

## 卫星微波通信中云雨衰减的预测\*

赵柏林 刘建强

(北京大学地球物理系) (国家海洋环境预报中心)

### 提 要

本文计算了在频率为 1—300 GHz (波长为 0.1 cm—30 cm) 的微波在大气和云雨中的吸收、散射和衰减的效应。统计和分析了北京地区降雨分布特征, 对于地面-卫星通信线路衰减作了预测, 为北京地区地面-卫星通信工程设计提供了重要依据。本文提出了新的地面-卫星线路衰减的预报方法, 较为准确, 可供卫星微波通信工程中使用。

### 一、引 言

微波具有较宽的通信频带, 较窄的波束宽度和较好的角分辨率, 并具有良好的通信前景。在应用微波通信中, 要求了解大气及云雨的衰减和它们的辐射特性, 包括大气引起的微波射线弯曲、信号的衰减及通信质量变坏。云雨具有复杂性, 云雨随季节和地区有明显变化, 为了便于工程设计, 就需对各地区各季节所出现的云雨及大气之衰减概率进行统计分析, 以便向工程设计提供节省和实用的方案。本文研究了 1—300 GHz 频段微波在大气和云雨中的传播特性, 统计了北京地区降雨特征, 按国际标准, 确定北京地区的无线电气象中的气候区。并寻找出简单实用的地面-卫星通信中云雨衰减预测的方法。

### 二、微波辐射特征

在微波波段大气衰减主要是由氧、水汽分子所致。氧分子和水汽的吸收系数, 见文献 [1]—[4] 中所示。

#### 1. 云雨的微波辐射

云是水滴或冰晶所组成, 直径不超过 100  $\mu\text{m}$ , 比微波波长小很多, 在 1—100 GHz 频段内,  $\frac{2\pi r}{\lambda} \ll 1$ , 可用 Rayleigh 计算云层的衰减<sup>[5]</sup>。云层衰减和云中含水量成正比, 冰云比水云的衰减要小得多。在频率低于 15 GHz 时, 雨滴的 Mie 理论散射与 Rayleigh 散射接近。对高频微波和大雨滴散射, 两者相差很多, 雨滴直径为毫米量级, 应该用 Mie 理论处理。假设雨滴谱满足于 Marshall-Palmer 谱分布, 略去雨中的多次散射与相干散射作用。不同雨强下雨的衰减随频率的变化, 见图 1。根据以上计算, 由统计回归, 得到各频

\* 本文于 1989 年 8 月 11 日收到, 1989 年 12 月 26 日收到修改稿。

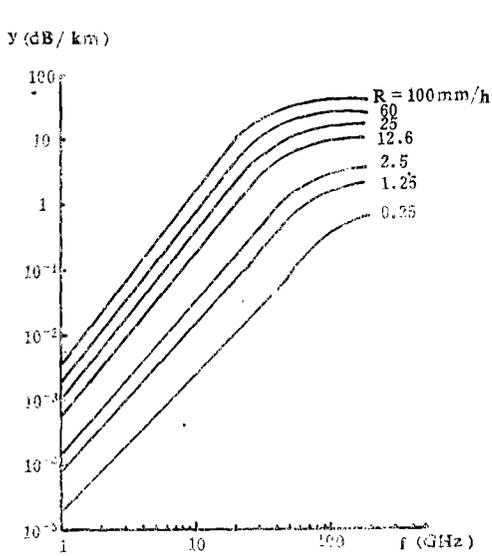


图 1 不同雨强下, 衰减系数随频率的变化  
( $t=10^{\circ}\text{C}$ )

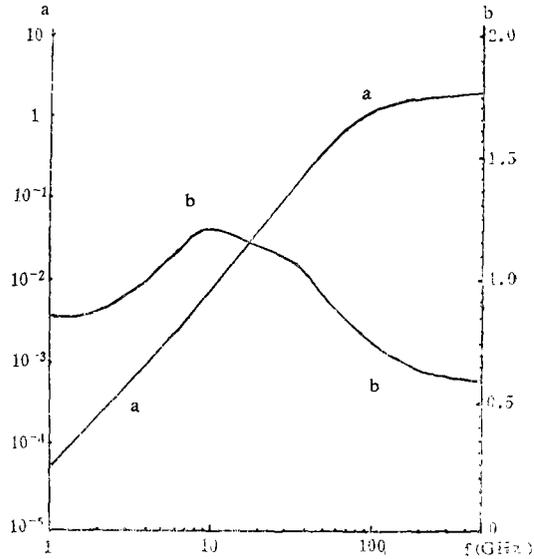


图 2 雨衰减系数与雨强关系  $Y = aR^b$  中  $a, b$  随频率的变化

率下衰减系数  $Y$  与雨强  $R$  的关系<sup>[6]</sup>

$$Y = aR^b \quad \text{dB/km}$$

$a, b$  为系数, 它们是温度及频率的函数, 见图 2。  $a$  值变化较大从  $6 \times 10^{-5}$  至 2, 在高频时比较稳定。  $b$  值在 0.6 至 1.4 之间, 10 GHz 附近最大。

### 2. 路径衰减

在通信线路中, 需要计算总的路径衰减, 包括大气、云雨的衰减, 路径衰减  $\tau$  为

$$\tau = 10 \lg \frac{P_{\text{发}}}{P_{\text{收}}} = \tau_{\text{O}_2} + \tau_{\text{H}_2\text{O}} + \tau_{\text{Cl}} + \tau_r$$

$\tau_{\text{O}_2}, \tau_{\text{H}_2\text{O}}, \tau_{\text{Cl}}, \tau_r$  分别是氧、水汽、云和雨的衰减。  $P_{\text{收}}, P_{\text{发}}$  是通信收发的功率。 它们随频率的分布见图 3 所示。 从图中可见, 在通信的窗区波段, 雨是一个衰减作用强、变化大的因子, 因此, 雨的特征, 尤为关注。

### 三、北京地区雨的特性

频率高于 10 GHz 的微波通信严重的问题是降雨引起的衰减与去极化效应。 为使设计这些频率的无线电设备既能满足通信可靠, 而又经济实用, 必须对所在地区的降雨强度进行统计, 建立降雨的分布模式, 并由此模式建立起相应的计算, 给出不同频率、不同路径长度上的衰减预报模式。 北京是中国的首都, 具有特殊的地位, 对北京地区降雨分布统计, 有助于开拓 10 GHz 以上频率通信, 而且对于国际研究机构掌握世界范围内降雨情况及其分类有重要作用。 美国、日本、加拿大、法国、英国、意大利等对本国的降雨作过统计, 同时利用单站雨强累积分布, 在一定降雨空间结构模型下作出了微波衰减预报, 并与实验比较, 得到了一致的结果。 在中国区域辽阔、地理气象条件复杂。 在西安、武进、北京曾作

过一些降雨统计和实验研究,尚有深化的必要<sup>[7-10]</sup>。

从大量研究及实际结果得知,累积分布呈现的年变化是很大的,为获得统计的稳定性,需要做长期观测。本文参考了北京地区 1841—1980 年的历史降雨资料,对北京气象台 1981—1987 年的自记雨量资料作了统计,得到 60 min, 10 min 降雨累积分布,这些结果对地面通信及地面-卫星通信是有重要意义的。

1. 资料

降雨资料是北京气象台(北洼路又一村,北纬 39°56', 东经 116°17', 高度 54 m)虹吸式雨量计自记记录,时间为 1981—1987 年,每年的 4 月至 10 月,共计 49 个月,分析了 10 min、60 min 累积时间分布,共有数据 1 万多个,最小为 0.1 mm/h,最大为 102 mm/h,另外还

$\alpha$  (dB/km)

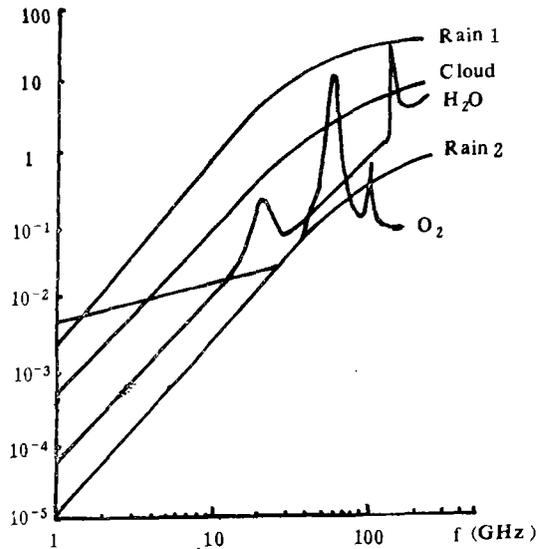


图 3 大气云雨衰减系数随频率的变化  
( $p_0=1013.3$  hPa,  $\rho_w=10$  g/m<sup>3</sup>,  $t=10^\circ$ C, Cloud  $w=1$  g/m<sup>3</sup>, Rain 1  $R=50$  mm/h, Rain 2  $R=25$  mm/h)

表 1 北京地区 1981—1987 年降雨时数  $H$ (h) 最大降雨率  $R_{max}$ (mm/h) 及年降雨量  $P$ (mm) ( $t=60$ min)

年	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	平均
$H$ (h)	290	251	318	210	298	190	303	258
$R_{max}$ (mm/h)	30.2	28.4	63.7	56.6	37.6	53	35.3	43.6
$P$ (mm)	386.5	540.9	539.2	479.5	691.6	584	612.6	547.8

表 2 北京地区 1981—1987 年降雨时数  $H$ (h) 最大降雨率  $R_{max}$ (mm/h) 及年降雨量  $P$ (mm) ( $t=10$ min)

年	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	平均
$H$ (h)	119.2	99.5	114.6	93.6	129.3	88.2	173.2	116.8
$R_{max}$ (mm/h)	79.2	63.4	102	102	100.2	95.4	87	89.9
$P$ (mm)	352	502.65	443	456	657.85	564.55	593.6	510.0

有“北京气候资料”中历年的各月降雨量及平均值,时间为 1841—1980 年。

从表 1 和表 2 中看出,累积时间 60 min 与 10 min 降雨参数比较,前者降雨时数比后者大,最大雨强比后者小,年降雨量偏大,历年的降雨量在 350—700 mm 之间。统计表明

不同的累积时间,得到的分布参数也不同,这是由于较长时间的累积分布,包括某一时段没雨的情况,起了平滑作用。因而累积时间越长,雨强越小,要得到更好的雨强分布,累积时间应尽量地短,这样更能反映实际雨强,但是受到仪器和人为的限制。

在 1981—1987 年间,1982 年为平均年份,1985 年为最坏年份,以此两年为例分析各月的降雨情况,见表 3 及表 4。

表 3 累积时间  $t=10\text{min}$ , 1982, 1985 年各月降雨量(mm)

年	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	总 合
1982	33.1	11.2	130.05	201.9	113.3	6.7	6.4	502.65
1985	12.1	22.2	29.95	278.35	277.45	35.15	2.55	657.85

表 4 累积时间分别为 10min, 60min, 北京 1982, 1985 年各月降雨时间(h)

年	累积时间	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	总 合
1982	60min	17	21	55	82	47	17	12	251
	10min	10.17	8.33	26	29.33	14.17	5.83	5.67	99.5
1985	60min	15	41	28	82	82	35	15	298
	10min	9	17.17	10.83	37.33	35.83	16.5	2.67	129.33

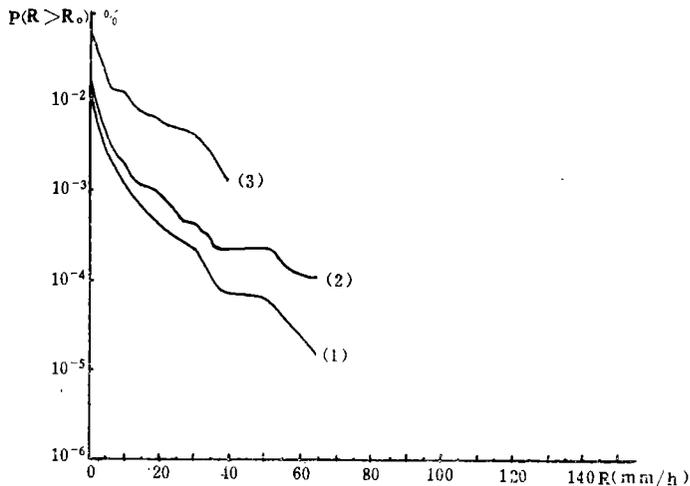


图 4 累积时间为 60 min 雨强概率分布  
(1981—1987 北京)

(1) 平均年分布, (2) 最坏年分布, (3) 最坏月分布

北京地区 1940—1987 年降雨资料中,多数以 7 月份为最大。历年中 7 月份降雨量占全年的 34% 以上,降雨时间占全年降雨时间的 27% 以上。在通信线路设计中常常用到最坏月份<sup>[11,12]</sup>,按最坏月份定义,对给定阈值雨强值,一年中某一个月越过阈值最长时间为

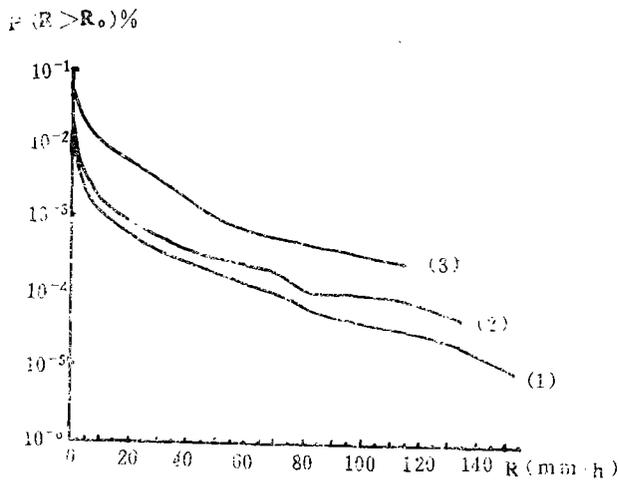


图 5 累积时间为 10 min 雨强概率分布  
(1) 平均年分布, (2) 最坏年分布, (3) 最坏月分布

最坏月份<sup>[13]</sup>。对于不同阈值,最坏月份不一定是同一个月。由实际资料统计得到最坏月分布与最坏年分布,然后对这些分布采用对数线性回归,得到最坏年雨强概率分布 $P_{WY}$ ,与最坏月雨强概率分布 $P_{WM}$ 及平均年雨强概率分布 $P_{\bar{Y}}$ 的关系(北京地区):

60 min 累积	$P_{WY} = 0.591 [P_{\bar{Y}}]^{0.847}$	相关系数 $r = 0.995$
	$P_{WM} = 1.119 [P_{\bar{Y}}]^{0.682}$	$r = 0.991$
10 min 累积	$P_{WY} = 0.620 [P_{\bar{Y}}]^{0.873}$	$r = 0.994$
	$P_{WM} = 1.832 [P_{\bar{Y}}]^{0.785}$	$r = 0.978$

与CCIR比较有类似关系,其 $Q_{10} = P_{WM}/P_{\bar{Y}}$ 在 5 与 10 之间。雨强概率分布见图 4 和图 5 中所示。

## 2. 北京气候区

在CCIR<sup>[14]</sup>中,北京地区为K带,概率为 0.01% 的雨强是 40 mm/h, Crane<sup>[15,16]</sup>认为北京为D区,但不知是 $D_1$ ,  $D_2$  还是  $D_3$ , 因这些数据是在 1 min 累积时间统计下,按一些常规资料类推得到的,为了便于比较,须将 10 min 雨强转换成 1 min 雨强。

根据 Segal<sup>[17,18]</sup>在概率  $0.001\% \leq P \leq 0.03\%$  范围用下面关系

$$R_1 = 0.581 [P_{1,10}]^{-0.082} R_{10}$$

其中,  $R_1$ ,  $R_{10}$  分别是 1 min 雨强与 10 min 雨强,  $P_{1,10}$  为累积分布概率。由此得到北京地区 1 min 雨强概率分布。在图 6 中给出了 Crane 划分的 $D_2$ ,  $D_3$ , E 区分布及CCIR中K, L 分布,可见北京地区K带不合适,但和 Crane 的 $D_3$  区、CCIR的L带接近。因为北京地区降雨分布不均匀,暴雨集中在 7, 8 月份,为保证在暴雨时发射功率足以克服雨致衰减的影响,在最差月份时,需要考虑增加 10% 以上的余量。

从上述可知,不同累积时间,其分布曲线不同,对同一概率值,可从统计的数据得到两种雨强的关系:

$$R_{10} = 0.718 [R_{60}]^{1.163}$$

相关系数为 0.996。由此关系用 60 min 雨强 $R_{60}$ 资料求得 10 min 雨强 $R_{10}$ , 与实际测量

值比较,平均误差为 5.27%,标准偏差为 1.85 mm/h。在北京地区应用这一关系是可行的,这样可以减少工作量。在图 7 中可看出 1 min,10 min 及 60 min 的分布,可见累积时间愈长,在相同概率下,雨强愈小。

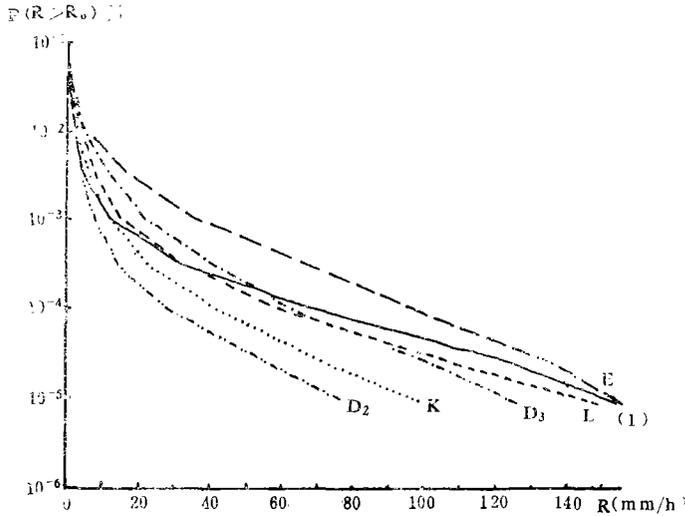


图 6 气候带划分比较  
(Crane; D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, E 区; CCIR; K, L 带; (1) 北京 1 min 雨强分布)

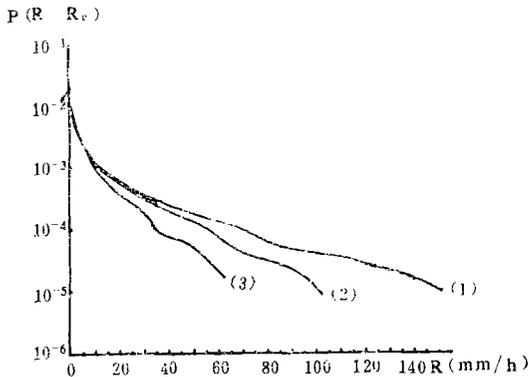


图 7 不同累积时间雨强概率分布  
(1) 60 min (2) 10 min (3) 1 min)

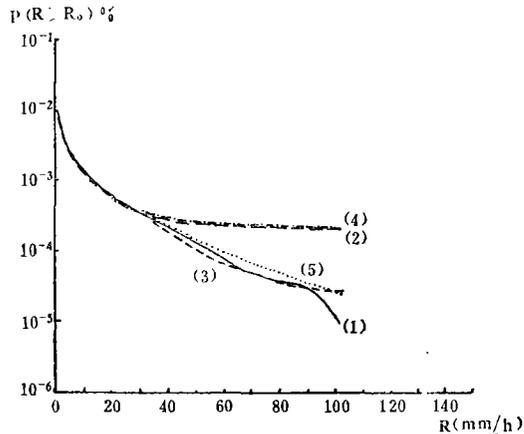


图 8 拟合分布与实际比较(平均年, 10 min 雨强)  
(1) ——实际分布(北京地区) (2) ——对数正态分布  
(3) --- ≥9 mm/h 雨强对数正态分布 (4) -·-·- 最小二乘法拟合 (5) ·····Moupfouma)

### 3. 降雨率分布模式

这里讨论北京地区降雨资料,它适于那种降雨率分布模式。经常使用的是,对数正态分布、Γ-分布及 Moupfouma 分布三种。

对数正态分布的概率密度  $p(R)$  为

$$p(R) = \frac{p_0}{\sqrt{2\pi}SR} \exp\left(-\left[\frac{\ln R - m}{\sqrt{2}S}\right]^2\right)$$

得到分布函数为

$$p(R \geq R_0) = \frac{p_0}{2} \left[ 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{\ln R - m}{\sqrt{2}S}} e^{-t^2} dt \right]$$

$p_0$  为有雨的概率。 $m, S$  分别为  $\ln R$  的均值与标准差。

(a) 取 10 min 雨强分布与推算的 1 min 雨强分布, 对全部样本雨强取对数, 得到  $\ln R$  进行统计得到平均值, 标准差为

$$m_{10} = 0.571 \quad s_{10} = 1.25 \quad (10 \text{ min})$$

$$m_1 = 0.599 \quad s_1 = 1.24 \quad (1 \text{ min})$$

见图 8 中曲线 2。

(b) 对于  $R \geq 9 \text{ mm/h}$  的雨进行统计分析, 只有雨强大时才会对通信有影响。

$$m_{10} = 2.948 \quad S_{10} = 0.610 \quad (10 \text{ min})$$

$$m_1 = 3.094 \quad S_1 = 0.690 \quad (1 \text{ min})$$

见图 8 中曲线 3。

(c) 最小二乘法拟合分布, 由

$$p(R \geq R_0) = \frac{p_0}{2} \left[ 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{\ln R_0 - m}{\sqrt{2}S}} e^{-t^2} dt \right]$$

化为正态分布函数

$$p_1 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{(\ln R_0 - m)}{S}}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy$$

其中,  $p_1 = p/p_0, y = (\ln t - m)/S$ 。

根据雨强  $R_0$  所对应的分布函数  $p_1$  从正态概率积分表中查出相应的  $y$  值, 然后利用关系式  $\ln R = Sy + m$ 。由最小二乘法求得  $m, S$  值得到

$$m_{10} = 0.847 \quad S_{10} = 1.147 \quad \text{相关系数 } r = 0.968 (10 \text{ min})$$

$$m_1 = 0.741 \quad S_1 = 1.27 \quad r = 0.975 (1 \text{ min})$$

见图 8 中曲线 4。

(d) Moupfouma 分布为<sup>[19,20]</sup>

$$p(R \geq R_0) = ae^{-uR_0}/R_0^b$$

其中,  $u = 2.5 \times 10^{-2}, 0 < a < 1, b < 0;$   
 $a = 10^{-4} R_{0.01}^b e^{uR_{0.01}}, b = 8.22 R_{0.01}^{-0.584},$   
 $R_{0.01}$  为 0.01% 概率下的雨强。按 10 min 雨强资料  $R_{0.01} = 54.4 \text{ mm/h}, b =$   
 $0.78, a = 9.51 \times 10^{-3}$  有

$$p(R \geq R_0) = 9.51 \times 10^{-3} e^{-0.025 R_0} / R_0^{0.78}$$

见图 8 中曲线 5。由图 8 中可见 Moupfouma 分布模式简单, 符合实际, 便于实用。在图 9 中亦示出在 1 min

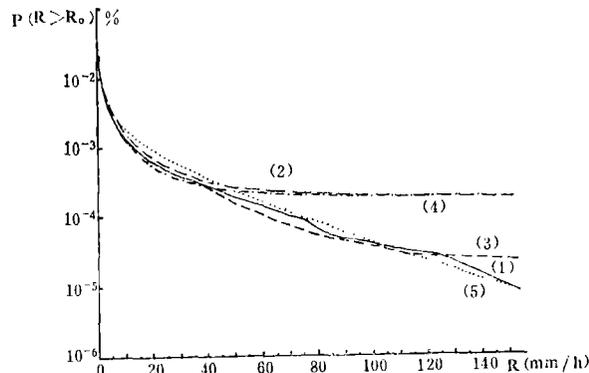


图 9 由 10 分钟推算 1 分钟雨强的拟合分布

- (1) —— 实际雨强(北京)
- (2) --- 对数正态分布
- (3) - · - ·  $\geq 9 \text{ mm/h}$  雨强正态对数分布
- (4) ···· 最小二乘法拟合
- (5) ····· Moupfouma

雨强分布上 Moupfouma 分布较好。

#### 四、地面-卫星线路降雨衰减预报

##### 1. CCIR 预报方法

CCIR 报告中指出,在没有实际资料时,用以下步骤来预报平均年内超过某概率值的衰减。

(a) 算出地球站上降雨的高度

$$h_R \begin{cases} = 4.0 & 0 < \varphi < 36^\circ \\ = 4.0 - 0.075(\varphi - 36) & \varphi > 36^\circ \end{cases}$$

其中,  $h_R$ : 高度(km),  $\varphi$ : 纬度。

(b) 对  $\theta > 5^\circ$  的线路径, 在雨高度下  $L_S$  (图 10) 为

$$L_S = (h_R - h_s) / \sin \theta$$

对  $\theta < 5^\circ$  考虑地球曲面订正有

$$L_S = 2(h_R - h_s) / \left\{ \left[ \sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right]^{\frac{1}{2}} + \sin \theta \right\}$$

其中,  $h_s$  为地球站的拔海高度,  $R_e$  为地球半径。

(c) 水平投影  $L_G = L_S \cos \theta$

(d) 衰减因子  $r_{0.01}$  (概率为 0.01% 的情况)

$$r_{0.01} = [1 + 0.045 L_G]^{-1}$$

(e) 获得 0.01% 概率雨强值, 按 CCIR 北京地区为 K 带, 概率为 0.01% 的雨强是 40 mm/h (1 min)<sup>[21]</sup>。

(f) 单程衰减  $r_R$ <sup>[22]</sup>

$$r_R = K(R_{0.01})$$

$K = 2.877149 \times 10^{-3} - 8.349843 \times 10^{-4} f + 4.747788 \times 10^{-4} f^2 - 7.278464 \times 10^{-6} f^3$ , ( $9 \leq f \leq 35$  GHz),  $f$  为频率 (GHz)。

(g) 概率为 0.01% 下平均年的衰减

$$A_{0.01} = r_R L_S r_{0.01} \text{ dB}$$

(h) 对其它概率下衰减为

$$A_p / A_{0.01} = 0.12 p^{-(0.546 + 0.043 \lg p)}$$

如果用此方法预测北京地区的衰减将会产生较大误差。因为这里的降水特性并不符合北京实际情况。

##### 2. 实际预报方法

用实际雨强资料, 由下式预报路径衰减:

$$A_p = a \cdot [R_p]^b L_S r_p$$

其中,  $L_S = (h_R - h_s) / \sin \theta$ ,  $\theta > 5^\circ$

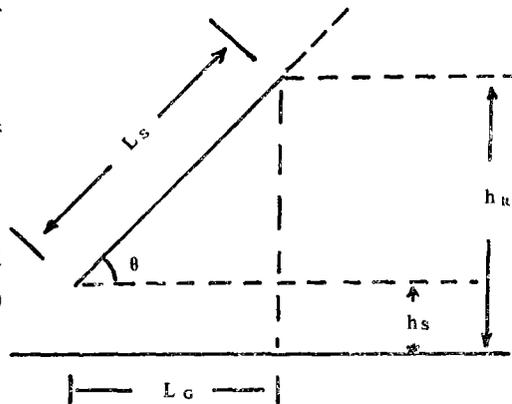


图 10 降雨中衰减路径

$$L_s = 2(h_R - h_s) / \left\{ \left[ \sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right]^{\frac{1}{2}} + \sin \theta \right\}, \theta < 5^\circ$$

$R_p$  是概率为  $p$  的雨强,  $r_p$  是概率为  $p$  下路径衰减因子, 当  $p=0.01\%$  时,  $r_p = r_{0.01} = [1 + 0.045 L_a]^{-1}$ ,  $L_a = L_s \cos \theta$ ,  $a, b$  为常数(见图 2)。在频率 12 GHz 概率 0.01% 情况下, 1 与 2 两种方法相差达 30%。由 2 方法计算得到北京地区不同频率雨衰减情况如图 11 及图 12 中所示。

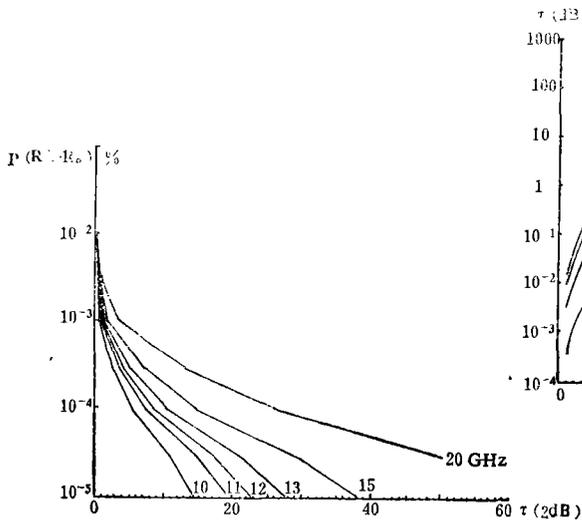


图 11 不同频率的衰减值的概率分布  
( $\theta = 90^\circ, t = 10^\circ\text{C}$ )

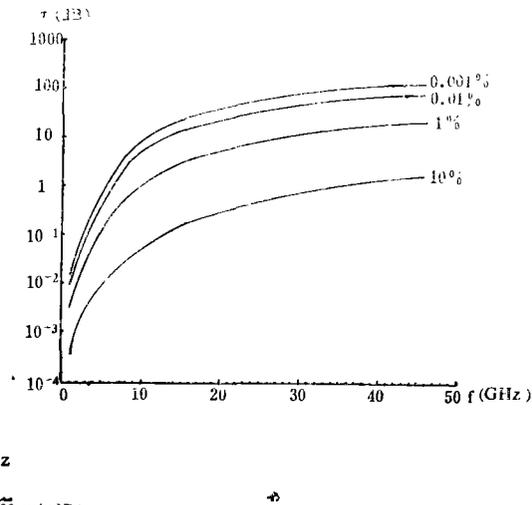


图 12 对不同概率下雨衰减随频率的变化  
( $\theta = 90^\circ, t = 10^\circ\text{C}$ )

卫星线路总衰减, 对于 1% 概率的衰减预报对大气及云的影响不可略去。除强吸收带频率外, 对于 0.1% 概率的衰减预报, 不计大气与云的影响, 引起的误差达 10%。对于 0.01% 概率下的衰减, 略去大气与云的影响, 误差不超过 1%。

## 五、结 论

本文用 10 min, 60 min 雨强分析统计得到了北京地区降雨特征, 并用对数正态分布与 Moupfouma 分布拟合, 根据 Segal 方法得到了 1 min 雨强分布, 确定了北京地区气候带, 用实际降雨资料对北京地区雨致通信衰减进行预报。

(1) 文中的结果代表北京地区全年的降雨特征, 给出最坏年、最坏月的分布, 给卫星通信工程设计提供依据。

(2) 对北京地区气候区重新确定是必要的, 以前方法是类推所得的, 对衰减预报有较大的误差。

(3) 对降雨分布进行拟合简化降雨衰减的计算分析, 这里用 Moupfouma 分布拟合结果较好。

(4) 根据现有气象台自记雨量计资料, 可作出 5—10 min 雨强累积分布, 可用此进行衰减预报, 此方法简单, 易于使用, 也较为准确。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Meeks, M. L., and A. E. Lilley, The microwave spectrum of oxygen in the earth's atmosphere, *J. Geophys. Res.*, **68**, 1683-1703, 1963.
- [ 2 ] Barrett, A. H., and V. K. Chung, A method for the determination of high-altitude water vapor abundance from groundbased microwave observations, *J. Geophys. Res.*, **67**, 4259-4266, 1962.
- [ 3 ] Gaut, N. E., Study of atmospheric water vapor by means of passive microwave techniques, AD 68195, 1971.
- [ 4 ] 赵柏林、张鸾琛, 大气探测原理, 气象出版社, 1987.
- [ 5 ] Falcone, V. J., et al., Atmosphere attenuation of millimeter wave: models and computer code, AFGL-TR-79-0253, 1979.
- [ 6 ] Olsen, R. L., D. V. Rodgers and D. B. Hodge, The  $aR^b$  relation in the calculation of rain attenuation, *IEEE Trans.*, AP-26, 318-329, 1978.
- [ 7 ] 忻妙新等, 雨强统计特征与地面通信中微波衰减预报, 通信学报, **9**, 4, 51-57, 1988.
- [ 8 ] 肖景明等, 西安地区降雨率统计与分析, 电波科学学报, **2**, 2, 39-48, 1987.
- [ 9 ] 王家胜, 北京地区 12 GHz 频段星-地传播路径雨致衰减的统计特性, 电波科学学报, **2**, 4, 6-12, 1987.
- [ 10 ] 章秀麓等, 雨衰减预测模式比较研究, 电波科学学报, **2**, 3, 40-49, 1987.
- [ 11 ] CCIR Rept. 581-1, The concept of worst month, 1986.
- [ 12 ] CCIR Rept. 723, Worst month statistics, 1986.
- [ 13 ] 森田和夫, 全世界卫星通信线路雨衰减简易估算法, 电波与天线, No 1, 68-83, 1983.
- [ 14 ] CCIR Rept. 546-3, Propagation data and prediction methods required for earth-space telecommunication system, 1986.
- [ 15 ] Crane, R. K., Prediction of attenuation by rain, *IEEE Trans.*, Communication-28, 1717-1783, 1980.
- [ 16 ] Crane, R. K., Prediction the effects rain on satellite communication systems, *Proc. IEEE*, **65**, 456-474, 1977.
- [ 17 ] Segal, B., The influence of raingauge integration time on measured rainfall intensity distribution function, *J. Atmosph. Ocean. Tech.*, **3**, 662-671, 1986.
- [ 18 ] Segal, B., An analytical examination of mathematical models for rainfall rate distribution function, *Ann. Telecommunic.*, **35**, 411-417, 1980.
- [ 19 ] Moupfouma, F., Improvement of radio attenuation prediction method for terrestrial microwave links, *IEEE Trans.*, AP-23, 1368-1372, 1984.
- [ 20 ] Moupfouma, F., Model of rainfall-rate distribution for radio system design, *Proc. IEEE*, **132**, pt. H, 39-43, 1985.
- [ 21 ] CCIR Rept. 563-3, Radio meteorological data, 1986.
- [ 22 ] CCIR Rept. 721-2, Attenuation by hydrometers in particles: precipitation and other atmospheric particle, 1986.

## THE ATTENUATION EFFECTS OF CLOUD AND RAIN ON SATELLITE-EARTH MICROWAVE COMMUNICATION

Zhao Bolin

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing)

Liu Jianqiang

(National Center for Marine Environment Prediction)

### Abstract

In this paper, the attenuation, absorption and scattering effects of cloud and rain in microwave band, frequency: 1-300GHz (wavelength: 0.1 cm-30 cm), have been calculated. The rain rate statistics and analysis in Beijing District have been treated. The effects of cloud and rain on satellite-earth microwave communication are discussed. It is important for engineering design of satellite-earth communication. In this paper, a new method for prediction of the attenuation of satellite-earth microwave communication is given. It is more accurate and convenient for engineering design.