

航空航天缺氧与供氧 生理学与防护装备

人民军医出版社

航空航天缺氧与供氧

——生理学与防护装备

HAZG KONG HANG TIAN
QUE YANG YU GONG YANG

贾 司 光 著

人民军医出版社

序



自从人类试图进入高空和宇宙空间以来，如何克服高空和空间缺少人类生存所必需的压力和氧气的危害，就成为航空航天医学工程的一个首要课题。现在，人类已明确低压（包括真空）与缺氧的生理效应，并成功地创造了克服低压与缺氧的防护关键——供氧科学技术。我国在这一领域也积累了丰富的资料，取得了显著的成就。但是，直至目前，尚无一部反映我国这方面的成就并集中简述国内外有关成果的专著，与当前我国飞速发展的航空航天事业极不相适应。

为了适应这方面的需要，著者撰写了本专著。书中内容侧重阐述著者与同事们近30年来在该领域研究的基本资料与观点，并为了体现每个问题的系统性与完整性，辅以国内与国外（美、苏、英、德）有关内容。

本书全面阐述航空航天缺氧与供氧的基本资料、观点与主要进展，并侧重人体实验结果。对于供氧问题，侧重叙述生理学基础与人体工程学问题；为利于保持完整性，也略提及部分工程技术内容。考虑到航空航天缺氧与供氧二者紧密相连，又是环境生理学（应用生理学的一个大分支）与人-机-环境系统工程学的组成部分，并同医学的其它领域在学术上、实践上密切相关，特设第一章概论，集中讨论彼此间相关与各自的特性。此外，特设第三章呼吸循环生理学，以供非医学专业人员学用。

航空航天缺氧与供氧的知识与技术有其广泛应用价值。在高原、登山、体育、密闭工事作业以及临床各医学专业都存在不同类型的缺氧与对供氧的需要问题。航空航天环境控制与生命保证工程专业，也涉及到缺氧与供氧的内容。因此，本书适用于从事上述各专业的医学、工程技术人员与学员参考或学用。

本书在撰写与出版过程中，得到陈景山与张宏（研究生）等同志具体协助，并承蒙同事们和同行们的热心支持与提供资料；同时，得到航天医学工程研究所机关和领导的大力支持，在此深表谢意。最后，对本书不足或不当之处，恳请指正。

著者

一九八七年十月

目 录

序

第一章 概论	(1)
第一节 高空与近地球空间压力环境	(1)
一、大气压力	(1)
二、大气组成	(4)
三、大气分层	(6)
分层原因分析, 宇宙空间温度特征	
四、内大气层分层	(7)
对流层, 平流层, 电离层	
第二节 低压与真空的生理效应	(9)
第三节 缺氧症分类	(10)
一、定义	(10)
二、分类与主要特征	(11)
按原因分类, 按速度分类, 按领域分类, 按气压分类	
第四节 航空航天缺氧与供氧实验设备	(15)
一、低压舱	(15)
二、爆炸减压舱.....	(16)
三、太空舱	(18)
四、密闭模拟舱.....	(20)
五、低氧混合气.....	(20)
计算原理, 配制方法, 配制装置, 注意事项, 常压缺氧与低压缺氧效果的比较	
第五节 各领域缺氧基本特征	(28)
一、航空航天.....	(28)
急性高空缺氧, 爆发性缺氧	
二、高原	(29)
急性缺氧, 亚急性缺氧, 慢性缺氧	
三、密闭工事.....	(33)
单因素效应, 双因素复合效应, 近似估算	
四、登山	(35)
采用阶段式训练或适应方法, 严重缺氧与高体力负荷, 缺氧暴露时间, 缺氧反应	
五、临床	(39)
第二章 简史	(42)
第一节 国外部分	(42)
一、在航天领域.....	(42)

二、在航空领域	(43)
第二节 国内部分	(44)
一、在航天领域	(44)
二、在航空领域	(45)
第三章 呼吸与循环生理学	(46)
第一节 呼吸	(46)
一、呼吸系统	(46)
二、呼吸运动	(46)
肺通气量, 肺容量各参数, 肺泡通气	
三、肺通气	(49)
四、死腔	(50)
五、呼吸动力机制	(52)
肺-胸廓组织弹性, 非弹性组织阻力, 呼吸道气流阻力	
六、呼吸运动的调节与控制	(53)
第二节 循环	(54)
一、心脏功能	(54)
二、动脉压	(54)
三、气体在血液里运输	(55)
氧气在血液里的运输, 血氧饱和度, 二氧化碳在血液里的运输	
四、心血管运动的管制	(57)
第四章 急性高空缺氧与呼吸功能	(58)
第一节 肺内氧分压	(58)
一、气管氧分压	(58)
二、肺泡氧分压	(59)
三、在高度上的肺泡氧分压	(59)
第二节 呼吸反应	(60)
一、阶梯式缺氧	(60)
二、短时间缺氧	(62)
第三节 过度通气	(65)
一、对物质代谢的影响	(65)
二、对脑循环的影响	(65)
三、对功效的影响	(65)
四、症状与体征	(66)
五、缺二氧化碳与缺氧的复合效应	(66)
第四节 呼吸节律异常	(67)
一、呼吸节律紊乱	(67)
二、周期性呼吸	(68)
三、产生机理	(69)
负反馈观点, 循环观点, 中枢神经观点, 外周化学感受器观点	

第五节 组织呼吸	(74)
一、常态氧化过程	(74)
二、缺氧氧化过程	(76)
第五章 急性高空缺氧与循环功能	(81)
第一节 呼吸循环代偿反应	(81)
一、产生机理	(81)
二、呼吸系统代偿反应	(82)
呼吸中枢的构成, 上位脑中枢的作用	
三、循环系统代偿反应	(83)
心肺循环, 血液重新分配, 氧分压梯度缩小	
第二节 急性高空缺氧的综合评定	(88)
一、模糊现象的数学模型——模糊集合	(88)
二、缺氧代偿率概念的引入	(88)
三、各指标W值的确定	(89)
四、表示不同代偿能力的模糊子集及其隶属函数的确定	(91)
五、对受试者代偿能力的评价	(93)
六、综合定量评定的可靠性	(94)
第三节 呼吸与循环功能的协同效应	(95)
一、循环型	(95)
二、呼吸型	(96)
三、均衡型	(96)
第四节 循环代偿障碍	(96)
一、循环指标的改变	(97)
心率, 动脉压, 每搏量与心输出量, 障碍的时间特征与趋势	
二、自觉症状与体征	(101)
三、心律紊乱	(102)
心电图波型的改变, 心律紊乱的发生率, 心律紊乱心电图特点, 产生机制, 功能性心电图	
四、循环代偿障碍的产生机制	(111)
影响因素, 运动的改善效能, 大脑皮层对缺氧的敏感性	
第六章 急性高空缺氧与脑功能	(116)
第一节 脑对缺氧敏感的生理基础	(116)
一、物质代谢	(116)
二、脑循环	(117)
第二节 功效的改变	(118)
一、人体图型判向测试	(120)
二、数字记忆与记忆关联单位	(121)
轻度缺氧组, 中等度缺氧组	
三、听觉检测 (音频辨别)	(125)
四、手控跟踪	(125)

五、综合功效	(128)
第三节 视觉功能障碍	(129)
第四节 脑电活动的改变	(132)
一、安静状态脑电活动	(133)
脑电基本特征, 脑电各种参数的改变	
二、轻度体力负荷状态脑电活动	(143)
脑电图基本特征, 脑电各种参数的改变, 脑电图改变的分析	
三、脑电活动与脑功能	(147)
第五节 觉醒度与意识障碍	(149)
一、觉醒度	(149)
二、意识障碍	(149)
耐受时间与肺泡氧分压, 主要生理特征, 呼吸循环功能, 意识丧失的客观监视,	
意识丧失的危害性, 意识丧失的产生机理	
第六节 大脑皮层超微结构的改变	(153)
一、行为反应	(153)
二、超微结构改变	(154)
第七章 急性高空缺氧对消化功能的影响	(159)
第一节 分泌功能的改变	(159)
唾液, 胃液, 胰液, 胆汁, 肠液	
第二节 运动功能的改变	(161)
胃运动, 肠运动	
第三节 吸收的改变	(162)
第八章 高空缺氧的整体特征	(164)
第一节 急性缺氧高度的区域划分	(164)
一、Strughold 区域划分	(164)
Lavnikov(1977)的区域划分, 马瑞山 (1982) 的区域划分	
二、Billings-Roth区域划分	(165)
三、贾 司 光-杨天德区域划分	(166)
无反应区, 功效保证区, 功效允许区, 安全区, 耐限区, 极限区	
第二节 吸氧反常效应	(171)
一、呼吸反应	(173)
二、循环反应	(174)
第三节 氧过多症	(177)
一、氧过多症类型	(177)
轻度氧过多症, 中度氧过多症, 重度氧过多症	
二、影响因素	(179)
三、航空航天条件下的氧过多症	(180)
在航空领域, 在航天领域	
第四节 缺氧与体力负荷	(182)

一、呼吸功能	(183)
肺泡气, 肺通气量, 改善呼吸节律调节	
二、循环功能	(184)
心功能, 血压, 改善循环功能	
三、呼吸循环代偿类型	(186)
四、症状	(186)
五、脑功能	(188)
第五节 缺氧症状	(189)
一、缺氧症状的种类	(190)
大脑抑制症状, 植物性神经功能紊乱症状, 感觉症状, 呼吸症状, 胃肠症状	
二、症状随高度的改变	(191)
三、症状与肺泡气的关系	(192)
第六节 暴发性缺氧	(193)
一、肺内气体交换的特征	(193)
氧的反向弥散, 原发性缺二氧化碳	
二、有效意识时间	(195)
三、生理效应	(198)
四、安全暴露时间	(202)
第九章 急性高空缺氧生理界限值	(207)
第一节 最佳值	(209)
第二节 夜航安全值	(209)
国内外情况, 我们的资料	
第三节 功效保证值	(210)
国内外情况, 我们的资料, 讨论与结论	
第四节 功效容许值	(212)
国内外情况, 我们的资料, 讨论与结论	
第五节 缺氧耐限值	(214)
国内外情况, 我们的资料, 讨论与结论	
第六节 缺氧极限值	(217)
国内外情况, 我们的资料, 讨论与结论	
第七节 急性高空缺氧耐力	(219)
一、评定标准与方法	(219)
二、影响因素	(220)
训练或习服, 脑功能状态, 体力负荷, 温度, 制剂, 其他因素	
第十章 普通供氧生理要求	(225)
第一节 供氧量	(225)
第二节 呼吸气阻力	(226)
第三节 夜航供氧高度	(226)
第四节 飞行人员供氧高度	(227)

第五节	安全余压要求	(230)
第六节	稀释供氧要求	(231)
第七节	巡航飞行供氧要求	(232)
第八节	作战飞行供氧要求	(232)
第九节	被运输人员供氧要求	(233)
第十节	被运输人员应急供氧要求	(233)
第十一章	加压呼吸生理学	(235)
第一节	对头颈部的影响	(235)
第二节	加压呼吸对呼吸的效应	(238)
一、	呼吸动力学	(238)
	胸廓—肺脏弹性系统压力—容积, 呼吸型式, 呼吸动力学参数	
二、	肺通气功能	(242)
三、	呼吸节律	(246)
第三节	加压呼吸对循环的效应	(247)
一、	静脉压升高	(248)
二、	有效循环血量减少	(249)
三、	心功能改变	(251)
四、	动脉压升高	(254)
第十二章	加压呼吸生理界限值	(256)
第一节	阈值	(256)
第二节	安全值	(256)
第三节	容许值	(257)
第四节	耐限值	(258)
一、	评定依据	(258)
二、	耐限的影响因素	(259)
三、	评定方法	(261)
	生理学的定性方法, 呼吸动力学的定量评定方法, 综合评定方法	
第五节	极限值	(263)
一、	评定依据	(264)
二、	导致晕厥的原因与其产生机理	(265)
	有效循环血量减少, 肺拉伸反射的过度增强, 缺氧与加压呼吸的协同效应, 过度换气,	
	机体状态与素质不佳, 加压呼吸装备选配使用不当	
三、	评定方法	(266)
第十三章	高空加压供氧	(268)
第一节	概述	(268)
一、	单纯加压供氧	(268)
二、	有对抗压力加压供氧	(268)
第二节	生理等效高度	(269)
第三节	缺氧与加压供氧协同效应	(271)

第四节 高空加压供氧系统的生理要求	(274)
一、呼吸气阻力	(274)
人的因素, 装备系统阻力, 评定方法	
二、头盔有效死腔	(282)
附加死腔生理反应, 头盔死腔效应, 头盔有效死腔的测定(评定)方法, 头盔有效死腔的影响因素, 头盔有效死腔容许限	
三、加压供氧总压值	(288)
四、加压供氧接通时间	(291)
五、余压同对抗压力的比例与时差	(291)
第五节 高空加压供氧装备的防护性能	(292)
一、加压面罩	(292)
二、加压面罩+加压背心	(293)
三、加压面罩+加压背心+抗荷裤	(296)
四、加压头盔+加压背心+抗荷裤	(298)
五、加压头盔+气囊上衣+抗荷裤	(298)
六、加压面罩+侧管式高空代偿服	(298)
七、加压头盔+侧管式高空代偿服	(300)
八、加压头盔+侧管式高空代偿服+加压背心	(304)
九、高空飞行密闭服	(307)
结构与类型, 服装人体力学学, 头盔生理学, 通风散热, 压力控制系统, 压力制度, 防缺氧与低压效应	
第十四章 载人航天中缺氧与供氧	(316)
第一节 空间与天体环境	(316)
一、真空与低压	(316)
二、高温与低温	(317)
三、辐射与宇宙线	(317)
四、流星、陨石与微流尘	(319)
五、失重	(320)
第二节 真空生物效应	(321)
一、真空对低等生物的效应	(321)
二、真空对动物的危害	(322)
呼吸与循环功能, 脑电活动, 功效, 产生机理分析, 复压后与恢复过程反应	
第三节 航天因素复合效应	(328)
一、复合因素的交互作用	(329)
二、缺氧与辐射的复合效应	(331)
三、产生机理	(331)
第四节 增压舱环境供氧的生理学问题	(333)
一、增压舱的压力制度	(333)
生理学要求, 工程技术(系统)要求, 防火灾, 对航天服要求, 增压舱三种压力制度	

二、增压舱压力变动	(344)
增压与减压速度容许值, 压力波动容许值	
三、二氧化碳容许值	(347)
急性实验资料, 慢性实验资料	
四、航天员能量代谢	(354)
舱内常态航行, 舱内应急状态航行	
五、舱内压力应急生理要求	(357)
延缓舱压降低时间, 循环回路大流量冲洗的流量与时间	
六、主动段与返回段航天服回路的生理要求	(359)
七、舱内微小气候	(359)
船舱温度, 船舱湿度, 船舱内的气流速度, 飞船返回时容许的舱内温度	
第五节 增压舱环境供氧	(361)
一、非再生法	(361)
高压贮存氧, 二氧化碳的消除	
二、半再生法	(363)
三、全再生法	(364)
直接分解法, 电解质电解法, 氢化法, 水电解法	
四、密闭生态循环法	(367)
探索适用生物, 藻类生态学问题, 人-藻类-小麦联合实验, 探索利用嗜氢菌的可能性	
第十五章 航天服	(373)
第一节 航天服生理学问题	(373)
一、一般要求	(374)
二、航天服压力制度	(374)
无低压缺氧与高氧效应, 保证人体力学要求, 同舱压匹配	
三、航天服活动性能要求	(376)
四、航天服通风散热要求	(378)
通风服设计要求, 各部位风量分配的生理学依据, 常态飞行条件下风量和风温的选择, 通风温度和排湿量, 轨道压力应急条件下航天服通风量的估算	
五、航天服防寒保暖要求	(382)
身体产热量, 热债容许值, 低温下的平均皮肤温度, 研制防寒服材料有关的医学问题	
六、头盔生理学要求	(384)
带走呼出气中二氧化碳含量所需的风量, 带走呼出气中水汽所需的风量, 关于头盔通风一些原则要求	
七、弹射供氧	(386)
供氧量, 供氧部位, 负压值, 对弹射供氧系统的生理要求	
第二节 航天服的结构	(388)
一、简史与类型	(388)
二、外层	(391)
三、真空隔热屏蔽层	(392)
四、气密限制层	(393)

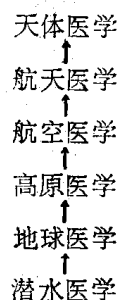
材料与结构设计, 活动部位结构, 等容结构, 新型航天服	
五、通风结构与液冷服	(401)
通风结构, 液冷服	
六、保暖层与内衣	(406)
第三节 加压手套	(407)
第四节 航天靴	(408)
第五节 航天头盔	(408)
一、要求与类型	(408)
二、盔壳	(410)
通风衬垫, 进食活门	
三、面窗	(411)
四、颈圈	(411)
五、滤光面窗与保护罩	(413)
第十六章 飞行中缺氧医学监督	(415)
第一节 增压舱减压防护	(416)
第二节 监测面罩氧分压	(417)
第三节 监测心律紊乱	(418)
第四节 监测循环代偿障碍	(419)
第五节 监测呼吸节律异常	(419)
第六节 正视吸氧反常效应	(420)
第七节 询问自觉症状	(421)
第八节 航天中医学监督	(422)
编后记	(426)

第一章 概 论

现代高性能飞机的飞行高度在30km以下，载人航天器（飞船、航天飞机与轨道站）的航行高度提高至200km上下。美国阿波罗(Apollo)飞船航天员已进入“月宫”，进行了考察。科学家们正在计划于21世纪建造低轨道航行的“空间住宅”，供人们遨游天空；并实现对近地球天体——火星亲临揭秘。从此，人类的活动天地，已由有限的高空跨入更有广阔前景的近地球空间（参见第十四章）；医学领域随之也有了新的扩展（表1—1）。

人类经过长期进化，已适应地球上的大气环境。当离开地面升到高空时就难以生存了。高空特别是宇宙空间存在着的各种环境因素，都会危及生命安全。但近地球的大气环境对人类并非完全无益，它是这个行星上万物生长的必要条件；既提供生物维持生命必须的氧气和适合生存的压力和温度环境，又构成屏障保护生物免受太阳辐射和宇宙线的危害。太阳辐射所能到达地面的热量比大气层外约减少30%，高能的宇宙射线受到大气层的屏蔽，能量耗尽，不得进入地面。充分认识高空和空间大气环境因素是人类安全飞上高空，实现征服宇宙宏伟目标的前提，也是为阐述本书下述各章节的基础。

表1—1 医学领域的扩展



高空同空间环境的物理化学特性，有其连续性，也有其独特性；各环境因素相互作用，相互依存。大气压力、密度与组成同温度、太阳辐射以及地球重力都是密切相关的。本书的中心议题虽是针对高空与宇宙空间的缺氧环境，但由大气压力生物效应考虑，缺氧与低压紧密相连，特别是在防护措施方面，解决大气中缺氧效应的同时，低压效应同时也就解决了，如高空加压供氧防护装备正是如此。至于航天服、飞机座舱与载入航天器入舱首要任务虽是解决危及生命安全的低压、真空与缺氧（无氧）问题，其他的环境因素也一并解决了。同时，在制订环境供氧方案时，还必须充分考虑低压、真空、温度等问题。这些问题均在不同程度上影响供氧系统的性能与环境参数的选定，特别是温度的影响尤甚。基于上述考虑，在重点阐述低压、真空与缺氧因素的同时，对于温度也简要提及。

第一节 高空与近地球空间压力环境

一、大 气 压 力

包围着地球的气体称为大气，由大气重量产生的压强，称为大气压强，并称大气压力，简称气压。大气压力是与一定面积上面的空气柱重量相等的空气压力。有二种表示方法：一是以760mmHg为一个大气压力，又称标准大气压；二是以 1.033kg/cm^2 为一个大气压力，又称工程大气压力。前者是表明海平面上的大气压力平均等于水银柱高76cm（760mm）的压力。后者是表明温度为零度时 1cm^3 水银的重量为13.596g，所以 1cm^2 横截面积上水银柱的重

量应为 $76 \times 13.596\text{g}$, 即 1033g/cm^2 。文献上常见的气压单位有: mmHg, mbar, kPa, kg/cm², psi, 其关系是:

$$760\text{mmHg}=1013.33\text{mbar}$$

$$1\text{mmHg}=1.33\text{mbar}$$

$$760\text{mmHg}=101.33\text{kPa}$$

$$1\text{mmHg}=0.1333\text{kPa}$$

$$1\text{kPa}=7.502\text{mmHg}$$

$$760\text{mmHg}=14.6959\text{psi}$$

$$1\text{kg/cm}^2=14.2233\text{psi}$$

$$1\text{psi}=51.7\text{mmHg}$$

地球的周围包围着大气层, 其底界起始于海平面(或地面), 离开底界越高, 大气越稀薄, 空气密度越下降, 压力越低(见表1—2)。随着高度的增加, 大气密度和压力近似指数曲线减少。但由于不同高度上温度的变化, 密度与压力的下降同真正的指数下降略有差别。在5500m高度上, 大气密度和压力已下降到海平面的一半。在30000m高度上大气压力近似海平面值(760mmHg, 101.3kPa)的1/100(8.9mmHg, 1.19kPa); 大气密度仅为海平面上的1/100。如此稀薄的大气环境, 对于机翼的支承作用很小, 对现代飞机是严重的挑战, 难以再提高飞行高度。故在航空领域涉及到的气压, 仅属于低气压范围, 而在航天领域, 则属于真空范围。

低气压与真空无截然界限, 也难以确定严格的定义, 二者的生物效应虽无质的不同(详见第二节), 但物理效应则有显著之别。传统习惯上将1mmHg(0.1333kPa)做为分界, 低于1mmHg的气压属于真空范围, 接近1mmHg称为近真空; 数mmHg的气压属于低压范围。这样的区分, 虽欠严格, 但利于航空与航天生物效应的探讨与评定。值得指出的是, 在工程技术领域, 传统习惯上将低压范围的压力变化量级或出现负压时通称为真空度。飞机最大飞行高度虽低于30km, 但在近30km高度以下飞行时, 由于空气动力学效应, 通过加压舱的缝隙, 可以提高舱内高度超过30km, 故对大高度加压供氧设备的设计, 必须考虑到40km(2.3mmHg, 0.3kPa)左右的低压效应。

在更高的高度上, 大气密度逐渐减小, 气压随之降低。50km高度上的气压已低于1mmHg, 仅为0.7mmHg(0.09kPa)。高度再高, 大气粒子更加减少。目前载人航天器航行轨道高度约为200km上下, 大气压力已降低到 $1.22 \times 10^{-8}\text{mmHg}$, $1.63 \times 10^{-7}\text{kPa}$ (表1—2)左右, 在1ml里含有的粒子数减少到 8.4×10^9 个(在海平面上为 2.55×10^{19} 个, 见表1—2)。在天体力学将200km高度作为大气和空间的力学分界线, 超过此高度, 空气对航天飞行器的阻力接近于零, 大气的力学功能基本终结。此外, 在该高度附近, 宇宙线的剂量不超过人体容许限, 适于长期航行。故迄今的航天飞行器运行高度, 均限于200km高度左右。

近地球天体的大气情况, 由于质量不同, 距太阳远近不同等原因, 彼此差异悬殊。月球质量甚小, 其重力仅为地球的1/6, 吸不住气体。其周围的大气极为稀薄, 仅相当于地球大气的万分之一。月球受着太阳照射的时间长, 一照就是14个“地球日”。昼夜温度相差悬殊, 自 $130^\circ\text{C} \sim -160^\circ\text{C}$ 。

火星上大气稀薄。但由于探测技术困难, 手段不同, 迄今仍未完全揭示许多的火星之谜。有的资料估测火星表面大气密度不到地球的百分之一, 表面大气压力为5.6mmHg(0.75kPa);

表1—2 各高度上大气的物理性质

高度 (km)	温度 (°C)	空气稀薄度 (粒子数/cm ³)	气 压	
			(mmHg)	(kPa)
0	15.01	$2.55 \cdot 10^{19}$	760	101.31
1	8.51	$2.31 \cdot 10^{19}$	674.13	89.862
2	2.01	$2.09 \cdot 10^{19}$	596.31	79.488
3	-4.48	$1.89 \cdot 10^{19}$	525.95	70.109
4	-10.97	$1.70 \cdot 10^{19}$	462.49	61.650
5	-17.46	$1.53 \cdot 10^{19}$	405.39	54.038
6	-23.95	$1.37 \cdot 10^{19}$	354.16	47.210
7	-30.44	$1.23 \cdot 10^{19}$	308.31	41.098
8	-36.92	$1.09 \cdot 10^{19}$	267.41	35.646
9	-43.41	$9.71 \cdot 10^{18}$	231.02	30.795
10	-49.89	$8.59 \cdot 10^{18}$	198.76	26.495
11	-56.37	$7.58 \cdot 10^{18}$	170.26	22.696
12	-56.49	$6.48 \cdot 10^{18}$	145.51	19.396
13	-56.49	$5.54 \cdot 10^{18}$	124.36	16.577
14	-56.49	$4.74 \cdot 10^{18}$	106.29	14.168
15	-59.49	$4.05 \cdot 10^{18}$	90.845	12.110
16	-56.49	$3.46 \cdot 10^{18}$	77.625	10.347
17	-56.49	$2.96 \cdot 10^{18}$	66.378	8.8482
18	-56.49	$2.53 \cdot 10^{18}$	56.743	7.5638
19	-56.49	$2.16 \cdot 10^{18}$	48.51	6.466
20	-56.49	$1.85 \cdot 10^{18}$	41.493	5.5310
30	-41.91	$3.71 \cdot 10^{17}$	8.8921	1.1853
40	-12.24	$8.32 \cdot 10^{16}$	2.2485	0.29973
50	9.51	$2.25 \cdot 10^{16}$	0.65899	$8.7843 \cdot 10^{-2}$
60	-19.55	$7.32 \cdot 10^{15}$	0.19245	$2.5654 \cdot 10^{-2}$
70	-63.56	$2.08 \cdot 10^{15}$	$4.516 \cdot 10^{-2}$	$6.020 \cdot 10^{-3}$
80	-107.45	$4.41 \cdot 10^{14}$	$7.563 \cdot 10^{-3}$	$1.0081 \cdot 10^{-3}$
90	-107.45	$5.91 \cdot 10^{13}$	$1.015 \cdot 10^{-3}$	$1.353 \cdot 10^{-4}$
100	-74.15	$7.78 \cdot 10^{12}$	$1.604 \cdot 10^{-4}$	$2.138 \cdot 10^{-5}$
200	1130.85	$8.40 \cdot 10^9$	$1.222 \cdot 10^{-6}$	$1.629 \cdot 10^{-7}$
300	1149.85	$1.30 \cdot 10^8$	$1.924 \cdot 10^{-7}$	$2.565 \cdot 10^{-8}$
400	1206.85	$2.77 \cdot 10^8$	$4.246 \cdot 10^{-8}$	$5.660 \cdot 10^{-9}$
500	1302.85	$7.28 \cdot 10^7$	$1.19 \cdot 10^{-8}$	$1.59 \cdot 10^{-9}$
600	1417.85	$2.27 \cdot 10^7$	$3.981 \cdot 10^{-9}$	$5.307 \cdot 10^{-10}$
700	1538.85	$8.14 \cdot 10^6$	$1.528 \cdot 10^{-9}$	$2.037 \cdot 10^{-10}$

引自Fenn, W. O. and Rahn, H.: Handbook of Physiology, Section 3, Respiration, 1: 154, 1964, 改作。

*K = °C + 273, 1kPa = 7.502mmHg, 1mmHg = 0.1333kPa.

有的资料估测那里的气压比地球低一半，表面最高温度为 20°C 。

金星被厚厚的稠密大气层所包裹，气层和气温都很高。在金星表面20km的高空，气温为 $25\sim 320^{\circ}\text{C}$ ，不同高度的气压变化是 $0.5\sim 27$ 个大气压。对木星、土星、海王星、天王星、冥王星等，虽进行了多年的探测，但对这些天体的物理条件，尚在探索阶段，已知冥王星的表面几乎无大气，而其它天体表面虽有大气，但尚缺欠确切的数值。

二、大 气 组 成

地球表面的大气是由多种气体和水汽混合组成。干燥空气的容积百分比(%)是：氮(N_2)78.09；氧(O_2) 20.95；氩(Ar) 0.93；二氧化碳(CO_2) 0.03；氖(Ne) 0.00123；氦(He) 0.0004；；氢(H_2) 0.00005；还有微量的氪(Kr)和氙(Xe)。

由于大气内部的经常混合作用以及同自然界物质的循环，氧、二氧化碳等气体容积百分比发生轻微改变。由于工业污染，森林的减少，在近地球表面的高空中二氧化碳增加。

大气中经常存在水汽，但其容积百分比则不恒定，受气候条件、地区等各种条件的影响，多有改变。在近地面上水汽容积百分比波动于4%至近乎0%之间，在地表平均值为1.2%。

上述这些气体是大气的固定组分。在大气中也存在一些非固定成分，如氧化氮和臭氧(存在于 $15\sim 50$ 公里高度上)以及占百分之几的各种微量气体。此外，在近地表面高空还存在一些悬浮的微小杂质，如灰尘、烟粒、细菌、植物孢子、无机盐微粒等。此外，每天由宇宙空间降落到地面上大量所谓宇宙灰尘，多达1000吨。

大气物理化学特性由大高度开始发生改变，高度越高越显著。在某些著作中曾提出重力分离效应现象，即按气体比重的不同，其含量在不同高度上有所改变。如重气体氮与氧的含量分布主要在低高度，而轻气体氢与氦则多分布在大高度上。如氧含量随高度增加而减少，在20km降到15%；在40km降到10%；在100km氧分子已不存在。而氢则随高度增加而增加，在100km高度上高达67%。但一系列同温层高空探测火箭的实测资料并未完全证实上述的重力分离效应。在22km以下的高度上，大气固定组分的容积百分比基本上仍保持海平面水平。但在同温层存在强风，它将会促使各高度上大气组分的混合。光谱分析资料表明，在70km高度上的大气基本组成，仍是氮氧。在80km和以上高度上，开始出现氮、氧原子，这种现象，在电离层尤为显著。

就目前所知，宇宙空间没有一个地方是真正的真空，只是随着高度升高，在高空中存在着的大气分子(N_2 、 O_2 、Ar等)，逐渐减少，可测到原子和带电荷的原子(见表1—3)。空间稀薄的空气有很多功用，受太阳辐射后能成正电体和负电体。电离层的气体即因此而分成正负电，散布在地球周围。一部分气体永久分离为正负电；另一部分较低层的气体，白天太阳照射的时候电离，夜间又在复合。大气的组成百分比随高度改变，氢与氦在高空的浓度远大于其在地面的浓度，氧和氮的浓度在地表附近几乎视为不变的数值，但它们也随着高度而改变。在太空中没有维持生命的空气。

对月球大气物理化学特性已有确切的资料，对距地球较近的其他天体，迄今了解甚少，只有一些间接的推测，直到人类能够发射飞近它们的太空船(如同月球那样)，才能取得其表面的具体数值。迄今已发射的探测飞行器，曾猎取一些科学资料，利用它们可做些估计，

表1-3 宇宙空间大气

高度 (km)	压力 (mmHg)	大气
80	10^{-3}	N_2, O_2, Ar, N, O
100	10^{-4}	N_2, O_2, O
200	10^{-6}	N_2, N, O, O^+
800	10^{-9}	O, O^+, H
6 500	10^{-12}	H, H^+
20 000	10^{-13}	H, H^{++}

$$1 \text{ mmHg} = 0.1333 \text{ kPa}$$

但不过还是一种估计而已。分光镜之观察可以协助得悉星球上是否有水汽、氧气与其它气体之存在。

木星的表面重力相当于地球重力的3倍，有稠密的大气层存在，主要成分是氢。这是由无线电天文骚扰设备中得悉的这枚巨星常常发生暴风雨雷电的资料。由于木星距太阳相距甚远，估计温度不会过高。在它那大气层底部有很大的压力存在，这种压力和温度是较重气体液化的最佳环境。木星大气的成分列于表1—4。

对金星大气物理化学特性的探测，通过多次发射探测飞行器获得了较多的资料，大气层极稠密，表面大气压力约为地球的90倍。93~97%是二氧化碳，氮连同惰性气体占2~5%，氧不超过0.4%，在气压为0.6个大气压时，每一升空气中水占4~11mg，还存在少量的氨等（见表1—4）。

表1-4 各天体的压力与温度环境

	月球*	火星	金星	木星	水星	土星	天王星	海王星	冥王星
大气	无	有	有	有	有*	有	有	有	无
温度(°C)	+130~ -160	+25~ -70°	太阳面 55	平均 -140	太阳面 平均400	平均 -155	平均<-180	-222 (计算值)	-229 (计划值)
大气成分		CO_2 · H_2O	CO_2 · N_2 O_2 H_2O NH_3	H_2 · He CH_4 NH_3		H_2 He CH_4 NH_3 (H_2O)	H_2 He CH_4 (NH_3) (H_2O)	H_2 He CH_4 (NH_3) (H_2O)	H_2 He (CH_4)
生物	无	?	无*	无		无	无	无	无

引自大岛正光，1964。*是根据其他资料改作。

火星大气主要由二氧化碳组成，没有发现氮，水汽很少。气温的巨大季节性变化和昼夜变化，会使气压急剧下降，因而在这颗天体的大气中造成强烈的风。

其他天体上的大气组成，尚缺确切的资料，大致的组成列于表1—4。