

# 能源塔热泵技术在空调工程中的应用与分析

同济大学 宋应乾<sup>☆</sup> 马宏权 龙惟定

**摘要** 介绍了能源塔热泵技术的发展、原理和分类,分析了能源塔热泵的特点,简要阐述了能源塔热泵的关键技术问题、设计要点和运行管理方式。指出能源塔不同于冷却塔,用冷却塔代替能源塔会因为吸收低品位热源的能力不足而使能源塔热泵不能正常工作。将能源塔与其他空调方式进行了比较,认为在我国长江以南地区的新建建筑或既有建筑改造中,能源塔热泵是一种制冷制热设备的新选择。

**关键词** 能源塔 热泵 低温高湿

## Application and analysis of energy tower heat pump technology in air conditioning engineering

By Song Yingqian<sup>★</sup>, Ma Hongquan and Long Weiding

**Abstract** Explains the development, principles and classification of energy tower heat pump technology. Analyses the characteristics of energy tower heat pump. Briefly describes its key technological points, design features and operation management. Points out that the energy tower is different from the cooling tower and that the cooling tower may make its heat pump work improperly because of lacking of the ability to utilize low-grade heat source. Comparing it with other air conditioning methods, shows that the energy tower can be used as an alternative of air conditioning equipment to achieve cooling, heating and hot water supplying in the areas to the south of the Yangtze River in China.

**Keywords** energy tower, heat pump, low temperature and high humidity

★ Tongji University, Shanghai, China

①

### 1 能源塔热泵技术概述

能源塔热泵是一种外观呈塔形,以空气为热源,通过塔体与空气的换热作用,实现制冷、供暖以及提供生活热水等多种功能的新设备。能源塔热泵系统的热源虽然也来自空气,但它有别于传统空气源热泵从空气中获取能量的方式,而是利用水源热泵将能源塔从空气中吸收的低品位热源用于制冷、供暖和提供生活热水。在夏季,能源塔热泵机组把能源塔作为冷却塔,利用水的蒸发散热,能效比可达 5.0 以上;在冬季,能源塔热泵机组利用冰点低于 0℃ 的载体介质,高效提取 -9℃ 以上、相对湿度较高的低温环境下空气中的低品位热能进行供热,解决了传统空气源热泵冬季结霜的问题,省去了传统空气源热泵的电辅助加热。

能源塔热泵技术源于上世纪 90 年代,应用于

珠江三角洲流域的冷却塔热泵取热技术<sup>[1]</sup>,利用冷却塔从空气中提取热量的热泵系统主要通过机组外网 8 个阀门的切换来实现冬夏两种工况的转换(如图 1 所示),机组本身没有任何变化。夏季工况时,阀门 1,2 和 7,8 打开,阀门 3,4 和 5,6 关闭,系统按制冷方式运行,为室内提供冷水;冬季工况时,阀门 1,2 和 7,8 关闭,阀门 3,4 和 5,6 打开,系统按照制热方式运行,为室内提供加热用水<sup>[2]</sup>。

目前,我国的冷却塔取热技术仅限于在广东南

①<sup>☆</sup> 宋应乾,男,1985 年 11 月生,在读硕士研究生  
201804 上海市曹安公路 4800 号同济大学嘉定校区 16 号楼  
2 单元 102-3 室  
(021) 69583735  
E-mail: songyingqian@163.com  
收稿日期:2010-02-01  
修回日期:2010-12-03

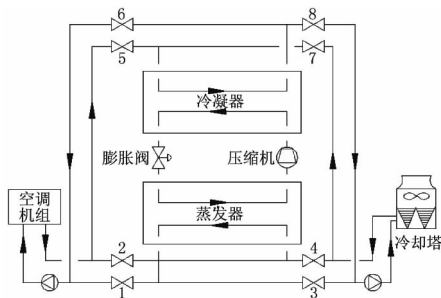


图1 利用冷却塔取热的热泵系统原理图

部、云南南部等地区应用。由于冷却塔的技术参数主要是按照水膜面积与空气对流时的蒸发冷却能力设计的,当冷却塔用作取热时,其取热能力仅为冷却能力的50%左右。尤其是,冷却塔的换热器和风机是专为夏季工况设计的,在冬季使用时效率很低。因此,使用冷却塔作为热源时风机能耗较高。另外,南方地区冬季室外湿度较大,冷却塔换热器冬季运行时会出现结冰现象,冰层会产生隔离作用,导致热泵在非常低的水温下工作,使COP大幅度降低。冷却塔用于冬季取热时循环液飘失严重,如果使用廉价的氯化物防冻液,其与空气接触混合后溶解氧增加,会加速对设备的腐蚀和对周围环境的污染。因此,冬季将冷却塔作为热源使用的效果并不理想。

2003年,国内学者提出,冷却塔不能满足冬季热泵机组对热源的需求,建议按冬季吸收低品位热源能力设计塔的参数,并将其定名为“能源塔”<sup>[3-4]</sup>。目前,国内有部分企业研制出同类产品,称为能源塔。笔者认为该系统能够同时实现制冷、供暖和提供生活热水,称作能源塔更准确些。2004年,第一代能源塔热泵研制成功并用于湖南湘西地区,经过不断改进,现在已发展到第四代。

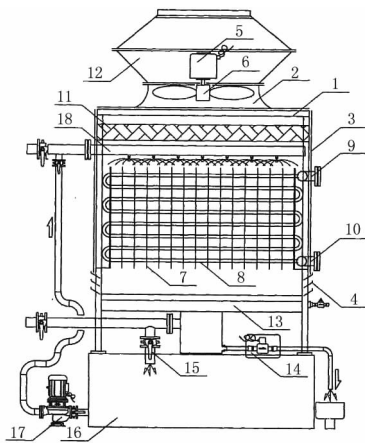
## 2 能源塔热泵系统的原理

能源塔热泵的工作原理是:通过水和空气之间的热质交换将空气中的热量传递给水。冬季利用冰点低于0℃的介质提取空气中的低品位热源,通过向能源塔热泵机组输入少量电能来高效提取空气中水蒸气凝结为水时所放出的潜热,达到制热目的;夏季制冷时,为热泵机组的冷凝器提供冷却水,作为高效冷却塔使用<sup>①</sup>。另外,在春秋季节,能源塔作为热源可用来制取生活热水。

### 2.1 能源塔的构成和分类

从构造上看,能源塔主要由围护构架、旋流风

动系统、低温高效换热器、汽液分离系统、凝结水分离系统、低温防霜系统(如图2所示)组成。其中,围护构架包括塔体框架、顶部的出风筒,侧壁的围护板及进风栅;旋流风动系统由位于风筒内部的变速电动机控制装置和斜射旋流风机组成;低温高效换热器由围护构架内部的高效肋片、换热管、进液口及出液口构成;低温高效换热器上方设有由斜流折射分离器和斜射旋流分离器构成的汽液分离系统;低温高效换热器下方设有由接水盘、凝结水控制装置和溶液控制阀构成的凝结水分离系统;还设有由溶液池、喷淋泵控制装置、喷淋器构成的低温防霜系统。当空气经低温高效换热器表面逆向流通时,形成传热面与空气之间的显热与潜热交换,获得低于环境温度2~3℃的溶液作为能源塔热泵的低品位热源。消噪汽液分离器可有效分离负压条件下产生的水分和降低风机运行时产生的噪声。



1 塔体框架 2 出风筒 3 围护板 4 进风栅 5 变速电动机控制装置  
6 斜射旋流风机 7 高效肋片 8 换热管 9 进液口 10 出液口  
11 斜流折射分离器 12 斜射旋流分离器 13 接水盘 14 凝结水控制装置  
15 溶液控制阀 16 溶液池 17 喷淋泵控制装置 18 喷淋器

图2 能源塔的结构示意图

能源塔的核心技术是溶液浓缩装置。冬季阴雨连绵期间,能源塔防冻液膜直接与空气进行显热与潜热交换的同时,凝结了空气中的水分,使防冻液浓度降低,冰点上升。而浓缩装置的作用是将稀释的防冻液浓缩,使冰点下降。

能源塔分为开式和闭式两类。开式能源塔供热的原理是将低于空气湿球温度的防冻液均匀喷淋在具有亲液性的填料层上,形成液膜,当空气掠

① 全国节能监测管理中心专家组. 能源塔在我国南方空调领域节能减排改造中的应用. 企业节能技术参考, 2008

过填料时,气液之间在接触面上发生热质交换,从而使防冻液获得一定的能量,作为热泵的低品位可再生能源。而防冻液所吸收的热量主要是来自空气和溶液之间由于温差引起的显热交换和空气中的水蒸气凝结而放出的汽化潜热。开式能源塔中防冻液直接与空气接触,溶液温度易受外界气象条件变化的影响使其冰点不断变化,需要定期启动溶液浓缩装置,管理非常麻烦。而闭式能源塔克服了以上缺点,通过使空气逆向流过低温高效肋片换热器的表面,形成传热面与空气之间的显热和潜热交换。同时,由于闭式能源塔的高效换热器的管内防冻液依靠溶液泵强制循环,流动速度快,换热效率高。

闭式能源塔中既有盘管又有填料,填料的作用是使进入能源塔的热热水尽可能形成细小的水滴或水膜,增加水和空气之间的接触面积,延长接触时间,以增加水气之间的热质交换。盘管的作用是增强换热效果,避免管内流体受环境的污染,减少载体介质的损失。

闭式能源塔夏季为开式负压冷却塔,通过调节风机的流量来实现变风量控制,可在高温高湿的气候条件下实现负压蒸发,冷却水温度低于传统冷却塔,提高了制冷机效率。冬季供热时,由能源塔旋流风机扰动环境中的低温高湿空气从塔体底部进入,经低温高效换热器底部迎风面逆向流通,形成传热面与环境空气之间的显热与潜热交换<sup>[5]</sup>。来自热泵蒸发器的低温循环溶液从高效换热器上部进入,底部流出,获得低于环境温度 $2\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的溶液作为能源塔热泵的低品位热源。

## 2.2 能源塔热泵机组的构成和原理

能源塔热泵机组采用双冷凝器全热回收技术,即带有空调用冷凝器和生活热水用冷凝器两套系统(见图3),利用阀门的切换来实现4种不同的运行工况(即单独制冷工况、单独制热工况、单独制生活热水工况、制冷同时制生活热水工况)。

从本质上说,能源塔热泵机组是空气源热泵机组的一种先进形式,但比空气源热泵多了载冷剂与空气侧的二次换热。从另一个角度来说,能源塔热泵机组是水(地)源热泵的衍生品,与常规水源热泵相比,能源塔热泵机组增加了油冷却器,在冷凝器

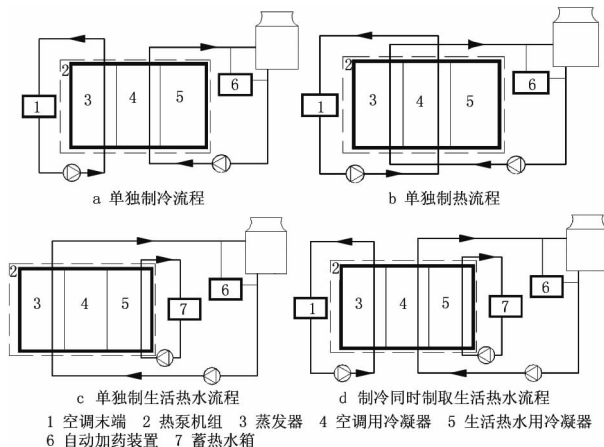


图3 能源塔热泵系统4种运行工况流程示意图

的进水管上接一水路至油冷却器,油冷却器出口接冷凝器出口管。压缩机排气温度较高时,外置油路上电磁阀关闭,油经油冷却器后再进入压缩机。

## 2.3 能源塔热泵系统的辅助系统

### 2.3.1 能源塔热泵防霜系统

能源塔热泵溶液防霜浓缩系统的原理是:当喷射浓缩机检测到环境空气温度低于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,关闭冷凝水排水阀,启动喷射浓缩机,将溶液池溶液浓缩升压,高压溶液通过控制阀进入喷射器向换热器喷射溶液,与换热器换热,形成水滴,靠重力作用落入溶液盘,进入溶液池,完成一个喷射和浓缩周期,待低温期过后采用浓缩装置分离水分。当环境空气温度高于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,关闭喷射浓缩机,开启冷凝水排水阀。

当采用与地理管配合的方式时,可按热源需求量的10%选择地源取热+消防蓄热池组成喷淋防霜系统,保障能源塔处于无霜运行状态。蓄热池防霜系统可采用专门的蓄热罐,也可利用标准的消防水池。

### 2.3.2 自动加药系统

防冻液除了存在飘失损失外,当环境相对湿度较高时,能源塔还会吸收空气中的水分,从而将盐溶液稀释。因此,防冻液损失由两部分组成:飘失损失和结露损失。为防止盐溶液的浓度降低,引起凝固温度升高,必须定期测定盐溶液的浓度,浓度降低时,应补充盐量,使其保持在适当的浓度;另外,当空气相对湿度较低时,机组运行时盐溶液中的水分会蒸发,盐溶液会浓缩,也需要补充水分。自动加药装置可自动检测盐溶液的浓度及凝固点,这样盐溶液的浓度就能够达

到一个动态的平衡。

### 3 能源塔热泵的选择

#### 3.1 能源塔换热面积的选择

室外空气的含湿量决定了传热传质过程的强弱。在其他条件不变的情况下,随着室外空气含湿量的增加,湿空气的比焓增大,盘管内水出口温度升高,换热效率升高。这是因为增加空气的含湿量可以使空气遇载体介质冷凝时产生更多的潜热,即强化传热传质效果。然而,在相同的相对湿度情况下,随着温度的下降,空气中的含湿量减少,即潜热量降低。因此,能源塔的换热面积必须大于同样换热量的冷却塔的换热面积。为了减少投资,可增大能源塔空气流通速率,降低蒸发温度,最大限度地吸收空气中的潜热。

#### 3.2 能源塔热泵机组的选择

能源塔的防冻剂温度和低温高效换热器表面温度必须低于空气的露点温度,才能吸收空气中的潜热,否则会增加大量的换热面积。这是因为,在相同的相对湿度的情况下,湿空气的露点温度随干球温度的升高而升高;在相同的干球温度下,湿空气的露点温度随相对湿度的降低而降低。因此,针对不同地区的建筑,应根据当地标准年气象参数,获取冬季最低温度和对应的空气相对湿度,计算露点温度,根据换热温差选择热泵机组<sup>①</sup>。

### 4 能源塔热泵系统的设计要点分析

1) 在能源塔设计时,应按供热负荷核定能源塔和热泵机组在最低环境温度下的取热和供热能力,并适量考虑设备余量<sup>[7]</sup>。

2) 在选择能源塔热泵机组时,应选用小温差型蒸发器。因为长江流域以南的地区冬季气温低于5℃的时间大约有50d,在室外空气温度为-5~5℃、相对湿度85%以上的气候条件下,若以温差较大的热泵机组作为能源塔热泵的替代设备,必然造成供热效率下降,尤其是在使用开式能源塔的系统中,将导致蒸发温度降低,溶液冰点低,吸湿量大,防冻溶液成本很高。

3) 能源塔热泵容量应按实际供热能力确定,即

$$Q_{\text{实}} = \eta Q_{\text{标}} + Q_{\text{辅}} \quad (1)$$

式中  $Q_{\text{实}}$  为能源塔热泵的实际供热能力; $\eta$  为能源塔热泵的实际供热系数; $Q_{\text{标}}$  为能源塔热泵设定的标准制冷量; $Q_{\text{辅}}$  为辅助热源的供热量。

4) 在设计冷热源侧工艺管道时,要在最低点采取排空防冻液措施;在设计溶液防霜系统时,溶液池的容量调节能力不能太小(一般应大于20 L/kW),且最好采用环保防冻液。

5) 能源塔的布置应与建筑协调,并选择合适的场合。为节约占地面积和减少能源塔对周围环境的影响,可将能源塔布置在裙房或者主楼屋顶,并校核结构承压强度。另外,能源塔应设置在专用基础上,不能直接放置在屋面上。

### 5 结论

5.1 能源塔不同于冷却塔,用冷却塔代替能源塔,除结构不合理、溶液飘失严重外,更重要的是吸收低品位热源的能力不足,使能源塔热泵不能正常工作。但是,当能源塔转换为冷却塔来运行时,冷却效率比冷却塔高50%以上。

5.2 能源塔热泵系统适用于室外湿球温度高于-9℃的长江以南地区,主要用于满足宾馆、酒店、医院、洗浴中心、小区等建筑的制冷、制热及制取生活热水的需求。能源塔热泵系统节能效果明显,在新建或既有建筑改造中采用能源塔热泵技术有着一定的节能优势。

5.3 在水源热泵、地源地泵使用受限的场所,能源塔热泵是一种很好的替代品。

#### 参考文献:

- [1] 方国明. 热源塔热泵在空调工程中应用实践[J]. 制冷空调工程技术, 2008(3): 13-16
- [2] 欧阳坤泽, 邹道忠. 利用冷却塔取热的气源热泵系统的理论分析和运行实践[C]// 全国暖通空调制冷1998年学术年会论文集, 1998: 400-403
- [3] 刘秋克, 王武英, 方国明. 热源塔热泵技术在南方的应用[J]. 地源热泵, 2008, 22(6): 33-38
- [4] 刘秋克, 王武英. 热源塔热泵低热能再生技术在我国南方的应用[J]. 建设科技, 2008(15): 124-125
- [5] 罗夕. 领跑国际热源塔热泵节能环保领域的先行者[J]. 湖南建筑节能, 2008, 11(3): 20-23
- [6] 能源塔热泵介绍[EB/OL]. <http://www.renhe.cn/team/showtopic-70885.html>
- [7] 方国明. 热源塔热泵冷热源方案浅析[EB/OL]. <http://www.reyuanta.com>

<sup>①</sup> 烟台蓝德空调工业有限责任公司, 烟台蓝德能源塔热泵技术样本