

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**  
国际电联无线电通信部门

ITU-R P.1240-2 建议书  
(07/2015)

**ITU-R基本最高可用频率 (MUF)、  
实际MUF和射线预测方法**

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
<b>BO</b>	卫星传送
<b>BR</b>	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
<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、无线电定位、业余和相关卫星业务
<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>	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
<b>SM</b>	频谱管理
<b>SNG</b>	卫星新闻采集
<b>TF</b>	时间信号和频率标准发射
<b>V</b>	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  
2016年，日内瓦

© 国际电联 2016

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.1240-2 建议书

ITU-R基本最高可用频率（MUF）、实际MUF  
和射线预测方法\*

（ITU-R 212/3号课题）

（1997-2007-2015年）

**范围**

本建议书提供了电离层最高可用频率的预测方法。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

a) 高频（HF）无线电通信设计、业务规划和频段选择需要长期的电离层参考数据和传播预测方法；

b) 电离层特性的映射图见ITU-R P.1239建议书，

建议

1 应使用附件1中的公式预测基本和实际MUF（定义参见ITU-R P.373建议书）；

2 应使用附件2中的公式预测射线路径。

**附件1****基本和实际MUF的预测****1 引言**

本文提供了评估传播路径基本MUF月中值的经验性公式。

预计该MUF是对正在研究的路径长度适用的传播模式的基本MUF值中的最大值。

本文明确了实际MUF和基本MUF之间的关系，并阐述了一项计算机程序，可预测任何长度的点到点传播路径上的路径基本MUF、实际MUF和最佳工作频率。

---

\* 与本建议书中描述的预测程序和数据相关的计算机程序可在ITU-R网站有关无线电通信第3研究组的部分查阅。

## 2 模式的考虑

考虑的模式为:

1F2	0至 $d_{max}$
高阶F2模式	超过 $d_{max}$
1F1	2 000-3 400公里
1E	0-2 000公里
2E	2 000-4 000公里

其中单跳F2模式的极大地面距离 $d_{max}$  (公里) 可由下列公式得出:

$$d_{max} = 4780 + (12\,610 + 2140/x^2 - 49\,720/x^4 - 688\,900/x^6)(1/B - 0.303)$$

其中:

$$B = M(3000)F2 - 0.124 + \left[ [M(3000)F2]^2 - 4 \right] \cdot \left[ 0.0215 + 0.005 \sin \left( \frac{7.854}{x} - 1.9635 \right) \right]$$

且  $x = foF2/foE$  或 2, 取二者中的最大值。

其中使用了大圆路径中点的电离层特性。

## 3 F2层基本MUF预测

### 3.1 高达 $d_{max}$ 的地面距离 $D$

F2层基本 MUF 可表示为:

$$F2(D)MUF = \left[ 1 + \left( \frac{C_D}{C_{3000}} \right) (B-1) \right] \cdot foF2 + \frac{f_H}{2} \left( 1 - \frac{D}{d_{max}} \right)$$

其中:

$f_H$ : 适当的回旋频率 (见ITU-R P.1239建议书)

且

$$C_D = 0.74 - 0.591 Z - 0.424 Z^2 - 0.090 Z^3 + 0.088 Z^4 + 0.181 Z^5 + 0.096 Z^6$$

其中  $Z = 1 - 2D/d_{max}$

$C_{3000}$ :  $D$ 的 $C_D$ 值 = 3 000公里, 其中 $D$ 为大圆距离 (公里)。

上述公式对距离为0的x波、距离为 $d_{max}$ 及以下的o波以及一些中距离的复合波基本MUF适用。删除第一个公式中 $f_H$ 的最后一项, 相应的o波基本MUF可适用于所有距离。

### 3.2 大于 $d_{max}$ 的地面距离 $D$

$F2(d_{max})MUF$ 是距沿大圆路径的每个终端 $d_0/2$ 的两个控制点位置的值, 其中 $d_0$ 是最低阶F2模式的跳长。路径MUF是两个值中的最小值。

#### 4 F1层基本MUF的预测

在夏天的几个月中通过F1层的电离层传播对中高纬度2000-3400公里范围的传输距离非常重要。对于这些传输距离，F1层基本MUF当作foF1的中路径值（见ITU-R P.1239建议书）和M的因子 $M_{F1}$ 的和。该M因子由根据在中高纬度记录的午间典型电离图得到的电子密度与高度分布进行的射线跟踪计算得出。据估计，这些因素对所有的太阳高度角均适用。M的因子可根据下列数值表达式确定：

$$M_{F1} = J_0 - 0.01 (J_0 - J_{100}) R_{12}$$

其中：

$$\begin{aligned} J_0 &= 0.16 + 2.64 \times 10^{-3} D - 0.40 \times 10^{-6} D^2 \\ J_{100} &= -0.52 + 2.69 \times 10^{-3} D - 0.39 \times 10^{-6} D^2 \end{aligned}$$

其中D代表2000-3400公里范围内的大圆距离（公里）。

#### 5 E层基本MUF的预测

##### 5.1 高达2000公里的地面距离

通过E层单反射进行的电离层传播对高达2000公里的距离非常重要。某一特定模式的E层基本MUF约为foE中路径的值（ITU-R P.1239建议书）和M因子 $M_E$ 的和。如忽略地球磁场的影响，基于抛物线型E层射线路径计算（其中 $hmE = 110$ 公里， $ymE = 20$ 公里）的这一M因子可表示为：

$$M_E = 3.94 + 2.80 x - 1.70 x^2 - 0.60 x^3 + 0.96 x^4$$

其中：

$$x = \frac{D - 1150}{1150}$$

D代表大圆距离（公里）。

##### 5.2 介于2000和4000公里之间的地面距离

2000和4000公里范围之间的2E MUF为以中路径foE表示的E(2000)MUF。

#### 6 实际MUF的预测

为进行预测，当由F2模式进行确定时，实际MUF（见ITU-R P.373建议书）以基本MUF表示。表1给出了不同季节、时段和发射机辐射功率的实际MUF和基本MUF的比，在缺乏所研究电路的具体经验时可使用这些比率。当实际MUF由E或F1模式确定时，则被认为与相应基本MUF相等。



表1

F2模式实际MUF中值与基本MUF  
中值的比率 ( $R_{op}$ )

等效全向辐射功率 (dBW)	夏季		春秋季		冬季	
	夜间	白天	夜间	白天	夜间	白天
≤ 30	1.20	1.10	1.25	1.15	1.30	1.20
> 30	1.25	1.15	1.30	1.20	1.35	1.25

### 7 最佳工作频率 (OWF) 的预测

如路径基本MUF由E或F1模式确定, 则OWF (见ITU-R P.373建议书) 通过使用设为0.95的转换因子 $F_1$ 以实际MUF进行估算, 如路径基本MUF由F2模式确定, 则该值如ITU-R P.1239建议书表2中所示。

### 8 最高的可能频率 (HPF) 的预测

如路径基本MUF由E或F1模式确定, 则HPF (见ITU-R P.373建议书) 通过使用设为1.05的转换因子 $F_1$ 以实际MUF进行估算, 如路径基本MUF由F2模式确定, 则该值如ITU-R P.1239建议书表3中所示。

### 9 计算机程序

本附件中所述的程序已用于计算程序MUFFY, 用以预测基本MUF, 实际MUF和最佳工作频率, 形成某一给定传播路径在每天、每月和不同太阳黑子数量时的时间函数。

## 附件2

### 射线路径的预测

为简化斜射线路径的估算, 可假定反射来自于位于 $h_r$ 高度的有效平面反射镜。

在下列等式:

$$x = f_0 F_2 / f_0 E \quad \text{和} \quad H = \frac{1490}{M(3000)F_2 + \Delta M} - 316$$

其中: 
$$\Delta M = \frac{0.18}{y-1.4} + \frac{0.096 (R_{12} - 25)}{150}$$

且  $y = x$  或 1.8, 取二者中的最大值。

a) 对于  $x > 3.33$  和  $x_r = f/foF2 \geq 1$ , 其中  $f$  为波频率:

$h_r = h$  或 800 公里, 取二者中的最小值

其中: 对于  $B_1$  和  $a \geq 0$   $h = A_1 + B_1 2.4^{-a}$

否则  $= A_1 + B_1$

其中:  $A_1 = 140 + (H - 47) E_1$

$B_1 = 150 + (H - 17) F_1 - A_1$

$E_1 = -0.09707 x_r^3 + 0.6870 x_r^2 - 0.7506 x_r + 0.6$

$F_1$  为:

$F_1 = -1.862 x_r^4 + 12.95 x_r^3 - 32.03 x_r^2 + 33.50 x_r - 10.91$  for  $x_r \leq 1.71$

$F_1 = 1.21 + 0.2 x_r$  for  $x_r > 1.71$

随距离  $d$  和跳跃  $d_s$  变化:

$a = (d - d_s)/(H + 140)$

其中:  $d_s = 160 + (H + 43) G$

$G = -2.102 x_r^4 + 19.50 x_r^3 - 63.15 x_r^2 + 90.47 x_r - 44.73$  for  $x_r \leq 3.7$

$G = 19.25$  for  $x_r > 3.7$

b) 对于  $x > 3.33$  和  $x_r < 1$

$h_r = h$  或 800 公里, 取二者中的最小值

其中:  $h = A_2 + B_2 b$  for  $B_2 \geq 0$

否则  $= A_2 + B_2$

其中:  $A_2 = 151 + (H - 47) E_2$

$B_2 = 141 + (H - 24) F_2 - A_2$

$E_2 = 0.1906 Z^2 + 0.00583 Z + 0.1936$

$F_2 = 0.645 Z^2 + 0.883 Z + 0.162$

其中:  $Z = x_r$  或 0.1, 取二者中的最大值,  $b$  随归一化距离  $d_f$ 、 $Z$  和  $H$  变化, 如下所示:

$b = -7.535 d_f^4 + 15.75 d_f^3 - 8.834 d_f^2 - 0.378 d_f + 1$

其中:  $d_f = \frac{0.115d}{Z(H+140)}$  或 0.65, 取二者中的最大值

c) 对于  $x \leq 3.33$

$h_r = 115 + HJ + Ud$  或 800 公里, 取二者中的最小值

其中:  $J = -0.7126 y^3 + 5.863 y^2 - 16.13 y + 16.07$

且  $U = 8 \times 10^{-5} (H - 80) (1 + 11 y^{-2.2}) + 1.2 \times 10^{-3} H y^{-3.6}$