



# 第8章：真空技术

- ◆ 8.1 概述
- ◆ 8.2 真空的获得
- ◆ 8.3 真空的测量
- ◆ 8.4 真空检漏技术

# 8.1 概述

## ◆ 真空概念

- 真空：一定空间内气体分子密度 小于 该地区大气压下气体分子密度。并非指一定的空间内空无一物

## ◆ 按真空度划分

$10^5$  粗真空  $3 \times 10^3$  中真空  $10^{-1}$  高真空  $10^{-4}$  超高真空  $10^{-7}$  极高真空

## ◆ 真空在低温中的应用

- 在气体液化、低温液体的贮运(低温容器)以及减压降温的控制中，都离不开真空技术。

# 西蒙氦液化系统

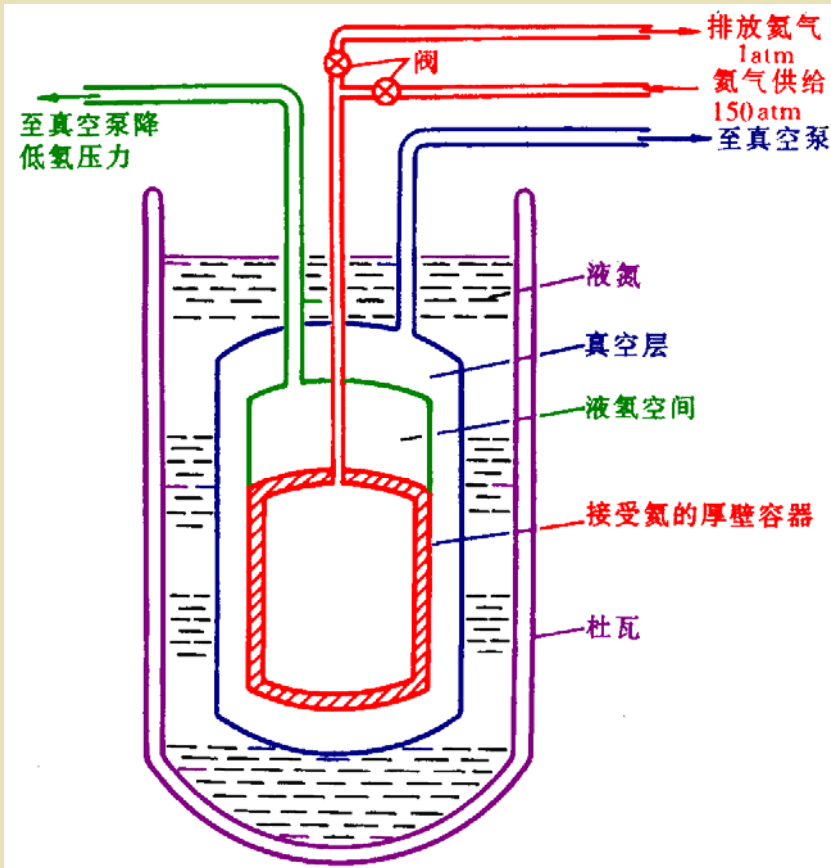


图 3.31 西蒙液化系统

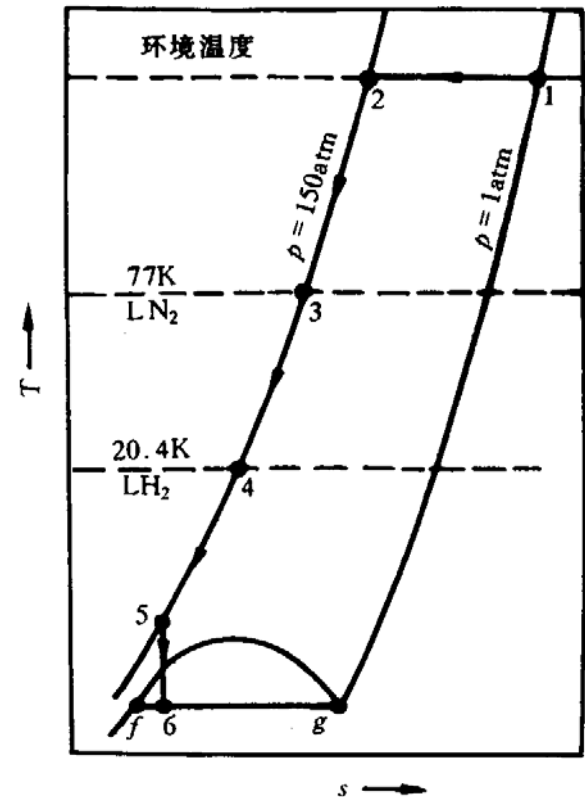


图 3.32 西蒙液化系统的  $T-s$  图

- ◆ 1、He以环境温度和10~15MPa压力充入厚壁容器中；
- ◆ 2、用LN<sub>2</sub>冷却He至77K (T-S图上2~3)
- ◆ 3、用LH<sub>2</sub>冷却He至10K (T-S图上3~5)
- ◆ 4、He绝热放气液化 (T-S图上5~f)

[返回](#)

## 8.2 真空的获得

- ◆ 真空的获得方法：机械、物理、化学、物理化学
- ◆ 获得真空的工具—真空泵：

<u>机械泵</u>	机械的方法
<u>扩散泵</u>	物理的方法
<u>低温泵</u>	物理的方法
<u>吸附泵</u>	物理、化学方法

## 8.2.1 机械泵

### ◆ 1 两个主要作用

- 获得低真空
- 作为其它抽更高真空泵(扩散泵、冷凝泵)的前级泵

### ◆ 2 旋片式机械泵

- 转子与泵体呈偏心
- 旋片靠弹簧紧贴在空腔内表面
- 排气阀用油密封，防止大气返流

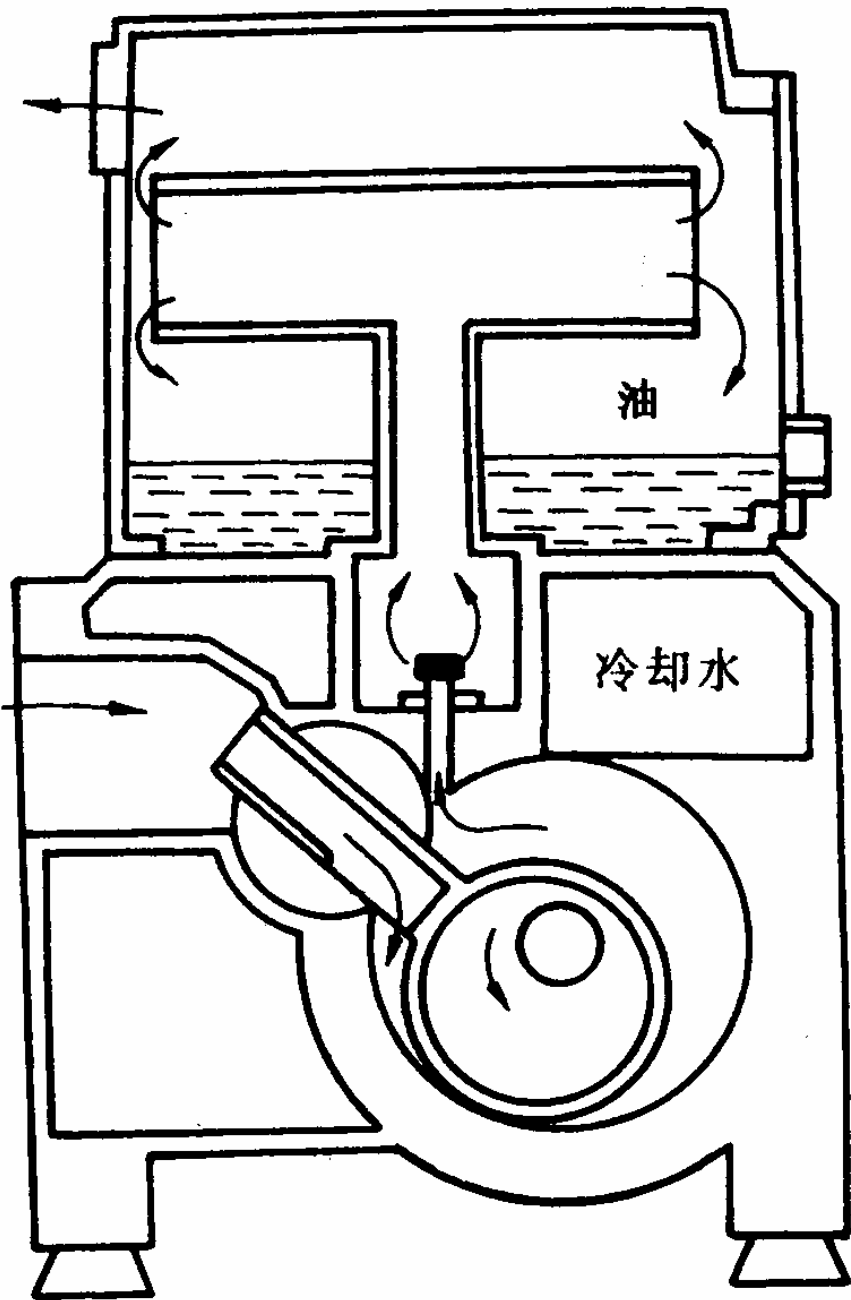


图 8.5 旋片式机械泵结构示意图



## 8.2.1 机械泵

### ◆ 3 不宜抽水蒸汽

- 水蒸汽在压缩过程中会冷凝，形成的液体和油混合残留在泵体内，产生的后果：
  - 泵体中水蒸气压和被抽容器压力达到平衡时，泵就不起抽气作用了；
  - 水混入油后，使油含酸性，引起油胶化、泵的金属零件氧化，损坏机械泵。

### ◆ 4 极限真空

- 国产的双旋片机械泵的极限真空为**0.67 Pa**。

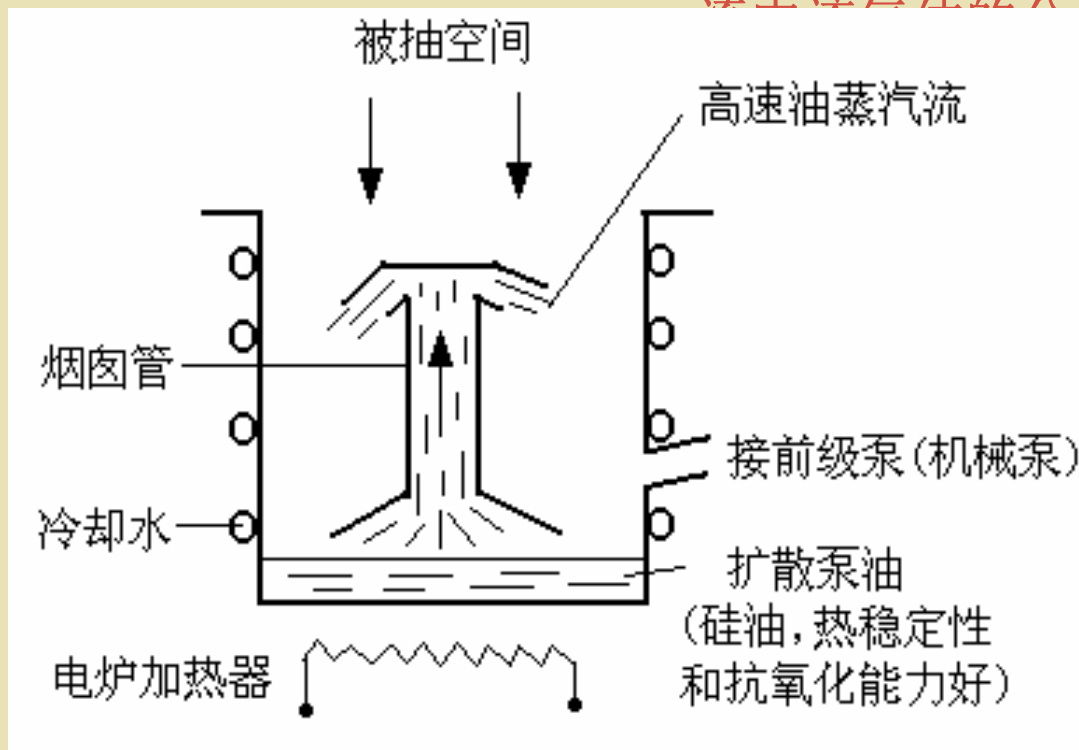
### ◆ 5 机械泵的抽气速率

- 不是一个常数，随容器中的压力而变，达极限真空时抽速为零。

# 8.2.2 扩散泵

扩散泵是获得高真空的主要工具，是一种次级泵，需以机械泵作为前级泵。

## 1 结构示意图



## 2 工作原理 (参考)

- 当扩散泵油锅中的泵油在真空中被加热到沸腾温度时，便产生大量的油蒸气，油蒸汽经导管由各级喷嘴定向高速喷出。由于进扩散泵的被抽气体的分压大于蒸汽流中该气体的分压，所以该气体被带到蒸汽流中。量很大的油蒸汽定向高速运动，后又反射回来，撞击，重新沿蒸汽流方向运动，经多次碰撞后，被带到前级泵抽走。而油蒸汽被冷凝后返回油锅。如此循环工作的目的。

# 8.2.2 扩散泵

## 2 工作原理

### ◆ 油射流的形成

- 扩散泵底部的高真空油在经泵外电炉加热后，产生的油蒸气沿着烟囱管传输到上部，经平行喷嘴向下喷出。由于前级机械泵的抽空作用，喷嘴外的气体压强很低，压差使油蒸气从喷嘴处定向高速喷出，形成射流。

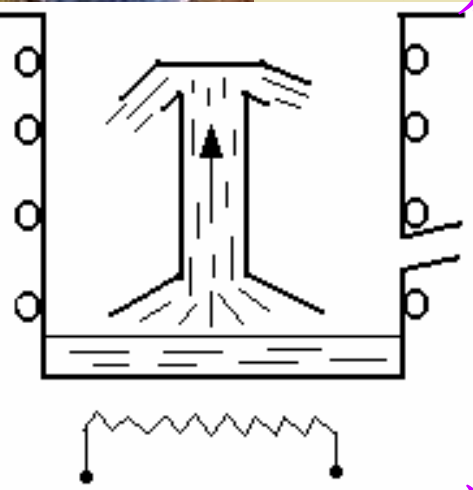
### ◆ 射流具有很强的带分子的能力

- 高的射流运动速度
- 蒸气流密度大
- 油的分子量大

被抽分子一旦落入射流范围，便可从射流中获得向出口方向运动的动量，迅速往下方飞去，因此在射流界面内被抽气体分子不能长期滞留。

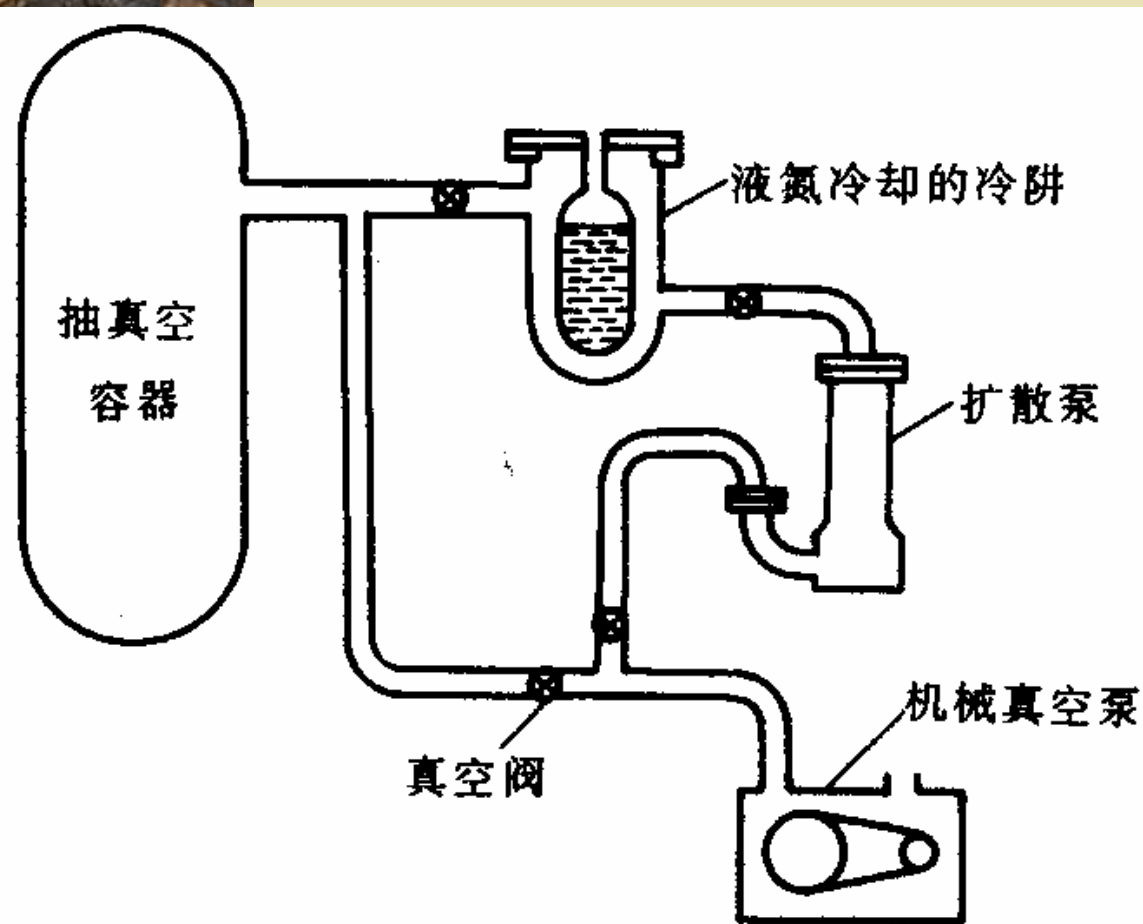
### ◆ 被抽气体分子进入射流

- 由于被抽气体分子不能在射流中长期滞留，因此被抽气体分子在射流中密度很小，射流界面上与界面内的被抽气体分子密度差使气体分子不断向射流中扩散，进入射流后被高速流动的射流带至机械泵抽口附近，最终被机械泵抽





## 8.2.2 扩散泵



### 3 冷却水的作用

射流在往下运动过程中，有冷却水冷却，油分子就被冷凝下来，沿泵壁流回泵的底部，继续循环使用。

### 4 多级扩散泵

一个喷嘴所能建立的压缩比有时还嫌小，为了获得高的压缩比，近代泵内都有3~4个喷嘴相串联，这种称为三(四)级油扩散泵。

图 8.3 典型真空系统的基本部件

## 8.2.3 低温泵

### ◆ 1 原理

- 利用低温表面将气体冷凝以实现抽气的一种泵
- 用低温介质将抽气面冷却到一定温度(如 **20K**)以下，抽气面就能大量冷凝沸点温度比该抽气面温度高的气体，产生很大的抽气作用。



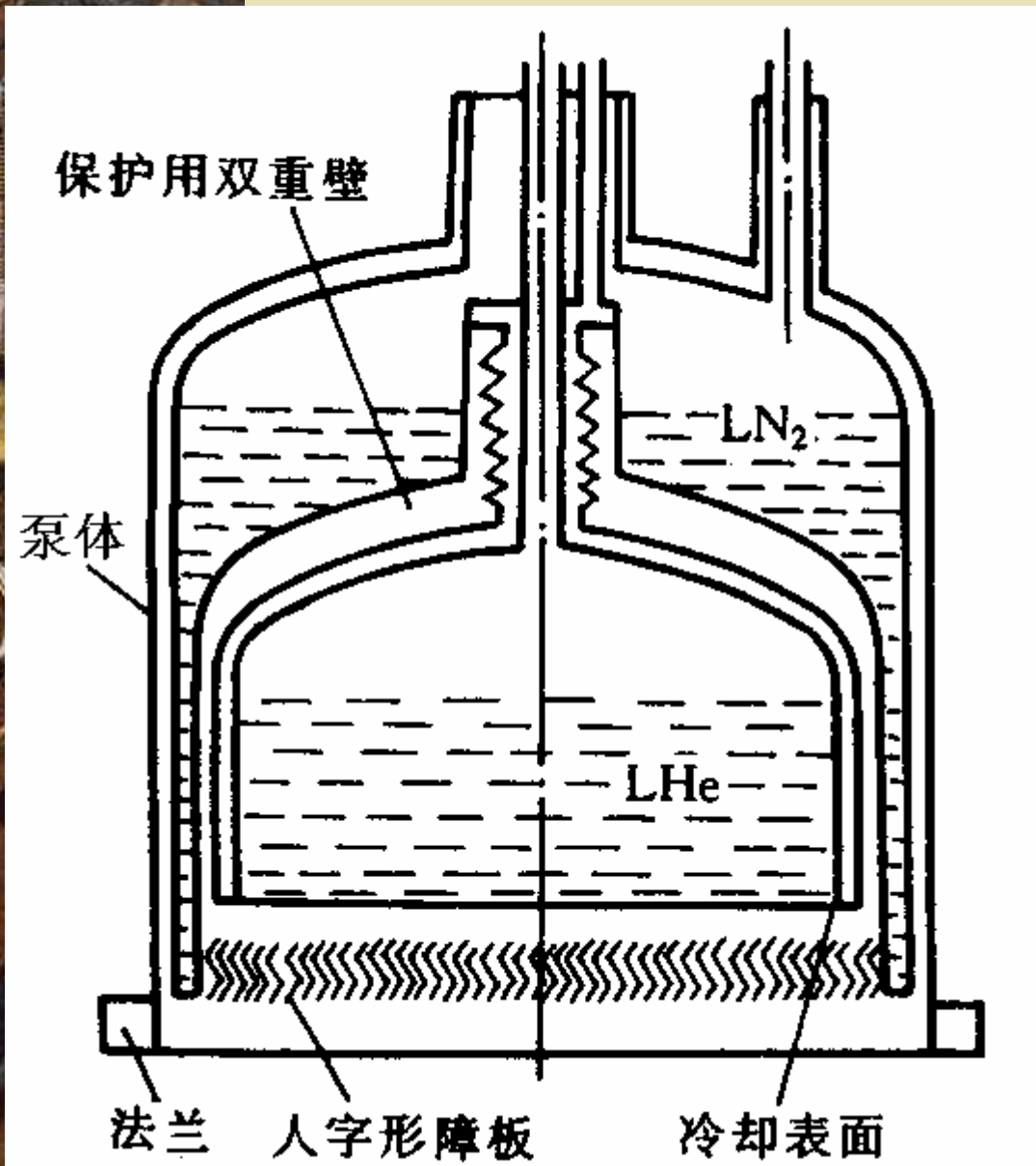
## 8.2.3 低温泵

### 2 低温表面的冷却方式

#### (1) 贮液式低温泵

图中液氮用于给液氦容器保温用，下面接真空设备。

低温介质(液氮)直接注入泵内液池，液池的外壁作为低温板使气体冷凝达到抽气目的。



## 8.2.3 低温泵

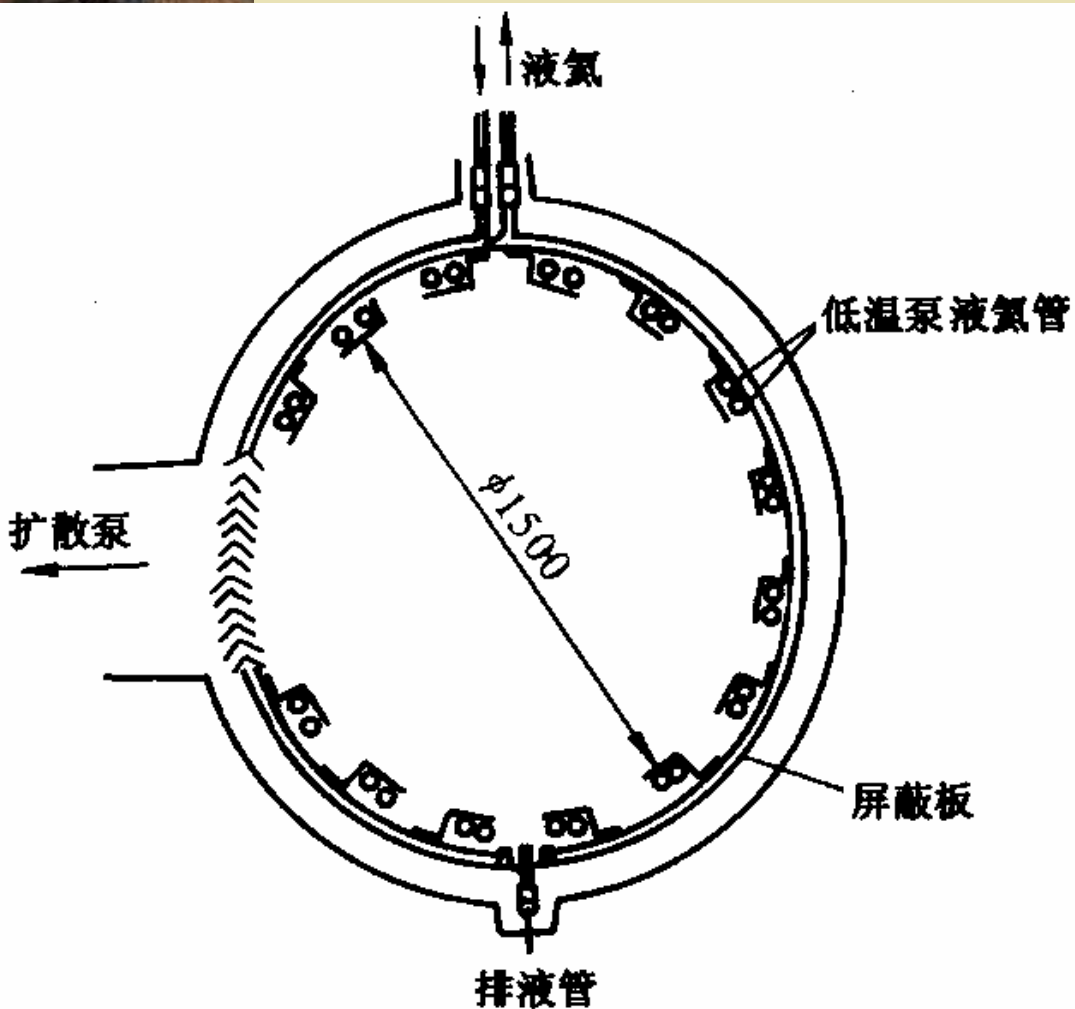


图 8.11 环境模拟用连续流低温泵

### 2 低温表面的冷却方式

#### (2) 连续流动式低温泵

泵中低温板是一个热交换器，低温液体在热交换器中汽化，其蒸发的潜热和显热可用来冷却



# 8.2.3 低温泵

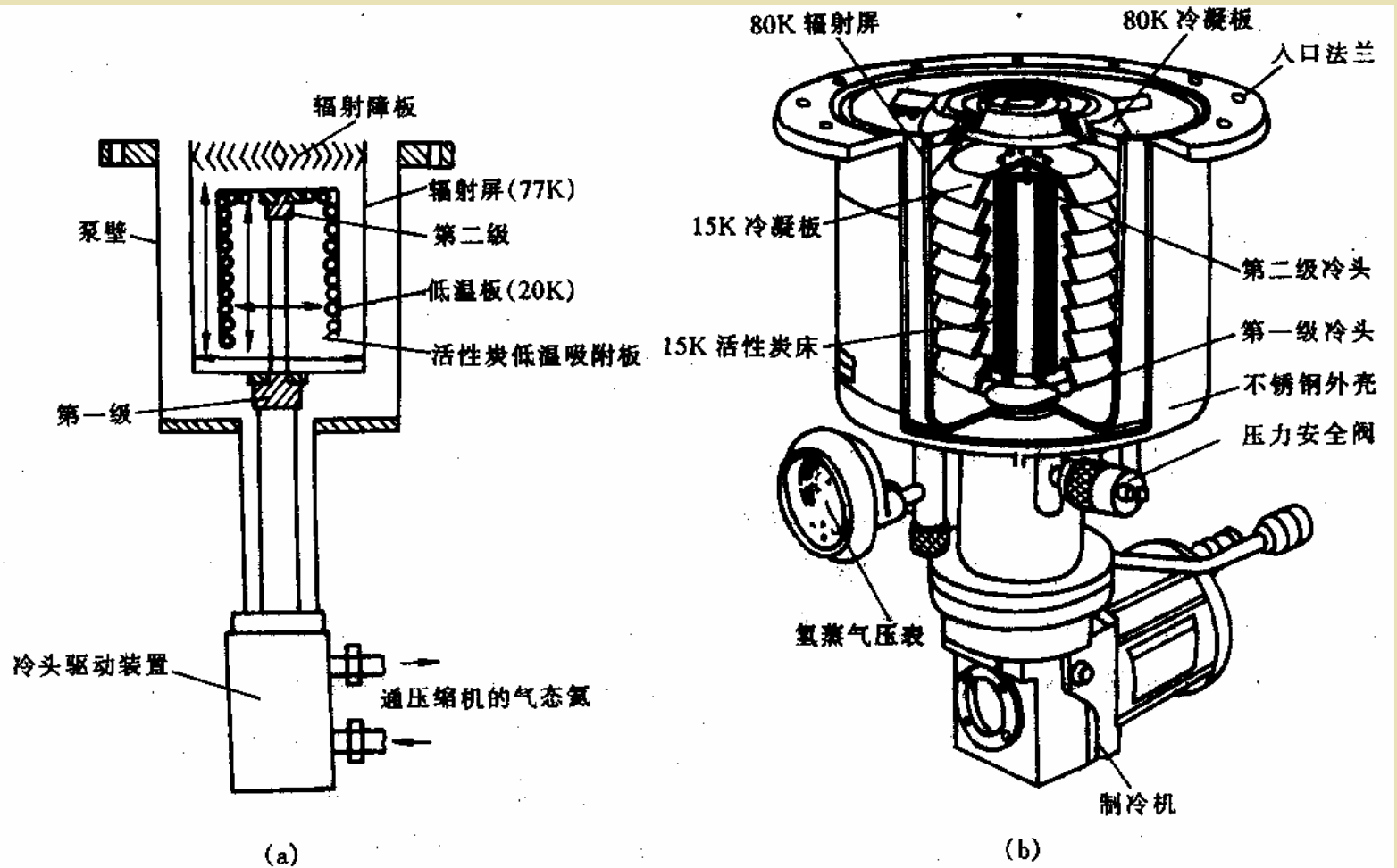


图 8.12 小型制冷机低温泵

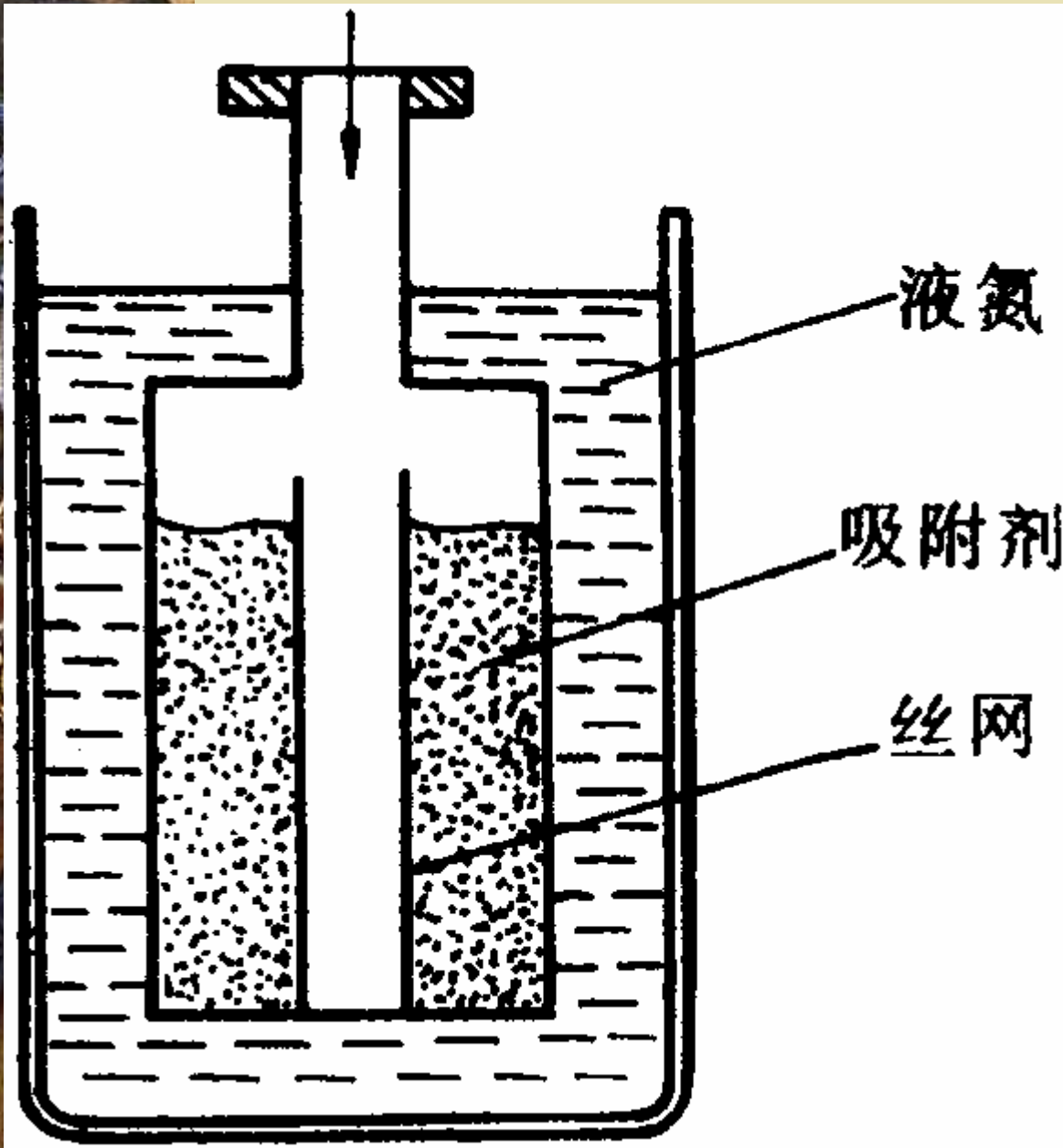
(a) 工作原理 (b) 典型结构(Cryo-U12H)

- ◆ 2 低温表面的冷却方式
- ◆ (3) 带制冷机的低温泵

## 8.2.3 低温泵

- ◆ 3 低温泵装在真空系统内的两种方法
  - 把低温板设置在待抽气的真空容器内部
    - 优点：得到最大的抽气速率
    - 缺点：抽气中不能进行再生
  - 把低温泵设置在待抽气的真空容器外部

## 8.2.4 吸附泵



### ◆ 1 原理

- 吸附泵利用吸附材料在低温下吸附真空系统中的气体的原理进行工作。
- 这些吸附材料在低温下具有很强的吸附能力，吸附方式一般有物理吸附、吸收和化学吸附。

## 8.2.4 吸附泵

### ◆ 2 吸附剂

- 吸附剂种类：活性炭、分子筛
- 吸附：当冷却到一定温度(如液氮)时，其吸附能力将比室温下大大提高。
- 解吸：将吸附泵加热到泵体温度，若要脱水，则需加热到200~250℃

### ◆ 3 低温泵和吸附泵的优缺点

- 优点：
  - 不含油蒸汽，可得到极为洁净的真空
  - 由于冷面尺寸不受限制，可得到很大的抽气速率
- 缺点：
  - 要消耗低温液体 或 要由低温制冷机提供冷量





## 8.3 真空的测量

- ◆ **1 真空系统中最重要的被测参数**
  - 真空度
- ◆ **2 测真空度所用的仪表**
  - “真空计”或“真空规”
- ◆ **3 测量方法**
  - **直接**测气体压强：U形真空计、麦氏真空计；
  - **间接**测量，非电量电测法：热偶真空计、电离真空计(热阴极、冷阴极)等

## 8.3 真空的测量-热偶真空计

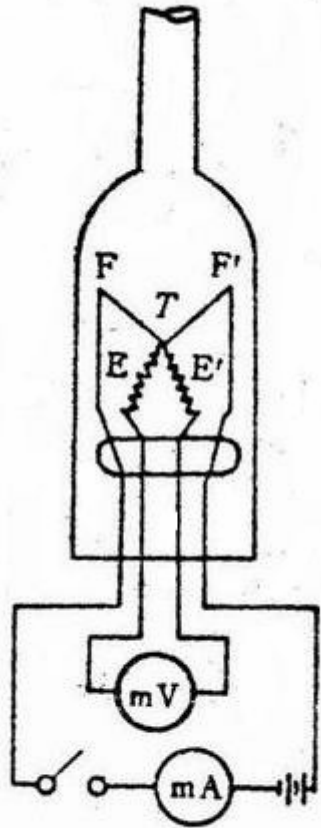


图 7-6 热偶真空计结构示意图

◆ **工作原理**：利用气体导热性与真空度之间存在的一定关系而制成的热传导真空计。

- 压强越高(真空越低) → 分子数越多 → 带走灯丝(FF')上热量多 → 热电偶(EE')产生的电动势小。
- 压强越低(真空越高) → 分子数越少 → 带走灯丝上热量少 → 热电偶产生的电动势大。

◆ **测量范围**：5~0.1Pa

- 当压强大时，气体分子导热与P无关
- 当压强小时，通过辐射和灯丝的固体导热占主要，这两项与P无关

## 8.3 真空的测量-电离真空计

### ◆ 1 工作原理

- 在低压强气体中，气体分子被电离所产生的正离子数通常是与气体分子密度成正比的。利用这一关系可制成电离真空计。电离真空计测量出离子数就可测得该空间的压强值。

### ◆ 2 应用

- 在高真空测量中，电离真空计是最主要、最实用的一种
- 在极高真空测量中，电离真空计是唯一实际可用的真空计

### ◆ 3 电离气体的两种方法

- 在电场或磁场中被加速的电子轰击气体分子  
(热阴极电离真空计、冷阴极电离真空计)
- 从放射性物质中放射出具有有一种能量的粒子去轰击气体分子

# 8.3 真空的测量-电离真空计

## ◆ 热阴极电离真空计

– 由灯丝加热提供电子源的电离真空计。

## ◆ 冷热阴极电离真空计

– 靠宇宙线或其它因素产生少量自由电子。

条件：电场、磁场、少量电子。

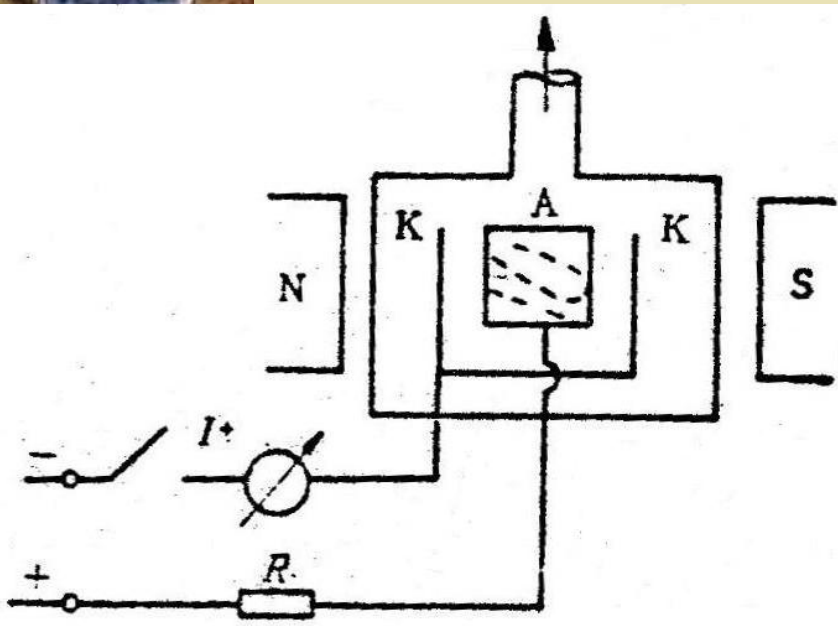
A-阳极；K-阴极

强电场和强磁场方向垂直

阴阳极间为强磁场

• 少量电子在强磁场和电场作用下在两极间来回振荡，轰击气体分子使其电离，直至被阳极吸收。电离得到的正离子在强磁场作用下轰击阴极，使阴极产生二次发射，发射电子在飞向阳极过程中又轰击分子使其电离。

[返回](#)







## 8.4 真空检漏技术

- ◆ 8.4.1 概述
- ◆ 8.4.2 气压法
- ◆ 8.4.3 高频火花检漏仪
- ◆ 8.4.4 氦质谱仪检漏法



## 8.4.1 概述

### ◆ 目的

- 达到并保持某一较高的真空度。

### ◆ 方法

- 压力检漏法： $P_{内} > P_{外}$ ，气压法
- 真空检漏法： $P_{内} < P_{外}$ ，氦质谱仪检漏法、高频火花检漏法等
- 其它方法：放射性同位素法等

## 8.4.2 气压法

### ◆ 气压法

- 用一定的方法或仪器在容器外部检测出从漏孔中泄漏出的示漏物质质量，从而判断出漏孔的位置及漏率的大小

### ◆ 具体方法

- 将高压气体充入被检装置中，观察气体是否逸出。
- 高压气体：一般用 $N_2$ 或干空气
- 观察是否有气体逸出：在可疑处涂肥皂水

[返回](#)



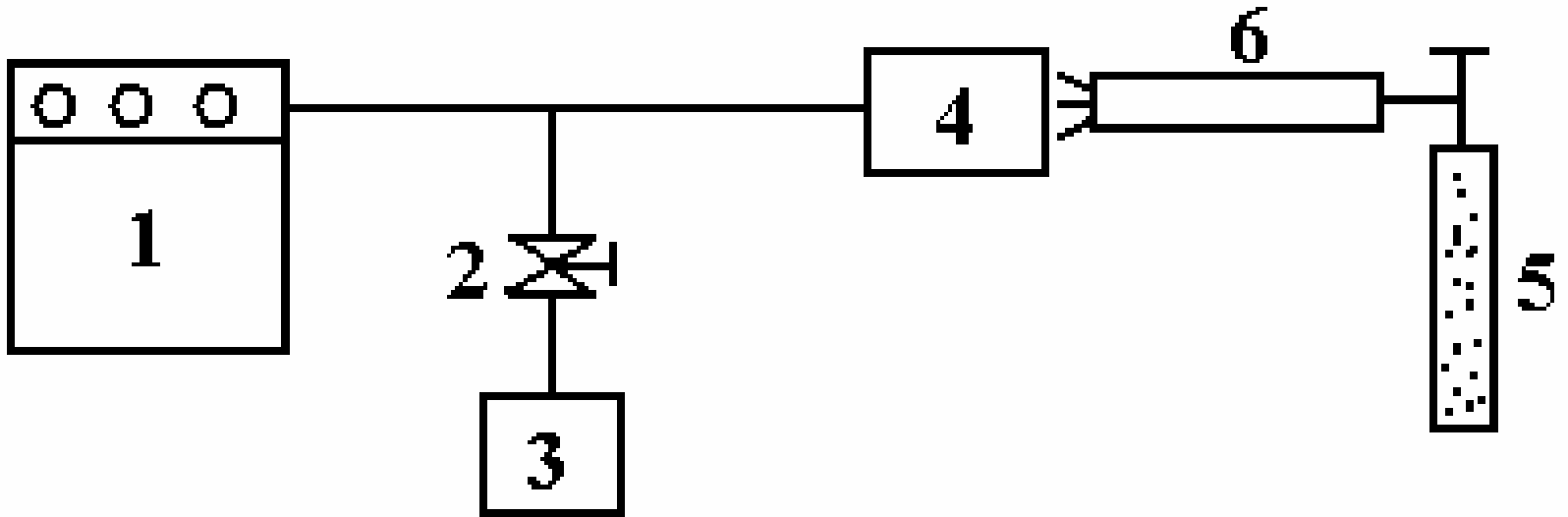
## 8.4.3 高频火花检漏仪

- ◆ **1 检漏对象**
  - 玻璃系统或器件
- ◆ **2 高频火花检漏仪**
  - 是高频火花发生器，产生电火花
- ◆ **3 是否有漏的判别**
  - **无漏孔时**：电火花保持原来杂乱无章的散射
  - **有漏孔时**：杂乱的火花形成一股线条，并出现亮点
- ◆ **4 使用中注意点**
  - 使用时不宜在某一处停留过久，以免击穿玻璃



## 8.4.4 氦质谱仪检漏法

### ◆ 1 氦质谱仪检漏系统示意图



1-检漏仪 2 辅助阀 3 辅助泵 4 被检体 5 He钢瓶 6 喷枪

# 8.4.4 氦质谱仪检漏法



## ◆ 2 工作原理

氦作为示漏气体的专门用于检漏的质谱分析仪器，以检测到的示漏气体—氦的多少来进行检漏。

- N: 质谱室阴极，把来自检漏系统的气体分子电离成离子
- S<sub>1</sub>: 磁偏转气体入口，离子加速极，加速电压V（入口）
- H: 均匀磁场，使被加速的离子按圆形轨迹运动
- S<sub>2</sub>: 磁偏转气体出口
- K: 离子接收靶，收集离子

◆ 偏转半径：
$$R = \frac{144}{H} \sqrt{MV}$$

- ◆ 当H与V一定时，偏转半径R与离子的质荷比M(m/e)有关。
- ◆ 对于用氦气作示漏气体检漏时，固定H和R值，调节V值使氦离子正好通过狭缝S<sub>2</sub>。

## 8.4.4 氦质谱仪检漏法

- ◆ **工作原理：**当有质量不同的原子在仪器电离室中电离成各带电荷的正离子，当离子在加速区受到静电场的加速，获得一定的动能后进入磁场，受磁场作用作圆周运动，不同的离子具有不同的偏转半径，只有偏转半径与质谱仪的几何半径相同的离子才能穿过出口狭缝到达收集极形成离子流。当用氦作示漏气体时，调整电场强度使氦离子流正好到达收集极，则在检漏时，被检漏系统在若有泄漏，则会有氦原子扩散至氦质谱检漏仪中，仪表中会有读数反映出系统有漏孔。

## 8.4.4 氦质谱仪检漏法

### ◆ 3 用氦气作示漏气体的原因

- **He**在空气中及其残余气体中含量少，本底压力小
- **He**轻，易穿过漏孔，流动和扩散也快
- **He**为惰性气体，不与真空系统中器件发生化学反应



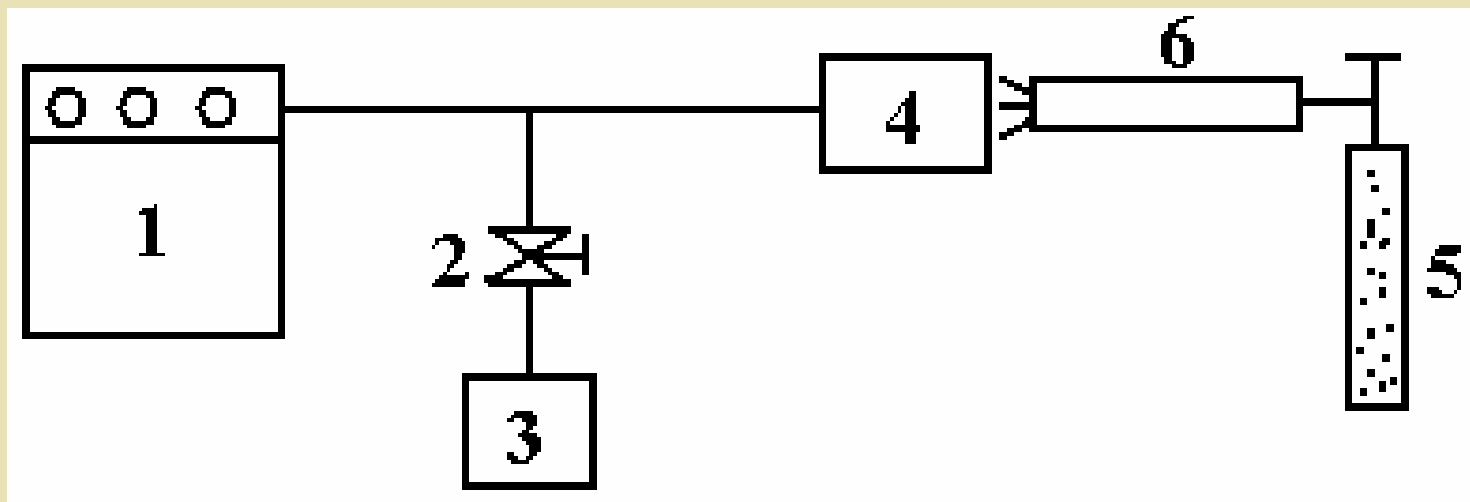


## 8.4.4 氦质谱仪检漏法

### ◆ 4 几种检漏方法

– 喷氦法、氦罩法、检漏盒法、压力检漏法、吸嘴法

### ◆ (1) 喷氦法

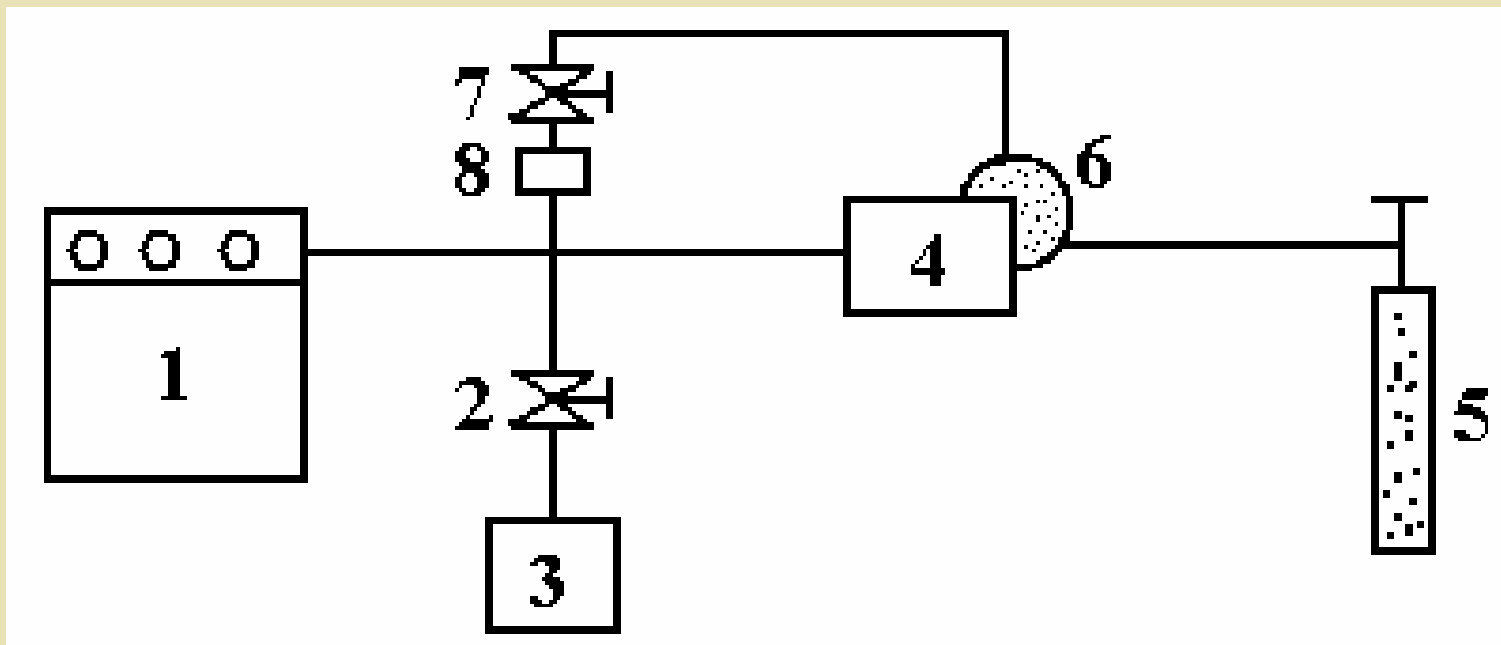


1-检漏仪 2 辅助阀 3 辅助泵 4 被检体 5 He钢瓶 6 喷枪



## 8.4.4 氦质谱仪检漏法

### ◆ (2) 氦罩法

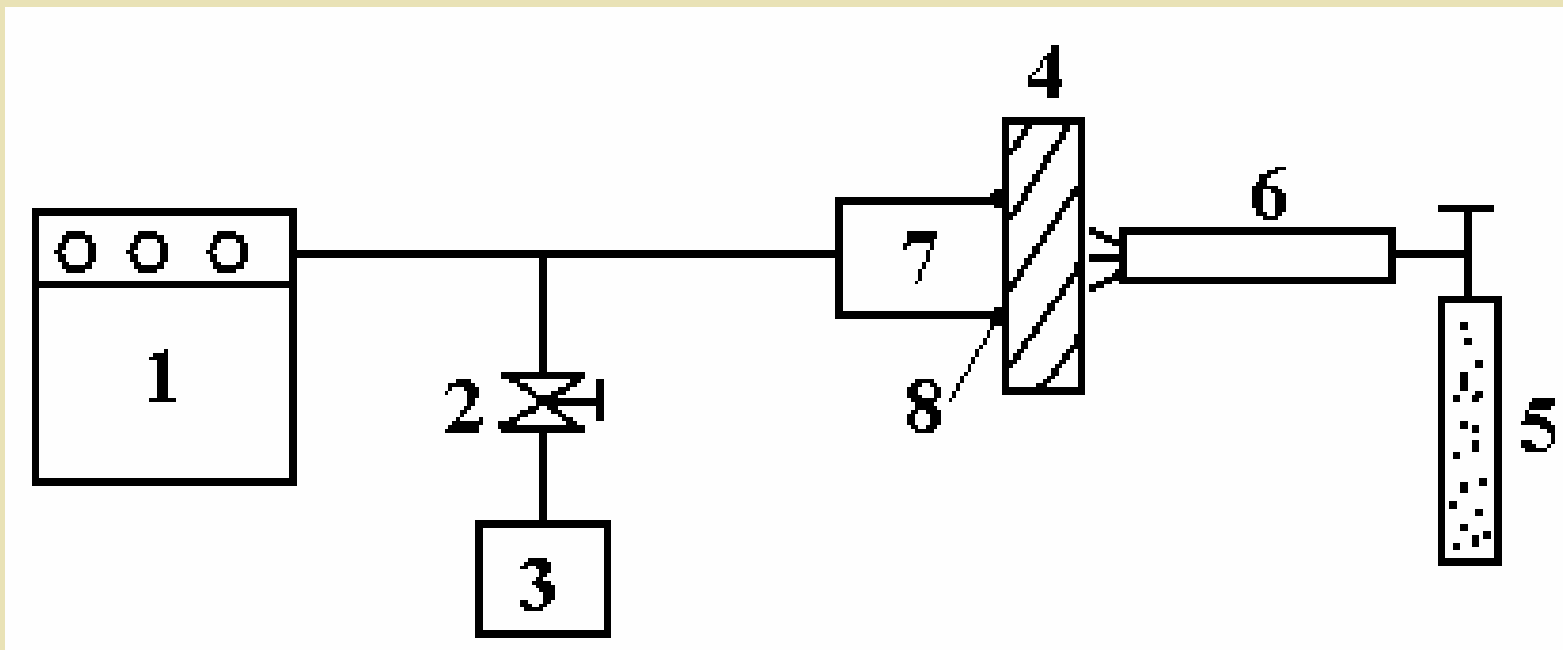


1-检漏仪；2-辅助阀；3-辅助泵；4-被检体；  
5-氦钢瓶；6-氦罩；7-阀门；8-标准漏孔

**使用时**，先对被检系统和氦罩抽真空→关闭阀2,7→对6冲He→看质谱仪上仪表读数；若有读数，则表明漏气，需进一步用喷He法查找漏孔；若无读数，说明没有漏孔。

## 8.4.4 氦质谱仪检漏法

### ◆ (3) 检漏盒法

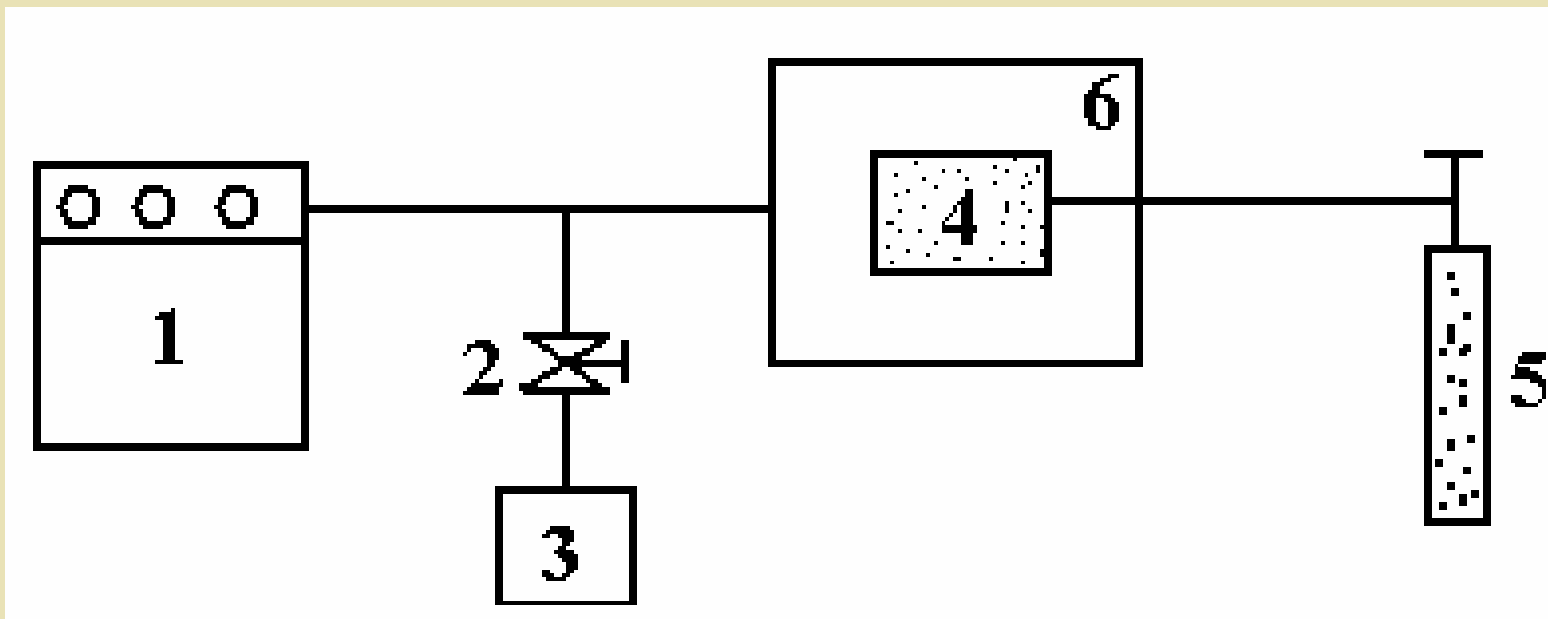


1-检漏仪； 2-辅助阀； 3-辅助泵； 4-被检体；  
5-氦钢瓶； 6-喷枪； 7-检漏盒； 8-密封圈

先抽气，使处于真空状态并使4与7密合→喷He

## 8.4.4 氦质谱仪检漏法

### ◆ (4) 压力检漏法

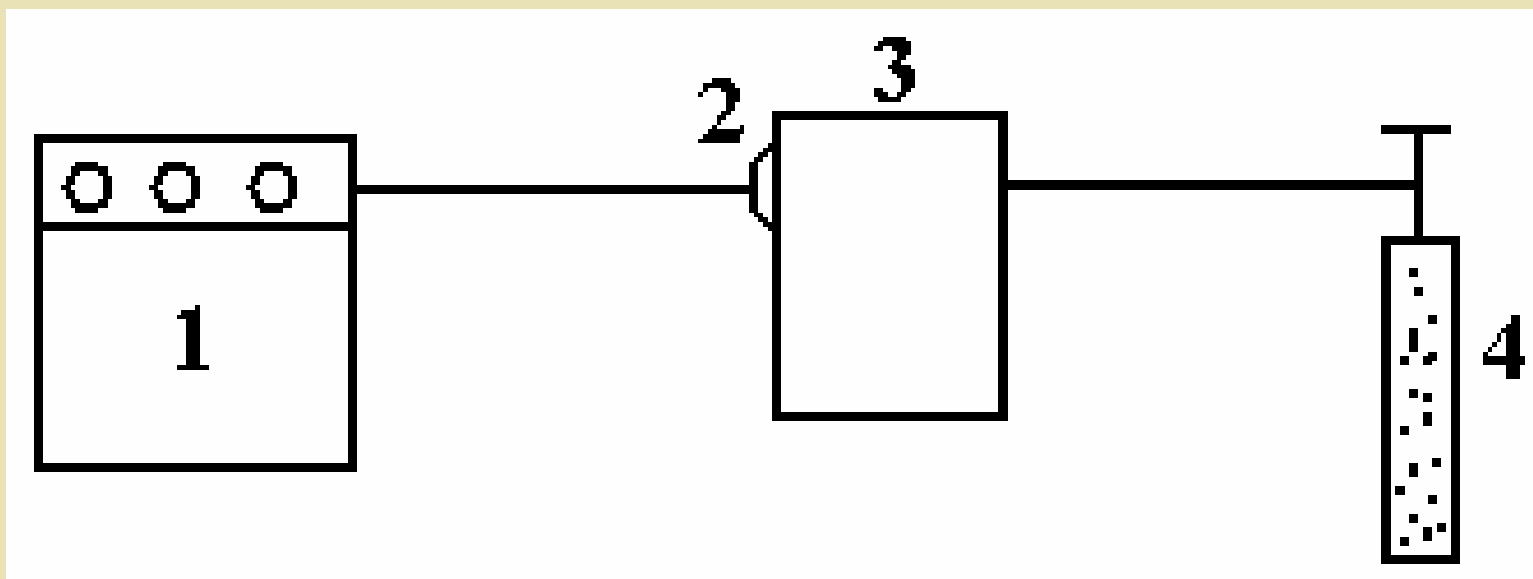


1-检漏仪；2-辅助阀；3-辅助泵  
4-被检体；5-氦钢瓶；6-容器

对容器抽真空，制造压差，若有漏孔，有利于He漏入容器

## 8.4.4 氦质谱仪检漏法

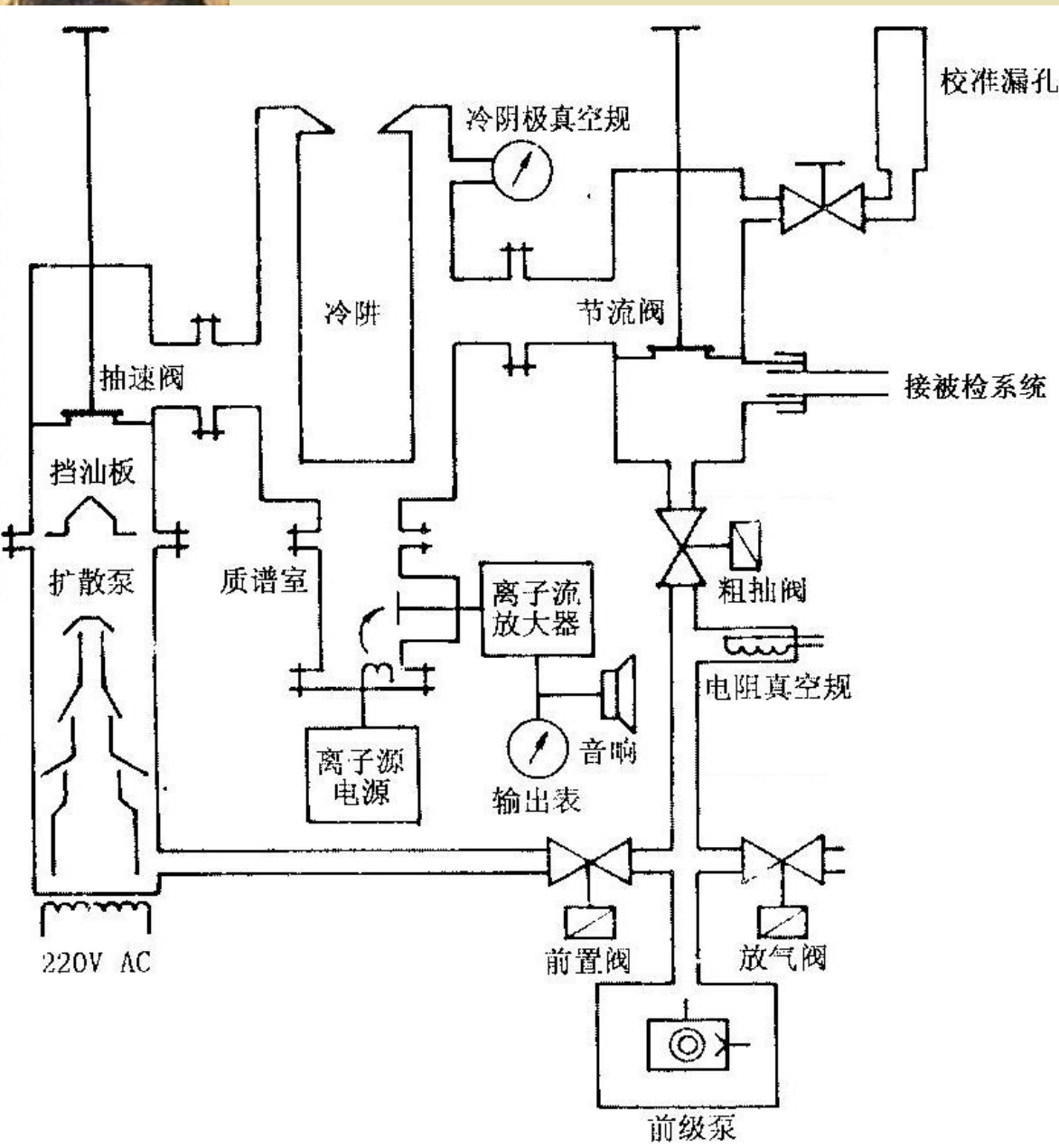
### ◆ (5) 吸嘴法



1-检漏仪； 2-吸嘴； 3-被检容器； 4-He钢瓶



# 氦质谱仪内部结构示意图



## 高灵敏度检漏器开机:

- ◆ 开前级泵抽空
- ◆ 开扩散泵
- ◆ 10分钟后开抽速阀和冷规
- ◆ 当质谱室压强达到一定值时,启动电子源
- ◆ 打开标准漏孔得到仪器显示的电流大小与漏率之间的关系
- ◆ 与被检系统(此时也应已抽至高真空)相连接开始检漏

[返回](#)