

# ITU-R P.525-5 建议书

(11/2024)

P 系列：无线电波传播

## 计算自由空间损耗



## 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）

国际电联无线电通信部门（ITU-R）的 IPR 政策述于 ITU-R 第 1 号决议所参引的《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/zh> 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
<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。

电子出版物  
2024年，日内瓦

© 国际电联 2024

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段翻印本出版物的任何部分。

## ITU-R P.525-5建议书

## 计算自由空间损耗

(1978-1982-1994-2016-2019-2024年)

**范围**

本建议书提供了计算自由空间损耗的方法。

**关键词**

自由空间、衰减、电信链路

**相关国际电联建议书**

ITU-R P.341建议书

ITU-R P.368建议书

注 – 在任何情况下均应使用现行建议书的最新版本。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

自由空间传播是无线电工程的基准，

建议

应将附件中的方法用于计算自由空间的损耗。

**附件****1 引言**

就无线电通信而言，自由空间定义为一个完美的真空，它可以视为在所有方向上均是无限的，因此自由空间传播是无线电波在自由空间中的辐射传播<sup>1</sup>。

鉴于自由空间传播经常被其它案文引用，本附件介绍了相关公式。

---

<sup>1</sup> 国际标准组织在其电工词汇（电子百科）中有一个更一般的定义：

自由空间传播：可视为在所有方向均延伸无限广的均匀、理想介质中的电磁波传播。

注 – 对于自由空间中的传播而言，电磁场每个矢量在来自波源的任何给定方向的数值，在适当距离以上与距波源距离的倒数成比例，该距离由波源大小和波长确定。

## 2 电信链路的基本公式

自由空间传播可使用不同的方法计算，每种方法均适用于一种特定类型的业务。

### 2.1 点到区链路

如果发射机服务于若干随机分布的接收机（广播、移动业务），则电场强的计算应在与发射机有适当距离的位置进行，其计算表达式如下：

$$e = \frac{\sqrt{30p}}{d} \quad (1)$$

式中：

$e$ ： r.m.s.场强 (V/m) (见注1)

$p$ ： 该点方向发射机的等效全向辐射功率 (e.i.r.p.) (W) (见注2)

$d$ ： 发射机与该点间的距离 (m)

使用实用单位的公式(2)经常会取代公式(1)：

$$e_{\text{mV/m}} = 173 \frac{\sqrt{p_{\text{kW}}}}{d_{\text{km}}} \quad (2)$$

式中：

$e_{\text{mV/m}}$ ： r.m.s.场强 (mV/m)

$p_{\text{kW}}$ ： 该点方向发射机的等效全向辐射功率 (e.i.r.p.) (kW)

$d_{\text{km}}$ ： 发射机与该点间的距离 (km)。

在自由空间条件下工作的天线波动势可通过公式(1)中的 $e$ 和 $d$ 相乘得出，单位为伏特。

注 1 – 如果该波为椭圆极化且并非线性，同时如果沿两个正交轴的电场要素用 $e_x$ 和 $e_y$ 表示，则公式(1)中的左边一项应用 $\sqrt{e_x^2 + e_y^2}$ 代替，且仅当轴的比例已知时方可减去 $e_x$ 和 $e_y$ 。旋转极化的情况下，应用 $e\sqrt{2}$ 取代 $e$ 。

注 2 – 如果天线位于地面并使用垂直极化的方式（一般在相对低的频率工作），则通常仅在上半空间考虑辐射问题。在确定e.i.r.p.时应顾及这一问题（见ITU-R P.368建议书）。在地面为平面且导电性能良好的情况下，与自由空间天线相比，特定辐射电源的功率通量密度加倍。（另一方面，当考虑场强时，与之类似，场强增加3 dB。）判定辐射功率时应将此问题考虑在内（且已将其纳入ITU-R P.368建议书和ITU-R P.341建议书的附件3）。

### 2.2 层波特性之间的关系

某点的层波（或可被视作层波的波）特性之间亦存在着关系：

$$s = \frac{e^2}{120\pi} = \frac{30p}{120\pi d^2} = p \times \frac{1}{4\pi d^2} \quad (3)$$

式中：

$s$ ： 功率通量密度 (W/m<sup>2</sup>)

$e$ ： r.m.s.场强 (V/m)

$p$ ： 发射机在所讨论的点方向上的等效全向辐射功率 (e.i.r.p.) (W)。

### 2.3 点对点链路

对于全向天线之间的点对点链路，有必要考虑所述点接收同向天线输出端的功率 $p_r$ ：

$$p_r = s \times a = \frac{p}{4\pi d^2} \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (4)$$

式中：

$a$ : 接收同向天线的有效孔径 ( $\text{m}^2$ )。

引入全向天线间的自由空间衰减，即自由空间基本传输损耗（符号： $L_{bf}$ 或 $A_{bf}$ ），可按下式计算（见ITU-R P.341建议书）：

$$L_{bf} = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{4\pi d^2} \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad \text{dB} \quad (5)$$

式中：

$L_{bf}$ : 自由空间基本传输损耗 (dB)

$d$ : 距离

$\lambda$ : 波长，且

$d$ 和 $\lambda$  使用相同的单位表达。

公式(5)亦可使用频率来代替波长。

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d \quad \text{dB} \quad (6)$$

式中：

$f$ : 频率 (MHz)

$d$ : 距离 (km)

### 3 雷达系统的自由空间基本传输损耗（符号： $L_{br}$ 或 $A_{br}$ ）

雷达系统代表了一种特殊情况，因为无论从发射机到目标还是从目标至接收机之间的信号传播都会产生损耗。对于发射机和接收机共用天线的雷达，雷达的自由空间基本传输损耗 $L_{br}$ 可表示为：

$$L_{br} = 103.4 + 20 \log_{10} f + 40 \log_{10} d - 10 \log_{10} \sigma \quad \text{dB} \quad (7)$$

式中：

$\sigma$ : 雷达目标的横截面 ( $\text{m}^2$ )

$d$ : 雷达与目标之间的距离 (km)

$f$ : 系统的频率 (MHz)。

某对象的雷达目标横截面是总全向等效散射功率与输入功率密度之比。

### 4 转换公式

在自由空间传播的基础上，可使用下述公式。

给定全向发射功率的场强：

$$E = P_t - 20 \log_{10} d + 74.8 \quad (8)$$

通过共轭匹配全向接收天线接收到的可用功率：

$$P_r = E - 20 \log_{10} f - 167.2 \quad (9)$$

给定全向发射功率和场强的自由空间基本发射损耗:

$$L_{bf} = P_t - E + 20 \log_{10} f + 167.2 \quad \text{dB} \quad (10)$$

给定场强的功率通量密度:

$$S = E - 145.8 \quad (11)$$

式中:

$P_t$ : 全向发射功率 (dB(W))

$P_r$ : 通过共轭匹配天线接收到的可用功率 (dB(W))

$E$ : 电场强度 (dB ( $\mu$ V/m))

$f$ : 频率 (GHz)

$d$ : 无线电路径长度 (km)

$L_{bf}$ : 自由空间基本传输损耗 (dB)

$S$ : 功率通量密度 (dB(W/m<sup>2</sup>))。

注意, 可通过公式(8)和(10)导出公式(6)。

---