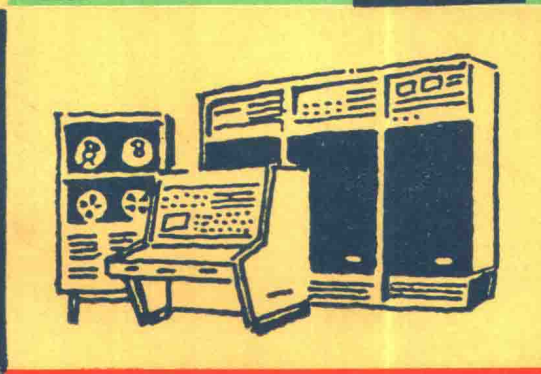
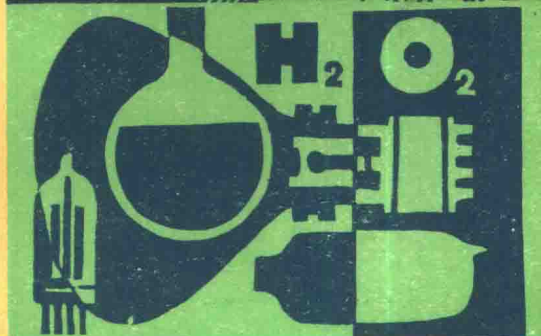
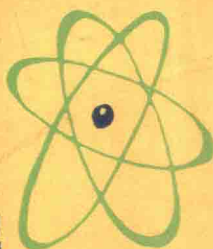
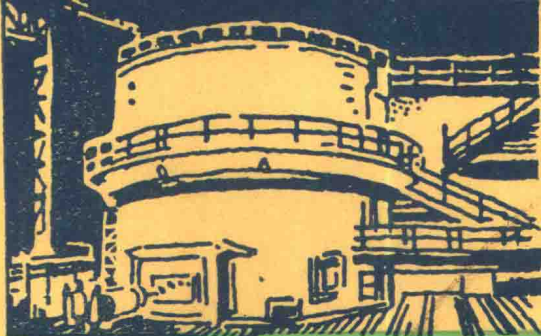


新技术普及丛书

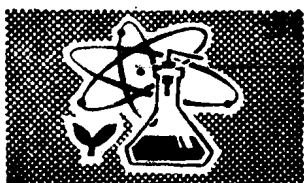


真空世界

李云奇等编写

上海科学技术出版社

新技术普及丛书



真空世界

李云奇等 编写

上海科学技术出版社

真 空 世 界

李云奇等 编写

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷四厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张 8.25 字数 182,000

1984 年 7 月第 1 版 1984 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1—6,300

统一书号: 15119·2361 定价: 0.79 元

前 言

大家对真空一词并不陌生，人类对真空的研究和应用也由来已久。时至今日，真空作为一门应用科学对人类生活所起的巨大作用则足以使我们感叹不已。这主要是因为真空科学与技术在近半个世纪以来的发展十分迅速，它所涉及的领域非常之广。请注意一下周围的事实：从真空绝热的普通热水瓶到抽成真空的灯泡和电视显象管，从真空冷冻干燥的食品到真空包装的各种商品，从化工中的真空精馏到机械工业中的真空热处理……应用真空的例子枚不胜数。然而，当前各尖端科技领域中，如航天科学、核能开发、高能物理研究、太阳能利用以及近几年来崭露头角的表面科学都离不开真空。没有真空科学与技术，这些尖端科学的发展是不可想象的。总之，今天的世界，从科研、生产直到日常生活，几乎无一不与真空密切相关，真空的应用已渗透到各个领域，成为一门不可或缺的应用科学，这也就是促使我们将本书定名为《真空世界》的原因。

真空科学与技术，概括来说，就是研究低于一个大气压力条件下的各种物理和化学现象，并将这些现象应用到科研和生产中去的一门科学。为了使广大读者对迅速发展的真空科学和技术有一个较全面的了解，使真空科技知识尽快地在我国普及，我们编写了这本科普读物。书中从真空的基本知识到真空的获得、测量和应用，都做了系统的阐述。对各种重要的真空设备不但就原理、结构和用途作了较详细的介绍，而且还给出了许多具有一定实用价值的图表。因此，它除了可供

广大读者做为真空科普读物阅读外，还可供从事科研工作者和工程技术人员及企业管理人员参考。

本书由上海市通用机械技术研究所及东北工学院的一些同志合编。参加编写的有李云奇(第一、七、八部分)、张宗侠(第二部分)、王振明(第三部分)、谢俊秀(第四部分)、陈国良(第五部分)、刘家澍(第六部分)、孙广生(第九部分)等同志。本书插图由潘宝兴同志绘制。本书的编写组织和协调工作由上海市通用机械技术研究所王风鸣同志负责。该所真空室许多同志给予了很多帮助,在此表示感谢。

由于我们的编写水平所限，书中错误和不妥之处在所难免，希望广大读者批评指正。

编 者 1983. 5.

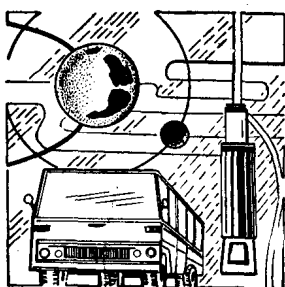
目 录

前言

一、大气与真空	1
地球的伴侣	1
有趣的实验	5
永不停止的运动	10
真空里面非真空	11
稀薄气体的性质	13
压力单位	14
真空区域	17
二、真空的力学应用	21
渴鸟与真空输液	23
固态物料的真空输送	27
真空吸鱼	35
临床真空抽吸	39
起重中的真空抓具	41
真空过滤	47
真空密封造型	53
三、真空脱水	58
水的沸点是100度吗?	58
美味可口的冷干食品	59
血浆的长期保存	64
菌种、疫苗获得了长寿	69
冻干骨骼的移植	71

纺织品的真空脱水	73
纸张的真空脱水	76
四、真空绝缘和制冷	79
从保温瓶谈起	79
低温绝热容器	81
超导发电与输送	88
超导发电机	89
超导输送——超导电缆	91
真空能制冷吗	94
真空开关	101
五、良好的真空环境	106
环境与有害杂质气体	106
理想的仓库——真空贮粮	109
真空包装新工艺	111
真空冶金	114
热处理的第三代——真空是优良的热处理气氛	126
最清洁的加工	135
六、新技术与真空	140
电子工业话真空	140
揭示物质内部的秘密	144
微型器件与真空镀膜	149
向原子“开刀”	157
巨大的“能源”	159
人造小太空	160
七、真空的获得	164
“火罐”与“风箱”	164
密闭容器变化的奥妙——容积真空泵	165
没有运动构件的泵——射流真空泵	171
靠高速回转轮子工作的泵——分子真空泵	177

埋葬气体分子的怪物——钛泵	182
抽气能手——冷凝真空泵	189
吸气大王——分子筛吸附泵	192
八、真空系统	196
真空系统的组成和分类	196
真空系统的参数	199
通导能力的计算	201
选泵和配泵	203
阱	209
真空阀门	213
材料的真空性质	217
“连接”与“密封”	220
真空卫生	221
真空系统的安装和维护	223
九、真空测量与检漏	226
真空测量	226
真空检漏	241



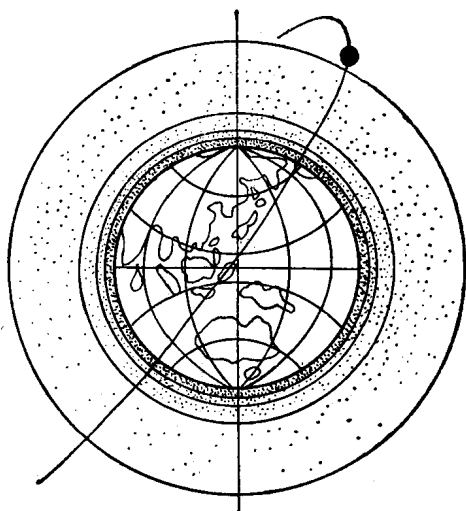
一、大气与真空

地球的伴侣

当地球在五十多亿年前生成的时候，就紧紧地包围着一层厚厚的大气层。但是，长期以来，人类始终受到大气层的束缚，只有人造卫星、宇宙飞船和航天飞机上天以后，人类才克服了地球的引力，摆脱了大气层的束缚，从而打开了人们的眼界。如果你能够乘航天飞机同宇航员一起，飞到远离地球表面几千公里的高空，那将亲眼看到，人类的故乡——地球的绮丽风光，是一个多么别具一格的世界啊！

目前，由于人们已经掌握了大气的许多奥妙，了解了大气的一些基本性质，因此，也就给从事科学研究和生产活动提供了许许多多的办法。例如，登山运动员在登山时不但要穿上防寒衣，带上防风帽，而且还必须背上一个很大的氧气袋，借以克服高山上大气稀薄缺氧造成的困难。

现在就让我们从这里开始，深入地讨论一下，为什么高山上面的大气要比地面上稀薄呢？原来，大气虽然是一种看不到、摸不着，既无色，也无味的气体，但是，它确占有一定的空间和具有一定的重量。你可以作一个非常简单的实验：把一个没有打气的篮球用比较精密的天平称一下，然后打足气再



称一次。结果，第二次称得的篮球重量比第一次增加了。实验证明，每一升大气大约 1 克多重。

大家知道，在我们周围所有的东西，不论大小都被地球引力所吸引，当然大气也不例外。不过，在这里我们应当补充一点，这就是大气不但有重量，而且它还是可以压缩的。因此，当上一层大气压在下一层大气的上面时，下一层大气就会被压得比上一层大气更密实些。表明大气浓度或稀薄程度的量叫做大气的密度，通常用单位体积内所含有的气体分子数目来表示。因为处于地球表面上这一层大气所受到的压缩最大，因此这一层大气的密度也就最大。相反，离开地球表面越高，大气的密度也就越小。这就是地球周围大气层上疏下密的原因。关于这一点，只要你认真地查找一下表 1-1，就可以看得十分清楚了。

关于大气层的厚度，确切地说，它是没有明显界限的。一

表 1-1 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^{-16}

注：“托”是压力单位的一种表示方法，我们将在以后的有关部分中介绍。

般来说，按照密度的概念可以粗略地认为，它的厚度大约有十六公里左右。因为在这十六公里的高空之内，竟集中了所有大气的 90% 以上，而且，比重较大的水蒸气又全部集中在这里。因此，只有在这一层里，才能发生云、雨、雷、雾、雹和风暴等现象。

大气不但有一定的重量，而且它是由各种不同的气体所组成，其成份如表 1-2 所示。

人类除了需要大气作为维持生命所不可缺少的条件外，在工业上大气的应用也是十分广泛的。坚硬的岩石可以用风镐把它凿碎而开挖；巨大的高炉只有通风送氧才能冶炼出铁水。就是一辆公共汽车，如果没有压缩空气往返的开闭车门，乘客上下车时也不会那么方便。所有这些，都是大气造福于

表 1-2 标准大气的成份

成 份	分子量	容积百分比	重量百分比	分压强(托)
N ₂ (氮)	28.0134	78.084	75.520	593.44
O ₂ (氧)	31.9988	20.948	23.142	159.20
Ar(氩)	39.948	0.934	1.288	7.10
CO ₂ (二氧化碳)	44.00995	3.14×10^{-2}	4.8×10^{-2}	$2.4 \times 10^{-1*}$
Ne(氖)	20.183	1.82×10^{-3}	1.3×10^{-3}	1.4×10^{-2}
He(氦)	4.0026	5.24×10^{-4}	6.9×10^{-3}	4.0×10^{-3}
Kr(氪)	83.80	1.14×10^{-4}	3.3×10^{-4}	8.7×10^{-4}
Xe(氙)	131.30	8.7×10^{-6}	3.9×10^{-3}	6.6×10^{-5}
H ₂ (氢)	2.01594	5×10^{-5}	3.5×10^{-6}	4×10^{-4}
CH ₄ (甲烷)	16.04303	2×10^{-4}	1×10^{-4}	1.5×10^{-3}
N ₂ O(氧化二氮)	44.0128	5×10^{-5}	8×10^{-4}	4×10^{-3}
O ₃ (臭氧)	47.9982	夏: $0 \sim 7 \times 10^{-6}$ 冬: $0 \sim 2 \times 10^{-6}$	$0 \sim 1 \times 10^{-5}$ $0 \sim 0.3 \times 10^{-5}$	$0 \sim 5 \times 10^{-5*}$ $0 \sim 1.5 \times 10^{-5*}$
SO ₂ (二氧化硫)	64.0628	$0 \sim 1 \times 10^{-4}$	$0 \sim 2 \times 10^{-4}$	$0 \sim 8 \times 10^{-4*}$
NO ₂ (二氧化氮)	46.0055	$0 \sim 2 \times 10^{-6}$	$0 \sim 3 \times 10^{-6}$	$0 \sim 1.5 \times 10^{-5*}$
NH ₃ (氨)	17.03061	0~痕迹量	0~痕迹量	0~痕迹量
CO(一氧化碳)	28.01055	0~痕迹量	0~痕迹量	0~痕迹量
I ₂ (碘)	253.8088	$0 \sim 1 \times 10^{-6}$	$0 \sim 9 \times 10^{-5}$	$0 \sim 8 \times 10^{-6*}$

* 表示随时间、地点而变化的值。

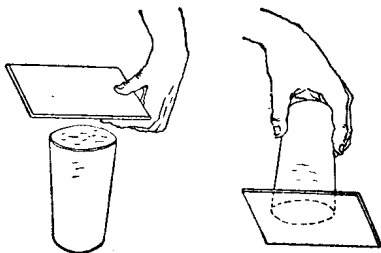
人类的主要方面。然而,大气也有它不利于人类在从事科学研究和生产实践过程中的有害一面。这一点,只要你读了本书,在“真空世界”里进行一次有趣的旅行,你就会发现,只有

摆脱了大气的干扰,即掌握了真空技术的奥秘后,人类才有可能在各种科学领域中取得重大的突破。

有趣的实验

在你漫游“真空世界”之前,请你首先想想,为什么盛装热水不满的保温瓶,当热水凉下来以后,瓶盖会压得很紧而不易启开? 一个小小的塑料衣钩,只要把圆锥形的塑料面按到光滑的墙壁或镜面上,就可以挂你所喜欢的衣帽。特别有趣的是,当你把一只茶杯装满水直到它溢出来为止,立刻盖上一张硬纸并迅速将杯口倒转向下,这时杯中的水,不会把硬纸冲开。

为了说明这些奇怪的现象,我们可以做如图 1-1 所示的简单实验。用一根一端封闭起来的长玻璃管和一个盛



装水银的小槽子,首先从玻璃管的开口端向管内灌满水银,通过水银把大气从管内赶走,再用手指按住管口,把玻璃管倒立在水银槽的水银中,然后放开手指,这时管内的水银将逐渐下落,如果这根管子长度大于 760 毫米,那么,当管内水银下降到 760 毫米的位置时,它就会不再下降。由于水银的比重是 13.6 克/厘米³,所以支持这个水银柱的力量,在每平方厘米的面积上是 1.03 公斤。这个力就是大气压力,这个实验的首创者是有名的物理学家托里拆利,实验的时间是 1643 年。

由于当时托里拆利并没有根据实验而提出任何利用水银柱上部空间(实际上这个空间就是真空)的可能性,所以这个

实验也就没有得到人们的重视。几年之后,于1650年由葛利克发明了抽气机(即真空泵),才获得真空的手段。

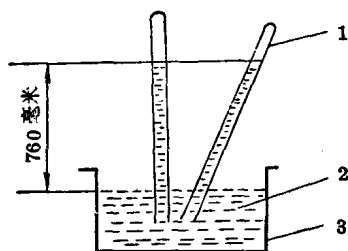


图 1-1 大气压力实验

1. 玻璃管 2. 水银 3. 槽

为了证明大气的巨大压力,葛利克又于1654年用两个直径为60厘米的金属半球,把它们相向合起来,用抽气机把球里面的大气抽

掉。然后用八对骏马朝相反方向拉球,但是无论如何也拉不开这两个相互密合着的半球。这一惊奇的表演,不但使当时观看表演的罗马教皇弗狄南三世为之震惊,也使全世界的科学家为之震惊。因为这个实验的地点在马德堡,因此人们就把它称之为马德堡半球实验。

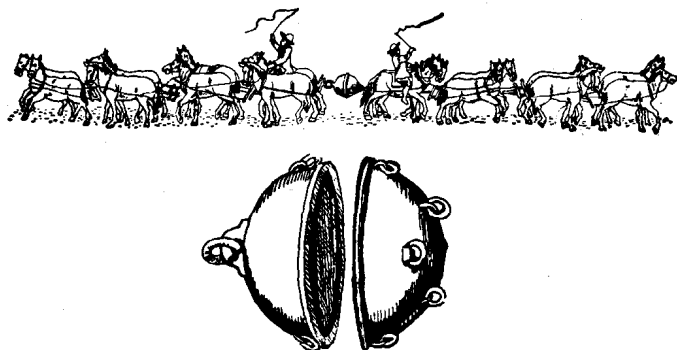


图 1-2 马德堡半球和实验

八对马为什么拉不开这个半球呢?只要作简单的计算就可以知道。大气作用在每平方厘米表面上的力是1公斤,

而直径为 60 厘米的圆面积就是 2826 平方厘米，这里我们所以采用圆面积而不采用半球的表面积，是因为在大气对半球的压力中，只有与两半球密合面垂直的分力抵抗着马的拉力，而其它分力都相互抵消了。因此我们采用球表面积在平面上的正投影，也就是大圆的面积。按照这个面积去计算，大气加在这个金属半球上的力，近似有三千公斤。所以，要想拉开这个半球，就必须在球的两侧施加三千公斤左右的力，只有这样，才能抵消掉大气压在球面上的压力。

乍看起来，这个重量对十六匹马来说并不算大，可是请你不要忘记，平常的马拉走一吨重量的货物所需克服的阻力并不是一吨，而是车轮和车轴及车轮和地面之间的摩擦力。这个阻力在平坦的公路上也只不过是货物重量的 5% 左右，也就是说，一匹马要拉走载在车上的一吨货物，只要付出 50 公斤的拉力也就足够了。因此在这个实验中八匹骏马要付出的拉力相当于拉动 60 吨的货车一样，这是多么沉重啊！

我们在前面所看到的大气的巨大压力，都是作用在空间物体的表面上。如果在物体的内部有一定的压力，那么，当它进入到宇宙空间环境里，将会发生什么现象呢？为了弄清这个问题，你可以把一只青蛙放到玻璃罩内，然后用真空泵把罩里面的空气抽走。这时你就会看到，这只青蛙在抽气过程中会自行爆破。道理十分简单，由于青蛙腹部的压力相对于玻璃罩内压力不断降低而增大，于是，当青蛙腹部的压力冲破了它的肌体时，青蛙也就爆炸开来了。

同样，在宇宙空间中，由于大气层上疏下密，高空中的压力随着大气层的升高而逐渐降低，因此节日放起的气球也就自然会在高空中爆破。近似计算高空中大气压力大小的公式是

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

式中, P 是大气压数, h 是被计算的高空高度, 其单位是米。

下面让我们计算一下这样的问题, 距离地面多高才能使大气压力减少到地球表面气压的一半呢? 这很方便, 只要我们把 $P=0.5$ 这个数值代入到上式, 就可以回答这个问题, 即:

$$0.5 = 0.999^{\frac{h}{8}}$$

对于会运算对数的读者来说, 解出这个方程的 h 值是不困难的, 它的答案是 $h=5.6$ 公里。这就是说, 在距离地面 5~6 公里的高空, 那里的大气压力是 380 毫米水银柱。请注意, 我们的这个数值是按一个大气压力等于 760 毫米水银柱而算出的。应当指出, 这种算法是不准确的, 因为这里忽略了一个重要的因素。在大气层的最低层, 即对流层里, 气层的温度是随着高度而显著降低的。平均来说, 从地面每上升 1 公里, 对流层的温度就降低 6.5°C 左右。因此, 在 5.6 公里高的大气层里, 它的温度就已经是 -20°C 以下了。显然在这样的温度下, 气体的压强要比我们的计算值更小些。

现已测得, 距离地面十公里的高空, 那里的气压是 200 毫米水银柱, 即相当于 0.26 个大气压力。在 45 公里次级火箭引燃的位置上其气压是 1 毫米水银柱。至于到达 120 公里的高空, 也就是侦察卫星及宇宙飞船的高空轨道上, 那里的大气压就只有 10^{-5} 毫米水银柱左右。我国 1970 年 4 月 20 日发射的第一颗人造地球卫星, 离地球表面的最近点为 439 公里, 最远点为 2384 公里, 因而在它的运动轨道上, 其压强值大约在 $10^{-8} \sim 10^{-11}$ 毫米水银柱之间。如图 1-3 所描述的那样, 广阔的宇宙空间, 是一个无限大的真空环境。这一点是毫无疑

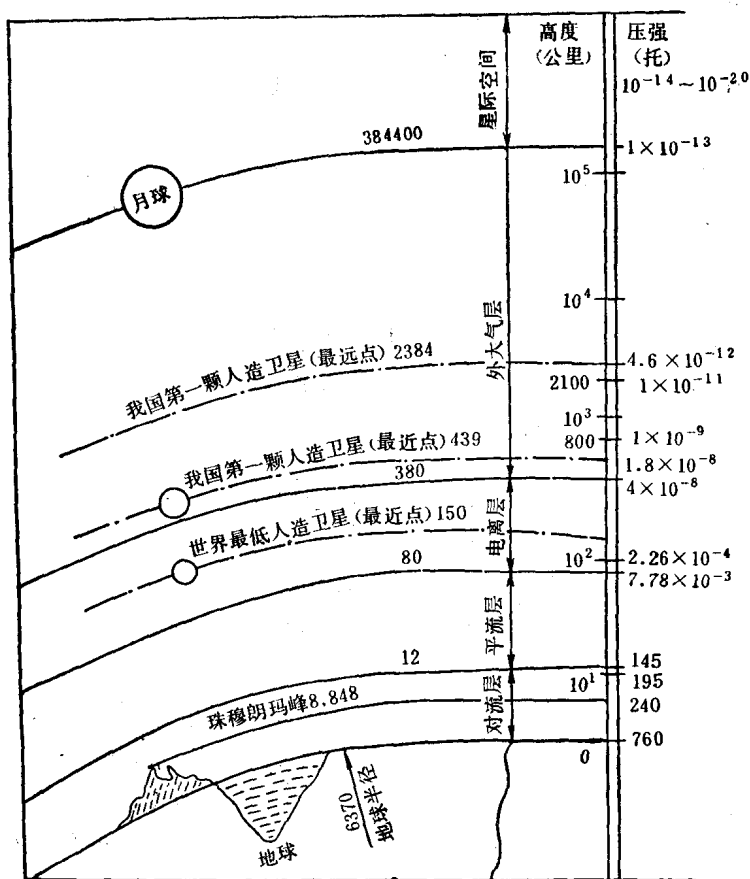


图 1-3 广阔的宇宙真空

间的。

通过前面的讨论,不难看出,我们所接触到的真空大体上只有两种,一个是宇宙空间所存在着的真空;一个是人们用真空泵所获得的真空。为了把它们区别开来,人们通常把前者