表 1 排放标准 (捷克)^[3]

烟囱高度 (米)	允许排放量 (公斤/时)	
	飘 尘	SO ₂
7	2.5	2
10	4	3.2
30	31	22.5
50	84	82.5
80	260	227
120	580	1425
180	1270	4664
240	2110	6930
300	3000	8665

不同排放高度的飘尘、SO₂ 排放标准。从表 1 中可以看出,随着排放高度增加,排放标准值可迅速增加。50 米高的烟囱飘尘排放标准为 10 米高烟囱的 21 倍,SO₂ 为 25.8 倍。污染源评价不考虑排放方式是不合适的。我国规定的排放标准^[4] 不仅考虑了不同高度的污染源排放标准不相同,而且不同行业的排放标准也有所不同。污染源等效体积指数引入排放标准,在一定程度上考虑了污染源排放方式这个因素,较等标污染负荷和排毒系数评价方法更符合实际一些,使排放方式不相同的污染源之间的评价结果可比性增加。

为了表征污染源排放的随机特性,等效体积指数引入了与污染物排放量相应的概率。如前所述,污染源排放污染物数量受多种因素的影响,本质上是一个随机变量,引入排放量的概率对污染源进行评价能更客观的反映污染源的特征。实际评价过程中,对于排放量和相应概率的计算,可将对污染源的 实际监测数据按大小分成若干区间,计算排放量各区间的平均值及出现的频率,代入式 (3) 进行计算。

由于污染源排放方式和排出物质的种类十分复杂,用等效体积指数对污染源进行评价也只能是近似地反映污染源的 特性。此外在排放标准和环境标准的制定方面亦有许多问题需要进行研究探讨。这对于污染源的评价影响很大,都是今后值得进一步探索的问题。

参 考 文 献

- [1] 李文清译,信息论,上海科学技术出版社,(1962)。
- [2] 刘如业译,环境白皮书,环境科学出版社,(1981)。
- [3] 史安洋等译,国外水和空气质量标准,中国建筑工业出版社,(1980)。
- [4] 工业“三废”排放试行标准,GBJ4-73,(1973)。

环境电磁波辐射污染对人体健康的影响

吴 大 伟

(上海有线电厂研究所)

一、问题的提出

电磁波辐射作为职业卫生学因素进行系统的研究开始于五十年代初期,美国宾夕法尼亚大学的施万(H.P.Schwan)博士首先开展这方面的工作。与此同时,苏联也建立了相应的研究机构。稍后,其他西方国家和东欧国家也陆续开展了电磁波辐射生物效应方

面的研究工作。这期间,美国和西方国家主要研究微波频段的电磁辐射的生物学效应,提出了热效应的学说。而苏联及东欧国家则不仅研究微波频段,还研究射频段的电磁辐射,甚至研究 50 赫低频高压市电的生物学效应,并提出了非热效应的学说。

近年来,由于电磁波辐射的广泛应用,人类的生活环境被电磁辐射所污染。联合国人

类环境会议将其增列为“造成公害的主要污染物”之一。我国环境保护法(试行)中,也明文规定了对电磁波辐射要严加防护与管理。

根据环境电磁工程学的理论,电磁辐射的影响从本质上可以分为物理学、化学、生物学等方面的效应。如对电子设备的干扰,使物体发生形变、物理常数变化;可加速化学腐蚀的进程,起化学反应的催化作用等。本文将着重讨论环境电磁波辐射对人类健康的影响。

二、生物效应

电磁辐射的生物效应是指被照射生物体所产生的各种生理影响。通过动物实验、电

磁波理疗的观察、对作业人员健康和环境电磁辐射污染后果的调查,都表明了电磁辐射对人体有着明显的生物学作用。一些学者研究表明,微波频段(300兆赫—300千兆赫)的电磁波辐射要比射频段(0.1—300兆赫)的电磁辐射具有较强的生物学作用。这些作用按其机制又可分为热效应与非热效应两类。

1. 热效应 微波辐射的热效应或称致热效应是指由于电磁波辐射场照射生物体而引起组织器官的加热作用所致的生理影响和抑制伤害作用(见表1)。这实质上是电磁场的原发作用与能量转化致热这一次级效应的协同作用。通过研究已经确立了电磁波辐射能量传递到人体组织中去的概念。组成人体

表 1 电磁辐射热效应对人体的影响概况

频率(兆赫)	波长(厘米)	受影响的主要器官	主要生物效应
150 以下	200 以上		透过人体,影响不大
150—1000	200—30	体内各器官	由于体内组织过热而伤害各器官
1000—3000	30—10	眼晶状体、睾丸	组织加热显著,晶状体尤易受伤
3000—10000	10—3	皮肤、眼晶状体	伴有温感的皮肤加热
10000 以上	3 以下	表皮	皮肤表面一方面反射,另一方面吸收产热

的细胞和体液的分子大都是极性分子,外加微波场力可使这些排列极其混乱的极性分子因趋向作用而发生频率极高的振荡运动,为克服所在媒质的粘滞性,消耗能量而发热。如果人体内积聚的功率太大,而调节系统承受不了时,体温便失控上升,可引起一系列的高温生理反应。

如果控制适当,微波辐射的热效应对人体也可以产生良好的刺激作用,例如组织中血液流动加速、血管扩张;新陈代谢过程加强、局部营养改善;从而促进机体组织的修复与再生。

从热效应和热交换的条件来看,一般人暴露在100毫瓦/厘米²以上的功率密度时,才会产生明显的不可逆病理变化。

热效应在整个电磁波辐射生物效应中占

有绝大的优势,并已为人们的研究和实验所证实。但是,微波辐射的生物效应是既复杂而又精细的,并显然包含了单纯加热作用以外的因素,因此,很难用机械的热效应来作出令人满意的解释。

2. 非热效应 以苏联学派为代表的东欧科学界最早意识到微波辐射的非热效应,并据此制定了比西方国家低1000倍的微波辐射卫生标准。由于苏联学派并未完全阐明非热效应的作用机制,某些实验也未能被西方学者所重复证实。国际微波功率协会曾两次召开会议,但分歧仍未完全消除。从现有文献报道来看,虽然目前国际上多数学者认为微波辐射的非热生物效应是存在的,但仍有不少欧美学者至今否认,而坚持用微波的热效应来作为解释功率密度低于加热强度(10

毫瓦/厘米²)的微波辐射对人体产生的各种生理变化的依据。当前微波非热效应已成为微波生物效应研究中的核心问题。

微波辐射的非热生物效应又称为热外效应,系指除了对生物体组织的加热作用外,微波辐射对生物还有其他特殊生理影响,这些影响在用别的手段提供均匀加热时是不会出现的。这些不能用热效应来解释的现象,统称为非热效应。非热效应并不意味着绝对没有热的产生,只不过是所产生的热量不足引起生物体感觉反应而已。这样的热外作用往往在分子以及细胞一级的水平上发生。

三、环境辐射的危害

实际调查表明,环境电磁辐射污染一般属于低强度辐射范围,对人体和生态平衡的影响主要是它的非热生物效应。在环境电磁辐射污染的长期慢性作用下,人体会产生许多不良的生理反应和病变,这些影响可以归结如下:

1. 中枢神经系统 人体在反复接受低强度的电磁辐射后,中枢神经系统的机能会发生变化,出现神经衰弱症候群。临床症状主要表现为条件反射活动受抑制、头昏、嗜睡、无力、易疲劳、记忆力减退、易激动、脑电图慢波增多等。此外,电磁辐射还可以使植物神经机能紊乱。长期的低强度照射,可能导致脑生物电流的某些改变。实验已测到微波辐射对人类中枢神经系统的作用阈值为1毫瓦/厘米²。

2. 视觉系统 人眼组织富于水份,易吸收电磁辐射功率,而且血液流通量少,所以在电磁波辐射下温度容易升高。辐射强度超过100毫瓦/厘米²而长期照射眼睛,由于温度升高,可导致晶状体蛋白质凝固,形成“微波白内障”。当强度低于上述阈值时,虽然不会引起白内障,但10—80毫瓦/厘米²的电磁辐射仍可能使晶体混浊,并有可能使有色视野缩小和暗适应时间延长,造成某些视觉障碍,但

在脱离辐射一周后即可恢复。长期的低电平电磁辐射还会产生视疲劳、眼不适和眼干燥等现象,其出现阈值为10毫瓦/厘米²。

3. 生殖系统 睾丸由于血循环不良,它对电磁辐射十分敏感。较高强度的微波照射睾丸,能抑制精子的生成过程,影响生育。除了高功率引起的广泛热坏死外,这种损害一般是可以恢复的。动物实验表明,暴露于10—15毫瓦/厘米²时睾丸会出现生精囊水肿、萎缩、纤维化,其伤害阈为10毫瓦/厘米²。卫生学调查表明,电磁辐射会使男性出现阳痿,性功能减退;女性出现月经紊乱。这表明系统器官的神经体液调节受到了不同程度的影响。

4. 心血管系统 在电磁辐射的作用下,常发生血液动力学失调,血管通透性改变,心电图变化等现象。低强度的电磁辐射使心脏周围血管的张力和通透性降低。较高强度的辐射会使心肌纤维间充血并呈透明变性,而其周围血管的通透性反而增加。降低辐射强度而延长辐射时间,可发现心动过缓,心电图P波变形、S—T有改变、QRS波增宽。与对照组比较,电磁辐射接触组出现高血脂、心脏供血不足及高血压的比例较大。电磁辐射作为一种非特异性的因素,会促使心血管系统疾病更早、更容易发生和发展。电磁辐射对血压的影响,先是升高,然后回到正常,最后血压下降,有人认为这是一种应激—适应—疲劳的过程。

5. 血液系统 电磁辐射使血小板明显减少,白细胞的改变则随波长和辐射强度而有所变化。根据全国和上海市的卫生学调查,强度大于200毫瓦/厘米²接触组,血小板低于8万/毫米³者的比例,要比对照组显著得多。国外的观察则发现长期的电磁辐射会使血象发生某些变化,例如,多核细胞、淋巴细胞、嗜酸性细胞增多,而红细胞减少,凝血时间缩短。对雷达操纵手健康调查,曾发现多数人的白细胞数偏低。电磁辐射还会导致血液组织胺含量增高,血清总蛋白和球蛋白升

高以及白、球蛋白比值下降。当无线电波(非电离辐射)与放射线(电离辐射)协同作用时,有可能使血液系统比单一因素作用时遭到更明显的伤害。此外,实验已观察到在射频电磁场力作用下,血液中的白细胞和红细胞等悬浮粒子会发生珠链作用,这种作用可能改变血液的理化特征,从而对人体产生一定的影响。

6. 听觉系统 电磁辐射作用于人耳,可产生反射性影响。在方波脉冲调制的微波辐射下,人可产生微波听觉效应,即人的头部在受到低平均功率的脉冲调制微波照射时,能听到与其脉冲重复频率相同的脉冲声波类似的声音。这种现象已由动物实验发现,并直接在人体上得到证实。实验已测得人类的微波听阈约为 120 微瓦/厘米²(辐射频率为 2450 兆赫,背景噪声 45 分贝)。此外,长期的电磁辐射还会引起人耳听力下降。

7. 内分泌系统 电磁辐射可激发下视丘——脑垂体——肾上腺的活动,使来自脑垂体的促甲状腺的活动增加,因此,人体的碘摄取率增高,可能造成一些人的甲状腺机能亢进,甲状腺肿大。电磁辐射还可能致机体糖代谢紊乱,妇女乳分泌机能下降等。

8. 免疫系统 在免疫生物学方面,用功率密度仅 50 微瓦/厘米²的低强度电磁波辐射家兔,从免疫的第 10 天起抗体的形成已有明显抑制,其中以血清小分子量的球蛋白抑制最为明显,在免疫第 44 天小分子量的球蛋白抗体完全消失。机体血清补体率升高和免疫球蛋白含量降低,说明了低强度的电磁辐射就能明显地影响机体的免疫能力。微波接触者淋巴细胞转化率与正常组比较,大为降低,而 T 细胞花环形成率较正常组为高,细胞花环形成率与淋巴细胞转化率的乘积则比正常组为低,两者差异有非常显著的意义。因此,电磁辐射可能会降低人体的体液免疫和细胞免疫机能。但这种影响是功能性的,是机体调动其 T 细胞借以恢复机体的细胞与体液免

疫机能的反馈性调节。

四、结 束 语

人体是一个十分复杂的整体,因此,环境电磁辐射对人类健康影响的表现也是很广泛而复杂的。显然这些影响已难以用单纯的机械的热效应学说得到圆满的解释。目前,对环境电磁辐射生物效应的研究还是初步的,许多机制尚不够清楚,有待今后更加深入地开展微波生物学方面的研究工作。

应该指出,环境电磁辐射污染除了会对人体健康产生上述影响之外,它还能使电视机、收音机受到干扰,使自动控制装置失灵,使电气机车产生错误动作,飞机和船舶导航发生错误,影响人造卫星控制,使安置心脏起搏器的病人心跳节律发生紊乱,使假肢控制失灵等。更为严重的是环境电磁辐射对军械装置和挥发性物质的危害。高电平的电磁感应和辐射不仅可以使电爆兵器控制失灵,发生意外引爆,还可以引起挥发性液体或气体意外燃烧。但这些内容已超出本文所讨论的范围,故不再赘述。

实际上,环境电磁辐射对人体健康造成的危害只有在辐射水平超过某一阈值而又长时间连续对人体照射的条件下才会发生。研究环境电磁波污染对人体健康的影响可为安全防治工作提供科学的依据,并避免其成为公害,从而为更广泛地推广使用电磁波技术创造必要的条件。

参 考 文 献

- [1] 吴大伟, 电子技术动态, 1, 1(1977).
- [2] 吴大伟, 自然杂志, 3(6), 418 (1980).
- [3] Минин, Б. А., С.В.Ч. и безопасность Человечества, сов. радио, Москва, (1974).
- [4] Barans'ki, S. et al., *Biological Effects of Microwaves*, Powden, Hutchinson & Ross, Inc., (1976).
- [5] *IEEE Trans. on MTT*, 19(2), (1971).
- [6] *IEEE Trans. on MTT*, 26(8) (1978).
- [7] *Proc. of the IEEE*, 68(1), (1980).
- [8] 山浦逸雄等, エレクトロニクス, 18 (1), 73 (1973).