

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R P.311-13 建议书
(10/2009)

**对流层电波传播研究中
数据的采集、表述和分析**

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
2010年，日内瓦

© ITU 2010

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.311-13建议书

对流层电波传播研究中数据的采集、表述和分析

(1953-1956-1959-1970-1974-1978-1982-1990-1992-1994-1997-1999-2001-2003-2005-2009年)

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 在通信系统设计时，需要研究具备全球可用性的传播预测模型；
- b) 传播数据和无线电气候数据对这些预测模型的研究和测试而言都非常重要；
- c) 为了便于数据和结论的比较，希望采用一种统一的格式对传播和无线电气候数据进行采集和表述。

建议

- 1 信号的对流层传播数据，均提交给国际电联无线电通信第3研究组，具体原则和格式参照附件1。

附件1

用以支持预测方法评估的数据库

- 1 引言
- 2 目的和升级
- 3 接收标准
- 4 比较预测方法的测试标准
 - 4.1 总则
 - 4.2 比较雨衰预测的测试变量
 - 4.3 比较衰落持续时间预测的测试方法
 - 4.4 比较衰落斜率预测的测试方法
- 5 国际电联无线电通信第3研究组关于对流层电波传播的数据库列表
 - 5.1 第I部分： 地面视距路径数据
 - 5.2 第II部分： 地对空路径数据

- 5.3 第III部分： 地面超视距路径和降雨散射数据
- 5.4 第IV部分： 无线电气候数据
- 5.5 第V部分： 地面陆地移动业务数据
- 5.6 第VI部分： 地面广播业务数据
- 5.7 第VII部分： 卫星移动业务数据
- 5.8 第VIII部分： 植被和建筑物数据

1 引言

对于提供电波传播影响的可靠预测方法的一个最基本要求就是建立适当的计算机数据库。此类数据库必须：

- 包含所有满足适当标准的可用数据，
- 作为可用于试验的原数据而被广泛认可，
- 数据的可获取性。

建立数据库遵循的原则是数据库仅应包含那些可用于以下用途的数据：

- 测试国际电联无线电通信第3研究组推荐的预测方法（也可以被用作数据源测试其他方法）；并且
- 用于生成和更新与无线电传播影响相关的无线电气候图；

在研究对流层电波传播的特殊情况下，有些预测方法尚未被国际电联无线电通信第3研究组认可，而在其他的建议书附件中列出了目前最有使用价值的相关测量数据以供读者参考使用。

这些数据库是关于：

- 地面视距传播预测方法的评估，
- 地对空传播预测方法的评估，
- 超视距传播路径上的干扰或可靠性的预测方法的评估，
- 无线电气候数据，
- 地面陆地移动业务预测方法的评估，
- 地面广播业务预测方法的评估
- 卫星移动业务预测方法的评估，
- 植被和建筑物数据。

鼓励各主管部门按照本附件所列的格式和要求向国际电联无线电通信第3研究组和/或其他相关研究组(WP)提交本国的相关数据。第2部分将阐述各国家提交数据的相关信息，并给出新的数据输入和数据进入数据库的相关程序。第3部分将给出提交的数据必须满足什么样的标准要求才可以被接受。第4部分列出了使用的测试标准。第5部分列出了所有的数据库项目。

数据空白正面样本，详细展示了要求的/可用的数据的类型和格式，可通过国际电联无线电通信第3研究组网站免费获取。而且，全部数据库的分页表格可在同一网站获得。如有需要，纸质版本和磁盘版本的标准格式，磁盘版本的全部数据也可向国际电联无线电通信局(BR)索取。

表III-1a列出了一个当前可用的独立数据库。表中含有1326条路径的近100 000条测量数据记录。这些数据是从10分钟到1小时不等的测量中得到的。该数据库同样可以从国际电联无线电通信第3研究组的网站上获得。

2 目的和升级

国际电联无线电通信第3研究组建立数据库的目的，是充分考虑到WP作为技术输入和管理优势、考虑到无线电通信局（BR）为其出版和公布提供的服务。参考文献中列出的作者和/或提交数据的主管部门仍负有确保数据的准确性和重要性的责任。然而，为了便于由所给数据到计算机数据的转化，保证数据库的质量，要求数据必须先经相关的WP部门按照第3节所列的各项标准进行审查。不合格的数据仍可被接受，条件是相关的主管部门补充附加的信息和/或者恰当的说明被提交给国际电联并被国际电联接受。

为保持和更新数据库，确保合适的程序来对数据库进行技术维护和生成一直是必要的。建议数据库的每个表都能分配给一个WP来维护，负责每个表的相关WP任命一个人来协调升级工作事宜。

3 接收标准

被接收进入数据库的数据应被审查认为符合以下标准：

- 符合空白数据表格的要求和格式。尤其是，测量单位应与表中说明页所列要求相一致。只有少数情况例外，即测量单位为国际单位制（SI制）。相关术语的定义见ITU-R P.310建议书。建议采用样本表格的复印件来提交数据，并将附带的重要信息填入“注释”一栏。
- 对于那些要求有历史统计数据的传播现象和结论的表格，当前的数据信息也需要提供。这就意味着必须从同一观测时段来得到两组统计数据。如果某数据信息经删除部分数据与该时刻的数据项相匹配时，该情况应当在“注释”栏中加以注明。
- 对于长期和一年为周期的累积统计数据，观测周期应该是一年12个月的整数倍，其观测仪器记录时间也不应该少于报告总时间的90%。
- 最坏月份的统计数据（见ITU-R P.581建议书）应该从相关年份12个月统计数据中得到，观测仪器记录时间的最长时间不应低于每个月的75%。
- 内插数据的准确性：观测统计数据转化成正式格式的数据时（为满足多项固定的百分比），数据插入是必要的。为此，有必要参考大量的参考数据以保证数据的连续性，连续参考电平比例的概率应该大于0.8少于1.25。外插数据不可作为数据被提交。

- 对于地面宽带数据，接收机动态范围最少应为18 dB以保证最小的峰值噪声比为15 dB。
- 对于降雨率统计，采用1分钟为单位以便与无线电通信第3研究组中预测方法的要求相一致。

以上标准由提交数据的审查者应用。特殊情况下，以上原则可适当放宽（如，在多径传播中衰落统计显示，在对数线性统计图中标示的分布的末端有明显的线性趋势时，应进行数据插入）。另外在某些情况下数据接收的标准可适当放宽，如数据统计地区很难再次采集类似情况的数据的情况。数据在不能满足接收标准要求的条件下（由于上述原因）仍被接收，负责维护数据人员将对该数据加注一个特殊的标记，并且只要有足够完全合格的数据被接收进来就会将其从数据库中删除。

4 比较预测方法的测试标准

4.1 总则

为了评估预测方法的相对优点，需要定义一套客观的评价标准。一般来讲，数据的选用要以适合应用为目的（参阅数据接收标准，第3节）。而数据库一般会包含所有的数据信息，这些数据适用于至少一种测试类型，有些数据可能并不适合某些确定类型的预测，因此需要将其排除出这种测试。（例如：在表III-1中所列的数据并不适合进行超视距可靠性测试-因而在标志区有相应的标志说明）将那些从属数据排除掉也很重要（这些数据是其他数据输入的子数据）。然而，从同一台站在同一时间段内以不同仰角或极化测得的数据可以被认为是独立的数据。

除此以外，在大多数情况下，测量持续时间（在多年内）被用于加权函数。（应注意，持续时间被定义为由一套完整的有效数据库组成的实际天数，通常该天数少于从实验开始到结束的时间，不同点是试验完成的“时刻”）

对于模型的通用要求是（按重要性降序排列）。

4.1.1 测试变量的最优性能

测试变量要符合相关工作组WP的要求（如：预测数据与测量数据之差的最小均值和最小标准差等）。需要注意的是，测试需要执行全部当前可用数据和符合要求的子集数据。

4.1.2 方法选择的“物理基础”

使用的大多数传播预测方法本质上是半经验式的，因为人们不能完全了解物理过程的细节，或者提供全部输入参数不实际。越是那些物理原则得到有效再现的模型，越有可能被应用于目前还未知领域的研究（如新频率，新气候区等）。完全经验化的方法，也就是通过对测量数据进行曲线拟合得到的方法，往往不适合被应用于上述测量之外的其他领域，因此应当尽量避免使用此类方法。

4.1.3 “简化”

简化原则，在某种意义上看似与“物理基础”的原则要求相矛盾，仅应被用于将要求输入的参数数量简化到最少情况，并确保在计算机程序中对算法的描述是清楚而不产生歧义的。列线图解是对预测方法非常有用的简化再现，但并非该预测方法本身。

4.2 比较雨衰预测的测试变量

通常按一套固定概率水平对多条传输路径上的衰减预测进行研究。用固定概率水平列出比较预测方法所需的数据，如当年的0.001%，0.01%和0.1%。将按每条路经计算预测衰减和测量衰减的比例。上述比例的自然对数将被用作测试变量。为补偿由不是降雨的衰减源、以及测量的不确定性带来的影响（它们显著影响了低衰减值），对低于10 dB的衰减测量值，可将其对数乘以定标因子。该定标因子是测量衰减值的幂函数。因而经修正后的测试变量更加接近正态分布。而后计算经修正的测试变量的均值和标准差以提供预测方法比较所需的统计数字。

4.2.1 程序

- 对于一个时间百分比，计算预测衰减 A_p (dB)与测量衰减 A_m (dB)的比值，并计算每条无线电链路有：

$$S_i = A_{p,i} / A_{m,i} \quad (1)$$

其中 S_i 是上述第 i 条无线电链路的比值。

- 计算测试变量：

$$\begin{aligned} V_i &= \ln S_i (A_{m,i} / 10)^{0.2} && \text{当 } A_{m,i} < 10 \text{ dB} \\ &= \ln S_i && \text{当 } A_{m,i} \geq 10 \text{ dB} \end{aligned} \quad (2)$$

- 重复该过程计算每一个时间百分比。
- 计算 V_i 在各时间百分比情况下的均值 μ_V ，标准差 σ_V 和平方根r.m.s值：

$$\rho_V = (\mu_V^2 + \sigma_V^2)^{0.5} \quad (3)$$

注1 –（加权功能）。如果测试分布的数据为多年（ n 年）的数据，则需要计算 n 年 V_i 值的均值 μ_V ，标准差 σ_V ，和r.m.s.值 ρ_V ，（例如，如果从三年的观测数据中能估算出每年的平均值，那么可以三次使用该平均值 V_i 来计算每一百分比时间的结果）。

注2 –（估算十年的概率水平）。为评估十年以上概率水平的预测方法（例如，从0.001%到0.1%的时间上）要计算测试变量 V_i 在每一个时间百分比上的值（尤其是0.001，0.002，0.003，0.005，0.01，0.02，0.03，0.05，和0.1的值），并考虑加权因素，计算所有在要求十年以上时间的概率水平 V_i 的均值 $\bar{\mu}_V$ ，标准差 $\bar{\sigma}_V$ 和r.m.s.值 $\bar{\rho}_V$ 。

在比较预测方法时，最优的预测方法将产生最小的统计参数值。应当注意的是，随后对数参数值可被转化为相当量的百分比参数值。例如，标准差可以等效为最大和最小百分比差值：

$$D_{u,\ell} = [\exp(\pm\sigma_V)^{-1}] \times 100$$

该值是预测值相对于测量值的扩展，是在统一衰减10 dB的情况下得出的。

该过程不单提供了一种评估不同预测方法性能的途径，而且还提供了一些改进的建议。对 A_p 和 A_m 扩展的图形检查仍提供了有关实验数据和预测数据相对优点的重要信息。

而且，这些统计参数可以提供有用信息，将预测值按希望的情况进行扩展得到实际的衰减值。为此，可反向使用上述按比例缩放程序，例如，将10 dB衰减水平的归一化标准差按比例缩放到另一预测衰减水平 A_p (dB)的预期标准差，就可以通过乘以比例因子 $(10/A_p)^{0.2}$ 得到。

应当注意的是，任何预测方法的精确性极限是，给定地点的降雨气候条件可以用假设的单点雨量强度累积分布特性表示。

4.3 比较衰落持续时间预测的测试方法

4.3.1 方法原则

可用以下两种不同的累积分布函数描述衰落持续时间：

- 1 $P(d > D|a > A)$ ，如衰减 a 大于 A (dB)，则衰落持续时间 d 的发生概率大于 D (s)。
- 2 $F(d > D|a > A)$ ，如衰减 a 大于 A (dB)，则累积超越概率，或与其相当的因衰落持续时间 d 导致的衰落时间的总百分比（在0和1之间）大于 D (s)。

用于比较衰落期预测方法的数据，被按照固定的单独衰落期 D （例如6 s，180 s或3 600 s）和固定的衰减门限 A （例如3 dB，10 dB或25 dB）进行了排列。同时计算每条无线电链路的预测部分与测量部分的时间比值，并将该值的对数值定义为测试变量。计算测试变量的均值和标准差以提供预测方法比较所需的统计数据。

4.3.2 程序

步骤1a：发生概率 P 的预测方法是，通过计算以下测试变量，即预测概率 $P_p(d > D|a > A)$ 与测量概率 $P_m(d > D|a > A)$ 比值的自然对数得到，并按表I-8b和表II-3b定义的衰减门限 A 和衰落期 D 下对每条无线电链路进行计算：

$$\varepsilon_{P,i}(D, A) = \ln \left(\frac{P_p(D|A)}{P_m(D|A)} \right) \quad (4)$$

其中：

$\varepsilon_{P,i}$ ：第 i 条无线电链路的测试变量。

步骤1b: 衰落时间百分比 F 的预测方法是, 用1分别减去预测时间百分比 $F_p(d > D|a > A)$ 和测量时间百分比 $F_m(d > D|a > A)$ 。再计算其测试变量, 即作为不同差值之比的变量的自然对数, 并按表I-8c和II-3c定义的衰减门限 A 和衰落期 D 下对每条无线电链路进行计算:

$$\varepsilon_{N,i}(D, A) = \ln \left(\frac{1 - F_p(D|A)}{1 - F_m(D|A)} \right) \quad (5)$$

其中:

$\varepsilon_{N,i}$: 第 i 条无线电链路的测试变量。

步骤2: 对每一预测方法, 计算误差 ε_P 或 ε_N 的均值, 标准差和的r.m.s值。并按表I-8 和 II-3 所列的衰落期和衰减门限值对每一条链路进行计算。

如果某些经测量得到的分布数据为多年(n 年)数据, 则可以计算 n 年 $\varepsilon_{P,i}$ 或 $\varepsilon_{N,i}$ 的均值, 标准差和r.m.s值(例如, 如果从三年的观测数据中能得到年平均数据, 则可以3次使用同样的 $\varepsilon_{P,i}$ 或 $\varepsilon_{N,i}$ 值计算每一衰落期和衰减的值)。

在比较预测方法中, 最佳预测方法产生最小统计参数值。

4.4 比较衰落斜率预测的测试方法

4.4.1 方法的原则

在本测试方法中, 预测的衰落斜率分布是超出特定衰减门限值的衰落斜率的累积分布。它取决于衰减电平 $A(t)$, 时间间隔长度 Δt 和低通滤波器的3 dB截止频率, 低通滤波器用于从信号中消除对流层闪烁和雨衰的迅速变化。

用于比较衰落率预测方法的数据, 被按照固定的时间百分比 P (从0.001%到50%)和固定的衰减门限 A (例如3 dB, 10 dB或25 dB)进行了排列。同时计算每条无线电链路的预测和测量衰落斜率比值, 将该比值的对数值定义为测试变量。计算该变量的均值和标准差以提供预测方法比较的统计数据。

4.4.2 程序

步骤1: 对于表II-8b中定义的每一衰减门限 A 和衰落斜率 ζ , 计算每条无线电链路预测超出部分的概率 $P_p(\zeta|A)$ 和测量超出部分的概率 $P_m(\zeta|A)$ 的测试变量, 如下式:

$$\varepsilon_i(\zeta, A) = 2 \cdot \frac{P_p(\zeta|A) - P_m(\zeta|A)}{P_p(\zeta|A) + P_m(\zeta|A)} \quad (6)$$

其中:

ε_i : 第 i 条无线电链路的测试变量。

步骤2: 在所有实验基础上, 计算误差 ε 的均值, 标准差和r.m.s值, 每一单独路径的衰落斜率和每一衰减门限值, 如表II-8b所示。

如果某些经测量得到的分布数据为多年（ n 年）数据，则可以计算 n 年 ϵ_i 的均值，标准差和r.m.s.值（例如，如果从三年的观测数据中能得到年平均数据，则可以3次使用相同的 ϵ_{ii} 值计算每一衰落期和衰减的值）。

在比较预测方法中，最佳预测方法可以产生最小统计参数值。

5 国际电联无线电通信第3研究组关于对流层电波传播的数据库列表

5.1 第I部分：地面视距路径数据

- 表I-1: 视距雨衰统计
- 表I-2: 窄带视距平均最差月份的多径衰落和增强
- 表I-3: 视距分集数据
- 表I-4: 在晴空条件下视距传输的XPD和CPA统计
- 表I-5: 雨致视距传输的数据XPD和CPA统计
- 表I-6: 视距传输最差月份多径信道的特性和中断时间
- 表I-7: 视距多跳传输情况下最差月份多径信号的衰落和增强
- 表I-8: 视距传输的衰落事件数和衰落持续时间统计
- 表I-9: 可见光波长视距传输衰减的年统计
- 表I-10: 可见光波长视距传输衰减的最差月份统计
- 表I-11: 毫米波和光链路的频率分集视距传输的年统计
- 表I-12: 毫米波和光链路的频率分集视距传输的最差月份统计
- 表I-13: 视距传输时间分集统计
- 表I-14: 视距传输的联合雨衰和差分雨衰的统计

5.2 第II部分：地对空路径数据

- 表II-1: 倾斜路径年雨衰和降雨率统计
- 表II-2: 倾斜路径最差月份雨衰统计
- 表II-3: 倾斜路径衰落期统计
- 表II-4: 倾斜路径位置分集统计
- 表II-5a: 倾斜路径年XPD统计
- 表II-5b: 倾斜路径基于CPA的年XPD统计
- 表II-6: 倾斜路径幅度闪烁统计
- 表II-7: 倾斜路径闪烁的标准差
- 表II-8: 倾斜路径衰落斜率统计
- 表II-9: 倾斜路径时间分集统计
- 表II-10: 倾斜路径瞬时频率定标统计

5.3 第III部分：地面水平面上传播路径和降雨散射数据

- 表III-1： 晴空条件下超视距基本传输路径损耗统计
表III-1a： 晴空条件下单点测量数据（该表为单独数据库（见§ 1））
表III-2： 地面路径的降雨散射
表III-3： 信号电平的联合概率分布

5.4 第IV部分：无线电气候数据

- 表IV-1： 降雨密度统计
表IV-2： 降雨累积时间转换因子
表IV-3： 天空噪声温度年度统计数据
表IV-4： 表面折射率平均值统计
表IV-5： 降雨持续时间统计
表IV-6： 蒸发波导的统计
表IV-7： 云层覆盖的统计
表IV-8： 雨强度相关的空间统计
表IV-9： 总纵向水蒸气含量
表IV-10： 总纵向云层含水量

5.5 第V部分：地面陆地移动业务数据

- 表V-1： 地面陆地移动宽带业务统计
表V-2： 地面陆地移动窄带业务统计

5.6 第VI部分：地面点对面数据

- 表VI-1： 地面点对面数据

5.7 第VII部分：卫星移动业务数据

- 表VII-1： 宽带卫星移动链路统计
表VII-2： 窄带海事卫星移动链路统计
表VII-3： 窄带陆地卫星移动链路统计
表VII-4： 窄带航空卫星移动链路统计
表VII-5： 窄带卫星广播信号衰落和衰落时间统计

5.8 第VIII部分：植被和建筑物数据

- 表VIII-1： 植被引起的衰减
表VIII-2： 建筑物引起的进入损耗
表VIII-3： 各物质的损耗特性

5.9 第IX部分：噪声

- 表IX-1： 白高斯无线电噪声
-