

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R P.836-5 建议书
(09/2013)

水蒸汽：地表密度和气柱总含容量

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
2014年，日内瓦

© ITU 2014

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.836-5建议书*

水蒸汽：地表密度和气柱总含容量

(ITU-R第201/3号课题)

(1992-1997-2001-2001-2009-2013年)

范围

本建议书提供了预测地-空通道上地表水汽密度和气柱水汽总含量的方法。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 计算折射效应和气体衰减需要有关大气中水汽密度的信息；
- b) 这一信息可用于地球上的所有地点和所有季节，

建议

如未掌握更准确的地方数据，附件1和2中的信息应用于需要估算地表水汽密度或气柱水汽总含量及其季节变化的全球传播效应计算。

附件**1 地表水汽密度**

大气水汽和氧气是造成不同毫米波长吸收的原因，在吸收线附近尤其如此（见 ITU-R P.676 建议书）。大气中的氧气浓度相对稳定；但水汽的浓度随地域和时间而有所变化。

平均每年 0.1、0.2、0.3、0.5、1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95 和 99%的时间超出的地表水汽密度的年度值 ρ (g/m^3) 为本建议书的组成部分，并以数字地图形式提供，见文件 [R-REC-P.836-5-201309-I!!ZIP-E](#)。

平均每月 1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95 和 99%的时间超出的地表水汽密度的月度值 ρ (g/m^3) 为本建议书的组成部分，并以数字地图形式提供，见文件 [R-REC-P.836-5-201309-I!!ZIP-E](#)。

* 无线电通信第3研究组于2015年4月根据ITU-R第1号决议对此建议书进行了编辑性修正。

数据是经度 0° 至 360° 以及纬度 $+90^\circ$ 至 -90° 的数据，经纬度的分辨率均为 1.125° 。地球表面所需位置的地表水汽密度可通过下列插值方法得出：

- 对年度统计数字，从0.1、0.2、0.3、0.5、1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95和99%一组中确定高于和低于所需概率 p 的两个概率 p_{above} 和 p_{below} ；对月度统计数字，从1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95和99%一组中确定；
- 对于两个概率 p_{above} 和 p_{below} ，确定最近的四个栅格点的地表水汽密度 ρ'_1 、 ρ'_2 、 ρ'_3 和 ρ'_4 ；
- 使用对应于概率 p_{above} 和 p_{below} 的年度或月度水汽标高数据文件，确定最近的四个栅格点每个概率 p_{above} 和 p_{below} 的水汽标高 $vsch_1$ 、 $vsch_2$ 、 $vsch_3$ 和 $vsch_4$ ；
- 利用ITU-R P.1511建议书确定最近的四个栅格点的海拔高度 alt_1 、 alt_2 、 alt_3 和 alt_4 ；
- 用下列关系式，通过水汽密度 ρ'_1 、 ρ'_2 、 ρ'_3 和 ρ'_4 换算，确定最近的四个栅格点中每个点和每个概率在所需高度 alt 的水汽密度 ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3 和 ρ_4 ：

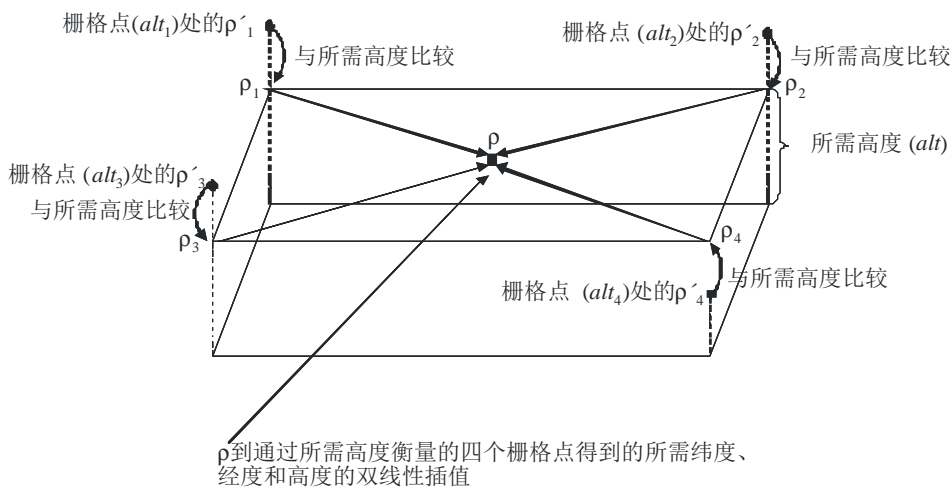
$$\text{对于 } i = 1, 2, 3, 4 \quad \rho_i = \rho'_i e^{-\frac{alt-alt_i}{vsch_i}} \quad (1)$$

- 通过四个栅格点的四个水汽密度值 ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3 和 ρ_4 的双线性插值确定所需位置概率 p_{above} 和 p_{below} 的水汽密度 ρ_{above} 和 ρ_{below} ，如ITU-R P.1144建议书所述（根据 ρ'_1 、 ρ'_2 、 ρ'_3 和 ρ'_4 确定 ρ_{above} 和 ρ_{below} 的程序见图1，供参考）；
- 通过线性 $p: \log p$ 换算中 $\rho_{above}: \rho_{below}$ 和 $p_{above}: p_{below}$ 与 p 的插值确定所需概率 p 时的水汽密度 ρ 。

ITU-R P.453 建议书中提供了水汽密度、水汽压和相对湿度的关系，供参考。

图 1

高于和低于所需概率的插值程序



附件2

1 水汽总含量

对于这些应用，沿路径的水汽总含量可用于超出路径长度计算和大气水汽造成的衰减，大气水汽造成的衰减假定通过具体的质量吸收系数与水汽总含量成比例。

水汽总含量单位 kg/m^2 ，或相对应地以降水量毫米表示，可通过无线电探空仪、导航卫星测量和辐射观测得到。无线电探空仪数据丰富，但时间分辨率有限，仅用于天顶路径。可通过沿所需路径适当频率的辐射测量得出水汽总含量。

一年中 0.1、0.2、0.3、0.5、1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95 和 99%的时间超出的气柱水汽总含量年度值 V (kg/m^2) 为本建议书的组成部分，并以数字地图形式提供。

平均每月 1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95 和 99%的时间超出的气柱水汽总含量月度值 V (kg/m^2) 为本建议书的组成部分，并以数字地图形式提供。

数据是经度 0° 至 360° 和纬度 $+90^\circ$ 至 -90° 的数据，经纬度的分辨率均为 1.125° 。地球表面所需位置的水汽总含量可通过下列插值方法得出：

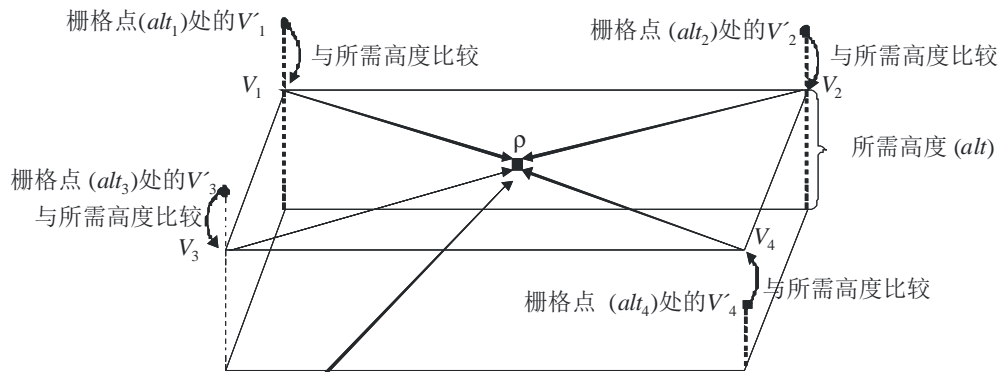
- a) 对年度统计数字，从0.1、0.2、0.3、0.5、1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95和99%一组中确定高于和低于所需概率 p 的两个概率 p_{above} 和 p_{below} ；对月度统计数字，从1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95和99%一组中确定；
- b) 对于两个概率 p_{above} 和 p_{below} ，确定最近的四个栅格点的气柱水汽总含量 V'_1 、 V'_2 、 V'_3 和 V'_4 ；
- c) 使用对应于概率 p_{above} 和 p_{below} 的年度或月度水汽标高，确定最近的四个栅格点每个概率 p_{above} 和 p_{below} 的水汽标高 $vsch_1$ 、 $vsch_2$ 、 $vsch_3$ 和 $vsch_4$ ；
- d) 利用ITU-R P.1511建议书确定最近的四个栅格点的海拔高度 alt_1 、 alt_2 、 alt_3 和 alt_4 ；
- e) 用下列关系式，通过气柱水汽总含量 V'_1 、 V'_2 、 V'_3 和 V'_4 换算，确定最近的四个栅格点中每个点和每个概率在所需高度 alt 的气柱水汽总含量 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 ：

$$\text{对于 } i = 1, 2, 3, 4 \quad V_i = V'_i e^{\frac{alt - alt_i}{vsch_i}} \quad (2)$$

- f) 通过四个栅格点的四个气柱水汽总含量值 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 的双线性插值确定在所需位置概率 p_{above} 和 p_{below} 时的气柱水汽总含量 V_{above} 和 V_{below} ，如ITU-R P.1144建议书所述（根据 V'_1 、 V'_2 、 V'_3 和 V'_4 确定 V_{above} 和 V_{below} 的程序见图2，供参考）；
- g) 通过线性 $V : \log p$ 换算中 $V_{above} : V_{below}$ 和 $p_{above} : p_{below}$ 与 p 的插值确定所需概率 p 时的气柱水汽总含量 V 。

图 2

概率高于和低于所需概率时的插值程序



V 到通过所需高度衡量的四个栅格点得到的所需纬度、经度和高度的双线性插值