

Global Energy Interconnection Personnel
Training in Electrical Engineering
Reform and Practice

面向全球能源互联的 电气工程人才培养

改革与实践

张恒旭 赵 昱 王日照 编著



科学出版社

面向全球能源互联的电气工程 人才培养改革与实践

张恒旭 赵 昱 王日照 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

构建全球能源互联网,不仅需要大量传统电气工程专业人才,而且迫切需要具有国际视野、了解地缘政治和国际关系、掌握国际贸易和法律、熟悉能源和环境现状与发展趋势的领军人才。为支撑全球能源互联、以清洁和绿色方式满足全球电力需求,依托全球能源互联网(山东)协同创新中心,山东大学致力于探索高层次电气工程人才培养新模式,提出了“一个中心、两条主线、三个体系、四个抓手”的总体培养思路,全方位进行人才培养体系改革和实践。

本书深入探讨电气工程领域人才培养现状,剖析全球能源互联网构建对高层次电气工程人才需求的特殊性,形成电气工程领域高层次人才培养的全方位改革方案,希望为全球能源互联背景下电气工程人才培养模式开拓思路、提供借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

面向全球能源互联的电气工程人才培养改革与实践/张恒旭,赵罡,王日照编著. —北京:科学出版社,2017.6

ISBN 978-7-03-053711-9

I. ①面… II. ①张…②赵…③王… III. ①电气工程—人才培养—教育改革—研究—中国 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第138035号

责任编辑:范运年/责任校对:桂伟利

责任印制:张 伟/封面设计:铭轩堂

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年6月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017年6月第一次印刷 印张:15

字数:301 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

能源关系国计民生和人类福祉。自工业化以来近 300 年的现代能源工业发展期间,化石能源大量开发带来的资源紧张、环境污染、气候变化等问题日益突出,严重威胁人类生存和可持续发展。传统的能源发展方式难以为继,清洁能源取代化石能源将是大势所趋。为统筹解决能源和环境问题,推进能源革命,全球能源互联网应运而生。2015 年 9 月 26 日,习近平主席出席联合国发展峰会,并发表题为《谋共同永续发展做合作共赢伙伴》的重要讲话,倡议探讨构建全球能源互联网,推动以清洁和绿色方式满足全球电力需求。2016 年 3 月 30 日,联合国副秘书长吴洪波在全球能源互联网大会致辞时表示,构建全球能源互联网,符合全人类的共同利益,联合国将积极组织有关各方,共同推动全球能源互联网创新发展。

全球能源互联网恢弘构想的实现将永久解决人类能源和环境问题,然而其实现也面临多方面挑战,需要多学科、多单位联合攻关,并对人才培养提出了新的需求。构建全球能源互联网,不仅需要大量传统电气工程专业人才,更迫切需要具有国际视野,熟悉国际政治、能源贸易和法律的领军人才。因此,探讨并改革目前我国电气工程人才培养中的不合理因素,制定适应全球能源互联需求的人才培养框架是当务之急。

依托全球能源互联网(山东)协同创新中心,山东大学电气工程学院一直致力于探索电气工程人才培养新模式。本书关于我国电气工程学科现状分析、人才培养新需求和人才培养框架建议,希望能够为适应全球能源互联网战略背景下的人才培养改革提供思路和建议。

全书分为 9 章。第 1 章全面回顾电气工程学科人才培养的演变历程,首先对于“人才”的发展及现代化思考进行阐述;其次从理论基础、电机发展和发/输电三方面总结电气工程学科的诞生过程;然后对国内外的电气工程学科设置情况进行回顾;最后介绍人才培养模式的内涵及发展。第 2 章首先介绍全球能源发展史,总结能源与工业革命和社会发展的密切联系;其次描述当前全球能源现状及构建全球能源互联网大背景下未来全球能源的发展趋势。第 3~5 章分别从专业设置、培养目标及培养体系三方面分析我国电气工程学科人才培养现状,总结特点、剖析问题,并对专业设置、培养目标和培养体系提出了相应的设计依据。第 6 章首先分析美国 9 所著名高校的电气工程专业本科生的培养目标、专业设置及课程体系,并与我国电气工程学科人才培养模式进行对比分析,总结美国电气工程人才

培养的有益启示。第7章综合全球能源发展和电气工程人才培养现状,探讨全球能源互联大背景下的电气工程人才培养新需求,提出“实现一个总体目标,具备两种全球观,掌握三大知识体系,拥有国际视野”的需求框架。第8章综合电气工程人才培养现状和人才培养新需求,提出“一个中心、两条主线、三个体系、四个抓手”电气工程学科人才培养模式的改革思路。第9章首先介绍山东大学电气工程及其自动化专业培养方案,然后结合山东大学电气工程学科人才培养模式的实际情况,提出电气工程人才培养探索的具体改革措施。

由于编者的水平有限,以及我国目前处于构建全球能源互联网的初级阶段,对于新型电气工程人才的新需求还有待进一步摸索,本书的结构体系和内容取舍不见得完全合理,同时书中也难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

本书受山东省高校教学改革重点项目“面向国际化的卓越电气工程人才培养综合改革”资助,特此感谢!

编 者

2017年4月

目 录

前言

第 1 章 电气工程学科人才培养演变	1
1.1 人才定义的发展及人才的内涵	1
1.1.1 人才定义发展回顾	1
1.1.2 人才的内涵	3
1.2 电气工程学科高等教育回顾	3
1.2.1 现代高校职能与使命	3
1.2.2 电气工程学科的产生	4
1.2.3 电气工程高等教育的发展历程	9
1.3 电气工程人才培养模式的内涵及演变历程	12
1.3.1 人才培养模式的内涵	12
1.3.2 人才培养模式的提出与发展	14
1.3.3 电气工程专业人才培养模式的演变历程及规律	16
1.4 本章小结	19
参考文献	19
第 2 章 全球能源发展与全球能源互联网	20
2.1 人类能源利用简史	20
2.1.1 薪柴时代	20
2.1.2 煤炭时代	21
2.1.3 油气时代	22
2.1.4 新能源浪潮	23
2.2 能源与工业革命	24
2.2.1 三次工业革命发展历程	24
2.2.2 能源与工业革命的关系	25
2.3 全球能源发展现状及趋势	27
2.3.1 化石能源开发与消费	27
2.3.2 清洁能源开发与消费	34
2.3.3 电能消费与电网建设	39
2.3.4 全球能源发展面临的趋势	40
2.4 全球能源互联网	42
2.4.1 关键要素	43

2.4.2 总体布局	44
2.4.3 基本原则	44
2.4.4 重要特征	45
2.4.5 主要功能	46
2.5 本章小结	46
参考文献	47
第3章 电气工程专业设置现状	48
3.1 当前我国电气工程专业设置现状	48
3.1.1 我国本科专业设置现状	48
3.1.2 我国高校电气工程专业设置现状	51
3.2 我国电气工程专业设置发展趋势	57
3.3 我国电气工程专业的发展策略以及建议	59
3.3.1 电气工程专业设置发展遵循原则	59
3.3.2 对我国电气工程专业设置的反思以及改革策略	60
3.4 本章小结	62
参考文献	62
第4章 我国电气工程学科人才培养目标现状	63
4.1 人才培养目标的变迁	63
4.2 现行人才培养目标	64
4.3 人才培养目标的现状	65
4.3.1 高校人才培养目标	65
4.3.2 人才培养目标现状分析	68
4.4 关于培养目标的问题与思考	70
4.5 人才培养目标定位与设计	71
4.6 本章小结	72
参考文献	72
第5章 电气工程人才培养体系现状	73
5.1 课程设置	73
5.1.1 课程设置现状	73
5.1.2 我国高校课程设置特点	74
5.1.3 关于课程设置的问题与思考	75
5.2 理论教学	77
5.2.1 关于理论教学的问题与思考	77
5.2.2 构建复合式理论教学体系	78
5.3 构建合理的课程体系	79

5.4 实践教学	82
5.4.1 实践教学现状	82
5.4.2 实践教学存在的问题	83
5.4.3 实践教学体系的构建	87
5.5 我国代表性高校人才培养体系	88
5.5.1 清华大学	89
5.5.2 其他特色院校	92
5.6 人才培养体系构建的原则	97
5.7 本章小结	100
参考文献	100
第6章 国内外电气工程人才培养差异	101
6.1 发达国家人才培养特色	101
6.1.1 电气工程学科培养目标	101
6.1.2 电气工程专业设置	101
6.1.3 课程分类及学分要求	103
6.1.4 各校课程设置	104
6.1.5 课程设置分析	106
6.2 国内外人才培养对比分析	110
6.2.1 专业设置	110
6.2.2 课程设置	111
6.2.3 教学方式和评价体系	112
6.3 美国电气工程人才培养的有益启示	114
6.4 本章小结	114
参考文献	115
第7章 全球能源互联网人才培养新需求	116
7.1 当前电气工程人才培养情况	116
7.1.1 电力市场及企业发展概况	116
7.1.2 就业形势和前景	119
7.2 实现一个总体目标	122
7.2.1 复合型电气工程人才的基本内涵	122
7.2.2 复合型人才的特征	124
7.2.3 培养复合型电气工程人才的背景	125
7.2.4 培养复合型电气工程人才的社会需求	126
7.2.5 复合型人才培养现状	127
7.3 具备两种全球观	128
7.3.1 全球能源观	128

7.3.2 全球环境观	133
7.3.3 将全球能源观与全球环境观相结合培养当代电气工程人才	137
7.4 掌握三大知识体系	138
7.4.1 传统电气工程知识及实践	138
7.4.2 全球能源互联网前沿技术	139
7.4.3 国际政治、经济和法律理论	142
7.5 拥有国际视野	149
7.5.1 电气工程人才国际化视野培养现状	149
7.5.2 全球能源互联网形势下培养学生国际视野的必要性	151
7.5.3 从国际视野到国际化	153
7.6 本章小结	154
参考文献	154
第8章 适应全球能源互联需求的人才培养模式改革思路	155
8.1 一个中心	155
8.1.1 人才的培养机制应有针对性	156
8.1.2 人才的培养机制应有有效性	157
8.2 两条主线	160
8.2.1 创新能力与实践能力的培养	160
8.2.2 综合素质的全面提升	166
8.3 三个体系	172
8.3.1 基础理论与前沿技术相结合	172
8.3.2 两大全球观	180
8.3.3 国际政经关系理论和法律	184
8.4 四个抓手	190
8.4.1 课程体系改革	190
8.4.2 强化专业教学	191
8.4.3 构建高水平师资队伍	193
8.4.4 注重国际化与国际视野	194
8.5 本章小结	199
参考文献	199
第9章 人才培养模式改革的具体措施建议——以山东大学为例	201
9.1 山东大学电气工程专业教育基本情况	201
9.1.1 电气工程专业的发展与概况	201
9.1.2 人才培养的基本情况	202
9.1.3 师资队伍	203
9.1.4 山东大学电气工程及其自动化专业的特色	204

9.2 卓越工程师培养计划	204
9.2.1 培养模式	204
9.2.2 培养方案	205
9.2.3 本科课程体系	211
9.2.4 企业培养计划	216
9.3 山东大学电气工程人才培养新探索	220
9.3.1 “一核心双符合”的目标设计	220
9.3.2 改革课程体系, 优化知识结构	221
9.3.3 开放、综合、研究环境下的教学创新	223
9.3.4 切实强化实践性教学	226
9.4 本章小结	228
参考文献	228

第1章 电气工程学科人才培养演变

1.1 人才定义的发展及人才的内涵

人才的定义一直是从古至今人们思考和探讨的问题，而对人才的内涵和特征的探讨，既是人才培养理论研究的起点，也制约着人才培养、开发、使用、管理等一系列实践活动。改革开放近 40 年来，中国人才培养理论研究取得了丰硕成果，为中国改革开放和现代化建设作出了突出贡献。纵观人才学的发展历史，人才定义是最为根本的问题，它既是人才学理论研究的逻辑起点，也制约着人才培养、开发、使用、管理等一系列实践活动^[1]。现就人才概念的历史发展探讨人才的内涵和特征。

1.1.1 人才定义发展回顾

我国古代对“什么是人才”这个问题有过很多说法，但是始终没有上升到理论和学术高度。直到 20 世纪 70 年代初，这个问题在人才学的创立过程中，才被提升到理论研究高度。纵观人才定义的发展，大致分为以下三个阶段。

1) 起始阶段

1979 年 11 月，在中国首届人才学术讨论会上，研究人才学的专家学者对人才的定义提出了许多看法，这一阶段人才定义理论与人才学研究相伴而生，对于人才的定义呈现出百家争鸣的局面，其中形成了两种具有代表性的人才定义。

雷祯孝和蒲克在《立当建立一门“人才学”》一文中指出，人才是指“那些用自己的创造性劳动成果，对认识自然改造自然，对认识社会改造社会，对人类进步作出了某种较大贡献的人”。这个人才定义首次揭示了人才五个方面的重要特征：一是人才的劳动性质为创造性；二是人才劳动价值的超常性；三是以贡献评价人才；四是人才劳动的方向性；五是人才劳动的领域为自然和社会。同期另一个具有代表性的人才定义由人才学重要创始人王通讯提出，他认为“人才就是为社会发展和人类进步进行了创造性劳动，在某一领域、某一行业或某一工作上作出较大贡献的人”。相较于前者，该定义强调了人才劳动创造性的同时并未明确指出是否要有具体的成果，简言之，进行了创造性劳动，但由于各种因素被埋没，也该归为人才的范畴。

这一阶段，国内学术界对人才的定义还没有形成比较一致的观点。

2) 发展阶段

20 世纪 90 年代,对人才的定义有了新发展,其中以叶忠海的定义最具代表性。他认为“人才,是指那些在各种社会实践活动中,具有一定的专门知识、较高的技术和能力,能够以自己创造性劳动,对认识、改造自然和社会,对人类进步作出了某种较大贡献的人”。

21 世纪初期,在中共中央人才工作会的积极推动下,“人才是第一资源”的观念深入人心,人才的定义继续深化。这一时期,罗洪铁的人才定义最具代表性。他指出“人才是指那些具有良好的内在素质,能够在一定条件下通过不断地取得创造性劳动成果,对社会的进步和发展产生了较大影响的人”。他的定义中包括四个基本点:一是人才的内在素质要高,但不一定要超常;二是人才的活动必须基于一定的自然和社会条件;三是衡量人才的外在标准为能通过主观能动性的发挥取得创造性成果;四是人才的贡献要大于常人,将成果转化为推动社会进步的动力。

在这个阶段,研究者对人才概念的研究逐步深化,虽然与起始阶段的主流定义在基本内涵上是一脉相承的,但已经注意到了人才问题的复杂性,对人才的社会性、相对性、进步性等问题作了比较深入的探讨,已经注意到人才的层次问题,人才的门槛开始降低。

3) 现代化思考

2003 年至今,科学人才观提出,主流性人才定义内涵得到中央确认。2003 年 12 月 26 日颁布的《中共中央国务院关于加强人才工作的决定》(简称《人才工作决定》)直接汲取了人才学研究的理论成果,形成了科学人才观,对具体的社会主义人才作了阐述:“只要具有一定的知识或技能,能够进行创造性劳动,为推进社会主义物质文明、政治文明、精神文明建设,在建设中国特色社会主义伟大事业中作出积极贡献,都是党和国家需要的人才。”这是对传统人才概念的重大突破,体现了科学的人才观,对人才发展具有重大意义,也为社会各方面所接受。科学人才观认为,人才存在于人民群众之中。同时还强调,“要坚持德才兼备原则,把品德、知识、能力和业绩作为衡量人才的主要标准,不唯学历、不唯职称、不唯资历、不唯身份,不拘一格选人才”。鼓励人人都作贡献,人人都能成才。可见,《人才工作决定》充分认可人才的素质良好性、劳动创造性、贡献的较大性、作用进步性及社会历史性等本质特征。这标志着人才学中具有代表性的人才定义在国家权威文件中得到确认。

从人才概念的发展看,人才定义经历了一个内涵不断丰富、外延不断扩展的过程。在各个不同阶段,从事人才学研究的专家学者对人才概念的界定,使人才概念逐步得到丰富和发展,这些都为科学人才观的提出准备了必要条件。而科学人才观的提出,使人们对人才成长的看法经历了由少数人能够成才到人人通过努

力都能成才的革命性变化,对我国处于变革时期的人才工作起到了十分重要的推动作用,同时,也为进一步深化对人才概念的理论探讨奠定了基础。

1.1.2 人才的内涵

通过对人才概念发展的历史回顾,人才的定义虽不相同,但却从不同角度揭示了人才的内涵,归纳起来主要强调以下三方面内容。

1) 强调时代性和社会性

人才是一定社会历史条件下的人才,离开了社会和历史条件,人才无从谈起。受时代和社会条件的限制,人才发挥的作用会受到不同程度的约束,过去的人才和现在的人才的贡献不能相提并论。马克思主义学说指出“人民群众是一个历史的概念。在不同的国家地区和历史时期赋予不同的内涵”。人才作为人民群众的一部分,固然具有这种属性。

2) 关注内在素质

一般来说,人才是在某一或某几方面有特殊优越素质的人。这里的素质区别于狭隘的德智体美劳等范畴,是广义的素质。一个人的内在素质越好,他就越能凭借良好素质从事创造性劳动。这种定义强调人才内在素质的优化,有助于认识人才培养的首要任务,即在环境影响下通过教育和社会实践的锻炼,提高其素质。只有素质提高了,劳动成果的价值才会大,对社会的贡献才能显著。

3) 劳动成果的创造性

创造性也是广义的概念,包括物质和精神层面。人的劳动按其性质可分为模仿性劳动、重复性劳动和创造性劳动。常人的劳动属于前两者,人才则由于具备优越的内在素质,决定了他们能站在前人的肩膀上有所创造。劳动成果的创造性强调人才的劳动不同于一般模仿性和重复性的劳动,人才的劳动成果是创造性的,贡献要远大于常人。

综合学术界对人才定义研究成果精华,本书对人才定义表述为:“人才就是在一定历史条件下的各类社会实践活动中,具有良好素质并能通过自己的主观努力以创造性的劳动,对人类社会发展和进步作出某种较大贡献的人。”这一人才定义包含人才的时代性、才能性、实践性、创造性、贡献性、进步性及广泛性和相对性等基本特征。

1.2 电气工程学科高等教育回顾

1.2.1 现代高校职能与使命

大学的起源可以追溯到古希腊的“学园”,甚至还要早。现代大学起源于欧洲

中世纪,最初是一种带有行会性质的教师和学生聚合在一起的专门从事教学的组织。中世纪的大学从某种程度上讲是一个“象牙塔”,不以研究作为组织目标,其主要职能就是培养人才。因此,19世纪以前的大学也称为教学型大学。19世纪开始,西方自然科学得到巨大的发展,创新知识成为大学的新职能,大学从普遍学问的传授转移到关注新知识的探索。其标志性事件是1810年柏林大学的诞生,它倡导大学教育应当与科学研究相结合,其办学理念彻底改变了中世纪大学的传统办学模式。继柏林大学之后,许多大学陆续将教学与科研相结合,发展科学成为大学的第二职能。后来居上的美国约翰·霍普金斯大学把科学研究的职能推向了极点,被视为现代研究型大学的鼻祖。20世纪初叶,大学的社会服务意识逐渐凸显出来,大学不再是远离社会生产实际的“象牙塔”,而是从社会的边缘走向社会的中心。美国的高等教育促使近代大学最终迈出“象牙塔”,将培养人才、科学研究和为社会服务三大职能整合为“三位一体”。20世纪60年代,克拉克·克尔提出了“多元化巨型大学”的概念,并把大学比作“一座变化无穷的城市”,从而把大学直接为社会服务的职能发展到了极限。

概言之,培养人才、发展科学和为社会服务构成高校的职能,这三项职能并不是从大学产生之时就同时存在的,而是随着社会进步逐渐发展而来的。培养人才这个职能从近代大学一产生就有,是大学的第一职能;科学研究则成为大学的第二职能;大学的第三职能即为社会服务。虽然大学职能随时代而变化,但现代大学的基本职能依然是培养人才,培养人才作为大学固有使命,始终是大学生存和发展的基础,是区别于其他社会机构的本质特征。“如果把直接的社会服务放在第一位,高等学校就会变成服务社,而若把科研放在第一位,又会使高等学校成为变相的科研机构。”《中华人民共和国高等教育法》也明确指出,我国“高等学校应当以培养人才为中心”。人才培养定位不仅是学校培养定位的逻辑起点,甚至可以说学校培养定位一定程度上就是人才培养目标的定位。可见,人才培养定位是学校定位的核心。因此,高等学校在设置培养定位时,要把人才培养目标作为首要依据,作为思考培养过程中一切问题的起点,高等学校定位的主要依据应当是高等学校人才培养的职能,要依据人才培养目标对高校层次、类型进行合理的划分。

1.2.2 电气工程学科的产生

1) 理论基础

自然界中的雷电现象使人类对电有了最早、最朴素的认识,而吸铁石是人类对磁现象的最早观察。2000多年前,古希腊和中国的古代文献都记载了琥珀摩擦后吸引细微物体的静电吸引现象和天然磁石吸铁的现象。战国时期,出现了用磁

石指示方向的仪器——司南，成为中国古代四大发明之一，图 1-1 是后人根据描述复制的司南模型。到了宋代，用磁铁制成的指南针得到了广泛的应用^[2]。

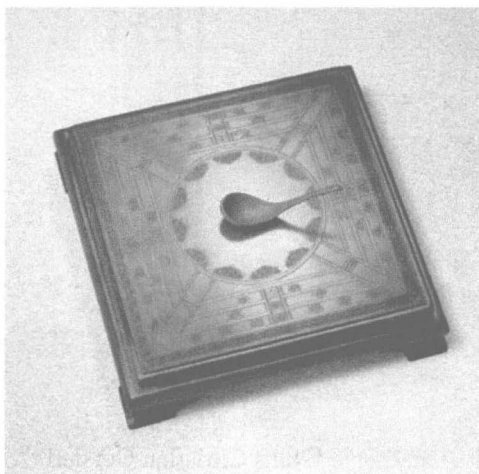


图 1-1 司南模型

近代电磁学的研究可以认为开始于英国的吉尔伯特(William Gilbert)，他是“electricity(电)”这一名词的创始人。1600 年，他用拉丁文发表了《论磁石》一书，系统地讨论了地球的磁性，认为地球是一个大磁石，还提出可以用磁倾角判断地球上各处的纬度。

随后，英国人格雷(Stephen Gary)发现了电的导体和绝缘体。法国人杜斐(Charles du Fay)是当时深入探讨静电现象的第一人，他于 1733 年由众多的实验中发现，几乎所有的物质都可以摩擦生电。他更仔细地发现，所产生的电有两种，带同种电荷会互相排斥，带异种电荷互相吸引。

1752 年，美国人富兰克林(Benjamin Franklin)通过著名的风筝实验证明电在自然界中存在，并首次将正、负号用于电学中。随后，英国化学家普利斯特里(Joseph Priestley)发现了电荷间的平方反比律；法国物理学家库仑(Coulomb)找出了在真空中两个点电荷之间的相互作用力与两点电荷所带的电量及它们之间距离的定量关系，这就是静电学中的库仑定律。库仑定律是电学发展史上的第一个定量规律，它使电学的研究从定性进入定量阶段，是电学史上重要的里程碑。

1800 年，意大利物理学家伏特(Alessandro Volta)发明了能够产生稳定电流的伏打电池，从而使化学能可以转化为源源不断输出的电能。这一装置使电不再是微弱的或转瞬即逝的现象，从而让电学迈出了静电学的狭小范围，极大地推动了电学的研究与应用。图 1-2 为伏打电池。

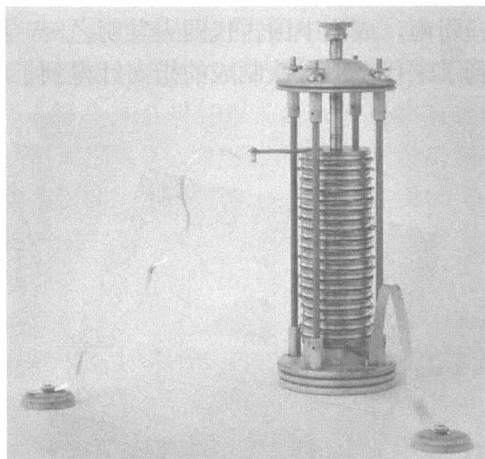


图 1-2 伏打电池

1820 年,丹麦物理学家奥斯特(Hans Christian Oersted)发现载流导线的电流会产生作用于磁针,使磁针改变方向,首次发现电和磁之间的相互作用。奥斯特对磁效应的解释虽然不完全正确,但这并不影响这一实验的重大意义,它证明了电和磁之间的相互转化,为电磁学的发展打下基础。奥斯特发现电流磁效应的实验引起了法国科学家安培(Andre Marie Ampere)的注意,使他长期信奉库仑关于电、磁没有关系的信条受到极大震撼。两周后,安培提出了磁针转动方向和电流方向的关系及右手定则的报告,后来称为安培定则,安培定则成为电动力学的基础。1827 年,德国科学家欧姆(Georg Simon Ohm)用公式描述了电流、电压、电阻之间的关系,创立了电学最基本的定律——欧姆定律。

1831 年,英国科学家法拉第(Michael Faraday)成功地进行了“电磁感应”实验,并在此基础上创立了电磁感应定律。至此,电与磁之间的统一关系终于被人类所认识,电磁学从此诞生。19 世纪 60 年代,英国物理学家麦克斯韦在前人成就的基础上,建立了统一的经典电磁场理论和光的电磁理论,预言了电磁波的存在。1873 年,麦克斯韦完成了划时代的科学理论著作——《电磁学通论》,这是一部可以同牛顿的《自然哲学的数学原理》相媲美的著作,奠定了广泛应用电磁技术的理论基础。

1881 年,在巴黎博览会上,电气科学家与工程师统一了电学单位,一致同意采用早期为电气科学与工程作出卓越贡献的科学家的姓作为电学单位名称,从而使电气工程成为在全世界范围快速传播的一门新兴学科。

2) 电机发展

在生产需要的直接推动下,具有实用价值的发电机和电动机相继问世,在应用中不断得到改进和完善。发电机和电动机的发明是交叉进行的。

1821年9月,法拉第发现通电的导线能绕永久磁铁旋转以及磁体绕载流导体的运动,第一次实现了电磁运动向机械运动的转换,从而建立了电动机的实验室模型,其原理图如图1-3所示。1831年,法拉第发现了电磁感应现象之后不久,他又利用电磁感应发明了世界上第一部感应发电机模型——法拉第盘,如图1-4所示。

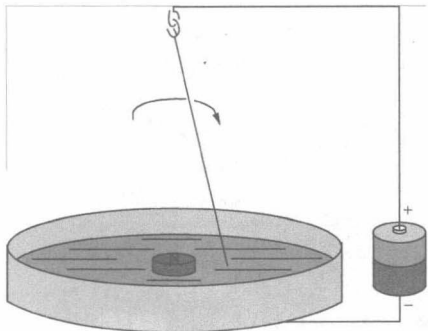


图 1-3 第一台电动机原理图

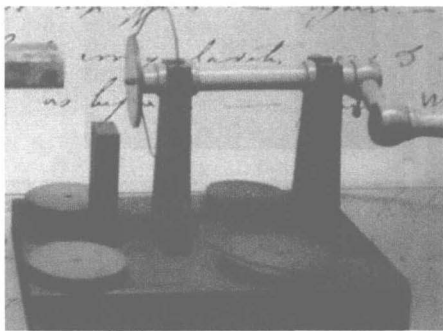


图 1-4 法拉第盘发电机原理图

初始阶段的发电机是永磁式发电机,即用永久磁铁作为场磁铁。1832年,法国科学家皮克斯(Hippolyte Pixii)在法拉第的影响下发明了世界上第一台实用的直流发电机模型,如图1-5所示。1845年,英国物理学家惠斯通(Charles Wheatstone)通过外加伏打电池电源给线圈励磁,用电磁铁取代永久磁铁,随后又改进了电枢绕组,从而制成了第一台电磁铁发电机。1866年,德国科学家西门子(Ernst Werner von Siemens)制成第一台自激式发电机,如图1-6所示。西门子发电机的成功标志着制造大容量发电机技术的突破,在电学发展史上具有划时代的意义。

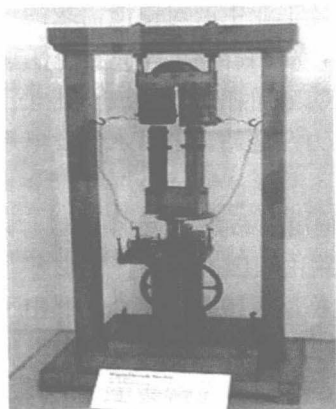


图 1-5 皮克斯发明的直流发电机

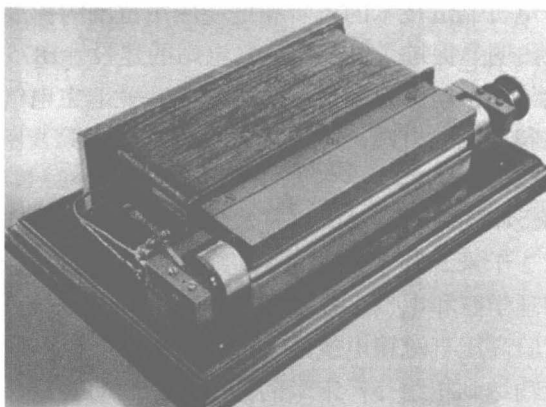


图 1-6 西门子发明的自激式发电机

俄国物理学家雅可比(Moritz Hermann von Jacobi)在1834年发明的功率为15