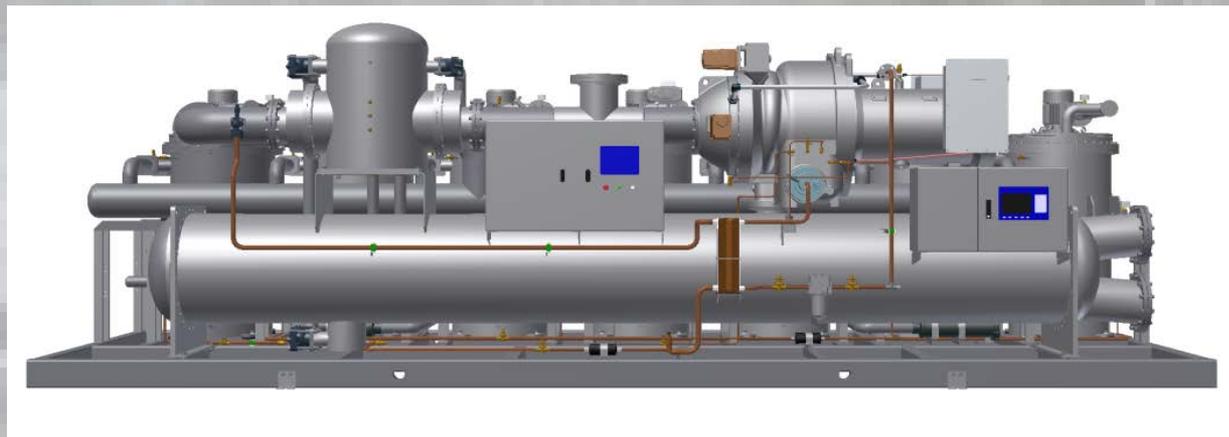


蓄能空调冷热源系统2025



——流态冰（冰晶）冷水机组应用概论



中机西南能源科技有限公司

周 平 中 研究员

二零一五年十月

主要内容

- 1 蓄能空调冷热源系统2025（3化4个要点、实践。。。）
- 2 核心装备流态冰冷水机组（历程、特征、功能、结构。。。）
- 3 流态冰冷水机组一般应用（原理、对比、评价指标、案例。。。）
- 4 蓄能设备全时工作理念（空调设备日均负荷系数。。。）
- 5 闭式承压动态直接蒸发制冰蓄冰，蓄冷供冷介质合一直接融冰供冷技术
- 6 供冷介质低温大温差（低循环）量供冷技术（主要内容、供冷介质温差与流量的关系。。。）
- 7 流态冰冷水机组高效应用（理想PZ系统、方案、高效低投资案例。。。）
- 8 流态冰蓄能空调冷热源系统一体化技术（原理、热泵效率、提示、案例、方案。。。）
- 9 区域供冷冰晶蓄能系统（原理、对比指标、方案。。。）
- 10 蓄能空调冷源系统PZ智能控制技术(基础、简约。。。)
- 11 生产基地（背景、场地。。。）
- 12 延伸课题（末端、保温、潜热供冷、高贮冰率。。。）

鸣谢



1-1 蓄能空调冷热源系统2025

蓄能空调冷热源系统2025主要内涵：

- 1 系统简约、高效、智能
 - 2 装机容量约为普通空调一半
 - 3 初始投资（含输变电）与普通空调相近
 - 4 运行效率与普通空调相似，无峰谷电价差也能得到应用
- 诸方面互为因果将推动蓄能空调革命性进步

1-2 蓄能空调冷热源系统2025实践



核心装备 + 一个理念 + 四种技术 = “蓄能空调冷热源系统2025”

以流态冰冷水机组为核心装备

综合应用一个理念、四种技术

或可实现蓄能空调冷热源系统2025。

蓄能设备全时工作理念

闭式承压动态直接蒸发制冰蓄冰，蓄冷供冷介质合一直接融冰供冷技术

供冷介质低温大温差低循环量供冷技术

蓄能空调冷热源系统一体化技术

蓄能空调冷源系统PZ智能控制技术

2-1 核心装备流态冰冷水机组——历程

冰蓄能梦：

发明一种既能直接蒸发制冰、动态制冰、闭式承压制冰，又能象普通冷水机组一样制冷水、制热水的 新型装备

矢志不移：

10多年投入大量人力物力，持之以恒多种科技创新方式并举：

主要部件自主创新+ 关键技术引进消化吸收再创新+整机集成创新

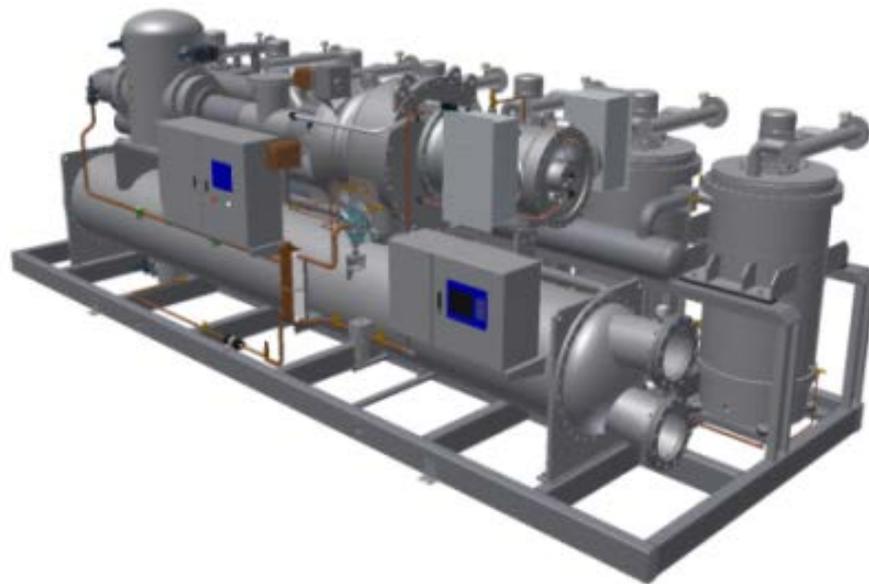
梦想实现：

专家鉴定会结论：流态冰冷水（热泵）机组研究属国内外首创，具有自主知识产权，达到国际领先水平

2-2 流态冰冷水机组---特征

二个特征：

1. 以约3.5%溶度改性抑制性乙二醇水溶液替代水作为供冷（蓄冷）介质的特殊冷水机组。空调工况特性与普通冷水机组相当，蓄能工况则利用乙二醇水溶液低温结晶特性制冰晶蓄能。
2. 机组采用立式满液式蒸发器(冰晶生成器)，该蒸发器配有旋浮式搅拌装置（轨道管摆动杆技术）强化换热，蓄冰时促进冰晶生成。



2-3 流态冰冷水机组---功能

三种功能：制冷水功能

制热水功能

制冰晶功能（蓄冰槽内泉涌与喷淋二种循环方式）

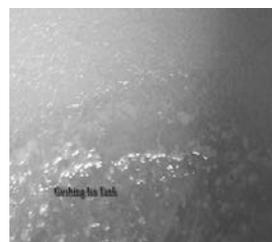
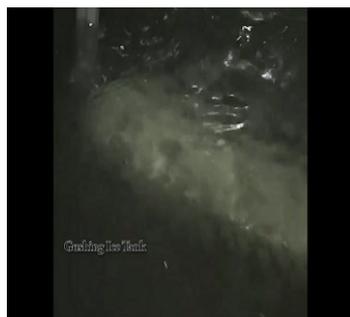
溶液 冰晶 流态冰 冰浆

溶液在蒸发器（冰晶生成器）中降温析出冰晶

流动中混合形成流态冰，流态冰平均质量溶度 $\sim 3.75\%$

在蓄冰槽内冰晶与溶液自然分离，溶液在下部冰晶在上部

通过搅拌形成冰浆



2-4 流态冰冷水机组---结构

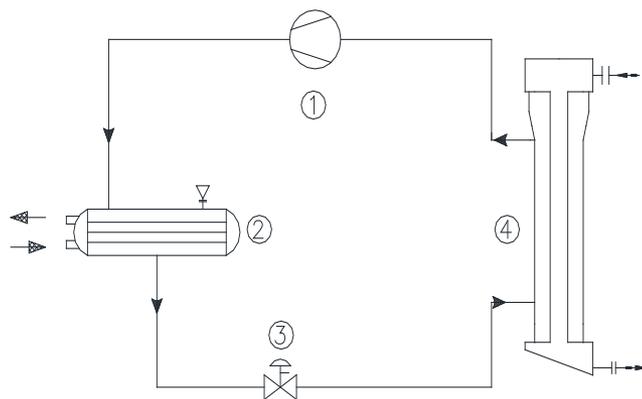
4 个主要器件

压缩机

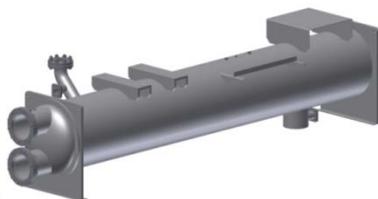
冷凝器

节流装置

蒸发器（冰晶生成器）



三菱重工离心机



2-5 流态冰冷水机组简介——制冷制冰循环介质



制冷制冰循环介质乙二醇水溶液浓度/冰点对照表

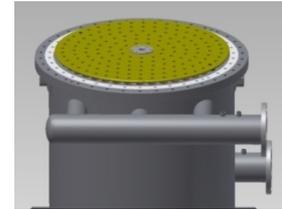
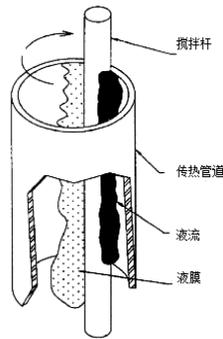
(3%溶度结晶温度约为-1℃)

体积分数, v/v %	冰点, °C
1.8	-0.6
3.6	-1.3
5.4	-2
7.2	-2.7
9.1	-3.5
10.9	-4.4
12.8	-5.3
14.6	-6.3
16.5	-7.3
18.4	-8
20.3	-9

2-6 流态冰冷水机组---冰晶生成器

蒸发器 +

冰晶生成器



2-7 流态冰冷水机组简介——能效

能量与效率

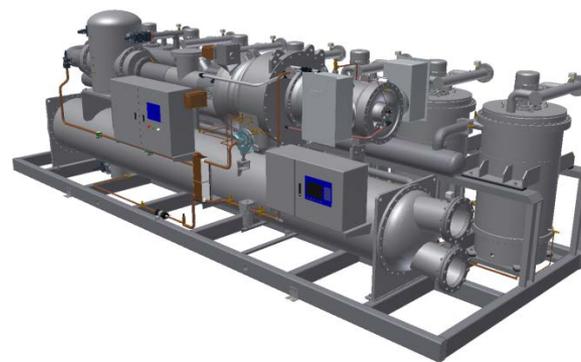
空调工况： 50RT — 1200 RT

制冰工况： 35RT — 850 RT

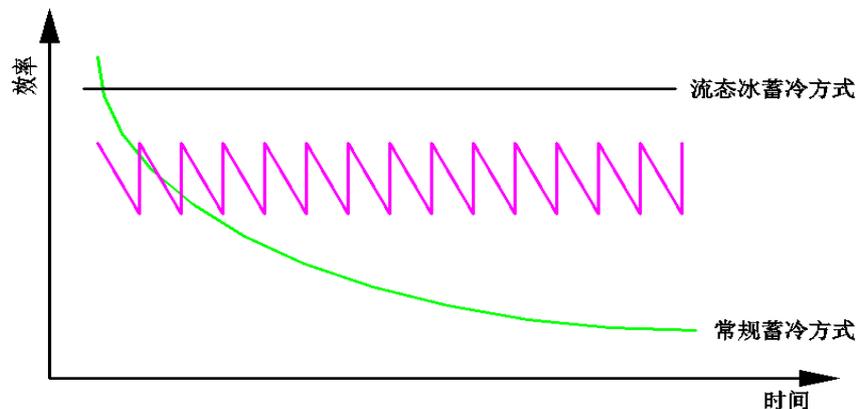
空调 COP : 5.9 (与配置压缩机有关)

制冰 COP : 4.8 (与配置压缩机有关)

制冰工况蒸发温度平均 -4.5°C



制冰效率曲线



2-8 流态冰冷水机组简介---其它特性

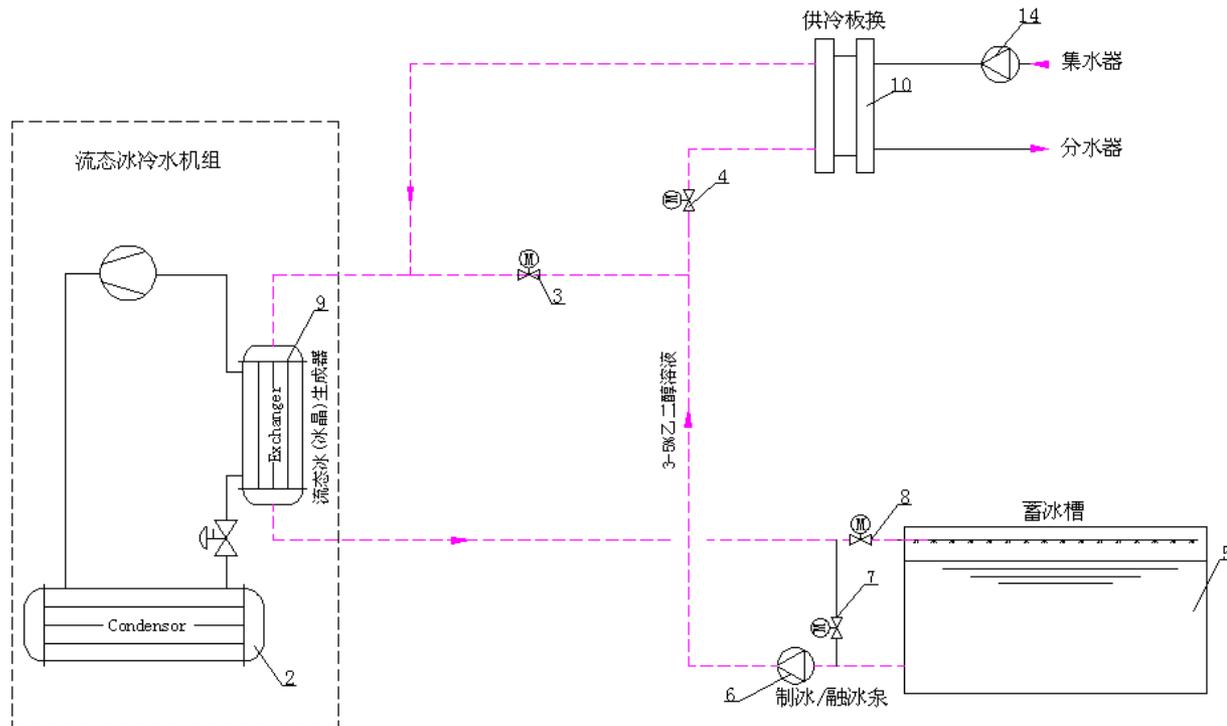
其它五种特性

- 1) 机组可实现承压制冰及闭式蓄冰；
- 2) 机组进出水温差可大于普通冷水机组、出水温度可低于普通冷水机组；
- 3) 热泵使用时可选用热源品种多（空气、水、土壤等），较低品位的热源如 2°C 的江河水也可从中汲热；
- 4) 流态冰可由管道直接输送，循环介质携冰晶显热加潜热混合供冷，其输送冷量大可降低系统投资及运行费用；
- 5) 制冰与储冰完全分离，在不改变蓄冰设备情况下，只需增大蓄冰槽，即可实现多日蓄冰。



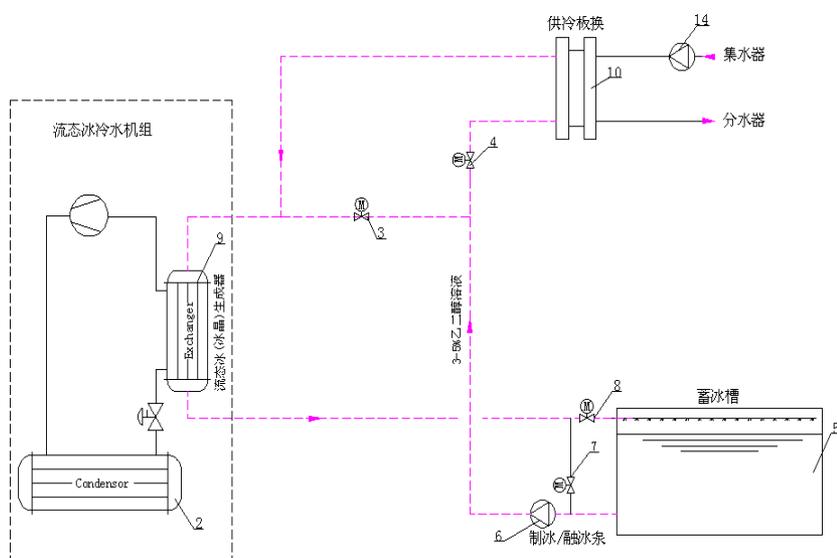
3-1 流态冰冷水机组一般应用

---开式冰晶蓄能空调冷源系统原理

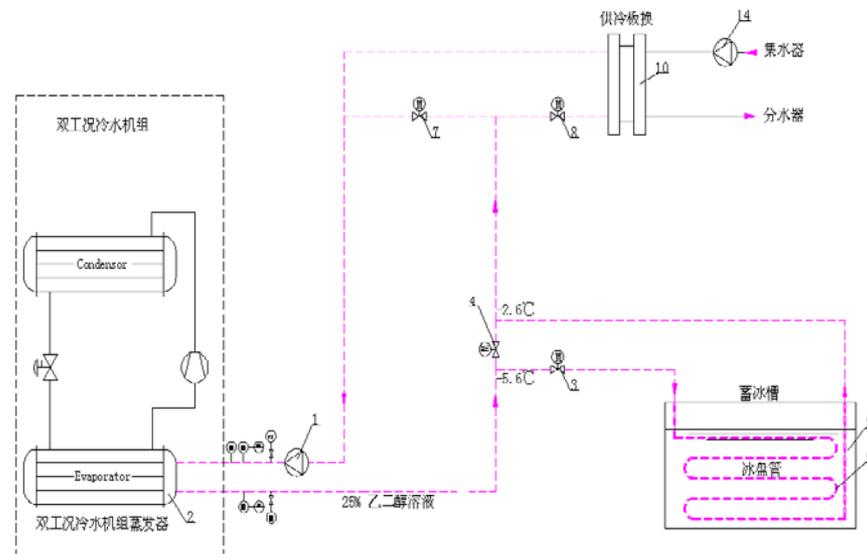


系统可实现制冷、蓄冷、联合供冷、单独融冰供冷等多项功能。

3-3 流态冰与盘管内融冰系统原理对比



流态冰系统



盘管内融冰系统

无论何种冰蓄能空调冷源系统，设计之初均可用“冰蓄能空调冷源系统评价指标”进行研判。

3-4 冰蓄能空调冷源系统21项评价指标

一 制冰/制冷设备（系统）评价要求及指标

- 1.1 蓄冰工况制冷主机蒸发温度：
- 1.2 制冷主机空调供冷蒸发温度：
- 1.3 蓄冰工况制冷量与空调工况制冷量比值：
- 1.4 蓄冰空调机房系统复杂程度：
- 1.5 蓄冰空调机房系统占地面积：
- 1.6 冰空调机房系统成本：
- 1.7 蓄冷扩容成本：

二 蓄冰槽评价要求及指标

- 2.1 体积利用率：
- 2.2 形状要求：
- 2.3 距离要求：
- 2.4 高度要求及空间利用率：
- 2.5 蓄冰及附属设备热损失：
- 2.6 开式蓄冰或闭式蓄冰：
- 2.7 蓄冰是否存在安全隐患：

三 融冰释冷供冷（方式）评价要求及指标

- 3.1 供冷温度：
- 3.2 直接融冰或间接融冰：
- 3.3 直接或间接向末端供冷：
- 3.4 低温大温差供水（循环介质）系统应用：

四 几项经济性评价要求及指标

- 4.1 施工难易程度；
- 4.2 维护难易程度；
- 4.3 蓄冰节省的运行费用。

3-5 流态冰冷水机组一般应用案例



- ◆ 项目名称：深圳豪方天际花园
项目类型：写字楼

项目总建筑面积12万平方米，
建筑高度208米。

冰蓄冷量：12427RTH

冷源与末端设匹配还可优化！

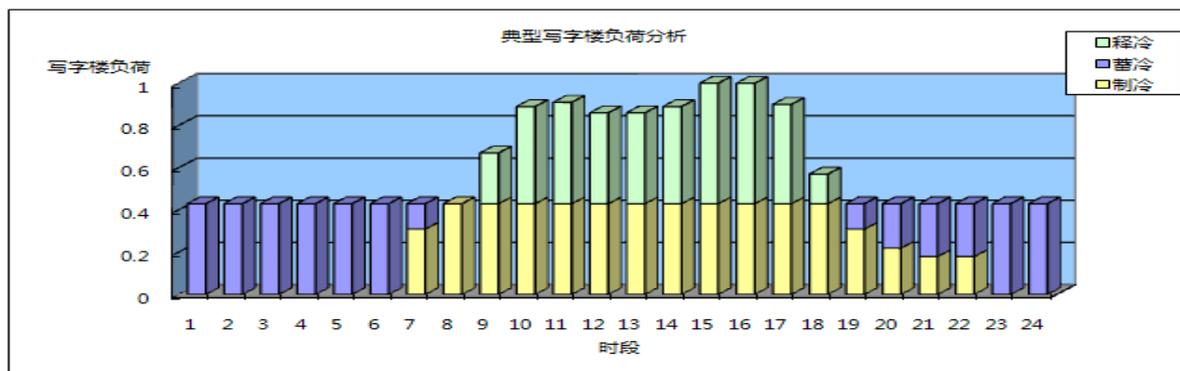
4-1 蓄能设备全时工作理念

蓄能空调系统整体效率较高时方可引用全时工作理念

- 1) 因由：通常空调系统设计日24小时的平均负荷不足设计负荷的45%。
- 2) 意义：减少空调系统装机容量是最直接的节能减排举措，是对社会重要贡献。
- 3) 应用：装机容量按日均负荷配置（通常<普通空调装机容量的50%）；

设计日始终保持满载运行，有负荷供冷，没负荷蓄冷，或边供冷边蓄冷；

非设计日考虑峰谷电因素，低峰平峰用电时段多开机， 高峰用电时段少开机或不开机。





4-2 部分业态空调设备日均负荷系数

部分业态24小时空调平均负荷系数汇总（平均0.434）

时间	写字楼	宾馆	商场	餐厅	咖啡厅	夜总会	保龄球	负荷系数 平均值
1		0.16						0.023
2		0.16						0.023
3		0.25						0.036
4		0.25						0.036
5		0.25						0.036
6		0.5						0.071
7	0.31	0.59						0.129
8	0.43	0.67	0.4	0.34	0.32			0.309
9	0.7	0.67	0.5	0.4	0.37			0.377
10	0.89	0.75	0.76	0.54	0.48		0.3	0.531
11	0.91	0.84	0.8	0.72	0.7		0.38	0.621
12	0.86	0.9	0.88	0.91	0.86	0.4	0.48	0.756
13	0.86	1	0.94	1	0.97	0.4	0.62	0.827
14	0.89	1	0.96	0.98	1	0.4	0.76	0.856
15	1	0.92	1	0.86	1	0.41	0.8	0.856
16	1	0.84	0.96	0.72	0.96	0.47	0.84	0.827
17	0.9	0.84	0.85	0.62	0.87	0.6	0.84	0.789
18	0.57	0.74	0.8	0.61	0.81	0.76	0.86	0.736
19	0.31	0.74	0.64	0.65	0.75	0.89	0.93	0.701
20	0.22	0.5	0.5	0.69	0.65	1	1	0.651
21	0.18	0.5	0.4	0.61	0.48	0.92	0.98	0.581
22	0.18	0.33				0.87	0.85	0.319
23		0.16				0.78	0.48	0.203
24		0.16				0.71	0.3	0.167
24小时平均	0.425	0.572	0.433	0.402	0.426	0.359	0.434	0.436

摘编自：彦启森、赵庆珠《冰蓄冷系统设计》

4-3 减少装机容量是最直接的节能减排举措

流态冰蓄能全时工作系统装机容量平均为常规空调装置的43%，解决了常规空调装机容量闲置浪费这一世界性课题。配电低、投资少、运行省。可为社会节约巨额电厂、电网投资，为用户节省大笔配电和机房投资，结合峰谷电价优惠政策，大大减少运行费用，是空调技术的重大革命性进步。

流态冰蓄能全时工作系统大大减少电力装机容量和电厂建设投资。2011年度中国大陆市场中大型空调机组销售额约为140亿元人民币，机组装机容量约为1020万千瓦。如其中50%采用全时工作系统，一年可减少电力装机容量290.7万千瓦（ $1020 \times 0.5 \times (1 - 0.43)$ ），减少电厂建设投资150亿元人民币（未包括配套的输变电设备投资）。

流态冰蓄能全时工作系统大大减少二氧化碳排放量。如一年少建290万千瓦规模火力发电厂（正常火电机组年平均工作时间约6000小时），则全年可减少二氧化碳排放量1422万吨。（2010年中国大陆火电机组平均供电煤耗为0.333千克标准煤/千瓦时；按照中国国家发改委推荐值，折算系数为2.4567tCO₂/tce，即燃烧一吨标准煤将产生2.4567吨的二氧化碳排放量。）

5-1 闭式承压动态直接蒸发制冰蓄冰， 蓄冰供冷介质合一直接融冰供冷技术



闭式、承压、动态、直接蒸发制冰、蓄冰可实现蓄冰介质与供冷介质合二为一直接融冰向末端供冷，系统无需设置一次泵与板式换热器，减少蓄冰、融冰及供冷过程中多次间接换热。

冰晶系统：

流态冰冷水机组可以在闭式、承压条件下直接蒸发、动态制取冰晶与蓄冰（供冷）介质混合成流态冰，经管道泵送至承压贮冰罐或高位贮冰槽中。贮冰槽建设与维修保养简便；制冰蓄冷高效；供冷（蓄冷）介质直接融冰释冷向末端供冷，过程可控。

静态系统：

在钢制承压桶罐中设置结冰钢盘管，实际应用有局限性。体积、重量、制造、制冰冷源、融冰释冷及维修等问题均有待解决

5-2 闭式承压直接蒸发动态制冰蓄冰， 蓄冷供冷介质合一直接融冰供冷技术实例



合川高新产业园核心区2万平米生活区建筑



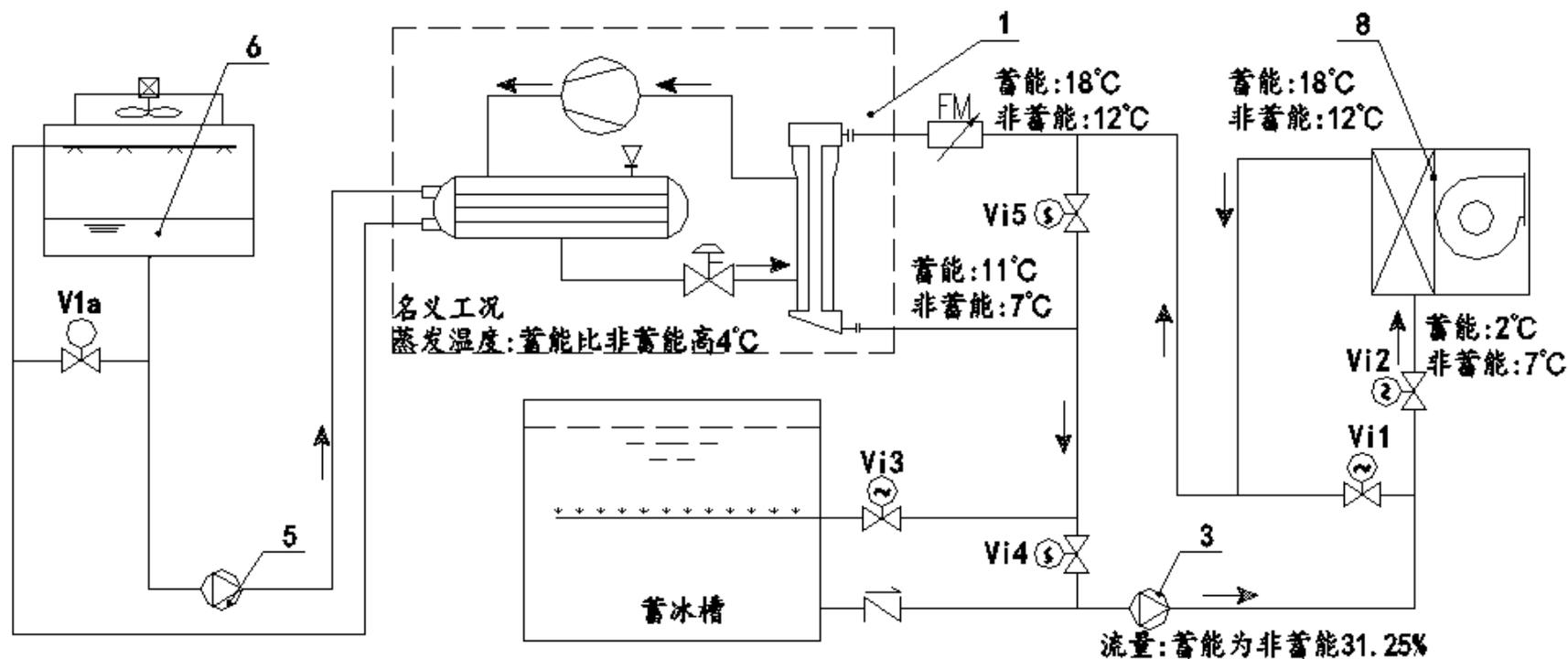
6-1 供冷介质低温大温差（低循环量）供冷技术

技术要点：

- 1 空调末端空气循环侧参数不变；
- 2 空调末端换热器有色金属用材基本不变；
- 3 循环介质水或其它溶液用远低于 7°C 而接近蓄冰的温度向空调末端供冷，循环介质离开空调末端的温度远高于 12°C ，空调末端循环介质进出温差大于 16°C ；
- 4 循环介质循环量低至标准流量的31.3%
- 5 流态冰冷水机组空调工况蒸发器进口循环介质温度为 18°C ，进出温差 7°C

7-1 流态冰冷水机组高效应用

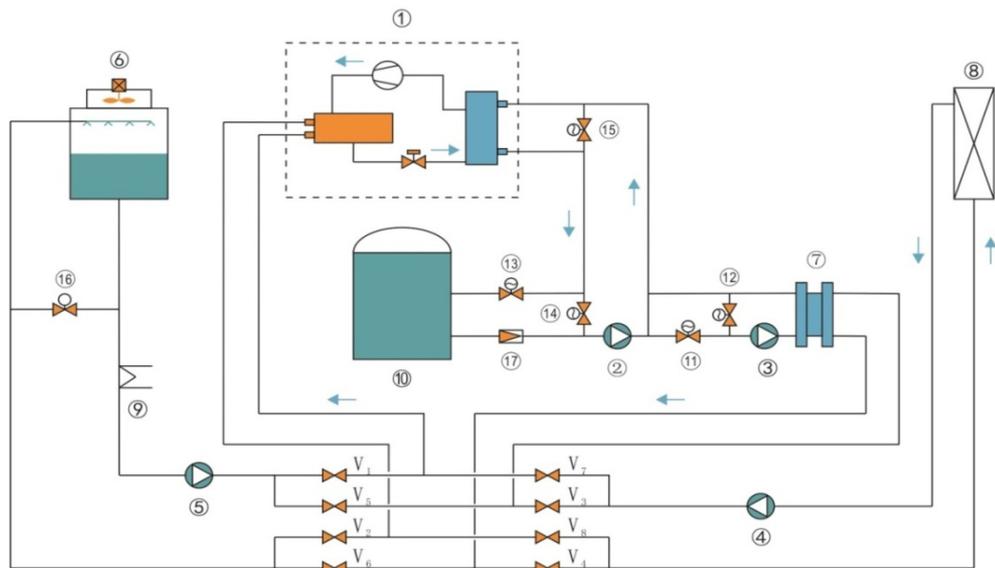
---闭式冰晶蓄能空调冷源系统（理想PZ系统）



1、流态冰机组 3、溶液泵 5、循环泵 6、冷却塔 8、用户端设备

8-1 流态冰蓄能空调冷热源系统一体化技术

(开式冷却塔+低谷电间接蓄热或空气源热泵)



系统可实现制冷、蓄冷、联合供冷、单独融冰供冷及制热等多项功能；间接电蓄热

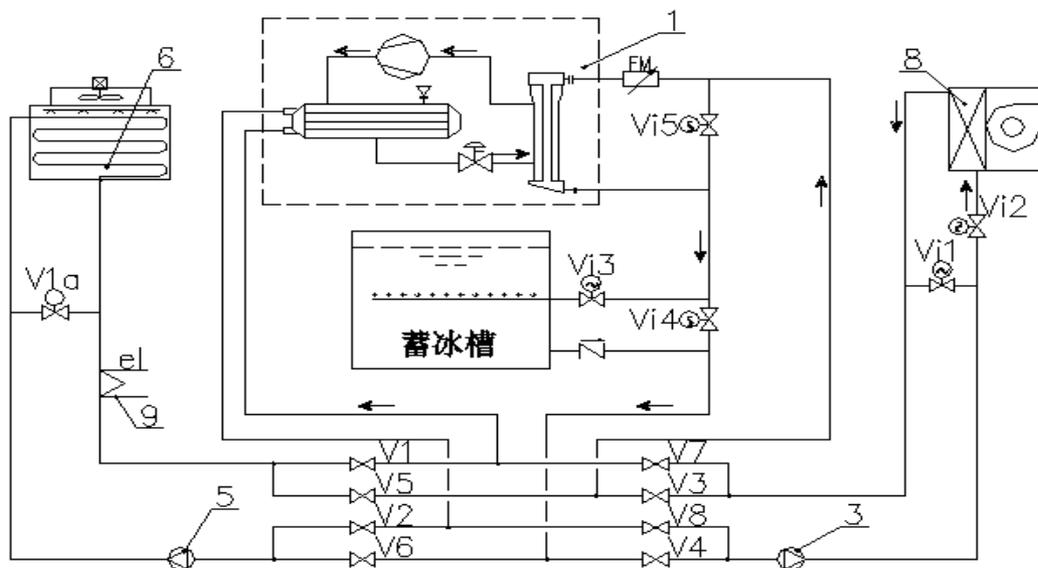
原理：

供热时，即时或分时向大气或其它热源全部或部分放冷。当放冷速率跟不上时，冷量就以冰晶的形式蓄存，供热放冷可以不同时，如10小时供热可以24小时错时放冷；

大大提高热源系统的稳定性，还可减少地埋管数量；

有条件时可用低谷电化冰间接蓄热。

8-3 流态冰蓄能空调冷热源系统一体化技术 (闭式空气源+水地源)



1、流态冰机组 2、一级循环泵 3、二级循环泵 4、溶液泵 6、循环泵 6、冷却塔 8、用户端设备 9、辅助电加热

制冷：V1, V2, V3, V4开启；V5, V6, V7, V8关闭
制热：V1, V2, V3, V4关闭；V5, V6, V7, V8开启

提示：

在任何区域，但凡设计确定采用蓄能空调供冷同时又有供热需求的项目，均可应用流态冰蓄能系统。这样既能满足供冷需求，又能满足全部或部分供热需求。

引自：周平中李子明汪瑞东等《流态冰蓄能热泵供热系统概论》

8-4 流态冰蓄能空调冷热源系统一体化技术应用案例



项目名称：上海智富婚庆MALL

项目类型：商业

项目总建筑面积：

冰蓄冷量：5600RTh

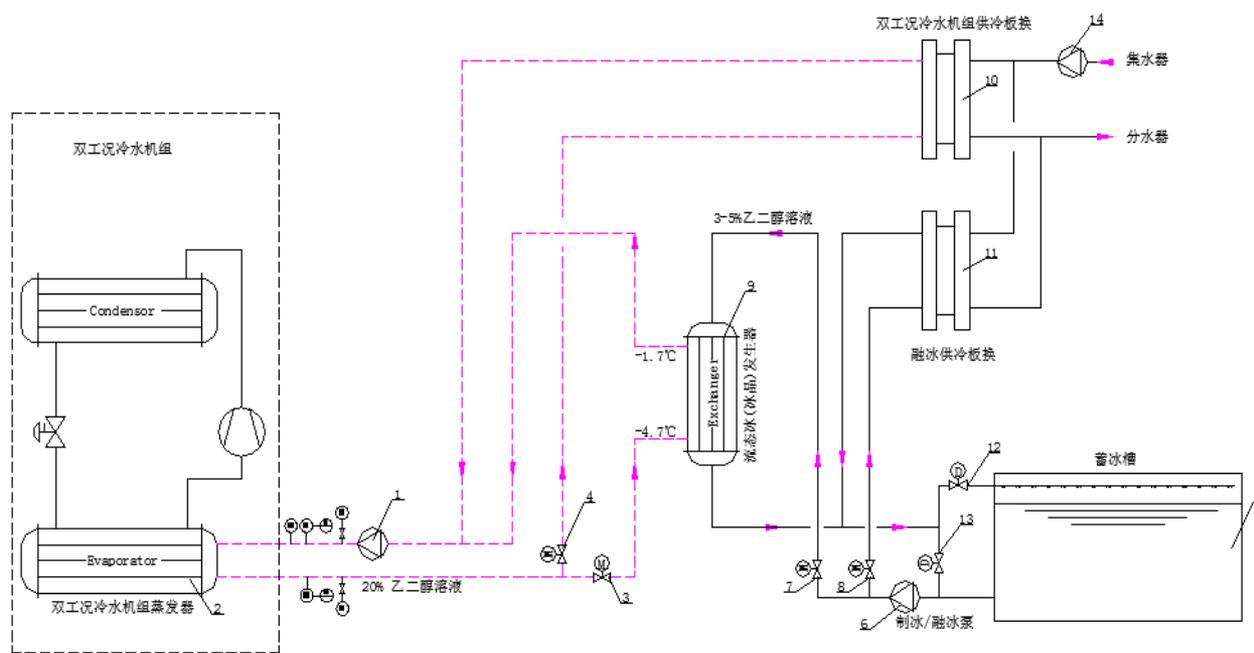
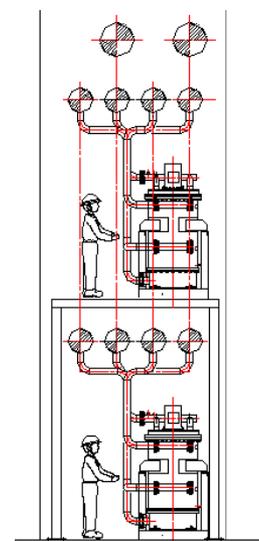
供冷尖峰负荷：4000kW

供热尖峰负荷：2000kW

普通冷却塔空气源+低谷电加热融冰间接蓄热

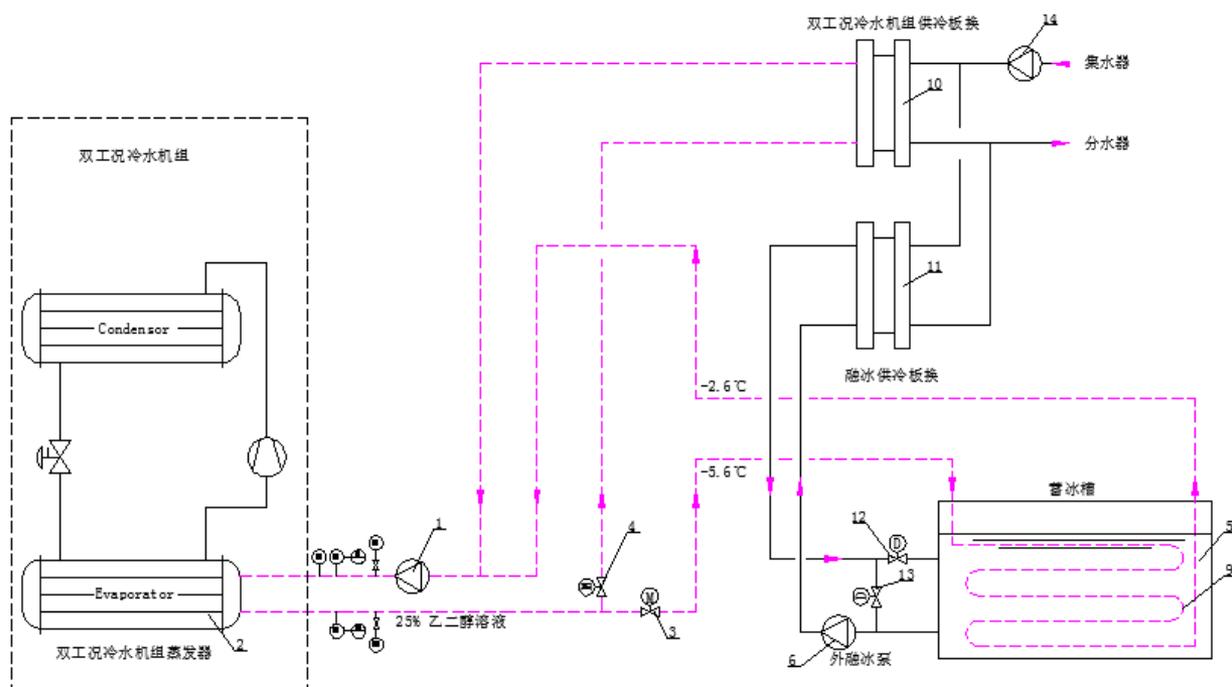
9-1 区域供冷间接冷源冰晶蓄能系统

通常单机冷量大于1200RT时可用双工况冷水机组冷源(-4.7℃制冰)冰晶生成器替代钢盘管。
区域供冷采用流态冰（冰晶）蓄能系统是极其重要的技术进步。



9-2 区域供冷间接冷源盘管外融冰蓄能系统

区域供冷间接冷源盘管外融冰蓄能系统



9-3 区域供冷蓄能系统技术经济指标

流态冰蓄能系统优于盘管外融冰蓄能系统的12项技术经济指标：

9项技术指标：

- 1 双工况主机蓄冰工况制冷量
- 2 系统蓄冰总量
- 3 释冷供冷特性
- 4 蓄冰装置单元容量
- 5 蓄冰率及蓄冰槽占地面积
- 6 蓄冰装置设计布置难度
- 7 蓄冰量扩容
- 8 剩冰对再次蓄冰的影响
- 9 冰桥的安全隐患

3项经济指标：

- 1 施工维护难易程度
- 2 系统初投资
- 3 蓄冰节省的运行费用

9-5 区域供冷间接冷源冰晶蓄能系统应用分析 a--f



a 盘管外融冰系统与流态冰系统相同之处都采用双工况冷水机组、乙二醇溶液泵、机组供冷板换、融冰供冷板换、融冰泵等。二种蓄冰系统不同之处有乙二醇载冷剂溶度、蓄冰介质品种、蓄冰冷源温度、蓄冰装置所处位置、结冰方式、蓄冰槽要求、泵运行功率等；

盘管外融冰系统蓄冰介质为淡水，流态冰系统蓄冷介质通常为3.5%溶度乙二醇溶液。

b 当采用相同离心式双工况冷水机组时，由于供冷温度不同，流态冰系统中机组蓄冰量比盘管外融冰系统中机组蓄冰量大7.6%左右，能效比高2%左右；

盘管外融冰系统受设备匹配及蓄冰时段部分盘管提前关闭等因素制约，蓄冰后期主机须降载蓄冰，整个蓄冰时段主机平均载荷仅为88%左右。因此，主机相同时流态冰系统蓄冰时段蓄冰总量比盘管外融冰系统大22%。

c 二种蓄冰系统蓄冷槽出水温度均较低、冰水直接接触适合低温供冷。流态冰系统低温供冷更稳定。

d 流态冰系统制冰装置单元模块蓄冰容量是盘管式制冰装置单元模块的15倍。

e 当蓄冰槽体积相同时，流态冰系统可以比盘管外融冰系统（蓄冰时间8小时）多蓄冰8小时，蓄冰槽蓄冰量增加144%（ $1 \times 1.22 \times 2 = 144\%$ ）。

f 盘管外融冰装置在蓄冰槽内布置、分组设计难度大。流态冰系统蓄冰装置在蓄冰槽外布置灵活，相应蓄冰槽内仅有布水与出水管很简洁设计难度小。

参考：周平等《区域供冷采用流态冰（冰晶）蓄冰系统浅析》

9-6 区域供冷间接冷源冰晶蓄能系统应用分析 g--j



g 盘管外融冰系统蓄冰槽形状受蓄冰装置影响形状需比较规整，空间利用率低；蓄冰率为20%-30%，蓄冰率低，蓄冰槽容积大，占地面积大。

流态冰系统蓄冰槽中无制冰装置，形状要求不高，可以充分利用不规整空间。蓄冰率为50%-70%，蓄冰率高，蓄冰槽容积小，占地面积小。

盘管外融冰系统蓄冰槽占地面积是流态冰系统蓄冰槽占地面积的2.5倍左右。

h 盘管外融冰系统蓄冰槽容易发生的问题：融冰不均匀导致剩冰、外融冰布水不均导致剩冰、剩冰导致的蓄不满冰、多组盘管间存在融冰不均匀；

对于流态冰系统这些问题均不存在。

i 盘管外融冰系统制冰、储冰一体，若要延长蓄冰时间增加蓄冷量就必须增加蓄冰装置，投资增加较多；流态冰系统制冰、储冰分离，若要延长蓄冰时间增加蓄冷量只需增大蓄冰槽体积，设备初始投资低。

当双工况主机相同蓄冰槽体积按盘管外融冰系统选取时，流态冰系统允许的蓄冰时间是盘管外融冰系统的2倍，流态冰系统蓄冰槽的蓄冰容量是盘管外融冰系统的2.5倍。

j 冰桥问题在外融冰盘管中是一个普遍的现象。冰桥生成后会挤压盘管，影响盘管的寿命，并最终造成泄漏；

流态冰系统没有这些安全隐患。

9-6 区域供冷间接冷源冰晶蓄能系统应用分析 k--m

k 盘管外融冰系统蓄冰设备置于冰槽内部，冰槽内接管较多，施工难度大，维护保养工作难度更大，有些泄漏无法修只能堵，牺牲成片成组蓄冰盘管；

流态冰系统简单，蓄冰装置置于蓄冰槽之外，操作简单、维护方便。只需定期检修更换部分运动摩擦副。

l 盘管外融冰系统与流态冰蓄冰系统相比初投资较高。冰槽部分高40%-60%；制冰装置部分高15%-20%。

m 配备相同的双工况冷水机组时，流态冰系统蓄冰节省的运行费用比盘管外融冰系统多22%左右；当流态冰系统配备与盘管外融冰系统相同体积的蓄冰槽时，即可实现双日蓄冰，需要时流态冰系统每周可多蓄冰8小时，蓄冰节省的运行费用比盘管外融冰系统多20.3%（按流态冰一周蓄7天、盘管外融冰一周蓄6天计算）。二项之和流态冰系统蓄冰节省的运行费用比盘管外融冰系统多42.3%。

参考：周平等《区域供冷采用流态冰（冰晶）蓄冰系统浅析》

10-1 蓄能空调冷源系统PZ智能控制技术-基础

空调系统负荷变化是典型的具有动态性、时变性、多扰量性、不确定性等随机特性的非线性过程。

通过蓄能空调负荷预测确定供冷策略是节约运行成本的基础

（以往人们研究多，越研究越复杂）；

蓄冷量合理分配（制定运行策略，主机供冷、冰槽供冷或二者联合供冷）是节约运行成本的重要途径

（以往技术措施跟不上，有难度）。

负荷预测： 室外气象参数预测（温度、辐射、湿度）

逐时冷负荷预测（BP神经网络算法：输入、隐含、输出）

蓄冷量分配： 蓄冷量分配要求准确

优先满足尖峰负荷蓄冷量需求

其次尽量分配在峰电时段

最后供冷时段结束时蓄冷量用完

其它约束条件： 主机提供负荷不小于其额定制冷量的50%（设备安全）

10--2 蓄能空调冷源系统PZ智能控制技术-简约



PZ 智能控制技术主要包含两个方面：

一 建立数字化蓄能空调冷源系统

制冷释冷能量无极调控；制冷量、蓄冷量、释冷量及功率计量准确；

具备自学习功能，自动分析归集系统压缩机、水泵、冷却塔风机等变工况特性以及系统能量损失等数据；

具备自整定功能，可以随时修定、调整运行策略。

二 控制方式“简约”

改负荷预测为：预测+实时测量，并以实时测量为主。

将系统前一日（或数日）实测逐时（可小于1小时）负荷（平均）值（经当日气象参数预测修正后）作为当日负荷预测值来制定当日运行策略（冰量分配）；

运行时逐时（可小于1小时）计量冷负荷且与预测值比较，计算出偏差（蓄冷量分配偏差），动态调整当天乘余时段负荷预测值及运行策略（重新分配蓄冷量）。

全时工作的流态冰蓄能空调冷源系统，设备满载运行机会多、融冰特性极佳、控制简单，更易于应用PZ智能控制技术。

11-1 生产基地—背景

- 中机西南能源科技有限公司属于中国央企
隶属中国机电集团 中国农业机械化科学研究院，新能源板块蓄冰空调产业基地。
位于：中国 重庆合川高新核心区 占地800亩 30万平米建筑



11-2 生产基地一场地

流态冰/冷水机组生产线

1.8万平米总装车间，30吨轨道车

2400RT多功能机组试验台



谢谢！

周平中

+86 13905172442

13905172442@139.com

文件中图表视频由汪瑞东、周健等协助编制