

TIME

压缩气体

空气处理

为保证控制系统与工作元件稳定运行，要保证空气供给：

- 在需要的压力
- 干燥
- 并且洁净

如果这些条件不满足，系统媒介短缺的恶化将加速。这将导致机器停工并增加用于维修以及更换零件的费用。

压缩空气的产生由压缩开始。压缩后的空气在到达用气设备前要流经一系列元件。压缩机的类型和安装位置或多或少地会影响到进入气动系统中的灰尘颗粒，油或水的量。空气的产生与处理中需要用到的设备包括：

- 入口过滤器
- 空气压缩机
- 空气贮存器
- 空气干燥器
- 带水分离器的空气过滤器
- 稳压器
- 空气润滑剂 (如果需要)
- 排水点

未经正确处理的压缩空气将不可避免地导致故障并且可能使系统发生：

- 气缸和阀中的运动部件的密封装置快速磨损
- 阀的浸油
- 消音器污染
- 管线、阀、气缸和其它元件的腐蚀
- 运动元件中润滑剂的吹散

如果发生渗漏或压缩空气逸散，则可能对待加工原料造成影响 (如食品)。

作为规则，气动元件的最大设计操作压力为 800 至 1000 kPa (8-10 bar)。然而实际经验表明，经济型操作压力应该为大约 600 kPa (6 bar)。由于气路约束，弯曲，渗漏以及管线运行损耗，对于系统不同的管线直径和布局方法，会有 10 至 50 kPa (0.1 至 0.5 bar) 的压力损失。压缩机应提供至少 650 至 700 kPa (6.5 至 7 bar) 的压力以获得期望的操作压力 600 kPa (6 bar)。

空气压缩机

应按照空气量，压力，质量，清洁以及干燥程度来从众多类型的压缩机中选择。按照压缩机的种类，又可以分为多种标准类型。

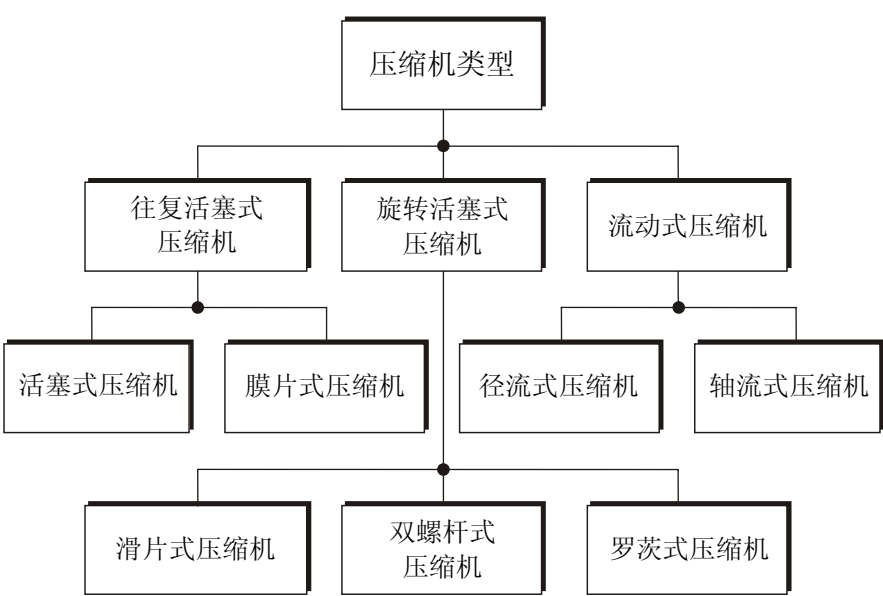


图. 2.1
压缩机类型

活塞杆把从入口阀进入的空气压缩，然后传递到出口阀。

往复式压缩机很常见，其输出压力与传送率范围宽泛。为获得更高的压力而使用多级压缩，各级压缩间使用中间冷却。

往复式活塞式压缩机最适宜的输出压力范围约为：

- | | | |
|--------------|------------|--------|
| 最高至 400 kPa | (4 bar) | 单级压缩 |
| 最高至 1500 kPa | (15 bar) | 双级压缩 |
| 大于 1500 kPa | (> 15 bar) | 三或多级压缩 |

TIME

往复活塞式压缩机也可以输出以下范围的压力，但不宜用于经济型操作：

最高至 1200 kPa	(12 bar)	单级压缩
最高至 3000 kPa	(30 bar)	双级压缩
大于 3000 kPa	(> 30 bar)	三或多级压缩

膜片式压缩机 膜片式压缩机属于往复活塞式压缩机，它使用隔膜将压缩腔与活塞隔开。这样做的好处是可以防止压缩机中的油进入到压缩空气中。所以膜片式压缩机适用于压缩空气中不能有油混入的场合，例如食品工业，制药工业以及化学工业。

旋转活塞式压缩机 旋转压缩机使用旋转部件压缩空气并使空气的压力增高。在压缩过程中，压缩腔不断缩小。

螺旋式压缩机 两个螺旋形的杆(转动体)朝相反方向旋转。两螺旋杆的啮合面使空气高速流动，从而将其压缩。

流动式压缩机 流动式压缩机尤其适用于大用气量的场合。流动式压缩机分为轴向和径向。一个或若干涡轮使空气加速流动，动能转化为压力能。轴流压缩机的桨叶使轴向上的空气加速。

为了使压缩机的输出误差量满足波动误差要求，压缩机需要进行稳压调节。压缩机的输出量稳定在可调的上限与下限压力内。下面是几种不同的稳压方式：

稳压器

- 空转稳压 卸载稳压
 截止稳压
 爪稳压
- 减载控制 速度调节
 抽气减速控制
- 断续控制

卸载稳压中，压缩机装配有减压阀。当达到设定压力时，减压阀打开，压缩空气排入大气。单向阀防止气罐内气体排空。这种稳压器只用在很小的系统上。

空转稳压

使用截止稳压时，吸气端被截止，压缩机没有空气输入。这种稳压方式主要用于旋转活塞压缩机中。

在大活塞压缩机中，使用爪稳压。爪使抽气阀打开，压缩机不压缩任何空气。

速度调节中，达到一定压力后便对压缩机的驱动马达速度进行调节。

减载控制

抽气减速控制中，通过压缩机的抽气连接中的限流器来实现稳压控制。

应用这种控制方式时，假设了压缩机的工作条件为“满载”和“正常”。当达到 p_{max} 后，压缩机的驱动马达停止；达到 p_{min} 后马达起动。

断续控制

建议压缩机的有荷因数为 75% 左右。要实现建议的有荷因数，需要确定气动系统的平均和最大用气量，并以此为基础选择合适的压缩机。如果计划系统扩充，用气量增加，那么压缩空气供给部分设计时要提高供气量，因为已竣工的供气系统后续扩展费用很高。

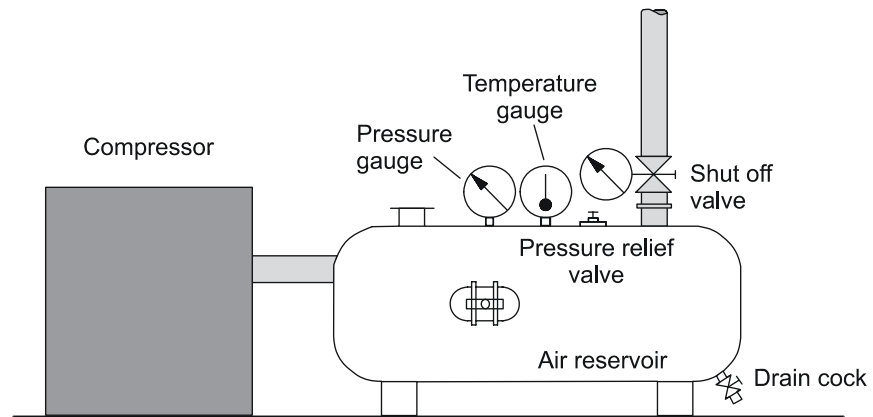
有荷因数

蓄能器

蓄能器安装在压缩机的下游，用来稳定气压。系统用气时，蓄能器用来补偿系统的压力波动。如果蓄能器的压力降低到某个值时，压缩机会起动，进行压力补偿，直到达到设定的上限压力值。这样做的优点是压缩机不必连续工作。

蓄能器的表面积大，可以冷却空气。所以空气中部分水分以水的形式直接从蓄能器中分离，通常通过排水口排出。

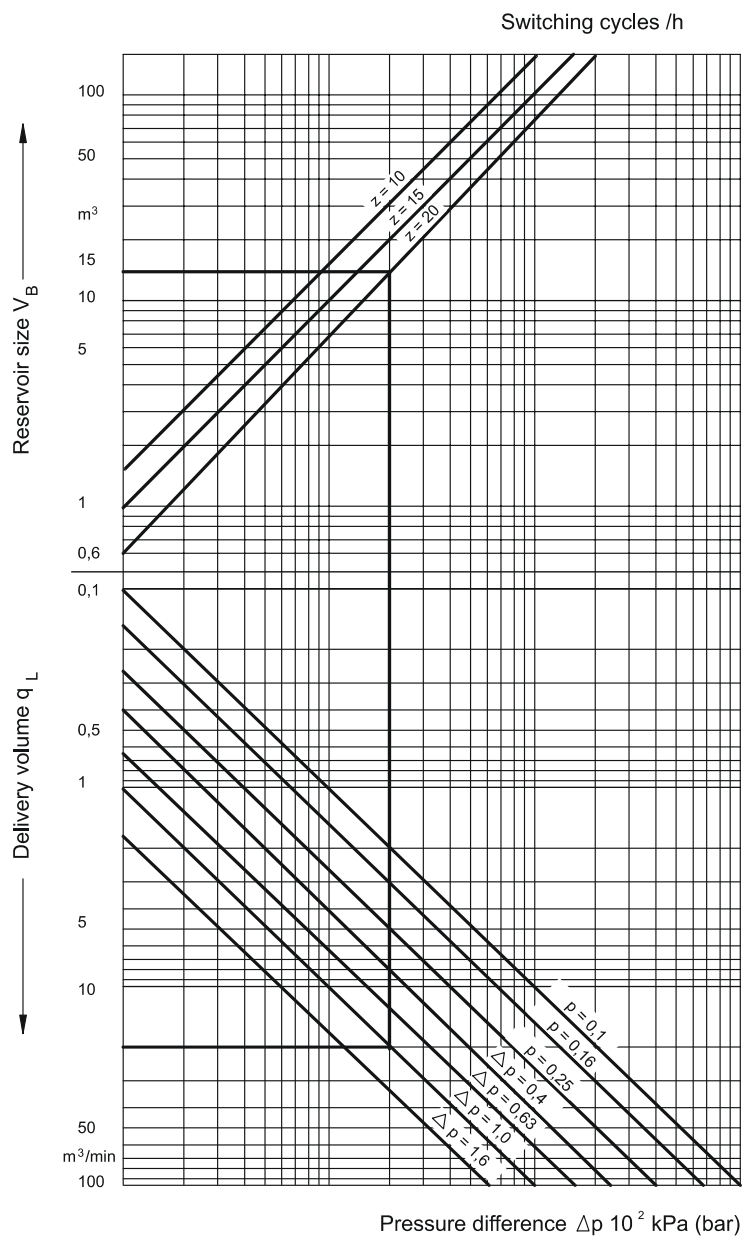
图. 2.2
蓄能器



压缩空气蓄能器的型号取决于：

- 压缩机的供气流量
- 系统的用气量
- 管网规模 (包含额外需求)
- 压缩机稳压器类型
- 供气网络中允许的气压降

TIME



蓄能器的容积

图. 2.3

图表：确定蓄能器的容积

供气流量
每小时转换周期
压力差
结论：

$q_L = 20 \text{ m}^3/\text{min}$
 $z = 20 \text{ 1/h}$
 $\Delta p = 100 \text{ kPa (1 bar)}$
蓄能器容积 $V_B = 15 \text{ m}^3$ (参考上图)

例子

空气干燥器

冷凝液 (水) 通过压缩机的进气口进入供气网络。冷凝液的积聚主要取决于相对空气湿度。相对空气湿度则取决于气温以及天气状况。

绝对湿度是 1 m^3 的空气中所含水蒸气的实际质量。饱和量是一定温度下 1 m^3 的空气最多能吸收的水蒸气的质量。

如果需要用百分比来表示相对湿度，则可以用以下公式计算：

$$\text{相对湿度} = \frac{\text{绝对湿度}}{\text{饱和量}} \cdot 100\%$$

由于饱和量取决于温度，所以温度变化时即使绝对湿度不便，相对湿度也会发生变化。如果达到露点，相对湿度增高到 100%。

露点 露点温度是相对湿度达到 100% 时的温度。露点越低，就有越多的水凝结，空气中的水分降低。

如果元件供气系统中含有过多的水分，气动系统的寿命会大大降低。所以安装空气干燥设备很必要，它可以使气体中的水分含量符合元件运行要求。降低空气中的水分还有以下三种辅助措施：

- 低温干燥
- 吸附干燥
- 吸收干燥

压力露点 比较不同的干燥系统时需要考虑到系统的操作压力。本书中使用的“压力露点”指的是在工作压力下进行干燥时空气的露点温度。

环境温度很低时，干燥过的空气的压力露点也应在约 2 至 3 °C。

安装空气干燥设备后系统的维护费用以及系统停工时间会减少，系统的稳定性会增加，安装空气干燥设备的费用会很快得到补偿。

现今最常用的干燥方法是冷却干燥。冷却干燥过程中，压缩空气会通过一套热交换系统，其中有冷却剂流过。其目的是降低空气的温度使其达到露点，确保空气中水分凝结，使湿度降低到要求水平。

进入冷却干燥器的空气先在一个热交换器中预冷，这个热交换器使用的是逸散的冷空气。空气被冷却到 + 2 至 + 5 °C 间。干燥过的压缩空气还要经过过滤。压缩空气进入到管线前还要经过加热，使其恢复到环境温度。

利用冷却方法，可以使露点达到 + 2 至 + 5 °C 间。

低温干燥

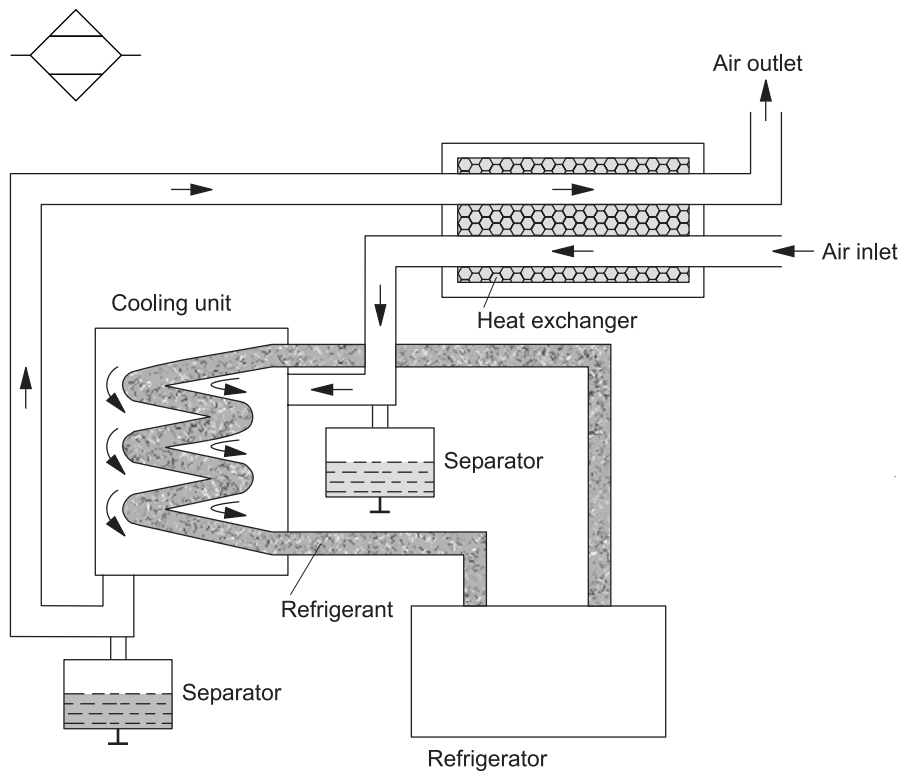


图. 2.4
低温干燥

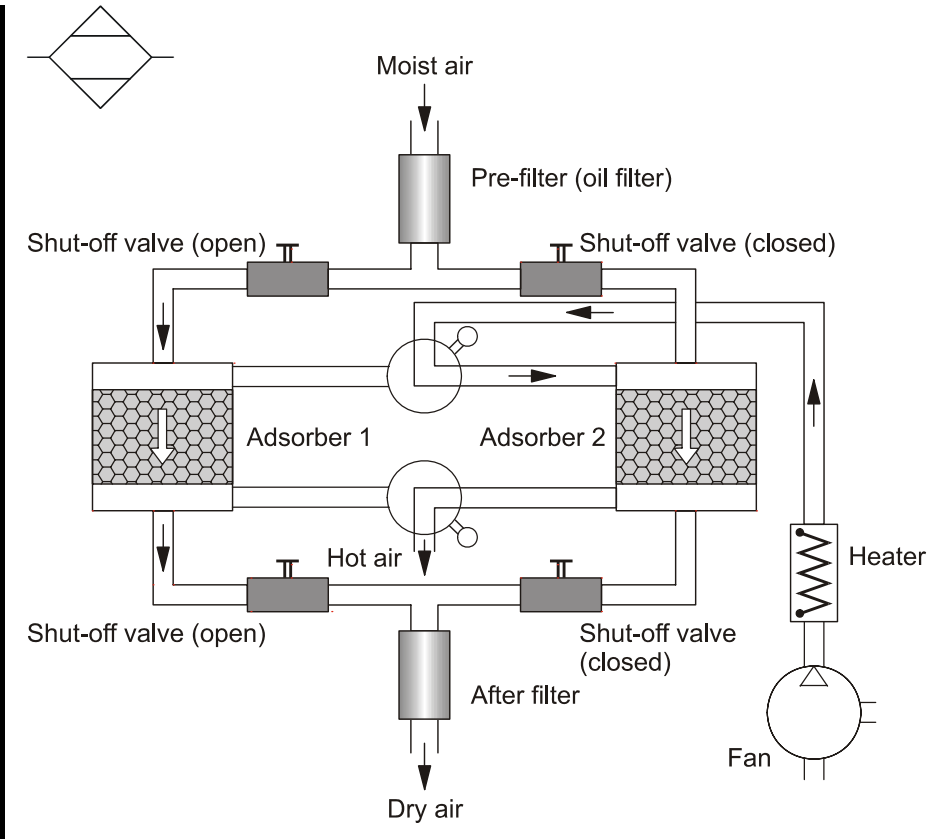
吸附干燥器 吸附是指水分沉积在固体的表面。

干燥剂是一种颗粒状物质 (凝胶体)，基本上全部由二氧化硅组成。

通常使用两个吸附箱。当其中一个饱和后，气流便转向第二个干燥的吸附箱，热空气将第一个吸附箱烘干。

应用吸附干燥可以使最低等价露点降低到 $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

图. 2.5
吸附干燥器



吸收：固体或液体物质吸收气体物质。

吸收干燥器

吸收干燥是纯化学过程。吸收干燥的现实意义不大，因为吸收干燥的运行成本太高而且在多数应用中效率极低。

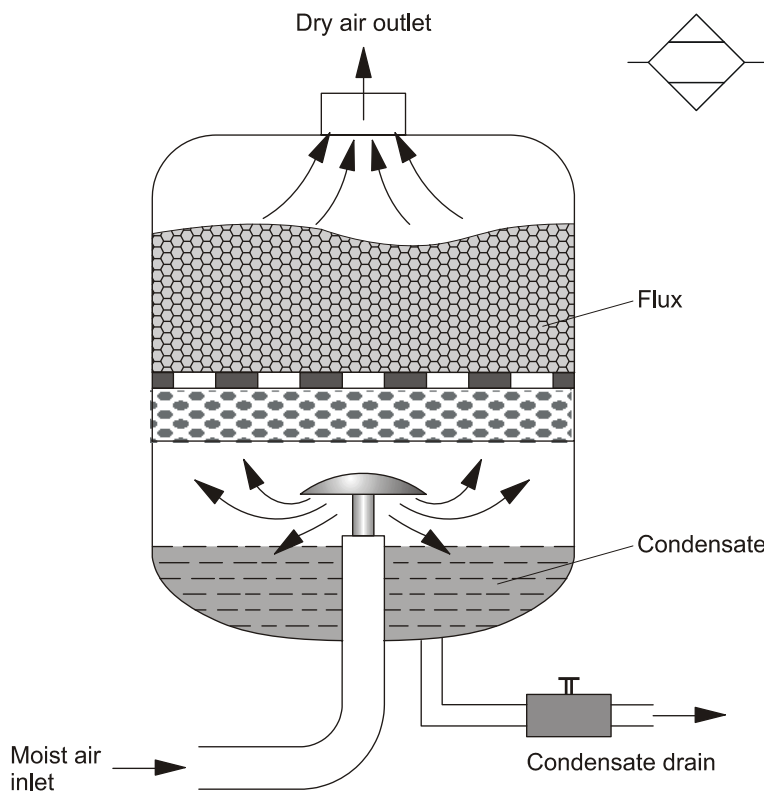


图. 2.6
吸收干燥器

油蒸汽和油粒子在吸收干燥器中被分离。压缩空气中的湿气与干燥箱内的干燥剂形成一种化合物。这使得干燥剂分解，然后以液体的形式从干燥箱的底部流出。

这种化合物要定期排出，同时吸收剂也要定期更换。

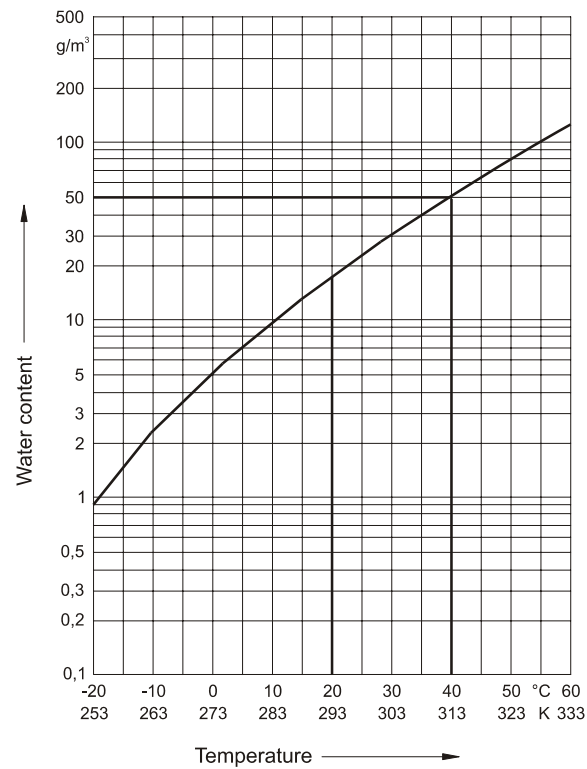
吸收过程的特点是：

- 设备安装简便
- 由于干燥器里没有运动部件，所以机械磨损很低
- 不需要外部能源

TIME

干燥器的出口处必须安装滤尘器，以防止吸收剂进入到气路中。
应用吸收干燥可以使压力露点达到 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。

图. 2.7
露点图



TIME

吸气量	1000 m³/h	计算题例
绝对压力	700 kPa (7 bar)	
每小时压缩气体体积	143 m³	
吸入气体温度	293 K (20 °C)	
压缩后气体温度	313 K (40 °C)	
相对湿度	50%	

压缩前水含量：
通过查表可以得到 293 K (20 °C) 时的水含量：
100% = 17.3 g/m³
因此 50% = 8.65 g/m³
计算得 8.65 g/m³ • 1000 m³/h = 8650 g/h

压缩后水含量：
通过查表可以得到 313 K (40 °C) 时的水含量：
51.1 g/m³
计算得 51.1 g/m³ • 143 m³/h = 7307 g/h

所以压缩机分离的水质量为：
8650 g/h - 7307 g/h = 1343 g/h.

压缩空气的分配

为确保空气分配的可靠与无故障，需要遵守以下几点。主要包括：为系统选择合适的管线型号，管线材质，流阻，管线布局以及维护。

新安装管线系统时，需要考虑到压缩空气供气网络的扩展问题。干路管线型号除需满足现有设计要求外，还应留有必要的安全余量。管接头与截止阀可以使以后的系统扩展更容易完成。

选择管线型号

由于流阻的存在，所有管线都会有压降。限流器，管线弯曲，分支，装配也会造成压降。这些压降需要由压缩机来补偿。整个供气网的压降要尽可能小。

TIME

若想计算压降，首先要知道管线的总长度。装配，分支，弯曲要换算成等价管线长度。管线的内径也要根据操作压力与压缩机供气量而定。可以利用诺模图来确定系统的最佳参数。

流阻 管线系统内的任何方向变化都会产生气流干涉，从而增大流阻。这将造成管线系统的持续压降。由于任何压缩空气网络中都会有分支，弯曲，适配器与装配，所以这类压降是不可避免的。但通过适当的布线，选择合适材料以及合理的装配可以有效降低这种压降。

管线材料 要按照现代压缩空气网络的要求选择合适的管线材料：

- 低压力损失
- 无渗漏
- 抗腐蚀
- 系统扩展能力

选择管线材料时，不要只考虑管线每米的运行成本，同时还要考虑到另一个主要因素 — 安装成本。使用塑料管线可以大大降低安装成本。通过密封或装配，塑料气管可以达到 **100%** 密封，并且可以方便地扩展。

铜，钢或铁管采购成本低，但必需要焊接或使用螺纹连接器连接。如果操作不当，金属屑，锈，焊接颗粒或密封材料就可能进入到系统中，这可能会造成较大的故障。中小管径中，塑料气管的价格，安装，维护以及扩展的方便性要优于其它材料的气管。

网络中存在压力波动，这就要求管线连接牢固以避免螺纹或焊接连接处的渗漏。

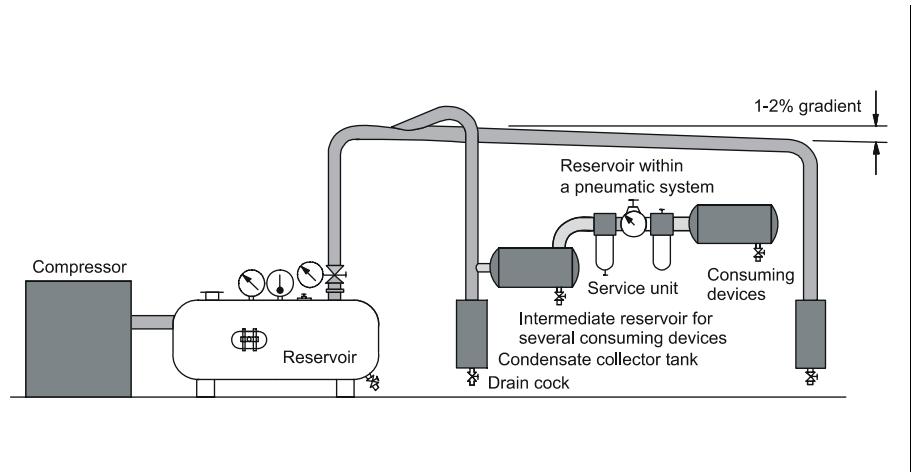


图. 2.8
供气系统

除了管线的正确选型，管线材料的质量外，正确的布线是压缩空气系统经济运行的决定性因素。压缩机定期向系统中鼓入压缩空气。系统的用气量通常只会短时间上升，这会给压缩空气网络带来不利的影响。因此建议将压力线路布线为主干环形网络。大用气量时，主干环形网络可以保证系统压力的恒定。

气管布线

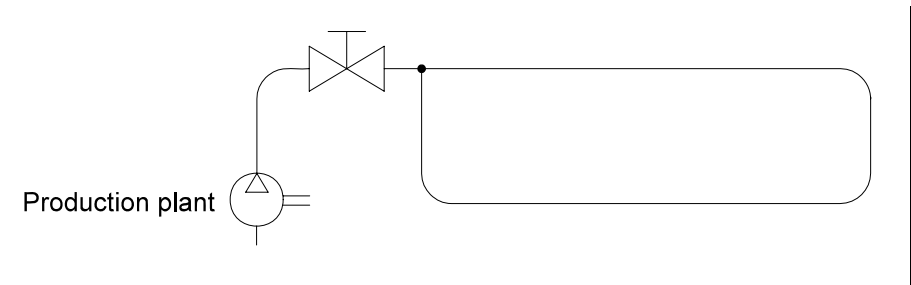
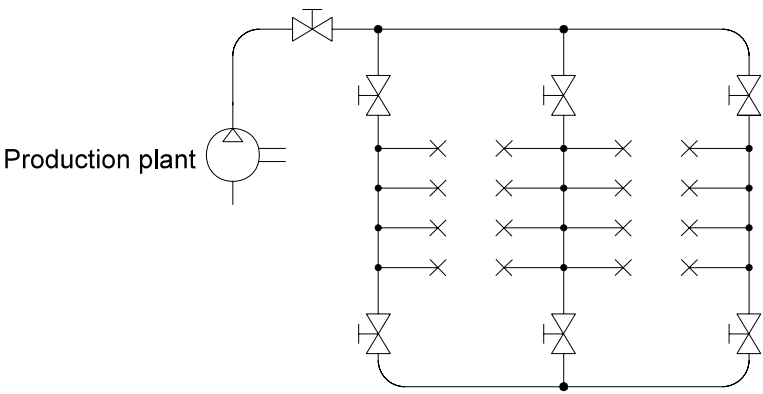


图. 2.9
环路

为保证维护、维修的便利性以及网络扩展时不影响全局气体供应，建议将网络分为独立的子区域。T 型分支接头，带有连接插头的多路分支器可以完成上述功能。可以将支路配备标准的球阀或截止阀。

图. 2.10
互联气路



尽管压缩系统已尽量将空气中的水分分离，压降以及外置冷却也会使管线中产生冷凝物。为排出这些冷凝物，气管应有 1-2% 的斜度；或以台阶式布置气管。冷凝物可以通过系统最低点处的水分离器排出。

空气净化装置

压缩空气的处理有几种，例如过滤，调压，润滑等。可以用单独的元件实现，也可以将元件组合起来，例如空气净化装置。空气净化装置安装在气动系统的上游进气端。

高级系统中一般不使用润滑器。润滑器只用在特定环境下，例如主要应用于系统的动力部分。压缩空气控制部分不需要润滑。

冷凝水，污染物以及过量的油会导致气动元件运动部件和密封装置的磨损。如发生渗漏，这些物质会溢出。如果不使用过滤器，例如食品工业，制药或化学工业中的原料就会受到污染而不能使用。

压缩空气过滤器

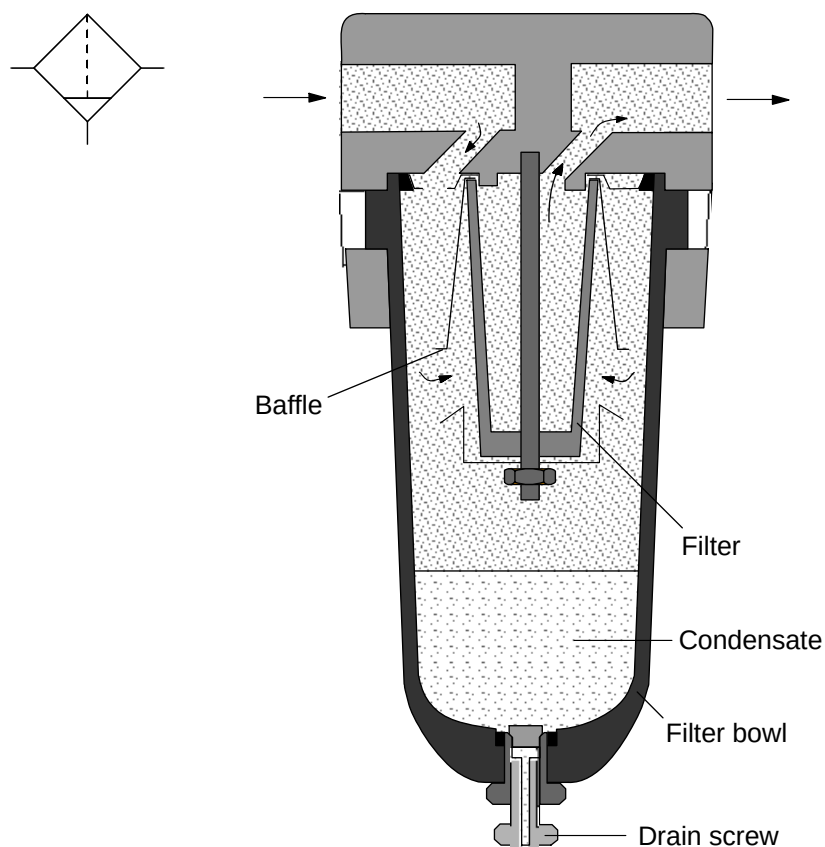


图. 2.11
压缩空气过滤器

正确选择过滤器决定了使用压缩空气的执行系统的质量与性能。压缩空气过滤器的一个特性是它的孔径大小。过滤器孔径的大小表示了可以从压缩空气被滤出的最小颗粒的大小。冷凝液液面在达到上限前要将其排出，否则水分会重新进入到气流中。

TIME

如果冷凝液经常会大量积聚，可以考虑在手动排水点安装自动排水装置。在这种情况下需要确定冷凝液积聚的原因，例如，不合适的布线会导致冷凝液的积聚。

自动排水装置用浮子来检测杯中冷凝液的液面高度，当达到上限高度时一个阀座打开，将冷凝液通过排水管排出。如果液面回落到最小值，阀座关闭，排水过程结束。过滤器杯也可以手动排空。

压缩空气由过滤器的左侧流向右侧，流过过滤器杯时要通过一个隔板。隔板的作用是使气流旋转，较重的尘埃颗粒和小水滴由于离心力的作用被甩到过滤器杯的内壁上，然后流下集中到过滤器杯的下部。以这种方法预净化过的空气随后流过过滤材料，小尘埃颗粒被滤出。这里使用的过滤材料是一种多孔高渗水的烧结材料。分离度大小取决于过滤材料的孔径大小。过滤器可以安装不同孔径的过滤材料，常用的孔径在 5 至 40 微米间。

压缩空气过滤器一个更为重要的特性是分离度，或称过滤效率，它表示特定尺寸的粒子中可被滤出的百分比。过滤效率指的是对特定尺寸粒子的效率，例如：5 微米的过滤效率为 99.99%。使用微孔过滤器，可以使大于 0.01 μm 的微粒中的 99.999% 被滤出。

经过长时间的使用或在污染严重的条件下，压缩空气过滤器仍然有过滤作用。但在这种条件下，压降变得不成比例的高，过滤器变成一个耗能元件。

为确定应何时更换过滤材料，需要观察过滤器或测量过滤器进出口的压力差。

由于压缩空气的特性、元件用气量以及过滤器大小的不同，压缩空气过滤器所需的维护工作量也不同。维护工作包括：

- 更换或清洗过滤材料
- 排放冷凝液

清洗过滤器时，要按照制造厂商说明书上的规定选择合适的清洗剂。

压缩机输出的压缩空气会有压力波动。管线中的压力变化会对阀的换向特性，气缸运行时间以及流量控制阀和记忆阀的时间特性造成负面影响。

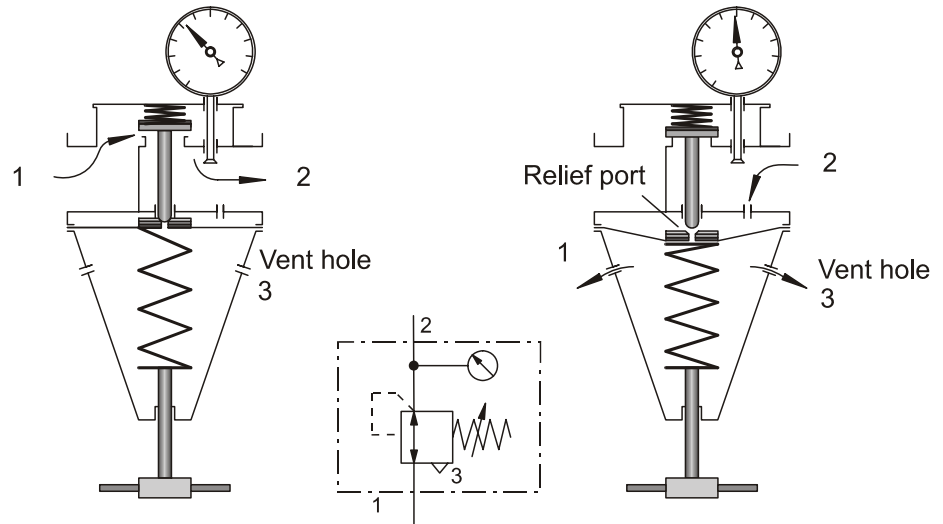
稳定的压力是气动控制系统无故障运行的前提。为了提供稳定的气压，压缩空气网络的中央位置安装了稳压器，以保证供给压力(副压力)不受主环路压力(主压力)波动的影响而保持稳定。减压器或稳压器安装在压缩空气过滤器的下游，其作用是在压力波动或系统气体消耗时保持操作压力的稳定。压力供应需要满足每个设备部分的上游压力要求。

实践表明，使压缩空气产生和元件运行效率都得到满足且最经济的系统压力约为：

- 动力部分为 600 kPa (6 bar)
- 控制部分为 300 至 400 kPa (4 bar)

过高的操作压力会导致能源利用率降低以及加速磨损，然而过低的操作压力会导致效率降低，尤其是在力部分。

图. 2.12
减压阀:
溢流型



工作原理 减压阀的输入压力(主压力)总会比输出压力(副压力)高。通过一个隔板来调节压力。输出压力作用在隔板的一侧，弹簧作用在另一侧。可以通过调节螺丝来调节弹簧的力。

当输出压力增高，例如气缸负载变化时，隔板抵抗弹簧作用力使阀座出口排气截面减小或完全封闭。隔板中央的孔打开，压缩空气可以从阀壁上的排气孔排入大气。

当输出压力下降时，弹簧力使阀导通。输出压力的稳定就是通过气流使阀座不断开闭来实现的。用一个压力表显示操作压力。

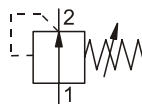
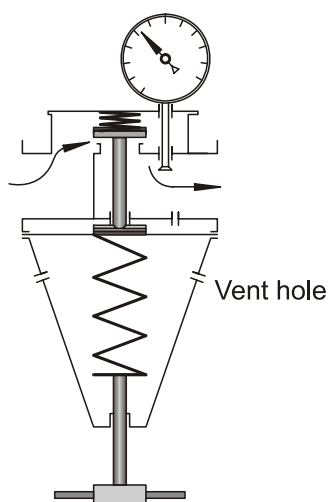


图. 2.13
减压阀:
直动型

如果副端不排气，压力会上升，隔板抵抗弹簧作用力使阀座出口排气截面减小或封闭，气流会减小或完全截止。副端排气后，压缩空气可以继续流通。

工作原理

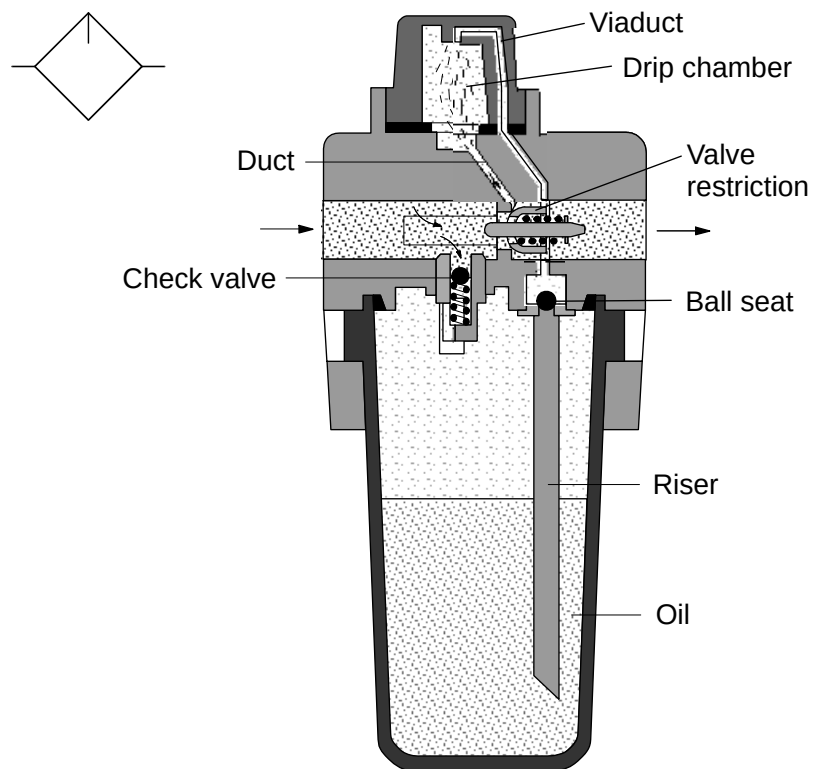
作为规则，压缩空气产生后应该干燥，也就是说不能含油。润滑过的空气对某些元件是有破坏性的，所以一般不希望空气中含有润滑剂，但动力元件在某些情况下是需要润滑的。对于需要润滑的设备，要严格限制润滑剂的用量。为达到这个目的，油雾润滑器使用了特定的润滑油为压缩空气润滑。经润滑的压缩空气不适宜用于系统的控制元件。

压缩空气润滑器

作为规定，带有隔热密封装置的气缸一定不要使用润滑过的压缩空气，因为气缸里特殊的润滑油脂会被冲掉。

如果原先需要润滑的系统转而使用未经润滑压缩空气，那么原先气缸与阀的润滑就要更换，因为润滑有可能已被冲掉。

图. 2.14
润滑器



以下的情况可能需要使用油雾润滑器为压缩空气润滑：

- 需要极高速振荡运动的场合。
- 大直径气缸。应将油雾润滑器直接安装在气缸的进气口处。

过渡润滑会导致以下问题：

- 元件故障
- 环境影响加剧
- 长时间停机后元件的粘着

压缩空气流经润滑器时会在油池和润滑器上部之间产生压降。压力差使油液由小管滴入喷嘴中，这个喷嘴可以从润滑器外部的观察窗看到。在这里油被雾化，并被气流带走。

工作原理

可以按如下步骤确定润滑油的用量：

确定油液用量

油液用量的参考值为：每立方米的压缩空气使用 1 至 10 小滴润滑油。可以用下面的方法检测润滑油是否适量：将一张白纸板放在离润滑器最远的动力气缸的控制阀排气口外约 10 cm 处。系统运行一段时间后，应当只看到纸板上出现淡黄色油迹。如果纸板上出现油滴下，则说明润滑过度。

几年前，一般认为压缩机排出的油可以用作动力元件的润滑剂。现在人们认识到事实并不是这样。压缩机中产生很高的热量，油被碳化，油蒸汽蒸发。这对气缸和阀产生研磨作用，大大降低了它们的寿命。

油的去除

后续的问题是油附着在气管内壁上，最终不可避免地溶入气流中。仅这个问题就使得受控、有效的空气分配难以完成。受到这种污染的气管无法清洗干净而只能更换。另一个缺点是可能造成胶黏，这意味着系统在一段停工(周末或公共假期)后，有润滑的元件不能正确动作。

经润滑的压缩空气应严格限制在只供应给需要润滑的系统元件。提供润滑的最佳方式是将润滑器直接安装在用气设备上游。气动系统的控制部分应选用带自动润滑的元件。

因此基本的原则是：使压缩空气中不含油。

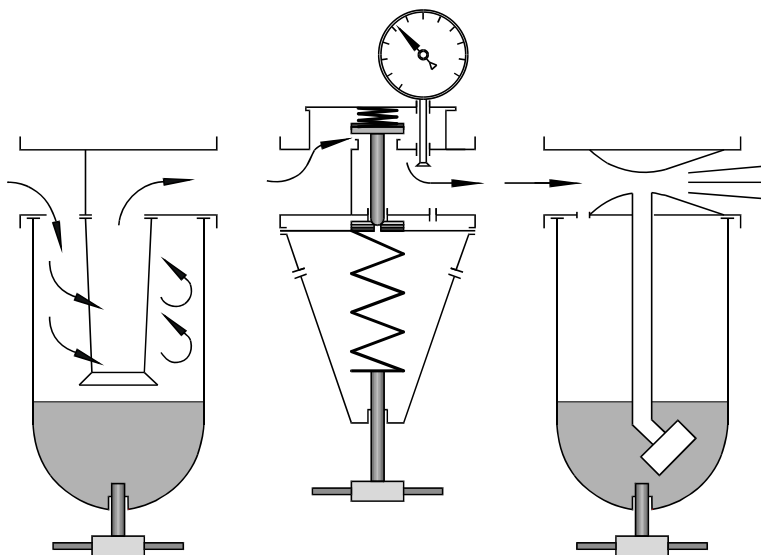
日常生产中应注意遵守以下几点：

- 尽量避免压缩机油进入压缩空气网络中(应安装油分离器)
- 为操作便利，安装可使用未经润滑的压缩空气的元件
- 一旦系统使用润滑油并且已经运行，就要持续使用润滑，因为元件原有的润滑已被所使用的润滑油冲掉

空气处理单元 空气处理单元的应用要注意以下几点：

- 总空气流量 m^3/h 决定了空气处理单元的型号。如果流量太大，单元内会产生较大压降。应按照制造厂商规定的型号选用各元件。
- 工作压力不应该超过空气处理单元上标明的最大值。环境温度不应超过 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (塑料材质可承受的最高值)。

图. 2.15
空气处理单元：
工作原理



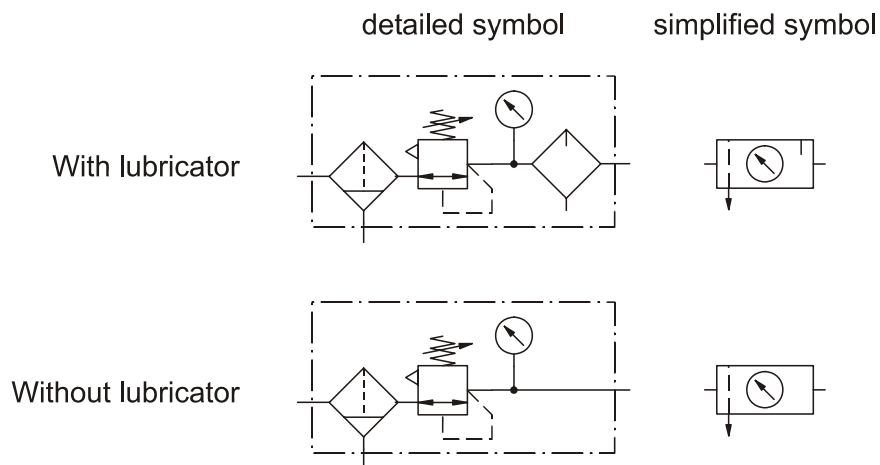


图. 2.16
空气处理单元：符号

以下检查流程在日常维护中很必要。

空气处理单元的维护

- 压缩空气过滤器：
定期检查冷凝液液面高度，使之不要超过观察窗上的刻度。如果超过最高刻度，会导致冷凝液过度积聚而使其再次进入压力供给管线中。可以用观察窗下面的排水口将冷凝液排出。滤芯也要定期检查，如果发现污染物要及时清洗或更换。
- 压缩空气减压阀：
如果减压阀前面安装了压缩空气过滤器，那么减压阀不需要维护。
- 压缩空气油雾器：
通过检查窗查看油液量，将润滑油加满，或加到指定的液面高度。塑料过滤器和润滑油杯不要使用三氯乙烯清洗。油雾器只能使用矿物油。

TIME