

以乙二醇为载冷剂的冷却塔供冷系统设计的探讨研究

孙涛 王英杰

(上海市安装工程集团有限公司 上海 200080)

摘要: 本文以天津某五星级酒店项目为例, 简要介绍了以乙二醇为载冷剂的冷却塔供冷系统的设计, 并就冷却塔、水泵、换热机组、管线施工设计等问题做了探讨研究, 为乙二醇溶液为载冷剂的冷却塔制冷技术的推广应用提供了实践经验。

关键词: 冷却塔制冷 乙二醇溶液 系统设计 设备选型

引言

随着经济的高速发展, 能源短缺的问题已经越来越显著, 2020年9月中国明确提出“双碳”目标, 由于空调技术的广泛应用, 空调能耗已越来越大, 冷却塔供冷(又称免费供冷)是一种节能降耗的系统形式, 区别于我们常规供冷形式, 载冷剂利用冷却塔与室外换热, 从而达到降温, 制冷的效果, 能够节约制冷机的耗电量, 同时节约了用户的运行费用, 北方地区效果尤为明显。以乙二醇溶液做为载冷剂的免费供冷系统在设计与施工时, 由于乙二醇溶液的物理特性与水存在一定差别, 在冷却水系统设计的同时要额外考虑物理特性对系统设备参数的影响。

1 冷却塔供冷系统设计概述

目前常规的冷却塔供冷技术通常按冷却水是否直接进入空调末端设备分成两大类: 一种是空调系统末端设备直接利用冷却塔制备的冷水供冷, 称之为冷却塔直接供冷系统; 另一种是冷却塔制备的冷水通过板式换热器冷却冷冻水回水, 间接给末端供冷, 称之为冷却塔间接供冷系统。又因冷却塔分为开式和闭式之分, 所以又可分为开式系统和闭式系统。

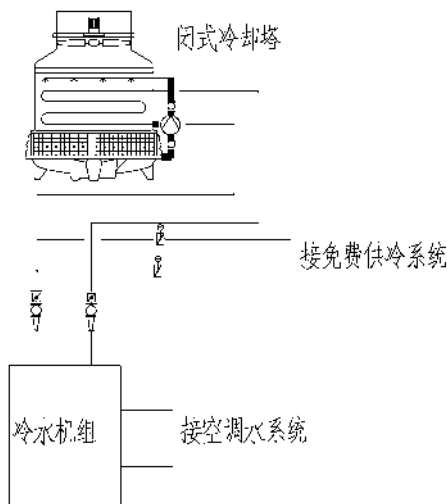


图1 闭式冷却塔直接供冷

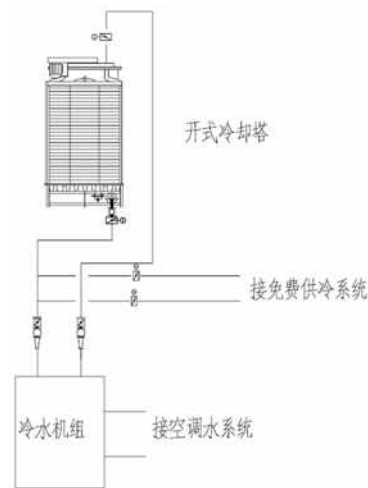


图2 开式冷却塔直接供冷

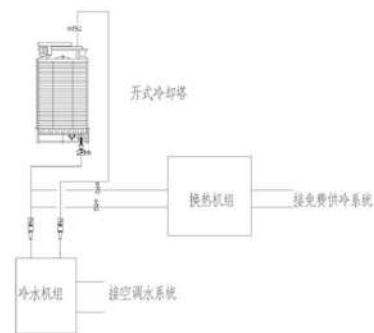


图3 闭式冷却塔板式换热式间接供冷

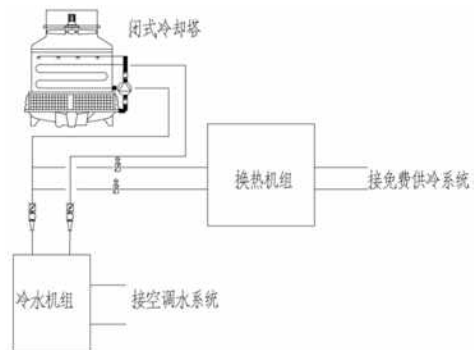


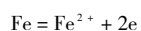
图4 开式冷却塔板式换热式间接供冷

2 乙二醇溶液的特性

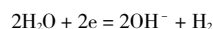
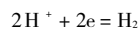
2.1 乙二醇的特性

乙二醇的化学分子式为 $(\text{CH}_2\text{OH})_2$ ，分子量为 62.068。其水溶液无色、无味、无电解性，它的挥发性和腐蚀性都不高，且能很好地与水互溶，但其容易被氧化，生成酸性的乙二醇衍生物，如乙醇酸、乙醛酸、乙二酸，这些酸性物质使溶液呈酸性，此外，由于氧的存在，形成了析氢和氧化腐蚀的共同体，对金属诱发产生电化学腐蚀作用，反应方程式为：

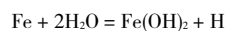
阳极反应



阴极反应



总反应



2.2 乙二醇水溶液的特性

一般都采用浓度为 25%~35%(质量比)的乙二醇水溶液作为载冷剂。在不同的浓度下，乙二醇水溶液的特性如表 1 和表 2 所示。

表 1 乙二醇水溶液凝固点

溶液浓度 (%)	质量比	15.0	20.0	23.0	25.0	28.0	30.0	32.0	35.0	40.0
	容积比	13.6	18.1	21.0	22.9	25.8	27.7	29.6	32.6	37.5
凝固点 (°C)		-4.8	-5.4	-9.5	-10.7	-12.7	-14.1	-15.4	-17.9	-22.3

表 2 乙二醇水溶液密度、比热、导热系数、动力黏度

溶液温度 (°C)	物理特性		溶液百分比浓度							
			10		20		30		40	
-20	密度	动力粘度	—	—	—	—	—	—	1072	15.75
	比热	导热系数	—	—	—	—	—	—	3.334	0.371
-15	密度	动力粘度	—	—	—	—	—	—	1071	11.74
	比热	导热系数	—	—	—	—	—	—	3.351	0.377
-10	密度	动力粘度	—	—	—	—	1054	6.19	1070	9.06
	比热	导热系数	—	—	—	—	3.560	0.415	3.367	0.383
-5	密度	动力粘度	—	—	1037	3.65	1053	5.03	1068	7.18
	比热	导热系数	—	—	3.757	0.460	3.574	0.422	3.384	0.389
0	密度	动力粘度	1019	2.08	1036	3.02	1052	4.15	1067	5.83
	比热	导热系数	3.937	0.511	3.769	0.468	3.589	0.429	3.401	0.395
5	密度	动力粘度	1018	1.79	1034	2.54	1050	3.48	1065	4.82
	比热	导热系数	3.946	0.520	3.780	0.476	3.603	0.436	3.418	0.400
10	密度	动力粘度	1016	1.56	1033	2.18	1049	2.95	1063	4.04
	比热	导热系数	3.954	0.528	3.792	0.483	3.617	0.442	3.435	0.405
15	密度	动力粘度	1015	1.37	1031	1.89	1047	2.53	1062	3.44
	比热	导热系数	3.963	0.537	3.803	0.490	3.631	0.448	3.451	0.410
20	密度	动力粘度	1013	1.21	1030	1.65	1045	2.20	1060	2.96

	比热	导热系数	3.972	0.545	3.815	0.497	3.645	0.453	3.468	0.415
--	----	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

注:密度单位为 kg/m^3 、比热单位为 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 、导热系数单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 、动力粘度单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

3 设备的选择与计算

3.1 循环泵的选择与计算

循环泵的流量 $L(\text{m}^3/\text{h})$ 可按下式计算

$$L = \frac{3.6 \times Q_0}{\rho_1 \cdot C_{p1} \cdot t_1 - \rho_2 \cdot C_{p2} \cdot t_2} \quad \text{公式(1)}$$

当循环泵的输送流体为常规空调冷冻水时:

$$L \approx \frac{Q_0}{1.1639 \cdot \Delta t} \quad \text{公式(2)}$$

当循环泵的输送流体为 25%~30% (质量比) 的乙二醇水溶液时:

$$L \approx \frac{Q_0}{1.0639 \cdot \Delta t} \quad \text{公式(3)}$$

式中

L —循环泵的流量; m^3/h ;

Q_0 —循环泵输送的最大负荷, kW ;

ρ_1 、 ρ_2 —溶液供、回液温度时的密度, kg/m^3 , 可由表 2 查得;

C_{p1} 、 C_{p2} —溶液供、回液温度时的比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, 可由表

2 查得;

t_1 、 t_2 —溶液供、回液温度, $^\circ\text{C}$;

Δt —溶液供、回液温度差, $^\circ\text{C}$ 。

经计算比较乙二醇溶液循环泵的流量比常规空调冷冻水的降低了 9% 左右, 所以选择循环泵时要考虑乙二醇溶液的密度和比热。

3.2 板式换热器的选择与计算

板式换热器的传热面积 $F(\text{m}^2)$, 可按下式计算

$$F = \frac{Q}{\beta \cdot K \cdot \Delta t_{pj}} \quad \text{公式(4)}$$

式中

Q —换热器的换热量, 即总传热量, W ;

β —传热面上的污垢修正系数, 一般 $\beta=0.7 \sim 1.0$;

当水—水换热时: 钢板换热器: $\beta=0.7$, 铜换热器: $\beta=0.75 \sim 0.8$;

Δt_{pj} —传热介质与被传热介质的对数平均温度差, $^\circ\text{C}$;

K —传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 一般由生产厂商提供。

当载冷剂为 25%~30% (质量比) 的乙二醇水溶液时, 由于密度、黏度及比热与水不同, 板式换热器的传热系数通常将降低 10% 左右。

3.3 冷却塔的选择与计算

冷却塔冷却流量 G 通过下式求得

$$G = \frac{K Q_0}{C_{p1} \cdot t_{w1} - C_{p2} \cdot t_{w2}} \quad \text{公式(5)}$$

式中

G —乙二醇溶液流量, (kg/s) ;

Q_0 —设计冷负荷, kW ;

k —系统的热量系数: 对于以乙二醇为载冷剂的冷却塔供冷系统, 取 1.0;

C_{p1} 、 C_{p2} —溶液供、回液温度时的比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, 可由表 2 查得;

t_{w1} 、 t_{w2} —冷却塔的进、出水温度, $^\circ\text{C}$ 。

冷却塔流量计算时, 要考虑所服务的制冷机组的冷却水流量要求, 避免流量选择过小, 同时最好选择闭式冷却塔, 避免乙二醇被氧化, 造成对系统管线及设备的腐蚀。

4 其他建议及注意事项

(1) 乙二醇与锌接触时会发生化学反应, 所以乙二醇溶液为载冷剂的免费供冷系统中不应采用含锌的材料, 首先不应使用镀锌钢管。

(2) 密封垫片材料宜采用丁腈橡胶 (NBR) 或聚四氟乙烯。

(3) 乙二醇水溶液有一定的毒性, 且价格较贵, 因此, 系统中使用的阀门及管件应具有较高的严密性、不允许有渗漏。

(4) 在载冷剂系统管路的最低点, 应设置排液管和阀门, 以便系统维护或其他原因需临时排放时, 排入储液箱内。

(5) 为避免乙二醇溶液被氧化, 在首次充注时可对系统进行抽真空。

(6) 乙二醇水溶液的膨胀系数又远远大于水, 建议设置膨胀装置, 用以补偿温度变化时系统中溶液容积的变化。

(7) 管路的水力计算需考虑乙二醇水溶液管道的流量和阻力修正系数。

(8) 系统使用的乙二醇宜选配有缓蚀剂、呈碱性且有防泡沫添加剂的工业级缓蚀性乙二醇, 或者采用硝酸钠、磷酸钾、钼系列缓蚀剂。

5 结论

乙二醇水溶液为载冷剂的冷却塔供冷系统设计宜采用闭式冷却塔板式换热式间接供冷, 设备参数的计算要考虑乙二醇水溶液的比热、密度和动力粘度等参数, 水泵流量、板式换热器面积都比常规制冷系统要大 10% 左右, 冷却塔流量选择时要兼顾制冷机组的冷却水量, 同时因为其化学属性, 有一定毒性和易氧化性, 对系统的设计提出了特殊的要求。

参考文献

- [1] 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
- [2] 徐健. 某商场冷却塔供冷系统设计[J]. 建筑热能通风空调, 2017, 36 (12): 101-104.
- [3] 王丽文, 龙垚, 李营, 苏丹丹. 新型载冷剂与乙二醇水溶液在制冷系统中的水力特性和传热性能对比分析[J]. 冷藏技术, 2019, 42 (01): 9-13.