

虹桥交通枢纽 T2 航站楼 供冷站运行分析

华东建筑设计研究院有限公司 魏 炜[☆] 胡仰耆
杭州源牌环境科技有限公司 宋勤锋 林拥军

摘要 简要介绍了该供冷站的系统构成。该系统采用水蓄冷及末端直接供冷技术,并配置了先进的自动控制、合理的控制策略和运行管理方式,使系统运行稳定、可靠,获得了较好的经济效益。

关键词 水蓄冷 直供系统 自动控制 运行分析

Operating analysis of cooling plant for Hongqiao Transport Hub Terminal 2

By Wei Wei[★], Hu Yangqi, Song Qinfeng and Lin Yongjun

Abstract Presents briefly the structure of the cooling plant. Water cooling storage and direct cooling supply technology are applied to this system. Combined with an advanced automatic control system, proper control strategy and management mode, the system operates smoothly and reliably, and gains significant energy saving.

Keywords water cooling storage, direct chilled water supply system, automatic control, operating analysis

★ East China Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai, China

①

1 项目概况

上海虹桥国际机场扩建工程是 2010 年上海世博会的配套工程。新建能源中心是该工程的重要配套设施,位于虹桥机场 T2 航站楼北侧,为 T2 航站楼、北侧预留指廊和南、北两个旅客住宿用房提供冷热源,用户总建筑面积约 50 万 m²。

此新建能源中心于 2009 年底建成并投入使用,至今已历经两个供冷、供热季,并成功地服务于 2010 年上海世博会。本文仅介绍、分析供冷站的运行情况。图 1 为供冷站相关图片。

新建能源中心利用机场场地地价较低廉、场地开阔的有利条件,集中供冷系统采用水蓄冷技术,设计 2 个直径 33 m,水深 26.2 m,设计容积 22 000 m³ 的钢制蓄冷水罐,为目前国内最大规模的水蓄冷系统之一^[1]。除蓄冷水罐外,该集中供冷系统还包括电动离心式冷水机组、冷水一次泵、冷水二次泵、冷却水泵、蓄冷水罐循环泵、冷却塔以及循环管路等。

图 2 为集中供冷系统流程图。

主要受控设备配置如表 1 所示。

从冷源配置来看,采用水蓄冷技术有效降低了系统装机容量,减少初期投资,再结合良好的控制方式,已获得较为显著的经济效益。

2 运行控制分析

2.1 系统控制目标

水蓄冷系统的全自动运行控制是利用空调负荷预测及优化控制软件。它先按照负荷预测的基本原理及相关计算方法预测次日逐时空调负荷。在得到逐时负荷表后,以“满足空调负荷需要并节省系统运行费用”为基本原则确定最优的运行策略,包括每天不同工况运行时间表,不同工况时制冷主机和水泵等主要设备的投入数量,每小时水罐释冷量等基本运行参数,最后自动将制定的运行策

①☆ 魏炜,男,1970 年 2 月生,硕士研究生,工学硕士,高级工程师
200002 上海市汉口路 151 号华东建筑设计研究院有限公司
(021) 63217420 - 6008

E-mail: wei_wei@ecadi.com

收稿日期:2011-09-22



a 能源中心效果图



b 供冷站内景



c 蓄冷水罐外景



d 供冷站监控中心

图 1 供冷站相关图片

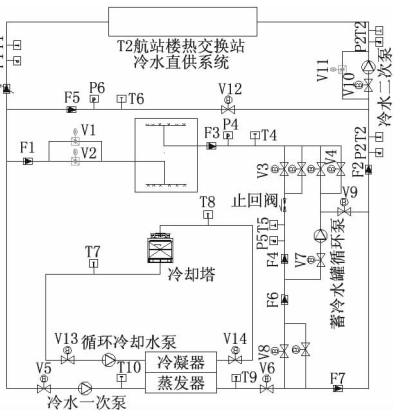


图 2 供冷站集中供冷系统流程图

表 1 主要受控设备配置

集中供冷站主要设备	数量	每个换热站末端直供系统主要设备	数量
6 682 kW 离心式冷水机组	8 台	冷水三次泵	3 台
冷却塔	8 台	加药装置	1 套
循环冷却水泵	8 台	电动调节阀	1 只
冷水一次泵	8 台	电动开关阀	1 批
冷水二次泵	5 台	传感器	1 批
蓄冷循环泵	5 台		
蓄冷水罐	2 个		
定压装置	1 套		
电动开关阀	105 只		
电动调节阀	10 只		
变频器	11 台		
加药装置	3 套		

- 2) 蓄冷水罐释冷速率 $\leq$ 最大放冷速率;
- 3) 制冷负荷 $\leq$ 制冷主机最大制冷出力;
- 4) 单台制冷主机制冷负荷 $>50\%$ 制冷主机最大制冷容量;
- 5) 单台制冷主机制冷量初始分配一般在 80% 负荷,由此既保证主机高效运行,又保证了在负荷预测出现偏差时主机的调节能力;
- 6) 回水温度在 13℃ 附近,不可低于 12℃,以提高蓄冷水罐及制冷主机的效益。

2.1.2 具体控制方法

1) 首先将蓄冷水罐蓄冷量在供冷期间内进行分配,确保:① 满足供冷期间各时段负荷需求;② 三次泵冷水直供系统的供水温度满足末端系统负荷要求,一定的回水温度使蓄冷水罐和制冷主机高效运行;③ 主机在较高效率范围内运行;④ 蓄冷水罐蓄冷量充分用尽。

2) 根据主机分配冷量及主机高效率范围,确定制冷主机运行台数与冷水一次泵运行台数。

略输入到自动控制系统中,确保自动控制系统按此运行策略控制系统运行,在满足负荷需求的前提下尽可能多地转移高峰电力到低谷时段。

2.1.1 主要约束条件

1) 蓄冷水罐释冷负荷+制冷负荷=预测负荷;

3) 根据预测供冷期间负荷确定总蓄冷量。当预测供冷期间负荷大于总蓄冷能力时,总蓄冷量就等于总蓄冷能力;当预测供冷期间负荷小于总蓄冷能力时,总蓄冷量等于预测供冷期间总负荷乘以一定的余量系数。

4) 根据总蓄冷量及蓄冷期间空调负荷,确定夜间制冷主机运行台数及一次泵运行台数,保证主机高效运行。

2.2 运行工况

本项目中主要耗能设备是冷水机组、冷水一次泵、冷却水泵、冷却塔和冷水二次泵。冷水机组、冷水一次泵和冷却水泵一一对应设计,因此将冷水机组、冷水一次泵、冷却水泵按对应关系组合成子系统,冷水机组的群控实际上是冷水机组子系统的群控。在该组合体中,冷水机组的能耗最大,如果合理控制冷水机组运行,就可以实现最大限度的节能运行。自控系统根据冷水机组子系统设备的运行时间、运行故障状态、是否为检修状态、启停失败是否复位等状态,确定启动哪套子系统,并根据以下原则自动选择子系统的运行台数。

2.2.1 确定冷水机组初始运行台数

自控系统将按照负荷预测结果,并对之前的气候条件、负荷情况以及系统运行的经验数据进行分析,得出一定规律,从而确定冷水机组运行的初始台数。

2.2.2 冷水机组运行台数增减控制

1) 冷水机组单独供冷运行方式

① 增机

当系统负荷(由供水总管能量计测出) $\geq$ 冷水机组运行 n 台的总额定负荷($6\,682\text{ kW}\times n$),以及运行中的冷水机组负荷率 $\geq 98\%$ 时,即同时满足以上 2 个条件时,自动增开 1 台冷水机组与其子系统。

② 减机

当系统负荷—冷水机组运行 n 台总额定负荷 $\geq 6\,682\text{ kW}\times 1.1$,以及运行冷水机组的负荷率 $\leq (1-1/n)\times 95\%$ 时,即同时满足这 2 个条件时,系统就自动停止 1 台冷水机组及其子系统。

2) 冷水机组与蓄冷罐联合供冷运行方式

① 增机

当系统负荷 $\geq$ 冷水机组运行 n 台的总额定负荷+最大释冷量(释冷量=最大释冷总流量 $\times$ 释冷供回水温差),以及运行中的冷水机组的负荷率

$\geq 98\%$ 时,即同时满足以上 2 个条件时,增开 1 台冷水机组与其子系统。

② 减机

当系统负荷—(冷水机组运行 n 台总额定负荷+最大释冷量) $\geq 6\,682\text{ kW}\times 1.1$,以及当系统负荷 $\leq (1-1/n)\times 95\%$ 时,停开 1 台冷水机组及其子系统。

3) 冷水机组单独充冷运行方式

预计第 2 天需要的蓄冷量,确定冷水机组运行台数,并应在 22:00—06:00(电价优惠时段)期间蓄冷完毕后停机。

4) 冷水机组在供冷的同时为水蓄冷罐充冷运行方式

根据第 2 天的蓄冷量预计值,运行适当台数冷水机组向蓄冷罐充冷。其余机组用于向系统供冷。冷水机组增、减机控制方式同 1)。

2.2.3 二次泵系统群控

在整个集中供冷系统中,除了冷水机组子系统外,另一主要耗能设备为冷水二次泵。为在满足用户供冷需求前提下实现最大限度节能,冷水二次泵的控制策略如下。

冷水二次泵的基本控制原理首先是对整个空调供冷管网的各压差监测点的数据进行分析。通过控制网络读取航站楼内所设压差监测点的压差数据,同时对实际压差与目标压差的差值进行排序,找到当前相对最不利的一个压差监测点,并以此最不利的压差信号作为控制目标参数,控制相关冷水二次泵的供电频率。在满足所有用户冷负荷需求的前提下,通过变流量—变压头的控制方法,在负荷下降时,减少冷水二次泵远距离输送流体时的耗电量,实现集中供冷站集中供冷系统的经济运行。

供冷负荷相同时,变频水泵的台数越多越节能,即输送流量相同时,与较少数量水泵以较高频率运行相比,多台泵以较低频率运行更加节能,如 5 台泵 35 Hz 运行比 4 台泵 45 Hz 运行更加节能。依此原则,只要多台并联的冷水二次泵能够满足其控制目标参数,且水泵运行频率在 30 Hz 以上时,则冷水二次泵全部运行且不减少运行台数。当水泵运行频率下降到 30 Hz 并维持下降趋势超过 2 min 时,则发出控制指令停止运行 1 台冷水二次泵。当水泵运行在 50 Hz,且管网压差维持下降趋势 2 min,则开启运行时间最短的冷水二次泵。为

防止水泵运行时出现“喘振”现象,冷水二次泵变频时必须设最低频率限制。

2.2.4 蓄冷水罐斜温层控制

该项目特大型蓄冷水罐采用自然分层技术,在蓄冷水罐中设置上、下两层布水装置。蓄冷水罐设计温度为 3~18℃,实际工作温度为 5~13℃。蓄冷时,13℃ 高温冷水从水罐上部流出,5℃ 低温冷水从水罐下部流入;释冷时,5℃ 低温冷水从水罐下部流出,13℃ 高温冷水从水罐上部流入。斜温层高度是影响蓄冷量及释冷量的主要因素,也是衡量水蓄冷效果的重要指标。斜温层高度越小,蓄冷效果越好,部分负荷特别是极低负荷时,更要求稳定、均衡的布水效果。设计水罐时,按斜温层高度不超过 1.5 m 进行控制。实际运行过程中,通过蓄冷和释冷的流量控制技术,达到甚至超过了预定的斜温层高度控制目标。由图 3 可见,中间段温度发生变化的区域即为斜温层区域,相邻温度测试点的距离为 300 mm,运行时斜温层实际高度不超过 1 m。

2.2.5 实时监控画面

图 3~5 为集中供冷站集中供冷系统部分实时监控画面。

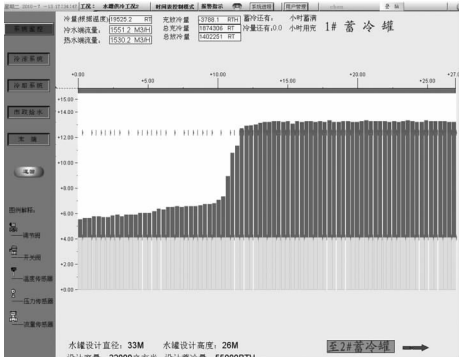


图 3 蓄冷水罐充、释冷过程

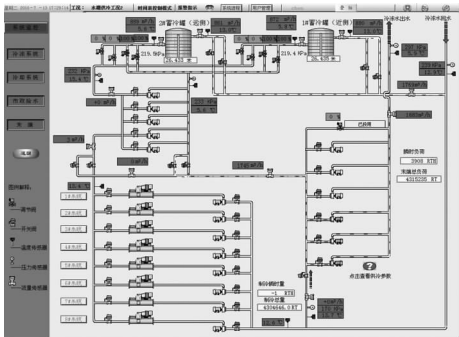


图 4 监控画面

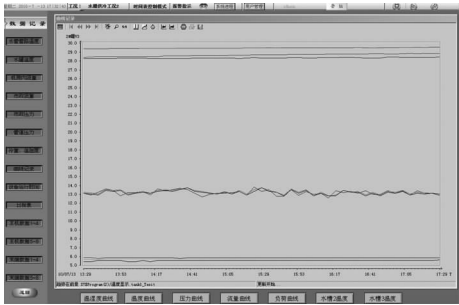


图 5 数据记录曲线

3 实际运行效果分析

以 2010 年温度较高的 7 月 7 日为例,分析当天蓄冷水罐的充、释冷过程及系统用电负荷(见表 2)。

由表 2 可见,水蓄冷系统除利用 22:00 至次日 06:00 的电力谷时段低价蓄冷外,在 06:00—08:00 平时段也需要蓄冷,这是由于世博会期间,航站楼夜间仍有较大的冷负荷,现有冷水机组在向蓄冷水罐充冷的同时必须向航站楼供冷,造成蓄冷水罐在 22:00 至次日 06:00 时段内蓄冷不足。从表 2 的全天用电量可以看出,该系统的电力移峰填谷效果显著。

上海 9 月份天气变化较为明显,且处于世博会后期,机场客流量变化较大,因此对 2010 年 9 月份的运行数据进行分析,以探讨气候及用户侧冷负荷的变化对集中供冷站供冷量的影响。图 6 列出了 2010 年 9 月的供冷情况。

由图 6 可知,制冷量略大于供冷量,这是由于管网冷量损失、集中供冷站冷水二次泵等设备发热损耗所致。9 月 20 日前,由于室外气温较高,用户侧冷负荷较大且较稳定,故充、释冷量相当,说明控制效果良好,每天的制冷量刚好满足供冷量;9 月 20 日后,随着气温逐步下降及航站楼客流量减少,用户侧冷负荷降低,同时由于使用了蓄冷技术,故出现了制冷量大于供冷量的情况,这属于供冷需求变化的波动,但通过以实际供冷需求为目标值,动态调整控制策略来控制充冷量,可使制冷量和供冷量趋于一致。从图中还可看出,影响供冷负荷变化的主要因素是环境温度和用户侧冷负荷,由于末端空调器采用回风加新风模式,尤其在接近过渡季节时,室外湿球温度对负荷的影响略大于室外干球温度。

4 经济性分析

上海市的电价政策如表 3 所示。

以 2010 年 9 月运行数据(见表 4)为例进行经

表 2 集中供冷站制冷机房 2010 年 7 月 7 日能耗情况

时刻	制冷量/ (kW·h)	供冷量/ (kW·h)	集中供冷站用电量/ (kW·h)	冷水机组用电量/ (kW·h)	室外干球温度/ ℃	室外湿球温度/ ℃
01:00	49 997	13 245	12 746	10 478	30	25
02:00	49 385	4 466	12 435	10 256	30	25
03:00	49 779	0	12 583	10 458	30	25
04:00	48 970	0	12 559	10 438	29	25
05:00	50 588	0	12 528	10 406	29	25
06:00	49 223	7 223	12 439	10 216	30	25
07:00	50 314	22 065	12 949	10 596	31	25
08:00	35 831	24 787	9 770	7 511	32	25
09:00	0	27 524	475	0	35	25
10:00	0	27 889	482	0	36	25
11:00	0	27 545	507	0	37	24
12:00	0	28 867	559	0	37	23
13:00	0	27 819	614	0	38	22
14:00	0	27 896	652	0	37	23
15:00	0	27 819	616	0	37	22
16:00	0	27 833	518	0	37	22
17:00	0	27 031	502	0	36	22
18:00	0	26 046	488	0	36	22
19:00	0	25 814	470	0	35	24
20:00	0	25 730	484	0	33	24
21:00	0	24 604	462	0	32	24
22:00	34 818	22 403	9 670	7 488	31	24
23:00	51 601	25 139	13 038	10 657	31	24
00:00	51 573	22 867	13 014	10 614	30	24

表 3 上海市现行电价政策

	峰时段	平时段	谷时段
	08:00—11:00 13:00—15:00 18:00—21:00	06:00—08:00 11:00—13:00 15:00—18:00 21:00—22:00	22:00—06:00
电价/(元/(kW·h))	1.138	0.710	0.268

表 4 供冷站 2010 年 9 月耗电量分析

用电时段	9 月用电量/(kW·h)	金额/元
峰	102 549.7	116 701.559
平	566 968.5	402 547.635
谷	2 147 905.8	575 638.754
本月累计		1 094 887.948

102 549.7 kW·h,而谷电时段主要用于蓄冷。总用电量 2 817 424.0 kW·h。谷电用量占总用电量的 76.23%,而峰电用量只占总用电量的 3.64%。仅 2010 年 9 月就节省费用约 211.13 万元,已经达到甚至高于原设定目标,经济效益显著。

5 结语

水蓄冷系统结合成熟的自控技术,为城市电力供应“削峰填谷”,缓解了供需矛盾。采用 PLC 系列控制器以及网络技术,对机房设备自动控制和实时监视,实现供冷站冷水机组最大程度节能运行,并提高了管理水平。虹桥交通枢纽 T2 航站楼制冷站集中供冷系统设计合理,可靠性高,并节省了运行及维护成本,经济效益显著。

参考文献:

[1] 魏炜,胡仰耆,杨国荣,等. 上海虹桥国际机场扩建工程供冷方案[J]. 暖通空调,2008,38(6):76-80

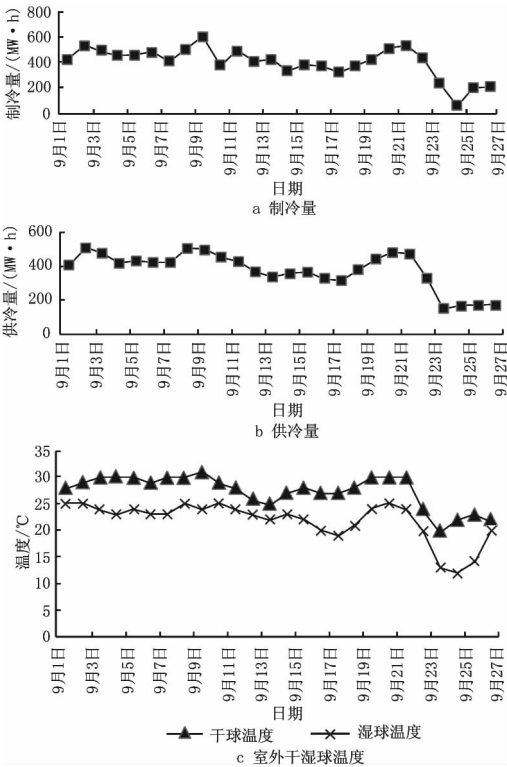


图 6 集中供冷站制冷机房 2010 年 9 月供冷情况

济性分析。

由表 4 可见,平电时段的供冷主要由冷水机组和蓄冷水罐提供,耗电量 566 968.5 kW·h,峰电时段的供冷主要由蓄冷水罐完成,总耗电量