

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R P.840-4 建议书
(10/2009)

云雾引起的衰减

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.840-4建议书

云雾引起的衰减

(ITU-R第201/3号课题)

(1992-1994-1997-1999-2009年)

范围

本建议书提供了预测地对空路径上云雾引起的衰减的方法。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 有必要向工程师提供10 GHz以上频率地对空无线电通信系统的设计指导；
- b) 云衰减可能是一个重要因素，对10 GHz以上微波系统或低可用度系统而言尤为如此；
- c) 为计算总衰减的时间序列和空-时预测方法，需提供层状云液态水总含量统计数据的解析表达式，

建议

- 1 附件1中给出的曲线、模型和地图应用于云雾衰减的计算；
- 2 根据需应用层状云液态水总含量统计数据的解析表达式的空-时信道模型要求，附件1中的信息应用于全球传播效应的计算。

附件1

1 引言

对完全由通常小于 0.01 cm 的小水滴组成的云或雾而言，瑞利近似计算对 200 GHz 以下频率适用，并可用每单位总含水量来表示衰减量。因此，特定的云或雾中的具体衰减量可表示为：

$$\gamma_c = K_l M \quad \text{dB/km} \quad (1)$$

其中：

γ_c : 云中比衰减量 (dB/km)

K_l : 比衰减系数 ((dB/km)/(g/m³))

M : 云或雾中的液态水密度 (g/m³)。

在约 100 GHz 或以上频率，雾衰减可能非常显著。对中等雾而言，雾中液态水密度通常为约 0.05 g/m³（能见度约为 300 m），浓雾则为 0.5 g/m³（能见度约为 50 m）。

2 比衰减系数

基于瑞利散射、将双德拜模型用于水的介电常数 $\epsilon(f)$ 的数学模型可用于计算 1000 GHz 以上频率 K_l 的值：

$$K_l = \frac{0.819f}{\epsilon''(1 + \eta^2)} \quad (\text{dB/km})/(\text{g/m}^3) \quad (2)$$

其中 f 是频率（GHz），以及：

$$\eta = \frac{2 + \epsilon'}{\epsilon''} \quad (3)$$

水的复介电常数可表示为：

$$\epsilon''(f) = \frac{f(\epsilon_0 - \epsilon_1)}{f_p [1 + (f/f_p)^2]} + \frac{f(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{f_s [1 + (f/f_s)^2]} \quad (4)$$

$$\epsilon'(f) = \frac{\epsilon_0 - \epsilon_1}{[1 + (f/f_p)^2]} + \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{[1 + (f/f_s)^2]} + \epsilon_2 \quad (5)$$

其中：

$$\epsilon_0 = 77.6 + 103.3 (\theta - 1) \quad (6)$$

$$\epsilon_1 = 5.48 \quad (7)$$

$$\epsilon_2 = 3.51 \quad (8)$$

$$\theta = 300 / T \quad (9)$$

其中 T 是温度（K）。

主要和次要弛豫频率（relaxation frequency）是：

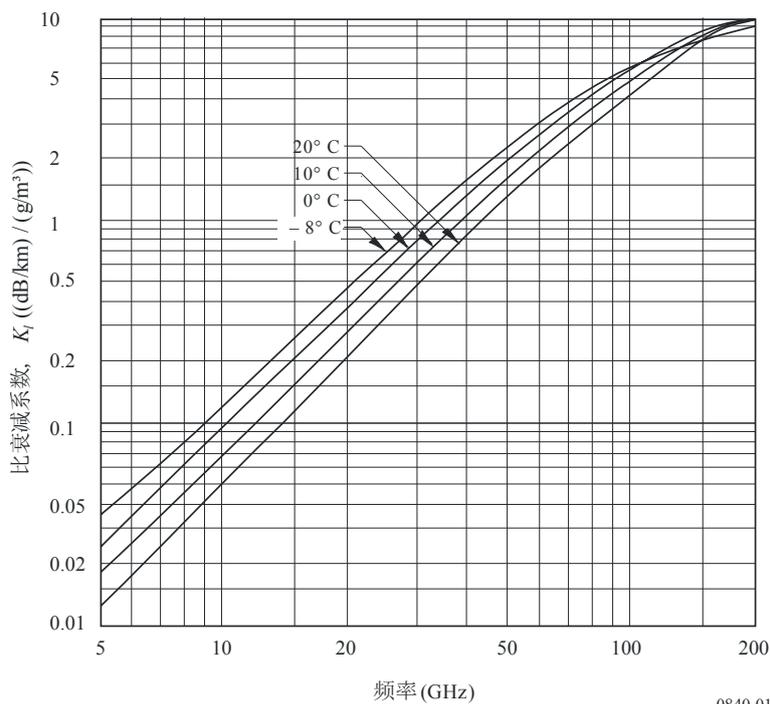
$$f_p = 20.09 - 142 (\theta - 1) + 294 (\theta - 1)^2 \quad \text{GHz} \quad (10)$$

$$f_s = 590 - 1500 (\theta - 1) \quad \text{GHz} \quad (11)$$

图 1 表示了频率介于 5 至 200 GHz 之间，温度介于 -8° C 和 20° C 之间的 K_l 的值。对于云衰减，应使用与 0° C 相对应的曲线。

图 1

作为频率的函数，水滴在不同温度引起的比衰减



3 云衰减

要得到给定概率的云衰减，层状云液态水总含量 L (kg/m²)或给定位置的降水毫米量必须是已知的，从而得出：

$$A = \frac{LK_l}{\sin \theta} \quad \text{dB} \quad \text{for } 90^\circ \geq \theta \geq 5^\circ \quad (12)$$

其中 θ 是仰角， K_l 可从图 1 中得出。请注意， K_l 与 ITU-R P.836 建议书方程 (1) 中介绍的质量系数系数 a_L 是相同的。

通过放射测量或无线电探空仪发射可得到层状云液态水总含量的统计数据。

4 层状云液态水总含量

层状云液态水总含量单位 kg/m²或以液态水毫米数表示，可通过无线电探空仪探测和放射性测量得出。无线电探空仪提供的数据丰富但时间分辨率有限，仅适用于天顶路径。层状云液态水总含量可通过沿所需路径适当频率上的放射性测量得出。

在平均每年 0.1、0.2、0.3、0.5、1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95 和 99% 的时间内超出的层状云液态水总含量年度值 L (kg/m^2) 可从无线电通信第 3 研究组网站数据文件 ESAWRED_xx_v4.TXT 的数字地图中读出, 其中 $xx = 01、02、03、05、1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95$ 和 99。这些数据是经度 0° 至 360° 和纬度 $+90^\circ$ 至 -90° 之间的数据, 纬度和经度的分辨率均为 1.125° 。这些数据将与包含数据文件 ESAWRED_xx_v4.TXT 相应条目 (栅格点) 纬度和经度的配套数据文件 ESALAT_1dot125.TXT 和 ESALON_1dot125.TXT 一同使用。地球表面所需位置的层状云液态水总含量可通过下列插值方法得出:

- 从 0.1、0.2、0.3、0.5、1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95 和 99% 数据组中确定高于和低于所需概率 p 的两个概率 p_{above} 和 p_{below} ;
- 确定最近的四个栅格点上两个概率 p_{above} 和 p_{below} 时气柱水汽总含量 $V_1、V_2、V_3$ 和 V_4 ;
- 通过 ITU-R P.1144 建议书中所述的四个栅格点上层状云液态水总含量的四个值 $L_1、L_2、L_3$ 和 L_4 的双线性插值确定两个概率 p_{above} 和 p_{below} 时的层状云液态水总含量 L_{above} 和 L_{below} ;
- 通过线性 $L: \log p$ 换算中 L_{above} 和 L_{below} : p_{above} 和 p_{below} 与 p 的插值确定所需概率 p 的气柱水汽总含量 L 。

注意, 在没有与给定的年度超出概率相对应的水汽总含量的值时, 层状云液态水总含量数字地图上标注符号 NaN (非数字)。

图 2、3、4、5、6 和 7 中提供了超出概率为 0.1、0.5、1、5、10 和 20% 的层状云液态水总含量等值线示例。

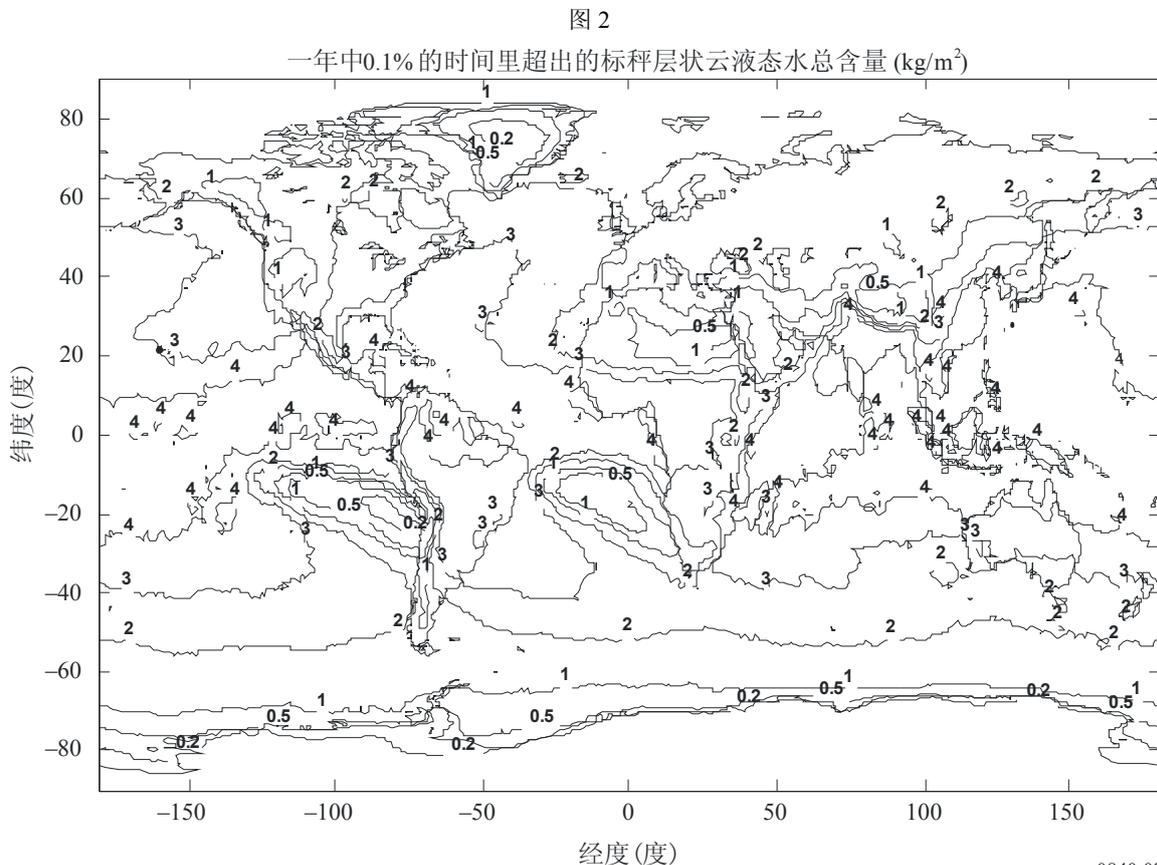
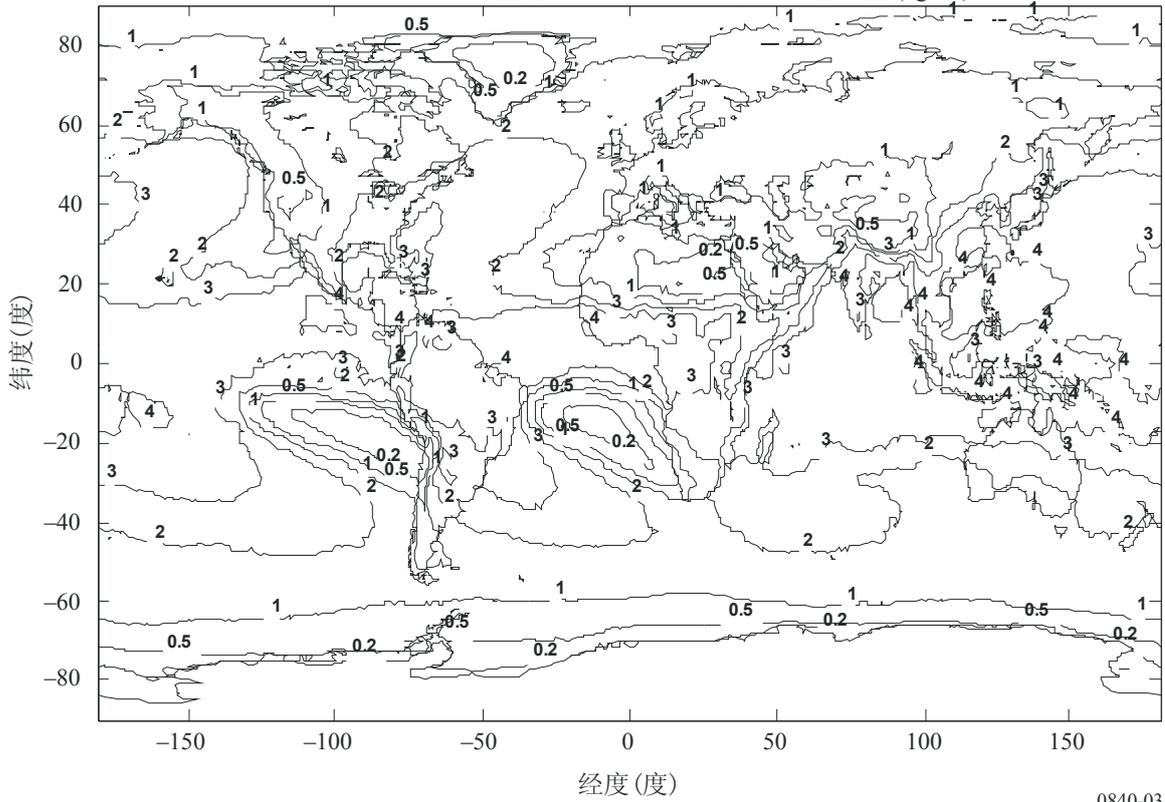


图 3

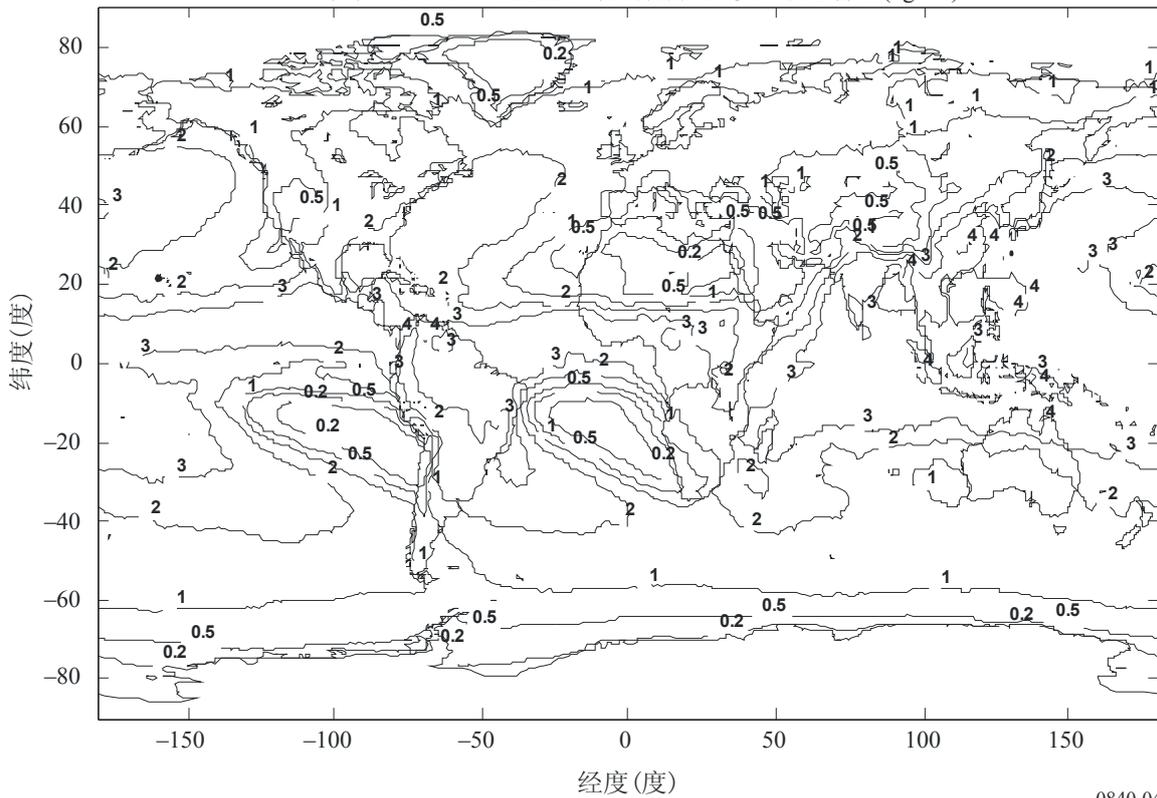
一年中0.5%的时间里超出的标称层状云液态水总含量 (kg/m^2)



0840-03

图 4

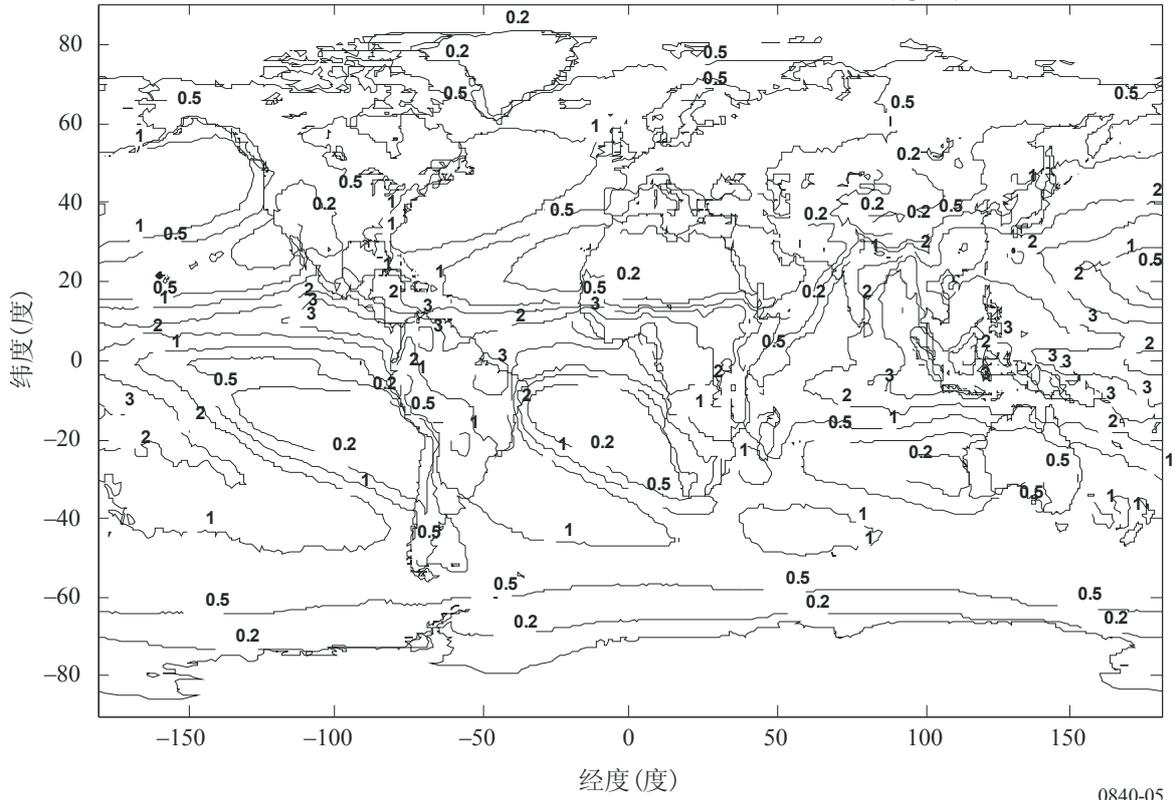
一年中1%的时间里超出的标称层状云液态水总含量 (kg/m^2)



0840-04

图 5

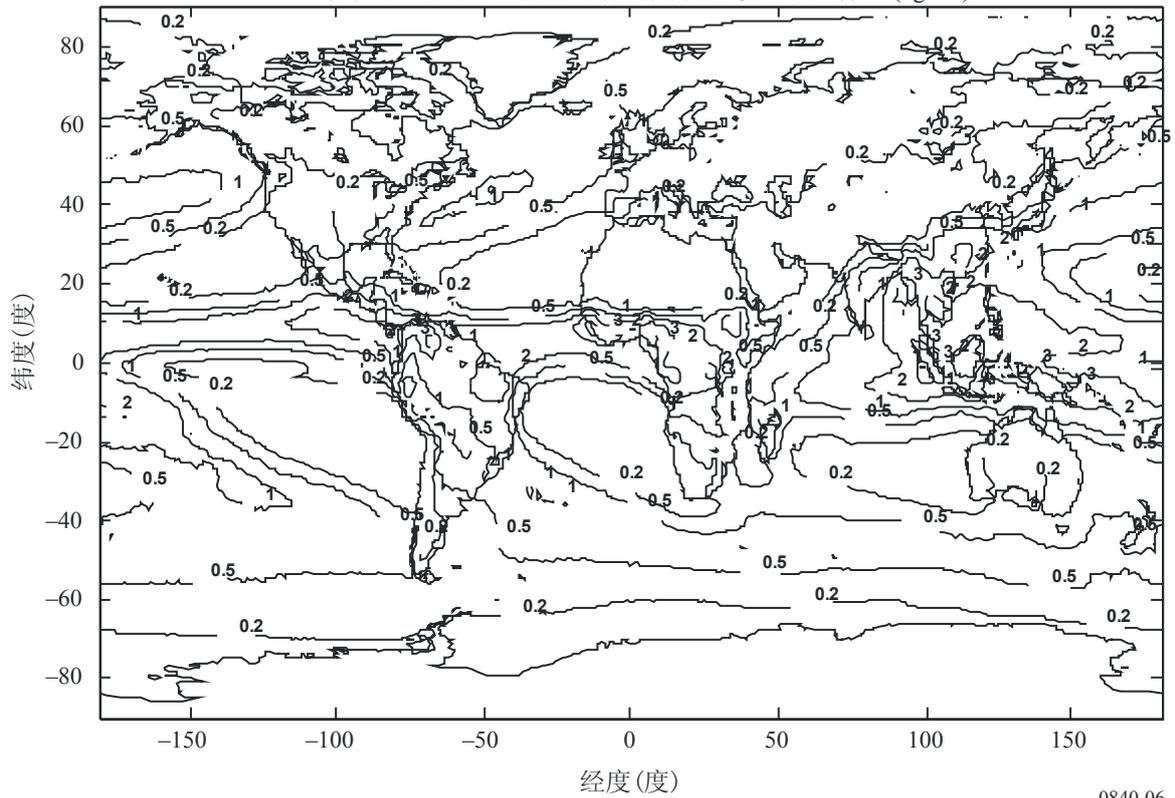
一年中5%的时间里超出的标称层状云液态水总含量(kg/m²)



0840-05

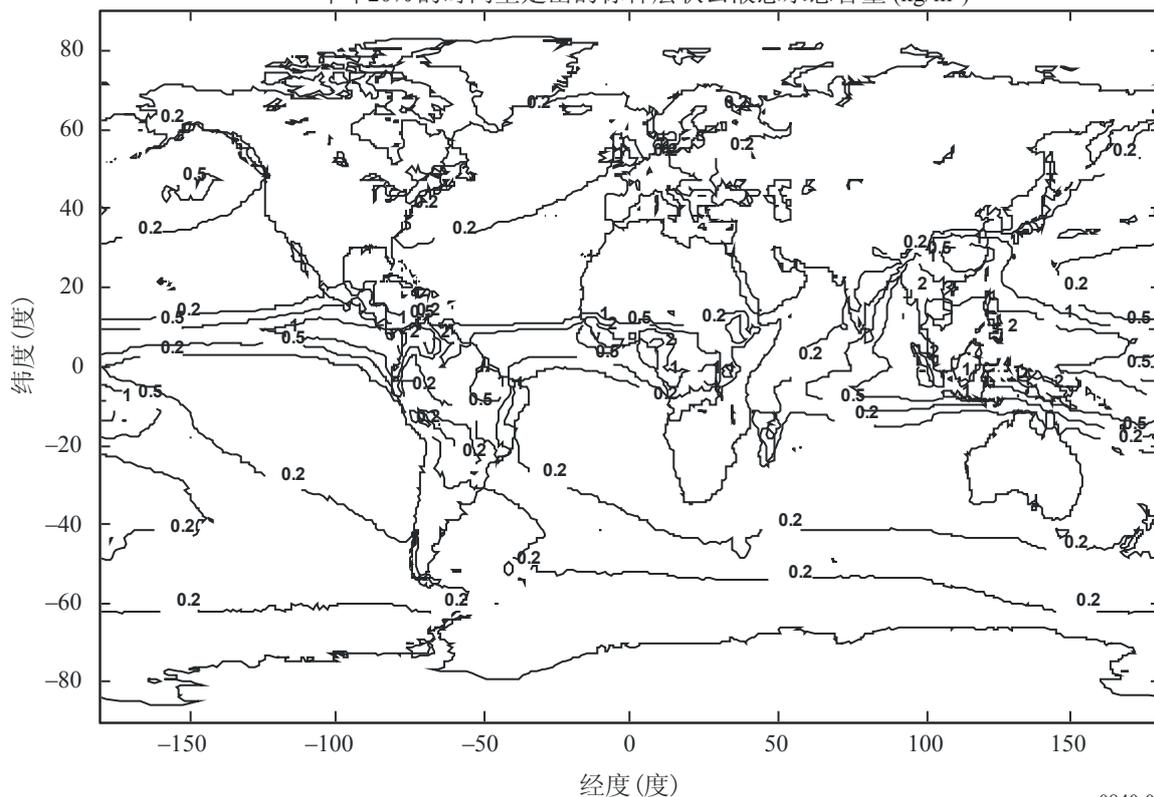
图 6

一年中10%的时间里超出的标称层状云液态水总含量(kg/m²)



0840-06

图 7

一年中20%的时间里走出的标称层状云液态水总含量 (kg/m³)

0840-07

5 层状云液态水总含量统计分布

层状云液态水总含量统计数据可通过对数正态分布进行近似计算。平均值 m 、标准差、 σ 、液态水概率 P_{chw} 和对数正态分布参数可从无线电通信第 3 研究组网站 WRED_LOGNORMAL_MEAN_v4.TXT、WRED_LOGNORMAL_STDEV_v4.TXT 和 WRED_LOGNORMAL_PCLW_v4.TXT 数据文件中读出。这些数据是经度 0° 至 360° 和纬度 +90° 至 -90° 之间的数据，经纬度的分辨率均为 1.125°。这一数据可与含有数据文件 WRED_LOGNORMAL_MEAN_v4.TXT、WRED_LOGNORMAL_STDEV_v4.TXT 和 WRED_LOGNORMAL_PCLW_v4.TXT 相应条目（栅格点）纬度和经度的配套数据文件 ESALAT_1dot125.TXT 和 ESALON_1dot125.TXT 同时使用。地球表面所需位置的层状云液态水总含量可通过下列插值方法得出：

- 确定最近的四个栅格点的参数 m_1 、 m_2 、 m_3 、 m_4 、 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 、 σ_4 、 P_{CLW1} 、 P_{CLW2} 、 P_{CLW3} 和 P_{CLW4} ；
- 从参数 m_1 、 m_2 、 m_3 、 m_4 、 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 、 σ_4 、 P_{CLW1} 、 P_{CLW2} 、 P_{CLW3} 和 P_{CLW4} 中确定最近的四个栅格点上所需概率 p 时的层状云液态水总含量 L_1 、 L_2 、 L_3 和 L_4 ，如下：

$$L_i = e^{m_i + \sigma_i Q^{-1}\left(\frac{P}{P_{CLWi}}\right)} \quad \text{for } i = 1, 2, 3, 4 \quad (13)$$

其中：

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (14)$$

- c) 通过ITU-R P.1144建议书中所述的四个栅格点层状云液态水总含量的四个值 L_1 、 L_2 、 L_3 和 L_4 的双线性插值确定所需位置的气柱水汽总含量。

注意，当没有与给定的年度超出概率对应的水汽总含量的值时，气柱水汽总含量的数字地图上标注符号NaN（非数字）。
