

决策咨询系列



国家科学思想库

中国智能电网的 技术与发展

中国科学院
“构建符合我国国情的智能电网”
咨询项目工作组

 科学出版社

中国智能电网的技术与发展

中国科学院“构建符合我国国情的智能电网”
咨询项目工作组



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书总结了智能电网技术的国内外研究现状,明确了其内涵和特点、发展动因和支撑条件,分析了我国发展智能电网的客观环境、技术条件,明确了在我国构建智能电网的主要目的和要求,并就目前在我国发展智能电网的建设规划和技术路线,以及相关技术的产业化问题给出了建议。

全书共分为九个部分:(1)总论:构建符合我国国情的智能电网;(2)智能电网的内涵和特点与重大科学问题;(3)电网接纳大规模可再生能源关键技术与装备;(4)智能电网输变电关键技术;(5)智能调度和厂网协调技术与装备;(6)智能配电与用电关键技术与装备;(7)用户侧智能用电管理与节能技术;(8)智能电网信息与通信技术;(9)关于构建我国智能电网相关问题的建议。

本书的出版可以促进社会各界对智能电网的了解,为国家制定相关政策和计划提供参考,也可从事电力系统工作的相关人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国智能电网的技术与发展/中国科学院“构建符合我国国情的智能电网”咨询项目工作组. —北京:科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-035866-0

I. 中… II. 中… III. 智能控制-电网-研究-中国 IV. TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 253207 号

责任编辑:姚庆爽 / 责任校对:刘小梅

责任印制:张 倩 / 封面设计:黄华斌

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

*

2013年1月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2013年1月第一次印刷 印张: 29 3/4

字数: 570 000

定价: 118.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

中国科学院“构建符合我国国情的智能电网”

咨询项目工作组

组 长 程时杰

副组长 曹一家

成 员 (以姓氏笔画为序)

王成山 文劲宇 白晓民 孙元章 罗 安

侯云鹤 郭创新 程浩忠 管 霖

秘书组 孙海顺 李银红

中国科学院“构建符合我国国情的智能电网”

咨询项目专家组成员名单

程时杰	中国科学院院士	华中科技大学
周孝信	中国科学院院士	中国电力科学研究院
韩祯祥	中国科学院院士	浙江大学
余贻鑫	中国工程院院士	天津大学
潘 垣	中国工程院院士	华中科技大学
孙才新	中国工程院院士	重庆大学
李立涅	中国工程院院士	中国南方电网公司
吴复立	教授	香港大学
曹一家	教授	湖南大学
段献忠	教授	华中科技大学
孙元章	教授	清华大学
王成山	教授	天津大学
程浩忠	教授	上海交通大学
白晓民	教授	中国电力科学研究院
管 霖	教授	华南理工大学
郭剑波	教高	中国电力科学研究院
饶 宏	教高	中国南方电网公司
李若梅	教高	中国电机工程学会
文劲宇	教授	华中科技大学
郭创新	教授	浙江大学
罗 安	教授	湖南大学
侯云鹤	博士	香港大学

咨询项目秘书组成员名单

孙海顺	副教授	华中科技大学
李银红	副教授	华中科技大学

咨询项目参与研讨人员名单

Anjan Bose	Guido Bartels	Edwin Liu	Marija Ilic	
Jun Wen	Rene Hooiveld	Eric Simmon		
Hubert Lemmens	Vladimiro Miranda	Belvin Louie		
陈 哲	王海风	黄杰波	陈宏印	李维东
姜建国	李国杰	陈明珠	卢 军	张德泉
丁晓群	李 扬	董朝阳	钟 金	许 昭
贾宏杰	孙宏斌	王守相	曾 沅	胡 炎
陈志刚	陈 卫	徐 政	石立宝	蒋传文
杜正春	薛 峰	杨旭升	熊 宁	顾 洁
柳 璐	何吉彪	邵能灵	王西田	吴文传
郭庆来	宁辽逸	周 玲	郭丽雅	黄继华
谭 翔	张 昕	顾 伟	徐 晶	谢 振
徐敬友	宋晓芳	方勇杰	陈 伟	王忠波
黄道军	杨启富	陈 曦	吴俊阳	张华赢

咨询项目参与研讨企业及代表

深圳市中电电力技术股份有限公司	赵松利
深圳市科陆电子科技股份有限公司	饶陆华
金盘电气(海南)股份有限公司	陈 伟
东软集团股份有限公司	陈宏印
中国南方电网公司	林火华
广东省电力设计院	陈志刚

各部分执笔人

- 第一部分 总论:构建符合我国国情的智能电网
(程时杰,曹一家,李银红,侯云鹤)
- 第二部分 智能电网的内涵和特点与重大科学问题
(管 霖,文劲宇)
- 第三部分 电网接纳大规模可再生能源关键技术与装备
(孙元章,李国杰,林 今)
- 第四部分 智能电网输变电关键技术
(白晓民,张东霞,刘有为,艾 芊)
- 第五部分 智能调度和厂网协调技术与装备
(程浩忠,薛 峰,丁晓群,吴文传,张德泉)
- 第六部分 智能配电与用电关键技术与装备
(王成山,孔祥玉,徐丙垠)
- 第七部分 用户侧智能用电管理与节能技术
(罗 安,帅智康,吴传平,赵松利)
- 第八部分 智能电网信息与通信技术
(郭创新,吴俊勇,李维东,胡 炎)
- 第九部分 关于构建我国智能电网相关问题的建议
(曹一家,程时杰,段献忠,孙海顺)

序

智能电网是将信息技术、通信技术、计算机技术、先进电力电子技术、可再生能源发电技术和原有的输配电基础设施高度集成的新型电网,发展智能电网已在世界范围内形成共识。

智能电网的实现将给传统电网带来深刻的变化。先进的通信、计算机、自动化等技术与传统电力技术的有机融合,可极大地提升电网的智能化运行和管理水平。传感器技术与信息技术为电力系统状态分析和辅助决策提供的技术支持,使电网的自愈成为可能,会显著提高电网抵御日益频繁自然灾害和外界干扰的能力。先进调度技术、自动化技术和柔性输电技术的成熟发展,能为可再生能源和分布式电源的开发利用提供技术保障。通信网络的完善和用户信息采集技术的推广应用,可促进电网与用户的双向互动。灵活兼容电力网络的实现,能使电网接入、输送和消纳更多的清洁能源发电。对用电设备的合理智能控制可降低设备的运营成本、促进节能减排。分布式发电、储能技术和电动汽车的快速发展,可改变传统的供用电模式,促使电力流、信息流、业务流不断融合,满足日益多样化的用户需求。

在2010年3月召开的全国“两会”上,温家宝总理在《政府工作报告》中强调:“大力发展低碳经济,推广高效节能技术,积极发展新能源和可再生能源,加强智能电网建设”。这标志着智能电网建设已成为国家的基本发展战略。

作为一个能源消耗大国,在发展智能电网时必须明确我国的国情和战略目标。优化调整我国发电能源布局,解决大规模风能太阳能电站接入电网的问题,提高新电源布局下我国大区互联电网的安全稳定性和运行效率,配置符合未来电网运行管理需求的智能输变电设备,依靠智能配电技术和新的电力营销机制推动我国经济发展,彻底改变高能耗生产方式,构建由分布式清洁能源与节能减排的生产及生活方式共同构成的新能源消费模式,这些都是建设符合我国国情智能电网中必须解决的问题。

与欧美等国家相比,我国智能电网的发展目前主要是由电网公司从行业自身发展的角度出发在规划和推动,缺少从整个能源体系结构和国家能源发展战略出发的对智能电网发展目标和重点的引导和规划。为此,中国科学院学部于2009年10月组织有关研究机构、高校、设备供应商等部门的院士和专家学者组成了“构建符合我国国情的智能电网”咨询专家组,经过近两年的深入调研,在多次召开研讨会并广泛征求意见的基础上,形成了《构建符合我国国情的智能电网》咨询

报告。本书就是在咨询报告的基础上编纂形成的,其主要特点包括:全面地阐述了我国发展智能电网的驱动力、相关领域科学问题和关键技术,深入分析了我国智能电网建设的重点领域重大装备与技术现状及发展趋势,明确提出了发展我国智能电网的政策法规、行业标准、产业与人才等方面的建议。

在咨询项目研究过程中,来自国内外多家单位的一大批专家学者参与了工程调研、资料搜集、交流研讨、报告编写和整理等工作,特此表示感谢。同时,还要感谢中国科学院对本项目的关心和支持。

希望本书能够为我国智能电网的科学统筹协调发展提供一些思路,为中国特色的智能电网建设作出一份贡献。

目 录

序

第一部分 总论:构建符合我国国情的智能电网

1 智能电网的背景、定义及国内外发展现状	3
2 我国发展智能电网的战略目标、指导思想和整体思路	4
2.1 战略目标	4
2.2 指导思想	4
2.3 整体思路	4
3 我国发展智能电网的重大科学问题	5
3.1 电网接纳大规模可再生能源领域的科学问题和关键技术	5
3.2 智能输变电领域的科学问题和关键技术	5
3.3 智能调度和运行控制领域的科学问题和关键技术	6
3.4 智能配电与用电领域的科学问题和关键技术	6
3.5 智能电网信息与通信领域的科学问题和关键技术	6
4 我国发展智能电网相关政策、措施的建议	8
4.1 加强组织管理架构建设,科学统筹协调智能电网发展	8
4.2 加强技术标准体系建设,建立适应智能电网发展规律的标准体系	8
4.3 加强创新型人才培养,加快交叉学科人才梯队建设	9
4.4 加大政策保障力度,构建智能电网发展的良好外部环境	9
5 我国发展智能电网对产业带动的相关建议	11
5.1 新能源装备与产业	11
5.2 电动汽车产业	11
5.3 智能配用电装备与产业	11
5.4 智能电网信息产业	12

第二部分 智能电网的内涵和特点与重大科学问题

1 智能电网的定义和提出背景	15
1.1 智能电网提出的背景	15
1.1.1 应对风能、太阳能等可再生能源发电规模快速增长对电网的挑战	15
1.1.2 适应电动汽车、小容量分布式电源等用电结构变化的影响	16

1.1.3	发达国家电网设备老化和更新换代的需要	17
1.1.4	网络经济向以能源体系为代表的实体经济渗透和新产业革命的推动	17
1.2	智能电网的定义	18
2	国际智能电网的发展现状和趋势	19
2.1	美国智能电网的发展历程和趋势	19
2.2	欧洲智能电网的发展历程和趋势	20
2.3	我国智能电网的发展现状	22
2.4	国际智能电网发展趋势的展望	24
3	我国发展智能电网的主要驱动力分析	25
3.1	应对大规模集中式风能、太阳能电站建设对电网提出的挑战	25
3.2	保障大区互联电网安全、稳定、高效运行需要电网运行维护的智能化	26
3.3	电网规模的快速增长需要明确未来电网的发展路线以保障投资效益	27
3.4	改变高能耗生产方式和推动节能减排需要智能互动的电网运营模式支持	27
4	智能电网的内涵和主要框架	29
4.1	智能电网的内涵	29
4.2	智能电网的外延	29
4.3	智能电网的构建框架	30
4.3.1	智能电网的技术框架	30
4.3.2	智能电网的物理框架	31
5	智能电网中的重大科学问题	32
5.1	电网接纳大规模可再生能源领域的科学问题和关键技术	32
5.2	智能输变电领域的科学问题和关键技术	33
5.3	智能调度和运行控制领域的科学问题和关键技术	34
5.4	智能配电与用电领域的科学问题和关键技术	35
5.5	智能电网信息与通信领域的科学问题和关键技术	36

第三部分 电网接纳大规模可再生能源关键技术 with 装备

1	概述	39
1.1	可再生能源的概念、特征	40
1.2	电网接纳大规模可再生能源的相关技术构成及发展趋势	44
1.2.1	风力发电技术	44

1.2.2	太阳能光伏发电技术	49
1.2.3	风力发电并网控制技术	54
1.2.4	风电场的设计技术	57
1.2.5	风机和风电场的建模仿真技术	59
1.2.6	可再生能源的预测预报技术	61
1.2.7	储能技术	64
1.3	国外电网接纳大规模可再生能源研究发展现状	67
2	我国可再生能源的需求分析	70
2.1	我国发展大规模可再生能源存在的问题	70
2.2	我国发展大规模可再生需要重点解决的问题	72
3	电网接纳大规模可再生能源的关键技术和科学问题	74
3.1	电网、电源与可再生能源的统筹规划	74
3.1.1	风资源评估技术	74
3.1.2	调峰调频电源的规划	76
3.1.3	灵活发电资源和传统储能设施的协调发展技术	78
3.1.4	对电网进行加强和扩建技术	79
3.1.5	大区域内风电场群的波动特性研究技术	80
3.2	电网接纳大规模可再生能源的安全可靠性技术	82
3.3	电网接纳大规模可再生能源的经济运行技术	86
3.4	电网接纳大规模可再生能源的研究平台技术	88
3.4.1	风光储能互补的研究平台	88
3.4.2	风电场机组性能及接入电网性能验证平台	89
4	可再生能源装备与产业	91
4.1	风电	91
4.2	太阳能发电	94
5	建议	97
	参考文献	99

第四部分 智能电网输变电关键技术

1	概述	103
2	智能输变电技术	104
2.1	我国输变电系统面临的挑战	104
2.2	我国输变电智能化的发展目标	105
2.3	我国智能输变电的主要技术领域	105
2.3.1	智能电网规划设计技术	105

2.3.2	输变电系统的建模和仿真技术	106
2.3.3	先进的输电技术	106
2.3.4	智能变电站技术	107
2.3.5	输变电在线安全运行控制技术	107
2.3.6	一体化智能电网调度与控制技术	108
2.3.7	高压设备智能化技术	109
3	国内外现状及趋势	110
3.1	智能电网规划设计技术	110
3.1.1	国内外现状	110
3.1.2	智能电网发展目标下电力系统规划方法面临的挑战	115
3.2	输变电系统的建模和仿真技术	119
3.2.1	电网模型的现状与趋势	119
3.2.2	仿真技术的现状与趋势	121
3.3	先进的输电技术	126
3.3.1	灵活交流输电技术	126
3.3.2	柔性直流输电技术	130
3.3.3	超导输电技术	132
3.4	智能变电站技术	133
3.4.1	国外变电站智能化目标、特征、技术条件	133
3.4.2	国内变电站智能化水平和发展趋势	133
3.5	输变电在线安全运行控制技术	136
3.5.1	输变电设备在线安全监测、评估诊断与辅助决策技术	136
3.5.2	适应新能源接入的输变电系统无功电压控制技术	141
3.5.3	交直流系统协调控制技术	143
3.6	一体化智能电网调度与控制技术	145
3.6.1	国外现状	145
3.6.2	国内现状	149
3.7	高压设备智能化技术	150
4	关键技术和科学问题	152
4.1	智能电网的规划设计技术	152
4.1.1	智能电网规划管理机制研究	152
4.1.2	大规模间歇式能源接入电网规划理论	152
4.1.3	智能电网规划方法和技术	153
4.2	输变电系统的建模和仿真技术	155
4.2.1	新型输电技术的建模技术	155

4.2.2	电磁暂态和机电暂态混合仿真技术	155
4.2.3	实时仿真分析技术	156
4.2.4	分布式仿真问题	156
4.3	先进的输电技术	157
4.3.1	可控并联电抗器	157
4.3.2	故障电流限制器	158
4.3.3	静止同步串联补偿器(SSSC)	160
4.3.4	统一潮流控制器(UPFC)	161
4.4	智能变电站技术	162
4.4.1	信息与通信支撑技术	162
4.4.2	智能高压设备的应用	162
4.4.3	信息综合应用技术	163
4.5	输变电设备在线安全运行和控制技术	164
4.5.1	输变电设备在线安全监测和评估诊断技术	164
4.5.2	适应新能源接入的输变电系统无功电压控制技术	166
4.5.3	交直流系统协调控制技术	167
4.6	一体化智能电网调度与控制技术	170
4.6.1	基于 MAS 的分布协调/自适应控制	170
4.6.2	快速仿真决策技术	171
4.6.3	基于知识的综合决策支持	171
4.6.4	需求响应资源整合	171
4.6.5	节能发电调度技术	172
4.6.6	大规模可再生能源及分布式能源接入控制技术	172
4.6.7	海量信息处理技术	172
4.6.8	智能可视化技术	173
4.6.9	极端外部灾害下的调度防御技术	173
4.7	高压设备智能化技术	173
4.7.1	传感器技术	173
4.7.2	智能高压设备体系结构	174
4.7.3	状态分析技术	175
4.7.4	功能一体化	175
4.7.5	信息互动化	176
5	装备与产业	177
5.1	智能电网仿真系统	177
5.2	输电线路状态监测关键装备	178

5.2.1 输电线路状态监测装置	178
5.2.2 输电线路状态监测系统	179
5.3 柔性直流输电关键装备	179
5.4 灵活交流输电关键装备	179
5.5 智能变电站关键设备	180
5.6 高压设备	181
6 建议	182
6.1 国家政策和管理机制	182
6.2 国家应组织开展的研究工作	182
6.3 电力行业应组织开展的重点研究工作	182
参考文献	184

第五部分 智能调度和厂网协调技术与装备

1 概述	189
2 国内外研究和应用现状综述	190
2.1 大电网广域量测系统构建支撑平台	190
2.2 大电网广域保护与智能控制技术	191
2.2.1 广域保护技术研究	191
2.2.2 自适应继电保护研究	192
2.2.3 智能控制技术研究	192
2.3 大电网智能分析及预警技术	195
2.3.1 大电网智能分析、预警及决策	195
2.3.2 极端自然灾害下大电网广域监测、安全预警及防御技术	196
2.3.3 数据整合与开放式建模仿真技术	198
2.4 大电网智能调度技术	199
2.5 厂网协调技术	200
3 关键技术和科学问题	203
3.1 大电网广域量测系统构建支撑平台	203
3.1.1 广域测量技术	203
3.1.2 广域监测信息的接入、管理和利用技术	203
3.1.3 支撑平台的构建及模型数据管理	205
3.1.4 高级应用功能关键技术	205
3.1.5 数据通信支撑技术	207
3.1.6 系统安全防护体系	207
3.2 大电网广域保护与智能控制技术	208

3.2.1	广域保护技术研究	208
3.2.2	自适应继电保护和控制技术的研究	210
3.2.3	智能控制技术	213
3.3	大电网智能分析及预警技术	216
3.3.1	大电网智能分析、预警及决策	217
3.3.2	极端自然灾害下大电网广域监测、安全预警及防御技术	224
3.3.3	数据整合与开放式建模仿真技术	226
3.4	大电网智能调度技术	228
3.4.1	大电网安全防御体系	229
3.4.2	智能调度一体化平台技术	230
3.4.3	大电网安全校核技术	231
3.4.4	节能环保智能优化调度技术	232
3.4.5	大电网动态多维可视化技术	233
3.5	厂网协调技术	234
3.5.1	电源和电网统一协调规划	234
3.5.2	常规电源厂网协调运行和控制	236
3.5.3	清洁能源发电的并网和运行控制技术研究	238
3.5.4	风能、太阳能等清洁能源电厂并网技术标准制订和应用	240
3.5.5	坚持统一调度管理,创建和完善厂网协调优化调度	241
4	装备和产业	243
4.1	大电网广域量测系统构建支撑平台	243
4.2	大电网广域保护与智能控制技术	243
4.2.1	广域保护技术	243
4.2.2	自适应继电保护和控制技术	243
4.2.3	智能控制技术	244
4.3	大电网智能分析及预警技术	246
4.3.1	大电网智能分析、预警及决策	246
4.3.2	极端自然灾害下大电网广域监测、安全预警及防御技术	246
4.3.3	数据整合与开放式建模仿真技术	247
4.4	大电网智能调度技术	248
4.4.1	新一代调度技术支持系统的开发	248
4.4.2	调度四大应用开发	249
4.4.3	需求侧响应系统的实施	249
4.4.4	混合动力机车等交互式供电接口设备及技术	249
4.4.5	智能分散能量控制系统的研制	250

4.4.6	电动汽车和充电站	250
4.4.7	新能源发电装备产业	251
4.4.8	先进的传感与计量技术	251
4.5	厂网协调技术	252
4.5.1	常规发电关键设备	252
4.5.2	大规模清洁能源关键设备	252
4.5.3	智能电网调度领域中的厂网协调	252
5	组织实施方案和保障措施	254
5.1	大电网广域量测系统构建支撑平台	254
5.2	大电网广域保护与智能控制技术	254
5.2.1	智能电网广域保护技术研究	254
5.2.2	智能电网自适应继电保护和控制技术	254
5.2.3	智能控制技术	255
5.3	大电网智能分析及预警技术	255
5.3.1	大电网智能分析、预警及决策	255
5.3.2	极端自然灾害下大电网广域监测、安全预警及防御技术	256
5.3.3	数据整合与开放式建模仿真技术	256
5.4	大电网智能调度技术	257
5.5	厂网协调技术	259
参考文献		259

第六部分 智能配电与用电关键技术与装备

1	概述	267
1.1	智能配电网的概念、特征	267
1.2	智能配电与用电系统相关技术构成及发展趋势	268
1.2.1	智能配电网的优化规划和自愈结构设计	268
1.2.2	智能配用电的量测和通信技术	268
1.2.3	智能配电信息系统	270
1.2.4	智能配电网的高级配电自动化技术	270
1.2.5	配电新技术与新装备	271
1.2.6	用电新技术	272
1.3	国外智能配电与用电系统研究发展现状	272
2	我国智能配用电发展的需求分析	274
2.1	我国配电系统与用电系统存在的问题	274
2.2	我国发展智能配电与用电系统需要重点解决的问题	277