

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R P.368-10 建议书
(08/2022)

**频率在10 kHz和30 MHz间的
地波传播曲线**

P 系列
无线电波传播



国际电信联盟

前言

无线电通信部门的作用是确保所有无线电通信业务，包括卫星业务，合理、公平、有效和经济地使用无线电频谱，并开展没有频率范围限制的研究，在此基础上通过建议书。

无线电通信部门制定规章制度和政策的职能由世界和区域无线电通信大会以及无线电通信全会完成，并得到各研究组的支持。

知识产权政策（IPR）

ITU-R的知识产权政策在ITU-R第1号决议引用的“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策”中做了说明。专利持有者提交专利和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh>获得，该网址也提供了“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策实施指南”以及ITU-R专利信息数据库。

ITU-R建议书系列

（可同时在以下网址获得：<http://www.itu.int/publ/R-REC/zh>）

系列	标题
BO	卫星传输
BR	用于制作、存档和播放的记录；用于电视的胶片
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电测定、业余无线电以及相关卫星业务
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	卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和标准频率发射
V	词汇和相关课题

注：本ITU-R建议书英文版已按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版物
2023年，日内瓦

© 国际电联 2023

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段翻印本出版物的任何部分。

ITU-R P.368-10建议书

频率在10 kHz和30 MHz间的地波传播曲线

(1951-1959-1963-1970-1974-1978-1982-1986-1990-1992-2005-2007-2022年)

范围

本建议书提供了场强以及由于地波在30 MHz以下频率传播，场强取决于地面特性的信息。

关键词

地波传播、低频、高频

相关ITU-R建议书和手册

ITU-R P.341建议书

ITU-R P.525建议书

ITU-R P.526建议书

ITU-R P.527建议书

ITU-R P.684建议书

ITU-R P.1321建议书

无线电气象学手册（2013版）

注 – 应使用最新修订版的建议书/手册。

附件1和2中的符号清单

ϵ_r 相对介电常数

λ 波长

σ 电导率

L_b, A_i 基本传输损耗

E 电场强度

k 波长号

S_i 第*i*节

d_i 第*i*节的长度

σ_i 第*i*节的电导率

ϵ_i 第*i*节的相对介电常数

E_R 从接收器计算的电场强度

E_T 从发射器计算的电场强度

E_X 混合路径上的电场强度

国际电联无线电通信全会，

考虑到

由于地波场强计算复杂，有一套适用于10 kHz至30 MHz频率范围任意地面特征的地波曲线预测方法是有用的，

作出建议

1 适用于下面规定条件的附件1的预测方法集成软件，应当用于确定频率在10 kHz和30 MHz间的地波场强；

2 这些方法一般只应在已知电离层反射幅度可以忽略时用来确定场强；

3 这些方法不能用于接收天线位置远高出地球表面的情况；

注1 – 这就是说，当 $\epsilon_r \ll 60 \lambda \sigma$ 时，此预测方法可以使用到的最大高度为 $h = 1.2 \sigma^{1/2} \lambda^{3/2}$ 。终端高达3000 m以及频率达10 GHz的传播曲线可以在单独出版的“ITU无线电波在地球表面上的传播曲线手册”中找到。

4 这些预测方法，也可以用来确定附件2指出的那种混合路径上的场强。

附件 1

10 kHz至30 MHz频率的地波场强

本建议书中的预测方法适用于以下条件：

- 光滑均匀球形地面；
- 频率在10 kHz至30 MHz；
- 在对流层，假设折射指数随高度线性下降；
- 发射和接收天线两者位于或接近地表；
- 辐射单元为位于全导电平地面的短垂直单极子（辐射功率1 kW），1公里距离处的场强为300 mV/m。相当于300 V的波动势（见ITU-R P.525建议书）；（参考ITU-R P.341建议书的表1，见其他参考天线的场强）；
- 发射器与接收器之间的距离为大圆的距离；
- 预测方法给出辐射场的垂直场强分量的值，即可在天线的远场区测量的量。

该预测方法的软件实现是本建议书不可分割的一部分，见压缩文件[R-REC-P.368-10-202208-1!!ZIP-E.zip](#)。

注1 – 相应于计算这些曲线的同样条件的基本传输损耗，可用下式由场强值 $E(\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}))$ 得到：

$$L_b \equiv A_i = 142.0 + 20 \log f_{\text{MHz}} - E \quad \text{dB}$$

关于环境对发射和接收天线两者的影响，参见ITU-R P.341建议书。

注2 – 即使在位置间距离远小于至发射机的距离的情况下，地面真实电气特性和接收条件也不尽相同。在许多情况下，附近位置信号电平的差别呈对数正态分布，标准偏差在3-4dB范围之内，平均约3.5dB。

地波场强会随着季节温度变化而改变。对500-1000 kHz的地波，其冬天和夏天月中场强之间的年平均差值在5 dB（在北半球一月平均气温+4度的地方）到15 dB（在北半球一月平均气温-16度的地方）之间。在欧洲大陆150至280 kHz间的频率上也观测到了季节性的变化。在150至280 kHz间的频率上发生的变化随着频率和距离单调变化，在1 000-2 000公里的距离上可达10-20 dB（参见ITU-R P.1321建议书）。

注3 – 此方法给出距离 r 处的总场强，当 kr 大于10时，误差小于1 dB，其中 $k=2\pi/\lambda$ 。近场（即静态感应场）效应可以通过将场强（以分贝计）增加一个量而包括在内，这个量为：

$$10 \log \left\{ 1 - \frac{1}{(kr)^2} + \frac{1}{(kr)^4} \right\}$$

这给出总场，其精度对海面 and 湿地面来说为 ± 0.1 dB，对电导率大于 10^{-3} s/m的任何地面来说为 ± 1 dB。

注4 – 对于两个天线中的随便哪一个，如果该天线位置高于沿天线间的路径的平均地形高度，那么，有效天线高度就是高于该沿路径的平均地形高度的天线高度。这个有效天线高度值应与建议3中的天线高度极限的计算值相比较，以确定这些曲线是否适于该路径。

图1和2是作为距离函数的场强曲线的输出示例，频率是一个输入参数。

图1

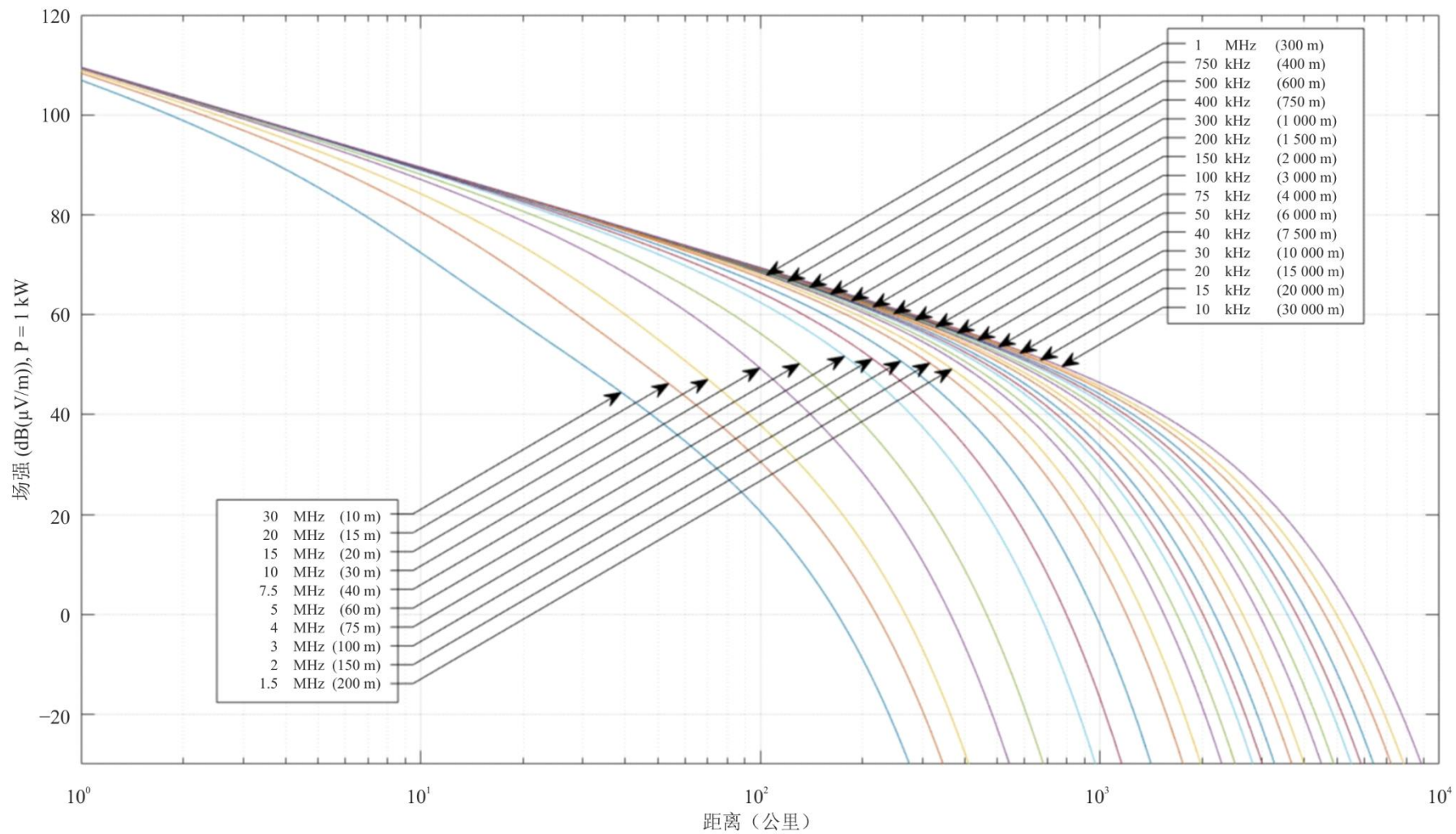
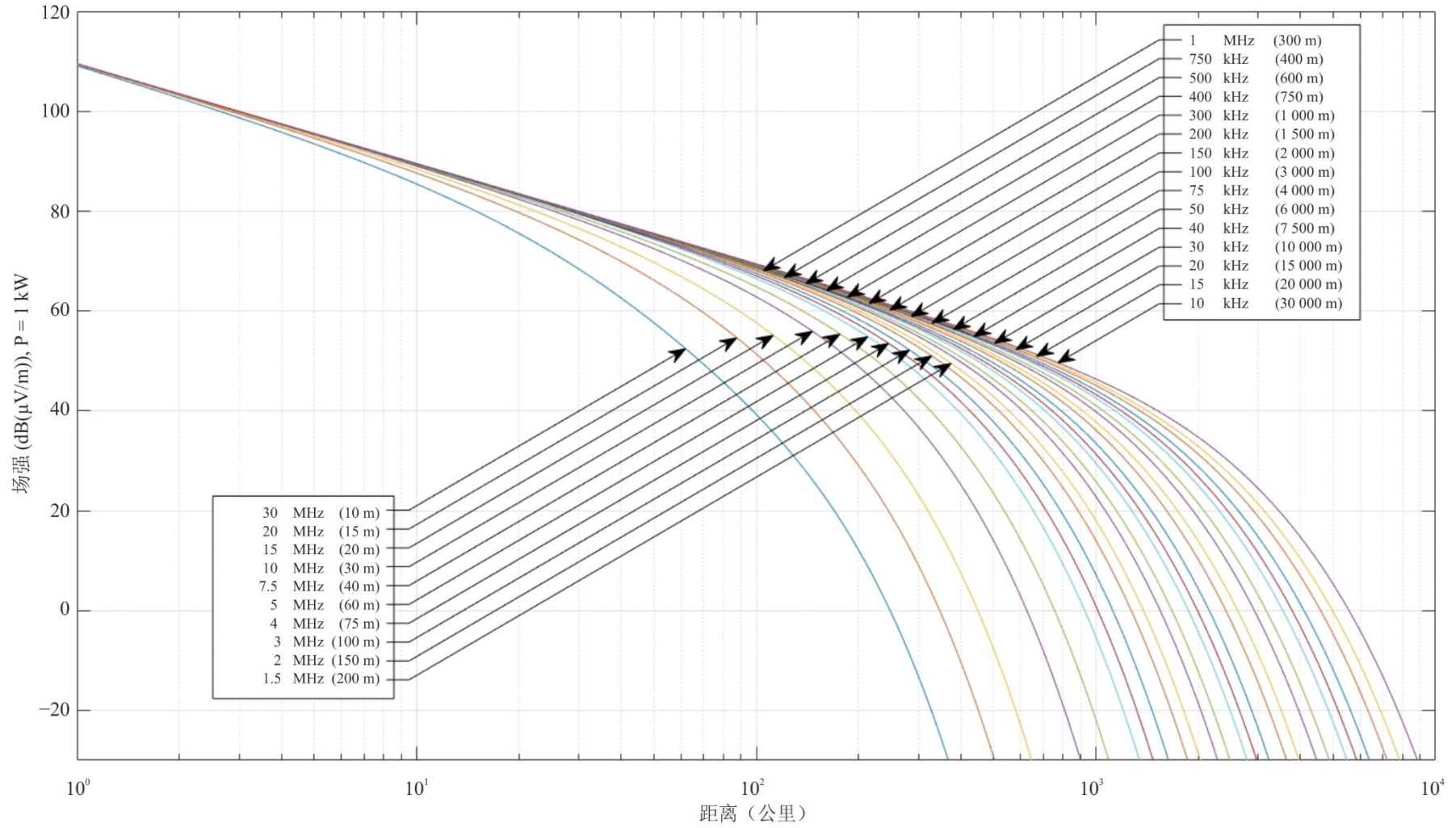
LFMF地波传播曲线：海水，低盐度， $\sigma = 1 \text{ S/m}$ ， $\epsilon_r = 80$ 

图2

LFMF地波传播曲线：海水，平均盐度， $\sigma = 5 \text{ S/m}$ ， $\epsilon_r = 70$



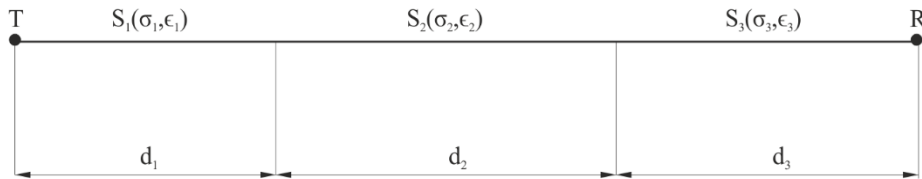
附件 2

对于混合路径的应用（非均匀路径）

1 本附件中的方法可以如下所述用于确定混合路径（非均匀光滑路面）上的传播：

这种路径可能由长度为 d_1 、 d_2 、 d_3 等、电导率和介电常数为 σ_1 、 ϵ_1 ； σ_2 、 ϵ_2 ； σ_3 、 ϵ_3 等的区段 S_1 、 S_2 、 S_3 等组成，三区段情况如图3所示：

图3
混合路径的示例



P.0368-03

在用于确定混合路径上的传播方法中，本附件中用到的Millington方法最为精确，并满足互易条件。本方法假定，对于各别均匀的 S_1 、 S_2 、 S_3 等区段中不同类型的地形，场强 E 都可以得到，这些曲线全都对于相同的、比如由一给定的逆距离曲线所确定的波源 T 。对于其他任何波源的值，最终都可以折算出。

对于给定的频率，计算区段 S_1 在距离 d_1 处的场强值 $E_1(d_1)$ （单位： $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ ）。类似地，为截面 S_2 计算场强 $E_2(d_1)$ 和 $E_2(d_1 + d_2)$ ；并且为截面 S_3 计算场强 $E_3(d_1 + d_2)$ 和 $E_3(d_1 + d_2 + d_3)$ 。

然后，计算场强 E_R ：

$$E_R = E_1(d_1) - E_2(d_1) + E_2(d_1 + d_2) - E_3(d_1 + d_2) + E_3(d_1 + d_2 + d_3) \quad (1)$$

E_T 的场强使用正式计算：

$$E_T = E_3(d_3) - E_2(d_3) + E_2(d_3 + d_2) - E_1(d_3 + d_2) + E_1(d_3 + d_2 + d_1) \quad (2)$$

则混合路径 E_X 要求的场强为：

$$E_X = \frac{E_R + E_T}{2} \quad (3)$$

图4和5作为距离函数的场强曲线的示例输出，地面电特性是一个输入参数。

图 4
不同 σ 和 ϵ_r 值下的LFMF地波传播, $f=30$ kHz

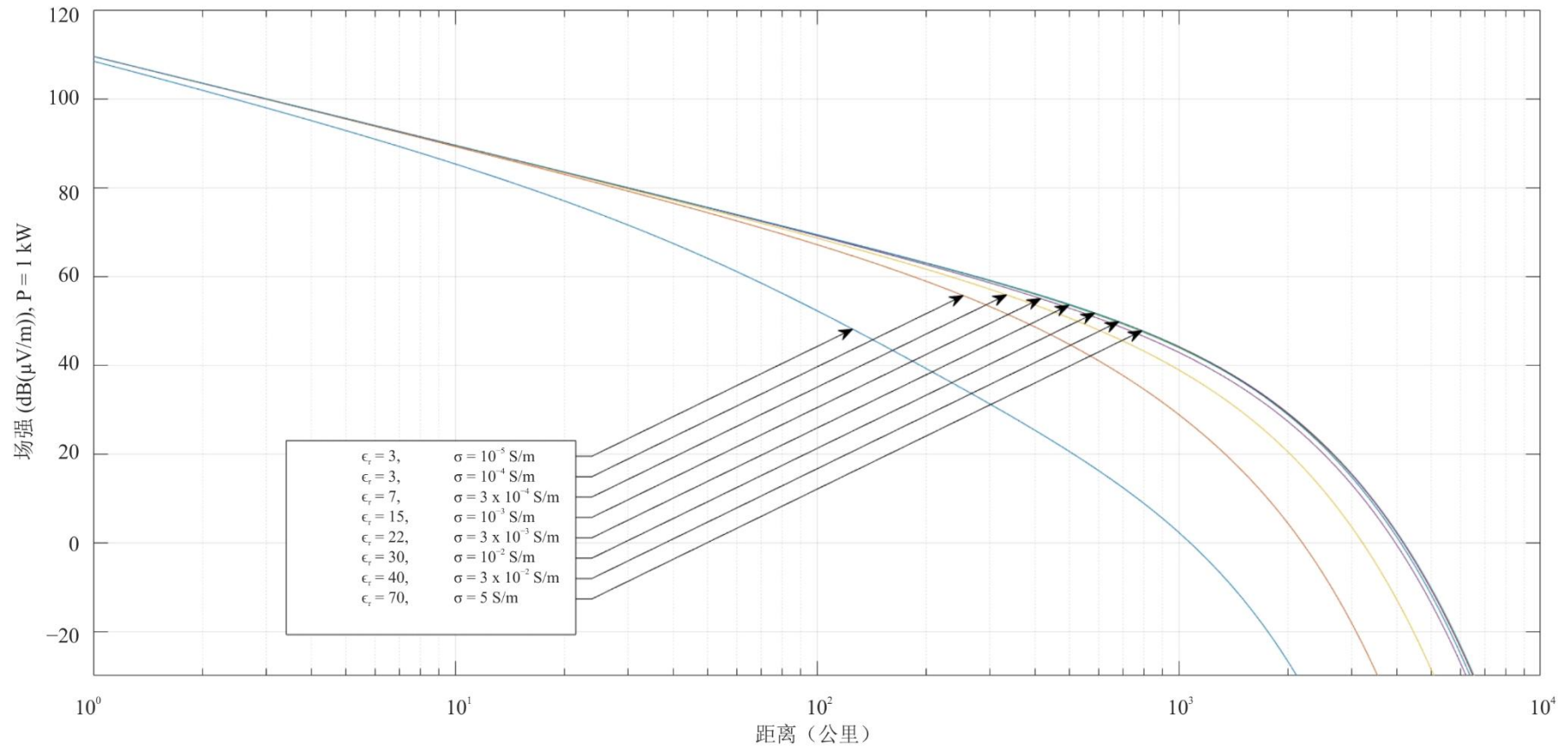


图 5

不同 σ 和 ϵ_r 值下的LFMF地波传播, $f=60$ kHz