

乙二醇溶液低温型水冷螺杆式冷水机组在工业上的应用

刘毅

(广东省建科建筑设计院)

摘要: 简要介绍了蒸气压缩式制冷的基本工作原理,重点分析了螺杆式冷水机组的特性,并且结合工程实例介绍了低温型水冷螺杆式冷水机组的应用。

关键词: 温度 相对湿度 空气 载冷剂 乙二醇 低温型 螺杆式 冷水机组 转轮除湿 焓湿图

1 引言

在民用建筑和公共建筑中大多数空调系统都是为了满足人员舒适度的要求,而随着在提高人们舒适度方面的快速发展,人们意识到,在适当控制的环境中产品可以被更快、更好、更经济地生产出来。实际上,如果不把温、湿度和空气品质控制在一个很小的范围内,现在的很多产品根本就无法生产。很多工业厂房生产出的产品或者是其生产工艺过程就对空气的质量有一定要求。有些工艺要求的送风温度比平常舒适性空调要求的温度要低,一般供/回水温度为 7/12℃ 的空调系统达不到使用要求,为了与工艺结合以保证产品的质量,这时就会用到低温型冷水机组。下面仅介绍制冷原理、螺杆式冷水机组的特性和以乙二醇溶液为载冷剂的低温型螺杆式冷水机组用于某工业厂房工艺空调系统的设计实例。

2 乙二醇溶液低温型螺杆式冷水机组制冷原理

2.1 蒸气压缩式制冷的工作原理及制冷压缩机分类

液体在气化过程中要吸收潜热,其气化(沸腾或饱和)温度的高低,随液体压力的不同而不同,只要创造一定的压力条件,就可以利用该原理获取所要求的低温。蒸气压缩式制冷就是利用这种液体气化吸热的原理实现,由于气化后的低压蒸气是利用压缩机使其升压,故称为蒸气压缩式制冷。蒸气压缩式制冷机组包含制冷系统的四大件(压缩机、冷凝器、节流机构及蒸发器)和辅助设备,以及控制安全仪表。这种机组结构紧凑、使用灵活、管理方便、而且占地面积小,安装简单,只需连接水源和电源即可,为施工提供了有利条件。蒸气压缩式制

冷是目前应用得最为广泛的一种制冷方法。

在蒸气压缩式制冷机组中使用着各种类型的制冷压缩机,它是决定机组能力大小的关键部位,是整个制冷机组的核心。制冷压缩机根据其工作原理可分为容积型和速度型两大类。容积型压缩机有两种结构形式:往复活塞式和回转式。回转式又可根据压缩机件的结构特点分为滚动转子式、滑片式、涡旋式、螺杆式等。速度型制冷压缩机应用在制冷机组中的几乎都是离心式压缩机。

2.2 螺杆式冷水机组特性

螺杆式制冷机组:双螺杆通过转动的两个阴阳螺旋形转子相互啮合,单螺杆通过一个螺旋形转子与两个星轮相互啮合而吸入气体和压缩气体。转速高,适合于高压比场合,排气压力脉冲性小;由于无缸内余隙容积和吸、排气阀片,因此具有较高的容积效率;易损件少,运行可靠,易于维修;利用滑阀调节气缸的工作容积来调节负荷,调节非常方便;制冷量可通过滑阀进行无级调节。在制冷装置及空调制冷系统和热泵系统中运用得非常广泛。

2.3 冷水机组载冷剂的选择

载冷剂是在间接制冷系统中用来传送冷量的中间介质,又称冷媒。空调制冷中常用的载冷剂有水、盐水溶液和乙二醇水溶液。

水是一种理想的载冷剂。水具有无臭、无味、无毒、无腐蚀性,不燃烧不爆炸等特性,且容易获得,价格低廉,是一种经济而又安全的载冷剂。它具有比热大、密度小,对设备和管道腐蚀性小,化学稳定性好等优点。在空调制冷系统中又称冷冻水。但是,由于其凝固点高,一般用于蒸发温度大于 0℃,冷冻水温 $\geq 5^\circ\text{C}$ 的制冷系统。不

适合低温制冷系统。

盐水溶液一般是用氯化钠溶解于水配制而成。其凝固点、比重、比热等物理特性，随盐水浓度变化而不同。因此应当以系统的工作温度来确定盐水的浓度。一般选择盐水的浓度应使凝固点比制冷剂的蒸发温度低 5~8℃。由于盐水对金属有强烈的腐蚀作用，因此可在盐水系统中加入一定量的防腐剂，又称缓蚀剂，使盐水略呈碱性(pH=7~8.5)。

有机化合物水溶液中的乙二醇(CH₂OH·CH₂OH)水溶液是一种腐蚀性较小的载冷剂。它具有无色、无味、无电解析性、无燃烧性等优点，对镀锌材料有腐蚀性，应加缓蚀剂以减弱其腐蚀性。但是相比盐水溶液其腐蚀性较小。

综合以上各载冷剂的物理性能及特点，以下的工程实例中选用乙二醇溶液作为载冷剂。

3 工程实例

3.1 工程概况

本项目为建设在广州市南沙开发区的某化工厂，总建筑面积约六万平方米。其生产厂房的甲类车间中有两条工艺生产线都需要提供温度 5~15℃，相对湿度 50%~60%的空气送至工艺设备入口，为了与工艺生产结合且考虑到使用的灵活性将这两套系统分别独立设置。本文仅介绍其中一套系统，该系统生产线需送风量 ≥ 14500m³/h。

3.2 空调方案

根据本项目工艺生产对生产线送风的温度、湿度以及空气品质的要求，我们必须采取合适的空调方案才能达到这些要求。

一般舒适性空调的送风温度较高，而本项目工艺生产要求送风温度控制在 5~15℃这个范围内且越低越好，因此需选用低温型的冷水机组加空调末端机组的方式或直接选用风冷型低温空调机组，但是后者耗能会比前者大很多，在目前全球出现能源危机的种种情况下是非常不可取的，因此排除此种方案，选用前者。

另外，由于广州市南沙开发区是一个较为潮湿的地方，尤其是当下雨天或梅雨季节的时候空气更为潮湿，如果送风需要常年保持相对湿度在 50%~60%之间且越低越好，必须采取有效的除湿措施。干式(转轮)除湿吸湿面积大，性能稳定，能连续进行除湿，湿度可调，除湿量大，能全自动运行，适用温度范围宽，特别适宜于低温、低湿状态下应用。综合以上的优点，末端机组采用转

轮除湿。

由于本送风系统是送至甲类区域，根据暖通规范强制性条文不可采用循环空气，同时考虑到广州郊区空气的含尘量大，因此末端机组最后选用全新风转轮除湿组合式空气处理机组(带初、中效过滤器和新风调节阀)。

3.3 系统计算

空调末端机组冷负荷计算(焓湿图见图 1)

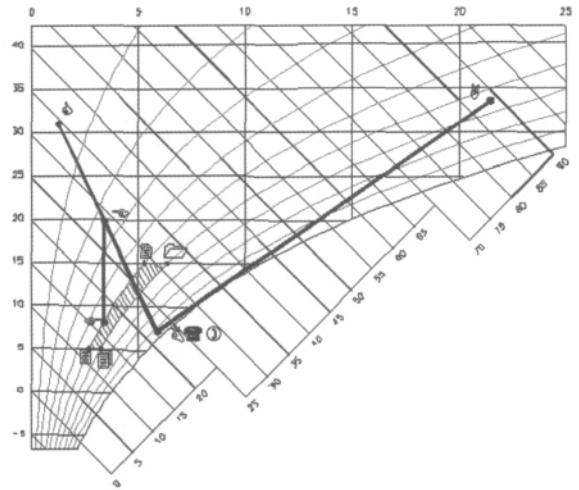


图 1 空调末端机组冷负荷计算焓湿图

图 1 中的空气状态参数详见表 1。

工艺设备专业提条件：送风量 ≥ 14500m³/h，温度 5~15℃，湿度 50%~60%。

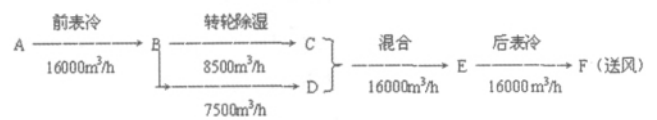
(注：满足以上要求的空气送至设备入口即可，无其它压力要求。)

计算送风量 $L_f = 1.1 \times 14500 = 15950 \text{m}^3/\text{h}$

式中 1.1——漏风系数

选用空调末端机组送风量： $L_f = 16000 \text{m}^3/\text{h}$

新风全部经过处理后达到要求再送至工艺设备入口。新风处理过程如下：



风量为 G 的新风经过前表冷处理后由状态点 A 到达状态点 B，其中部分风量为 G' 的新风经过转轮除湿处理后由状态点 B 到达状态点 C，该部分新风再与其余风量为 G-G' 状态为 D(同 B)的新风混合到达状态点 E，最后全部新风经过后表冷处理到状态点 F(干球温度 8.0℃，相对湿度 51.3%)送至工艺设备入口，满足要求。

系统总新风量 $G = 16000 \times 1.2 \div 3600 = 5.33 \text{kg/s}$

表 1 焓湿图状态点参数

状态点	干球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	露点温度 (°C)	焓 (kJ/kg)	相对湿度 (%)	含湿量 (g/kg·干空气)	水蒸气分压力 (Pa)	饱和含湿量 (g/kg·干空气)	饱和水蒸气分 压力(Pa)
送风要求 范围	1	15.0	10.8	7.3	31.30	60.0	6.39	1021.0	1701.7
	2	15.0	9.6	4.7	28.59	50.0	5.31	850.8	1701.6
	3	5.0	1.3	-4.0	11.84	50.0	2.71	435.1	870.2
	4	5.0	2.1	-1.9	13.21	60.0	3.25	522.1	870.2
室外点	A	33.5	27.7	26.0	88.79	64.8	21.29	3347.9	5168.4
前表冷后 状态	B(D)	7.0	6.6	6.3	21.99	95.0	5.92	949.4	999.4
转轮除湿 状态	C	31.0	12.1	-12.6	34.58	4.6	1.20	206.2	4482.3
混合点	E	19.8	9.7	-1.3	28.68	23.8	3.42	549.3	2303.7
送风点	F	8.0	4.0	-1.3	16.68	51.3	3.42	549.0	1070.3

转轮处理风量 $G' = 8500 \times 1.2 \div 3600 = 2.83 \text{ kg/s}$

系统总除湿量：

A → B 前表冷除湿量：

$$\begin{aligned} W_1 &= G \cdot \Delta d_{AB} \\ &= 5.33 \times (21.29 - 5.92) \times 3600 \div 1000 \\ &= 5.33 \times 15.37 \times 3.6 = 294.92 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

B → C 转轮除湿量：

$$\begin{aligned} W_2 &= G' \cdot \Delta d_{BC} \\ &= 2.83 \times (5.92 - 1.2) \times 3600 \div 1000 \\ &= 2.83 \times 4.72 \times 3.6 = 48.09 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

由以上两式可得，系统总除湿量：

$$W = W_1 + W_2 = 294.92 + 48.09 = 343.01 \text{ kg/h}$$

系统总制冷量：

A → B 前表冷制冷量：

$$\begin{aligned} Q_1 &= G \cdot \Delta i_{AB} \\ &= 5.33 \times (88.79 - 21.99) \\ &= 5.33 \times 66.8 = 356.04 \text{ kW} \end{aligned}$$

E → F 后表冷制冷量：

$$\begin{aligned} Q_2 &= G \cdot \Delta i_{EF} \\ &= 5.33 \times (28.68 - 16.68) \\ &= 5.33 \times 12 = 63.96 \text{ kW} \end{aligned}$$

由以上两式可得，系统总制冷量：

$$Q = Q_1 + Q_2 = 356.04 + 63.96 = 420.0 \text{ kW}$$

末端设备选型：

通过以上计算，选用 1 套全新风转轮除湿组合式空气处理机组（自带控制箱，带初、中效过滤器和新风调节阀）。空气处理机组主要技术参数如下：风量 16000m³/h；制冷量 424kW（前表冷 357kW，后表冷 67kW）；表冷器进/出水（20%乙二醇溶液）温度为 2°C/7°C；除湿量 344kg/h，机外余压 450Pa。虽然机组处理后的新风是送

至甲类车间，但是考虑到经济因素将机组置于室外非防爆区，因此选用室外耐用非防爆型机组即可；同时，为保证安全和使用要求，在机组送风管的出口处设置防火阀、止回阀和温湿度传感装置。

冷冻水系统

根据末端机组的制冷量，考虑选机系数，选用 1 台名义制冷量 476kW 的低温型水冷螺杆式冷水机组；名义工况下蒸发器进/出水温度 5°C/0°C，冷凝器进/出水温度 30°C/35°C；制冷剂 R22 20%乙二醇溶液流量 86.7m³/h，冷却水流量 101.2m³/h，机组出水温度 2°C。

本系统采用开式系统，设一个溶液箱（20%乙二醇溶液）。该溶液箱的蓄水量为循环水量的 5%~10%之间，通过计算选取有效容积 8m³ 溶液箱。

冷冻水系统均配套设置冷冻水泵、过滤器等附属设备。冷却水来自厂区。

3.4 注意事项

末端系统设计中，室外空气的进口与再生空气的排出口最好设不同方向，以防短路。再生后空气的排出口管道要求保温（由设备厂家负责），管路不宜过长。

空气处理机组的运转控制应根据工程对湿度要求的高低来确定。对一般只有上限要求的工程，可采用定时开机来控制。对湿度要求较严格的工程，可设旁路控制，即控制处理风量大小，或控制再生温度的高低来调节机组除湿量的大小。

在末端机组出口的送风管上设置温湿度传感装置，以便集中监测和控制。

本系统温度比常规的空调系统温度低，而且有很长一段风管安装在室外，因此水管和风管的保温层厚度不能直接采用常规空调计算值，而应该重新按规范要求计算后确定。