



基于热平衡的复合式地埋管地源热泵系统运行策略^{*}

同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司 花莉[☆]

同济大学 范蕊[△] 潘毅群

北京建筑大学 高岩

中国二十冶集团有限公司 谢晓红

摘要 建立了冷却塔辅助地埋管地源热泵系统的仿真模型,分析了复合式系统不同设计方案的运行策略。结果表明:对于既有地埋管地源热泵系统,若已按夏季最大释热量设计地埋管长度,则可按热平衡需求选择冷却塔;对于新建复合式系统,可按冬季热负荷设计地埋管,按冷热负荷之差来选择冷却塔,当热泵机组进口水温超过 26℃ 时开启辅助冷却塔;此外,采用热泵机组承担全部冬季热负荷和部分夏季冷负荷,而冷水机组+冷却塔作为夏季补充的方案也可以取得较优的运行效果。

关键词 复合式地埋管地源热泵系统 冷却塔辅助供冷 热平衡 运行策略 模型 节能

Operation strategies of hybrid ground-source heat pump system based on heat balance

By Hua Li[★], Fan Rui, Pan Yiqun, Gao Yan and Xie Xiaohong

Abstract Develops the simulation model of ground-source heat pump system assisted with cooling tower, analyses the operation strategies of different design schemes. Recommends to select the cooling tower according to heat balance for existed hybrid ground-source heat pump (HGSHP) system with ground heat exchanger designed by maximum heat release of summer, to select the cooling tower according to the difference of cooling and heating load for a new HGSHP system with ground heat exchanger designed by heating load of winter, operating the auxiliary cooling tower under entering water temperature of heat pump unit above 26℃, and that the favorable operation effect can be obtained when heat pump units afford the total heating load of winter and partial cooling load of summer assisted with water chiller and cooling tower in summer.

Keywords hybrid ground-source heat pump system, auxiliary tower cooling, heat balance, operation strategy, model, energy saving

[★] The Architectural Design and Research Institute of Tongji University, Shanghai, China

①

0 引言

单一的埋管地源热泵系统长期运行中会遇到由于建筑物冬夏负荷差异所造成的土壤逐年温度升高/降低问题,这已经成为制约该系统大规模广泛应用的瓶颈问题。综合现有的针对热平衡的研究文献可以看出:对于别墅用小规模项目而言,当管井数量不超过 10 口、土壤冬夏累积负荷比未

达到 3 时,近似认为可以不考虑土壤长期运行的热不平衡问题^[1];当管井个数增加或土壤冬夏累积负荷比变大的情况下,可以初步考虑通过增大埋管间距或者将埋管容量设计偏大一点使得土壤温升

①[☆] 花莉,女,1987 年 3 月生,硕士研究生

[△] 范蕊(通信作者)

200092 上海市四平路 1239 号同济大学综合楼 801
(021) 69584738

E-mail: huali_high@126.com

收稿日期:2012-12-24

^{*} 国家自然科学基金项目(编号:50806052)、供热供燃气通风及空调工程北京市重点实验室研究基金资助

在可接受的范围内^[2];最后,当上述措施都无法解决时,采用辅助供冷或供热装置组成复合式地埋管地源热泵系统,以共同承担建筑物冷热负荷成为一种常规选择。

国外对复合式地埋管地源热泵系统的研究较早,其研究内容主要集中在系统设计^[3-4]、辅助散热装置对系统的影响及其容量的确定^[5-6]、经济性分析^[6]及系统仿真与运行策略^[7-9]等方面。国内在复合式地埋管地源热泵系统方面的研究起步较晚,主要集中在系统的实验研究^[10-11]和复合系统的设计^[12],此外,在系统仿真与控制方法^[13]方面也略有涉及。复合式地埋管地源热泵系统相比常规系统较为复杂,且其设计与运行策略对系统的运行能耗、土壤的热平衡等诸多方面有很大的影响,虽然已经有很多相关的研究,但是还没有一套完整的设计体系。因此本文在现有研究基础上,针对冷负荷占优地区的冷却塔辅助地埋管地源热泵系统,从设计方案到运行策略进行了全面整合和研究分析,并结合土壤热平衡和复合式系统高效运行两方面进行阐述。

1 复合式地埋管地源热泵系统仿真模型

建筑模型基于上海某地埋管地源热泵实验项目,空调设计冷负荷 300 kW,热负荷 117 kW,水系统设计流程图如图 1 所示。在建筑规模选取上,也结合目前常规地埋管地源热泵的埋管尺寸进行考虑。

针对上海地区的建筑负荷特点,采用了冷却塔作为辅助冷源的复合式地埋管地源热泵系统,其水系统采用板式水-水换热器,一是使冷却塔水系统与地埋管水环路构成彼此独立的水环路系统,二是可使冷却塔的散热同地埋管换热器的放热串联运行,详见图 1。空气侧采用一次回风变风量空调系统,在本文中重点对地埋管和冷却塔组成的室外侧水环路的运行特性和策略进行分析。

如图 1 所示,系统的水环路利用 4 个三通阀来实现冬夏季的工况切换。夏季冷却水系统可分 3 种工况运行:一是单独冷却塔运行,即常规的冷却塔释放冷凝热的空调系统;二是单独地埋管系统运行,即常规的地埋管地源热泵系统;三是两者通过板式换热器串联运行,即复合式地埋管地源热泵系统。本文将通过 3 种形式的切换,在满足建筑负荷的同时,保证机组高效运行并缓解土壤热不平衡问题。

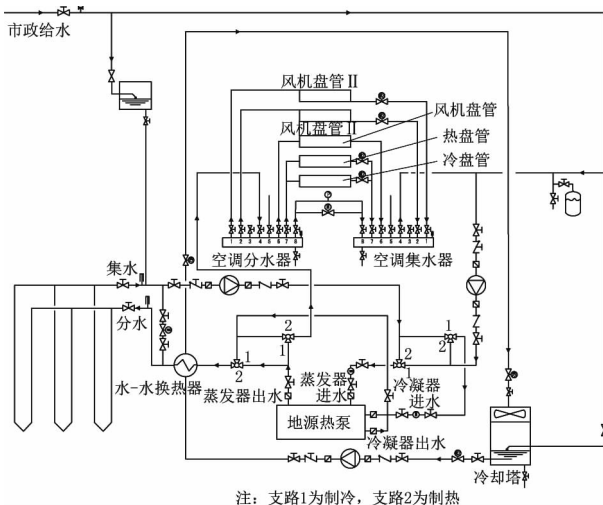


图 1 水系统流程图

土壤的导热系数和初始地温是地埋管换热器设计的重要参数,前者一般通过现场热响应测试和室内试验取得,后者一般通过监测井取得。本项目共设计 15 口监测井,井深 120 m,取其中一口井每隔 4~6 m 取土测试各地层的土壤导热系数,如图 2 所示。根据上海市地矿工程勘察院的勘测结果,上海地区 100 m 之内土壤的平均初始地温在 18.6~19.7 °C 之间,本项目土壤温度监测报告显示的土壤温度随深度变化情况如图 3 所示。具体测试结果见文献[1]的附录 A, B。

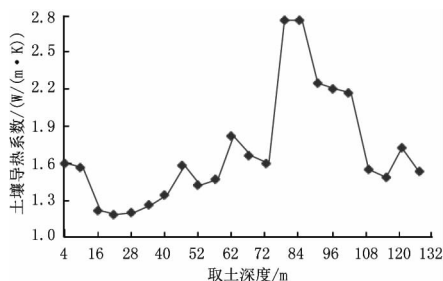


图 2 各地层土壤导热系数

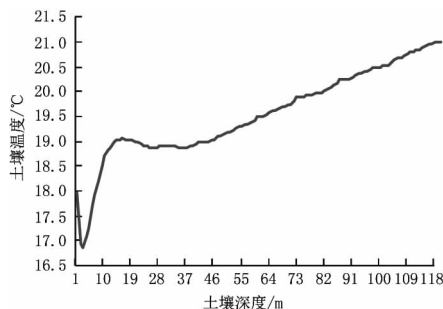


图 3 土壤温度随深度的变化曲线

根据测试结果,夏季单位井深换热量建议取为

60 W/m, 冬季单位井深换热量建议取为 40 W/m。因此本项目设计 80 口竖直埋管换热井, 钻孔深度 83 m, 钻孔间距 4 m。80 口换热井的规模作为研究基础已经能够反映埋管地源热泵系统长期运行中埋管区域的传热现象, 管群规模再大时则可以考虑以 80 口井为一簇, 由多簇组成更大规模的管群, 各管簇换热规律一致、换热量进行叠加。

本文利用 TRNSYS17 来搭建复合式地源热泵系统的仿真模型, 在 TRNSYS 中的埋管换热器模型是 DST(duct ground heat storage)模型, 其利用空间重叠法来获得土壤中的温度分布, 主要包括以下 3 个部分: 整个储热装置与外部的热传递; 在短时间尺度内钻孔壁周围的热传递; 与最近的埋管的稳流热传递。此模型利用数值方法来解决前 2 个问题, 用解析方法来解决第 3 个问题^[14]。通过 TRNSYS17 搭建仿真模型获得的土壤温度为埋管区域土壤的平均温度, 因此在后文中计算的埋管区域土壤的年温升, 也是指埋管区域土壤温度的平均值。

在本文中首先利用 eQUEST 来计算建筑全年逐时负荷, 将包括新风和热损失在内的建筑逐时冷负荷导出, 再通过 Type9 Data Reader 导入 TRNSYS, 可以有效地简化 TRNSYS 模型, 从而减少模拟计算时间。

2 复合式地源热泵系统设计

复合式地源热泵系统的设计, 不仅要权衡考虑埋管长度、冷却塔的额定容量和二者的连接方式, 而且还要综合二者的系统运行性能来考虑系统的联合运行策略。

对于冷负荷为主导的情况, 常见的复合式地源热泵系统的设计方法是按照热负荷的需求来设计埋管换热器容量, 按照冷热负荷需求之差来设计冷却塔的容量。这种设计方法有效地减少了初投资, 但是它对联合运行策略的要求较高。若是以实现土壤热平衡为出发点, 可以按照冷负荷的需求(最大释热量)来设计埋管换热器的容量, 增设冷却塔用来缓解热平衡, 这样选择冷却塔的目的仅仅是为了维持土壤的热平衡, 在选择其容量时需要考虑的是累积排热量与累积吸热量的差异, 而与峰值冷热负荷无关, 冷却塔的容量选择较为灵活。

由于埋管内的水质要求较高, 把冷却塔与埋管中的水混合会存在埋管水污染的问题, 因此常

见的做法是在冷却塔和埋管间加装换热器, 冷却塔循环水与埋管循环水通过换热器换热, 保证埋管中的水不受污染。

本文总结并提出了以下 3 种复合式地源热泵系统的设计方案。

设计方案 1: 按冷负荷来选择水源热泵, 按照最大释热量来设计埋管换热器, 按照热平衡需求来选择冷却塔, 冷却塔通过水-水换热器与埋管实现串联运行模式。该方案的初投资与占地面积都较大, 其主要针对既有建筑改造项目。

设计方案 2: 按冷负荷来选择水源热泵, 按热负荷需求值来设计埋管换热器容量, 按照冷热负荷需求之差来选择冷却塔, 冷却塔通过水-水换热器与埋管实现串联运行模式。

设计方案 3: 按照热负荷值来设计埋管换热器容量和选择水源热泵, 按照冷热负荷之差来选择冷却塔和冷水机组。

3 复合系统的运行策略

运行策略的选择必须充分考虑热泵系统的运行特性、埋管换热器和冷却塔的换热特性。可以通过控制埋管出口流体温度来调节辅助设备的运行, 以提高系统的效率, 减少辅助设备的初投资和运行费用。对于采用冷却塔辅助散热的地源热泵系统来说, 冷凝器的放热量由埋管换热器和冷却塔共同承担, 冷却塔散热量影响着埋管换热器的换热和热泵机组的运行特性。对于整个系统而言, 需同时考虑冷却塔所带来的能耗增加和由此引起的热泵机组能耗的减少。

冷却塔辅助地源热泵系统的基本运行策略主要有以下几种:

策略 1(温度控制) 当热泵机组的进口水温超过某一设定值时, 开启辅助冷却塔; 当温度恢复到该设定值时, 关闭辅助冷却塔。这是冷却塔的一个典型的运行方式, 设定温度通常控制在 24~35℃之间^[15]。在本文中将针对设定温度为 22, 24, 26, 28, 30, 32℃的情况进行热平衡效果与运行特性分析。

策略 2(温差控制, 干球) 当热泵机组的进口水温与室外干球温度的差值大于设定值时, 开启辅助冷却塔; 当差值恢复到该设定值时, 关闭辅助冷却塔。本文将针对温差设定值为 3, 4, 5, 6, 7℃的情况进行分析。

策略3(温差控制,湿球) 当热泵机组的进口水温与室外湿球温度的差值大于设定值时,开启辅助冷却塔;当差值恢复到该设定值时,关闭辅助冷却塔。本文将针对温差设定温度为2,3,4,5,6℃的情况进行分析。

策略4(过渡季开) 在过渡季非空调时段,机组停运,利用冷却塔来降低土壤温度。本文设计在制冷刚刚结束的过渡季(10月7日—11月18日)开启冷却塔,在这段时间里分别取冷却塔开启时间为8,10,12,14,16,18,20h,进行热平衡效果与运行特性分析。

策略5(定时开启) 冷却塔定时运行,根据建筑负荷特性,在一天中建筑负荷较大的时段开启冷却塔;在负荷较小的时段关闭辅助冷却塔。热泵机组运行时间08:00—18:00,一般12:00—15:00负荷较大,分别设定冷却塔的运行时间为12:00—15:00,11:00—16:00,10:00—17:00,09:00—18:00。

以上5种是基本运行策略,必要时可将其联合运用,组成新的运行策略。

4 复合系统的热平衡问题研究

表1 设计方案1下的联合运行策略对比

设计方案1	设定值	地理管区域土壤		设备10年运行总能耗/(MW·h)				
		10年温升/℃	热泵机组	地理管循环泵	负荷侧循环泵	冷却塔循环泵	冷却塔	总计
策略1+策略3(温度+温差,湿球)	30℃/2℃	3.65	630.1	229.3	42.8	21.4	11.4	935.0
	30℃/3℃	3.82	632.5	229.3	42.8	18.2	10.0	932.8
策略1+策略4(温度+过渡季开)	22℃,20h	1.54	621.1	326.3	42.8	50.7	25.3	1066.2
	28℃,20h	2.38	632.8	326.3	42.8	33.2	16.6	1051.7
策略3+策略4(温差+湿球)+过渡季开)	3℃,20h	1.92	627.5	326.3	42.8	39.0	19.5	1055.1
	4℃,20h	2.16	630.9	326.3	42.8	35.2	17.6	1052.8
策略4+策略5(定时开+过渡季开)	09:00—18:00,20h	1.58	622.0	326.3	42.8	51.4	25.7	1068.2

表1中,分别将温度控制、温差控制(湿球)、定时开启与过渡季开启联合应用,除策略1+策略3的联合策略外,其余几种策略下的土壤10年温升都在可接受的范围之内,但是由于过渡季的运行增加了地理管、冷却塔与冷却塔循环泵的能耗,总能耗明显较大。

综合以上对比分析,笔者发现对于新建建筑而言,采用设计方案1实现土壤热平衡其代价是比较大的,设计方案1更加适合于既有建筑的改造。

对于既有建筑而言,热泵运行一段时间,土壤温度会有一定程度的升高,以本模型的纯地源热泵系统为例,其运行5年的温度升高到24.2℃,温升为5.13℃。若在第5年对此系统增设冷却塔辅助

经模拟分析得知:当土壤温度升高1℃时,热泵的制冷COP下降3.3%;当土壤温度升高2℃时,热泵的制冷COP下降5.2%;当土壤温度升高3℃时,热泵的制冷COP下降6.9%。而在实际工程中,要实现系统长期运行后土壤温度完全不变是不现实的,制冷COP下降6.9%也还在可接受的范围内,因此笔者认为系统运行10年引起的温升不超过3℃是可以接受的。

4.1 设计方案1下运行策略对比

经模拟分析与比较,设计方案1下5种策略的热平衡效果都并不理想。其中,策略1,3,4,5热平衡效果相对较好,在合理的设计参数下,系统运行10年土壤温升可维持在3.5~4℃;同时,策略1,3,5的设备10年运行总能耗为930~940MW·h;策略4由于在过渡季增加了地理管循环泵的能耗,其设备10年运行总能耗相对较高,为1020~1060MW·h。策略2的热平衡效果较差,系统运行10年土壤温升基本在5℃以上。

由于设计方案1下,采用上述5种策略都无法达到热平衡的要求,因此考虑采用联合运行策略,如表1所示。

散热,采用策略1+策略4联合控制,温度设定值22℃,过渡季冷却塔开启20h,再次运行5年后,地理管区域土壤温度为22.53℃,土壤温度相比第5年最终降低了1.67℃,相比土壤初始温度的温升为3.46℃。若继续运行,土壤温度会继续降低,最终会降到可接受的范围内。第5年到第10年的地理管与冷却塔逐时取放热量如图4所示,地理管区域土壤平均温度与热泵进口水温如图5所示。

对于某些由于长期运行已导致土壤温升较严重而不能继续使用的系统,可通过增设冷却塔,在过渡季将冷却塔与地理管串联来冷却土壤。以本系统为例,地源热泵运行10年土壤温度升高至26.32℃,此时地理管出水温度升高,热泵效率明

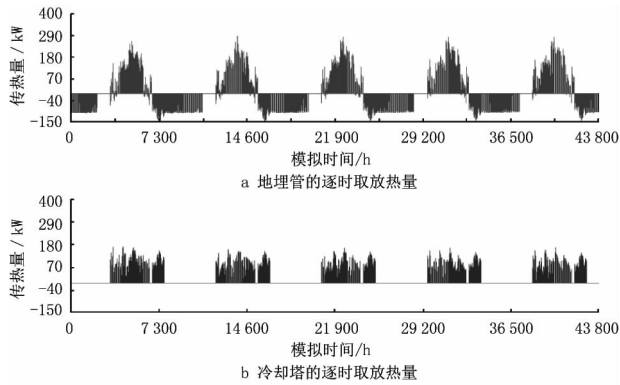


图4 地埋管与冷却塔的逐时取放热量
(策略1+策略4,第5~10年)

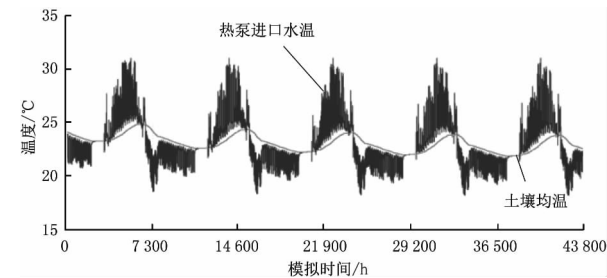


图5 土壤均温与热泵进口水温
(策略1+策略4,第5~10年)

显降低。将热泵停运,在过渡季(3月31日—5月15日,10月7日—11月18日)开启冷却塔,每日开启20h,1年后土壤温度降至 $24\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对土壤初始温度的温升为 $4.93\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。若增加冷却塔的运行时间,在过渡季(3月31日—5月15日,10月7日—12月31日)开启冷却塔,每日开启20h,1年后土壤温度降至 $22.63\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对土壤初始温度的温升为 $3.56\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。之后第2年再运行冷却塔辅助地源热泵系统,可采用上述推荐的联合运行策略,以保证复合系统的持续稳定运行。

4.2 设计方案2下运行策略对比

模拟分析与对比得知,在设计方案2下,第3章中的5种运行策略在合理的设定参数下都能够满足热平衡的要求,因此本方案共设定5种运行策略,其中大部分为联合控制策略,具体设定参数与策略编号如表2所示。各控制策略的热平衡效果与运行特性对比如图6所示。

从图6可以看出,策略1+策略5下冷却塔在空调时间全开时,地埋管区域土壤10年温升是最小的,只有 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,这是由于冷却塔通过板式换热器与地埋管实现串联运行模式,热泵出水总是先经

表2 设计方案2下各控制策略编号

策略	设定值	控制策略编号
策略1(温度控制)	$22\text{ }^{\circ}\text{C}$	1-1
	$24\text{ }^{\circ}\text{C}$	1-2
	$26\text{ }^{\circ}\text{C}$	1-3
	$28\text{ }^{\circ}\text{C}$	1-4
策略3(温差控制,湿球)	$2\text{ }^{\circ}\text{C}$	2-1
	$3\text{ }^{\circ}\text{C}$	2-2
	$4\text{ }^{\circ}\text{C}$	2-3
策略1+策略3(温度+温差,湿球)	$30\text{ }^{\circ}\text{C}/4\text{ }^{\circ}\text{C}$	3-1
	$30\text{ }^{\circ}\text{C}/5\text{ }^{\circ}\text{C}$	3-2
	$32\text{ }^{\circ}\text{C}/4\text{ }^{\circ}\text{C}$	3-3
	$32\text{ }^{\circ}\text{C}/5\text{ }^{\circ}\text{C}$	3-4
策略1+策略4(温度+过渡季开)	$30\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ h}$	4-1
	$30\text{ }^{\circ}\text{C}/14\text{ h}$	4-2
	$30\text{ }^{\circ}\text{C}/18\text{ h}$	4-3
	$30\text{ }^{\circ}\text{C}/22\text{ h}$	4-4
	$32\text{ }^{\circ}\text{C}/18\text{ h}$	4-5
	$32\text{ }^{\circ}\text{C}/22\text{ h}$	4-6
策略1+策略5(温度+定时开启)	10:00—17:00	5-1
	09:00—18:00	5-2
	空调时间冷却塔全开	5-3

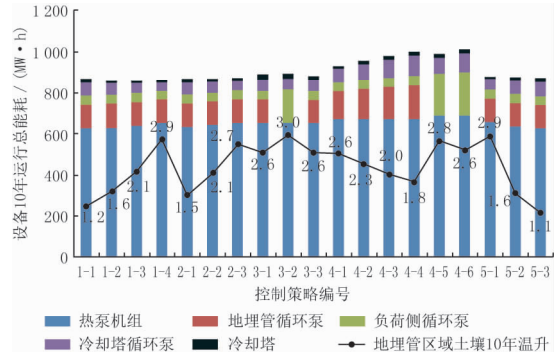


图6 设计方案2下满足热平衡要求的策略对比

过板式换热器与冷却塔换热,然后再经过地埋管换热器与土壤换热。由于该方案下地埋管的能力只能满足热负荷的需求,热泵出水经过板式换热器基本上水温都能得到一定程度的降低,因此在该设计方案下,冷却塔在空调时间全开时土壤的温升最小,但是其耗能大于温度控制和温差控制(湿球),所以并不是最优的策略。

经比较,在满足热平衡要求的前提下,采用温度控制和温差控制(湿球)的运行总能耗是较小的,在设计方案2下温度控制和温差控制(湿球)这两种策略是值得推荐的。采用温度控制,温度设定值为 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,其设备10年运行总能耗是最小的,因此在设计方案2下设定值为 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度控制是最优运行策略。

最后需要指出的一点是:设备运行总能耗取决于各设备功率及其运行时间,而对于一个确定的项目各设备功率是确定的,运行总能耗取决于各设备

的运行时间,本文在满足热平衡的要求下给出了运行费用最少的策略。但是必须指出的是设备不同会引起运行费用的差异,如冷却塔开启的时间越长,一般来说机组能耗越小,冷却塔循环泵能耗越大,总能耗的增大或减小取决于两者之间的差值,这与机组

和冷却塔循环泵的功率及其效率关系密切。

4.3 设计方案3下运行策略对比

由于机组不能频繁启停,因此在设计方案3下采取的控制方法是冷水机组与水源热泵在空调时间全开,其热平衡效果与运行特性如表3所示。

表3 设计方案3的热平衡效果与运行特性

地埋管区域土壤10年 温升/℃	设备10年运行总能耗/(MW·h)							总计
	热泵机组	地埋管循 环泵	热泵机组负 荷侧循环泵	冷却塔 循环泵	冷却塔	冷水机组	冷水机组 冷水泵	
1.28	417.0	114.6	14.6	77.5	15.5	231.2	15.2	885.6

如表3所示,设计方案3下冷水机组与水源热泵在空调时间全开的控制方法,其土壤10年温升在可接受的范围内。

5 结论

5.1 设计方案1按照冷负荷来选择水源热泵,按最大释热量来设计地埋管换热器,按热平衡需求来选择冷却塔,冷却塔通过板式换热器与地埋管串联。这种设计方案下5种运行策略均无法满足热平衡的要求,需采用多种策略联合运行。因此该方案更适合于既有建筑改造,尤其对于那些长期运行已导致土壤有一定温升的项目,该方案优势较为明显。

5.2 设计方案2按照冷负荷来选择水源热泵,按最大吸热量来设计地埋管换热器,按冷热负荷需求之差来选择冷却塔,冷却塔通过板式换热器与地埋管串联。这种设计方案下5种策略在合理的设定参数下均能满足热平衡的要求,其中温差控制和温度控制的运行总能耗相比其他策略较小,设定值为26℃的温度控制是最优运行策略。

5.3 设计方案3按照热负荷来选择水源热泵,按最大吸热量来设计地埋管换热器,按冷热负荷需求之差来选择冷却塔和冷水机组。该方案下系统运行10年土壤温升在可接受的范围内,10年运行总能耗比设计方案2的温度控制和温差控制略高。

参考文献:

[1] 花莉. 复合式地源热泵系统土壤热平衡问题研究[D]. 上海: 同济大学, 2012

[2] 花莉, 潘毅群, 范蕊, 等. 基于 TRNSYS 的土壤源热泵热平衡问题的影响因素分析[J]. 建筑节能, 2012, 40(3): 23-29

[3] ASHRAE. Commercial/institutional ground-source heat pump engineering manual [M]. Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1995

[4] Gilbreath C S. Hybrid ground-source heat pump systems for commercial applications[D]. Alabama :

University of Alabama, 1996

[5] Kavanaugh S P, Rafferty K. Ground-source heat pumps; design of geothermal systems for commercial and institutional buildings [M]. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997

[6] Kavanaugh S P. A design method for hybrid ground-source heat pumps[G]// ASHRAE Trans, 1998, 104 (2): 691-698

[7] Singh J B, Foster G. Advantages of using the hybrid geothermal option [C] // The Second Stockton International Geothermal Conference, The Richard Stockton College of New Jersey, 1998

[8] Yavuzturk C, Spitler J D. Comparative study of operating and control strategies for hybrid ground-source heat pump systems using a short time step simulation model[G]// ASHRAE Trans, 2000, 106 (2): 192-209

[9] Chiasson A D, Spitler J D, Hui Jin, et al. Optimal sizing of hybrid ground-source heat pump systems that use a cooling pond as a supplemental heat rejecter—a system simulation approach [G] // ASHRAE Trans, 2001, 107(1): 26-38

[10] 孙培杰, 王景刚, 王惠想. 辅助冷却复合地源热泵可行性及设计方法研究[J]. 建筑热能通风空调, 2005, 24 (6)

[11] 张义林, 周恩泽, 崔红社, 等. 宁波市某宾馆混合式地源热泵系统设计[J]. 暖通空调, 2007, 37(12): 91-96

[12] 张勇, 陈正顺, 张世将. 夏热冬冷地区混合式地源热泵系统运行方法研究[J]. 制冷空调与电力机械, 2010(3)

[13] Man Yi, Yang Hongxing, Wang Jinggang. Study on hybrid ground-coupled heat pump system for air-conditioning in hot-weather areas like Hong Kong [J]. Applied Energy, 2010, 87(9): 2826-2833

[14] Spitler J D, Cullin J R, Lee E. Preliminary intermodel comparison of ground heat exchanger simulation models [C] // Proceedings of 11th International Conference on Thermal Energy Storage. Stockholm, Sweden, 2009: 14-17

[15] 李文燊. 基于建筑负荷动态模拟的地源热泵土壤温度的分析[D]. 天津: 天津大学, 2008

作者: [花莉](#), [潘毅群](#), [范蕊](#), [高岩](#), [谢晓红](#)
作者单位: [花莉\(同济大学建筑设计研究院 集团 有限公司\)](#), [潘毅群,范蕊\(同济大学\)](#), [高岩\(北京建筑大学\)](#), [谢晓红\(中国二十冶集团有限公司\)](#)
刊名: [暖通空调](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [Heating Ventilating & Air Conditioning](#)
年, 卷(期): 2013(12)

参考文献(15条)

1. [花莉 复合式地源热泵系统土壤热平衡问题研究](#) 2012
2. [花莉;潘毅群;范蕊 基于 TRNSYS 的土壤源热泵热平衡问题的影响因素分析](#) 2012(03)
3. [ASHRAE Commercial/institutional ground-source heat pump engineering manual](#) 1995
4. [Gilbreath C S Hybrid ground-source heat pump systems for commercial applications](#) 1996
5. [Kavanaugh S P;Rafferty K Ground-source heat pumps:design of geothermal systems for commercial and institutional buildings](#) 1997
6. [Kavanaugh S P A design method for hybrid ground-source heat pumps](#) 1998(02)
7. [Singh J B;Foster G Advantages of using the hybrid geothermal option](#) 1998
8. [Yavuzturk C;Spitler J D Comparative study of operating and control strategies for hybrid ground-source heat pump systems using a short time step simulation model](#)[外文期刊] 2000(02)
9. [Chiasson A D;Spitler J D;Hui Jin Optimal sizing of hybrid ground-source heat pump systems that use a cooling pond as a supplemental heat rejecter-a system simulation approach](#) 2001(01)
10. [孙培杰;王景刚;王惠想 辅助冷却复合地源热泵可行性及设计方法研究](#)[期刊论文]-[建筑热能通风空调](#) 2005(06)
11. [张义林;周恩泽;崔红社 宁波市某宾馆混合式地源热泵系统设计](#)[期刊论文]-[暖通空调](#) 2007(12)
12. [张勇;陈正顺;张世将 夏热冬冷地区混合式地源热泵系统运行方法研究](#)[期刊论文]-[制冷空调与电力机械](#) 2010(03)
13. [Man Yi;Yang Hongxing;Wang Jinggang Study on hybrid ground-coupled heat pump system for air-conditioning in hot-weather areas like Hong Kong](#) 2010(09)
14. [Spitler J D;Cullin J R;Lee E Preliminary intermodel comparison of ground heat exchanger simulation models](#) 2009
15. [李文遷 基于建筑负荷动态模拟的地源热泵土壤温度的分析](#) 2008

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_ntkt201312039.aspx