

压缩空气系统设计及设备节能

Compressed air system design and equipment energy saving

王宇虹，中机第一设计研究院有限公司

2021.04.08

压缩空气系统设计与设备节能

- 一、压缩空气站设计容量、机组选用与空压站节能
- 二、压缩空气站净化设备的选用与设备节能
- 三、压缩空气管网的设计与管网节能
- 四、压缩空气高效用气设备器材节能

压缩空气站设计容量、机组选用与空压站节能

压缩空气站的设计容量计算：

1、按工厂使用压缩空气的平均消耗量总和计算

$$Q = \sum Q_0 K (1 + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

其中：Q — 设计容量 (m³/h) ；

$\sum Q_0$ — 车间或用气设备平均消耗量总和 (m³/h) ；

K — 压缩空气使用不平衡系数 1.2~1.4；

ϕ_1 — 管道漏损系数 0.1~0.2，管道短则取下限；

ϕ_2 — 用气设备磨损增耗系数 0.15~0.2；

ϕ_3 — 不可预见的消耗系数 0.1。

压缩空气站设计容量、机组选用与空压站节能

压缩空气站的设计容量计算：

2、按工厂使用压缩空气的最大消耗量计算

$$Q = \sum Q_{\max} K' (1 + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

其中：Q — 设计容量 (m³/h) ；

$\sum Q_{\max}$ — 车间或用气设备平均消耗量总和 (m³/h) ；

K' — 同时使用系数，宜小于 1.0；

ϕ_1 — 管道漏损系数 0.1~0.2，管道短则取下限；

ϕ_2 — 用气设备磨损增耗系数 0.15~0.2；

ϕ_3 — 不可预见的消耗系数 0.1。

压缩空气站设计容量、机组选用与空压站节能

压缩空气站的设计容量计算：

3、按主要用气车间或用气设备的最大消耗量，加上其余用气车间或用气设备的平均消耗量总和计算（当某些用气设备或者车间的用气量占比很大且能较准确知道最大消耗量的时候使用）。

$$Q = (Q_1 + \sum Q_0) \times (1 + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

其中：Q — 设计容量 (m³/h)；

Q₁ — 主要用气车间或用气设备的最大消耗量 (m³/h)；

∑Q₀ — 其余用气车间或用气设备的平均消耗量总和；

φ₁ — 管道漏损系数 0.1~0.2，管道短则取下限；

φ₂ — 用气设备磨损增耗系数 0.15~0.2；

φ₃ — 不可预见的消耗系数 0.1。

压缩空气站设计容量、机组选用与空压站节能

压缩空气站设计计算容量的修正：

1、空压机后续净化装置的耗气量

无热再生吸附式干燥机：另增加约15%~20%或以上；

微热再生吸附式干燥机：另增加约10%（~15%）；

有热再生吸附式干燥机：另增加5%~10%；

冷冻式干燥机：另增加 0%。

2、海拔高度修正

海拔高度/m	0	305	610	914	1219	1524	1829	2134	2438	2743	3048	3653	4572
修正系数	1.0	1.03	1.07	1.10	1.14	1.17	1.20	1.23	1.26	1.29	1.32	1.37	1.43

压缩空气站设计容量、机组选用与空压站节能

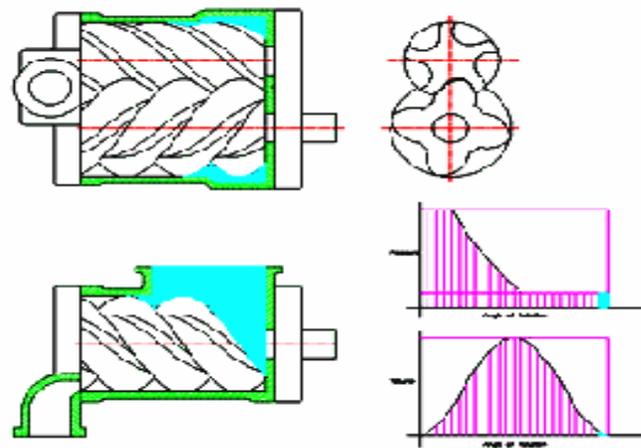
空压机组的节能设计选型：

- 1、结合用气车间的具体不同情况，按不同容量计算公式进行计算和选型；
 - （负荷曲线）。
- 2、改粗放式的选型为精细化考虑。
 - 选型上，不仅是容量的简单冗余；
- 3、空压机容量不仅仅是满足压缩空气压力流量的需求，更要考虑运行费用的节约。
 - 对于多数工厂来说，压缩空气系统全生命周期内的运行费用占总费用约80%；
 - 选择新型高效的空气压缩机：新技术、新机型带来的压缩机革命性的能效提升。某些新型空压机相比传统的直联传动工频机可节电10%以上。

压缩空气站设计容量、机组选用与空压站节能

一般工业用途常见的喷油螺杆压缩机和离心式压缩机的性能特点比较：

空压 机类型	优点	缺点
螺杆式 空气压 缩机	<ul style="list-style-type: none"> ①单位排气量体积小； ②运转平稳、振动小，排气稳定； ③可按需要排气量供气； ④操作相对简单。 	<ul style="list-style-type: none"> ①功耗相对稍高； ②长期运转后螺杆间隙会变大，定期修复或更换费用较大。 ③空压机及后处理设备台数多，备品备件数量多，占地面积大；
离心式 空气压 缩机	<ul style="list-style-type: none"> ①结构紧凑、重量轻，排气量范围大； ②易损件少，运转可靠、寿命长； ③排气不受润滑油污染，供气品质高； 	<ul style="list-style-type: none"> ①操作相对复杂，运行维护要求高； ②排气量负荷变化范围小； ③排气量变化对机械效率影响大； ④设备技术含量高，维护费用较大。



压缩空气站设计容量、机组选用与空压站节能

空压机组的节能设计选型：

- 1、机组数量：通常工厂内不宜少于3台，同类型机组不宜过多。
- 2、机组合理搭配：分类设置；增加部分变频机组；中低负载压缩机进行变频改造。
- 3、机组的联动控制：群控，工频空压机和变频空压机的协调运行。
- 4、合理设计压缩机启停压力范围，降低压缩机加载和减载消耗。
- 5、改善完善机房散热，提高压缩效率。
- 6、余热回收，大型压缩机换热再利用。

压缩空气站设计容量、机组选用与空压站节能

空压机的余热回收是设计和改造项目的重要考虑内容之一：

1、空压机储能压缩效率约为10%~15%。

2、换热效率可为70%~90%。

➤ 各类工业压缩机排气热量和温度具有回收价值。

（喷油螺杆式空压机排气温度在70℃~100℃之间，活塞式压缩机<250℃）

➤ 余热加热制取生活热水，将自来水加热到50℃~60℃；

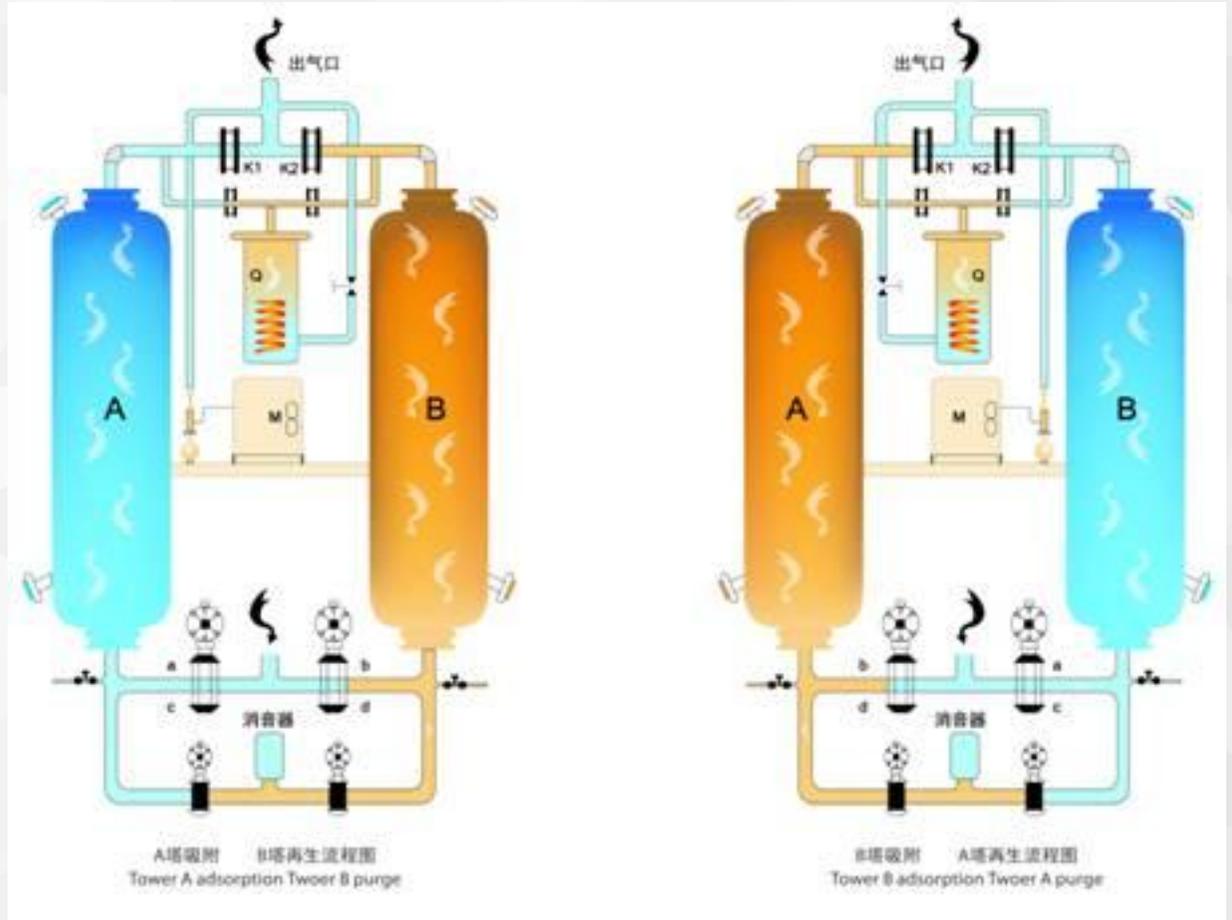
➤ 冬季局部的采暖供热，纯水制作冬季预热，锅炉补水预热，其它用途的预加热等；

➤ 吸附剂再生。

压缩空气站净化设备的选用与设备节能

吸附式干燥机：

- ▶ 有热再生吸附式干燥机
压力露点 $-20^{\circ}\text{C} \sim -40^{\circ}\text{C}$ ；
- ▶ 微热再生吸附式干燥机
压力露点 $-20^{\circ}\text{C} \sim -40^{\circ}\text{C}$ ；
- ▶ 无热再生吸附式干燥机
压力露点 $-40^{\circ}\text{C} \sim -70^{\circ}\text{C}$ 。



压缩空气站净化设备的选用与设备节能

特性 \ 吸附剂	氧化铝	分子筛
价格	较低	较高
平均再生气量	15%	20 ~ 25%
吸附特性	相对湿度较高，吸附能力越强效果愈好	相对湿度与吸附能力变化不大
露点温度	10min=-40°C, 4min=-70°C	-70°C
再生特性	相对湿度越低，再生风量越少，效果越好	相对湿度越低，再生风量须较大，效果不佳
使用寿命	≥三年	≥三年
操作成本	由于再生风量较小，故操作成本较低	再生风量较大，操作成本较高
吸附剂需求量	较少	较多
耐热度	低	高 (≤320°C)
粒径 (mm)	Φ3~5	Φ3~5
堆密度 (g/ml)	0.7	>0.65
静态吸附 (%wt)	10%相对湿度 ≥ 6 60%相对湿度 ≥ 16 100%相对湿度 ≥ 32	60%相对湿度 ≥ 18
比表面积 (m ² /g)	≥300	>300
孔容积 (ml/g)	≥0.38	≥0.38
磨损 (%wt)	≤0.4	≤0.38
抗压强度 (N)	≥80	≥70

氧化铝和分子筛吸附剂的比较

比较说明：①比表面积及孔容积较大者吸附能力较大。

②堆密度说明在相同的吸附工况下，较大者的吸附床层的容积可以较小

③静态吸附量在相对湿度为 60%时，大者可以减少吸附床层的容积

④磨损率较低者或抗压强度较大者使用寿命较长

注：①压力强度（硬度）易会随着特殊添加剂而改变。

②氧化铝：吸附量大露点温度高；分子筛：吸附量小露点温度低。

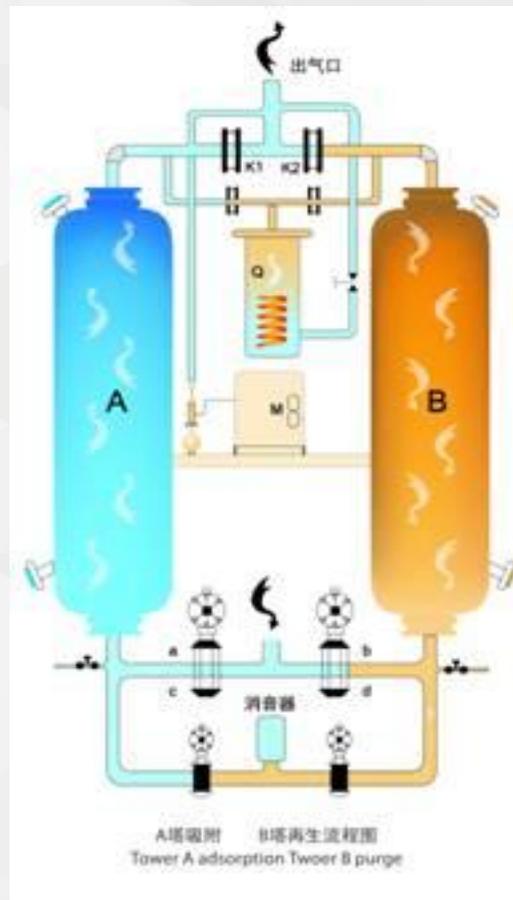
故露点要求较严格时，可下层 70% 采用氧化铝，上层 30% 采用分子筛。

③ PSA(压转式)多采用氧化铝，TSA(热转式)多采用分子筛。

压缩空气站净化设备的选用与设备节能

吸附式干燥机的改进与革新：

- 气流组织；
- 吸附剂的选择组合使用；
- 余热再生干燥机，压力露点 $-20^{\circ}\text{C} \sim -40^{\circ}\text{C}$ ，耗气量不超过 2%。



压缩空气站净化设备的选用与设备节能

冷冻式干燥机：

▶ 压力露点 $3^{\circ}\text{C} \sim 7^{\circ}\text{C}$ ($5^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$) 。

改进的冷冻式干燥机。

(压力露点 $2^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$) 。



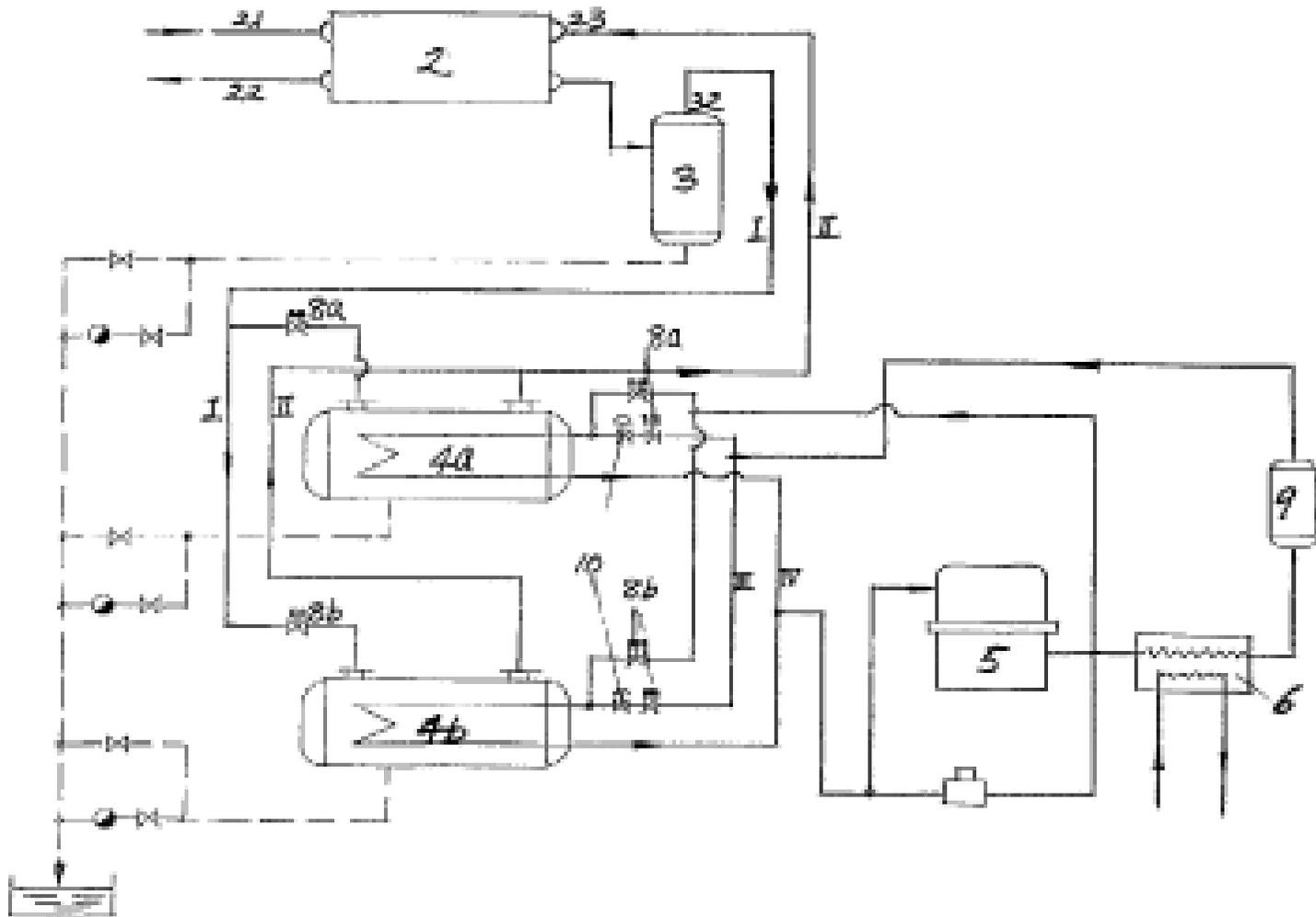
压缩空气站净化设备的选用与设备节能

改进冷冻式干燥机（一）：
(压力露点 $2^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$)

2、预冷器 3、气水分离器

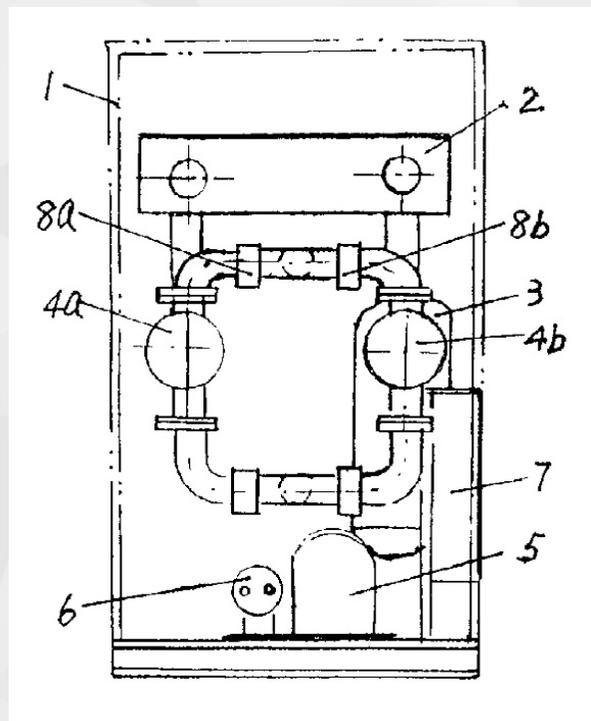
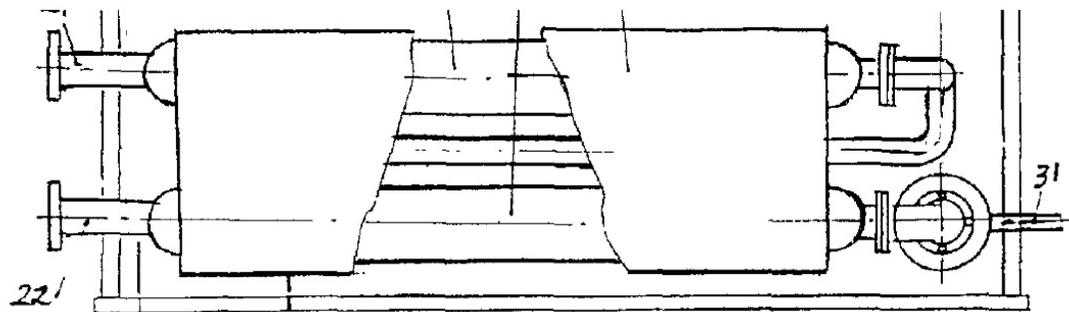
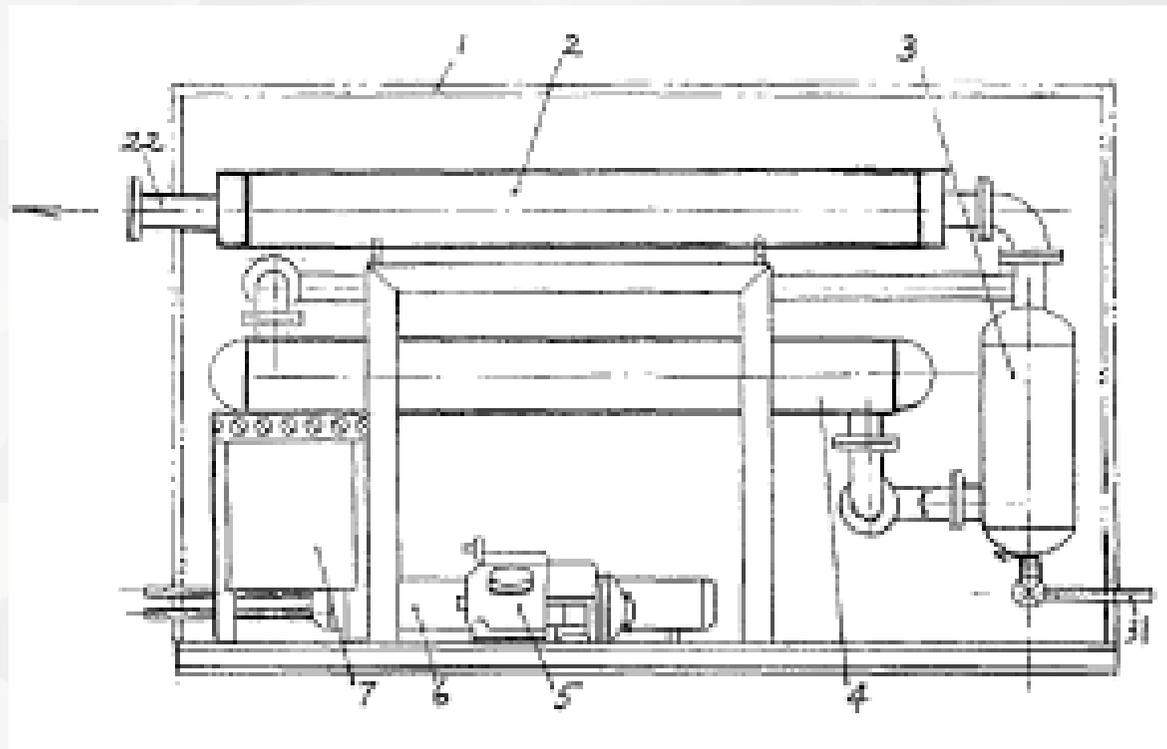
4、蒸发器 5、压缩机 6、冷凝器

8、电控阀 9、冷媒过滤器



压缩空气站净化设备的选用与设备节能

改进冷冻式干燥机（一）：

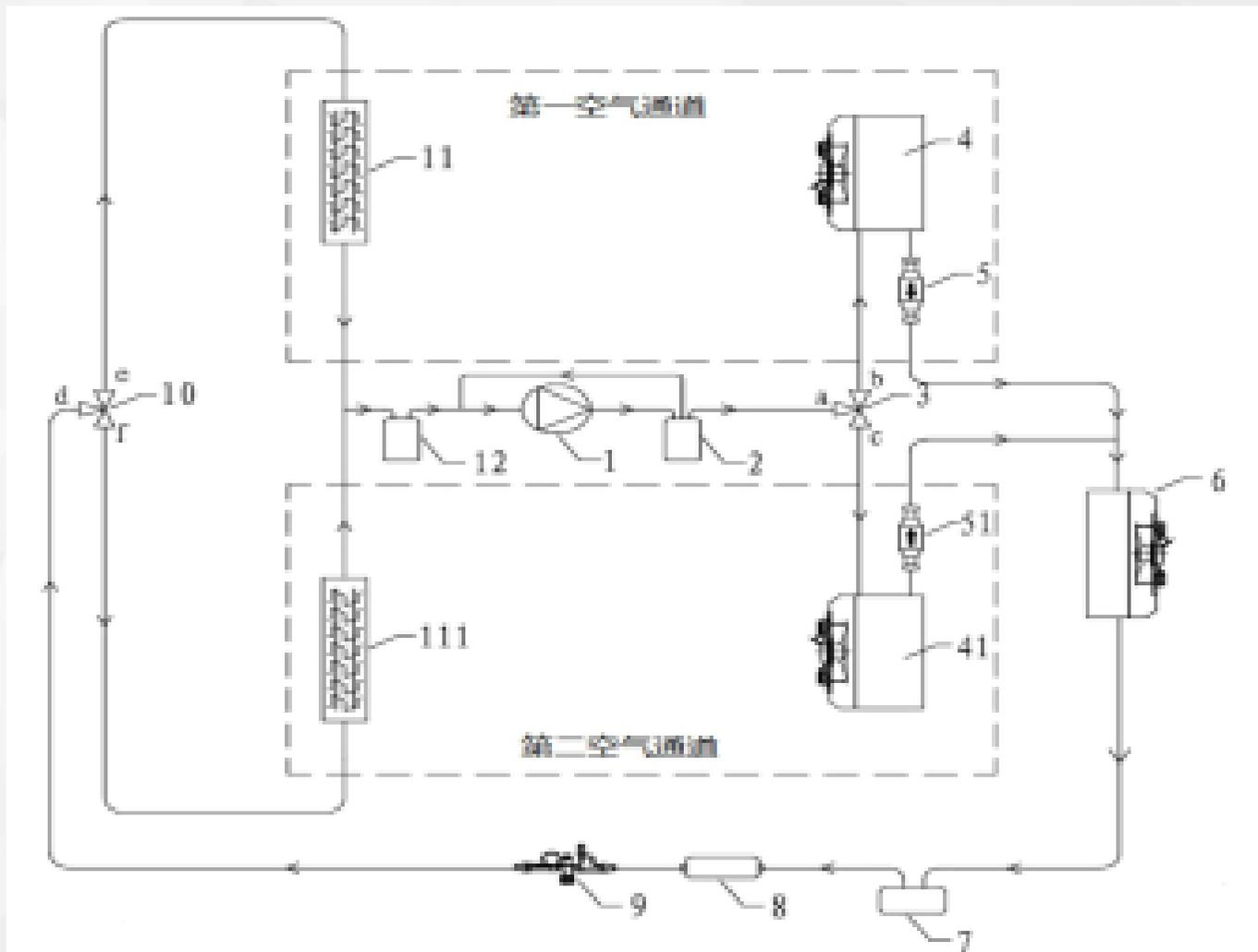


压缩空气站净化设备的选用与设备节能

改进冷冻式干燥机（二）：

（压力露点 $2^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ ）

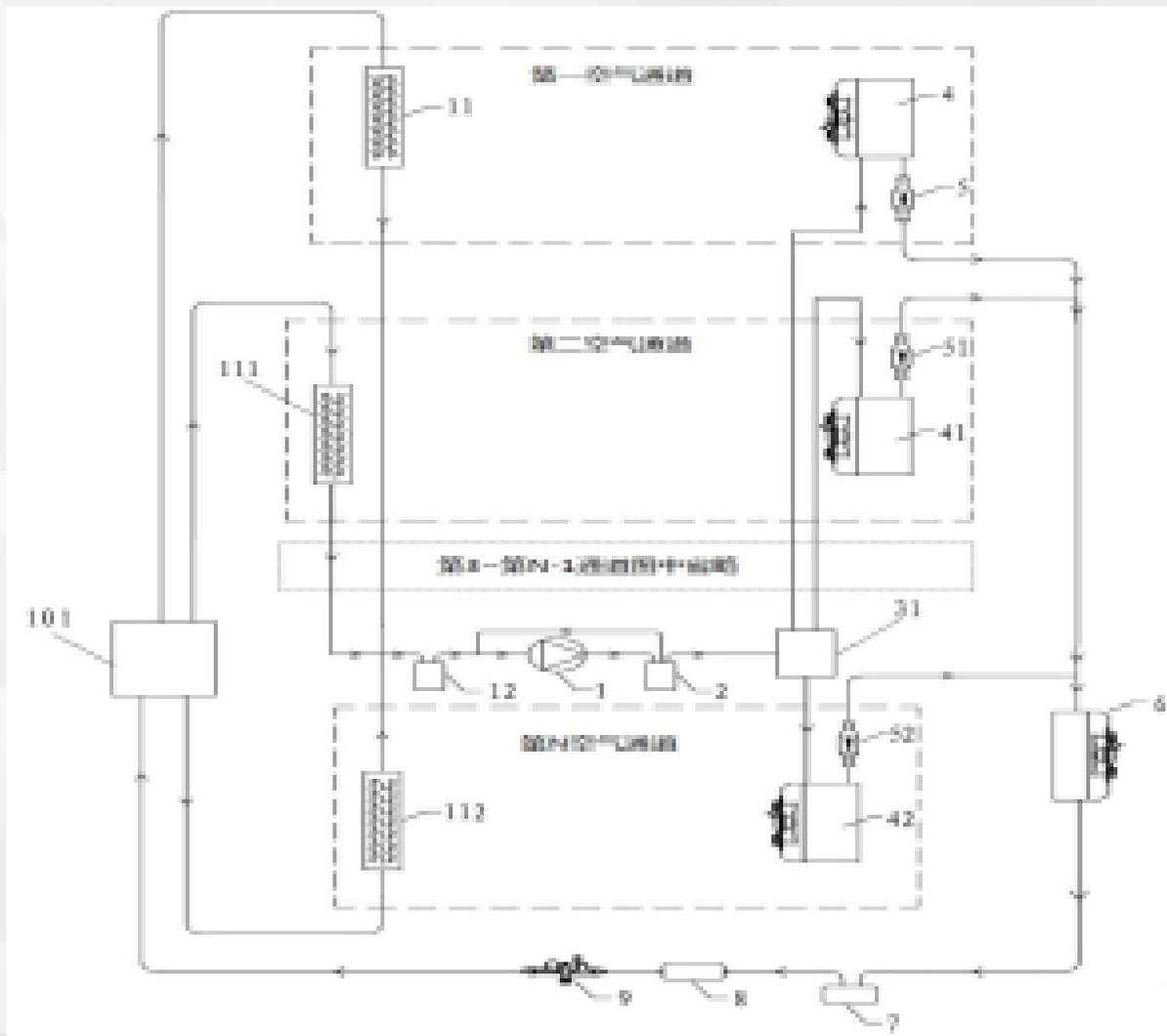
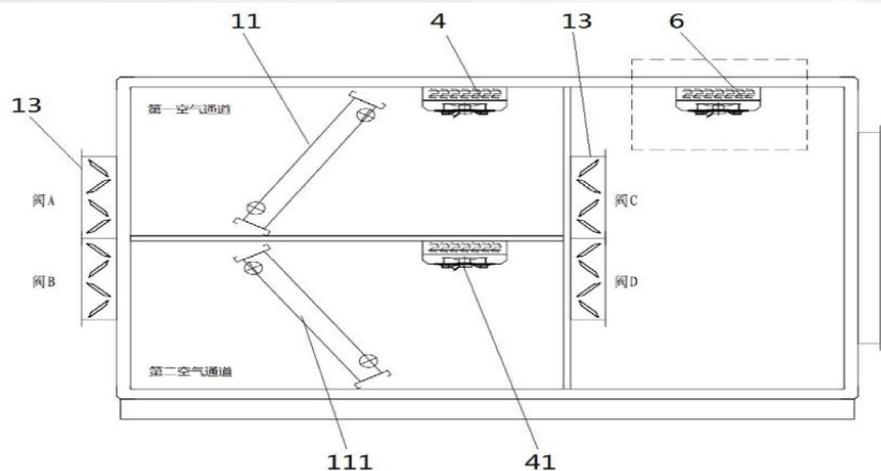
- 1、压缩机；2、油分离器；3、第一电动三通阀；
31、第一电动多通阀；4、第一冷凝换热单元；
41、第二冷凝换热单元；42、第N冷凝换热单元；
5、第一单向阀；51、第二单向阀；52、第N单向阀；
6、第三冷凝换热单元；7、贮液器；8、干燥过滤器；
9、节流阀；10、第二电动三通阀；
101、第二电动多通阀；11、第一蒸发换热单元；
111、第二蒸发换热单元；112、第N蒸发换热单元；
12、气液分离器；13、风阀。



压缩空气站净化设备的选用与设备节能

改进冷冻式干燥机（二）：

- 1、压缩机；2、油分离器；3、第一电动三通阀；
- 31、第一电动多通阀；4、第一冷凝换热单元；
- 41、第二冷凝换热单元；42、第N冷凝换热单元；
- 5、第一单向阀；51、第二单向阀；52、第N单向阀；
- 6、第三冷凝换热单元；7、贮液器；8、干燥过滤器；
- 9、节流阀；10、第二电动三通阀；
- 101、第二电动多通阀；11、第一蒸发换热单元；
- 111、第二蒸发换热单元；112、第N蒸发换热单元；
- 12、气液分离器；13、风阀。



压缩空气站净化设备的选用与设备节能

改进的系统冷冻式干燥方式：

- ▶ 空压机进气除湿干燥（略）

压缩空气管网的设计与管网节能

管道直径计算

按体积流量计算：

$$d = 18.8 \sqrt{q_v / \omega}$$

按质量流量计算：

$$d = 594.5 \sqrt{q_m / (\omega \gamma)}$$

按允许的压力降计算：

$$d = 36.4 \sqrt[3]{\frac{\lambda q_v^2}{\Delta p}}$$

式中 d ——管道内径(mm)；

q_v ——在工作状态下的体积流量(m^3/h)，当仅知标准状况下的体积流量时应按工作温度和工作压力换算成工作状态下的体积流量；

q_m ——在工作状态下的质量流量(t/h)；

ω ——在工作状态下的流速(m/s)；

γ ——在工作状态下的密度(kg/m^3)；

λ ——摩擦阻力系数；

Δp ——允许的压力降(Pa/m)。

管道压力损失计算

流体在管内流动时，由于摩擦阻力、局部阻力和高程变化等原因，而使流体本身的压力降低，通称为压力降 Δp 。

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3$$

式中 Δp_1 ——直管段的压力降(Pa)；

Δp_2 ——管道的局部压力降(Pa)；

Δp_3 ——管道的高程差压力降(Pa)，对于气体管道 $\Delta p_3 \approx 0$ 。

$$\Delta p_1 = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho \omega^2}{2}$$

式中 L ——直线段管道长(m)；

ρ ——介质密度(kg/m^3)；

d ——管道内径(m)；

ω ——工作状态下的介质流速(m/s)；

g ——重力加速度 $9.81\text{m}/\text{s}^2$ ；

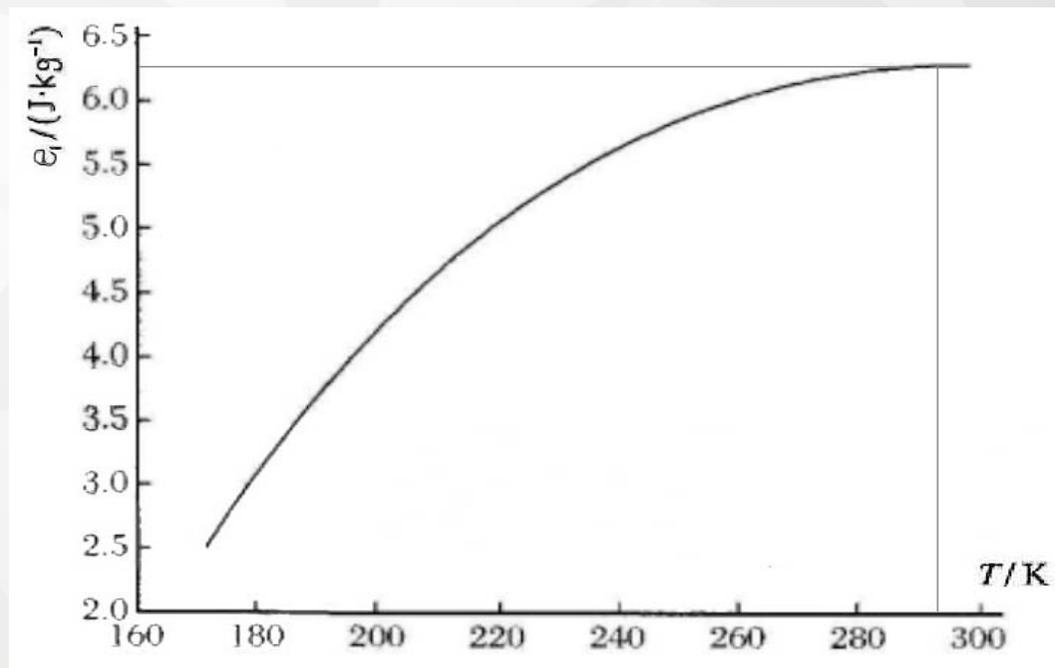
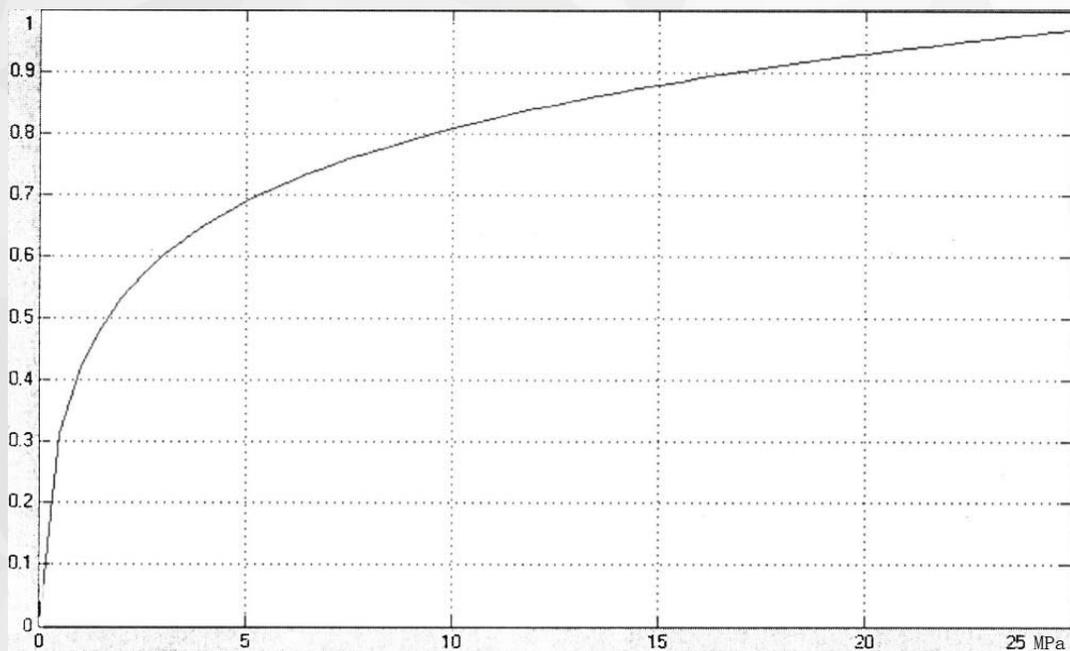
λ ——摩擦系数，与介质的流动状态和管道内壁的绝对粗糙度有关。

$$\Delta p_2 = \sum \zeta \frac{\gamma \omega^2}{2}$$

式中 $\sum \zeta$ ——管道中各管件、阀门的局部阻力系数之和，常用管件、阀门的局部阻力系数值可查专业的设计手册。

压缩空气管网的设计与管网节能

- 1、降低管道压力损失。
- 2、降低空压机排气压力。
改善机组联动控制能力 ($\pm 20\text{kPa}$) 。
- 3、合理区分不同的管道压力级制。
- 4、减少管网泄漏。



压缩空气高效用气设备器材节能

压缩空气高效用气设备器材节能：

- ▶ 使用高效的末端设备；
- ▶ 系统优化延长设备使用寿命。



谢谢！