

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R P.836-4 建议书
(10/2009)

水蒸汽：地表密度和气柱总含容量

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.836-4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

1 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**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。

无线电通信第3研究组网站数据文件 SURF_WVxx_v4.TXT 中以数字地图的形式提供了平均每年 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)，其中 xx = 01、02、03、05、1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95 和 99。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° 。数据将与含有数据文件 SURF_WVxx_v4.TXT 相应条目（栅格点）经度和纬度的配套数据文件 ESALAT1dot125.TXT 和 ESALON1dot125.TXT 一起使用。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：

- a) 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} ;
- b) 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 ;
- c) 使用水汽标高数据文件VSCH_xx_v4.TXT（其中xx对应概率 p_{above} 和 p_{below} ）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 :

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

- f) 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）;
- g) 通过线性 $\rho: \log p$ 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 。

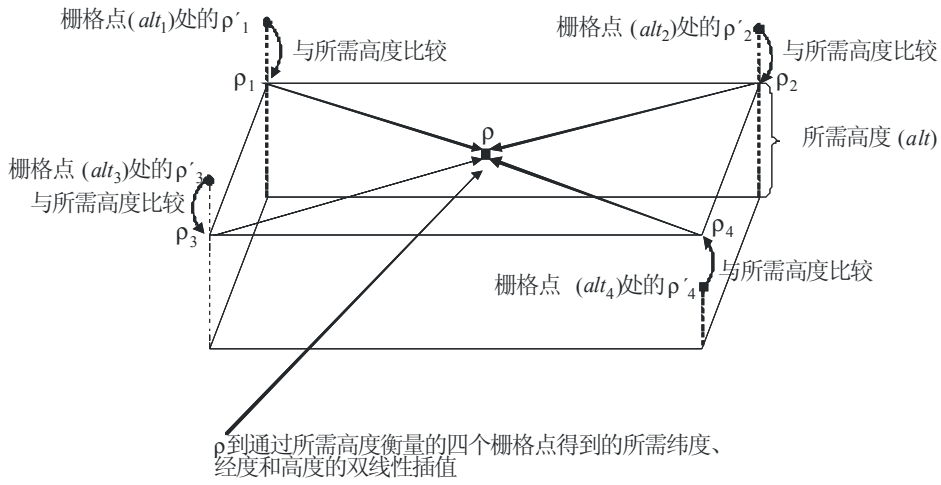
请注意，当没有与给定的年度超出概率值对应的地表水汽密度值时，地表水汽数字地图上标注符号 NaN（非数字）。

图 2 中给出了超出概率为 1% 的水汽标高等高线示例。图 3、4、5、6、7、8 和 9 给出了超出概率为 0.1、0.5、1、5、10、20 和 50% 的年度平均水汽密度等高线示例。

图 10、11、12 和 13 给出了季节性平均水汽密度等高线。注意，这些季节性平均数据是从与年度平均数据不同的数据集得出的。

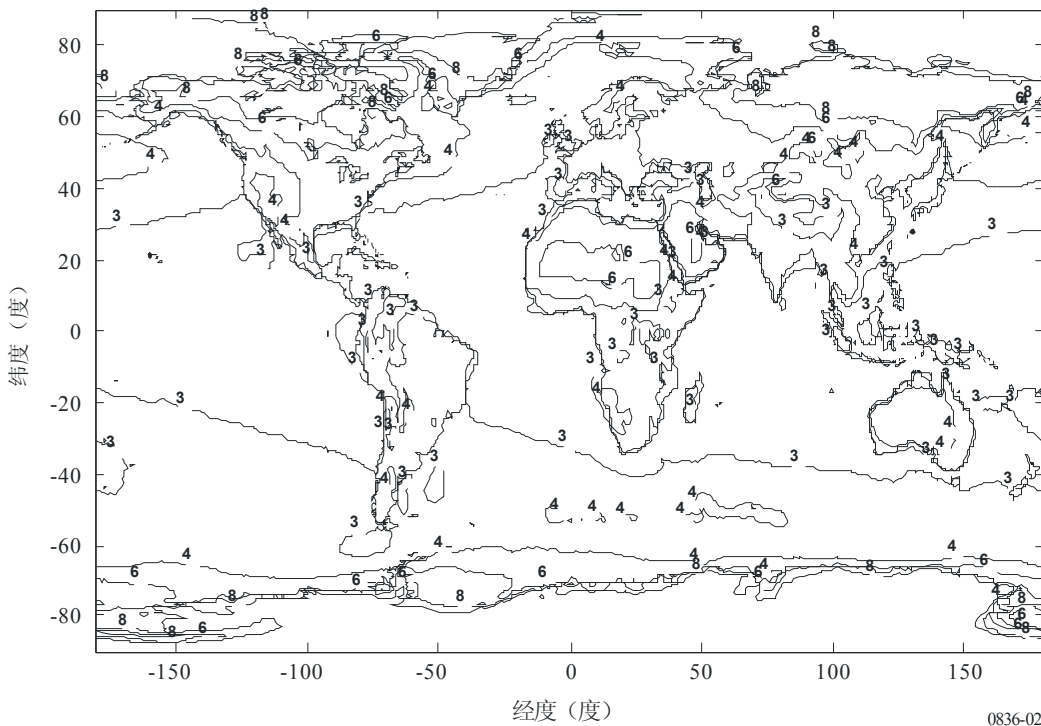
ITU-R P.453 建议书中提供了水汽密度、水汽压和相对湿度的关系，供参考。

图1
高于和低于所需概率的插值程序



0836-01

图2
一年中1%的时间超出的水汽标高 (km)



0836-02

图 3

一年0.1%的时间里超出的水汽密度 (g/m^3)

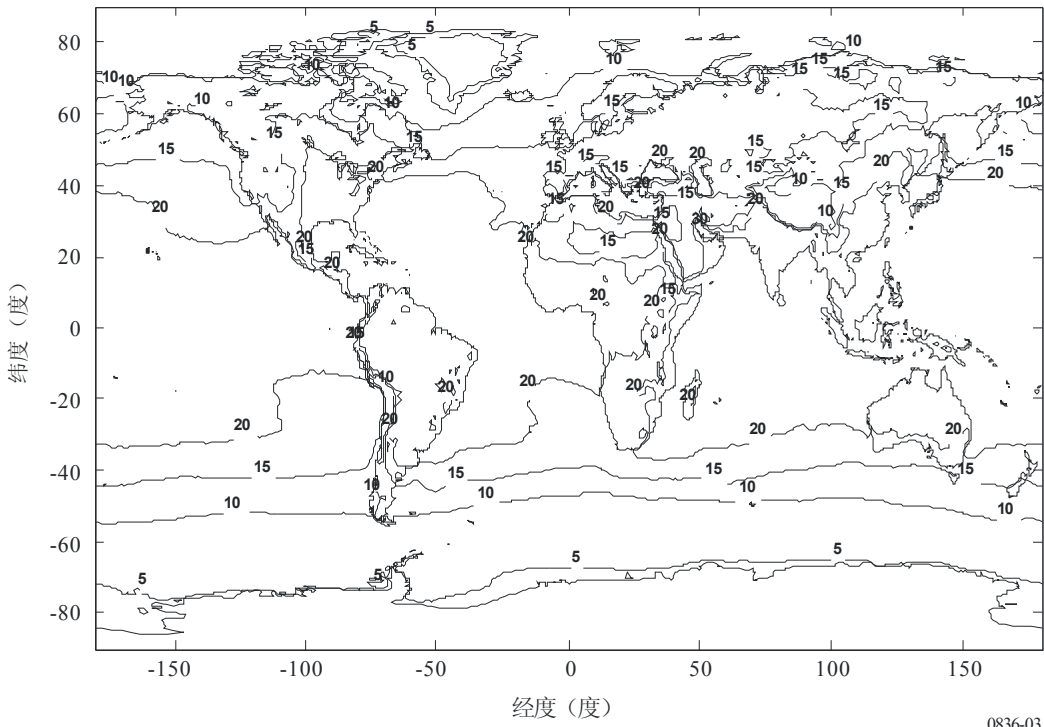


图 4

一年0.5%的时间里超出的水汽密度 (g/m^3)

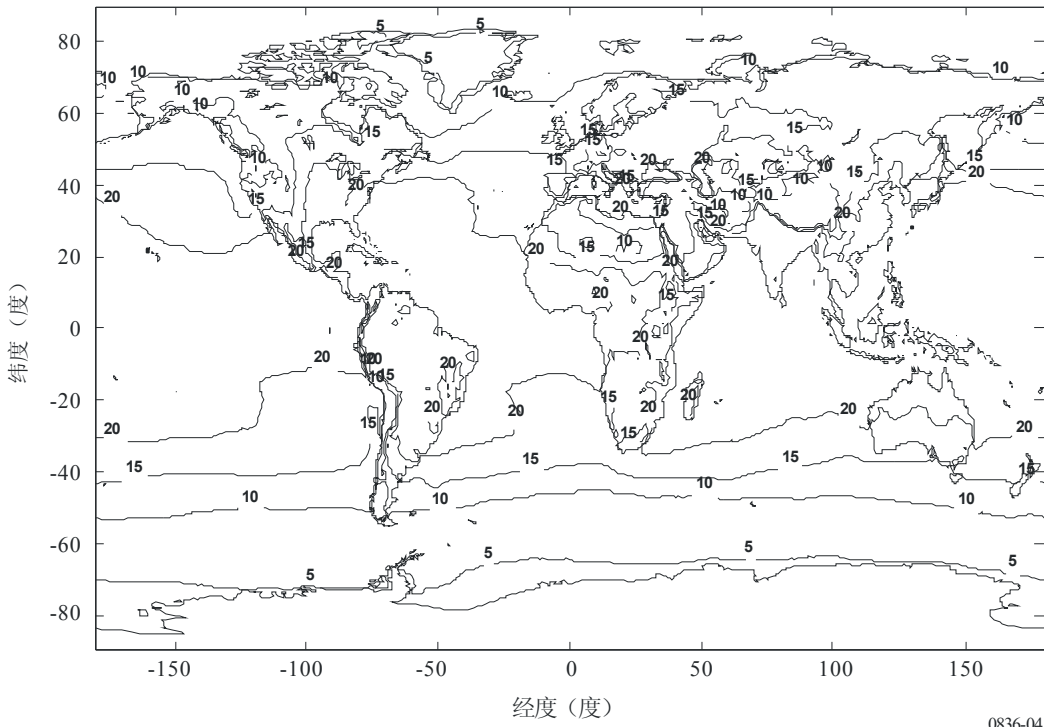


图 5
一年1%的时间里超出的水汽密度 (g/m^3)

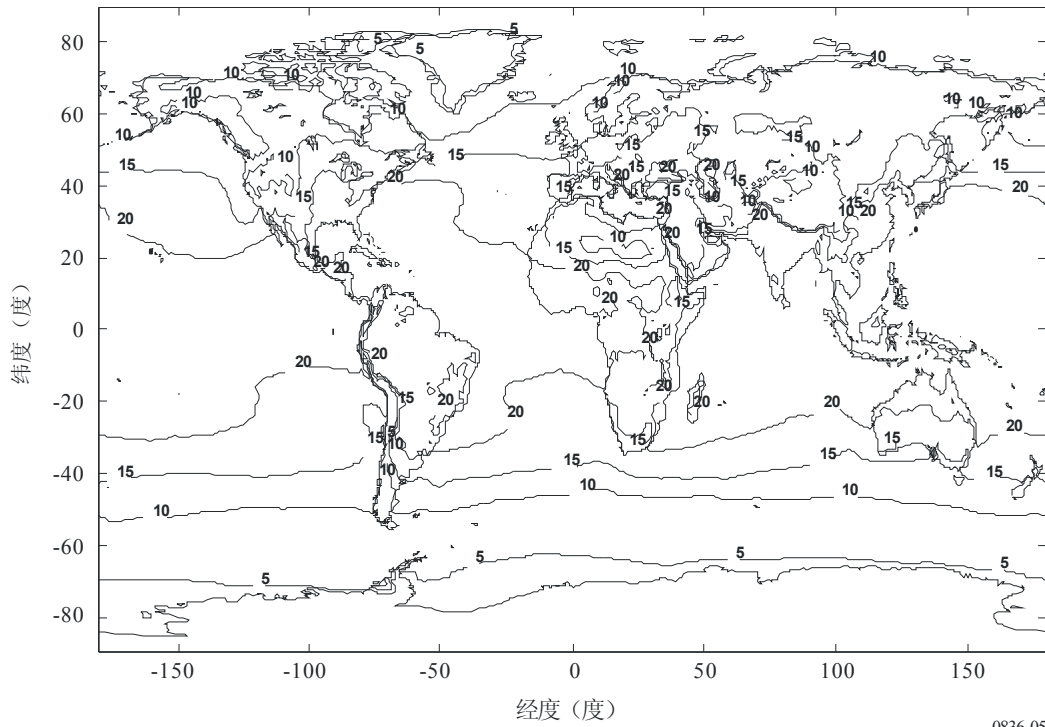


图 6
一年5%的时间里超出的水汽密度 (g/m^3)

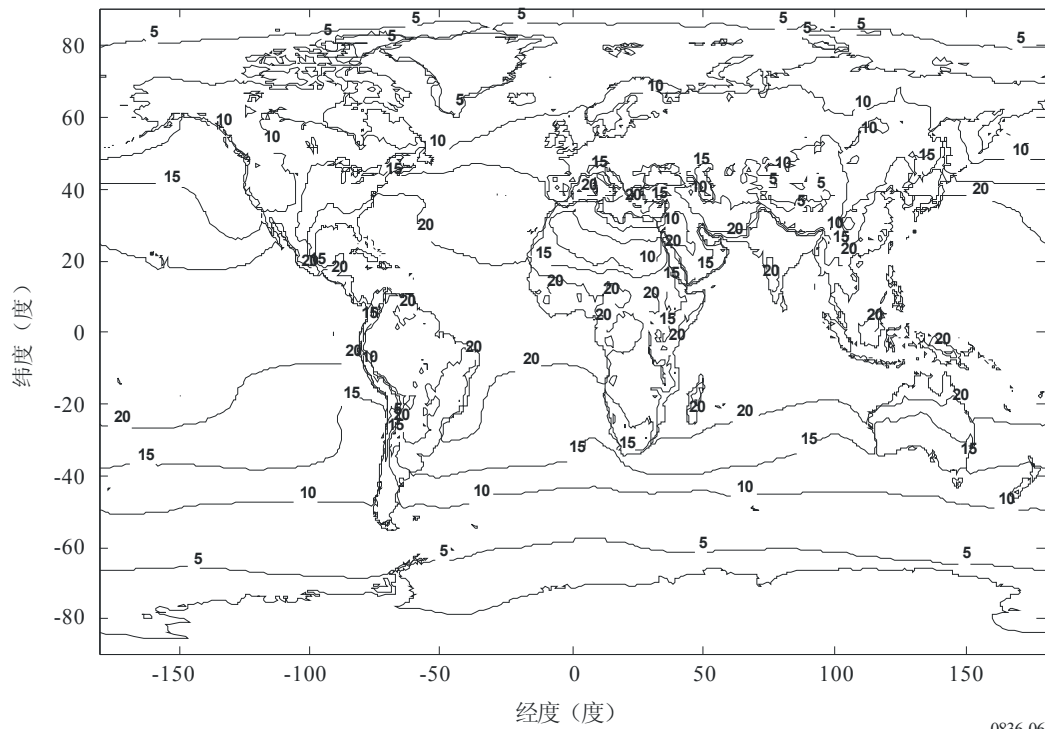


图 7

一年10%的时间里超出的水汽密度 (g/m^3)

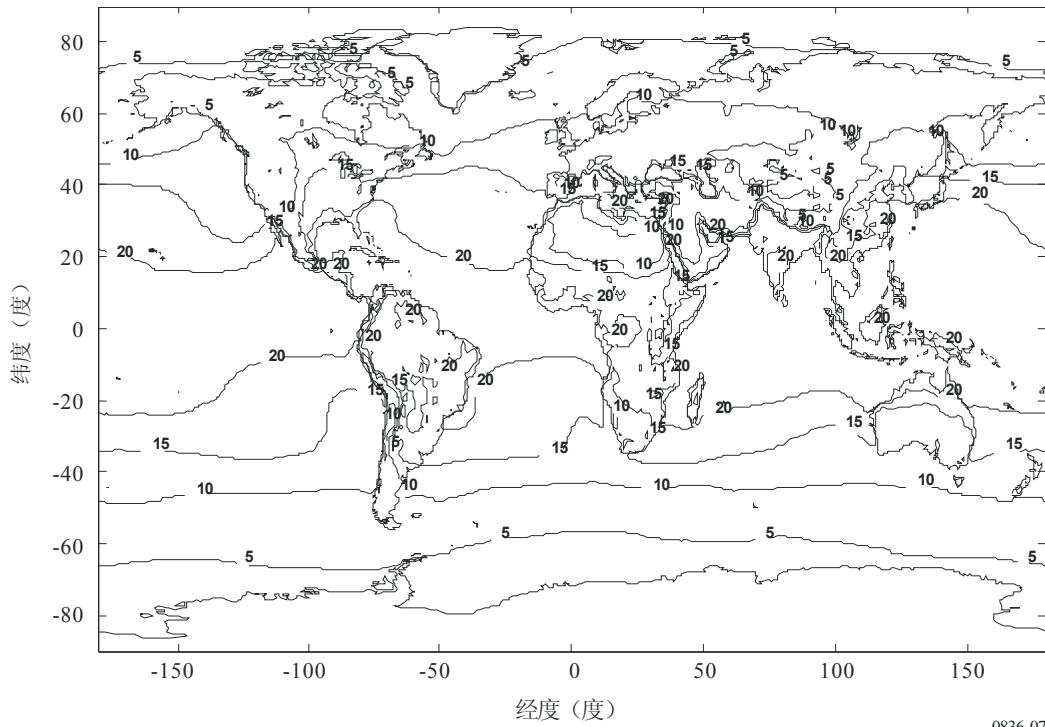


图 8

一年20%的时间里超出的水汽密度 (g/m^3)

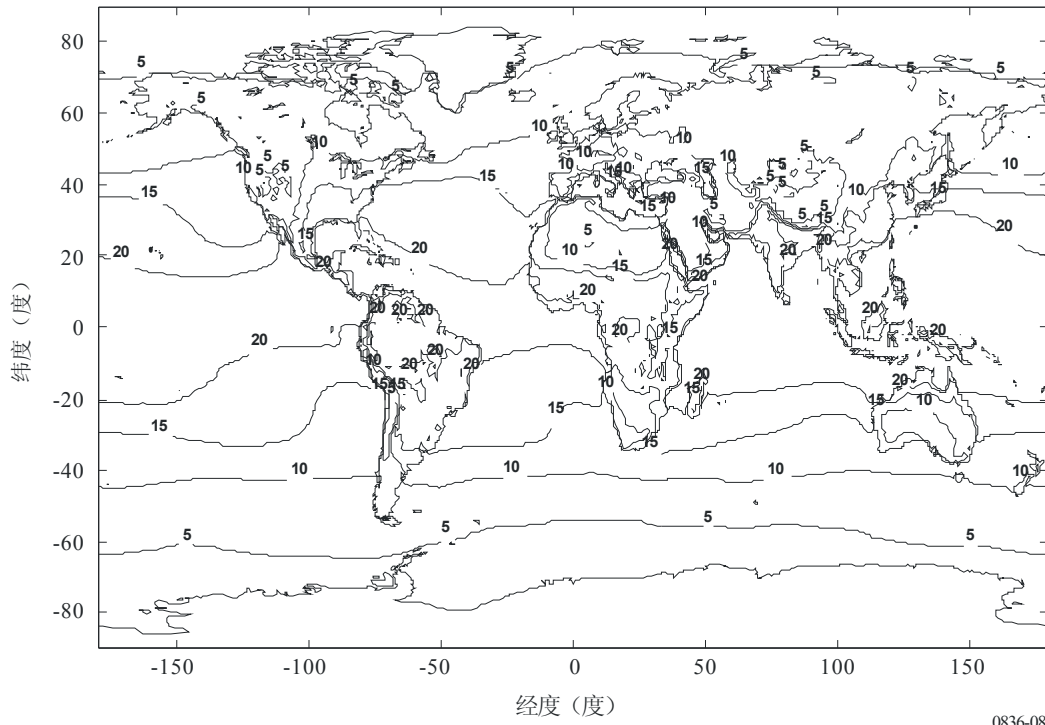


图9
一年50%的时间里超出的水汽密度 (g/m^3)

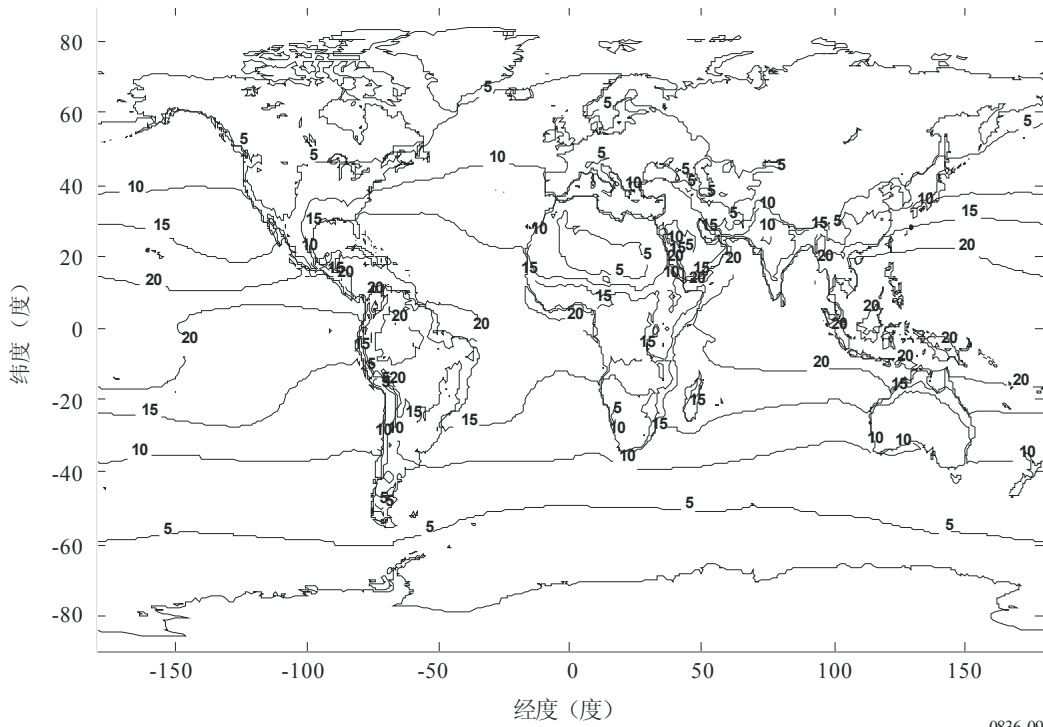


图10
12月、1月、2月：地表水汽密度 (g/m^3)

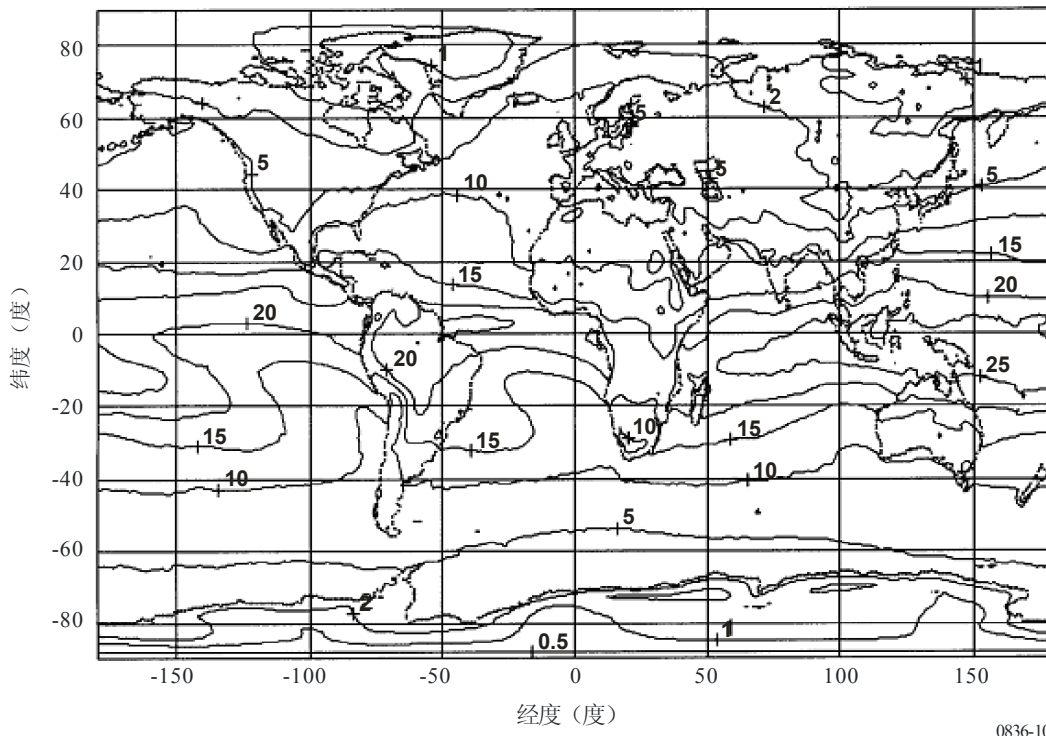


图 11
3月、4月、5月：地表水汽密度 (g/m^3)

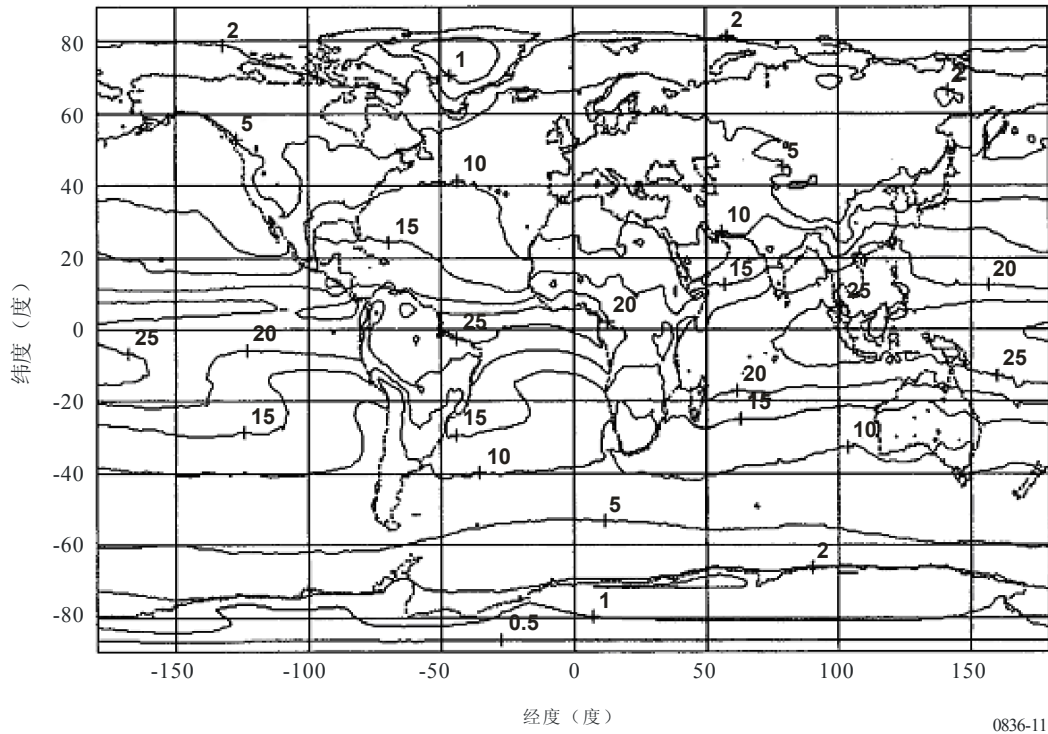


图 12
6月、7月、8月：地表水汽密度 (g/m^3)

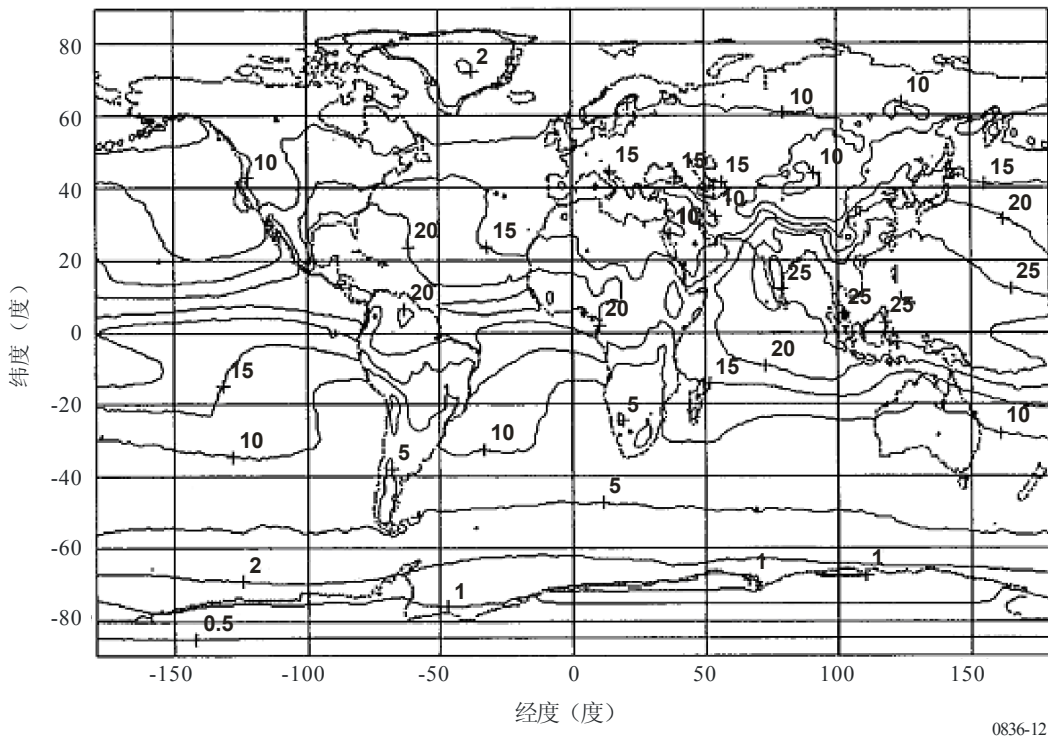
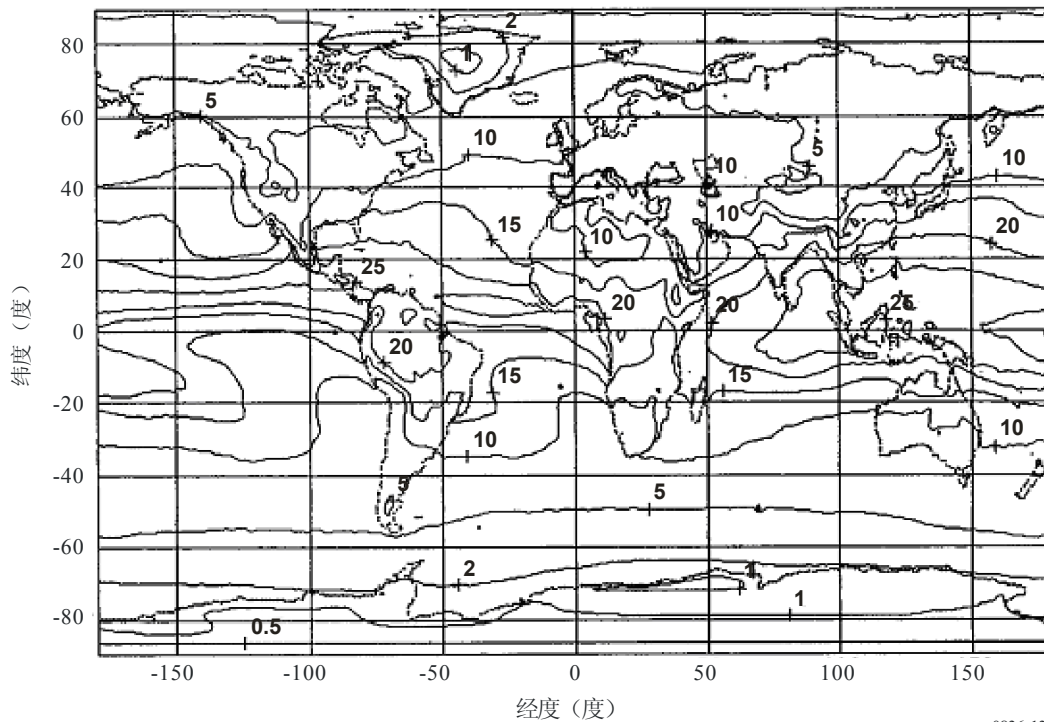


图 13

9月、10月、11月：地表水汽密度 (g/m^3)

0836-13

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。

无线电通信第3研究组网站数据文件 ESAWVC_xx_v4.TXT 中以数字地图的形式提供了一年中 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)，其中 xx=01、02、03、05、1、2、3、5、10、20、30、50、60、70、80、90、95 和 99。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° 。数据将与含有数据文件 ESAWVC_xx_v4.TXT 相应条目（栅格点）经纬度的配套数据文件 ESALAT_1dot125.TXT 和 ESALON_1dot125.TXT 一起使用。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) 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} ；

- 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) 使用水汽标高数据文件VSCH_xx_v4.TXT（其中xx对应概率 p_{above} 和 p_{below} ）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14，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 。

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，气柱水汽总含量数字地图上标注符号 NaN（非数字）。

图 15、16、17、18、19、20 和 21 给出了超出概率为 0.1、0.5、1、5、10、20 和 50% 的气柱水汽总含量等高线示例。

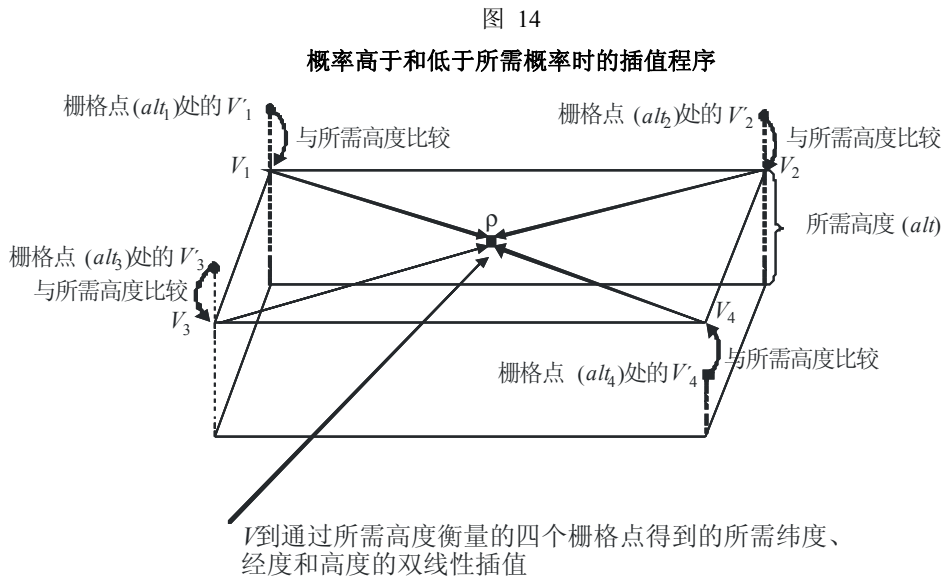
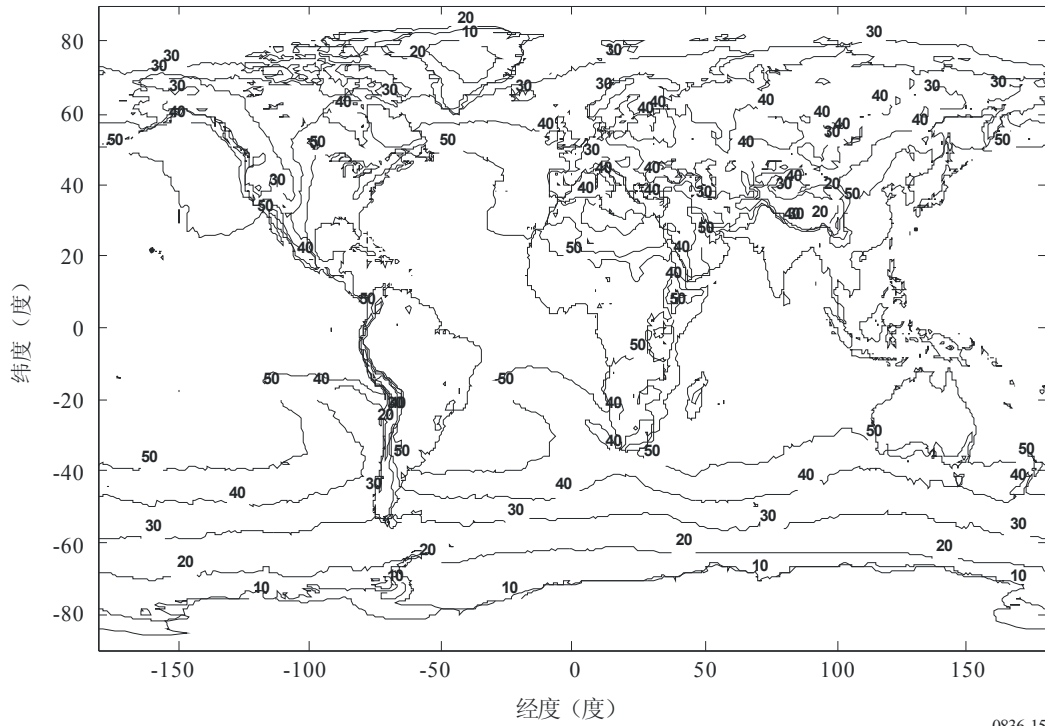


图 15

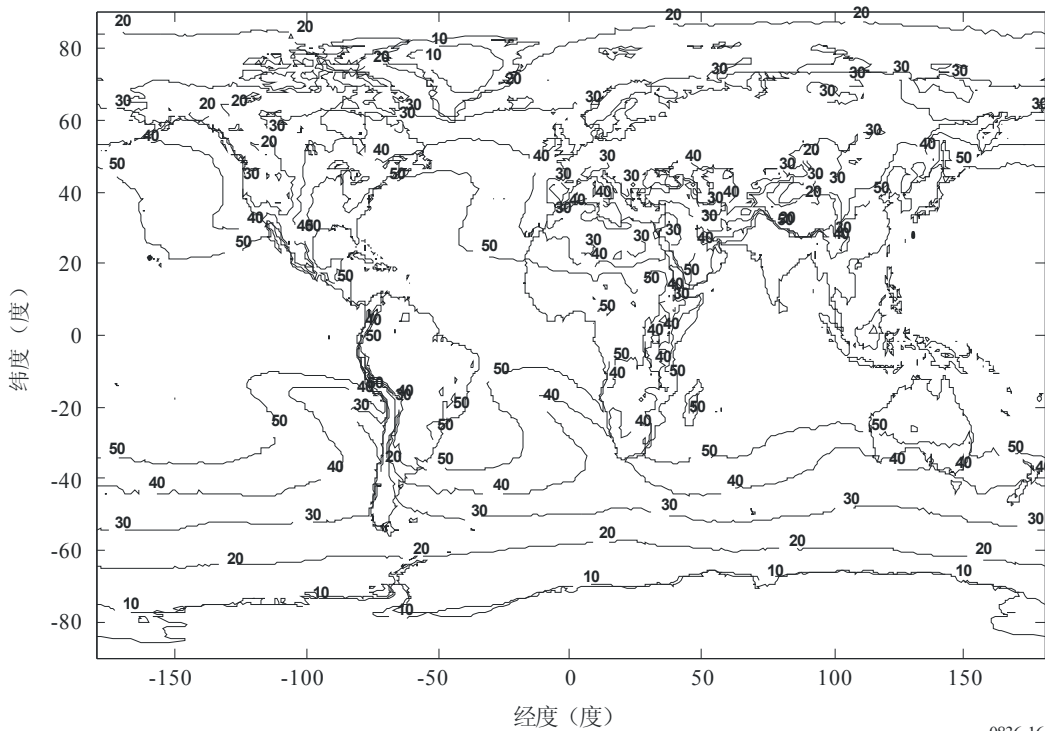
一年中0.1%的时间超出的气柱水汽含量 (kg/m^2)



0836-15

图 16

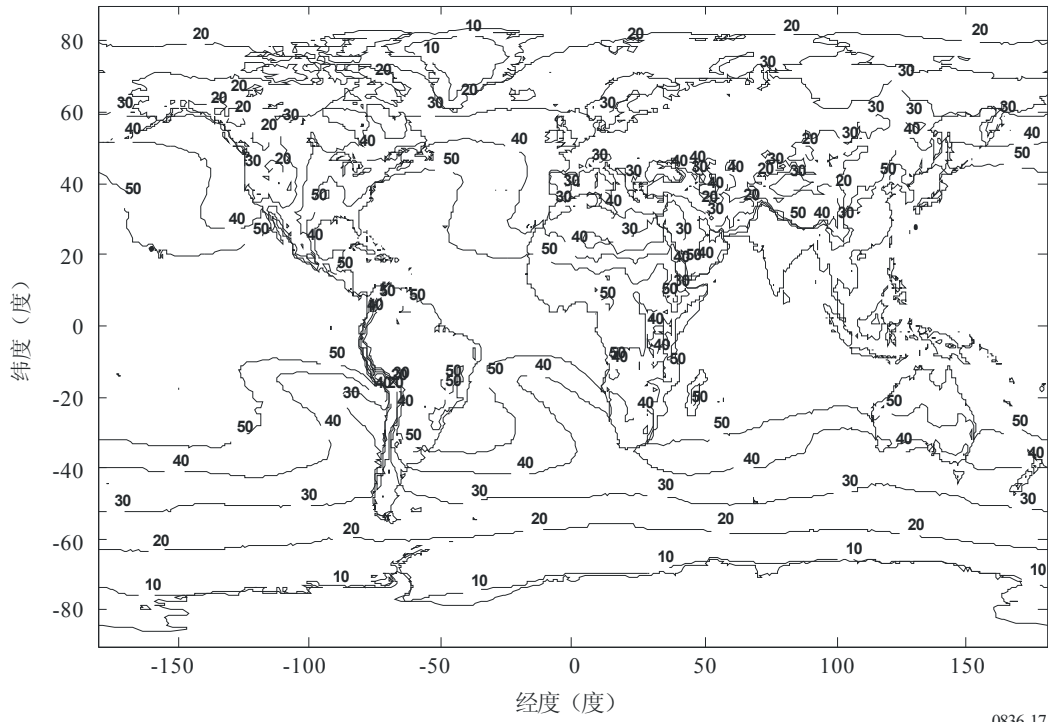
一年中0.5%的时间超出的气柱水汽含量 (kg/m^2)



0836-16

图 17

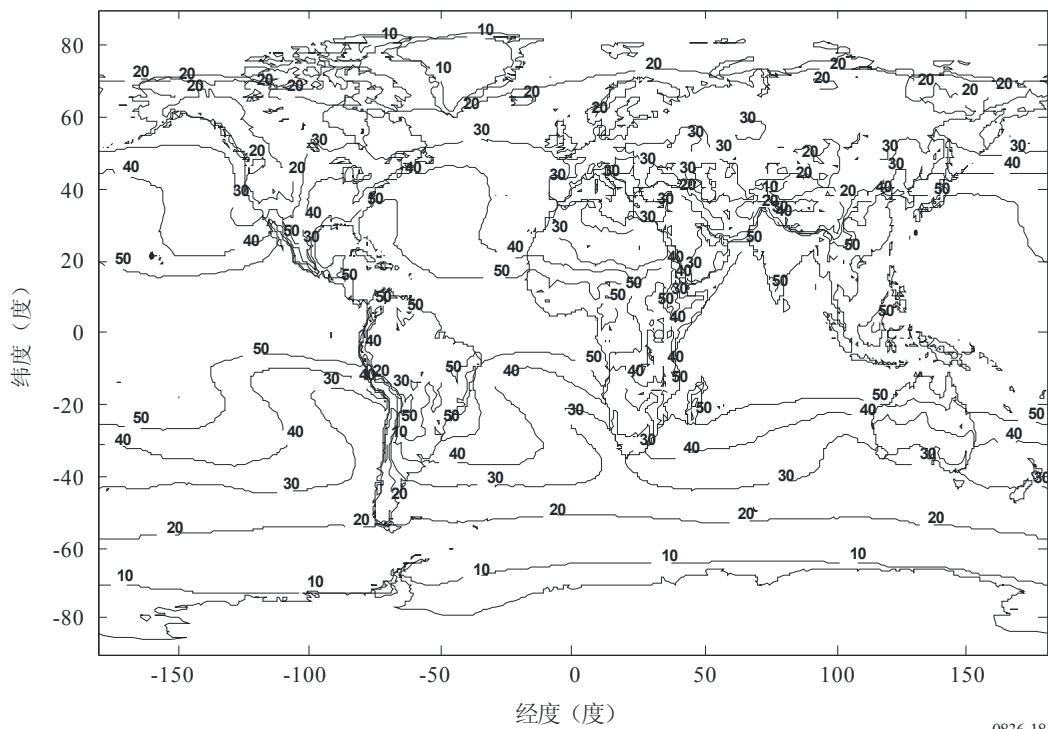
一年中1%的时间超出的气柱水汽含量 (kg/m^2)



0836-17

图 18

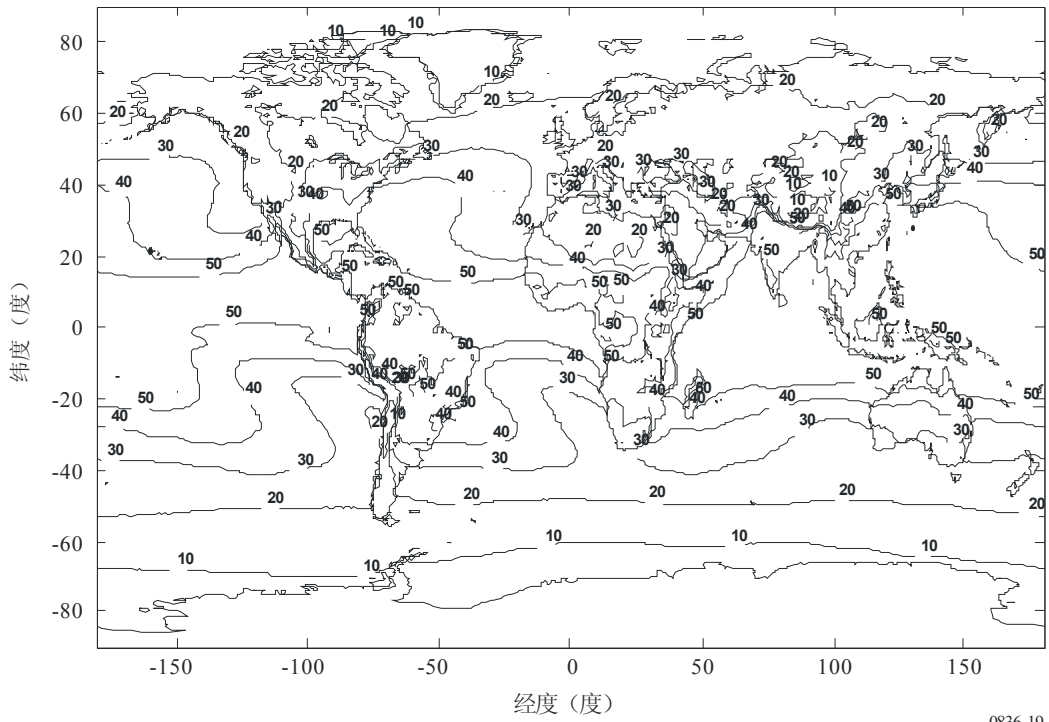
一年中5%的时间超出的气柱水汽含量 (kg/m^2)



0836-18

图 19

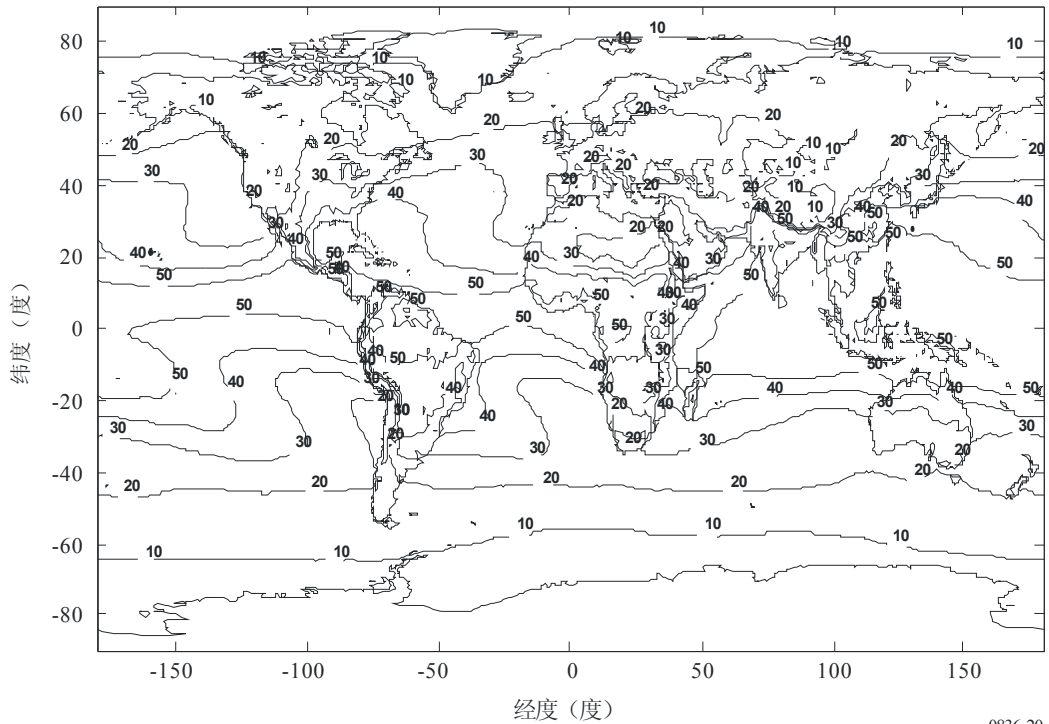
一年中10%的时间超出的气柱水汽含量 (kg/m²)



0836-19

图 20

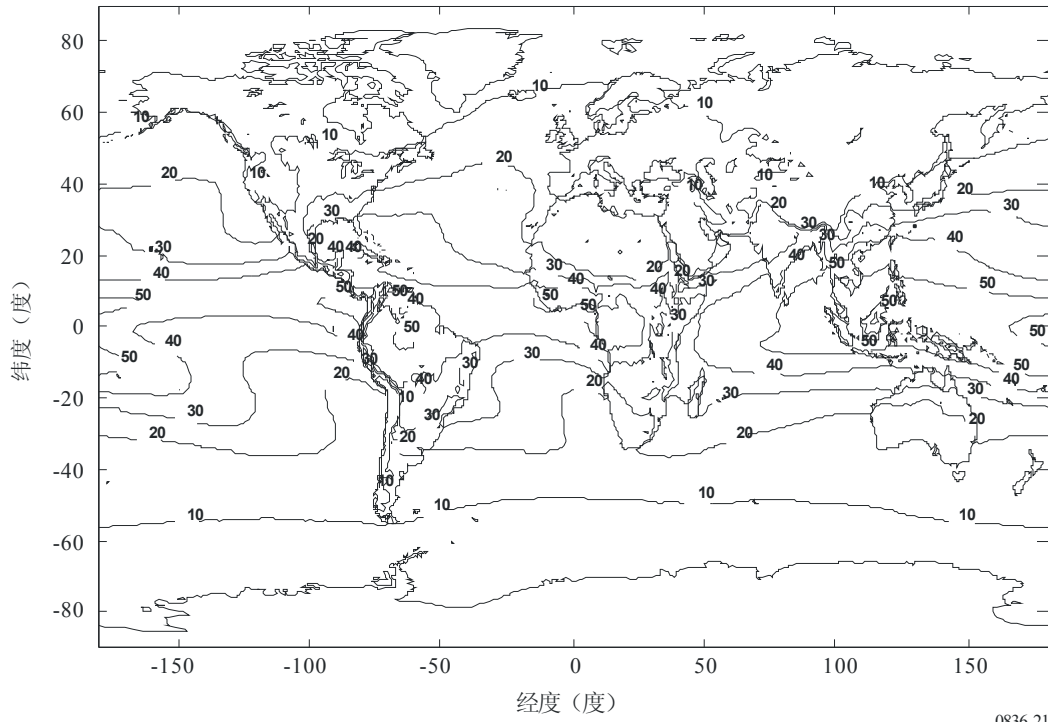
一年中20%的时间超出的气柱水汽含量 (kg/m²)



0836-20

图 21

一年中50%的时间超出的气柱水汽含量 (kg/m^2)



0836-21