

国 际 电 信 联 盟

ITU-R
国际电联无线电通信部门

ITU-R P.2041 建议书
(09/2013)

**预测机载平台与空间以及机载平台与
地表之间链路的路径衰减**

P 系列
无线电波传播



国际电信联盟

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号决议附件1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/en>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/en>）

系列	标题
BO	卫星传输
BR	用于制作、存档和播放的记录；用于电视的胶片
BS	广播业务(声音)
BT	广播业务(电视)
F	固定业务
M	移动、无线电测定、业余无线电以及相关卫星业务
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	卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和标准频率发射
V	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
2014年，日内瓦

© 国际电联 2014

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.2041建议书

预测机载平台与空间以及机载平台与
地表之间链路的路径衰减

(2013年)

范围

本建议书对规划机对空或机对地方向机载系统所需的多种传播影响做出了预测。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 在机载系统的设计过程中，有必要准确了解系统在机载平台与卫星、地面终端或其它机载平台间进行无线电传播方面的性能；
- b) 机载平台可能处于地表和平流层顶部之间的任意高度；
- c) 系统可能在视距外运行；
- d) 使用的频率可能在30 MHz至50 GHz或更高的范围之内，

注意到

- a) ITU-R确定和测试了处于地表和空间终端之间大气效应（如气体衰减、降雨衰减、云衰减和闪烁衰减）的长期平均损耗；
- b) ITU-R地-空传播预测方法可以扩展，以预测机载平台和卫星之间以及机载平台和地表之间机载链路的性能，

建议

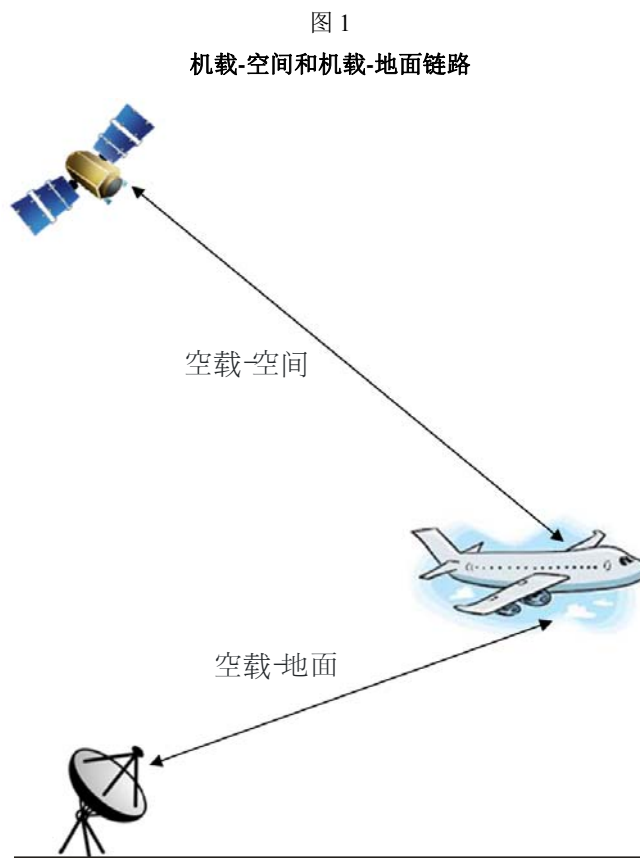
通过以下方法预测机载平台和卫星之间以及机载平台和地表之间的大气效应引起的长期平均损耗（如衰减和闪烁衰减），

1 与其它ITU-R建议书的关系

其它P系列建议书涉及机载平台的传播问题：ITU-R P.528建议书 – 使用VHF、UHF和SHF频段的航空移动和无线电导航业务的传播曲线；以及ITU-R P.682 建议书– 设计地对空航空移动通信系统所需的传播数据。

- ITU-R P.528建议书预测了高度和距离不同的两个天线之间125 MHz和15.5 GHz频率的基本传输损耗。虽然该模型的主要目的是研究多路径、衍射和对流层散射效应、但其中也包括适用于常见大陆温带地区的简单气体和降雨衰减模型。因此，该模型不适用于较高频率和以气体、降雨和云衰减为主导的不同气候。
- ITU-R P.682建议书研究了邻近1.5 GHz频率的机载平台和空间之间的平流层效应、电离层效应、地面反射和散射引起的衰减等。

机载-空间和机载-地面链路线图1。



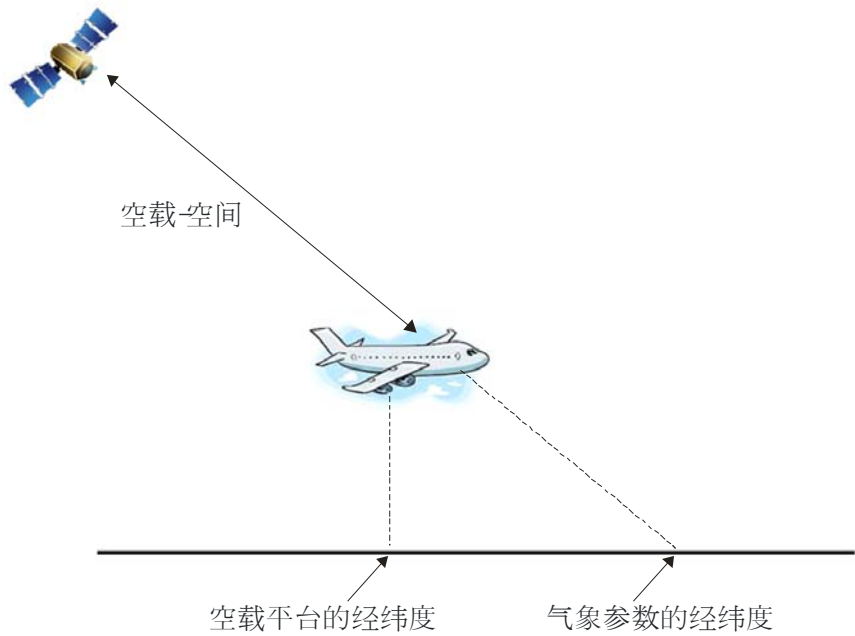
P.2041-01

虽然以下预测方法被视为近似正确，但尚未利用测得数据对它们进行测试和认证。

2 有关数字气象图使用的说明

多种气象参数图是地面经纬度的函数。就机载平台和空间之间的路径而言，应在空间和机载平台之间路径与地球而非机载平台经纬度的交叉点上确定不同的气象参数。图2显示的这一特点很重要，因为部分气象参数是在地表（如地表温度和无线电折射的湿度相）确定的。

图 2
气象参数的经纬度



P.2041-02

3 关于一致标记的说明

ITU-R P.836和ITU-R P.618建议书中的 P 表示超限概率，而ITU-R P.676建议书利用变量 p 表示超限概率。变量 P 将被用于以下讨论。

4 预测方法的适用性

这些预测方法适用于机载平台和空间以及机载平台和地面之间的链路，其中：

- 频率 $\leq 55\text{ GHz}$ ；
- 局部水平面仰角 $(\varphi) \geq 5^\circ$ 。

根据频率和仰角情况，可能需要考虑多路径衰减问题（见ITU-R P.528建议书）；可能还需要根据地点、一天当中时间和太阳活动情况，考虑约6 GHz频率以下的电离层闪烁问题（见ITU-R P.531建议书）。

5 机载平台和空间之间的衰减

5.1 总衰减预测法

如机载平台低于降雨高度。

同ITU-R P.618建议书类似，机载平台和空间总衰减 $A_T^{4S}(p)$ 可计算为：

$$A_T^{AS}(p) = A_G^{AS}(p) + \sqrt{\left(A_R^{AS}(p) + A_C^{AS}(p)\right)^2 + \left(A_S^{AS}(p)\right)^2} \quad (1)$$

其中:

$A_R^{AS}(p)$: 降雨导致的固定概率的衰减 (dB)

$A_C^{AS}(p)$: 云导致的固定概率的衰减 (dB)

$A_G^{AS}(p)$: 水蒸气和氧气导致的固定概率的气体衰减 (dB)

$A_S^{AS}(p)$: 对流层闪烁导致的固定概率的衰减 (dB)

以及

$$A_C^{AS}(p) = A_C^{AS}(1\%) \quad \text{for } p < 1.0\% \quad (2a)$$

$$A_G^{AS}(p) = A_G^{AS}(1\%) \quad \text{for } p < 1.0\% \quad (2b)$$

如果机载平台处于降雨高度之上。

机载平台和空间之间的总衰减 $A_T^{AS}(p)$ 可计算为:

$$A_T^{AS}(p) = A_G^{AS}(p) + A_C^{AS}(p) \quad (3)$$

其中:

$A_C^{AS}(p)$: 云导致的固定概率的衰减 (dB)

$A_G^{AS}(p)$: 水蒸气和氧气导致的固定概率的气体衰减 (dB)

以及

$$p \geq 0.1\%.$$

通常在 $1.125^\circ \times 1.125^\circ$ 网格中利用不同的相关数字气象图估算地空路径的具体衰减、云衰减、降雨衰减和闪烁衰减。以下段落描述的方法为机载平台和空间之间的路径调整了适用于地空路径的预测方法。

5.2 气体衰减

ITU-R P.676建议书对地-空路径气体衰减的预测为:

$$A_G(p) = \frac{A_o + A_w(p)}{\sin \phi} \quad (4)$$

机载平台和空间之间路径相应的气体衰减为:

$$A_G^{AS}(p) = \frac{A_o^{AS} + A_w^{AS}(p)}{\sin \phi} \quad (5)$$

A_o^{AS} 的预测如下:

$$A_o^{AS} = A_o e^{-\text{altitude}/h_o} \quad (6)$$

其中高度是指地表以上的高度, 而 h_o 是利用相关频率和地表 r_p 从ITU-R P.676建议书获得的。

$A_w^{AS}(p)$ 是从ITU-R P.676建议书预测获得的, 其中 $V_t(p)$ 源自ITU-R P.836建议书附件2, 而 alt 是高于ITU-R P.836建议书附件2 1 e)确定的平均海平线的机载平台高度。

5.3 云衰减

从机载平台到空间的云衰减难以预测，因为不同云类型处于深度不一的高度。然而，保守的方法是假设云底处于ITU-R P.839建议书所说的降雨高度，而云顶则达6公里。根据ITU-R P.840建议书进行的云衰减计算如下：对低于降雨高度的情况采用100%的云中液态水总含量，对于高于云顶高度的情况则采用0%云中液态水总含量，而云中液态水总含量在云底和云顶之间呈线性过渡。

5.4 降雨衰减

ITU-R P.618建议书利用高于海平面的地球站高度 h_s 计算斜径长度 L_s ，对降雨衰减做出预测。对于机载平台和空间之间的路径而言，以高于平均海平面的机载平台高度取代 h_s ，但其限制条件是如果 h_s 大于或等于 h_R ，降雨衰减为0 dB。

5.5 对流层闪烁造成的衰减

ITU-R P.618建议书对对流层闪烁造成的衰减做了预测。如果机载平台低于ITU-R P.839建议书确定的降雨高度，则应在计算对流层闪烁时假设机载平台处于地表位置。如果机载平台高于ITU-R P.839建议书所说的降雨高度，对流层闪烁就可以被忽略。

6 机载平台和地表之间的衰减

6.1 总衰减预测法

与ITU-R P.618建议书相同，机载平台和地表之间总衰减 $A_T^{AE}(p)$ 的计算方法为：

$$A_T^{AE}(p) = A_G^{AE}(p) + \sqrt{(A_R^{AE}(p) + A_C^{AE}(p))^2 + (A_S^{AE}(p))^2} \quad (7)$$

其中：

$A_R^{AE}(p)$: 降雨导致的固定概率的衰减 (dB)

$A_C^{AE}(p)$: 云导致的固定概率的衰减 (dB)

$A_G^{AE}(p)$: 水蒸气和氧气导致的固定概率的气体衰减 (dB)

$A_S^{AE}(p)$: 对流层闪烁导致的固定概率的衰减 (dB)

以及

$$A_C^{AE}(p) = A_C^{AE}(1\%) \quad \text{for } p < 1.0\% \quad (8a)$$

$$A_G^{AE}(p) = A_G^{AE}(1\%) \quad \text{for } p < 1.0\% \quad (8b)$$

6.2 气体衰减

$A_G^{AE}(p)$ 的预测如下：

$$A_G^{AE}(p) = A_G(p) - A_G^{AS}(p) \quad (9)$$

其中：

$A_G(p)$: 沿同一路径的地表和空间之间的气体衰减

$A_G^{AS}(p)$: 按等式(5)计算。

6.3 云衰减

从机载平台到空间的云衰减难以预测，因为不同云类型处于深度不一的高度。然而，保守的方法是将ITU-R P.840建议书为所有高度预测的云衰减包括在内。

6.4 降雨衰减

$A_R^{AE}(p)$ 的预测如下：

$$A_R^{AE}(p) = A_R(p) - A_R^{AS}(p) \quad (10)$$

其中 $A_R(p)$ 是地表和空间之间的降雨衰减。

6.5 对流层闪烁造成的衰减

ITU-R P.618建议书对对流层闪烁造成的衰减做了预测，并收纳了为所有高度预测的对流层闪烁。

7 对具体机载飞行任务的适用性

本建议书描述的预测方法与具体高度和仰角的长期平均可用性相一致。这些预测方法也可被用来预测任何可用高度和仰角形态的最坏情况或平均链路可用性。损害的持续时间（降雨衰减等）将取决于机载平台的动力学。
