

# 中国市场化需求响应发展模式探讨

孙建伟<sup>1,2</sup> 余熙<sup>1,2</sup> 李嘉逸<sup>1,2</sup> 夏雪<sup>1,2</sup> 张胜飞<sup>1,2</sup> 陈卓<sup>1,2</sup>

- (1. 中国电力工程顾问集团智能电网技术中心, 四川 成都 610021;  
2. 中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021)

**摘要:** 中国电力需求侧管理从终端节能、有序用电管理逐步发展到试点需求响应,在一定程度上优化了用电方式,提高了终端用电效率。从基于价格信号和激励措施两个方面探讨了中国现阶段发展市场化需求响应相适宜的模式,给出具体的建议措施,对从负荷侧实施需求响应来缓解能源紧张和环保压力等应用场景具有较强的参考价值。

**关键词:** 需求侧管理; 需求响应; 市场化; 发展模式

**Abstract:** Demand side management in China has developed from the terminal energy saving, orderly power utilization management to the demand response. In a certain extent, the use of electric power is optimized and the efficiency of the terminal is improved. The development mode of market-oriented demand response in China is discussed as viewed from price-based and incentive-based demand response, and some detailed suggestions are given. The conclusion provides a reference for implementing the demand response to ease the energy crisis and environmental pressure.

**Key words:** demand side management; demand response; marketization; development mode

中图分类号: TM713 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)03-0085-06  
DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.03.019

## 0 引言

需求响应概念源自需求侧管理。需求侧管理(demand side management, DSM)最早由美国电科院于1984年提出,是为了应对能源危机而采取的鼓励储能、抑制负荷增长的管理措施,并将该技术引入电力能源规划中。当发现电力需求具有一定的价格弹性时,20世纪90年代又把需求响应(demand response, DR)技术引入电力市场中,以便利用经济手段与激励措施优化需求侧用电模式。2005年,美国在能源政策法案<sup>[1]</sup>中对需求响应的实时计量和通信技术基础设施建设、实时费率设计等进行了规定,极大地推动了美国需求响应市场的建设。2006年,美国能源部的一份报告<sup>[2]</sup>中,把需求响应定义为在竞争电力市场中,用户为响应高电价或系统可靠性受到威胁时的经济激励而做出的电力消费形式的变化。此定义明确了需求响应的两种基本形式:基于价格的需求响应(price-based demand response)与基于激励的需求响应(incentive-based demand response)。基于价格的需求响应是指用户为响应电价变化而做出的避峰就谷等用电行为,通常是用户

为了节约电费或者换取经济补偿而实施的用电变化行为;基于激励的需求响应是指用户愿意以中断电力使用换取经济激励的行为,通常是系统运行者为维持系统可靠性而实施的中断供电行为。

## 1 中国需求侧管理发展进程

需求侧管理自20世纪90年代引入中国,一开始主要是由政府主导,通过带有行政性质的终端节能、有序用电管理等引导用户优化用能方式,后来逐步发展到带有市场化性质的需求响应。2010年以来,国家陆续出台了《电力需求侧管理办法》、《有序用电管理办法》、《电网企业实施电力需求侧管理目标责任考核方案(试行)》等政策,促进需求侧管理的发展。2012年10月,财政部、发改委共同发布《关于开展电力需求侧管理城市综合试点工作的通知》,确定北京、唐山、苏州、佛山4个首批需求侧管理试点城市,2014年又补充上海作为需求响应试点城市。2015年发改委、财政部发布《关于完善电力应急机制做好电力需求侧管理城市综合试点工作的通知》,要求各城市在前期试点工作基础上,进一步突出特色,建立长效机制,更好地发挥试点的引领示

范作用。

2014年6月,发改委组织开发的国家电力需求侧管理平台<sup>[3]</sup>正式上线,该平台是一个综合性的网络应用平台,具有信息发布、在线监测、电力供需形势分析、有序用电管理、需求响应等功能,提供最全面、权威的电力需求侧管理信息。

## 2 需求响应项目设计原则

需求响应项目运作模式设计的基本原则:1)以政府为主导,由政府提供政策体制保障,监督指导;2)以电力公司为主体,垂直一体化执行力强,具有技术和管理优势;3)鼓励第三方机构参与,整合小型分散资源,引入市场竞争机制。

考虑中国国情和地区差异,不同区域、不同项目要分阶段进行需求响应的实施运作框架设计:1)起步期,以政府为主导,由政府给出一定专项资金,鼓励用户参加,由电力公司实施;2)成长期,以电力公司为主体,第三方实体机构主动参与,一些企业如能源服务公司和电力公司共同起作用;3)成熟期,以市场竞争机制为主,由第三方独立机构为主实施需求响应,可能会出现一些诸如电力负荷交易市场、负荷侧虚拟电厂等企业,随着时间的推移,市场手段逐步增强,市场化程度逐步提高。

## 3 基于价格信号的需求响应

基于价格的需求响应项目一般由用户根据电价信息决定是否实施需求响应,主要包括峰谷分时电价、实时电价、尖峰电价。中国目前大部分工商业用户已实施了峰谷分时电价,居民用户可选择实施峰谷分时电价和阶梯电价,部分地区试点实施了尖峰电价。这里主要讨论峰谷分时电价需求响应对电力供需的影响。

表1 基于价格信号的需求响应类型

| 体系          | 类型     | 功能描述                 |
|-------------|--------|----------------------|
| 基于价格信号的需求响应 | 峰谷分时电价 | 在不同的时间段具有不同的单位价格费率结构 |
|             | 实时电价   | 反应电力市场1h或小于1h的费率结构   |
|             | 尖峰电价   | 预先确定、在尖峰负荷期间的高电价费率结构 |

### 3.1 峰谷分时电价需求响应

用户对电价的反应虽然可以通过大量的统计分析得出,但用户对不同时段划分方法的反应不会相同。对于不同的用户,由于用电方式、用电特性不同,因而它们对电价的敏感程度不一,即电力需求价格弹性系数有区别。电力需求价格弹性系数是指电力需求量的变动对电价变动的反映程度,其等于电力需求量的变动率与电价变动率的比值。

电力需求的价格弹性公式为

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta P/P} \quad (1)$$

式中:Q为电力需求量, kW·h;P为电价,元;ΔQ为电价需求量的变动, kW·h;ΔP为电价的变动,元。

电力需求价格弹性的大小取决于很多因素,包括:1)不同的时间段;2)电价水平;3)用户调整电力需求的弹性能力(例如用户是否具有蓄热、蓄冷设备);4)当地的社会经济和用户收入情况。

文献[4]从国内外典型研究项目及数据分析角度出发,给出电力需求的价格弹性一般介于-0.1~-0.7之间,商业用户的价格弹性要高于工业用户和居民用户。文献[5]运用需求理论、弹性理论、回归模型、面板模型等对中国电价需求弹性进行分析和研究,结果显示居民用户的长期电价需求弹性-0.218和短期弹性[-0.0926,-0.0935]处于相对较低的水平;而中国工商业用户的电价需求弹性[-1.1245,-1.157]在国际上处于中上等水平,且富有弹性,说明中国工商业电价机制的变化能对其电力需求产生较大影响。

综上所述,选取如表2所示电力需求价格弹性系数对中国某地区电网进行分析。

表2 不同行业在峰平谷时段的电力需求价格弹性系数

| 电力需求价格弹性                  | 工业   | 商业   | 居民   |
|---------------------------|------|------|------|
| $\varepsilon_{p\text{峰}}$ | -0.5 | -0.7 | -0.1 |
| $\varepsilon_{p\text{平}}$ | -0.7 | -0.7 | -0.2 |
| $\varepsilon_{p\text{谷}}$ | -0.5 | -0.2 | -0.1 |

该地区电网区域统调最高负荷为80050 MW,最低负荷54280 MW,日峰谷差25770 MW,最高负荷日峰谷差约占最高负荷的32.2%。行业用电情况看,第一产业、第二产业、第三产业、居民用电负荷及占比如表3所示。考虑第一产业用电特性受外部因素影响较小以及中国对农业的扶持政策,假定其电力需求价格弹性为0。

表3 各产业用电负荷及占比(MW)

|      | 第一产业    | 第二产业     | 第三产业     | 居民       | 共计     |
|------|---------|----------|----------|----------|--------|
| 高峰负荷 | 1 200.8 | 56 731.4 | 10 422.5 | 11 687.3 | 80 050 |
| 最低负荷 | 819.6   | 38 468.2 | 7 067.3  | 7 924.9  | 54 280 |
| 占比   | 1.51%   | 70.87%   | 13.02%   | 14.6%    | 1      |

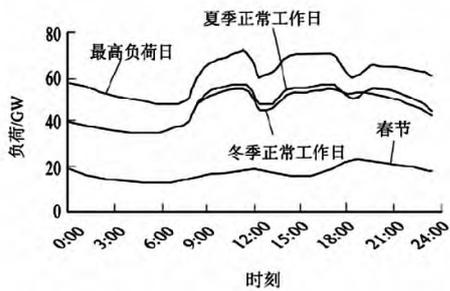


图1 地区电网典型日负荷曲线图

考虑到该地区已开始在大工业用户实施分时电价,峰、平、谷电价比约为1.5:1:0.5左右,峰谷电价比约为3:1,即高峰电价已上浮50%,低谷电价已下浮50%。若未实施峰谷电价,则预计高峰负荷和低谷负荷会进一步两级分化,设高峰负荷估值 $Q_{峰原}$ ,低谷负荷估值 $Q_{谷原}$ 。利用式(1),可得

$$\frac{Q_{峰50\%} - Q_{峰原}}{Q_{峰原}} = \varepsilon_{p_{工业峰}} \times \frac{\Delta P}{P} = -0.5 \times 50\%$$

$$Q_{峰原} = \frac{Q_{峰50\%}}{0.75} = 7\ 564.19$$

$$\frac{Q_{谷50\%} - Q_{谷原}}{Q_{谷原}} = \varepsilon_{p_{工业谷}} \times \frac{\Delta P}{P} = 0.5 \times 50\%$$

$$Q_{谷原} = \frac{Q_{谷50\%}}{1.25} = 3\ 077.46$$

若在原负荷水平基础上全面推广3:1峰谷电价,以及提高峰谷比分别至4:1、6:1、8:1、10:1,考虑电力需求价格弹性对用电负荷的影响,获得的削峰填谷量如表4所示。

表4 不同峰谷比条件下削峰填谷量(MW)

| 峰谷比  | 第二产业     |          | 第三产业    |         | 居民      |       |
|------|----------|----------|---------|---------|---------|-------|
|      | 削峰       | 填谷       | 削峰      | 填谷      | 削峰      | 填谷    |
| 3:1  | 18 910.5 | 7 693.7  | 2 605.6 | 706.7   | 584.4   | 396.2 |
| 4:1  | 22 692.6 | 9 232.4  | 3 126.8 | 848.1   | 701.2   | 475.5 |
| 6:1  | 30 256.8 | 10 771.1 | 4 169.0 | 989.4   | 935.0   | 554.7 |
| 8:1  | 37 821.0 | 11 540.5 | 5 211.3 | 1 060.1 | 1 168.7 | 594.4 |
| 10:1 | 45 385.1 | 12 002.1 | 6 253.5 | 1 102.5 | 1 402.5 | 618.1 |

### 3.2 居民用户参与需求响应分析

目前,中国大部分省份在大工业用户、普通工商业用户均实施了峰谷分时电价,一表一户居民实施了阶梯电价,部分地区试点实施了居民峰谷电价,可由居民选择执行阶梯或峰谷电价。2013年12月《国家发展改革委关于完善居民阶梯电价制度的通知》进一步明确:1)加大居民用电“一户一表”改造力度,在2017年年底完成全国95%以上存量居民合表用户改造,做到抄表到户,并执行居民阶梯电价制度;2)全面推行居民用电峰谷分时电价政策,尚未出台居民用电峰谷电价的地区,要在2015年年底制定并颁布居民用电峰谷电价政策,由居民用户选择执行。

下面以某地区当前居民电价水平为基准条件,测算分析居民用户对阶梯电价、峰谷电价选择的倾向性。

表5 某地区居民阶梯电价和峰谷电价表(元/kW·h)

| 阶梯电价 | 第1档基准电价                              | 第2档基准电价                               | 第3档基准电价                           | 非阶梯电价   |
|------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------|
|      | $\leq 200 \text{ kW} \cdot \text{h}$ | 200 ~ 400 $\text{ kW} \cdot \text{h}$ | > 400 $\text{ kW} \cdot \text{h}$ |         |
|      | 0.680 0                              | 0.730 0                               | 0.980 0                           | 0.717 0 |
| 峰谷电价 | 峰期电价                                 | 平期电价                                  | 谷期电价                              |         |
|      | 上涨62.6%                              |                                       | 下降48.1%                           |         |
|      | 1.105 6                              | 0.680 0                               | 0.352 7                           |         |

假设单个用户每日峰平谷各时段用电量设为4.5:1:0.5,计算月用电量从100 kW·h至1 000 kW·h,分别采用阶梯电价、不同移峰水平下的电费变化情况,结果如图2所示。

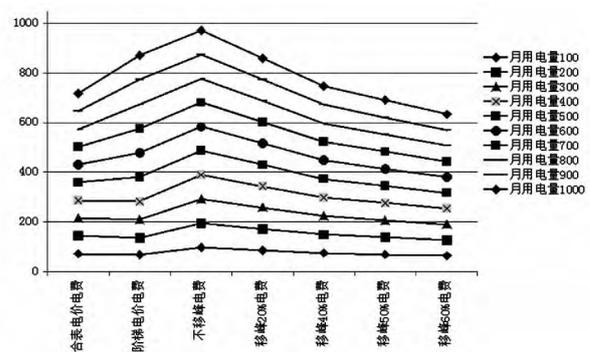


图2 居民用户在不同电价政策下的用电费用

经测算,居民月用电量在400 kW·h以下的用户约占90%以上,若该类用户选择峰谷电价,平均需转移50%左右的高峰用电才能获得电费节省,显然这一目标较为困难,所以大部分居民用户可能不会选择采用峰谷分时电价,尤其是用电量少的地区。因此,供居民用户选择电价方式(阶梯、峰谷)的政

策不变或是峰谷电价无进一步调整的情况下,未来一段时间内居民用户仍主要以阶梯电价为主。

### 3.3 基于价格信号的需求响应建议

1) 同一电价政策下,第二产业对削峰填谷贡献率最大,且随着峰谷电价比逐渐加大,削峰填谷量愈加明显;但当电价比达到8:1以上时,理论上会出现峰谷倒置情况。建议在第二、三产业适当加大峰谷电价差至6:1、8:1之间,进一步积累数据,为日后测算更加合理的峰谷电价奠定基础。

2) 建议第二、三产业在夏季时开展尖峰电价,在峰谷电价的基础上叠加一个费率较高的尖峰时段电价,预期会有效缓解夏季高峰时段电力供应紧缺、卡脖子等问题。

3) 居民用户对削峰填谷贡献率较低;且从目前居民电价政策来看,用电量低的用户选择峰谷电价的可能性较小,因此从为民服务、保障民生角度出发,建议在用电负荷较高的地区,试点推行峰谷分时电价,但峰时电价不宜过高,谷时电价则可适当降低,鼓励谷时应用电动汽车、储能、冰蓄冷等技术。

## 4 基于激励措施的需求响应

基于激励的需求侧响应直接采用奖励方式来激励和引导用户参与各种系统所需要的负荷削减项目,一般是由电网运行人员决定是否实施需求响应。目前国际上较为常用的基于激励需求侧响应项目有直接负荷控制、可中断负荷、需求侧竞价、紧急需求响应和容量市场/辅助服务计划。

表6 基于激励措施的需求响应类型

| 体系          | 类型     | 功能描述                                      |
|-------------|--------|---|
| 基于激励措施的需求响应 | 直接负荷控制 | 为了解决系统或区域可靠性紧急状况,远程关掉或循环运行居民用户和小商业用户的电力设备 |
|             | 可中断负荷  | 在系统紧急情况下,削减或中断参与者负荷                       |
|             | 需求侧竞价  | 用户根据自己的需求曲线进行竞价,由电力公司依据实际情况决定由哪些用户中标      |
|             | 紧急需求响应 | 处理网络运行风险、电力短缺以及停电等所引起的系统可靠性事故             |
|             | 容量市场计划 | 应对发电机失效、线路故障等系统偶然事故引起的容量紧张                |
|             | 辅助服务计划 | 需求侧资源参与电压控制、频率调节、备用等                      |

### 4.1 基于激励措施的需求响应项目构成要素

实施基于激励措施的需求响应对用户造成的影响与响应地点、时机、频度、规模和持续时间等有很大关系,对用户的补偿也要与这些因素有关,因此需求响应项目要对这些因素进行明确规定,以保证参与者与提供者公平收益。需求响应项目的构成要素如表7所示。

表7 需求响应项目构成要素

| 项目要素         | 描述   |
|--------------|--|
| 参与对象         | 针对项目所要解决的系统问题,明确项目的参与者及资源特性要求。   |
| 最小参与资源量约束    | 这样的约束可使大的需求侧资源直接参与市场竞价,而小的需求侧资源可以由负荷集中商把它们集中起来代理用户参与市场竞价,从而减少系统管理与交易成本,也便于电网运行人员掌控需求响应资源。        |
| 触发时机         | 包括极热或极冷的天气、停机检修、线路故障等所导致的威胁电力系统安全的电力紧张情形或高现货市场电价时期。  |
| 提前通知时间       | 在实施需求响应之前要通知用户提前做好工作进程和日计划等用电安排,提前时间越早,用户做准备的时间越充分,对用户的影响越小,但预测事故发生的精确度也越低。                      |
| 通知方式         | 通知用户执行需求响应的方式,包括手机、电话、Internet等。   |
| 响应频数         | 单位时间内实施需求响应的次数,其值一般是一年数次。  |
| 响应时长         | 需求响应持续的时间越长,对用户的影响越大,相应地,给用户的回报也越大。  |
| 参与者收益        | 包括参与需求响应项目的收益与实施需求响应的收益。给响应用户的补偿决定于负荷削减量、电价、响应时刻、响应时长、响应位置、需求响应项目的服务等级与服务等级等多种因素。                |
| 处罚方式         | 在电网运行人员调用用户的需求响应资源时,如果用户没有按合约要求实施需求响应,可能会受到处罚。   |
| 对需求响应基础设施的要求 | 实时计量表、通信系统、能量管理系统等基础设施能够用来传送价格信号、经济激励、环境状况和系统可靠性信号等信息,自动化用户的响应行为,监测用户的响应绩效,结算用户的电费与实施需求响应所得的补偿等。 |

### 4.2 商业楼宇中央空调自动需求响应

#### 1) 商业楼宇中央空调运行特性

伴随国民生活水平的不断提高,各类空调得到了广泛应用,一些大中城市和经济发达省份的空调负荷已占到夏季尖峰负荷的30%以上,某些地区甚

至超过40%<sup>[6]</sup>,且电网高峰负荷集中出现在夏季的数百小时内。如2012年北京夏季高峰负荷15000MW,空调负荷占比超过30%。大多数空调负荷只关注自身的运行工况,缺乏与电网的有效互动,“峰上叠峰”现象比较明显,同时绝大部分商业楼宇等公共资源的中央空调在设计和选型时都是依据最大承受原则,空调负荷设计裕量普遍偏大,“大马拉小车”现象非常严重。据统计,中国公共楼宇空调负荷全年有98%以上时间是在设计负荷的80%以下运行,80%以上时间是在设计负荷的50%~55%以下运行;而实际应用过程中因为缺乏专业的空调运行管理知识和制度,导致空调输出量远大于实际需求,能源浪费现象严重,导致压缩了正常工业负荷使用空间,浪费了电力资源的合理配置。而这一点也恰恰表明了,商业楼宇空调负荷具有较大的可调控性<sup>[7]</sup>。

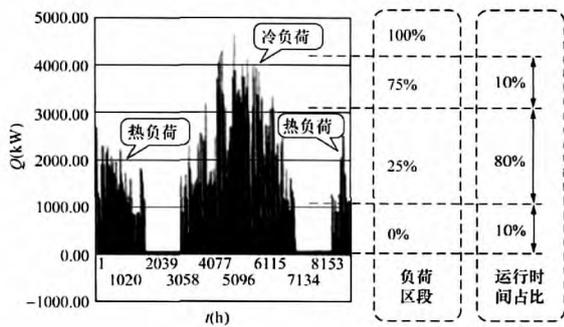


图3 商业楼宇中央空调负荷运行特性

与生产性空调负荷相比,商业楼宇空调负荷调控影响主要体现在用户舒适度上,对生产、生活影响较小,可调可控成本较低,且商业楼宇空调负荷高峰与电网高峰相一致。据统计,在夏季电网负荷高峰时段,商业楼宇空调负荷约占电网总负荷的12%,有效削减商业楼宇空调负荷能够发挥电网削峰作用。通过精细化控制,商业楼宇空调负荷在高峰的短时间内(2h)普遍可以取得削峰5%~10%的效果,部分甚至可以达到10%~15%。

### 2) 商业楼宇中央空调调控策略及推广建议

商业楼宇空调负荷调控技术手段多样,包括控制空调主机、新风机组、循环水泵、风机盘管等调控策略,每种调控策略的调控效果不尽相同。国内某地区进行了有关商业楼宇中央空调调控的实验<sup>[8]</sup>,并根据调控效果综合评价指标体系对各类策略进行分析计算,得出全局温度控制、减少运行主机数量等调控策略的整体调控效果综合评价合格率较高,具

有良好的推广前景;关闭风机盘管策略调控评价合格率较低,不适宜推广。

选取减少主机数量实施商业楼宇中央空调自动需求响应。通常,减少主机数量策略只能持续15~30min左右,制冷主机过长时间停运会引起用户舒适度的下降,可考虑在区域内实施中央空调主机轮换策略,将制冷主机分批编组,按批短时轮控。中央空调轮停的分组按照同组工作性质尽量相同、制冷主机工作原理尽量相同、每组负荷大小尽量相等、削减高峰负荷不宜过小原则。分组数目不宜过多,以3组或4组为宜。如果其中所有的集中空调制冷负荷采用每运转60min,暂停15min的中央空调系统制冷主机周期性暂停用电的办法,则适宜将中央空调负荷分为4组。4组中央空调全部完成一次暂停需要2h。在2h中,每组中央空调完成减载需要15min,暂停15min,加载同样需要15min,其余75min正常运行。虽然第一组系统负荷下降需要一定时间才能达到要求,但对于第二组、第三组或者第四组来说,在本组减载的同时,前一组减载的机组已依次在加载,互相削减后总负荷保持平稳<sup>[9]</sup>。

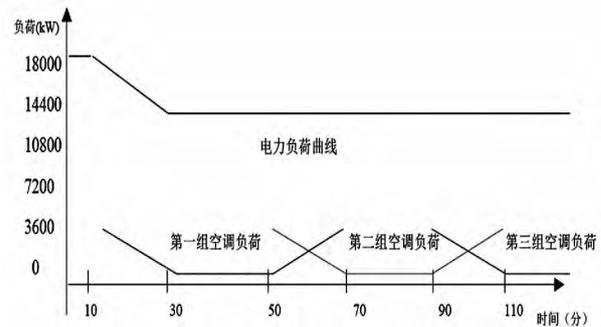


图4 用电设备短时轮控示意图

### 4.3 大用户用能方案优化自动需求响应

大用户参与自动需求响应首先应根据自身企业用能特点及生产工艺流程安排制定详细的用能优化方案,确定能够参与需求响应的类型和响应时间,签订需求响应协议,并进行企业用能管理系统建设;也可以通过参与国家需求侧管理项目由节能服务公司先行部署企业用能管理系统,再根据所具备的需求响应资源制定用能优化方案,确定能够参与需求响应的类型和响应时间,再签订需求响应协议并实施。

对于大型专变用户来说,其用电负荷、用电量通常较高,对电网来说是一个较为稳定的负荷,经建设企业用能服务管理系统后将具有较高的负荷优化空间。考虑大用户转移负荷能力及企业参与需求响应

的可持续性 建议: 1) 优先在 110 kV 及以上专变用户开展自动需求响应 根据试点情况适时推广至 35 kV 及以下用户; 2) 参与的用户宜以大型骨干工业企业和高新技术园区、产业转移园区大型工业企业为主 适时推广至普通工商业用户; 3) 对于区域内生产和生存稳定性不明朗的企业不宜开展。

#### 4.4 基于激励措施的需求响应建议

1) 鼓励发展介于用户和供电企业之间的综合负荷集成商 引入市场竞争机制 最大程度集成和管理大量闲置未开发的需求侧响应资源。

2) 优先在电力负荷密集、电网容易出现“卡脖子”的区域推广自动需求响应 鼓励企业自愿参与或者由负荷集成服务商发动企业参与 利用“互联网+智能技术+市场化手段”最大程度发挥负荷集成服务商在需求响应中的作用。

3) 进一步加强国家电力需求侧管理平台、电网企业负荷管理系统、用户电能管理系统和负荷集成商负荷控制服务平台之间的对接 完善各平台实现自动需求响应的各项基础功能; 鼓励负荷集成服务商自主投资建设各自的负荷控制平台 面向社会开放 符合技术标准的都可以接入国家电力需求侧管理平台。

4) 进一步探索电力削减负荷指标市场化调剂交易 允许部分大用户对削减的负荷指标进行自由交易 推进电力需求响应的电力负荷交易市场建设 将其纳入新电改提出的电力交易中心范畴 实现电力需求侧管理工作的市场化运作。

## 5 总结与展望

需求侧管理是一项长期、持续性工作 其主要发展框架如图 5 所示 主要包括综合节能、有序用电、激励需求响应、价格需求响应等方面。其中 有序用电是在中国当前国情下一项重要的需求侧管理手段 在一定时期将长期存在 但需结合相应的激励措施以保障其发展的可持续性。随着中国电力改革和市场化的不断深入 有序用电亦将逐渐退出历史舞台 取而代之的是以市场化为导向的激励、价格需求响应 并且最终实现电力负荷的自动需求响应 全面辅佐电网的规划、建设、运行。

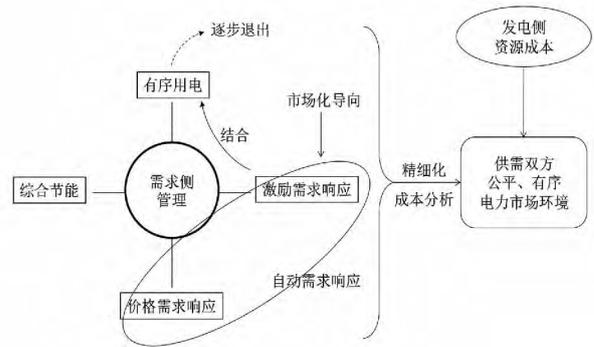


图 5 需求侧管理主要发展框架

电力需求侧管理应以电力规划为起点开展 而不是将之仅仅视为客户侧的用电及节电管理 在规划、建设、运行工作中将需求侧资源作为与供应侧资源相同的资源进行分析和评估 在兼顾各自特点的情况下 促使二者公平竞争 实现优势互补; 并建立科学合理的需求响应成本效益评估体系 以促进需求响应的有效实施; 进一步精确分析需求侧供电成本 与发电侧资源成本统筹考虑构建需求响应电力市场环境 实现“源、网、荷”多时空尺度实时互动。

#### 参考文献

- [1] Energy Policy Act of 2005. Public law 109 - 58 - Aug. 8 , 2005 [EB/OL]. 2007 - 05 - 21. <http://www.doi.gov/iepa/EnergyPolicyActof2005.pdf>.
- [2] US Department of Energy. Benefits of Demand Response in Electricity and Recommendations for Achieving them: A Report to the United States Congress Pursuant to Section 1252 of Energy Policy Act of 200 [EB/OL]. 2007 - 05 - 21. [http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/congress\\_1252d.pdf](http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/congress_1252d.pdf).
- [3] 国家发展和改革委员会. 国家电力需求侧管理平台 [EB/OL]. [www.dsm.gov.cn](http://www.dsm.gov.cn).
- [4] 何永秀. 电力与经济关系的计量分析 [M]. 北京: 中国电力出版社 2008.
- [5] 李艳. 电力需求弹性分析及电价形成机制研究 [D]. 保定: 华北电力大学 2010.
- [6] 张志强. 基于电网侧的空调负荷特性分析及其调控措施研究 [D]. 保定: 华北电力大学 2007.
- [7] 李斌, 林弘宇, 徐石明, 等. 智能电网框架下公共楼宇空调负荷资源化应用 [J]. 供用电, 2014(3): 40 - 34.
- [8] 叶剑斌, 黄堃, 刘琼, 等. 面向电网削峰的商业楼宇空调负荷调控实证研究 [J]. 江苏电机工程, 2014, 33(1): 30 - 34.
- [9] 杜小瑾. 中央空调轮停技术在夏季缺电形势下的应用 [D]. 南京: 东南大学 2006.

(收稿日期: 2016 - 01 - 14)