

非电离辐射的防护

Michael J. Suess 编



RADIO (WAVE) FREQUENCY
MICROWAVE
INFRARED
VISIBLE LIGHT
ULTRAVIOLET
ULTRAVIOLET
VISIBLE LIGHT
ULTRAVIOLET



人民卫生出版社

非电离辐射的防护

Michael J. Suess 编

陈厚珩

杨国忠 译

彭立言

人民卫生出版社

世界卫生组织地区出版物

欧洲丛书第 10 册

非电离辐射的防护

Michael J. Suess 编

联合国环境规划署赞助

世界卫生组织欧洲地区办事处

哥本哈根

1982 年

非电离辐射的防护

Michael J. Suess 编

陈厚珩 杨国忠 彭立言 译

人民卫生出版社出版

(北京市崇文区天坛西里 10 号)

人民卫生出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

850×1168毫米32开本 11 $\frac{1}{4}$ 印张 4 插页 301千字

1986年2月第1版 1986年2月第1版第1次印刷

印数: 00,001—1,500

统一书号: 14048·5247 定价: 2.70元

[科技新书目 119 — 71]

365/14

序 言

由于人口的倍增和工业化的发展与多样化,新的危害也随之而出现,其中有些已日趋严重。为了限制并尽可能扭转这种趋势,世界卫生组织欧洲地区办事处制订了一份1969~1979年深入细致的国际规划,此规划以成功地完成了许多不同方面的计划项目而告终。

非电离辐射(NIR)是对人体健康可产生不利影响的新的公害之一。NIR 辐照从职业卫生一直扩展到公共卫生领域。在考虑辐照量的限度和制订控制规划时,要注意受保护人群的不同性质。对可能的遗传和致癌作用,以及对发育的影响都要认真仔细地考虑到,所有这些对公众的防护都具有头等的重要意义。因此,这几年在对规划中辐射方面所做的主要努力之一,是使得以写出我现在高兴地向广大专业读者介绍的这本书。这本读物是二十个国家的二百多位专家共同努力的结果。我们感谢他们不仅是因为他们的业务能力,而且还因为他们的高度献身精神。怀着同样的满意心情,我还想对直接负责此项活动的世界卫生组织人员的工作表示赞赏。对联合国环境规划署就有关 NIR 的防护计划和本书的出版所给予的财政援助深表谢意。

NIR 辐照防护是欧洲国家日益关注的一个课题,而对世界其它地区也同样具有愈来愈重要的意义。我希望这本著作对许多科学工作者、工程师、医生以及与 NIR 辐照防护和人类健康有关并负责的公众领袖们将具有实际价值。

世界卫生组织欧洲地区主任

Leo A. Kapiro

术 语 注 释

世界卫生组织有关专门术语的政策是按照权威的国际团体，诸如国际理论物理和应用物理联合会 (IUPAP)，国际照明学委员会 (CIE) 和国际标准化组织 (ISO) 的正式建议行事。本出版物做了各种努力以遵守这些建议。

几乎所有的国际科学团体现在都建议采用度量衡大会 (Conférence générale des Poids et Mesures (CGPM)^a 所制订的 SI 单位 (国际单位系统)，而这些单位的应用受到了 1977 年 5 月第三十届世界卫生大会的赞同和承认。本出版物只采用了 SI 单位。

建立针对工作人员和公众二者的合乎科学的防护标准时，首先要求用于测量而为国际所接受的单位必须是适用的。采用 SI 单位说明现今已大大满足了这一必要条件。

^a 世界卫生组织准备了一份叫做“卫生专业的 SI”，对 SI 系统做了权威性的说明。通过本书封底所列的经销处，或者直接从瑞士，1211 日内瓦 27，世界卫生组织发行销售服务部均可获得复本。

目 录

序言

术语注释

引言——M. J. Suess..... 1

第一章 紫外辐射——M. Faber 9

第二章 光辐射, 尤指激光辐射——L. Goldman, S. M. Michaelson, R. J. Rockwell, D. H. Sliney, B. M. Tengroth & M. L. Wolbarsht 48

第三章 红外辐射——C. E. Moss, R. J. Ellis, W. E. Murray, W. H. Parr 84

第四章 微波和射频辐射——S. M. Michaelson..... 116

第五章 市电频率, 尤指 50 和 60Hz 时的电场与磁场——R. Hauf 225

第六章 超声波——C. R. Hill & G. ter Haar..... 254

第七章 规章及实施方法——F. Kossel..... 292

术语汇编..... 310

附录 1 特别致谢..... 316

附录 2 工作小组名单..... 332

索引..... 335

引 言

M. J. Suess^a

近年来，对产生非电离辐射能设备的研制和使用一直在有增无已，从而提出了是否正在采取适当措施，以保护用者和公众免遭其可能的有害影响的问题。与电离辐射相反，波长较长的辐射内在能量较低，通常主要通过产生热而与人体组织发生相互作用。鉴于缺少一个较好的通用术语，遂用“非电离辐射”（NIR）来综括这类电磁辐射以至超声波。非电离辐射弥漫整个环境，然而除去狭窄的可见辐射波谱外，任何人体感官都察觉不到它，除非它的强度已大到令人感觉出热了。在估价因 NIR 辐照而受到的危害时，即令是单一类型的辐射，其波长的不同也都是特别重要的。辐射穿透人体的能力和吸收的部位将决定于此一特性，并由此而将不同类型的辐射区分开来。

在发达国家中，应用或发射 NIR 的工艺流程和装置有了显著增加。它们在工业、工程、电信、医学、研究、教育以至家用等方面的用途日益广泛。这样就产生了一系列的问题。与 NIR 有关的问题严重程度如何？它们涉及的范围有多大？对人体有些什么急性和慢性作用？对职业性危险和公共卫生危害是否有足够的了解？如何才能减少辐射量？国家防护标准是否合乎要求？若不符合，怎样才能拟订和强制施行更好的规定，以减少辐射量？由于技术的高速发展和所带来的卫生方面的问题，需要就 NIR 的应用和采取防止过度辐照措施开展国际性的合作。不仅如此，还期望各国政府加强标准和规章的制定，并建立强制施行的措施。

电磁波谱的 NIR 部分分为五个波段（表 0-1）。无法划清这

^a 丹麦哥本哈根世界卫生组织欧洲地区办事处，地区公害识别和控制检察官。

表 0-1 某些类型电磁辐射的频率、波长和能量范围

辐射类型	频率范围 ^{a, b}	波长范围 ^a	每个光子的能量范围 ^{a, b}
电离	>3000万亿赫兹	<100毫微米	>12.40电子伏
紫外线(非电离部分)	3000~750万亿赫兹	100~400毫微米	12.40~3.10电子伏
极(真空)	3×10^5 至30000~1580	1 至10~190	1240 至124~6.53
远	1580~1000	190~300	6.53~4.13
近	1000~750	300~400	4.13~3.10
UV-C ^c	3000~1070	100~280	12.40~4.43
UV-B ^c	1070~952	280~315	4.43~3.94
UV-A ^c (“黑光”)	952~750	315~400	3.94~3.10
可见光 ^d	750~385万亿赫兹	400~780毫微米	3.10~1.59电子伏
红外线(IR)	385~0.3万亿赫兹	0.78~1000微米	1590~1.24毫电子伏
IR-A ^c	385~214	0.78~1.4	1590~886
IR-B ^c	214~100	1.4~3	886~413
IR-C ^c	100~0.3	3~1000	413~1.24
近红外	385~100	0.78~3	1590~413
中红外	100~10	3~30	413~41.33
远红外	10~0.3	30~1000	41~1.24
激光	1500~15	0.2~20	6200~62
1 级——无危险性激光装置			
2 级——低危险性低功率激光装置			
3 a 级——低危险性中功率激光装置			
3 b 级——中度危险性中功率激光装置			
4 级——高危险性高功率激光装置			
微波(MW)	300~0.3千亿赫兹	1~1000毫米	1240~1.24微电子伏
EHF(极高频)	300~30	1~10	1240~124
SHF(特高频)	30~3	10~100	124~12.40
UHF(超高频)	3~0.3	100~1000	12~1.24
雷达	56~0.23	5.4~1300	230~0.95
射频(RF)	300~0.1兆赫	1~3000米	1240~0.41毫微电子伏
VHF(甚高频)	300~30	1~10	1240~124
HF(高频)	30~3	10~100	124~12.4
MF(中频)	3~0.3	100~1000	12~1.24

^a 因无法划定精确界限，给出的范围仅为近似值。

^b 这里给出的一般是在第三位有效数四舍五入后的整数。

^c 由国际照明委员会指定的有生物学意义的辐射波段(第三章，参考文献11)。

^d 人眼的可见度范围约在380~400毫微米和750~780毫微米之间，因人而异。

些波段的精确范围，表 0-1 所列仅为近似值。在某些情况下，因种种原因，不同的国际团体提出和同意的范围也略有不同，视其定义的目的而定。这与编写本书有关的一些工作小组的情况很相像。

紫外 (UV) 辐射已广泛用于设备和空气的灭菌，以及不同类型的医疗器械。近年来，紫外光源在工业上的应用已大大增加，而对身临敞露的紫外光源的工人依旧存在着一定的危害。伤害限于眼睛和皮肤，但有致皮肤癌的某种长期危险性。最大受照组是那些受日照时间很长的人，应当注意采取预防措施。就人体癌而论，对剂量-效应关系和潜伏期几乎没有什么可资利用的定量知识。私人自用的紫外灯在公众中广为盛行，应当给予适当的警告。

红外 (IR) 辐射几乎在直接接触红外源及其它热源的任何工业中都可能发生。某些工作条件下的危害性也是众所周知的。
✱ 仍然悬而未决的问题是，红外辐射是否造成了晶状体白内障。无论如何，眼睛周围的皮肤中若有研制得较好的温度传感器，则会提供一种良好的生物报警系统。

应用激光的危害应受到更多的注意，因为这些仪器发展快，在军事和非军事两方面的应用都有增长。发射的光能损害眼睛和皮肤，而且在某些情况下或许还能伤及内部组织。估价激光危害性时的困难，部分是由于难以将动物实验的结果延用到人。

微波 (MW) 和射频 (RF) 辐射被人们看作是 NIR 中可觉察出来的最大危害的类型。微波在通信领域里和微波炉方面的应用得到了推广。如果在这些炉内没有适当的安全装置，这种推广即对公共卫生产生潜在的危害。

已然发生了一些有关电场和磁场，特别是那些和高压线相关的低频电磁场所可能有的有害影响的问题。然而，尚未见有因职业性辐照而造成影响的报道，也未有任何损害人体器官的迹象。目前还缺少足够的资料，因而需要有更好的实验方法和进行更加客观的相应观察。

超声波的多方面适应性使之广泛用于工业、医学和科学测

量、扫描和控制以及热加工材料。由于超声波不能穿过空气-水的界面，所以它比较安全。将手浸入到超声清洗器中是否产生潜在的有害作用尚不得而知。据称，超声辐射能引起染色体畸变，但证据又倾向于否定。迄今，在对胎儿进行诊断辐照后尚未辨识出重大的有害作用，且普遍认为其危害要大大低于X线检查。

世界卫生组织一向认为，环境保护是保护在其中生活的人们健康的一个组成部分。在意识到这一问题的严重性的情况下，世界卫生组织欧洲地区委员会于1969年决定，采用一项包括NIR防护在内的有关环境卫生和污染控制的长期的全面规划。规划的主旨是由政府部门、行政机构、科研单位和环境质量与公共卫生防护方面的个别专家制定管理准则和做出有助于应用的决定。

√ 规划的NIR防护部分是1971年11月在海牙举行的研究电离和非电离辐射健康效应的工作小组会议上开始制定的。那次会议大概可认为是有关NIR防护国际活动的开始。工作组审议了NIR应用方面的现况并断定，尽管现有法规和方针政策足以预防危害，但鉴于所有类别的NIR预期其应用方面日渐增多，这些方针政策今后是否还适用，则难以逆料。该小组继续就卫生防护领域的调查，信息的传播及实施规则的准备，提出许多专门的建议。此次会议之后的主要计划包含了一系列的活动，这些活动导致了本书的出版。

本书是来自欧洲、北美洲和亚洲二十个国家的二百多位科学家们历经十年的共同努力的硕果（附录一）。五个科学家小组（附录二），每个小组负责论述一、二个章节的主题，在不同的时间聚会以审阅诸章草稿并提出定稿的方式方法。小组会议前后，曾数次审阅草稿，继而进行了修改和最终编辑校订。本书的目的在于提供辐照NIR能量的保健方面的实际情况。叙述了物理特性，生物物理原理以及辐照这些能量的生物效应。还描述了公共卫生和职业卫生的含义以及辐照危害的防护措施。介绍了公众和职业辐照的现有标准，使读者了解目前各国所容许的阈限建议，这将有助于制定NIR控制规划和建立记录与评价结果的统一制度。它还可用来作为在NIR防护和控制领域里工作的科学家、

工程师和医务人员的一本技术指南。提出了有关 NIR 有损于健康的潜在影响的证据，从而制定了适当的标准和法规以保护健康。虽然这本书原本是由地区委员会计划用于欧洲国家的，但对世界其它地区的国家以及对其它有关的国际组织，也该是有价值的。不止如此，它还向各地的 NIR 专家提供以当今国际实践为基础的十分有用的情报。

1973 年工作开始时，Michaelson 教授应邀就有关人体辐照 NIR 能量的潜在危害和安全设想准备一份文件。1973 年 5 月完成了初稿，并送交给专家们审阅。此外，借 1973 年在华沙举行的国际微波辐射生物效应和健康危害专题讨论会之机，召集了有 Czerski、Faber、Gordon、Michaelson 和 Schwan 几位教授参加的一次特设小组会议。决定将文件分为两部分：有关微波和射频的要进一步修改和审阅；第二部分关于激光的最后要送交此专题的研究小组。微波和射频的最后手稿，经过充分而细心的改动后，已于 1976 年 2 月完成最终编辑修订，并于 1977 年由本办事处出版发行。Gordon 和 Schwan 二位教授以及 Silverman 博士对此版本的完整性和准确性做出了一定的重要贡献。

然而，这篇文献既没有经过研究小组讨论的优点，而且到其它章节完成之时也失去了新意。1978 年 5 月在弗顿堡召开的有 Czerski, Harlen, Kossel, Michaelson, Repacholi, Shore 和 Suess 参加的专门会议上，决定将微波/射频 (MW/RF) 文件做进一步的审阅和修改。因此，Michaelson 教授召集了一个欧洲和北美的专家小组于 1978 年在华盛顿特区放射保健局召开了审稿会议。这次会议产生了一个比较长而详尽的新文本，但却是一个很全面和所提的全部观点都能被接受的文本。对这新的一章进行了修改和校正，并于 1979 年 12 月交付最后编辑加工。特别是 Harlen 先生在审校手稿的非生物学段落的内容是否恰当和准确方面给予了很大的帮助。

1974 年 10 月在都柏林召集的激光健康效应的工作小组会上，研讨了 Michaelson 教授提出的经过修订的工作文件，然

后将原著述扩展并将材料重新起草。在经过进一步的审阅和修改后，1976年2月将此章送交最后编辑加工，并于1977年由本办事处以临时形式出版发行。Sliney先生和Wolbarsht博士在赋与此章现有的形式中起到了特殊的帮助作用，而Michaelson教授则是该组的调度者和此材料的技术编辑。

紫外和红外辐射两章都是在1976年委托进行的。前者通过函寄进行了审阅，此后于1978年2月经索菲亚的工作小组做了审查。经过进一步修改后，1979年元月将此章送交最后编辑加工。红外辐射一章的草稿在送交这同一工作小组之前，已经多次审阅和修改。此后又经修订、复审和校正，并于1978年10月送交最后编辑加工。

有关超声波的一章是在1975年委托进行的，且也经历了同样的过程。1976年10月在伦敦由工作小组讨论过，并在进一步审阅和校正后，于1977年5月送交最后编辑加工。同年，本办事处发行了此章的临时版本。

最后提到的这二章于1978年5月在弗顿堡经工作小组讨论，是有关低频电场和磁场以及关于规章和实施办法的。于1976年委托进行，经过同样的审稿、修稿和校稿过程，分别于1978年10月和12月送交最后编辑加工。

有些章节包含各种不同类型和目的的结论和/或建议。这些结论和建议正如章节本身的内容一样，是由各章节的作者提出，而经各工作小组的参与者们一致同意了。显然，考虑到要节省编写本书的时间，有些参考文献并不像人们所希望的那样是新近的。但是读者会感到，本书的目的并非在于（即使有此可能）提供最新的文献综述。其重要之处在于，此出版物中所含的基本情况是正确的，且在数年之内都将保持有效。材料与参考资料的更新将在未来修订版本时再进行。

为了使文字在风格和术语上保持一致，曾做了很大的努力。不仅如此，世界卫生组织在其出版物中的一般规则是要采用权威性的、国际上认可的科学术语和单位，其中有些还是相当新的。一个短小的词汇表提示了某些基本术语的定义。然而，在有关领

域如物理、光学、放射学、电离辐射和医学里共同应用的术语，以及其它词汇表中的定义则未包括在内。

本办事处还着手调查国家立法和规章制度，调查与 NIR 领域中一、二个方面有关的研究机构和专家们。调查工作是根据收到各国政府对两个调查表的答复和参与此项计划的许多专家提供的。调查表明，只有较少的国家才有研究 NIR 的机构。除了两个长期以来一直涉足这一领域的国家，即美国和苏联以外，已知世界上只有另外的 24 个国家设有与研究 NIR 有关的研究机构，而其中四分之三是欧洲国家。鉴于现今列举的情况并不完全，而且初次的尝试亦难免错误和遗漏，以后将分别公布这些结果，以便使之得到修改和更正。

世界卫生组织谨向保加利亚、德意志联邦共和国、爱尔兰和联合王国政府，对它们同意在各自的国家接待召开工作小组会议所给予的支持，以及对荷兰政府给予的财政上的支持表示感谢。对联合国环境规划署自 1978 年以来通过其重要的财政援助，使此项计划得以完成和这本书能够出版，表示深切的谢意。非常感激美国公共卫生署辐射卫生局（BRH）局长 J. C. Villforth 先生及其工作人员对这项计划给予的一贯的支持。作为世界卫生组织合作的非电离辐射标准化中心，BRH 以盛情接待了有关辐照微波辐射的健康效应的审稿会议。我还要向国立职业安全和卫生研究所（NIOSH）物理因子效应科主任 W. H. Parr 博士及其工作人员表示感谢，感谢他们做出的工作和对 IR 辐射一章的撰稿。

本书中的某些图表是从已出版的著作中转载的。所有这些情况都已通过适当的参考文献注明了。作者们和世界卫生组织谨向出版者准许如此使用保留版权的材料表示谢意。

我愿向所有的同道，审稿人和用多种方式及不同阶段供稿的各次会议参加者们表示我个人的谢意。所有这些人都已列入附录一中，并且我还向任何一位可能被无意遗漏其姓名的人表示我深切的歉意。与各章节的作者们和工作小组参加者中间其他的积极撰稿者们进行了十分紧密的合作，其中有些人在工作过程中已成

为良友和新知。对他们这种紧密的合作以及为提高和更新这一材料所做的不懈努力表示深忱的谢意。

对地区办事处各位成员在不同时期所给予的善意和友好帮助，深为感激。这些人包括秘书们、绘图员、出版和复制人员，收发人员和行政管理人员。要各个提及的人还有很多，大家都为成功地实现这项计划而尽了力。我还要向 J. Kumpf 先生和 J. I. Waddington 先生（二位分别是地区办事处环境卫生组的前任和现任主任），对他们在进行和完成这项工作期间给予的支持表示感谢。世界卫生组织欧洲区主任 Leo A. Kapiro 博士对此项工作在促进许多国家的 NIR 防护方面的潜在价值的理解是一极大的鼓舞。

最后，还应向 Shore 博士表示感谢，感谢他对此项工作对国际了解和合作的重要意义和好处所具有的远见卓识，以及感谢他不断给予的鼓励和支持。对 Michaelson 教授不吝惜时间和不遗余力地提供专门的意见和基本的帮助表示谢意。向 R. B. Dean 博士在编辑方面给予的帮助，向我的 1974~1978 年期间任职的秘书 Christiane Sørensen 为此计划不知疲倦的工作，并帮助组织了所有四个工作小组表示感谢。

本书的修订版可在将来着手准备，谨请读者向世界卫生组织欧洲地区办事处，丹麦哥本哈根 Ø 2100, & Scherfigsvej 提出批评、指正和意见，以及为附加材料提出建议。

第一章 紫 外 辐 射

M.Faber*

目 录

引言.....	9
物理概述	10
产生.....	11
天然紫外辐射	14
在生物组织中的传输和吸收	17
吸收和光化学效应.....	17
人体病理效应	20
非随机效应.....	20
化学光敏作用.....	24
迟发效应.....	25
过量辐照的危害面.....	29
剂量测定法	31
安全标准	32
防护.....	34
日光紫外辐射.....	34
工业源.....	34
参考文献	35

引 言

在各种类型的非电离辐射中,紫外线(UV)是特别引人注目的,因为它比这一组内其它类型的辐射具有较高的光子能量。它在生物学反应方面能产生很大的变化。另外,低穿透率还会使

* 丹麦哥本哈根,紫外线研究所,紫外线实验室主任、教授。

大多数直接的生物学反应仅限于浅表组织。

虽然人为的紫外辐射能从多种多样的来源产生，但主要的光源却是太阳，无论是普通老百姓还是在室外作业的人们都要在它的辐照之下。在讨论辐照阈限时，必须要注意这一天然的背景辐照及其在量级上的变化。

众所周知，UV 可引起光化学反应，其中有些反应发生在皮肤上。最为人熟知的是产生预防佝偻病所必需的维生素 D₃。UV 影响人们健康的整个范围很难定量。不过，人工产生的UV已用于矿山和油井，以作为防止工人功能损伤的补充手段^[26,27]。在所观察到的许多效应中，如传染病发生率和缺勤率的降低，可能是由于辐射的杀菌性质所致^[91]。另一方面，大剂量的 UV 对皮肤和眼睛又有急性的有害作用。当剂量低到一般只引起可容许的急性症状时，若反复辐照则能诱发后效应引起的病变，如皮肤的弹性组织变性，角化病和各种皮肤癌。这些效应对有轻度色素沉着的人意义最大。

我们在防止人群受到 UV 的有害影响方面的目标是，尽可能地采用定量的方式对所有这些因素进行生物学的利弊分析，并在此基础上确立最适合的辐照限度^[77]。

物 理 概 述

紫外辐射是电磁波谱中介乎最软的电离辐射和可见光辐射之间的那一部分。从生物学的情况看，宜于将 100 至 380~400nm 的波长范围看作是 UV 的组成。100nm 的低限与 12.4eV 的光子能量相等，大体相当于在生物学上的重要材料中产生离子化现象的阈限。另一端，阈限为最短的可见光波长，随个体差异而稍有不同，但只在 380 和 400nm 之间。

鉴于物理特性和生物效应方面的差别，UV 区又有进一步的划分。波长短于约 190nm 的构成真空紫外区。这种辐射被空气所吸收，以至看不到有任何生物效应，除非所用光源很强。其余部分则分为 190 和 300nm 之间的远紫外区和 300 与 400nm 之间的近 UV 区。

一种多少有所不同的划分 UV 区的方法将某些生物效应也考虑在内。在这种编排中, 400~315nm 的范围, 即所谓“黑光”区, 叫做 UV-A。这一波长区域, 有许多物质可诱发出荧光。UV-B 包括 315~280nm 的范围(皮肤红斑区)。从到达地球表面的阳光发出的大多数有生物活性和潜在危害作用的 UV 均在此光谱区。UV-C 包括了波长小于 280nm 的辐射(杀菌区)。但这些划分是随意的, 随着工作人员的不同, 其用法也有差异。

产 生

温度在 2500K 以上的物质可以发射出能量在 UV 范围内的大量光子。此类白炽光源发射的是平滑光谱, 这是一种连续的, 可能还带有重叠线的光谱。

多数人为的 UV 辐射源可以统按下列范畴分组:

气体放电

汞灯(低压、中压和高压)

带有金属卤化物的汞灯

惰性气体灯

闪光管

氢和氙灯

焊弧

白炽光源

钨卤素灯

荧光灯

荧光管

荧光日光紫外发射体

黑光紫外发射体

混合光源

碳弧灯

发射出的 UV 光谱因源而异。在低压汞灯的情况下, 发射出的是一种线谱。这些线在高压灯(常被光生物学家称做中压灯)中加宽成带, 而且也可能是发射的波长范围广的连续光谱。