

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R P.679-4 建议书
(07/2015)

设计卫星广播系统所需的传播数据

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
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.679-4 建议书

设计卫星广播系统所需的传播数据

(ITU-R 第206/3号课题)

(1990-1992-1999-2001-2015年)

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 为了合理的规划卫星广播系统，有必要获取适当的传播数据和预测方法；
- b) 建议使用 ITU-R P.618 建议书中所述方法规划地对空电信系统；
- c) 需要进一步为卫星广播系统的具体应用制定预测方法，从而为所有运营条件提供足够的精度；
- d) 但是，已有一些方法可为多种应用提供足够的精度；
- e) ITU-R P.2040 建议书就建筑材料特性和结构对无线电波传播的影响提出指南，

建议

1 除 ITU-R P.618 建议书中推荐使用的方法之外，将附件1中所含的传播数据用于卫星广播系统的规划中。

附件 1

1 引言

卫星广播的传播考虑与卫星固定业务是无从比较的。统计平均值或衰减的等高线图以及大面积的去极化都需要空对地方向的衰减数据。具体的协调问题可能会出现在卫星广播系统和陆地或其他空间服务之间的服务区边缘。地对空路线传播效应的通用预测方法体现在 ITU-R P.618 建议书中。针对卫星广播系统规划的其他信息均体现在本附件中。应当注意的是，馈线连接是卫星固定服务的一部分，而不是广播服务。

就广播系统中的空对地路线而言，需要考虑几种传播效应。

即：

- 对流层效应，包括气态吸收和由降雨和其他水汽凝结体产生的衰减和去极化；
- 电离层效应，例如，闪烁和法拉第旋转（详见ITU-R P.531建议书）；
- 局部环境效应，包括建筑物和植被衰减。

本附件论述了这些效应并且引用了其他建议书的一些信息。需要更多数据来描述卫星广播系统传播损害的特性。

2 对流层效应

对于频率低于1 GHz且路径仰角超过 10° ，由对流层引起的信号损害是可以忽略不计的。

随着海拔降低和/或频率升高，这些损害越来越大，信号幅度的波动和到达角可能会变大（详见 ITU-R P.618 建议书）。对于高纬度服务区来说，后者的效应尤其重大。由降水引起的空中噪音温度升高（详见 ITU-R P.618 建议书）会降低接收信号的载波杂讯比（ C/N ）。另外，反射器和天线曲面上的冰雪堆积可能会严重降低一年中天线指向，增益和交叉极化的特性。

2.1 对流层衰减

对流层的信号丢失是由气态吸收和降雨以及其他水汽现象衰减造成的。另外，大气层折射率的小范围波动引起的信号闪烁会造成信号衰减和增强。

2.1.1 大气气体稀薄

预测地球卫星路径中气体稀薄的推荐方法在 ITU-R P.618 建议书中可查询到。就大部分频数分析，有关降雨衰减的气体稀薄是次要的。然而，对于22 GHz波段的某些区域的广播卫星服务，水蒸气吸收可能会很大。例如，在某一位置 22.75 GHz的通路衰减超过9.5 dB，相当于最差月份的1%，其中大约有3 dB是大气稀薄所造成的结果。

2.1.2 降水和云层衰减

降水和云层衰减的预测过程在 ITU-R P.618 建议书可查询到，测量的衰减数据统计的频率定标的简易方法在建议书中也有体现。对于频率低于30 GHz的云层衰减情况不是很严重，而且能够解释降雨衰减的预测方法。如果含水量已知，使用 ITU-R P.840 建议书中的方法，云雾衰减是可以被估计的。

2.1.3 最差月份的降雨衰减

对于卫星广播应用而言，最差月份降雨衰减超过 1% 通常是我们最关心的。把最差月份与年度降雨衰减百分比联系起来的方法在 ITU-R P.618 建议书中可找到。最差月份及其基础的全面处理方法在 ITU-R P.581 建议书中可查询到。

能有效利用的最差月份降雨衰减数据在无线电通信第3 研究小组资料库表II-2可查询到（详见 ITU-R P.311 建议书）。

2.1.4 衰减的日变化

在卫星广播服务中，一天内信号衰减的依懒性是值得考虑的。世界各地得到的衰减数据显示出共同的趋势，即大部分衰减都是发生在下午和傍晚时分。在雷暴雨气候中，强衰减增强的发生概率与局部最大雷暴雨活动发生的时间有关。尤其热带地区，有明显的白昼不对称现象。

另一方面，低水平的衰减在季节性和白天分布更均匀。

2.1.5 闪烁衰减

对流层折射率的小规模不规则性可能会导致信号振幅的急剧波动。当频率低于 10 GHz 且路径仰角高于 10° 时，信号闪烁对系统性能影响不大，但是当低仰角或较高频率时，尤其针对小边缘链路，其影响可能会很大。预估闪烁衰减的推荐方法在 ITU-R P.618 建议书中可查询到。

2.2 去极化

当频率高于 2 GHz 时，水汽现象，尤其雨滴和冰晶体的浓聚物可能会导致明显的信号去极化。预测这些效应的推荐步骤程序在 ITU-R P.618 推荐书中可查询到。

3 电离层效应

当频率低于 3 GHz 时，电离层效应在某些路径和某些方位很重要。就一般工程使用而言，针对不同频率，电离层效应（ITU-R P.531 建议书中可查询到）估算的最大值在表1中有总结。最关心的损害是典型的信号闪烁和（仅供线性偏振波）法拉第旋转。

表1

仰角大约 30° 时、单向穿越情况下估计*的电离层效应**
(摘自 ITU-R P.531 建议书)

效应	频率相关性	0.5 GHz	1 GHz	3 GHz	10 GHz
法拉第旋转	$1/f^2$	1.2 旋转	108°	12°	1.1°
传播时延	$1/f^2$	1 μ s	0.25 μ s	0.028 μ s	0.0025 μ s
折射	$1/f^2$	< 2.4'	< 0.6'	< 4.2"	< 0.36"
到达方向变化(r.m.s.)	$1/f^2$	48"	12"	1.32"	0.12"
吸收 (极光和/或极冠)	$\approx 1/f^2$	0.2 dB	0.05 dB	6×10^{-3} dB	5×10^{-4} dB
吸收 (中纬度)	$1/f^2$	< 0.04 dB	< 0.01 dB	< 0.001 dB	< 1×10^{-4} dB
散射	$1/f^3$	0.0032 ps/Hz	0.0004 ps/Hz	1.5×10^{-5} ps/Hz	4×10^{-7} ps/Hz
闪烁 ⁽¹⁾			> 20 dB 峰间值	≈ 10 dB 峰间值	≈ 4 dB 峰间值

* 该估计值基于总电子容量为 10^{18} el/m²，这是低纬度地区白天太阳活动活跃时的较高值。

** 10 GHz 以上的电离层效应可以忽略不计。

⁽¹⁾ 在地磁赤道附近春（秋）分夜间早些时候（局部时间）太阳黑子高峰时观测到的数值。

4 局部环境效应

在特定的接收位置，局部构造和植被的效应很重要。最新的测量结果显示，频率为5 GHz 时，仰角和方位角的建筑物入口损耗有很强的依赖性。这些结果增加了从频率低于3 GHz 的波段中测量值得到的结果。不幸地是，应用到卫星广播中的数据不足以充分描绘这些效应的特性。

4.1 建筑物入口损耗

ITU-R P.2040 建议书提供有关建筑物入口损耗的材料。

4.2 载体入口损耗

信号渗透进载体的测量值是很稀少的，通过使用类似于上面所描述的地面技术来获得。频率为1600 MHz 时，得到模拟路径仰角从 8° 到90° 的测量值，两种不同的天线（微带贴片和四线螺旋），不同类型的载体（根据不同的到达方向，安装在转盘上来评估信号等级），以及载体内不同位置的终端用户。载体窗口向下时收集到数据。典型的额外路径损耗（定义为已测量的载体内信号等级的平均值减去用于载体内测量值使用相同天线和体位在

矿场测量值里已观测到的中间衰减等级) 已从中间3-8 dB和在第90个累计百分级从4-13 dB范围中获得。

从这些数据中得到的观察结果和结论如下:

- 我们发现载体内信号等级呈雷利分布, 意味着直接的信号丢失传播路径是不存在的, 并且信号功率从载体开口边缘通过多路径传播耦合(例如, 窗口);
- 所有路径仰角在第90个百分位的损耗是15-20 dB;
- 损耗只是微弱地依赖于路径仰角, 但是仰角依赖性对于顶部等级天线和尾部等级天线是不同的;
- 载体类型对信号渗透损耗没有显著影响;
- 载体内终端用户的位置对损耗没有显著影响;
- 中间额外路径损耗都是呈正态分布的(关于矿场测量值);
- 接线天线显示与顶部等级天线相比, 路径损耗较少(因为方位越高, 矿场损耗越大, 当天线在载体内时, 情况没有更糟糕); 以及
- 仰角为 8° 时, 对顶部等级天线而言, 所有载体平均中间额外路径损耗均为3.7 dB, 对于较大载体内水平路径频率为900 MHz时, 中间损耗为3.2 dB。

这些结果可能被假设为信号渗透进载体内的一般性期望。

4.3 建筑物反光和阴影

在839 MHz到1504 MHz之间, 从高塔上传送的圆偏振调频声音广播信号所得到的测量值显示, 在仰角接近 20° , 城市中靠近街面的磁场强度里位置到位置的变化, 839 MHz时为15 dB, 1504 MHz时为18 dB。对于水平或垂直偏振天线而言, 接收到的波动实际上是相同的。在多路径条件下, 甚至在较窄且位置不利的街道, 由于磁场强度变化, 声音质量基本没有受损。

在郊区和农村地区, 地面反光可能会是决定偏振的因素, 因为地面反射垂直偏振波在伪布儒斯特角上是无效的, 但是水平偏振波却不是。因此在光滑地面上, 水平偏振地面反射波通常会比水平波强烈, 并且直接地面反射波的总和会导致无效值和较高峰值。

5 大区域信号等级统计分布

广播卫星必须服务于大区域，最好是相同的服务质量和相同的时间百分比。然而，部分服务区（例如，在不同气候带内）可能会由特定的传播效应所影响而有所不同。这种差异表现在服务区中分布的几个位置上的坐标测量。这些数据在评价用户设备要求和决定服务区边缘干涉条件时均有用，但是这些数据是不充足的。

可用数据表明不同位置多雨条件下分离达到500 km 时，连接的发生概率为百分之几，并且当分离小于800 km时，统计独立性是不可能被假设的。对于距离为 200 km 的成对站点，降雨率超过5 mm/h 的联合概率可能是假设统计独立性所得到的概率的五倍。

6 信号统计分布和频率相关性

从一座模拟卫星信号的515米高塔上传播 567.25 MHz 信号中所得到的测量值表明，对于大部分接收器位置，信号包络瞬时值的分布规律接近于正态分布。如果局域天体障碍关于中间值衰减超过15 dB，瞬时值的分布规律接近瑞利分布。

在同一试验中，信号之间频率间隔为0.15 MHz、0.5 MHz、1.0 MHz、2.2 MHz、4.4 MHz 和6.5 MHz 的频率相关性也已经被测量。观察到，随着频率间隔上升，频率相关性降低，仰角的影响只是偶然且微弱的。
