

设计经验

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.16.011

# 《建筑给水排水设计标准》中空气源热泵热水系统设计探讨

张立成<sup>1,2</sup>

(1. 沈阳建筑大学规划建筑设计研究院, 辽宁 沈阳 110015; 2. 沈阳建筑大学 市政与环境工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

**摘要:** 为了使广大设计者掌握空气源热泵热水系统的计算方法,对《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)中空气源热泵热水系统及辅助热源的适用性、辅助热源的运行及其供热量的计算、空气源热泵机组的供热量、贮热水箱(罐)的容积等方面存在的问题进行了分析,完善了空气源热泵机组、辅助热源、贮热水箱(罐)容积的计算方法。指出空气源热泵热水系统不仅适用于夏热冬暖和夏热冬冷地区,也适用于寒冷和严寒地区;在标准中应将空气源热泵的技术内容独立于水源热泵书写;应对以最冷月平均气温和春分、秋分所在月的平均气温作为指标的合理性进行深入研究。

**关键词:** 热水系统; 空气源热泵; 辅助热源; 供热量

**中图分类号:** TU822 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)16-0060-04

## Discussion on Design Method of Air Source Heat Pump Hot Water System in the Standard for Design of Building Water Supply and Drainage

ZHANG Li-cheng<sup>1,2</sup>

(1. Shenyang Jianzhu University Urban Planning and Architectural Design Institute, Shenyang 110015, China; 2. School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** For the designers to master the calculation method of the air source heat pump hot water system, some aspects included in the *Standard for Design of Building Water Supply and Drainage* (GB 50015-2019) such as the applicability of air source heat pump hot water system and auxiliary heat source, the operation and calculation of heating capacity of auxiliary heat source, heat capacity of air source heat pump unit, the volume of heat water storage tank and so on were analyzed. The calculation methods about air source heat pump unit, auxiliary heat source and heat water storage tank were improved. It was pointed out that air source heat pump hot water system is not only suitable for hot summer/warm winter and hot summer/cold winter zones, but also suitable for severe cold and cold zones. The technical content of air source heat pump in the standard should be elaborated independently from water source heat pump. Whether the mean air temperature of coldest months and the average temperature of spring equinox and autumn equinox months are reasonable parameters or not should be studied further.

**Key words:** hot water system; air source heat pump; auxiliary heat source; heating capacity

《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)<sup>[1]</sup>于2020年3月1日实施,将在相当长的时

间内成为建筑给水排水设计的重要依据。标准中以比较简洁的语言规定了空气源热泵热水系统的设计方法,笔者对其内容进行了梳理,并针对其中存在的问题予以分析,同时提出了解决方法,供广大设计师参考。

## 1 空气源热泵热水系统的设计和计算方法

空气源热泵热水系统的设计和计算方法主要集中在第6.6.7条,包括空气源热泵系统选用及辅助热源设置、空气源热泵供热量计算和储热水箱(罐)容积计算等3部分。

### 1.1 空气源热泵系统选用及辅助热源设置

空气源热泵热水系统的辅助热源设置涉及设置地区规定、辅助热源类型选择和辅助热源供热量计算等,具体包括5项内容:

① 最冷月平均气温 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地区,空气源热泵热水供应系统可不设辅助热源。

②  $0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq$ 最冷月平均气温 $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地区,空气源热泵热水供应系统宜采取设置辅助热源,或采取延长空气源热泵的工作时间等满足使用要求的措施。

③ 最冷月平均气温 $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地区,不宜采用空气源热泵热水供应系统。

④ 空气源热泵辅助热源应就地获取,经过经济技术比较,选用投资省、低能耗热源。

⑤ 辅助热源应只在最冷月平均气温 $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的季节运行,供热量可按补充在该季节空气源热泵产热量不满足系统耗热量的部分计算。

### 1.2 空气源热泵供热量计算

空气源热泵的供热量可按式(1)计算:

$$Q_g = \frac{m \cdot q_r \cdot C(t_r - t_l)\rho_r \cdot C_r}{T_5} \quad (1)$$

式中  $Q_g$ ——空气源热泵设计小时供热量,  $\text{kJ/h}$

$m$ ——用水计算单位数(人数或床位数)

$q_r$ ——热水用水定额,  $\text{L}/(\text{人} \cdot \text{d})$  或  $\text{L}/(\text{床} \cdot \text{d})$

$C$ ——水的比热,取  $4.187\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$

$t_r$ ——热水温度,取  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$

$t_l$ ——冷水温度,  $^{\circ}\text{C}$

$\rho_r$ ——热水密度,  $\text{kg/L}$

$C_r$ ——热水供应系统的热损失系数,取  $1.10 \sim 1.15$

$T_5$ ——热泵机组设计工作时间,取  $8 \sim 16\text{ h/d}$

当设辅助热源时,宜按当地农历春分、秋分所在月的平均气温和冷水供水温度计算;当不设辅助热源时,应按当地最冷月平均气温和冷水温度计算。

### 1.3 空气源热泵系统贮热水箱(罐)的容积计算

空气源热泵采用直接加热系统时,直接加热系统要求冷水进水总硬度(以碳酸钙计)不应大于  $120\text{ mg/L}$ ,其贮热水箱(罐)的总容积应按式(2)计算:

$$V_r = k_1 \frac{(Q_h - Q_g)T_1}{(t_r - t_l)C \cdot \rho_r} \quad (2)$$

式中  $V_r$ ——贮热水箱(罐)总容积,  $\text{L}$

$k_1$ ——用水均匀性安全系数,取  $1.25 \sim 1.50$

$Q_h$ ——设计小时耗热量,  $\text{kJ/h}$

$T_1$ ——设计小时耗热量持续时间,全日集中热水供应系统取  $2 \sim 4\text{ h}$

## 2 空气源热泵热水系统设计存在问题分析

### 2.1 空气源热泵系统及辅助热源的适用性

第1.1节中的第①~③条规定了空气源热泵热水系统辅助热源的设置条件和空气源热泵系统的适用条件,与标准中的6.3.1条第3款相呼应。标准6.3.1条第3款说明了夏热冬冷和夏热冬暖地区可以采用空气源热泵作为集中热水系统的热源,第1.1节中的第①条规定了夏热冬暖地区可不设置辅助热源,第②条规定了夏热冬冷地区宜设置辅助热源,第③条规定了严寒和寒冷地区不宜采用空气源热泵热水系统,自然而然辅助热源就无从谈起。标准中对空气源热泵及其辅助热源的设置与否使用了“可”“宜”“不宜”等用词,对于这样规定的条款,虽然在设计中不为强制性规定,但是由于标准的权威性,必然起到极强的引导作用。由于新型高效制冷剂 and 压缩机新技术的问世和应用,空气源热泵机组的制热能力显著提高,低温环境适用范围也大幅增加,很多知名厂家生产的空气源热泵机组可以在  $-35 \sim -25\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下稳定运行,并且具有比较可观的综合 COP 值,与电热水机组相比具有明显的节能优势。严寒和寒冷地区面积占我国的70%左右,其最冷月平均气温跨度比较大。寒冷地区所处温度范围的空气源热泵 COP 值尚处于比较高的范围。严寒地区极端气温时的空气源热泵 COP 比较小,可以设置辅助热源满足系统可靠运行,极端气温时间占全年时间的比例并不大,热水系统全年综合 COP 值可以满足节能运行需求。可见,空气源热泵热水系统不仅适用于夏热冬暖和夏热冬冷地区,也可用于

寒冷和严寒地区。

## 2.2 辅助热源的运行及其供热量的计算

从第1.1节第⑤条的规定可知,当环境温度高于一定值时,辅助热源无需运行,只运行空气源热泵机组即可。通过仔细研读,发现该条文存在较大的问题。“最冷月平均气温小于10℃的季节”是什么季节呢?其实就只有一个——最冷月,这个答案显然不合常理。标准中的这种写法似乎与“最冷月平均气温小于10℃的地区设置辅助热源”混淆了,将设置辅助热源的条件当成了辅助热源运行的条件,是否的确如此笔者不得而知。如果某地区符合设置辅助热源的条件,即最冷月平均气温小于10℃,那么最冷月平均气温是多少呢?可以是0~10℃之间的任意温度,那么,非最冷月的月平均气温也可能小于10℃。笔者认为,第1.1节第⑤条的运行条件改为“辅助热源应只在月平均气温小于10℃的季节运行”比较妥当。上述分析是基于“月平均气温”作为运行控制条件合理的条件下进行的,而实际上每个月的日平均气温相差比较大,以“月平均气温”来反映当月每日的气温不甚合理,应该以日平均气温或者实时气温作为选用和运行辅助热源的条件更为合理,具体气温多少合适需要深入研究确定。

辅助热源的供热量应该等于空气源热泵产热量不满足系统耗热量的部分。

## 2.3 空气源热泵机组的供热量

式(1)给出了空气源热泵供热量的计算方法,可以发现式(1)与平均小时耗热量形式基本相同,区别在于式(1)的分母是热泵机组的工作时间,而平均小时耗热量的分母是热水系统的每日使用时间。1.2节同时指出了设置辅助热源和不设置辅助热源两种情况下的计算方法,均涉及到气温和冷水供水温度两个参数,但是在式(1)所有的参数中却看不到气温这个参数的影子。通过综合分析标准中热水系统计算公式发现,热水系统耗热量和热水设备供热量出现了混淆,耗热量应指热水系统的用户通过使用热水而消耗的热量,供热量应指包括热水机组、水加热器等在内的热水制取设备能够提供给热水系统的热量,两者虽然存在内在的联系,但还是有区别的。冷水供水温度是热水系统耗热量的一个重要参数指标,而气温是影响空气源热泵供热的关键参数,也是计算热泵供热量的重要指标。根据标

准的规定,可以按照式(1)的计算结果确定需要选用机组的供热量,从设置和不设置辅助热源两个方面计算空气源热泵机组在设计工况下的供热量。

当空气源热泵热水系统不设置辅助热源时,系统耗热量全部由热泵机组提供,空气源热泵机组在设计工况下的供热量可按下式计算:

$$Q = qK_1K_2 \quad (3)$$

式中  $Q$ ——空气源热泵机组设计工况下的供热量, kW

$q$ ——空气源热泵机组在名义工况下的制热量, kW

$K_1$ ——环境空气温度修正系数,按产品样本选取,温度取最冷月平均气温

$K_2$ ——融霜修正系数,根据生产厂家提供的数据选取;当无数据时,可按1 h融霜一次取0.9,融霜两次取0.8,无融霜情况取1.0

当空气源热泵热水系统设置辅助热源时,热泵机组供热量按农历春分、秋分所在月的平均气温选择,见下式:

$$Q' = qK_1K_2 \quad (4)$$

式中  $Q'$ ——空气源热泵机组设计工况下的供热量, kW

$K_1$ ——环境空气温度修正系数,按产品样本选取,温度宜取农历春分、秋分所在月的平均气温

式(4)与式(3)形式相同,区别在于环境空气温度修正系数 $K_1$ 的取值不同。当环境空气温度继续降低时,系统耗热量由热泵机组和辅助热源联合提供,辅助热源的供热量可按式(5)计算:

$$Q_F = Q_h - Q \quad (5)$$

式中  $Q_F$ ——辅助热源的供热量, kW

$Q_h$ ——设计小时耗热量, kW

在此对空气源热泵机组供热量的计算是在标准提出的月平均气温参数的基础上进行的,但是用月平均气温作为计算参数是否合理值得商榷,特别是春分所在月平均气温和秋分所在月平均气温相去甚远,以沈阳市为例,多年平均春分所在月平均气温为1.7℃,多年平均秋分所在月平均气温为17.8℃,二者差值达16.1℃之多。

## 2.4 贮热水箱(罐)的容积

标准中空气源热泵热水系统贮热水箱(罐)的



容积引用了水源热泵系统的计算方法,在条文中写明“全日集中热水供应系统的贮热水箱(罐)的有效容积”,而计算公式的符号注释却为总容积,这种现象显然是失误所致,可以通过对比标准和旧规范《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003)<sup>[2]</sup>中的系数予以勘误。旧规范中有两个系数,分别是有效贮热容积系数0.8~0.9和安全系数1.1~1.2,而标准中只有一个系数,即用水均匀性安全系数1.25~1.50。通过计算可以发现,标准中的用水均匀性安全系数代替了旧规范中的有效贮热容积系数和安全系数,数值几乎完全吻合,可见标准中的公式计算贮热水箱(罐)的总容积,而不是有效容积。

由于新旧标准的条文内容编排调整,致使标准仅转引了全日集中热水供应系统贮热水箱(罐)容积的计算方法,却漏掉了空气源热泵定时热水供应系统,应在标准条文中予以补充:定时热水供应系统的贮热水箱(罐)的有效容积宜为定时供应热水的全部热量。

### 3 结论与建议

① 通过对《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)中空气源热泵热水系统设计方法的梳理,可以更好地指导设计人员科学合理地设计空气源热泵热水系统。

② 空气源热泵热水系统不仅适用于夏热冬暖和夏热冬冷地区,也可适用于寒冷和严寒地区。

③ 空气源热泵机组与水源热泵机组虽然同属热泵,但是其蒸发器热媒不同,尤其是空气源热泵机组所需空气的温度变化幅度非常大,具有与水源热泵机组不同的运行工况,在标准中应独立书写。

④ 在空气源热泵热水系统设计中,系统和辅助热源的设置条件、热泵机组和辅助热源供热量的计算使用最冷月平均气温和春分、秋分所在月的平均气温作为指标的合理性应进一步深入研究。

### 参考文献:

- [1] GB 50015—2019,建筑给水排水设计标准[S]. 北京:中国计划出版社,2019.  
GB 50015—2019, Standard for Design of Building Water Supply and Drainage[S]. Beijing: China Planning Press, 2019(in Chinese).
- [2] GB 50015—2003,建筑给水排水设计规范[S]. 2009年版. 北京:中国计划出版社,2010.  
GB 50015—2003, Code for Design of Building Water Supply and Drainage[S]. 2009 ed. Beijing: China Planning Press, 2010(in Chinese).



**作者简介:**张立成(1972—),男,蒙古族,辽宁锦州人,博士,教授级高工,主要从事建筑给水排水与消防系统优化工作。辽宁省百千万人才工程百人层次,国家注册公用设备工程师,沈阳市领军人才。主持或参与科研项目40余项,获省部级科技进步奖4项,沈阳市科技进步奖1项,全国优秀设计奖2项,辽宁省优秀设计奖14项,沈阳市优秀设计奖13项。发表论文70余篇,获得发明专利3项,实用新型专利17项,计算机软件著作权4项。主编辽宁省标准5项,参编国家标准4项。

**E-mail:** zlclicheng@sina.com

**收稿日期:**2020-02-05