

文章编号: 1671-6612 (2021) 01-118-07

# 上海地区典型数据中心错峰蓄冷方案探讨

苏立群

(上海邮电设计咨询研究院有限公司 上海 200092)

**【摘要】** 介绍了上海地区典型数据中心的错峰蓄冷技术选择, 并对蓄冷方案进行了详细的设计, 讨论分析了在不同电价下数据中心不同错峰蓄冷方案的经济性。为上海地区类似数据中心项目采用错峰蓄冷技术提供参考。

**【关键词】** 数据中心; 错峰蓄冷; 经济性; 系统工况  
中图分类号 TU83 文献标识码 A

## Discussion on Cold Storage Scheme of Typical Data Center in Shanghai

Su Liqun

(Shanghai Posts & Telecommunications Designing Consulting Institute Co., Ltd, Shanghai, 200092)

**【Abstract】** This paper introduces the selection of the cold storage technology of the typical data center in Shanghai, and designs the cold storage scheme in detail, discusses and analyzes the economy of the different cold storage schemes of the data center under different electricity prices. It provides a reference for similar data center projects in Shanghai to adopt staggered peak storage technology.

**【Keywords】** data center; cold storage by shifting peak; economy; system condition

作者(通讯作者)简介: 苏立群(1991.09-), 男, 硕士研究生, E-mail: 416883875@qq.com  
收稿日期: 2020-05-07

## 0 引言

数据中心是信息的重要载体, 是信息行业的重要基础设施。据 2018 年国际正常运行时间协会(Uptime Institute)发布的《国际正常运行时间协会全球数据中心调查》报告显示, 约 36% 的数据中心因停电导致制冷系统失效而引起设备升温宕机<sup>[1]</sup>。为解决外市电中断, 油机启动至冷水机组恢复运行这段时间的空调系统供冷, 采用蓄冷技术作为数据中心的不间断供冷已成为业内共识。GB 50174-2017《数据中心设计规范》7.4.1 业已规定: 采用冷冻水空调系统的 A 级数据中心宜设置蓄冷设施, 蓄冷时间应满足电子信息设备的运行要求<sup>[2]</sup>。

研究显示 2018 年中国数据中心总用电量为

1608.89 亿 kWh, 占中国全社会用电量的 2.35%, 超过上海市 2018 年全社会用电量(1567kWh)。随着互联网、物联网、云计算等数据业务需求的爆炸式增长及国家提出加快推进包括大数据中心在内的新型基础设施建设, 我国数据中心总用电量仍将保持高速增长, 到 2023 年预计总用电量将达到 2667.92kWh<sup>[3]</sup>。上海市为了控制本市互联网数据中心建设和新增能耗, 实现合理布局, 特制定《上海市互联网数据中心建设导则(2019 版)》。导则中考虑错峰蓄冷技术对数据中心自身及城市整体能效的提升作用, 鼓励数据中心建设采用错峰蓄冷技术。同年, 国家发改委发布《关于创新和完善促进绿色发展价格机制的意见》提出完善峰谷电价机制, 运用价格信号引导削峰填谷。结合国家和地方政府

的鼓励政策及数据中心空调冷负荷密度大、全年不间断运行、自身需设置蓄冷设置做不间断供冷的特点, 错峰蓄冷是一项值得在数据中心尝试的技术。

## 1 蓄冷

### 1.1 蓄冷技术简介

常用空调蓄冷技术按蓄冷介质区分, 可分为水蓄冷(显热式)、冰蓄冷和共晶盐蓄冷三大类。不同蓄冷介质各自特点如下:

(1) 水蓄冷技术的特点: 水蓄冷属于显热蓄冷方式, 可以使用常规的冷水机组, 实际使用的供回水温差为  $5\sim 12^{\circ}\text{C}$ , 蓄冷密度较小, 约为  $5.8\sim 12.77\text{kWh/m}^3$ , 水蓄冷槽体积相应庞大。

(2) 冰蓄冷技术的特点: 冰蓄冷的蓄冷密度大, 约为  $40\sim 50\text{kWh/m}^3$ , 故冰蓄冷贮槽小; 冰蓄冷的制冰温度低, 对制冷机有专门要求, 当制冰时, 因蒸发温度的降低会带来压缩机的 COP 降低。

(3) 共晶盐蓄冷技术的特点: 共晶盐的蓄冷密度介于水蓄冷与冰蓄冷之间, 约为  $20.8\text{kWh/m}^3$ , 相应的其蓄冷贮槽较水蓄冷小, 较冰蓄冷大; 由于采用高温相变材料, 制冷机蒸发温度较冰蓄冷时高, 可以采用常规的冷水机组。但在蓄冷——释冷的过程中换热性能较差, 设备投资较高, 推广应用受到一定的限制<sup>[4]</sup>。

### 1.2 蓄冷技术在典型数据中心的应用

本文所述典型数据中心(下同)是指上海地区利用冷冻水系统进行制冷的大中型数据中心。其按照冷冻水的管道系统形式可分为一次泵系统形式和二次泵系统形式; 按照冷源的备份形式可分为 N+1 备份形式和 2N 备份形式(N 为冷机台数)。

水蓄冷技术是数据中心蓄冷的常见储能技术, 在数据中心不间断供冷领域已广泛应用; 冰蓄冷随着技术和产品越来越成熟, 尤其是动态冰蓄冷系统的冰浆冰蓄冷, 效率高、体积小、故障率极低, 已成为数据中心蓄冷系统的可选技术之一<sup>[5]</sup>; 共晶盐蓄冷技术因在实际推广和应用中仍有一定限制, 本文不再对其进行讨论。

#### (1) 水蓄冷

水蓄冷按照系统形式, 可分为开式系统和闭式系统, 在典型数据中心应用对应开式蓄冷罐和闭式蓄冷罐。开式蓄冷罐液面与大气相通, 为非承压设备, 闭式蓄冷罐液面与大气不连通, 为承压设备。目前采用一次泵系统的典型数据中心, 因其受制于

系统本身架构形式, 蓄冷罐常串联于系统中, 常见的系统形式如图 1 所示(省略板换), 此时蓄冷罐内的压力为其在系统中接入点的工作压力, 所以一次泵系统常采用承压的闭式蓄冷罐。对于二次泵系统, 蓄冷罐常接在平衡管上, 并联于系统中, 常见的系统形式如图 2 所示(省略板换), 所以可以是开式也可以是闭式。当采用开式罐时, 可直接对系统进行定压, 只需其液面高度高于系统最高点 1.5 米左右即可, 若系统高度太高, 造成开式罐高径比过大时, 也可采用闭式罐。

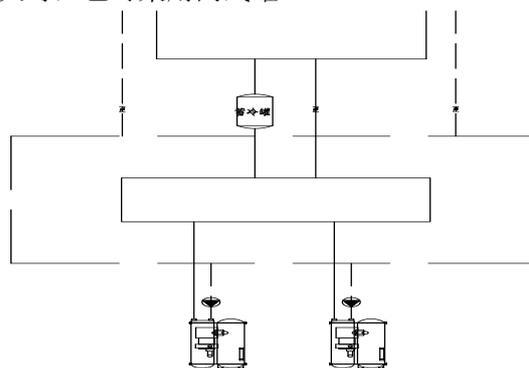


图 1 一次泵系统蓄冷罐串联示意图

Fig.1 Primary pump system cold storage tank series diagram

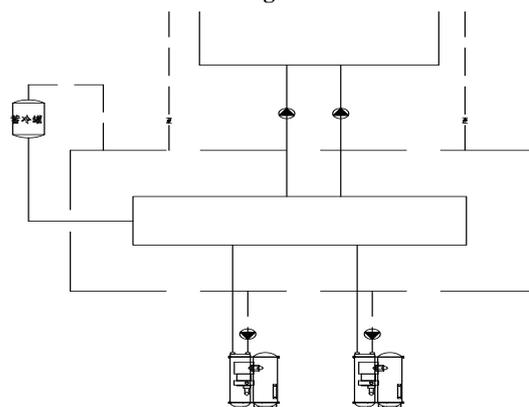


图 2 二次泵系统蓄冷罐并联示意图

Fig.2 Secondary pump system cold storage tank series diagram

#### (2) 冰蓄冷

当前阶段, 采用冰蓄冷作为数据中心应急冷源及错峰蓄冷的案例较少, 文献[5]介绍了一种已经在国内数据中心使用的冰浆冰蓄冷(亦称流态冰)系统, 阐明了冰蓄冷在作为应急冷源及错峰蓄冷时, 蓄冷设施均需采用有板换的并联系统, 空调管道系统形式限于二次泵形式。

## 2 典型数据中心错峰蓄冷方案

### 2.1 上海地区峰谷电价政策

目前我国对于数据中心行业并未明确归属类别,当前上海地区数据中心可申请一般工商业用电

和大工业用电<sup>[6]</sup>,此两种形式在上海地区均实行两部制电价,本文讨论的错峰蓄冷方案以电度电价为计算基准。按照上海市发改委发布的最新电价通知,数据中心可执行电价见表1。

表1 上海数据中心执行电价

Table 1 Implementation price of data center in Shanghai

用电单位及用电时段			元/ (kWh)	
大工业用电	夏季	高峰时段	08:00-11:00,13:00-15:00,18:00-21:00	1.088
		平段时段	06:00-08:00,11:00-13:00,15:00-18:00,21:00-22:00	0.660
		谷段时段	22:00-06:00	0.245
	非夏季	高峰时段	08:00-11:00,13:00-15:00,18:00-21:00	1.046
		平段时段	06:00-08:00,11:00-13:00,15:00-18:00,21:00-22:00	0.618
		谷段时段	22:00-06:00	0.304
一般工商业用电	夏季	高峰时段	08:00-11:00,13:00-15:00,18:00-21:00	0.968
		平段时段	06:00-08:00,11:00-13:00,15:00-18:00,21:00-22:00	0.580
		谷段时段	22:00-06:00	0.209
	非夏季	高峰时段	08:00-11:00,13:00-15:00,18:00-21:00	0.937
		平段时段	06:00-08:00,11:00-13:00,15:00-18:00,21:00-22:00	0.548
		谷段时段	22:00-06:00	0.267

### 2.2 错峰蓄冷方案

上海地区数据中心错峰蓄冷一方面是为了移峰填谷,更加合理使用电力资源,节约空调系统运行电费;另一方面,也能在项目规划期争取PUE考核的政策优惠。总体思路是在夜间电价低谷时,利用备用主机进行蓄冷,在电价高峰时段进行释冷。上海地区典型数据中心均采用自然冷却技术,按照总体思路,错峰蓄冷在不同季节简化运行策略如下:

(1) 在完全自然冷却季节,室外湿球温度较低,冷却塔可提供较低温度的冷水供末端负载,此时关闭冷水机组,错峰蓄冷设施不运行。简化运行策略如图3所示。

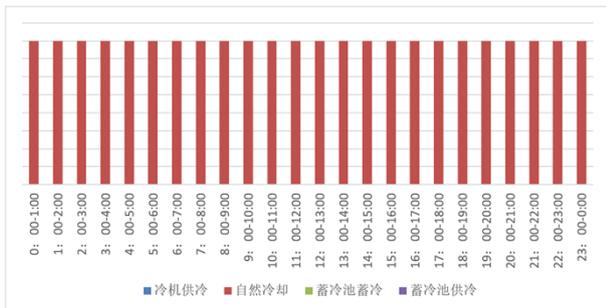


图3 完全免费冷却季节数据中心错峰蓄冷简化运行策略示意

Fig.3 Schematic diagram of simplified operation strategy of data center in full free cooling season

(2) 在完全机械制冷季节,采用电制冷+夜间蓄冷,此阶段开启备用主机在夜间电力低谷时段进行蓄冷,在白天运行时,蓄冷设施可提供部分系统高峰用冷负荷。简化运行策略如图4所示。

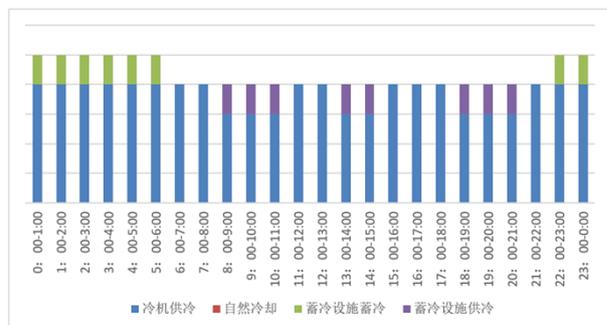


图4 完全机械制冷季节数据中心错峰蓄冷运行策略示意

Fig.4 Schematic diagram of simplified operation strategy of data center in full mechanical refrigeration season

(3) 在部分自然冷却季节,上海地区典型数据中心采用预冷模式,即冷水主机与板换联合供冷。此模式下部分自然冷却是全时段降低冷水主机负

载，此阶段依然开启备用主机夜间电力低谷时段进行蓄冷，白天高峰时段放冷。简化运行策略如图 5 所示。

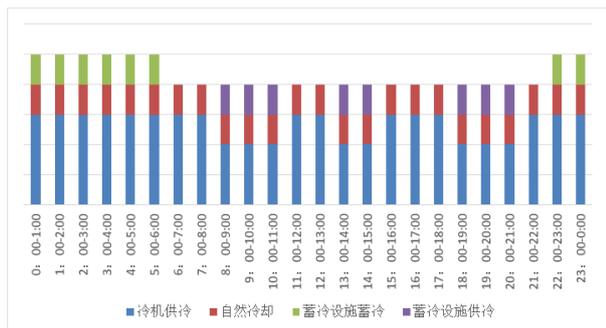


图 5 部分自然冷却季节数据中心错峰蓄冷运行策略示意

Fig.5 Schematic diagram of simplified operation strategy of data center in partial mechanical refrigeration season

此外，不同空调系统架构数据中心可选错峰蓄冷配置也不尽相同，具体如下所述。

(1) 空调冷冻水为一次泵系统架构数据中心错峰蓄冷方案

空调冷冻水采用一次泵系统的数据中心，由于系统本身特性限制，蓄冷设施常串联于系统，因此一次泵架构的无法采用需要并联于系统的冰蓄冷技术。而由于其蓄冷设施串联于系统需承压的特性，一次泵架构常采用闭式水蓄冷设施，蓄冷温差只能是冷冻水系统设计温差。

(2) 空调冷冻水为二次泵系统架构的数据中心错峰蓄冷方案

空调冷冻水采用二次泵系统的数据中心，蓄冷设施常并联于系统，因此其蓄冷介质可选择水蓄冷，也可选择冰蓄冷。由于管路并联的特性，水蓄冷设施可选用开式或闭式，蓄冷温差不限于冷冻水系统设计温差，可选择大温差；冰蓄冷设施由于其固有特性，为大温差蓄冷，释冷时需增加板换。

不同架构数据中心错峰蓄冷可选蓄冷配置如表 2 所示。

表 2 不同架构数据中心错峰蓄冷可选蓄冷配置

Table 2 Optional cold storage configuration for data center in different architecture data centers

数据中心系统架构	蓄冷连接形式		蓄冷介质		蓄冷系统形式		蓄冷温差	
	串联	并联	水	冰	闭式	开式	系统设计温差	大温差
一次泵系统	√	×	√	×	√	×	√	×
二次泵系统	×	√	水	冰	开式		√	√
					闭式		√	√
					\		×	√

### 3 上海地区典型数据中心错峰蓄冷经济性分析

#### 3.1 经济性分析简介

(1) 本文所述上海地区典型数据中心错峰蓄冷经济性的评价指标为数据中心采用错峰蓄冷技术的增量成本静态投资回收期<sup>[7]</sup>。本文将基于前述上海地区峰谷电价政策、数据中心错峰蓄冷运行策略、不同架构数据中心不同配置并依托上海某具体项目对这一指标进行计算分析。

(2) 本文错峰蓄冷措施暂不考虑实际项目现场场地等限制因素，设置原则为在电价低谷时段用满备用冷机进行蓄冷。

#### 3.2 经济性分析参数确认

(1) 按上文所述运行策略，自然冷却时间与错峰蓄冷运行时间互相影响，由此会影响错峰蓄冷

措施的静态投资回收期。自然冷却的时间决定于系统供回水设计温度，目前上海典型数据中心的主流冷冻水供回水为 15/21℃，因《上海市互联网数据中心建设导则（2019 版）》的实施，不少数据中心冷冻水供回水温度已提升到 18/24℃。本文将对此两种供回水温度下的数据中心错峰蓄冷静态投资回收期进行计算。

上海地区全年逐时湿球温度如图 6 所示。

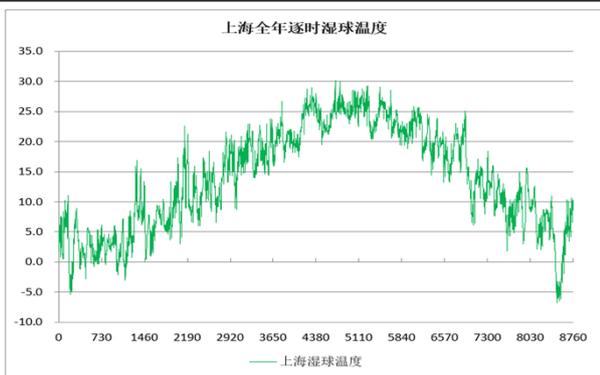


图6 上海地区全年逐时湿球温度

Fig.6 Hourly wet bulb temperature in Shanghai

当采用 15/21℃ 冷冻水供回水时，完全自然冷却 ( $T_w \leq 6.5^\circ\text{C}$ ，塔出水温度  $\leq 13.5^\circ\text{C}$ ) 运行时长为 1986h，完全机械制冷 ( $T_w > 14^\circ\text{C}$ ，塔出水温度  $> 19.5^\circ\text{C}$ ) 运行时长为 4467h，部分自然冷却 ( $6.5^\circ\text{C} < T_w \leq 14^\circ\text{C}$ ， $13.5^\circ\text{C} <$  塔出水温度  $\leq 19.5^\circ\text{C}$ ) 运行时长为 2307h。

当采用 18/24℃ 冷冻水供回水时，完全自然冷却 ( $T_w \leq 10^\circ\text{C}$ ，塔出水温度  $\leq 16.5^\circ\text{C}$ ) 运行时长为 3225h，完全机械制冷 ( $T_w > 17.5^\circ\text{C}$ ，塔出水温度  $> 22.5^\circ\text{C}$ ) 运行时长为 3582h，部分自然冷却 ( $10^\circ\text{C} < T_w \leq 17.5^\circ\text{C}$ ， $16.5^\circ\text{C} <$  塔出水温度  $\leq 22.5^\circ\text{C}$ ) 运行时长为 1953h。

(2) 按照上文表 2 所述配置，水蓄冷系统设计温差取当前上海地区数据中心主流设计温差 6℃，采用大温差蓄冷时，本文取温差为 12℃。

(3) 按照上文表 1 数据中心执行电价标准，数据中心运行需分夏季和非夏季分别计算。数据中心自身负荷特性为工艺负荷全年稳定，围护结构负荷随季节变化，非夏季计算负荷可取夏季计算负荷 90%<sup>[8]</sup>。本文计算式近似认为不对运行策略产生影响。

(4) 按照上述不同工况，冷机运行 cop 不同，

影响错峰蓄冷运行费用。经询问行业内厂商，不同设计工况下（冷却水均采用 32/37℃）冷机 cop 如下：冷冻水 15/21℃，冷水机组 cop 为 7.5，此设计温度下采用大温差蓄冷时，蓄冷机组冷冻水温度为 9/21℃，冷水机组 cop 为 6.40；冷冻水 18/24℃，冷水机组 cop 为 8.3，此设计温度下采用大温差蓄冷时，蓄冷机组冷冻水温度为 12/21℃，冷水机组 cop 为 6.69；采用冰蓄冷时，蓄冷槽冷冻水供水板换侧出水设计温度 2.5℃，需配双工况主机，蓄冰工况冷水机组 cop 为 5.14。

(5) 错峰蓄冷设施的成本估算价，经询问行业内厂商，水蓄冷开式蓄冷槽造价约 2000 元/m<sup>3</sup>，闭式蓄冷槽造价约 5500 元/m<sup>3</sup>；冰蓄冷 500 元/(RT·h)；板式换热器约 90-100 元/kW。

### 3.3 依托上海某项目实例经济分析

#### (1) 上海某项目概况简介

上海某数据中心项目总建筑面积 13200m<sup>2</sup>，共 3 层，建筑高度 18.9m。一层设置冷冻机房、高低压配电室、电池室、消控室等，二三层为数据机房 UPS 配电室。项目总体建设机柜数 2068 架，平均机柜功耗 4.8kW/机柜。该项目设计总冷负荷（工艺+电源+围护结构）11620kW，配置 4 台 1200RT 低压离心式冷水机组（3 用 1 备），冷冻水供回水为 15/21℃。

#### (2) 经济分析计算结果

本项目采用 N+1（3+1）的备份形式，本文计算时将部分自然冷却季节简化为当主机制冷负载大于一台主机额定冷量时，错峰蓄冷仍完全发挥作用；当主机制冷负载小于一台主机额定冷量时，错峰蓄冷部分运行于平段，按插值比例折算调峰作用。日蓄冷量的计算，按照标准设计供回水温度机组输出制冷能力 1200RT，不同蓄冷温差时，按机组 cop 变化折算输出制冷能力。计算结果见表 3。计算过程见附计算示例。

表 3 上海地区典型数据中心（N+1 备份）错峰蓄冷经济性计算结果

Table 3 The economic calculation results of the typical data center (N+1 backup) in Shanghai

数据中心	冷冻水供回水温度	数据中心架构形式	错峰蓄冷选择	蓄冷设施形式	蓄冷设计温差/℃	机组 cop	日错峰蓄冷量/kWh	折算标准温差	蓄冷设施所需有效容积/m <sup>3</sup>	蓄冷设施增量成本/万元	夏季调峰小时数	夏季节省电费/万元	非夏季调峰小时数	非夏季节省电费/万元	非夏季节省电费/万元	年节省电费/万元	静态投资回收期/a
大工业用电	15/21	一次泵系统	水蓄冷	闭式	6	7.5	33760	8	4822	2652.1	736	48.87	1420	94.28	143.15	18.53	
			冰蓄冷	闭式	6	7.5	33760	8	4822	2652.1	736	48.87	1420	94.28	143.15	18.53	

			开式					964.4	736	48.87	1420	94.28	143.15	6.74		
			闭式					1131.9	628	39.61	1212	76.46	116.07	9.75		
		12	6.4	28808	6.83	2058		411.6	628	39.61	1212	76.46	116.07	3.55		
			冰蓄冷	\	\	5.1	23137	5.48	514	357.94	504	28.99	973	55.98	84.97	4.21
18/24	一次泵系统	水蓄冷	闭式	6	8.3	33754	8	4822	2652.1	736	45.51	1022	63.19	108.7	24.40	

续表 3 上海地区典型数据中心 (N+1 备份) 错峰蓄冷经济性计算结果

数据中心	冷冻水供回水温度	数据中心架构形式	错峰蓄冷蓄冷设计温差		机组 cop	日错峰蓄冷量 kWh	折算标准温差	蓄冷设施所需有效容积 m <sup>3</sup>	蓄冷设施增量成本 万元	夏季调峰小时数 h	夏季节省电费 万元	非夏季调峰小时数 h	非夏季节省电费 万元	年节省电费 万元	静态投资回收期 a		
			选择	形式												℃	℃
大工业用电	18/24	二次泵系统	闭式	6	8.3	33760	8	4822	2652.1	736	45.51	1022	63.19	108.7	24.40		
			开式						964.4	736	45.51	1022	63.19	108.7	8.87		
			水蓄冷														
			闭式	12	6.7	27211	6.44	1944	1069.2	592	34.01	823	47.31	81.32	13.15		
			开式						388.8	592	34.01	823	47.31	81.32	4.78		
			冰蓄冷	\	\	5.1	20907	4.95	514	323.45	455	23.08	632	32.07	55.15	5.86	
一般工商业用电	15/21	二次泵系统	一次泵系统	水蓄冷	闭式	6	7.5	33760	8	4822	2652.1	736	44.00	1420	85.13	129.13	20.54
			闭式	6	7.5	33760	8	4822	2652.1	736	44.00	1420	85.13	129.13	20.54		
			开式						964.4	736	44.00	1420	85.13	129.13	7.47		
			水蓄冷														
			闭式	12	6.4	28808	6.83	2058	1131.9	628	35.66	1212	69.04	104.7	10.81		
			开式						411.6	628	35.66	1212	69.04	104.7	3.93		
一般工商业用电	18/24	二次泵系统	冰蓄冷	\	\	5.1	23137	5.48	514	357.94	504	26.10	973	50.55	76.649	4.67	
			一次泵系统	水蓄冷	闭式	6	8.3	33754	8	4822	2652.1	736	40.98	1022	57.06	98.034	27.05
			闭式	6	8.3	33760	8	4822	2652.1	736	40.98	1022	57.06	98.034	27.05		
			开式						964.4	736	40.98	1022	57.06	98.034	9.84		
			水蓄冷														
			闭式	12	6.7	27211	6.44	1944	1069.2	592	30.62	823	42.72	73.34	14.58		
			开式														
			冰蓄冷	\	\	5.1	20907	4.95	514	323.45	455	20.78	632	28.96	49.738	6.50	

注：表格中标准蓄冷温差的夏季调峰小时数为每日调峰小时数 8h×夏季天数 92 天得出；标准蓄冷温差非夏季调峰小时数为非夏季月份完全机械制冷段调峰小时数与部分自然冷却段调峰小时数之和，不含系统完全自然冷却时段；非标准蓄冷温差的调峰小时数根据蓄冷工况（非设计工况）主机输出能力与高峰运行工况（设计工况）主机输出能力折算得出。

附：计算示例

以 15/21℃ 供回水，12℃ 温差开式水蓄冷为例，计算表格 3 中数据。

① 日错峰蓄冷量：设计工况主机制冷量 4220kW，cop 值 7.5；夜间大温差蓄冷工况，主机 cop 值 6.4，则夜间蓄冷工况主机输出能力为 4220÷7.5×6.4=3601kW；按蓄冷 8h 计算，日蓄冷能力为 3601×8=28808kWh。

② 蓄冷设施有效容积：热量计算公式  $Q=c \cdot m \cdot \Delta t$ ， $Q$  为日蓄冷能力 28808kWh， $c$  为水的比热容 4187J/kg·℃， $\Delta t$  取 12℃。由此可算得蓄冷所需水的质量，换算成体积为 2058m<sup>3</sup>。

③ 蓄冷设施增量成本：此系统不设板换及释冷泵，增量成本即为错峰蓄冷设施增量容积×预估单价=2058×2000÷10000=411.6 万元。若为冰蓄冷系统，需考虑板换及释冷泵增量成本。

④ 夏季节省电费：夏季调峰小时数 628h，即当不采用错峰蓄冷时，对应的制冷单元（冷机+冷冻水泵+冷却水泵+冷却塔，二级泵在蓄冷和高峰时均保持运行，计算时不考虑在内）需在夏季高峰段需运行 628 小时制冷。一套制冷单元高峰段运行功耗：4220/7.5（冷机功耗）+90（冷冻水泵功耗）+75（冷却水泵功耗）+60（冷却塔功耗）=787.6kW，调峰时段总运行电量：787.6×628=494655kWh；一套制冷单元蓄冷时运行功耗：3601/6.4（冷机功耗）+90（冷冻水泵功耗）+75（冷却水泵功耗）+60（冷却塔功耗）=787.6kW，夏季电价低谷段共计蓄冷时间 92（夏季天数）×8（每天蓄冷小时数）=736h，蓄冷时段总运行电量=787.6×736=579674kWh；节省电费为高峰段电费（494655×1.088-579674×0.245）÷10000=39.61 万元。（冰蓄冷系统需考虑释冷泵的运行电量）

⑤ 非夏季节省电费：计算方法同夏季。

⑥ 静态投资回收期：增量成本÷年节省电费=411.6÷116.07=3.55a。

除主流采用 N+1 备份的数据中心外，上海地区仍有少数等级要求高的数据中心，采用 2N 备份形式，同样以上述实际案例为基准，假定该项目使用 2N（3+3 备份对其进行经济性分析可以预想 2N 备份形式数据中心按照本文所述错峰蓄冷总体原

则，可采用全负荷错峰蓄冷。但由此也将造成部分自然冷却季节系统冷负荷不足全负荷时，错峰蓄冷将部分运行于电价平段时段，无法起到较好调峰作用。2N 备份形式数据中心以大工业电价，系统 15/21℃ 供回水为例，计算结果见表 4。

表 4 上海地区典型数据中心（2N 备份）错峰蓄冷经济性计算结果

Table 4 The economic calculation results of the typical data center (2n backup) in Shanghai

数据中心 执行电价	冷冻水供 回水温度	数据中心架构 形式	错峰蓄 冷介质 选择	蓄冷 设施 形式	蓄冷设 计温差 ℃	机组 cop	日错峰蓄 冷量 kWh	折算标准温差 错峰蓄冷小时 数 h	蓄冷设施 所需有效 容积 m³	蓄冷设施 增量成本 万元	夏季全 负荷调 峰小时 数 h	夏季节 省电费 万元	非夏季 全负荷 调峰小 时数 h	非夏季节 省电费 万 元	年节省 电费 万 元	静态投资 回收期 a
大工业用电	15/21	一次泵系统	水蓄冷	闭式	6	7.5	101280	8	14466	7956.3	736	146.61	1197	238.422	385.03	20.66
				闭式	6	7.5	101280	8	14466	7956.3	736	146.61	1197	238.422	385.03	20.66
				开式	6	7.5	101280	8	14466	2893.2	736	146.61	1197	238.422	385.03	7.51
		二次泵系统	水蓄冷	闭式	12	6.4	86424	6.83	6174	3395.7	628	118.83	1022	193.36	312.19	10.88
				开式	12	6.4	86424	6.83	6174	1234.8	628	118.83	1022	193.36	312.19	3.96
				冰蓄冷	\	\	5.1	69411	5.48	1542	1073.82	504	86.97	820	141.566	228.54

由表 3 可知：

(1) 执行大工业用电电价的数据中心峰谷电价比值高于执行一般工商业用电电价的数据中心；执行大工业用电电价的数据中心采用错峰蓄冷技术的投资回收期小于同配置执行一般工商业用电电价的数据中心。

(2) 当数据中心冷冻水系统设计供回水温度较低时，全年完全自然冷却及部分自然冷却时间较短，采用错峰蓄冷技术的调峰作用较好；冷冻水系统设计供回水温度低的数据中心采用错峰蓄冷技术的投资回收期小于同配置冷冻水设计供回水温度高的数据中心。

(3) 无论何种情况，采用闭式蓄冷设施进行错峰蓄冷的投资回收期均较大，可认为采用闭式蓄冷设施的数据中心不具备错峰蓄冷可行性。

(4) 采用开式水蓄冷设施进行大温差错峰蓄

冷投资回收期最短，冰蓄冷次之；冰蓄冷技术蓄冷设施容积要求最小，且显著小于其他情形，大温差水蓄冷次之；当地条件充足时，建议采用开式水蓄冷设施进行大温差错峰蓄冷，当地条件有限时，可考虑冰蓄冷技术进行错峰蓄冷。

由表 3，表 4 对比可知：

(5) 当用于错峰蓄冷的主机台数增加时，会造成错峰蓄冷设施增量成本显著增加。

(6) 用于错峰蓄冷主机台数多的数据中心，当部分自然冷却季节系统高峰负荷低于错峰蓄冷的供冷能力时，错峰蓄冷将部分运行在电价平段时段，错峰蓄冷调峰作用较同配置用于错峰蓄冷主机台数少的数据中心弱，投资回收期增大。

## 5 结论

在上海地区数据中心错峰蓄冷设施在项目规

划前期，有政府的政策鼓励，利于项目实际落地；在项目的全生命周期，有利于降低数据中心运行费用，并可平滑电网负荷曲线，减少电网电力设施投入和稳定电网运行。本文通过分析上海地区执行不同电价、采用不同设计供回水温度、不同蓄冷形式、不同备份形式的数据中心错峰蓄冷经济性，确定了

上海地区采用 N+1 形式的数据中心采用大温差开式水蓄冷或冰蓄冷作为错峰蓄冷具有可行性。当场地条件充足时，建议采用大温差开式水蓄冷做错峰蓄冷；当场地条件有限时，冰蓄冷做错峰蓄冷也是一种优良方式。

（下转第 128 页）