

Benefit Analysis of the Taipower Demand Response Simulation Case Study

Guang-ching Leu, Ren-wei Huang, Hsiu-min Lin, Sharon Lin

(Chunghwa Telecommunication Laboratories., Taoyuan Taiwan 32617, R. O. C.)

gcl@cht.com.tw

Abstract: Demand response (Demand Response, DR) is a control mechanism for power system that complies with the feeder line status to control and manage the consumer power demand. In practice, the power companies use the price as an incentive to provide preferential tariff policy in order to change the consumption habits and reduce power consumption. This thesis is to study the power companies for reducing the generator set high cost of electricity power generation, or power system supplies emergency in response to falling load demand, allowing customers to sell power demand back to the system as the simulation of hypothetical situations. Design a simulation of the demand response management system, were simulated industrial park, commercial, industrial mixed residential and residential mixed commercial, four different load flow trends^[1]. To analysis the system power supply differences before and after the demand response, and do a comparison of the benefits between the power companies and power users. The results will be used as power demand side management information system development, as well as the demand response of business models and the benefits assessment for reference.

Keywords: power system; demand response; power demand; simulation; independent system operator; direct load control; intelligent energy network(iEN)

台電需量反应模拟案例效益分析

吕光钦, 黄仁伟, 林修民, 林世媛

(中华电信研究所, 台湾 桃园县 32617)

gcl@cht.com.tw

【摘要】 需量反应(Demand Response, DR)是一种根据电力系统馈线的供电状况,对电力用户的用电需求进行管理控制的机制。在实际运作时,电力公司利用电价策略作为诱因提供优惠电费措施,以改变客户用电习惯以降低电力需求。本论文主要是探讨电力公司为了降低高成本的发电机组发电成本,或因应电力系统为供应紧急需求进行降载时,允许客户将电力需量回售给电力系统之情境,作为模拟的假想状况。设计一需量反应仿真管理系统,分别仿真工业区、商业区、工住混合及住商混合等四种负载潮流趋势^[1]。分析需量反应前后电力系统供电的差异,以及电力公司与电力用户所获得的效益,做一分析比较。此结果将作为电力需求面管理信息系统开发,以及需量反应的商业运转模式与效益评估之参考依据。

【关键词】 电力系统; 需量反应; 电力需量; 模拟; 电力调度中心; 直接负载控制; 智能能源网络

1 引言

目前电力事业在欧美等较先进国家大都已经自由化,因此电力供需市场的自由竞争是电力事业未来发展的必然趋势。电力事业自由化的最直接好处,就是透过自由竞争促使电力产业能够更加提升效率降低生产成本,同时用户可以透过自由竞争的市场机制,使用最便宜的电力创造双赢的局面。台湾电力市场目前仍是由台湾电力公司独占,虽然有汽电共生厂可独自

与用户签约售电,但其大部份发电业者仍不能自由售电。另一方面台湾输配电系统仍然属于台电经营管理,并由台电统一调度,因此除了台电的电厂之外,汽电共生厂以及民营电厂亦经由通讯的管道由其控制。在电力供应方面,台湾的备用容量设置已经足够,但台电公司因建设核能电厂及燃煤火力机组常遇到困难,以致基载机组不足,使得離峰时段仍仰赖燃料成本较高的燃油及燃气机组发电^[2]。近年由于世界能源价格飙涨,而使台电公司发电成本日益升高,因此如能采

用需量反应的策略，削减尖峰及離峰之负载，将可减少备用容量及减少昂贵的燃料成本支出。

电力需求面管理是电力公司利用有效的鼓励和价格诱因措施以及适宜的运作方式，与用户共同协力提高终端用户用电效率、改变用电方式以减少高成本电量(kWh)的消耗和抑低尖峰电力(kW)的需求所进行的管理活动。未来如电力市场的开放，使得电力市场需求面管理从传统的负载管理和能源效率提升，转变为制度更具弹性的「需量反应」。所谓需量反应是指「电力用户为反应一些讯息，如电力价格变动或紧急通知，用户将其预定的电力需求量回售给系统」，或是「有能力抑低电力需求的电力用户，当躉售市场电价飙涨时抑低电力消费，而使电价回稳；或是当电力调度中心ISO(Independent System Operator)因紧急情况，要求电力用户卸除或抑低负载时，电力用户予以配合卸除或降低电力需求，以避免遭遇到实施分区轮流供电之需要」^[3]。

需量反应实施的方式大致上可以区分为「需求面」及「供给面」两个方向。

(1)「需求面」即是在客户端进行管理，如要求用户降低负载，做法上有可以区分为主动式与被动式。

■ 主动式需量反应：是用户有主动权决定是否参加需量反应计划。电力用户可依据电力市场所公布短期价格信息做出反应，以改变其电力需求或消费形态，当然亦可以选择不做出反应。换句话说，电力用户可以抑低尖峰负载需求，并将所「抑低的电力需求」于市场上抛售竞标，或透过电力零售业或能源服务公司(ESCO)汇集后在市场集中竞价抛售。

■ 被动式的需量反应：是用户无法自己决定是否要进行需量反应。电力用户同意电力公司于需要需量反应时，可以直接对其进行降低负载。常见的方式就是采用直接负载控制DLC(Direct Load Control)模式，一般常见可以抑低部分空调负载或照明设备的方式来进行需量反应。

(2)「供给面」则是在供电端的作为，如尖峰时段将未运转的自备发电机或汽电共生机组或再生能源机组，在需要时请其并联加入运转，供应用户本身负载达到抑低负载需求的目的，或甚至将电力回售给电力公司供应附近周遭电力用户的电力需求。

2 台湾电力公司需量反应试用计划

目前台湾的需量反应诸多案例都可以归纳为实验

计划性质，且大多采用以价格费率等贴补措施来进行。台电公司于公元2008年6月1日至2008年10月31日止推动的「需量反应计划」^[3]，即采用电价补贴等优惠措施，作为参与需量反应用户的补偿。用户参加计划之限制条件为经常契约容量达1,000kW以上始获准参加，计划执行期间台电以电话通知方式通知电力用户自行抑低负载降低电力需求。抑低负载时间可以选择2小时或4小时，在通知预告时间上用户可以选择是抑低用电前的15分钟、30分钟或是1小时的抑低通知方式。在本次的需量反应计划中共有10户电力用户参与其计划的执行，其抑低契约容量为3.1万瓩，最高抑低实绩为3.2万瓩，2008年7月21日有1户因制程无法配合退出，2008年8月20日有2户因设备维修，制程无法配合退出。截至2008年10月止剩余7户，合计抑低契约容量为2.5万瓩。

关于电价优惠计价方式或违约加计方式，如下所述。

(1) 抑低契约容量由双方约定，但不得低于「最低抑低契约容量」。

(2) 「最低抑低契约容量」：经常契约容量5,000kW以下的部分，抑低用电比率不得低于20%，5,001kW以上的部分，抑低用电比率不得低于10%。最低抑低契约容量超过5,000kW时，则仍计为5,000kW。

例如：某高压用户，经常契约容量为40,000kW，参加需量反应计划时，其「最低抑低契约容量」=5,000×20%+(40,000-5,000)×10%=4,500kW。此即表示该电力用户于需量反应抑低负载时，至少要达到4,500kW的抑低量。

(3) 电费扣减方式

a. 依选择通知方式不同，按下列标准扣减电费，如表1所示：

Table1. Tariff reduction based on Taipower Demand Response
表 1 台电需量反应扣减电费费率表

通知方式	基本电费扣减标准 (元/每瓩每月)	流动电费扣减标准 (元/每度)
15分钟前通知者	20	8
30分钟前通知者	20	6
1小时前通知者	20	4

b. 电费扣减方式

甲、 当月每次执行都符合「实际抑低容量≥抑低契约容量」时，当月基本电费扣减=「抑低

契约容量」×基本电费扣减标准。(实际抑低契约容量=抑低用电通知前2小时电表记录最高需量或经常契约容量两者之较小值-抑低用电期间抄得之最高需量; 如为负值则按零计算)

乙、 当月流动电费扣减: 「实际抑低容量≥抑低契约容量」时, 流动电费扣减=「实际抑低容量」×执行时数×流动电费扣减标准。若「实际抑低容量<抑低契约容量」时, 则概不给予流动电费扣减。

c. 电费加计方式: 当次「实际抑低容量<抑低契约容量」时, 按下列方式加计流动电费。

甲、 抑低用电期间于每年 7 月电费月份至 10 月电费月份: (抑低契约容量-实际抑低容量) × 执行时数×流动电费扣减标准×50%。

乙、 抑低用电期间于每年 11 月电费月份至 6 月电费月份: (抑低契约容量-实际抑低容量) × 执行时数×流动电费扣减标准×25%。

用户参加台电的需量反应计划时, 在计算电费扣减有几项重要门槛值必须注意。(1)抑低契约容量不得小于「最低抑低契约容量」。(2)实际抑低容量超越抑低契约容量时, 才能有基本电费的扣减。(3)实际抑低容量只要超越「最低抑低契约容量」时, 皆可获得流动电费扣减优惠。(4)实际抑低容量只要没有达到抑低契约容量, 其流动电费均要进行违约加计的罚金。(5)实际抑低容量若小于「最低抑低契约容量」, 其流动电费要进行违约加计的罚金, 并且没有任何的电费扣减项目存在。

台电在本次的需量反应效益评估上, 其电源开发的固定成本以每年约1,230元/kW计算, 尖峰发电的变动成本以台电公司2006年汽轮机平均燃料成本约6元/kWh计算。以每年执行40小时, 400,000kW的卸除抑低容量推估, 约可减少1,600万度的尖峰发电度数(节省9,600万尖峰发电成本), 延缓电源开发容量达400,000kW(可节省电源开发成本4.92亿元), 估计效益约5.88亿元。至于在需量反应的成本支出上, 流动电费扣减以平均每度6元计算, 因实施需量反应台电公司减收流动电费每度以3.324元计算, 此部分成本共计1.4912亿元, 基本电费扣减之成本支出则以夏月3个月估算, 达到2,400万元, 因此整体效益预估可以达到4.15亿元的效益。用户因参与需量反应而获得的效益则达到1.732亿元, 平均抑低用电效益达到10.824元/kWh。

在2008年6月到10月实施之需量反应计划, 共计执行10次, 减少用电104万度, 平均达标率96%, 抑低负载2.6万瓩, 最终的效益评估仅达17万元。主要原因分析为实际尖峰负载成长不如预期, 以及需量反应计划执行所替代机组仅为燃油机组, 而非能量计算基础之汽涡轮机组燃料成本等因素造成。

需量反应计划的效益[5], 在短期与实时的运转效益包含如(1)降低尖峰负载, 提高系统备转容量。(2)避免高成本机组运转, 达到经济调度效益。(3)发电机事故跳脱时,采卸除方式作为紧急应变方案。(4)解决输电线或变压器超载现象, 确保系统安全。而在长期效益则有(1)降低高成本尖峰发电机组开发。(2) 面对民众抗争, 解决输电线与变电所兴建压力。(3)减少空污压力。

3 需量反应仿真系统

需量反应研究与仿真系统之设计主要采用上述五种可能状况进行模拟与评估分析, 藉以推估获得未来在实际执行时, 可能得到的效益。期望透过需量用户模型与负载趋势模型的变化, 以仿真的方式进行多种案例分析, 藉以发现可能的最大与最小的效益, 以避免如台电的需量反应计划执行结果与执行前的预估落差过大, 及早拟订因应对策缩小预估与执行的差距, 降低需量反应计划执行风险, 间接提升电力公司与用户的利益。

为了能对需量反应的计划于执行时可能遇到的问题, 以及执行结果的效益评估, 并且避免因进行实际测试时, 造成电力用户可能的用电异常情形, 以及因台电公司目前不可能提供负载实时趋势之讯息等因素, 本研究计划遂着手开发需量反应仿真系统, 进行仿真分析, 并预备做为未来在开发设计需量反应管理

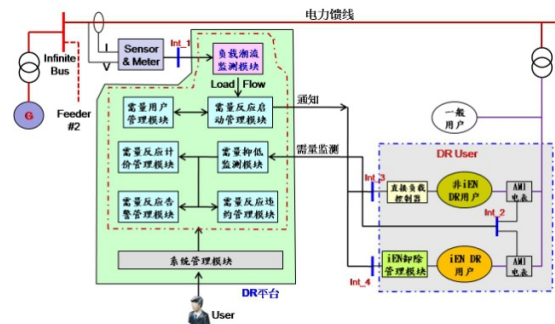


图 1. 中华电信搭配 iEN 系统之需量反应管理平台功能架构
Figure1. Functional structure of demand response management platform

平台时之设计依据。图1所示为中华电信公司对于需量反应管理平台，配合智能能源网络(Intelligent Energy Network, iEN)的客户端智能型能源管理系统，所设计的系统功能架构。本需量反应管理平台的说明如下：

(1) 系统管理模块

系统用户管理、权限管理、系统使用日志。

(2) 负载潮流监测模块

与电力馈线电表介接，量测电力馈线电压、电流、功率、虚功率、视功率、频率、功因等实时电力信息，并将其数据传送到需量反应启动管理模块。

(3) 需量反应启动管理模块

接收电力馈线实时电力数据并将其记录到数据表中，读取历史数据进行负载预测，并与实时的负载潮流趋势比较。如果预测负载潮流可能会超出容许临界值，则进行预估需量启动的时间以及需要回售系统需量值的大小，并于正确的时机发出需量反应启动的讯息给选定的需量反应用户，进行需量反应的机制。

(4) 需量用户管理模块

所有参与需量反应用户的数据的新增、修改与删除管理，并能依据需量反应需求量与需量反应补偿价格，评估选取合适的需量反应用户给需量反应启动管理模块，进行启动通知。

(5) 需量抑低监测模块

与AMI智慧电表介接，读取所有参与需量反应计划用户抑低的需量值，并将这些数据分享给需量反应计价管理模块、需量反应告警管理模块与需量反应违约管理模块等。

(6) 需量反应计价管理模块

管理需量反应回售价格数据，能依据需量反应用户回售需量的大小进行计价管理与报表统计输出等功能。

(7) 需量反应告警管理模块

针对需量反应用户回售需量未达标准的用户，进行告警通知与记录。另对于整体需量回售未达预定量，实时发送告警通知电力公司紧急启动备用电力。

(8) 需量反应违约管理模块

针对需量反应用户回售需量未达标准的用户，进行违约记录，并依据罚则计算赔偿金额与报表输出等功能。

本研究若以一系统实际现场运转试验，则可能面临无法解决之问题，包含有：(1)需量反应平台有关电力馈线负载潮流趋势，目前完全由台电主导，实际执行时现阶段不可能取得。(2)需量反应实施卸除之机房或大楼之管辖权，皆为权责单位负责，任何试验皆须经过权责单位同意得以进行。本计划贸然进行卸除测试，万一出现不可预期结果，影响公司正常营运，恐造成主管单位的困扰与不满。(3)台电公司对于电能管理相关领域，因牵涉到整体电网的维运与安全性，目前不可能对外开放，需量反应平台的应用还找不到舞台可以经营。

因此藉由仿真方式研发此系统除可解决上述之各项问题外，还具有多样效益如(1)采用以程序仿真方式，可以很方便的在模拟平台进行需量反应机制的模拟测试。(2)不需与台电界接，也不用对机房或大楼卸除，避免不必要的麻烦与风险。(3)模拟验证，可以评估预测实际执行时可能得到的结果，可作为将来型态发展与平台发展的参考依据。(4)仿真的模型可以经由不断的测试调整到接近实际模型，反复的测试可以模拟得到趋近实际运用状况的可能结果。(5)采用模拟方式，可以随时改变参数进行模拟，加速模拟的演进，仿真度亦能快速提高。然如图1所示的需量反应管理平台的说明，仍在高阶的开发设计时间，为了对于需量反应计划在商机的开发上进行评估，能有所依据，因此拟依照原设计架构，建立一仿真系统，进行需量反应的模拟分析。

本需量反应仿真系统的功能包含如下：

(1) 台电需量趋势仿真子系统：

藉由模型设计仿真台电负载潮流数据，提供负载预测与需量反应启动之依据，并可将其数据输出作为分析判读与调整模型参数之用。

(2) 需量用户管理仿真子系统：

本系统仿真需量用户管理之功能，藉由预先建立之需量反应用户模型，做为实施需量反应时评估需量反应用户之仿真计算。

(3) 需量反应启动通知管理仿真子系统：

系统仿真挑选需量反应用户，执行需量反应通知功能，并将需量反应通知之启动通知数据进行储存。

(4) 抑低需量监测仿真子系统：

系统建立智能电表数据输出模型，仿真由需量反应用户回传需量抑低的数据，同时将仿真数据予

以记录。

(5) 需量反应用户卸除管理仿真子系统：
建立需量反应用户负载模型与卸除管理逻辑，并以台电需量反应用户执行抑低需量时可能出现的五种情境(1)超越约定抑低容量 20% (电费扣减)(2)达到约定抑低容量(电费扣减)(3)少于约定抑低容量 20%，但仍超越最低抑低容量门坎值(电费扣减)(4)刚好达到最低抑低容量门坎值(电费扣减) (5)低于最低抑低容量门坎值(电费加计)等情境。以上情境选取以骰子模型随机选取。

(6) 需量反应补贴计价管理仿真子系统：
针对被挑选需量反应之用户，于实施需量反应后，模拟计算基本电费扣减、流动电费扣减与总电费扣减等相关资料，以利评估整体需量反应之效益。

以下将参考文献[1]中所建立的多种不同类型的负载变化趋势图，作为在模拟需量反应计划中的负载趋势变化的依据；另外也利用中华电信iEN系统在内部办公大楼所收集纪录的电力趋势图为依据，建立需量反应电力用户的用电变化趋势模型。利用这样的负载趋势模型，透过仿真系统的运算分析，其结果的说明与分析，将在下一节中进一步的说明。

4 需量反应模拟案例分析

为了能使模拟分析的结果能够更贴近实际系统执行的结果，将参考文献的研究分别建立了工业区、商业区、住商混合与工住混合等四个典型负载类型的日负载趋势变化曲线图，用以做为仿真需量反应管理平台在馈线端的负载趋势变化预测图，进而模拟需量反应计划启动时，电力用户卸除的依据。电力用户的负载趋势变化则参考iEN系统于中华电信研究所F栋大楼收集的负载变化趋势图做为依据，再经过数学运算做正负5%随机数微量变化差异，做为仿真用户的负载趋势。以下的分析案例中，分别建立了三个电力用户的模型，三个仿真电力用户的基本数据如表2所示：

Table2. Basic data of emulational electricity users

表 2. 仿真电力用户基本数据

用户别	经常契约容量(kW)	约定抑低契约容量(kW)	最低抑低契约容量(kW)	通知时间(分)
用户 A	4,500	1,800	900	60
用户 B	3,500	1,200	700	30
用户 C	2,500	1,000	500	15

4.1 案例 1—工业区

此区馈线假设负载安全容量为65,000kW，当负载趋势达到90%的负载容量(58,500kW)时，需量反应计划就必须启动。仿真的馈线负载趋势变化如表3所示，其对应的负载趋势图则如图2所示。由图2观察得知此类型的工业负载比重最高，因此主导了整体的负载变化趋势。整个负载趋势的变化在14时至16时达到了最高峰。

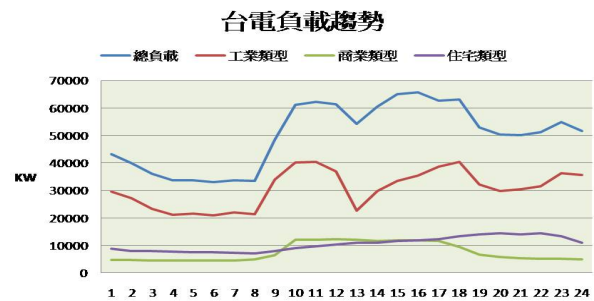


图 2. 工业区负载趋势变化图

Figure2. variation diagram of load trend in industrial areas

本次的需量反应计划执行结果数据如表3所示，趋势变化如图3所示。电力用户卸除执行的结果如表4所示。

Table3. loads per day on the day the plan is executed

表 3. 工业区需量反应计划执行之日负载表

小时	预估负载(kW)	抑低后负载(kW)	抑低负载量(kW)
11	62230.16	62230.16	0
12	61294.35	59556.21	1738.14
13	54168.31	45815.41	8352.9
14	60574.21	52515.42	8058.79
15	65156.45	56955.13	8201.32
16	65670.04	59141.89	6528.15
17	62780.41	62780.41	0

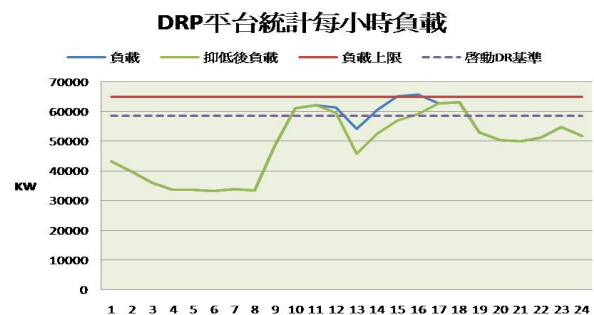


图 3. 工业区需量反应计划执行日负载趋势变化图

Figure3. Change of load trend in industrial areas from the day the plan is executed

Table4. Industrial Area Power user removable demand response

implementation and tariff reduction list kilowatt

表 4. 工业区电力用户执行需量反应卸除用电量数与电费扣减列表

用户名称	最低抑低契约容量 (kW)	实际抑低容量 (kW)	基本电费扣减 A(元)	流动电费扣减 B(元)	总抑低用电量 (kWh)	流动电费加计 C(元)	总电费 (元)A+B-C
A 用户	900	1263	0	20208	5052	4296	15912
B 用户	700	302	0	0	1208	10776	-10776
C 用户	500	216	0	0	864	12544	-12544

本模拟案例之需量反应运行时间共4小时。A用户实际抑低容量为1,263kW，并未达到约定的抑低契约容量1,800kW，因此没有基本电费的扣减，并且还要执行流动电费加计。但其抑低契约容量实际值则超过了最低抑低容量900kW，因此也享有流动电费扣减的优惠，最终A用户实际之电费扣减为15,912元。至于B用户与C用户之抑低契约容量则分别为302kW与216kW，皆没有达到最低抑低容量，因此分别需缴付10,776元与12,544元的违约金。本次执行流动用电量数共节省7,097 kWh。

4. 2 案例 2—商业区

此区馈线假设负载安全容量为55,000kW，当负载趋势达到95%的负载容量(52,250kW)时，需量反应计划就必须启动。仿真的馈线负载趋势变化图则如图4所示。由图4观察得知此类型的商业负载比重最高，且无工业类型负载，因此主导了整体的负载变化趋势。整个负载趋势的变化在14时至17时达到了最高峰。本次模拟案例之需量反应运行时间共4小时。因需

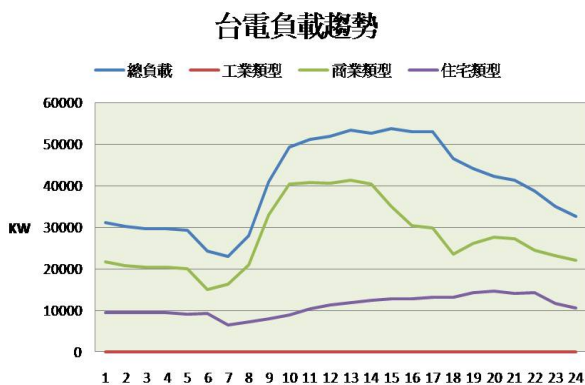


图 4. 商业区负载趋势变化图
figure4.Commercial load trend graphs

本次的需量反应计划执行结果数据如表5所示，趋势变化如图5所示。电力用户卸除执行的结果如表6所示。

table5. Commercial demand response program implementation date of the load

表 5. 商业区需量反应计划执行之日负载表

小时	预估负载(kW)	抑低后负载(kW)	抑低负载量 (kW)
14	52677.12	52677.12	0
15	53648.79	47627.29	6021.5
16	52981.36	43190.74	9790.62
17	52991.29	43050.69	9940.6
18	46545.69	36745.91	9799.78
19	44111.59	40293.59	3818
20	42187.04	42187.04	0

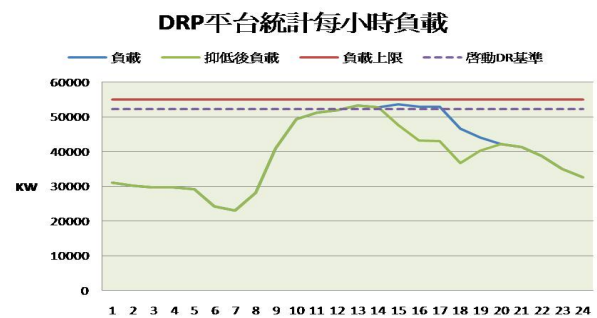


图 5. 商业区需量反应计划执行日负载趋势变化图
figure5. Commercial demand response program implementation plan on the load change in trend

table6. Commercial electricity users to perform demand response tariff reduction with removable kilowatt

表 6. 商业区电力用户执行需量反应卸除用电量数与电费扣减列表

用户名称	最低抑低契约容量 (kW)	实际抑低容量 (kW)	基本电费扣减 A(元)	流动电费扣减 B(元)	总抑低用电量 (kWh)	流动电费加计 C(元)	总电费 (元)A+B-C
A 用户							未参与
B 用户	700	1305	24000	31320	5220	0	55320
C 用户	500	1155	20000	36960	4620	0	56960

量反应抑低的最大需求仅需要2,750kW，因此仿真程序自行选定只要B用户与C用户参与实行抑低负载即可，所以本次仿真中，A用户并未参与。B用户与C用户实际抑低容量分别为1,305kW与1,155kW，分别达到约定的抑低契约容量1,200kW及1,000kW，因此皆有基本电费的扣减与流动电费扣减的优惠，最终B用户与C用户实际之电费扣减分别为53,320元与56,960元。本次执行流动用电量数共节省9,840kWh。

4. 3 案例 3—住商混合区

此区馈线假设负载安全容量为56,000kW，当负载趋势达到90%的负载容量(50,400kW)时，需求反应计划就必须启动。仿真的馈线负载趋势图则如图6所示。由图6观察得知此类型的商业负载比重最高，其次为住宅用电，工业用电则为零。整体负载变化趋势仍由商业用电主导，但是因为住宅用电比例明显比前述案例2中的商业用电还高，因此在负载趋势的变化上仍会受到住宅用电的影响而产生差异。整个负载趋势的变化在13时之后几乎都维持在高负载区，显见住宅区负载因在夜晚的用电增加而影响了整体的负载趋势。

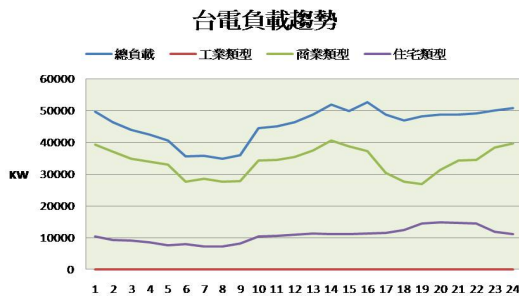


图 6. 住商混合区负载趋势变化图

figure6. Mixed residential and commercial load change in trend

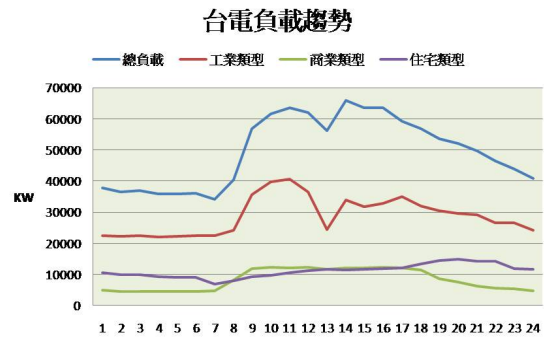
本次的需求反应计划执行结果数据如表7所示，趋势变化如图7所示。电力用户卸除执行的结果如表8所示，

本次的需求反应模拟案例中，需求反应运行时间共4小时。因需求反应抑低的最大需求预估需达到5,600kW，但为了想了解需求反应用户抑低容量与预估抑低需求量有所差距时可能造成的结果，因此仿真程序由人工强行选定B用户与C用户参与实行抑低负载，所以本次仿真中，A用户并未参与。B用户与C用户实际抑低容量分别为1,026kW与708kW，两者皆未达到约定的抑低契约容量1,200kW及1,000kW，但却也

table7. Mixed residential and commercial demand response program implementation date of the load

表 7. 住商混合区需求反应计划执行之日负载表

小时	预估负载(kW)	抑低后负载(kW)	抑低负载量(kW)
15	49871.37	49871.37	0
16	52604.35	48505.85	4098.5
17	48742.01	41943.51	6798.5
18	46819.63	40012.13	6807.5
19	48161.13	41328.63	6832.5
20	48750.04	46176.04	2574
21	48797.05	48797.05	0



DRP平台統計每小時負載

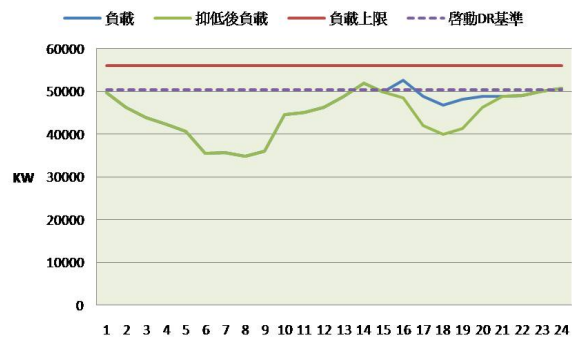


图 7. 住商混合区需求反应计划执行日负载趋势变化图

figure7. Mixed residential and commercial implementation of the plan on the demand response load change in trend

table8. Mixed residential and commercial electricity customers exclude the implementation of demand response and electricity tariff reduction degree

表 8. 住商混合区电力用户执行需求反应卸除用电量数与电费扣减列表

用户名称	最低抑低契约容量 (kW)	实际抑低容量 (kW)	基本电费扣减 A(元)	流动电费扣减 B(元)	总抑低用电量 (kWh)	流动电费加计 C(元)	总电费 (元)A+B-C
A 用户	未参与						
B 用户	700	1026	0	24624	4104	2088	22536
C 用户	500	708	0	22656	2832	4672	17984

都超越了规定的最低抑低契约容量门坎值。因此仅有流动电费扣减的优惠，但因未达到约定抑低容量，两者也都有流动电费加计的罚金项目。最终B用户与C用户实际之电费扣减分别为22,536元与17,984元。本次执行流动用电量数共节省6,760kWh。

4. 4 案例 4—工住混合区

此区馈线假设负载安全容量为66,000kW，当负载趋势达到90%的负载容量(59,400kW)时，需求反应计划就必须启动。仿真的馈线负载趋势变化图则如图8所示。由图8观察得知此类型负载中，工业负载比重仍是最高，住宅用电与商业用电比例相当。整体负载变

化趋势仍由工业用电主导，但是因为住商用电比例明显比前述案例1中所占的用电比例还高，因此在负载趋势的变化上仍会受到住商用电的影响而产生差异。整个负载趋势的变化在10时至17时几乎都维持在高负载区，显见住商用电负载的用电趋势而影响了整体的负载趋势。

图 8. 工住混合区负载趋势变化图

figure8. Workers live in mixed load change in trend

本次的需量反应计划执行结果数据如表9所示，趋势变化如图9所示。电力用户卸除执行的结果如表10所示。

table9. Workers live in mixed demand response program implementation date of the load

表 9. 工住混合区需量反应计划执行之日负载表

小时	预估负载(kW)	抑低后负载(kW)	抑低负载量(kW)
11	63508.57	63508.57	0
12	62119.99	60343.99	1776
13	56130.27	47915.37	8214.9
14	65881.86	57485.51	8396.35
15	63618.45	55404.95	8213.5
16	63450.6	56978	6472.6
17	59272.79	59272.79	0

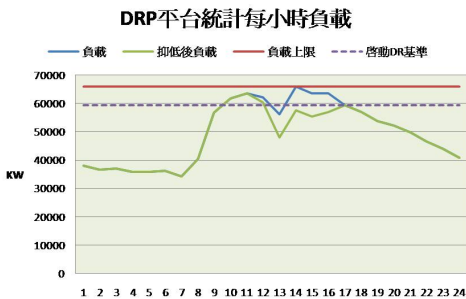


图 9. 工住混合区需量反应计划执行日负载趋势变化图

figure9. Workers live in mixed implementation of the plan on the demand response load change in trend

table10. Workers live in mixed implementation of demand response electricity consumers of electricity consumed and the tariff reduction removable

表 10. 工住混合区电力用户执行需量反应卸除用电量数与电费扣减列表

用户名称	最低抑低契约容量(kW)	实际抑低容量(kW)	基本电费扣减A(元)	流动电费扣减B(元)	总抑低用电量(kWh)	流动电费加计C(元)	总电费(元)A+B-C
A用户	900	1187	0	18992	4748	4904	14088
B用户	700	281	0	0	1124	11028	-11028
C用户	500	363	0	0	1452	10192	-10192

本次的需量反应模拟案例中，需量反应运行时间共4小时。因需量反应抑低的最大需求预估需达到6,600kW。仿真程序任意选取A用户、B用户与C用户参与实行抑低负载。A用户实际抑低容量达1,187kW，虽未达到约定抑低契约容量，但也超越了规定的最低抑低契约容量门坎值。因此电费扣减共有14,088元的优惠，至于B用户与C用户，虽也参与需量反应执行抑低，但因皆未达到最低抑低契约容量门坎值，两者分别需要缴交流动电费加计11,028元与10,192元的罚金。本次执行流动用电量数共节省7,324kWh。

5 需量反应之效益分析

本需量反应管理平台仿真程序的设计与情境分析依据，主要仍根据台湾电力公司在2008年6月公告的需量反应执行计划中的规定，并根据公告中的计价方式进行电力用户于需量反应抑低需量时所获得的利益。然以固定价格补贴方式，也仅是实行需量反应计划的一种方式而已。由于台湾目前的电力相关事业仍是由台湾电力公司所独占，因此其他一些需量反应执行模式[6,7,8]，如实时电价(Real-Time Pricing)、尖峰电价(Critical Peak Pricing)与时间电价(Time-of-Use Rate)等以价格反应为基础，或是如直接负载控制、可停电力或可限负载方案(Interruptible/Curtailable Load)等以负载反应为基础之各式奖励型需量反应(Incentive Based Demand Response)，则考虑未来5年内仍难以有实现之机会，因此不在本次模拟分析的考虑中。

根据台湾电力公司订定的需量反应执行模式与价格补贴计算方式来区分的话，台电的执行方式应属于「紧急需量反应程序」(Emergency Demand Response Program)的需量反应执行模式。当负载趋势变化预估可能威胁到供电的可靠度时，紧急需量反应程序启动时，电力用户自愿性的降低负载，并且电力公司给予这些自愿性降载的电力用户奖励或补偿，达到双方互惠，各蒙其利之目的。因为是属于自愿性降载，因此每此需量反应计划启动时，到底有多少电力用户自愿参与，以及可以抑低多少负载量，对于系统管理者而言，是较难以去预先估计或掌握的，这是这类型需量反应执行模式的缺点。以美国为例，DLC及可停电力负载的执行方式所占比例最高[8]。

以台电的需量反应计划中的价格补贴方式，分别假经常性契约容量为 C_g (单位kW)，约定抑低契约容量为 C_a ，流动电费扣减费率为 f_1 (元/kWh)，基本电费扣减费率为 f_0 (元/kW)，用户因未能达到约定抑低契约容量

C_a 需另外负担流动电费加计的权重因子为 α ,则依照计价方式可得:

最低抑低契约容量

$$C_{\min} = \begin{cases} C_g \times 0.2 & C_g \leq 5000 \\ 1000 + (C_g - 5000) \times 0.1 & C_g \geq 5000 \end{cases} \quad (1)$$

其中 $C_{\min} \leq 5000$ 。

对于需量反应之电力用户实际抑低契约容量为 C_r , 需量反应值行时数为 t , 则需量反应之电力用户可以获得之利益共有三个计价之因子, 分别为:

$$\text{基本电费扣减 } G_d = \begin{cases} C_a \times f_b & C_r \geq C_a \\ 0 & C_r < C_a \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{流动电费扣减 } G_w = \begin{cases} C_r \times t \times f_l & C_r \geq C_{\min} \\ 0 & C_r < C_{\min} \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{电费加计 } G_p = \begin{cases} (C_a - C_r) \times t \times f_l \times \alpha & C_r < C_a \\ 0 & C_r \geq C_a \end{cases} \quad (4)$$

所以需量反应电力用户可以获得的利益

$$P = G_d + G_w - G_p \quad (5)$$

当 $C_r \geq C_a$ 时, 电力用户的利益 P 必然为正的, 也就是电力用户一定可以获得电费扣减的优待, 但是当 $C_r < C_a$ 的时候, 则为了确保 $P > 0$, 则必须满足: $G_w \geq G_p$, 由式(3)与式(4)推算得到

$$C_r \geq \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot C_a \quad (6)$$

以台电的计价费率讨论, 夏月的时候, 其 $\alpha = 0.5$, 则此时 $C_r \geq \frac{1}{3} C_a$ 时, 且同时 $C_r \geq C_{\min}$, 则可以保证电力用户的 $P > 0$, 非夏月时, 其 $\alpha = 0.25$, 则此时 $C_r \geq \frac{1}{5} C_a$ 时, 且同时 $C_r \geq C_{\min}$, 则可以保证电力用户的 $P > 0$ 。

对于前述四个案例, 其分析时皆以夏月为条件, 因此三个用户的最低获利条件如表11所列。

table11. Simulation of the power user to ensure profitability

表 11. 仿真分析之电力用户保证获利之列表

用户名称	经常契约容量(kW)	约定低容量(kW)	抑低契约容量(kW)	最低抑低契约容量(kW)	保证获利实际抑低容量(kW)	是否大于抑低门坎值(kW)	实际抑低容量最小值(kW)
A 用户	4500	1800	900	600	否	900	
B 用户	3500	1200	700	400	否	700	
C 用户	2500	1000	500	334	否	500	

在表11的统计分析中, 三个电力用户的保证获利之实际抑低契约容量, 都小于最低抑低契约容量的限制, 因此如为了保证获利, 则皆必须修正其实际抑低契约容量为最低抑低契约容量。因为当实际抑低契约容量没有达到最低抑低契约容量的门坎值时, 流动电

费扣减 G_w 项目为零, 电力用户就一定要缴交电费加计的罚金。虽然透过一系列的推导, 可以明确的得到电力用户在执行抑低契约容量时保证获利的临界值, 但在实际的利益中, 还有一项隐藏的利益没有被提及, 那就是因为执行需量抑低时, 电力用户因为抑低用电而减少支付的流动电费。如果考虑此项因素时, 那实际抑低契约容量的最小值还可以再进一步的调低, 至于调低的幅度就必须视流动电费费率高低与当时抑低的流动用电度数而定了。

另外以执行需量反应的电力公司而言, 前述案例中抑低用电每度的平均单价如表12所示。

table12. Under different load curves the average cost of the implementation of demand response

表 12. 不同负载曲线下执行需量反应平均成本

案例	馈线容量(kW)	需量反应启动容量(kW)	抑低目标容量(kW)	实际抑低容量(kW)	达标率(%)	实际抑低用电(kWh)	费用支出(元)	平均费用(元/kWh)
1	65,000	58,500	6,500	1,781	27.4	7,124	-7,408	-1.04
2	55,000	52,250	2,250	2,460	109.4	9,840	112,280	11.41
3	56,000	50,400	5,600	1,734	31.0	6,936	40,520	5.84
4	66,000	59,400	6,600	1,831	27.7	7,324	-7,132	-0.97

表12中发现在案例1及4中, 执行需量反应的达标率偏低, 对于电力公司而言, 反而也获得电力用户因执行抑低负载违约的罚金收入。案例2与3于执行需量反应为了达到目标, 因此相对就必须支付较多的奖励金额给电力用户。案例1与4中, 虽然对于电力公司反而获得实质现金收益, 但却有需量抑低量过低造成系统供电可靠度下降的风险。除了因补贴的支出外, 电力公司也必须将因为执行需量反应, 抑低电力用户用电度数而减收的流动电费, 计入整体执行需量反应计划的成本。但无论如何, 执行需量反应的最大益处就是整体用电度数的降低, 相对的也就渐少 CO_2 的排放, 这对于整体环境是有利的。需量反应不仅能提升电力公司供电稳定性, 更能让电力用户获利与整个环境减少碳排放量, 创造三赢的局面。

6 结论

需量反应的执行, 对于电力公司存在有诸多的好处, 例如可以提升系统可靠度、快速部署免去冗长的建设电厂或输电系统、减缓能源价格上升、降低使用成本以及风险管理等。使用奖励型的需量反应执行方式, 即使有上述那么多的有利因素作诱因, 但仍有多

种待解决的议题存在，以致目前仍无法使这样的执行方式普遍的实施，这些议题包含：

- (1) 需要在电表量测以及其他技术投入更多的资金。将可有效的支持更多的需量反应模式执行。
- (2) 电力公司缺乏提升需量反应的诱因。对于需量反应的执行缺乏具体的激励措施是一个长期存在的问题。降低需量并且提供奖励型的需量反应措施，将对电力公司的实质收益产生负面的影响。过去这些年来，这样的问题仍然冲击电力公司对于执行需量反应的意愿。
- (3) 电力产能充沛，影响需量反应的实施。需量反应的实施主要集中于供电吃紧或是备用电源短缺时。当供电充沛时，电力用户的利益也将随之萎缩，以致于需量反应的实施在这些电力充沛的地区可能被封存或终止。
- (4) 需量反应对电力产业结构造成冲击。需量反应的实行，最直接与明显的效益就是可以减缓电厂、发电设施与输配线系统的扩充或改建，这样的改变必然对从事电力事业相关的工业造成冲击。
- (5) 节能环保风席卷全球，高耗能产业外移。欧美日等先进国家积极推动节能环保，电力需求增加逐渐趋缓，再加以高耗能产业外移新兴国家，因此电力容量扩增压力减轻，需量反应的需求相对薄弱。其次新兴国家因应经济快速成长，电力需求成长殷切，积极扩充发电规模为首要目标，需量反应执行的机会渺茫。
- (6) 微电网兴起，集中式供电演进成微型化、区域化供电。微电网的概念，推动电网结构朝向微型化、区域化发展。配合绿色能源的兴起，间接压缩需量反应执行的空间。
- (7) 电力自由化推动缓慢，需量反应的商业模式难以实现。电力事业大多为国营独占之状态。没有自由化的电力市场，电力的买卖价格完全由卖方决定。需量反应所节省的电力与负载需量，唯一的买主只有电力公司，买卖完全由独大的电力公司决定。因此，没有自由买卖的电力市场，需量反应的商业模式就难以实现。
- (8) 电力价格偏低，压缩执行需量反应的效益。经济上合理的利益，才是推动任何机制或商品的动力。台湾的电力每度电约台币 3 元的价格与欧美地区的平均价格相较偏低，需量反应价格优惠空间相对被压缩，因此商业执行上难以获利，阻碍了执行需量

反应的推动。

以上为目前在电力需量反应模式的推动上，仍需待政府、电力公司与相关业者共同商议或研究解决之道。另外在本次的需量反应模拟的分析结果，对于将来台湾电力公司在执行需量反应计划可能存在以下的不利因素：

- (1) 平均抑低用电成本接近再生能源价格，冲击需量反应的效益。在前述案例中，可以成功的案例中，平均抑低一度电需支付的成本达 11.4 元。这样的价格已经与再生能源的成本相当，将打击电力需量反应执行的机会。
- (2) 订定需量反应之电力用户，于执行抑低需量不足时需缴交罚金，影响自愿性电力用户参与意愿。电力公司为降低需量反应执行风险，订定电力用户于执行需量抑低不足之罚则，势必造成电力用户执行抑低需量的风险，这样也会减低一般电力用户参与需量反应的意愿。

大体言之，电力公司对于需量反应的评价仍持正面较多，但执行时造成的冲击以及衍生的问题，势必是需量反应除了必须提升自身的技术外，还需要付出更多的心力克服这些新的议题。

References (参考文献)

- [1] YE Chao-qin, CHEN Chao-shun. Users and service restoration priority and the distribution system switching operation strategy. Department of Electrical Engineering, National Sun Yat-sen master's thesis. 2003.1
叶朝琴、陈朝顺，「考虑用户复电优先度之配电系统开关操作策略」，国立中山大学电机工程学系硕士论文，2003年1月。
- [2] LIN Zi-hao, ZHU Wen-cheng. Taipower system off-peak demand response and its bid to establish mechanisms for model. Tatung University, Master of Electrical Engineering. 2007.1
林子皓、朱文成，「台电系统离峰需量反应及其竞标机制模式之建立」，大同大学电机工程研究所硕士论文，2007年1月。
- [3] YANG Zheng-guang, YANG Zheng-chao. Cogeneration system involved in the feasibility of the demand response. Cogeneration reports. Special report No. 50
杨正光、杨政晁，「汽电共生系统参与需量反应可行性探讨」，「汽电共生报导」第50期专题报导。
- [4] Demand response programs. Business Office Taiwan Power Company Load Management Unit. 2008.
「需量反应计划」，台湾电力公司业务处负载管理组，2008年。
- [5] LAN Hong-wei. Demand response scheduling strategy used in Taiwan Power System. Gulf Power Company Electric Power Dispatching Department. 2008.12.6
篮宏伟，「需量反应运用于台电系统之调度策略」，台湾电力公司

电力调度处，2008年12月6日。

[6] WU Zai-yi, WU Xiu-wan, CHEN Wen-ru. etc. Electricity market liberalization, the demand response system under the Feasibility Study. Taiwan Research Institute. 2004 research project papers

吴再益、吴秀婉、陈玟如、张建隆、林唐裕，「电力市场自由化下需量反应制度之可行性研究」，台湾综合研究院，2004年度研究计

划论文。

[7] “Assessment of Demand Response and Advanced Metering Staff Report”, Federal Energy Regulatory Commission, September 2009.

[8] “Assessment of Demand Response and Advanced Metering Staff Report”, Federal Energy Regulatory Commission, August 2006.