

# 数据中心离心式冷水机组喘振分析及防治

李 勇

哈尔滨地铁集团有限公司 黑龙江哈尔滨 150050

**摘要:** 建筑物空调负荷随时间和季节的不同而变化。设计空调系统时,冷水机组的容量、水泵及水管管路均按照逐时冷负荷的最大值设置。空调系统一年中绝大部分时间是在40%~80%负荷范围内运行,满负荷运行的时间非常少。随着冷水机组及水泵等设备性能的改进以及变频技术的普及,为更好适应建筑物空调负荷变化,空调水系统的形式也在不断变化,由定流量系统逐渐演变为变流量系统。变流量系统分为2种形式:一种为空调末端设备变流量,冷水机组定流量,水泵工频运行;另一种为空调末端设备及冷水机组均采用变流量,水泵变频运行。空调末端设备采用变流量系统相比定流量系统更具有节能效果是行业内公认的。

**关键词:** 数据中心;离心式冷水机组;喘振分析;防治;

## 引言

空调系统在设计选型阶段为满足建筑室内热舒适性要求,同时避免出现末端冷量不足的情况,一般会按照建筑最大负荷设计,采用容量较大的冷水机组来提高空调系统在不同负荷条件下的灵活性,因此空调系统制冷能力通常有很大富裕,导致冷水机组长期在部分负荷下运行,存在能效低、能耗高的问题。因此,对冷水机组的运行控制进行优化是空调系统节能的重要途径之一。大多数空调系统均采用多台冷水机组设计,运行时一般通过控制各台机组的冷冻水供水温度及冷冻水流量实现负荷的分配。在机组型号一致的多冷水机组系统中,较多采用相同冷冻水供水温度控制,每台机组提供相同的冷量;在机组型号不一致的系统中,每台机组通常按其额定制冷量占有所有运行机组额定制冷量总和的比例提供冷量。

## 1 离心式冷水机系统原理

图1显示了系统运行过程中的水和制冷剂的相关侧参数,包括蒸发器的进水和出口温度、制冷效率、冷凝器的进水和出口温度、散热效率以及压缩机的能耗等。各个工作值的状态可以表示冰水发电机组的复杂性能关系参数。冰水轮发电机组的预应力可分为单级和多级。单级压力和转子角速度决定了制冷剂的分子量,单级压缩的压力比可达到3~4。当高温热源与低温散热器的压力比超过。

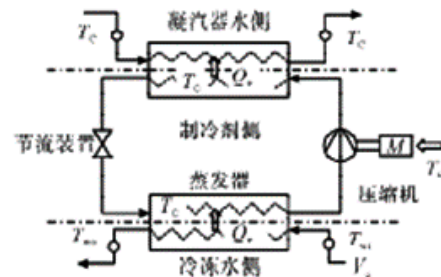


图1 离心式冷水机系统图

## 2 运行数据处理

因受到动态运行、噪声干扰、传感器异常、通信中断等多种因素的影响,实际冷水机组系统的运行数据可能存在非稳态、数据缺失和数据异常等问题。因此使用这些数据以前,需要根据不同类型的数据问题,采用不同的数据处理方法进行数据筛选和清洗。针对缺失数据,由于在本文获取的数据中缺失记录仅约占总数据的3%,因此对含有缺失数据的记录采用直接删除的方法;由于本文主要研究机组稳定运行时的性能特征,因此使用移动窗口算法筛选出各台设备的稳态数据;针对异常数据的识别与清洗问题,采用孤立森林算法将数据划分成不同维度进行分析处理。

## 3 变流量运行对冷水机组性能的影响

根据冷水机组生产厂家的相关信息,冷水机组蒸发器和冷凝器水流量在30%~120%的额定流量变化时,机组能够正常运行。蒸发器或冷凝器内的水流量太小,流速太小,会使换热器内流体的流动状态由湍流转变为层流,恶化换热器的换热。而蒸发器或冷凝器内的水流量太大,会增加蒸发器或冷凝器的阻力,同样影响机组的正常运行。为定量分析变流量系统对冷水机组

**通信作者:** 李勇(1980.04.04)男,汉族,黑龙江省哈尔滨市,工程师,本科,哈尔滨地铁集团有限公司,主要研究机电设备,686500@qq.com

性能系数的影响,对部分输入参数进行假定:参考厂家制冷机组的额定制冷工况,冷水机组冷冻水进/出水温度为 $12\text{ }^{\circ}\text{C}/7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,冷却水进/出水温度为 $32\text{ }^{\circ}\text{C}/37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,蒸发温度为 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,冷凝温度为 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。后续表格中的相关数据均在上述假定的基础上,结合第1节中理论分析的相关公式,通过计算得出。机组的类型、容量及换热器的污垢系数对机组的性能系数有一定影响,但在改变蒸发器、冷凝器水流量及蒸发和冷凝温度时,上述因素对机组性能系数的影响是一致的,不会左右分析的准确性,因此分析过程中对机组类型、容量、污垢系数未进行修正。

#### 4 运行策略研究

通常情况下,夏季供冷时,以地源热泵作为基载系统优先运行,承担建筑物的冷负荷需求;运行过程中随着系统冷负荷需求的增加,当地源热泵系统单独运行不能满足全部冷负荷需求时,开启冷水机组及其配套设备进行冷负荷调峰,联合地源热泵系统同时运行,共同承担建筑全部的冷负荷需求。冬季供暖工况运行时,仅采用地源热泵系统承担全部建筑热负荷需求,运行原理与单一地源热泵系统相同。但综合考虑供冷季室外温度、建筑冷负荷的变化趋势,以及地源热泵子系统和水冷机组子系统的运行特性,供冷初期和末期,室外温度相对偏低,建筑冷负荷相对较小,水冷机组子系统运行能效相对较高,而供冷季中期,室外温度相对偏高,建筑冷负荷相对较大,水冷机组子系统运行能效相对较低。而地源热泵子系统运行过程中不断对土壤排热,使得地源热泵子系统能效逐渐降低。因此,夏季供冷工况运行策略调整为在供冷季初期和末期,优先运行水冷机组,水冷机组满负荷运行后,地源热泵机组作为调峰冷源使用;在供冷季中期(如7、8月份),优先运行地源热泵机组,地源热泵机组满负荷运行后,冷水机组作为调峰冷源使用。

#### 5 系统选择分析

集中式空调系统的主要耗电设备为冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔等。从上述分析可知:1)当集中式空调系统恒定冷水机组冷冻水出水温度和冷却水出水温度运行时,冷冻水和冷却水采用100%定流量运行对机组的性能系数影响不大,在某些工况下(见图1(c),75%负荷),100%定流量运行时冷水机组的性能系数会降低。因此,对于冷水机组冷冻水出水温度和冷却水出水温度恒定的集中式空调系统,冷水机组侧建议采用变流量运行,在部分负荷下降低水泵的

运行频率,减小水泵的运行能耗,从而降低系统能耗。

2)当集中式空调系统恒定冷水机组冷冻水进水温度和冷却水进水温度运行时,在部分负荷下,尤其是在低负荷下,采用100%冷冻水和冷却水流量运行,冷水机组性能系数增加的幅度较大。因此,对于冷水机组恒定冷冻水进水温度和冷却水进水温度的集中式空调系统,冷水机组侧建议采用定流量系统,在部分负荷下,通过增大蒸发器和冷凝器的水流量提高机组性能系数,从而降低系统能耗。

#### 6 供冷季中期控制逻辑

在供冷季中期优先运行地源热泵机组,根据系统启动要求,首先应通过设备自动轮换功能,根据系统统计的机组累计运行时间,自动选择累计运行时间最短的机组,确定选择启动机组以及对应的阀门。通过监测空调回水温度,分别进行机组的加载和减载,其中机组、循环水泵、冷却塔、电动阀的控制逻辑。

#### 7 辅助冷源调峰技术

地源热泵+冷水机组辅冷系统能源耦合形式,应用时应充分考虑建筑功能使用需求,建议采用专业软件对建筑全年逐时负荷进行模拟,并根据模拟结果优化系统使用要求及能源结构形式。在制定系统结构与运行策略初步方案时,可根据上述模拟结果进行分析,如在供冷季中期优先开启地源热泵机组满足建筑冷负荷,当建筑冷负荷需求增大时也优先加载地源热泵机组。所有地源热泵机组全部开启且都满负荷运行,但仍不能满足建筑冷负荷需求时,开启冷水机组调峰。当采用地源热泵系统作为基载系统时,应结合地理管换热能力要求,根据地层温度和土壤换热能力等浅层地地质条件综合考虑地理换热孔的布置要求,结合建筑全年逐时负荷模拟结果充分考虑运行过程中土壤冷热平衡问题,避免在长期运行时出现土壤冷热堆积现象,影响系统运行效率。当采用冷水机组辅冷系统作为辅助能源形式进行冷负荷调峰使用时,应结合地源热泵系统设备参数要求,尽量保证冷水机组的冷冻侧水流量与地源热泵机组空调侧水流量相近,保证多台泵并联运行时流量衰减影响最小。当冷水机组选型不能满足要求时,可适当调整地源热泵机组的设备组合形式。

#### 结束语

1)恒定冷水机组冷冻水出水温度,改变冷冻水流量,冷水机组的性能系数随冷冻水流量的增大先减小后增大,对机组的性能系数影响不大;2)恒定冷水机组冷冻水进水温度,改变冷冻水流量,冷水机组的性

能系数随冷冻水流量的增大而增大,且负荷越低,采用100%冷冻水流量时,性能系数增加的越大;3)恒定冷水机组冷却水进水温度,改变冷却水流量,冷水机组的性能系数随冷却水的流量增大而增大,且负荷越低,采用100%冷却水流量时,性能系数增加的越大;4)恒定冷水机组冷却水出水温度,改变冷却水流量,冷水机组的性能系数随冷却水流量的增大而增大;5)相比冷冻水,冷却水流量的变化对冷水机组的性能系数影响更为明显。

#### 参考文献:

- [1]王香兰,晋欣桥,吕远,贾志洋.基于关联规则的多冷水机组系统负荷优化分配[J].制冷学报,2022,43(01):35-45.
- [2]江明旒.运行工况对冷水机组性能的影响[J].制冷技术,2021,41(05):78-82.
- [3]刘孝刚.冷水机组综合性能测试实验台的开发[J].机电信息,2021(22):43-45.
- [4]罗富胜,邹仕臣.论冷水机组台架设备效率提升方法研究与实践[J].时代汽车,2021(14):122-123.
- [5]曾国安,庄友明.基于复回归验证模式对离心式冷水机故障检测与诊断技术[J].成都大学学报(自然科学版),2021,40(02):186-190.
- [6]许成炎.冷水机组变流量节能优化研究[D].西安建筑科技大学,2021.
- [7]蔚婷.基于深度神经网络的冷水机组故障智能诊断算法[D].内蒙古工业大学,2021.