 和式 (11) 中的假设就不必要了。

e) 平衡变量器的电压比可用平衡变量器的阻抗比和平衡变量器的工作衰减表示, 计算按式 (13) 进行:

$$\begin{aligned} 20 \lg \left| \frac{U_{diff}}{U_0} \right| &= 10 \lg \left| \frac{Z_{diff}}{Z_0} \right| - \alpha_{balun} \\ 20 \lg \left| \frac{U_{diff}}{U_1} \right| &= 10 \lg \left| \frac{Z_{diff}}{Z_1} \right| - \alpha_{balun} \end{aligned} \quad (13)$$

式中:

U_{diff} —— 被测电缆输入端差模电压, 单位为 V;

U_0 —— 网络分析仪或信号发生器输出端电压, 单位为 V;

Z_{diff} —— 差模电路的特性阻抗, 单位为 Ω ;

Z_0 —— 网络分析仪或信号发生器的输出阻抗, 单位为 Ω ;

U_1 —— 负载输入电压, 单位为 V;

Z_1 —— 负载输入阻抗, 单位为 Ω 。

6.3.5.3 测量

6.3.5.3.1 概述

被测电缆所有的线对/星绞组应在被测电缆 (CUT) 的两端测量。不平衡衰减应在整个规定频率范围测量, 测量的频率点应与校准操作的频率点相同。

对 100Ω 标称阻抗的电缆, 小对数非屏蔽对绞电缆 (≤ 25 对) 的 Z_{com} 值是 75Ω , 对总屏蔽对绞电缆和大对数非屏蔽电缆 (> 25 对) 的 Z_{com} 值是 50Ω , 对于线对单独屏蔽对绞电缆的 Z_{com} 值是 25Ω , 校准时

宜采用这些值。

共模电路的阻抗 Z_{com} 可用时域反射仪 (TDR) 或网络分析仪做更精确的测量。被测线对两导体的两端短接, 测量这些导体和返回通路间的阻抗。

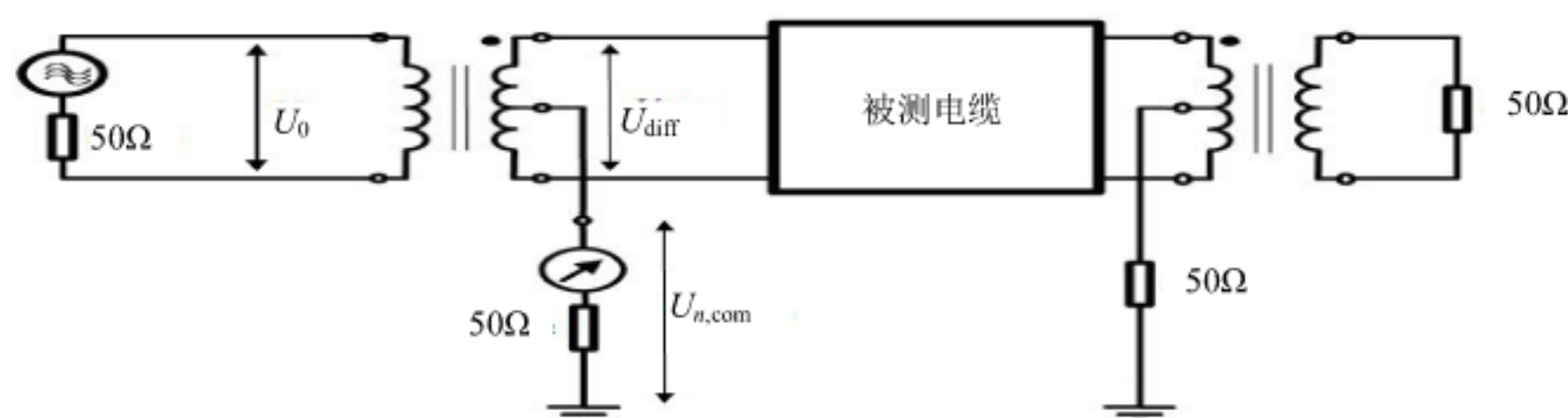
6.3.5.3.2 被测电缆 (CUT)

被测电缆 (CUT) 的端头应仔细制备, 保持原有的扭绞状态不变直到试验设备的接线端。

被测电缆 (CUT) 的长度应为 $100\text{m} \pm 1\text{m}$ 。除被测线对以外的所有其他线对和屏蔽 (如有) 都应在电缆两端接地。

6.3.5.3.3 不平衡衰减的测量原理

测量近端不平衡衰减 (TCL) 的试验电路构成如图5所示。不平衡衰减测量原理的补充资料参见附录A。



说明:

U_0 —— 网络分析仪或信号发生器输出端电压 (V);

U_1 —— 网络分析仪或接收器的接收端电压 (V)。

图5 近端不平衡衰减 (TCL) 的试验电路构成

从共模电路近端测量衰减, 按式 (14) 计算:

$$\alpha_{meas} = 20 \lg \left| \frac{U_{n,com}}{U_0} \right| \quad (14)$$

式中:

α_{meas} —— 测量衰减, 单位为 dB;

$U_{n,com}$ —— 共模电路近端的电压, 单位为 V;

U_0 —— 网络分析仪或信号发生器输出端电压, 单位为 V。

测量远端不平衡衰减 (TCTL) 的试验电路构成如图6所示。

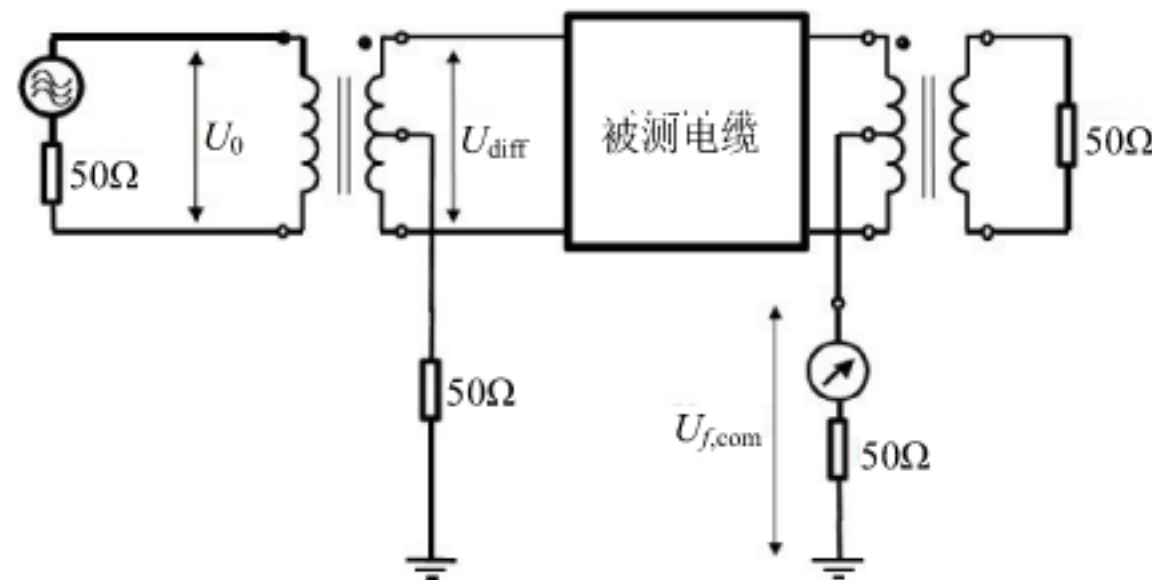


图6 远端不平衡衰减 (TCTL) 的试验电路构成

从共模电路远端测量衰减, 按式 (15) 计算:

$$\alpha_{meas} = 20 \lg \left| \frac{U_{f,com}}{U_0} \right| \quad (15)$$

式中:

α_{meas} —— 测量衰减, 单位为 dB;

$U_{f, com}$ — 共模电路远端的电压，单位为 V；

U_0 — 网络分析仪或信号发生器输出端电压，单位为 V。

6.3.5.3.4 测试结果

不平衡衰减定义为共模功率对差模功率的对数比，按式（16）计算：

$$\alpha_{u, n, f} = 20 \lg \left| \frac{\sqrt{P_{n, com, f}}}{\sqrt{P_{diff}}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{n, com, f}}{U_{diff}} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_{diff}}{Z_{com}} \right| \quad (16)$$

式中：

α_u — 不平衡衰减，单位为 dB；

P_{diff} — 匹配差模功率，单位为 W；

P_{com} — 匹配共模功率，单位为 W；

n, f — 分别表示近端和远端的标记。

通常当采用 S 参数试验设备测量时，测量的是发生器的输出电平，取代了测量被测电缆的差模电压。在这种情况下，考虑平衡变量器的工作衰减，近端和远端不平衡衰减的上述式（16）可分别按式（17）、式（18）和式（19）计算：

$$\begin{aligned} \alpha_{u, n, f} &= 10 \lg \left| \frac{P_{n, com, f}}{P_{diff}} \right| = 10 \lg \left| \frac{P_{n, com, f}}{P_0} \right| - \alpha_{balun} \\ &= 20 \lg \left| \frac{U_{n, com, f}}{U_0} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_{com}} \right| - \alpha_{balun} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\alpha_{u, n, f} = \alpha_{meas} + 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_{com}} \right| - \alpha_{balun} \quad (18)$$

等电平远端不平衡衰减（EL TCTL）按式（19）计算：

$$EL \alpha_{u, f} = \alpha_{meas} + 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_{com}} \right| - \alpha_{balun} - \alpha_{cable} \quad (19)$$

式中：

$EL \alpha_{u, f}$ — 等电平远端不平衡衰减（EL TCTL），单位为 dB；

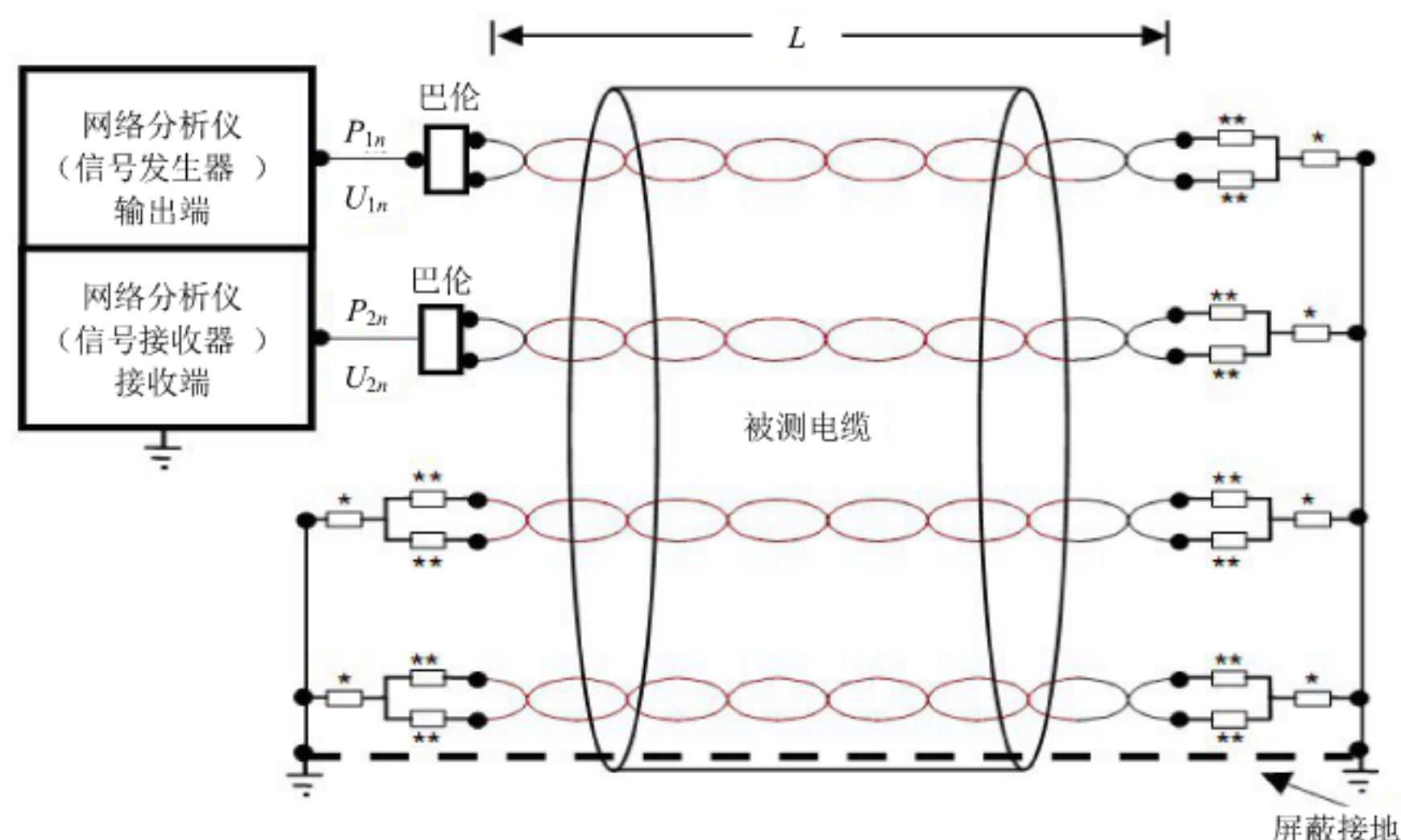
α_{cable} — 电缆的衰减，单位为 dB。

6.3.6 近端串音

测量近端串音衰减的试验电路构成如图7所示。近端串音衰减应采用网络分析仪或类似功能的设备在电缆详细规范指定的频率上或频带内测量。

将两对线通过平衡变量器接到试验仪表，在平衡状态下进行测量。应选择能使试验仪表在试验频率上与电缆的标称阻抗匹配的平衡变量器。推荐平衡变量器用铜带或铜管屏蔽。线对的屏蔽和（或）电缆屏蔽与平衡变量器的屏蔽应在接收端接地。

被测的两对线应以标称特性阻抗作为终端，而其余的线对可不必加上终端。应特别注意使末端的耦合效应保持在最小。在剥去电缆护套时，应保持各线对的扭绞节距并很好地将线对分开。



说明:

CUT —— 被测电缆;

* —— 共模端接电阻 (见 6.1);

** —— 差模端接电阻 (线对匹配);

L —— 被测电缆长度, 单位为 m。

图7 近端串音衰减的试验电路构成

近端串音衰减 ($NEXT$) 按式 (20) 计算:

$$\begin{aligned}
 NEXT &= 10 \lg \left| \frac{P_{1n}}{P_{2n}} \right| \\
 &= 20 \lg \left| \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right|
 \end{aligned} \quad (20)$$

式中:

$NEXT$ —— 近端串音衰减, 单位为 dB;

P_{1n} —— 主串线对近端的输入功率, 单位为 W;

P_{2n} —— 被串线对近端的串音输出功率, 单位为 W;

U_{1n} —— 主串线对近端的输入电压, 单位为 V;

U_{2n} —— 被串线对近端的输出电压, 单位为 V;

Z_1 —— 主串线对的特性阻抗, 单位为 Ω ;

Z_2 —— 被串线对的特性阻抗, 单位为 Ω 。

电缆测量应在不短于100m的长度上进行。长度大于100m时, 测量值可按式 (21) 修正到100m。

$$NEXT_{100} = NEXT + 10 \lg \left[\left(1 - 10^{-\frac{\alpha \cdot (L/100)}{5}} \right) / \left(1 - 10^{-\frac{\alpha}{5}} \right) \right] \quad (21)$$

式中:

$NEXT_{100}$ —— 修正到100m长度的近端串音, 单位为 dB/100m;

$NEXT$ — 被测电缆长度的近端串音，单位为 dB；

α — 电缆衰减，单位为 dB/100m；

L — 被测电缆实际长度，单位为 m。

近端串音功率和 ($PS NEXT$) 按式 (22) 计算：

$$PS NEXT_j = -10 \lg \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^m \left(10^{\frac{-NEXT_{i,j}}{10}} \right) \quad (22)$$

式中：

$PS NEXT_j$ — 是一个线对的近端串音功率和，单位为 dB；

$NEXT_{i,j}$ — 线对 i 到线对 j 的近端串音，单位为 dB；

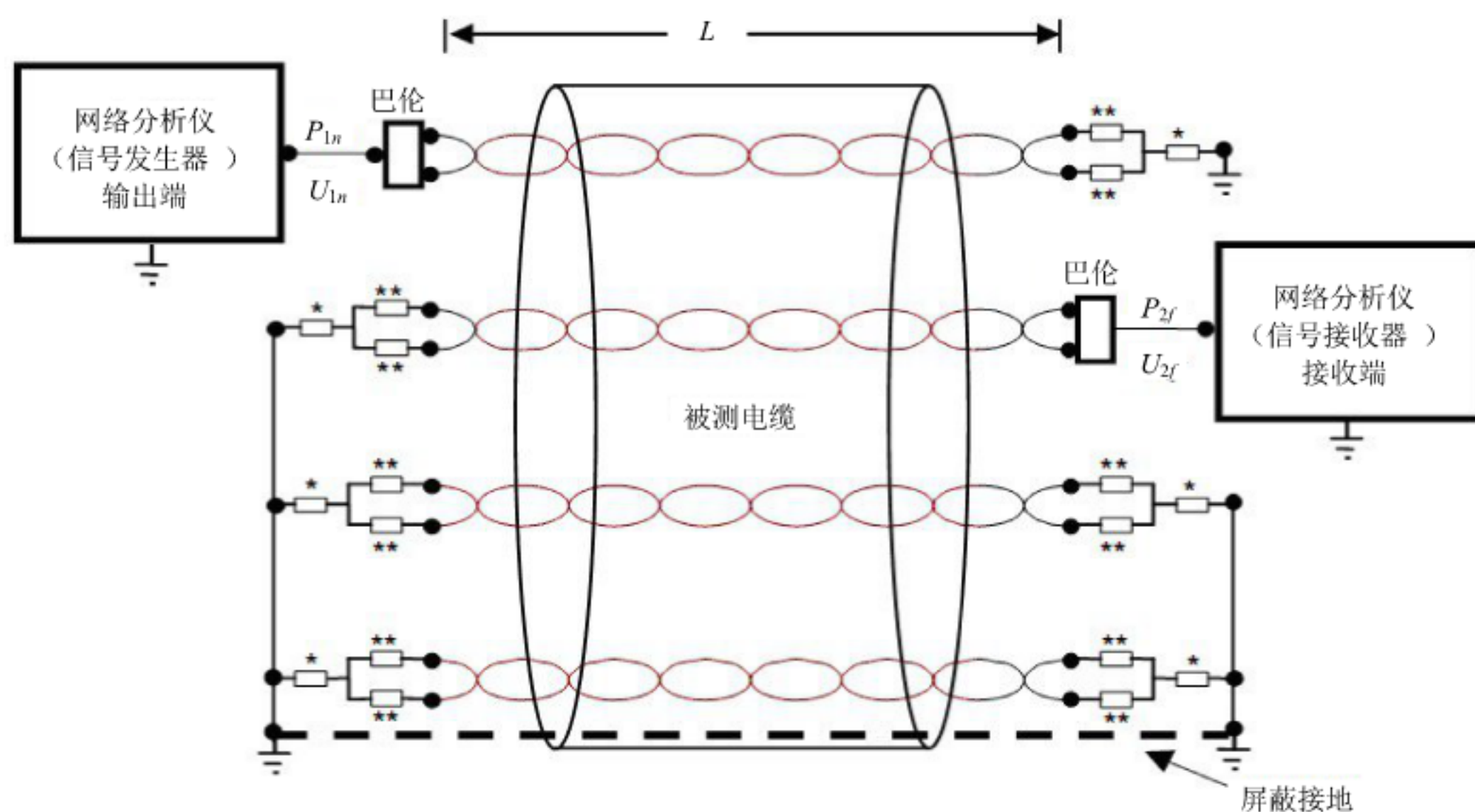
m — 电缆内包含的线对数。

6.3.7 远端串音

测量远端串音衰减的试验电路构成如图8所示。远端串音衰减应采用扫频发生器和选频接收器在电缆详细规范指定的频率上或频段内测量。

将两对线通过平衡变量器接到试验仪表，在平衡状态下进行测量。应选择能使测量仪表在试验频率上与电缆的标称阻抗匹配的平衡变量器。推荐平衡变量器用铜带或铜管屏蔽。线对的屏蔽和（或）电缆屏蔽与平衡变量器的屏蔽应在接收端接地。

电缆中的所有线对应以标称特性阻抗作为终端。应特别注意使末端的耦合效应保持在最小。在剥去电缆护套时，应保持各线对的扭绞节距并很好地将线对分开。



说明：

CUT — 被测电缆；

* — 共模端接电阻（见 6.1）；

** — 差模端接电阻（线对匹配）；

L — 被测电缆长度，单位为 m。

图8 远端串音衰减的试验电路构成

电缆测量应在至少 100m 的长度上进行。远端串音按式 (23) 计算：

$$\begin{aligned}
 FEXT &= 10 \lg \left| \frac{P_{1n}}{P_{2f}} \right| \\
 &= 20 \lg \left| \frac{U_{1n}}{U_{2f}} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right|
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

式中:

$FEXT$ — 近端串音衰减, 单位为 dB;

P_{1n} — 主串线对近端的输入功率, 单位为 W;

P_{2f} — 被测被串线对远端的串音输出功率, 单位为 W;

U_{1n} — 主串线对近端的输入电压, 单位为 V;

U_{2f} — 被串线对远端的输出电压, 单位为 V;

Z_1 — 主串线对的特性阻抗, 单位为 Ω ;

Z_2 — 被串线对的特性阻抗, 单位为 Ω 。

等电平远端串音衰减按式 (24) 计算:

$$\begin{aligned}
 EL FEXT &= 10 \lg \left| \frac{P_{1f}}{P_{2f}} \right| \\
 &= 20 \lg \left| \frac{U_{1f}}{U_{2f}} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right|
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

式中:

$EL FEXT$ — 等电平远端串音衰减, 单位为 dB;

P_{1f} — 主串线对远端的输出功率, 单位为 W;

U_{1f} — 主串线对远端的输出电压, 单位为 V。

等电平远端串音衰减与远端串音和主串线对电缆长度上的衰减值有关, 如式 (25):

$$EL FEXT = FEXT - \alpha_1 \tag{25}$$

式中:

α_1 — 主串线对的电缆衰减, 单位为 dB。

远端串音 $FEXT$ 的测量应在至少 100 m 的长度上进行。为了减小试验设备背景噪声引起的误差, 推荐被测电缆的最大长度不应超过 300 m。对于长度大于 100m 的远端串音 $FEXT$ 测量值和等电平远端串音衰减 $EL FEXT$ 计算值应按式 (26) 和式 (27) 修正到 100m 的标准长度:

$$FEXT_{100} = FEXT + 10 \lg (L/100) + \alpha_1 (1 - L/100) \tag{26}$$

$$EL FEXT_{100} = EL FEXT + 10 \lg (L/100) \tag{27}$$

式中:

$FEXT_{100}$ — 修正到 100m 长度的远端串音, 单位为 dB/100m;

$FEXT$ — 远端串音衰减测量值, 单位为 dB;

$EL FEXT_{100}$ — 修正到 100m 长度的等电平远端串音衰减, 单位为 dB/100m;

$EL FEXT$ — 等电平远端串音衰减测量值, 单位为 dB;

L — 被测电缆实际长度, 单位为 m。

α_1 — 主串线对的电缆衰减, 单位为 dB。

等电平远端串音衰减功率和 ($PS EL FEXT$) 按式 (28) 计算:

$$PS_{EL FEXTj} = -10 \lg \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^m 10^{\frac{-EL_{FEXTi,j}}{10}} \quad (28)$$

式中:

$PS_{EL FEXTj}$ — 等电平远端串音衰减功率和, 单位为 dB;

$EL_{FEXTi,j}$ — 线对*i*到线对*j*的等电平远端串音衰减, 单位为 dB;

m — 电缆内包含的线对数。

衰减串音比也称信噪比,是在某一频率上测得的串扰与衰减的差,两者都用dB表示。因此,计算方式见式(29):

$$ACR - F_j = FEXT_{i,j} - \alpha_j \quad (29)$$

式中:

$ACR - F_j$ — 远端衰减串扰比, 单位为 dB;

α_j — 被串线对的电缆衰减, 单位为 dB;

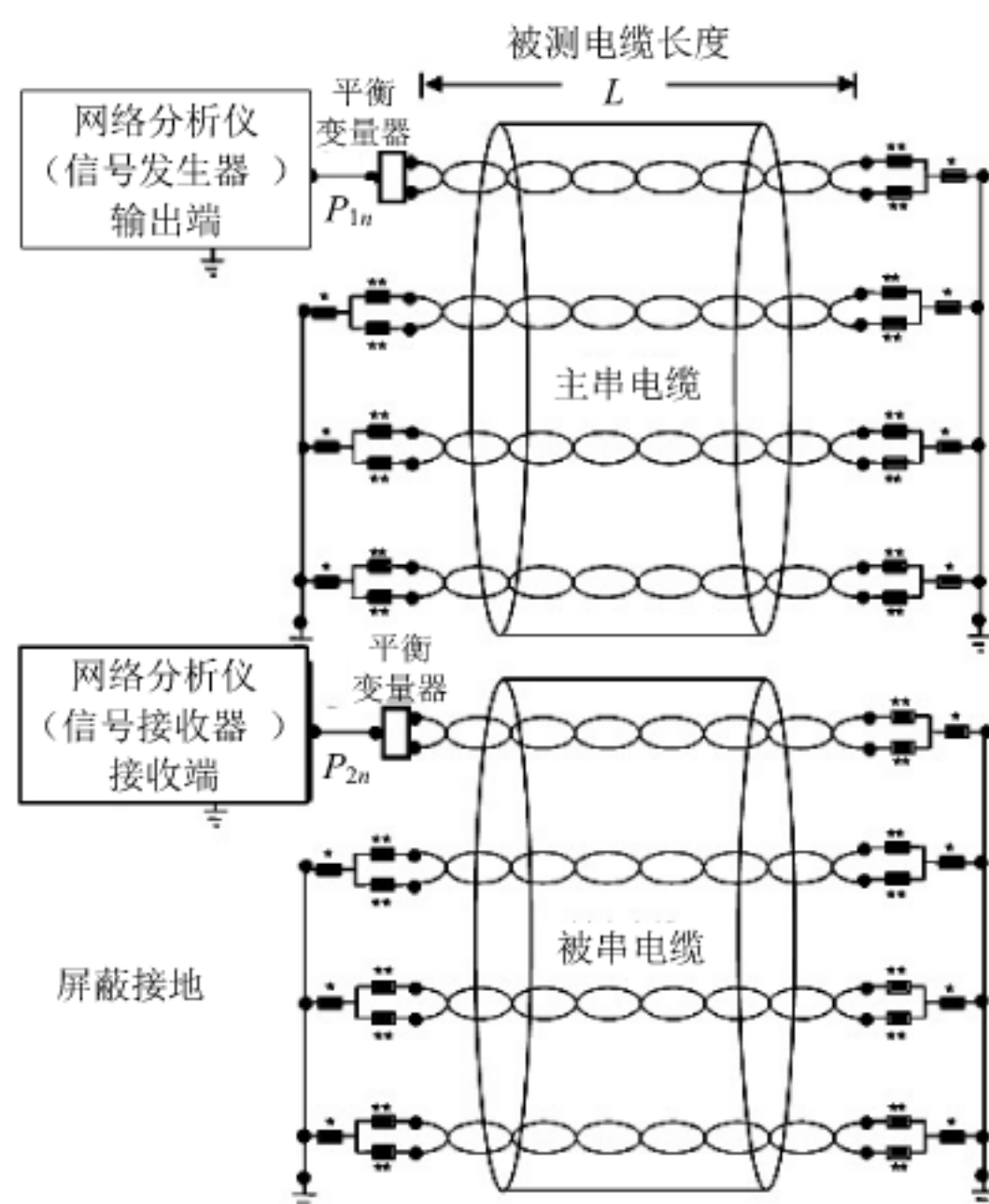
$FEXT_{i,j}$ — 线对*i*到线对*j*的远端串音衰减测量值, 单位为 dB。

6.3.8 外部近端串音

6.3.8.1 测量原理及计算

外部近端串音与近端串音的测量采用同样的测试设备,但待测电缆样品的制备要求不同,电缆样品制备应按6.3.8.2的要求进行。测试时,电缆样品的两端应扇出,扇出长度应不大于1m,测量应在电缆规定的频率范围内进行。

测量外部近端串音的试验电路构成如图9所示。



说明:

* —— 共模端接电阻 (见 6.1);

** —— 差模端接电阻 (线对匹配);

L —— 被测电缆长度, 单位为 m。

图9 外部近端串音的试验电路构成

外部近端串音 ($ANEXT$) 按式 (30) 计算:

$$ANEXT = 10 \lg \left| \frac{P_{1n}}{P_{2n}} \right| \quad (30)$$

式中:

$ANEXT$ — 外部近端串音衰减, 单位为 dB;

P_{1n} — 主串线对近端的输入功率, 单位为 W;

P_{2n} — 被串线对近端的输出功率, 单位为 W。

主串线对与被串线对需分布在不同的两根电缆内。

外部近端串音衰减功率和 ($PS ANEXT$) 和外部远端串音衰减功率和 ($PS AFEXT$) 按式 (31) 计算:

$$PS AX - talk_j = -10 \lg \left(\sum_{l=1}^N \sum_{i=1}^n 10^{-\frac{AX - talk_{i,j,l}}{10}} \right) \quad (31)$$

式中:

$PS AX - talk_j$ — 线对 j 的外部串音功率和, 单位为 dB;

$AX - talk_{i,j,l}$ — 指定电缆的线对 j 与相邻电缆的线对 i 之间的串音衰减, 单位为 dB;

j — 被串线对的编号;

i — 主串线对的编号;

l — 主串电缆的编号;

n — 主串线对的总数量;

N — 主串电缆的总数量。

6.3.8.2 电缆样品制备

测试前应先准备7根100m±1m长的待测电缆样品, 每根电缆需预先做好数字标记, 这些电缆应来自同一生产批次。

按图10所示的组合顺序将7根电缆进行整个长度上的直线成束, 形成1+6的结构。电缆在成束过程中应保持平直、不扭转, 并用绝缘胶带或其他类似带材均匀的进行等间距捆扎。捆扎力度需松紧适度, 不应破坏电缆的结构, 同时, 还应保持电缆与电缆之间适度贴合。电缆成束后其捆扎间隔小于200mm。

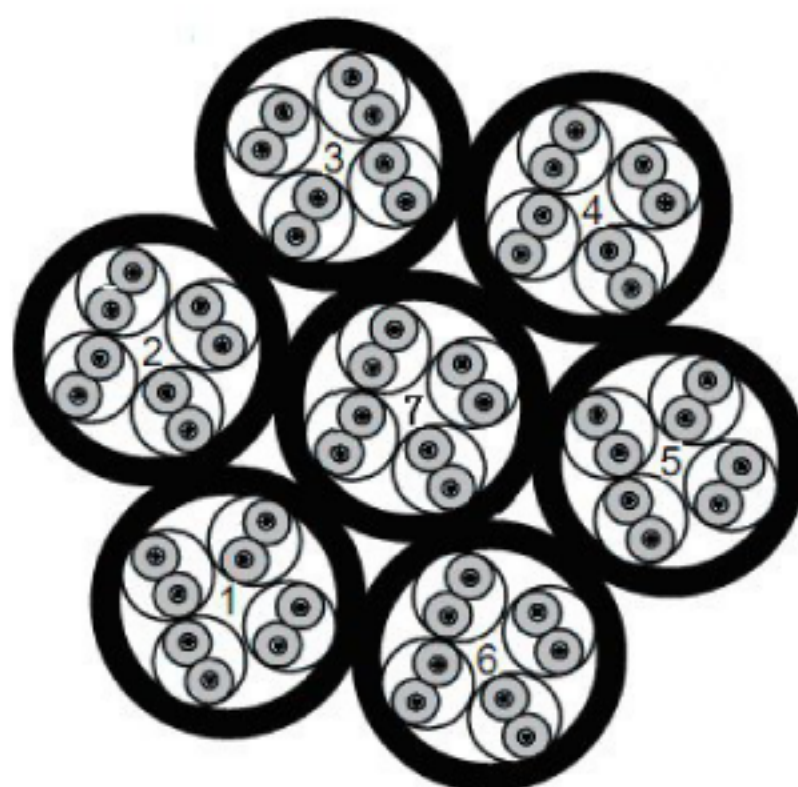


图10 成束电缆试样 (1+6) 的截面构成

电缆样品捆扎成束后，在测试前，还应按图11所示的场景要求进行铺设，电缆与电缆的间距应不小于100mm，铺设场地宜选择非金属地面。

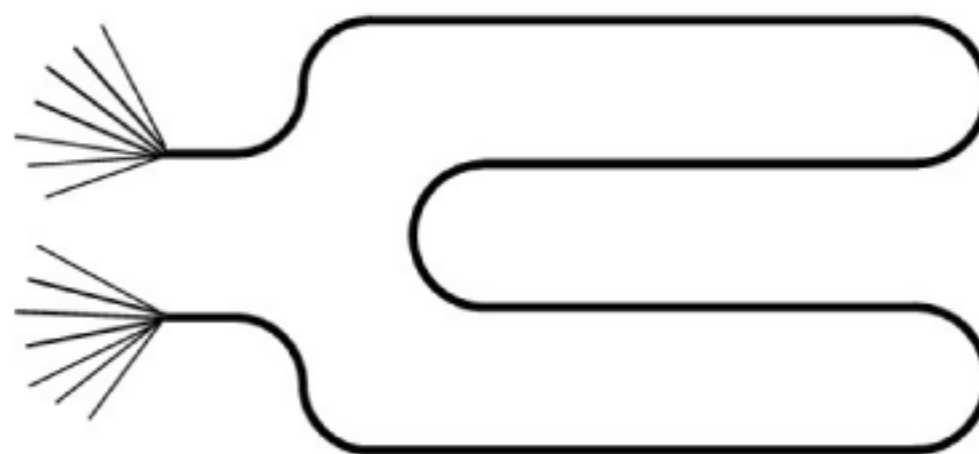


图11 成束电缆试样（1+6）的测试场景布置

6.3.9 外部远端串音

测量外部远端串音（ $AFEXT$ ）在相同的测试设备和样品准备上进行，测量应按电缆规范指定的频率范围。计算方式按式（32）进行：

$$AFEXT = 10 \lg \frac{P_{1n}}{P_{2f}} \quad (32)$$

式中：

$AFEXT$ — 外部远端串音衰减，单位为 dB/100m；

P_{1n} — 主串线对近端的输入功率，单位为 W；

P_{2f} — 被测被串线对远端的串音输出功率，单位为 W。

外部远端串音功率和（ $PSAFEXT$ ）或衰减外部远端串音比功率和（ $PSAACR-F$ ）应根据式（31）并由测量值进行计算。

衰减外部远端串音比功率和（ $PSAACR-F$ ）中的衰减外部远端串音比（ $AACR-F$ ）应根据式（33）并由测量值进行计算。

$$AACR-F = AFEXT - \alpha \quad (33)$$

式中：

$AACR-F$ — 衰减外部远端串音比，单位为 dB/100m；

$AFEXT$ — 外部远端串音，单位为 dB/100m；

α — 被串线对的衰减，单位为 dB/100m。

6.3.10 特性阻抗

6.3.10.1 样品制备和试验要求

样品制备应使端部效应最小。当测量扩展到100MHz时，从电缆上剥去的护套长度不大于40mm，剥去的屏蔽长度不大于25mm，剥去的绝缘长度不大于8mm，线对松开扭绞的长度不大于13mm。此外，非屏蔽电缆宜把电缆悬挂或放到一个非导体表面上，电缆横向间距大于25mm。

被测试电缆样品长度至少为100m。只有从样品两端（两个方向）的试验均通过后，才可判断样品检验合格。出厂试验可以在产品盘和（或）成品出厂包装上从一端进行。

6.3.10.2 试验设备

试验设备可用网络分析仪（连同一个S参数单元）或其他阻抗仪表取得数据。阻抗测量的试验电路构成如图12所示。网络分析仪S参数单元的作用是从入射信号中分离出反射信号。平衡变量器（Balun）

应具有适当的频率范围和阻抗（如从 50Ω ~ 100Ω ，对应于 50Ω 设备和 100Ω 线对），且至少与被测线对有相同的平衡度，以利于平衡状态下的对称线对测量。根据所要进行的不同类型的测量（开路、短路或终端）使用三种不同的终端条件（开路、短路、标称阻抗负载）。

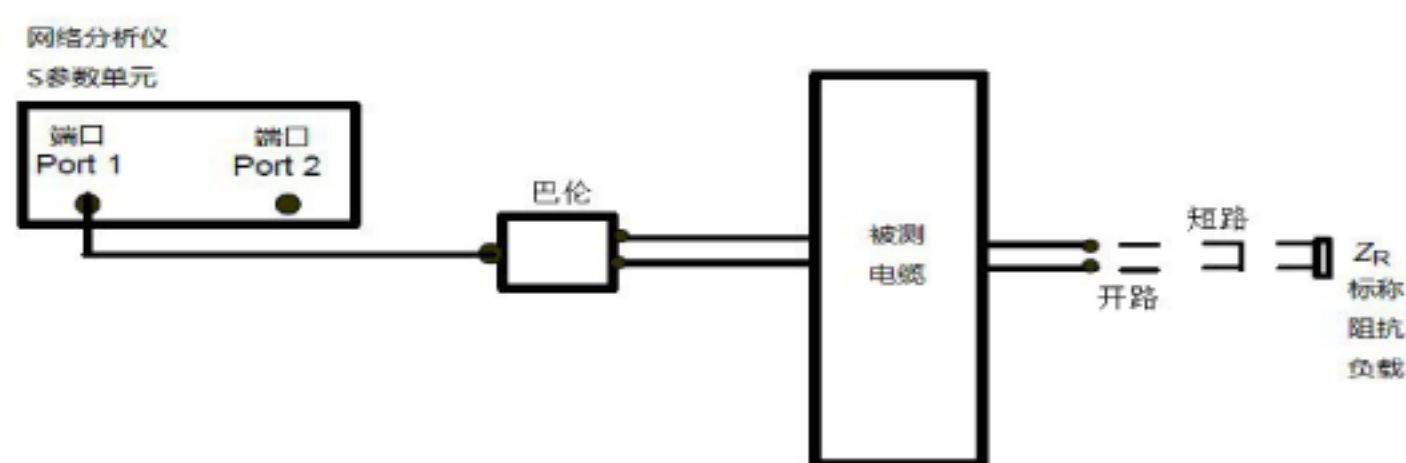


图12 特性阻抗和回波损耗测量的试验电路构成

6.3.10.3 试验步骤

在平衡变量器接到线对以前，要在平衡变量器次级进行与实际测量中一样的开路、短路和匹配的三步校准。在平衡变量器的次级完成三步校准后，网络分析仪能直接测量电缆线对的复数反射系数（S参数）和阻抗。在使用S参数单元时，大多数网络分析仪提供了内置的三步校准步骤和计算。

按式（34）从测得的反射系数 S_{11} 计算出测得的阻抗（开路或短路）：

$$Z_{meas} = Z_R \cdot \left| \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \right| \quad (34)$$

式中：

Z_{meas} — 测得的阻抗（开路或短路），单位为 Ω ；

Z_R — 校准时用的基准阻抗（电阻），单位为 Ω ；

S_{11} — 测得的反射系数。

用平衡变量器从对称电缆线对的一端进行的开短路法是测量特性阻抗的基准方法，特性阻抗是开路和短路测量值乘积的几何平均值，计算按式（35）进行：

$$Z_c = \sqrt{|Z_{oc} \cdot Z_{sc}|} \quad (35)$$

式中：

Z_c — 测出的包括结构效应的阻抗（输入阻抗），单位为 Ω ；

Z_{oc} — 开路时测出的阻抗，单位为 Ω ；

Z_{sc} — 短路时测出的阻抗，单位为 Ω 。

6.3.10.4 拟合特性阻抗

测量值包含结构效应时，通过函数拟合的方法能计算出一个平滑的特性阻抗。拟合公式见式（36）：

$$|Z_m| = K_0 + \frac{k_1}{f^{1/2}} + \frac{k_2}{f} + \frac{k_3}{f^{3/2}} \quad (36)$$

式中：

Z_m — 拟合特性阻抗的模值，单位为 Ω ；

k_0, k_1, k_2, k_3 — 最小二乘法拟合系数；

f — 频率，单位为 Hz。

k_0, k_1, k_2, k_3 拟合系数的计算按式（37）进行：

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N |Z_c| \\ \sum_{i=1}^N \frac{|Z_c|}{\sqrt{f_i}} \\ \sum_{i=1}^N \frac{|Z_c|}{f_i} \\ \sum_{i=1}^N \frac{|Z_c|}{f_i^{3/2}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{f_i}} & \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i} & \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i^{3/2}} \\ \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{f_i}} & \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i} & \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i^{3/2}} & \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i^2} \\ \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i} & \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i^{3/2}} & \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i^2} & \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i^{5/2}} \\ \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i^{3/2}} & \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i^2} & \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i^{5/2}} & \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i^3} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} K_0 \\ K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{bmatrix} \quad (37)$$

式中:

Z_c — 测出的包括结构效应的阻抗 (输入阻抗), 单位为 Ω ;

f — 频率, 单位为 Hz。

6.3.10.5 平均特性阻抗

平均特性阻抗按式 (38) 计算:

$$Z_\infty = \tau / C \quad (38)$$

式中:

Z_∞ — 平均特性阻抗, 单位为 Ω ;

τ — 时间延迟, 单位为 S;

C — 工作电容, 单位为 F。

6.3.11 回波损耗 (RL) 和结构回波损耗 (SRL)

6.3.11.1 样品制备

回波损耗 (RL) 或结构回波损耗 (SRL) 的样品制备与特性阻抗的测量相同 (见 6.3.10.1)。

6.3.11.2 试验设备

网络分析仪的配置与特性阻抗试验设备的所述相同 (见 6.3.10.2), 平衡变量器 (Balun) 的性能特点应符合表 1 给出的要求。

测量的频率范围及要求由有关电缆详细规范规定。

6.3.11.3 试验步骤

在平衡变量器接到线对以前, 要在平衡变量器次级进行与实际测量中一样的开路、短路和匹配的三步校准。在平衡变量器的次级完成三步校准后, 网络分析仪能直接测量电缆线对的反射系数 (S 参数) 和阻抗。在使用 S 参数单元时, 大多数网络分析仪提供了内置的三步校准步骤和计算。

用网络分析仪或计算机按式 (39) 从测得的反射系数 S_{11} 计算出回波损耗 RL:

$$RL = -20 \lg |S_{11}| \quad (39)$$

式中:

RL — 回波损耗, 单位为 dB;

S_{11} — 测得的反射系数。

结构回波损耗 (SRL) 按式 (40) 计算。式中 Z_m 为拟合特性阻抗, 作为基准值:

$$SRL = -20 \lg \left| \frac{Z_c - Z_m}{Z_c + Z_m} \right| \quad (40)$$

式中:

SRL — 结构回波损耗, 单位为 dB;

Z_c — 测出的包括结构效应的阻抗（输入阻抗），单位为 Ω ；

Z_m — 拟合特性阻抗，单位为 Ω 。

6.4 机械性能试验和尺寸测量

6.4.1 尺寸测量

厚度和直径的测量应按照GB/T 2951.11-2008第8章的要求进行。

6.4.2 导体断裂伸长率

导体断裂伸长率的测量应按照GB/T 11327.1-1999第5.1节的要求进行。

6.4.3 绝缘抗张强度

绝缘抗张强度的测量应按照GB/T 2951.11-2008第9.1节的要求进行。

6.4.4 绝缘与导体的粘附

绝缘与导体粘附的测量应按照GB/T 11327.1的要求进行。

6.4.5 护套断裂伸长率

护套断裂伸长率的测量应按照GB/T 2951.11-2008第9.2节的要求进行。

6.4.6 护套抗张强度

护套抗张强度的测量应按照GB/T 2951.11-2008第9.2节的要求进行。

6.4.7 电缆压扁试验

电缆压扁试验的测量应按照GB/T 7424.2-2009第7章的要求进行。

6.4.8 电缆冲击试验

电缆冲击试验的测量应按照GB/T 2951.41-2008的要求进行。

6.4.9 电缆反复弯曲

电缆反复弯曲的测量应按照GB/T 7424.2-2009第10章的要求进行。

6.4.10 电缆拉伸性能

电缆拉伸性能的测量应按照GB/T 7424.2-2009第5章的要求进行。

6.5 环境性能试验

6.5.1 绝缘收缩

绝缘收缩的测量应按照GB/T 2951.13-2008的要求进行。

6.5.2 绝缘热老化后的卷绕试验

绝缘老化后卷绕试验的测量应按照GB/T 2951.42-2008第10章的要求进行。

6.5.3 绝缘低温卷绕试验

绝缘低温卷绕试验的测量应按照GB/T 2951.14-2008第8.1节的要求进行。

6.5.4 护套热老化后的断裂伸长率

护套试样的制备与试验按照GB/T 2951.11-2008第9.2节的要求进行。老化后按照GB/T 2951.12-2008第8.1条的要求进行，时间与温度由有关的电缆详细规范规定。

6.5.5 护套热老化后的抗张强度

护套试样的制备与试验按照GB/T 2951.11-2008第9.2节的要求进行。老化后按照GB/T 2951.12-2008第8.1条的要求进行，时间与温度由有关的电缆详细规范规定。

6.5.6 护套高温压力试验

护套高温压力试验的测量应按照GB/T 2951.31-2008第8.2节的要求进行。

6.5.7 护套低温卷绕试验

护套低温卷绕试验的测量应按照GB/T 2951.14-2008的要求进行。

6.5.8 护套热冲击试验

护套热冲击试验的测量应按照GB/T 2951.31-2008第9.2节的要求进行。

6.5.9 单根电缆火焰垂直蔓延试验

单根电缆火焰垂直蔓延试验应按照GB/T 18380.12-2008的要求进行。由于电缆导体在火焰作用下可能熔化而使该方法不适用时，试验方法应按照GB/T 18380.22-2008的要求进行。

6.5.10 成束电缆火焰垂直蔓延试验

成束电缆火焰垂直蔓延试验应按照GB/T 18380.31-2008和GB/T 18380.35-2008的要求进行。

6.5.11 卤酸气体释放

卤酸气体释放的测量应按照GB/T 17650.1-1998的要求进行。

6.5.12 烟密度

烟密度的测量应按照GB/T 17651.1-1998和GB/T 17651.2-1998的要求进行。

6.5.13 有毒气体排放量试验

待定。

6.5.14 有毒有害物质的限量

有毒有害物质限量的测量应按照GB/T 26125-2011和GB/T 26572-2011的要求进行。

6.5.15 严酷环境下的防火试验

严酷环境下防火试验的测量应按照GB/T 21204.1-2007附录A的要求进行。

附录 A

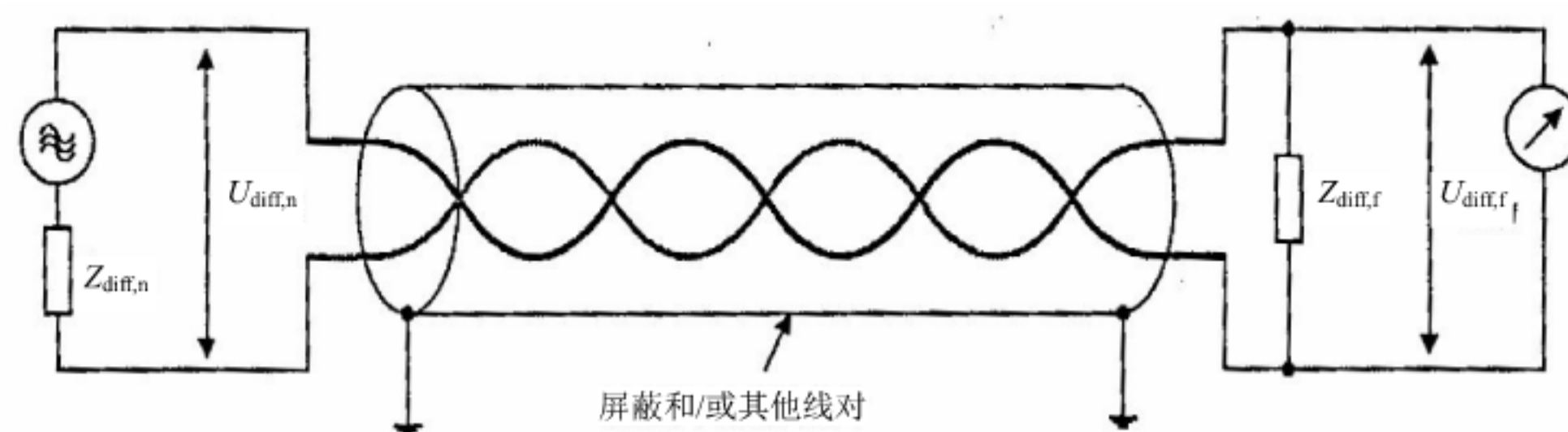
(资料性附录)

不平衡衰减

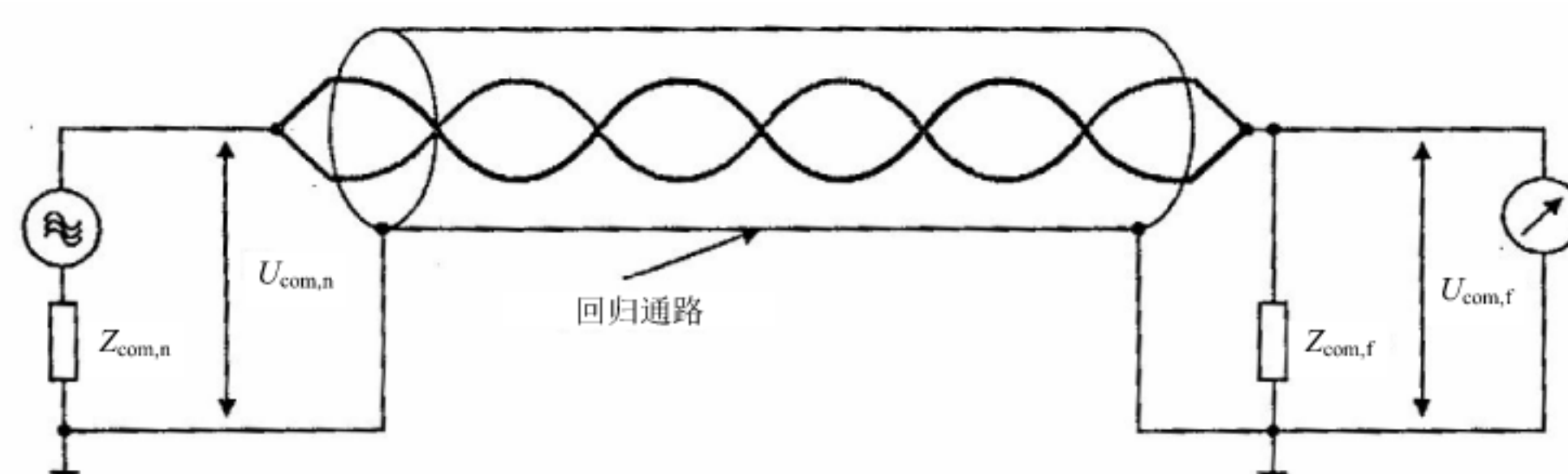
A.1 概述

对称线对可以用差模（平衡）方式或用共模（不平衡）方式工作。对于差模方式，一根导线传送电流而另一根导线返回电流，如图A.1所示。共模返回通路没有任何电流，如图A.2所示。

对于共模方式，线对的每根导线各传送一半电流，返回通路传送这两个电流的和。所有的非被测线对和可能的屏蔽都是共模电流的返回通路。



图A.1 对称线对中的差模传输



图A.2 对称线对中的共模传输

在理想条件下差模方式与共模方式间互相没有影响,但在实际传输中是有互相影响的。绝缘直径的差别、扭绞的不均匀和导线对屏蔽的距离不同都是造成线对不平衡的一些原因。不平衡按其原因为横向不平衡和纵向不平衡。横向不平衡（TA）是由于对地电容和电导沿线路分布不均匀造成的，纵向不平衡（LA）是由于一对线对的两根导线间的电感和电阻不平衡造成的。

A.2 近端和远端不平衡衰减

不平衡衰减是在电缆的近端和远端测量的共模功率与差模功率的对数比。不平衡衰减通常也称为变换损耗，包括：

- LCL* — 纵向变换损耗；
- LCTL* — 纵向变换转移损耗；
- TCL* — 横向变换损耗；
- TCTL* — 横向变换转移损耗。

此外还规定有远端等电平不平衡衰减，包括：

$EL\ LCTL$ — 等电平纵向变换转移损耗；

$EL\ TCTL$ — 等电平横向变换转移损耗。

等电平不平衡衰减定义为测量的输出共模功率与输出差模功率之对数比，或输出差模功率与输出共模功率之对数比。输出对输出测量等于输入对输出测量与相应的衰减之差，按式（A.1）计算：

$$\begin{aligned} EL\ LCTL &= LCTL - \alpha_{com} \\ EL\ TCTL &= TCTL - \alpha_{diff} \end{aligned} \quad (A.1)$$

式中：

α_{com} — 电缆的共模工作衰减，单位为 dB；

α_{diff} — 电缆的差模工作衰减，单位为 dB。

实际上通常并不直接测量输出对输出的功率比，而是利用上述的差值公式确定等电平不平衡衰减。对称电缆的共模衰减测量容易产生误差，而电缆的差模衰减总是需要测量的。因此，等电平远端不平衡衰减（ $EL\ TCTL$ ）的测量只对横向变换转移损耗（ $TCTL$ ）进行。

近端和远端不平衡衰减与变换损耗的关系分别列于表A.1 和表A.2。

表A.1 近端不平衡衰减

测量方式	种类
在近端以差模方式注入功率，耦合功率在同一端以共模方式测量	TCL
在近端以共模方式注入功率，耦合功率在同一端以差模方式测量	LCL

表A.2 远端不平衡衰减

测量方式	种类
在近端以差模方式注入功率，耦合功率在远端以共模方式测量	$TCTL$
在近端以共模方式注入功率，耦合功率在远端以差模方式测量	$LCTL$
同（ $TCTL$ ），但测量的共模功率是与远端（等电平）的差模功率相比	$EL\ TCTL$

表A.3 给出共模和差模电路各种型式的不平衡衰减的信号输入与接收的连接方式。

表A.3 测量配置

不平衡衰减		配置			
		近 端		远 端	
		共模电路	差模电路	共模电路	差模电路
近 端	TCL	接收器	信号发生器	—	—
	LCL	信号发生器	接收器	—	—
远 端	$TCTL$	—	信号发生器	接收器	—
	$LCTL$	信号发生器	—	—	接收器

根据工作衰减的基本原理，在网络同一侧端口上的发生器和接收器可以互换而对结果不会改变。因而 TCL 的测量等同于 LCL 的测量。

然而 $LCTL$ 或 $TCTL$ 的测量实际是二端口测量。因此只有在不平衡的纵向分布是均匀的，而且差模信号和共模信号的传播速度是完全相同的条件下 $LCTL$ 的测量才会等同于 $TCTL$ 测量。在这种情况下，对绞线对符合互易关系，相当于阻抗对称二端口网络。