冷冻除湿技术在洁净厂房中的应用

大连冰山空调设备有限公司　王宏岩

山东省东营市供热管理处　任雪峰

中国建筑科学研究院　孙绍蕾

摘要:本文简单介绍了冷冻除湿技术的原理及在洁净厂房中的应用方案。着重论证按照常规空调设计选取室外参数计算的表冷器可能达不到预期除湿效果，并提出相应解决方案。

关键词：冷冻除湿 洁净厂房 新风状态点

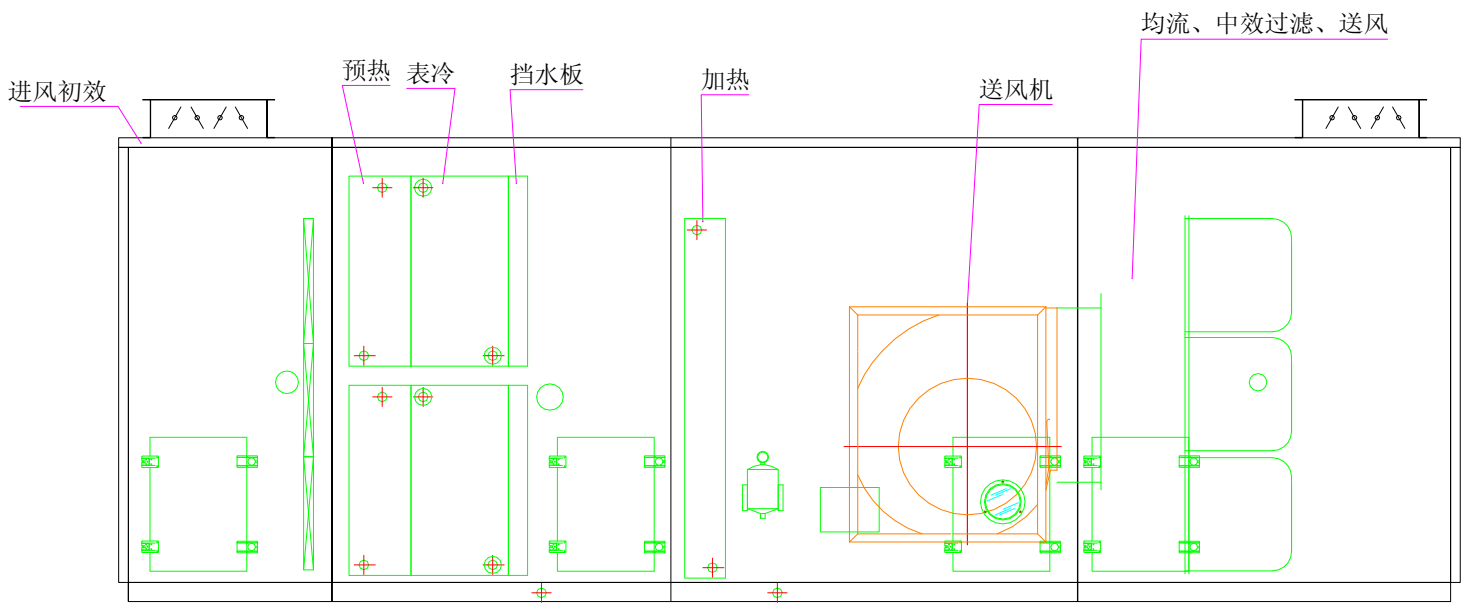
在生产和生活环境中，空气的相对湿度具有举足轻重的影响。对湿度的控制和调节，是关系到工农业生产工艺流程、物资储存保管的重要问题。相对湿度过高，机器设备和钢铁产品易于腐蚀、食品易于腐烂，将会给生产、生活及物资储存造成巨大损失，因此，随着工艺水平及要求的提高，空气除湿等环境控制技术的发展显得尤为重要。

在洁净厂房项目中，比如电子厂房、制药厂房、半导体厂房等项目中，相对湿度不能太高，相对湿度高，则成品率低，故相对湿度同洁净度、室内温度一样，成为关乎成品率的重要因素。为了控制夏季厂房中的相对湿度，则必须采取相关的除湿手段。空气除湿的方法有很多种，冷冻除湿技术作为其中的一种，由于初投资低廉、能耗小、操作简单、易于控制，得到了广泛的应用。

1、　基本原理：冷冻除湿技术就是采用冷冻除湿的原理，用制冷机作冷源，以直接蒸发式冷却器或水系统表冷器作冷却设备，把空气冷却到露点温度以下，析出大于饱和含湿量的水汽，降低空气的绝对含湿量，再利用部分或全部冷凝热，或者水系统热水（蒸汽）加热冷却后的空气，使其加热到所需要的送风温度。在此过程中降低空气的相对湿度，达到除湿目的。

2、　设计方案：在洁净厂房项目中，考虑车间内的洁净等级，一般采用的空调方案为冷冻机+冷却塔+净化新风机组（MAU）及净化空调机组(AHU),局部区域设循环空调机组（RCU）。

2.1 车间内夏季湿度主要来源为室外新风，室外新风相对湿度高达 70—80%。尤其是雨季，室外新风相对湿度可能高达 90%，几近饱和。故室外新风作为最主要的湿度来源，必须对其做除湿的有效的处理，这样对车间内的湿度控制才能起到事半功倍的作用。净化新风机组功能带冷冻除湿功能，组合配置如图 1：



2.2 在含有局部散湿的区域，循环空调机组（RCU）也要承担一部分除湿功能。即要在表冷器设计时考虑除湿的冷量需求，适当加大表冷器管排数，同时采用表冷器在前，加热器在后的功能段顺序，用以达到局部

散湿区域的表冷除湿的目的。空调循环机组带冷冻除湿功能，组合配置比较简单，只需注意表冷器在前，加热器在后即可。

2.3 在大部分项目中，由于生产工艺环节的需要，夏季或采用市政蒸汽，或自备蒸汽或热水锅炉。总之，表冷除湿中不可缺少热源。在实际项目应用中，一些项目夏季无市政蒸汽供应，夏季开锅炉完全是为了除湿所需要的那些热量。这种场合便不经济，可以选用带热回收功能的冷水机组解决这一问题。

3.注意的问题

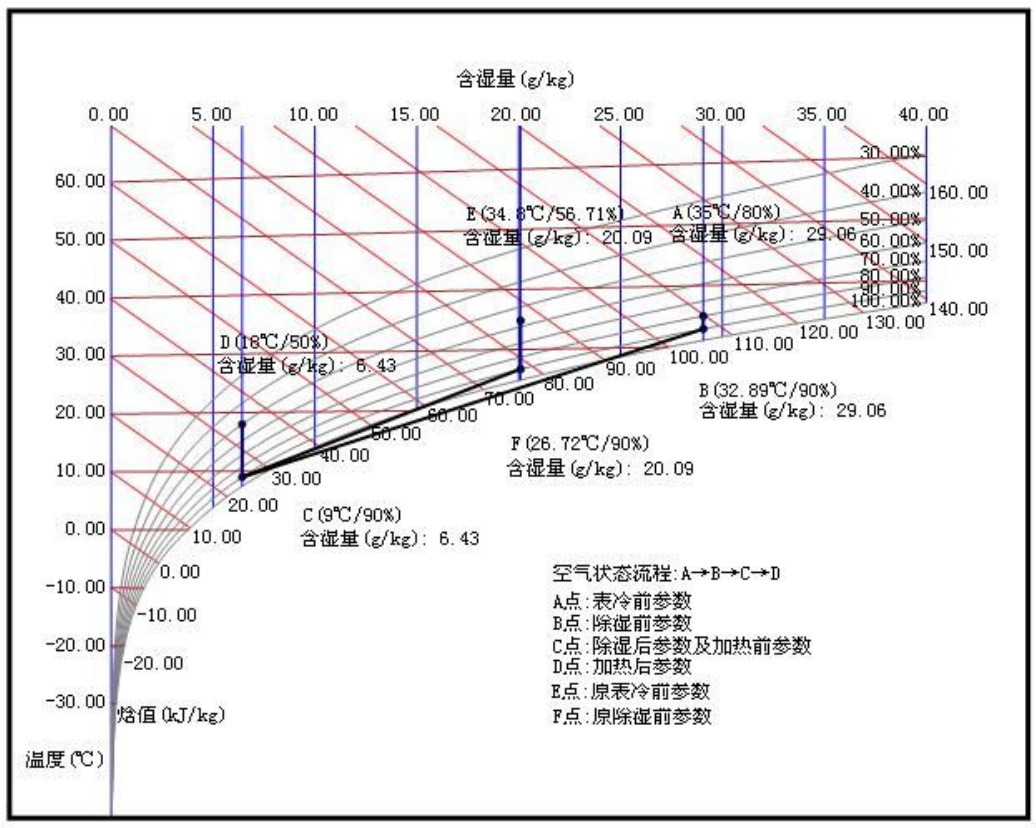
在舒适性空调设计中，基本按照我国主要城市的关于夏季空气调节室外空气计算参数表来选取室外计算干湿球温度，以此确认室外新风状态点。诸多案例证明，按照这种方法在需要冷冻除湿的场合做表冷器计算并不适用。按照夏季空调室外计算参数来做表冷器计算，最终选择的表冷器往往在真正需要除湿的工况下，即相对湿度很高的雨季，不能达到除湿的效果。也就是说，按照常规设计，表冷器很容易选小。

以河南某半导体元件生产厂房为例：该项目位于河南鹤壁，总体面积 6500m2,其中净化面积 4000m2。夏季空调室内设计温度 24±1℃，相对湿度 40±5%。

冷冻机采用特灵公司的带热回收水冷螺杆机组 RTWC-400D，冷冻水水温为 7--12℃，部分热回收。

空调机组（AHU）、循环机组（RCU）共 24 台，总风量约 300000m3/h。

新风机组（MAU）选用 30000m3/h 风量一台，46500m3/h 风量一台。以 46500m3/h 风量为例，计算过程在焓湿图上表示见图 2。



实际工况冷冻除湿过程在焓湿图上表示为 A→B→C→D;当地夏季实际工况参照该项目一期动力部的上个空调季节运行记录中所测定的夏季室外空气温湿度，取全年不保证天数为 7 天。在此基础上，确定进风参数（状态 A），干球温度 35℃，相对湿度 80%，焓值 110kJ/kg 干空气，绝对含湿量为 29.14g/kg 干空气；空气经表冷器冷却处理后空气状态先到机械露点状态 B，机械露点的相对湿度取 90%，查焓湿图可得出状态 2 的其它参数：干球温度 32℃，焓值 107kJ/kg 干空气，绝对含湿量不变，仍为 29.14g/kg 干空气；继续冷却，冷凝水开始析出，冷却至状态点 C,干球温度 9℃，焓值 25kJ/kg 相对湿度仍为 90%，此状态点绝对含湿量为 6.43g/kg。

从 A 点至 C 点，冷量 QL=46500*1.2/3600*(110-25)=1317.5KW。

标准规定的名义工况冷冻除湿过程在焓湿图上表示为 E→F→C→D。根据国家标准规定的名义工况进风参数（状态点 E）,干球温度 34.8℃，湿球温度 27.4（对应相对湿度 57%），焓值 78kJ/kg 干空气，绝对含湿量为 20.09/kg 干空气；空气经表冷器冷却处理后空气状态先到机械露点状态 F，机械露点的相对湿度取 90%;继续冷却，冷凝水开始析出，仍冷却至状态点 C,干球温度 9℃，焓值 25kJ/kg 相对湿度仍为 90%，此状态点绝对含湿量为 6.43g/kg。从 F 点至 C 点，冷量 QL=46500*1.2/3600*(78-25)=821.5KW。

对比两个计算结果不难发现。在这个案例中，要完全实现除湿的目的，实际应用中所需表冷器冷却能力高于理论计算所得的表冷器冷却能力约 60%。基于实际工况状态点作为室外空气参数状态点进行选取，是保障系统实现除湿功能的重要前提。

从 C 点到 D 点（18℃，相对湿度 50%，绝对含湿量 6.43,焓值 35kJ/kg），等含湿量升温，达到需要的送风温度及相对湿度。热量 QR=46500*1.2/3600*(35-25)=155KW，加热器的选取比较容易，在此不作赘述。

总结：冷冻除湿技术在洁净厂房项目中应用广泛，室外新风夏季状态点的选取及相应的表冷器能力计算、表冷器与加热器的排布顺序对系统除湿效果能否达成十分关键。

参考文献：1 陆耀庆主编实用供热空调设计手册

2 薛殿华主编空气调节

1 王宏岩 大连冰山空调设备有限公司

辽宁省大连市沙河口区西南路 888 号 116033 电话：13910021876

2 任雪峰 山东省东营市供热管理处

山东省东营市东城辽河路 112 号 257091 电话：18005469387

3 孙绍蕾 中国建筑科学研究院

北京市北三环东路 30 号 100012 电话：010-64517534