

# 《空调工程》复习

## 第一章 湿空气的物理性质及其焓湿图

### 1、空气调节的主要任务：

- 在所处自然环境下，使被调节空间的空气保持一定的温度、湿度、流动速度以及洁净度、新鲜度。

### 2、湿空气：

#### （1）概念：

- 大气由一定量的干空气和一定量的水蒸气混合而成，我们称其为湿空气。
- 干空气可看作一个稳定的混合物；
- 水蒸气含量较少，但其变化对湿空气的干燥及潮湿程度产生重要影响，是空调中的重要调节对象；
- 常温常压下干空气、水蒸气均可近似看作理想气体。

#### （2）状态参数：

压力	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 湿空气的压力的等于干空气的分压力与水蒸气的分压力之和；</li><li>➤ 水蒸汽分压力大小直接反映了水蒸汽含量的多少；</li></ul>
密度	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 湿空气的密度等于干空气密度和水蒸气密度之和；</li><li>➤ 水蒸气密度小于干空气密度→湿空气密度小于干空气密度；</li><li>➤ 实际计算中，在标准条件（101325Pa，20℃）下，可近似取 <math>\rho = 1.2 \text{Kg/m}^3</math>；</li></ul>
含湿量	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 在湿空气中与 1kg 干空气同时并存的水蒸汽量称为含湿量；</li><li>➤ <math>d = 0.622 \cdot P_q / (B - P_q)</math>；</li><li>➤ 当大气压力 B 一定时，水汽分压力 <math>P_q</math> 只取决于含湿量 d ；</li></ul>
相对湿度	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 湿空气的水蒸汽压力与同温度下饱和湿空气的水蒸汽压力之比为相对湿度。</li><li>➤ 相对湿度值表征湿空气中水蒸气含量接近饱和含量的程度，能够比较确切地表示空气干燥和潮湿的程度</li></ul>
焓	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 空气调节过程可近似为等压过程，比焓可以用来计算在定压条件下对湿空气加热或冷却时吸收或放出的热量。</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 干空气定压比热: 1.01kJ/(kg. °C)</li> <li>➤ 液态水定压比热: 4.19kJ/(kg. °C)</li> <li>➤ 水蒸气定压比热: 1.84kJ/(kg. °C)</li> <li>➤ 水蒸气气化潜热计算: <math>2500+1.84t=4.19t+r</math></li> </ul>
--	--

### 3、焓湿图:

确定湿空气的状态及其变化过程的方法: 公式计算; 查表; 查焓湿图。

概念	➤ 为了简化工程计算而发展的湿空气参数的图解表示法被称为焓湿图。
优点	➤ 计算简化; 描述直观。
作用	➤ 确定湿空气的状态参数; 表示湿空气的状态变化过程。
参数	➤ 焓湿图上的可以获取的参数: 焓、含湿量、水蒸气分压力、相对湿度、温度、湿球温度、露点温度、热湿比;
状态参数	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 独立状态参数: 在 B 一定的条件下, 在 <math>h, d, t, \varphi</math> 中, 已知任意两个参数, 则湿空气状态就确定了, 亦即在 <math>h-d</math> 图上有一确定的点, 其余参数均可由此点查出, 因此, 将这些参数称为独立参数。</li> <li>➤ 不独立状态参数: <math>d</math> 与 <math>P_q</math> 不能确定一个空气状态点, 故 <math>d</math> 与 <math>P_q</math> 只能有一个作为独立参数。</li> </ul>
湿球温度	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 定义: 在定压绝热条件下, 空气与水直线接触达到稳定热平衡时的绝热饱和温度称为热力学湿球温度。多数情况下不是一个独立参数, 值为 0 时是非独立参数;</li> <li>➤ 在 <math>h-d</math> 图上的确定方法: 近似认为等焓线即为等湿球温度线; 由状态点沿等 <math>h</math> 线向下与 <math>\varphi=100\%</math> 线相交。</li> </ul>
露点温度	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 定义: 在含湿量不变的条件下, 湿空气达到饱和时的温度。</li> <li>➤ 在 <math>h-d</math> 图上的确定方法: 由状态点沿等 <math>d</math> 线向下与 <math>\varphi=100\%</math> 线相交;</li> </ul>
热湿比	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 热湿比 <math>\epsilon</math> 为湿空气的焓变化与含湿量变化之比, 即: <math>\epsilon = \Delta h / \Delta d = Q/W</math> (kJ/kg), <math>Q</math> 为全热。</li> <li>➤ <math>\epsilon</math> 的大小及正负表示了湿空气状态变化过程的方向和特征。</li> </ul>

	<p>➤ 房间热湿比为余热量（全热）和余湿量之比。</p>
应用	<p>➤ 表示湿空气的状态变化过程：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 等湿加热：（电）空气加热器；</li> <li>❖ 等湿冷却：表面式冷却器（干工况）；</li> <li>❖ 等焓加湿：喷水室（循环喷水）；</li> <li>❖ 等焓减湿：固体吸湿剂；</li> <li>❖ 等温加湿：喷蒸汽（实际热湿比=水蒸气的焓值，近似于等温线）；</li> <li>❖ 冷却干燥：表面式冷却器（湿工况）；</li> </ul> <p>➤ 表示不同状态湿空气的混合过程：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 原理：能量守恒、质量守恒。</li> <li>❖ 混合点的确定：A、B 混合后得 C；A，C，B 在同一直线上；参与混合的两种空气的质量比与 C 点分割线段 AB 的长度呈反比，C 点接近空气质量大的一端：</li> </ul> $\frac{\overline{AC}}{\overline{BC}} = \frac{d_C - d_A}{d_B - d_C} = \frac{h_C - H_A}{h_B - H_C} = \frac{G_B}{G_A}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 当混合点处于结雾区时，混合的最终状态是饱和空气+水，是一种不稳定状态，饱和空气状态可通过试算法确定。</li> </ul>

# 第二章 空调负荷计算与送风量

## 1、室内空气计算参数

### (1) 空调室内温湿度指标:

温湿度基数	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 空调房间内所要保持的基准温度和基准相对湿度。</li><li>➤ 舒适性空调、工艺性空调;</li></ul>
空调精度	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 空调房间内温湿度对基准温度和基准相对湿度的最大偏差。</li><li>➤ 工艺性空调;</li></ul>

### (2) 人体热平衡: $S=M-W-E-R-C$

### (3) 人体冷热感的影响因素 (6 个):

- 干球温度;
- 相对湿度;
- 平均辐射温度;
- 风速;
- 衣服热阻;
- 人体活动量。

### (4) 新有效温度 $ET^*$ : 干球温度、相对湿度、风速对人体冷热感影响的一个综合指标。

(5) 舒适区: 人体感到热舒适的一个空气参数区域, 不同实验条件下得到的区域可能不同。

(6) PMV-PPD 指标: 综合考虑干球温度、相对湿度、平均辐射温度、风速、衣服热阻、人体活动量等 6 个因素对人体冷热感影响的综合指标

- PMV (预期平均投票): 由人体热平衡原理推出, 代表同一环境中绝大多数人的冷热感觉。

热	暖	微暖	适中	微凉	凉	冷
+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

- PPD (预期不满意百分率): 表示对热环境的不满意百分数, 通过概率分析方法得到 PPD 与 PMV 的关系。
- 我国采暖和空调热舒适性指标宜为:  $-1 \leq PMV \leq 1$ ,  $PPD=26\%$ 。

(7) 室内空气温湿度计算参数: 分两个热舒适等级, 参见《公共建筑节能设计标准》。

## 2、室外空气计算参数

(1) 室外空气温度的变化规律：气温日变化都是以 24h 为周期的周期性波动，一般凌晨 4、5 点最低，下午 2、3 点最高；气温季节性变化也是呈周期性的，一般一月最冷，7~8 月最热。

(2) 室外空气相对湿度的变化规律：就一昼夜内的大气而论，含湿量变化不大，可视为定值，则大气的相对湿度变化规律正好与干球温度的变化规律相反。

### (3) 空调室外空气计算参数

夏季	说明	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 夏季室外空气温度高、变化大，含湿量大、变化大；</li><li>➤ 夏季冷却减湿费用高；</li><li>➤ 通过围护结构的传热量按非稳态传热方法计算。</li></ul>
	干球温度	➤ 历年平均不保证 50h 的干球温度。
	湿球温度	➤ 历年平均不保证 50h 的湿球温度。
	日平均温度	➤ 历年平均不保证 5 天的日平均温度。
	逐时温度	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 一阶简谐波近似，气温峰值设在 15 时：<math display="block">t_{w,\tau} = t_{w,p} + (t_{w,\max} - t_{w,p}) \cos(15\tau - 225)</math>其中：<ul style="list-style-type: none"><li><math>t_{w,\tau}</math> - 逐时温度；</li><li><math>t_{w,p}</math> - 室外平均温度；</li><li><math>t_{w,\max}</math> - 室外干球温度；</li><li><math>\tau</math> - 计算时刻，h</li></ul></li></ul>
冬季	说明	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 冬季室外空气温度低、变化小，含湿量小、变化小；</li><li>➤ 冬季加热加湿费用低；</li><li>➤ 通过围护结构的传热量按稳态传热方法计算。</li></ul>
	干球温度	➤ 历年平均不保证 1 天的日平均温度；
	相对湿度	➤ 累年最冷月平均相对湿度。

## 3、太阳辐射对建筑物的热作用

(1) 从空气调节角度分析太阳辐射：夏季：增加了冷负荷，不利；冬季：减少了采暖负荷，有利。

(2) 大气对太阳辐射的作用：

- 吸收作用：其中一部分被臭氧、水蒸气、二氧化碳和尘埃等(其中大部分被水蒸汽所吸收)。
- 散射辐射：另一部分被云层中的尘埃、冰晶、微小水珠及各种气体分子等反

射或折射，形成漫无方向的散射辐射，亦称天空辐射(其中大部分返回宇宙空间中去，一部分反射到地球表面)。

➤ 直射辐射：其余未被吸收和散射的辐射能，则仍按原来的辐射方向，透过大气层沿直线继续前进，直达地面，故称此部分为直射辐射。

➤ 到达地面的太阳辐射能量=直接辐射能量+散射辐射能量；

(3) 建筑物表面接受到的太阳辐射影响因素：地球对太阳的相对位置（太阳射线对地球的高度角及其通过大气层的路程）、大气透明度；

(4) 建筑物表面吸收的太阳辐射影响因素：表面粗糙度、表面颜色。

(5) 室外空气综合温度：同时考虑对流和辐射作用时，得到室外空气综合温度，并非实际的室外空气温度。而是相当于在室外气温的基础上增加了一个太阳辐射的等效温度  $\rho I / \alpha_w$ 。

#### 4、热量与负荷

得热量	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 某一时刻由室外和室内热源散入房间的总热量。</li><li>➤ 包括由于太阳辐射经外窗进入的热量；由于室内外空气温差经围护结构传入的热量；人体、照明、设备等散入房间的热量。</li></ul>
失热量	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 某一时刻由房间损失的总热量，又称耗热量。</li></ul>
得湿量	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 某一时刻由室外和室内湿源散入房间的总湿量。</li><li>➤ 包括人体散湿量；其他散湿量。</li></ul>
冷负荷	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 某一时刻为了维持室温恒定，必须从室内除去的热量（即必须向室内供应的冷量）。</li><li>➤ 包括外墙和屋面瞬变传热引起的冷负荷；外玻璃窗瞬变传热引起的冷负荷；透过玻璃窗的日射得热引起的冷负荷；（内墙和楼板等室内传热围护结构传热形成的瞬时冷负荷）；设备散热形成的冷负荷；照明散热形成的冷负荷；人体散热形成的冷负荷；</li></ul>
热负荷	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 某一时刻为了维持室温恒定，必须向室内供应的热量。</li></ul>
湿负荷	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 某一时刻为了维持室内相对湿度恒定，必须由房间除去或增加的湿量。</li><li>➤ 包括人体散湿量、其他湿源散湿量。</li></ul>

得热量的组成及其与冷负荷的关系				
得热量	显热	对流	直接放散到空气中，形成瞬时冷负荷。	冷负荷是由得热量引起的，但冷负荷与得热量并不时时相等。
		辐射	被室内各表面吸收和贮存，经延迟和衰减后进入空气中形成冷负荷。	
	潜热		直接放散到空气中，形成瞬时冷负荷。	
得湿量与湿负荷的关系				
得湿量=湿负荷				

5、夏季空调冷负荷的计算方法：**谐波反应法**（谐波反应法的工程简化方法）、冷负荷系数法。

## 6、空调房间送风量的确定

(1) 确定送风状态：

- 在 h-d 图上确定室内状态点 N；
- 过 N 点作等热湿比线；
- 根据送风温差  $\Delta t_0$  确定送风温度  $t_o$ ；
- $t_o$  的等温线与等热湿比线的交点即为送风状态 O。

(2) 计算送风量

- **热平衡**： $G h_o + Q = G h_N$
- **湿平衡**： $G \frac{d_o}{1000} + W = G \frac{d_N}{1000}$
- **送风量**： $G = \frac{Q}{h_N - h_o} = 1000 \frac{W}{d_N - d_o}$
- **热湿比**： $\varepsilon = \frac{h_N - h_o}{\frac{d_N - d_o}{1000}} = \frac{Q}{W}$

(3) 送风湿差的选取：

- 送风温差越大：送风温度越低、送风量越小，投资和运行费用越少；送风温度过低时，冷气流会让人体感觉不适，且送风量过小时，室内温湿度的均匀性和稳定性也会受到影响。

- 送风温差根据空调精度选取，见表 2-20。
- (4) 换气次数：
  - 概念：房间送风量与房间体积之比。
  - 送风温差越大，送风量越小，换气次数越小。
  - 所选取的送风温差应保证换气次数大于表 2-20 中的值。如果换气次数小于所要求的值，则应减小送风温差。

第三章 空气的热湿处理

第四章 空气调节系统

1、空气调节系统的分类

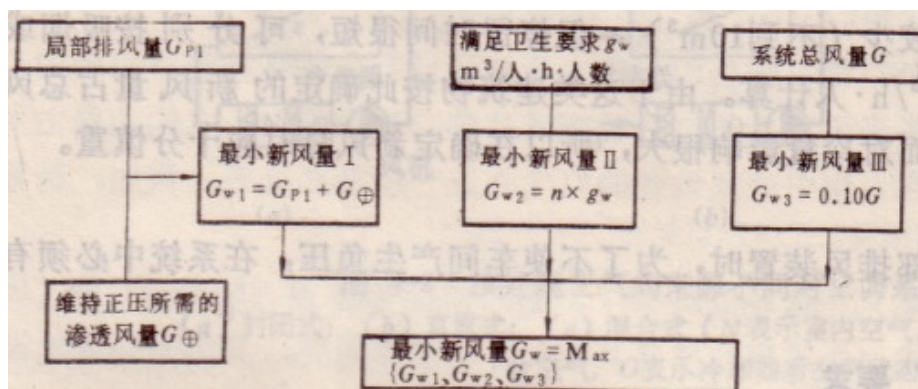
按空气处理设备的集中程度	
集中式	所有空气处理设备都设在一个集中的空调机房内。
半集中式	除集中的空调机房外，还设有分散在空调房间内的二次设备（末端装置）。
全分散式（局部机组）	把冷热源和空气处理、输送设备集中设置在一个箱体内，形成一个紧凑的空调系统。
按负担室内热湿负荷的所用介质不同	
全空气	空气负担室内热湿负荷
全水	水负担室内热湿负荷
空气-水	空气-水负担室内热湿负荷
冷剂	冷剂负担室内热湿负荷
按集中式空调系统处理的空气来源分类	
封闭式	无人或少人场合
直流式	洁净要求高的场合
混合式	定风量：一次回风式、二次回风式； 变风量。

2、新风量的确定

最小新风量 I	满足补偿局部排风的最小新风量
	满足保持室内正压要求的最小新风量



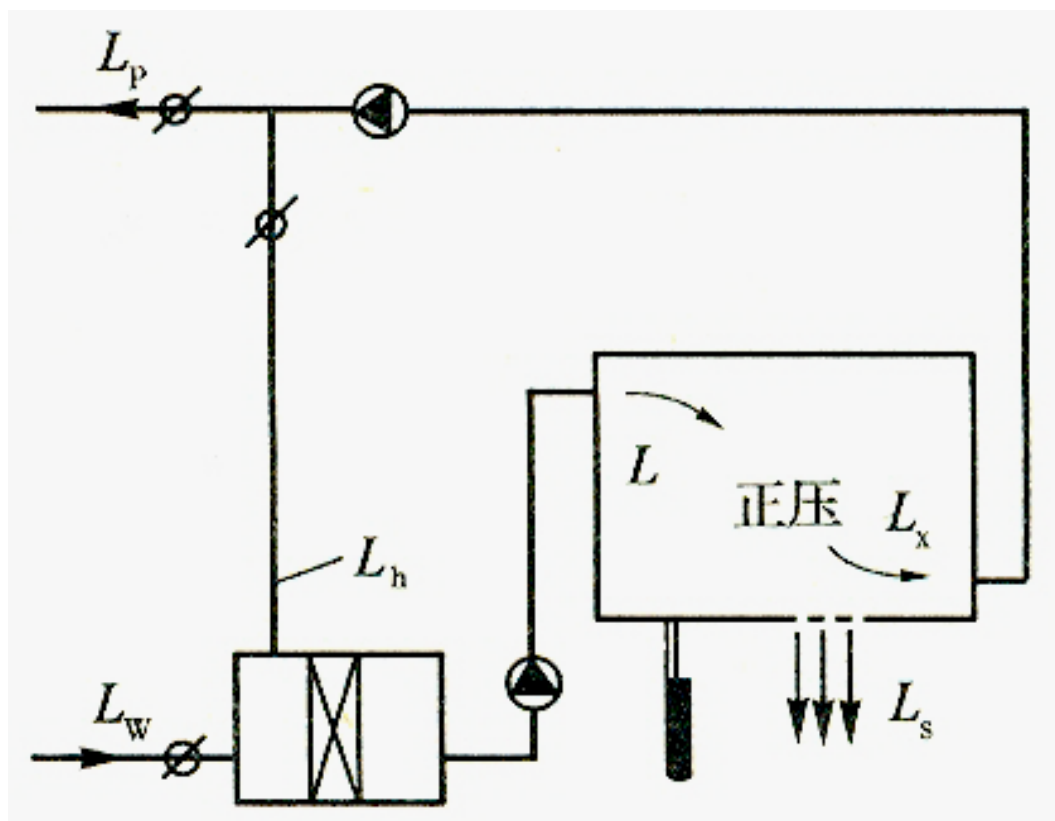
最小新风量 II	满足卫生要求的最小新风量
最小新风量 III	系统总风量的 10%
确定最小新风量	$\text{MAX}\{\text{最小新风量 I, 最小新风量 II, 最小新风量 III}\}$



### 3、空气平衡

平衡点	平衡方程
空调箱	$L_w + L_h = L$
空调房间	$L = L_x + L_s$
排风点	$L_x = L_p + L_h$

房间正压:  $L_w > L_s$ ,  $L_x > L_h$



### 4、普通集中式空调系统

一次回风	
定义	回风与室外新风在喷水室(或表面式空气冷却器, 简称表冷器)前混合
系统图示	<p>空调房间</p> <p>喷淋室/表冷器 再热器</p> <p>W N</p> <p>送/回风管道</p> <p>空气处理设备</p> <p>冷/热媒</p>
处理过程	<p>W N 混合 C 冷却减湿 L 加热 O N</p>
焓湿图	<p>W N C L O</p> <p>夏季工况</p>

计算	<p>最小新风百分比m% <math>\frac{G_w}{G} = m\%</math></p> <p>室内冷负荷 <math>Q_1 = G(i_N - i_O)</math></p> <p>新风冷负荷 <math>Q_2 = G_W(i_W - i_N)</math></p> <p>再热量 <math>Q_3 = G(i_O - i_L)</math></p> <p><math>Q_0 = G(i_N - i_O) + G_W(i_W - i_N) + G(i_O - i_L)</math></p> <p><math>= G(i_N - i_O) + G(i_C - i_N) + G(i_O - i_L) = G(i_C - i_L)</math></p>
二次回风	
定义	回风使用两次,回风与新风在喷水室（或表冷器）前混合并经热湿处理后，在冷却减湿设备后再次与回风混合。
系统图示	
集中空调系统划分和分区处理	
划分原则	<p>(1) 室内参数（温湿度基数和精度）相近以及室内热湿比相近的房间可采用同一系统；</p> <p>(2) 朝向、层次等位置相近的房间宜采用同一系统；</p> <p>(3) 工作班次和运行时间相同的房间采用同一系统；</p> <p>(4) 对室内洁净度等级或噪声级别不同的房间，宜按各自的级别设计；</p> <p>(5) 产生有害物的房间不宜和一般房间合用一个系统；</p> <p>(6) 空调系统的分区应与建筑防火分区相对应。</p>
分区处理	<p>(1) 室内 <math>N</math> 点相同，热湿比 <math>\epsilon</math> 不同：采用定露点，分室加热系统。</p> <p>(2) 室内 <math>t_N</math> 相同，<math>\phi_N</math> 允许有偏差，热湿比 <math>\epsilon</math> 也各不同：采用定露点，相同的 <math>\Delta t_o</math>，但需根据房间的重要性选择露点。</p>

	<p>(3) 室内 <math>N</math> 相同, <math>\Delta t_o</math> 也要求相同, 热湿比 <math>\varepsilon</math> 不同: 集中处理新风, 分散回风, 分室加热。即分区空调方式/分层空调方式。</p> <p>(4) 室内 <math>N</math> 相同, 热湿比 <math>\varepsilon</math> 不同: 双风道系统。</p>
--	--

## 5、变风量系统

定义	简单地说, 通过改变送入房间的风量来满足室内变化的负荷。	
特点	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 全年变风量运行, 无冷热抵消, 大量节约能耗;</li> <li>➤ 室内相对湿度控制质量稍差;</li> <li>➤ 新风比不变时, 新风量改变, 调小时影响室内空气品质;</li> <li>➤ 风量调小时, 室内气流受影响;</li> <li>➤ 末端设备 (VAV 风口) 造价高, 控制系统亦较复杂;</li> <li>➤ 系统的灵活性较好, 易于改、扩建, 或格局多变的建筑;</li> <li>➤ 变风量系统属于全空气系统, 它具有全空气系统的一些优点, 可以利用新风消除室内负荷, 没有风机盘管凝水问题和霉变问题。</li> </ul>	
主要形式	单风道: 变频风机 (定静压法、变静压法) + 节流型末端 (压力有关型、压力无关型)	单冷型
		单冷再热型
		冷热型
	风机动力型: 在单风道基础上在末端装置处 加装一台驱动风机。	串联式
		并联式
	其他变风量系统	旁通型
		诱导型

## 6、半集中式空调系统

分类	末端换热介质	末端装置形式
空气-水	水	风机+水盘管 (FHU-fan-coil unit)
		诱导器 (IU-induction unit)
		辐射板 (平面盘管)

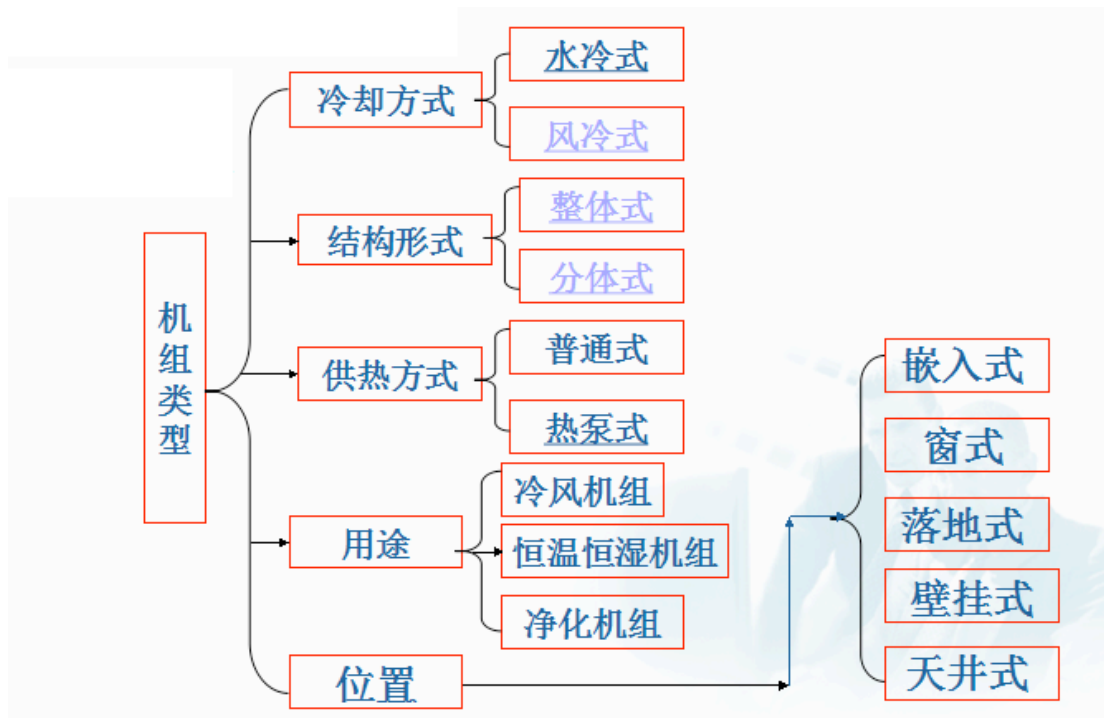
空气-冷剂	冷剂	风机+冷剂盘管（供冷时为蒸发器，供热时为冷凝器）
-------	----	--------------------------

#### （1）风机盘管系统

构造	风机+盘管+箱体
类型	立式、卧式、壁挂式；暗装、明装；普通、高静压。
优点	（1）布置灵活；各房间可以独立调节室温，使用者可以直接调节； （2）节省运行费用；
缺点	（1）机组制作有较高质量要求； （2）维修要求较高； （3）不能用于全年室内湿度有要求的地方； （4）噪声限制风机转速，气流分布受限，适用于进深小于 6 米的房间。
新风供给方式	1).由排风形成自然渗入新风 2).墙洞引入新风 3).独立新风系统：新风不入盘管，新风入盘管
新风处理方案	具有独立新风系统的风机盘管机组夏季处理过程有两种： （1）新风处理到室内焓值，不承担室内冷负荷； （2）新风处理后的焓值低于室内焓值，承担室内部分显热负荷和全部湿负荷。

### 7、局部空调机组

#### （1）机组形式：



## （2）机组应用

单台使用	
多台独立使用	
多台联合使用	集中冷却水；
	集中新风、排风；
利用机组做集中式空调系统的空气处理机	

## （3）机组系统化应用

水环热泵（WLHP-water loop heat pump）	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 原理：由许多水-空气热泵机组通过水侧管路的网路化，以平衡同时进行制冷或供热的机组之间的热量需求；</li> <li>➤ 组成：水源热泵单元机组（水-空气热泵）+辅助加热装置+冷却塔+水系统。</li> </ul>
变制冷剂流量多联分体式	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 原理：一拖多；一个室外机带多个室内机；</li> <li>➤ 特点：可根据负荷变化通过变制冷剂流量而改变压缩机制冷量。</li> <li>➤ 变制冷剂流量的方法：（1）变压缩机电机频率（VRV）；（2）利用数字控制的涡旋压缩机通过控制负载与卸载时间的比例实现不同的制冷剂流量输出（数字涡旋变流量/变容多联机）。</li> </ul>

## 第五章 空调房间的气流分布