

湖南省电网 DSM 技术举措的应用研究

董雪, 罗滇生, 姚建刚, 肖伟

(湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘要: 电力需求侧管理作为能源管理的技术和手段, 对电力运行起到重要作用, 而各项节电项目的推广和应用又是电力需求侧管理的一项重要内容。针对湖南省电网现状, 利用经济最优原理, 建立了适当的电力需求侧管理成本效益分析模型。通过引入具体算例, 从社会、用户参与者、发起者(电力公司)和监督者的利益出发, 分别对绿色照明、空调节电和变频调速技术这三项节电项目进行了可行性分析, 得出了电力部门应采取的经济激励措施。在贴现率为10%的情况下, 可以有效地减少电力和能量消耗, 节电潜力巨大。

关键词: 需求侧管理; 成本效益分析; 节电项目

Research and application of DSM in Hunan province

DONG Xue, LUO Dian-sheng, YAO Jian-gang, XIAO Wei

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: As an important technique and measure for energy management, the demand side management (DSM) plays a key part in the operation of electricity market, and the extendibility and application of various saving electricity items is an important content of DSM. Aiming at problems of electric net in Hunan province, the paper establishes a set of cost and benefit analysis model of DSM with optimal theory in economics. By introducing examples, the paper mainly analyses green lighting, saving electricity of air condition and the frequency conversion adjust on the basis of benefit of society, user(participator), the electric power company(sponsors) and the supervisor(administrative department), and the economic incentive is suggested which should be adopted by electric power industry. At 10% rate, it can reduce the consumption of electric power and energy efficiently, and the potential of saving electric power is very huge.

Key words: demand side management; cost and benefit analysis; saving electricity item

中图分类号: TM73; F123.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)12-0061-04

0 引言

电力需求侧管理 DSM (demand side management) 中, 电力公司作为电力的供应方, 可以采取各种有效的激励和诱导措施, 以适宜的运作方式鼓励用户采用高效用电新技术, 从而提高效率, 调整用能方式。供应侧通过需求侧管理达到减少或延迟新建电厂、节约或推迟投资的目的, 需求侧则在保持满足电能需求的前提下节省了电费。

湖南省的电力需求侧管理工作起步比较晚, 就目前来看, 只有分时电价发挥了其应有的作用, 其他的举措如可中断负荷电价、DSM 的技术措施等均未在本省内试行。湖南省水电装机容量占系统总装机容量的近 60%, 且大多为季、周、日调节或径流电站, 水电丰枯期电力电量相差很大。火电机组调峰幅度较小, 高温高压机组不能做到启停调峰。省内 500V/220V 电磁环网结构复杂, 可控性差, 电网调

峰困难。电源建设跟不上负荷增长, 不能满足供电需要, 另外电网结构的薄弱也限制了电源出力, 造成了湖南省调峰能力、高峰供电能力不足。

1 DSM 成本效益分析模型

与 DSM 成本效益分析有关的群体有社会、用户、电力公司、节能公司四个。任何一个节电项目, 只有社会、用户、电力公司和项目执行者的收益都大于成本时才能考虑接受。

以下为支持成本效益分析的主干模型, 计算程序和计算结果都以它为结果配合附属模型来完成的。

a. 供需方节电量

$$\Delta W_{z.n} = (P_d - P_g) \times h_{z.n} \quad (1)$$

式中: $\Delta W_{z.n}$ 为需求方寿命期节电量, kWh; P_d 为原用电器功率, kW; P_g 为高效电器功率, kW; $h_{z.n}$ 为高

效电器寿命, h 。

$$\Delta W_{gn} = a \times \Delta W_{zn} \quad (2)$$

式中: ΔW_{gn} 为寿命可避免电量, kWh; a 为电能损失系数, 本文中取 1.17034;

$$a = 1 / [(1 - 6.77\%) \times (1 - 8.35\%)] = 1.17034$$

(2004 年我国平均厂用电率为 6.77%, 平均线损为 8.35%)。

$$N_{gn} = (P_d - P_g) \times r \times q \times e \quad (3)$$

式中: N_{gn} 为供方可避免峰荷容量, kW; r 为功率损失系数; q 为峰荷同时系数; e 为备用容量系数。

b. 社会成本效益分析

$$C = (S + G - B) / \Delta W_{gn} \times (P / A, i, n) \quad (4)$$

式中: C 为单位节电成本; S 为项目的直接费用; G 为项目的管理费用, 一般可取直接费用 15%; B 为项目的避免费用; A 为各年相等的净现金流量; i 为贴现率, 本文中取 10%; n 为用电资源寿命。

已知等年值求现值的计算。用于在贴现率为 i 的情况下, 为了在 n 年内每年年末能取得等额的年收入 A , 求现在必须投入的资金现值 P 。

$$P = A[(1+i)^n - 1] / i(1+i)^n = A(P/A, i, n) \quad (5)$$

$$M = (S_c + G_c - B_c) / N_{gn} \quad (6)$$

式中: M 为避免负荷成本; S_c 为项目的直接费用净现值; G_c 为项目的管理费用净现值; B_c 为项目的避免费用净现值。

c. 用户的成本效益分析

$$F = (d \times \Delta W_{zn}) \times A(P/A, i, n) + B - S(1-b) \quad (7)$$

式中: F 为需求侧年纯收益; d 为电价; b 为补贴率, 本文中设为 0。

d. 电力系统的成本效益分析

$$F_g = C_g \times \Delta W_{gn} - d \times \Delta W_{zn} \quad (8)$$

式中: F_g 为供应方年纯收益; C_g 为新增电量成本, 本文取 0.40 元/kWh

2 湖南省电网 DSM 节电项目应用研究

2.1 绿色照明

2.1.1 方案框架

推广绿色照明工程就是逐步普及绿色高效照明灯具, 以替代传统的低效照明光源。本文通过各行业使用白炽灯和节能灯的年耗电量对比, 计算出节电量及供应方避免的峰荷容量, 然后进行社会、用

户、电力系统成本效益分析。以下列出了照明实施 DSM 的基础经济指标。见表 1。

表 1 2005 年湖南省最终取用数据及 2015 年预数

Tab.1 Final date in 2005 and estimated data in 2015 in Hunan province

灯种	2005 年数 量/万台	单位容量 /kW	2005 年容 量/万 kW	2015 年容 量/万 kW
白炽灯	11 500	0.040	460	495.346 5
节能灯	352	0.010	3.52	—

2.1.2 成本效益分析

a. 供需方节电量

需求方寿命节电量: $\Delta W_{zn} = (P_d - P_g) \times h_{zn}$

$$\Delta W_{zn} = 43.8 \text{ kWh}$$

寿命可避免电量: $\Delta W_{gn} = a \times \Delta W_{zn}$

$$\Delta W_{gn} = 51.261 \text{ kWh}$$

供方可避免峰荷容量:

$$N = (P_d - P_g) \times r \times q \times e$$

$$N_{gn} = 23.4 \text{ W}$$

b. 社会成本效益分析

单位节电成本:

$$C = (S + G - B) / \Delta W_{gn} \times (P/A, 10\%, n)$$

$$C = 0.325 \text{ 元/kWh}$$

避免负荷成本: $M = (S_c + G_c - B_c) / N_{gn}$

按照发电机组 20 年寿命计算, 节能灯需进行 9 次重置。

净现值: $P = A + A(P/A, 21\%, 9) = 4.91 A$

因为单位间隔为 2 年, 故 $i = 21\%$, 则

$$S_c + G_c - B_c = 4.91 \times (S + G - B) = 141.899$$

根据前面的结论, 由公式 (4)、(6) 并参照表

1 数据得: $M = 6064$ 元

c. 用户的成本效益分析

$$F = (d \times \Delta W_{zn}) \times A(P/A, 10\%, 2) + B - S(1-b)$$

$$F = 76.02d - 25$$

即当电价高于 0.329 元时对用户是成本有效的。

湖南省照明电价中最低的是居民照明, 每千瓦时 0.548 元, 所以节能灯对用户总是成本有效的, 若从投资回收期角度分析, 有:

$$F = (P_d - P_g) \times h \times d - (S + G - B) = 0$$

对于居民则有: $F = 16.44h / 1000 - 28.9 = 0$,

即运行 1758 个小时就可以收回投资; 对于第三产业照明, 照明电价水平约为 0.800 元/kWh, 运行 1204 h 就可收回投资。

d. 电力系统的成本效益分析

$$F_g = C_g \times \Delta W_{gn} - d \times \Delta W_{zn}$$

实际上, $F_g = C_g \times \Delta W_{gn} - d \times \Delta W_{zn} > 0$ 成立的条件是 $C_g \times \Delta W_{gn} / \Delta W_{zn} > d$, 即当电价低于 0.468 元/kWh 时, 对电力系统是成本有效的。目前湖南省综合电价水平约为 0.424 元/kWh, 是低于 0.468 元/kWh 时, 即在目前的电价水平下, 节约电量对电力系统总是成本有效的。

2.1.3 节电潜力分析

以白炽灯为例, 预计 2005 年可采取 DSM 技术的容量为 495 万 kW, 每盏灯的平均功率为 40 W, 采取 DSM 技术在发电侧年平均节电为 51.261 kWh, 平均避免峰荷为 23.4 W, 白炽灯采取 DSM 技术的单位节电成本为 0.325 元/kWh, 发电侧发电及新建机组的边际成本为 0.40 元/kWh 和 9000 元/kWh (此数据由 97 年江苏的数据按贴现率 1% 推算而来), 实施 DSM 的用户参与率取 30%。则:

节电资源: $63.4 \times 30\% = 19.03$ 亿 kWh

可避免峰荷容量潜力:

$23.4 \times 495 / 0.04 / 1000 = 289.6$ 万 kW

可实现避免峰荷容量: $289.6 \times 30\% = 86.9$ 万 kW

可节约电费: $63.4 \times (0.40 - 0.325) = 4.8$ 亿元

可实现节约电费: $4.8 \times 30\% = 1.44$ 亿元

实现节电资源潜力所需投资:

$0.325 \times 63.4 = 20.6$ 亿元

获取可实现资源所需投资:

$0.325 \times 19.03 = 6.18$ 亿元

节约电力建设投资:

$289.6 \times 9000 / 10000 = 260.6$ 亿元

获取可实现资源节约电力建设投资:

$260.6 \times 30\% = 78.2$ 亿元

2005 年年度内可提供节电资源:

$51.261 \times 495 / 0.04 / 10000 = 63.4$ 亿 kWh

2.2 中央空调

2.2.1 方案框架

将中央空调用蓄冷空调代替, 其节能效果随空调负荷特点的不同(连续还是间歇运行, 峰谷负荷比等)、电价体制的不同、以及气象参数的差别等不同有所差别。

蓄冷空调主要是利用水的显热和水、冰相互变化过程中潜热迁移的特性, 在电网用电低谷时段开机蓄冷, 在电网用电高峰时段释放冷量, 以缓和电网峰段电力供需矛盾, 达到“移峰填谷”的目的, 相当于扩大了电力再生产。

2.2.2 成本效益分析

蓄冰空调削峰能力 30%, 峰荷同时系数 0.8, 功率损失系数 1.2, 备用容量系数 1.2。与普通中央空调相比, 蓄冷空调将空调容量降低 11%~25%, 将设备的电力负荷率提高 20%左右, 节能 5%~45%, 电力移峰达 18%~60%, 一般可削峰 30%, 年运行费降低 45%~55%, 投资高 8.2%, 每兆瓦增加投资在 1000 元以内, 投资回收期 1~2 年。

a. 用户的成本效益分析

峰期常规空调每消耗 1 kWh 电量时, 为获取同样冷量, 蓄冰空调需在谷期消耗 1.67 kWh 电量。峰谷电价比大于 1.67 时, 用户成本有效。

b. 社会的成本效益分析

一台蓄冰空调代替常规空调的避峰成本为:

$$M = (S_c + G_c - B_c) / N_{gn} = [1000 + 1000 (P/F, 10\%, 10) / (0.3 \times 1.2 \times 0.8 \times 1.2)] = 1203 \text{ 元/MW}$$

蓄冰空调虽多用了 67% 的电量, 但其总量只是机组放空能力的一小部分, 从社会角度分析, 不须将多用电量的成本及对环境的排放计入。

2.3 风机变频调速

2.3.1 方案框架

变频器是基于电机转速与电源输入频率成正比的原理, 采用交-直-交电源变换、电力电子、微电脑控制等技术的综合性电气产品。采用变频调速方法节能的原理, 是基于流量、压力、转速、转矩之间的关系: 流量 \propto 转速, 压力 \propto 转矩 \propto 转速的平方, 功率 \propto 转速的三次方。

表 2 流量、压力、转速、转矩理想情况下的关系

流量/(%)	转速/(%)	压力/(%)	功率/(%)
100	100	100	100
90	90	81	72.9
80	80	64	51.2
70	70	49	34.3
60	60	36	21.6
50	50	25	12.5

2.3.2 成本效益分析

以一台工业锅炉使用的 22 kW 鼓风机为例。24 h 连续运行, 其中每天 11 h 运行在 90% 负荷 (频率按 46 Hz 计算, 挡板调节时电机功耗按 98% 计算), 13 h 运行在 50% 负荷 (频率按 20 Hz 计算, 挡板调节时电机功耗按 70% 计算), 全年运行时间为 300 天。

a. 年节电量

$$W_{b1} = p_f \times h_1 \times [1 - (f_1 / 50)^3] \times H \quad (9)$$

式中: p_f 为风机功率; h_1 为运行在 90% 负荷的小

时数; f_1 为运行在 90% 负荷的频率; H 为全年运行时间。

$$W_{b1} = 16067 \text{ kWh}$$

$$W_{b2} = p_f \times h_2 \times [1 - (f_2 / 50)^3] \times H \quad (10)$$

式中: h_2 为运行在 50% 负荷的小时数; f_2 为运行在 50% 负荷的频率; $W_{b2} = 80309 \text{ kWh}$; $\Delta W_{zn} = W_b = W_{b1} + W_{b2} = 16067 + 80309 = 96376 \text{ kWh}$

b. 挡板开度时的节电量

$$W_{d1} = P_f \times (1 - P_1) \times h_1 \times H \quad (11)$$

式中: P_1 为运行在 90% 负荷挡板调节时电机功耗;

$$W_{d1} = 1452 \text{ kWh.}$$

$$W_{d2} = P_f \times (1 - P_2) \times h_2 \times H \quad (12)$$

式中: P_2 为运行在 50% 负荷挡板调节时电机功耗;

$$W_{d2} = 21780 \text{ kWh}$$

$$W_d = W_{d1} + W_{d2} = 1452 + 21780 = 23232 \text{ kWh}$$

相比较节电量为:

$$W = W_b - W_d = 96376 - 23232 = 73144 \text{ kWh}$$

c. 寿期可避免电量

$$\Delta W_{gn} = a \times \Delta W_{zn} = 112792.67 \text{ kWh}$$

d. 电力系统的成本效益分析:

$$F_g = C_g \times \Delta W_{gn} - d \times \Delta W_{zn} = 198.2 \text{ 元/kWh}$$

2.3.3 节电潜力分析

风机变频调速的节电效果 10%~50%, 平均水平 35%。2004 年湖南省风机总台数每月比去年同期平均以 67.445% 的速度增长, 2004 年 9 月共有风机 8681 台, 节电潜力很大。设用户参与率为 30%, 则湖南省共对 2604 台风机进行变频调速, 年可节约电量 25 099 万 kWh, 供应方年节电 29 371 万 kWh, 供应方年纯收益 51.6 万元。

3 结语

通过对绿色照明、中央空调、风机实施 DSM 技术的成本效益分析和用电趋势预测, 在折现率为 10% 的情况下可得到优良的经济效益。通过 10 年的努力, 投资 13 亿, 可在 2015 年年度内实现: 提供节电量资源 48 亿 kWh; 提供避免峰期容量 160 万 kW; 国家可减少 142 亿元电源点建设投资; 降低 6.3 亿元电费成本。

电力公司、社会、用户、节能公司的收益大过

成本仅是电力需求侧管理的一个必要条件, DSM 还涉及到体制、法规、标准、金融、财税、物价等诸多方面的协调, 只有相应的管理体制和配套政策作保障, 各种技术措施才能顺利实行。

参考文献

- [1] 国家电网公司需求侧管理指导中心. 电力需求侧管理实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005. SGCC DSM Guide Center. DSM Application Technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [2] 姚建刚, 章建. 电力市场分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999. YAO Jian-gang, ZHANG Jian. The Analysis of Electric Power Market[M]. Beijing: Higher Education Press, 1999.
- [3] 邱大雄. 能源规划与系统分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995. QIU Da-xiong. Energy Projection and System Analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995.
- [4] 杨志荣, 劳德容. 需求方管理(DSM)及其应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999. YANG Zhi-rong, LAO De-rong. Demand Side Management and Application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.
- [5] 曾明. 电力需求侧管理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000. ZENG Ming. Demand Side Management[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.
- [6] Read A, Pinho Junior A, Vaz, The Demand Side Management Market in Brazil: Demand Controller and Differentiate Tariffs[Z]. XVI SNPTTE, Campinas, SP, 2001.
- [7] Gagliano R A, Fraser M D, Schaefer M E. Allocation of computing Resources[J]. Communications of the ACM, 1995, 38(6): 88-102.
- [8] Yagge F, Akkermans H. Power Load Management as a Computational Market[A]. In: Proceedings of the Second International Conference on Multi-Agent Systems[C]. 1996. 393-400.
- [9] Shrestha G B, Fonseka P A J. Congestion Driven Transmission Expansion in Competitive Power Market[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2004, 19(3): 1-8.

收稿日期: 2006-08-31; 修回日期: 2007-03-14

作者简介:

董雪(1983-), 女, 硕士研究生, 主要从事电力市场、电力需求侧管理等方面的研究工作; E-mail: dongxue_1030@163.com

罗滇生(1971-), 男, 博士, 从事计算机控制和电力市场方面研究;

姚建刚(1952-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力市场、配电系统自动化和新型输电方式的研究。