

# 空 气 调 节

下 册

同 济 大 学 暖 通 教 研 室

一 九 七 六 年 十 二 月

# 目 录

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>第八章 集中式空调系统</b> .....       | 1   |
| 第一节 概述.....                    | 1   |
| 第二节 新风量的确定和空调系统的风量平衡.....      | 4   |
| 第三节 二次回风系统的空气处理过程分析.....       | 6   |
| 第四节 二次回风系统全年运行的工况分析.....       | 16  |
| 第五节 空调系统的自动控制及二次回风系统的自控方案..... | 21  |
| 第六节 集中式空调系统设计中的若干问题.....       | 25  |
| <b>第九章 半集中式和其它空调系统</b> .....   | 29  |
| 第一节 诱导空调系统的类型和特点.....          | 29  |
| 第二节 诱导器.....                   | 33  |
| 第三节 诱导空调系统的设计计算.....           | 40  |
| 第四节 风机盘管机组空调系统.....            | 51  |
| 第五节 其它空调系统.....                | 55  |
| <b>第十章 空气调节房间内的气流组织</b> .....  | 58  |
| 第一节 概述.....                    | 58  |
| 第二节 送风口和回风口的空气流动规律.....        | 59  |
| 第三节 送风口和回风口的型式和结构.....         | 64  |
| 第四节 气流组织的方式.....               | 67  |
| 第五节 气流组织的计算.....               | 71  |
| <b>第十一章 空调系统的管路设计</b> .....    | 86  |
| 第一节 风道材料和断面的选择.....            | 86  |
| 第二节 流体在管内流动的一般概念.....          | 87  |
| 第三节 通风管道的沿程阻力和局部阻力.....        | 92  |
| 第四节 通风管道的设计计算.....             | 103 |
| 第五节 空调系统风机的选择.....             | 111 |
| 第六节 空调系统风管的压力分布和对系统的影响.....    | 113 |
| 第七节 风道特性与风机特性对空调系统运转的影响.....   | 117 |
| 第八节 空调管道系统设计布置中的若干问题.....      | 122 |

|                                                |            |
|------------------------------------------------|------------|
| <b>第十二章 空气的净化 .....</b>                        | <b>127</b> |
| 第一节 空气净化的标准 .....                              | 127        |
| 第二节 室外空气的含尘量和尘粒特性 .....                        | 128        |
| 第三节 影响室内含尘浓度的因素和一些控制措施 .....                   | 129        |
| 第四节 空气过滤器 .....                                | 131        |
| 第五节 空气除臭装置——活性炭过滤器 .....                       | 140        |
| 第六节 净化空调设计概念 .....                             | 140        |
| <b>第十三章 空调系统的消声和防震 .....</b>                   | <b>143</b> |
| 第一节 声学基本知识 .....                               | 143        |
| 第二节 室内噪声标准 .....                               | 146        |
| 第三节 空调系统的声源 .....                              | 147        |
| 第四节 空调系统中噪声的自然衰减 .....                         | 149        |
| 第五节 消声器消声量的确定 .....                            | 152        |
| 第六节 吸声的原理和消声器的应用 .....                         | 153        |
| 第七节 空调装置的防震 .....                              | 159        |
| <b>第十四章 空调系统的测定与调整 .....</b>                   | <b>165</b> |
| 第一节 空调系统测定常用仪表 .....                           | 165        |
| 第二节 空调系统风量的测定与调整 .....                         | 178        |
| 第三节 空气处理过程的测试 .....                            | 184        |
| 第四节 室内空气状态的测定 .....                            | 188        |
| 第五节 测试后发现问题的分析和改进办法 .....                      | 188        |
| <b>附录</b>                                      |            |
| 附录 9—1 Y系列诱导器主要结构参数 .....                      | 192        |
| 附录 9—2 YL型立式诱导器结构及尺寸 .....                     | 193        |
| 附录 9—3 YW型卧式诱导器结构及尺寸 .....                     | 194        |
| 附录 9—4 Y系列诱导器空气动力性能参数表 .....                   | 195        |
| 附录 9—5 (a) 诱导器二次冷却器析湿系数 $\xi$ 的水量和风量修正系数 ..... | 196        |
| 附录 9—5 (b) 诱导器湿冷工况计算用的湿冷修正系数 $P$ 值 .....       | 196        |
| 附录 9—6 Y系列诱导器二次冷却器标准工况下的湿冷冷量 .....             | 197        |
| 附录 10—1 几种侧送风口现场调整性能的概况 .....                  | 198        |
| 附录 10—2 侧送用F—135型送风口规格尺寸表 .....                | 199        |
| 附录 11—1 (a) 矩形标准风管规格 .....                     | 200        |
| 附录 11—1 (b) 圆形标准风管规格 .....                     | 202        |
| 附录 11—2 矩形风道当量直径线解图 .....                      | 203        |
| 附录 11—3 若干通风管件的局部阻力系数表 .....                   | 204        |

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 附录 11—4 (a) 矩形三通的直通管阻力损失 (毫米水柱) .....                                 | 205 |
| 附录 11—4 (b) 矩形三通的支管阻力损失 (毫米水柱) .....                                  | 205 |
| 附录 11—5 (a) 圆管三通的直通管阻力损失 (45° 及 60° 夹角) .....                         | 206 |
| 附录 11—5 (b) 圆管三通支管局部阻力系数 $\xi$ 值 .....                                | 206 |
| 附录 11—5 (c) 三通 90° 支管接头的支管局部阻力损失 (毫米水柱) .....                         | 206 |
| 附录 11—6 (a) 百页格回风口局部阻力损失 (毫米水柱) .....                                 | 207 |
| 附录 11—6 (b) 挡水板的空气阻力损失 (毫米水柱) .....                                   | 207 |
| 附录 12—1 泡沫塑料初效过滤器安装详图 .....                                           | 208 |
| 附录 12—2 M—Ⅱ 型泡沫塑料过滤器安装详图 .....                                        | 209 |
| 附录 12—3 国产高效、高中效过滤器主要规格 .....                                         | 210 |
| 附录 13—1 各种材料的吸声系数 .....                                               | 211 |
| 附录 13—2 通风机防震基础详图 .....                                               | 212 |
| 附录 14—1 动压—风速换算表 (微压计测风量用) .....                                      | 213 |
| 附录 14—2 空气流速在 0.5 米/秒以下的空气相对湿度表 .....                                 | 214 |
| 附录 14—3 饱和湿空气的 $t_{\text{湿}}(^{\circ}\text{C})$ — $I$ (千卡/公斤) 表 ..... | 215 |
| 其他附录 —1 KD-10 型空调器有关设备部件尺寸规格参考资料 .....                                | 216 |
| 其他附录 —2 KD-20 型空调器有关设备部件尺寸规格参考资料 .....                                | 217 |
| 其他附录 —3 KT-135 (及 180) 散装式空调制冷设备各有关部件尺寸<br>规格参考资料 .....               | 218 |
| 其他附录 —4 冷水管路阻力计算参考资料 .....                                            | 219 |

# 第八章 集中式空调系统

## 第一节 概 述

通过上一章学习，可以认识到空调机组本身就是一个小型的空调系统，它有许多优点，能满足一般场合下中小容量的空调要求。往往在生产上需要空调设备时，首先要求我们考虑是否可用空调机组解决问题。

但是机组毕竟也存在一些局限性，如体积不能做得太大，不可能有很多的类型供选择。因此对于许多其它专门的场合，还是需要根据其自身的特殊要求设计集中式空调系统，这些场合是指：

一、空调系统要求的容量大(空调房间体积大或房间多)，例如纺织厂、合成纤维厂、精密机械厂的较大装配车间，摄影棚、体育馆……等。

二、室内参数(室内温、湿度标准特殊或精度要求特别高、净化要求高)、室外参数、室内发热发湿特征都较特殊的场合，因而处理过程比较特殊。例如对生物进行适应试验和对产品进行特殊环境下性能鉴定所需的“人工气候室”……等。

从这些要求出发，可以看出：集中式空调系统应包括空气处理设备(机房)、风机和风管三部分，空气处理设备不放在空调房间内，处理后的空气经过风道分别送入使用房间。图8—1所示就是一个集中式空调系统的简图。

根据集中式空调系统处理空气的来源可以分为三种基本系统：

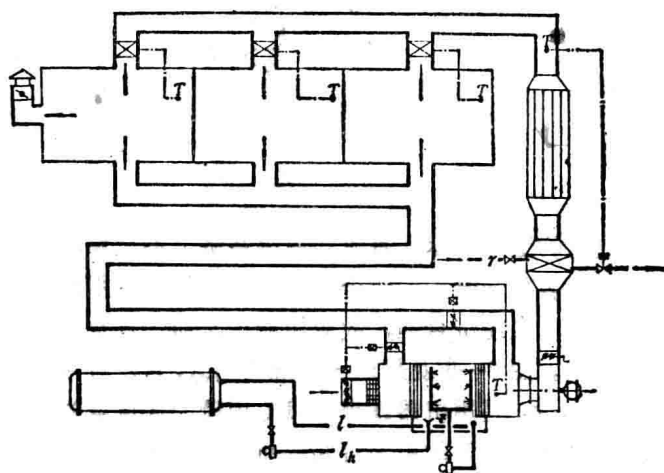


图 8—1

### 一、封闭式系统

它所处理的空气全部来自被空调房间本身，没有室外空气补给，全部再循环。因此房间

和空气处理设备间形成了一个封闭的环路(图8—2)。封闭式系统用于密闭空间并无法应用室外空气的场合。这种系统冷、热量消耗最省,但卫生效果差。当室内有人长期停留时,必须考虑空气的再生,这种系统应用于战时的地下蔽护所、潜艇等战备工程、或很少有人进出的仓库。这种系统所服务的房间的热湿比如果为 $\epsilon$ ,则在采用最大送风温差或一般送风温差时在I—d图上的处理过程分别如图8—3中a)和b)所示。

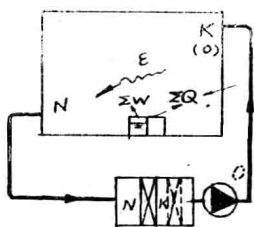
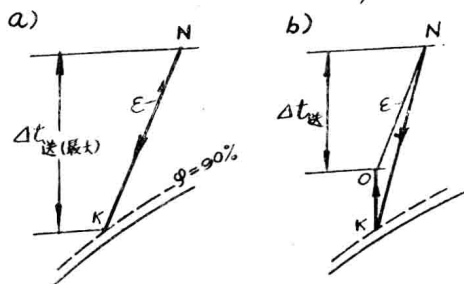


图 8—2



过程 a):  $N \rightarrow K \xrightarrow{\epsilon} N$ , 过程 b):  $N \rightarrow K \rightarrow O \xrightarrow{\epsilon} N$ .

图 8—3

## 二、直流式系统

它所处理的空气全部来自室外,处理后送入室内,然后全部排出室外(图8—4),与前一种相比正好相反,其冷、热耗量很大,投资和运行费用高,但卫生效果最好,故适用于不允许采用回风的场合,如散发大量有害物的车间。这种系统对应于前一种系统在I—d图上的表示分别如图8—5中a)和b)所示。

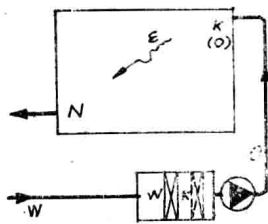
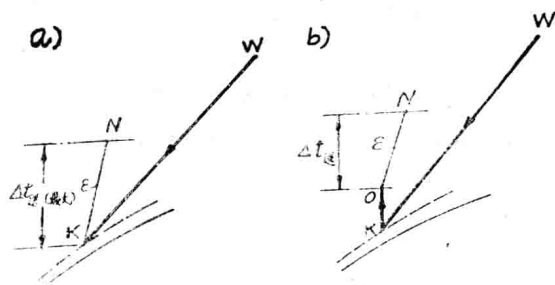


图 8—4



过程 a):  $W \rightarrow K \xrightarrow{\epsilon} N$ ; 过程 b):  $W \rightarrow K \rightarrow O \xrightarrow{\epsilon} N$

图 8—5

## 三、混合式系统

封闭系统不能满足空气的卫生要求,直流式系统经济上不合算,所以二者都在不得已的特定场合下使用,对于绝大多数场合,就综合这二者的利弊,采用混合一部分回风的系统。这种系统既能满足卫生要求,又经济合理,故应用最广,前一章空调机组的空气处理过程实际上就是按这种系统设计的。图8—6就是这一系统的图式,它在I—d图上的表示同样可分为a)、b)两种(图8—7),a)是用机器露点送风(用最大送风温差),b)是利用再热器的(送风温差有限制)。联系前章学习的机组可知,前一种即属冷风机组而后者即为恒温恒湿空调机组。

这种仅在空气处理室前混合一次回风的装置在空调系统中专门称为“一次回风系统”。由于混合一次回风在构造和调节上比较简便,所以机组便采用这一方案。对于大型空调系统,为了节约投资和经常运行费用,对于图8—7b)中所需的加热装置,可以利用制冷机高压

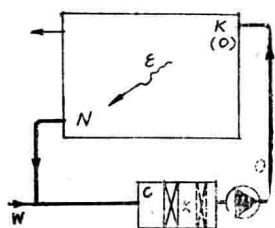


图 8-6

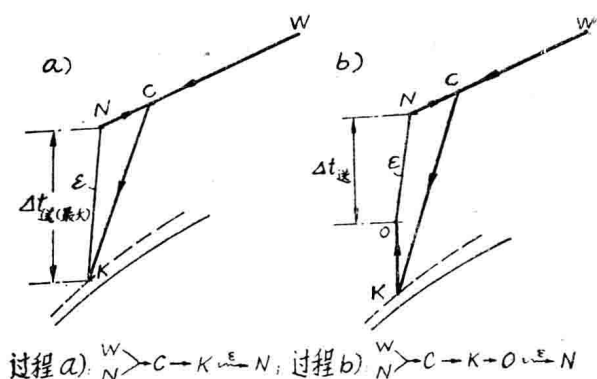
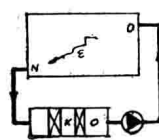
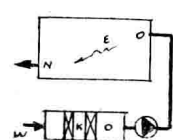
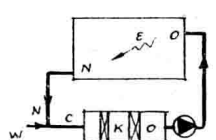
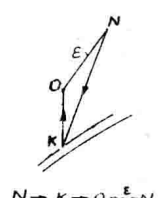
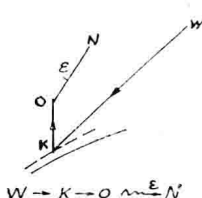
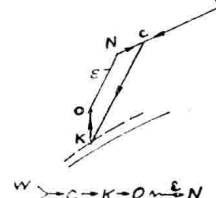


图 8-7

排出气体的热量（参见上章图 7-5）。更多的做法，则可利用混合二次回风的方法来代替，这就是所谓的“二次回风式系统”。也就是本章的主要内容之一。

为了对前述三种系统进行总结和比较，我们列出了这三种系统的夏季冷量比较表（表 8-1），作为我们认识这一问题的小结：

表 8-1

| 名 称          | 封 闭 式                                                                                | 直 流 式                                                                                           | 混 合 式                                                                                                          |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 图 式          |    |               |                             |
| I-d 图上表示     |   |              |                            |
| 风 量<br>公斤/时  | $G = \frac{Q_{\text{室}}}{I_n - I_0}$                                                 | $G = \frac{Q_{\text{室}}}{I_n - I_0}$ (同左)                                                       | $G = \frac{Q_{\text{室}}}{I_n - I_0}$ (同左)                                                                      |
| 新风量          | $G_{\text{新}} = 0$                                                                   | $G_{\text{新}} = G$                                                                              | $G_{\text{新}} = (0.1 \sim 0.15)G$                                                                              |
| 冷 量<br>分 析   | $Q_{\text{室}} = G(I_n - I_0)$<br>$Q_{\text{再}} = G(I_0 - I_K)$<br>$Q_{\text{新}} = 0$ | $Q_{\text{室}} = G(I_n - I_0)$<br>$Q_{\text{再}} = G(I_0 - I_K)$<br>$Q_{\text{新}} = G(I_W - I_n)$ | $Q_{\text{室}} = G(I_n - I_0)$<br>$Q_{\text{再}} = G(I_0 - I_K)$<br>$Q_{\text{新}} = (0.1 \sim 0.15)G(I_W - I_n)$ |
| 冷 量<br>千 卡/时 | $Q_{\text{冷}} = G(I_n - I_K)$                                                        | $Q_{\text{冷}} = G(I_W - I_K)$                                                                   | $Q_{\text{冷}} = G(I_C - I_K)$                                                                                  |
| 比 较          | 冷 量 最 小                                                                              | 冷 量 最 大                                                                                         | 冷 量 中 等                                                                                                        |
| 适 用 性        | 无人长久停留的场合采用                                                                          | 室内有严重有害物散发而局部排风不能解决时采用                                                                          | 卫生和经济均合适广泛采用                                                                                                   |

## 第二节 新风量的确定和空调系统的风量平衡

从上面比较表(表 8—1)中可以看出,混合式系统中夏季回风量用得愈多、新风量愈少愈经济,但实际上一般情况下对新鲜空气量是有一个最低要求的,在介绍空调机组时已提到了新风量的标准是不得少于总送风量的 10~15%,现在我们进一步对这问题作分析。

确定新风量的依据有下列三项:

一、卫生要求:既然我们的任务是调节空气,当然对空气的品质——特别在卫生方面不能忽视,在人长期停留的空调房间内,新鲜空气的多少对健康有直接影响,人体吸进  $O_2$  (氧气),呼出  $CO_2$  (二氧化碳),吐故而纳新,使血液吸收  $O_2$  后可供机体各部分细胞新陈代谢。表 8—2 给出了一个人在不同条件下发散的  $CO_2$  量,而表 8—3 规定了各种场合下室内  $CO_2$  的允许浓度。在一般农村和城市空气中  $CO_2$  含量为 0.5~0.75 克/公斤,因此根据人数和工作性质可算出  $CO_2$  的总散发量  $M$  (克/时)。再按室外  $CO_2$  含量  $m_1$  和室内允许浓度  $m_2$  (克/公斤)

就不难算出房间内为消除  $CO_2$  而所需的新鲜空气量,即新风量  $L = \frac{M}{(m_2 - m_1)\gamma}$  (米<sup>3</sup>/时),

式中  $\gamma$  为空气比重(公斤/米<sup>3</sup>)。如果室内的有害物不是人散发的  $CO_2$  而是其它有害物质,同样可以根据上述方法算得。在实际工作中,一般都按规范确定,目前新订的暖通规范规定不论每人占房间体积多少,新风量按  $\geq 30$  米<sup>3</sup>/时·人采用,对于人员密集的建筑物,如采用空调的体育馆、会场每人所占的空间较少(不到 10 米<sup>3</sup>),但停留的时间很短,可按吸烟或不吸烟的情况,新风量按 7~15 米<sup>3</sup>/时·人计算,对于这类建筑物按此确定的新风所占总风量的百分比可能达 30~40%,因此对冷量影响很大,考虑时应十分慎重。

表 8—2

| 人的年令及工作性质 | $CO_2$ 发 散 量 |      |
|-----------|--------------|------|
|           | 升/小时         | 克/小时 |
| 成人,体力劳动   | 45           | 68   |
| 轻劳动(机关工作) | 23           | 35   |
| 静止时       | 23           | 35   |
| 十二岁以下的儿童  | 12           | 18   |

表 8—3

| 房 间 性 质       | $CO_2$ 的 允 许 浓 度 |      |
|---------------|------------------|------|
|               | 升/米 <sup>3</sup> | 克/公斤 |
| 人长期停留的地方      | 1                | 1.5  |
| 儿童和病人停留的地方    | 0.7              | 1.0  |
| 人周期性停留的地方(机关) | 1.25             | 1.75 |
| 人短期停留的地方      | 2.0              | 3.0  |

二、补充局部排风量:当室内有排风柜等局部排风时,为了不使车间产生负压,故在系统中必须不断有相应的新风量来补足。即

$$L_{\text{新}} = \sum L_{\text{局排}}$$

三、保持空调房间的“正压”要求：为了防止外界环境空气（室外的或相邻的空调要求较低的房间）渗入空调房间，干扰空调房间内温湿度或破坏室内的洁净度，需要在空调系统中用一定量的新风来保持房间的正压（大于外界环境空气压力）。图 8—8 表示这种情况下的空气量平衡的关系。从图中可以看出：当在这个系统中我们把送、回风口的调节阀调节到使送风量  $G_{\text{送}}$  大于从房间吸走的回风量  $G_{\text{吸(回)}}$  时，房间即能呈正压状态，而这个风量差值  $G_{\text{渗}}$  就通过门窗的不严密处或专设的排风孔而渗出。室内的正压值  $\Delta H$  (mm 水柱) 正好等于空气从缝隙渗出时的阻力。室内正压值一般在 0.5~1.0 (mm 水柱) 之间为宜，过大的正压必须由大量的新风来保证从而降低了系统的经济性。

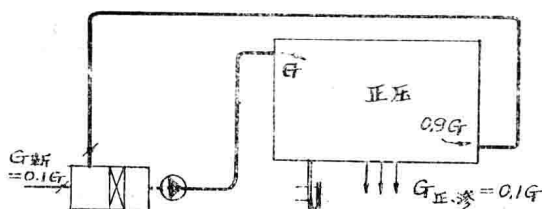


图 8—8

在不同窗缝结构情况下，内外压差为  $\Delta H$  时经过窗缝的渗透风量可参考图 8—9 查出。因此我们可以根据要求室内保持的正压值确定系统中新风的数量。

在实际工程设计中，应该根据上述三项中的最大者作为新风量的计算值，此外，对于绝大多数场合来讲，当按上述三者中最大值得出的新风量不足 10~15% 时，亦应按总风量的 10~15% 计算，以确保护卫生和安全。

必须指出，在冬夏季室外设计参数下规定最小新风百分数是出于经济的考虑，是不得已的。许多情况下，在春、秋过度季节中可以提高新风比例（甚至在空调箱内可以全部用新风）从而利用新风的冷量或热量以节约系统的运转费用。这就是全年新风量变化的系统，在此情况下，如何保持室内恒定的正压和调节新风量就必须进一步讨论空调系统中的空气量平衡问题。

分析这个问题时，图 8—8 中的空气平衡基本关系还是不变的。即

对房间来说，送风量  $G = G_{\text{吸}} + G_{\text{渗}} \text{ (或 } G_{\text{局排}} \text{)}$

对空调箱来说，送风量  $G = G_{\text{回}} + G_{\text{新}}$

式中： $G_{\text{吸}}$ ——从房间内回风口吸走的风量（米<sup>3</sup>/时）；

$G_{\text{渗}}$ ——由正压通过窗门缝隙渗出的风量（米<sup>3</sup>/时）；

$G_{\text{局排}}$ ——有局部排气柜等设备时直接自室内排出的风量（米<sup>3</sup>/时）；

$G_{\text{回}}$ ——空调箱回风总管的风量（米<sup>3</sup>/时）；

$G_{\text{新}}$ ——空调箱新风总管的风量（米<sup>3</sup>/时）。

下面我们通过表 8—4 中对几种不同系统的分析来进一步建立空调系统风量平衡的概念，

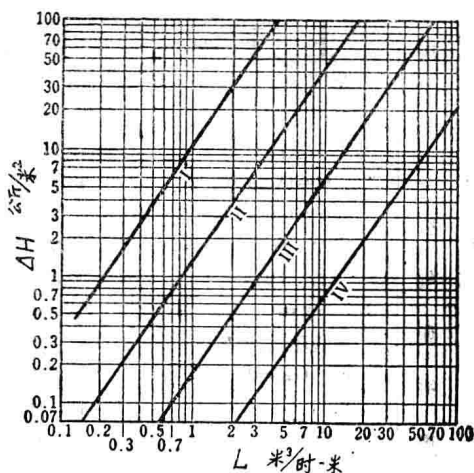


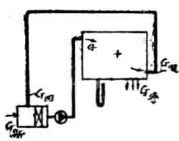
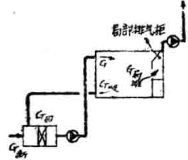
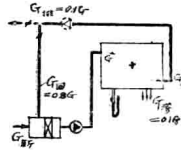
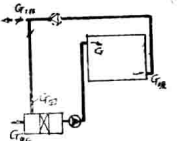
图 8—9

在内外压差作用下，每米缝长的渗出空气量

- 图中：I—窗缝有气密设施，平均缝宽 0.1 毫米；  
II—有气密压条，可开启的木窗，平均缝宽 0.2~0.3 毫米；  
III—气密压条安装不良，优质木窗框，平均缝宽 0.5 毫米；  
IV—无气密压条，中等质量以下的木窗框平均缝宽 1~1.5 毫米。

各种条件下的风量平衡关系已在表中作了说明，我们不难看出各种系统的适用性了。

表 8—4

| 条<br>件                | 全年新风量固定的系统                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 全年新风量变化的系统                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | 室内要求正压                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 室内不要求正压                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 室内要求正压                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 室内不要求正压                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                       | 室内靠门窗缝隙排风                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 室内有局部排风                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 室内靠门窗缝隙排风                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 室内无缝隙排风                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 图<br>式                | <p>室内靠缝隙渗透排风</p>                                                                                                                                                                                                  | <p>室内有局部排风</p>                                                                                                                                                                                                                  | <p>室内靠缝隙渗透排风</p>                                                                                                                                                                                                                          | <p>室内无缝隙渗透排风</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 空<br>气<br>量<br>平<br>衡 | <p>基本关系:</p> $\begin{cases} G = G_{\text{吸}} + G_{\text{渗}} \\ G = G_{\text{回}} + G_{\text{新}} \end{cases}$ $\therefore G_{\text{吸}} = G_{\text{回}}$ $\therefore G_{\text{新}} = G_{\text{渗}}$ <p>又 <math>G_{\text{渗}} = G - G_{\text{吸}}</math><br/>系统不需排风<br/>即 <math>G_{\text{排}} = 0</math></p> | <p>基本关系:</p> $\begin{cases} G = G_{\text{吸}} + G_{\text{局排}} \\ G = G_{\text{回}} + G_{\text{新}} \end{cases}$ $\therefore G_{\text{吸}} = G_{\text{回}}$ $\therefore G_{\text{局排}} = G_{\text{新}}$ <p>(全年固定)<br/>又 <math>G_{\text{局排}} = G - G_{\text{吸}}</math><br/>系统不需排风<br/>即 <math>G_{\text{排}} = 0</math></p> | <p>基本关系:</p> $\begin{cases} G = G_{\text{吸}} + G_{\text{渗}} \\ G = G_{\text{回}} + G_{\text{新}} \end{cases}$ $\therefore G_{\text{吸}} > G_{\text{回}}$ $\therefore G_{\text{新}} > G_{\text{渗}}$ <p>且 <math>G_{\text{吸}} - G_{\text{回}} = G_{\text{排}}</math><br/>即系统须排风可设回风<br/>机, 排风量的多少随新<br/>风量的多少而调节, 使<br/>室内正压保持恒定</p> | <p>基本关系:</p> $\begin{cases} G = G_{\text{吸}} + G_{\text{渗}} \\ G = G_{\text{回}} + G_{\text{新}} \end{cases}$ <p>若 <math>G_{\text{渗}} = 0</math><br/>则 <math>G = G_{\text{吸}}</math><br/>为使 <math>G_{\text{新}} \neq 0</math><br/>必需使 <math>G_{\text{吸}} &gt; G_{\text{回}}</math><br/>故得 <math>G_{\text{排}} = G_{\text{吸}} - G_{\text{回}}</math><br/>即系统须设排风机, 排<br/>风量的多少随新风量的<br/>多少而调节, 使室内压<br/>力无变化</p> |
| 适<br>用<br>性           | <p>大多数空调系统采用这种方式。如果新风量有变化会造成室内压力的变化。</p>                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>室内有局部排风柜的空调房间, 为避免有害物对邻室影响, 一般不考虑正压 (如特殊情况下室内要求正压, 则送风量中应加入 <math>G_{\text{渗}}</math>)。</p>                                                                                                                                                                                                                   | <p>空调设备容量较大的纺织, 合成纤维和体育馆等建筑, 为节约冷量要求全年新风变化时, 常用这种型式, 称“双风机系统”, 回风机风量应小于送风机风量。</p>                                                                                                                                                                                                                                          | <p>对电台播音、录音室电视台等建筑, 室内要求门窗严密 (防止外界声音干扰), 无法在室内靠正压渗透排风, 同时又要求全年新风量可以变化时采用, 回风机风量应与送风机同。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

### 第三节 二次回风系统的空气处理过程分析

#### 一、装置图式和在和 $I-d$ 图上夏季过程的确立以及各部分风量的计算:

典型的二次回风系统的夏季处理过程如图 8—10 a) 所示。在  $I-d$  图上如何表达呢 (图 8—10 b) ?

1. 首先在  $I-d$  图上表示出室内参数点  $N$ , 过  $N$  点作出这个房间的热湿比  $\epsilon$  线,

( $\epsilon = \frac{\sum Q}{\sum W}$ ),  $\epsilon$  线与  $\phi = 95\%$  的交点为  $K$ 。

2. 对于可以用机器露点送风 (最大送风温差) 的场合是用不到“二次回风”的, 所以

对于二次回风式系统，首先要根据参考的送风温差定出所设计系统的  $\Delta t_{\text{送}}$ ，从而确定了送风参数 0 点，同时方便地可算出通风量  $G$ （公斤/时）。

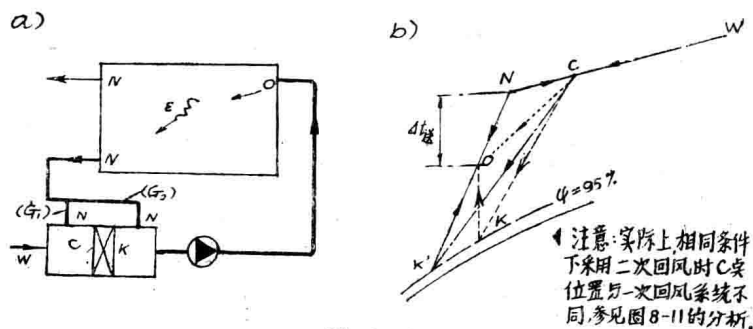


图 8—10

3. 假使在喷雾室前的第一次混合后的状态在 C 点，那么从 C 点把空气处理到 0 点有那些途径呢？毛主席教导我们要“学会分析事物的方法，养成分析的习惯”，联系我们空气处理中学过的几种方法，可以有以下几种途径：

(1) 用液体吸湿的方法可以直接把  $C \rightarrow 0$ ，在  $I-d$  图上处理过程看来最简单，但实际上需要比较复杂的设备，且目前在技术上还不够成熟，故此方法在一般空调系统中不予采用。

(2) 由 C 处理到 K 点（降温去湿）后加热到 0 点，这就是机组采用的方案（称“一次回风”系统），它的利弊已在前面作过分析了。

(3) 由 C 点处理到  $K'$  点（降温去湿），再由  $K'$  与室内状态 N 点混合（即所谓“二次回风”）成送风点 0 进入室内，这样整个过程便是：

$$\begin{matrix} W \\ N \end{matrix} \rightarrow C \rightarrow K' \xrightarrow{N} 0 \xrightarrow{\epsilon} N$$

由于这个过程中回风混合了二次，所以称为“二次回风系统”。

上述第二次回风的混合过程在  $I-d$  图上可直接表示出：既然 0 点是 N 和  $K'$  的混合点，则  $NOK'$  在一条直线上，且各点位置都已肯定。但第一次回风的混合点 C 尽管肯定在 NW 线上，却不像“一次回风系统”那样直接按比例可定出，因此到这里为止，我们还不能在  $I-d$  图上表示“二次回风系统”处理的全过程。而要确定全过程必须定出一次回风混合点 C 的位置。

怎样确定二次回风系统中第一次混合点 C 的位置呢？实际上它同样取决于整个系统所采用的新风量，如果新风采用  $15\%G$ ，对于一次回风系统，由于处理室内经过的风量  $G_K$  就等于总风量  $G$ ，所以新风量与处理室风量之比  $G_W/G_K = G_W/G$ （图 8—11a），若  $G_W/G = 0.15$ ，则在混合过程线上看， $\overline{NC}/\overline{NW} = 0.15$ 。对于二次回风系统（图 8—11b）， $G_W$  与室内一次回风  $G_1$  混合后等于  $G_K$ ，而并不等于总风量  $G$ ，由于这样， $G_W/G_K > 0.15$ ，因此混合点在  $WN$  线的位置必较前者离 W 点为近。

究竟 C 点在那个位置，则必须从分析装置流程图中解决（图 8—10a 或图 8—11b）：图中可知：

$$G_W + G_1 = G_K$$

$$G_K + G_2 = G$$

所以要确定 C 的位置就首先要知道处理室风量  $G_K$ ，从而可求出  $G_1$ 。而  $G_K$  可以从二次

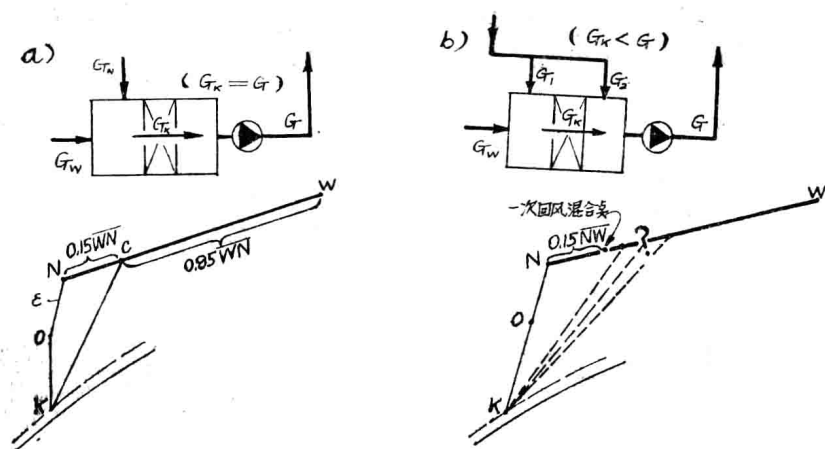


图 8-11

混合过程线上算出，具体方法就是应用空气混合的比例关系：

$$\therefore \frac{G_K}{G_2} = \frac{ON}{OK},$$

则根据比例定律：

$$\frac{G_K}{G_K + G_2} = \frac{ON}{ON + OK} = \frac{ON}{NK}$$

$$\therefore G_K = \frac{ON}{NK} G = \frac{I_n - I_0}{I_n - I_K} \cdot G \text{ 公斤/时} \quad (8-1)$$

这样，由于  $G$  为已知，则可以根据丈量出的线段尺寸比值或焓差的比值来计算，便能立即得出  $G_K$  值，我们进一步可以看出：式 (8-1) 还可以写成：

$$G_K = \frac{Q_{\text{室}}}{I_n - I_K} \text{ 公斤/时} \quad (8-2)$$

式中  $Q_{\text{室}}$  即室内冷负荷(千卡/时)，也就是说这种情况下的喷雾室风量相当于在一次回风系统中用机器露点送风(用最大送风温差)时的通风量。因此按 (8-2) 式计算  $G_K$  值就更为方便。

$G_K$  求出后，则  $G_1 = G_K - G_W$ ，接着就可按下法求  $C$  点的位置：

方法 1)：

$$\therefore (G_1 + G_W) I_C = G_1 I_n + G_W \cdot I_W$$

$$\therefore I_C = \frac{G_1 I_n + G_W \cdot I_W}{G_1 + G_W} \text{ 千卡/公斤} \quad (8-3)$$

$I_C$  与  $NW$  线的交点即一次混合点的位置(图 8-12)。

方法 2)：可分别由  $G_W$  及  $G_K$  值按比例关系分割  $NW$

$$\therefore \frac{NC}{NW} = \frac{G_W}{G_K}, \quad NC = \frac{G_W}{G_K} \cdot NW,$$

而  $NW$  线段可丈量出，则  $NC$  即可算出，也就是  $C$  点确定了。

$C$  点与  $K$  点的连线便是在处理室的降温去湿过程(用表面式冷却器或淋水室来实现)，二次回风系统的夏季处理过程就这样全部确定了。

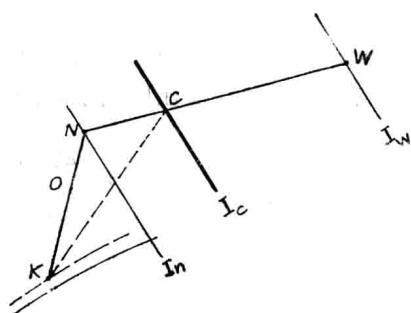


图 8-12

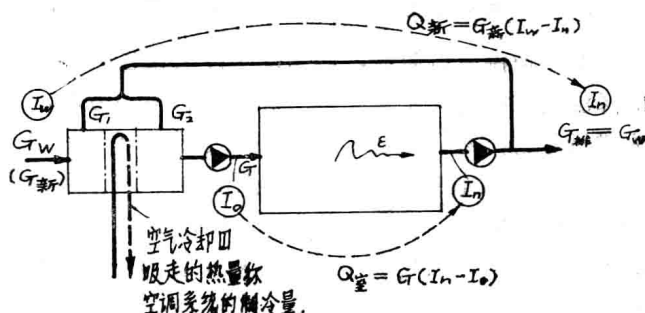


图 8-13

## 二、二次回风系统的冷量:

和一次回风式系统一样,在  $I-d$  图上看,二次回风式系统的冷量同样是这样的算式:

$$Q_{\text{冷}} = G_K(I_C - I_K) \text{ (千卡/时)},$$

但其中  $G_K$  是流经处理室的风量,而一次回风系统中则为总风量  $G$  (因为一次回风系统  $G = G_K$ )。

我们从二次回风式系统的热量平衡图(图 8-13)中,可以看出这一冷量实际上包括以下二部分(详细分析可参见第七章第三节):

1. 室内冷负荷  $Q_{\text{室}}$ ——使送入室内空气的焓热量从  $I_0$  变为  $I_n$ :

$$\therefore Q_{\text{室}} = G(I_n - I_0) \text{ (千卡/时)}$$

2. 新风冷负荷  $Q_{\text{新}}$ ——即空调系统在排出空气(相当于新风量)中损失的冷量,因为排出空气的焓热量从原来的  $I_W$  (大)变为  $I_n$  (小),也是由制冷机的能力所提供的:

$$\therefore Q_{\text{新}} = G_W(I_W - I_n) \text{ (千卡/时)}$$

如果我们对冷量的概念要从  $I-d$  图(图 8-14)上来分析,亦可以方便地得到证明:

既然  $Q_{\text{冷}} = G_K(I_C - I_K)$

$$\text{即 } Q_{\text{冷}} = (G_1 + G_W)(I_C - I_K)$$

因此也可写为:

$$\begin{aligned} Q_{\text{冷}} &= G_1(I_n - I_K) + G_W(I_W - I_K) \\ &= G_1(I_n - I_K) + G_W(I_W - I_n) + G_W(I_n - I_K) \\ &= (G_1 + G_W)(I_n - I_K) + G_W(I_W - I_n) \end{aligned} \quad (8-4)$$

$$\text{而 } \frac{G_1 + G_W}{G} = \frac{I_n - I_0}{I_n - I_K}, \text{ 即 } (G_1 + G_W)(I_n - I_K) = G(I_n - I_0) \quad (8-5)$$

以 (8-5) 代入 (8-4) 式:

$$\text{则 } Q_{\text{冷}} = G(I_n - I_0) + G_W(I_W - I_n) \quad (8-6)$$

$$\text{即 } Q_{\text{冷}} = Q_{\text{室}} + Q_{\text{新}}$$

**“有比较才能鉴别”**, 如果把一次回风系统的冷量和它相比较, 可以明显地看到: 对于不用机器露点送风的二种系统, 在相同条件下(指  $N$ 、 $W$ 、 $O$  点和热湿比  $\varepsilon$  值以及室内冷负荷  $Q_{\text{室}}$  相同), 二次回风系统省去了一次回风系统所不可少的“再热器”冷量, 这便是二次回风系统比一次回风系统经济的地方。

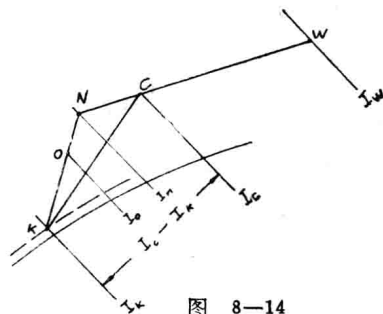


图 8-14

### 三、用固定露点和绝热加湿的二次回风系统的冬季工况

对于恒温空调系统，因为夏季冷气设备的投资远比冬季采暖设备的投资为大，所以夏季的降温问题往往是空调系统解决矛盾的主要方面，也就是空调的基本问题往往以夏季的问题先进行考虑，然后在此基础上研究冬季的问题。

假定恒温室的冬季参数与夏季相同，室外参数这时变到  $I-d$  图的左下方去了(图 8—15)。为了简化问题，看作冬季室内  $\epsilon$  线与夏季相同(对于室内热湿源为主的车间，这也是符合实情的)。

冬季处理过程中往往考虑不改变房间送风量(同夏季)，二次回风的混合比也不改变，机器露点  $K$  的位置也与夏季相同，这一点对于空调运行的控制来讲关系很大，因为不论冬季到夏季(包括过渡季)的阶段室内外温湿度变化只要通过空气处理室喷雾段后的  $K$  点(机器露点)控制住，就意味着控制住了送出空气的温度和含湿量，然后经过固定了的二次回风的混合而送入室内后，就能保证室内的温湿度。

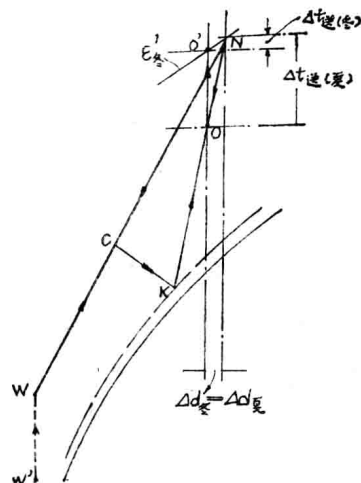
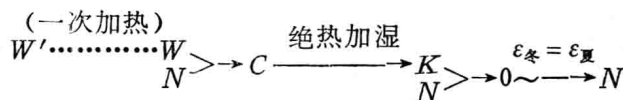


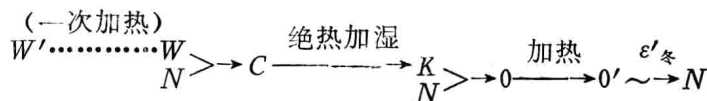
图 8—15

冬季为了把空气处理到  $K$  点，通常采用空气加热、混合、加湿等方法。集中式的淋水室(喷雾室)处理系统冬季常用喷循环水的加湿方法。这一点和机组是不同的(机组不用淋水系统)，但在有蒸汽供给的场合，集中式系统同样可有效地用蒸汽加湿。此外，冬季有时对新风进行“一次加热”(从处理流程来讲这里是第一次加热，故也称为“予热”)。

因此冬季处理过程将如下进行(参见图 8—15)：



在实际工程上，因为  $\epsilon_s$  均  $< \epsilon_{\text{夏}}$  (有建筑耗热的缘故)，所以热量不足，在送入室内前进行必要的加热，这样处理过程为：



这里  $0'$  点的确定是与一次回风系统相同的(参见第七章第三节)。

值得提出的问题是：冬季何种情况下可以不设一次加热器，有没有这样的场合：即  $W$  和  $N$  的混合点既落在  $I_K$  线上，且系统所要求的新风量始终  $\geq$  按卫生决定的  $m\%G$ ？可以看出，这时就不必进行一次加热了。关于冬季用不用一次加热的问题我们可以按如下二个方法确定(图 8—16)。

1. 根据系统所规定的新风百分比算出冬季第一次回风的混合点  $C'$  的位置——看  $I_{C'}$  是否小于  $I_K$ ，若  $I_{C'} < I_K$ ，则混合后空气不经过予热到  $I_K$  就不能用绝热加湿法使之处理到  $K$  点，因此必需进行混合后的一次加热(即予热)，其热量为：

$$Q_{\text{予}} = G_K(I_K - I_{C'}) \quad (\text{千卡/时})$$

2. 另一个方法是按最小新风比和一次混合点  $I_{C'} = I_K$  (即用绝热加湿) 的条件推算出一个可以不设予热器的假想室外空气焓值  $I_{W1}$ 。然后与实际的室外空气设计焓值相比较后确定。

从  $I-d$  图上的一次混合过程看, 如果这个假想的  $I_{W1}$  值能不经予热而满足最小新风比和混合点  $C'$  落在  $I_K$  线上时, 则

$$\frac{I_n - I_K}{I_n - I_{W1}} = \frac{G_W}{G_1 + G_W} \quad (\text{其中 } I_K \text{ 即 } I_{C'})$$

$$\text{即} \quad I_{W1} = I_n - \frac{(G_1 + G_W)(I_n - I_K)}{G_W} \quad \text{千卡/时} \quad (8-7)$$

又从第二次混合的过程看:

$$\frac{G_1 + G_W}{G} = \frac{I_n - I_0}{I_n - I_K},$$

$$\text{即} \quad (G_1 + G_W)(I_n - I_K) = G(I_n - I_0) \quad (8-8)$$

将 (8-8) 式代入 (8-7) 式:

$$\text{则} \quad I_{W1} = I_n - \frac{G(I_n - I_0)}{G_W} = I_n - \frac{I_n - I_0}{m\%} \quad \text{千卡/时} \quad (8-9)$$

这便是二次回风, 全年固定露点 ( $K$ ) 的空调系统中决定当地要不要采用一次加热的判别式, 从上式可知, 对于某一既定负荷的具体工程对象来说,  $I_{W1}$  值与系统采用的室内参数以及由送风温差所决定的焓差大小和新风百分比有关, 对于系统  $\Delta t_{送}$  用得较小和新风百分数较大的场合, 算出的  $I_{W1}$  值往往高于实际的室外空气设计焓值  $I_{W'}$ , 因此就需要对室外空气进行予热, 这一予热过程在  $I-d$  图上 (图 8-16) 就是由  $W'$  点到  $W_1$  点之间的过程, 其予热量

$$Q = G_W(I_{W1} - I_{W'}) \quad (\text{千卡/时}) \quad (8-10)$$

从图 8-16 中可以看出: 这个先混合后加热和先加热后混合的二种过程正好构成了二个相似三角形, 由相似关系可知:

$$\frac{I_M - I_{C'}}{I_{W1} - I_{W'}} = \frac{I_n - I_{C'}}{I_n - I_{W'}} = \frac{G_W}{G_K}$$

$$\therefore G_K(I_M - I_{C'}) = G_W(I_{W1} - I_{W'})$$

$$\text{即} \quad G_K(I_K - I_{C'}) = G_W(I_{W1} - I_{W'})$$

这说明了二种过程的加热量是相同的, 这从热平衡角度来认识也可以理解的。

对于寒冷地区, 为避免一次混合后的空气参数接近  $I-d$  图的雾区 (饱和线外面), 则可以先加热后进行一次混合。

#### 四、用固定露点和绝热加湿的二次回风系统的计算例 (见图 8-17 所示的 $I-d$ 图):

**例 8-1** 已知北京地区某生产车间需采用空调系统, 1) 通过调研确定工艺的全年要求为  $t_n = 22 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $\phi = 60\%$ , 2) 按建筑、人、设备及照明等原始资料已算得夏季、冬季的室内热湿负荷为:

$$Q_{\text{夏}} = 10000 \quad \text{千卡/时}, \quad W_{\text{夏}} = 5 \quad \text{公斤/时}$$

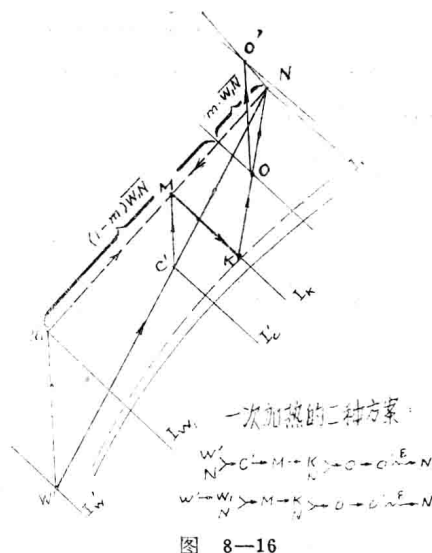


图 8-16

$$Q_{\text{冬}} = -2000 \text{ 千卡/时}, W_{\text{冬}} = 5 \text{ 公斤/时}$$

3) 该空调房间内有局部排风设备, 排风量为  $1000 \text{ 米}^3/\text{时}$ 。

要求采用二次回风系统, 试确定空调方案及计算设备容量, 若系统改为一次回风系统, 试比较其冷量与热量。

**解:** 根据教材附录 3—1 查得北京地区的室外状态为:

夏季:  $t_{\text{干}} = 35^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{湿}} = 26.9^\circ\text{C}$ ,  $\varphi = 54\%$ ,  $I = 20.2 \text{ 千卡/公斤}$

冬季:  $t_{\text{干}} = -12^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{湿}} = -13.5^\circ\text{C}$ ,  $\varphi = 49\%$ ,  $I = -2.5 \text{ 千卡/公斤}$

冬夏季平均大气压力可近似作  $760 \text{ mm}$  汞柱计。

1. 夏季方案的确定:

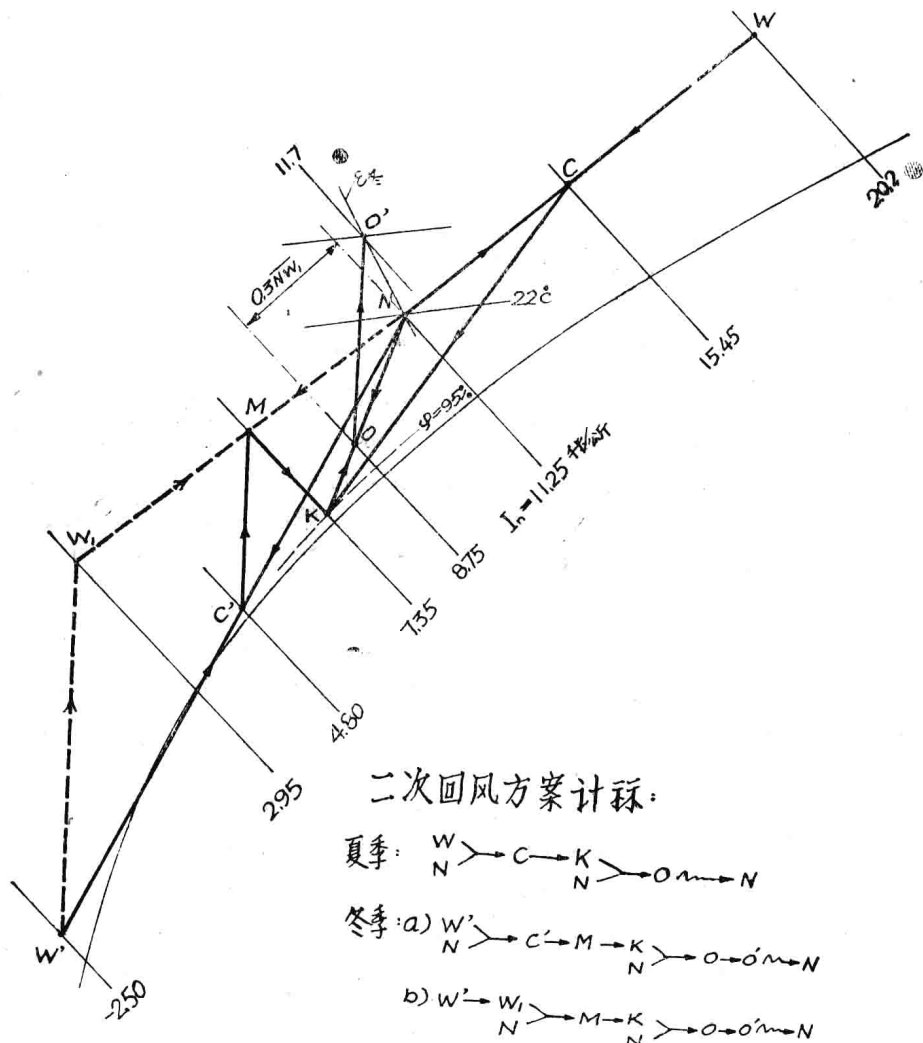


图 8—17

(1) 由余热余湿计算热湿比  $\epsilon$  线和送风状态:

$$\epsilon_{\text{夏}} = \frac{Q}{W} = \frac{10000}{5} = 2000,$$

在大气压力为  $760 \text{ mm}$  汞柱的  $I-d$  图上 (见图 8—17), 通过室内状态点  $N$  ( $I_n = 11.25$ )

千卡/公斤,  $d_n = 9.8$  克/公斤) 画  $\epsilon = 2000$  的过程线。 $\epsilon$  线与  $\phi = 95\%$  的交点  $K$  为机器露点 ( $I_K = 7.35$  千卡/公斤,  $t_K = 11^\circ\text{C}$ )。

参考表 3—11 确定送风温差用  $\Delta t = 7^\circ\text{C}$ , 由此得送风状态点  $O$ , 即  $t_0 = 22 - 7 = 15^\circ\text{C}$  ( $I_0 = 8.75$  千卡/公斤,  $d_0 = 8.55$  克/公斤)

(2) 求送风量:

按余热: 
$$G = \frac{Q}{I_n - I_0} = \frac{10000}{11.25 - 8.75} = 4000 \text{ 公斤/时}$$

按余湿: 
$$G = \frac{1000W}{d_n - d_0} = \frac{5000}{9.8 - 8.55} = 4000 \text{ 公斤/时}$$

二者计算结果是一致的。

(3) 求通过喷雾室的风量  $G_K$

方法 (a): 按比例关系:

$$G_K = G \cdot \frac{I_n - I_0}{I_n - I_K} = 4000 \cdot \frac{11.25 - 8.75}{11.25 - 7.35} = 2560 \text{ 公斤/时}$$

方法 (b): 按  $G_K$  即露点送风的风量算:

$$G_K = \frac{Q}{I_n - I_K} = \frac{10000}{11.25 - 7.35} = 2560 \text{ 公斤/时}$$

(4) 求二次回风量  $G_2$ :

$$G_2 = G - G_K = 4000 - 2560 = 1440 \text{ 公斤/时}$$

(5) 确定新风量: 由于室内有局部排风, 且相对于室内送风量而言占的比例较大, 故可以使  $L_{\text{新}} = L_{\text{排}}$ 。

$$\therefore G_W = 1.2 \times 1000 = 1200 \text{ 公斤/时}$$

则新风百分比

$$\frac{1200}{4000} \times 100\% = 30\%$$

(6) 求一次回风量:

$$G_1 = G_K - G_W = 2560 - 1200 = 1360 \text{ 公斤/时}$$

(7) 确定一次混合点在  $I-d$  图上的位置:

方法 (甲): 按混合空气焓计算:

$$I_C = \frac{G_1 I_n + G_W I_W}{G_1 + G_W} = \frac{1360 \times 11.25 + 1200 \times 20.2}{1360 + 1200} = 15.45 \text{ 千卡/公斤}$$

方法 (乙): 按线段长度的比例关系:

$$\overline{NC} = \frac{G_W}{G_K} \overline{WN} = \frac{1200}{2560} \times 7.3 \text{ 厘米} = 0.47 \times 7.3 = 3.42 \text{ 厘米}$$

丈量所得  $C$  点位置结果同前法。

(8) 计算冷量: 从  $I-d$  图上看:

$$Q_{\text{冷}} = G_K (I_C - I_K) = 2560 (15.45 - 7.35) = 2560 \times 8.1 = 20740 \text{ 千卡/时}$$

实际上这个冷量中包括以下二部分:

即室内冷负荷  $Q_{\text{室}}$ ——已知为 10000 千卡/时

$$\begin{aligned} \text{新风冷负荷 } Q_{\text{新}} &= G_W (I_W - I_n) = 1200 (20.2 - 11.25) \\ &= 1200 \times 8.95 = 10740 \text{ 千卡/时} \end{aligned}$$