

智能低压电器

关键技术研究

张培铭 著



科学出版社

智能低压电器关键技术研究

张培铭 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书提出智能低压电器的关键、核心技术,系统地阐述智能低压电器关键技术、研究方法及相关应用的研究成果。本书内容涉及以智能电网与能源互联网为背景的低压电器智能化技术基本概念,涵盖智能低压控制电器关键技术研究、低压电器智能保护关键技术研究、低压电器系统智能技术研究、低压电器动态特性智能测试技术与低压电器的人工智能设计技术等。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化、自动化等专业科研、教学的参考书,也可作为电器及相关领域研究生、技术人员教学或新技术培训的教材,以及电力系统技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

智能低压电器关键技术研究 / 张培铭著. —北京: 科学出版社, 2018.11
ISBN 978-7-03-058906-4

I. ①智… II. ①张… III. ①低压电器-智能控制-研究 IV. ①TM52
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 218601 号

责任编辑: 阚 瑞 / 责任校对: 郭瑞芝
责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 迷底书装

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>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年11月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2018年11月第一次印刷 印张: 27 插页: 12

字数: 530 000

定价: 168.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

社会的进步、经济和科学技术的发展，特别是智能电网与能源互联网概念的提出与实施，为电器技术提供了广阔的发展空间，同时，电器工业又面临着巨大的挑战。

我们必须树立这个意识，否则在配电与用电侧起着重要的传输、分配、控制、保护、调节和能效管理作用的低压电器及其系统有可能成为智能电网与能源互联网建设、运行的瓶颈。低压电器是智能配用电系统的核心组成部分，并以系统的形式在智能配用电系统运行中发挥关键作用。

毫无疑问，智能电器技术研究是 21 世纪电器领域主要的研究方向，创新是智能电器技术发展的动力与灵魂，智能低压电器关键技术研究更是如此，本书所述研究内容正是基于这个观点展开。

鉴于目前缺乏对该领域研究的综合、系统以及集中论述的现状，基于创新智能电器技术的意识，基于作者在该技术领域提出的一些基本概念、思路与技术方

案，作者将相关研究进行系统化总结。本书所述智能低压电器关键技术研究涵盖智能电网与智能电器的关系、电器智能化的概念、电器人工智能设计、低压电器智能控制、智能保护、智能动态测试、智能系统与集成电器等关键技术。

值得强调的是，本书的重点是研究思路与方法。虽然所述思路和技术集中于智能低压电器关键技术研究，但是也可供中高压电器及其系统研究参考。

本书所述的关键技术及其研究内容是按照低压电器技术发展的规律，以近十几年作者直接指导的博士与硕士研究生论文、所获授权专利为主，经系统化、重组、修改、提升后完成。在此，作者对相关博士与硕士研究生在本书写作过程中付出的辛勤劳动表示诚挚的谢意。本书的出版凝聚了他们的心血与汗水。值得一提的是，缪希仁教授、陈丽安教授、刘向军副教授、杨明发副教授、鲍光海副教授、董纪清副教授、吴功祥实验师、陈丽辉高级工程师、丁正平研究员级高级工程师等对本书写作予以大力支持，刘向军副教授还为本书的格式修改、校对等工作投入了大量精力，作者对此表示深切的谢意。感谢孙秦阳、兰太寿、吴守龙、王田与鄧萍等硕士研究生对本书的贡献。

随着智能概念与智能技术的发展，智能技术包括人工智能技术，在低压电器技术领域的应用是不断深化、不断实践、不断理解的过程。本书仅仅是这个过程

中的一个小插曲。希望本书对智能电器技术创新、技术水平的提升与新产品开发有所启发。

虽然本书所述的某些技术已经具备产品化的条件和基础，但是没有经过实际运行的考验。另外，还有部分技术仍处于研究中。因此，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

张培铭

2018年7月21日

目 录

前言

第 1 章 低压电器智能化技术基本概念	1
1.1 概述	1
1.2 智能电网技术简介	2
1.2.1 世界能源变革状况简述	2
1.2.2 我国智能电网建设简介	6
1.2.3 能源互联网的概念	8
1.2.4 坚强与智能是智能电网和能源互联网发展的核心	9
1.3 智能电网与智能电器及其系统技术	10
1.3.1 电器的智能化技术概念	10
1.3.2 智能低压电器是智能电网不可或缺的组成部分	12
1.3.3 智能电网将推动智能低压电器技术快速发展	12
1.4 智能电器技术的“智能”与“系统”的概念	13
1.4.1 智能电器系统技术基本概念	13
1.4.2 智能低压配用电系统与(智能)人体生理系统	17
1.4.3 系统动态平衡的概念	22
1.5 创新——智能电器技术发展的动力	23
1.5.1 智能电器及其系统技术发展的创新意识	23
1.5.2 新一代低压电器技术与产品研究的重要方向——智能低压电器系统 研究	24
第 2 章 智能低压控制电器关键技术研究	26
2.1 概述	26
2.2 零电流分断控制技术原理	30
2.2.1 零电流分断控制原理分析	30
2.2.2 智能控制交流接触器零电流分断控制方案	31
2.3 智能控制交流接触器吸合动态过程研究	34
2.3.1 智能控制交流接触器吸合过程动态分析	34
2.3.2 智能控制交流接触器吸合动态过程的实验研究	37
2.4 智能控制交流接触器零电流分断控制技术研究	44
2.4.1 零电流分断控制原理的实现	44
2.4.2 零电流分断控制原理的实(试)验研究	46

2.5	智能控制交流接触器技术提升研究	53
2.5.1	智能控制交流接触器零电流分断控制技术问题分析	54
2.5.2	智能控制交流接触器零电流分断控制技术提升研究	54
2.5.3	三相分相式接触器智能控制研究	59
2.5.4	自适应零电流分断控制	62
2.5.5	基于低电压电容的抗电压跌落宽电压智能控制交流接触器控制技术	65
2.5.6	智能控制交流接触器零电压吸合控制技术	67
2.5.7	智能控制交流接触器状态检测与故障诊断研究	68
2.5.8	智能控制交流接触器技术——具有综合智能化功能的交流接触器技术的概念	69
2.6	智能(混合式)无弧控制技术	72
2.6.1	智能无弧控制交流接触器技术	73
2.6.2	智能无弧控制直流接触器技术	77
2.7	继电器电子控制技术	80
2.7.1	汽车继电器无弧通断技术研究	80
2.7.2	基于磁保持继电器的分相式智能控制交流接触器技术	84
2.7.3	基于磁保持继电器的分相式智能无弧控制交流接触器技术	86
2.7.4	基于磁保持继电器与二极管的分相式智能无弧控制交流接触器	86
2.8	无涌流无弧智能无功补偿集成控制技术研究	90
2.8.1	无功补偿控制技术基本概念	90
2.8.2	无功补偿智能控制复合开关系统电容投切仿真研究	91
2.8.3	无涌流投切的低压复合开关式智能无功补偿集成控制装置设计	102
第3章	低压电器智能保护关键技术研究	106
3.1	概述	106
3.1.1	短路故障智能保护关键技术研究	106
3.1.2	异步电动机智能保护技术	108
3.2	短路故障早期检测技术研究	109
3.2.1	短路故障早期检测技术概念	109
3.2.2	低压配电系统模型及短路电流初步分析	110
3.2.3	小波分析在短路故障早期检测中的应用研究	117
3.2.4	基于形态小波的短路故障早期检测模型	144
3.3	短路电流及其峰值预测技术探索研究	150
3.3.1	基于短路电流峰值预测的低压配电系统全选择性保护技术概念	151
3.3.2	低压系统短路故障建模及电流预测技术	152

3.4	基于定子绕组三维温度场模型的异步电动机保护技术的研究	162
3.4.1	异步电动机保护技术基本概念	162
3.4.2	异步电动机定子绕组三维温度分布的测试与分析	163
3.4.3	基于参数反计算的异步电动机定子全域三维温度场模型的研究	174
3.4.4	基于三维温度场仿真模型的异步电动机定子温度分布虚拟测试研究	186
3.4.5	异步电动机定子绕组最高温度保护模型研究	199
3.4.6	异步电动机定子绕组最高温度保护技术分析	216
第4章	低压电器系统智能技术研究	219
4.1	概述	219
4.2	低压短路保护电器快速动作机构研究	221
4.2.1	涡流斥力机构仿真与分析	221
4.2.2	机构参数对涡流斥力影响规律的研究	226
4.3	具有短路分断能力的智能集成交流接触器思路与研究	232
4.3.1	具有短路分断能力的(双触头系统)智能集成交流接触器思路	232
4.3.2	具有短路分断能力的(多触头系统)智能分相式集成交流接触器研究	233
4.4	智能全集成电器技术思路与研究	241
4.4.1	智能全集成电路技术简介	241
4.4.2	智能全集成交流电器技术研究	242
4.4.3	智能分相式全集成交流电器技术思路	261
4.5	基于系统全选择性保护的智能低压配电控制与保护技术	262
4.5.1	低压配电系统过电流选择性保护技术的现状	263
4.5.2	智能低压配电系统的过电流系统选择性保护技术	264
4.5.3	系统选择性保护技术的概念	267
4.5.4	智能低压配电协调控制与保护技术	267
第5章	低压电器动态特性智能测试技术	269
5.1	概述	269
5.2	光机电电器智能动态特性测试技术	271
5.2.1	光机电电器智能动态测试装置的研制	271
5.2.2	不同吸合/分断相角下的动态特性曲线	283
5.2.3	基于软测量的电磁电器动态过程测试技术	284
5.3	基于高速摄像机图像测试与处理分析的电器二维智能动态测试技术	293
5.3.1	电器二维智能动态测试技术概念	293
5.3.2	基于高速摄像机图像测试与处理分析的电器二维智能动态测试系统设计	294

5.3.3	图像处理快速性研究	299
5.3.4	基于高速摄像机图像测试与处理分析的智能控制交流接触器动态过程测试	308
5.4	基于高速摄像机图像测试与处理分析的智能控制交流接触器动态过程的研究	312
5.4.1	智能控制交流接触器二维动态过程测试简介	312
5.4.2	智能控制交流接触器的二维吸合分断全过程动态测试分析	313
5.5	基于高速摄像机与光学系统图像测试与处理分析的电器三维智能动态测试技术研究	318
5.5.1	电器三维智能动态测试技术概念	318
5.5.2	高速摄像机模型及摄像机标定	318
5.5.3	基于虚拟双目视觉的电器三维智能动态测试研究	328
第 6 章	电器的人工智能设计技术	335
6.1	概述	335
6.2	低压电器智能优化设计技术	336
6.2.1	低压电器虚拟设计中的仿真技术简介	336
6.2.2	电磁场分析的有限单元法求解	341
6.2.3	基于 ANSYS 和 ADAMS 的智能控制交流接触器动态过程分析	344
6.3	基于人工智能的低压电器设计技术	357
6.3.1	人工智能设计技术简介	357
6.3.2	遗传算法原理及其应用	359
6.3.3	基于免疫遗传算法的低压电器动态优化设计	370
6.3.4	群智能的概念	378
6.3.5	基于蚁群算法的低压电器全过程动态优化设计	379
6.3.6	基于人工鱼群算法的低压电器动态优化设计	388
6.3.7	基于遗传算法的人工鱼群优化算法的低压电器全过程动态优化设计	396
6.3.8	群智能优化算法的研究方向	401
6.4	人工智能电器技术的思路	402
6.4.1	人工智能技术简况	402
6.4.2	人工智能电器技术简介	403
6.4.3	综合人工智能电器技术思路与展望	406
6.4.4	人工智能电器技术研究的重点方向	407
6.4.5	人工智能电器技术应考虑能源互联网的发展要求	409
6.5	人工生命及其应用探讨	410
6.5.1	人工生命研究简况	410

6.5.2 人工生命的概念	410
6.5.3 人工生命与人工智能的关系	411
6.5.4 人工生命的应用现状	412
6.5.5 人工生命在电气工程领域的应用探索	413
参考文献	416
附录	419
彩图	

第 1 章 低压电器智能化技术基本概念

1.1 概 述

能源问题关系国计民生和人类福祉，能源是经济社会发展的重要基础和基本保障，是影响经济社会发展的全局性、战略性问题。进入 21 世纪以来，世界能源发展格局发生了重大而深刻的变化，新一轮能源革命的序幕已经拉开。

能源安全一直是世界各国着力解决的重大问题。随着传统能源的日益短缺以及环境的污染，全球资源紧张、气候变化问题日益加剧，资源和环境对能源发展的约束越来越强。新能源以其环保绿色和可持续发展的特性取得了广泛的关注。发展清洁能源，保障能源安全，解决环保问题，应对气候变化，加快能源战略转型，保障能源安全、高效、清洁供应，是世界各国面临的共同挑战，是能源革命的核心内容，也是发展智能电网的核心驱动力。

毫无疑问，智能电网的发展、能源互联网的提出以及用电总体水平的提高给电器领域带来了广阔的发展空间，这将有力地推进智能电器技术的发展和应用，同时也给电器行业带来了巨大的压力，因此，电器工业同时面临着机遇与挑战。了解智能电网与能源互联网，对于电器行业相关人员是至关重要的。

本章基于智能电网与能源互联网领域专家的研究成果，简要地介绍世界能源的变革状况，包括智能电网提出的必要性和必然性、智能电网与能源互联网的基本概念、智能电网的基本特点以及我国智能电网建设的理念与技术特征。在此基础上，强调坚强和智能是智能电网与能源互联网发展的核心概念。

智能低压电器及其系统的性能、功能、可靠性直接影响智能电网的运行，是坚强智能电网的重要组成部分。智能电网极其重要的特点是“坚强”与“智能”。为了适应智能电网建设与运行的要求，必须加强“坚强”与“智能”是低压电器及其系统技术研究的基础和关键的认识与理解。如果没有实现智能电器及其系统的坚强化和智能化，如果没有相应的产品，智能电网是无法运行的，也谈不上坚强电力系统的建设。智能电网与低压电器息息相关，要建设智能电网首先必须实现作为电网基石的配用电端电器产品的智能化，由此构建的智能低压电器及其系统是构成智能电网的重要基础。智能低压电器在智能电网中有着不可替代的地位和作用。因此，智能电网与智能低压电器的关系是电器行业十分关注的问题。

为此，本书阐述并力图理顺电器领域重要的概念和问题，包括：电器智能化

技术与智能化电器技术的含义；智能低压电器系统的“智能”与“系统”的含义；特别是引入人体生理系统，将以智能低压电器系统为主的智能低压用电系统与(智能)基于神经系统的人体生理系统进行主要功能的比较，通过人体生理系统的映射，从而加强对智能低压电器系统的“智能”与“系统”的理解。在此基础上，强调系统动态平衡的概念。

本书强化“创新——智能电器及其系统技术发展的动力”的指导思想，并提出新一代低压电器技术与产品研究的重要方向——智能低压电器系统研究的思路。

1.2 智能电网技术简介

1.2.1 世界能源变革状况简述

1. 世界能源变革的趋势

能源是经济社会发展的基本保障，是经济社会的“血液”，是现代化的基石和动力。

电网是国家战略能力的重要组成部分，是关系国家安全和社会稳定的基础设施。以新一轮能源革命为契机，加快能源战略转型，保证可靠、安全、环保、高效和灵活的电力系统成为能源领域最受人瞩目的问题。从技术发展和应用的角度看，智能电网是将先进的传感测量技术、信息通信技术、分析决策技术、自动控制技术和能源电力技术相结合，并与电网基础设施高度集成而形成的新型现代化电网。21世纪，智能电网无疑是当今世界电力系统的发展趋势，是各国电网未来发展方向的共同选择。

欧美发达国家从发展清洁能源、应对气候变化、保障能源安全、促进经济增长的需要出发，相继提出发展智能电网，并将其作为国家战略的重要组成部分。面对新形势，结合我国基本国情与世界电网发展的新趋势，我国国家电网有限公司提出了加快建设以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展，以信息化、自动化、互动化为特征的坚强智能电网的战略目标；突出强调了坚强网架和智能化的有机统一。

从两次工业革命可以看出，能源变革对工业发展具有决定性的影响。随着全球社会、经济的发展，能源变革是第三次工业革命的根本动力，从而提出了能源互联网的思路与概念。能源互联网是多能源融合、信息物理融合和多市场融合的产物，将深刻变革未来能源产业的各个环节，促进其安全化、高效化、清洁化。能源互联网代表着能源产业未来的发展方向，将给人类社会的经济发展模式与生活方式带来深远影响。

构建全球能源互联网是世界能源变革的必由之路，是解决世界能源安全、环境污染和温室气体排放的治本之策。

智能电网是能源互联网(全球能源互联网)的基础，是承载不同能源转化与利用的枢纽，对第三次工业革命具有全局性的推动作用。坚强智能电网是坚强电网与智能控制紧密融合的现代电网。虽然世界各国的经济发展水平、能源资源禀赋和电网发展阶段不同，但总体目标和方向是一致的。无论是智能电网还是能源互联网，“坚强”和“智能”的要求是共同的。毫无疑问，坚强智能电网是世界电网发展的共同目标。“坚强”是智能电网运行的基础，“智能”是智能电网运行的关键。

因此，“坚强”与“智能”也是适应智能电网运行的智能电器及其系统发展的核心。

2. 智能电网提出的必要性和必然性

如前所述，由于世界政治经济形势和能源发展格局发生了深刻变化，电网的发展面临巨大的挑战。

1) 安全可靠的问题

现有系统高度互联和设备老化问题使得任何小范围内的故障都有可能扩大到整个电网。近几年世界电力系统频繁发生的事故造成了大面积连锁停电，带来了巨大损失。这暴露了世界电力系统现有电网的脆弱性，充分说明建设智能电网的必要性与紧迫性。

2003年8月14日美国东北部部分地区以及加拿大东部地区发生了美加大停电事故，其停电范围之广、时间之长、影响之大、危害之深都是史无前例的。这不仅给人们的交通、生产和生活带来不便，而且造成了巨大的经济损失，给人们敲响了警钟，并引起全球，特别是电力行业的关注，对电网安全问题的关注和讨论达到前所未有的高度。

这些事故说明作为国民经济命脉的电力生产与应用具有鲜明的系统性，保证电网安全运行是一个重大的战略课题。

2) 环境与能源的问题

由于化石能源的大量开发和使用，资源紧张、环境污染、气候变化等问题日益严重。

(1) 资源紧张，化石能源开采强度很大。2014年，全球消费煤炭82亿吨、石油336亿桶、天然气3.5万亿立方米。按照目前的开采强度，全球煤炭、石油和天然气的储量仅分别能开采110年、53年和54年。世界经济的发展、人口的增加以及城市化进程的加速，导致全球能源需求总量迅猛增加。

(2) 环境污染。全球化石能源消费总量从 1965 年的 51 亿吨标准煤增加到 2014 年的 159 亿吨标准煤, 在生产、运输、存储、使用的各个环节对大气、水质、土壤、地貌等造成严重污染和破坏。历史上, 有的国家曾因化石能源的过度使用, 排放 SO_2 、 NO_x 造成大量烟尘等污染物, 而发生过重大环境污染事件。

(3) 气候变化。化石能源燃烧产生的二氧化碳占全球温室气体排放的 57%, 它是导致全球气候变暖的主要原因。工业革命以来, 全球地表平均温度上升了 0.9°C 。如果再不控制, 到 21 世纪末地表温升将超过 4°C , 由此将带来冰川融化、海平面上升、粮食减产、物种灭绝等灾害, 将严重威胁人类的生存和发展。

简言之, 大规模开发利用化石能源导致了资源紧张、环境污染、气候变化等诸多全球性难题, 引发了国际社会对能源安全和生态安全的普遍担忧。

然而, 全球清洁能源丰富, 陆地风能资源超过 1 万亿千瓦, 太阳能资源超过 100 万亿千瓦, 仅开发万分之五就可以满足人类的需求。因此, 可靠、有效地利用可再生、清洁能源, 降低对化石能源的依赖程度, 已成为世界各国解决能源安全和环保问题、应对全球气候变化的共同选择。而将清洁能源转化为电能, 是开发和利用清洁能源的最主要途径。

3) 技术创新与经济高效的问题

随着科技的进步, 信息技术、计算机技术、电子技术的发展, 以及人们生活水平的提高, 数字化社会对供电可靠性以及电能质量的要求逐渐提高, 用户对电能质量、可靠性和经济性的要求也越来越高。将先进技术与传统电力技术有机、高效融合, 实现技术与管理转型, 全面提高资源优化配置能力, 保障可靠、安全、优质、经济的电力供应, 提供灵活、高效、透明开放和便捷互动的优质服务, 是新形势下电网面临的巨大挑战。

电网规模日益扩大, 电网运行与控制的复杂程度越来越高。推动技术创新、实现高效管理, 已经成为电网谋求发展的必然选择。

3. 智能电网的特点与关键技术简介

智能电网的智能化将获取电网的全景信息(指内部的任意用户、节点和各个运行设备实时监控的电力流信息和业务流信息等), 并基于坚强、可靠的物理电网和信息交互平台, 利用先进的传感测量技术、信息通信技术、人工智能技术、自动控制技术整合各种实时运行、生产和运营信息, 对电网实时的双向电力流、信息流进行动态分析、诊断、预测和优化, 提供实际、可靠的电网运行、运营状态, 以及相应的控制、协调、处理决策与实施方案支持, 建立安全、稳定、高效、经济、灵活的新型网络。如前所述, 从技术发展和应用的角度看, 智能电网是将先

进的传感测量技术、信息通信技术、分析决策技术、自动控制技术和能源电力技术相结合,并与电网基础设施高度集成而形成的新型现代化电网。

由于随机性和间歇性的特点,大量的分布式能源集中或分布接入电网,必然会影响传统电力系统的安全性和可靠性,传统的电网结构和运行方式无法满足要求。因此需要智能电网接纳新能源入网,并且保证系统的安全性和可靠性。

由于世界各国的国情、背景以及电力工业发展水平存在差异,各国和地区对发展智能电网的驱动力、对智能电网的要求有着不完全相同的标准,但各国对智能电网的概念有着相似的描述。

1) 智能电网的特点

智能电网的基本特点简述如下,即坚强、智能、兼容、集成、优质、高效、经济、交互等。

(1) 坚强。坚强和智能是现代智能电网发展的本质。坚强意味着电网具有很强的安全性、稳定性,有极强的抵御风险的能力。作者认为,智能电网坚强的含义是系统全局性的概念。其以坚强网架为基础、以智能化技术为核心,具有系统自愈的功能。当出现或可能出现任何导致或可能导致系统正常运行受到威胁而进入严重不平衡状态的因素(包括内部或外部的因素)时,智能电网具有自行决策、处理并实现优化动态平衡,保证系统可靠、安全运行的能力(见 1.4.3 节)。

(2) 智能。智能意味着高度自动化,无论是处于正常还是不正常的的不平衡状态,智能电网都具有保证系统进入动态平衡的优化运行状态的功能。智能技术的内容深入且广泛,涵盖了自愈及以下各特点,保证系统坚强与优化运行。

(3) 兼容。智能电网实现集中发电与分散发电的兼容,可以兼容各种发电和储能系统。不仅可以兼容大规模集中式的电厂,还将兼容不断增多的分布式能源、微电网和储能系统。

(4) 集成。智能电网具有多元化的特点。以输配电系统为物理实体,以集成、高速、双向的通信网络信息系统为统一平台,实现电网信息的高度集成和共享,实现标准化、规范化和精准化管理。

(5) 优质。用户对电能质量的要求越来越高。智能电网可对不同需求的用户提供优质的电能供应,实现优化资产的利用,降低投资成本和运行维护成本。

(6) 高效。通过高速通信网络实现对运行设备的在线状态监测,获取设备的运行状态,提高单个资源的利用效率,整体优化调整电网资产的管理和运行,实现最低的运行维护成本及投资。

(7) 经济。支持电力市场运营和电力交易的有效开展,实现资源的优化配置,降低电网的损耗,提高能源的利用效率。

(8) 交互。智能电网将实现需求侧的响应功能,使电力供应商与用户建立实

时信息联系,促进用户与各类用电设备的广泛交互、与电网双向互动,能源流在用户、供应商之间双向流动。

2) 智能电网的关键技术简介

智能电网的关键技术包括关键基础技术(集成的信息与通信技术、先进的传感和测量技术、电力电子技术与超导技术、仿真分析与控制决策技术)、大规模新能源发电及并网技术、智能输变电技术、智能配电系统技术、智能用电技术等。

必须强调,智能低压电器技术是智能配电系统与智能用电系统的关键技术。

1.2.2 我国智能电网建设简介

1. 我国建设智能电网的必要性

中国经济社会的持续高速发展,对供电需求和供电可靠性的要求越来越高,电网建设规模不断扩大、电网负荷变化剧烈、不同区域负荷分布不平衡,电网架构依旧比较薄弱。加强电网建设,改变电网的现状,提高电网运行的可靠性与安全性是建设我国现代电网的先决条件。

我国是世界第一大能源和电力消费国,但能源资源相对匮乏,人均能源资源拥有量远远低于世界平均水平,能源资源分布与生产力布局很不平衡。我国的能源消费是以煤炭为主,能源对外依存度不断提高。目前,我国人均能源消费水平较低,清洁能源的比重也相对较低,面临着可持续发展、环保等严峻的问题。近年来,随着中国经济的快速发展,能源消费增长很快。中国以煤为主的能源结构导致雾霾、酸雨和水土破坏等环境问题日益突出。中国资源紧张问题、能源安全形势非常严峻。

加快水能、风能、核能、太阳能等清洁能源的开发,对于保障能源安全和电力可靠供应、改善能源结构至关重要。我国能源资源分布以及经济发展很不均衡,因此,必须提升电网的输电能力。智能电网作为整个电网发展过程中衍生出的高级产物,必将引起一场新的电力工业的改革,这场改革将涉及电力行业的各个层面,也将给社会经济发展带来不同程度的影响。

因此,我国电网发展要求提高电网的输电能力、电网安全性、对电网消纳间歇性清洁能源的能力,以及强化电网功能的作用。以坚强、智能化的电力与信息网络和强大的资源配置能力为基础,才能满足经济社会发展的需要。

2. 我国建设智能电网理念

1) 我国智能电网建设目标

面对新形势、新挑战,结合我国基本国情与世界电网发展的新趋势,为了贯彻落实可持续发展战略,缩小与发达国家在智能电网领域的差距,加强我国电力

领域的安全性以及抗打击能力,提高综合能源利用率,国家电网有限公司提出了加快建设以特高压电网为骨干网架,各级电网协调发展,以信息化、自动化、互动化为特征的坚强智能电网的战略目标。坚强智能电网是以坚强网架为基础,以通信信息平台为支撑,以智能控制为手段,包含电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度各个环节,覆盖所有电压等级,实现电力、信息、业务的高度一体化融合,是坚强可靠、经济环保、友好互动的现代电网。

我国科技部发布《智能电网重大科技产业化工程“十二五”专项规划》指出:“智能电网是实施新的能源战略和优化能源资源配置的重要平台,涵盖发电、输电、变电、配电、用电和调度各环节,广泛利用先进的信息和材料等技术,实现清洁能源的大规模接入与利用,提高能源利用效率,确保安全、可靠、优质的电力供应。实施智能电网重大科技产业化工程,对于调整我国能源结构、节能减排、应对气候变化具有重大意义。”

智能电网发展的总体目标为:“突破大规模间歇式新能源电源并网与储能、智能配用电、大电网智能调度与控制、智能装备等智能电网核心关键技术,形成具有自主知识产权的智能电网技术体系和标准体系,建立较为完善的智能电网产业链,基本建成以信息化、自动化、互动化为特征的智能电网,推动我国电网从传统电网向高效、经济、清洁、互动的现代电网的升级和跨越。”

2) 中国智能电网——坚强智能电网的内涵

坚强智能电网是坚强电网与智能控制紧密融合的现代电网。发展坚强智能电网具有巨大的经济价值、社会价值、环保价值,是实现能源可持续发展的战略选择。

坚强智能电网的内涵如下。

(1) 坚强可靠。智能电网的坚强可靠必须依靠坚强、灵活的电网结构,先进、可靠的信息网络与智能技术才能实现,缺一不可。坚强可靠是具有自愈的能力,在极端的故障及其干扰事件发生时,电网能保持整体运行的安全稳定,以此来保证供电能力。

(2) 经济高效。智能电网可以提高资源利用率、电网设备的利用率、输电设备的利用率,同时降低电力系统运行过程中的维修成本以及建造成本,从而实现经济高效的主要目标。

(3) 清洁环保。清洁型能源产业,尤其是以太阳能及风能所带动的产业在全球崛起。但是清洁能源的间歇性以及不稳定性所引起的功率来回波动对电网的坚强可靠性提出了巨大挑战,智能电网的建设使得清洁能源的大规模使用得到了有力的保障,从而实现了电网建设清洁环保的目标。

(4) 友好互动。友好互动的智能电网是指电源与负荷方都主动与电网进行协