

对空气源热泵中央热水系统的若干技术研究

周展浩

(中国联合工程公司 第二建筑工程设计研究院,杭州 310014)

摘 要:针对在新型节能技术之一的空气源热泵中央热水系统的设计中常遇到的工程实际问题,探讨在设计过程中应选择的设计原则和设计参数。尤其从节能目的出发,对系统选择重力型或者承压型的原则性、基础性问题作了重点分析,提出大型空气源热泵中央热水系统应采用重力型热水系统的观点。在此基础上,还对空气源热泵中央热水系统各组成部分的设计技术参数的计算和选用、管路设计要点等作了阐述。

关键词:太阳能中央热水系统;空气源热泵中央热水系统;重力水箱承压水箱;重力水箱系统;承压水箱系统;储热水箱容积;加热循环水泵

中图分类号:TU822

文献标志码:A

文章编号:1671-8798(2011)04-0303-07

Technical studies on central hot water system based on air source heat pump

ZHOU Zhan-hao

(II Construction Design Institute, China United Engineering Corporation, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming to the design problems in central hot water system based on air-source heat pump, one of the new energy-saving technologies, we explore the design principles and the design parameters in the design process. Especially from the perspective of energy-saving, we analyze the selection between gravity type and pressure type and draw the conclusion that the gravity type should be adopted. On this basis, we present the calculation and selection of the design parameters of the system components and piping design features.

Key words: solar energy hot water system; central hot water system based on air source heat pump; gravity tank pressure tank; gravity tank system; pressure tank system; storage hot water tank volume; heating circulating pump

随着国家对节能减排的日益重视,自 2007 年以来,各地纷纷出台建筑节能管理办法,办法从规划、建

收稿日期:2011-04-01

作者简介:周展浩(1970—),男,浙江省慈溪人,高级工程师,国家一级注册公用设备工程师(给排水),主要从事建筑给排水设计。

设、验收等环节对新建建筑节能措施提出了严格要求。其中规定:新建住宅、宾馆、酒店、商住楼等有热水需要的公共建筑以及十二层以下住宅,应当按照规定统一设计、安装太阳能热水系统。并规定:对应采用而不采用太阳能热水系统的民用建筑,规划行政主管部门不得颁发建设工程规划许可证,施工图审查机构不得出具施工图审查合格书,建设行政主管部门不得颁发建筑工程施工许可证、不得办理竣工验收备案手续^[1]。在某些必须安装太阳能热水系统、但同时没有足够符合 4 h 日照的屋面面积来安装太阳能集热板的建筑,各地行政部门通常同意以空气源热水系统替代太阳能热水系统。也就是从那时起,这种低能耗的热水系统渐渐为人们所熟知。热泵热水机组吸收空气中的热量和太阳能,是综合电热水器和太阳能热水器优点的安全节能环保型热水机组,全年平均运行成本只需用电直接加热的 $1/3 \sim 1/2$,常规太阳能的 $2/3$,因此是国家重点推广项目。

空气源主要由 4 个核心部件组成,分别是压缩机,冷凝器,膨胀阀和蒸发器。

空气源热水器的工作原理与空调原理有一定相似,应用了逆卡诺原理,通过吸收空气中大量的低温热能,经过压缩机的压缩变为高温热能传递到水箱中,把水加热起来。整个过程是一种能量转移过程(从空气中转移到水中),不是通过电加热元件加热水或者燃烧可燃气体加热水的能量转换的过程。其工作流程是这样的:压缩机将回流的低压冷媒压缩后,变成高温高压的冷媒气体排出,高温高压的冷媒气体流经缠绕在冷凝器外面的铜管,热量经铜管传导到被加热水体中,冷却下来的冷媒在压力的持续作用下变成液态,经膨胀阀后进入蒸发器,液态的冷媒在此因压力下降迅速蒸发变成气态,并从空气中吸收大量的热量,吸收了一定能量的冷媒回流到压缩机,进入下一个循环。

空气源热水器的主要特点:

1) 高效节能。其输出能量与输入电能之比即能效比一般在 $2 \sim 6$ 之间,在浙江省年均可达到 3 左右,而普通电热水锅炉的能效比不大于 0.95,燃气、燃油锅炉的能效比一般只有 $0.6 \sim 0.8$,燃煤锅炉的能效比更低一般只有 $0.3 \sim 0.7$ 。

2) 环保无污染。该产品是通过吸收环境中的热量来制取热水,是一种低能耗的环保产品,具有良好的社会效益,是一种可持续发展的环保型产品。

3) 运行安全可靠。整个系统的运行无传统热水器(燃油、燃气、燃煤)中可能存在的易燃、易爆、中毒、腐蚀、短路、触电等危险,热水通过高温冷媒与水进行热交换得到,电与水在物理上分离,因此,这是一种可靠的热水系统。

4) 使用寿命长,维护费用低。产品的使用寿命可长达 15 年以上,设备性能稳定,运行安全可靠,并可实现无人操作(全自动化智能程序控制)。

5) 全天候运行。工作温度一般在 $-10 \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,无论白天、黑夜,不管晴天、阴天、刮风下雨或下雪都能照常工作。

6) 适用范围广。可用于酒店、宾馆、工矿、学校、医院、桑拿浴室、美容院、游泳池、温室、养殖场、洗衣店、家庭等,可单独使用,亦可集中使用,不同的供热要求可选择不同的产品系列和安装设计,同时还可以免费获取冷气。

笔者在他人研究^[2-7]的基础上,结合实际,对空气源热泵中央热水系统的水箱选择、技术参数设计及设计中常遇到对系统要求的技术问题等提出了合理的建议。

1 对热水系统储热水箱应为重力型还是承压型的探讨

根据《建筑给水排水设计规范》(2009 年版,以下简称《规范》)的第 5.2.13,高层建筑热水系统的分区,应遵循如下原则:应与给水系统的分区一致,各区水加热器、储水罐的进水均应由同区的给水系统专管供应……^[8]。很多设计师在没有具体问题具体分析及深入计算的基础上,一律对空气源热泵中央热水系统采用承压系统设计,结果使得其系统节能效果会大打折扣,甚至在某些场合会成为高能耗的热水系统。究其主要原因是:空气源热泵储热水箱容积远比热交换器等热水机组大、水箱设置在不易保温的屋顶、空气

源储热泵机组的加热特点等。需要指出一点,不管是重力水箱还是承压水箱,都要尽量与建筑单位协调好,在设置空气热泵机组的附近屋顶设计水箱间,这样能减小水箱内热水温度的日降低值,从而起到降低热损的作用;但在实际工程中,由于受建筑容积率指标、建筑物造型、结构受力等因素影响,极少有水箱间设计。笔者就在不同的冷水系统下应采用的储热水箱形式作具体的分析,并以一个分成二个分区的热热水系统为例,分别谈谈该热水系统在采用重力水箱系统和承压水箱系统的各自优缺点。

1.1 冷水系统为屋顶重力水箱供水时

空气源热水机组及储水罐均设置在屋顶,储水罐也必定采用重力式,对此,不会有异议。

1.2 冷水系统为变频加压供水时

这个时候,容易出现认识上的误区,许多设计师会根据《规范》的第5.2.13采用承压式水箱,并且冷水分几区,相应采用几套设备;笔者认为,从节能、经济合理、使用方便等出发,在绝大多数情况下,储水罐应采用重力水箱,对冷热水压力不平衡问题,只要采用恒压变频设备和减压阀设定热水出口压力,就完全满足了《规范》中当不能满足储水罐由同区的给水系统专管供应时,应采取保证系统冷、热水压力平衡的措施^[8]的要求和实际使用的要求;冷水供水每个子项的分区(包括高区)总进水管如果设置可调式减压阀,出口压力可调至与热水系统的供水压力基本完全一致,效果更明显。总之,在热水系统设计时,冷、热水压力必须要关联、要平衡,这才是系统设计的根本。

1.3 重力水箱系统的优点与缺点

2个分区的重力水箱系统见图1。

1.3.1 优点

1)不浪费多余的能量,综合能效比(COP值)较高。水箱采用智能水位,根据季节、使用人数变化等而相应引起使用热水的量的变化、对水位作调整,即热水制取的量与使用的量相匹配。

2)自动控制运行热泵机组能利用低谷电价。在设计空气能热泵机组时,根据用户的用热量配置相应的保温水箱,空气能热泵机组具有定时启停功能,又利用保温重力水箱具有良好的保温效果的优势,可以在低谷电价时制取热水储存于保温重力水箱中,既经济又能避开用电高峰,对电力系统也有利。

3)适用性广。适用于所有供热水场所,尤其是对用水量变化大的场所,如宾馆、住宅等;定时使用的场所,如公司食堂等更应优先采用。据考证,现在日热量较大的场所基本采用重力系统。

4)设置设备的位置要求相应低。可设置在建筑物的主楼屋面(最佳选择),也可设置在较低的裙楼屋面,均用变频加压系统或可调式减压阀各自定压分区。

5)避开恶劣工况运行,可延长热水机组使用年限。由于根据热水使用量、水箱液位等自动控制运行热泵机组,因此可做到避开恶劣工况运行;同时,由于维持水箱温度而浪费的热能很少,因此对应的运行时间也缩短,日总运行时间也相对较短(一般采用12~16h之间)。以上措施可延长热水机组的使用年限。

6)对设备的选用没有限制。空气源热水加热设备有直接大循环式和定温放水式2种不同形式。直接大循环系统特别简单只需热泵机组循环水泵,保温水箱经管道连接,直接对大水箱的水进行加热循环,达到设定的温度主机自动停机;定温放水系统有不承压定温完全放水和承压不间断自动补水顶水放水式2种,据几家品牌厂家的测试数据,在设备加热的过程中,被加热水水温越低能效比COP值越高,随着水温的升高COP值在降低,相同外部工况下同等的水从20℃加热到50℃时段与50℃升高到60℃时段所耗用的能量接近。加热水箱定温全放水方式虽然控制系统较复杂,但每加热一箱水都是从冷水初始温度到设定温度全过程加热,充分发挥热泵输入功率随温升变化的特点,COP值较高,节能效果明显,这类最节能类型的设备只能使用在重力系统中。

1.3.2 缺点

由于需用变频加压系统提升热水,需要消耗一定的电能,以一个宾馆工程举例,高区总用热量30t,加压泵出口压力为15MPa,水泵效率为0.65,则加压系统日消耗的能量为1.9kWh,折合在每吨水需消耗0.063kWh电能,但这部分电能与承压水箱系统所浪费的电能相比实在是微不足道以至可以忽略。

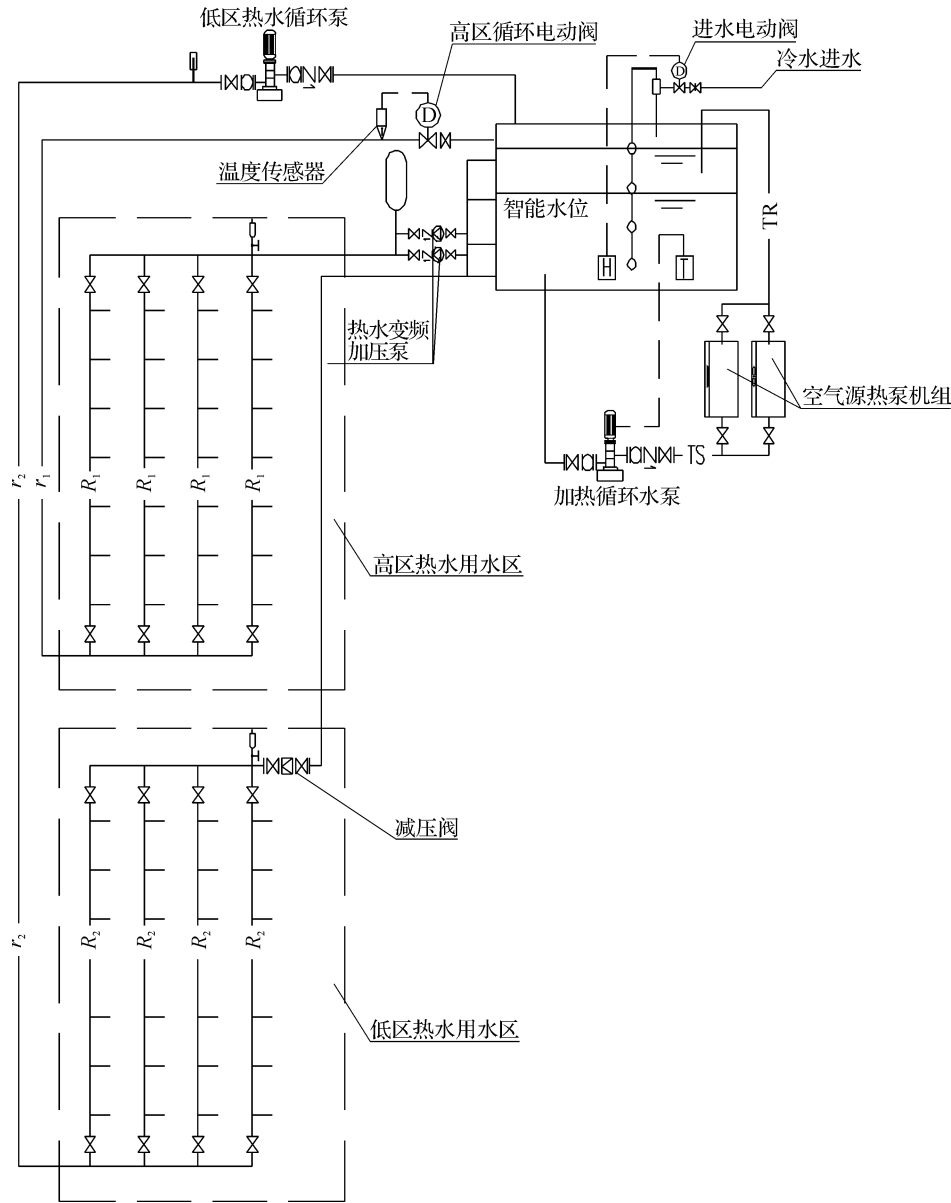


图 1 重力水箱系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of gravity tank system

1.4 承压水箱系统的优点与缺点

2 个分区的承压水箱系统见图 2,当然承压系统可以共用一套加热系统、减压阀分区的设计方式,考虑《规范》的第 5.2.13 同源要求,在实际设计中、承压条件下热水系统的分区原则会与冷水系统一致。

1.4.1 优点

由于各区水加热器、储水罐的进水均应由同区的给水系统专管供应,热水不需要提升。

1.4.2 缺点

1)浪费了大量的热能,综合能效比不高。由于机组的供热量远小于最大小时耗热量,空气源的储热水箱容积又往往比较大,为了维持这个大承压热水箱内的温度会浪费大量的电能。设备在加热和维持水箱温度的过程中,热泵机组都工作在较高温区(55℃左右)而导致节能效果不佳(COP 值相比较低),更不利的是热损失往往发生在空气源效率较低的晚上,如果在冬天因化霜还会浪费大量的辅助电能。以一个宾馆工程举例:各分区承压热水箱总容积为 30 t,日平均降温保守预计 10℃(由于设置在露天,实际肯定

超),其日浪费电能为 348 kWh,每吨浪费 11.6 kWh,年浪费电能为 127 141 kWh(注:考虑空气源设备在热水温度 55℃左右的年综合能效比约为1.5,实际年浪费电能约为 84 760 kWh)。

上面的数据已经值得关注了,放大效应更应引起注意。如宾馆入住率不高,某日用水量为 5 t,则每吨热水的浪费电能为 69.6 kWh 电能。又如住宅前期入住率很低,如杭州不少住宅小区三年还不到 30%,更何况最先入住的几户时,放大效应更大。如果按实耗计热水价,先期入住的用户由于热水价过高、很可能不用小区中央热水了,后期入住的用户更不会去用了,小区中央热水系统可能因此放弃运行。杭州市几年前采用真空燃油锅炉中央热水系统的几个住宅小区均以上述相同的过程而最终停止运行,笔者分析主要原因是热水系统采用了大容积的承压热水箱所致,而不是普遍认为的管道输送热损失过大(《规范》的第 5.5.5 条也支持了笔者的说法:小区配水管道热损失只有约 4%~6%)。

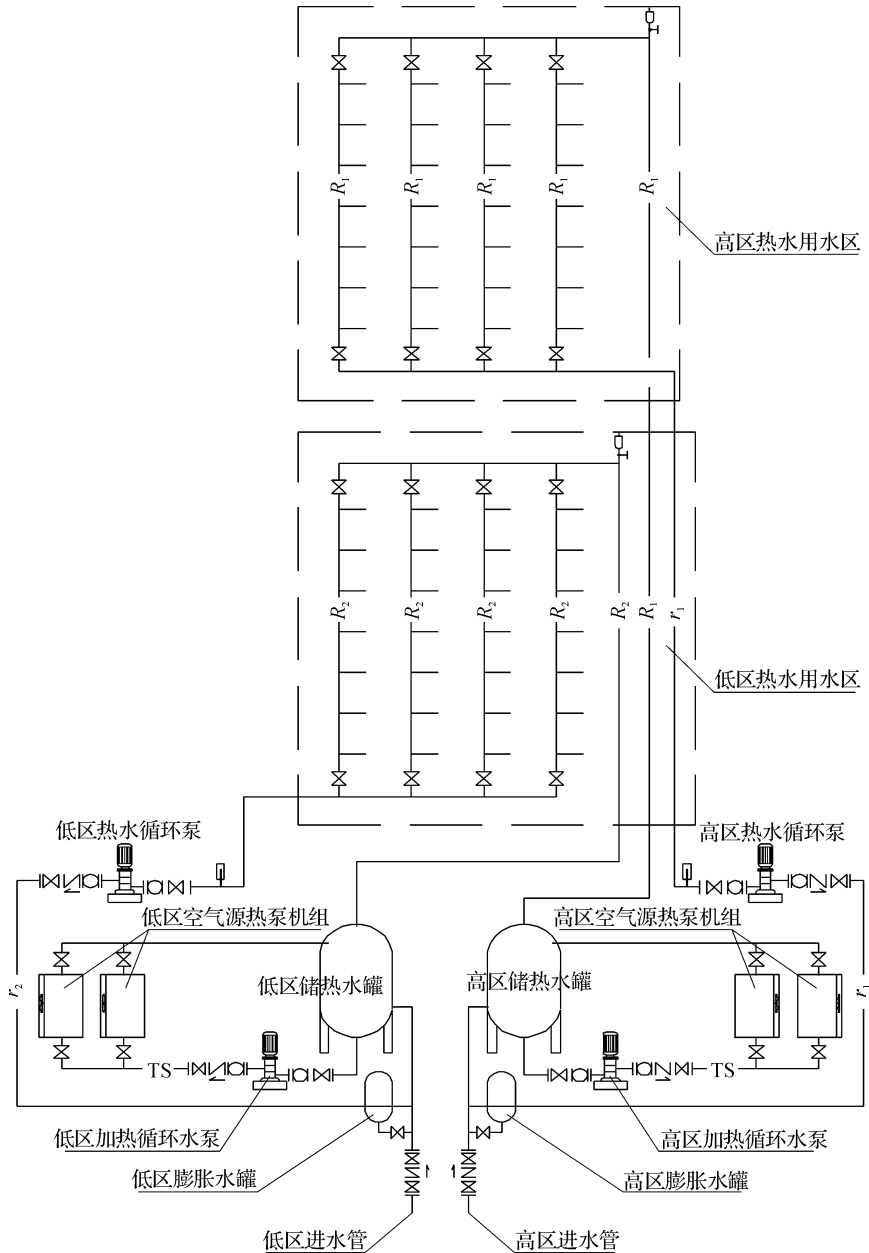


图 2 承压水箱系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of pressure tank system

在这点上重力水箱有很大的优势,可根据日用水量的多少而采用相应的水位和容积,减少了维温热损失,更避免了维温热损失的放大效应。

2)不能有效利用低谷电价。由于采用承压储水箱,空气能热泵机组以水箱内温度控制启停,在低谷电价时制取热水只是保持水箱的温度,并不能有效利用谷电价。

3)设备经济投入较多。空气源热水加热设备的套数与分区数一致;对空气源热水加热设备的冷媒冷凝器的承压一般在 $0.2 \sim 0.3 \text{ MPa}$ 之间,承压系统对热水换热器即冷媒冷凝器的承压要求较高,必须先提出特殊要求,由厂家非标生产;日用热水量大于 30 m^3 的每个承压罐,应设置膨胀罐。

4)适用性较差。对用水量变化大的场所,如宾馆、住宅等,由于因维持水箱温度耗热过多不适合使用;定时使用的场所,如公司食堂,由于长时间(下班时间、尤其是节假日)不使用,因维持水箱温度的耗热量很大(如上面的实例以 2 d 计,热量会浪费 696 kWh 电能);如果不维持温度,不但需要长时间加热才能再次使用,而且水箱内温度仍然会下降而浪费大量的能量,更加耗能而不适合采用。

5)设置设备的位置有要求。如果需要分区供热水,只能集中设置在低区供水范围的屋面或各自设置在供水范围内的屋面;如果需要分区的建筑没有裙房或裙房屋面不能布置加热设备,低区系统可能无法按规范设计。

6)运行时间较长,影响热水机组使用年限。由于采用因维持承压水箱内的温度,热水机组需 24 h 保持在运行状态,总运行时间也相应比重力水箱系统热水机组长约 25% (按日平均总温升测算: $(50 - 40) \div 40$),定时使用的热水系统在这方面更加明显,如公司食堂相应达 35% (按星期平均总温升测算: $(270 - 200) \div 200$)。

7)对设备的选用也会有限制。对承压水箱系统而言只能用直接大循环式和承压不间断自动补水顶水放水式 2 种,在设备加热和维持水箱温度的过程中,热泵机组长期工作在较高温区而导致节能效果不佳,加热水箱定温全放水方式这类最节能类型的设备不能在承压水箱系统中采用。

综上所述,笔者认为承压水箱系统只适用在用热量不大、日用热水量变化较小、水箱能尽量设置在户内的场合,如户式中央热水机组。

2 储热水箱容积的计算

在计算出最大日用热水量为 $Q_{\text{总}}$ 的前提下,再计算出空气源热泵机组的产热能力:额定工况下机组运行时间为 12 h ,恶劣工况下机组运行时间为 16 h 。

2.1 承压储热水箱容积计算

Q_{h} 为设计高峰时期小时用热量, $Q_{\text{h}} = K_{\text{h}} \times Q_{\text{总}} \div 24 \text{ (m}^3/\text{h)}$;

K_{h} 为小时变化系数,按《规范》的表 5.3.1 选用;

Q_{g} 为设计机组最不利小时供热量, $Q_{\text{g}} = Q_{\text{总}} \div 16 \text{ (m}^3/\text{h)}$;

T 为高峰用热水时间,为 4 h ;

t 为热水日使用时间。

根据《规范》第 5.4.2B 第 6 款,计算并得出承压储热水箱的有效容积为: $V_r(\text{有效}) = k_2 \times (K_{\text{h}} \times Q_{\text{总}} \div t - Q_{\text{总}} \div 16) \times 4 = 1.2 \times (K_{\text{h}} \times Q_{\text{总}} \div t - Q_{\text{总}} \div 16) \times 4 = (K_{\text{h}} \times Q_{\text{总}} \div t - Q_{\text{总}} \div 16) \times 4.8 \text{ (m}^3)$;计算并得出承压储热水箱的总容积为: $V_r = V_r(\text{有效}) \div \eta = (K_{\text{h}} \times Q_{\text{总}} \div t - Q_{\text{总}} \div 16) \times 4.8 \div 0.8 = (K_{\text{h}} \times Q_{\text{总}} \div t - Q_{\text{总}} \div 16) \times 6 \text{ (m}^3)$ 。

为了减少在使用热量不高时的热损失,在储热水箱总容积大于 8 m^3 时,笔者认为应分成不得少于能独立使用的 2 座。

2.2 重力储热水箱容积计算

笔者认为可以采用以下几种计算方法:

1) 适用于直接大循环式空气源热水机组的计算公式,同承压系统的储热水箱容积计算: $V_r = (K_{\text{h}} \times$

$Q_{\text{总}} \div t - Q_{\text{总}} \div 16) \times 6(\text{m}^3)$, 详细说明见上。

2) 适用于定温放水式空气源热水机组(定温放水系统是指当空气源热泵热水器加热水温达到设定温度时,系统自动打开进水电磁阀或者自动启动进水泵,把已经加热达到设定的水温的热水放到储热保温水箱中,供生产及生活用的过程,不同于循环逐步加热热水箱中热水的直接大循环式空气源热水机组)的计算公式,总结多家空气源热水机组生产厂家的工程经验和已经投入运行的多个项目的运行情况,得出的储热水箱有效容积经验公式为: $V_r(\text{有效}) = \text{日用水量} \times \text{使用系数} - \text{恶劣工况下机组产热量} \times 4 \text{ h} - \text{机组加热水箱容积}(\text{m}^3)$ 。

3) 对于天气寒冷的北方地区,不考虑机组在恶劣天气下的日最冷的时段制热,水箱有效容积不小于日设计用热量。

4) 能利用低谷电价的用热水单位,考虑尽量在低谷电价时制取日用热水储存于保温水箱中,水箱有效容积不小于日设计用热量,根据测试,优质的重力保温水箱能在气温 -3°C 的情况下,日温降控制在 3°C 左右。

上述4种计算方法,可根据不同的实际情况分析选用,考虑各类机组的实际节能效果,其中后3种计算方法应比较常见。

3 加热循环水泵的选择

空气源热泵机组的产热能力以额定工况下机组运行时间为12 h制取日用热量作为设计参数,加热循环水泵以水箱内温降 3°C 作为水泵启动温度,则 $Q_{\text{泵}} = (Q_{\text{总}}/12) \times (55 - 15) \div 3 \times \text{安全系数} = (Q_{\text{总}}/12) \times 40 \div 3 \times 1.1 = 1.2 \times Q_{\text{总}}$,必须注意的是:式中 $Q_{\text{总}}$ 单位为 m^3/d , $Q_{\text{泵}}$ 单位为 m^3/h 。

水泵扬程根据《规范》的第5.4.2A第3条计算,根据经验,机组与水箱在一个标高平面上,扬程选用约15 m。

4 结 语

综上所述,笔者根据《规范》和工程设计经验和已经投入运行的项目的运行情况,结合不同的场合,对承压、重力储热水箱的容积分别提出了计算方法,也对本热水系统加热循环水泵的技术参数的选择提出了计算方法。并将设计思路应用于实际工程设计中,取得了满意的效果。笔者认为:

1) 根据空气源储热泵中央热水系统的特点为基本点,从节能、经济合理、使用的限制条件等出发,在大多数情况下,对用水量较大的中央热水系统的储水罐采用重力式,系统相应为重力水箱系统;

2) 承压水箱系统适用在用热量不大、日用热量变化较小、水箱能尽量设置在户内的场合,如户式中央热水机组;

3) 任何系统的核心是主设备,管路系统是为主设备服务的,设计师的任务就是在不破坏设备功能的前提下为主设备设计一个合理的管路系统,而不是为了管路系统的合理性而削弱甚至是牺牲主设备的功能优势,这是一个原则性问题。

参考文献:

- [1] 浙江省人民政府.浙江省建筑节能管理办法[Z].浙江省人民政府,2007.
- [2] 芮仁华.太阳能热水系统的应用研究[J].能源研究与利用,2007(1):38-39.
- [3] 黄海峰.住宅建筑太阳能热水系统设计选型[J].给水排水,2008(11):197-200.
- [4] 鞠振河,王喜魁,齐宏宇.太阳能民用热水系统工程设计[J].沈阳工程学院学报:自然科学版,2006(2):104-108.
- [5] 孙巍.太阳能热水系统与建筑节能[J].低温建筑技术,2008(2):138-139.
- [6] 李向军.太阳能热水系统在西山某招待所工程中的应用[J].给水排水,2009(2):85-89.
- [7] 蒋挺辉.台州市太阳能热水系统与建筑一体化设计案例研究[D].杭州:浙江大学,2010.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB50015—2003 建筑给水排水设计规范[S].北京:中国计划出版社,2009.