智能自动电压控制
(Smart AVC)技术

丁晓群　周玲　陈光宇　著

Smart AVC

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



丁晓群 男，河海大学能源与电气学院教授、博士生导师，长期从事电力系统无功电压优化运行与控制、电力系统降损节能方面的教学与研究工作，多次获得省、部级科技进步奖。其开发的无功电压自动控制（AVC）系统、降损节能系列产品已经在全国电力系统推广应用达180多家用户。



周玲 女，河海大学能源与电气学院副教授、硕士生导师，多年从事电力系统继电保护、电力系统降损节能方面的教学与研究工作，发表学术论文20多篇。



陈光宇 男，博士，南京河海电力软件有限公司工程师，具有丰富的省级电网无功电压自动控制（AVC）系统研发和工程经验，并擅长潮流和优化算法。

智能自动电压控制（Smart AVC）技术

丁晓群　周　玲　陈光宇　著

机 械 工 业 出 版 社

本书是当今介绍智能自动电压控制（AVC）技术的具有新颖性和前瞻性的专业技术书籍。尽管目前对于智能电网和智能 AVC 还没有明确的定义，但是经过近几年的研究，对于它们的基本功能及涉及领域已有所了解，所以本书中的许多概念都是第一次提出，希望达到“抛砖引玉”的效果。

本书主要介绍了智能电网与智能 AVC 的关系；智能 AVC 如何嵌入 EMS/SCADA 平台，做到图、模、库一体化；智能 AVC 怎样对应和处理电网“自愈”；多目标模型求解优化；电网事故时的电压在线预防；告警和评估；可再生能源的接入及配电网 AVC 等。

本书可以作为电力系统部门从事无功电压领域工作的专业技术人员和管理人员的参考书，也可以作为高等院校电力专业的研究生及相关技术人员的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

智能自动电压控制（Smart AVC）技术/丁晓群，周玲，陈光宇著.
—北京：机械工业出版社，2012.8
ISBN 978-7-111-39210-1

Ⅰ.①智… Ⅱ.①周…②丁…③陈… Ⅲ.①智能控制-电压控制
Ⅳ.①TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 167769 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：刘星宁 责任编辑：任 鑫 版式设计：霍永明
责任校对：肖 琳 封面设计：陈 沛 责任印制：张 楠
北京四季青印刷厂印刷
2012 年 9 月第 1 版第 1 次印刷
169mm×239mm · 14.75 印张 · 290 千字
0001—2500 册
标准书号：ISBN 978-7-111-39210-1
定价：45.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务		网络服务	
社服务中心：	（010）88361066	教材网：	http://www.cmpedu.com
销售一部：	（010）68326294	机工官网：	http://www.cmpbook.com
销售二部：	（010）88379649	机工官博：	http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：	（010）88379203	**封面无防伪标均为盗版**	

序

在过去的十几年间，电网自动电压控制（AVC）系统在提高电压合格率和功率因数合格率、降低网损和电力设备动作次数等方面发挥了重要作用。丁晓群教授领导的研究团队，于2001年在泰州电网研究开发了地区级电网AVC系统，2002年又在福建电网研究开发了省级电网AVC系统。十余年来，该团队先后在县级、地区级与省级电网中安装了180套AVC系统，涵盖了全国22个省级区域。基于上述成果和经验，于2010年由机械工业出版社出版了《电网自动电压控制（AVC）技术及案例分析》一书，书中对电网AVC技术进行了全面的阐述。

近年来，智能电网成为全世界范围内讨论的热点问题，许多国家正在酝酿建设更可靠、更高效、抵抗灾害能力更强、更环保和能与用户友好互动的电网。在这样的背景下，丁晓群教授领导的团队再次抓住机遇，适时提出了智能自动电压控制（Smart AVC）的研究命题，并于2009年5月在河海大学组织了国内首届面向电力系统用户的智能AVC研讨会，开启了智能AVC的学术研究。2011年，丁晓群教授及其团队与福建省泉州供电公司合作，开启了智能AVC的工程研究。该团队紧跟智能电网发展需要，针对当前电网AVC系统存在的问题，研究了智能电网AVC的概念、内容与方法，并在此基础上形成了这本专著。

本书以电网无功优化多目标建模与求解方法为切入点，研究了可再生能源发电接入AVC系统的若干问题、无功优化不同算法间协调控制问题，以及在线预防控制及告警评估等多种当前智能AVC研究的热点课题。此外，读者还可阅读到智能配电网AVC系统的研发思路和工程实施案例，特别是智能AVC与电网自愈一章，阐述了智能AVC在电网异常情况下如何采用软件和硬件的方法达到电网的自愈功能。这方面内容紧贴智能电网的技术特征，将会是今后很长时间内的研究方向和热点。本书还从工程角度出发详细阐述了智能AVC嵌入EMS/SCADA系统的具体方案，使得智能AVC技术在工程应用时符合国际标准CIM61970，而且更加灵活。

我相信本书的出版，标志着电网智能AVC迈出了可喜的第一步，为今后智能AVC的研究和应用奠定了基础，也为从事这方面工作的研究开发人员和工程技术人员提供了重要的参考。



2012年5月
于河海大学

前　言

当前，智能电网在全球范围内受到高度的关注，欧美各国都将智能电网作为其国家战略的重要组成部分，我国国家电网公司也提出了我国的“坚强智能电网”的概念，并提出了2020年全面建成“坚强智能电网”的三步战略规划。

作为智能电网建设的内容之一——智能自动电压控制（Smart Automatic Voltage Control，Smart AVC）也面临着与智能电网同步建设的需要。从宏观上看，智能电网要解决的是现在电网甚至整个电力系统中存在的问题，智能AVC要解决的是在传统的AVC中没有涉及而在今后的自动电压控制系统中必须涉及的问题。国内外智能电网的建设还未具规模，智能AVC的课题研究还显得比较欠缺，河海大学自动电压控制（AVC）课题组早在几年前就首先提出了建设智能AVC的理念，以期达到发、输、配、用电各环节及其相关行业和社会均能获得利益的共赢状态。这种智能AVC能满足安全稳定连续供电，能使电压质量与输电效率同时达到最好，能提高发输变电设备的利用率，并且还能提高社会用电效益。

在2010年11月，河海大学AVC课题组丁晓群教授带领AVC科研团队成员编写了《电网自动电压控制（AVC）技术及案例分析》一书。该书对电网AVC技术领域的最新研究成果进行了分析和提炼，全面介绍了自动电压控制（AVC）的工作原理、建模算法、决策控制、实用操纵等方面的知识，该书是研究小组十几年来在AVC领域的精心研究和心血结晶。在智能电网建设开始，本课题组的团队就十分关注智能AVC的建设和发展。经过精心研究，我们又编写本书，书中就大家关心的智能AVC的框架设计模型，智能AVC与电网“自愈”的概念，智能AVC多目标建模、求解与协调控制算法，智能AVC在线预防控制、告警和评估的研究，智能配电网AVC，智能AVC接纳可再生能源的研究及智能AVC嵌入式方法的实现等问题提出了有参考价值的认识。希望本书能够对智能电网和智能AVC领域感兴趣的广大读者有所帮助。

本书由河海大学能源与电气学院AVC课题组丁晓群教授、周玲副教授组织编写，其中第1、3章由丁晓群教授编写，第6、7章由周玲副教授编写，第2、4、5章由陈光宇博士编写。硕士研究生罗珊珊、吴桂军、袁震也参加本书部分章节的编写工作。本书由丁晓群教授审阅定稿，由罗珊珊进行了全书校对。在此，还要感谢福建省电力公司及泉州供电公司的科技立项，为本书涉及的技术和实施提供的支持。

由于作者水平有限，书中的疏漏和不妥之处在所难免，恳请广大读者指正。

作　者

2012年5月于南京河海大学校园

目　　录

序

前言

第 1 章　智能电网与智能 AVC …… 1

1.1　智能电网的分析与定位 …… 1

1.1.1　智能电网 …… 1

1.1.2　智能电网的定位 …… 4

1.2　AVC 的理论及其应用 …… 15

1.2.1　AVC 的分析及其技术 …… 15

1.2.2　智能 AVC 的分析及其技术 …… 26

1.3　智能 AVC …… 27

1.3.1　实现智能 AVC 的基本条件 …… 27

1.3.2　智能 AVC 的内涵研究 …… 29

1.3.3　智能 AVC 对数据库的要求 …… 35

1.3.4　智能 AVC 的框架设计和研究 …… 39

第 2 章　智能 AVC 嵌入式方法的研究 …… 44

2.1　智能 AVC 嵌入 EMS/SCADA 平台基础条件简要介绍 …… 44

2.1.1　概述 …… 44

2.1.2　系统平台软件 …… 45

2.1.3　图、模、库一体化 …… 46

2.2　智能 AVC 接入标准的研究 …… 46

2.2.1　公共信息模型简介 …… 46

2.2.2　IEC 61970 标准 …… 47

2.2.3　公共信息模型 …… 48

2.2.4　基于中间件技术的 CIS 接口方案 …… 53

2.2.5　HSDA 服务器接口研究 …… 55

2.3　智能 AVC 嵌入方式的研究 …… 58

2.3.1　传统 AVC 嵌入 EMS 系统的方法 …… 58

2.3.2　基于 IEC 61970 标准的嵌入方式研究 …… 59

2.3.3　系统主备无缝切换的研究 …… 60

2.3.4　智能 AVC 嵌入式框架图 …… 60

第 3 章　智能 AVC 与电网“自愈” …… 62

3.1　电网自愈 …… 62

3.1.1 电网自愈概念 …… 62
3.1.2 电网自愈控制 …… 62
3.1.3 电网安全控制两个研究的方向 …… 65
3.1.4 智能 AVC 的自愈 …… 66
3.2 “自愈”的硬件设备及软件决策系统的改进 …… 68
3.2.1 “自愈”的硬件设备及改进 …… 68
3.2.2 “自愈”的软件决策系统的改进 …… 70
3.3 SVC 和灵敏度分析 …… 73
3.3.1 SVC 在电力系统中的作用及特点 …… 73
3.3.2 SVC 的分类 …… 75
3.3.3 SVC 的数学模型 …… 76
3.3.4 SVC 模型的潮流实现 …… 80
3.3.5 灵敏度分析 …… 82
3.3.6 网损灵敏度指标 …… 83
3.3.7 算例仿真 …… 85
第 4 章 基于智能 AVC 多目标建模、求解与协调控制算法 …… 88
4.1 传统 AVC 建模和求解方法介绍 …… 88
4.1.1 传统 AVC 的建模 …… 88
4.1.2 传统 AVC 的求解方法 …… 89
4.2 基于多目标智能 AVC 系统的建模研究 …… 93
4.2.1 目标函数 …… 93
4.2.2 等式约束方程 …… 94
4.2.3 不等式约束 …… 94
4.3 基于多目标智能 AVC 系统的求解研究 …… 95
4.3.1 多目标优化简介 …… 95
4.3.2 多目标算法 NSGA-Ⅱ的研究 …… 98
4.3.3 改进 Deb 的 NSGA-Ⅱ算法的研究 …… 103
4.3.4 模糊多属性决策方法的研究 …… 106
4.4 不同算法间的协调控制应用于智能 AVC 协调控制算法 …… 110
4.4.1 无功优化和变压器经济运行在线协调控制的研究 …… 110
4.4.2 基于经济压差法的无功优化混合计算研究 …… 123
第 5 章 智能 AVC 在线预防控制及评估的研究 …… 136
5.1 基于电压稳定的智能 AVC 在线预防控制及校正方案的研究 …… 136
5.1.1 静态电压稳定预防控制方法研究 …… 136
5.1.2 基于电压稳定约束的智能 AVC 控制方法的研究 …… 149
5.2 智能 AVC 在线告警及评估的研究 …… 152
5.2.1 在线智能告警分析的研究 …… 152
5.2.2 智能评估内容和交互方式的研究 …… 167

第 6 章　智能配电网 AVC 的研究 …… 169
6.1　配电网 …… 169
6.1.1　配电网概述 …… 169
6.1.2　配电网潮流计算 …… 172
6.1.3　配电网无功优化 …… 176
6.2　智能配电网 AVC …… 180
6.2.1　智能配电网与配电网 AVC …… 180
6.2.2　智能配电网 AVC 的关键技术 …… 183
6.3　智能配电网 AVC 与低电压治理系统的开发和实施 …… 186
6.3.1　低电压概述 …… 187
6.3.2　低电压治理的典型方法 …… 189
6.3.3　农网全网电压无功协调控制系统 …… 192
第 7 章　智能 AVC 接纳可再生能源的研究 …… 204
7.1　可再生能源发电的重要性及发电分类 …… 204
7.2　可再生能源的接入对 AVC 系统的影响和要求 …… 207
7.2.1　可再生能源接入对电网功率损耗的影响 …… 208
7.2.2　可再生能源接入对电网功率平衡的影响 …… 208
7.2.3　可再生能源接入对电网电能质量的影响 …… 209
7.2.4　可再生能源接入对系统可靠性的影响 …… 210
7.2.5　可再生能源接入对 AVC 系统的影响与要求 …… 211
7.3　智能 AVC 接入可再生能源发电的研究 …… 213
7.3.1　可再生能源接入系统等效模型研究 …… 214
7.3.2　基于风电模型的无功优化的研究 …… 219
7.4　智能 AVC 处理可再生能源发电中的低电压穿越问题 …… 222
7.4.1　新型 FRT 控制策略的优点 …… 222
7.4.2　双 PWM 变频器的暂态控制 …… 223
7.4.3　两种控制策略优缺点对比 …… 224
参考文献 …… 225

第 1 章　智能电网与智能 AVC

当前，智能电网在全球范围内受到高度的关注。欧美各国都将智能电网作为其国家战略的重要组成部分。我国国家电网公司也提出了“坚强智能电网”的概念，并提出了 2020 年全面建成“坚强智能电网”的三步战略规划。智能电网是集成了现代电力工程技术、分布式发电和储能技术、高级传感和监测控制技术、信息处理与通信技术的新型输配电系统。它能够为用户提供一系列增值服务、实现电网与用户的互动，同时具备自愈和自适应能力、能实现对新能源的灵活接入控制、对海量监测信息的智能分析和智能决策等。作为智能电网建设的内容之一——智能自动电压控制（AVC）也面临着与智能电网同步建设的需要。从宏观上看，智能电网要解决的是现在电网甚至整个电力系统中存在的问题；智能 AVC 要解决的是在传统的自动电压控制系统中没有涉及而在今后的智能 AVC 中必须涉及的问题。众所周知，电压是电能质量的重要指标，电能质量直接影响电网稳定及电力设备安全和电网经济运行。传统的自动电压控制系统主要是解决电压合格率，降低网损率，有效减少电力变压器分接开关、电容器、电抗器设备的动作次数。传统的自动电压控制系统虽然能做到电压的自动调节，但是调节过程往往过于粗放，没有充分做到无功就地、分层平衡的根本要求，对于无功补偿地点往往不合适、容量不到位的现象无能为力；对于配电侧的无功补偿还没有统一控制起来；对于 AVC 系统与厂、站信息共享还要加强。因此，建立包含信息化、数字化、自动化、互动化特征的智能自动电压控制（Smart AVC）系统已经势在必行。

1.1　智能电网的分析与定位

1.1.1　智能电网

到目前为止，智能电网并没有一个确定的概念，各国结合其电力工业发展的具体情况，通过不同领域的研究和实践，形成了各种的发展方向和技术路线，也反映出各国对未来电网发展模式的不同理解。

天津大学余贻鑫院士给出如下定义：智能电网是指一个完全自动化的供电网络，其中的每一个用户和节点都得到了实时监控，并保证了从发电厂到用户端电器之间的每一点上的电流和信息的双向流动。通过广泛应用的分布式智能和宽带通信及自动控制系统的集成，它能保证市场交易的实时进行和电网上各成员之间的无缝

连接及实时互动。

IBM 中国公司高级电力专家 Martin Hauske 的解释，智能电网有 3 个层面的含义：首先是利用传感器对发电、输电、配电、供电等关键设备的运行状况进行实时监控；然后把获得的数据通过网络系统进行收集、整合；最后通过对数据的分析、挖掘，达到对整个电力系统运行的优化管理。

从技术发展和应用的角度看，世界各国、各领域的专家、学者普遍认同以下观点：智能电网是将先进的传感量测技术、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。

尽管智能电网有待于规范概念和定义，但是区别于常规电网，智能电网在主要特征方面已形成如下初步共识，如图 1-1 所示。

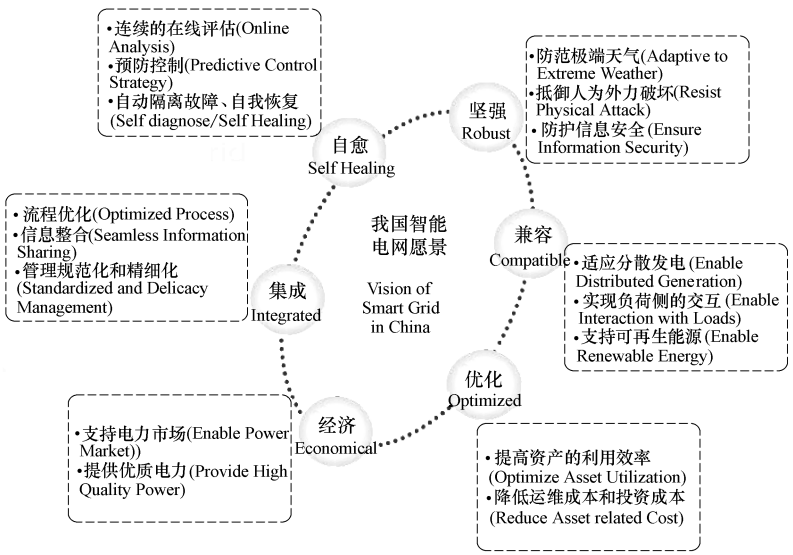


图 1-1　我国智能电网的特征

1. 坚强

在电网发生大扰动和故障时，仍能保持对用户的供电能力，而不发生大面积停电事故；在自然灾害、极端气候条件下或外力破坏下仍能保证电网的安全运行；具有确保电力信息安全的能力和防计算机病毒破坏的能力。安全问题对智能电网来说是非常关键的，智能电网的设计者们必须计划一个专注的、周密的能同时对攻击有反应的系统。

对电网的物理攻击和信息攻击近几年一直在不断增加，不管发生哪种攻击，智能电网必须抵御两种不同的攻击，即

1）对电力系统的攻击，基础设施本身就是主要的攻击对象；

2）通过对电力系统的攻击，利用电力系统网络攻击其他基础设施系统，如电信、财政或者政府。

智能电网要能够抵御攻击，它必须能够：

1）通过掩藏、分散、消除或者减少单点故障来减少攻击的威胁；

2）通过保护关键资产免受物理和信息的攻击，以减少电网的弱点；

3）通过恢复核心电力组件来尽量减小攻击的影响。

当然，政府应当选择地资助发展方向或者开发某种高级技术，以保证智能电网的安全。

2. 自愈

智能电网应具有实时、在线和连续的安全评估和分析能力，强大的预警和预防控制能力，及时发现、快速诊断和消除故障隐患的能力；故障发生时，在没有或少量人工干预下，能够快速隔离故障、自我恢复，避免大面积停电的发生。在美国德克萨斯州休斯敦的一次模拟停电实验中，智能电网可在最短的时间内识别并恢复系统中最重要的部分，然后继续进行全面恢复。系统重新确定输电线路，从而保证在公用事业公司派出修理人员的同时，几乎不会中断为用户提供的服务。当出现极大规模的停电时，系统通过智能电网的自动恢复功能来实现自愈，快速恢复电力供应。具有自愈功能的智能电网能够实现三大目标：实时监测和快速反应、预测和隔离。

3. 兼容

智能电网应支持可再生能源的有序、合理接入，适应分布式电源和微电网的接入，能够实现与用户的交互和高效互动，满足用户多样化的电力需求并对用户提供增值服务。

智能电网在能源用户和电网之间将会出现可靠的广泛联系。建立这种联系将使用户了解能耗使用情况并做出选择，从而有利于自身和电力企业。基于市场的电力供给将对用户具有更大的吸引力。可以设想，实时电价的实施计划，可通过用户侧和电力企业之间的网关单元给用户提供更多的选择。这个网关提供负载控制功能，用户可以根据实时价格对用电行为进行预编程。为了经济刺激计划，用户会采用新型的智能设备，这样就能够进一步加强和扩展用户对电网的支持，用户和电力企业也将同时受益于电网高效运行而带来效益的自动化过程和项目。新的价格方案可方便用户选择和规划用电，在形成可接受的企业利润的同时，便于形成多样、成本合理的分布式能源。

4. 经济

智能电网应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，降低电网损耗，提高能源利用效率。

5. 集成

智能电网应实现电网信息的高度集成和共享，并采用统一的平台和模型，实现标准化、规范化和精益化管理。

6. 优化

智能电网应能优化资产的利用，降低投资成本和运行维护成本。

1.1.2 智能电网的定位

1. 智能电网的研究背景

近年来，世界形势和能源发展格局发生了深刻变化，以电力为中心的新一轮能源革命的序幕已经拉开。智能电网的研究工作起源于美国，侧重于推广信息化、新能源、新材料和新元件，并应用在需求侧管理、配电网重构、分布式发电管理等方面。随后部分其他国家认可了其观点，目标是在 2020 年或更远的将来实现智能电网。欧洲于 2005 年成立了欧洲智能电网论坛，侧重于推广分布式发电，并发表了《欧洲未来电网的远景和策略》、《战略性研究议程》、《欧洲未来电网发展策略》3 份报告，全面阐述了智能电网的发展理念和思路，以指导欧洲智能电网的建设。

我国在这方面的研究起步相对较晚。近年来，我国电力行业紧密跟踪欧美发达国家电网智能化的发展趋势，着力于技术创新，实行研究与实践并举，在智能电网发展模式、理念和基础理论、技术体系以及智能设备等方面开展了大量卓有成效的研究和探索。2009 年 5 月，在北京召开的“2009 特高压输电技术国际会议”上，国家电网公司正式发布了“坚强智能电网”发展战略。2009 年 8 月，国家电网公司启动了智能化规划编制、标准体系研究与制定、研究检测中心建设、重大专项研究和试点工程等一系列工作。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：“大力开发低碳技术，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。

2. 智能电网发展的驱动力

进入 21 世纪，气候变化和资源耗竭问题严重，在地球资源与环境的强约束下，电网的发展也因此面临前所未有的机遇与挑战。欧美等经济发达国家在其经济发展的同时，电力需求也在不断增长，但是也面临着日益老化的电网框架、运行成本提高等局限。所以这些国家在大力倡导可再生能源、分布式电源，尤其是鼓励发展风能、太阳能和生物质能等可再生能源。智能电网是当今世界电力系统发展变革的最新趋势。安全、可靠、价格合理的电力供应是国家繁荣、安全的重要保证。

（1）环境和能源

目前，能源的供应主要依赖于化石燃料。随着全球能源使用量的增加，以及不科学使用，化石燃料等不可再生能源将日益枯竭，并对环境产生严重影响。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，引发了国际社会对能源安全和生态安全的普遍担忧。提高能源的使用率、发展清洁能源、优化调整能源消费结构、降低依赖程度，已经成为世界各国解决安全和环保问题、应对全球气候变化的共同选择，而将清洁能源转化为电能，是开发利用清洁能源的最主要途径。开发清洁能源，提高电网的安全可靠性、灵活适应性和资源优化配置能力，已成为当今电网面临的紧迫任务。

（2）安全可靠与经济高效

随着能源结构的优化调整和清洁能源的快速发展，电能在终端能源消费中所占比例日益提高，社会发展对电能的依赖程度也日益增加。电网规模的扩大，一方面有益于资源的优化配置能力，有利于大规模可再生能源的接入和传输；另一方面，电网运行与控制的复杂程度也越来越高，发生大面积停电的风险也日益加大，对实现电能的安全传输和可靠供应提出重大挑战，电网的坚强可靠成为普遍关注的焦点。

促进电力清洁生产，降低电力输送损耗，全面优化电力生产、输送和消费全过程，成为电网发展的必然选择。经济高效的电网必将极大地推动低碳电力、低碳能源乃至低碳经济的发展。

（3）电网开发与优质服务

市场化改革的深入和用户身份的重新定位，使电力流和信息流由传统的单向流动模式向双向互动模式转变。信息的透明共享、电网的无歧视开放既体现了对价值服务的认同，同时也成为电网无法回避的挑战。电网的透明开放为电网自身的运营发展提供了巨大的机遇，用户的积极、广泛参与对于电网优化资产效能、提高安全水平、降低运营成本具有重要意义，使电网构建新型商业模式、提供电力增值服务以及拓展战略发展空间成为可能，但同时也对电网友好兼容各类电源和用户接入，提供高效优质服务提出了更高的要求。

（4）技术创新与高效管理

推动技术创新、实现高效管理，已经成为电网迎接发展与挑战的必然选择。在科技发展日新月异的今天，将先进技术与传统电力技术有机高效融合，实现技术转型，全面提高资源优化配置能力，保障安全、优质和可靠的电力供应，提供灵活、高效和便捷的优质服务，是新形势下电网面临的新课题。

3. 国内外智能电网研究与发展

（1）美国智能电网研究与发展

2001 年，美国电力科学研究院（Electric Power Research Institute，EPRI）创立了智能电网联盟，积极推动智能电网研究，重点开展了智能电网（IntelliGrid）整体信息通信架构研究以及配电侧的业务创新和技术研发。IntelliGrid 项目有两个目标：一是分析出电力系统运行的商业需求，包括现状、未来的各种需求，如自愈电

网概念等；二是以基于这些分析得出的电力系统的需求作为基础，提出支撑未来电力系统的信息需求系统，使用战术性的方法来建立一个战略视图，以战略的高度建立一个不依赖于具体技术的视图框架。这两个目标明确了电力系统是一个融合了电力输送能源基础设施和信息基础设施的能源系统。

2003 年，美国能源部（DOE）发布了“Grid 2030”，对美国未来电网远景进行了阐述。该报告可谓美国电力改革的里程碑式文件，它描绘了美国未来电力系统的设想，并确定了各项研发和试验工作的分阶段目标。同年，电网智能化联盟（The Grid Wise Alliance）由美国能源部牵头成立，成员包括跨国技术公司有 AREVA、GE、IBM；电力公司和电网运营商有 AEP（美国电力公司）、包纳维亚（Bonneville）电力管理局、PJM 及法国电力集团（EDF）等。

2004 年，美国 Battelle 研究所和 IBM 公司先后提出来“智能化电网”（Intelligent Grid，Intelligent Utility Network-IUN）。Grid Wise 架构委员会成立，其目标是定义一个可互操作、互动通信的智能电网整体框架。

2005～2006 年，DOE 与美国国家能源技术实验室（NETL）合作，发起了“现代电网”倡议，任务是进一步细化电网现代化愿景和计划，并在全国范围内达成共识。“现代电网”倡议创立一个全国范围内共享的关于现代电网主要特性及关键技术领域的一个蓝图。这个蓝图分析了电网的性能和技术缺口，提出了现代电网的国家级概念，鼓励工业界对现代电网的认可并协调区域技术的集成项目。

2007 年 12 月，美国国会颁布了《能源独立与安全法案》，以法律形式确立了智能电网的国家战略地位。

2009 年，美国能源部向国会递交了《智能电网系统报告》，制定了由 20 项指标组成的评价指标体系，对美国智能电网的发展现状进行了评价，并总结了发展中遇到的技术、商业以及财政等方面的挑战。

（2）欧洲智能电网研究与发展

智能电网成为欧洲电网的发展趋势，尤其是其独特的发展背景。其一，经过逾百年的长期发展，欧洲各国的电力系统已走完了以外延扩张为主的发展阶段，早已具备了可以满足经济社会运转需求的较为充裕的输配电供应能力，对电力行业的要求转向了更加高效、灵活、环保且有利于市场化等方面。其二，欧洲各国的能源政策更加强调对环境的保护和可再生能源发展，尤其是风能、太阳能和生物质能等可再生能源发展是近年来欧盟委员会能源政策的基本着力点和中心目标。因此，基于可再生能源的分布式电源发展成为欧洲电力市场的必然。其三，欧洲天然气管网发达，应用广泛且已市场化，为基于天然气的分布式发电技术的广泛应用提供了良好的能源供应基础和市场基础。

2004 年成立了“未来电网欧洲技术论坛”，欧洲委员会研究总局为该论坛制定了基本理念和指导原则。

2005 年，“智能电网（Smart Grids）欧洲技术论坛”正式成立，并提出了智能电网（Smart Grids）的概念。作为欧洲 2020 年及以后的电力发展目标，该计划指出未来欧洲电网应具有以下特征：

1）灵活性。在适应未来电网变化与挑战的同时，满足用户多样化的电力需求。

2）可接入性。保证用户能够灵活地接入电网。

3）可靠性。提高电力供应的可靠性与安全性，满足数字化时代的电力需求。

4）经济型。通过技术创新、能源有效管理以及有序的市场竞争等提高电网的经济效益。

将当前的电网转换成一个用户和运营者互动的服务网，以提高欧洲输配电系统的效率、安全性及可靠性，并为分布式和可再生能源发电的大规模整合扫除各种障碍。

2006 年 4 月，未来电力网络技术平台顾问委员会发布了“欧洲未来电力网络视图和战略（Vision and Strategy for Europe’s Electricity Networks of Future）”。在这个视图中指出，未来的电力市场和网络必须能为用户提供一个可靠、灵活、可访问和低成本的电力供应系统，并要充分利用大型集中的发电厂和小型分布式的电源。终端用户在电力市场和电网上均体现更重要的互动性。电力将由集中和分散的电源提供，电网系统在欧洲各层次上更加互连，促进安全和高效。这个新概念的电力网络成为智能电网视图。同年，欧盟理事会发布能源绿皮书《欧洲可持续的、竞争的和安全的电能策略（A European Strategy for Sustainable，Competitive and Secure Energy）》，强调智能电网技术是保证欧盟电网电能质量的一个关键技术和发展方向。

2008 年，欧洲公用事业电信联合会（UTC）发布了一份名为“智能电网——构建战略性技术规划蓝图（Smart Grids：Building a Strategic Technology Roadmap）”的报告，以帮助公用事业公司做充分的规划准备工作，进而更好地制定智能电网的发展计划，实现智能电网的发展目标。

（3）我国智能电网研究与发展

随着全球资源环境压力的不断增大，电力市场化进程的不断深入以及用户对计算机可靠性和质量要求的不断提升，电力行业正面临前所未有的挑战和机遇。我国电力行业也面临着类似的情况：在宏观政策层面，电力行业需要满足建设资源节约型和环境友好型社会的要求，以适应气候变化的需要；在市场化改革层面，交易手段与定价方式正在发展，市场供需双方的互动将会越来越频繁。这说明智能电网建设也将成为我国电网发展的一个新方向。我国智能电网方面的研究进展缓慢，甚至是刚刚起步。

2007 年 10 月，华东电网公司启动了智能电网可行性研究项目，密切联系国际先进机构，并结合华东电网的现状和今后发展的要求，提出了三个阶段的发展思路