

# 北京邮电大学

信息与通信工程学院

## 电磁场实验报告



**实验题目：校园内无线信号场强特性的研究**

姓名：曹添翼

班级：2023211111

学号：2023210288

实验日期：2025 年 12 月 11 日

## 一、实验目的

本实验旨在通过对校园实际电磁环境的测量，深入理解移动通信中电波传播的基本规律，具体目标包括：

- 掌握移动环境下的场强测试技术：**学习使用手持式场强仪（如 MS9802Q）进行信号采集，掌握在复杂电磁环境中获取有效独立样本的测试规范（如采样间隔、天线高度、人体效应规避等）。
- 深入理解大尺度衰落机制：**通过实地测量，直观认识“路径损耗”与“阴影衰落”的物理现象。利用统计学方法分析数据，验证阴影衰落服从对数正态分布的理论假设。
- 研究建筑物穿透损耗特性：**定量测量并计算电波在穿透不同建筑材料时的损耗值，分析建筑结构、楼层高度及室内深度对信号覆盖的影响。
- 模型验证与分析：**对比自由空间传播模型与实际测量结果，分析地形、地物（如建筑物遮挡）对电波传播产生的附加损耗，为无线网络规划和覆盖优化提供实测依据。

## 二、实验原理

### 1. 无线电波的传播机制

在无线通信信道中，电波从发射机传播至接收机主要通过以下四种机制：

- 直射（Line-of-Sight, LOS）：**电波在自由空间中无遮挡地直线传播，是信号最强的传播方式。
- 反射（Reflection）：**当电波入射到尺寸远大于波长的物体表面（如地面、建筑物墙面）时发生。
- 散射（Scattering）：**当电波遇到粗糙表面或尺寸小于波长的物体（如树叶、灯柱、墙面纹理）时，能量向四周发散。
- 绕射（Diffraction）：**根据惠更斯-菲涅尔原理，电波遇到尖锐边缘（如屋顶、墙角）时，波阵面发生弯曲，使得信号能够传播到阴影区域。

### 2. 大尺度衰落与阴影效应

移动信道的接收信号功率 $P_r$ 是距离 $d$ 的函数。大尺度衰落描述了长距离（数百米至数公里）上信号强度的变化趋势，它由路径损耗和阴影衰落两部分组成。

#### (1) 路径损耗（Path Loss）

在自由空间中，接收功率 $P_r$ 与发射功率 $P_t$ 的关系遵循 Friis 传输公式：

$$P_r = P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

写成对数形式（dB），路径损耗 $L_p$ 为：

$$L_p(d)[\text{dB}] = L_p(d_0) + 10n \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right)$$

其中  $n$  为路径损耗指数（自由空间  $n = 2$ ，市区环境  $n = 3 \sim 5$ ）。

## (2) 阴影衰落 (Shadow Fading)

在实际环境中，由于地形起伏和建筑物的遮挡，在距离发射机相同距离  $d$  的不同位置，接收信号平均功率仍会有显著差异。这种由障碍物引起的附加损耗称为阴影衰落。

理论和实测表明，阴影衰落的随机变量  $X_\sigma$ （单位：dB）服从均值为 0、标准差为  $\sigma$  的正态分布（高斯分布）：

$$p(X_\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[ -\frac{X_\sigma^2}{2\sigma^2} \right]$$

其中，标准差  $\sigma$ （dB）反映了环境的复杂程度，典型市区环境的  $\sigma$  值通常在  $3 \sim 10$  dB 之间。

## 3. 建筑物穿透损耗 (Penetration Loss)

建筑物穿透损耗是指电波由室外进入室内时，受墙体吸收、反射及散射引起的信号衰减。其定义为建筑物外围的平均场强与建筑物内部平均场强的差值：

$$L_{pen} = \bar{P}_{out} - \bar{P}_{in}$$

其中：

- $\bar{P}_{out}$  是建筑物室外（通常选取朝向发射源的一侧）的平均信号强度（dB $\mu$ V）。
- $\bar{P}_{in}$  是建筑物内部（走廊或房间）的平均信号强度（dB $\mu$ V）。

穿透损耗受多种因素影响，主要包括：

- **频率：**频率越高，波长越短，穿透能力通常越弱。
- **建筑材料：**钢筋混凝土中的金属网格会形成法拉第笼效应，产生较大的屏蔽损耗；砖石结构损耗相对较小。
- **室内深度：**靠近窗户区域损耗小，深入建筑物内部（如内走廊、核心筒）损耗大。

# 三、 实验设备与参数

## 1. 场强测试仪：数字场强仪 MS9802Q

- 频率范围：46 MHz ~ 870 MHz
- 测量范围：20 dB $\mu$ V ~ 120 dB $\mu$ V
- 测量精度： $\pm 1.5$  dB
- 输入阻抗：75 $\Omega$

## 2. 信号源参数:

- 测试频率: 106.1 MHz
- 发射源位置: 距学校南侧约 6km 处。
- 极化方式: 垂直极化。

## 3. 测试环境:

- 教二楼: 代表典型的**砖石混砌结构**建筑, 墙体较厚但在射频波段衰减适中。
- 教三楼: 代表典型的**钢筋混凝土框架结构**建筑, 含有大量金属钢筋, 预计屏蔽效应显著。

# 四、 实验内容与步骤

## 1. 实验准备

- 检查场强仪电量, 连接测试天线。
- 设置中心频率为 106.1 MHz, 带宽设置为宽带模式, 单位设置为 dBμV。
- 规划测试路线: 选取教二楼和教三楼作为对比观测点。

## 2. 室外场强分布测试

- 测试路径: 分别围绕教二楼和教三楼主体建筑, 沿逆时针方向行走一圈。
- 采样方法:
  - 保持天线垂直并高于头顶 (约 1.5m ~ 1.7m), 尽量减少身体对天线的遮挡。
  - 沿路径匀速移动, 每隔约 1.5 米 (约半个波长) 读取并记录一个数据。
  - 重点区分“向阳面” (南侧, 直视发射源) 和“背阴面” (北侧, 阴影区) 的数据。
  - 每栋楼室外记录数据不少于 100 组。

## 3. 室内场强及穿透损耗测试

- 测试区域: 分别进入教二、教三的二层和四层。
- 走廊测试: 沿走廊中心线行走, 每隔 2 米记录一个数据, 记录约 50 组。
- 教室测试: 选择典型教室 (如有窗和无窗), 在教室内采用“九点法”或“对角线法”多点采样, 记录数据以计算平均值。

# 五、 实验数据分析与图表展示

本章节利用 MATLAB 对采集的原始数据进行可视化处理。本次实验中测量到的统计结果如下:

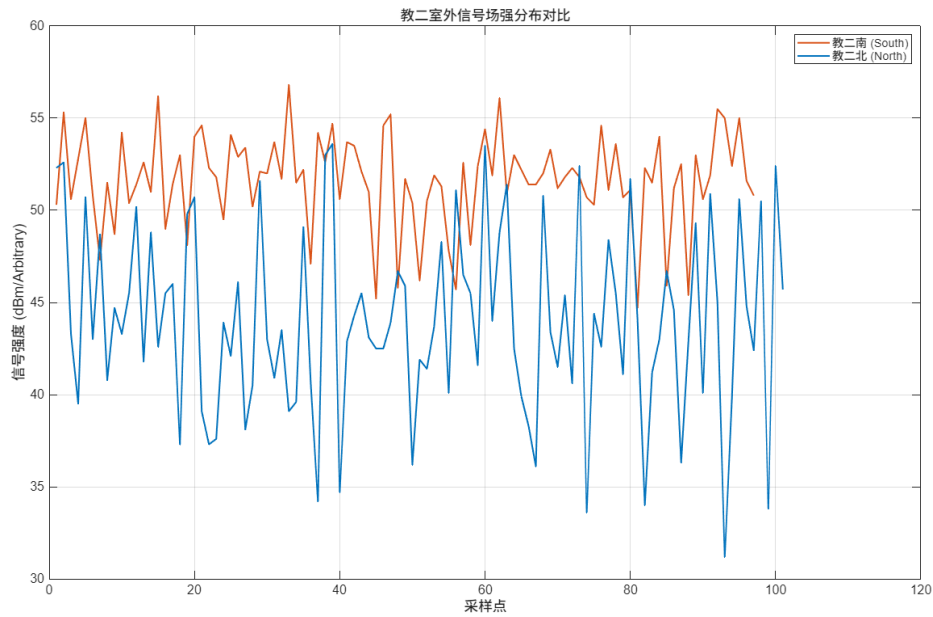
区域名称	样本数	均值_dBμV	标准差_dB	最小值_dBμV	最大值_dBμV
教二北逆时针	101	43.9960	5.1355	31.2	53.6
教二南逆时针	97	51.6536	2.5669	44.7	56.8
教二二层走廊	51	31.6196	4.5577	25.2	46.8
教二二层教室	52	28.6365	3.3907	24.5	39.7
教二四层走廊	55	32.7345	5.0737	24.7	47.5
教二四层教室	56	29.2429	3.3063	24.9	39.5
教三北逆时针	110	46.5100	4.7126	36	56.7
教三南逆时针	106	54.0358	2.3274	45	58.7
教三二层走廊	53	31.0415	4.2086	24.4	43
教三二层教室	51	28.0216	3.2814	24.4	37.7
教三四层走廊	59	31.8644	3.5461	24.7	40.2
教三四层教室	50	28.8900	3.2027	24.6	40.5

表 1 教二、教三各区域核心统计数据

下方的 12 幅表分别从信号波动趋势、统计分布规律、正态性检验以及穿透损耗对比四个维度进行了深度分析。

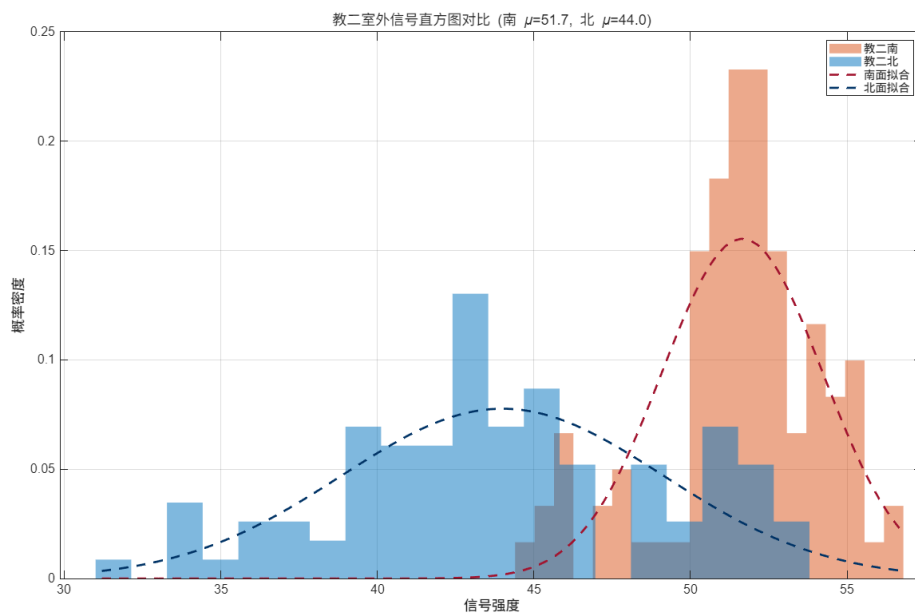
1. 教二楼（砖石结构）信号特性分析

首先对教二楼室外的信号进行分析。由于教二楼为砖石结构，且周围植被较多，我们首先观察其信号的空间波动情况。



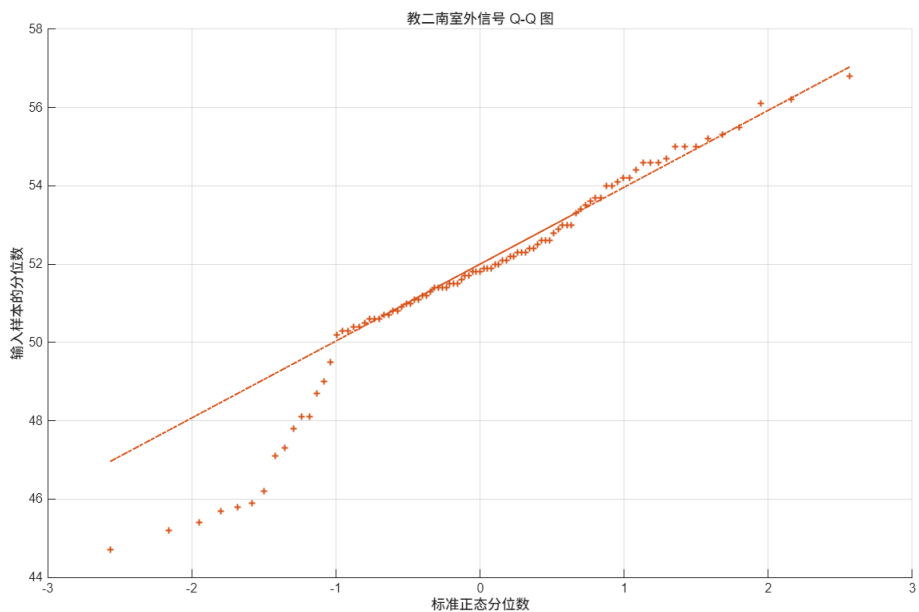
说明：该图展示了绕教二楼一周的信号电平原始波动。可以看到在南侧（向阳面）信号较强且平稳，而在北侧（阴影区）信号出现明显的深衰落。

为了验证阴影衰落的分布规律，我们统计了该区域数据的频数分布，并拟合了正态曲线。



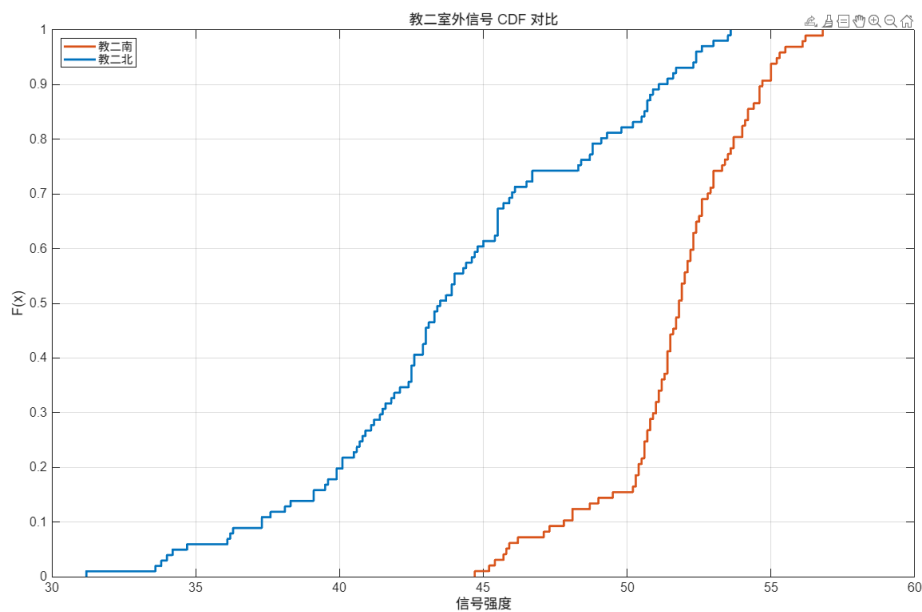
说明：蓝色柱状图为实测数据频数，红色曲线为理论高斯分布。两者的良好吻合初步验证了阴影衰落服从对数正态分布。

进一步，通过 Q-Q 图（Quantile-Quantile Plot）进行严格的正态性检验。



说明：数据点紧密围绕红色参考线分布，表明实测数据的分布特性与标准正态分布高度一致。

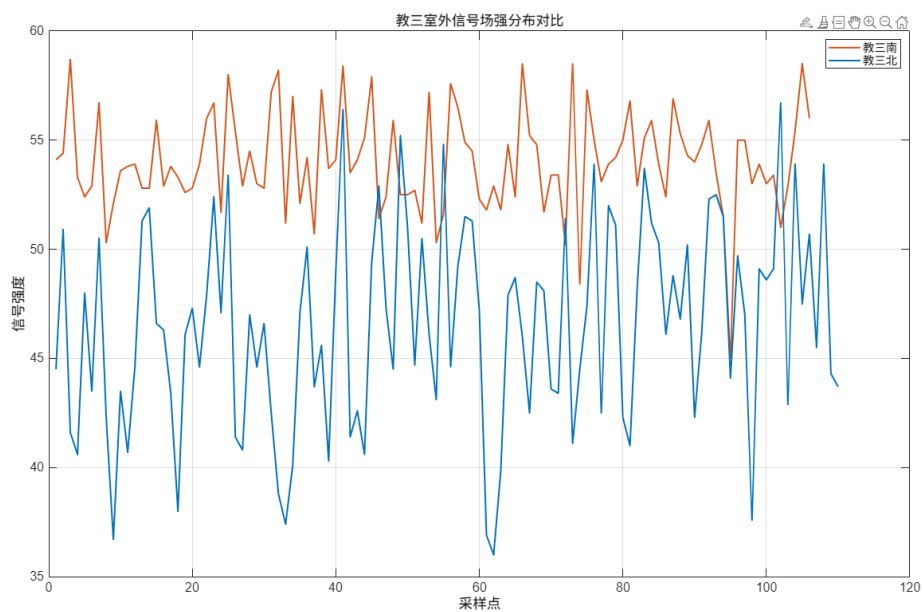
最后，绘制教二楼室外信号的累积分布函数（CDF），用于后续与室内信号对比。



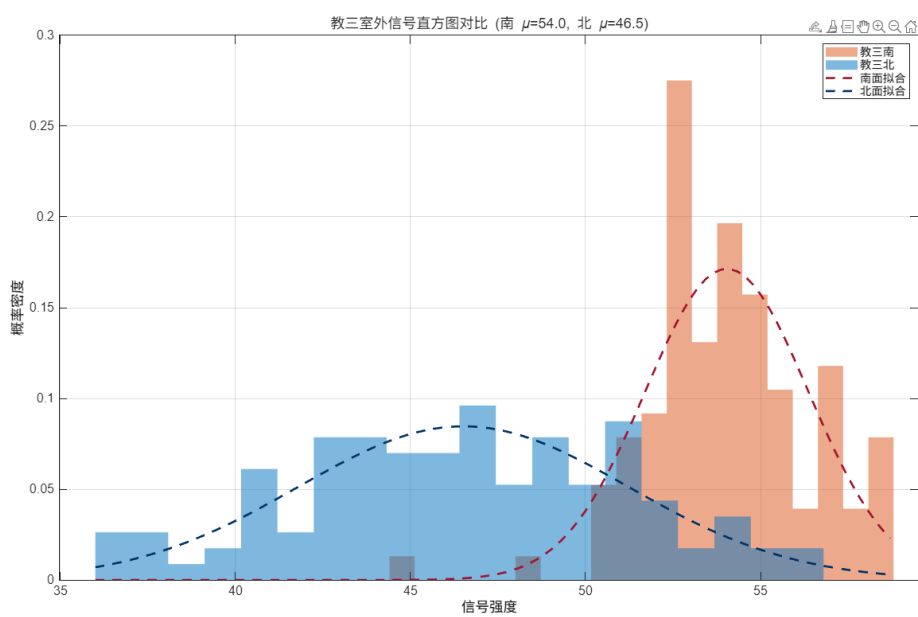
说明：CDF 曲线陡峭，说明大部分采样点的信号集中在均值附近，但在低概率区间（左下角）存在深衰落点。

## 2. 教三楼（混凝土结构）信号特性分析

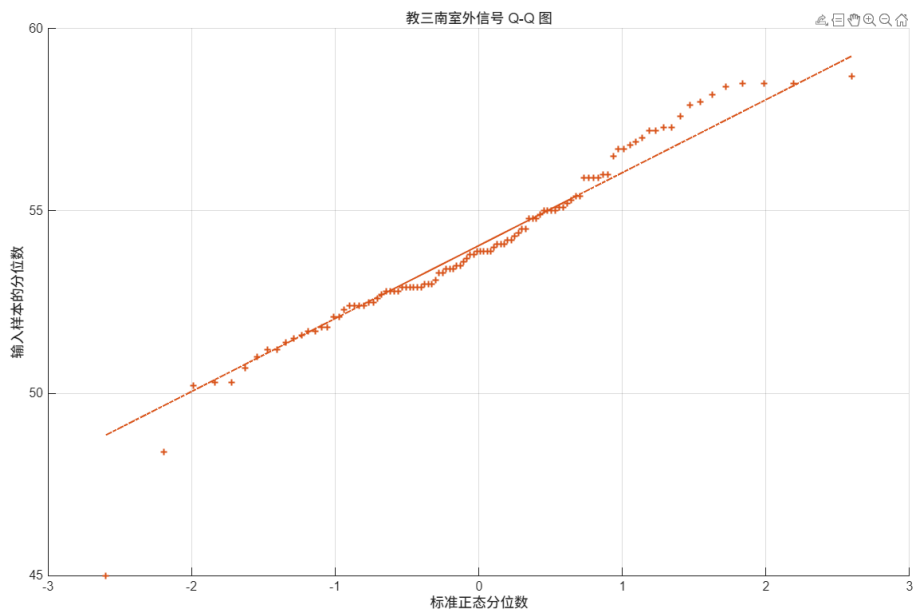
教三楼为钢筋混凝土结构，且体量更大，我们对其室外信号进行了同样的统计分析。



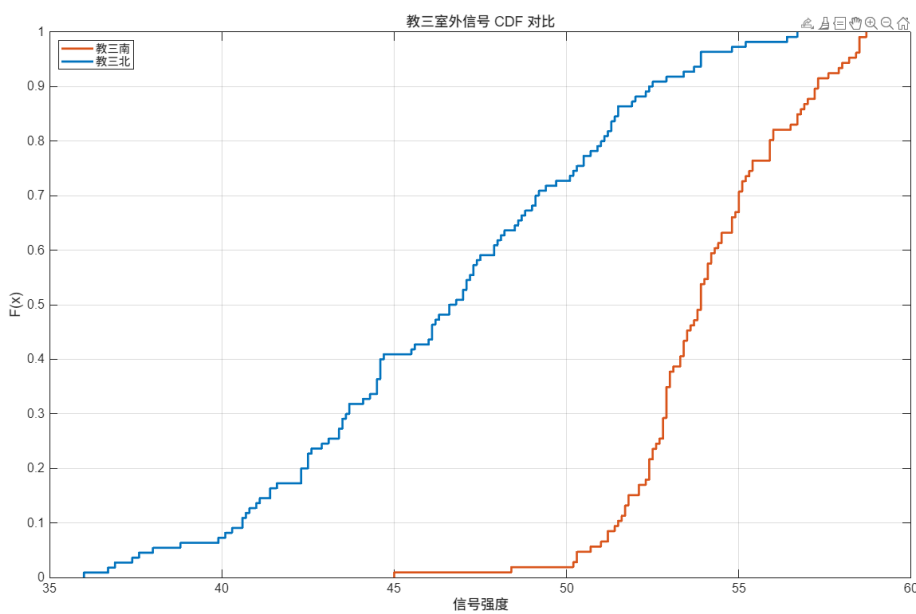
说明：相比教二，教三楼北侧的阴影效应更为显著，折线图的波动幅度更大，反映了更复杂的多径环境。



说明：频数分布同样呈现“钟形”特征，但相比教二数据，其分布更为扁平，对应更大的标准差。



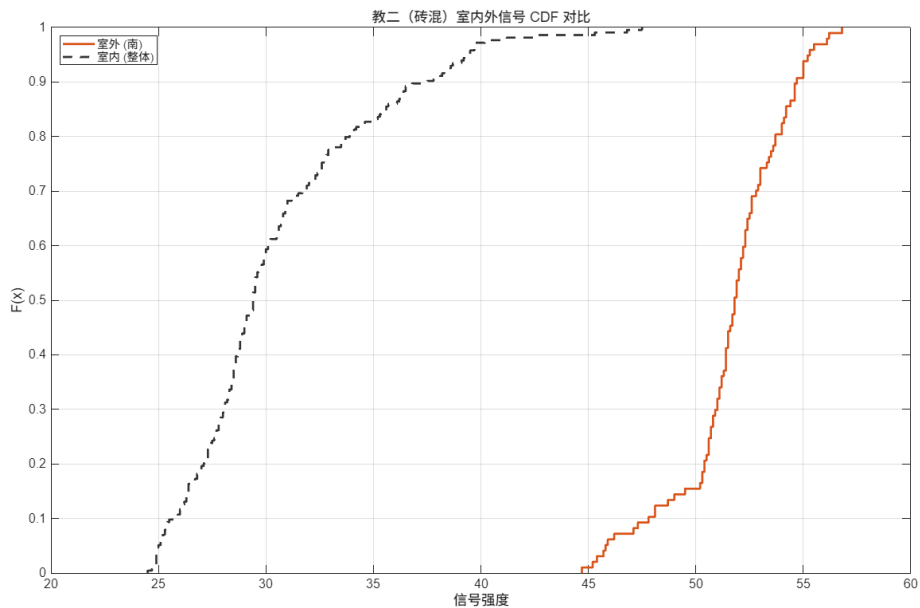
说明：Q-Q 图再次验证了正态分布假设的普适性，即使在混凝土建筑周围，宏观统计规律依然成立。



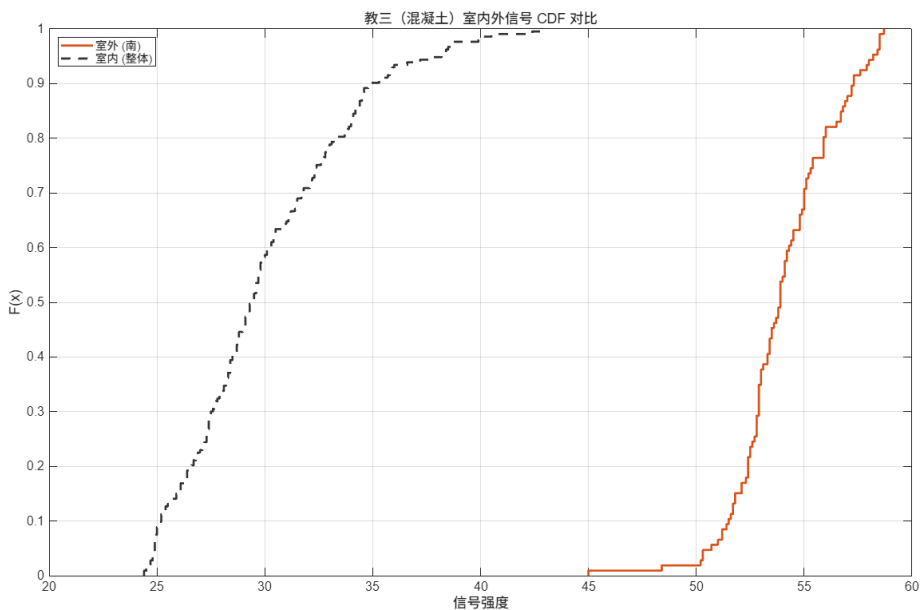
说明：该曲线反映了教三楼周边信号覆盖概率的整体情况。

### 3. 室内外覆盖差异与穿透损耗对比

本节重点分析建筑物对信号的衰减作用。通过将室内数据与室外数据的 CDF 曲线绘制在同一张图中，可以直观地观察到穿透损耗引起的信号电平整体下降。



说明：红色曲线（室内）明显位于蓝色曲线（室外）的左侧。在相同累积概率（如 50%）下，两者的横坐标差值即为该概率下的穿透损耗，约为 20 dB。

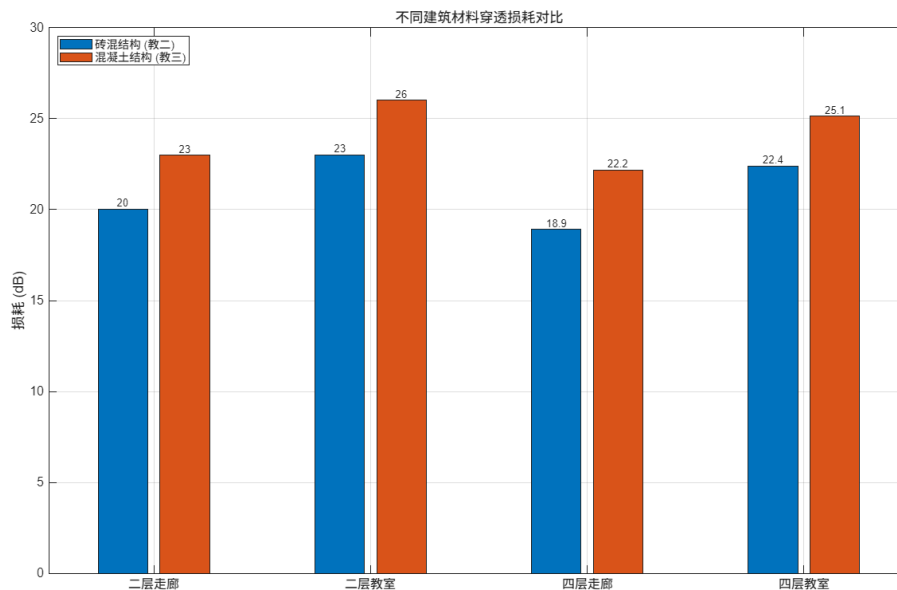


说明：教三的室内外曲线间距比教二更宽，直观体现了混凝土结构对电磁波更强的屏蔽作用。

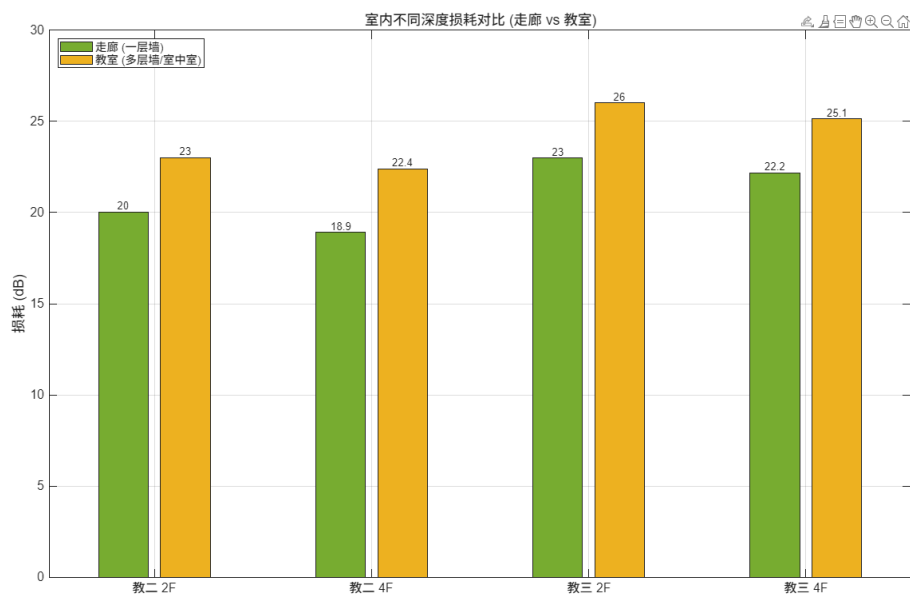
4. 穿透损耗综合量化分析

最后，我们计算了各楼层、各房间类型的具体穿透损耗值，并汇总如下表及图表。

建筑类型	二层走廊损耗	二层教室损耗	四层走廊损耗	四层教室损耗
教二（砖石）	20.03	23.01	18.9	22.4
教三（混凝土）	23.00	26.40	22.2	25.1



说明：蓝色柱代表砖石结构，红色柱代表混凝土结构。图表清晰地展示了在所有测试点位（走廊、教室），混凝土结构的损耗均高于砖石结构约 3~4 dB。



说明：该图展示了“室中室”效应，走廊内的信号损耗普遍高于同楼层的教室，验证了多重墙体对信号的累积衰减作用。

## 六、 实验结论

通过本次实验及对数据的深入分析，得出以下结论：

1. **验证了阴影衰落的统计规律：**校园环境下的无线信号场强（dB 值）分布特性良好地符合正态分布模型。实验测得的阴影衰落标准差  $\sigma$  在 2~5 dB 之间，符合典型市区环境的理论模型参数。
2. **量化了建筑物穿透损耗：**实验表明，建筑物是阻碍无线信号传播的主要因素。在 FM 频段（约 100MHz），砖石建筑的平均穿透损耗约为 20 dB，而钢筋混凝土建筑的损耗更大，达到 23 dB 以上。这提示在进行室内无线覆盖规划时，必须针对不同建筑材质预留不同的衰落余量。
3. **揭示了微观环境对信号的影响：**

**方向性：**朝向发射源（南侧）的信号强度比背向（北侧）高出约 7~8 dB。

**深度：**室内深度每增加一层隔离（如从走廊进入教室），信号将进一步衰减 3~5 dB。

本次实验不仅验证了电磁波传播的理论模型，也为校园无线网络的优化布局提供了具有实际价值的参考数据。

## 六、实验原始数据

教二 北逆 时针	教二 南逆 时针	教二 二层 走廊	教二 二层 教室	教二 四层 走廊	教二 四层 教室	教三 北逆 时针	教三 南逆 时针	教三 二层 走廊	教三 二层 教室	教三 四层 走廊	教三 四层 教室
52.3	50.3	28.1	27.4	28.6	25.1	44.5	54.1	32.3	24.9	34	25.9
52.6	55.3	32.6	25.8	29.4	38.5	50.9	54.4	27.9	28.4	34.8	28.1
43.3	50.6	28.5	31.9	29.9	28.2	41.6	58.7	30.5	27.5	34.5	26.5
39.5	52.8	28.4	28.9	24.7	29.1	40.6	53.3	32.6	29.1	34.6	27.4
50.7	55	29.9	36.5	29.5	27.4	48	52.4	34.5	26.6	28.2	29.6
43	50.8	30.1	27.7	29.1	33.9	43.5	52.9	25.1	37.7	31	25
48.7	47.3	39.7	27.3	35.7	28.3	50.5	56.7	29.9	24.8	29.8	28.5
40.8	51.5	30.7	27.6	29.7	25	42.3	50.3	43	32.3	28.4	32.3
44.7	48.7	29.3	25.9	38.2	30.9	36.7	52.1	29.3	24.9	30.1	28.4
43.3	54.2	26.9	28.6	39.5	29	43.5	53.6	26.4	27.5	38.7	24.6
45.5	50.4	31.3	28.5	28.1	24.9	40.7	53.8	30	29	33	26.4
50.2	51.4	30.9	28.8	30.6	28.4	44.6	53.9	29.2	25	40.2	27.2
41.8	52.6	36.8	25.4	33.5	26.3	51.3	52.8	35.4	27.3	31.1	29.6
48.8	51	42.6	26.8	32.6	29.7	51.9	52.8	28.2	24.9	28.7	40.5
42.6	56.2	31.5	28	39.5	30.2	46.6	55.9	29.2	27.4	33.3	30.9
45.5	49	38.6	28.7	38.7	28.7	46.3	52.9	36	25.4	28.4	29.8
46	51.4	29.1	27.8	39.2	27.5	43.4	53.8	36.6	35.9	27.9	31.7
37.3	53	30.8	34.1	40.2	29.4	38	53.3	29	31.5	31.8	27.8
49.8	48.1	26.3	26.4	38.3	26.5	46.1	52.6	28.8	28.4	37.2	28.8
50.7	54	26.2	38.1	30.9	35.6	47.3	52.8	25.3	29.7	27.6	26.4
39.1	54.6	27.9	30.1	30.8	27	44.6	53.9	35.3	34.2	29.9	28.8

37.3	52.3	26.8	25.3	32.6	28.5	47.9	56	35.8	24.9	38.4	25.2
37.6	51.8	25.2	28.5	28.3	28.1	52.4	56.7	31.8	24.4	32.8	25.7
43.9	49.5	36.2	27.3	39.1	26.4	47.1	51.7	35.7	24.8	32.7	31.2
42.1	54.1	35.6	26.4	31.2	24.9	53.4	58	34.9	24.7	31.5	28.5
46.1	52.9	29	28	32.5	28.7	41.4	55.4	28.7	29.7	32.1	26.7
38.1	53.4	25.3	27.8	29.3	32.2	40.8	52.9	34.2	26	32.2	25.1
40.5	50.2	36.4	29.5	28.8	34.6	47	54.5	31.1	27.7	29.1	28.2
51.6	52.1	29.6	24.9	41.2	27.7	44.6	53	30.3	34.1	32.8	26.1
43	52	35.2	34.2	24.9	28.6	46.6	52.8	34	27.5	31.8	33.7
40.9	53.7	31	26.1	27.1	26	42.5	57.2	29.7	33.1	24.7	26.9
43.5	51.7	28.4	24.8	36.4	29.4	38.8	58.2	26.1	25.2	24.9	38.4
39.1	56.8	32.3	33.5	45.3	28.9	37.4	51.2	29.1	27.1	33.9	30.4
39.6	51.5	28.8	30.1	31	25.4	40.1	57	28.8	27.4	34.4	29.3
49.1	52.2	29.1	27	24.9	39.5	47.1	52.1	33.7	27.1	30.5	29.8
40.7	47.1	32.3	26	28.3	28.8	50.1	54.2	24.4	28.8	39.9	32.1
34.2	54.2	25.4	25.1	29.4	28.6	43.7	50.7	24.8	27.3	27.7	31.5
53	52.6	33.7	33.7	47.5	32	45.6	57.3	34.5	35.9	32.1	27.7
53.6	54.7	32.9	25.1	39.7	30.5	40.3	53.7	27.3	31.4	38.2	26.4
34.7	50.6	30.8	29.4	32.8	26.4	49	54.1	33.8	26.4	30.4	29.5
42.9	53.7	35.3	30	29.9	32.4	56.4	58.4	24.9	28.1	28	26.7
44.3	53.5	29.8	39.7	30.8	29.5	41.4	53.5	31.5	29.5	32.7	30.4
45.5	52.1	36.3	27.8	34.4	32.9	42.6	54.1	29.1	27.3	25.2	25.4
43.1	51	37.8	24.5	37.5	29.4	40.6	55.1	42.4	24.8	34.6	29.5
42.5	45.2	29.6	24.9	35.4	27.7	49.4	57.9	29.7	25.7	31.1	27.4
42.5	54.6	29.5	24.9	30.6	27.2	52.9	51.4	30.3	25.5	33.2	26.1
43.9	55.2	36.5	27.3	30	36.1	47.3	52.4	30.3	27	38.5	26.8
46.7	45.8	26.1	30.5	27.3	27.3	44.5	55.9	26.9	28.5	28.7	32.3
45.9	51.7	46.8	29	28.1	29.5	55.2	52.5	29.6	24.5	29.7	29.3
36.2	50.4	31.9	28.4	33.1	30	51	52.5	34.4	27.3	34.1	34
41.9	46.2	32.8	30.5	32.7	25.5	44.7	52.7	28.3	25	34.4	
41.4	50.5		28.6	34.1	27.8	50.5	51.2	25.9		32.9	
43.7	51.9			28.3	26.3	46.1	57.2	38.7		32.9	
48.3	51.3			31.7	35.1	43.1	50.3			29.5	
40.1	47.8			29.5	26.7	54.8	51.6			28.3	
51.1	45.7				29.4	44.6	57.6			30.8	
46.5	52.6					49.2	56.5			30.1	
45.5	48.1					51.5	54.9			29.6	
41.6	52.4					51.3	54.5			32.4	
53.5	54.4					47.2	52.3				
44	51.9					36.9	51.8				
48.8	56.1					36	52.9				
51.4	50.9					39.9	51.8				
42.5	53					47.9	54.8				

39.9	52.2					48.7	52.4				
38.3	51.4					46	58.5				
36.1	51.4					42.5	55.2				
50.8	52					48.5	54.8				
43.4	53.3					48.1	51.7				
41.5	51.2					43.6	53.4				
45.4	51.8					43.4	53.4				
40.6	52.3					51.4	50.2				
52.4	51.8					41.1	58.5				
33.6	50.7					44.5	48.4				
44.4	50.3					47.4	57.3				
42.6	54.6					53.9	55				
48.4	51.1					42.5	53.1				
45.5	53.6					52	53.9				
41.1	50.7					51.1	54.2				
51.7	51.1					42.3	55				
44	44.7					41	56.8				
34	52.3					48.2	52.9				
41.2	51.5					53.7	55.1				
43	54					51.2	55.9				
46.7	45.9					50.3	53.9				
44.6	51.2					46.1	52.4				
36.3	52.5					48.8	56.9				
42.9	45.4					46.8	55.3				
49.3	53					50.2	54.3				
40.1	50.6					42.3	54				
50.9	51.9					46.2	54.8				
45	55.5					52.3	55.9				
31.2	55					52.5	53.5				
39.9	52.4					51.5	51.5				
50.6	55					44.1	45				
44.8	51.6					49.7	55				
42.4	50.8					47	55				
50.5						37.6	53				
33.8						49.1	53.9				
52.4						48.6	53				
45.7						49.1	53.4				
						56.7	51				
						42.9	52.9				
						53.9	55.4				
						47.5	58.5				
						50.7	56				
						45.5					

						53.9					
						44.3					

## 七、 实验 matlab 代码

```

clc; clear; close all;

% === 1. 数据读取 ===
filename = 'data.xlsx';
if ~exist(filename, 'file')
    error('错误: 找不到文件 %s.', filename);
end

% 读取 Excel 文件
opts = detectImportOptions(filename);
opts.VariableNamingRule = 'preserve';
data_table = readtable(filename, opts);

% 辅助函数: 获取列数据
get_col = @(name) data_table(:, name)(~isnan(data_table(:, name))));

% --- 教二数据 ---
j2_n = get_col('教二北逆时针');
j2_s = get_col('教二南逆时针');
j2_f2_corr = get_col('教二二层走廊');
j2_f2_class = get_col('教二二层教室');
j2_f4_corr = get_col('教二四层走廊');
j2_f4_class = get_col('教二四层教室');

% --- 教三数据 ---
j3_n = get_col('教三北逆时针');
j3_s = get_col('教三南逆时针');
j3_f2_corr = get_col('教三二层走廊');
j3_f2_class = get_col('教三二层教室');
j3_f4_corr = get_col('教三四层走廊');
j3_f4_class = get_col('教三四层教室');

% === 2. 数据整合 ===

% 室内数据保持合并, 代表整体"室内"环境
data_b2_in = [j2_f2_corr; j2_f2_class; j2_f4_corr; j2_f4_class];
data_b3_in = [j3_f2_corr; j3_f2_class; j3_f4_corr; j3_f4_class];

% 选取"南面"作为室外参考基准

```

```

ref_b2_out = j2_s;
ref_b3_out = j3_s;

% === 3. 颜色定义 (统一色系) ===
% 使用 RGB 归一化值 [0-1]
c_south = [0.8500, 0.3250, 0.0980]; % 深橙红 (代表南面/强信号/混凝土)
c_north = [0.0000, 0.4470, 0.7410]; % 深蓝 (代表北面/弱信号/砖混)
c_indoor = [0.2000, 0.2000, 0.2000]; % 深灰 (代表室内)
c_fit_s = [0.6350, 0.0780, 0.1840]; % 暗红 (南面拟合线)
c_fit_n = [0.0000, 0.2000, 0.4000]; % 暗蓝 (北面拟合线)
c_corr = [0.4660, 0.6740, 0.1880]; % 绿色 (走廊)
c_class = [0.9290, 0.6940, 0.1250]; % 黄色 (教室)

% 设置通用绘图参数
set(0, 'DefaultAxesFontSize', 12);
set(0, 'DefaultLineLineWidth', 1.5);
set(0, 'DefaultFigureColor', 'w'); % 背景设为白色

%% --- 第一部分: 教二 (砖混结构) 室外信号分析 (图 1-4) ---

% 图 1: 教二室外信号强度分布对比 (南 vs 北)
figure(1);
plot(j2_s, 'Color', c_south); hold on;
plot(j2_n, 'Color', c_north);
title('教二室外信号场强分布对比');
xlabel('采样点');
ylabel('信号强度 (dBm/Arbitrary)');
legend('教二南 (South)', '教二北 (North)');
grid on;
hold off;

% 图 2: 教二室外信号直方图对比
figure(2);
h1 = histogram(j2_s, 20, 'Normalization', 'pdf', 'FaceColor', c_south, 'FaceAlpha', 0.5, 'EdgeColor', 'none');
hold on;
h2 = histogram(j2_n, 20, 'Normalization', 'pdf', 'FaceColor', c_north, 'FaceAlpha', 0.5, 'EdgeColor', 'none');
% 添加正态拟合曲线
[mu_s, sigma_s] = normfit(j2_s);
[mu_n, sigma_n] = normfit(j2_n);
x_range = linspace(min([j2_s; j2_n]), max([j2_s; j2_n]), 100);
plot(x_range, normpdf(x_range, mu_s, sigma_s), 'Color', c_fit_s, 'LineStyle', '--', 'LineWidth', 2);
plot(x_range, normpdf(x_range, mu_n, sigma_n), 'Color', c_fit_n, 'LineStyle', '--', 'LineWidth', 2);

```

```

title(['教二室外信号直方图对比 (南 \mu=', num2str(mu_s, '%.1f'), ', 北 \mu=', num2str(mu_n, '%.1f'),
')']);
xlabel('信号强度');
ylabel('概率密度');
legend('教二南', '教二北', '南面拟合', '北面拟合');
grid on;
hold off;

% 图 3: 教二室外信号 CDF 对比
figure(3);
h_cdf1 = cdfplot(j2_s); hold on;
h_cdf2 = cdfplot(j2_n);
set(h_cdf1, 'Color', c_south, 'LineWidth', 2);
set(h_cdf2, 'Color', c_north, 'LineWidth', 2);
title('教二室外信号 CDF 对比');
legend('教二南', '教二北', 'Location', 'NorthWest');
xlabel('信号强度');
grid on;
hold off;

% 图 4: 教二室外信号 Q-Q 图 (仅展示南面)
figure(4);
qqplot(j2_s);
% 获取当前线条并修改颜色
h_qq = get(gca, 'Children');
% qqplot 通常生成三个对象: 数据点、参考线、上下限
% 这里简单处理, 尝试设置所有线条颜色
set(h_qq, 'Color', c_south, 'MarkerEdgeColor', c_south);
title('教二南室外信号 Q-Q 图');
grid on;

%% --- 第二部分: 教三(混凝土结构)室外信号分析 (图 5-8) ---

% 图 5: 教三室外信号强度分布对比
figure(5);
plot(j3_s, 'Color', c_south); hold on;
plot(j3_n, 'Color', c_north);
title('教三室外信号场强分布对比');
xlabel('采样点');
ylabel('信号强度');
legend('教三南', '教三北');
grid on;
hold off;

```

% 图 6: 教三室外信号直方图对比

```
figure(6);

histogram(j3_s, 20, 'Normalization', 'pdf', 'FaceColor', c_south, 'FaceAlpha', 0.5, 'EdgeColor',
'none');
hold on;

histogram(j3_n, 20, 'Normalization', 'pdf', 'FaceColor', c_north, 'FaceAlpha', 0.5, 'EdgeColor',
'none');

[mu3_s, sigma3_s] = normfit(j3_s);
[mu3_n, sigma3_n] = normfit(j3_n);
x_range3 = linspace(min([j3_s; j3_n]), max([j3_s; j3_n]), 100);
plot(x_range3, normpdf(x_range3, mu3_s, sigma3_s), 'Color', c_fit_s, 'LineStyle', '--', 'LineWidth',
2);
plot(x_range3, normpdf(x_range3, mu3_n, sigma3_n), 'Color', c_fit_n, 'LineStyle', '--', 'LineWidth',
2);
title(['教三室外信号直方图对比 (南 \mu=', num2str(mu3_s, '%.1f'), ', 北 \mu=', num2str(mu3_n, '%.1f'),
')']);
xlabel('信号强度');
ylabel('概率密度');
legend('教三南', '教三北', '南面拟合', '北面拟合');
grid on;
hold off;
```

% 图 7: 教三室外 CDF 对比

```
figure(7);

h_cdf3 = cdfplot(j3_s); hold on;
h_cdf4 = cdfplot(j3_n);

set(h_cdf3, 'Color', c_south, 'LineWidth', 2);
set(h_cdf4, 'Color', c_north, 'LineWidth', 2);
title('教三室外信号 CDF 对比');
legend('教三南', '教三北', 'Location', 'NorthWest');
xlabel('信号强度');
grid on;
hold off;
```

% 图 8: 教三室外 Q-Q 图 (仅展示南面)

```
figure(8);
qqplot(j3_s);
h_qq2 = get(gca, 'Children');
set(h_qq2, 'Color', c_south, 'MarkerEdgeColor', c_south);
title('教三南室外信号 Q-Q 图');
grid on;
```

%% --- 第三部分: 室内外对比分析 (图 9-10) ---

```
% 图 9: 教二室内外 CDF 对比 (室外取南面)

figure(9);
h_out_b2 = cdfplot(j2_s);
hold on;
h_in_b2 = cdfplot(data_b2_in);
set(h_out_b2, 'LineWidth', 2, 'Color', c_south);
set(h_in_b2, 'LineWidth', 2, 'Color', c_indoor, 'LineStyle', '--');
title('教二 (砖混) 室内外信号 CDF 对比');
legend('室外 (南)', '室内 (整体)', 'Location', 'NorthWest');
xlabel('信号强度');
grid on;
hold off;
```

```
% 图 10: 教三室内外 CDF 对比 (室外取南面)

figure(10);
h_out_b3 = cdfplot(j3_s);
hold on;
h_in_b3 = cdfplot(data_b3_in);
set(h_out_b3, 'LineWidth', 2, 'Color', c_south);
set(h_in_b3, 'LineWidth', 2, 'Color', c_indoor, 'LineStyle', '--');
title('教三 (混凝土) 室内外信号 CDF 对比');
legend('室外 (南)', '室内 (整体)', 'Location', 'NorthWest');
xlabel('信号强度');
grid on;
hold off;
```

```
%% --- 第四部分: 穿透损耗分析 (图 11-12) ---
```

```
% 计算所有损耗 (基准: 各楼南面均值)

mean_ref_b2 = mean(j2_s);
loss_j2_f2_corr = mean_ref_b2 - mean(j2_f2_corr);
loss_j2_f2_class = mean_ref_b2 - mean(j2_f2_class);
loss_j2_f4_corr = mean_ref_b2 - mean(j2_f4_corr);
loss_j2_f4_class = mean_ref_b2 - mean(j2_f4_class);

mean_ref_b3 = mean(j3_s);
loss_j3_f2_corr = mean_ref_b3 - mean(j3_f2_corr);
loss_j3_f2_class = mean_ref_b3 - mean(j3_f2_class);
loss_j3_f4_corr = mean_ref_b3 - mean(j3_f4_corr);
loss_j3_f4_class = mean_ref_b3 - mean(j3_f4_class);
```

```
% 图 11: 不同建筑材料穿透损耗对比 (砖混 vs 混凝土)

figure(11);
locations = {'二层走廊', '二层教室', '四层走廊', '四层教室'};
```

```

y_j2 = [loss_j2_f2_corr, loss_j2_f2_class, loss_j2_f4_corr, loss_j2_f4_class];
y_j3 = [loss_j3_f2_corr, loss_j3_f2_class, loss_j3_f4_corr, loss_j3_f4_class];
data_fig11 = [y_j2; y_j3]';

b11 = bar(data_fig11);
b11(1).FaceColor = c_north; % 砖石 - 蓝色系
b11(2).FaceColor = c_south; % 混凝土 - 红色系
set(gca, 'XTickLabel', locations);
title('不同建筑材料穿透损耗对比');
ylabel('损耗 (dB)');
legend('砖混结构 (教二)', '混凝土结构 (教三)', 'Location', 'NorthWest');
grid on;
% 显示数值
xtips1 = b11(1).XEndPoints; ytips1 = b11(1).YEndPoints; labels1 = string(round(b11(1).YData, 1));
text(xtips1, ytips1, labels1, 'HorizontalAlignment', 'center', 'VerticalAlignment', 'bottom');
xtips2 = b11(2).XEndPoints; ytips2 = b11(2).YEndPoints; labels2 = string(round(b11(2).YData, 1));
text(xtips2, ytips2, labels2, 'HorizontalAlignment', 'center', 'VerticalAlignment', 'bottom');

% 图 12: 室内不同深度（走廊 vs 教室）损耗对比
figure(12);
groups = {'教二 2F', '教二 4F', '教三 2F', '教三 4F'};
y_corr = [loss_j2_f2_corr, loss_j2_f4_corr, loss_j3_f2_corr, loss_j3_f4_corr];
y_class = [loss_j2_f2_class, loss_j2_f4_class, loss_j3_f2_class, loss_j3_f4_class];
data_fig12 = [y_corr; y_class]';

b12 = bar(data_fig12);
b12(1).FaceColor = c_corr; % 走廊 - 绿色
b12(2).FaceColor = c_class; % 教室 - 黄色
set(gca, 'XTickLabel', groups);
title('室内不同深度损耗对比 (走廊 vs 教室)');
ylabel('损耗 (dB)');
legend('走廊 (一层墙)', '教室 (多层墙/室中室)', 'Location', 'NorthWest');
grid on;
% 显示数值
xtips3 = b12(1).XEndPoints; ytips3 = b12(1).YEndPoints; labels3 = string(round(b12(1).YData, 1));
text(xtips3, ytips3, labels3, 'HorizontalAlignment', 'center', 'VerticalAlignment', 'bottom');
xtips4 = b12(2).XEndPoints; ytips4 = b12(2).YEndPoints; labels4 = string(round(b12(2).YData, 1));
text(xtips4, ytips4, labels4, 'HorizontalAlignment', 'center', 'VerticalAlignment', 'bottom');

disp('所有 12 幅图像已生成完毕。');

```