

中华人民共和国国家标准

工业过程测量和控制装置的电磁兼容性 辐射电磁场要求

GB/T 13926.3—92

Electromagnetic compatibility for industrial-
process measurement and control equipment
—Radiated electromagnetic field requirements

本标准等效采用 IEC 801—3《工业过程测量和控制装置的电磁兼容性 第3部分 辐射电磁场要求》(1984年版)。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了工业过程测量和控制装置对辐射电磁场敏感性试验的严酷等级和试验方法。
本标准适用于评定工业过程测量和控制装置对辐射电磁场的敏感性。

2 术语

2.1 天线 antenna

一种将信号源传来的射频功率发射到空间,或者截取到达的电磁场,并将该电磁场转换成电信号的变换器。

2.2 宽频带发射 broad-band emission

具有足够宽的、均匀的和连续的频谱能量分布的一种发射。这样当测量接收机在规定的接收机脉冲带宽范围内调谐时,其响应的变化不会太大。

2.3 传导发射 conducted emission

沿导体传送的有用的或无用的电磁能。这种发射如果是无用的则称作“传导干扰”。

2.4 连续波 continuous waves(C. W.)

在稳态条件下,其连续振荡是恒定的电磁波。为了传递信息,可以将它中断或调制。

2.5 性能下降 degradation

在敏感性试验中,由于电磁干扰造成试验样品工作性能发生非期望的变化。但这并不一定意味着工作不正常或严重故障。

2.6 偶极天线 dipole

由一根直形导体(通常其长度不大于半个波长)形成的天线,在其电中心处对开以连接馈线。

2.7 电磁波 electromagnetic wave

以电场和磁场振荡为特征的电荷振荡所产生的辐射能。

2.8 发射 emission

从一个源经辐射或传导而传播出的电磁能。

2.9 远场 far field

天线发出的功率通量密度大致能满足距离平方倒数的那个区域。

对于偶极天线来说,这相当于大于 $\lambda/2\pi$ 的距离,其中 λ 是辐射的波长。

国家技术监督局 1992-12-17 批准

1993-06-04 实施

2.10 场强 field strength

“场强”一词仅适用于远场中的测量,通常指电场矢量的大小,一般用 V/m 来表示。

注:在近场测量中,应根据测量的是合成电场还是合成磁场,分别使用“电场强度”或“磁场强度”一词。

2.11 感应场 induction field

存在于距离 $d < \lambda/2\pi$ 内的主要电场和(或)磁场, λ 为波长。

2.12 各向同性 isotropic

具有所有方向上等值的特性。

2.13 单极天线 monopole

一种由直接垂直安装在反射平面(底板)上的直导体(通常其长度不大于波长的 1/4)组成的天线,其根部接馈线,作用及其反射酷似偶极。

2.14 极化 polarization

用以表示辐射场电场矢量方向的术语。

2.15 辐射发射 radiated emission

空间的辐射场和感应场分量。

2.16 辐射 radiation

信号与干扰以非传导的方式从源向外的传播。

2.17 无线电环境 radio environment

在任何指定的场所内,由认可的正常工作的发射机产生的无线电发射的综合效应。它有场强的量纲,并随频带、地理位置及时间的变化而变化。

2.18 射频干扰 radio-frequency interference (R. F. I.)

射频干扰指的是射频带内的电磁干扰。

2.19 屏蔽室 shielded enclosure

专门为隔绝内部与外部电磁环境而设计的屏栅或整体金属护罩。

其目的在于防止外部环境电磁场引起内部电磁环境的变化,并防止发射引起对外部环境的干扰。

2.20 带状线 stripline

产生试验用电磁场的平行板传输线。

2.21 寄生辐射 spurious radiation

电气装置发出的不希望有的电磁发射。

2.22 扫频 sweep

在整个频率范围内频率连续地来回变动。

2.23 收发信机 transceiver

置于同一机壳内的无线电发射和接收设备的组合体。

3 严酷等级

频率范围:27~500 MHz。

等 级	试验场强 V/m
1	1
2	3
3	10
x	特定

注: x 是一个未定等级,由用户与制造厂商定或由制造厂加以规定。

4 试验方法的选择

本部分列出的试验方法是进行电磁干扰辐射敏感性试验时常用的试验方法。由于产生的场强达到一定等级,试验必须在屏蔽室内进行,以便符合我国和国际上有关禁止干扰无线电通讯的条文的规定。此外,在敏感性试验时,由于大多数的测试设备对周围环境中的电磁场很敏感,屏蔽室可以作为在被试装置与测试设备之间设置起一道必要的“屏蔽”。并需注意保证穿入屏蔽室的连接电缆足以衰减传导发射和辐射发射,同时保护被试装置信号和功率响应的完整性。

4.1 屏蔽室

使用屏蔽室会产生驻波并可能引起测量误差。

但是通过比较各种可替代的方法(如电波暗室、横电磁波(T. E. M.)室、混波室、户外天线场、带状线等),保留了使用屏蔽室的方法,因为它是广泛应用于辐射测量的最有效手段。

由于敏感性多数是在较宽的频带下出现的,因此在多数情况下对数据采用定性分析比较合适,如果辐射场峰值在 150 MHz 时,引起电子设备工作异常,则在不同屏蔽室内试验时,装置很可能在 145 MHz 或 155 MHz 或者在 150 MHz 附近某一点上发生工作异常。对于窄频带装置(如低能级内部振荡器)来说,在被试装置处和振荡器频率下,可能会产生一个辐射场为零的显然可忽略的影响。而该装置实际上可能是敏感的。在试验样品旁边放置一个或若干个监测天线可以减小场强的大范围偏离。在遇到峰值和零时,场强可以重调到所需等级。驻波的影响可以利用屏蔽室的几何形状、除去室内不必要的物体和局部消声罩等方法加以控制。

最后,应根据当时现场环境电磁场等级和特定的工作频率对试验数据作出定性评估。例如,如果装置现场的工作通信频率是 450 MHz,则在 75 MHz 时装置的敏感性就不重要了。

4.2 电波暗室

电波暗室是一种专门设计的暗室,其墙壁和天花板均装有吸波材料,能吸收入射的电磁波,不会因屏蔽壁的反射而引起测量误差。电波暗室是辐射电磁场试验的最理想测试场地,但造价较高。

4.3 带状线电路

平行带状线是由于相距为 h 的两块平行板组成,平板两端接有匹配负载,保证整个平行板间的内部电磁场均匀分布。

这种装置适用于较小的物体(带状线尺寸 h 的 $1/3$)。对于尺寸较大的物体会引起电磁场的不均匀。由于该结构不起屏蔽作用,易受周围电磁环境影响,同时也辐射电磁场,故应在屏蔽室内使用。

注:①除了第4章叙述的试验方法外,也可使用其他方法。这些方法的使用实例列于附录A。

②场强测量——为了形成所需的场强,经常利用一个接收天线,然后再用被试装置代替。但采用这种方法所需时间太长。并且用被试装置代替接收天线会搅乱原来的场。因此推荐采用连续监视场强不断调整功率等级的方法。

5 试验设备

推荐采用下列试验设备:

- a. 屏蔽室或电波暗室:大小应与图1、图2规定的保持间距相适应。
- b. 带状线电路(27~500 MHz)。
- c. 信号源——能覆盖整个频率范围,并具有0.005倍频程每秒(1.5×10^{-3} 十倍频程每秒)或稍低的自动扫频能力的信号发生器。
- d. 功率放大器——在信号源功率较小时,放大信号并激励天线。
- e. 天线:
 - 双锥天线:27~200 MHz;
 - 圆锥对数螺旋天线:200~500 MHz;

或其他能满足频率要求的天线系统。

f. 场强监视器

具有各向同性的场强探测器。

g. 监视输出和为试验样品提供工作动力和信号的辅助装置。

注：只要能证明符合所需的条件，可以采用其他装置，形成和控制电磁场。

6 试验配置

本部分规定的试验程序要求产生一个电磁场，将试验样品置于此电磁场中并观察其工作。为了产生能用以模拟实际(现场)条件的场，需要有效的天线激励功率和合成的高场强等级。为了符合当地的规定，防止对试验人员造成人体危害，建议在屏蔽室或电波暗室内进行这些试验。

但是，在使用屏蔽室时，由于室壁反射辐射能，这给建立和保持所需的场强造成了困难。反射将导致屏蔽室内形成场强的强化(峰值)或抵消(零值)。为了减少被试装置附近实际场强的不确定度，可使用一个或若干个场强监视器。屏蔽室的大小应与被试装置相匹配，以便对建立的各场强加以适当的控制。

装置的全部试验都应在尽可能接近于安装的条件下进行，除另有规定外，导线的铺设应符合制造厂推荐的程序，装置应置于机壳内，所有盖子和观察板均应安放就位。

如果装置是设计成安装于仪表盘、架和柜的，则应按此种结构进行试验。

如果未对装置的进线和出线加以规定，应使用不加屏蔽的双芯绞合线，并从被试装置连接点起留出1 m长的线暴露在电磁辐射下，然后将导线同电磁干扰滤波器连接，再用屏蔽导线与屏蔽室外的测试设备相连接。

暴露的1 m长导线用以模拟机架布线的格局，即沿着被试装置的一侧铺设，然后再向下或向上(以便利于试验人员)。水平或垂直排列有助于保证最差的条件。

6.1 屏蔽室和电波暗室(图1、图2)

被试装置放置在屏蔽室中央的木桌上，如果被试装置是架式装置，可将它直接放在地上，但要加以绝缘，防止金属接触。

辐射天线放置在距被试装置正面至少1 m处。

不要求采用特殊的底板，如果试验样品需要一器具支撑，该器具必须用非金属材料制成。装置外罩或机壳的接地应符合制造厂推荐的安装方法。

6.2 带状线电路(图3、图4、图5和图6)

小型的装置(25 cm×25 cm×25 cm)可以放在带状线电路中进行试验。试验装置置于带状线立方体中央的泡沫塑料支架上，被试装置应在三个不同的方向上进行试验。

装置的全部试验应在尽可能接近于安装的条件下进行。布线应符合制造厂推荐的程序。

为了适当地保护被试装置的信号和电源线，减少容易影响外部试验仪表的传导干扰(建议在外部导线上采用铁氧体环)，带状线的顶部要求有一个滤波器(图5)。

只要能产生合适的场并且检验合格，也可以采用其他的建场方法和其他监测方法。

7 试验程序

试验程序以使用双锥天线、圆锥对数螺旋天线或其他相应天线以及带状线电路为依据。

7.1 实验环境条件

为了使环境参数对试验结果的影响减至最小，试验应在7.1.1条和7.1.2条规定的大气和电磁环境条件下进行。

7.1.1 大气条件

在无其他技术要求或用户与制造厂间无协议情况下，大气条件应符合下列要求：

环境温度：15～35℃；

相对湿度:45%~75%;

大气压力:68~106 kPa。

7.1.2 电磁条件

实验室的电磁环境不得影响试验结果。

7.2 屏蔽室

被试装置放在屏蔽室中央的木桌上。然后根据相应的安装说明接上电源线和信号线。

双锥天线和对数螺旋天线放置在距被试装置 1 m 处,以便能在 27 MHz 至 500 MHz 的整个频率范围内扫频,而无需在 200 MHz 的交越频率上改变天线的位置。在调整相应天线辐射的连续波时,利用放在被试装置顶部或者放在被试装置旁边的场强计确定所需的场强,并通过屏蔽室外远程场强指示仪监视场强。

试验通常在天线对准被试装置最敏感的一侧时进行。双锥形天线产生的场的极化需要在每一个试品的位置上测量二次。一次在天线处于垂直位置时进行,另一次在天线处于水平位置时进行。对数螺旋形天线产生的是圆形极化场,就不必改变天线的位置。

在上述每一种条件下,频率范围从 27 MHz 扫描到 500 MHz,扫频速率为 1.5×10^{-3} 十倍频程每秒;暂停时,调整射频信号电平或转换振荡器和天线。对敏感频率或其他具有重要意义的频率可以单个地进行分析。

7.3 带状线电路

被试装置放置在带状线中央的泡沫塑料支撑物上,根据图 3 接上电源线和信号线,带状线放置在距四壁和任何金属外壳 2 m 处,以防反射。电源线和信号线通过带状线顶部的滤波器连接到被试装置。在带状线外,电源线和信号线至少有 0.5 m 呈垂直布线,然后导线水平地延续到处于较低位置的有关设备。这些有关设备置于距带状线轴线 2 m 处。

所需的场强通过用一电压表,接在带状线输入端的同轴 T 型接头上,读出两块平行板之间的电压,并将该读数值用校正系数换算成场强来确定。

当采用各向同性的测试天线在被试装置的预期位置上测量时,带状线的校正系数可以看作带状线的输入电压与场强之间关系的频率响应。

试验在被试装置最敏感的方向上进行。扫描频率范围从 27 MHz 到 500 MHz,在调整射频信号电平时暂停扫频。扫频速率为 1.5×10^{-3} 十倍频程每秒。

7.4 试验结果的评定

被试装置和系统的种类繁多,差异很大。因此,很难为评定电磁辐射对装置和系统的影响订一个通用的评定准则。

试验结果可以根据被试装置的工作条件和功能规范按下列性能准则加以分类:

- a. 在规范极限内性能正常;
- b. 功能或性能暂时降低或丧失,但能自行恢复;
- c. 功能或性能暂时降低或丧失,但需操作者干预或系统重调;
- d. 因装置(元件)损坏而不可恢复的功能降低或丧失。

对于验收试验,试验大纲和试验结果的分析应符合有关标准或文件的规定。

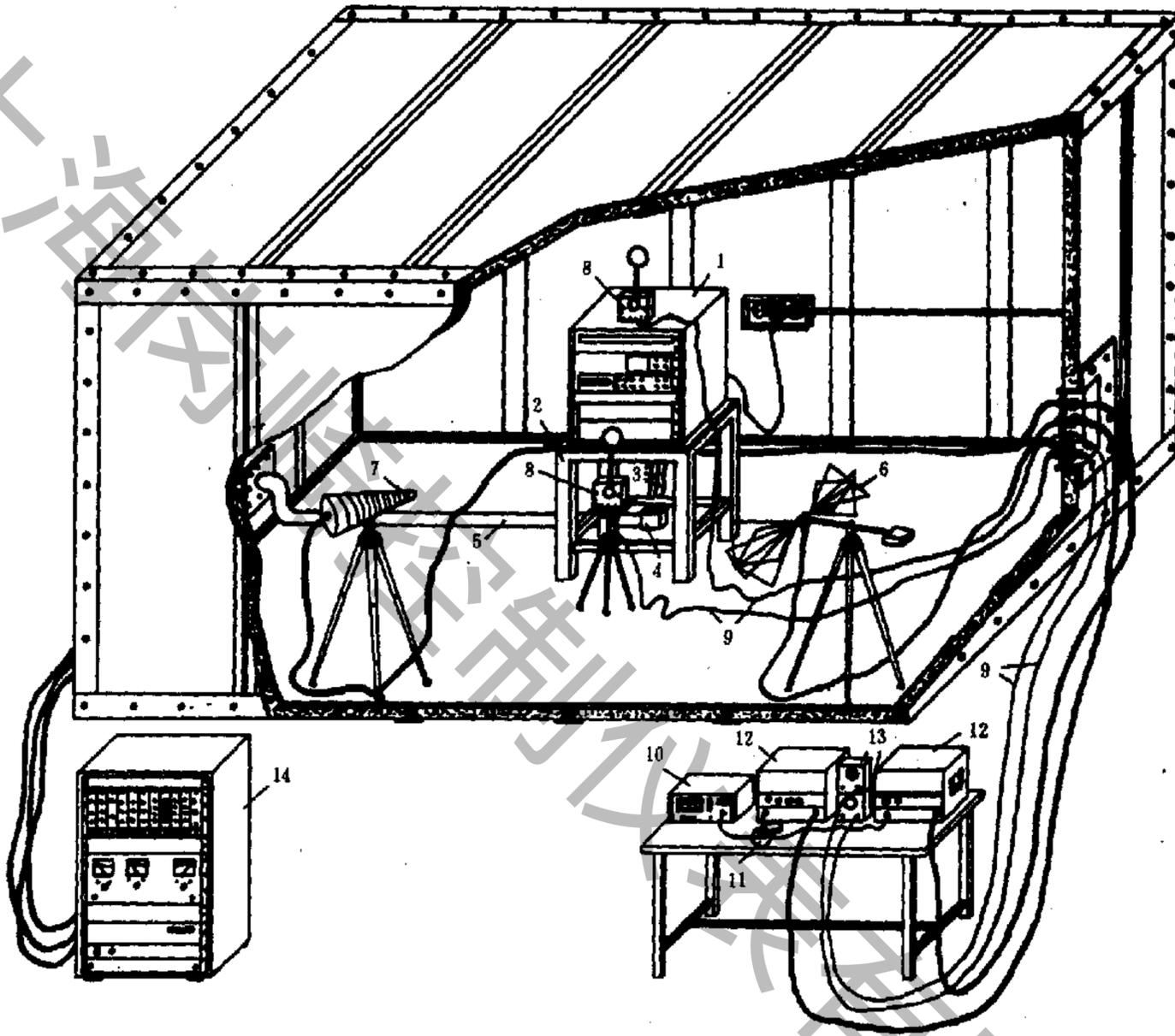


图1 屏蔽室内辐射电磁场试验的试验配置(天线、场强监视器和被试装置在室内,测量仪表和辅助装置在室外)

1—被试装置;2—木桌(高1 m);3—1 m长无屏蔽双心绞合线;4—滤波器或信号适配电路;5—接线用金属管;6—27~200 MHz 天线;7—200~500 MHz 天线;8—场强计(具有各向同性响应);9—光纤耦合线;10—信号发生器;11—同轴开关;12—覆盖整个试验频率范围的功率放大器;13—场强计显示器;14—操作被试装置用的测量仪表和装置模拟器(如需要)

注:每个天线都必须放置在距离被试装置1 m和距离任何金属室体表面2 m处。

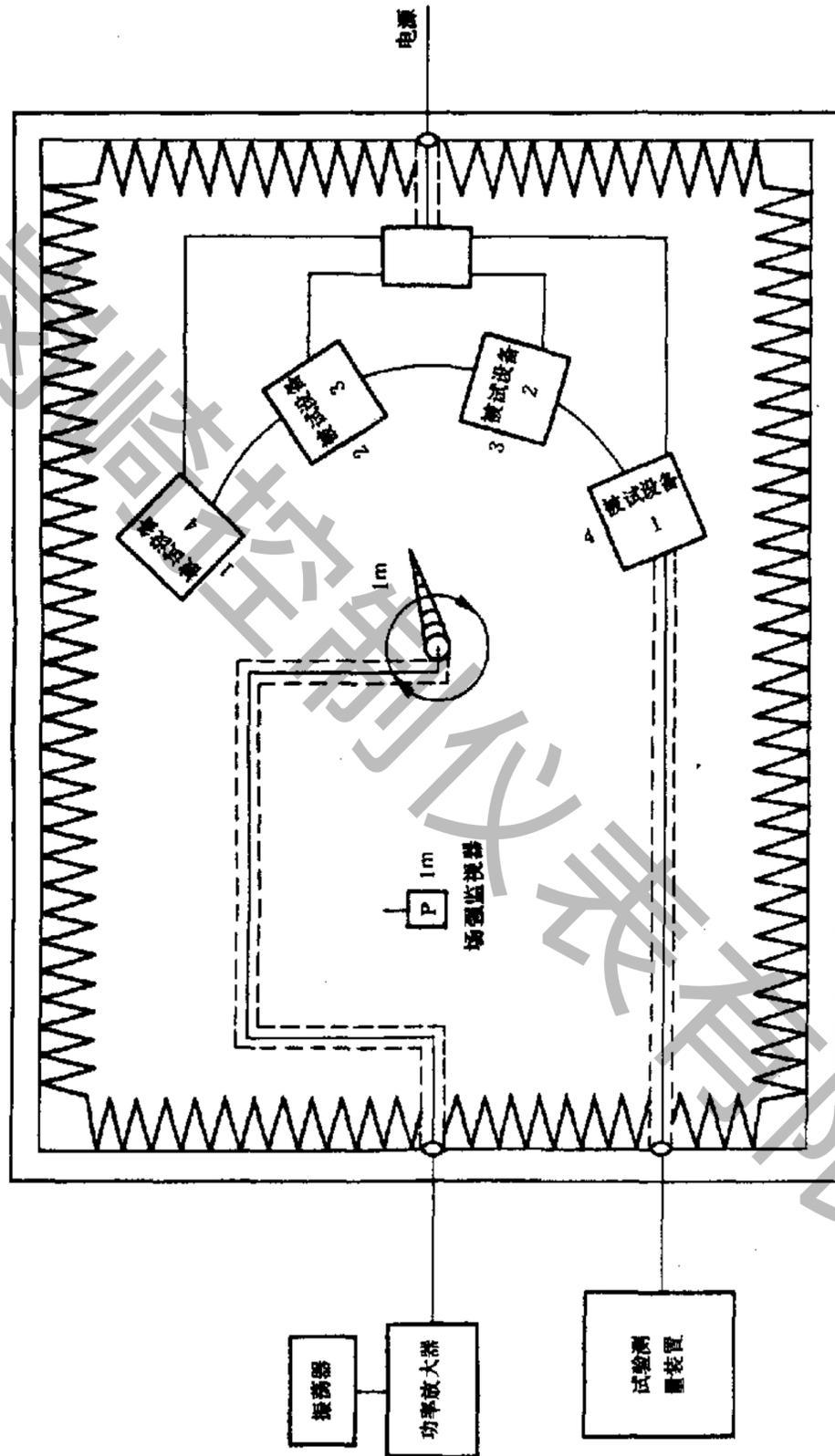


图2 电波暗室内辐射电磁场试验用试验配置
(被试装置、场强监视器和天线的排列方法)

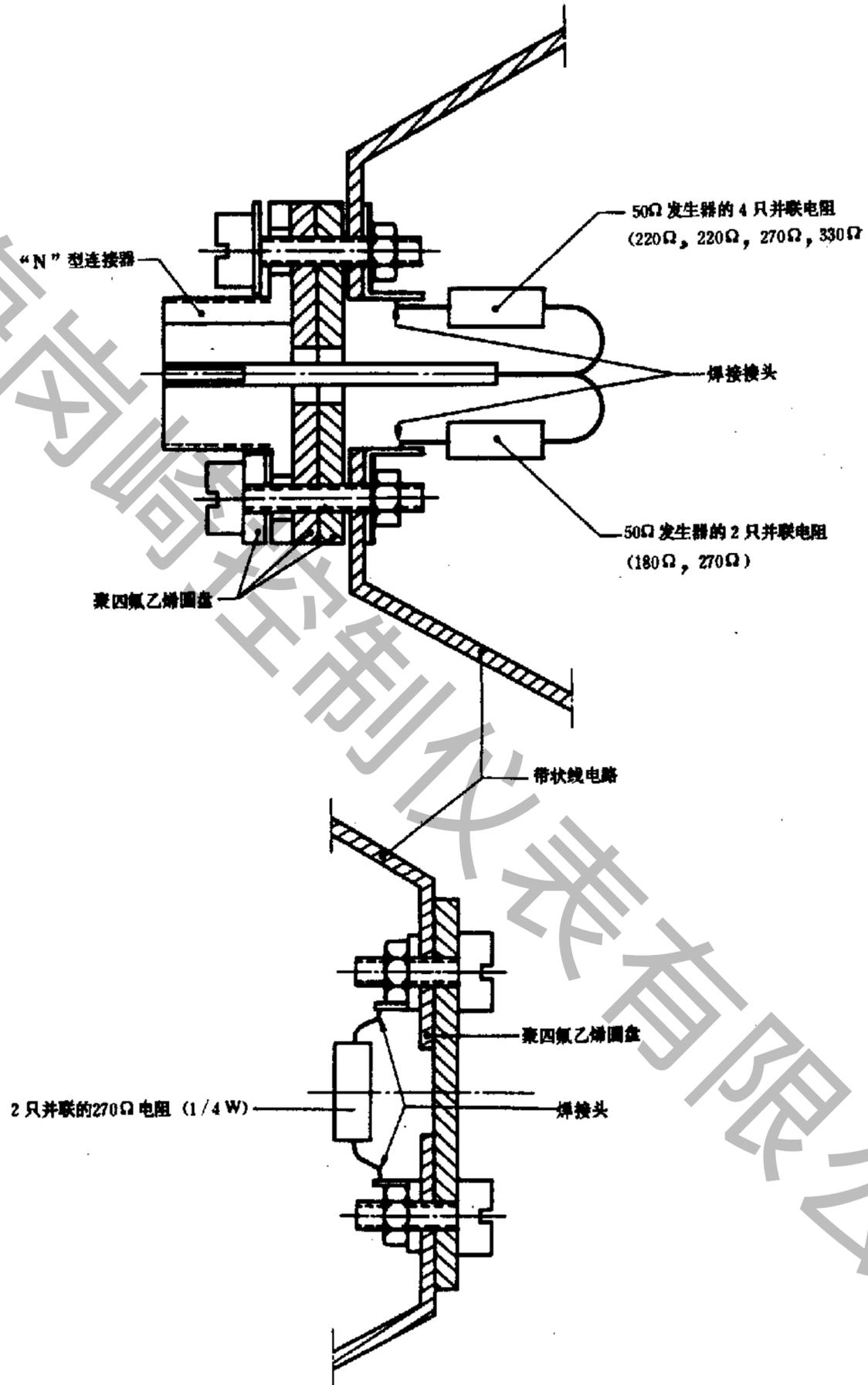


图 4 带状线电路详图(所有电阻均为非感性的碳电阻(2 W))

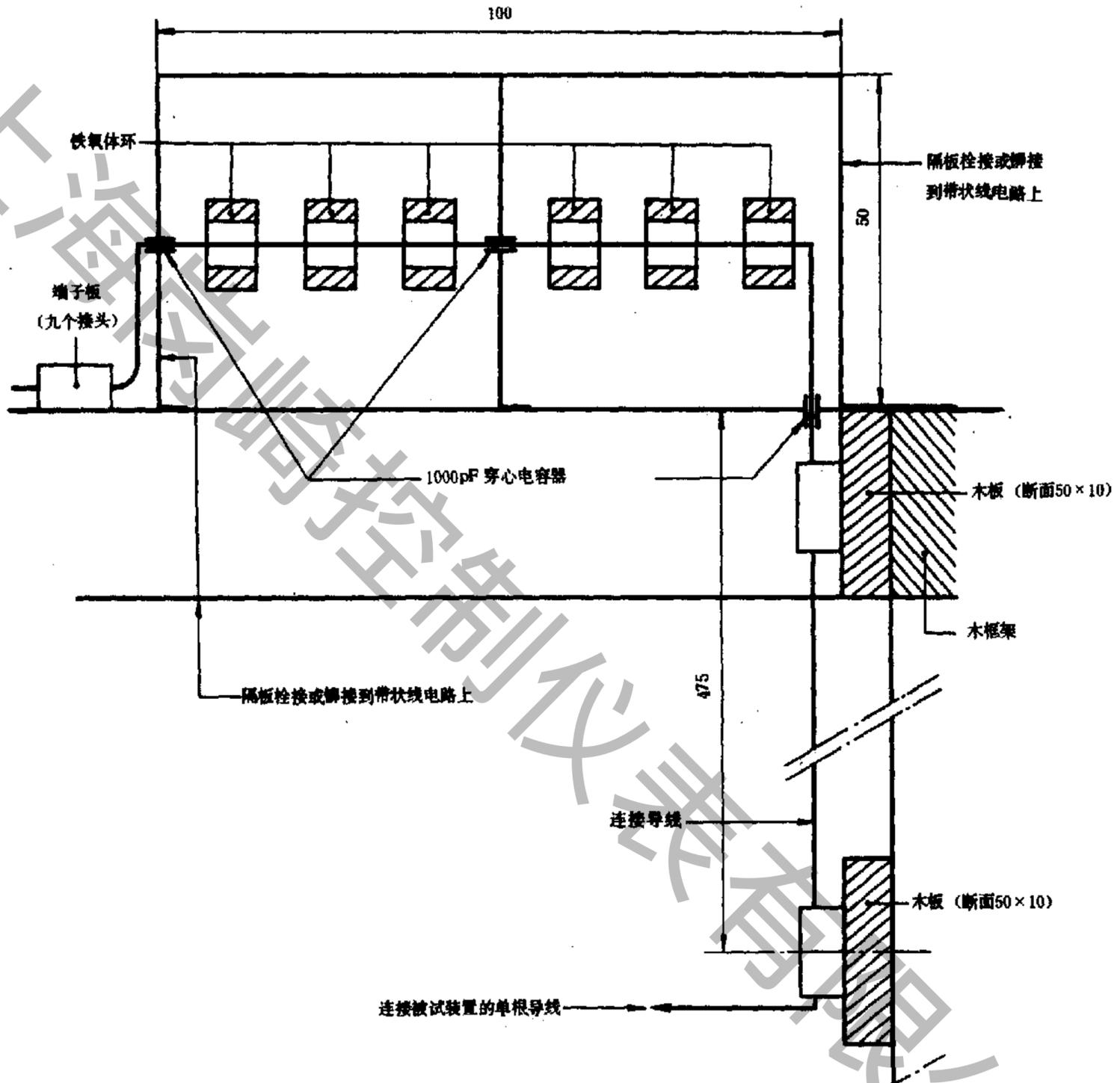


图5 带状线电路详图

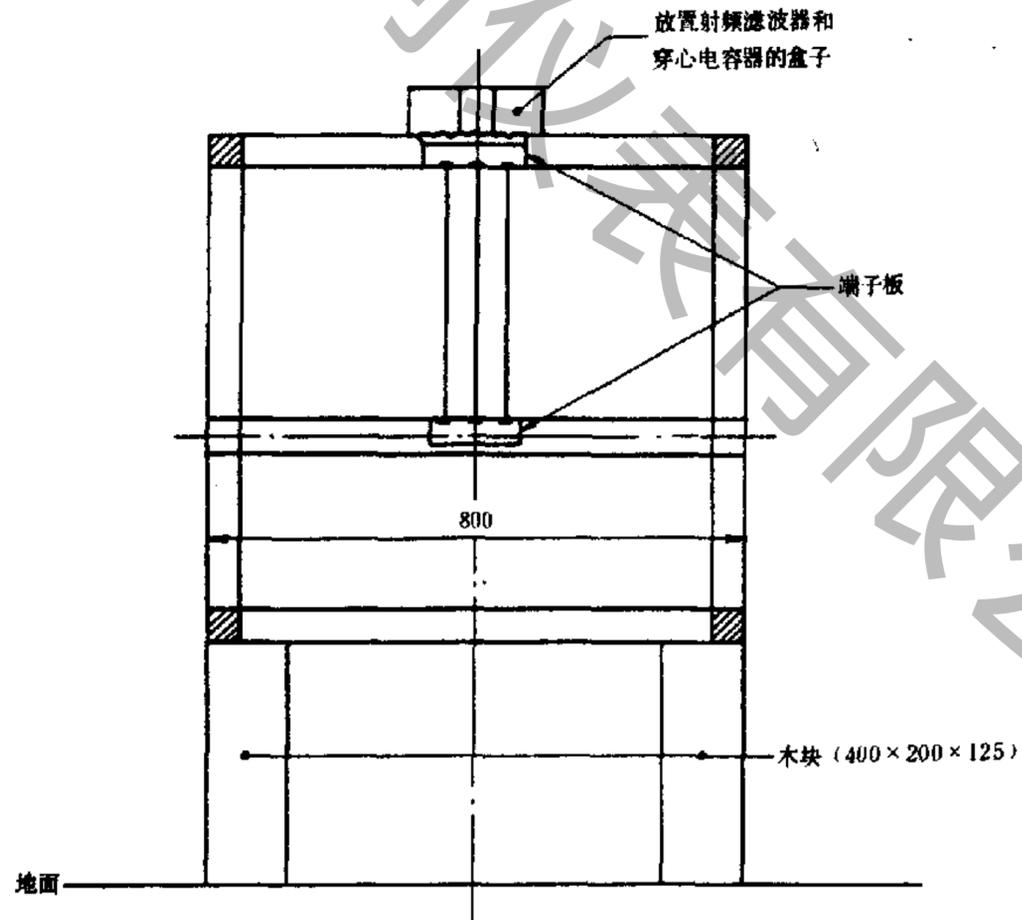
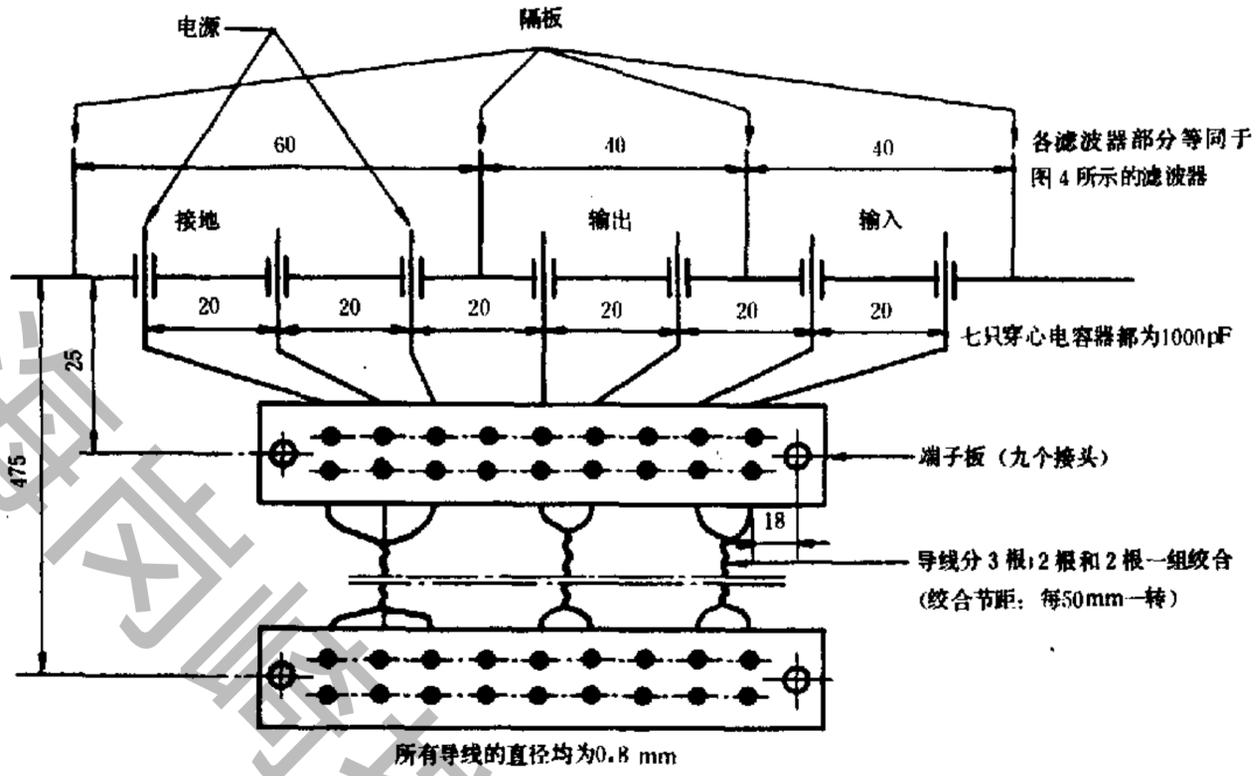


图6 带状线电路详图

附录 A
自由空间中天线发出的场强和发射功率
(参考件)

A1 各向同性辐射器

由各向同性辐射器发射的功率 P_r 在某一点上的功率密度 S 由下式给出:

$$S = P_r / 4\pi d^2 \quad \dots\dots\dots (A1)$$

式中: S —— 功率密度, W/m^2 ;
 d —— 距离, m ;
 P_r —— 发射功率, W 。

功率密度 S 与电场强度 E 在任一指定点上的关系为:

$$S = E^2 / 120\pi \quad \dots\dots\dots (A2)$$

式中: E —— 均方根电场强度, V/m 。
 120π —— 自由空间的阻抗。

自由空间中各向同性辐射器的场强可由公式(A1)和(A2)导出,即:

$$E = \frac{\sqrt{30P_r}}{d} = \frac{5.5}{d} \sqrt{P_r} \quad \dots\dots\dots (A3)$$

A2 半波偶极

对于最大辐射方向上的半波偶极来说:

$$S = 1.64P_r / 4\pi d^2 \quad \dots\dots\dots (A4)$$

代入(A2)式得:

$$E = \frac{7.01}{d} \sqrt{P_r} \quad \dots\dots\dots (A5)$$

(A4)式中的 1.64 为半波偶极的最大增益。

A3 垂直接地天线的效率

天线的效率是辐射电阻与系统总电阻之比。总电阻包括辐射电阻,导体和绝缘材料的电阻,还包括负载线圈(若使用的话)的电阻和“接地系统”的电阻。

半波天线的工作效率极高,因为同辐射电阻相比,导体的电阻可忽略不计。在天线接地的情况下,接地电阻通常不可忽略。如果天线较短,必要的负载线圈的电阻可能变得很可观。要在高度为 1/4 波长或

以下的接地天线上获得可与半波天线相比较的效率,必须极为谨慎地减少接地电阻和所需的任何一个负载感应器的电阻。若没有一个精心制成的接地系统,天线的效率就不会超过 50%,可能还会更低,特别是天线高度低于 $1/4$ 波长时更是如此。

垂直接地天线最理想的接地系统应由约 120 根导线组成,每根线的长度至少为 $1/2$ 波长,从天线基部沿一圆周成辐射状等间隔地向外延伸。这样一种系统实际等效于理想接地,并且其电阻可忽略不计。

为了正确评价所要求的接地质量,实验测量已表明,对于 15 根辐射线(radials)的接地系统,其电阻可使 $1/4$ 波长天线的效率降低到 50%,2 根辐射线的天线使效率降低到 25%。天线越短,其效率就越低。

A4 单极

实际的“基本偶极”(elementary dipole)是一个中心馈电的以波长表示的极短天线,在这种天线上,电流幅值从中间处的最大值均匀地降低到末端处的零值(图 A1)。对于同样的电流 I (在末端),长度为 L 的(短)实际偶极所辐射的功率只有同样长度的电流元件的 $1/4$,该电流元件在其整个长度范围内都有电流 I 通过。(每一点上的场强减少到 $1/2$,功率密度减少到 $1/4$)。因此,实际短偶极的辐射电阻是同样长度电流元件的 $1/4$ 。

安装在反射面上,高度为 H 的单极(图 A2)或短的垂直天线可以象长度 $L = 2H$ 的偶极一样,在馈给与其相同的电流时可在反射面上面产生与其相同的场强。但是短垂直天线只能通过反射面上面的半球型的表面辐射,所以其辐射功率仅为相应的偶极的一半。因此,高度 $H = L/2$ 的单极的辐射电阻是短偶极辐射电阻的一半。

假想的电流元件是理论研究的有效工具。但并不是可实际使用的天线。

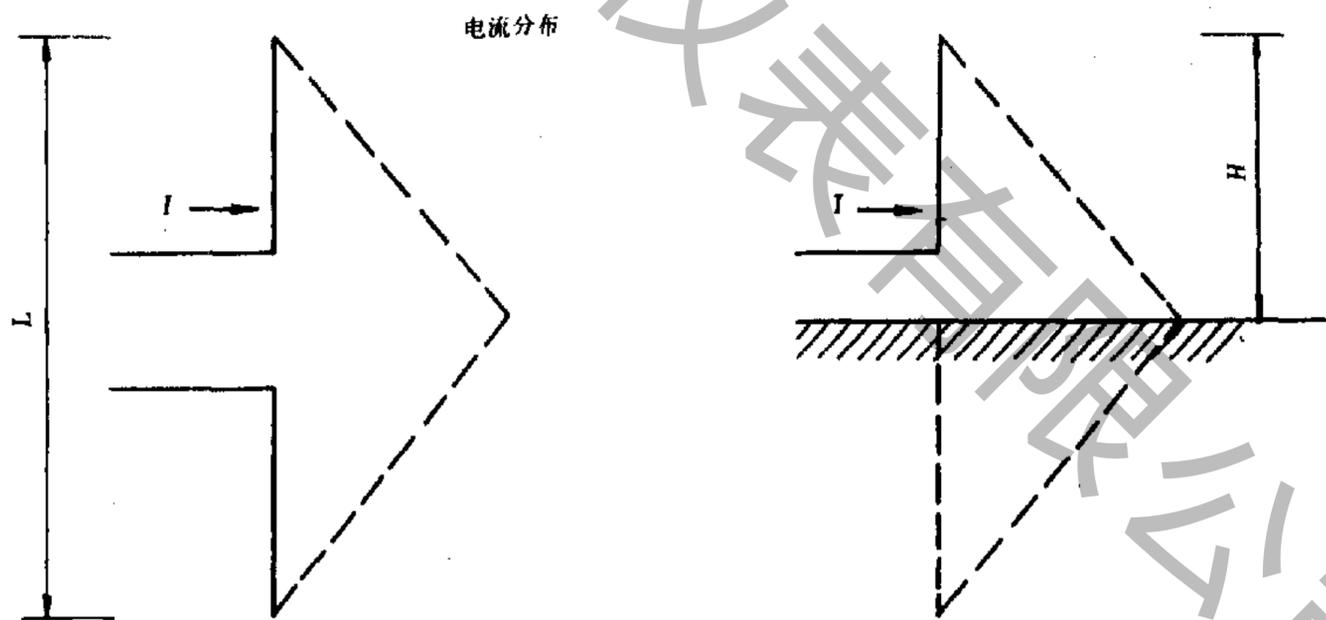


图 A1

图 A2

A5 便携式无线电话机(对讲机)

经常提出关于商品化便携式无线电话机的预计场强问题。问题的根本在于这些通信设备是影响电子设备的主要辐射干扰源。

便携式无线电话机可看作是一个偶极,其外壳为第二天线。

英国电气研究协会(E. R. A.)和法国电气研究部(EdF)对六个厂家出产的功率为 $0.5 \sim 12$ W 的甚高频(VHF)和超高频(UHF)无线电话机作了测量,分析测量结果可以看出系数的分布范围为 $k = 0.45 \sim 3.35$,中值为 1.6。

因而统计平均值可表示为:

$$E = \frac{1.6}{d} \sqrt{P} \dots\dots\dots(\text{A6})$$

式中: P ——无线电话机额定值, W , 见图 A3。

由于实验是在屏蔽室内进行的(除英国电气研究协会(E. R. A.)进行的实验外), 可以假设具有一个相当合适的地平面。但在实际使用中, 便携式无线电话机是由操作人员提着使用的。因此预计还有附加的损耗。

根据以上所述, 统计平均值是估计场强的最实际的准则。

A6 近场与远场的比较(见图 A4)

我们所讨论的场是那些由天线发出, 传播很远距离的运动电磁波的场。这些场就是辐射场。它们的特点是场强与距离成反比。电和磁的成分虽然在波前是互相垂直的, 但是在时间上是同相的。天线发出的电磁波中有若干种波长, 这些波长是唯一需要考虑的场。但在接近天线的情况下, 情况要复杂得多。在一个具有电感和电容的普通电路中, 磁场(在时间上)与电场相位相差 $1/4$ 周。这两个场的强度以复杂的形式随着离开源的距离的增长而降低。这些就是感应场。感应场和辐射场一起存在于天线的周围。但是当离天线的距离增加时, 它就会迅速消失。在相当于 $1/2\pi$ 或稍小于 $1/6$ 波长的距离处, 上述两种场的强度相等。在天线附近测场强时, 必须牢记近场的存在。如果测量设备太接近天线系统, 就有可能产生显著的误差。

其他考虑事项:

使用无线电话机时天线与电子设备靠得很近, 这是一个十分重要的问题。图 A4 可作为估计场强极限的准则。本标准建议天线与电子设备之间保持 2 m 的间距。此外, 降低便携式无线电话机的额定工作功率, 将大大减少使用时产生辐射干扰的影响。

A7 频率范围

各国对于频率的分配都受到许多特定条件的限制。此外, 世界上各地区的特定频率的分配已经过国际的协商, 各种用途的典型分类如下:

- a. 政府;
- b. 公安;
- c. 工业;
- d. 陆上交通;
- e. 国内公共事务;
- f. 民用无线电;
- g. 固定通用载波机;
- h. 国际控制;
- i. 电视广播;
- j. 调频广播;
- k. 电视摄像、中继线和市际转播台;
- l. 调频和标准广播中继线和市际转播台;
- m. 标准广播实况摄像;
- n. 航空用固定频率;
- o. 航空用, 空对地;

- p. 飞行试验遥测；
- q. 航空用无线电导航；
- r. 无线电导航和无线电定位；
- s. 气象设备；
- t. 海事；
- u. 业余；
- v. 工业、科学和医疗设备。

由于绝大多数频带是各种用途所共用的，因此可将工业过程测量和控制装置的电磁兼容性容易地从一种用途扩大到所有的各种用途中去。

A8 其他试验方法

A8.1 横电磁波(T. E. M.)室

现有的横电磁波室只能容纳很小的物体。从现有的文献可以看出，目前市场上的最大横电磁波室可容纳装置的最大尺寸是 $14\text{ cm} \times 14\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ ，频率为 500 MHz。横电磁波室一般只能用于较小的对象。

A8.2 混响室(Mode-stirred chambers)

驻波是使用横电磁波室的主要限制因素。而混响室则必须有驻波才能工作。但目前混响室还处在发展阶段，一般不易买到。

A8.3 户外天线场(Open antenna ranges)

这一方法只用在人口稀少的地区。在人口稠密的地区，法定条例禁止发射所需的场强。由于无反射波，测量的精密度大大提高。

A9 严酷等级的选择

电磁辐射会以某种方式使大多数电子设备受到影响。这种辐射往往是由操作人员、维修和安全检查人员使用的小型手提式无线电话机产生的。本部分所关心的主要是工业过程测量和控制仪表对这种手提式无线电话机产生的辐射的敏感性。

当然也涉及到其他各种电磁辐射源，例如固定无线电台和电视发射台，移动式无线电发射机以及各种工业电磁辐射源。

除了人为产生的连续型电磁能以外，还有各种由诸如电焊机、可控硅整流器、荧光灯、驱动感应负载开关等装置产生的寄生辐射。这种干扰主要表现为传导干扰，因此将由本标准其他各部分加以考虑。防止连续辐射影响所采用的方法通常也能减少这些干扰源的影响。

电磁环境是按电磁场的强度(V/m)确定的。由于周围建筑物或者临近的其他装置的影响使电磁波失真和(或)反射，因此没有先进的仪表设备要想测量场强，或是以经典的公式和方程式计算场强都是不容易的。

试验的严酷等级应根据被试装置在最终安装好后所暴露的电磁辐射环境加以选择。

下列各级别相对于第3条：“严酷等级”列出的各个等级。可作为选择合适等级的准则：

1级：低级电磁辐射环境，典型的环境如距本地无线电/电视台 1 km 以远处和小功率无线电话机附近的地方。

2级：中等电磁辐射环境，典型的环境如靠近便携式无线电话机的装置但不近于 1 m 的地方。

3级：严酷的电磁辐射环境，典型的环境如紧靠大功率无线电话机的控制装置的地方。

x级：处于极为严酷的电磁辐射环境下的各种场所的未定等级。此等级由用户和制造厂协商确定，或由制造厂规定。

$$E = \frac{1.6}{d} \sqrt{P}$$

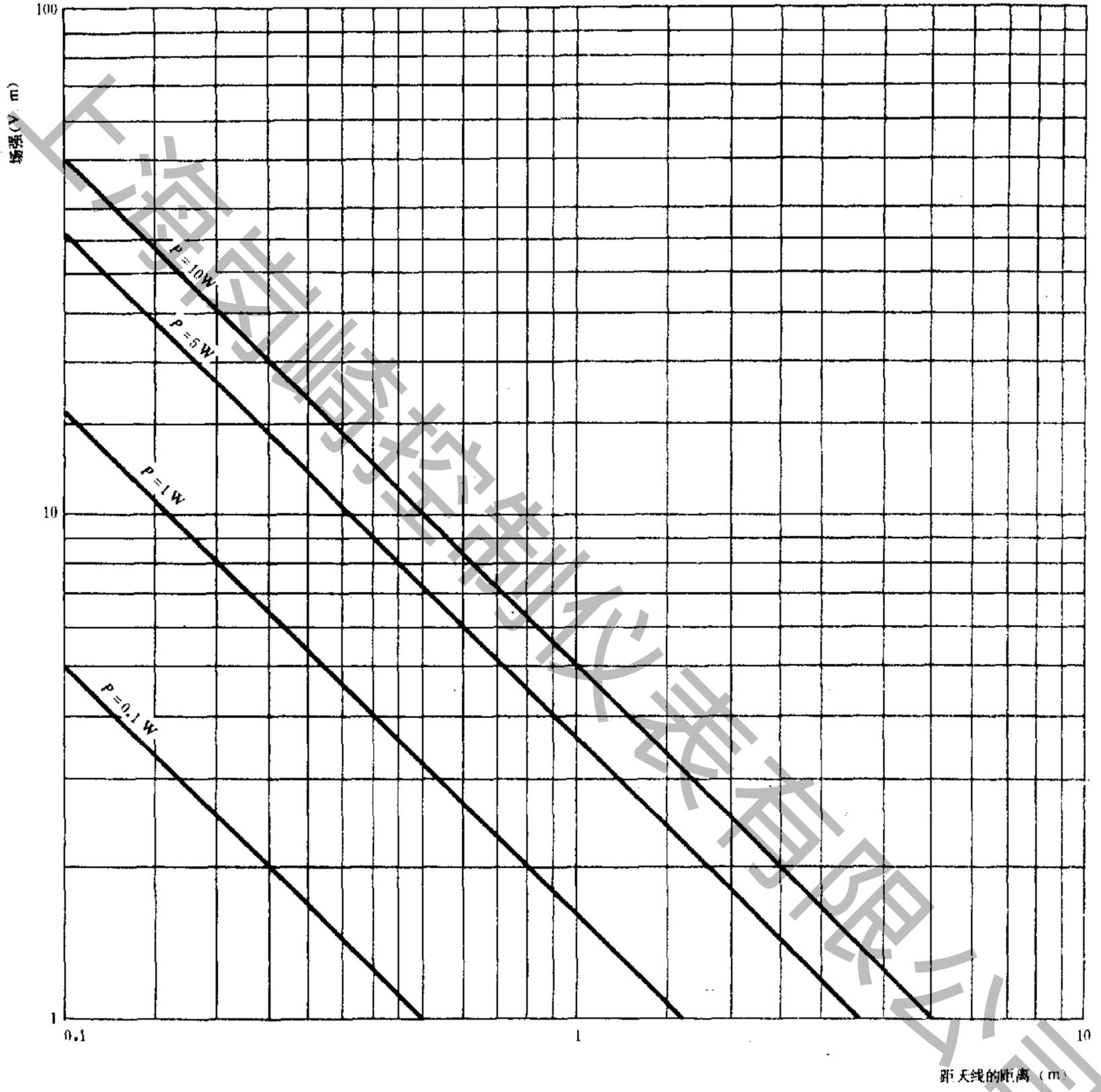


图 A3 远场 ($d \geq \lambda/2\pi$) 中非接地单极 (步话机) 的近似场强
 P — 对讲机额定值

$$d = \frac{\lambda}{2\pi}$$

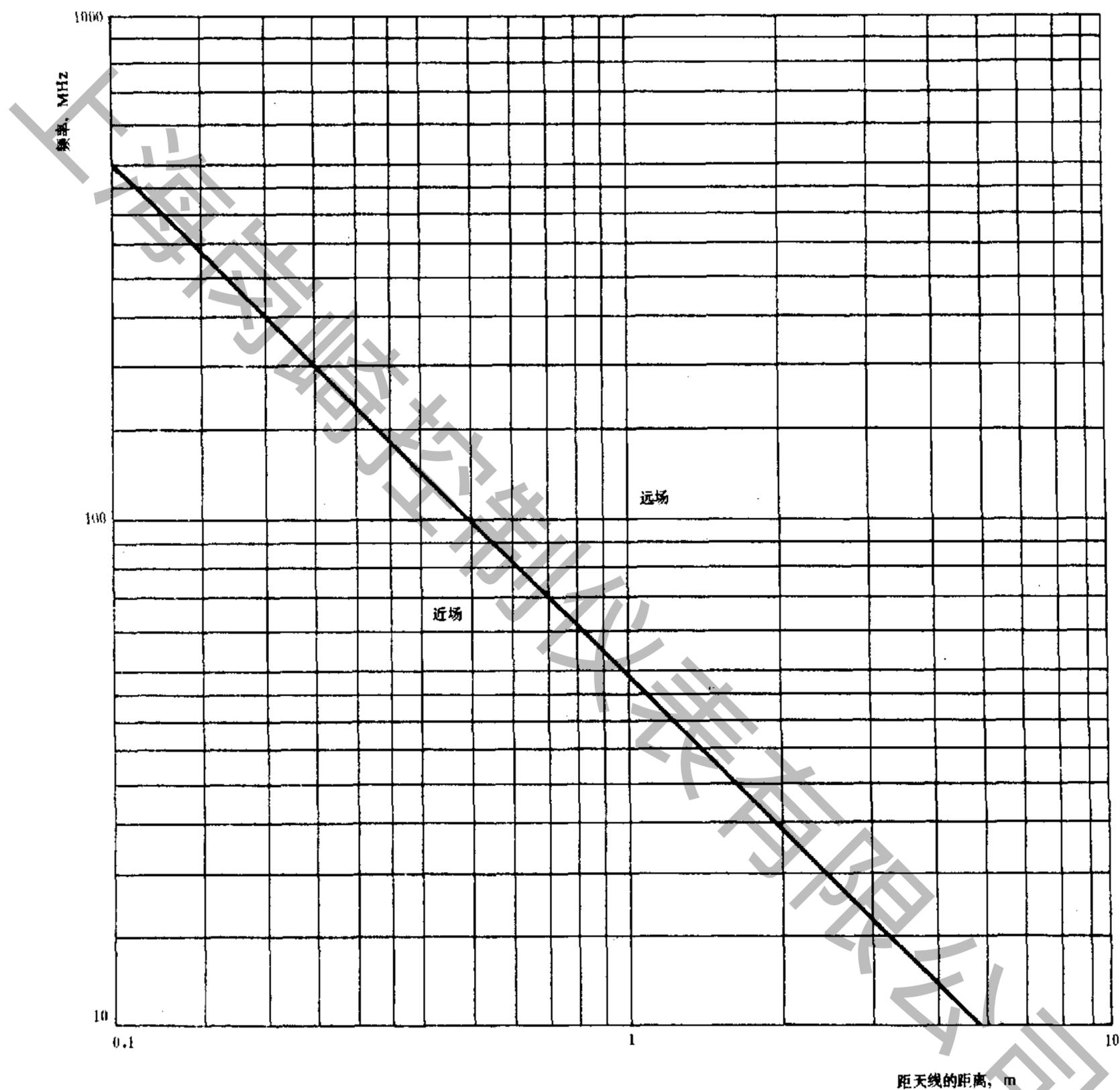


图 A4 近/远场的关系

附加说明:

本标准由全国无线电干扰标准化技术委员会提出并归口。
 本标准由机械电子工业部上海工业自动化仪表研究所起草。
 本标准主要起草人程国钧、邱云林、郑家模、洪济晔、蒋春宝。