

某既有地源热泵能源站能效提升改造

吕振波¹ 田彦法² 李达² 李利³

1. 聊城高级财经职业学校; 2. 山东华科规划建筑设计有限公司; 3. 聊城高级财经职业学校

摘要:聊城高级财经学校餐旅综合楼,采用地源热泵作为中央空调系统的冷热源。自2016年9月份投入运行至今,该能源站能较好的满足本工程室内供冷和供暖需求,但由于使用工况改变和维护不善而导致该能源站的实际能效较低。2021年7月,笔者对该能源站进行现场调研和数据检测,并对能耗偏高的原因进行分析诊断,结合功能调整造成的空调负荷变化提出了能效提升的整改方案。2022年3月,完成节能提升改造,增设了能耗监控装置。经前期初期调适,通过监测参量的测试比选,优化控制策略,有效提升了能源站的运行能效,经监控系统比对和初步测算,节能率可达50%左右。该课题获聊城市科学技术局2021年度聊城市重点研发计划(公益性科技攻关)立项,本既有地源热泵的成功提升,可为类似项目的改造提升提供一定的参考价值,其经验的推广可为双碳目标的实现作出一定的贡献。

关键词:地源热泵; 能源站; 能效提升; 改造; 监控装置

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.22.116

引言

中央空调系统的冷热源占公共建筑总体能耗和运行费用的50%以上,空调能源站的设计选择和运行维护管理是建筑节能减排的关键因素。地源热泵属可再生能源的典型应用,但基于节能非业主的主要利益诉求,存在重设计和建设、轻运行管理的意识,使得设计目标和实际使用效果之间存在较大差距,因运维水平低而导致地热能有效利用偏低成为普遍现象,形成明显的“漏斗效应”。笔者对某职业学校综合楼既有地源热泵能源站进行了能效提升改造,通过现状调研、能耗测评、节能诊断,提出针对性的能效提升改造方案,加设和完善了监控装置,经前期初步调适,节能成效显著,可供类似项目参考借鉴。

一、工程概况

聊城高级财经职业学校餐旅综合楼由主楼和配套楼两个子项组成,总建筑面积为23000m²,建筑高度为48.75m,设计执行《公共建筑节能设计标准》GB 50189-2005中50%的节能率。其中主楼地下一层,建筑面积700m²(均为设备用房);地上十二层,建筑面积14000m²。主楼原设计功能为实训酒店(星级高档酒店):一至三层为餐饮、会议等公共用房,四至十二层为客房。主楼实际使用改为餐旅系教学生活功能:一至三层为教室,四层为办公室,五至十二层为学生宿舍。配套楼地上三层,建筑面积9000m²,原设计功能为超市和会议室,实际使用功能改为中央厨房和办公室(对外承包)。配套楼一楼和二楼未应用中央空调,能源站实际服务的空调面积为16000m²。

山东聊城属暖温带季风气候区,四季分明,冬季寒冷干燥。根据原规模和功能,设计空调冷负荷为1900kW,热负荷为1800kW。选用两台螺杆式水源热泵机组,地源热泵工况下,单台主机名义制冷量为959kW,耗电量为140kW,COP=6.836;制热量为921kW,耗电量为194.4kW,COP=4.736。用户侧设计循环泵三台,两用一备,原设计参数:流量G=58.34L/s,扬程H=34m,功率N=30kW;地源侧设计循环泵三台,两用一备,设计参数:流量G=52.78L/s,扬程H=33m,功率N=30kW。

该地区地质构造为黄河冲积平原,根据该项目的岩土热响应测试报告,初始温度为15.5℃,导热系数为1.457W/m·℃,容积比热容1.807X106J/m³·℃。本项目室外埋管换热器形式设计为单U型,埋管外径De32,竖向埋管深度为100米。结合埋管场地条件,分为南北两个系统,共计408个竖井换热器。

二、运行调研

聊城高级财经职业学校餐旅综合楼地源热泵能源站自2016年9月投入运行以来,可以较好的满足其室内供冷供暖的舒适性需求。2021年7月,笔者先后两次对该能源站机房进行了实地调研,对其实际运行发现了诸多问题,并进行了能效测评。

(一)2021年7月14日上午,笔者对能源站进行初次调研,主要发现了以下几个方面的问题,并逐项进行风险分析:

1.该能源站设计配置偏大。建筑总面积为23000m²,实际空调面积仅有16000m²;原设计为高档酒店和商业超市,实际应用为教学生活和外包中央厨房功能。新风系统开启较少,甚至不用。机房内只开启一台机组(且主要为部分负荷状态),即可满足室内空调供冷负荷的需求。

2.设备运行设置参数欠妥。

主机和循环泵的实际运行数据均不合理,并对运行参数进行分析如下:

(1)用户侧夏季供冷的设定供水温度为6℃,室内用户侧实际供回水温度过低,为7.7℃/6.1℃。说明在当前空调冷负荷状态下,用户侧循环泵的实际运行流量偏大。

(2)地源侧的供回水温度为22.1℃/23.7℃,说明地埋管换热器系统运行良好,有进一步节约运行费用的潜力。在当前空调冷负荷状态下,地源侧循环泵的实际运行流量偏大。

主要原因是用户侧及地源测水泵的扬程设计偏大,实际运行阻力偏小,且无变频措施,水泵已偏离高效区,循环泵输配能耗过高。

3.机房内无计量设施。无计量电能表、水表及监控装置,运行数据不完善。

4.地源侧和用户侧之间的切换阀门关闭不严。造

成两侧系统串水，地源侧实际运行压力过高（分水器供水压力达1.8MPa），超过地理管侧管道的公称压力（1.6MPa），存在较大的运行隐患。

5. 补水箱一直在溢水。说明补水控制阀出现故障，造成自来水的无效流失。

（二）经与建设单位协商，对该地源热泵能源站安装了“空调系统用能在线监测仪”，并于2021年7月24日上午，进行第二次调研，主要就能量消耗方面进行了定量的能效测评：

1. 基于其职业学校的特定属性，室内不同功能场所的供冷供暖需求有明显差异：①工作日白天全部场所均运行，夜间只学生宿舍运行；②寒暑假和周末白天只办公和外包中央厨房运行，夜间全部不运行。

但其实际的管理方式为：冬夏季的工作日和周末，能源站机房为全天运行，寒暑假的夜间关停地源热泵主机，但夜间主机关机时，循环泵是连续运行的。

2. 空调水系统按各使用场所功能不同，分集水器共划分了7个环路。某一功能场所空调不使用时，并未关闭相应的水路系统。

3. 在2021年7月22日下午17时，室外气温有所降低，测试的相关参数为：①地源侧机组供水温度21.7℃；②地源侧机组回水温度22.5℃；③用户侧机组供水温度为7.0℃；④用户侧机组回水温度为7.6℃；⑤用户侧循环水流量为226.3m³/h；⑥热泵机组只有一台压缩机在运行，瞬时有功功率为29.6kW，制冷量为171.8kW；⑦两侧循环水泵工频运行的电流均基本稳定在45A。

测算的循环水泵的耗电功率为23.7kW，机组的能效比（COP）为5.8，机房系统的综合能效比（EER_s）仅为2.23。

三、节能诊断

节能诊断是有针对性进行改造提升的前提，综合以上现场调研和能效测评，能耗偏高的（一）调取机组历史记录发现，该机组一直低负荷下运行，长期处于小温差、大流量的运行工况，输配能耗偏高，能源浪费较为严重。水泵流量和扬程均设计选型偏大，更换小流量的循环泵，可以大幅降低运行费用。

（二）空调负荷是动态变化的，应按照室内空调负荷的降低，通过水泵变频，实现与空调实际负荷匹配的量调节。

（三）周末或节假日，无空调负荷时，应关闭机房的主机和循环泵。可根据用户室内固定的空调负荷需求，对机组的开关机设定时间，以减少夜间和零负荷时的能源浪费。同时，主机应与水泵联动启闭。

（四）根据室内空调负荷的规律性变化，应及时关闭不运行的分集水器上的空调水环路。

（五）夏季调高机组蒸发器侧设定的供水温度，冬季调低冷凝器侧设定的供水温度，以进一步提高机组能效。

（六）因学生宿舍为5~12层，其余公共场所均在4层以下，故在假期期间，因运行的系统均为低区，可将

高区系统关闭并调低机房的定压，进一步降低能耗。

（七）各用电设备及总机房均安装配备计量电表，以便进行有效监测和调节控制。

（八）水箱补水管上更换浮球控制阀，并加设水表，以便持续核查补水量。

四、改造方案

综合以上现状调研、能效测评和节能诊断，提出能源站进行节能改造的设计方案，具体措施如下：

（一）设备和阀件的更换

1. 更换空调系统用户侧及地源侧的循环泵，将型号较大的循环泵，调整为两台小型号的循环泵，用户侧参数为：流量G=46L/s，扬程H=31m，功率N=22kW。地源侧参数为：流量G=53L/s，扬程H=24m，功率N=18.5kW。增加水泵变频控制系统。

2. 更换用户侧和地源侧之间四个转换阀门为质量较好的焊接球阀，避免两侧串水。

3. 为降低输配能耗，将机房内的附属设施改造为低阻高效的阀件。对系统中的除污器和止回阀进行更换，将阻力较大的除污器、Y型过滤器和止回阀更换为阻力较低的篮式过滤器和超低阻力静音止回阀。使用多功能阀和扩散弯头过滤器。

4. 地源热泵增加并联不锈钢板式换热器和旁通阀，板式换热器的参数为：换热量800kW，温差1℃。在夏初和夏末的制冷季利用地源侧的冷水换热后直接供冷；在初寒期用地源侧的热水直接供暖，实现免费供冷（供暖）。

5. 补水系统增加计量水表。

（二）为提升空调能源站的运行能效，在机房内进行了计量、联动改造，增加了变流量控制设施。

1. 机房内加设专用电能表，对耗电量进行监测和计量。

2. 根据热泵机组提供的控制接口，对主机和循环泵实现联动，水泵可随机组按照设定的顺序启停，并结合自控系统自动优化运行。

3. 地源侧和用户侧的循环泵增设变频控制柜，实现变流量调节可根据温差设定自动变频运行，也可手动调节。因空调末端系统为定流量，无法根据压差控制。

（三）开发设计能源站监控装置

自动监测和控制系统是现代建筑的大脑与灵魂，对空调水系统而言，自控系统的正常运行是保证系统使用效果和实现高效运行的基础。

1. 监控平台概述

结合本项目的功能特性及负荷需求，委托某自控公司针对性地开发智慧远程监控系统平台。工作原理为：获取空调主机运行参数，水温、电量和水流量传感器将数据采集到PLC智能控制中心，PLC根据采集的数据来控制两侧水泵和空调主机的运行，同时在显示屏展示当前空调运行状态，通过远程模块，将数据上传至云平台，在电脑或手机就可以实时监控整个系统的运行情况。

2. 监测显示的组态功能

监控装置的控制软件根据本机房系统的配置，以组

态方式添加或修改受控对象，并设置属性。

(1) 运行状态的监测显示

只在界面显示，但不能体现在历史数据中的状态和参数有：

- 1) 主机工作模式：制热/供冷；
- 2) 主机工作状态：待机/运行；
- 3) 主机运行设定限制温度；
- 4) 冷凝器、蒸发器压力；
- 5) 压缩机的负荷状态；
- 6) 主机、水泵电流；
- 7) 用户侧、地源侧系统供水、回水压力；

(2) 运行状态的通用性参量监测显示

既可显示在界面上，也可体现在历史数据记录中的通用性参量有：

- 1) 室外温度；
- 2) 用户侧、地源侧：①水泵频率，②水流量，③系统供水、回水温度，④系统逐时供热（冷）量，⑤累计供热（冷）量，⑥水泵逐时耗电量、累计有功电能总和。

3) 热泵主机：①逐时耗电量，②累计有功电能总和，③逐时能效比COP，④能耗占机房总能耗的比例。

4) 板式换热器：①一次侧系统供水、回水温度，③二次侧系统供水、回水温度。

5) 机房：①逐时总耗电量，②累计有功电能总和，③逐时系统能效比EER。

(3) 运行状态的扩展性参量监测显示

结合本工程为学校性质，为同时测评能效和能耗指标，组态属性特别增加了分时参量，主要有：①机房平均小时系统能效比HEER，②机房平均日系统能效比DEER，③机房平均周系统能效比WEER，④机房平均月系统能效比MEER。

并可根据系统提供的机房季节累计供热（冷）量，和季节机房累计有功电能总和，计算出机房供热季或供暖季的季节系统能效比SEER。作为机房空调总运行效率的主要判据。

3. 控制系统的主要功能

监控系统的人机接口，除提供全中文软件界面和直观的图形和图表外，还具备以下控制功能：

1) 工作模式控制。监控系统不仅可以提供机房现场的就地控制，还可以提供手机和电脑上位机的远程显示和输入操控。当监控系统的上位机或通信发生故障时，控制装置自动转入“分布式控制”运行模式，由控制柜中的智能控制单元应用内置的控制算法独立控制设备的运行。

2) 变流量运行控制。根据空调负荷的变化，监控系统可依据用户侧系统设定的供回水温度差，对用户侧循环水泵进行变频控制，动态调整用户侧水系统的流量，保持用户侧水系统始终处于经济运行状态；根据地温场换热量的变化，监控系统可依据地源侧系统设定的供回水温度差，对地源侧循环水泵进行变频控制，动态调整地源侧水系统的流量，保持地源侧水系统始终处于

经济运行状态。

3) 预设时序控制。根据学校不同功能场所相对固定的空调使用规律，监控系统可提供基于预设时间表，对主机进行启停控制和优化运行的模式。控制装置可自动按照预设的设备运行时间表对主机进行启停操作，同时联动水泵优化供需平衡。

4) 参数设置功能。控制软件可对系统运行参数进行设置，包括自动控制时的初始参数设置和远程手动控制参数设置。本能源站设置的参数主要有两类：一是可根据系统运行的供回水温差、结合工作经验进行水泵频率的设定和控制，尽量控制供回水温差不小于5℃；二是可根据室外环境温度、结合经验进行用户侧供水温度的设定和控制，主机设定的启停温度为以用户侧供水温度，当运行温度达到设定温度+2℃时，主机联动地源侧循环泵关停，当运行温度达到设定温度-2℃时，主机联动地源侧循环泵开启。

5) 数据处理功能。监控平台每隔30分钟，对监控参数和参量进行记录，在上位机查询和显示，并做存贮，以便后台对能源站的能耗进行人工分析和能效提升的成效比对。

6) 数据上传功能。监控平台单独一个485数据输出，将能源站监控的参量，及时提供给国家电网备案，为碳排放计算和交易提供初始数据信息。

五、结语

空调系统的调适工作是高效运行的保障，2022年4月完成改造后，经前期初期调适，通过监测参量的测试比选，制定合理的运行方案和控制策略，实现系统的高效运行和可再生能源的最大化利用，经监控系统比对和初步测算，节能率可达50%左右。浅层地热能是一种可再生能源的应用，利用地源热泵机组作为冷暖两用中央空调的冷热源，是一种节能、高效、环保、舒适的成熟技术，在双碳目标的背景下，对地源热泵能源站进行调研测评和能效提升，更有其重要的社会意义和价值，该案例的成功改造，可在类似项目中起到一定的启发借鉴作用，其经验的推广可为双碳目标的实现作出一定的贡献。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 50736—2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2012.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 50189—2015 公共建筑节能设计标准[S].北京：中国建筑工业出版社，2015.
- [3] 陆耀庆.实用供热空调设计手册[M].北京：中国建筑工业出版社，2008.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 50366—2005 地源热泵系统工程技术规范（2009年版）[S].北京：中国建筑工业出版社，2009.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 55015—2021 建筑节能与可再生能源利用通用规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2021.