

机械蒸汽再压缩 应用于蒸发器



目录

机械蒸汽再压缩与蒸发	3
机械蒸汽再压缩的原理	5
机械蒸汽再压缩机 — 设计与功能范围	7
工作原理与压缩机设计	8
单级离心压缩机的设计细节	10
压缩机的驱动力	13
监测与安全设备	14
压缩机的控制	16
配备离心风机的蒸发装置	18
配备离心压缩机的蒸发装置	22

热分离，例如蒸发和蒸馏，都是高能耗的过程。在它们的发展过程中，为了节能降耗首先采用了多效装置技术，然后又出现了热力蒸汽再压缩。最终，机械蒸汽再压缩也得以应用。

在传统的蒸发器中，产生的蒸汽被冷凝，这意味着其内能有很大程度的损失。相比之下，机械蒸汽再压缩可将蒸汽压缩到较高压力，因而内能得以提高，从而实现这股能量的持续循环。

机械蒸汽再压缩降低了一次能源的消耗，所以也降低了环境负载。

目前它主要的应用领域是食品和饮料工业（牛奶、乳清、糖溶液的蒸发）、化学工业（水溶液的蒸发）、制盐工业（盐溶液的蒸发）、环保技术（废水的浓缩）等。

无论怎样，是否应该安装蒸汽压缩系统都必须在效率研究的基础上做决定。

机械蒸汽再压缩与蒸发

- 重要性
- 背景
- 经济效益

蒸发、蒸馏、蒸发结晶、蒸发干燥装置都是高能耗的。因此这些装置的操作成本主要取决于能耗。

因此比能耗（单位能耗）的降低和优化是首要的。

有三种主要的技术实现比能耗的最小化，可单独应用，也可联合应用：

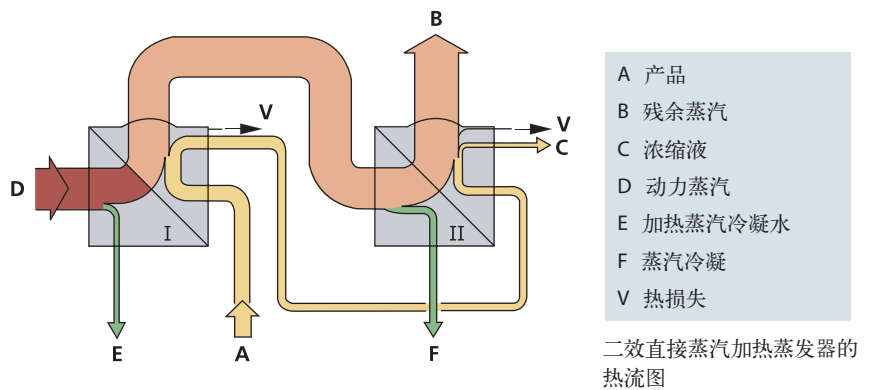
1. 多效布置
2. 热力蒸汽再压缩
3. 机械蒸汽再压缩

1. 多效布置

在多效蒸发装置中，由新蒸汽加热第一效产生的蒸汽不进入冷凝器，而是作为第二效的加热介质得以再次利用。这样可以将新蒸汽消耗有效降低约50%。

重复利用此原理，可进一步降低新蒸汽消耗。

第一效的最高加热温度与最后一效的最低沸点温度形成了总温差，分布于各个效。结果，每效温差随效数增加而减小。所以为达到指定的蒸发速率必须增大加热面积。初步估算表明，用于所有效的加热面积随效数成比例增加，这样一来蒸汽节省量逐渐减少的同时，投资费用显著增加。



2. 热力蒸汽再压缩

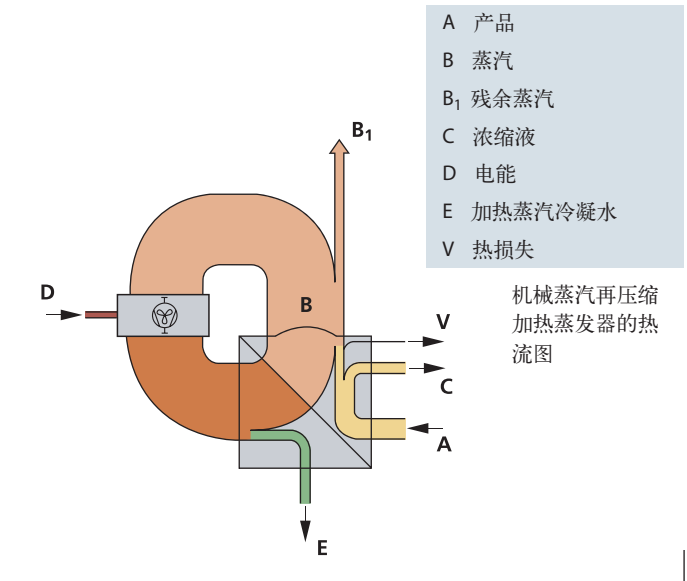
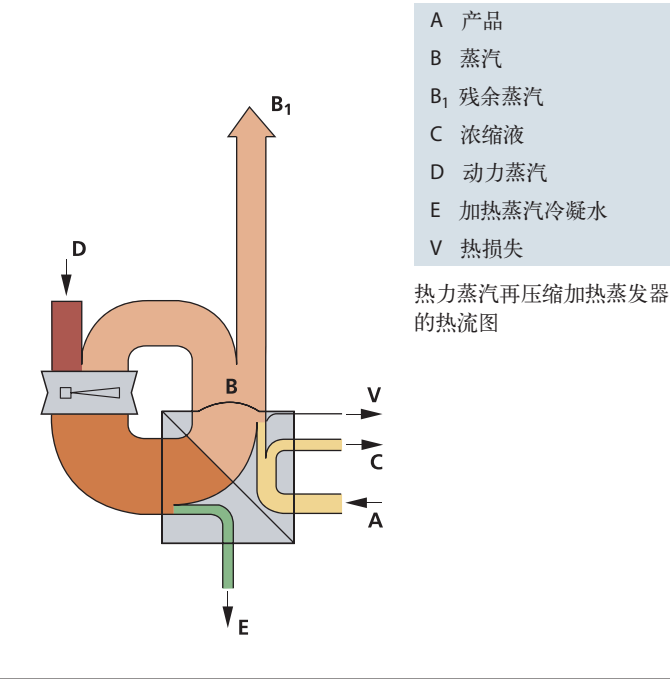
热力蒸汽再压缩时，根据热泵原理，来自沸腾室的蒸汽被压缩到加热室的较高压力；即能量被加到蒸汽上。由于与加热室压力相对应的饱和蒸汽温度更高，使得蒸汽能够再用于加热。

为此采用蒸汽喷射压缩器。它们是根据喷射泵原理来操作，没有活动件，设计简单而有效，并能确保最高的工作可靠性。

使用一台热力蒸汽压缩器与增加一效蒸发器具有相同的节省蒸汽/节能效果。

热力蒸汽压缩器的操作需要一定数量的新蒸汽，即所谓的动力蒸汽。这些动力蒸汽必须被传送到下一效，或者被送至冷凝器作为残余蒸汽。包含在残余蒸汽中的剩余能量大约与动力蒸汽所提供的能量相当。

通过使用相对少的能量，即在压缩热泵情况下的压缩机叶轮的机械能，能量被加入工艺加热介质中并进入连续循环。在此情况下，不需要一次蒸汽作为加热介质。



3. 机械蒸汽再压缩

机械蒸汽再压缩时，通过机械驱动的压缩机将蒸发器蒸出的蒸汽压缩至较高压力。因此再压缩机也作为热泵来工作，给蒸汽增加能量。

在多效热力蒸汽再压缩系统中，待释放的冷凝热仍然很高。在多效装置中，如果有n效，冷凝热约为一次能量输入的1/n。而且，蒸汽喷射压缩机只能压缩一部分的二次蒸汽，动力蒸汽的能量必须作为余热释放给冷却水。然而，开放式压缩热泵原理的使用可以显著减少甚至消除通过冷凝器释放的热量。

为达到最终的热平衡，可能需要少量的剩余能量或残余蒸汽的冷凝，因此允许恒定的压力比和稳定的操作条件。

与用循环工艺流体（即封闭系统，制冷循环）的压缩热泵相反，因为蒸汽再压缩机是作为开放系统来工作，故可将其视为特殊的压缩热泵。

采用机械蒸汽再压缩的原因

在蒸汽压缩和随后的加热蒸汽冷凝之后，冷凝液离开循环。加热蒸汽（热的一侧）与二次蒸汽（冷的一侧）被蒸发器的换热表面分隔开来。

- 单位能量消耗低
- 因温差低使产品的蒸发温和
- 由于常用单效使产品停留时间短
- 工艺简单，实用性强
- 部分负荷运转特性优异
- 操作成本低

开放式压缩热泵与封闭式压缩热泵的对比表明：在开放系统中的蒸发器表面基本上取代了封闭系统中工艺流体膨胀阀的功能。

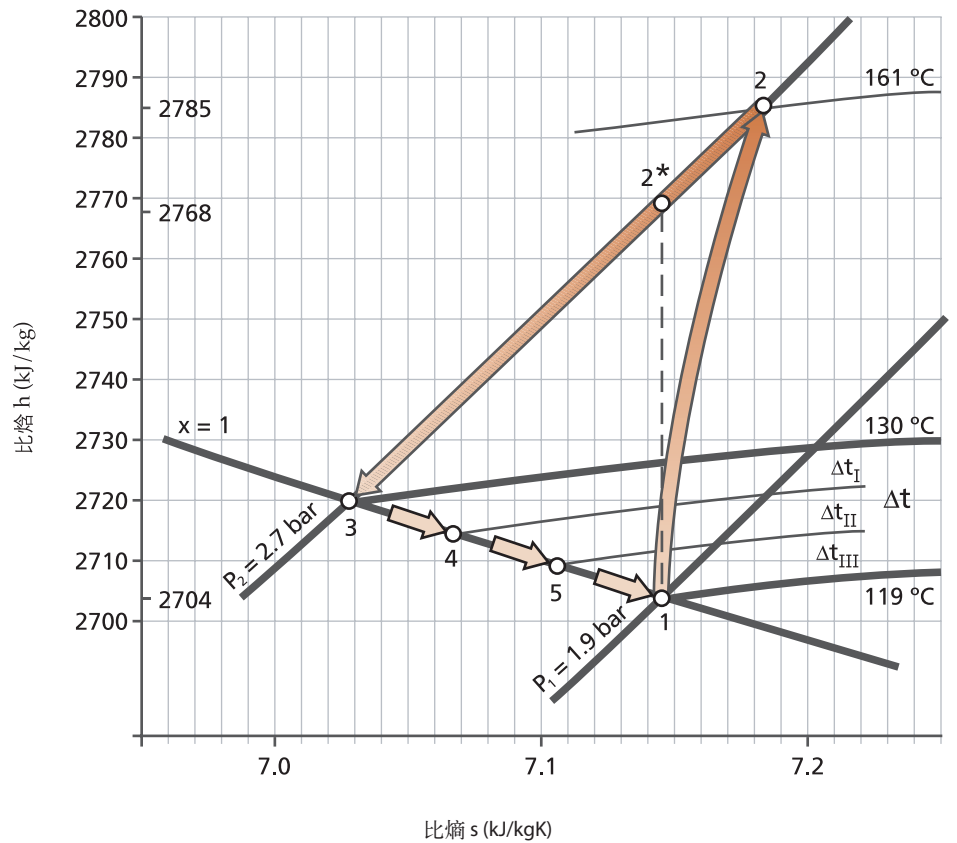
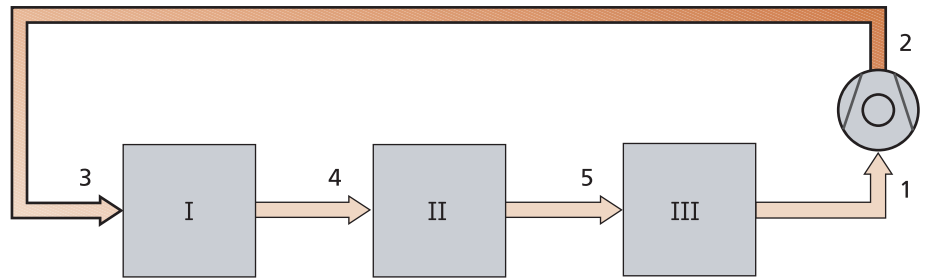
机械蒸汽再压缩的原理

由于成本原因，单级离心压缩机和高压风机被普遍用于机械蒸汽再压缩系统。因此下述说明是针对此类设计。

离心压缩机是体积控制机器，即无论吸入压力多大，体积流率几乎保持恒定。而质量流量的变化与绝对吸入压力成比例。

单级离心压缩机的压缩循环描绘在焓熵图中。单级离心压缩机需要的动力：

$$N = \dot{m} \cdot \Delta h_s / \eta_s$$



水蒸气在Mollier焓/熵图的状态变化（单级压缩）

例如：将来自蒸发器的饱和水蒸汽从吸入状态

$p_1=1.9 \text{ bar}, t_1=119^\circ\text{C}$

压缩到

$p_2=2.7 \text{ bar}, t_2=161^\circ\text{C}$

（压缩比 $\Pi=1.4$ ）。

压缩循环沿着多变曲线1

-2，蒸汽的比焓增加量 Δh_p 。

对于蒸汽的比焓 h_2 ，通过压缩机内效率（等熵效率）的等式：

$$\eta_s \approx \frac{\Delta h_s}{\Delta h_p} = \frac{h_2^* - h_1}{h_2 - h_1} \approx 0.8$$

而得到的值是 $h_2=2785 \text{ kJ/kg}$ ($\eta_s=0.8$)适用

于水蒸汽介质的单级离心压缩机)。 $t_2=161^\circ\text{C}$ 相对于 h_2 和 p_2 。现在此蒸汽就能够用于加热第I效蒸发器。首先它失去过热并冷却至饱和温度 t_3 (130°C)，压力 p_2 (2.7 bar)。

在此温度下，它进入到蒸发器的加热器。

基于 $\Delta h_p \approx \Delta h_s / \eta_s$

$$N = \dot{m} \cdot \Delta h_p / 3600 (\text{kW})$$

\dot{m} 被吸入蒸汽的量，kg/hr。

Δh_p 单位多变（有效）压缩功，kJ/kg。

Δh_s 单位等熵压缩功，kJ/kg。

η_s 压缩机的等熵效率（内效率）。

除其他因素之外，单位多变压缩功 Δh_p 取决于多方指数 κ 和吸入气体的摩尔质量 M ，以及吸入温度和要求的压升。对于原动机（电动机、燃气机、涡轮机等）的实际耦合功率，考虑了更大的机械损耗余量。

叶轮由标准材料制造的单级离心压缩机能够获得压缩因子1.8的水蒸汽压升，如果采用钛等更高质量的材料，压缩因子可高达2.5。

这样一来，最终压力 p_2 就是吸入压力 p_1 的1.8倍，或最大2.5倍，这对应于饱和蒸汽温度升高约12-18K，最大温升可到30K，这取决于吸入压力。

就蒸发技术而言，通常的做法是根据相应的水沸点温度来表示其压力。这样，有效温差就被直接表示出来。

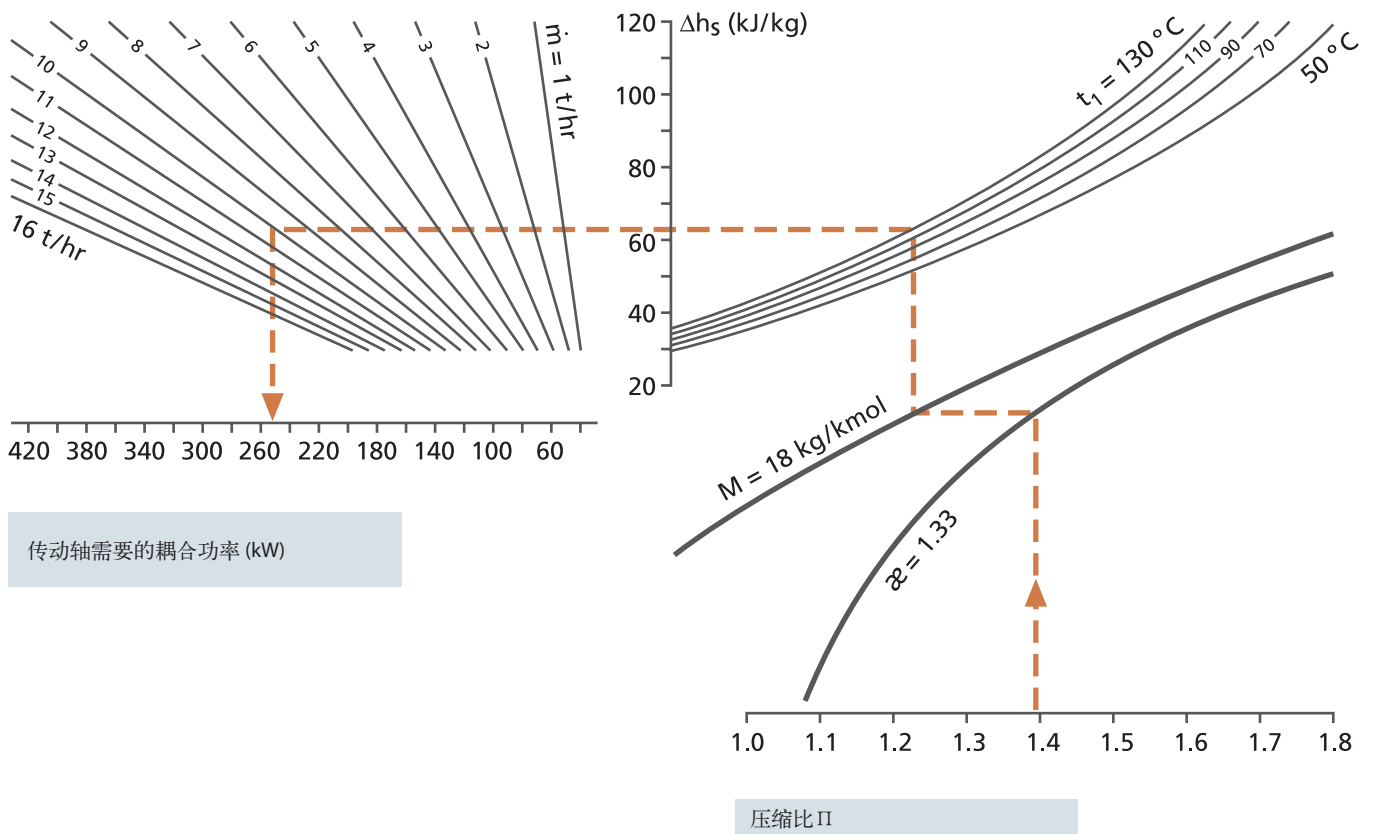
例如：

吸入压力 $p_1 = 1 \text{ bar}$ 对应于 100°C

最终压力 $p_2 = 1.7 \text{ bar}$ 对应于 115.2°C

压力比 $\Pi = \frac{p_2}{p_1} = 1.7$

饱和蒸汽温升：15.2 K



原动机耦合功率的选取。

饱和蒸汽（摩尔质量 $M = 18 \text{ kg/kmol}$ ，多方指数 $\kappa = 1.33$ ）单级离心压缩机的等熵压缩功 h_g 的计算图，即与压缩比 Π 和吸入温度的关系。

机械蒸汽再压缩机—设计与功能范围

用于气体压缩的机器是按照正位移原理或动力学原理来操作的。

在正位移机器中，机器活动件将吸入室和压力室分隔开，操作室的体积减少而气体压力升高。在使用往复式压缩机的情况下，这样的过程通过气缸内活塞的运动来实现的。

在动力式机器中，通过叶轮片高周速的旋转供给气体能量。气体首先被加速然后通过位于叶轮下游的扩散器减速。这样，高速度转化为压力能。根据流体通过叶轮的方向，将相关设备称为轴流、混流或离心式压缩机。

最适用的压缩机类型取决于相关应用的操作条件。关键参数是需要达到的压升和待压缩蒸汽的流量。

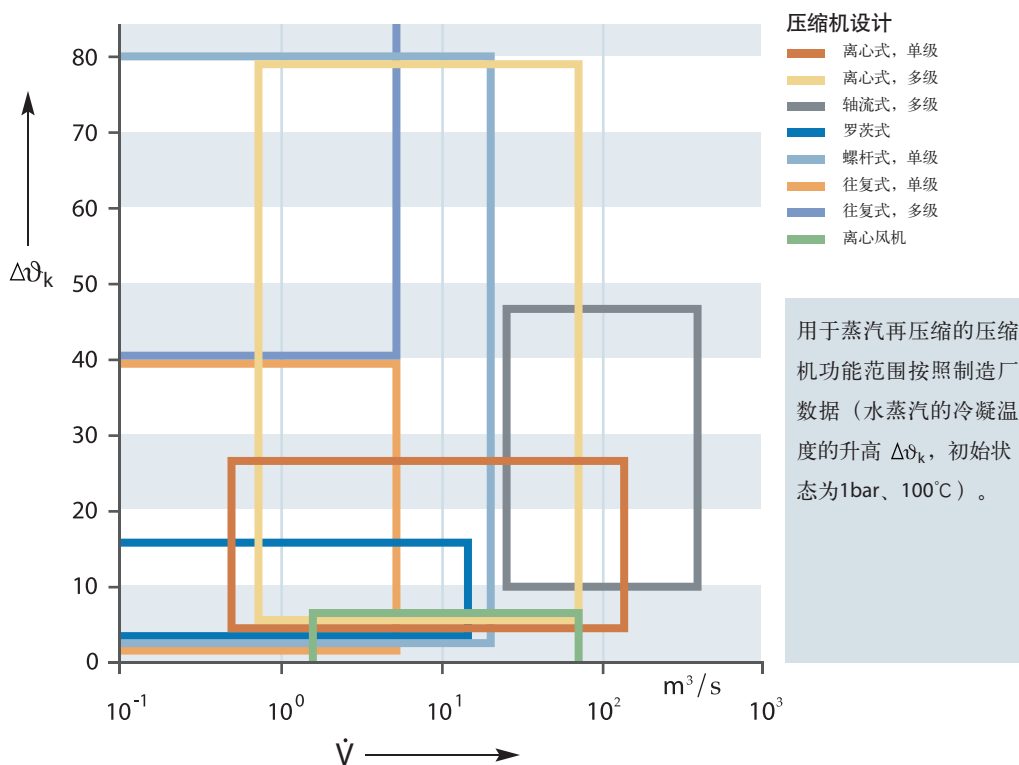
Π 是最终压力 p_2 与吸入压力 p_1 的比值，定义为压缩比。

由于蒸发装置经常是在真空范围内操作，加热表面负荷中等，温差小，所以通常采用离心式再压缩机。

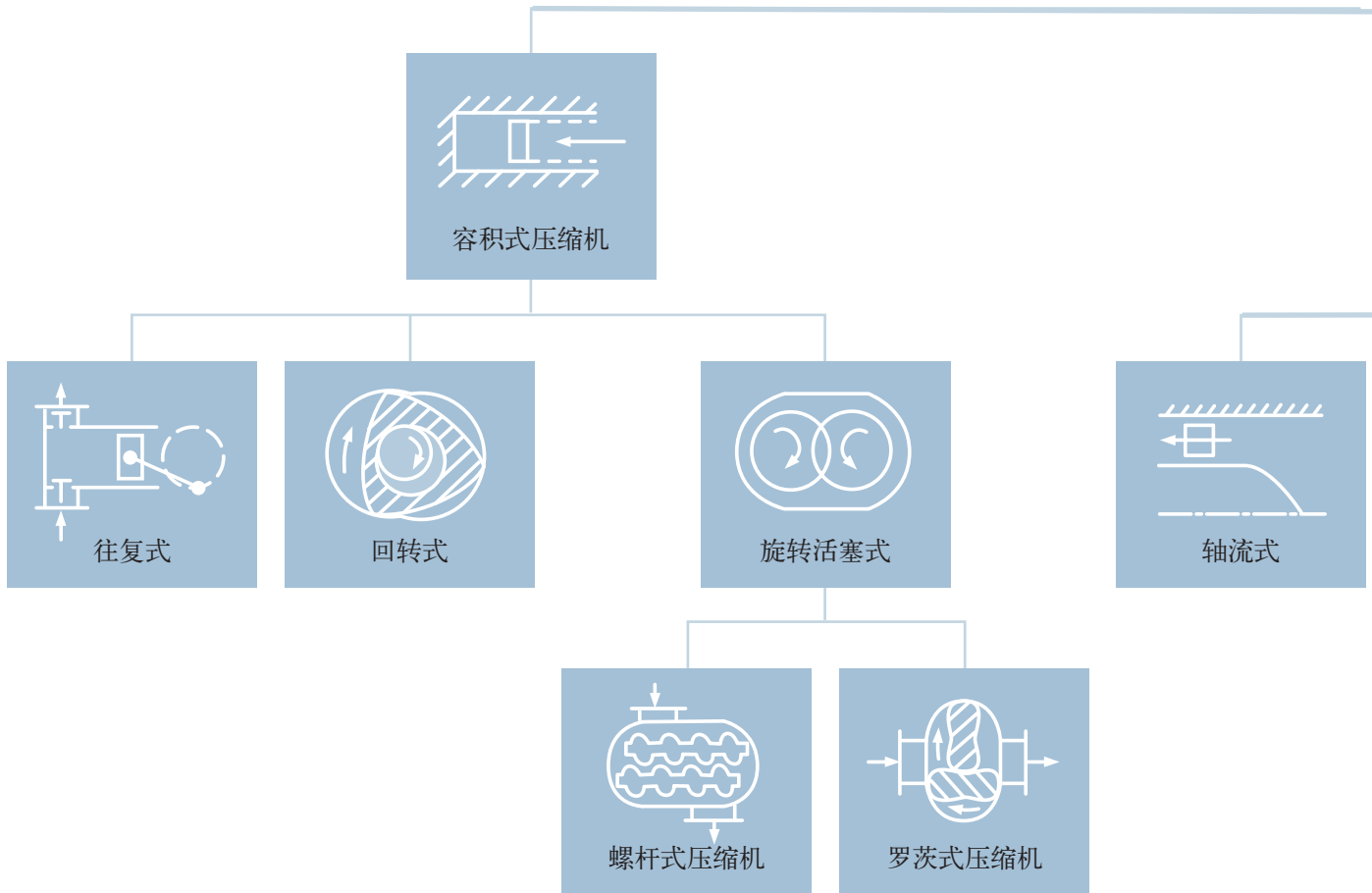
主要包括：

- 高压离心风机
- 单级离心压缩机

此类机器的流量范围大（例如 3,000 到 500,000 m^3/hr ），压缩比 1.1 到 2.5。



机械传动压缩机



往复式压缩机的操作方式与内燃机原理类似。通过在十字头上的连杆与活塞杆，曲柄轴推拉活塞进行直线往复运动。在工作室内活塞上部和下部的气体通过气压驱动的阀门被替换。为了避免在密封面的热应力，气缸壳和密封盒可由蒸汽加热。

$$\dot{V}_{\min} = 0.01\text{m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{\max} = 6\text{m}^3/\text{s}$$

回转式压缩机对于水蒸汽的压缩是不重要的。它们经常用于冷却剂的压缩。

螺杆式压缩机的工作单元是主转子和副转子。分隔室由啮合螺杆面和壳体之间转子形成。当转子转动时，分隔室逐渐变小。装机压缩比 Π_{in} 由出口的位置和转子尺寸决定。

$$\dot{V}_{\min} = 0.06\text{m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{\max} = 22\text{m}^3/\text{s}$$

两个对称的呈“8”字形旋转凸轮和罗茨压缩机的鼓风机壳体形成了分隔室。当凸轮旋转时，气体流入这些分隔室并被从吸入端传送到压力端。在回转叶片内没有内部压缩。在分隔室内的压力侧气体依照正排量原理被压缩。在旋转时凸轮之间并没有实际接触，而是保持很小的间隙。

$$\dot{V}_{\min} = 0.05\text{m}^3/\text{s}$$

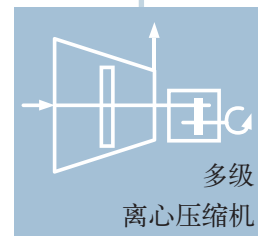
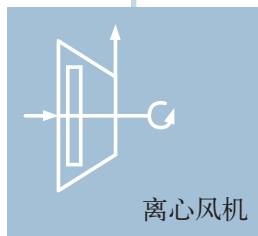
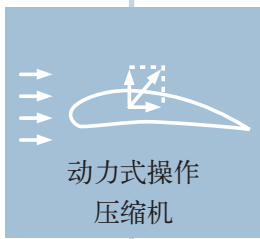
$$\dot{V}_{\max} = 25\text{m}^3/\text{s}$$

轴流式压缩机用于体积流量很大的工况。通常设计成多级系统。在单级轴流压缩时，只能获得相当于单级离心压缩机一小部分的压升。然而多级轴流压缩机的效率要高于多级离心压缩机。与离心压缩机相比，对于同类型的压缩工作能够使用尺寸小得多的轴流压缩机。

$$\dot{V}_{\min} = 25\text{m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{\max} = 400\text{m}^3/\text{s}$$

工作原理与压缩机设计



混流压缩机对于水蒸汽的压缩不重要。

离心风机能够用于低压缩比最高至 $\Pi=1.25$ 的工况。与离心压缩机相同，气体沿轴向进入叶轮入口，在离心力作用下从径向流出。风机叶轮和壳体为焊接板结构，需要时用加强肋补强。通常不需要齿轮变速箱，因为驱动系统可以做到要求的叶轮转速。

单级离心压缩机
此类压缩机的主要特征是悬臂叶轮和压缩机以及变速箱的紧凑布置。电机、变速箱和压缩机通常安装在同一底座上。压缩机壳体采用铸材。由于大于 400m/s 的高叶端速度，叶轮是高度受力的，故由高质量的材料例如铬镍钢或钛合金制成。

多级离心压缩机
此类型的压缩机用于大流量和高饱和蒸汽温升的工况。多级离心压缩机是通过在同一轴上布置数级而形成的。气体在离开一级之后，流过扩散器和级间通道，然后进入下一级叶轮。叶轮轴在壳体内轴承上运转，由独立的斜齿轮驱动。为了提高效率和避免壳体内不能承受的高温，可将水注入级间通道。为了达到超过 $\Pi=10$ 的压力比，也可将单级机器串联起来。如果叶轮是由带若干小齿轮的中央驱动装置驱动，可以被称为二-、三-、或四-叶轮压缩机。

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\min} &= 1\text{m}^3/\text{s} \\ \dot{V}_{\max} &= 140\text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_{\max} &= 2.5 \\ \dot{V}_{\min} &= 0.5\text{m}^3/\text{s} \\ \dot{V}_{\max} &= 150\text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_{\max} &= 10 \text{ (在一个壳体中)} \\ \dot{V}_{\min} &= 0.8\text{m}^3/\text{s} \\ \dot{V}_{\max} &= 70\text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

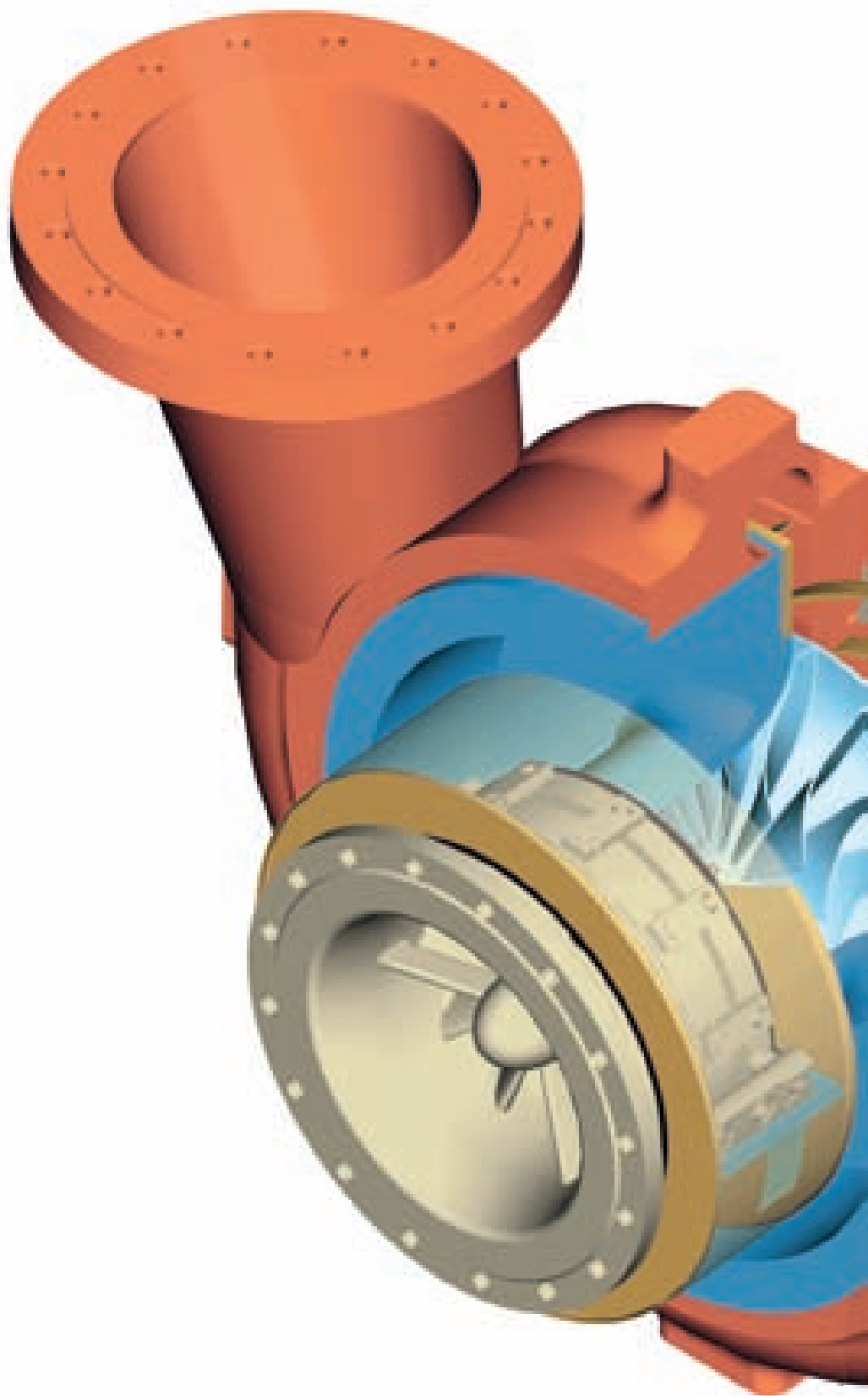
单级离心压缩机的设计细节

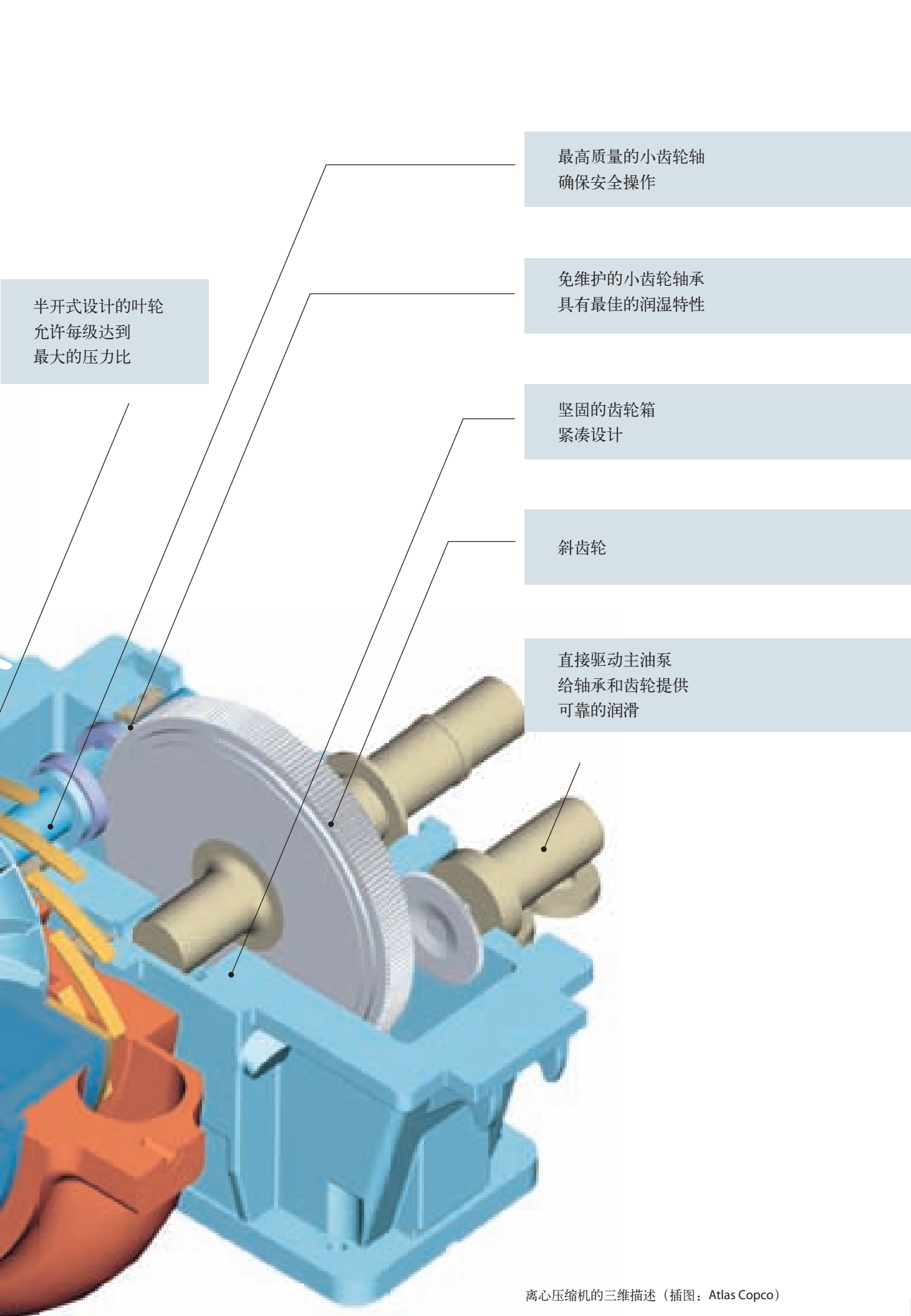
气体出口

整体蜗壳
允许最终压力高达60bar

进口导向叶轮
用于连续调节，
达到最大的部分载荷效率

气体入口





半开式设计的叶轮
允许每级达到
最大的压力比

最高质量的小齿轮轴
确保安全操作

免维护的小齿轮轴承
具有最佳的润湿特性

坚固的齿轮箱
紧凑设计

斜齿轮

直接驱动主油泵
给轴承和齿轮提供
可靠的润滑

离心压缩机的三维描述 (插图: Atlas Copco)

叶轮

叶轮是悬臂式设计，位于轴（对于压缩机为小齿轮轴，对于风机为主轴）的自由端。

根据压缩机的设计，使用半开式或封闭式叶轮。

叶片的几何形状可能是

- 径向式，或
- 后曲式

径向式叶片的叶轮能够获得更高的压力，这是由于较大的强度能够达到较高的叶端速度。后曲式叶片的叶轮的允许叶端速度较低，但是它们的工作范围更宽而且更稳定。

对于较低的压升，即相对于较低的叶端速度，使用封闭式叶轮，由于封闭式叶轮具有陡峭的特性曲线。

叶轮能够被精确的铣制，或是焊接设计。经常采用双相不锈钢材质EN1.4462，这种材料抗腐蚀。而且能达到要求的强度。也有使用其他CrNi合金钢和特殊材质如钛合金。

蜗壳

离开叶轮后，加速了的气体流入蜗壳和管式扩散器。在此过程中，流速降低，高的动能转化为静压。

离心压缩机壳体大多由CrNi合金钢铸造而成，而风机壳体通常都是焊接设计。为把腐蚀程度降至最低，风机采用CrNiMo合金钢，典型的材料如EN1.4571。

壳体厚度和外部补强件的尺寸选择要注意不能超过容许形变，这对真空条件下的操作尤为重要。

齿轮箱

新式压缩机的斜齿轮是整合在压缩机内的。因此，在齿轮和压缩机轴之间不需要联轴节。止推环位于高速小齿轮轴上。这些止推环将残余的轴向推力传送给低速主轴（轮轴）。

相对于压缩机，离心风机转速较低，不需要齿轮箱。叶轮轴通过联轴节直接与电机轴相连。

轴承和润滑系统

离心压缩机的轴承必须确保稳定、无振动的运转条件，以承受小齿轮轴的高速转动（小齿轮轴的转速可高达20,000 rpm）。

因此，径向倾斜油垫轴承可用于高速小齿轮轴。齿轮的轮轴在多面液体动压轴承上运转。推力轴承设计为径向/轴向的联接单元，以承受剩余的轴向推力。

轴承由加压油润滑。为此，安装了一个标准化的润滑系统，它由油箱、主油泵、辅助油泵、滤油器、油冷器组成。

离心风机经常配备相对便宜些的滚柱轴承。对于不超过600,000 mm/min的特性速度值（即轴承直径×速度），简单的强制加油就足够了。对于更高的值，采用与离心压缩机同类的润滑系统。

对于特性速度值超过800,000 mm/min运行的风机，使用液体动压轴承。

压缩机的驱动力

各种不同类型的原动机能够用于驱动蒸汽再压缩机。

对于每种工况，驱动装置在其效率和可用动力类型的基础上进行选择。

通常使用电动机作为驱动装置。电动机具有相当的优势是由于其标准化的防护类型和尺寸，较低的功率/重量比、功率/体积比、价格/性能比，以及最低的维护要求。

原动机

电动机

三相异步电动机

根据极数，三相异步电动机可在同步转速3000、1500、1000或750rpm（50Hz，空转速度）下运转，或者使用变频器在可变转速下运转。可以使用两种类型的电动机：低压电机和高压电机。通常，在400V或690V电压供电情况下，低压电机能够分别在630 kW或1,250 kW功率下运转。高压电机和变频器能够用于功率高达约6,000 kW的情况。异步电动机的效率在一个很宽的负载。

直流电动机

变速直流电动机被推荐用于高效频繁部分负荷操作。在启动时，它们加在工作电流系统上的负载比三相异步电机小得多。它们的缺点在于其较高的价格和维护要求。与变频异步电动机相比，直流电动机丧失了其部分优势。

燃气机

如果没有足够的电能可供使用，可采用燃气机。如果冷却水和废气的余热能得以利用，例如用于预热的目的，就能达到90%的高效率。用于回收余热的一台燃气机的价格要比与之相当的电动机的价格高得多。燃气机的维护费用比电动机的维护费用要高几倍，这也是它的一个缺点。

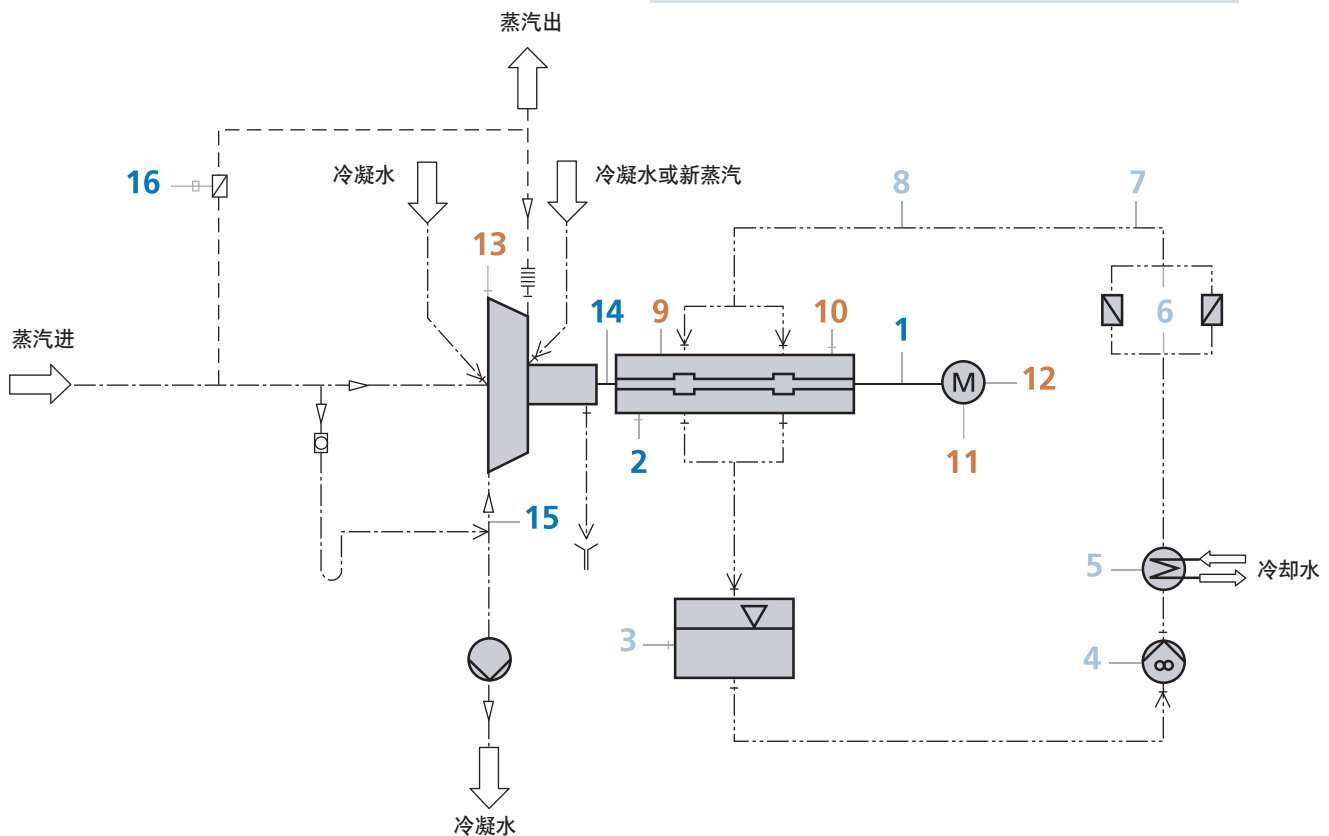
蒸汽涡轮机

如果废蒸汽能够得以回收利用，变速蒸汽涡轮机用作压缩机的原动机也是可取的。在此情况下，虽然单级蒸汽涡轮机的效率比较低，但若是出于价格原因考虑，这一点就变得比较次要。

监测与安全设备

为发现压缩机工作中出现的异常情况、提供设备损耗预警并防止设备的机械损伤，需要许多监测和安全设备。

以离心风机为例，将这些设备表示在下图中：



1 叶轮转速

转速由一个转速计来连续测量。风机需要超速保护，尤其是在变频器操作的工况下。在达到最大允许转速前的短时间内给出报警。当达到最大允许转速时，电机自动停止。

2 振动监测

振动监测系统监测旋转装置的动态特性。为此在接近轴承处安装了传感器。

振动的幅度由多种因素决定，例如：

- 相关的转速；
- 轴承的状态；
- 叶轮的状态（结痂/结垢）；
- 按工艺需要而频繁改变的负载。

当达到最大允许振动时报警；超过最大限度时会导致系统紧急停车。

3 油箱液位

在润滑油箱中的油位也受检测。当油位降至最低水平时发出报警。

4 油泵

油泵的运转受到监测。泵的故障将导致风机的紧急停车。在正常的风机停车时，油泵继续工作至少要到旋转装置完全停止以后。

出于安全考虑，除了直连的主油泵之外离心压缩机还需配备一台辅助油泵。

5 油冷却器

在油的循环管线上安装一台换热器用于油的冷却，冷却水供给换热器作为冷却介质。用一个温度控制回路来保持油温恒定。

6/7 滤油器压差

对滤油器的压差(6)进行检测并在超限时报警。当油系统(7)中的压力值降低到最小压力以下时会触发风机的紧急停车。

8 油的流量

除对油压进行监测以外，油的流量也被监测并作为特殊工况下的停车条件。

9/10 轴承温度

风机轴在一个轴承箱内的两个轴承上运转。新轴承的温度比最大容许值低得多。当达到高温时，首先会报警。当达到 t_{max} 时，为避免对轴和叶轮造成损伤，系统迅速停机。

11 电机线圈温度

驱动电动机需要过热保护。为此，驱动电动机装备有温度传感器，在不同位置测量线圈温度。温度过高会导致电动机停机。

12 电动机轴承温度

对于较大的电机功率，例如大于100kW，最好还是测量和监测电机轴承温度。

13 风机/压缩机壳体温度

由于压缩功的原因，压缩机壳体也会被输送介质加热。在下列情况下可能会导致壳体温度过高：

- 吸入压力过高，所以输送介质的密度也过高 ($p_{operation} > p_{design}$) ；
- 压缩机在没有输送介质的情况下运转；
- 压缩机以循环模式运转 (离心压缩机的旁路阀开启) 。

壳体的温度被记录和监测。过高的壳体温度首先导致报警，然后是紧急停车。在风机叶轮入口处注入冷凝水，使蒸汽达到饱和状态，这样就降低了过高的壳体温度。

14 轴的轴向位移指示器

为防止轴/推力轴承的逐渐磨损引起比较大的损伤，有时要对轴的轴向位移进行监测。如果达到极限，压缩机会自动停机。

15 冷凝水排放

为避免损伤叶轮，风机的外壳特别是离心机的壳体的冷凝水必须彻底排空。

冷凝水液位监测系统也可触发紧急停车，它安装在壳体的最低点。

16 离心压缩机的喘振防护

如果流速降至最小值以下，例如在部分负荷操作期间，那么压缩机就处于它的稳定极限之下，蒸汽的抽送方向会发生短暂的逆转，即从压力端流向吸入端。这种冲击导致振动，会严重损坏机器。

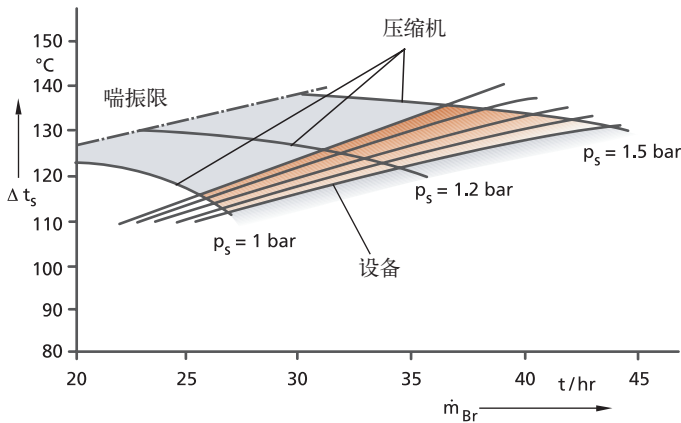
因此，机器需要配备喘振限制安全系统。如果流速降至安全喘振限以下，控制器就会打开压力管线和吸入管线之间的旁路阀来维持足够的流速。

压缩机的控制

通常由机械蒸汽再压缩机加热的蒸发装置可以在一定范围内稳定操作，即例如质量流量、压力、温度等参数随时间波动。经常希望蒸发量能在较大范围内变化（即部分负荷操作），因此必须改变不同的加热速率。设备的处理能力的变化是通过改变温度或压力分布曲线来实现的。

压缩机的设计必须考虑设备性能的这些变化与设计任务的平衡。设备的操作性能用所谓的设备特性曲线或性能曲线来描述，它反应了必需的饱和蒸汽升温与吸入蒸汽质量流量之间的关系。设备的操作性能在很大程度上应通过试验来决定，或者至少应该被估计出来。

为了蒸汽再压缩机设备的最优化操作，蒸发器和压缩机的特性曲线必须相符。



在压缩机的吸入端或压力端的流动条件（例如吸入压力）发生一定的变化时，允许改变控制方案。基于不同性能标准，可有多种控制方案可供采用。

首选以下控制方式：

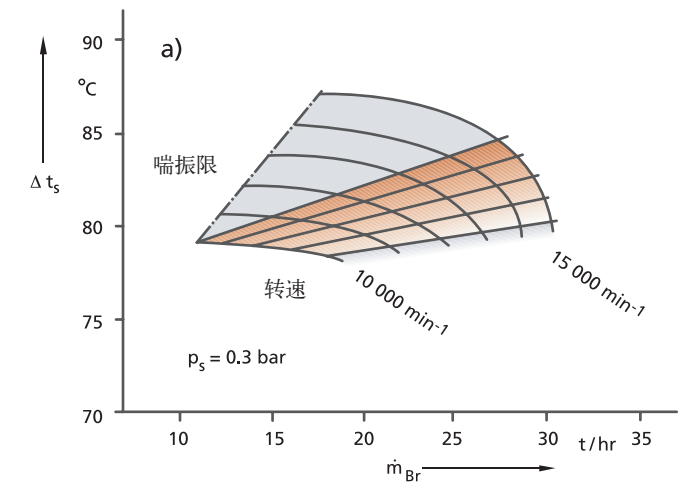
单级离心压缩机

a) 转速控制

控制叶轮转速，故转速能影响体积流量和压缩比。对于转速控制，最常用的是三相异步电机配备变频器。尤其是对于陡峭的特性曲线，即体积流量的变化很小而相应的压力变化却很大的情况，通过连续转速调节的方式进行控制是有利的。

变频器操作的优点是：

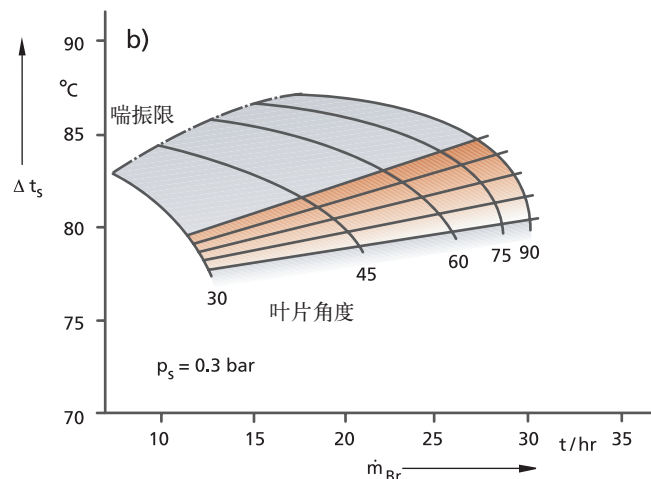
- 依照设计，电机能够以超出其额定转速20%-60%的转速运转，所以在大多数情况下不需要增速齿轮。
- 不需要起动联轴器。
- 通过调节起动电流，启动时供电干线不会过载。
- 可获得良好的部分负荷效率。



b) 叶片控制

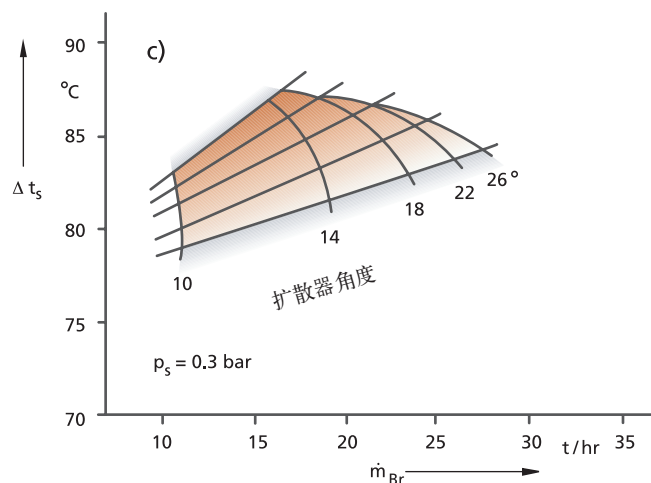
叶片控制原理允许叶轮流量特性的改变。为此，在压缩机吸入口内安装进口导向叶片。进口导向叶片可以用一个驱动器从外部进行调节。但是压缩机的转速保持不变，叶轮的效率和性能却改变了。

与置换体积相关的压力变化相当大的特性设备曲线，叶轮控制是有利的。其结果是获得很大的控制范围和良好的部分负荷效率。



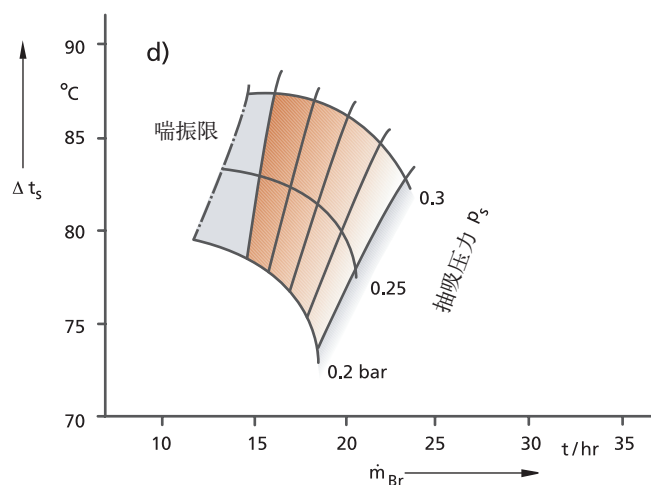
c) 扩散器控制

扩散器内的可调叶片保证质量流量随较小的效率降低量和平缓的特性设备曲线有很大的改变。如果在蒸发器中的必要温度分布必须保持基本恒定，那么就采用扩散器控制。



d) 进口压力控制

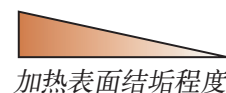
如果过程能够在不同温度下发生，并且该设备和其他设备没有热力学上连接，就可以采用通过调节工艺参数来控制进口压力这种简单的控制方案。在工艺温度上下限内，通过改变在蒸发器分离器的蒸汽密度，此控制系统可确保质量流量的最大变化量。在许多情况下，通过这种方式可以获得足够大的设备控制范围，而不需要特殊的机械改动。进口压力控制也能与一种机械控制方式结合起来提供特别大的控制范围。



另一种可能的控制方式就是对压缩机吸入管线进行节流，质量流率也因此而改变。这种控制类型会导致部分负荷效率降低。

标有加热表面结垢情况的设备特性曲线（针对单级离心压缩机在不同进口压力 p_s 下）

\dot{m}_{Br} - 蒸汽流量质量
 Δt_s - 饱和蒸汽温升
 p_s - 入口压口



1-效降膜蒸发装置，用于油罐清洗工业废水的浓缩。†

蒸发量：
4.5 t/hr。
最终浓度：
40 % TS。
压缩机耦合功率：
74 kW。
驱动装置：
变频控制电动机。



1-效降膜蒸发装置，带环绕式分离器，下游配备后浓缩器，
用于生产各种类型的乳制品和乳清制品。

蒸发量：
约40 t/hr，根据产品。
压缩机耦合功率：
390 kW。

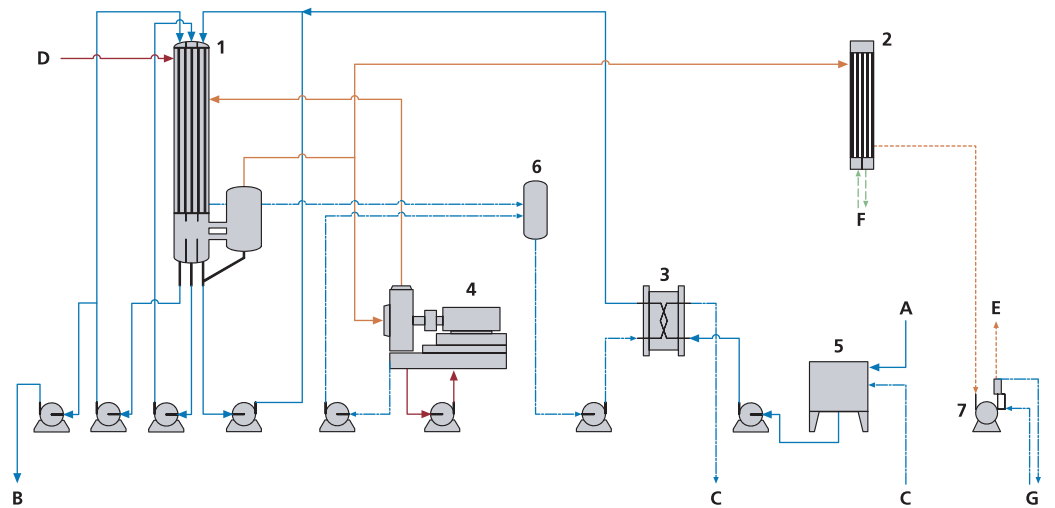
此设备设计用于3-55 t/hr的
水蒸发量。



配备离心风机的蒸发装置

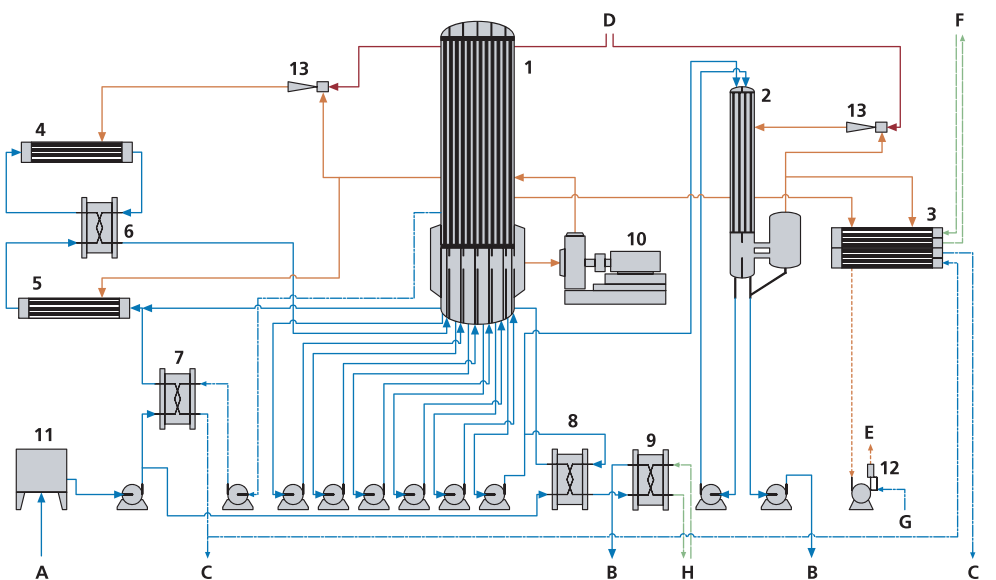
- 1 降膜蒸发器
- 2 冷凝器
- 3 板式换热器
预热器
- 4 蒸汽再压缩机
(离心风机)
- 5 进料罐
- 6 冷凝水收集罐
- 7 真空泵

- A 产品
- B 浓缩液
- C 冷凝水
- D 新蒸汽
- E 脱气
- F 冷却水
- G 服务水



- 1 降膜蒸发器
- 2 后浓缩器
- 3 冷凝器
- 4,5 预热器
- 6-9 板式换热器
- 10 蒸汽再压缩机
(离心风机)
- 11 进料罐
- 12 真空泵
- 13 蒸汽喷射再压缩机

- A 产品
- B 浓缩液
- C 冷凝水
- D 新蒸汽
- E 脱气
- F 冷却水
- G 服务水
- H 冰水



3-效降膜蒸发装置，由两效机械蒸汽再压缩机加热的预蒸发器
和一效热力蒸汽再压缩器加热的后蒸发器组成。

蒸发量：

50 t/hr。

浓缩范围：

30 - 48 % TS。

压缩机耦合功率：

74 kW。

蒸汽消耗：

15.5 t/hr 38-11 bar (g) 汽轮机，

3.3 t/hr 11 bar (g) 蒸汽喷射再压

缩器。

压缩机耦合功率：

730 kW。

用于蒸汽再压缩的离心风机
是由汽轮机驱动。



1-效降膜蒸发装置，用于小麦淀粉废水处理，
能够作为1-效系统或2-效系统来操作。

蒸发量：

约17/33 t/hr。

浓缩范围：

9 - 15 %TS。

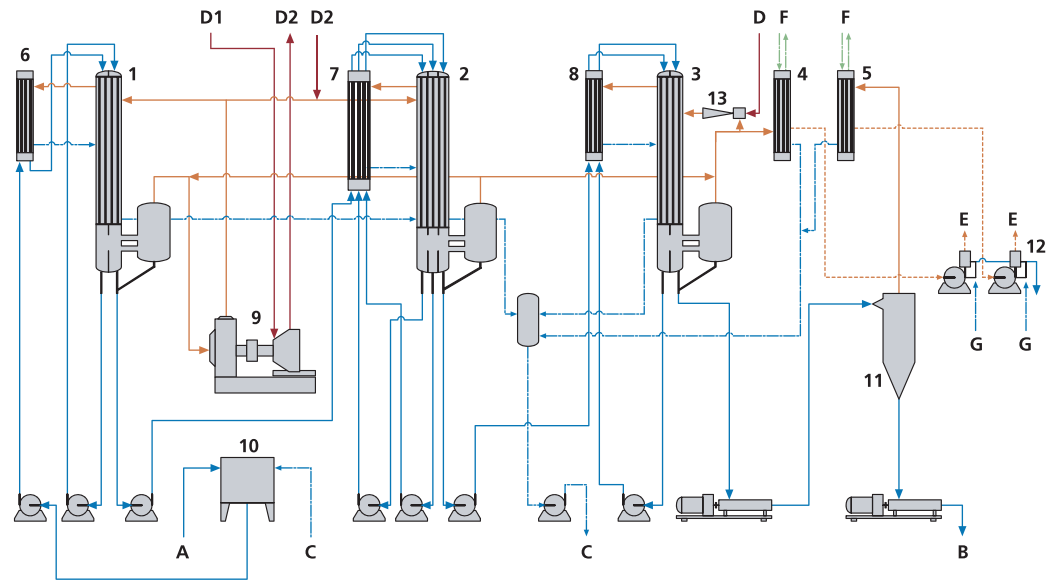
压缩机耦合功率：

1-效操作：230 kW。

2-效操作：420 kW。

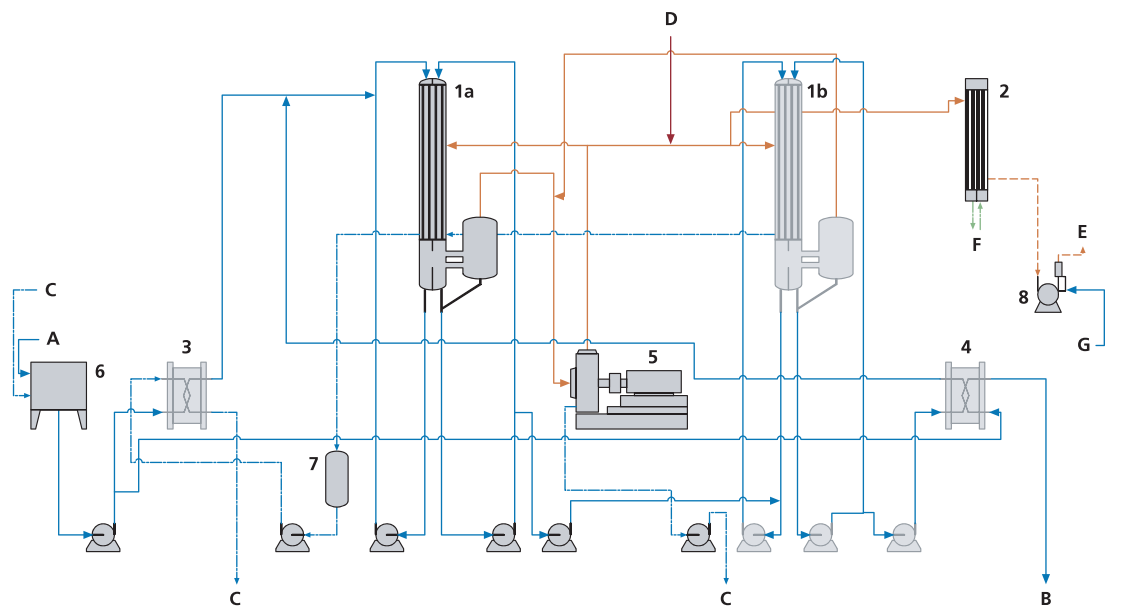


- 1,2 降膜预蒸发器
 - 3 高浓缩器
 - 4,5 冷凝器
 - 6-8 预热器
 - 9 蒸汽再压缩机
(离心风机)
 - 10 进料罐
 - 11 闪蒸冷却器
 - 12 真空泵
 - 13 蒸汽喷射再压缩机
-
- A 产品
 - B 浓缩液
 - C 冷凝水
 - D 新蒸汽
 - D1 高压蒸汽
 - D2 低压蒸汽
 - E 脱气
 - F 冷却水
 - G 服务水



- 1a,1b 降膜预蒸发器
 - 2 冷凝器
 - 3,4 板式换热器
 - 5 蒸汽再压缩机
(离心风机)
 - 6 进料罐
 - 7 冷凝水收集罐
 - 8 真空泵
-
- A 产品
 - B 预浓缩液
 - C 冷凝水
 - D 新蒸汽
 - E 脱气
 - F 冷却水
 - G 服务水

浅灰色设备显示的是
计划的装置扩能



降膜蒸发装置，用于各种葡萄糖溶液，由机械蒸汽再压缩机加热的2-效降膜预蒸发器和逆流布置、配备热力蒸汽再压缩机和闪冷器的2-效降膜蒸发器组成。

蒸发量：
19 t/hr。
浓缩范围：
32 - 83 % TS。
蒸汽消耗：
850 kg。
压缩机耦合功率：
325 kW。



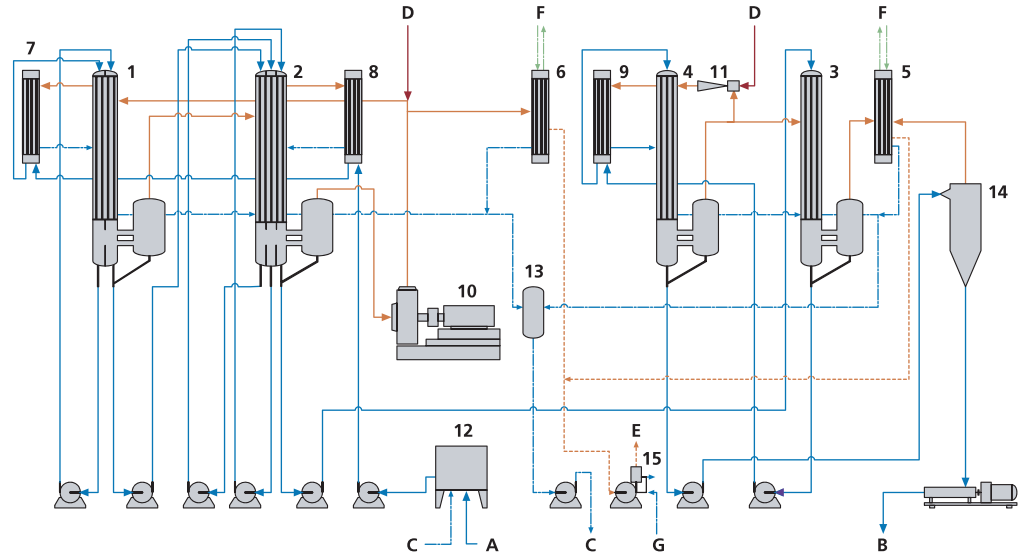
3-效降膜、强制循环蒸发装置，由2个平联蒸发器效组成，用于己内酰胺水溶液的预浓缩。

蒸发量：
14 t/hr。
浓缩范围：
7 - 95 % TS。
蒸汽消耗：
900 kg。
压缩机耦合功率：
250 kW。

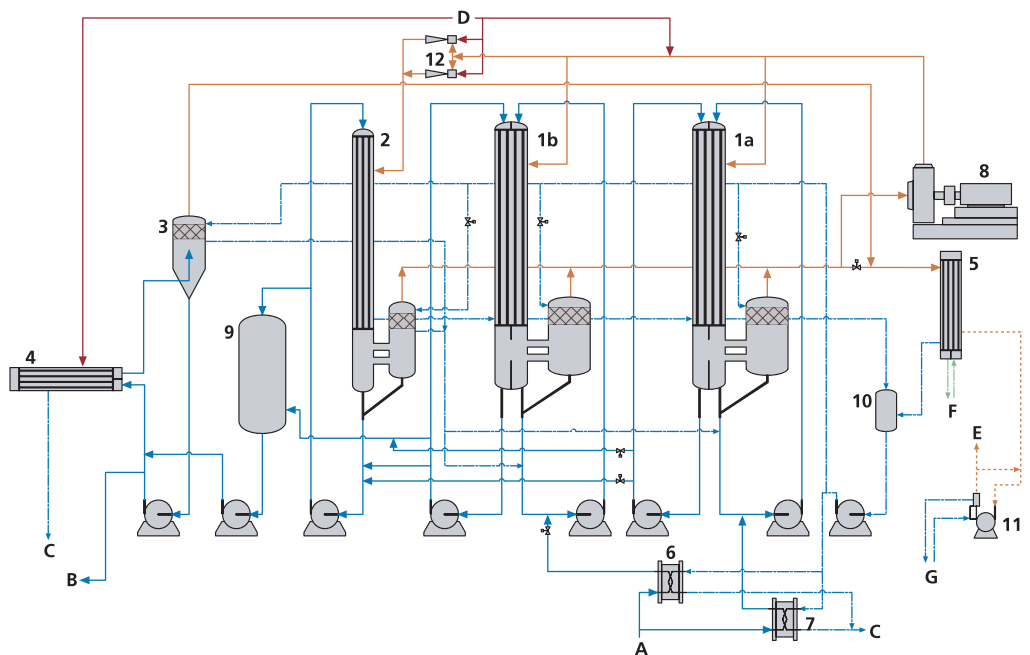


配备离心压缩机的蒸发装置

- 1,2 降膜预蒸发器
 - 3,4 降膜高浓度蒸发器
 - 5,6 冷凝器
 - 7-9 预热器
 - 10 蒸汽再压缩机
(离心压缩机)
 - 11 热力蒸汽再压缩机
 - 12 进料罐
 - 13 冷凝水收集罐
 - 14 闪冷器
 - 15 真空泵
- A 产品
B 浓缩液
C 冷凝水
D 新蒸汽
E 脱气
F 冷却水
G 服务水



- 1a 降膜蒸发器
 - 1b 降膜蒸发器
 - 2 降膜蒸发器
 - 3,4 强制循环蒸发器
 - 5 冷凝器
 - 6,7 板式换热器
 - 8 蒸汽再压缩机
(离心压缩机)
 - 9 缓冲罐
 - 10 冷凝水收集罐
 - 11 真空泵
 - 12 蒸汽喷射再压缩机
- A 产品
B 浓缩液
C 冷凝水
D 新蒸汽
E 脱气
F 冷却水
G 服务水





系列产品概览

蒸发装置

用于浓缩各种液体食品；用于浓缩食品工业、化学工业和制药工业中形成的废水；装置带有加热、冷却、脱气、结晶、精馏等各种辅助设备。

膜过滤 - GEA Filtration

用于浓缩液体食品、工艺水、有机和无机溶液以及废水；用于分离杂质以提高产品质量和回收利用有价值物质。

蒸馏/精馏装置

用于分离多组分混合物，回收有机溶剂；用于不同等级的生物酒精的清洁、回收和脱水。

酒精生产线

用于工业酒精、中性酒精、超中性酒精和食用酒精；用于集成化酒糟处理系统。

结晶装置

用于特殊产品和含盐废水。

冷凝装置

带有表面或混合冷凝器；用于真空下冷凝蒸汽和水蒸汽/气体的混合气体。

真空/蒸汽喷射冷却装置

用于产生冷水、液体冷却，甚至可用于强腐蚀和强磨蚀的物质。

喷射泵

用于输送和混合各种气体、液体和颗粒固体；用于直接加热各种液体；可作为热泵使用；特殊设计选型更可用于各领域的不同应用中。

蒸汽喷射真空泵

抽吸压力高达0.01mbar；采用产品蒸汽作为动力驱动；还可与机械真空泵组合；在化学、制药和食品行业中广泛使用，以及在炼油、钢铁脱气等行业。

热回收装置

利用废气、水蒸汽/空气的混合气体、冷凝液和产品的余热。

真空脱气装置

用于脱除水和其它液体中的溶解气体。

加热/冷却装置

移动和固定装置，用于热水加热反应器、接触式干燥器。

气体洗涤器

用于清洁和除尘尾气；用于分离烟雾；用于冷却和调节气体；用于吸收气体污染物。

设备的项目研究，工程设计



Process Engineering

基伊埃工程技术(中国)有限公司

上海市闵行区鹤翔路99号 邮编：201109

电话：+86-21-2408 2288 传真：+86-21-2408 2199 www.geape.com.cn

北京分公司

中国北京市朝阳区建国门外大街19号北京国际大厦A座1405室 邮编：100004

电话：+86-10-8526 2025 / 26 / 30 传真：+86-10-8526 2031 / 2049

广州分公司

中国广州市盘福路33号麒麟大厦A608室 邮编：510180

电话：+86-20-8136 7285 / 7232 / 7233 传真：+86-20-8136 7286