

国 际 电 信 联 盟

ITU-R
国际电联无线电通信部门

ITU-R P.341-6 建议书
(09/2016)

无线电链路传输损耗概念

P 系列
无线电波传播

前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策（IPR）

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

ITU-R 系列建议书

（也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>）

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	词汇和相关问题

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2017年，日内瓦

© 国际电联 2017

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R P.341-6*建议书

无线电链路传输损耗概念**

(1959-1982-1986-1994-1995-1999-2016年)

范围

ITU-R P.341-6建议书提供了用来描述发射机、接收机、其天线、相关的电路以及传播媒介所涉及的无线电链路特征的定义和符号。

关键词

无线电链路、天线参数、损耗、环境影响

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 发射机和接收机之间的无线电链路、发射机提供的功率与接收机输入点的可用功率的比值取决于不同的因素，诸如天线或者传输馈线损耗，由于传播机制导致的衰减，由于阻抗或极化的错误调整所带来的的损耗，等；
- b) 规范表示传输损耗及其组成部分的术语和符号是合乎需要的；
- c) ITU-R P.525建议书提供了传播的自由空间参考条件，

建议

为了描述发射机、接收机、其天线、相关的电路以及传播媒介所涉及的无线电链路特征，应采用下列术语、定义和符号：

1 (无线电链路的) 总损耗*** (符号： L_t 或 A_t)

在实际安装、传播和操作条件下，通常以分贝表示的、由一无电线链路的发射机提供的功率与提供给相关接收机的功率之比。

注1 – 有必要在每种情况下均明确发射机提供的功率的各点和接收机提供的功率的各点，例如：

- 在可能用于发射端或接收端的射频滤波器或复用器之前或之后；
- 在发射和接收天线馈线的输入点或输出点。

* 应提请词汇协调委员会 (CCV) 注意本建议书。

** 在本建议书中，大写字母用于表示以小写类型指定的相应量的比率 (dB)，例如 $P_t = 10 \log p_t$ 。当 p_t 为输入点功率 (W) 时， P_t 是相对于1 W的传输天线的输入点功率 (dB)。

*** 关于此及后续定义的图形化表示如图1所示。

2 系统损耗 (符号: L_s 或 A_s)

在一无线链路中, 通常以分贝表示的输入发射天线终端的射频功率与接收天线终端的可用射频信号功率之比。

注 1 – 可用功率为一信号源可传至负载的最大有效功率, 即, 如阻抗为共扼匹配时可传送的功率。

注 2 – 系统损耗可以表示为:

$$L_s = 10 \log (p_t/p_a) = P_t - P_a \quad \text{dB} \quad (1)$$

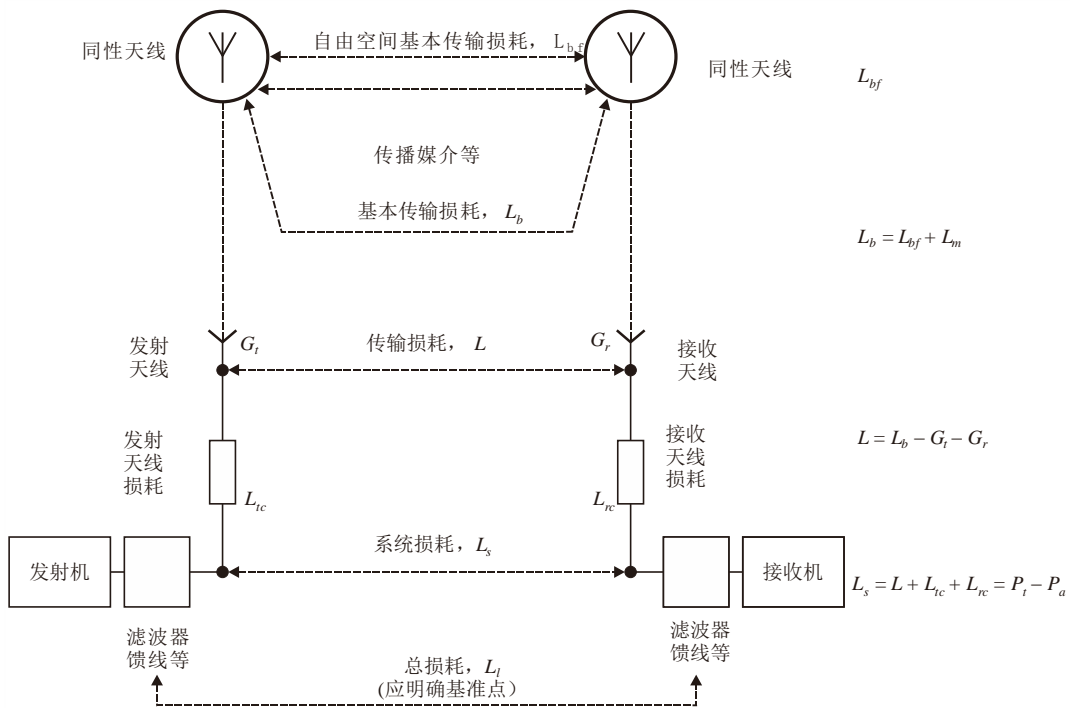
其中:

p_t : 输入至发射天线终端的射频功率;

p_a : 接收天线终端得到的可用射频信号功率。

注 3 – 系统损耗不含馈线损耗, 但包括所有与天线相关的射频电路中的全部损耗, 如地面损耗、介电损耗、天线加感线圈损耗和终端电阻损耗。

图1
传输损耗概念中使用的术语的图解说明



P.0341-01

3 (无线电链路的) 传输损耗 (符号: L 或 A)

在一无线链路中, 在假定保留天线辐射特性的情况下, 发射天线辐射的功率与射频电路无损耗时接收天线输出端的可用功率之比, 通常以分贝表示。

注 1 – 传输损耗可以表示为:

$$L = L_s - L_{tc} - L_{rc} \quad \text{dB} \quad (2)$$

此处 L_{tc} 和 L_{rc} 分别代表发射和接收天线电路中的损耗,以分贝表示,但不包括伴随天线辐射产生的耗散,即, L_{tc} 和 L_{rc} 的定义为 $10\lg(r'/r)$,此处 r' 为天线电路的电阻分量,而 r 为辐射电阻。

注 2 – 传输损耗等于系统损耗减去与天线相关的射频电路中的损耗。

4 (无线电链路的) 基本传输损耗 (符号: L_b 或 A_i)

在传播途径不变、但天线近区的阻挡效应忽略不计时,以具有相同极化的各向同性天线代替原天线作为实际天线时产生的传输损耗。

$$L_b = L + G_t + G_r \quad \text{dB} \quad (3)$$

其中 G_t 和 G_r 分别为在传播方向下,发射和接收天线的方向性增益(见附件1)。

注 1 – 基本传输损耗等于发射系统的等效各向同性辐射功率与来自一各向同性接收天线的可用功率之比。

注 2 – 天线近区的局部地面影响已包括在天线增益计算中,但未包括在基本传输损耗中。

5 自由空间基本传输损耗 (符号: L_{bf} 或 A_0)

在天线间距离不变的情况下,以一完全绝缘、均匀、各向同性的无限空间环境中的各向同性天线代替原来天线时,所产生的传输损失(见ITU-R P.52建议书)。

注 – 如天线间的距离 d 远大于波长 λ 时,则自由空间衰减(以分贝为单位)可用下式表示:

$$L_{bf} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad \text{dB} \quad (4)$$

6 射线路径传输损耗 (符号: L_t 或 A_t)

指一特定的射线传播途径上的传输损耗,它等于基本传输损耗减去射线路径方向上的发射和接收天线增益(见附件1)。该术语使用限于某些情形,例如,多途径传播,其中各个传播射线路径都分别考虑。

注1 – 射线路径传输损耗可用下式表示:

$$L_t = L_b - G_{tp} - G_{rp} \quad \text{dB} \quad (5)$$

式中 G_{tp} 和 G_{rp} 表示在所考虑的传播方向和极化条件下发射和接收天线的平面波方向性增益(见附件1)。

7 相对于自由空间的损耗（符号： L_m 或 A_m ）

以分贝表示的基本传输损耗与自由空间基本传输损耗之差。

注 1 – 相对于自由空间的损耗可用下式表示：

$$L_m = L_b - L_{bf} \quad \text{dB} \quad (6)$$

注 2 – 相对于自由空间的损耗 L_m 可以划分为不同类型的损耗，例如：

- 吸收损耗（如，电离层的、大气气体的或降水的）；
- 地波的衍射损耗；
- 有效反射或散射损耗，包括在电离层的情况下由于反射层曲率的变化引致的聚焦或散焦；
- 极化耦合损耗，它可由所考虑的任何特定射线路径上的天线间的极化失配引起；
- 孔径-媒介耦合损耗或天线增益降低，可能因路径上的实际散射现象引起；
- 因直射波与反射波间的相位干涉而造成的损耗，反射波可来自地面、其他阻挡物或大气层。

附件1

1 天线方向性

指定方向的方向性被定义为：在该方向的辐射强度（每单位立方角（球面度）功率）与所有方向的平均辐射强度之间的比。

转化传输损耗，或者在特定情况下，将射线途径传输损耗转化为基本传输损耗时，必须考虑特定方向与极化的发射和接收天线的平面波方向性。当天线的性能受到局部地面或者其他障碍（不影响途径）影响时，方向性为天线在原位置得出的值。

在地面波传播的特定情况下 — 当天线位于地面或地面附近，尽管接收天线的方向性 G_r 由上述定义决定，用于信号捕捉的孔径以及可用功率，降至其自由空间值以下。因此，必须减少用于 G_r 的值（见附件2）。

2 天线增益

通常用分贝表示的一个无损耗参考天线所需输入端功率和向一个给定天线输入提供的功率之比，用以在给定方向产生同样距离下的相同功率通量密度的相同场强。如无另外说明，增益针对最大辐射的方向。可为指定极化考虑增益。

3 参考标准天线

在研究不同频带的无线电链路传播中，在ITU-R案文中使用并参考了大量参考天线。

根据所选择的参考天线，应区别以下情况：

- 绝对或全向增益(G_i)，当参考天线为隔离于空间的各向同性天线时；
- 相对于半波振子的增益(G_d)，当参考天线为隔离于空间的半波振子，且其赤道平面包含了给定方向时；
- 相对于短垂直天线的增益(G_v)，当参考天线为一线性导体，且长度大大小于四分之波长，与包含给定方向的完全导电平面呈正交时。

(功率增益对应无损耗天线的方向性最大值)。

表1给出了一些典型参考天线的方向性 G_r 。也给出了1 kW辐射功率所对应的波动势值。

表1

典型参考天线的方向性及其与波动势的关系

参考天线	g_t	$G_t^{(1)}$ (dBi)	1 kW辐射功率的波动势 (V)
在自由空间各向同性	1	0	173
在自由空间的赫兹振子	1.5	1.75	212
在自由空间的半波振子	1.65	2.15	222
赫兹振子、或在完全导电地面上的短垂直单振子 ⁽²⁾	3	4.8	300
在完全导电地面上的四分之一波单振子 ⁽²⁾	3.3	5.2	314

⁽¹⁾ $G_r = 10 \log g_t$

在自由空间的天线， G_r (g_r) 的值等于 G_t (g_t) 的值。参见附件2，关于完全导电地面上的天线的 G_r 值。

⁽²⁾ 在这些情况下。假设天线在完全导电平地面的附近，因此辐射被限制在地面上方的半空间。

附件2

环境对天线的影晌

当天线被安装在地面上或近地面(即， $h < \lambda$ ，尤其当使用小于30 MHz的频率)，天线辐射电阻的自由空间值因为地面而发生改变。因此，接收天线的功率通量密度(由直射和反射辐射的矢量和产生)取决于发射天线的高度，接收天线的有效捕捉区域取决于地面上天线的高度。

通过考虑在平面完全导电表面上方 h_t 和 h_r 两个高度的两个垂直无损耗短电振子之间的传输损耗，可得知环境对于一对天线（形成一个基本电路）的操作所带来的影响。与波长 λ 相比，沿着表面的间距（ d ）非常大。

1 在高度 h_r 的功率通量密度 s （W/m²）由下式给出：

$$s = \frac{p'_t \cos^4 \psi}{4\pi d^2 (1 + \Delta_t)} \times 1.5 \left[2 \cos (kh_t \sin \psi) \right]^2 \quad (7)$$

其中：

p'_t ：发射天线（W）的辐射功率

d, h_t, h_r, λ 用米表示；

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\psi = \arctan \frac{|h_r - h_t|}{d}$$

且

$$\Delta_t = \frac{3}{(2kh_t)^2} \left[\frac{\sin 2kh_t}{2kh_t} - \cos 2kh_t \right] \quad (8)$$

其中，当 $h_t = 0$ 时， $\Delta_t = 1$ 。

公式(7)假设 h_t, h_r 和 λ 都比 d 小很多。

应注意以下几点：

- 天线之间的距离增加到 $d \sec \psi$ ，
- 由振子带来的电场随 $\cos \psi$ 变化，
- 自由空间辐射电阻乘以 $(1 + \Delta_t)$ ，
- 由于直接和反射辐射的矢量相加，功率通量的自由空间值乘以：

$$\frac{[2 \cos (kh_t \sin \psi)]^2}{(1 + \Delta_t)}$$

这与由反射表面所带来的的方向性改变相同。当 $h_t = h_r = 0$ 时，倍数为2。

2 接收天线的有效捕捉区域由下式给出：

$$a_e = \frac{1.5 \lambda^2 \cos^2 \psi}{4\pi (1 + \Delta_r)} \quad (9)$$

其中：

$$\Delta_r = \frac{3}{(2kh_r)^2} \left[\frac{\sin 2kh_r}{2kh_r} - \cos 2kh_r \right]$$

应注意以下几点：

- 因为当 $h_t=h_r=0$ 时， g_t 值为 2×1.5 （按照定义），需要注意，这不是用于 g_r 的合适值； g_r 的正确值为 $1.5/2 = g_t/4$ ；
- 由于方向效应，在发射天线方向的捕捉区域需乘以 $\cos^2\psi$ ；
- 辐射电阻的改变基于公式（8），其中 Δ_t 和 h_t 由 Δ_r 和 h_r 代替；
- 由于反射平面的存在，捕捉区域的自由空间值需乘以 $1/(1 + \Delta_r)$ ；因此，当 $h_t = h_r = 0$ 时，反射平面的存在将捕捉区域的值减少到其自由空间值以下2倍。

3 由于接收天线收集的总功率由 $p'_a = sa_e$ 给出，应该结合公式（7）和公式（9），来给出在平面完全导电表面上方两个短垂直无损电振子之间的传输损耗。

$$L = L_{bf} - 6.0 - 10 \log \left[(1.5 \cos^2\psi)^2 \frac{\cos^2(kh_t \sin \psi)}{(1 + \Delta_r)(1 + \Delta_t)} \right] \quad \text{dB} \quad (10)$$

在有限情况下，表面上的天线为短单振子：

$$h_t = h_r = 0; \quad \Delta_t = \Delta_r = 1; \quad \psi = 0$$

$$L = L_{bf} - 3.5 \quad \text{dB}$$