

# 气动系统结露对策

(现象、机理、预测、防止对策)

在气动系统中，  
根据配管条件或动作条件，  
若温度降低有可能产生内部结露，  
从而导致润滑脂的劣化、流出，造成  
寿命缩短或动作不良。

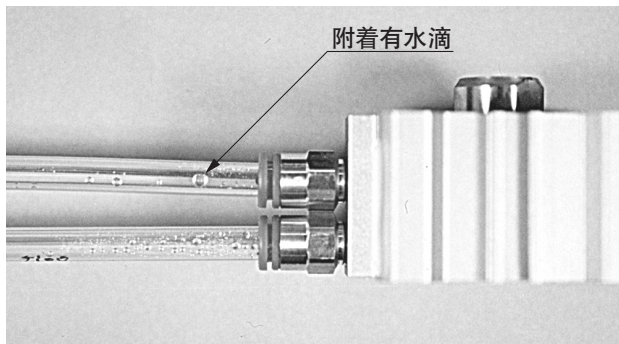
此部分，作为结露对策或事前处理的  
一点帮助，请灵活利用。



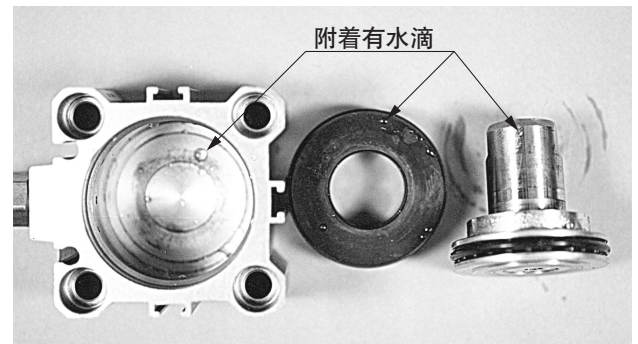
# 1. 结露现象

## ●所谓气动系统的结露

气动系统中，配管内部等有可能产生水滴，从而影响元件的动作或寿命。因此，通常供给的压缩空气会经过空气干燥机等除湿后送到系统中。但是，伴随着装置的小型化、高速化的要求，在使用小型执行元件的场合，即使使用除湿过的空气，也会产生结露，引起故障。照片1表示的是配管内结露的状况。照片2是结露的水分浸入气缸内。

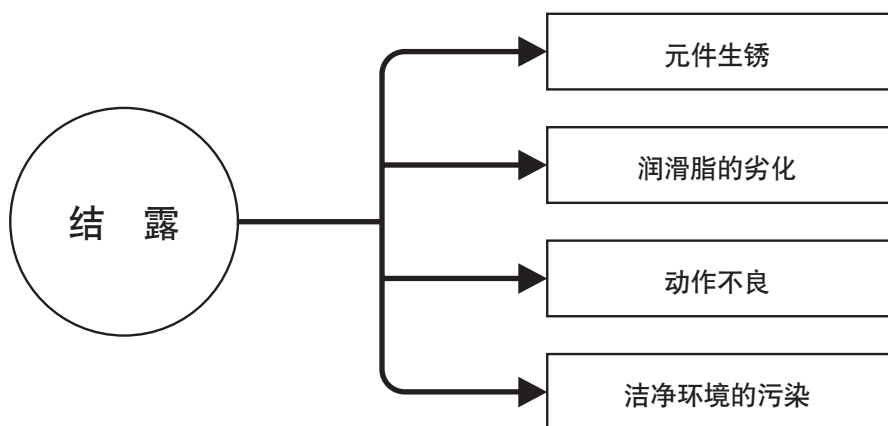


照片1 配管内部结露状况



照片1 结露的水分浸入气缸的状况

## ●结露会导致什么后果?



## 2. 结露的机理

以小型气缸驱动系统为例，对配管内部的结露机理作如下说明。

### 2-1 关于绝热膨胀

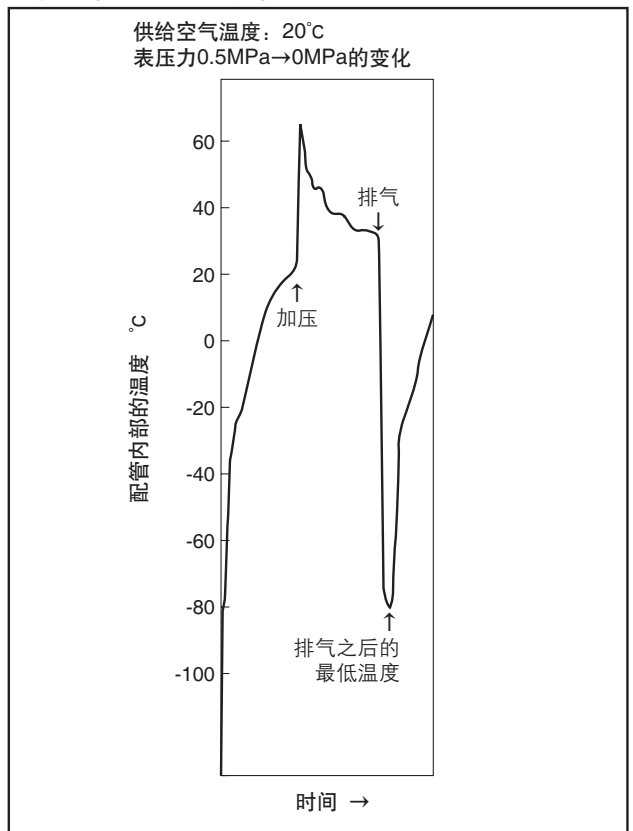
气缸和电磁阀之间的配管内，在排气时，由于绝热膨胀会造成温度降低。

若供给空气的表压力为 $P_s$  [MPa]、温度为 $T_s$  [°C]、则绝热膨胀后的温度 $T_l$  [°C]为

$$T_l = (T_s + 273) \times \left( \frac{0.1}{P_s + 0.1} \right)^{0.286} - 273$$

例如：27°C、0.5MPa的空气变为大气压时的绝热膨胀，通过计算温度会降低至-93°C左右。根据右图的配管内部温度测量结果，测量到温度降低至-80°C左右。

配管内部温度测量结果

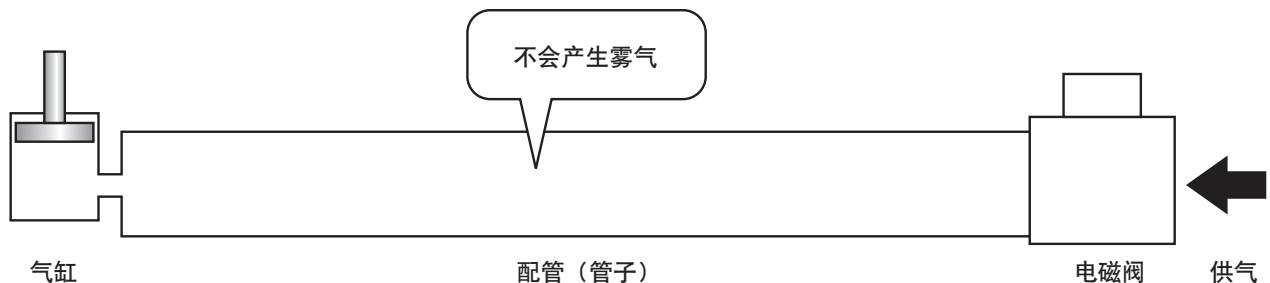


### 2-2 关于发生结露的机理

#### ① 供气

【没有雾气产生】

打开电磁阀，压缩空气一下子流入低压状态的配管内。此时，原配管内的空气被压缩，温度上升，不会产生雾气。



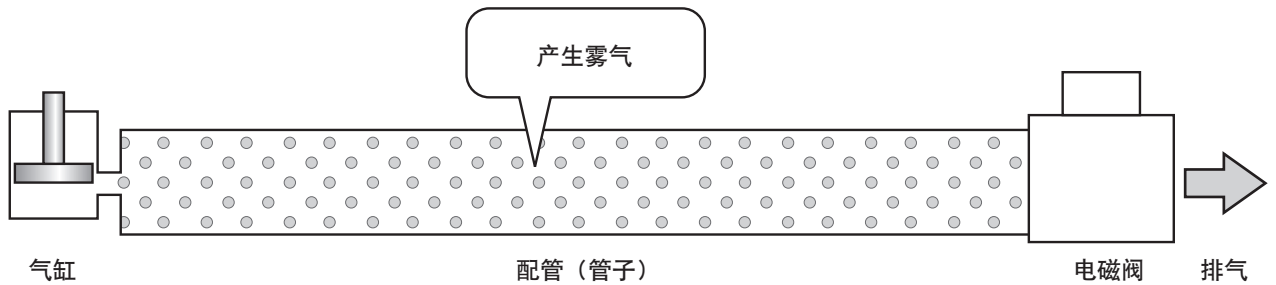
注) 在实际配管时，配管过长，相对于气缸容积配管容积大的场合较多，因此相对于气缸、图示配管较大。

## ②排气

### 【温度降低→产生雾气】

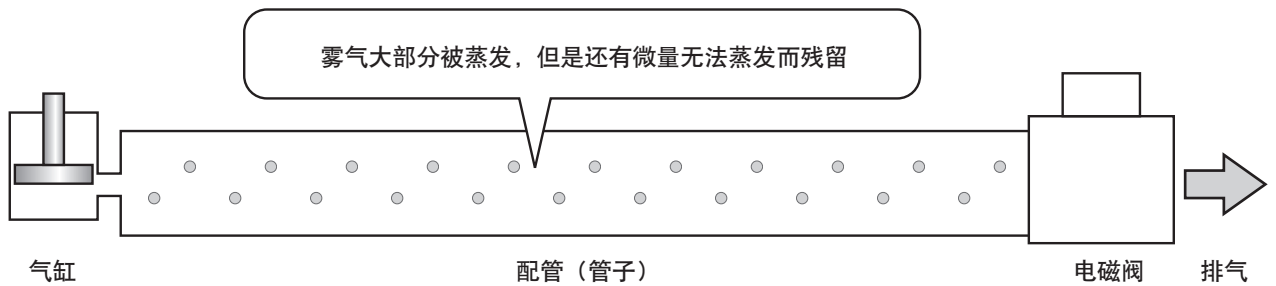
切换电磁阀，配管内的空气一下子被排出，配管内的压力急剧下降（绝热膨胀），温度降低。供给空气的大气压露点为  $T_i$  (°C)，若绝热膨胀后降低的空气温度  $T_l$  (°C) 低于大气压露点，毋庸置疑会产生雾气。

$$T_l < T_i$$



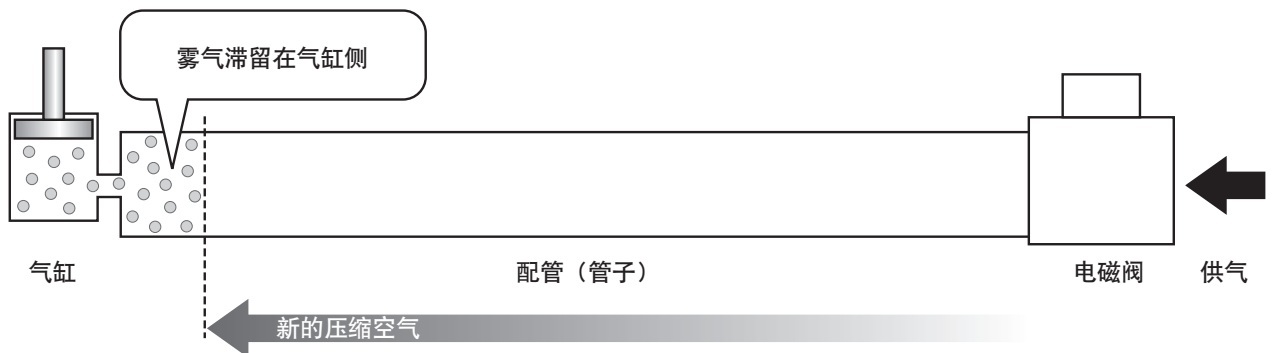
### 【雾气的蒸发、部分残留】

产生的雾气大部分会随着周围的热气蒸发掉。但是，仍有一部分难以蒸发掉而残留在配管内。



## ③供气

切换电磁阀，由于供给了新的压缩空气，②时残留的雾气滞留在气缸侧。

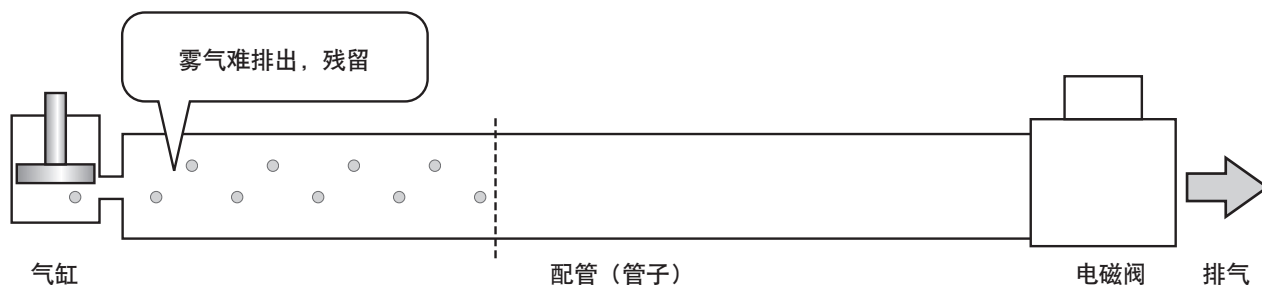


## 2. 结露的机理

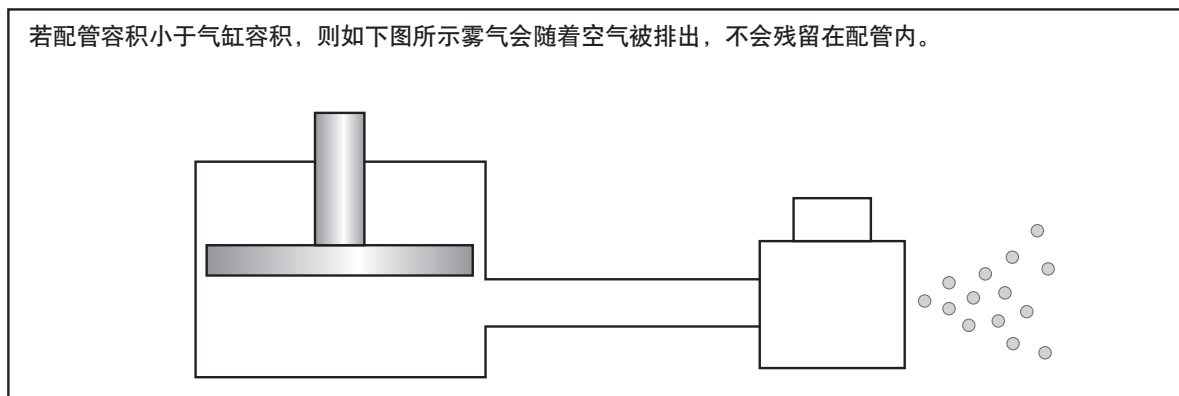
### ④ 排气

【配管容积大（配管长度长）→雾气存留】

气缸缸径小、配管长、即配管容积大于气缸容积的场合，排气时，气缸内的空气不能完全被压入配管内，雾气会存留在配管内。



若配管容积小于气缸容积，则如下图所示雾气会随着空气被排出，不会残留在配管内。



### ⑤ 供气—排气的重复

【结露】

伴随着气缸的重复动作，留存在气缸侧的雾气越来越多，最终成为水滴而结露。



通过观察上述机理，我们明白是否结露是受气缸容积与配管容积的大小影响的。

因此如下所示，将配管容积与气缸内的压缩空气换算为大气压状态下的体积的比，定义为容积比  $Kv$ 。

$$Kv = \frac{Vt}{Vc} \times \frac{0.1}{Ps+0.1}$$

$Vt$ ：配管的容积 [cm<sup>3</sup>]

$Vc$ ：气缸的容积 [cm<sup>3</sup>]

$Ps$ ：供给空气的表压力 [MPa]

$Kv > 1$  的场合结露的可能性大。

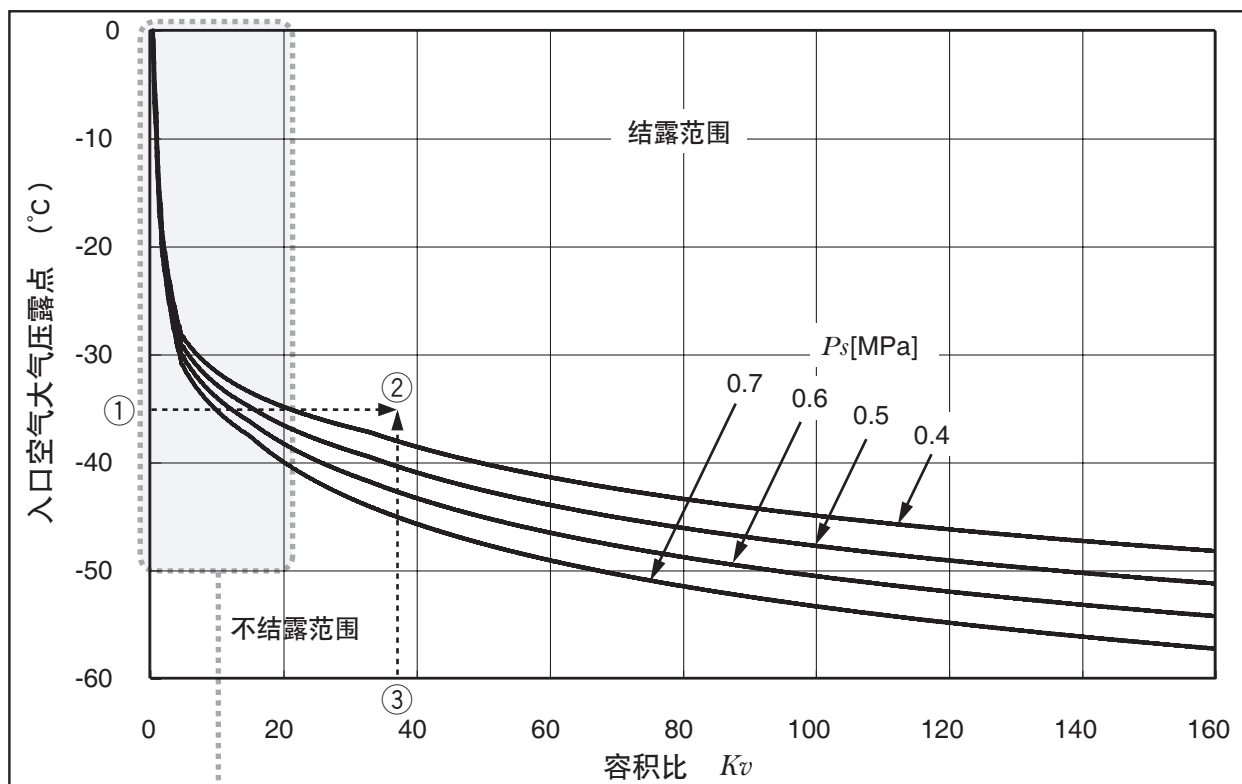
缩短配管长度等，使  $Vt$  变小的话，结露的可能性则减小。

### 3. 结露的判定

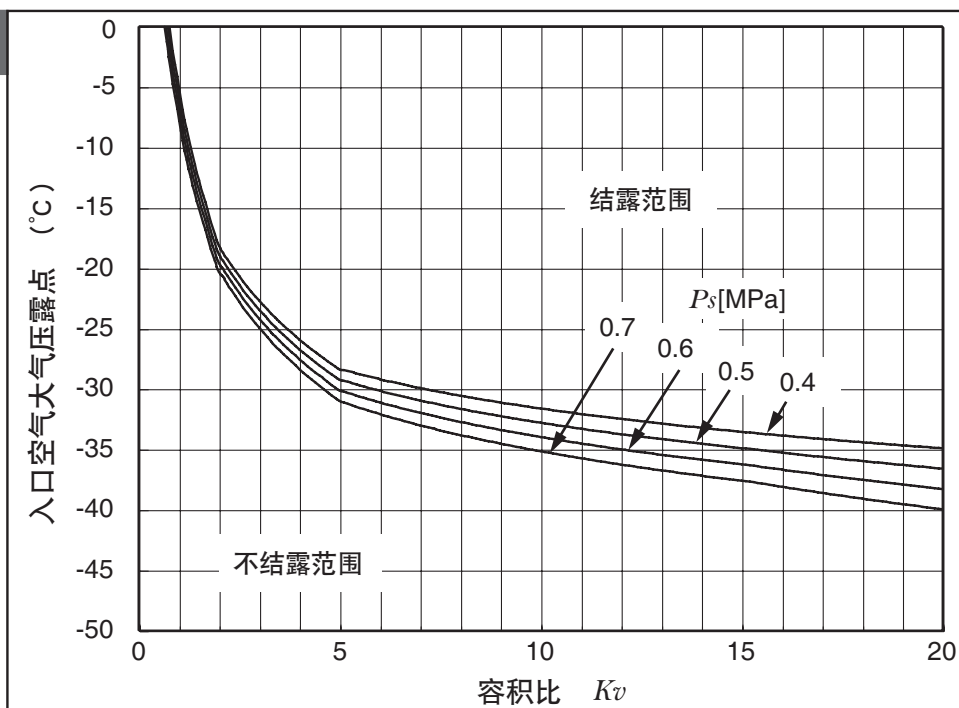
是否结露主要受容积比、供给空气的湿度及压力等影响。  
可通过下面的判定线图或判定程序进行概略判定。

3-1 结露判定线图

条件  
电磁阀切换间隔：ON 1秒、OFF 1秒  
配管材质：聚氨酯



放大图



## 4. 结露对策

依据上述的结露发生机理，可以进行下述的防护对策。

### ● 空气质量对策

含有水分多的压缩空气，容易结露导致气动元件动作不良。因此，推荐参考结露判断线图或气动元件选定程序的结果，在气动元件之前安装空气干燥机。关于空气干燥机的选择，可利用气动系统省能程序。

### ● 配管容积对策

缩短供排气阀与执行器间的配管长度，研讨配管直径，尽可能的减小配管容积。  
(我们备有最细2mm内径的管子)

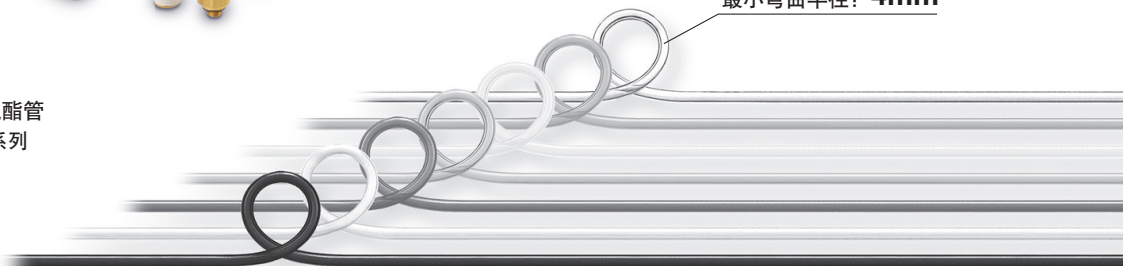
ø2快换管接头  
KQ2 系列



ø2微型管接头  
M 系列



ø2聚氨酯管  
TU 系列



### ● 配管材料对策

内部结露是由于绝热膨胀的隔热冷却而造成的，因此配管材料应选用铜管等导热性好的材料。

### ● 使用压力对策

内部结露随着配管容积越大、使用压力越高，越容易发生，因此应尽可能的降低使用压力。

### ● 根据供排气进行对策

单独设置供排气管路，或提高配管的排气速度，会有一些的效果。代表例如下所示。

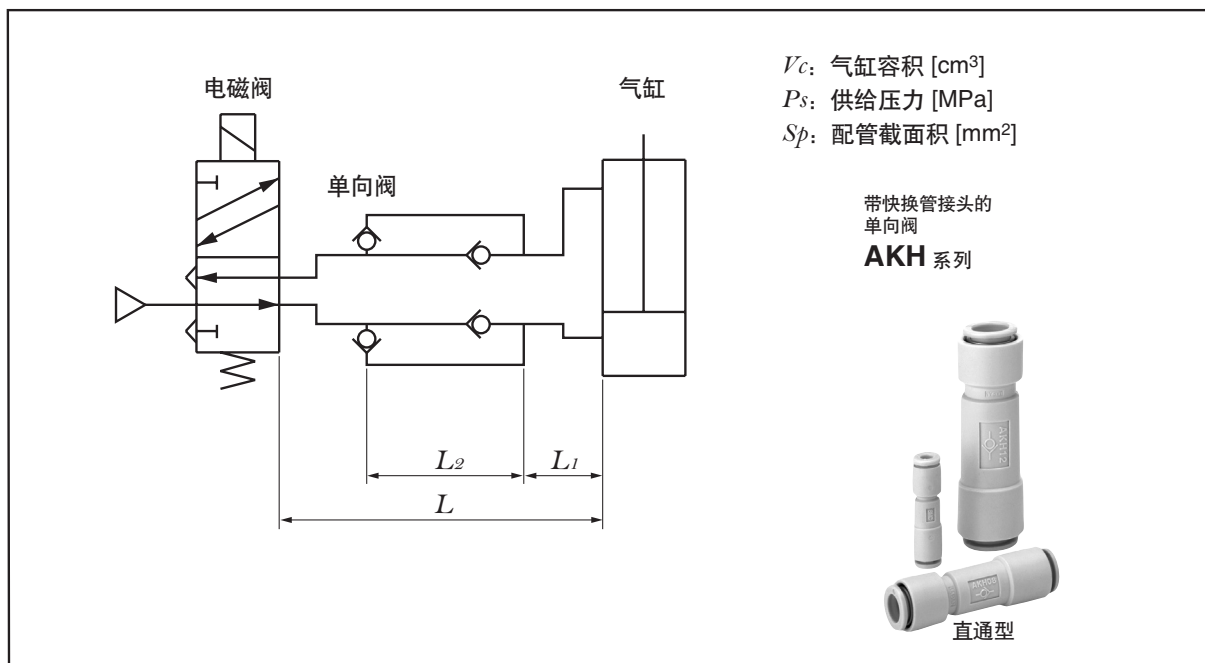


## ① 旁通配管法

使用单向阀和旁通配管，通过使供气和排气的单向通行，可充分进行空气的交换。

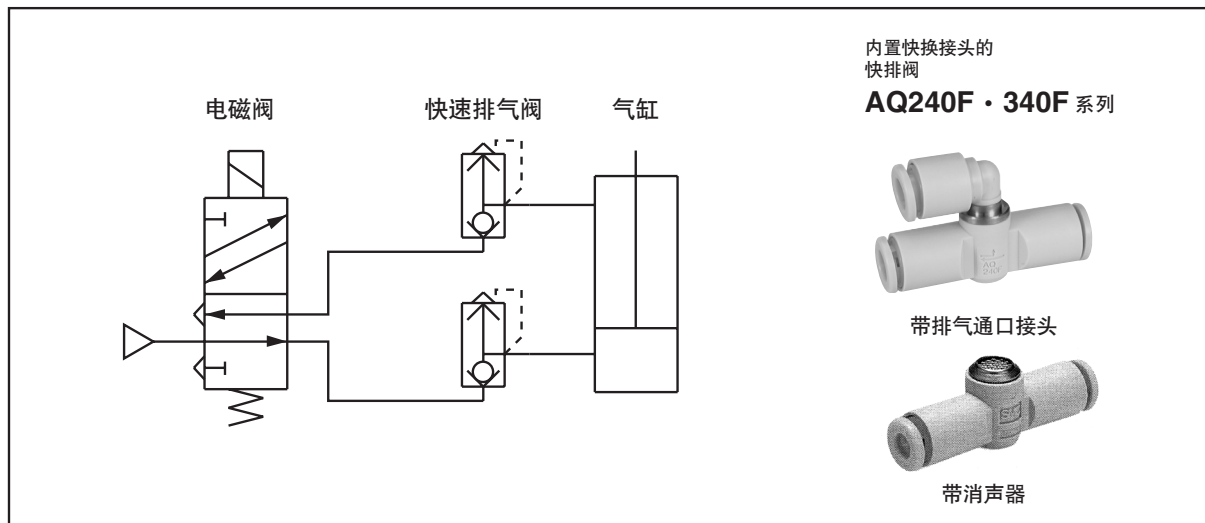
旁通配管设置位置应比  $L_1: \frac{V_c}{Sp} \times \frac{Ps+0.1}{0.1}$  小，尽量设置在气缸侧。

旁通配管的长度  $L_2$ : 约全长  $L$  的20%



## ② 快速排气阀法

将快速排气阀安装在气缸附近，气缸内的空气直接排至大气。



# 5. 附录

## ●饱和水蒸气量

空气中含有少量呈水蒸气形态的水分。其含有量随空气温度而达到上限。超过此上限，过多的水蒸气会凝缩为水滴。这个含有量的上限称为饱和水蒸气，如下表所示，1m<sup>3</sup>的空气中含有的水蒸气量用g表示。

饱和水蒸气量表(单位g/m<sup>3</sup>)

|                 |       | 按1°C单位上升的温度 °C |       |       |       |        |        |        |        |        |       |
|-----------------|-------|----------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
|                 |       | 0              | 1     | 2     | 3     | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9     |
| 按10°C单位上升的温度 °C | 90    | 420.1          | 433.6 | 446.5 | 464.3 | 480.8  | 496.6  | 414.3  | 532.0  | 550.3  | 569.7 |
|                 | 80    | 290.8          | 301.7 | 313.3 | 325.3 | 337.2  | 349.9  | 362.5  | 375.9  | 389.7  | 404.9 |
|                 | 70    | 197.0          | 204.9 | 213.4 | 222.1 | 231.1  | 240.2  | 249.6  | 259.4  | 269.7  | 280.0 |
|                 | 60    | 129.8          | 135.6 | 141.5 | 147.6 | 153.9  | 160.5  | 167.3  | 174.2  | 181.6  | 189.0 |
|                 | 50    | 82.9           | 86.9  | 90.9  | 96.2  | 99.6   | 104.2  | 108.9  | 114.0  | 119.1  | 124.4 |
|                 | 40    | 51.0           | 53.6  | 56.4  | 59.2  | 62.2   | 65.3   | 68.5   | 71.8   | 75.3   | 78.9  |
|                 | 30    | 30.3           | 32.0  | 33.8  | 35.6  | 37.5   | 39.5   | 41.6   | 43.6   | 46.1   | 48.5  |
|                 | 20    | 17.3           | 18.3  | 19.4  | 20.6  | 21.8   | 23.0   | 24.3   | 25.7   | 27.2   | 28.7  |
|                 | 10    | 9.40           | 10.0  | 10.6  | 11.3  | 12.1   | 12.8   | 13.6   | 14.5   | 15.4   | 16.3  |
|                 | 0     | 4.85           | 5.19  | 5.66  | 5.95  | 6.35   | 6.80   | 7.26   | 7.75   | 8.27   | 8.82  |
|                 | -0    | 4.85           | 4.52  | 4.22  | 3.93  | 3.66   | 3.40   | 3.16   | 2.94   | 2.73   | 2.54  |
|                 | -10   | 2.25           | 2.18  | 2.02  | 1.87  | 1.73   | 1.60   | 1.48   | 1.36   | 1.26   | 1.16  |
|                 | -20   | 1.067          | 0.982 | 0.903 | 0.829 | 0.761  | 0.696  | 0.640  | 0.556  | 0.536  | 0.490 |
| -30             | 0.448 | 0.409          | 0.373 | 0.340 | 0.309 | 0.261  | 0.255  | 0.232  | 0.210  | 0.190  |       |
| -40             | 0.172 | 0.156          | 0.141 | 0.127 | 0.114 | 0.103  | 0.093  | 0.063  | 0.075  | 0.067  |       |
| -50             | 0.060 | 0.064          | 0.049 | 0.043 | 0.038 | 0.034  | 0.030  | 0.027  | 0.024  | 0.021  |       |
| -60             | 0.019 | 0.017          | 0.015 | 0.013 | 0.011 | 0.0099 | 0.0087 | 0.0076 | 0.0067 | 0.0058 |       |

饱和水蒸气量表的读法

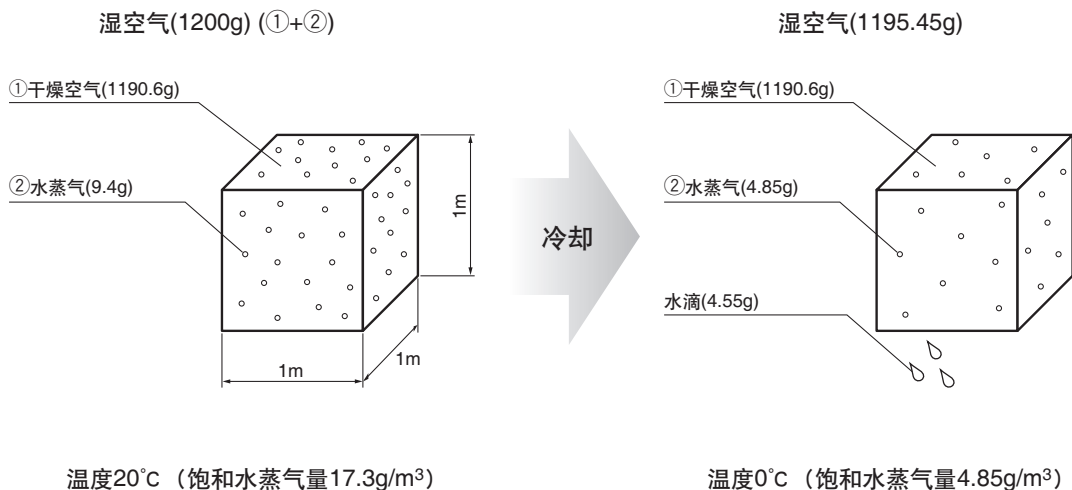
表的读法，纵列是以每10°C为单位的温度，横列是以每1°C为单位的温度。

【例】求32°C时饱和水蒸气量。

| 例<br>32°C       |    | 按1°C单位上升的温度 °C |   |      |   |
|-----------------|----|----------------|---|------|---|
|                 |    | 0              | 1 | 2    | 3 |
| 按10°C单位上升的温度 °C | 40 |                |   |      |   |
|                 | 30 |                |   | 33.8 |   |
|                 | 20 |                |   |      |   |
|                 | 10 |                |   |      |   |
|                 | 0  |                |   |      |   |

由上表选出33.8g/m<sup>3</sup>。

例如，若1m<sup>3</sup>的空气中含有9.4g的水蒸气，那温度20°C时的饱和水蒸气量是17.3g/m<sup>3</sup>，以水蒸气的形态存在。冷却至0°C的场合，饱和水蒸气量变为4.85g/m<sup>3</sup>，剩余的(9.4-4.85)=4.55g的水蒸气凝缩了。



※利用本公司的“节能程序”，可简单计算出上述例子中的凝缩水量。

## ●空气除湿规格

| 产品名        | 系列             | 出口空气的大气压露点[°C] 注) |
|------------|----------------|-------------------|
| 冷冻式空气干燥机   | IDU系列          | -17               |
|            | IDFA□E系列       | -17               |
| 高分子膜式空气干燥器 | IDG系列(-20°C规格) | -20               |
|            | IDG系列(-15°C规格) | -15               |
|            | IDG系列(-40°C规格) | -40               |
|            | IDG系列(-60°C规格) | -60               |
| 防结露管       | IDK系列          | —                 |

注) 出口空气的大气压露点为额定时的值。

### 冷冻式空气干燥机及防结露管

#### IDFA□E系列

标准进气型

额定进口空气温度：35°C, 40°C



#### IDU系列

高温进气型

额定进口空气温度：50°C, 55°C



### 高分子膜式空气干燥器

#### IDG系列

出口空气流量：10~1000 ℓ/min(ANR)



### 防结露管

#### IDK系列

湿气控制





## SMC(中国)有限公司

地址: 北京经济技术开发区兴盛街甲2号  
电话: 010-67885666  
<http://www.smc.com.cn>

邮编: 100176  
传真: 010-67882335

## | SMC代理商