

DOI: 10.7500/AEPS20130608005

智能用电中自动需求响应的特征及研究框架

盛万兴, 史常凯, 孙军平, 张 波, 仇天舒

(中国电力科学研究院, 北京市 100192)

摘要: 智能用电的核心特征是实现电网与用户能量流、信息流、业务流的灵活互动。需求响应作为智能用电中最能体现灵活互动特征的核心业务, 目前正向自动需求响应的技术方向发展, 其主要特征是实现信息交互标准化、决策智能化和执行自动化。文中从分析智能用电条件下需求响应面临的新发展环境出发, 提出了包括 5 个大模块、20 项子模块的自动需求响应研究框架, 梳理了各模块主要研究任务及其在研究框架中的作用, 并依托所述框架设计了自动需求响应总体业务信息流程。

关键词: 智能用电; 自动需求响应; 研究框架; 业务信息流程

0 引言

智能用电作为坚强智能电网中的重要环节^[1-2], 支持电能量的友好交互, 满足用户的多元化需求, 实现灵活互动的供用电新模式, 是未来智能用电技术发展的趋势^[1]。需求响应(DR)作为用电环节与其他各环节实现协调发展的关键支撑手段, 是智能用电互动化业务中体现电能量友好交互的重要方式。

需求响应在实现供需动态优化平衡、提升电力资源优化配置水平等方面具有重要作用^[3-6], 已成为国内外智能电网研究的热点。近年来, 自国际上提出自动需求响应(automated demand response, Auto-DR)^[7-11]概念后, 作为需求响应最新的实现形式, 更是为增强用户参与主动性、提升响应水平提供了新的发展理念, 已成为智能电网的关键技术。国际电工委员会(IEC)于 2011 年 9 月成立了 PC118 智能电网用户接口项目委员会, 秘书处设在中国电力科学研究院, 其中一个标准制定工作组 WG2 的任务就是制定电力需求响应标准^[12]。

国内需求响应方面的研究, 近几年主要集中在概念引入^[3-6], 政策机制^[13-16], 激励型、电价型项目决策^[17-19], 负荷挖掘分析^[20], 基本负荷计算^[21], 以及技术实现架构^[22-23]等方面。文献[24]引入了由美国劳伦斯伯克利国家实验室提出的开放式自动需求响应通信规范(OpenADR), 介绍了其发展历程、必要性、内容、数据模型及应用情况, 分析了其对自动需求响应的关键支撑作用。可以看到, 已有研究涉及需求响应很多方面, 但尚未形成需求响应的整体研究框架, 在智能用电发展环境下的自动需求响应研究框架方面更是鲜有文献报道。

本文从分析智能用电发展背景下需求响应面临的发展环境着手, 认为自动需求响应是需求响应的发展趋势并论述了其 主要特征。在此基础上, 提出了自动需求响应整体研究框架, 着重分析各个组成模块的主要研究任务及发挥的作用, 并依托本研究框架设计了自动需求响应的总体业务信息流程。

1 智能用电中的自动需求响应

1.1 智能用电与需求响应的关系

智能用电是坚强智能电网中的重要组成部分, 其核心特征是电网与用户能量流、信息流、业务流的灵活互动。智能用电的互动业务按照承载的内容, 可以分为信息互动服务、营销互动服务、电能量交互服务和用能互动服务等 4 类。其中, 用能互动服务作为智能用电中的核心业务, 主要包括需求响应、用户用能管理等业务, 是以信息交互为基础、以多样化营销服务为保障, 借助用能智能决策与控制相关技术支持, 以此优化用户用能行为、提升供需平衡水平、提高终端用能效率。

需求响应作为用能互动业务中最重要的实现方式之一, 通过一定价格信号或激励信息, 引导用户主动改变自身消费行为、优化用电方式, 减少或者推移某时段的用电负荷, 促进供需两侧优化平衡, 并可以借助于智能用电所搭建的信息采集、双向通信、信息交互、智能交互终端等技术环境, 实现整个业务过程的智能化和自动化, 体现了供需双方之间“信息流+业务流+电力流”的友好交互。

收稿日期: 2013-06-08; 修回日期: 2013-08-23。
国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2011AA05A117); 国家电网公司科技项目(PD71-12-005, PD71-12-002, PD71-12-010); 中国电力科学研究院创新基金资助项目(ND83-12-001)。

1.2 智能用电为自动需求响应提供技术条件

需求响应本质上是一种市场化的运作机制,在不同技术条件下有不同实现方式,智能用电的发展与建设,为实现自动需求响应提供了技术条件。

1) 营配调的信息融合与业务贯通

需求响应作为实现用电环节与供电侧各环节协调发展的重要手段,需要各环节间信息和业务的协调配合。信息交互总线等技术的发展与在智能用电中的应用促进了各环节之间信息融合和业务贯通,从而在制定需求响应策略过程中可以更加及时、准确地掌握供电侧调用需求侧资源的需求,为系统侧的需求响应智能决策提供了技术条件。

2) 用电侧通信网络的完善

传统需求响应的信息交互依靠电话通知等方式,不论是在信息收集、信息下发/反馈还是过程监控等方面都存在问题。随着用电侧远程信道、本地信道以及用户内部通信网络的不断完善,为需求响应决策、执行过程中的信息收集、信息交互提供了更为及时可靠、便捷多样的通信和交互方式。

3) 用户侧的用能智能化控制手段日益丰富

楼宇/家庭用能管理系统、智能用电交互终端、智能家居的发展,实现了对用户内部用能、环境、设备运行状况以及新能源等信息的快速采集、传递和分析,在为用户提供内部用能行为精细化管理和智能化控制手段的同时,也可以为用户的需求响应执行提供本地化的智能决策技术环境和自动化控制手段。

1.3 自动需求响应主要特征

在智能用电乃至智能电网的发展背景与条件下,自动需求响应的主要特征是业务全过程的自动化,具体可以表现在信息交互标准化、决策智能化和执行自动化等3个方面。

1) 信息交互标准化

自动需求响应的实现前提是供需双方能够及时、方便地交互并自动识别需求响应各类事件信息。考虑到配套系统、装置各提供商间技术方案的差异性,为实现需求响应系统设备间的互操作,进而实现各类可控负荷资源统一的管理、配置和调度,就首先需要规定标准化的信息交互模型,以此支撑自动需求响应信息交互过程的自动化。

2) 决策智能化

决策智能化是实现自动需求响应决策过程自动化并保障方案有效性、科学性的必备条件。体现在系统侧,主要表现是需求响应事件计划制定和执行过程中的智能化和自动化,以增强事件计划的有效性和科学性;用户侧,主要表现在接收系统侧发送的

事件信息后,根据用户内部可控负荷资源动态情况,实现用户侧响应策略的智能决策,以增强自动响应行为的有效性和科学性。

3) 执行自动化

执行自动化是需求响应自动化的直观特征,主要体现在用户侧的响应过程。在完成用户侧对需求响应事件信号的自动接收、响应策略自动生成后,可以实现响应策略的自动执行,整个响应执行过程可以不需要人工介入。

2 自动需求响应研究框架

2.1 总体研究框架

自动需求响应研究框架包括了需求响应基本机理、基础理论方法、供电侧需求响应智能决策、用户侧需求响应智能决策控制以及需求响应仿真与评价等5个大模块、20个子模块。

研究框架如图1所示。图中:单箭头表示起始端对应研究模块对于指向端对应研究模块有支撑作用;双箭头表示对应两端的研究模块间具有相互支撑作用;实线框表示各研究模块;虚线框表示某研究模块需要考虑的主要因素。

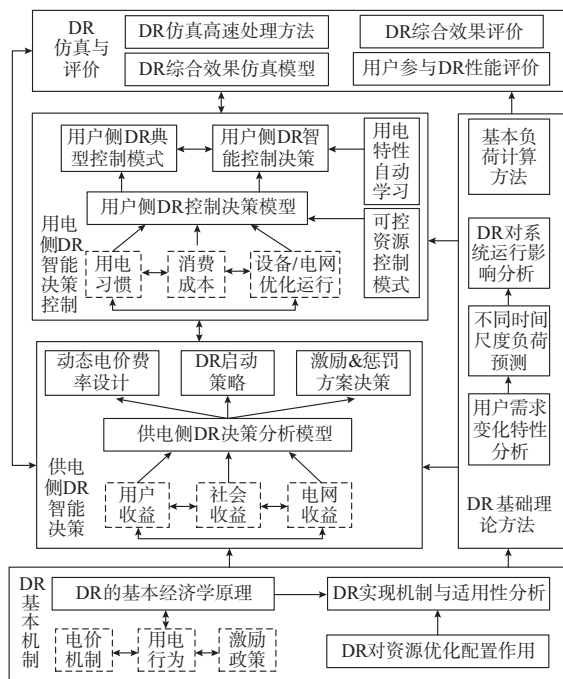


图1 自动需求响应研究框架

Fig.1 Auto-DR research framework

2.2 需求响应基本机理

需求响应本身是一种市场化的运作机制,通过对其作用机理、经济学原理、机制适用性等基本机理的研究,可以为准确建立需求变化分析与预测、电力

系统影响分析以及供电侧需求响应决策等环节的数学模型提供基本原则。

1)需求响应对资源优化配置作用

通过定量、定性相结合的方式分析需求响应在电力资源乃至社会资源优化配置中的作用机理,进一步深化对需求响应作用和意义的理解。

2)需求响应的基本经济学原理

重点是分析各方参与需求响应的驱动力,研究电价机制或激励政策对各相关方的影响,从边际成本等角度分析需求响应对供需关系的作用,进而明确需求响应的基本经济学原理,为费率、激励的设计决策提供依据。

3)需求响应实现机制与适用性分析

分析各类需求响应项目在响应时效、影响范围、实施成本、负荷反弹规律等方面的特点,以及对不同用户的适用性和用电行为的影响。进而明确各类项目实施所需条件,以及在智能用电条件下的运作和操作方式,形成适合国内电力市场机制的运作方式。

2.3 需求响应基础理论方法

自动需求响应业务决策执行过程中,需要大量的基础理论方法作为支撑,主要包括基本负荷计算、需求变化特性分析、负荷预测、需求响应对系统运行影响等方面。

1)基本负荷计算方法

基本负荷是正常用电条件下(未实施需求响应)用户或区域的负荷,是评价需求响应实施效果的基础,也是需求响应决策过程中需要考虑的因素,主要包括用户基本负荷和区域基本负荷计算两方面。用户方面,重点是考虑历史基础数据和计算方法的合理选择,特殊因素对基本负荷的影响和对应修正方法,以及基于海量用户用电采集信息的用户基本负荷挖掘分析等;区域基本负荷方面,重点是研究基于电网智能调度系统的区域基本负荷计算方法。

2)需求响应条件下用户需求变化特性分析

通过分析不同需求响应方式、费率设置、激励条件下的用户用电需求变化规律(包括负荷反弹等现象),并运用微观经济学原理等分析方法,建立描述用户需求变化特性的数学模型,并进一步开展需求响应实证研究,利用实际执行效果数据校正完善需求变化特性模型。从而建立描述用户需求响应强度(或称为电力需求弹性)的数学关系模型,为负荷预测、供电侧需求响应决策、动态仿真等提供基础。

3)需求响应条件下不同时间尺度负荷预测

在计及用户需求响应强度影响的基础上,研究适应不同时间尺度(季度、周、日前、日内等)、不同地

域范围(区域、变电站、馈线等),适合不同需求响应方式的负荷预测方法库,从而为供应侧的需求响应决策、动态仿真提供基础。

4)需求响应对系统运行影响分析

重点是研究需求响应对各层各级电网运行安全性、经济性影响的数学模型与分析方法。具体来说,需要以负荷预测数据和电力系统运行数据作为分析基础,验证需求响应对电力系统潮流安全约束、电压约束等安全性方面的影响,以及系统经济运行、设备利用效率等经济性方面的影响,从而为供电侧的需求响应决策、动态仿真评价提供依据。

2.4 供电侧需求响应智能决策

供电侧需求响应智能决策研究模块以需求响应基本机制和基础理论方法研究为基础,以均衡社会、电网、用户等需求响应各相关方利益为出发点,重点研究需求响应实施策略与各相关方优化目标之间的数学模型,以及对应的动态电价费率决策模型、激励和惩罚决策模型、需求响应事件启动策略模型,为制定供电侧需求响应相关策略提供支持。

1)供电侧需求响应决策分析模型

研究建立以社会效益(节能减排等方面)、供电企业收益(购电成本、售电收入、需求响应成本、电网基础设施投入、电网运行成本等方面)、用户利益(用电成本、奖励和惩罚、满意程度等方面)为优化目标,以电网安全约束、购售电合同等为约束条件,计及需求响应价值分配公平性的多目标、多约束决策分析模型,建模过程中可考虑引入模糊模型来适应用户满意程度等因素难以建立确定性模型的问题。从而科学描述需求响应实施策略与各相关方优化目标之间的数学关系,为制定具体的需求响应策略、科学分配价值提供依据。

2)动态电价费率设计

针对电价型需求响应项目,研究计及供需双方利益、地区电力系统运行条件、用户负荷特性、用户需求响应强度等因素的不同类型动态电价费率决策模型,重点针对分时电价、尖峰电价、实时电价等电价类型,并可根据用户侧响应行为进行动态优化调整,从而实现费率设计的智能决策。

3)激励和惩罚方案决策

针对激励型需求响应项目,研究建立激励和惩罚方案决策模型。在计及供需双方利益的基础上,考虑不同需求响应方式对削减负荷的要求和用户激励的响应程度等因素,以适应不同需求响应方式对用户响应时间、程度等性能的要求,并可根据用户实际响应行为进行动态优化调整,实现激励和惩罚方案的智能决策。

4)需求响应启动策略

研究建立需求响应事件启动策略模型,通过与发电调度、电网调度等系统的信息交互,从电力系统供需平衡、供电能力、风险事件、优化运行等方面分析系统对需求侧资源调用的需求,将需求分为长时间尺度优化型问题和短时间尺度事件应对型问题两类。结合用户需求的分析预测结果,并综合需求响应的实施成本、预期收益,实现需求响应启动策略(包括启动时机、分层分级实施范围、实施对象等)的智能决策。

2.5 用户侧需求响应智能决策控制

用户侧需求响应智能决策控制研究模块的任务是接受需求响应事件信号后,根据系统侧提供的电价、激励等信息,研究如何实现用户内部可控负荷资源间的自动和协调控制,以完成响应行为。重点是研究科学描述用户侧响应行为与各项优化目标之间关系的数学模型和对应决策方法,以及配套典型控制模式。

1)用户侧可控资源控制模式

研究不同类型用户的用电模式特性和负荷控制特点,调研典型用户现有用电设备的基本控制属性(如容量、利用率,可中断型或可调节型等)与智能化、自动化程度(全自动/半自动/手动控制等),明确各类可控/可调负荷资源(可参与需求响应执行的用电设备)的范围和控制模式,为合理调度各类可控负荷资源提供依据。

2)用户侧需求响应控制决策模型

研究用户侧响应程度、方式与用户用电舒适度、消费成本、设备安全运行、电网运行状态等目标之间的数学关系,建立用户需求响应控制的多目标优化决策模型,为用户可控负荷资源的智能控制提供基础。

3)用户用电特性自动学习

研究运用人工智能等方法来实现用户用电行为变化规律的自动学习,可以为预设响应策略的进一步优化提供技术支持,使控制策略尽量符合用户用电习惯。

4)用户侧需求响应智能控制决策

以用户侧需求响应控制决策模型为基础,研究如粒子群优化算法等适应多目标、多约束问题求解算法在响应决策中的应用方法,以实现不同需求响应场景下的用户侧需求响应控制策略的智能生成。

5)用户侧需求响应典型控制模式

针对不同需求响应用户的体验需求,研究设计兼顾用户决策主动权和决策简易性、优化目标各有

侧重的若干典型控制模式,兼容自动/半自动/手动等多种控制方式,对经济性、舒适性等方面根据所选场景模式各有侧重,将用户知情权、主动选择权与需求响应智能化控制进行有机结合,降低用户决策难度,便于实际操作。

2.6 需求响应仿真与评价

需求响应仿真与评价研究模块是整体研究框架中的重要支撑部分,主要是为需求响应业务决策提供仿真技术支持,为执行效果评价提供依据。

1)需求响应综合效果仿真模型

研究可用于模拟需求响应实施效果的综合模型,包括分层分区的电力系统运行模型(区域、变电站、台区等)、电力市场模型(如购售电合同、售电收入等)、投入成本模型(基础设施投入、实施需求响应成本等)、用户需求模型等,以模拟仿真需求响应策略的实施对各相关方可能的影响。为论证需求响应项目的可行性和预期收益,科学衡量执行效果提供基础。

2)需求响应仿真高速处理方法

针对需求响应综合效果仿真问题,研究海量数据、复杂模型条件下,可以提高需求响应动态仿真计算处理能力的并行/分布计算方法,重点是并行/分布计算中的任务分解和结果拟合方法,以提高复杂模型、大规模用户情况下的仿真速度和准确度。

3)用户参与需求响应性能评价

研究建立用户参与需求响应性能评价指标(如削减负荷量、参与次数、延迟时间、反弹负荷、获得收益等),研究公平、合理评价用户参与需求响应效果的计算方法,可以作为对用户激励或惩罚的依据,也可以用于需求响应项目的用户参与程度评价。

4)需求响应综合效果评价

研究建立需求响应效果的系统级评价指标体系,评价需求响应项目对电网、企业、用户、社会等各方的综合影响,衡量各方收益。适用于实施前的模拟效果评价和实施后的实际效果评价。

2.7 自动需求响应总体业务信息流程设计

依托上述研究框架,本文设计了自动需求响应总体业务信息流程,主要包括实施前期工作、事件决策规划、事件信息交互、用户侧响应执行,以及执行效果评价与结算等环节。其中,事件决策规划环节主要依托本文2.4节和2.6节内容;用户侧响应执行主要依托2.5节内容;执行效果评价与结算主要依托2.6节内容。

具体业务和信息流程如图2所示。

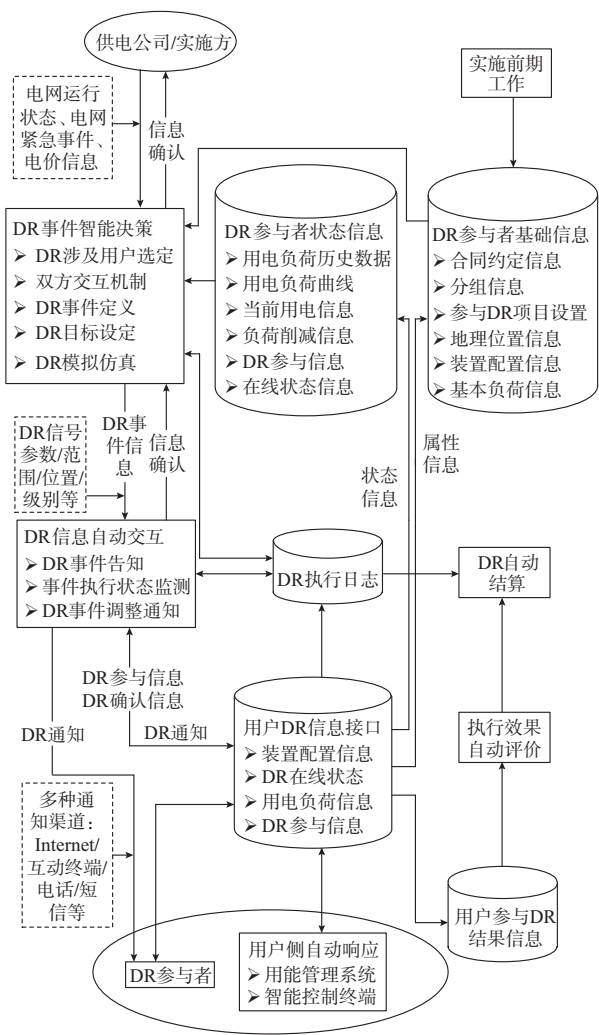


图 2 自动需求响应总体业务信息流程设计
Fig.2 Business process design of Auto-DR

1)需求响应项目实施前期工作

在项目前期首先由需求响应实施方选定参与用户进行谈判并签订合同,明确各自约束、收益等,并将参与用户的分组位置信息、项目设置信息、装置配置信息、基本负荷信息等作为属性信息整合进入需求响应支持系统。

2)需求响应事件智能决策

需求响应支持系统通过智能用电互动化支撑平台^[1]的信息总线功能,从电网运行监控系统、高级量测系统等及时获取供需两侧动态信息,调用供电侧需求响应智能决策算法库来自动或辅助制定事件策略,并调用动态仿真算法库来模拟仿真执行效果,按照既定审核流程通过后,将事件信息下发。

3)需求响应信息自动交互

需求响应事件计划在执行过程中,一方面需要将事件信息、调整信息等通过多种可选渠道自动、及

时地下发到用户侧,同时还需要用户在收到事件信息后,及时返回是否参与该事件的信号(用户手动操作回复或由交互装置按照预先设定条件自动回复)。事件执行过程中,还需定期监测用户执行情况,为响应效果评价和结算提供依据。这部分交互主要针对激励型需求响应项目,对电价型项目则不需要这个环节。

4) 用户侧自动响应

用户侧收到需求响应事件信息后,由用户用能管理系统或智能控制终端等根据用户选定的需求响应控制模式,调用用户侧需求响应智能决策控制方法,生成具体响应策略,由用户侧系统/装置自动(同时支持手动方式)执行。

5) 执行效果自动评价与结算

需求响应事件结束后,支持系统根据获取的用户执行情况信息,调用效果评价算法库自动得出响应效果评价结果,再根据合同约定的奖惩机制得出结算方案,由智能用电互动化支撑平台的信息总线将结算信息传送到营销业务系统来完成自动结算。

3 自动需求响应在中国发展的几点思考

自动需求响应是在美国的电力市场环境下提出并实施的,考虑到中国电价机制、负荷构成、电力营销等方面的特点,自动需求响应在国内的发展路径需要具有自身特点。

1)国内电价机制下,需求侧资源不具备直接参与电力市场(参与发电竞价)调节的条件,目前较为可行的是将其作为各级电网与用电需求间的调节资源。

2)目前国内已有分时电价、尖峰电价机制,其中的平、谷、峰电价针对相对固定时段,现阶段电价型需求响应可以重点考虑用户侧在既有费率条件下实现内部用电设备的自动、协调运行;未来可根据响应效果评价结果,逐步向动态电价费率方面发展。

3) 国内用电结构基本特点是第二产业比重较大(超过 70%), 居民生活、第三产业用电次之, 应该说第二产业尤其是其中的大型工业用户需求响应潜力最大。但是考虑到大型用户以专变、专线形式为主, 已经普遍采取了错峰、避峰等负荷管理手段并卓有成效; 另一方面, 在电力供需较为紧张的大城市中, 大中型办公/商业/公共建筑以及居民生活用电的负荷比重已经普遍较高, 尤其在夏、冬负荷高峰期间, 空调负荷比重可占到整体负荷的 1/3 甚至更多, 且目前尚无有效的负荷管理手段。因此, 本文认为自动需求响应在国内宜首先针对城市大中型建筑开展试点, 其次是小型建筑或居民用户。

4)自动需求响应的实施需要与智能电网信息平台以及智能楼宇、智能小区、智能家居等建设紧密结合。本文所提出的研究框架,在系统层面强调业务决策与执行过程中与营配调各环节的信息融合与业务贯通,这是充分发挥需求侧资源调节作用的关键问题;在用户侧方面,则是需要充分利用智能楼宇、智能小区、智能家居的用能管理系统、交互装置以及通信网络等建设基础,利用用户侧需求响应智能决策控制研究成果,实现可控负荷资源响应行为的自动化、智能化。

4 结语

需求响应是智能电网技术的关键应用,是智能用电中最能体现灵活互动特征的核心业务之一,对提高供需动态优化程度、提升电力资源优化配置水平,以及构建供用和谐关系等方面具有重要作用。自动需求响应作为需求响应的发展趋势,主要特征是信息交互标准化、决策智能化和执行自动化。鉴于自动需求响应研究在国内尚属起步阶段,本文提出了包括5个大模块、20项子模块的自动需求响应研究框架,梳理了各模块的研究重点,设计了总体业务信息流程,以期在技术理论层面可以提供一套开展自动需求响应系统性研究的思路和路线。

自动需求响应是个复杂的系统级问题,除了在技术层面的技术攻关、配套软硬件研发任务外,在配套政策、操作机制的制定,现有电力营销机制、负控管理机制的衔接和平稳过渡,电网与用户信息交互标准化,以及用户信息的隐私保护等很多方面都需要不断地摸索和尝试,尤其要注重相关标准和规范体系的建设,稳妥开展试点示范建设,逐步探索适合中国特色的自动需求响应发展与建设模式。

参考文献

- [1] 李同智.灵活互动智能用电的技术内涵及发展方向[J].电力系统自动化,2012,36(2):11-17.
LI Tongzhi. Technical implications and development trends of flexible and interactive utilization of intelligent power [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(2): 11-17.
- [2] 王广辉.中国智能用电的实践与未来展望[J].中国电力,2012,45(1):1-5.
WANG Guanghui. Practice and prospect of China intelligent power utilization[J]. Electric Power, 2012, 45(1): 1-5.
- [3] 张钦,王锡凡,王建学,等.电力市场下需求响应研究综述[J].电力系统自动化,2008,32(3):97-106.
ZHANG Qin, WANG Xifan, WANG Jianxue, et al. Survey of demand response research in deregulated electricity markets[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(3): 97-106.
- [4] 张钦,王锡凡,付敏,等.需求响应视角下的智能电网[J].电力系统自动化,2009,33(17):49-55.
ZHANG Qin, WANG Xifan, FU Min, et al. Smart grid from the perspective of demand response[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 49-55.
- [5] 王蓓蓓,李扬,高赐威.智能电网框架下的需求侧管理展望与思考[J].电力系统自动化,2009,33(20):17-22.
WANG Beibei, LI Yang, GAO Ciwei. Demand side management outlook under smart grid infrastructure [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(20): 17-22.
- [6] 赵鸿图,朱治中,于尔铿.电力市场中需求响应市场与需求响应项目研究[J].电网技术,2010,34(5):146-153.
ZHAO Hongtu, ZHU Zhizhong, YU Erkeng. Study on demand response marks and programs in electricity markets[J]. Power System Technology, 2010, 34(5): 146-153.
- [7] PIETTE M A. Development and evaluation of fully automated demand response in large facilities [EB/OL]. [2012-03-24]. <http://drcc.lbl.gov/system/files/cec-500-2005-013.pdf>.
- [8] PIETTE M A, KILICCOTE S, GHATIKAR G. Design and implement of an open interoperable automated demand response infrastructure [EB/OL]. [2012-03-21]. <http://drcc.lbl.gov/publications>.
- [9] PIETTE M A, GHATIKAR G, KILICCOTE S, et al. Open automated demand response communications specification (Version 1.0)[S]. California Energy Commission, 2009.
- [10] GHATIKAR G, MATHIEU J L, PIETTE M A, et al. Open automated demand response technologies for dynamic pricing and smart grid[EB/OL]. [2012-03-23]. <http://drcc.lbl.gov/publications>.
- [11] PIETTE M A, WATSON D S, MOTEGI N, et al. Participation through automation: fully automated critical peak pricing in commercial buildings [EB/OL]. [2012-03-23]. <http://drcc.lbl.gov/publications>.
- [12] 张晶,皮学军,张翠霞.电力需求响应技术标准研究初探[C]//2012中国国际供电会议,2012年9月5-6日,上海:1-5.
- [13] 张钦,王锡凡,王秀丽,等.需求侧实时电价下用户购电风险决策[J].电力系统自动化,2008,32(13):16-20.
ZHANG Qin, WANG Xifan, WANG Xiuli, et al. Customer's electricity purchasing risk decision integrating demand side real-time pricing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(13): 16-20.
- [14] 张钦,王锡凡,王建学.需求侧实时电价下供电商购售电风险决策[J].电力系统自动化,2010,34(3):22-27.
ZHANG Qin, WANG Xifan, WANG Jianxue. Electricity purchasing and selling risk decision for power supplier under real-time pricing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(3): 22-27.
- [15] 张钦,王锡凡,王建学.智能电网下需求响应期权分析[J].电力系统自动化,2011,35(6):6-13.
ZHANG Qin, WANG Xifan, WANG Jianxue. Analysis of demand response options in smart grid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(6): 6-13.
- [16] 曾鸣,王冬容,陈贞.需求侧响应的实施障碍[J].电力需求侧管理,2010,12(11):8-11.
ZENG Ming, WANG Dongrong, CHEN Zhen. Implementation obstacles of demand response [J]. Power Demand Side Management, 2010, 12(11): 8-11.

- [17] 张钦,王锡凡,别朝红,等.电力市场下直接负荷控制决策模型[J].电力系统自动化,2010,34(9):23-28.
ZHANG Qin, WANG Xifan, BIE Zhaohong, et al. A decision model of direct load control in electricity markets [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(9): 23-28.
- [18] 张钦,王锡凡,王建学.尖峰电价决策模型分析[J].电力系统自动化,2008,32(9):11-15.
ZHANG Qin, WANG Xifan, WANG Jianxue. Decision model analysis of critical peak pricing [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(9): 11-15.
- [19] 孙芊,彭建春,潘俊涛,等.多时段电力需求响应的阻塞管理[J].电网技术,2010,34(9):139-143.
SUN Qian, PENG Jianchun, PAN Juntao, et al. Congestion management considering multi-time interval demand response [J]. Power System Technology, 2010, 34(9): 139-143.
- [20] 宗柳,李扬,王蓓蓓.计及需求响应的多维度用电特征精细挖掘[J].电力系统自动化,2012,36(20):54-58.
ZONG Liu, LI Yang, WANG Beibei. Fine-mining of multi-dimension electrical characteristics consider demand response [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(20): 54-58.
- [21] 赵鸿图,朱治中,于尔铿.电力市场中用户基本负荷计算方法与需求响应性能评价[J].电网技术,2009,33(19):72-78.
ZHAO Hongtu, ZHU Zhizhong, YU Erkeng. Demand response performance evaluation and basic load calculation method for customers in electricity market environment [J]. Power System Technology, 2009, 33(19): 72-78.
- [22] 赵鸿图,周京阳,于尔铿.支撑高效需求响应的高级量测体系[J].电网技术,2010,34(9):13-20.
ZHAO Hongtu, ZHOU Jingyang, YU Erkeng. Advanced metering infrastructure supporting effective demand response [J]. Power System Technology, 2010, 34(9): 13-20.
- [23] 殷树刚,张宇,拜克明.基于实时电价的智能用电系统[J].电网技术,2009,33(19):11-16.
YIN Shugang, ZHANG Yu, BAI Keming. A smart power utilization system based on real-time electricity prices [J]. Power System Technology, 2009, 33(19): 11-16.
- [24] 高赐威,梁甜甜,李惠星,等.开放式自动需求响应通信规范的发展与应用综述[J].电网技术,2013,37(3):692-698.
GAO Ciwei, LIANG Tiantian, LI Huixing, et al. Development and application of open automated demand response [J]. Power System Technology, 2013, 37(3): 692-698.

盛万兴(1965—),男,博士,教授级高级工程师,主要研究方向:智能配用电、电力信息化。

史常凯(1983—),男,通信作者,硕士,工程师,主要研究方向:智能用电互动化、智能配电网运行控制。E-mail: shichangkai@epri.sgcc.com.cn

孙军平(1975—),男,博士,教授级高级工程师,主要研究方向:智能配用电、智能终端技术。

(编辑 章黎)

Characteristics and Research Framework of Automated Demand Response in Smart Utilization

SHENG Wanxing, SHI Changkai, SUN Junping, ZHANG Bo, ZHANG Tianshu
(China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: The key characteristics of smart utilization is to achieve flexible interaction between the power system and end-users by means of energy flow, information flow and business flow. Demand response, as the core business of smart utilization, is now moving toward the automated demand response to achieve information exchange standardization, intelligent decision and implementation automation. Based on the new development conditions confronted by demand response in the smart utilization, this paper proposes a research framework of automated demand response in smart utilization including 5 modules and 20 sub-modules, analyzes the research task and its role in the study of the framework, and presents the overall business process of automated demand response.

This work is supported by National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (No. 2011AA05A117) and State Grid Corporation of China (No. PD71-12-005, No. PD71-12-002, No. PD71-12-010).

Key words: smart utilization; automated demand response; research framework; business information process