



国际电信联盟

ITU-T

国际电信联盟
电信标准化部门

K.52

(12/2004)

K系列：干扰的防护

遵守电磁场中人身暴露限值的指南

ITU-T K.52建议书

ITU-T K.52建议书

遵守电磁场中人身暴露限值的指南

摘 要

本建议书旨在指导如何符合在电信装置环境下和靠近头部使用移动电话机或其他辐射装置时暴露在电磁场（EMF）中的人员的安全限值。这是一个通用的指南、计算方法和装置评估程序。电信装置的评估程序是基于ICNIRP规定的安全限值，以帮助用户在基于合格判据、天线特性和发射功率的基础上确定装置合格的可能性。关于移动电话机的合格性测量方法推荐采用IEC标准的规定。

来 源

ITU-T K.52建议书由ITU-T第5研究组（2005-2008年）按照ITU-T A.8建议书的程序于2004年12月14日批准。

前 言

国际电联（国际电信联盟）是联合国在电信领域内的专门机构。ITU-T（国际电信联盟电信标准化部门）是国际电联的常设机构。ITU-T负责研究技术的、操作的和资费的问题，并且为实现全世界电信标准化，就上述问题发布建议书。

每4年召开一次的世界电信标准化全会（WTSA）确定ITU-T各研究组的研究课题，然后由各研究组制定有关这些课题的建议书。

WTSA第1号决议拟定了批准ITU-T建议书的程序。

在ITU-T研究范围内的某些信息技术领域中使用的必要标准是与ISO和IEC共同编写的。

注

在本建议书中，“主管部门”一词是电信主管部门和经认可的运营机构二者的简称。

遵守本建议书是自愿的。不过本建议书可能包含某些强制性规定（例如为了确保互操作性和适用性），并且如果满足了本建议书的所有这些强制性要求，就做到了遵守本建议书。“必须”（shall）一词或其他若干强制性语言如“务必”（must）和相应的否定用语用于提出要求。这类词的使用并不意味着要求任何一方遵守本建议书。

知识产权

国际电联提请注意：本建议书的应用或实施可能需要使用已主张的知识产权。国际电联对有关已主张的知识产权的证据、有效性或适用性不表示意见，无论其是由国际电联成员还是由建议书制定过程之外的其他机构提出的。

到本建议书批准之日为止，国际电联尚未收到实施本建议书时可能需要的受专利保护的知识产权方面的通知。但是，本建议书实施者要注意，这可能不代表最新信息，因此强烈敦促本建议书实施者查询电信标准化局专利数据库。

© 国际电联 2005

版权所有。未经国际电联事先书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

目 录

	页
1 范围	1
2 参考文献	1
3 术语和定义	2
4 缩写词和首字母缩略语	5
5 通用准则	5
5.1 多源效应和复合频率效应	6
5.2 暴露持续时间	6
6 EMF 安全限值	6
7 移动电话的合格要求	6
8 电信装置符合 EMF 安全限值的要求	7
8.1 评估电信设备的必要性	7
8.2 EMF 暴露评估方法	7
8.3 评估暴露程度的方法	8
9 EMF 评估技术	10
9.1 计算方法	10
9.2 测量方法	12
10 缓解技术	13
10.1 职业区	13
10.2 超标区	13
附件 A — 应用流程图	13
附件 B — 确定装置类型的基本判据	15
B.1 固有符合源	15
B.2 正常符合型装置	15
附录 I — ICNIRP 限值	21
I.1 基本限值	21
I.2 导出限值	22
I.3 同时暴露在多源下的情况	24
附录 II — EMF 暴露的简单评估方法示例	25
II.1 地面上的暴露	25
II.2 附近建筑物上的暴露	26
附录 III — $EIRP_{th}$ 计算示例	28
III.1 $EIRP_{th}$ 值	28
附录 IV — 附录 III 表格中 $EIRP_{th}$ 值的基本原理	35
IV.1 固有符合源	35
IV.2 正常符合型	35
参考资料	37

引言

本建议书旨在指导如何符合在电信装置环境下和靠近头部使用移动电话机或其他辐射装置时暴露在电磁场（EMF）中的人员的安全限值。本建议书不规定安全限值；而旨在为判定电信装置和手机是否符合国家或国际的EMF安全限值提供技术和方法。

遵守电磁场中人身暴露限值的指南

1 范围

本建议书旨在指导如何遵守电信装置中电信设备所产生的频率范围从9 kHz到300 GHz¹的电磁场(EMF)中人身暴露的安全限值。本建议书提供了一些技术和方法,用以判定电磁场暴露的严重程度以及限制工作人员和普通公众在超出限值的电磁场中的人身暴露。

本建议书同样适用于工作在300 MHz到3 GHz频带的移动电话或其他辐射设备以及用于对人员头部的保护。

本建议书中如有与国家在EMF限值方面规定的法律、标准或准则不一致的地方,则该国家相关法律、标准或准则必须优先于本建议书提供的方法。

本建议书包括电信场所内部和外部的由于电信设备和电信场所的设备产生的EMF人身暴露。

本建议书不包括在传导电磁场中因为接触而产生的接触电流暴露。

本建议书不包括在人体附近使用移动电话或其他辐射设备时造成的除头部以外的人身暴露。

ITU-T K.33建议书《故障状态下交流电源和交流电器铁道设备对电信系统所加耦合的人身安全限值》涉及到有关人体接触交流电源或交流电器铁道线路感应的电信电路所造成的人身安全问题。

2 参考文献

下列ITU-T建议书和其他参考文献的条款,通过在本建议书中的引用而构成本建议书的条款。在出版时,所指出的版本是有效的。所有的建议书和其他参考文献都面临修订,使用本建议书的各方应探讨使用下列建议书和其他参考文献最新版本的可能性。当前有效的ITU-T建议书清单定期出版。本建议书中引用某个独立文件,并非确定该文件具备建议书的地位。

- ITU-T Recommendation K.61 (2003), *Guidance to measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations.*
- IEC 60657 (1979), *Non-ionizing radiation hazards in the frequency range from 10 MHz to 300 000 MHz.*
- IEC 60833 (1987), *Measurement of power-frequency electric fields.*

¹ 附录 I 同样给出了低频率的ICNIRP 限值。

- IEC 61566 (1997), *Measurement of exposure to radio-frequency electromagnetic fields – Field strength in the frequency range 100 kHz to 1 GHz.*
- IEC 62209 (2004), *Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures – Part 1: Procedure to determine the Specific Absorption Rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity of the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz).*

3 术语和定义

本建议书定义了以下术语：

3.1 antenna gain 天线增益： 天线增益 $G(\theta, \phi)$ 是每单位立体角的辐射功率与总输入功率的比值乘以 4π 。全向天线的增益通常用分贝(dBi)表示。定义增益的公式为：

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi}{P_{in}} \frac{dP_r}{d\Omega}$$

其中，

θ, ϕ 是极坐标系中的角度

P_r 是辐射功率

P_{in} 是总输入功率

Ω 是沿着观测方向的立体角度单位

3.2 average (temporal) power 平均（瞬时）功率(P_{avg}): 能量转换的时间平均比率定义为：

$$P_{avg} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

其中， t_1 和 t_2 是暴露的起止时间， $(t_2 - t_1)$ 是暴露持续时间。

3.3 averaging time 平均时间(T_{avg}): 平均时间是为判定暴露是否符合限值而求其平均值所需的适当时间。

3.4 continuous exposure 持续暴露： 持续暴露定义为超过相应平均暴露时间的暴露。不足平均暴露时间的暴露称为短时暴露。

3.5 contact current 接触电流： 在电磁场中接触导体时流过人体的电流。

3.6 controlled/occupational exposure 受控的/职业的暴露： 受控的/职业的暴露适用于以下情况：暴露是由于职业的缘故，受暴露影响的人员完全清楚其受暴露的可能性，并能够控制这种影响。职业的/受控的暴露也适用于以下情况：由于偶然经过一个超过普通公众的/非受控的暴露安全限值的地方而受到瞬时的暴露影响，只要受影响人员事先完全清楚受暴露的可能性，并且可以通过离开该区域方式或采取其他适当方法控制其所受到的影响。

3.7 directivity 方向性： 每单位立体角辐射的功率与每单位立体角辐射的平均功率之间的比值。

3.8 Equivalent Isotropically Radiated Power 等效全向辐射功率 (EIRP)： 天线功率与相对于全向天线的最大增益之间的乘积。

3.9 exposure 暴露: 凡是人体受到电场、磁场或电磁场的影响, 或者接触到非体内生理作用产生的电流或其他自然现象的影响, 均称为暴露。

3.10 exposure level 暴露等级: 人体暴露于电磁场中或接触电流时所用的量值。

3.11 exposure, non-uniform/partial body 非均匀的/身体局部的暴露: 当相对于整个人体的场强不均匀时会产生不均匀的或局部身体的暴露。这种情况可能由高定向驻波、离散辐射造成或出现在近场情况中。

3.12 far-field region 远场区: 这是指对应某个天线的电磁场区域, 在这个区域内, 象角的分布不会因为与天线之间的距离而发生变化。在远场区内, 电磁场主要呈平面波特性, 即: 在电磁场传播方向的横截面上, 电场强度和磁场强度均匀分布于各点。

3.13 general public 普通公众: 所有的非工作人员(见3.27中对工作人员的定义)被定义为普通公众。

3.14 induced current 感应电流: 感应电流是人体由于直接暴露于电磁场中而在体内引起的电流。

3.15 intentional emitter 有意发射器: 有意发射器是通过辐射或感应故意产生和发射电磁能量的设备。

3.16 near-field region 近场区: 近场区存在于靠近天线或其他辐射结构的区域内, 其电场和磁场不具有平面波的基本特性, 而是各点相差很大。近场区进一步分为互作用近场区和辐射近场区: 互作用近场区离辐射装置最近, 几乎包含了所有的存储能量; 辐射近场区中, 辐射场大大多于互作用场, 但是缺少基本的平面波特性, 而且组成复杂。

注 — 对于许多天线而言, 互作用近场区的外围边界被认为是位于距天线表面半个波长的地方。

3.17 power density 功率密度(S): 电磁波传播方向上每单位面积的功率, 通常表示为每平方米上的瓦特数(W/m^2)。

注 — 平面波的功率通量密度、电场强度(E)和磁场强度(H)通过自由空间的阻抗($\eta_0 = 377 \Omega$)联系在一起。特别地:

$$S = \frac{E^2}{\eta_0} = \eta_0 H^2 = EH$$

其中, E 和 H 的单位分别为 V/m 和 A/m , S 的单位是 W/m^2 。虽然多数测量设备显示的是功率密度单位, 但实际测量的物理量是 E 和 H 。

3.18 power density, average (temporal) 功率密度的平均(瞬时)值: 平均功率密度等于一个波源重复周期内的综合瞬时功率密度。

注 — 这里的取平均值不得与测量时间的平均值相混淆。

3.19 power density, peak 功率密度的峰值: 功率密度峰值是能量传递过程中出现的最大瞬时功率密度。

3.20 power density, plane-wave equivalent 等效平面波的功率密度(S_{eq}): 等效平面波功率密度是与任意电磁波相关的一个常用术语, 其大小与一个具有同样电场强度(E)和磁场强度(H)的平面波的功率密度相等。

3.21 relative field pattern 相对场辐射图: 在本建议书中相对场辐射图 $f(\theta, \phi)$ 被定义为场强(主

观上被视为电场)的绝对值与最大场强绝对值的比。它与相对数字增益(见3.22)之间的关系如下:

$$f(\theta, \phi) = \sqrt{F(\theta, \phi)}$$

3.22 relative numeric gain 相对数字增益: 相对数值增益 $F(\theta, \phi)$ 是每个角度的天线增益与最大天线增益的比值。它的数值范围是0-1。它也被称为天线方向图。

3.23 short-term exposure 短时暴露: 短时暴露指的是不足相应平均暴露时间的暴露。

3.24 specific absorption 比吸收能量(SA): 能量增量(dW)与吸收(散失)它的具有一定密度(ρ_m)的每体积单元(dV)中所含质量增量(dm)的商。

$$SA = \frac{dW}{dm} = \frac{1}{\rho_m} \frac{dW}{dV}$$

比吸收能量以每千克的焦耳数(J/kg)为单位表示。

3.25 specific absorption rate 比吸收率(SAR): 一定密度(ρ_m)的每体积单元(dV)所含质量增量(dm)吸收(散失)的能量增量(dW)的时间导数。

$$SAR = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm} = \frac{d}{dt} \frac{1}{\rho_m} \frac{dW}{dV}$$

SAR以每千克的瓦特数(W/kg)为单位表示。

SAR可以通过以下公式计算:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho_m}$$

$$SAR = c \frac{dT}{dt}$$

$$SAR = \frac{j^2}{\rho_m \sigma}$$

其中,

E 是身体组织内电场强度的值, 单位为V/m

σ 是身体组织的导电性, 单位为S/m

ρ_m 是身体组织的密度, 单位为kg/m³

c 是身体组织的热量, 单位为J/kg°C

$\frac{dT}{dt}$ 是身体组织温度的导数, 单位为°C/s

J 是身体组织内感应电流的密度, 单位为A/m²

3.26 general population/uncontrolled exposure 普通公众的/非受控的暴露: 普通公众的/非受控的暴露适用于以下情况: 普通公众可能受到暴露的影响; 由于职业而暴露但本人并不完全清楚自己暴露的可能性, 或不能控制自己所受到的暴露影响。

3.27 workers 工作人员: 受雇的和自雇的, 从事其相关职业的人被称为工作人员。

3.28 unintentional emitter 无意发射器: 故意产生电磁能量以供仪器内部使用的设备, 或那些发射电磁能量传导到其他设备, 但并非有意通过辐射或感应发射或辐射电磁能量的仪器。

3.29 wavelength 波长(λ): 电磁波的波长与电磁波的频率(f)和速率(v)之间的关系如下式:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

在自由空间中速率等于光速, 约为 3×10^8 m/s。

4 缩写词和首字母缩略语

本建议书中采用下列缩略语:

EIRP	等效全向辐射功率
EMC	电磁兼容性
EMF	电磁场
ICNIRP	国际非电离辐射保护委员会
SA	比吸收能量
SAR	比吸收率

5 通用准则

有许多国际和国家的文件规定了EMF暴露的人身安全限值。虽然这些文件在具体规定上有所不同, 但大多数文件都有几条相同的基本原则。这些基本原则包括: 使用基本限值和参考限值, 使用两套并行的暴露限值和平均暴露时间, 将低频场暴露和高频场暴露分开考虑。

大多数文件给出的安全限值称为基本限值和参考(或导出)限值。基本限值规定的是人身对电磁场的生理反应的基本数量级。基本限值适用于人身大部分处于场强中的情况。人身暴露的基本限值采用比吸收率(SAR)、比吸收能量(SA)和电流密度来表示。

由于基本数量很难直接测出, 所以大多数文件给出了电场、磁场和功率密度的导出(参考)限值。当暴露条件可以产生低于基本限值的SAR、SA和感应电流密度时, 可以超过导出限值。导出限值适用于人身的存在不会影响电磁场的情况。

大多数文件使用两套并行限值结构, 其非受控的/普通公众的暴露限值低于受控的/职业的暴露限值。

必须强调的是暴露限值不是发射限值; 暴露限值适用于工作人员或普通公众成员可到达的地点。因此, 可以通过限制人员进入场强超出安全限值的地区来达到要求。

5.1 多源效应和复合频率效应

大多数文件要求必须考虑多源效应。由于低频源与高频源造成的生理效应不同，所以应分开考虑。在低频带（通常低于10 MHz），重要的生理效应归结于感应电流密度；在高频带（通常高于100 kHz），重要的生理效应归结于SAR。

为了考虑多源效应，大多数文件要求必须考虑所有源的加权和，其中，每一个单独源都按照适用于其频率的限值按比例分配。附录I给出了ICNIRP导则中规定的方法。

5.2 暴露持续时间

大多数文件用一段时间上的平均量定义暴露限值，这段时间被称为平均暴露时间。不足平均暴露时间的短时暴露，其适用的限值为：

$$\sum_i X_i^2 t_i \leq X_l^2 t_{avg}$$

其中，

X_i 是暴露在第*i*个时间的场强（*E* 或 *H*）

t_i 是暴露*i*的时长

X_l 是参考限值

t_{avg} 是适当的平均时间

功率密度限值为：

$$\sum_i S_i t_i \leq S_l t_{avg}$$

其中，

S_i 是暴露在第*i*个时间内的功率密度

t_i 是暴露*i*的时长

S_l 是参考限值

t_{avg} 是适当的暴露时间

6 EMF安全限值

在多数情况下，地方或国内的法规管理局或标准制定组织颁布有关EMF的安全限值。如果没有此类限值或这些限值没有涉及到所用频率，则应采用ICNIRP的限值（附录I）。

7 移动电话的合格要求

考虑到工作在300 MHz到3 GHz频带的移动电话或其他辐射设备对于人员头部的保护要求，可以采用IEC 62209（2004年）中的测量方法测量SAR，并判断其是否满足ICNIRP的安全限值。当然在特定情况下，地方或国内法规管理局或标准制定组织可以根据IEC 62209的精神规定测量移动电话对人员头部影响结果的SAR值的方法。

8 电信装置符合EMF安全限值的要求

为了符合限值的要求，应当采取以下步骤：

- 1) 确认适当的需要满足的限值要求。
- 2) 确定设备的安装是否需要EMF暴露的判定。（见8.1。）
- 3) 如果需要评估EMF暴露，可以采取计算或测量的方法。本建议书提供了一种风险评估方法，以帮助用户确定是否可能超出EMF暴露限值，并帮助用户选择一种适当进行评估的方法。
- 4) 如果EMF暴露评估表明在人能够到达的区域可能超出相关的暴露限值，则应采取缓解/防范措施。

8.1 评估电信设备的必要性

根据定义，电信设备分为有意EMF发射器和无意EMF发射器。通常，有意发射器是与辐射电磁能量的天线相结合。

8.1.1 无意发射器

无意发射器的杂散发射可能产生EMF。有一些这些杂散发射的场强的EMC发射标准限制。通常，属于无意发射器的电信设备产生的场强大大低于ICNIRP和国家标准规定的安全限值。EMC规定的限值低于EMF安全限值。即使设备在某些频率上超过了发射限值，经验证明它产生的场强仍然是低于安全限值。所以，无意发射的电信设备不需要用EMF安全评估来确定是否符合安全限值。

8.1.2 有意发射器

有意发射器利用电磁场发射信号。根据工作功率、增益、频率和发送天线方向性的不同，它们可能在某些区域产生超过安全限值的EMF。在决定设备是否需要EMF暴露评估以及采用何种适当的评估方法时，可能需要考虑这些参数和装置的工作环境。本建议书按照暴露区域的划分提供了一种风险评估方法。

8.2 EMF暴露评估方法

如果已经确定由于有意发射器的存在而需要进行EMF暴露评估，则应在所有可能发生EMF人身暴露的地方进行暴露评估。评估的目的是将可能的EMF暴露划分为以下三种区域：

- 1) **符合区：**可能的EMF暴露低于受控的/职业的暴露的适用限值，也低于非受控的/普通公众的暴露的适用限值。
- 2) **职业区：**可能的EMF暴露低于受控的/职业的暴露的适用限值，但超过了非受控的/普通公众的暴露的适用限值。
- 3) **超标区：**可能的EMF暴露超过了受控的/职业的暴露的适用限值，也超过了非受控的/普通公众的暴露的适用限值。

对于多数装置而言，超标区和职业区都是人员不能随便进入的（例如人站在面对天线的方向），或只有在特殊情况下才能接近。本建议书提供的风险评估方法主要涉及普通公众的暴露和工作人员在正常工作中的暴露。见图1。

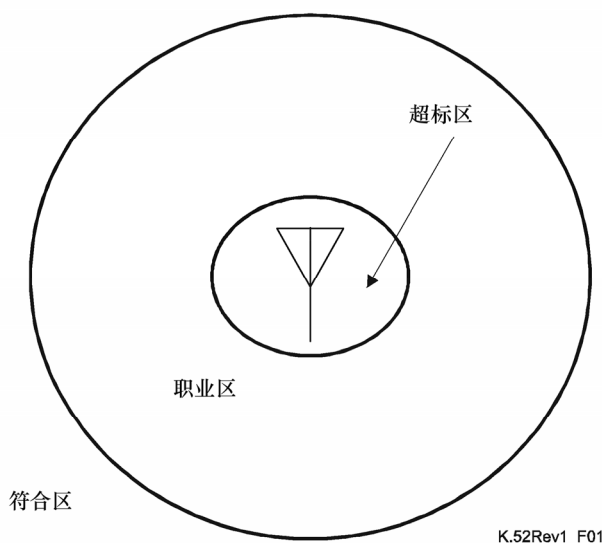


图1/K.52— 暴露区域的示意图

8.3 评估暴露程度的方法

评估暴露程度必须考虑到：

- 最坏的发射条件；
- 不同频率上同时存在多个EMF源。

应考虑以下参数：

- 天线系统的最大EIRP（见定义：等效全向辐射功率（EIRP））；

注 — 最大EIRP应当以平均发射功率来计算。对于多数发射源而言，平均发射功率就是正常（额定）发射功率。但是也有例外的情况。例如：对于模拟TV，平均功率小于正常发射功率；对于AM DSB，平均功率大于正常发射功率。

- 天线增益 G （见定义：天线增益）或相对数字增益 F （见定义：相对数字增益），包括最大增益和波束宽度；
- 工作频率；和
- 装置的各种特性，例如天线位置、天线高度、波束方向和EMF人身暴露概率的评估。

为了运用方法和这些参数，下面介绍等级划分方案。

8.3.1 装置等级划分

将发射器装置划分为以下三种类型：

- 1) **固有符合型**：固有安全源产生的电磁场在距离源几厘米处符合相关的暴露限值。不需要采取特别的预防措施。

- 2) **正常符合型**：正常符合型的装置，其源产生的EMF可能超过相关的暴露限值。然而在装置的正常运行中且这些源通常用于通信的时候，一般情况下，人员不可进入在这些源的超标区。这种类型的例子有：充分高的塔上安装的天线，或指向卫星的窄波束地面站。对于特定正常符合型的装置，靠近发射器的维护人员可能需要采取预防措施。
- 3) **暂时符合型**：对于该类装置要求采取特殊措施以符合限值。特殊措施包括暴露区域的确定和第9节中描述的措施。

8.3.2 确定装置类型的方法

每个装置都应按第8.3.1节中的定义类型分类。期望提供特定电信服务的运营商通常使用一套限定的性能良好的天线及配套设备。而且多数发射器场地的装置及暴露条件可能相似。因此，可以规定一套参考配置、参考暴露条件及相应的关键参数以便于划分场地的类型。

一种有效的方法如下：

- 1) 定义一套参考天线参数或天线类型。这些分类可以由用户定制以使其适用于具有特定用途的发射器的类型。
- 2) 定义一套可达性条件。这些分类视人们对接近于发射机的各种区域的可达性而定。这些分类可以由用户定制以使其适用于最常出现的提供特定服务或具有特定用途的安装环境。
- 3) 对于每一种参考天线参数和可达性条件的组合，确定一个EIRP限值。该EIRP限值（可记为 $EIRP_{th}$ ）是在相应可达性条件下参考天线的功率密度或电磁场的相应暴露限值。可以按照第8.3.2.1节和第9节中的计算方法或测量方法来确定该数值。对于大多数装置而言，只要装置类型在划分范围之内，该值只需确定一次。
- 4) 发射器如果属于固有符合型（见前文定义），则该装置的发射源也属于固有符合型。无需考虑安装方面的问题。

注 — 附录IV中显示，符合ICNIRP限值要求的固有符合源的EIRP应当小于2 W。

- 5) 对于每一个场地而言，如果装置满足以下条件，则属于正常符合型：

$$\sum_i \frac{EIRP_i}{EIRP_{th,i}} \leq 1$$

其中， $EIRP_i$ 是特定频率*i*下天线的瞬时平均辐射功率， $EIRP_{th,i}$ 是在特定天线参数和可达性条件下相应的EIRP限值。对于多个天线的装置情况，必须区分以下两个条件：

- 如果多源间具有根据半功率波束宽度确定的交叠辐射方向图，则相应各源平均时间的最大EIRP应满足规范要求。
- 如果多源之间没有交叠，则各源必须分开单独考虑。

6) 凡是不满足正常符合类型条件的场地均被视为暂时符合型。

对于使用该分类方法较为模糊的场地，需要采用额外的计算方法或测量方法。

附件B给出了一套基本配置、暴露条件、参数和相应的 $EIRP_{th}$ 值。除非运营商定义了另一套适合特定服务配置的用于相应暴露分析的参数组，否则附件B的规定应作为默认值使用。

8.3.2.1 $EIRP_{th}$ 值的确定方法

方法如下：

- 1) 对在天线可能出现暴露的每一点O处，确定场强和功率密度。
- 2) 找出该套装置在暴露区域内的最大功率密度 S_{max} 。
- 3) 公式 $S_{max} = S_{lim}$ 给出了 $EIRP_{th}$ 值，其中 S_{lim} 是相应频率下根据EMF暴露标准规定的相应限值。

该方法可以用9.1中的计算来实现，还可以用其他更精确的计算方法或测量方法实行。如果采用测量的方法，则需要在典型地点对每种可达性配置和天线类型的组合都进行测量。

9 EMF评估技术

本节给出了用于评估电信装置EMF的方法。对于地面广播系统的相关信息参见ITU-R BS.6/BL/25建议书草案。

9.1 计算方法

除本章所描述的基础分析方法外，ITU-T K.61建议书给出了在各种情况下如何选择EMF暴露预测的数学方法。

9.1.1 互作用近场区

在互作用近场区，电场和磁场务必分开考虑。在没有干扰电磁场分布的物体时，如果已知电流分量，可以用准静态公式计算场强。

9.1.2 远场区

以下给出了保守地估算场强和功率密度值的方法。

对于单个辐射天线，在用角度 θ （与仰角互补）和 ϕ （方位角）表示的方向上发出的近似功率密度可以用以下公式进行计算：

$$S(R, \theta, \phi) = \frac{EIRP}{4\pi} \left[f(\theta, \phi) \frac{1}{R} + \rho f(\theta', \phi') \frac{1}{R'} \right]^2$$

其中：

$S(R, \theta, \phi)$ 是功率密度，单位为 W/m^2

$f(\theta, \phi)$ 是天线的相对场模式（0到1之间的正数）

$EIRP$ 是天线的 $EIRP$ 值，单位为 W

ρ 是反射系数的绝对值（系数），考虑到地面反射波的影响。在某些情况下，反射波的暴露可能被阻挡，此时 ρ 应设置为0。

R 是辐射源中心点与假定被暴露人之间的距离

R' 是辐射源中心点的映像与假定被暴露人之间的距离

在地面附近，预知变量与非预知变量近似相等，因此功率可以用下式记算：

$$S_{gl}(R, \theta, \phi) = (1 + \rho)^2 \frac{EIRP}{4\pi R^2} F(\theta, \phi)$$

其中：

$F(\theta, \phi)$ 是全向辐射天线的相对数字增益（0到1之间的正数）

用传导率 σ 、介电常数 $\epsilon = \kappa \epsilon_0$ （ ϵ_0 =真空介电常数， κ =相对介电常数）和切线入射角 Ψ 表示的地面的反射系数 ρ 是：

$$\rho = \frac{(\kappa - j\chi) \sin \Psi - \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}}{(\kappa - j\chi) \sin \Psi + \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}} \quad \text{垂直极化}$$

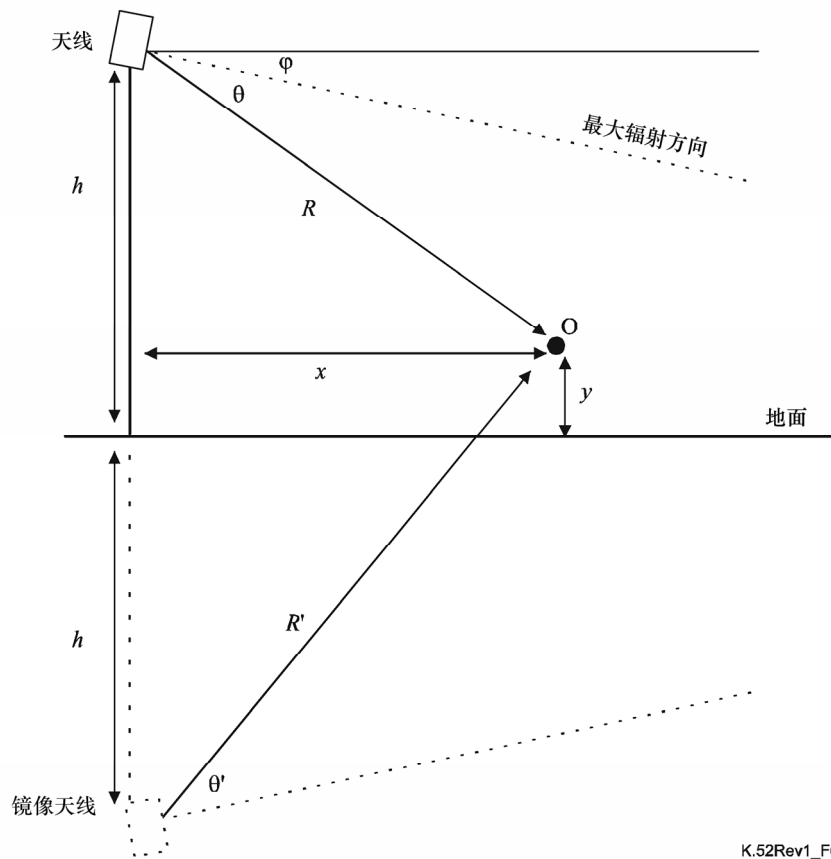
$$\rho = \frac{\sin \Psi - \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}}{\sin \Psi + \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}} \quad \text{水平极化}$$

其中：

$$\chi = \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}$$

反射波通常包括随切线入射角变化而变化的垂直极化分量和水平极化分量，然而在很多实际应用中计算反射系数只需考虑入射波的主极化即可。

距离和角度的定义如图2所示。假设在点O对暴露进行评估。



K.52Rev1_F02

图2/K.52—距离和垂直角的定义

对于在屋顶上安装的设备，由屋顶和墙壁的建筑材料导致辐射的衰减，其室内暴露可望降低至少10-20 dB。

电场和磁场采用以下公式计算：

$$E = \sqrt{S\eta_0}$$

$$H = \sqrt{S/\eta_0}$$

其中 $\eta_0 = 377 \Omega$ 是自由空间的固有阻抗。

上面两个公式在远场区成立。如果用于近场区可能产生不精确（过于保守）的结果。所以，这些公式可以用于评估是否符合EMF暴露限值。

9.2 测量方法

测量方法适用于场强很难计算和计算结果接近暴露限值的情况。ITU-T K.61建议书给出了用于验证是否符合EMF暴露标准要求的测量方法指南。另外，有关EMF测量的详细内容应参阅第2节中列出的出版物以及任何适用的国家标准。而且，“参考资料”中列出的一些出版物还提供了有关在各个频率上测量EMF电磁场的详细内容。

10 缓解技术

对于那些人可以进入，但是EMF超过了EMF暴露人身安全限值的地点，必需设法控制其EMF暴露。控制在其他装置特性不能改变的地方的暴露的一种有效方法是，限制人们进入超出限值的区域。

10.1 职业区

如果EMF超过了非受控的/普通公众的暴露限值，但没有超出职业暴露的限值，则应该限制普通公众进入，但可以允许工作人员进入该区域。采取设置障碍物、关闭封锁或设立适当的警示牌可以起到这种限制作用。对进入职业区的工作人员应给予警示。

建议尽量不要将永久性工作区设在职业区内。

10.2 超标区

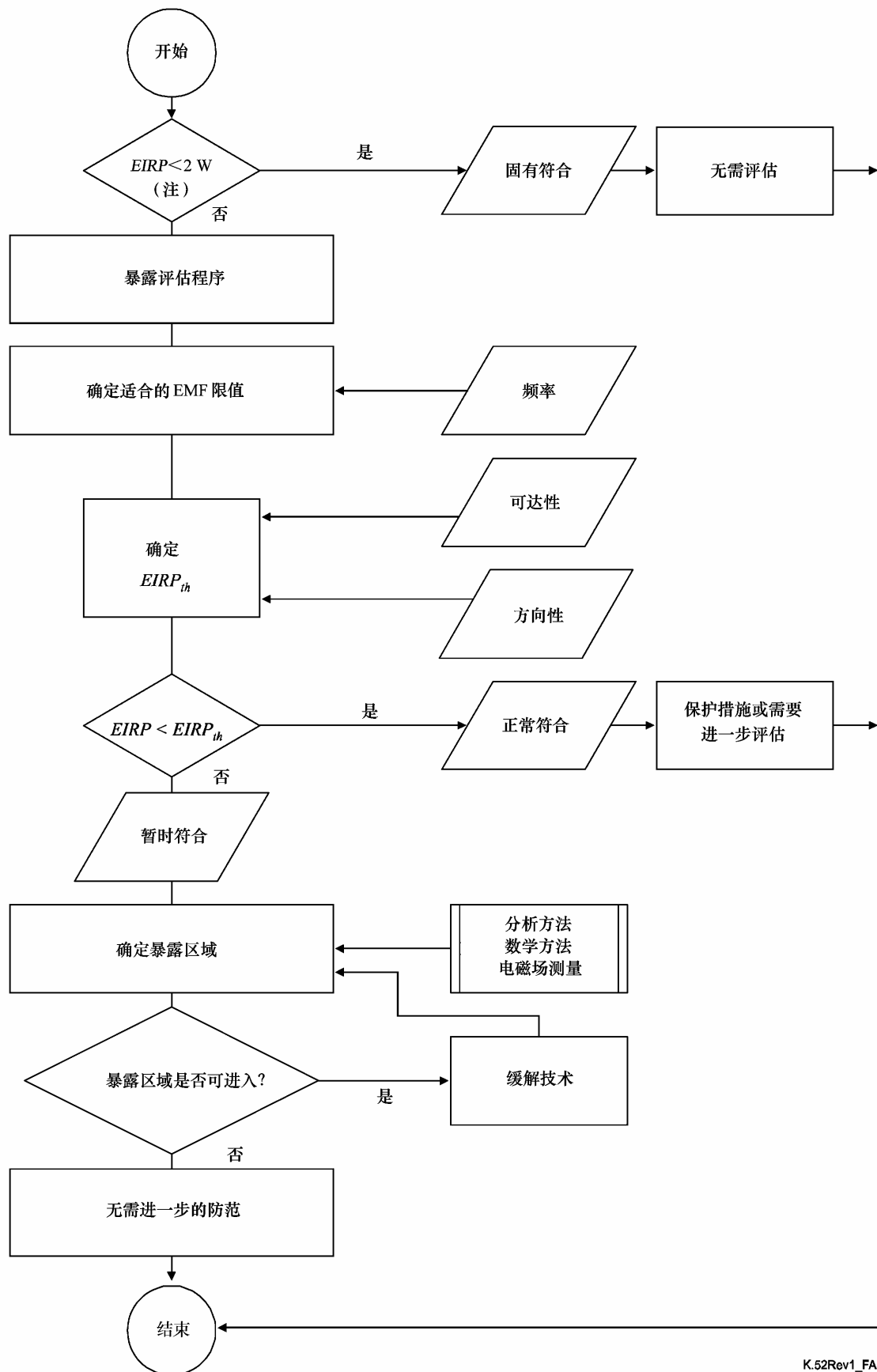
当EMF超过了职业暴露限值时，应限制工作人员和普通公众进入这些地方。如工作人员必需进入，可采取以下措施对暴露进行控制：

- 暂时降低发射器的功率；
- 控制暴露持续时间，使平均暴露在安全限值内；
- 采取屏蔽或穿保护制服。

附 件 A

应用流程图

本附件给出了评估电信装置的单个EMF源暴露的流程图。流程图仅仅适用于电信基础设备，如基站或地球站。



注 — 见附录 IV。

K.52Rev1_FA1

附件 B

确定装置类型的基本判据

以下给出了在ICNIRP限值基础上对装置类型的等级划分。该判据是基于下述各种情况中可能出现的EMF暴露的保守估算。

B.1 固有符合源

最大EIRP值小于等于2 W的发射器被归为固有符合型。无需进行更进一步的划分。

如果总辐射功率小于等于100 mW，而且天线是低增益小孔径的微波或毫米波天线，发射器可被认为是固有符合型。无需进行更进一步的划分。

另外，有一种发射器，其辐射设备的构造已排除了人身进入任何可能超过安全限值的地区的情况，这种构造类型的发射器也被划分为固有符合型。

B.2 正常符合型装置

建议用于确定装置是否正常符合要求的判据由该装置的3个特性组成：可达性、天线的方向性和辐射电磁场的频率。特征描述见B.2.1、B.2.2和B.2.3。

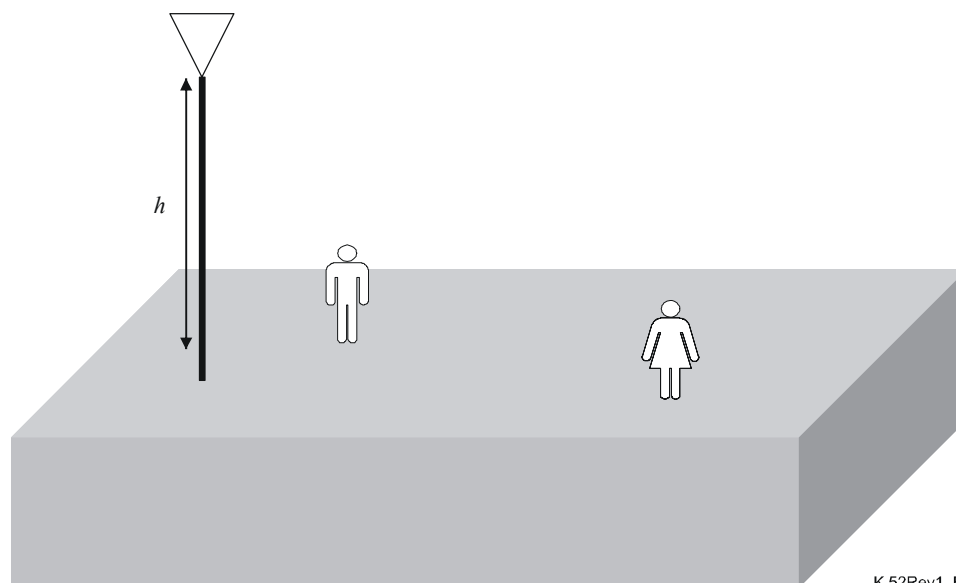
考虑以上特征，与装置的EIRP相比就能确定 $EIRP_{th}$ 值。定义 $EIRP_{th}$ 的一种可能的方法见附录III。

B.2.1 可达性类型

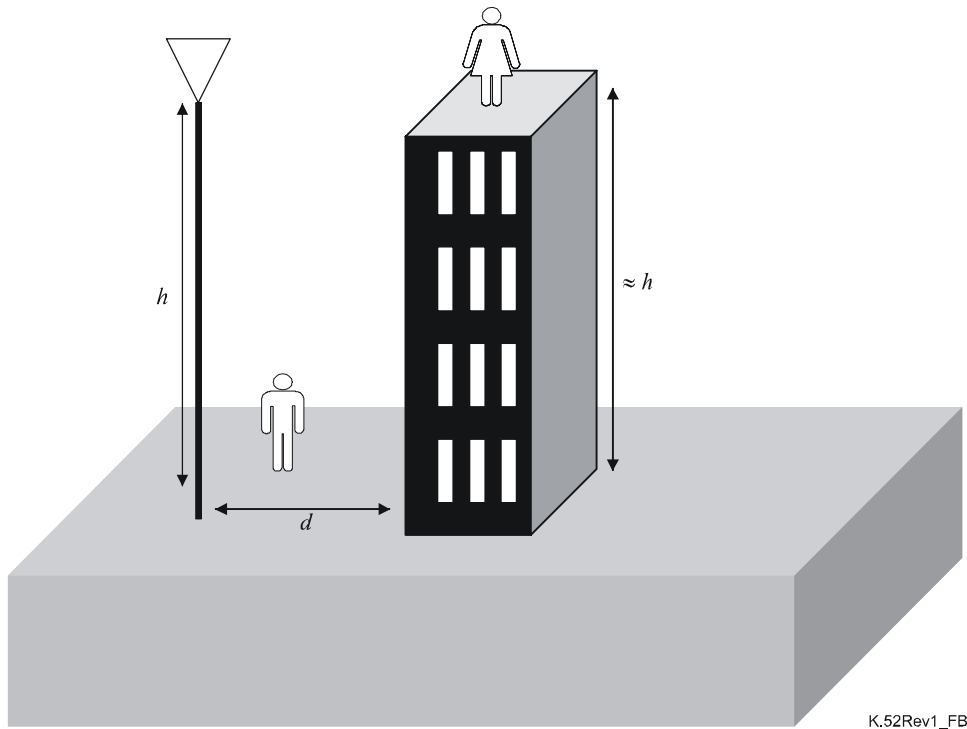
本章规定了可达性的类型。这些分类取决于装置所处的环境，评估了人员进入发射器超标区的可能性。见表B.1。

表B.1/K.52—可达性的类型

可达性类型	相关装置环境	参考图
1	天线安装在不可接近的天线塔上 — 辐射中心在高于地面 h 处。限制 $h > 3$ m。 天线安装在普通公众可接近的建筑物上（例如屋顶） — 辐射中心在高于建筑物 h 处。	图 B.1
2	天线安装在地面上 — 辐射中心在高于地面 h 处。附近有普通公众可接近的建筑物，高约 h ，沿天线的辐射方向与天线距离为 d 。限制 $h > 3$ m。	图 B.2
3	天线安装在地面上 — 辐射中心在高于地面 h ($h > 3$ m) 处。附近有普通公众可接近的建筑物，高约 h' ，沿天线的辐射方向与天线距离为 d 。	图 B.3
4	天线安装在高为 h ($h > 3$ m) 的建筑物上。天线附近存在一个禁止区域。定义两种几何形状的区域： — 以天线为圆心以 a 为半径的圆形区域； — 天线前方大小为 $a \times b$ 的矩形区域。	图 B.4 图 B.5

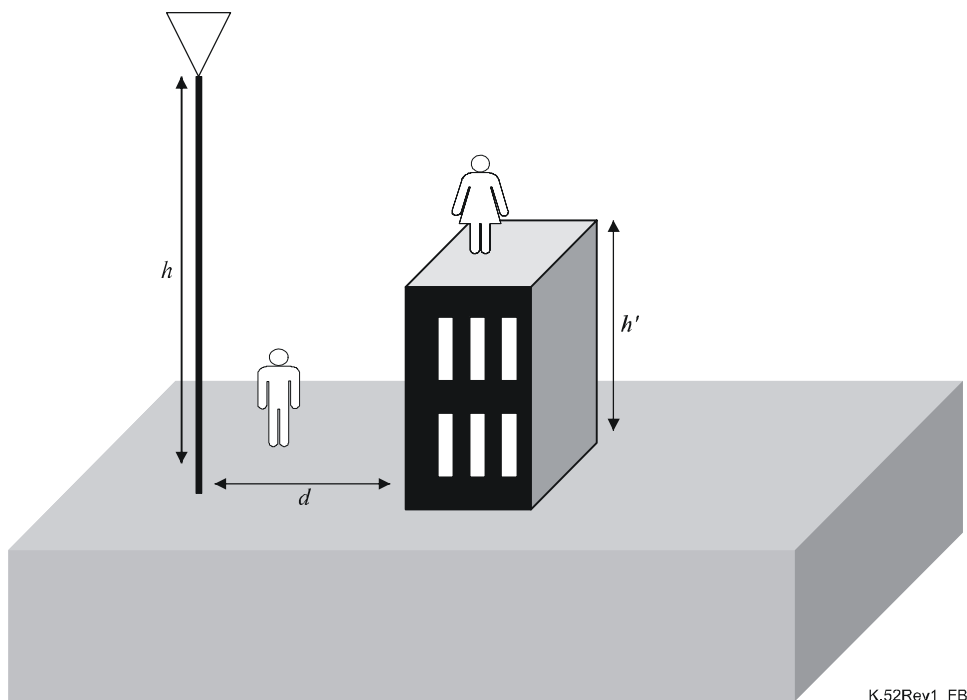


图B.1/K.52—可达性类型1示意图



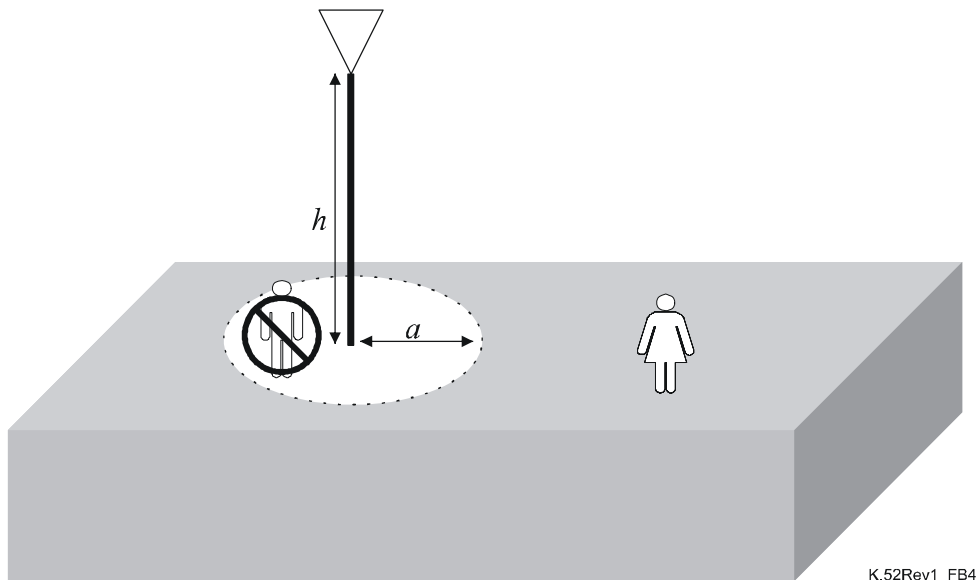
K.52Rev1_FB2

图B.2/K.52—可达性类型2示意图

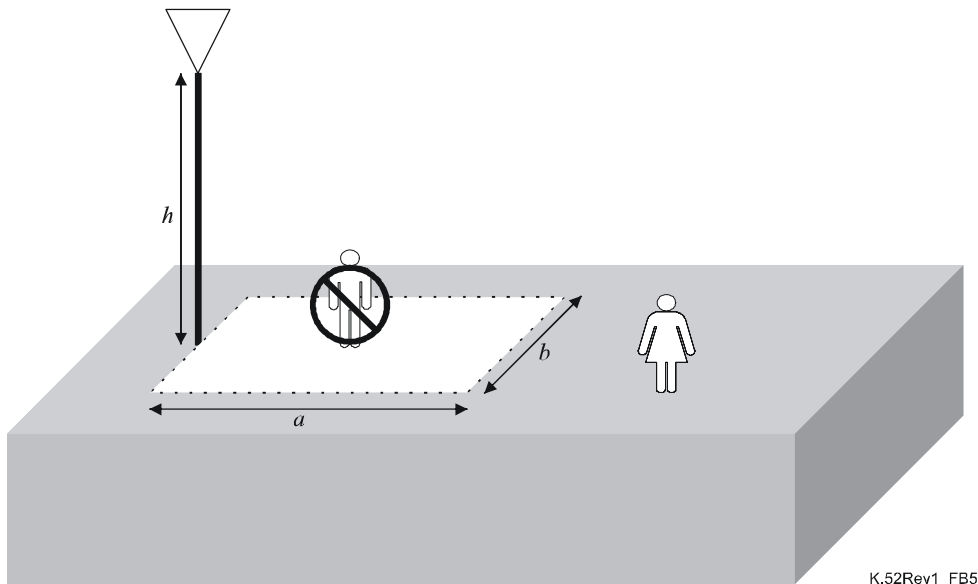


K.52Rev1_FB3

图B.3/K.52—可达性类型3示意图



图B.4/K.52—可达性类型4示意图，圆形禁止区域



图B.5/K.52—可达性类型4示意图，矩形禁止区域

B.2.2 频率范围

正如电磁场暴露标准中所给出的，载波频率决定辐射功率密度的暴露限值 $S_{lim}(f)$ 。

B.2.3 天线方向性类型

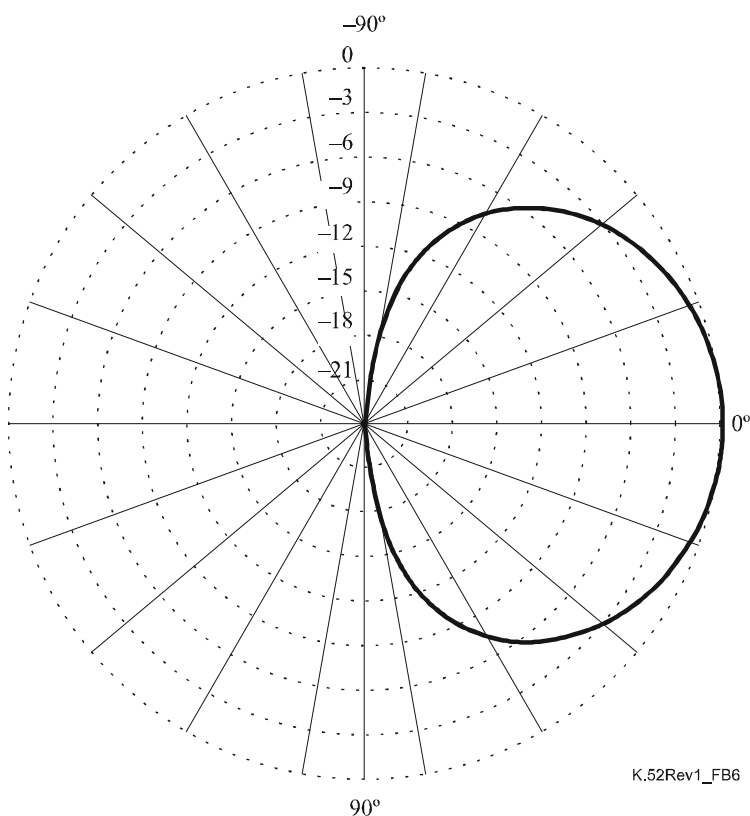
天线的方向性是重要的，因为其决定了可能暴露的方向。方向性很好意味着大多数的辐射功率集中在窄波束内，这样就能很好地控制暴露区域的位置。

天线的方向图是决定电磁场的主要因素，但是也是一个多变的因素。表B.2给出了便于划分天线类型的描述。决定架空天线所造成暴露的最重要的参数是天线的垂直（仰角）极化上的方向图。它与水平（方位）极化上的方向图是不相关的，因为暴露的评估假设暴露是沿着水平面上最大辐射的方向。

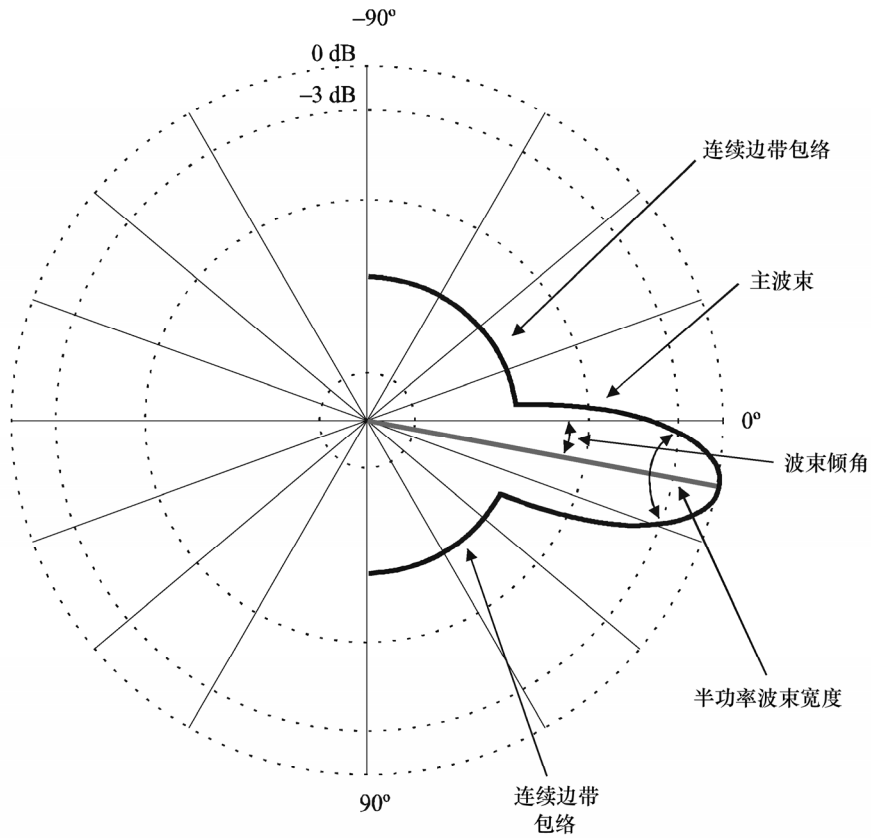
注意，垂直极化方向图和水平极化方向图决定天线增益，水平极化方向图决定了可达性类型4中禁止区域的类型。

表B.2/K.52—天线方向性类型

方向性类型	天线类型描述	相关参数
1	半波偶极子	无 见图 B.6
2	宽覆盖天线（全向或可组合）， 如那些用于无线通信或广播的天线	<ul style="list-style-type: none"> 垂直半功率波束宽度：θ_{bw} 最大旁瓣幅度：A_{sl} 波束倾角：α 见图 B.7
3	产生“笔形射束”（圆对称波束）的高增益天线， 如那些用于点对点通信或地球站的天线	<ul style="list-style-type: none"> 垂直半功率波束宽度：θ_{bw} 最大旁瓣幅度：A_{sl} 波束仰角：α 见图 B.7



图B.6/K.52—半波偶极子天线的垂直极化



K.52Rev1_FB7

图B.7/K.52—有关天线方向图的术语图解

B.2.4 禁止区域

本节描述可达性类型4的禁止区域。该禁止区域取决于天线的水平极化方向图。相应起作用的因素是天线的水平覆盖度。表B.3示出了全向、可组合或窄波束天线水平覆盖度的典型值。

表B.3/K.52—水平极化覆盖范围的禁止区域

水平极化覆盖	禁止区域
全向	圆形区域 (图 B.4)
120°	矩形区域 (图 B.5) $b = 0.866a$
90°	矩形区域 (图 B.5) $b = 0.707a$
60°	矩形区域 (图 B.5) $b = 0.5a$
30°	矩形区域 (图 B.5) $b = 0.259a$
小于 5°	矩形区域 (图 B.5) $b = 0.09a$

附录 I

ICNIRP 限值

本附录概要介绍了由国际非电离辐射委员会（ICNIRP）出版的对暴露在时变电场、磁场和电磁场（直到300 GHz）[1]下的限值指南。本附录介绍了基本限值（SAR和电流密度）和场强导出限值。

I.1 基本限值

基本限值如表I.1所示。

表I.1/K.52—ICNIRP基本限值

暴露类型	频率范围	头部和躯干的电流密度 (mA/m ²) (rms)	全身平均的SAR (W/kg)	局部SAR (头部和躯干) (W/kg)	局部SAR (四肢) (W/kg)
职业	低于 1 Hz	40			
	1-4 Hz	40/ <i>f</i>			
	4 Hz-1 kHz	10			
	1-100 kHz	<i>f</i> /100			
	100 kHz-10 MHz	<i>f</i> /100	0.4	10	20
	10 MHz-10 GHz		0.4	10	20
普通公众	低于 1 Hz	8			
	1-4 Hz	8/ <i>f</i>			
	4 Hz-1 kHz	2			
	1-100 kHz	<i>f</i> /500			
	100 kHz-10 MHz	<i>f</i> /500	0.08	2	4
	10 MHz-10 GHz		0.08	2	4

注 1 — *f* 为频率，单位为 Hz。

注 2 — 因为人体电特性不均匀，电流密度应当在与电流方向垂直正交的 1 cm² 的面积上取平均。

注 3 — 所有 SAR 值应当是在任何一个 6 分钟期间的平均值。

注 4 — 局部 SAR 的平均质量是相邻组织的任何一个 10 g；如此获得的最大 SAR 值用于对暴露的评估。

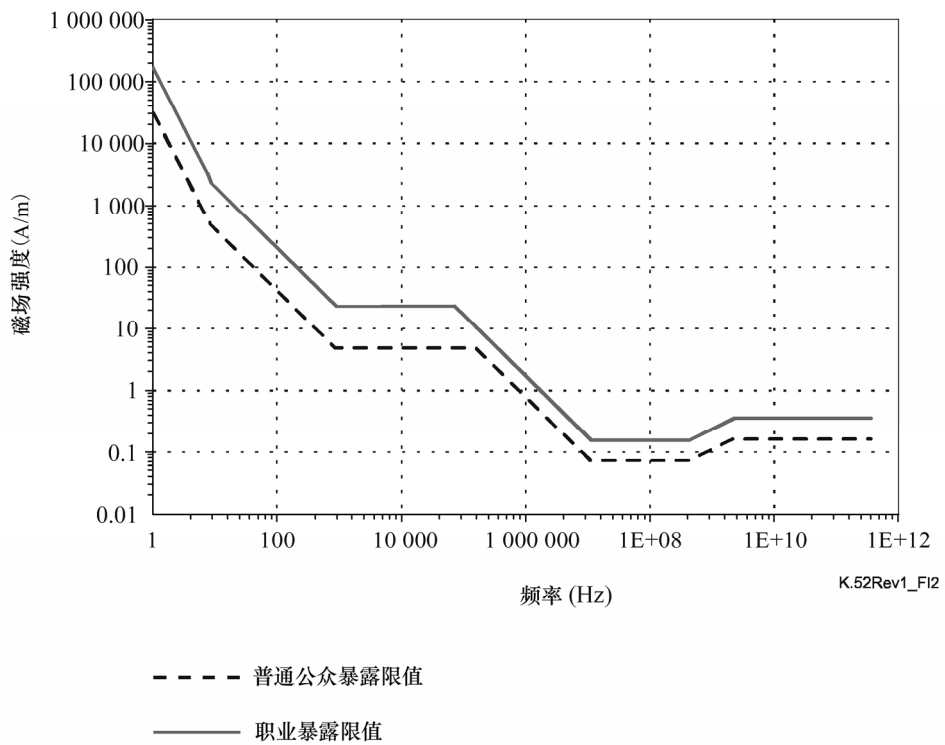
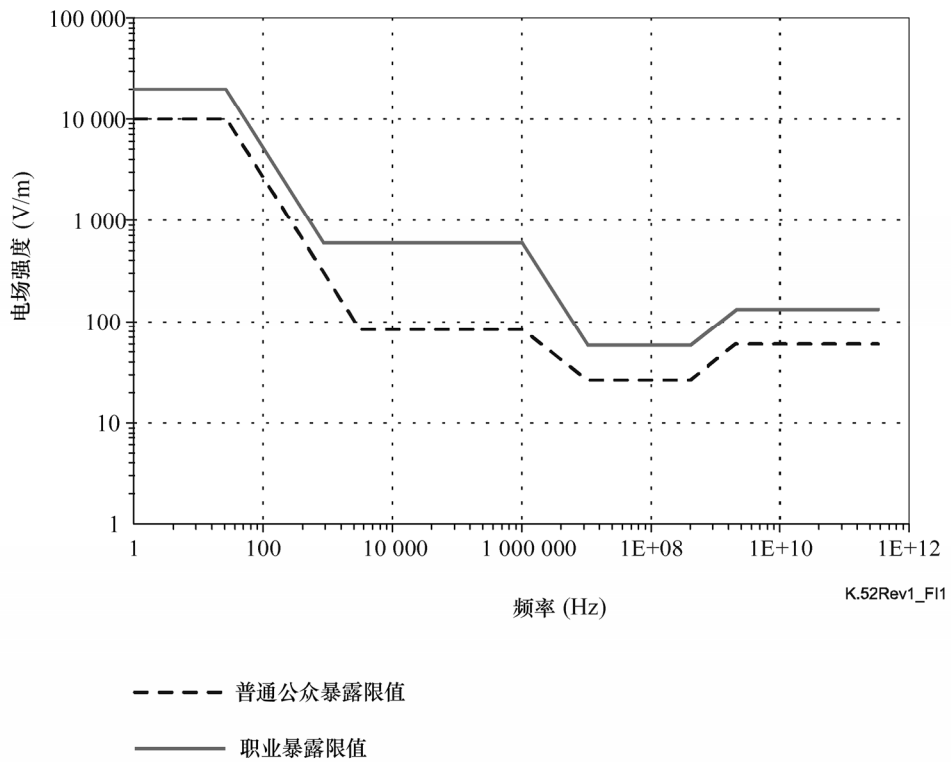
1.2 导出限值

导出限值见表I.2所示。

表I.2/K.52—ICNIRP导出限值（无扰rms值）

暴露类型	频率范围	电场强度 (V/m)	磁场强度 (A/m)	等效平面波功率密度 S_{eq} (W/m ²)
职业暴露	低于 1 Hz	—	2×10^5	—
	1-8 Hz	20 000	$2 \times 10^5 f^2$	—
	8-25 Hz	20 000	$2 \times 10^4 / f$	—
	0.025-0.82 kHz	$500/f$	20/f	—
	0.82-65 kHz	610	24.4	—
	0.065-1 MHz	610	$1.6/f$	—
	1-10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	—
	10-400 MHz	61	0.16	10
	400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f/40$
	2-300 GHz	137	0.36	50
普通公众	低于 1 Hz	—	2×10^4	—
	1-8 Hz	10 000	$2 \times 10^4 f^2$	—
	8-25 Hz	10 000	$5 000/f$	—
	0.025-0.8 kHz	$250/f$	4/f	—
	0.8-3 kHz	$250/f$	5	—
	3-150 kHz	87	5	—
	0.15-1 MHz	87	$0.73/f$	—
	1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	—
	10-400 MHz	28	0.073	2
	400-2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$f/200$
	2-300 GHz	61	0.16	10
<p>注 1 — f 如“频率范围”一列中所指出的。</p> <p>注 2 — 对于 100 kHz 至 10 GHz 的频率，平均时间为 6 分钟。</p> <p>注 3 — 对于 100 kHz 以下的频率，峰值电流密度可以用 rms 值乘以 $\sqrt{2}$ (≈ 1.414) 获得。对于周期为 t_p 的脉冲，应用的等效频率应使用 $f = 1 / (2t_p)$ 来计算。</p> <p>注 4 — 100 kHz 至 10 MHz 之间的频率，场强的峰值通过 100 kHz 峰值的 1.5 倍与 10 MHz 峰值的 32 倍的插值算法得到。对于超过 10 MHz 的频率，当在脉冲宽度内平均时，峰值平面波功率密度不超过 S_{eq} 限值的 1000 倍，或者场强不超过表中给出场强的 32 倍。</p> <p>注 5 — 对于超过 10 GHz 的频率，平均时间为任意 $68/f^{1.05}$ 分钟 (f 单位为 GHz)。</p>				

图I.1和I.2示出导出场强值。



1.3 同时暴露在多源下的情况

对于在不同频率上电磁场的同时照射，其暴露限值按下式规定。应当满足频率范围内的所有条件。

$$\sum_{i=1 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{E_{l,i}} + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$$
$$\sum_{j=1 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{H_j}{H_{l,j}} + \sum_{j>1 \text{ MHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1$$

其中：

E_i 是频率*i*的电场强度

$E_{l,i}$ 是频率*i*的电场参考限值

H_j 是频率*j*的磁场强度

$H_{l,j}$ 是频率*j*的磁场参考限值

对于职业暴露， $a = 610 \text{ V/m}$ ；对于普通公众暴露， $a = 87 \text{ V/m}$

对于职业暴露， $b = 24.4 \text{ A/m}$ ；对于普通公众暴露， $b = 5 \text{ A/m}$

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{j=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{l,j}} \right)^2 \leq 1$$

其中：

E_i 是频率*i*的电场强度

$E_{l,i}$ 是频率*i*的电场参考限值

H_j 是频率*j*的磁场强度

$H_{l,j}$ 是频率*j*的磁场参考限值

对于职业暴露， $c = 610/f \text{ V/m}$ (f 单位为MHz)；对于普通公众暴露， $c = 87/f^{1/2} \text{ V/m}$

对于职业暴露， $d = 1.6/f \text{ A/m}$ (f 单位为MHz)；对于普通公众暴露， $d = 0.73/f \text{ A/m}$

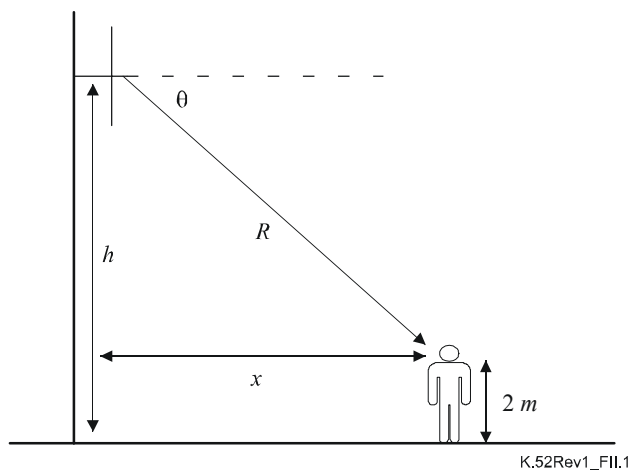
附录 II

EMF 暴露的简单评估方法示例

本附录给出了用于评估EMF暴露的简单预测方法的例子。

II.1 地面上的暴露

站在地面上的人受到架空天线辐射时计算暴露的几何图如图II.1所示。



图II.1/K.52—计算地面上的暴露的布置示意图

天线的辐射中心离开地面的高度为 h ，计算的目的是判定在高出地面2 m（近似于头的高度）、距离天线塔 x 的一点上的功率密度。假设主波束与地面平行，天线增益为轴对称（全向）。

为简化上述情况，规定 $h' = h - 2$ [m]。利用三角学原理，

$$R^2 = h'^2 + x^2$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{x}\right)$$

考虑到地面反射的因素，功率密度为：

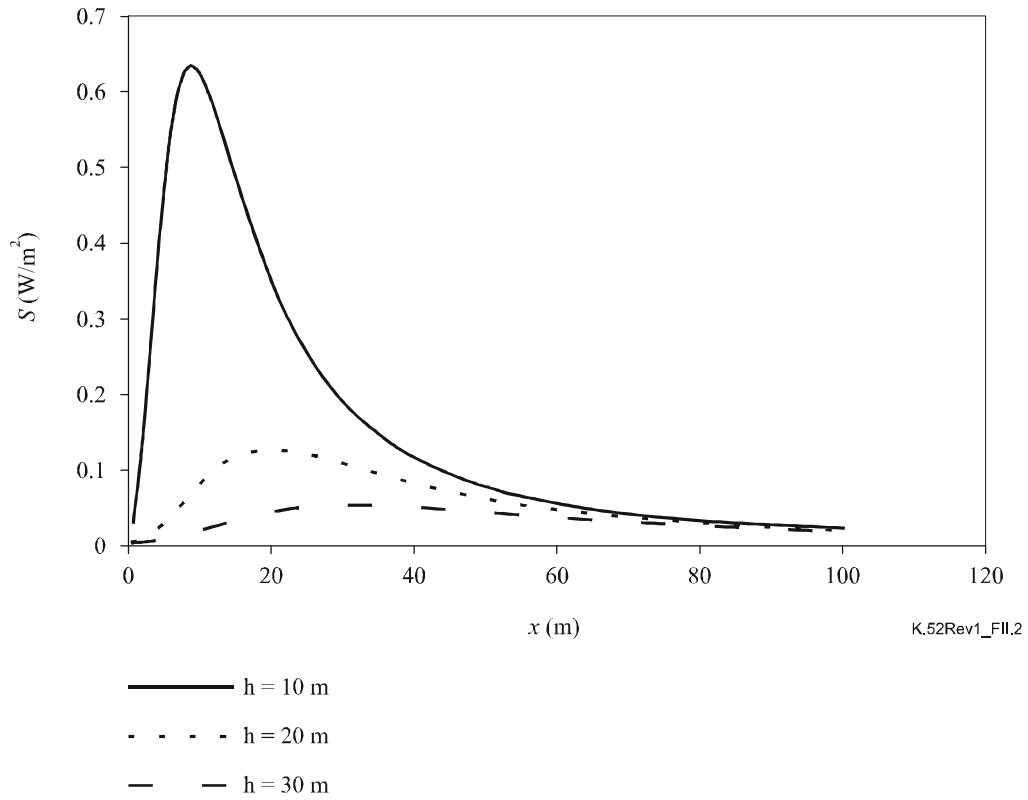
$$S = \frac{2.56}{4\pi} F(\theta) \frac{EIRP}{x^2 + h'^2}$$

注 — 如需要较严格的方法，可用因子4代替因子2.56（即：如果采用更加严格的要求，考虑到1）的反射因数）。

例如：如果天线属于半波偶极子，则相应的数字增益用以下公式表示：

$$F(\theta, \phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2$$

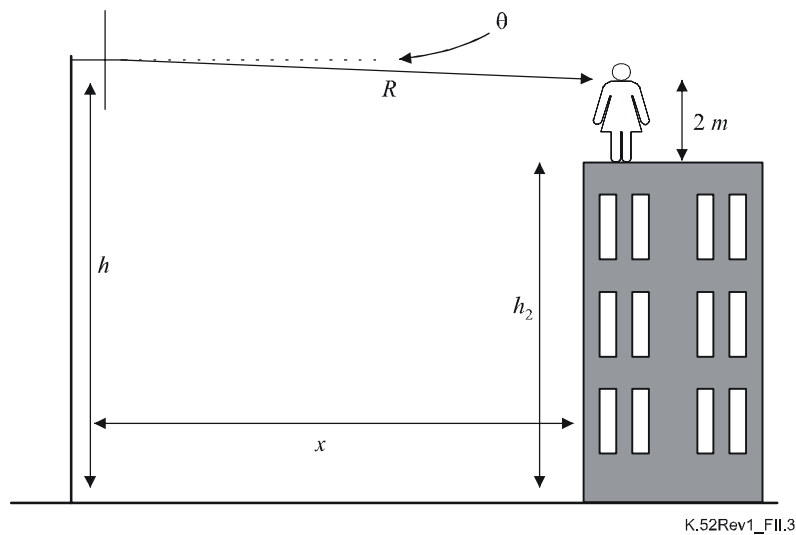
那么，一个EIRP值为1000 W的源，其暴露功率作为 x 的函数，在三个不同高度上与 x 的函数曲线图如图II.2所示。



图II.2/K.52—地面上的功率密度对图II.1中示例人与天线塔的距离关系图

II.2 附近建筑物上的暴露

站在天线塔附近的建筑物上的人受到辐射时计算其暴露的几何图如图II.3所示。



图II.3/K.52—计算附近建筑物上的暴露的示意图

天线的辐射中心在距地面高 h 的地方，计算的目的是评估在附近建筑物上高出屋顶2 m（近似于头的高度）的一点上的功率密度。建筑物高为 h_2 ，与天线塔的距离为 x ，最严重的暴露预计发生在距天线塔最近的屋顶的边缘。假设主波束与地面平行，天线增益为轴对称（全向）。

同样，为简化上述情况，规定 $h' = h - h_2 - 2$ 。利用三角学原理，则：

$$R^2 = h'^2 + x^2$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{x}\right)$$

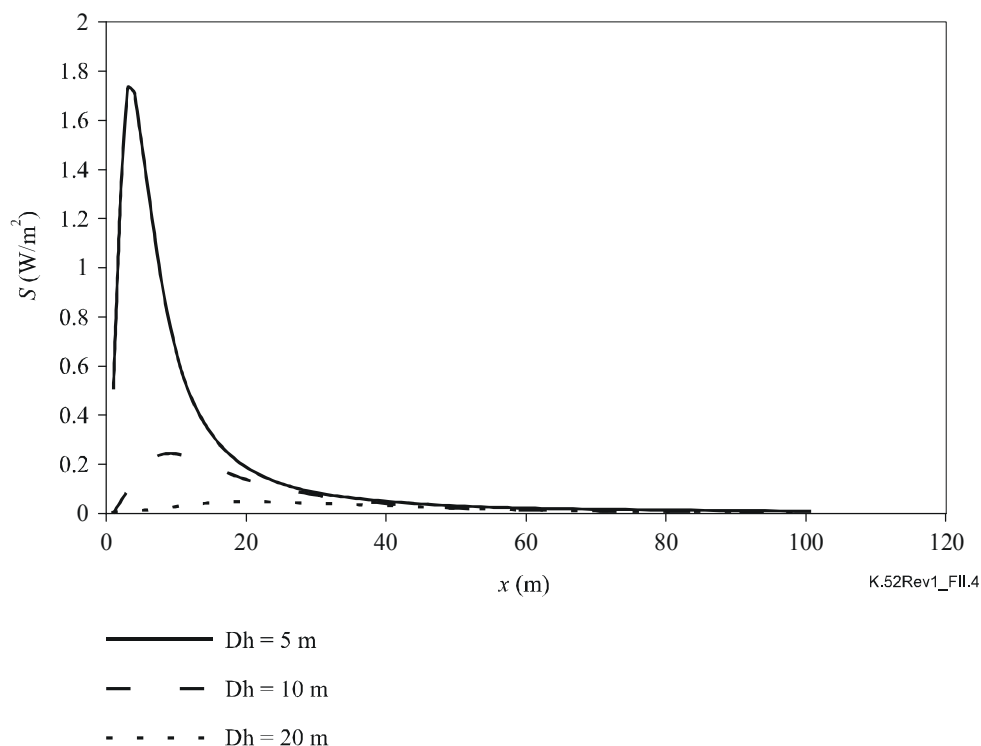
在这种情况下，可以忽略地面的反射，因为反射波可能受到建筑物影响而产生衰减，因此，功率密度为：

$$S = \frac{F(\theta)}{4\pi} \frac{EIRP}{x^2 + h'^2}$$

例如：如果天线属于半波偶极子，则相应的数值增益用以下形式表示：

$$F(\theta, \phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2$$

那么，一个EIRP值为1000 W的源，其暴露功率作为 x 的函数，在三个不同的相对高度（ $h-h_2$ ）上与 x 的函数曲线图如图II.4所示。



图II.4/K.52—附近建筑物上的功率密度对图II.2中示例建筑物与天线塔的距离关系图

附录 III

$EIRP_{th}$ 计算示例

III.1 $EIRP_{th}$ 值

表III.1至III.3给出了基于ICNIRP限值，对各种频率范围、可达性条件及天线方向性类型情况下的 $EIRP_{th}$ 值。

必需指出的是辐射功率密度只能用在远场条件下，此时为典型的电场和磁场。这就意味着对正常符合型装置的建议评估方法的有效性是有条件的。在该方法不适用的地方（如低频或近场条件下的暴露），装置必须视为暂时符合型。

ICNIRP指南规定了在三个频率范围内等效于平面波功率密度的相应不同的限值。在100 MHz频率以上的限值如下：

f (MHz)	$S_{lim}(f)$ (W/m ²)	
	普通公众	职业
100-400	2	10
400-2 000	$f/200$	$f/40$
$2 \cdot 10^3$ - $300 \cdot 10^3$	10	50

$EIRP_{th}$ 值是一个关于天线高度和附录B中规定的其他相关参数（可达性、方向性和频率）的函数。

附录IV规定了 $EIRP_{th}$ 值的基本原理。

注 — 在以下表格中，a、d、h和h'的单位为米。

表III.1/K.52—基于ICNIRP限值在100-400 MHz频率范围的正常符合型装置的条件

方向性类型	可达性类型	$EIRP_{th}$ (W)	
		普通公众	职业
1	1	$8\pi(h-2)^2$	$40\pi(h-2)^2$
	2	小于： $8\pi(h-2)^2$ 或 $2\pi d^2$	小于： $40\pi(h-2)^2$ 或 $10\pi d^2$
	3	小于： $8\pi(h-2)^2$ 或 $2\pi \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	小于： $40\pi(h-2)^2$ 或 $10\pi \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$

表III.1/K.52—基于ICNIRP限值在100-400 MHz频率范围的正常符合型装置的条件

方向性类型	可达性类型	$EIRP_{th}$ (W)	
		普通公众	职业
1	4	小于: $8\pi(h-2)^2$ {If $a < (h-2)$ } 或 $2\pi\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$	小于: $40\pi(h-2)^2$ {If $a < (h-2)$ } 或 $10\pi\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$
2	1	小于: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $2\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1.129\theta_{bw})}\right]^2$	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $10\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1.129\theta_{bw})}\right]^2$
	2 (由以下确定: $h' > h-d \tan(\alpha+1.129\theta_{bw})$)	小于: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $2\pi d^2$	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $10\pi d^2$
	3 (由以下确定: $h' < h-d \tan(\alpha+1.129\theta_{bw})$)	小于: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{2\pi}{A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{10\pi}{A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$
	4	小于: $\frac{2\pi}{A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ 或 $2\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1.129\theta_{bw})}\right]^2$	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ 或 $10\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1.129\theta_{bw})}\right]^2$
3	1	小于: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $2\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1.129\theta_{bw})}\right]^2$	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $10\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1.129\theta_{bw})}\right]^2$

表III.1/K.52—基于ICNIRP限值在100-400 MHz频率范围的正常符合型装置的条件

方向性类型	可达性类型	$EIRP_{th}$ (W)	
		普通公众	职业
3	2	N/A (通常需要视线)	N/A (通常需要视线)
	3 (由以下确定: $h' < h - d \tan(\alpha + 1.129\theta_{bw})$)	小于: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{\pi}{2A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{2.5\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	小于: $\frac{2\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ 或 $2\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ 或 $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$

表III.2/K.52—基于ICNIRP限值在400-2000 MHz频率范围的正常符合型装置的条件

方向性类型	可达性类型	$EIRP_{th}$ (W)	
		普通公众	职业
1	1	$\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$	$\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$
	2	小于: $\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{200}d^2$	小于: $\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{40}d^2$
	3	小于: $\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	小于: $\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$

表III.2/K.52—基于ICNIR限值在400-2000 MHz频率范围的正常符合型装置的条件

方向性类型	可达性类型	$EIRP_{th}$ (W)	
		普通公众	职业
1	4	小于: $\frac{f\pi}{50}(h-2)^2 \{ \text{If } a < (h-2) \}$ 或 $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$	小于: $\frac{f\pi}{10}(h-2)^2 \{ \text{If } a < (h-2) \}$ 或 $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$
2	1	小于: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$	小于: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$
	2 (由以下确定: $h' > h - d \tan(\alpha + 1.129\theta_{bw})$)	小于: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{200}d^2$	小于: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{40}d^2$
	3 (由以下确定: $h' < h - d \tan(\alpha + 1.129\theta_{bw})$)	小于: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{200A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	小于: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{40A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	小于: $\frac{f\pi}{200A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ 或 $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$	小于: $\frac{f\pi}{40A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ 或 $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$
3	1	小于: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{h}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$	小于: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{h}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$

表III.2/K.52—基于ICNIRP限值在400-2000 MHz频率范围的正常符合型装置的条件

方向性类型	可达性类型	$EIRP_{th}$ (W)	
		普通公众	职业
3	2	N/A (通常需要视线)	N/A (通常需要视线)
	3 (由以下确定: $h' < h - d \tan(\alpha + 1.129\theta_{bw})$)	小于: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{50A_{sl}}\left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d}\right]^2$	小于: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{f\pi}{10A_{sl}}\left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d}\right]^2$
	4	小于: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}\left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a}\right]^2$ 或 $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})}\right]^2$	小于: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}\left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a}\right]^2$ 或 $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})}\right]^2$

表III.3/K.52—基于ICNIRP限值在2000-300 000 MHz频率范围的正常符合型装置的条件

方向性类型	可达性类型	$EIRP_{th}$ (W)	
		普通公众	职业
1	1	$40\pi(h-2)^2$	$200\pi(h-2)^2$
	2	小于: $40\pi(h-2)^2$ 或 $10\pi d^2$	小于: $200\pi(h-2)^2$ 或 $50\pi d^2$
	3	小于: $40\pi(h-2)^2$ 或 $10\pi\left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d}\right]^2$	小于: $200\pi(h-2)^2$ 或 $50\pi\left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d}\right]^2$

表III.3/K.52—基于ICNIRP限值在2000-300 000 MHz频率范围的正常符合型装置的条件

方向性类型	可达性类型	$EIRP_{th}$ (W)	
		普通公众	职业
1	4	小于: $40\pi(h-2)^2 \{ \text{If } a < (h-2) \}$ 或 $10\pi \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$	小于: $200\pi(h-2)^2 \{ \text{If } a < (h-2) \}$ 或 $50\pi \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$
2	1	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$	小于: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $50\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$
	2 (由以下确定: $h' > h - d \tan(\alpha + 1.129\theta_{bw})$)	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $10\pi d^2$	小于: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $50\pi d^2$
	3 (由以下确定: $h' < h - d \tan(\alpha + 1.129\theta_{bw})$)	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	小于: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{50\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ 或 $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$	小于: $\frac{50\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ 或 $50\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$
3	1	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$	小于: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $50\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$

表III.3/K.52—基于ICNIRP限值在2000-300 000 MHz频率范围的正常符合型装置的条件

方向性类型	可达性类型	$EIRP_{th}$ (W)	
		普通公众	职业
3	2	N/A (通常需要视线)	N/A (通常需要视线)
	3 (由以下确定: $h' < h - d \tan(\alpha + 1.129\theta_{bw})$)	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{2.5\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	小于: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ 或 $\frac{12.5\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	小于: $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ 或 $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$	小于: $\frac{50\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ 或 $50\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1.129\theta_{bw})} \right]^2$
<p>注 1—f 单位为 MHz。</p> <p>注 2—所有角度为弧度。</p> <p>注 3—A_{sl} 应表示为数字因子。但通常它以 dB 形式给出。转换公式为: $A_{sl} = 10^{A_{sl}[dB]/10}$。</p>			

附录 IV

附录III表格中 $EIRP_{th}$ 值的基本原理

本附录给出了附录III中 $EIRP_{th}$ 值的基本原理。该原理的理论依据是把远场表达式用于各种情况得出的计算结果。因此该原理适用的频率范围限制在100 MHz以上。

IV.1 固有符合源

固有符合源的标准是 $EIRP$ 不高于2 W，低增益小孔径微波或毫米波天线的总辐射功率不高于100 mW才被认为是固有符合型。此 $EIRP$ 值对应于1 m外 0.16 W/m^2 的功率密度，而ICNIRP规定的对普通公众的最低功率密度限值是 2 W/m^2 。

IV.2 正常符合型

对正常符合型装置的判据是考虑了地面暴露和邻近建筑物或结构暴露的情况而得到的。简单计算方法见9.1.2。两个决定性因素是天线方向图和可达性条件。为规定等级划分，应增加一些保守的假设：

- 对于地面上的暴露，假设反射系数为1。
- 假设所有的暴露都出现水平面的最大天线辐射方向上。

以下几节给出了不同方向性类型天线的推导式。

IV.2.1 方向性类型1

天线增益函数采用最小偶极子的相对数字增益近似地表示为：

$$F(\theta, \phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2 \approx \cos^2 \theta$$

无穷小偶极子具有全向源的最宽的垂直增益函数。因此，地面上最严重的暴露情况就是主波束轴线与地面或更高的位置相平行。

利用该增益，暴露功率可以作为 x 的解析函数而得到：

$$S(x) = \frac{EIRP}{4\pi} \left(\frac{x}{x^2 + h_d^2} + \frac{x}{x^2 + h_s^2} \right)^2$$

其中, h_d 是天线辐射中心高度 h 和观察点高度之间的差, h_s 是这两个量的和。在地面暴露中观察点高度为2 m, 在临近建筑物上的暴露中为 h' 。对最大暴露的计算相当复杂, 但可以假定 $h_s=h_d$ 来进行保守的估计, 这个近似值在近地面处应该还是比较准确的, 但在高出地面很多的位置就会产生过大的估算结果。利用该近似值, 在 $x=h_d$ 处出现的最大暴露等于:

$$S_{max}(h) = \frac{1}{4\pi} \frac{EIRP}{h_d^2}$$

对于给定的等效平面波功率密度的限值、 S_{lim} 和给定的天线高度, 可以计算出EIRP的最大值。该值应符合下式:

$$EIRP_{th} = 4\pi h_d^2 S_{lim}$$

IV.2.2 方向性类型2

在这种情况下, 假设天线方向图包括两个元素: 主波束和连续幅度旁瓣包络。这种天线方向性可以表示为:

$$F(\theta) = \begin{cases} \left[\frac{\sin[c \sin(\theta - \alpha)]}{c \sin(\theta - \alpha)} \right]^2 & \text{主波束} \\ A_{sl} & \text{旁瓣包络} \end{cases}$$

参数 c 决定了半功率波束宽度, 如下式:

$$c = \frac{1.392}{\sin(\theta_{bw}/2)}$$

从主波束到旁瓣包络区域的交叉点是很难分析判定的, 但可以在主波束函数第一个零位出现时近似求得。第一个零位出现在:

$$\theta_{n1,n2} = \alpha \pm \sin^{-1} \left[\frac{\pi}{1.392} \sin \left(\frac{\theta_{bw}}{2} \right) \right] \approx \alpha \pm 2.257 \frac{\theta_{bw}}{2}$$

在主波束以外, 用连续包络计算暴露, 这样, 最大暴露就出现在天线正下方。在很多情况下, 这是一种保守的假设, 因为天线方向图在这一点上可能为零。但在没有其他有关方向的信息时使用了最保守的假设。在某些情况下, 如当在远离天线基座的地方出现旁瓣暴露时, 连续包络可以由偶极子因子($\cos\theta$)进行调制。

另外, 为简化计算, 假设主波束有连续功率($F(\theta)=1$), 则点(x,y)在波束内的条件是:

$$h - xtg\theta_{n1} \leq y \leq h - xtg\theta_{n2}$$

IV.2.3 方向性类型3

计算方向性类型3暴露与方向性类型2相比的主要区别在于对反射场的处理方法。方向性类型3的天线用于点对点链路, 因此无需考虑主波束暴露下的反射波。

参考资料

- [1] ICNIRP, *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic field (up to 300 GHz)*.
- [2] FCC, 96-326, *Guidelines for Evaluating the Environmental Effects of Radiofrequency Radiation*.
- [3] ANSI/IEEE C95.1, *Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*.
- [4] The Council of The European Union, *Council Recommendation 1999/519/EC of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)*.
- [5] The European Parliament and the Council of the European Union, *Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)*.
- [6] Health Canada Safety Code 6, *Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz*.
- [7] ANSI/IEEE C95.3, *Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave*.
- [8] IEEE 291, *Standard Methods for Measuring Electromagnetic Field Strengths of Sinusoidal Continuous Waves, 30 Hz to 30 GHz*.
- [9] IEEE C63.2, *Standard Electromagnetic Noise and Field Strengths Instrumentation, 10 Hz to 40 GHz – Specifications*.
- [10] OET Bulletin 65, *Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields*.
- [11] IEEE 644, *Standard procedures for measurement of power frequency electric and magnetic fields from a.c. power lines*.
- [12] IEEE 473, *IEEE recommended practice for an electromagnetic site survey (10 kHz to 10 GHz)*.
- [13] ITU-R draft Recommendation BS.6/BL/25 (2005), *Evaluating fields from terrestrial broadcasting transmitting systems operating in any frequency band for assessing exposure to non-ionizing radiation*.
- [14] IEEE 1528, *IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques*.
- [15] ETSI TR 101 870, *Fixed radio transmitter sites; Exposure to non-ionizing electromagnetic fields; Guidelines for working conditions*.

ITU-T 系列建议书

A系列	ITU-T工作的组织
D系列	一般资费原则
E系列	综合网络运行、电话业务、业务运行和人为因素
F系列	非话电信业务
G系列	传输系统和媒质、数字系统和网络
H系列	视听和多媒体系统
I系列	综合业务数字网
J系列	有线网和电视、声音节目和其他多媒体信号的传输
K系列	干扰的防护
L系列	线缆的构成、安装和保护及外部设备的其他组件
M系列	电信管理，包括TMN和网络维护
N系列	维护：国际声音节目和电视传输电路
O系列	测量设备技术规程
P系列	电话传输质量、电话装置、本地线路网络
Q系列	交换和信令
R系列	电报传输
S系列	电报业务终端设备
T系列	远程信息处理业务的终端设备
U系列	电报交换
V系列	电话网上的数据通信
X系列	数据网和开放系统通信及安全
Y系列	全球信息基础设施、互联网的协议问题和下一代网络
Z系列	用于电信系统的语言和一般软件问题