

工艺冷源用共晶盐低温动态蓄冷系统的经济性分析*

仲恺农业工程学院 邓玉艳* 丁力行
浙江美阳石化医药工程设计有限公司 肖 鹏

摘要 针对化工生产低温冷冻站运行费用过高和供水温度不稳定的问题,建议采用工艺冷源用共晶盐低温动态蓄冷系统。以某医药化工厂低温冷冻站为例,分析、比较了低温蓄冷系统和常规冷冻系统的能耗和经济性。

关键词 低温蓄冷 共晶盐 工艺冷源 经济性

Economic analysis of process cold source with the eutectic salt low temperature dynamic cool storage system

By Deng Yuyan★, Ding Lixing and Xiao Peng

Abstract Proposes adopting the system for solving the problems of overhigh operating costs and unstable supply water temperature in the low temperature refrigeration station for chemical production. Taking a pharmaceutical chemical plant as an example, analyses and compares the energy consumption and economic efficiency of the low temperature dynamic cool storage system and the conventional refrigeration systems.

Keywords low temperature cool storage, eutectic salt, process cold source, economic efficiency

★ Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, China

①

蓄冷技术能有效地移峰填谷,平衡电网的供电负荷,具有显著的社会和经济效益。医药、化工、食品等领域的生产工艺需要低温环境,因此许多工厂都设有冷冻站。然而,在对多个工厂的冷冻站进行调研后发现,冷冻站的运行电费惊人,几个月的运行电费往往就超过购置冷冻设备的投资,节约冷冻站的运行电费成为企业亟待解决的问题。

本文提出一种共晶盐低温动态蓄冷系统,并结合浙江省某医药化工厂冷冻站设计项目实例,分析其适用性和经济性。

1 共晶盐低温动态蓄冷系统的应用

1.1 化工企业工艺用冷的特点^[1]

*“十一五”国家科技支撑计划项目(编号:2006BAJ04A04-06);广东省科技计划项目(编号:2007B080701002);广东省高等学校人才引进专项资金项目

1) 一天内不同时段工艺用冷负荷是变化的,冷媒温度范围大多集中在 $-35\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,冷冻站常规冷冻方案是以一定浓度的盐水溶液作为载冷剂,利用低温盐水机组将载冷剂冷却到所需温度,然后由循环泵送入盐水箱,再由冷冻盐水泵输送至生产车间。

2) 末端用冷设备通常是反应釜,采用夹套换热方式,系统为开式供冷方式。

3) 被冷却介质温度不稳定,使夹套回水温度波动很大,这对保持稳定的供水温度不利。企业往往通过加大盐水箱容积,以减小回水温度变化造成

①☆ 邓玉艳,女,1965年10月生,硕士,工程师
510225 广州市纺织路东沙街24号仲恺农业工程学院机电工程学院
E-mail: dengyuyan@yahoo.com.cn
收稿日期:2010-03-03

的影响。

4) 企业通常在夜间利用盐水槽进行蓄冷,并尽量降低盐水槽温度。在调研中发现,有的盐水槽一天内温度变化范围可达 $-20\sim-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在夜间,盐水槽温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$,而白天用冷高峰时,盐水槽温度只有 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。温度过低,会降低制冷机效率;而温度过高又会影晌工艺冷却速度,对生产和节能都不利。

1.2 共晶盐低温动态蓄冷系统

针对上述特点,对有低温要求的工业企业,可以采用某种盐类的水溶液作为蓄能材料,使其共晶温度与工艺要求的温度相同或接近,应用时使其在共晶温度下相变,实现在此温度下的蓄冷和释冷,保证向车间提供稳定的供水温度。

图 1 为典型的共晶盐低温动态蓄冷系统流程。系统采用冰片滑落式蓄冷设备。选用合适的盐类水溶液作为载冷剂和蓄冰介质,使其共晶温度与工程应用温度相同。

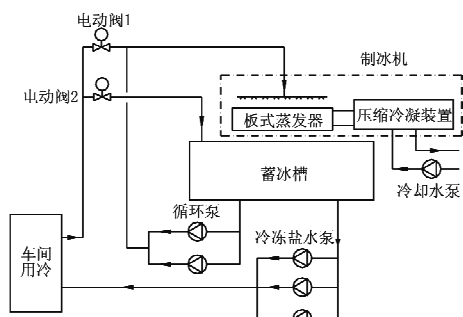


图 1 共晶盐低温动态蓄冷系统流程

1.3 蓄冷系统运行流程

蓄冷系统具有独立的制冰和外供低温盐水流程,可实现制冰、供冷、制冰和供冷同时进行等不同的运行方式。

1.3.1 制冰流程

冷冻盐水泵从蓄冰槽下部抽吸盐水并喷洒在板式蒸发器上,制冰机处于制冰工况,其蒸发温度比共晶温度低 $6\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,盐水在共晶温度下结冰,冰层附着在蒸发器上,厚度增加至 $8\sim 10\text{ mm}$ 时,制冰机运行工况转变为脱冰工况,压缩冷凝装置的高温气态制冷剂流经蒸发器,使附着其上的冰脱落,存于蓄冰槽中。

1.3.2 供冷流程

冷冻盐水泵将蓄冰槽中共晶温度的盐水输送

至车间用冷岗位。融冰供冷时,电动阀 1 关闭,回水通过电动阀 2 回蓄冰槽,较高温度的盐水喷洒在冰上,使冰融化;在用冷高峰时,电动阀 2 关闭,回水通过电动阀 1,先至喷淋装置,经过蒸发器冷却后再回至蓄冰槽,此时调高制冰机的蒸发温度,使蒸发器仅起冷却作用,不产生制冰效果。由于蓄冰槽中盐水一直处于冰水混合状态,保证了供冷介质的温度与盐水溶液共晶温度相等。

2 实例分析

2.1 概况

浙江某制药厂精制车间因生产工艺要求需设置一冷冻站,全年向生产车间提供 $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷冻盐水,生产工艺的设计日峰值冷负荷为 416.7 kW ,日总冷负荷为 $6\,922.2\text{ kWh}$,逐时冷负荷率分布如图 2 所示^①。由图 2 可见,车间的日逐时冷负荷变化较大,峰、谷负荷率相差 90% ,而冷负荷高峰基本出现在电网高峰和平峰时段。当地电力部门实施了峰谷分时电价政策,见表 1。因此该冷冻站可考虑采用蓄冷技术。

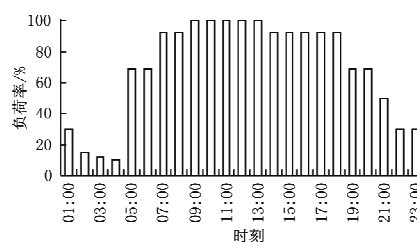


图 2 车间逐时冷负荷率分布图

表 1 药厂所在地区电网电价

	高峰时段	平峰时段	低谷时段
	11:00—13:00 18:00—22:00	08:00—11:00 13:00—18:00	22:0—08:00
电价/(元/(kWh))	1.050	0.841	0.388

2.2 蓄冷设计方案

采用图 1 所示的共晶盐低温动态蓄冷系统,选择质量分数为 25% 的氯化镁溶液作为载冷剂,其共晶温度为 $-19.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。选择 1 台片冰式制冰机组,配备相应的循环泵和冷冻盐水泵^①;经计算^[1],系统需要的最大蓄冰容积为 56.6 m^3 ,蓄冰槽设计尺寸为 $11\,000\text{ mm}\times 3\,500\text{ mm}\times 2\,800\text{ mm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 深)。

^① 肖鹏. 一种可用于化工生产的低温蓄冷方法的可行性研究[J]. 化工暖通空调, 2009, 2(4): 31-37

2.3 蓄冷系统运行策略

系统运行策略如图 3 所示。

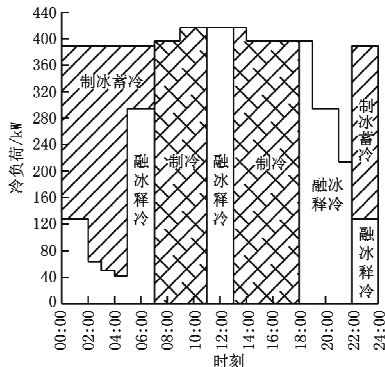


图 3 蓄冷系统运行策略

1) 在 22:00—07:00 时段,工艺用冷负荷较小,电网处于低谷时段。系统制冰蓄冷和融冰释冷同时进行,制冷机工作于制冰工况。考虑脱冰能量损失^[1],制冰机共制备 3 353.4 kWh 冷量,其中 1 255.6 kWh 供生产需要,剩余的制冷量蓄存于共晶盐冰中,该时段结束时,蓄冷量达到一天的最大值 2 097.8 kWh。

2) 在 07:00—11:00 和 13:00—18:00 时段,电网处于低谷和平峰时段。工艺用冷负荷较大,逐时负荷率为 92%~100%。制冷机工作于制冷工况,蒸发温度调到-22℃,蒸发器仅起冷却回水作用,不产生制冰效果,这样处理有利于提高制冷机的制冷量和能效比^[1]。

3) 在电网高峰时段(11:00—13:00 和 18:00—22:00),制冷机组停止运行,系统通过融冰释冷向车间提供所需的 2 033.3 kWh 冷量。考虑蓄冰槽融冰冷损失^[1],蓄冰冷量在该阶段结束时基本耗完,即每天的蓄冰量和融冰量相等。

2.4 能耗及经济性分析

2.4.1 能耗及运行费用比较

为了对共晶盐低温蓄冷系统进行能耗和经济性分析,将本系统与常规冷冻方案进行比较,两种系统的设备选型见表 2^①。

对于常规冷冻方案,当工艺冷负荷>50%满负荷时,2 台盐水机组同时工作;当工艺冷负荷≤50%满负荷时,仅 1 台盐水机组工作。为比较方便,常规冷冻方案的盐水槽与蓄冰槽有相同的有效容积;两系统的冷冻盐水泵电耗相等,在比较时略去。全年车间用冷工作时间按 360 d 计。

表 2 制冷设备选型及投资汇总

	型号与规格	数量	总价/万元
常规冷冻系统	螺杆式盐水机组 制冷量 215 kW,输入功率 112.2 kW(载冷剂为氯化钙水溶液)	2 台	45.2
	冷冻盐水泵 流量 35~65 m ³ /h,功率 15 kW	3 台	2.1
	盐水循环泵 流量 35~65 m ³ /h,功率 5.5 kW	2 台	1.0
	冷却塔 流量 220 m ³ /h,功率 11 kW	1 台	7.8
	冷却水泵 流量 100 m ³ /h,功率 18.6 kW	2 台	1.6
	盐水补水装置	1 套	0.9
	自控装置及其他	1 套	15.4
	辅助设备		
	合计		74
共晶盐低温蓄冷系统	片冰式制冰机组 制冷量 400 kW,输入功率 224 kW (载冷剂为氯化镁水溶液)	1 台	106
	冷冻盐水泵 流量 35~65 m ³ /h,功率 15 kW	3 台	2.1
	盐水循环泵 流量 35~65 m ³ /h,功率 5.5 kW	2 台	1.0
	冷却塔 流量 220 m ³ /h,功率 11 kW	1 台	7.8
	冷却水泵 流量 100 m ³ /h,功率 18.6 kW	2 台	1.6
	盐水补水装置	1 套	0.9
	自控装置及其他	1 套	50.6
	辅助设备		
	合计		170

两种方案逐时功率对比见图 4^[2]。能耗及运行费见表 3。

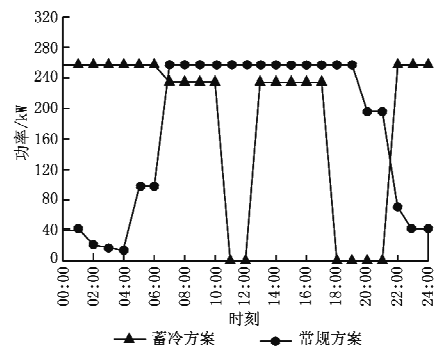


图 4 两种方案逐时功率对比

采用静态经济评价方法对冰蓄冷系统进行评价,相应的评价指标为投资回收期。

蓄冷系统增加的初投资 ΔI :

$$\Delta I = 170 \text{ 万元} - 74 \text{ 万元} = 96 \text{ 万元}$$

蓄冷空调系统全年节省的运行费用 ΔP :

$$\Delta P = (3\ 668.7 \text{ 元/d} - 2\ 568.3 \text{ 元/d}) \times 360 \text{ d/a} = 396\ 144 \text{ 元/a}$$

$$\text{投资回收期: } n = \frac{\Delta I}{\Delta P} = \frac{96 \text{ 万元}}{39.6144 \text{ 万元/a}} = 2.4 \text{ a}$$

2.4.2 结果分析

1) 蓄冷系统与常规冷冻系统能耗相差不大,蓄冷系统节能率为 4.5%。节能主要发生在电网

① 肖鹏. 一种可用于化工生产的低温蓄冷方法的可行性研究[J]. 化工暖通空调, 2009, 2(4): 31-37

表 3 两种方案能耗及运行费

	共晶盐低温蓄冷系统			常规冷冻系统	
	蓄冰+融冰	制冷		2 台机组运行	1 台机组运行
制冷机运行工况	蒸发温度-28℃ 冷凝温度 35℃	蒸发温度-22℃ 冷凝温度 35℃		蒸发温度-25℃, 冷凝温度 35℃	蒸发温度-25℃, 冷凝温度 35℃
制冷机组制冷量/kW	400	430		430	215
制冷机组功率/kW	224	201.5		224.4	112.2
盐水循环泵功率/kW	11	11		11	5.5
冷却水泵功率/kW	20	20		20	10
冷却塔风机功率/kW	2.2	2.2		2.2	1.1
功率合计/kW	257.2	234.7		257.6	128.8
一天运行电量/(kWh/d)	低谷时 2 549.5 平时 1 877.6 高峰时 0			低谷时 1 159.2 平时 2 060.8 高峰时 1 416.8	
一天运行总电量/(kWh/d)		4 427.1		4 636.8	
一天运行总电费/(元/d)		2 568.3		3 668.7	
节能率/%		4.5			
电费节省率/%		30			

平峰时段,此时节能率为 8.9%。其节能的原因在于蓄冷系统采用直接供冷方式,减少了中间换热环节,传热温差减小,制冰机制冷运行时,蒸发温度可高于常规冷冻系统。因此,机组的能效比得以提高。

2) 对于常规冷冻系统,当冷负荷低于机组制冷量时,可利用盐水槽蓄冷,调节供冷量,减少机组开机时间,达到节能的目的。但受盐水槽容积的限制,蓄冷量较小,只能进行即时蓄冷和释冷。由于工艺用冷少的时段基本处于电网低谷时段,所以不能有效地节省运行电费。

3) 蓄冷系统将电网高峰时段的用电负荷全部转移到低谷时段,转移负荷占日总用电负荷的 32%。虽然系统节能率仅 4.5%,但运行电费节省率可达 30%。由于运行电费节省率随峰谷电价比的增大而增大。我国不少地区峰谷电价比均超过本实例的 2.7:1^[3],因此在这些地区应用共晶盐低温蓄冷系统,其运行电费的节约量将非常可观。这将有利于缩短投资回收期。

4) 蓄冷系统利用共晶盐溶液潜热蓄冷,能真正起到蓄冷的作用,减小盐水槽的温度波动。由于冰和盐水直接接触,放冷速度快,较好地解决了回水温度波动影响供水温度的问题。该制药厂冷冻站投入运行后,对系统供回水温度进行了测试。图 5 为该冷冻站某日供回水温度变化情况。当回水温度在-15.2~-10.8℃之间波动时,供水温度仅变化 1.8℃,满足生产工艺的要求。

3 结论

3.1 采用共晶盐冰蓄冷系统,在末端负荷波动大的情况下,仍能保持较为稳定的供水温度。

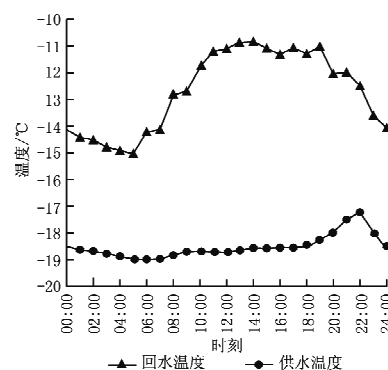


图 5 冷冻站供回水温度变化

3.2 在共晶盐冰蓄冷系统中,载冷剂兼作蓄冰介质,因此比一般的冰蓄冷系统简单;换热环节的减少,可提高制冷系统的蒸发温度,使系统功耗降低,有利于系统节能。

3.3 共晶盐冰蓄冷系统总造价较常规冷冻系统高,但在实施了峰谷分时电价政策的地区,年运行费用比常规冷冻系统低,增加的系统造价可在短期内收回。

3.4 由于工艺用冷具有全年不间断使用的特点,系统使用时间长,使得以年为计算单位的投资回收期变得很有优势,因此工业制冷工艺采用冰蓄冷技术具有较大的经济效益。

参考文献:

- [1] 方贵银. 蓄能空调技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2006
- [2] 袁东立, 张欣, 朱娜. 某冰蓄冷空调系统优化设计探讨[J]. 暖通空调, 2007, 37(5): 93-96
- [3] 吴喜平. 蓄冷技术和蓄热锅炉在空调中的应用[M]. 上海:同济大学出版社, 2000