

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**  
国际电联无线电通信部门

**ITU-R P.2108-1 建议书**  
(09/2021)

**地物损耗的预测**

**P 系列**  
**无线电波传播**



## 前言

无线电通信部门的作用是确保所有无线电通信业务，包括卫星业务，合理、公平、有效和经济地使用无线电频谱，并开展没有频率范围限制的研究，在此基础上通过建议书。

无线电通信部门制定规章制度和政策的职能由世界和区域无线电通信大会以及无线电通信全会完成，并得到各研究组的支持。

## 知识产权政策（IPR）

ITU-R的知识产权政策在ITU-R第1号决议引用的“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策”中做了说明。专利持有者提交专利和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh>获得，该网址也提供了“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策实施指南”以及ITU-R专利信息数据库。

### ITU-R 建议书系列

（可同时在以下网址获得：<http://www.itu.int/publ/R-REC/zh>）

系列	标题
<b>BO</b>	卫星传输
<b>BR</b>	用于制作、存档和播放的记录；用于电视的胶片
<b>BS</b>	广播业务（声音）
<b>BT</b>	广播业务（电视）
<b>F</b>	固定业务
<b>M</b>	移动、无线电测定、业余无线电以及相关卫星业务
<b>P</b>	<b>无线电波传播</b>
<b>RA</b>	射电天文学
<b>RS</b>	遥感系统
<b>S</b>	卫星固定业务
<b>SA</b>	空间应用和气象
<b>SF</b>	卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调
<b>SM</b>	频谱管理
<b>SNG</b>	卫星新闻采集
<b>TF</b>	时间信号和标准频率发射
<b>V</b>	词汇和相关课题

注：本ITU-R建议书英文版已按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版  
2022年，日内瓦

## ITU-R P.2108-1 建议书

## 地物损耗的预测

(2017-2021年)

## 范围

本建议书提供了在30 MHz至100 GHz频率范围内通过地物估算损耗的多种方法。

## 关键词

地物、衰减、屏蔽、地面、地-空、航空

国际电联无线电通信全会，

## 考虑到

- a) 为了进行系统规划和干扰评估，可能需要考虑无线电波在穿越建筑物过程中或者在建筑物之间传播时的衰减问题；
- b) 在地面站可能被建筑物屏蔽时，对一般情况下的详细计算，难以用公式来表示，因地物而造成的损耗必须视部署情况而定；
- c) 在地面站移动时，无线电路径的地物环境将是多变的，

## 认识到

- a) ITU-R P.1411建议书包含主要在300 MHz至100 GHz城市环境内短程无线电系统的数据和模型；
- b) ITU-R P.2040建议书包含对来自和穿透建筑材料之反射的基本表述，以及约100 MHz以上之建筑材料电性能的统一表述；
- c) ITU-R P.452建议书含用于估计在频率从约0.1GHz至50 GHz时地球表面上电台之间干扰的一种预测方法，该方法考虑了晴空和水汽凝结物散射干扰两种机制；
- d) ITU-R P.1812建议书描述一种适于地面点对点业务的传播预测方法，其频率范围为30 MHz-6 000 MHz；
- e) ITU-R P.833建议书介绍了几种模型，使用户能够对植被对无线电波信号产生的影响进行评估，其频率范围为30 MHz-60 GHz；
- f) ITU-R P.2109建议书提供了一个统计模型，用于频率从约80 MHz至100 GHz的入口损耗建模，

## 建议

应利用附件1中的材料来估算地物损耗。

## 附件1

### 地物损耗模型 计算方法描述

#### 1 引言

本建议书描述了一组可用于估算因多种不同环境而造成地物损耗的模型。这些模型可以用作长距离或过屋顶模型的一种末端校正。

本建议书定义了地物环境的类别，并提供了用于估算地物内屋顶与终端之间路径损耗的方法。

当不知道无线电路径的精确信息时，如街道的宽度、建筑物的高度、植被的深度，将使用统计模型。

##### 1.1 地物和地物损耗的定义

此处“在“ITU-R P系列建议书”背景和语境下对“地物”进行描述。

地物指的是地球表面的各种物体，如建筑物或植被，而不是实际的地形。无线电发射机/接收机终端周围的地物会对整体传播效果产生重大影响。通常最靠近终端的地物对传播效果的影响最大，但实际距离将取决于地物的特性和无线电参数。

本建议书中的地物损耗模型是统计性质的。作为长距离路径传播模型的一种末端修正，在路径任一端存在和不存在终端地物、所有其他路径细节均相同的情况下，“地物损耗”被定义为传播损耗或基本传输损耗中的差异<sup>1</sup>。短距离路径传播模型考虑到了整个路径长度上的地物影响。

#### 2 模型选择

应根据频率、终端周围的环境和路径类型来选择适当的模型，表1对各模型做了概述。

---

<sup>1</sup> ITU-R P.341建议书给出了“传输损耗”和“基本传输损耗”的定义。

表1  
模型概述

终端环境	参考	频率范围 (GHz)	描述
代表性地物高度以下的终端	§ 3.1	0.03 – 3	将添加至根据所使用之代表性地物高度计算得到的基本传输损耗上的端损耗修正。 可应用于路径的发送端和接收端
地物内的地面终端	§ 3.2	0.5 – 67	一个统计模型，可用于构建城市和郊区环境地物损耗分布的模型。该修正可应用于路径的两端
一个终端在地物内，另一个终端是在地面以上的卫星、飞机或其他平台	§ 3.3	10 – 100	地物损耗的一个统计分布，不超过仰角范围在0度到90度之间的百分比位置

### 3 地物损耗模型

以下几节描述了一些方法。在每节中，都有对模型及其适当应用、所需的输入参数和计算方法的描述。

#### 3.1 高度增益终端修正模型

该方法给出了因不同的终端环境而造成的损耗中位数。可能的机制包括在代表性高度上的地物对象造成的阻塞损耗和反射，以及地面和较小地物对象造成的散射和反射。当使用一台计算机执行时，地形剖面从数字地形模型中提取，终端环境由地物类别定义，它不可能识别各个机制。本节所使用的方法区分两种通常情况：林地和城市的类别，假定其主要机制是地物上的衍射；对于其他类别，假定反射或散射占主导地位。

计算一个额外的损耗 $A_h$ ，它可以添加至在地物之上计算得到的路径基本传输损耗上，因此基本传输损耗应根据所使用的代表性地物高度来计算。该模型可应用于路径的发送端和接收端。

频率范围：0.03 GHz至3 GHz

##### 3.1.1 输入参数

输入参数在表2中给出。

表2

高度增益终端修正模型的输入参数

输入	符号	缺省值
频率 (GHz)	$f$	—
天线高度 (m)	$h$	—
街道宽度 (m)	$w_s$	27
代表性地物高度 (m)	$R$	参见表3
地物类型	—	—

地物类型用于确定 $A_h$ 计算方法，见表3。

表3

代表性地物高度的缺省信息R  
(当本地信息不可用时)

地物类型	R (m)	$A_h$ 计算方法
水/海洋	10	公式 (2b)
开放/农村	10	公式 (2b)
郊区	10	公式 (2a)
城区/树/森林	15	公式 (2a)
密集城区	20	公式 (2a)

### 3.1.2 模型描述

该方法使用一个单一刀锋衍射损耗的近似值作为无维参数 $v$ 的函数，通过以下公式计算 $v$ ：

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \left( \sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \quad (1)$$

注意： $J(-0.78) \approx 0$ ，并且这定义了应使用该近似值的下限。对 $v \leq -0.78$ ， $J(v)$  设为0。

当发射机或接收机天线的位置低于代表发射机或接收机环境地面覆盖高度 $R$ 时，附加损耗 $A_h$ 计算如下。在可用的情况下，应使用基于精确地物高度信息的、具有代表性的地物高度，但若不可用，则在表3中给出信息。发射机和接收机的损耗建模方法是相同的。

如果  $h \geq R$ ，那么  $A_h = 0$ 。

如果  $h < R$ ，那么依据地物类型， $A_h$ 可取两种形式中的一种（参见表3）：

$$A_h = J(v) - 6.03 \quad \text{dB} \quad (2a)$$

或者：

$$A_h = -K_{h2} \log(h/R) \quad \text{dB} \quad (2b)$$

通过公式 (1) 计算 $J(v)$ 。

通过以下公式计算 $v$ 项和 $K_{h2}$ 项:

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}} \quad (2c)$$

$$h_{dif} = R - h \quad \text{m} \quad (2d)$$

$$\theta_{clut} = \tan^{-1} \left( \frac{h_{dif}}{w_s} \right) \quad \text{degrees} \quad (2e)$$

$$K_{h2} = 21.8 + 6.2 \log(f) \quad (2f)$$

$$K_{nu} = 0.342 \sqrt{f} \quad (2g)$$

其中:

- $f$ : 频率 (GHz);
- $w_s$ : 与街道宽度 (单位: 米) 有关。除非可获得特定的当地信息, 否则该值应设为27。

公式 (2a) 代表障碍物上的菲涅尔衍射损耗, 适用于如建筑物这样的地物类别。特定的城市地物将属于这种类型。

公式 (2b) 代表在更为开放位置的、地面附近的高度增益函数。当出现镜面地面反射时, 这是典型的信号变化低于前两射线的干扰最大值。当未出现镜面地面反射时, 低于 $R$ 的信号变化主要因较小物体和不规则物体的阴影而造成。

### 3.2 地面路径的统计地物损耗模型

本节提供的公式给出了有关地物损耗的统计分布。该模型可用于城市和郊区地物损耗建模, 提供的终端高度远低于表1所示的杂波高度。值得注意的是, 在开发这一模型时使用的测量值使用了离地面高达6米的终端高度。

计算额外的损耗 $L_{ctt}$ , 可将之添加至传输损耗或基本传输损耗上。地物损耗将因地物类型的不同、地物内的位置和地物中的移动而变化。如果已使用一个模型 (如ITU-R P.1411建议书模型) 计算得到传输损耗或基本传输损耗, 该模型固有地考虑到了整个路径上的地物, 那么就不应使用下面的方法。

- 频率范围: 0.5 -67 GHz
- 最小路径长度: 0.25 km (针对仅应用于路径一端的修正)  
1.0 km (针对应用于路径两端的修正)
- 位置百分比范围:  $0 < p < 100$

#### 3.2.1 输入参数

输入参数在表4中给出。

表4

地面路径的统计地物损耗模型输入参数

输入	符号	单位
频率	$f$	GHz
距离	$d$	km
位置百分比	$p$	%

### 3.2.2 模型描述

对地面到地面的路径 $L_{ctt}$ ，受到公式(6)的限制，且不超过 $p\%$ 位置的地物损耗由下面的公式给出：

$$L_{ctt} = -5\log(10^{-0.2L_l} + 10^{-0.2L_s}) - \sigma_{cb}Q^{-1}(p/100) \quad \text{dB} \quad (3a)$$

$$\sigma_{cb} = \sqrt{(\sigma_l^2 10^{-0.2L_l} + \sigma_s^2 10^{-0.2L_s}) / (10^{-0.2L_l} + 10^{-0.2L_s})} \quad \text{dB} \quad (3b)$$

其中： $Q^{-1}(p/100)$ 为逆补正态分布函数，且

$$L_l = -2\log(10^{-5\log(f)-12.5} + 10^{-16.5}) \quad \text{dB} \quad (4a)$$

$$\sigma_l = 4 \quad \text{dB} \quad (4b)$$

$$L_s = 32.98 + 23.9\log(d) + 3\log(f) \quad \text{dB} \quad (5a)$$

$$\sigma_s = 6 \quad \text{dB} \quad (5b)$$

其中： $d$ 为总的路径长度。

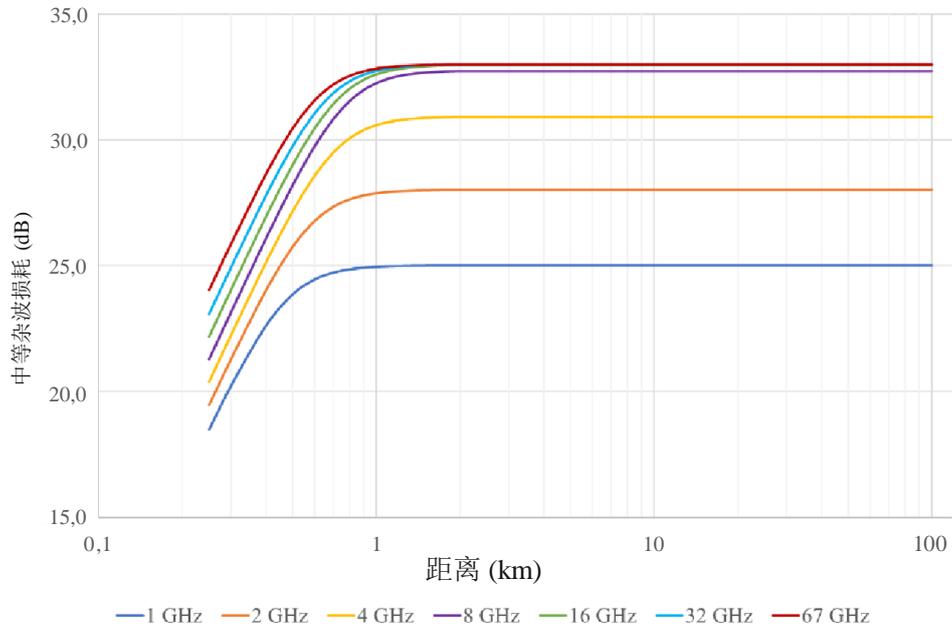
杂波损耗不得超过由下式给出的最大值：

$$L_{cttMax} = L_{ctt2km} \quad \text{dB} \quad (6)$$

其中 $L_{ctt2km}$ 是为 $d = 2 \text{ km}$ 计算的杂波损耗。

图1显示了由公式(3)计算得到的、有关不同频率的地物损耗中位数。

图1  
地面路径的地物损耗中位数



P.2108-01

### 3.3 地-空和航空统计地物损耗模型

本节提供了用于计算地物损耗统计分布的公式，其中干扰路径的一端在人造地物内，另一端为地面上的卫星、飞机或其他平台。

计算额外的损耗 $L_{ces}$ ，可将之添加至已计算得到的路径基本传输损耗上。

该模型适用于城市和郊区环境。ITU-R P.2402-0报告对用于开发该模型的方法进行了描述。

- 频率范围： 10 GHz-100 GHz
- 仰角范围： 0度-90度
- 位置百分比范围：  $0 < p < 100$

#### 3.3.1 输入参数

输入参数在表5中给出。

表5  
地-空地物损耗模型的输入参数

输入	符号	单位
频率	$f$	GHz
仰角	$\theta$	度
位置百分比	$p$	%

### 3.3.2 模型描述

对地面到机载平台或卫星的路径 $L_{ces}$ ，不超过 $p\%$ 位置的地物损耗由下面的公式给出：

$$L_{ces} = \left\{ -K_1 \left[ \ln \left( 1 - \frac{p}{100} \right) \right] \cot \left[ A_1 \left( 1 - \frac{\theta}{90} \right) + \frac{\pi\theta}{180} \right] \right\}^{0.5(90-\theta)/90} - 1 - 0.6 Q^{-1}(p/100) \text{ dB} \quad (7)$$

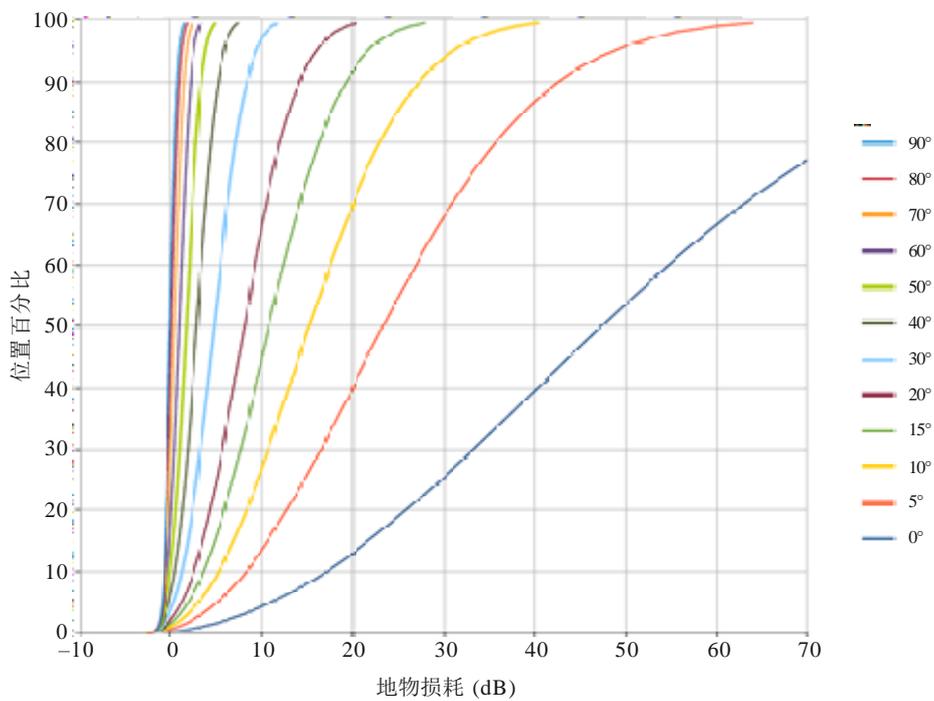
其中：

$$K_1 = 93(f^{0.175}), \quad A_1 = 0.05$$

其中： $Q^{-1}(p/100)$ 为逆补正态分布函数，且仰角 $\theta$ 为从终端看到的机载平台或卫星的角度。

图2显示了30 GHz频率时不同仰角处各百分比位置上不超过曲线的地物损耗累积分布。

图 2  
不超过30 GHz的地物损耗的累积分布



P2108-02