



真空技术

赵家祥 编著

科学出版社

中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材

真 空 技 术

赵宝升 编著

科学出版社

1998

内 容 简 介

全书共分七章,即真空技术入门知识、真空技术的物理基础、真空获得、真空度的测量、质谱分析、真空系统简介及真空检漏。

本书既可作为具有高中或相当于高中文化程度的青年在从事真空技术工作前的职业培训教材,也可作为电力、电子、激光、冶金、航天、轻工业等其他行业的技术工人及工程技术人员的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

真空技术/赵宝升编著. -北京:科学出版社,1998.7

中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材

ISBN 7-03-004780-X

I. 真… II. 赵… III. 真空技术-技术培训-教材 N.TB7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 13411 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

1998年8月第一版 开本:787×1092 1/16

1998年8月第一次印刷 印张:10 1/2

印数:1—1 500 字数:237 000

定价:16.00元

《中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材》

编写委员会

主 任 石庭俊

副主任 姜 丹 苏汉武

编 委 王为民 文公龄 石庭俊 李胜利

苏汉武 周长安 张 洁 张利华

林君治 姜 丹 董俊国 屠礼勋

编写主持单位

中国科学院教育局

中国科学院西安光机所

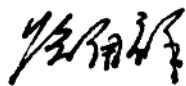
《中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材》序

在人类即将进入 21 世纪之际,全国人大八届四次会议通过了《关于国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要的报告》,报告提出了全面实现第二步战略目标并向第三步战略目标迈进的指导方针和主要任务,为全国人民确定了一个跨世纪的宏伟纲领。党中央提出的科教兴国的战略,是实施这一宏伟目标,强国富民,进行社会主义现代化建设的重大方针。科教兴国揭示了科技、教育与社会发展的内在关系,反映了科技、教育在社会主义现代化建设中的重要地位。科教兴国战略的提出对科技、教育的本身的改革和发展提出了更高、更紧迫的要求。

在科教兴国中,中国科学院作为科技国家队的战略定位,就是应该瞄准国家的目标,成为推动国家跨越式发展的科学技术的创新源泉,成为为国家经济和社会发展提供基础性、关键性、综合性、战略性先进科技支撑的主要基地。中国科学院,对能够提高我国国际竞争力和经济建设有重大推动作用的科技前沿问题,要集中力量予以突破;在重要的科学前沿和对长远发展有着重要影响的基础性研究领域,要集中力量开拓创新;利用市场机制,联合社会生产要素,促进我国高技术产业的发展;利用长期的科学积累、多学科的综合优势、先进的观测及信息处理手段和科学方法,为社会的持续发展提供科学方法和依据;积极为社会培养和输送高水平的创新人才;在高层次上为国家经济建设、社会发展的科技决策提供咨询、建议。面对 21 世纪的挑战,面对科教兴国的重任,中国科学院始终重视高科技人才的培养。多年来,中国科学院在研究生培养、出国留学派遣和继续教育、在职培训方面做了大量工作,并在促进科研工作、改善科研队伍结构、提高科研队伍素质等方面取得了显著成绩。

为了使我院广大的实验技术人员适应现代实验技术工作的需要,我院教育部门在多年工作的基础上,组织有关科技人员编写出版了《中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材》。这套教材,经过多年培训试讲和修改日趋完善,它既是实验技术人员培训用书,也是参加编写工作的科技人员辛勤劳动的成果。

国运兴衰,系于科教。我们要认真落实科教兴国的战略方针,为培养跨世纪的各类高科技人才奠定坚实的基础,满怀信心地去迎接 21 世纪,使社会主义中国以现代化的崭新面貌屹立于世界。



1996 年 5 月 7 日

(中国科学院、中国工程院院士,中国科学院院长)

• i •

目 录

《中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材》序	(i)
第一章 真空技术入门	(1)
1.1 真空技术的发展历史	(1)
1.2 真空技术与电子技术	(2)
1.3 真空度的单位	(3)
1.4 真空区域的划分	(4)
1.5 真空技术研究的内容	(5)
1.6 大气层与真空	(5)
1.7 真空技术的应用	(6)
思考与练习	(9)
第二章 真空技术的物理基础	(10)
2.1 气体分子运动论的基本知识	(10)
2.2 气体的压强	(13)
2.3 气体的道尔顿定律	(14)
2.4 麦克斯韦速率分布律	(14)
2.5 平均自由程	(16)
2.6 分子与表面的碰撞频率和从表面的反射	(18)
2.7 气体的电离	(19)
2.8 气体的非平衡过程 输运现象	(20)
2.9 真空状态下的气体流动	(21)
2.10 流导的概念	(22)
2.11 流导的计算	(23)
2.12 物理吸附与化学吸附	(25)
2.13 气体在固体中的溶解、扩散与渗透	(27)
2.14 小结	(29)
思考与练习	(33)
第三章 真空获得 真空泵	(35)
3.1 真空泵的分类	(35)
3.2 真空泵的主要参数	(35)
3.3 真空系统的抽气过程	(36)
3.4 旋片机械真空泵(机械泵)	(38)
3.5 油扩散泵	(43)
3.6 涡轮分子泵	(47)

3.7	分子筛吸附泵	(49)
3.8	钛升华泵	(52)
3.9	溅射离子泵	(55)
3.10	低温泵	(58)
3.11	吸气剂泵	(60)
3.12	小结	(61)
	思考与练习	(62)
第四章	真空度的测量 真空计	(63)
4.1	U型真空计	(63)
4.2	压缩真空计(麦克劳真空计)	(65)
4.3	热传导真空计	(67)
4.4	普通型热阴极电离真空计	(70)
4.5	超高真空热阴极电离真空计	(75)
4.6	低真空热阴极电离真空计	(80)
4.7	冷阴极电离真空计	(81)
4.8	相对真空计的校准	(85)
4.9	小结	(86)
	思考与练习	(87)
第五章	分压强的测量 质谱计	(89)
5.1	质谱计的性能指标	(89)
5.2	磁偏转质谱计	(91)
5.3	回转质谱计(欧米加质谱计)	(93)
5.4	飞行时间质谱计	(94)
5.5	四极质谱计	(95)
5.6	真空系统中残余气体的来源	(99)
5.7	质谱图的识别	(100)
5.8	分压强的计算	(102)
5.9	小结	(104)
	思考与练习	(104)
第六章	真空系统	(106)
6.1	真空系统的分类	(106)
6.2	真空系统常用材料	(107)
6.3	真空系统常用组件	(113)
6.4	真空系统的组装	(117)
6.5	真空系统的图形符号(GB1364-85)	(124)
6.6	典型真空系统举例	(128)
6.7	真空卫生	(131)
6.8	小结	(132)

思考与练习	(132)
第七章 真空检漏	(133)
7.1 概述	(133)
7.2 漏孔的漏率	(134)
7.3 检漏方法分类	(136)
7.4 几种加压检漏法	(137)
7.5 几种真空检漏法	(139)
7.6 氦质谱检漏仪的工作原理	(142)
7.7 氦质谱检漏仪的性能指标	(145)
7.8 氦质谱检漏方法及注意事项	(146)
7.9 标准漏孔及其漏率的校准	(151)
7.10 漏孔的修补	(153)
7.11 小结	(154)
思考与练习	(154)
附录	(156)

第一章 真空技术入门

1.1 真空技术的发展历史

“真空”一词来自希腊语，原本是“虚无”的意思。人类对真空的研究和应用由来已久，对它并不陌生。时至今日，真空技术作为一门应用科学对人类生活所起的巨大作用足已使我们惊叹不已。总之，今天的世界，从科研、生产到日常生活，几乎无一不与真空密切相关，真空技术的应用已渗透到各个领域，成为一门不可或缺的应用科学。

1643年，意大利物理学家托里拆利做了著名的大气压实验。他用一根一端封闭的长玻璃管和一个盛装水银的小槽，首先从玻璃管开口端向管内灌满水银，通过水银把大气从管内排走，再用手指按住管口，把玻璃管倒立在水银槽内，然后放开手指。此时，水银柱中的水银将逐渐下降，当管内水银下降到760毫米时，它就不会再下降，如图1-1所示。他认为在玻璃管上端的空隙为“真空”状态，这个伟大的发现为人类揭示了“真空”这个物理状态的存在。人们为了纪念他，几十年来一直采用“托”作为真空度的单位。十几年之后，1654年德国的物理学家葛利克发明了抽气泵。为了证明大气的巨大压力，葛利克将两个直径为60厘米的金属半球相向合起来，用抽气泵把球里的气体抽掉，然后各用八匹骏马以相反方向拉球，但是无论如何也拉不开这两个相互吸合的半球。这一令人惊奇的表演，不但使当时观看表演的罗马教皇弗狄南三世，也使全世界的科学家为之震惊。这个实验的地点是在德国的马德堡，因此人们把它称之为“马德堡半球实验”。

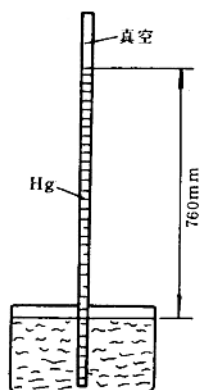


图1-1 托里拆利实验

1662年英国的物理学家、化学家玻义耳发现当一定质量的气体，在温度一定的情况下，压强与体积成反比。这就是人们现在熟知的“玻义耳定律”。1802年法国物理学家、化学家盖·吕萨克发现了一定质量的气体，在压强一定时体积随温度的升高而增大，即“盖·吕萨克定律”。1811年意大利化学家阿伏伽德罗发现1摩尔的任何气体包含有 6.02×10^{23} 个分子。1850年德国玻璃工盖斯勒发明了水银真空泵。1879年，美国大发明家爱迪生发明了用碳丝作灯丝的电灯泡。1879年德国物理学家克鲁斯克发明了阴极射线管，他认为阴极射线就是带负电的“离子”流。1883年，爱迪生发现白炽灯泡使用一段时间之后，玻璃壳上面有发黑现象，此后经过实验，认为这是由于真空中有电子运动的缘故。1893年杜瓦发现了真空中的绝热现象，继而发明了杜瓦瓶。1895年德国物理学家伦琴发现了X射线，这一发现，为人类在医疗透视、工业探伤等方面的广泛应用作出了巨大贡献。1897年英国物理学家汤姆孙，在亲自测量了克鲁斯克预言的“离子”的荷质比之后，提出了“一个原子含有许多更小的个体”的大胆设想。这些小的个体就是电子。当时，关于电

子是否存在的问题争论不休。据说举世闻名的大化学家门捷列夫,直到逝世时(1907年)也不承认有电子存在。后来到1914年,美国物理学家米利肯成功地分离出电子,测量了它的电荷量,人们对这个问题的争论才告结束。

由17世纪中期到19世纪末期,在漫长的二百多年的历史时期,真空技术的发展相当缓慢。直到本世纪初,电子技术的发展才促使真空技术得到飞速发展。

1.2 真空技术与电子技术

1904年,英国的弗莱明利用爱迪生发现的真空中有电子运动现象的原理,并使用旋转抽气泵,制成了真空二极管,它是实际应用真空自由电子的一种器件,人们用它进行检波和整流。1907年,美国人德福雷斯在二极管中又增加了一个电极,做成真空三极管。德福雷斯的发现,为发展无线电广播事业奠定了坚实的基础。1915年,人们实现了从美国到法国8000公里的远距离广播。1920年世界上第一座无线电广播电台开始播音,广播事业的大发展从此开始。1909年钨丝的发明更加促进了电子学的发展,白炽灯泡中用钨丝代替碳丝成为现实。真空二极管、三极管的年产量巨增,美国1922年一年就出售了100万只电子管。到1929年,电子管的年销售量达6900万只。各国相继建起了庞大的电子工业,每年总产值达上千亿美元。波澜壮阔的电子工业的发展为真空技术提供了各种抽气设备和测量仪器,促进了真空技术的飞速发展。1916年冷凝扩散泵出现,热阴极电离真空规也问世。1923年分子泵问世,1936年油扩散泵问世,1937年使用潘宁放电的冷阴极电离规问世。

第二次世界大战期间,为了对付德军的飞机和潜艇,美国、前苏联等国先后开发微波波段的电子器件。1937年美国的瓦里安兄弟发明了双腔速调管振荡器。1940年,布特和兰道尔在英国伯明翰大学研制出多腔磁控管,美国麻省理工学院利用它很快就研制出微波雷达。1938年至1940年期间,前苏联工程师在多腔磁控管方面取得了重大成就。到1940年9月微波雷达已能发现11公里远处海面上的潜艇,从此德军潜艇优势即成泡影。在德军被击毁的1174艘潜艇中,有785艘是被微波雷达发现后炸沉的。第二次世界大战后,真空技术的发展目标转向民用,大约40年代末期,第一台电视机问世。此后,电视机进入千家万户,人们可以在家里看到发生在远隔千山万水之外的事情。当今电视机的销量约占电真空器件销量的2/3。此外,真空技术在核研究、真空冶炼、镀膜、冷却及干燥等方面也得到了广泛应用。

50年代初,各种抽气泵已使真空度提高很多,人们臆测真空度已突破 10^{-5} 帕,但是由于缺乏测量手段,这一事实未能证实。直到1950年贝耶得和阿尔伯特发明了超高真空规(B-A规),才打开了测量超高真空的途径。1953年离子真空泵的出现,使人们可以获得清洁的超高真空。

由此可见,真空技术为电子技术开辟了道路,电子技术的飞速发展又为真空技术提供了各种抽气和测量手段,两者密切相关。电真空器件就是内部为“真空”的电子器件。例如:白炽灯、电视机显像管、示波管、电子管、变像管、像增强器、光电管、光电倍增管等等都属于电真空器件。它们之所以需要良好的真空,主要原因在于:

(1) 这些电真空器件的工作原理是基于电场、磁场等来控制电子流在空间的运动,

以达到放大、振荡、显示图像等目的。如果器件中气体分子较多，电子流就不可避免地要与气体分子频繁碰撞，改变其运动规律。

(2) 电真空器件一般都有一个发射电子的阴极，如各种热阴极、光电阴极等等，它们都有一些敏感的化学性能活泼的表面，极易受到气体的“中毒作用”影响而失效。因此只能在真空中才能制备和工作。

基于这两方面的原因，一旦电真空器件内部的真空度变坏，必然导致器件性能改变，甚至完全报废。

例如：在变像管、摄像管和光电倍增管中，真空度变坏会导致多碱光电阴极灵敏度的下降，极间高压打火、噪声增大。此外，气体电离后产生的正离子轰击光阴极也会使其毁坏。许多研究表明，各种气体和蒸气对 S-20 光阴极影响尤为显著，尤其是水蒸气分压强在 5×10^{-6} 帕时，导致光电灵敏度的永久下降。要使光电阴极红外灵敏度保持三年不变，则水蒸气等有害气体分压强必须在 10^{-13} 帕数量级。在显像管中，如果真空度较低，就会出现管内电极间的高压打火，或使用一段时间后出现所谓“离子斑”。

真空度的优劣严重影响各种电真空器件的寿命，因为通常情况下器件的寿命取决于其阴极的寿命，而气体对阴极的中毒作用是累积性的，随着时间的延长，对阴极的损坏愈来愈严重，最终导致真空管完全报废。特别是第三代负电子亲合势 GaAs 光电阴极，必须在优于 10^{-8} 帕以上的超高真空环境下制备和工作。

1.3 真空度的单位

真正的“真空”是不存在的，那种认为“真空是什么物质也不存在”的看法客观上是完全错误的。即使在月球上真空度高达 10^{-11} 帕，每立方厘米中仍有相当数量的气体分子。用下式即可说明问题：

$$n = 7.2 \times 10^{16} \frac{P}{T},$$

式中 n 表示气体的分子密度，单位是个/厘米³； P 表示大气压强，单位是“帕”； T 表示绝对温度，单位用 K。

所以科学家称“低于一个大气压的气体状态”为“真空”。“真空度”是对气体稀薄程度的客观度量，严格来讲应采用每单位体积中的气体分子数来表示；由于实验和计算上的方便和历史的原因，人们习惯用压强来衡量真空度的高低。即压强越高，真空度越低；压强越低，真空度越高。

根据托里拆利的实验，早期人们使用毫米汞柱作为大气压的单位，即：

$$1 \text{ 标准大气压} = 760 \text{ 毫米汞柱} = 760 \text{ 托}$$

但是由于汞有几种同位素，所以用毫米汞柱作为大气压的单位带来不准确性。故第十届国际计量大会改用“帕”作为大气压的单位，即

$$1 \text{ 标准大气压} = 1.013 \times 10^5 \text{ 帕 (牛/米}^2\text{)}$$

但人们用“托”作为真空度的单位已延续了几十年。

$$1 \text{ 托} = 1 \text{ 毫米汞柱} = \frac{1}{760} \text{ 标准大气压} \approx 1.333 \times 10^2 \text{ 帕}$$

表 1-1 给出了各种压强单位之间的换算关系。

表 1-1 几种压强单位的换算关系

	标准大气压	托	帕	毫 巴
1 标准大气压 (atm)	1	760	1.013×10^5	1.013×10^3
1 托 (Torr) = 1 毫米汞柱 (mmHg)	1.316×10^{-3}	1	133.3	1.333
1 帕 (Pa) = 1 牛/米 ² (N/m ²)	9.87×10^{-6}	7.5×10^{-3}	1	1×10^{-2}
1 毫巴 (mbar)	9.87×10^{-4}	0.75	100	1

1.4 真空区域的划分

对于真空区域的划分,国际上目前尚无统一规定。一般最常见的划分为:

1 标准大气压— 10^{-3} 帕	粗 真 空
10^{-3} — 10^{-1} 帕	低 真 空
10^{-1} — 10^{-5} 帕	高 真 空
10^{-5} — 10^{-10} 帕	超高真空
$<10^{-10}$ 帕	极高真空

除此之外,亦有其他划分方法:

粗 真 空	760—10 托
低 真 空	10 — 10^{-3} 托
高 真 空	10^{-3} — 10^{-8} 托
超高真空	10^{-8} — 10^{-12} 托
极高真空	$<10^{-12}$ 托

G. 安德瑞所著《真空技术》一书中的划分为:

粗 真 空	760—1 托
低 真 空	1 — 10^{-3} 托
高 真 空	10^{-3} — 10^{-6} 托
超高真空	10^{-6} — 10^{-9} 托
极高真空	$<10^{-9}$ 托

无论那种划分,都无本质区别,就其物理现象来说:粗真空以气体分子的互相碰撞为主,即气体分子的平均自由程 $\lambda \ll D$ (容器尺寸);低真空则是气体分子的相互碰撞和气体分子与容器壁的碰撞不相上下,即 $\lambda \approx D$;高真空时以分子与器壁碰撞为主,即 $\lambda \gg D$;极高真空时分子与器壁碰撞亦更稀少。

在气体中,一个分子连续两次碰撞之间的路程称为自由程。自由程与压强成反比,有如下关系:

$$\lambda \approx \frac{0.67}{P} \text{ (厘米)} \quad (1-1)$$

式中压强 P 的单位用帕,自由程 λ 的单位是厘米。假设有一个 $D=10$ 厘米的器件,其中真空度为 6.7×10^{-4} 帕,则 $\lambda=1000$ 厘米,由此可见自由程远大于器件的尺寸。此时,气

体分子主要是以器壁碰撞为主。可以认为,一个气体分子与器壁碰撞若干次,行走的路程为 1 000 厘米后才与另一气体分子发生碰撞。

1.5 真空技术研究的内容

真空技术作为一门应用科学,它所研究的内容可分为两大部分:真空技术的物理基础,主要研究气体分子运动的基本理论和固-气界面之间的现象;真空实用技术,即包括真空获得、各种真空泵和用于测量真空度的各种真空计的工作原理、结构及性能特点,对真空系统和器件的检漏和质谱分析技术,以及典型真空系统的应用实例。

目前常用的真空获得设备主要有旋转机械真空泵、油扩散泵、分子筛吸附泵、钛升华泵、热阴极吸气离子泵、溅射离子泵、涡轮分子泵和低温泵。在这些泵中,溅射离子泵和低温泵的极限真空度最高,低温泵可达 10^{-10} 帕以下。目前,实用的真空计主要有 U 型真空计(测量范围为 10^5 —1 帕),热传导真空计(100 — 10^{-1} 帕),高真空电离真空计(10^{-1} — 10^{-5} 帕),B-A 超高真空电离计(10^{-1} — 10^{-9} 帕),分压强真空计(10^{-1} — 10^{-14} 帕)。目前真空检漏主要以氦质谱检漏为主,其检漏灵敏度最高,最小可检漏率小于 10^{-12} 帕·米³/秒。

随着电子技术和计算机技术的发展,各种真空获得设备向高抽速、高极限真空、无污染方向发展。各种真空测量设备与微型计算机相结合,具有数字显示、数据打印、自动监控和自动切换量程等功能。我国主要生产真空获得设备和真空测量设备的厂家有北京科学仪器厂、北京真空仪表厂、沈阳教学仪器厂、上海真空泵厂、上海曙光机械厂、南京电子管厂、成都仪器厂、成都南光机器厂以及广东真空设备厂等。

1.6 大气层与真空

当地球在 50 多亿年前生成的时候,就紧紧地包围着一层厚厚的大气层。大气虽然是一种看不见、摸不着,既无色、也无味的气体,但是它的确占有一定的空间和重量;人所共知,没有大气,地球上就没有生命。早在 1775 年有人就测定大气是氧气和氮气的混合体,后来经过科学家的严格测定,大气由十几种成分组成。表 1-2 列出了大气的主要组成成分。

根据牛顿定律,我们周围的所有东西都被地球引力所吸引,当然大气也不例外。此外大气还可以被压缩,即处于上层的大气会压缩下层的大气,下层的大气就会更密些。所以处于地球表面上的这层大气所受到的压缩力最大且最密;相反,离开地球表面越高,大气的密度就越小,这就是大气上疏下密的原因。大气压 P 与海拔高度 h 之间的关系如下:

$$P = 0.999 \frac{h}{8} \quad (1-2)$$

其中大气压 P 的单位为标准大气压, h 为米。表 1-3 列出了标准大气的温度、压强、密度与海拔高度的关系。

表 1-2 大气的成分

成 分	N ₂	O ₂	Ar	CO ₂	Ne
分子量	28	32	40	44	20
容积百分比	78.1	21.0	0.9	3.1×10^{-2}	1.84×10^{-3}
重量百分比	75.5	23.1	1.3	4.8×10^{-7}	1.3×10^{-3}
分压强 (帕)	7.9×10^4	2.12×10^4	9.46×10^2	32	1.87
成 分	He	Kr	Xe	H ₂	CH ₄
分子量	4	84	131	2	16
容积百分比	5.2×10^{-4}	1.1×10^{-4}	8.7×10^{-6}	5×10^{-5}	2×10^{-4}
重量百分比	6.9×10^{-3}	3.3×10^{-4}	3.9×10^{-3}	3.5×10^{-6}	1×10^{-4}
分压强 (帕)	5.33×10^{-1}	1.16×10^{-1}	8.8×10^{-3}	5.33×10^{-2}	2.0×10^{-1}

注: CO₂ 在各地含量不同。

表 1-3 标准大气的温度、压力、密度与大气层高度的关系

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	760	1.23×10^{-3}	40	-22.8	2.15	4.00×10^{-6}
1	8.5	674.1	1.11×10^{-3}	50	-2.5	0.598	1.03×10^{-6}
2	2.0	596.3	1.01×10^{-3}	60	-17.4	0.168	3.06×10^{-7}
3	-4.5	526.0	9.09×10^{-4}	70	-53.5	4.14×10^{-2}	8.75×10^{-8}
4	-11	462.5	8.19×10^{-4}	80	-92.5	7.78×10^{-3}	2.00×10^{-8}
5	-17.5	405.4	7.36×10^{-4}	90	-92.5	1.23×10^{-3}	3.17×10^{-9}
6	-24.0	354.2	6.60×10^{-4}	100	-63.1	2.26×10^{-4}	5.0×10^{-10}
7	-30.5	308.3	5.90×10^{-4}	160	749	2.77×10^{-6}	1.28×10^{-12}
8	-36.9	267.4	5.26×10^{-4}	220	1021	6.4×10^{-7}	2.0×10^{-13}
9	-43.4	231.0	4.67×10^{-4}	300	1159	1.4×10^{-7}	3.6×10^{-14}
10	-49.9	198.8	4.14×10^{-4}	400	1214	3.0×10^{-8}	6.5×10^{-15}
15	-56.5	90.8	1.95×10^{-4}	500	1226	8.2×10^{-9}	1.6×10^{-15}
20	-56.5	48.5	8.89×10^{-5}	600	1233	2.6×10^{-9}	4.6×10^{-16}
30	-46.6	8.98	1.84×10^{-5}	700	1234	8.9×10^{-10}	1.5×10^{-15}

再由图 1-2 可见, 广阔的宇宙是一个无限大的真空环境。现已测得, 距地面 10 公里的高空, 那里的气压是 2.67×10^4 帕; 在次级火箭引燃的位置, 也就是 45 公里的高空, 此处的压力是 133 帕。世界上最低的侦察卫星及宇宙飞船的轨道距地面 120 公里, 压强只有 10^{-3} 帕。我国 1970 年 4 月 20 日发射的第一颗人造地球卫星, 离地面的最近点 438 公里, 最远点为 2384 公里, 在它的轨道上其压强大约在 10^{-6} — 10^{-9} 帕之间。由此不难看出, 我们所接触的真空大体上有两种: 一种是宇宙空间所存在的真空, 人们称其为“自然真空”; 另一种是人们用真空泵抽掉容器中的气体所获的真空, 人们称之为“人为真空”。

1.7 真空技术的应用

真空技术的应用领域十分广泛, 现就几个主要领域加以说明。

(1) 在电子工业中的应用 在本章 1.2 节中已做了较多的叙述。可以说, 没有真空

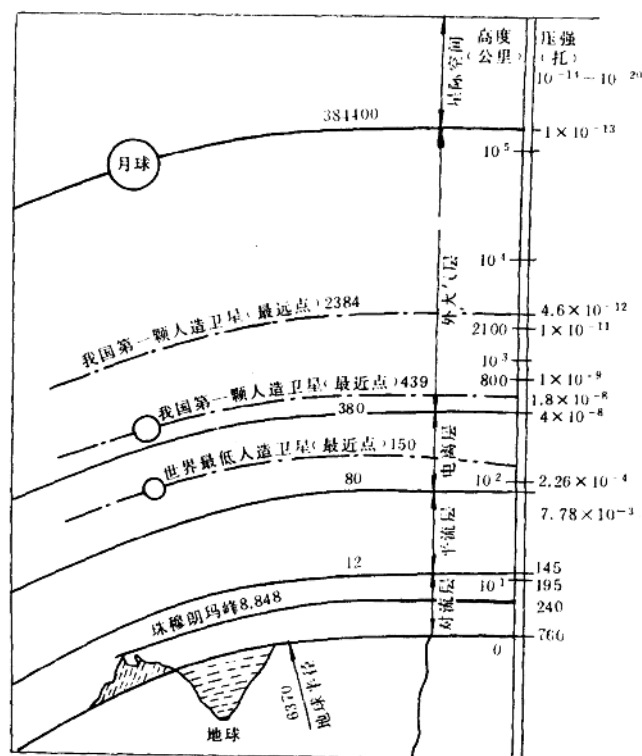


图 1-2 宇宙真空

技术的发展就不可能制造出各式各样的真空电子器件，电子学的发展也无从谈起。

(2) 真空技术的力学应用 真空的力学应用的例子是很多的。如在炎热的夏天，我们用一根硬塑料管插入瓶中吸饮汽水时，我们是利用真空输送液体。根据此原理，可以利用真空管道来输送各种液体油料。同样，在真空中输送固体的例子也很多。在伦敦和巴黎，邮政局靠长达几百公里的真空管道输送信件已使用了一百多年。利用真空中可以输送邮件的原理，1840年至1860年在爱尔兰的都柏林和法国的圣日尔曼还建造过靠真空推动的列车。今天，科学家正计划着宏伟的真空列车工程，有人预测，从我国首都北京至上海，如果采用时速22500公里的真空地铁，只需3分钟。这时真空的力学作用不是产生驱动力，而是起着极大地降低空气阻力和减小摩擦的作用。真空力学应用在工业上的例子不胜枚举。在纺织、粮食加工、烟草、矿山、铸造、酿酒等许多部门中，基于真空力学原理的许多设备已成为生产中不可缺少的设备。真空过滤、真空成型以及真空起重抓取技术目前已被各行各业广泛应用。真空装卸设备用于码头、车站装卸谷物、鱼类、粉粒物料时，已显示了独特的优越性。目前在日本的码头，已有70%装有真空卸粮机，每小时卸粮量可达800—1000吨。

(3) 在宇航及空间科学的应用 1969年，美国宇航员阿姆斯特朗·奥尔德首次登上月球，实现了“嫦娥奔月”的愿望。月球距地球384400公里，那里的压强只有 10^{-11}

帕。我国第一颗人造地球卫星距地面最远点 2384 公里，那里的压强只有 10^{-9} 帕。一般，侦察卫星距地面 150 公里，那里的压强为 6×10^{-4} 帕。由此可见，人类要征服太空，要发射各种各样的卫星、宇宙飞船，必须要在地面建立起空间模拟站——“人造小太空”。美国一家“麦克唐纳公司”有八十多台地面“小太空”。我国 1960 年开始建立地面“小太空”。这些小太空是直径几十至几百米的大型球体，其内具有模拟空间的真空度，并可提供各种宇宙射线。科学家在这些“小太空”中进行各种实验研究，宇航员在其中进行模拟飞行实验。由此可见，真空技术在空间科学中的作用是不可估量的。美国的“星球大战”计划就是与真空技术密切相关的。有朝一日，我们可以到太空进行旅游、居住和科学试验。若在宇宙空间制造各种电真空器件，可以不用真空泵和真空计，将封好的真空器件带回地面即可使用。

(4) 在原子能科学中的应用 人类对微观世界的认识是无穷无尽的。1974 年 11 月，美籍华人丁肇中教授发现一种基本粒子，即 J 粒子；如何分离这些粒子，就是靠“高能加速器”，其内部要抽到超高真空。欧洲核子中心的一台高能加速器，长 20 公里，直径达 300 米，真空度可达 10^{-10} 帕。大家可想而知，如此大的真空容器，要达到超高真空，将需要多少真空泵和高精密的真空测量设备，设备的安装、检漏等工艺又将留下真空科学工作者多少汗水！

(5) 在表面物理研究中的应用 表面物理是近年来新兴的边缘科学。它研究真空中气-固界面现象以及中性粒子、带电粒子、电磁辐射与固体表面作用的机理。作为研究的条件、超高真空为之提供清洁的表面。研究中使用的各种表面分析仪器都属于超高真空仪器。

(6) 在微电子学中的应用 1946 年美国研制成了世界上第一台电子计算机，这台计算机重达 30 吨。如今，由于真空镀膜技术的飞速发展，制成了先进的大规模集成电路，以致使功能与第一台电子计算机相当或比其强得多的电子计算机可以拿在手上，随身携带。近代电子计算机的广泛应用依赖集成电路的发展，而大规模集成电路的生产过程，从单晶的生产、基片的镀膜、刻蚀、离子注入等工艺均离不开真空技术。

(7) 在冶金工业中的应用 真空冶金包括真空熔炼和真空处理。真空熔炼就是在真空环境下，对金属进行加热、熔化、精炼和凝固等冶金工艺处理，以达到进一步提高金属材料性能的目的。真空处理是把利用平炉、转炉或电炉在大气下熔炼的钢液，以不同的工艺方式置于真空环境之中，使其脱气，排出有害杂质以及进行合金化的过程。钢液通过真空处理可以提高强度和韧性。目前，钢液真空处理装置在世界各国已成为现代化炼钢工艺中最基本的组成部分。日本、美国轴承钢真空处理达 100%，前苏联电工用钢 100% 经过真空处理。

(8) 在轻工业中的应用 现代轻工业（包括轻化工）都或多或少涉及了真空技术应用。

皮革和含水物料的真空干燥，骨胶、甘油和果汁类物品的真空浓缩，陶瓷的真空炼泥，毛皮的隔氧防蚀，烟叶真空回潮，酿造业物料的真空降温，食盐的蒸发结晶，食品贮藏保鲜，药物消毒灭菌，高级药用植物的活性保存和烟叶梗丝的膨胀以及高质皮革的干燥等等，可以说轻工业无一不需要真空技术。

浓缩、干燥和蒸发结晶是应用最广泛的工艺过程。由于流态物质含水结晶物以及大

薄片状固体物料在真空下的传导和辐射传热便于控制，采用蒸气加热使设备结构简单，推广应用较快。据统计真空下干燥和浓缩一般比常压下要缩短 $1/3$ 的时间。

思考与练习

1. 请你列举几个真空技术应用的例子。
2. 假定用水代替水银进行大气压实验，会得到什么结果？
3. 将一青蛙放在一玻璃罩中，开始抽气，会引起什么后果？为什么？
4. 目前低温泵的极限真空度大约为 10^{-15} 大气压，分别将其单位换算为托和帕。
5. 真空区域是如何划分的？