

# 屏蔽布线系统的设计与施工检测技术 白皮书（第2版）



## 目 录

1	前言 .....	1
1.1	编写目的 .....	1
1.2	参考标准及资料 .....	2
1.2.1	国家标准 .....	2
1.2.2	国际标准 .....	3
1.2.3	行业标准 .....	4
1.2.4	参考资料 .....	5
2	名词解释与缩写语 .....	6
2.1	名称解释 .....	6
2.1.1	半工业环境 .....	6
2.1.2	电磁场 .....	6
2.1.3	电磁波 .....	6
2.1.4	场强 .....	6
2.1.5	等电位联结 .....	6
2.1.6	电磁干扰 (Electromagnetic Interference) .....	6
2.1.7	电磁辐射 (Electromagnetic Radiation) .....	7
2.1.8	电磁感应 (Electromagnetic Induction) .....	7
2.1.9	电磁兼容性 (Electromagnetic Compatibility) .....	7
2.1.10	二次辐射 (Secondary Radiation) .....	7
2.1.11	工业环境 .....	7
2.1.12	接地 .....	7
2.1.13	绞距 .....	8
2.1.14	近端串扰 .....	8
2.1.15	距离隔离 .....	8
2.1.16	缆距 .....	8
2.1.17	耦合衰减 .....	8
2.1.18	趋肤效应 .....	8
2.1.19	商业环境 .....	8
2.1.20	误码率 .....	9
2.1.21	线对 .....	9
2.1.22	信道干扰 .....	9
2.1.23	信息系统 .....	9
2.1.24	信息系统安全 .....	9
2.1.25	信噪比 .....	9
2.1.26	转移阻抗 .....	9
2.2	缩写语 .....	10
3	屏蔽布线系统设计 .....	10
3.1	电磁兼容性及防护等级 .....	10
3.1.1	计算机网络与电磁干扰 .....	11
3.1.2	信息保密与电磁泄漏 .....	12
3.1.3	电磁场参数指标 .....	12
3.1.4	电磁兼容性的三个等级 .....	13



3.2	屏蔽布线系统的实施目标 .....	14
3.3	屏蔽布线系统的应用场合 .....	14
3.3.1	总体考虑 .....	15
3.3.2	半工业环境和工业环境应采用屏蔽布线系统 .....	15
3.3.3	医疗建筑宜在关键部位采用屏蔽布线 .....	16
3.3.4	工矿企业宜采用屏蔽布线系统 .....	16
3.3.5	数据中心的水平子系统可以考虑采用屏蔽布线系统 .....	17
3.3.6	电磁兼容性要求比较高时宜采用屏蔽布线系统 .....	17
3.3.7	安装环境比较高时可以考虑采用屏蔽布线系统 .....	17
3.3.8	在大于 500MHz 时屏蔽布线系统更为适宜 .....	17
3.3.9	在涉密信息传输中可以考虑采用屏蔽布线 .....	18
3.3.10	在涉及到视频源、音源时应优先考虑屏蔽布线 .....	18
3.3.11	弱电专网需要认真评估 .....	19
3.3.12	在行业中惯例是采用屏蔽缆线时 .....	19
3.3.13	对缆线周围干扰源情况不明时宜采用屏蔽布线 .....	19
3.3.14	为海外企业布线时应参照企业习惯 .....	19
3.3.15	屏蔽布线系统的应用领域汇总一览表 .....	19
3.4	屏蔽布线系统的设计要素 .....	21
3.4.1	全程屏蔽 .....	21
3.4.2	非屏蔽布线系统与屏蔽布线系统的配置置换 .....	21
3.5	屏蔽布线系统的接地设计 .....	22
3.5.1	接地电位差 .....	22
3.5.2	屏蔽配线架的接地设计 .....	22
3.6	建筑物中建筑构件的屏蔽作用 .....	24
3.6.1	金属桥架和金属电线管的屏蔽及保护作用 .....	24
3.6.2	在屏蔽布线工程中开放式桥架的作用 .....	24
3.6.3	建筑物钢筋的屏蔽作用 .....	25
3.7	屏蔽机房 .....	26
3.7.1	屏蔽机房的进线方式 .....	26
3.7.2	屏蔽机柜 .....	26
4	系统技术参数及解释 .....	27
4.1	常规电性能指标 .....	27
4.2	屏蔽布线工程特有的测试指标 .....	28
4.3	排除故障时推荐的测试参数 .....	28
4.4	主要的屏蔽层测试参数 .....	29
7.3.1	国际标准 ISO 11801 中的屏蔽层性能参数概述 .....	29
4.4.1	传输阻抗 (Transfer Impedance) .....	29
4.4.2	耦合衰减 (Coupling Attenuation) .....	30
5	产品介绍及特点 .....	30
5.1	屏蔽布线系统的特点 .....	30
5.1.1	抗电磁干扰手段中增加了屏蔽原理 .....	30
5.1.2	屏蔽布线产品都有屏蔽层 .....	31
5.1.3	屏蔽系统需要接地 .....	31
5.1.4	屏蔽层测试 .....	31

5.2	各种类型的屏蔽对绞线特点	31
5.2.1	国家标准中屏蔽对绞线的命名规则	31
5.2.2	常见屏蔽对绞线的种类	32
5.3	屏蔽模块	34
5.3.1	RJ45 型屏蔽模块与非RJ45 型屏蔽模块	35
5.3.2	屏蔽模块的名称及外形示意图	36
5.3.3	屏蔽模块的屏蔽性能初判	38
5.4	屏蔽配线架	39
5.5	屏蔽跳线	39
5.6	集束式屏蔽双绞线与预端接铜缆	39
5.7	屏蔽布线系统的配套设备	40
5.7.1	屏蔽布线工程对机柜的要求	40
5.7.2	接地线的选用	41
6	安装设计和施工要点	42
6.1	屏蔽施工的基本原则	42
6.2	屏蔽布线产品对施工的帮助	42
6.3	施工前的工程准备检查	43
6.3.1	屏蔽对绞线的端接工艺分析	43
6.3.2	屏蔽配线架的接地方式检查	43
6.3.3	汇流排测试	43
6.4	穿线施工中的注意事项	44
6.5	各种屏蔽对绞线与屏蔽模块的端接方法	45
6.5.1	基本的端接要求	45
6.5.2	端接前的准备工作	45
6.5.3	屏蔽层端接工序	46
6.6	屏蔽布线系统的接地施工	64
6.6.1	屏蔽配线架的接地	64
6.6.2	机柜接地	65
6.7	屏蔽布线系统的相关设施施工要点	65
6.8	屏蔽布线系统的工程注意事项	65
6.8.1	面板端的后续处理	65
6.8.2	屏蔽配线架的后续处理	65
6.8.3	屏蔽布线工程的时间管理	66
7	屏蔽布线工程的测试与验收	66
7.1	施工期间的检查	66
7.1.1	首样负责制	66
7.1.2	随工检查	66
7.2	屏蔽布线系统的性能测试	67
7.3	对故障定位有价值的测试方法	67
7.3.1	工作区电源插座检查	67
7.3.2	测试接线图连通性的局限性	68
7.3.3	屏蔽层直流电阻测试	68
7.3.4	利用时域反射估测屏蔽层转移阻抗	69
7.3.5	测试线外串扰, 评估屏蔽隔离度(耦合衰减)	69

7.3.6	屏蔽布线工程测试方法特点一览表	70
8	设计及工程案例简介	71
8.1	屏蔽布线工程设计案例	71
8.1.1	6A类布线系统的产品选择	72
8.1.2	仿雷击实验室的综合布线设计	72
8.2	屏蔽布线工程施工过程简介	73
8.2.1	6A类屏蔽布线工程案例	73
8.3	屏蔽布线工程故障分析案例	76
8.3.1	芯线对屏蔽层短路	76
8.3.2	屏蔽层不连通	76
8.3.3	屏蔽层有麻电的感觉	77
9	热点问题	77
9.1	国际上公认的 15 类电磁干扰源	77
9.2	信息安全等级	78
9.3	对绞原理与屏蔽的互补特性	78
9.3.1	抗电磁干扰手段之一：对绞	79
9.3.2	抗电磁干扰手段之二：阻抗匹配	80
9.3.3	屏蔽原理	81
9.4	电磁兼容性的防护技术与措施	81
9.5	4 对 8 芯对绞线缆径统计表	82
9.6	屏蔽对绞线的温度稳定性	83
9.7	面板无需接地	83
9.8	屏蔽对绞线电磁兼容性的定性分析	84
9.8.1	各种屏蔽双绞线的共性	84
9.8.2	最基本的屏蔽对绞线：F/UTP（铝箔总屏蔽对绞线）	84
9.8.3	NEXT极佳的屏蔽对绞线：U/FTP（线对屏蔽对绞线）	85
9.8.4	容易端接的屏蔽对绞线：SF/UTP（双重总屏蔽对绞线）	87
9.8.5	屏蔽性能极佳的屏蔽对绞线：S/FTP（双重线对屏蔽对绞线）	89
9.8.6	其它种类的屏蔽对绞线	90
9.9	孔洞效应及屏蔽层破损分析	90
9.10	天线效应	91
9.11	未能良好接地时的状态	91

# 屏蔽布线系统的设计与施工检测技术 白皮书（大纲第2版）

## 1 前言

长期以来，信息通信已经成为人类生存中必不可少的组成部分。人类依靠高速的信息传输，将古希腊马拉松传递信息方式改变成了使用电脑传递信息，而传递距离也从当年的 40 公里左右变成了覆盖整个世界。这一切都离不开传输系统，而综合布线系统是其中面向建筑物和建筑群的高速传输系统。

就应用而言，经过数十年的发展，综合布线系统已经完全成熟，并拥有了包含非屏蔽布线系统、屏蔽布线系统和光纤布线系统在内的多介质高速传输能力，并为自 1945 年计算机发明以来形成的三大分支（计算、通信和控制）以及它们的诸多演变提供了大量的传输层面上的支持。随着智能建筑各系统逐渐走向网络化，相信在不远的将来，综合布线系统的应用领域还将进一步延伸和扩大。

更高带宽的应用需要更有效的措施将所传输的宽带信号与外界干扰隔离，以保证数据的可靠性。从电磁兼容（EMC）的观点出发，需要设计最佳的电缆路由，避免恶劣的电磁环境。但是，作为综合布线工程而言，无法避免全部的电磁干扰，因为电磁干扰无处不在。所以对于随着高带宽应用越来越普及，屏蔽布线系统也逐渐体现出其优势。

屏蔽布线系统是主要利用屏蔽技术，而不是主要利用对绞原理抑制电磁

本文将主要涉及当前综合布线系统工程中所遇到的屏蔽技术。

[概要：提出屏蔽布线系统的总体概念及白皮书的目标]

### 1.1 编写目的

随着屏蔽布线技术的逐步普及，越来越多的设计人员和工程人员希望了解屏蔽布线系统的基础知识和施工技术，已经掌握屏蔽布线技术的人们希望能够更多的了解屏蔽布线系统的概念。这本白皮书将以此为目标，采用由浅入深的方式，向各个层次人群提供了解和提高的知识。

本白皮书并不打算将包含所有的相关技术，主要篇幅将针对综合布线系统的工程施工展开，同时对一些相关理论进行概述，无意对综合布线及相关理论进行深入的研究，以求保持白皮书的技术上完整性。

本白皮书将面向以下人群：

- 从事系统规划和决策的系统分析人员
- 智能建筑和综合布线系统的销售人员
- 设计院的布线设计师
- 系统集成商中的设计、施工人员
- 设计院及系统集成商中的综合布线主管人员
- 工程监理及验收人员
- 布线厂商中的部分技术人员

## 1.2 参考标准及资料

屏蔽布线系统涉及到的标准很多，主要包含综合布线类、智能建筑类、电气安装类、计算机网络类、产品制造类、电磁兼容性类和信息安全性的标准。其中具有典型意义的标准有：

### 1.2.1 国家标准

- ☞ 《智能建筑标准》（GB/T 50314-2006）
- ☞ 《智能建筑工程质量验收规范》（GB 50339-2003）
- ☞ 《综合布线系统工程设计规范》（GB 50311-2007）
- ☞ 《综合布线系统工程验收规范》（GB 50312-2007）
- ☞ 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB 50343-2004）
- ☞ 《计算机信息系统安全保护等级划分准则》（GB 17859-1999）
- ☞ 《信息安全技术 信息系统物理安全技术要求》（GB/T 21052-2007）
- ☞ 《信息安全技术 信息系统灾难恢复规范》（GB/T 20988-2007）
- ☞ 《电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的抗扰度试验》（GB/T 17799.1-1999）
- ☞ 《电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的发射标准》（GB 17799.3-2001）

- ☞ 《电磁兼容 通用标准 工业环境中的发射标准》（GB 17799.4-2001）
- ☞ 《电磁兼容 环境 电磁环境的分类》（GB/Z 18039.1-2000）
- ☞ 《建筑物防雷设计规范》（GB 50057-94）2001 年版
- ☞ 《电子计算机房设计规范》（GB 50174-93）
- ☞ 《电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范》（GB 50169-2006）
- ☞ 《建筑物电气装置 第4部分：安全防护 第44章：过电压保护 第444节：建筑物电气装置电磁干扰（EMI）防护》（GB/T 16895.16-2002）
- ☞ 《建筑物电气装置 第5部分：电气设备的选择和安装 第548节：信息技术装置的接地配置和等电位联结》（GB/T 16895.17-2002）
- ☞ 《建筑电气工程施工质量验收规范》（GB 50303-2002）
- ☞ 《布线施工图集》（07X1001-2007）
- ☞ 《计算机信息系统实体安全技术要求 第1部分：局域计算环境》（GA 371-2001）
- ☞ 《民用建筑电气设计标准》（JGJ 16-2008）

## 1.2.2 国际标准

- ☞ 《Information technology - Generic cabling for customer premises》（ISO/IEC 11801-2002）
- ☞ 《Information technology - Pathways and spaces for customer Premises cabling》（ISO 18010-2002）
- ☞ 《Information technology - Generic cabling - Industrial premises》（ISO/IEC 24702-2006）
- ☞ 《Information technology - Assessment and mitigation of installed balanced cabling channels in order to support 10GBASE-T》（ISO/IEC TR 24750-2007）
- ☞ 《Connectors for electronic equipment - Part 7-7: Detail specification for 8-way, shielded, free and fixed connectors, for data transmissions with frequencies up to 600 MHz》（IEC 60603.7-7-2007）

- ☞ 《Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5 Installation and mitigation guidelines – Section 2 Earthing and cabling》 (IEC 61000-5-2)
- ☞ 《Metallic communication cable best methods – Part 4-1: Electromagnetic compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements》 (IEC TR 62153-4-1-2007)

### 1.2.3 行业标准

[概要：主要为 CCITT、TIA、IEEE、EN、NEMA、BS 标准和中国地方标准及中国协会标准

- ☞ 《Generic Telecommunications Cabling for Customer Premises (if approved, to be published as TIA-568-C.0)》 (SP-3-0177-2007)
- ☞ ] 《Commercial Building Telecommunications Cabling Standard Part 1: General Requirements》 (TIA-568-B.1-2001)
- ☞ 《Commercial Building Telecommunications Cabling Standard Part 1: General Requirements Addendum 2 – Grounding and Bonding Specifications for Screened Balanced Twisted – Pair Horizontal Cabling》 (TIA-568-B.1-2-2003)
- ☞ 《Commercial Building Telecommunications Cabling Standard Part 2: Balanced Twisted Pair Cabling Components》 (TIA-568-B.2-2001)
- ☞ 《Commercial Building Telecommunications Cabling Standard Part 2: Balanced Twisted Pair Cabling Components Addendum 1: Transmission Performance Specifications for 4-Pair 100 Ohm Category 6 Cabling》 (TIA-568-B.2-1-2002)
- ☞ 《TRANSMISSION PERFORMANCE SPECIFICATIONS FOR 4-PAIR 100  $\Omega$  AUGMENTED CATEGORY 6 CABLING》 (TIA-568-B.2-10-2008)
- ☞ IEEE 802.3 系列标准
- ☞ 《转移阻抗的测试方法》 (ANSI-SCTE 78-2003)
- ☞ 《Enclosures for Electrical Equipment (1000 Volts Maximum)》 (Nema 250-2003)
- ☞ 《Commercial Building Standard for Telecommunications Pathways and Spaces》 (TIA-569-B-2004)

- ☞ TIA-607
- ☞ 《信息技术：综合布线系统 第1部分：通用要求》（EN 50173.1-2007）
- ☞ 《信息技术：综合布线系统 第2部分：办公环境》（EN 50173.2-2007）
- ☞ 《信息技术：综合布线系统 第3部分：工业环境》（prEN 50173.3-2007）
- ☞ 《信息技术：综合布线系统 第5部分：数据中心》（EN 50173.5-2007）
- ☞ 《Information technology - Generic cabling systems - Part 6: Distributed building services》（EN 50173.6-2007）
- ☞ 《Communication cables - Specifications for test methods - Part 1-6: Electrical test methods - Electromagnetic performance》（EN 50289.1-6-2002）
- ☞ 《Communication cables - Specifications for test methods - Part 1-15: Electromagnetic performance - Coupling attenuation of links and channels (Laboratory conditions)》（EN 50289.1-15-2004）
- ☞ 《信息技术设备的无线干扰特性极限值的测量方法》（EN 55022-2003）
- ☞ EN 55024-2003
- ☞ 《信息技术：缆线安装 第1部分：规范及质量保证》（EN 50174.1-2001）
- ☞ 《信息技术：缆线安装 第2部分：建筑物内的安装设计和实施》（EN 50174.2-2001）
- ☞ 《信息技术：安装电缆的测试》（EN 50346-2002）
- ☞ 《公共建筑电磁兼容设计规范》（DG/TJ 08-1104-2005）

#### 1.2.4 参考资料

- 各参编综合布线厂商产品手册
- EMC analysis (including 2 test reports) to Cteam (卡博菲)
- On-Site EMC Testing Procedure (康普)

## 2 名词解释与缩写语

以下名词解释和缩写语仅针对屏蔽布线系统所涉及的部分。

### 2.1 名称解释

#### 2.1.1 半工业环境

指有比较强烈电磁干扰的环境，其电磁场强在 3V/m 至 10V/m 之间。这种环境介于商业环境和工业环境之间。

#### 2.1.2 电磁场

电与磁可说是一体两面，变动的电会产生磁，变动的磁则会产生电。变化的电场和变化的磁场构成了一个不可分离的统一的场，这就是电磁场。

#### 2.1.3 电磁波

电磁波是电磁场的一种运动形态。变化的电磁场在空间的传播形成了电磁波，也常称为电波。

#### 2.1.4 场强

放入电场中某点的电荷所受的电场力跟它的电荷量的比值，简称场强。

#### 2.1.5 等电位联结

为达到等电位，多个可导电部分间的电连接。

#### 2.1.6 电磁干扰 (Electromagnetic Interference)

所谓的电磁干扰，主要指的就是强电系统产生磁场从而对弱电系统产生干扰的一个过程，它是电子系统辐射的寄生电能，这里的电子系统也包括电缆。这种寄生电能能在附近的其它电缆或系统上影响综合布线系统的正常工作，降低数据传输的可靠性，增加误码率，使图像扭曲变形、控制信号误动作等。

有传导干扰和辐射干扰两种。传导干扰是指通过导电介质把一个电网络上的信号耦合（干扰）到另一个电网络。辐射干扰是指干扰源通过空间将其信号耦合（干扰）到另一个电

网络。

### 2.1.7 电磁辐射 ( Electromagnetic Radiation )

带净电荷的粒子被加速时，所发出的辐射称为电磁辐射。

电磁辐射是由空间共同移送的电能量和磁能量所组成，而该能量是由电荷移动所产生。电磁辐射所衍生的能量，取决于频率的高低-频率愈高，能量愈大。

电磁辐射是一种复合的电磁波，以相互垂直的电场和磁场随时间的变化而传递能量。

### 2.1.8 电磁感应 ( Electromagnetic Induction )

闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线的运动时，导体中就会产生电流，这种现象叫电磁感应。

### 2.1.9 电磁兼容性 ( Electromagnetic Compatibility )

设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中的任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。

简单地说，是指电子设备或网络系统具有一定的抵抗电磁干扰的能力，同时不会产生过量的电磁辐射。

### 2.1.10 二次辐射 ( Secondary Radiation )

电磁辐射物体（第一次辐射源）以电磁波的形式向周围发射能量，周围的物体（如：墙壁、天花板、机器设备及其他用具等）吸收辐射线并转化为热能，成为温度较高的向周围发射的电磁辐射，或者对来自一次辐射源的电磁波反射回来的电磁辐射。

### 2.1.11 工业环境

指有强烈电磁干扰的环境，其电磁场强大于 10V/m，由于这种环境大多属于工厂等工业场所，故称为工业环境。

### 2.1.12 接地

接地 (Grounding/Earthing)是指把设备的金属壳体或线路中的某一点用导体与大地连接在一起，形成电气通路。目的是让电流易于流到大地，因此接地电阻越小越好。

### 2.1.13 绞距

对绞线中每对芯线对绞时翻转一圈的长度。绞距越小往往带宽越大，但制造时的精度也越难控制。

### 2.1.14 近端串扰

### 2.1.15 距离隔离

距离隔离是抗电磁干扰的手段之一。它利用了电磁场强度与距离的平方成反比的特性，用增加距离的方法提高抗电磁干扰的能力。对绞线中的一字隔离和十字隔离技术都采用了这种手段。

### 2.1.16 缆距

对绞线中 4 对芯线共同旋转一周的长度。

### 2.1.17 耦合衰减

耦合衰减被定义为输入功率与近端或远端辐射功率的最大值之比。这个参数的测试与电缆的带宽无关，从 30MHz 测试到 1GHz。对于屏蔽电缆，耦合衰减测试的是屏蔽与平衡共同作用的 EMC 性能；对于非屏蔽电缆，耦合衰减测试的是电缆的平衡效果，其意义与屏蔽衰减相同。

### 2.1.18 趋肤效应

所谓趋肤效应是指电流在导体截面的分布随频率的提高而趋于导体表面分布，频率越高，趋肤深度越小，即频率越高，电磁波的穿透能力越弱。

### 2.1.19 商业环境

指日常人们生活、工作的环境，它的电磁防护等级很低，可以使用常规的非屏蔽布线系统。

### 2.1.20 误码率

### 2.1.21 线对

对绞线中两根互为对绞的芯线称为 1 个线对。

### 2.1.22 信道干扰

在传输线上遭遇到的电磁干扰。它无法通过预先设定的模型予以消除。

### 2.1.23 信息系统

信息系统是指基于计算机或计算机网络，按照一定的应用目标和规则对信息进行采集、加工、存储、传输、检索等处理的人机系统。

### 2.1.24 信息系统安全

信息系统及其所存储、传输和处理的信息的保密性、完整性和可用性的表征。

### 2.1.25 信噪比

传输线中信号与噪声之比，它的数值直接决定了传输的品质，在综合布线系统中使用 ACR 这个参数进行描述。在电子学中，当信噪比达到 20dB (1/10) 时，信号比较清晰；当信噪比为 10dB (约 30%) 时是信号正常检出的门限。如果信噪比低于 10dB，则需要使用滤波电路提高信噪比。

### 2.1.26 转移阻抗

转移阻抗是用来表示屏蔽层效率或者屏蔽层保护效果的参数，屏蔽电缆的转移阻抗决定了其屏蔽层的效率。对于某一长度的屏蔽电缆而言，假如在其屏蔽层的某个表面有一电流存在，那么在此屏蔽层的另一表面会由于此电流而感生一电势差，上述电势差与电流之比即为“转移阻抗”，单位是“毫欧姆/米(mΩ/m)”。。

## 2.2 缩写语

英文缩写	英文名称	中文名称或解释
BA	Building Automation	楼宇自动化
CCITT	Consultative Committee of International Telegraph and Telephone	国际电报电话咨询委员会
dB	dB	电信传输单位：分贝
EIA	Electronic Industries Association	美国电子工业协会
EMC	Electro Magnetic Compatibility	电磁兼容性
EN	EN	欧洲标准
GB	GB	中国国家标准
Hz	Hz	频率或物理带宽的基本单位
ISO	International Organization for Standards	国际标准化组织
IEC	International Electro Technical Commission	国际电工技术委员会
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	电气电子工程师协会
bit/s		网络系统传输速率的单位
NEXT	Near-End Crosstalk	近端串扰
TIA	Telecommunications Industry Association	美国电信工业协会
Vp-p	Vp-p	峰-峰值电压
Vrms	Vrms	电压有效值

## 3 屏蔽布线系统设计

综合布线系统中的绝大部分是埋藏在建筑物隐蔽区域中，除非万不得已，一般不会拆除或重新铺设，所以综合布线系统属于永久性的系统，很多时候只有到达建筑物大修之时才会随旧的内装修一起被拆除、随新的内装修一起重新敷设和安装。

屏蔽布线系统是综合布线系统中的一个组成部分，它几乎可以覆盖所有使用非屏蔽布线系统的场合，还可以在一些因电磁干扰原因造成非屏蔽布线系统效果不佳的场合使用。

### 3.1 电磁兼容性及防护等级

当人类经济的发展对信息技术的依赖越大时，对网络的保密性、安全性的要求就越高，对于一个运行的网络系统而言就必须具备最少的电磁辐射以及最强的抗电磁干扰能力，即符合 EMC 电磁兼容性（Electro Magnetic Compatibility）的标准要求。

对于高于 16Mbit/s 和 16MHz 的高速数据率和频率应用，数据传输越灵敏，屏蔽性就变得越重要。机械地限制绞合长度会使绞合的效果减弱，绞合仅能够有效地适应 30 至 40MHz 的数据传输。由于安装过程中的对电缆的拉力和其他类似弯曲半径等因素，会使非屏蔽对绞线（UTP）的均衡绞度遭到破坏。屏蔽可以补偿这种影响，它可以被看作是一种电磁和机械保护。

屏蔽布线系统的主要用途有三个：

- 防止外部电磁干扰影响传输的质量；
- 防止传输引起的信号辐射产生泄密；
- 防止外界金属物体影响对绞线的传输特性。

在布线系统中，信道内的噪声来源主要有 Powersum NEXT（近端串扰的功率总和）、Powersum FEXT（远端串扰的功率总和）、回波损失、相邻电缆的干扰及外界干扰五个方面。

前三种干扰来自电缆内部，在高速网络系统中，可以采用数字信号处理（DSP）技术加以补偿、抵消；后两种干扰来自电缆外部，是随机的、不可预测的，无法利用 DSP 技术抵消。因此，只有将对绞线加以屏蔽，才能大大减小进入电缆内部的噪声，从而提高信道的容量。

根据电磁兼容性理论（EMC），屏蔽布线系统面对的电磁环境可以分为两类：

- 外界电磁干扰和相邻缆线/线对的电磁干扰；
- 内部电磁辐射造成的信息泄密，这些信息包括政府领域中的国家信息，也可能包含大中小型企业中被同行业感兴趣的商业秘密。

随着无线电技术、微波技术的快速发展，空间的电磁波越来越多，而对绞线也会自发的产生电磁辐射，加重了空间电磁污染，也造成了电磁泄密的可能性。

### 3.1.1 计算机网络与电磁干扰

根据计算机以太网标准（IEEE 802.3-2002）的描述，计算机网络对硬件电路的信噪比始终有着明确的规定，在符合信噪比要求时，网络系统能够保证达到规定的误码率指标，而当信噪比劣化时，计算机网络系统的误码率会压缩提高，在网络设备和人们能够忍受的范围内，计算机网络依然能够工作，而一旦无法忍受，则网络系统将立即发生故障，最明显的例子是网络传输丢包、视频传输丢帧和马赛克效应。

在日常办公生产环境中，存在各种各样电磁干扰源，对布线系统的正常工作造成不利影响，轻则造成数据损坏，出错，导致网络中大量数据重传，大大增加系统负担；重则使系统彻底瘫痪。

网络速率正在飞速提高，根据统计每隔五年网络速率将提高 10 倍。目前，高速的局域网应用（例如千兆位以太网）信息传输速率达到 1Gbit/s，根据摩尔定律可以预言 5 年后的网络速率将达到 10Gbit/s，而综合布线系统的保证至少是 15 年。可以预言，15 年内，网络速率将达到 100Gbit/s 以上。

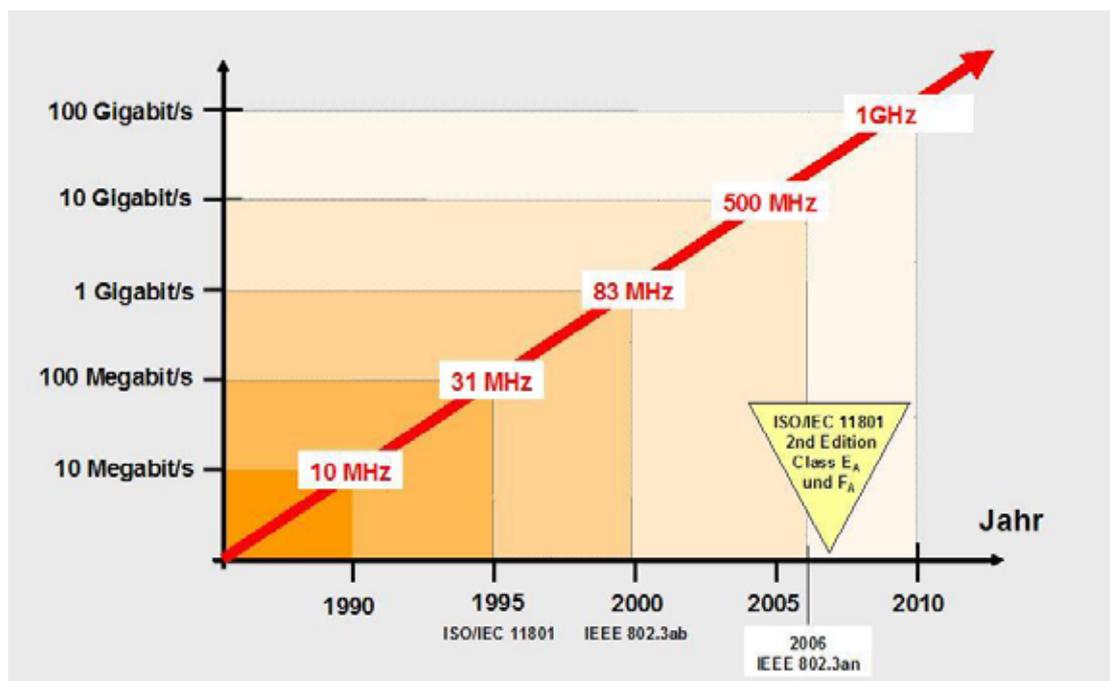


图 6.1 计算机以太网发展趋势示意图

在带宽有限的情况下，方法之一是采用硬件压缩原理，即采用相位调制方式，提高信息系统的传输能力。例如：对于万兆以太网（铜缆系统）而言，PAM5 的压缩方式意味着信号幅度将进一步减小，这时只能通过提高系统的信噪比，即减小信道内的噪声来满足应用需求。这就要求对绞线对外界的电磁干扰抑制能力要有明显的提高。

当使用屏蔽对绞线时，电磁干扰影响明显下降，要想达到网络应用所需要信噪比就成为容易实现的事，同时缆线的外径并没有出现明显的增加，即可以满足应用需求，也可以简化施工要求。

### 3.1.2 信息保密与电磁泄漏

在现今社会中，信息已经成为重要的资源。许多商业活动因获得信息而得以成功、因信息泄密而功败垂成。在综合布线系统中，电磁波上所携带的都是信息，而电磁波在传输过程中具有着向外辐射的可能，所以如何避免信息泄密就成为综合布线系统必然需要考虑的主要问题。

根据电磁场理论，屏蔽布线系统在抑制外界电磁干扰的同时，还具有防止内部电磁波外传的能力，即可以有效地防止信息因电磁泄漏而泄密。

### 3.1.3 电磁场参数指标

电磁场的技术参数很多，对于综合布线系统而言，主要使用“电场强度”这个参数，简称为场强。其含义是“放入电场中某一点的电荷受到的电场力跟它电量的比值”，其物理意义为：“单位电量的电荷在电场中受到的电场力”。

电场强度的基本单位是 V/m，也可以使用 dB $\mu$ V/m 表示。对于综合布线系统而言，当电场强度的数值越大时，就表示该点的电磁波越强，它意味着外界电磁场的能量越大，综合布线系统中的信息可能被外界电磁场干扰的可能性越大；反之，如果该场强代表的是由综合布线系统中的信息传入外部电磁场的数值，则意味着泄密的可能性越大。

V/m 与 dB $\mu$ V/m 之间的转换公式为：

$$E = 10^{\left(\frac{X}{20} - 6\right)}$$

式中：

X——以 dB $\mu$ V/m 为单位的场强测量值；

E——以 V/m 为单位的场强测量值。

外界电磁场的场强可以借助于电磁骚扰测量接收机等专用仪器进行，具体的测量方法可以参考《电磁兼容标准实施指南》。

### 3.1.4 电磁兼容性的三个等级

外界电磁场的强度分布是不均匀的，在电磁干扰源附近时场强比较强，而在远离电磁干扰源时场强会比较弱。在综合布线系统规划时，需要根据现场的实际情况及今后可能出现的电磁环境进行分析，确定所用综合布线系统的电磁防护等级。

在欧洲综合布线标准 EN 50173.1-2007 中，电磁兼容性就是 4 类恶劣环境中的一种，为此，它将电磁兼容性等级分为 3 级：E1（商业环境）、E2（半工业环境）和 E3（工业环境）。这个等级在其它标准中也有类似的划分。

电磁等级	通用名称	场强范围	说明
E1	商业环境	< 3V/m	人们平时生活和工作的绝大多数环境
E2	半工业环境	$\geq 3V/m$ , <10V/m	有一定电磁干扰，但不强烈
E3	工业环境	$\geq 10V/m$	具有强烈电磁干扰的环境

表 3.1 电磁环境分类表

以一个实例说明场强的效果：许多人都有在打电话是被手机信号干扰的体会，而在一些相关的资料中，场强值 3V/m 相当于使用 GSM 手机在 2 米外打电话（ $E = \sqrt{30P}/r$ ，其中：E 为电磁场强 V/m，P 为功率 W，r 为距离 m）。

不同的电磁环境有着不同的应对方法。对于综合布线系统而言，就是对双绞线的选择。经过十多年的讨论，比较一致的看法是：

电磁等级	通用名称	场强范围	双绞线选择
E1	商业环境	< 3V/m	非屏蔽双绞线：UTP
E2	半工业环境	$\geq 3V/m$ , <10V/m	铝箔屏蔽双绞线：F/UTP 或 U/FTP

电磁等级	通用名称	场强范围	双绞线选择
E3	工业环境	$\geq 10V/m$	双重屏蔽双绞线：SF/UTP 或 S/FTP

表 3.2 各类电磁环境中的双绞线选择表

表 3.2 是最简单的选择方法，是基于各种双绞线的抗干扰测试而形成的，具有一定的代表性。但由于综合布线系统施工前的电磁环境与施工后的电磁环境、今后若干年内的电磁环境都会有很大的差异，所以对电磁环境的等级确定一般是采用定性的方式进行，而不是采用仪器定量方式。

## 3.2 屏蔽布线系统的实施目标

为了保证网络免受外界任何干扰源的干扰，同时防止中途信息被截取，由屏蔽的电缆和屏蔽的元器件所组成的屏蔽结构化布线系统将是最佳选择。

屏蔽布线系统的实施目标是以下全部或其中的几个：

1. 将外界电磁波对对绞线的干扰降至最低，以提高信息传输过程中的信噪比。
2. 将线对之间的电磁干扰降至最低，以改善布线产品的性能参数。
3. 防止信号因电磁辐射而产生泄密，避免因布线系统引起商业泄密和其他泄密事件发生。

在电磁兼容性的解决方案中，最常见的是采用屏蔽方案，为此出现了屏蔽线（屏蔽对绞线）、屏蔽壳体（屏蔽模块）、屏蔽机房（屏蔽机柜）等等。并在长期的实践中形成了各具特色的屏蔽产品和实施技巧。

## 3.3 屏蔽布线系统的应用场合

非屏蔽对绞线用在什么场合、屏蔽对绞线用在什么场合？这个问题一直是设计院和业主在关注的问题。

人们平时生活和工作的环境，被称之为“商业环境”。在这样一个对人们非常适宜的环境中，常规的非屏蔽布线系统已经足以满足应用需求，即使是计算机网络的速度在不知不觉中慢了些，绝大多数的人们也不会有什么怨言，即使是大电话时被旁边的手机振铃信号所产生的电磁辐射干扰得有点听不清，也只会将手机挪远些。

对于少数专业人员或特殊需求而言，网络的速度慢了些就意味着信息不能及时传到对方；手机干扰了电话，那可能就得让对方重说。当这一切无法忍受时，传输系统就面临着改造或升级的可能。而非屏蔽布线系统在对应与电磁环境的升级方向就是采用屏蔽布线系统（包含数据和各种语音）或光纤布线系统（包含数据和 IP 语音）。

现在，在普通要求比较低的办公楼、商店、家庭等等场合，一般都会使用它非屏蔽布线系统。而在需要考虑传输质量、传输效率的场所，在电磁干扰较大的区域、在有精密仪器的房间、屏蔽机房和不希望发生泄密的地方则使用屏蔽布线系统。

从原理上来说,凡是可以使用非屏蔽布线系统的场合都可以使用屏蔽布线系统。但由于价格等市场因素,还是有必要对屏蔽布线系统的应用场合提出一个比较合理的建议。

因此屏蔽布线系统常安装在工厂、屏蔽机房、机场、医院、政府机关、军事机关、银行、金融机构、自用办公楼、精密实验室等对传输性能要求较高的地方,也会应用于涉及到商业秘密的场合。

在这一部分,将分析各种建筑物内所使用水平对绞线的分类。当然,在本白皮书中不考虑因施工因素无法实施屏蔽布线系统的场合,也将不会涉及军用场合及政府涉密场合中的对绞线应用。

### 3.3.1 总体考虑

信息传输对电缆技术的要求是多方面的,几乎没有哪个领域能与之相比。人们必须根据使用要求和已知特性寻求不同的解决方法。即使要求相同,解决方法也可以不同,因为电缆技术中只能寻求低成本、完美的传输性能和简单的安装、维护操作三者的折衷形式。

由于电磁理论与实践存在着许多未知因素,致使电磁理论至今大多用于定性分析,再加上电磁兼容性专家们更注重对设备的研究,这就造成在对绞线这一新兴领域中仍然有许多电磁问题尚待解决,至今无法为屏蔽对绞线所应该面对的场合提出定论的依据。

在本白皮书中,将根据工程实践的体会、相关资料(BA、门禁、有线电视、电子学、传输线理论等等)中对线缆的描述,通过定性的分析,提供各类对绞线的适用场合。

当然,应该说明的是,如果业主方指定要求采用屏蔽系统,则必然有其道理,应该按照业主方的要求进行,而没有必要再进行下述的分析和论证。

### 3.3.2 半工业环境和工业环境应采用屏蔽布线系统

根据 GB 50311-2007 和 EN 50173.1-2007 等标准,当综合布线区域内存在的电磁干扰场强高于 3V/m 时,宜采用屏蔽布线系统进行防护。

其中在半工业环境(电磁场强为 3~10V/m)中,可以考虑采用铝箔屏蔽对绞线(F/UTP、U/FTP、F/FTP);在工业环境(电磁场强大于 10V/m)中,可以采用双重屏蔽对绞线(SF/UTP、S/FTP)。

电磁场强定为 3V/m,依据是国家电磁兼容性标准,测试仪器可以采用电磁骚扰测量接收机。在相关的电磁兼容性标准中,还有以下信息可以参考:

- 根据《电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境的抗扰度试验》(GB/T 17799.1-1999),定义:电磁场强干扰为 3V/m;
- 《信息技术设备抗扰度限值和测量方法》(GB 17619-1998)的电磁场强值为 3V/m;理由 3:《电磁兼容标准实施指南》中的计算机部分(第 370 页),以表格形式将局域网列为 ITE 设备,而在第 361 页明确 ITE 的电磁场强值为 3V/m;
- 在 IEEE 802.3-2002 中的 10M 以太网章节中,确定电磁场强为 1V/30MHz 以下、

5V/30-1000MHz，根据电磁标准的演变史，现在的对应数据为 3V/m（80—1000MHz）；

- 在 IEEE 802.3-2002 中的 100M 以太网和 1000M 以太网章节中，要求电磁兼容性应符合本地电磁兼容性标准的要求。对于中国，这意味着应符合 GB/T 17799.1-1999 和 GB 17619-1998 标准；

为了确定环境，有时需要进行电磁环境测试。应该说，这样的测试仅对现有的电磁环境有效，对于未来可能安装的设备只能进行前瞻性分析和比对测试。

如果采用模拟预测，可以沿对绞线实际走向（或自定义的走向：如最恶劣的走向），铺设临时性的对绞线，并在该对绞线上进行测试。其方法类似于 GB/T 50312 中的产品检验方法。

该方法还可以在工程完工后，对出现电磁兼容性故障的对绞线，进行实际测试或模拟测试。

### 3.3.3 医疗建筑宜在关键部位采用屏蔽布线

医疗机构是救死扶伤的重要场所。除了医院的工作人员外，人们只有到了需要救助的时刻，才会前往医疗机构，可以说医疗机构是任何人都抱有希望的场所。没有人会希望那里出现延误、漏诊、误判和失败的现象发生。

随着医疗水平的提高，在医疗机构中，大量的先进检测设备、诊疗设备正在装备到各级医院，其中有传输信息量非常庞大的设备，有电磁干扰异常强烈的设备，也有非常精密、在说明书中就明确周边不能具有干扰源的设备。在法律中，规定医院必须承担取证的义务，不管是哪一方提出的论点，都需要医院提供相应的证据，否则将会面临败诉。

在《公共建筑电磁兼容设计规范》（DG/TJ08-1104-2005）第 4.1.3 款中规定：在公共建筑和建筑群内不得设置大型电磁辐射发射装置、核辐射装置或电磁辐射较严重的高频电子设备，但医技楼、专业实验室等特殊建筑除外。

同时《公共建筑电磁兼容设计规范》（DG/TJ08-1104-2005）第 4.1.4 款中规定：在医技楼、专业实验室等特殊建筑内必须设置大型电磁辐射发射装置、核辐射装置或电磁辐射较严重的高频电子设备时，应采用屏蔽措施。

对于医院智能系统的规划和实施，设计者应更为谨慎，为了人民群众的宽心，为了自己没有后顾之忧，应在认真考虑和讨论后确定每一个场所的信息传输介质。

这是至今仍然生效的欧洲布线施工规范 EN 50174-2001 中明确提出的注意点。

### 3.3.4 工矿企业宜采用屏蔽布线系统

工矿企业的车间区域大多采用屏蔽布线系统，近来也有采用屏蔽布线与光纤布线混合结构。其原因是工业设备中往往会有大量的脉冲型电磁辐射，而工业控制系统一旦出现故障将会导致控制失灵。所以屏蔽布线系统成为了车间区域内的首选。

工矿企业因厂房高大、设备不规整，容易造成施工困难，所以如果在使用过程中发现电磁干扰而计划进行布线系统改造，难度会比较大。

### 3.3.5 数据中心的水平子系统可以考虑采用屏蔽布线系统

数据中心的铜缆基本上都位于水平子系统中。面对这部分设计，用户最关心的，或者说布线系统最该考虑的可以归纳为以下几点：

- 外来串扰最小化
- 防止线缆外皮变形
- 优化线槽/管道填充率
- 支持高密度安装的能力
- 便于安装，美化机房环境

基于以上几点，可以考虑在数据中心内使用屏蔽布线产品替代非屏蔽布线产品。

由于数据中心的到处都存在电磁辐射，而且水平系统中的铜缆部分在数据中心综合布线系统中的比例很低，故从性能价格比上考虑，更换成屏蔽布线产品则是有益而无害。而且完全可以满足用户对外来串扰、优化线槽/管道填充率、线槽内缆线美观等等需求。

### 3.3.6 电磁兼容性要求比较高时宜采用屏蔽布线系统

当用户对电磁兼容性有较高的要求（电磁干扰和防信息泄漏）时，或网络安全保密的需要，宜采用屏蔽布线系统。

有严重电磁干扰环境的用户，如工厂、广播站、电台、机场、电磁干扰极强的实验室以及地铁等等。

### 3.3.7 安装环境比较高时可以考虑采用屏蔽布线系统

采用非屏蔽布线系统无法满足安装现场条件对缆线的间距要求、管径要求、美观要求时，宜采用屏蔽布线系统。

### 3.3.8 在大于 500MHz 时屏蔽布线系统更为适宜

屏蔽对绞线的最高可用带宽为 1500MHz，而根据性能价格比，在所需应用带宽超过 500MHz 时，屏蔽布线系统开始占有优势，主要体现在工程安装性能、价格和成熟度等方面。在这样的情况下，采用屏蔽布线系统有益于保护客户利益。

### 3.3.9 在涉密信息传输中可以考虑采用屏蔽布线

这里所谈的涉密包含了商业涉密，也可以包含政府及军事涉密，但本白皮书将不会论及与政府及军事相关的涉密问题。

在全球的商业活动中，经常可以在报端和广播中看到或听到各种各样的商业间谍、商业秘密和泄密案件。从这些报道中可以看出，即使是商业间谍手段，也是五花八门、层出不穷，有时几乎到了耗费巨资的程度。

在国际互联网中，黑客们为了经济利益，使用各种匪夷所思的信息化手段骗取、截取、还原和甄别各种信息。

这一切都提醒着人们：各种商业活动都可能遇到涉密问题（包括电话窃听），各种信息传输系统都应该在规划时充分考虑涉密的可能性。具有商业保密要求的企业和部门也应考虑采用屏蔽布线系统。

就综合布线系统所涉及的信息传输而言，可能出现以下的传输方式：

信息性质	信息种类	建议中的综合布线系统
语音	不保密的语音传输	非屏蔽布线系统
	半保密的语音传输	屏蔽布线系统 或：非屏蔽布线系统
	保密的语音传输	屏蔽布线系统
数据	不保密的数据传输	非屏蔽布线系统
	半保密的数据传输	屏蔽布线系统 或：非屏蔽布线系统
	保密的数据传输	屏蔽布线系统 或：光纤布线系统

表 3.3 涉密信息传输所用布线系统建议表

同时，对于机房、弱电间等处也应该作为重点防范区域。

### 3.3.10 在涉及到视频源、音源时应优先考虑屏蔽布线

现在的智能系统正在走向网络化，即使用以太网传输各种各样的智能系统信息，其中包含有视频源和音频源。例如：安防用的摄像机、会议系统用的音频都需要通过网络传递最终存储在存储介质中，以备使用。

对于已经存储的音视频资源，如果传输不及时，可以通过重发予以解决，最多不过是出现停顿、跳跃、丢帧和马赛克等现象，造成人们感觉不好而已，在下次重播时不会重复出现。

对于摄像机、音频等信号源而言，出于成本考虑，在信号源端不可能有大容量的缓冲区。一旦在传输过程中出现因外界干扰造成包损坏而重发时，万一发送端的缓冲区溢出，则会造成图像和音频质量出现无法恢复的品质下降。后续设备即使再先进，也很难甚至无法完全回复出原始的音视频信息。在当前能够看到的音视频传输线，绝大多数采用的是屏蔽线（如同轴电缆、话筒线、RVVP 屏蔽电缆等等）。

对于综合布线系统而言，一旦走向视频网络化或音频网络化，应优先考虑采用屏蔽布线系统，以免在应用时出现永久性的遗憾。

### 3.3.11 弱电专网需要认真评估

在智能建筑中，已经开始采用弱电专网作为各种智能系统的传输网络。在弱电专网中，目前看到的信息传输包括门禁等一卡通信息、BA 信息、停车库管理信息、安防用摄像机信息、会议系统信息、大屏显示信息、视频点播等等，随着智能建筑网络化的进一步发展，还会包含着越来越多的信息。

在弱电专网的信息传输中，由采集信息端发往控制设备的信息占据了绝大多数，同时还有许多控制设备为目标的重要信息。为了避免信息丢失和重发，有必要在规划时认真评估弱电专网是否需要采用屏蔽布线系统。

根据《公共建筑电磁兼容设计规范》（DG/TJ08-1104-2005），部分智能系统中的若干类传输线需要采用屏蔽缆线。

### 3.3.12 在行业中惯例是采用屏蔽缆线时

许多智能建筑的缆线在实施时按照行业惯例就是采用屏蔽缆线，例如：在门禁系统的安装说明书中，在楼宇自控的施工规则中……

当这些系统网络化时，它们同样应该采用屏蔽布线系统。

### 3.3.13 对缆线周围干扰源情况不明时宜采用屏蔽布线

这一现象更多的出现在工矿企业中。在这些地方，许多设备可能会发出电磁干扰，而随着生产水平的提高，先进的设备将一批批替换陈旧的设备。造成在布线规划是无法确定缆线周围的干扰源分布和场强。

同样的情况还会出现在电视台、广播电台内或无线发射台附近。

### 3.3.14 为海外企业布线时应参照企业习惯

每个跨国企业都会拥有自己的布线规范（企业规范），其中有些企业明确要求使用屏蔽布线系统。这时，应该遵守甲方的规范要求。

### 3.3.15 屏蔽布线系统的应用领域汇总一览表

根据上述分析，汇总成表如下：

目的	基本原理和理由	应用举例
----	---------	------

抗外部电磁干扰	当外部有比较强的电磁干扰时，屏蔽对绞线能够有效地抵御外部电磁干扰	半工业环境或工业环境 在工厂车间内，需要使用屏蔽布线系统 广播站、电台、机场、电磁干扰极强的实验室以及地铁
	人身安全作为第一位考虑因素	医院、机场内的部分场所，可采用屏蔽布线系统
	当传输协议（如：万兆以太网）对电磁干扰比较敏感时，有必要选用屏蔽布线系统。	可以选用 6A 类屏蔽系统，或使用性能余量更大的 7 类屏蔽布线系统
	避免因电磁干扰而造成传输速率下降	数据中心的水平子系统
	避免信息出现无法恢复的传输品质	音频源、视频源（摄像机）等等对应的传输线路 弱电专网中向机房提供信息的不可恢复信号源
	现场情况不明时	宜采用屏蔽布线系统以规避风险
	可以用于任何使用非屏蔽布线系统的场合。	将非屏蔽布线材料更换成屏蔽布线材料即可
泄密	可以用于不希望出现商业泄密的场合。	用于需要商业保密的建筑物中
提高传输带宽	当布线系统升级到万兆以太网以上等级时，屏蔽布线系统的性能得以充分发挥。它可以借助于屏蔽层的保护，有效地抵御线间串扰的影响，对于工程实施和测试带来了便利。	当万兆以太网采用屏蔽布线系统时，将进行接地连接测试。只要接地连接测试合格，允许不进行线间串扰测试。
	当屏蔽对绞线中采用了线对屏蔽技术时，可以实现一根对绞线同时传输多种不同的信号（如：以太网、有线电视、电话、音响等等），而彼此之间不会产生串扰。	这是 7 类屏蔽布线系统的传统应用模式。典型应用有：同时传输 4 路有线电视或同时传输有线电视、立体声音响和电话。
安装与施工	提高管径和桥架的利用率	利用高档屏蔽线缆径小的特点，减少管道及桥架尺寸
	不会因分布电容的作用，受到周围金属材料的影响	对施工时的线缆布局可以简化，不必考虑规避距离近的大面积金属物体
	利用屏蔽特点简化 ANEXT 测试	不必进行 ANEXT 等测试
	利用屏蔽线缆之间没有线间串扰的特点，利用集束式屏蔽对绞线实现预端接铜缆	已出现集束式屏蔽对绞线（6 根或 12 根、24 根/束），类似于预端接光缆原理和性能特点
	具有成熟的屏蔽布线施工标准	可以依据施工标准进行 6A 类以上等级屏蔽双绞线的穿线、端接、接地等项施工，这是布线施工所必须的基本要素。
美观	利用屏蔽双绞线没有线间串扰的特点	数据中心及其它场合中开放式桥架内使用屏蔽双绞线可以做到完全平行
规则	在行业有惯例时	遵循行业惯例
	业主方指定或业主方规范有规定时	遵循业主方要求

价格	当传输要求达到 6A 等级时,屏蔽对绞线变得更为便宜	采用 6A 类以上等级的屏蔽布线系统
----	----------------------------	--------------------

表 3.4 屏蔽布线系统应用场合一览表

### 3.4 屏蔽布线系统的设计要素

产品的选择应根据系统的要求、技术性能、投资概算等综合考虑,但在布线系统中应首先确定的是使用线缆的类别和布线的结构(屏蔽线缆、非屏蔽线缆、光缆,还是将它们接合在一起使用)。其中,屏蔽与非屏蔽布线系统的选择,主要取决于对电磁环境的要求。

屏蔽布线系统主要应用于综合布线系统中的配线子系统。所以,以下内容将面向配线子系统展开:

#### 3.4.1 全程屏蔽

使用屏蔽布线的目的是提高系统的电磁兼容性,要最大可能性地发挥屏蔽布线 EMC 性能优势,必须满足两个条件:“全程屏蔽”和“屏蔽层正确可靠接地”。全程屏蔽,即:布线系统中所使用的配线架、线缆、接插件、网络设备、网卡均采用屏蔽产品。正确理解“接地”概念,对实现屏蔽效果与工程验收十分重要。

从电子学理论来说,高频传输线应该采用多点接地方案,但对于综合布线系统而言意味着对绞线将不复存在。所以对于屏蔽布线系统而言,最理想的接地方式是两端接地,即面板端和配线架端都接地。

为了满足综合布线系统的施工要求,综合布线面板是不需要做接地的,所以屏蔽布线系统自身的接地点在配线架上。为此,现在流行的计算机网络设备(含网卡)中的 RJ45 模块都采用了屏蔽型的 RJ45 型模块,而且该模块的屏蔽壳体通过网络设备与 PE 线连接,即形成了良好的接地通道,当计算机网络设备(含网卡)与屏蔽布线系统通过屏蔽跳线连接后,整个屏蔽通道就形成了 3 点接地结构(终端计算机、配线架和网络设备),即形成了多点接地构造。(参见 TIA/EIA 568B1.2-2003)。

当屏蔽布线系统采用多点接地时,它的抗干扰性能远优于单点接地。但同时就要求整个屏蔽信道上所有的元器件都是屏蔽的,即屏蔽布线系统要求对绞线、模块、配线架及两端的跳线都采用屏蔽产品。这种设计方法称之为“全程屏蔽”。

#### 3.4.2 非屏蔽布线系统与屏蔽布线系统的配置置换

绝大多数非屏蔽布线产品与屏蔽布线产品可以一一对应。所以它们的配置设计大多只需要更换产品即可。例如:

序号	产品描述	非屏蔽产品名称	屏蔽产品名称	备注及说明
工作区				
1	面板	各类面板	各类面板	能与模块匹配即可
2	跳线	非屏蔽跳线	屏蔽跳线	

序号	产品描述	非屏蔽产品名称	屏蔽产品名称	备注及说明
配线子系统				
3	模块	非屏蔽模块	屏蔽模块	
4	对绞线	非屏蔽对绞线	屏蔽对绞线	根据需求选择屏蔽种类
5	配线架	非屏蔽配线架	屏蔽配线架	能与模块匹配即可
6	跳线	非屏蔽跳线	屏蔽跳线	
辅材				
7	接地导线	接地导线	接地导线	非屏蔽布线系统的接地导线用于机柜接地 屏蔽系统系统的接地导线还需用于配线架接地
8	机柜	机柜	机柜	非屏蔽布线系统的机柜只需对外有1个接地点 屏蔽布线系统的机柜还需屏蔽接地铜排或接地母线以满足屏蔽配线架接地的需要

表 3.5 非屏蔽布线系统与屏蔽布线系统的常规产品置换表

当计划使用预端接铜缆时，应特别注意非屏蔽预端接铜缆与屏蔽预端接铜缆之间的性能差异。

### 3.5 屏蔽布线系统的接地设计

在这一部分，不打算介绍接地理论，也不进行复杂的接地分析，只是就事论事的针对综合布线系统自身的接地进行设计。有关综合布线系统的接地理论及完整的智能建筑接地理论请参考相关资料和标准。

屏蔽布线系统的接地设计中大部分是由强电设计师完成的，只有机柜内部屏蔽配线架与机柜之间的接地设计是由综合布线系统的设计人员完成。

#### 3.5.1 接地电位差

全程屏蔽意味着在系统的多点进行接地。根据 GB 50311-2007 标准的规定，这些接地点之间的电压差不得超过  $1V_{rms}$  (联合接地体)。在独立接地体时，则要求电位差小于  $4V_{rms}$ 。

这就要求终端计算机设备的 PE 接地点与弱电间中机柜的弱电接地点之间的电位差不能大于  $1V_{rms}$ 。综合布线系统的设计人员应将这一要求提供给强电设计师。即：要求终端计算机所用的电源插座均需保证接地良好。

#### 3.5.2 屏蔽配线架的接地设计

常见的屏蔽配线架的接地方案有 3 种：

1. 利用机柜的前立柱接地

屏蔽配线架的背后往往是金属表面，当配线架通过两侧的螺丝固定在机柜的前立柱上时，自然就将配线架的金属面与前立柱的金属面结合，形成了屏蔽配线架借助于立柱连接到机柜底部的接地连接方式。

这一种解决方案看起来十分理想，因为前立柱的截面积很大，阻抗很小，可以作为接地母线使用，只要在立柱的下方（或上方）进行接地，就可以很简单地完成屏蔽配线架的接地。

但是，这一做法有一些限制条件：

- ☞ 前立柱上不能喷涂油漆等绝缘材料
- ☞ 前立柱必须保证接地性能良好
- ☞ 配线架的背面必须是金属接地面

由于现在的屏蔽配线架结构变化越来越多，使用非金属构成的屏蔽配线架也经常见到，而且综合布线系统的机柜同样也是种类繁多，有些机柜并不能保证接地性能，所以这一方法并没有普及。

## 2. 使用屏蔽配线架中的接地螺栓进行串连接地（菊花链连接方式）

在综合布线系统的机柜中，屏蔽配线架一般是集中放置。因此使用短的接地导线连接到旁边一个配线架（上方的配线架或下方的配线架）的接地螺栓上，由此形成一根串联了所有配线架的接地导线。

这是一种简单的接地方法，优点是材料省、结构简单、施工简单、造型易于美观。而缺点是一旦其中一个接地螺栓处接地不良，则会造成一串屏蔽配线架接地不良。所以对接地人员的素质（责任心）要求比较高。

## 3. 使用屏蔽配线架中的接地螺栓进行星型接地

每个屏蔽配线架配备一根足够连接到机柜接地铜排或接地母线的接地导线，一端用螺栓固定在屏蔽配线架的接地螺栓上，另一端用螺栓固定在机柜的接地铜排或接地母线上。将每个屏蔽配线架的接地构成星型结构。

这种接地方案的优点是一根导线发生故障只影响一个屏蔽配线架。缺点是需要较多的接地导线，并且为了美观，应将接地导线排列整齐，而数米长的接地导线要想排列整齐需要有相应的工艺和制度予以保证才行。



图 3.1 屏蔽配线架星型接地

推荐第三种配线架接地方案。理由如下：综合布线系统本身采用的是星型结构，这时一根对绞线发生故障只会影响这一路传输线路，而不会再出现一处故障发生时造成大面积瘫痪的可能性。同样接地如果采用星型结构，则任何一个接地点的故障只会影响一个屏蔽配线架，而不会影响若干个屏蔽配线架，即使用星型接地结构有助于提高系统的可靠性。

## 3.6 建筑物中建筑构件的屏蔽作用

在这里所指的金属构件包含有金属桥架、金属电线管和钢筋网。

在中国的综合布线系统工程验收规范中，大量提及对金属桥架和金属电线管的选型和安装要求。这说明综合布线系统是一个系统工程，其中的支撑材料就是技术桥架和技术电线管。如果要想做好一个布线工程，势必先得做好金属桥架和金属电线管。

### 3.6.1 金属桥架和金属电线管的屏蔽及保护作用

在建筑工程中，最常用的金属保护材料是铁制金属桥架和金属电线管，也有些使用铝制桥架。根据电磁场理论，金属桥架和金属电线管具有一定的抗干扰能力，但它不足以取代屏蔽对绞线。理由如下：

- 铁是属于铁磁材料，它在电磁场中的最大优势是屏蔽低频电磁场，所以铁制金属保护材料主要用于低频段的屏蔽。
- 金属桥架和金属电线管有一定的抗电磁干扰能力，但并不是按照屏蔽产品进行设计和生产的，其主要用途是为线缆提供坚固的铺设空间；
- 金属桥架有底和盖两部分，彼此通过锁扣连接，在底和盖之间经常会看见大量的缝隙。
- 金属电线管常为 2~6 米/根，一般在连接处使用点焊连接。目的是保证接地导通，而不是屏蔽，所以在电线管的接缝处容易出现缝隙。

因此金属桥架和金属电线管的屏蔽效果是不确定的，它取决于生产、施工、接地等各个环节；而屏蔽对绞线是专门为传输线抗干扰而生产的，其性能稳定、可靠。

根据中国国家标准，即使是屏蔽布线系统，它仍然要安装在金属桥架和金属电线管中。

屏蔽布线系统的主体是屏蔽对绞线，在两端接地的设计下，它使芯线与外界电磁场的耦合已经变得微乎其微。但尽管如此，如果能够再多一层保护，对于屏蔽布线系统的设计师而言，自然是求之不得。

使用金属桥架和技术电线管的目的不仅仅是进一步提高抗电磁干扰的性能，而且还兼有提高支撑能力、防雷击、防水、防鼠咬、防火等众多功能。可以说这是一举数得的办法。当然，如果将屏蔽对绞线放在开放式桥架上、放在梯形桥架上、穿在 PVC 管中，也不会伤害屏蔽布线系统的电磁兼容性。

### 3.6.2 在屏蔽布线工程中开放式桥架的作用

对于综合布线而言，选择一种性能优秀的桥架也是提高 EMC 性能的保证。开放式桥架在环境良好的数据中心内已经成为一种时尚，它的美观、它的布放简单、它的添加缆线容易等优势早已为数据中心的设计者和施工人员所接受。

对于屏蔽布线系统而言，开放式桥架的镂空结构可能会对光缆的性能影响，而对屏蔽对绞线而言却基本上不会受到性能上的伤害。相反，屏蔽布线系统因不在线间串扰，使屏蔽对绞线能够整整齐齐地排列在开放式桥架上，给人们一种美的享受。

根据电磁场理论，当金属桥架孔洞尺寸小于电磁波的波长的  $1/20$  时，桥架对电磁干扰有着一定的屏蔽作用。由于电磁波的频率越高，波长越短，所以金属桥架的屏蔽作用一般都比较低（100MHz 以下）。

布线系统拥有良好的电连续性是系统取得良好 EMC 性能的关键因素之一。同样，位于电磁场中的金属桥架上也会形成噪声，而桥架的系统接地实际上就是让噪声电流通过桥架直接释放大地的过程。只要接地良好，桥架上感应到的电荷将会迅速泄放掉，避免了残留电荷所带来的二次辐射。

当然，随着智能建筑系统中桥架的设计和安装越来越规范，桥架对电磁干扰的直接防护作用也就越来越小。

无论是哪一种金属桥架，都需要进行连通性接地。由于现今的综合布线系统工作带宽已经达到 100MHz 以上，所以最理想的金属桥架接地方案应该是多点接地，即尽量消除累计在金属桥架中的高频感应电荷。基于这一构思，技术桥架接地宜添加附加的接地导线（或接地母线），对每一段桥架进行就近接地。这一种接地方法的另一个好处是避免了常规的桥架互连接地方案中万一有一个接地连接出现故障，后续桥架的接地将会悬浮、抗干扰能力下降的后果。

### 3.6.3 建筑物钢筋的屏蔽作用

在建筑物中，有许多方法可以达到电磁屏蔽的效果。除了金属外壳和外圈，还可以用各种栅栏结构和加金属筋（如在混凝土墙内装钢筋）作为电势屏蔽。

由于国内的建筑物流行框架式结构，建筑物内的钢筋十分密集，事实上形成了对建筑物内的屏蔽效果，根据资料，钢筋网的屏蔽效果可以达到 10~20dB，这就是在建筑物内手机信号减弱、调幅收音机效果不佳的原因。

但是，钢筋的屏蔽效果并不能取代屏蔽布线系统。

由于建筑物中的钢筋呈现网状结构，所以手机信号和收音机信号只是减弱，并非完全消失，因此建筑物内的对绞线仍然有可能受到外部电磁波的干扰，并且可以将电磁波发生到建筑物外，只是信号的强度有所下降。

同时，建筑物的钢筋网还是建筑物避雷的传输体，当建筑物接收到远方的雷电信号时，它会将其辐射给钢筋周围区域，形成新的干扰源。当雷击发生时，由于电荷来不及快速泄放，在这些钢筋的周围会出现“跨步电压”，即因电荷的作用在跨一步的长度范围内就产生了电位差。这个电位差如果作用在综合布线系统上，将会造成不可预见的危害，所以综合布线工程在路由设计时还应设法避开用作避雷接地的钢筋。

所以对于综合布线而言，钢筋网既有屏蔽外界电磁场的能力，也有可能因雷击而收到伤害的可能性。正因为如此，综合布线系统安装在金属桥架和金属电线管中是相对比较安全的。

## 3.7 屏蔽机房

屏蔽机房的电磁屏蔽壁板一般采用 2mm（地面为 3mm）厚的冷轧钢板构建而成，冷轧钢板经折弯成型后，表面喷涂防锈漆后拼焊，形成没有缝隙的六面屏蔽壳体。

### 3.7.1 屏蔽机房的进线方式

为了进线，屏蔽机房的壁板上可根据要求开孔安装波导管，外部的进线均内使用波导管进入屏蔽机房。

铜缆进线应先经过位于屏蔽机房顶部的信号滤波器，再穿过电磁屏蔽壁板进入屏蔽机房。

屏蔽机房进线应参照相关的标准及施工图集进行设计和施工。

### 3.7.2 屏蔽机柜

在弱电间等场所，一般不具备设计成屏蔽机房的条件。这时如果对屏蔽的要求不是很高，也可以考虑将屏蔽机柜作为一种折衷的选择。

当屏蔽机房内的设备足以安装到一个屏蔽机柜内，而且对屏蔽的要求不高时，主配线架也可以考虑使用屏蔽机柜完成，以避免设计和制造屏蔽机房所需要付出的代价。

屏蔽机柜的造型与普通机柜差不多，区别是它的六面（前后、左右、上下）均为厚实的钢板，正面的屏蔽门可以打开。其设计思路接近于屏蔽机房或屏蔽室的设计思路。

在屏蔽机柜的后侧，安装有数十根可以进线的铜制波导管，进出机柜的缆线全部经波导管进入机柜。为了保证屏蔽性能，波导管的数量是有限制的，因此每个屏蔽机柜的对绞线数量不可能与普通机柜一样。

应该说明的是，使用屏蔽机柜时因施工原因往往很难达到高等级的屏蔽要求。所以在布线施工时，对绞线或光缆接入屏蔽机柜的程序必须严格按照屏蔽机柜说明书进行，以免屏蔽性能受到影响。同时设计者应参考屏蔽机柜的说明书，确定所需要达到的屏蔽等级。

屏蔽机柜并不是各机柜厂商都可以生产，只有经过专门认证的机柜才能称之为屏蔽机柜，其造价远远高于普通的综合布线用机柜。



图 3.2 屏蔽机柜外形



图 3.3 屏蔽机柜的进线波导管

## 4 系统技术参数及解释

屏蔽布线系统的链路和信道技术参数中绝大多数与非屏蔽布线系统一样，只是添加了为数不多的几个屏蔽参数。

### 4.1 常规电性能指标

根据综合布线系统的标准，屏蔽与非屏蔽布线系统都要求对性能指标进行测试，这些性能指标中包括：

1. 连接图（WIREMAP），非屏蔽系统为 8 根芯线，屏蔽系统还需添加屏蔽层的连通测试
2. 长度（LENGTH）
3. 插入损耗（INSERT LOSS）
4. 近端串音（NEXT）
5. 近端串音功率和（PS NEXT）
6. 近端衰减串音比（ACR）
7. 近端衰减串音比功率和（PS ACR）
8. 等电平远端串音（ELFEXT）
9. 等电平远端串音功率和（PS ELFEXT）
10. 回波损耗（RETURN LOSS）
11. 传播时延（DELAY）
12. 传播时延偏差（DELAY SKEW）
13. 直流环路电阻（DC LOOP RESISTANCE）

在上述性能参数中，除连通性指标中对于屏蔽布线系统增加了屏蔽层连通测试外，其它性能传输都是相同的。例如，对于近端串音参数，根据 ISO/IEC 11801-2008 Amend.1 的表 7，有典型频率值的信道参数：

频率 MHz	最小信道 NEXT 值（dB）							
	Class A	Class B	Class C	Class D	Class E	Class E <sub>A</sub>	Class F	Class F <sub>A</sub>
0.1	27.0	40.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

频率 MHz	最小信道 NEXT 值 (dB)							
	Class A	Class B	Class C	Class D	Class E	Class EA	Class F	Class FA
1	N/A	25.0	39.1	63.3	65.0	65.0	65.0	65.0
16	N/A	N/A	19.4	43.6	53.2	53.2	65.0	65.0
100	N/A	N/A	N/A	30.1	39.9	39.9	62.9	65.0
250	N/A	N/A	N/A	N/A	33.1	33.1	56.9	59.1
500	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	27.9	52.4	53.6
600	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	51.2	52.1
1000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	47.9

表 4.1 典型频率下的 NEXT 信道参数 (依据 2008 年 4 月 ISO/IEC 11801-2008 amend.1)

需要注意的是,在 Class E 与 Class EA 的各频点之间,参数基本上没有变化,而在 Class EA 与 Class F 之间,出现了明显的变化。同样,在 Class F 与 Class FA 的各频点之间,传输也基本上没有变化。这说明 Class E 与 Class EA 的参数基本上是一根曲线的延伸,Class F 与 Class FA 是另一根曲线的延伸。这一现象说明 Class EA 和 Class F 在制定标准时所依据的产品结构出现了明显的差异。

## 4.2 屏蔽布线工程特有的测试指标

根据国家综合布线系统的工程验收规范及国外相关标准,对于屏蔽布线工程而言,有着一些性能指标是特有的,其中包括:

1. 屏蔽线缆接线图增加了连通性检查
  - 《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311-2007) 要求:屏蔽布线施工“应保持屏蔽层的连续性。”
  - 《综合布线系统工程验收规范》(GB 50312-2007) 中规定:“电缆屏蔽层连通情况”是每条屏蔽电缆的必测项目。
2. 增加了一些有关屏蔽层的性能参数
  - 《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311-2007) 要求:“屏蔽的布线系统还应考虑非平衡衰减、传输阻抗、耦合衰减及屏蔽衰减。”
  - 《综合布线系统工程验收规范》(GB 50312-2007) 中规定:“现场尚无检测手段取得屏蔽布线系统所需的相关技术参数时,可将认证检测机构或生产厂家附有的技术报告作为检查依据”。
3. 对于 6A 类以上屏蔽布线系统,在接地连通性良好的前提下,不必进行线间串音参数的测试。

## 4.3 排除故障时推荐的测试参数

有些与屏蔽布线系统息息相关的技术参数并非综合布线工程所必测的指标(因为与这些

指标相关的工程属于电气工程),但在出现故障时通过对这些参数的测试可以迅速判断故障原因。以下将列出其中的一些参数:

#### 1. 工作区屏蔽层对电源保护地线 AC/DC 电压

《TIA-568-B.1-2 屏蔽对绞线 水平布线 接地与等电位联结规范》5.1 规定:“在工作区水平布线末端,线缆屏蔽层与为设备供电的电源插座接地线间,交流电压有效值(rms)不超过 1.0V,直流电压不超过 1.0V。”

《ISO/IEC 11801:2002(E)》11.3 规定:“网络中任意两个接地体间的电位差不应超过 1Vrms。”

具体测量方法参见 8.4.2。

#### 2. 工作区屏蔽层对电源保护地线回路电阻(具体规定详见 8.3.4 及 8.3.5)

## 4.4 主要的屏蔽层测试参数

数据传输频率在不断提高,而信号电平在不断降低,所以数据信号越来越容易受噪声的影响。对于更高频率的追求,需要在越来越高频率上的 ACR(衰减一串扰比)值保持大于零。ACR 在某种意义上表示了系统的信噪比,但是 ACR 有其局限性,因为它只考虑了数据电缆内部线对之间的相互耦合作用,即近端串扰(NEXT)。而在实际系统中,信噪比越来越受到电缆内部以外的其它噪声源的影响。

布线系统是否符合辐射及抗干扰标准,是人们非常关心的一个问题。对于这个问题的回答已经不单单是技术方面的论证,更多的是出于商务及市场方面的考虑。布线系统本身是无源网络,不会辐射任何噪声,也不会被噪声干扰。所以,EMC 的有关规定(IEC 61000 系列)并不适用于布线系统。但是,一旦布线系统与有源设备相连,布线系统的性能对 EMC 特性有很大的影响,从而影响到系统的抗干扰能力。为了能够将布线系统的抗干扰特性量化,标准化组织做了大量的工作。

因为电缆和接插件都属于无源器件,所以,它们在向外界辐射的同时也会受到外界干扰,二者是相互的。也就是说,当电缆辐射的场与外部入射场相同时,说明电缆内部传输的信号与由外界场耦合到电缆内部的信号是相等的。所以,一个无源网络的电磁性能可以用一个参数来表示,即输入电缆的功率与辐射功率之比。这个参数表示双绞线内部某一对与外界电磁环境之间的隔离度。

### 7.3.1 国际标准 ISO 11801 中的屏蔽层性能参数概述

#### 4.4.1 传输阻抗(Transfer Impedance)

转移阻抗也称转移阻抗,它与屏蔽电缆和连接硬件的屏蔽效率相关,即描述了屏蔽层内表面的共模电压与其外表面电流之间的比值。其数值可通过实验室高频密封箱测量屏蔽插入损耗,计算得出。

在中国,该参数可以在相关国家级检测中心内进行认证测试。

## 4.4.2 耦合衰减 (Coupling Attenuation)

耦合衰减用于描述电缆系统的电磁兼容性能,它被定义为输入功率与近端或远端辐射功率的最大值之比。这个参数的测试与电缆的带宽无关,从 30MHz 测试到 1GHz。

对于屏蔽电缆,耦合衰减测试的是屏蔽与对绞等等抗干扰手段共同作用的 EMC 性能;对于非屏蔽电缆,耦合衰减测试的是电缆的对绞平衡效果,其意义与屏蔽衰减相同。

## 5 产品介绍及特点

简单地说,屏蔽布线系统是包含有屏蔽层的综合布线系统。当然在实际上,屏蔽布线系统是特殊设计的,它的设计原理和制造参数与非屏蔽布线系统有着很大的差异,因为它的核心抗干扰原理已经从对绞转为屏蔽。



图 5.1 具有丝网总屏蔽/铝箔线对屏蔽的 7A 类屏蔽对绞线

### 5.1 屏蔽布线系统的特点

对于工程而言,屏蔽布线系统和非屏蔽布线系统的组成大致相同,包括配线架、线缆、模块、跳线。但对于屏蔽布线系统而言,需要特别注意以下特点:

#### 5.1.1 抗电磁干扰手段中增加了屏蔽原理

根据现在已经公认的数据,在传输速率在 30MHz 以下时,非屏蔽布线系统完全能够满足计算机网络系统传输的要求。但在传输速率继续上升时,由于信号电平不断下降,造成对噪声电平的幅度也随之下降(10M 以太网为 260mV,1000M 以太网为 40mV),同时外界噪声随带宽增加而增加,造成信噪比恶化,使计算机网络系统传输的误码和重发现象增加。由此,屏蔽布线系统的比重逐渐增加,成为一种可供选择的布线产品。

另外,由于商业泄密现象日益加重,人们也希望综合布线系统具有防止信息泄密的功能。其中,防止对绞线上固有的电磁辐射造成泄密成为防范的重点。

屏蔽布线系统拥有着传输线理论中的三大抗干扰手段:对绞、阻抗匹配和屏蔽。它不但在对绞线的 4 对芯线外加装了屏蔽层,同时也在模块上加装了屏蔽层,形成了系列化的屏蔽布线产品。这些产品有机的结合构成了抵御外部电磁干扰和阻止内部信息泄密的屏障。

屏蔽对绞线主要依靠屏蔽原理抵御电磁场的影响。而对绞原理则作为抗电磁干扰的有效手段之一,继续发挥着作用。

## 5.1.2 屏蔽布线产品都有屏蔽层

屏蔽布线系统中，配线架、线缆、模块、跳线等产品都有屏蔽层，为数据传输信道增添一个或几个保护层。

这是因为“全程屏蔽”（参见 3.4.1）的需要，只有链路上的传输器件都有屏蔽层，并实现了良好的连通，才能达到屏蔽布线系统两端接地的优异屏蔽性能。

## 5.1.3 屏蔽系统需要接地

屏蔽线缆在配线架端的端接，必须通过接地导线或者丝网层进行接地。而配线架应连接到机柜的接地系统。

## 5.1.4 屏蔽层测试

屏蔽系统在安装完成进行仪器测试时，还有对屏蔽层连通性的测试，以保证系统的屏蔽完整性，在测试报告中单独列出来。

超六类以上的屏蔽布线系统只要屏蔽接地良好，可以确保线间串扰（ANEXT）指标合格。

## 5.2 各种类型的屏蔽对绞线特点

由于金属物体之间存在分布电容，对绞线中的任何线对在遇到金属物体（屏蔽层、金属桥架、金属电线管等等）时，都会造成原有分布电容改变，进而引起衰减、特性阻抗变化等等现象。在屏蔽对绞线设计过程中已经考虑到这个因素，通过工艺手段加以补偿，确保屏蔽对绞线的各项参数符合标准。

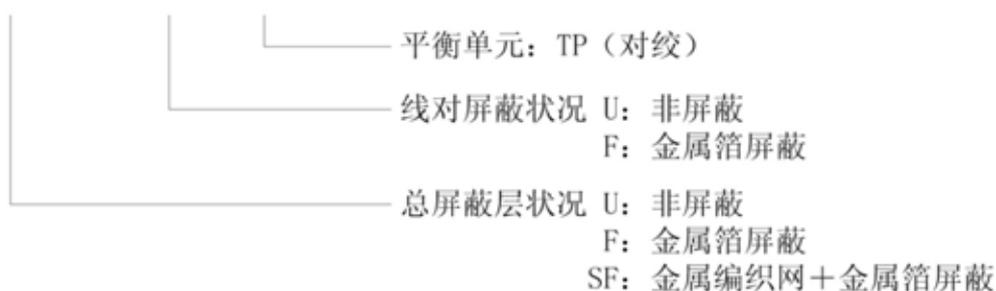
屏蔽对绞线由于屏蔽层的存在，相当于在 4 对对绞芯线周围人为地制造了对称的金属层，与外界隔离，保证了双绞线的平衡特性不受电缆外部环境的影响。所以，在安装时不必考虑电缆周围是否存在金属或隐蔽的地。

### 5.2.1 国家标准中屏蔽对绞线的命名规则

现在的屏蔽双绞线中的屏蔽层结构分为两大类：总屏蔽技术（在 4 对芯线外总的添加屏蔽层）和线对屏蔽技术（在每个线对外添加屏蔽层），而线对屏蔽技术与总屏蔽技术相组合，在加上屏蔽材料的变化，就形成了各式各样的屏蔽对绞线。

为了规范屏蔽对绞线的命名，在 2002 年 10 月颁布的综合布线系统国际标准（ISO/IEC 11801-2002）中提供了屏蔽对绞线的命名规则。同时也作为举例，对 5 种常见的对绞线类型进行了命名，在 2007 年颁布的中国布线标准（GB 50311-2007）中也采用了这套命名体系：

XX / X TP



其中，金属箔一般为铝箔。金属编织网一般为铜编织网。

在命名规则中，非屏蔽对绞线与屏蔽对绞线是等同看待的，均使用“平衡线缆”来统称所有的对绞线，而用不同的字母（U、F、S）去区分各种屏蔽类型。例如：U 为非屏蔽、F 为铝箔屏蔽、S 为丝网屏蔽，并使用“/”区分是在四对芯线外进行屏蔽，还是在每对芯线上进行屏蔽。

### 5.2.2 常见屏蔽对绞线的种类

为了说明命名规则，在 ISO/IEC 11801-2002 中，对 5 种常见的对绞线类型进行了命名：

对绞线缩写	对绞线正文名称	示意图
U/UTP	非屏蔽对绞线	<p>U/UTP 线缆外皮 线对 导线</p>
F/UTP	铝箔总屏蔽对绞线	<p>F/UTP 线缆外皮 铝箔屏蔽 线对 导线</p>

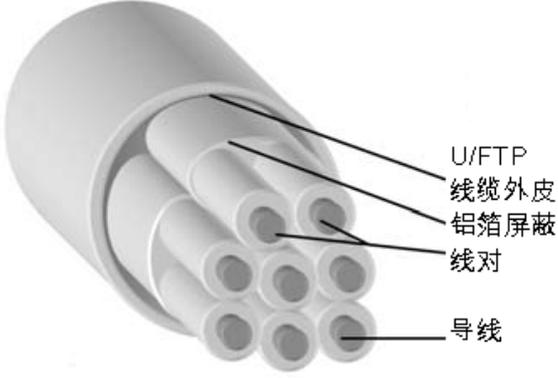
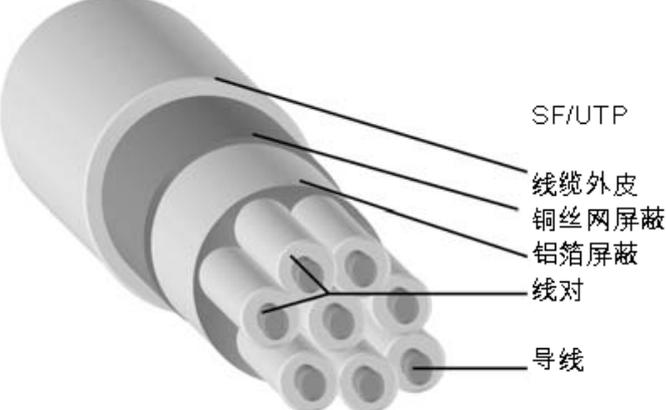
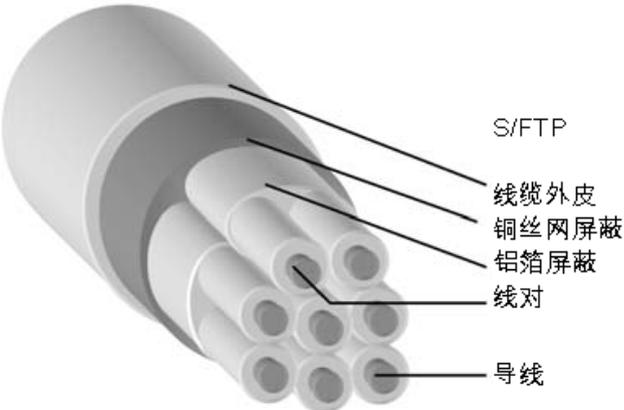
对绞线缩写	对绞线正文名称	示意图
U/FTP	铝箔线对屏蔽对绞线	 <p>U/FTP 线缆外皮 铝箔屏蔽 线对 导线</p>
SF/UTP	丝网+铝箔总屏蔽对绞线	 <p>SF/UTP 线缆外皮 铜丝网屏蔽 铝箔屏蔽 线对 导线</p>
S/FTP	丝网总屏蔽/铝箔线对屏蔽对绞线	 <p>S/FTP 线缆外皮 铜丝网屏蔽 铝箔屏蔽 线对 导线</p>

表 5.1 5 种在 ISO 11801 中图示的对绞线

根据命名规则，还可以引导出其他一些类型的屏蔽对绞线。如：

- ☞ F/FTP：铝箔总屏蔽/铝箔线对屏蔽对绞线
- ☞ SF/FTP：丝网+铝箔总屏蔽/铝箔线对屏蔽对绞线

而F<sup>2</sup>TP对绞线则可以归入F/UTP对绞线之中。

这些对绞线的主要屏蔽特性和应用带宽如表 5.1 所示：

缩写代号	U/UTP	F/UTP	U/FTP	SF/UTP	S/FTP	F/FTP	SF/FTP
------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	--------

缩写代号	U/UTP	F/UTP	U/FTP	SF/UTP	S/FTP	F/FTP	SF/FTP
正文名称	非屏蔽对绞线	铝箔总屏蔽对绞线	铝箔线对屏蔽对绞线	丝网+铝箔总屏蔽对绞线	丝网总屏蔽/铝箔线对屏蔽对绞线	铝箔总屏蔽/铝箔线对屏蔽对绞线	丝网+铝箔总屏蔽/铝箔线对屏蔽对绞线
带宽	3类	有	有				
	超5类	有	有		有		
	6类	有	有	有	有	有	
	超6类	有	有	有	有	有	有
	7类					有	有
	超7类					有	有
	8类*					有	
集束式缆线	5类以下				可达7A类		
主要抗干扰手段	对绞+距离隔离	屏蔽+对绞	屏蔽+对绞	双介质屏蔽+对绞	双介质屏蔽+对绞	屏蔽+对绞	双介质屏蔽+对绞
磁场干扰	有效	有效	有效	有效	有效	有效	有效
电场干扰	无效	有效	有效	有效	有效	有效	有效
一字隔离	可以采用	可以采用	不必采用	可以采用	不必采用	不必采用	不必采用
十字隔离	可以采用	可以采用	不必采用	可以采用	不必采用	不必采用	不必采用
抗外部干扰	弱	有	有	强	强	较强	强
抗线对干扰	有	有	强	有	强	强	强
线间干扰	需检测	接地良好时不必检测					
绞距不均匀的影响	存在	电磁性能基本不受影响					
接地导线		需要		不需要		需要	不需要
平行布线	不希望	允许					
无需考虑附近金属影响	需要考虑	不需要考虑					
孔洞效应	不存在			基本上不影响			不影响
铝箔层破损		局部影响		不影响		局部影响	不影响
接地线断裂		铝箔层也同时断裂则失去屏蔽效果		不影响		同U/FTP	不影响
二次辐射	不存在	接地良好时影响很小（仅受残留电荷的影响）					
接地电位要求		$\leq 1V$					
屏蔽层端接要求		铝箔屏蔽层与接地线一起端接		仅丝网端接,铝箔层可以剪去		同U/FTP	同S/FTP

\* 8类为某些欧洲厂商自定义的带宽等级,通常指超过1500MHz的对绞线。

表 5.2 常见屏蔽对绞线的电磁特性及应用带宽

### 5.3 屏蔽模块

屏蔽模块是安装在面板和屏蔽配线架中的连接件。它在信息传输部分的结构与非屏蔽模块的结构一致,所以它的传输性能与非屏蔽模块的传输性能完全相同。

屏蔽模块与非屏蔽模块的外形差异在于它多了一个屏蔽外壳:它通过屏蔽外壳将外部电

磁波与内部电路完全隔离。因此它的屏蔽层需与对绞线的屏蔽层连接后，形成完整的屏蔽结构。

对于模块而言，屏蔽外壳是防护电磁干扰的屏障，其屏蔽材料有铝、铜、塑料镀铜等几类。屏蔽外壳的造型、厚度和品质直接影响屏蔽模块的抗电磁干扰性能。出于使用的目的，在端接完毕后，屏蔽外壳完全包裹了屏蔽模块的 5 个面，只有模块正面没有全部封闭（通过屏蔽跳线封闭）。

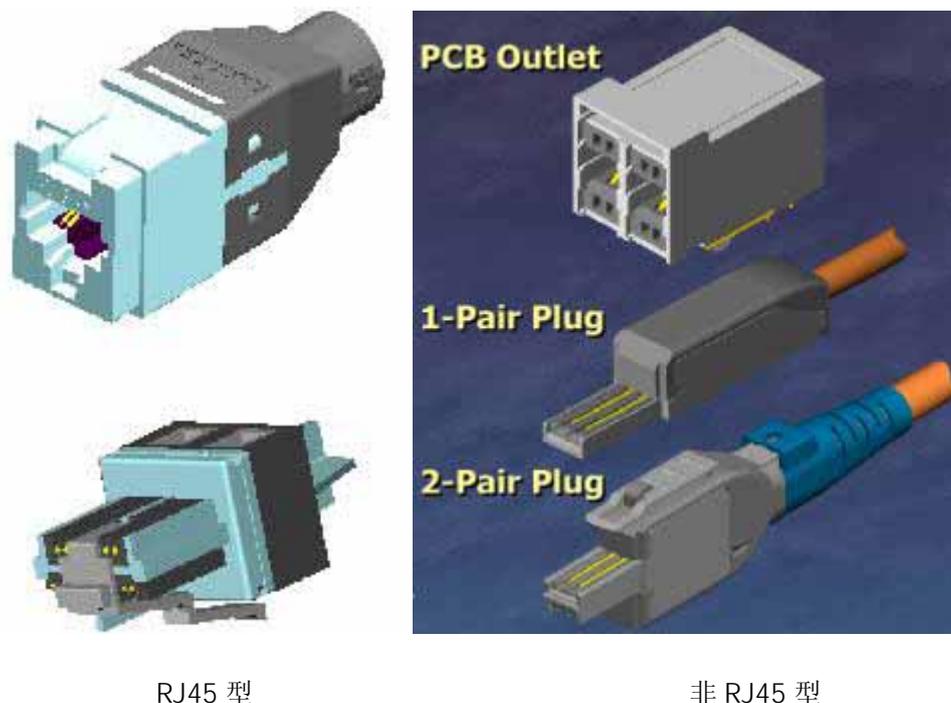
与非屏蔽模块一样，屏蔽模块的传输性能等级是与屏蔽对绞线相对应的。如表 5.1 所示。

传输等级	传输带宽	非屏蔽产品		屏蔽产品	
		对绞线	模块	对绞线	模块
Cat. 5e	100MHz	有	有	有	有
Cat. 6	250MHz	有	有	有	有
Cat. 6A	500MHz	有	有	有	有
Cat. 7	600MHz			有	有
Cat. 7A	1000MHz			有	有
更高级别	1200MHz			有	

表 5.3 对绞线与模块的传输性能一览表

### 5.3.1 RJ45 型屏蔽模块与非 RJ45 型屏蔽模块

屏蔽模块分有 RJ45 型和非 RJ45 型两大类。根据 IEC 60603 标准，RJ45 型模块可以支持 250MHz 的传输带宽，而 500MHz 的超 6 类布线系统已经使用了 RJ45 型模块。而非 RJ45 型模块因其四个线对分别位于模块的四个象限，并在四个线对之间添加了金属隔离体，切断了芯线之间的电磁耦合，因此它可以支持 1000~1200MHz 的传输带宽。



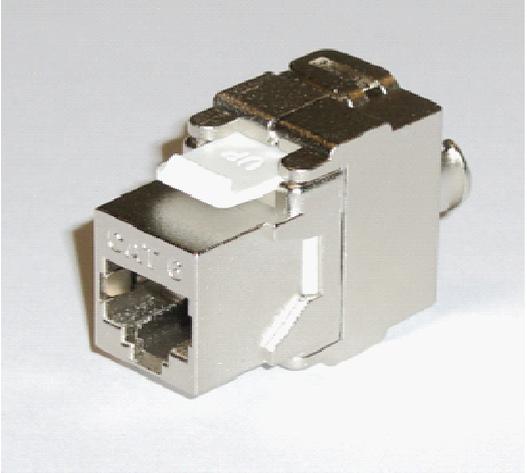
RJ45 型

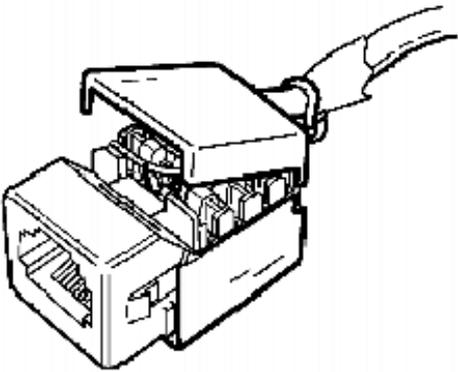
非 RJ45 型

图 5.3 RJ45 型模块与非 RJ45 型模块示意图

### 5.3.2 屏蔽模块的名称及外形示意图

屏蔽模块的种类很多，其中常见的屏蔽模块有：

种类	名称及说明	屏蔽模块示意图
RJ45 型 模块	CS 型屏蔽模块：一种含螺丝安装孔的一体化屏蔽模块，铸造型壳体	 <p>A white, rectangular, cast metal shielded RJ45 module with two side handles and a central RJ45 port opening.</p>
	KeyStone 型屏蔽模块：一种 KeyStone 造型的 RJ45 型 8 芯屏蔽信息接口，目前可以达到的物理带宽为 250MHz。	 <p>A small, rectangular, shielded RJ45 module with a white plastic insert and a metal shield housing.</p>
	MAX 型屏蔽模块：一种符合 KeyStone 安装尺寸要求的 RJ45 型 8 芯免工具屏蔽信息接口，目前可以达到的物理带宽为 250MHz。	 <p>A small, rectangular, shielded RJ45 module with a white plastic insert and a metal shield housing, similar to the KeyStone type but with a different internal design.</p>

种类	名称及说明	屏蔽模块示意图
	<p><b>MFP 型屏蔽模块：</b>一种 RJ45 型屏蔽模块，目前可以达到的物理带宽为 250MHz。屏蔽壳体可分为上、下两部分分别安装。</p>	
	<p><b>MS 型屏蔽模块：</b>一种 Module 造型的 RJ45 型 8 芯屏蔽信息模块，目前可以达到的物理带宽为 250MHz。铸造型壳体</p>	
	<p><b>MS-K 型屏蔽模块：</b>一种符合 KeyStone 安装尺寸要求的 RJ45 型 8 芯屏蔽信息接口，目前可以达到的物理带宽为 500MHz。铸造型壳体</p>	
	<p><b>Z-MAX 屏蔽信息模块：</b>一种快接式 RJ45 型屏蔽模块，可以借助于工具在 1 分钟内完成端接</p>	

种类	名称及说明	屏蔽模块示意图
非 RJ45 型 模块	ARJ45 型屏蔽模块：一种非 RJ45 接插件的 8 芯信息接口，最大物理带宽为 1000MHz，与 GG45 的非 RJ45 排列兼容	 A photograph of an ARJ45 shielded module, which is a metal connector with a blue RJ45 plug inserted into it. The background is orange.
	GG45 型屏蔽模块：一种可以同时兼容 RJ45 接插件和非 RJ45 接插件的 8 芯信息接口，最大物理带宽为 1000MHz。铸造型壳体	 A photograph of a GG45 shielded module, a metal connector with a white RJ45 plug inserted into it. The background is white.
	TERA 型屏蔽模块：一种非 RJ45 型的 8 芯信息接口，最大物理带宽为 1200MHz	 A photograph of a TERA shielded module, a metal connector with a black RJ45 plug inserted into it. The background is white.

表 5.4 常见屏蔽模块一览表

### 5.3.3 屏蔽模块的屏蔽性能初判

在屏蔽产品中，各种各样的屏蔽模块造型层出不穷。在本白皮书中将不对屏蔽模块的结构进行分析，只是提供几个基本的视觉性能作为初步判别依据：

1. 屏蔽层越厚则屏蔽性能越高（并非成正比）；
2. 屏蔽外壳上的缝隙、孔洞越少越小则屏蔽性能越好；
3. 尺寸小，以满足高密度安装的需要。

还有一类屏蔽模块的壳体十分坚硬、牢固，它们可以同时兼作机械防护之用。

应该说明的是：以上判别依据仅是在没有仪器设备时，凭借肉眼判别时使用的方法，正确的答案应该是使用仪器进行屏蔽性能测试后做出。

## 5.4 屏蔽配线架

屏蔽配线架与非屏蔽配线架的外形基本一样，其最大区别是屏蔽配线架上具有汇流条和接地配件，它可以将屏蔽模块的金属壳体联结在一起，当配线架接地时，屏蔽模块的金属壳体通过汇流条接地，形成了所有屏蔽模块、整个配线架的良好接地连接。

现代大多数的屏蔽配线架大都属于模块化配线架，即采用屏蔽模块+配线架（空架）的结构。这时的屏蔽模块可以与面板中使用的屏蔽模块相互通用，有助于提高制造厂商的生产批量。

屏蔽配线架的背面（或托线架上）都配有接地桩和接地螺丝，用于屏蔽配线架使用接地导线进行接地。

## 5.5 屏蔽跳线

屏蔽跳线是屏蔽布线系统中的重要组成部分，根据屏蔽布线系统的全程屏蔽理论，对于屏蔽布线系统必须使用屏蔽跳线，否则将达不到预期的屏蔽效果。

由于屏蔽模块的种类分有 RJ45 型和非 RJ45 型两类，造成屏蔽跳线的种类分为三类：

1. RJ45 型 - RJ45 型
2. RJ45 型 - 非 RJ45 型
3. 非 RJ45 型 - 非 RJ45 型

## 5.6 集束式屏蔽双绞线与预端接铜缆

由于数据中心的特殊性，预端接缆线（包括预端接光缆和预端接铜缆）在数据中心中的应用需求十分普遍。其中预端接光缆早已广泛应用，而预端接铜缆则由于线间串扰的原因，至今已经出现了高达 7A 类等级的屏蔽产品（6 口、12 口和 24 口）和 5 类以下等级非屏蔽产品（6 口和 12 口）。由于数据中心水平子系统往往要求采用 6 类、6A 类以上等级的产品，所以屏蔽预端接铜缆（采用集束型屏蔽双绞线）将成为预端接铜缆中的首选。它可以在数据中心内形成快速添加和更换水平缆线的的能力，是形成与预端接光缆相配套的预端接铜缆产品的基础。

集束式屏蔽双绞线是利用屏蔽层保护原理而将多根 4 对 8 芯屏蔽双绞线群绞成一根电缆而成。集束式屏蔽双绞线中每根屏蔽双绞线的屏蔽层可以确保双绞线不会受到线间串扰的影响。



图 5.4 集束式屏蔽双绞线

由于弯曲半径的影响，1 根集束式屏蔽双绞线目前可以容纳 6 根、12 根或 24 根屏蔽双绞线。

集束式屏蔽双绞线主要用于制造预端接铜缆，以弥补数据中心的水平子系统中没有高带宽等级的预端接铜缆的不足。

预端接铜缆可以与预端接光缆一起，快速敷设在机柜之间，高效率地完成数据中心内的缆线敷设工作。



图 5.5 6A 及 7 类预端接铜缆

## 5.7 屏蔽布线系统的配套设备

屏蔽布线工程同样需要一些不参加信息传递的布线产品。其中包括：

- 面板和地面插座盒
- 跳线管理器
- 机柜
- 接地线
- 端接工具

以上产品基本上可以沿用非屏蔽布线工程中的技术要求，只是对机柜和接地线应提出更进一步的技术要求。

### 5.7.1 屏蔽布线工程对机柜的要求

屏蔽布线系统对机柜的要求分两部分：

- 不考虑对有源设备的屏蔽保护时

如果不考虑对设备的屏蔽效果，屏蔽布线系统对机柜的要求不高。屏蔽布线系统自身对机柜的要求是：

- ☞ 具有良好的接地连接。例如：接地铜排或接地母线。

☞ 在机柜内电源系统和灯光系统的电磁辐射对屏蔽布线系统的影响小。

➤ 考虑对有源设备的屏蔽保护

屏蔽布线系统不能对有源设备（如：网络设备）进行屏蔽保护，如果应用需要对有源设备进行屏蔽保护，就需要使用屏蔽机柜，或将机柜放进屏蔽机房内。

目前，屏蔽机柜不是屏蔽布线系统考虑的范围，它的构造及用途可以认为是一个小型化的、中低档次的屏蔽机房。

对综合布线领域中，存在这各种各样的机柜。可以说，如果要求不高，任何机柜都可以使用，但是如果有电磁兼容性、美观、方便等方面的要求，则需要对机柜提出相应的要求。例如：

- 要求机柜中的各金属部件（包括金属门）都要进行接地连接。
- 在机柜后侧自下而上设铜条制成的接地母线。如果做不到，则应在机柜内设接地铜排。
- 电源插座不应横担在机柜中央，而是让它垂直安装在机柜的一侧，一方面便于网络设备就近接电，另一方面，将电源插座与对绞线之间保持安全距离。
- 电源插座最好是安装在接地的金属电源线槽中，而电源进线应该套上金属软管。
- … … …。

## 5.7.2 接地线的选用

接地线十分简单，几乎没有人会重视它。但对于屏蔽布线系统而言，它又是非常地关键，因为它出现故障或选型不当，会给屏蔽效果带来相当大的影响。

现在的综合布线系统带宽都在 100MHz 以上，有时甚至会达到 1000MHz，这时在接地导线上传输的感应电流就频率就会达到 100MHz 乃至 1000MHz。对于屏蔽布线系统而言，屏蔽对绞线和屏蔽模块上感应到的电荷应通过接地导线尽快泄放掉，以免残留电荷引起二次辐射干扰，造成抗干扰下降。

因此屏蔽布线系统中最理想的接地导线有以下要求：

- 传导速度快：这就要求使用铜制导线，充分利用铜的导电性能。
- 电阻小：这包含两方面的要求，其一是导线的截面积要大，最好是采用 6 平方毫米以上的导线；其二是高频电阻要小，根据趋肤效应原理，在高频情况下，电流主要是经导体的表面传递，所以尽量增加接地导线表面积，将会大幅



图 8.4 机柜内的接地导线

度的降低高频电阻。

根据这两项要求，在屏蔽布线系统中推荐使用  $6\text{mm}^2$  的网状编织铜导线，利用它的截面积降低电阻率，利用它的编织结构所构成的表面积提高高频电流的传输能力。如果对接地要求很高，还可在其表面镀银，以减小导线的表面电阻率，因而达到减小接地线高频阻抗的目的。

需要注意的是，市售编织导线基本上都是裸线，需要同时购买塑料套管，人为地套在编织导线外，为编织导线添加绝缘层。

## 6 安装设计和施工要点

屏蔽布线系统的特点是设计是需要考虑的因素比较多，一旦设计能够符合现场的实际情况，施工时的难度就会变得很低，因为屏蔽布线系统的链路性能不会因周边的电磁特性而产生波动。

在综合布线的设计和施工中，为了提高系统的 EMC 性能，除了选择正规品牌的综合布线产品，安排专业的施工队伍进行施工以外，综合布线系统的屏蔽和接地也相当重要。

### 6.1 屏蔽施工的基本原则

屏蔽布线系统的施工有几个必须遵守基本原则：

- 严格按照国标 GB 50312-2007 所制定的规程进行施工；
- 轴装线放线时使用支架；
- 端接时缆线的屏蔽层呈 360 度封闭屏蔽模块的缆线进线口；
- 铝箔屏蔽双绞线端接时要将接地导线与铝箔层一起与屏蔽模块壳体完成端接；
- 含丝网的屏蔽双绞线端接时可以剪去铝箔层，仅丝网与屏蔽模块的壳体完成端接；
- 接地系统要求完整无缺、没有松动的可能性；
- 工作区的面板以及其中所安装的模块不需要就近接地。

### 6.2 屏蔽布线产品对施工的帮助

屏蔽布线系统与非屏蔽布线系统的主要施工差异主要在于端接和接地。屏蔽布线系统比非屏蔽布线系统多一步屏蔽端接工序。而其接地的可靠性要求比非屏蔽布线系统更高（非屏蔽布线系统也应接地）。

- 屏蔽系统的端接难度取决于产品本身，即产品的研发设计时是否考虑了 360 度全

程屏蔽的接地端接工艺并简化了端接时的难度。

- 好的屏蔽布线产品其施工工艺难度很低,因为屏蔽模块的端接仅比非屏蔽模块多了一道屏蔽层端接工序,只要屏蔽模块的屏蔽层结构合理,屏蔽层端接可以很快完成。
- 布线系统的接地重点在于工程设计和与机电工程的配合,并非是布线系统内的工艺质量。

在屏蔽布线系统中,模块和配线架均已考虑了接地的问题,因此屏蔽对绞线与它们连接不应是困难的事情。在弱电工程的施工人员已经能够从事弱电行业其它子系统的屏蔽和接地施工的今天,屏蔽布线系统的施工早已不在是困难的事情。

## 6.3 施工前的工程准备检查

在工程实施之前,施工方应自行对综合布线产品进行相关的测试和评估,以把握材料的特性和各工作阶段的质量。例如:

### 6.3.1 屏蔽对绞线的端接工艺分析

察看所用屏蔽对绞线的屏蔽材料的特性,为端接做好准备:

- 柔韧性:屏蔽材料应可以翻转而不断裂。如果整张铝箔翻转会引起裂口,则应考虑将整张铝箔纵向分割成2~3瓣,分别翻转。
- 剪去铝箔的方法:在含有丝网的屏蔽对绞线中,端接时需要剪去其中的铝箔。需确定最方便可行的方法。例如:在铝箔上剪一个小口,用手轻轻撕去铝箔……。
- 在屏蔽模块上固定屏蔽对绞线的方法:每一种屏蔽模块都有其固定屏蔽对绞线的方法、接地连接的方法和封闭进线口的方法,需要在端接前确定。

### 6.3.2 屏蔽配线架的接地方式检查

检查所用屏蔽配线架的接地方式和接地桩位置,以便找到最快捷、有效、可靠的方法完成配线架接地。

### 6.3.3 汇流排测试

在使用一个重未使用过的屏蔽配线架前,应检查屏蔽配线架的汇流排。在配线架上每个模块的接地必须良好,当使用配线架作为接地汇接排时,应使用仪器检测配线架与模块、机柜之间的接地阻抗是否符合规范。

## 6.4 穿线施工中的注意事项

屏蔽布线工程并不复杂,甚至有些施工人员都认为屏蔽布线系统的工程测试合格率高于非屏蔽布线系统。当然屏蔽布线系统相当于非屏蔽布线系统而言,在施工上还是有差异的。除了与非屏蔽布线工程相通的穿线、理线、端接、测试和管理外,屏蔽布线工程还需要关注以下施工要点:

### ➤ 线轴放线

对于轴装线,建议使用线架将线架空后再放线,以免双绞线相互缠绕或打圈。

### ➤ 弯曲半径

根据 GB 50312-2007 的规定,屏蔽对绞线的弯曲半径为对绞线外径(缆径)的 8 倍,而非屏蔽对绞线的弯曲半径为缆径的 4 倍。这一差异意味着桥架和电线管的弯角处需特别注意。

在工程中,应根据所用屏蔽对绞线的外径确定桥架和电线管的尺寸,以免造成穿线困难。

### ➤ 屏蔽模块的端接

屏蔽模块内 8 芯对绞线芯线的端接工艺与非屏蔽模块完全一样,比非屏蔽模块多出的是屏蔽模块的屏蔽层要与屏蔽对绞线的屏蔽层端接成一体。

### ➤ 屏蔽配线架的接地

对于模块与架体独立的配线架结构,屏蔽模块不可以使用非屏蔽配线架,否则屏蔽模块的接地将无法实现,导致整个屏蔽链路的接地失败。

在屏蔽配线架上,都有接地桩,接地导线只要将它与机柜内的接地铜排或接地母线连接,就完成了配线架的接地。

### ➤ 机柜接地

机柜接地是用接地导线将机柜地连接到机房(包括弱电间)的接地桩上。

根据工程监理的要求,非屏蔽布线系统的机柜也要接地。只是屏蔽布线系统的机柜接地意义更大些,因为机柜接地的质量直接关系到整个机柜内屏蔽链路的接地效果。

### ➤ 屏蔽链路(或信道)的性能测试

在测试仪设置时,应将链路(或信道)选择为屏蔽。其它与非屏蔽链路(或信道)的测试方法一样。

## 6.5 各种屏蔽对绞线与屏蔽模块的端接方法

屏蔽模块要与屏蔽对绞线端接成一体，才能发挥作用。这其中包括与非屏蔽一样的芯线端接，也包含屏蔽层端接。

由于屏蔽模块的芯线端接方法与同类非屏蔽模块的端接方法完全一样，在这一节中将只讨论屏蔽层的端接方法，并忽略为达到端接后造型美观所需要在端接工程中做的工作：

### 6.5.1 基本的端接要求

根据 GB 50312-2007 和 EN 50174.2-2001，有三条针对屏蔽模块与屏蔽对绞线端接的要求：

- 屏蔽对绞电缆的屏蔽层与连接器件终接处屏蔽罩应通过紧固器件可靠接触，缆线屏蔽层应与连接器件屏蔽罩 360°圆周接触，接触长度不宜小于 10mm。屏蔽层不应用于受力的场合。
- 使用铝箔屏蔽对绞线时，铝箔与接地线要同时与模块的屏蔽层相端接。



图 6.1 翻转后的铝箔完全覆盖了整个护套，不留任何缝隙

- 使用含丝网的屏蔽对绞线时，铝箔层可以剪去，仅留丝网与模块的屏蔽层相端接。

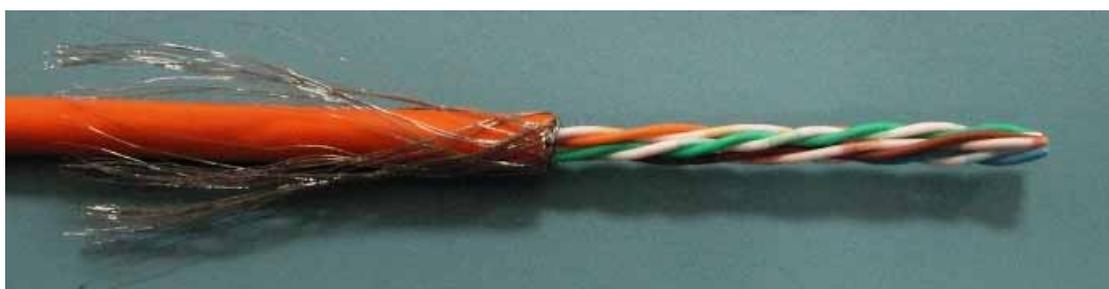


图 6.2 丝网层翻转后均匀覆盖在护套外

- 在端接后，注意检查端接点附近是否有丝网或铝箔。如果有则全部清除，以免造成芯线对地短路。

### 6.5.2 端接前的准备工作

在端接前有三道工序要做：

1. 剥去对绞线的护套，是端接前必不可少的准备工作之一：使用专业剥线刀剥离屏蔽对绞线的外皮，避免剥离外皮时将铜网或铝箔切断。
2. 在第一次端接前，应检查所用屏蔽对绞线的结构，如果是铝箔屏蔽对绞线，应确定它的铝箔导电面是在哪一面，以此选用适当的屏蔽层端接方法。
3. 认真查看屏蔽模块所附安装说明书，并与所用屏蔽对绞线的结构进行比对，确定准备采用的屏蔽层端接方式。

### 6.5.3 屏蔽层端接工序

屏蔽层端接是指双绞线的屏蔽层与模块屏蔽壳体之间的端接过程。

由于常见的屏蔽双绞线种类多达 7 种，屏蔽模块的种类更多，而且还将随着技术的发展层出不穷。由于这个端接工序是芯线端接与屏蔽层端接同步完成的，所以在这一部分将举例说明屏蔽层端接的方法：

1 铝箔总屏蔽双绞线 (F/UTP) 与 180 度 KeyStone 屏蔽模块

➤ 端接前的屏蔽层处理

☞ 保留铝箔和接地线，用于屏蔽层端接

☞ 铝箔往往只



有一面是导电面（一般为内侧），将其导电面向外覆盖在护套表面，接地线平行放在导电面上（或缠绕在铝箔外）；铝箔



层较薄，容易在施工中撕裂，在展开时要小心。如发生撕裂，最好剥除外皮重新端接，避免屏蔽层测试不通过的情况

- 。将屏蔽壳体套在双绞线上。
- 芯线端接
  - 。根据模块上的色标完成芯线端接。
  - 。将端接后的屏蔽线转至模块后部。
- 屏蔽层端接
  - 。将端接后

屏蔽双绞线放在屏蔽模块后侧的接地条上，注意用护套外裹的铝箔屏蔽层将接地线压在接地条上。前推屏蔽壳体至锁



住为止。  
用附带的尼龙扎带将双绞线与接地条固定成一体。  
剪去尼龙扎带外侧多余的铝箔。  
用屏蔽模块附带的铜箔将



<p>出线孔完全封闭。</p>	
<p>2 线对屏蔽双绞线 (U/FTP) 与 MS 屏蔽模块</p> <p>➤ 端接前的屏蔽层处理</p> <p>☞ 保留铝箔和接地线，用于屏蔽层端接。</p> <p>☞ 铝箔的外侧为导电面，保留一截在芯线</p>	

外，接地线平行放在导电面上（或缠绕在铝箔外）。铝箔导电面保持一截在芯线外，导电面向外。



➤ 芯线端屏蔽层安装模块端  
屏蔽层接



接说明完成芯线摆放，并剪去多余的芯线。



芯线端接完毕后，将模块上盖压入模块凹槽内（端接）。

注意事项：

- 1 导电面模利用模块内的三条金属加强筋与屏蔽线屏蔽

<p>层保持良好接触,保证全方位屏蔽,不能留有空隙。</p> <p>2 铝箔层较薄,容易在施工中撕裂,在展开时要小心。如发生撕裂,最好剥除外皮重新端接,避免屏蔽层测试不通过的情况。</p>	
<p>3 丝网+铝箔总屏蔽双绞线(SF/UTP)与GG45模块</p> <p>➤ 端接前的屏蔽层处理</p> <ul style="list-style-type: none"><li>☞ 保留丝网,剪去铝箔;</li><li>☞ 将丝网翻转后均匀</li></ul>	

<p>覆盖在护套表面</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 芯线端接</li> <li>☞</li> <li>➤ 屏蔽层端接</li> <li>☞</li> </ul> <p>注意事项：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 丝网要起到360度封闭模块进线口的作用。</li> <li>2 屏蔽层的金属丝应全部翻转，不能有一根金属丝混在芯线中。</li> </ol>	
<p>4 丝网总屏蔽/铝箔线对屏蔽双绞线 (S/FTP) 与 TERA 模块</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 端接前的屏蔽层处理</li> <li>☞ 保留丝网，剪去铝箔。</li> <li>☞ 将丝</li> </ul>	

<p>网翻转后均匀覆盖在护套表面。</p> <p>➤ 芯线端接 ☞ 根据模块端接说明书完成芯线端接。</p> <p>➤ 屏蔽层端接 ☞ 在芯线端接完毕后，将TE R A模块的上</p>	
--	--

<p>下盖合拢；将早已穿在双绞线上的护套前推，锁住上下盖的尾部；剪去多余的铝箔。</p> <p>☞</p> <p>☞</p> <p>注意事项： 屏蔽层的金属丝应全部向后翻转，不能有一根金属丝向前混在芯线中。</p>	
<p>5 双层铝箔总屏蔽双绞线(F2TP)与。。。</p> <p>➤ 端接前</p>	

的屏蔽层处理

☞ 外层铝箔（导电面为内侧）翻转后覆盖在护套外。

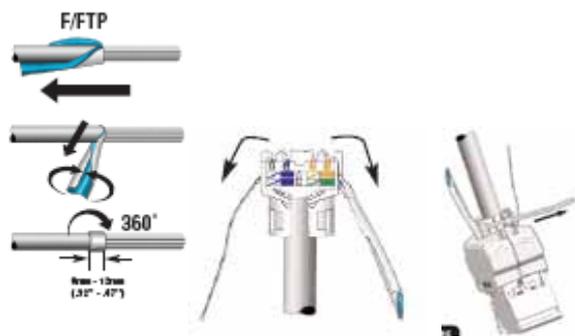
☞ 剪去内层铝箔，接地线平行放在导电面上（或缠绕在铝箔外）。

- 芯线端接
- ☞
- 屏蔽层端接
- ☞

注意事项：  
铝箔层较薄，容易在施工中撕裂，在展开时要小心。如发生撕裂，最好剥除外皮重新端接，避免屏蔽层测试不通过的情况。

6 铝箔总屏蔽/铝箔线对屏蔽双绞线 (F/FTP) 与 MAX 模块

- 端接前的屏蔽层处理
- ☞ 总屏蔽铝箔（导电面在内侧）翻转后覆盖在护套外。



剪去各线对外的铝箔。  
接地线平行放在导电面上（或缠绕在铝箔外）。  
芯线端在端接前，将接地导线与屏蔽层分从后盖中

<p>心的走线槽向两边分出。根据模块说明书完成芯线端接</p> <p>➤ 屏蔽层端接</p> <p>端接完毕后，合拢两侧的屏蔽壳体，用尼龙扎带锁紧；剪</p>	
---	--

<p>去暴露在壳体外的接地到线和屏蔽层。</p> <p>注意事项： 铝箔层较薄，容易在施工中撕裂，在展开时要小心。如发生撕裂，最好剥除外皮重新端接，避免屏蔽层测试不通过的情况。</p>	
<p>7 丝网+铝箔总屏蔽/铝箔线对屏蔽双绞线 (SF/FTP) 与 ARJ45 模块</p> <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 端接前的屏蔽层处理<ul style="list-style-type: none"><li>☞ 保留丝网，剪去铝箔。</li></ul></li></ul>	

<p>将 丝 网 翻 转 后 均 匀 覆 盖 在 护 套 表 面 。</p> <p>注意事项： 屏蔽层的金属丝应全部翻转，不能有一根金属丝混在芯线中。</p>	
---	--

表 6.1 屏蔽层端接举例

## 6.6 屏蔽布线系统的接地施工

在屏蔽布线工程中,真正归属综合布线施工方完成的接地施工有屏蔽配线架的接地和机柜接地。其它接地工作均有电气施工方完成。

### 6.6.1 屏蔽配线架的接地

屏蔽配线架通常是金属结构,屏蔽模块通过屏蔽配线架的接地汇流条达到接地效果。屏蔽配线架上都有 1 个或 2 个接地柱,用于连接接地导线。

每个配线架的接地柱都应分别连接到机柜接地排或机柜的接地母线,多个配线架与机柜接地排组成星形结构。而菊花链形式的互连在产生接地故障时,容易殃及多个屏蔽配线架。

配线架和机柜接地排之间的接地导线应不小于  $4\text{mm}^2$ , 推荐的导线截面积为  $6\text{mm}^2$ 。

接地导线的两端应使用电工常用的冷轧焊片, 以免线头散开引起短路或接触不良;

屏蔽配线架尽量不要采用机柜作为接地通道。因为常用机柜的各个部件多采用螺丝连接, 有些部件还可能喷漆, 因此没有必要冒接地状态不良的风险。

## 6.6.2 机柜接地

屏蔽布线系统的机柜有两种接地构造，一是在机柜的底部安装接地铜排，而是在机柜的后侧垂直安装一根铜制接地母线。机柜使用独立的接地导线将接地铜排（或母线）连接到弱电间（电信间）的接地铜排上，使各个机柜之间的接地形成星型接地结构，接地电压差不高于 1V r.m.s。

机柜接地排与上述任一情况之间的接地导线应为 6 mm<sup>2</sup> 以上，为了提高高频干扰信号的泄放能力，接地导线建议采用网状编织导线，以更大的表面积满足高频电流的趋肤效应需求。

当机柜采用接地排方式时，接地排的尺寸应可以合理的扩展。在有一个以上机柜的弱电间内，装有屏蔽配线架的机柜应有一个接地排。这些增加的接地排应单独连接到机柜的接地排上。

屏蔽布线系统的接地应与强电接地完全分离，单独使用弱电接地系统接至大楼底部的接地汇流排上。

不得通过一个强电电缆的保护接地或通过金属密封系统做接地连接。该连接应是固定的，没有任何理由采用插头式的连接。

为了保证机柜自身的屏蔽效果，机柜本身和可拆卸的配线架及门等都应做接地连接。

## 6.7 屏蔽布线系统的相关设施施工要点

屏蔽布线系统同样也涉及到桥架、管线、机房、屏蔽机房、屏蔽机柜等等相关部分的施工。这些工程的施工要求可以参见国标 GB 50312-2007、JGJ 16-2008 等相关标准，在此不做叙述。

## 6.8 屏蔽布线系统的工程注意事项

屏蔽布线工程与其它建筑工程一样，都会有一些工程注意事项。在国标 GB 50312-2007 中，已经有了明确的要求。在此，将对国标中没有提及的注意事项做一些说明：

### 6.8.1 面板端的后续处理

当屏蔽模块插入面板后，在面板固定时，注意不要将屏蔽线缆的弯曲半径过小，否则容易造成测试失败。

### 6.8.2 屏蔽配线架的后续处理

当屏蔽配线架为屏蔽模块与架体分离方式时，屏蔽模块在端接完毕后应插入屏蔽配线架

中，并注意确保屏蔽模块的壳体接地良好。

对于一体化的屏蔽配线架，这个要求不存在。

### 6.8.3 屏蔽布线工程的时间管理

从施工管理角度来说，屏蔽布线系统的施工时间略长于非屏蔽布线系统是合理的，但不应出现非常大的差距，因为屏蔽布线系统的施工过程中仅比非屏蔽布线工程多了几道工序。这几道工序包括：

- 模块端接时添加了屏蔽层端接；
- 配线架做完后需增加接地线连接；
- 机柜必须做接地线连接（非屏蔽布线系统则为应做接地连接）。

## 7 屏蔽布线工程的测试与验收

根据 GB 50312-2007 的规定，屏蔽布线系统工程的性能测试和验收规则可以采用以下方式完成：

### 7.1 施工期间的检查

施工期间的检查是指在工程期间，由监理、工程检验人员、后道工序的施工人员对正在进行或已经完成的施工所进行的检查。

#### 7.1.1 首样负责制

施工方的检查人员对每位施工者的施工手法进行检查。检查时间是在该施工者在该工程中第一次使用这种施工手法进行施工之时。

在施工过程中，检查人员应纠正施工者不合理的施工方法，在确定施工方法完全正确后要求施工者在后续的施工过程中完全按照这一施工手法进行。

如果后续的施工过程没有达到首样的水平，检查人员应依据首样，要求施工者进行整改。

#### 7.1.2 随工检查

由于屏蔽效果与施工工艺有密切的关系，因此有必要通过随工检查，完善屏蔽施工要求，以弥补测试仪器上的不足。常见的随工检查方法有：

- 检查人员在工地中经常注意施工者的施工手法是否正确，一旦出现偏差立即纠正。

- 在发现施工手法出现普遍性时，应对施工人员进行现场培训。

随工检查至少包括以下内容：

- 屏蔽对绞线穿线是的弯曲半径
- 观察屏蔽对绞线的屏蔽层与屏蔽模块的屏蔽壳体接触是否达到 360 度全方位连接，不会造成电磁波侵入。
- 接地线或丝网层与模块屏蔽壳体的是否紧密连接，绑扎是否稳固。

## 7.2 屏蔽布线系统的性能测试

屏蔽布线系统和非屏蔽布线系统一样，在完工前都需要进行性能测试。

对于布线工程测试而言，在各种现场用的性能测试仪中，都包含有屏蔽测试项，只要将测试选项设定为“屏蔽”，就可以使用自动测试或手动测试方式完成各项性能的测试，其中自然也包含了屏蔽层的通断测试。

当测试显示为“通过”时，屏蔽链路被认为已经测试合格。

由于屏蔽对绞线至今还没有现场用的屏蔽层性能测试指标，而只能测试其连通性，这意味着其屏蔽性能只能依赖厂商的设计和制造工艺，并通过厂家测试来保证产品的屏蔽性能。

## 7.3 对故障定位有价值的测试方法

在现行的规范以外，还有一些测试方法可以用于评估屏蔽缆线的品质、确定布线工程的质量，它们可以作为选择缆线和排除故障的手段之一。

这些评测方法本身都依据了一些相关的标准，并有着自己的理论依据。由于篇幅原因，在此不进行理论分析，仅将评测方法列出，希望进一步研究时可以参考相关的文章和论著。

这些方法因目前并没有归入中国的综合布线系统验收范畴，所以不应作为产品评定和工程验收的依据。

### 7.3.1 工作区电源插座检查

屏蔽布线系统的接地依赖于终端设备的接地和网络设备接地，所以它们的电源插座接地端的品质直接影响屏蔽布线系统的使用效果。

- 检查配电方式

根据《GB/T16895.17-2002 建筑物电气装置 第 5 部分：电气设备的选择和安装 第 548 节：信息技术装置的接地配置和等电位联结》（IEC 60364-5-548:1996）548.4 规定：“在安装或可能安装有重要信息技术装置的建筑物中，为了把信号电缆中通过的中性线电流所引起

的 EMC 问题减到最低程度, 应考虑在电源进线点之后, 使用单独的保护导体 (PE) 和中性导体 (N), .....为信息技术设备供电时, 输出应为 TN-S 系统 (图 8.4.1.1)。” 在《GB/T 16895.16-2002 建筑物电气装置 第 4 部分: 安全防护 第 44 章: 过电压保护 第 444 节: 建筑物电气装置电磁干扰 (EMI)防护》(IEC 60364-4-444:1996) 444.3.12 规定: “在装有敏感设备的电气装置中避免采用 TN-C 系统。” 《GB50312-2007》6.1.2 对工作区电源的要求, 也体现了上述原则。

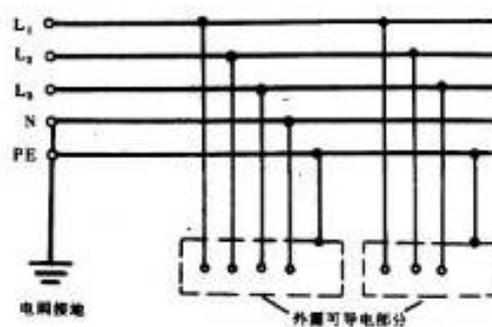


图 7.1 TN-S 配电系统示意图

- 测量工作区屏蔽层与电源保护地线间 AC/DC 电压

确认电源插座接线正常后, 分别用万用表交流电压挡、直流电压挡, 直接测试信息插座屏蔽罩和电源插座保护地线 (PE 线), 记录 AC/DC 电压读数, 此值应小于 1V (rms)。

### 7.3.2 测试接线图连通性的局限性

国标中未量化规定屏蔽层连续性或连通性指标。接线图连通性只反映屏蔽层导体完全断裂的情况, 无法检测出部分缺损、部分开路、虚接、严重变形等缺陷; 也不能说明屏蔽层与等电位联结导体的连接情况。

由于国标规定的通断测试方法无法解决类似 360 度屏蔽之类的屏蔽施工漏洞, 所以有必要再讨论一些方法, 用于对屏蔽对绞线或接地进行品质分析。

### 7.3.3 屏蔽层直流电阻测试

在 TIA/EIA 568B1.2-2003 中规定: “工作区电源插座接地线与信息插座屏蔽端接导体间电阻不应超过  $21\ \Omega$ 。” 这一参数可以作为评测的依据。但如果根据现在的屏蔽对绞线制造水平, 这一数据显得过于宽松, 如果能将  $21\ \Omega$  修改为  $4\ \Omega$  (《JGJ16-2008 民用建筑电气设计标准》12.7.1-3 规定: “除另有规定外, 电子设备接地电阻值不宜大于  $4\ \Omega$ 。”), 则能够更准确地对屏蔽效果做出评测。具体方法为:

通过仪表测试保护地线的阻抗, 应低于 A.15.5 中的计算限值 ( $1.1\ \Omega$ - $1.7\ \Omega$ ), 并记录读数。满足相关标准的保护地线及良好的端接, 是进行后续屏蔽层相关测试的基础。

- 终端设备安装前

确认电源插座接线正确后, 用万用表电阻挡直接测试信息插座屏蔽罩和电源插座保

护地线（PE 线），记录电阻读数，此值应小于  $4\ \Omega$ 。

➤ 终端设备安装后

为消除表笔与被测导体间接触电阻对读数的影响，同时进一步验证屏蔽层与等电位联结体的连通效果，建议在装有屏蔽网卡的终端设备到位后，通过屏蔽跳线接入屏蔽布线系统，并通过 3 芯电源线与 TN-S 供电系统相连。使用钳形地阻仪在跳线或设备电源线上测试阻抗，其结果能更准确地反映设备使用状态下，屏蔽层与等电位联结的实际情况，此值应小于  $4\ \Omega$ 。

### 7.3.4 利用时域反射估测屏蔽层转移阻抗

根据导体中电脉冲信号遇到阻抗波动点就会产生回波反射的原理（图 10.3），通过计算回波信号出现的时间，即可定位导体的开路、短路或阻抗异常点的位置。

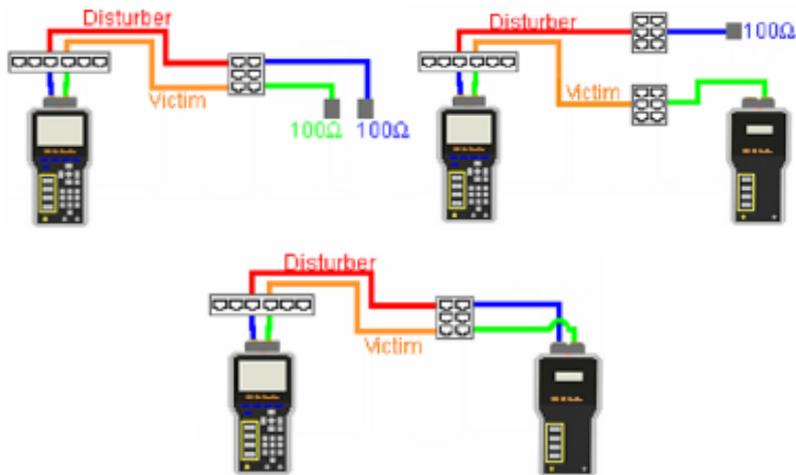
图 7.2 阻抗波动与回波信号

将屏蔽对绞线全部线芯或其中之一当作 1 根导体，屏蔽层作为另 1 根导体进行时域反射测试，可反映屏蔽层转移阻抗情况，查看屏蔽层均匀性（图 7.3）。屏蔽层部分破损、受外应力过大等“软故障”理论上都能从图线上看到其发生位置。

图 7.3 时域反射测试结果

### 7.3.5 测试线外串扰，评估屏蔽隔离度（耦合衰减）

屏蔽布线系统“线外串扰”反映的是“屏蔽隔离度”指标，可用于估测屏蔽层性能。工程现场测试“线外串扰”有 3 种方式（图 10.5），可得到表 10.1 中所列指标，并可据此判断屏蔽效果。



方式 A

方式 B

方式 C

图 10.5 通过线外串扰估测屏蔽隔离度

表 10.5 不同测试方法所能得到的电气指标

Configuration	PS ANEXT NE	PS ANEXT FE	PS AACR-F NE	PS AACR-F FE
Type A	✓			
Type B	✓		✓	
Type C	✓	✓	✓	✓

### 7.3.6 屏蔽布线工程测试方法特点一览表

没有单一仪表或单一方法，能完全解决屏蔽布线工程中屏蔽层量化测试与故障定位问题。可以根据可操作性、便捷性、测试成本、测试时间等各种因素以及自己的特点，有选择地进行必要的性能测试，以求高效高质量地完成性能测试和故障排除工作。

正常的屏蔽布线工程的性能测试和验收工作依据国标 GB 50312-2007 附录 A 展开。当发现问题时，可以借助于上述各种方法帮助寻找故障点及故障原因。表 7.1 是对上述各种测试方法的评估和比较：

测试项目	测试方法	测试位置	测试条件	优点	缺点	推荐等级
工作区屏蔽层对保护地交/直流电压	万用表	信息插座屏蔽罩与工作区电源保护地	直接测试	1. 提供标准规定的量化数据 2. 仪表与操作简单	1. 不直接反映连通情况 2. 不能故障定位	★★
工作区屏蔽层对保护地	万用表	信息插座屏蔽罩与工作区电	需用屏蔽跳线短接两工作区	1. 提供标准规定的量化数据	1. 部分反映连通情况 2. 不能故障定	★★★★

回路电阻		源保护地	插座屏蔽罩	2. 仪表与操作简单	位	
工作区设备工作状态下，屏蔽层与保护地线全程阻抗	钳形地阻仪	设备跳线或设备电源线	短接线芯后测试	1. 提供标准规定的量化数据 2. 全面测试屏蔽层与等电位联结体的连通效果 2. 非接触式测试，避免表笔接触电阻造成的误差	1. 必须使用钳形地阻测试仪表 2. 不能故障定位	★★★★★
估测屏蔽层转移阻抗	时域反射	屏蔽层与线对（芯）导体	直接测试	可以故障定位	1. 必须使用专用仪表 2. 只测线缆屏蔽层，不测保护地线	★★★
估测线缆屏蔽隔离度	线外串扰	配线架端口	确认电源插座接线正确后，直接测试	直接反映屏蔽效果	1. 使用专用仪表 2. 操作复杂费时 3. 不能定位故障点	★

表 7.1 屏蔽布线工程测试方法一览表

由表 7.1 可以看出，各种方法各有千秋，如：“屏蔽层-接地联合测试”法适合进行常规工程质量检查，当发现电阻（阻抗）异常时，可以对弱电系统采用“时域反射”进行故障定位，对强电系统采用电路分析仪排查故障点，从而最大程度地确保屏蔽布线网络的工程质量。

## 8 设计及工程案例简介

这一部分将以实例说明屏蔽布线工程的设计、施工方法，并对举例介绍了几个典型的屏蔽故障。

### 8.1 屏蔽布线工程设计案例

屏蔽布线工程的设计与非屏蔽设计大同小异。以下以一个弱电间（400 个数据点）信息点的配置清单说明屏蔽布线工程的设计特点。

序号	采用非屏蔽产品	采用屏蔽产品	附加说明
----	---------	--------	------

	描述	数量	描述	数量	
工作区					
1	单口面板	400 个	单口面板	400 个	
2	非屏蔽跳线	400 个	屏蔽跳线	400 个	
配线子系统					
3	非屏蔽模块	400 个	屏蔽模块	400 个	
4	非屏蔽双绞线	24000 米	屏蔽双绞线	24000 米	假定每根水平双绞线的平均长度为 60 米
5	24 口非屏蔽配线架	17 套	24 口屏蔽配线架	17 套	假定配线架含模块
6	水平跳线管理器	17 个	水平跳线管理器	17 个	高度 1U
7	非屏蔽跳线	400 根	屏蔽跳线	400 根	
辅材					
8	接地导线, 6mm <sup>2</sup>	10 米	接地导线, 6mm <sup>2</sup>	44 米	假定每个配线架 2 米, 机柜 10 米
9	配线机柜	1 套	配线机柜	1 套	必要时可选屏蔽机柜

注：根据工程监理的要求，非屏蔽系统的机柜也要求接地。

由于所用产品的差异，在实际设计前需参考所用产品的技术手册。

### 8.1.1 6A 类布线系统的产品选择

[概要：可以从外径、管线、价格、测试验收方法等各个角度进行非屏蔽产品和屏蔽产品之间的选择]

实验室的综合布线应根据实验室内安装的设备进行考虑，没有一定的解决方案，只能与实验室的设计师一起商量解决。以下的高压放电场所就是其中的一个特例：

### 8.1.2 仿雷击实验室的综合布线设计

在仿雷击实验室中，尖端放电的电极距离综合布线的信息点约有十余米（斜线距离），放电时电压高达近亿伏。在这样的场合中，瞬态电场强度会非常高。

在这样的实验室中，综合布线系统需要考虑的问题有：

- ☞ 使用屏蔽对绞线避免芯线上产生强烈的感应电流，最好是采用双重屏蔽对绞线(SF、UTP 或 S/FTP)；
- ☞ 现场安装的模块应使用具有厚实屏蔽壳体的屏蔽模块；
- ☞ 接通屏蔽壳体与 86 型金属底座之间的接地线，使屏蔽模块外壳和屏蔽对绞线上的感应电流就近泄放到大地之中，以免感应电流流入主配线架，造成机房地地位上升；
- ☞ 使用屏蔽跳线连接到计算机上，利用计算机的接地线和模块接地线避免跳线内芯线

上产生感应电流。

## 8.2 屏蔽布线工程施工过程简介

施工过程各有高招，在这一部分只是举了一个实例，以图片形式说明屏蔽布线工程的基本过程。

### 8.2.1 6A 类屏蔽布线工程案例

以一个 6A 类屏蔽布线工程为例，简单地说明屏蔽布线系统的施工工程：

#### ➤ 材料说明

本工程使用的相关布线材料为：

☞ 双绞线：S/FTP 屏蔽双绞线（轴装，1000 米/轴）

☞ 模块：MS-K 型屏蔽模块

☞ 配线架：24 口屏蔽配线架（1U）

☞ 面板：单口或双口墙面面板

#### ➤ 穿线

##### 1 穿线

屏蔽双绞线多为轴装线，在放线时应使用支架，将木轴架空后拉线。

双绞线的临时标签可以使用纸制临时标签

穿线后将线头使用防水材料保护，并做好现场保护标记。



## 2 配线架安装

在机柜内，首先安装的是配线架架体。



## 3 机房端理线

屏蔽双绞线的特点是允许双绞线平行。利用这个特点，在弱电间里，就可以完成自桥架到信息点的完全平行敷设。这一工序称为理线。

在端接的后侧，应保留一定长度的双绞线，为系统维护留有余地。

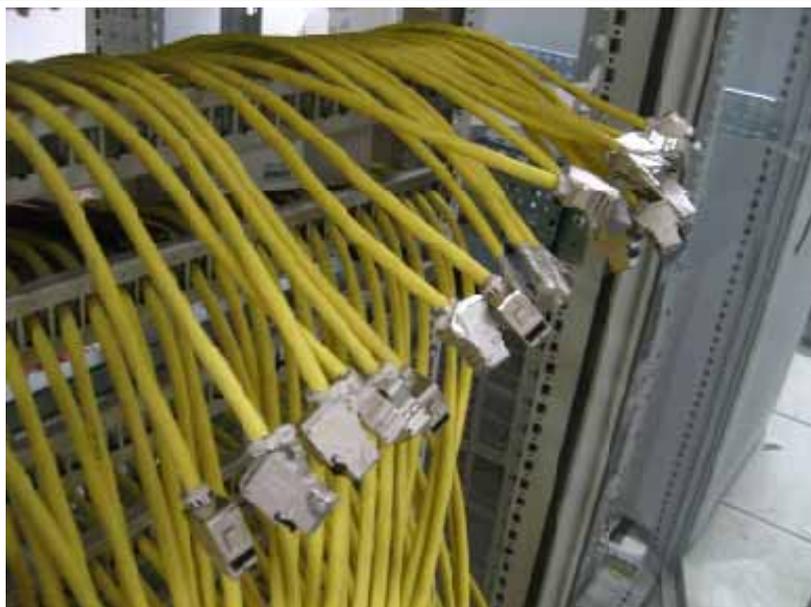
右图为模块端接后的理线效果图



#### 4 模块端接

模块端接遵循各模块自身的规则。

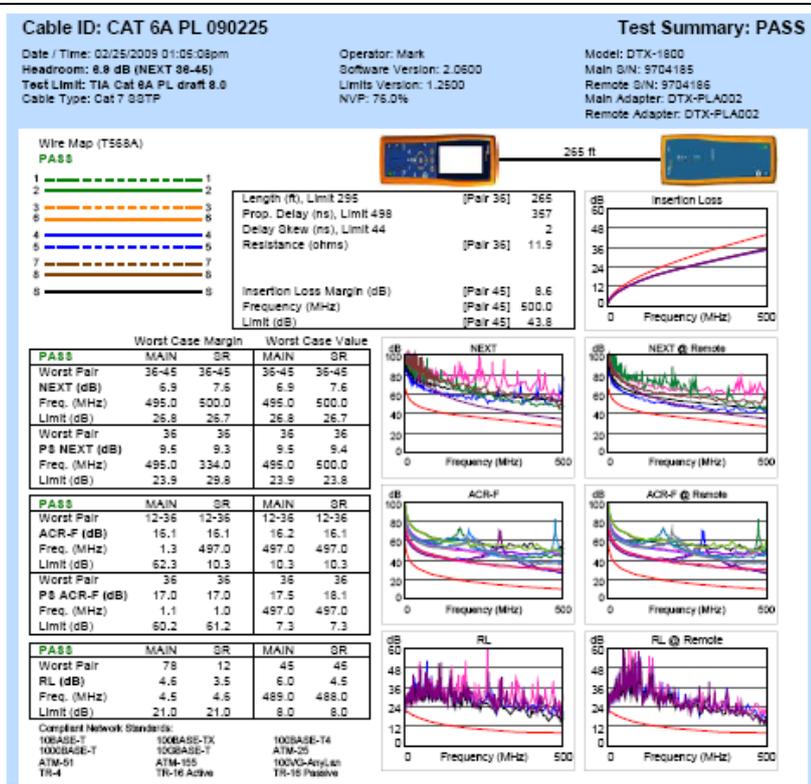
屏蔽层端接十分简单：对于 S/FTP 屏蔽双绞线，只要顺其自然，将丝网端接，铝箔层剪去即可。



#### 5 链路自测试

性能测试前，将测试仪的 NVP 值调整到与双绞线匹配的恰当值（本次为 81%），并将线选择为 S/STP，链路选择为 TIA 568 6A PL。

使用自动测试就可以逐一完成全部信息电的性能子测试。



#### 6 配线架接地

每个 24 口屏蔽配线架后侧都有接地桩，使用两端均有接线端子（俗称：线鼻子）的接地线，一端固定在配线架的接地桩上，另一端固定在机柜的接地母线（或接地铜排）上即可。

#### 7 机柜接地

使用两端均有接线端子（俗称：线鼻子）的接地线，一端固定在机柜的接地母线（或接地铜排）上，另一端固定在机房的接地网（或接地铜排）上即可。

#### 8 随工检查

在施工过程中，管理人员（或监理）随时检查施工的全过程，发现问题及时纠正。并利用工序特点，实现后道工序检查前道工序，做到尽早发现减少返工。

**9 文档整理**

在施工工程中，及时收集和整理文档，保证工程验收移交时资料齐全。

**10 验收测试**

由甲方指定的第三方对信息点进行 10% 抽测，要求一次性合格。否则按 GB 50312-2007 进行加倍抽测。

目测工程质量，合格后检查文档资料和培训记录，全部符合 GB 50312-2007 后认定验收合格。

**8.3 屏蔽布线工程故障分析案例**

屏蔽布线系统中的绝大多数故障与非屏蔽布线系统一样，排除方法也没有区别。而在屏蔽布线系统特有的故障中，最常见的有以下几种：

**8.3.1 芯线对屏蔽层短路**

现象： 测试时出现屏蔽层与某根芯线短路。

分析： 通常是因为屏蔽层中的丝网、铝箔或接地导线与芯线接触，或者是剪去屏蔽层时使芯线外露，造成短路。

排除方法： 首先找到故障可能出现的模块端接处，打开模块的屏蔽壳体后，将屏蔽层或接地到线调整到正确位置（或剪去）后即可。

**8.3.2 屏蔽层不连通**

现象： 测试时测试仪显示屏蔽层不连通。

分析： 有三种可能：

- 1 屏蔽层内的绝缘层断裂，这一现象十分少见；
- 2 屏蔽模块端接时没有将屏蔽层接好；
- 3 屏蔽模块内的屏蔽连接断裂。

排除方法： 针对第 1 种和第 3 种，可以在打开模块的屏蔽壳体后后，使用万用电表分别检测对绞线两端的屏蔽导通性能（人为在其中一端制造屏蔽层与芯线短路即可实现单端测试）和屏蔽模块前后的屏蔽连接，就可以得到正确的答案。

针对第 2 种情况，用肉眼仔细观看屏蔽层端接点的情况，可以找出大多数故障；如果没有查出，可以使用万用表在屏蔽壳体与屏蔽对绞线之间检查通断情况。只要查出了原因，排除十分简单：更换产品或重新进行屏蔽端接即可。

### 8.3.3 屏蔽层有麻电的感觉

这是一个难得发生的实际工程案例。

**现象：** 在屏蔽布线系统正在投入使用之时，位于配线架旁的管理人员在接触屏蔽模块时产生了麻电的感觉。

**分析：** 从理论上分析，在屏蔽布线系统的屏蔽层上自身不可能带电，只有一种情况可能带电，即两端的网络设备的接地是通过屏蔽跳线与布线系统的屏蔽层连接，如果终端计算机的接地悬浮，则计算机上感应到的电荷将会通过屏蔽布线系统传递到屏蔽配线架上，造成管理人员麻电；

**查找：**

- 1 检查末端计算机和电源插座，发现电源插座的接地悬浮；
- 2 机柜的接地还没有接上。

**排除方法：**

- 1 请电工重新端接对于插座后，麻电现象消失；
- 2 完成配线架及机柜接地。

## 9 热点问题

与屏蔽布线系统相关的话题很多：有些借助于媒体；有些存在于工程之中；有些是一题多解，而为了描述顺畅，不得不将部分文字移出；有些是技术人员之间探讨的问题；有些则是理论性的话题，很少有人提及，但偶尔又不得不动用。

在此不可能将所有的相关话题都做出描述，只能就其中的部分话题进行展开，并不要求一定有解，但至少可以让有兴趣的人们进一步探索。

### 9.1 国际上公认的 15 类电磁干扰源

在现在的自然界中，电磁干扰越来越普遍，也越来越严重。对于信息传输系统而言，外部的电磁干扰源可能有：发动机、电梯、手机、交流电源线、高压电缆、空调设备、日光灯、供暖系统、制冷设备、计算机、电台、机床等等。

随着各种类型的电子信息系统在建筑物内的大量设置，各种干扰源将会影响到综合布线电缆的传输质量与安全。这些射频应用设备（干扰源）又称为 ISM 设备，国际无线电干扰特别委员会（CISPR）推荐重点关注的 ISM 设备有 15 种：

序号	CISPR 推荐设备	我国常见 ISM 设备
1	塑料缝焊机	介质加热设备，如热合机等
2	微波加热器	微波炉

3	超声波焊接与洗涤设备	超声波焊接与洗涤设备
4	非金属干燥器	计算机及数控设备
5	木材胶合干燥器	电子仪器，如信号发生器
6	塑料预热器	超声波探测仪器
7	微波烹饪设备	高频感应加热设备，如高频熔炼炉等
8	医用射频设备	射频溅射设备、医用射频设备
9	超声波医疗器械	超声波医疗器械，如超声波诊断仪等
10	电灼器械、透热疗设备	透热疗设备，如超短波理疗机等
11	电火花设备	电火花设备
12	射频引弧弧焊机	射频引弧弧焊机
13	火花透热疗法设备	高频手术刀
14	摄谱仪	摄谱仪用等离子电源
15	塑料表面腐蚀设备	高频电火花真空检漏仪

表 9.1 15 类电磁干扰源

## 9.2 信息安全等级

缆线上的电磁辐射有可能会造成信息泄密，尽管目前能够还原出原始数据信息的设备极其少见，但从原理上说这种可能性依然存在。

不管是电磁干扰引起信息传输故障，还是信息辐射造成泄密，它们都被列入了信息安全的范畴。

在中国的国家标准系列中，有一类标准涉及到信息系统的安全保护等级，共分五个等级：

- 第一级：用户自主保护级
- 第二级：系统审计保护级
- 第三级：安全标记保护级
- 第四级：结构化保护级
- 第五级：访问验证保护级

并对各种等级的信息传输缆线提出了介质要求（除第五级外），其中包括非屏蔽对绞线、屏蔽对绞线和光缆。其目的就是确保信息传输的安全，防止泄密。

## 9.3 对绞原理与屏蔽的互补特性

综合布线系统在通信中属于传输线理论。根据综合布线系统的原理，屏蔽布线系统涉及到三项抗干扰技术：对绞、阻抗匹配和屏蔽。事实上，也只有将这三项技术全部发挥其特点，才能将抗干扰效果达到最佳。

### 9.3.1 抗电磁干扰手段之一：对绞

按照电信理论，综合布线系统属于传输线。对绞线利用了传输线中的两种抗干扰手段实现了长距离传输和改善信噪比的目的。其中一种方法是对绞，为此在国标中，“对绞线”正式定名为“对绞线”。



图 4.1 4 对 8 芯对绞线示意图

4 对 8 芯非屏蔽对绞线（UTP）中包含有 4 个线对，每个线对的绞距都不相同，当外界干扰来临时，线对中总有 1 根芯线（以下称为 A 芯线）面对干扰源，而另 1 根芯线（以下称为 B 芯线）则背对干扰源，而在经过了 0.5 个绞距后，B 芯线转而面对干扰源，而 A 芯线变得背对干扰源，使得两根芯线上感应到的信号强度基本一样，转化成共模电压，利用网络设备中的电子电路进行抵消（称为电路的“共模抑制比”，电路的共模抑制比通常可以达到 90dB 以上，但对绞线自身的工艺误差造成实际的抵消性能仅能达到 40~50dB）。

以最为常见的计算机以太网为例，对绞抗干扰的原理大致如下：

在计算机网络设备中最常用的是以太网设备。在以太网设备中，对绞线两端的连接的器件为平衡变压器。平衡变压器分为初级绕组和次级绕组，在初级绕组的中部有一个中心抽头，该抽头接地。

当对绞线所在空间中含有电磁波时，由于对绞线的绞距作用，外界电磁波会在每个线对的两根芯线上形成大小相等、相位相同的干扰电流，该电流都会与信号电流一起被传输到两端网络设备中的平衡变压器上。

当对绞线的两根芯线连接到初级绕组的两端时，芯线上幅度相同、相位相同的共模干扰信号（如：外界电磁波形成的干扰电流信号）就相互抵消，而有用信号就耦合感应到次级绕组，形成了网络设备所需要的原始信号。

平衡变压器采用这种中心抽头接地方式，使两根芯线上大小相等、相位相同的干扰电流彼此抵消（电子学中称为“共模信号”），而让信号电流（大小相等、相位相反，电子学中称为“差模信号”）进入传输放大器中进行放大、整形和处理，最终还原成为所需的数字信号。

同样，位于同一根对绞线内的 4 个线对之间也存在着电磁干扰，由于各线对的绞距均不相同，使它们能够在传输过程中得以抵消（参见图 4.2）。而抵消的能力用“近端串扰”（NEXT）等参数予以评价。

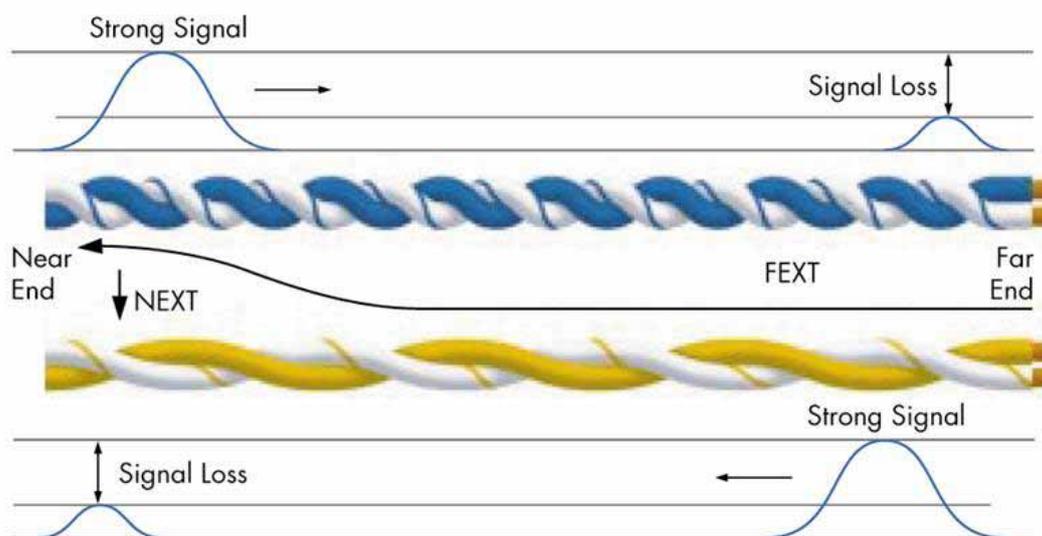


图 9.1 对绞线传输 10BASE-T 或 100BASE-T 以太网时的近端串扰示意图

对绞线利用的就是上述原理，所以对于对绞线，芯线的绞距越紧密、越均匀，各对芯线之间的应力越平衡，其性能就越好。

对绞线的对绞原理是从非常古老的明线电话传输系统中“交叉”的概念发展起来的。有的读者可能见过明线传输系统，几对传输线架空在电线杆上平行敷设，显然，这样的传输系统中线对之间的串扰（或称串音）和外界干扰是非常严重的，因为每对线构成的回路面积太大了。为了减小线对之间的串扰及外界干扰，在明线传输系统中普遍采用交叉技术。所谓“交叉”，就是每隔一定距离在电线杆上将平行传输线的位置颠倒，这样，将每对明线构成的回路分割成若干个小的回路，每个回路中感生的串扰和干扰能够相互抵消一部分，从而达到减小串扰和干扰的效果。但就是这样，有时还能从电话中聆听广播电台的音乐。

非屏蔽对绞线（UTP）是构成综合布线系统的基础，但那时的综合布线系统是基于电话和 10M 以太网设计的。因此，非屏蔽对绞线的带宽仅需 10MHz，远不是人们现在所看到的 500MHz 这样高的带宽，因此，那时对绞线的绞距也十分大。现在人们只能从 3 类大对数对绞线中一窥当时的情景了。

另外，对绞线的对绞原理可以抑制磁场干扰，但对电场干扰作用不大。

### 9.3.2 抗电磁干扰手段之二：阻抗匹配

在电信技术中，传输线抗干扰的第二个方法是阻抗匹配，即在阻抗匹配时，信噪比可以达到最佳（有兴趣的读者可以查询模拟电子学或电信技术书籍）。

在综合布线系统中，要求对绞线中每对芯线的特性阻抗为  $100\Omega$ ，而网络设备的接口也是  $100\Omega$  特性阻抗，它们共同满足了阻抗匹配的要求。

曾经有人试过，当随意排列 8 芯对绞线的芯线时，会产生 10M 以太网的传输距离缩短、电话出现串音等现象。

### 9.3.3 屏蔽原理

对绞和阻抗匹配原理的 EMC 性能会受到制造工艺和工程施工的双重制约，而屏蔽则能够进一步地提高 EMC 性能。

屏蔽布线系统通过在普通非屏蔽布线产品（对绞线、模块、跳线）的外面加上金属屏蔽层（如：铝箔和丝网），利用金属层的反射、吸收及趋肤效应，有效地防止外部电磁干扰进入电缆，同时阻止内部信号辐射出去，屏蔽布线系统综合利用了对绞线的对绞和阻抗匹配原理及屏蔽层的屏蔽性能，因而具有非常好的电磁兼容（EMC）特性。当然，由于添加了金属屏蔽层，布线产品的各种内部参数均经过了重新计算和测试。

最基本的屏蔽对绞线是在对绞线中 4 对芯线的外面添加铝箔屏蔽层，然后再被覆护套层（当然，添加屏蔽层后必然会引起分布电容的改变，所有参数将重新设定）。这时，4 对对绞线象非屏蔽对绞线一样用于传输高带宽的信息，而外层的屏蔽层则起到了将内部信息与外部干扰隔离的作用（这类似于控制线中的 RVVP 电缆）。这类对绞线被称为“总屏蔽对绞线”，称为“STP 对绞线”、“FTP 对绞线”或“ScTP 对绞线”。

随着技术的发展，铝箔屏蔽层被延伸到了每对芯线外，由于铜的高频导电性能及电磁性能比铝更好，因此铜丝网也被作为屏蔽材料的一种，添加到屏蔽对绞线之中。在对绞线中，各种屏蔽材料的相互组合形成了变化多样的屏蔽对绞线类型。

对于综合布线系统而言，最基本的屏蔽材料是铜、铝等延展性很好的金属，这些金属的高频电性能都很好。

不过，在屏蔽布线系统中，屏蔽材料（铜、铝）的屏蔽效果主要体现在高频部分（例如：频率在 30MHz 以上），对于低频段，仍然得依靠对绞原理和阻抗匹配来抵御电磁波。

## 9.4 电磁兼容性的防护技术与措施

各种运行的电力设备之间以电磁传导、电磁感应和电磁辐射三种方式彼此关联并相互影响，在一定的条件下会对运行的设备和人员造成干扰、影响和危害。电磁兼容 EMC 对产生的干扰水平、抗干扰水平和抑制措施做出明确的规定，使处于同一电磁环境的设备都是兼容的，同时又不向该环境中的任何实体引入不能允许的电磁扰动。EMC 包括 EMI（电磁干扰）及 EMS（电磁耐受性）两部份。

电磁干扰三要素是干扰源、耦合通路和敏感体，切断以上任何一项都可有效地解决电磁干扰问题。防范与抑制电磁干扰的基本原则是：

1. 抑制电磁干扰源，直接消减干扰源头的影响；
2. 切断电磁干扰传播途径或增加传播路径对电磁干扰的阻碍（衰减）作用，降低干扰源与受扰设备间的耦合作用。这里包含有距离隔离法和屏蔽隔离法两种解决方案：

☞ 距离隔离法：通过增加干扰源与被干扰源之间的距离，降低电磁干扰的影响。在综合布线系统中采用的手段是在对绞线中添加一字隔离和十字隔离，以及改变 6A 类屏蔽对绞线的间距等等。在 GB 50311-2007 中所提及的电源干扰抑制方法中，也有采用隔离隔离法的解决方案，例如：承载不同缆线的桥架之间

的间距等等。从原理上来说，由于电磁场强的强度与距离的平方呈反比，所以距离越大，效果越好，可产生的副作用是缆径（缆线的外径）随之增大，对施工的影响也越来越大。所以这是一种折衷的方法。

- ☞ 屏蔽隔离法：使用高频导电材料（铜、铝）制成铜网或铝箔屏蔽层，包裹在对绞线的全部芯线外，或每一对芯线外，利用法拉第笼原理将电磁干扰的影响切断。只是屏蔽布线系统的基本工作原理。由于对绞线在生产过程中不可能获得完全理想的对绞结构，总会有着一定的偏差和不均匀性，并且 UTP 线缆的双绞结构在施工过程中经过拖拉拽放后，必然会发生一些变化。这种变化带来的电磁干扰影响随着传输带宽的上升而越来越敏感，所以屏蔽对绞线中的线对已经不承担抵抗干扰的主要作用，而是利用接地的屏蔽材料完成主要的抗干扰作用。

### 3. 加强受干扰电子、电气设备的抗干扰能力。这三方面相互关联，不可偏废。

为了达到以上基本原则，就得严格选用电磁兼容性能符合国家标准的电子、电气设备 & 布线产品。

电子、电气设备的电磁干扰限制标准是根据电磁兼容基本要求制定并随着技术与经济水平提高而逐步制定、修订的。选用符合限制标准的设备是维持电磁兼容环境的基本条件之一。选用合乎标准的设备并采取适当的屏蔽与滤波措施，一般都收效良好。否则，会不同程度地破坏电磁兼容环境。

## 9.5 4 对 8 芯对绞线缆径统计表

表 9.1 是综合布线工作组在 2008 年 6 月对主要综合布线系统产品的缆径统计（引自布线工作组网站），它有助于分析屏蔽对绞线的缆径：

对绞线种类	对绞线结构	缆径 (mm)
超 5 类非屏蔽对绞线 (100MHz)	UTP	4.6~5.7
超 5 类屏蔽对绞线 (100MHz)	F/UTP	6.0~6.9
	SF/UTP	6.6~6.9
6 类非屏蔽对绞线 (250MHz)	UTP	6.0~6.5
	UTP, 带一字隔离	5.6~5.9
	UTP, 带十字隔离	6.0~6.9
6 类屏蔽对绞线 (250MHz)	F/UTP	7.4~7.5
	F/UTP, 带十字隔离	6.2~6.5
	U/FTP	7.0~7.1
	F/FTP	7.6~7.7
	SF/UTP	6.4~6.7
	SF/UTP, 带十字隔离	8.2~8.3
	S/FTP	7.8~8.5
超 6 类非屏蔽对绞线 (500MHz)	UTP	8.0~8.1
	UTP, 带一字隔离	8.0~8.1
	UTP, 带十字隔离	6.2~8.7
超 6 类屏蔽对绞线 (500MHz)	F/UTP, 带一字隔离	7.6~7.7
	F/UTP, 带十字隔离	7.4~8.1

	U/FTP	7.2~7.3
	SF/UTP, 带十字隔离	8.2~8.3
	F/FTP	7.6~7.7
	S/FTP	7.0~7.7
7类屏蔽对绞线(600MHz)	S/FTP	7.4~8.5
超7类屏蔽对绞线(1000MHz)	S/FTP	7.4~8.5
8类屏蔽对绞线(1500MHz)	S/FTP	8.6~8.7

表 9.2 主要综合布线系统产品缆径统计表

随着产品传输带宽的上升(6A类以上),屏蔽对绞线的缆径上升速度明显减慢,最终只是与其屏蔽结构存在着对应的关系,而与传输带宽的关系相对较小。

## 9.6 屏蔽对绞线的温度稳定性

[概要: 引自 TIA/EIA 568B2.1-2002 中表 G.1: 不同温度下的最大水平电缆长度]

➤ 更好的散热功能,更节能

☞ 屏蔽系统拥有更好的散热功能。根据最近来自 TIA 和 ISO/IEC 标准委员会的理论和实验数据显示(参见表 9.1):在同样的直流电穿过线对时,UTP 非屏蔽系统会比 F/UTP 屏蔽系统升高两倍的温度。原因是因为金属的屏蔽层的导电性和散热能力比起护套材料高很多。

温度		最大水平电缆长度(m)		缩短长度(m)	
℃	℉	非屏蔽	屏蔽	非屏蔽	屏蔽
20	68	90.0	90.0	0	0
25	77	89.0	89.5	1.0	0.5
30	86	87.0	88.5	3.0	1.5
35	95	85.5	87.7	4.5	2.3
40	104	84.0	87.0	6.0	3.0
45	113	81.7	86.5	8.3	3.5
50	122	79.5	85.5	10.5	4.5
55	131	77.2	84.7	12.8	5.3
60	140	75.0	83.0	15.0	6.0

表 9.3 不同温度下的最大水平电缆长度(引自 TIA/EIA 568B2.1-2002 中表 G.1)

☞ 相比 6A 非屏蔽布线系统而言,更细的外径提高了空气流通性和制冷效果,更加节能。

## 9.7 面板无需接地

屏蔽布线系统的面板是不需要接地的,就布线工程而言,也很难做到面板或面板中的屏蔽模块接地。屏蔽布线系统在工作区的接地主要是依赖终端设备(如:计算机)的接地。正因为如此,屏蔽布线系统需要实现“全程屏蔽”。

## 9.8 屏蔽对绞线电磁兼容性的定性分析

综合布线系统中的各种屏蔽双绞线有着共同的屏蔽特性，也因其结构不同而各自有着自己的特色。

### 9.8.1 各种屏蔽双绞线的共性

常见的屏蔽双绞线的种类并不多，它们充分利用了各种电磁兼容性技术。总体来说，屏蔽双绞线仍然保留着对绞的基本原理，但抗电磁干扰的任务却更多地是交给了铜、铝等良导体构成的屏蔽层，而且屏蔽双绞线还发挥了能够抵御同一根对绞线内部各线对间电磁干扰的作用，大幅度的改善了诸如 NEXT、FEXT 等关键的技术参数。例如：

- 在 F/UTP 和 SF/UTP 双绞线中，利用对绞原理、一字隔离和十字隔离技术，降低同一根对绞线内部各线对之间的电磁耦合，从而改善诸如 NEXT、FEXT 等参数。
- 在各种屏蔽双绞线中，都利用了铝箔屏蔽技术，实现了“全覆盖”的金属屏蔽（边沿重叠 25%）。并借助于对绞线的护套，确保铝箔层不会出现大面积的破损，也难以发生铝箔层横向断裂的现象。
- 在仅有铝箔屏蔽的对绞线中，添加了接地导线以避免在铝箔层横向断裂时出现屏蔽失效的现象。
- 对于高档的屏蔽双绞线，则在铝箔层外添加了丝网层，利用铜导体的优异特性进一步提供电磁兼容性等级，并取消了接地导线。同时也说明接地导线并非是感应电荷泄放的唯一通道。

### 9.8.2 最基本的屏蔽对绞线：F/UTP（铝箔总屏蔽对绞线）

铝箔总屏蔽屏蔽对绞线（F/UTP）是最传统的屏蔽对绞线，主要用于将 8 芯对绞线与外部电磁场隔离。它的特点是外皮有铝箔屏蔽，内部线对没有屏蔽层，使用屏蔽层将线缆内部的四个线对与外部磁场相隔离，主要用于切断外部电磁场与内部 4 个线对之间的电磁耦合。由于屏蔽层内部的对绞线结构与非屏蔽对绞线完全一样，所以它的抗电磁干扰机理容易被理解。

根据屏蔽理论，当 F/UTP 对绞线在 8 芯对绞线外层的铝箔层有一定厚度（市场上所见到最多的是 38 微米铝箔，如果厚度增加，屏蔽性能会更好）时，电磁波将经历穿透和两次界面反射（进入屏蔽层和离开屏蔽层），使电磁波幅度大大下降。

由于屏蔽层位于四对芯线外，所以屏蔽层不具备降低线对之间电磁干扰的能力。为此，与六类非屏蔽对绞线同样，为了抑制线对之间的各种电磁干扰，在 F/UTP 系列的六类、超六类屏蔽对绞线中，通常会在对绞线的线对之间添加十字骨架作为电磁隔离材料，通过改变线对之间的间距降低线对之间的耦合电容。

为了防止铝箔横向断裂，F/UT 在铝箔的导电面（银白色的表面）上敷设了一根接地线。

它的电磁特性如下：

- F/UTP 对绞线在 8 芯对绞线外层包裹了一层铝箔。根据屏蔽理论，当铝箔层有一定厚度（通常为 38 微米）时，电磁波将经历穿透和两次界面辐射（进入屏蔽层和离开屏蔽层），使电磁波幅度大大下降。
- 内部的对绞线对磁场具有抵消效果。
- 由于铝箔层的保护，近处存在金属体时，对绞线的分布电容不会再发生变化，即电参数不易受外界的影响。
- 由于铝箔层具有很好的电气密闭性，因此在高频情况下依然效果良好。
- 在各种屏蔽对绞线中，对于对绞线而言，铝箔层相当于是单层屏蔽保护，层次较低，造价也比较低。
- F/UTP 不能抑制来自同一对绞线内部各线对之间的电磁干扰。

当屏蔽层接地时，感应电动势会形成感应电流，流向大地。但由于接地阻抗的影响，感应电流和剩余感应电压会形成二次辐射，产生新的干扰源。在接地电压不大于 1V 时，所形成的二次辐射干扰强度已明显不如原有入射的辐射场强强度，因此屏蔽还是发挥了作用。

铝箔层在接收到外界电磁波时，部分转换成热能，绝大多数随着接地导线被接地，极少数电磁波传输二次辐射，对内部的对绞线产生干扰。只有在屏蔽对绞线接地失败的情况下，二次辐射才会产生比较强烈的影响，即使如此，屏蔽对绞线的性能仍会优于非屏蔽对绞线（感应电流在屏蔽层内传导会形成均匀的分布，使芯线的对绞功能发挥到极致）。

### 9.8.3 NEXT 极佳的屏蔽对绞线：U/FTP（线对屏蔽对绞线）

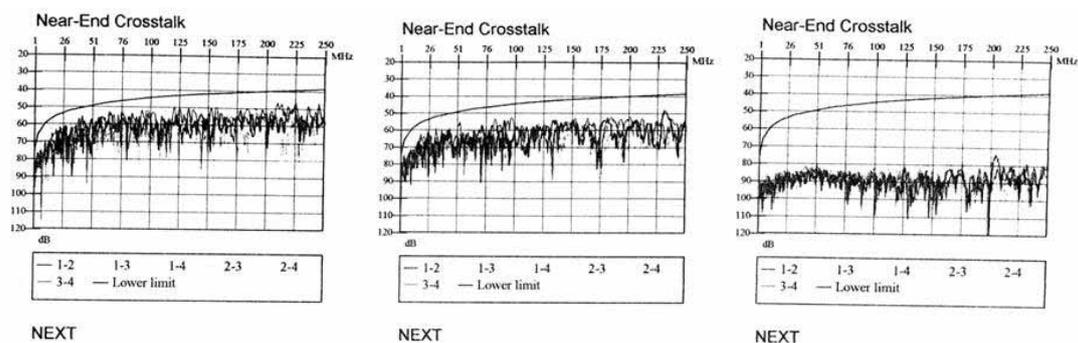
线对屏蔽对绞线起源于七类的 S/FTP 对绞线。在七类对绞线中，由于传输带宽为 600MHz，因此它所受到的电磁干扰远比超五类线多，如果仍然采用总屏蔽方式，那线间电磁干扰值将超过标准规定值，因此在七类对绞线中普遍采用了总屏蔽+线对屏蔽（S/FTP）的抗干扰结构。

随着线对屏蔽加工工艺日益普及，这一技术也被用到了六类屏蔽对绞线中，从此除了总屏蔽方式（F/UTP）外，还出现了线对屏蔽方式（U/FTP）的屏蔽对绞线。

线对屏蔽对绞线（U/FTP）的屏蔽层同样由铝箔组成。所不同的是：外皮没有屏蔽层保护，内部则每线对有单独的铝箔屏蔽层，切断了每个线对之间以及对绞线与外部电磁场之间的电磁影响途径，因此避免了线对间的电磁干扰，对外部电磁场的抗干扰能力比 F/UTP 更佳。

在 U/FTP 产品中，由于屏蔽层能够有效的隔断线对之间的电磁通道，其性能远优于尼龙十字骨架，因此不再需要使用十字骨架等隔离材料。但它同样有接地线与铝箔的导电面相连，以避免屏蔽层横向断裂造成屏蔽性能下降。

由于线对屏蔽对绞线可以大幅度的降低线对之间的干扰，因此可以从近端串扰的数值中分析屏蔽层的抗干扰能力。以最常见带十字骨架的六类非屏蔽对绞线与线对屏蔽对绞线为例进行比较（同一厂家、同一生产线、同一批制造工人），可以看出其近端串扰的包络曲线相差大于 35dB（参见图 5.2）。



6 类不带隔离的对绞线

6 类带十字隔离的对绞线

6 类线对屏蔽对绞线

图 9.2 三种对绞线中的近端串扰曲线比较

要说明的是，这里所提供的两张近端串扰测试曲线图，都是采用线缆测试仪所得，并不是从永久链路测试中得出（因为永久链路中还包含了模块，故无法测出线缆的实际屏蔽性能）。

当对绞线内线对之间的相互干扰下降后，链路中的近端串扰等线对间干扰就主要来自两端的模块以及端接技巧。可以说，在网络应用协议中对电磁干扰电压的数值不变的前提下，对绞线的线对屏蔽技术为模块端接提供了更多的富裕空间，有助于提高工程的合格率。

由于 U/FTP 对绞线能够同时抑制外界电磁波和线对之间的电磁波干扰，因此它已经成为铝箔屏蔽对绞线中的特色产品，借助于这一技术的 6A 类屏蔽对绞线也已经面市。

根据 ISO 11801-2002，屏蔽对绞线会引入二次辐射，但由于感应电流中的绝大多数经接地泄放，因此屏蔽层上感应电流所造成的二次辐射污染极小。

它的电磁特性如下：

- 与 F/UTP 一样，具有将对绞线线对与外部电磁场隔离的能力；
- 铝箔屏蔽层为全封闭金属层，对电场具有两个反射面，在铝箔层中具有吸收损耗，因此它对电场具有很好的屏蔽效果。
- 除了能够抑制外部电磁场外，还能抵御线对之间的电磁辐射干扰。各线对之间由于添加了屏蔽层，大幅度的削弱了线对之间的电磁干扰幅度（如：近端串扰、远端串扰等等）。
- 内部的对绞线对磁场具有抵消效果。
- 由于铝箔层的保护，近处存在金属体时，对绞线的分布电容不会再发生变化，即电参数不易受外界的影响。
- 由于铝箔层具有很好的电气密闭性，因此在高频情况下依然效果良好。

线对屏蔽对绞线的优点是：

- 具有 F/UTP 的全部优点；
- 对外界电磁场的抑制能力超过 F/UTP

对于外界电磁干扰而言，可以认为其中有两对对绞线具有两层铝箔层保护，而 4 对对绞线在护套内呈扭转结构。对于平面波而言，每对对绞线因对绞原因都有一半长度为单层屏蔽、一半长度为双层屏蔽。由于在护套中，除每对线对绞外，4 对线还有着总的扭转，因此每个线对总平衡后，对外界电磁波的抑制能力大于 F/UTP。

- 铝箔屏蔽因没有孔洞时理想的屏蔽对绞线。所用铝箔厚度为 38 微米，已超过所需的渗透深度；
- 各线对之间由于添加了屏蔽层，大幅度的削弱了线对之间的电磁干扰幅度（入近端串扰、远端串扰等等）。由于屏蔽层接地，使屏蔽层所引入的二次耦合辐射大为下降，几乎到达可以忽略的程度。

当对绞线内线对之间的相互干扰下降后，链路中的近端串扰等线对间干扰就主要来自两端的模块以及端接技巧。可以说，在网络应用协议中对电磁干扰的数值不变的前提下，对绞线的线对屏蔽技术为模块端接提供了更多的富裕空间，有助于提高工程的合格率。

屏蔽对绞线会产生二次辐射，但由于感应电流中的绝大多数经接地泄放，因此屏蔽层上感应电流所造成的二次辐射污染极小，因此它能抵御线对之间的电磁辐射干扰和同色线对之间的串扰（ANEXT）。

#### 9.8.4 容易端接的屏蔽对绞线：SF/UTP（双重总屏蔽对绞线）

SF/UTP 屏蔽对绞线有 2 个屏蔽层，1 外层为铜丝网，内层为铝箔，都位于四对芯线的外面、护套的内侧，内部线对上没有包裹屏蔽层。所以，可以认为它是 F/UTP 的增强型。

SF/UTP 屏蔽对绞线的总屏蔽层为铝箔+铜丝网，它不需要接地导线作为引流线：铜丝网具有很好的韧性，不易折断，因此它本身就可以作为铝箔层的引流线，万一铝箔层断裂，丝网将起到将铝箔层继续连接的作用。

由于它使用了铜和铝两种屏蔽材料，所以一般称它为“双重屏蔽对绞线”。

铜丝网中的导线可制成裸露形式或带表面保护。最常用的表面处理方法是镀锡，镀上约 3—6um 厚的锡薄层，一方面防止生锈，另一方面改善焊接性能。个别情况下也可用银作表面处理材料。

铜丝网具有很好的韧性，不易折断，因此它本身就可以作为铝箔层的引流线，万一铝箔层断裂，丝网将起到将铝箔层继续连接的作用，所以 SF/UTP 对绞线内没有接地导线。

双重屏蔽利用了铜丝网与铝箔属不同的良导体，客观上增加了屏蔽层总体厚度。而其反射面除空气（或绝缘材料）-铝外，又增加了铜-铝界面，因此能够进入到芯线的外界电磁波能量得到又一层反射和衰减；另外，由于铜丝网与铝箔属不同的良导体，因此在两者的交接面上还会出现一次界面反射，使抗干扰能力进一步提高。因此 SF/UTP 对绞线对外界电磁波的屏蔽能力高于 F/UTP 对绞线和 F/UTP 对绞线。

SF/UTP 对绞线制造工艺简单，是最早见到的屏蔽对绞线种类之一，它的外径相对与 F/UTP 要大些。它能够抑制线间同色线对之间的电磁干扰，但不能抑制线对之间的电磁干扰。

由于屏蔽层位于四对芯线外，所以屏蔽层不具备降低线对之间电磁干扰的能力。为此，与六类非屏蔽对绞线同样，为了抑制线对之间的各种电磁干扰，通常会在对绞线的线对之间添加十字骨架作为电磁隔离材料，通过改变线对之间的间距降低线对之间的耦合电容。

SF/UTP 对绞线的电磁特性如下：

- SF/UTP 走的方向与 U/FTP 完全不同。前者注重对外界电磁场的抑制能力；后者兼有改善内部线对之间电磁干扰的能力，但对外界电磁场的抑制能力不如前者。
- 丝网层的屏蔽机理与铝箔层的屏蔽机理有所不同，它与铝箔层结合，利用其机理上的差异形成了最佳的屏蔽效果，因此穿透屏蔽层后的外界电磁波能量大大下降；
- 铝箔屏蔽层为全封闭金属层，对电场具有两个反射面，在铝箔层中具有吸收损耗，因此它对电场具有很好的屏蔽效果。
- 内部的对绞线对磁场具有抵消效果。
- 由于屏蔽层的保护，近处存在金属体时，对绞线的分布电容不会再发生变化，即电参数不易受外界的影响。
- 对于对绞线而言，丝网+铝箔层相当于是双重电磁保护。

SF/UTP 对绞线的缺点主要如下：

- 随着频率的升高，丝网层的屏蔽效果将会有所下降，但这只是理论分析，对目前市场上出现的最高等级屏蔽对绞线（1500MHz）仍然不会产生明显的下降；
- 由于丝网为编织结构，层层叠压，因此线径大于铝箔屏蔽对绞线；
- SF/UTP 屏蔽对绞线能够抑制线间同色线对之间的电磁干扰，但不能抑制同一根对绞线内部线对之间的电磁干扰（如：NEXT 等等）。多出现在五类、超五类屏蔽对绞线中，也用于六类屏蔽对绞线。
- 双重屏蔽利用了铜铝两种材料，因此其反射面除空气（或绝缘材料）-铝外，又增加了铜-铝反射界面，因此能够进入到芯线的外界电磁波能量得到又一层反射衰减。

丝网层和铝箔层在接收到外界电磁波时，部分转换成热能，绝大多数随着接地导线被接地，极少数电磁波传输二次辐射，对内部的对绞线产生干扰，由于外界电磁波经历了丝网和铝箔两次衰减，再加上对绞线的对消作用，致使干扰能力大幅度下降，其衰减量定然超过 F/UTP 对绞线。

## 9.8.5 屏蔽性能极佳的屏蔽对绞线：S/FTP（双重线对屏蔽对绞线）

丝网总屏蔽/铝箔线对屏蔽对绞线是目前公认等级最高的屏蔽结构，它利用两种不同的屏蔽材料分别作用于线对和护套。即：对绞线外皮有铜丝网状屏蔽，内部线对有铝箔屏蔽。使线缆与外部磁场相隔离性能更好，内部的四个线对之间也具有极强的抗干扰能力。

S/FTP 屏蔽对绞线具有线对屏蔽对绞线（U/FTP）和双重总屏蔽对绞线（SF/UTP）各自的优点，因此它是目前等级最高的屏蔽对绞线，常见于超六类屏蔽对绞线和七类屏蔽对绞线，也用于六类屏蔽对绞线。

在七类以上等级的对绞线中，由于传输带宽为超过 600MHz，因此它所受到的电磁干扰远超过五类、六类线为多，如果仍然采用总屏蔽方式，那线间电磁干扰值将超过标准规定值，因此在七类、超七类对绞线中普遍采用了总屏蔽+线对屏蔽（S/FTP）的抗干扰结构。

7 类对绞线凭借着非常高的传输带宽和线对屏蔽技术，实现了众所周知的多信号同线传输能力：在 1 根 7 类对绞线（例如：传输带宽达 1200MHz 以上的屏蔽对绞线）的四对芯线可以在同一时刻，分别用于传输 862MHz 的有线电视网、立体声高保真音响和模拟电话。尽管这些信号的特点分别为高带宽、对电磁干扰极其敏感、干扰及破坏能力极强，但它们在 S/FTP 中却能够相安无事，泰然处之。使单根对绞线配以单个插座对多应用的支持更加方便，大大节省了线路（包括管道）投资及人工成本，降低了施工难度，也简化了墙面布局。

与 SF/UTP 一样，S/FTP 中的铜丝网具有很好的韧性，不易折断，因此它本身就可以作为铝箔层的引流线，万一铝箔层断裂，丝网将起到将铝箔层继续连接的作用，所以对绞线内没有接地导线。

S/FTP 对绞线中含有对绞线，总屏蔽层为丝网，每对对绞线都裹着铝箔屏蔽层。它的电磁特性如下：

- 总屏蔽层采用了铜丝网，它具有极好的韧性和抗电磁干扰能力；
- 线对采用铝箔屏蔽，它除了可以对抗外界电磁波以外，还可以抵御线对之间的电磁干扰。
- 丝网层的屏蔽机理与铝箔层的屏蔽机理不同，它与铝箔层结合，利用其机理上的差异形成了最佳的屏蔽效果，因此穿透屏蔽层后的外界电磁波能量大大下降。但由于孔洞在高频情况下会出现绕射、干涉等现象，在理论上造成高频效果降低。
- 每对对绞线外层的铝箔屏蔽层为全封闭金属层，对电场具有两个反射面，在铝箔层中具有吸收损耗，因此它对电场具有很好的屏蔽效果。
- 内部的对绞线对磁场具有抵消效果。
- 对于对绞线而言，总屏蔽丝网+线对铝箔层的屏蔽效果优于 SF/UTP（对于每个方向而言，有两对对绞线相当于有 1 层丝网和 2 层铝箔。由于各线对总体还有扭转，因此每对线的抗干扰能力大于 SF/UTP。
- 线对采用铝箔屏蔽，它除了可以对抗外界电磁波以外，还可以抵御线对之间的电磁干扰；

- 由于屏蔽层的保护，近处存在金属体时，对绞线的分布电容不会再发生变化，即电参数不易受外界的影响。

S/FTP 对绞线的缺点主要如下：

- 随着频率的升高，丝网层的屏蔽效果将会下降；
- 由于丝网为编织结构，层层叠压，因此线径大于铝箔屏蔽对绞线。

丝网层和铝箔层在接收到外界电磁波时，部分转换成热能，绝大多数随着接地导线被接地，极少数电磁波传输二次辐射，对内部的对绞线产生干扰，由于外界电磁波经历了丝网和铝箔两次衰减，再加上对绞线的对消作用，致使干扰能力大幅度下降，其干扰波的衰减量定然超过 SF/UTP 和 U/FTP 对绞线。

## 9.8.6 其它种类的屏蔽对绞线

以上五种产品还可以通过变型而衍生出一些其他产品。例如：

- 双层铝箔总屏蔽对绞线 (F<sup>2</sup>TP)；
- 铝箔总屏蔽/铝箔线对屏蔽对绞线 (F/FTP)；
- 丝网+铝箔总屏蔽/铝箔线对屏蔽对绞线 (SF/FTP)；
- ……。

这些产品各有其特点，有些柔软，易于施工；有些制造工艺简单，且电磁性能优越；有些屏蔽性能极强。由于篇幅原因暂不与描述，需要时可以参考相关的技术资料和产品手册，也可以应用本白皮书中的方法自行分析。

## 9.9 孔洞效应及屏蔽层破损分析

屏蔽布线系统的屏蔽层是隐藏在护套层内，一般不容易损坏（包括铝箔屏蔽层）。但一旦遇到锐器，再可靠的东西都不可避免会损坏。例如，在布线施工后，有时会看见因桥架接缝处过于尖利，而在屏蔽对绞线上割出一个口子，不但屏蔽层受损，而且还露出了内部的芯线（芯线没有受损）。

根据屏蔽对绞线的制造规定，铝箔屏蔽对绞线中必然带有接地导线，而丝网/铝箔双重屏蔽对绞线则不需要接地导线。对于这样两大类屏蔽对绞线，哪怕屏蔽层完全断裂（极少见到），也会因接地导线连接而造成屏蔽层依然连续，故不会出现抗干扰能力大幅度下降的情况。

当然在破损点电磁干扰会攻击对绞芯线，这时凭借对绞线自身的抗干扰能力，又形成了抗干扰的第二道防线。由此可知，即使屏蔽对绞线的屏蔽层出现一些破损，其抗干扰能力仍然远远高于非屏蔽对绞线。

当然，如果在屏蔽对绞线制造时，内部的铝箔就已经出现严重的防损状态，那护套层和接地导线都无法防范电磁波从大量的破损位置侵入对绞线内。因此，屏蔽对绞线应选用质量有把握的产品，以免因屏蔽层看不见而导致屏蔽效果不理想。

- 当铝箔层万一破损时，由于会造成局部区域出现孔洞效应，电磁波会从孔洞进入，但因丝网保护，故渗入的电磁波不会产生大的作用。
- 当铝箔层万一破损时，由于会造成局部区域出现孔洞效应，电磁波会从孔洞进入，但因丝网保护，故渗入的电磁波不会产生大的作用。
- 铝箔层最严重的故障是横向断裂，由于丝网保护，因此即使这一故障出现，也将对大局无碍。

## 9.10 天线效应

有些资料上认为，铝箔层在断裂时，会出现裂缝天线效应，将电磁波引入对绞线芯线。事实上，根据天线理论，万一铝箔层出现裂缝，当长度超过  $\lambda/20$  时（对六类线而言为  $\lambda = 1.25\text{m}$ ， $\lambda/20 = 200\text{mm}$ ），才可能会出现天线效应。可由于护套层的保护，对绞线不可能出现大于  $200\text{mm}$  的裂缝（铝箔屏蔽对绞线的直径一般小于  $7\text{mm}$ ，周长不过  $21\text{mm}$ ），这样就可能出现严重的裂缝天线效应。

如果将金属线平行（或垂直）放置，那么它就有可能是一根可以接收（或发射）无线电波的天线，它的接收频率与金属线的长度有关，一般来说，接收频率的四分之一波长与金属线长度相等，这一原理在拉杆天线、八木天线中都有应用。

根据这一特点，对绞线所能发射的电磁波波长与绞距及绞距的倍数有关，它相当于一个带阻滤波器，在芯线上所传信息的频率只有与绞距的  $1/2$  匹配才有可能被辐射到空间中。这就使感应到的信号更加杂乱无章，难以恢复。

所以，在对绞线上能够依据天线理论发射到空间的能量有限，而且在频谱上分布极不均匀，要想回复原始信息需要具有相当高的补偿技术。

对于屏蔽对绞线，它的屏蔽层看起来象一根长长的金属体，是否会象天线一样产生辐射或接收外部信号？答案是否定的。根据法拉第笼的原理，屏蔽层两端都被接地，这时屏蔽层上的感应电荷基本上为 0，没有能量可以被辐射。所以它对内、对外都不会“变”成一根天线。

## 9.11 未能良好接地时的状态

接地有两种，一种是信号接地或屏蔽接地（Grounding），另一种是保护接地（Earthing）。

保护接地很容易理解，它是出于系统安全性的需要，将系统中暴露的金属通过保护地线，接入大地。这里的“地”是指地球（Earth），万一强电搭接到暴露的金属上，其能量能够通过保护地线导入大地，被大地吸收，防止造成人身伤害。其实保护接地不只是屏蔽系统所专有的，任何网络都存在保护接地的问题。

信号接地或屏蔽接地也不难理解，这里的“地”（Ground）是指大面积的金属，电路板上大面积的铜箔、金属机箱、金属机柜都可看作 Ground。Ground 的作用是保持“信号地”电平的稳定，吸收电磁干扰，屏蔽接地决定了屏蔽布线系统的电磁兼容特性。布线系统中的屏蔽接地是通过屏蔽层与 Ground 的大面积接触实现的。在屏蔽电缆与配线架或信息插座连接的时候，将屏蔽层与配线架及信息插座的金属屏蔽罩大面积接触，就可实现良好的屏蔽接地。

屏蔽布线系统的屏蔽层在不接地时会接收电磁干扰，形成对内部对绞线的二次干扰源。但是，就原干扰源而言，仍然不能突破屏蔽层而直接干扰内部的每一对对绞线。

对屏蔽层所形成的二次干扰源而言，由于屏蔽层的连续、均匀分配，会使干扰信号在每一点上变得相对于原干扰源而言更为均匀，使对绞线本身的对绞所形成的抗干扰能力得到最大的发挥。

所以，即使屏蔽对绞线的屏蔽层没有接地，其抗干扰能力仍应高于非屏蔽对绞线（原干扰源是随机产生的，往往不能做到处处均匀）。