



主动配电网 规划设计技术

ZHUDONG PEIDIANWANG
GUIHUA SHEJI JISHU

顾水福 吴浩然 李珉 陈铭 王天华 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

主动配电网规划设计技术

顾水福 吴浩然 李珉 陈铭 王天华 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内容提要

本书系统阐述了主动配电网规划设计技术。全书共 8 章, 主要包括: 概述, 传统配电网规划设计, 分布式电源接入配电网的基本原则和典型设计, 主动配电网体系结构和构建原则, 主动配电网规划, 主动配电网保持方案设计, 主动配电网控制方案设计, 主动配电网主站设计。

本书可作为国内供电企业、科研部门从事配电网规划设计和工程技术等科研人员以及大学生、研究生等的参考用书。

图书在版编目 (C I P) 数据

主动配电网规划设计技术 / 顾水福等编著. — 北京:
中国水利水电出版社, 2018. 4
ISBN 978-7-5170-6390-2

I. ①主… II. ①顾… III. ①配电系统—电力系统规划—系统设计 IV. ①TM715

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第076724号

书 名	主动配电网规划设计技术
作 者	ZHUDONG PEIDIANWANG GUIHUA SHEJI JISHU 顾水福 吴浩然 李珉 陈铭 王天华 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京三原色工作室
印 刷	北京虎彩文化传播有限公司
规 格	170mm × 240mm 16 开本 12.5 印张 245 千字
版 次	2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷
定 价	59.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

目 录

第 1 章 概述	1 -
1.1 传统配电网典型特征	1 -
1.2 传统配电网面临的主要挑战	2 -
1.3 从无源到有源	2 -
1.4 从被动到主动	3 -
1.5 主动配电网的典型特征	4 -
1.6 主动配电网体系结构	10 -
参考文献	12 -
第 2 章 传统配电网规划设计	14 -
2.1 传统配电网规划设计理念	14 -
2.2 传统配电网规划目的、流程及标准	17 -
2.3 电网现状评估	18 -
2.4 空间负荷预测	25 -
2.5 高压配电网规划设计	32 -
2.6 中压配电网设计	41 -
2.7 方案制定基本方法	47 -
参考文献	49 -
第 3 章 分布式电源接入配电网基本原则和典型设计	50 -
3.1 分布式发电	50 -
3.2 分布式能源种类	52 -
3.3 分布式电源接入电网的规程规范	56 -
3.4 分布式电源接入系统典型设计	58 -
3.5 分布式电源对配电网的影响分析	74 -
参考文献	76 -
第 4 章 主动配电网体系结构和构建原则	78 -
4.1 主动配电网的六个主动及四个条件	78 -
4.2 主动配电网系统构架	83 -
4.3 电网结构构建原则	84 -

4.4	通信构建原则	- 87 -
4.5	终端功能构建原则	- 100 -
4.6	配电主站构建原则	- 103 -
4.7	信息安全要求	- 107 -
	参考文献	- 110 -
第 5 章	主动配电网规划	- 113 -
5.1	传统规划的局限性分析	- 113 -
5.2	主动配电网规划方法及体系结构	- 114 -
5.3	主动配电网规划内容	- 115 -
	参考文献	- 129 -
第 6 章	主动配电网保护方案设计	- 130 -
6.1	短路电流增量分析	- 130 -
6.2	对传统配电网保护方案的影响和校验	- 132 -
6.3	主动配电网保护配置方案	- 134 -
	参考文献	- 140 -
第 7 章	主动配电网控制方案设计	- 141 -
7.1	电压分布影响	- 141 -
7.2	分布式电源接入能力分析	- 142 -
7.3	提高分布式电源渗透率的措施	- 144 -
7.4	馈线自动化控制策略	- 148 -
7.5	主动控制对象及控制策略	- 151 -
7.6	主动配电网控制终端功能设计	- 172 -
	参考文献	- 175 -
第 8 章	主动配电网主站设计	- 176 -
8.1	主动配电网主站体系结构	- 176 -
8.2	主动配电网主站基本功能	- 179 -
8.3	主动控制和服务功能设计	- 183 -
8.4	信息交互系统设计	- 189 -

第1章 概述

传统的中低压配电网有三个特点：向用户单方向分配电力，不包含分布式电源（Distributed Generation, DG）；除无功补偿电容器和变压器分接头调节外，没有有功和其他的无功调节以及电压控制设备；没有远程运行监视与控制手段，限制了传统配电网接纳分布式电源的能力。随着计算机通信技术（ITC）的发展和分布式电源的不断增加，对分布式电源的控制具备了技术可行性和经济的可行性。可以统一控制分布式电源的配电网正在初露端倪，这种电源和负荷综合控制的配电网被称之为主动配电网，它与传统配电网有着本质的区别。

1.1 传统配电网典型特征

传统的配电网是被动的配电网，其运行、控制和管理模式都是被动的。由大型发电厂生产的电力，流经输电网（高压），通过配电网送到用户，因此中低压配电网即为电力系统的“被动”负荷，因而配电网又称之为被动配电网（Passive Distribution Network, PDN）。即使采用配电自动化，其核心控制思路仍然是被动的，即在没有故障的情况下，一般不会进行自动控制的操作。现有配电网的分析计算，无论损耗、电压和可靠性，都是基于最大负荷条件或平均负荷条件。

传统配电网规划的主要任务是确定在规划期内何时、何地投建何种类型的输电线路及其回路数，以满足规划周期内的区域电力负荷需求；在确保达到线路载流能力、节点电压水平、供电可靠性等各类基本技术指标的前提下，追求系统投资成本的最小化。为适应节能减排政策对电力系统发展提出的新要求，配电网规划正在越来越多地考虑环境因素，“成本最小化”已不再是决定规划方案优劣的唯一准则。与此对应的数学规划模型无论在目标函数或是约束条件上均得到一定程度的拓展。然而，传统配电网属于标准的无源网络，针对负荷预测结果规划中考虑必要的容量裕度即可应对所有可能的系统运行场景，并方便地找到各类准则下的最优解，因此传统配电网的规划优化问题相对简单^[1]。

传统的配电网是一个“被动”地从主网接收功率的电力网络，其潮流根据负荷的需求自然分布，不能根据主网以及负荷的变化自动调整运行方式与潮流，对异常运行状态与故障的处理措施就是切除负荷线路。在调节、控制措施上的“被动”，限制了传统配电网接纳分布式电源的能力^[1]。为了不影响配电网的安全运行

与供电质量,早期的分布式电源接入技术条件对分布式电源的渗透率及其运行方式做出了严格的规定,如美国供电企业曾规定配电线路接入的分布式电源容量不得大于线路最大负荷的10%;美国国际电气电子工程师协会(IEEE)2003年发布的分布式电源并网技术导则规定,分布式电源要运行在功率因数接近于1的状态,不允许其主动地参与配电网电压无功的调整。分布式电源的接入受到限制,也没有考虑发挥其优化配电网运行方面的作用^[1]。

1.2 传统配电网面临的主要挑战

近年来,随着能源短缺、负荷的快速增长以及电力市场机制的逐步推行,分布式发电技术,尤其是可再生能源的发电技术正在迅速发展,配电网的发展趋势必定是要接纳可再生能源发电。随着分布式电源、储能单元以及可控负荷的不断增加,传统配电网面临新的挑战^[2]:

(1)传统配电网运行控制面向单向潮流,而DG并网导致电网结构和运行方式发生根本性变化。大量DG、特别是风电和光伏等可再生能源,具有随机波动性,会造成电压波动增大和动态无功潮流不合理。

(2)在含DG的配电网无功电压控制中,DG按恒功率或恒功率因数运行,没有发挥一些DG的无功电压调节能力;DG接入后引起的电压升高限制了其接入容量,也导致有载调压变压器分接头和并联电容器等的调节次数增加,影响主动配电网的安全经济运行。

(3)DG并网将改变系统的潮流方向和负荷分布,电网无功电压时空分布更加复杂,不仅存在传统配电网负荷变化的动态性,特别是增加了DG的不确定性,优化控制更加困难。

1.3 从无源到有源

传统配电网的规划设计并不考虑电源的接入,即将其看作是一个功率单向流动的无源网络。分布式电源的大量接入将使配电网的功率与故障电流双向流动,其运行特性与故障特征都发生了实质性的变化,这种含大量分布式电源的配电网称为有源配电网(Active Distribution Network, ADN)。传统的潮流与故障分析、电压无功控制、继电保护方法以及运行管理措施对有源配电网已不再完全适用,需要进行调整与改进。

有源配电网的规划建设与运行管理必须考虑DG对配电网的影响。当DG容量很小时,可以将DG当成一个“负的”负荷而忽略其电源效应,配电网仍然是

无源配电网。

有源配电网^[3](Active Distribution Network, ADN)的翻译遵循的是电路原理。2008 年国际大电网委员会(CIGRE)配电与分布式发电专委会(C6)在《主动配电网的运行与发展》研究报告中强调发挥 DG 的调节作用,提高配电网的运行性能,所以 ADN 也被称为“主动配电网”。考虑到“有源”更能反映配电网自身含 DG 的物理特征,并且能够与不含电源的无源配电网的概念相对应^[2],采用“有源配电网”说明配电网中包含电源,“主动配电网”则指在有源配电网的基础上包含对分布式电源的控制。

1.4 从被动到主动

在传统配电网中,电力潮流一般由上端变电站流向负荷节点,运行方式和规划准则比较简单。然而,大量分布式电源接入后带来诸多影响,例如,影响短路水平和设备选型,影响无功功率和电压分布,影响保护、配电自动化和故障切除过程,影响特殊情况下的孤岛运行。而传统配电网在设计阶段并未考虑上述因素,因此难以满足高渗透率可再生能源发电接入与高效利用的要求。为了应对大量分布式电源的接入,并维持原有的可靠性,需要向主动控制和主动管理发展。在此背景下,国外学者在 2008 年国际大电网会议首次提出了主动配电网的概念,旨在解决配电侧兼容大规模间歇式可再生能源,提升绿色能源利用率以及一次能源结构等问题。

基于智能计量技术的开发和信息通信技术的发展,主动配电网可以延缓投资,可以提高响应速度、网络可视性以及网络灵活性、电能质量和供电可靠性、自动化水平,更容易接入分布式电源、降低网络损耗、更好地利用资产、改进负荷功率因数,从而提高配电网效率和敏感客户的可用性。

分布式能源能主动地参与调节与控制。在传统配电网中,分布式能源被看成是一个被动的“负的”负荷,并通常工作在单位功率因数的状态,无法参与系统的优化控制。显然,这种被动的处理办法无法充分发挥分布式能源的作用。而主动配电网利用先进的量测、控制和通信技术手段,使分布式能源能主动地参与配电网调度与无功电压控制,实现配电网的优化运行,延缓配电系统的升级改造^[4]。

根据国际大电网会议(Conference International des Grands Reseaux Electriques, CIGRE)定义,主动配电网是可以综合控制分布式能源(分布式发电、柔性负荷和储能)的配电网,可以灵活运用网络实现潮流的有效管理。分布式能源在满足监管和接入准则基础上,对系统承担一定的支撑作用。

在高渗透率条件下,新能源以分布式接入配电网的发电方式带来三大挑战:

①功率倒送的挑战——向变电站大量倒送现象逐渐增多；②发电特性的挑战——电压水平升高、短路电流增大、供电可靠性降低以及电能质量恶化等问题；③能源利用的挑战——分布式能源的价值利用率不高，电网需求侧响应能力不足。主动配电网是解决上述挑战的核心技术。

通过开展主动配电网相关研究，主要目的是为了满足高渗透率的分布式能源接入配电网，使得电源、电网及电力用户间的信息、能量流可以双向互动。一方面电力用户在优化自身用电的同时，以需求响应的形式主动参与电力系统运行；另一方面电网侧充分了解用户需求，以更合理的方式来提高分布式电源的利用率，以更优质的服务满足客户需求。最终通过灵活的电力网络、高效设备和信息网络与用户相连，形成高效完整的用电和信息服务网络，实现电力资源的最佳配置，达到降低用户用电成本、提升可靠性、提高用电效率的目的。

1.5 主动配电网的典型特征

1.5.1 智能配电网

智能配电网（Smart Distribution Grid, SDG）就是电网的智能化，它是建立在集成的、高速双向通信网络的基础上，通过先进的传感和测量技术、先进的设备、先进的控制方法以及先进的决策支持系统，实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好的目标。其主要特征包括自愈、激励和保护用户、抵御攻击，提供满足用户需求的电能质量、容许各种不同发电形式的接入以及资产的优化高效运行。智能电网包括智能发电、智能输电、智能配电和智能变电4个部分。

智能配电网从传统的供方主导、单向供电、基本依赖人工管理的运营模式向用户参与、潮流双向流动、高度自动化的方向转变。随着我国智能配电网建设的进展，将产生越来越明显的经济效益与社会效益^[1,5]。

（1）实现智能配电网的优化运行，达到经济高效。智能配电网应用先进的监控技术，对运行状况进行实时监控并优化管理，降低系统容载比并提高负荷率，使系统容量能够获得充分利用，从而可以延缓或减少电网一次设备的投资，产生显著的经济效益和社会效益。

（2）提供优质可靠电能，保障现代社会经济的发展。智能配电网在保证供电可靠性的同时，还能够为用户提供满足其特定需求的电能质量；不仅可以克服以往故障重合闸、倒闸操作引起的短暂供电中断，而且可以消除电压暂降、谐波、不平衡的影响，为各种高科技设备的正常运行、为现代社会与经济的发展提供可靠优质的电力保障。

(3) 推动新能源革命, 促进环保与可持续发展。传统配电网的规划设计、保护控制与运行管理方式基本上不考虑 DG 的接入, 而且为不影响配电网的正常运行, 现有的标准或运行导则对接入的 DG 容量及其并网点的选择都做出了严格的限制, 制约了分布式发电的推广应用。SDG 具有很好的适应性, 能够大量地接入 DG 并减少并网成本, 极大地推动可再生能源发电的发展, 大大降低化石燃料使用和碳排放量, 在促进环保的同时, 实现电力生产方式与能源结构的转变。

智能配电网是智能电网的重要组成部分。智能配电网主要目标是提高供电质量与运行效率, 解决分布式电源的大量接入问题。其特征是自动化、信息化、互动化, 并具有良好的自愈能力。其主要的支撑技术有计算机测量与控制技术、通信技术、电力电子技术等。

从实现的目标、特征以及主要技术内容来看, 智能配电网与主动配电网基本一致。“智能”与“主动”是分不开的, 只有“智能化”, 才能使配电网“主动”起来。智能配电网与主动配电网的概念基本一致。智能配电网是个比较空泛的概念, 不是很严谨, 但易于被社会各界所接受; 而主动配电网是一个具有明确技术含义的术语, 适合在学术交流活动中使用。事实上, 智能配电网与主动配电网并没有本质上的不同, 很大程度上是从不同的角度描述分布式电源大量接入的先进配电网。前者强调的是利用现代计算机、通信与电力电子技术, 让配电网智能、灵活起来。而后者则是强调配电网具有主动的调节与控制能力。作为未来配电网的发展愿景, 智能配电网的内涵更为丰富、广泛些, 而主动配电网的内容则较为具体, 主要落脚在“主动”这一特征上。需要指出, 与主动配电网类似, 智能配电网也不是仅限于分布式电源接入的配电网。就“智能配电网”“主动配电网”与“有源配电网”这三个术语来说, “智能配电网”与“主动配电网”的含义比较接近, 一些情况下甚至说是可以互相替代的; 而“有源配电网”用于描述配电网包含分布式电源的物理特征, 没有强调控制功能^[1,5]。

1.5.2 主动配电网的基本概念

主动配电网可定义为: 综合控制分布式能源(分布式电源、柔性负载和储能)的配电网, 使用灵活的网络技术实现潮流的有效管理, 分布式能源在其合理的监管环境和接入准则基础上承担一定的对系统的支撑作用。从本质上说, 主动配电网是利用先进的信息、通信以及电力电子技术对具有分布式能源的配电网实施主动管理, 能够自主协调控制间歇式新能源与储能装置等分布式电源单元, 积极消纳可再生能源并确保电网的安全经济运行。主动配电网是智能配电网技术发展的高级阶段技术, 智能配电网技术的发展是一个长时间的过程, 也是能量流和信息流不断融合的过程。智能配电网发展的初期阶段强调能量的

价值,随着智能化程度的不断提高,更多地强调信息的价值。智能配电网技术的发展历程如图 1.1 所示^[7]。

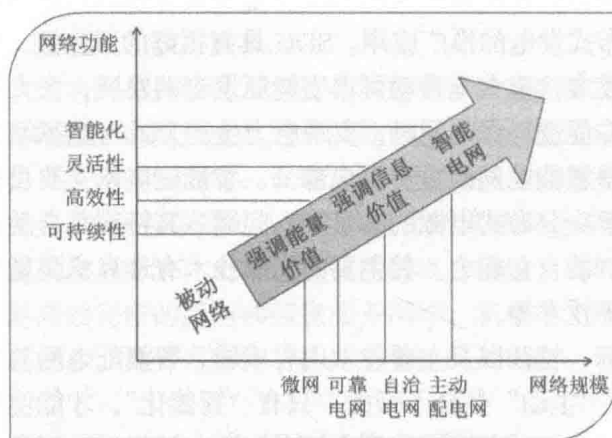


图 1.1 智能配电网技术的发展历程

有源配电网 ADN 是采用主动管理分布式电源、储能设备和客户双向负荷的模式,具有灵活拓扑结构的公用配电网,基本构成模式如图 1.2 所示。图 1.2 中,各类 DG (如风电、光伏等)和储能单元通过电力电子元件转换成相应的交流或直流模式,再经过升压变压器并入系统;通信、自动化及其他相关电气设备以适当的连接方式实现与电力网的紧密集成;此外,用户侧配以智能电表为代表的先进计量装置(Advanced Metering Infrastructure, AMI),用于实现对用电信息的实时采集及电网-用户之间的双向互操作。

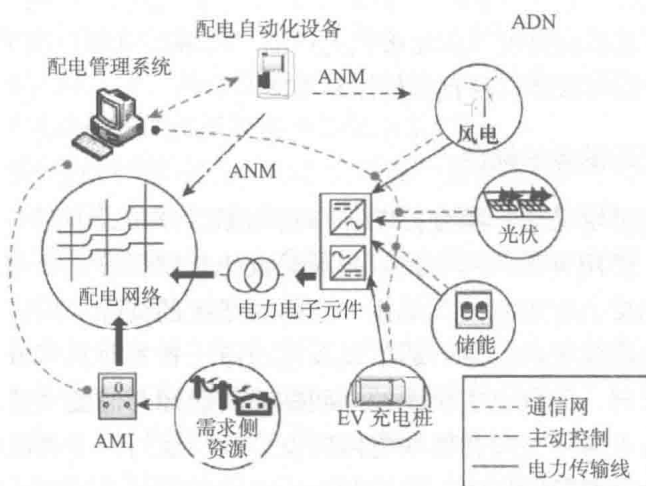


图 1.2 主动配电网的典型构成模式

2004 年,英国曼彻斯特大学学者查理代德发表了题为《含分布式电源配电网的主动管理与保护》的论文,这是国际上首次公开发表的关于主动配电网技术的研究性论文。2006 年国际大电网会议 CIGRE 成立 C6.11 工作组,专门研究有源配电网问题。2008 年 CIGRE 配电与分布式发电专委会(C6)在所发表的《主动配电网的运行与发展》研究报告中明确提出 ADN 概念,即 ADN 是通过使用灵活的网络拓扑结构来管理潮流,以便对局部的分布式能源进行主动控制和主动管理的配电系统。在 2012 年 CIGRE 大会上,鉴于大量 DER 接入配电网,CIGREC6 决定将 ADN 改称为主动配电系统(Active Distribution System, ADS),并对分布式能源的基本构成予以界定:分布式发电(Distributed Generation, DG)、分布式储能(Electrical Energy Storage, EES)、可控负荷(Controllable Load, CL)等。其中 DG 主要为可再生能源(Renewable Energy Resource, RER),包括光伏发电、风力发电等;CL 包括电动汽车(Electric Vehicle, EV)、响应负荷(Responsive Load, RL)等。CIGREC6 关于 ADS 和 DER 的定义和构成设想已得到国际学术组织 CIGRE 和 IEEE 的广泛认可。

国际上 ADS 的发展已经有顶层概念设计、项目实施验证、模型算法研发方面的初步研究,但 C6.19 工作组对全世界五大洲 20 多个电力企业,包括中国的电力企业进行的 ADS 规划方面的有关调研结果表明:鉴于核心计算工具的缺乏,除欧洲部分国家外,大多数国家并没有将 ADS 纳入配电网规划和运行的必需内容,且主动管理和主动控制现在仍处于初始阶段。

1.5.3 主动配电网的特征

ADS 是当分布式新能源大规模接入配电网后,以“分布式新电源-配电网-用电负荷”三元结构为特征的一种新配用电技术,与传统配用电二元结构不同的是,ADS 技术能够主动对分布式电源的性能进行分析和预测,并结合部署一些可控的分布式资源进行控制和管理,以消除分布式能源的不确定性对电网带来的影响。鉴于以上功能实现要求,ADS 应具备以下 4 个特征:

- (1) 有可控的分布式资源。
- (2) 有较为完善的可观可控能力。
- (3) 有实现协调优化管理的控制中心。
- (4) 有可灵活调节的网络拓扑结构。

ADS 具备可观性、可控性以体现主动性。可观性体现在 ADS 控制中心可监测主网、配电网和用户侧的负荷和分布式电源的运行情况,在此基础上预测其发展状态,提出优化协调控制策略;可控性体现在对分布式电源、储能、负荷等的灵活有效控制,当优化协调控制策略制定出来以后,控制中心能够有效执行。ADS

的“主动性”体现在能预判有可能出现的危险并制定应对策略，通过控制中心有效执行，而不像传统配电网只能在故障发生后才被动采取措施^[9,11]。

1.5.4 主动配电网的关键技术

主动配电网的核心技术包括主动配电管理系统（Active Distribution Management System, ADMS）技术和主动配电网技术。其中，ADMS 技术针对 ADN 的运行管理等高级功能，包括运行控制和市场运营；ADN 技术针对 ADN 的网络建设，即规划设计^[7]。

1.5.4.1 间歇式能源消纳模式

间歇式能源并网发电涉及用电管理、运行控制和能量优化 3 个层面，分别对应点、线、面 3 种消纳模式。主动配电网消纳间歇式能源的基本原则为：以点消纳为基础，线消纳为主体，兼顾面消纳。

（1）点消纳。以配电变压器作为“点”单元，间歇式能源在单个点单元消纳，不存在功率倒送至馈线上其他点单元。

（2）线消纳。以变电站出线作为“线”单元，间歇式能源在单个线单元内或多个线单元间消纳，且不存在功率倒送至变电站母线。

（3）面消纳。以变电站作为“面”单元，间歇式能源发电功率倒送至变电站母线。

1.5.4.2 ADN 稳定运行控制

主动运行控制的核心目标是调节间歇式能源出力和用电负荷的匹配度，使配电系统在运行裕度范围内最大限度地高效消纳间歇式能源，进行削峰填谷等经济运行。

ADMS 主站通过监测信息、营销信息、主网能量管理系统（Energy Management System, EMS）交互信息以及预测信息对配电系统进行综合状态评估；根据评估的系统指标，按照不同的优先级进行模态选择，并下发到相应的自治区域；各区域则根据下达的模态进行局部自治控制，调整区域内可控设备的状态，协调间歇式能源的出力和负荷用电，进行点、线、面 3 种消纳模式之间的变换，实现系统的模态运行。此外，考虑到系统运行的安全性，对于主要保护装置的保护逻辑和保护定值，随各区域的运行模态下达，由 ADMS 主站统一调整，如图 1.3 所示。

主动配电网运行控制系统的研究目标是为配电网的调度运行控制人员提供一套可以对主动配电网中的运行状态进行全面监视、对配电网中的所有可控资源进行主动控制、主动管理与主动服务的运行控制系统^[12]。由以下四层构成：

（1）由配电网络、充电汽车、分布式发电、储能设备和“冷热电”三联供系统构成的主动配电网能量流层和由通信传感系统、数值天气预报系统和智慧城市

信息系统构成的信息流层。

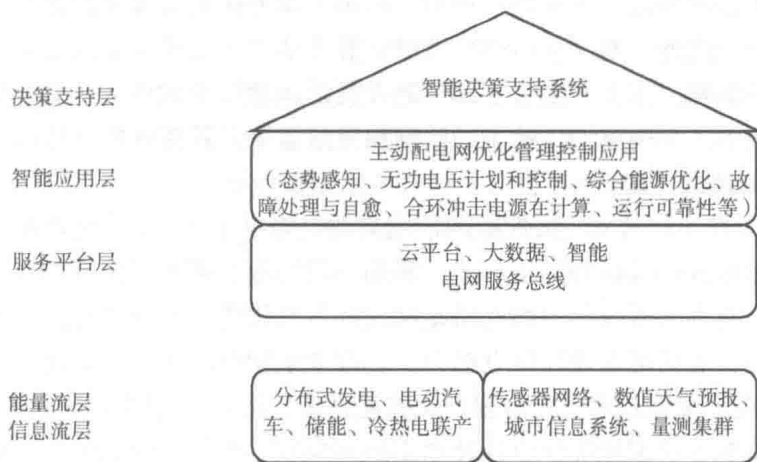


图 1.3 主动配电网的运行控制系统

（2）适应主动配电网特点的服务平台层，包括云平台、大数据处理技术和智能电网服务总线。

（3）为满足主动配电网各种运行与控制功能而配备的智能应用层，包括：电网运行态势感知、全电压等级无功电压控制、自适应综合能源优化、分布式发电预测、馈线负荷预报、故障诊断隔离与恢复、合环冲击电流在线评估与调控、风险评估与状态检修等。

（4）集成“调控-运检-营销”于一体的智能决策支持系统。

1.5.4.3 ADN 灵活市场运营

灵活市场运营的核心目标是利用市场机制的作用，通过基于市场供需情况的实时电价和供售电合同等市场手段，对配用电资源进行优化配置，使得用电负荷和间歇式能源出力进一步参与削峰填谷，调节系统的配用电平衡，间接促使系统在裕度内经济运行。

随着电力用户、微网用户、第三方能源投资商、第三方能量服务商等市场参与主体的出现，以电力企业为主导的垂直结构的非对等电力市场将逐步过渡为水平结构的对等电力市场。在此市场环境下，以市场供需情况为主导的实时电价和供用电合同等多种市场手段使得电力流与信息流的一致性不断提高，充分发挥市场机制，调节电力供需关系^[8]。

1.5.4.4 ADN 综合规划设计

综合规划设计的核心目标是结合主动运行控制和灵活市场运营的作用，合理设计配电系统的运行裕度，进行相应的配电网规划，能够协调电源、电网、负荷三者的关系，在不失可靠性的前提下，实现系统的经济性。

ADN 规划中,电网承担预测的大概率负荷,而剩余的预测负荷则通过主动运行控制和灵活市场运营来协调;同时,根据不同分区对可靠性的差异化要求来规划配电网络。此外,基于多时间尺度的计算方法用于反映间歇式能源出力特性对规划方案的影响。因此,随着主动控制及灵活运营作用的增加,规划方案的系统裕度相应减小,系统更加依赖主动控制和灵活运营,其整体经济性也更为显著。

1.5.4.5 核心技术方向

(1) 柔性组网技术。柔性组网使用柔性电力电子技术,在适当的区域选择合适的电网连接方式及设备结构形式,采用负载均衡、潮流调整等控制技术,使交流、直流、交直流混合等多种网络结构发挥各自优势,互联共存,提升分布式能源接纳能力、提高可靠性和供电能力,支撑未来配电网的广泛互联。

(2) 混合储能技术。针对规模化储能系统,将不同的储能介质混合使用,实现对不同储能方式配比优化设计及功率协调控制、新型的电池成组、储能系统的可用容量与功率的动态评估、多优化目标下储能系统的充放电等目标。

(3) 利用电动汽车充放电的技术(Vehicle-to-Grid, V2G)。通过车辆用能分析和用户行为规律的开放交互,实现电动汽车即插即用及移动储能系统状态的自主评估与分析;通过车辆集群及自主智能控制,实现与分布式电源之间的协同增效,平抑 DG 功率波动,提高 DG 消纳和存储能力,利用移动储能更有自由的时空特性,提供紧急救援。

以上三种技术是当前主动配电网研究的重点,除此以外,还包括电压暂降治理技术、新能源接入电压控制技术、三相不平衡潮流控制技术、可再生能源高渗透区域谐波治理技术、自适应保护和网络保护等关键技术,从而构成能源互联网的核心载体^[6]。

1.6 主动配电网体系结构

主动配电网从物理层面上形成了基于源-网-荷三元结构的一次系统和信息与通信多元化的二次系统。其中一次系统的源包括各类分布式电源,例如热电联供、风力发电、太阳能光伏发电、小水电和其他可再生能源、各种存储设备及其附属设施;网主要包括高低压配电柜、变压器、电力电缆、开关等设施;荷是指用户侧的各类用电设施,包括常规负荷、可灵活中断的负荷以及电动汽车等。而二次系统则涵盖了复杂的通信网络、传感及监测系统、自动控制系统以及能量管理中心^[11]。

与此对应的是,主动配电网将形成以主动规划、主动控制、主动管理和主动服务为核心的技术体系。主动规划是将一次规划与二次规划高度融合在一起进行协同规划,基于概率性规划方法,实现风险性与经济性的优化统一,不仅提高

设备的利用率,延缓配网投资升级,还将大大提高配网对分布式能源的消纳能力。主动控制是综合监测和集成各类分布式资源,通过预测及优化方法,实现对主动配电网源-网-荷的协调控制。主动管理则体现在灵活运营和需求侧管理两个方面,灵活运营通过积极发挥电价的市场作用,实现用户侧负荷的自我调节,需求侧管理则是通过各类分布式资源和负荷的有机集成,通过智能化的负荷调度控制手段,实现负荷的有效控制。主动服务是根据客户需要,提供可定制的高品质电力供应服务,并为客户参与需求响应和改善能效提供技术支撑。

需求侧互动及对可再生能源的主动利用能力是ADN区别于微网(Micro-Grid, MG)最为显著的特征。技术要求上的差异对ADN规划模式提出了全新的要求。面向低碳目标的ADN规划框架如图1.4所示。

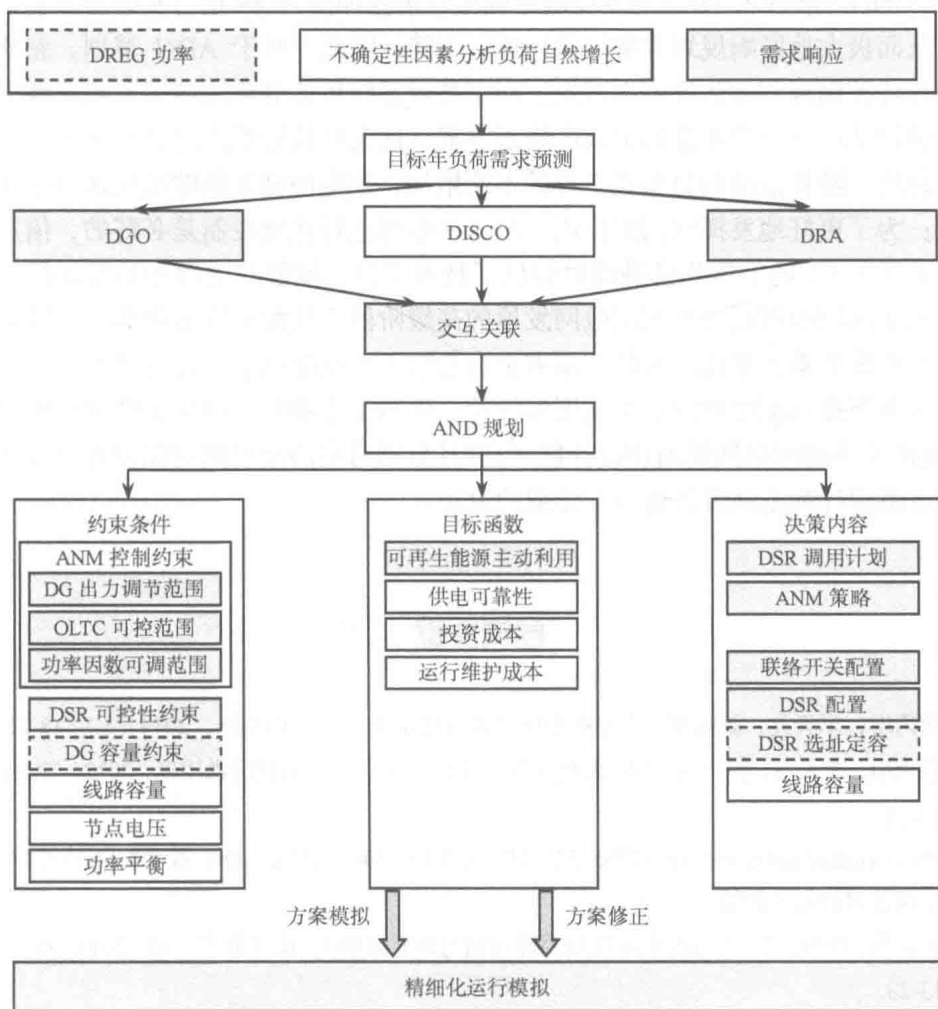


图 1.4 ADN 规划基本构架

图 1.4 中白色模块代表传统配电网规划的基本构成要素,虚线模块代表 MG 规划在该基础上新增考虑的成分,而灰色模块则代表面向低碳目标的 ADN 规划研究中进一步增加的特质性内容。显然,较之传统配电网或 MG,低碳背景下的 ADN 规划无论在框架构成或是模型内容方面均有了极大的扩充。首先,对可再生能源主动兼容的特征使 ADN 规划的优化目标变得更加多元,需要综合考虑系统可靠性、经济性及可再生能源利用效率等多方面因素;同时,在开放电力市场环境,ADN 投资可能涉及配电公司、分布式发电投资商与需求侧集成提供商在内的多个独立市场主体,这将使 ADN 规划问题由传统意义上追求单一主体利益最大化向着复杂得多的主体协调规划方向转变;此外,自动化、通信资源的加入与 ANM 机制将为优化过程带来更多的决策变量与约束条件;最后,需求响应 (Demand Response, DR) 与新能源不确定性的叠加使 ADN 运行状态更加复杂多变,从而极大地影响规划方案寻优的可行空间。因此,对于 ADN 规划,忽略运行的传统配网规划方法已不再适用,而需要对系统可能遇到的各种不确定性工况进行精细化运行模拟才能确定最优规划方案,这无疑具有更高的复杂性^[6]。

总之,随着清洁的分布式电源的不断增加,配电网必须能够适应这些电源的接入;为了更好地发挥它们的作用,对这些电源进行优化控制是必需的,信息通信技术 (ICT) 的发展为这种需要提供了技术手段,能够对电源和负荷进行综合控制的主动配电网将是传统配电网发展的高级阶段。从配电网的规划、设计到运行,都将发生重大变化。为此,本书全面总结了传统配电规划设计技术,研究了分布式电源接入配电网的基本原则和设计,探讨了主动配电网体系结构和构建原则,提出了主动配电网规划和设计技术;并且分别对主动配电网的保护方案设计、控制方案设计和主站设计进行了详细的论述。

参考文献

- [1] 徐丙垠,李天友,薛永端. 主动配电网还是有源配电网[J]. 供用电, 2014 (1): 18-21.
- [2] 徐丙垠,李天友,薛永端. 智能配电网建设中的继电保护问题[J]. 供用电, 2012, 29 (1): 12-17.
- [3] <http://wenku.baidu.com/view/70b5352f5727a5e9846a610c.html?re=view> 被动配电网向主动配电网发展的必然趋势.
- [4] 张建华,曾博,等. 主动配电网规划关键问题与研究展望[J]. 电工技术学报, 2014, 29 (2): 13-23.
- [5] 徐丙垠,李天友,薛永端,等. 智能配电网讲座第一讲 智能配电网概述[J]. 供用电, 2009,