

文章编号: 1671-6612 (2021) 03-456-05

浅谈冷却水温条件参数在冷源系统中的应用

顾懿卿 任尔媛

(上海现代建筑设计集团工程建设咨询有限公司 上海 200041)

【摘要】 通过国家规范对冷却水的温度要求、分析冷却水温对水冷式制冷机组运行状态、性能的影响等方式, 确定冷却水温 2 个重要温度控制值, 并将该 2 个值作为冷却水在冷源系统中运行策略的切换点。为进一步说明如何实现冬夏两季转换中的正常运行, 以上海地区为例, 以全年运行为周期, 对冷却水运行策略进行分析。

【关键词】 空调冷却水; 冷却水温度控制及切换值; 冷却水全年运行策略; 两季转换
中图分类号 TU931 文献标识码 A

Application of Cooling Water with Different Temperature in Cold Source of HVAC

Gu Yiqing Ren Eryuan

(Shanghai Xian Dai Architecture, Engineering & Consulting Co., Ltd, Shanghai, 200041)

【Abstract】 In the text through the national code and analysis of the effect of cooling water's temperature on the main performances of water-cooled chiller, 2 important control-temperature of cooling water are confirmed, which are considered as switch point in operation strategy of cooling water in cold source, too. Furthermore, we make an example to analyze the operation strategies in operation time of one year in Shanghai in order to explain in detail how to realize that the cold source run normally in the whole operation time, especially during the season transition, from summer to winter or vice versa.

【Keywords】 cooling water in HVAC; controlled and switched temperature points of cooling water; operation strategies of cooling water; season transition

作者(通讯作者)简介: 顾懿卿(1976.11-), 男, 本科, 高级工程师, E-mail: yiqing_gu2@xd-ad.com.cn

收稿日期: 2020-08-20

0 引言

在空调冷源设计中, 水冷式冷水机组是最传统最可靠冷源系统, 也是应用最广泛的一大系统。对于该系统, 经冷却塔处理后的冷却水必不可少; 与此同时, 合理设置空调冷却水的运行策略, 不仅可以提高冷水机组运行的稳定, 更能在过渡季节对常年供冷区域提供免费冷源。本文通过对冷却水的运行策略分析, 以实现季节转变中, 冷水机组能正常运行。

1 冷却水温变化原理

目前, 空调冷源系统中的冷却水均在冷却塔内

通过水与空气接触进行蒸发冷却获得。其中, 根据水与空气的接触方式不同, 分为开式冷却塔(空气与水直接接触, 进行热湿交换)和闭式冷却塔(即水在盘管内流动, 不与空气进行直接接触进行热交换)。根据开式冷却塔与闭式冷却塔间不同的工作原理可见, 在利用冷却水免费供冷时, 开式冷却塔冷却塔冷却水由于直接与室外空气接触、易受污染, 为保证水质, 需要设置板式热交换机组间接供冷, 导致 1~2℃的换热温差; 而闭式冷却塔, 由于塔内未直接接触空气, 可直接供冷, 减少 1~2℃的换热损失, 但由于初投资约为开式冷却塔的 3 倍, 回收效益低, 且在免费供冷时对温度的要求与极端情况

不同。因此,对于常规的民用建筑,在空调冷源系统中,一般选用开式冷却塔获取低温冷却水。

2 冷却水温条件参数在冷源系统中的应用

2.1 冷却水温对冷水机组的性能影响

根据制冷系统“逆卡诺循环”的原理,冷却水主要用于吸收冷凝器排出的热量。对此,冷却水温对冷凝温度有直接影响,而冷凝温度每升高 1℃,能耗将增加 3%。如图 1 所示,以采用冷媒 R134a 的水冷式冷水机组为例,将冷凝温度对系统的影响加以分析。

如图 1 可知,在相同情况下,随着冷凝温度的降低,单位制冷量上升,单位做功下降,对应的机组 COP 值有所上升。

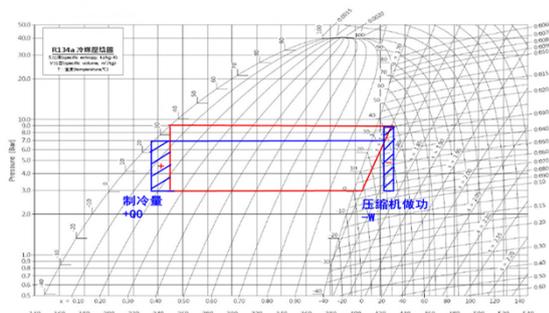


图 1 冷水机组常用的环保冷媒 R134a 压焓图

Fig.1 R134a pressure enthalpy diagram of environmental refrigerant commonly used in water chiller

图 2~4 在相同条件下,通过对某一型号的螺杆式冷水机组,在 6/13℃ 冷冻水供回水温度下,进行在不同冷却水进出水温 (15/20~40/45℃) 变化的工况下,对其相应的制冷量、耗电量及 COP 值变化进行分析总结。

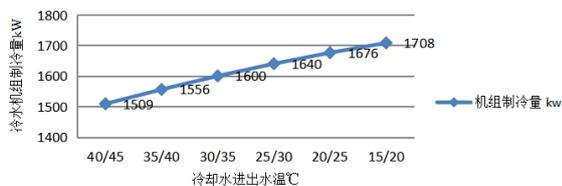


图 2 不同冷却水温下的冷水机组制冷量

Fig.2 Cooling capacity of chiller under different cooling water temperature



图 3 不同冷却水温下的冷水机组耗电量

Fig.3 Power consumption of chiller under different cooling water temperature



图 4 不同冷却水温下的冷水机组 COP 值

Fig.4 COP values of chiller at different cooling water temperatures

从图 2~4 分析可得: (1) 冷水机组的制冷量随冷却水温的降低而升高,在冷却水进出水温 15/20℃ 时制冷量最大; (2) 冷水机组的耗功率随冷却水温的降低而降低,在冷却水进出水温 15/20℃ 时,能耗最小; (3) 对应机组的 COP 值随冷却水温的降低而升高,在冷却水进出水温 15/20℃ 时最高。

尽管如此,冷却水在冷水机组运行中,亦不能无限制的降低,这主要由于冷水机组内的蒸发器和冷凝器正常工作时需要存在一定的压差,即冷凝压力 > 蒸发压力; 因此,冷却水温与冷冻水温间对应需要存在一定的温差。因此,对于冷水机组而言,当冷却水温低于一定温度后,制冷机组无法正常运行,自动停机保护。

2.2 冷却水 2 个重要温度控制值设定

对于冷却塔系统,主要讨论 2 个温度点的设定值: (1) 进入冷机最低冷却水温; (2) 冷却水工况切换温度。

2.2.1 进入制冷机组最低冷却水温值确定(设定值 1)

通过 2.1 中冷却水温对冷水机组制冷量、耗电量、COP 值的影响分析,已知冷却水温的降低对冷水机组的制冷量、耗电量、COP 值有一定积极作用,但不能低于冷水机组的最低运行温度。根据国标《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736 8.6.3 条文指出“1) 冷却水进口最低温度应按照制冷机组的要求确定,电动压缩式冷水机组不宜小于 15.5℃; 2) 电动压缩式冷水机组的冷却水进出口温差宜不小于 5℃”; 结合多家设备制造商提供设备运行性能总结,大部分情况当冷却水温低于 13,冷水机组自动停机保护,无法正常运行。因此,本文将 15℃ 作为温度控制值 1,即进入制冷

机组的最低水温。

2.2.2 系统工况切换温度控制值确定（设定值 2）

系统工况切换温度是指从常规的冷水机组供冷切换到冷却塔供冷时的冷却水温。对于，常年需要供冷的房间（如存在大量内区的商业体或常年存在散热的机房等），当冷却水进水温度 \leq 某一值后，可自动切换到冷却水免费供冷模式，以达到节能效果；同时，在冬夏转中，通过该值的确定，能够是供冷系统顺利地免费供冷过渡到主机供冷。在相同冷却塔性能条件下，在全年运行过程中，该值与室外环境湿球温度有关；同时，该值的选择直接关系到系统可利用免费供冷小时数，而供冷小时数与所在地全年气候状况有关。

本文以上海地区为例，该地属于夏热冬冷、沿海地区，由于夏季室外空气湿度较大，空调系统除了承担显热负荷外，仍需承担大量的潜热负荷（即除湿）。因此，在常规的空调系统中，冷水机组需提供 $\leq 7^{\circ}\text{C}$ 的冷冻水，接入空调箱内的表冷器，进行冷却除湿。随着气候转变，室外湿球温度地降低，空气中的含湿量也逐步减少，空调系统从除湿处理转变为加湿处理。因此，在过渡季节或冬季，适当提高冷冻水温，对舒适性的毫无影响。另外，温度设定值 2 还需满足两种运行工况切换的兼容性；当主机冷却水全部旁通后仍无法满足 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 的最低进水温度时，即可作为免费供冷的切换点，考虑到冷却水以 5°C 温差运行，因此，本文采用 10°C 作为冷却水免费供冷的工况切换温度。

另外，冷却塔出水的逼近度与其填料尺寸，室外湿球温度有关，常规的逼近度取 3°C ；因此取室外球温度为 7°C 作为免费供冷全年累计小时数的起始温度，如图 5 可得，上海地区全年室外湿球温度 $\leq 7^{\circ}\text{C}$ ，主要分布于 11 月至次年 3 月，即可在该段时间内准备启动冷二水免费供冷模式；根据图 6 上海全年各级湿球温度累计小时分布图，当室外湿球温度 $\leq 7^{\circ}\text{C}$ 为 2156h，约占了全年的 24.6%，约为一个季度。

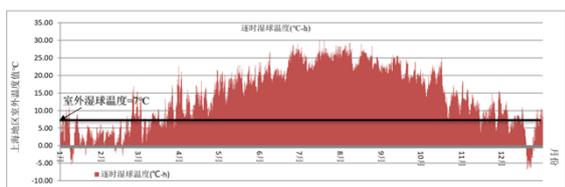


图 5 上海地区逐时湿球温度及对应逐时温差 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$

Fig.5 Hourly wet bulb temperature and corresponding hourly temperature difference in Shanghai area $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$

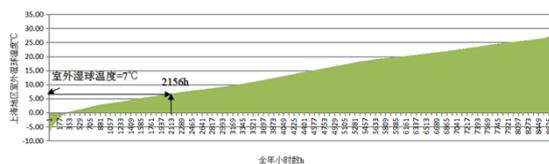


图 6 上海全年各级湿球温度累计小时分布图

Fig.6 Distribution map of wet bulb temperature accumulation hours in Shanghai throughout the year

3 冷却水温控制

冷却水温的控制以实现：在四季温度变化时，冷水机组及免费供冷能正常运行，满足大楼使用需求。

3.1 控制原理

冷却水温的控制方式很多（如风机运行台数，冷却塔开启台数控制等），这里主要讨论旁通冷却水回水方式控制温度。为了实现这一控制方式，需要测量冷却水供水水温，通过一个闭式反馈回路来调节阀门开度，最终对冷却水温进行控制，如图 7 所示。

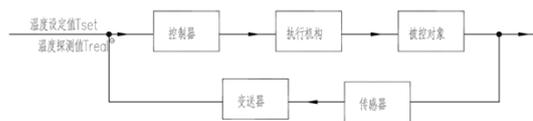


图 7 冷却水温控制反馈回路流程图

Fig.7 Cooling water temperature control feedback loop flow chart

如图 7，整个控制过程通过温度探测器采集冷却水温，AI/DI 输入 PLC 编程器内，与设定值 T_{set} 比较后，根据 PLC 内的控制器的控制程序，进行 AO/DO 地输出（为满足响应速度及消除偏差，控制器通常选用 PID 型）；对执行机构（调节电动两通/三通阀的开度）发出操作指令，以调节被控对象冷却水温，使其达到设定值要求范围内，为了避免阀门启动后，由于系统不稳定造成的频繁操作，设置 0.5°C 的温度变化震荡范围。另外，由于冷却水温受环境湿球温度影响，因此对于一些要求高的场所，对湿球温度进行实时监测，将对湿球温度探测值作为系统的前馈控制探测点，以提高系统的响应速度。

3.2 冷却水温控制逻辑

以全年为周期, 分析冷却水在冷源系统中的运行情况, 可分为制冷机组供冷、冷却水免费供冷、免费供冷与制冷机组串级联合供冷三种情况; 其中, 对于每次测点温度超出设定值范围进行调控时, 都需要设置一个时间阈值 τ , 以稳定系统, 避免系统在某一波动时产生的非稳定值, 造成系统震荡, 阀门来回操作; 当不满足时间阈值 τ , 流程图自动返回上级框。系统图及运行策略逻辑图如图 7、8 所示。

图中, CRg 为冷却水供水, 即进入冷凝器; CRh 为冷却水回水, 即进入冷却塔; T1/T2/T3 为温度探测器, 用于测量冷却水供水温度; V1/V2 为电动合流三通调节阀, 用于调节冷却水供水温度; Va/Va'/Vb/Vb'/Vc/Vc'/Vd/Vd' 为电动两通阀, 用于控制工况运行; V3 为电动两通调节阀, 用于调节冷却水供水温度。

根据该流程图, 主要运行策略为: 大部分时间

为冷水机组、免费制冷独立运行, 仅当冬季到夏季转换中的过渡季节, 即室外湿球温度在 (10°C , 15°C) 时, 为保证冷凝器的进水温度, 在交变一瞬间进行联合运行, 具体的阀门动作状态如表 1 所示。

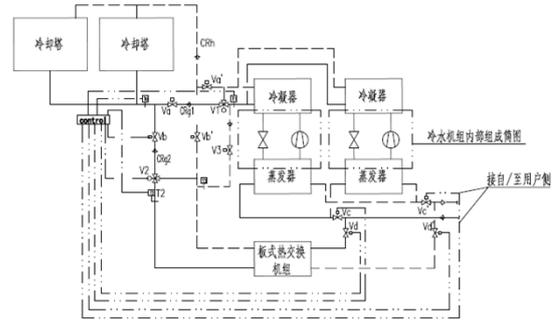


图 8 冷却水在冷源中应用流程图

Fig.8 Flow chart of application of cooling water in cooling source

表 1 冷却水在冷源系统中应用的阀门动作表

Table 1 Valve actuators for use in cooling water systems

室外环境变化	冷却进水温度/ $^{\circ}\text{C}$	系统运行情况	阀门动作情况
夏季空调室外设计工况	$15 < T_0 \leq 32$	制冷机组独立运行	Va/Va'/Vc/Vc' 开启, Vb/Vb'/Vd/Vd'/V1/V2 关闭
夏季室外干湿球温度逐渐降低, 但湿球温度大于 7°C	$10 < T_0 \leq 15$	制冷机组独立运行	Va/Va'/Vc/Vc' 开启, V1 逐步开启至全开, Vb/Vb'/Vd/Vd'/V2 关闭
夏季逐步转变为冬季, 室外湿球温度 $\leq 7^{\circ}\text{C}$	$T_0 \leq 10$	冷却水免费供冷	Vb/Vb'/Vd/Vd' 开启, V2 逐步开启至全开, Va/Va'/Vc/Vc'/V1 关闭
冬季室外湿球温度逐渐升高, 逐渐向夏季过渡, 室外湿球温度 $\leq 12^{\circ}\text{C}$	$10 < T_0 \leq 15$	冷却水免费供冷 + 制冷机组联合供冷	Vb/Va'/V3 开启, V1 逐步调节, Va/Vb'/V2 关闭
室外湿球温度 $> 12^{\circ}\text{C}$	$T_0 > 15$	制冷机组独立运行	Va/Va'/Vc/Vc' 开启, Vb/Vb'/Vd/Vd'/V1/V2 关闭

此外, 值得一提的是, 对于需要全年运行的冷却塔, 为了确保塔内及供水不结冻, 仍需对冷却塔设置电加热。

4 结论

冷却水温对空调供冷系统意义极大。一方面, 冷却水承担除冷凝器散热量, 随着其温度的降低, 制冷量、COP 值均有所上升, 并当其进出水温度

为 $15^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$ 时, 制冷效率处于峰值; 另一方面, 对于常年需散热或存在内区的建筑, 以上海地区为例, 在过渡季节 (主要 11 月~次年 3 月), 以 10°C 作为系统工况的切换温度设定值, 对应室外湿球温度为 7°C , 可进行 2156h 免费供冷, 在满足舒适性的前提下, 达到节能效果。为实现制冷机组与冷却水免费供冷, 其是两季交替时的工况切换, 本文设定了 2 个冷却水温度控制点, 进行系统运行策略分

析。

参考文献:

- [1] GB 50736-2012, 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [2] 中国气象局气象信息中心气象资料室,清华大学. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2005.
- [3] 安大伟. 暖通空调系统自动化[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2009.
- [4] 陆耀庆.实用供热空调设计手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [5] 住房和城乡建设部工程质量安全监管司, 中国建筑标准设计研究院.全国民用建筑工程设计技术措施《暖通空调* 动力》(2009 版)[M]. 北京: 中国计划出版社,2009.
- [6] GB 50189-2015, 公共建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2015.
- [7] DGJ 08-107-2015, 公共建筑节能设计标准[S]. 上海: 同济大学出版社,2016.

(上接第 370 页)

- [11] 袁朝阳, 陶乐仁, 虞中旻, 等. 水流量对热泵热水器性能影响的实验研究[J].轻工机械,2018,36(2):74-76.
- [12] 袁朝阳, 陶乐仁, 虞中旻, 等. 使用电子膨胀阀的空气源热泵热水器的实验研究与优化[J].热能动力工程,2018, 33(8):8-14.
- [13] 朱立.制冷压缩机[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [14] 王乐民,陶乐仁,杨丽辉.转子式压缩机吸气带液时排气状态的变化[J].能源研究与信息,2015,31(3):131-135.
- [15] 缪道平. 活塞式制冷压缩机(第 2 版)[M]. 北京: 机械工业出版社,1992.
- [16] 孙帅辉,郭鹏程,孙龙刚. 等. 变吸气工况 R32 涡旋压缩机湿压缩过程模拟研究[J]. 西安理工大学学报,2015, 31(3):282-288.
- [17] 胡鹏荣,陶乐仁,何俊. 等. 电子膨胀阀开度对 R32 水源热泵系统性能的影响[J]. 制冷学报,2020,(3):111-116,139.
- [18] 马善伟,张川,陈江平. 等. 电子膨胀阀制冷剂流量系数的试验研究[J].上海交通大学学报,2005,39(2):248- 250.

(下转第394页)

- [15] 杨延萍, 郑林涛, 郑志敏, 等. 校园建筑能耗基准线确定方法研究[J].暖通空调,2017,47(6):38-42.
- [16] Zhao J, Xin Y, Tong D. Energy consumption quota of public buildings based on statistical analysis[J]. Energy Policy, 2012,34:362-370.
- [17] 凡祖兵. 大型办公建筑房间日用能模式挖掘与用能评价方法研究[D].广州:华南理工大学,2018.
- [18] HERNANDEZ P, BURKE K, LEWIS J O. Development of energy performance benchmarks and building energy ratings for non-domestic buildings: an example for Irish primary schools[J]. Energy and Buildings, 2008,40(3): 249-254.

(上接第 400 页)

- [10] HWANG C C, EDWARDS J C. The critical ventilation velocity in tunnel fires-a computer simulation[J]. Fire Safety Journal, 2005,40(3):213-244.
- [11] MIKUZZ B, SHAMS A. Assessment of RANS models for flow in a loosely spaced bare rod bundle with heat transfer in low Prandtl number fluid[J]. Annals of Nuclear Energy, 2019,124:441-459.