

文章编号: 1671-6612 (2019) 02-128-07

# 既有公共建筑群冷热源动力中心 循环水系统运行状况分析

倪晓晨<sup>1</sup> 狄育慧<sup>1</sup> 冯璐<sup>2</sup> 王岫<sup>2</sup> 王学亮<sup>3</sup> 陈经纬<sup>3</sup> 殷宗发<sup>3</sup>

(1. 西安工程大学 西安 710048;

2. 陕西建工安装集团有限公司 西安 710048;

3. 陕西建工安装集团智慧机电运营 西安 710048)

**【摘要】** 以既有公共建筑体量不断增长的现状为背景,通过广泛调研运营项目,选定了体量较大、建设年代十年左右、有专业运行管理单位的西安某建筑群空调水系统为研究对象。通过冬季、夏季运行模式的调查以及运行数据整理,发现该建筑群系统在冬、夏工况下普遍存在“大流量、小温差”的现象。经过分析,笔者总结出设计功能和实际使用模式的偏差、水泵长期工频运行、单体建筑入口缺少平衡阀这3点是导致上述现象的原因,并给出针对性建议。

**【关键词】** 既有公共建筑; 空调水; 运行状况; 大流量; 小温差

中图分类号 TU831 文献标识码 A

## Investigation and Analysis of Operation Condition of Circulating Water System in a Public Building Group

Ni Xiaochen<sup>1</sup> Di Yuhui<sup>1</sup> Feng Lu<sup>2</sup> Wang Shen<sup>2</sup> Wang Xueliang<sup>3</sup> Chen Jingwei<sup>3</sup> Yin Zongfa<sup>3</sup>

(1. Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710048;

2. Shaanxi construction and Installation Group Co., Ltd, Xi'an, 710048;

3. Shaanxi construction and Installation Group intelligent mechanical and electrical operation, Xi'an, 710048)

**【Abstract】** In the background of the current situation of increasing volume of public buildings, through extensive research of the project and taking the air conditioning water system of a building in Xi'an as a research object. The building which has the characteristics of large volume, ten years of construction, and professional operation management units. Through the investigation of operation mode in winter and summer and the operation data sorting, it is found that there is a general phenomenon of "large flow and small temperature difference" under the working conditions of winter and summer. After analysis, the author summarizes the 3 reasons leading to the above phenomenon and gives some specific suggestions. And the 3 reasons are the deviations from design functions and actual use patterns, run at a fixed frequency for a long time of the pumps, and lack of balancing valves at the entrance of single building.

**【Keywords】** Existing public buildings; Air conditioning water; Operation condition; Large flow; Small temperature difference

## 0 引言

我国公共建筑面积持续高速增长,既有公共建筑存量不断增加,根据中国统计年鉴<sup>[1]</sup>数据,建筑企业产值

由2010年189835420万元增加到2016年376268194万元,期间增加了198.207%,仅房地产企业开发的建筑中办公及商业用房面积由1998年1211.4万m<sup>2</sup>增加到2016

年的 11194.18 万 m<sup>2</sup>, 累计已达 154651.13 万 m<sup>2</sup>。

江亿在第十四届“清华大学建筑节能学术周”论坛上指出 2016 年建筑商品能耗 9.27 亿吨, 占该年总能耗的 21.8%, 并且未来我国公共建筑(不含北方供暖)总用能量控制目标为 2.4 亿吨标准煤<sup>[2]</sup>。空调能耗占公共建筑能耗比例较大, 约占建筑总能耗的 50%~60%<sup>[3]</sup>。公共建筑设计阶段十分重视节能, 但是到了后期运营维护阶段, 受到建筑使用功能变化、建设单位对于功能安全的考虑以及维护单位自身能力等多方面因素的影响, 往往导致节能设计难以达到预期效果。

通用的设计方法是在设计阶段依据预先设定的建筑功能计算建筑负荷, 在工程调试阶段验收标准是设计指标, 建筑投用后首次冬夏带负荷调试多在进入空调季节前进行, 调试期间多呈现出“小负荷”的特性。运营单位运行管理时, 多以设计工况为依据, 特别是空调系统循环水工况有少数时间呈现出“大流量、小温差”<sup>[4-6]</sup>的现象。本文以某既有公共建筑群冷热源动力中心循环水系统为研究对象, 通过收集空调季节全过程运行记录分析系统运行工况, 并参与运维公司专项质量管理小组, 分析造成系统上述“大流量、小温差”的原因。

## 1 系统概况

本建筑群位于西安城区, 共有 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>、6<sup>#</sup>楼 6 个单体建筑组成, 建筑面积总计约 9 万平方米, 其中 3 号楼地下 1 层及 2 层设置独立设置 1<sup>#</sup>及 3<sup>#</sup>动力中心。两管制空调循环水系统通过室外管网向其它单体建筑输送冷、热水, 经调查, 动力中心于 2006 年完成改造。本次研究对象为 1<sup>#</sup>动力中心。

项目设计夏季空调设计冷负荷约为 7200kW, 冬季空调设计热负荷约为 6900kW。系统冬季热源直接采用市政热网供应热水, 通过板式换热器换热, 夏季采用冰槽供冷、双工况冷机供冷、基载机供冷、基载机+双工况冷机、双工况冷机+冰槽供冷及基载机+冰槽供冷六种模式供冷。动力中心控制采用基于 PLC 的自控系统, 各单体建筑办公室末端形式为风机盘管+新风系统, 较大会议室采用全空气系统。风机盘管采用带温控器的三速开关控制, 回水管上设置电动两通阀, 新风机组和空调机组为定风量机组采用 DDC 控制水阀开度, 各单体建筑入口采用手动控制的入口装置。

动力中心主要设备情况如表 1 所示。

表 1 动力中心主要设备表

Table 1 The main equipment list in power center

名称	规格与参数	台数
双工况螺杆式蓄冷机	制冷量 1336kW	3
螺杆式基载制冷机	制冷量 1336kW	1
空调水泵	流量 285m <sup>3</sup> /h 扬程 38m 功率 45kW	2 用 1 备
基载冷水泵	流量 250m <sup>3</sup> /h 扬程 37.5m 功率 45kW	1
冷却水泵	流量 300m <sup>3</sup> /h 扬程 26m 功率 30kW	3 用 1 备
冷却塔	循环水量 360m <sup>3</sup> /h	3 用 1 备
板式换热器	空调水侧: 70kPa 247m <sup>3</sup> /h 热源侧: 15kPa 101m <sup>3</sup> /h	3

## 2 研究方案

### 2.1 基本方法

调查运行单位实际运行管理方式, 收集项目实际运行数据, 对数据进行有效性筛查, 结合数据分析发现的现象, 进一步从系统构成、设计、运行管理方面分析形成原因。

### 2.2 收集数据

数据来源为自控系统记录数据、运维人员值班

记录数据。供暖期数据统计周期为 2017 年 12 月至 2018 年 3 月, 供冷期数据统计周期为 2018 年 6 月至 2018 年 9 月。数据记录周期为 24 小时连续记录, 频率为供暖期间隔 3 小时/次, 供冷期间隔 2 小时/次。记录空调水的供水温度、回水温度、供水压力、回水压力及流量的实时数据。

### 2.3 数据有效性判断

数据有效性是客观反映系统运行的前提条件,

针对查阅历史运行记录发现部分数据异常,进一步调查主要原因集中在管网部件(如过滤器脏堵、排气阀故障)等问题,对于上述原因产生的数据,不在本次研究的范围。

### 2.3.1 周期比对

周期比对采用人员比对及仪器比对两项措施。人员比对每周五及人员变化时进行,主要比对项目为仪器、仪表读数。

### 2.3.2 重点比对

针对数据反映出流量异常偏小的管路,通过现场检查以排除阀门执行器工作状态、阀门开度、过滤器脏堵、排气阀失效等故障,避免系统非正常运行造成的数据偏差。

## 2.4 数据分析

数据分析主要包括冬季工况分析及夏季工况分析。

### 2.4.1 冬季工况分析方案

冬季工况分析主要针对建筑内部温度达标工况下的循环水供回水压差、供回水温差、市政板换一次侧供回水温度以及泵组的运行台数、频率。

### 2.4.2 夏季工况分析方案

夏季工况分析主要针对建筑内部温度达标工况下的循环水供回水压差、供回水温差,冷机与冰蓄冷

装置运行模式以及循环水泵组的运行台数、频率。

## 3 数据分析

### 3.1 冬季工况分析

#### 3.1.1 运维管理模式

冬季采用热源为市政热水,换热采用板式换热器,板式换热器二次侧设计供水温度 60℃,二次侧设计回水温度 50℃,供回水设计温差 10℃。

泵组运行方式采用基于组态王软件设计的 PLC 自动控制程序,空调泵运行调节采用自动启停控制,三台泵采用两用一备模式根据运行累积时长轮换使用。

#### 3.1.2 市政热源参数

工程设计中市政热网供回水温度 110℃/70℃。依据实测供回水数据分析,2017年12月至2018年3月四个月均未达到设计参数,其中2017年12月和2018年1月供水温度在时间周期上基本稳定,数值上基本稳定在 80-100℃区间如图(a)、(b),2018年2月供水温度由月初逐渐降低,后半月基本稳定在 80℃左右如图(c),2018年3月供水温度 43~57℃之间如图(d)。

市政供水温度逐渐降低且均低于设计工况也是运营单位对于变流量控制的顾虑之一。

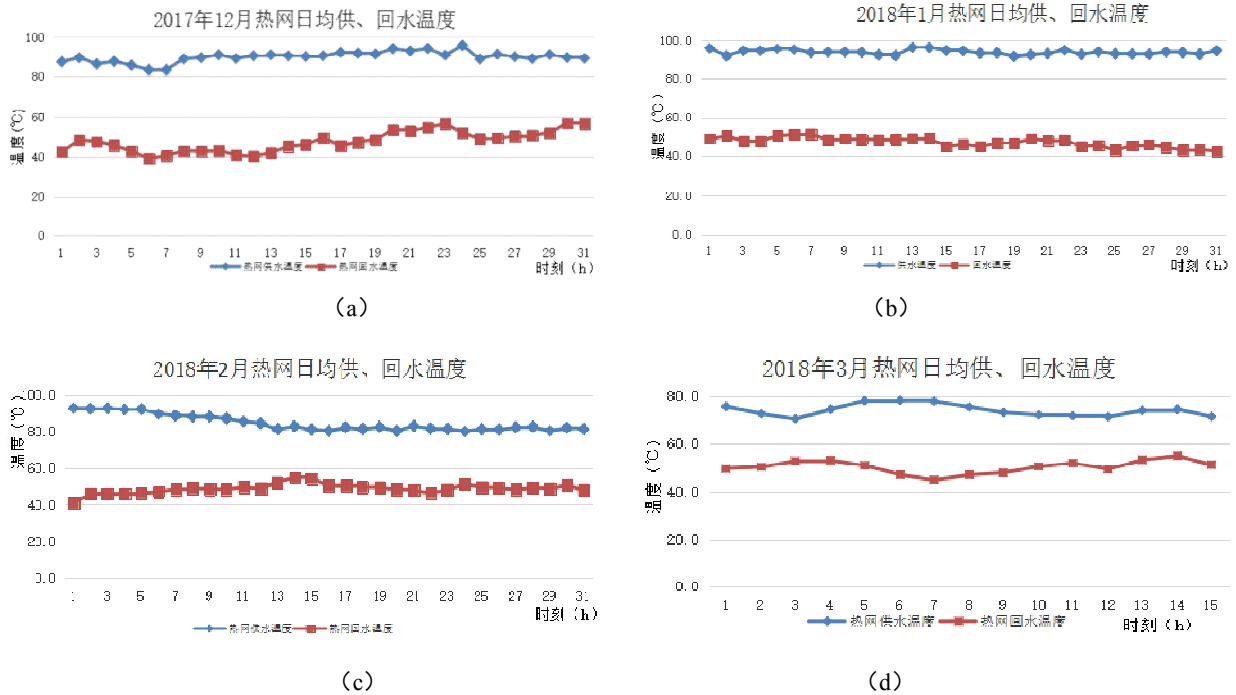


图1 2017年12月至2018年3月市政热源温度参数

Fig.1 Temperature parameters of municipal heat sources from December 2017 to March 2018

### 3.1.3 循环水供回水温差及流量特点

循环水供回水温差占比如图2。根据图示分析,

其中 2~3℃ 温差占 47.46%, 3~4℃ 温差占 30.51%, 2~4℃ 温差的运行时间占了冬季二次侧总运行时间的 78%, 并且该温度差小于冬季的 10℃ 的设计温差。

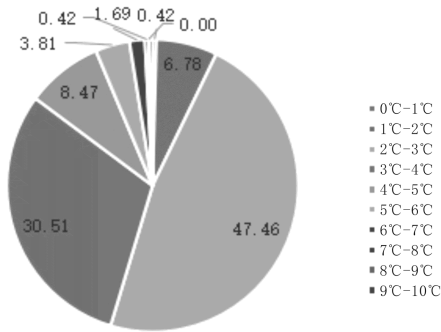


图 2 二次侧供回水温差

Fig.2 Temperature difference between two side supply and return water

以西安最冷月 1 月数据为例, 自控采集泵运行日均流量统计见图 3, 系统设计主管道管径 DN450, 假定流速为 0.9m/s<sup>[7]</sup>, 计算流量 474.7m<sup>3</sup>/h。

由图 3 可知, 该月日均流量有 20 天超过设计流量。

综合四个月数据, 系统在冬季工况 2568 小时运行时间内约 67% 时间处于“大流量、小温差”运行工况, 且根据流量与频率成正比的关系<sup>[8]</sup>, 流量基本稳定, 泵长期处于工频运行状态。系统冬季运行整体呈现出“定流量被动变温差”工况, 不利于节能。

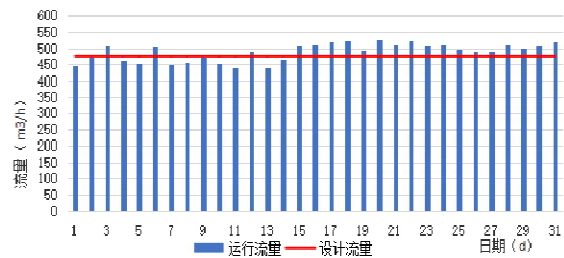


图 3 日均流量统计图

Fig.3 Daily average flow statistics

### 3.2 夏季工况分析

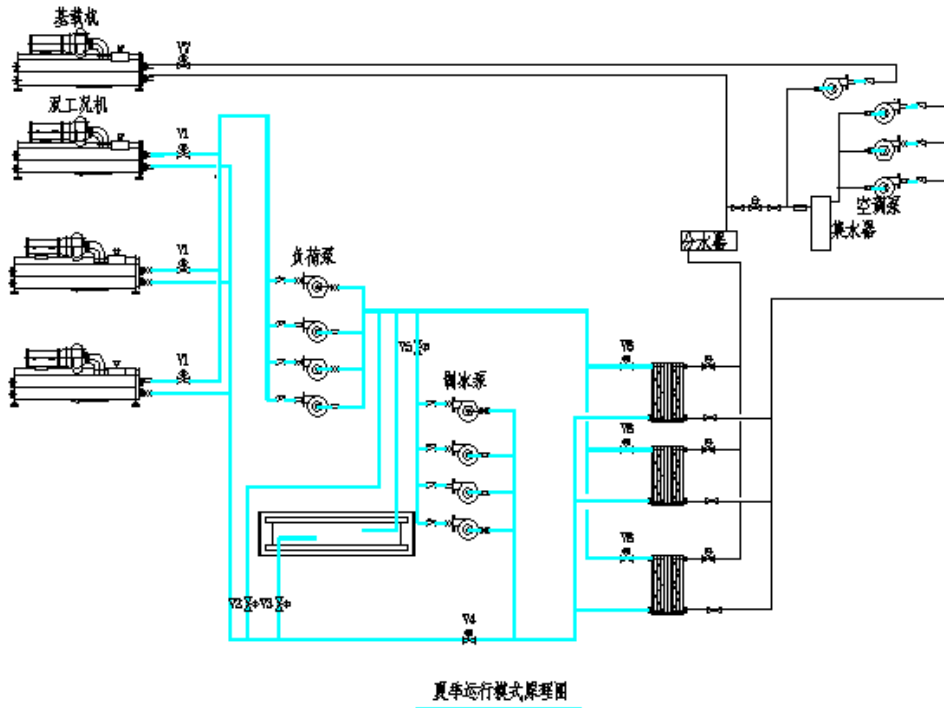
#### 3.2.1 夏季系统运行模式概述

项目运维过程中针对各单体建筑负荷的每日不同工作时段以及每周工作特点制定了夏季系统运行模式, 如表 2 所示。

表 2 夏季运行模式

Table 2 Summer operation mode

周一—周五						
时间	5:00	7:00	9:30	11:00	18:00	22:00
运行模式	基载机供冷		基载机+主机供冷		主机供冷 冰槽供冷(乙二醇液位低于 0.55m 混合供冷, 低于 0.45m 只主机供冷)	
	基载机供冷					
周六、周日						
时间	5:00	9:00	9:30	11:00	18:00	22:00
运行模式	基载机供冷		基载机+冰槽供冷 冰槽供冷(乙二醇液位低于 0.55m 混合供冷, 低于 0.45m 只主机供冷)			
	基载机供冷					



不同运行模式下阀门状态

工 况	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
模式 1 : 基载机供冷	关	关	关	关	关	关	开
模式 2 : 主机供冷	开	开	关	开	关	调节	关
模式 3 : 基载机供冷+主机供冷	开	开	关	开	关	调节	开
模式 4 : 冰槽供冷	关	关	开	调节	调节	调节	关
模式 5 : 基载机供冷+冰槽供冷	关	关	开	调节	调节	调节	开
模式 6 : 主机供冷+冰槽供冷	开	关	开	调节	调节	调节	关

图 4 夏季六种运行模式原理图

Fig.4 Schematic diagram of six operation modes in summer

3.2.2 实际运行模式与设计模式的对比

(1) 设计运行模式下，冰槽供冷模式是用于夏季调峰；相反春秋季节冰槽供冷模式作为主要的空调方式。但实际运行模式下，冰槽供冷模式用于夏季工况高峰期承担全部负荷，过渡季节不使用。

(2) 设计运行模式下，23:00-07:00 基载机不停机运行，为末端供冷，双工况机组满负荷制冰。实际运行模式为 22:00 之后基载机停止运行，23:00 至次日 6:00 期间双工况机组制冰。

3.2.3 夏季系统运行数据分析

在 2018 年 6 月实际夏季工况调查中，分别记录了空调水供回水温度以及供回水压力。按照冬季工况的研究方法对 6 月、7 月数据进行分析，空调水温差所占百分比如图 5 所示。

2018 年 6 月空调供回水温差主要集中在 0℃~4℃，其中 0℃~1℃温差占比为 26.27%，1℃~2℃温差占比为 36.44%，2℃~3℃温差占比为 22.88%，3℃~4℃温差占比为 12.71%，4℃~5℃占比仅为 1.69%。相对于设计温差 5℃，在实际运行工况下循环水温差偏小。

2018 年 7 月空调供回水温差占比相对均匀，其中 0℃~1℃温差占比为 16.28%，1℃~2℃温差占比为 31.40%，2℃~3℃温差占比为 22.09%，3℃~4℃温差占比为 16.28%，4℃~5℃占比仅为 13.95%。7 月份 4℃~5℃温度段比 6 月份有所增加，但 4℃以下温差还是占到了 86%。

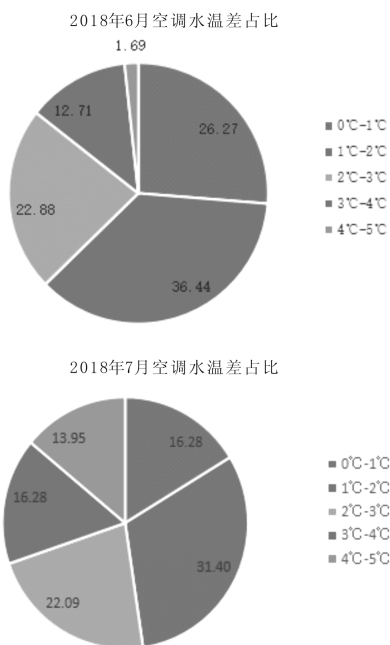


图 5 6 月和 7 月空调循环水温差特点

Fig.5 Characteristics of temperature difference between air conditioning and circulating water in June and July

根据中国空气质量在线监测分析平台<sup>[9]</sup>记录, 除去极端天气温度, 从 2018 年 6 月—7 月选择室外温度较有代表性的 7 月 15 日作分析, 该天室外日均温度 30℃。查询 15 日 5:00-18:00 室外温度变化趋势图如图 6。根据 7 月 15 日实际采集数据, 当天供回水压差、温差趋势如图 7, 逐时流量趋势如图 8。

7:00-9:00 时段, 室外温度随日照强度呈上升趋势, 供回水温差最低 1.4℃, 最小流量为 455m<sup>3</sup>/h, 其中 8 点 30 分之后人员逐步到岗, 随着室外温度上升以及人员活动, 室内负荷呈现增长趋势, 供回水温差增大到 3.2℃。

9:00-11:00 时段, 外温度随日照强度呈快速上升趋势, 随着进入工作时段, 办公用电脑、电灯、人员活动、访客增加冷负荷快速增长, 供回水温差继续增大到 4.2℃, 流量增加到 495m<sup>3</sup>/h 左右。

11:00-15:00 时段, 室外温度继续呈上升趋势, 室内负荷也在增长, 但是供回水温差减小到 1.4℃, 流量保持在 472m<sup>3</sup>/h 左右, 温差较低的主要原因是开启了冰蓄冷模式, 融冰初期供水温度较低, 供冷能力较好, 且外来办事人员数量减少, 门窗开启次数减少, 加之接近午餐及午休时间, 此时温差小, 流量保持不变。

15:00-17:00 时段, 时间段室外温度开始下降, 但是下午外来办事人员普遍增多, 会议较上午也增多, 负荷呈现较大增长趋势, 供回水温差上升至 4.6℃, 流量上升至 509m<sup>3</sup>/h。经过以上分析, 夏季 7 月同样也存在“大流量, 小温差”的现象。

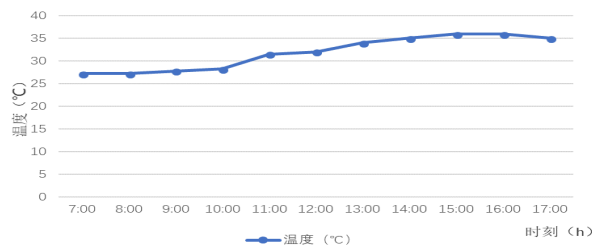


图 6 2018 年 7 月 15 日 7:00-17:00 室外温度变化趋势图

Fig.6 Outdoor temperature change trend chart for 7:00-17:00 in July 15, 2018

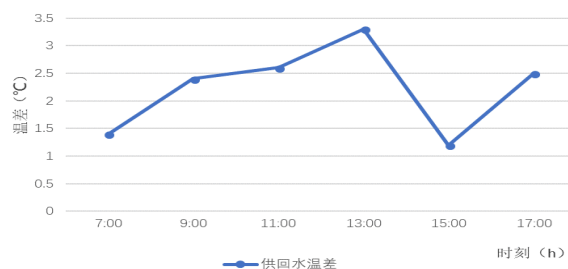


图 7 2018 年 7 月 15 日 7:00-17:00 供回水温差变化趋势图

Fig.7 Water temperature difference change trend chart for 7:00-17:00 in July 15, 2018

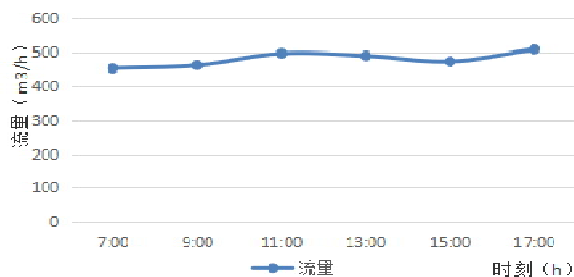


图 8 2018 年 7 月 15 日 7:00-17:00 流量变化趋势图

Fig.8 Flow change trend chart for 7:00-17:00 in July 15, 2018

### 3.2.4 夏季工况运行模式与冬季工况的区别

夏季工况运行模式较冬季工况复杂, 主要有以下 3 方面区别:

(1) 供/回水温差不同, 夏季供/回水温度 7℃/12℃, 冬季供/回水温度 60℃/50℃;

(2) 冬季通过板式换热器换热, 热源模式相对单一, 夏季运行冷源分为常规电制冷以及融冰供冷多模式工况;

(3) 冬季循环水系统变流量区间取决泵和变频器的安全极限, 夏季需要保证防止冷机蒸发器结冰的安全流量。

#### 4 系统“大流量、小温差”现象的成因分析

虽然供热、供冷模式上有一些差别, 但供暖期与供冷期都存在“大流量、小温差”现象。针对这一问题, 与运行人员分析运行模式、检查输配系统, 发现形成“大流量、小温差”的原因有以下3个方面:

##### (1) 设计功能和实际使用模式的偏差

设计运行模式下, 冰槽供冷模式是用于夏季调峰, 实际运行模式中冰槽供冷初期, 供水温度较低, 加上水泵工频运行, 导致供回水温差较小。空调的设计负荷运行时间只占空调总运行时间的6%~8%<sup>[3]</sup>, 多数时间未达到设计负荷也会导致小温差现象。

##### (2) 水泵工频运行

系统空调末端多为风机盘管及新风机组, 其中新风机组接入自控的电动水阀年久失修多数采用旁通运行, 风机盘管为通断控制的电磁阀。冬季当一定量房间温度逐步升高达到设定温度时, 以及夏季房间温度低于设定温度时, 风机盘管水阀关闭, 系统需求水量减小, 此时水泵应相应的降低转速来调节二次侧流量。

经调查运行记录及询问值班人员发现, 当出现末端流量需求较少时按照现在常用的控制措施, 应当控制水泵变频器减少流量, 但是由于该系统设计较早自控在冬季/夏季工况大多数时间内水泵采用工频运行, 流量调节需要人为输入变频频率, 在实际运行中由于无法预计流量变化规律以及缺少自控关联很少使用, 运行单位为考虑运行安全选择工频运行, 最终导致部分时间流量较大。

##### (3) 单体建筑入口缺少平衡阀

各单体设计年代不一且已超十年, 建筑入口未安装平衡阀, 仅靠定期人工巡检调节无法适应建筑内部末端流量的频繁变化, 不能针对各个单体的负荷情况及时调节供入的流量, 各个单体楼的回水温度不同, 导致离动力中心较近的建筑流量可以满足室内需要的冷/热负荷, 离动力中心较远的建筑流量不能满足室内需要的冷/热负荷, 运行人员为保

证最远单体楼用户的舒适性, 只能加大流量运行。二次侧的供冷/热量大于用户侧的需冷/热量, 此种模式长期运行下来就形成了“大流量小温差”现象。

#### 5 建议

针对该系统出现的“大流量、小温差”现象, 本文提出以下3点建议:

(1) 冬夏分泵运行, 供回水温差不同, 夏季供回水温度7℃/12℃, 冬季供回水温度60℃/50℃, 目前采用冬夏共用泵工频运行, 可根据系统实际运行情况考虑冬夏分泵运行模式, 减少冬季运行相应能耗;

(2) 冬季直接采用定压差水泵变频控制, 变频最低限取决泵和变频器的安全极限。夏季采用最小流量旁通<sup>[10]</sup>+定压差水泵变频控制, 保证满足基载机的最低流量下限, 保护冷机;

(3) 在各单体入口回水管路上增设平衡阀, 使得能针对各个单体的负荷情况及时调节供入的流量, 缓解“大流量、小温差”现象。

对于既有公共建筑空调水系统节能研究, 本文提出以下4点建议:

(1) 早期公共建筑中自控系统控制功能由于时代的局限性相对简单且很多项目在考察中自控已经废弃, 而现有运行的自控系统更多地为了满足设计要求, 在实际使用中缺少对于项目实际需求进行的优化控制;

(2) 在业主单位及运行单位观念中对于冬夏负荷差别反应在流量方面的特性不敏感, 在保证使用效果前提下更加关注运行安全, 其节能潜力较大;

(3) 由于在校学生课题研究时间有限, 可选择的样本也有限, 建议建设行政主管部门及专业科研单位组织专项调查, 就各地区既有公共建筑空调水系统运行情况进行调研分析。

(4) 建议行业协会针对暖通系统编制试运行(营)导则, 导则是指在系统单机和带负荷调试达到设计且进行相关标定后, 针对建筑实际负荷特点进行针对性调试, 以期实现系统运行与建筑负荷特点最大可能的耦合。

#### 6 结论

选题之初在运营公司其它项目调查时, “大流量、小温差”也是普遍存在的, 但相关文献检索中

(下转第151页)