

蓄冷水温及机组连接方式对 水蓄冷系统能耗的影响

中国中元国际工程公司 吕访桐[☆] 李著萱

北京中建润通机电工程有限公司 李 鹏

中国中元国际工程公司 刘 铜

摘要 结合工程设计案例,对水蓄冷系统在不同蓄冷水温及机组在串、并联连接方式下的能耗和运行费用进行了比较分析。结果显示,冷水机组并联蓄冷年用电量比串联方式多 4.6%;冷水机组蓄冷供回水温度为 6℃/14℃ 时,年用电量与年用电费用均低于 4℃/14℃ 工况,年用电量少 7.4%。

关键词 水蓄冷 能耗 水温 串联 并联 用电量

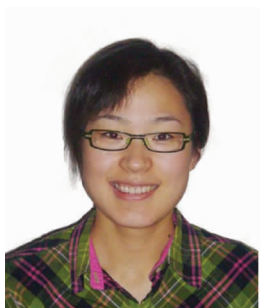
Influences of water temperature and connection mode of water chillers on energy consumption of chilled water storage systems

By Lü Fangtong[★], Li Zhuxuan, Li Peng and Liu Tong

Abstract Compares and analyses with a project design example the energy consumption and operating costs of a chilled water storage system at different chilled water temperatures as well as in series or parallel connection modes of water chillers. The results show that the annual power consumption of parallel connection of water chillers is more than that of serial connection by 4.6%; when the supply/return chilled water temperature is set at 6℃/14℃, the annual power consumption and power rate are less than those in the 4℃/14℃ condition, and the annual power consumption is 7.4% less.

Keywords chilled water storage, energy consumption, water temperature, series connection, parallel connection, power consumption

① [★] China IPPR International Engineering Corporation, Beijing, China



= 吕访桐 =

代表工程:

- ◎ 北京市政府机构节能改造示范工程
- ◎ 昆明长水国际机场能源中心
绿色设计
- ◎ 深圳机场宝安新机场T3航站楼
区域供冷工程

本文以昆明新机场航站楼水蓄冷系统设计为例,比较分析了水蓄冷系统蓄冷水温和机组串、并联蓄冷运行方式对项目运行能耗及运行费用的影响,以期在水蓄冷项目冷源设计方案的决策提供依据。

1 工程概述

昆明属于气候温和地区,夏季空调室外计算干球温度为 26.2℃,夏季空调室外计算湿球温度为 20℃。机场航站楼的内部面积大,日间负荷较大,而夜间电力低谷时段负荷较小。本项目夏季峰值冷负荷约为 25 820 kW,设置独立冷热源中心。

昆明市峰谷分时电价如表 1 所示。

该项目冷源采用水蓄冷空调系统,水系统采用二次泵变流量运行方式,采用 3 台(两大一小)离心式冷水机组,采用环保型制冷剂,冷水机组与冷水

①[☆] 吕访桐,女,1982 年 2 月生,硕士,工程师
100089 北京市西三环北路 5 号 10 层
(010) 68732914

E-mail: lvfangtong@ippr.net

收稿日期:2012-11-29

修回日期:2012-12-25

表 1 昆明市分时电价

时段		电价/(元/(kW·h))
高峰	09:00—12:00,18:00—23:00	0.821
平峰	07:00—09:00,12:00—18:00	0.616
低谷	23:00—07:00	0.412

泵一对一配置。另设置释冷泵 3 台、5 800 m³ 蓄冷罐 2 个及相应的控制系统。系统蓄冷状态下运行一级冷水泵完成蓄冷循环,无需单独设置蓄冷水泵。冷水供回水温度为 6 ℃/14 ℃。

水蓄冷空调系统的流程设计及设备选型以机场航站楼的设计日逐时负荷为依据。根据航站楼逐时负荷系数,峰值负荷出现在设计日 17:00 左右。各时段负荷如图 1 所示。

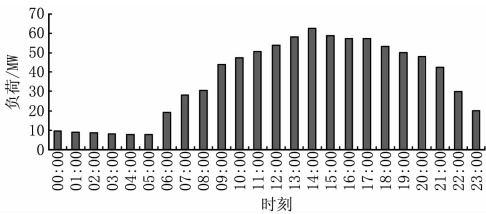


图 1 航站楼逐时空调负荷

2 水蓄冷系统设计方案比较及能耗分析

2.1 蓄冷水温的影响

蓄冷槽体积一定的前提下,不同的蓄冷水温会影响系统的蓄冷量,从而影响系统运行策略,同时也影响机组的 COP。COP 值随蓄冷温度的降低而降低,导致机组耗电量增加,电费增加;但蓄冷温度越低,温差越大,蓄冷量越大,冷水机组夜间制冷量增大,系统高峰转移电量增多,运行更加经济。但不能简单地定义蓄冷水温与系统运行电耗、电费

的关系。

下文将比较 2 种工况下水蓄冷系统的运行能耗,研究得到运行能耗较低、费用较省的蓄冷供回水温度。

2.1.1 工况设计

将水蓄冷系统运行标准工况按照负荷比例分为 4 种:100%,75%,50%,25%,按照各种负荷比例下的运行时间来计算年运行能耗及费用。

在冷水机组并联运行条件下,按照蓄冷温度将运行工况分为 2 种:工况 1,蓄冷供回水温度为 6 ℃/14 ℃;工况 2,蓄冷供回水温度为 4 ℃/14 ℃。

2.1.2 能耗比较

2.1.2.1 工况 1

冷水机组并联蓄冷连接示意图见图 2。系统主要设备配置见表 2、3。

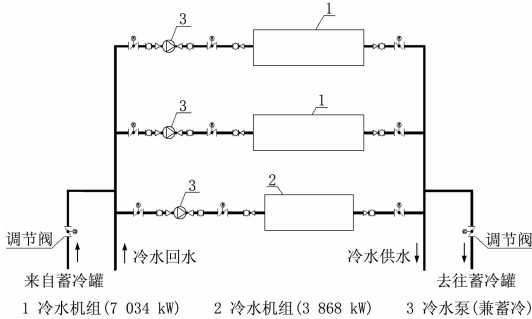


图 2 冷水机组并联蓄冷连接示意图

表 2 工况 1 冷水泵配置

	流量/(m ³ /h)	扬程/m	配电功率/kW	数量/台
冷水泵 1	830	22	75.0	2
冷水泵 2	470	22	37.0	1

表 3 工况 1 冷水机组配置

	制冷量/kW	蒸发器			冷凝器			COP	功率/kW	数量/台
		温度(出口/进口)/℃	流量/(m ³ /h)	压降/kPa	温度(出口/进口)/℃	流量/(m ³ /h)	压降/kPa			
离心式冷水机组 1	7 034	6/14	756	72.5	27/34.34	950	50	6.337	1 110	2
离心式冷水机组 2	3 868	6/14	425	79	27/34.25	540	89	6.064	648	1

1) 蓄冷设备参数

蓄冷量:最大蓄冷量为 90 000 kW·h;蓄冷侧供回水温度:6 ℃/14 ℃;蓄冷温度:蓄冷罐的最低蓄冷温度设计为 6 ℃;蓄冷温差:最大蓄冷温差为 8 ℃。

2) 热负荷平衡图

在该工况下,100%,75%及 50%负荷时,夜间采用 2 台冷水机组并联共同蓄冷 5 h,之后采用 1 台冷水机组蓄冷 3 h,夜间负荷由小冷水机组承担,不足部分抽取蓄冷循环冷水进行补充;25%负

荷时,夜间 2 台冷水机组并联共同蓄冷 5 h,可满足非蓄冷时段全部用冷需求。

热负荷平衡图见图 3。

3) 用电分析(见表 4)

由表 4 可见,采用水蓄冷方式,该项目年高峰用电量仅为 207.9 MW·h,占总用电量的 5.5%,低谷时段用电量最多,占总用电量的 67.3%;不同负荷率条件下,各个时段的用电量差异也比较大,100%负荷条件下,平、谷、峰用电差异不明显,由于满负荷运行时间短,用电量较少;75%负荷时,平、

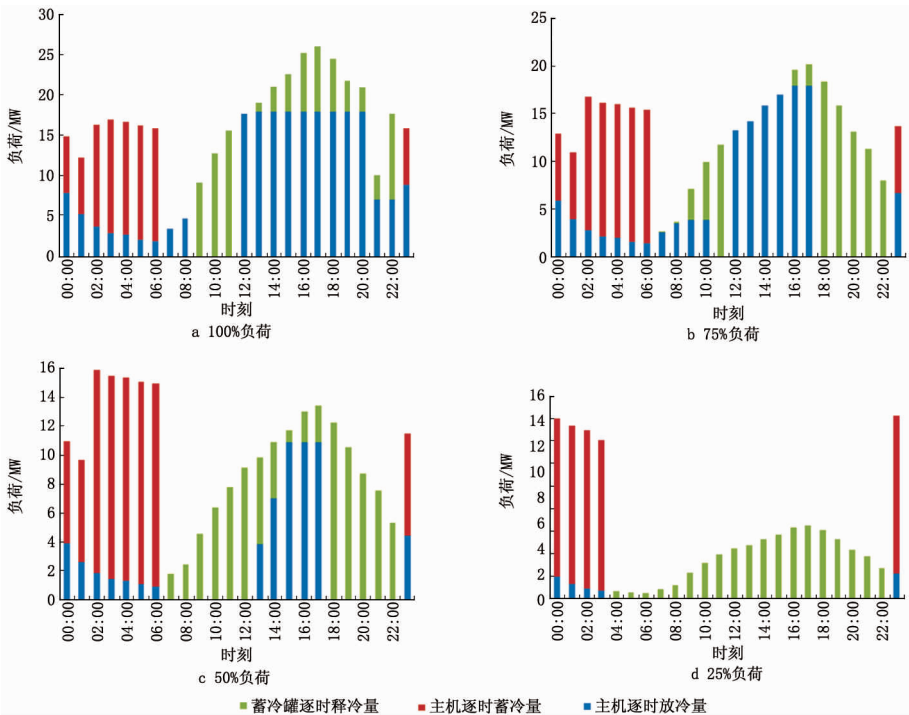


图3 冷水机组并联蓄冷工况 1 热负荷平衡图

表 4 冷水机组并联蓄冷空调系统(6℃/14℃)各电价时段耗电量

负荷率/%	高峰		平峰		低谷		总计	
	电量/(MW·h)	电费/万元	电量/(MW·h)	电费/万元	电量/(MW·h)	电费/万元	电量/(MW·h)	电费/万元
100	48.1	3.95	80.9	4.98	79.4	3.27	208.4	12.20
75	59.7	4.90	512.3	31.56	542.3	22.34	1 114.3	58.80
50	34.9	2.86	367.2	22.62	804.0	33.12	1 206.0	58.61
25	65.2	5.36	71.0	4.37	1 120.5	46.16	1 256.7	55.89
总计	207.9	17.07	1 031.4	63.53	2 546.2	104.89	3 785.4	185.50

谷时段用电量相差不大,且为高峰用电的 9 倍左右;50%和 25%负荷条件下,低谷用电量突出,由于昆明地区 25%负荷的时间较长,夜间负荷较低,夜间年蓄冷量大,用电多;然而从年总用电量和总电费来看,75%,50%,25%相近。

2.1.2.2 工况 2

冷水机组并联运行,同工况 1。蓄冷水罐体积不变,系统配置见表 5,6。

表 5 工况 2 冷水泵配置

	流量/(m ³ /h)	扬程/m	配电功率/kW	数量/台
冷水泵 1	660	22	55.0	2
冷水泵 2	365	22	37.0	1

表 6 工况 2 冷水机组配置

	制冷量/kW	蒸发器			冷凝器			COP	功率/kW	数量/台
		温度(出口/进口)/℃	流量/(m ³ /h)	压降/kPa	温度(进口/出口)/℃	流量/(m ³ /h)	压降/kPa			
离心式冷水机组 1	7 034	4/14	604	32	27/34.34	1 014	57.1	5.663	1 241	2
离心式冷水机组 2	3 868	4/14	331	31	27/34.25	551	49.7	5.427	706	1

1) 蓄冷设备参数

蓄冷量:最大蓄冷量为 112 544 kW·h;蓄冷侧供回水温度:4℃/14℃;蓄冷温度:蓄冷罐的最低蓄冷温度设计为 4℃;蓄冷温差:最大蓄冷温差为 10℃。

2) 热负荷平衡图

冷罐容积一定的情况下,蓄冷温度降低,温差增

大,导致蓄冷量加大,因此在该工况下,机组的蓄冷策略与工况 1 稍有不同。100%,75%及 50%负荷时,夜间采用 2 台冷水机组并联共同蓄冷 8 h。夜间负荷由小冷水机组承担,不足部分抽取蓄冷循环冷水进行补充。25%负荷时的运行情况与工况 1 相同。

热负荷平衡图见图 4。

3) 用电分析(见表 7)

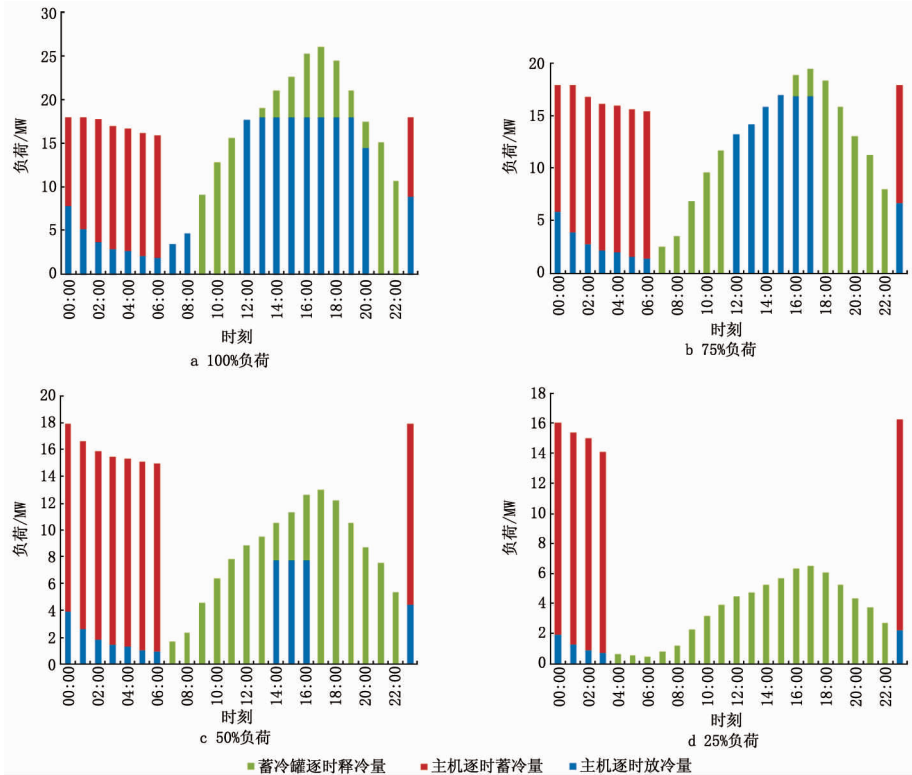


图4 冷水机组并联运行工况2热负荷平衡图

表7 冷水机组并联蓄冷空调系统(4℃/14℃)各电价时段耗电量

负荷率/%	高峰		平峰		低谷		总计	
	电量/(MW·h)	电费/万元	电量/(MW·h)	电费/万元	电量/(MW·h)	电费/万元	电量/(MW·h)	电费/万元
100	40.9	3.36	88.7	5.47	93.5	3.85	223.1	12.67
75	21.7	1.78	518.5	31.94	662.5	27.29	1 202.7	61.01
50	33.1	2.72	242.3	14.93	1 019.6	42.01	1 295.0	59.65
25	65.2	5.36	71.0	4.37	1 208.6	49.79	1 344.8	59.52
总计	160.9	13.22	920.5	56.71	2 984.2	122.94	4 065.6	192.85

该工况下,由于蓄冷能力增加,低谷时段用电量进一步升高,用电比例为 73.4%。用电分布规律与工况 1 相差不大,年用电量及电费略有增加,2 种工况年用电量相差 280.2 MW·h,电费相差 7.4 万元。

2.1.3 小结

2 种工况水蓄冷系统用电量及费用的比较分别如图 5、6 所示。

- 1) 工况 1 年总用电量比工况 2 少,但在用电高峰及平峰时段的用电量及电费均高于工况 2。
- 2) 在回水温度 14℃不变的情况下,工况 2 比工况 1 蓄冷温度低 2℃,年用电量增加 7.4%,而电费仅增加 4%。
- 3) 工况 2 冷水机组夜间需 2 台同时运行 8 h,

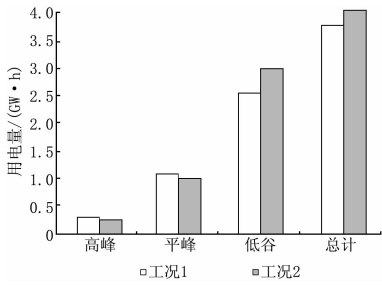


图5 工况1与工况2用电量比较

而工况 1 冷水机组夜间 2 台同时运行 5 h 后,可仅采用单台冷水机组蓄冷,延长了机组寿命。

2.2 机组蓄冷连接方式的影响

冷水机组冷水出水温度越低,机组运行效率越低,耗电量越大。若采用冷水机组串联蓄冷,

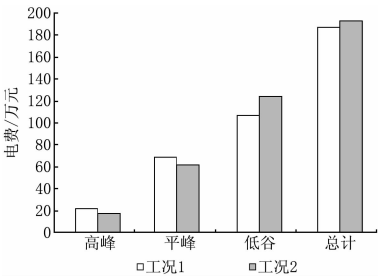


图6 工况1与工况2电费比较

则第一级串联冷水机组 COP 值相对较大,机组运行能耗降低,然而,水系统流量增大,冷水机组压降增加,从而冷水泵扬程增加,输配能耗增大。系统电耗的变化应通过计算确定。下文将通过比较机组串联、并联蓄冷连接方式,分析水蓄冷系统能耗。

2.2.1 工况设计

将水蓄冷运行标准工况按照负荷比例分为 4 种:100%,75%,50%,25%,按照各种负荷比例下

的运行时间来计算年运行能耗及费用。
蓄冷供回水温度为 4℃/14℃。冷水机组并联储冷方式为上文讨论的工况 2,设定工况 3 为冷水机组串联蓄冷运行方案。
2.2.2 能耗比较
2.2.2.1 工况 3
蓄冷供回水温度为 4℃/14℃,机组串联蓄冷连接示意图见图 7。

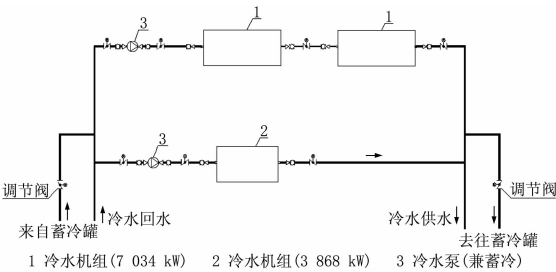


图7 冷水机组串联蓄冷连接示意图

系统主要设备配置见表 8,9。

表8 工况3冷水机组配置

	制冷量/kW	蒸发器			冷凝器			COP	功率/kW	数量/台
		温度(出口/进口)/℃	流量/(m³/h)	压降/kPa	温度(出口/进口)/℃	流量/(m³/h)	压降/kPa			
离心式冷水机组 1	7 034	4/9	1 200	111.5	27/34	1 014	57.1	5.618	1 252	1
	7 034	9/14	1 200	107.7	27/34	1 014	57.1	7.266	967	1
离心式冷水机组 2	3 868	4/14	331	31	27/34	551	49.7	5.427	706	1

表9 工况3冷水泵配置

	流量/(m³/h)	扬程/m	配电功率/kW	数量/台
冷水泵 1	1 350	33	160.0	1
冷水泵 2	370	22	37.0	1

1) 蓄冷设备参数

同工况 2。

2) 热负荷平衡图

同工况 2。

3) 用电分析

机组串联蓄冷工况下,用电分布规律与并联蓄冷工况(工况 2)相差不大,年用电量及电费略低,年用电量相差 177 MW·h,电费相差 6.8 万元。机组串联蓄冷空调系统(4℃/14℃)各电价时段耗电量见表 10。

2.2.2.2 输配能耗的影响分析

表10 机组串联蓄冷空调系统(4℃/14℃)各电价时段运行情况

负荷率/%	高峰		平峰		低谷		总计	
	耗电量/(MW·h)	电费/万元	耗电量/(MW·h)	电费/万元	耗电量/(MW·h)	电费/万元	耗电量/(MW·h)	电费/万元
100	41.5	3.40	89.7	5.53	88.1	3.63	219.3	12.56
75	21.7	1.78	526.2	32.42	624.8	25.74	1 172.8	59.94
50	33.1	2.72	254.2	15.66	949.8	39.13	1 237.2	57.51
25	65.2	5.36	71.0	4.37	1 123.2	46.28	1 259.5	56.01
总计	161.5	13.26	941.1	57.98	2 785.9	114.78	3 888.8	186.02

2 种工况下,输配系统能耗的变化主要是指冷水机组蒸发侧冷水一次循环水泵(蓄冷水泵)的用能变化。机组串联蓄冷时,冷水机组的制冷量保持不变,串联蓄冷机组蒸发器进出口温差由 10℃(4℃/14℃)变为 5℃(4℃/9℃,9℃/14℃),流量

增大,蒸发侧压降增大 79.5 kPa,直接造成放冷(蓄冷)水泵的流量、扬程同步升高,功率提高至 160 kW,比并联蓄冷系统 2 台水泵的功率叠加值(110 kW)增加了 45.5%。

计算得到冷水机组蒸发侧冷水一次循环水泵

的用电量如表 11 所示。

表 11 冷水机组蒸发侧冷水一次循环水泵用电量				
负荷率/%	年用电量/(MW·h)		年用电费/万元	
	工况 2	工况 3	工况 2	工况 3
100	3.2	12.7	0.13	0.71
75	22.8	69.6	0.94	3.45
50	36.6	88.6	1.51	4.12
25	45.1	80.7	1.86	3.32
总计	107.7	251.6	4.44	11.60

由表 11 可以看出,机组串联蓄冷冷水一次循环水泵年总用电量远高于并联蓄冷,约为 2.5 倍。从全年总用电量来看,这部分输配能耗所占的比例分别为:串联蓄冷 6.5%,并联蓄冷 2.7%。

2.2.3 小结

2 种工况水蓄冷系统用电量及费用的比较分别如图 8,9 所示。

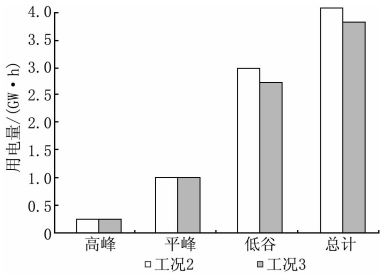


图 8 工况 2 与工况 3 电量比较

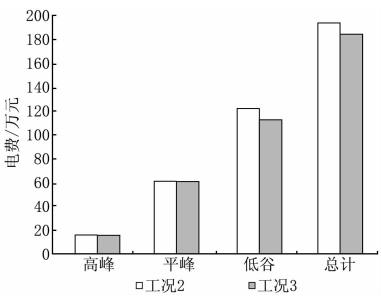


图 9 工况 2 与工况 3 电费比较

量及电费较低,在高峰时段用电量比工况 2 低 0.31%,在平峰时段低 2.3%,在低谷时段低 6.6%。汇总后核算,工况 2 比工况 3 年用电量多 4.6%,电费多 3.7%。

3 结论

3.1 该项目离心式电制冷水蓄冷系统的全年运行电耗高低排序为:机组并联蓄冷系统>机组串联蓄冷系统;大温差蓄冷系统>小温差蓄冷系统。

3.2 从机组连接方式的比较可以看出,系统阻力增大对电耗的影响程度小于冷水机组能效提高对电耗的降低程度。机组串联蓄冷冷水一次循环水泵年总用电量约为并联蓄冷的 2.5 倍,占系统年总用电量的 6.5%。

3.3 蓄冷温度 6℃/14℃与 4℃/14℃相比,蓄冷温度高 2℃,年用电量与年用电费用均较低,年用电量降低 7.4%。

由图 8,9 可见,工况 3 水蓄冷系统的年总用电