

文章编号: 1671-6612 (2021) 06-825-09

地源热泵+冷水机组辅冷系统运行策略 及控制逻辑研究

鲍超 张志尧 刘启明 魏俊辉 高朋

(北京市勘察设计研究院有限公司 北京 100038)

【摘要】 随着技术的发展, 单一地源热泵系统在实际应用中愈发不能满足使用需求, 因此地源热泵的开发利用已逐步发展为“地源热泵+”的模式, 即采用地源热泵与其他能源形式相互耦合, 既可有效形成多种能源形式间互补, 又可实现能源利用最大化。实际工程应用中, 对于以地源热泵为主的多能耦合系统, 其运行策略及智能控制的研究尚浅。结合地源热泵+冷水机组辅冷系统的工作原理, 针对其不同工况的运行特点进行控制需求的深度剖析, 提出系统控制点设定要求进而研探出更详尽的复合能源系统控制策略; 此外, 还对系统运行控制所涉及的关键技术进行了详细梳理, 以期为实现多能耦合系统的控制提供详实的技术支撑。

【关键词】 地源热泵; 冷水机组; 智能控制; 运行策略

中图分类号 TK11 文献标识码 A

Research on Intelligent Control Strategy of Ground Source Heat Pump System Based on Auxiliary Cooling of Chiller

Bao Chao Zhang Zhiyao Liu Qiming Wei Junhui Gao Peng

(BGI Engineering Co., Ltd, Beijing, 100038)

【Abstract】 With the development of technology, the single ground source heat pump system was increasingly unable to meet the needs of use in practical applications. The development and utilization of the ground source heat pump had gradually developed into the "ground source heat pump +" mode. Ground source heat pump coupled with other energy sources, which can effectively form a complementarity between multiple energy forms and maximize energy use. But in practical engineering applications, the research on the operation strategy and intelligent control of the multi-energy coupling system based on ground source heat pumps was shallow. According to the working principle of the ground source heat pump system based on the auxiliary cooling of the chiller, this paper analyzed the control requirements of the operating characteristics of the system under different operating conditions, proposed the system control point setting requirements, and explored a more optimized, more energy-saving and more efficient Energy system control strategy. In addition, the key technologies involved in the operation control of the system were also combed in detail in order to provide detailed technical support for the intelligent control of the multi-energy coupling system.

【Keywords】 ground source heat pump; chiller; intelligent control; operation strategy

作者(通讯作者)简介: 鲍超(1988.1-), 男, 工学学士, 工程师, E-mail: baochao_bgi@126.com

收稿日期: 2021-03-29

0 引言

地源热泵是一种利用可再生能源供暖制冷的节能技术, 近年逐步推广应用。而针对气候特点或建筑功能要求所导致建筑冷负荷需求远大于热负

荷需求的情况, 单独采用地源热泵系统则难以满足要求。例如, 若地源热泵系统仅考虑承担全部热负荷需求, 则地埋换热孔数量及机房设备均不够承担全部建筑冷负荷的要求; 若地源热泵系统依据可承

担全部冷负荷的条件进行布置,虽能满足系统全部供冷供热需求,但由于一个供冷季加一个供暖季循环的累计冷负荷远大于累计热负荷,即地源热泵系统全年向土壤排热的总量远大于向土壤取热的总量,因此长期运行过程中将出现土壤冷热失衡问题,产生“热堆积”现象,导致系统运行效率下降,甚至导致系统瘫痪^[1]。因此,对于以上情况建议采用地源热泵+冷水机组辅冷系统的复合能源耦合形式承担建筑冷热负荷需求。

地源热泵+冷水机组的复合式系统是在地源热泵系统的基础上增加辅助冷源冷水机组及配套冷却塔设备,夏季运行时可通过冷水机组辅助地源热泵系统联合运行,冬季运行时则完全由地源热泵系统承担全部热负荷需求,以此方式解决项目冷负荷需求远大于热负荷需求的系统要求;此外还可通过对系统的精细化管理控制,统计地源热泵系统地理侧供回水温度、流量以及运行时长等相关参数,合理分析供暖季地源热泵系统的总排热量,并以此作为依据调整夏季工况系统运行策略,合理分配夏季地源热泵系统的运行时间及所承担的冷负荷(例如部分时段优先开启冷水机组系统,保证地源热泵系统间歇运行),以此保证地源热泵系统地理侧夏季

排热量与冬季取热量满足平衡要求,有效缓解地源热泵土壤热堆积问题。

本文所述复合式冷热源系统区别于常规仅增加冷却塔进行辅助散热的系统方式,分别对源侧的机房及配套室外部分(地埋孔和冷却塔)进行优化,有效解决系统装机匹配问题。此种方式首先可保证冷水机组及配套冷却塔系统的标准运行工况(32/37℃),而不是仅用冷却塔去匹配地源热泵系统的夏季运行工况(25/30℃),保证系统高效运行,避免选型误差,降低投资成本(同型号冷水机组价格略低于热泵机组);此外此种方式系统划分更为明确,便于系统运行策略的制定和调整,利于系统运行管理。本文将结合系统运行要求着重对冷水机组辅冷的复合地源热泵系统运行策略及控制逻辑进行研究。

1 系统原理及运行策略分析

1.1 系统原理说明

基于冷水机组辅冷的复合地源热泵系统包括地源热泵子系统和冷水机组子系统,地源热泵机组采用地埋管换热器作为冷热源,冷水机组采用冷却塔作为冷却源,两子系统并联,可独立运行,其系统原理图如图1所示。

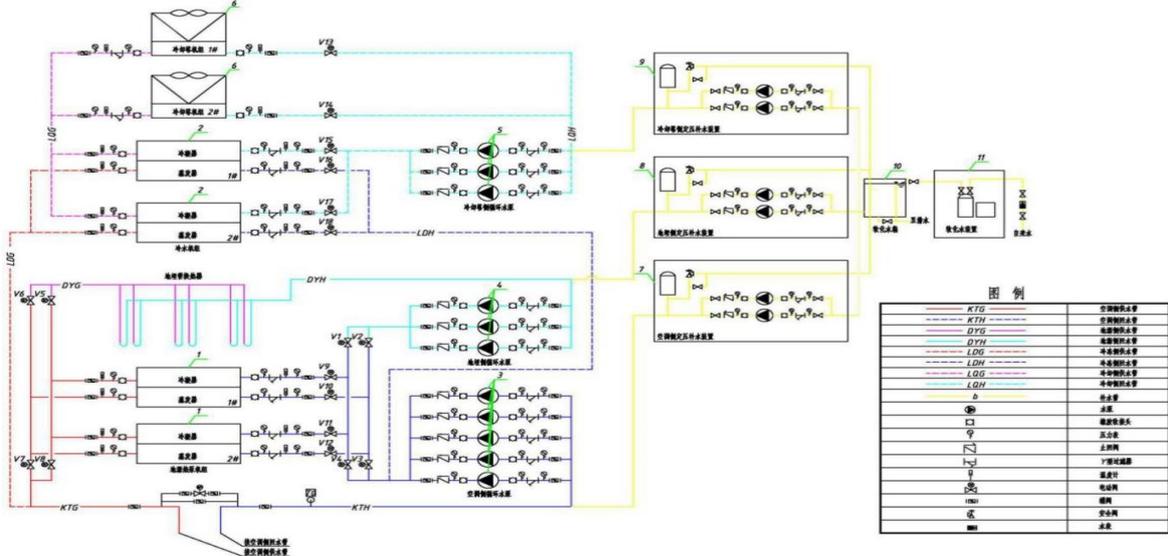


图1 系统原理图

Fig.1 System diagram

本文地源热泵机组和冷水机组均分别以两台机组并联的形式为例,阐述多台机组并联运行时的控制要求。地源热泵机组与空调侧循环水泵和地源侧循环水泵要求一一对应并采取联动运行方式控

制,冷水机组与冷却塔、空调侧循环水泵和冷却塔侧循环水泵要求一一对应并采取联动运行方式控制。系统中的循环水泵均考虑设置一台备用泵以备检修使用。本系统主要设备参见表1,各设备均依

据系统运行原理及功能要求对主要设备进行监控。

表 1 主要设备表

Table 1 Main equipment list

名称	单位	数量	备注
地源热泵机组	台	2	
冷水机组	台	2	
空调侧循环水泵	台	5	四用一备
地源侧循环水泵	台	3	两用一备
冷却塔侧循环水泵	台	3	两用一备
冷却塔	台	2	
定压补水装置(空调侧)	套	1	水泵两用一备
定压补水装置(地源侧)	套	1	水泵两用一备
定压补水装置(冷却侧)	套	1	水泵两用一备
补水箱	个	1	
全自动软化器	套	1	

1.2 系统特性分析

地源热泵子系统运行能效主要受埋管换热区域土壤温度影响,在夏季供冷时,系统对土壤不断进行排热,埋管换热器的土壤温度逐渐升高,造成进入热泵机组冷凝器器的流体温度较高,使得热泵机组制热能效相对下降。冷水机组子系统运行能效主要受室外温度影响,随着室外温度升高(降低),冷水机组系统运行的制冷量和运行能效随之降低(升高)。

冷水机组辅冷的复合地源热泵系统运行控制应综合考虑地源热泵和冷水机组两子系统运行特性,从而优化系统运行方式,提高系统能效。

1.3 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^[3]。

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。

2 控制点设定

本系统为地源热泵+冷水机组辅冷系统,地源热泵系统承担部分冷负荷和全部热负荷,冷水机组辅冷系统进行冷负荷调峰。地源热泵系统依据系统需求可分为冬夏两种运行工况,工况模式切换可通过三种方式实现,第一种是根据室外气象参数参考预先设定值进行自动切换;第二种是根据系统写入的固定时间表按照时间维度进行切换;第三种是根据实际情况人为切换^[2]。本文考虑人工切换方式虽需配置专业人员进行操作,但操作简单,每年仅需根据实际使用需求于供冷季或供暖季初期调整一次,因此建议采用第三种人工切换方式。阀门及传感器装设位置及作用如表 2 所示。

表 2 阀门及传感器装设位置及作用

Table 2 Installation position and function of valve and sensor

阀门及传感器编号	类型	装设位置或用途
V1	电动蝶阀	冷凝器入口主管两侧
V4	电动蝶阀	
V2	电动蝶阀	蒸发器入口主管两侧
V3	电动蝶阀	
V5	电动蝶阀	冷凝器出口主管两侧
V8	电动蝶阀	
V6	电动蝶阀	蒸发器出口主管两侧
V7	电动蝶阀	
V9	电动蝶阀	热泵机组冷凝器入口支管
V10	电动蝶阀	热泵机组蒸发器入口支管
V11	电动蝶阀	热泵机组冷凝器入口支管
V12	电动蝶阀	热泵机组蒸发器入口支管
V13	电动蝶阀	冷却塔入口支管
V14	电动蝶阀	
V15	电动蝶阀	冷水机组冷凝器入口支管
V16	电动蝶阀	冷水机组蒸发器入口支管
V17	电动蝶阀	冷水机组冷凝器入口支管

阀门及传感器编号	类型	装设位置或用途
V18	电动蝶阀	冷水机组蒸发器入口支管
T0	温度传感器	监测空调侧回水温度

3 控制逻辑研究

3.1 夏季供冷工况逻辑分析

3.1.1 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、电动阀的控制逻辑如图2所示。

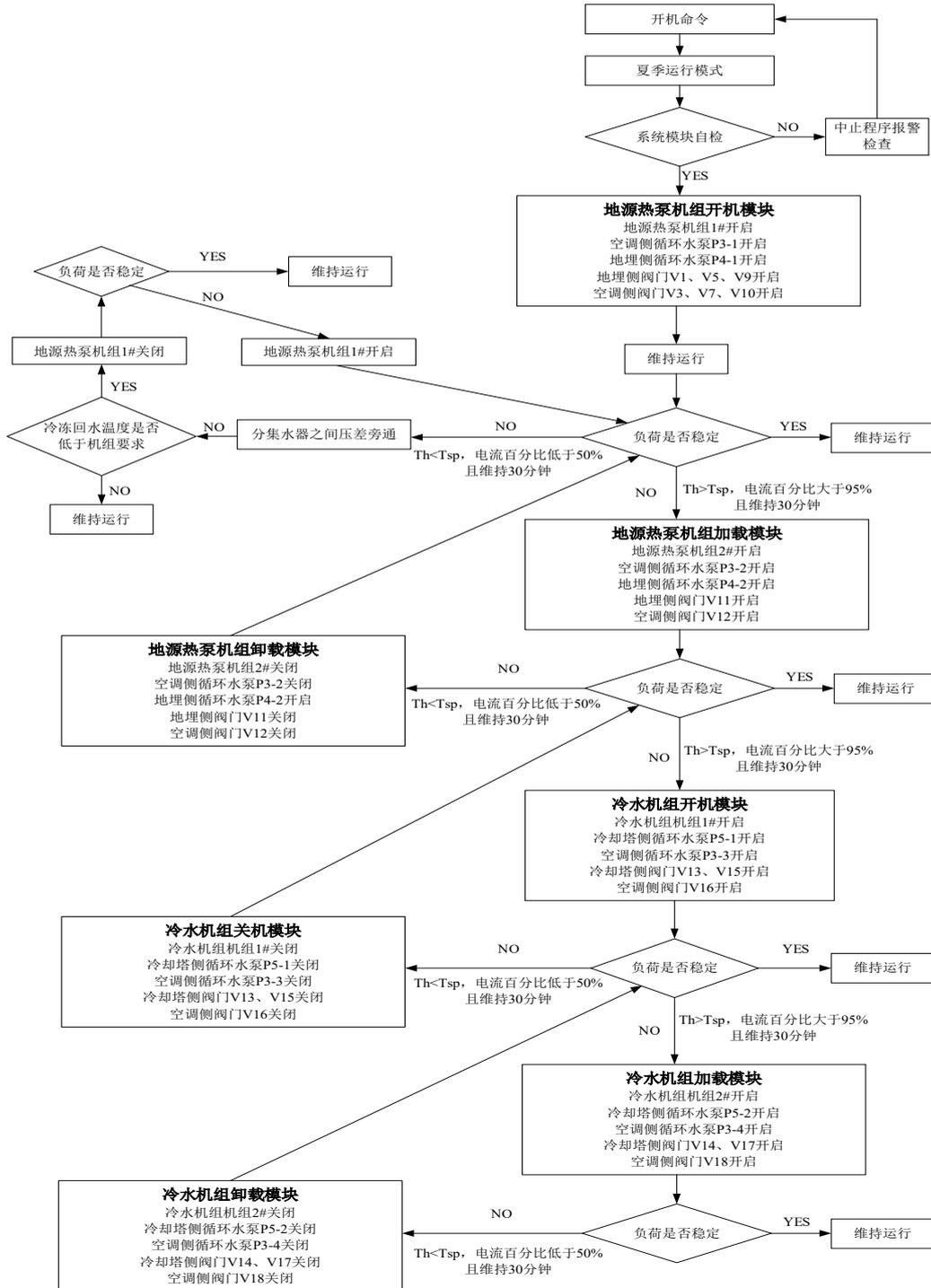


图 2 供冷季中期复合系统控制逻辑图

Fig.2 Control logic diagram of composite system in the middle of cooling season

3.1.2 供冷季初期和末期控制逻辑

在供冷季初期和末期, 优先运行冷水机组。复

合系统控制逻辑如图 3 所示。

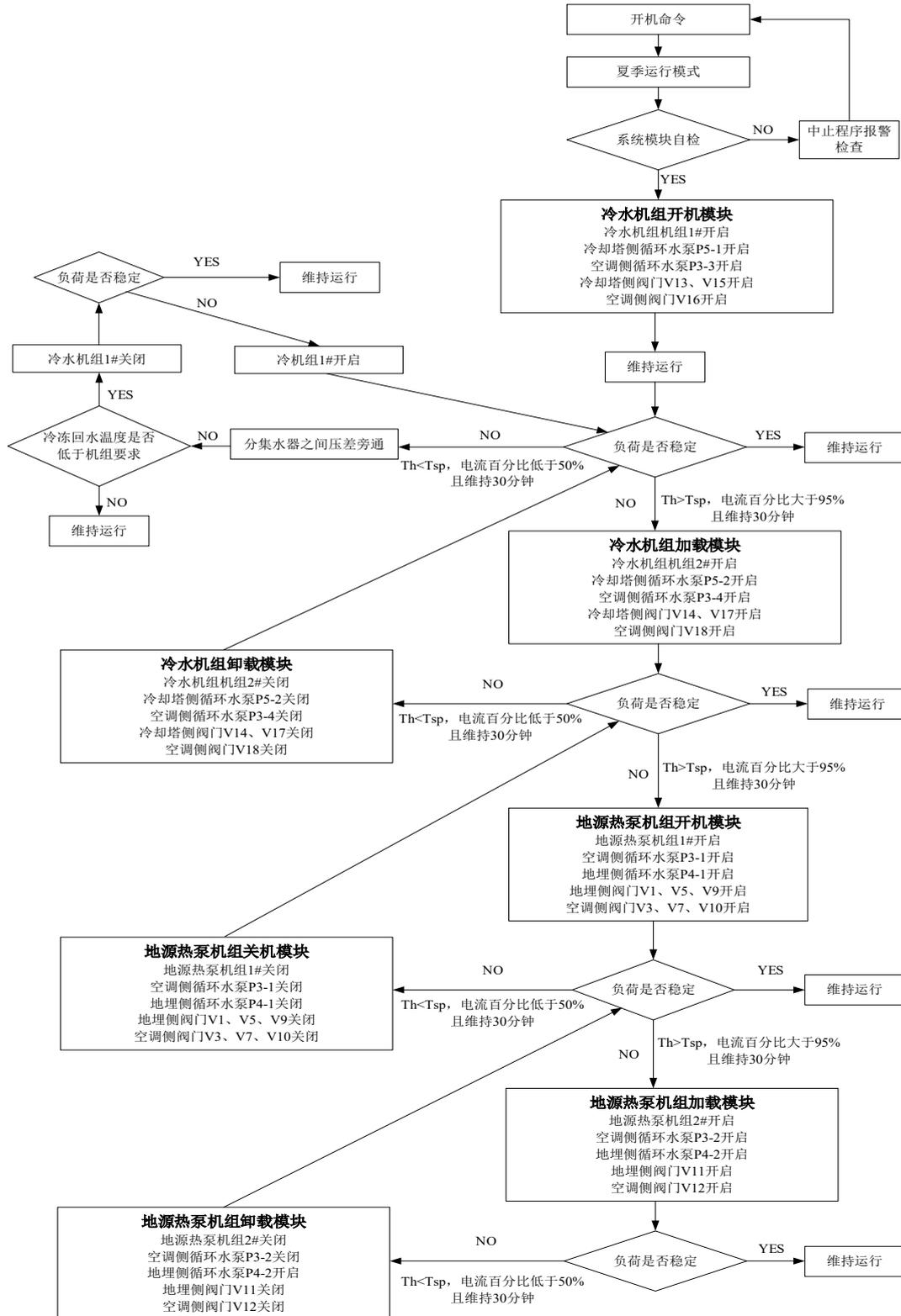


图 3 供冷季初期和末期复合系统控制逻辑图

Fig.3 Control logic diagram of composite system at the beginning and end of cooling season

3.1.3 供冷工况系统启动

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 1#或 2#地源热泵机组以及对应的阀门^[4,5]。

开启顺序为先通过 1#(或 2#)地源热泵机组控制器发出启动信号,打开地源侧电动阀 V1、V5、V9(或 V11),阀门全部开启的反馈命令收到后,发出控制命令开启 1#(或 2#)地源热泵机组对应的地源侧循环水泵。水泵开启反馈和水流开关反馈显示正常后,地源侧循环系统可视为正常运行。

然后发出控制命令打开空调侧电动阀 V3、V7、V10(或 V12),阀门全部开启的反馈命令收到后,发出控制命令开启 1#(或 2#)地源热泵机组对应的空调侧循环水泵。水泵开启反馈和水流开关反馈显示正常后,空调侧循环系统可视为正常运行。

此时地源侧和空调侧的管路及流动均为正常状态,延迟一段时间之后(可自行设定)且系统返回均显示正常后,最后发出控制命令开启 1#(或 2#)地源热泵机组,应注意发出命令开启的地源热泵机组、水泵和阀门应相互对应。

3.1.4 供冷工况机组加载

当仅一台地源热泵机组单独运行时,空调侧回水温度(T_0)大于设定温度(T_1 ,此温度可自行设定)且此时监测运行机组的电流负载率为 95%以上时,该状态运行时间持续一段时间(可自行设定),则开启 2#(或 1#)地源热泵机组及其配套设备和阀门。

开启顺序为先开启 2#(或 1#)地源热泵机组对应的地源侧循环水泵,当水泵运行状态显示为“开”时,打开与 2#(或 1#)地源热泵机组对应的地源侧电动阀 V11(或 V9),阀门开关状态反馈为“开”且水泵开启反馈和水流开关反馈显示正常后,地源侧循环系统可视为正常运行。

然后开启 2#(或 1#)地源热泵机组对应的空调侧循环水泵,当水泵运行状态显示为“开”时,打开与 2#(或 1#)地源热泵机组对应的地源侧电动阀 V12(或 V10),阀门开关状态反馈为“开”,且水泵开启反馈和水流开关反馈显示正常后,空调侧循环系统可视为正常运行。

此时地源侧和空调侧的管路及流动均为正常状态,最后可发出 2#(或 1#)地源热泵开机命令,使机组启动。

当两台地源热泵机组联合运行时,空调侧回水温度(T_0)大于设定温度(T_1 ,此温度可自行设定)且此时监测所有运行机组的平均电流负载率为 95%以上时,该状态运行时间持续一段时间(可自行设定),则开启 1#(或 2#)冷水机组及其配套设备和阀门。

当系统负荷需求继续增大时,可根据系统启动要求,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 1#或 2#冷水机组以及对应的阀门。冷水机组子系统的加载控制要求可参考上述地源热泵子系统加载控制要求(可将冷却侧视为地埋侧)。

3.1.5 供冷工况机组减载

当两台地源热泵机组和两台冷水机组联合运行时,空调侧回水温度(T_0)小于设定温度(T_2 ,此温度可自行设定)且此时监测所有运行机组的平均电流负载率(或压缩机负载状态)在 75%以下(此值可根据机组的 IPLV 值进行调整),该状态运行时间持续一段时间(可自行设定),则停止 1#(或 2#)冷水机组及其配套设备和阀门。

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长的机组,确定选择关闭 1#或 2#冷水机组以及对应的阀门。

关闭顺序为先停止 1#(或 2#)冷水机组,待系统收到冷水机组停止的反馈命令后,再停止 1#(或 2#)冷却塔设备,并在延时一段时间(可自行设定)后,关闭 1#(或 2#)冷水机组对应的空调侧电动阀 V16(或 V18)。当阀门显示关闭状态后,再关闭 1#(或 2#)冷水机组对应的空调侧循环水泵,当水泵运行状态反馈为“关”且水流开关状态反馈为“关”时,可视为冷水机组空调侧循环系统完全关闭。

然后关闭 1#(或 2#)冷水机组对应的冷却塔侧循环水泵,当水泵运行状态反馈为“关”且水流开关状态反馈为“关”后,关闭电动阀 V13(或

V14)、V15 (或 V17)。可视为冷水机组冷却塔侧循环系统完全关闭。

当两台地源热泵机组和一台冷水机组联合运行时, 空调侧回水温度 (T_0) 小于设定温度 (T_2 , 此温度可自行设定) 且此时监测所有运行机组的平均电流负载率 (或压缩机负载状态) 在 66% 以下 (此值可根据机组的 IPLV 值进行调整), 该状态运行时间持续一段时间 (可自行设定), 则停止正在运行的 2# (或 1#) 冷水机组及其配套设备和阀门; 同理, 当仅有两台地源热泵机组联合运行时, 空调侧回水温度 (T_0) 小于设定温度 (T_2 , 此温度可自行设定) 且此时监测所有运行机组的平均电流负载率 (或压缩机负载状态) 在 50% 以下 (此值可根据机组的 IPLV 值进行调整), 该状态运行时间持续一段时间 (可自行设定), 则停止正在运行的 1# (或 2#) 地源热泵机组及其配套设备和阀门; 当仅有一台地源热泵机组单独运行时, 空调侧回水温度 (T_0) 仍小于设定温度 (T_2 , 此温度可自行设定) 且此时监测运行机组的电流负载率 (或压缩机负载状态) 在 25% 以下 (此值可根据机组的

IPLV 值进行调整), 该状态运行时间持续一段时间 (可自行设定), 则停止正在运行的 2# (或 1#) 地源热泵机组及其地源侧配套设备和阀门。各子系统的减载控制要求可参考上述冷水机组子系统减载控制要求 (可将地埋侧视为冷却侧)。

3.1.6 供冷工况系统关闭

根据系统运行要求关闭整个系统时, 关闭顺序为先停止地源热泵机组和冷水机组, 待系统收到所有机组停止的反馈命令并延时一段时间 (可自行设定) 后, 关闭所有循环水泵, 并延时一段时间 (可自行设定) 后, 最后关闭已开启的电动阀门, 待机组、水泵以及阀门反馈显示关闭后, 系统视为正常关闭。

3.2 冬季供热工况逻辑分析

3.2.1 供暖季控制逻辑

冬季整个系统运行以供热为目的, 此时地埋管侧为蒸发侧从土壤吸热。在冬季供热模式下, 整个系统的运行模式与夏季模式有所不同。冬季供热模式下, 仅采用地源热泵机组处于运行状态, 承担建筑的全部热负荷需求, 其复合系统控制逻辑如图 4 所示。

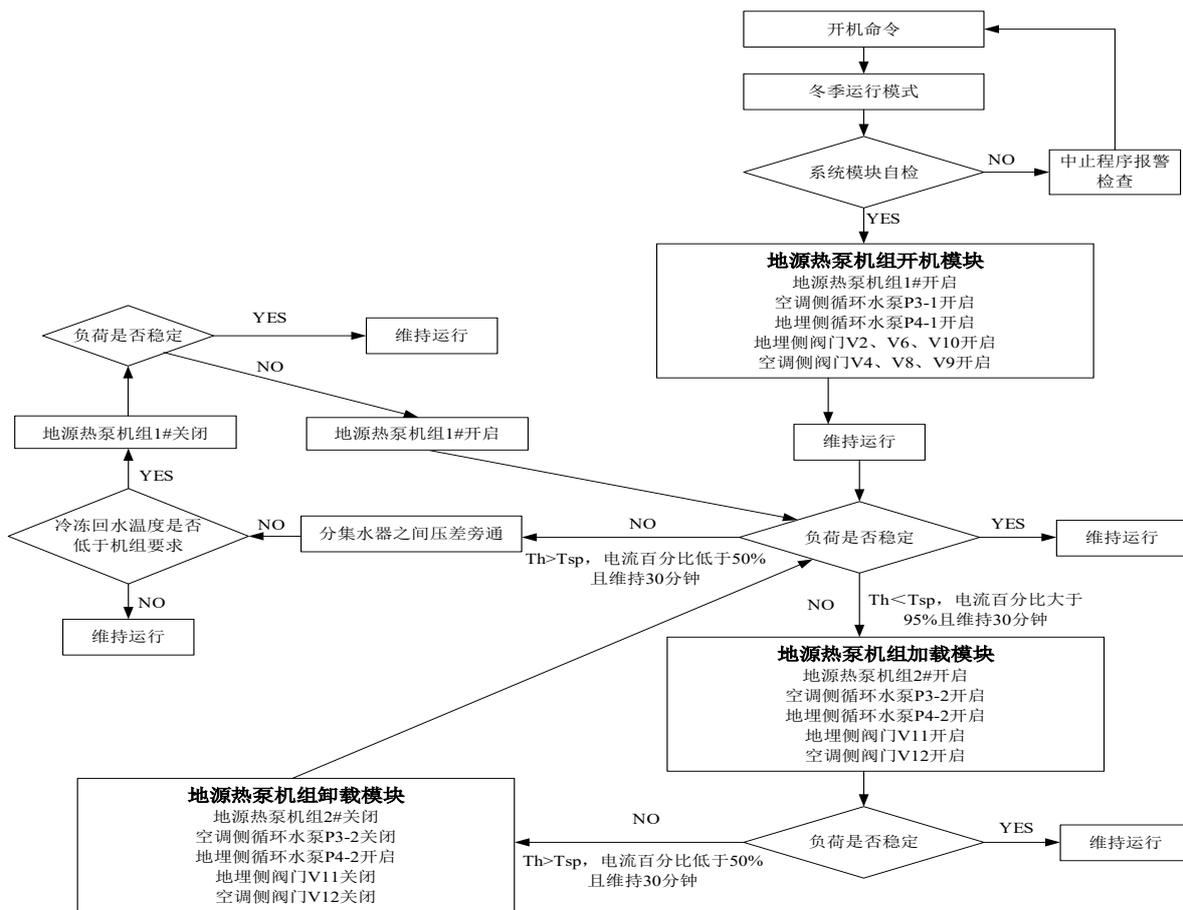


图 4 供暖工况复合系统控制逻辑图

Fig.4 Control logic diagram of composite heating system

3.2.2 供热工况系统启动

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 1#或 2#地源热泵机组以及对应的阀门。

开启顺序为先通过 1#(或 2#)地源热泵机组控制器发出启动信号,打开地源侧电动阀 V2、V6、V9(或 V11),阀门全部开启的反馈命令收到后,发出控制命令开启 1#(或 2#)地源热泵机组对应的地源侧循环水泵。水泵开启反馈和水流开关反馈显示正常后,地源侧循环系统可视为正常运行。

然后发出控制命令打开空调侧电动阀 V4、V8、V10(或 V12),阀门全部开启的反馈命令收到后,发出控制命令开启 1#(或 2#)地源热泵机组对应的空调侧循环水泵。水泵开启反馈和水流开关反馈显示正常后,空调侧循环系统可视为正常运行。

此时地源侧和空调侧的管路及流动均为正常状态,延迟一段时间之后(可自行设定)且系统返回均显示正常后,最后发出控制命令开启 1#(或 2#)地源热泵机组,应注意发出命令开启的地源热泵机组、水泵和阀门应相互对应。

3.2.3 供热工况机组加载

当仅一台地源热泵机组单独运行时,空调侧回水温度(T_0)小于设定温度(T_3 ,此温度可自行设定)且此时监测运行机组的电流负载率为 95%以上时,该状态运行时间持续一段时间(可自行设定),则开启 2#(或 1#)地源热泵机组及其配套设备和阀门。

开启顺序为先开启 2#(或 1#)地源热泵机组对应的地源侧循环水泵,当水泵运行状态显示为“开”时,打开与 2#(或 1#)地源热泵机组对应的地源侧电动阀 V11(或 V9),阀门开关状态反馈为“开”且水泵开启反馈和水流开关反馈显示正常后,地源侧循环系统可视为正常运行。

然后开启 2#(或 1#)地源热泵机组对应的空调侧循环水泵,当水泵运行状态显示为“开”时,打开与 2#(或 1#)地源热泵机组对应的地源侧电动阀 V12(或 V10),阀门开关状态反馈为“开”,且水泵开启反馈和水流开关反馈显示正常后,空调侧循环系统可视为正常运行。

此时地源侧和空调侧的管路及流动均为正常状态,最后可发出 2#(或 1#)地源热泵开机命令,使机组启动。

3.2.4 供热工况机组减载

当有两台地源热泵机组联合运行时,空调侧回水温度(T_0)大于设定温度(T_4 ,此温度可自行设定)且此时监测所有运行机组的电流负载率(或压缩机负载状态)在 50%以下(此值可根据机组的 IPLV 值进行调整),该状态运行时间持续一段时间(可自行设定),则停止正在运行的 1#(或 2#)地源热泵机组及其配套设备和阀门。

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长的机组,确定选择关闭 1#或 2#地源热泵机组以及对应的阀门。

关闭顺序为先停止 1#(或 2#)地源热泵机组,待系统收到地源热泵机组停止的反馈命令并延时一段时间(可自行设定)后,关闭 1#(或 2#)地源热泵机组对应的空调侧电动阀 V10(或 V12)和地源侧电动阀 V9(或 V11)。当阀门显示关闭状态后,再关闭 1#(或 2#)地源热泵机组对应的空调侧循环水泵和地源侧循环水泵,当水泵运行状态反馈为“关”且水流开关状态反馈为“关”时,可视为地源热泵机组空调侧和地源侧循环系统完全关闭。

当仅有一台地源热泵机组单独运行时,空调侧回水温度(T_0)仍大于设定温度(T_2 ,此温度可自行设定)且此时监测运行机组的电流负载率(或压缩机负载状态)在 25%以下(此值可根据机组的 IPLV 值进行调整),该状态运行时间持续一段时间(可自行设定),则停止正在运行的 2#(或 1#)地源热泵机组及其地源侧配套设备和阀门。

关闭顺序为先停止 2#(或 1#)地源热泵机组,待系统收到地源热泵机组停止的反馈命令并延时一段时间(可自行设定)后,关闭 1#(或 2#)地源热泵机组对应的地源侧循环水泵,并延时一段时间(可自行设定)后,最后关闭 2#(或 1#)地源热泵机组对应的地源侧电动阀 V11(或 V9)。

3.2.5 供热工况系统关闭

根据系统运行要求关闭整个系统时,关闭顺序

为先停止地源热泵机组和冷水机组, 待系统收到所有机组停止的反馈命令并延时一段时间(可自行设定)后, 关闭所有循环水泵, 并延时一段时间(可自行设定)后, 最后关闭已开启的电动阀门, 待机组、水泵以及阀门反馈显示关闭后, 系统视为正常关闭。

4 关键技术研究

4.1 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, 如图 5 所示。

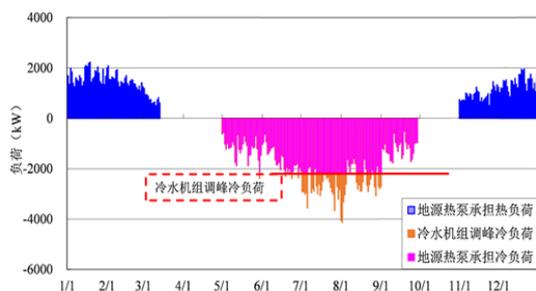


图 5 冷水机组调峰作用示意图

Fig.5 Schematic diagram of peak regulation function of water chiller

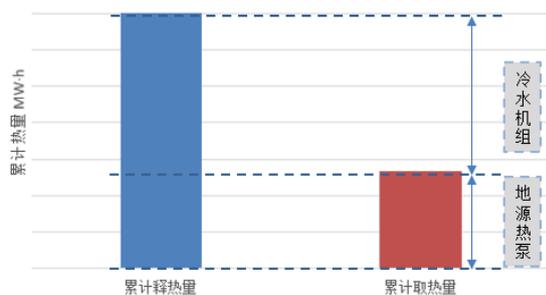


图 6 冷水机组调平衡作用示意图

Fig.6 Schematic diagram of water chiller balancing function

如图 6 所示, 当地源热泵系统累计释热量 $Q_{\text{释热}}$ 远大于累计取热量 $Q_{\text{取热}}$ 时, 需通过控制冷水机

组满负荷运行时间 τ 使冷水机组承担超出的累计释热量, 保证地下岩土体冷热平衡。

$$\tau = \frac{(Q_{\text{释热}} - Q_{\text{取热}})}{(1 + 1/EER) \times Q_{\text{制冷}}} \quad (1)$$

式中: τ 为冷水机组满负荷运行小时数, h ; $Q_{\text{释热}}$ 为累计释热量, kWh; $Q_{\text{取热}}$ 为累计取热量, kWh; EER 为冷水机组制冷性能系数; $Q_{\text{制冷}}$ 为冷水机组总制冷量, kW。

当采用地源热泵系统作为基载系统时, 应结合地埋管换热能力要求, 根据地层温度和土壤换热能力等浅层地热地质条件综合考虑地埋管换热孔的布置要求, 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。

4.2 泵组优选组合控制

由于系统设计过程中水泵常有备用考虑, 为保证水泵运行节能性及经济性最大化, 延长设备使用寿命, 当系统命令水泵开启前, 运行基于累计时间的泵组优选组合控制, 即采集和统计所有水泵的累计运行时间, 命令发出时优先启用累计运行时间较短的水泵设备。

4.3 机组双重条件控制

除常用的温差/温度控制法判定机组加减载标志外, 增加机组电流百分比控制法, 避免回水温度达到加载(减载)的要求, 但机组并未完全出力(完全卸载)的情况。即: 当系统监测到地源热泵回水温度达到加载设定值要求且监测到机组电流百分比大于 95%并维持一定时间后, 系统进入加机状态; 当系统监测到地源热泵回水温度达到减载设定值要求且监测到运行机组的平均电流百分比小于 50%并维持一段时间后, 系统进入减机状态。

5 结论

本文结合地源热泵+冷水机组辅冷系统的工作原理, 针对其不同工况的运行特点进行控制需求的

深度剖析，提出系统控制点设定要求进而研

(下转第 874 页)