



国家电网公司
电力科技著作出版项目

智能配电网

自愈控制

陈星莺 刘 健 著
沈兵兵 余 昆



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
电力科技著作出版项目

智能配电网 自愈控制

陈星莺 刘 健 著
沈兵兵 余 昆



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

智能电网是未来电网发展的方向,其核心技术是自愈控制。本书围绕中压智能配电网自愈控制展开,主要内容包括中压智能配电网自愈控制体系结构、中压智能配电网运行状态评估、中压智能配电网优化与预防控制、中压智能配电网故障定位、中压智能配电网紧急与恢复控制、智能配电网自愈控制系统与关键设备等。

本书可供从事智能电网技术,配电网规划、设计、运行及维护等相关研究人员和工程技术人员参考,也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能配电网自愈控制 / 陈星莺等著. —北京: 中国电力出版社, 2017. 10

ISBN 978-7-5123-9879-5

I. ①智… II. ①陈… III. ①智能控制—配电系统—自动控制 IV. ① TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 243106 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 刘 薇 (liuwei@sgcc.com.cn) 孙世通

责任校对: 朱丽芳

装帧设计: 张俊霞 赵姗姗

责任印制: 邹树群

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2017 年 10 月第一版

印 次: 2017 年 10 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米 × 980 毫米 16 开本

印 张: 8.5

字 数: 142 千字

印 数: 0001—1500 册

定 价: 45.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

前言

智能电网是未来电网的发展方向，具有融合、优化、分布、协调、互动、自愈等特征，其中自愈是智能电网的核心技术。配电网是连接大电网与电力用户的中间环节，也是关系终端用户安全可靠供电的关键环节，因此自愈控制的重点在于配电环节。同时，配电网中将接入分布式电源、微电网、储能装置等有源系统，控制手段更加丰富，从而配电网的运行将会更加智能。

从20世纪50年代到20世纪末，配电网自动化的发展经历了就地控制、远程监控、综合自动化三个阶段。20世纪90年代，我国多地开展了配电网自动化的试点工作，短时间内同时对三代配电网自动化的功能进行了较大规模的尝试。由于电网结构简单、缺乏建设驱动力，电网基础薄弱、建设投资成本大，技术工艺不够成熟、设备可靠性较差等原因，21世纪初，国内的配电网自动化相关技术和产品研发进入了低潮。在经历了10年的快速发展和全国性城农网改造之后，配电网结构越来越复杂，用户对供电可靠性的要求越来越高，配电网的信息化程度也大幅提升，因此对配电网的自动化和智能化提出了更高的要求，必然向智能配电网方向发展。

科技部于2010年在国家高技术研究发展计划（863计划）先进能源技术领域部署了“智能电网关键技术研发（一期）”重大项目，其中一个课题是以中压配电网为对象，针对分布式电源、微电网、储能装置接入的智能配电网形态开展自愈控制技术研究。国家电网公司同时立项了重大科技项目——智能配电网自愈控制技术与开发，针对智能配电网自愈控制体系、方法和技术展开研究与示范应用。

自上一轮配电网自动化研究与建设热潮之后，作者团队坚持对配电网自动化与智能化继续进行深入思考和研究，本书内容是对相关研究成果的总结。结合智能配电网自愈控制技术与开发项目，本书研究成果均在项目示范工程中得到实践验证，本书也凝聚了项目研究过程中的大量经验。

全书围绕中压智能配电网自愈控制展开，共分为七章。首先界定了智能配

电网、智能配电网自愈控制等名词术语，在此基础上详细介绍了中压智能配电网自愈控制体系结构、运行状态评估方法、与之对应的各种控制技术以及控制系统与关键设备的设计与应用情况。本书由河海大学陈星莺教授、陕西电力科学研究院刘健教授、河海大学沈兵兵教授、河海大学余昆副教授共同著写。

感谢国家自然科学基金委、国家电网公司给予的资助。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，希望读者批评指正。

作 者

2016 年春

目 录

前言

1	概述	1
1.1	背景与意义	1
1.2	相关名词术语	3
2	中压智能配电网自愈控制体系结构	7
2.1	本章概述	7
2.2	中压智能配电网自愈控制	8
2.3	中压智能配电网自愈的分层递阶控制结构	10
2.4	中压智能配电网自愈控制的数学模型	12
2.5	本章小结	14
3	中压智能配电网运行状态评估	15
3.1	本章概述	15
3.2	运行状态评估模型	15
3.3	基于属性区间算法的运行状态综合评估方法	20
3.4	算例分析	28
3.5	本章小结	34
4	中压智能配电网优化与预防控制	35
4.1	本章概述	35
4.2	单时段多目标优化	36
4.3	考虑负荷变化趋势的多时段优化	47

4.4 本章小结	57
----------------	----

5 中压智能配电网故障定位

5.1 本章概述	58
5.2 与故障处理有关的若干术语	59
5.3 分布式电源的故障电流特性	61
5.4 传统故障定位规则及其对分布式电源接入的适应性	66
5.5 应对更大容量分布式电源接入的故障定位策略	81
5.6 本章小结	83

6 中压智能配电网紧急与恢复控制

6.1 本章概述	85
6.2 中压智能配电网健全区域供电恢复模型	85
6.3 基于禁忌搜索算法的供电恢复策略	88
6.4 考虑多目标优化的供电恢复算法	93
6.5 算例分析	96
6.6 本章小结	99

7 智能配电网自愈控制系统与关键设备

7.1 本章概述	100
7.2 智能配电网自愈控制系统总体架构	100
7.3 智能配电网自愈控制主站系统	104
7.4 中压智能配电网自愈控制关键设备	109
7.5 案例分析	114
7.6 本章小结	122

内容索引

参考文献

1.1 背景与意义

智能电网被认为是为实现电力系统安全稳定、优质可靠、经济环保要求而提出的未来电网发展方向，是实施可持续供电战略的重要保障，具有融合、优化、分布、协调、互动、自愈等特征^[1~3]。其中，“自愈”的理念是美国电力科学研究院（EPRI）2000年在SPID（Strategic Power Infrastructure Defense system）项目中提出的，包括对自适应切机减载、解列和保护、信息和传感等进行研究，其目的是抵御自然灾害、信息和通信系统故障、市场竞争和蓄意破坏等对电力系统的威胁，后来成为了智能电网的核心技术。

美国提出的自愈控制指实时评价电力系统行为，应对电力系统可能发生的各种事件组合，防止大面积停电，并快速从紧急状态恢复到正常状态^[4,5]。国家电网公司提出的智能电网建设方案中，在配电环节，要从直辖市和重要省会城市开始建设实用型配电网自动化，实现配电网的灵活自愈，并且建立分布式电源（Distributed Generation, DG）和分散式储能接入电网的标准，充分发挥其作用，连同应急抢修和用户需求侧响应进行协同调度，实现配电网调度的智能化，提高应急和抵御事故能力，并能适应电动汽车充电站等新型电力负荷的需求，提高蓄能机组调节速度和能力，保障电力系统安全稳定运行。

配电网是连接大电网与用户的中间环节，一旦停电将会影响用户的正常供电，造成巨大的经济损失和严重的社会影响^[6]。另外，台风、冰雪、地震等自然灾害时有发生，会产生大量的倒塔、断线事故，引起大面积停电，波及范围广、持续时间长，如果在配电网中没有分布式电源支撑，一旦失去电源，则会全城停电停水，给国家和人民造成巨大损失，引起社会秩序混乱，像军工、医院、金融等电力负荷的失电，还会危及社会的安全与稳定。配电网在电力系统中的位置决定了对其进行自愈控制是实现智能电网与电网自愈控制的核心关键

内容,通过充分利用分布式电源优化整个系统的运行,在紧急情况下合理利用分布式电源可保持对负荷的持续供电。

正常运行时智能配电网的供电方式为开环,在没有分布式电源的情况下,如果智能配电网内部发生故障会引起部分负荷失电,需尽快改变智能配电网的运行方式,恢复对失电负荷的供电,检修时也必须在保证不间断供电的前提下进行运行方式的切换。GB/T 26399—2011《电力系统安全稳定控制技术导则》规定,大电网从警戒状态到系统崩溃状态按照三道防线进行控制,采取损失负荷、中断供电、解裂等措施,保证电力系统安全稳定运行。因此,在稳定控制过程中,为了维持电力系统稳定的大局,对于处于受端的智能配电网来说,可能被中断供电、解裂,为了避免出现长时间、大面积停电,智能配电网必须有自我恢复供电的能力,并且需要充分利用分布式电源的支撑作用继续为负荷供电,而不是让分布式电源退出运行,使分布式发电作为集中发电、远距离输电、大电网互联的有益补充。

同时,用户对系统的可靠性和电能质量也提出了新的要求。近年来,随着计算机技术和通信技术的发展、城乡电网改造的深入,我国城市电网的自动化水平得到很大提高,但目前基本上停留在数据采集与监视水平,多数 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 系统仅以采集数据并将其以可视化形式显示出来为目标,没有对这些数据进行充分的信息挖掘,更没有运用计算分析功能和人工智能手段为智能配电网的安全可靠运行提供决策支持^[7]。通过对智能配电网的运行数据运用先进的计算分析方法和人工智能手段进行充分的分析研究,实时评估其运行状态,自适应地采取相应的控制措施,形成智能配电网的自适应闭环控制,可显著提高智能配电网运行的安全性和可靠性,这具有重要的实际应用价值。

长期以来,配电网不受重视,只有很少的学者能够坚持不断围绕配电网开展研究工作。相对于输电网来说,配电网的研究成果较少。在能源、电力发展的新背景下,配电网备受关注。多种能源以不同的发电形式直接接入配电网,以及电动汽车等冲击负荷、储能系统等各种新型电力元件的广泛应用,使得配电网具备了更多的控制手段,同时控制的复杂性也大大增加,另外,相对于传统电网来说,智能电网建设本身也对配电网提出了更高的要求。因此,建立智能配电网自愈控制理论,梳理前期研究成果,可为智能配电网的建设提供理论依据和技术支撑,为后续进一步开展相关研究提供参考。

1.2 相关名词术语

1.2.1 连通系

为了方便描述，本书定义变电站连通系和馈线连通系两个名词，具体如下。

变电站连通系：指变电站通过中压配电网联络，形成物理上的连通结构，它可以通过站内或站外的倒闸操作，改变该连通结构内部的电气连通关系。如图 1-1 所示，图中三个变电站构成一个变电站连通系。

馈线连通系：指馈线之间通过站外联络开关构成物理上的连通结构，它可以通过站外的倒闸操作，改变该连通结构内部的电气连通关系。可以看出，馈线连通系是变电站连通系的子集，如图 1-1 所示，图中三个变电站之间具有两个馈线连通系，实际运行过程中，往往馈线连通系内部各馈线之间开环运行，此连通系外的任何一个站外联络开关合闸均不能改变其内部的电气连通关系，如果闭合该连通系内所有联络开关，则其内部所有元件之间均是连通的。

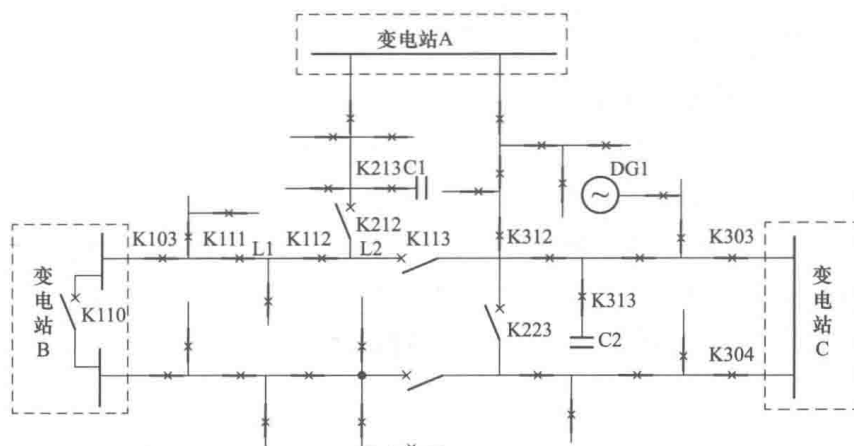


图 1-1 连通系示意图

1.2.2 智能配电网

智能配电网是智能电网的缩影，能够充分体现智能电网的能量平衡模式及电网形态上的变化、承载智能电网的功能，本书对智能配电网作如下定义。

智能配电网：在物理形态上支持分布式电源、微电网、储能系统和电动汽

车等多样性负荷灵活便捷接入，以高可靠的配电网结构和先进的电力设备为基础，通过应用先进的计算机技术、电力电子技术、通信网络技术、传感量测技术、高级计量技术、在线实时监控和自动控制技术等和高可靠的智能设备，将监测、保护、控制、计算、分析、决策及供电业务部门的管理工作有机融合，可为用户提供定制的安全稳定、优质可靠、经济高效的电能，以及择时用电、分时计费等互动服务的配用电系统。

智能配电网是配电网智能化发展的必然结果，随着技术的不断进步，配电网的智能化程度与表现形式也将随之变化，也就是说智能配电网是一个开放的不不断发展的系统。相对于传统配电网来说，在能量流、信息流、业务流上都发生了本质变化，见表 1-1。

表 1-1 不同阶段配电网的特征对照表

配电网发展阶段	能量流	信息流	业务流
传统配电网	由各级变电站经中压配电网流向用户	信息易丢失、传输慢、独立性强	局限于部门内部
智能配电网	潮流双向流动	信息集成、高速双向传输、分布式处理	跨部门业务互动、电网与用户互动

发展到智能配电网阶段，配电网成了有源电网，潮流不再固定由高电压等级变电站向低电压等级变电站，经中压配电网单方向流向用户，而是双向流动，同时打破了原有的能量平衡模式，即不再是发电跟随负荷波动的供电模式，而是负荷主动参与电网调节，这使得电网与用户之间建立了双向互动的信息流和业务流。总的来说，智能配电网要求能量流、信息流、业务流的融合与互动，具有集成、自愈、互动、优化和兼容 5 个关键特征。

(1) 集成。通过不断的流程优化、数据与信息的集成和融合，实现电力企业管理、电能生产管理、调度自动化与电力市场管理业务的集成，形成全面的辅助决策支持体系，支撑电力企业管理的集约化、规范化和精细化，不断提升管理效率。

(2) 自愈。不断对电网的运行状态进行自我评估，并以预防控制手段为主，在期望时间内促使电网转向更健康的运行状态，确保为用户提供持续、优质的电力供应。包括及时发现、快速诊断和消除故障隐患；故障发生时，在没有或少量人工干预下，快速隔离故障、恢复供电，避免发生大面积停电；充分发挥分布式电源、储能系统及微电网对电力系统的支撑作用，为灾难性停电提供应急方案等功能。智能配电网的自愈力提高，使其具备更高的供电可靠性、

安全性和优质性。

(3) 互动。基于智能电表和通信网络,实行分时电价、动态实时电价等政策,通过用户自行选择用电时段,在节省电费的同时,为降低电网高峰负荷作贡献,允许并积极创造条件让拥有分布式能源的用户在用电高峰时向电网送电。包括通过开放透明的配电网信息发布平台,实现与用户之间的信息交互;电网运行与批发、零售电力市场实现无缝衔接,支持电力交易的有效开展;通过市场交易更好地激励电力市场主体参与配电网资源的优化配置和安全管理,促进电网协调发展;支持用户需求响应,为用户提供附加服务,实现从以电力企业为中心向以用户为中心转变等功能。

(4) 优化。电网资产从规划建设到运行维护进行全寿命周期管理优化和可视化管理,合理安排设备的运行与维护、试验与检修,提高资产的利用效率,有效地降低运行维护成本和投资成本;充分发挥分布式电源、储能系统及微电网的削峰填谷作用,提高配电设备、设施的利用效率;不断提升调度、运行水平,减少电网损耗,提高能源利用效率;利用先进的电力电子技术、电能质量在线监测和补偿技术,实现电压、无功的优化控制,保证电压合格;实现对电能质量敏感设备的不间断、高质量、连续性供电。

(5) 兼容。能够同时适应集中发电与分散发电模式,支持大量分布式电源、电动汽车、储能系统接入和微电网运行,使得智能配电网在形态上与传统配电网有本质区别,通过分布式能源的优化调度实现各种能源的优化利用,扩大系统运行调节的可选资源范围,有效地增加配电网运行的灵活性和对负荷供电的可靠性,满足电网与自然环境的和谐发展。支持用户侧负荷的多样性随机接入和动态响应,支持用户和电力公司的双向互动,指导电力客户科学经济用电。

因此,智能配电网是具有集成、自愈、互动、优化和兼容特征的柔性电网,主动性贯穿了整个运行和管理过程。

1.2.3 自愈系统与自愈控制

生物依靠遗传获得的维持生命健康的能力称为自愈力,包括免疫力、排异力、修复力(愈合和再生能力)、内分泌调节力、应激力、协同力等,是经过自然界亿万年的洗礼,不断历练形成的结果。生物体通过免疫系统、应激系统、修复系统(愈合和再生系统)等若干个子系统协同工作来储存、补充和调动自愈力以维持机体健康,这样的协同性动态系统称为自愈系统(Self-healing System),其中任何一个子系统产生功能性、协调性障碍或者遭遇外来因素破

坏，其他子系统的代偿能力都不足以完全弥补，生物体自愈能力就会降低，在体征上显现为病态或者亚健康状态^[8,9]。

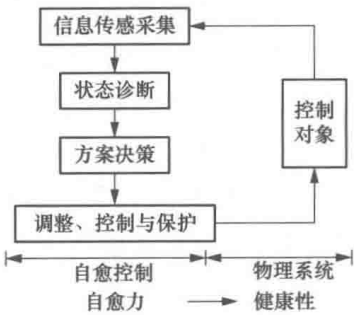


图 1-2 自愈系统示意图

借鉴生物自愈系统原理，可以构造一个具备自愈力的物理系统，如图 1-2 所示，自愈系统须具备自愈控制功能^[10]，通过自愈控制增强物理系统的自愈力，从而增强物理系统对环境的适应能力，提高健康性水平。

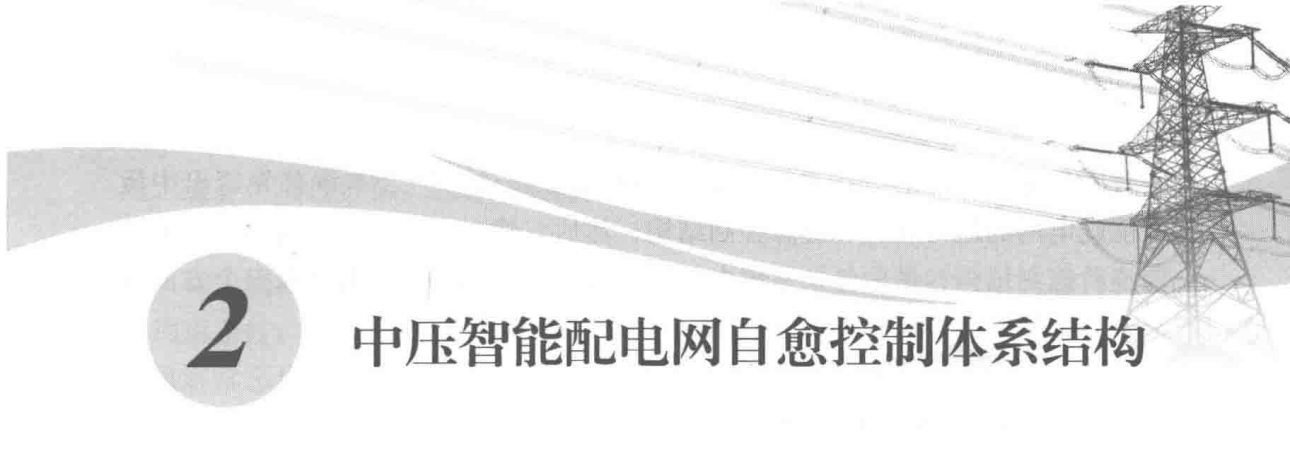
自愈控制包括信息采集、状态诊断、方案决策、控制执行四个步骤，首先需要通过信息的传感采集快速感知物理系统及其所处环境的变化，然后通过状态诊断准确评估物理系统的当前状态，在此基础上进行方案决策，正确形成控制方案，并及时采取控制行动。因此，适应是自愈控制的基本原则，要求控制措施能够适应物理系统的当前状态及其所处环境的变化，使物理系统能够始终保持向健康状态转移的能力。

1.2.4 智能配电网自愈控制

智能配电网在传统配电网结构基础上，具有各种分布式电源、储能系统、智能开关和微电网结构，在进行自愈控制时需要适应这些新型元素的要求，并充分发挥其作用。根据自愈系统和自愈控制的基本思想，本书对智能配电网自愈控制作如下定义^[1]。

智能配电网自愈控制：指具有分布式电源、储能系统、电动汽车等多种能源多点接入的配电网，以数据采集为基础，自动诊断当前所处的运行状态，根据实际条件运用智能方法进行控制策略决策，协调智能开关、保护控制装置、安全自动装置和自动调节装置等控制设备的动作行为，在期望时间内向更健康的运行状态转移，赋予智能配电网自愈能力，即通过统一协调装置与调度/配电自动化系统，协调紧急情况与非紧急情况、异常情况与正常情况下的电网控制，形成分散控制与集中控制、局部控制与整个配电网的综合控制相协调的控制模式，使智能配电网能够顺利渡过紧急情况、及时恢复供电、运行时满足安全约束、具有较高的经济性、对于负荷变化等扰动具有很强的适应能力。

参照传统配电网根据电压等级进行划分的方法，智能配电网也可分为高压、中压和低压三个部分，本书依托国家自然科学基金资助项目“计及分布式发电的配电网自愈控制研究”和国家电网公司科技项目“智能配电网自愈控制技术与开发”，以中压配电网为研究对象展开。



2

中压智能配电网自愈控制体系结构

2.1 本章概述

在提出自愈控制概念之前，电力系统的安全稳定控制、自动发电控制、自动电压控制三大控制领域已取得丰硕的研究成果和实际应用效果，但是，这些控制的对象是大电网。从美国电力科学研究院（EPRI）提出电力系统自愈控制后，国内外学者开始重新思考电力系统的控制问题，以美国为代表主要侧重于大电网的自愈控制，包括大电网自愈控制的框架结构及相关的支撑技术，如大电网的脆弱性评估、安全预警、故障分析、相量测量单元（PMU）和广域测量系统（WAMS）等方面，强调基于 SCADA/RTU 的稳态测量和 WAMS/PMU 的动态测量，通过快速仿真决策、协调/自适应控制和分布能源集成，实现实时评价电力系统行为、应对电力系统可能发生的各种事件组合、防止大面积停电，并快速从紧急状态恢复到正常状态，最终达到主动预防控制的目的^[4]。

无论从城市电网在社会和经济发展中的地位，还是从近年来世界各国发生的大停电事故所造成的影响来看，都需要加强城市电网的控制，保障供电的可持续性。城市电网虽然是环网结构，却是开环运行，并且具有高负荷密度、短电气距离等特点，还存在各种分布式电源，是典型的配电网。另外，从农村电网供电长期存在的问题和农村生活质量改善所提出的供电新要求来看，也要求提高配电网的控制水平。无论是城市配电网还是农村配电网，都与大电网存在明显区别，大电网的控制理论不能适应配电网的控制需求。以往在配电网的分析和控制研究中，大多集中在故障的处理方法和网络运行方式优化调整两个方面，一般只考虑其中某个方面的问题，难以适应配电网复杂多变的运行环境，很难在实际应用中发挥应有的作用。

自愈源于生物医学界，在系统理论中定义为系统察觉自身状态，并在无人工干预情况下进行适当调整以恢复常态的性质^[1]。自愈控制决策具有层次性，

与智能控制领域中的分层递阶控制结构有相似之处^[12,13]。本章首先给出中压智能配电网的运行状态和自愈控制结构；然后，建立中压智能配电网自愈的分层递阶控制结构；最后分别从供电需求、供电质量和运行控制要求三个方面建立中压智能配电网自愈控制的目标。

2.2 中压智能配电网自愈控制

2.2.1 运行状态划分

第1章定义了智能配电网，可以看出，智能配电网的结构特点、运行方式与传统大电网有很大的不同，在对其实施控制时需区别对待。智能配电网的控制与大电网的控制主要不同之处在于^[1]：

(1) 大电网中将系统参数越限和失去稳定两种情况都定义为紧急状态，分别对其实施校正控制和紧急控制，而智能配电网在某些条件下允许越限参数持续一段时间。

(2) 相对于系统电源来说，分布式电源的容量很小，其失步不易引起系统失去稳定，但智能配电网处于受端，并且调节频繁，容易产生电压的波动和不稳定问题。

(3) 在遭遇自然灾害等特殊境况时，智能配电网需要独立维持负荷的正常供电。

(4) 高低压电磁环网对智能配电网的安全有很大威胁，需对其实施有效控制。

(5) 大电网的经济运行通过改变发电计划与机组组合来实现，而智能配电网中除可以调度部分分布式电源出力外，还需进行供电路径的优化。

(6) 大电网的控制没有考虑电力设备本身的异常状态、继电保护及其配合等二次系统安全隐患、网架结构和有功无功电源对负荷的适应能力，而这些也是智能配电网安全运行需要考虑的问题。

为了实现智能配电网的自愈控制，首先要对智能配电网的运行进行分析，在信息量测基础上，对智能配电网的运行工况进行实时评价，以保证控制方案能够适应智能配电网及其环境的变化，因此，需要明确划分其运行状态。本书将中压智能配电网的运行情况分为5种状态，包括紧急状态、恢复状态、异常状态、正常状态、优化状态^[1,14]。具体含义如下：

(1) 紧急状态。指中压智能配电网中有故障发生，或有严重低（过）电

压,或有严重过负荷,或有过负荷持续时间超出允许范围,需继电保护动作以防止运行继续恶化时所处的状态。

(2) 恢复状态。对电网的紧急状态实施控制后,系统参数一般尚能符合运行约束条件,但存在失电负荷或供电孤岛,此时中压智能配电网的运行状态虽不再继续恶化,但尚未确立正常运行状态。

(3) 异常状态。指中压智能配电网中存在过负荷且持续时间在允许范围内、电压越限但未发生严重低(过)电压或电力设备运行异常时所处的状态。

(4) 正常状态。指中压智能配电网满足负荷约束条件和运行约束条件,且没有失电负荷、不存在供电孤岛、未发生故障、无过负荷和电压越限现象、电力设备不存在异常时所处的状态。

(5) 优化状态。指中压智能配电网稳定、安全、可靠运行,且在当前负荷水平下损耗低、运行成本小,同时具有坚强的网架结构、充足的有功无功电源支持、对负荷及其分布的变化具有很强的适应能力时所处的状态。

2.2.2 自愈控制结构

根据上述的智能配电网特点及其运行控制目标、自愈控制的基本思想,本书提出中压智能配电网自愈控制体系结构,并申请获得了国家发明专利^[14],将中压智能配电网的运行分为5种状态,定义了4个控制,构造出如图2-1所示的中压智能配电网自愈控制结构。通过中压智能配电网自愈控制,赋予其自我愈合、自我防御、自我免疫的能力,使中压智能配电网成为具有分布式检测、主动防御、多层保护、并行分布式计算、智能匹配等功能的主动式智能化电网。

具有自愈力的中压智能配电网主要有两个显著特征:①主动预防控制,及时发现并消除事故、安全隐患等,通过正常运行时的实时运行评价和持续优化来实现;②快速紧急控制,故障情况下能维持中压智能配电网继续工作,不造成运行损失,并且自治地从故障中恢复,通过自动故障检测、隔离、恢复供电来实现。

根据第1章中智能配电网自愈控制的定义和2.2.1小节给出的中压智能配电网运行状态,将中压智能配电网自愈控制分为4种情况,即紧急控制、恢复控制、预防控制和优化控制^[1,14]。具体定义如下:

(1) 紧急控制。指中压智能配电网处于紧急状态时,为了维持稳定运行和持续供电,而采取切除故障、切机、切负荷、主动解列等控制措施,以使系统转为恢复状态、异常状态或正常状态。

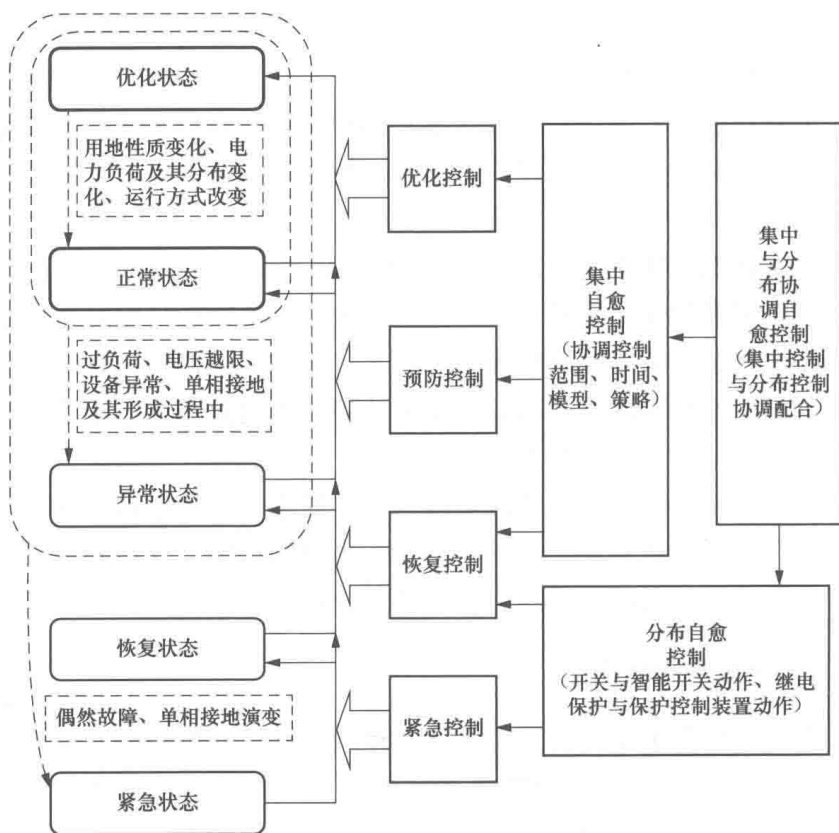


图 2-1 中压智能配电网自愈控制结构

(2) 恢复控制。指中压智能配电网处于恢复状态时，选择合理的供电路径，恢复负荷供电，实现孤岛并网运行，使其转到正常状态或异常状态。

(3) 预防控制。指中压智能配电网处于异常状态时，对其实施控制，排除设备异常运行、消除过负荷与电压越限，使其转移到正常状态或优化状态。

(4) 优化控制。指中压智能配电网处于正常状态时，通过改变供电路径、调节无功补偿设备等，降低电网损耗、减小运行成本，加强网架结构建设、增加有功无功备用，使其转到优化状态。

2.3 中压智能配电网自愈的分层递阶控制结构

智能配电网具有复杂的结构，为实现智能配电网的自愈控制，本书根据分层递阶控制原理提出如图 2-2 所示的中压配电网分层递阶控制结构^[15]，包括馈线层、馈线连通系层、变电站连通系层、配电网层，各层相互配合，其控制功