

大连理工大学

本科实验报告六

课程名称： 电磁场与微波技术实验

学院（系）： 信息与通信工程学院

专 业： 电子信息工程

班 级： 电信 1806 班

学 号： 201871080

学生姓名： 刘祎铭

同组人： 电信 1806 张炳旭

2021 年 5 月 14 日

大连理工大学实验报告

学院（系）：信息与通信工程学院 专业：电子信息工程 班级：电信 1806

姓 名：刘祎铭 学号：201871080 实验时间：2021.5.5

指导教师：李小兵

实验六 移动环境无线信号场强特性的研究

一、实验目的

发射机与接收机间的传播路径非常复杂，有诸多不可预见性。无线建模历来都是移动无线系统设计中的难点。

1. 掌握在移动无线环境中电波的传播规律、场强分布特点。
2. 巩固和加深对于无线信道特性的理解与认识，提高用“场”的观点和方法来分析问题、解决问题的能力。
3. 了解并掌握在移动环境下**阴影衰落**的概念及正确测试方法，研究不同环境下阴影衰落的分布规律。
4. 实地测量并采集数据，分析建筑物穿透损耗随频率的变化关系。
5. 掌握在室内环境下的场强的正确测试方法，理解**建筑物穿透损耗**等概念。
6. 研究建筑物穿透损耗与建筑材料的关系。

二、主要实验仪器

S9902 手持式双频道场强仪

三、实验内容与原理

1. 实验内容

利用 S9902 手持型场强仪实地测试信号场强数据并且分析结果、归纳总结，探索性地研究无线电波的传播规律及场强的统计特性和分布特点，预备知识：移动无线环境的电波传播规律和模型、无线信道特性、路径损耗、衰落及建筑物穿透损耗。研究参考内容如下：

- 1) 研究具体现实环境下阴影衰落分布规律，以及具体的分布参数如何。
- 2) 研究环境区域内电波传播规律与现有模型的吻合程度，测试值与模型预测值的误差如何。
- 3) 研究建筑物穿透损耗的变化规律。
- 4) 了解电波传播的环境因素及相关参数，如人工建筑的数量、分布、材料特性等以及频率、天线高度、方向、天气状况等的影响。

2. 实验原理

无线通信系统是由发射机、发射天线、无线信道，接收机、接收天线等所组成的。对于接收者，只有处在发射信号的覆盖区内，才能保证接收机正常接收信号。此时，电

波场强大于等于接收机的灵敏度。因此，基站的覆盖区的大小，是无线工程师所关心的。决定覆盖区的大小的主要因素有：发射功率、馈线及接头损耗、天线增益、天线架设高度、路径损耗、衰落、接收机高度、人体效应、接收机灵敏度、建筑物的穿透损耗以及同播、同频的干扰。

1) 大尺度路径损耗

在移动通信系统中，路径损耗是影响通信质量的一个重要因素。

大尺度路径损耗：用于测量发射机与接收机之间信号的平均衰落，即定义为有效发射功率和平均接收功率之间的 dB 差值，根据理论和测试的传播模型，无论室内还是室外信道，平均接收信号功率随距离变化呈对数衰减，这种模型已在实践中被广泛地采用。

对任意的传播距离，大尺度平均路径损耗表示式为：

$$\overline{PL}(d)[dB] = \overline{PL}(d_0) + 10n \log(d/d_0) \quad (6-1)$$

平均接收功率为：

$$\bar{P}_r(d)[dBm] = P_t[dBm] - \overline{PL}(d_0) - 10n \log(d/d_0) = \bar{P}_r(d_0)[dBm] - 10n \log(d/d_0) \quad (6-2)$$

其中， n 为路径损耗指数，表明路径损耗随距离增长的速度； d_0 为近地参考距离； d 为发射机与接收机间的距离。公式中上横杠表示给定 d 值的所有可能路径损耗的综合平均。

坐标为双对数坐标时，平均路径损耗或平均接收功率可表示为斜率 $10n dB/10$ 倍程的直线。 n 值依赖于特定的传播环境，例如在自由空间， n 为 2，当有阻挡物时， n 比 2 大。

决定路径损耗大小的首要因素是距离。此外，它还与接收点的电波传播条件密切相关。为此，我们引进路径损耗中值的概念。中值是使实测数据中一半大于它而另一半小于它的一个数值（对于正态分布中值就是均值）。

人们根据不同的地形地貌条件，归纳总结出各种电波传播模型。

下边介绍几种常用的描述大尺度衰落的电波传播模型：

➤ 自由空间模型

自由空间模型假定发射天线和接收台都处在自由空间。我们所说的自由空间一是指真空，二是指发射天线与接收台之间不存在任何可能影响电波传播的物体，电波是以直射线的方式到达移动台的。自由空间模型计算路径损耗的公式是：

$$L_p = 32.4 + 20Lgd + 20Lgt \quad (6-3)$$

其中 L_p 是以 dB 为单位的路径损耗， d 是以公里为单位的移动台与基站之间的距离， f 是以 MHz 为单位的移动工作频点或工作频段的频率。

空气的特性可近似为真空，因此当发射天线与移动台距离地面都较高时，可以近似使用自由空间模型来估计路径损耗。

➤ 布灵顿模型

布灵顿模型假设发射天线和移动台之间的地面是理想平面大地，并且两者之间的距离 d 远大于发射天线的高度 ht ，或移动台的高度 hr ，此时的路径损耗计算公式为：

$$L_p = 120 + 40Lgd - 20Lght - 20Lghr \quad (6-4)$$

其中距离 d 的单位是 Km，天线高度 ht 及 hr 的单位是 m，路径损耗 L_p 的单位是 dB。

➤ EgLi 模型

前述的自由空间模型及布灵顿模型都是基于理论分析得出的计算公式。EgLi 公式则是从大量实测结果中归纳出来的中值预测公式，属于经验模型，其计算式为：

$$L_p = 80 + 40Lgd - 20Lght - 20Lghr + 20Lgf - G \quad (6-5)$$

其中路径损耗 L_p 的单位是 dB，距离 d 的单位是 Km，天线高度 ht 及 hr 的单位是 m，工作频率 f 的单位是 MHz，地形修正因子 G 的单位是 dB。 G 反应了地形因素对路径损耗的影响。EgLi 模型认为路径损耗同接收点的地形起伏程度 Δh 有关，地形起伏越大，则路径损耗也越大。当 Δh 用 m 来测量时，可按下表近似的估计地形的影响：

$$\begin{aligned} G &\approx 0 & \Delta h < 15\text{m} \\ G &\approx 2.43(1 - \Delta h/15) & \Delta h > 15\text{m} \quad 150\text{MHz} \\ G &\approx 3.05(1 - \Delta h/15) & \Delta h > 15\text{m} \quad 280\text{MHz} \end{aligned} \quad (6-6)$$

若将移动台的经典高度值 $hr = 1.5\text{m}$ 代入 EgLi 模型则有：

$$L_p = 84.5 + 40Lgd - 20Lght + 20Lgf - G \quad (6-7)$$

➤ Hata-Okumura 模型

Hata-Okumura 模型也是根据实测数据建立的模型。当移动台的高度为典型值 $hr = 1.5\text{m}$ 时，按 Hata-Okumura 模型计算路径损耗的公式（市区内的 Hata 模型）为：

$$L_{pl} = 69.55 + 26.16Lgf - 13.82Lghte - \alpha(hte) + (44.99 - 6.55Lghr)Lgd + C_{cell} + Ct \quad \text{简化后为：}$$

%%%

$$L_{pl} = 69.55 + 26.2Lgf - 13.82Lght + (44.9 - 6.55Lght) \cdot Lgd \quad (6-8)$$

公式错误，已修正

%%%

➤ CCIR 模型

CCIR 给出了反映自由空间路径损耗和地形引入的路径损耗联合效果的经验公式。具体公式请参见模型计算部分。

➤ 其他模型

如 COST-231 Hata 模型，LEE 模型，COST-231-Walfisch-Ikegami 模型等。

2) 阴影衰落

在无线信道中，造成慢衰落的最主要原因是建筑物或其它物体对电波的遮挡。在测量过程中，不同位置遇到的建筑物遮挡情况不同，因此对应的接收功率也不同，这样就会观察到阴影衰落现象。

由于这种原因造成的衰落叫做“阴影效应”或“阴影衰落”。在阴影衰落的情况下，移动测试仪被建筑物所遮挡，它收到的信号是各种绕射、反射、散射波的合成。

所以，在距基站距离相同的地方，由于阴影效应的不同，它们接收到的信号功率有所不同，甚至相差很大。综合理论和测试的结果表明，对任意的 d 值，特定位置的接受功率为随机对数正态分布即：

$$P_r(d)[dB_m] = \bar{P}_r(d)[dB_m] + X\sigma = \bar{P}_r(d_0)[dB_m] - 10n \log(d/d_0) + X\sigma \quad (6-9)$$

其中, $x\sigma$ 为 0 均值的高斯分布随机变量, 单位为 dB , 标准偏差为 σ , 单位也是 dB 。

对数正态分布描述了在传播路径上, 具有相同 T-R 距离时, 有不同的随机阴影效应。这样利用高斯分布可以方便地分析阴影的随机效应。正态分布, 也叫高斯分布, 它的概率密度函数是:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (6-10)$$

应用于阴影衰落时, 上式中的 x 表示某一次测量得到的接收功率, m 表示以为 dB 单位的接收功率的均值或中值, σ 表示接收功率的标准差, 单位是 dB 。

阴影衰落的标准差同地形、建筑物类型、建筑物密度等有关, 在市区的 **150MHz** 频段其典型值是 $5dB$ 。除了阴影效应外, 大气变化也会导致阴影衰落。比如一天中的白天, 夜晚, 一年中的春夏秋冬, 天晴时, 下雨时, 即使在同一个地点上, 也会观察到路径损耗的变化。但在测量的无线信道中, 大气变化造成的影响要比阴影效应小的多。

下面是阴影衰落分布的标准差表, 其中 $\sigma_s (dB)$ 是阴影效应的标准差。

表 6.1 阴影衰落分布的标准差表

频率(MHz)	$\sigma_s (dB)$				
	准平坦地形		不规则地形 $\Delta h(m)$		
	城市	郊区	50	150	300
150	3.5~5.5	4~7	9	11	13
450	6	7.5	11	15	18
900	6.5	8	14	18	21

3) 建筑物的穿透损耗的定义

建筑物穿透损耗的大小对于研究室内无线信道具有重要意义。穿透损耗又称大楼效应, 一般指建筑物一楼内的中值电场强度和室外附近街道上中值电场强度的 dB 之差。

发射机位于室外, 接收机位于室内, 电波从室外进入到室内, 产生了建筑物的穿透损耗, 由于建筑物存在屏蔽和吸收作用, 室内场强一定小于室外的场强, 造成传输损耗。室外至室内建筑物的穿透损耗定义为: 室外测量的信号平均场强减去同一位置室内测量的信号平均场强。用公式表示为:

$$\Delta P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i^{(outside)} - \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M P_j^{(inside)} \quad (6-11)$$

式中: P 是穿透损耗, 单位 (dB), P_i 是在室外所测的每一点的功率, 单位是 $dB\mu V$,

共 N 个点, P_j 是在室内所测的每一点的功率, 单位是 $dB\mu V$, 共 M 个点。

四、实验步骤及操作方法

1. 实验对象的选择 (附上地形图)

由于对衰落的现象比较感兴趣, 我们在大黑楼和西综进行信号测量。在选频方面, 我们决定采用大连新闻广播广播 **103.3MHz**, 此时的波长约为 $2.898m$, 大约 $1m$ (也即 2 步左右) 读取一个数据。



图 1 海山楼地形图

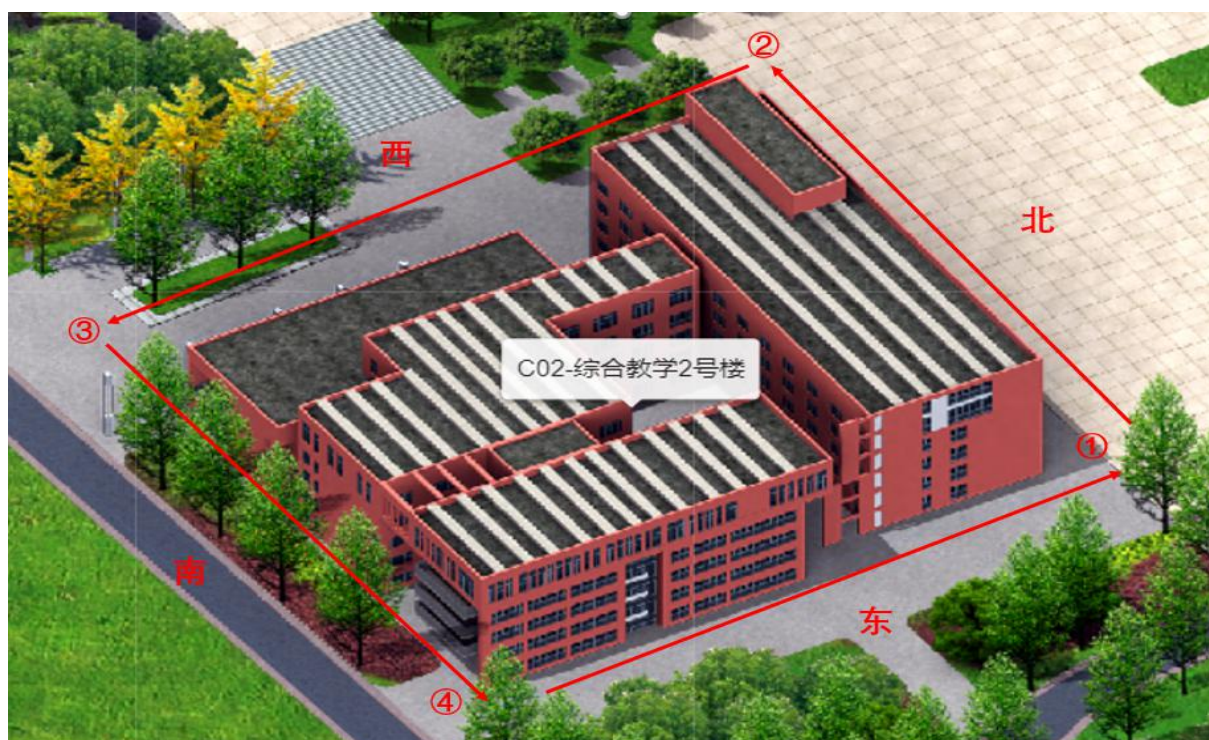


图 2 西综地形图

2. 实验数据采集及记录

根据不同的地理条件，用 S9920 场强仪测量室内外开放的无线电信号，归纳总结各种环境下可能匹配的电波传输模型。测试前应用理论模型在理论上进行分析，以便指导测量。

要求：目标区的数据测量，每半个波长采集测量一个数据，每组数据不得少于 50 个。数据记录，用 Excel 等表格工具记录采集数据，表格设计要清晰，应注明：时间、地点、目标条件、测量数据（电平单位：dbmw）。

➤ 室外（开阔地）数据测量：马路、操场等空旷地带。

➤ 室内（房间、楼道）数据测量：房间内按照门、窗，四周墙壁、中央等特征点采集测量。

➤ 建筑物阴影衰落数据测量：围绕目标建筑观察由于建筑物遮挡引起的阴影衰落现象，给出衰落服从的分布规律，确定测量区域。

➤ 建筑物穿透损耗数据测量：依据建筑物结构（砖混、钢筋混凝土等）特征选取测量目标，用室内、室外测量方法进行对于坐标的相对测量。

用测量数据统计方法来进行分布规律研究，数据采集量的多少对高斯拟合程度、模型匹配影响很大，大数据的采集是关键。

五、 实验数据记录与处理

1. 研究不同目标的室内、外环境下阴影衰落服从的分布规律，给出概率分布柱状图和累计分布曲线，求出具体的分布参数（如：均值、标准差）。数据见附表 1

1) 为了研究室外环境下阴影衰落的分布规律，我们从如图大黑楼①点出发，途径②, ③, ④, 最后再回到①点，大约 1m（也即 2 步左右）读取一个数据，并用 Matlab 作出概率分布柱状图、累积分布曲线，模拟空间场强分布，并计算出均值、标准差等分布参数。同样，我们也在西综从①点出发，途径②、③、④，最后再回到①点，测量场强。

2) 在选频方面，我们决定采用大连新闻广播 103.3MHz，此时的波长约为 2.904m。该信号塔在大连市内，信号稳定。

3) 代码：

```
clear all;
close all;
%-----读取文件-----%
%out=xlsread('总表.xlsx','海山楼外部','C:C');
%out=xlsread('总表.xlsx','海山楼外部','G:G');
%out=xlsread('总表.xlsx','海山楼外部','K:K');
out=xlsread('总表.xlsx','海山楼外部','0:0');
out2=reshape(out,1,length(out));
%-----绘制调频信号-----%
figure(11)
subplot(2,2,1);
histfit(out2);%画柱状图
grid on;
title('场强分布柱状图');
xlabel('电平值(dBmw)');
ylabel('样本数量(个)');
legend('实际概率分布','拟合的正态分布曲线');
%-----累积概率-----%
subplot(2,2,2);
[h1,s1] = cdfplot(out2)%画累积概率分布图
hold on
x=25:1:90;
y2=normcdf(x,s1.mean,s1.std);
plot(x,y2,'Color',[1 0 0])
```



```
legend('实际累积分布','理想累积分布');  
hold on;  
title('累积概率分布图');  
subplot(2,2,[3 4])  
plot(out2');%画信号电平空间分布图  
%title('海山楼外部南场强空间分布图');  
%title('海山楼外部东场强空间分布图');  
%title('海山楼外部北场强空间分布图');  
title('海山楼外部西场强空间分布图');  
xlabel('←—东 西—>');
```

4) 海山楼路线图

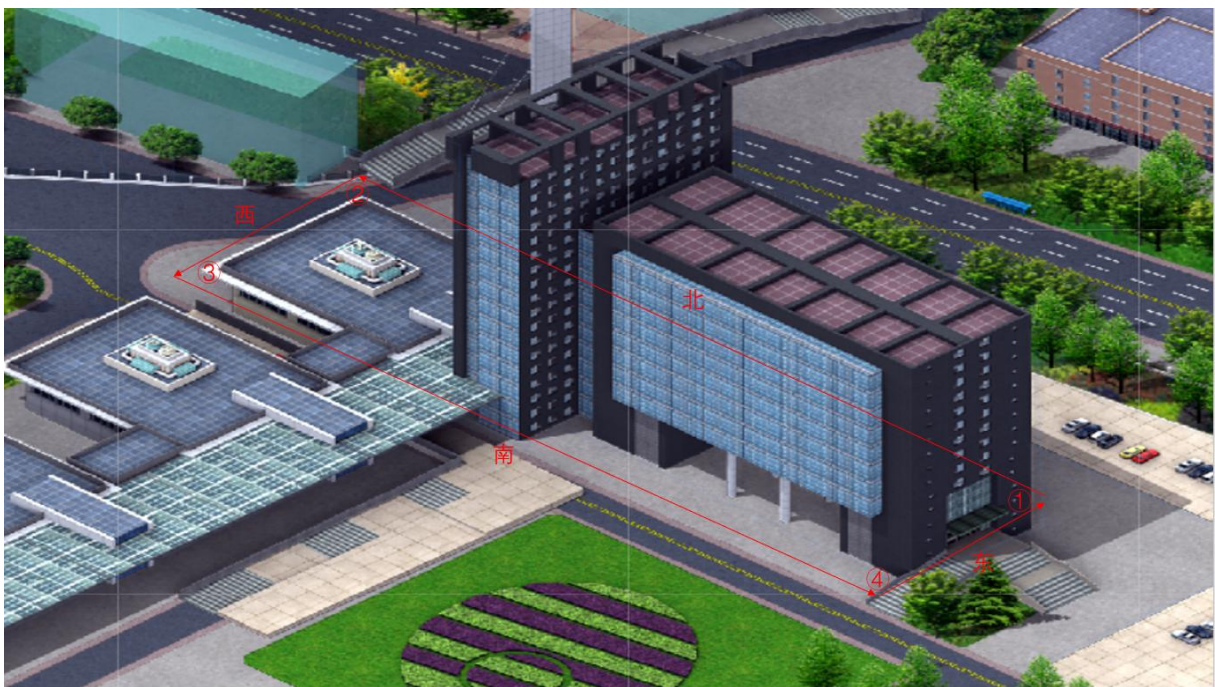


图 3 海山楼路线图

5) 统计结果

①海山楼北侧场强空间分布（①到②，数据 90 到 139，详见附表 1）

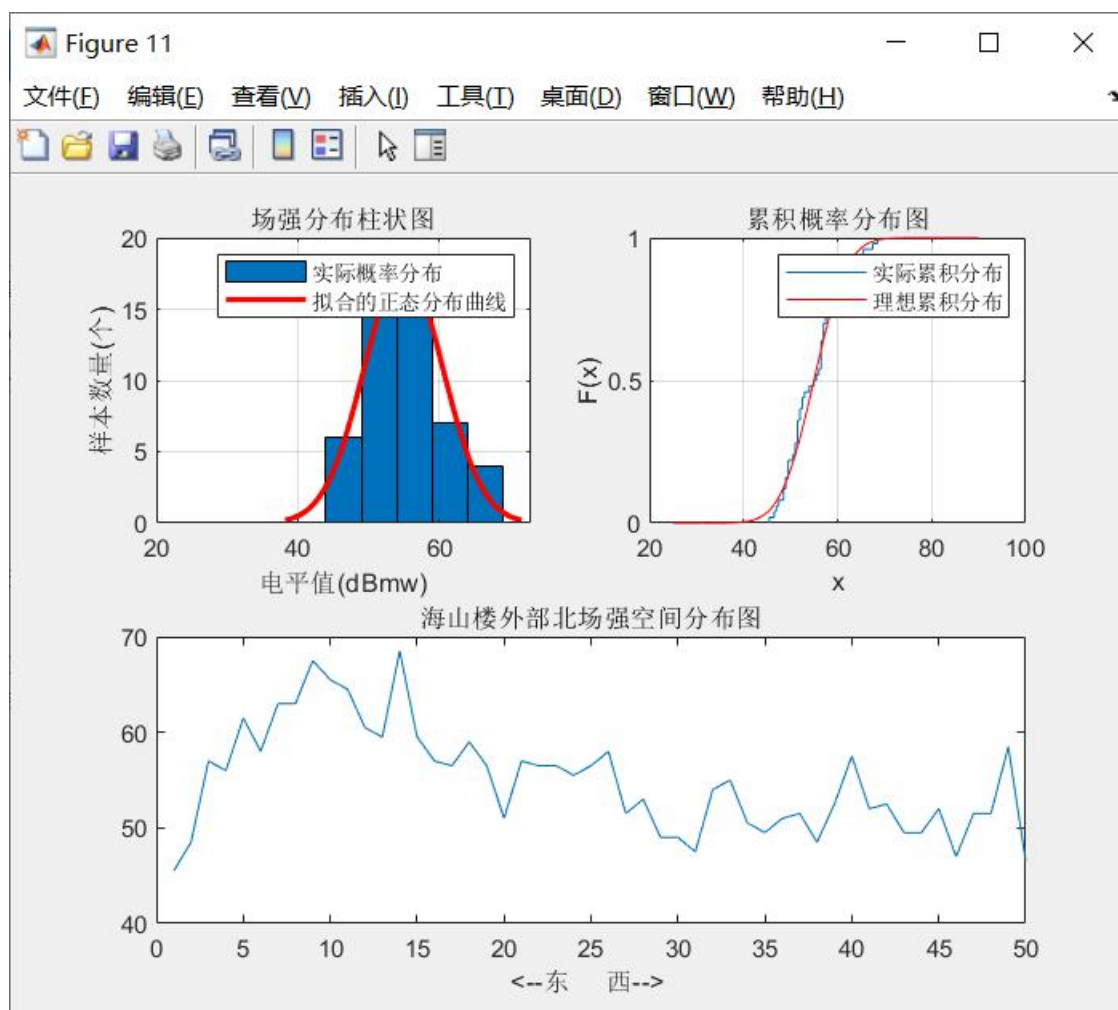


图4 海山楼北侧场强空间分布 (①到②)

分布参数为：最小值 $45.50000000000000\text{db}\mu\text{v}$ ，最大值 $68.5\text{db}\mu\text{v}$ ，中值 $55.25\text{db}\mu\text{v}$ ，均值 $54.96999999999999\text{db}\mu\text{v}$ ，标准差 5.576380583152774

②海山楼西侧场强空间分布 (②到③，数据 140 到 148，详见附表 1)

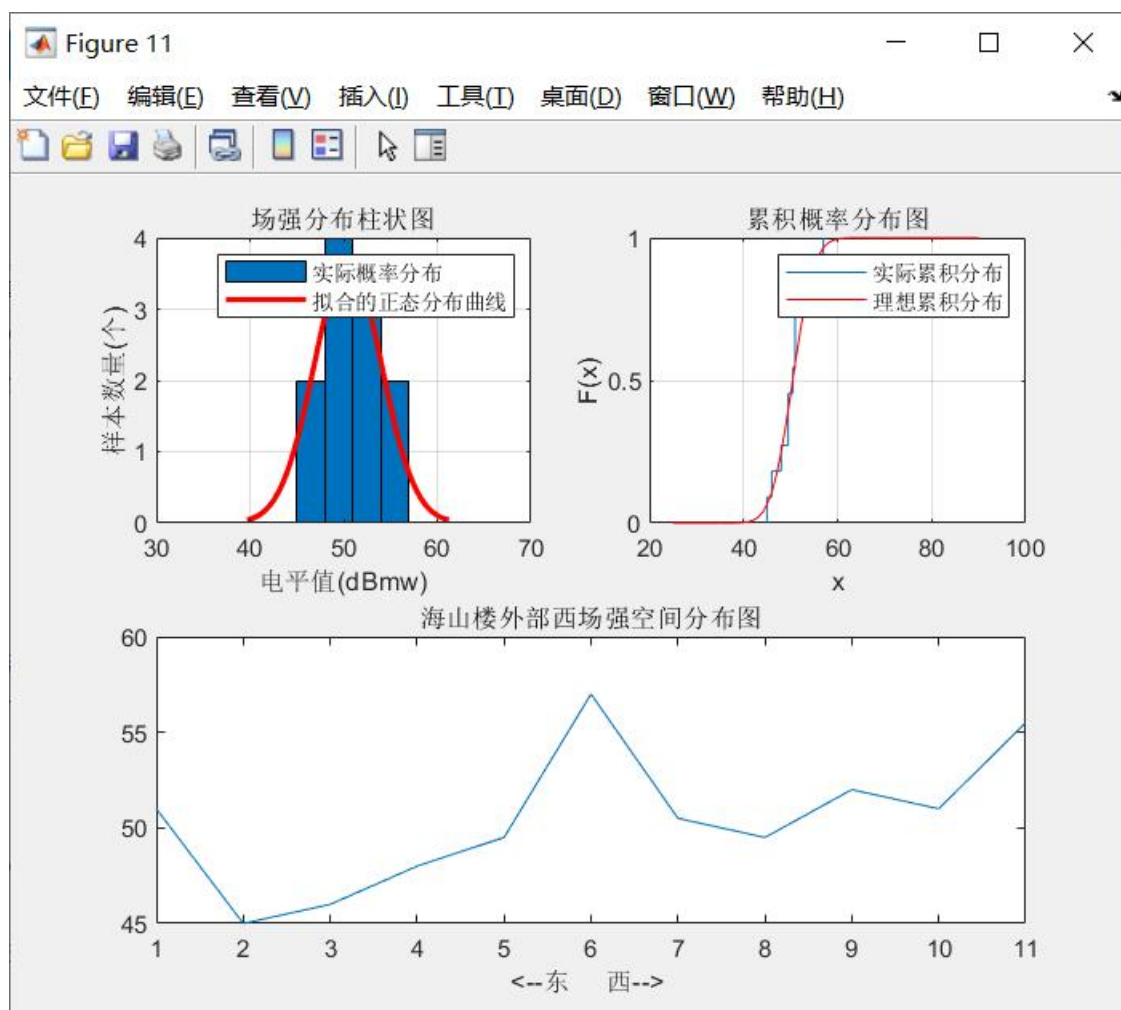


图 5 海山楼西侧场强空间分布 (②到③)

分布参数为: 最小值 $45\text{dB}\mu\text{V}$, 最大值 $57\text{dB}\mu\text{V}$, 中值 $50.5\text{dB}\mu\text{V}$, 均值

$50.454545454545453\text{dB}\mu\text{V}$, 标准差 3.587858312799890

③海山楼南侧场强空间分布 (③到④, 数据 1 到 71, 详见附表 1)

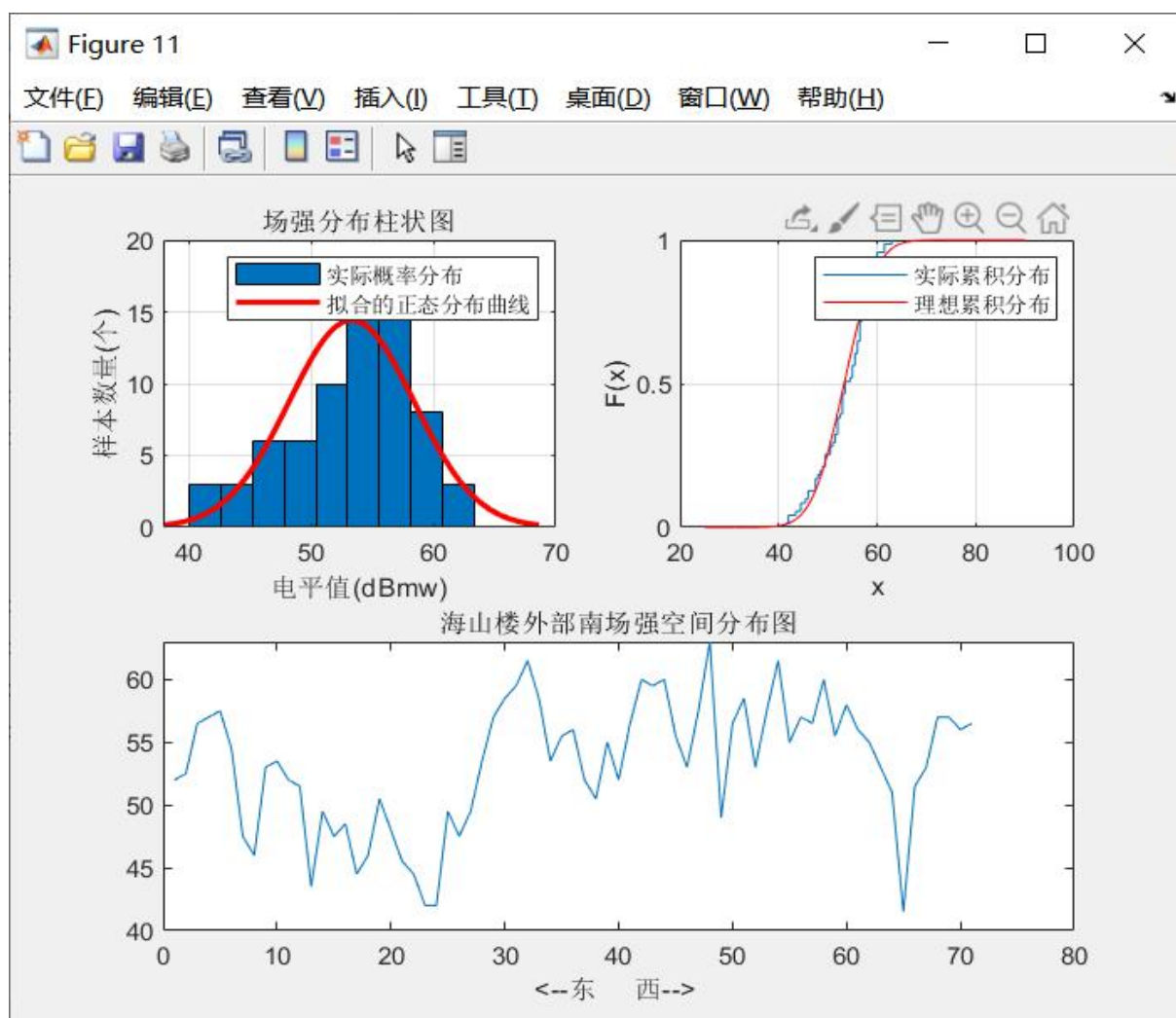


图6 海山楼南侧场强空间分布 (③到④)

分布参数为：最小值 $41.50\text{dB}\mu\text{V}$ ，最大值 $63\text{dB}\mu\text{V}$ ，中值 $53.50\text{dB}\mu\text{V}$ ，均值 $53.316901408450704\text{dB}\mu\text{V}$ ，标准差 5.105486850032535

④海山楼东侧场强空间分布 (④到①，数据 72 到 89，详见附表 1)

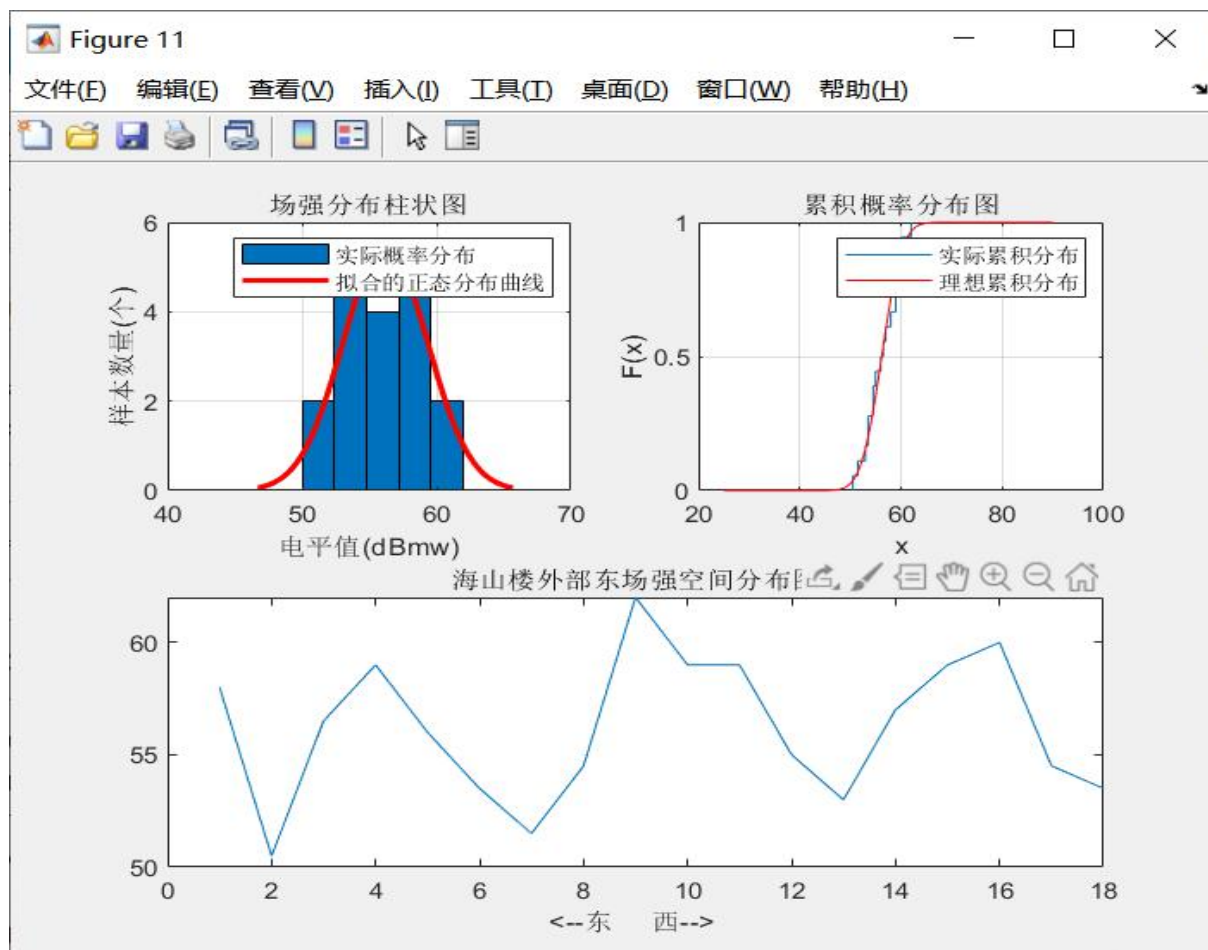


图7 海山楼东侧场强空间分布 (④到①)

分布参数为:最小值 $50.50000000000000\text{dB}\mu\text{v}$, 最大值 $62\text{dB}\mu\text{v}$, 中值 $56.25\text{dB}\mu\text{v}$, 均值 $56.194444\text{dB}\mu\text{v}$, 标准差 3.162923484265824

6) 西综路线图



图 8 西综路线图

① 西综西侧场强空间分布（②到③，详见附表 3）

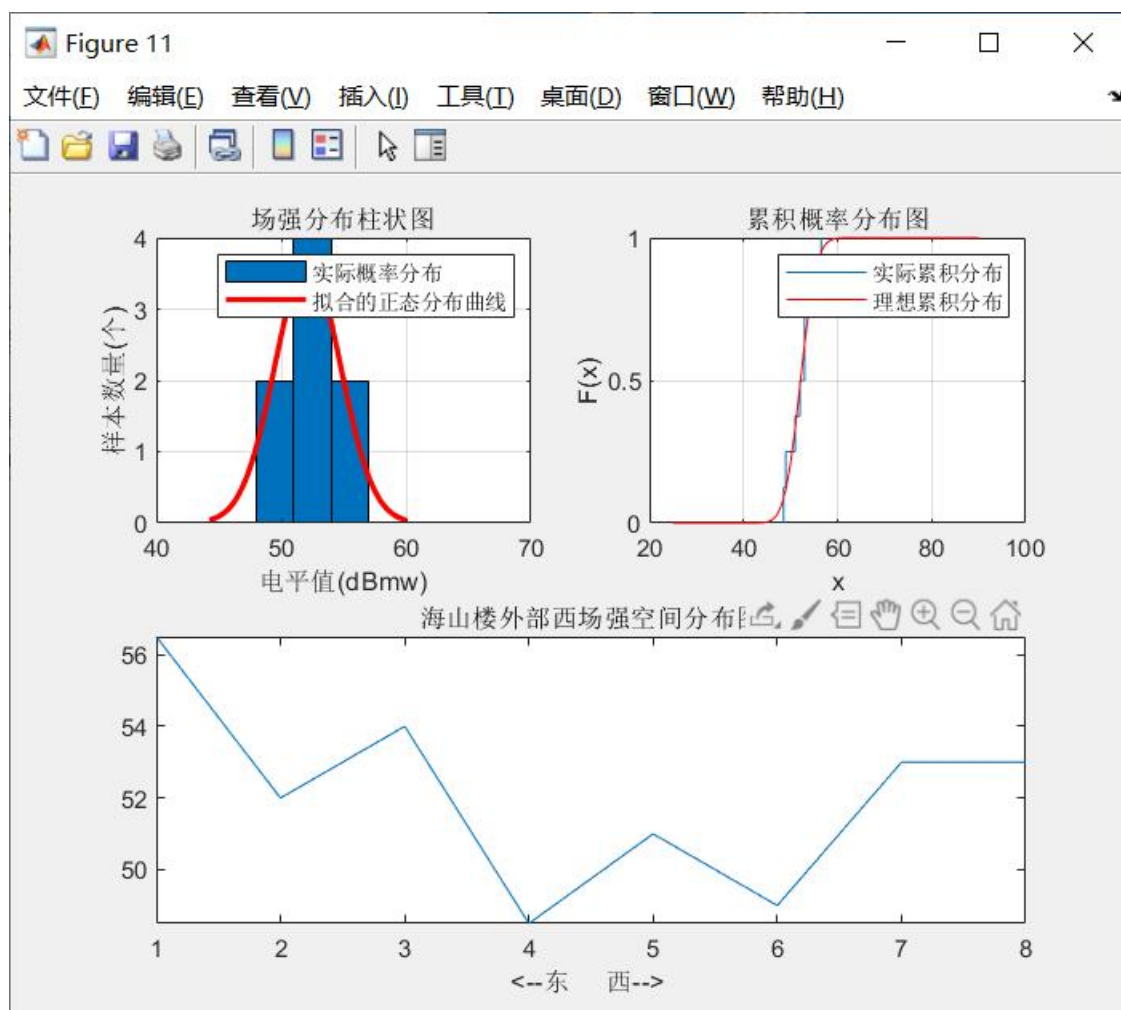


图9 西综西侧场强空间分布(②到③)

分布参数为：最小值 $48.50000000000000\text{db } \mu_v$ ，最大值 $56.50000000000000\text{db } \mu_v$ ，中值 $52.50000000000000\text{db } \mu_v$ ，均值 $52.12500000000000\text{db } \mu_v$ ，标准差 2.628823745653992

②西综北侧场强空间分布(①到②，详见附表3)

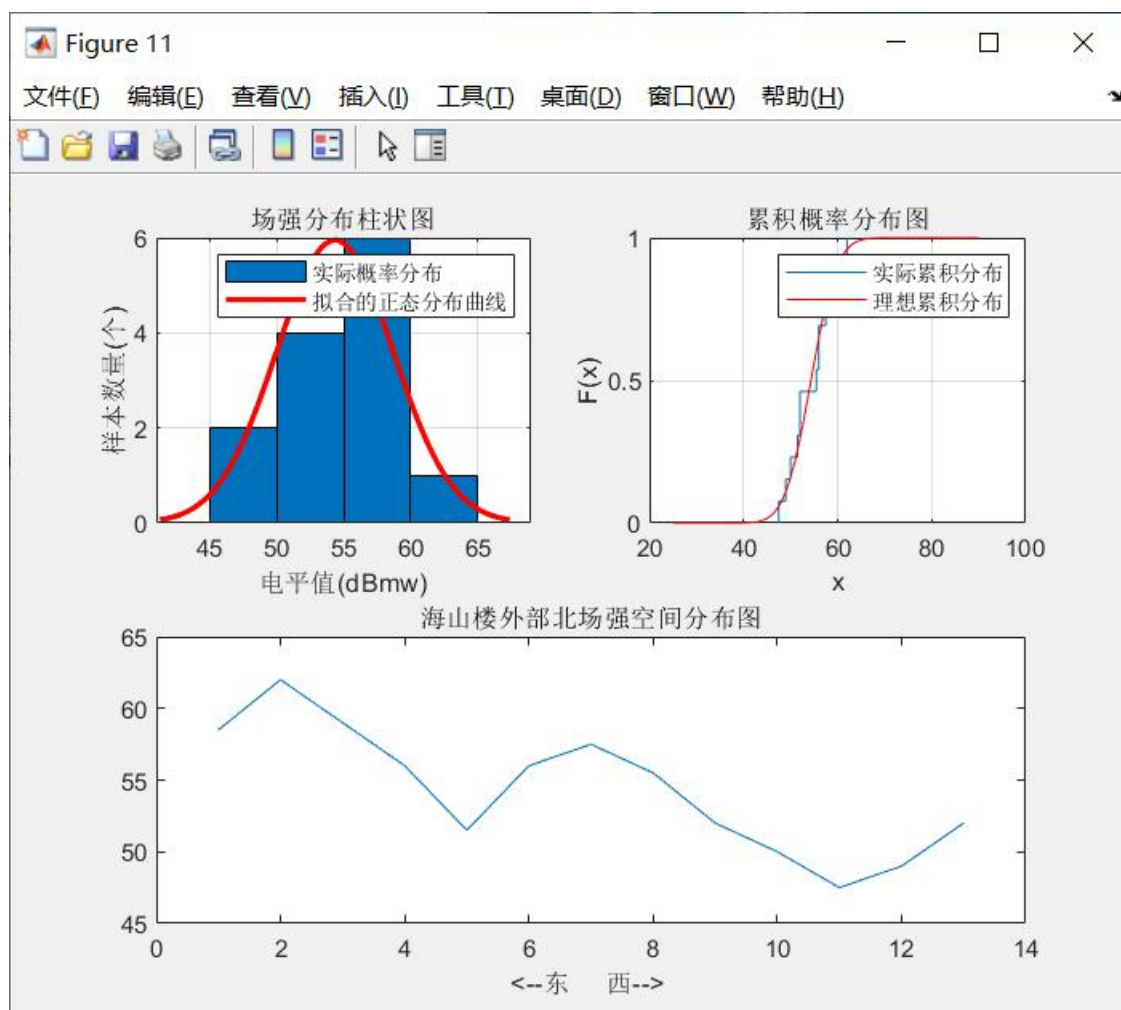


图 10 西综北侧场强空间分布 (①到②)

分布参数为：最小值 $47.5\text{db}\mu_v$ ，最大值 $62\text{db}\mu_v$ ，中值 $55.5\text{db}\mu_v$ ，均值 $54.346153846153847\text{db}\mu_v$ ，标准差 4.355956723196291

② 西综东侧场强空间分布 (④到①，详见附表 3)

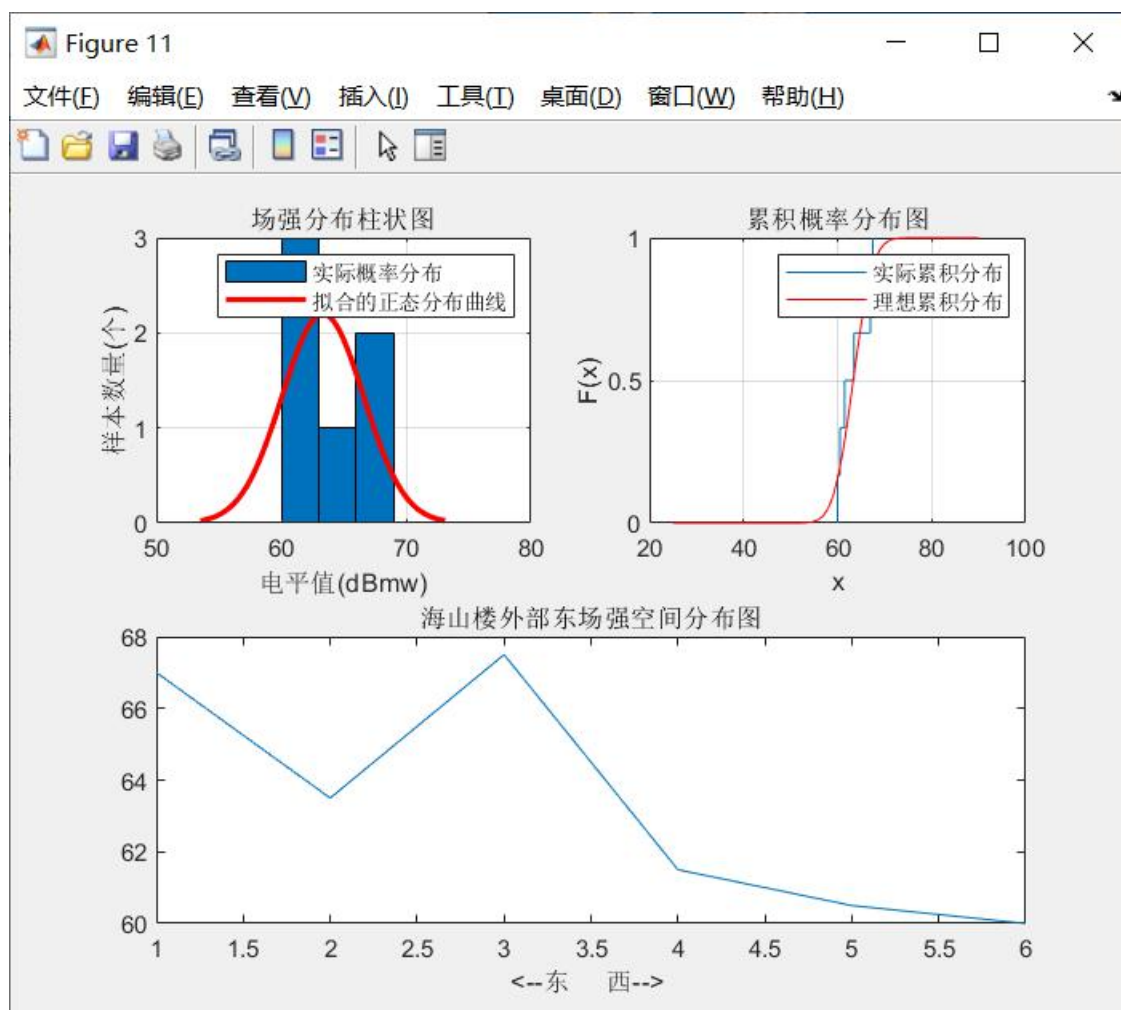


图 11 西综东侧场强空间分布 (④到①)

分布参数为：最小值 $60\text{dB}\mu\text{V}$ ，最大值 $67.5\text{dB}\mu\text{V}$ ，中值 $62.5\text{dB}\mu\text{V}$ ，均值 $63.333333333333336\text{dB}\mu\text{V}$ ，标准差 3.265986323710904

④西综南侧场强空间分布 (③到④，详见附表 3)

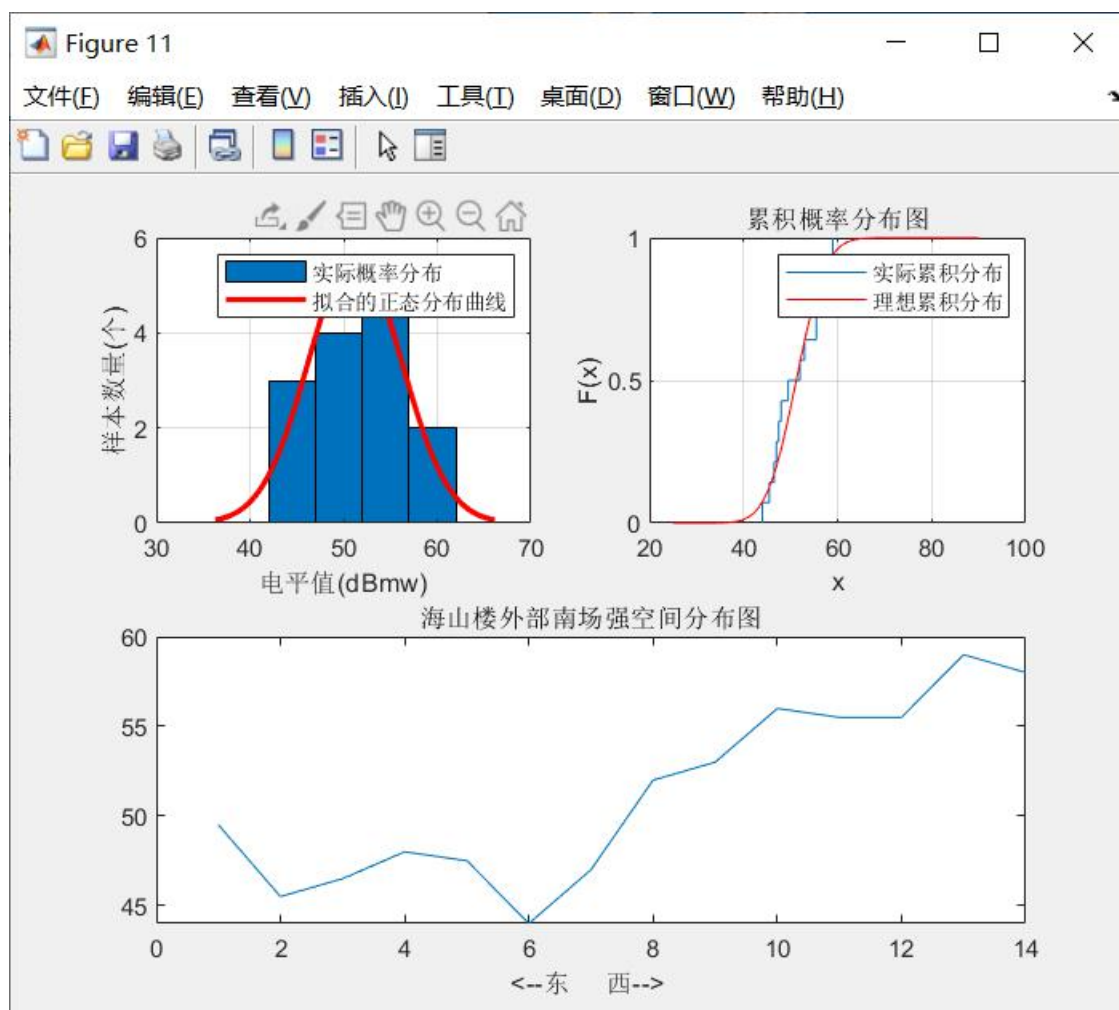


图 12 西综南侧场强空间分布 (③到④)

分布参数为：最小值 $44\text{ dB } \mu_v$ ，最大值 $59\text{ dB } \mu_v$ ，中值 $50.75\text{ dB } \mu_v$ ，均值 $51.214285714285715\text{ dB } \mu_v$ ，标准差 4.975765444455934

2. 研究校园内电波分布与现有传播模型的比较，看看哪种模型适合预测校园内的场强。

1) 海山楼

①模型的理论计算

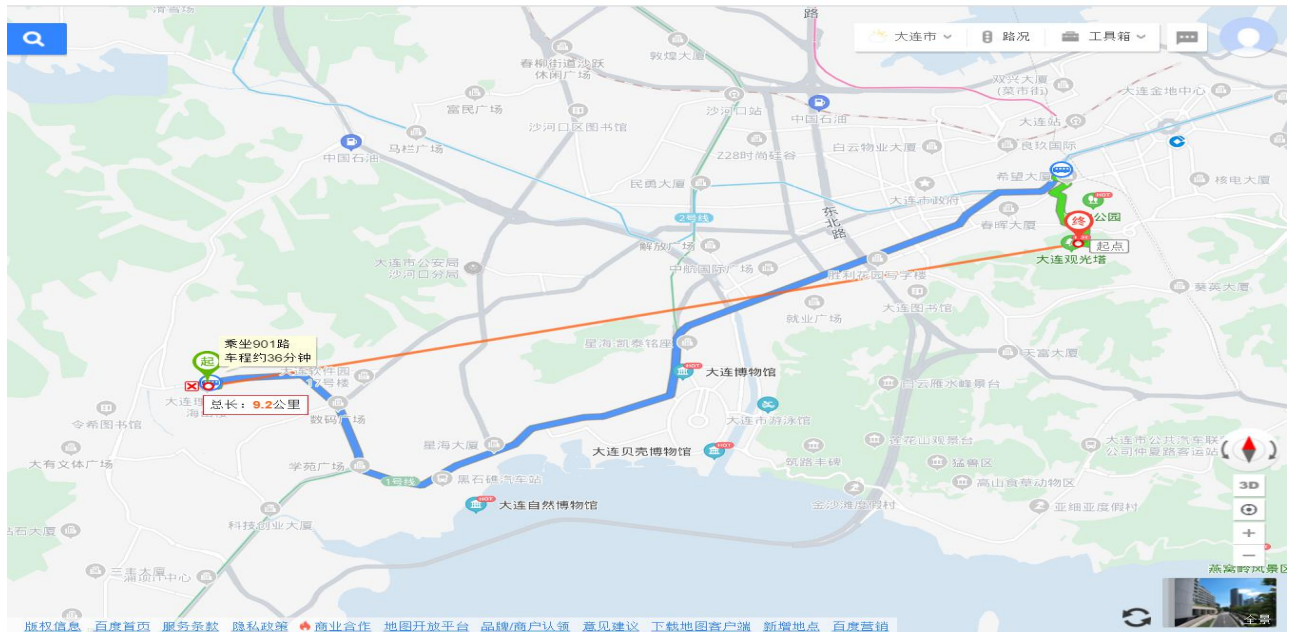


图 13 海山楼到大连广播电视塔距离 9.2km

编写代码：

```
clear all;
```

```
close all;
```

```
f=103.3;% 大连新闻广播频率
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
d=9.2;%距离
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
ht=500;%发射天线的高度 塔体高度 190 米，海拔高度 360 米
```

```
hr=1.5;%移动台的高度
```

```
free=32.4+20*log10(d)+20*log10(f)
```

```
burlington=120+40*log10(d)-20*log10(ht)-20*log10(hr)
```

```
hataOkumuraUrban=69.55+26.2*log10(f)-13.82*log10(ht)+(44.9-6.55*log10(ht))*  
log10(d)
```

```
egli=84.5+40*log10(d)-20*log10(ht)+20*log10(f)%-G[1]
```

模型计算结果：

```
free = 91.957762977303517
```

```
burlington = 101.0502878259882
```

```
hataOkumuraUrban = 111.2556508523043
```

```
egli = 109.3541194374942
```

②实际测量

海山楼北面信号场强分布

45.5	48.5	57.0	56.0	61.5	58.0	63.0	63.0	67.5	65.5
64.5	60.5	59.5	68.5	59.5	57.0	56.5	59.0	56.5	51.0
57.0	56.5	56.5	55.5	56.5	58.0	51.5	53.0	49.0	49.0
47.5	54.0	55.0	50.5	49.5	51.0	51.5	48.5	52.5	57.5
52.0	52.5	49.5	49.5	52.0	47.0	51.5	51.5	58.5	46.5

海山楼北面信号强度平均值 55.0 dBuV

海山楼南面信号场强分布

52.0	52.5	56.5	57.0	57.5	54.5	47.5	46.0	53.0	53.5
52.0	51.5	43.5	49.5	47.5	48.5	44.5	46.0	50.5	48.0
45.5	44.5	42.0	42.0	49.5	47.5	49.5	53.5	57.0	58.5
59.5	61.5	58.5	53.5	55.5	56.0	52.0	50.5	55.0	52.0
56.5	60.0	59.5	60.0	55.5	53.0	57.5	63.0	49.0	56.5
58.5	53.0	57.5	61.5	55.0	57.0	56.5	60.0	55.5	58.0
56.0	55.0	53.0	51.0	41.5	51.5	53.0	57.0	57.0	56.0
56.5									

海山楼南面信号强度平均值 53.3 dBuV

海山楼南北两面信号强度平均值 54.15 dBuV

2) 西综

①模型的理论计算

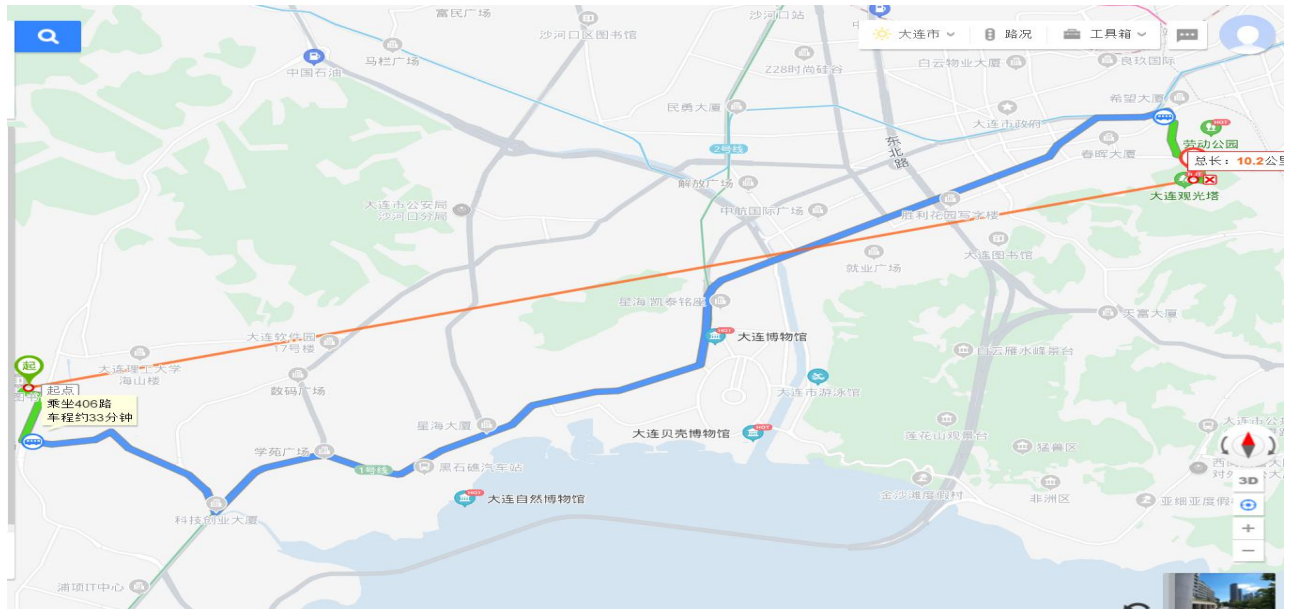


图 14 西综到大连广播电视塔距离 10.2km

编写代码:

```
clear all;
```

```
close all;
```

```
f=103.3;%大连新闻广播频率
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
d=10.2;%距离
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
ht=500;%发射天线的高度 塔体高度 190 米，海拔高度 360 米
```

```
hr=1.5;%移动台的高度
```

```
free=32.4+20*log10(d)+20*log10(f)
```

```
burlington=120+40*log10(d)-20*log10(ht)-20*log10(hr)
```

```
hataOkumuraUrban=69.55+26.2*log10(f)-13.82*log10(ht)+(44.9-6.55*log10(ht))*  
log10(d)
```

```
egli=84.5+40*log10(d)-20*log10(ht)+20*log10(f)%-G
```

模型计算结果:

```

free =          92.854009865630758
burlington =    102.8427816026427
hataOkumuraUrban =112.4755211308045
egli =          111.1466132141487

```

②实际测量结果

西综北面信号场强分布

58.5	62	59	56	51.5	56	57.5
55.5	52	50	47.5	49	52	

西综北面信号强度平均值 54.34615385dBuV

西综南面信号场强分布

49.5	45.5	46.5	48	47.5	44	47
52	53	56	55.5	55.5	59	58

西综南面信号强度平均值 51.21429dBuV

西综南北两面信号强度平均值 52.780221925dBuV

4) 数据处理

①模型两地信号强度衰落的理论差值为

自由空间模型 free : 92.85401 -91.957763 =0.896247 dBuV

布灵顿模型 burlington : 102.84278-101.050288=1.792494 dBuV

市区 Hata-Okumura 模型 hataOkumuraUrban : 112.47552-111.255651=1.21987 dBuV

EgLi 模型 egli : 111.14661-109.354119=1.792494 dBuV

#####

②海山楼和西综两地信号强度衰落的实际差值为:

海山楼南北两面信号强度平均值 54.15 dBuV-西综南北两面信号强度平均值

52.780221925dBuV= 1.369778dBuV, 与市区 Hata-Okumura 模型理论值十分接近。[2]

结果分析: 市区 Hata-Okumura 模型是基于大量实测数据建立的, 且适用于城市中实测条件, 未将各类测量条件理想化, 具有较好的精确性。

由理论与实践计算结果我们认为校园内场强分布比较符合市区 Hata-Okumura 模型。[3]

#####

3. 研究砖混、钢筋混凝土结构建筑物的平均穿透损耗的情况以及随楼层的变化规律。

1) 由海山楼外侧北南西东的场强计算信号均值 54.0dbuv

用公式表示为:

$$\Delta P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i^{(outside)} - \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M P_j^{(inside)} \quad (6-11)$$

式中: P 是穿透损耗, 单位 (dB), P_i 是在室外所测的每一点的功率, 单位是 dBuV,

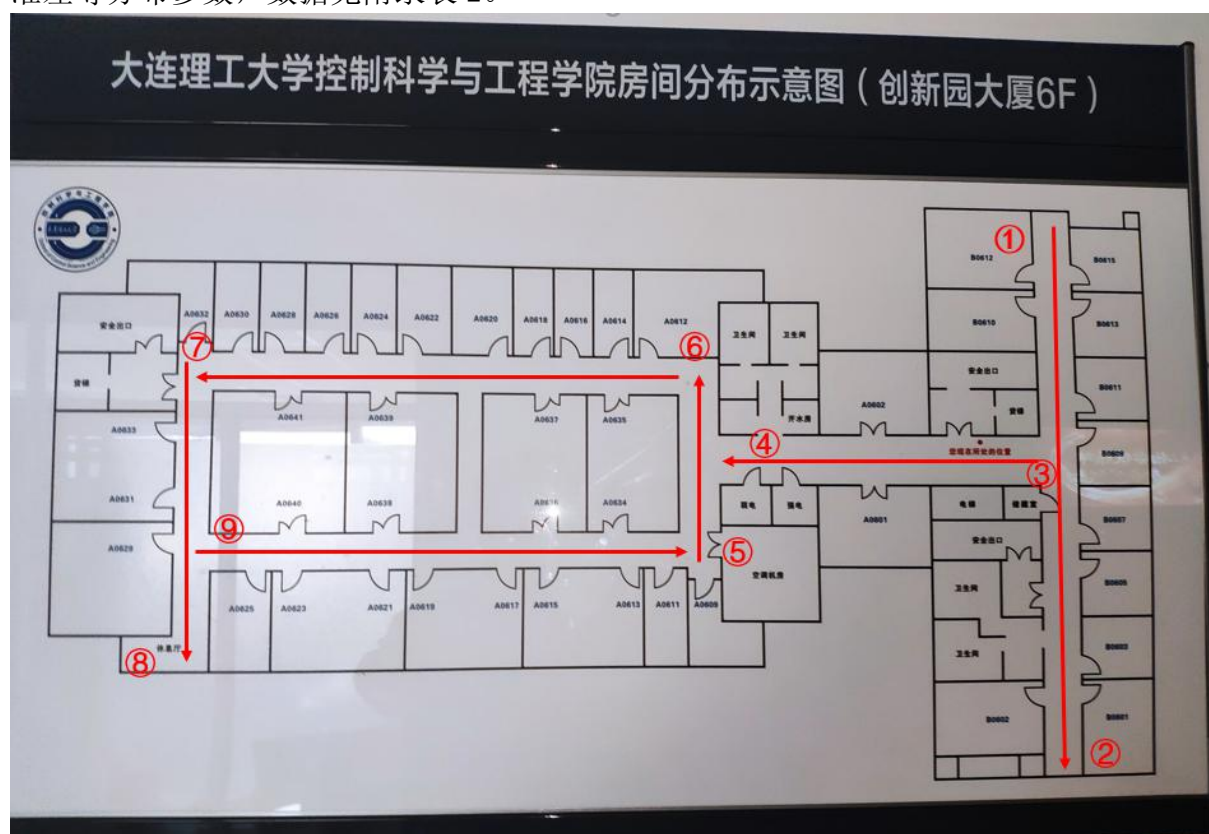
共 N 个点, P_j 是在室内所测的每一点的功率, 单位是 dBuV, 共 M 个点。

海山楼外侧场强均值为 54.0dbuv, 海山楼 5 楼信号强度均值为 44.3837 dbuv, 穿透损耗为 9.6163 dbuv。

西综外侧场强平均值为 54.15854dbuv，西综一楼的信号强度均值为 42.375dbuv。穿透损耗为 11.78354 dbuv

根据资料，隔墙阻挡的穿透损耗值约为 5~20dB，测得的实验数据基本符合。^[4]

2) 为了研究随楼层的变化规律，我们选取大黑楼作为实验场地，对 5 楼、6 楼、11 楼、15 楼的场强进行测量，记录数据，并用 Matlab 作出空间场强分布，并计算出均值、标准差等分布参数，数据见附录表 2。



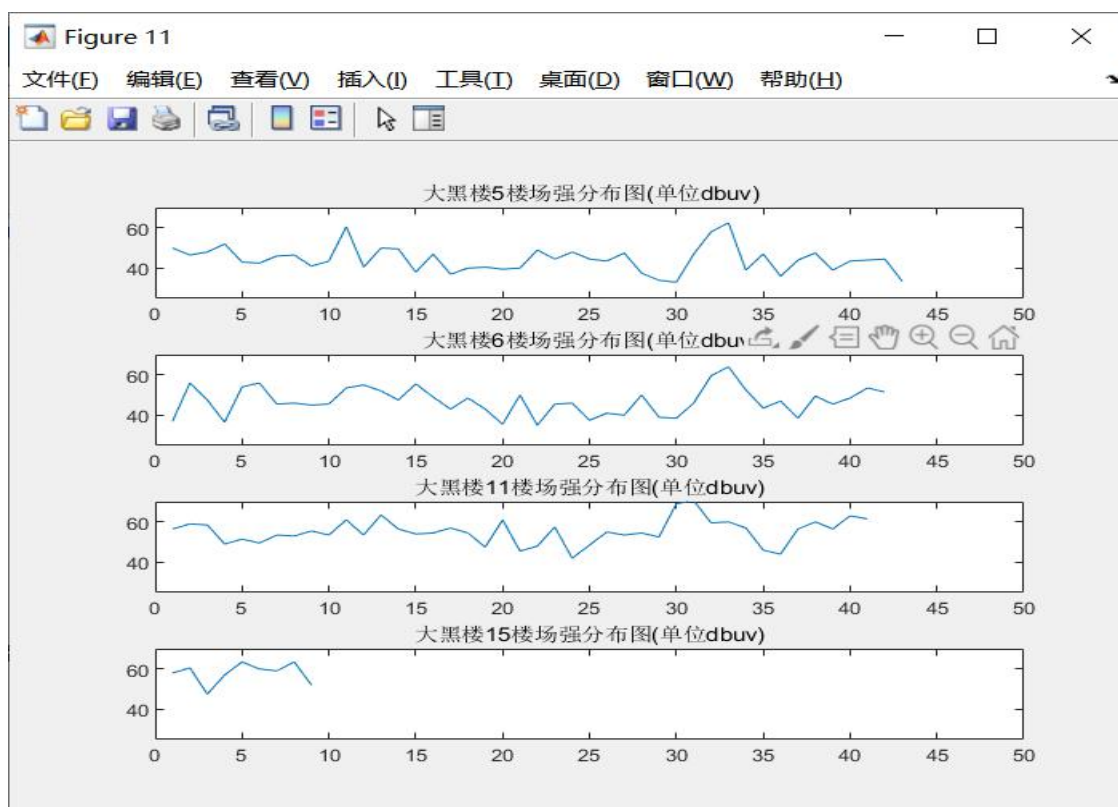


图 16 大黑楼场强分布图

代码:

```
clear all;close all;
%-----读取文件-----%
out=xlsread('总表.xlsx','5层','B:B');
x2=xlsread('总表.xlsx','6层','B:B');
x3=xlsread('总表.xlsx','11层','B:B');
x4=xlsread('总表.xlsx','15层','B:B');
%-----转换成矩阵-----%
out1=reshape(out,1,length(out));
xout2=reshape(x2,1,length(x2));
xout3=reshape(x3,1,length(x3));
xout4=reshape(x4,1,length(x4));
%-----绘制调频信号-----%
figure(11)
subplot(4,1,1);x=[1:length(out1)];
plot(x,out1);%画信号电平空间分布图
axis([0,50,25,70]);title('大黑楼 5 楼场强分布图(单位 dbuv)');
subplot(4,1,2);x=[1:length(xout2)];
plot(x,xout2);%画信号电平空间分布图
axis([0,50,25,70]);title('大黑楼 6 楼场强分布图(单位 dbuv)');
subplot(4,1,3);x=[1:length(xout3)];
plot(x,xout3);%画信号电平空间分布图
axis([0,50,25,70]);title('大黑楼 11 楼场强分布图(单位 dbuv)');
```

```
subplot(4,1,4);x=[1:length(xout4)];
plot(x,xout4);%画信号电平空间分布图
axis([0,50,25,70]);title('大黑楼 15 楼场强分布图(单位 dbuv)');
mean1=mean(out1,2);mean2=mean(xout2,2);
mean3=mean(xout3,2);mean4=mean(xout4,2);
std1=std(out1,0,2);std2=std(xout2,0,2);
std3=std(xout3,0,2);std4=std(xout4,0,2);
mean=[mean1,mean2,mean3,mean4]
std=[std1,std2,std3,std4]
```

计算结果:

	5 楼	6 楼	11 楼	15 楼
均值	44.3837	46.9881	55.1951	57.8889
标准差	6.47048	6.83649	6.15516	5.23078

结果分析:

由大黑楼四层楼的场强分布数据，可以直观的看出随着楼层的增长，场强增强。同时，由于我们选取的地点部分区域（比如第 11 采样点和 33 采样点左右）存在玻璃门，玻璃材质穿透损耗比建筑物钢筋混凝土外墙更小，因此场强电平偏高。根据资料，室内损耗值是楼层高度的函数，-1.9dB/层，由 5、6、11 楼实验结果基本符合该规律，而 15 楼的原因是不能大过信号在此处的最大无损耗信号。总体上理论是符合实践的。[5]

六、实验结果分析

完成数据处理。对实验中的现象分析讨论，并对实验误差产生的原因进行分析。

1. 室内、外环境下阴影衰落服从的分布规律:

1) 室外: 分析海山楼周边的场强分布情况可知，标准差为 5.57638、3.5879、5.1055、3.1629，与该频段下城市正常标准差 3.5-5.5 相比较为一致，由处理的图像也可的知场强分布呈现随机对数正态分布，根据实际值绘制的累积概率分布图图像也能够很好拟合理论图像，验证了结论。而西综标准差为 2.6288、4.9758、3.26599、4.35596。除了西侧数据外，基本符合理论。西侧可能是因为过于平坦，同时存在令希高楼的极大反射。

2) 通过观察第三个实验各楼层的强数据我们知道，总体上室内的场强强度要比室外小，具体分析可见对楼层的分析——五.3.2)

2. 研究校园内电波分布与现有传播模型的比较

见实验五.2 结论

3. 实验中可能产生误差的原因:

1) 我们在实验时是阴天，将要下雨，工频干扰，移动通信射频干扰，wifi 网络覆盖干扰，路边行人的噪声（影响较小），马路上的汽笛声（影响较小），天气可能会影响到数据波动；

2) 读数时场强仪上显示的数字总是在变化，不能完全定住，因此在读数时可能产生误差，在数据较多的情况下影响较小。同时场强仪的设备性能也不佳，解调性能很差，存

在很严重的门限效应，低场强时性能不足。

3) 由于室内存在多径衰落和很强的楼宇反射，使结论可能不太符合理想结果。但为了保证结果客观性，不应编数据，但是可以建模进行解释和修正，同时实测验证。

七、问题与建议、体会

思考题：建筑物内部区域的不同，如：楼道与室内、大房间与小房间、室内不同位置，穿透损耗有变化吗？如有，定量的给出变化规律。

1) 结论:会有变化

具体数值可见附表 2，由于情况比较复杂，采样点也存在一些误差和特殊情况，这里只做整体性结果和整体性结论的分析。

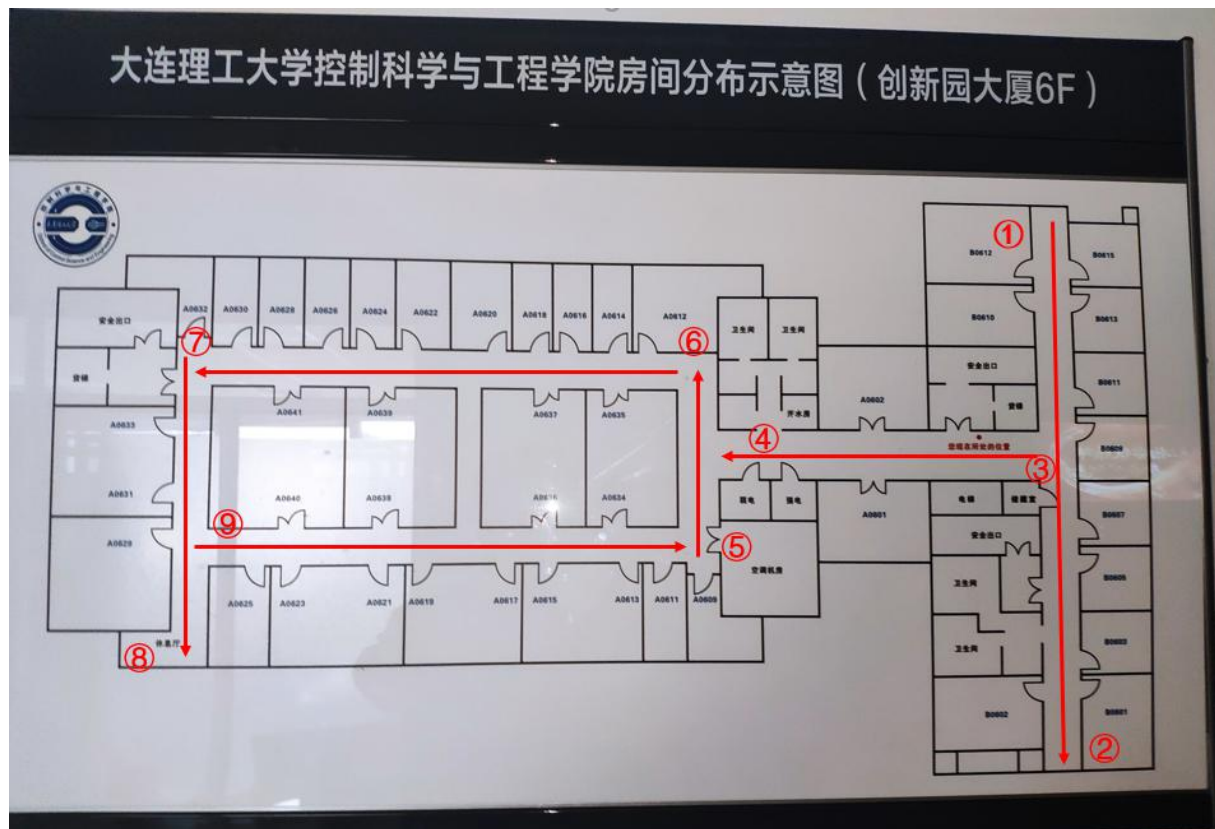
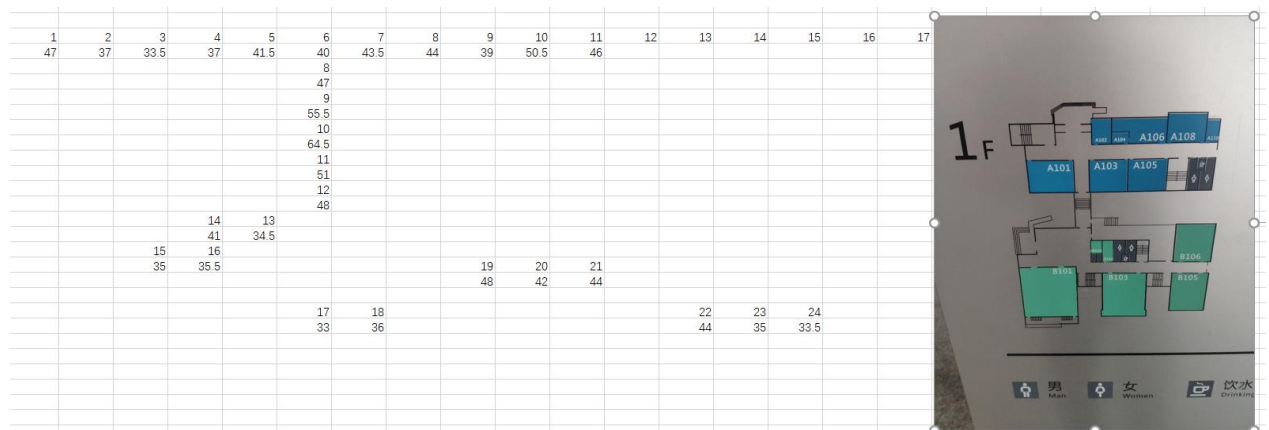


图 17 海山楼楼内地形及测量轨迹



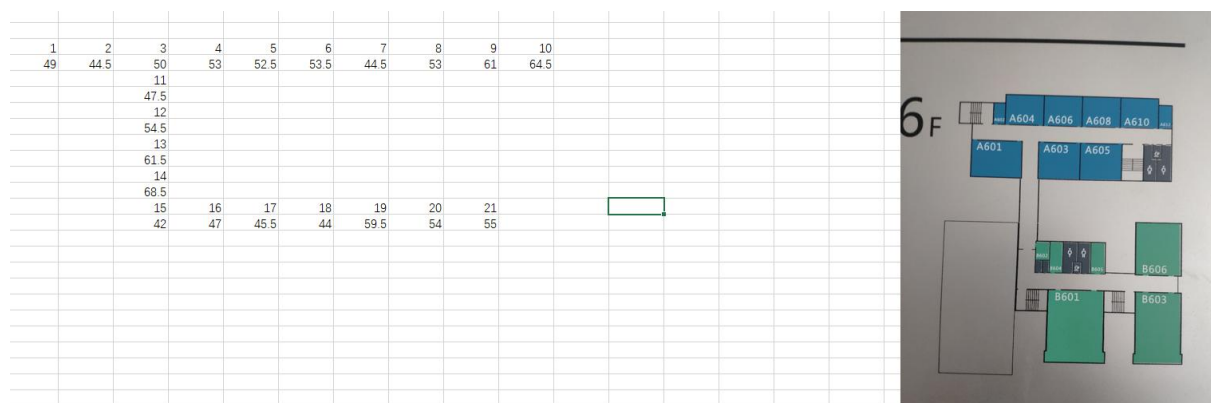


图 19 西综 6F 的场强分布图

由测得图表可知，玻璃窗损耗小，大约为 4-5db，水泥/红砖水泥损耗为 10-12db 左右，混凝土损耗大 15db 左右，钢铁窗户栅栏屏蔽作用大，甚至可以完全屏蔽。^[6]

一般认为在大教室穿透损耗更小，因为其举架更高，一般透光性更好，室内杂物较少，吸收损耗更小。靠窗位置信号更好，另外部分教室有信号屏蔽器，那里信号极差。同时，在小教室内一般因为充分漫反射原因，大教室内的信号分布的方向性会减小。

#####

由海山楼的⑥-⑦和⑤-⑨的场强分布规律，在中段走廊处，狭小空间内一般信号会更差，这可能由波长大于空间波导的截止波长有关，不满足传输条件，导致衰减极大，故存在极大衰减。

同样的，在市区存在反射情况下，也可以总体上根据室内太阳光光照进光量大小来大致分析信号分布情况。

2) 对实验的建议与体会

①经历了随机与微波实验，与李老师相处了很久，感谢老师在课业上的指点，也很高兴在这两门课中学到了很多编程与实践技能。

②总体上实验非常费时费力，有计划可以增加学分。

③GUI 的制作不应该作为主体加分项，因为 matlab 的 GUI 制作过于简单，而移植性很差。但是可以加大对 pyqt5 的 python 可视化加分项，这个在更多领域有着更多应用。

④HFSS 作为主要扩展点，是有些简单的，不能很好反应很多现实模型。可增加 ADS 仿真，这个是工业设计领域 EDA 软件的佼佼者，因其强大的功能、丰富的模板支持和高效准确的仿真能力（尤其在射频微波领域），而得到了广大 IC 设计工作者的支持。ADS 是高频设计的工业领袖。它支持系统和射频设计师开发所有类型的射频设计，从简单到最复杂，从射频微波模块到用于通信和航空航天国防的 MMIC。具有较高的现实实用意义。

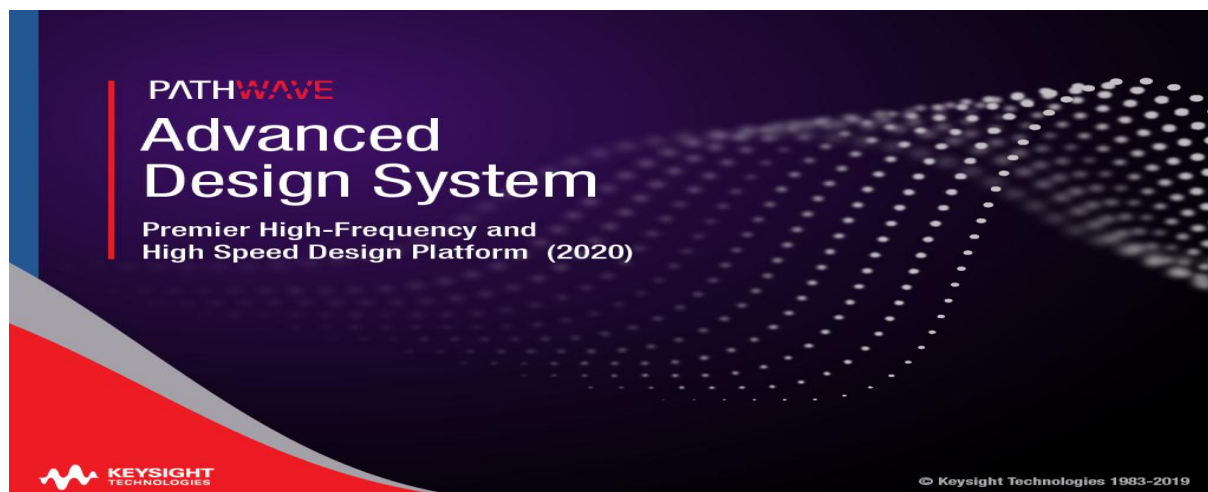


图 20 软件介绍

⑤仪器设备尽快淘汰更新。

⑥可以设定一些设计目标和指标，而不涉及报告，来作为标红。

声明

所测数据均为实际数值，本人对所测数据真实性负责，所测数值均有照片作为原始印证。
同时所得数值与理论相符性较好。

参 考 文 献

1. 电磁场与电磁波实验指导书 徐林娟 王琦著 北京邮电大学电 信工程学院实验中心
2. 电磁场与电磁波 焦其祥等著 科学出版社
3. 移动通信原理与系统（第 2 版） 啜钢等著 北京邮电大学出版社

参考论文：

- [1]. 杜路泉.无线信道仿真分析与研究[J].楚雄师范学院学报,2020,35(06):38-43.
- [2]. 孔凌劲,刘月玲,张校晨,张晓瀛,赵海涛,魏急波.超短波频段复杂城区场景的信道测量与建模[J].电波科学学报,2020,35(04):542-550.
- [3]. 郭徐卜. 广义衰落信道下通信系统有效容量研究[D].西北师范大学,2020.
- [4]. 全厚德,兰田,孙慧贤,崔佩璋,王超.多子模型方法预测电波传播损耗研究[J].火力与指挥控制,2018,43(09):94-98.
- [5]. 张哲,梁轶群,蔺伟.450MHz 频段电波传播路径损耗模型的研究 [J].铁道通信信号,2017,53(06):38-41.
- [6]. 楚佩斯. 移动通信系统中无线信号传播损耗预测算法研究与系统实测[D].电子科技大学,2013.

附表：

附表 1：海山楼外侧数据整理

南	位置	场强/dbuv	东	位置	场强/dbuv	北	位置	场强/dbuv	西	位置	场强/dbuv
	1	52.0		72	58.0		90	45.5		140	51.0
	2	52.5		73	50.5		91	48.5		141	45.0
	3	56.5		74	56.5		92	57.0		142	46.0
	4	57.0		75	59.0		93	56.0		143	48.0
	5	57.5		76	56.0		94	61.5		144	49.5
	6	54.5		77	53.5		95	58.0		145	57.0
	7	47.5		78	51.5		96	63.0		146	50.5
	8	46.0		79	54.5		97	63.0		147	49.5
	9	53.0		80	62.0		98	67.5		148	52.0
	10	53.5		81	59.0		99	65.5		149	51.0
	11	52.0		82	59.0		100	64.5		150	55.5
	12	51.5		83	55.0		101	60.5			
	13	43.5		84	53.0		102	59.5			
	14	49.5		85	57.0		103	68.5			
	15	47.5		86	59.0		104	59.5			
	16	48.5		87	60.0		105	57.0			
	17	44.5		88	54.5		106	56.5			
	18	46.0		89	53.5		107	59.0			
	19	50.5					108	56.5			
	20	48.0					109	51.0			
	21	45.5					110	57.0			
	22	44.5					111	56.5			
	23	42.0					112	56.5			
	24	42.0					113	55.5			
	25	49.5					114	56.5			
	26	47.5					115	58.0			
	27	49.5					116	51.5			
	28	53.5					117	53.0			
	29	57.0					118	49.0			
	30	58.5					119	49.0			
	31	59.5					120	47.5			
	32	61.5					121	54.0			
	33	58.5					122	55.0			
	34	53.5					123	50.5			
	35	55.5					124	49.5			
	36	56.0					125	51.0			
	37	52.0					126	51.5			
	38	50.5					127	48.5			
	39	55.0					128	52.5			
	40	52.0					129	57.5			
	41	56.5					130	52.0			
	42	60.0					131	52.5			
	43	59.5					132	49.5			
	44	60.0					133	49.5			
	45	55.5					134	52.0			
	46	53.0					135	47.0			
	47	57.5					136	51.5			
	48	63.0					137	51.5			
	49	49.0					138	58.5			
	50	56.5					139	46.5			
	51	58.5									
	52	53.0									
	53	57.5									
	54	61.5									
	55	55.0									
	56	57.0									
	57	56.5									
	58	60.0									
	59	55.5									
	60	58.0									
	61	56.0									
	62	55.0									
	63	53.0									
	64	51.0									
	65	41.5									
	66	51.5									
	67	53.0									
	68	57.0									
	69	57.0									
	70	56.0									
	71	56.5									

附表 2：海山楼内部数据整理

5层								
位置	场强/dbuv		位置	场强/dbuv		位置	场强/dbuv	
1	50		12	40.5		18	40	
2	46.5		13	50		19	40.5	
3	48		14	49.5				
4	52		15	38				
5	43		16	47				
6	42.5		17	37				
7	46							
8	46.5							
9	41							
10	43.5							
11	60.5							
位置	场强/dbuv		位置	场强/dbuv		位置	场强/dbuv	
20	39.5		28	37.5		34	39	
21	40		29	34		35	47	
22	49		30	33		36	36	
23	44.5		31	47		37	44	
24	48		32	58		38	47.5	
25	44.5		33	62.5		39	39	
26	43.5					40	43.5	
27	47.5					41	44	
						42	44.5	
						43	33.5	
6层								
位置	场强/dbuv		位置	场强/dbuv		位置	场强/dbuv	
18	48.5		20	35.5		29	39	
19	43		21	50		30	38.5	
			22	35		31	46	
			23	45.5		32	59.5	
			24	46		33	64	
			25	37.5				
			26	41				
			27	40				
			28	50				
位置	场强/dbuv		位置	场强/dbuv				
34	52.5		42	53.5				
35	43.5		43	51.5				
36	47							
37	Lo							
38	38.5							
39	49.5							
40	45.5							
41	48.5							

11层								
位置	场强/dbuv		位置	场强/dbuv		位置	场强/dbuv	
1	56.5		12	53.5		18	54.5	
2	59.0		13	63.5		19	47.5	
3	58.5		14	56.5				
4	49.0		15	54.0				
5	51.5		16	54.5				
6	49.5		17	57.0				
7	53.5							
8	53.0							
9	55.5							
10	53.5							
11	61.0							
位置	场强/dbuv		位置	场强/dbuv		位置	场强/dbuv	
20	61		28	54.5		32	59.5	
21	45.5		29	52.5		33	60	
22	48		30	69		34	57	
23	57.5		31	70.5		35	46	
24	42					36	44	
25	48.5					37	56.5	
26	55					38	60	
27	53.5					39	56.5	
						40	63	
						41	61.5	
15层								
位置	场强/dbuv							
1	58							
2	60.5							
3	47.5							
4	57							
5	63.5							
6	60							
7	59							
8	63.5							
9	52							

附表 3 西综外侧数据整理

北	位置	场强/db	西	位置	场强/db	南	位置	场强/db	东	位置	场强/db
	1	58.5		14	56.5		22	49.5		36	67
	2	62		15	52		23	45.5		37	63.5
	3	59		16	54		24	46.5		38	67.5
	4	56		17	48.5		25	48		39	61.5
	5	51.5		18	51		26	47.5		40	60.5
	6	56		19	49		27	44		41	60
	7	57.5		20	53		28	47			
	8	55.5		21	53		29	52			
	9	52					30	53			
	10	50					31	56			
	11	47.5					32	55.5			
	12	49					33	55.5			
	13	52					34	59			
							35	58			