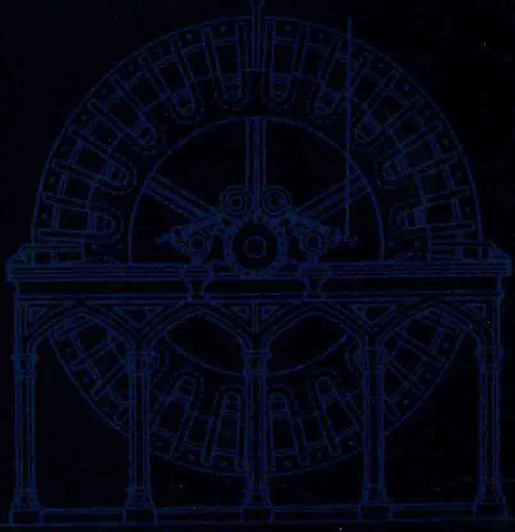
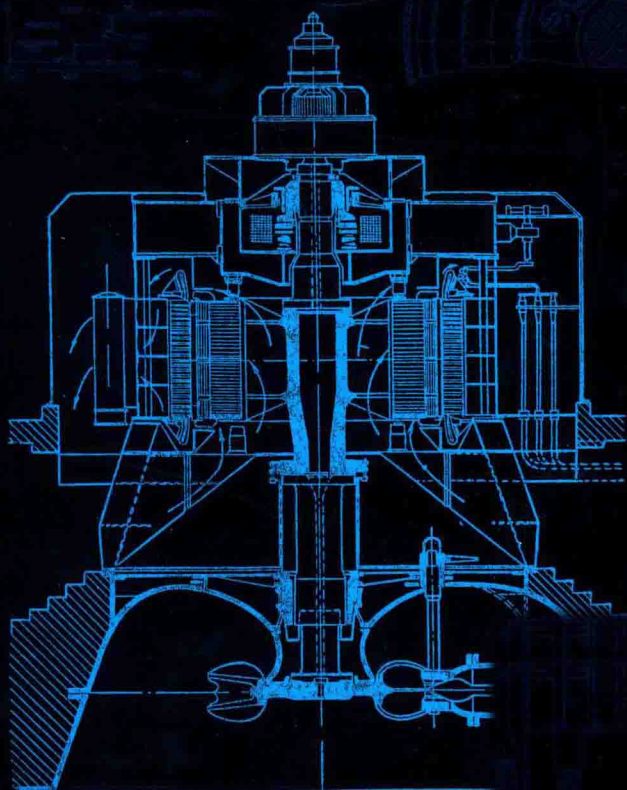


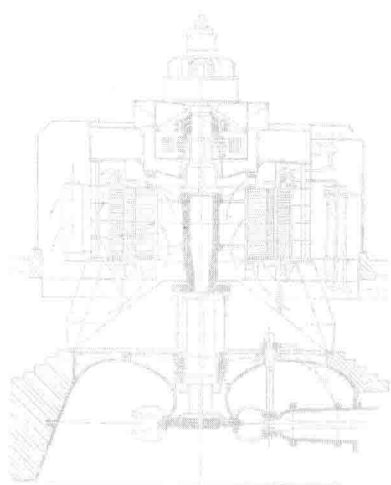


History of Electric Machines 电机史话

戴庆忠 / 著



清华大学出版社



History of Electric Machines

电机史话

戴庆忠 / 著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是一部全面详尽介绍电机发明史和电机技术发展史的专著。全书不但有对电机萌芽、诞生和改进历史的详尽追溯,有对各类电机(含汽轮发电机、水轮发电机、直流电机、交流感应电动机和变压器)技术发展的全面论述,有对电机理论、电机用电工材料和电机绝缘等的发展回顾,还有对国外主要电机企业发展史的介绍,以及对中国电机工业发展的详尽论述。书中既有重大电机历史事件和重要电机产品的写实,也有著名电机人物的著录。

本书可供高等院校电气工程专业师生和从事电工技术研究的科研人员、电机工业领域的科技与管理人员,以及关注世界技术史(尤其是电工技术史)的广大读者阅读参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电机史话/戴庆忠著.--北京:清华大学出版社,2016

ISBN 978-7-302-42632-5

I. ①电… II. ①戴… III. ①电机工业-技术史-中国 IV. ①TM3-092

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第013802号

责任编辑:冯 昕

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:三河市中晟雅豪印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:210mm×285mm 印 张:30.5 插 页:4 字 数:1020千字

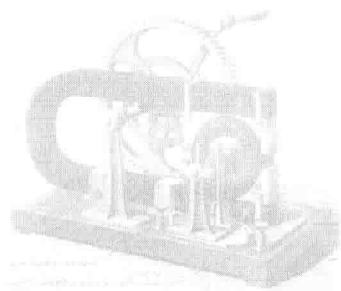
版 次:2016年8月第1版

印 次:2016年8月第1次印刷

印 数:1~1800

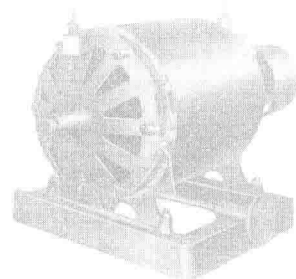
定 价:108.00元

产品编号:064915-01



《电机史话》编委会

贺建华 陈文学 曾明富



序一

记得2002年12月戴先生推出第一版《英汉·汉英电机技术词典》时，现中国东方电气集团有限公司副总裁朱元巢曾这样评价他：“似一只不知疲倦的蜜蜂，四处为他人采蜜”，“虽不是一位职业出版者，但他总在为别人的成功而琢磨和准备最精巧顺手的工具书，在你最需要的时候，呈现在你的面前……”诚如朱总所言，如今，戴先生又一力作《电机史话》终于尘埃落定，结集问世。

《电机史话》堪称当今国内，也可以说是到目前为止国外同行业对电机发展史唯一全面详尽追溯介绍的史话类文本，受到业界广泛关注、期待。1997年，《电机史话》第一章刊于《东方电机》第四期，并开始连载，直到2011年。该大部头系列甫一崭露，即以其不凡气势和落笔新颖而备受青睐，由江泽民同志作序并题写书名的《中国电机工业发展史》即参考了其部分篇章。之后有心人便陆续投石问路，章章收录，企盼能早日瞻其“全貌”，一睹为快。

为著《电机史话》，戴先生历20多年之心血，广泛阅览，从各种渠道以各种途径，精心收集、组织、整理、提炼有关电机发展的史料，把散落一地的“珠玉”拾掇起来，用自己的智慧和匠心悉心打造，串为一体，最终厚积薄发，与读者见面。

《电机史话》从电机的诞生起笔，止于目前发展现状，其中既有对重大历史事件的精准写实，又有对著名电机人物的全面著录，还有对重大电机产品的一一详述，尊重科学又屡屡创新，可谓“辟前人未有之境，为今人不可少之具”。作为科技史类读物，它与其他学术类电机专著判然有别，可以令你畅游其间轻松览胜，却又回味无穷，并在字里行间的阅读中，体味领略作者深厚的文史功底、广博的学识、独到的见解、超卓的才情，油然而生叹服之心，存敬佩之意。

《电机史话》的出版应是适逢其时，对东方电机来说，我们不仅要生产大型发电设备等物质产品，还要造就人才，以学术著作带动精神产品的生产，这对促进科研工作的顺利开展不无裨益。

通观全书，精于学术却不假雕饰，文字质朴，笔风洗炼，严谨求实，寓艰深于通俗，益见炉垂之妙。几十年来，从至今仍被业内专家盛赞的《国外大型水轮发电机总体布置图册》《国外汽轮发电机图册》，深为技术人员广传的《科技英语翻译》《英汉电技术词汇》《英汉·汉英电机技术词典》《英汉·汉英水轮机词典》等著作，到不胜枚举、引人入胜的翻译佳作，再到今天洋洋洒洒的《电机史话》长篇巨制，戴先生就是这样伏案而作，孺子牛般默默耕耘，勤为他人做嫁衣，上对企业，下至同侪，皆大爱无疆，竭力奉献。当我们捧读他的《电机史话》时，不能不再一次为其精神、知识、人品，乃至毅力所折服，令人于潜心默会中，感悟“先生之风，山高水长”……

贺建华

序二

1965年毕业于重庆大学电机系的戴庆忠先生，多年来致力于技术情报研究工作，一直笔耕不辍，在发电设备行业和图书情报领域德高望重，享有很高的口碑。如今，年届七旬的他，其科技史著述《电机史话》又得以付梓出版，实乃业界值得赞誉之事。

1832年，随着法拉第电磁感应现象的发现，电机应运而生。一百多年来，电机逐渐进入并渗透至人类社会生活各个方面，迅速改变人类社会面貌，也深刻影响着人们的生活方式。但是，迄今为止，国内外还没有一部全面介绍电机发展历史的专著。《电机史话》则堪称第一部对电机发展史详尽追溯介绍的科技史著作，系戴先生20多年呕心沥血之作。总览全书，跨越古今，纵向分析电机产生的历史背景，电机从诞生到现在各型产品发展历程，横向分门别类介绍多种电机及相关理论、材料、绝缘及电机工业的发展历史与趋势。

全书13章，共计100余万字，1200余幅插图，条理分明，思路清晰，可归结为四大部分：开篇简要介绍电机诞生的历史背景、电机萌芽及改进；主篇详解汽轮发电机、水轮发电机、变压器、交流电动机、直流电机的发展历程与技术进展；然后陈述电机理论、电机用电工材料和电机绝缘发展轨迹；最后部分以广阔的视野介绍世界电机制造公司发展史，包括中国电机工业发展史。文中，古朴之风与现代气息交融，顺势而下，酣畅淋漓，笔墨之香满溢……

一部《电机史话》在手，宛如铺展一幅历史画卷，大开大阖，既有对电机理论、学术的分析，又有对工程实例的介绍；既可一览电机发展历史，也可洞悉有关电机的许多结构与电动机起动、调速的诸多知识，蔚为周到详尽。该书对了解和研究世界电机发展史，掌握电机发展规律，探索电机发展趋势，不无借鉴，并为后学津梁、新到公司的大学生们犹当借此窥一斑而知全豹。

翻阅《电机史话》，图文并茂，内蕴丰富，足见作者良苦用心，文史功底之精深。编写过程中，戴先生沉潜书海，遍查国内外资料，特别是早期资料，甄别考订，去伪存真，最终得以列于读者案头。正如饶芳权院士1992年代序戴先生《科技英语翻译》中评价译文标准时所言，我认为先生的这本专业史话文辞同样做到了“信、达、雅”三条，这在电机制造行业实属难能可贵！

东方电机要努力成为行业巨人，除应拥有一流制造能力外，还需要博学 and 科技文化的支撑，需要既懂专业技术，又中外文兼修，还视野广阔的学者型科技人才。从这个角度来讲，追求高品位学术境界的戴先生及其《电机史话》堪为很好的示范。

陈文学

前言

“连雨不知春去，一晴方觉夏深”，阅毕最后一页，看着即将交付出版社的《电机史话》书稿，多年来萦绕心头的牵挂骤然落地，心情霎时变得轻松。同时，许多挥之不去的往事也涌上心头。

1965年，我从重庆大学电机系毕业分配到东方电机厂（现中国东方电气集团东方电机有限公司），从事技术情报工作。几十年来，徜徉于知识海洋，阅读了大量国内外电机方面的书刊，同时根据工作需要，编写了不少有关电机技术发展的资料。

1975年，英国李约瑟博士（Needham Joseph）著《中国科学技术史》（*Science and Civilisation in China*）第一卷第一分册（中文版）在中国出版。一位世界著名科学家竭其毕生精力致力于中国科技史研究，他的精神给我以极大震撼，也触动了多年来埋藏于心底的夙愿——编写一本关乎世界电机发展史的专著《电机史话》。

老子曰：“图难于其易，为大于其细”，为此，从20世纪80年代开始，我即草拟大纲，依据纲要着力四处收集、整理资料。1997年，《电机史话》第一章在《东方电机》杂志上与读者谋面，以后不断连载，直到2011年。

《电机史话》各章的陆续刊出受到许多电机界老前辈和专家、学者的极大关注和支持。与笔者素昧平生的我国著名电机专家高庆荣先生不但数次发函褒勉，还将沈鸿部长赠与他的美国1905年出版的 *Electricity in Everyday Life* 三卷复印寄来；中国著名电机学者、华中科技大学林金铭教授不仅致函鼓励，而且将意大利友人送他的电机史料转交于我；中国工程院院士饶芳权教授一直力促《电机史话》的编写出版工作，并希望本书能译成英文在国外出版；清华大学王祥珩教授和重庆大学韩力教授不仅给本书以极高赞誉，亦屡为本书呼吁、宣传。

《电机史话》乃世界上第一部以全景视角勾勒电机发明、发展轨迹和电机工业发展历程的专著，也是一部探索电机技术发展规律、描绘电机未来发展和展望电机工业前景的专著。《电机史话》正文共13章，主要内容可分为四大部分：

第一部分（第一章～第三章）介绍电学的历史、电机诞生的背景和各種电机萌芽发明、改进的历程，书中以较大篇幅厘清了电动机、发电机的发明及发展史，对一些国内外颇具争议的问题（如电动机是谁发明的等），作者在参考引证、融会贯通大量资料的基础上，分析并提出了自己的思度与见解。

第二部分（第四章～第八章）系全书重点。它分门别类地探寻汽轮发电机、水轮发电机、变压器、交流感应电动机和直流电机的技术发展史。第四章介绍汽轮发电机从1884年至今的发展历程，深入论述汽轮发电机冷却技术“空冷—氢冷—水冷”的演进过程及各个技术时期的典型产品，介绍汽轮发电机定、转子结构的发展演变过程；第五章中，首先回顾了世界水电开发的历史和水轮机的发明史，然后集中笔力，以1891年至今各个时期的典型水轮发电机为纲，论述水轮发电机技术的发展历程，并对水轮发电机总体布置及定、转子主要结构件的发展演变作了历史性回顾；第六章为变压器发展史，侧重论述变压器的发明及变压器技术的传播，各个时期变压器技术发展历程，以及变压器结构型式、主要结构件和冷却技术的发展；第七章回顾分析了从1887年至今各个时期的交流感应电动机的技术发展及其发展水平，详细追溯了交流感应电动机起动技术和调速技术的发展历史，介绍在电机发展历史上出现过的五花八门的电动机起动、调速方式；第八章论述直流电机技术发展史，介绍了各个时期直流电机的成长过程、结构特点和典型产品。

第三部分（第九章～第十一章）论述与电机技术相关的电机理论、各种电机用材料（软磁材料、硬磁材料和导电材料）以及电机绝缘技术的发展历程。尤其在“电机理论的发展”一章（第九章）中，逐一梳理了直流及交流电路理论、电机电磁场理论和电机基础理论等的发展脉络，介绍了许多重大电机事件，列举了百余名中外学者及其在电机理论方面的贡献。

第四部分包括第十二章和第十三章。第十二章铺陈世界电机制造业的发展历程，回顾了诸如美国GE和

西屋、德国西门子、法国阿尔斯通等 20 多家世界著名电机企业的发展史及其典型电机产品。第十三章（中国电机工业史）是本书又一重点，回顾了中国水力发电设备制造业、汽轮发电机工业和小型电机工业的发展历程，对各个时期的重大水、火电产品作了详尽论述。在第十三章第四节中，作者对东方电机厂、哈尔滨电机厂、上海电机厂等 29 家典型中国电机企业的发展史进行了全方位描述；第五节中则对顾毓琇、恽震、胡汝鼎等中国早期 40 位著名电机学者、电机专家和电机实业家作了一一实录。

此外，本书还包括电机历史年表、中外人名索引和参考文献。

作为一本“史话”类著作，《电机史话》力求编排精妙细致，注重文笔沉稳内敛，首先强调要尊重史料科学性、真实性，广泛援引文献资料，互相印证；对历史事件、人物不虚构，不杜撰，不演义。另一方面，注意文章的可读性与趣味性。为此，全书采取了夹叙夹议的行文方式，在论述技术发展中，将一些重大历史事件、人物及有丰富哲理的小故事信手拈来，自如捭阖。

《电机史话》是一本专业技术史著作，在内容设计安排上，它兼顾了普通读者和专业人员的需要，采取了由浅入深、由一般到专业的章节安排。读者可从书中了解“电”的历史，明了发电机、电动机的发明与发展史，明晰中国电机工业的过去、现在和未来；而相关专业学者和工程技术人员还可以从本书丰富的内容中，汲取前人智慧，启迪未来电机创新活动，推动电机技术的未来发展。

《电机史话》全书 1037 千字，附插图 1000 余幅，表格 77 张，提及中外人物 1000 余名。全书除一部分作者自编、自绘的表格、曲线图之外，书中涉及的资料（包括插图、表格）绝大部分取材于 1980 年以前出版的中外文书刊（见本书参考文献），例如 1930—1962 年的 *AIEE*，1957—1985 年的 *PIEE*，1941—1970 年的 *Westinghouse Engineer*，1957—1984 年《电工技术》（俄文），1948—1980 年 *ETZ-A*（德文），1946—1980 年的《电气学会杂志》（日文），1905—1981 年国外出版的一些英、德、俄、法、日文书籍，1946—1996 年中国编印、出版的大量中文书刊及资料。另外，近年来，随着互联网技术的进步，作者也从互联网上选取了一些图片（主要是人物和近年重大电机产品的图片）。

《电机史话》从酝酿、准备到出版历时 30 余年，从第一章在《东方电机》杂志面世至今也近 20 年。在《电机史话》问世的一路上，得到了许多专家、学者的鼓励与褒掖，凝聚了诸多友士、同仁的支持和奉献，这使得我能够在极为困难的情况坚持不辍，成为筚路蓝缕、创榛辟莽的巨大动力，最终得以完成整部书卷。对此，笔者思载万千，感激不尽……

首先应感谢东方电机有限公司。几十年来，伴随东方电机的发展，我之术业才日臻见长。公司强大的研发实力、良好的工作环境、宽松的学术氛围、和谐的人际关系，以及馆藏丰富的中外文书刊（本书参考的绝大部分书刊、资料均馆藏于东方电机图书馆），方便笔者“致虚极，守静笃”，心无旁骛，潜心伏案。

感谢东电历届有关领导饶芳权、李世生、樊世英、朱元巢、贺建华、李云军和陈文学，感谢你们对《电机史话》编写工作的关心及支持，感谢你们为《电机史话》所倾注的心血。

感谢共事多年的同仁姜茜、张光荣、张利民……，10 多年来，他们参与了《电机史话》文稿的计算机处理和附录编写等工作。

感谢所有参考资料的作者！《电机史话》编写过程中，笔者曾先后参阅了数百本（篇）中外书刊，近年又浏览大量网上资料。可以说，诸位笔耕的“良田”乃《电机史话》的源泉，笔者将铭记你们为《电机史话》所作的贡献。

感谢我的家人，感谢你们对我一路关爱和默默支持、奉献。

最后还要感谢广大读者，感谢你们的厚爱，期待你们对本书的批评与指正。

戴庆忠

2015 年 6 月

目录

第一章 “电”“磁”话古

第一节 中国古代的电学	1
一、“雷”“电”训诂	1
二、中国古代对“雷”“电”的观察和描述	2
三、中国古代对摩擦电的观察和描述	4
第二节 西方古代对“电”的观察	4
第三节 中国古代的磁学	5
一、“磁”字溯源	5
二、中国古代关于磁石性能的观察研究	6
1. 磁石吸铁	6
2. 磁石极性	6
3. 关于磁力不受媒质影响和磁屏蔽作用	6
三、指南针的发明及应用	6
1. 司南	7
2. 指南鱼和指北龟	7
3. 指南针及罗盘	8
4. 指南针、罗盘在航海上的应用	8
第四节 西方古代的磁学	9
第五节 小结	10

第二章 探索者的足迹——从吉尔伯特到法拉第

第一节 电学、磁学泰斗吉尔伯特	11
第二节 捕雷役电的巨人富兰克林	14
第三节 将电学插上数学翅膀的库仑	15
第四节 打开动电大门的伽伐尼和伏特	17
第五节 现代电磁学的奠基人——奥斯特、安培和欧姆	20
第六节 “最大的电学家”法拉第	22
第七节 小结	24

第三章 电机的萌芽及诞生

第一节 前言	25
第二节 直流发电机的诞生	25
一、发电机的始祖——法拉第圆盘式发电机	25
二、“来路不明”的发电机——P. M. 发电机	26

三、往复式发电机雏形——内格罗发电机	26
四、现代直流发电机雏形——皮克西手摇发电机和萨克斯顿手摇发电机	27
五、第一批走出实验室的直流发电机——克拉克手摇发电机和雅可比手摇发电机	27
六、第一台多极直流发电机——施特纳手摇发电机	28
七、第一台多电枢直流发电机——惠斯通手摇发电机	29
八、第一台实用直流发电机——伍尔里奇直流发电机	29
九、开启发电机应用大门的发电机——诺莱-霍姆斯蒸汽机驱动发电机	29
第三节 直流电动机的诞生	31
一、电磁铁发明简史	31
二、电动机的始祖——法拉第电动机	32
三、巴洛星形轮电动机	33
四、斯特金电动机	34
五、捷德里克电动机	34
六、亨利摆动式电动机和内格罗摆动式电动机	34
七、现代旋转电动机的雏形——里奇电动机	35
八、开电动机应用先河的达文波特电动机	36
九、涅瓦河上电动船	37
十、佩奇的电动机和电动机车	37
十一、惠斯通偏心式电动机	38
十二、其他电动机	39
十三、小结	44
第四节 电机的改进	44
一、电机可逆性原理的发现	44
二、电源问题迎刃而解	45
三、励磁方式的进展	46
四、电机结构的改进	47
1. 电枢绕组	47
2. 铁心	49
3. 其他	50
第五节 旋转磁场的发现和感应电动机的诞生	50
一、阿拉果圆盘	51
二、贝利旋转磁力实验	51
三、费拉里斯两相感应电动机	52
四、特斯拉和他的感应电动机	53
五、多利沃-多布罗夫斯基鼠笼式电动机	54
六、其他多相感应电动机	55
七、单相感应电动机	56
第六节 同步电机的诞生	57
一、同步发电机	57
1. 单相同步发电机	57
2. 两相同步发电机	59
3. 三相同步发电机	60
二、同步电动机	62

第四章 汽轮发电机发展史

第一节 发展历程	64
一、初创阶段（1884—1900）	64
二、空气冷却阶段（1901—1925）	66
三、氢气冷却阶段（1926—1954）	69
四、高速发展阶段（1955—1976）	71
五、平稳发展时期（1977—2014）	74
第二节 冷却技术发展史	76
一、空气冷却	76
二、氢气冷却	77
三、水冷却	78
四、蒸发冷却	82
五、超导汽轮发电机	83
第三节 汽轮发电机结构的发展	85
一、转子	85
1. 转轴	85
2. 护环	86
3. 转子绕组	87
4. 风扇	87
二、定子绕组	87
三、隔振结构	88
第四节 励磁系统的发展	89
一、直流发电机励磁方式	89
二、离子励磁方式	89
三、晶闸管励磁方式	90
第五节 汽轮发电机的技术经济性	90
一、额定频率	90
二、额定电压	91
三、单机容量	91
四、损耗及效率	91
五、利用系数、材料消耗率及造价	93
第六节 汽轮发电机发展近况	95
一、20 世纪 80 年代—21 世纪初世界汽轮发电机工业的特点	95
1. 单机容量增长势头受到遏制	95
2. 一些公司汽轮发电机产量急剧下降，生产严重萎缩	95
3. 中国汽轮发电机工业异军突起，领跑全球	95
4. 欧美公司并购重组，形成三大垄断集团	95
5. 核电机组从高速度发展迅速回落，再逐渐复苏	96
6. 空冷汽轮发电机东山再起	96
7. 超高电压汽轮发电机诞生	96
8. 产品“三化”水平提高，模块化设计技术得以推广应用	97
9. 汽轮发电机调峰运行技术发展较快	97
10. 发展在线监测和事故诊断技术，不断提高机组运行可靠性	97

二、汽轮发电机冷却技术	97
三、汽轮发电机结构	97
1. 总体布置	97
2. 定子	97
3. 转子	98
4. 其他	98
四、技术经济性	98
1. 单机容量和电压水平	98
2. 损耗和效率	98
3. 运行可靠性	98

第五章 水轮发电机发展史

第一节 国外水电开发简史	99
一、美国的水电开发	99
二、加拿大的水电开发	103
三、苏联的水电开发	104
四、欧洲的水电开发（不包括苏联）	106
五、日本的水电开发	107
六、其他一些国家的水电开发	108
第二节 水轮机发明小史	109
一、古代水轮和水力机具	109
1. 中国古代的水轮和水力机具	109
2. 西方古代的水轮和水力机具	112
二、现代水轮机的诞生和形成	112
1. 混流式水轮机	114
2. 轴流式水轮机	115
3. 冲击式水轮机	115
4. 斜流式水轮机	116
5. 贯流式水轮机	116
6. 早期水轮机水力设计理论	118
第三节 水轮发电机发展历程	118
一、初创阶段（1891—1920）	118
1. 德国劳芬水电厂水轮发电机	119
2. 交直流之战和美国尼亚加拉瀑布 Adams 电站 5000hp 水轮发电机	119
3. 直流水轮发电机	122
二、技术成长期（1921—1950）	123
1. 加拿大 Queenston 电站水轮发电机	123
2. 苏联第聂伯电站水轮发电机	125
3. 美国大古力第一、第二电厂水轮发电机	125
三、高速发展期（1951—1984）	127
1. 苏联古比雪夫电站 123.5MV·A 水轮发电机	131
2. 瑞典斯托诺福电站 150MV·A 水轮发电机	131

3. 苏联布拉兹克电站 225MW 水轮发电机	132
4. 苏联克拉斯诺雅尔斯克电站 500MW 水轮发电机	132
5. 美国大古力第三电厂 600MW 和 700MW 水轮发电机	133
6. 苏联萨彦 - 舒申斯克电站 640MW 水轮发电机	134
7. 巴西 - 巴拉圭伊泰普电站 700MW 水轮发电机	134
8. 委内瑞拉古里第二电站 630MW 水轮发电机	135
四、平稳发展阶段 (1985—2010)	136
1. 瑞士 Bieudron 电站 465MV·A 高速水轮发电机	136
2. 中国二滩电站 550MW 水轮发电机	139
3. 中国李家峡电站 400MW 蒸发冷却水轮发电机	139
4. 中国三峡电站 700MW 水轮发电机	140
第四节 水轮发电机结构的发展	141
一、总体布置	141
二、定子	145
1. 定子机座	145
2. 定子铁心	147
3. 定子绕组	147
三、机架	147
四、转子	149
1. 转子支架	149
2. 转子磁轭	152
3. 转子磁极	153
4. 转轴	154
五、推力轴承	155
1. 推力轴承支承结构	155
2. 推力轴瓦	159

第六章 变压器发展史

第一节 变压器发明简史	162
一、变压器的雏形——感应线圈	162
二、高兰德—吉布斯二次发电机	165
三、齐伯诺夫斯基—德里—布拉希 (Z-D-B) 变压器	166
四、变压器技术在美国的传播和发展	169
五、三相变压器的诞生	172
六、其他变压器	173
第二节 变压器技术的发展	174
一、变压器技术发展历程	174
1. 探索、初创阶段 (1831—1900)	174
2. 技术成长、成熟阶段 (1901—1950)	175
3. 高速发展阶段 (1951—1980)	177
4. 平稳发展阶段 (1981—2012)	177
二、变压器结构型式的发展	178

三、铁心结构	181
四、线圈及线圈绝缘	182
1. 线圈绝缘	182
2. 线圈结构	183
五、油箱及其他结构件	184
1. 油箱	184
2. 其他结构件	185
六、变压器的冷却	186

第七章 交流感应电动机发展史

第一节 交流感应电动机的萌芽和诞生	189
第二节 交流感应电动机的兴起和发展 (1887—1900)	190
一、美国交流感应电动机技术的兴起和发展	190
二、欧洲交流感应电动机技术的兴起和发展	192
三、产品发展	193
1. 难断的公案——双鼠笼电动机是谁发明的	193
2. 绕线转子感应电动机	193
3. 多转速电动机	194
四、小结	194
第三节 感应电动机技术发展和成熟时期 (1901—1950)	194
一、感应电动机理论的发展	194
二、感应电动机起动技术的发展	194
1. 鼠笼式电动机起动法	194
2. 绕线式电动机起动法	196
3. 鼠笼式电动机和绕线式电动机均可采用的起动法	196
4. 特殊起动法	196
5. 特殊笼型电动机	199
三、感应电动机变速及调速技术的发展	200
1. 变极变速电动机	201
2. 变压调速	201
3. 副边绕组串电阻调速	201
4. 变频调速法	201
5. 双电动机串级调速法	201
6. 亨特串级调速电动机	202
7. 改变相数变速	202
8. 改接发电机的变频变速	202
9. 变相—变频组合调速	203
10. 乔治斯多相换向器式电动机	203
11. 温特—艾切贝格三相换向器式电动机	203
12. 刷移式三相换向器式电动机	203
13. 带磁场调速的多相换向器式电动机	204
14. 克莱默机械串级调速系统和谢尔必斯系统	204

15. 谢尔必斯调速传动系统	205
16. 马沃双转子电动机	205
四、感应电动机结构和冷却技术的发展	206
1. 感应电动机的结构防护型式	206
2. 感应电动机结构的发展	206
3. 感应电动机冷却技术的发展	207
五、感应电动机产品的发展	208
1. 感应电动机实现系列化、规范化及标准化	208
2. 研制成功一批大型电动机	209
3. 电动机体积缩小, 重量减轻	209
第四节 感应电动机技术平稳发展时期 (1951—2010)	211
一、交流电动机理论的发展	211
1. 交流电机绕组理论的研究和应用	211
2. 感应电动机杂散损耗的研究	212
3. 感应电动机调速、控制技术的研究	213
4. 通风发热冷却技术	214
二、产品发展特点及趋势	214
1. 增加电动机品种, 提高电动机的适用性和专用性	214
2. 缩小体积, 减轻质量	215
3. 电动机效率的改善和高效率电动机	215
4. 机电一体化和电动机的智能化	215
5. 提高运行可靠性, 延长使用寿命	215
第五节 小结	216

第八章 直流电机发展史

第一节 有关直流电机萌芽和诞生的早期事件	217
一、直流电动机	217
二、直流发电机	217
三、直流发电机和直流电动机	217
第二节 直流电机成长、定型时期 (1821—1895)	218
一、直流电机理论的发展	218
二、直流电机结构的改进	219
1. 电枢	219
2. 磁极	221
3. 轴	222
4. 电刷	222
三、产品发展	222
1. 直流发电机	222
2. 直流电动机	225
第三节 直流电机平稳发展时期 (1896—1960)	226
一、概述	226
二、直流电机换向理论的发展	227

三、直流电机技术的发展	227
1. 绝缘材料和电工钢片的进展	227
2. 直流电机结构的改进	227
3. 通风冷却	228
四、产品开发	228
第四节 直流电动机图变发展阶段 (1961—2010)	232
一、与时俱进求生存求发展	232
二、直流电动机产品发展	233
1. 中小型直流电动机	233
2. 起重冶金用直流电动机	234
3. 无刷直流电动机	234
4. 大型直流电动机	235
第五节 小结	237

第九章 电机理论的发展

第一节 电路理论及电机电磁场理论的发展	238
一、电路理论的发展	238
1. 电路理论的形成	238
2. 交流电路计算理论的进展	238
二、电机电磁场理论的发展	240
1. 麦克斯韦电磁场理论的建立	240
2. 电机电磁场理论的研究进展	241
3. 中国学者的贡献	243
第二节 电机基础理论的进展	243
一、电机原理探索	243
二、电机理论的探索和形成	244
1. 直流电机理论的探索及形成	244
2. 交流电机理论的形成	246
三、电机统一理论和原型电机	248
四、机电能量转换	249
五、电机数值计算及仿真	250
第三节 电子电机学的建立	250
第四节 直流电机换向理论的发展	251
第五节 电子计算机在电机设计计算中的应用和电机 CAD	252
一、计算机在电机设计计算中的应用	252
1. 设计计算	252
2. 设计综合	253
3. 优化设计	253
二、计算机辅助设计 (CAD)	253

第十章 电机材料的发展

第一节 软磁材料	255
一、纯铁、软钢及无硅钢	255
二、硅钢片	256
1. 热轧硅钢片	256
2. 冷轧无取向硅钢片	257
3. 冷轧取向硅钢片	257
三、铁镍合金 (坡莫合金)	260
四、铁铝合金	260
五、非晶合金	262
六、微晶合金	263
七、铁心钢片绝缘层	263
第二节 永磁材料	264
一、天然磁石	264
二、碳钢	264
三、钨钢	264
四、铬钢	264
五、钴钢	264
六、铝镍钴磁石	265
七、铁氧体永磁材料	266
八、MT 磁钢	267
九、非铁合金永磁材料	267
十、稀土永磁材料	268
第三节 导电材料	269
一、铜	269
二、铝	271
1. 铝的发明简史	271
2. 铝作为导电材料在电机中的应用	272
三、超导电材料	274

第十一章 电机绝缘的发展

第一节 电机绝缘材料	277
一、电机绝缘材料的发展历程	277
1. 电绝缘材料的萌芽 (1890 年以前)	277
2. 电机绝缘材料的成长、成熟期 (1890—1945)	277
3. 电机绝缘材料大发展时期 (1946—1980)	278
4. 电机绝缘材料平稳发展时期 (1981 年以后)	278
二、气体绝缘材料	278
三、液体绝缘材料	279
1. 矿物油	279
2. 合成油	279