

地下水地源热泵系统 技术特性分析与研究

武汉市建筑设计院 陈焰华[☆]

摘要 阐述了地下水地源热泵系统的技术经济特性,并结合工程设计经验和实际运行工况的分析,对影响地下水地源热泵系统设计和运行效果的热源井设计、空调系统设计及水源热泵机组的选型和配置等问题进行了深入探讨。

关键词 地下水地源热泵 热源井 空调 水源热泵机组

Analysis and study on technical characteristics of groundwater heat pump systems

By Chen Yanhua[★]

Abstract Describes the technical and economic characteristics of groundwater heat pump systems. Combined with the engineering design experiences and actual operational condition analysis, discusses design of the heat source well and air conditioning system, and selection and scheme of the water-source heat pump unit, which have impact on design and operation effects of groundwater heat pump systems.

Keywords ground water heat pump, heat source well, air conditioning, water-source heat pump unit

① [★] Wuhan Architectural Design Institute, Wuhan, China



陈焰华

主要设计业绩

- ▶ 武汉东湖宾馆
- ▶ 武汉瑞通广场
- ▶ 武汉群光广场
- ▶ 武汉销品茂商城
- ▶ 武汉塔子湖全民健身中心

0 引言

众所周知,地下水地源热泵系统因其换热效率高,设计施工相对简单、快捷,初投资较低,在实际工程中得到了大量应用,对地源热泵技术的推广应用起到了较好的带头和示范作用。但毋庸置疑,在不少的地下水地源热泵工程应用实例中也暴露和出现了很多问题,如抽水井、回灌井的堵塞,取水量满足不了设计要求,不能做到 100% 回灌或回灌到同一含水层,热泵机组因堵塞而报废或烧机。这些问题的存在和出现,需要我们进行认真的分析和研究,并提出切实可行的解决办法,并使地下水地源热泵技术在实际运行经验和可靠设计手段的支撑下健康、稳定发展,发挥出其独特的优势。

1 地源热泵的技术特性

夏季制冷时,地源热泵空调系统把建筑物的余热转移至地下,夏储冬用,而不是通过冷却塔排至大气,减少了冷却塔的飘水损失,减缓了城市的热岛效应。夏季制冷时,地下水地源热泵系统的效率较常规冷却塔散热的电制冷空调系统高 10%~15%。

冬季制热时,地源热泵空调系统充分利用了浅层岩土体储藏的低温热源,对终端用户来说,除使用部分电能,无其他一次能源的消耗,无污染物的排放。对能源依赖外购的地区,还可减少能源运输费用,减缓交通运输压力。冬季供暖时,地下水地源热泵系统的效率较常规锅炉供热系统高 10%~15%。

在夏热冬冷地区,地下水地源热泵空调系统全年制冷、供暖期效率较空气源热泵空调系统约高 30%~40%,较常规冷却塔散热的电制冷空调系统

①[☆] 陈焰华,男,1963 年 11 月生,大学,工学学士,教授级高级工程师,设备所所长,暖通总工程师
430014 武汉市汉口四唯路 8 号武汉市建筑设计院
(027) 82739230
E-mail:chenyh918@yahoo.com.cn
收稿日期:2009-04-01
修回日期:2009-05-07

加锅炉供热系统约高 20%~30%。在同样的比较前提下,地埋管地源热泵空调系统效率提高约 10%~15%。

对居住建筑和公共建筑来说,采用地源热泵空调系统能够减少一次能源(矿物能源)使用量 50%~60%左右。业主和开发商采用地源热泵空调系统,靠提高系统运行效率节省的运行费用是有限的,对地埋管地源热泵系统来说,其投资回收期一般在 7~8 a 以上;而对国家来说,减少了一次能源(矿物能源)的消耗 50%~60%,意义重大。因此,在实际工程设计和使用过程中,应明确地源热泵系统较常规空调系统运行效率提高和减少一次能源使用量两个不同概念内涵的差别。在依法审批和严格管理的前提下,具有较好地下水资源可资利用的地区可适度有序地发展地下水地源热泵系统;对地埋管地源热泵系统的发展应用,因其初投资较高,则应有相应的鼓励和扶持政策。

2 热源井设计

热源井设计是否合理、成井工艺是否到位,决定了抽水、回灌井的使用效果和是否能够全部回灌到同一含水层。实际工程经验表明,有很多热源井未能严格按照《供水水文地质勘察规范》(GB 50027—2001)和《供水管井技术规范》(GB 50296—99)施工到位或缺乏热源井施工的实际经验,都会导致热源井施工的失效。如有的热源井成井时未能做好泥浆护壁和洗井、井底管孔未能密封或沉淀管设置深度不够,这些都会影响抽水、回灌量和热源井的使用寿命;有的热源井对场地水文地质条件研究不够,未能针对该场地的水文地质条件和地层结构进行合理设计;有的热源井井管设计时孔隙率过小、过滤器及回填滤料选择不当,施工方法不到位或灌浆不密实,这些都会影响热源井的抽水、回灌效果及使用寿命;有的热源井在井管下置时,施工经验不足或未严格按照规范要求下管,导致井管过滤网受损,最终导致含砂量超标或加重热源井的淤塞。

从理论上来说,抽水后地下水经过地源热泵机组的能量交换能够全部回灌到同一含水层,很多成功的工程经验也印证了这一点,但实际工程中未能达到全部回灌要求或根本未进行回灌的工程也不在少数。要达到以上要求,除了上述成井工艺要到位外,热源井井群的设计也相当重要。井群是深井

回灌式地源热泵系统的一个关键组成部分,其正常运行与否决定了地源热泵系统工程的成败,井群的设计布局应当是实际工程中慎之又慎的关键环节。目前国内进行此类工程的井群设计和施工过程中,系统方案的可行性判据基本取决于单井出水量是否满足要求,以及能否实现良好的人工回灌。然而在进行该类工程井群部分的可行性分析和设计中,还需要注意以下几方面的问题:1) 地下含水层中的能量蓄存、转移过程;2) “热贯通”的影响;3) 水文地质条件的影响;4) 热泵机组、管道系统形式和运行模式的影响。因此,井群设计时,应注意井群之间的热干扰和抽水、回灌水力失衡导致的干扰,保证设计条件下的总出水量和总回灌率。

热源井设计和施工时,为保证地下水地源热泵系统合理取水并防止对地下水的破坏和污染,应加强对地下水的监测和控制,抽水、回灌井应加装计量仪表,并应同时留出观测井或观测孔,有条件时,可在采用上述监测手段的基础上,对抽水、回灌量及水质进行在线监测。

3 空调系统设计

地下水地源热泵空调系统设计的首要问题是确定合适的地下水使用水量和水源热泵机组运行温差。在制冷和供暖工况下地下水的实际需要量与选择的水源热泵机组性能、地下水温度、建筑物冷热负荷以及板式换热器的型式、水泵能耗等都有密切关系。应在保证地下水地源热泵系统的能效比(EER)和性能系数(COP)均能够达到最佳的情况下,确定最合适的地下水利用温差和地下水使用量。制冷工况时,地下水地源热泵系统能效比(EER)=冷负荷/(井泵功率+环路泵功率+水源热泵机组功率);供热工况时,地下水地源热泵系统性能系数(COP)=热负荷/(井泵功率+环路泵功率+水源热泵机组功率)。利用“小流量、大温差”的系统运行方式,能够实现对含水层蓄能的最大利用,同时可以减小地下水使用量,减少井泵功率和环路功率,但在一定条件下会增大水源热泵机组的使用功率,反之则相反。因此,一定要根据实际工程的使用情况,对两者进行分析和比较,获取最优结合点。

虽然成井要求含砂量小于 1/200 000,且一般取水管上都设有旋流除砂器,但实际工程运行中,因成井工艺不到位(特别是含有淤泥或粉细砂的地质构造层),而使蒸发器、冷凝器阻塞的不在少数,

轻则影响制冷、供热能力,重则造成压缩机烧毁。地下水水质也是影响水源热泵机组长期稳定运行的重要因素,重碳酸盐型地下水, Cl^- , Fe^{2+} 含量高的地下水,都会对水源热泵机组造成一定的腐蚀和影响。为保证水源热泵机组能够长期稳定运行,原则上应采用地下水通过板式换热器与热泵机组间接换热的间接式系统,采用便于清洗、更换的板式换热器确实是十分必要的。板式换热器设计和选型时,一定要尽量选择较小的换热温差,以免因温差加大而降低水源热泵机组的能源利用效率。

地下水地源热泵空调系统水环路的设计与常规冷水机组水系统的设计略有差异,必须根据各生产厂家热泵机组的技术要求考虑。用户侧及地下水侧空调循环水泵与水源热泵机组均采用先并后串的方式,循环水泵既可与水源热泵机组实现一对一供水,又可互相调节、互为备用。对于水源热泵机组来说,其实现夏、冬季节制冷、供暖的转换,是通过水路系统阀门的转换进行的,夏季用户侧通过蒸发器回路供应空调冷水,冬季用户侧则通过冷凝器回路供应供暖热水。因此夏、冬季节水环路转换阀最好采用调节灵活、性能可靠的电动阀,采用普通蝶阀时也一定要采用关断灵活、密闭性好的阀门,水源热泵机组接管原理图见图 1。

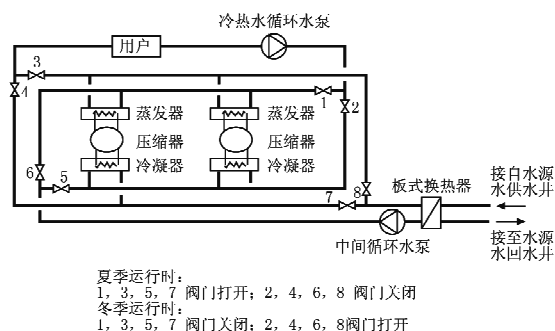


图 1 水源热泵机组接管原理图

地下水井抽水泵可采用深井潜水泵,潜水泵下放深度应在动水位之下 5 m 处,安装要平稳,泵体要居中。一般依据井管内径、流量和扬程要求,根据生产厂家提供的样本选配合适的水泵,再根据所需电功率选择电动机及配套电缆。潜水泵的扬程应能克服井内动水位至机房地面高度、管道及板式换热器阻力、水泵阻力及回灌余压。地下水回灌管道设计应根据各回灌井的距离进行阻力平衡计算,以保证各回灌井流量的均衡。

空调室外水环路和室内系统的设计与常规空调水系统没有区别,但应该注意空调冷热负荷的动态调节及系统的水力平衡,以使整个地下水地源热泵系统既达到舒适的空调效果,又充分提高系统的运行效率。地下水地源热泵系统负荷侧应设计为一次泵变流量系统,通过水泵的变频调节来适应空调末端负荷的动态变化,充分降低水输送系统的能耗。

4 水源热泵机组技术特点

目前的水源热泵机组均按水路系统转换进行设计,而全国地域跨度大、气候条件相差较大,水源热泵机组的运行工况也相差甚大,因此水源热泵机组蒸发器和冷凝器的设计应有更大的工况变化范围。为适应某些工程地下水大温差的使用要求,蒸发器和冷凝器换热回路也应能有所适应和调整。一般来说,开机后 0.5 h,因室内温度较高,冷凝温度会相应较高,此时冷凝压力应有较宽泛的设计范围,否则会引起机组的保护停机。

水源热泵机组运行工况的差异,既会影响机组的制冷、供热量,又会影响机组的实际功耗,若机组设计时对这些运行工况的差异考虑不充分,轻则会导致机组在各种工况变动下能效比的下降,重则可能会经常导致机组的故障停机甚至烧毁压缩机。鉴于水源热泵机组在实际运行时工况变化幅度较大,建议各生产厂家在机组出厂时应进行全性能、全工况测试,最好提供各工况下机组性能参数选择软件,设计人员在设计时可有针对性地复核各种运行工况参数并确保机组电力配线和安全保护的可靠性。

为充分利用地下水的温度特性,建议开发生产适应地下水水质特点的水源热泵机组,在保证机组使用性能和寿命的前提下,让地下水直接进入机组,以减少采用板式换热器间接系统的温差和能量损失,提高地源热泵系统的能源利用效率。

在有蓄冷蓄热分时电价的地区,还可以充分发挥水源热泵机组既能供冷又能供热的技术特性,利用消防水池或蓄热水池进行水蓄冷蓄热,既能减小水源热泵机组的装机容量,又能利用峰谷电价差降低空调系统的运行费用,有利于电网的稳定和削峰填谷。利用地源热泵系统蓄热,其能源利用效率要远远高于电锅炉蓄热系统,且更符合国家能源利用政策。

在建筑物有生活热水供应需要时,可充分发挥地源热泵系统既供冷又供热的技术特性,在夏季空

调季节利用水源热泵机组供冷的同时供应生活热水,既提高了地源热泵系统综合运行效率,又降低了排至地下的地下水的温度。根据工程特点及实际的生活热水需求,也可选用部分热回收或全部热回收的水源热泵机组,既满足工程的实际需要,又能够提高地源热泵系统的运行效率。如图 2 所示,当同时使用空调冷水和生活用热水时,V3,V4,V7,V8 阀关闭,V1,V2,V5,V6 阀开启,机组同时提供生活用热水(65℃)和空调用冷水(7℃)。根据其他需要可开启机组和相应的阀门,提供冷水或热水。

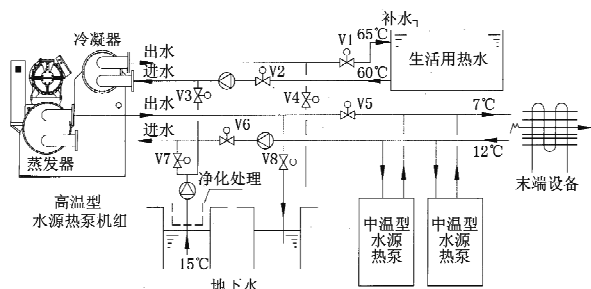


图 2 地源热泵供冷供热组合系统示意图

使用 R22 工质的水源热泵机组,冬季供热时出水温度一般能接近 50℃,这在空间高度不大的办公、住宅等建筑中使用是能够满足室内供热温度要求的,但在高大空间的会议、博览、体育、车站、机场建筑中使用,就很难达到供热舒适性要求。此时,就应该选择采用 R134a 或 R407C 工质的中高温型水源热泵机组,机组供热时的出水温度可达到

60℃或更高。但随着机组出水温度的升高,机组的冷凝压力会相应升高,机组的能效比会大幅下降,因此应因工程而异,选择合适的机组出水温度,不应盲目地将机组出水温度提得太高。

模块式水源热泵机组因其使用方便、安装灵活得到了一定程度的应用,但各地地下水水质的差异会对其板式换热器造成不同程度的腐蚀和损害,因此,建议实际工程中尽量慎重采用,或对地下水进行有效处理,原则上大容量的机组最好还是选择螺杆式或离心式水源热泵机组。

水源热泵机组应有性能优异、动作可靠的自动控制 and 能量调节系统,既提高系统运行的自动化水平,又能进行较好的负荷跟踪和能量调节。另外,机组的减振设计和防腐设计也不可忽略,否则长期运行性能和外观形象会大打折扣。

5 结语

地下水地源热泵系统充分利用地下水储热量大、换热效果好的特点,在对特定工程地下水水文地质资料进行详细勘察和水文试验的前提下,做好热源井群及地下水地源热泵空调系统的设计,既能够满足建筑物空调舒适性要求,又能充分提高地下水地源热泵系统运行的经济性和可靠性,带来极大的社会效益和经济效益。在对地下水地源热泵工程实际运行经验总结的基础上,条件许可时应大力推广其实际工程应用,为我国可再生能源利用和节能减排事业作出其独特的积极贡献。

(上接第 30 页)

5.1 出于希望《规范》中的定义严密、完整和具备可操作性的目的,依据《规范》,并参考了国内外相关理论、模型的研究,对《规范》所提出的计算式进行了更正,并给出了适用于工程计算的算式。

5.2 《规范》给出的地埋管换热器热阻计算方法与 IGSHA 模型及相关文献中的计算方法有较大的不同,尤其是增加了“短期连续脉冲负荷引起的附加热阻”这一项,由前面的分析计算可知,这项热阻所占的比例很大,超过了 30%。而根据相关资料,流行于北美地区基于 IGSHA 模型计算的埋管长度可能会比实际需要偏大 10%~30%,而《规范》增加了这一较大的附加热阻后,可能会使地埋管换热器的长度变得更大,对地埋管的经济性和初投资会产生不利影响,因此《规范》在修编时应有更为详

细的说明。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院. GB 50366—2005 地源热泵系统工程技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2005
- [2] 徐伟. 中国地源热泵发展研究报告(2008)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2008
- [3] 余延顺. 土壤耦合热泵系统地下埋管换热器传热模型的研究[J]. 暖通空调, 2005, 35(1): 26-31
- [4] Signhild E A, Gehlin G H. Comparison of four models for thermal response test evaluation[G] // ASHRAE Trans, 2003, 109(1): 131-142
- [5] 张洪济. 热传导[M]. 北京:高等教育出版社, 1992: 305-306
- [6] 刁乃仁. 地埋管地源热泵技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2006: 15-17
- [7] 马最良. 地源热泵系统设计与应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2007: 136-138