



中华人民共和国国家标准

GB/T 39640—2020

家用电器及类似器具电磁场 相对于人体曝露的测量方法

Measurement methods for electromagnetic fields of household
appliances and similar apparatus with regard to human exposure

2020-12-14 发布

2021-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、符号 2

4 测量方法和限值集的选择 3

5 测量方法 4

6 测量结果评估 8

附录 A（规范性附录） 测量磁感应强度的运行条件 12

附录 B（规范性附录） 耦合因子的确定 18

附录 C（资料性附录） 曝露限值 24

附录 D（资料性附录） 使用附录 C 限值的实例 26

参考文献 33

图 1 开始于参考值评估的测试方法选择建议的流程图 9

图 2 参考值与频率之间相关性的平滑曲线示例 10

图 3 与图 2 参考值对应的转移函数 A 的示例 10

图 4 参考方法的示意图 11

图 A.1 测量位置：上方/前方 15

图 A.2 测量位置：周围 16

图 A.3 电磁灶台和电磁灶头的测量距离 17

图 B.1 高场强区 18

图 B.2 磁感应强度的梯度和积分 G 19

图 B.3 等效线圈位置 19

图 B.4 磁感应强度的梯度和线圈 20

图 B.5 当人体全身电导率 $\sigma=0.1\text{ S/m}$, $A_{\text{sensor}}=100\text{ cm}^2$ 时的耦合因子 $a_c(r)$ (用 ICNIRP 限值重新调整) 23

图 D.1 磁通量测量 27

图 D.2 在切向距离 r_0 上的归一化场分布 28

图 D.3 均匀人体的数值模型 29

图 D.4 头部和肩膀的结构细节 29

图 D.5 磁场源 Q 相对模型 K 的位置 30



表 A.1 测量距离、传感器位置和运行条件 12

表 B.1 不同线圈 G 的值 20

表 B.2 对于人体全身,系数 k 在 50 Hz 上的值 21

表 C.1 对于一般公众暴露于频率不超过 10 GHz 的时变电场和磁场的基本限制 24

表 C.2 对于一般公众暴露于时变电场和磁场的参考值(不受干扰的有效值) 24

表 C.3 对于一般公众暴露于频率不超过 3 kHz 的电磁场,适用于人体各种部位的基本限制 25

表 C.4 对于一般公众暴露的磁场限值:头部和躯干的暴露 25

表 D.1 ICNIRP 公众暴露的转移函数 26

表 D.2 IEEE 公众暴露的转移函数 26

表 D.3 耦合因子 $a_c(r_1)$ 27



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国无线电干扰标准化技术委员会(SAC/TC 79)提出并归口。

本标准起草单位:威凯检测技术有限公司、广东美的生活电器制造有限公司、合肥华凌股份有限公司、飞利浦(中国)投资有限公司、珠海格力电器股份有限公司、松下家电研究开发(杭州)有限公司、海信(广东)空调有限公司、深圳安吉尔饮水产业集团有限公司、中国电器科学研究院股份有限公司、九阳股份有限公司、浙江绍兴苏泊尔生活电器有限公司、广东新宝电器股份有限公司、杭州老板电器股份有限公司、浙江月立电器有限公司、小米通讯技术有限公司、安利(中国)日用品有限公司、广东华能达电器有限公司、上海松下微波炉有限公司、云米互联科技(广东)有限公司、中国家用电器研究院、中认尚动(上海)检测技术有限公司、广东永衡良品科技有限公司、厦门弗兰家电科技有限公司。

本标准主要起草人:刘国荣、曾博、卢伟杰、季涛、陈子良、肖彪、贾春耕、鹿红伟、罗滨文、周纪军、孟城城、安雪、杨彬、周海昕、赖明宇、钟惠霞、陈滢欢、马灯亮、郑晓航、钱伟杰、黄华群、刘蒙、陈小平、李滢、还雅萍、卢军营、彭仕畅、赖金泉。



引 言

本标准制定了一种合适的评估方法,用于确定范围内提到的设备周围的空间中的电磁场,并定义标准的运行条件和测量距离。

本标准旨在通过参考暴露标准,测量和评估电磁(EM)场及其对人体的潜在影响。现有的暴露标准,如 ICNIRP'98^{[17]1)}、IEEE C95.1:1999^[5]和 IEEE C95.6:2002^[6],提出了人类暴露于电磁场的规则。应符合的最简单和更实际的水平[限值]是在没有人暴露于这些场的情况下所测量的电场(E)和磁场(B)上的限值(在某些情况下适当地平均),这些限值称为基于 IEEE 的水平或参考值(ICNIRP,国际非电离辐射防护委员会)的最大允许暴露水平。合适的定义和规定的测量技术适用于任何暴露符合性测量或评估。符合最大允许暴露量或参考值足以满足适当暴露标准中规定的满足这些水平的正面评估。

本标准涉及额外的测量和计算技术,这些技术允许在一组特定情况下确定合规性,而不涉及暴露时间或实际暴露条件。本标准并不是要取代暴露标准中规定的定义和程序,而是旨在暴露标准的规定下补充程序。



1) 中括号中的数字与参考文献对应。

家用电器及类似器具电磁场 相对于人体曝露的测量方法

1 范围

本标准规定了家用和类似用途器具周围电场强度和磁感应强度的评估方法,包括运行条件以及测量距离与位置,涉及的电磁场不超过 300 GHz。

器具里可装有电动机、电热元件或二者兼有,可包含电气或电子线路。它可以由市电、电池或其他电源供电。

器具包括家用电器、电动工具和电动玩具。

不打算在一般家庭使用但仍可由公众接触或可由非专业人员使用的器具属于本标准的范围。

本标准不适用于:

- 专门设计用于重工业的器具;
- 打算固定安装在建筑物上的电气装置部件(例如保险丝、断路器、电缆和开关);
- 广播和电视接收机、音视频设备及电子乐器;
- 医疗电气装置;
- 个人计算机和类似设备;
- 无线电发射机;
- 设计专用于车辆的器具。

对于同时涉及本标准不同条款和/或其他标准的多功能设备,应按每个条款/标准的规定运行相关功能进行考核。

不考虑器具的非正常工作。

本标准包括下列评估人体曝露的具体要素:

- 传感器的规定;
- 测量方法的规定;
- 受试设备运行模式的规定;
- 测量距离和位置的规定。

具体的测量方法适用的频率范围为 10 Hz~400 kHz。除非 GB 4706(所有部分)另有规定,本标准范围内的器具在频率范围 400 kHz 以上和 10 Hz 以下的频段上无需测试即视为符合。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 4343.1 家用电器、电动工具和类似器具的电磁兼容要求 第 1 部分:发射(GB 4343.1—2018, CISPR 14-1:2011, IDT)

GB 4706(所有部分) 家用和类似用途电器的安全

GB 4706.2—2007 家用和类似用途电器的安全 第 2 部分:电熨斗的特殊要求[IEC 60335-2-3:2005(Ed5.1), IDT]

GB 4706.7—2014 家用和类似用途电器的安全 真空吸尘器和吸水式清洁器具的特殊要求

(IEC 60335-2-2:2009, IDT)

GB 4706.19—2008 家用和类似用途电器的安全 液体加热器的特殊要求(IEC 60335-2-15:2005, IDT)

GB 4706.21 家用和类似用途电器的安全 微波炉,包括组合型微波炉的特殊要求(GB 4706.21—2008, IEC 60335-2-25:2006, IDT)

GB 4706.22—2008 家用和类似用途电器的安全 驻立式电灶、灶台、烤箱及类似用途器具的特殊要求[IEC 60335-2-6:2005(Ed5.1), IDT]

GB 4706.30—2008 家用和类似用途电器的安全 厨房机械的特殊要求(IEC 60335-2-14:2006, IDT)

GB 4706.56—2008 家用和类似用途电器的安全 深油炸锅、油煎锅及类似器具的特殊要求(IEC 60335-2-13:2004, IDT)

GB 4706.59—2008 家用和类似用途电器的安全 口腔卫生器具的特殊要求[IEC 60335-2-52:2002(Ed3.0), IDT]

IEC 61786 考虑人体暴露的低频电场和磁场的测量 测量指南和指导的特殊要求(Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings—Special requirements for instruments and guidance for measurements)

IEC 62311 电子和电气设备相关的电磁场人体暴露限制评估(0 Hz~300 GHz)[Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)]

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

基本限制 basic restriction

基本限值 basic limitations

基于已确认生物影响,并包含一个安全因子得出的对暴露于时变电场、磁场和电磁场的限制。

注:电流密度的基本限制用 J_{BR} 表示,内部电场强度的基本限制用 E_{BR} 表示。

3.1.2

耦合因子 coupling factor

$a_c(r_1)$

考虑了器具周围磁场的无规律性,并考虑了传感器的测量面积和在测量距离 r_1 处的使用者的躯干或头部尺寸的因子。

3.1.3

傅里叶变换 Fourier transformation

从时域函数导出频域函数的数学过程。

3.1.4

高场强区 hot spot

场强由于场分布非均匀性而达到最大的局部区域。

3.1.5

测量距离 measuring distance

r_1

器具表面和传感器表面最近点之间的最短距离(见附录 A)。

3.1.6

测量位置

3.1.6.1

周围 around

在人所处的预期位置,传感器在器具周围以距其表面恒定的距离移动所形成的位置。

注:见图 A.2。

3.1.6.2

上方 top

传感器沿着器具上方以距其上表面恒定的距离移动所形成的位置。

注:见图 A.1。

3.1.6.3

前方 front

传感器沿着器具前方以距其前表面恒定的距离移动所形成的位置。

注:见图 A.1。

3.1.7

参考值 reference level

最大允许暴露值 maximum permissible exposure level

B_{RL}

由最不利假设情况下(例如暴露于均匀场)的基本限制推导的场强水平。

注:满足基本限制的情况下可超出参考值。

3.1.8

响应时间 response time

将场强测量仪放入待测区域中,其达到最终测量值的规定百分比所需时间。

3.1.9

加权结果 weighted result

W

考虑到与频率有关的参考值而得到的最终测量结果。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

B :磁感应强度,单位为特斯拉(T)或韦伯每平方米(Wb/m^2)或伏特秒每平方米($V \cdot s/m^2$)。

E :电场强度,单位为伏特每米(V/m)。

f :频率,单位为赫兹(Hz)。

H :磁场强度,单位为安培每米(A/m)。

J :电流密度,单位为安培每平方米(A/m^2)。

σ :电导率,单位为西门子每米(S/m)。

4 测量方法和限值集的选择

应选择适当的限值集。

对于所有器具,与其所产生的电磁场频段无关,5.5.2 中的程序适用。这是在有争议的情况下应使用的参考方法。

在测试场、人体位置或测量配置的任何特定情况下,如果测量值超出最大允许曝露水平或参考值,应考虑确定是否符合基本限制。

5.5.3 中的程序可适用于产生仅由一条基线及其谐波线而组成的线谱的器具。

对于仅在电源频率及其谐波上显著地产生场的设备(如果有的话),可以使用 5.5.4 中一种替代测试方法。

完整工作周期小于 1 s 的器具按照 IEC 62311 测量脉冲场;但是,应使用本标准给出的运行条件、测量距离和耦合因子。

适用步骤可以从最简单的方式到更复杂的方式逐步进行,流程图见图 1。

5 测量方法

5.1 电场

测量方法正在考虑中。

如果器具带有内部变压器或电子电路,且工作电压低于 1 000 V,则无需测试即认为符合要求。

5.2 频率范围

频率范围为 10 Hz~400 kHz。

如果在一次测量中不能覆盖所有频率,则应将每个测量频率范围的加权结果进行叠加。

5.3 测量距离、位置和运行模式

测量距离、传感器位置和运行条件由附录 A 规定。

测量期间的配置和运行模式应在测试报告中注明。

5.4 磁场传感器

磁感应强度的测量值是在每一个方向上对 100 cm² 区域内测量的平均值。

参考传感器包含 3 个互相垂直、测量面积为(100±5)cm² 的同心线圈,它们用来提供各向同性的敏感度。参考传感器的外直径不应超过 13 cm。

为了按照附录 B 中的规定确定耦合因子,应使用测量面积为(3±0.3)cm² 的各向同性传感器。

注 1: 可以使用单向传感器(非各向同性)和适当的求和方法。

注 2: 磁感应强度的最终值为每个方向上测量值的矢量叠加。这确保了测量值与磁场矢量的方向无关。

5.5 磁场的测量程序

5.5.1 总则

测量信号应根据频率评估。考虑到独立的场源,应采用最大测量值。

持续时间小于 200 ms(例如,在各类切换过程)的瞬时磁场应忽略。

如果在测量期间发生开关动作,则应重新测量。

测量设备的噪声值不应超过限值的 5%。在最大噪声等级以下任何的测量值将被忽略。

背景噪声小于限值的 5%。

测量设备达到终值 90%的响应时间不应超过 1 s。

用 1 s 的平均时间确定磁感应强度。

对于 10 Hz~400 kHz 的信号,如果磁场源在大于 1 s 的时间段内显示是恒定发射的,则可以使用更短的采样时间。

在最终测量过程中传感器应保持静止。

5.5.2 时域评估

与信号的类型无关,可以在时域上测量磁感应强度值。对于具有多个频率分量的磁场,通过实现转移函数 A 来考虑与参考值对应频率的相关性,该转移函数 A 表示为频率的函数,是参考值的倒数。

图 2 为与参考值对应频率的相关性的示例。

转移函数 A 是参考值 B_{RL} 的倒数,并在 B_0 上归一化。归一化应在频率 f_{C0} 下完成。

注 1: 宜使用电源频率进行归一化(例如 $f_{C0}=50\text{ Hz}$ 或 60 Hz)。

使用一阶滤波器建立转移函数 A 。图 3 为转移函数特性示例。

转移函数的一般公式,见公式(1):

$$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0})}{B_{RL}(f)} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$A(f)$ ——转移函数;

$B_{RL}(f_{C0})$ —— f_{C0} 处磁感应强度的参考值;

$B_{RL}(f)$ ——频率 f 的磁感应强度的参考值。

转移函数的起点应为 $f_1=10\text{ Hz}$ 。转移函数的终点应为 $f_n=400\text{ kHz}$ 。

注 2: 转移函数数值的例子见表 D.1 和 D.2。

测量步骤如下:

- a) 对每个线圈信号进行单独测量;
- b) 使用转移函数对每个信号应用加权;
- c) 对这些加权信号进行平方;
- d) 叠加这些平方信号;
- e) 对总和进行平均;
- f) 对平均值开方,获得平方根。

测量结果是磁感应强度的加权有效值。

测试流程示意图见图 4。

注 3: 转移函数 A (图 4 中的虚线)包含具有差分特性的线圈和带有“滞后-超前元件”的低通滤波器,以提供必要的积分运算。测量结果是一个与 $B(t)$ 成正比的信号,并通过图 3 所示的转移函数 A 进行评定。“滞后-超前元件”的转角频率与图 3 中的转移函数相同。

注 4: 时域信号可以用不同的方式应用转移函数,包括:电子电路中的模拟滤波器、预编程 DSP 芯片、信号分析仪或使用电子表格包/自定义编写程序进行计算的数字计算机。

注 5: 对于许多谐波和限值集具有与在考核范围内的频率无关的场强限值且工频范围为 50/60 Hz 的电器,此方法可以在没有转移函数的情况下适用。比如,IEEE C95.6:2002 安全标准在 20 Hz~759 Hz 的频率范围内具有恒定的最大允许曝露(MPE)的磁感应强度。在这种情况下,可以在考核的频率范围内执行纯 RMS 测量,并且直接将测量结果与限值(例如 MPE)进行比较。

实际测量值应直接与 50 Hz 时磁感应强度的参考值 B_{RL} 进行比较。对于具有高度局部化电磁场的器具,应在考虑附录 B 中给出的耦合因子 $a_c(r_1)$ 之后进行上述比较。应使用 f_{C0} 对应的 B_{RL} 。最终加权结果 W 可以推导如公式(2):

$$W_n = \frac{B_{rms}}{B_{RL}} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

W_n ——单次测量的加权结果;

B_{rms} ——磁感应强度的有效值;

B_{RL} —— f_{C0} 处磁感应强度的参考值。

或应用耦合因子 $a_c(r_1)$, 见公式(3):

$$W_{nc} = a_c(r_1) \cdot W_n \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

W_{nc} ——考虑非均匀场的耦合, 通过应用 $a_c(r_1)$ 后得出的单次测量的加权结果;

$a_c(r_1)$ ——根据附录 B 或表 D.3 得出的耦合因子;

W_n ——单次测量的加权结果。

确定的加权结果值 W 不应超过 1。

5.5.3 线谱评估

当只有线谱时使用该方法, 例如对于具有 50 Hz 基频和一些谐波的磁场, 见第 4 章。

在每个相关频率下测量磁感应强度。这可以通过记录磁感应强度的时间信号并使用傅里叶变换来评估频谱分量来实现。

测量步骤如下:

- 对每个线圈信号 (x, y, z) 进行单独测量。
- 对信号进行积分, 得到一个与 $B(t)$ 成正比的值。
- 对每个线圈进行离散傅里叶变换, 以获得表示离散频率 $f(i) = i/T_0$ 处的有效值的估计离散幅度频谱 $B(i)$ 。(T_0 = 观察时间)。
- 通过在离散频谱 $B(i)$ 上插值, 以频率 $f(j)$ 找到 $B(j)$ 的局部最大值。
- 对每个离散谱线 $B(j)$ 对所有三个方向的矢量进行求和, 见公式(4):

$$B(j) = \sqrt{B_x^2(j) + B_y^2(j) + B_z^2(j)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$B(j)$ ——测量频谱上第 j 个频率线上的磁感应强度;

$B_x(j)$ —— x 方向上第 j 个频率的磁感应强度;

$B_y(j)$ —— y 方向上第 j 个频率的磁感应强度;


$B_z(j)$ —— z 方向上第 j 个频率的磁感应强度。

注 1: 使用 $B(i)$ 代入公式(4)中的 $B(j)$ 可以替代上述算法的最后两步操作。

测量结果是每个检测到的频率的磁感应强度值。

要将测量值与限值进行比较, 应使用参考值 $B_{RL}(j)$ 。对于具有高度局部化电磁场的器具, 可以考虑附录 B 中给出的耦合因子 $a_c(r_1)$ 。对于具有多个频率点分量的电磁场, 需要计算频率加权总和。

加权结果由公式(5)得出:



$$W_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{B(j)}{B_{RL}(j)} \right)^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

W_n ——单次测量的加权结果;

$B(j)$ ——测量频谱上第 j 个频率的磁感应强度;

$B_{RL}(j)$ ——第 j 个频率的磁感应强度的参考值。

或者应用耦合因子 $a_c(r_1)$, 见公式(6):

$$W_{nc} = a_c(r_1) \cdot W_n \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

W_{nc} ——考虑非均匀场的耦合, 通过应用 $a_c(r_1)$ 后得出的单次测量的加权结果;

$a_c(r_1)$ ——根据附录 B 或表 D.3 的耦合因子;

W_n ——单次测量的加权结果。

注 2: 耦合因子可以与频率无关,详情见附录 B。

确定的加权结果值 W 不应超过 1。

由于仅与 1 进行比较,可以不用进行开根运算。

注 3: 纯叠加总是导致在电磁环境中的暴露程度被高估。并且对于由较高频率谐波分量或噪声组成的宽带场,基于求和公式的限值非常保守,因为其幅度不在同一相位。对于大多数测量设备,不测量相对相位(例如,如果使用频谱分析仪),但可以进行频率分量的均方根求和。这通常会给出较完全忽略相位更真实的测量结果。

5.5.4 替代的测试方法

5.5.4.1 通则

只能在电源频率及其谐波下产生磁场的器具只需要在小于 2 kHz 的频率范围内测试。

对于这些器具,根据所选的参考值集,可以使用简化的测试程序。

注 1: 所有这些方法都是保守的,并且不给出测量值,只有一个“是/否”的判据。未通过这些程序并不意味着不符合本标准的要求。在这种情况下,可以使用 5.5.2 或 5.5.3 中更准确的方法。

注 2: 谐波电流可根据 GB 17625.1 进行测量。在很多情况下,这些值是已知的。

5.5.4.2 参考值以有限梯度减小

5.5.4.2.1 通则

如果考察频率范围内的参考值以不大于 $1/f$ 的梯度下降,则可以应用以下两种方法之一。

注: 比如对于附录 C 给出的 ICNIRP 导则中关于公众环境暴露于时变电场和时变磁场的参考值,这是正确的。使用附录 C 限值的实例见附录 D。

5.5.4.2.2 有限梯度,第一程序

当满足以下两个条件时,器具符合本标准的要求:

- 未加权宽带测量期间的磁感应强度(不施加转移函数)小于电源频率上参考值的 30%;
- 所有幅度都大于电源频率幅度 10% 的谐波电流在考察的频率范围内持续减小。

如果未满足第一个条件($B < \text{参考值的 } 30\%$),则可以检查是否符合 5.5.4.2.3 的程序。

5.5.4.2.3 有限梯度,第二程序

当以下 3 个条件全部满足时,器具符合本标准的要求:

- 电源频率上的磁感应强度小于电源频率上参考值的 50%;
- 当电源频率上的输入被抑制时(有源陷波滤波器),在考察的频率范围内,在未加权宽带测量(不施加转移函数)时测量的磁感应强度小于电源频率上参考值的 15%;
- 所有幅度都大于电源频率幅度 10% 的谐波电流在考察的频率范围内持续减小。

5.5.4.3 恒定参考电平

5.5.4.3.1 通则

如果参考值是恒定的,至少到电源频率的 10 次谐波,且在考察的频率范围内的更高频率仍保持恒定或以不超过 $1/f$ 的梯度减小,则可以应用 5.5.4.2 给出的方法且不需要额外测量谐波电流。

注: 比如附录 C 给出的 IEEE 标准安全水平中关于人体暴露于电场和磁场时频率范围为 0 kHz~3 kHz 的参考值,这是正确的。

在这种情况下,简化的测试方法应如下所示。

5.5.4.3.2 恒定参考值,第一程序

满足以下条件时,器具符合本标准的要求:

——未加权宽带测量期间的磁感应强度(不施加转移函数)小于电源频率上参考值的 30%。

如果未满足此条件,则可以检查是否符合 5.5.4.3.3 的程序。

5.5.4.3.3 恒定参考值,第二程序

当满足以下两个条件时,器具符合本标准的要求:

——电源频率上的磁感应强度小于电源频率上参考值的 50%;

——当电源频率上的输入被抑制时(有源陷波滤波器),在考察的频率范围内,在未加权宽带测量(不施加转移函数)时测量的磁感应强度小于电源频率上参考值的 15%。

5.6 测量不确定度

最大总体测量不确定度不应超过限值的 25%。IEC 61786 提供了评估不确定性的导则。

注 1: 总体测量不确定度可包括传感器位置、运行条件、背景噪声或超出测量仪器动态范围的信号等方面。

注 2: 如果测量不确定度超过测量值的 25%,则需要将不确定度转换为基于所用限值的值。

当测量结果需与限值进行比较时,测量不确定度应按如下方式实施:

——为了确定器具是否只产生低于限值的电磁场,应将测量不确定度添加到测量结果中,并且应将总和与限值进行比较;

注 3: 这适用于,例如,由制造商进行的测量。

——为了确定器具是否产生超过限值的电磁场,应从测量结果中减去测量不确定度,并且应将差值与限值进行比较。

注 4: 这适用于,例如,由市场监督机构进行的测量。

5.7 测试报告

测试报告应至少包括以下内容:

——器具的标识;

——测量仪器的规格;

——运行模式、测量位置和测量距离;

——额定电压和频率;

——测量方法;

——使用耦合因子加权(如适用)的最大测量值;

——使用的限值集;

——测量不确定度(如果测量结果超过限值的 75%)。

6 测量结果评估

当满足下列要求时,测量结果被认为符合本标准:

——考虑了测量不确定度的测量值(见 5.6)不超过参考值,或;

——测量值超过参考值,则可以考虑耦合因子以表明其满足基本限制。对于特定器具,可以按附录 B 中所述确定相应的耦合因子 $a_c(r_1)$ 。

——如果在使用耦合因子时该值仍超过参考值,仍不一定会超出基本限制。此时应通过例如计算的方法来验证是否满足基本限制。

注: 可以采用 IEC 62226 中的计算方法。

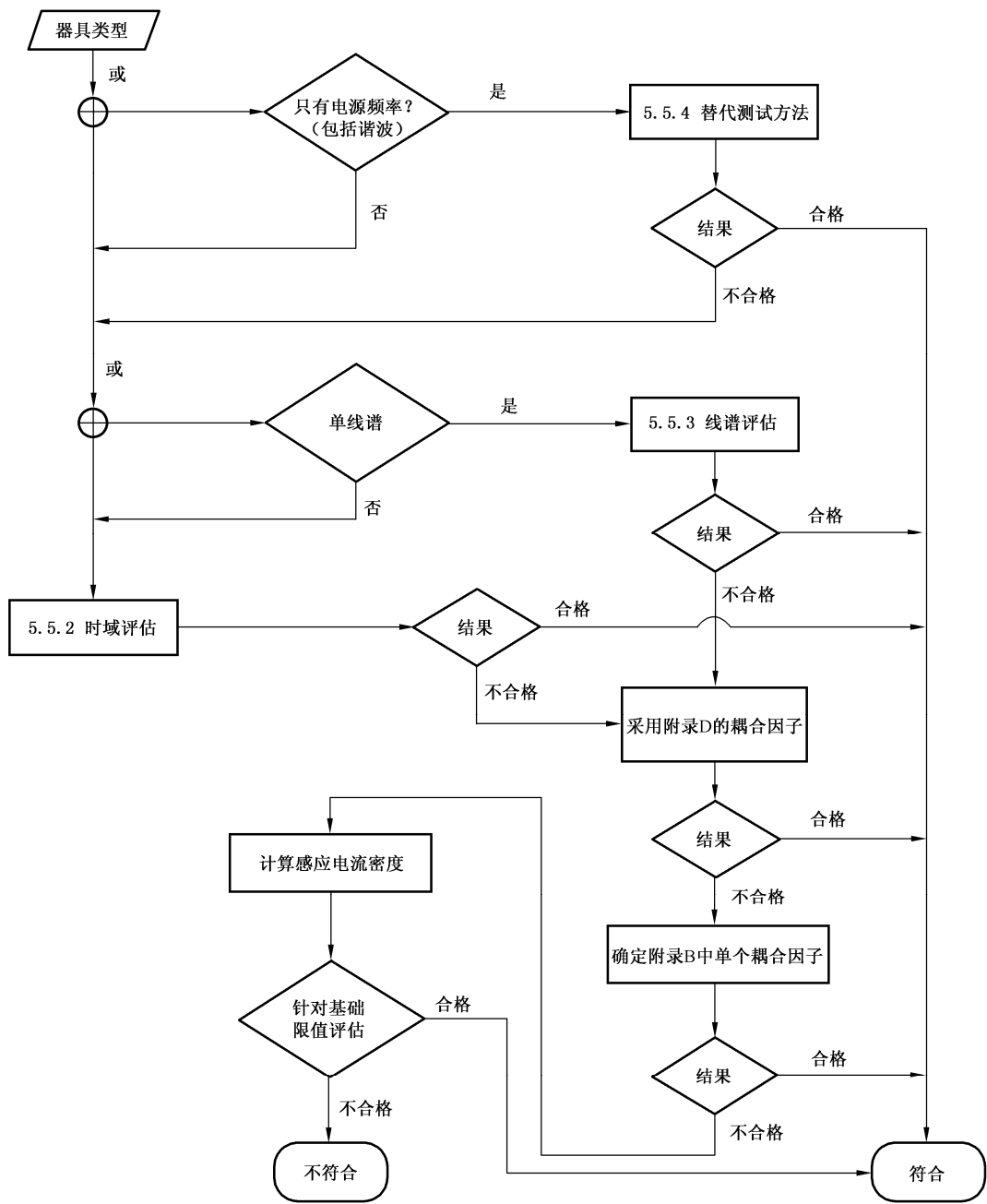
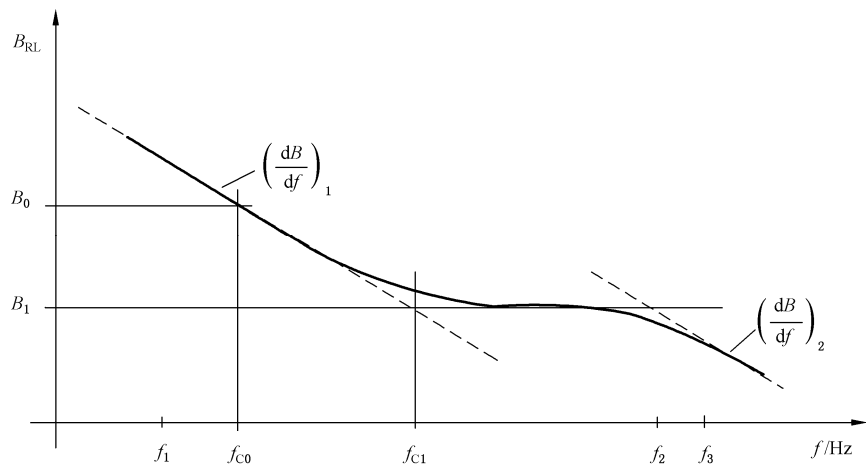
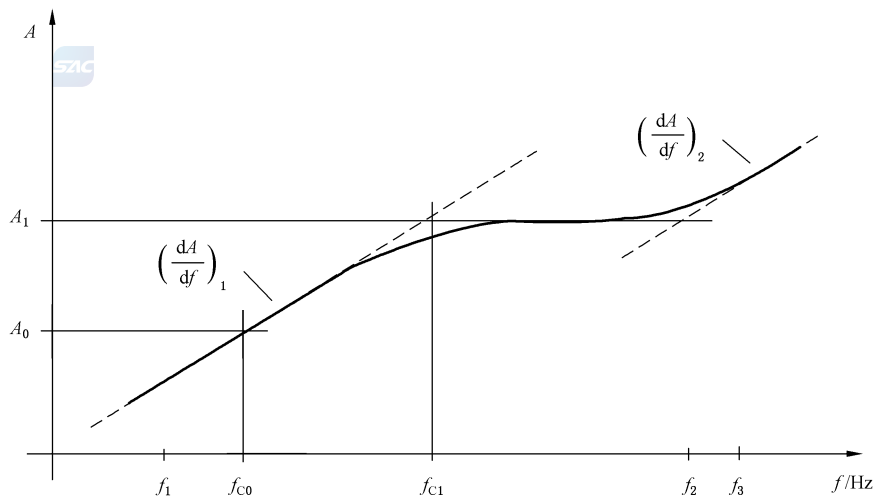


图 1 开始于参考值评估的测试方法选择建议的流程图



其中, $B(f_{c0})=B_0$, $B(f_{c1})=B_1$, 并且梯度为 $\left(\frac{dB}{df}\right)_n$ 。

图 2 参考值与频率之间相关性的平滑曲线示例



其中, $A(f_{c0})=A_0=\frac{B_{RL}(f_{c0})}{B_0}=1$; $A(f_{c1})=A_1=\frac{B_{RL}(f_{c0})}{B_1}$; $\left(\frac{dA}{df}\right)_n=\left[\left(\frac{dB}{df}\right)_n\right]^{-1}$ 。

图 3 与图 2 参考值对应的转移函数 A 的示例

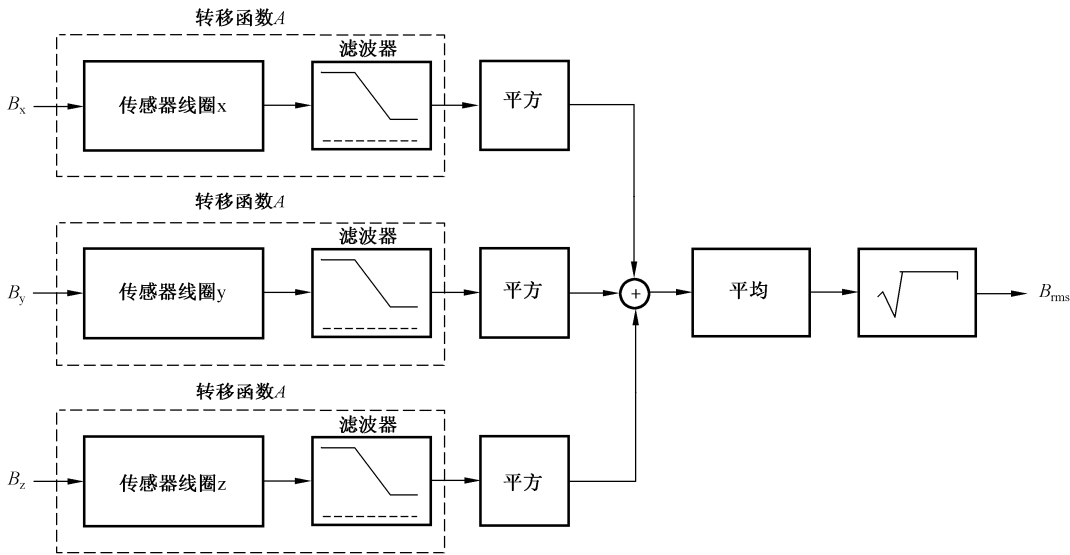


图 4 参考方法的示意图



附 录 A

(规范性附录)

测量磁感应强度的运行条件

A.1 总则

A.1.1 概述

测量在表 A.1 规定的条件下进行,器具按正常使用方式放置。

如果器具没有在表 A.1 中列出或与表 A.1 的使用模式不同,则运行条件、测量距离和传感器位置应如下文所示,以防止器具的电磁场对人体头部和躯干中的中枢神经系统组织产生影响。如果用户手册明确规定了运行条件、安装方式和运行位置,则应在这些条件下进行测量,否则见下文。

注:如果应用的限值集包括肢体的曝露限值,则可以对肢体进行测量。

表 A.1 测量距离、传感器位置和运行条件

单位为厘米

器具的类型	测量距离 r_1 除非运行说明中有另外规定	传感器位置	运行条件
空气净化器	30	周围	连续运行
空调	30	周围	制冷模式:设置在最低温度,环境温度为 $(30\pm 5)^{\circ}\text{C}$; 制热模式:设置在最高温度,环境温度为 $(15\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。 环境温度为室内机进气口的温度
电池充电器 (包括感应式)	30	周围	对制造商规定的最大容量的空电池充电
饮料制作机	30	周围	空载连续运行
电热毯	0	上方	展开并铺在隔热板上
搅拌机	30	周围	空载连续运行
(柑橘)榨汁机	30	周围	空载连续运行
时钟	30	周围	连续运行
咖啡壶	30	周围	由 GB 4706.19—2008 的 3.1.9 规定
咖啡豆研磨机	30	周围	由 GB 4706.30—2008 的 3.1.9.108 规定
对流式加热器	30	周围	最大输出功率
深油炸锅	30	周围	由 GB 4706.56—2008 的 3.1.9 规定
口腔卫生器械	0	周围	由 GB 4706.59—2008 的 3.1.9 规定
脱毛机	0	紧贴刀头	空载连续运行
洗碗机	30	上方,前方	在洗涤模式和烘干模式(如适用)下带水且不带碗
煮蛋器	30	周围	由 GB 4706.19—2008 的 3.1.9 规定
面部桑拿器	10	上方	连续运行
电风扇	30	周围	连续运行

表 A.1 (续)

单位为厘米

器具的类型	测量距离 r_1 除非运行说明中 有另外规定	传感器位置	运行条件
暖风机	30	周围	连续运行,最高温度设置
地板抛光机	30	周围	抛光刷头不带任何机械负载连续运行
食物加工机	30	周围	空载连续运行,最高速度设置
食物保温箱	30	周围	空载连续运行,最高温度设置
暖脚器	30	上方	空载连续运行,最高温度设置
气体点火器	30	周围	连续运行
烧烤架	30	周围	空载连续运行,最高温度设置
理发剪	0	紧贴刀头	空载连续运行
电吹风	10	周围	连续运行,最高温度设置
电热褥垫	30	上方	展开并铺在隔热板上
电热垫	0	上方	展开并铺在隔热板上
电灶	30	上方和前方	由 GB 4706.22—2008 的 3.1.9 规定,在最大功率下使每个加热单元单独运行
制冰淇淋机	30	周围	空载连续运行,最低温度设置
浸入式加热器	30	周围	将加热元件完全浸入
感应式电灶及电烤盘	见 A.3	见 A.3	见 A.3
电熨斗	30	周围	由 GB 4706.2—2007 的 3.1.9 规定
熨烫机	30	周围	由 GB 4706.2—2007 的 3.1.9 规定
榨汁机	30	周围	空载连续运行
电水壶	30	周围	加入一半额定容量的水
厨房用电子秤	30	周围	空载连续运行
电动刀	30	周围	空载连续运行
厨房器械和切片机	30	周围	空载连续运行,最高速度设置
按摩器具	0	紧贴按摩头	空载连续运行,最高速度设置
微波炉 (射频部分由 GB 4706.21 规定)	30	周围	最大微波功率连续运行。如果使用传统电热元件的话,则同时在它们最大设置下运行。负载是 1 L 水,放置在搁板中心,装水的容器由非导电材料制成,例如玻璃或塑料
食物搅拌器	30	周围	空载连续运行,最高速度设置
电热油汀	30	周围	连续运行,最高温度设置
电烤箱	30	上方,前方	关门空载,温控器设置到最高。如适用,还应按使用说明书进行清洁模式的测试
电灶具	30	上方,前方	单独运行每个功能
吸油烟机	30	底部,前方	控制器设置到最高

表 A.1 (续)

单位为厘米

器具的类型	测量距离 r_1 除非运行说明中 有另外规定	传感器位置	运行条件
制冷器具	30	上方,前方	关门连续运行。温控器设置到最低温度。箱内空载。所有间室处于制冷状态,达到稳定状态后进行测量
电饭锅	30	周围	加入一半额定容量的水,最高温度设置
剃须刀	0	紧贴刀头	空载连续运行
切片机	30	周围	空载连续运行,最高速度设置
日光浴室	内部 0 外部 30	前方	连续运行,最高设置
离心式脱水机	30	上方,前方	空载连续运行
贮热式加热器	30	周围	连续运行,最高温度设置
煮茶器	30	周围	空载连续运行
烤面包机	30	周围	空载,最高温度设置
手持式电动工具	30	周围,除非有一侧 总是对着使用者	所有设置,例如,空载运行,最高速度设置
手动式电动工具	30	周围,除非有一侧 总是对着使用者	所有设置,例如,空载运行,最高速度设置
可移式电动工具	30	对着使用者的 上方和前方	所有设置,例如,空载运行,最高速度设置
带加热单元的 电动工具	30	周围,除非有一侧 总是对着使用者	最高温度设置,胶枪应在运行位置使用胶棒
玩具的变压器	30	周围	连续运行
轨道装置:电气和 电子控制装置	30	周围	连续运行
转筒式干衣机	30	上方,前方	在干衣模式下,织物布由预洗好的、干燥质量在 $140 \text{ g/m}^2 \sim 175 \text{ g/m}^2$ 、尺寸约 $0.7 \text{ m} \times 0.7 \text{ m}$ 的双褶棉布片构成
吸尘器,手持式	30	周围	由 GB 4706.7—2014 的 3.1.9 规定
吸尘器,背带式	0	周围 面向使用者	由 GB 4706.7—2014 的 3.1.9 规定
吸尘器,其他	30	周围	由 GB 4706.7—2014 的 3.1.9 规定
洗衣机和洗衣烘干机	30	上方,前方	不带织物,最高速度设置在旋转模式下
水床加热器	10	上方	展开并铺在隔热板上
热水器	30	周围	控制器设置到最高,如果必要的话,让水流出
涡流浴缸	内部 0 外部 30	周围	连续运行

A.1.2 运行条件

将器具设定在产生最大磁场的状态。

如果可能,运行条件为 GB 4343.1 的相关规定或者空载。

应考虑制造商关于短时工作的说明。

预运行时间不做规定,但是在测试之前,器具应运行足够的时间,以确保其处于正常使用的典型工作条件。

器具应在额定电压、额定频率以及正常使用条件下工作,供电电源的电压、频率偏差不超过器具额定值的 $\pm 2\%$ 。

如果规定了器具的电压范围和/或频率范围,则按照器具使用时所在国家或地区的标称电压和/或频率进行测量。

除非在表 A.1 中另有规定,否则应将器具的控制器调节到最大进行测量。预调控制器应调节到预期位置。器具通电后开始进行测量。

在 $(25\pm 10)^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下进行试验。

A.1.3 测量距离

与人体相关部位直接接触使用的器具:0 cm。

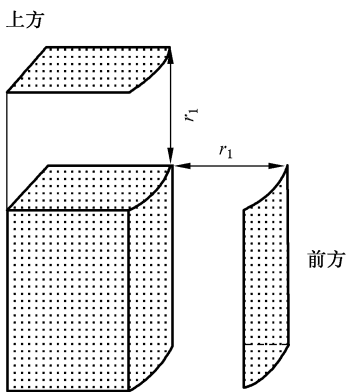
其他器具:30 cm。

A.1.4 传感器位置

使用中与人体相关部位直接接触的器具:朝向使用者(接触侧)。

不能移动的大型器具:前方的操作表面及人体可触及的其他表面(见图 A.1)。

其他器具:周围(见图 A.2)。

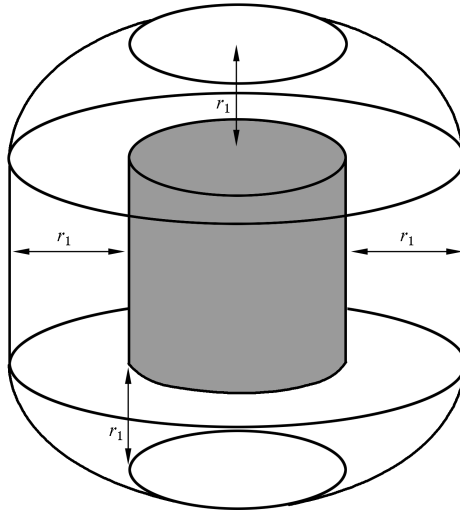


说明:

在器具上方/前方,以 r_1 的距离移动传感器。



图 A.1 测量位置:上方/前方



说明：

在器具所有能被人可达的表面，以 r_1 的垂直距离移动传感器。

图 A.2 测量位置：周围

A.2 特殊器具的测量距离、传感器位置和运行条件

A.2.1 多功能设备

多功能设备应同时经受本标准不同条款的考核，如果不改变设备内部就可以实现每一个功能，则应对每个功能分别进行测量。

如果不能将设备的每一功能分开进行试验或者某一特定功能的分离将导致设备无法执行主要功能，则设备应在运行所需的最少功能下运行。

A.2.2 电池供电设备

如果设备能连接到电网，则应在每个允许的运行模式下进行测量。用电池供电的设备应在开始测试前将电池充满电。

A.2.3 测量距离和传感器位置

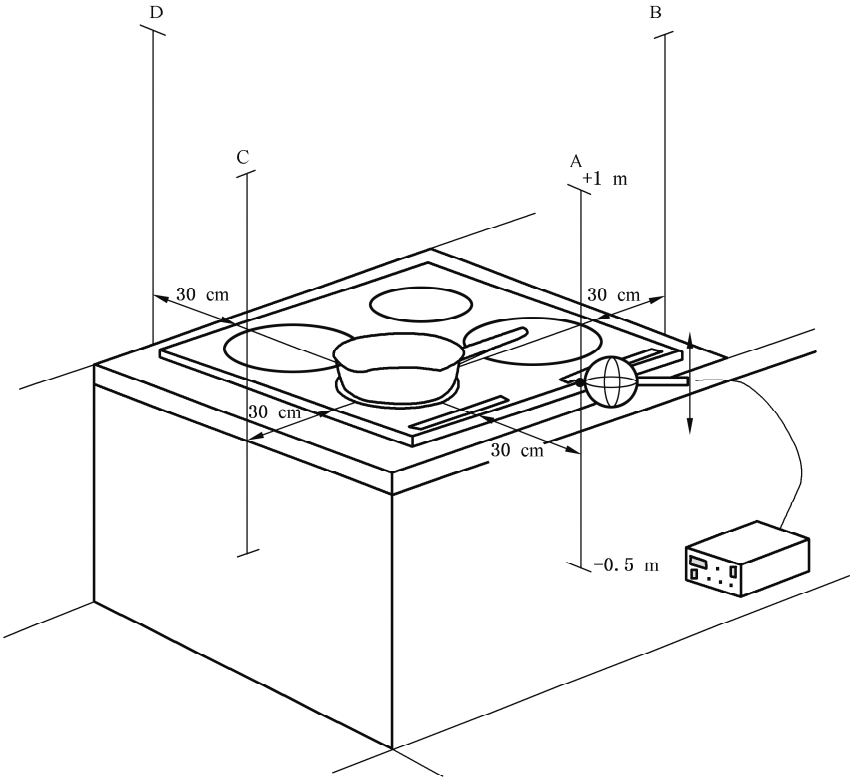
表 A.1 中的测量距离是根据使用者在正常使用期间的预期位置确定的，其目的是保护人体头部和躯干的中枢神经系统组织免受影响。

对于四肢的电磁场暴露，可以适用其他测量距离和传感器位置。

A.3 感应电灶和电烤盘的测试条件

A.3.1 测量距离

对于每个烹调区，从器具边缘到传感器表面以 30 cm 距离沿着 4 条垂直线 (A、B、C、D) 进行测量，(见图 A.3)。在烹调区上方 1 m 以下和下方 0.5 m 以上进行测量。如果使用时器具靠墙放置，则器具后方位位置 (线 D) 不进行测量。



说明：
线 A、B、C 和 D 表示测量位置。
该图表示 4 个烹饪区域电灶的左前方感应加热单元处于工作状态。

图 A.3 电磁灶台和电磁灶头的测量距离

A.3.2 运行模式

将加入大约一半容量的水的搪瓷钢烹饪容器放置在待测量的烹饪区的中央。
应采用说明书中推荐的最小容器。如果没有给出推荐尺寸，则采用能遮挡标记烹饪区域的最小标准容器。标准容器的标称底部直径为：110 mm、145 mm、180 mm、210 mm 和 300 mm。
感应加热单元轮流运行，其他烹饪区不被遮挡。
能量控制器应设置到最大。
在器具达到稳定状态后进行测量。
如果不能达到稳定状态，应定义一个适当的观察时间（例如 30 s）以确保在变化的场源下获得最大值。

注：由于在感应加热单元之间共享功率，则当每个加热单元单独工作时能获得最大且连续的磁场。



附 录 B (规范性附录) 耦合因子的确定

B.1 通过计算确定耦合因子

附录 C 中给出的参考值 B_{RL} 是针对均匀场确定的。在本标准范围内器具周围磁场的强不均匀性需考虑耦合因子 $a_c(r_1)$ ，同时也考虑了在电磁场内人体的局部尺寸。

该程序仅适用于集中的磁场源。从高场强区 B_{max} 到 $0.1B_{max}$ 的电磁场分布应是连续的。

与参考值 B_{RL} 相比较,校正的测量值 $B_{mc}(r_1)$ 由测量值 B_m 得出,见公式(B.1):

$$B_{mc}(r_1) = a_c(r_1)B_m \text{ 与 } W_{nc} = a_c(r_1) \cdot W_n \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$B_{mc}(r_1)$ —— r_1 处磁感应强度的校正的测量值;

$a_c(r_1)$ ——根据本附录或表 D.3 中的耦合因子;

B_m ——磁感应强度的测量值;

W_{nc} ——考虑非均匀场的耦合,通过应用 $a_c(r_1)$ 后得出的单次测量的加权结果;

W_n ——单次测量的加权结果。

基于基础工作频率,耦合因子 $a_c(r_1)$ 由以下 4 步确定。

a) 步骤 1:高场强区延伸范围的评估

磁感应强度 $B(r_0)$ 沿着以高场强区 $r_0=0$ cm 为起点的最低梯度线的表面切向测量。测量在 $r_0=X$ 处停止, X 的确认见公式(B.2),其中磁感应强度降低到高场强区最大值的 10%,如图 B.1 和 B.2 所示。测量点之间的距离为 0.5 cm~1 cm。

注 1: 耦合因子可采用窄带评估,例如在工作频率范围内评估。

注 2: 宜使用小型传感器,例如,采用 5.4 规定的传感器,其测量面积为 3 cm²。

$$\frac{B(r_0=X)}{B(r_0=0)} = 0.1 \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$B(r_0=X)$ ——距离高场强区起点 X 处的磁感应强度;

$B(r_0=0)$ ——高场强区起点的磁感应强度。

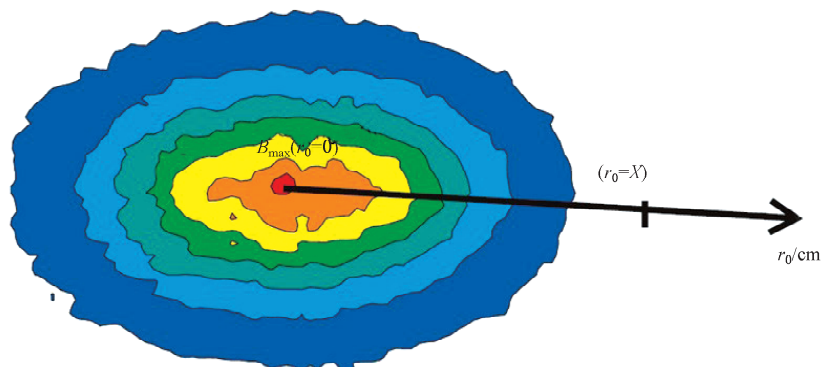


图 B.1 高场强区

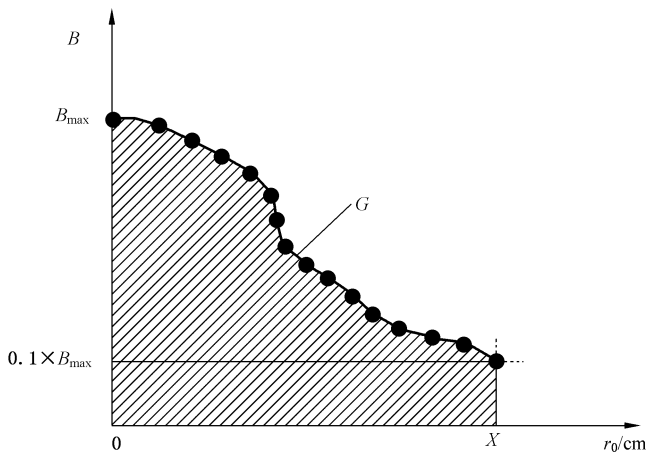


图 B.2 磁感应强度的梯度和积分 G

b) 步骤 2:确定等效线圈

用步骤 1 得到的测量结果来确定等效线圈的半径,其由类似积分 G 求得。为了进一步计算,假设该线圈距离高场强区 l_{coil} ,且线圈对应器具内磁场源的位置(见图 B.3)。

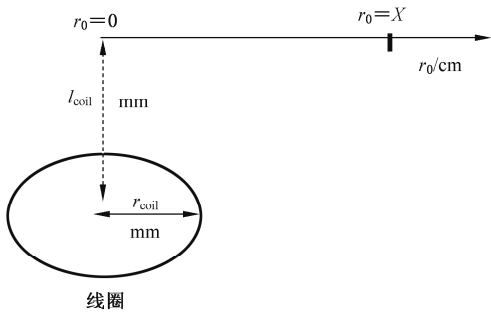


图 B.3 等效线圈位置

归一化测量得出的磁感应强度,对其积分得到单值 G ,之后可以用 G 来确定等效线圈的半径 r_{coil} (见表 B.1)。线性插入法可以得到 r_{coil} 的其他值, r_{coil} 不应超过 l_{coil} 。

注 1: 对于小型器具,磁场源假设为器具的中心。对于较大的设备,每个磁场源的位置通过检查器具来确定。

注 2: 该程序仅适用于集中的磁场源。从高场强区 B_{max} 到 $0.1 B_{\text{max}}$ 的场分布应为连续的。

G 由公式(B.3)计算:

$$G(r_{\text{coil}}, I_{\text{coil}}) = \int_{r_0=0}^{r_0=X} \frac{B(r_0)}{B(r_0=0)} dr_0 \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

- $G(r_{\text{coil}}, I_{\text{coil}})$ ——对归一化测量得出的磁感应强度积分的单值;
- r_0 ——在高场强区周围的切向平面上的测量距离;
- $B(r_0)$ ——距离高场强区起点 r_0 处的磁感应强度;
- $B(r_0=0)$ ——高场强区起点的磁感应强度。



表 B.1 不同线圈 G 的值

距离 I_{coil} mm	线圈半径 r_{coil} mm					
	10	20	30	50	70	100
10	0.013 54	—	—	—	—	—
15	0.015 62	—	—	—	—	—
20	0.018 48	0.027 03	—	—	—	—
25	0.021 68	0.028 80	—	—	—	—
30	0.025 11	0.031 17	0.040 51	—	—	—
35	0.028 61	0.033 90	0.042 17	—	—	—
40	0.032 22	0.036 89	0.044 29	—	—	—
50	0.039 55	0.043 34	0.049 41	0.067 50	—	—
70	0.054 48	0.057 18	0.061 64	0.075 35	0.094 44	—
100	0.077 11	0.079 05	0.082 19	0.092 13	0.106 44	0.134 93
200	0.153 17	0.154 15	0.155 73	0.160 85	0.168 45	0.184 20
300	0.229 53	0.230 12	0.231 19	0.234 61	0.239 71	0.250 54

注：为了得到涵盖最不利情况的线圈，应选择给定值 G 的最小线圈半径。

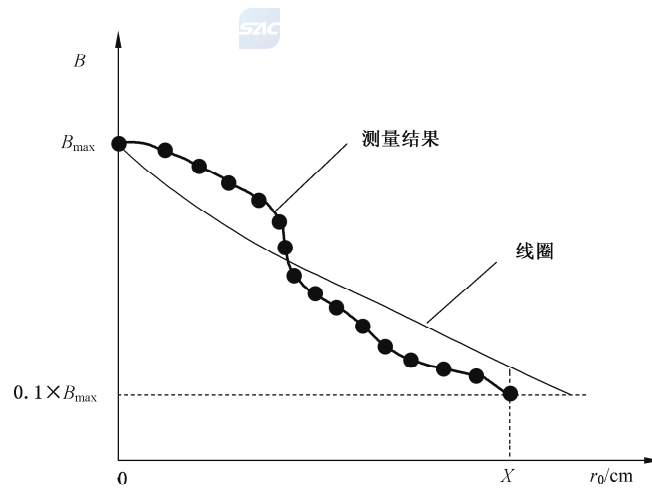


图 B.4 磁感应强度的梯度和线圈

c) 步骤 3: 确定系数 k

线圈半径 r_{coil} 用来确定当等效磁场源(线圈)和人体相距 r 时的系数 $k(r, r_{\text{coil}}, f, \sigma)$, 见公式 (B.5)。

r 由公式 (B.4) 计算:

$$r = r_1 + l_{\text{coil}} \quad \dots\dots\dots (\text{B.4})$$

式中:

r ——等效磁场源(线圈)和人体的距离;

r_1 ——测量距离(见 3.1.5);

l_{coil} ——等效线圈到表面的内部距离。
相加时应采用相同的单位。

$$k(r, r_{\text{coil}}, f, \sigma) = \frac{J_{\text{max}}(r, r_{\text{coil}}, f, \sigma)}{B_{\text{max, sensor}}(r, r_{\text{coil}}, A_{\text{sensor}})} \dots\dots\dots (\text{B.5})$$

式中：
 $k(r, r_{\text{coil}}, f, \sigma)$ ——等效磁场源(线圈)和人体相距 r 时的系数；
 J_{max} ——人体最大电流密度；
 $B_{\text{max, sensor}}(r, r_{\text{coil}}, A_{\text{sensor}})$ ——最大磁感应强度；
 A_{sensor} ——传感器的测量面积。

系数 k 与频率有关,与从线圈到人体的距离 r 有关,与人体匀质模型的电导率 σ 有关,与传感器的尺寸有关。可以通过重新调整参考值来补偿相关频率,而不是采用重新调整基本限制的方法(见步骤 4)。
对于非均匀场,由于最高场强值出现在人体的表面, σ 的值为 0.1 S/m。以下计算结果是基于这些采用 5.4 规定的参考传感器所得出的值。表 B.2 列出了人体全身系数 k 的值。

表 B.2 对于人体全身,系数 k 在 50 Hz 上的值

距离 r cm	半径 r_{coil} mm					
	10	20	30	50	70	100
1	21.354	15.326	8.929	5.060	3.760	3.523
5	4.172	3.937	3.696	3.180	2.858	2.546
10	2.791	2.735	2.696	2.660	2.534	2.411
20	2.456	2.374	2.369	2.404	2.398	2.488
30	2.801	2.735	2.714	2.778	2.687	2.744
40	3.070	2.969	2.933	3.042	2.865	2.916
50	3.271	3.137	3.086	3.251	2.989	3.040
60	3.437	3.271	3.206	3.429	3.079	3.134
70	3.588	3.388	3.311	3.595	3.156	3.216
100	3.940	3.659	3.601	4.022	3.570	3.604
注 1: 系数 k 是通过将线圈作为磁场源以及使用按 D.2 规定的适当人体数值模型来确定的。它仅适用于磁场源的近场区域,不适用于均匀场。						
注 2: 如果半径 r_{coil} 的尺寸大于距离 r ,则不适用于附录 B。						

对于其他频率 f 和电导率 σ 上的系数 k ,可以从表 B.2 的值通过公式(B.6)计算得出:

$$k^*(r, r_{\text{coil}}) = \frac{f}{50 \text{ Hz}} \cdot \frac{\sigma}{0.1 \text{ S/m}} \cdot k \dots\dots\dots (\text{B.6})$$

式中：
 $k^*(r, r_{\text{coil}})$ ——由其他频率 f 和电导率 σ 计算得出的系数；
 f ——频率；
 σ ——人体匀质模型的电导率；
 k ——人体全身系数。

d) 步骤 4: 计算耦合因子

利用重新调整的系数 k 可以求出耦合因子 $a_c(r)$, 见公式(B.7):

$$a_c(r, r_{\text{coil}}, f, \sigma) = k(r, r_{\text{coil}}, f, \sigma) \cdot \frac{B_{\text{RL}}(f)}{J_{\text{BR}}(f)} = \frac{k(r, r_{\text{coil}}, f, \sigma)}{\sigma} \cdot \frac{B_{\text{RL}}(f)}{E_{\text{BR}}(f)} \quad \dots\dots (\text{B.7})$$

式中:

$a_c(r, r_{\text{coil}}, f, \sigma)$ ——根据重新调整的系数求出的耦合因子;

$k(r, r_{\text{coil}}, f, \sigma)$ ——等效磁场源(线圈)和人体相距 r 时的系数;

σ ——人体匀质模型的电导率;

$B_{\text{RL}}(f)$ ——频率线 f 的磁感应强度的参考值;

$J_{\text{BR}}(f)$ ——频率线 f 的电流密度的基本限值;

$E_{\text{BR}}(f)$ ——频率线 f 的内部电场强度的基本限值。

注 1: E_{BR} 符合 IEEE 标准中的基本限制。

注 2: 8 Hz~800 Hz 和 1 kHz~100 kHz 的 $B_{\text{RL}}(f)/J_{\text{BR}}(f)$ 与 $1/f$ 成正比, 因此在这些频率范围内, $a_c(r)$ 与频率无关。

在按 5.5.2 和 5.5.3 测量的情况下, 采用等效频率 f_{C0} 。因此如公式(B.8)所示计算耦合因子 $a_c(f)$:

$$a_c(r, r_{\text{coil}}, f_{\text{C0}}, \sigma) = k(r, r_{\text{coil}}, f_{\text{C0}}, \sigma) \cdot \frac{B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}})}{J_{\text{BR}}(f_{\text{C0}})} = \frac{k(r, r_{\text{coil}}, f_{\text{C0}}, \sigma)}{\sigma} \cdot \frac{B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}})}{E_{\text{BR}}(f_{\text{C0}})} \quad \dots\dots (\text{B.8})$$

式中:

$a_c(r, r_{\text{coil}}, f_{\text{C0}}, \sigma)$ —— f_{C0} 处根据重新调整的系数求出的耦合因子;

$k(r, r_{\text{coil}}, f_{\text{C0}}, \sigma)$ —— f_{C0} 处等效磁场源(线圈)和人体相距 r 时的系数;

σ ——人体匀质模型的电导率;

$B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}})$ —— f_{C0} 处的磁感应强度的参考值;

$J_{\text{BR}}(f_{\text{C0}})$ —— f_{C0} 处的电流密度的基本限值;

$E_{\text{BR}}(f_{\text{C0}})$ —— f_{C0} 处的内部电场强度的基本限值。

注 3: 耦合因子 $a_c(r_1)$ 可以从图 B.5 采用公式(B.4)得出。

当 $f=50$ Hz, 人体全身电导率 $\sigma=0.1$ S/m, 线圈半径 $r_{\text{coil}}=10$ mm, 距离 $r=50$ cm 时, 采用 IC-NIRP, 如下所示重新调整:

$$\begin{aligned} a_c(r=50 \text{ cm}, r_{\text{coil}}=10 \text{ mm}, f=50 \text{ Hz}, \sigma=0.1 \text{ S/m}) \\ = k(r=50 \text{ cm}, r_{\text{coil}}=10 \text{ mm}, f=50 \text{ Hz}, \sigma=0.1 \text{ S/m}) \cdot \frac{B_{\text{RL}}(f=50 \text{ Hz})}{J_{\text{BR}}(f=50 \text{ Hz})} \\ = 3.271 \frac{\text{A/m}^2}{\text{T}} \cdot \frac{100 \mu\text{T}}{2 \text{ mA/m}^2} = 0.163 5 \end{aligned}$$

当 $f=60$ Hz, 躯干(其他人体组织)电导率 $\sigma=0.1$ S/m, 线圈半径 $r_{\text{coil}}=10$ mm, 距离 $r=50$ cm, 且应用 IEEE 标准的限值时, 如下所示计算耦合因子:

$$\begin{aligned} a_c(r=50 \text{ cm}, r_{\text{coil}}=10 \text{ mm}, f=60 \text{ Hz}, \sigma=0.1 \text{ S/m}) \\ = \frac{k(r=50 \text{ mm}, r_{\text{coil}}=10 \text{ mm}, f=50 \text{ Hz}, \sigma=0.1 \text{ S/m})}{\sigma=0.1 \text{ S/m}} \cdot \frac{f}{50 \text{ Hz}} \cdot \frac{B_{\text{RL}}(f=60 \text{ Hz})}{E_{\text{BR}}(f=60 \text{ Hz})} = \\ = \frac{3.271(\text{A/m}^2)/\text{T}}{0.1 \text{ S/m}} \cdot \frac{60 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} \cdot \frac{0.904 \text{ mT}}{0.701 \text{ V/m}} = 0.050 6 \end{aligned}$$

B.2 耦合因子的图形化评估

耦合因子可以从图 B.5 得出。该方法给出取决于等效线圈半径(r_{coil})的耦合因子的值。

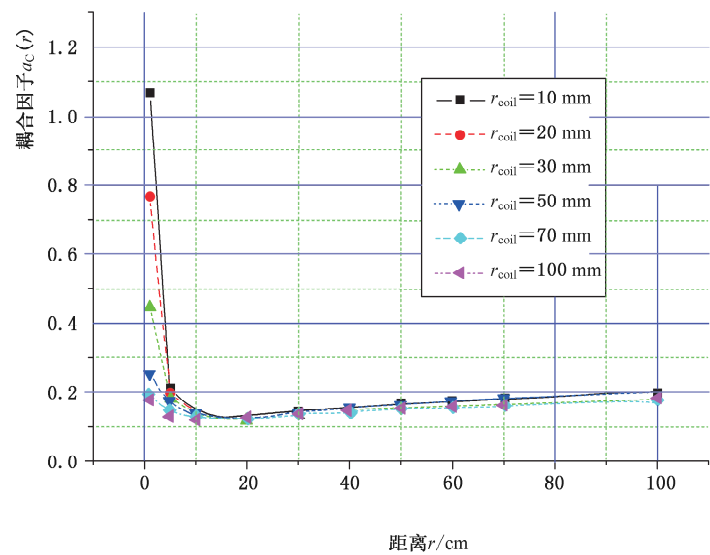


图 B.5 当人体全身电导率 $\sigma=0.1\text{ S/m}$, $A_{\text{sensor}}=100\text{ cm}^2$ 时的耦合因子 $a_c(r)$ (用 ICNIRP 限值重新调整)

距离 $r=r_1+l_{coil}$, 其中 r_1 是表 A.1 规定的测量距离。

附 录 C
(资料性附录)
曝露限值²⁾³⁾

C.1 ICNIRP 导则^[17] 中的曝露限值

在 ICNIRP 导则中的曝露限值见表 C.1 和表 C.2。

表 C.1 对于一般公众曝露于频率不超过 10 GHz 的时变电场和磁场的基本限制

频率范围	头部和躯干的电流密度 (有效值) mA/m^2	人体全身的电磁波吸 收比值 W/kg	局部化电磁波吸收比值 (头部和躯干) W/kg	局部化电磁波吸 收比值(四肢) W/kg
$\leq 1 \text{ Hz}$	8	—	—	—
1 Hz~4 Hz	$8/f$	—	—	—
4 Hz~1 kHz	2	—	—	—
1 kHz~100 kHz	$f/500$	—	—	—
100 kHz~10 MHz	$f/500$	0.08	2	4
10 MHz~10 GHz	—	0.08	2	4

注：f 是频率，单位为 Hz。

表 C.2 对于一般公众曝露于时变电场和磁场的参考值(不受干扰的有效值)

频率范围	电场强度 V/m	磁场强度 A/m	磁感应强度 μT	等效平面功率密度 S_{eq} W/m^2
$\leq 1 \text{ Hz}$	—	3.2×10^4	4×10^4	—
1 Hz~8 Hz	10 000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	—
8 Hz~25 Hz	10 000	$4\,000/f$	$5\,000/f$	—
0.025 kHz~0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0.8 kHz~3 kHz	$250/f$	5	6.25	—
3 kHz~150 kHz	87	5	6.25	—
0.15 MHz~1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	—
1 MHz~10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	—
10 MHz~400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 MHz~2 000 MHz	$1\,375 f^{1/2}$	$0.003\,7 f^{1/2}$	$0.004\,6 f^{1/2}$	$f/200$
2 GHz~300 GHz	61	0.16	0.20	10

注：f 如频率范围栏中所示。

2) 本附录给出的限值仅为资料，并不全面。

3) 本标准的使用者有责任确保他们使用国家当局规定的当前版本的限值集。

C.2 IEEE 标准^[6]中的曝露限值

在 IEEE 标准中的曝露限值见表 C.3 和表 C.4。

表 C.3 对于一般公众曝露于频率不超过 3 kHz 的电磁场,适用于人体各种部位的基本限制

曝露的人体组织	f_e Hz	E_0 V/m(有效值)
大脑	20	5.89×10^{-3}
心脏	167	0.943
手,手腕,脚和脚踝	3 350	2.1
其他人体组织	3 350	0.701
表格解释如下: 当 $f \leq f_e$ 时, $E_i = E_0$; 当 $f \geq f_e$ 时, $E_i = E_0 (f / f_e)$ 除了列出的限值外,头部和躯干曝露于频率 10 Hz 以下的磁场应限制为在一般公众环境的峰值 167 mT 和在受控环境中的 500 mT。		

表 C.4 对于一般公众曝露的磁场限值:头部和躯干的曝露

频率范围 Hz	B mT(有效值)	H A/m(有效值)
<0.153	118	9.39×10^4
$0.153 \sim 20$	$18.1 / f$	$1.44 \times 10^4 / f$
$20 \sim 759$	0.904	719
$759 \sim 3\,000$	$687 / f$	$5.47 \times 10^5 / f$
$3\,000 \sim 100\,k$	—	164
本表包含了 3 kHz 以上频率范围的限值,与 IEEE 标准(IEEE,1991)3 kHz 以上频率范围保持一致。		



附录 D

(资料性附录)

使用附录 C 限值的实例

D.1 转移函数

使用 ICNIRP 公众暴露的参考值 $B_{\text{RL}}(f)$ 计算转移函数,如表 D.1 所示(归一化点为 50 Hz 的示例)。

表 D.1 ICNIRP 公众暴露的转移函数

频率范围	ICNIRP 公众暴露的转移函数
$(f_1 = 10 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_{\text{C1}} = 800 \text{ Hz})$	$A(f) = \frac{B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}} = 50 \text{ Hz})}{B_{\text{RL}}(f)} = \frac{(5\,000/50)\mu\text{T}}{(5\,000/f)\mu\text{T}} = \frac{f}{50 \text{ Hz}}$
$(f_{\text{C1}} = 800 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_2 = 150 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}} = 50 \text{ Hz})}{B_{\text{RL}}(f)} = \frac{(5\,000/50)\mu\text{T}}{6.25 \mu\text{T}} = 16$
$(f_2 = 150 \text{ kHz}) \leq f \leq (f_{\text{n=3}} = 400 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}} = 50 \text{ Hz})}{B_{\text{RL}}(f)} = \frac{(5\,000/50)\mu\text{T}}{(920\,000/f)\mu\text{T}} = \frac{f}{9.2 \text{ kHz}}$

使用 IEEE 公众(头部和躯干)暴露中磁场的最大允许暴露值(见 3.1.7) $B_{\text{RL}}(f)$ 计算转移函数,如表 D.2 所示(归一化点为 60 Hz 的示例)。

表 D.2 IEEE 公众暴露的转移函数

频率范围	IEEE 公众暴露的转移函数
$(f_1 = 10\text{Hz}) \leq f \leq (f_{\text{C1}} = 20 \text{ Hz})$	$A(f) = \frac{B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}} = 60 \text{ Hz})}{B_{\text{RL}}(f)} = \frac{0.904 \text{ mT}}{(18.1/f)\text{mT}} = \frac{f}{20 \text{ Hz}}$
$(f_{\text{C1}} = 20 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_2 = 759 \text{ Hz})$	$A(f) = \frac{B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}} = 60 \text{ Hz})}{B_{\text{RL}}(f)} = \frac{0.904 \text{ mT}}{0.904 \text{ mT}} = 1$
$(f_2 = 759 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_3 = 3.35 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}} = 60 \text{ Hz})}{B_{\text{RL}}(f)} = \frac{0.904 \text{ mT}}{(687/f)\text{mT}} = \frac{f}{759 \text{ Hz}}$
$(f_3 = 3.35 \text{ kHz}) \leq f \leq (f_4 = 100 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}} = 60 \text{ Hz})}{B_{\text{RL}}(f)} = \frac{0.904 \text{ mT}}{0.205 \text{ mT}} = 4.41$
$(f_4 = 100 \text{ kHz}) \leq f \leq (f_{\text{n=5}} = 400 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}} = 60 \text{ Hz})}{B_{\text{RL}}(f)} = \frac{0.904 \text{ mT}}{(205/f)\text{T}} = \frac{f}{22.68 \text{ kHz}}$
注: 上述式子中所有频率 f 的单位均为 Hz。	

D.2 耦合因子

不同测量距离 r_1 在 ICNIRP 和 IEEE 中对应的耦合因子 $a_c(r_1)$ 的列举见表 D.3。

表 D.3 耦合因子 $a_c(r_1)$

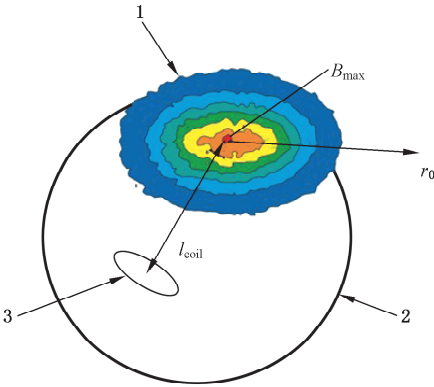
器具类型	测量距离 r_1 cm	耦合因子 $a_c(r_1)$ ICNIRP	耦合因子 $a_c(r_1)$ IEEE(60 Hz)
小型	0	1.00	0.330
大型	0	0.15	0.048
小型	10	0.14	0.043
大型	10	0.16	0.051
小型	30	0.14	0.043
大型	30	0.18	0.056
小型:场源直接位于器具内部壳体下方。 大型:器具的磁场源在距离壳体内表面 10 cm~40 cm 的位置。			
注 1: 假设最恶劣的情况下,整个人体的耦合因子用式(C.7)计算。 注 2: 虽然 IEEE 参考值比 ICNIRP 高约 10 倍,但 IEEE 的耦合因子更小,其原因是在其他组织上 ICNIRP 基本限值比 IEEE 高 35 倍。该过程计算回到 IEEE 基本限制。			

D.3 耦合因子确定实例

按附录 B 所述,耦合因子 $a_c(r)$ 的确定分为以下 4 个步骤:

a) 步骤 1:高场强区延伸范围的评估

图 D.1 描绘了测量过程,图 D.2 描绘了测量结果。

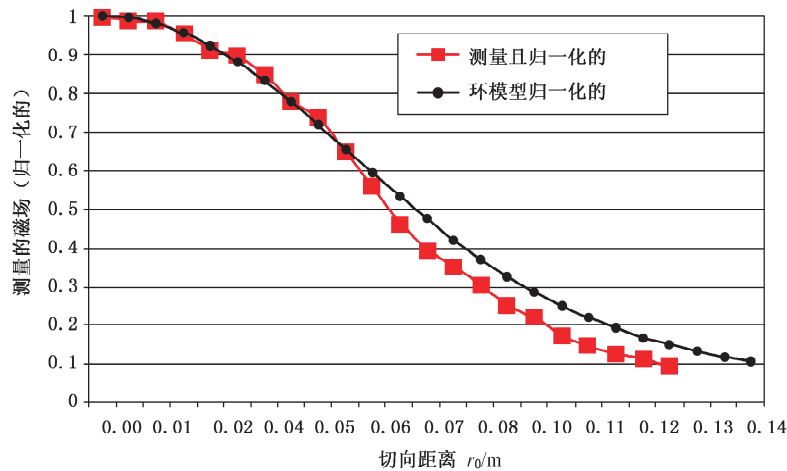


说明:

- 1——在高场强区周围的切向平面上测量;
- 2——家用电器的球体模型;
- 3——当作等效场源的线圈。

图 D.1 磁通量测量

b) 步骤 2:等效线圈的确定

图 D.2 在轴向距离 r_0 上的归一化场分布

沿轴线的归一化测量的磁感应强度(上述图 D.2 中的带方块的曲线)的积分所得值 $G = 0.071\ 66$ [m]。

c) 步骤 3:系数 k 的确定

确定了 G 的值后,可以确定等效线圈的半径 r_{coil} (表 B.1)。对于这一步骤,重要的是要知道距离 l_{coil} ,它取决于所测量的家用电器的尺寸。在这个例子中, $l_{\text{coil}} = 70$ mm 是一个很好的近似值。在表 B.1 中查看 $l_{\text{coil}} = 70$ mm 的横栏,最接近精确值 $G = 0.071\ 66$ [m] 的系数 G 会在这一横栏中纵栏 $r_{\text{coil}} = 50$ mm 确定,该系数 $G = 0.075\ 35$ [m],图 D.2 中带圆点的曲线表示使用以上线圈所得数据。可以看出这个线圈近似度很好。

现在可以根据预期的模型来确定系数 k ,例如,对于 $r_1 = 0$,通过在表 B.2 中观察 $r = 7$ cm, $r_{\text{coil}} = 50$ mm。对于人体全身,最接近的值是 $r = 5$ cm; $k = 3.180$ ($\sigma = 0.1$ S/m, $A_{\text{sensor}} = 100$ cm²)。

d) 步骤 4:耦合因子的计算

如果按 5.5.2 和 5.5.3 进行测量,则使用 50 Hz 的等效值,并且已经进行了适当的评估。因此, $\sigma = 0.1$ 的耦合因子 $a_c(r)$ 评估,见公式(D.1):

$$a_c(r, \sigma) = k(r, f = 50\ \text{Hz}, \sigma) \cdot 50 \times 10^{-3}\ \text{T}/(\text{A}/\text{m}^2) \quad \dots\dots\dots (\text{D.1})$$

对于人体全身,耦合因子 $a_c(r) = 0.159$ 。

如果电导率 $\sigma \neq 0.1$ S/m,则找寻到的耦合因子 $a_c(f)$ 应乘上 $\sigma/(0.1\ \text{S}/\text{m})$ 。

例如,电导率 $\sigma = 0.3$ S/m 时,得出耦合因子(对于人体全身):

$$a_c(r)_{\sigma=0.3\ \text{S}/\text{m}} = 0.159 \cdot \frac{0.3\ \text{S}/\text{m}}{0.1\ \text{S}/\text{m}} = 0.477$$

D.4 确定耦合因子的附加说明

D.4.1 均匀人体的数值模型

图 D.3 显示了用于计算耦合因子的均匀人体数值模型的尺寸。底部的部分是一个椭球的一半,其在胫骨处具有最低转折点,并且轴线为 350 mm/1 200 mm。中间的部分是一个直径为 350 mm 的圆柱体,头部和肩部的细节如图 D.4 所示。

单位为毫米

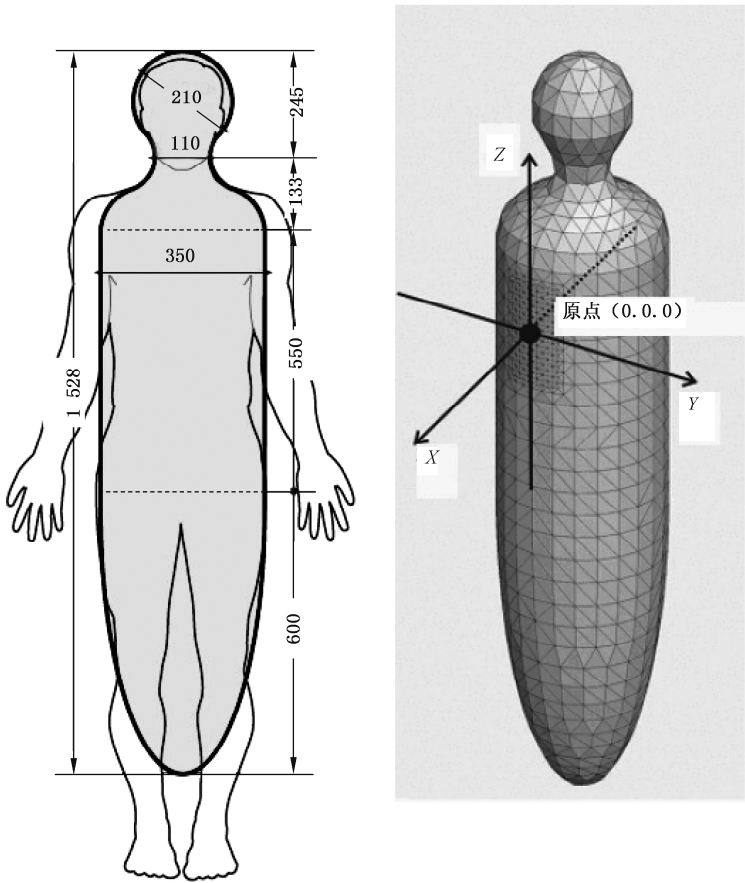


图 D.3 均匀人体的数值模型

单位为毫米

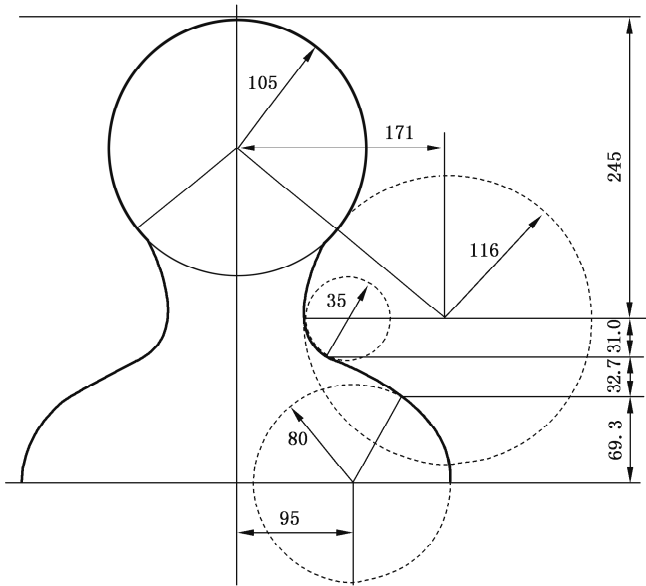


图 D.4 头部和肩膀的结构细节

D.4.2 不同非均匀磁场的磁场源和系数 k 的计算

以下非均匀磁场的磁场源列举不完全,但给出了一个概况:

- 圆形电流环;
- 矩形电流环;
- 单线电流;
- 圆形电流线圈;
- 基本偶极子。

然而,仅圆形电流环被使用作为磁场源来计算耦合因子。因此,不同直径的电流环应以最不利情况的方式相对数值模型放置,如图 D.5 所示。

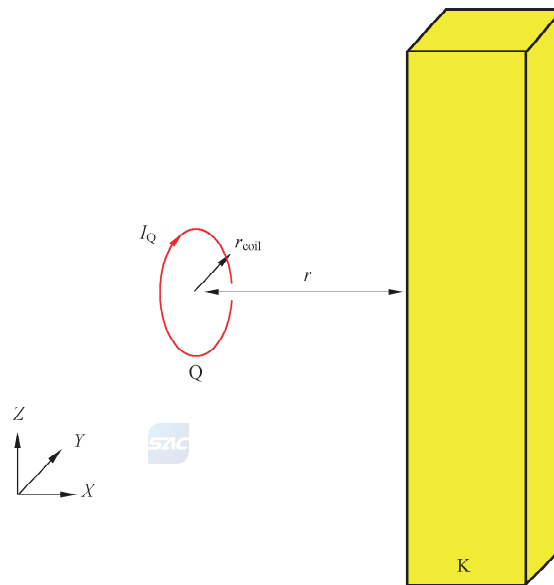


图 D.5 磁场源 Q 相对模型 K 的位置

对于数值计算,应考虑在频率 f 上人体组织的电导率 $\sigma(f)$ 。最后,通过使用欧姆定律可以计算出人体模型中的电流密度 J ,见公式(D.2):

$$J(r, f, \sigma) = \sigma(f) \cdot E_1(r, f) \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

- $\sigma(f)$ ——频率 f 的人体匀质模型的电导率;
- $E_1(r, f)$ ——测试距离为 r 的频率 f 的电场强度。

系数 k 给出了数值模型内的最大感应电流密度 $J_{\max}(r)$ 与模型的相同位置处测量的最大磁感应强度之间的关系。磁场源电流 I_Q 可以任意选择,但是在 J_{\max} 和 $B_{\max, \text{sensor}}$ 计算中的取值应相等。因此,系数 k 的评估取决于所使用的传感器。对于任意传感器区域 A_{sensor} ,应计算通过它的平均磁感应强度。应采用 $B_{\max, \text{sensor}}$ 的最大值。由于频率 f 和电导率 σ 与系数 k 线性相关,因此可以用公式(D.3)计算:

$$k(r, f, \sigma) = \frac{J_{\max}(r, f, \sigma)}{B_{\max, \text{sensor}}(r, A_{\text{sensor}})} = \frac{\sigma E_{i, \max}(r, f)}{B_{\max, \text{sensor}}(r, A_{\text{sensor}})} \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

- σ ——人体匀质模型的电导率;
- $J_{\max}(r, f, \sigma)$ ——测试距离为 r 的频率 f 的最大感应电流密度;
- $B_{\max, \text{sensor}}(r, A_{\text{sensor}})$ ——测试距离为 r 的传感器测量面积内的最大磁感应强度;

A_{sensor} ——传感器的测量面积；

$E_{i,\max}(r, f)$ ——测试距离为 r 的频率 f 的最大电场强度。

对于均匀场中均匀人体模型的电导率,可以选择 $\sigma = 0.2 \text{ S/m}$ 。然而,在器具附近的磁场分布的强烈的非均匀性导致电磁能量实际渗透身体时受到限制,鉴于这种情况也可以使用 $\sigma = 0.1 \text{ S/m}$ 。

注:人体表面附近 0.1 S/m 的电导率是用人体混合的电导率计算的。

电导率 σ 的详细值已得出^[15]。

根据 IEEE 基本限制测量的磁感应强度,用于计算 E_i 的必要系数可以通过公式(D.4)得出:

$$\frac{k(r, f, \sigma)}{\sigma} = \frac{E_{i,\max}(r, f)}{B_{\max, \text{sensor}}(r, A_{\text{sensor}})} \dots\dots\dots (\text{D.4})$$

式中:

σ ——人体匀质模型的电导率；

$E_{i,\max}(r, f)$ ——测试距离为 r 的频率 f 的最大电场强度；

$B_{\max, \text{sensor}}(r, A_{\text{sensor}})$ ——测试距离为 r 的传感器测量面积内的最大磁感应强度。

为了确定附录 B 中的系数 k ,采用数学工具中的矩量法(MoM)^[11]。

示例 1

对于半径 $r_{\text{coil}} = 20 \text{ mm}$ 、距离 $r = 10 \text{ cm}$ 且磁场源电流 $I_Q = 100 \text{ A}$ 的圆形线圈,人体模型($\sigma = 0.1 \text{ S/m}$ 且 $f = 50 \text{ Hz}$)感应电流密度的结果为 $J_{\max} = 14.956 \mu\text{A/m}^2$ 。100 cm² 传感器的平均磁感应强度计算为 $B_{\max, \text{sensor} = 100 \text{ cm}^2} = 5.468 \text{ 35 } \mu\text{T}$ 。因此由公式(D.5)计算出系数 k 为:

$$k(r = 10 \text{ cm}, f = 50 \text{ Hz}, \sigma = 0.1 \text{ S/m}) = \frac{14.956 \mu\text{A/m}^2}{5.468 \text{ 35 } \mu\text{T}} = 2.735 (\text{A/m}^2)/\text{T} \dots\dots (\text{D.5})$$

(见表 B.2;当 $r = 10 \text{ cm}$ 、 $r_{\text{coil}} = 20 \text{ mm}$ 时的系数 k)

示例 2

对于半径 $r_{\text{coil}} = 20 \text{ mm}$ 、距离 $r = 10 \text{ cm}$ 且电磁源电流 $I_Q = 100 \text{ A}$ 的圆形线圈,人体头部模型(半径为 $r_{\text{sphere}} = 10.5 \text{ cm}$ 的球形, $\sigma = 0.15 \text{ S/m}$ 且 $f = 60 \text{ Hz}$)感应电流密度的结果为 $J_{\max} = 19.17 \mu\text{A/m}^2$ 。100 cm² 传感器的平均磁感应强度计算为 $B_{\max, \text{sensor} = 100 \text{ cm}^2} = 5.468 \text{ 35 } \mu\text{T}$ 。因此由公式(D.6)计算出系数 k 为:

$$\begin{aligned} k(r = 10 \text{ cm}, f = 60 \text{ Hz}, \sigma = 0.15 \text{ S/m}) &= \frac{19.17 \mu\text{A/m}^2}{5.468 \text{ 35 } \mu\text{T}} = 3.505 \text{ 627} (\text{A/m}^2)/\text{T} \text{ 且} \\ \frac{k(r = 10 \text{ cm}, f = 60 \text{ Hz}, \sigma = 0.15 \text{ S/m})}{\sigma = 0.15 \text{ S/m}} &= \frac{3.505 \text{ 627} \times (\text{A/m}^2)/\text{T}}{0.15 \text{ S/m}} = 23.370 \text{ 847} (\text{V/m})/\text{T} \end{aligned} \quad (\text{D.6})$$

通常,数值计算的结果是人体模型中的电场强度 E_i 。原点电场强度 E_i (在 IEEE 标准中采用)的计算可以通过简单地将系数 k 除以用于评估 k 的相应电导率 σ 来进行。

因此,原点电场强度 $E_{i,\max}$ 计算见公式(D.7):

$$\begin{aligned} E_{i,\max} &= \frac{k(r = 10 \text{ cm}, f = 60 \text{ Hz}, \sigma = 0.15 \text{ S/m})}{\sigma = 0.15 \text{ S/m}} \cdot B_{\max, \text{sensor}}(r = 10 \text{ cm}, A_{\text{sensor}} = 100 \text{ cm}^2) \\ &= 23.370 \text{ 847} (\text{V/m})/\text{T} \cdot 5.468 \text{ 35 } \mu\text{T} = 127.8 \mu\text{V/m} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (\text{D.7})$$

式中:

σ ——人体匀质模型的电导率。

注:数值可在附录 C 中找到。

D.4.3 感应电流密度的计算

一般应用的方法是:

——BEM(边界元法);

——FDFD(频域有限差分法);

——FDTD(时域有限差分法);

——FEM(有限元法);

——FIT(有限积分技术);

- MoM(矩量法)；
- SPFD(标量电势有限差分法)；
- IP(阻抗法)。

如果使用 RF 软件代码,则可以应用频率调节方法^[10]:对于任何磁源,计算可以在更高的频率 f' (≤ 0.5 MHz,以保证磁场的准静态特性)下进行。对于该计算,应考虑频率 f (不是 f')上人体组织的电导率 $\sigma(f)$ 。该计算得出频率 f' 的电场强度 E' 。现在,由公式(D.8)通过缩放电场强度来得出:

$$\vec{E}(\vec{r}) = f/f' \cdot \vec{E}'(\vec{r}) \quad \text{.....(D.8)}$$

可以得出相关目标频率(f')上的值。最后,通过使用欧姆定律可以计算出电流密度,见公式(D.9):

$$J(\vec{r}) = \sigma(f) \cdot E(\vec{r}) \quad \text{.....(D.9)}$$



参 考 文 献

- [1] GB 17625.1 电磁兼容 限值 谐波电流发射限值(设备每相输入电流 ≤ 16 A)
- [2] IEC 61786 Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings—Special requirements for instruments and guidance for measurements
- [3] IEC 62226-1 Exposure to electric and magnetic fields in the low and intermediate frequency range—Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body—Part 1: General
- [4] IEC 62226-2-1 Exposure to electric and magnetic fields in the low and intermediate frequency range—Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body—Part 2-1: Exposure to magnetic fields —2D models
- [5] IEEE C95.1:1999 IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz
- [6] IEEE C95.6:2002 IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 - 3 kHz
- [7] RUOSS, H-O., SPREITZER, W., NISHIZAWA, S., MESSY, S. and KLAR, M. Efficient determination of current densities induced in the human body from measured low-frequency inhomogeneous magnetic fields. Microwave and Optical Technology Letters, May 20, 2001, vol. 29, no. 4, pp. 211-213.
- [8] NISHIZAWA, S., SPREITZER, W., RUOSS, H-O., LANDSTORFER, F. and HASHIMOTO, O. Equivalent source model for electrical appliances emitting low frequency magnetic fields. Proceeding of 31th European Microwave Conference 2001, September 2001, Vol.3, pp.117-120.
- [9] KAMPET, U. and HILLER, W. Measurement of magnetic flux densities in the space around household appliances. In: Proceedings of NIR 99, Nichtionisierende Strahlung, 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln, 1999, vol. II, pp. 885-891.
- [10] FURSE, CM and GANDHI, OP. Calculation of electric fields and currents induced in a millimeter-resolution human model at 60 Hz using the FDTD method. Bioelectromagnetics, 1998, vol. 19, pp. 293-299.
- [11] JAKOBUS, U. Erweiterte Momentenmethode zur Behandlung kompliziert aufgebauter und elektrisch grosser elektromagnetischer Streuprobleme. Fortschrittsberichte VDI, Reihe 21, Nr.171, 1995, VDI Verlag, Duesseldorf.
- [12] Programm EMPIRE, <http://www.imst.de/>
- [13] SHEWCHUCK, JR. An introduction to the conjugate gradient method without the agonizing pain. School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 1994
- [14] RUOß, H-O. and KAMPET, U. Numerical calculation of current densities induced in the human body caused by low frequency inhomogeneous magnetic sources. Kleinheubacher Berichte 2001, Band 144, pp. 155-162.
- [15] Italian National Research Council; Institute for Applied Physics; Calculation of the Dielectric Properties of Body Tissues in the frequency range 10 Hz - 100 GHz. Florence(Italy), 1997-2002; <http://sparc10.iroec.fir.cnr.it/tissprop/htmlclie/htmlclie.htm#atsftag>
- [16] FEKO; EM Software & System, www.feko.co.za
- [17] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys., 1998, vol. 41, no. 4, pp. 449-522

- [18] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML:1995, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISBN 92-67-10188-9.
- [19] NIS 81, The Treatment of Uncertainty in EMC Measurements. United Kingdom Accreditation Service, Teddington, Middlesex, UK, Ed. 1, 1994
- [20] ORCUTT, Neil and GANDHI, OM P. A 3-D Impedance Method to Calculate Power Deposition in Biological Bodies Subjected to Time Varying Magnetic Fields. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, August 1988, Vol. 35, No. 8.
- [21] GANDHI, OM P., DEFORD, John F. and KANAI, Hiroshi. Impedance Method for Calculation of Power Deposition Patterns in Magnetically induced Hyperthermia. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, October 1984, Vol. BME 31, No. 10.
- [22] DAWSON, T. W., CAPUTA, K. and STUCHLY, M. A. Numerical evaluation of 60 Hz magnetic induction in the human body in complex occupational environments. Physics in Medicine & Biology, April 1999, Vol. 44 (4), pp. 1025-1040.
- [23] NISHIZAWA, Shinichiro, LANDSTORFER, Friedrich (University of Stuttgart, Germany) and HASHIMOTO, Osamu (Aoyama Gakuin University, Japan). Study of the magnetic field properties around household appliances using magnetic source models as prescribed by the CENELEC standard EN50366. Submitted in IEIEC Tokyo Japan.
- [24] NISHIZAWA, S., RUOSS, H-O., LANDSTORFER, F. and HASHIMOTO, O. Numerical study on an equivalent source model for inhomogeneous magnetic field dosimetry in the low-frequency range. IEEE Transaction on Biomedical Engineering, Vol. 51, No. 4, April 2004.
- [25] NISHIZAWA, Shinichiro, LANDSTORFER, Friedrich, and HASHIMOTO, Osamu. Dosimetric study of induction heater using the coil source model prescribed by the EN50366. Proceeding of 3rd International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Volume 2, (October 2004), pp.894-903.
-