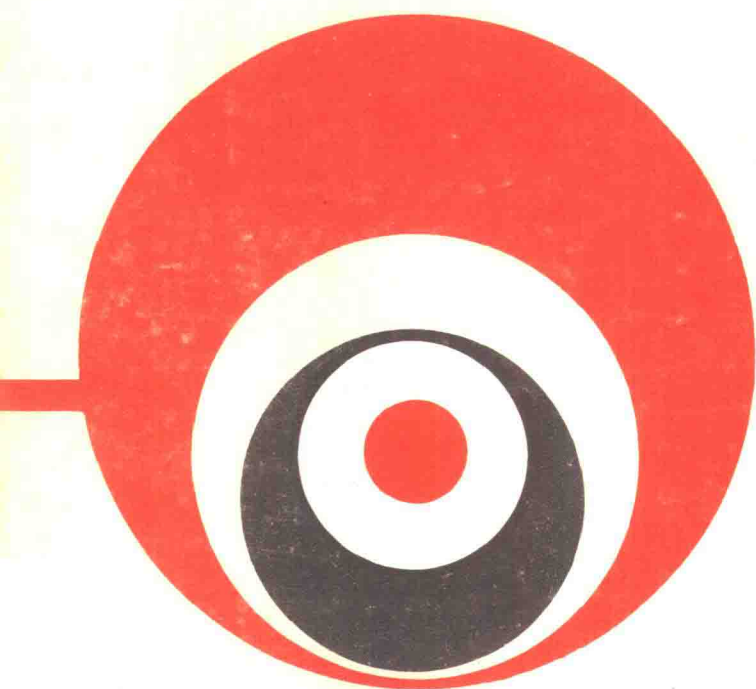


真空热处理与设备

刘仁家 编著
濮绍雄



ZHEN KONG
RECHULI YU SHEBEI

宇航出版社

真空热处理与设备

刘仁家 濮绍雄 编著

宇航出版社

一九八四年

真空热处理与设备

刘仁家 濮绍雄 编著

•
机械工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

长虹印刷厂印刷

•
开本：850×1168 1/32 印张：10 $\frac{5}{8}$ 字数：276 千字

1984年9月第一版第一次印刷 印数：00001—10000

统一书号：15244·0004 定价：2.10元

内 容 简 介

本书比较全面、系统地介绍了真空热处理技术，内容主要包括两部分：第一部分讲述了真空热处理的基本原理及其优越性，真空热处理工艺的机理、方法和特点，详述了合金钢、有色金属、难熔金属、高温合金与软磁材料等的真空热处理以及真空化学热处理；第二部分讲述了真空热处理炉的基本类型和特征，各种真空热处理炉的构造、性能和特点，详述了炉子各部件结构，热工计算与功率确定，真空系统设计与计算，温度控制方法以及炉子性能试验与使用维修等。

本书可供从事热处理、工业炉工作的科技人员、工人阅读，也可供大专院校有关专业师生参考。

前 言

由于航天、航空、电子和核技术的发展，对金属材料在热处理过程中的氧化、脱碳、腐蚀、吸气、表面光洁度及尺寸精度等技术要求越来越高，用一般的热处理方法已不能满足这些要求，从而促进了真空热处理技术的迅速发展。近年来，真空热处理技术正不断地向机械、冶金等各工业部门推广应用。

为了适应我国社会主义建设事业的发展，和满足广大科技人员、工人了解和掌握真空热处理技术的需要，我们搜集了国内外有关文献和资料，结合我们在实际工作中的经验编写了本书。本书力求理论联系实际，通俗易懂，切合实用。

本书在编写过程中，曾得到孙远程、王用宾、刘影、杨永良、高新民、郭冲、李希璋、郑世英、程升、杨永清、季伯林、酆佛哥、杨万财等同志的大力支持、帮助和鼓励。李泉宝、翁祖瑜、张士举等同志为本书进行了审校，在此一并表示衷心的感谢。

本书第二、三、七章由濮绍雄、刘仁家合编，第四、五、六章由濮绍雄编写，其余各章由刘仁家编写。

由于我们水平有限，书中的缺点、错误在所难免，殷切希望广大读者批评指正。

编著者

一九八三年四月于北京

目 录

第一章	真空基础	1
	一、真空度及其单位.....	1
	二、真空区域的划分.....	4
	三、理想气体状态方程及基本定律.....	6
	四、气体分子的热运动速度与平均自由程.....	7
	五、固体的吸气和放气.....	9
第二章	真空热处理概论	11
	一、真空在热处理中的作用.....	11
	二、真空热处理的优越性.....	23
第三章	真空热处理工艺	28
	一、真空热处理炉的加热特点.....	28
	二、真空热处理加热时间的确定.....	29
	三、真空退火.....	30
	四、真空淬火.....	31
第四章	合金钢的真空热处理	47
	一、合金结构钢和超高强度钢.....	47
	二、高速钢.....	52
	三、合金工具钢.....	55
	四、弹簧钢.....	58
	五、轴承钢.....	59
	六、不锈钢耐热钢.....	61
第五章	有色金属和难熔金属的真空热处理	68

	一、钛合金.....	68
	二、铜及铜合金.....	79
	三、难熔金属.....	83
第六章	高温合金与软磁材料的真空热处理.....	94
	一、高温合金.....	94
	二、软磁材料.....	98
第七章	真空化学热处理.....	107
	一、真空渗碳.....	107
	二、真空离子渗碳.....	117
	三、其他真空化学热处理.....	123
第八章	真空热处理炉的基本类型及特点.....	126
	一、真空热处理炉的基本类型.....	126
	二、外热式真空热处理炉.....	128
	三、内热式真空热处理炉.....	130
	四、真空热处理炉的特点.....	137
第九章	各种真空热处理炉实例.....	139
	一、《伊普生》真空热处理炉.....	139
	二、《海斯》真空热处理炉.....	146
	三、ULVAC真空热处理炉.....	154
	四、《岛津——德固萨》真空热处理炉.....	162
	五、《中外炉》真空热处理炉.....	165
	六、国产ZC型真空热处理炉.....	167
	七、MP201型微处理机控温系统.....	178
第十章	真空热处理炉的部件结构.....	192
	一、隔热屏.....	192
	二、炉床结构.....	199
	三、炉壳.....	201
	四、淬火油槽.....	213
	五、风扇装置.....	216

六、工件传送机构.....	219
七、真空隔热闸门.....	224
八、常用零组件结构.....	225
第十一章 热工计算与功率的确定.....	237
一、热平衡方程式.....	237
二、有效热消耗的计算.....	238
三、无功热损失的计算.....	238
四、结构蓄热量的计算.....	243
五、炉子功率的确定.....	243
六、空载升温时间的计算.....	246
七、冷却水消耗量的计算.....	246
八、计算实例.....	247
第十二章 加热器.....	256
一、电热材料及选择.....	257
二、电热元件的表面负荷及寿命.....	265
三、电热元件的接线方法.....	269
四、纯金属加热器.....	272
五、石墨加热器.....	276
六、合金加热器.....	280
第十三章 真空系统的设计与计算.....	286
一、真空系统的组成.....	286
二、管路流导的计算.....	289
三、真空系统的计算.....	295
四、计算实例.....	310
第十四章 真空热处理炉的性能试验与使用维护.....	314
一、真空热处理炉的技术指标.....	314
二、真空热处理炉的基本技术要求.....	315
三、真空热处理炉的质量检查与性能 试验.....	316

四、真空热处理炉的操作与维护.....	322
附表	329
附表一、碳钢在不同温度下的比热.....	329
附表二、金属的平均比热.....	329
附表三、不同温度下钢的热含量.....	330
附表四、各种材料的辐射黑度.....	331

第一章 真空基础

真空，按其词义是一个所有气体都被抽走，不存在任何物质的“真正空间”。实际上，完全没有任何物质的“绝对真空”是不存在的。现在所谓的真空，是指在给定的空间内，气体分子密度大大低于该地区大气压下的气体分子密度的状态。不同的真空状态，就意味着空间具有不同的分子密度。例如在 0°C ，760托时的标准状态下，每立方厘米中的分子数为 2.687×10^{19} 个，在真空度为 10^{-3} 托时，为 3.5×10^{13} 个，而在真空度为 10^{-6} 托时，则为 3.24×10^{10} 个。可见，在真空状态下仍然还有大量的气体分子存在。只不过要比大气状态稀薄得多。

真空状态与大气状态相比，其主要特点是：

- 第一、单位体积中气体分子的数目较少；
- 第二、在气体内部，气体分子之间的相互碰撞次数较少；
- 第三、气体分子撞击容器壁表面的次数较少。

一、真空度及其单位

为了衡量所获得的真空状态，在真空技术中采用“真空度”这个名词来表示气体稀薄的程度，也就是气体压强的高低。气体越稀薄，其压强越低，表示真空度越高；反之，气体压强越高，表示真空度越低。在实际应用中，“低压强”与“高真空”是同义的。

在真空测量中，真空度的单位和压强单位是一样的。过去通常习惯用“毫米汞柱”作为真空的计量单位。这个单位是指在标准重力加速度为 980.665 厘米/秒²下，温度为 0°C 时，1毫米高的纯

汞柱作用在单位面积上的压力。因为纯汞 0°C 时的比重为 13.5951克/厘米^3 ，所以， $1\text{毫米汞柱}=13.5951\text{克/厘米}^3$ 。“毫米汞柱”很象长度单位，也不便于书写和口述，同时它有赖于汞密度的测量水平，不是一个绝对单位。

因此，1958年第一次国际真空会议决定采用“托”(Torr)作为真空的计量单位以代替“毫米汞柱”。“托”是真空技术中最常用的单位，其定义为：

$$1\text{托} = \frac{1}{760}\text{标准大气压} = \frac{1013250}{760}\text{达因/厘米}^2 \\ = 133.322\text{牛顿/米}^2$$

根据上述定义，1托与1毫米汞柱在数值上的差异小于七百万分之一，因此，在工程应用上可以认为：

$$1\text{托} \approx 1\text{毫米汞柱}$$

在真空测量中，真空度小于0.1托的情况较多，用小数点表示很不方便，习惯上用负指数表示如 $0.005\text{托} = 5 \times 10^{-3}\text{托}$ 。根据负指数的大小可以清楚地区分真空度的高低。

近年来，由于国际单位制(代号SI)的推行因“托”不属于国际单位制的专用单位，1971年第十四届国际计量大会确定了国际单位制中的压强单位为“帕斯卡”(Pascal)，简称为“帕”其符号为Pa。因此，国际计量委员会建议在真空技术中也用“帕”作为真空的计量单位。

$$1\text{帕} = 1\text{牛顿/米}^2 \\ = \frac{760}{1013250} = 7.5006 \times 10^{-3}\text{托}$$

工程应用上可近似认为：

$$1\text{帕} \approx 7.5 \times 10^{-3}\text{托}$$

考虑到目前国内编写或翻译的有关真空技术方面的文献资料中大多数仍采用“托”，为了照顾这种情况，本书所用真空度单位仍为托。

表1.1是常用的一些压强单位间的换算。

表1.1 常用压强单位换算表

压强单位	帕 (Pa)	托 (Torr)	微米汞柱 (μmHg)	微巴 (μba)	标准大气压 (atm)	工程大气压 (am)	英寸汞柱 (inchHg)	普西 (Psi)
1帕 (1牛顿/米 ²)	1	7.5006×10^{-3}	7.5006	10	9.86923×10^{-6}	1.0197×10^{-5}	2.953×10^{-4}	1.4503×10^{-4}
1托	133.322	1	10^{-3}	1333.22	1.3158×10^{-5}	1.3595×10^{-3}	3.937×10^{-2}	1.9337×10^{-2}
(1毫米汞柱)								
1微米汞柱	0.133322	10^{-3}	1	1.33322	1.3158×10^{-6}	1.3595×10^{-6}	3.937×10^{-5}	1.9337×10^{-5}
1微巴	10^{-1}	7.5006×10^{-4}	7.5006×10^{-1}	1	9.86923×10^{-7}	1.0197×10^{-5}	2.953×10^{-5}	1.4503×10^{-5}
(1达因/厘米 ²)								
1标准大气压	101325	760	760×10^3	1013.25×10^3	1	1.0333	29.921	14.696
1工程大气压	98066.3	735.56	735.56×10^3	980663	0.96784	1	28.959	14.223
(公斤/厘米 ²)								
1英寸汞柱	3386	25.4	25.4×10^3	3.386×10^4	3.342×10^{-2}	3.453×10^{-2}	1	4.912×10^{-1}
1普西	6895	51.715	51.715×10^3	6.895×10^4	6.805×10^{-2}	7.031×10^{-2}	2.036	1
(1磅/英寸 ²)								

二、真空区域的划分

目前, 真空技术涉及的压强范围已宽达16个数量级以上, 即从760到 10^{-11} 托。随着真空技术的发展, 为了实际应用上方便起见, 国内通常根据低气压的不同范围, 把真空划为如下五个区域:

粗真空	小于760~10托
低真空	$10 \sim 10^{-3}$ 托
高真空	$10^{-3} \sim 10^{-8}$ 托
超高真空	$10^{-8} \sim 10^{-11}$ 托
极高真空	小于 10^{-11} 托

这种划分方法的主要依据是:

(1) 气体在不同压强下的性质: 随着真空度提高, 气体变稀, 气体的运动物理特性就会逐渐变化。如当压强为760~10托范围时, 气体的性质与一般大气还没有显著差别, 气体的流动性属于粘滞流, 即气体在管道内的流动与粘滞液体相类似。压强为 $10 \sim 10^{-3}$ 托范围时, 气体的流动性已属于从粘滞流到分子流的过渡流, 这时气体的导电现象已开始发生。压强为 $10^{-3} \sim 10^{-8}$ 托范围时, 气体的流动性为分子流。

(2) 常用真空泵和真空计的工作范围: 如压强为 $10 \sim 10^{-3}$ 托时, 正好是一般机械真空泵和热导式真空计的工作范围; 压强为 $10^{-3} \sim 10^{-8}$ 托时, 所采用的真空测量仪表为电离真空计, 而 10^{-8} 托则是高真空油扩散泵所能达到的极限真空。

(3) 真空技术应用的特点: 不同的真空范围有它不同的应用特点。如真空输送、过滤、成型, 加速蒸发过程的真空浓缩, 一般有10托以上的真空度就够了; 真空干燥, 冷冻干燥, 真空浸渍需数托到 10^{-3} 托; 真空热处理通常在数十托到 10^{-6} 托之间。

表1.2是国内真空区域的划分以及各真空区域主要使用的

真空测量仪表和真空泵。

目前，国际上对真空区域的划分没有统一的标准，大致作如下的划分：

粗真空（低真空）： $760 \sim 1$ （10）托。

中真空（精真空）： 1 （10） $\sim 10^{-3}$ 7 托

高真空： $10^{-3} \sim 10^{-7}$ （ 10^{-8} ）托

或 { 高真空： $10^{-3} \sim 10^{-6}$ 托
甚高真空： $10^{-6} \sim 10^{-9}$ 托

超高真空： $< 10^{-7} \sim 10^{-10}$ 托

表1.2 真空区域的划分

真空区域	压强范围(托)	气体性质	常用真空测量仪表	常用真空泵
粗真空	$< 760 \sim 10$	粘滞流	1. 弹性真空表 2. U型管真空计 3. 放射能电离真空计 4. 振膜式真空计	1. 往复式真空泵 2. 水蒸汽喷射泵 3. 水环泵
低真空	$10^{-3} \sim 10^{-8}$	分子—粘滞流	1. 热导式真空计 2. 压缩式真空计 3. 放射能电离真空计 4. 薄膜式真空计 5. 振膜式真空计 6. 放电管真空指示器	1. 旋片式机械泵 2. 定片式机械泵 3. 滑阀泵 4. 油增压泵 5. 机械增压泵 6. 吸附泵
高真空	$10^{-8} \sim 10^{-9}$	分子流	1. 电离真空计 2. 冷阴极电离真空计	1. 油扩散泵 2. 涡轮分子泵
超高真空	$10^{-9} \sim 10^{-12}$	分子流并有表面移动现象	B—A式电离真空计	1. 钛离子泵 2. 加冷阱扩散泵
极高真空	$< 10^{-12}$	气体分子运动开始偏离经典统计规律	1. 冷阴极磁控式电离真空计 2. 热阴极磁控式电离真空计 3. 改进的B—A式电离真空计	低温泵

三、理想气体状态方程及基本定律

在平衡状态下，对于某一个容器内具有一定质量的气体，可由压强、体积和温度这三个参数来表示，即理想气体状态方程：

$$PV = \frac{M}{\mu} RT$$

式中：P——压强；

V——体积；

M——气体质量；

μ ——气体分子量；

T——绝对温度（K）；

R——气体普适常数，对任何气体都等于62.36托·升/K·克分子。

在真空技术领域，低气压气体与理想气体很相近，所以，低气压气体一般都可以应用理想气体状态方程。根据这两个方程，对于气体的P、V、M、T四个参量，只要已知其中任何三个参量，便可求出第四个参量，而且还可以推导出在不同条件下的三个气体基本定律，即：

1. 波义耳定律：一定质量的气体，如果其温度保持不变，气体的压强和体积的乘积为常数，即：

$$PV = \text{常数}$$

2. 盖·吕萨克定律：一定质量的气体，如果保持其压强不变，气体的体积与其绝对温度成正比，即：

$$V \propto T \text{ 或 } \frac{V}{T} = \text{常数}$$

3. 查理定律：一定质量的气体，如果保持其体积不变，气体的压强同其绝对温度成正比，即：

$$P \propto T \text{ 或 } \frac{P}{T} = \text{常数}$$

此外，理想气体还有一条很重要的定律，即阿佛加德罗定律：等体积的任何种类的气体，在同温度同压强下均有相同的分子数。一克分子的任何气体所占有的体积为22.4升，其中所含的分子数 N 。——阿佛加德罗常数为 6.02252×10^{23} 个。

一般应用的气体是几种气体的混合物，因此，还要用到另一条重要的定律，就是道尔顿定律即：相互间不起化学作用的混合气体的总压强等于各气体分压强之和。分压强是指各气体单独存在并占有混合气体的原有体积时所具有的压强。即：

$$P = p_1 + p_2 + \dots + p_n$$

式中： P ——混合气体的总压强，

$p_1, p_2, \dots, p_n$ ——各气体的分压强。

四、气体分子的热运动速度与平均自由程

气体是由许多自由运动的分子组成的。由于气体分子间的相互碰撞以及气体分子与容器壁的碰撞使气体分子热运动十分杂乱，每一个分子的速度，都在不断地变化且各不相同。在真空技术中常用算术平均速度 $\bar{V}$ 和均方根速度 V_s 表示。

算术平均速度：将气体所有分子速度相加，然后被分子总数除，所求得平均值就是算术平均速度。根据推导求得算术平均速度为：

$$\bar{V} = 1.45 \times 10^4 \sqrt{\frac{T}{M}} \quad (\text{厘米/秒})$$

均方根速度：将气体所有分子速度相加，然后被分子总数除，再开方所求得平均值就是均方根速度。据根推导，均方根速度为：

$$V_s = 1.58 \times 10^4 \sqrt{\frac{T}{M}} \quad (\text{厘米/秒})$$

从上述各式中可以看到，气体分子热运动速度与绝对温度的平方

根成正比，与气体分子质量的平方根成反比。

一个气体分子与其他气体分子相继两次碰撞间所走过的路程称为自由程。自由程的长短相差很大，但相当多的自由程的平均值却是一定的，这个平均值便称为平均自由程。单一气体分子的平均自由程的计算公式为：

$$\lambda = 2.331 \times 10^{-10} \frac{T}{P\sigma^2} \text{ (厘米)}$$

式中： λ ——平均自由程（厘米）；

T ——气体的绝对温度（K）；

P ——气体的压强（托）；

σ ——气体分子直径（厘米）。

从式中可以看出，当温度一定时，平均自由程 λ 与压强 P 的乘积为一常数，即 λ 与 P 成反比关系。压力降低，碰撞机会减少，平均自由程增大。因此在低压下气体的扩散非常迅速。表1.3列

表1.3 25°C下各种气体的平均自由程

种 类	平均自由程（厘米）	
	压力（托）	压力760托
氢	9.31×10^{-8}	12.26×10^{-8}
氮	14.72	19.36
空气	5.09	6.69
氧	5.40	7.10
氩	5.31	6.67
二氧化碳	3.38	4.40

出了不同压强下各种气体的平均自由程的对比。气体分子的平均自由程 λ 大于导管截面最大线性尺寸时，则气体分子与导管壁的碰撞也将多于气体分子相互间的碰撞，这种气体分子的流动称为分子流。如果平均自由程 λ 小于导管截面最大线性尺寸时，则气体