



无线电通信局（BR）

行政通函
CACE/1151

2025年8月8日

致国际电联成员国主管部门、无线电通信部门成员、ITU-R部门准成员和国际电联学术成员

事由： 呼吁各主管部门鼓励学术界和研究机构的专家和科学家参与并为ITU-R第3研究组的工作做出贡献

1 引言

在2025年4月14日至17日举行的无线电通信顾问组会议上，该组建议无线电通信局局长考虑发出一份通函，邀请各主管部门鼓励学术界和研究机构的专家和科学家参与并为ITU-R第3研究组的工作做出贡献（见第CA/277号行政通函中无线电通信顾问组第32次会议的结论摘要）。会议认识到ITU-R第3研究组各工作组在无线电通信系统设计和此类系统间干扰评估方面所开展的工作的重要性，ITU-R建议书在下载统计数据进一步强化了这一事实，在超过15年的时间里，P系列建议书一直是下载量最高的建议书。

2 本通函的目的

本通函旨在邀请所有成员国主管部门和无线电通信部门成员鼓励和促进其国内的研究和学术机构为ITU-R第3研究组各工作组的活动做出贡献。

ITU-R 3J、3K、3L和3M工作组的下一次会议计划于2026年6月15-25日在日内瓦举行，ITU-R第3研究组的下次会议定于2026年6月26日举行。这些会议均可以现场和远程方式参加。这些会议的文稿应不迟于2026年6月3日协调世界时16时通过brsgd@itu.int提交至ITU-R秘书处。

3 ITU-R第3研究组的活动

在2025年6月6日的会议上，ITU-R第3研究组决定保持四个工作组的结构，修订了其职责范围，并选举了正副主席（见附件1）。ITU-R第3研究组各工作组的工作进展仍然在很大程度上依赖于研究和学术机构取得的研究进展，以及在无线电波传播预测建模领域积极工作的成员的文稿。每个工作组均制定了一份工作计划，涵盖与此类文稿具体相关的议题，如附件2所列。在工作组的年度会议之间，有关具体议项的工作继续由为此目的成立的信函通信组进行。各工作组内正在开展工作的信函通信组一览表见附件3。

ITU-R第3研究组维护着与无线电波传播建模相关的各种现象的测量数据库。此类测量对于开发模型和验证其准确性至关重要。此外，此类测量结果应能代表尽可能多的地理区域和无线电气候区。因此，在ITU-R第3研究组数据库未收录的频段和地理区域中进行的测量，特别是来自发展中国家、尤其是热带和类似地区的发展中国家，为满足第5号决议（**WRC-23，修订版**）“关于在热带和类似地区的传播研究中与发展中国家的技术合作”意识到a)的要求而进行的测量，将具有相当大的价值。因此，特别鼓励领土位于此类地区的主管部门向ITU-R第3研究组的工作组提供测量结果，并支持其传播专家参与这些工作组的工作。

许多P系列建议书包含复杂的算法，近年来在开发这些复杂方法的软件实现方面做出了巨大努力，这些软件实现可通过第3研究组的软件网页（<https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg3/Pages/iono-tropo-spheric.aspx>）免费获取。亦欢迎提交P系列建议书的软件实现。

主任
马里奥·马尼维奇

附件：3件

附件1

ITU-R第3研究组的工作组织

在根据[ITU-R第1-9号](#)决议第A1.3.1.4、A1.3.1.4之二和A1.3.1.4之三节进行磋商后，ITU-R第3研究组在2025年6月6日的会议上决定，其结构须继续由四个工作组（WP）组成，各工作组的职责和正副主席如下所述。

1 [3J工作组](#) – 非电离介质中无线电波传播的基本原理

3J工作组负责提供非电离介质中无线电波传播方面的信息并制定描述其基本原则和机制的模式。第3研究组的其他工作组将这些可交付成果作为开发无线电波传播预测方法的基础。

主席：Laurent CASTANET博士（法国）

副主席：Eric HILL（美国）

2 [3K工作组](#) – 点对点传播路径的无线电波传播预测

3K工作组负责为30 MHz以上频段非电离介质中与地面和航空电台相关的点对点路径制定无线电波传播预测方法。

主席：Hajime SUZUKI博士（澳大利亚）

副主席：Wataru YAMADA博士（日本）

3 [3L工作组](#) – 电离层和地波传播预测及无线电噪声

3L工作组负责提供信息并开发模型，描述无线电波在电离介质中和通过电离介质传播的基本原理和机制；并制定预测30 MHz以下地面电台之间地波传播及受电离层影响路径的方法。此外，该工作组还研究由自然和人为来源产生的无线电噪声的议题，并对此类噪声的水平进行量化。

主席：Angelo CANAVITSAS博士（巴西）

副主席：Adam HICKS先生（美国）、Seok-Hee BAE先生（韩国）

4 [3M工作组](#) – 点对点路径和地空之间路径的无线电波传播预测

3M工作组负责制定与30 MHz以上地面、航空、水上和空间电台相关的点对点路径以及地对空、空对地和空对空路径的无线电波和光传播预测方法。

主席：Richard RUDD博士（德国）

副主席：林乐科博士（中国）、Reza AREFI博士（美国）和Olga IASTREBTSOVA博士（俄罗斯）

附件2

ITU-R第3研究组各工作组 工作计划中需要继续开展工作的议题

1 3J工作组 – 非电离介质中无线电波传播的基本原理

晴朗大气的影响：

- 低角度传播预测需要改进无线电气象输入变量的参数化，从而改善对损伤的估计，特别是海上和高纬度传播的多径效应。除了简化的估计5°以下路径上的气体衰减的方法外，还应改进低路径角的折射衰落的建模。
- 对大气折射率和对流层超额路径长度（可变性）的精确估算，需要使用新的气候参数实验表进行研究和测试，为此需要新的数据来评估预测误差。需要进一步开发涉及大气无线电折射率及其对无线电波传播的影响的模型。
- 需要更新超额路径长度的建模，以反映新的无线电气象数据的使用，这些数据可用于每月/每天计算模型参数（例如水蒸气柱的平均温度等）。
- 需要对各种大气参数和不同大气条件（对流层和平流层）的气体吸收线的测量进行审查，以完善[ITU-R P.676](#)建议书。
- 为了修订[ITU-R P.1621](#)建议书，应改进工作在20 THz-375 THz频段的地 – 空系统设计中因气体吸收和相关效应造成的衰减的建模。

云和降水的影响：

- 扩展降水空间和时间变化的统计建模，以改进[ITU-R P.837](#)建议书。对数正态模型的精度需要根据在特定气候条件下的实验观测来提高。对这些议题的研究有望提高ITU-R P.837建议书中降水模型的准确性。
- 基于新的合并数据改进降雨高度模型，研究0度等温线高度与云和降水的关系。
- 需要地面微波辐射计提供的数据来评估20至375 THz之间云衰减建模效应。需研究云的发生与降水之间的关系，其长期目标是在降水和晴空条件下统计云液体含量。
- 需要极端降水事件重现期的评估和特性描述用于系统可靠性分析（例如，用于生命安全和任务关键型无线电通信系统）。
- 对于大气去极化和衰减，需要对云中总冰含量以及云和降水微粒的微观物理属性进行建模。
- 需要处理降水颗粒微观物理属性的数据（例如，测雨仪数据），应扩大到包括其他仪器和新的实验结果。
- 需要利用长期实验数据中雨滴粒径分布特性的统计属性，改进对100-200 GHz频率范围内雨特定衰减的特性，包括电磁波在降水中的多重散射效应，并可进一步扩展至1 000 GHz频率范围。

全球制图和统计方面：

- 从最近的高分辨率数值产品中获得的大气参数图已经制作完成。需要对尚未生成的参数地图（降雨量、折射率、冰含量等）进行统一。

- 应研究雨衰和降雨率的月间和季间变化（从一年中的某一月份或季节到另一年的同一月或同一季节），以及水蒸气和云衰减的年内变化。
- 应进一步发展时间序列合成，特别是对于non-GSO系统。

障碍和植被的影响：

- 由于植被种类繁多且难以对其进行分类，需要实验结果和实际的计算方法来估算植被造成的相关损耗。
- 在地形上的传播模型需要改进，特别是要兼顾通过反射和散射的非大圆路径，包括对传播方向的横向地形高度变化的影响进行建模。此外，估算城市和地形建模所导致的损失统计数据的需求也在不断增长，这需要采用三维方法，并确定哪种信息最能准确描述相应的环境特征。
- 需要广播覆盖测量等测量数据，帮助确定如何在高-低地面路径中兼顾地物损耗。
- 需要关于建筑物表面漫散射特性的详细信息。
- 在卫星地球探测业务（无源）和（有源）传感器使用的频率范围内，为开发各种类型的地球表面反射系数模型，需要测量数据。
- 月球环境中的无线电波传播建模需要进一步改进。

2 3K工作组 – 点对点传播路径的无线电波传播预测

- 需要进一步开发传播模型，为地面和空-地路径（包括密集的城市、城市、郊区和农村环境）提供可靠的基本传输损耗预测，同时兼顾路径上地形的不规则性质、更密集建筑环境中由于绕射产生的屋顶上方传播的“稳定场”行为特性，以及在不太密集的建筑或植被覆盖环境及较长路径中存在的地形障碍和地球隆起效应。
 - 这些模型还应以符合终端高度、其各自环境、路径长度和传播机制（如异常传播、波导和对流层散射）的方式，提供场强的时间和位置变化/路径上的基本传输损耗。
 - 三维建筑物和植被的位置、足迹和高度信息需广泛存储于数字数据库中，其格式应适于提取无线电波传播应用，以供此类模型使用。
 - 制定从数字地形和地表模型中提取沿终端之间测地线的地形和杂波剖面的方法，包括用于此类分析的软件和验证数据。
- 需要扩展模型的适用频率范围，以便考虑多重反射和散射过程的重要性日益增加，包括水汽凝结物的散射，以及在约20 GHz以上频率的气体吸收。
- 在系统规划和系统间电磁兼容性研究中使用的传播模型中，需要改进的建筑物入口损耗模型，特别是如何组合建筑物入口损耗和杂波造成的损耗。
- 需要更多的测量数据和建模结果来继续开发用于室内和短程室外无线电通信系统以及无线电局域网和地面宽带无线电接入系统规划的方法。
- 在无线电波传播建模的开发中，需要考虑完整的累积分布函数，即中值时间变化的增强侧和衰落侧。
- 需要方法来模拟有相关性和无相关性的集总干扰源。
- 对使用UHF和SHF频段的宽带陆地移动业务的延迟剖面预测还需要进一步开发，从而将应用范围扩展到更远的距离。
- 用于评估超宽带设备影响的传播预测方法需要进一步改进。

- 在短距离场景中应考虑分集技术（空间、极化、天线扇区和频率）。分集技术和到达角信息对于多输入/多输出（MIMO）等系统的开发很有益处。

3 3L工作组 – 电离层和地波传播预测及无线电噪声

- 需要改进约150 kHz以下频率的场强的预测模型。
- 需要进一步的测量来验证和改进预测HF电路性能的方法的性能。
- 需要进一步开发无线电导航技术以检索电离层参数。
- 需要数据来进一步开发和验证描述电离层引起的闪烁现象的模型。
- 需要协同工作，开发一种低成本的测量系统，以捕获全球的无线电噪声，并分享和协调无线电噪声测量降低技术。

4 3M工作组 – 点对点路径和地空之间路径的无线电波传播预测

地面点对点路径

- 需要开发并测试预测毫米波频率基站回程和前传链路短路径上降雨引起的衰减的模型。
- 需要对很短的地面视距路径上的降雨引起的衰减进行测量。此类测量应采用一分钟的积分时间来测量同时衰减和降雨率，并应进行校正以消除潮湿天线效应。
- 为开发视距（LOS）MIMO链路的预测模型需要长期测量数据。
- 需要对镜面反射和衍射引起的衰减进行测量，以便为工作在毫米波频率的、为城市基站站点提供千兆比特容量的系统制定短视距和非视距路径的预测方法。
- 为了与过去的统计数据进行比较，需要进行长期测量，以便评估系统性气候变化对当前预测方法准确性的潜在影响。
- 需要进行测量，并为降水和晴空衰落引起的、影响地面链路的不可用性和误码性能的中断强度开发一种预测方法。
- 需要对地面路径上的闪烁进行测量，且应将其用于区分晴空闪烁和与降雨事件相关的闪烁的影响。
- 需要进行测量并加以分析，以开发预测衰落动态（包括持续时间、昼夜变化、短期多路径衰落和雨衰）的全球物理模型。动态特性包括降水和多路径条件下的衰落次数，衰落的持续时间和衰落间期，并要进一步考虑到由于几天内的多路径造成的昼夜变化。
- 需要详细的能见度和闪烁测量数据以及分类为雨、湿和干雪的降水数据，以改进用于设计275-1 000 GHz范围内链路和自由空间光学链路的预测模型。
- 双极化系统需要测量数据，以对采用空间和频率分集保护的系统进行中断预测建模，并研究中断情况，优化预测方法，使其能够兼顾分集保护因素。
- 需制定一种方法，将“最坏月份”的数据到”年”数据转换纳入超视距无线电接力系统的对流层散射建模中。

地 – 空路径

- 需要进一步的研究和实验数据，以提出一种计算地 – 空路径雨衰概率密度函数和总衰减的程序，并对无线电波在至少100 GHz频率下，由于多种同时发生的传播损伤（如

雨衰、云衰减、气体吸收、融化层衰减和对流层闪烁)导致在较高时间百分比下的传播损伤模型进行扩展和验证。频率、仰角和极化变标方法,特别是雨衰和交叉极化效应需要重新考虑,而且应该评估用于月度预测的总损伤预测方法,特别是在低纬度和高纬度地区。

- 低仰角($<5^\circ$)时地-空路径上因对流层效应(闪烁和多路径衰落、雨、云、水蒸气等)造成的传播损耗的预测方法需要改进,用于高纬度卫星通信系统和non-GSO系统,如地球观测数据下行链路、与飞机和巨型星群的通信等。
- 需要测量数据来支持时间分集预测方法的开发和测试。用于衰落斜率预测的衰落动态与气候和仰角的关系的建模需要进一步改进。衰落间隔时间的建模也需要改进,注意到它不仅对GSO系统很重要,而且对卫星固定业务(FSS)中的non-GSO系统也很重要,因为卫星运动会影响动态特性。
- 需要进一步开发站点分集的预测方法,以预测在很宽的距离范围内多个站点上的联合衰减的统计。差分雨衰的预测模型也需要改进,需要一种新的方法来预测卫星分集的空间相关性,特别是具有多个卫星的地-空链路。需要利用non-GSO卫星开展传播活动,以验证和改进这些模型。全球空间相关函数以及小、中、大尺度的区域或局域空间相关函数的潜在发展也需要验证。
- 需要实验数据来修订地-空自由空间光通信系统的预测方法,并且需要开发预测气溶胶引起的衰减的模型。由于频率高于300 GHz,特别是在光领域,可能要考虑多重散射效应,因此对降雨引起的衰减的预测还需要做进一步的研究。
- 需要扩展现有传播预测模型对卫星移动业务(MSS)和FSS系统的适用性,特别是针对卫星分集的建模和混合传播条件的统计模型以及全球卫星导航系统(GNSS)的要求。
- 需要开展传播测量,以改进机载平台与地球表面或空间之间路径上因云层和对流层闪烁造成的衰减预测方法。

干扰路径

- 需要通过长期传播测量来扩展地面路径上的干扰计算模型,以覆盖高达105 GHz的频率范围。
- 需要探索预测结果对路径剖面步骤分辨率(预测分辨率)的敏感性,目的是为所有预测分辨率制定更一致的性能建议。
- 需要开发一个更为量化的地物分类,并且需要不断评估在当前传播模型中直接使用表面高度数据的潜在益处。需要研究针对给定地形高程和地物数据库,选择地形剖面和地物剖面的最优方法(包括地形和地物剖面插值/组合的方法)。
- 对流层散射基本传输损耗预测方法需要改进和测试,以包括所有参数和所有场景,从而覆盖传播预测方法在使用时的全部有效范围。
- 需要采用一种合适的方法并进行测试,以考虑因气体吸收和对流层闪烁造成的衰减的部分相关性,对于不超过较小时间百分比(小于20%,典型值为小于和等于1%)的基本传输损耗。
- 为了验证地面干扰路径模型,需要与高达105 GHz频率的双站降雨散射有关的长期测量数据。

机器学习的应用

- 在无线电波传播预测中应用机器学习时,需要解决以下问题:
 - 了解如何将机器学习技术/工具用于制定无线电波传播预测方法;

- 建立程序，以确保使用机器学习算法开发的传播模型可以被通用化并代表所有可能的条件，特别是那些在用于开发模型的数据集中没有考虑的条件；
- 将机器学习与物理和统计传播模型结合使用，在当前物理知识的范围内测试和验证机器学习模型的代表性。
- 有必要审查和制定机器学习算法和框架，以便将其用于：
 - 开发和改进能够应对复杂场景和环境的无线电波传播模型；
 - 分析和处理传播数据，为正在进行的研究提供见解和输入意见；
 - 分析经验数据，以改善现有传播模型中的参数。

附件3

ITU-R第3研究组工作组中保持活跃的信函通信组

3J工作组信函通信组			
组	名称	主席/共同主席	
CG 3J-1	ITU-R P.676建议书中的气体衰减	Erik Hill (美国)	Antonio Martellucci (欧洲航天局)
CG 3J-2	降水空间和时间变化的建模	Arsim Kelmendi (法国)	Antonio Martellucci (欧洲航天局)
CG 3J-3	时间序列合成器	Laurent Castanet (法国)	Carlo Riva (意大利)
CG 3J-4	测试和测试指标定义的统计问题	Laurent Castanet (法国)	Antonio Martellucci (欧洲航天局)
CG 3J-3M-5	云和降水对倾斜路径衰减和去极化的影响	Antonio Martellucci (欧洲航天局)	林乐科 (中国)
CG 3J-3K-3M-8	建筑物入口损耗	Richard Rudd (德国)	-
CG 3J-10	3J工作组的协调	Carlo Riva (意大利)	-
CG 3J-11	ITU-R P.835 建议书中的参考标准大气	Erik Hill (美国)	-
CG 3J-3M-13	验证示例	Luis Emiliani (卢森堡)	-
CG 3J-3K-3M-14	研究与HAPS传播模型相关的问题	Hajime Suzuki (澳大利亚)	-
CG 3J-3K-3M-16	大气无线电折射率及其对无线电波传播的影响	Antonio Martellucci (欧洲航天局)	林乐科 (中国)
CG 3J-17	地球或其他行星表面双站散射的建模	Paolo de Matthaëis (IEEE)	Ryan McDonough (美国)
CG 3J-23	倾斜路径地形衍射的一般路径建模	郭博伦 (中国)	-
CG 3J-26	月球无线电波传播建模	Erik Hill (美国)	-
CG 3J-3K-3L-3M-27	用于传播研究的机器学习	Zubeir Bocus (德国)	-

3K工作组信函通信组			
组	名称	主席/共同主席	
CG 3K-1	ITU-R P.1812建议书的测试	Alakananda Paul (美国)	–
CG 3K-2	ITU-R第3研究组有关表VI-1 (地面点对点数据) 测量的数据库	Richard Rudd (德国)	–
CG 3K-4	与 ITU-R P.1546 建议书相关的问题	Richard Rudd (德国)	–
CG 3K-5	与 ITU-R P.1411 建议书相关的问题	Sana Salous (德国)	–
CG 3K-6	更高频率的传播模型和特性	Juyul Lee (韩国)	–
CG 3J-3K-3M-8	建筑物入口损耗	Richard Rudd (德国)	–
CG 3K-3M-9	无线电波沿航空路径的传播	William Kozma (美国)	–
CG 3K-3M-12	高达105 GHz的地物损耗预测	Clare Allen (德国)	Reza Arefi (Apple)
CG 3J-3K-3M-14	研究与HAPS传播模型相关的问题	Hajime Suzuki (澳大利亚)	–
CG 3J-3K-3M-16	大气无线电折射率及其对无线电波传播的影响	Antonio Martellucci (欧洲航天局)	林乐科 (中国)
CG 3K-3M-18	研究 ITU-R P.452 、 ITU-R P.1812 和 ITU-R P.2001 建议书共同涉及的具体问题	Ivica Stevanovic (瑞士)	–
CG 3K-21	人体遮挡效应的预测模型	Sana Salous (德国)	–
CG 3K-24	视距概率的估算模型	Jelena Senic (德国)	–
CG 3J-3K-3L-3M-27	用于传播研究的机器学习	Zubeir Bocus (德国)	–

3L工作组信函通信组			
组	名称	主席/共同主席	
CG 3L-2	手册32关于电离层及其无线电波传播效应	Adam Hicks (美国)	–
CG 3L-5	检索电离层参数的无线电导航技术	Raül Orús Pérez (欧洲航天局)	Mamoru Ishii (日本)
CG 3L-6	电离层闪烁模型	Raül Orús Pérez (欧洲航天局)	–
CG 3L-7	无线电噪声	Erik Hill (美国)	–
CG 3L-20	ITU-R P.684-8 建议书 – 约150 kHz以下频率的场强预测	Adam Hicks (美国)	–
CG 3J-3K-3L-3M-27	用于传播研究的机器学习	Zubeir Bocus (德国)	–

3M工作组信函通信组			
组	名称	主席/共同主席	
CG 3M-2	DBSG3数据库的状态	Antonio Martellucci (欧洲航天局)	—
CG 3M-4	有关软件产品、数字地图和参考数值数据的活动	Thomas Pechtl (奥地利)	Raül Orúz-Pérez (欧洲航天局)
CG 3J-3M-5	云和降水对倾斜路径衰减和去极化的影响	Antonio Martellucci (欧洲航天局)	林乐科 (中国)
CG 3M-8	《地对空路径通信手册》	Luis Emiliani (卢森堡)	Richard Rudd (德国)
CG 3J-3K-3M-8	建筑物入口损耗	Richard Rudd (德国)	—
CG 3K-3M-9	无线电波沿航空路径的传播	William Kozma (美国)	—
CG 3M-10	ITU-R P.452 建议书中水汽散射模型的开发	Ryan McDonough (美国)	—
CG 3K-3M-12	高达105 GHz的地物损耗预测	Clare Allen (德国)	Reza Arefi (Apple)
CG 3J-3M-13	验证示例	Luis Emiliani (卢森堡)	—
CG 3J-3K-3M-14	研究与HAPS传播模型相关的问题	Hajime Suzuki (澳大利亚)	—
CG 3M-15	ITU-R P.618 建议书中降雨和总衰减模型的改进	Laurent Castanet (法国)	—
G 3J-3K-3M-16	大气无线电折射率及其对无线电波传播的影响	Antonio Martellucci (欧洲航天局)	林乐科 (中国)
CG 3K-3M-18	研究ITU-R P.452、ITU-R P.1812或ITU-R P.2001建议书共同涉及的具体问题	Ivica Stevanovic (瑞士)	—
CG 3M-22	对短路路径上雨衰减测量结果表明路径衰减因子超过1的情况进行的研究	Lorenzo Luini (意大利)	—
CG 3M-25	更新手册58 ITU-R干扰和共用研究的传播预测方法	Ryan McDonough (美国)	—
CG 3J-3K-3L-3M-27	用于传播研究的机器学习	Zubeir Bocus (德国)	—