

磁场、电场、电磁场和电磁波对人体的影响及安全性

王兴林

人类自古以来就生活在磁场、电场、电磁波之中。地球有磁场、大气层中有雷电、太阳和其它一些星球也有磁场，有的星球还发出电磁波。这些天然的电磁场、电磁波对人体危害不大，人们早就习以为常，甚至还产生了某些依存性。

随着社会的高速发展，各种与电、磁、波有关的设备、器具大量涌现。如电波发射台、高压输电线、工业上的高频机械(焊接、淬火、熔炼等)、科研上的加速器、核融合装置、医疗中的核磁共振装置和一些波谱诊断仪、理疗器、交通中的磁浮列车、办公室和家庭中各种各样的电器用品。这些大量的人造电场、磁场、电磁波发生装置，充满了现代生活。它们中有些产生出很强的电磁场和电磁波，而人们有时又不得不在它们周围工作、生活。这些东西到底对人体有何影

响、怎样才算安全呢？

在回答这些问题之前，我们先看一下磁场、电场、电磁波的联系。

现代电磁学理论认为，电和磁是同一事物的两个方面。电荷流动产生磁场，导体在磁场中切割磁力线运动可产生电流，电磁波是相交垂直而交变的电场和磁场在空间的传播。为方便起见，我们画一个电磁波频率范围图(图1)。

从图看，在 10^2Hz 以下，电磁波发射极弱，主要以电场、磁场形式出现。这时，如铁磁物质很多，则其周围呈磁场效应：如电压很高，则周围电场较强。 $10^2\text{—}10^{12}\text{Hz}$ 是射频波段，电磁波效应很强。 $10^{12}\text{—}10^{17}\text{Hz}$ 是光波段，光热效应强。 10^6Hz 以上是射线波段。频率从零开始由低到高，电磁由恒定电、磁场到交变电磁场(波)，再到光波、射

电线电缆工业利用电子加速器进行辐照交联的技术正在日益发展，历届的国际辐照加工会议资料表明在这个领域有相当大的进步。专家们愈加注意在电线电缆行业应用辐照加工技术的问题，辐照设备的功率和可靠性已经提高，设备成本逐渐下降。同时各种新型绝缘材料辐照配方体系的深入研究，能以比较低的剂量得到较高的交联度和最佳特性。辐照工艺上也进行了多方面的研究，如对电缆的多面辐照，转动技术及环形辐照等，不仅使小规格的电线得到满意的辐照效果，而且使大截面电缆的辐照均匀性也得到了解决。根据美国专家的意见，目前(考虑到现有成就)辐照工艺已能用于生产电压 35kV 级以下的电缆，最近可能生产到 69kV 。

三十多年的研究和生产实践表明，辐照交联电线电缆生产是具有经济前景的新兴工业，这一技术也必将在我国得到应用和发展。

参考文献

1. N.Studer et.al, Wire J. Int. 17(1)(1984) p94.
2. 王寿泰 全国加速器工业辐照技术与应用交流会资料
3. Wire World Int. No.1—3, (1985)
4. Eisuke saito, Radiat.Phys.Chem.9(1—6) (1977) p.675
5. R. Bäuerlein et.al, Radiat. Phys. Chem 18 5—6 (1981) p.837
6. T. Sasaki et.al, Radiat. Phys. Chem.18 (5—6) (1981) p.847

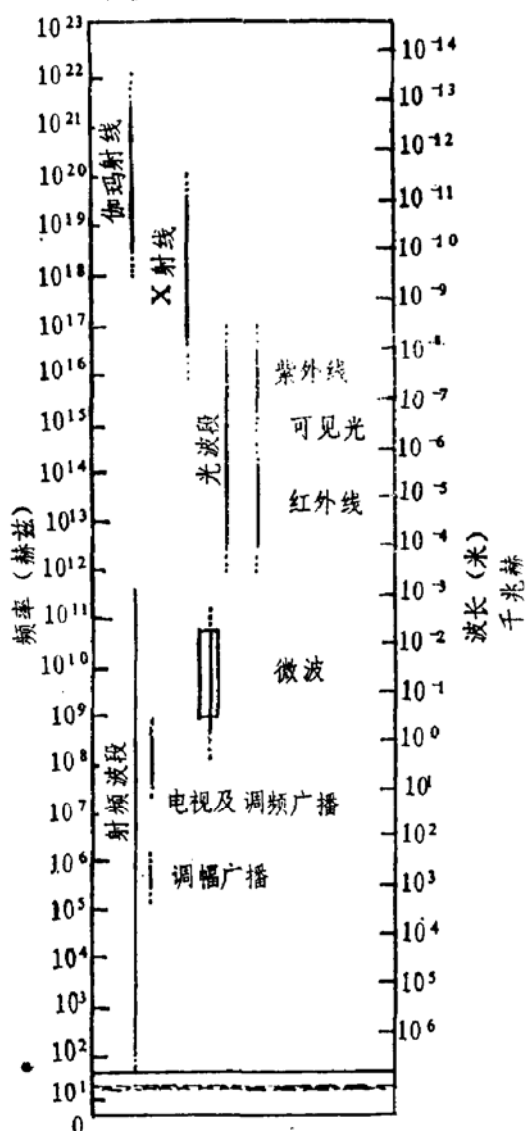


图1 电磁波频率范围

线。射线的剂量防护，已有严格的法定标准，这里不用再述。光波段对人体的影响主要是热效应，人体较敏感，又常接触，凭感觉就可防止烧伤，这里也不必多说。下面只谈射频段和100Hz以下极低频段的电磁影响及安全性。

X射线、 γ 射线对生态环境的影响可归为放射线污染，电场、磁场、射频波对生态环境的影响可称为电磁污染。人体中含有血液、细胞液、淋巴液等大量的体液，含有铁磁元素和很多电解质。细胞膜的典型厚度为 10^{-8} 米，其表面的电势约为100毫伏，一般（很弱）的外界电磁场不能破坏这个电势，因而细胞膜也是保护细胞免受外界电磁干扰的电磁屏蔽壳。较弱的电磁场，如60Hz的低频

弱电磁场，可与身体系统发生两个作用：刺激皮肤表面及附近的神经末梢，如使毛发抖动；或者电磁场与某一单个细胞发生某种直接作用。在较强的电场、磁场、电磁波影响下，人体体液的渗透和流动会失去平衡，长期作用，会使人体产生系统性失调，引起功能性紊乱，发生各种疾病。报道过的症状有：头晕目眩，恶心烦躁，食欲不振，失眠消瘦，记忆力减退，性欲减弱，血象变异、免疫机制低下，自杀率、白血病、癌发病率高。脉冲式高强度电磁场，会与人体直接作用：产生较大的诱发电流，使体液电离，破坏细胞内的原子键和分子键。

一、磁场对人体的影响和“磁场安全基准值”

磁场有恒定磁场和变动磁场。磁化了的铁磁物质可形成弱小的永久式磁场，庞大的电磁体可产生高强磁场。我们首先讨论极低频的恒定磁场。

十九世纪末发现，在磁场中，人能见到磁闪光(Magneto—Phosphenes)。这就是当人的头进入交流磁场时，眼前感觉到光，在15—30Hz左右感觉最强烈，磁场强度最低约0.01T左右。其机制是电磁场与视网膜上的视细胞的活动电压相作用有关：视神经膜的静止电压被破坏，膜外的 Na^+ 流入膜内，同时引起神经兴奋传递。

为研究恒定磁场对生物体的影响，不少人用小鼠、大鼠、兔子作了实验。Pautrizel等人⁽¹⁾把体重为3kg的12只兔子，饲以高胆固醇(含量1%)的食物，每天摄取约1g胆固醇，从而血液中出现了高胆固醇6g/l(为正常值的15倍)，再将其一半兔子放在0.06T的磁场中，每日曝露3小时，连续五周，另一半在正常环境下饲养，两者继续饲高胆固醇饲料。抽血化验结果如图2。磁场群在4—5周时血清总胆固醇低下，直到6—8周，即磁场曝露停止后1—3周，胆固醇仍

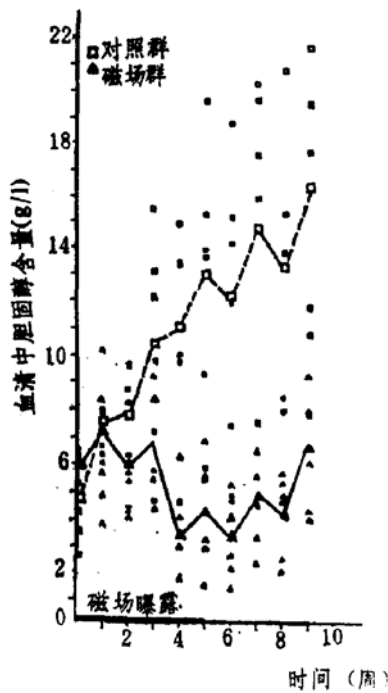


图2 兔子在0.06T磁场作用下血清胆固醇的变化

持续低；另一方面，对照群的胆固醇却一直不断升高。

急性曝露的实验来看，Barnothy等人⁽²⁾把小鼠放在0.9T磁场中，连续曝四天，看到体重急剧下降，出现明显差异。在0.6T的磁场中，每日曝露16小时的大鼠，可见到抑制效果，条件回避反射强。但磁场强度和曝露时间减少时，如0.3T，一日4小时，则看不到什么作用。

在强磁场中较长时间的曝露，长时间连续观察，可以看出磁场影响的效果，但(1)短时间曝露，或(2)曝露刚结束时，或(3)曝露后2—5天很难看出生物体对磁场刺激的反应。

那么什么样的磁场曝露强度(它由磁场强度与曝露时间的组合而定)才安全呢？目前世界上还无一法定标准。表1列举了劝告性“安全基准值”。A为进入磁场的经验者得到的参考值，B为更大范围内的调查后而得到的界限值，C、D近于政策性规定，但都难作政策性提案，仅参考程度不同而已⁽³⁾。

表1 磁场安全基准值

A. Beischer(人名)标准(1962年)

一年三日以内 5,000G(高斯)
15分钟以内 20,000G

B. Vyalov(人名)标准(1967年)
部位 磁场强度 磁场梯度
O_e(奥斯特) O_e/cm

全身 300 5—20
手 700 10—20

C. SLAC(美国斯坦福
直线加速器中心)

标准

部位 长时间 短时间
(小时级) (分级)

全身(包括头) 200G 2000G

腕与手 2000G 20000G

D. 美国DOE 暂定标准(1979年)
(能源部)

部 位 每日/ 1小时 10分钟
8小时 内

全 身 0.01 0.1T 0.5T
T(忒斯拉)

四 肢 0.1T 1T 2T

美国能源部的暂行规定是我们见到的提案值限制最严的规定。事实上不能一天都在0.01T(100G)以上的磁场内工作(1O_e≈1G=10⁻⁴T)。

磁场最强的工作地方，至今要算加速器装置的检测部位了。其近傍约为1T左右。近年，核磁共振诊断装置使用超导磁铁，场强高达2T，但诊断方法进步，10分钟内就能干完。沐浴在X射线下照像接受诊断的人，同时受到约2T的磁场作用，照射30分钟，现在医学水平不能找出其变化。从实验上证明超长期曝露于磁场下受影响的情况也是困难的。

二、电磁场对人体的影响

在高压静电场内(如静电加速器高压端附近)，人体反应敏感，如身体搔痒，视听异常，毛发竖立，使人不得不避开。这时人们

常采用绝缘、金属屏蔽、远离电场等措施，防止电击和其它有害影响。特别是金属屏蔽，是最有效的措施。

在变电所，交流电的频率很低，有高压，电场很强；又有变压器等铁磁物质，所以磁场也较强。对这种交变的电磁场，人们用远离场地的办法免受影响。

在高压输电线下，有交变的低频电磁场，但主要是电场效应。美国纽约州的一个城镇，高压输电线离地60m，输电线上经常发生劈啪响声，人们把荧光灯管拿到高压线下，夜里可看到灯管闪闪发光。美国明尼苏达州一农场，1978年在农场上架765千伏的高压线，通电后，其下15米处形成10,000伏/米的电场强度。不久，电线下植物叶子枯萎。农场主说：“自输电线建成后，感到好象有蜘蛛在身上爬似的，眼睛看不见，耳朵听得到，皮肤感觉得到。”

电磁场，特别是人们常遇到的50—60Hz低频电磁场会导致怪胎和癌症吗？通过科学家对大鼠和猪仔的试验以及大量人体流行病学的研究，既没得到肯定的证据，也没得到否定的证据。人们长期生活在高压线下对健康有影响吗？安全值是多少呢？这都是世界上目前正研究的问题。电磁辐射能剂量按被吸收的能量来计算，直接测定不可能也不现实，一般用受辐射的模式来推定：以位置函数表示的瞬时辐射的各种估算和人们在所处位置上渡过的时间来量度。尽管这方面的研究还需加强和深入，但该领域自本世纪五十年代为开发宇宙而研究宇宙的电磁场、宇宙飞船内电磁场的详细情况，以及60年代苏联研究人员公布输电线电压升至400—500千伏时，电厂工人头疼、疲劳、男子性欲减退等症以来，不少人已经和正在做着大量的研究。如英国中央电力局和美国邦民维尔电力局在工人衬衣口袋或臂上携带电磁场监视器，美国麻省匹兹费尔德市通用电器公司超高压研究设施的工程师正试验一种监测人体表面电荷分布平均密度的背心，测定高压线

下劳动的农场工人所受辐射强度及影响。相信不久会有好的结果，产生出剂量标准来。目前虽没这方面的标准，但人们还是采取了一些防护措施。当频率很低时，人们参照恒磁场剂量标准，采用静电场的防护措施，在频率较高时，参照“微波照射限量标准。”

三、射频波对人体的影响和“微波照射限量标准”

前面已经说了，我们不必再讨论高频的电磁波(光波和射线)。从图1看到，从 10^2 — 10^{12} Hz的射频段与人类有密切关系。调幅广播、电视及调频广播。各种雷达、通讯、卫星传输、导航用的微波、工业、农业、商、医、科研等用的微波炉的微波频率都在这个波段，可以说射频波充满了现代人类的视、听、交通、军事、科研、工业、医用、商业各个领域。

我们还记得美国驻莫斯科大使馆发现了“怪电波”的新闻吧，这是苏联当局有意发射的。苏以“试验莫斯科由于饮水而产生的疾病”为理由，提出化验美使馆人员血样的要求，结果表明有三分之一的人白血球总数上升百分之五十，这是白血病特征之一。后美中央情报局用猴子作实验，仅三周时间就发现猴子的神经系统和免疫系统发生问题。1976年，美国为防止微波，在使馆的所有窗子上都安装了金属屏蔽板。瑞典发现各医院采用的微波理疗机对人体健康有害而全部更新。在我国，北京某发射台附近的一所中学，师生普遍感到头痛、昏晕、失眠、多梦、疲乏无力、记忆力衰退，多次发生教师讲课时晕倒的事件，这所学校只好搬迁。

一般说，射频波和射线对生物体的作用性质是不同的，射线的微粒特性强，它通过物质时，一个光子(或一分能量)在无明显著热效应情况下使化学键破裂，电离作用可使分子带电，破坏组织；射频波，即是一千兆赫兹的微波，其能量也比化学键破裂所需

能量小，一般认为，它不引起机体显著变化。据报道的微波引起的生物效应有：热压迫感，烧伤、傻笑、影响脑功能，头部受照情况下，常听到“咔嚓声”，这是头内发出与脉冲同步的微波听觉效应。另外，还有削弱免疫系统，肿瘤发病率高。

目前世界上广泛承认并普遍使用的微波剂量标准是美国国家标准协会（ANSI）制定的“微波照射限量标准”。见图3⁽⁴⁾。

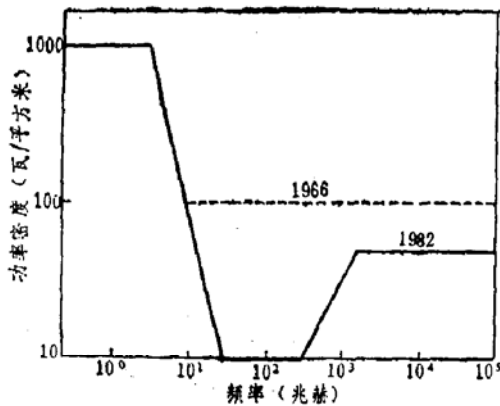


图3 美国国家标准协会(ANSI)制定的微波照射限量标准

图中虚线表示的是1966年制定的标准，在这个标准中，最大允许入射功率密度从10兆赫起是不变的，均为100瓦/平方米。以后发现对100兆赫左右的微波，人体敏感，吸能多，故1982年作了重大修改，实线表示修改后的标准。标准中的吸能限制量是对整个人体说的，平均每公斤体重大约不超过0.4瓦。如受照射的只是身体的一部份，限量有时可提高一些。

美国环境保护局（EPA）正在制定一个统一的、用于普通民众的标准。已公布了三个标准草案，一个与上述ANSI标准相近，另两个分别比ANSI标准低五倍和十倍。苏联及华约国家，原先制定的用于一般人员的微波限量，比美国标准要低100到1000倍，但最近却提高了，接近于ANSI标准。

从上述情况可以看出，磁场、电场、电磁场、电磁波对生态环境的污染是大量存在的，对人体影响也绝非小事。近年与电磁污

染有关的免疫学问题的调查报告指出，电磁场与自杀有关，与致癌和白血病有关。有关报告说，恒定磁场下铝电解工业工人因白血病的死亡率增加。Milham在华盛顿州作了调查统计，在1950—1979年间，不同职业和不同死因的43,8000例子中，在电场和磁场下劳动的白种男人，白血病死亡率比一般高，与电有关的11种职业中，有10种职业有上述倾向。特别是电器技师、电视、收音机修理工、水力发电厂工作人员更是如此。铝厂工人白血病死亡率为一般统计值的1.89倍，急性白血病死亡率为一般值的2.58倍，危险率都为0.01⁽⁵⁾。

此外，电磁辐射还可使电爆兵器控制失灵，电爆管引爆。强电磁场可引起挥发性气体或液体意外燃烧、爆炸，造成损失和人生事故。

尽管是这样，但在这个领域中深入研究还不够，至今仍无一法定标准。由于研究条件限制和研究中的不确定性，实验结果差异不太大。因不能排除其它原因的影响，所以对致癌性、白血病、下代畸型症等的实验结论都未置可否，既不肯定，又不能否定，就是还有待研究。但我们绝不能因这些原因而忽视电磁污染，低估其影响，也不能杯弓蛇影，产生无道理的恐惧心理，我们应充分考虑这些“参考标准”的价值。我们相信，不久的将来，定会产生出更加科学、合理的标准来。

参考文献

- (1) Pautrizel, R., et. al., C. R. Hebed. Seances Acad. Sci. Ser. D, Sci. Nat. (Paris), 274, 488(1972).
- (2) Barnothy, J. M., Barnothy, M. F., Nature, 200, 189(1963)
- (3) 中川正祥, 日本原子力学会誌, Vol. 28, No. 3, 209(1986).
- (4) Kenneth R. Foster, et. al., Scientific American, Vol. 252, No. 3, (1986).
- (5) Milham, W., et. al., N. Engl. J. Med., 307, 249(1982).