



## Reducing cost of energy consumption through heat and cold storage

### Background

Changes in energy consumption patterns are the key to moving towards an era of sustainable energy.

Power systems need to maintain an instantaneous balance between generator output and load. As shown in Figure 1, the magnitude of the load varies greatly at different times.

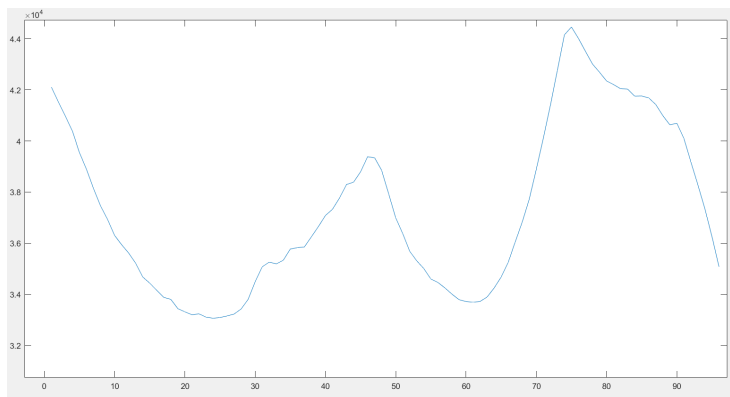


Figure 1 The power load curve of a certain province in one day  
(The abscissa is time; every quarter of an hour is a period; 3:00-6:00 is underestimated load; 10:00-12:00 am is morning peak; 16:00-20:00 pm is evening peak.)

It can be seen from Figure 1 that the relationship between power supply and demand is different, which also leads to large differences in the price of power at different times. The Table 1 below shows the time-of-use electricity price in another province.

Table 1 Time-of-use electricity price list in a province (Chinese version only)

用电分类	电压等级	电度用电价格 (元/千瓦时)	其中			分时电度用电价格 (元/千瓦时)			容(需)量用电价格	
			代理购电价格	电度输配电价	政府性基金及附加	高峰时段	平时段	低谷时段	最大需量 (元/千瓦·月)	变压器容量 (元/千伏安·月)
大工业用电	1-10千伏	0.6595	0.4537	0.1764	0.0294	1.1341	0.6595	0.2760	40	30
	20-35千伏以下	0.6495		0.1664	0.0294	1.1169	0.6495	0.2718	40	30
	35-110千伏以下	0.6345		0.1514	0.0294	1.0911	0.6345	0.2655	40	30
	110千伏	0.6095		0.1264	0.0294	1.0481	0.6095	0.2551	40	30
	220千伏及以上	0.5845		0.1014	0.0294	1.0051	0.5845	0.2446	40	30
一般工商业及其它用电	不满1千伏	0.7191		0.2360	0.0294	1.2023	0.7191	0.3249		
	1-10千伏	0.6941		0.2110	0.0294	1.1605	0.6941	0.3136		
	20-35千伏以下	0.6841		0.2010	0.0294	1.1437	0.6841	0.3091		
	35-110千伏以下	0.6691		0.1860	0.0294	1.1187	0.6691	0.3023		

注:1.电网企业代理购电用户电价由代理购电价格(含平均上网电价、辅助服务费用等)、输配电价(含线损及政策交叉补贴)、政府性基金及附加组成。其中代理购电价格(含平均上网电价、辅助服务费用等)根据当月预测购电成本等测算所得(详见附件1);输配电价由上表所列的电度输配电价、容(需)量用电价格构成,按照《省发展改革委关于江苏电网2020-2022年输配电价和销售电价有关事项的通知》(苏发改价格发〔2020〕1183号)文件执行;政府性基金及附加包含重大水利工程建设基金0.42分钱,大中型水库移民后期扶持资金0.62分钱,可再生能源电价附加1.9分钱。

2.上表所列电度用电价格由代理购电价格(含平均上网电价、辅助服务费用等)、电度输配电价(含线损及政策交叉补贴)、政府性基金及附加组成。

3.执行分时电价的范围为大工业用电及100千伏安(千瓦)及以上普通工业用电。根据《省发展改革委关于进一步完善分时电价机制有关事项的通知》(苏发改价格发〔2021〕1327号),时段划分:高峰时段8:00-11:00、17:00-22:00,平时段11:00-17:00、22:00-24:00,低谷时段0:00-8:00,浮动比例:大工业用电高峰电价为平段电价上浮71.96%,低谷电价为平段电价下浮58.15%;100千伏安(千瓦)及以上普通工业用电高峰电价为平段电价上浮67.19%,低谷电价为平段电价下浮54.82%。日最低气温达到或低于-3℃时,对315千伏安及以上的大工业用电在9:00-11:00和18:00-20:00时段执行冬季尖峰电价;冬季尖峰电价,以峰段电价为基准,上浮20%。执行分时电价的工商业用户峰谷分时电价按分时电价峰谷时段及浮动比例执行,并以用户到户电价为基准进行上下浮动。

4.对于已直接参与市场交易(不含已在电力交易平台注册但未曾参与电力市场交易)在无正当理由情况下改由电网企业代理购电的用户,拥有燃煤发电自备电厂、电网企业直购电的用户,暂不能直接参与市场交易由电网企业代理购电的高耗能用户,代理购电价格按上表中的1.5倍执行,其他标准及规则同常规用户。

The cost to the power system during the peak period of electricity consumption may be several times that of the off-peak period. It can be seen from Table 1 that for commercial units (such as office buildings, hotels, and shopping malls), the peak electricity price is about three times that of the low valley electricity price. Therefore, shifting electrical loads from peak hours to off-peak hours can have huge economic and social benefits, even if it requires more power consumption.

Air conditioning is an important load in the power system, accounting for about 50% of electricity consumption in most metropolises during summer. Moreover, the air-conditioning load is almost synchronized with the peak load of the power system, that is, when the air-conditioning load reaches its peak, the power load of the whole society also reaches its peak. It can be said that the peak of electricity consumption in the whole society is largely caused by the peak of air conditioning. To deal with the air-conditioning peak, there are two extremely important tasks in the power sector - Dealing the peak in summer and Dealing the peak in winter.

Then, can the air conditioning load be moved from peak hours to low hours? Residents said: "No, no! I don't want to turn on the air conditioner from 0:00 to 5:00, and turn off them during the hot day!". The manager of the mall said: "If I don't turn on the air conditioner when I am open from 9:00 am to 9:00 pm, my customers will run away from the heat. At night, the power load is low and the electricity price is low. What's the point of turning on the air conditioner at that time?"

### **Tasks**

Is there any way to make the air conditioner turn on at night when the load is low and the electricity price is low, and then output air-conditioning during peak hours? The answer is "Yes! - Ice storage air conditioner." The principle of the ice storage air conditioner is: to make ice when the electricity price is low, and store the ice in an insulated container; when cooling is needed, the ice absorbs heat and releases cold air, such as blowing the ice with a blower to release cold air. Energy storage can eliminate the mismatch of energy supply and demand in time and space. Ice storage is essentially energy storage, which stores cold (heat energy).

1. Please investigate the time-of-use electricity price policy of the shopping mall in your city.
2. Please investigate the business area of a shopping mall, the power and cost of conventional air conditioners required; the estimated daily air conditioner power consumption and electricity costs in summer.
3. Please investigate a type of ice storage air conditioner, its price, power and efficiency. Try to compare how much more electricity will be consumed and how much less electricity bill will be generated by using this ice storage air conditioner instead of the conventional air conditioner in question 2.
4. On the basis of the above research, please establish a mathematical model for replacing conventional air conditioners with ice storage air conditioners, and estimate the benefits of energy storage, energy saving and cost savings in the shopping malls you have investigated, and how many years the increased investment in ice storage air conditioner replacement can be paid back?

## **Submission**

Your team's solution paper should include a 1-page Summary Sheet and a short scientific essay on ice storage air conditioners. The body cannot exceed 20 pages for a maximum of 23 pages with the Summary Sheet and essay inclusive. The appendices and references should appear at the end of the paper and do not count towards the 23 pages limit.



IMMC 2023 中华赛 D 题 (冬季赛) (English 简体 繁体)

储热储冷，降低用能成本

背景

能源消费模式的改变是迈向能源可持续时代的关键。

电力系统需要维持发电机出力与负荷之间的瞬时平衡。如图 1 所示，不同时间的负荷差异很大。

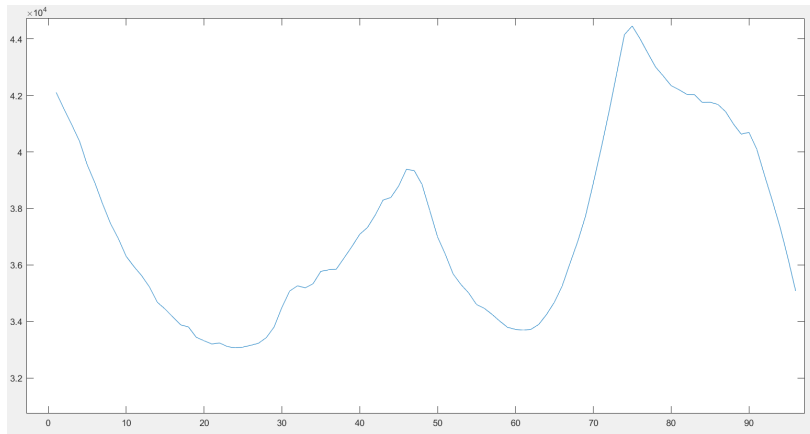


图 1 某地一天的电力负荷曲线

(横坐标为时间，每一刻钟为一个时段，3:00-6:00 处于负荷低谷，上午 10:00-12:00 是早高峰，下午 16:00-20:00 为晚高峰)

从图 1 可以看到电力供需关系不同，这也导致不同时间的电力的价格差异也大。下表为某地分时电价。

表 1 某省分时电价目表

用电分类	电压等级	电度用电价格 (元/千瓦时)	其中			分时电度用电价格 (元/千瓦时)			容(需)量用电价格	
			代理购电价格	电度输配电价	政府性基金及附加	高峰时段	平时段	低谷时段	最大需量 (元/千瓦·月)	变压器容量 (元/千伏安·月)
大工业用电	1-10千伏	0.6595	0.4537	0.1764	0.0294	1.1341	0.6595	0.2760	40	30
	20-35千伏以下	0.6495		0.1664	0.0294	1.1169	0.6495	0.2718	40	30
	35-110千伏以下	0.6345		0.1514	0.0294	1.0911	0.6345	0.2655	40	30
	110千伏	0.6095		0.1264	0.0294	1.0481	0.6095	0.2551	40	30
	220千伏及以上	0.5845		0.1014	0.0294	1.0051	0.5845	0.2446	40	30
一般工商业及其它用电	不满1千伏	0.7191		0.2360	0.0294	1.2023	0.7191	0.3249		
	1-10千伏	0.6941		0.2110	0.0294	1.1605	0.6941	0.3136		
	20-35千伏以下	0.6841		0.2010	0.0294	1.1437	0.6841	0.3091		
	35-110千伏以下	0.6691		0.1860	0.0294	1.1187	0.6691	0.3023		

注:1.电网企业代理购电用户电价由代理购电价格(含平均上网电价、辅助服务费用等)、输配电价(含线损及政策交叉补贴)、政府性基金及附加组成。其中代理购电价格(含平均上网电价、辅助服务费用等)根据当月预测购电成本等测算所得(详见附表1);输配电价由上表所列的电度输配电价、容(需)量用电价格构成,按照《省发展改革委关于江苏电网2020-2022年输配电价和销售电价有关事项的通知》(苏发改价格发〔2020〕1183号)文件执行;政府性基金及附加包含重大水利工程建设基金0.42分/千瓦时,大中型水库移民后期扶持资金0.62分/千瓦时,可再生能源电价附加1.9分/千瓦时。  
2.上表所列电度用电价格由代理购电价格(含平均上网电价、辅助服务费用等)、电度输配电价(含线损及政策交叉补贴)、政府性基金及附加组成。  
3.执行分时电价的范围为:大工业用电及100千伏安(千瓦)及以上普通工业用电。根据《省发展改革委关于进一步完善分时电价机制有关事项的通知》(苏发改价格发〔2021〕1327号),时段划分:高峰时段8:00-11:00、17:00-22:00,平时段11:00-17:00、22:00-24:00,低谷时段0:00-8:00,浮动比例:大工业用电高峰电价为平段电价上浮71.95%,低谷电价为平段电价下浮58.15%;100千伏安(千瓦)及以上普通工业用电高峰电价为平段电价上浮67.19%,低谷电价为平段电价下浮54.82%,日最低气温达到或低于-3℃时,对315千伏安及以上的大工业用电在9:00-11:00和18:00-20:00时段执行冬季尖峰电价;冬季尖峰电价,以峰段电价为基准,上浮20%,执行分时电价的工商业用户低谷分时电价按分时电价峰谷时段及浮动比例执行,并以用户到户电价为基准进行上下浮动。  
4.对于已直接参与市场交易(不含已在电力交易平台注册但未曾参与电力市场交易)在无正当理由情况下改由电网企业代理购电的用户,拥有燃煤发电自备电厂、电网企业代理购电的用户,暂不能直接参与市场交易由电网企业代理购电的高耗能用户,代理购电价格按上表中的1.5倍执行,其他标准及规则同常规用户。

用电高峰时段给电力系统造成的成本，可能数倍于低谷时段。从表 1 可以看到，对于商业单位（如写字楼、宾馆、商场），高峰电价约为低谷电价的 3 倍。因此，将电力负荷从高峰时段挪到低谷时段，可以产生巨大的经济和社会效益，即使为此需要多消耗一些电力也是值得的。

空调是电力系统中一类重要负荷，在多数大都市夏季用电占比达到 50%左右。而且，空调负荷与电力系统高峰负荷几乎同步，即空调负荷达到高峰时，全社会电力负荷也达到高峰。可以说，全社会用电高峰，很大程度上是空调达到高峰造成的。应对空调高峰，电力系统生产业务中有两项极端重要的工作——迎峰度夏、迎峰度冬。

那么，能不能将空调负荷从高峰时段挪到低谷时段呢？居民说：“不不不，我可不想零点到五点吹空调，而在炎热的白天把空调关了！”。商场经理说：“早上 9 点到晚上 9 点营业时不开空调，我的客人们都会被热跑。晚上电力负荷低谷，电价低，我那时开空调还有什么意义？”

## 任务

有什么办法让空调晚上负荷低谷、电价低时开启，高峰时再输出冷气吗？答案是“有！——蓄冰空调”。蓄冰空调的原理是：在电价低时制冰，并用绝热容器保存冰；等需要制冷时，由冰块吸收热量，释放冷气，比如用鼓风机吹冰块释放冷气。储能可以消除能源供应和需求在时间、空间上的不匹配。蓄冰，本质上就是是储能，存储的是冷（热能）。

1. 请调研你所在的城市商场的分时电价政策。
2. 请调研一个商场的营业面积、需要的常规空调的功率及造价；夏天每天的预计空调耗电量、电费等参数。
3. 请调研一款蓄冰空调，价格，功率及效率。试比较用这款蓄冰空调替代问题 2 中的常规空调，会多消耗多少度电、少产生多少电费。
4. 请在上述调研的基础上，建立用蓄冰空调替代常规空调的数学模型，估计你所调研的商场在储能、节能和节约成本方面的效益，在蓄冰空调替代工程中增加的投资几年可以回收？

## 提交

你的团队所提交的论文应包含 1 页摘要及一篇有关蓄冰空调的科普短文，其正文不可超过 20 页，包括摘要和短文则最多不超过 23 页。附录和参考文献应置于正文之后，不计入 23 页之限。



IMMC 2023 中華賽 D 題 (冬季賽) (English 簡體 繁體)

### 儲熱儲冷，降低用能成本

#### 背景

能源消費模式的改變是邁向能源可持續時代的關鍵。

電力系統需要維持發電機出力與負荷之間的瞬時平衡。如圖 1 所示，不同時間的負荷差異很大。

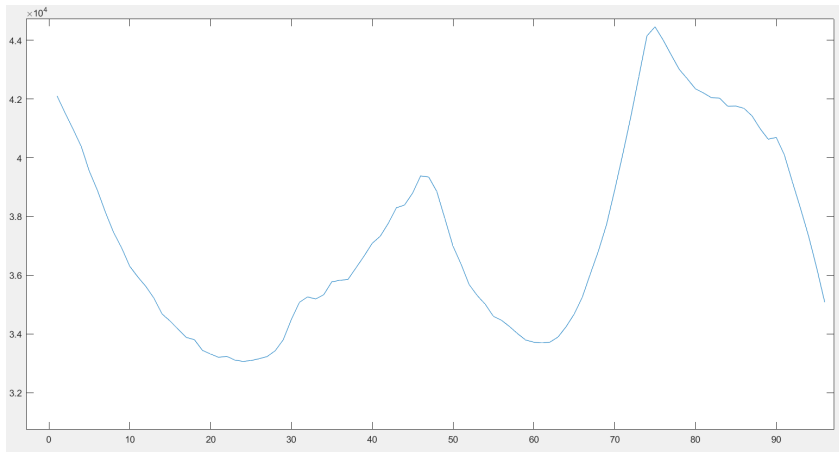


圖 1 某地一天的電力負荷曲線

(橫坐標為時間，每一刻鐘為一個時段，3:00-6:00 處於負荷低谷，上午 10:00-12:00 是早高峰，下午 16:00-20:00 為晚高峰)

從圖 1 可以看到電力供需關係不同，這也導致不同時間的電力的價格差異也大。下表 1 為某地分時電價。

表 1 某省分時電價價目表

用電分類	電壓等級	電度用電價格 (元/千瓦時)	其中			分時電度用電價格 (元/千瓦時)			容(需)量用電價格	
			代理購電價格	電度輸配電價	政府性基金及附加	高峰時段	平時段	低谷時段	最大需求 (元/千瓦·月)	變壓器容量 (元/千伏安·月)
大工業用電	1-10千伏	0.6595	0.4537	0.1764	0.0294	1.1341	0.6595	0.2760	40	30
	20-35千伏以下	0.6495		0.1664	0.0294	1.1169	0.6495	0.2718	40	30
	35-110千伏以下	0.6345		0.1514	0.0294	1.0911	0.6345	0.2655	40	30
	110千伏	0.6095		0.1264	0.0294	1.0481	0.6095	0.2551	40	30
	220千伏及以上	0.5845		0.1014	0.0294	1.0051	0.5845	0.2446	40	30
一般工商業及其它用電	不滿1千伏	0.7191		0.2360	0.0294	1.2023	0.7191	0.3249		
	1-10千伏	0.6941		0.2110	0.0294	1.1605	0.6941	0.3136		
	20-35千伏以下	0.6841		0.2010	0.0294	1.1437	0.6841	0.3091		
	35-110千伏以下	0.6691		0.1860	0.0294	1.1187	0.6691	0.3023		

注: 1. 電網企業代理購電用戶電價由代理購電價格(含平均上網電價、輔助服務費用等)、輸配電價(含線損及政策交叉補貼)、政府性基金及附加組成。其中代理購電價格(含平均上網電價、輔助服務費用等)根據當月預測購電成本等測算所得(詳見附表1);輸配電價由上表所列的電度輸配電價、容(需)量用電價格構成,按照《省發展改革委關於江蘇電網2020-2022年輸配電價和銷售電價有關事項的通知》(蘇發改價格發〔2020〕1183號)文件執行;政府性基金及附加包含重大水利工程建設基金0.42分錢,大中型水庫移民後期扶持資金0.62分錢,可再生能源電價附加1.9分錢。  
 2. 上表所列電度用電價格由代理購電價格(含平均上網電價、輔助服務費用等)、電度輸配電價(含線損及政策交叉補貼)、政府性基金及附加組成。  
 3. 執行分時電價的範圍為大工業用電及100千伏安(千瓦)及以上普通工業用電。根據《省發展改革委關於進一步完善分時電價機制有關事項的通知》(蘇發改價格發〔2021〕1327號),時段劃分:高峰時段8:00-11:00、17:00-22:00,平時段11:00-17:00、22:00-24:00,低谷時段0:00-8:00,浮動比例:大工業用電高峰電價為平段電價上浮71.96%,低谷電價為平段電價下浮58.15%;100千伏安(千瓦)及以上普通工業用電高峰電價為平段電價上浮67.19%,低谷電價為平段電價下浮54.82%,日最低氣溫達到或低於-3℃時,對315千伏安及以上的大工業用電在9:00-11:00和18:00-20:00時段執行冬季尖峰電價;冬季尖峰電價,以峰段電價為基礎,上浮20%,執行分時電價的工商業用戶峰分時用電價格按分時電價峰谷時段及浮動比例執行,並以用戶到戶電價為基礎進行上下浮動。  
 4. 對於已直接參與市場交易(不含已在電力交易平臺註冊但未參與電力市場交易)在無正當理由情況下改由電網企業代理購電的用戶,擁有燃機發電自備電廠、電網企業代理購電的用戶,暫不能直接參與市場交易由電網企業代理購電的高耗能用戶,代理購電價格按上表中的1.5倍執行,其他標準及規則同常規用戶。

用電高峰時段給電力系統造成的成本，可能數倍於低谷時段。從表 1 可以看到，對於商業單位（如寫字樓、賓館、商場），高峰電價約為低谷電價的 3 倍。因此，將電力負荷從高峰時段挪到低谷時段，可以產生巨大的經濟和社會效益，即使為此需要多消耗一些電力也是值得的。

空調是電力系統中一類重要負荷，在多數大都市夏季用電占比達到 50% 左右。而且，空調負荷與電力系統高峰負荷幾乎同步，即空調負荷達到高峰時，全社會電力負荷也達到高峰。可以說，全社會用電高峰，很大程度上是空調達到高峰造成的。應對空調高峰，電力系統生產業務中有兩項極端重要的工作——迎峰度夏、迎峰度冬。

那麼，能不能將空調負荷從高峰時段挪到低谷時段呢？居民說：“不不不，我可不想零點到五點吹空調，而在炎熱的白天把空調關了！”。商場經理說：“早上 9 點到晚上 9 點營業時不開空調，我的客人們都會被熱跑。晚上電力負荷低谷，電價低，我那時開空調還有什麼意義？”

## 任務

有什麼辦法讓空調晚上負荷低谷、電價低時開啟，高峰時再輸出冷氣嗎？答案是“有！——蓄冰空調”。蓄冰空調的原理是：在電價低時制冰，並用絕熱容器保存冰；等需要制冷時，由冰塊吸收熱量，釋放冷氣，比如用鼓風機吹冰塊釋放冷氣。儲能可以消除能源供應和需求在時間、空間上的不匹配。蓄冰，本質上就是儲能，存儲的是冷（熱能）。

1. 請調研你所在的城市商場的分時電價政策。
2. 請調研一個商場的營業面積、需要的常規空調的功率及造價；夏天每天的預計空調耗電量、電費等參數。
3. 請調研一款蓄冰空調，價格，功率及效率。試比較用這款蓄冰空調替代問題 2 中的常規空調，會多消耗多少度電、少產生多少電費。
4. 請在上述調研的基礎上，建立用蓄冰空調替代常規空調的數學模型，估計你所調研的商場在儲能、節能和節約成本方面的效益，在蓄冰空調替代工程中增加的投資幾年可以回收？

## 提交

你的團隊所提交的論文應包含 1 頁摘要及一篇有關蓄冰空調的科普短文，其正文不可超過 20 頁，包括摘要和短文則最多不超過 23 頁。附錄和參考文獻應置於正文之後，不計入 23 頁之限。