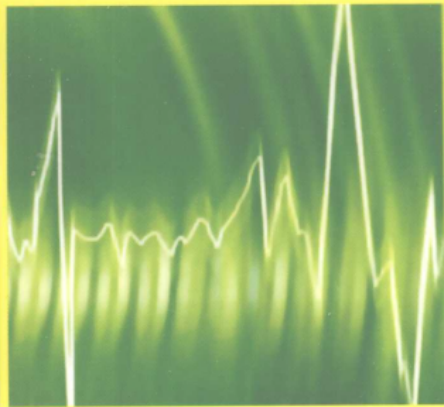




电力科技专著出版资金资助项目

输变电工程的 电磁环境



邬 雄 万保权 主编

Power Transmission Project
Electromagnetic
Environment



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



Power Transmission Project Electromagnetic Environment

ISBN 978-7-5083-8342-2



9 787508 383422 >

定价：30.00元

上架建议：电力工程 / 供用电



输变电工程的 电磁环境

邬 雄 万保权 主编

电力科技专著出版资金资助项目



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书详细阐述了输变电系统电磁环境影响的基本机理、基本规律、理论研究和计算测量方法,以及抑制或减小其影响的各种措施。全书共分七章,主要内容有:概述,交流输电线路的电场和磁场,直流输电工程的合成场、离子流与直流磁场,高压输电线路的无线电干扰,输电线路的可听噪声,变电站的电磁环境,输变电工程电磁环境的改善和防护措施。

本书内容理论联系实际,可供从事输变电工程建设、设计、施工、运行、研究以及环境保护评价、管理的专业技术人员、工程专家、管理干部等参考使用,也可作为相关专业的大学生和研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

输变电工程的电磁环境/邬雄,万保权主编. —北京:中国电力出版社,2009

ISBN 978-7-5083-8342-2

I. 输… II. ①邬…②万… III. ①输电-电力工程-电磁环境②变电所-电力工程-电磁环境 IV. TM7 TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第002595号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年5月第一版 2009年5月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 7.5印张 184千字

印数0001—3000册 定价30.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言

建设社会主义和谐社会，是我国一项长期的重大战略任务，也是全面建设小康社会新的更高目标，能源和电力需求将保持快速增长，对加快电网建设、提高电网安全供电水平和资源配置能力提出了迫切要求。

随着市场经济体制不断完善，社会民主法制逐步健全，人们生活水平不断提高，环保要求日趋严格，电网建设也不断遇到环境保护方面的问题。

事实上，我国电力工业对电网的环境保护非常重视，从 20 世纪 70 年代我国第一个 500kV 超高压输电工程的设计、建设开始，我国已将输变电系统的电磁环境列为电网发展的关键技术之一，相关电力技术人员针对输变电工程产生的工频电场、工频磁场、无线电干扰和可听噪声等电磁环境影响因子开展了系统、深入的研究，也取得了大量的研究成果。目前我国已将输变电工程的环境评价和竣工验收列入环保法规，使输变电工程的环境保护法制化。在电网规划、立项、设计、施工、验收和运行等各个环节，已经把输变电系统的环境影响问题作为一个重要指标给予充分的重视。

为了满足我国输变电工程设计、建设、运行、科研以及环境保护管理的需要，本书结合国内外在输变电工程电磁环境领域的研究、测量成果，以及设计运行中形成的宝贵经验，详细阐述了输变电系统电磁环境影响的基本机理、基本规律、理论研究和计算测量方法，以及抑制或减小其影响的各种措施，主要内容有：

输变电工程的电磁环境影响介绍，输变电工程的电磁环境影响因子、控制指标、测量方法、计算方法，以及环境评价和降低影响的措施等。既可供从事输变电工程建设、设计、施工、运行、研究，以及环境保护评价、管理的专业技术人员、工程专家、管理干部等参考使用，也可供相关专业的大学生和研究生参考。

参加本书的编写人员多为国网武汉高压研究院长期从事输变电工程电磁环境科研的专业技术人员。本书第一章由张广洲、邬雄编写，第二章由邬雄、李妮编写，第三章由容健纲、路遥编写，第四章由邬雄、张小武编写，第五章由张广洲、邬雄编写，第六章由万保权编写，第七章由张小武、王勤编写。全书由邬雄、万保权主编并统稿。在编写过程中，北京交通大学张林昌教授、武汉高压研究院董正言教授级高工和容健纲教授级高工对本书进行了详细审阅，特在此深表感谢。

由于编者水平和经验有限，书中难免有缺点和错误之处，望读者批评指正。

编 者

2008 年 12 月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 环境与环境保护	1
第二节 输变电工程介绍	7
第三节 输变电工程环境影响因子介绍	13
第二章 交流输电线路的电场和磁场	19
第一节 工频电场和磁场的特点及影响因素	20
第二节 工频电场和磁场对周围环境的影响	38
第三节 工频电场和磁场的计算方法	51
第四节 工频电场和磁场的测量方法及仪器	68
第三章 直流输电工程的合成场、离子流与直流磁场	83
第一节 直流电磁环境的影响	84
第二节 直流输电线路合成电场强度、磁感应强度和 离子流的计算	90
第三节 测量方法及仪器	94
第四章 高压输电线路的无线电干扰	107
第一节 高压输电线路无线电干扰的形成机理	107
第二节 输电线路无线电干扰特性	111
第三节 输电线路无线电干扰影响	116
第四节 无线电干扰限值标准	120
第五节 无线电干扰计算方法	122
第六节 无线电干扰测量	133

第五章 输电线路的可听噪声	136
第一节 概述	137
第二节 输电线路可听噪声影响	138
第三节 计算方法	156
第四节 测量仪器及方法	164
第六章 变电站的电磁环境	168
第一节 变电站电磁现象	168
第二节 变电站的稳态电磁现象	170
第三节 变电站的暂态电磁骚扰	190
第七章 输变电工程电磁环境的改善和防护措施	205
第一节 工频电场、磁场水平的降低	205
第二节 减小导线电晕的方法	219
第三节 因地制宜灵活运用各种改善措施	226
参考文献	232

概 述

地球是人类赖以生存的物质基础。人类生存与发展的历程就是利用地球资源、改变生活环境的历程。如今,生物多样性、荒漠化、气候变暖等问题使得人类开始检讨自己的生活方式,认识到对环境保护的重要性。1972年6月5日在瑞典首都斯德哥尔摩召开“联合国人类环境会议”,会议通过了《人类环境宣言》,并提出将每年的6月5日定为“世界环境日”。世界环境日的意义在于提醒全世界注意地球状况和人类活动对环境的危害。要求联合国系统和各国政府在这一天开展各种活动来强调保护和改善人类环境的重要性。

本章简述了环境和环境保护的发展,电力工业的发展历程、构成及其发展趋势,最后给出了输变电工程电磁环境影响因子。

第一节 环境与环境保护

一、环境

环境(environment)总是相对于某一中心事物而言的。环

境因中心事物的不同而不同，随中心事物的变化而变化。围绕中心事物的外部空间、条件和状况，构成中心事物的环境。通常所称的环境就是指人类的环境。

《中华人民共和国环境保护法》则从法学的角度对环境概念进行阐述：“本法所称环境是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、风景名胜、自然保护区、城市和乡村等。”

还可以从其他方面来定义环境，诸如：环境是指围绕着人类的外部世界，是人类赖以生存和发展的物质条件的综合体。环境为人类的社会生产和生活提供了广泛的空间、丰富的资源和必要的条件，以及组织运行活动的外部存在，包括空气、水、土地、自然资源、植物、动物、人及它们之间的相互关系。

环境分类一般以空间范围的大小、环境要素的差异、环境的性质等为依据。从性质来考虑，环境可分为物理环境、化学环境和生物环境等。按照环境要素来分类，可以分为大气环境、水环境、地质环境、土壤环境及生物环境。

人类环境习惯上分为自然环境和**环境。

自然环境亦称地理环境，是指环绕于人类周围的自然界，包括大气、水、土壤、生物和各种矿物资源等。自然环境是人类赖以生存和发展的物质基础。在自然地理学上，通常把这些构成自然环境总体的因素，分别划分为大气圈、水圈、生物圈、土圈和岩石圈 5 个自然圈。

社会环境是指人类在自然环境的基础上，为不断提高物质和精神生活水平，通过长期有计划、有目的的发展，逐步创造和建立起来的人工环境，如城市、农村、工矿区等。

此外，按照人类生存环境的空间范围，可由近及远、由小到大地分为聚落环境、地理环境、地质环境和星际环境等层次结



构，而每一层次均包含各种不同的环境性质和要素，并由自然环境和社会环境共同组成。

二、环境保护

环境保护是指人类为解决现实的或潜在的环境问题，协调人类与环境的关系，保障经济社会的持续发展；有意识地保护自然资源并使其得到合理的利用，防止自然环境受到污染和破坏；对受到污染和破坏的环境必须做好综合治理，以创造出适合于人类生活、工作的环境而采取的各种行动的总称。

其方法和手段有工程技术的、行政管理的，也有法律的、经济的、宣传教育的等。其内容主要有：

(1) 防治由生产和生活活动引起的环境污染，包括防治工业生产排放的“三废”（废水、废气、废渣）、粉尘、放射性物质以及产生的噪声、振动、恶臭和电磁辐射，交通运输活动产生的有害气体、液体、噪声，海上船舶运输排出的污染物，工农业生产和人民生活使用的有毒有害化学品，城镇生活排放的烟尘、污水和垃圾等造成的污染。

(2) 防止由建设和开发活动引起的环境破坏，包括防止由大型水利工程、铁路、公路干线、大型港口码头、机场和大型工业项目等工程建设对环境造成的污染和破坏，农垦和围湖造田活动、海上油田、海岸带和沼泽地的开发、森林和矿产资源的开发对环境的破坏和影响，新工业区、新城镇的设置和建设等对环境的破坏、污染和影响。

(3) 保护有特殊价值的自然环境，包括对珍稀物种及其生活环境、特殊的自然发展史遗迹、地质现象、地貌景观等提供有效的保护。另外，城乡规划、控制水土流失和沙漠化、植树造林、控制人口的增长和分布、合理配置生产力等，也都属于环境保护的内容。

环境保护已成为当今世界各国政府和人民的共同行动和主要



任务之一。我国则把环境保护宣布为我国的一项基本国策，并制定和颁布了一系列环境保护的法律、法规，以保证这一基本国策的贯彻执行。

三、环境保护的历史发展

环境保护（简称环保）是由于工业发展导致环境污染问题过于严重，首先引起工业化国家的重视而提出的，他们想利用国家法律法规和舆论宣传使全社会重视和处理污染问题。

1962年美国生物学家蕾切尔·卡逊出版了一本名为《寂静的春天》的书，书中阐释了农药杀虫剂滴滴涕（DDT）对环境的污染和破坏作用。由于该书的警示，美国政府开始对剧毒杀虫剂问题进行调查，并于1970年成立了环境保护局，各州也相继通过禁止生产和使用剧毒杀虫剂的法律。该书被认为是20世纪环境生态学的标志性起点。

1972年6月5~16日，由联合国发起，在瑞典斯德哥尔摩召开“第一届联合国人类环境会议”，提出了著名的《人类环境宣言》，是环境保护事业正式引起世界各国政府重视的开端。中国政府也参加了这个会议。

我国的环境保护事业也是从1972年开始起步的。1972年，北京市成立了官厅水库保护办公室，河北省成立了三废处理办公室，共同研究处理位于官厅水库畔属于河北省的沙城农药厂污染官厅水库问题，并导致中国颁布法律正式规定在全国范围内禁止生产和使用滴滴涕。1973年在国家建委下设立了环境保护办公室，后来改为由国务院直属的部级国家环境保护总局，各省、市、自治区也相继成立了环境保护局（厅）。

目前，我国已经成立了环境保护部，进一步加强了对我国环境保护的领导。

四、电磁环境

作为人类赖以生存的地球，是浩瀚宇宙的一个微小的部分。

地球自身的磁场、电荷构成了地球自然的电磁环境；宇宙中各种射线、粒子等形成的辐射同时作用于地球，进一步加强了地球的电磁环境。此外，人类为了生活大力发展的各种用电设备，在局部区域不同程度地改变着上述电磁环境。

电磁环境作为输变电工程特有的环境现象，是指由带电导体产生的电场、载流导体产生的磁场、输电线路导线与变电站（换流站）母线等带电导体表面电位梯度超过某一定值时产生的电晕放电引起的无线电干扰与电晕噪声、变电站（换流站）主设备运行产生的可听噪声等，使输变电工程附近局部区域环境受到影响的现象。根据输变电工程固有的特性，如系统频率为 50Hz 或直流，多为点线工程，不产生废水、废气等，其影响因素具有有限空间、不扩散等特点。

由高压输变电工程产生的电磁环境影响因子主要包括工频电场、磁场、无线电干扰、可听噪声、直流合成场、离子流、直流磁场等。

电荷的周围存在着一种特殊的物质，叫做电场。它跟固态、液态、气态的物质不一样，看不见、摸不着，是一种特殊形态的物质。两个电荷之间的相互作用并不是电荷的直接作用，而是一个电荷的电场对另一个电荷所发生的作用。也就是说，在电荷周围的空间里，总是有电场力在作用。因此，将有电场力存在的空间称为电场。磁场是电流在其所通过的导体周围产生的具有磁力的一定空间。

我国电力系统的电源工作频率（简称工频）为 50Hz，其波长为 6000km，属于极低频（ELF）（0~300Hz）范围。从电磁场理论可以知道，只有当一个电磁系统的尺度与其工作波长相当时，该系统才能向空间有效发射电磁能量。输变电设施的尺寸远小于这一波长，构不成有效的电磁能量发射，其周围的工频电场和工频磁场是相互独立的。因此，将输变电设施周围的“电磁

环境”称为“电磁辐射”是不科学的，这一“辐射”的术语也会造成人们对其电磁环境特性的误解。

对于 110kV 以上的输电线，由于电压较高，在导线表面会产生电晕现象，从而会产生了一定范围的无线电噪声和可听噪声。

直流输电工程电晕还将产生离子流和直流磁场，此外，由于离子的存在，将改变直流电场的分布。

五、电磁环境保护

电力在社会生产和人类生活中的广泛应用和电子及通信技术的发展，导致电磁场、电磁波弥漫在人类的生存环境中，形成现代社会所特有的电磁污染。为防止各种电磁场对人体健康的影响、对通信和电子设备的干扰，以及对易燃易爆设施的危害，采取一定的抑制和防护措施是必要的。

对于输变电工程的电磁环境管理，国家有较系统的法规与标准，这是国家实施输变电工程电磁环境管理的法律依据。主要有：《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第七十七号）；《电磁辐射环境保护管理办法》（国家环境保护总局令第十八号）；《建设项目环境保护分类管理名录》（国家环境保护总局令第十四号）；《电磁辐射防护规定》（GB 8702—1988）；《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》（HJ/T 24—1998）。

对于噪声环境管理，国家有较系统的法规与标准，这是国家实施环境管理的法律依据和评价伴有噪声建设项目的科学标准。主要有：《工业企业厂界噪声标准》（GB 12348—1990）、《声环境质量标准》（GB 3096—2008）。

我国对输变电工程的环境影响评价进行了详细的规定。《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》适用于 500kV 超高压送变电工程电磁环境影响的评价，110、220

及 330kV 送变电工程电磁环境影响评价,以及对上述工程项目
目的审批和管理目前也参照该标准执行。

第二节 输变电工程介绍

电能是最方便和最清洁的二次能源,是现代人类社会利用能源的主要方式。电能的生产和使用要经过组成电力系统的发电、输电、配电和用电四个环节。所以说电力系统就是由分布在辽阔地域的发电机、变压器、输配电线路、用电设备等组成的大型互联系统,也是最大的人造能量传送网络。现代电力系统具有规模巨大、结构复杂、运行方式多变、非线性因素众多、扰动随机性强等基本特征。

一、电力发展简史

电力技术的发明、电力工业的建立至今已有 100 余年的历史。现代电力工业首先是在将水能或热能转变为电能的技术发明和科技进步的基础上发展起来的。

1831 年,法拉第发现电磁感应原理,奠定了发电机的理论基础。

1866 年,维·西门子发明了励磁电机。

1875 年,在法国巴黎建成了世界上第一座火力发电站,标志着电气时代的到来。

1882 年,爱迪生建成世界上第一座较正规的发电厂,装有 6 台直流发电机,共 661.5kW (900 马力),通过 110V 电缆供电,最大送电距离 1.6km。

1881 年,卢西恩·高拉德和约翰·吉布斯取得“供电交流系统”专利。

1885 年,美国发明家乔治·威斯汀豪斯制成交流发电机和变压器,并于 1886 年建成第一个单相交流送电系统,1888 年又



制成交流感应式电动机。

1891年，在德国劳芬电厂安装了世界第一台三相交流发电机，并通过一条电压为13.8kV的输电线路将电力输送到远方的用电地区。

三相交流电的出现克服了原来直流供电容量小、距离短的缺点，开创了大功率、远距离输电的历史，也开创了电力拖动等各种用途的新局面。

电力的出现使人类历史从蒸汽时代跨入了电气时代。电力技术和电力工业的出现和发展改变了人们的生产和生活面貌，促使经济以前所未有的速度向前发展。电力的广泛应用和电力需求的不断增加，促使电力技术和电力工业进一步向高电压、大机组、大电网方向发展。高压输电、大型汽轮发电机、大型水轮发电机应运而生，迅速发展。

为了提高输电经济性能，不断满足大容量和长距离输电的需求，电网电压等级在不断提高。100多年来，输电网电压历经最初的13.8kV，逐步发展到高压20、35、66、110、134、220、230kV；20世纪50年代后迅速向超高压330、345、380、400、500、735、750、765kV发展；20世纪60年代末，开始进行1000kV（1100、1150kV）和1500kV电压等级特高压输电工程的可行性和特高压输电技术的研发。

交流输电电压一般分高压、超高压和特高压。国际上，高压（HV）通常指35~220kV电压，超高压（EHV）通常指330kV及以上、1000kV以下的电压，特高压（UHV）定义为1000kV及以上电压。高压直流（HVDC）通常指的是±600kV及以下的直流输电电压，±600kV以上的电压称为特高压直流（UHVDC）。就我国而言，交流高压电网指的是110kV和220kV电网，超高压电网指的是330、500kV和750kV电网；特高压电网指的是1000kV电网。高压直流指±500kV及以下直流系统，特

高压直流指 $\pm 800\text{kV}$ 及以上电压的直流系统。

在高电压输电方面,1908年,美国建成了 110kV 输电线路,1923年又建成第一条 230kV 线路。瑞典于1954年首先建成第一条 380kV 输电线,此后美国、加拿大等欧美国家相继使用 $330\sim 345\text{kV}$ 输电系统。1964年,美国建成第一条 500kV 输电线路,苏联也于1964年完成了 500kV 输电系统。1965年,苏联建成 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电线路。1965年加拿大建成 765kV 输电线路,1969年美国又建成 765kV 线路。1989年,苏联建成一条世界上最高电压 1150kV 、长 1900km 交流输电线路。

中国电力工业从1882年上海创建第一个 12kW 发电厂至今,已有120余年历史。1949年,全国发电装机容量 185万kW ,年发电量 43亿kWh ,分别名列世界第25位和21位。中华人民共和国成立后,用了30年时间,使全国发电装机容量达到 5712万kW ,年发电量达 2566亿kWh 。1975年,我国自行设计制造的第一台 30万kW 汽轮发电机在姚孟电厂投入运行。目前,国内运行最大机组是 60万kW 汽轮发电机和 90万kW 核电机组。自1978年改革开放以来,只用了10年时间,发电装机容量和年发电量就翻了一番。1990年,全国发电装机容量达 $13\,789\text{万kW}$,年发电量达 6213亿kWh ,均名列世界第4位。1994年,全国发电装机容量为 $19\,990\text{万kW}$,其中火电占 74% 、水电占 24.8% 、核电占 1.2% ,年发电量为 9279亿kWh 。

我国电网主要是在解放后发展起来的。1952年自主建设了 110kV 输电线路,逐渐形成京津唐 110kV 输电网。1954年,建成丰满—李石寨 220kV 输电线,逐渐形成东北 220kV 骨干网架。1972年,建成 330kV 刘家峡—关中输电线路,全长 534km ,逐渐形成西北电网 330kV 骨干网架。1981年建成 500kV 姚孟—武昌输电线路,全长 595km ,逐步形成华中 500kV 骨干网架。2005年在西北电网建成第一回 750kV 输电线路。1989年建成