ITU-R P.1546-3 建议书

30 MHz 至 3 000 MHz 频率范围内
地面业务点对面预测的方法

（2001-2003-2005-2007 年）

范围

本建议书对 30 MHz 至 3 000 MHz 频率范围内地面业务点对面无线电传播的预测方法做了说明。该方法打算用于有效发射天线高度小于 3 000 m、路径长度在 1-1 000 km 之间的陆地路径、海面路径和/或陆地—海面混合路径上的对流层无线电电路。该方法的基础是对经验导出场强曲线进行内插/外推，而该曲线是距离、天线高度、频率和时间百分比的函数。计算程序还包括对该内插/外推法所得的结果进行校正，以便纳入地形净空和地物遮挡对终端的影响。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

a) 在 VHF 和 UHF 波段内规划地面无线电通信业务时，需要对工程师提供规划指南；

b) 对于运行于同频道或相邻频道上的发射台而言，确定所需间隔的最小地理距离以避免因远距离上对流层传播造成的不可接受的干扰，是十分重要的事项；

c) 附件 2、附件 3 和附件 4 中给出的曲线都基于实验数据的统计分析，

注意到

a) ITU-R P.528 建议书为 125 MHz 至 30 GHz 频率范围和高达 1 800 km 距离范围的航空移动业务提供点对面路径损耗的预测指南；

b) ITU-R P.452 建议书为约 0.7 GHz 以上频率提供地球表面上发射台之间微波干扰详细估值的指南；

c) ITU-R P.617 建议书为 30 MHz 以上频率范围和 100 至 1 000 km 距离范围的超视距无线电中继系统提供点对点路径损耗的预测指南；

d) ITU-R P.1411 建议书为短距离范围（最高 1 km）室外业务提供预测指南；

e) ITU-R P.530 建议书为地面视距系统的点对点路径损耗提供预测指南，

建议

1 附件 1 至附件 8 内给出的程序，应用于 30 MHz 至 3 000 MHz 频率范围内和 1 km 至 1 000 km 距离范围内对于广播、陆地移动、水上移动和某些固定业务（例如那些采用点对多点的系统）中点对面的场强预测。

附 件 1

引 言

1 传播曲线

附件 2、附件 3 和附件 4 中的传播曲线表明在标称频率分别为 100、600 和 2 000 MHz、1 kW 有效辐射功率（e.r.p.）场强值下，场强作为各种参数函数的曲线关系。某些曲线指明与陆地路径参数间的关系，另一些曲线指明与海面路径参数间的关系。可应用附件 5 第 6 节内给出的方法对这些标称频率上得到的场强值实施内插或外推，以获得任一给定的所需频率的场强值。

这些曲线所依据的测量数据主要关联到温带区域内的平均气候条件，包含冷海和暖海，例如北海和地中海。陆地路径曲线主要是从欧洲和北美存在的温带气候下得到的数据中整理出的。海面路径曲线主要是从地中海和北海区域得到的数据中整理出的。广泛的研究表明，在与热海交界的某些超折射率地域内，传播情况显著地不同。

然而，在场强曲线族之间进行内播和外推的方法是通用的。所以，如果有不同气候下的曲线族，它们各给出显著的不同的主要无线电传播条件，则应用本建议书内可找到的方法能获得这些区域内精确的无线电传播特性。

本建议书的内容不特定地针对具体的极化方式。

2 最大场强

各曲线在可能的场强值上具有上限，这是在任何条件下可得到的最大值。这些界限值定义于附件 5 第 2 节内，它们在附件 2、附件 3 和附件 4 上画出的曲线图中以虚线表示。

3 基于计算机制表的表格

虽然，从本建议书附件 2、附件 3 和附件 4 中各图呈现的曲线上可以直接读出场强，但期望本方法的计算机实施可使用从国际电联无线电通信局得到的制成表格的场强数据。见 ITU-R 网址上涉及无线电通信第 3 研究组的网页部分。

4 逐步式程序

本建议书的应用中所使用的详细的逐步式程序，在附件 6 中给出。

5 天线的命名

本建议书中，术语“发射天线/基站天线”涉及两种情况下的应用，即发射天线的概念用于广播业务，基站天线的概念用于地面移动业务。类似地，术语“接收天线/移动天线”涉及这样的应用，即接收天线的概念用于广播业务，移动天线的概念用于地面移动业务。关于终端名称的更多资料可查看附件 5 第 1.1 节。

6 发射/基站天线高度

本方法中考虑到发射/基站天线的有效高度，是接收/移动台天线方向内 3-15 km 距离间平均地形高度之上的天线高度。对于可得到资料的、短于 15 km 的陆地路径，本方法又考虑到在发射/基站位置处代表性的地面散布物（也即大地被覆）高度之上发射/基站天线的高度。应用本方法得到的、在计算中要应用的发射/基站天线高度 h_1，在附件 5 第 3 节中给出。

7 应用于曲线中的发射/基站天线高度

附件 2、附件 3 和附件 4 中场强与距离间的曲线关系以及相关的表格，由天线高度值 h_1 为 10、20、37.5、75、150、300、600 和 1 200 m 的曲线给出。如附件 5 第 4.1 节中所说明的，对于 10 m 至 3 000 m 范围内的任何 h_1 值，应该从两条合适的曲线上通过内插或外推进行计算。h_1 低于 10 m 时，可采用附件 5 第 4.2 节中给出的外推法进行计算。h_1 值可能为负，此时，应采用附件 5 第 4.3 节中给出的方法。

8 时间可变性

各条传播曲线表明的场强值是指 50%、10%和 1%时间下的值。对于这些场强值，在附件 5 第 7 节中给出了内插方法。对于时间百分比在 1%至 50%范围之外的场强值，本建议书无效。

9 混合路径方法

在无线电路径包括陆地和海面两者的场合下，应采用附件 5 第 8 节中给出的方法估计混合路径场强值。

10 接收/移动台天线高度

对于陆地路径，各曲线给出在大地上方接收/移动台天线高度 h_2 (m)上的场强值，而 h_2 等于接收/移动台天线位置周围大地被覆的代表性高度。大地被覆代表性高度的最小值为 10 m。对于海面路径，各曲线给出 h_2=10 m 的场强值。考虑到 h_2 值不同于曲线上标明的高度，应根据接收/移动台天线的环境加校正项。计算该校正项的方法在附件 5 第 9 节中给出。

11 地形净空角校正项

对于陆地路径，考虑到接收/移动台天线附近的地形，能得到改善精度的预测场强，若有可用数据，可借助于地形净空角获取。在进行混合路径场强计算时，如果接收/移动台天线邻近路径中的陆地路段，则应包括地形净空角校正项。地形净空角校正方面的更多资料在附件 5 第 11 节中给出。

12 位置可变性

各传播曲线示出的场强值适用于任何典型的 500 m×500 m 地区内占 50％以上的位置点。位置可变性方面的更多资料以及位置百分比不同于 50％时所需的校正项计算方法，见附件 5 第 12 节。

13 等效的基本传输损耗

附件 5 第 14 节中给出一种方法，可将 1 kW e.r.p.的场强转换成等效的基本传输损耗。

14 大气层折射率可变性

人们知道，在不同的气候区域内，中值场强及其可变性是随时间变化的。附件 2、附件 3 和附件 4 中给出的场强曲线适用于温带气候。附件 8 中给出基于 ITU-R P.453 建议书内相关的垂直大气折射率梯度数据而对世界上不同气候区域做出场强曲线调整的方法。

15 与 Okumura-Hata 方法的兼容性

附件 7 中给出在城市环境内移动业务方面场强预测的 Hata 公式，并说明本建议书能够给出相似结果的条件。

附 件 2

30 MHz 至 300 MHz 频率范围

1 本附件中示出的场强与距离间函数关系的曲线均针对 100 MHz 频率。它们可以应用于 30 MHz 至 300 MHz 频率范围内，但应采用附件 5 第 6 节中的程序以获得改善的精度。当使用场强与距离间关系的列表值（见附件 1 第 3 节）时，应采用相同的程序。

2 图 1 至图 3 中的曲线示出陆地路径中任何约 500 m×500 m 地区内占 50％以上位置以及 50％、10％和 1％时间下的场强值。

3 场强分布作为位置百分比的函数可使用附件 5 第 12 节中的资料进行计算。

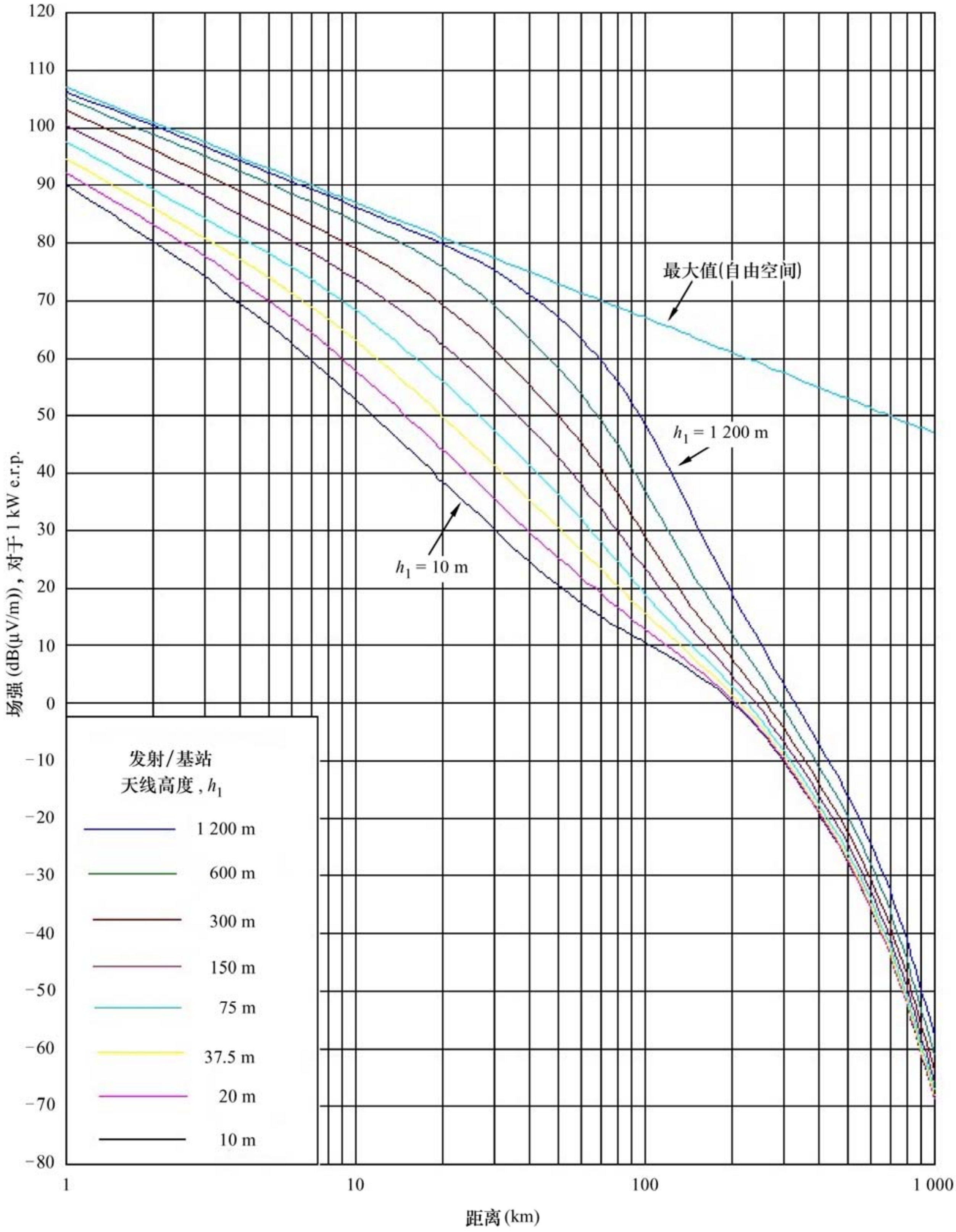
4 图 4 至图 8 的曲线示出冷海和暖海（例如分别在北海和地中海）中的海面路径中观察到的 50％以上位置以及 50％、10％和 1％时间下的场强值。

5 在经受明显超折射现象的地区内，应考虑到附件 1 第 14 节中包含的信息。

6 主要受到分散 E 层电离效应影响的大气层，会对 VHF 波段的低端部分，尤其是约 90 MHz 以下频率的电波传播产生影响。某些环境下，这种传播模式会影响约 500 km 之外距离上超过小的时间百分比的场强。在靠近地磁赤道地带和极光地带内，可能涉及较高的时间百分比。然而，在本建议书包括的大多数应用中，通常可忽略这些电离层效应，本附件内的传播曲线是在该假设的基础做出的。（ITU-R P.534 建议书提供了分散 E 层电波传播指南。）

图 1

100 MHz，陆地路径，50％时间



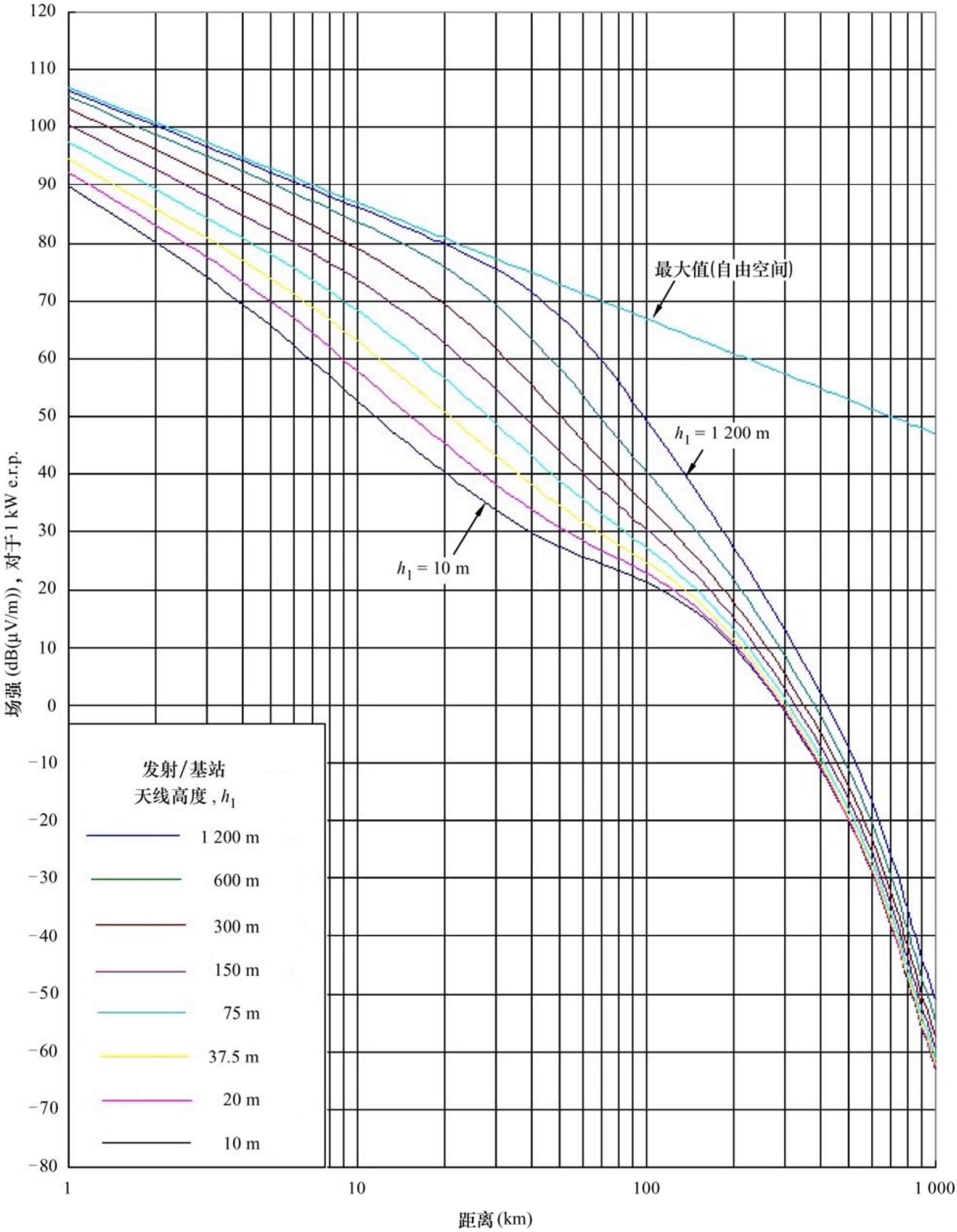
50% 位置

h_2: 代表性散布物高度

1546-01

图 2

100 MHz，陆地路径，10％时间



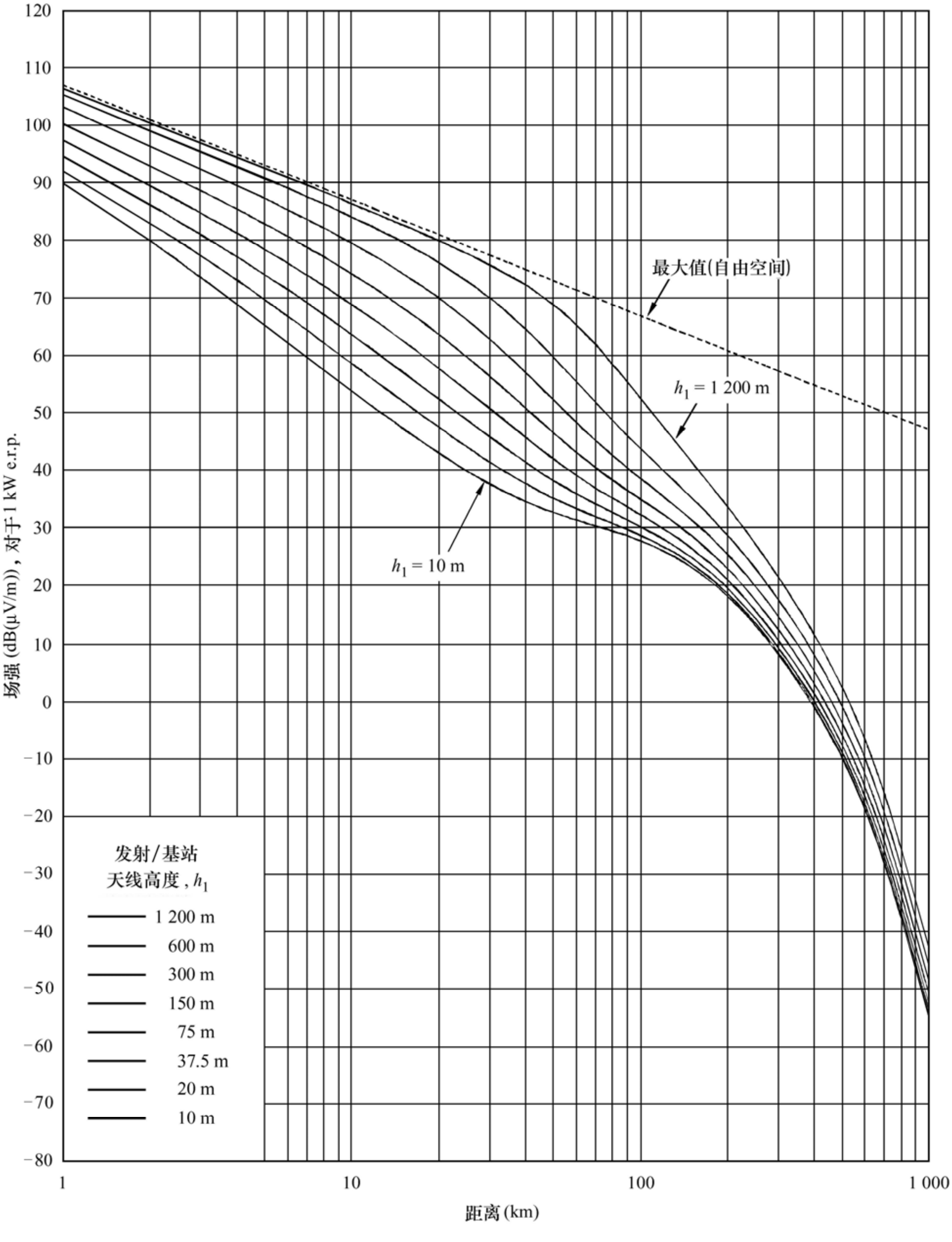
50% 位置

h_2: 代表性散布物高度

1546-02

图 3

100 MHz，陆地路径，1%时间



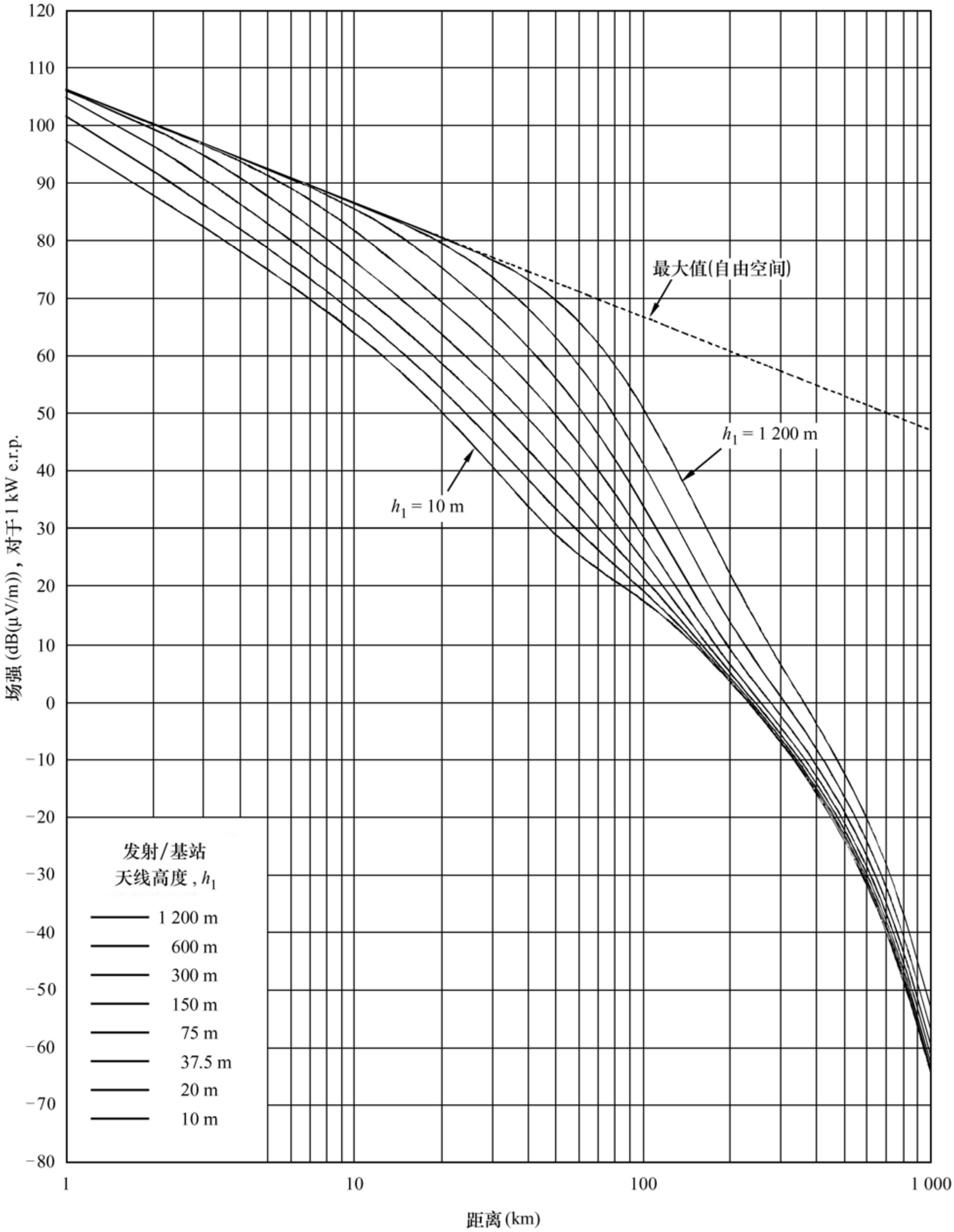
50% 位置

h_2: 代表性散布物高度

1546-03

图 4

100 MHz，海面路径，50％时间



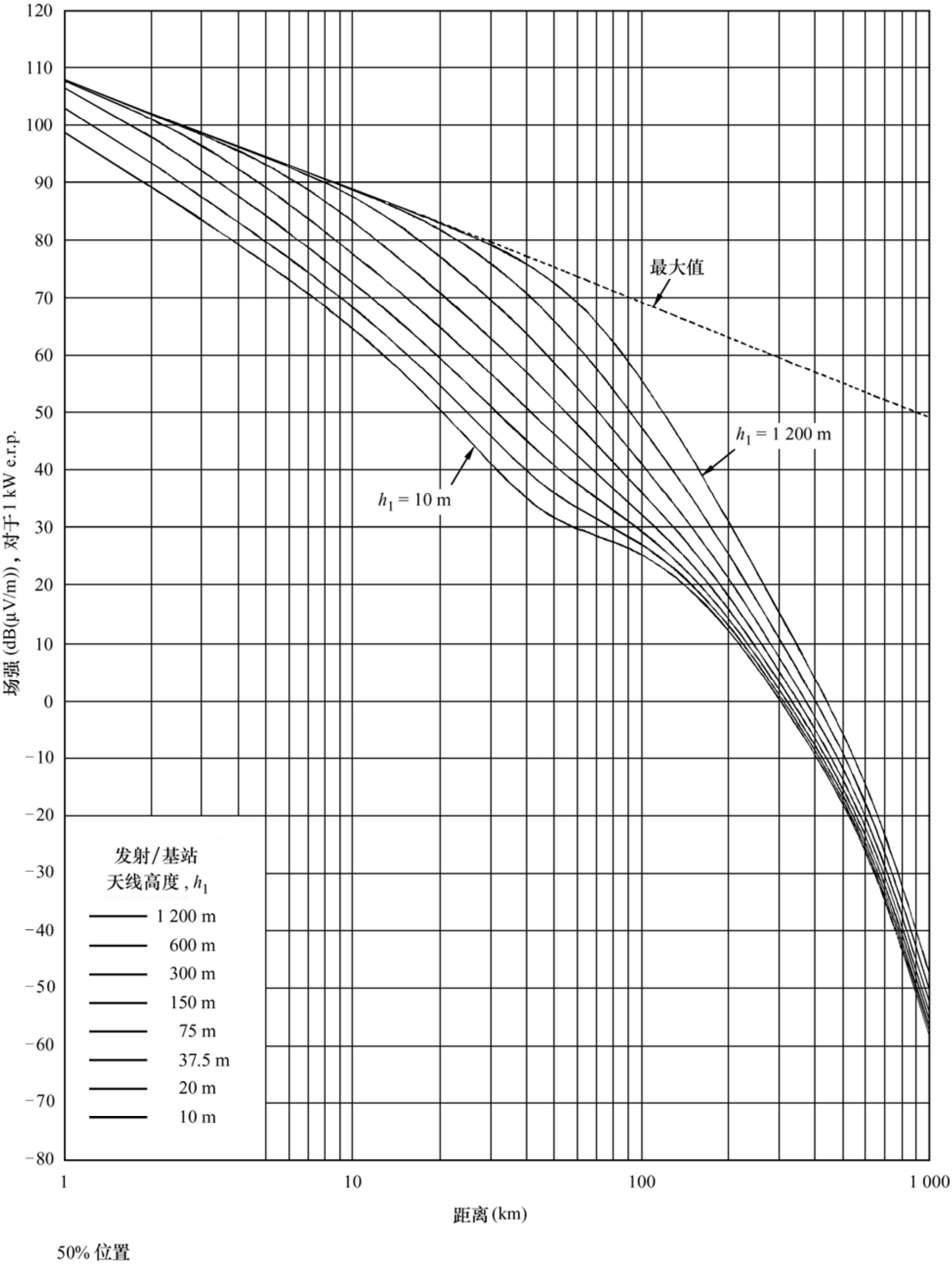
50% 位置

h_2 = 10 m

1546-04

图 5

100 MHz，冷海路径，10%时间



50% 位置

h_2 = 10 m

1546-05

图 6

100 MHz，冷海路径，1%时间

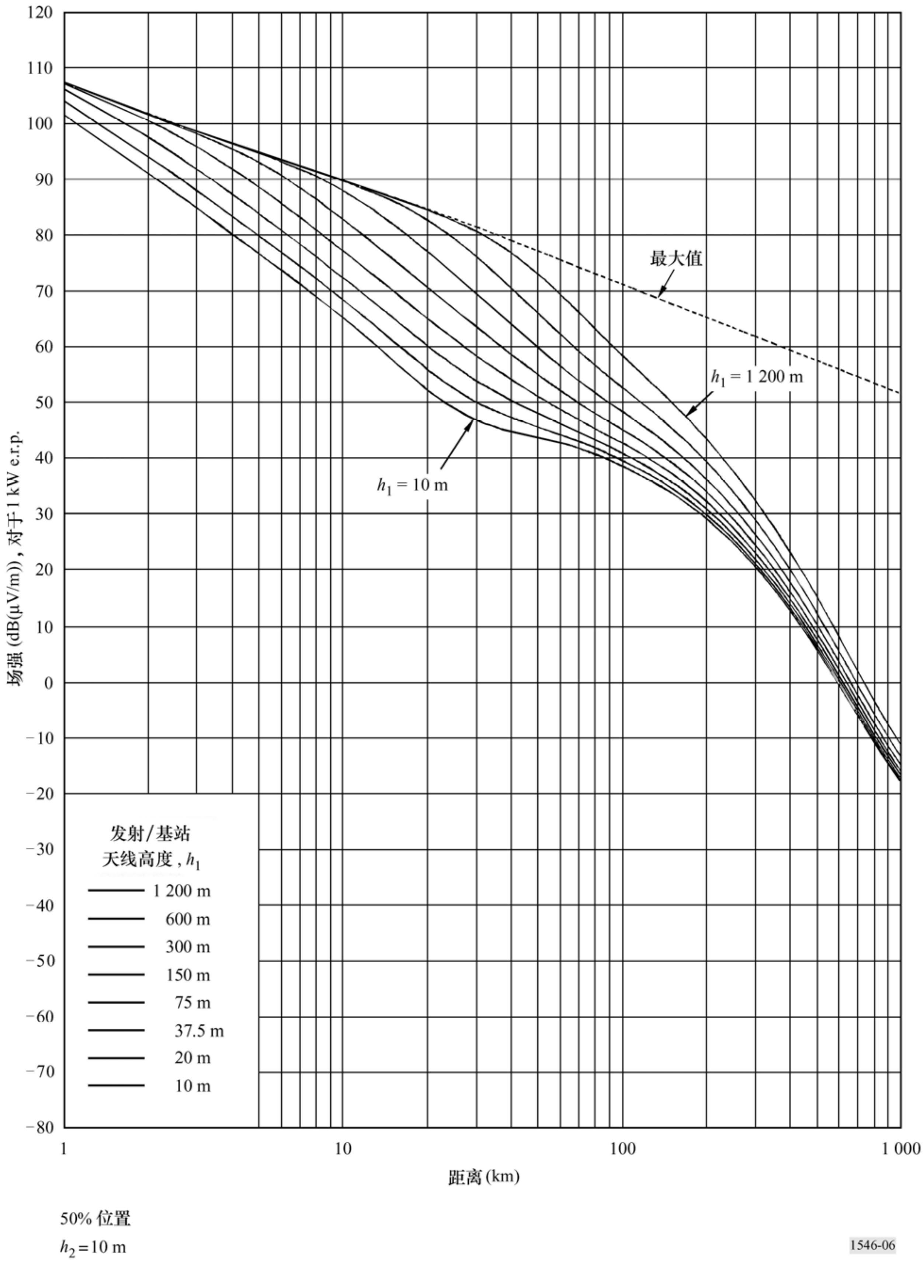


图 7

100 MHz，暖海路径，10％时间

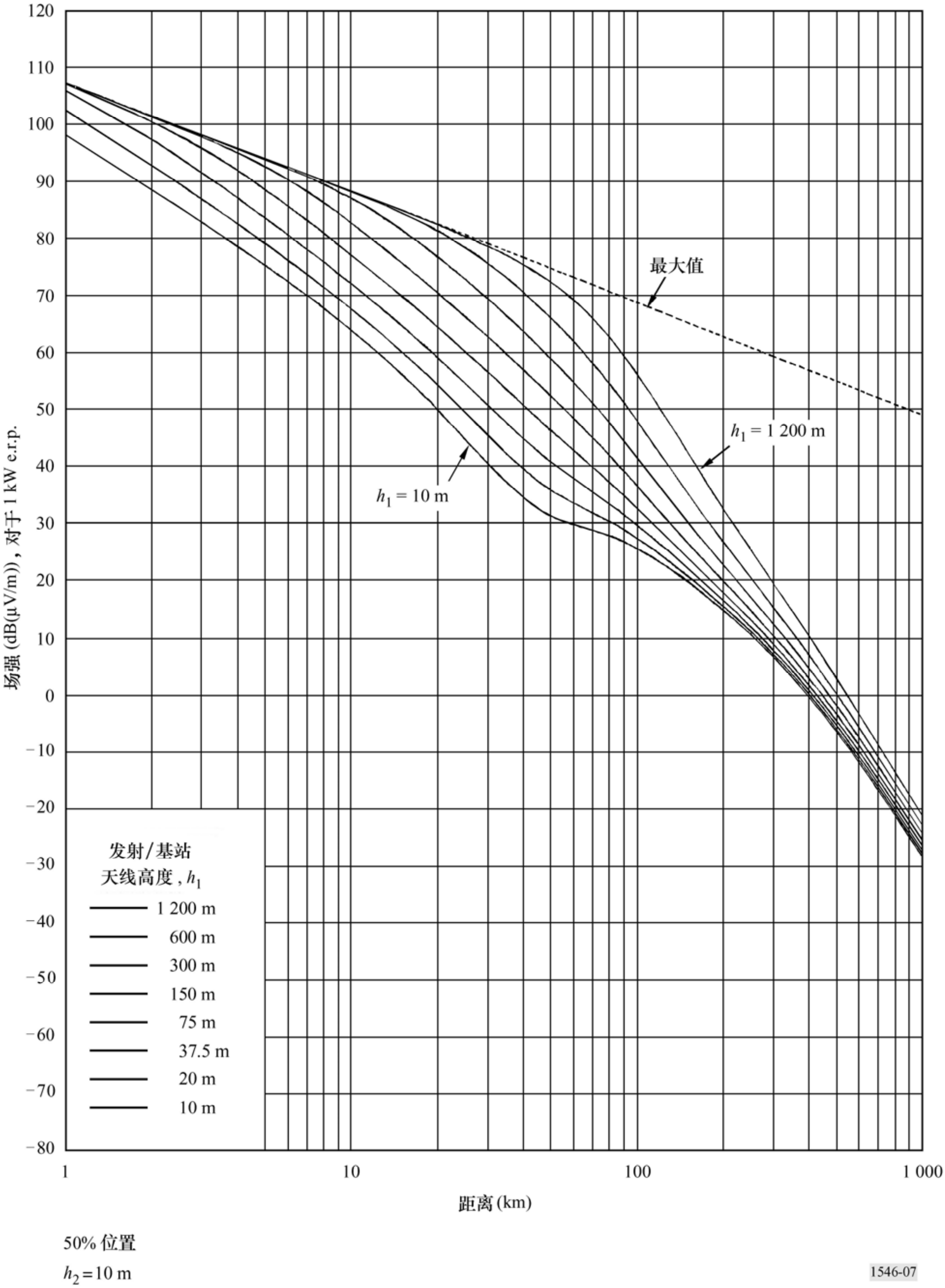
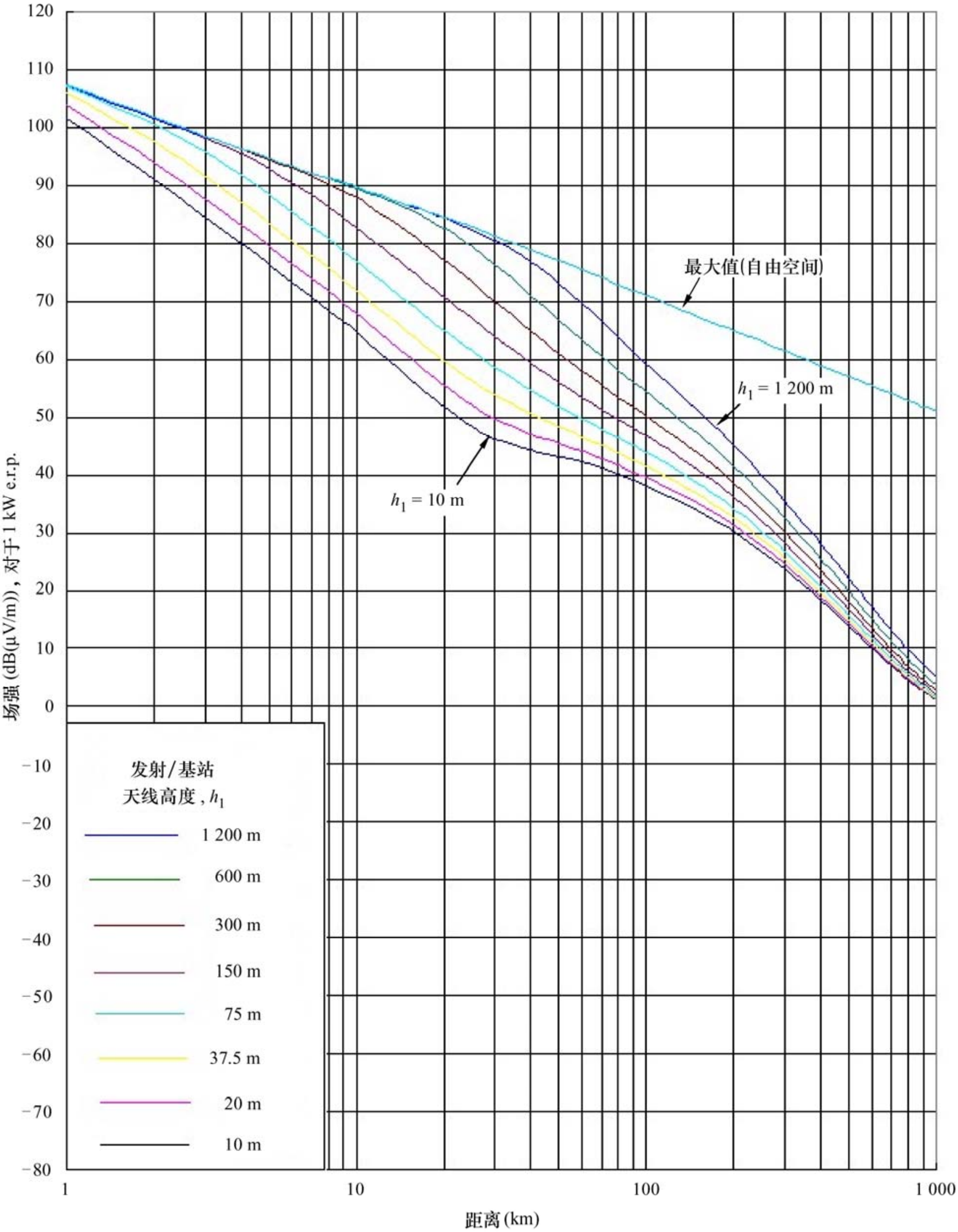


图 8

100 MHz，暖海路径，1%时间



50% 位置

h_2 = 10 m

1546-08

附 件 3

300 MHz 至 1 000 MHz 频率范围

1 本附件中示出的场强与距离间函数关系的曲线均针对 600 MHz 频率。它们可以应用于 300 MHz 至 1 000 MHz 频率范围内，但应采用附件 5 第 6 节中的程序以获得改善的精度。当使用场强与距离间关系的表格值（见附件 1 第 3 节）时，应采用相同的程序。

2 图 9 至图 11 中的曲线示出陆地路径中任何约 500 m×500 m 地区内占 50％以上位置以及 50％、10％和 1％时间下的场强值。

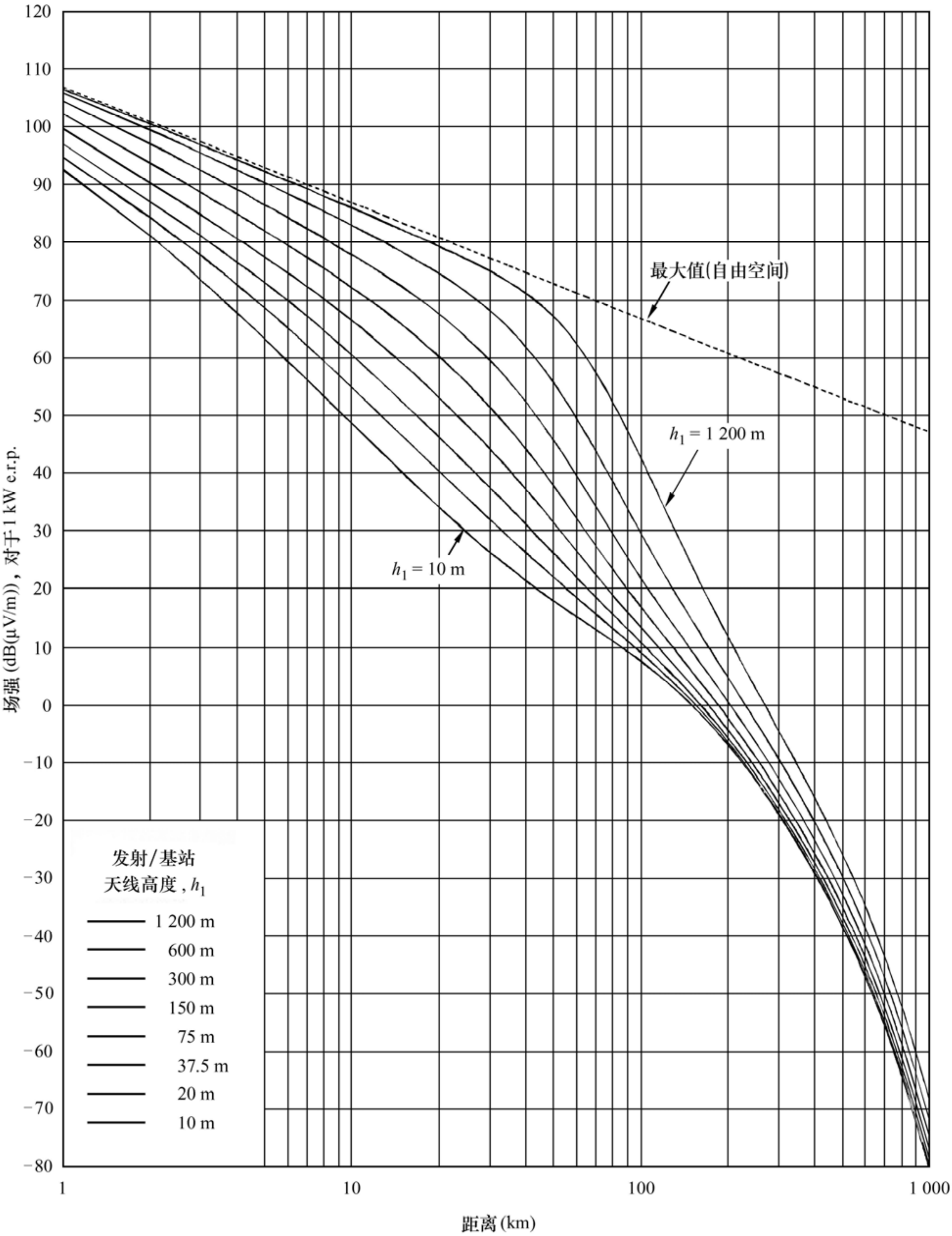
3 场强分布作为位置百分比的函数可使用附件 5 第 12 节中的资料进行计算。

4 图 12 至图 16 的曲线示出冷海和暖海（例如分别在北海和地中海）中的海面路径中观察到的 50％以上位置以及 50％、10％和 1％时间下的场强值。

5 在经受明显超折射现象的地区内，应考虑到附件 1 第 14 节中包含的信息。

图 9

600 MHz，陆地路径，50％时间



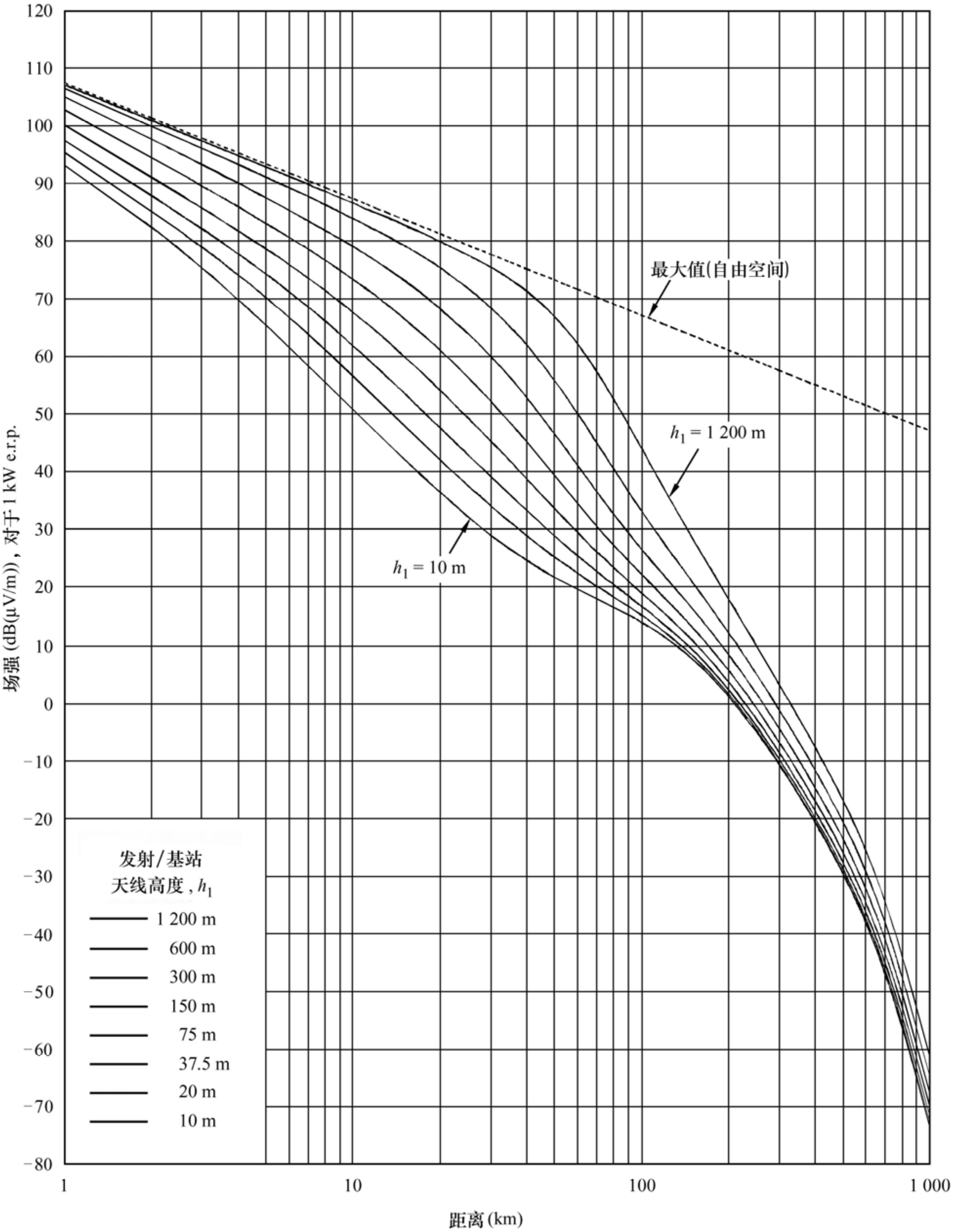
50% 位置

h_2: 代表性散布物高度

1546-09

图 10

600 MHz，陆地路径，10％时间



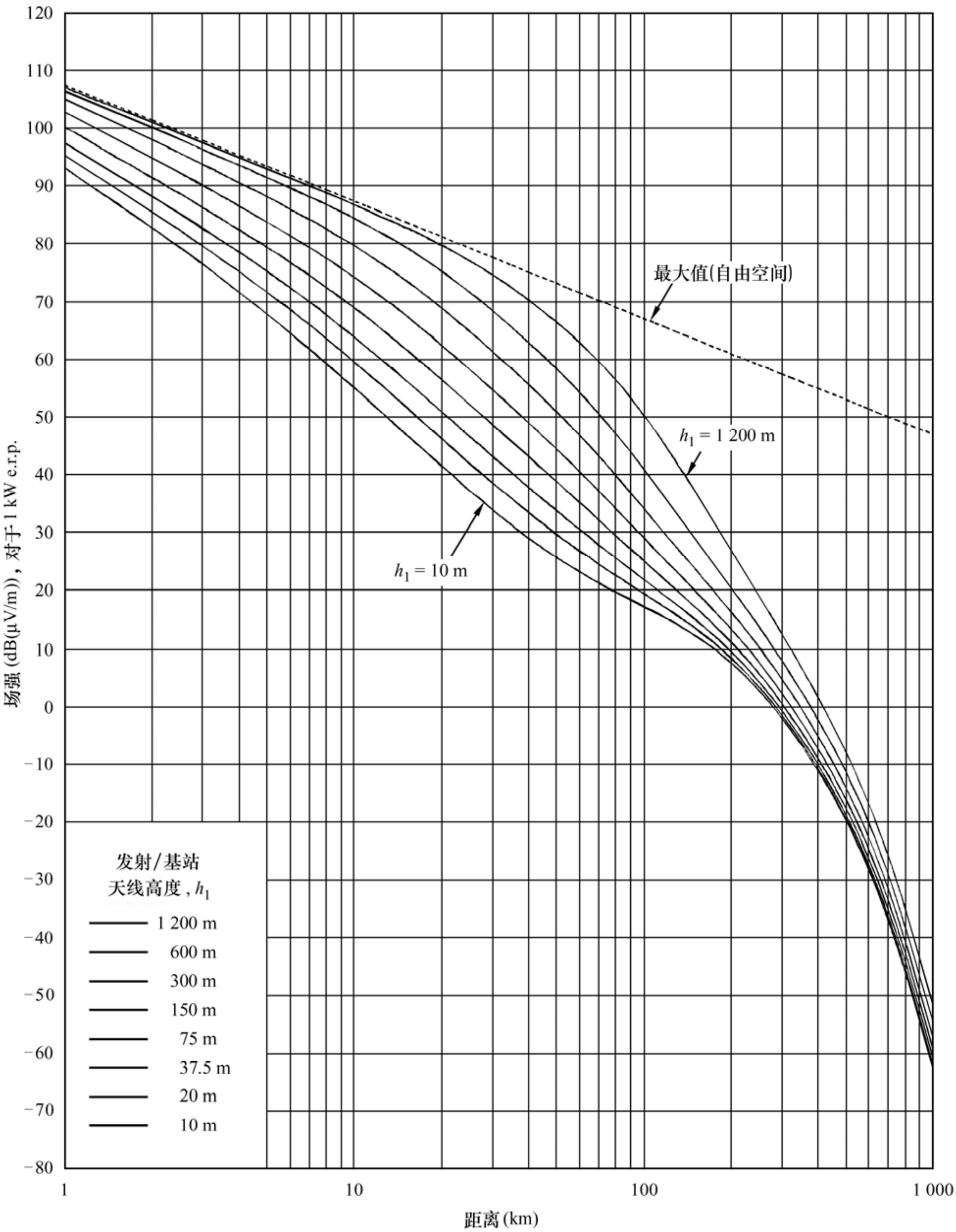
50% 位置

h_2: 代表性散布物高度

1546-10

图 11

600 MHz，陆地路径，1%时间



50% 位置

h_2: 代表性散布物高度

1546-11

图 12

600 MHz，海面路径，50％时间

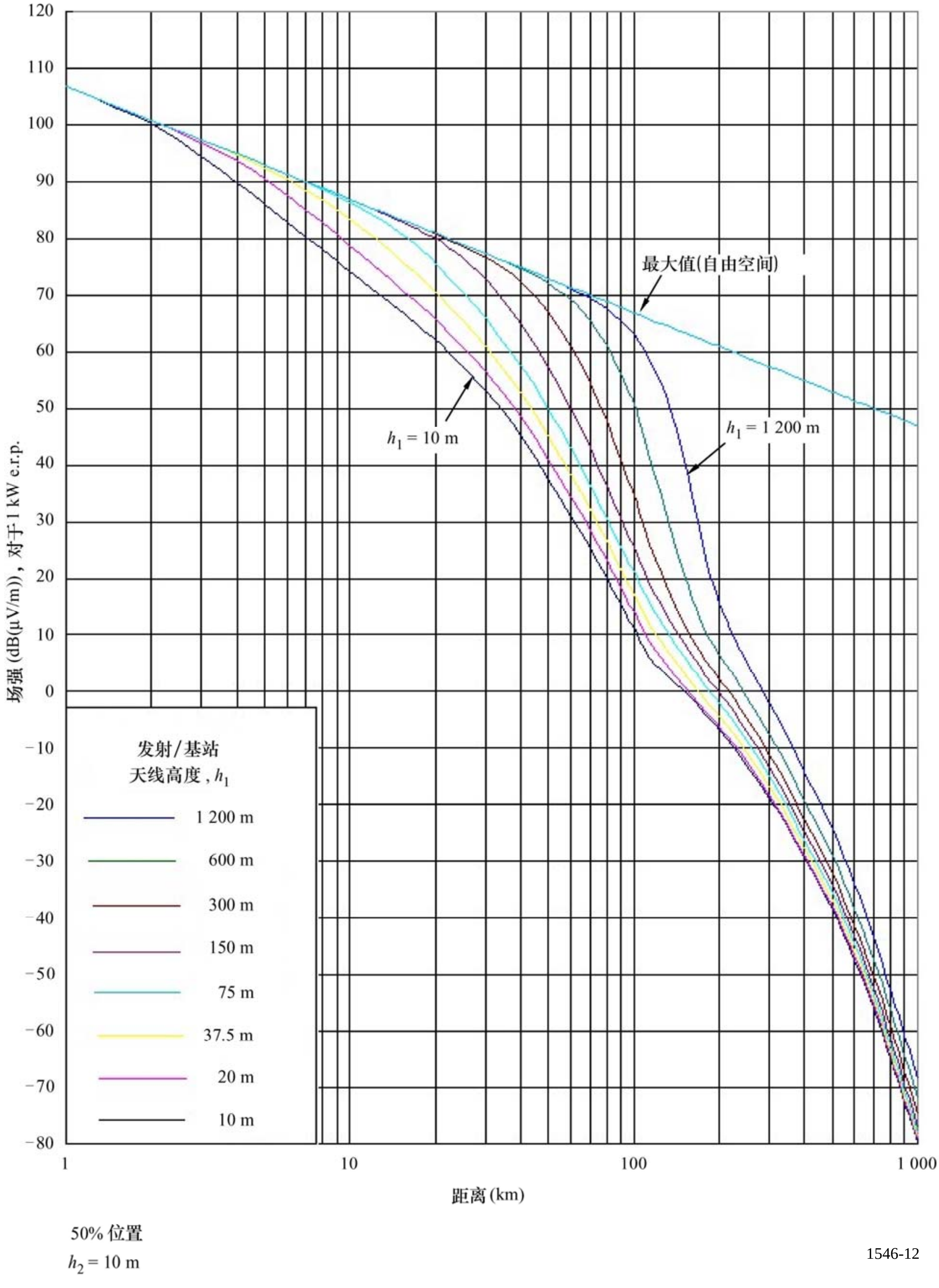
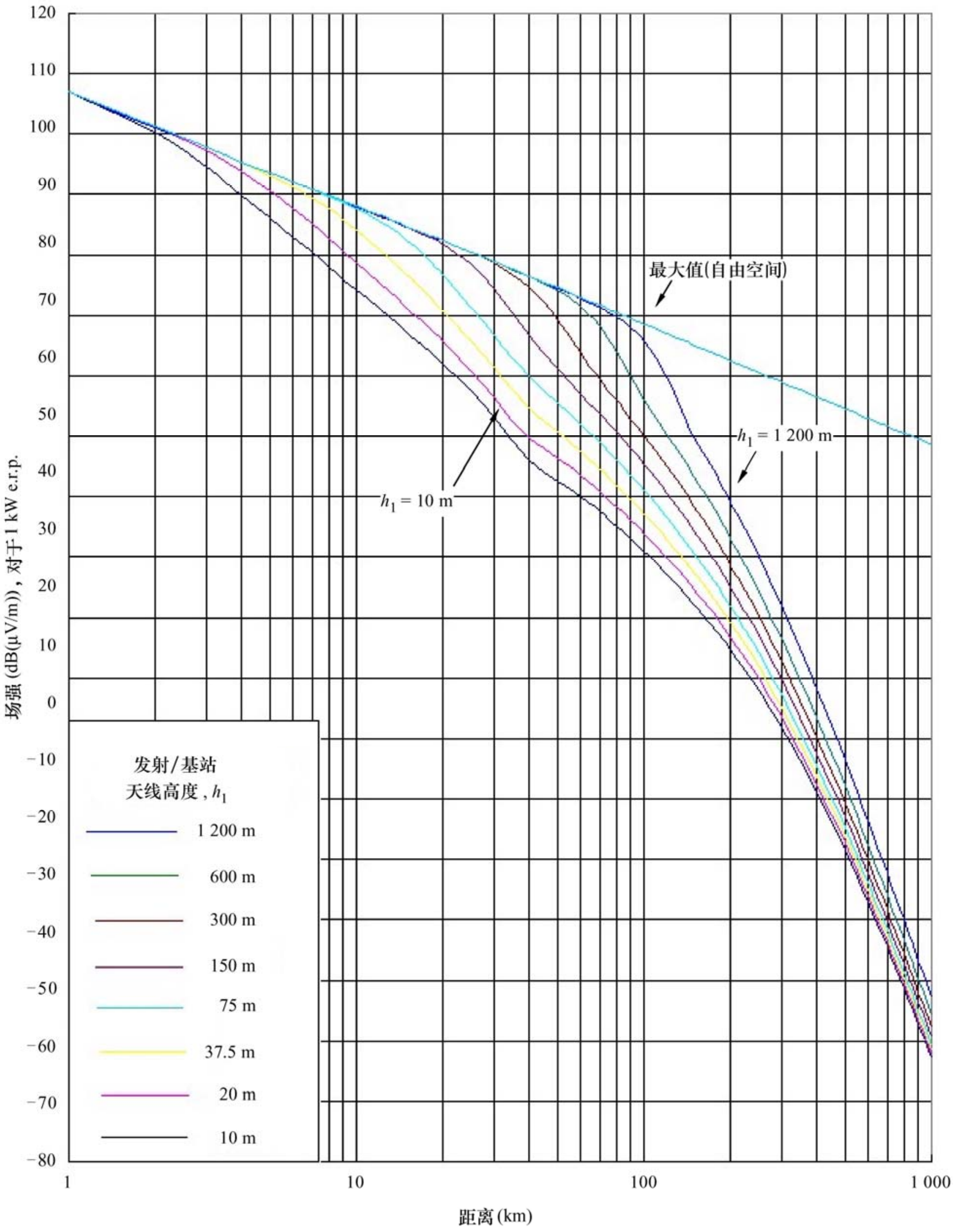


图 13

600 MHz，冷海路径，10％时间



50% 位置

h_2 = 10 m

1546-13

图 14

600 MHz，冷海路径，1%时间

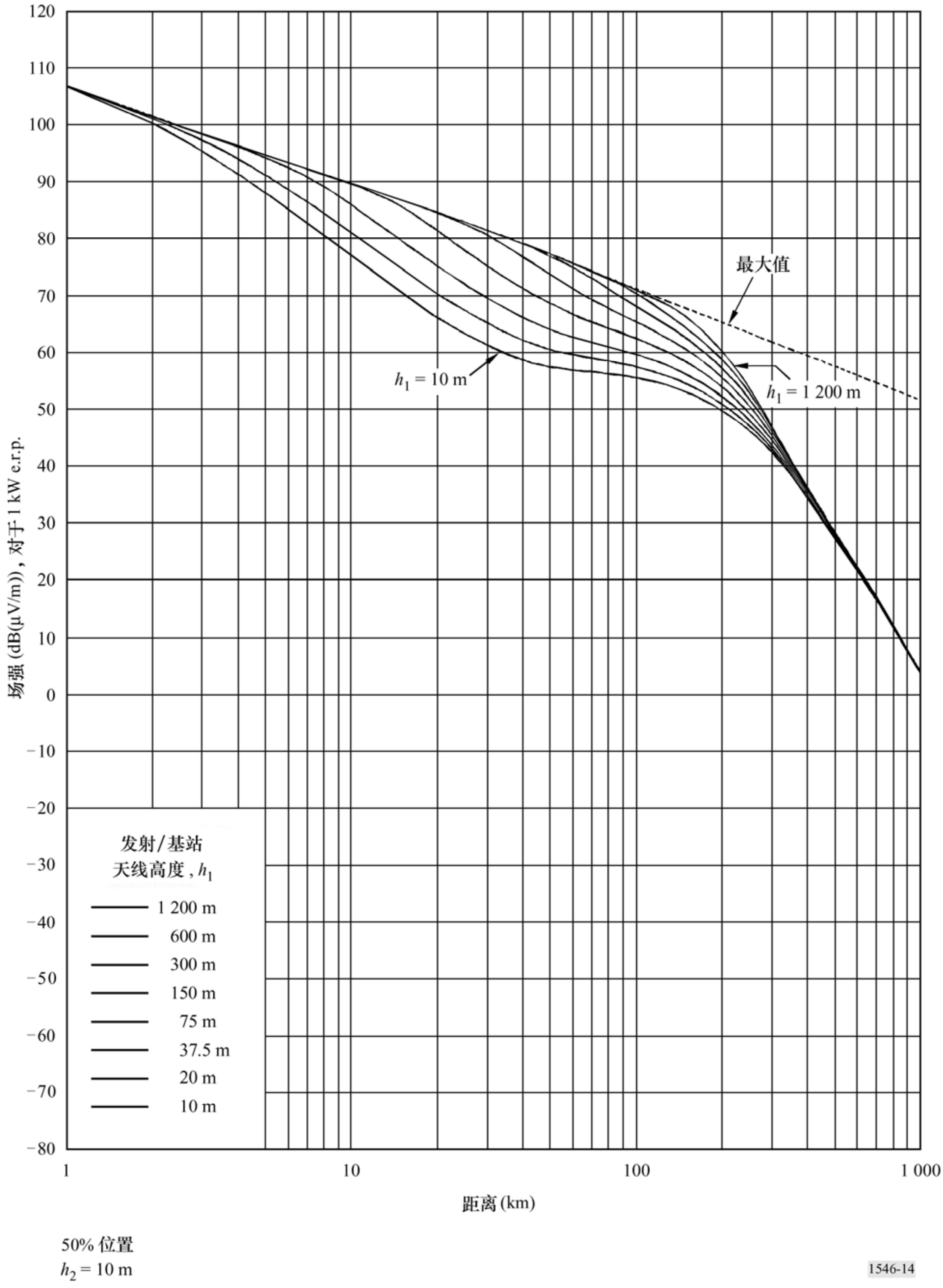
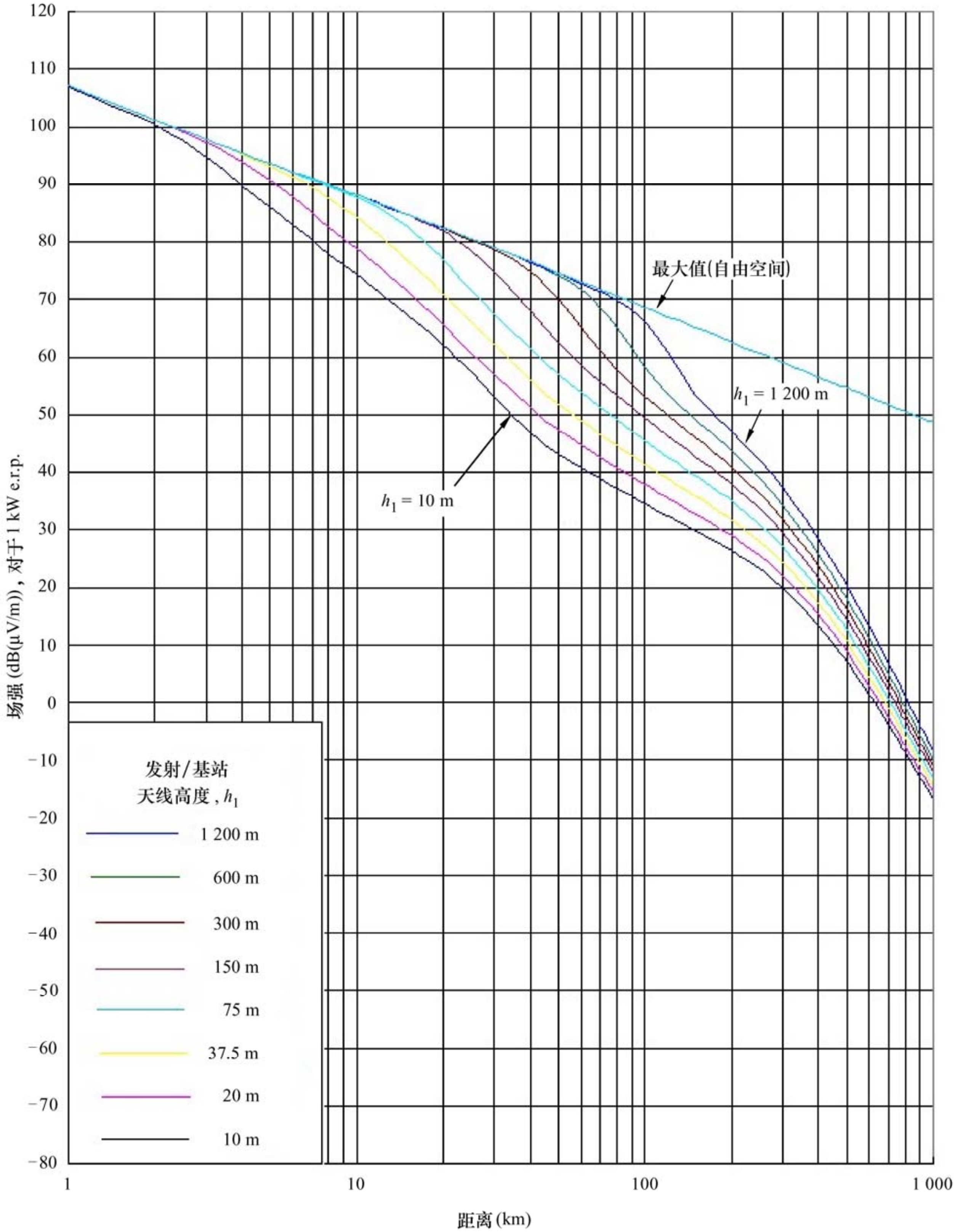


图 15

600 MHz，暖海路径，10%时间



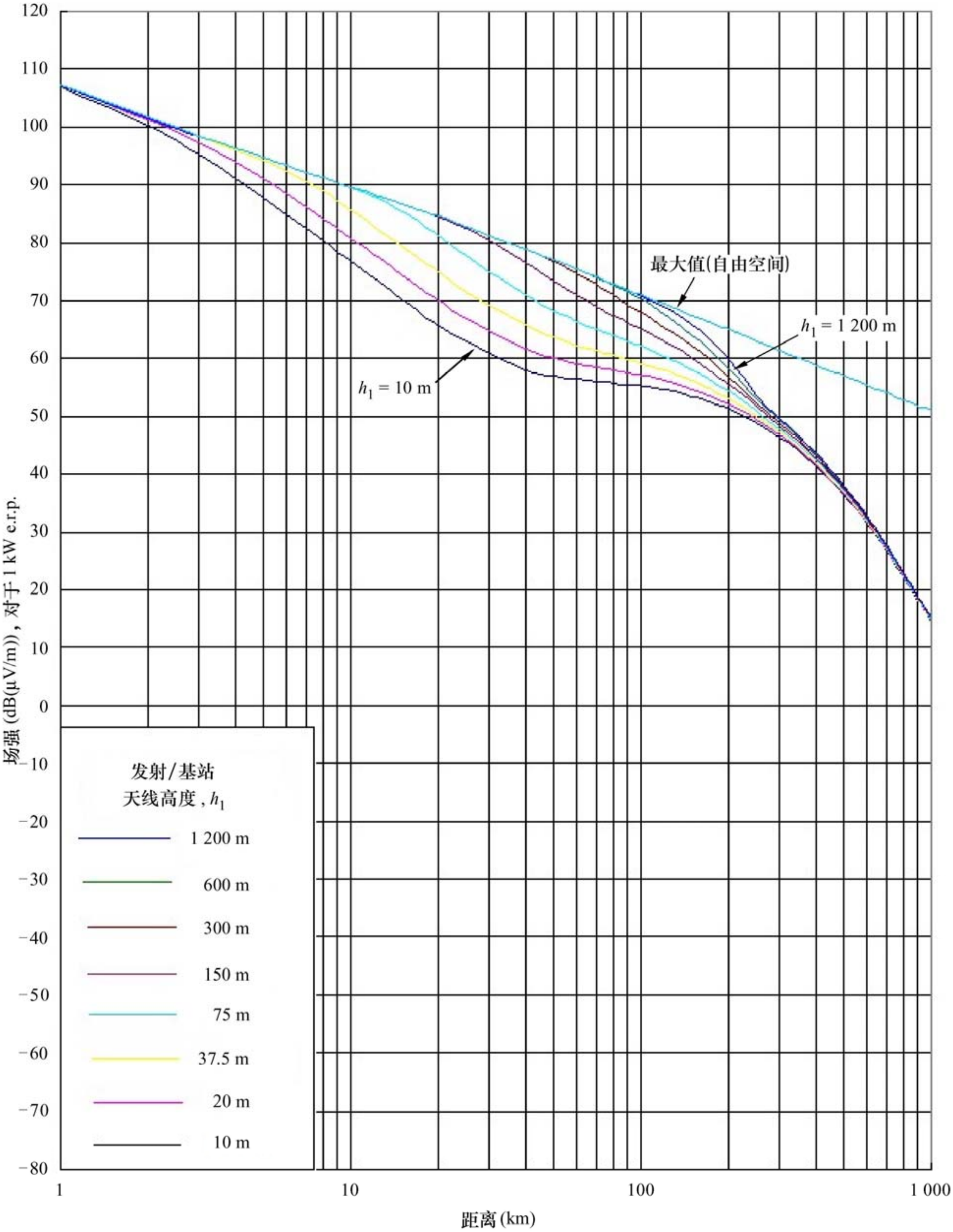
50% 位置

h_2 = 10 m

1546-15

图 16

600 MHz，暖海路径，1%时间



50% 位置

h_2 = 10 m

1546-16

附 件 4

1 000 MHz 至 3 000 MHz 频率范围

1 本附件中示出的场强与距离间函数关系的曲线均针对 2 000 MHz 频率。它们可以应用于 1 000 MHz 至 3 000 MHz 频率范围内，但应采用附件 5 第 6 节中的程序以获得改善的精度。当使用场强与距离间关系的表格值（见附件 1 第 3 节）时，应采用相同的程序。

2 图 17 至图 19 中的曲线示出陆地路径中任何约 500 m×500 m 地区内占 50％以上位置以及 50％、10％和 1％时间下的场强值。

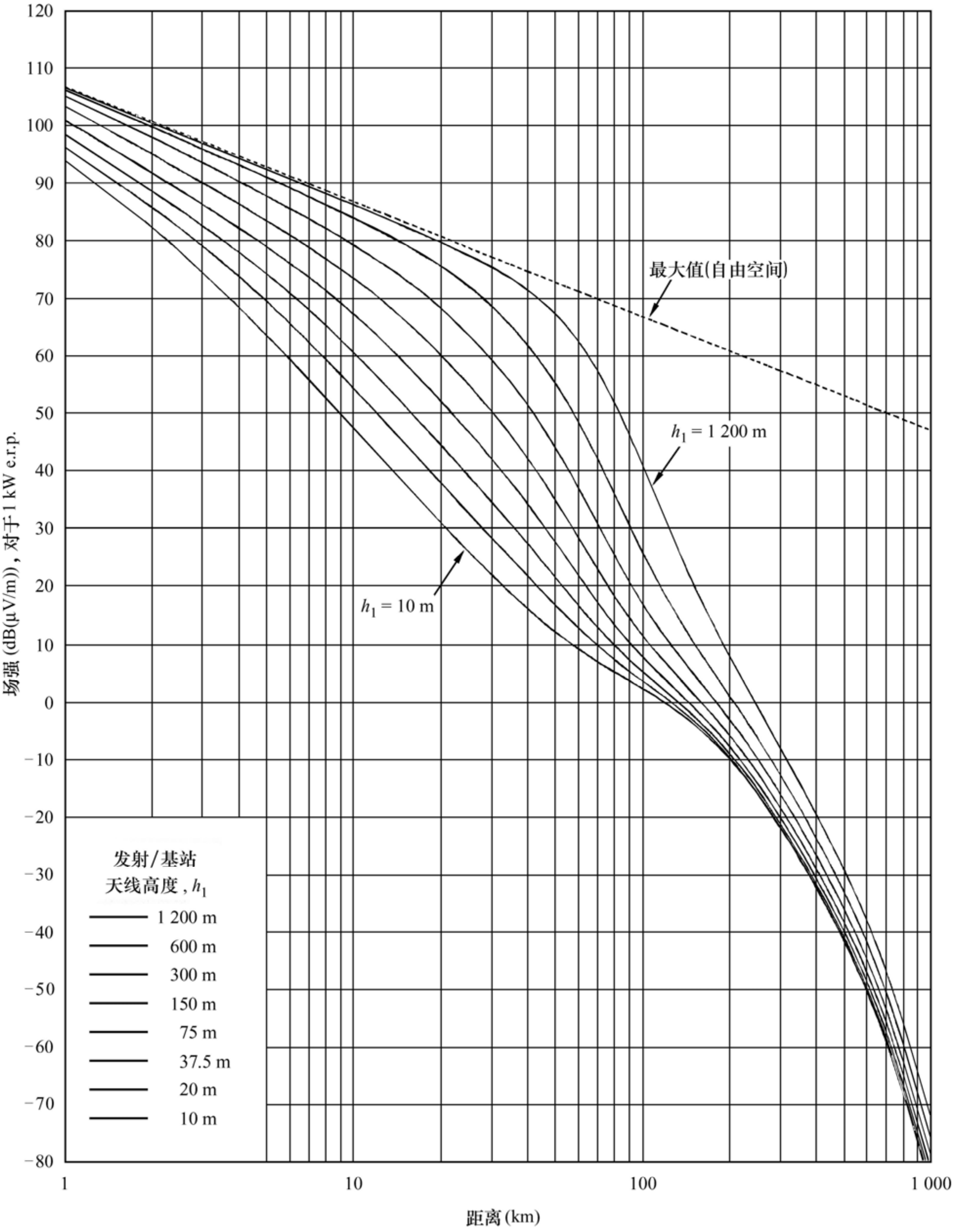
3 场强分布作为位置百分比的函数可使用附件 5 第 12 节中的资料进行计算。

4 图 20 至图 24 的曲线示出冷海和暖海（例如分别在北海和地中海）中的海面路径中观察到的 50％以上位置以及 50％、10％和 1％时间下的场强值。

5 在经受明显超折射现象的地区内，应考虑到附件 1 第 14 节中包含的信息。

图 17

2 000 MHz，陆地路径，50％时间



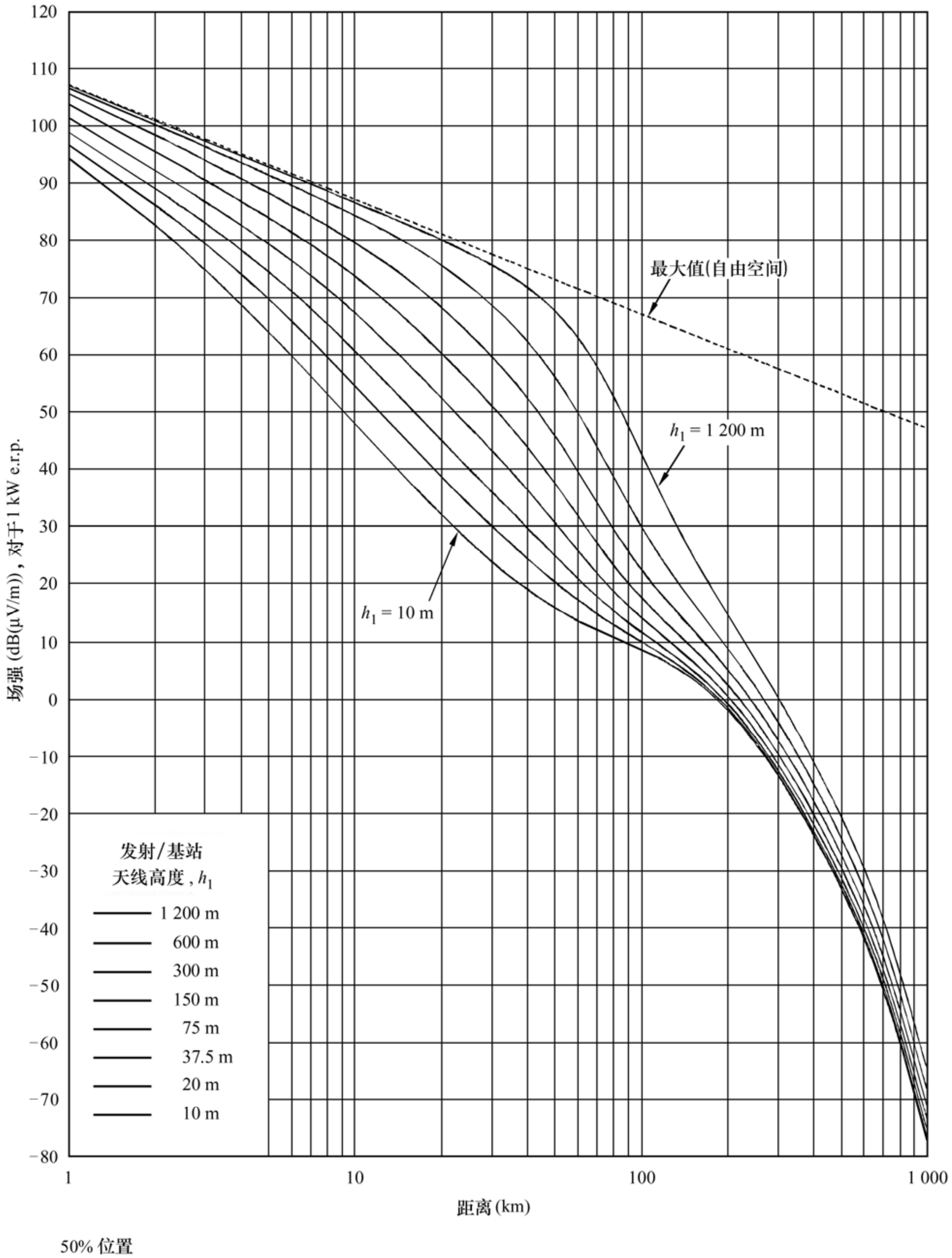
50% 位置

h_2: 代表性散布物高度

1546-17

图 18

2 000 MHz，陆地路径，10％时间



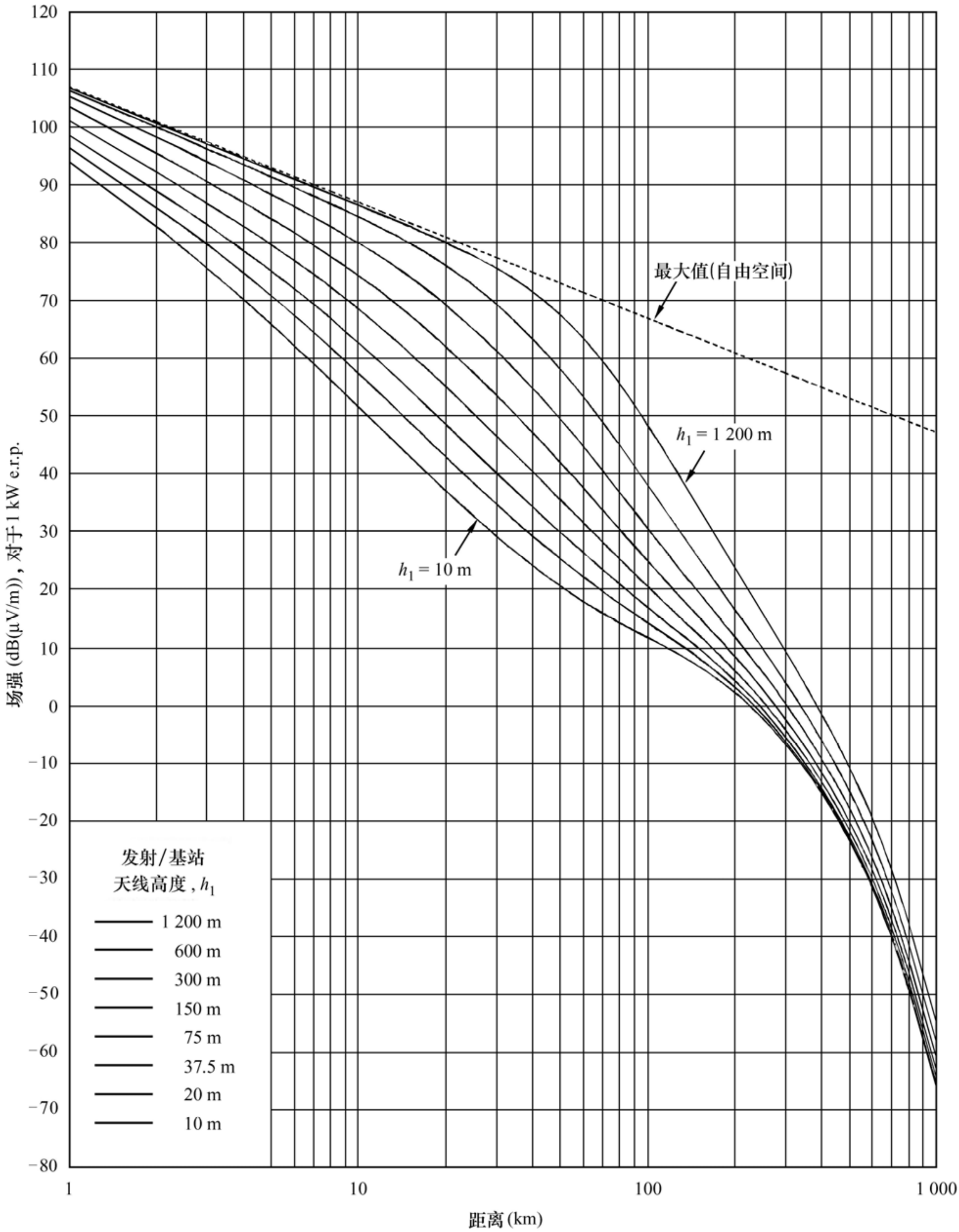
50% 位置

h_2: 代表性散布物高度

1546-18

图 19

2 000 MHz，陆地路径，1%时间



50% 位置

h_2: 代表性散布物高度

1546-19

图 20

2 000 MHz，海面路径，50％时间

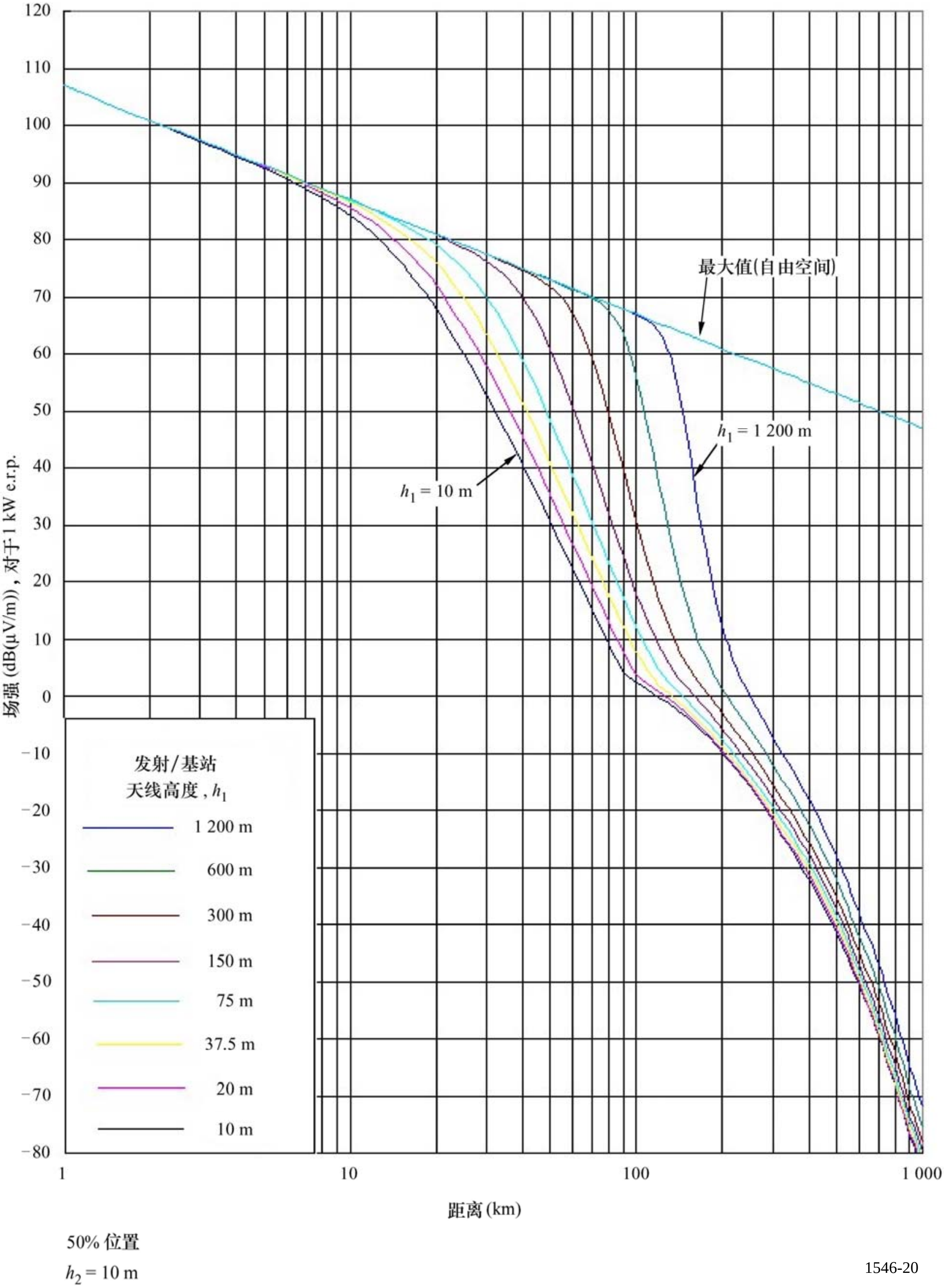
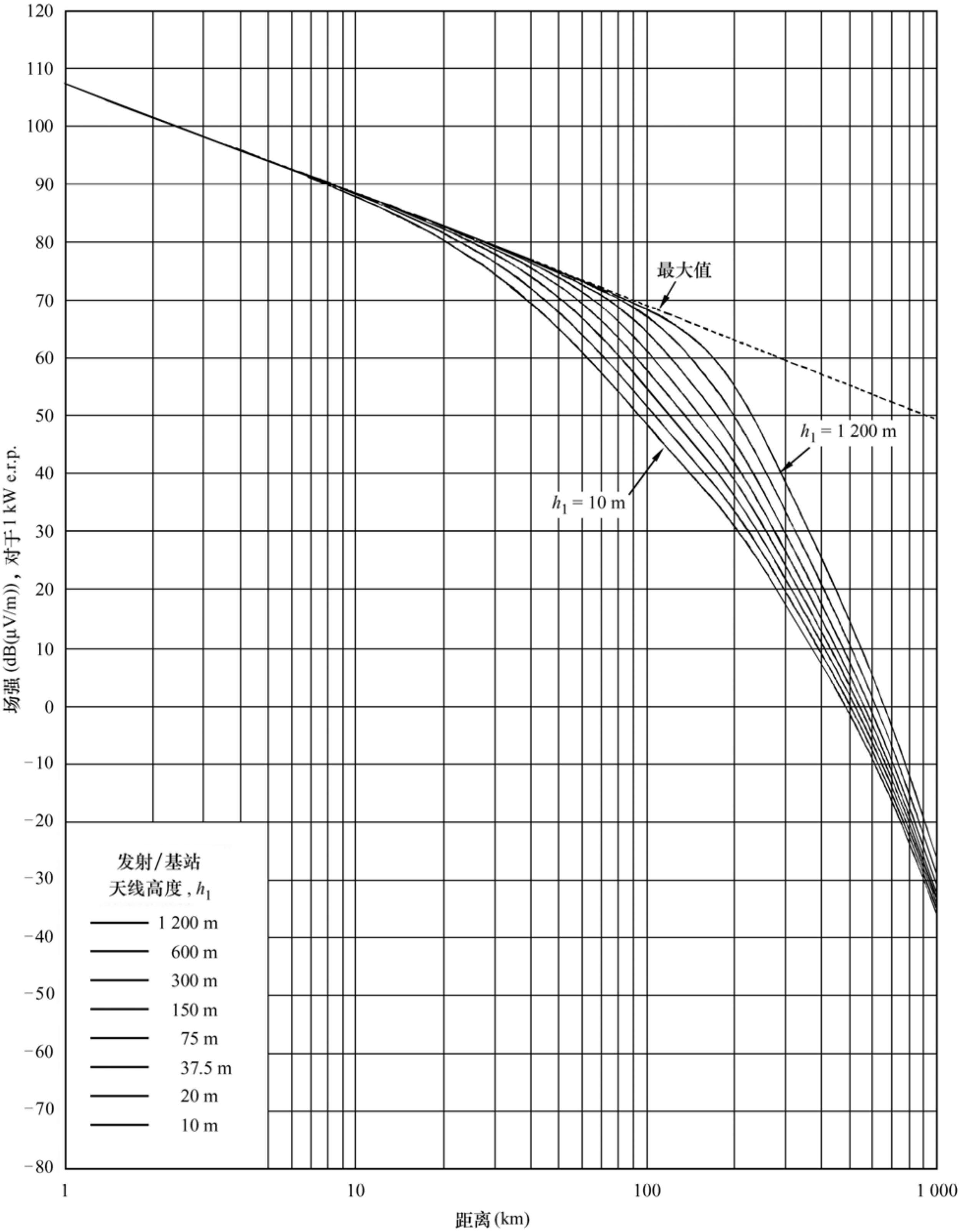


图 21

2 000 MHz，冷海路径，10％时间



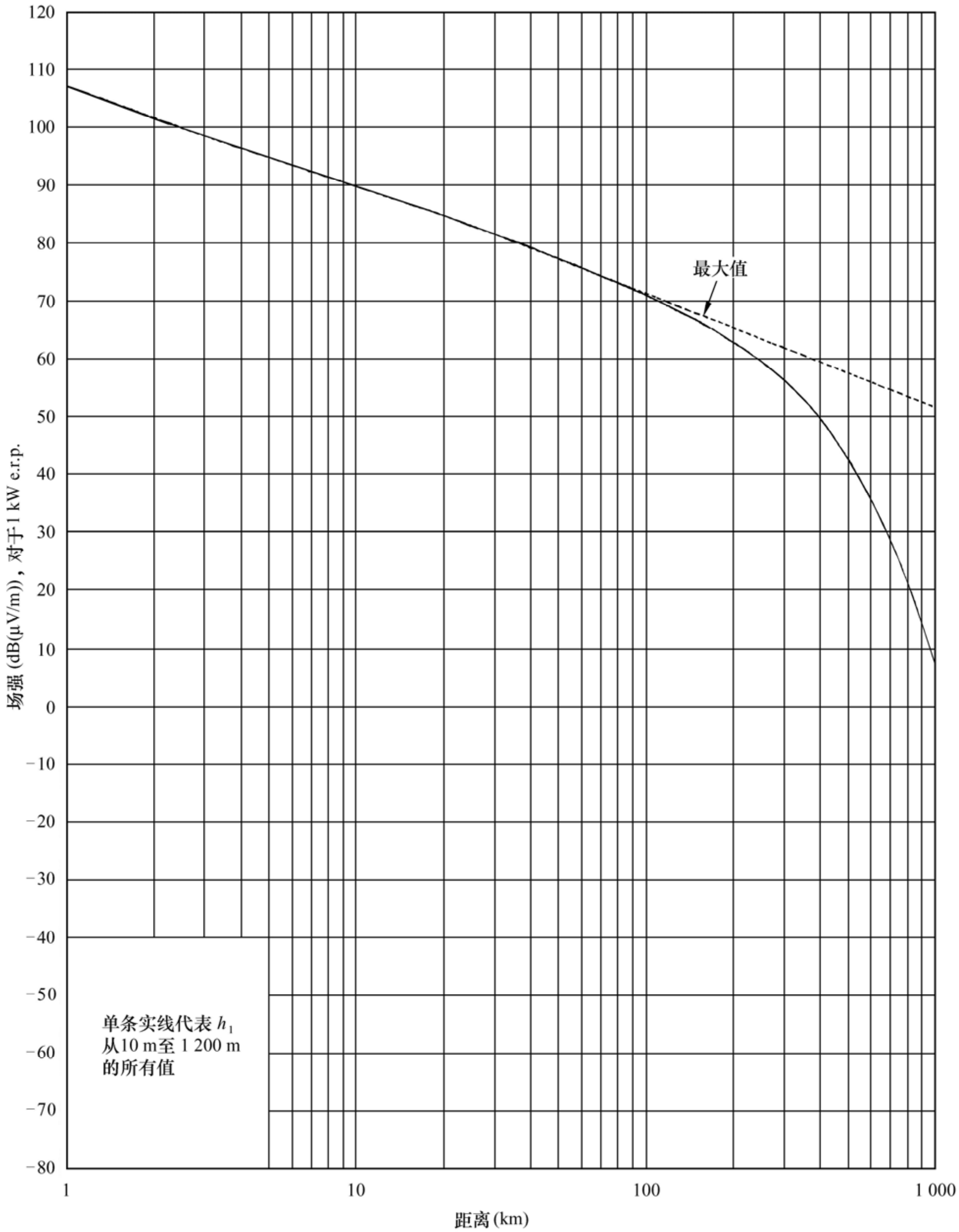
50% 位置

h_2 = 10 m

1546-21

图 22

2 000 MHz，冷海路径，1%时间



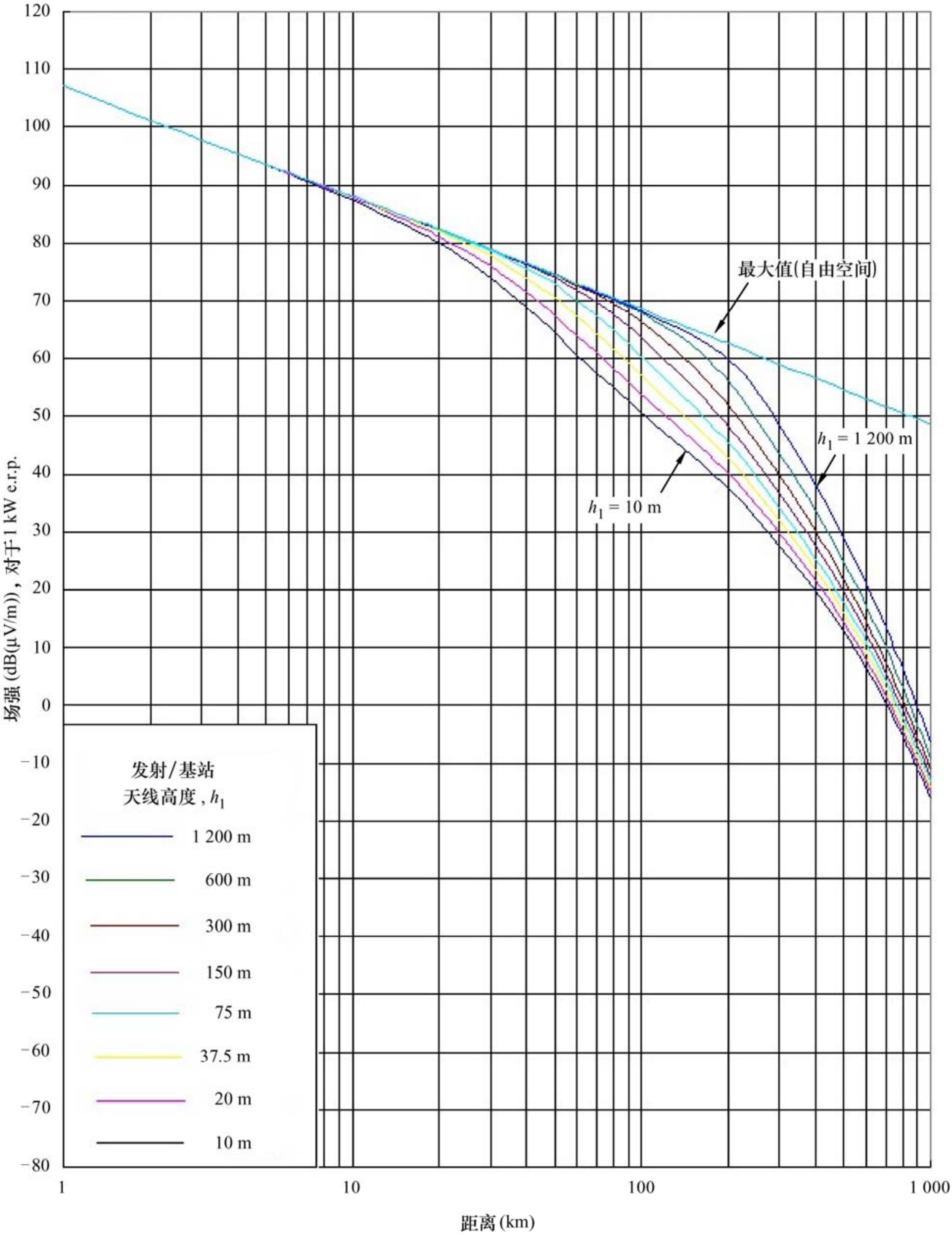
50% 位置

h_2 = 10 m

1546-22

图 23

2 000 MHz，暖海路径，10％时间



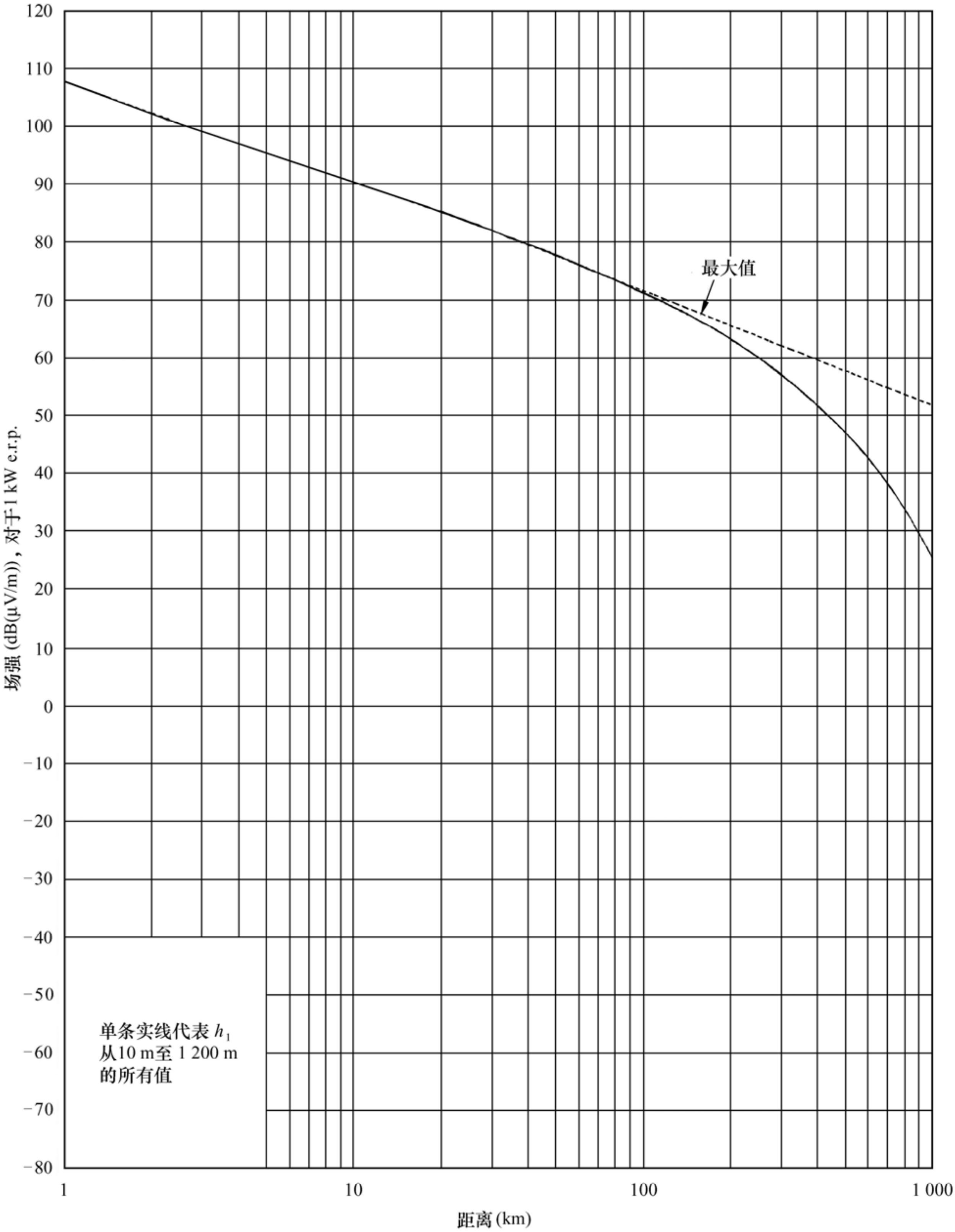
50% 位置

h_2 = 10 m

1546-23

图 24

2 000 MHz，暖海路径，1%时间



50% 位置

h_2 = 10 m

1546-24

附 件 5

实现预测方法的附加信息和方法

1 引言

本附件说明计算中的各个步骤。总体方法的逐步说明在附件 6 中给出。

本附件的第 2 至第 7 节说明如何在曲线族上通过对距离 h_1、频率和时间百分比进行内插得出场强。第 8 节说明如何对混合的陆地—海面路径进行场强组合。第 9 至第 13 节说明为得到附加精度而对场强预测增加的校正项。第 14 至第 17 节给出辅助资料。

1.1 终端名称

本建议书中发射/基站和接收机/移动台/终端这两种叫法之间没有呼应关系。本建议书主要想用于发射机/基站天线高于本地地面散布物平面的广播和移动业务。若本建议书用于计算广播覆盖区和/或用于基站到移动台方向的协调，则应将实际的发射/基站当做本建议书的“发射/基站”。在其他情况下，若没有先验的理由把任一终端认为是“发射/基站”，则就本建议书而言，究竟称哪个终端为“发射/基站”可按下述方法选择：

a) 若两个终端各自的位置都低于地面散布物平面，则本建议书对这样的问题无法给出精确的预测。使用者应从其他更适用的ITU-R建议书中寻求指导；

b) 若一个终端处于开放位置或高于周围的地面散布物，而另一个终端低于地面散布物平面，则就本建议书而言，开放的/未受地物干扰的终端应当做“发射/基站”，它具有的实际身份或者是发射机/基站或者是接收机/移动台；

c) 若两个终端都是开放的/未受地物干扰的，则就本建议书而言，有效高度更高的终端应当做“发射/基站”。

如上所述，本建议书没有呼应关系。不对，在某些特殊情况下，还是可以这样处理的。例如，在监测和预测接收机/移动台对发射机/基站的覆盖和/或干扰时就会遇到这些特殊情况，位于开放位置的终端也应总是具有更高的有效高度，按照上面讨论的 b)和 c)将其称为具有“较高”天线的发射机/基站，而将处于受地物干扰位置的终端称为具有“较低”天线的接收机/移动台是有益的，不用考虑哪个终端是实际的发射机/基站和接收机/移动台。本建议书的使用者应注意，就计算而言，若要使用这种“较高”和“较低”的叫法，则在随后计算场强或基本传输损耗时，“较高”天线终端总是与发射机/基站的有效高度 h_1 同义（或相同），“较低”天线终端总是与接收机/移动台的有效高度 h_2 同义（或相同），二者采用相同的修饰语。

2 最大场强值

场强必须不超出下面给出的最大值 E_{max}：

$$E_{max} = E_{fs} \quad \text{dB(μV/m)} \quad \text{对于陆地路径} \tag{1a}$$

$$E_{max} = E_{fs} + E_{se} \quad \text{dB(μV/m)} \quad \text{对于海面路径} \tag{1b}$$

其中，E_{fs} 为 1 kW e.r.p.的自由空间场强，由下面的公式给出：

$$E_{fs} = 106.9 - 20 \log (d) \quad \text{dB(μV/m)} \tag{2}$$

E_{se} 为海面曲线的增强值，由下面的公式给出：

$$E_{se} = 2.38 \{1 - \exp(-d / 8.94)\} \log(50/t) \quad \text{dB} \tag{3}$$

其中：

d：距离（km）

t：时间百分比。

原则上，任何使场强增大的校正不得容许产生的场强值大于所涉及的曲线族和距离方面的这些限值。不过，对最大值的限制只适用于附件 6 中指明的场合。

3 发射/基站天线高度 h_1 的确定

计算中用到的发射/基站天线高度 h_1 的值取决于路径的类型和长度以及各个高度信息项，而它们可能不是都能获得的。

对于海面路径，h_1 是天线的海拔高度。

对于陆地路径，发射/基站天线的有效高度 h_{eff} 定义为从发射/基站天线到接收/移动台天线的方向上 3-15 km 距离之间，超出地面平均水平的天线高度，单位为 m。在不知道发射/基站天线的有效高度 h_{eff} 值的场合，应从一般的地理位置信息中估算。当发射/基站天线低于周围散布物的高度时，本建议书无效。

计算中要应用的 h_1 值应当从第 3.1、第 3.2 或必要时第 3.3 节中给出的方法中得到。

3.1 短于 15 km 的陆地路径

对于不到 15 km 的陆地路径，应采用下面两种方法之一。

3.1.1 不能得到地形资料

在传播预测中不能得到地形资料的场合，可根据路径长度 d 如下地计算 h_1 值：

$$h_1 = h_a \quad \text{m} \quad \text{对于} \quad d \leq 3 \text{ km} \tag{4}$$

$$h_1 = h_a + (h_{eff} - h_a)(d - 3) / 12 \quad \text{m} \quad \text{对于 } 3 \text{ km} < d < 15 \text{ km} \tag{5}$$

其中，h_a 是大地上方的天线高度（例如天线杆高度）。

3.1.2 可得到地形资料

在传播预测中可得到地形资料的场合，有下面的公式：

$$h_1 = h_b \qquad \text{m} \qquad (6)$$

其中，h_b 是 0.2 d 与 d（km）之间平均地形高度上方的天线高度。

3.2 15 km 或更长距离的陆地路径

对于这类路径，有下面的公式：

$$h_1 = h_{eff} \qquad \text{m} \qquad (7)$$

3.3 海面路径

对所有海面路径而言，h_1 是指海面上方天线的物理高度。在海面路径中 h_1 值不到 3 m 的情况，本建议书并不可靠，绝对下限值应看做 1 m。

4 发射/基站天线高度 h_1 的应用

h_1 值可控制选择哪条曲线或哪些曲线以从中得到场强值，以及需要内插还是外推。应区分下面的情况。

4.1 10 m 至 3 000 m 频率范围内的发射/基站天线高度 h_1

如果 h_1 值与给出曲线的 8 个高度（即高度为 10、20、37.5、75、150、300、600 或 1 200 m）相符合，则从画出的曲线上或者从相关的表格中可直接得到所需的场强。否则，应采用下面的公式从两条曲线上得到的场强中由内插或外推得出所需的场强：

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log (h_1 / h_{inf}) / \log (h_{sup} / h_{inf}) \qquad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad (8)$$

其中：

h_{inf}：如果 $h_1 > 1\,200$ m，则 h_{inf}=600 m；否则，h_{inf} 取 h_1 之下最接近的标称有效高度。

h_{sup}：如果 $h_1 > 1\,200$ m，则 h_{sup}=1 200 m；否则，h_{sup} 取 h_1 之上最接近的标称有效高度。

E_{inf}：在所需距离上 h_{inf} 的场强值。

E_{sup}：在所需距离上 h_{sup} 的场强值。

必要时应限制 $h_1 > 1\,200$ m 时从外推中得出的场强，以使它不超出第 2 节内规定的最大值。

对于 $h_1 > 3\,000$ m，本建议书无效。

4.2 0 m 至 10 m 频率范围内的发射/基站天线高度 h_1

h_1 不到 10 m 时，场强计算方法取决于路径是在陆地上还是海面上。

对于陆地路径:

对于陆地路径，$0 \leq h_1 < 10$ m 时在所需距离 d km 处的场强用下式计算：

$$E = E_{zero} + 0.1\, h_1 (E_{10} - E_{zero}) \qquad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad (9)$$

其中：

$$E_{zero} = E_{10} + 0.5\ (C_{1020} + C_{h1neg10}) \qquad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad (9a)$$

$$C_{1020} = E_{10} - E_{20} \qquad \text{dB} \qquad (9b)$$

$C_{h1neg10}$: 用下面第4.3节的公式（12）算出的h_1 = –10 m时在所需距离处的校正项C_{h1} (dB)

E_{10}和E_{20}: 按照上面第4.1节算出的h_1 = 10 m和h_1 = 20 m时在所需距离处的场强(dB(μV/m)。

高度为负值时，应估计 C1020 和 Ch1neg10 两个校正项。

对于海面路径：

需要指出，对于海面路径，h_1 不应小于 1 m。计算程序要求 0.6 倍第一菲涅耳区的路径距离内海面没有障碍。由下面的公式给出：

$$D_{h1} = D_{06}(f, h_1, 10) \qquad \text{km} \qquad (10a)$$

其中，f 是标称频率（MHz），函数 D_{06} 在第 15 节中定义。

如果 $d > D_{h1}$，在发射/基站天线高度为 20 m 的场合下，对海面路径还必需计算 0.6 倍菲涅耳间隔距离，由下面的公式给出：

$$D_{20} = D_{06}(f, 20, 10) \qquad \text{km} \qquad (10b)$$

于是，对于所需的距离 d 和 h_1 的值，由下面的公式给出场强：

$$E = E_{max} \quad \text{dB（μV/m）} \qquad \text{对于} \quad d \le D_{h1} \qquad (11a)$$

$$= E_{Dh1} + (E_{D20} - E_{Dh1}) \log(d / D_{h1}) / \log(D_{20} / D_{h1}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad \text{对于} \quad D_{h1} < d < D_{20} \qquad (11b)$$

$$= E'(1 - F_s) + E'' F_s \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad \text{对于} \quad d \ge D_{20} \qquad (11c)$$

其中：

E_{max}： 第 2 节中给出的所需距离上的最大场强

E_{Dh1}： 第 2 节中给出的距离 D_{h1} 上的 E_{max}

E_{D20} = $E_{10}(D_{20})$+($E_{20}(D_{20})$)–$E_{10}(D_{20})$) log (h_1/10)/log (20/10)

$E10(x)$： h_1=10 m 时距离 x 处内插得出的场强

$E20(x)$： h_1=20 m 时距离 x 处内插得出的场强

E' = $E_{10}(d)$ + ($E_{20}(d)$) – $E_{10}(d)$)log (h_1/10)/log (20/10)

E''： 应用公式（9）对距离 d 计算出的场强

F_S = (d–D_{20})/d

4.3 负值的发射/基站天线高度 h_1

对于陆地路径，由于发射/基站天线的有效高度 h_{eff} 基于 3 km 至 15 km 距离内的地形平均高度，有可能 h_{eff} 为负值。因此，h_1 会是负的。在此场合，应考虑到附近的地形障碍引起的绕射效应。

h_1为负值的计算程序正如第 4.2 节中描述的，先按照 h_1=0 计算得到场强值，再加上一个如下计算出的校正项 C_{h1}。

考虑到绕射损耗效应的校正项 C_{h1}的值按下面的情况 a)和情况 b)计算：

a) 可得到地形数据库且在 h_1=0 附近的过渡区内潜在的场强间断不影响本建议书适用性的场合下，应计算出发射/基站天线的地形净空角θ_{eff1}，作为一条直线的仰角，该直线在从发射/基站天线到接收/移动台天线的方向上远达（但不超出）15 km 内恰能清除一切地形障碍。该净空角将为正值，在第 11 节给出的地形净空角校正方法中，它用来替代公式（30c）内的θ_{tca}角以得到 C_{h1d}。注意，在 h_1=0 附近的过渡区，应用该方法会导致场强间断。

b) 不能得到地形数据库或虽可得到地形数据库，但在 h_1=0 附近的过渡区内所用方法不可产生场强间断的场合下，可假设在发射/基站天线的 9 km 距离处有一个高度 h_1的障碍物，以给出（正的）地形有效净空角θ_{eff2}的估值。注意这一点适用于所有路径长度，即使是短于 9 km 的路径。也就是说，在离发射/基站天线的 3 km 至 15 km 范围内将大地看做大致是不规则倾斜的，如图 25 中所指出的，h_1的平均值发生于 9 km 处。该方法不太明确地顾及地形变化，但在 h_1=0 附近的过渡区内仍可保证没有场强间断。此时，计算对场强添加的校正项 C_{h1d}方法如下：

$$C_{h1d} = 6.03 - J(\nu) \qquad \text{dB} \tag{12}$$

其中：

$$J(\nu) = \left[6.9 + 20\log\left(\sqrt{(\nu - 0.1)^2 + 1} + \nu - 0.1\right)\right] \tag{12a}$$

$$\nu = K_\nu \, \theta_{eff2} \tag{12b}$$

以及

$$\theta_{eff2} = \arctan(-h_1/9\,000) \qquad \text{度} \tag{12c}$$

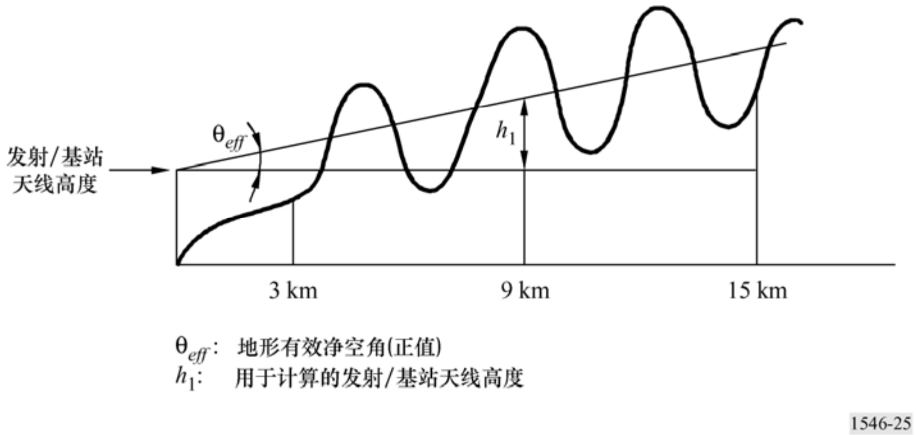
K_ν = 1.35 对于 100 MHz

K_ν = 3.31 对于 600 MHz

K_ν = 6.00 对于 2 000 MHz

图 25

h1 < 0 时的有效净空角



上述校正项总是小于零，添加至 h_1=0 时得到的场强值上。

5 作为距离函数的场强内插

图 1 至图 24 示出场强与 1 km 至 1 000 km 距离范围之间的曲线关系。如果场强可从这些曲线图上直接读出，则不需要进行距离的内插。为得到更高的精度以及便于计算机运算，应该从相关的表格中（见附件 1 第 3 节）得到场强值。此种场合，除非距离 d 与表 1 内给出的制表距离之一相符合，应该对距离的对数坐标通过线性内插得到场强值 E（dB（μV/m）），公式如下：

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log (d / d_{inf}) / \log (d_{sup} / d_{inf}) \qquad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad (13)$$

其中：

d：需做出场强预测的距离

d_{inf}：表格内小于 d 的最接近的距离

d_{sup}：表格内大于 d 的最接近的距离

E_{inf}：d_{inf} 处的场强值

E_{sup}：d_{sup} 处的场强值

d 的值小于 1 km 或大于 1 000 km 时，本建议书无效。

表 1

场强表内采用的距离值（km）

1	14	55	140	375	700
2	15	60	150	400	725
3	16	65	160	425	750
4	17	70	170	450	775
5	18	75	180	475	800
6	19	80	190	500	825
7	20	85	200	525	850
8	25	90	225	550	875
9	30	95	250	575	900
10	35	100	275	600	925
11	40	110	300	625	950
12	45	120	325	650	975
13	50	130	350	675	1 000

6 作为频率函数的场强内插和外推

所需频率的场强值应在标称频率值 100、600 和 2 000 MHz 的场强值间通过内插求得。频率低于 100 MHz 或高于 2 000 MHz 时，必须将内插替换以从两个靠近的频率值上进行外推。对大多数路径，可采用对于对数（距离）坐标做出内插或外推，但对于一些海面路径，当所需频率低于 100 MHz 时，必需采用另一种计算方法。

对于陆地路径，以及对于所需频率大于 100 MHz 的海面路径，所需场强 E 的计算应采用下面的公式：

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log\,(f / f_{inf}) / \log(f_{sup} / f_{inf}) \qquad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad (14)$$

其中：

f： 需做出场强预测的频率（MHz）

f_{inf}： 低端标称频率（$f < 600$ MHz 时为 100 MHz，否则为 600 MHz）

f_{sup}： 高端标称频率（$f < 600$ MHz 时为 600 MHz，否则为 2 000 MHz）

E_{inf}： f_{inf} 的场强值

E_{sup}： f_{sup} 的场强值。

必要时应限制在高于 2 000 MHz 频率内从外推中得出的场强，以使它不超出第 2 节内规定的最大值。

对于所需频率低于 100 MHz 的海面路径，应采用另一种计算方法，它基于在 0.6 倍第一菲涅耳区的路径长度内海面上完全无障碍物。计算该距离的一种近似方法在第 17 节中给出。

如果下面的所有条件均满足，应采用另一种方法。

— 路径为海面路径；

— 所需频率低于 100 MHz；

— 所需距离短于第 17 节中给出的由 $D_{06}(600,\ h_1,10)$表明的距离，在该距离上对于 600 MHz 有 0.6 倍菲涅耳间隔的海面路径。

如果上面的任一个条件不被满足，则应采用公式（14）给出的规范的内插/外推方法。

如果上面的全部条件均满足，则应按下面的公式计算所需场强 E：

$$E = E_{max} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad \text{对于 } d \le d_f \tag{15a}$$

$$= E_{df} + (E_{d_{600}} - E_{df}) \log (d/d_f) / \log (d_{600}/d_f) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad \text{对于 } d > d_f \tag{15b}$$

其中：

E_{max}：第 2 节内规定的所需距离上的最大场强

E_{df}：第 2 节内规定的距离 d_f 上的最大场强

d_{600}：按第 17 节中给出的 $D_{06}(600, h_1,10)$计算出的 0.6 倍菲涅耳间隔的路径处的距离

d_f：按第 17 节中给出的 $D_{06}(f, h_1,10)$计算出的在所需频率上 0.6 倍菲涅耳间隔的路径处的距离

$E_{d_{600}}$：应用公式（14）计算出的在距离 d_{600} 处所需频率上的场强

7 作为时间百分比函数的场强内插

对于 1％与 50％时间内给定时间百分比的场强值，应通过在标称值 1％与 10％时间内或者在标称值 10％与 50％时间内由内插进行计算，公式如下：

$$E = E_{sup}\,(Q_{inf} - Q_t) / (Q_{inf} - Q_{sup}) + E_{inf}\,(Q_t - Q_{sup}) / (Q_{inf} - Q_{sup}) \qquad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \tag{16}$$

其中：

t：需做出场强预测的时间百分比

t_{inf}：标称时间百分比下限

t_{sup}：标称时间百分比上限

$Q_t = Q_i\,(t/100)$

$Q_{inf} = Q_i\,(t_{inf}/100)$

$Q_{sup} = Q_i\,(t_{sup}/100)$

E_{inf}：时间百分比t_{inf}的场强值

E_{sup}：时间百分比 t_{sup} 的场强值

其中，$Q_i(x)$是逆互补累积正态分布函数。

本建议书仅对在 1％至 50％的范围内超出时间百分比的场强值有效。1％至 50％时间范围外的外推无效。

附件 5 第 15 节给出了一种计算 $Q_i(x)$的方法。

8 混合路径

下面说明的混合路径方法中，应用 $E_{land}(d)$和 $E_{sea}(d)$分别表示对于全陆地路径和全海面路径场合，在与发射/基站天线相隔距离 d 处代表性散布物高度 R 上的场强，它们是按需要通过发射/基站天线高度 h_1、频率和时间百分比进行内插/外推的。

应依照下面的步骤确定出具有混合的陆地部分和海面部分时任何路径上的场强。如果路径中既包含暖海部分又包含冷海部分，计算 $E_{sea}(d)$时应采用暖海曲线。h_1 值的计算应根据附件 5 第 3 节，将任何海面高度视为陆地。正常地，该 h_1 值应用于 $E_{land}(d)$和 $E_{sea}(d)$。然而，如果 h_1 小于 3 m，仍应采用 $E_{land}(d)$，而等于 3 m 时应采用 $E_{sea}(d)$。

混合路径的场强 E 由下面的公式给出：

$$E = (1 - A) \cdot E_{land}(d_{total}) + A \cdot E_{sea}(d_{total}) \tag{17}$$

混合路径内插系数 A 在附件 5 第 8.1 节中给出。

下面公式（21）之前的部分仅与区域无线电通信大会 RRC-06 批准的传播预测方法有关，与本建议书无关。

这个指导意见完善了对采用附件 2 至附件 4 中给出的基本曲线的混合路径方法的讨论。在此情况下，接下来是第 8.1 节。不过在下文中，IDWM 沿海区的区域图中的沿海陆地类型不应视为沿海陆地区。

公式（17）给出的混合路径方法是通用的。它还可适用于各种状况，其中，对各种传播区确定场强曲线族。（例如，不同的传播区可由改动附件 2 至附件 4 中给出的基本曲线而加以规定，采用的方法见附件 8，或者采用另一种传播区规范方法，如“GE06 协议”给出的方法。这些不同的传播区规范有可能包括沿海陆地区，只不过将其规定为独立的传播区，其传播条件比陆地路径更宜采用海面路径），此外，若必需计算越经两种或多种不同传播区的混合路径的场强，则建议采用下面的混合路径计算方法：

a）对于所有频率和所有时间百分比，以及对于并不涉及任何陆地/海面或陆地/沿海陆地过渡的这些传播区组合，应使用下面的程序计算场强：

$$E = \sum_i \frac{d_i}{d_{total}} E_i(d_{total}) \tag{18}$$

其中：

E： 混合路径的场强（dB（μV/m））

$E_i(d_{total})$： 总混合路径长度内区域 i 路径的场强

d_i： 区域 i 路径的长度

d_{total}： 路径总长度

b） 对于所有频率和所有时间百分比，以及对于只涉及单个陆地传播类别和单个海面或沿海陆地传播类别的那些传播区组合，应采用公式（18）计算场强。

c） 对于所有频率和所有时间百分比，以及对于其中涉及至少一个陆地/海面边界或陆地/沿海陆地边界的 3 个或更多的那些传播区组合，应使用下面的程序计算场强：

$$E = (1 - A) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_l} d_i E_{land,i}}{d_{lT}} + A \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n_s} d_j E_{sea,j}}{d_{sT}} \tag{19}$$

其中：

E： 混合路径场强（dB（μV/m））

$E_{land,I}$： 总混合路径长度内陆地路径 i 的场强（dB（μV/m）），i=1,⋯,n_l;n_l 是越经陆地区的编号

$E_{sea,j}$： 总混合路径长度内海面与沿海陆地路径 j 的场强（dB（μV/m）），j=1，⋯，n_s；n_s 是越经海面与沿海陆地区的编号

A： 附件 5 第 8.1 节中给出的内插系数（需要指出，“海面路径比率”应按 $\frac{d_{sT}}{d_{total}}$ 进行计算）

d_i, d_j： 区域 i，j 的路径长度

d_{lT}： 陆地路径总长度，按 $\sum_{i=1}^{n_l} d_i$ 进行计算

d_{sT}： 海面与沿海陆地路径总长度，按 $\sum_{j=1}^{n_s} d_j$ 进行计算

d_{total}： 传播路径总长度，按 d_{lT}+d_{sT} 进行计算。

8.1 混合路径内插系数 *A*

将使用以下标记：

n_s： 海面区和沿海陆地区的总数

n： 海面路径区或沿海陆地路径区的编号，$n = 1,2,\ldots,N_s$

M_l： 陆地区总数

m： 陆地路径区的编号，$m = 1,2,\ldots,M_l$

d_{sn}： 越经海面区或沿海陆地区 n 的距离（km）

d_{lm}： 越经陆地区 m 的距离（km）。

于是：

$$d_{sT} = \sum_{n=1}^{N_s} d_{sn}$$ 越经的海面路径与沿海陆地路径的总长度 （20a）

$$d_{lT} = \sum_{m=1}^{M_l} d_{lm}$$ 越经的陆地路径的总长度 （20b）

d_T=d_{sT}+d_{lT} 传播路径总长度 （20c）

需要下面的场强值：

$E_{sn}(d_T)$：距离 d_T 处的场强值(dB(μV/m))，假定均为海面区或沿海陆地区类型 n

$E_{lm}(d_T)$：距离 d_T 处的场强值(dB(μV/m))，假定均为陆地区类型 n

仅与区域无线电通信大会 RRC-06 批准的传播预测方法有关的部分到此结束。

内插系数[1] A 由下面的公式给出：

$$A = A_0 (F_{sea})^V \quad (21)$$

其中，$A_0(F_{sea})$为如图 26 所示的基本内插系数，由下式给出：

$$A_0(F_{sea}) = 1 - (1 - F_{sea})^{2/3} \quad (22)$$

图 26 和公式（22）中应用的海面路径分式 F_{sea} 由下面的公式给出：

$$F_{sea} = \frac{d_{sT}}{d_T} \quad (23)$$

又，V 的计算式如下：

$$V = \max\left[1.0, 1.0 + \frac{\Delta}{40.0}\right] \quad (24)$$

另有：

$$\Delta = \sum_{n=1}^{N_s} E_{sn}(d_T)\frac{d_{sn}}{d_{sT}} - \sum_{m=1}^{M_l} E_{lm}(d_T)\,\frac{d_{lm}}{d_{lT}} \quad (25)$$

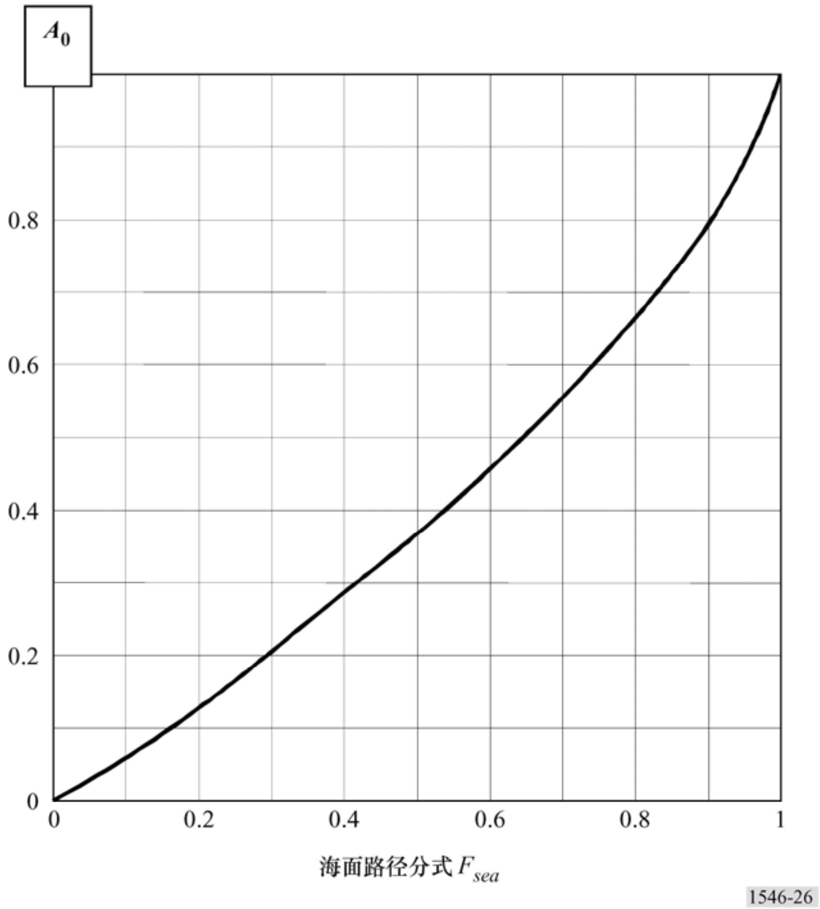
[1] 内插系数适用于所有频率和所有时间百分比。必须指出，内插只适用于：
- 陆地-海面路径
- 陆地-沿海陆地路径
- 陆地-（海面+沿海陆地）路径

而不适用于：
- 陆地-陆地路径
- 或是海面和/或沿海陆地路径的任何组合。

图 26 示出适用于所有时间百分比的海面内插系数 A_0（F_{sea}）。

图 26

混合传播中海面的基本内插系数 A0



9 接收/移动台天线高度的校正项

本建议书内由陆地曲线和相关表格给出的场强值，是高度 R(m)的接收/移动台天线的参照值，高度 R(m)反映出接收/移动台天线周围大地被覆的高度，最小高度值的条件为 10 m。例如，城市地区内参考高度为 20 m，稠密城市地区内为 30 m，城郊地区内为 10 m。海面路径中 R 的理论值为 10 m。

接收/移动台天线处于陆地上时，首先应考虑到电波到达的仰角，由下面的公式计算修正的代表性散布场高度 R' (m)：

$$R' = (1\,000\, d\, R - 15\, h_1) / (1\,000\, d - 15) \qquad \text{m} \qquad (26)$$

其中，h_1 和 R 的单位为 m，距离 d 的单位为 km。

注意 $h_1 < 6.5d + R$ 时，$R' \approx R$。

必要时须限制 R'的值，以使它不小于 1 m。

接收/移动台天线处于城市环境内时，校正量由下面的公式给出：

$$\text{校正量} = 6.03 - J(\nu) \ \ \text{dB} \qquad \text{对于 } h_2 < R' \qquad (27a)$$

$$= K_{h2} \log (h_2 / R') \ \ \text{dB} \qquad \text{对于 } h_2 \geq R' \qquad (27b)$$

其中，$J(\nu)$由式（12a）给出，

并有：

$$\nu = K_{nu}\sqrt{h_{dif}\theta_{clut}} \qquad (27c)$$

$$h_{dif} = R' - h_2 \quad \text{m} \qquad (27d)$$

$$\theta_{clut} = \arctan(h_{dif}/27)\text{度} \qquad (27e)$$

$$K_{h2} = 3.2 + 6.2\log(f) \qquad (27f)$$

$$K_{nu} = 0.0108\sqrt{f} \qquad (27g)$$

f：频率（MHz）。

城市环境内 R'小于 10 m 的场合，公式（27）中给出的校正量应按 $K_{h2}\log(10/R')$的系数减小。

接收/移动台天线处于农村陆地上或是开放的环境中时，对于所有 h_2 值校正量均由公式（27b）给出，R'设定为 10 m。

下面关于“邻近海面”的表述适用于接收/移动台天线在海面上或是紧邻海面并且在发射/基站方向上没有显著障碍物的场合。

接收/移动台天线邻近海面且 $h_2 \geq 10$ m 的场合，用公式（27b）计算校正量时将 R'设定为 10 m。

接收/移动台天线邻近海面且 $h_2 < 10$ m 时，应采用另一种计算方法，它基于在 0.6 倍第一菲涅耳区的路径长度内海面上完全无障碍物。计算该距离的一种近似方法在第 17 节中给出。

按第 17 节中给出的 $D_{06}(f, h_1, 10)$计算出对于所需 h_1 值和 h_2=10 m 路径恰为 0.6 倍菲涅耳间隔的距离。

如果所需距离等于或大于 d_{10}，则又应采用公式（27b）并将 R'设定为 10 m 以计算所需 h_2 值的校正量。

如果所需距离小于 d_{10}，则要添加到场强 E 上的校正量应按下面的公式进行计算：

$$\text{校正量} = 0.0 \quad \text{dB} \qquad \text{对于 } d \leq d_{h2} \qquad (28a)$$

$$= (C_{10})\log(d/d_{h2})/\log(d_{10}/d_{h2}) \quad \text{dB} \qquad \text{对于 } d_{h2} < d < d_{10} \qquad (28b)$$

其中：

C_{10}：应用公式（28b）并将 R' 设定于 10 m 时距离 d_{10} 处所需 h_2 值的校正量

d_{10}：按第 17 节中给出的 $D_{06}(f,h_1,10)$计算出的 h_2=10 m 时路径恰为 0.6 倍菲涅耳间隔的距离

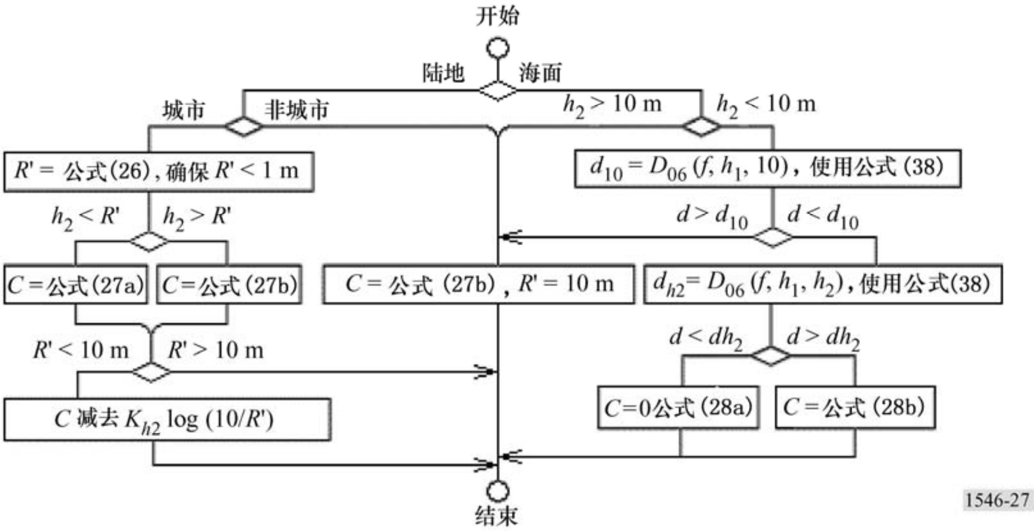
d_{h2}：按第 17 节中给出的 $D_{06}(f,h_1,h_2)$计算出的所需 h_2 值的路径恰为 0.6 倍菲涅耳间隔的距离。

接收/移动台天线高度 h_2 邻近陆地时小于 1 m 或邻近海面时小于 3 m 的场合下，本建议书无效。

上面关于接收/移动台天线高度的全体校正项，可以归纳成图 27 中给出的流程图。

图 27

接收/移动台天线高度校正项的计算流程图



10 城市/城郊内短路径的校正项

如果长度短于 15 km 的路径内，平坦地形上包括许多均匀高度的建筑物，则对场强应添加上因建筑散布物造成的场强减少的校正量。校正量由下面的公式给出：

$$\text{校正量} = -3.3(\log(f))(1 - 0.85\log(d))(1 - 0.46\log(1 + h_a - R)) \qquad (29)$$

其中，h_a 为大地上方的天线高度（m）（也即天线杆高度），R 反映第 9 节中定义的接收/移动台天线周围大地被覆的高度，它也表示发射/基站天线周围大地被覆的高度。该校正项只适用于 d 小于 15 km 和 h_1–R 小于 150 m 时。

11 地形净空角校正项

对于陆地路径，以及当接收/移动台天线处于混合路径内的陆地路段上时，如果在特定地区内对于接收状态的场强预测需要更高的精度，例如对一个小的接收地区的预测，则可以根据地形净空角得出校正量。地形净空角θ_{tca}由下面的公式给出：

$$\theta_{tca} = \theta \qquad \text{度} \qquad (30)$$

其中，θ是接收/移动台天线处视线的仰角，在该角度上对于远到 16 km 的距离，发射/基站天线的方向内正好完全没有地形障碍，但仰角θ不超出发射/基站天线高度。

θ的计算中应不计地球的曲率。对θ_{tca}应予以限制，以使它不小于+0.55º 或大于+40.0º。

在可以得到有关地形净空角资料的场合，对场强要添加的校正量由下面的公式进行计算：

$$校正量 = J(\nu') - J(\nu) \qquad \text{dB} \tag{30a}$$

其中，$J(\nu)$由公式（12a）给出，ν'和ν的值如下面的公式所列：

$$\nu' = 0.036\sqrt{f} \tag{30b}$$

$$\nu = 0.065\,\theta_{tca}\sqrt{f} \tag{30c}$$

θ_{tca}：为地形净空角（度）

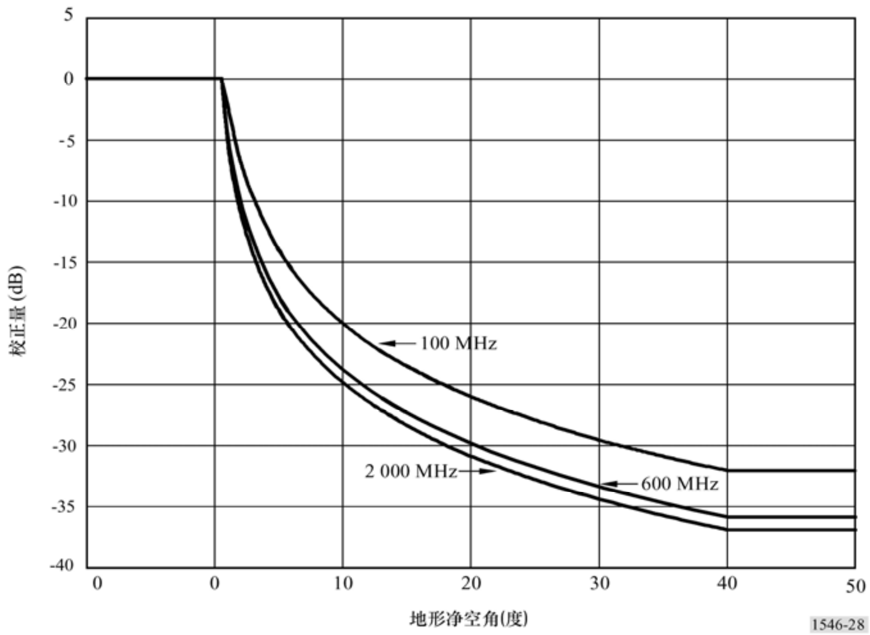
f：所需频率（MHz）。

应当注意陆地场强曲线中已考虑由接收/移动台天线受地形缓慢倾斜的典型遮蔽效应造成的损耗。因此，在接收/移动台天线位置处有典型的正净空小角度的地方，地形净空角校正量为零。

图 28 示出不同标称频率下校正量与地形净空角之间的关系曲线。

图 28

地形净空角（度）



12 陆地地区覆盖范围预测中的位置可变性

地区覆盖范围预测方法旨在为给定的地区而不是任何具体的接收点提供接收状态的统计特性。此类统计特性的描述取决于所考虑地区的大小。

当无线电路径中的一个终端静止、另一个终端移动时，根据影响路径损耗的总体影响因素，路径损耗会随位置连续地变化。将这些影响因素划分成三种主要类别是适宜的：

多径变动：由于例如来自大地、建筑物等的反射引起的多径效应下的相量叠加，会在波长量级的层次上发生信号变动。这类变动的统计特性一般地可按照瑞利分布规律求出。

局部大地被覆变动：由于例如建筑物、树木等局部邻近区域内有大地被覆的障碍，会在此类障碍物大小量级的层次上发生信号变动。此类变动的幅度通常显著地大于多径变动的幅度。

路径变动：由于例如山丘等的存在使整个传播路径的几何情况变化，也会造成信号变动。除了很短的路径之外，所有此类变动的幅度会显著地大于局部大地被覆变动的幅度。

本建议书以及一般情况下，位置可变性是指局部大地被覆变动的空间统计特性。对于变动幅度显著大于大地被覆变动，这是一个有用的结果，而且对此而言路径变动是不足道的。由于位置可变性的定义中多径变动被排除在外，所以它并不依赖于系统带宽。

规划无线电系统时，还必需考虑到多径效应。这类效应的影响随系统而变，取决于带宽、调制和编码方案。在 ITU-R P.1406 建议书中给出了关于这些效应建模的指导意见。

对位置的可变性做了多种规定。有些文字将其规定为在发射机的整个服务区内涉及额外路径损耗的变化，因而除了更多的本地阴影区外，还包括所有地形效应。在其他情况下，可变性涉及发射机周围给定半径内所有点的路径损耗的变化。第三种定义涉及较小的面积范围内场强的可变性，该范围通常用边长为 500 m 至 1 km 的正方形代表。

本建议书给出的预测方法包含了 h_2 的环境相关校正项（附件 5 第 9 节），并允许使用地形相关 TCA（附件 5 第 11 节），因而在对位置可变性施加校正时存在使这些效应加倍的风险。

下面的方法在较小的面积范围内估计位置可变性，对于采用 TCA 以便更准确地决定本地场强中值的情况是适用的。

若 TCA 不适用，则合适的位置可变性数值会大一些，在包括多种地形和地面散布物时，通常随服务区半径加以缩放。

广泛的数据分析表明，在城市环境和城郊环境下，这样的地区内由于大地被覆变动引起的中值场强分布大致呈对数正态规律。

因此，对陆地上的接收/移动台天线位置而言，超出 q% 位置点的场强 E 由下面的公式给出：

$$E(q) = E\ (\text{中值}) + Q_i(q\ /\ 100)\ \sigma_L(f)\ \ \text{dB}(\mu\text{V/m}) \tag{31}$$

其中：

$Qi(x)$：作为概率函数的逆互补累积正态分布

σ_L：在研究地区内局部均值高斯分布的标准偏差。

标准偏差值取决于频率和环境，实验研究表明，它有明显的扩散度。500 m×500 m 面积的代表性数值由下面的公式给出：

$$\sigma_L = K + 1.3 \log(f) \qquad \text{dB} \qquad (32)$$

其中：

K= 1.2，用于城市或城郊环境下采用车顶高度全方向性天线的移动系统中天线低于地面散布物高度的接收机

K = 1.0，用于具有接近地面散布物高度的屋顶天线的接收机

K = 0.5，用于农村地区的接收机

f：所需频率（MHz）。

如上所述，若可变性作用的地区大于 500 m × 500 m，或可变性涉及给定范围内的全部地区而不是跨过单个地区的变动，则σ_L 值会更大。经验研究表明，（相对于较小面积的数值）位置可变性对于 2 km 的半径最多增加 4 dB，对于 50 km 半径最多增加 8 dB。

位置百分比值 q 可在 1 与 99 之间变化。对于位置百分比小于 1%或大于 99%的场合，本建议书无效。

接收/移动台天线邻近海面时，不施加位置可变性校正。

应当指出，在某些规划情况下（例如，多边分配规划），通常需要应用“位置可变性”的定义，它包括多径衰落程度。这里要考虑到移动接收机、多径零点上的静止接收或是要接收许多频率而天线不能放置得对所有发射都有利的屋顶天线等场合。另外，此类规划中还需要考虑在较本建议书所假定的地区更大的地区内的可变性。

对此，已经得到表 2 中给出的数值，它们适合于对许多无线电业务进行规划。

表 2

某些规划情况下使用的可变性数值

	标准偏差 (dB)		
	100 MHz	**600 MHz**	**2 000 MHz**
广播，模拟	8.3	9.5	–
广播，数字	5.5	5.5	5.5

13 按对流层散射进行的校正

按照本附件第 1 至第 12 节介绍的方法算出的场强，数值有可能偏低，因为没有充分考虑对流层散射。

若可得到地形资料，应采用下列程序算出一个对流层散射校正量。

按下式计算路径散射角θ_s（度）：

$$\theta_s = \frac{180d}{\pi ka} + \theta_{eff} + \theta \qquad \text{度} \tag{33}$$

其中：

θ_{eff}： 采用第4.3节情况a)的方法算出的h_1终端的地形净空角（度），不论h_1是正是负

θ： 按照第11节算出的h_2终端的地形净空角（度），注意这是相对于本地水平面的仰角（度）

d： 路径长度（km）

a： 6 370 km，地球半径

k： 4/3，中等折射条件下的有效地球半径系数。

若θ_s小于零，则设定θ_s等于零。

按下式计算预测的对流层散射场强 E_{ts}：

$$E_{ts} = 24.4 - 20\log(d) - 10\,\theta_s - L_f + 0.15\,N_0 + G_t \qquad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \tag{34}$$

其中：

L_f: 频率相关损耗

$= 5\log(f) - 2.5\,[\,\log(f) - 3.3]^2$ (34a)

$N_0 =$ 325，表面折射率中值，N基数，典型的温带气候

$G_t =$ 时间相关增强

$= 10.1[-\log(0.02t)]^{0.7}$ (34b)

d： 所需距离的路径长度（km）

f： 所需频率（MHz）

t： 所需时间百分比。

14 距离小于1 km的场强预测值

若本建议书所用的 d 值有可能小于 1 km、采用短距离传播模型不太实际且需要一种简单方式最终得出任意短距离的自由空间场强（同时认识到这纯粹是出于方便起见，而不是一种有效的传播模型），则可采用下列程序：

按下式估计距离小于 1 km 的场强 E：

$$E = E_{maxnf} \qquad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad \text{对于} \quad d \le d_{nf} \tag{35a}$$

$$E = E_{maxd} \qquad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad \text{对于} \quad d_{nf} < d \le 0.1\text{km} \tag{35b}$$

$$E_{0.1\text{km}} + (E_{1\text{km}} - E_{0.1\text{km}})\log(d / 0.1) \qquad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad \text{对于} \quad 0.1\text{ km} < d < 1.0\text{ km} \tag{35c}$$

其中：

E_{maxnf}： 由公式 (1a)或(1b)得出的距离为d_{nf} km时的最大场强

E_{maxd}： 由公式(1a)或(1b)得出的所需距离的最大场强

$E_{0.1km}$ = 由公式(1a)或(1b)得出的距离为0.1 km时的最大场强

E_{1km} = 距离为1 km 时的场强

且 d_{nf} 是由下式得出的发射/基站天线的近场距离：

$$d_{nf} = 10^{0.1G}/(10\,f) \qquad \text{km} \qquad (35\text{d})$$

其中：

G：天线增益（dBi），

f：频率（MHz）。

d_{nf} 的值应限制为 $d_{nf} \le 0.1$ km。

建议默认的 $d_{nf} = 0.01$ km。

与接收机/移动台有关的校正项仍然有效。若使用的话，应加在接收机/移动台的实际位置上，而不是距发射机/基站 1 km 位置上。

15 逆互补累积正态分布函数的近似式

下面对于逆互补累积正态分布函数的近似式 $Qi(x)$，在 $0.01 \le x \le 0.99$ 的条件下有效。

$$Q_i\,(x) = T(x) - \xi(x) \qquad \text{若 } x \le 0.5 \qquad (36\text{a})$$

$$Q_i\,(x) = -\,\{\, \mathrm{T}(1-x) - \xi(1-x)\,\} \qquad \text{若 } x > 0.5 \qquad (36\text{b})$$

其中：

$$T(x) = \sqrt{[-2\ln(x)]} \qquad (36\text{c})$$

$$\xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) \cdot T(x) + D_1] \cdot T(x) + 1} \qquad (36\text{d})$$

$C_0 = 2.515517$

$C_1 = 0.802853$

$C_2 = 0.010328$

$D_1 = 1.432788$

$D_2 = 0.189269$

$D_3 = 0.001308$

上面公式中给出的数值在表 3 中列出。

表 3

逆互补累积正态分布值的近似值

q%	***Q_i* (*q*/100)**	***q***%	***Q_i* (*q*/100)**	***q***%	***Q_i* (*q*/100)**	***q***%	***Q_i* (*q*/100)**
1	2.327	26	0.643	51	–0.025	76	–0.706
2	2.054	27	0.612	52	–0.050	77	–0.739
3	1.881	28	0.582	53	–0.075	78	–0.772
4	1.751	29	0.553	54	–0.100	79	–0.806
5	1.645	30	0.524	55	–0.125	80	–0.841
6	1.555	31	0.495	56	–0.151	81	–0.878
7	1.476	32	0.467	57	–0.176	82	–0.915
8	1.405	33	0.439	58	–0.202	83	–0.954
9	1.341	34	0.412	59	–0.227	84	–0.994
10	1.282	35	0.385	60	–0.253	85	–1.036
11	1.227	36	0.358	61	–0.279	86	–1.080
12	1.175	37	0.331	62	–0.305	87	–1.126
13	1.126	38	0.305	63	–0.331	88	–1.175
14	1.080	39	0.279	64	–0.358	89	–1.227
15	1.036	40	0.253	65	–0.385	90	–1.282
16	0.994	41	0.227	66	–0.412	91	–1.341
17	0.954	42	0.202	67	–0.439	92	–1.405
18	0.915	43	0.176	68	–0.467	93	–1.476
19	0.878	44	0.151	69	–0.495	94	–1.555
20	0.841	45	0.125	70	–0.524	95	–1.645
21	0.806	46	0.100	71	–0.553	96	–1.751
22	0.772	47	0.075	72	–0.582	97	–1.881
23	0.739	48	0.050	73	–0.612	98	–2.054
24	0.706	49	0.025	74	–0.643	99	–2.327
25	0.674	50	0.000	75	–0.674		

16 等效的基本传输损耗

需要时，在给定场强下等效的基本传输损耗由下面的公式给出：

$$L_b = 139.3 - E + 20 \log f \qquad \text{dB} \qquad (37)$$

其中：

L_b：基本传输损耗（dB）

E：1 kW e.r.p.的场强(dB(μV/m))

f：频率（MHz）。

17 0.6 倍菲涅耳间隔路径长度的近似值

对于给定的频率和天线高度 h_1 与 h_2，在平坦、弯曲的地面上恰好达到 0.6 倍第一菲涅耳区间隔的路径长度，由下面的公式近似地给出：

$$D_{06} = \frac{D_f \cdot D_h}{D_f + D_h} \quad \text{km} \tag{38}$$

其中：

D_f： 频率依赖项

$= 0.0000389\, f\, h_1 h_2$ km (39a)

D_h： 由水平距离确定的渐近项

$= 4.1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$ km (39b)

f： 频率（MHz）

h_1, h_2： 平坦地面上方的天线高度（m）

上面的公式中，必要时必须限制 h_1 值，以使它不小于零。而且，必要时必须限制得到的 D_{06} 值，以使它不小于 0.001 km。

附 件 6

应用本建议书的程序

下面说明的逐步式程序旨在适用于从场强中得出的数值与国际电联无线电通信局可提供的距离表格值间的关系上。然而，它们也可以适用于不需要步骤8.1.5内距离内插程序的场合下从曲线中得到的数值上。下面的表4含有一份输入参数（及其限值）的最小清单，用于从场强与距离表推导出各数值。后面是逐步式程序。

表4

输入参数及其限值清单

参数	单位	定义	限值
f	MHz	工作频率	30-3 000 MHz
d	km	路径长度	1-1 000 km
p	%	时间百分比。在附件1第8节规定。	1%-50%
h_1	m	曲线中提到的发射/基站天线高度。由附件5第3节的公式(4)至公式(7)规定。 限值在第4.1节规定。	陆地 – 没有下限值，上限值为3 000 m 海面 – 不小于1 m，上限值为3 000 m
h_a	m	发射机天线距地面高度。在附件5第3.1.1节规定。限值在附件5第3节规定。	必须高于本地地面散布物高度。
h_b	m	地形高度之上的基站天线高度，平均值为0.2 d和d km，其中d小于15 km且地形资料可用。	无 – 但注意该参数仅对d < 15 km的陆地路径存在。
h_2	m	接收/移动台天线距地面高度。在附件1第10节规定。	陆地 – 不小于1 m，且不大于3 000 m 海面 – 不小于3 m，且不大于3 000 m
发射机周围的地面散布物高度	m	有代表性的地面散布物高度（在发射机周围）	无
R	m	有代表性的地面散布物高度（在接收机周围）	无
θ_{tca}	度	地形净空角	0.55-40度
θ_{eff} θ_{eff1} θ_{eff2}	度	发射机/基站地形有效净空角。附件5第9节。	必须为正值

步骤 1：确定为陆地、冷海或暖海传播路径的类型。如果是混合路径，则确定可认为是第一和第二传播类型的两种路径类型。如果路径可由单独一种类型表示，则可将它看做第一传播类型，且不需要步骤 11 中给出的混合路径方法。

步骤 2：对于给定的任一时间百分比（1%至 50%范围内的时间百分比），如下地确定两种标称时间百分比：

— 所需的时间百分比> 1 和< 10，此时低端和高端的标称时间百分比分别为 1%和 10%；

— 所需的时间百分比> 10 和< 50，此时低端和高端的标称时间百分比分别为 10%和 50%。

如果所需时间百分比等于 1%或 10%或 50%，则该值可看做是低端标称时间百分比，而不需要步骤 10 的内插处理。

步骤 3：对于所需的任何频率（30 至 3 000 MHz 范围内），如下地确定两种标称频率：

— 所需频率< 600 MHz 时，低端和高端频率分别为 100 MHz 和 600 MHz；

— 所需频率< 600 MHz 时，低端和高端频率分别为 600 MHz 和 2 000 MHz。

如果所需频率等于 100 或 600 或 2 000 MHz，则该值可看做是低端标称频率，而不需要步骤 9 内的内插/外推处理。

步骤 4：从表 1 内最接近的所需频率中确定低端和高端标称距离。如果所需距离与表 1 内的值相符，则该值可看做是低端标称距离，而不需要步骤 8.1.5 中的内插处理。

步骤 5：对于第一传播类型，按步骤 6 至 11。

步骤 6：对于低端标称时间百分比，按步骤 7 至 10。

步骤 7：对于低端标称频率，按步骤 8 和 9。

步骤 8：对于所需距离 d 和发射/基站天线高度 h_1，对大地上方代表性散布物高度 R 处的接收/移动台天线如下地得到超出 50%位置点的场强：

步骤 8.1：发射/基站天线高度 h_1 等于或大于 10 m 时，按步骤 8.1.1 至 8.1.6。

步骤 8.1.1：应用附件 5 第 4.1 节中给出的方法确定低端和高端标称高度 h_1 的值。如果 h_1 值与标称值 10、20、37.5、75、150、300、600 或 1 200 m 之一相符，则该值应看做是低端标称高度值 h_1，而不需要步骤 8.1.6 的内插处理。

步骤 8.1.2：对于低端标称值 h_1，按步骤 8.1.3 至 8.1.5。

步骤 8.1.3：对于低端标称距离值，按步骤 8.1.4。

步骤 8.1.4：对于所需距离 d 和发射/基站天线高度 h_1，对代表性散布物高度 R 处的接收/移动台天线得到超出 50%位置点的场强。

步骤 8.1.5：如果所需距离与低端标称距离不相符，则对高端标称距离重复步骤 8.1.4，并应用附件 5 第 5 节中给出的方法对该距离上的两个场强进行内插。

步骤 8.1.6：如果所需发射/基站天线高度 h_1 不符合任一个标称值，则重复步骤 8.1.3 至 8.1.5，并应用附件 5 第 4.1 节中给出方法对 h_1 进行内插/外推。必要时，将结果限制于附件 5 第 2 节内给定的最大值上。

步骤 8.2：对于小于 10 m 的发射/基站天线高度 h_1，应用附件 5 第 4.2 节内给出的方法确定所需高度和距离处的场强。如果 h_1 小于零，则还应采用附件 5 第 4.3 节内给出的方法。

步骤 9：如果所需频率与低端标称频率不相符，则对高频标称频率重复步骤 8，并应用附件 5 第 6 节内给出的方法对两个场强进行内插或外推。必要时，将结果限制于附件 5 第 2 节内给定的最大场强上。

步骤 10：如果所需时间百分比与低端标称时间百分比不相符，则对高端标称时间百分比重复步骤 7 至 9，并应用附件 5 第 7 节内给定的方法对两个场强进行内插。

步骤 11：如果对混合路径做预测，则按附件 5 第 8 节内给出的逐步式程序。对于每一传播类型的路径要求采用步骤 6 至 10。注意如果路径的不同路段中存在冷海和暖海两者的分类，则所有海面路段应归为暖海。

步骤 12：如果可得到邻近陆地的接收/移动台天线上地形净空角方面的信息，则应用附件 5 第 11 节内给出的方法在接收机/移动装置上校正地形净空角的场强。

步骤 13：采用附件 5 第 13 节给出的方法计算由散射引起的场强的估计值，必要时相应调整最终的预测场强。

步骤 14：应用附件 5 第 9 节内给出的方法校正接收/移动台天线高度 h_2 的场强。

步骤 15：如果适用，应用附件 5 第 10 节内给出的方法对城市/城郊中的短路径添加校正项以减低场强。

步骤 16：如果对邻近陆地的接收/移动台天线要求得到不是 50%位置百分比的场强，则应用附件 5 第 12 节内给出的方法校正所需位置百分比的场强。

步骤 17：必要时，将得到的场强限制于附件 5 第 2 节内给定的最大值上。如果对小于 50%时间百分比已做出混合路径的场强计算，则需要通过在所有陆地场强值与所有海面场强值之间进行线性内插以计算最大场强值。这由下面的公式给出：

$$E_{max} = E_{fs} + d_s \, E_{se} / d_{total} \qquad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \qquad (40)$$

其中：

E_{fs}： 由附件 5 第 2 节内公式（2）给出的自由空间场强
E_{se}： 由附件 5 第 2 节内公式（3）给出的对海面路径上小的时间百分比的场强增强值
d_s： 海面路径总距离（km）
d_{total}： 总路径距离（km）。

步骤 18：如果需要，应用附件 5 第 16 节内给出的方法将场强转换成路径的等效基本传输损耗。

附 件 7

与 Okumura-Hata 方法的比较

Okumura-Hata 方法由下面的公式给出：

$$E = 69.82 - 6.16 \log f + 13.82 \log H_1 + a(H_2) - (44.9 - 6.55 \log H_1)\,(\log d)^b \qquad (41)$$

其中：

E： 1 kW e.r.p.的场强(dB(μV/m))

f： 频率（MHz）

H_1： 大地上方 30 m 至 200 m 范围内的基站天线有效高度（m）

H_2： 大地上方 1 m 至 10 m 范围内的移动站天线高度（m）

d： 距离（km）

$a(H_2) = (1.1 \log f - 0.7)\, H_2 - (1.56 \log f - 0.8)$

$b = 1$ 对于 $d \le 20$ km

$b = 1 + (0.14 + 0.000187\, f + 0.00107\, H_1')\,(\log\,[0.05\, d])^{0.8}$ 对于 $d > 20$ km

其中：

$$H_1' = H_1 / \sqrt{1 + 0.000007\, H_1^2}$$

对于距离远至 10 km，且 h_2=H_2=1.5 m、R=15 的情况，本建议书可得出类似于 Okumura-Hata 方法的结果。

附 件 8

对不同气候区域的调整

附件 2、附件 3 和附件 4 中给出的曲线基于在温和气候下进行的测量。在垂直大气层折射率梯度有着显著不同的世界各区域内，一般不能相当精确地预测场强。

下面的方法可应用到 IUT-R P.453 建议书中的垂直折射率梯度资料上，以校正附件 2、附件 3 和附件 4 内的曲线，供世界上任何地方使用。ITU-R P.453 建议书中的数据文本给出最低 65 m 大气层下负值的折射率梯度，单位为 N 基数/km。

为实现对此的调整，将附件 2、附件 3 和附件 4 中的曲线考虑为表明参考梯度值 dN_0，它由下面的公式给出：

50％以上时间的场强：$dN_0 = -43.3$ N 基数/km （42a）

10％以上时间的场强：$dN_0 = -141.9$ N 基数/km （42b）

1％以上时间的场强：$dN_0 = -301.3$ N 基数/km （42c）

为了对世界上不同的无线电气候区域调整场强曲线族，如下地计算梯度差值ΔN：

$$\Delta N = dN_0 - dN \qquad (43)$$

其中：

dN：从 ITU-R P.453 建议书的数据文本中分别对于 50％、10％和 1％时间的 DNDZ_50.TXT、DNDZ_10.TXT、DNDZ_01.TXT 内得到的待调整曲线上时间百分比的梯度；

dN_0：公式（37）中给出的待调整曲线上时间百分比的参考梯度。

对于任何距离 d(km)，如果 dN 小于–301.3，则由下面的公式对最大场强添加一个调整量：

$$\delta E_{max} = 0.007\,(-301.3 - dN)\,\{1 - \exp(-d/50)\}\,\exp(-d/6\,000) \quad \text{dB} \qquad (44)$$

注意如果 dN 大于或等于–301.3，则对最大场强不做改动。计算由下面的公式给出的标度系数 K：

$$K = 14.94 - 6.693 \times 10^{-6}\,(1\,494 - \Delta N)^2 \qquad \Delta N > 0 \qquad (45a)$$

$$= 0.08\,\Delta N \qquad \Delta N \leq 0 \qquad (45b)$$

对于待调整的曲线族中的最低曲线，也即 h_1=10 m 的曲线，添加的调整量δE_1由下面的公式给出：

$$\delta E_1 = K \{1 - \exp(-d/50)\} \exp(-d/6\,000) \qquad \text{dB} \tag{46}$$

必要时，必须如下地限制δE_1的数值：

— 必须限制δE_1，以使调整的场强不超出调整的最大场强。

— 如果ΔN大于零，则必须限制δE_1，以使调整的最大值与 h_1=10 m 场强之间的差值不大于未调整曲线中的值。需要指出，当ΔN小于零时，不适用本限制条件。

对其他的 h_1 值调整场强时，像未经过调整的曲线中对应的场强那样，应使其他 h_1 值的场强在最大场强与 h_1=10 m 场强之间占有同样的比例位置，应用的公式如下：

$$E'_n = E'_1 + (E_n - E_1)\,(E'_{max} - E'_1) / (E_{max} - E_1) \tag{47}$$

其中：

E_1： h_1=10 m 时的场强

E_n： h_1>10 m 时的场强

E_{max}： 最大场强

带撇号的值表示调整后的数值。