

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R P.1853-1 建议书
(02/2012)

对流层衰减时间系列的合成方法

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
2013年，日内瓦

© 国际电联 2013

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.1853-1建议书
对流层衰减时间系列的合成方法

(2009-2011年)

范围

本建议书提供了合成雨衰和地面及地对空路径的闪烁的方法。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 为合理规划地面及地对空系统，有必要拥有适当的方法以模拟传播信道随时间的动态变化；
- b) 已制定了方法，模拟具有足够精确度的传播信道的动态，

建议

- 1 应采用附件1中给出的方法合成地面或地对空路径的雨衰时间系列；
- 2 应采用附件1给出的方法合成地面或地对空路径的闪烁时间系列。
- 3 应采用附件1给出的方法合成地对空路径的全部对流层衰减和对流层闪烁的时间系列。

附件 1

1 引言

地面及地对空无线电通信系统的规划和设计需具备合成传播信道随时间动态变化的能力。例如，可能需要此信息设计各种衰减减缓技术，如，特别是，自适应编码和调制技术及发射功率控制技术。

附件1介绍的方法提供了合成地面及地对空路径雨衰和闪烁时间系列的一种技术，运用该技术可近似计算某一特定地点的雨衰数据。

2 雨衰时间列合成方法

2.1 概述

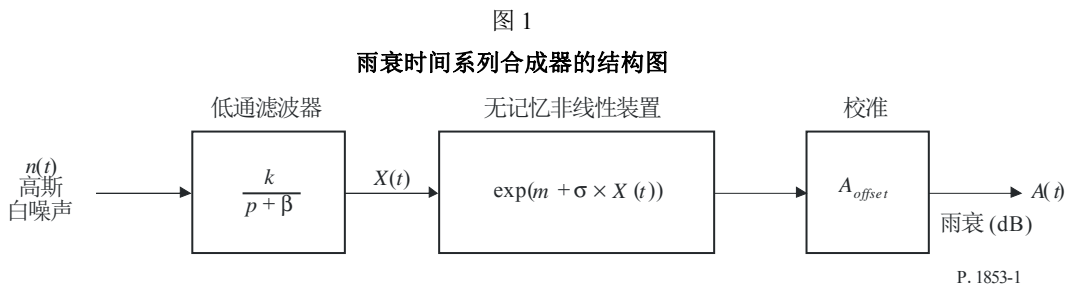
时间序列合成方法假设，雨衰的长期统计数据是一种对数正态分布。而ITU-R P.530建议书中的地面路径ITU-R雨衰预测方法及ITU-R P.618建议书中的地对空路径雨衰预测方法并不完全是对数正态分布，在超越比例的最显著范围内，可以运用对数正态分布非常近似地计算这些雨衰分布。地面及地对空雨衰预测方式对超越比例大于降雨概率的非零雨衰进行预测；然而，时间系列合成方法调整衰减时间系列，因此超越比例大于降雨概率的雨衰为0 dB。

对地面路径而言，时间系列合成方法适用于4 GHz至40 GHz的频率及2 km至60 km间的路径长度。

地对空路径而言，时间系列合成方法适用于4 GHz至55 GHz的频率及5°至90°的仰角。

时间系列合成方法生成了复制雨衰事件的频谱特征、衰落斜率及衰落持续时间统计数据的一个时间系列。同时复制了衰落间隔的统计数据，但仅限于单个衰减事件范围内。

如图1所示，雨衰时间系列 $A(t)$ 从离散高斯白噪声过程 $n(t)$ 中合成得到的。对高斯白噪声进行低通滤波，以无记忆非线性方式将其从正态分布转变为对数正态分布，并对其校准使其与所需的雨衰统计数据相匹配。



用五个参数对时间系列合成器进行界定：

m : 对数正态雨衰分布的平均值

σ : 对数正态雨衰分布的标准偏差

p : 降雨概率

β : 描述时间动态的参数

A_{offset} : 调整时间系列使其与降雨概率相匹配的偏移。

2.2 逐步计算方法

使用下述逐步计算方法合成雨衰时间系列 $A_{rain}(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$, 其中 T_s 是各样值间的时间间隔，而 k 是代表各样值的指数。

A m 和 σ 的估算

参数 m and σ 由雨衰与发生概率之比确定。可根据当地实测数据计算雨衰统计数据，如没有实测数据，可使用ITU-R P.530建议书中的地面路径雨衰预测方法及ITU-R P.618建议书中的地对空路径雨衰预测方法计算雨衰统计数据。

对于所研究的路径和频率，采用下述步骤进行雨衰与发生概率之比的对数正态拟合：

第 A1步：确定 P^{rain} （时间%），该路径的降雨概率。可将 P^{rain} 非常近似地估算为ITU-R P.837建议书中推导出的 $P_0(Lat, Lon)$ 。

第 A2步：构建对集合 $[P_i, A_i]$ ，其中 P_i （时间%）是超出衰减 A_i (dB)的概率，其中 $P_i \leq P^{rain}$ 。应考虑所研究的概率范围确定 P_i 的具体值；然而，提议的一个时间百分比集合是0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1, 2, 3, 5和10，其限制条件为 $P_i \leq P_k^{rain}$ 。

第 A3步：将对集合 $[P_i, A_i]$ 转换为 $\left[Q^{-1}\left(\frac{P_i}{100}\right), \ln A_i \right]$ ，

其中：

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1)$$

第 A4步：通过对所有 i 执行 $\ln A_i = \sigma_{\ln A_i} Q^{-1}\left(\frac{P_i}{100}\right) + m_{\ln A_i}$ 的最小平方差拟合，确定变量 $m_{\ln A_i}$ 和 $\sigma_{\ln A_i}$ 。“运用逐步计算程序，通过ITU-R P.1057建议书中描述的对数正态补充累积分布估算补充累积分布”，从而确定最小平方差拟合。

B 低通滤波器的函数

第 B1步：参数 $\beta = 2 \times 10^{-4} \text{ (s}^{-1}\text{)}$

C 衰减偏移

第 C1步：衰减偏移 A_{offset} (dB)的值用以下公式式计算：

$$A_{offset} = e^{m + \sigma Q^{-1}\left(\frac{P^{rain}}{100}\right)} \quad (2)$$

D 时间系列合成

按下述步骤合成时间系列 $A_{rain}(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ ：

第 D1步：合成高斯白噪声时间系列， $n(kT_s)$ ，其中 $k = 1, 2, 3, \dots$ ，零均值，单位方差，采样周期 T_s 为1s。

第 D2步：设 $X(0) = 0$

第 D3步：用以下公式式定义的递归低通滤波器过滤噪声时间系列 $n(kT_s)$ ：

$$X(kT_s) = \rho \times X((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho^2} \times n(kT_s) \quad \text{对于 } k = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

其中：
$$\rho = e^{-\beta T_s} \quad (4)$$

第 D4步：用以下公式计算 $Y_{rain}(kT_s)$ ，对于 $k = 1, 2, 3, \dots$ ：

$$Y_{rain}(kT_s) = e^{m + \sigma X(kT_s)} \quad (5)$$

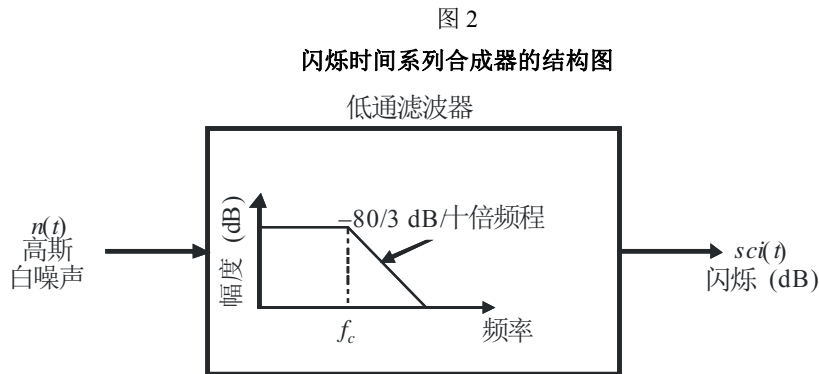
第 D5步：用以下公式计算 $A_{rain}(kT_s)$ (dB)，对于 $k = 1, 2, 3, \dots$ ：

$$A_{rain}(kT_s) = \text{Maximum}[Y(kT_s) - A_{offset}, 0] \quad (6)$$

第 D6步：放弃此合成时间系列的前200 000个样值（对应滤波器过渡部分）。如连续几个样值在0 dB以上，则代表出现雨衰事件。

3 闪烁时间系列合成方法

如图2所示，通过过滤高斯白噪声 $n(t)$ 可生成闪烁时间系列 $sci(t)$ ，这样已过滤的时间系列的渐进功率谱就具有了一个 $f^{-8/3}$ 滚降及频率值为0.1 Hz的截止频率 f_c 。请注意闪烁的标准偏差随着雨衰的增加而增加。



4 累积云液态含水量时间系列合成方法

4.1 概述

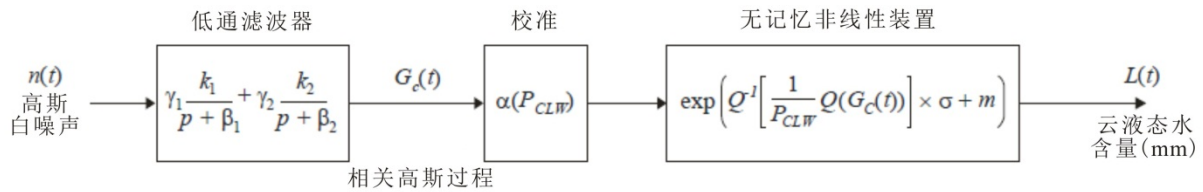
按照ITU-R P.840建议书中的建议，时间系列合成方法将长期累积液态含水量（ILWC）统计数据近似为一种对数正态分布。

时间系列合成方法生成了复制云液体含量事件的频谱特征、变化率及持续时间统计数据的一个时间系列。

如图3所示，液体含量时间系列 $L(t)$ 从离散高斯白噪声过程 $n(t)$ 中合成得到，对高斯白噪声进行低通滤波，将其截短使其与期望的云出现概率相匹配，然后以无记忆非线性方式将其从截短正态分布变换为条件对数正态分布。

图3

云ILWC时间系列合成器的结构图



P.1853-03

用八个参数对时间系列合成器进行界定：

- m : 对数正态雨衰分布的平均值
- σ : 对数正态雨衰分布的标准偏差
- P_{CLW} : 云出现的概率
- α : 相关高斯过程的截短门限
- β_1 : 描述过程快速分量的时间动态的参数 (s^{-1})
- β_2 : 描述过程慢速分量的时间动态的参数 (s^{-1})
- γ_1 : 描述过程快速分量权重的参数
- γ_2 : 描述过程慢速分量权重的参数

4.2 逐步计算方法

使用下述逐步计算方法合成云液态含水量时间系列 $L(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$, 其中 T_s 是各样本间的时间间隔, k 是各样本的指数。

A m , σ 和 P_{CLW} 的估算

对数正态分布的参数平均值 m 、标准偏差 σ 和液态水概率 P_{CLW} 可以从ITU-R P.840建议书以地图的形式获得。

对于所研究的位置, 采用下述步骤确定条件对数正态参数:

第A1步: 确定ITU-R P.840建议书所提供数字地图中四个最近网格点上的参数 $m_1, m_2, m_3, m_4, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, P_{CLW1}, P_{CLW2}, P_{CLW3}$ 和 P_{CLW4} 。

第A2步: 按照ITU-R P.1144建议书的描述, 通过对各参数在四个网格点上的四个数值进行双线性内插, 确定所研究位置上参数 m 、 σ 和 P_{CLW} 的数值。

B 低通滤波器参数

第B1步: 参数 $\beta_1 = 7.17 \times 10^{-4} (s^{-1})$ 。

第B2步: 参数 $\beta_2 = 2.01 \times 10^{-5} (s^{-1})$ 。

第B3步: 参数 $\gamma_1 = 0.349$ 。

第B4步: 参数 $\gamma_2 = 0.830$ 。

C 截短门限

第C1步：用以下公式计算截短门限 α ：

$$\alpha = Q^{-1}(P_{CLW}) \quad (7)$$

其中， Q 函数的定义见第2.2.A节，且记录在ITU-R P.1057建议书中。

D 时间系列合成

按下述步骤合成时间系列 $L(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ ：

第D1步：合成高斯白噪声时间系列 $n(kT_s)$ ，其中 $k = 1, 2, 3, \dots$ ，零均值，单位方差，采样周期 T_s 为1s。

第D2步：设 $X_1(0) = 0$ ； $X_2(0) = 0$

第D3步：用以下公式定义的两个递归低通滤波器过滤噪声时间系列 $n(kT_s)$ ：

$$\begin{cases} X_1(kT_s) = \rho_1 \times X_1((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho_1^2} \times n(kT_s) \\ X_2(kT_s) = \rho_2 \times X_2((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho_2^2} \times n(kT_s) \end{cases} \quad \text{对于 } k = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

其中：

$$\begin{cases} \rho_1 = e^{-\beta_1 T_s} \\ \rho_2 = e^{-\beta_2 T_s} \end{cases} \quad (9)$$

第D4步：用以下公式计算 $G_c(kT_s)$ ，对于 $k = 1, 2, 3, \dots$ ：

$$G_c(kT_s) = \gamma_1 \times X_1(kT_s) + \gamma_2 \times X_2(kT_s) \quad (10)$$

第D5步：用以下公式计算 $L(kT_s)$ (dB)，对于 $k = 1, 2, 3, \dots$ ：

$$L(kT_s) = \begin{cases} \exp\left(Q^{-1}\left[\frac{1}{P_{CLW}} Q(G_c(kT_s))\right] \times \sigma + m\right) & \text{对于 } G_c(kT_s) > \alpha \\ 0 & \text{对于 } G_c(kT_s) \leq \alpha \end{cases} \quad (11)$$

第D6步：丢弃此合成时间系列的前500 000个样本（对应滤波器过渡部分）。如连续几个样值在0 dB以上，则代表出现云事件。

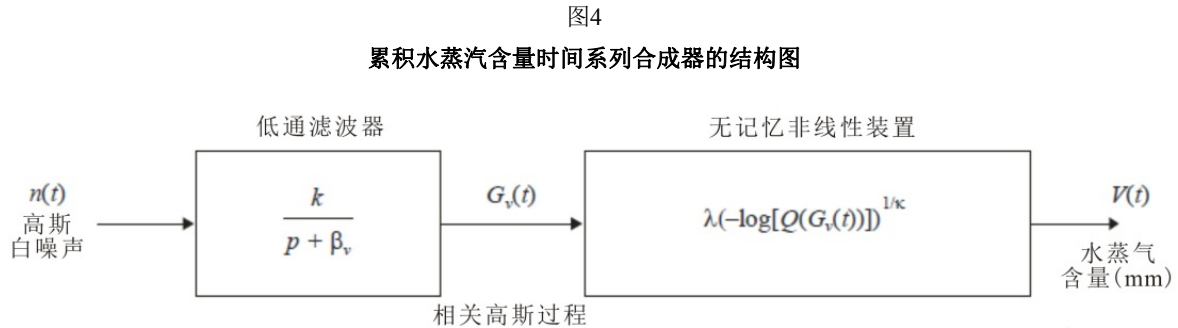
5 累积水蒸汽含量时间系列合成方法

5.1 概述

时间系列合成方法假设累积水蒸汽含量（IWVC）的长期统计数据是一种威布尔分布，而ITU-R P.836建议书中预测的ITU-R IWVC分布并不完全是威布尔分布，在超越比例的最显著范围内，可以运用威布尔分布非常近似地计算这些IWVC分布。

时间系列合成方法生成了复制水蒸汽含量的频谱特征和分布的一个时间系列。

如图4所示，水蒸汽含量时间系列 $V(t)$ 从离散高斯白噪声过程 $n(t)$ 合成得到，对高斯白噪声进行低通滤波，以无记忆非线性方式将其从正态分布转变为威布尔分布。



P.1853-04

用三个参数对时间系列合成器进行界定：

- κ: 威布尔IWVC分布的参数
- λ: 威布尔IWVC分布的参数
- β_v: 描述时间动态的参数 (s⁻¹)

5.2 逐步计算方法

使用下述逐步计算方法合成IWVC时间系列 $V(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$, 其中 T_s 是各样本间的时间间隔, k 是代表各样本的指数。

A κ和λ的估算

参数κ和λ由IWVC的累积分布与出现概率之比确定, 可根据当地实测数据计算IWVC统计数据, 如没有实测数据, 可使用ITU-R P.836建议书中的IWVC预测方法。

对于所研究的位置, 采用下述步骤进行IWVC与出现概率之比的威布尔拟合:

第A1步: 构建对集合 $[P_i, A_i]$, 其中 P_i (时间%) 是超出IWVC V_i (mm)的概率, 确定 P_i 的具体值应考虑所研究的概率范围; 然而, 提议的一个时间百分比集合是百分之0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30和50。

第A2步: 将对集合 $[P_i, V_i]$ 转换为 $[\ln(-\ln P_i), \ln V_i]$ 。

第A3步: 对线性函数执行最小平方拟合确定中间变量 a 和 b :

$$\ln(-\ln P_i) = a \ln V_i + b \tag{12}$$

用以下公式计算：

$$\left\{ \begin{array}{l} a = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln V_i \ln(-\ln P_i) - \sum_{i=1}^n \ln V_i \sum_{i=1}^n \ln(-\ln P_i)}{n \sum_{i=1}^n [\ln V_i]^2 - \left[\sum_{i=1}^n \ln V_i \right]^2} \\ b = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(-\ln P_i) - a \sum_{i=1}^n \ln V_i}{n} \end{array} \right. \quad (13)$$

第A4步：用以下公式计算参数 κ 和 λ ：

$$\left\{ \begin{array}{l} \kappa = a \\ \lambda = \exp\left(-\frac{b}{a}\right) \end{array} \right. \quad (14)$$

B 低通滤波器参数

第B1步：参数 $\beta_V = 3.24 \times 10^{-6} \text{ (s}^{-1}\text{)}$ 。

C 时间系列合成

按下述步骤合成时间系列 $V(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ ：

第C1步：合成高斯白噪声时间系列 $n(kT_s)$ ，其中 $k = 1, 2, 3, \dots$ 零均值，单位方差，采样周期 T_s 为1s。

第C2步：设 $G_V(0) = 0$ 。

第C3步：用以下公式定义的递归低通滤波器过滤噪声时间系列 $n(kT_s)$ ：

$$G_V(kT_s) = \rho \times G_V((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho^2} \times n(kT_s) \quad \text{对于 } k = 1, 2, 3, \dots \quad (15)$$

其中：
$$\rho = e^{-\beta_V T_s} \quad (16)$$

第C4步：用以下公式计算 $V(kT_s)$ ，对于 $k = 1, 2, 3, \dots$ ：

$$V(kT_s) = \lambda(-\log[Q(G_V(kT_s))])^{1/\kappa} \quad (17)$$

其中 Q 函数的定义见第2.2.A，且记录在ITU-R P.1057建议书中。

第C5步：丢弃此合成时间系列的前5 000 000个样本（对应滤波器过渡部分）。

6 用于地对空路径的总的衰减和闪烁时间系列合成方法

6.1 概述

采用图5所示的方案以及以上章节中描述的方法生成一个总的衰减和闪烁时间系列，云和雨之间适当的相关性已经被引入，这个相关系数连同链路上有云的概率比有雨的概率要高的事实，确保了云总是在降雨事件期间形成。

6.2 逐步计算方法

使用下述逐步计算方法合成衰减时间系列 $A(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$, 其中 T_s 是各样本间的时间间隔, k 是各样本的指数。

A 相关系数

第A1步: 参数 $C_{RC} = 1$ 。

第A2步: 参数 $C_{CV} = 0.8$ 。

B 闪烁多项式

第B1步: 闪烁衰落和增强多项式定义为:

$$\begin{aligned} a_{Fade}(P) &= -0.061 \times (\log_{10}(P))^3 + 0.072 \times (\log_{10}(P))^2 - 1.71 \times \log_{10}(P) + 3.0 \\ a_{Enhanc}(P) &= -0.0597 \times (\log_{10}(P))^3 - 0.0835 \times (\log_{10}(P))^2 - 1.258 \times \log_{10}(P) + 2.672 \end{aligned} \quad (18)$$

C 时间系列合成

按下述步骤合成时间系列 $A(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$:

第C1步: 合成高斯白噪声时间系列 $n_R(kT_s)$, 其中 $k = 1, 2, 3, \dots$, 零均值, 单位方差, 采样周期 T_s 为1s。

第C2步: 合成高斯白噪声时间系列 $n_{L0}(kT_s)$, 其中 $k = 1, 2, 3, \dots$, 零均值, 单位方差, 采样周期 T_s 为1s。

第C3步: 合成高斯白噪声时间系列 $n_{V0}(kT_s)$, 其中 $k = 1, 2, 3, \dots$, 零均值, 单位方差, 采样周期 T_s 为1s。

第C4步: 用以下公式合成高斯白噪声时间系列 $n_L(kT_s)$, 其中 $k = 1, 2, 3, \dots$:

$$n_L(kT_s) = C_{RC} \times n_R(kT_s) + \sqrt{1 - C_{RC}^2} \times n_{L0}(kT_s) \quad (19)$$

第C5步: 用以下公式合成高斯白噪声时间系列 $n_V(kT_s)$, 其中 $k = 1, 2, 3, \dots$:

$$n_V(kT_s) = C_{CV} \times n_L(kT_s) + \sqrt{1 - C_{CV}^2} \times n_{V0}(kT_s) \quad (20)$$

第C6步: 按照本建议书第2节中推荐的程序, 从高斯噪声时间系列 $n_R(kT_s)$ 开始计算雨衰时间系列 $A(kT_s)$, 并用丢弃合成时间系列的前5 000 000个样本代替第2节的第D6步。

第C7步: 按照本建议书第4节中推荐的程序, 从高斯噪声时间系列 $n_L(kT_s)$ 开始计算云累积液态含水量时间系列 $L(kT_s)$, 并用丢弃合成时间系列的前5 000 000个样本代替第4节的第D6步。

第C8步: 按照ITU-R P.840建议书中推荐的方法, 将云累积液态含水量时间系列 $L(kT_s)$ 转换为云衰减时间系列 $A_C(kT_s)$ 。

第 C9 步：当下列两个条件同时得到满足时，确定时间戳 $k_1T_s, k_2T_s, k_3T_s, \dots$ ：

$$\begin{aligned} 1 - A_R(kT_s) &> 0 \\ 2 - L(kT_s) &> 1 \end{aligned} \quad (21)$$

第 C10 步：丢弃与第 C8 步确定的时间戳 $k_1T_s, k_2T_s, k_3T_s, \dots$ 相对应的 $A_C(kT_s)$ 的计算值，根据线性内插值与保留的云衰减数值起始时间之比，为这些时间戳计算替代的 $A_C(kT_s)$ 。

第 C11 步：按照本建议书第 5 节中推荐的程序，从高斯噪声时间系列 $n_V(kT_s)$ 开始计算累积水蒸汽含量时间系列 $V(kT_s)$ 。

第 C12 步：按照 ITU-R P.676 建议书中推荐的倾斜路径水蒸汽衰减近似评估法（附件 2 的第 2.3 节），将累积水蒸汽含量时间系列 $V(kT_s)$ 转换为水蒸汽衰减时间系列 $A_V(kT_s)$ 。

第 C13 步：对于所研究的位置，如果可获得实验数值，就使用实验数值计算年平均温度 T_m ，否则可使用 ITU-R P.1510 建议书中提供的方法预测 T_m 。

第 C14 步：按照 ITU-R P.676 建议书中推荐的方法，将年平均温度 T_m 转换为年平均氧衰减 A_O 。

第 C15 步：按照本建议书第 3 节中推荐的方法，合成单位方差闪烁时间系列 $Sci_0(kT_s)$ 。

第 C16 步：为了区分闪烁衰落和增强，计算校正系数时间系列 $C_x(kT_s)$ ：

$$C_x(kT_s) = \begin{cases} \frac{a_{Fade}(100 \times Q[Sci_0(KTs)])}{a_{Enhanc}(100 \times Q[Sci_0(KTs)])} & \text{for } Sci_0(KTs) > 0 \\ 1 & \text{for } Sci_0(KTs) \leq 0 \end{cases} \quad (22)$$

其中 Q 函数的定义见 2.2 节 A，且记录在 ITU-R P.1057 建议书中。

第 C17 步：用以下公式将累积水蒸汽含量时间系列 $V(kT_s)$ 转换为伽玛分布时间系列 $Z(kT_s)$ ：

$$Z(kTs) = Gam^{-1} \left[1 - \exp \left(- \left(\frac{V(kTs)}{\lambda} \right)^\kappa \right), 10, \frac{1}{10} \right] \quad (23)$$

其中 κ 和 λ 是累积水蒸汽含量威布尔分布参数，函数 Gam 是 ITU-R P.1057 建议书中记录的伽玛补充分布函数，其定义为：

$$Gam(x, k, \vartheta) = \int_x^\infty \frac{t^{k-1} \exp(-t/\vartheta)}{\Gamma(k)\vartheta^k} dt \quad (24)$$

第C18步：按ITU-R P.618建议书中推荐的方法计算闪烁标准偏差 σ 。

第C19步：用以下公式计算闪烁时间系列 $Sci(kT_s)$ ：

$$Sci(kT_s) = \begin{cases} \sigma \times Sci_0(kT_s) \times C_x(kT_s) \times Z(kT_s) \times [A_R(kT_s)]^{\frac{5}{12}} & \text{对于 } A_R(kT_s) > 1 \\ \sigma \times Sci_0(kT_s) \times C_x(kT_s) \times Z(kT_s) & \text{对于 } A_R(kT_s) \leq 1 \end{cases} \quad (25)$$

第C20步：用以下公式计算总的对流层衰减时间系列 $A(kT_s)$ ：

$$A(kT_s) = A_R(kT_s) + A_C(kT_s) + A_V(kT_s) + A_O + Sci(kT_s) \quad (26)$$
