

文章编号: 1671-6612 (2019) 05-509-04

空调系统中冷凝水作为水资源的回收利用 技术研究

曹振华

(陕西国防工业职业技术学院 西安 710300)

【摘要】 通过理论研究分析计算了冷凝水在户式空调和中央空调系统末端装置(新风加风机盘管)的产生量,介绍了空调冷凝水目前作为城市绿化用水、冷却塔补充水、景观用水等回收利用的可行性及注意事项。

【关键词】 空调系统; 冷凝水; 水资源; 回收利用

中图分类号 TU831.6 文献标识码 A

Research on Recycling and Utilization Technology of Condensate Water as Water Resources in Air Conditioning System

Cao Zhenhua

(Shaanxi Institute of Technology, Xi'an, 710300)

【Abstract】 This paper calculates the production of condensate water in household air-conditioning and central air-conditioning system terminal devices (fresh air plus fan coil unit) through theoretical analysis, and introduces the feasibility and precautions of the recycling and utilization of condensate water as urban greening water, cooling tower supplementary water, landscape water, etc.

【Keywords】 air conditioning system; condensate water; water resources; recycling

0 引言

随着人们节能环保的意识不断提高和我国节能减排政策的大力提倡和坚决贯彻,空调系统产生的大量冷凝水的有效回收利用进入了大众的视野,经空调行业相关研究人员分析研究探索,已经取得了一定的硕果,但目前而言,人们对空调系统产生的冷凝水认知还不是很足,对其回收利用技术不认可及不接受、对其回收的冷凝水水质问题的怀疑等原因,真正将其付诸于建筑实际工程中的并不多。

空调冷凝水的回收利用技术研究在国外早已经取得了很大的进展,并已经广泛应用在多个领域。例如,在德国,基本所有的家用空调产生的冷凝水都回收用于直接冷却室外的冷凝器,这个技术

已经相当成熟。在中东国家伊朗,其仅国际机场一个地方每年就能回收利用 10000m³ 左右的中央空调系统产生的冷凝水,他们将回收来的冷凝水用来灌溉机场周围的花草树木、冲刷机场周边厕所等,这样不仅合理的回收并充分的利用了空调产生的大量冷凝水,而且给国际机场节约了大量的水资源,对这些水资源短缺的国家该技术具有重要的借鉴意义。

当前,我国大部分空调系统的冷凝水都是直接外排,不仅大大增加了城市的排水系统压力,也对国家的资源是很大的浪费,如果能够设计出一套完整的冷凝水回收利用系统,不但大大的缓解了城市的污水外排量,又可以节约水资源,而且降低了水

环境的污染。可见,研究空调系统如何回收利用冷凝水已迫在眉睫。

本文以户式中央空调系统和中央空调系统末端装置(风机盘管加新风系统)为例,介绍空调冷凝水的计算方法,并根据其计算结果进一步分析空调冷凝水的回收利用潜力。

1 户式中央空调产生的冷凝水量的计算

冷凝水量与室内外空气温湿度、空调送风温度、空调制冷量及建筑物的使用情况有关。

以格力 GMV-NH22PL/B 型多联机室内机(制冷量 2.2kW,标准风量 500m³/h)为例^[1]。设室内设计温度为 $t_N=26^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 $\phi_N=55\%$,南京夏季室外计算温度 $t_W=35^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $\phi_W=75\%$,室内机的机器露点为 $t_L=12^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $\phi_L=95\%$,最小新风量计算按总风量的 10%。根据室内外空气参数即可确定新风 W 点和室内 N 点, O 点的确定可按新风比 10%确定其焓值;新回风混合点 O 经过表面式冷却器冷却去湿到送风状态点 1 (即机器露点),沿热湿比线 ε 至室内状态点 N,送入室内吸热吸湿,然后再与新风混合至状态点 O^[2,3],如此循环(如图 1)。

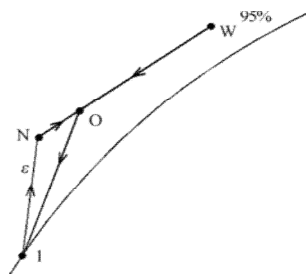


图 1 新风渗透混合循环 h-d 图

Fig.1 h-d diagram of fresh air infiltration mixing cycle

由空气的 h-d 图可查得各状态点含湿量为:

$$d_N=11.5\text{g/kg}$$

$$d_W=26.5\text{g/kg}$$

$$d_1=8.2\text{g/kg}$$

$$d_O=12.7\text{g/kg}$$

则室内机的冷凝水量为:

$$W=\rho V \Delta d / 1000 = \rho V (d_O - d_1) / 1000 \quad (1)$$

式中, W 为冷凝水量, kg/h; ρ 为空气密度, 取 1.2kg/m³; V 为循环风量, 取 500m³/h。

计算出 GMV-NH22PL/B 型空调器的冷凝水量

为 2.70kg/h。同理,还可计算制冷量为 2.8kW、3.6kW 和 4.5kW 的同型号空调冷凝水的生产量,见表 1。可以看到一个小小的户式中央空调一天工作 10h,可以产生 27~37kg 的冷凝水。

表 1 户式中央空调系统冷凝水量

Table 1 Condensate volume of household central air conditioning system

型号	GMV-NH 22PL/B	GMV-NH 28PL/B	GMV-NH 36PL/B	GMV-NH 45PL/B
风量 (m ³ /h)	500	550	600	670
冷凝水量 (kg/h)	2.70	3.0	3.25	3.64

2 风机盘管加新风系统产生冷凝水量的计算

以松下 BV-F403 风机盘管(制冷量 3.5kW,标准风量 570m³/h)为例,计算冷凝水量^[4]。设室内设计温度为 $t_N=26^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 $\phi_N=55\%$,南京夏季室外计算温度 $t_W=35^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $\phi_W=75\%$,风机盘管的机器露点为 $t_L=12^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $\phi_L=95\%$,设新风经过新风机组处理到室内空气等焓线,相对湿度为 95%的状态点 2,最小新风量按总风量的 10%计算,即 63m³/h。根据室内外空气参数确定室外 W 点和室内 N 点,室内状态点 N 经过表面式冷却器冷却去湿到风机盘管送风状态点 1 (1 点在 W 点和 2 点的延长线上),与状态点 2 的新风按比例混合至送风状态点 O 后沿热湿比线 ε 送入室内至室内状态点 N^[5,6],如此循环(如图 2)。

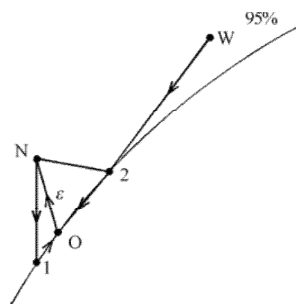


图 2 新风补充混合循环处理过程焓湿图

Fig.2 Enthalpy-humidity diagram of fresh air replenishment mixed cycle treatment process

由空气的焓湿图可查得各状态点含湿量为:

$$d_N=11.5\text{g/kg}$$

$$d_W=26.5\text{g/kg}$$

$$d_L=8.2\text{g/kg}$$

$$d_2=13.8\text{g/kg}$$

则风机盘管的冷凝水量为:

$$W=[\rho V(d_N-d_L)+\rho V_W(d_W-d_2)]/1000 \quad (2)$$

式中, V_W 为新风量, $63\text{m}^3/\text{h}$; V 为室内回风风量, $570\text{m}^3/\text{h}$; W , ρ 同(1)式。

可以计算出 BV-F403 的冷凝水量为 3.22kg/h , 同理可计算 BV-F603, BV-F803, BV-F1003 的冷凝水产量, 见表 2。

表 2 风机盘管冷凝水量

Table 2 Condensation Water Volume of Fan Coil

	Unit			
型号	BV-F403	BV-F603	BV-F803	BV-F1003
风量 (m^3/h)	570	870	970	1460
冷凝水量 (kg/h)	3.22	4.88	5.42	8.14

以上计算出来的是空调冷凝水的最大理论流量, 而实际流量与空调的实际运行状况有关。假定南京某商务楼为 $4.8\text{m} \times 8.6\text{m} \times 3.3\text{m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高) 的办公室, 在办公室办公人员一天滞留的时间为 10h , 风机盘管加独立新风的形式空调 (循环方式如图 2 所示), 空调实际运行过程中产生的冷凝水需要考虑一下几个因素。

(1) 风机盘管需要附加产生的冷凝水量 W_1 : 在空调刚运行时, 由于室外的空气通过各种途径如没有紧闭的门窗和缝隙渗漏到室内, 室内空气的各种相关参数与室外空气几乎一样, 风机盘管会产生大量的冷凝水^[7]。

$$W_1=\rho V(d_W-d_N)=1.2 \times 136.22 \times (26.5-11.5)/1000=2.45\text{kg}$$

式中, V 为处理空气量, 即等于房间的体积 $4.8\text{m} \times 8.6\text{m} \times 3.3\text{m}=136.22\text{m}^3$ 。

(2) 室内人员的散湿量 W_2 : 根据《公共建筑节能设计标准》按高级办公室考虑, 人员密度要求 8m^2 人, 每人散湿量按 120g/h 计, 常居办公室人员以 5 人计, 这些人员一天的散湿量 W_2 将析出成为冷凝水。

$$W_2=nqT=5 \times 0.120 \times 10=6\text{kg}$$

式中, n 为人数; q 为成年男子散湿量, kg/h ; T 为时间, h 。

(3) 新风处理过程中产生的冷凝水 W_3 : 新风量标准取每人 $30\text{m}^3/\text{h}$ 。

$$W_3=\rho V_W(d_W-d_2)T=1.2 \times 30 \times 5 \times (26.5-13.8)/1000 \times$$

$$10=22.86\text{kg}$$

式中, V_W 为新风量, 每人 $30\text{m}^3/\text{h}$ 。

(4) 每天的总冷凝水量 W_d :

$$W_d=W_1+W_2+W_3=31.31\text{kg}$$

其中新风处理过程中产生的冷凝水量占 73%, 室内人员散湿产生冷凝水量占 19%, 室内空气产生冷凝水量占 8%。

由此可以算出每单位空调面积上产生的冷凝水量 W 为:

$$W=W_d/TS=31.31/(10 \times 3600 \times 4.8 \times 8.6)$$

$$=2.11 \times 10^{-5}\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})。$$

式中, S 为空调面积, 即等于房间的面积 $4.8\text{m} \times 8.6\text{m}=41.28\text{m}^2$ 。

空调面积如果是 10000m^2 的办公建筑, 一天则可以产生约 7.58t 的空调冷凝水量。数据十分可观。

3 冷凝水的回收利用

空调冷凝水作为水资源, 其比自来水更纯净, 可以广泛用于工业生产, 冷却塔补水系统、城市绿化用水及景观用水等。

3.1 城市绿化用水

随着城市建设向生态化发展的趋势, 城市绿化面积大量的增加, 据相关规定, 城市新建小区的绿化率不得低于 30%, 旧小区改造绿化率不得低于 25%, 随着城市绿化率的增长、绿化面积的不断增大, 绿化用水量将大幅增加。解决此问题的方法除了采用节水型灌溉技术喷灌或者滴灌, 也有采用选用耐旱草来节约水量的方法。那么, 现在可以采用空调冷凝水来进行绿地灌溉, 可大大节约水资源。

将空调系统冷凝水用于城市绿化用水可行, 主要原因如下: 第一, 根据计算可知, 一个占地 8500m^2 的 11 层办公楼, 全天可产生冷凝水量为 21m^3 左右, 城市绿化用水量一般为 $2\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 照此计算, 每天可服务绿化面积达 10000m^2 之多, 其远远大于其绿化率^[8]。第二, 空调冷凝水的水质标准完全满足城市绿化用水灌溉, 不需专门水处理。第三, 冷凝水作为城市绿化用水敷设管道较易, 整个回收装置仅需投资储水设备、管道和阀门等, 投资较小, 经济、简单。

3.2 用于冷却塔补水

中央空调系统的冷却塔由于与室外直接相通, 并靠水的汽化来降温, 因此每天都会消耗大量的自

来水所以需要大量的自来水来补水,而中央空调冷凝水具有温度低、杂质少、含盐量低、产量大的特点。冷却塔的回水温度一般为 32°C ,而冷凝水的温度通常为 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$,将其冷凝水回用于冷却塔补水,大大提高了冷却塔的制冷运行效率和冷却能力,节约了电能的耗量和自来水量^[8]。

例如,南京某办公楼,设计冷负荷为 1981kW ,空调面积为 10588m^2 ,两台制冷量为 1680kW 的冷水机组,2台循环水量 $410\text{m}^3/\text{h}$ 冷却塔,其冷却塔补水量为 $11\text{m}^3/\text{h}$ ($11000\text{kg}/\text{h}$)。根据前面计算的单位空调面积上产生的冷凝水量 w ,可以得出冷凝水量为 $803\text{kg}/\text{h}$ 。冷凝水量为补水量的 7.3% 。水价格为 $3\text{元}/\text{t}$,每天运行 10h ,运行 6个月 ,则每年可以节约水费 4336元 。由于冷凝水都采用冷凝水管集中排放,收集比较容易,只需要一个蓄水箱和水泵就可以了,一年就可回收成本。因此,若在空调冷凝水系统收集设计中将收集的冷凝水用于冷却塔补水,将可起到节能和节水作用。

3.3 用作景观用水

近年来新建的各个居住小区和公共建筑大都设置了水景,水景可以让人感觉环境优美和宜人的氛围,但其用水量很大,因此可以考虑空调冷凝水回收的水来送入水景系统,其用过的池水还可以继续作为城市绿化水加以利用。

将空调冷凝水作为景观用水的方法已经有很多成功的实例。例如,对于建筑内设有水景的,可以专门设置冷凝水立管,通过立管将收集到的冷凝水送入景观用水的水箱,从而实现景观用水的补充^[9]。

4 注意问题

空调冷凝水在中央空调机组的表面式冷却器(蒸发器)上形成和流动的过程中会携带污染物和细菌。冷凝水如果直接用于冷却塔补充水系统,相关消毒处理可以不用,但若要先将冷凝水储存在蓄水池中,则必须用臭氧或氯进行消毒。

其次,空调冷凝水是一种高度纯净的水,其腐蚀性比地表水、地下水更强烈,因此承载空调冷凝水的相关的容器及输送管道必须考虑采用抗腐蚀的材料。

5 总结及结论

(1)本文对户式中央空调和中央空调系统(新

风加风机盘管)的冷凝水发生量进行了理论计算,并以西安某高级办公楼为例,计算出单位空调面积上产生的冷凝水量为 $1.93\times 10^{-5}\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。其中新风处理过程中产生的冷凝水量占 74% ,室内人员散湿产生冷凝水量占 19% ,室内空气产生冷凝水量占 7% 。

(2)空调中回收的冷凝水可以作为冷却塔补充水,城市绿化用水和景观用水。经举例计算分析,结果表明,投资的回收系统设备一年即可回收成本,其节能和节水效果明显。

(3)空调冷凝水是一种高度纯净的水,腐蚀性强,必须考虑采用防腐蚀材料;同时也可能携带污染物和细菌,应根据具体情况对冷凝水进行消毒处理。

总之,空调系统冷凝水的回收利用技术,既回收了冷凝水本身,又利用了其热量,达到了节水节能效果。在我国东南部,比西北部的气候要湿润很多,且空调使用频繁度更高,因此在我国东南部空调冷凝水的回收利用潜力更大。但对于我国西北部,由于是干旱地区,如果能很好的利用空调冷凝水,其影响意义更加深远,更值得我们空调专业人员深思。

参考文献:

- [1] 陈楠,申江,邹同华.房间空调器冷凝水的利用和节能[J].暖通空调,2003,33(2):117-118.
- [2] 张桃,肖洪海,谭成斌.小型分体式空调器冷凝水利用与节能实验探索与研究[J].制冷与空调,2006,(2):1-4.
- [3] 金听祥,张彩荣.冷凝水在家用空调中回收利用技术的研究进展[J].低温与超导,2016,(1):41-45.
- [4] 何志豪,王龙,黄伟雄.中央空调冷凝水回收利用工程实例与分析[J].建筑节能,2008,36(12):22-24.
- [5] 李景帅,董忠国.浅述商场中央空调冷凝水回收利用[J].建筑技术研究,2012,(10):62.
- [6] 李琦,翁荣华.夏季空调冷凝水回收利用方案的实施[J].能源工程,2006,(2):59-61.
- [7] 张丽洁,杨晚生.空调系统冷凝水的回收利用分析[J].暖通与空调,2011,39(8):14-29.
- [8] 欧阳生春,张文字,蔡龙俊.空调冷凝水作为水资源的回收利用[J].能源技术,2006,27(6):268-270.
- [9] 李建尧.某酒店夏季空调冷凝热回收系统技术经济分析[J].制冷与空调,2016,(4):423-426.