



世界卫生组织

ASSESSMENT CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS OF WHO'S INTERNATIONAL EMF PROJECT

WHO “国际电磁场计划” 的评估结论与建议



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

WHO『国际电磁场计划』的评估结论与建议
ASSESSMENT CONCLUSIONS AND
SUGGESTIONS OF WHO'S INTERNATIONAL EMF PROJECT

ISBN 978-7-5083-6767-5



9 787508 367675 >

定价：12.00 元

销售分类建议：电力工程 / 综合



世界卫生组织

ASSESSMENT CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS OF WHO'S INTERNATIONAL EMF PROJECT

WHO “国际电磁场计划” 的评估结论与建议

杨新村 李 毅 译



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以中英文形式首先介绍了 WHO 的重要官方文件《电磁场和公共健康：曝露于极低频场（Fact Sheet No. 322）》，该官方文件阐明了 WHO “国际电磁场计划”对极低频场与公共健康的全面评估结论与政策建议；其次介绍了《极低频场环境健康准则（EHC No. 238）》的第一章，WHO 针对极低频场生物影响科学文献进行了全面复核，阐明了极低频场健康风险评价的总体结论，并向各国政府当局提出了健康保护、预防性措施与政策建议。

本书可供政府环保、卫生、建设、规划、法律相关部门的决策、管理人员；电磁环境保护、疾病控制与预防，以及生物电磁学领域内的研究人员；从事电力和电气规划、设计、建设、运行的相关管理人员和技术人员阅读使用。也可供关心电磁环境与健康关系的高等院校师生和具有一定专业基础的公众参考。

图书在版编目（CIP）数据

WHO “国际电磁场计划”的评估结论与建议/世界卫生组织；杨新村，李毅译. —北京：中国电力出版社，2008

ISBN 978 - 7 - 5083 - 6767 - 5

I. W… II. ①世…②杨…③李… III. 电磁场 - 环境影响 - 研究 IV. X123

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 021858 号

北京市版权局著作权合同登记

图字：01 - 2008 - 1027

本版图书包括 *Environmental health criteria 238: Extremely low frequency fields* 的 1 ~ 20 页内容，和 *the World Health Organization Fact Sheet No. 322: Electro-magnetic fields and public health: Exposure to extremely low frequency fields*，均为世界卫生组织 2007 年出版

©世界卫生组织 2007

世界卫生组织总干事已授予中国电力出版社该作品的中文翻译和中英文双语式出版的权力，中文部分的内容由中国电力出版社独自承担相关责任。

本书未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>）

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 3 月第一版 2008 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 4.5 印张 66 千字

印数 0001—5000 册 定价 12.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

针对公众对电磁场健康影响的关注，世界卫生组织（WHO）自 1996 年开始，组织 60 多个国家及多个国际组织，开展全球性的“国际电磁场计划”研究，历时十年，目前已完成了极低频场的全面健康风险评估，并在一系列重要官方文件中，阐明了该研究结论与建议。

本书共分为两个部分，分别介绍了 WHO 于 2007 年 6 月正式发布的《电磁场和公众健康：极低频场暴露（Fact Sheet No. 322）和《极低频场环境健康准则（EHC No. 238）》的第一章（原文共 12 章，第一章是其他各章节研究内容和结论的集中概括）。第一部分阐明了 WHO “国际电磁场计划”对极低频场公共健康风险的全面评估结论与政策建议。第二部分总结了 WHO 对极低频场生物效应科学文献复核的结论与意见；阐明了 WHO 极低频场健康风险评价的总体结论；向各国政府当局提出了健康保护、预防性措施与政策建议。

在本书的翻译出版过程中，得到了世界卫生组织出版部、辐射和环境卫生处的支持与帮助，国内多位电磁环境保护相关领域的专家也对译文内容进行了审读并提出了宝贵意见，在此一并致以诚挚的谢意。

本书可供政府环保、卫生、建设、规划、法律相关部门的决策、管理人员；电磁环境保护、疾病控制与预防，以及生物电磁学领域内的研究人员；从事电力和电气规划、设计、建设、运行相关的管理人员和技术人员阅读使用。也可供关心电磁环境与健康关系的高等院校师生和具有一定专业基础的公众参考。

限于译者水平，书中难免存在错误或不妥之处，敬请读者批评指正。

译者
2008 年 2 月

目 录

前言

电磁场和公众健康：极低频场暴露 (Fact Sheet No. 322)	1
--------------------------------------	---

1 极低频场源和居民暴露	2
2 工作组评价	2
3 短期影响	3
4 潜在的长期影响	3
5 国际暴露导则	4
6 WHO 的指导意见	4
7 其他读物	5

极低频场环境健康准则 (EHC No. 238) ——总结和进一步研究的建议	7
--	---

1 总结	8
1.1 源、测量和暴露	8
1.2 人体内的电场和磁场	9
1.3 生物物理机制	10
1.4 神经行为	11
1.5 神经内分泌系统	13
1.6 神经变性疾病	14
1.7 心血管疾病	14
1.8 免疫学和血液病学	14
1.9 生育和生长	15
1.10 癌症	16
1.11 健康风险评价	17
1.12 保护措施	18

2	研究建议	20
2.1	源、测量和暴露	20
2.2	剂量测定	21
2.3	生物物理机制	21
2.4	神经行为	22
2.5	神经内分泌系统	22
2.6	神经变性疾病	23
2.7	心血管紊乱	23
2.8	免疫学和血液病学	23
2.9	生育和生长	23
2.10	癌症	23
2.11	预防措施	24



World Health
Organization

ASSESSMENT CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS
OF WHO' S INTERNATIONAL EMF PROJECT

WHO “国际电磁场计划”的评估结论与建议

电磁场和公众健康： 极低频场曝露 (Fact Sheet No. 322)

电力已经成为我们日常生活中不可缺少的一部分。只要电在传输，邻近输电线路和用电设备的周围就存在电场和磁场。曝露于这些极低频（ELF）电场和磁场（EMF）是否会产生有害的健康后果？这个问题自 20 世纪 70 年代后期起就已提出。从那时开始，人们做了很多研究，成功地解决了一些重要的问题，并缩小了进一步研究的关注范围。

1996 年，世界卫生组织（WHO）建立了“国际电磁场计划”，以调查与电磁场相关的潜在健康风险。WHO 的一个工作组最近对极低频场的健康影响进行了总结。

本 Fact Sheet 以该工作组的结论为基础，更新由 WHO 主办的国际肿瘤研究机构（IARC）于 2002 年和由国际非电离辐射防护委员会（ICNIRP）于 2003 年发布的有关极低频电磁场健康影响的观点。

1 极低频场源和居民曝露

电场和磁场存在于有电流流过的地方，例如电力线和电缆，民房布线和用电设备。电场的产生源于电荷，以伏特每米（V/m）计量，可被木头、金属等普通材料屏蔽。磁场起源于电荷的运动（例如电流），以特斯拉（T）或更常用的毫特斯拉（mT）、微特斯拉（ μT ）表示。在有些国家，还常用另一个单位高斯（G）表示（ $10000\text{G} = 1\text{T}$ ）。磁场不能被大多数普通材料所屏蔽，它很容易就能穿过这些材料。电场和磁场在源头附近最强，随距离增加而衰减。

大多数电力都以 50 或 60 周波每秒（或赫兹，Hz）的频率运行。在某些用电设备附近，磁场水平可能会有几百微特斯拉。在电力线下方，磁场大约为 $20\mu\text{T}$ ，电场大约为几千伏特每米。不过，在民房中，平均工频磁场就低得多了，在欧洲大约为 $0.07\mu\text{T}$ ，在北美约为 $0.11\mu\text{T}$ 。居民家中平均的电场值约几十伏特每米。

2 工作组评价

2005 年 10 月，WHO 召开了科学专家工作组会议，对曝露于 0 ~ 100kHz 频率范围内的极低频电场和磁场可能存在的任何健康风险进行评定。2002 年，

IARC 在检查与癌症有关的证据时，工作组就仔细研究了大量健康影响的证据，并更新了这些关于癌症的证据。工作组的结论和建议发表在 WHO 的环境健康准则（EHC）专论中（WHO，2007）。

按照标准的健康风险评价程序，工作组的结论是，对于公众通常遇到的极低频电场水平，不存在实际健康问题。本 Fact Sheet 接下来的部分，主要论述暴露于极低频磁场中的影响。

3 短期影响

对于高水平磁场暴露（显著超过 $100\mu\text{T}$ ）产生的生物效应，已是确定的了，可由公认的生物物理机制予以解释。外部极低频磁场在人体内感应出电场和电流，当场强非常高时，会导致神经和肌肉的刺激，并引起中枢神经系统中神经细胞兴奋性的变化。

4 潜在的长期影响

大量针对极低频磁场暴露长期风险的科学研究，都将重点放在儿童期白血病上。2002 年，IARC 发表了一本专论，将极低频磁场归类为“怀疑对人类致癌的”。被列为该类的物质，其在人类致癌性方面存在有限的证据、在实验动物致癌性方面存在不足的证据（该类物质还包括咖啡和焊接烟雾）。该分类是根据对流行病学研究的集合分析而作出的，这些研究在住所中工频磁场平均暴露超过 $0.3 \sim 0.4\mu\text{T}$ 与儿童期白血病患病率两倍增长之间，显示了一致的关联。工作组的结论是，从那之后的其他研究，都没能改变这种分类的状况。

但是，流行病学的证据被方法问题所削弱，例如潜在的选择性偏倚。另外，也没有可接受的生物物理机制来说明低水平暴露和引发癌症有关。因此，如果说低水平场暴露会产生什么影响，就必须先通过我们至今还不知道的一个生物机制来解释。此外，动物研究结果大都是阴性的。因此，总体权衡，与儿童期白血病有关的证据不足以认定其存在因果关系。

儿童期白血病是一种较为罕见的疾病，2000 年全球总的新病例量大约是 49000 例。住所中平均磁场暴露超过 $0.3\mu\text{T}$ 的很少见，患病儿童中大约只有

1% ~ 4%生活在这种状况下。如果说磁场暴露和儿童期白血病之间的关联是有因果性的,那以2000年的数值计算,全世界因磁场暴露而导致的病例数大约是每年100~2400例,代表着那年总病例的0.2%~4.95%。因此,如果说极低频电磁场确实增加了这种疾病的风险,从全球角度考虑,极低频电磁场暴露对公众健康的影响也是有限的。

人们还进行了大量其他与极低频磁场暴露可能有关的有害健康影响研究,包括其他儿童癌症、成人癌症、忧郁症、自杀、心血管紊乱、不育、发育障碍、免疫系统变异、神经生物影响和神经退变性疾病。WHO工作组的结论是,支持极低频磁场暴露和所有这些健康影响有关系的科学证据,都比儿童期白血病的弱得多。在一些研究中(例如心血管疾病和乳癌),证据显示极低频磁场不会引起这些疾病。

5 国际暴露导则

与短期、高水平暴露有关的健康影响已是确认的了,并已成为两个国际暴露限制导则(ICNIRP, 1998; IEEE, 2002)制定的基础。当前,这两个机构认为,关于长期、低水平极低频场暴露健康影响可能性的科学证据,不足以证明需要降低这些量化的暴露限值。

6 WHO 的指导意见

高水平、短期暴露于电磁场产生的有害健康影响,已经科学地确认了(ICNIRP)。为保护工人和公众免受这些影响而制定的国际暴露导则,应该为政策制定者采纳。电磁场防护程序应包括对可能超出限值的暴露源进行暴露测量。

关于长期影响,因为极低频磁场暴露和儿童期白血病之间的关联证据弱,因此从健康角度减少暴露所得的益处也是不清楚的。针对这种状况,提出以下建议:

• 政府和企业应追踪科学,促进研究计划,以减少有关极低频场暴露健康影响的科学证据的不确定性。通过极低频风险评估程序,可发现知识的缺陷,这些可作为新研究项目的基础。

鼓励各成员国与所有的利益相关者建立有效和公开的信息交流计划，以实现知情决策。这包括在产生极低频电磁场设施的规划过程中，加强企业、当地政府和市民之间的协调和咨询。

当建设新的设施和设计新设备，包括家用电器时，应探索低成本的减少暴露的方法。合理的减少暴露的措施可能会因国家而不同，但是，采纳武断的低暴露限值的政策是没有根据的。

7 其他读物

(1) WHO 极低频场环境健康准则 (EHC No. 238). 日内瓦, WHO, 2007.

(2) 评估对人类致癌性风险的 IARC 工作组. 非电离辐射, 第一部分: 静态、极低频 (ELF) 电场和磁场. 里昂, IARC, 2002 (关于对人类致癌性风险评估的专论, 80).

(3) ICNIRP——国际非电离辐射防护委员会. 暴露于静态和低频电磁场, 生物效应和健康后果 (0 ~ 100kHz). Bernhardt JH 等, Oberschleissheim, 国际非电离辐射防护委员会, 2003 (ICNIRP13/2003).

(4) ICNIRP——国际非电离辐射防护委员会 (1998). 限制时变电场、磁场和电磁场 (300GHz 以下) 暴露的导则. 健康物理学 74 (4), 494 ~ 522.

(5) IEEE 标准协调委员会 28. 关于人体暴露到电磁场 (0 ~ 3kHz) 的安全水平的 IEEE 标准. 纽约, IEEE (电气和电子工程师协会) 2002 (IEEE 标准 C95.6 - 2002).



World Health
Organization

ASSESSMENT CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS
OF WHO'S INTERNATIONAL EMF PROJECT

WHO“国际电磁场计划”的评估结论与建议

极低频场环境健康准则

(EHC No.238)

——总结和进一步研究的建议

《环境健康准则（EHC）》专著阐述了曝露于极低频（ELF）电场和磁场可能的健康影响，复核了极低频场的物理特性以及曝露源和测量。但是，其主要目的是对曝露于极低频场生物影响的科学文献进行审核，以评定曝露于这些场的健康风险；并利用这些对风险的评估，向各国政府当局提出健康保护计划的建议。

本专著针对的频率范围是 0Hz ~ 100kHz。到目前为止，已进行的绝大部分研究都是针对工频（50 或 60Hz）磁场，其中很小一部分也研究了工频电场。另外，还有很多研究是关于甚低频（VLF，3 ~ 30kHz）场、用于磁共振成像的投切陡波磁场，以及由视频显示单元和电视机产生的弱甚低频场。

本文是对 EHC 专著各个章节的主要结论和建议的总结，也是对健康风险评估的总体结论。专著中用以描述给定健康后果的证据强度的术语如下：当某证据局限在某一单项研究，或一批研究的设计、实施或解释中还存在很多不能回答的问题时，这种证据被定义为“有限的（limited）”。当存在重要的定性或定量上的局限性，使研究不能被理解为显示了某影响是存在还是不存在时，或是没有可用的数据时，这种证据就被定义为“不足的（inadequate）”。

本专著也识别了主要的知识缺陷和填补这些缺陷需要进行的研究，详见“研究建议”部分。

1 总结

1.1 源、测量和曝露

在发电和通过电力线与电缆输电或配电时，或在用电设施使用电时，就存在电场和磁场。由于电力是我们现代生活不可或缺的一部分，这些场在我们环境中无处不在。

电场强度的单位是伏特每米（V/m）或千伏每米（kV/m）。磁场用磁通密度（即磁感应强度）表示，单位是特斯拉（T），或是更常用的毫特斯拉（mT）、微特斯拉（ μT ）。

* 对于工频磁场的居民曝露，世界各国的差异都不太大。居民家中的几何平均磁场，在欧洲约为 0.025 ~ 0.07 μT ，在美国约为 0.055 ~ 0.11 μT 。家中电场的平均值一般为几百伏特每米。在一些用电设施附近，瞬时磁场值可为几百微特

斯拉。电力线附近的磁场差不多为 $20\mu\text{T}$ ，电场约为几千伏每米。

几乎没有儿童在居住环境为 50 或 60Hz 磁场中的时间平均暴露超过与儿童期白血病发病率增加相关联的暴露水平（见 1.10 部分）。大约 1% ~ 4% 的儿童的平均暴露超过 $0.3\mu\text{T}$ ，仅 1% ~ 2% 的儿童的平均暴露超过 $0.4\mu\text{T}$ 。

职业暴露绝大部分指的是工频场，也可能包括一些其他频率的作用。“电气职业”工作场所的平均磁场暴露高于其他职业（例如办公室工作）。电工和电气工程师的磁场暴露约为 $0.4 \sim 0.6\mu\text{T}$ ，电力线路工人约为 $1.0\mu\text{T}$ ，焊接工、铁路机车驾驶员和缝纫机操作工的暴露最高（超过 $3\mu\text{T}$ ）。工作场所最大磁场暴露可达约 10mT ，这些总是与存在大电流导线有关。在供电行业，工人的电场暴露可达 30kV/m 。

1.2 人体内的电场和磁场

极低频电磁场暴露，会在人体中感应出电场和电流。剂量测定学中阐述了外部场和人体中感应电场及电流密度之间，或同其他与电磁场暴露相关的参数之间的关系。由于人体中的感应电场和电流密度与神经和肌肉等易兴奋组织的激励有关，因此特别引人关注。

人类和动物的身体会显著地干扰极低频电场的空间分布。在低频时，人体是良导体，其外部被干扰的电力线近似地与人体表面垂直。处于暴露中的人体表面会感应出交变电荷，交变电荷继而在人体中感应出电流。关于人类暴露于极低频电场的剂量学关键特性如下：

- 人体内的电场与其外部电场相比，通常要小 5 ~ 6 个数量级。
- 暴露于垂直场时，感应场的主要方向也是垂直的。
- 对于一个给定的外部电场，最强的感应场出现在通过脚与地面良好接触（电气接地）的人体中，最弱的感应场出现在与地面绝缘（处于“自由空间”）的人体中。
- 与地面良好接触的人体中的电流总量，取决于人体的大小和形状（包括姿势），而不是取决于组织的电导率。
- 各种器官和组织中感应电流的分布，取决于这些组织的电导率。
- 感应电场的分布同样受到电导率的影响，但比感应电流受到的影响程度弱。

4.4
2011

》也有一种情况下，人体中的电流是由于接触电场中的导体而感应出来的。

对磁场来说，组织的渗透率和空气相同，因此组织中的场与外部场相同。人类和动物的身体不能对磁场造成显著的干扰。磁场产生的主要作用是在导电组织中产生电场法拉第感应和相应的电流密度。关于人类暴露于极低频磁场的剂量学关键特性有：

- 》感应电场和电流取决于外部磁场的方向。整体而言，当磁场从身体由前至后穿过人体时，人体中的感应电场最大。但对某些个别器官来说，最高的电场值出现在磁场从一侧穿至另一侧时。
- 》当磁场的方向与人体的垂直轴平时，感应出的电场最弱。
- 》对于一个给定场强和方向的磁场，人体越大，感应的电场也越高。
- 》感应电场的分布受到各种器官和组织电导率的影响，而感应电流密度的分布受到的这种影响是有限的。

1.3 生物物理机制

对于已经提出的各种极低频电场和磁场的直接或间接作用机制的可能性进行了检验。重点是检验场暴露在生物过程中产生的“信号”是否能从内在的随机噪声中识别出来，以及该机制是否是对科学原理和现有的科学知识的一种新认识。许多机制只是在场强超过一定强度时才可能是合理的。不过，只要是符合基本科学原理，缺乏已验证的合理机制并不意味着排除了即使是很低的场水平下存在健康影响的可能性。

在大量已提出的场与人体直接相互作用的机制中，有三种在较低场水平下比其他机制有突出潜在作用的场的机制：神经网络中的感应电场、基团配对和磁铁物机制。

因极低频电场或磁场暴露而在组织中产生感应电场，当内部场强超过几伏特每米时，会以一种从生物物理学角度似乎合理的方式，直接刺激单个有髓神经纤维。与单个细胞相比，更弱的场也会影响神经网络中的突触传输。多细胞生物体通常采用这种神经系统信号处理方式，以探测微弱的环境信号。有人建议对神经网络有区别地采取较低的 1mV/m 的限值，但根据现有证据，阈值取 $10 \sim 100\text{mV/m}$ 看来更合适。

按照基团配对机制，磁场会影响某些特殊类型的化学反应，通常会在低水