

POWER FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD AND HEALTH

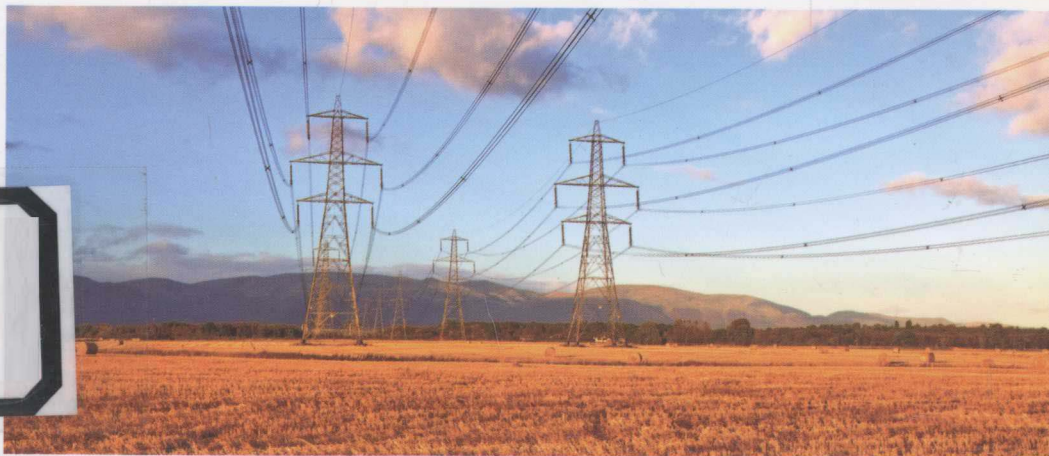
工频电场 磁场与健康

本书详尽介绍了针对工频电磁场和环境健康领域的敏感问题，帮助消除公众对身处电力电磁场环境下的种种担忧，将职业卫生领域的健康危险度（即风险 Risk）管理的概念引入输变电设施的电磁场环境评价领域，从风险评估、风险感受、风险沟通、标准制定的角度阐述了科学管理工频电磁场风险的理念。同其他环境因素引起的健康风险一样，工频电磁场的健康风险也理应纳入科学的管理轨道，只要我们根据权威的风险评估结果，遵守相应的暴露标准，就能对公众进行完全充分和有效的防护。

周建国◎主编



 复旦大学出版社





复旦·健康系列

工频电场磁场与健康

Power Low Frequency Electromagnetic Field and Health

主 编 周建国

副主编 常秀丽

编 者 (按姓氏笔画排序)

王黎明	江建华	张 平	杨新村
苏 磊	辛 亮	周志俊	周建国
金锡鹏	姜凡晓	常秀丽	皆 军



复旦大学出版社



图书在版编目(CIP)数据

工频电场磁场与健康/周建国主编. —上海:复旦大学出版社, 2011.5
(复旦·健康系列)
ISBN 978-7-309-07954-8

I. 工… II. 周… III. 电磁辐射-影响-健康-研究 IV. ①XS91②R161

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第024971号

工频电场磁场与健康

周建国 主编

责任编辑/傅淑娟

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路579号 邮编:200433

网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853

外埠邮购:86-21-65109143

上海第二教育学院印刷厂

开本 890×1240 1/32 印张 5.25 字数 139 千

2011年5月第1版第1次印刷

印数 1—6 037

ISBN 978-7-309-07954-8/R·1193

定价:20.00元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。

版权所有 侵权必究

内容提要

本书由电力、电网环保和公共卫生领域方面的专家学者合作编写,旨在以科学常识读物形式,客观详尽地介绍和解答针对工频电磁环境健康领域的敏感问题,帮助消除公众对身处电力电磁场环境下的种种担忧。同时,引入工频电磁场健康风险管理理念,对生物效应或超限暴露进行有效和充分的防护。

本书共分四章,以工频、极低频电场及磁场为主线,分别介绍了工频电场及磁场的基本知识,工频电场及磁场与人体健康的关系,电磁场医学研究以及工频电场及磁场的健康风险评估、管理与交流。

本书是为关心我们周围工频、极低频电磁场环境的公众提供的读本,也可供从事电力电磁的环保、管理、检测、研究人员,电力建设企业、公共卫生机构有关人员以及电磁环境知识培训人员等使用参考。

主编简介

周建国 男,1982年毕业于上海交通大学高电压技术专业,高级工程师,就职于华东电网有限公司。现为中国电机工程学会变电专业委员会委员,全国电力设备状态检修与在线监测标委会(SAC/TC321)委员。长期从事高压输变电设备试验研究和运行专业,以及电网环保技术和专业管理。有多项省、部级科技成果,在国内专业技术杂志上发表论文20余篇。

Preface



前言

· 工 · 频 · 电 · 场 · 磁 · 场 · 与 · 健 · 康 ·

随着人民生活水平日益提高和公众对自身所处环境质量意识的增强,输变电工程周围的电场与磁场是否存在潜在的健康危害,已经逐渐成为公众关注的热点,输变电工程建设引发的电磁纠纷有日趋严重的趋势。不仅如此,移动基站、地铁、磁悬浮工程都存在类似的困扰。特别是针对电磁环境问题,社会公众接受到的各种媒体,难以获得较为全面、均衡和客观认识,笼统将“电磁辐射”视为洪水猛兽,唯恐避之不及。各地输变电工程电磁环境纠纷也因此不断发生,愈演愈烈,已经影响到电力工业的正常建设,影响到现代经济的快速发展,也影响到了社会的和谐氛围。

为向社会公众普及工频电磁环境与健康方面的科学知识,我们组织从事电力、电网环保和公共卫生领域方面的专家学者,针对电磁环境健康领域的敏感问题,以科学的方式进行了客观详尽的介绍和解答,以消除公众对工频电场磁场健康影响的过度担忧。

本书将职业卫生领域的健康危险度(即风险,risk)管理的概念引入输变电设施的电磁场环境评价领域,从风险评估、风险感受、风险沟通、标准制定的角度阐述了科学管理工频电磁场风险的理念。同其他环境因素引起的健康风险一样,工频电磁场的健康风险也理应纳入科学的管理轨道。只要我们根据科学的风险评估结果,遵守相应的暴露标准,就能对公众进行完全充分和有效的防护。

最后,希望本书的出版为消除公众对输变电设施电磁场的惶恐心理、澄清一些没有科学依据的传言、更好地认识工频电磁场提供有益的帮助。

本书的撰写得到世界卫生组织-中国双边项目支持,一并表示感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者指正。

编 者

2011年2月

Contents



目 录

· 工 · 频 · 电 · 场 · 磁 · 场 · 与 · 健 · 康 ·

第一章

电磁场知识

1 电场

1.1 电场现象及其物理定义

1.2 表征电场的物理量

1.3 自然界的电场

1.4 人工电场

2 磁场

2.1 磁场现象及其物理定义

2.2 表征磁场的物理量

2.3 自然界的磁场

2.4 人工磁场

3 电磁场

3.1 电磁场的物理定义

3.2 电磁场在空间的存在与传播形式

3.3 电磁频谱

3.4 不同频率电磁源的生物学效应

3.5 生活中的电磁波

4 工频、极低频电磁场

4.1 极低频的概念

- 41 4.2 工频交流电的产生
- 44 4.3 高压电力线路与电磁波

第二章

49 电场与人体健康的关系

- 49 1 工频电场的测量
- 53 2 电场与健康
- 53 2.1 工频电场对人体的影响
- 57 2.2 人体阻抗与电流效应
- 68 2.3 高压线下的感应电

第三章

70 磁场与人体健康的关系

- 70 1. 工频磁场的测量
- 70 1.1 测量仪器和方法
- 72 1.2 个体暴露剂量的测量
- 75 2. 磁场与健康
- 75 2.1 磁场对健康影响的机制研究
- 77 2.2 磁场与疾病
- 80 2.3 实验研究
- 83 2.4 流行病学研究
- 87 2.5 射频辐射与人体健康的关系
- 88 2.6 正确看待流行病学的研究成果
- 90 3 电磁场在医学中的应用
- 90 3.1 临床治疗中的应用
- 92 3.2 用于辅助诊断的医学影像技术

第四章

电磁场的健康危险度评估、管理与交流

94	1 健康危险度评估
95	1.1 危害识别
98	1.2 剂量-反应关系评定
99	1.3 暴露评定
101	1.4 危险度特征描述
106	2 健康风险感知
106	2.1 健康风险感知的定义
107	2.2 健康风险感知的存在周期
108	2.3 健康风险感知的影响因素
109	3 健康危险度交流
109	3.1 健康危险度交流的定义
109	3.2 健康危险度交流的原则
109	3.3 电磁场健康危险度交流的关键环节
114	4 健康危险度管理
114	4.1 健康危险度管理的定义
115	4.2 健康危险度管理的主要原则
116	4.3 国际癌症研究机构的致癌物分类标准
117	4.4 有关电磁场危险度管理的相关方案
118	4.5 有关电磁场环境标准的分类
119	4.6 国际上关于极低频电磁场的暴露标准
123	4.7 电磁场暴露标准的制定原则
126	4.8 其他国家电磁场管理的原则和方法
128	4.9 电磁场健康危险度管理需要各界的配合和参与
130	参考文献

131 **附录 1**

131 世界卫生组织极低频场环境健康准则(EHC No. 238) 第12章 健康风险评估

139 **附录 2**

139 世界卫生组织极低频场环境健康准则(EHC No. 238) 第13章 保护措施

第一章

电磁场知识

· 工 · 频 · 电 · 场 · 磁 · 场 · 与 · 健 · 康 ·

1 电场

1.1 电场现象及其物理定义

电场是一个抽象的科学概念,是一种以看不见摸不着的特殊形式存在的物质。物体带有电荷时,在其周围就存在电场,电场对处在其中的其他电荷均有力的作用,即电场力,电场便是这种力作用的媒介。

刚梳过头的干燥塑料梳子能吸引纸屑(图 1-1),是因为梳子与头发摩擦,使梳子带有电荷,并在梳子周围产生电场作用的缘故。在带有微量电荷的梳子近旁存在电场,纸屑中的正、负电荷在这种静电场中,按异性相吸、同性相斥的规律定向移动,从而被梳子吸引。在雷雨天,由于大气对流的摩擦,雷雨云带有大量静电荷(雷云的极性取决于所载电荷是正电荷还是负电荷),云朵中上述电荷的积累,使

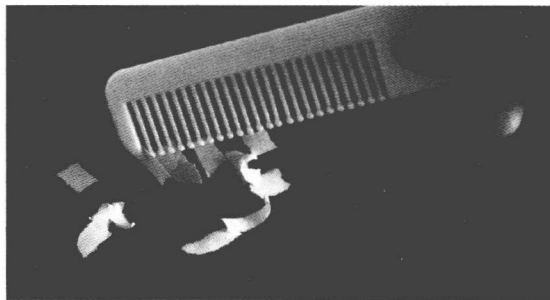


图 1-1 摩擦起电的梳子周围产生电场

雷云相对于大地(也可以是不同电位的云朵或云层)之间存在很强的电场,电场强到超出空气的绝缘承受能力时,闪电发生。有云内或云际放电称云闪,云地放电称地闪。地闪是发生在云层底部和大地之间的强烈火花放电,就出现电闪雷鸣现象。

除了上述自然界存在的电场之外,电力线路、输配电设施、住宅电力布线、各类家用电器、电气化轨道交通设施以及工业、科研与医疗设备等,只要其带电运行,其周边就存在电场。

1.2 表征电场的物理量

高中物理课告诉我们,带电荷的物体周围的电场强度可以用“电场线”的密度来直观地描述,即用通过垂直于电场线的微小单位面积上的电场线(电力线)数量来反映该面积上的电场强度的大小。空间某部位的电场线密,表示电场强;电场线疏,表示电场弱。

图1-2画出了带有电荷的雷云与地面之间的电场线分布。在图1-2中,雷云带有负电荷,这些电荷吸引并在地面汇聚异性的正电荷。在雷云与大地之间,电场的分布是不均匀的。在地面突出物体的尖端(如直立的人体头部或树木、房屋顶部)部位,正电荷的集聚量较大,因此在这些部位电场线密度较大,代表着电场相对集中,电场的强度相对较高。这也就是为什么在雷雨天,人不宜直立站在空旷高处无遮蔽场所的原因。

高压架空电力线路下方,由于电力线直径很细(通常直径仅几厘米),因此电场的强度在空间的分布也是极不均匀的(图1-3)。在紧邻高压电线导体的局部部位,电场线高度密集,电场的强度很高,导致在恶劣天气条件下某些高电压导线周围的空气会产生“电离”,发出“噓、噓”的电晕放电声;而离高压线越远处,电场线密度随着离高压导线的距离呈平方的倒数关系减小;在靠近地面时,电场线很疏且均匀、垂直指向地面,标志着邻近地面的电场的强度较低。

电场线的疏密程度仅仅是在宏观上描述了电场的大小,要定量描述电场的大小,物理上采用的是单位距离的电位差,即电场强度。

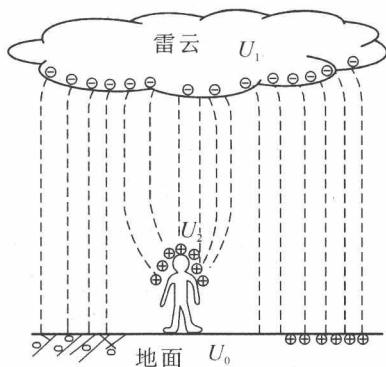


图 1-2 雷云与地面间的电场

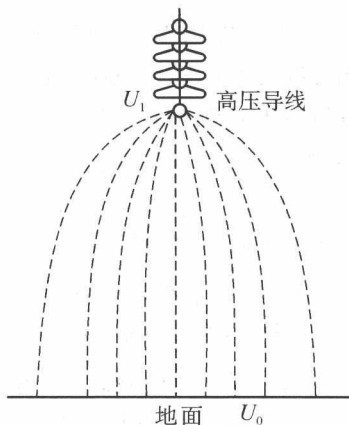


图 1-3 高压电力线下方地面电场强度远低于邻近导线处

物体带有电荷,它与周围物体(如大地)间就存在电位差(电势差)。由于带电导体与大地之间存在电位差(类似于水库上、下游的水存在“水位差”),其周围就会存在与电场相关的物理现象和效应。例如,站在地面上的人,不慎触及民用供电系统的火线时,人体就会因电位差的作用,电若经人体入地形成电流,产生“麻电”或“触电”。

带有电荷的物体周围的电场是由电位差产生的。物理学上,通常把电位差称为“电压”。电压的大小以伏特(简称伏, V)或千伏特(简称千伏, kV)为计量单位。电位差是一个相对值,通常把大地的电位定义为零电位(就如把海平面作为海拔高度的零位一样)。图 1-2 和图 1-3 中的雷云或高压线的电位为 U_1 ,而大地的电位 U_0 视为零值基准。此时雷云或高压线的电压即为 U_1 。

我国居民用电的电压是 220 V,这就是指电插座中的火线与零线间存在 220 V 电位差。按照用电规范,零线和大地是一个电位。所以,在民用供电系统中,火线与大地之间的电压(电位差)也应是 220 V,而通常工业用电、电动机等动力设备则需要 380 V(三相电源)电压。

为了能将电能输送到较远的距离,通常需要使用比民用供电电压(380/220 V)更高的电压。因此,我们的电力线路有 10 kV、35 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV、750 kV,甚至更高(特高

压)的不同电压等级。这是指相应的交流工频电力系统,两相导线与相导线之间的标称电压(电位差)分别为 10 kV、35 kV……当然还有直流输电系统,对地额定电压有正负 50、100、400、500 kV,甚至更高(特高压)电压等级。

生活经验告诉我们,带电物体周围空间的电场强度并不单纯取决于带电物体本身电压的高低,而与空间距离直接有关。图 1-2 中,即使雷云上载有的电荷不变,雷云越低(与地面的距离越近),地面上的电场强度显然越大;若人站在高山坡上,离雷云越近则人体所处空间电场强度也就越大(越易受雷击)。同样,图 1-3 中即使是同一电压等级的电力线路(例如高压输电线额定电压同为 500 kV),但线路架设得离地面越低,邻近地面的电场强度就越高。另外,即使高压线路离地高度不变,由于空间电场分布的不均匀性,其周围空间中不同距离各处的电场强度也是不同的。

带电物体周围空间的电场强度用沿电场(电场线)方向,单位距离的电位差[即每米的伏数(V/m)或每米的千伏数(kV/m)]表示。

由定义可知,电场强度是用来描述电场在空间随距离变化大小的物理量。电场强度越大,空间有限距离内的电位差越大。生活中我们可观察到,鸟儿可以自由地停留在 10 kV 高压电线上(图 1-4),一方面是因为其躯体较小,当鸟足飞落在一根高压导线上时,身体其他部分不会触及带不同电位的相邻高压线或接地金属体(即不会“触电”);另一方面也因其躯体小,在同样的电场强度(kV/m)下,躯体承

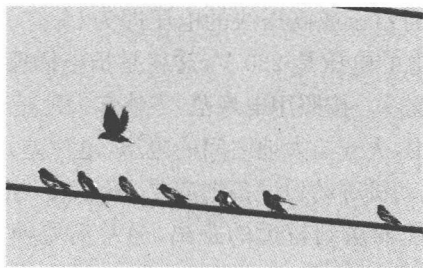


图 1-4 鸟在高压电力线上停留

受的电位差很小,导致体内感应电流极小,体表反应也甚微,无任何异常感觉之故。

用简单的例子来理解“电场强度”的具体含义。把两块金属极板加上 220 V 民用市电电压,拉开到相距 1 m 的距离(图 1-5)。在相距 1 m 的极板空间中,电场强度 E 就为 220 V/m(即 0.22 kV/m)。如果把极板拉近至相距 10 cm(即 0.1 m),那么电场强度 E 就达到 2.2 kV/m。

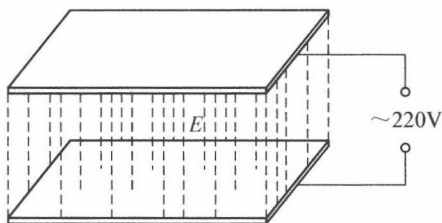


图 1-5 220 V 民用电压产生的电场强度

1.3 自然界的电场

地球周围覆盖着厚厚的大气层,大气层中的电离层下界面距地面平均高度约 80 km,电离层相对地面存在高达数千千伏的电势差,该电势差在电离层与地面之间产生巨大的电场,其方向指向地面,强度随时间、地点、天气状况和离地面的高度而变。关于大气电场的科学解释,在众多不同的理论中,现在被人们普遍接受的是英国物理学家威廉·汤姆生的“球形电容器模型”(图 1-6),根据这一设想,电离层和地球表面分别相当于电容器的正、负极,地面带负电,电离层带正电,电场线从电离层指向地表。大气观测结果表明,大气电场的强度随着高度的增加而迅速减小,在 10 km 高度的晴天电场强度仅为地面值的 3%,大气电场按天气状况可分为晴天电场和扰动天气电场。

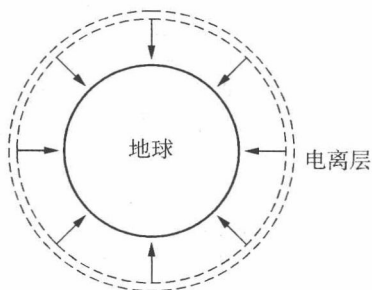
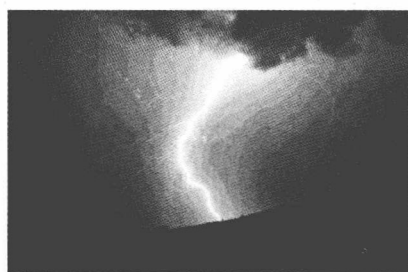


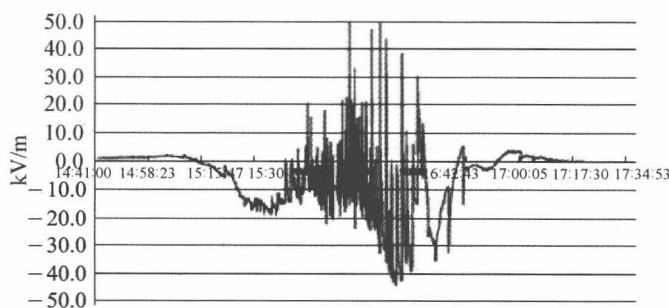
图 1-6 地球-大气系统的电容器模型

晴天电场是作为参考的正常状态的大气电场。在晴天电场中,水平方向的电场可略去不计。大气电学中规定这种指向垂直朝下的电场为正电场,其梯度称为大气电势梯度。晴天电场随纬度而增大,称为纬度效应。就全球平均而言,电场强度在陆地上为 120 V/m ,在海洋上为 130 V/m 。在工业区,由于空气中存在高浓度的气溶胶,电场强度会增至每米数百伏。

天气电场的变化同气象要素的变化密切相关。当存在激烈的天气现象(如雷暴、雪暴、尘暴)时,大气电场的数值和方向均有明显的不规则变化,高云对电场的影响不大,低云则有明显的影响,雷雨云下面的大气电场可达 $3 \sim 10 \text{ kV/m}$ 。图 1-7b 是某地区雷暴日的大气电场变化曲线,从图中可见,雷暴密集的时刻,附近大气电场最大峰值可达到 $40 \sim 50 \text{ kV/m}$ 。



a. 雷电



b. 雷暴日的大气电场统计曲线

图 1-7 雷电及雷暴日的大气电场统计曲线