

能源基金会

利用建筑分项计量监控平台进行商业楼宇需求响应控制策略与市场机制研究

项目报告

(需求响应在单体建筑中的实际实施报告—上海市需求响应试点项目建筑侧第一次试验)

同济大学

2014年10月

## 目录

1.情况简介 .....	2
2.基准日的确定 .....	4
3.需求响应在太阳广场中的实施 .....	5
3.1 需求响应控制策略的制订 .....	5
3.2 需求响应的实施 .....	5
3.3 小结 .....	9
4.需求响应在多媒体广场中的实施 .....	10
4.1 需求响应控制策略的制订 .....	10
4.2 需求响应的实施 .....	11
4.3 小结 .....	15
5.需求响应在古北财富二期中的实施 .....	16
5.1 需求响应控制策略的制订 .....	16
5.2 需求响应的实施 .....	17
5.3 小结 .....	20
6.结论与展望 .....	21

## 1.情况简介

电力需求响应是指当电力批发市场价格升高或系统可靠性受到威胁时,电力用户接收到供电方发出的诱导性减少负荷的直接补偿通知或电力价格上升的信号后,改变其固有习惯用电模式,减少或推移某时段的用电负荷而响应电力供应,从而保证电网系统电力稳定性,并抑制电力价格上升的短期行为。

本次研究中,假设当室外最高气温高于 35℃时,电力系统的可靠性受到威胁,发出激励信号鼓励用户根据自己的情况认购并完成相应的削减量。2014 年 7 月 22 日,上海室外最高气温达到了 35℃并且为晴天,具备良好实验气象条件。于是在之前假设了当天 13:30-15:30 发生需求响应事件。

腾天作为建筑部分的负荷集成商是楼宇和上级平台的桥梁。上级平台发出需求响应事件,腾天根据当天楼宇的情况对总体削减量进行认证,然后分给各个楼宇。在事件进行时,通过分项计量平台实时监控楼宇的削减情况和各个分项(空调、照明、动力、其他)控制策略的执行情况。楼宇用户也可以通过自己的分项计量能效管理平台观察自己的需求响应实时效果,以及时调整控制策略。

通过《需求响应试点楼宇控制策略》中可以看到,楼宇的控制策略主要可以分为空调、照明、电梯和其他控制策略四个大类。根据楼宇现场调研信息和分项计量系统评估削减量时发现,主要的削减量将由空调系统承担。一方面是由于空调系统能耗在公共建筑中的能耗比例较大,但是主要原因在于空调系统能耗为弹性能耗,可以通过一些控制策略进行能耗转移而不影响建筑物的热舒适或是影响很小。而照明和电梯的调节为启停调节,对于一个建筑物而言,在不影响其使用功能的前提下可暂时关闭的照明和电梯数量是有限的,而且因为可调节照明系统和电梯系统能耗在公共建筑总能耗中所占比例很小,因此即使关闭了照明和电梯系统其实质的削减量也是很少的。因此无论是方案的制订、控制策略的执行和最终结果分析中,空调系统的控制策略都是公共建筑进行需求响应的重点。

本次实验的总体规划和执行流程如图 1 所示。参与实验的楼宇为太阳广场、多媒体广场和古北财富二期,下面将分别对这三幢建筑的实验实施和实验结果进行介绍和分析。

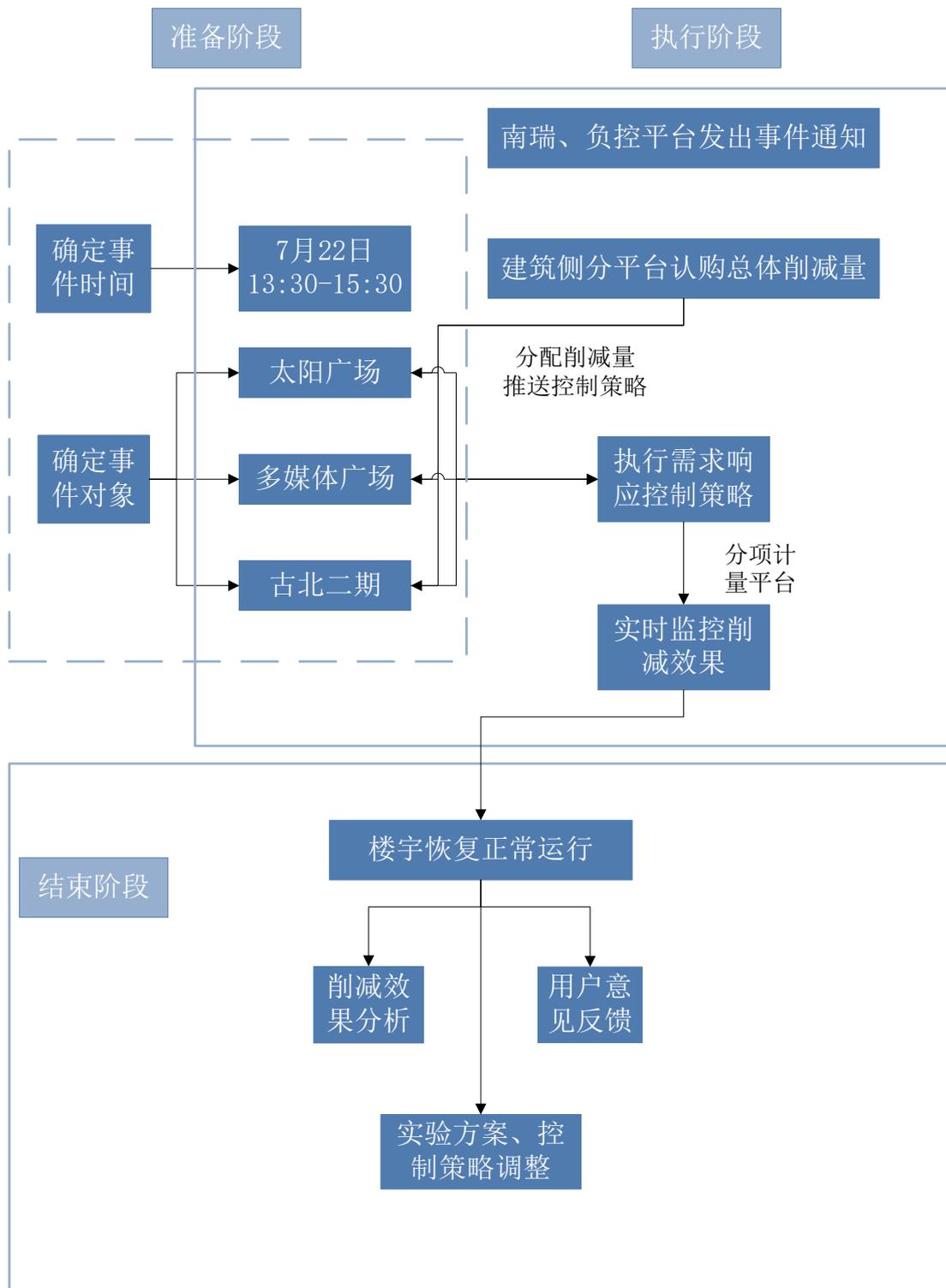


图 1.1 需求响应在单体建筑中的实施实验流程图

## 2.基准日的确定

为了分析响应日各个阶段（响应前、响应中、响应后）的总能耗以及分项能耗的变化情况，需要选取基准日进行对比分析。分析中，按照选择相似日的方法选择基准日，所要满足的条件如下：

- 1) 室外最高气温相同或相似，天气条件类似；
- 2) 日类型相同（同为工作日）；
- 3) 能耗系统按照常规控制策略执行；
- 4) 日期尽量和响应日接近，以保证建筑业态、物业操作习惯、人员时间表出租率等信息变化较小

根据以上原则，选取响应日 7 月 22 日的相似日为 7 月 23 日。两天的独立变量对比情况如表 1 所示。有表 1 的对比可以看到，7 月 23 日满足上述原则，可以作为响应的进准日进行对比分析。

表 2.1 响应日与基准日的独立变量对比

	响应日	基准日
日期	7 月 22 日	7 月 23 日
日类型	工作日	工作日
控制策略	需求响应控制策略	常规控制策略
最高气温	35℃	35℃
天气条件	晴天	晴天

### 3.需求响应在太阳广场中的实施

#### 3.1 需求响应控制策略的制订

太阳为一座综合建筑，位于上海市长宁区，具有分项计量系统对建筑总能耗和分项能耗进行采集监控，用户可以通过分项计量平台获得自己的实时能耗情况。项目前期的调研和客户开发阶段，该建筑同意参与本次需求响应试点项目，并与研究人员共同协商确定了本次项目可执行的需求响应控制策略。太阳广场的建筑基本信息和需求响应控制策略如表 3.1 所示。

表 3.1 太阳广场基本建筑信息和需求响应控制策略

建筑基本信息	
楼宇基本信息	23 层、净高：2.6m
总面积	72345 m <sup>2</sup>
空调面积	57800 m <sup>2</sup>
地下一层	车库
结构形式	框架结构
主要设备信息	
机组	风冷热泵机组：400*2 冷吨，一个机组是 2 个机头，2 个机组可以各关一个机头（200+200=400 冷吨）
空调类型	集中式全空气系统
需求响应调节策略	
在高峰时电梯可以关 2 台（22kw*2）	
在高峰时停一半的机头（400 冷吨）280KW	
在高峰时停 6-14 层公共区域照明（2kw）	
在高峰时生活水泵提前水箱水打满（30KW）	
提前三小时预冷	
通知用户事件期间将室内温度适当调高、关闭窗户、窗帘	

#### 3.2 需求响应的实施

首先对基准日的能耗进行分析。根据之前的基准日选择情况，从分项计量平台获得太阳广场 7 月 23 日的能耗数据，如表 3.2 和图 3.1 所示。

表 3.2 太阳广场基准日总能耗和空调能耗 (7 月 23 日\*)

时间	总能耗	空调能耗
9:30	329	91.45
9:45	331	103.29
10:00	351	92.3
10:15	319	83.79
10:30	340	96.66
10:45	370	130.2
11:00	331	121.31
11:15	339	119.45
11:30	341	114.25
11:45	349	121.49
12:00	351	134.4
12:15	370	120.5
12:30	350	115.86
12:45	339	120.44
13:00	340	115.91
13:15	350	96.89
13:30	340	120.45
13:45	350	105.49
14:00	360	105.7
14:15	331	101.25
14:30	318	107.7
14:45	330	127.11
15:00	322	109.58
15:15	319	101.06
15:30	350	105.89
15:45	320	121.33
16:00	320	97.6
16:15	360	97.44
16:30	330	110.56
16:45	351	97.89
17:00	369	98.75
17:15	339	127.95
17:30	332	70.15

\*表格中为响应前四小时、响应时和响应后两小时的能耗

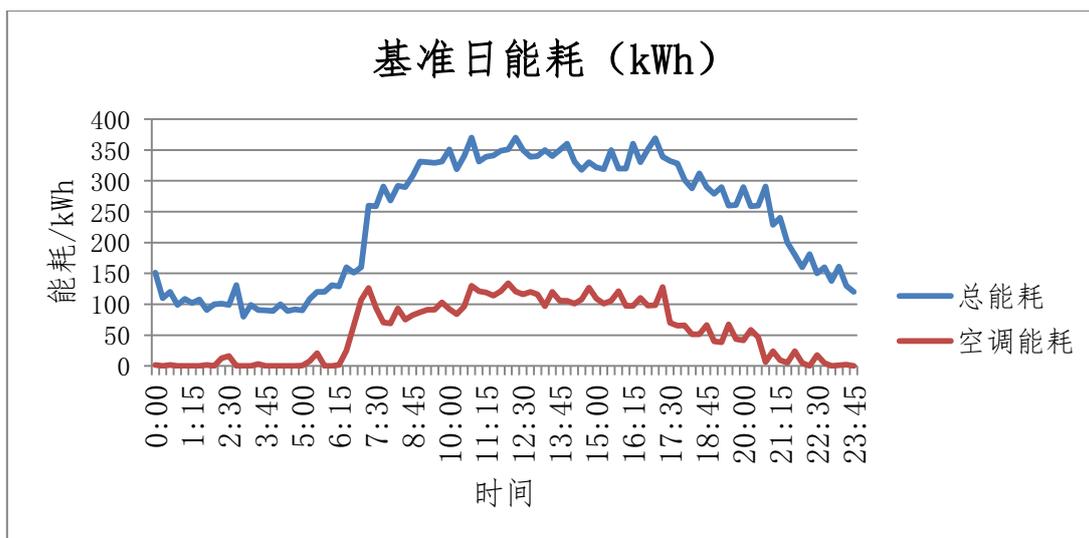


图 3.1 太阳广场基准日总能耗和空调能耗 (7月23日)

从图表中可以观察到，空调分项（不包含空调末端能耗）的能耗和总能耗趋势完全一致，而且其比例约占总能耗的 35%-40%。无论是总能耗还是空调能耗，其变化趋势均与人员时间表保持一致，建筑用能的高峰出现在 10:00-17:00。

在需求响应日，建筑物业管理人员按照之前的制订需求响应控制策略对各个能源系统进行调节，已完成响应时段能耗削减或转移的目的。响应日的能耗情况如图 3.2 和表 3.3 所示。

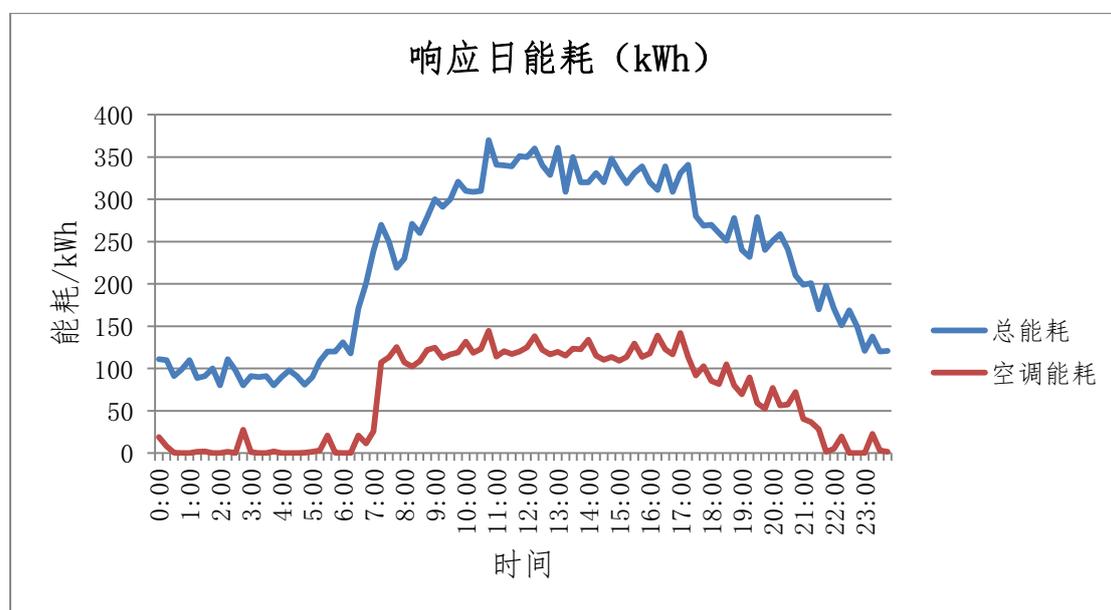


图 3.2 太阳广场基准日总能耗和空调能耗 (7月22日)

表 3.3 太阳广场基准日总能耗和空调能耗 (7 月 22 日\*)

时间	总能耗	空调能耗
9:30	300	116.8
9:45	321	119.06
10:00	310	131.7
10:15	309	118.69
10:30	310	123.25
10:45	370	144.5
11:00	341	114.05
11:15	340	120.66
11:30	339	117.19
11:45	351	120.11
12:00	350	125.14
12:15	360	138.15
12:30	340	121.94
12:45	329	116.91
13:00	361	119.6
13:15	309	115.25
13:30	350	123.7
13:45	320	122.76
14:00	320	134.04
14:15	331	115.36
14:30	320	110.24
14:45	348	113.76
15:00	332	109.14
15:15	319	113.6
15:30	331	129.76
15:45	339	113.6
16:00	320	117.8
16:15	311	138.99
16:30	339	122.65
16:45	309	116.8
17:00	331	141.91
17:15	341	113.65
17:30	280	91.88

\*表格中为响应前四小时、响应时和响应后两小时的能耗

从图表中可以看到,该建筑在需求响应日相应时段的能耗并发生较为明显的削减。为了进一步的观察响应日的能耗变化情况,将两日响应时段(13:30-15:30)的能耗进行对比分析,如表 3.4 所示。核算削减量和削减百分比发现,该建筑的需求响应效果并不明显,响应日总体的能耗水平和基准日保持持平。说明了控制策略并没有执行或执行不当。从表 3.2 和 3.3 可以看到该建筑在两日的空调能耗基

本没有变化，响应日甚至略高于基准日的能耗，因此进一步证明了关于空调系统的需求响应控制策略没有正确执行。

表 3.4 太阳广场需求响应时段能耗对比

时间	响应日能耗(kWh)	基准日能耗(kWh)	削减百分比
13:30	350	340	-2.94%
13:45	320	350	8.57%
14:00	320	360	11.11%
14:15	331	331	0.00%
14:30	320	318	-0.63%
14:45	348	330	-5.45%
15:00	332	322	-3.11%
15:15	319	319	0.00%
15:30	331	350	5.43%
总量削减	2971	3020	1.62%

### 3.3 小结

对于太阳广场而言，本次实验的效果并不明显，主要原因在于空调系统需求相应控制策略没有正确执行。而关闭电梯和部分照明系统所减少的能耗是很少的，如果此时受到天气、人员等因素的影响使得空调负荷有所提升的话，电梯和照明系统的削减量将会被抵消。因此这也进一步说明了，对于公共建筑而言控制空调系统是进行需求响应的关键。

另一方面，此次需求响应建筑的并没有强调对建筑进行预冷，关于预冷的控制策略是物业结合建筑的各个条件有选择的进行的。为了不影响建筑的热舒适，这一定程度上限制了需求响应时段空调系统的调节。

## 4.需求响应在多媒体广场中的实施

### 4.1 需求响应控制策略的制订

多媒体广场是兆丰广场中的商场部分，位于上海市长宁区，同样具有分项计量系统对建筑总能耗和分项能耗进行采集监控，用户可以通过分项计量平台获得自己的实时能耗情况。多媒体广场和其他大多数建筑不同的一点在于，它具有两套空调机组，溴化锂和电制冷机组。通常情况下，该建筑使用电制冷机组进行制冷，天然气溴化锂机组作为备用机组只有在特殊情况下才会使用。对于本身就具有替代能源的建筑而言，在需求响应时段使用替代能源是削减负荷的有效手段。但是天然气溴化锂机组具有运行费用较高的缺点。在相同的冷负荷下，消耗的天然气费用远远多于使用电制冷机组的费用。如果需求响应的激励费用不够弥补这部分费用差，那么使用替代能源对于业主而言就无利可图。

作为楼宇本身，每月天然气是有一个最低费用的，既即使这部分天然气未使用也需要支付的最低能源费用。如果我们利用这部分天然气进行需求响应时段的替代能源，那么用户就可以在需求响应中得到利益。此时，我们关注的便是假设峰值时段使用溴化锂机组替代电制冷机组同样的冷负荷，而且用户不支付任何多余原先的电费的前提下，溴化锂机组最多能开启多长时间，其计算过程和计算结果如表 4.1 所示。

表 4.1 多媒体广场利用燃气溴化锂冷水机组替代电制冷机组经济性计算

冷水机组性能参数		理论增加燃气耗量 L(m <sup>3</sup> /h)	响应时间 (h/天)	经济参数		理论削减量 (kWh)	楼宇收益
电制冷机组功率 P(kW)	制冷量 (kW)	779.94	2	当前电价 A (元/kWh)	1.1	1096	补贴电价 C (元/kWh)
548	3516			燃气价格 B(元/m <sup>3</sup> )	4		2
溴化锂燃气耗量 Q (m <sup>3</sup> /h)	制冷量 (kW)			基本燃气费 (元)	1500		最大响应时间 T P*T*(A+C) +15000=L*T*B
624	2813			可使用燃气体积 (m <sup>3</sup> )	3750		<b>10.56</b>

备注说明:用于计算的所有值均为额定值和理论值。最大响应时间是指若使用溴化锂超过该时间就会造成楼宇能源费用增加

按照理论计算，溴化锂在高峰时共开启小于 10.56 小时，按照每次响应 2

小时来计算，在保证有收益的前提下该用户可以参加 5 次响应。而如果进一步提高补贴费用，溴化锂可开启的经济实验将会有明显增加。

研究人员和物业管理人员协商确定的本次项目可执行的需求响应控制策略如表 4.2 所示。

表 4.2 多媒体广场基本建筑信息和需求响应控制策略

序号	系统	设备	调峰策略
1	空调	冷冻主机	高峰时段利用燃气溴化锂冷水机组替代电制冷机组
2	空调	冷冻水泵	通过一次泵变流量控制在高峰时段使用小流量大温差的运行模式，保持冷机能耗没有较大上升的情况下降低冷冻水流量削减水泵功耗。
3	空调	冷却塔	现有电制冷冷却塔为原有溴化锂机组配套，相对于现有电制冷主机散热量有富余，因此可以长期将变频器频率下调至 40Hz。
4	空调	空调箱	夏季高峰时段关小新风阀至最低卫生要求，全开回风阀，减少送回风温差，因此可以减少冷冻水消耗，从而降低冷机耗电。
5	通风	风机或新风机	通过 KMC 连接的控制点，有选择地关闭某些风机/新风，或者调整其变频
6	照明	公共区域	在高峰时段，通过楼控系统关闭部分影响不大的区域灯光
7	通风	机房通风	在高峰时段，对于地下车库及后勤机电用房等非重要区域，暂时关闭通风系统。

## 4.2 需求响应的实施

首先对基准日的能耗进行分析。根据之前的基准日选择情况，从分项计量平台获得多媒体广场 7 月 23 日的能耗数据，如表 4.3 和图 4.1 所示。

表 4.3 多媒体广场基准日总能耗和空调能耗（7 月 23 日\*）

时间	总能耗	空调能耗
9:30	568.3	322.43
9:45	610.7	330.82
10:00	586	336.78
10:15	588	334.94
10:30	593.5	326.44
10:45	587.5	337.28
11:00	605	335.56
11:15	607.8	332.08
11:30	578.5	335.84

11:45	603.7	329.44
12:00	579	332.94
12:15	591	331.22
12:30	598.2	342.6
12:45	583	336
13:00	586.5	322.32
13:15	569.8	314.96
13:30	577	305.63
13:45	573.5	306.68
14:00	574.5	326.16
14:15	610.5	323.16
14:30	584	324.03
14:45	588.8	335.4
15:00	615	328.2
15:15	563.4	334.66
15:30	608	337.68
15:45	593.3	338.16
16:00	574	341.1
16:15	595.5	344.46
16:30	601.7	338.72
16:45	598	342.62
17:00	580.3	340.32
17:15	586.5	342.52
17:30	544	331.96

\*表格中为响应前四小时、响应时和响应后两小时的能耗

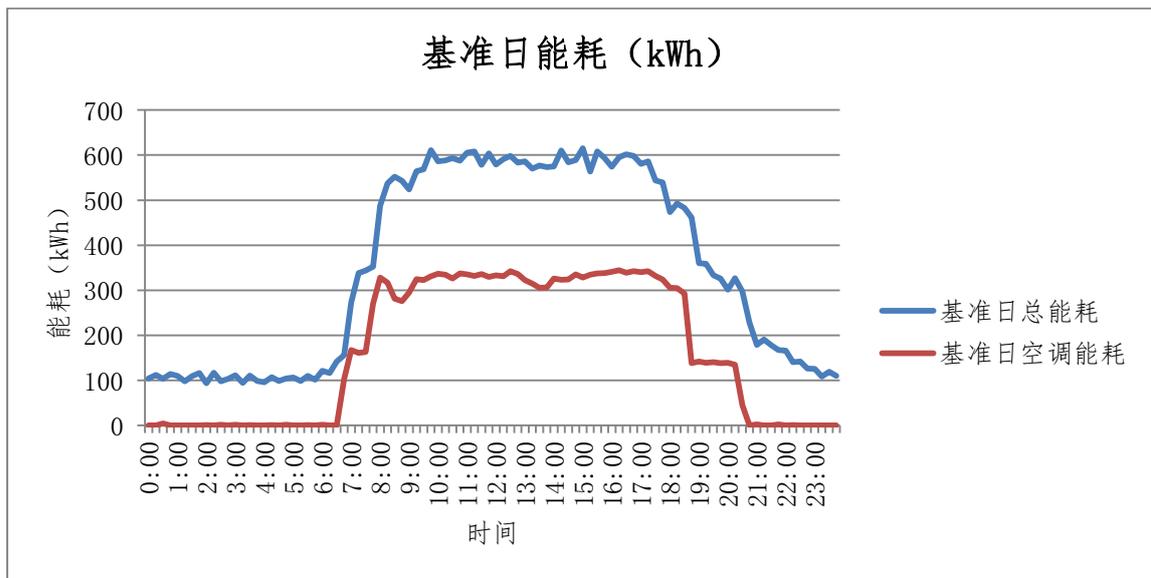


图 4.1 多媒体广场基准日总能耗和空调能耗 (7 月 23 日)

从图表中可以观察到，在多媒体广场中空调分项（不包含空调末端能耗）的能耗和总能耗趋势也完全一致，而且其比例约占总能耗的 50%以上。

在需求响应日，该建筑主要对空调系统进行了调节，即使用溴化锂机组替代之前的电制冷机组，因此预测负荷削减量即为电制冷机组的用电负荷。响应日的该建筑的总能耗和空调能耗如表 4.4 和图 4.2 所示。

表 4.4 多媒体广场基准日总能耗和空调能耗（7 月 22 日\*）

时间	总能耗	空调能耗
9:30	601.7	322.43
9:45	576.5	330.82
10:00	608	336.78
10:15	608.5	334.94
10:30	599.5	326.44
10:45	615	337.28
11:00	620.5	335.56
11:15	592.5	332.08
11:30	613.5	335.84
11:45	591.8	329.44
12:00	613.5	332.94
12:15	607.5	331.22
12:30	581.8	342.6
12:45	603.7	336
13:00	577.2	322.32
13:15	615	314.96
13:30	469.1	305.63
13:45	465.7	306.68
14:00	473	326.16
14:15	459.3	323.16
14:30	485.2	324.03
14:45	465.8	335.4
15:00	462.2	328.2
15:15	460.2	334.66
15:30	447.5	337.68
15:45	460.8	338.16
16:00	457.3	341.1
16:15	454.2	344.46
16:30	468.2	338.72
16:45	435.8	342.62
17:00	457.5	340.32
17:15	549.3	342.52
17:30	543.9	331.96

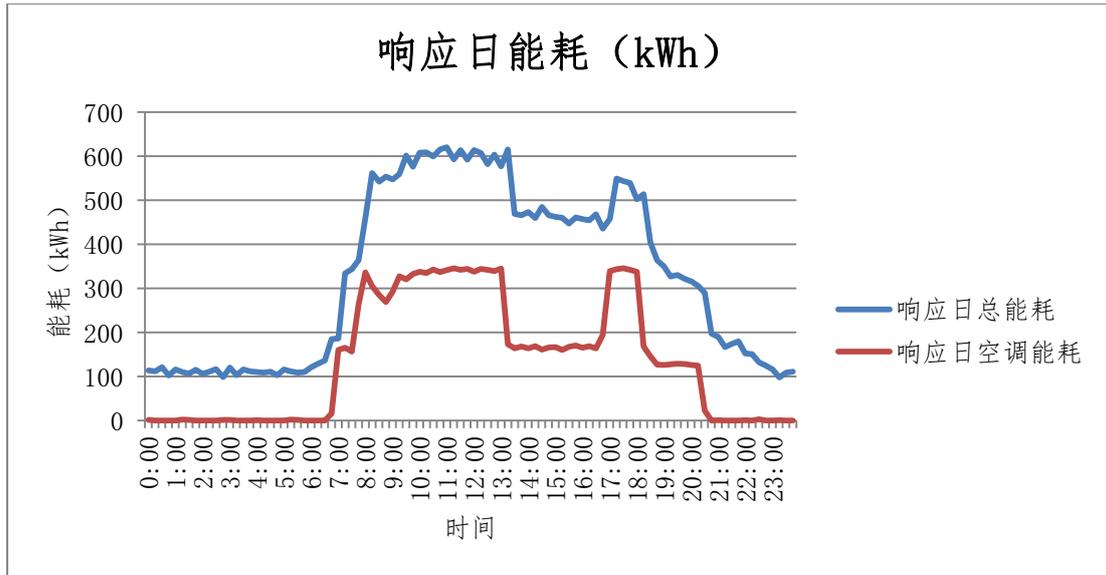


图 4.2 多媒体广场响应日总能耗和空调能耗 (7 月 22 日)

从如表中可以明显看到需求响应开始后,该建筑的总能耗和空调能耗都有很大幅度的削减,这是为由原本的电制冷机组切换为溴化锂机组产生的。为了进一步评估需求响应时段的削减量,将基准日和响应日的能耗进行对比,如表 4.5 和图 4.3 所示。

从图表可以清晰的看出,总电耗的削减全部是由空调电耗的削减引起的。通过切换空调机组,可以引起总能耗削减 20%左右,并可以一直保持该削减至需求响应结束。而电梯和照明的削减几乎不能从总能耗中观察出来。这进一步说明了在公共建筑中,空调系统的需求响应是整个建筑的关键所在。

表 4.5 多媒体广场需求响应时段能耗对比

时间	响应日能耗 (kWh)		基准日能耗 (kWh)		削减量 (kWh)		总能耗 削减
	总能耗	空调能耗	总能耗	空调能耗	总能耗	空调能耗	
13:30	469.1	164.24	577	305.63	107.9	141.39	18.70%
13:45	465.7	168.16	573.5	306.68	107.8	138.52	18.80%
14:00	473	163.64	574.5	326.16	101.5	162.52	17.67%
14:15	459.3	169.24	610.5	323.16	151.2	153.92	24.77%
14:30	485.2	161.2	584	324.03	98.8	162.83	16.92%
14:45	465.8	165.9	588.8	335.4	123	169.5	20.89%
15:00	462.2	167.08	615	328.2	152.8	161.12	24.85%
15:15	460.2	160.18	563.4	334.66	103.2	174.48	18.32%
15:30	447.5	167.26	608	337.68	160.5	170.42	26.40%
总削 减量	4188		5294.7		1106.7		20.90%

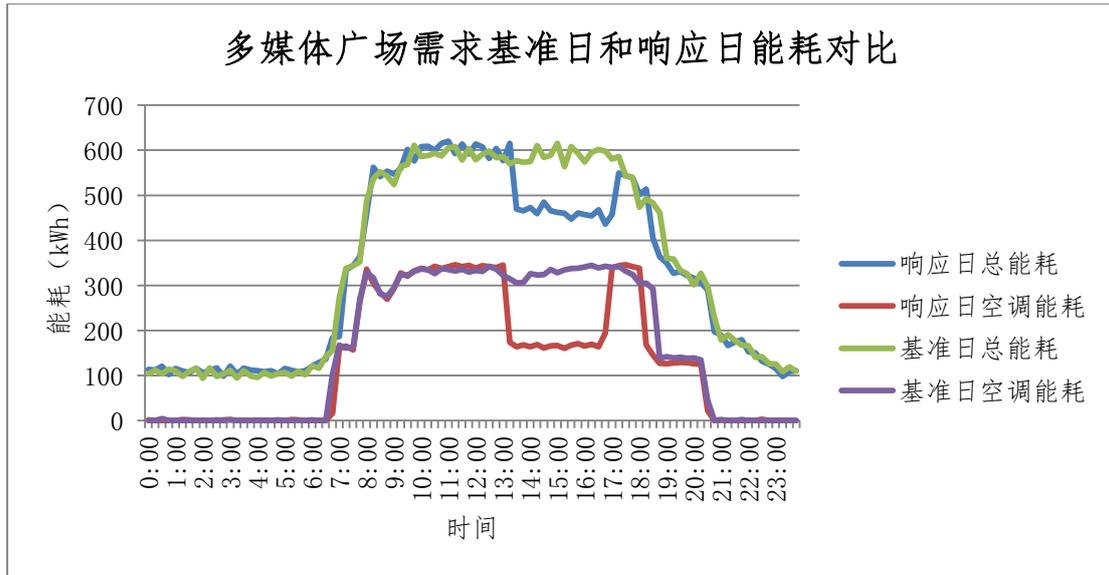


图 4.3 多媒体广场需求响应日和基准日能耗对比

### 4.3 小结

多媒体广场通过使用替代能源，溴化锂制冷机组代替电制冷机组，使得需求响应时段的负荷有较大幅度的削减，并且一直保持该削减至切换为电制冷机组为止，需求响应效果十分明显。并且是因为进行机组的切换，因此不会引起用户热舒适的改变。

但是从结果中可以看到总能耗的削减对于空调系统能耗的削减量而言反而较小。虽然增加量不明显，但是这证明了除空调能耗外其他系统的能耗较基准日甚至有所增加，这可能是由于建筑物人员等的变化引起的。

## 5.需求响应在古北财富二期中的实施

### 5.1 需求响应控制策略的制订

古北财富二期是商场和办公综合建筑，但是商场和办公建筑相对独立，能源系统也完全分开，因此在需求响应控制策略的制订和实施也是相对独立的。通过研究人员调研分析并物业管理人员协商，对该楼宇制订的需求相应策略如表 5.1 所示。

表 5.1 古北财富二期基本建筑信息和需求响应控制策略

现场基本信息	
楼宇基本信息	商场加办公
总面积	190000 平方米
地下	B2~B4 车库, B1 商场
地上	1~30 层办公楼。B1~7 层商场
主要设备信息	
冷水机组	商场离心式冷水机型号 HC-F500GSG 总共 5 台, 681KW3 台, 322KW2 台。办公楼离心式冷水机型号 HC-F500GSG 总共 3 台, 504KW2 台, 314KW1 台。风冷热泵共 2 台 124.8KW
冷冻水循环泵	办公区 14 台品牌南京 ITT。45KW 一台, 37KW6 台, 30KW3 台, 15KW2 台。商场 7 台。110KW4 台, 55KW3 台
冷却水循环泵	办公区 11 台。75KW3 台, 55KW2 台, 45KW3 台。22KW3 台。商场 10 台。90KW4 台, 45KW3 台, 37KW3 台
新风处理机组	回风, 逆风, 新风和排风不能联动。早 4 点~6 点开机组, 早 9 点后排风不能开, 噪音
冷却塔	开式冷却塔共 12 组。大连斯频德 CTA-510UFW 共 3 组 5.5KW×3。CTA-720UF WH 共 2 组 7.5KW×4。大连斯频德共 3 组 7.5KW×5。CCT-250CUA 共 2 组 9.7KW×2。CCT-500CUA 共 2 组 9.7×2
照明	消防通道不行, 平时已经是最低照度, 开应急灯的。公共照明是红外控制
客用及货用电梯	80 台, 可控 26 台, 早 7 点半开启, 晚 8 点。高低各剩 2 台, 货梯 2 台留一台, 地铁区域开 4 台自动扶梯。早 5 点半晚 11 点。电梯群控。商场 42 台扶梯, 10 台垂直升降机
需求响应调节策略	

- 办公区域原本最高负荷时开 2 台 504KW。现在改成 1 台 504KW, 1 台 314KW。连带将冷冻、冷却水泵大的改成小的
- 商场区域原本开 2 台 681KW 现在改成开 1 台 322KW, 1 台 681KW。连带将冷冻、冷却水泵大的改成小的
- 高、低区电梯各开八台, 响应时各关掉四台。从 10 号线到办公楼大堂共 6

部手扶梯各停 1 部下行扶梯

- B2、B3、B4 车库送排风关掉 80%。每个 15KW, 每层 12 个
- 生活水箱提前手动打满后切自动
- 非重要设备机房照明全部关闭
- 办公区域关闭一台大机组, 开启一台小机组 (190kw)
- 办公区域关闭一台大冷冻泵, 开启一台小冷冻泵 (15kw)
- 办公区域关闭一台大冷却泵, 开启一台小却冻泵 (20kw)
- 商场区域关闭一台大机组, 开启一台小机组 (359kw)
- 商场区域关闭一台大冷冻泵, 开启一台小冷冻泵 (45kw)
- 商场区域关闭一台大冷却泵, 开启一台小却冻泵 (55kw)

## 5.2 需求响应的实施

同样, 首先对该建筑基准日的能耗情况进行分析。古北财富二期基准日的总能耗和空调能耗情况如图 5.1 和表 5.2 所示。从图表中可以看到, 该建筑中空调能耗和总能耗的趋势完全一致, 并且占总能耗的约 50%左右。因此在制定该建筑的需求响应方案时, 空调系统是其关键所在。该建筑具有两组不同装机容量的机组, 通常在高温情况下 (35℃) 只需开启一台大机组和一台小机组即可 (办公和商场情况相同), 因此为了转移空调峰时负荷, 采取在响应前开启两台大机组进行预冷的方法。另外, 通过关闭部分电梯和照明也可以一定程度上对峰值负荷进行削减。

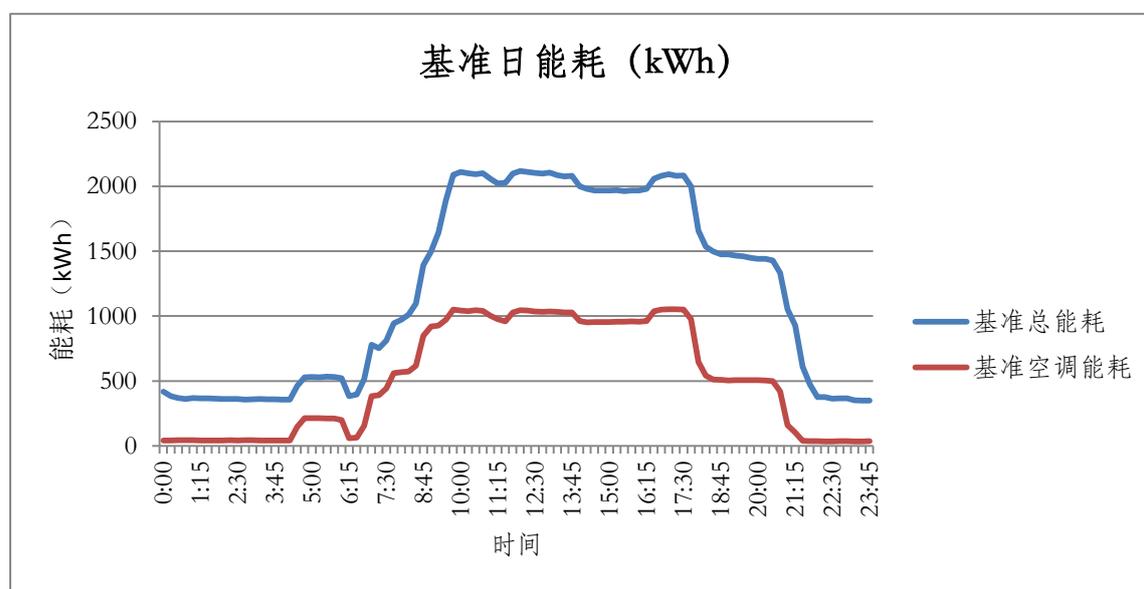


图 5.1 古北财富二期基准日总能耗和空调能耗 (7 月 23 日)

表 5.2 古北财富二期基准日总能耗和空调能耗 (7 月 23 日)

时间	基准总能耗	基准空调能耗
9:30	1892.4	970.9152
9:45	2089.2	1049.2271
10:00	2111.4	1042.8922
10:15	2099.4	1038.8327
10:30	2093.2	1045.7848
10:45	2099.4	1040.0902
11:00	2058.3	1003.787
11:15	2022.5	975.8781
11:30	2026.6	960.0163
11:45	2098	1026.7763
12:00	2117.8	1046.106
12:15	2109	1042.6836
12:30	2101.8	1034.8544
12:45	2097.7	1032.4422
13:00	2105.7	1036.6067
13:15	2086	1031.8299
13:30	2075	1026.9919
13:45	2079.6	1028.5722
14:00	2000.4	961.1305
14:15	1981	950.7427
14:30	1968.2	954.0252
14:45	1968	953.3295
15:00	1968.2	952.9906
15:15	1969.4	955.5433
15:30	1963.2	957.0284
15:45	1968.4	960.0441
16:00	1967	957.6689
16:15	1980.2	961.9642
16:30	2058.8	1038.8799
16:45	2081	1051.0252
17:00	2092.2	1052.0366
17:15	2079.8	1053.2915
17:30	2082.8	1050.152

由于该建筑采用事先预冷的方法对空调负荷进行转移,因此预测空调负荷会有峰时转移至需求响应开始前,从而的削减峰时电耗。但是由于需求响应进行时,空调机组仍处于运行状态,只是较之前承担较小的负荷,因此预测负荷削减的效果不甚明显,而且随着时间的推移,建筑蓄热体所蓄的冷量逐渐释放,如果不对冷量释放过程进行任何控制,则后期建筑的用电负荷会有所提升。整体的需求显影效果如图 5.2 和表 5.3 所示。

可以从图表中明显的看到这一现象，需求响应开始后，建筑的能耗有较为明显的削减，而随着需求显影的深入蓄在建筑中的冷量逐渐释放，建筑的能耗有所增加，但是仍处于较低水平。

表 5.3 古北财富二期响应日总能耗和空调能耗（7 月 22 日）

时间	响应日总能耗	响应日空调能耗
9:30	1937	1025.195
9:45	2050.8	1029.916
10:00	2066.2	1023.841
10:15	2079.6	1022.713
10:30	2066.4	1021.153
10:45	2092.2	1047.069
11:00	2125.2	1070.733
11:15	2124.2	1069.892
11:30	2138.6	1072.042
11:45	2140.2	1067.113
12:00	2135.8	1068.517
12:15	2135.3	1063.418
12:30	2113.9	1058.778
12:45	2116.2	1059.158
13:00	2117	1055.507
13:15	1964.2	916.942
13:30	1722.6	688.2638
13:45	1713.4	676.7055
14:00	1758.2	730.2008
14:15	1877.8	814.8428
14:30	1905.8	777.3222
14:45	1890.6	773.4324
15:00	1890	1058.662
15:15	1897	945.2756
15:30	1895.4	886.7846
15:45	1889.6	887.3475
16:00	1910.8	888.5595
16:15	1904.8	892.7036
16:30	1910.8	892.8255
16:45	1942.2	926.021
17:00	2044.5	1006.742
17:15	2037.1	1004.903
17:30	2025	999.454

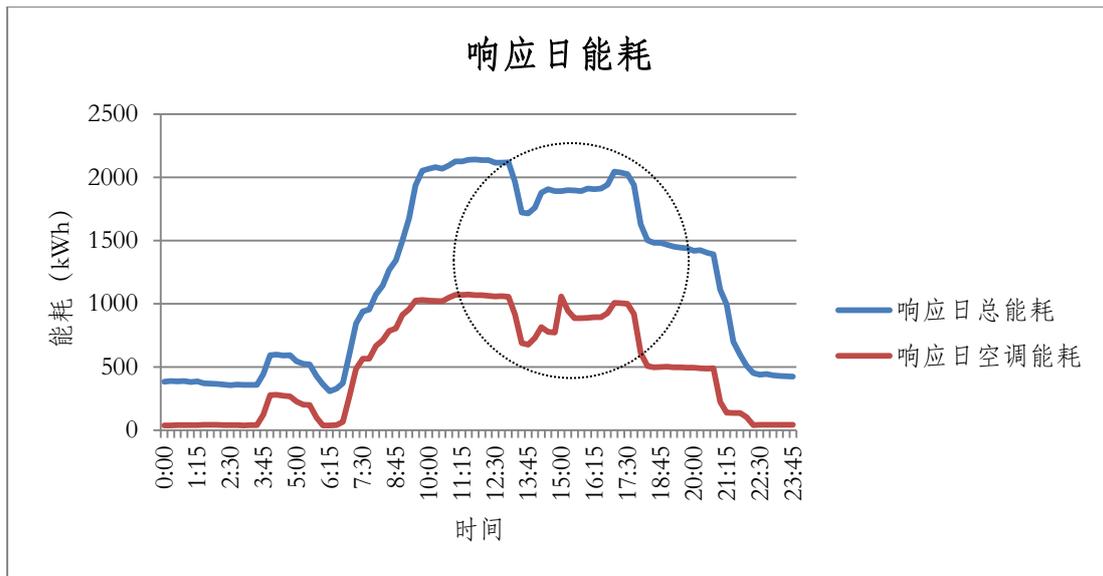


图 5.2 古北财富二期响应总能耗和空调能耗（7 月 22 日）

为了更好的观察该建筑的需求响应效果，将响应日和基准日的能耗进行对比，分析削减量。如表 5.4 所示。可以分析得到，在响应时段前期由于建筑物的蓄冷量的释放，空调主机处于较低负荷状态因此削减量十分明显。但是随着时间的推移建筑能耗的削减量有所减少。但是整个时段用电量的削减仍达到了 7.7%。

表 5.4 古北财富二期需求响应时段能耗对比

时间	响应日总能耗 (kWh)	基准日总能耗 (kWh)	削减百分比
13:30	1722.6	2075	16.98%
13:45	1713.4	2079.6	17.61%
14:00	1758.2	2000.4	12.11%
14:15	1877.8	1981	5.21%
14:30	1905.8	1968.2	3.17%
14:45	1890.6	1968	3.93%
15:00	1890	1968.2	3.97%
15:15	1897	1969.4	3.68%
15:30	1895.4	1963.2	3.45%
<b>总削减量:</b>	<b>18515</b>	<b>20059</b>	<b>7.70%</b>

### 5.3 小结

古北财富二期通过对建筑进行预冷实现了对空调负荷的转移，从而削减了峰值负荷。从实验结果可以看到，该控制策略有明显的负荷削减效果。再加上该建筑在实验过程中对部分电梯和照明进行了关闭，一定程度上削减了峰时负荷。整体的需求响应效果较为显著。

但是由于在需求响应开始后,并没有通过任何手段对建筑释放冷量的过程进行控制,这造成了开始阶段的削减量明显高于之后的阶段。使得需求响应整个过程的削减量不够平稳。因此在下一次需求响应试点研究中,应该更加细化空调系统的预冷和负荷削减策略,在保证削减量的前提下使需求响应时段负荷削减保持平稳。

## 6.结论与展望

通过三幢建筑需求相应的结果分析可以得到,

1. 需求响应中分项计量系统是监测楼宇实时能耗情况的有利平台。而且可以直接从平台观察到需求响应阶段总能耗的实施削减量,以及各分项的实时能耗状况。

2. 需求响应对于公共建筑而言,首先需要保证建筑的功能不受到太大影响。因此需要采取一定的控制手段才能保持建筑正常运行的同时削减峰时负荷。本次试点项目按照能源系统不同制订了不同的控制方案。发现,照明和电梯对于整个建筑的峰时负荷削减贡献是有限的,空调系统是主要承担建筑峰时负荷削减的能源系统。

3. 公共建筑的峰值负荷的削减主要由建筑内的空调系统承担,空调系统的控制策略直接影响空调负荷的削减效果。本次实验中多媒体广场通过将电制冷机组切换至溴化锂制冷机组的控制手段有理想的效果,古北财富二期通过提前预冷建筑将空调负荷转移至需求响应开始前,也取得了良好的实验效果。

但是通过此次实验,也发现了楼宇在参与需求响应时仍有许多工作要做:

1. 公共建筑在参与需求响应时,空调系统的控制策略应该根据不同的建筑进一步细化,确保削减量的同时保持削减量的平稳,除了启停控制意外应该加入更多的间接控制,如提高冷冻水出水温度,改变室内温度设定点等从而控制实施的削减量。

2. 除空调系统以外,其他能源系统的控制同样重要。虽然其削减量较少,但是其对建筑功能的影响也相对较小,通过关闭照明和动力设备所产生的负荷削减是需求响应中可以保证的量。

3. 应该加强用户反馈信息的收集,除了参与调控的物业人员以外,办公建筑的工作人员、商场和宾馆的客人的反馈信息同样重要。