

电气工程师手册

第3版

《电气工程师手册》第3版编辑委员会

主编 王建华

电气工程师手册

第 3 版

《电气工程师手册》第 3 版编辑委员会

主 编 王建华

副主编 王兆安 巫松楨 李学纪



机械工业出版社

《电气工程师手册》第3版内容包括：通用数据资料和数学公式；电气工程理论基础；电工电子功能材料和光电线缆与绝缘元件；电子元器件和电子电路；电力电子技术；电气工程信息化基础；可靠性技术、环境技术和电磁兼容；电气测量和仪器仪表；电机；变压器、电抗器和电容器；开关保护设备；自动控制；电气传动；通信；火力发电；水力发电；核能发电；太阳能和风力发电；化学能和其他能源发电；电力系统；工业与民用建筑电气和电信工程；电加工、电加热、电焊和静电技术应用；家用电器和民用电动车辆；项目工程经济分析等24篇。

本手册主要供具有大专及以上水平从事电气技术工作的人员在现场查阅使用，也可供其他相关专业的专业人员和大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程师手册/王建华主编. —3版. —北京：机械工业出版社，2006.9

ISBN 7-111-19818-2

I. 电... II. 王... III. 电气工程—技术手册
IV. TM-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第099156号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑：牛新国 责任校对：刘志文 陈延翔

封面设计：姚毅 责任印制：李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006年10月第3版第1次印刷

169mm×239mm·55.375印张·3插页·3139千字

0 001—5 000册

定价：128.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线(010)88379768

封面无防伪标均为盗版

《电气工程师手册》第3版

编辑委员会

名誉主任委员	赵明生			
主任委员	王建华			
副主任委员	王兆安	陈瑞藻	罗命钧	
委 员	(按姓氏笔划为序)			
	万威武	马志瀛	王兆安	王建华
	牛新国	田又涵	田培斌	闫治安
	刘补生	苏彦民	李学纪	巫松楨
	张 浩	陈 燕	陈瑞藻	范兴国
	罗命钧	赵明生	赵金娥	宫靖远
	董柏林	谢仲生	廖培金	
主 编	王建华			
副 主 编	王兆安	巫松楨	李学纪	

第 3 版 序

《电气工程师手册》第 2 版于 2000 年 6 月出版,之后电气工程又有了很大的发展,其面貌发生了很大的变化。因此,《电气工程师手册》第 2 版的内容也需要更新和修订。

近年来,世界各地相继发生了多次严重的停电事故。特别是 2003 年 8 月 14 日在北美纽约等地发生了震惊世界的“北美大停电”,使世界各国对电力能源及其安全都更加重视。

另外,世界性的石油危机再次发生,使得人们在以石油和煤炭为代表的化石能源耗尽之前,必须寻找新的替代能源。为此,利用风能、太阳能等可再生能源进行发电,成为全世界竞相进行研究和发展的热点。再有,如何节约用电的问题也日益引起人们的重视,这些都使得电气工程的面貌发生着深刻的变化。

本手册第 1 版和第 2 版相隔十几年,修订间隔过长。本次第 3 版和第 2 版相隔 6 年,较为合适。第 3 版和第 2 版相比,风格变化不大,仍力图保持原来的“卷小面广、采集精华”,“注重发展、注重综合”,“突出重点、务求实用”的特点,作者队伍也基本以原第 2 版的作者为主。从内容上看,主要充实了能源板块:如“核能发电”、“太阳能和风力发电”和“化学能源(电池)”三部分并独立成篇;大量补充了风力发电、太阳能发电、余热发电、生物质能和氢能发电的内容,还补充了与核电安全有关的反应堆安全系统、核电厂安全设计等内容;对电力系统方面和节能技术方面,也补充了一些新的内容。此外,还加强了与环保有关的内容。在手册第 2 版中就提出了“现代电工科学技术体系”的概念,强调传统的电气工程要吸纳、融合各新兴学科特别是信息科学的精华。手册第 3 版新增了“电气工程信息化基础”篇,并且归入手册的基础知识板块。其他各篇中也新增了有关电气工程信息化方面的内容。此外,第 3 版手册还收集并补充了一些最新的规范、规程或条例。

总之,作者希望第 3 版手册的出版能受到我国广大电气工程师的欢迎,为我国电气工程的发展做出贡献。

《电气工程师手册》第 3 版编辑委员会

第 2 版 序

《电气工程师手册》第 1 版出版已 10 多年了，广大读者迫切希望有一本新的《电气工程师手册》以适应当前工作的需要。因此，我们在顺利完成《电机工程手册》第 2 版编辑出版工作后，即着手组织本手册第 2 版的编写工作。

《电气工程师手册》是一部系统概括电气工程各专业主要技术内容的便携型小型综合性工具书，主要为读者提供相关专业或其相邻专业的基本知识和实用技术数据资料，扩大知识面，提高综合处理技术问题的能力，在日常工作中起备查、提示、引据、指向的作用，因此它是一本独立的工具书，有其自己的编辑方针和特点。

《电气工程师手册》第 2 版继承了第 1 版的编辑方针，即“采辑精华、注重发展、卷小面广、实用便查”，考虑到出版工作应与市场经济相适应，第 2 版更强调个人买得起、便携、便查、现场实用、卷本小、内容要反映时代需要。

本手册在第 1 版基础上，利用和参考了《电机工程手册》第 2 版的丰富内容，认真总结了十多年来电气工程技术领域的新成就和经验，积极吸取了国外的先进科学技术，对一些内容作了修改或更新，增补了许多高新技术章节。

本手册第 2 版的主要特点是：

1. 卷小面广、采辑精华。手册技术内容的覆盖面比第 1 版更宽；而字数则比第 1 版压缩了约五分之一，更便于携带和适合个人购置。
2. 注重发展，注重综合。结合近期科学技术的新发展以及标准、技术规范的新变化，对第 1 版手册内容在较大程度上作了必要的增、删或更新；手册综合概括了各专业最基本、最常用以及新技术方面的内容，以扩大工程技术人员的知识领域，增强其综合处理技术问题的能力。
3. 突出重点，务求实用。从电气工程全局着眼，针对性强，使内容更趋简练和更加适合实际需要。在编辑方式和检索系统方面，保留了第 1 版的条目制，使篇目框架更加合理，并进一步完善了参见系统，更便于查阅。

为了便于协调、提高质量，加快编写进度，参加编写的人员以西安交通大学有关院系为主，包括西安地区院所共 14 个单位 100 多位专家教授，参加审阅的人员来自全国 26 个单位。值此手册出版之际，谨向参加本版工作的全体编审人员及有关单位表示诚挚的谢意。由于水平和时间有限，难免有一些不尽人意之处，殷切希望广大读者批评指正，并提出宝贵意见，以便在今后的工作中改进。

《电气工程师手册》第 2 版编辑委员会

第 1 版 序

《机械工程手册》和《电机工程手册》自 1982 年出版以来，受到国内外的重视和好评，正在我国的四化建设中发挥着越来越重要的作用。这两部大型综合性技术手册篇幅浩瀚(有 25 卷,3400 万字)，内容丰富，适于办公室或阅览室查阅使用。现应读者要求，为了适应广大机电工程技术人员在现场工作中查阅使用的需要，在这两部大型手册基础上，我们又采精搜要、着眼实用，编纂了这两部《机械工程师手册》和《电气工程师手册》。

与两部大型手册比较，这是两部小型综合性技术手册。它们的主要特点是：

1. 卷小面广，便携便查。两书各约 300 万字，单卷本，而其覆盖面与两部大型手册基本相同，有的地方还有所扩展，在编辑方式和检索系统方面也有所改进，既便于携带和查阅，也适合个人购置；

2. 继承精华，注意发展。两书分别以两部大型手册为基础，采辑精华，并结合近期科学技术的发展，作了必要的增补、删并和更新，使内容更趋简练和更加适合实际需要；

3. 注重综合，突出实用。两书分别从机电工程的全局着眼，加强各专业之间的内在联系，综合概括各专业最基本、最常用以及新技术等方面的内容，力求准确可靠，具有较强的针对性和实用性，以扩大工程技术人员知识领域，增强综合处理技术问题的能力。

这两部手册于 1984~1985 年着手筹备。参加编写的人员主要是两部大手册的作者，对一些新增内容，又增聘了部分专家和学者，总计约有 200 余人。

综合手册是科技工作中必备的工具书，常以完备见长，以简练实用取胜。这两部手册的出版，可与两部大型手册互为依托，相得益彰，是我们计划中纵横结合、多层次、多专业机电工程手册完整体系的重要组成部分，必将对机电工程科学技术的发展发挥其特有的作用。

在此，我们谨向为此作出过贡献的同志及有关单位表示诚挚的谢意。由于此书涉及面广，时间又匆促，谬误之处在所难免，希望读者批评指正，以便再版时改进。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会主任 沈鸿

1986 年 6 月

第 3 版编辑说明

《电气工程师手册》从第 2 版出版以来，电工科学的面貌又有了很大的变化。手册第 3 版在内容上推陈出新，与时俱进，努力反映电工科学的当前面貌。

与《电气工程师手册》第 2 版比较，第 3 版具有以下几个重要特点：

(1) 紧密结合我国当前严峻的能源形势，大力充实能源板块：包括充实“核能发电”、“风力和太阳能发电”和“化学能源(电池)”三部分并独立成篇；大量补充能源领域中大家十分关心的内容，例如风力、太阳能发电、余热发电、生物质能和氢能发电的有关的技术与运行问题，与核电安全有关的反应堆安全系统、核电厂安全设计问题等；在电力系统方面，补充了新近发展的电力系统规划、各种直流输电系统、城乡中低压配电网建设与改造等新内容；在节能技术方面，例如建筑节能、工业生产和家用电器领域等的节能技术，包括新增电力电子节能技术、余热发电、电热设备节能技术、新型节能炉衬材料、电弧炼钢炉节能技术等，努力反映当前节能的新技术，新水平。

(2) 第 3 版还加强了与环保有关的内容，例如扩充可再生能源内容，提倡“秸秆发电”，加强核燃料后处理、核电厂的放射性废物管理、煤的洁净燃烧技术、洁净煤联合循环发电技术、火电厂全厂环境对策、噪声治理、电池与环境保护等，在电工合金中以环保金属元素替代有害元素镉，在绝缘材料中以 SF₆ 混合气体替代 SF₆，以环保材料替代有害的“石棉”等。

(3) 手册第 2 版就提出了“现代电工科学技术体系”的观点，强调传统的电工科学技术要吸纳、融合各新兴学科特别是信息科学的精华。手册第 3 版进一步发展了这一特色，新增了“电气工程信息化基础”篇，并且归入手册的基础知识板块。其他各篇中也新增了有关电气工程信息化方面的内容，例如在线可编程模拟器件、现场可编程门阵列、数字信号处理器、电动机交流调速、直接-交流-交流变频器、核电厂仿真、电力系统调度自动化和配电网自动化、火电厂分散控制系统 DCS、厂级管理信息系统、电炉操作控制的现场总线-智能监控网络等。吸纳材料科学成果方面也有新发展，例如在超导材料中增加了近年发展起来的 MgB₂，以及将 YBCO 外延沉积到带状基体或基底上形成比铋系材料电磁特性更好的 YBCO 单晶状涂层导体等，对发展超导电气材料和元件有重要意义。传统的电工科学技术融合新兴学科后，极大地推动了她在各个领域的快速发展。

(4) 第 3 版手册还收集并补充了一些最新的规范、规程或条例。例如第 24 篇“项目工程经济分析”所依据的是国家发展和改革委员会和建设部编的《建设项目经济评价

方法与参数》(第3版),目前还未正式出版(正在出版中)。火力发电、核能发电、太阳能发电和风能发电所依据的新规程等,也是最近才制订的。执行新的规范、规程或条例,将有力推动有关领域的健康发展。

第3版手册的编写,有利于发展我国现代电工科学技术,提高综合处理电气工程技术问题的能力,促进我国电气工程领域自主创新型人才的培养。

有关第3版手册的编排、查阅系统、以及各篇主编、执笔和主审的署名等,与第2版手册相同。

第3版手册编辑委员会欢迎广大读者对本手册批评指正。

电气工程的历史机遇

王建华

电气工程主要是研究电能的产生、传输、转换、控制、储存和利用的一门工程技术。电气工程曾经被称为电机工程，可见历史上电机在其中占有核心地位，以后其名称逐步演变为电气工程。

电气工程是从人们对电磁现象的研究开始的，电磁理论是电气工程的理论基础，而电磁理论是从物理学中的电学和磁学逐步发展而形成的。

电气工程的研究对象是电能，电能是能源中最为重要的种类之一。人类社会发展到任何时候也离不开能源，因此，能源是人类永恒的研究对象。迄今为止，甚至在可以预见的将来，电能都是利用最为方便的能源形式。因此，以电能为研究对象的电气工程有着十分强大的生命力。

电气工程具有很强的应用性，正是因为电气工程的发展，才建立起庞大的电力工业以及各种电气装置制造业，人类才不可逆转地进入伟大的电气化时代。电气化被认为是 20 世纪人类最伟大的成就之一。

电气工程的基础性和派生能力也很强。如今的电子科学与技术、通信工程、电子信息工程、自动化技术、计算机科学与技术乃至生物医学工程都是从电气工程中派生或再派生而形成的。有人将这些由电气工程派生或再派生出的大部分工程技术统称为电子信息工程。显然，电气工程是电子信息工程的母体，反过来，电子信息工程产生和发展又大大推动了电气工程自身的发展。

如上所述，电气工程是从人们对电磁现象的研究开始的，对电磁现象的研究至今仍是电气工程的一项基本内容。电能不但是—种最为优质的能量形式，同时电(含磁)还是信息的良好载体。用电承载和传递信息，也是一种电现象，因此，对这种现象的研究也是电气工程当然的一项内容。迄今为止，通信和计算机技术都主要以电作为信息的载体。因此，这些新技术也都属于电子信息工程。电气工程的研究对象是电能，而对电信息的检测、处理以及控制技术在电能从产生到利用的各个环节中都起着越来越重要的作用。因此，有关电信息研究的相当一部分内容也成了电气工程的重要组成部分。

电气工程的基础性也决定了其具有很强的学科交叉能力。电气工程和生命科学的交叉产生了生物医学工程，对生命中电磁现象的研究产生了生物电磁学。电气工程和材料科学的交叉形成了超导电工技术和纳米电工技术。电气工程和电子技术以及控制科学的交叉产生了电力电子技术，电力电子技术不但给电气工程的发展带来了极大的活力，同时电力电子技术也成为电气工程的重要分支。

早在 1600 年，英国物理学家吉尔伯特(W. Gilbert, 1544—1603)就出版了《论磁》—书，认为地球本身就是一个巨大的磁石，还发现了地球的磁倾角。另外，他还创造了

电(electricity)这一新词。《论磁》可以说是关于电磁学的最早论著。

由于奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851)、库仑(C. A. Coulomb, 1736—1806)、安培(A. M. Ampere, 1775—1836)、欧姆(G. S. Ohm, 1789—1854)、法拉第(M. Faraday, 1791—1867)、麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)等人在电磁学中的杰出成就和重大发现,为电学和磁学奠定了科学基础,也为电气工程的发展奠定了基础。

对于许多基础研究的成果,一开始人们并不知道它们究竟会有什么实用价值。但是,科学是绝对不会放过任何实际应用机会的。电磁学理论的创立者们也许开始并不清楚这些理论到底可以用来干什么,但是这些凝聚着人类聪明才智的电磁理论很快就将人们带入电力革命,带入电气时代,深刻地改变了人类社会和人们的生存方式。人类社会后来又先后跨入信息时代、知识经济时代,而这些伟大的成就无不得益于电磁理论。电气时代,乃至后来的信息时代的影响之深远也许远远超越了先哲们的想象,但这些进步又都和19世纪及19世纪前人类在电磁学领域取得的进步息息相关。

电力革命和电气时代早期的一些发展历程也耐人寻味。1834年,俄国物理学家雅克比(M. H. Jacobi, 1801—1874)制成了第一台实用的电动机,1838年,他把改进后的电动机装在小船上。1850年,美国发明家佩奇(C. G. Page, 1812—1868)制造了一台10马力(7354.99W)的电动机,并用它来带动有轨电车。

发电机的发明和电动机的发明是交叉进行的。早期的电动机都由伏打电池供电,极为昂贵,因此发电机的发明意义非常重大。1832年,法国发明家皮克希(H. Pixii, 1808—1835)发明了手摇发电机,这是世界上第一台发电机。1857年,英国电学家惠斯通(C. Wheatstone, 1802—1875)发明了用伏打电池励磁的发电机。1867年德国工程师西门子(W. Siemens, 1816—1892)制造了第一台自馈式发电机,甩掉了伏打电池,使电能可以大量、廉价地生产。

现在人们利用的电力主要是从电力网得到的,是交流电。而早期的电源是伏打电池,是直流电。因此早期的发电机和电动机均采用直流电,甚至连第一条输电线路都是直流电。1882年,法国物理学家德波里(M. Deprez, 1843—1918)在德国工厂主的资助下,建成了第一条输电线路,长57km,输送功率不到200W的直流电,线路损耗达78%。1891年,三相交流发电机、三相异步电动机和变压器相继发明并投入使用。由于交流电的生产、利用和远距离传输比直流电有巨大的优越性,因此得到了迅速的发展,并在20世纪使世界进入电气化时代。

在电气工程的发展史中,电灯的发明者美国人爱迪生(T. A. Edison, 1847—1931)的影响很大。另外,德国著名工程师西门子对电气工程的巨大影响以著名的西门子公司形式延续至今。

在19世纪电气工程发展的同时,电报、电话、无线电技术等也以电磁学为基础,取得了令人瞩目的成就,并为今天的信息时代打下了基础。

主要在19世纪,通过科学家、发明家和工程师的不懈努力,电气工程的科学技术基础已经奠定,其工程应用也取得了实质性的进展。

图1用两个三角形对电气工程进行了描述。大三角形描述了电气工程和其他相关学科的关系,小三角形描述了电气工程内部的结构。

从图1的大三角形看,和电气工程关系密切的其他学科主要是信息科学和能源科

学。这里所说的信息科学是广义的信息科学，也就是所谓的弱电，即电子信息工程。

电气工程研究的主要是电能，而信息科学则是研究如何利用电磁来处理信息。因此，二者既有所不同，但又同根同源。而且，电气工程的发展越来越依赖于电子信息技术的进步，在我国大学目前的本科专业目录中，电气工程专业已被定名为“电气工程及其自动化”专业，这一名称的改变也反映了专业内涵的变化。在美国及其他发达国家，大学中的电气工程专业已经完全包含了电子信息技术的内容，甚至电子信息技术已经喧宾夺主，成了电气工程的主体。无论如何，电气工程与电子信息工程二者你中有我、我中有你，相互融合，这已成为科学技术发展的一种必然趋势。

但是，如果从应用领域看，电气工程则又和能源科学密切相关。电能是能源的一种，而且是使用、输送和控制最为方便的能源。在可以预见的将来，还没有一种能源有可能取代电能。而人类在任何时候都不可能离开能源，能源为人类提供动力，是人类永恒的研究对象。因此，人类如果关注能源，就必须关注电能，也就必须关注电气工程。正因为电气工程和能源科学有如此密切的关系，国家在划分专业或行业时，常常把电力和动力放在一起。

电气工程除了和信息科学及能源科学密切相关外，还和其他专业有很多联系。例如，近年来机械工程的发展越来越多的依赖电气工程和电子信息技术的发展，其他几乎所有的非电类的工程技术也都更加离不开电气工程和电子信息技术。

在图1的小三角形所描述的电气工程内部结构中，电工理论是电气工程的基础，主要包括电路理论和电磁场理论。这些理论是物理学中的电学和磁学的发展和延伸。电气装备制造主要包括发电机、电动机、变压器等电机设备的制造，也包括开关、用电设备等电器设备的制造，还包括电力电子设备的制造、各种电气控制装置的制造以及电工材料、电气绝缘等内容。电气装备的应用则是指上述设备和装置的应用。电力

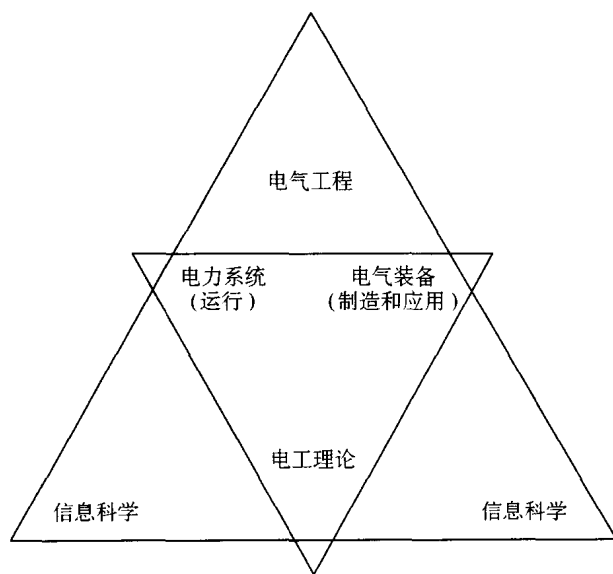


图1 电气工程的双三角形描述

系统的运行主要包括电力网的运行和控制、电气自动化以及各种电气装备和系统的运行等方面。当然，制造和运行是不可能截然分开的，电气设备在制造时必须考虑其运行，而电力系统是由各种电气设备组成的，系统的良好运行当然依靠良好的设备。

在我国，电气工程的发展不仅涌现了一大批电气工程师，也曾经给我国输送了一大批国家领导人。这一特殊的历史现象，在党的十四届中央委员会时，曾达到了登峰造极的地步。当时的中共中央总书记、中华人民共和国主席江泽民毕业于交通大学电机工程专业，中共中央政治局常委、全国人大常委会委员长李鹏毕业于莫斯科动力学院电力专业，中共中央政治局常委、国务院总理朱镕基毕业于清华大学电机工程专业，中共中央政治局常委、中华人民共和国副主席胡锦涛毕业于清华大学水电专业。上述中国一批最高领导人都出身于电气工程师，这一极其罕见的历史现象固然具有相当的偶然性，以后也不可能在其他专业领域再发生。但这也至少说明，在 20 世纪 40~60 年代，我国电气工程领域集中了一批最优秀的人才。

与电气工程密切相关的行业主要有两个。首先就是电力行业，电力行业是生产和供应电力的行业，所覆盖的企业主要是发电厂和各级供电部门。其次是电气装备制造行业，这里既包括各种输变电设备的制造，也包括各种使用电力的电机和电器的制造。在我国，后一行业传统上被看成机械制造行业的一部分。

除电力行业和电力装备制造行业外，与电气工程相关的还有一个庞大的行业群，该行业群不但包括传统的机械、交通、冶金、化工，也包括新兴的电子、信息、生物医学等行业。电气工程专业不仅具有很强的工程性，也具有很强的基础性。电气工程专业的研究对象是电能，即电力及其应用。因此，凡是使用电力的行业都需要电气工程的专业人才。可以说所有的行业都离不开电力，这些行业都需要电气工程师。

电力工业是给整个国民经济提供动力的行业，曾被称为“国民经济先行官”。改革开放 20 年来，我国国民经济取得了飞速的进步，与此同时我国电力工业的发展也十分迅速。过去 20 年，中国已成为世界上电力装机容量增长最快的国家，专家预测，这种趋势在未来一段时间内仍将继续。据统计，1981 年—1999 年之间我国 GDP 的平均年增长率达到 9.8%，发电量的年均增长率为 7.7%，电力弹性指标（指发电量平均增长率与 GDP 平均增长率之比）为 0.79。2000 年，我国的发电装机容量和发电量都已达到世界第二位，仅次于美国。表 1 给出了到 2020 年我国发电机装机容量和发电量的预测值。那时，我国发电机装机容量和发电量都将超过美国，位居世界第一。

表 1 我国发电机装机容量和发电量预测

年 份	装机容量/亿 kW	发电量/万 kW·h
2003	3.7	1.9
2005	4.3	2.1
2010	6	2.7
2020	9.6	4.2

但是，如果按照人均统计，我国的发电水平和发达国家的差距仍是十分巨大的。1994 年，世界人均平均用电量为 1957.69kW·h，而中国为 670kW·h，仅为全世界平

均值的 1/3。世界人均装机容量为 0.531kW，我国仅为 0.159kW，只是世界人均值的 29.9%。2000 年，中国人均用电量达到了 979kW·h，人均装机容量 0.25kW，但也仅仅相当于发达国家的 1/6。可以预见的是，到 2020 年，我国装机容量和发电量的总量虽然都位居世界第一，但人均值肯定仍然相当落后。

输变电工程的发展在电气工程中也具有标志性的意义。到 2010 年我国 500kV 超高压输电线路发展预测如表 2 所示。

表 2 我国 500kV 输电线路发展预测

年 份	长度/万 km	变电容量/亿 kVA
2000	3.6	1
2005	7	2
2010	12	4

我国在西部大开发中要建设“西电东输”的三大通道，即北线、中线和南线通道。北线通道联结西北、华北、山东等电网，将三西(山西、陕西、内蒙西部)的煤电基地和黄河上游水电送往京津唐负荷中心。中线通道以三峡为中心，实现川渝、华中、福建电网互联，并且沿长江而下，把长江流域的水电送往华中、直至以长江三角洲为中心的华东，另外也有部分电力送往广东。南线通道联结云、贵、桂及广东、港澳。把云、贵、桂的水电(贵川火电为补充)送往珠江三角洲的广东及港澳负荷中心。另外，我国高电压直流输电(HVDC)和特高电压交流输电也将得到迅速发展。高电压直流输电(HVDC)的电压等级将达 800kV，特高电压交流输电的电压等级将达到 1000kV。到 2020 年，我国将建设 500kVHVDC 输电线路 15 条左右，我国西北地区采用 330kV 输电，目前电网已饱和，我国第一条特高电压 750kV 工程已在西北兴建(青海官亭—兰州东,146km)，2005 年底建成投运。

20 多年来，我国的电力装备制造业取得了突飞猛进的发展，除了原有的产业基地外，还涌现出了像温州这样的新兴电器工业基地。这一方面得益于我国电力工业的大发展，另一方面得益于全世界制造中心逐步向中国的转移。如前所述，我国电力工业近年来发展十分迅速，这就需要大量的输变电装置来武装，另一方面，电力工业的迅猛发展也为电力装备制造业提供了必要的能源保障。这些都极大地刺激和推动了我国电力装备制造业的发展。另一方面，中国正在成为世界制造业的中心，这已成为不争的事实。在电气装置制造业方面，我国拥有大量工程技术人才和训练有素的劳动力，人力成本也相对较低，这就促成了世界电气装备制造中心向中国的转移，甚至经常会听到中国被称为“世界工厂”的说法。但是，应该清醒地看到，我国电力装备制造业的水平和发达国家仍有着巨大的差距，以 ABB、西门子、GE、日本大公司为代表的西方跨国公司仍是领头羊，一些核心技术都主要掌握在发达国家手中。

目前世界正在逐步迈入信息化社会，而我国还要补工业化这一课。因此我国的发展策略是“信息化带动工业化”，这一发展国策是十分英明的。电气化是工业化的基础和重要组成部分，要实现工业化，就需要大量电气工程师。

经过一个世纪的发展，我国电气工程在产业、研究开发、高等教育等方面都已经

有了非常好的基础，而且目前我国电气工程的发展又处于最好的历史时期。在我国的各个行业和各个学科中，由于电气工程基础最好，机遇最好，和发达国家的差距最小，因而有可能成为最早达到国际先进水平、最早和国际接轨的领域之一。在最近一个时期，由于全世界电气工程的主要市场在中国，我国又有了一支积蓄了百年基础的专业队伍和研发力量，因此中国不但将成为世界电气装备的制造中心，也必将成为世界电气工程的研究中心和技术开发中心，还将成为世界电气工程高等教育的中心。我国必将成为世界电气工程技术的知识发源地，成为掌握电气工程核心技术最多的国家。作为一名中国的电气工程师，我们理应感到骄傲和自豪。我们应该投身到电气工程的发展洪流中，紧紧抓住这一千载难逢的历史机遇，为我国电气工程的发展做出自己的贡献。如果这本《电气工程师手册》(第3版)能对您提供一些帮助，作者就十分欣慰了。

参 考 文 献

- [1] 吴国盛. 科学的历程[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社. 1997.
- [2] 王先冲. 电工科技简史[M]. 北京: 高等教育出版社. 1995.
- [3] 吴敬儒, 蔡连斌. 中国电力工业 2001~2020 年发展问题探讨[J]. 电网技术. 2001(2).
- [4] 赵起. 中国电力市场的需求趋势分析[J]. 华北电力大学学报: 社会科学版, 2003(3).

目 录

《电气工程师手册》第3版编辑委员会

第3版序

第2版序

第1版序

第3版编辑说明

电气工程师的历史机遇

第1篇 通用数据资料和数学公式

第1章 计量单位和单位换算关系

1.1 国际单位制和量纲	3
1 法定计量单位	3
2 量纲	5
1.2 常用的物理量和单位	5
3 空间、时间和周期的量和单位	5
4 力学的量和单位	6
5 电学和磁学的量和单位	6
6 热学的量和单位	8
7 光及有关电磁辐射的量和单位	9
8 常用声学的量和单位	10
9 常用的物理化学和分子物理学的 量和单位	11
10 常用的原子物理学、核物理学和 固体物理学的量和单位	11
11 常用的核反应和电离辐射的量和 单位	12
1.3 单位换算关系	13
12 时间和空间单位换算	13
13 力学单位换算	14
14 电学和磁学单位换算	16
15 热学单位换算	16
16 光学和声学单位换算	16
17 核反应和电离辐射单位换算	17

第2章 物理常量和常用材料物理性能

2.1 物理常量数据	17
18 物理和电学的常量表	17
19 大气压力、温度与海拔的关系	18

20 常用电磁波谱频率区段	19
2.2 常用材料的物理性能	19
21 常用电工导体材料的电性能	19
22 常用绝缘材料的电性能	20
23 常用固体材料的机械性能	20
24 部分液体材料的性能	21
25 部分气体材料的性能	22

第3章 电工标准

3.1 标准和标准化概述	22
26 基本概念、标准的分级和代号、 标准专业分类及代号	22
3.2 国际标准和国外先进标准	23
27 国际标准、国外先进标准的概念、 部分国际标准、国外先进标准名 称和代号	23
3.3 国家标准中电工标准简介	28
28 常用的电工标准	28
29 标准电压	29
30 标准电流	30
31 标准频率	30

第4章 数学公式

4.1 阶乘、排列和组合、二项式 定理和复数	31
32 阶乘、排列和组合、二项式定理 ..	31
33 复数运算	31
4.2 常用函数	32
34 三角函数和反三角函数	32

35 双曲函数、反双曲函数和对数函数	33	4.5 矢量	43
36 三角函数、双曲函数和指数函数的关系	35	45 矢量分析	43
4.3 矩阵	35	4.6 近似计算和数值计算	44
37 矩阵及矩阵代数运算、特殊方阵、特征根、特征向量和特征方程	35	46 误差	44
38 矩阵运算及变换	37	47 插值、差分、差商和近似积分	45
4.4 微积分	37	48 常微分方程、偏微分方程和线性代数方程组的数值计算方法	46
39 导数运算法则和基本公式	37	4.7 概率和统计	47
40 不定积分和定积分	38	49 概率的定义、简单性质和基本运算	47
41 级数	39	50 随机变量的分布函数和数字特征	48
42 傅里叶级数和傅里叶变换	40	51 统计量的概念	49
43 拉普拉斯变换(拉氏变换)	41	52 参数估计和假设检验	49
44 Z变换	43	53 正态概率纸和回归分析	51
		参考文献	51

第 2 篇 电气工程理论基础

常用符号表

第 1 章 电的一般物理概念

1.1 原子和原子核	55
1 原子和原子核的结构	55
2 原子的电子壳层结构及能级	55
3 X射线	55
4 放射性衰变和 α 、 β 、 γ 射线	55
5 核磁共振	55
6 核裂变和核聚变	55
1.2 金属的热电子发射	55
7 金属的热电子发射	55
8 电子在电磁场中的运动	56
1.3 物质的导电与能带理论	56
9 气体的导电规律	56
10 固体的导电和能带理论	56
11 液体电解质的导电原理	57
1.4 几种电磁效应	57
12 光电效应与压电效应	57
13 温差电效应	57
14 霍耳效应	58
15 电致伸缩与磁致伸缩	58
16 电致发光效应	58
17 磁致旋光效应	58
18 电化学效应	58

1.5 生物电现象	58
19 细胞及神经的电活动	58
20 脑和心肌的生物电活动	59

第 2 章 电 磁 场

2.1 表征电磁场特性的物理量	59
21 电荷与电荷守恒定律	59
22 电容率与磁导率	59
23 电场强度与电力线	60
24 极化强度与极化电荷	61
25 电位移 D	61
26 电位与电位差	61
27 磁感应强度与磁力线	62
28 磁化强度与磁化电流	64
29 磁场强度	64
30 磁位与磁矢位	64
31 通量	64
2.2 电磁场的基本定律	64
32 库仑定律	64
33 高斯定律	64
34 磁通连续性原理	64
35 安培环路定律	65
36 电磁感应定律	65
37 全电流定律	65