|  |  |
| --- | --- |
| **无线电通信全会（RA-15） 2015年10月26-30日，日内瓦** |  |
| **国 际 电 信 联 盟** |  |
|  |  |
| 来源： 3/92(Rev.1)号文件  事由： ITU-R 201-5/3号课题 | **文件 3/1005-C** |
| **2015年9月7日** |
|  |
| 无线电通信第3研究组 | |
| ITU-R P.834-6建议书修订草案 | |
| 对流层折射对无线电波传播的影响 | |
|  | |

引言

ITU-R第3研究组建议修订有关预测有效路径长度的ITU-R [P.834-6](http://www.itu.int/rec/R-REC-P.834/en)建议书，该路径长度也定义为地空路径上的对流层过剩路径长度。

变更摘要

在附件1第6章中，标题“有效路径长度”改为“过剩路径长度”，以便与建议书的案文保持一致，该章中还有一些编辑性修改。

第7页至第8页的公式（2）中提供的模型进行了更新，以包括：

– 新的折射系数（k2）；

– 分开的映射函数；

– 从干分量更正为流体静力学分量；

– 纠正公式（23e）中的重力常数；

– 将模型参数作为建议书的一个部分包括在内；

– 定义水平和高度上的插值程序。

关键词

对流层过剩路径长度、地空链路、GNSS、数值天气产品、数字地图。

ITU-R P.834-6建议书修订草案

对流层折射对无线电波传播的影响

（ITU-R第201/3号课题）

（1992-1994-1997-1999-2003-2005-2007年）

...

**附件1**

...

# 6 过剩无线电路径长度和它的变化

因为对流层折射指数大于1并随高度变化而变化，在地面和卫星之间传播的波的无线电路径长度超过其几何路径长度。长度之差可以由如下积分求得：

 (15)

其中：

*s*： 路径长度

*n*： 折射指数

*A*和*B*： 路径端点。

只要知道了折射指数*n*沿路径的变化就可以使用公式(15)。

当已知地平面上的温度*T*、大气压力*P*和相对温度*H*时，可以用下面所说明的半经验方法来计算路径长度的增加量*L*。这一方法是利用1979年在500个气象站上一年的工作所得到的大气无线电测高分布图得出的。在这一方法中，路径长度增量*L*的通用表达式如下：

 (16)

其中：

0： 观察点的仰角

*LV*： 垂直路径长度增量

*k*和 (0, *LV*)： 用指数大气模型计算中的修正项。

*k*因子考虑了仰角沿路径的变化。 (0, *LV*)项表示折射的效应（路径不是直线）。除了仰角很小的情况以外，这一项的数值总是很小的，在计算时可以忽略不计。当0角为10时，误差仅3.5 cm；而0角为45时，误差仅0.1 mm。此外，可能还要提请注意的是仰角很低时，项是不能忽略不计的，平面分层大气的假设不再成立。平面分层大气的假设是所有计算路径长度增量的方法的基础。

垂直路径长度增量（m）由下式求出：

*LV*  0.00227 *P*  *f* (*T*) *H* (17)

公式(17)右半部的第一项中的*P*是观察点处的大气压力（hPa）。

在经验公式第2项中的*H*是相对湿度（%）。温度的函数*f*(*T*)取决于地理位置。它可由下式求出：

*f* (*T*)  *a* 10*bT* (18)

其中：

*T*的单位是C

*a*的单位是m/相对湿度的%

*b*的单位是C–1。

表2按地理位置给出了参数*a*和*b*的值。

表2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地理位置 | *a* (m/%) | *b* (C–1) |
| 海滨区域（岛屿或离海岸线不到10 km的地区） | 5.5  10–4 | 2.91  10–2 |
| 非海滨赤道附近地区 | 6.5  10–4 | 2.73  10–2 |
| 所有其他地区 | 7.3  10–4 | 2.35  10–2 |

为了计算公式（16）中的修正因子*k*，假设大气折射率*N*随高度*h*的变化呈指数变化，如下式表示：

*N*(*h*)  *Ns* exp (– *h* / *h*0) (19)

其中*Ns*是地球表面处折射率的平均值（见ITU-R P.453建议书），而*h*0可由下式求出：

 (20)

则*k*可以按下式计算出来：

 (21)

其中*ns*和*n*(*h*0)分别为在地球表面处和在高度*h*0（由公式(20)求得）处的折射指数的值。  
*rs*和*r*(*h*0)分别表示它们离地球中心的相应距离。

对于仰角θ的地空路径而言，对流层的过剩路径长度*L*(**)（m）可以表示为流体静力学分量和湿分量（*LH*(**)和*LW*(**)）之和。

垂直路径上过剩路径长度*LHv*和*LWv*可采用流体静力学和湿分量的两个独立映射函数*mH*()和*mW*()投影到大于3°的仰角上：

  m (22)

地表的流体静力学垂直分量*LHvs*可采用下式获得：

 m (22a)

地表的湿垂直分量*LWvs*可采用下式获得：

 m (22b)

其中：

*ps*, *es*： 地球表面处空气总压力和水蒸气局部压力（hPa）

*Tms*： 地球表面上水蒸气柱的平均温度（K）

λ： 水蒸气压力减小因子

*Rd*： *R*/*Md* = 287.0 (J/kg K)

*R*： 气体摩尔常数 = 8.314 (J/mol K)

*Md*： 干燥空气摩尔质量 = 28.9644 (g/mol)

*k*1 = 77.604 (K/hPa)

*k*2 = 373 900 (K2/hPa)

gms= gm(hs)

*gm*(*h*)=9.784 ⋅ (1 – 0.00266 ⋅ cos (2 ⋅ lat) – 0.00028 ⋅ *h*)

= 高度*h*的空气中心的重力加速度 (m/s2)

*lat*： 该地点的纬度（弧度）

*hs*： 平均海拔高度（平均海拔km）。

对位于高度*h* (km)（它和地球表面高度*hs*不同）的接收机而言，流体静力学和湿垂直分量*LHv*(*h*)和*LWv*(*h*)由下式给定：

 m (23a)

 m (23b)

其中：

可以根据地表面的数值（*Tms*、*es*和*ps*）用如下公式推导出高度*h*、*Tm*(*h*)、*e*(*h*)和*p*(*h*)的输入气象参数的值：



                K (24a)

                hPa (24b)

                hPa (24c)

其中：

α*m*： 水蒸气距离地表平均温度的下降率（K/km）。

*T*s = 地表空气温度(K) = 

α = 空气温度的下降率(K/km)



 = *Rd* /1000 = 0.287                J/(g K)

*g* = 地表的重力加速度[m/s2] =



只要假设气象参数可用季节性起伏来表征，就可以导出该模型的所有输入参数*ps*、*es*、*Tms*、λ和α*m*。

 (25)

其中：

*Xi*： *ps*、*es*、*Tms*、λ或α*m*指数*i*, 1表示*ps*, 2表示*es*, 3表示*Tms*, 4表示*,* 5表示α*m*

*a*1*i*： 该参数的平均值

*a*2*i*： 该参数的季节性起伏

*a*3*i*： 该参数的最小值的日子

*Dy*：一年中的日子（1、2、 ... 365.25），  
1 = 1月1日，32 = 2月1日，60.25 = 3月1日。

参数*ps*、*es*、*Tms*、λ和α*m*的系数*a*1、*a*2和*a*3以及计算这些系数的参考水准面的高度*href*是本建议的一个组成部分，可在R-RECP.834-7-201504-I!!ZIP-E文件提供的数字地图形式中获取。

数据中经度范围为0°至360°，纬度范围为+90°至–90°，经纬度分辨率为1.5°。任意所需地点以及地表以上任意高度*h*的过剩路径长度可用以下方法获得：

a) 从地图上四个最接近所需位置的格栅点处确定*ps*、*es*、*Tms*、λ和α*m*五个参数的系数*a*1i、*a*2i和*a*3i以及基准高度*href*。

b) 采用公式25及各个格栅点的系数*a*1i、*a*2i和*a*3i，计算某年某天*D*y，高度为*href*时四个最接近格栅点、、和的五个参数*ps*、*es*、*Tms*、λ或α*m*的数值。

c) 采用公式24a、24b和24c及、、、和各个格栅点*href*的数值，计算高度为*h*时四个最接近格栅点的三个参数*p*(*h*)、*e*(*h*)和*Tm*(*h*)的数值。

d) 采用公式23a和23b及各个格栅点*p*(*h*)、*e*(*h*)和*Tm*(*h*)的数值，计算高度为*h*时四个最接近所需位置格栅点的*LHv*(*h*)和*LWv*(*h*)的数值。

e) 如ITU-R P.1144建议书所述，通过四个栅格点*LHv*(*h*)和*LWv*(*h*)四个数值的双线性内插值法，计算所需位置高度为*h*时*LHv*(*h*)和*LWv*(*h*)的数值。

e) 采用公式22，计算所需位置高度为*h*时对流层过剩路径长度*L*(*h,*)的数值。

用无线电探空仪、GNSS和放射性测量法对所建议的模型的精度进行了验证，以确定*L*vs。全世界范围内的不确定性在2 cm大6 cm之间。若需要更高的精度，可以使用当地同时测得的总压力和水蒸气压力的结果作为该模型的输入数据。

流体静力学和湿分量的映射函数*mh*(**)和*mw*(**) 由下式给定：

                 (26a)

                 (26b)

其中：



*b*h = 0.0029

*b*w = 0.00146

*c*w = 0.04391

  (26c)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **半球** | **c1** | **c10** | **c11** | *ψ* |
| 北半球 | 0.062 | 0.001 | 0.005 | 0 |
| 南半球 | 0.062 | 0.002 | 0.007 | π |

 (26d)

 (26e)

系数*A0h*、*A1h*、*A2h*、*B1h*、*B2h*、*A0w*、*A1w*、*A2w*、*B1w*和 *B2w*为本建议书的组成部分，可在“R-RECP.834-7-201504-I!!ZIP-E.ZIP”文件中以数字地图的格式获得。如ITU-R P.1144建议书所述，通过四个栅格点这些系数四个数值的双线性内插值法，计算所需位置参数*ah*和*aw*的数值。



对于地空链路仰角*θ*大于20°的情况，公式(26a)和(26b)给定的映射函数可通过下式近似得出：

                 (26f)

在应用该模型的过程中，建议在所有仰角上，一致地或者采用公式(26a)和(26b)，或者采用公式(26f)。



# 7 在大气波导层中传播

只要在一给定的高度和地点处折射率垂直梯度小于–157 N/km，就存在大气波导现象。

由于大气波导可能引起异常的无线电波传播，大气波导的存在是很重要的问题，特别是在地面链路上或仰角很低的地—空链路上更为重要。大气波导为频率足够高的无线电波信号传播到远远超过它们的正常的视距范围以外提供了一个传播机理，因而可能会造成与其他业务的潜在干扰（见ITU-R P.452建议书）。虽然大气波导不是在任何特定的路径上出现多径传播的必要条件和充分条件，但是它们在多径干扰的事件中也起了重要的作用（见ITU-R P.530建议书）。

## 7.1 仰角的影响

当发射天线位于水平分层的无线电大气波导内时，以很低仰角发出的射线可能会“陷入”到大气波导的边界以内。对于比较简单的情况，即有固定折射率梯度的表面大气波导上面“正常”折射率分布的情况，射线会陷入进去的临界仰角（弧度）可由下式求出：

 (27)

其中d*M*/d*h*是经修正的折射率的垂直梯度，而*h*是大气波导的厚度，即大气波导顶部高于发射天线的高度。

图2给出了射线会陷入进大气波导以内时相应的最大仰角。当折射率梯度在–157 N/km以下继续减小（即增加下降率）和大气波导厚度增加时，最大陷波角迅速增大。

## 7.2 最低陷波频率

存在大气波导，即使位置合适，也不一定意味着能量将以产生长距离传播的方式有效地耦合进大气波导内。除了要满足上面提到的最大仰角条件之外，无线电波的频率一定要高于一个临界值，此临界频率的数值由大气波导的物理深度和折射率分布所决定。当频率低于这一最低陷波频率时，越来越多的能量将穿过大气波导边界漏出去。

用相位积分法可以估计无线电波被陷入对流层大气波导内的最低频率。图3示出表面大气波导的最低陷波频率（实线），其中假定从地球表面延伸到一给定的高度范围内，折射指数梯度为常数（负值），在这一高度以上为标准剖面。对于地面系统所使用的频率（典型范围8-16 GHz），要求大气波导层最小厚度约为5-15 m。在这些情况下，最低陷波频率*fmin*与大气波导层厚度和折射指数梯度关系很大。

在高层大气波导情况下，即使在简单的线性折射率剖面分布情况下，还有一个附加的参数。这一参数与位于大气波导梯度以下的折射指数剖面分布的形状有关。图3中的虚线表示在标准折射率指数为– 40 N/km的表面层以上的恒定梯度大气波导层的最低陷波频率。

图2

在地球表面上恒定折射率梯度的表面大气波导的最大陷波角



对于其折射梯度仅稍大于产生大气波导效应所需要的最小值的大气层而言，实际上最低陷波频率会提高，高于等效表面大气波导情况下的数值。但是，对于大气波导梯度很强的情况下，对任何给定的频率，高层大气波导造成的陷波效应要求的大气波导层的厚度比等梯度的表面大气波导层的厚度要薄得多。

图3

在恒定折射梯度的大气无线电波导中的最低陷波频率



\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_