

环境卫生基准(16)

射频和微波

联合国环境规划署
世界卫生组织 合编
国际辐射防护协会



中国环境科学出版社

R12
Q111
V16
24544

环 境 卫 生 基 准
(16)

射 频 和 微 波

联合国环境规划署
世 界 卫 生 组 织 合 编
国际辐射防护协会

高允田 祝修爵 郭静男 李天林 译
李进堂 郑乃彤 校

中国环境科学出版社

1 9 9 2

(京)新登字089号

内 容 简 介

本书分11个专题,对辐射和微波的强度、特性、辐射源和接触强度、测量、生物体的吸收及其效应,对人体的效应、防护标准、安全措施等做了较详细的论述。

本书是发达国家在射频辐射和微波方面的经验总结和评论,对我国参加此类工作的研究人员、管理人员及工作者是一份有益的参考资料。

United Nations Environment Programme
World Health Organization
International Radiation Protection
Environmental Health Criteria 16
RADIOFREQUENCY AND MICROWAVES
World Health Organization Geneva, 1981

射 频 和 微 波

联合国环境规划署
世界卫生组织 合编
国际辐射防护协会

高允田 祝修爵 郭静男 李天林 译
李进堂 郑乃彤 校
责任编辑 李文湘

中国环境科学出版社出版

北京崇文区北岗子街8号

三河县宏达印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1992年12月第 一 版 开本 787×1092 1/32

1992年12月第一次印刷 印张 5 1/8 插页 1

印数 1—3,100 字数 114千字

ISBN 7-80093-273-7/X·677

定价: 3.20元

中译本说明

联合国环境规划署和世界卫生组织联合主持出版的环境卫生基准(Environmental Health Criteria)是由世界一些国家的有关专家按不同化学物质组成专门小组编写并分册出版的。该书每册详细论述一种化学物质的理化性质、分析方法和用途,阐述该物质的不同浓度对人体和其他生物(禽畜、鱼类、农作物和其他果树、植物等)的作用,介绍该物质在大气、水、土壤等环境中和一些生物体内的浓度和代谢转化过程,以及中毒的临床症状、解毒方法、安全预防措施等,并提出在不同环境要素中的容许标准值。

该书汇集了评价化学物质与人体健康和各种生物体关系的大量资料,因此,它不仅是环境保护、医疗卫生、劳动保护等部门不可缺少的重要技术资料,也是农、林、牧、渔和海洋等部门以及有关的科研、大专院校、工业设计和厂矿企业等单位必需的技术参考书。因此我们大力支持该书中译本的出版,并将它推荐给读者。

本书由郑乃彤同志负责组织翻译并作最后校定,译文中如有错误、欢迎批评指正。

国家环境保护局科技处

出版说明

本报告汇集了国际专家小组的集体见解，但并不代表联合国环境规划署、国际劳工组织或世界卫生组织的决定或有关政策。

本书采用的名称的陈述材料并不代表世界卫生组织秘书处对任何国家、领土、城市或地区或其权限的合法地位，或关于边界、分界线划定的任何意见。

凡提及某公司或某些制造商的产品，并不意味着它们已为世界卫生组织所认可或推荐、而优于其他未被提及的同类公司或产品的名称，除差错与疏忽外，凡专利产品名称均冠以大写字母，以示区别。

致《基准》文献的读者

虽然已经作了很大努力，使《基准》文献中的资料尽量准确，按时出版，但是错误是难免的，而且今后还可能再出现。为了环境卫生基准文献读者的利益，诚恳地希望将发现的任何错误告诉瑞士日内瓦世界卫生组织环境卫生处，以便将它载入以后出版物的勘误表中。

此外，衷心要求与《基准》文献有关的专业领域的专家，将有关的已出版而被遗漏的重要文献通知世界卫生组织秘书处。这些文献可能会有助于改变接触所研究的环境因子对健康危害的评价，以便在修改或重新评价《基准》文献的结论时考虑采纳这些资料。

目 录

射频和微波的环境卫生基准

1. 概述和对今后研究工作的建议	(8)
1.1 概述	(8)
1.1.1 与生物学效应有关的物理特性参数	(8)
1.1.2 辐射源与接触的控制	(9)
1.1.3 实验动物的生物学效应	(10)
1.1.4 与健康效应有关的功率密度范围	(11)
1.1.5 辐射对人的影响	(12)
1.1.6 以接触极限为基础对健康危险度的评价	(12)
1.2 关于进一步研究接触极限和防护措施 的建议	(13)
1.2.1 总的建议	(13)
1.2.2 测量技术	(14)
1.2.3 安全措施	(14)
1.2.4 生物学研究	(15)
1.2.5 流行病学研究	(15)
1.2.6 接触极限和辐射标准	(15)
1.2.6.1 职业接触极限	(15)
1.2.6.2 一般人的接触极限	(16)
1.2.6.3 放射标准	(16)
1.2.6.4 标准的执行	(16)

1.2.6.5 其它防护措施	(16)
1.2.6.6 有关制订接触极限的研究	(17)
2. 接触微波和射频辐射的强度和有关辐射源	(17)
3. 微波和射频 (RF) 辐射的特性	(18)
3.1 辐射单位	(20)
3.2 其它物理学方面的考虑	(21)
4. 辐射源和接触情况	(22)
4.1 自然本底辐射源	(22)
4.2 人工辐射源	(24)
4.2.1 有意发射的人工发射机	(24)
4.2.2 非有意的辐射源	(32)
4.3 接触水平的估算	(35)
4.3.1 远场接触	(36)
4.3.2 近场接触	(36)
4.4 受控辐射接触设备	(37)
4.4.1 自由空间标准场法	(38)
4.4.2 被导波方法	(39)
4.4.3 标准探头方法	(41)
5. 测量仪	(42)
5.1 一般原理	(42)
5.2 常用测定仪类型	(42)
5.2.1 二极管整流器	(42)
5.2.2 辐射热测量仪	(43)
5.2.3 热电偶	(44)
6. 生物体对微波和射频能量的吸收	(44)
6.1 计算方法	(45)
6.2 实验方法	(45)

6.3 能量的吸收	(46)
6.4 分子的吸收	(49)
7. 实验动物的生物效应	(50)
7.1 过热和宏观热效应	(52)
7.2 对眼睛的影响	(56)
7.3 对神经内分泌的影响	(62)
7.4 对神经系统和行为的影响	(64)
7.5 对造血和免疫活性细胞系统的影响	(74)
7.6 细胞系统中的遗传和其它影响	(82)
7.7 对生殖和发育的影响	(85)
8. 人的健康效应	(88)
8.1 职业性暴露效应	(89)
8.1.1 眼睛效应	(91)
8.1.2 对生殖的影响及遗传效应	(92)
8.1.3 心血管效应	(92)
8.2 医学辐照	(92)
9. 微波和射频辐射防护标准的理论阐述	(93)
9.1 原理	(93)
9.2 第一组标准	(94)
9.3 第二组标准	(95)
9.4 第三组标准	(100)
9.5 射频辐射标准	(103)
10. 职业性暴露职工的安全措施	(115)
10.1 减少职业暴露的措施	(115)
11. 对生物效应资料及推荐的暴露极限的评价	(117)
术语汇编	(119)
参考文献	(133)

世界卫生组织和国际辐射防护协会的 射频和微波环境卫生基准工作组

成 员

V. Akimenko博士, A. N. Marzeer 公共卫生研究所

苏联 基辅

P. Czerski教授, 国家母亲和儿童研究所

波兰 华沙 (指定为委员会起草报告的人)*

A. Duchêne夫人, 丰特内奥罗斯 核研究中心、防护系 法国**

M. Faber 博士, 水银弧光灯实验室、水银弧光灯研究所 丹麦 哥本哈根*

M. Grandolfo教授、高级卫生研究所、辐射实验室 意大利 罗马

F. HarLen先生 国家辐射防护委员会

英国 哈佛

H. Jammet博士, 丰特内奥罗斯 核研究中心、防护系 法国**

J. Kupfer博士, GDR职业医学中央研究所 柏林 德意志民主共和国 (副主席)

* 此中心属法国原子能委员会, 简称CENFAR (校者注)。

M. Repacholi博士, 国家卫生和福利部卫生保护科, 加拿大 渥太华*

B. Servantie博士 E. A. S. S. M生物物理调查研究中心 法国 土伦海军基地

M. Shore博士 卫生、教育和福利部, 辐射卫生、食物和药物管理局

美国 马里兰州洛克威尔 (主席)

其它组织的代表:

H. Pouliguen先生 国际电讯联盟

瑞士 日内瓦

G. Verfaeile博士, 欧洲共同体委员会

比利时 布鲁塞尔

秘书处:

S. Fluss先生, 世界卫生组织, 卫生和生物医学情报署
瑞士 日内瓦

E. Komarov博士, 世界卫生组织环境卫生处 环境卫生
基准和标准 瑞士 日内瓦 (秘书)

在电磁学中通常使用的国际单位制(SI)*

物理量名称	物理量符号	国际单位及其符号
导纳 (Admittance)	Y	西门子(S)
面积 表面积 (Area, Surface)	S	平方米(m^2)
衰减 (Attenuation)	A	I (非SI单位是dB)

* 国际辐射防护协会非电离辐射委员会成员。

* 国际单位制的代号为SI, 我国简称国际制(校者注)。

衰减系数 (Attenuation Coefficient)	σ	米的倒数($1/m$)
电容 (Capacitance)	C	法(拉)(F)
电荷 (Charge)	Q	库(仑)(C)
电荷容量密度 (Charge, volume density of)	ρ	库(仑)每立方米(c/m^3)
电导 (Conductance, electric)	G	西门子(S)
传导率 (Conductivity)	S	西门子每米(s/m)
电流 (Current)	I	安(培) (A)
电流密度 (Current density)	J	安培每平方米(A/m^2)
介质极化强度 (Dielectric Polarization)	$P(P = D - \epsilon_0 E)$	库(仑)每平方米(c/m^2)
偶极矩(电的)(Dipole moment[electric])	P	库(仑)·米 ($c \cdot m$)
偶极矩(磁的)(Dipole moment[magnetic])	i	韦伯·米 ($Wb \cdot m$)
电场强度 (Electric field Strength)	K	伏特每米(v/m)
电通量 (Electric flux)	φ	库仑 (C)
电通量密度 (Electric flux density)	D	库(仑)每平方米(C/m^2)
电极化强度 (Electric polarization)	D_1	库(仑)每平方米(C/m^2)
电势 (Electric potential)	V	伏特 (V)

电磁化率 (Electric Susceptibility)	K_e ($K_e = \epsilon_r - 1$)	(见词汇表)
能或功 (Energy or work)	E	焦耳(J)
能量密度 (Energy density)	W	焦耳每平方米(J/m ²)
频率 (Frequency)	f	赫(兹) (Hz)
阻抗 (Impedance)	Z	欧(姆) (Ω)
阻抗, 特性 (Impedance characteristic)	Z_0	欧(姆) (Ω)
电感, 互感 (Inductance, mutual)	M	亨(利) (H)
长度 (Length)	l	米 (m)
磁场强度 (Magnetic field strength)	H	安培每米(A/m)
磁通量 (Magnetic flux)	Φ	韦(伯) (Wb)
磁通量密度 (Magnetic flux density)	B	泰(斯拉) (T)
磁化强度 (Magnetic polarization)	B_1	泰 (斯拉)
导磁率 (Permeability)	μ	亨(利)每米(H/m)
相对导磁率 (Relative permeability)	μ_r	(见词汇表)
	($\mu_r = \mu/\mu_0$)	
介电常数 (Permittivity)	ϵ	法(拉)每米 (F/m)
相率 (phase coefficient)	β	弧度每米(rad/m)
功率 (Power)	P	瓦(特) (w)
功率放大 (Power gain) G	G	($G = 10$ 1(非SI单位是dB)

	$\log(P_2/P_1)$	
波因亭矢量 (Poynting vector)	S	瓦(特)每平方米(W/m_2)
传播系数 (Propagation coefficient)	$r(r = \alpha + i\beta)$	其单位分别由 α 和 β 的 α = 衰减系数 单位之组合 β = 相位系数
辐射强度 (Radiant intensity)	I	瓦(特)每弧度(W/sr)
电抗 (Reactance)	X	欧(姆) (Ω)
波长 (Wavelength)	λ	米 (m)
a非电离辐射的SI单位尚未制定, 在此表中未下定义的术语在本资料末尾的词汇表中可以查到。		

射频和微波的环境卫生基准

世界卫生组织和国际辐射防护协会射频和微波环境卫生基准联合工作组于1978年12月18日至22日在日内瓦召开了会议。环境卫生处处长B. H. Dieterich博士代表总干事主持了开幕式。工作组审查和修改了基准初稿，评价了接触射频和微波对健康的危害，并研讨了确立接触极限的原理。

1981年11月世界卫生组织欧洲地区办事处在海牙召开了工作组会议，这次会议特别建议，在非电离辐射防护领域中应优先考虑使人免受微波辐射的危害。为了落实这些建议欧洲办事处决定筹编“非电离辐射防护”手册，将包含有微波辐射一章（世界卫生组织，1981年）。

1973年，由世界卫生组织，波兰及美国政府共同发起，在华沙召开了关于微波辐射对生物学效应和健康危害的讨论会，这个讨论会首次提供了一个使在微波效应方面各种不同观点得以进行国际交流的机会。会议所采纳的建议包括通过国际机构，促进和协调国际范围微波生物学效应的研究和建立一个非电离辐射的研究计划（Czerski et al 1974）。

1974年国际辐射防护协会（IRPA）在华盛顿特区会议上成立了一个非电离辐射工作组，并负责这些活动。协会（IRPA）又于1977年在巴黎召开会议上，将这个工作组改为国际非电离辐射委员会（IRPA/INIRC；IRPA，1977）。

两个世界卫生组织协调中心，即由设在华沙的全国母亲和儿童研究所（研究非电离辐射的生物学效应）和设在洛克

威尔的辐射卫生署（研究非电离辐射标准化）于IRPA/INIRC共同协手准备基准文本，经工作组会议几次讨论后形成草案终稿，它听取了世界卫生组织环境卫生基准署设在澳大利亚、加拿大、日本、荷兰、新西兰、波兰、瑞典、联合王国、美国等国家的联络点的评论意见，也听取了联合国环境规划署、联合国工业发展组织、国际劳工组织、联合国粮食及农业组织、联合国教科文组织和国际原子能机构的意见。非常感谢这些国家机构和国际组织的合作。没有他们的协助，本文献是不可能完成的。秘书处特别要感谢P.Czerski教授，A.Duehene女士，F.Harler先生，M.Repacholi博士和M.Shore博士在文献最后编辑核对中所给予的帮助。

基准文件主要以列在参考文献中的原始文章作为基础，综合其他来源于一些综述、专著和下列各次讨论会的会议录的资料：Gordon, 1966; Presman, 1968; Petov, ed, 1970; Silverman等, 1970; Marha等, 1971; Michaelson, 1977; Minin, 1974; Dumanski等, 1975; Tyler, ed, 1975; Baranski和Czerski, 1976, Glaser 和Brown, 1976; Glaser等, 1976, 1977; IVA委员会, 1976; Johnson等, 1976; Johnson和Shore, ed, 1977; Justesen和Guy, 1977; Hazzard ed, 1977; Serdjuk, 1977; Taylor 和 Cheung, ed, 1977; 加拿大国家卫生和福利 1977, 1978; Durneg等, 1978。

现代科学技术的发展改变着人们的环境并把新的因素引进到环境中来了。这些因素除了人们所预期的有利的一面外，也有其不利的一面。公众和卫生当局都了解化学物质、电离辐射和噪声等污染的危险，并且知道必须采取适当步骤以进行有效的控制。电气和电子设备使用的增加，包括电讯

系统（例如人造卫星系统），无线电广播、电视传真和雷达设备的迅速增加，增多了人们接触电磁能量的可能性，同时也增长了其它可能的对健康的影响。

本文件提供了频率范围为100kHz~300GHz的电磁场和无线电波物理方面的资料，这一范围现已按照传统方法将其分成微波（300MHz~300GHz）和射频（100kHz~300MHz）。文件还提出了一个关于人造辐射源的简短的调查报告。大家知道，在这个频率范围的电磁能量和生物系统有交互效应。在本文件中还包括了一个有关生物学效应和健康方面的概述。少数国家，由于对职业和公众健康方面的关心而编写了辐射防护指导原则，并确定了接触极限。几个国家也正在考虑，采纳有关防护在该频率范围内的非电离能量有害作用的建议或法规。在其它国家发展的趋势是要修订现存的标准并采用低的接触极限。希望本基准能对各国家非电离辐射防护措施的发展提供有用的资料。

关于世界卫生组织环境健康基准署的详细情况，包括一些在文件中经常使用的术语，可以在关于汞的环境健康基准文件（如世界卫生组织1976年日内瓦出版〔环境卫生基准——汞〕）的引言中找到，现该书已有再版。

1. 概述和对今后研究工作的建议

1.1 概述

1.1.1 与生物学效应有关的物理特性参数

微波辐射和射频（RF）辐射是整个电磁频谱的组成部分。本文件涉及的频率是在 10^5 和 3×10^{11} Hz（100kHz和300GHz）之间，射频的频率范围是100kHz~300MHz（在空中的波长是3000m至1m）微波的频率范围是300MHz~300