

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R P.534-6建议书
(09/2021)

计算偶发E层场强的方法

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地区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/zh>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/zh>）

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
2022年，日内瓦

© 国际电联 2022

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.534-6 建议书
计算偶发E层场强的方法
(ITU-R第221/3号研究课题)

(1978-1982-1986-1990-1999-2012-2021年)

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 通过偶发E层的传播是VHF频段低端的一种重要干扰源；
- b) 本建议书的附件1给出的偶发E层场强计算方法已经证实是实用和可靠的；
- c) 没有其它实用的方法，

建议

- 1 附件1中的计算方法应该作为低倾角和中等倾斜纬度地区用于估算偶发E层场强的方法；
- 2 应该收集更多的foE和偶发E层场强的数据，特别是在高纬度地区，同时，如果在这些地区使用附件1中的方法应予以注意。

附件1

通过偶发E层的传播

1 引言

本文提出了一种统计学方法来计算VHF频段或者HF频段高端部分的信号，通过偶发E层(Es)传播距离达4000 km后的场强，此计算方法是以场强与路径中间点上垂直入射的foE即偶发E层的临界频率密切相关的实际情况为基础，应注意到此方法适合于在不存在通过E或者F2层的常规传播模式的情况下使用电离层无线电电路。因此，当在HF频段使用此方法时，应注意是否可能存在常规的层传播（关于常规层传播见ITU-R P.533建议书），本建议书提供的数据只限于地磁纬度在 $\pm 60^\circ$ 。

在赤道地区，中等传播距离（500-2 000 km）的一些天波路径明显显示出Es传播，必须将Es传播区别于该地区内跨赤道传播（TEP）带来的更为严重的影响。低纬度Es传播场强的估算与本附件中中纬度Es传播场强的估算大致相同，而呈现最大变化的参数是随垂直入射的临界频率（foE）而变化的时间百分比（用于中磁纬度的图2至图6），因此，为在低磁纬度地区使用提供了备选的图16至图21。

本方法具有下列特征：

- 由与给定发生率的foE数值相对应的电离层衰减值的统计数字来预测Es场强；
- Es信号的电离层衰减表示为信号频率*f*与foE之比以及发射和接收站之间表面距离的函数；
- 为了快速、容易地评估Es场强，提供了一些有用的关于foE的概率图和世界地图。

2 用于偶发E层场强计算的公式

Es场强或者接收机输入电压可以表示如下：

$$E = E_0 + P + G_t - L_t - \Gamma \quad \text{dB} \quad (1)$$

$$E_0 = 104.8 - 20 \log l \quad \text{dB} \quad (1a)$$

$$V = V_0 + P + G_t + G_r - L_t - L_r - \Gamma \quad (2)$$

$$V_0 = 133 - 20 \log l - 20 \log f \quad (2a)$$

其中：

E: 预测的场强 (dB(μV/m))

*E*₀: 理论上的距离倒数场强 (dB(μV/m)) ,对于1kW辐射功率和全向发射天线

V: 接收机输入端子间获得电压的中间数值 (dB(μV))

*V*₀: 理论上的距离倒数接收机输入电压，对于1kW辐射功率，在信号频率*f* (MHz) 上与50 Ω馈线匹配的全向发射和接收天线

P: 发射机功率 (dB(1 kW))

*G*_t: 相对于全向天线的发射天线增益 (dB)

*G*_r: 相对于全向天线的接收天线增益 (dB)

*L*_t: 发射天线损耗，包括馈线损耗和失配损耗 (dB)

*L*_r: 接收天线损耗，包括馈线损耗和失配损耗 (dB)

Γ: 如图1中虚线所示的电离层衰减 (dB)

l: 传输路径长度 (km)，(见方程式 (5))

f: 信号频率 (MHz)。

为了使用计算机来计算，单跳传播信号的电离层衰减 $\Gamma_{(1\ hop)}(d)$ 近似为：

$$\Gamma_{(1\ hop)}(d) = \left\{ \frac{40}{1 + \left(\frac{d}{130}\right) + \left(\frac{d}{250}\right)^2} + 0.2 \left(\frac{d}{2600}\right)^2 \right\} \left(\frac{f}{foEs}\right)^2 + \exp\left(\frac{d - 1660}{280}\right) \quad (3)$$

两跳传播信号的电离层衰减 $\Gamma_{(2\ hop)}(d)$ 近似为:

$$\Gamma_{(2\ hop)}(d) = 2.6 \Gamma_{(1\ hop)}\left(\frac{d}{2}\right) \quad (4)$$

以及

l : 传输路径长度 (km) 为:

$$l = 2 \left\{ R_0^2 + (R_0 + h)^2 - 2R_0(R_0 + h) \cos(d/(2R_0)) \right\}^{1/2} \quad (5)$$

其中:

R_0 : 地球的有效半径, 8 500 km

h : Es层的高度, 120 km

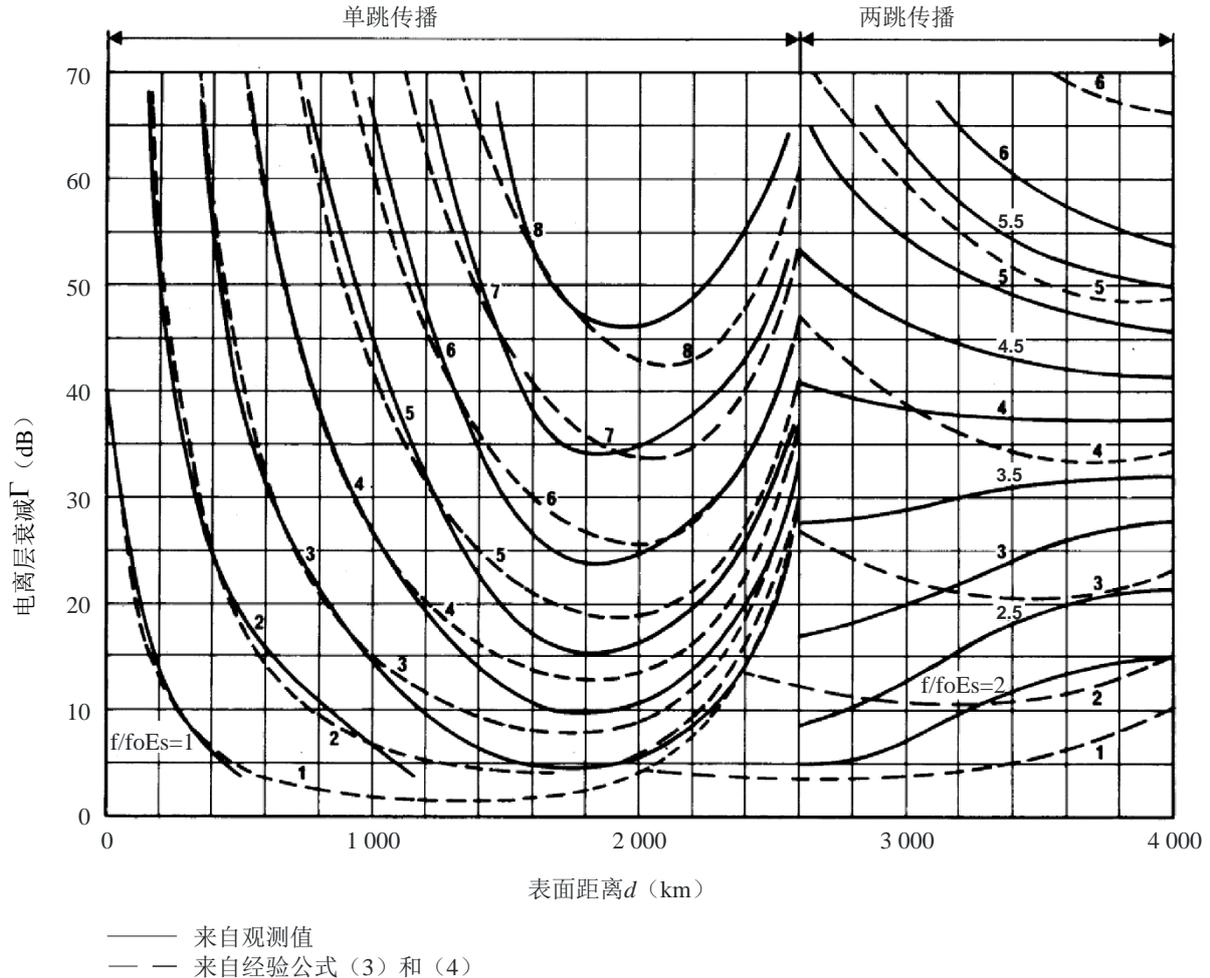
d : 发射和接收站之间的表面距离 (km)

f : 信号频率 (MHz)

f_oE : 以给定发生率垂直入射的偶发E层的临界频率 (MHz)。

由方程式 (3) 和 (4) 复制 Γ 的测量值的准确度如图1所示, 方程式复制的测量值用图中的虚线表示。使用方程式 (3) 应只限于距离小于2 600 km且 f/f_oE 的值在1至8之间, 这时误差会小于5 dB。使用方程式 (4) 应只限于距离在2 600至4 000 km之间且 f/f_oE 的值在2至5.5之间, 这时误差将小于10 dB。

图1

通过Es传播的电离层衰减 Γ 曲线图

P.0534-01

3 计算偶发E层场强的步骤

按下列步骤计算Es场强:

- 第1步: 使用方程式 (1a) (或者方程式 (2a)) 计算与给定 I 的数值相应的 E_0 (或 V_0) 的值。
- 第2a步: (路径中间点倾斜纬度超过 $\pm 20^\circ$): 使用图2至图6的其中一幅图, 读出在所研究的地区和季节以给定的时间百分比发生的 f_oE 的数值, 如果需要更加准确的预测, 可以使用图12至图15中的相关地图读出在路径的中间点 f_oE 超过7 MHz的时间百分比数值, 按第4.1节的描述在图2至图6中的相关图上画一条新线来确定 f_oE 的数值。如果需要预测昼夜变化, 可以从图7至图11中的相关图中读出 f_oE 的数值。
- 第2b步: (路径中间点倾角纬度在 $\pm 20^\circ$ 以内): 确定电离层反射点处的倾角, 使用图16至图21读出在所研究的地区和季节以给定时间百分比发生的 f_oE 的数值。
- 第3步: 计算 f/f_oE 。
- 第4步: 利用图1中的虚线, 读出与给定 d 值以及计算得到的 f/f_oE 相对应的 Γ 的数值, 或者由方程式 (3) 和 (4) 计算得到 Γ 的一个近似值

第5步：使用给定的 P , G_t , G_r , L_t , L_r 的数值以及得到的 Γ 的值，由方程式（1）（或（2））计算 E （或 V ）的预测值。

4 foE的发生概率

由于foE要经历与位置和时间相关的偶发特性变化，有必要对foE的统计特征进行详细的说明。关于foE的世界地图，例如ITU-R P.1240建议书的那幅地图，能够用于高精度的预测。另一方面，在为了获得时间变量大体趋势的情况下，关于foE的简化的统计数据也是非常有用的。

为了预测平均Es场强，已经为欧洲、北非、北美洲、亚洲（远东）、南美洲的五个中纬度地区以及这些地区之间的缓冲区，制作了如图2至图11所示的foE概率曲线。对于低纬度地区，已经为美洲、亚洲和非洲制作了如图16至图21所示的foE概率曲线，将来需要对高纬度地区的特性作进一步的说明。

4.1 中纬度

为了提供关于foE的详细地理特征，本文特定包含了在五月-八月（北方的夏季）、十一月-二月（南方的夏季），三月份、四月份、九月份和十月份（北方和南方的昼夜平分月）期间以及十二个月中foE等于或大于7 MHz的时间百分比世界地图，作为图12至图15。从这些世界地图可以看出，时间百分比等高线出现在地磁（或偶极子）北纬和南纬60°之间，倾角赤道周围的低纬度地区除外。

图2至图6显示的是foE的数值和它发生的时间百分比之间的关系，在这些图中，夏季月份、冬季月份和昼夜平分月份的曲线，均由连接foE分别超过7 MHz和10 MHz的时间百分比数值所对应两点的直线代表，这符合所谓的菲利普频率相关规则，该准则完全是经验性的，对于中纬度地区时间百分比小于30%且频率高于常规E层的临界频率foE，该规则非常适用。对100 MHz以上的频率以及在赤道、高纬度地区采用菲利普规则应予以注意。菲利普规则是：

$$\log p = a + bf \quad (6)$$

其中：

p : foE > f 的发生概率

f : 频率（MHz）

a 和 b : 可调整的常数，这样 b 是 p 的对数曲线随 f 而变化的斜率。

在低时间百分比范围内，显示年平均的曲线的时间百分比数值只有夏季月份对应数值的三分之一。为了便于参考，给各个图增加了对应于夏季月份白天期间（0800-2300 h）的概率曲线，在夏季月份白天期间能观测到最为强烈的偶发E层。

当从图12、13、14或15中的世界地图获得的foE为7 MHz时的时间百分比数值，与从图2至图6所示的某一地区的平均概率曲线获得的时间百分比数值之间存在差异时，对于一个给定的时间百分比，可能要使用一条重新画的、与各个地区中原始曲线平行且位移量等于那些数值之差的新概率曲线来确定foE的数值。

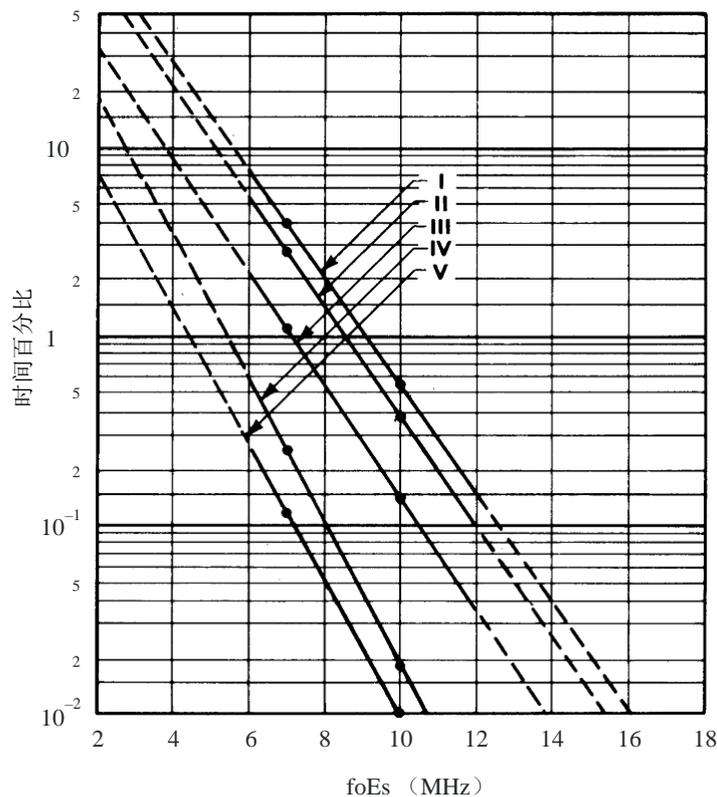
图7至图11是根据上述四个地区在夏季和非夏季月份的独特特征，用4小时的时间段内显示出现foE的昼夜变化。注意到地区B和地区C在正午之后不久观测到的foE一定是最小的，尤其是在夏季。为了预测Es信号强度的详细特性，可能需要用比4h更小的时间段来显示foE的昼夜变化。

4.2 低纬度

图16至图21显示的是低纬度地区的foE的数值和它发生的时间百分比之间的关系，在这些图中，可观测到倾角赤道周围极窄地带（ $\pm 6^\circ$ 倾角）和倾角达到 $\pm 20^\circ$ 的相邻地区之间的明显差异，这两个地区分别被称作赤道地区和亚赤道地区。从图2至图6的比较可以看出，亚赤道地区符合菲利普规则，而赤道地区不符合该规则。

图 2

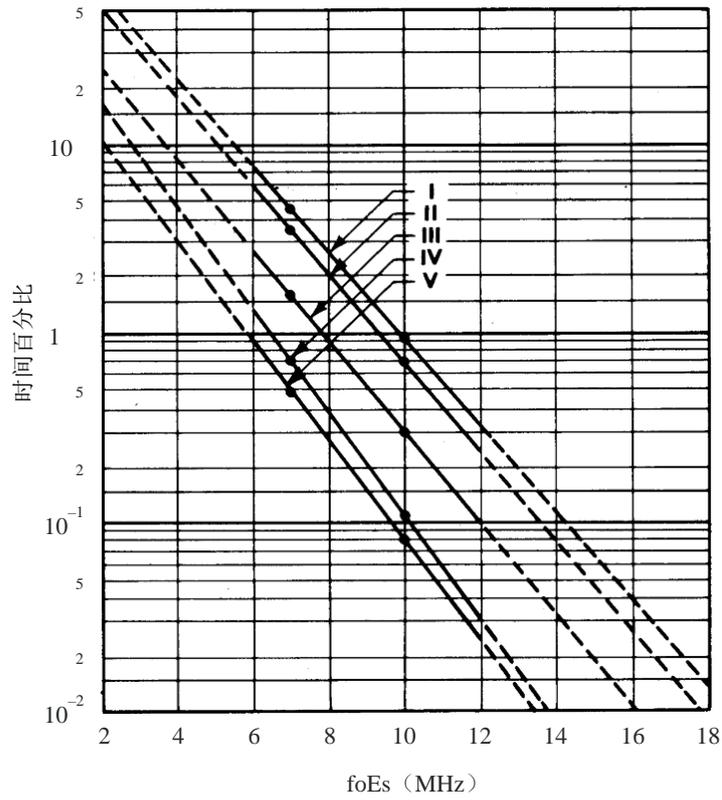
地区A对于指示的时间百分比，等于或者超过的foE的数值



- 地区A: 欧洲和北非
 I: 五月到八月 (0800-2300 h)
 II: 五月到八月
 III: 年平均
 IV: 三月、四月、九月和十月
 V: 十一月到二月

图3

地区B对于指示的时间百分比，等于或者超过的foE的数值

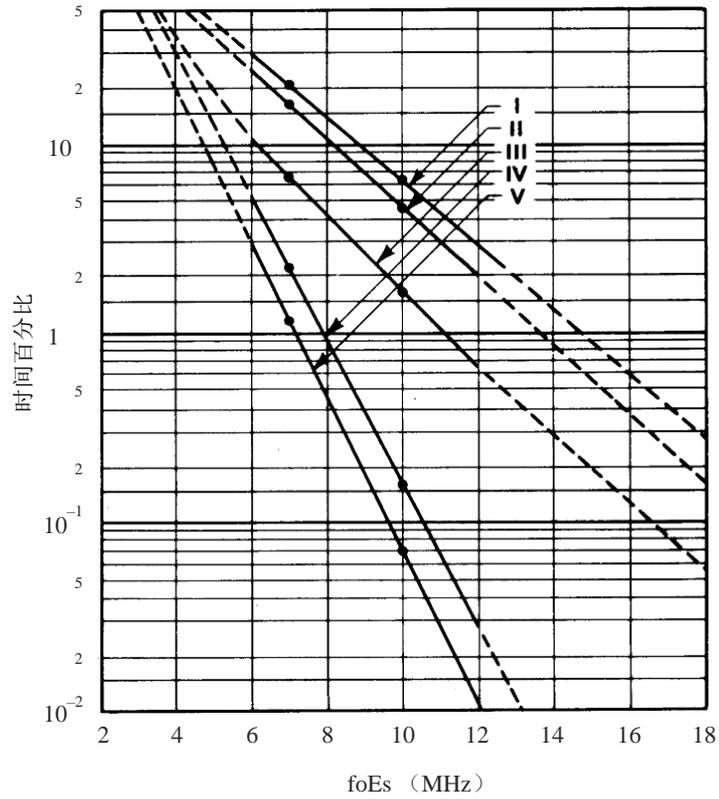


- 地区B: 北美洲
- I: 五月到八月 (0800-2300 h)
 - II: 五月到八月
 - III: 年平均
 - IV: 三月、四月、九月和十月
 - V: 十一月到二月

P0534-03

图4

地区C对于指示的时间百分比，等于或者超过的foE的数值

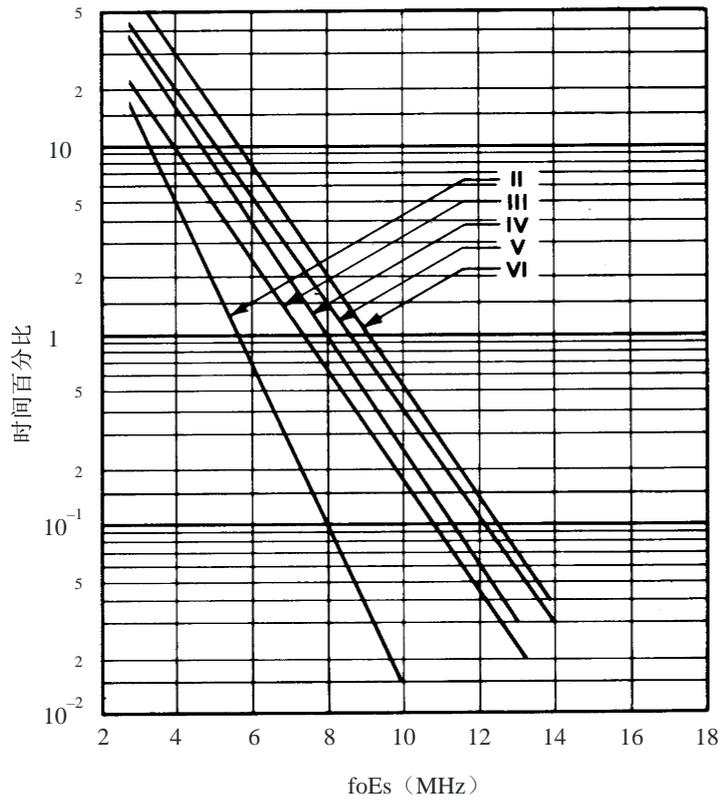


地区C: 亚洲 (远东)
 I: 五月到八月 (0800-2300 h)
 II: 五月到八月
 III: 年平均
 IV: 三月、四月、九月和十月
 V: 十一月到二月

P0534-04

图5

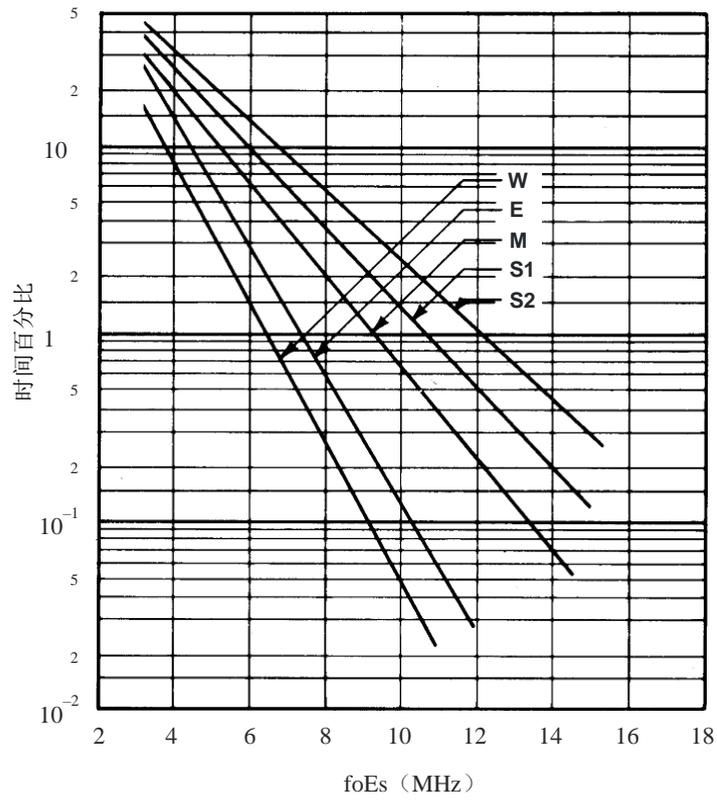
地区D对于指示的时间百分比，等于或者超过的foE的数值



- 地区 D: 南美洲
- II: 五月到八月
- III: 年平均
- IV: 三月、四月、九月和十月
- V: 十一月到二月
- VI: 十一月到二月 (0800-2300 h)

图6

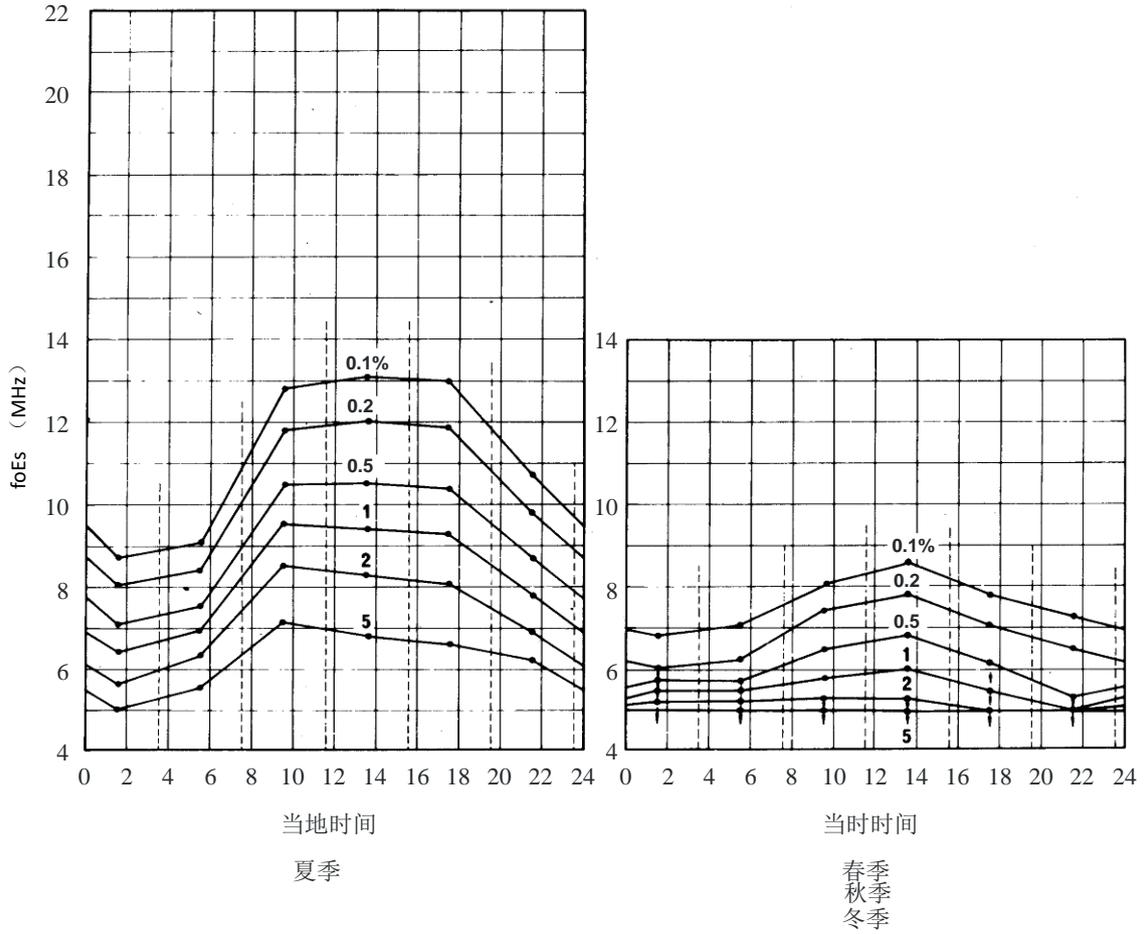
对于指示的时间百分比，等于或超过的foE的数值



平均值: 地区A、B、C和D
S1: 夏季
S2: 夏季 (0800-2300 h)
M: 年平均
E: 昼夜平分点
W: 冬季

图7

地区A（欧洲和北非）在4小时垂直虚线分隔的时间段内，
对于指示为曲线参数的时间百分比，
等于或者超过的foE的数值



P0534-07

图8

地区B(北美洲)在4小时垂直虚线分隔的时间段内,
对于指示为曲线参数的时间百分比,
等于或者超过的foE的数值

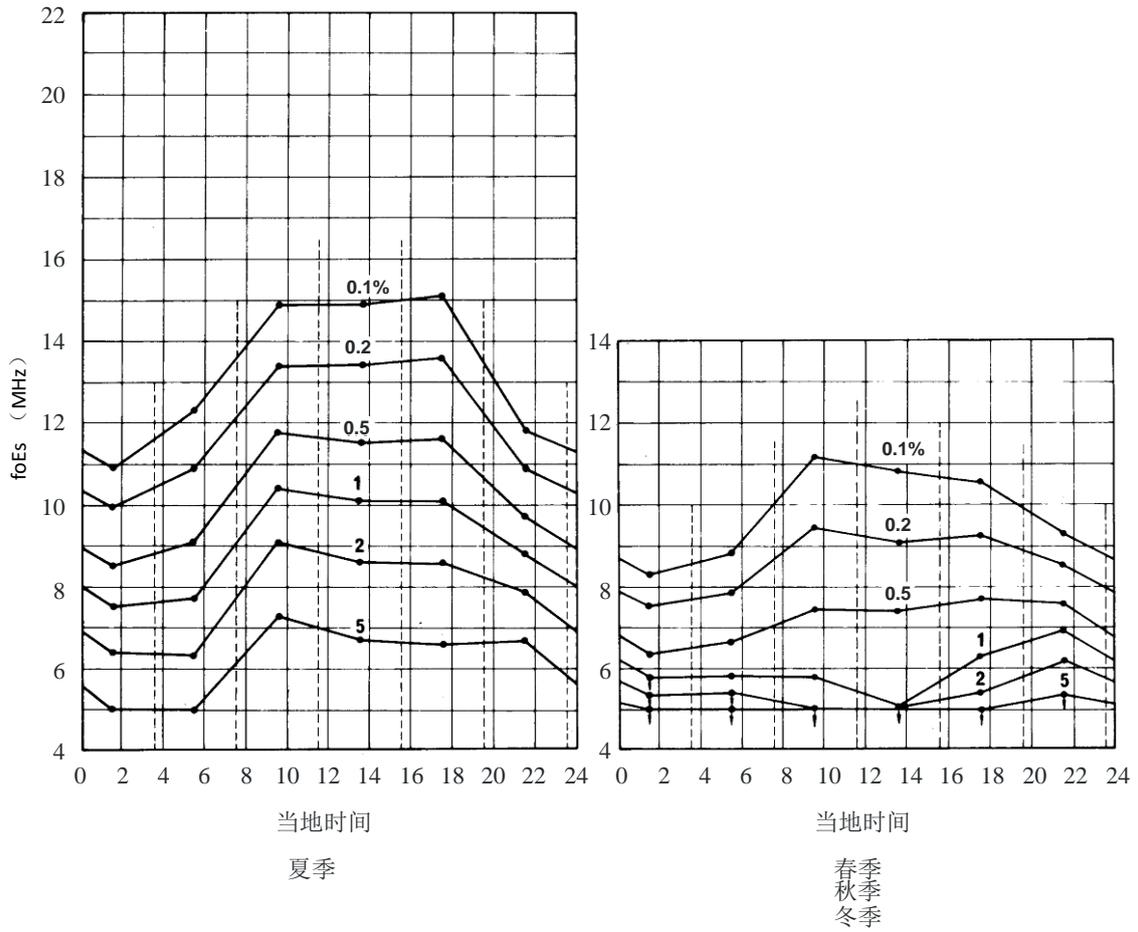


图9

地区C (亚洲 (远东)) 在4小时垂直虚线分隔的时间段内,
对于指示为曲线参数的时间百分比,
等于或者超过的foE的数值

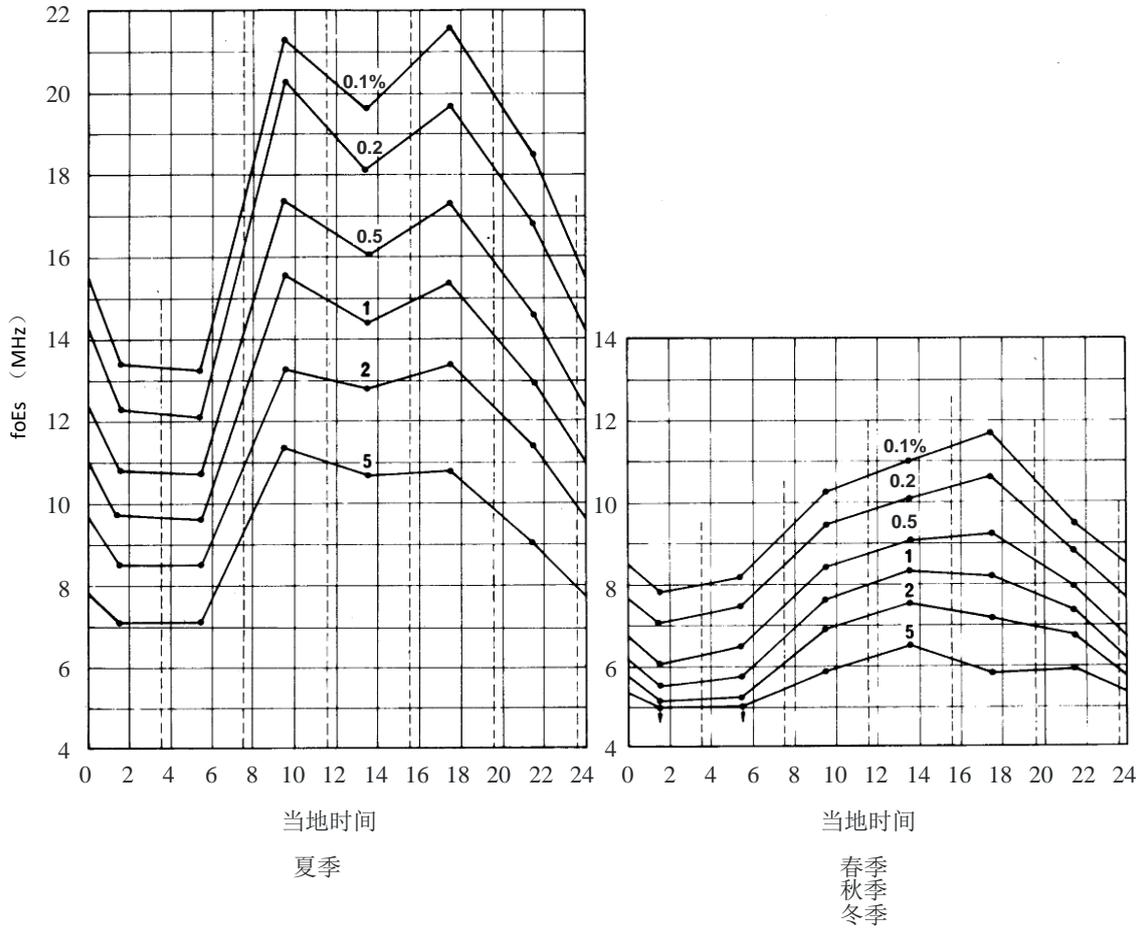


图 10

地区D (南美洲) 在4小时垂直虚线分隔的时间段内,
对于指示为曲线参数的时间百分比,
等于或者超过的foE的数值

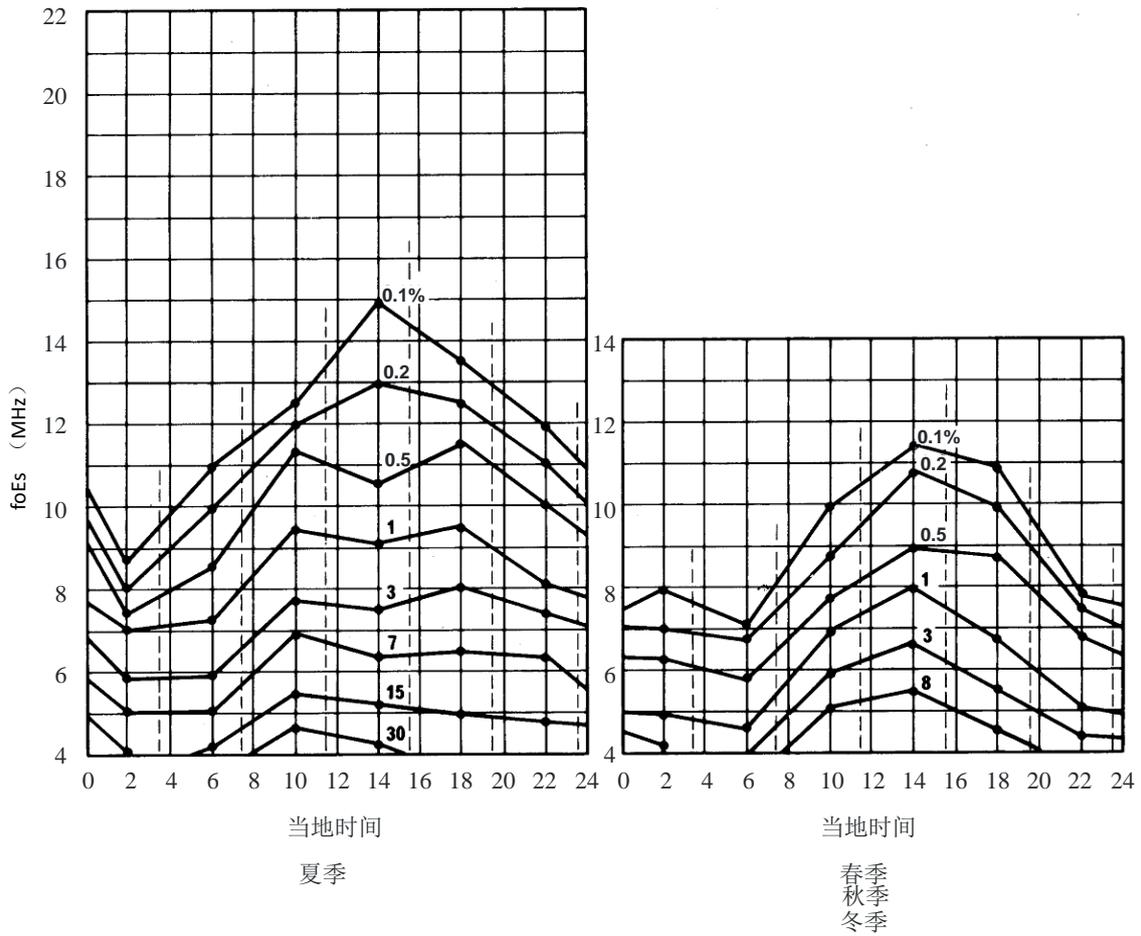


图11

地区A、B、C和D在4小时垂直虚线分隔的时间段内，
对于指示为曲线参数的时间百分比，
等于或者超过的foE的平均值

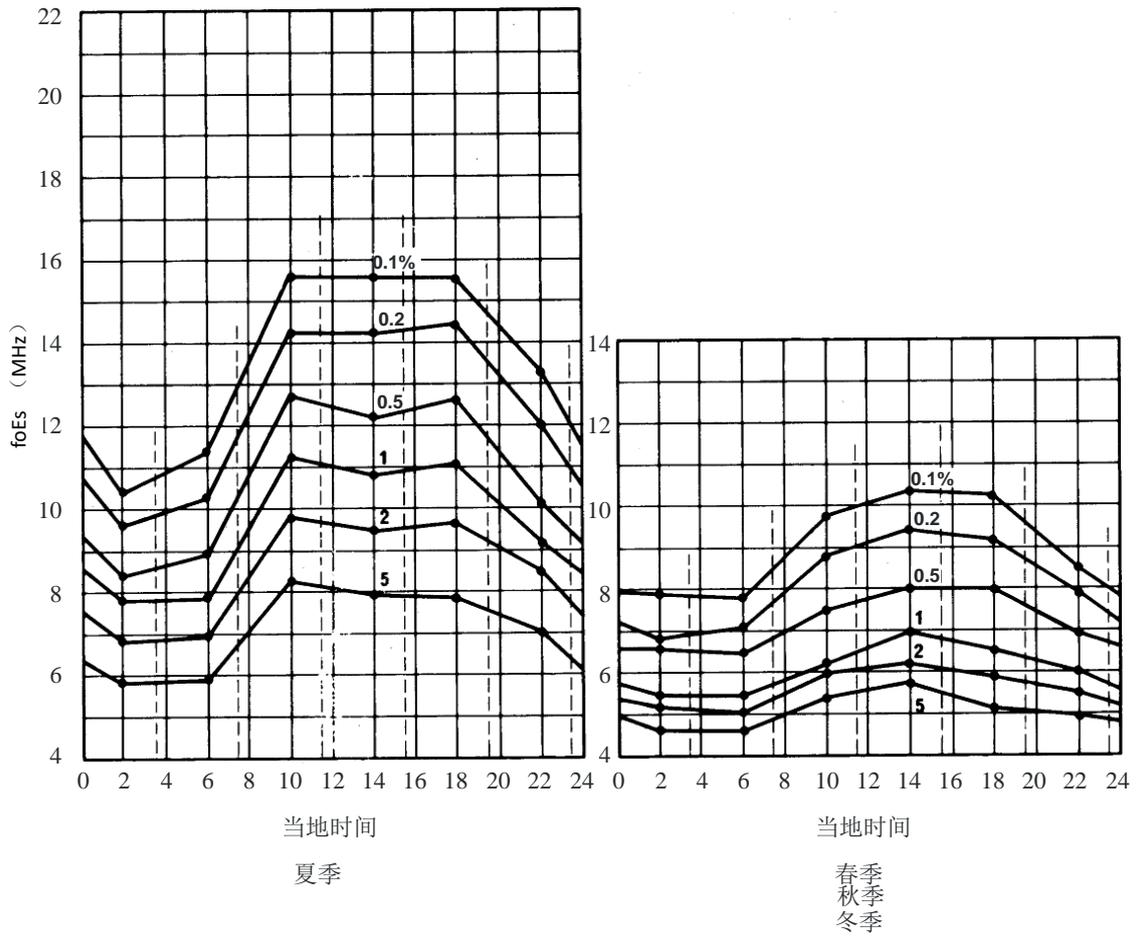
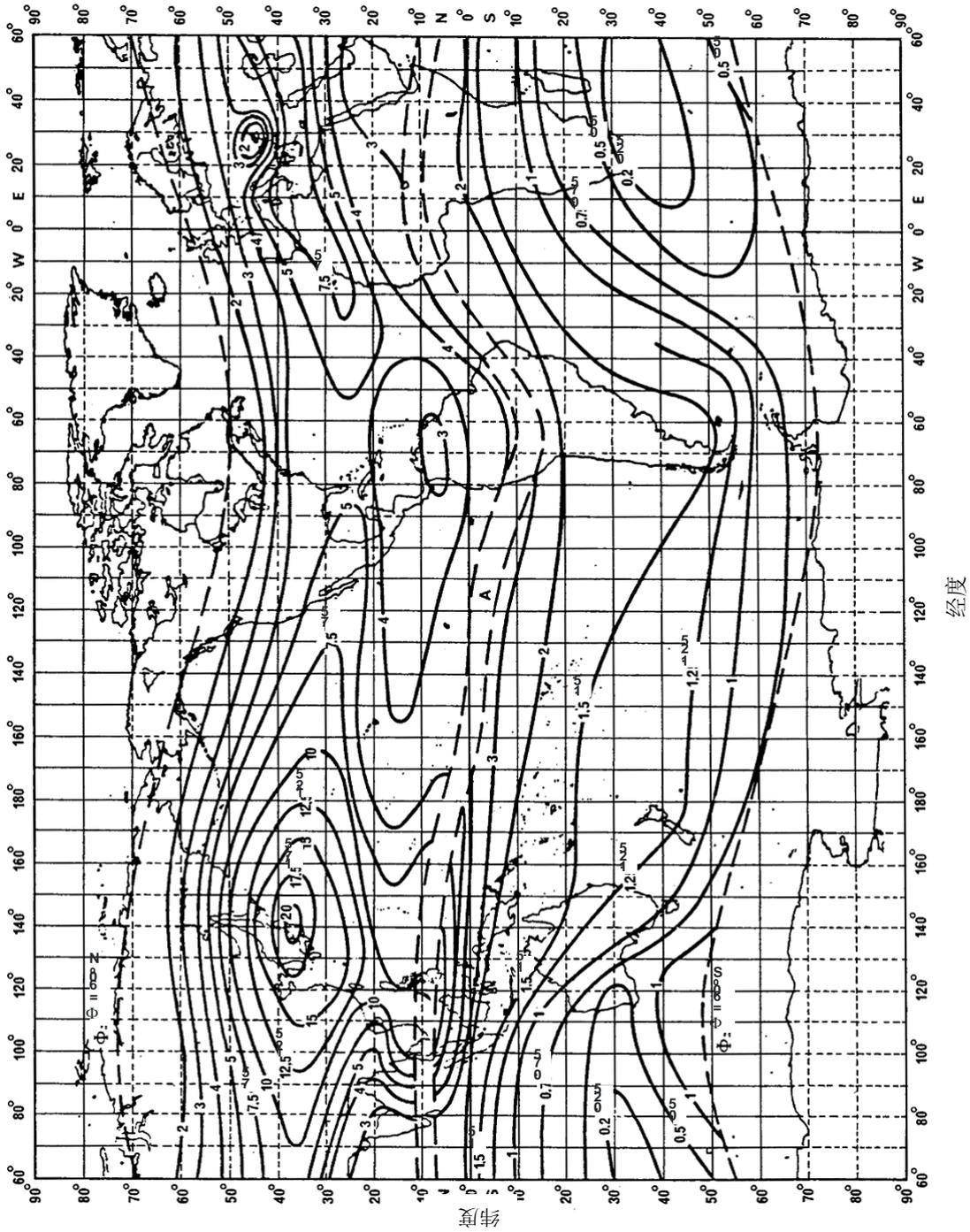


图12

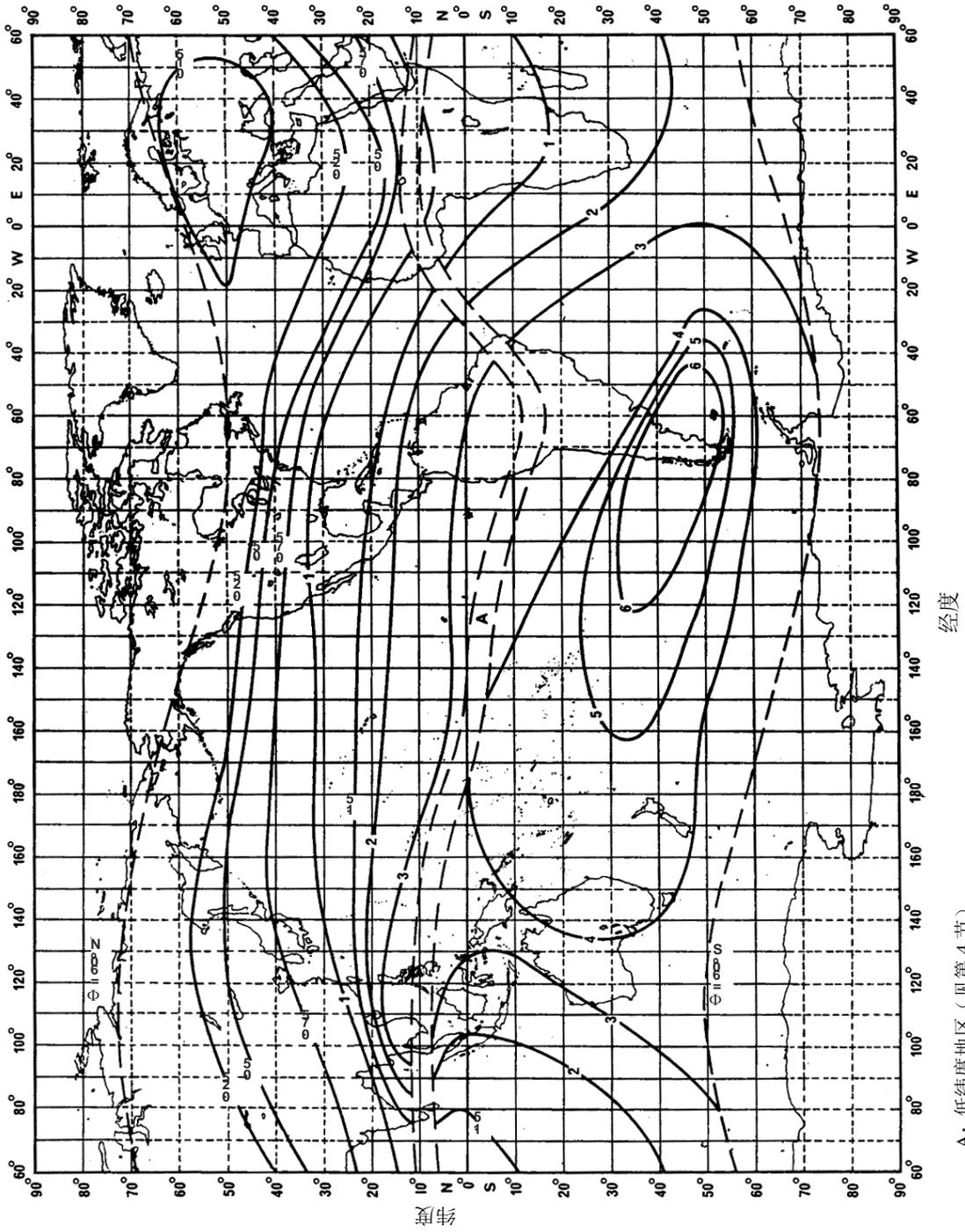
五月、六月、七月和八月在中纬度地区垂直入射的偶发E层 (foE)
等于或者超过7 MHz的时间百分比



A: 低纬度地区 (见第4节)

图13

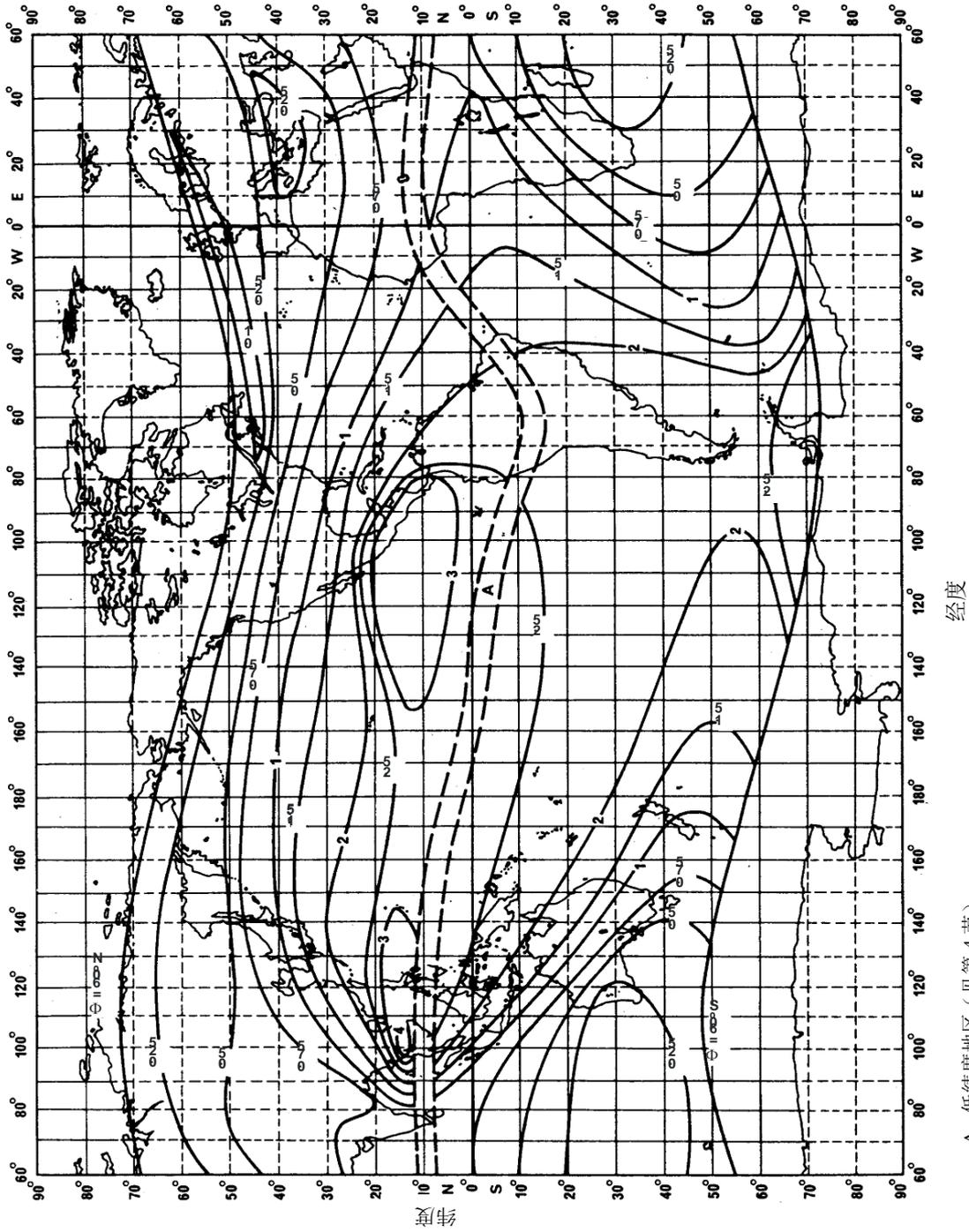
十一月、十二月、一月和二月在中纬度地区垂直入射的偶发E层 (foE)
等于或者超过7 MHz的时间百分比



A: 低纬度地区 (见第 4 节)

图14

三月、四月、九月和十月在中纬度地区垂直入射的偶发E层 (foE)
等于或者超过7 MHz的时间百分比

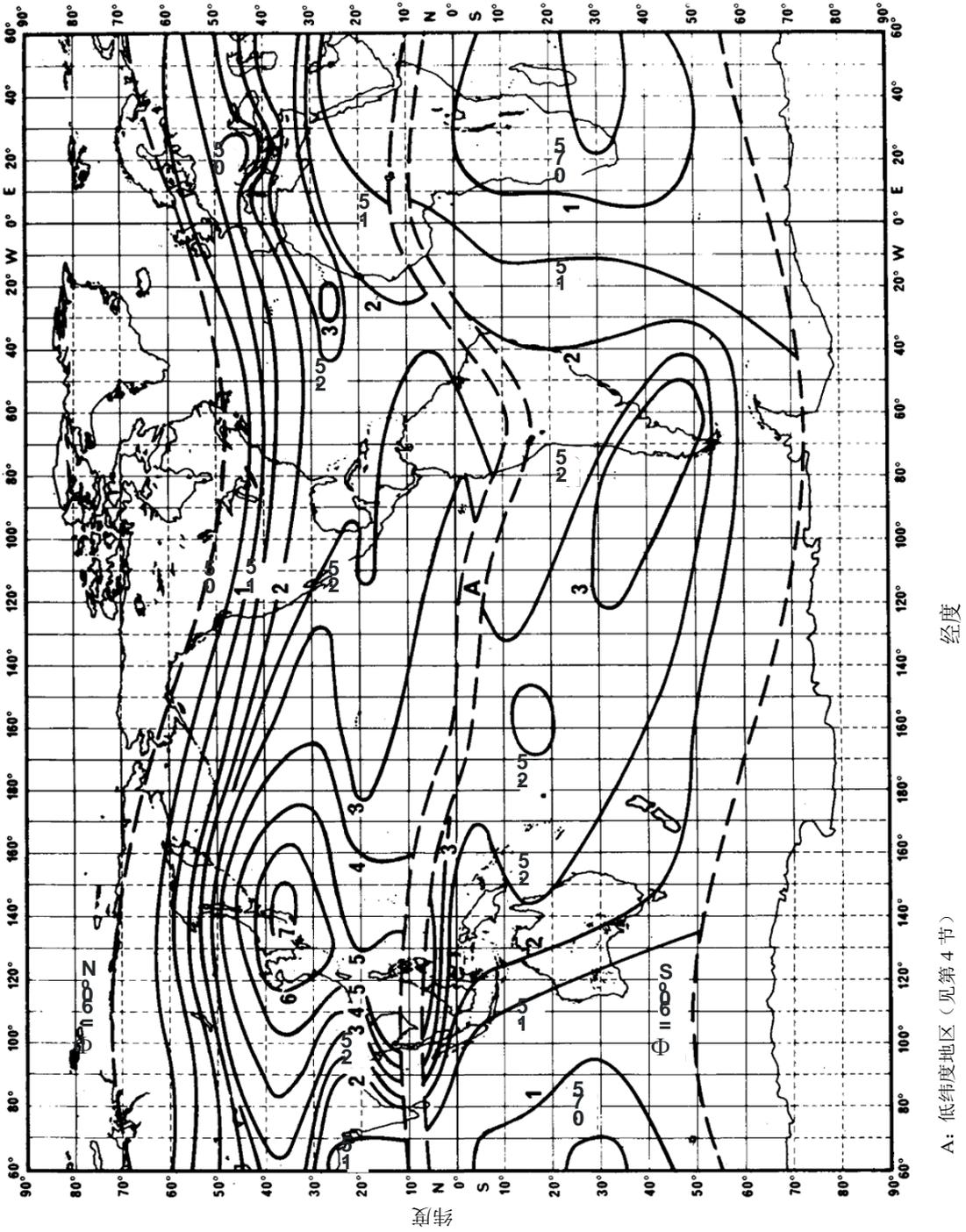


经度

A: 低纬度地区 (见第4节)

图15

一年的十二个月期间在中纬度地区垂直入射的偶发E层 (foE)
等于或者超过7 MHz的时间百分比

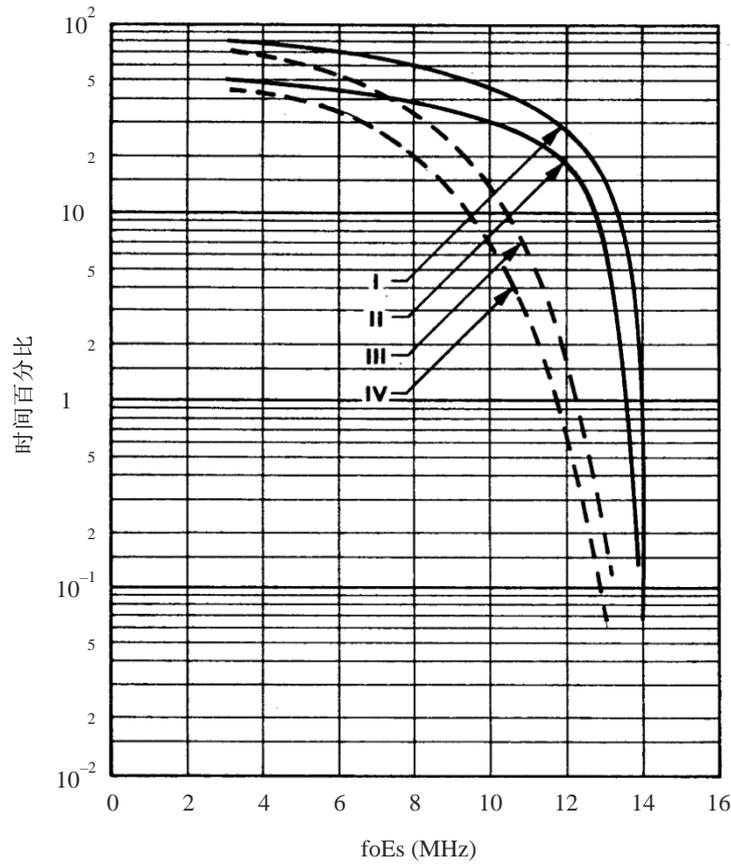


经度

A: 低纬度地区 (见第4节)

图16

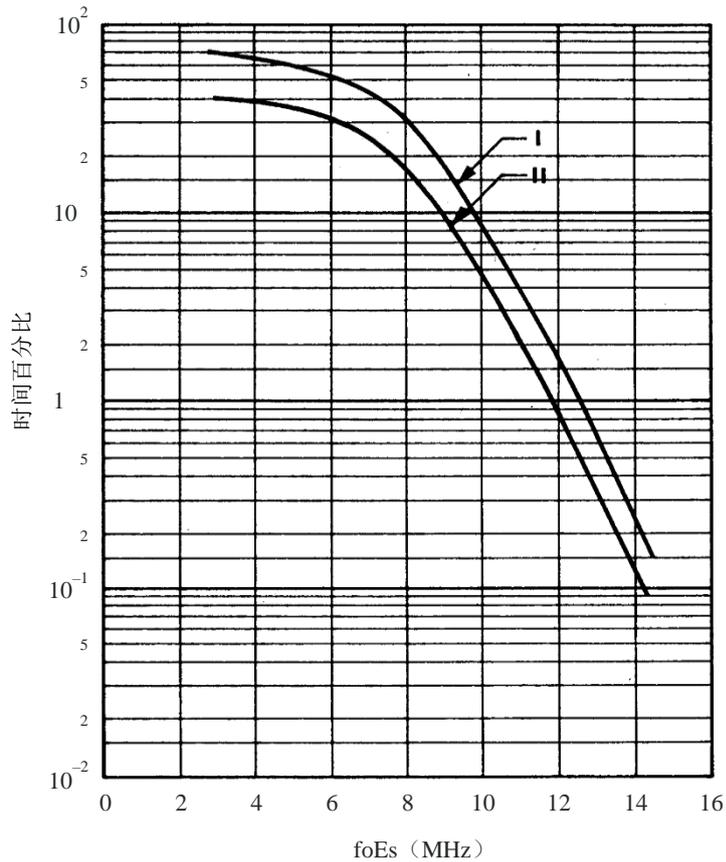
对于指示的时间百分比，等于或者超过的foE的数值



- 地区E: 赤道附近的亚洲 (±6°倾角纬度)
- I: 太阳活动最频繁年份 (0600-1800 h) .
年平均
 - II: 太阳活动最频繁年份.
年平均
 - III: 太阳活动适中和较少的年份 (0600-1800 h) .
年平均
 - IV: 太阳活动适中和较少的年份.
年平均

图 18

对于指示的时间百分比，等于或者超过的foE的数值



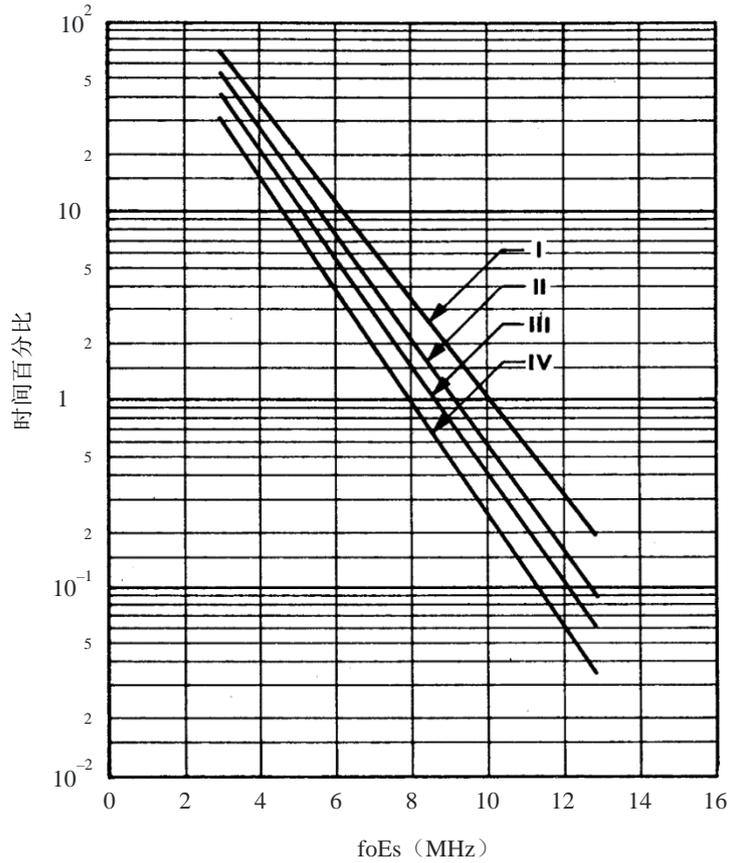
地区F: 赤道附近的非洲 ($\pm 6^\circ$ 倾角纬度)
 I: 年平均 (0600-1800 h)
 II: 年平均

P0534-13

图18的注：季节之间的差异小于年平均误差。太阳活动也没有显著变化。

图19

对于指示的时间百分比，等于或者超过的foE的数值

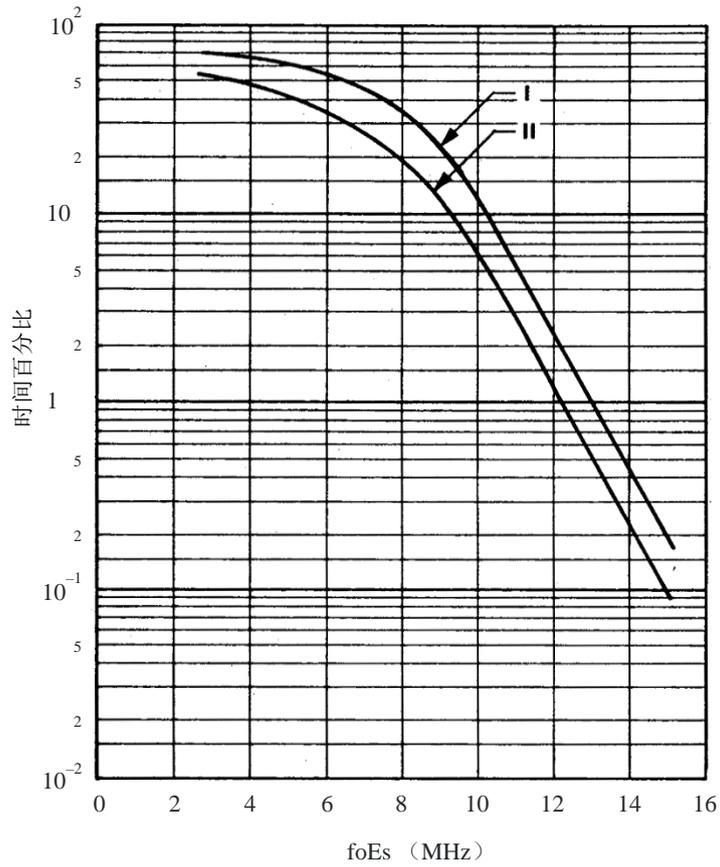


地区F: 亚赤道带非洲 (倾角纬度在
±6°和±20°之间)
I: 夏季 (0600-1800 h)
II: 夏季
III: 年平均和昼夜平分日
IV: 冬季

P0534-19

图20

对于指示的时间百分比，等于或者超过的foE的数值



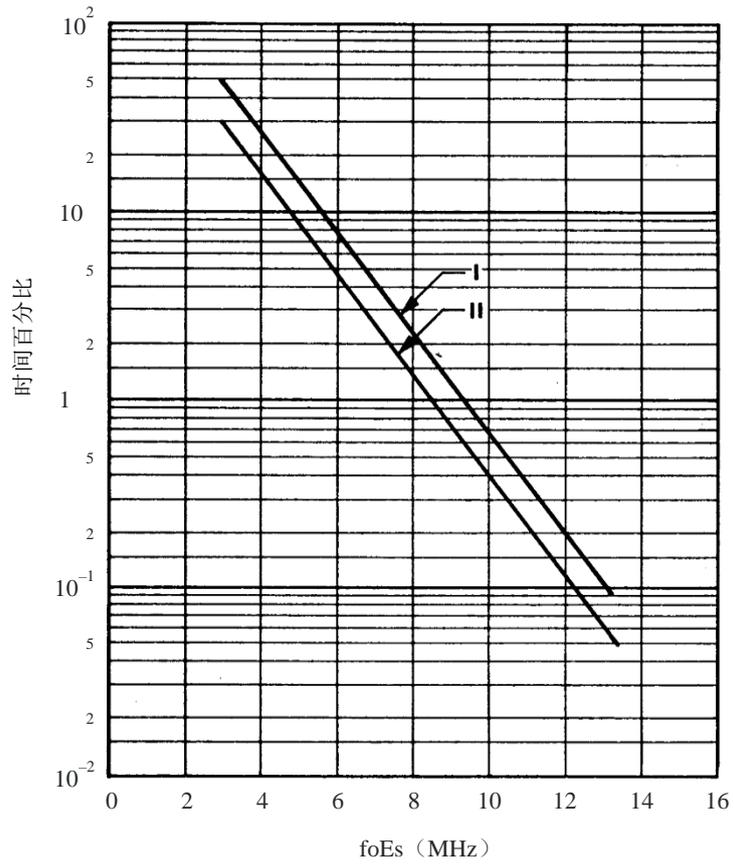
地区 G: 赤道附近的美洲 (±6°倾角纬度)
 I: 年平均 (0600-1800 h)
 II: 年平均

P0534-20

图20的注：季节之间的差异小于年平均误差。

图21

对于指示的时间百分比，等于或者超过的foE的数值



地区 G: 亚赤道带美洲 (倾角纬度在
±6°和±20°之间)
I: 年平均 (0600-1800 h)
II: 年平均

P0534-21

图21的注: 季节之间的差异小于年平均误差。

4.3 年度百分比时间超过的foE的全球图

为了便于基于计算机的预测，已经制定出了在50%、10%、1%和0.1%的年度平均时间百分比内不会被超过的偶发E层的临界频率foE（MHz）的地图集。这些地图是以包含101个电离层探测站长期测量数据的全球数据集为基础，可以从ITU-R第3研究组网站得到这些地图的电子版，时间百分比为50%时的foE地图示例见图22。

不超过年平均时间百分比50%、10%、1%和0.1%的偶发E层临界频率foE（MHz）是本建议书不可或缺的组成部分，可通过补充文件[R-REC-P.534-6-202109-I!!ZIP-E.zip](#)中的数字地图获取。这些地图基于一个全球数据集，其中包含来自101个电离层探测站的长期测量数据。纬度网格从北纬90°到南纬90°间隔为1.5个步长，经度网格从东经0°到东经360°间隔为1.5个步长。

5 基于年度统计数字地图的偶发E层预测

本方法以平均年中0.1%、1%、10%和50%的时间被超过的foE的地图为基础，给出了平均年中某一给定百分比的时间内不会超过的偶发E层传输损耗，此方法主要是在预测的损耗需要随着位置平稳变化的情况下，用于计算机实现对低纬度和中纬度地区长路径上干扰的预测，此方法对于低地磁纬度或高地磁纬度地区不再可靠。

计算包括根据离源角而变化的终端屏蔽，因此对于所有的路径长度，都要针对单跳和两跳进行计算，在步骤的最后要对这两个结果进行组合。

在不能获得关于终端水平仰角和距离信息的情况下，应该采用估计的方法。如果据了解相关地区内的地形是平坦的或者包含大面积的水域，表面反射可能会引起损耗降低从而有助于电离层的传播，下面的方法没有试着去评估这种影响。

5.1 foE的推导

对于给定的时间p%，根据表1来设置用于内插或者外插的百分比时间值p₁和p₂。

表1

设置p₁和p₂的条件

时间p%	p ₁	p ₂
p < 1%	0.1%	1%
1% ≤ p ≤ 10%	1%	10%
10% < p	10%	50%

对于给定的位置，分别从以百分比时间p₁和p₂被超过的foE的地图获得foE₁和foE₂，使用以下公式计算在p%的时间被超过的foE：

$$f_{oEs} = f_{oEs1} + (f_{oEs2} - f_{oEs1}) \cdot \log(p/p_1) / \log(p_2/p_1) \quad (\text{MHz}) \quad (7)$$

5.2 水平仰角

任何一个终端处的地形遮挡也会产生额外的衰减。

对于每一个终端，沿着此终端向着另一个终端的大圆弧路径寻找地面点，此地面点具有从此终端角度看过去的、在本地地平线上的最大仰角，给定地面点的水平仰角由以下公式计算：

$$\varepsilon_p = \arctan\left(\frac{h_p - h_a}{1000d_p} - \frac{d_p}{2R_0}\right) \quad (\text{弧度}) \quad (8)$$

其中:

d_p : 到地面点的距离, km;

h_p : 地面点的海拔高度, m;

h_a : 终端天线的海拔高度, m。

进行此运算两次, 对每个终端各计算一次, 得到以下参数:

$\varepsilon_{ha,b}$: 第1个和第2个终端到地平线的仰角, 以弧度计;

$d_{ha,b}$: 第1个和第2个终端到地平线的距离, km。

5.3 单跳传播的计算

为了使用方程式 (3) 获得单跳的电离层损耗 Γ_1 , 可由方程式 (7) 计算路径中间点的 foE 。

采用以下公式计算倾斜路径长度:

$$l_1 = 2 \left\{ R_0^2 + (R_0 + h)^2 - 2R_0(R_0 + h)\cos(d/(2R_0)) \right\}^{0.5} \quad (\text{km}) \quad (9)$$

于是可以用以下公式计算倾斜距离的自由空间损耗:

$$L_{bfs1} = 32.4 + 20\log(l_1 \cdot f) \quad (\text{dB}) \quad (10)$$

在单跳情况下, 两个终端在本地水平线以上的射线离源角为:

$$\varepsilon_{r1} = 0.5\pi - \arctan\left\{ \frac{R_0 \sin(\alpha_1)}{h + R_0[1 - \cos(\alpha_1)]} \right\} - \alpha_1 \quad (\text{弧度}) \quad (11)$$

其中:

$$\alpha_1 = d/(2R_0) \quad (\text{弧度}) \quad (11a)$$

两个终端的以弧度计的衍射角为:

$$\delta_{1a,b} = \varepsilon_{ha,b} - \varepsilon_{r1} \quad (\text{弧度}) \quad (12)$$

相应的衍射参数为:

$$v_{1a,b} = 3.651 \sqrt{f d_{ha,b} [1 - \cos(\delta_{1a,b})] / \cos(\varepsilon_{ha,b})} \quad \text{如果 } \delta_{1a,b} \geq 0 \quad (13a)$$

$$= -3.651 \sqrt{f d_{ha,b} [1 - \cos(\delta_{1a,b})] / \cos(\varepsilon_{ha,b})} \quad \text{其它} \quad (13b)$$

两个终端以dB计的衍射损耗为:

$$L_{p1a,b} = 6.9 + 20\log \left[\sqrt{(v_{1a,b} - 0.1)^2 + 1} + v_{1a,b} - 0.1 \right] \quad \text{如果 } v_{1a,b} > -0.78 \quad (14a)$$

$$= 0.0 \quad \text{其它} \quad (14b)$$

于是偶发E层单跳的基本传输损耗为:

$$L_{bEs1} = L_{bfs1} + \Gamma_1 + L_{p1a} + L_{p1b} \quad (\text{dB}) \quad (15)$$

5.4 两跳传播的计算

为了使用方程式(3)重新计算 Γ_1 ,从而使用方程式(4)获得两跳的电离层损耗,可由方程式(7)计算沿路径在四分之一处和四分之三处的临界频率值,并取这两个值中的较小者作为 foE 。

采用以下公式计算倾斜路径长度:

$$l_2 = 4 \left\{ R_0^2 + (R_0 + h)^2 - 2R_0(R_0 + h)\cos(d/(4R_0)) \right\}^{0.5} \quad (\text{km}) \quad (16)$$

于是可以用以下公式计算倾斜距离的自由空间损耗:

$$L_{bfs2} = 32.4 + 20\log(l_2 \cdot f) \quad (\text{dB}) \quad (17)$$

在两跳情况下,两个终端在本地水平线以上的射线离源角为:

$$\varepsilon_{r2} = 0.5\pi - \arctan \left\{ \frac{R_0 \sin(\alpha_1)}{h + R_0[1 - \cos(\alpha_1)]} \right\} - \alpha_2 \quad (\text{弧度}) \quad (18)$$

其中:

$$\alpha_2 = d/(4R_0) \quad (\text{弧度}) \quad (18a)$$

两个终端以弧度计的衍射角为:

$$\delta_{2a,b} = \varepsilon_{p2a,b} - \varepsilon_{r2} \quad (\text{弧度}) \quad (19)$$

相应的衍射参数为:

$$v_{2a,b} = 3.651 \sqrt{f d_{ha,b} [1 - \cos(\delta_{2a,b})]} / \cos(\varepsilon_{ha,b}) \quad \text{如果 } \delta_{2a,b} \geq 0 \quad (20a)$$

$$= -3.651 \sqrt{f d_{ha,b} [1 - \cos(\delta_{2a,b})]} / \cos(\varepsilon_{ha,b}) \quad \text{其它} \quad (20b)$$

两个终端以dB计的衍射损耗为:

$$L_{p2a,b} = 6.9 + 20\log \left[\sqrt{(v_{2a,b} - 0.1)^2 + 1} + v_{2a,b} - 0.1 \right] \quad \text{如果 } v_{2a,b} > -0.78 \quad (21a)$$

$$= 0.0 \quad \text{其它} \quad (21b)$$

于是偶发E层两跳基本传输损耗为:

$$L_{bEs2} = L_{bfs2} + \Gamma_2 + L_{p2a} + L_{p2b} \quad (\text{dB}) \quad (22)$$

5.5 基本传输损耗

目前基本偶发E层传输损耗 L_b (dB)由下式给出:

$$L_{bEs} = L_{bEs1} \quad L_{bEs1} < L_{bEs2} - 20 \quad (23a)$$

$$= L_{bEs2} \quad L_{bEs2} < L_{bEs1} - 20 \quad (23b)$$

$$= -10 \cdot \log \left(10^{-0.1 \cdot L_{bEs1}} + 10^{-0.1 \cdot L_{bEs2}} \right) \quad \text{其它} \quad (23c)$$