

真空技术手册

孟昭智 编著

真空技术手册

四

个出版社

黑龙江科学技术出版社

真空技术手册

孟昭智 编著

黑龙江科学技术出版社

一九八五年·哈尔滨

内 容 简 介

《真空技术手册》综合国内真空技术的最新成就，以简明的论述，充足的数据，运用必要的图表，介绍了真空技术以及各类真空设备的原理、选择、运行与维修。编入的真空泵有200余种，真空仪表有80余种，检漏及真空应用设备近100种。

本手册从现有真空技术水平和操作人员需要出发，内容尽可能翔实，既反映国内现有真空工业水平，又为读者提供一部便于查考的资料性工具书。因而，它是从事真空技术的科技人员和生产技术工人必备的读物。

责 任 编 辑：王天青

真空技术手册

孟昭智 编著

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区建设街35号)

86001部队印刷厂印刷·黑龙江省新华书店发行

787×1092毫米 开本16印张19.5 447千字

1986年1月第1版·1986年1月第1次印刷

印数：1—3,440册

书号：15217·168 定价：3.65元

前 言

二十世纪以来，随着现代科学技术的发展，作为基础的真空科学与技术也得到了迅速发展和广泛应用。如果说，过去真空技术能在热水瓶、电真空、半导体、冶金、镀膜、电子计算机、原子能和航天技术等方面得以发展的话，那么在将来，真空技术必将作为表面科学的尖兵而得到飞速的发展。

近年来，我国无论是在真空科学与技术的研究方面，还是在真空技术的应用方面，都取得了很大的进展。庞大的宇宙环境模拟设备，就是采用国产的大容量、高真空泵来装备的。真空技术是一门新技术，它在国防建设、经济建设和科学事业中的各个领域，不仅得到广泛的应用，而且前途宽广。

《真空技术手册》综合国内真空技术最新成就，结合我国真空技术的现状，以简明的论述，充足的数据、图表，全面系统地介绍了真空技术基础、真空获得设备、真空系统、真空测量及检漏、真空应用设备；还分别介绍了真空设备的安装调试、使用维护和修理的实践经验；最后引入了真空技术必要的资料、图表和常用的真空计算尺。编入手册的真空泵有200余种，真空仪表80多种，检漏及真空应用设备近100种。

因此，可以说本手册是从事真空技术的科研、生产和教学人员的实用工具书，也是从事采购供应、设备管理的同志和企业领导、大专院校有关专业师生的实用参考书。

本手册在编写过程中，得到了中国真空学会《真空科学与技术》编辑部、沈阳真空技术研究所、东北工学院、电子工业部十四院、电子工业部第四十九研究所和全国各地许多有关单位的大力支持，他们对初稿提出了许多宝贵意见，在此谨致衷心的感谢！

由于水平所限，缺点和错误在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

编 著 者

一九八四年五月

目 录

第一章 真空技术基础

一、真空技术及其应用	1
(一) 地球上的真空	1
(二) 真空度的单位	1
(三) 真空的特点及区域划分	4
(四) 真空技术的应用	6
二、真空中的气体分子特性	12
(一) 气体定律	12
(二) 气体的压力、质量、密度及速度	14
(三) 平均自由程	15
(四) 蒸发凝结与饱和蒸气压	18
(五) 气体的迁移	21
(六) 吸附与解吸	23

第二章 真空获得设备

一、概述	25
(一) 真空泵的工作原理	26
(二) 真空泵的主要参数	26
(三) 各类真空泵的抽速及工作范围	26
(四) 真空泵型号编制方法	27
二、机械真空泵	29
(一) 往复真空泵	29
(二) 水环真空泵	31
(三) 油封旋转式真空泵	36
(四) 罗茨真空泵	51
(五) 涡轮分子泵	53

三、蒸气流泵	54
(一) 扩散泵	54
(二) 喷射泵	60
(三) 扩散喷射泵	62
四、物理化学泵	65
(一) 吸附泵	65
(二) 吸气离子泵	66
(三) 钛升华泵	71
(四) 低温泵	72
(五) 吸气剂泵	72
五、真空机组	74
(一) 真空机组型号编制方法	74
(二) 低真空机组	75
(三) 高真空机组	77
(四) 超高真空机组	78
六、真空泵的试验	82
(一) 运转试验	82
(二) 性能试验	82
(三) 油扩散泵性能试验方法	83

第三章 真空系统

一、真空材料	91
(一) 结构材料	91
(二) 绝缘密封材料	95
(三) 真空油、脂材料	96
二、真空系统的组合部件	101

(一) 真空室.....	101	(二) 压缩式真空计.....	153
(二) 阀.....	101	(三) 热辐射真空计.....	153
(三) 档板.....	104	四、相对真空计.....	154
(四) 阱.....	107	五、弹性真空计.....	154
三、真空系统的组装与调试.....	109	(一) 电容式薄膜真空计.....	154
(一) 真空卫生与清洁处理.....	109	(二) 电感式薄膜真空计.....	154
(二) 固定连接.....	112	(三) 电阻式薄膜真空计.....	154
(三) 可拆连接.....	112	六、热传导真空计.....	155
(四) 可动连接.....	123	(一) 电阻真空计.....	157
(五) 观察窗.....	128	(二) 热偶真空计.....	159
(六) 真空系统的组装与调试		(三) 热敏电阻真空计.....	163
.....	129	七、电离真空计.....	163
四、真空系统的设计.....	130	(一) 放射性电离真空计.....	163
(一) 真空系统中气体的流动		(二) 热阴极电离真空计.....	166
.....	130	(三) B—A 式电离真空计.....	171
(二) 真空系统计算的基本公式		(四) 热阴极磁控电离真空计	
.....	131	175
(三) 分子流、粘滞流对20℃空		(五) 冷阴极电离真空计.....	175
气、孔和管道的流导计算		(六) 冷阴极磁控真空计.....	176
公式.....	132	(七) 放电管指示器.....	180
(四) 真空系统的设计计算.....	134	(八) 国产热偶电离真空计.....	182
(五) 真空计算尺.....	140	八、粘滞性真空计.....	187
五、真空系统的典型结构.....	141	(一) 衰减真空计.....	187
(一) 低真空系统.....	141	(二) 旋转分子真空计.....	187
(二) 中真空系统.....	141	(三) 谐振—粘滞真空计.....	187
(三) 高真空系统.....	142	(四) 振膜真空计.....	187
(四) 超高真空系统.....	143	九、国产真空计规管主要性能.....	188
六、真空系统的操作规程.....	145	十、分压真空计.....	191
第四章 真空测量		(一) 磁编转质谱计.....	191
一、真空计的分类与选择.....	147	(二) 回旋质谱计.....	192
二、全压真空计.....	148	(三) 四极质谱计.....	192
三、绝对真空计.....	148		
(一) U形真空计.....	153		

十一、真空计的使用与校准	193
(一) 真空计的选择	193
(二) 真空计的安装	193
(三) 真空计的使用	195
(四) 真空计的校准	196
(五) 标准压缩真空计	197
(六) 6301型膨胀式玻璃校准系统	197
(七) 金属超高真空检定系统	198
(八) BDZ型标准电离真空计	200

第五章 真空检漏

一、基本概念	201
(一) 定义	201
(二) 漏孔和漏率	201
(三) 标准孔及其校准	201
(四) 极限真空度和最大漏率极限	207
二、检漏方法	209
(一) 检漏方法的分类	209
(二) 压力检漏法	210
(三) 真空检漏法	210
(四) 其他检漏法	213
三、氦质谱检漏仪	213
四、最大漏率的测量	224
(一) 漏气源的分析	225
(二) 特种冶炼设备及真空电阻炉最大漏率的探测	226
(三) 无线电真空设备、真空镀膜机最大漏率的探测	228
(四) 钢水真空处理及真空密封造型装置最大漏率的探测	228
(五) 最大漏率计算图	228

五、国产氦质谱检漏仪	230
(一) JLH—1型氦质谱检漏仪	230
(二) ZLS—23型氦质谱检漏仪	231
(三) ZhP—4G型超高灵敏氦质谱探漏仪	231
(四) 6104A型氦质谱检漏仪	232
(五) JLH—3型高灵敏氦质谱检漏仪	232
(六) LX—3型卤素检漏仪	233
(七) DG—4型、DG—4c型嗅敏检漏仪	234

第六章 真空应用设备

一、真空感应炉	236
(一) 结构原理及特点	236
(二) ZG系列真空感应炉	238
(三) 真空感应炉熔炼工艺	240
二、真空感应烧结炉	246
(一) ZG ₂ —系列真空感应烧结炉	246
(二) ZGC—250—20J真空感应气相沉积炉	247
(三) ZRJ—30—22真空钼烧结炉	248
三、真空电弧炉	248
(一) 概述	248
(二) 结构组成	249
(三) 电源	249
(四) 电极的制备	250
(五) 真空系统	252
(六) ZH系列真空自耗电极电弧炉	252

四、真空凝壳炉.....	252	(二) 各种真空电阻炉一览表...	259
(一) 概述.....	252	(三) 电真空器件用真空炉一览	
(二) 结构.....	252	表.....	259
(三) ZHN 系列真空凝壳炉主		七、真空镀膜装置.....	259
要技术参数.....	253	(一) 工作原理.....	259
五、电子轰击炉.....	253	(二) 结构及分类.....	260
(一) 原理、特点和用途.....	254	八、其它真空应用设备	
(二) 基本熔炼方式及设备组成		(一) 真空冷冻干燥设备.....	270
.....	254	(二) 扫描电子显微镜.....	270
(三) 熔炼工艺.....	254	(三) 离子注入机、刻蚀机和分子束	
(四) 电子束发生器.....	256	外延装置.....	271
(五) 供电系统.....	256	(四) 真空浸渍、灌注、涂复、储存、	
(六) 国产电子轰击炉.....	258	加热及包装设备.....	274
六、真空电阻炉.....	258	(五) 低温容器.....	275
(一) 结构型式.....	258		

附 录

附录一 真空技术图形符号.....	277	附录六 清洗剂配方.....	292
附录二 我国现有与真空技术有关的		附录七 不同牌号材料的可焊性.....	297
标准.....	285	附录八 几种主要焊接方法的特性和	
附录三 常用气体的基本物理—化学		应用.....	298
常数.....	286	附录九 材料在室温下处于真空中 1	
附录四 主要溶剂的性质.....	290	小时的放气率.....	300
附录五 真空在电炉中的应用.....	291	附录十 材料单位重量放气量.....	300
		参考文献.....	301

第一章 真空技术基础

一、真空技术及其应用

真空技术是一门研究如何最有效地把给定空间内的气体压力在要求的时间内降低到所需程度并予保持的技术学科。它的基本内容包括：真空获得技术、真空测量技术、真空检漏技术、真空系统的设计和真空应用技术。

(一) 地球上的真空

在人类生存周围笼罩着大气，大气给生物以充足的氧气，大气阻挡了宇宙射线和尘埃，大气占据空间并占有重量，大气亦存在着压力。大气压力从海平面760托算起，随海平面高度的增加而降低，也因纬度或昼夜的变化而变化。在90公里的高空大气压约为 10^{-3} 托，在10公里高空还不足地面大气压的三分之一。100~400公里的高空为电离层，除中性粒子外，还含有大量的带电粒子，其压力依然随高度增加而下降。400公里处约为 3×10^{-8} 托，800公里处为 10^{-9} 托，1000公里处为 10^{-10} 托，2100公里处为 10^{-11} 托。压力随高度而下降的速度变缓。月球表面为 10^{-10} 托(日升)~ 10^{-12} 托(日落)。火星附近约 10^{-12} 托，太阳系行星际空间约为 10^{-11} ~ 10^{-12} 托，银河系恒星际空间推测压力为 10^{-15} ~ 10^{-20} 托。气体在不同高度时的温度、压力和密度列于表1-1。

(二) 真空度的单位

“真空”就是在指定的空间内低于一个大气压力的气体状态。其分子密度约小于 2.5×10^{19} 分子数/厘米³ (一个大气压力系指标准大气压)。

$$1 \text{ 标准大气压} = 760 \text{ 毫米汞柱} = 101325 \text{ 帕} = 1013.25 \text{ 毫巴} \\ = 1.0133 \times 10^6 \text{ 达因/厘米}^2 = 1.0133 \times 10^5 \text{ 牛顿/米}^2$$

真空度 表示真空状态下气体的稀薄程度。通常用压力值来表示。

压力①(压强)：气体分子从某一假想平面通过时，沿该平面的正法线方向的动量改变率除以该平面面积，或气体分子作用于其容器壁表面上的力的法向分量除以该表面面积。

真空度的单位一般用“托”(Torr)表示，是为纪念托里拆利(Torricelli)而命名的。过去用“毫米汞柱”(mmHg)，即0℃时1毫米汞柱作用在单位面积上的力。这是1958年第一次国际真空会议上确定的。因为Torr与mmHg只差700万分之一，近似相等，所以常用 $1 \text{ Torr} = 1 \text{ mmHg}$ 。

在国际单位制(SI)中，压力单位是帕斯卡(Pascal)，简称为帕(Pa)。

$$1 \text{ 帕} = 1 \text{ 牛顿/米}^2 = 1 \text{ 千克/米} \cdot \text{秒}^2 = 10 \text{ 达因/厘米}^2 \\ = 7.5006 \times 10^{-3} \text{ 托} = 10^{-2} \text{ 毫巴}$$

各压力单位间的相互换算关系见表1-2。

① “压力”这一术语只适用于气体处于静止状态的压力或稳定流动时的静态压力。

表1-1

大气高度、温度、压力和密度

高度 [公里]	温度 [°C]	压力 [托]	密度 [克/厘米 ³]	高度 [公里]	温度 [°C]	压力 [托]	密度 [克/厘米 ³]
0	15.0	760.0	1.23×10^{-3}	60	-17.4	0.168	3.06
0.5	11.8	716.0	1.17	65	-33.9	8.59×10^{-2}	1.67
1.0	8.5	674.1	1.11	70	-53.5	4.14	8.75×10^{-8}
1.5	5.3	634.2	1.06×10^{-3}	75	-73.0	1.87	4.34
2.0	2.0	596.3	1.01	80	-92.5	7.78×10^{-3}	2.00
2.5	-1.2	560.2	9.57×10^{-4}	85	-92.5	3.09	7.96×10^{-9}
3.0	-4.5	526.0	9.09	90	-92.5	1.23	3.17
3.5	-7.7	493.4	8.63	95	-77.6	5.10×10^{-4}	1.2
4.0	-11.0	462.5	8.19	100	-63.1	2.26	5.0×10^{-10}
4.5	-14.2	433.2	7.77	110	-16.2	5.52×10^{-5}	9.8×10^{-11}
5.0	-17.5	405.4	7.36	120	76.3	1.89	2.4
5.5	-20.7	379.1	6.97	130	260	9.16×10^{-6}	7.6×10^{-12}
6.0	-24.0	354.2	6.60	140	441	5.56	3.4
6.5	-27.2	330.6	6.24	150	620	3.80×10^{-6}	1.8×10^{-12}
7.0	-30.5	308.3	5.90	160	749	2.77	1.2
7.5	-33.7	287.3	5.57	170	832	2.09	8.0×10^{-13}
8.0	-36.9	267.4	5.26	180	883	1.62	5.9
8.5	-40.2	248.7	4.96	190	932	1.26	4.3
9.0	-43.4	231.0	4.67	200	963	1.00	3.3
9.5	-46.7	214.4	4.40×10^{-4}	220	1021	6.4×10^{-7}	2.0
10	-49.9	198.8	4.14	240	1067	4.3	1.2
11	-56.4	170.3	3.65	260	1084	3.5	1.0
12	-56.5	145.5	3.12	280	1131	2.0	5.3×10^{-14}
13	-56.5	124.4	2.67	300	1159	1.4	3.6
14	-56.5	106.3	2.28	320	1173	1.0	2.5
15	-56.5	90.8	1.95	340	1185	7.4×10^{-6}	1.7
16	-56.5	77.7	1.66	360	1196	5.4	1.2
17	-56.5	66.4	1.42	380	1205	4.0	8.9×10^{-15}
18	-56.5	56.7	1.21	400	1214	3.0	6.5
19	-56.5	48.5	1.04	420	1213	2.3	4.8
20	-56.5	41.4	8.89×10^{-5}	440	1215	1.8	3.6
22	-54.6	30.3	6.45	460	1217	1.4	2.7
24	-52.6	22.4	4.69	480	1220	1.05	2.1
26	-50.6	16.1	3.43	500	1226	8.2×10^{-9}	1.6
28	-48.6	8.98	3.51	520	1223	6.5	1.2
30	-46.6	6.67	1.84	540	1222	5.1×10^{-9}	9.5×10^{-16}
32	-44.7	4.98	1.36	560	1224	4.05	7.5
34	-39.4	3.74	9.89×10^{-6}	580	1228	3.2	5.9
36	-33.9	2.83	7.26×10^{-6}	600	1233	2.6	4.6
38	-28.3	2.15	5.37	620	1233	2.1	3.7
40	-22.8	1.65	4.00	640	1233	1.7	3.0
42	-17.3	1.27	2.99	660	1234	1.4	2.4
44	-11.7	0.985	2.26	680	1235	1.1	1.9
46	-6.2	0.767	1.71	700	1234	8.9×10^{-10}	1.5
48	-2.5	0.598	1.32				
50	-2.5	0.321	1.03				
55	-7.6		5.61×10^{-7}				

《真空技术常用诸表》 真空技术常用诸表编集委员会编 日刊工业新闻社(昭和40年)

表1—2

压力单位换算表

	帕 (Pa)	托 (Torr)	微米汞柱 (μmHg)	微巴 (μbar)	毫巴 (mbar)	大气压 (atm)	工程大气压 (am)	英寸汞柱 (inchHg)	磅/英寸 ² (lb/in ²)
1 帕 (1 牛顿/米 ²)	1	7.50062×10^{-3}	7.50062	10	10^{-2}	9.86923×10^{-6}	1.0197×10^{-5}	2.953×10^{-4}	1.450×10^{-4}
1 托 (1 毫米汞柱)	133.322	1	10^3	1333.22	1.33322	1.31579×10^{-3}	1.3595×10^{-3}	3.937×10^{-2}	1.934×10^{-2}
1 微米汞柱	0.133322	10^{-3}	1	1.33322	1.33322×10^{-3}	1.31579×10^{-6}	1.3595×10^{-6}	3.937×10^{-5}	1.934×10^{-5}
1 微巴 (1 达因/厘米 ²)	10^{-1}	7.50062×10^{-4}	7.50062×10^{-1}	1	10^{-3}	9.86923×10^{-7}	1.0197×10^{-6}	2.953×10^{-5}	1.450×10^{-5}
1 毫巴	10^2	7.50062×10^{-1}	7.50062×10^2	10^3	1	9.86923×10^{-4}	1.0197×10^{-3}	2.953×10^{-2}	1.450×10^{-2}
1 大气压	101325	760	760×10^3	1013.25×10^3	1013.25	1	1.0333	29.921	14.696
1 工程大气压 (1 公斤/厘米 ²)	98066.3	735.56	735.56×10^3	980663	980663×10^{-3}	0.967839	1	28.959	14.223
1 英寸汞柱	3386	25.40	25.40×10^3	3.386×10^4	33.86	3.342×10^{-2}	3.453×10^{-2}	1	4.912×10^{-1}
1 磅/英寸 ² (1 普西)	6895	51.715	51.715×10^3	6.895×10^4	68.95	6.805×10^{-2}	7.031×10^{-2}	2.086	1

百分真空度 当压力高于 1 毫米汞柱时, 常用真空度百分数表示, 符号为 δ 。

$$\delta = \frac{760 - P}{760} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 P ——气体的绝对压力 (毫米汞柱)。

已知真空度的百分数, 求气体的压力时可用下式:

$$P = 760 \left(1 - \frac{\delta}{100} \right) \quad (1-2)$$

百分真空度与压力对照表见表 1—3 所示。

表1-3

百分真空度与压力对照表

真空度 δ (%)	绝对压力 P (托)	真空压力 $760-P$ (托)	真空度 δ (%)	绝对压力 P (托)	真空压力 $760-P$ (托)
0	760	0	85	114	646
10	684	76	90	76	684
20	608	152	95	38	722
30	532	228	96	30	730
40	456	304	97	23	737
50	380	380	98	15	745
60	304	456	99	8	752
70	228	532	99.5	4	756
80	152	608	100	0	760

(三) 真空的特点及区域划分

1. 真空的特点

- (1) 真空排除了空气的不良影响，可防止金属氧化、物体腐烂。
- (2) 真空除去了气体和杂质，能提供最清洁的条件。如：真空冶金、真空镀膜、电子发射等，都是利用这一特点而发展起来的新技术。
- (3) 高真空中气体分子数目极少，相互碰撞的次数减少。
- (4) 真空的绝热性强。
- (5) 真空可降低物质的沸点或汽化点，广泛用于真空冻干、真空蒸馏、真空镀膜。

2. 真空区域的划分

根据真空物理特点、真空泵、真空测量及真空应用等因素划分真空区域。真空区域的大致划分如表1-4。

表1-4

真空区域的划分

真空区域	压 力	
	Pa	Torr
低真空	$10^5 \sim 10^2$	760~1
中真空	$<10^2 \sim 10^{-1}$	$<1 \sim 10^{-3}$
高真空	$<10^{-1} \sim 10^{-5}$	$<10^{-3} \sim 10^{-7}$
超高真空	$<10^{-5}$	$<10^{-7}$

真空各区域及其特性如表1-5

表1-5

真空各区域及其特性

Pa	10000	1000	100	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²												
	1000	100	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁴													
真空区域																													
每cm ³ 中的气体分子数(空气20℃时)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>低真空</th> <th>中真空</th> <th>高真空</th> <th>超高真空</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.5 × 10¹⁹ ~ 3.3 × 10¹⁶</td> <td>3.3 × 10¹⁶ ~ 3.3 × 10¹³</td> <td>3.3 × 10¹³ ~ 3.3 × 10⁹</td> <td>3.3 × 10⁹ ~ 3.3 × 10⁰</td> </tr> </tbody> </table>																	低真空	中真空	高真空	超高真空	2.5 × 10 ¹⁹ ~ 3.3 × 10 ¹⁶	3.3 × 10 ¹⁶ ~ 3.3 × 10 ¹³	3.3 × 10 ¹³ ~ 3.3 × 10 ⁹	3.3 × 10 ⁹ ~ 3.3 × 10 ⁰				
低真空	中真空	高真空	超高真空																										
2.5 × 10 ¹⁹ ~ 3.3 × 10 ¹⁶	3.3 × 10 ¹⁶ ~ 3.3 × 10 ¹³	3.3 × 10 ¹³ ~ 3.3 × 10 ⁹	3.3 × 10 ⁹ ~ 3.3 × 10 ⁰																										
气体分子平均自由程 cm (空气20℃)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>低真空</th> <th>中真空</th> <th>高真空</th> <th>超高真空</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.6 × 10⁻³ ~ 10⁻³</td> <td>5 × 10⁻³ ~ 5 × 10⁰</td> <td>6 × 10⁰ ~ 5 × 10⁴</td> <td>5 × 10⁴ ~ 5 × 10¹⁰</td> </tr> <tr> <td>0.06微米 ~ 50微米</td> <td>50微米 ~ 50毫米</td> <td>50毫米 ~ 500米</td> <td>500米 ~ 5 × 10⁸米</td> </tr> </tbody> </table>																	低真空	中真空	高真空	超高真空	6.6 × 10 ⁻³ ~ 10 ⁻³	5 × 10 ⁻³ ~ 5 × 10 ⁰	6 × 10 ⁰ ~ 5 × 10 ⁴	5 × 10 ⁴ ~ 5 × 10 ¹⁰	0.06微米 ~ 50微米	50微米 ~ 50毫米	50毫米 ~ 500米	500米 ~ 5 × 10 ⁸ 米
低真空	中真空	高真空	超高真空																										
6.6 × 10 ⁻³ ~ 10 ⁻³	5 × 10 ⁻³ ~ 5 × 10 ⁰	6 × 10 ⁰ ~ 5 × 10 ⁴	5 × 10 ⁴ ~ 5 × 10 ¹⁰																										
0.06微米 ~ 50微米	50微米 ~ 50毫米	50毫米 ~ 500米	500米 ~ 5 × 10 ⁸ 米																										
气体状态	<table border="1"> <thead> <tr> <th>低真空</th> <th>中真空</th> <th>高真空</th> <th>超高真空</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>粘滞流</td> <td>过渡流</td> <td>分子流</td> <td>分子流 表面移动</td> </tr> <tr> <td>空气(水蒸气)</td> <td>水蒸气</td> <td>水有蒸气物</td> <td>水蒸气、二氧化碳、氮、有机物蒸气</td> </tr> </tbody> </table>																	低真空	中真空	高真空	超高真空	粘滞流	过渡流	分子流	分子流 表面移动	空气(水蒸气)	水蒸气	水有蒸气物	水蒸气、二氧化碳、氮、有机物蒸气
低真空	中真空	高真空	超高真空																										
粘滞流	过渡流	分子流	分子流 表面移动																										
空气(水蒸气)	水蒸气	水有蒸气物	水蒸气、二氧化碳、氮、有机物蒸气																										
剩余气体的主要成份	<table border="1"> <thead> <tr> <th>低真空</th> <th>中真空</th> <th>高真空</th> <th>超高真空</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14-45</td> <td>45-91</td> <td>91-320</td> <td>320-700</td> </tr> </tbody> </table>																	低真空	中真空	高真空	超高真空	14-45	45-91	91-320	320-700				
低真空	中真空	高真空	超高真空																										
14-45	45-91	91-320	320-700																										
大气高度 (公里)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>低真空</th> <th>中真空</th> <th>高真空</th> <th>超高真空</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U型真空计 膜片真空计 放电指示管 振膜真空计</td> <td>压缩式真空计 热传导真空计 α真空计 薄膜真空计 振膜真空计 放电管指示器</td> <td>电离真空计 冷阴极电离真空计 真真空计</td> <td>B-A真空计 冷阴极磁控式电离真空计 热阴极磁控式电离真空计 改进的B-A真空计</td> </tr> </tbody> </table>																	低真空	中真空	高真空	超高真空	U型真空计 膜片真空计 放电指示管 振膜真空计	压缩式真空计 热传导真空计 α真空计 薄膜真空计 振膜真空计 放电管指示器	电离真空计 冷阴极电离真空计 真真空计	B-A真空计 冷阴极磁控式电离真空计 热阴极磁控式电离真空计 改进的B-A真空计				
低真空	中真空	高真空	超高真空																										
U型真空计 膜片真空计 放电指示管 振膜真空计	压缩式真空计 热传导真空计 α真空计 薄膜真空计 振膜真空计 放电管指示器	电离真空计 冷阴极电离真空计 真真空计	B-A真空计 冷阴极磁控式电离真空计 热阴极磁控式电离真空计 改进的B-A真空计																										
常用真空计	<table border="1"> <thead> <tr> <th>低真空</th> <th>中真空</th> <th>高真空</th> <th>超高真空</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>往复真空泵 水蒸气喷射泵 水环泵</td> <td>旋片真空泵 定片真空泵 滑阀泵 油增压泵 罗茨泵 吸附泵</td> <td>油扩散泵 涡轮分子泵</td> <td>钛离子泵 带冷阱扩散泵 吸气离子泵 低温泵</td> </tr> </tbody> </table>																	低真空	中真空	高真空	超高真空	往复真空泵 水蒸气喷射泵 水环泵	旋片真空泵 定片真空泵 滑阀泵 油增压泵 罗茨泵 吸附泵	油扩散泵 涡轮分子泵	钛离子泵 带冷阱扩散泵 吸气离子泵 低温泵				
低真空	中真空	高真空	超高真空																										
往复真空泵 水蒸气喷射泵 水环泵	旋片真空泵 定片真空泵 滑阀泵 油增压泵 罗茨泵 吸附泵	油扩散泵 涡轮分子泵	钛离子泵 带冷阱扩散泵 吸气离子泵 低温泵																										
常用真空泵	<table border="1"> <thead> <tr> <th>低真空</th> <th>中真空</th> <th>高真空</th> <th>超高真空</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>往复真空泵 水蒸气喷射泵 水环泵</td> <td>旋片真空泵 定片真空泵 滑阀泵 油增压泵 罗茨泵 吸附泵</td> <td>油扩散泵 涡轮分子泵</td> <td>钛离子泵 带冷阱扩散泵 吸气离子泵 低温泵</td> </tr> </tbody> </table>																	低真空	中真空	高真空	超高真空	往复真空泵 水蒸气喷射泵 水环泵	旋片真空泵 定片真空泵 滑阀泵 油增压泵 罗茨泵 吸附泵	油扩散泵 涡轮分子泵	钛离子泵 带冷阱扩散泵 吸气离子泵 低温泵				
低真空	中真空	高真空	超高真空																										
往复真空泵 水蒸气喷射泵 水环泵	旋片真空泵 定片真空泵 滑阀泵 油增压泵 罗茨泵 吸附泵	油扩散泵 涡轮分子泵	钛离子泵 带冷阱扩散泵 吸气离子泵 低温泵																										

(四) 真空技术的应用

真空技术经过三百多年的发展，现已广泛应用在科研、生产等各个领域。

按真空技术所获得的物理环境分类，真空技术的应用如表 1—6，真空应用实例如表 1—7。

表1—6

真空技术应用表

物理环境	目的	应用
低 压 力	获得压力差	把持物件、提举重物 运输(气动、吸尘器、过滤)铸造成形、负压造型、铸造
气分子密度小	清除大气的活泼成分	灯(白炽灯、荧光灯、电子管) 熔融、烧结、包装、密封、检漏
	清除吸留或溶解的气体	干燥、脱水、浓缩、冷冻干燥、除气升华干燥、浸渍
	减少能量迁移	热绝缘、电绝缘 真空微量天平、空间模拟
平 均 自 由 程 长	减少气分子碰撞	电子管、阴极射线管、显象管、光电管、光电倍增器、 X射线、加速器、贮存环、质谱仪、同位素、分离器、 电子显微镜、电子束焊接、加热、镀膜(蒸镀、溅射)、 分子蒸馏
单分子层形 时间长	清 洁 表 面	摩擦、粘附、发射研究、空间用材料试验

表1-7

真空应用实例一览表

序号	名称	应用情况	典型设备	真空度(托)	应用实例
1	宇航环境的模拟	宇航的轨道环境基本上是真空环境, 飞行器在发射之前必须在地面进行空间环境的模拟试验。各种大小不同的模拟器都是真空设备。包括卫星、飞船的热真空模拟、材料的评价以及推进器试验、载人模拟试验等。综合运用真空获得、测试、检漏、工艺等技术。在地面复现空间环境, 评价飞行器, 发现和排除故障, 提高可靠性	机械泵 分子泵 低温泵	$10^{-2} \sim 10^{-14}$	最大宇航环境模拟设备的容器有1000米 ³
2	加速器技术	带电粒子在加速场条件下被加速, 必须使加速管从离子源到靶室全处于高真空和超高真空条件下, 以减少带电粒子与气分子发生碰撞而散射损失其能量。因而, 加速器必备真空系统, 在真空获得和测量、检漏等技术上都有其特殊要求	钛泵 低温泵	$10^{-11} \sim 10^{-12}$	美国已有300米直径的不锈钢电子回旋加速器
3	可控热核反应技术	是在有效空间中人为地控制发生热核反应的一种设备、它是高真空、高温技术及电磁技术的结合	机械泵 扩散泵 加冷阱	$10^{-2} \sim 10^{-10}$	
4	真空输送	空气和粒状物料在真空的抽吸作用下一起流动, 至限定地点后经离心机将物料和空气分离。真空输送, 如谷物、煤粉、烟草、水泥、粉状食品等 真空输送吸入压力通常300~500托或600~700托, 前者混合比(被输送材料的重量和空气重量的比例)可达20, 输送距离达400~500米, 输送能力达200吨/小时; 后者混合比达3~5, 输送距离不大于30米, 输送能力3~10吨/小时。通常混合比多为1~10。真空输送亦可用于某些液态物质的输送	涡轮鼓风机 水环泵(水蒸汽喷射泵)	300~700	(1) 在电解铅的生产中应用真空输送将电解槽内的铅水送至铅水包内, 采用的真空泵为2台SZ-3水环泵 (2) 在化工、烟草、味精工业中亦已获得应用

续表 1—7

序号	名称	真空的应用情况	典型设备	真空度(托)	应用实例
5	真空过滤	<p>真空过滤机的过滤滚筒在360度区内运动, 180度区内为真空吸料过滤, 90度区间为真空吸水干燥, 90度区间为充气排料, 从而在整个360度区内进行连续生产</p> <p>真空过滤可用于获取混合液中的固状物料或用于滤清。前者如矿山或煤碳工业的洗选等</p> <p>稀有金属“镓”的生产过程亦采用了真空过滤、真空输送等工艺</p>	水环泵 水蒸汽喷射泵	50~100	<p>(1) 有色金属冶炼的氧化铝采用真空过滤提取 $Al(OH)_3$。</p> <p>(2) 某钢厂用5台SZ—3水环泵配真空过滤机进行污水净化处理, 净化后作循环水使用。</p> <p>(3) 某选矿厂真空过滤机配1500公斤/小时(100托)水蒸汽喷射泵, 使用效果良好,</p>
6	真空干燥	<p>真空干燥通常指从固体材料中(亦有液态材料)去除水分或有机溶剂等挥发性成分。气相中压力低于100托, 特别是压力低于10托时, 真空对干燥过程将起显著的影响。真空干燥的特点是在较低的温度下可获得很高的干燥速度, 因此特别适合于不宜升温的材料或很难干燥的材料。通常, 在进行真空干燥的过程中应供给适当的汽化潜热</p>	机械泵 水蒸汽喷射泵	几托~几十托	<p>在电气工业中, 绝缘纸电缆的真空干燥, 合成纤维工业中锦纶、涤纶生产的切片干燥, 食品工业中乳品、茶精、肉类等的真空干燥, 其他如在医药、农药、染料等工业中皆有广泛的应用。</p>
7	真空蒸馏	<p>真空蒸馏的目的是使物质分离精制, 真空蒸馏在石油和化工工业中应用极广。例如, 各种有机油类的蒸馏、可塑剂工业中磷酸三酯和磷苯二甲酸二丁酯的蒸馏、合成树脂原料、各种高级酒精、高级脂肪酸的真空蒸馏等。药品工业中维生素A、维生素E和苯乙稀的真空蒸馏。香料工业的香乙醇、高级乙醇脂的蒸馏、油脂工业的精制、食品工业中的制酒、香精的蒸馏等。</p>	往复式真空泵 水环真空泵 旋片式机械泵	760~10	<p>(1) 某厂蕃茄浓缩用水蒸汽喷射泵(抽气量35公斤/小时)一台, 真空度30托, 使用效果良好, 蕃茄产量提高将近一倍。(2) 年产15万吨的真空制盐设备与平锅制盐相比, 燃料节约40%。</p>

续表 1—7

序号	名称	真空的应用情况	典型设备	真空度(托)	应用实例
8	真空制盐	在真空度为50~100托除尽水或可挥发成分, 得到精制盐			
9	真空浓缩	在食品工业中的应用, 如各种果汁、果酱、蛋品、乳制品(炼乳、奶粉)、水果糖等。又如化工染料的浓缩, 制酸, 制碱, 以及造纸工业中纸浆的浓缩等	滑阀真空泵	几百托~十几托	(3) 某盐厂, 真空制盐(与锅制盐相比)燃料消耗减少三分之二, 劳动生产率提高了四倍, 成本减少44%
10	真空除臭	主要用于油脂工业中粗油脂的精制, 在去除油脂中固有的臭气或因气化、分解所生成的有臭物质的同时也进行真空脱色, 以保证油脂制品的质量和色泽	水蒸汽喷射泵		
11	真空结晶	真空浓缩和结晶通常在数个“蒸汽罐”内进行, 称多效蒸发罐(例如制盐、制糖的真空浓缩结晶常采用4效或5效蒸发罐)。用真空泵在诸罐内造成不同程度的真空: 第一效蒸发罐内的压力(或被浓缩结晶液的沸点)高于第二效蒸发罐内的压力(或沸点), 则第一效蒸发罐内排出的二次蒸气可作为第二效蒸发罐的加热蒸汽, 以此类推。因此, 真空浓缩结晶与常压下的加热结晶相比可大大提高燃料的利用效率。真空浓缩结晶更易于实现机械化、自动化, 更利于副产品的综合利用, 因此能有效地降低成本, 大大提高劳动生产率和综合利用率			
12	冷冻干燥	冷冻干燥或称升华干燥。首先将被处理的湿润材料冷却, 使其中水分或其他煤质处于冷冻状态, 然后迅速置于真空下使其直接从固态升华而获得干燥制品。冷冻干燥的应用: 生物材料的脱水; 生物组织研究中各器官和组织切片的冷冻干燥; 移植用组织的保存; 细菌、抗生素、病毒、疫苗经冷冻干燥后, 再溶性好; 血浆、血清、培养液等经冷冻干燥保存期长, 组织成分不变, 再溶性良好; 冷冻干燥工艺在食品工业中也获得迅速发展, 大多数食品(例如肉类、水产、粮食、乳类、水果、蛋类和饮料等)都可以加工成冷冻干燥产品, 其独特的优点是食品的营养成分和色、香、味被最大限度地保存下来, 而且重量轻、体积小、保藏期长复水率可达90%以上	罗茨增压泵—机械泵 油扩散泵—机械泵 水蒸汽喷射泵	1~10 ⁻³	某罐头食品厂2吨真空冷冻干燥设备用水蒸汽喷射泵(60托)代替罗茨真空泵—机械泵机组, 大幅度降低冷冻干燥产品成本