



学科发展战略研究报告

电气科学与工程学科 发展战略研究报告

► (2016~2020)

国家自然科学基金委员会
工程与材料科学部



科学出版社

学

报告

电气科学与工程学科 发展战略研究报告 (2016~2020)

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部

科学出版社

北 京

内 容 简 介

“十三五”时期是我国全面建设小康社会和建设创新型国家的关键时期。为了繁荣基础研究、提升原始创新能力和服务国家创新驱动发展的战略部署,亟须深入开展学科发展战略研究,科学谋划国家自然科学基金“十三五”的发展。根据国家自然科学基金委员会的统一部署,百余位活跃在电气科学与工程领域科研一线的专家学者站在科学技术发展的高度,从国家利益出发,履行国家自然科学基金委员会“筑探索之渊,浚创新之源,延交叉之远,遂人才之愿”的战略使命,展开历时两年多的战略研讨,完成了本书。本书既瞄准国家重大战略需求,又密切结合国际科技前沿发展,立足电气科学与工程学科的基本任务,将学科的传统内涵和创新发展方向相结合,其内容具有战略性、前瞻性和引领性。

全书共16章,通过对电气科学与工程学科“全景式”地貌图的勾勒以及对学科战略地位与总体发展态势的分析,提出了学科发展布局的指导思想,部署了学科未来5年乃至10年的优先资助领域,系统地阐述了学科的研究范围、内涵、现状和发展趋势,明确了重大科学问题、重点研究领域和发展规划。

本书可为国家自然科学基金委员会工程与材料科学部工程科学五处电气科学与工程学科遴选未来5年乃至10年的优先资助方向提供重要依据,也可供高等院校、科研院所等机构从事自然科学研究工作的科研人员以及参与科技管理和科技政策研究的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气科学与工程学科发展战略研究报告:2016~2020 / 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部编著. —北京:科学出版社, 2017. 6

ISBN 978-7-03-052963-3

I. ①电… II. ①国… III. ①电气工程-学科发展-研究报告-中国-2016-2020 IV. ①TM11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 116452 号

责任编辑:刘宝莉 王 苏 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩 / 封面设计:照 望

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>

中国科学院印刷厂印刷

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:24 3/4

字数:500 000

定价:145.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《电气科学与工程学科发展战略研究报告(2016~2020)》

组织委员会

顾问组:

组 长:周孝信

成 员:卢 强 王锡凡 余贻鑫 韩英铎 李崇坚 邱爱慈 潘 垣 雷清泉

专家组:

组 长:程时杰 马伟明

成 员:夏长亮 王成山 李盛涛 张 波¹⁾ 肖立业 崔 翔 何怡刚 程 明

李立毅 郑 萍 郭剑波 曹一家 鞠 平 康重庆 梅生伟 孙宏斌

荣命哲 廖瑞金 梁曦东 曾 嵘 何金良 贾申利 张冠军 吴广宁

徐殿国 盛 况 李路明 王秋良 李 亮 马衍伟

秘书组:

组 长:文劲宇

成 员:王 东 胡家兵 毕天姝 邵 涛 李武华 李兴文 谢小荣 花 为

张 波²⁾ 史宗谦 陈皓勇

1) 华南理工大学

2) 清华大学

《电气科学与工程学科发展战略研究报告(2016~2020)》

编著委员会

工作组:

组 长:程时杰 马伟明
成 员:夏长亮 王成山 李盛涛 张 波¹⁾ 崔 翔 何怡刚 肖立业
王 东 杨庆新 宋 涛 唐跃进 王志峰

撰写组:

第 1 章:夏长亮 王成山 李盛涛 张 波¹⁾ 肖立业 文劲宇 王 东
胡家兵 毕天姝 邵 涛 李武华 李兴文 谢小荣 花 为
张 波²⁾ 史宗谦

第 2 章:夏长亮 李立毅 郑 萍 花 为

第 3 章:王成山 毕天姝 陈皓勇 程浩忠 郭庆来 李 斌 吴 峰
谢小荣

第 4 章:李盛涛 曹云东 陈维江 成永红 崔 翔 何金良 贾申利
李成榕 李 奎 梁曦东 廖瑞金 刘文凤 卢铁兵 齐 磊
荣命哲 史宗谦 吴 锴 曾 嵘 张卫东 张冶文 邹积岩

第 5 章:邵 涛 章 程 戴 栋 李和平 刘定新 卢新培 罗海云
杨 勇 张冠军 严 萍 穆海宝

第 6 章:邱爱慈 丛培天 林福昌 李兴文 王 勤 王新新 吴 坚
章林文 邹晓兵

第 7 章:张 波¹⁾ 陈恒林 胡家兵 李 虹 李武华 沙德尚 盛 况
王 俊 吴新科 杨 旭 张之梁 宁圃奇 何晋伟 陈乾宏
帅智康 蒋 栋 张永昌 朱 森

第 8 章:

电磁场部分:崔 翔 李 琳 李永建 马西奎 白保东 刘国强
杨仕友 雷银照 杨庆新 赵文祥

电网络部分:何怡刚 郭静波 袁莉芬 李 斌 谢小荣 于歆杰

第 9 章:崔 翔 张卫东 苏东林 闻映红 谢彦召 蒋 栋 孟 进
张 波²⁾

第 10 章:肖立业 古宏伟 李 泓 卢 磊 马衍伟 王秋良 杨庆新
张国民

第 11 章:王 东 陈俊全 鲁军勇 许 金 程思为 李 亮 李立毅
倪 天 韩铭宇

第 12 章:杨庆新 陈振茂 雷银照 李红斌 李永建 刘国强 刘素贞
闫荣格 杨文荣 张品佳

第 13 章:宋 涛 董秀珍 付 峰 霍小林 李路明 徐桂芝 姚陈果
张 波²⁾

第 14 章:唐跃进 蔡 涛 惠 东 蒋 凯 李 泓 李建林 石 晶

第 15 章:王志峰 李 勇 罗 安 马伏军 王文静 王一波 吴 峰

第 16 章:肖立业 李 杰 刘 坤 卢铁兵 商克峰 张 波²⁾ 张若兵
张卫东 赵志斌

秘书组:

组 长:文劲宇

成 员:王 东 胡家兵 毕天姝 邵 涛 李武华 李兴文 谢小荣
花 为 张 波²⁾ 史宗谦 陈皓勇 蒋 栋 蒋 凯 吴 峰
赵文祥 黄兴溢 孟 进 张品佳

1) 华南理工大学

2) 清华大学

前 言

“电”是能量转换与输运以及信息传播的重要载体,是人类现代文明和社会发展的基础。早在公元前七八世纪,人类就用文字记载了自然界的闪电现象和天然磁石的磁现象。对电磁物理规律的一系列探索和发现,特别是19世纪建立的麦克斯韦电磁场方程组,奠定了人类利用电磁能量与电磁信息的理论基础。电能的广泛利用将人类引入了电气化时代,引发了人类的第二次工业革命,将人类社会带入了一个新的发展阶段,电气化成为20世纪最伟大的工程技术成就,而以电磁信息理论为基础的信息科学和技术,则在20世纪末又把人类带入信息化时代。人类利用电磁能量和电磁信息的实践促进了电气科学与工程学科(以下简称电工学科)的发展、拓宽与深化。电工学科是研究电(磁)能的产生、转换、传递、利用等过程中的电磁现象及其与物质相互作用规律的学科,包含电(磁)能科学及电磁场与物质相互作用两个科学领域。根据研究对象的不同,电工学科可以分为电气科学、电气工程和学科交叉三大分支。

21世纪以来,发展低碳经济、建设生态文明、实现可持续发展成为人类社会的普遍共识。世界能源发展格局因此发生重大而深刻的变化,新一轮能源革命的序幕已经拉开。发展清洁能源、保障能源安全、解决环保问题、应对气候变化,是本轮能源革命的核心内容。作为能源的重要供应环节和主要使用形式,电能对能源革命的推进至关重要,其对电机系统、电力电子、电力系统、高电压与绝缘、能源电工新技术和电能存储等电气工程及相关交叉研究提出了更高的需求,强劲地牵引着电工学科的发展。“十三五”期间,我国电工学科应如何进一步扩大研究领域、增强活力、开拓新局面,对世界科学技术的进步和我国经济社会的发展做出更大贡献,是一个迫切需要明确回答的问题。为此,根据国家自然科学基金委员会的统一部署,我们开展了电工学科“十三五”学科发展战略专题研究。在深入分析学科面临的新形势、新机遇和新挑战,深刻认识和统筹把握国家战略需求和科学发展需求的前提下,组织电工学科相关专家与学者进行了深入调查、研究和讨论,并结合国内外电工学科发展趋势与我国今后发展的重大需求,编写了这本《电气科学与工程学科发展战略研究报告(2016~2020)》。

国家自然科学基金委员会“十三五”电气科学与工程学科发展战略研究工作始于2014年7月,受电工学科委托,程时杰院士和马伟明院士牵头进行学科发展战略研究和“十三五”规划工作,经讨论确定了参与研究工作的专家名单,成立了顾问组、专家组、秘书组,明确了电工学科所属各二级学科的战略发展研究牵头人。从

7月下旬开始,各二级学科战略发展研究小组在牵头人的组织下开始工作,进行战略研讨,明确研究主题和研究内容,并负责撰写战略发展研究分报告初稿。9月17日在华中科技大学组织召开了电工学科发展战略研究与“十三五”规划的第一次工作研讨会,与会专家依次认真审议了5个二级学科战略发展研究分报告初稿,并提出了进一步修改完善的意见;与会专家还对一级学科总报告的撰写思路进行了研讨,并对下一阶段的工作进行了部署。在接下来的20多天时间里,在各二级学科牵头人的指导下,秘书组整理完成了电工学科发展战略及“十三五”规划初稿。10月15日,电工学科在武汉组织召开了初稿的审阅讨论会。10月26日,秘书组根据专家组及各二级学科牵头人的建议整理完成了电工学科发展战略及“十三五”规划报告完整稿,继续在学科更大范围内征求意见。在此基础上,秘书组根据反馈意见不断完善规划报告。2015年5月30日,在华中科技大学召开了国家自然科学基金委员会电工学科“十三五”规划及发展战略研讨会,来自高等院校、科研院所及相关企业的近200位电气工程领域知名专家(包括本学科几乎所有的院士、国家杰出青年基金获得者、长江学者等)参加了会议。会议对战略研究报告给予了高度评价,并就国家重大需求及学科发展方向、重大研究计划布局、学科人才队伍建设等问题进行了深入探讨,决定以战略研究报告为基础,撰写出版《电气科学与工程学科发展战略研究报告(2016~2020)》一书。

2015年6月1日,学科组织召开了《电气科学与工程学科发展战略研究报告(2016~2020)》撰写出版讨论会,决定把向国家自然科学基金委员会提交的学科发展“十三五”规划报告作为本书第1章的主要内容,将5个二级学科进一步划分成15个分支方向,并确定了15个分支方向的主题及撰写负责人。随后,在各分支方向撰写负责人的组织下,本书的撰写工作有序开展,经多次征求意见和修改后提交顾问组和专家组审阅。2016年4月10日,本书的出版工作会议在华中科技大学召开,确定了终稿内容并对出版物的文字风格提出了规范和统一要求,全书于2016年6月30日提交至科学出版社。

电工学科的发展历史较长,包含的领域宽,涉及的交叉学科和新兴生长点多,与国民经济和社会发展相关性强。我们深切体会到要写一篇好的战略研究报告实属不易。本书是我国电工学科一百多名老中青专家学者集体智慧和辛勤劳动的结晶,反映了他们对我国电气科学与工程学科未来若干年发展方向的真知灼见。在本书的写作过程中,我们注意电工学科和科学全局、前瞻性和时效性、科学前沿和我国国情的几个统一,重视与其他学科的交叉融合和相互包容,力图做到:突出学科的基础性而不止于应用层面,突出发展的战略方向而不拘泥于具体细节,并力求做到叙述严谨、评价客观、用词规范、言简意赅。科学技术的发展变化和人类的追求永无止境,绝非一份报告所能概括,更难断言。我们只希望本书能在今后的学科发展预期方面给读者一些启迪,引发更多思考。我们深知这个目标很难达到,但我

们朝这个方向努力了。由于参与撰写的人员众多,认识上会有所差异,收集资料的范围和时间也有限,还有出版篇幅的限制,难免存在遗漏之处,诚请读者指正。

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部工程科学五处主任丁立健教授负责了电工学科发展战略研究报告撰写的组织工作。在电工学科发展战略研究报告的编写、修改和评审过程中,承蒙众多大学、研究机构的许多有名望的教授、专家指点,以不同形式提出许多宝贵意见。活跃在学科前沿领域的海外专家纷纷发来电子邮件,他们提出了大量的学术性或编写性的建议和意见,这些建议对本书的最后完成起到了重要的作用。这里,谨向所有参与《电气科学与工程学科发展战略研究报告(2016~2020)》研讨、写作和评审的专家与学者表示诚挚的感谢。

作 者

2016年6月

目 录

前言

第 1 章 总论	1
1.1 电气科学与工程学科发展战略——“全景式”的学科地貌图	1
1.1.1 学科内涵与发展动力	1
1.1.2 我国的研究现状	4
1.1.3 对 2020 年的展望	17
1.2 电气科学与工程学科发展战略报告	20
1.2.1 学科的战略地位	20
1.2.2 学科的发展规律与发展态势	21
1.2.3 学科的发展现状与发展布局	24
1.2.4 学科的发展目标及其实现途径	33
1.3 优先发展领域	37
1.3.1 高效能、高品质电机系统基础科学问题	37
1.3.2 复杂电力系统规划与安全高效运行基础理论和方法	38
1.3.3 先进电力设备绝缘与放电	40
1.3.4 电力电子系统的可靠运行及性能综合优化	41
1.3.5 极端条件下的电工装备技术	43
1.3.6 高效率、低成本、大规模电能存储技术	44
1.3.7 生物电磁基础及医学应用新技术	45
1.4 实现“十三五”发展战略的政策措施	47
第 2 章 电机系统	49
2.1 学科内涵与研究范围	49
2.1.1 电机的新材料与新工艺	50
2.1.2 电机系统设计理论与分析方法	52
2.1.3 电机本体新原理与新结构	53
2.1.4 电机冷却技术	61
2.1.5 电机驱动与控制技术	62
2.1.6 电机测试与试验技术	63
2.2 国内外研究现状与发展趋势	65

2.2.1	电机设计新技术与分析方法的研究发展现状	65
2.2.2	电机本体的研究发展	67
2.2.3	电机系统冷却技术的研究发展现状	68
2.2.4	电机驱动与控制技术的研究发展现状	69
2.2.5	电机测试技术研究发展现状	72
2.2.6	电机系统的技术发展趋势	73
2.2.7	电机系统前沿技术	75
2.3	今后发展目标和重点研究领域	77
2.3.1	电机系统的发展方向	77
2.3.2	电机系统的重点研究领域	78
2.3.3	电机系统的优先研究领域	79
	参考文献	80
第3章	电力系统及其自动化	82
3.1	学科内涵与研究范围	82
3.2	国内外研究现状与发展趋势	83
3.2.1	电力系统规划	83
3.2.2	电力系统控制	87
3.2.3	电力系统保护	90
3.2.4	电力系统仿真	93
3.2.5	电力市场	97
3.2.6	电力系统运行与调度	98
3.2.7	新型输配电技术	102
3.3	今后发展目标和重点研究领域	104
3.3.1	电力系统规划	104
3.3.2	电力系统控制	105
3.3.3	电力系统保护	105
3.3.4	电力系统仿真	105
3.3.5	电力市场	106
3.3.6	电力系统运行与调度	106
3.3.7	新型输配电技术	106
	参考文献	106
第4章	高电压与绝缘技术	109
4.1	研究范围和任务	109
4.1.1	先进电介质	109

4.1.2 电气设备中的放电与过电压防护	110
4.1.3 高压电力电子装备	111
4.1.4 智能电气设备与全寿命运行特性	112
4.2 国内外研究进展和发展趋势	112
4.2.1 先进电介质材料	112
4.2.2 电气设备中的放电与过电压防护	116
4.2.3 高压电力电子装备	119
4.2.4 智能电气设备与全寿命运行特性	121
4.3 今后发展目标、重点研究领域和交叉研究领域	124
4.3.1 先进电介质材料	124
4.3.2 电气设备中的放电与过电压防护	126
4.3.3 高压电力电子装备	128
4.3.4 智能电气设备与全寿命运行特性	129
参考文献	131
第5章 气体放电与放电等离子体	135
5.1 研究范围与任务	135
5.2 国内外研究现状及发展趋势	138
5.2.1 脉冲放电等离子体产生机理	139
5.2.2 气体放电非线性动力学行为	139
5.2.3 液相介质击穿	140
5.2.4 高活性等离子体的产生方法	141
5.2.5 等离子体在不同介质中的运输规律	143
5.2.6 在生物医学和生命科学领域的应用	145
5.2.7 在能源化工和材料科学领域的应用	146
5.2.8 在辅助燃烧与流体动力学方面的应用	149
5.3 今后发展目标、重点研究领域和交叉研究领域	150
5.3.1 脉冲放电等离子体	150
5.3.2 气体放电非线性动力学	151
5.3.3 液相介质击穿	151
5.3.4 高活性等离子体的产生方法	152
5.3.5 等离子体在不同介质中的运输规律	152
5.3.6 在生物医学和生命科学领域的应用	153
5.3.7 在能源化工和材料科学领域的应用	154
5.3.8 在燃烧学和流体动力学领域的应用	155

参考文献	155
第6章 脉冲功率技术	159
6.1 研究范围与任务	159
6.2 国内外研究现状及发展趋势	159
6.2.1 国外研究现状	159
6.2.2 国内研究现状	161
6.2.3 未来发展趋势	164
6.3 今后发展目标、重点研究领域和交叉研究领域	165
6.3.1 重频全固态脉冲功率技术	165
6.3.2 高功率开关技术研究	166
6.3.3 超高功率电脉冲形成与传输关键物理问题	166
6.3.4 金属丝电爆炸放电等离子体	166
参考文献	167
第7章 电力电子技术	168
7.1 学科内涵与研究范围	168
7.2 国内外研究现状与发展趋势	169
7.2.1 电力电子器件的研究发展现状	169
7.2.2 电力电子变换器拓扑及其应用的研究发展现状	173
7.2.3 电力电子建模和控制的研究发展现状	181
7.2.4 电力电子电磁兼容及可靠性的研究发展现状	182
7.3 今后发展目标和重点研究领域	186
7.3.1 电力电子器件及应用的重点研究领域	187
7.3.2 电力电子变换器拓扑及其应用的重点研究领域	187
7.3.3 电力电子建模和控制的重点研究领域	187
7.3.4 电力电子电磁兼容及可靠性的重点研究领域	188
参考文献	188
第8章 电磁场与电网络	191
8.1 电磁场	191
8.1.1 学科内涵与研究范围	191
8.1.2 国内外研究现状及发展趋势	192
8.1.3 今后发展目标和重点研究领域	195
8.2 电网络	196
8.2.1 学科内涵与研究范围	196
8.2.2 国内外研究现状和发展趋势	197

8.2.3 今后发展目标和重点研究领域	199
参考文献	201
第9章 电磁兼容学科发展战略	205
9.1 学科内涵与研究范围	205
9.1.1 电力系统的电磁兼容	205
9.1.2 轨道交通系统的电磁兼容	206
9.1.3 航空航天系统的电磁兼容	206
9.1.4 高功率电磁脉冲效应与防护	206
9.1.5 舰船系统的电磁兼容	207
9.2 国内外研究现状与发展趋势	207
9.2.1 电力系统的电磁兼容	207
9.2.2 轨道交通系统的电磁兼容	210
9.2.3 航空航天系统的电磁兼容	212
9.2.4 高功率电磁脉冲效应与防护	214
9.2.5 舰船系统的电磁兼容	216
9.3 今后发展目标和重点研究领域	218
9.3.1 发展目标	218
9.3.2 重点研究领域	219
参考文献	220
第10章 先进电工材料及其应用	227
10.1 研究范围与任务	228
10.1.1 超导材料及其应用	228
10.1.2 新型导电材料及其应用	231
10.1.3 先进电工磁性材料及其应用	231
10.1.4 其他新型电磁功能材料	233
10.2 国内外研究现状及发展趋势	233
10.2.1 超导材料及其应用研究现状与发展趋势	233
10.2.2 新型导电材料的研究进展与发展趋势	244
10.2.3 先进电工磁性材料研究现状及发展趋势	248
10.3 今后发展目标、重点研究领域和交叉研究领域	250
10.3.1 发展目标	250
10.3.2 重点研究领域与交叉研究领域	251
参考文献	253
第11章 极端条件下的电工装备基础	255

11.1 科学内涵与研究范围	255
11.1.1 深空电工装备的科学内涵与研究范围	255
11.1.2 深海电工装备的科学内涵与研究范围	256
11.1.3 极端试验条件下电工装备的科学内涵与研究范围	257
11.1.4 电磁发射电工装备的科学内涵与研究范围	258
11.2 国内外研究现状和发展趋势	260
11.2.1 深空电工装备的国内外研究现状和发展趋势	260
11.2.2 深海电工装备的国内外研究现状和发展趋势	261
11.2.3 极端试验条件下电工装备的国内外研究现状和发展趋势	263
11.2.4 电磁发射电工装备的国内外研究现状和发展趋势	266
11.3 今后发展目标与重点研究领域	268
11.3.1 深空电工装备的今后发展目标与重点研究领域	268
11.3.2 深海电工装备的今后发展目标与重点研究领域	270
11.3.3 极端试验条件下电工装备的今后发展目标与重点研究领域	270
11.3.4 电磁发射电工装备的今后发展目标与重点研究领域	272
参考文献	272
第12章 电磁测量与传感技术	275
12.1 研究范围与任务	275
12.2 国内外研究现状及发展趋势	276
12.2.1 基于智能材料的传感器技术	276
12.2.2 电工磁性材料的磁特性精细测量技术	279
12.2.3 电磁探测与成像技术	281
12.2.4 脉冲功率电量精确测量技术	285
12.3 今后发展目标、重点研究领域和交叉研究领域	286
12.3.1 基于智能材料的传感器技术	287
12.3.2 电工磁性材料的磁特性精细测量技术	287
12.3.3 电磁探测与成像技术	288
12.3.4 脉冲功率精密测量技术	290
参考文献	290
第13章 生物电磁学	296
13.1 研究范围与任务	296
13.2 国内外研究现状及发展趋势	297
13.2.1 生物电磁特性与电磁信息检测技术	297
13.2.2 生物电磁干预技术	300

13.2.3 生物医学中的电工技术	302
13.3 今后发展目标、重点研究领域和交叉研究领域	303
13.3.1 生物电磁特性与电磁信息检测技术	303
13.3.2 生物电磁调控技术	304
13.3.3 生物医学中的电工技术领域	304
参考文献	305
第 14 章 电能存储与应用	307
14.1 学科内涵	307
14.2 研究范围与任务	308
14.2.1 可直接输出电能的存储技术	308
14.2.2 非直接输出电能的存储技术	311
14.2.3 电能存储的系统应用技术	313
14.3 国内外研究现状及发展趋势	313
14.3.1 可直接输出电能的储能器件及单元集成技术	313
14.3.2 非直接输出电能的储能单元技术	319
14.3.3 储能系统应用技术	323
14.4 今后发展目标、重点研究领域和交叉研究领域	332
14.4.1 发展目标	332
14.4.2 重点研究领域	333
14.4.3 交叉研究领域	333
参考文献	334
第 15 章 能源电工新技术	336
15.1 学科内涵与研究范围	336
15.1.1 新能源发电	336
15.1.2 无线电能传输	341
15.1.3 电气节能	343
15.2 国内外研究现状及发展趋势	345
15.2.1 新能源发电	345
15.2.2 无线电能传输	349
15.2.3 电气节能	352
15.3 今后发展目标和重点研究领域	357
15.3.1 发展目标	357
15.3.2 重点研究领域	360
参考文献	363

第 16 章 环境电工新技术	365
16.1 研究范围和任务	365
16.2 国内外研究现状和发展趋势	366
16.2.1 电磁环境研究	366
16.2.2 环保电工技术研究	368
16.3 今后发展目标、重点研究领域和交叉研究领域	374
16.3.1 电磁环境方面	374
16.3.2 环保电工技术方面	374
参考文献	375