

960755

高等学校教学用书

TB771
0212

真空测量与检漏



GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学 校 教 学 用 书

真空测量与检漏

东北工学院 刘玉岱 主编

冶金工业出版社

(京)新登字036号

高等学校教学用书

真空测量与检漏

东北工学院 刘玉岱 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街高碑院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 12 字数 283 千字

1992年10月第一版 1992年10月第一次印刷

印数00,001~2,000册

ISBN 7-5024-1070-8

TB·13 (课) 定价3.15元

前 言

本书是根据高等学校“真空技术及设备”专业的本科生课程“真空测量与检漏”的教学要求编写的。书中着重于基本理论、基本知识和基本技能的阐述。通过本课程的学习，使学生掌握全压力和分压力测量，真空计校准以及检漏技术等理论知识和技能。本书对从事真空技术的工程技术人员也具有一定参考价值。

参加本书编写工作的有刘玉岱（绪论，习题及1，4，7，8，10章）、关奎之（6，11，13，15章）、孙广生（2，5，12章）和姜增奎（3，9，14章）。本书由刘玉岱任主编。

北京大学郭元恒、机电部沈阳真空技术研究所姜燮昌和东北工学院杨乃恒审查了初稿，并于1991年10月16日在东北工学院召开了审稿会，专家们提出了许多宝贵意见，在此一并表示谢意。

由于编者水平所限，书中不当之处在所难免，恳请批评指正。

编 者

1991年11月

主要符号

A	面积, m^2	M_{He}	氦气摩尔质量, kg mol^{-1}
a	单分子层数, m^{-2} ; 四极滤质器决定离子稳定性参数	ΔM	质谱图上的峰宽, u
a_u	马丢方程参数	m	质量, kg
B	磁感应强度, T ; 碎片峰图象系数矩阵	N	信噪比系数, 常数
b	厚度, m	n	分子数密度, m^{-3} ; 抽速比
C	流导, m^3s^{-1} ; 电容, F ; 系数	n_b	前级真空处对氦和对空气抽速比
$\bar{c}$	分子平均速度, ms^{-1}	P	分压力矩阵
d	直径和容积特征尺寸, m	p	压力, Pa
D	直径, m	p_b	下游压力、前级压力、参考压力, Pa
E	能量, J ; 电场强度, Vm^{-1}	p_{air}	空气压力, Pa
e	电子电荷, C	p_p	分压力, Pa
F	力, N	$p_{p_{\text{min}}}$	最小可检分压力, Pa
f	频率, Hz ; 灵敏度比	p_{pe}	等效氮分压力, Pa
g	重力加速度, ms^{-2}	p_0	标准大气压力, Pa
h	高度, m	p_{max}	压力测量上限, Pa
I	电流, A	p_{min}	压力测量下限, Pa
ΔI	电流变化量, A	p_{bt}	前级检漏时检漏器压力读数
ΔI_{max}	峰值电流变化量	Δp_{bt}	前级检漏时检漏器响应
$\Delta I_{0\text{max}}$	标准漏孔对应的检漏仪输出峰值变化量	p_{ps}	示漏气体分压力, Pa
I_i	离子电流, A	p_{read}	全压力计的压力读数, Pa
$I_{i_{\text{min}}}$	最小可检离子流, A	p_{real}	气体真实压力, Pa
I_e	电子电流, A	p_{sear}	充示漏气体压力, Pa
I_{e0}	初始发射电子电流, A	p_{tot}	全压力, Pa
I_n	噪声	p_{ult}	极限压力, Pa
I_s	示漏气体的检漏仪输出信号	$p_{w_{\text{max}}}$	最大工作压力, Pa
I_x	本底光电流, A	p_i	仪器指示的全压力信号, Pa
J	电流, A ; 电流矩阵	p_x	光电流本底压力, Pa
K	电离规系数, Pa^{-1} ; 系数; 放大器放大倍数	Q	单位时间产生的热量, W
K_{N_2}	氮气电离规系数, Pa^{-1}	Q_g	单位时间气体分子导热散失热量, W
K_n	克努曾数	Q_L	单位时间支架导热散失热量, W
k	玻尔兹曼常数, JK^{-1}	Q_r	单位时间辐射导热散失热量, W
L	长度, m	q	四极滤质器决定离子稳定性参数
ΔL	长度元, m	q_d	放气率, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$
l	长度, m	q_G	流量, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$
M	摩尔质量, kg mol^{-1} ; 质量数, u	q_L	漏率, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$
M_{air}	空气摩尔质量, kg mol^{-1}	$q_{L_{\text{air}}}$	空气漏率, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$
M_{sear}	示漏气体摩尔质量, kg mol^{-1}	q_{L_0}	标准漏孔标称漏率, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$

$q_{Le_{min}}$	检漏仪灵敏度, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$	V_b	前级真空处容积, m^3
q_{Ldi}	喷吹法检漏灵敏度, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$	V_c	收集极电压, V
$q_{Ld_{min}}$	检漏灵敏度, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$	V_s	传递阀的传递容积, m^3
q_{Lp}	允许漏率, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$	v	速度, ms^{-1}
$q_{L_{He}}$	氦气漏率, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$	W	功, J; 电离效率
q_{Ls}	示漏气体漏率, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$	Z	离子带电荷数; 分子间碰撞率, s^{-1}
q_{Lt}	总漏率, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$	α	表面适应系数; 系数
q_{tot}	总气载, $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$	β	碎片峰图象系数; 调制规调制系数; 系数
q_u	马丢方程参数	γ	氢气的分压比
R	摩尔气体常数, $\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$; 半径, m; 电阻, Ω ; 分辨本领	γ_{min}	分压比灵敏度
R_b	配表电阻, Ω	δ	不确定度; 真空度百分数
R_t	电表内阻, Ω	δ_m	被检计与基准器的最大相对偏差
r	半径, m	δ_s	基准器不确定度
r_0	四极场半径, m	Δ	允许误差
S	抽速, m^3s^{-1} ; 灵敏度, APa^{-1}	ε	辐射系数
S_b	前级处抽速, m^3s^{-1}	θ	角度
S_e	有效抽速, m^3s^{-1}	η	动力粘滞系数, Pas
S_i	气体 <i>i</i> 的灵敏度	η_{air}	空气粘滞系数, Pas
$S_{i_{He}}$	检漏仪支路对氦抽速, m^3s^{-1}	η_{He}	氦粘滞系数, Pas
S_r	相对灵敏度	$\eta_{s_{s_{s'}}$	示漏气体粘滞系数, Pas
S_{r_i}	气体 <i>i</i> 的相对灵敏度	λ	分子自由程, m
T	热力学温度, K	$\bar{\lambda}$	分子平均自由程, m
T_b	测量本底时的温度, K	λ_L	导热系数, $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
ΔT	温度差, K	λ_g	气体分子导热系数, $\text{Wm}^{-2}\text{Pa}^{-1}\text{K}^{-1}$
t	时间, s	ρ	物质密度, kgm^{-3} ; 电阻率, Ωm
t_{in}	充压时间, s	σ	分子有效直径, m; 斯蒂芬-玻尔兹曼常数, $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$; 切向动量转移系数; 标准误差
t_{pu}	净化时间, s	τ	滞留时间, 时间常数、寿命, s
t_s	喷吹检漏时间, s	τ_c	清除时间, s
U	电压, V	τ_f	分子飞行时间, s
U_i	电离电位, V	τ_b	前级真空处时间常数, s
U_{in}	输入电压, V	τ_r	反应时间, s
U_{out}	输出电压, V	Φ	电位分布函数; 置换系数
V	电压, V; 体积, m^3	Ω	旋转角频率, rad s^{-1}
V_A	阳极电压, V	ω	角频率, rad s^{-1}

目 录

绪论	1
I 真空测量	5
1 真空测量概述	5
1.1 真空度的表征、单位和真空区域划分	5
1.2 真空计分类	7
1.3 真空计测量范围	8
1.4 真空测量特点和真空计选择原则	9
2 液位式真空计	11
2.1 U型管真空计	11
2.2 压缩式真空计	13
3 热传导真空计	20
3.1 热传导真空计的工作原理	20
3.2 热传导真空计的测量范围	22
3.3 电阻真空计	24
3.4 热偶真空计	27
3.5 已知混合气体成分真空度的测量	30
3.6 热传导真空计的优缺点	30
4 热阴极电离真空计	31
4.1 热阴极电离真空计的工作原理	31
4.2 普通型热阴极电离真空计	32
4.3 热阴极电离真空计的性能及使用	33
4.4 热阴极电离真空计的测量电路	37
4.5 高压力热阴极电离真空计	41
4.6 超高真空热阴极电离真空计	45
5 冷阴极电离真空计	54
5.1 普通型磁放电真空计	54
5.2 倒置磁控管式真空计	57
5.3 正磁控管式真空计	59
6 其它真空计	61
6.1 弹性元件真空计	61
6.2 电容式薄膜真空计	62
6.3 振膜真空计	64
6.4 放射性电离真空计	66
6.5 磁悬浮转子真空计	67
7 分压力测量和残余气体分析	70
7.1 概述	70
7.2 四极滤质器	74
7.3 其它质谱计	83

7.4 识谱技术	85
8 真空计校准	94
8.1 概述	94
8.2 静态膨胀法	97
8.3 动态流导法	100
8.4 标准压缩式真空计	102
8.5 副标准真空计	105
9 真空测量技术	106
9.1 气体种类对真空测量的影响	106
9.2 测量系统对被测系统的影响	107
9.3 真空计规管安装位置和方法	109
9.4 非均匀环境中的压力测量	111
9.5 特殊条件下的真空测量	111
I 检漏	113
10 检漏概述	113
10.1 漏气判断和漏孔表示法	113
10.2 漏孔气流特性	114
10.3 最大允许漏率的估算	115
10.4 检漏方法分类	116
10.5 对检漏方法的要求及选择	117
10.6 检漏技术中的几个概念	119
11 检漏方法的基本原理	120
11.1 真空检漏法	120
11.2 充压检漏法	127
11.3 背压检漏法	128
12 各种检漏方法	133
12.1 静态升压法	133
12.2 气泡检漏法	134
12.3 氨气检漏法	136
12.4 真空计检漏法	138
12.5 离子泵检漏法	139
12.6 其它检漏方法	141
13 氦质谱检漏仪	145
13.1 氦质谱检漏仪的工作原理	145
13.2 氦质谱检漏仪结构	147
13.3 探索气体	150
13.4 氦质谱检漏仪的灵敏度及其校准	151
13.5 氦质谱检漏仪的使用	153
13.6 测量漏率时的误差来源	162
14 其它检漏仪	163
14.1 高频火花检漏仪	163
14.2 卤素检漏仪	165

14.3 气敏半导体检漏仪	168
15 标准漏孔	171
15.1 常用的标准漏孔	171
15.2 标准漏孔的校准	173
15.3 使用标准漏孔的注意事项	177
习题.....	178
参考文献.....	183

绪 论

在科技上“真空”一词系表示低于大气压力的特定空间状态。和人们生活中所说的“真空”含义不同，真空技术研究的对象绝不是没有物质的空间。在用现代抽气方法获得的最低压力下，每立方厘米“真空”的空间里，仍然有几千个气体分子。

根据美国真空学会（1958年）的定义，真空是指充有低于标准大气压力的气体给定空间，即分子密度 $n < 2.5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的给定空间。

今天，真空技术的发展已可获得从大气压力直到 10^{-14}Pa 宽达19个数量级的压力范围。随着真空获得和真空测量技术的改进，这个范围的下限正在不断降低。

真空分人工真空和自然真空。人工真空是在地球上通过对一容器抽气而获得的；而地球上动物生命的某些功能中，天生就会使用“真空技术”，如人的呼吸可使胸腔呈真空状态（ $9.7 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4 \text{Pa}$ ）；这就是自然真空。地表面的上方是空间真空，随着距地面高度增加，压力逐渐降低，90km的高空压力约为 10^{-1}Pa ，1000km高空的压力约为 10^{-8}Pa ，而在 10^4km 高空压力可降至 10^{-14}Pa 。

近几十年来，真空技术由实验室转到工业生产中，随着原子能、半导体、宇宙航行、电子计算机和可控热核反应等技术的发展，真空技术得到了迅速的发展。真空技术是实现许多尖端技术的重要手段，在国民经济各行各业中有着广泛应用，现已发展成一门独立的学科。真空测量与检漏是真空技术的重要组成部分。

真空测量就是真空度的测量，而真空度是指低于大气压力的气体稀薄程度。以压力表示真空度是由于历史上沿用下来的，并不十分合理。压力高意味着真空度低；反之，压力低与真空度高相对应。

用以探测低压空间稀薄气体压力所用的仪器称为真空计。本书所述压力的测量是指比大气压力小得多的气体压力测量。

压力是一个力学量，为单位面积所承受的力。大气压力为 101325Pa ，直接测量这样大的压力是容易的，但在真空技术中，测量这样大的压力是比较少的。真空技术中遇到的气体压力都很低，如有时要测 10^{-10}Pa 的压力，这样极小的压力用直接测量单位面积所承受的力是不可能的。因此，测量真空度的办法通常是在气体中造成一定的物理现象，然后测量这个过程中与气体压力有关的某些物理量，再设法间接确定出真实压力来。例如先将被测气体压缩，使其压力增高，测出增高后的压力，再根据压缩比计算出原来的压力值，这就是所谓的压缩式真空计。也可以用一根热丝，测量气体热传导造成的某些结果，如热丝温度、电阻变化等，这就构成热传导真空计。还可以利用电子碰撞气体分子使之电离，用测得的离子流反应压力，这就是电离真空计。

真空计种类繁多，工作原理各异，除极少数几种是直接测量压力外，其它几乎都是间接测量压力的。

被测气体除少数情况外，多为混合气体。上述压力测量是指混合气体全压力测量。在近代真空测量技术中，分压力测量越来越重要。这里所说的分压力测量是指全面地测出混合气体各组成成分的分压力。这样，混合气体的全压力就等于其各组成成分的分压力之和。

现代分压力真空计都属于电离类，即先将气体电离，然后将所得的各成分离子加速，再把离子引进分析器，将离子分开，分别测出各成分离子流强度，便可知气体的成分和数量。分析器有磁的、电的、电磁结合和其它方式等。有时只需知晓被测系统残余气体成分和相对含量，并不要求测出分压力值，这种仪器称为残余气体分析仪。

正确的压力测量必须对真空计进行校准。因为多数真空计是通过与压力有关的物理量来间接反应压力，而不能直接通过真空计有关参数计算求得压力值。这种真空计必须用标准真空计或能产生已知低压的校准装置进行校准。可以说，真空计校准是真空测量的基础，是发展真空测量的有力工具。

真空计量器具分三类：计量基准器具、计量标准器具和工作计量器具。前两类用于发现和传递真空度量值，统一全国真空度量值；而后一类是在现场应用。三种计量器具的不确定度依次降低。

随着科学技术和工业生产的不断发展，对真空设备提出的要求也越来越高。因此，检漏技术也就应运而兴。它不仅关系到产品性能指标能否上去，产品成本能否降低，而且还关系到整个加工周期能否缩短的问题。因此，检漏技术也越来越受到重视。

理想的真空室应永远保持它同抽气真空系统断开时的真空度(压力)。而实际上，任何真空室在离开抽气系统之后，其压力总要上升。压力的升高是由于漏孔的漏气、室壁表面放气和通过室壁材料渗透进入的气体产生的。

从物理过程来看，真空系统就是在在一面抽气一面漏气的条件下工作的，两者最后达到动态平衡。因此，要想得到较低的极限压力，应尽量提高有效抽速，并降低漏气率。在有效抽速一定时，降低漏气率就成为关键的了。

真空系统和真空容器的漏气，是由各种各样微小漏隙造成的。金属系统多发生在焊缝和可拆卸部位和材料缺陷之处（如铸件和板材的气孔、裂缝和夹渣等）；电真空器件的漏气多发生在金属-玻璃封接、金属-陶瓷封接处。总之，漏气之处是用肉眼看不出来的、微小的，必须用一定检漏方法或用一定的检漏仪器才能找出。

需要指出的是，任何真空系统，即使在设计、加工和安装都非常满意，也不可能作到绝对不漏气。严格地讲，漏气是绝对的，而不漏气则是相对的，绝对不漏气是不存在的。我们通常所说的“不漏气”，一般是指系统上存在的漏孔的漏率远小于允许的漏率或检漏仪的最高灵敏度而言。

检漏的任务是：用适当方法迅速判断漏气是否为主要矛盾；确定漏率，以便确定它是否在允许的范围内；选择合适的检漏方法并找出漏孔的确切位置，以便进行修补。

应当指出，只有当系统上所有漏孔的总漏率超出允许的漏率值时，才进行漏孔的定位工作。系统上虽有漏孔，但其总漏率在允许值之内时，一般便不必对漏孔进行定位。然而在个别情况下，除了规定总漏率不得超过允许值之外，还规定单个漏孔的漏率不得超过某一特定值。只要某一漏孔的漏率超出了该特定值，就必须将这一漏孔找出并加以修补。

建国40多年来，我国真空技术有着飞速发展。原子弹、氢弹的研制成功、高能加速器的运行、人造卫星的升空以及微电子技术和真空冶金等的蓬勃发展，均说明我国真空技术

已达到了相当高的水平。但与几个技术最先进的国家相比，尚有一定差距，我们应努力迎头赶上去。

本书的目的是使学生掌握全压和分压测量方法及所用的真空计；了解真空计校准；掌握常用的检漏方法及检漏仪以及检漏仪的校准等。书中习题供进一步理解所学内容之用。

I 真空测量

1 真空测量概述

1.1 真空度的表征、单位和真空区域划分

1.1.1 真空度的表征

用压力表示真空度是由历史上采用U型压力计测量真空所形成的,这并不十分合理。

在一般真空系统中,通常以各相同性的中性气体的压力这一流体静力学的物理量表示真空度,因此,真空度的测量仅仅归结于压力的测量。但特别应注意测量条件。测量的对象是在有限的容器内、静止(随机运动)、稳态、各向同性单一的中性气氛。在这种情况下,

麦克斯威速度分布、余弦散射定律和流体静力学压力概念 ($p=nkT, v=\frac{1}{4}n\bar{c}, p=\rho gh$) 都较好地符合客观实际,真空度的测量也比较简单容易。

根据真空度定义,真空度最好用分子密度 n 表示,而以压力表示真空度与此并不矛盾。测量压力时,一般气体处于平衡态并满足麦克斯威速度分布定律,即 $p=nkT$ 成立。测量时气体温度 T 一定,所以气体压力 p 正比于分子密度 n 。也就是说,此时压力是分子密度的量度,所以可以用压力表示真空度。

在空间研究中,研究对象是无限空间的运动 ($1\sim 10\text{kms}^{-1}$ 或更高)、非稳态、综合环境作用下的复杂气氛,此时麦克斯威速度分布定律和余弦散射定律就不一定成立,所以压力也失去了原来的物理意义,真空度的测量比较复杂和困难了。

在一般情况下,以压力表示真空度是流行、沿用的,但也不是唯一的,还可以用如下参数表示真空度:

粒子密度 $n = p/(kT)$

分子平均自由程 $\bar{\lambda} = 1/(\sqrt{2}\pi n\sigma^2)$

碰撞次数 $z = \bar{c}/\bar{\lambda}, (\bar{c} = \sqrt{8RT/(\pi M)})$

覆盖时间 $\tau = 4a/(n\bar{c}), (a \text{ 为 } 1\text{m}^2 \text{ 单分子层数})$

当真空度很高时,即分子密度很小时,统计涨落十分明显,如压力 $p=10^{-12}\text{Pa}$ 时,统计涨落已大于 5×10^{-2} ,压力已失去真实意义。由此看来,在某些情况下,压力只是其它量的相对指示而已。

1.1.2 真空度单位

根据气体分子对表面碰撞而定义的气体压力,是碰撞单位表面积气体分子动量垂分

量的时间变化率，即单位面积上所受的力，单位为“帕斯卡”（Pascal），简称“帕”（Pa）。

$$1\text{Pa} = 1\text{Nm}^{-2}$$

在工程上有时嫌帕的量值太小，常采用kPa和MPa表示压力。

低真空时，有时用“真空度百分数”表示，比如水环式真空泵、往复式真空泵和直排大气罗茨真空泵常用此单位表示真空度。当压力 $p > 10^2\text{Pa}$ 时，真空度百分数 δ 为

$$\delta = \frac{(p_0 - p)}{p_0} \times 100\%$$

式中 p_0 ——标准大气压力，Pa。

1.1.3 真空区域划分

有了量度真空度的单位，就可以定量地表示真空度的高低。但是，目前真空技术所涉及的压力范围已宽达19个数量级，为了使用方便，有时只需要粗略指出真空度的大致范围，通常定性地把真空粗略划分几个区域。划分区域的依据主要考虑真空状态下气体分子运动的物理特性、真空泵和真空计的有效工作范围等。

我国关于真空区域的划分，真空技术名词术语（GB3163—82）中把真空区域大致划分如下：

低真空	$10^5 \sim 10^2\text{Pa}$
中真空	$10^2 \sim 10^{-1}\text{Pa}$
高真空	$10^{-1} \sim 10^{-5}\text{Pa}$
超高真空	$< 10^{-5}\text{Pa}$

真空理论工作者推荐的真空区域划分如下：

粗真空	$10^3 \sim 10^5\text{Pa}$
低真空	$10^{-1} \sim 10^3\text{Pa}$
高真空	$10^{-6} \sim 10^{-1}\text{Pa}$
超高真空	$10^{-12} \sim 10^{-6}\text{Pa}$
极高真空	$< 10^{-12}\text{Pa}$

粗、低和高真空是依气体分子平均自由程 $\bar{\lambda}$ 与容器特征尺寸 d 相比的值来划分的。考虑到是气体分子之间的碰撞还是气体分子与器壁相互碰撞对进行的物理现象起决定性作用。

粗真空	$\bar{\lambda}/d < 10^{-3}$
低真空	$10^{-3} < \bar{\lambda}/d < 10$
高真空	$\bar{\lambda}/d > 10$

将高真空和超高真空的界限定为 10^{-6}Pa ，主要考虑真空物理吸附机制只有在压力 $P < 10^{-6}\text{Pa}$ 时才开始明显，可由扩散泵抽气获得，由B-A计进行压力测量。至于超高真空与极高真空的划分界限在 10^{-12}Pa ，是因为 $P < 10^{-12}\text{Pa}$ 时，出现统计涨落（大于 5×10^{-2} ）。

上述的真空区域划分，各区域均表示一个压力范围，原因是目前仍以压力表示真空度。但是，由上述可知，在低真空、高真空、超高真空和极高真空中，所说的压力是有着本质差别的，压力只是其它量的相对指示。

各个区域的真空物理特性，所用的真空泵和真空计详见表1-1。

国外关于真空区域划分也不一致，随着真空技术的发展，真空区域划分亦有变化。

表 1-1 真空区间物理特点和典型真空泵、真空计

真空区间	物 理 特 点			主要采用的真空泵	主要采用的真空计
	平均自由程	平均吸附时间	气体密度		
粗真空 $10^5 \sim 10^3 \text{ Pa}$	$\lambda \ll d$ 1. 气体分子之间的碰撞为主 2. 粘滞流	$\tau \ll \tau_f$ 1. 气体分子以空间飞行为主 2. 以气体分子运动论为决定物理本质的基本规律	n 很大	1. 往复泵 2. 水环泵 3. 直排大气罗茨泵 4. 喷射泵	1. 弹性元件真空计 2. U型管真空计 3. 放射性电离计 4. 振膜式真空计
低真空 $10^3 \sim 10^{-1} \text{ Pa}$	$\lambda \approx d$ 过渡流			1. 旋片泵 2. 滑阀泵 3. 余摆线泵 4. 罗茨泵 5. 油增压泵	1. 热传导真空计 2. 压缩式真空计 3. 放射性电离计 4. 振膜式真空计 5. 放电管指示器
高真空 $10^{-1} \sim 10^{-6} \text{ Pa}$	$\lambda \gg d$ 1. 气体分子与器壁碰撞为主 2. 分子流 3. 余弦定律为决定物理本质的基本定律			1. 扩散泵 2. 涡轮分子泵	1. 热阴极电离真空计 2. 冷阴极电离真空计 3. B-A计
超高真空 $10^{-6} \sim 10^{-12} \text{ Pa}$		$\tau \gg \tau_f$ 1. 气体在固体表面吸附停留为主 (清洁表面形成单分子层时间大于1分钟) 2. 表面物理化学为决定物理本质的基本规律		1. 加阱扩散泵 2. 涡轮分子泵 3. 钛离子泵	1. B-A计 2. 各种改进型电离计 3. 磁控式电离真空计
极高真空 $< 10^{-12} \text{ Pa}$			n 较小 统计涨落大于 5×10^{-2}	1. 冷凝泵 2. 冷凝升华钛泵	冷阴极或热阴极磁控电离真空计

1.2 真空计分类

真空计种类繁多, 为了研究和使用方便, 合理的分类是很重要的。角度不同分类方法也异, 这里介绍两类常用的分类法。

1.2.1 按真空计刻度方法分类

(1) 绝对真空计: 直接读取气体压力, 其压力响应(刻度)可通过自身几何尺寸计算出来或由测力计确定。绝对真空计对所有气体都是准确的且与气体种类无关。属于绝对真空计的有U型管压力计、压缩式真空计和热辐射真空计等。

(2) 相对真空计: 由一些与气体压力有函数关系的量来确定压力, 不能通过简单的计算进行刻度, 必须进行校准才能刻度。相对真空计一般由作为传感器的真空计规管(或规头)和用于控制、指示的测量器组成。读数与气体种类有关。相对真空计的种类很多, 如热传导真空计和电离真空计等。

1.2.2 按真空计测量原理分类

1.2.2.1 直接测量真空计 这种真空计直接测量单位面积上的力, 有

(1) 静态液位真空计：利用U型管两端液面差来测量压力。

(2) 弹性元件真空计：利用与真空相连的容器表面上受到压力的作用而产生弹性变形来测量压力值的大小。

1.2.2.2 间接测量真空计 压力为 10^{-1} Pa时，作用在 1cm^2 表面上的力只有 10^{-5} N，显然测量这样小的力是困难的。但可根据低压下与气体压力有关的物理量的变化来间接测量压力的变化。属于这类的真空计有：

(1) 压缩式真空计：其原理是在U型管的基础上再应用波义耳定律，即将一定量待测压力的气体，经过等温压缩使之压力增大，以使用U型管真空计测量，然后用体积和压力的关系计算被测压力。

(2) 热传导真空计：利用低压下气体热传导与压力有关这一原理制成。常用的有电阻真空计和热偶真空计。

(3) 热辐射真空计：利用低压下气体热辐射与压力有关原理。

(4) 电离真空计：利用低压下气体分子被荷能粒子碰撞电离，产生的离子流随电力变化的原理。如：热阴极电离真空计、冷阴极电离真空计和放射性电离真空计等。

(5) 放电管指示器：利用气体放电情况和放电颜色与压力有关的性质判定真空度，一般仅能作为定性测量。

(6) 粘滞真空计：利用低压下气体与容器壁的动量交换即外摩擦原理。如振膜式真空计和磁悬浮转子真空计。

(7) 场致显微仪：以吸附和解吸时间与压力关系计算压力。

(8) 分压力真空计：利用质谱技术进行混合气体分压力测量。常用的有四极质谱计、回旋质谱计和射频质谱计等。

1.3 真空计测量范围

压力测量中，除极少数直接测量外，绝大多数是间接测量。就是先在被测气体中引起一定的物理现象，然后再测量这一过程中与压力有关的物理量，进而设法确定压力值。这是真空测量的特点，亦会造成某些问题。

任何具体物理现象与压力的关系，都是在某一压力范围内才最显著，超出这个范围，关系变得弱了。因此，任何方法都有其一定的测量范围，这个范围就是真空计的“量程”。尽可能扩展每一种方法的量程，是真空科学研究的重要内容之一。近代真空技术所涉及到的压力范围宽达19个数量级（ $10^5 \sim 10^{-14}$ Pa），没有任何一种真空计能测量如此宽的压力范围，因此总是用几种真空计分别管辖一定的区域。但由于各种真空计在原理上的差异，在相互衔接的区域，往往要造成较大的误差。

在被测空间引起一定物理现象，还会出现这样的问题，即从测量的角度出发，本需要一种单纯的物理现象，但有时却不可避免地带来一系列寄生现象，这些寄生现象不但给测量带来误差，有时还会“喧宾夺主”，完全把主要现象掩盖住了。利用电子碰撞气体分子的方法中，荷能电子最终要打到电子收集极上，其能量急剧损失的过程会发射软X射线，这射线又导致一些电极产生光电发射，最后影响到离子流的测量。电离的方法是目前高真空和超高真空测量中使用最广泛的，可是它的寄生现象也特别多。它在应用时有抽气作用，有时又出现放气作用。电子碰撞电极除产生上述X射线外，还会出现电子碰撞脱附现象。