

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R P.372-11 建议书
(09/2013)

无线电噪声

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

© 国际电联 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.372-11 建议书

无线电噪声*

(第ITU-R 214/3号课题)

(1951-1953-1956-1959-1963-1974-1978-1982-1986-1990-1994-2001-2003-2007-2009-2013年)

范围

ITU-R P.372建议书提供了有关0.1 Hz至100 GHz范围内射频噪声的背景电平，并考虑到雷电和人为来源给银河系和较低大气层温度造成的噪声。其中给出的数字或温度为估算系统性能提供了依据。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 无线电噪声为无线电系统的性能设定了限值；
- b) 有效的天线噪声数值或天线噪声温度，以及接收噪声包络幅度概率分布，均为适用于确定和设计系统性能的参数（几乎在任何时候都是必要条件，但有时不是充分条件）；
- c) 通常不宜采用其噪声数值低于最低外部噪声确定的噪声数值的接收系统；
- d) 应将有关外部自然来源无线电发射的知识用于
 - 评估大气层对无线电波的影响；
 - 分配地球环境遥感所用的频率，

做出建议

应酌情将用以下信息用于系统的设计与分析：

1 无线电噪声源

ITU-R V.573建议书对无线电噪声作了如下定义：

«无线电（频率）噪声；

一种在射频范围内具有明显不传送信息的分量的时变电磁现象，这些分量可叠加在有用信号上，或和有用信号相组合。

注 1 – 在某些情况下，射频噪声可能载有噪声源的某些特性，例如，噪声源的性质和其位置。

* ITU-R网站有关无线电通信局第3研究组的部分，提供本建议书介绍的计算机程序，涉及雷电、人为噪声和银河噪声（在大约100 MHz以下频率）引起的大气噪声的特性与应用。

注 2 – 一组信号集合，当它们不能分开来辨识时，可表现为射频噪声。»

ITU-R P.372建议书提供了有关无线电接收系统依赖无线电噪声的数据，这种噪声的来源如下：

- 雷电放电的辐射（雷电引起的大气噪声）；
- 电气机械、电气和电子设备、电力传输线路或外燃引擎点火（人类噪声）引起的集合无意辐射；
- 大气气体和水象的发射；
- 天线波束内的地面或其它障碍；
- 天体无线电来源的辐射。

注 1 – 这里提供的无线电噪声电平估算值，是在没有其它信号的情况下用于背景噪声电平的有意或无意辐射的，从而不在建议书中研究无用共信道发射或个体收发系统杂散发射产生的噪声或信号。

注 2 – 就人为噪声而言，提供的数据在于表示环境类别，显示了在该环境中的典型距离内，使电器和电子活性正常发挥的典型电平。

2 噪声强度规范及其相互关系的术语

一接收系统的噪声系数 f ，是由系统接收终端的一系列声源构成的。等效无损耗接收天线，是无线电接收系统的总体工作噪声系数的唯一适当参考点。（其实，这种无损耗天线终端是不存在的。）就无杂散响应的接收机而言，系统的噪声系数表示为：

$$f = f_a + (f_c - 1) + l_c (f_t - 1) + l_c l_t (f_r - 1) \quad (1)$$

其中：

f_a ： 外部噪声系数定义为：

$$f_a = \frac{P_n}{k t_0 b} \quad (2)$$

注 1 – F_a 为外部噪声系数，其定义为：

$$F_a = 10 \log f_a \quad \text{dB}$$

p_n ： 来自等效无损耗天线的可用噪声功率

k ： 波耳兹曼常数= 1.38×10^{-23} J/K

t_0 ： 参考温度 (K) 测得的结果为 290 K

b ： 接收系统噪声功率带宽 (Hz)

l_c ： 天线电路损耗（可用输入功率/可用输出功率）

l_t ： 传输线路损耗（可用输入功率/可用输出功率）

f_r ： 接收机噪声系数。

注 2 – F_r 为接收机噪声数值，其定义为：

$$F_r = 10 \log f_r \quad \text{dB}$$

f_c 是与天线电路损耗相关的噪声系数,

$$f_c = 1 + (l_c - 1) \left(\frac{t_c}{t_0} \right) \quad (3)$$

f_t 是与传输线路损耗相关的噪声系数,

$$f_t = 1 + (l_t - 1) \left(\frac{t_t}{t_0} \right) \quad (4)$$

其中:

t_c : 天线和附近地面的实际温度 (K)

而且

t_t : 传输线路的实际温度 (K)。

如果 $t_c = t_t = t_0$, 等式(1)变为

$$f = f_a - 1 + f_c f_t f_r \quad (5)$$

等式(2)可写为:

$$P_n = F_a + B - 204 \quad \text{dBW} \quad (6)$$

其中:

$P_n = 10 \log p_n$: 可用功率(W)

$B = 10 \log b$, 和 $-204 = 10 \log k t_0$.

就理想接地平面以上的短 ($h \ll \lambda$) 垂直单极天线而言, r.m.s. 场强的垂直部分表示为:

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} + B - 95.5 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (7)$$

其中:

E_n : b 带宽的场强, 以及

f_{MHz} : 中心频率 (MHz)。

同样, 对于自由空间的半波振子:

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} + B - 98.9 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (8)$$

外部噪声系数也通常以温度 t_a 表示, 其中根据 f_a 的定义:

$$f_a = \frac{t_a}{t_0} \quad (9)$$

t_a 为外部噪声造成的有效天线温度。

可以根据 F_a 的估计值, 利用适合所用天线类型的 (7) 和 (8) 一类等式确定相应数值 E_n 。

上述噪声功率虽然可能是确定信噪比所必需的, 却很少能为确定系统性能提供充足条件 (唯一的例外是高斯白背景噪声)。需要对接收的随机噪声波形进行相应的概率描述。为研究本建议书关注的噪声类型, 接收包络的相位通常是均匀分布的, 而且幅度概率分布 (APD) (超越概率) 也得到确定。至于更高频率 (如 > 大约 1 GHz) 上的冲激噪声过程, 各项 F_a

值均很低，只有较高量级的脉冲能够超越接收机噪声门限值。这里的描述可以采用一特定时段内的峰值、较高水平的超越概率和一特定程度上的脉冲计数等形式。

3 作为频率函数的噪声电平

以下的三个数字和相关论述，明确提出了0.1 Hz至100 GHz频率范围内的 F_a 预期值，以及其它相关的噪声电平。这三个数字显示了第1款提出的噪声类型的相对量级。本建议书后面的章节提供了有关不同噪声类型的更详细信息。

图1涉及0.1 Hz至10 kHz频率范围。实曲线是测得的 F_a 预计每小时中间值（考虑到整个地球表面、一年四季和一天当中的所有时间段），而虚曲线提供了最大预计值。值得注意的是，本频率范围内很少出现季节、每日或地理变化。100-10 000 Hz频率范围内的较大差异，是由于地-电离层的波导截止造成的。

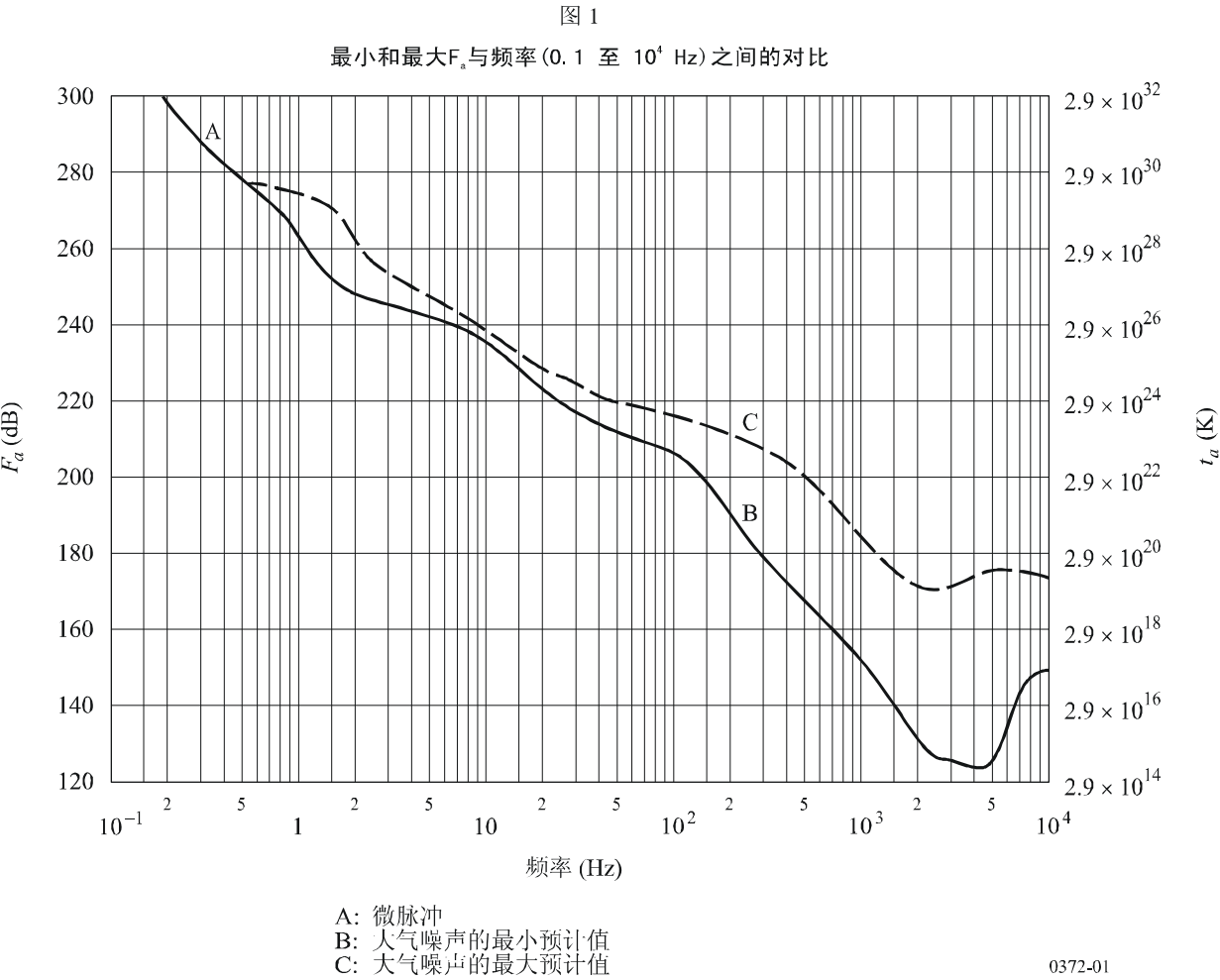


图2介绍了 10^4 至 10^8 Hz, 即10 kHz至100 MHz频段的各类噪声。实曲线表示最低预计噪声。就大气噪声而言, 预计的最低每小时中间值被认为是超过总时间99.5%的数值, 而预计的最高每小时中间值是超过总时间0.5%的数值。而对于大气噪声曲线而言, 一天当中的所有时间段、一年四季以及整个地球表面都被考虑在内。

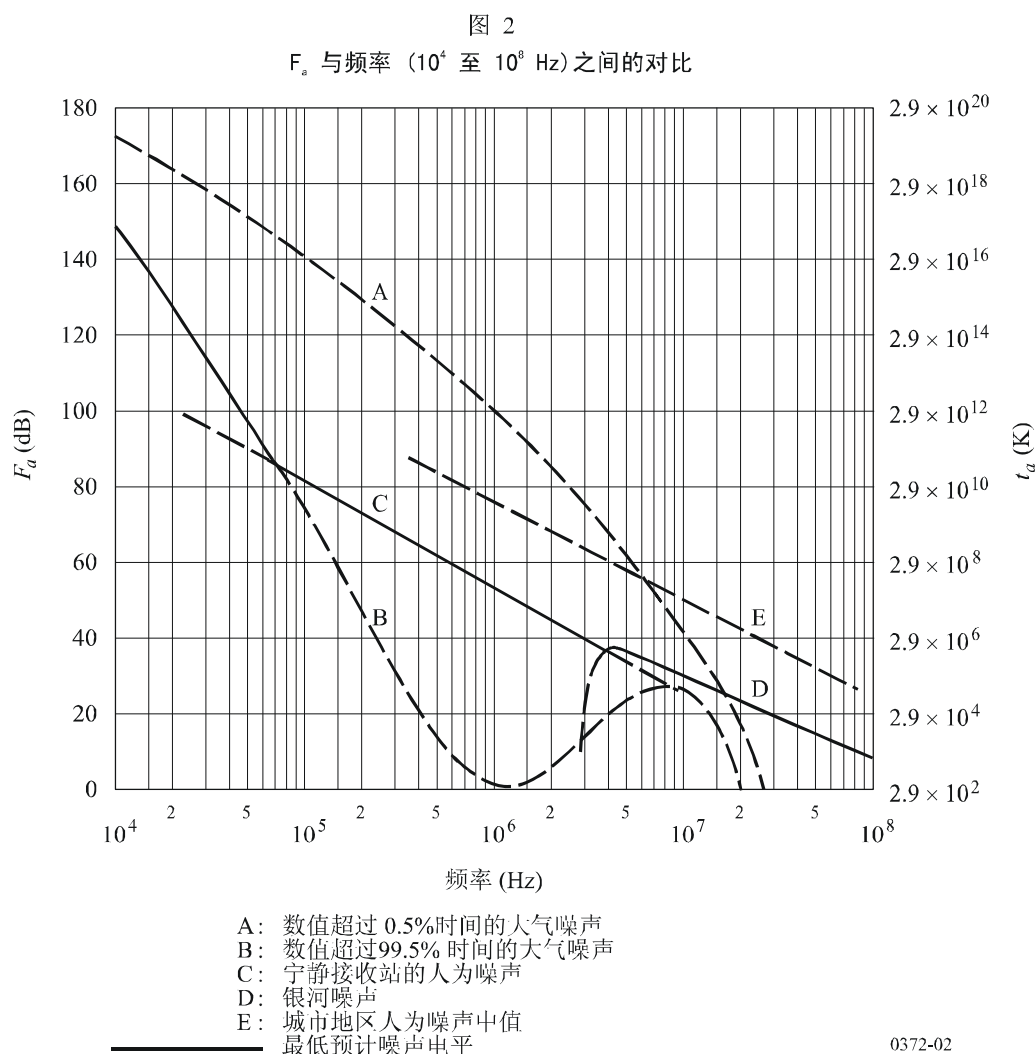


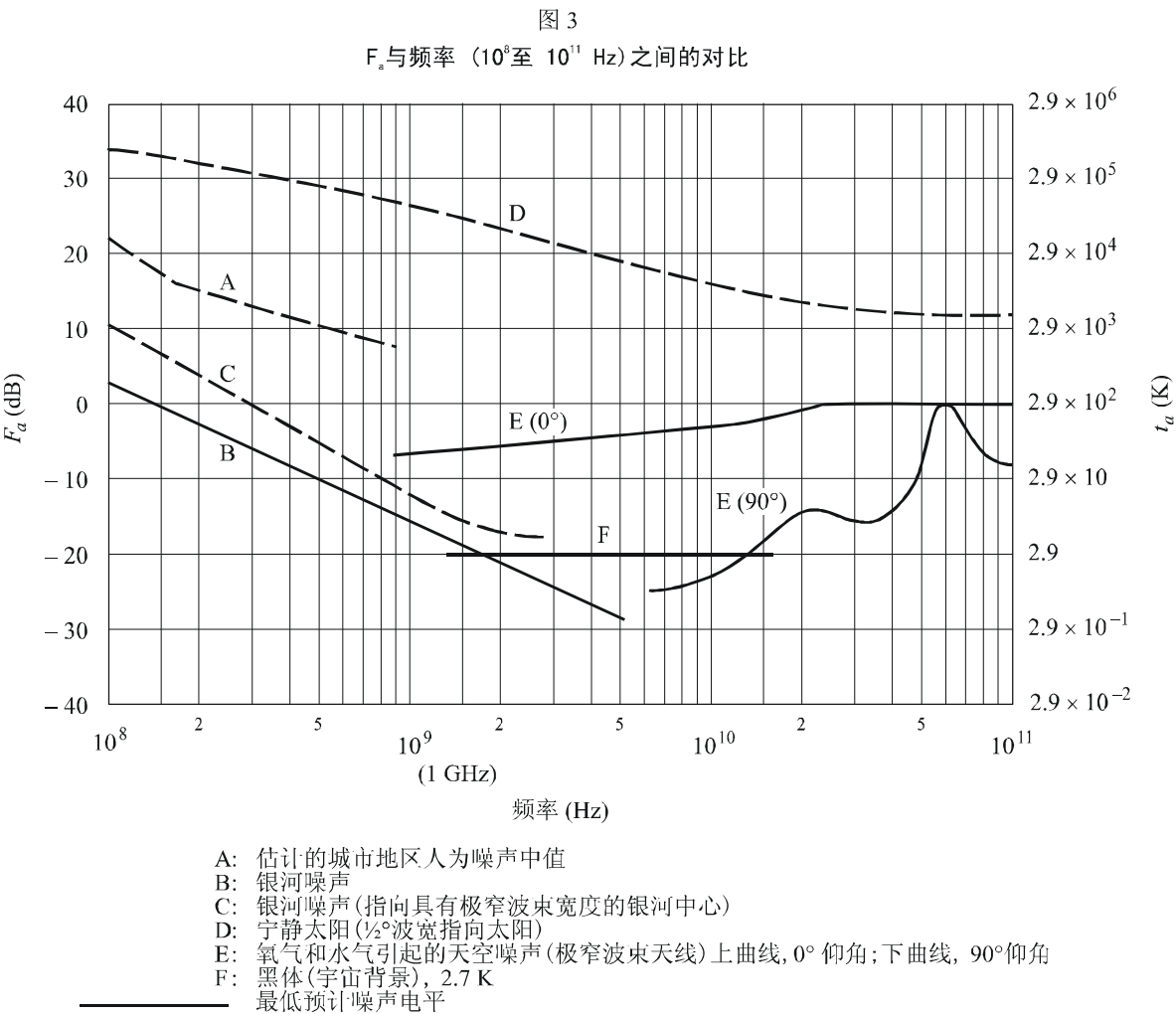
图3涉及 10^8 至 10^{11} Hz, 即100 MHz至100 GHz频段。同样, 随机噪声表示为实曲线, 而某些其它相关噪声则以虚曲线表示。

三个图中显示的多数结果是用于全向天线的 (但图表作出说明的除外)。然而就定向天线进行的研究显示, (例如) 在HF, 在雷电给极窄波束天线带来的大气噪声的情况下, 由于天线指向、频率和地理位置的不同, 会有高达10 dB的差异 (高于或低于显示的 F_a 平均值5 dB)。

标为银河噪声的实线 (图2和3) 给出了银河噪声 (整个天空) 的平均值。测量显示, 在对电离层屏蔽忽略不计的情况下, 存在 ± 2 dB的差异。最低银河噪声 (指向银极的窄波束天线) 较图3显示的银河噪声实曲线低3 dB。图3以虚线表示窄波束天线的最高银河噪声。

4 来自大气气体和地球表面的噪声

来自太阳、大气气体、地球表面等个体来源的噪声，通常以亮度温度 t_b 表示。天线温度 t_a 是天线图和天地亮温的卷积。对于其图包括单一来源的天线而言，天线温度和亮度温度是相同的（图3中的C、D和E曲线便是例证）。



0372-03

图4和5显示了地基接收机的大气亮温，但对于图4中1至340 GHz和图5的1至60 GHz频率而言，该温度不包括宇宙噪声影响达2.7 K或其它的地外来源。在计算这些曲线时，对七个不同仰角和一个平均大气（7.5 g的表面水汽密度、288 K的表面温度和标高2 km的水气）使用了辐射传输程序。1976年美国标准大气模式被用于干燥大气。在对流层顶上增加了典型的水气成因。

图 4
水汽浓度达 7.5 g/m^3 的亮温 (空气清新)
(表面温度和压力等于 15°C 和 $1\,023\text{ mb}$); θ 为仰角

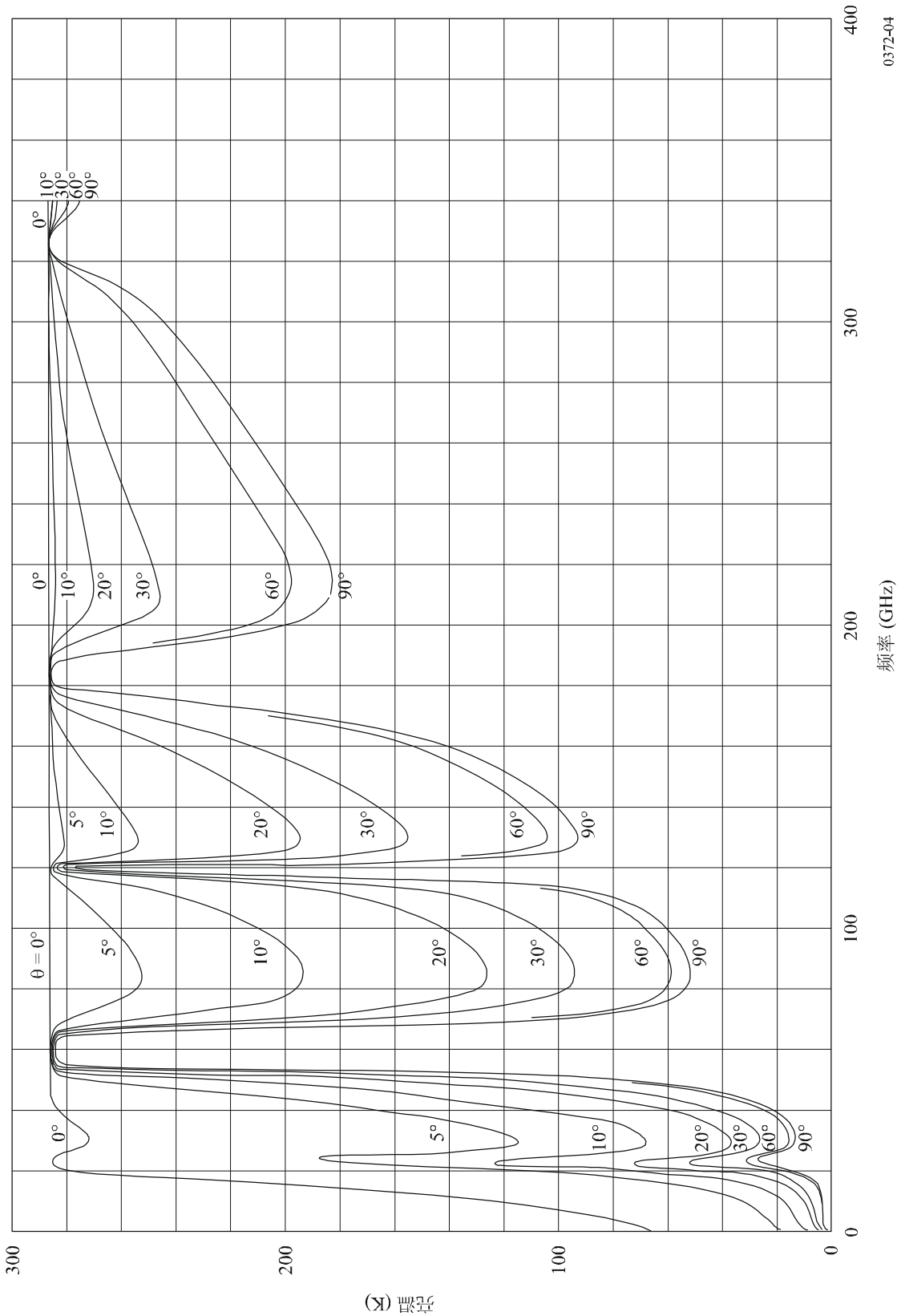
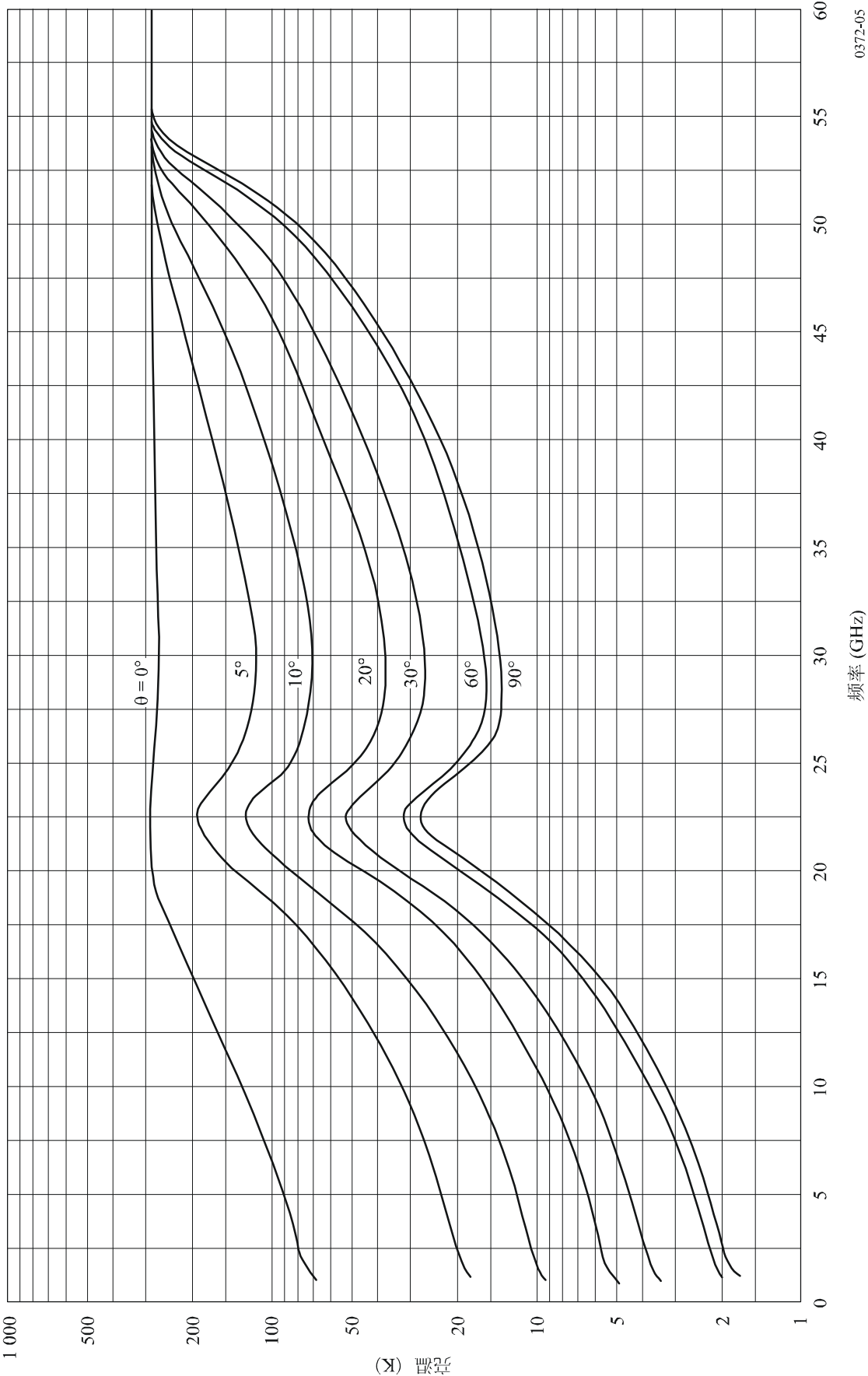


图 5
水汽浓度达7.5 g/m³的清新空气亮温
(图4的横座标尺度扩展)； θ 为仰角)



0372-05

在进行地对空通信时，如果已知飞行器发射机的信号衰减，可从以下公式得出该方向2到30 GHz频率的亮温的准确估值：

$$t_b = t_e (1 - e^{-d}) + 2.7 \quad \text{K} \quad (10)$$

其中：

d ： 光学厚度 = 衰减 (dB/4.343)

t_e ： 有效温度，通常取值约275 K。

上述关系将为30 GHz以下频率提供精度达约0.1 dB的结果。在该频率以上，一种散射分量会进入衰减，从而会使对亮温的估值过高。上述关系适用于降雨衰减。

美国已开展了包括云效应在内的辐射传输研究，并从一个有15年历史的为15个单独地点设立的数据库选出一典型年份的气象数据，计算出天顶亮温。图6a)和6b)提供了从美国亚利桑那州犹马镇（年降雨5.5 cm）和纽约市（年降雨98.5 cm）两地采集的五个不同频率的结果。从图中曲线可以看出，90 GHz的天顶亮温可能低于44 GHz的天顶亮温。每个极低天顶亮温都呈现这种情况，这意味着水汽含量极低（低于大约3 g/m³）。然而从图4可以看出，90 GHz和44 GHz频率上的亮温几乎相等。

从某一天底角观察到的地表亮温，可采用辐射传输公式进行计算，以便对下降流大气辐射的反射以及地表辐射的发射加以说明。

这项计算包括下降流大气辐射在所有角度的集成，还包括大气衰减。

可将它简化为：

$$T = \epsilon T_{surf} + \rho T_{atm}$$

其中：

ϵ ： 表层的有效放射率

ρ ： 有效反射系数

T_{surf} ： 地表的物理温度 (K)

T_{atm} ： 天空亮温加权平均值。

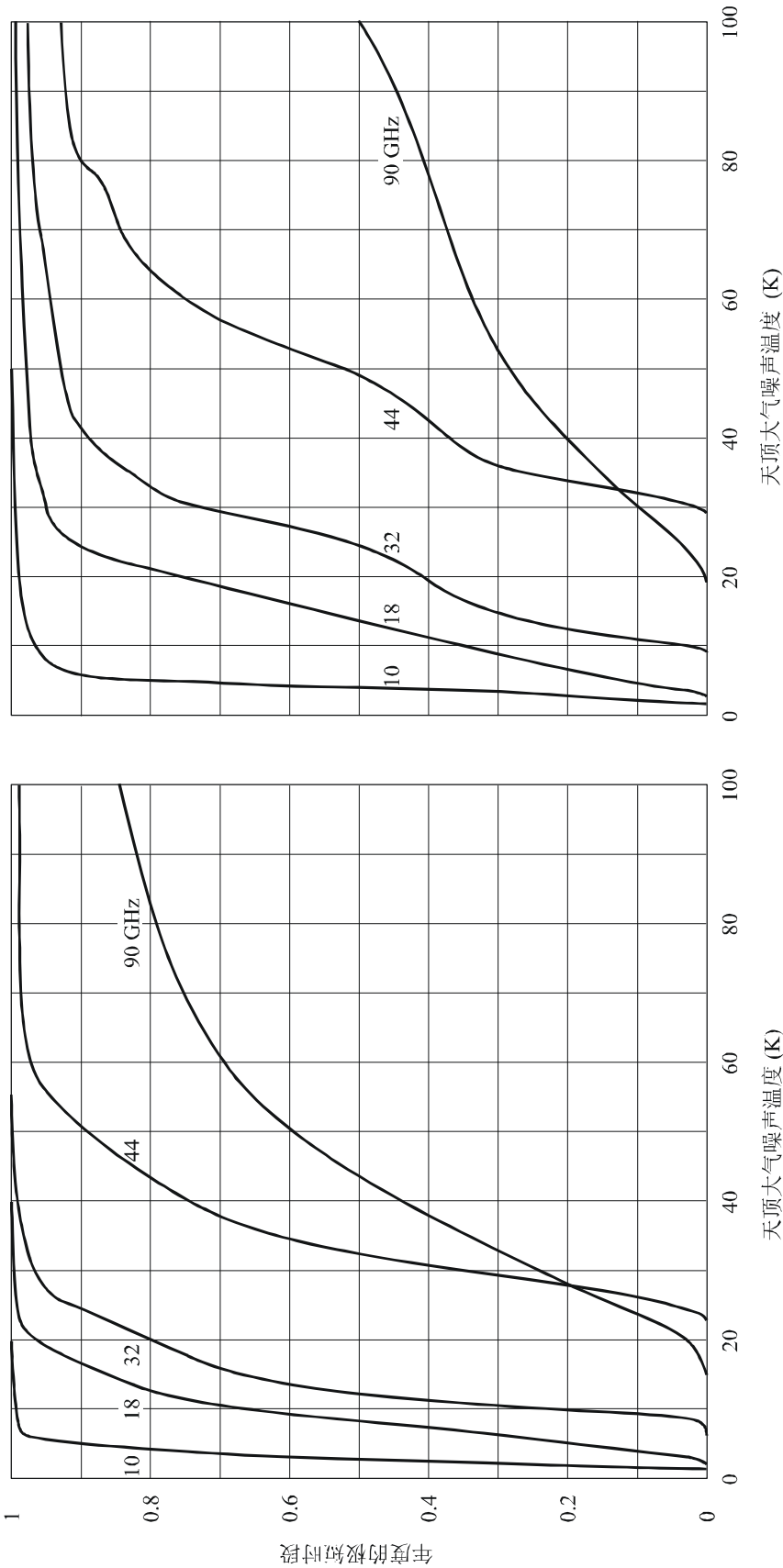
在高达 100 GHz 但尤其是低于 10 GHz 时，反射系数 ρ 通常很高，而放射率 ϵ 很低。

图 7a) 给出了垂直和水平极化以及两个入射角的平静水面放射率和亮温。值得注意的是，在 5 GHz 以上就无法辨别淡水和咸水。

图 7b) 显示了在每千份盐水中含有 36 份盐的情况下，作为海平面物理温度函数的三个频率的海平面天底亮温。

图 7c)和 7d)提供了在风速情况下海平面的亮温上升，这也为风暴探测提供了有力工具。

图 6
瞬时天顶天空噪声（亮度）
典型年份的温度等于或低于横座标值

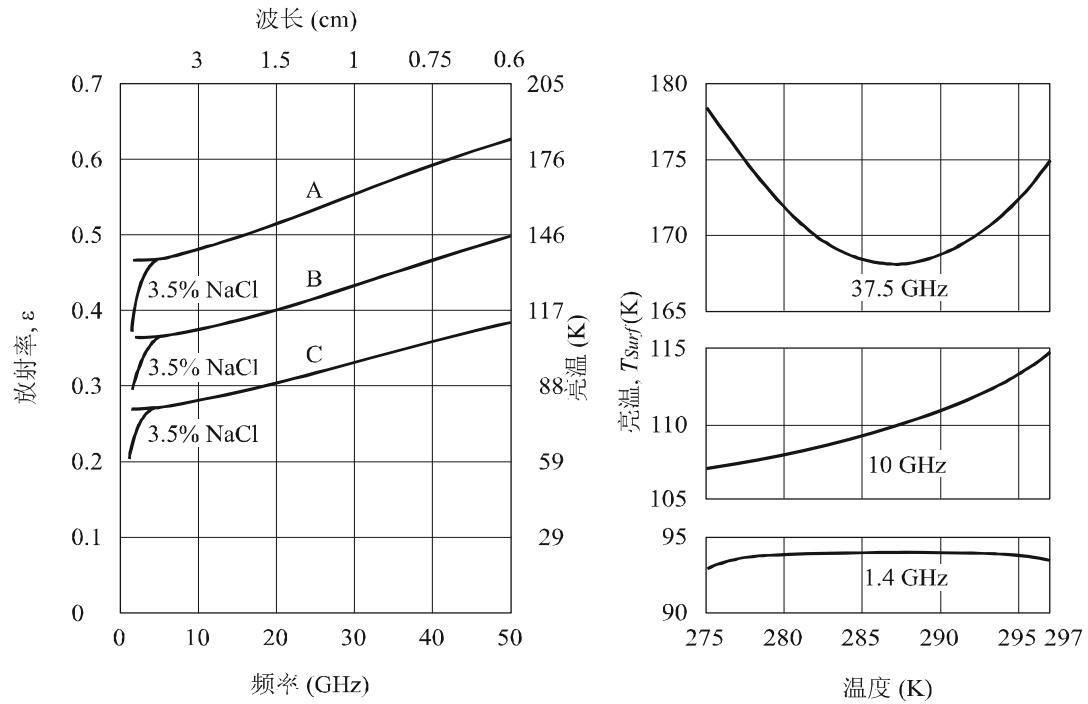


a) 美国亚利桑那州犹马镇（总降雨量55毫米，1961年）

b) 美国纽约州纽约市（总降雨量985毫米，1959年）

图 7

海平面放射率和亮温的变化



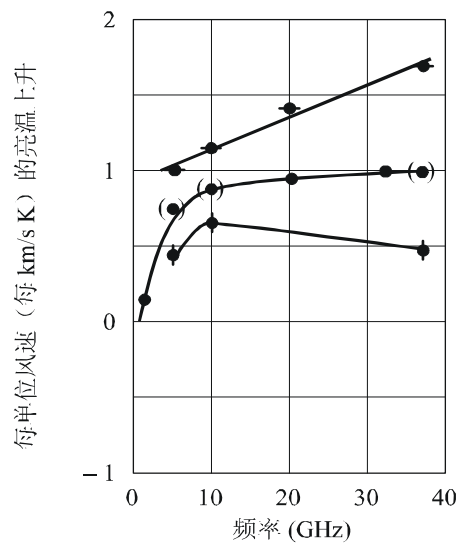
a) 平静水面的放射率

A: 垂直极化

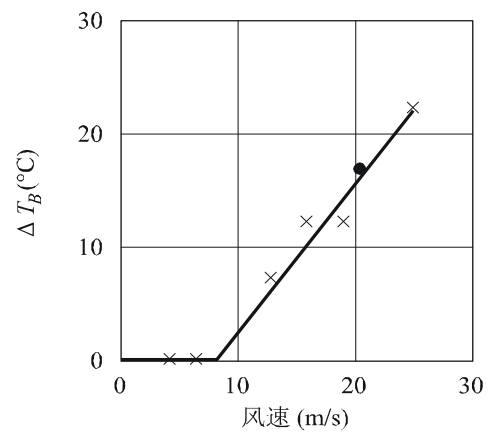
B: 45°和0°入射角

C: 水平极化

b) 在每千份盐水中含36份盐的情况下, 作为海平面温度函数(天底)的海平面亮温



c) 洋面风引起的亮温上升频谱



d) 风速在19.35 GHz引起的洋面亮温上升

- 天底
- ◆ 垂直极化 (38°)
- ◆ 水平极化 (38°)
- (●) 推导

- × 大西洋, 北海
- 沙顿海

由于陆地介电常数较低，地表的放射率（和由此产生的亮温）高于水面。图 8a)显示了平坦旷野在不同湿度情况下的亮温；图 8b)则介绍了不同粗糙度下的亮温。曲线代表垂直、水平和圆形极化。如果湿度上升，亮温就会下降；粗糙度越高，亮温也越高。

图9展现的是卫星利用地球覆盖波束（地球充斥3 dB点之间的主要波束），从对地静止轨道观察到的亮温计算结果。随着卫星围绕其轨道运行，我们可以在东经30°观察到非洲地块（热），在西经180°至150°看到太平洋（冷）。主要由于气体吸收的原因，亮温随频率的提高而增加。曲线代表美国标准大气模式测得的2.5 g/m³ 水汽和50%的云层。地球覆盖天线图表示为 $G(\varphi) = -3(\varphi/8.715)^2$ dB for $0 \leq \varphi \leq 8.715$ ，其中 φ 为偏离角。

5 人为噪声

图10展示了多种环境中的人为噪声功率¹。图中还包括一条银河噪声曲线（见第6款）。

在任何情况下，结果都与中间值 F_{am} 的线性差异相一致，频率 f 的形式为：

$$F_{am} = c - d \log f \quad (11)$$

当 f 以MHz表示时， c 和 d 则采用表1提供的数值。请注意，除图中所示的曲线D和E的环境类型之外，公式（11）适用于0.3 至 250 MHz频率范围内的所有环境类型。

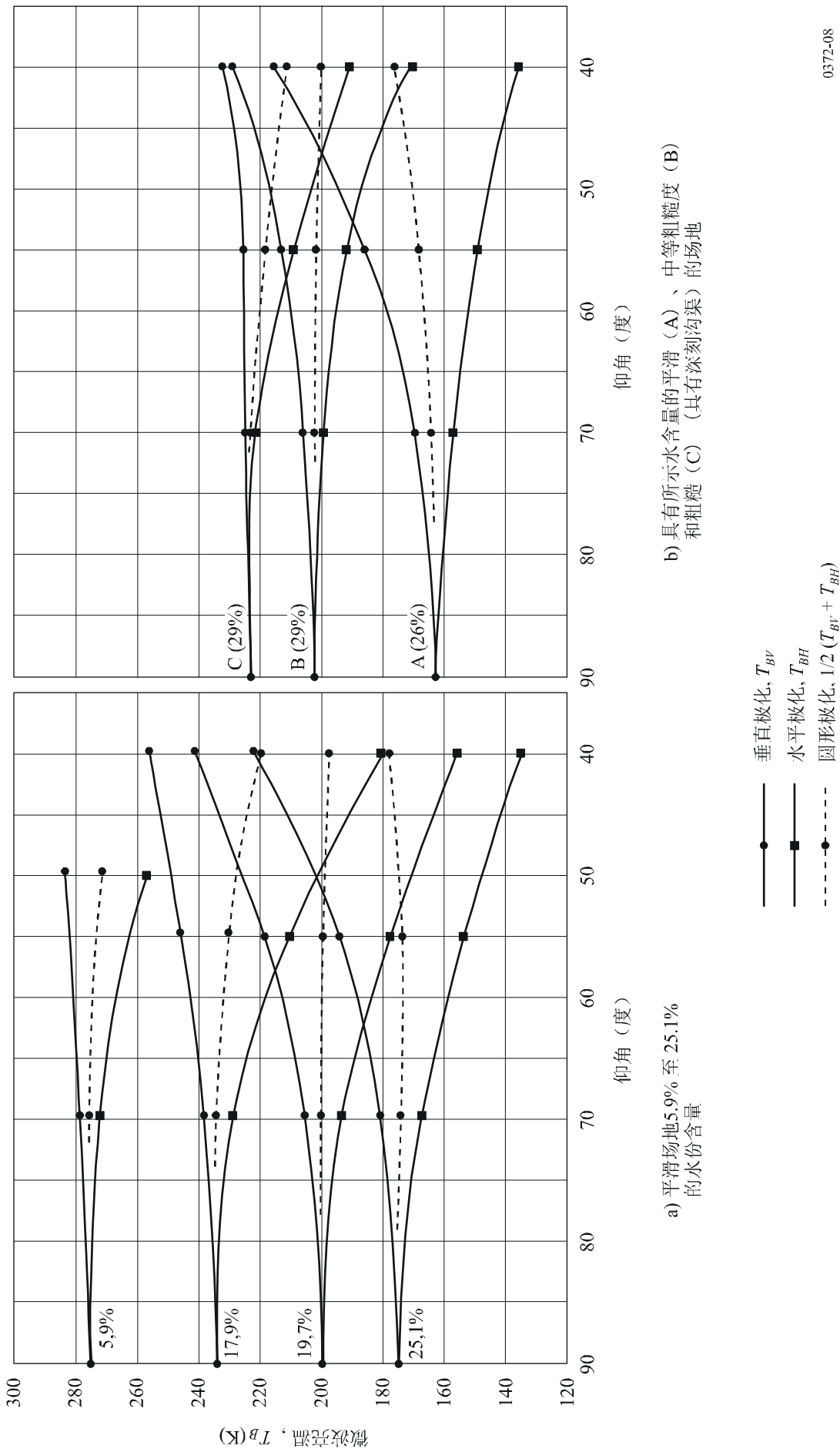
表 1
常数 c 和 d 的数值

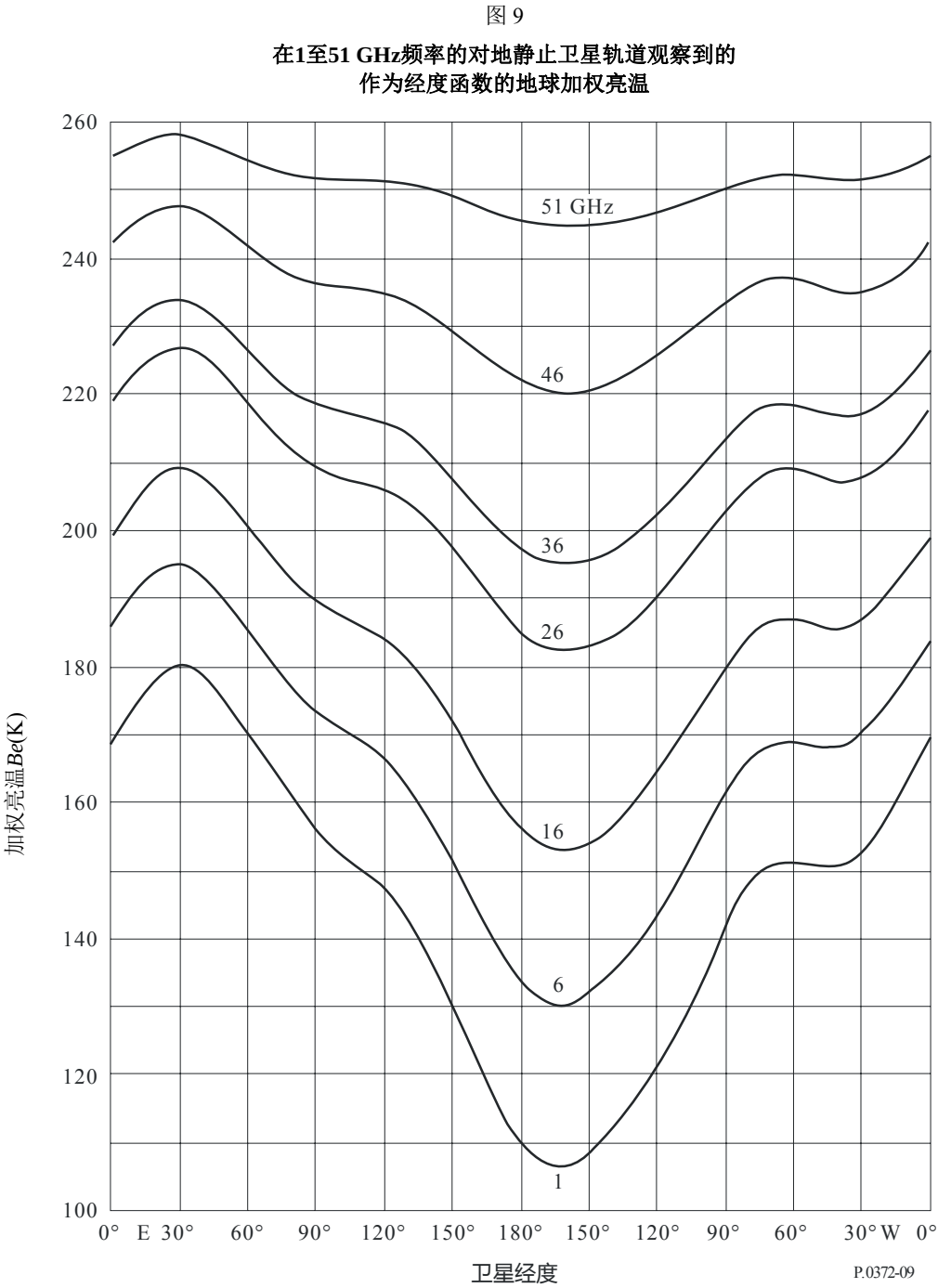
环境类型	c	d
城市（曲线 A）	76.8	27.7
住宅（曲线 B）	72.5	27.7
农村（曲线 C）	67.2	27.7
宁静乡村（曲线 D）	53.6	28.6
银河噪声（曲线 E）	52.0	23.0

表 2 为公司、住宅和农村类型提供了在 D_u 和 D_l 时间段和上述频率范围的十分位差噪声功率平均值。该表还提供了随位置变化的差异值。可以假设，这些差异互不相关，而且中间值每一侧的对数正态半分布都是对称的。这些数值是上世纪 70 年代测得的，并会根据可能产生人为噪声的活动，随时间的推移而变化。

¹ 本建议书为人造噪声提供了外部噪声数值，即，噪声的成分呈高斯分布。人为噪声通常具有脉冲成分，而这可能对无线电系统和网络的性能造成重大影响。

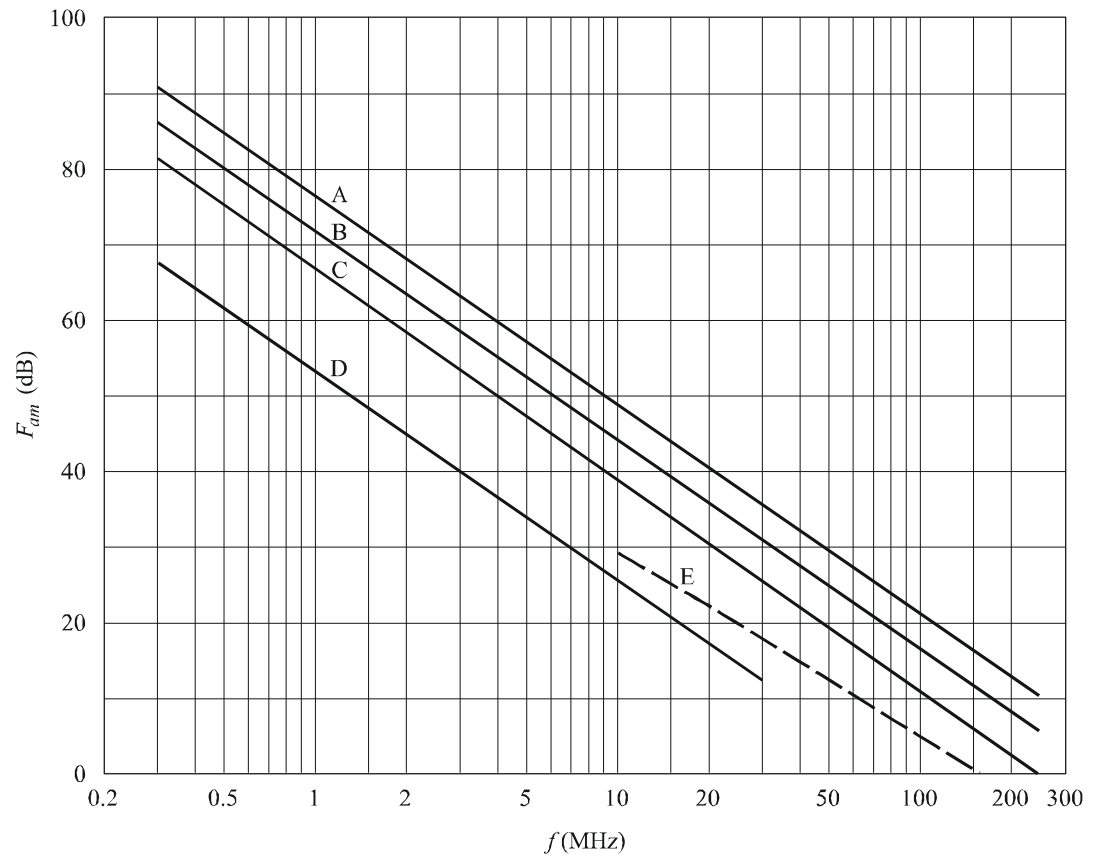
图8
作为仰角函数的地面在1 430 Mhz的亮温





上述有关人为噪声的信息，是几年前测得的。2006-2007 年在欧洲和2009-2011年在日本开展的测量工作通常证实了上述噪声数值。表3-5以表格形式提供了这些结果。

图 10
短垂直无损耗接地单极天线的
人为噪声功率的中间值



环境类型：
曲线 A: 城市
B: 住宅
C: 农村
D: 宁静乡村
E: 银河 (见第 6款)

0372-10

表 2
人为噪声的十分位差值

类型	十分位	随时间的变化 (dB)	随位置的变化 (dB)
城市	较高	11.0	8.4
	较低	6.7	8.4
住宅	较高	10.6	5.8
	较低	5.3	5.8
农村	较高	9.2	6.8
	较低	4.6	6.8

表 3

欧洲室外人为噪声测量

频率 (MHz)	噪声中间值 F_a (dB rel kT_0b)			较高十分位差			较低十分位差		
	城市	住宅	农村	城市	住宅	农村	城市	住宅	农村
35	23	17	16	7	5	1	1.5	2	2
140	12	8	6	4	2	2	3	3.5	2
210	16	8	5	1	2	1	2	1	2
270	6	4	4	2	2	1	2	1	1
425	6	4	3	1	2	1	1	1	1

表 4

日本室外人为噪声测量

频率 (MHz)	噪声中间值 F_a (dB above kT_0b)		较高十分位差 (dB)		较低十分位差 (dB)	
	城市	住宅	城市	住宅	城市	住宅
37	27.1	20.2	5.4	3.9	4.8	2.4
67	21.4	17.1	4.5	2.2	4.7	3.8
75	21.1	15.2	5.5	5.5	3.9	3.1
99	18.6	11.1	4.9	4.4	4.7	3.3
121	15.5	10.3	5.1	6.1	3.6	3.2
163	13.0	9.1	6.7	3.8	3.4	4.4
222	9.0	6.8	5.1	6.1	3.0	2.2
322	5.7	3.1	6.8	5.5	2.2	1.0

表 5

欧洲室内人为噪声测量

频率 (MHz)	噪声中间值 F_a (dB rel kT_0b)		较高十分位差		较低十分位差	
	城市	住宅	城市	住宅	城市	住宅
210	14	5	3	3	2	1
425	16	3	4	1	1	1

6 地外源造成的亮温

2 GHz 以下的通信通常涉及太阳和银河系（银河），而银河系犹如一条宽阔有力的发射带。当频率高达 100 MHz 时，在对电离层屏蔽忽略不计的情况下，银河噪声的噪声中间值表示为：

$$F_{am} = 52 - 23 \log f$$

(12)

其中：

f : 频率 (MHz).

银河噪声功率的平均十分位偏差为2 dB。

对此类情况而言，银河噪声的较高十分位偏差和较低十分位偏差均为2 dB。

频率值低于 $f_0 F_2$ 时将无法观测到银河噪声且频率在 $f_0 F_2$ 三倍以内时，银河噪声将小于公式 (12)给出的值。

在2 GHz以上，我们只需要考虑太阳和少数几个极强的非热源，如仙后座 A、天鹅座 A 和 X以及蟹状星云，因为宇宙背景的贡献率仅为2.7 K，而是银河似乎是一个在一定程度上提高了强度的狭窄区域。图12说明了0.1 至 100 GHz频率范围内常见的地外噪声源的亮温范围。

图13a、13b、13c 和13d以图表形式说明了被平整至5°角解析度的整个408 MHz的无线电天空温度。图13提供了赤道座标、偏角 δ （纬度）和赤经 α （自春分向东绕赤道运行的小时）。等高线直接以高于2.7 K的K数表示。精确率为1 K。等高间隔为：

- 60 K 以下2 K，
- 60 K 至 100 K 之间4 K，
- 100 K 至 200 K之间10 K，
- 200 K以上 20 K。

未加标识的等高线顺时针指向亮度分布的最低值。

在图13a 和13d中， $\pm 23.5^\circ$ 之间的虚正弦曲线确定了在接近银河中心处贯穿银河的黄道。也就是说，在对星际空间的航天器进行观察时，可能需要考虑到这一因素。温度分布的狭窄峰值显示了最强的点源，但由于角解析度有限，较弱的点源则不那么突出。

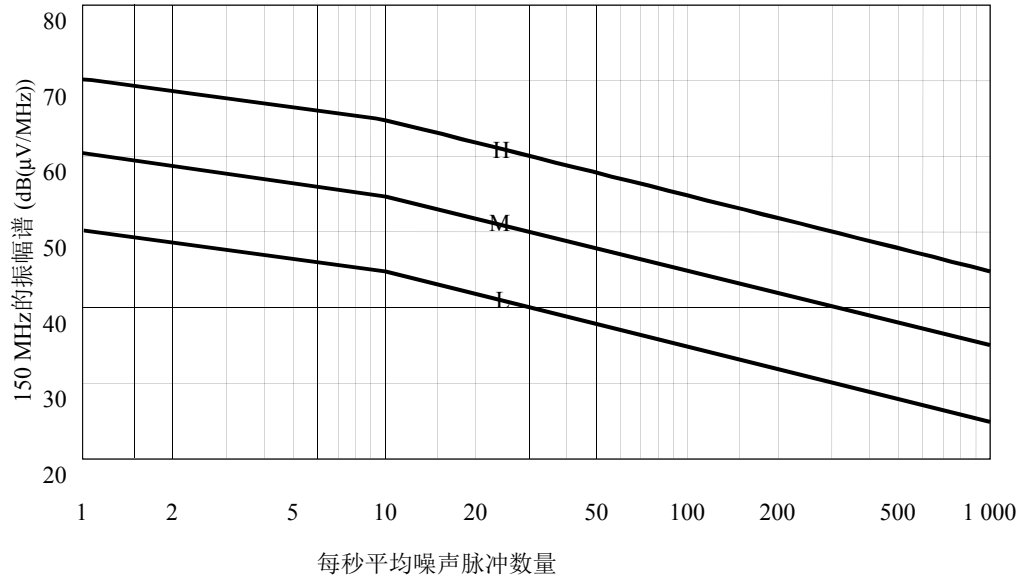
银河背景辐射随频率变化。对于这种辐射，可通过以下方式得出其它频率 f_i 的亮温

$$t_b(f_i) = t_b(f_0) (f_i/f_0)^{-2.75} + 2.7 \quad \text{K} \quad (13)$$

因此由于 $t_b = 200$ K, $f_0 = 408$ MHz 和 $f_i = 1$ GHz，从这一推断可以得出：

$$t_b = 19.7 \quad \text{K}$$

图11
基站噪声振幅分布(150 MHz)



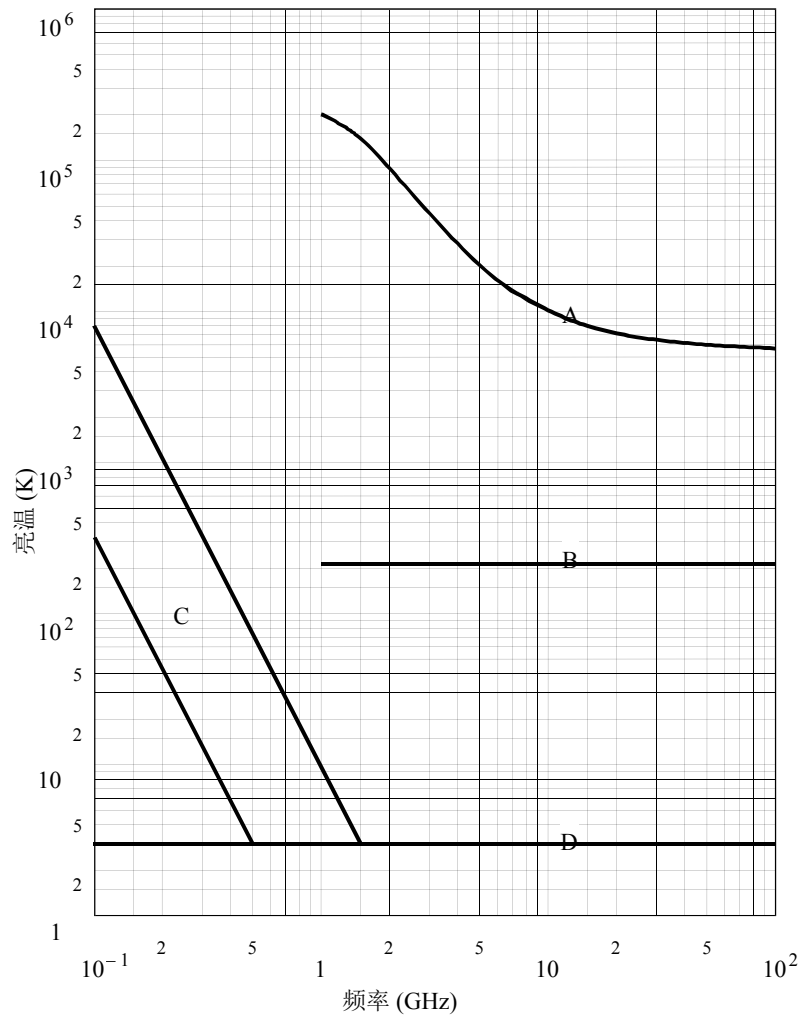
对于150 MHz以外频率，根据以下公式提高或降低 H、M和L曲线：

$$A = C + 10 \log V - 28 \log f$$

其中在10pps时， A = dB(μV/MHz)

- 曲线 H: 高噪声位置 (V = 100)
 M: 中噪声位置 (V = 10)
 L: 低噪声位置 (V = 1)

图12
地外噪声源



A: 宁静太阳
B: 月亮
C: 银河噪声范围
D: 宇宙背景

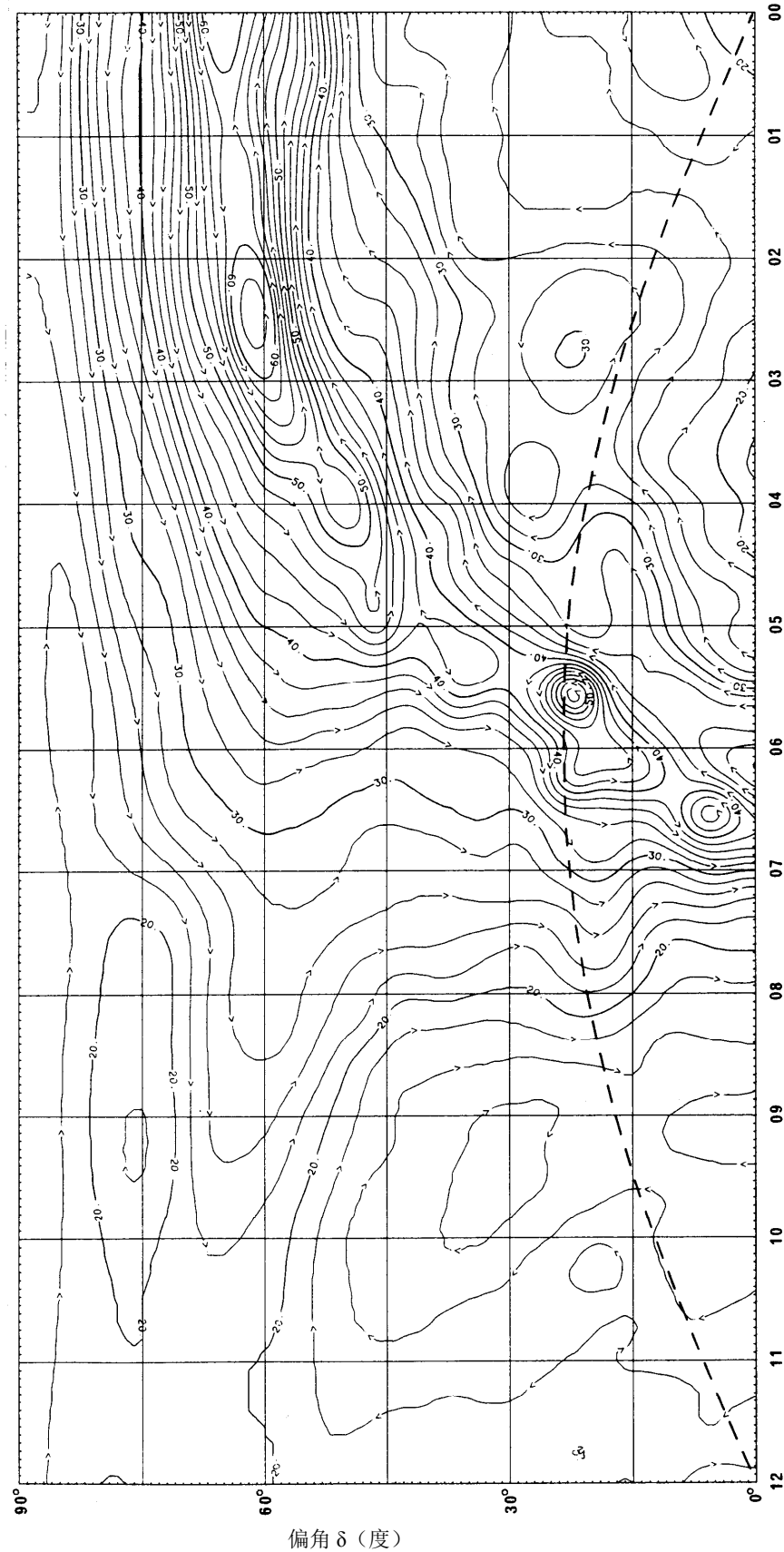
} 直径 $\sim 0.5^\circ$

0372-12

在利用这一公式做出更准确的推断时，必须考虑到频率范围和天空成分的变化。对于点源而言，强度随频率的变化取决于各自不同的物理条件。

对于使用对地静止轨道卫星的电信业务，正如图 14a)所示，其关注点仅限于天空中很小的一部分。图 14b)显示了偏角($\pm 8.7^\circ$)的相应范围，指出了最强源。

图13a
408 MHz的无线电天空温度

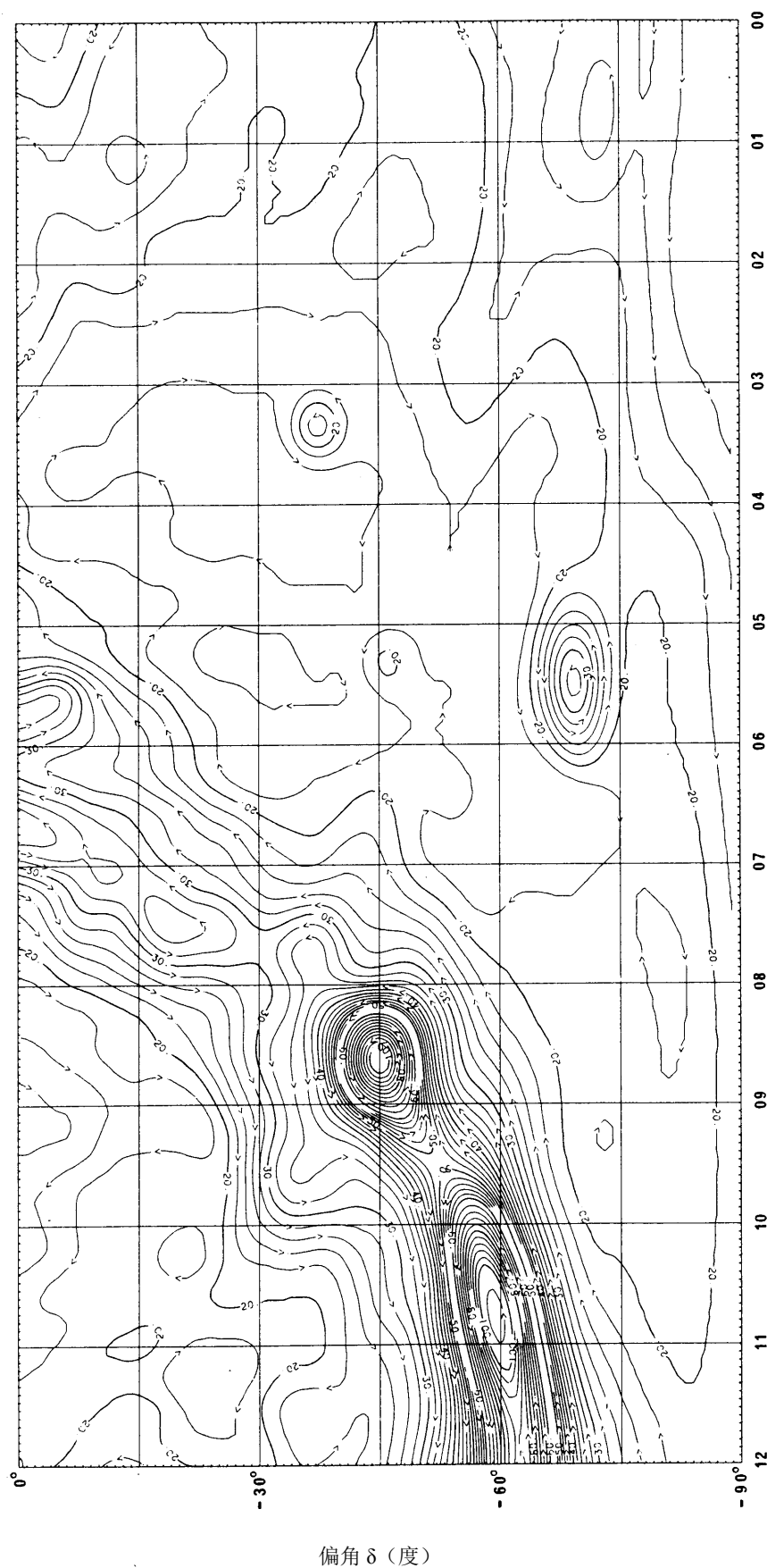


0372-12a

赤经, α (h)

赤经0000时至1200时, 偏角0°至+90°, 虚曲线: 黄道

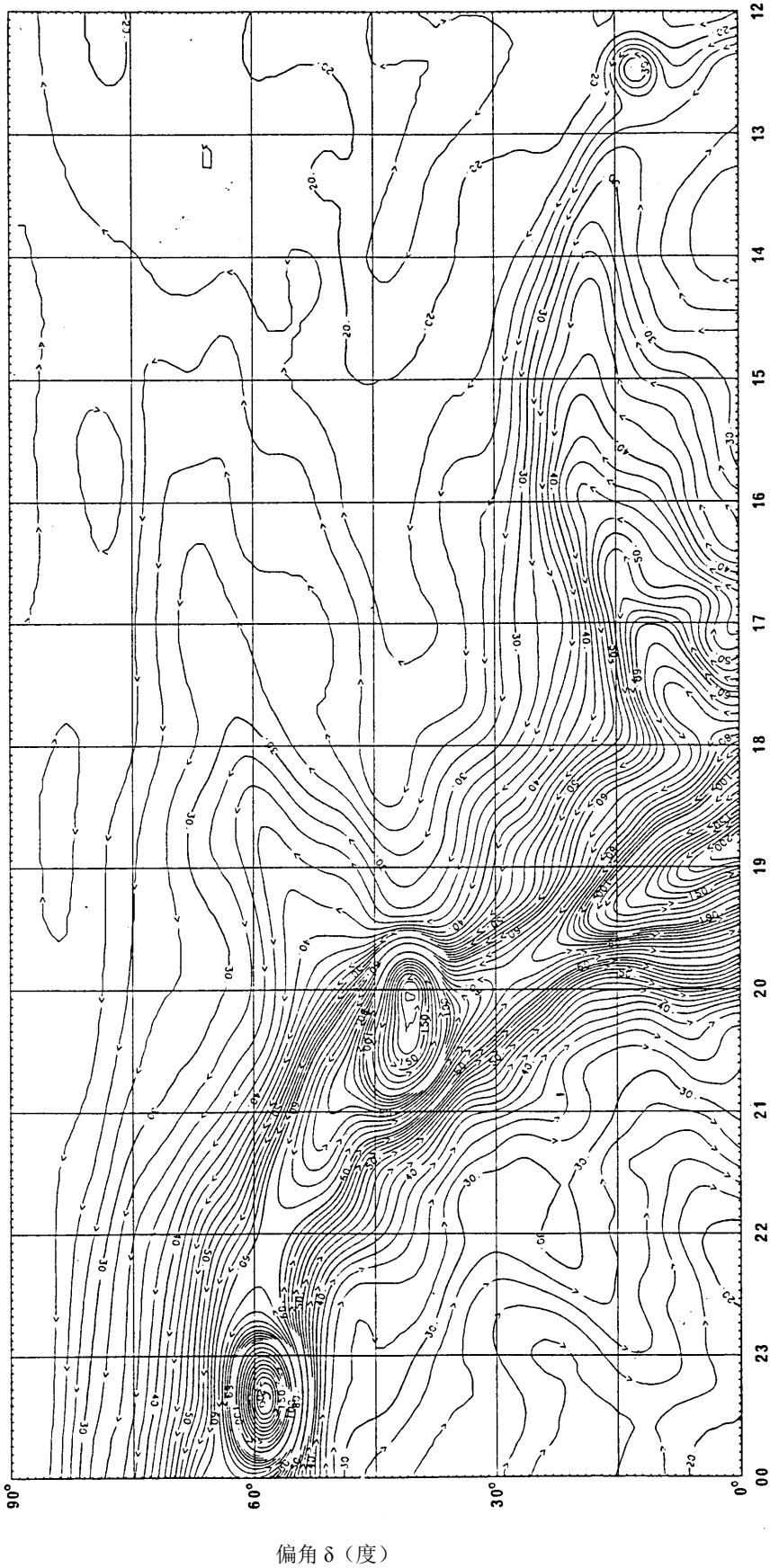
图13b
408 MHz的无线电天空温度



0372-13b

赤经, α (h)
赤经0000时至1200时, 偏角 0° 至 -90° , 虚曲线

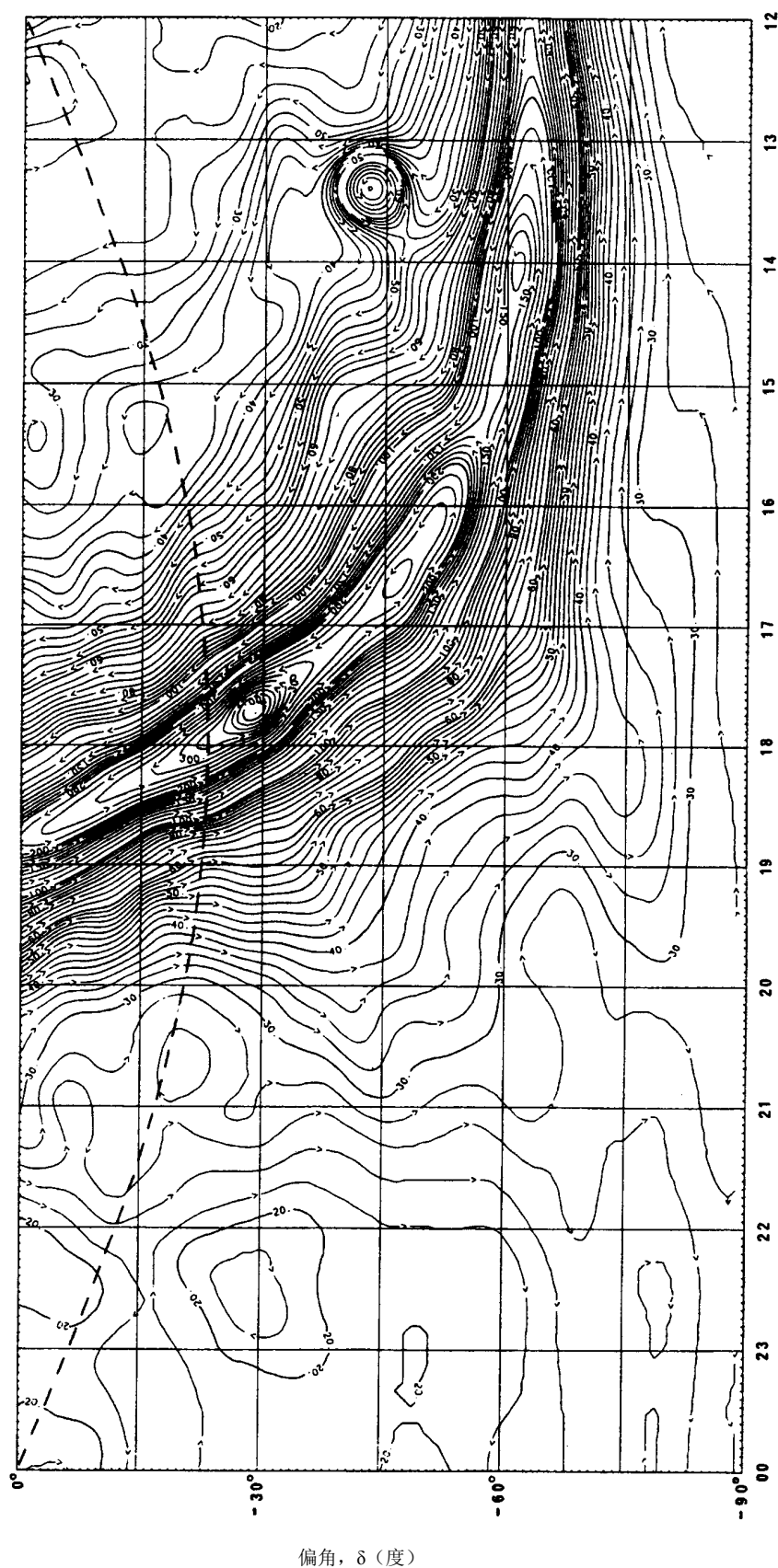
图13c
408 MHz的无线电天空温度



0372-13c

赤经, α (h)
赤经1200时至2400时, 偏角0°至+90°, 虚曲线 0°

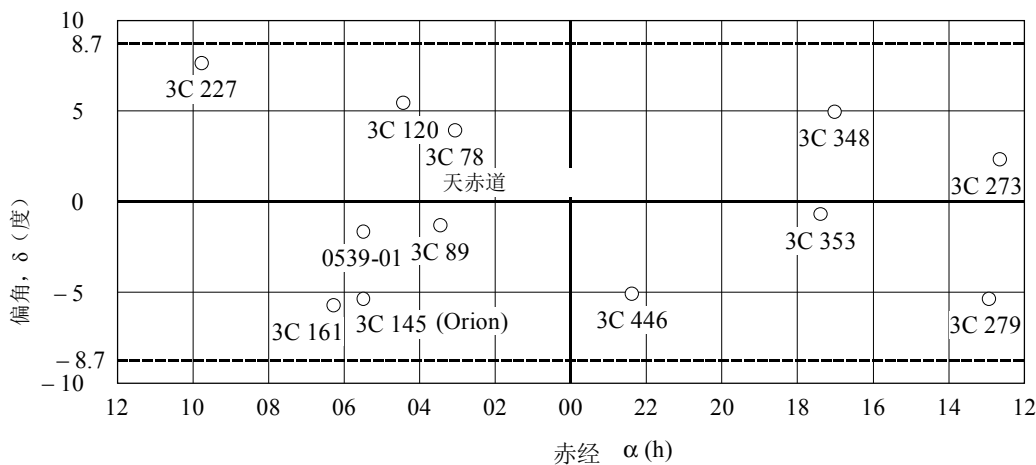
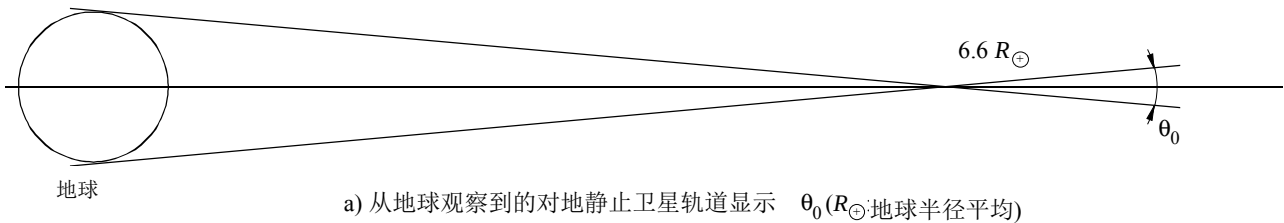
图13d
408 MHz的无线电台空温度



赤经, α (h)
赤经1200时至2400时, 偏角 0° 至 -90° , 虚曲线: 黄道

0372-13d

图14
具有对地静止轨道卫星的与电信相关的天空部分



0372-14

太阳是一强大的可变声源，其噪声温度在50至200 MHz的范围内约为 10^6 K，在宁静太阳条件下的10 GHz 频率至少为 10^4 K。噪声温度在太阳受干扰时会大幅度上升。月亮的亮度温度几乎独立于1 GHz以上的频率；并在新月的140 K和满月的280 K之间变化。太阳的路径处于黄道面之中（见图13的虚线部分）。在黄道面 $\pm 5^\circ$ 偏角内可以观测到月亮。

7 雷电引起的大气噪声

图15a 至 38a 展示的世界背景大气无线电噪声示意图，显示了在以4小时为单位的当地时间的每一季度，平均噪声功率 F_{am} (dB)在1 MHz 频率超过 $k T_0 b$ 时的预计中间值。图15b 至 38b 给出了 F_{am} 在各季度时间段随频率变化的情况，也可从图15c至38c看到其它噪声参数随频率变化的情况。这些大气噪声估算所用的参考天线为通过理想导体地面的短单极垂直天线。从第2段可获得入射场强。

将会看到，显示的大气噪声值低于预计的人为噪声和银河噪声电平。应谨慎地使用这些数值，因为在没有其它类型噪声的情况下，这些数值只代表对可能纪录的大气噪声电平的估值。然而对数据的研究显示，只在极罕见情况下对这些电平做过实际测量。

雷电引起的大气噪声通常不具有高斯性，其概率密度函数可能是确定数字系统性能所必需的。这类噪声振幅概率分布是以电压偏差 V_d 以及均方根与噪声包络电压平均值的比率加以说明的。

图39提供了与各种 V_d 值相对应的APD曲线，其中r.m.s. 包络电压 A_{rms} 被用作参考。经测量的 A_{rms} 值围绕预测中间值 V_{dm} 发生变化，并由 σV_d 说明其变化情况。APD曲线适用于广泛的带宽范围。（图15c-38c）给出的 V_d 估计值适用于200 Hz 带宽，而图40提供了将200 Hz V_d 转换为其它带宽的相应 V_d 的方法。图40仅适用于MF和HF频率，因此在将这些结果用于较低频率（即LF、VLF、ELF）时需谨慎从事。

这些图的用法如下。出于上述原因，可从噪声示意图（图15b-38b）中看到1 MHz 频率的 F_{am} 值。将此值作为噪声级别，便可从频率曲线（图15b-38b）中为所需频率确定 F_{am} 值。从图15c至38c可获得所需频率的 σ_{Fam} 、 D_u 、 σ_{Du} 等可变性参数。可以通过假设中间值每一侧的对数正态半分布，获得其它部分时间的 D 和 σ_D 值。

8 多来源的组合噪声

在某些情况下，需要考虑多种类型的噪声，因为两种或多种类型的噪声规模相似。总之，在任何频率都可能出现这种情况，但在HF 最为常见，因为那里的大气、人为和银河噪声程度相仿（图2中的10 MHz便是一个例证）。

假设以上确定的每个噪声源的噪声数值 F_a (dB) 分布，都可用中间值 F_{am} 每一侧的两个半正态分布表示。较低的半正态分布具有低于中间值的标准偏差 $\sigma_l (= D_l / 1.282)$ ，而较高的半正态分布具有高于中间值的标准偏差 $\sigma_u (= D_u / 1.282)$ 。相应的噪声系数 f_a (W) 在中间值的每一侧都呈对数正态分布。

用于求两个或多个噪声过程之合的噪声数值的中间值 F_{amT} 和标准偏差 σ_T ，见：

$$F_{amT} = c \left[\ln(\alpha_T) - \frac{\sigma_T^2}{2c^2} \right] \quad \text{dB} \quad (14)$$

$$\sigma_T = c \sqrt{\ln \left(1 + \frac{\beta_T}{\alpha_T^2} \right)} \quad \text{dB} \quad (15)$$

其中：

$$c = 10/\ln(10) = 4.343 \quad (16)$$

$$\alpha_T = \sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{i=1}^n \exp \left[\frac{F_{ami}}{c} + \frac{\sigma_i^2}{2c^2} \right] \quad \text{W} \quad (17)$$

$$\beta_T = \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \left[\exp \left(\frac{\sigma_i^2}{c^2} \right) - 1 \right] \quad \text{W}^2 \quad (18)$$

而 F_{ami} 和 σ_i 是用于分量噪声源的噪声值的中间和标准偏差。大气噪声提取自图15至38，而人为噪声取自图10和表2。就银河噪声而言， F_{am} 是由公式（12）提供的，而 σ_i 设定为1.56 dB（= 3/1.282）。

用于求两个或多个噪声过程之合的噪声数值的较高十分位偏差 D_{uT} ，见：

$$D_{uT} = 1.282 \sigma_T \quad \text{dB} \quad (19)$$

其中的 σ_T 是利用噪声分量中较高十分位偏差计算的，以算出公式（17）和（18）的 σ_i （= $D_u/1.282$ ）。

用于求两个或多个噪声过程之合的噪声数值的较低十分位偏差 D_{lT} ，见：

$$D_{lT} = 1.282 \sigma_T \quad \text{dB} \quad (20)$$

其中的 σ_T 是利用噪声分量中较低十分位偏差计算的，以算出公式（17）和（18）的 σ_i （= $D_l/1.282$ ）。

当至少一个噪声分量的噪声值的较高十分位偏差超过12 dB 时，对于公式（15）至（18）利用噪声分量中较高十分位偏差算出的 σ_T ，其最高值应限定为：

$$\sigma_T = c \sqrt{2 \ln \left(\frac{\alpha_T}{\gamma_T} \right)} \quad \text{dB} \quad (21)$$

其中 γ_T 是独立中间噪声系数简单累加的噪声系数：

$$\gamma_T = \sum_{i=1}^n \exp \left(\frac{F_{ami}}{c} \right) \quad \text{W} \quad (22)$$

同样，当至少一个噪声分量的噪声值的较低十分位偏差超过12 dB 时，公式（15）至（18）利用噪声分量中较低十分位偏差算出的 σ_T ，应限制在公式（21）给出的最高值。

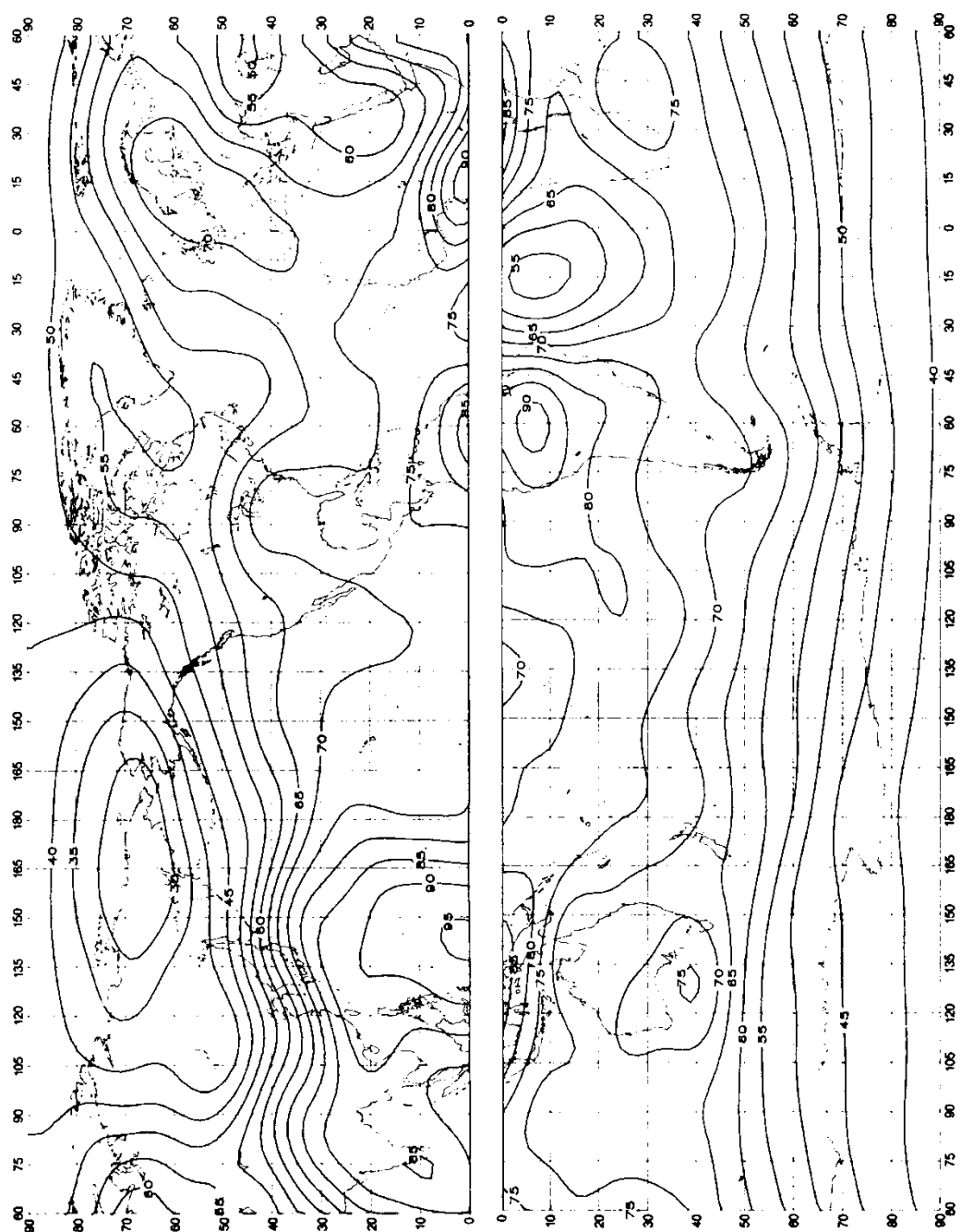


图15a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (冬季; 0000-0400LT)

0372-15a

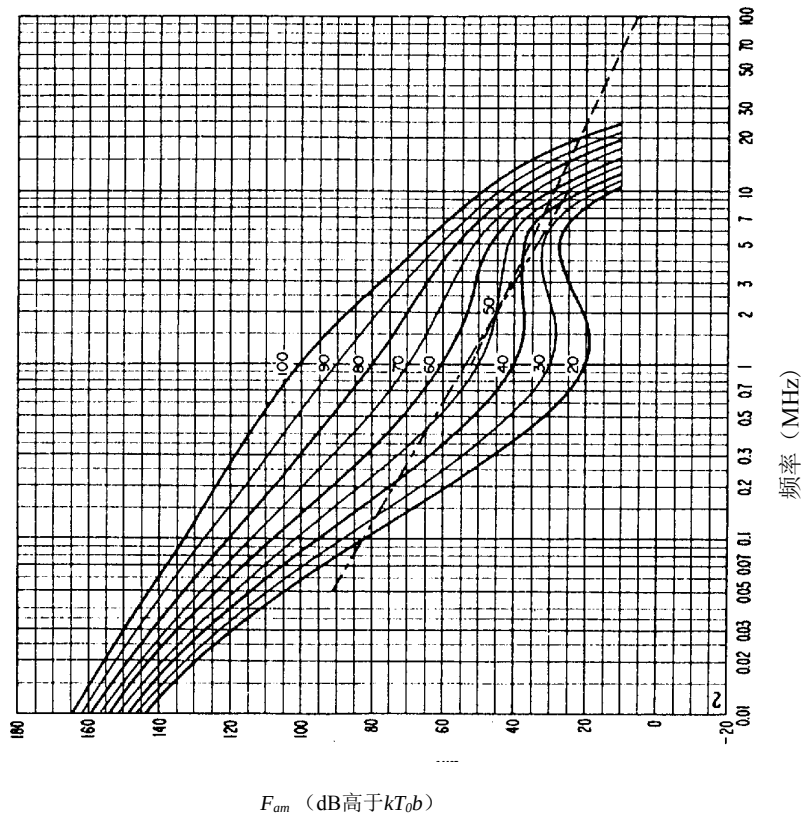


图 15b-无线电噪声随频率的变化

(冬季; 0000-0400LT)

- 大气噪声的预计值
- - - - 人为噪声在宁静接收位置的预计值
- - - - 银河噪声的预计值

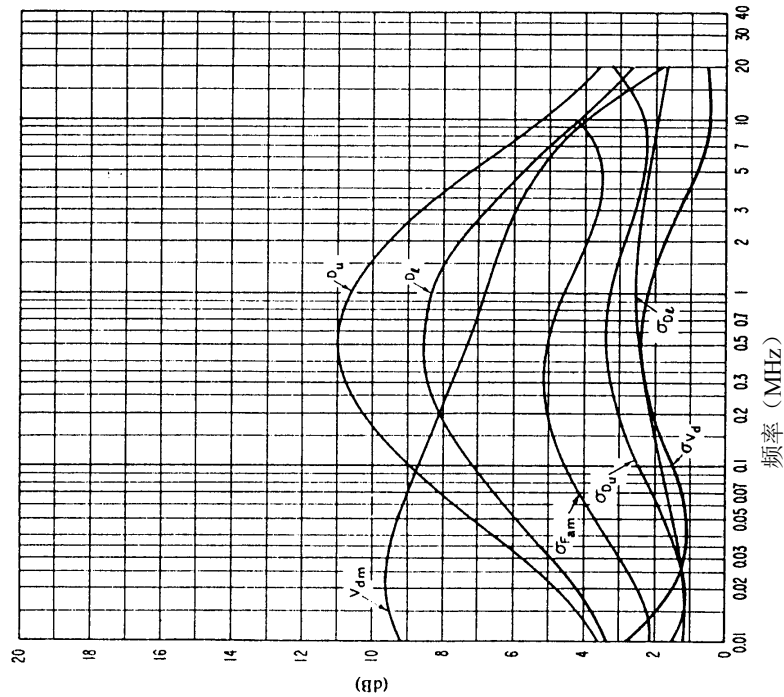
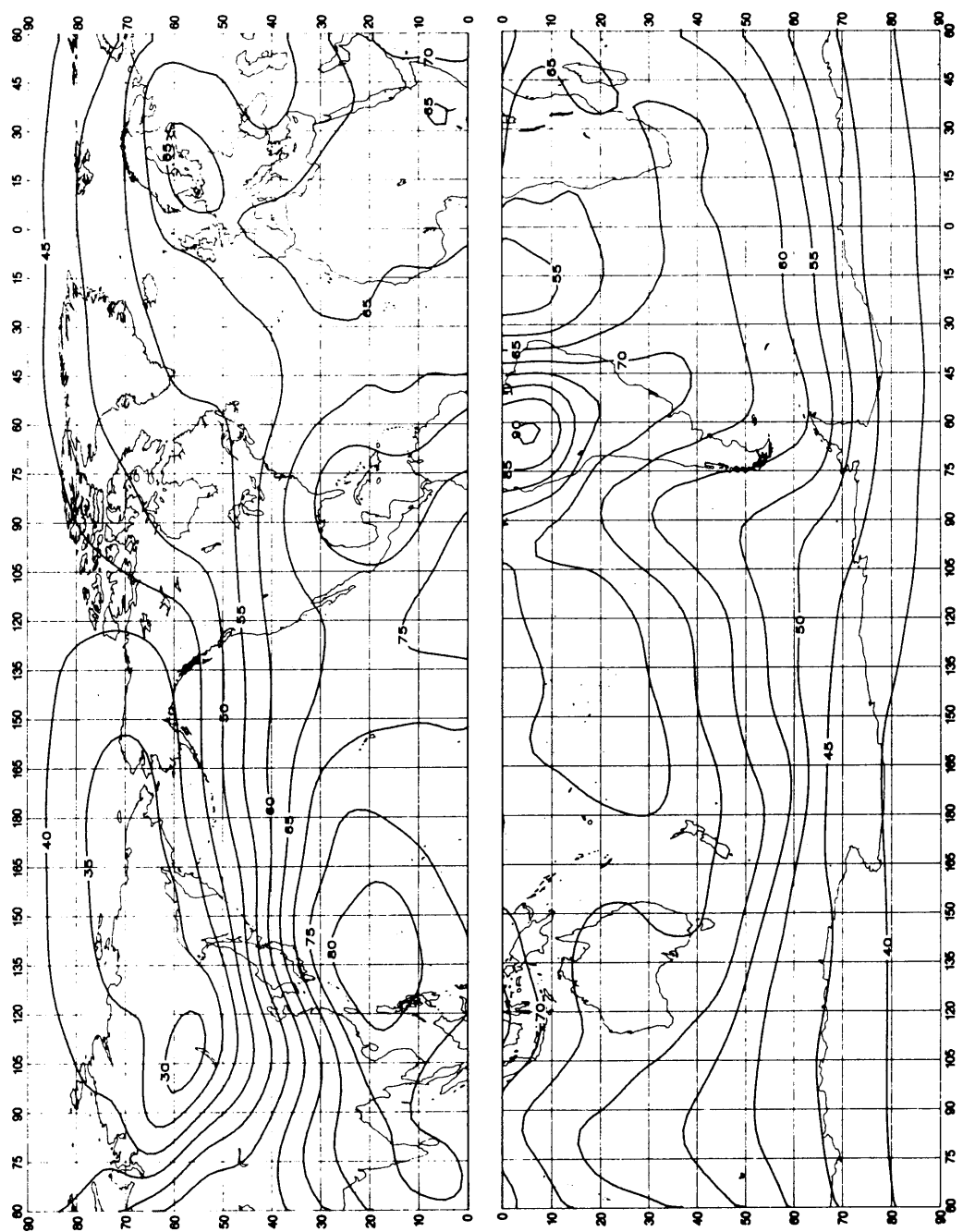
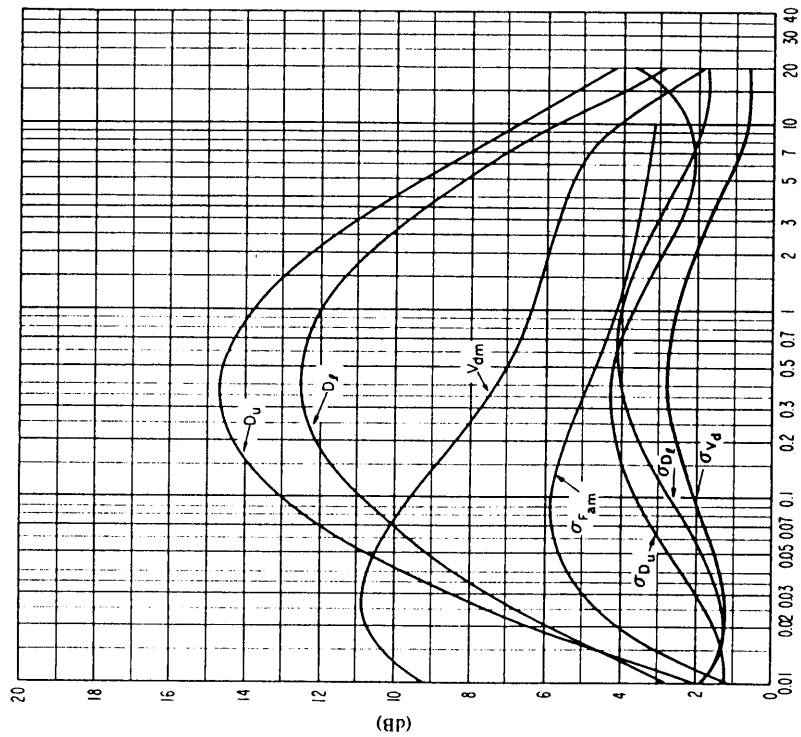


图 15c-噪声可变性和特性数据

(冬季; 0000-0400LT)

- $\sigma_{F_{am}}$: F_{am} 值的标准偏差
- D_u : 较高十分位与 F_{am} 中间值的比率
- σ_{Du} : D_u 值的标准偏差
- D_l : 中间值 F_{am} 与较低十分位的比率
- σ_{Dl} : D_l 值的标准偏差
- V_{am} : 平均电压中间偏差的预计值
- σ_{vd} : V_d 显示的是 200 Hz 带宽的数值
- σ_{vd} : V_d 的标准偏差

图16a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_0b) (冬季; 0400-0800LT)



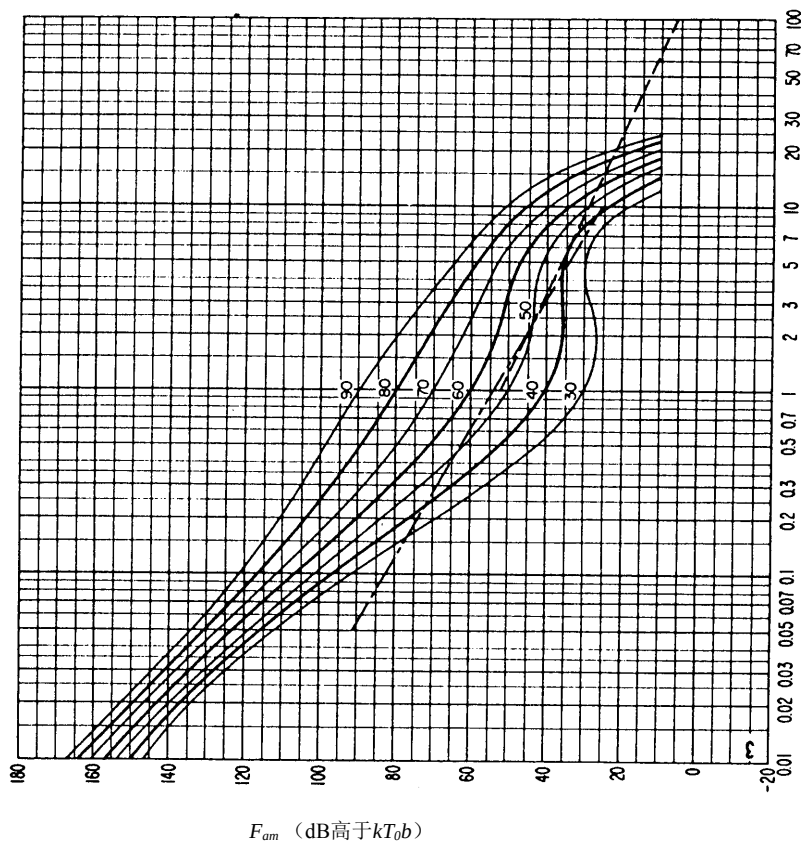
频率 (MHz)

图 16c—噪声可变性和特性数据

(冬季; 0400-0800LT)

见图15c的图例

0372-16b



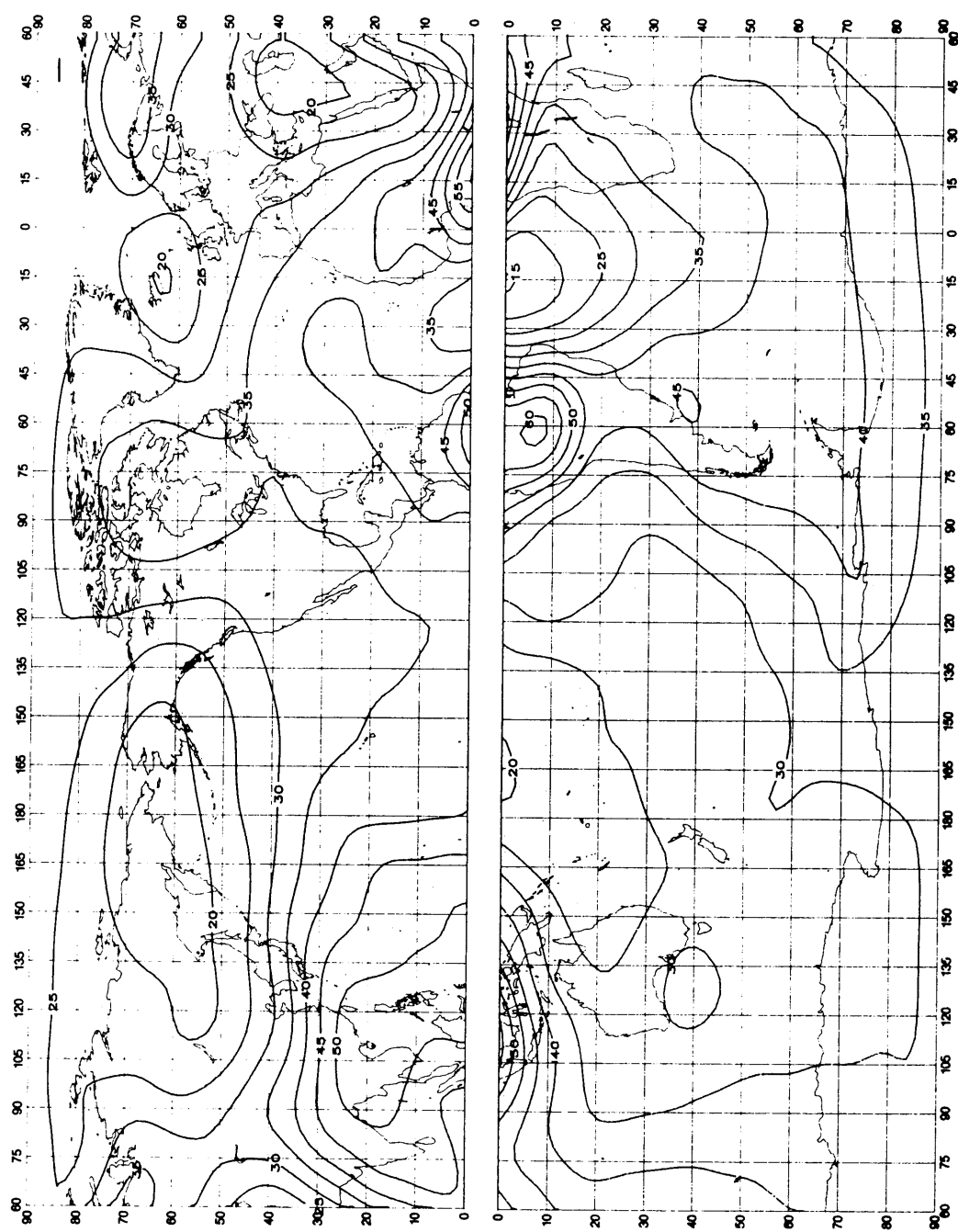
频率 (MHz)

图 16b—无线噪声随频率的变化

(冬季; 0400-0800LT)

见图15b的图例

F_{am} (dB高于 kT_0b)

图17a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_0b) (冬季; 0800-1200LT)

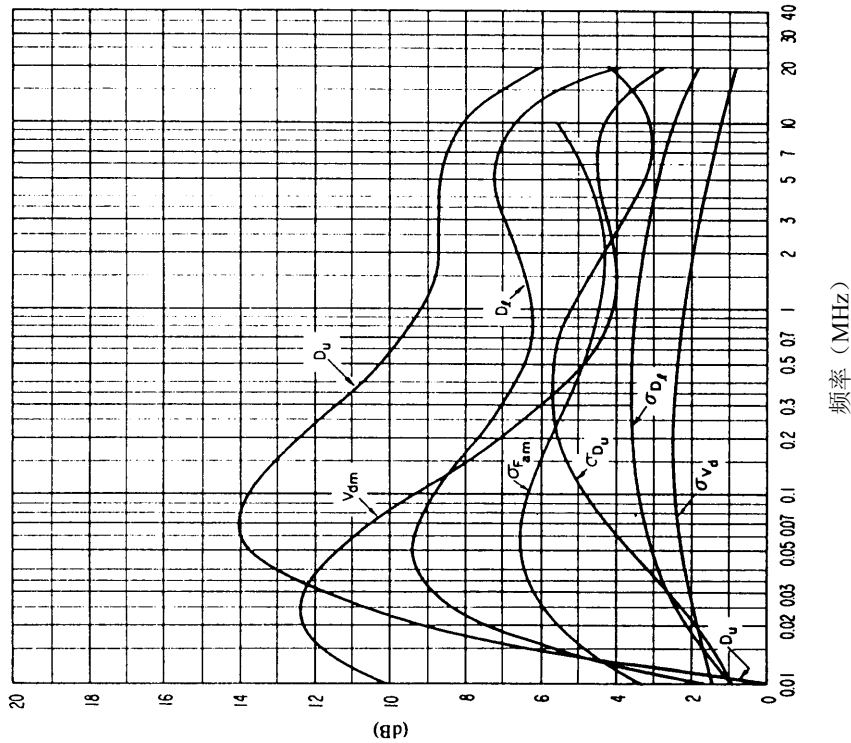


图 17c-噪声可变性和特性数据
(冬季; 0800-1200LT)

见图15c的图例

0372-17b

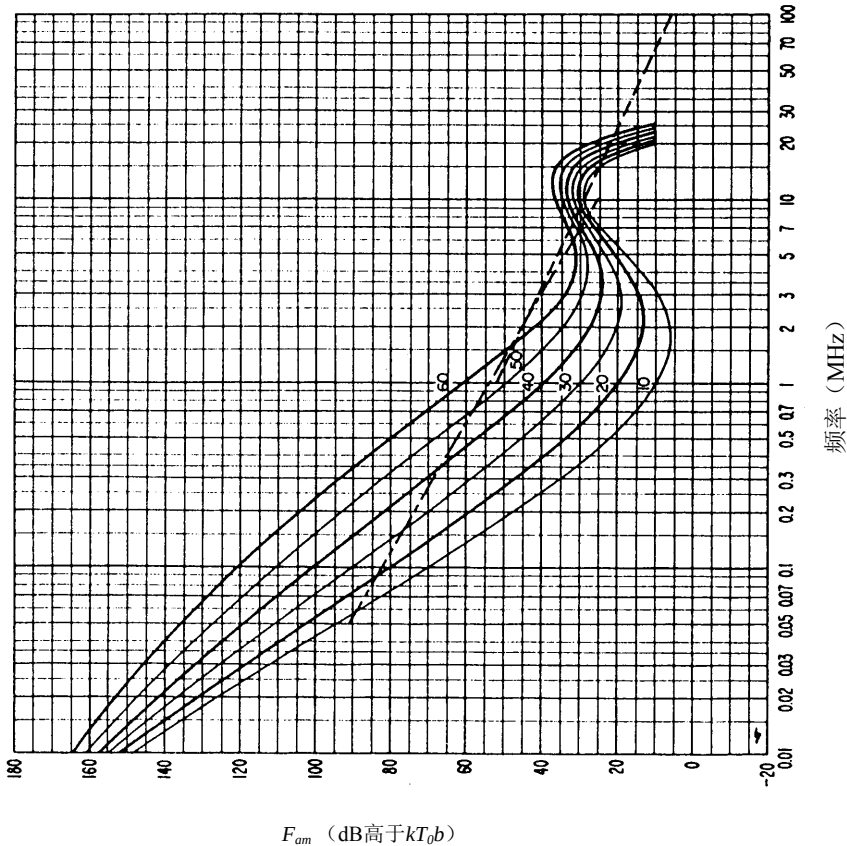


图 17b-无线电噪声随频率的变化
(冬季; 0800-1200LT)

见图15b的图例

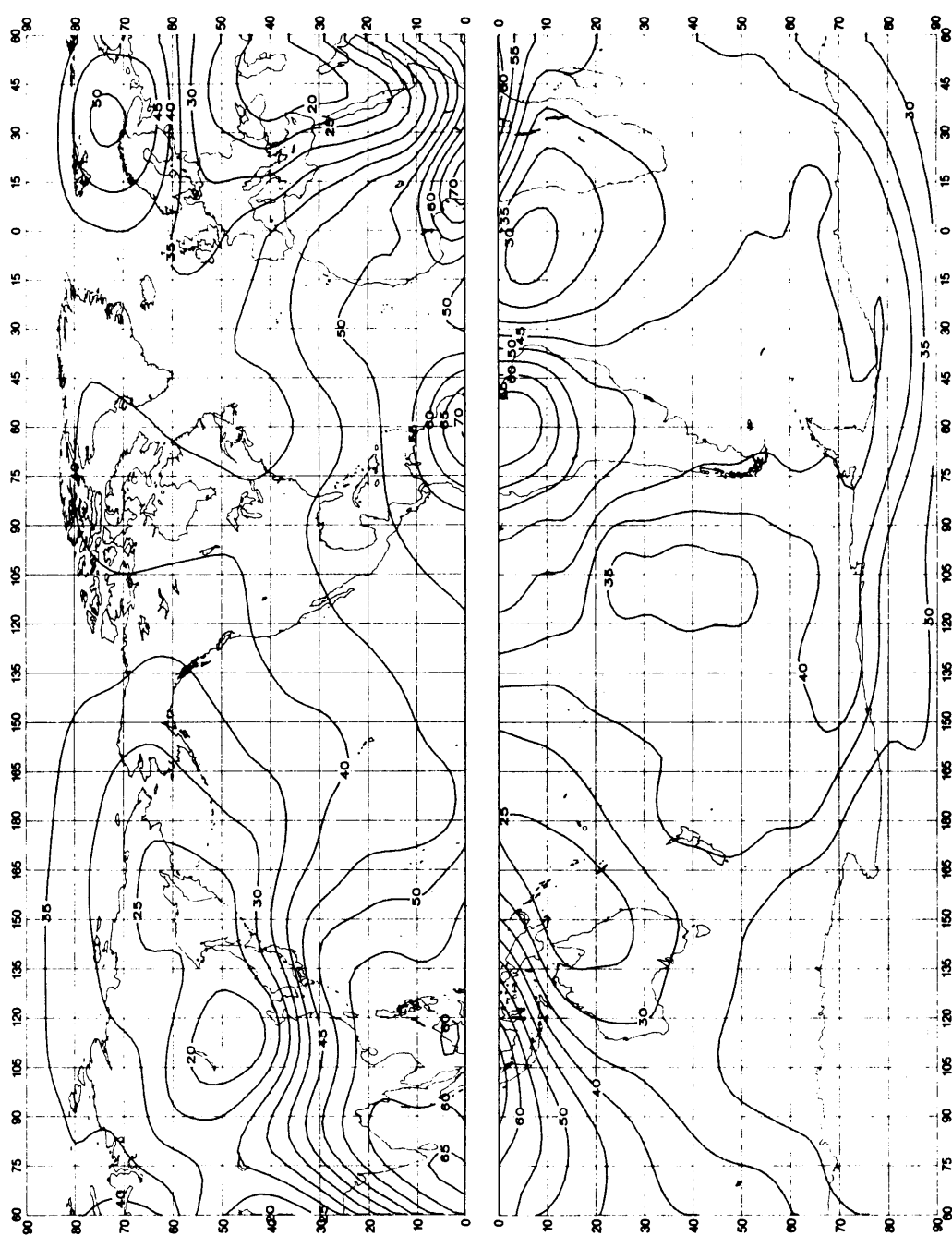


图18a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_0b) (冬季; 1200-1600LT)

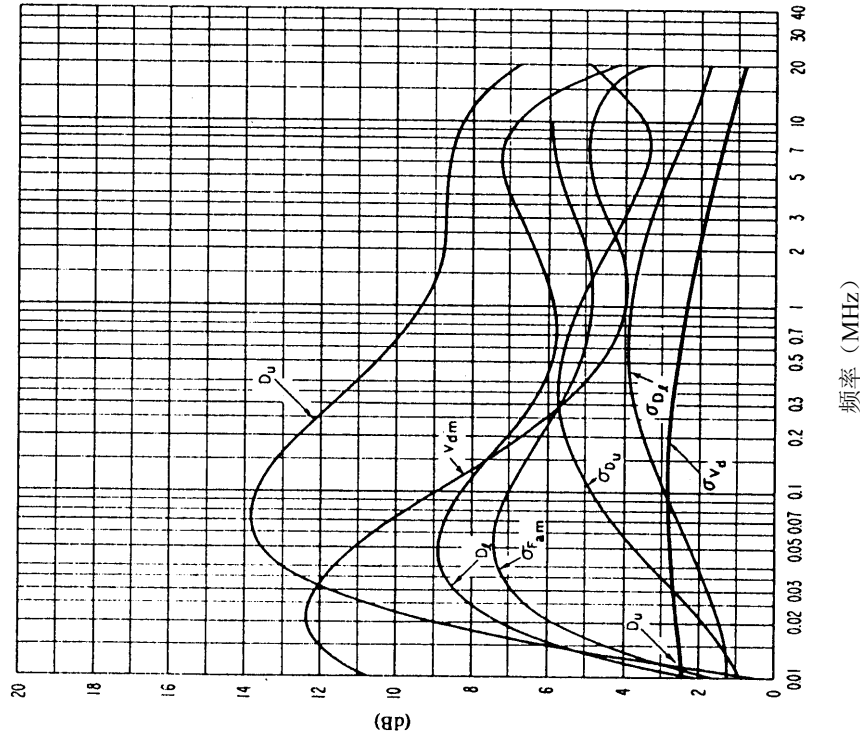


图 18c-噪声可变性和特性数据
(冬季; 1200-1600LT)

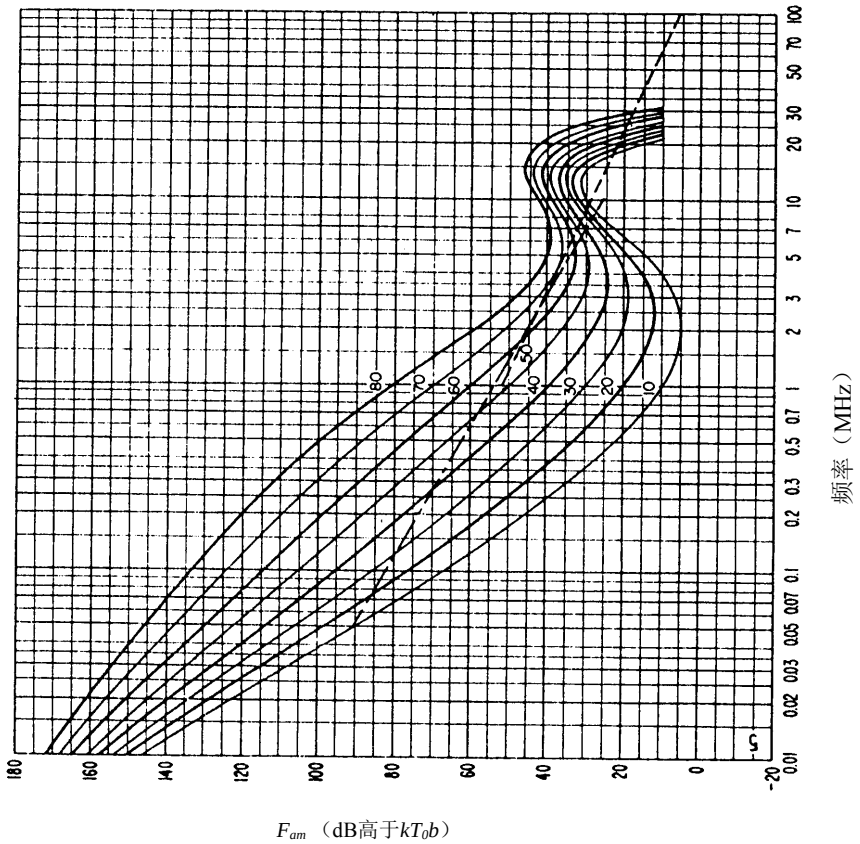
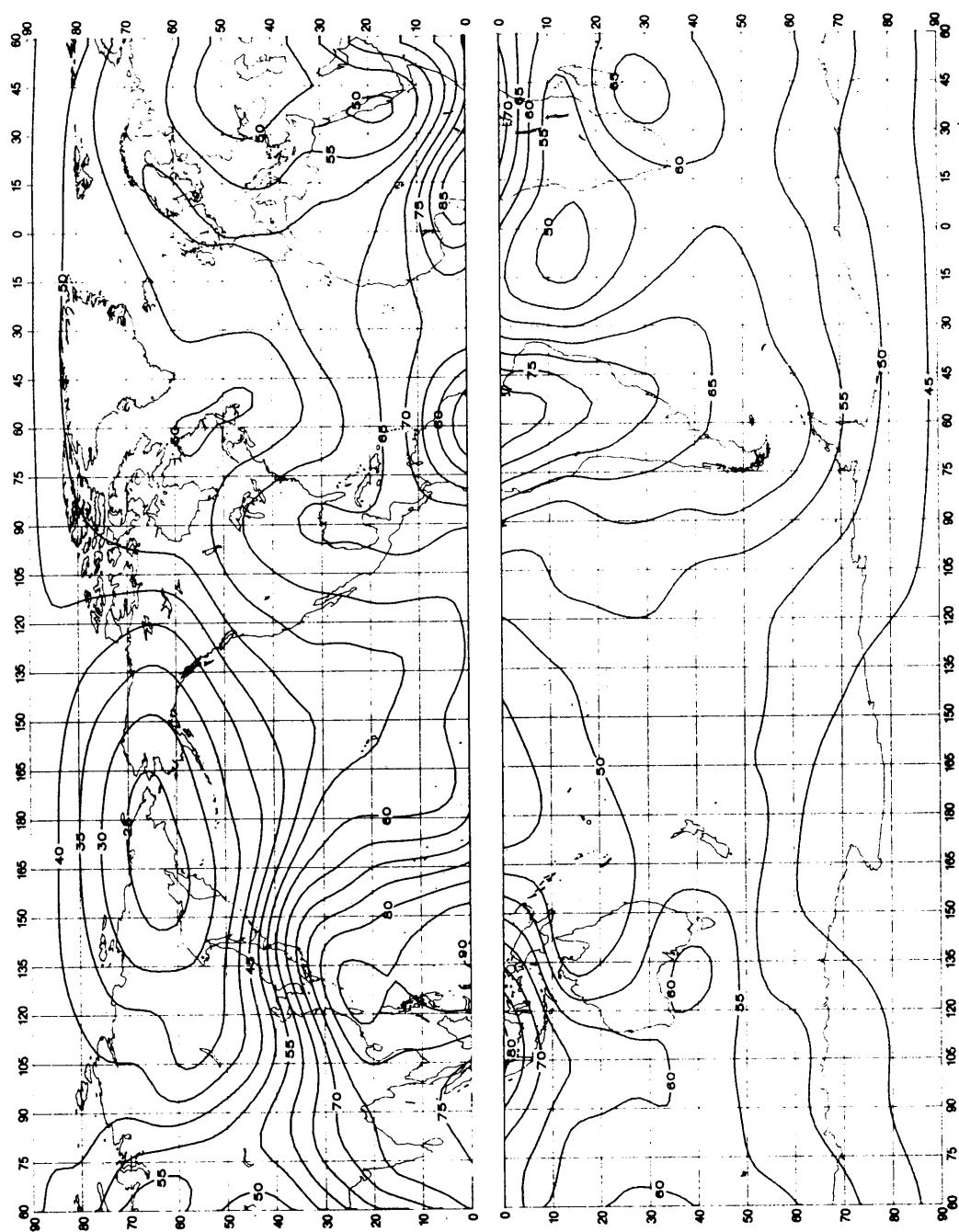


图 18b-无线电噪声随频率的变化
(冬季; 1200-1600LT)

见图15c的图例

见图15b的图例

图19a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (冬季; 1600-2000LT)

0372-19a

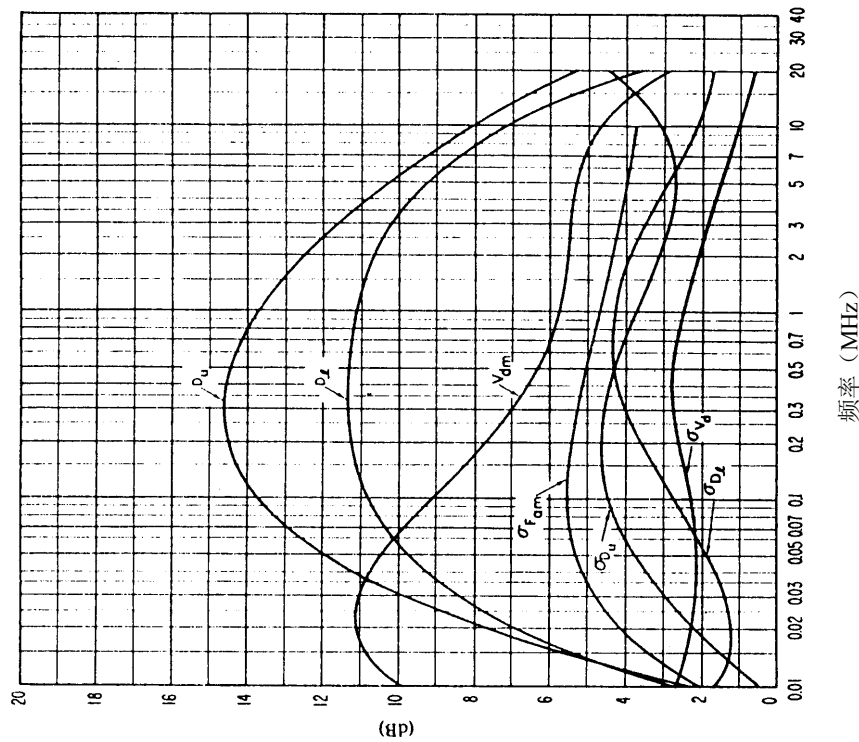


图 19c-噪声可变性和特性数据
(冬季; 1600-2000LT)

见图15c的图例

0372-19b

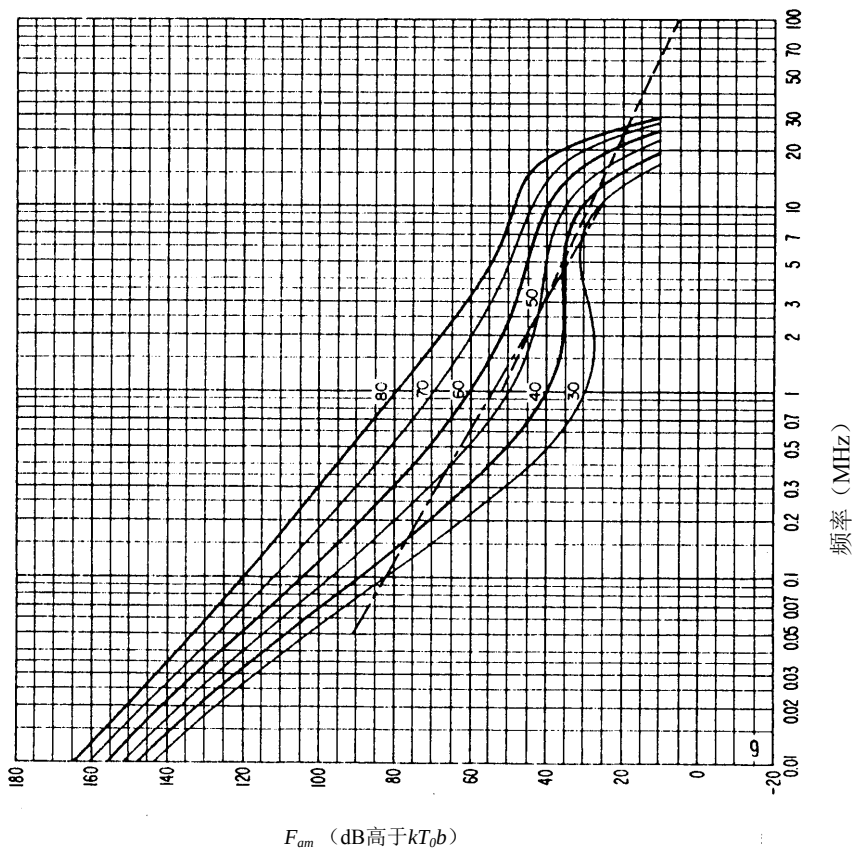


图 19b-无线电噪声随频率的变化
(冬季; 1600-2000LT)

见图15b的图例

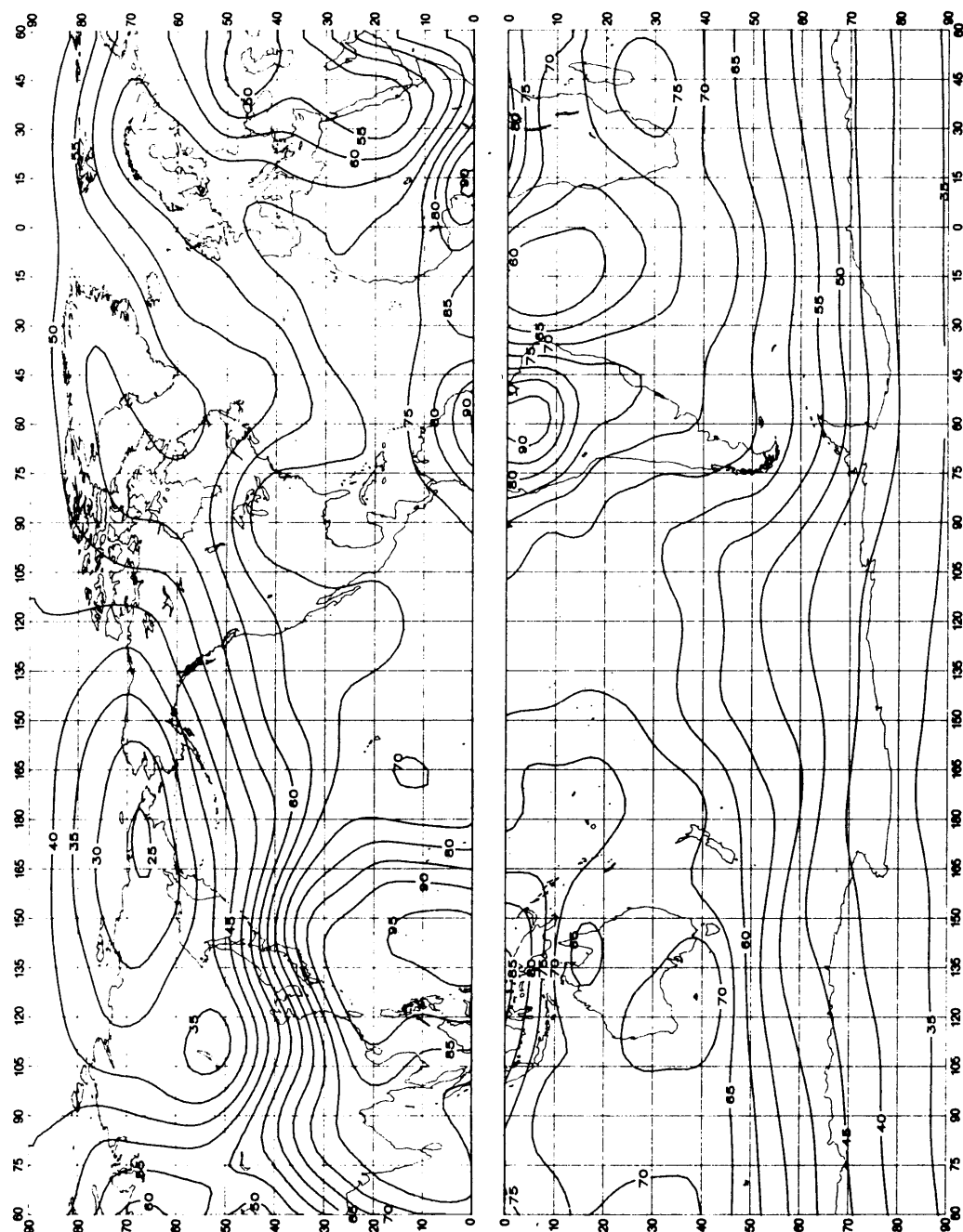


图20a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_0b) (冬季; 2000-2400LT)

0372-20a

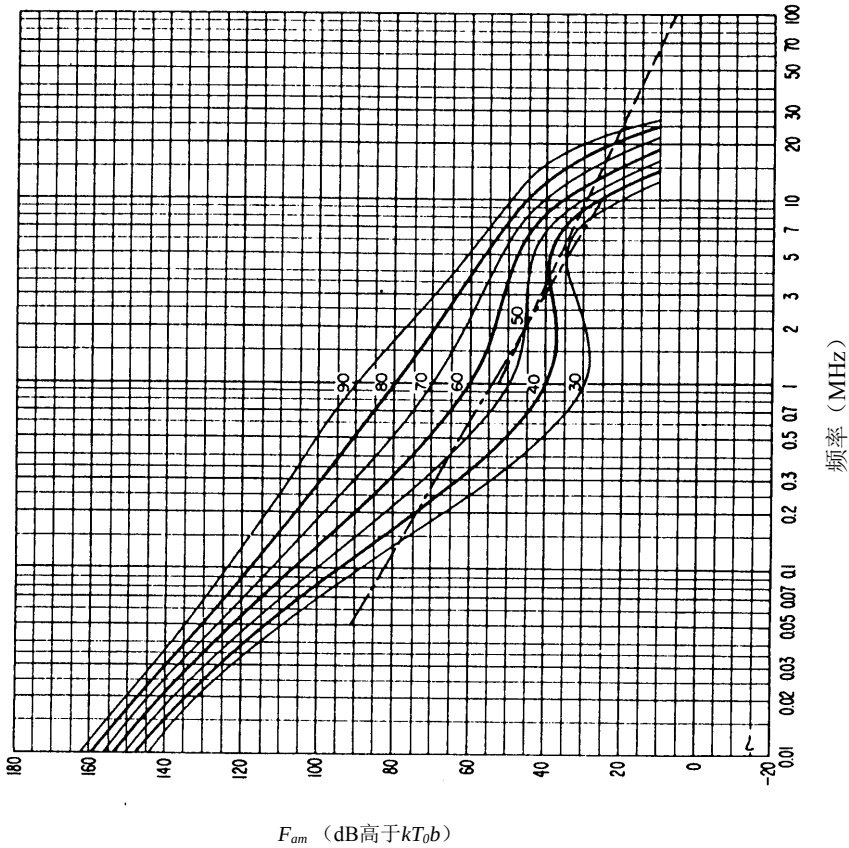


图 20b-无线电噪声随频率的变化
(冬季; 2000-2400LT)

见图15b的图例

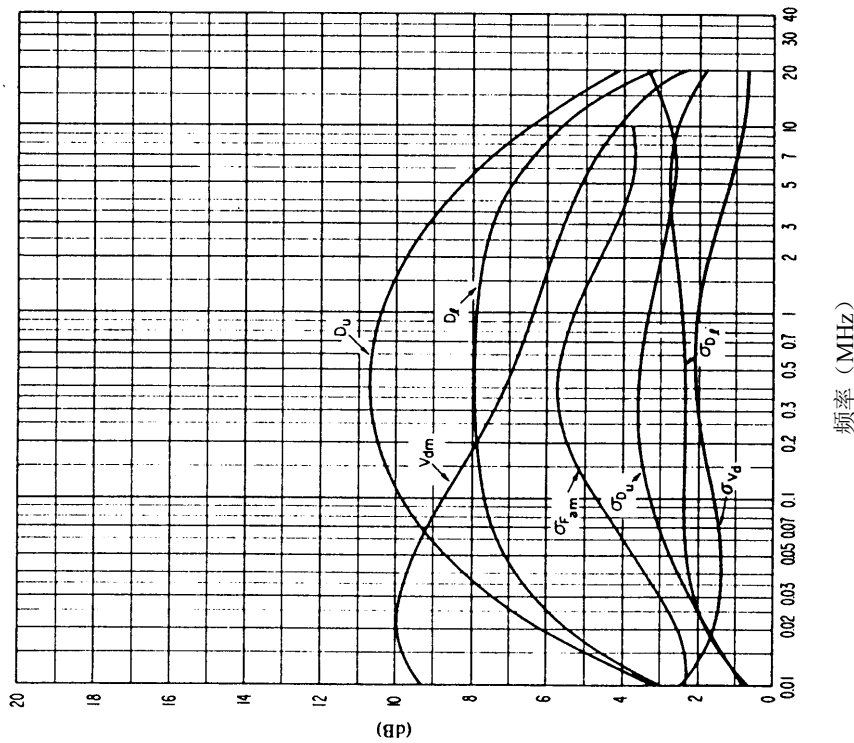


图 20c-噪声可变性和特性数据
(冬季; 2000-2400LT)

见图15c的图例

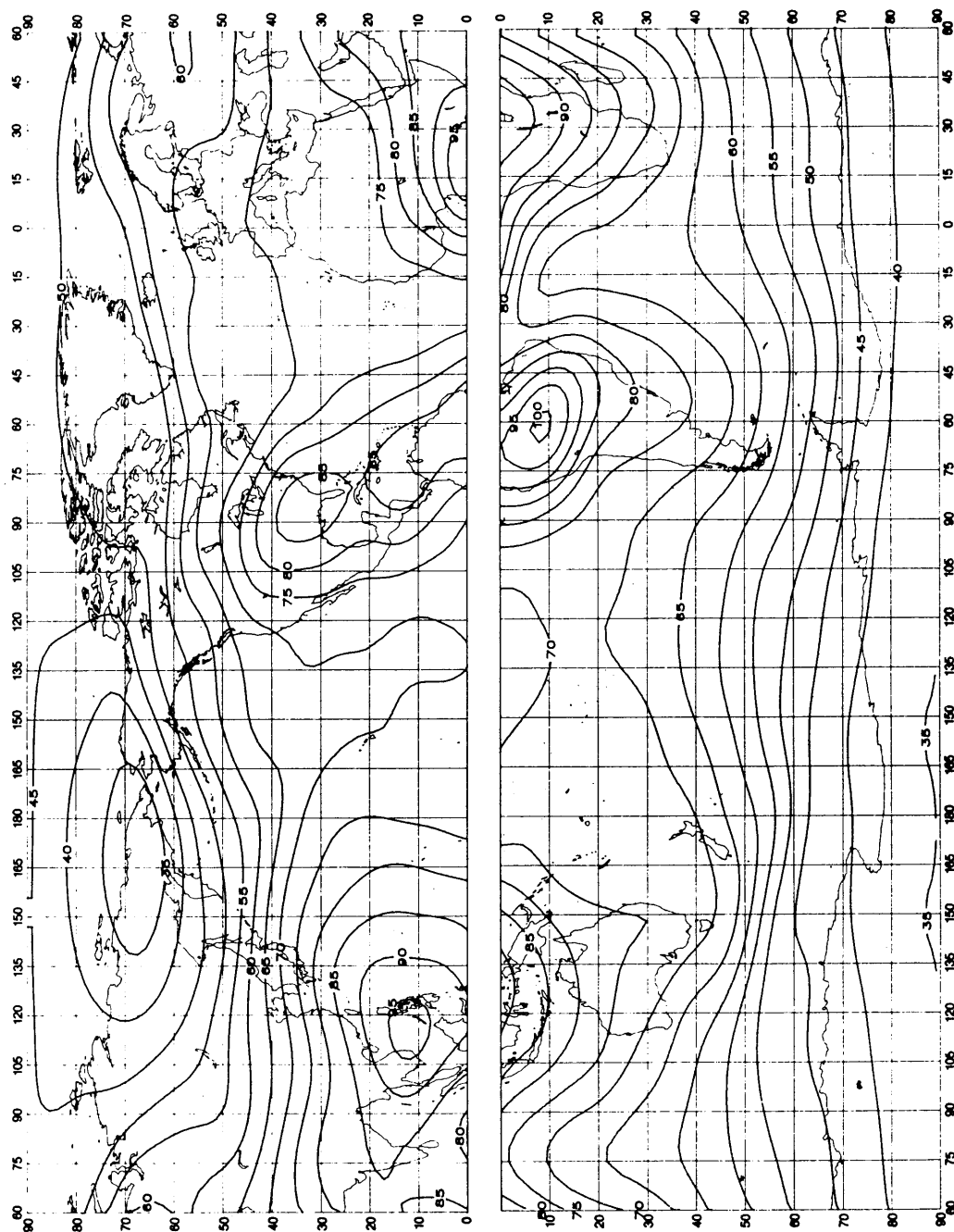


图21a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_0b) (春季; 0000-0400LT)

0372-21a

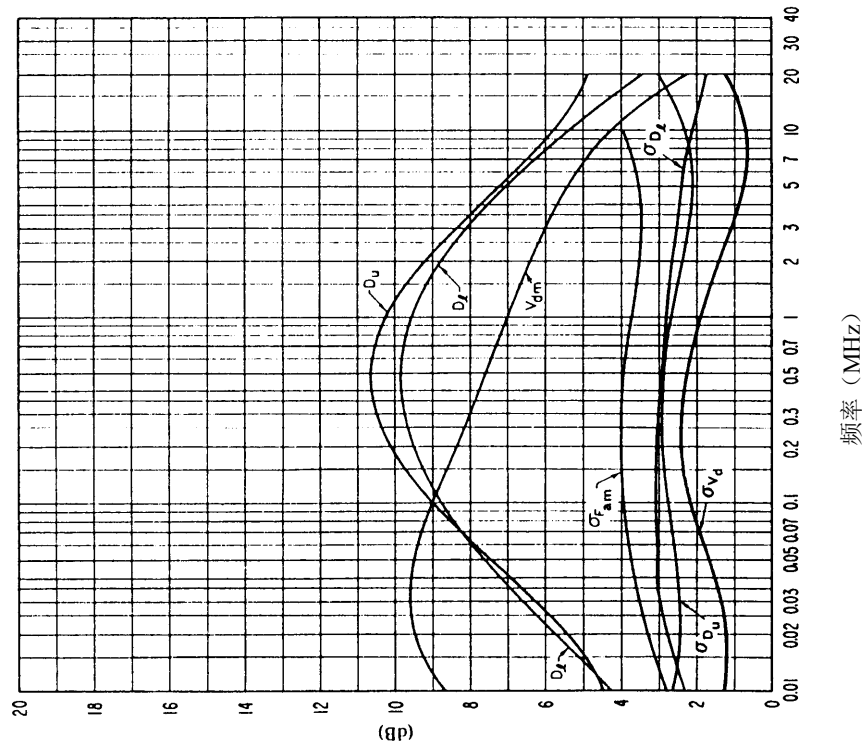


图 21c-噪声可变性和特性数据
(春季; 0000-0400LT)

见图15c的图例

0372-21b

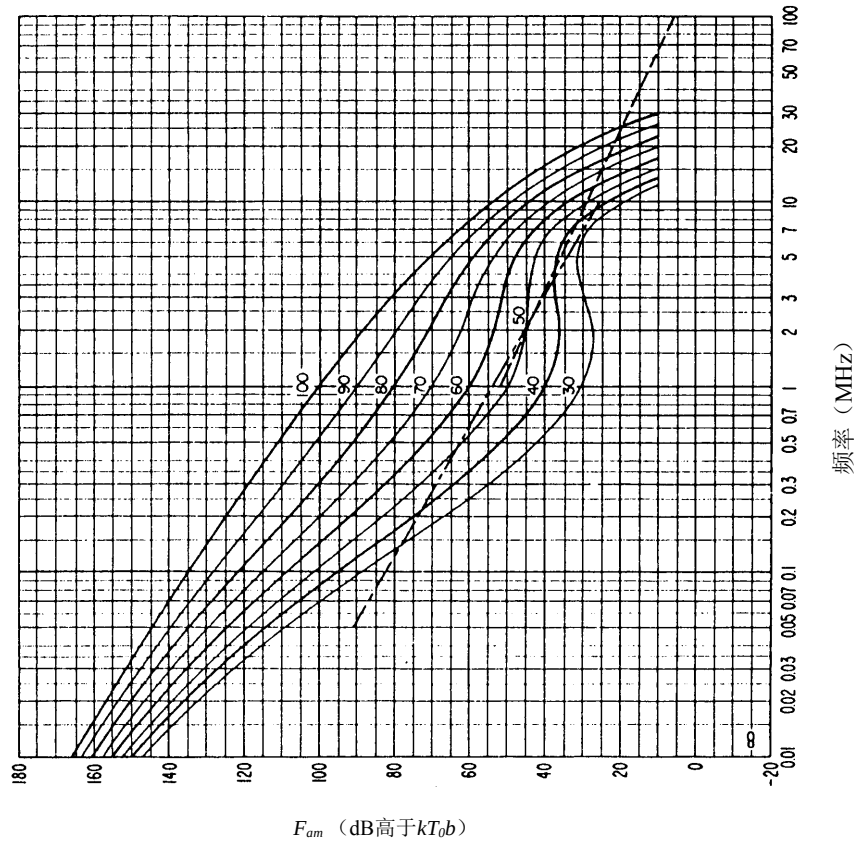


图 21b-无线电噪声随频率的变化
(春季; 0000-0400LT)

见图15b的图例

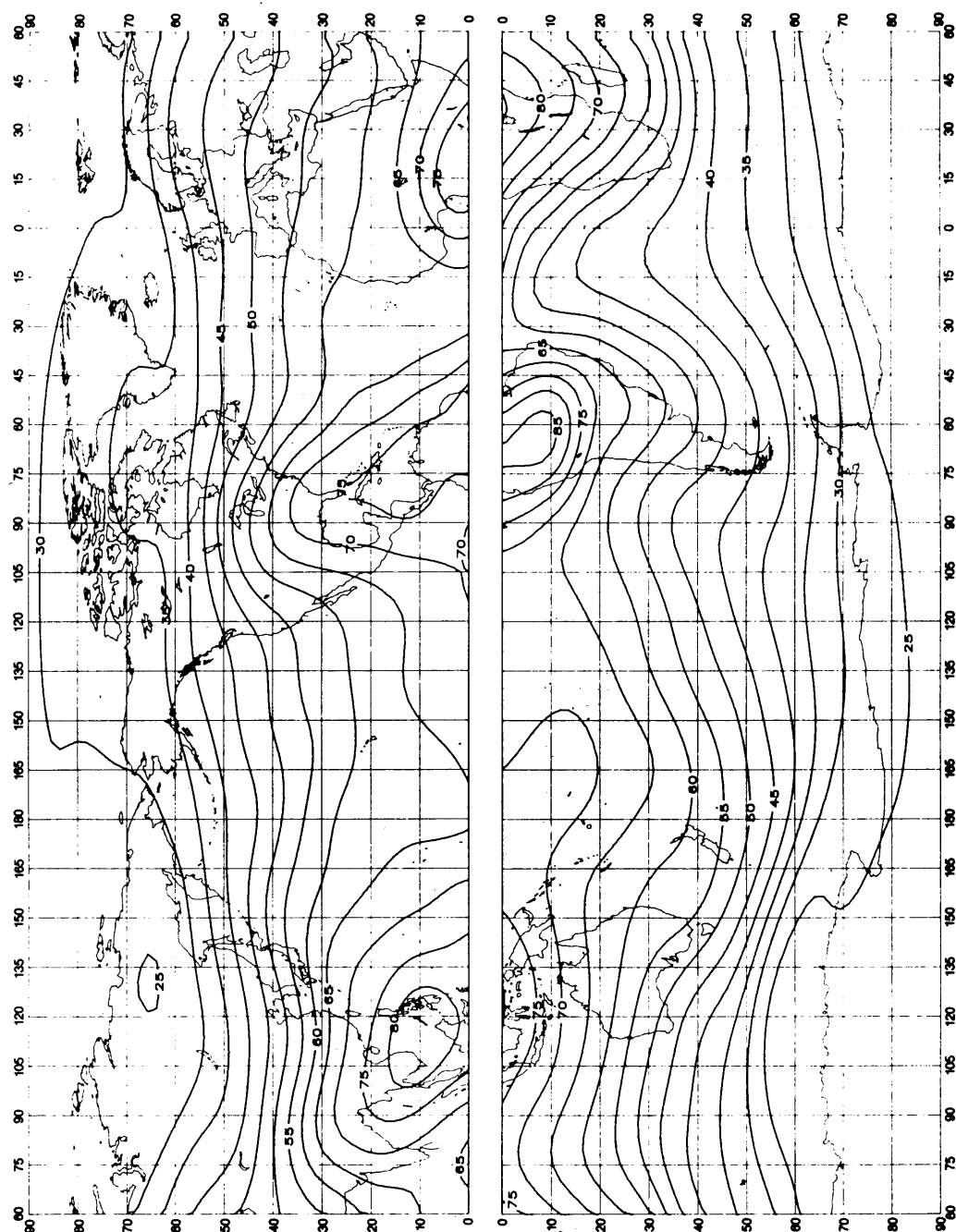


图22a-大气无线噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (春季; 0400-0800LT)

0372-22a

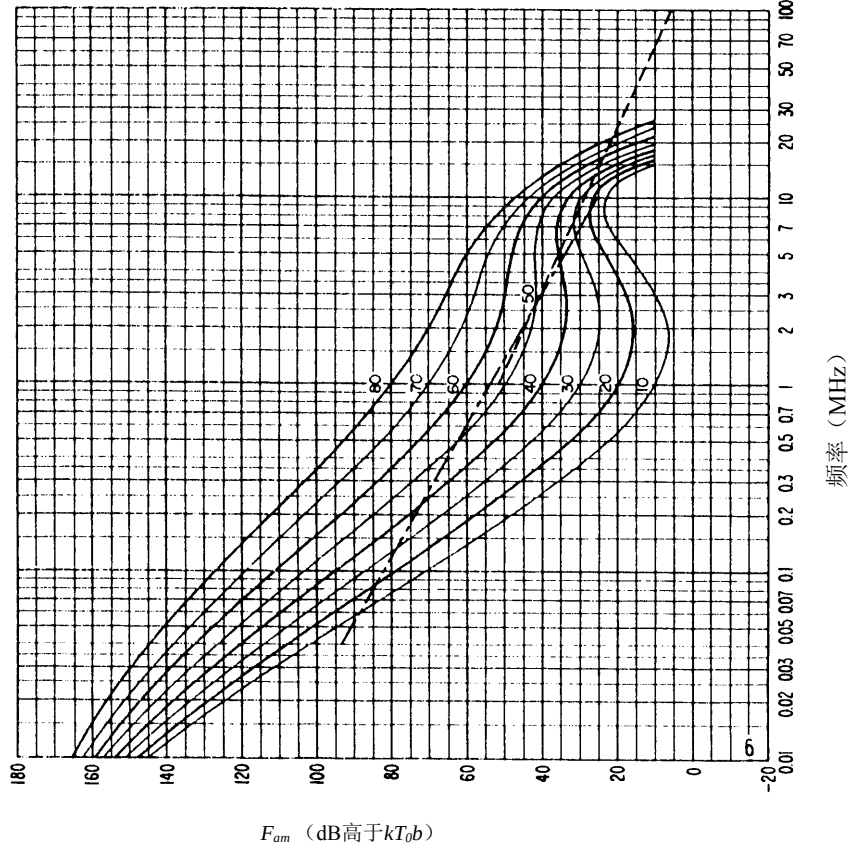


图 22b-无线电噪声随频率的变化
(春季; 0400-0800LT)

见图15b的图例

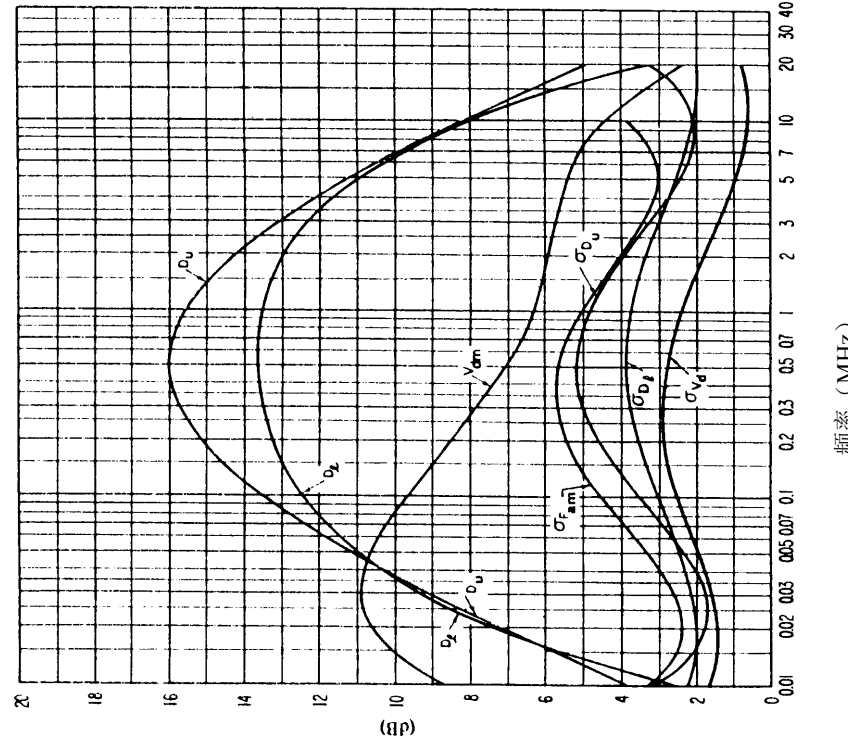
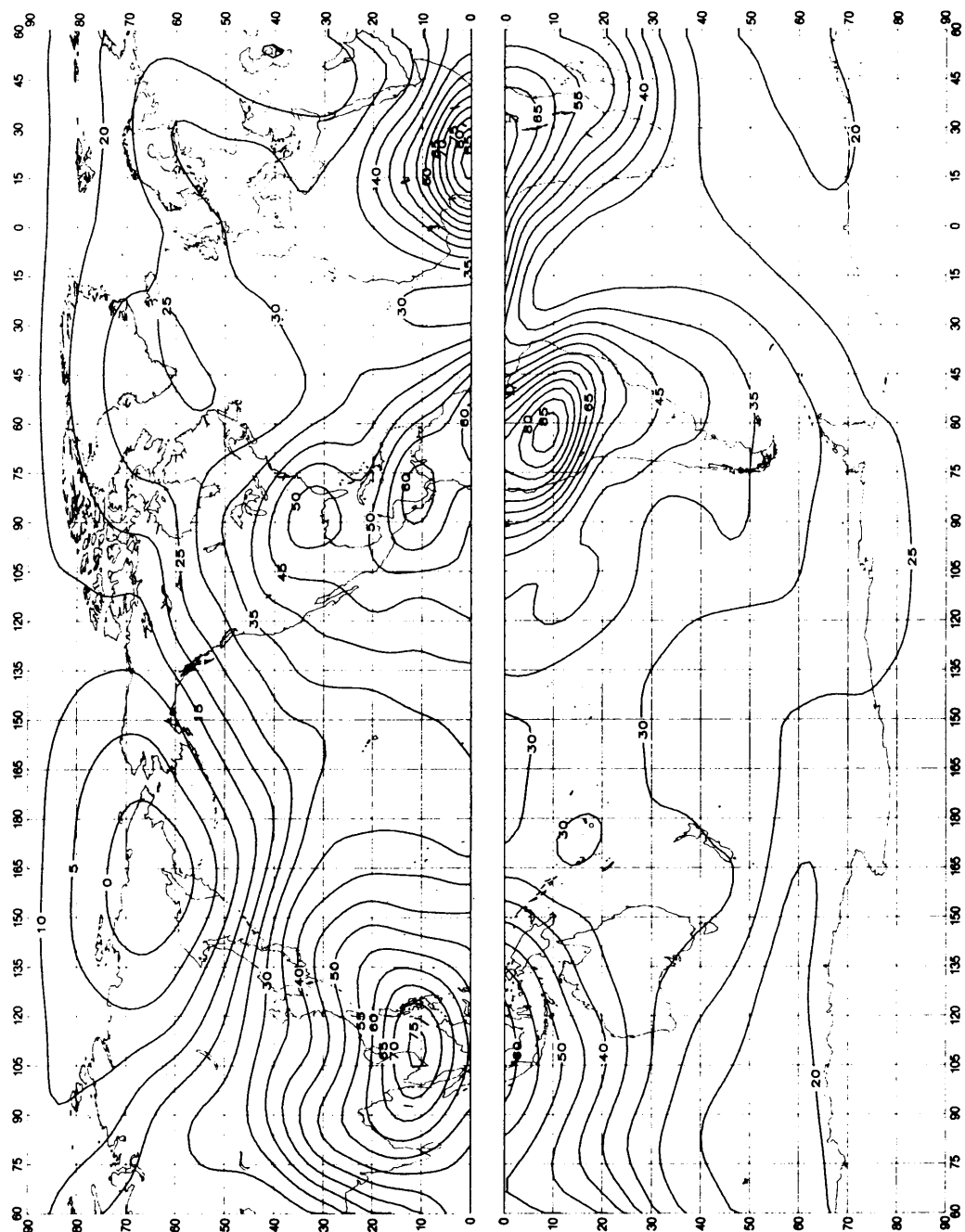


图 22c-噪声可变性和特性数据
(春季; 0400-0800LT)

见图15c的图例

图23a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (春季; 0800-1200LT)

0372-23a

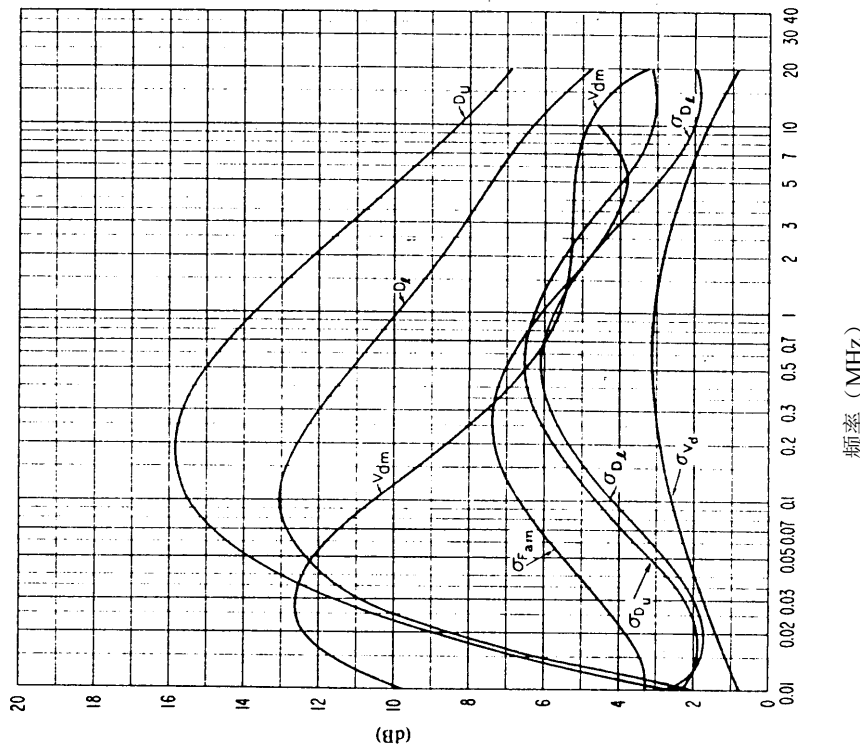


图 23c—噪声可变性和特性数据
(春季; 0800-1200LT)

见图15c的图例

0372-23b

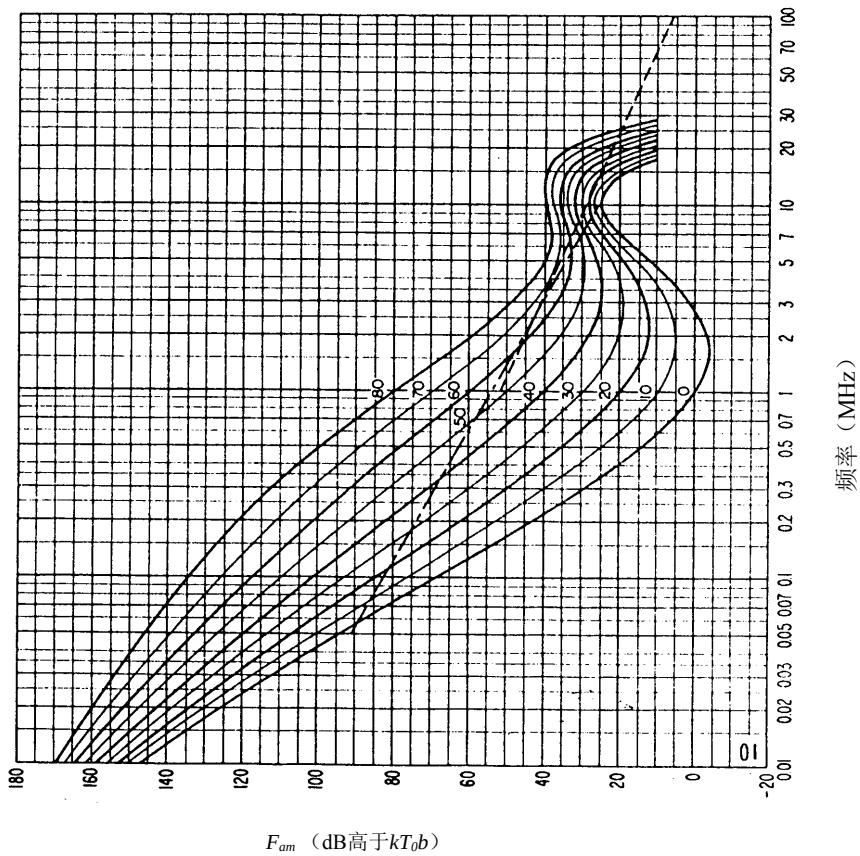


图 23b—无线电噪声随频率的变化
(春季; 0800-1200LT)

见图15b的图例

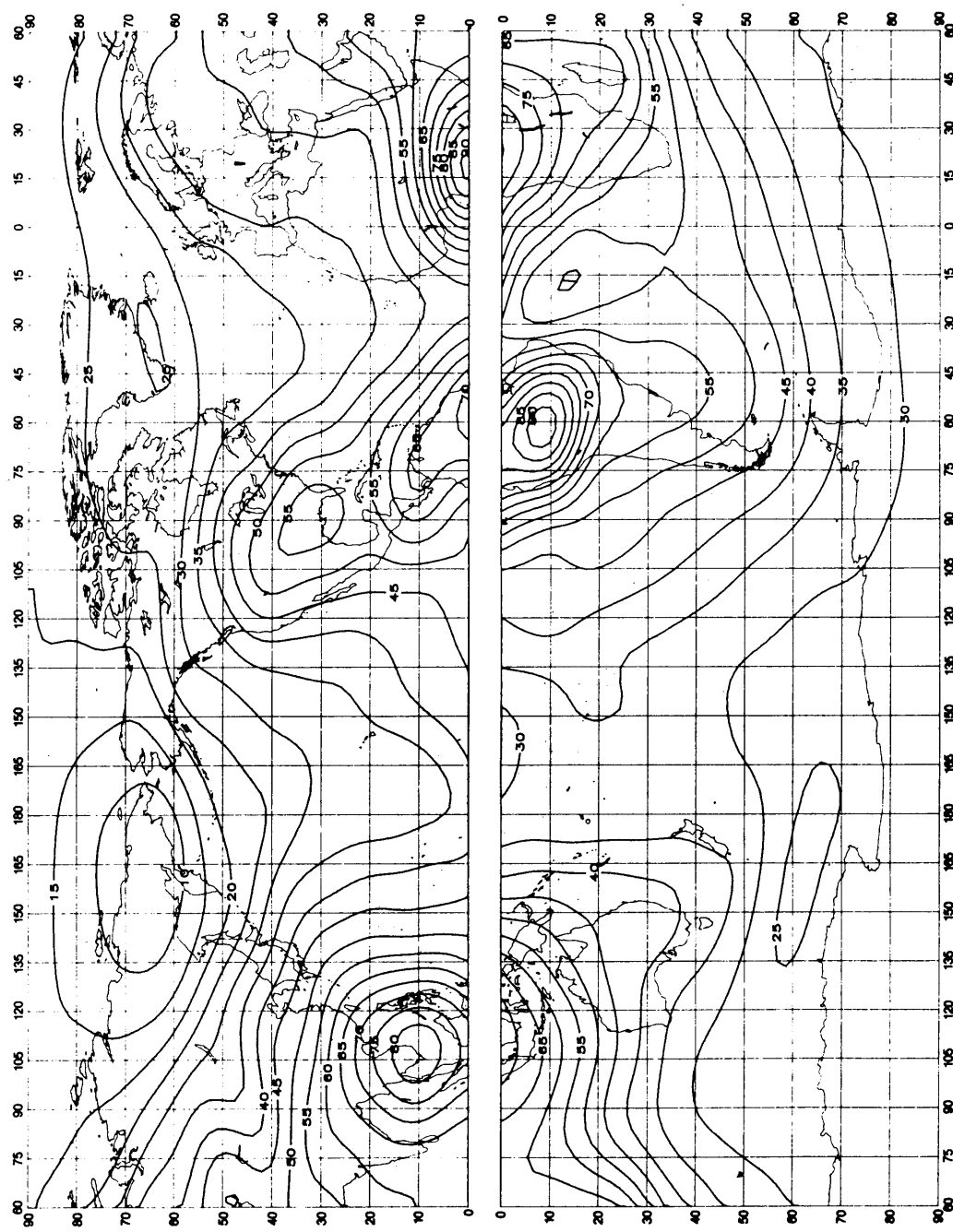


图24a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (春季; 1200-1600LT)

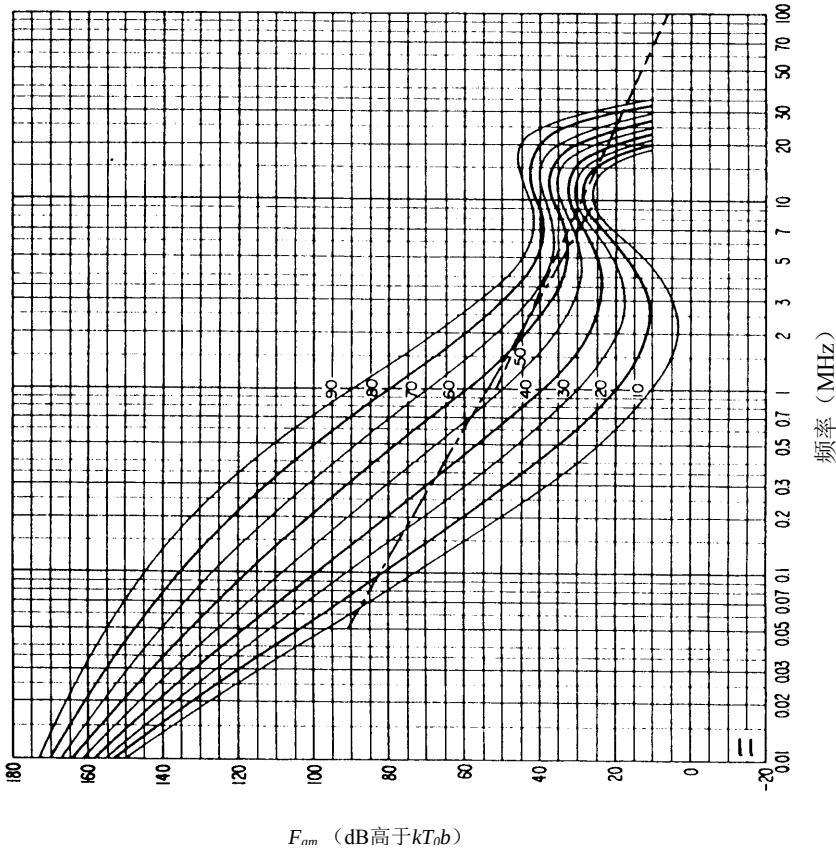


图 24b-无线电噪声随频率的变化
(春季; 1200-1600LT)

见图1.5b的图例

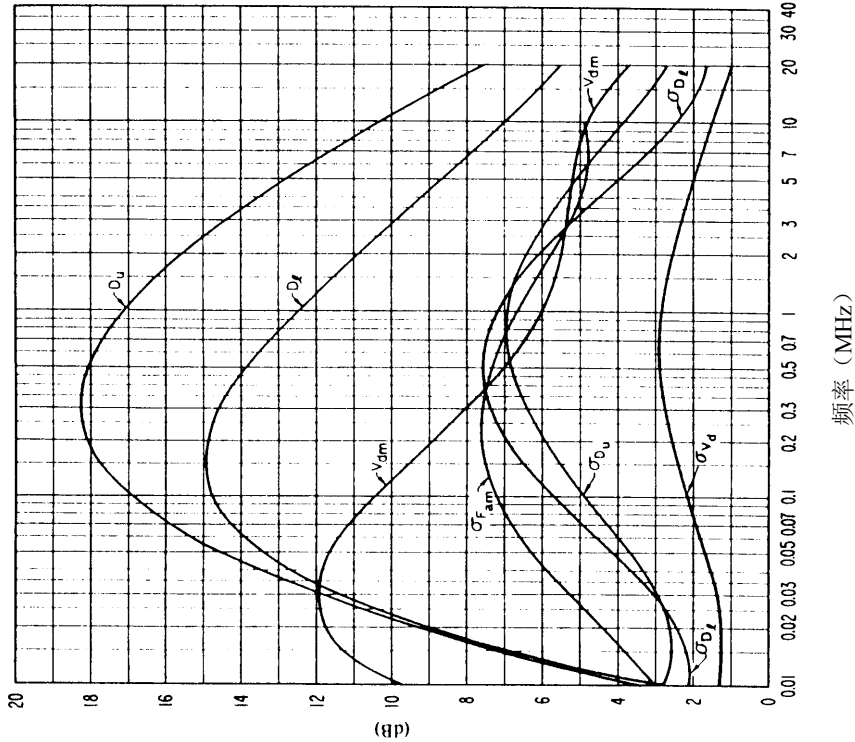


图 24c-噪声可变性和特性数据
(春季; 1200-1600LT)

见图1.5c的图例

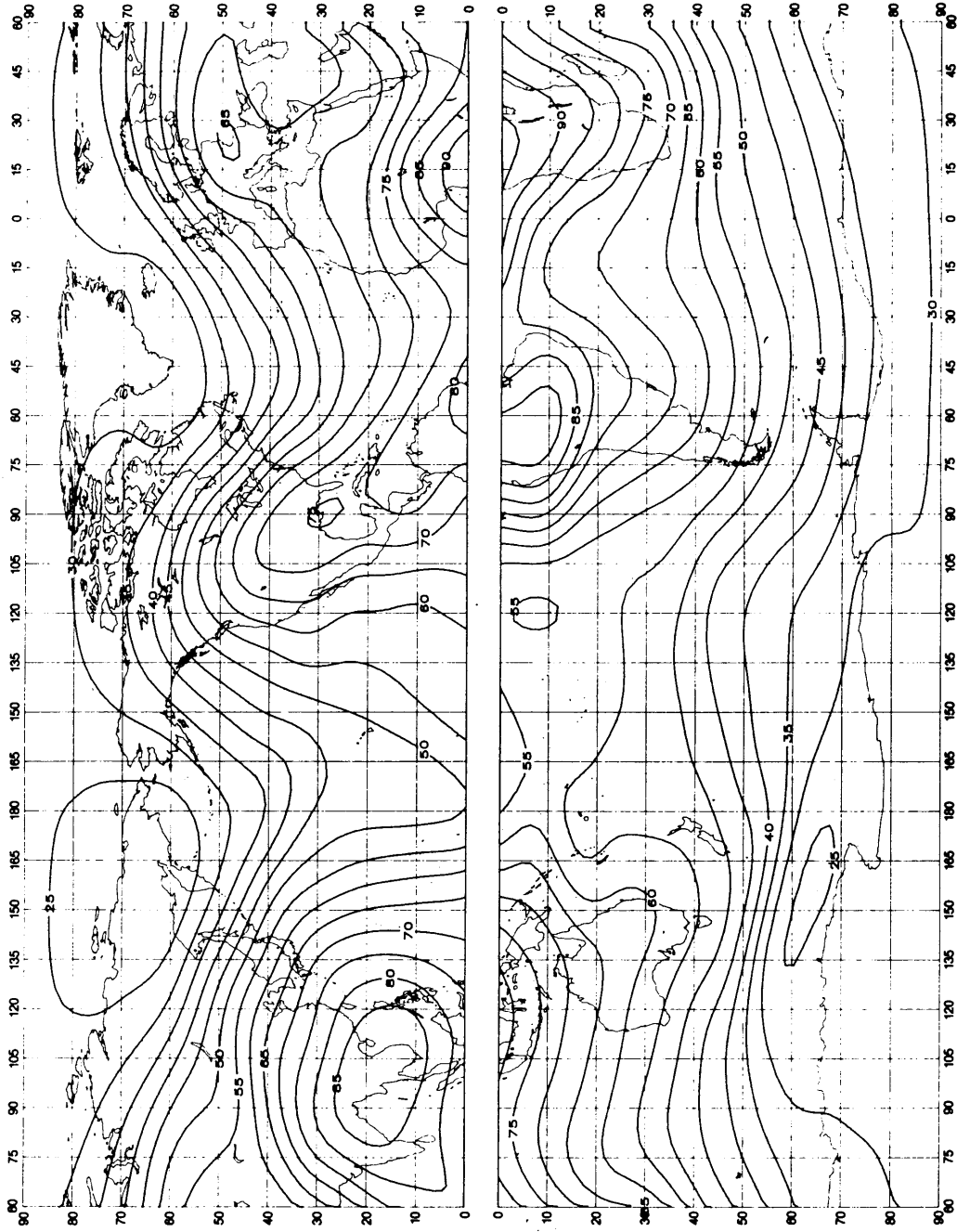


图25a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (春季; 1600-2000LT)

0372-25a

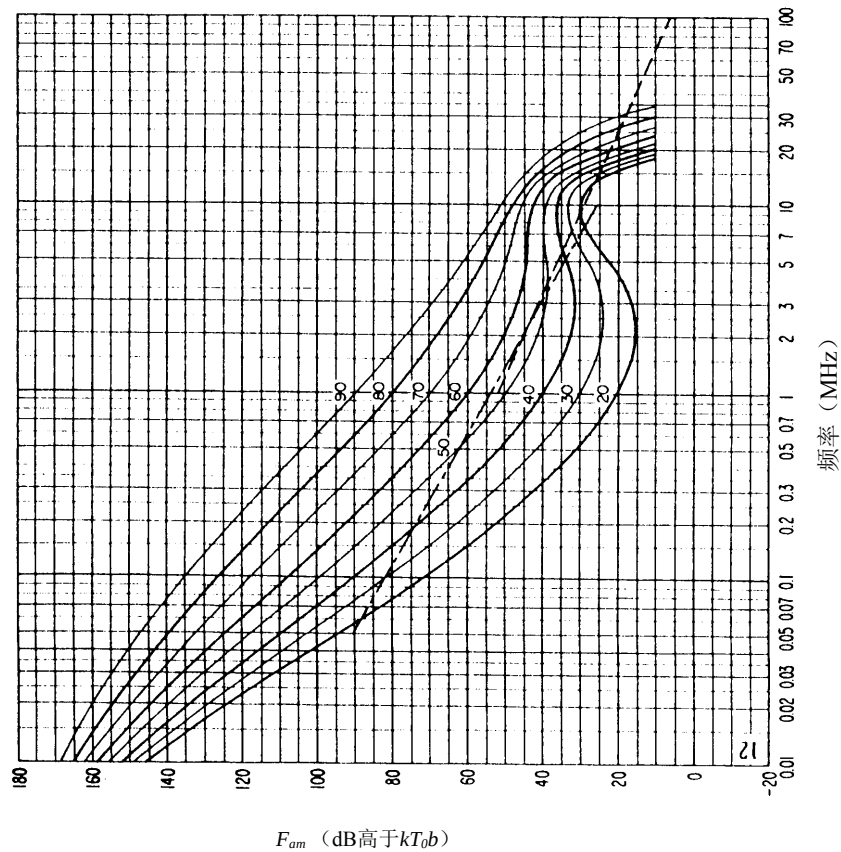


图 25b-无线电噪声随频率的变化
(春季; 1600-2000LT)

见图15b的图例

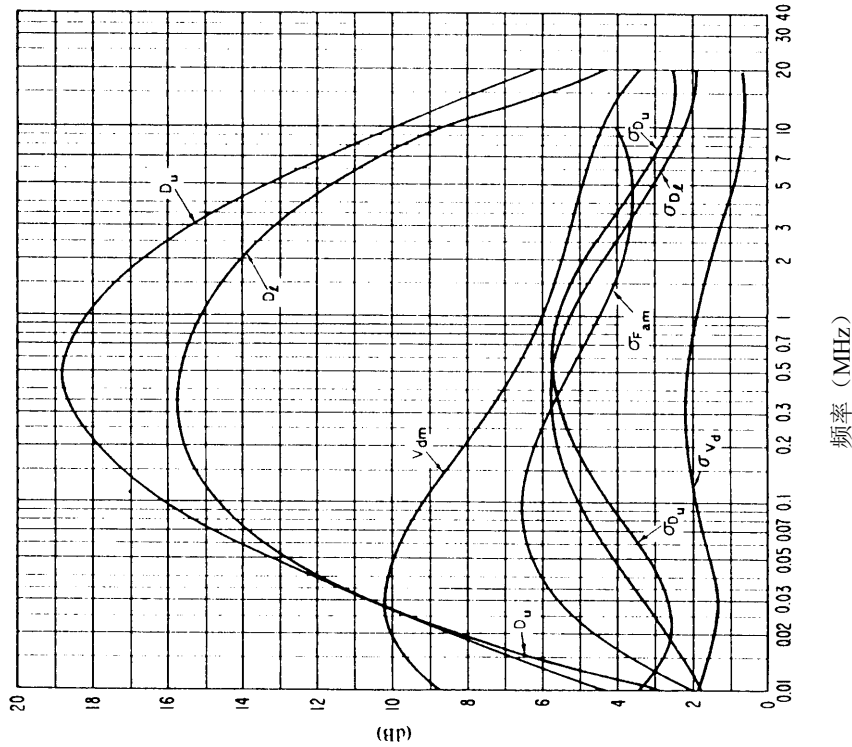


图 25c-噪声可变性和特性数据
(春季; 0600-2000LT)

见图15c的图例

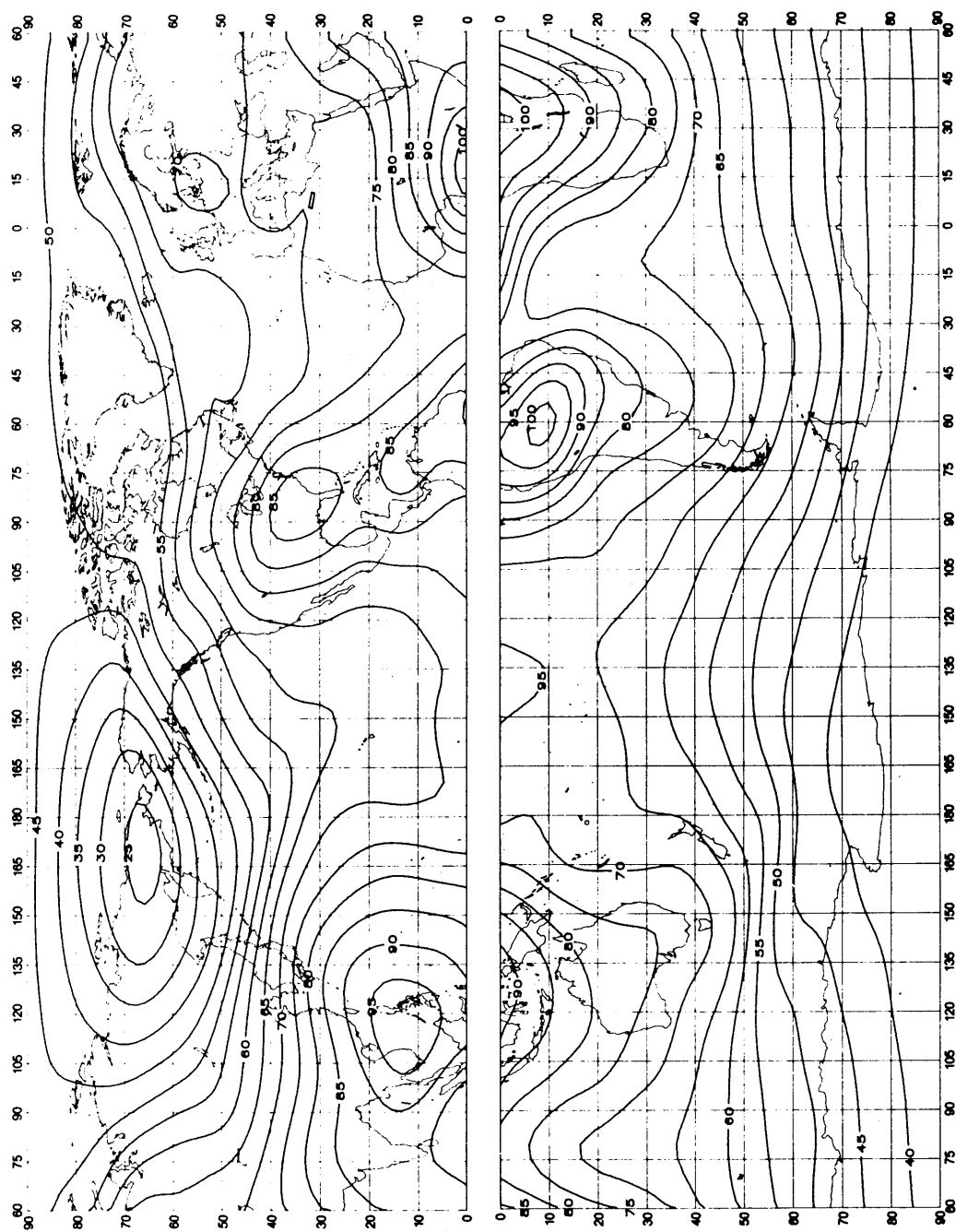


图26a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (春季; 2000-2400LT)

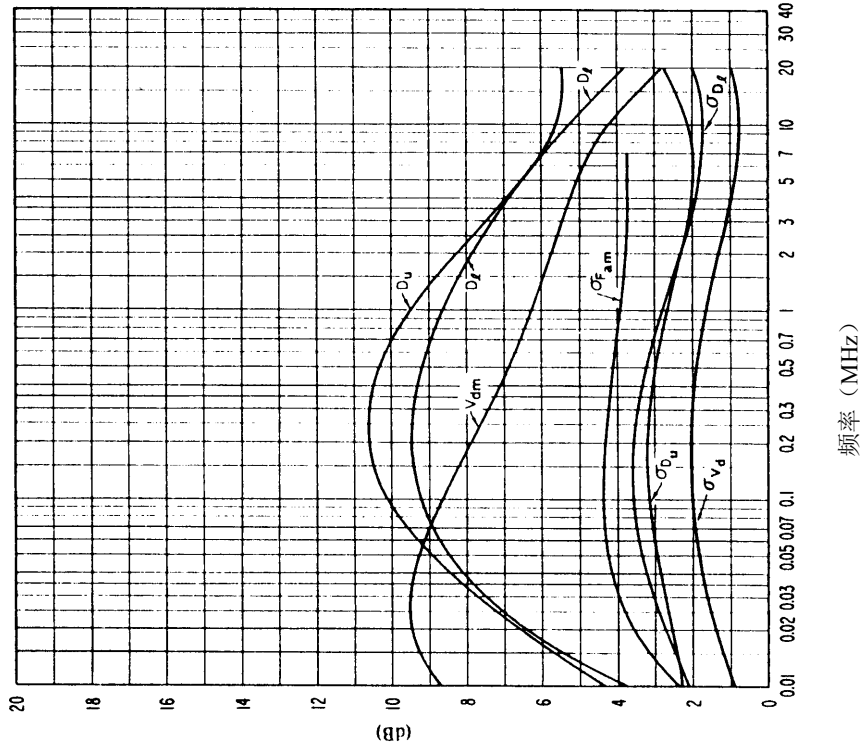


图 26c-噪声可变性和特性数据
(春季; 2000-2400LT)

见图15c的图例

0372-26b

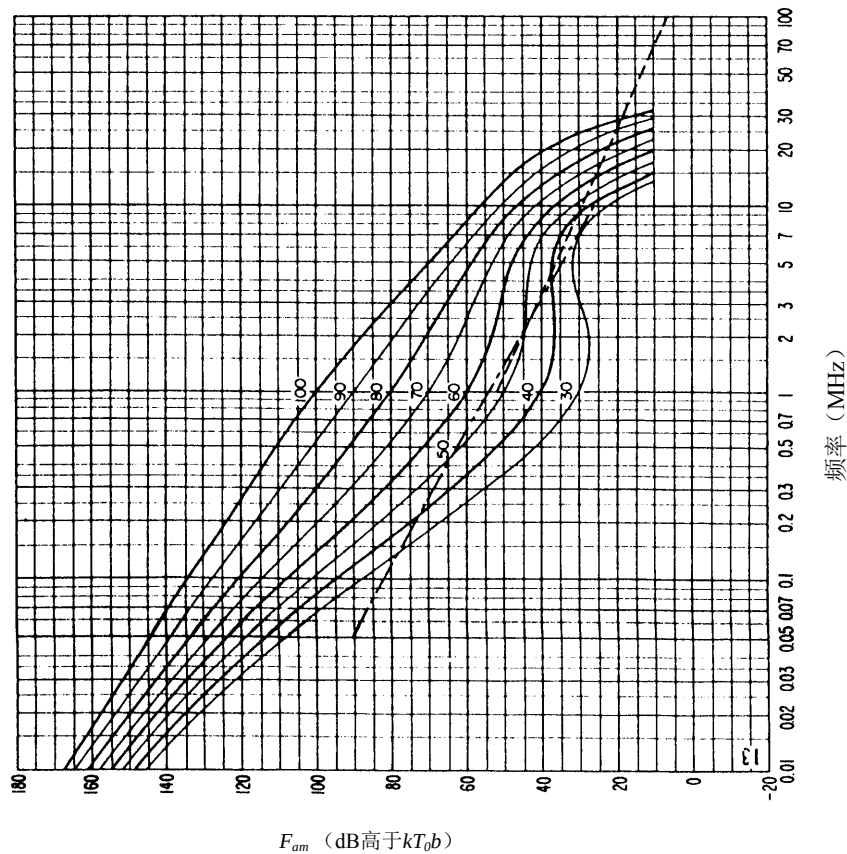
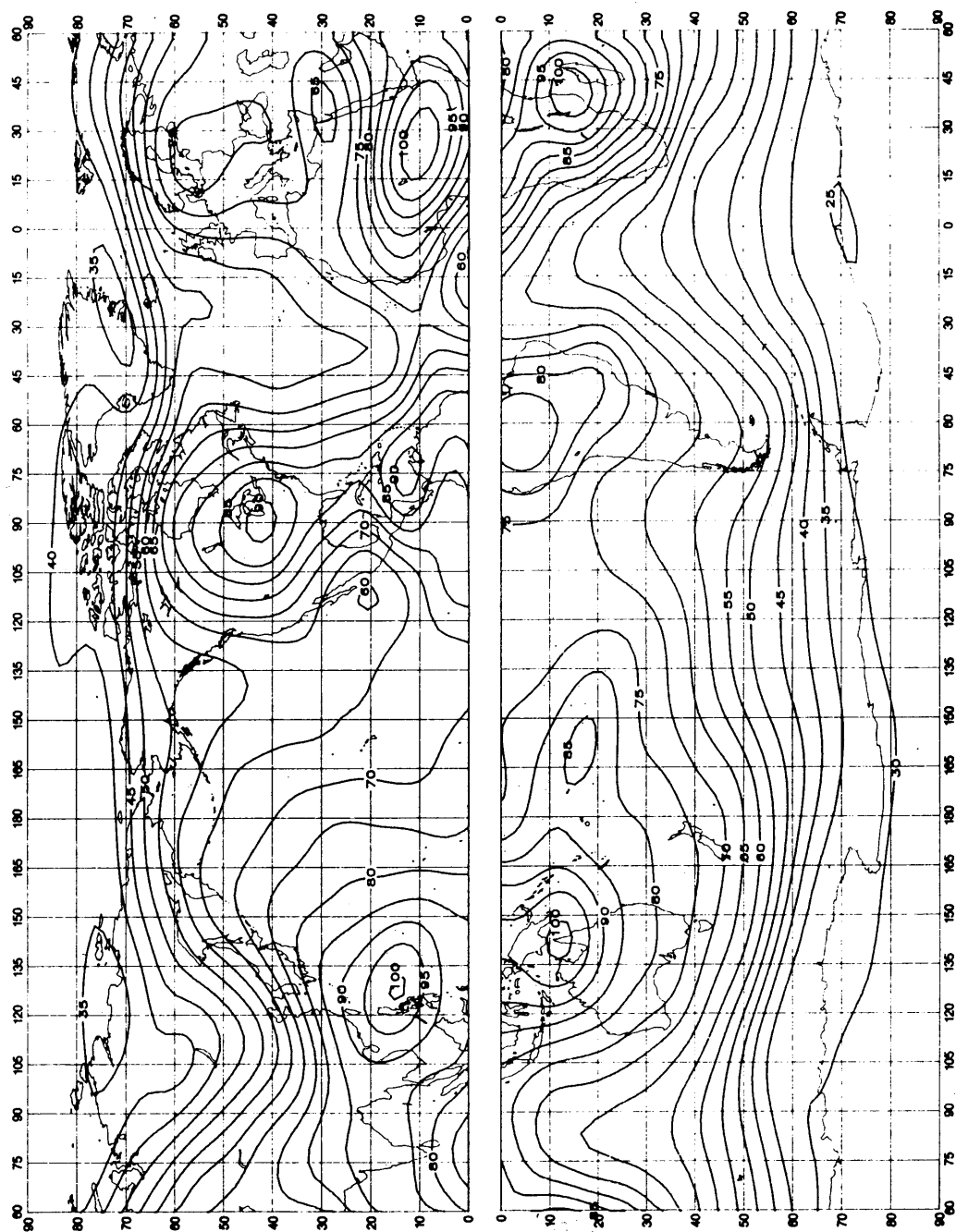


图 26b-无线电噪声随频率的变化
(春季; 2000-2400LT)

见图15b的图例

图27a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (夏季; 0000-0400LT)

0372-27a

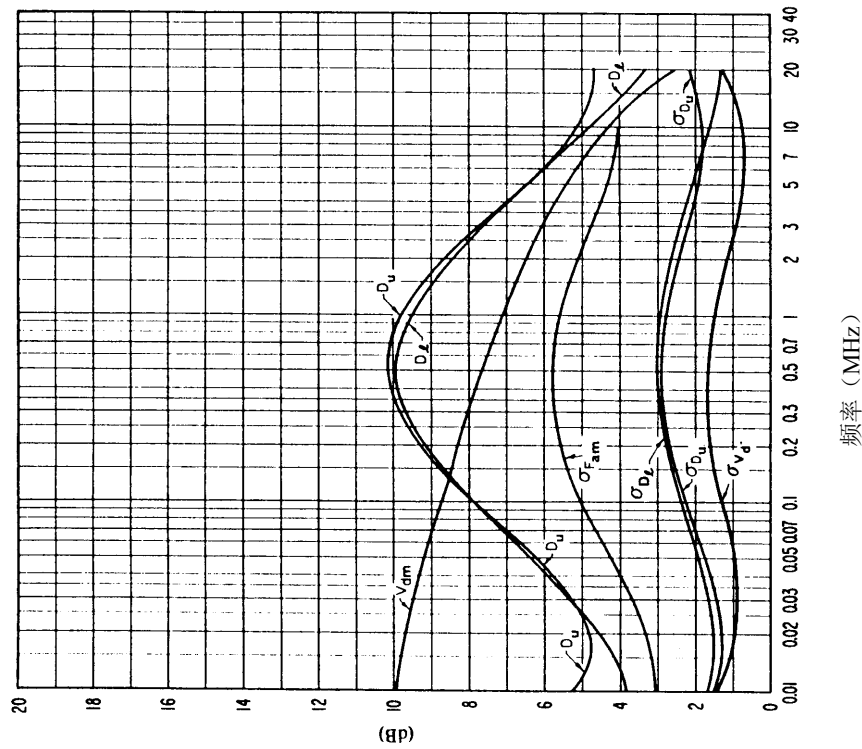


图 27c-噪声可变性和特性数据
(夏季; 0000-0400LT)

见图15c的图例

0372-27b

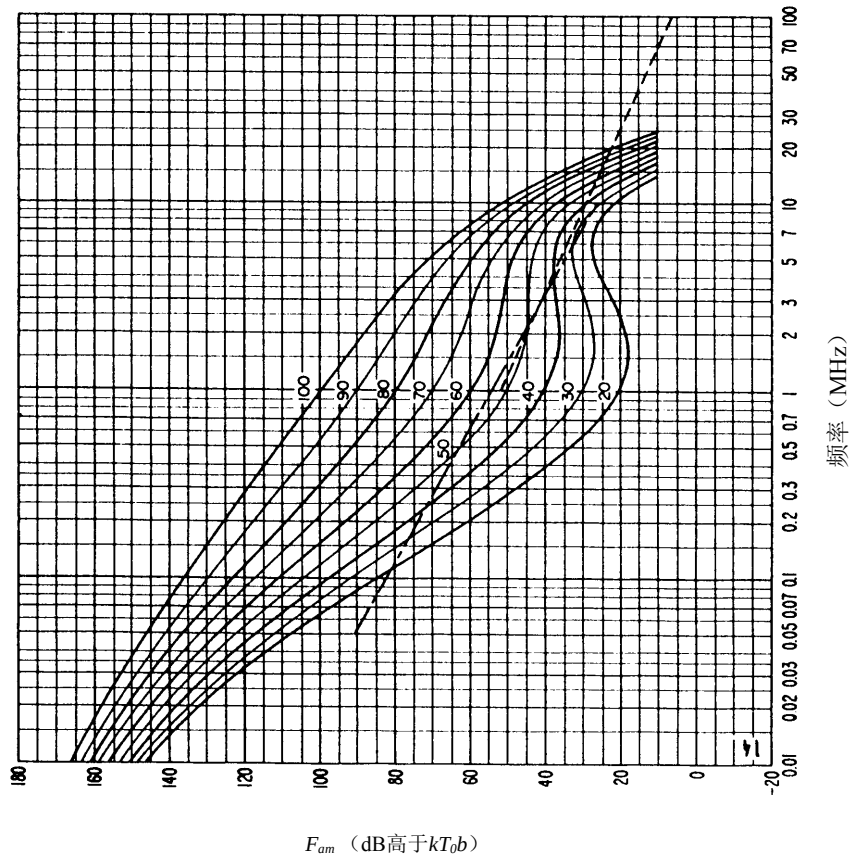
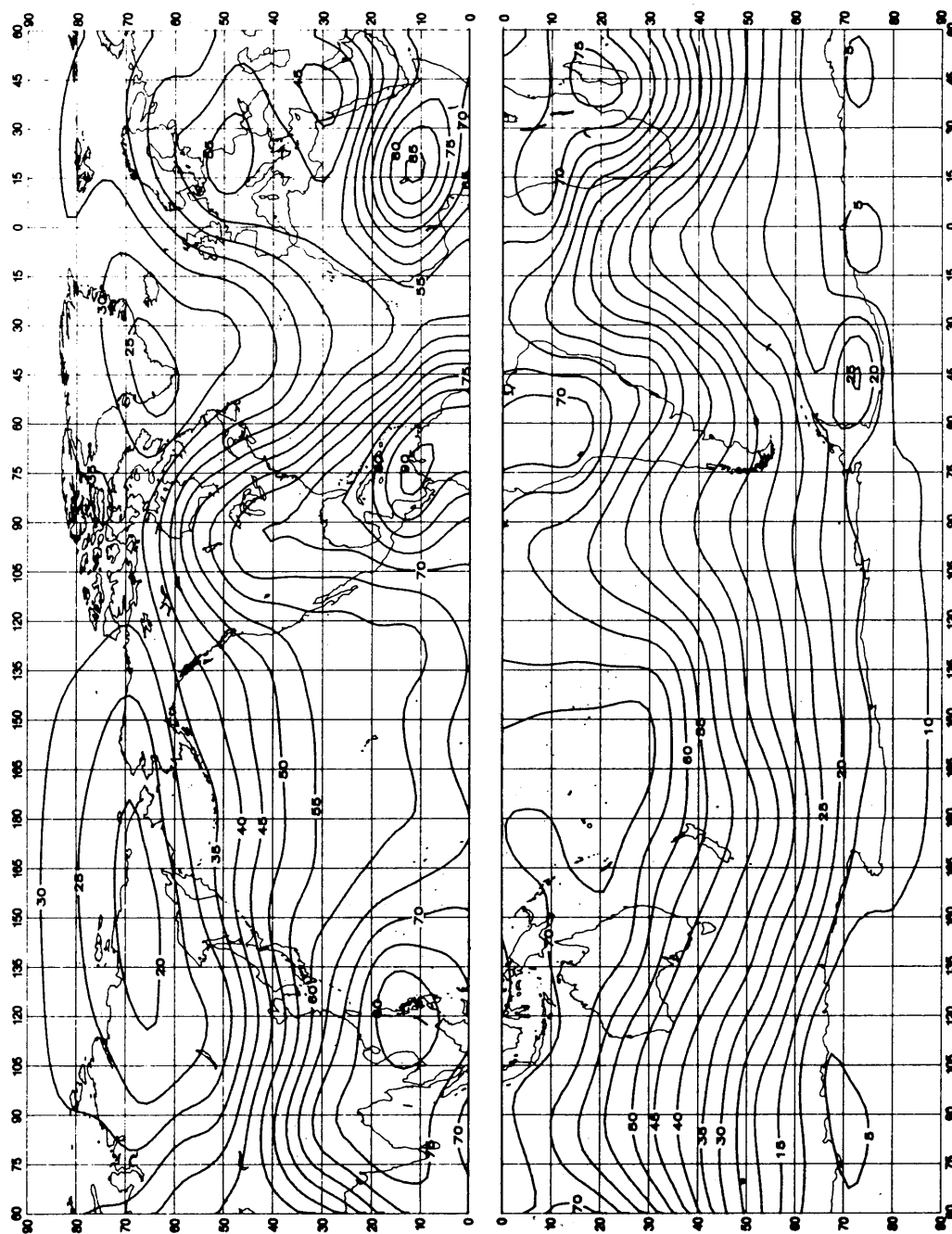


图 27b-无线电噪声随频率的变化
(夏季; 0000-0400LT)

见图15b的图例

图28a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (夏季; 0400-0800LT)

0372-28a

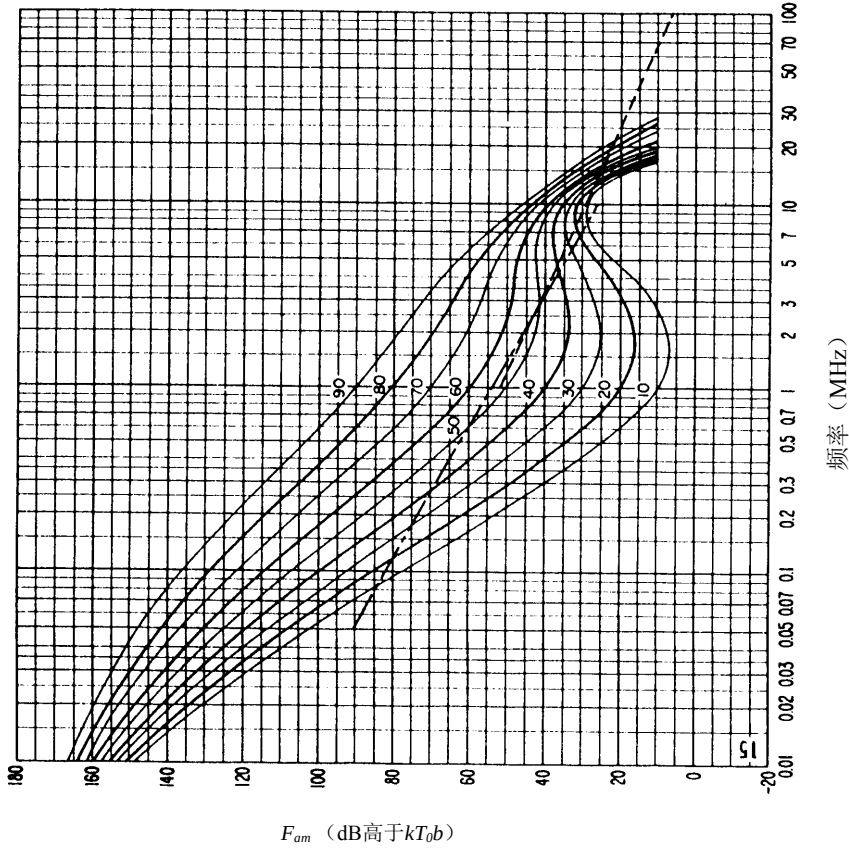


图 28b-无线电噪声随频率的变化
(夏季; 0400-0800LT)

见图15b的图例

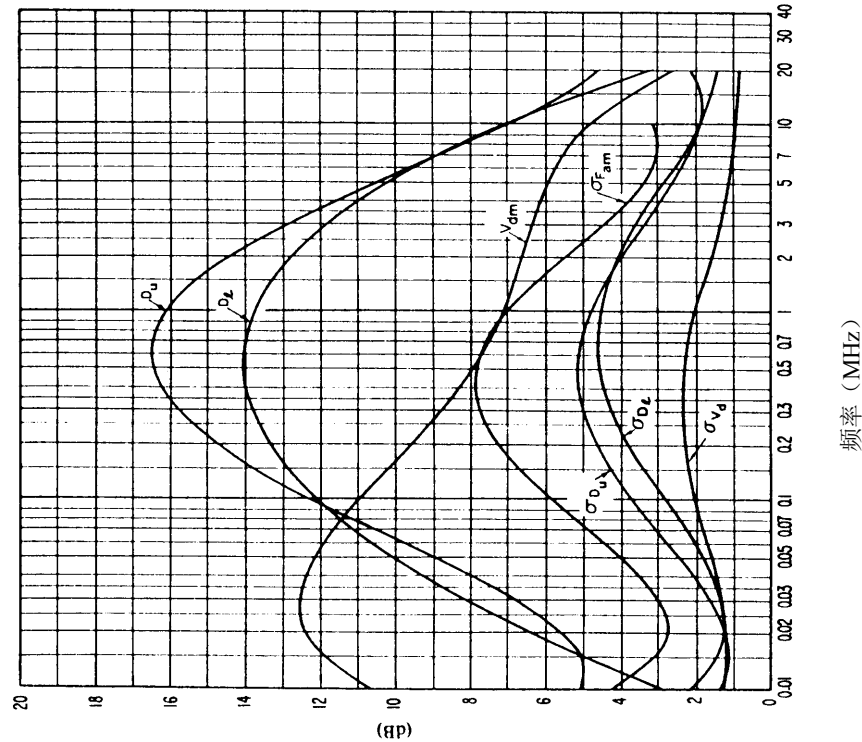


图 28c-噪声可变性和特性数据
(夏季; 0400-0800LT)

见图15c的图例

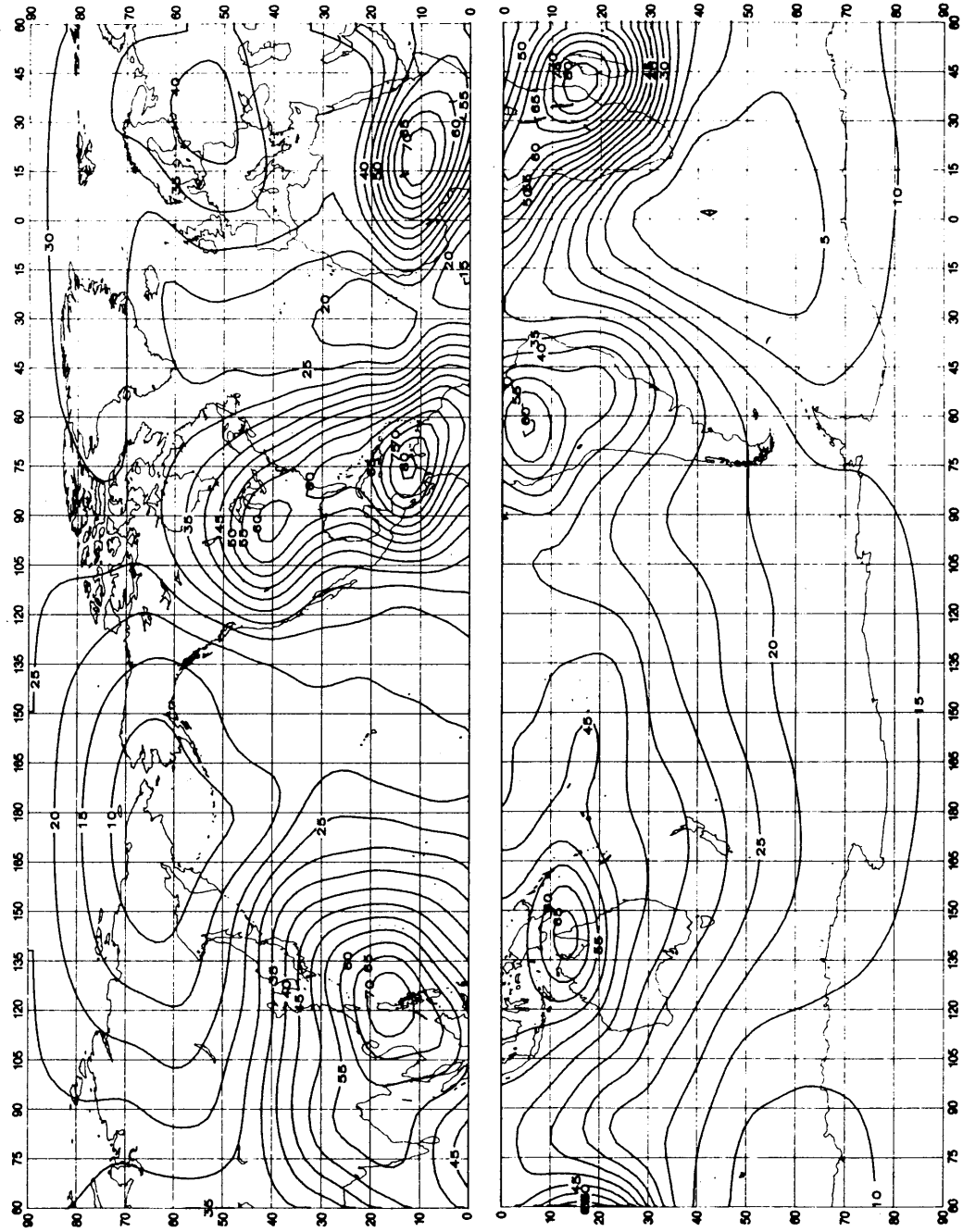


图29a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (夏季; 0800-1200LT)

0372-29a

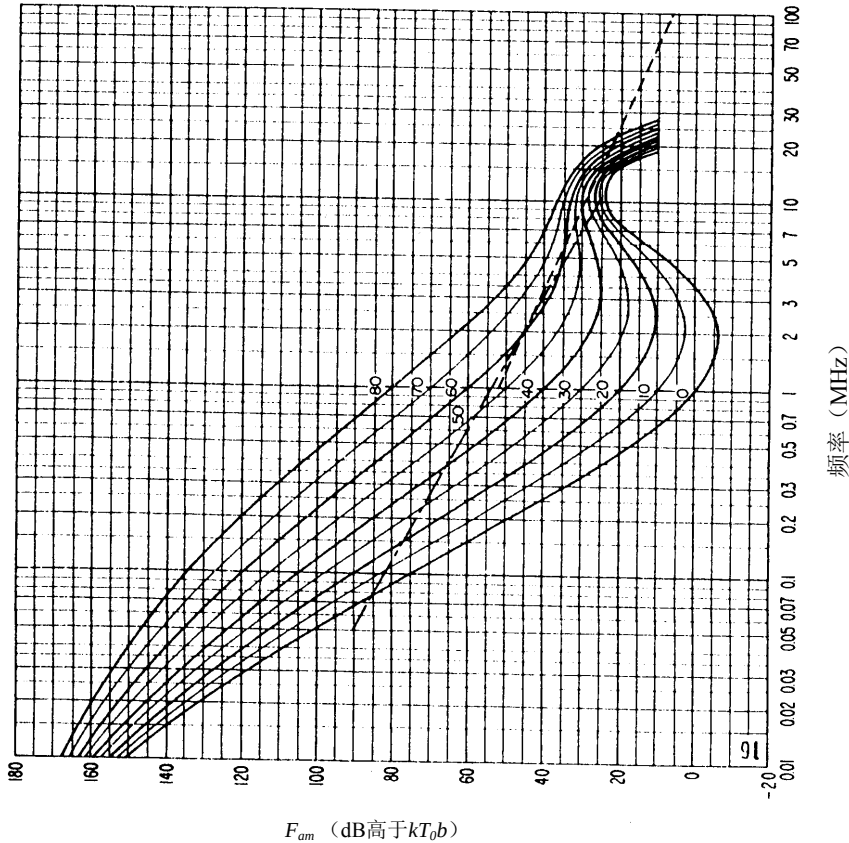


图 29b-无线电噪声随频率的变化
(夏季; 0800-1200LT)

见图15b的图例

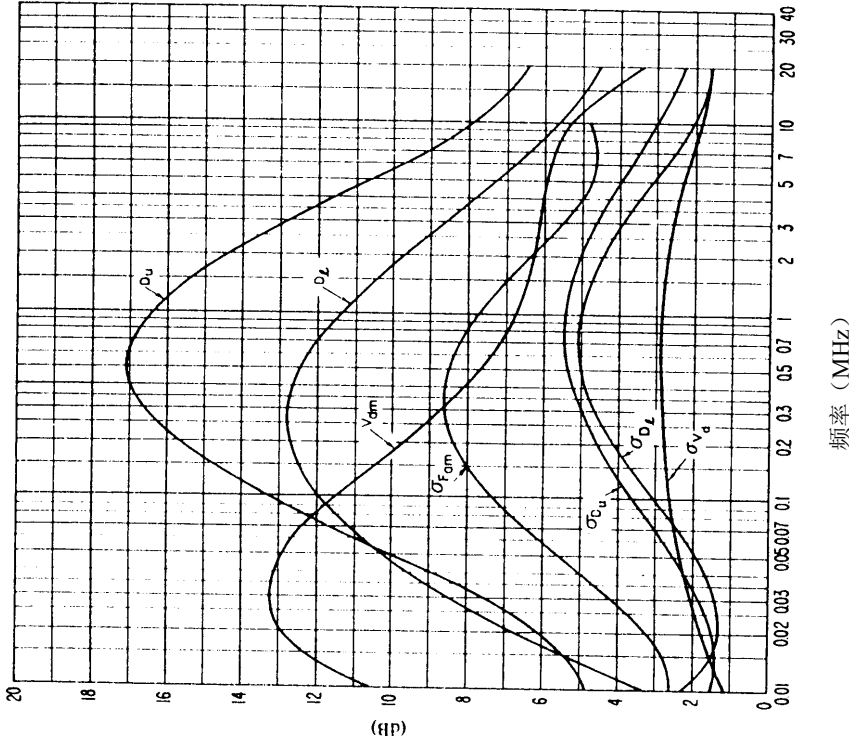


图 29c-噪声可变性和特性数据
(夏季; 0800-1200LT)

见图15c的图例

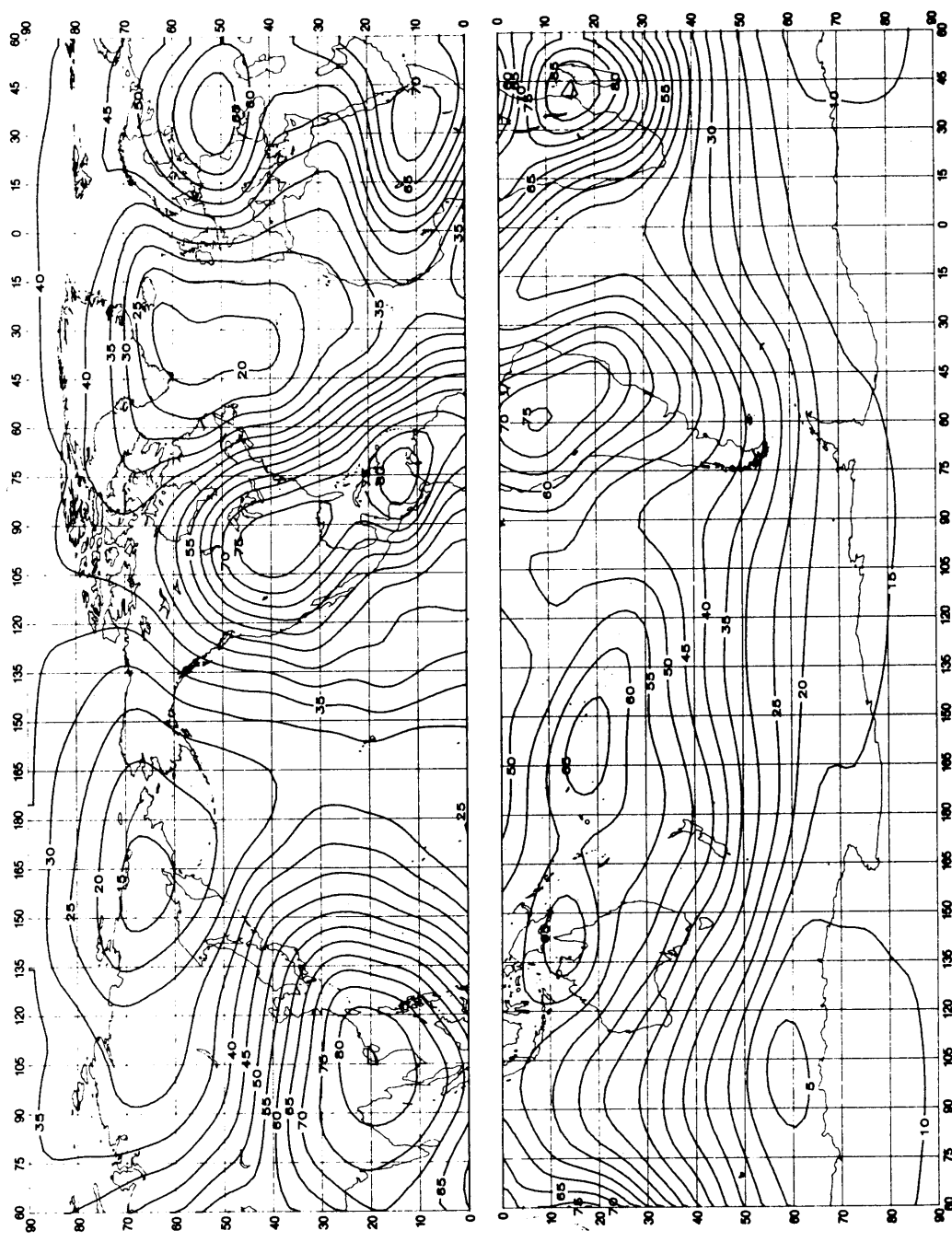


图30a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (夏季; 1200-1600LT)

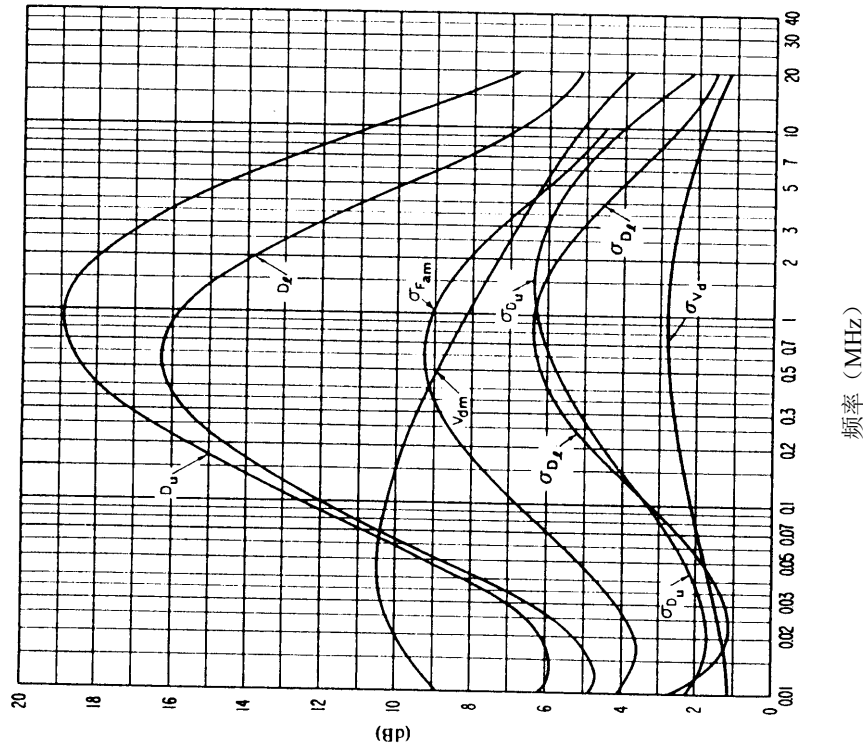


图 30c-噪声可变性和特性数据
(夏季; 1200-1600LT)

见图15c的图例

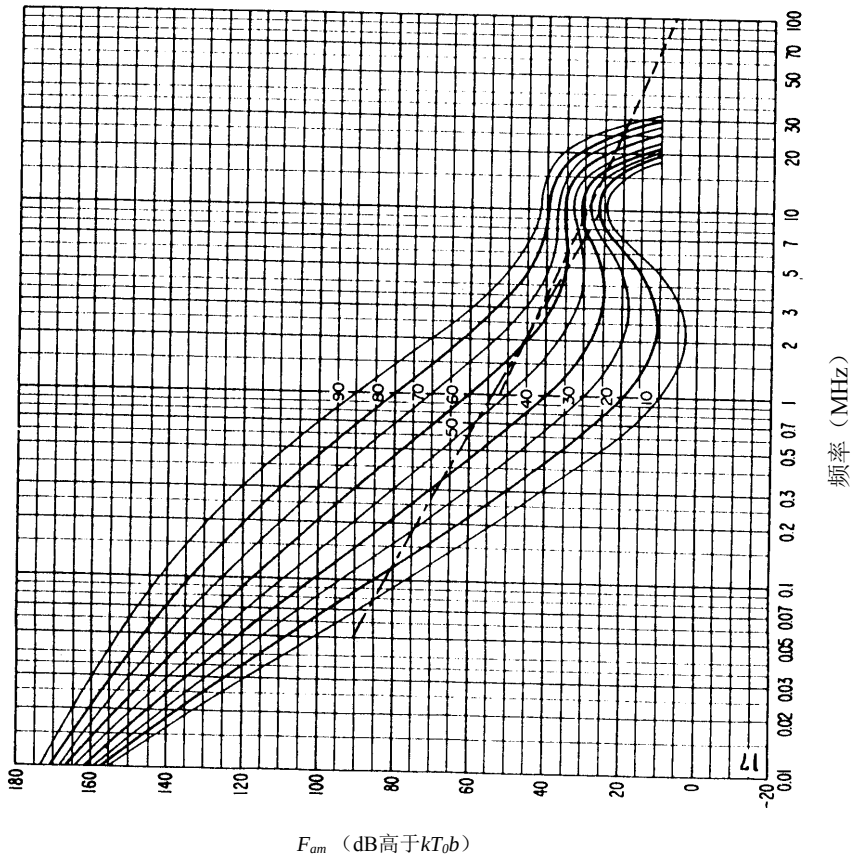
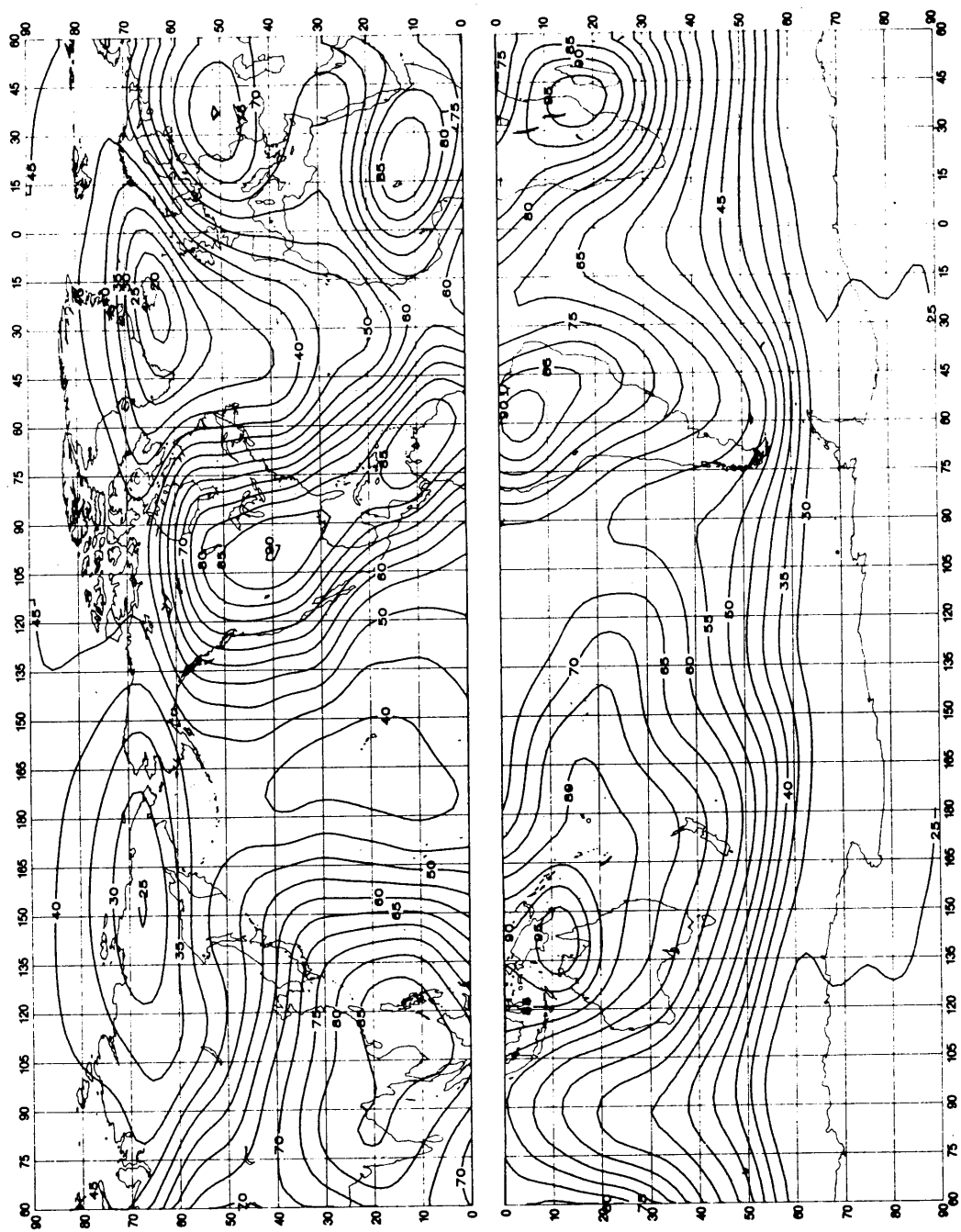


图 30b-无线电噪声随频率的变化
(夏季; 1200-1600LT)

见图15b的图例

图31a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (夏季; 1600-2000LT)

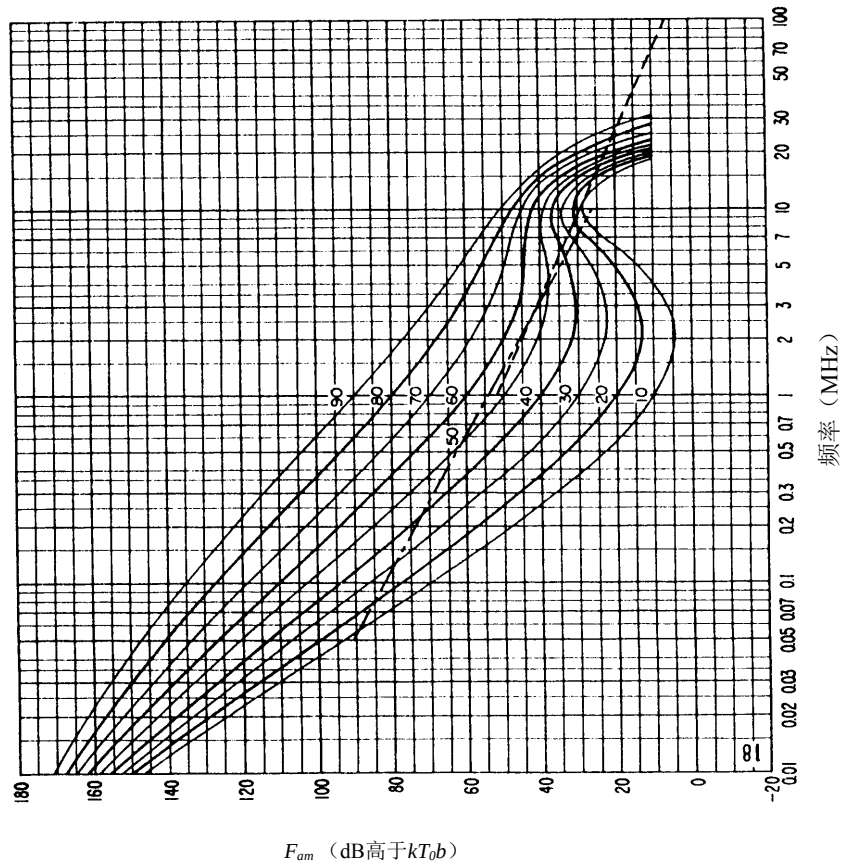


图 31b-无线电噪声随频率的变化
(夏季; 1600-2000LT)

见图15b的图例

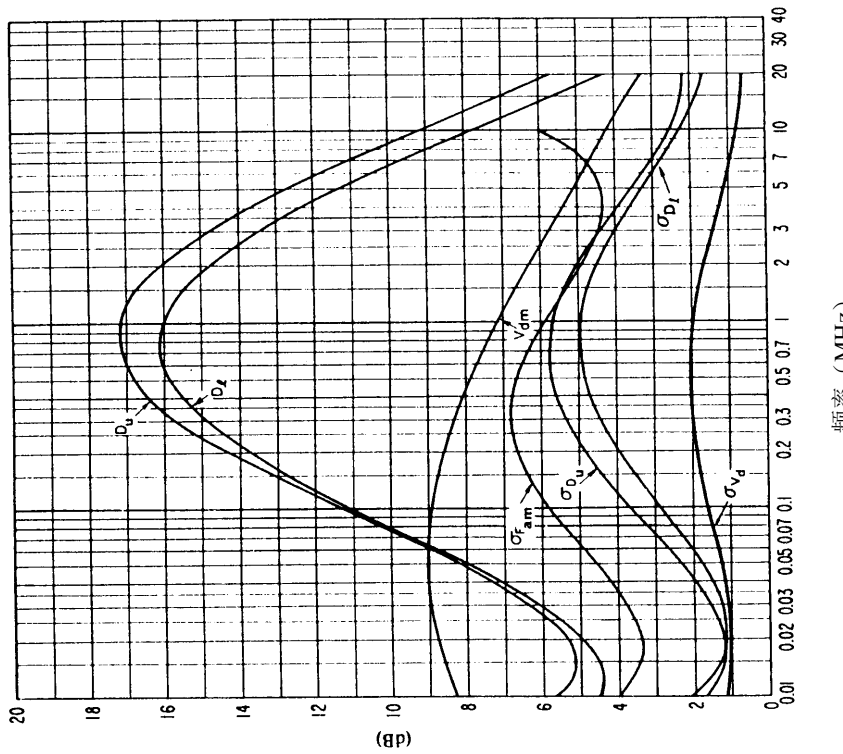


图 31c-噪声可变性和特性数据
(夏季; 1600-2000LT)

见图15c的图例

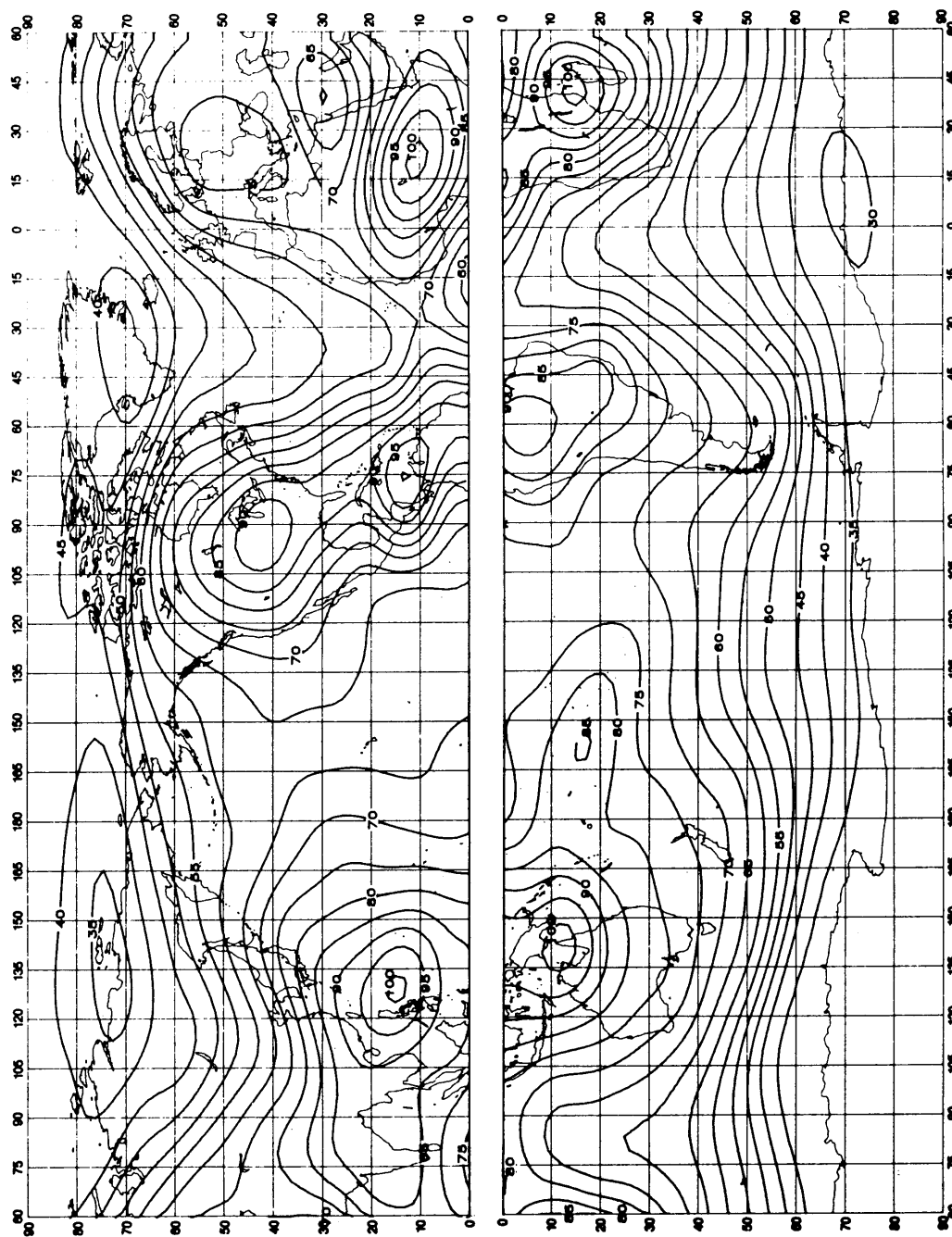
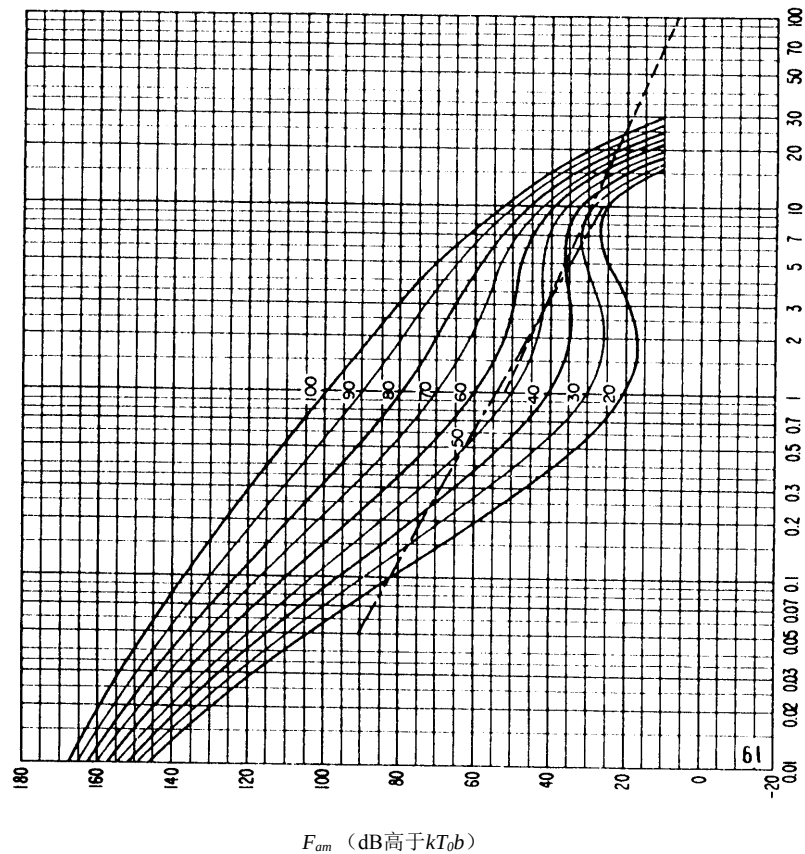


图32a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (夏季; 2000-2400LT)

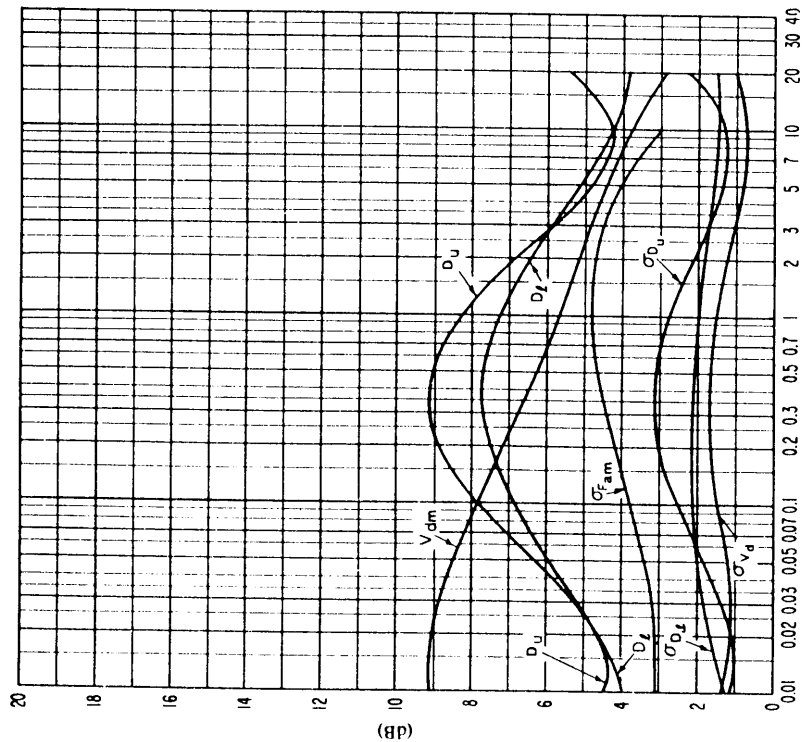
0372-32a



频率 (MHz)

图 32b-无线电噪声随频率的变化
(夏季; 2000-2400LT)

见图15b的图例

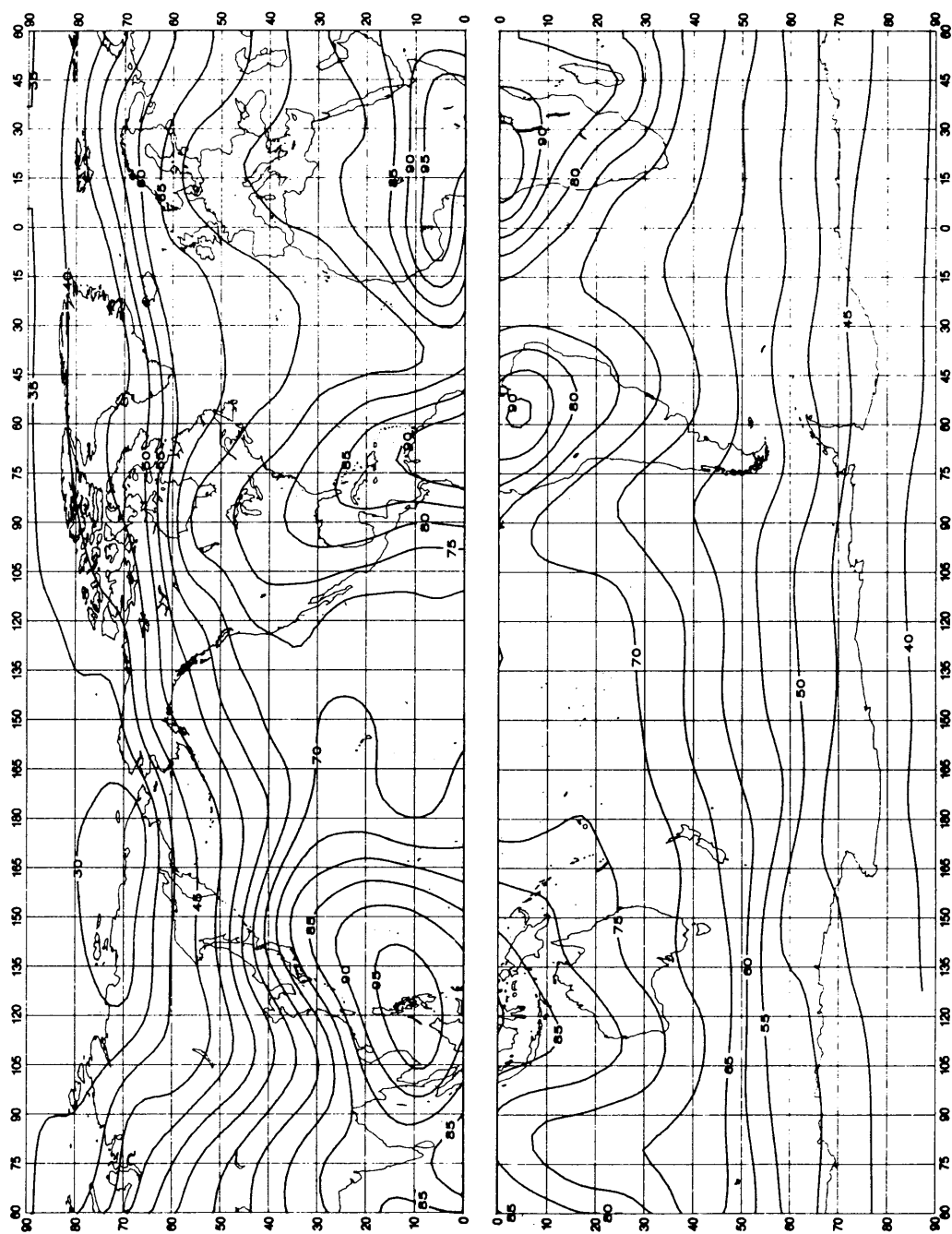


频率 (MHz)

图 32c-噪声声可变性和特性数据
(夏季; 2000-2400LT)

见图15c的图例

0372-32b

图33a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (秋季; 0000-0400LT)

0372-33a

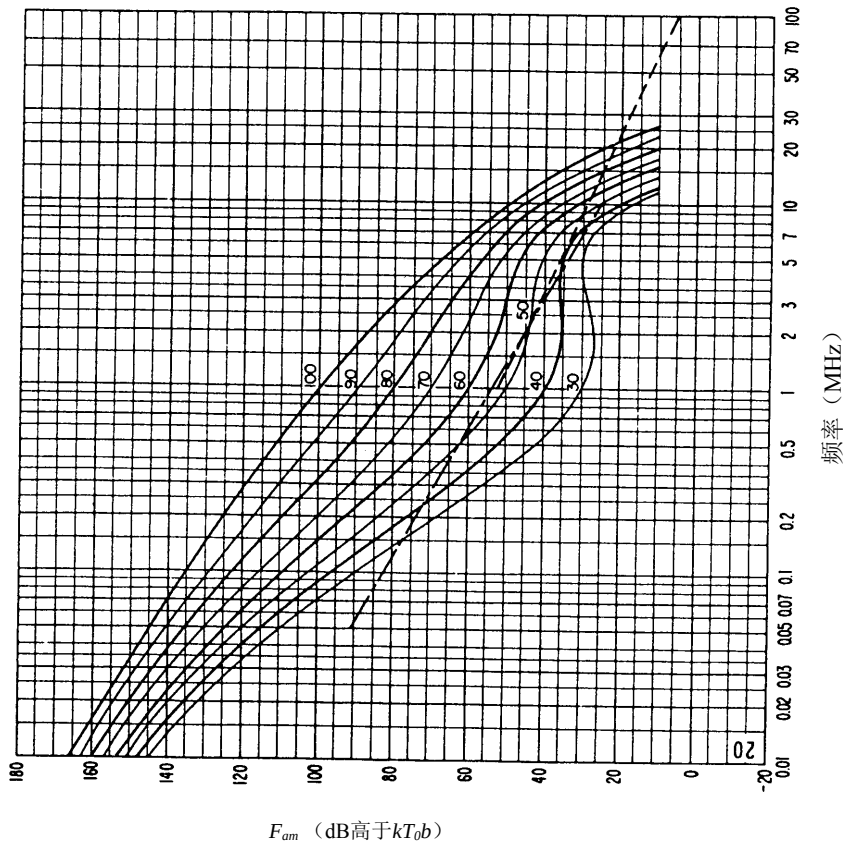


图 33b-无线电噪声随频率的变化
(秋季; 0000-0400LT)

见图15b的图例

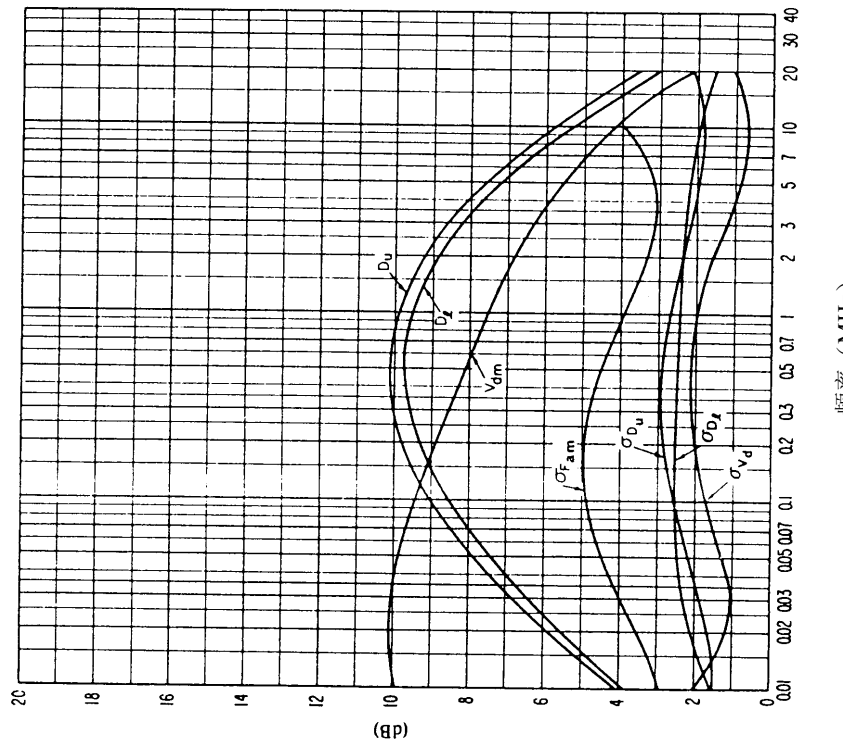
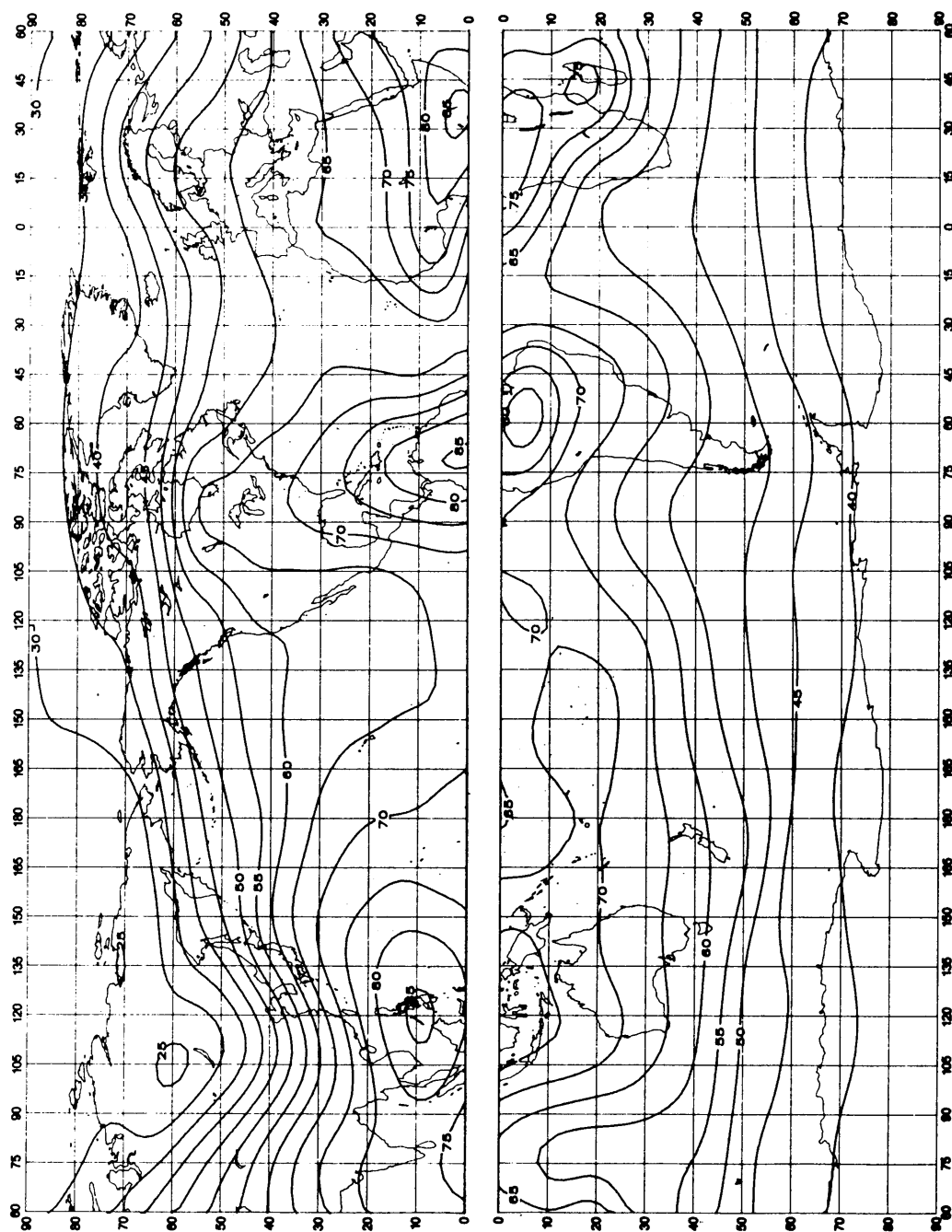


图 33c-噪声可变性和特性数据
(秋季; 0000-0400LT)

见图15c的图例

图34a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_0b) (秋季; 0400-0800LT)

0372-34a

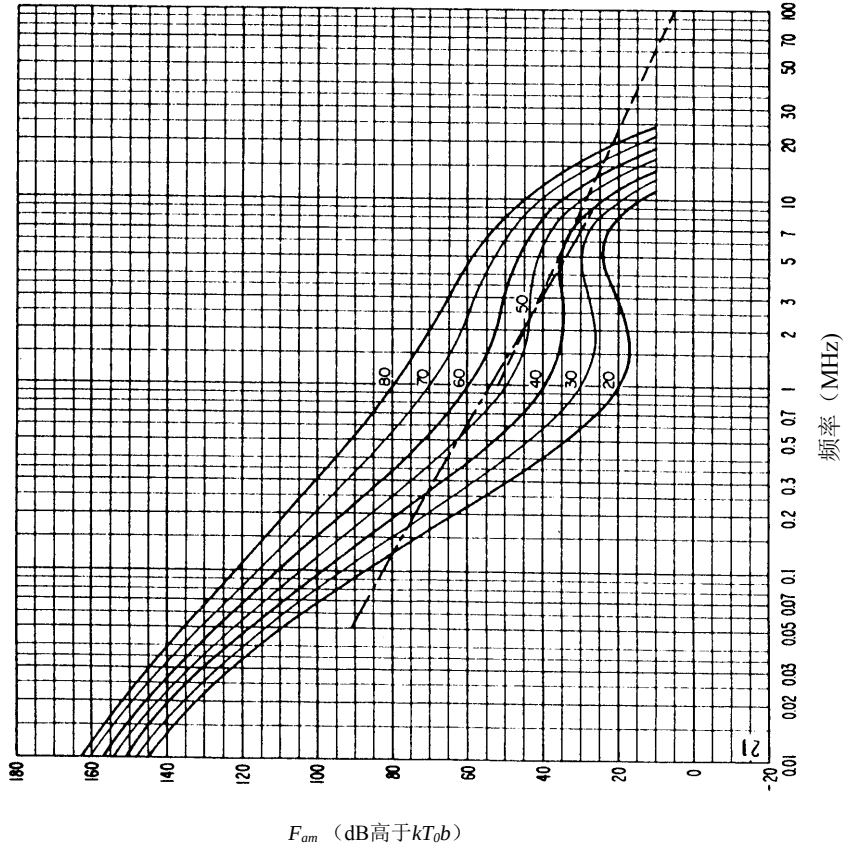


图 34b—无线 电噪声随频率的变化
(秋季; 0400-0800LT)

见图15b的图例

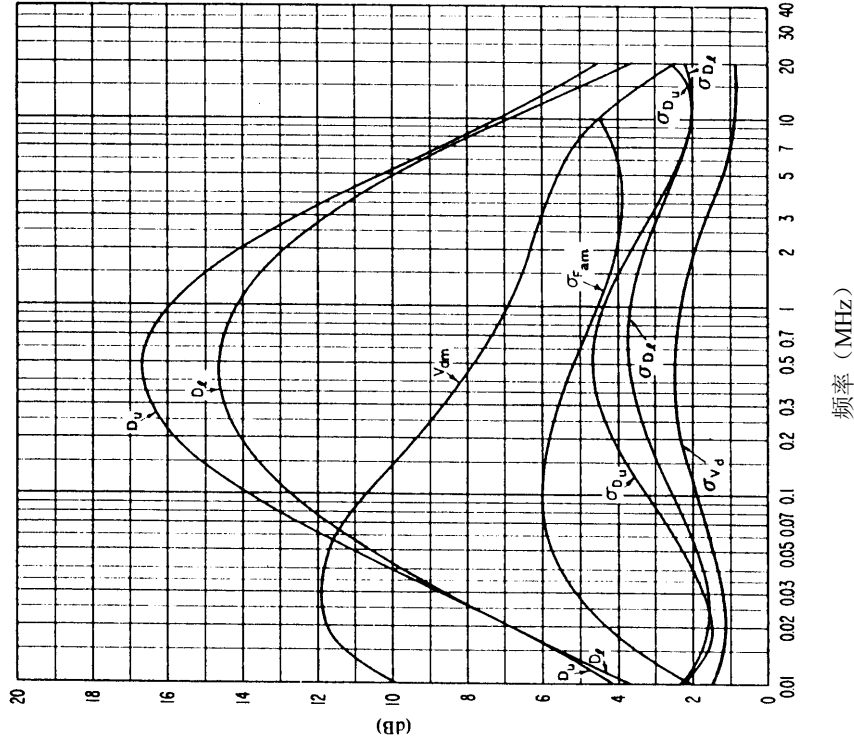


图 34c—噪声可变性和特性数据
(秋季; 0400-0800LT)

见图15c的图例

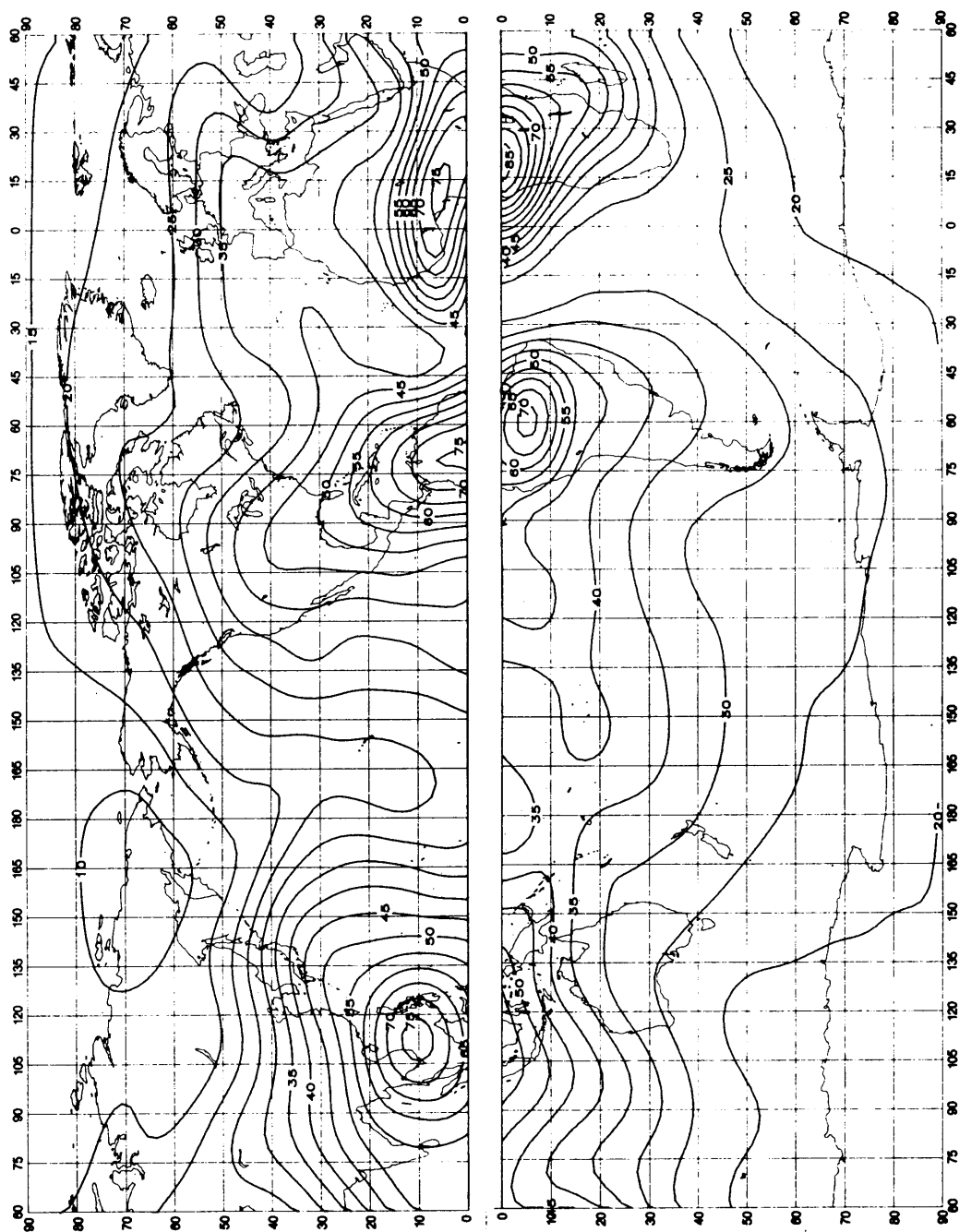


图35a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_0b) (秋季; 0800-1200LT)

0372-35a

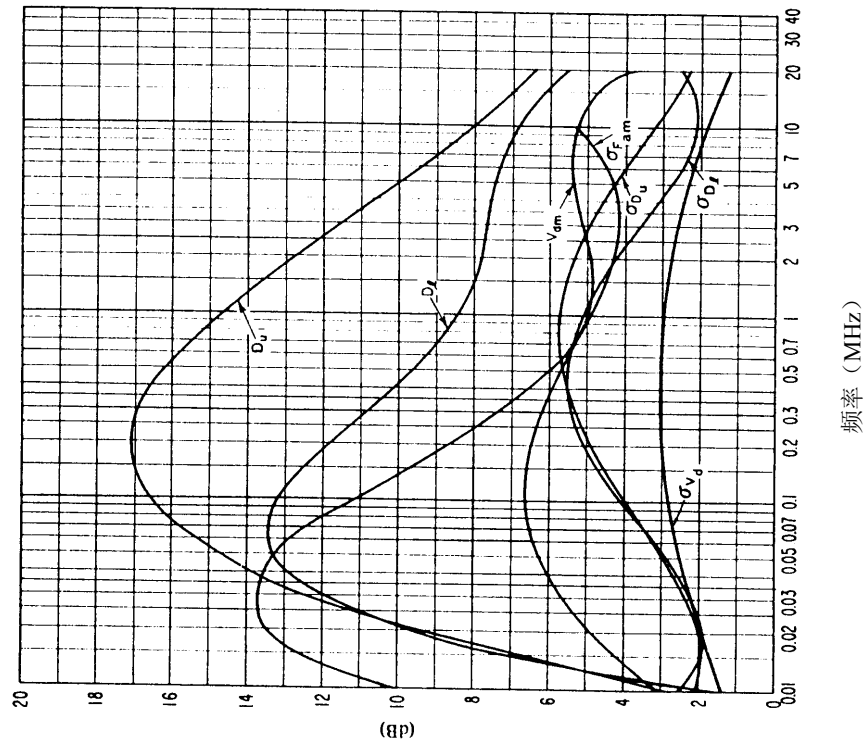


图 35c-噪声可变性和特性数据
(秋季; 0800-1200LT)

见图15c的图例

0372-35b

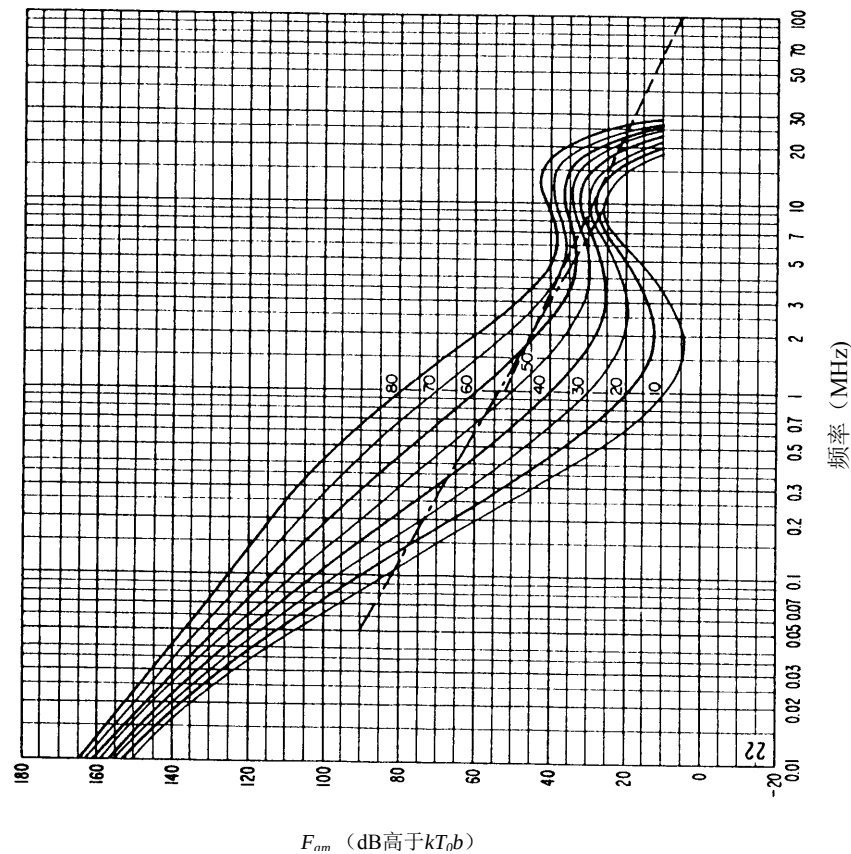
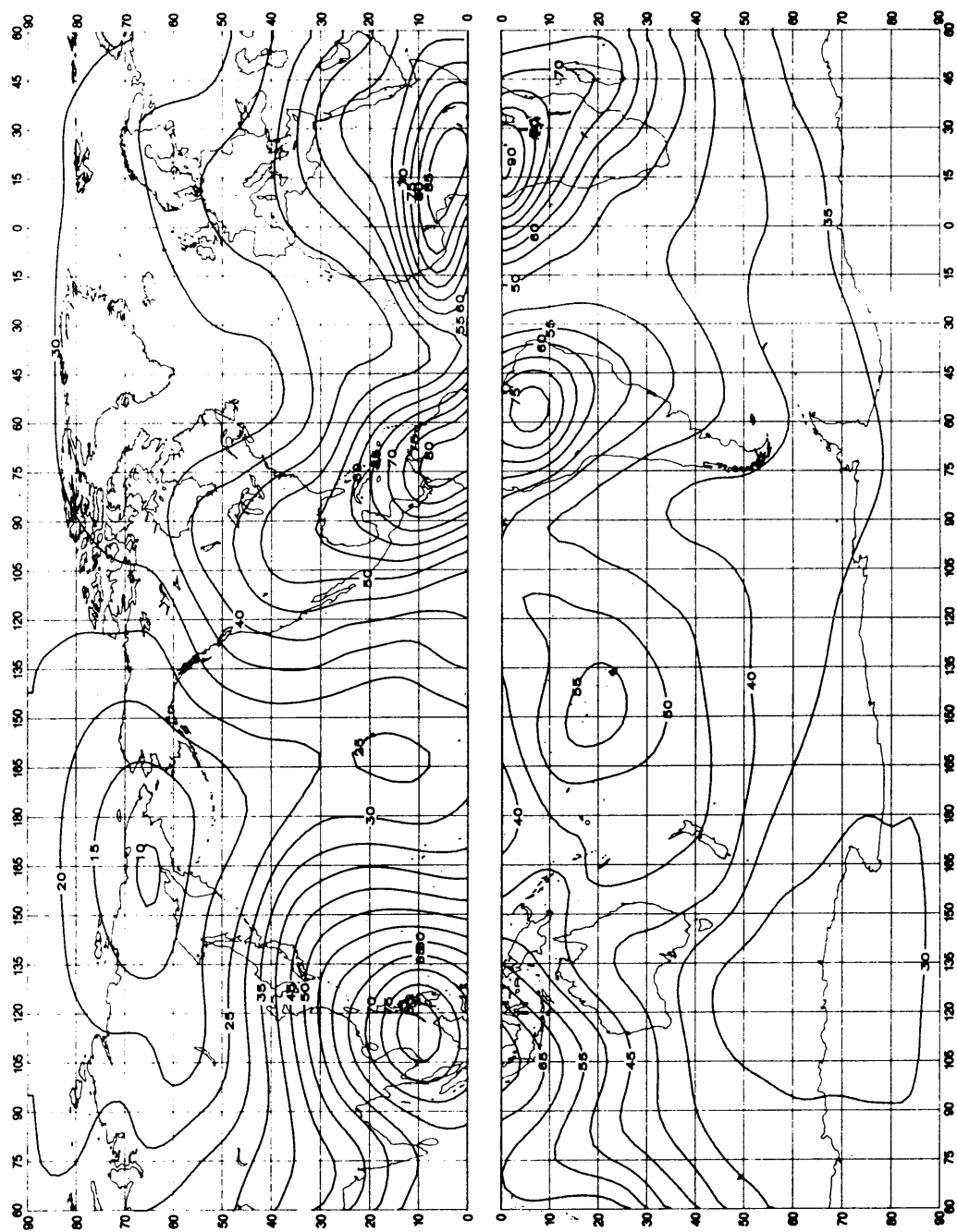


图 35b-无线电噪声随频率的变化
(秋季; 0800-1200LT)

见图15b的图例

图36a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_0b) (秋季; 1200-1600LT)

0372-36a

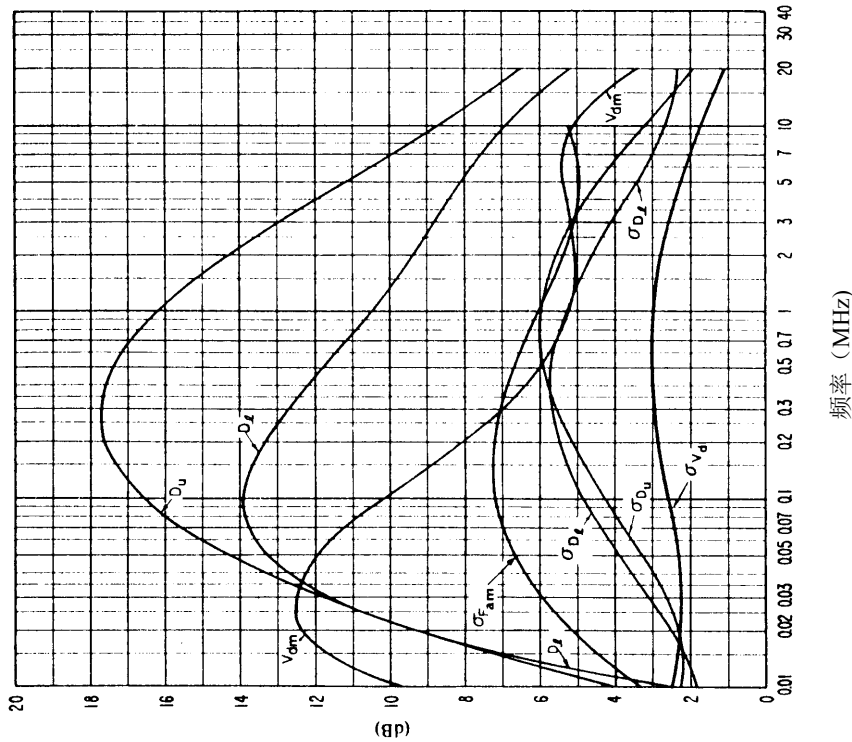


图 36c-噪声可变性和特性数据
(秋季; 1200-1600LT)

见图15c的图例

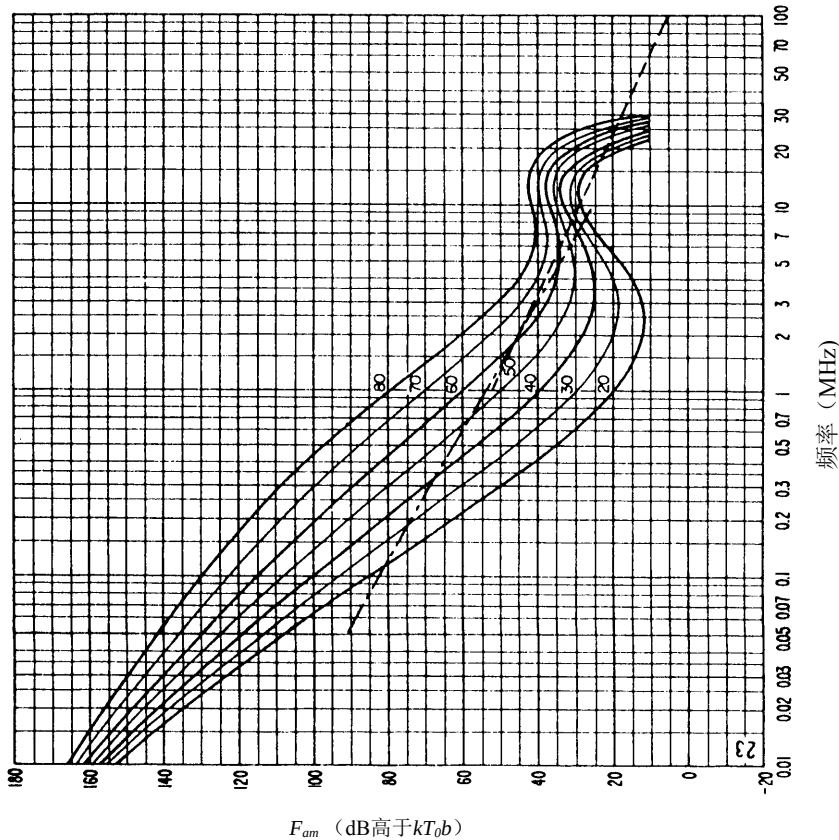


图 36b-无线噪声随频率的变化
(秋季; 1200-1600LT)

见图15b的图例

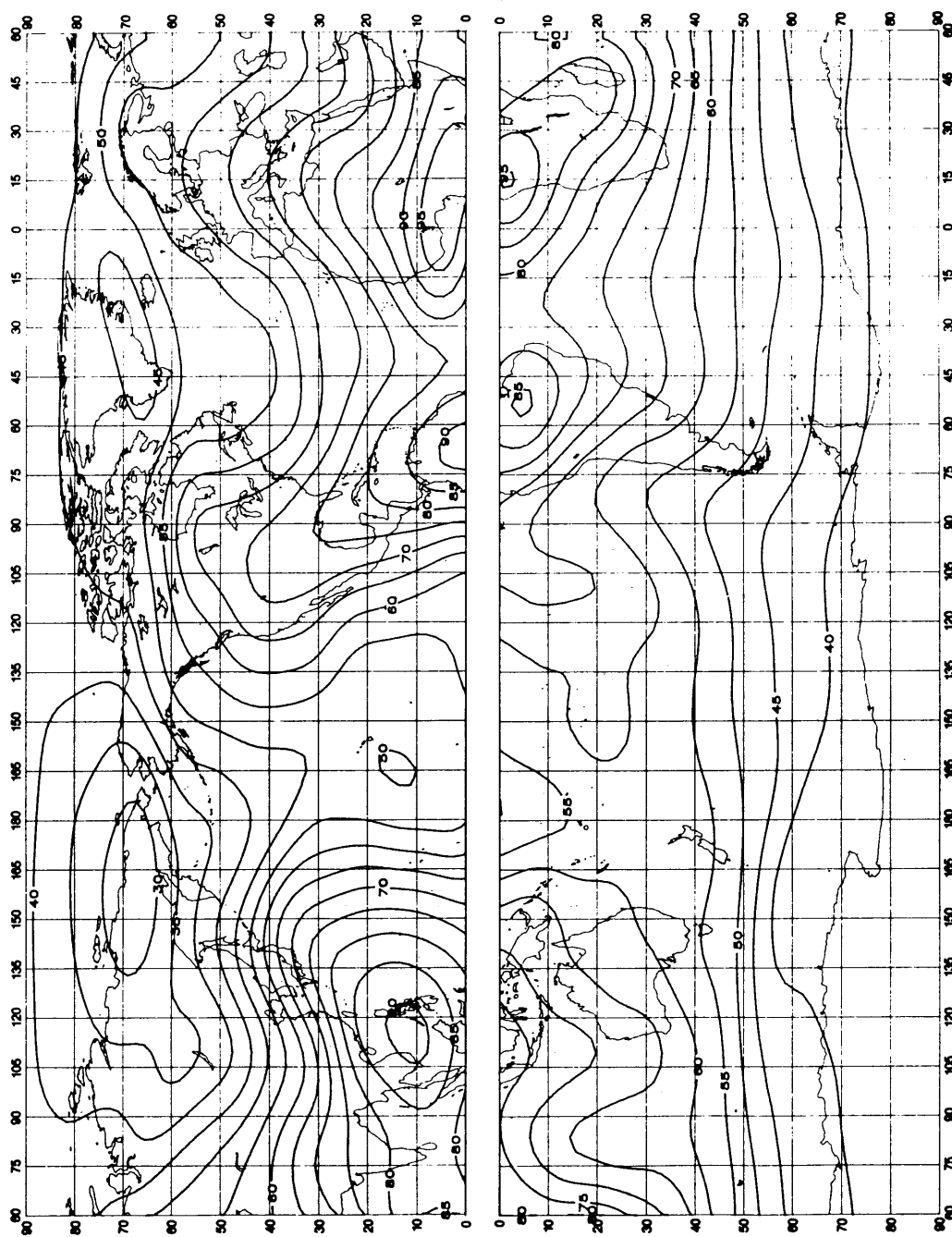


图37a-大气无线噪声的预计值, F_m (1 MHz的dB高于 kT_0b) (秋季; 1600-2000LT)

0372-37a

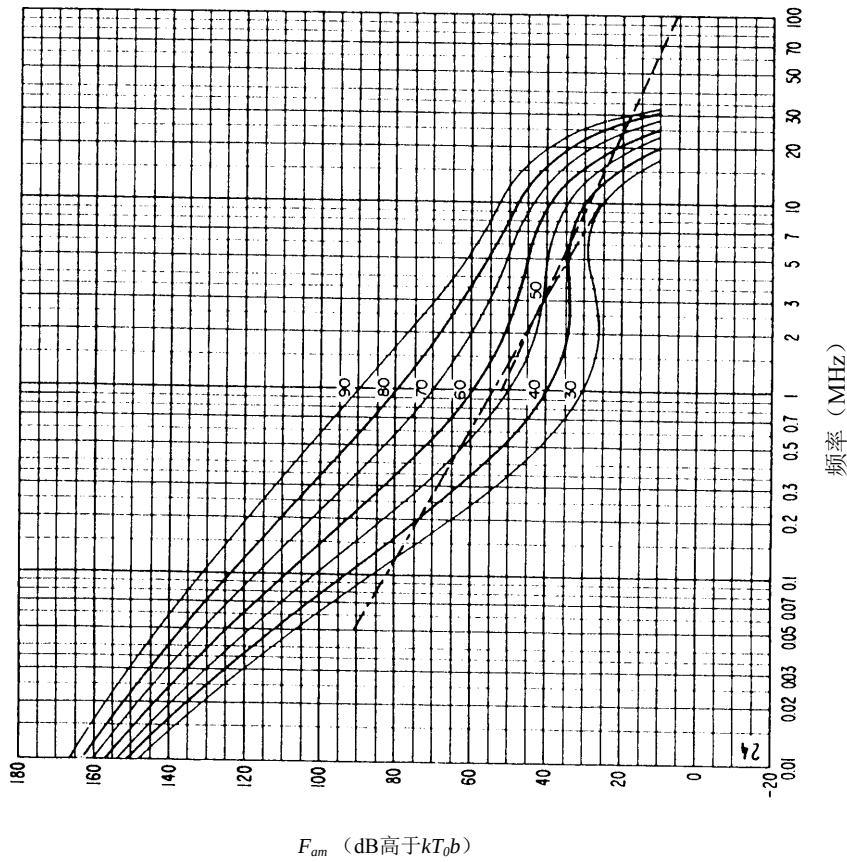


图 37b-无线电噪声随频率的变化
(秋季; 1600-2000LT)

见图15b的图例

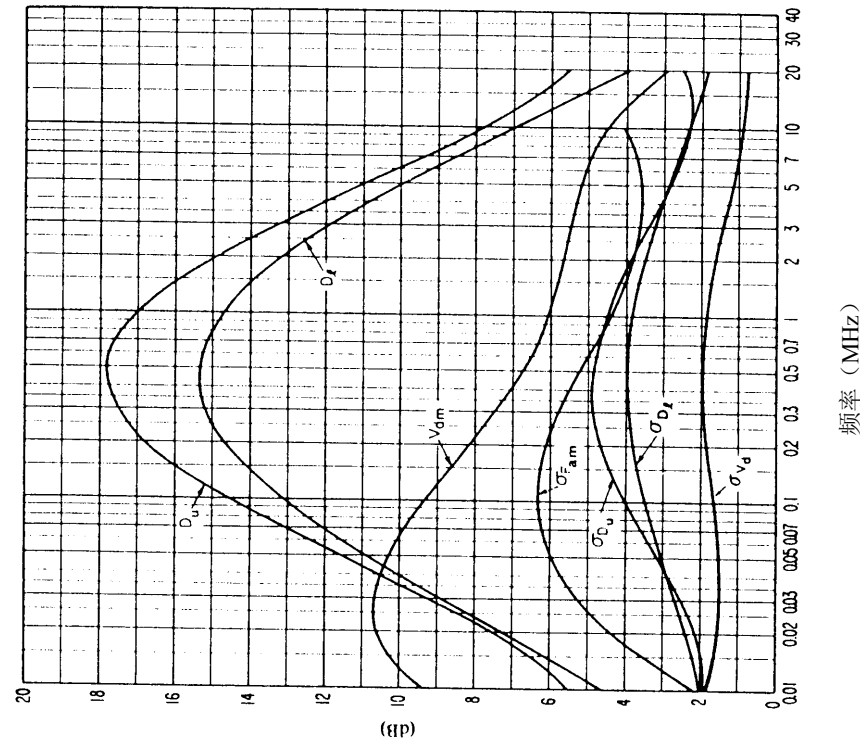


图 37c-噪声可变性和特性数据
(秋季; 1600-2000LT)

见图15c的图例

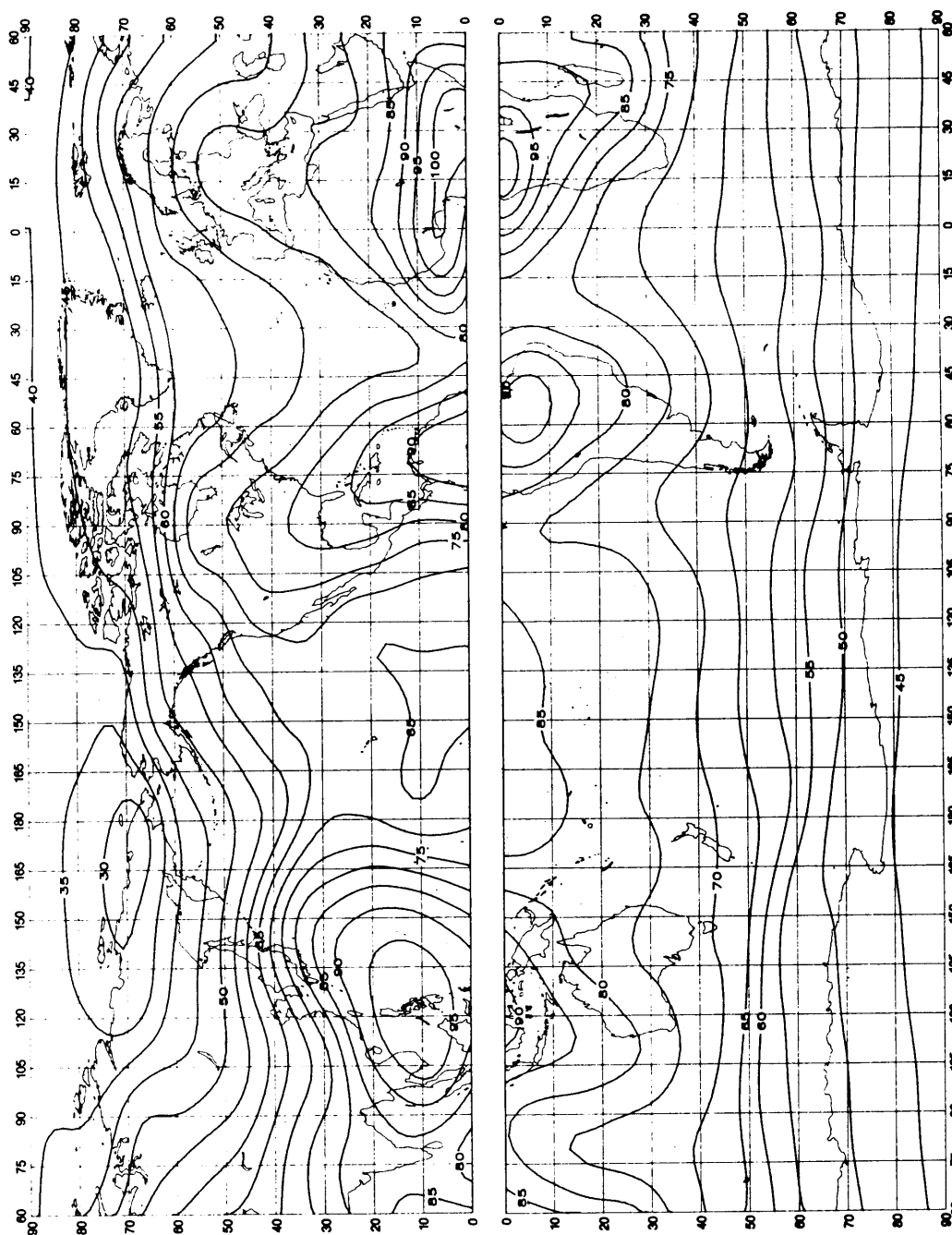


图38a-大气无线电噪声的预计值, F_{am} (1 MHz的dB高于 kT_{0b}) (秋季; 2000-2400LT)

图39

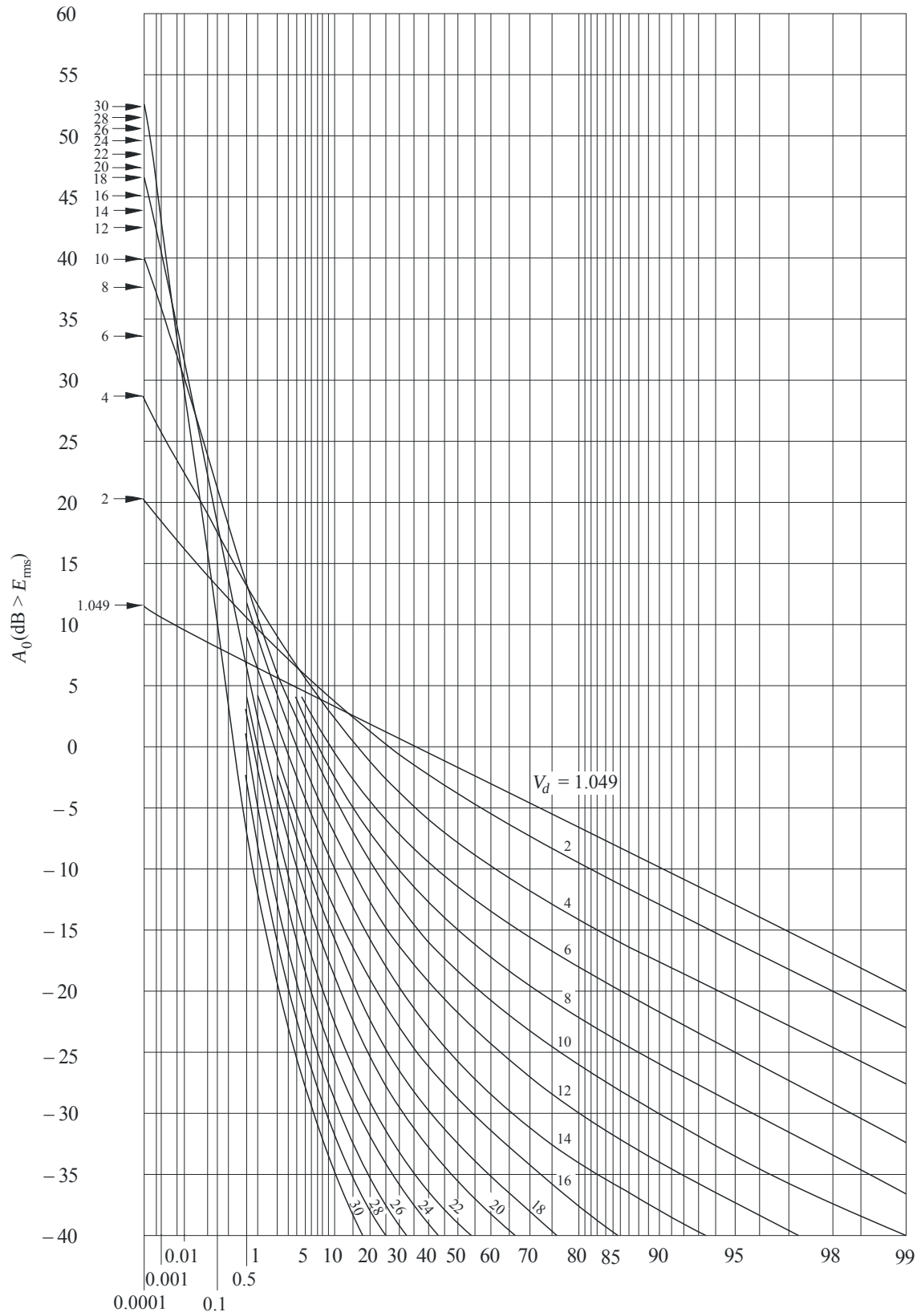
各 V_d 值的大气无线电噪声的振幅概率分布

图40
200 Hz带宽 V_g 和 V_{am} 向其它带宽 b 的转换

