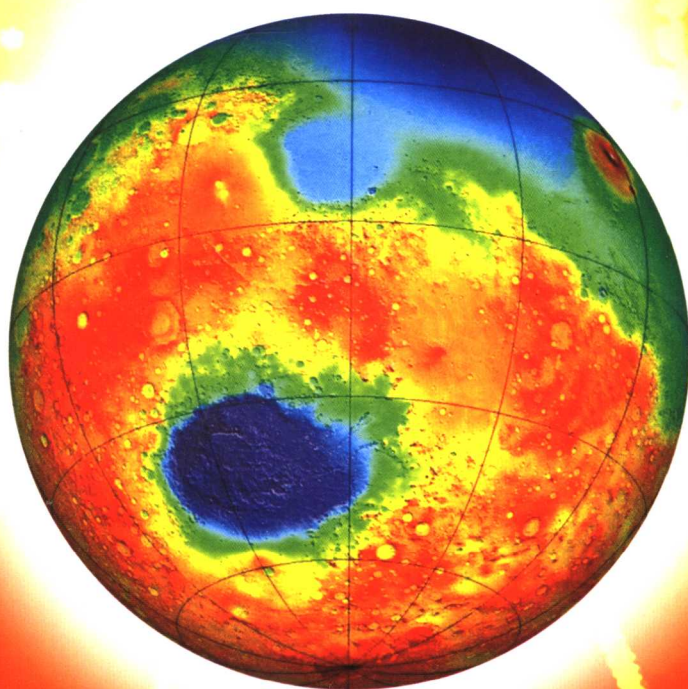


HUO XING DI MAO YU DI ZHI

火星地貌与地质

韩同林 孟宪刚 邵兆刚 朱大岗 编著



地质出版社

火星地貌与地质

韩同林 孟宪刚 邵兆刚 朱大岗 编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是依据目前人类对太阳系中探索最多的火星、月球等地外行星所拍摄到的大量影像资料的一部分进行详细解释、分析和研究后,结合运用大量人类认识地球的丰富知识和方法,对火星的地貌、地质构造等进行广泛的研究和分析,在此基础上编辑而成。本书从认识火星陨击坑的研究现状和特征入手,对火星陨击坑的形态、类型、规模大小、分布密度、充填物的多少、风化程度等进行了较深入的研究,在全面认识不同类型陨击坑形成的原因、年代和区域分布特征的前提下,对火星区域地貌、岩石类型的初步划分和有关地质构造特征提出了初步认识;对火星水的形成、演化、性质和类型及火星可疑生物存在的证据和特征进行了初步分析;提出了太阳系中行星水的形成、演化和运移以及地球水日趋减少的原因和证据,并进行了初步探讨;最后对在火星、月球上寻找水、可疑生物的最佳着陆区提出了大胆设想。

本书可供行星地学的爱好者、有关大专院校师生、科研单位研究人员等参考。

图书在版编目(CIP)数据

火星地貌与地质/韩同林等编著. —北京:地质出版社,
2007. 2

ISBN 978-7-116-05221-5

I. 火... II. 韩... III. ①火星-地貌学 ②火星-
行星地质学 IV. P185.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第016862号

责任编辑:孙亚芸

责任校对:郑淑艳

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

咨询电话:(010)82324508(销售部);(010)82324569(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京长宁印刷有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张:6.25

字 数:152千字

印 数:1—800册

版 次:2007年2月北京第1版·第1次印刷

定 价:16.80元

书 号:ISBN 978-7-116-05221-5

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

探索未知，是人类与生俱来的本能。随着科学技术的飞速发展，人类对太空认识的欲望与日俱增。因此，从20世纪20年代开始，人类采取各种先进的科学技术手段，或直接到达地球之外的星际进行探索（登陆月球），或发射各种探测器进行科学探测，为人类认识宇宙取得了大量实际资料。2003年和2004年是火星几万年来离地球最近的时期，适于进行火星探测，因此各国纷纷发射火星探测器。欧洲航天局的火星探测器“火星快车”于2003年12月25日到达火星表面200多千米的高空，美国发射的火星探测器“勇气号”和“机遇号”也于2004年1月抵达火星表面。火星探测进入一个新的活跃期。本书图像资料均引自上述机构的相关网站及公开发表的图片。

通过拍摄行星表面图像进行解译，是目前最直接、最有效地认识行星的重要手段和方法。我们试图通过对“火星快车”、“勇气号”、“机遇号”等宇宙探测器所拍摄的有关火星的大量彩色像片以及月球相关图片进行详细的解译，同时参考前人已取得的大量相关资料，进行全面的分析、研究。在此基础上，对与火星有关的诸多问题进行了讨论，如火星陨击坑目前的研究现状，陨击坑的形态、规模大小、分布密度、充填物多少、风化程度和在不同地貌类型上的分布特征，以及其形成原因，与水星、金星、月球、地球陨击坑特征的对比，火星的地貌、地质、构造，太阳系中行星水的形成演化，地球水体日趋减少的原因，月球、火星水的寻找，可疑生物是否存在，寻找月球水的最佳着陆区的选择等。这将为我国启动对地球外星际——月球进行科学探测计划并准备于2007年完成绕月工程、2010年完成落月工程和2020年完成返回工程提供参考资料和依据，也为在地球能源日趋短缺和地球环境日趋恶化的情况下，寻找地外天体可供开发利用的能源和可供人类居住的环境和条件提供参考资料。

由于人类尚不能直接登陆火星，因此，对火星的研究仅停留在利用像片进行解译阶段，火星地质年代主要是依据陨击坑的大小变化、相互切割、叠置关系，及参考地球地质年代、地质发展历史加以确定的，目的是抛砖引玉。不妥之处，敬请批评指正。

作者

2006年12月

目 次

前 言

第一章 火星概况	1
第二章 火星陨击坑类型的划分、特征和分布	6
第一节 陨击坑概念及研究现状	6
一、陨击坑的概念	6
二、陨击坑研究现状	6
第二节 火星陨击坑类型的划分及特征	7
一、据陨击坑的形态特征分类	7
二、据陨击坑规模大小分类	12
三、据陨击坑分布密度分类	14
四、据陨击坑充填物多少分类	15
五、据陨击坑风化程度分类	15
六、据陨击坑所在的地貌类型分类	16
第三节 火星不同类型陨击坑形成的原因	19
一、不同形态陨击坑形成的原因	20
二、不同大小陨击坑形成的原因	22
三、不同密度陨击坑形成的原因	22
四、不同程度充填物陨击坑形成的原因	23
五、不同风化程度陨击坑形成的原因	23
第四节 火星陨击坑的形成年代	23
第五节 水星、金星、月球、地球和火星陨击坑的特征与对比	25
一、水星、金星、月球、地球和火星陨击坑的特征	25
二、水星、金星、月球、地球和火星陨击坑特征的对比	30
第三章 火星区域地貌类型的划分和特征	31
第一节 火星区域地貌类型的划分	31
一、陨击高原和火山高原地貌	31
二、滨海堆积平原地貌	31
三、古海洋地貌	31
四、盆地地貌	32

五、极地地貌	32
第二节 火星地貌类型特征	34
一、流水地貌	34
二、火山地貌	41
三、冰川地貌	47
四、古海洋地貌	50
五、风成地貌	51
六、盆地地貌	52
第四章 火星岩石与地质构造	53
第一节 火星岩石	53
一、沉积岩	53
二、火山岩	58
三、变质岩	61
第二节 火星地质构造	63
一、断裂构造	63
二、挤压构造	65
第五章 火星存在水、海洋和可疑生物的证据	66
第一节 火星存在水的证据	66
一、大气降水形成地表水流	66
二、泉水流水地貌	67
三、海岸地貌及海洋地貌	67
四、冰川作用	68
第二节 火星存在海洋的证据	68
一、海岸地貌	68
二、滨海河流	69
三、海洋陨击坑	69
四、古深海熔岩及热融地貌	69
五、浅海平顶火山锥	69
第三节 火星可疑生物存在的证据	70
一、可疑生物存在的影像特征	70
二、可疑生物存在的地质地貌特征	70
三、可疑生物类型	70
第六章 火星地质年代划分、对比和地质发展	72
第一节 火星地质年代的划分和对比	72
一、火星地质年代确定的主要依据	72
二、火星地质年代的划分和对比	72

第二节 火星的地质发展	72
一、李氏纪火星基底岩石壳形成阶段	72
二、孙氏纪早冰期和永冻层发育阶段	73
三、周氏纪中冰期及永冻层发育阶段	73
四、景氏纪晚冰期及永冻层发育阶段	74
五、现代纪	74
第七章 太阳系中行星水的形成、演化与寻找火星水、可疑生物和月球水的最佳着陆区 的选择	75
第一节 太阳系中行星水的形成和演化	75
一、太阳系中行星水的来源	75
二、行星水的形成及运移	75
三、太阳系中行星水的演化	83
第二节 寻找火星水、可疑生物及月球找水最佳着陆区的选择	84
一、寻找火星水和可疑生物最佳着陆区的选择	84
二、寻找月球水着陆地点的选择	87
后 记	89
参考文献	90

第一章 火星概况

火星，我国古代称荧惑，是太阳系八大行星^①之一，按距日顺序为排行第四的行星，距太阳平均距离约 1.52 天文单位（约 $22794 \times 10^4 \text{km}$ ）。火星平均直径约 6753.385km，约为地球平均直径的 53%（地球平均直径为 12742.236km）；质量为 $0.657 \times 10^{21} \text{t}$ ，约为地球的 11%（地球质量为 $5.976 \times 10^{21} \text{t}$ ）；密度为水的 3.9 倍。火星公转周期为 687 日，自转周期为 24 小时 37 分。火星赤道面与轨道面成 $23^\circ 59'$ 交角，与地球绕太阳公转的黄赤交角（ $23^\circ 26' 33''$ ）相近。因此，火星上也有春、夏、秋、冬四季变化，但每季不是 3 个月而是 6 个月左右。火星上也有大气，但大气相当稀薄，密度是地球大气的 1/150。

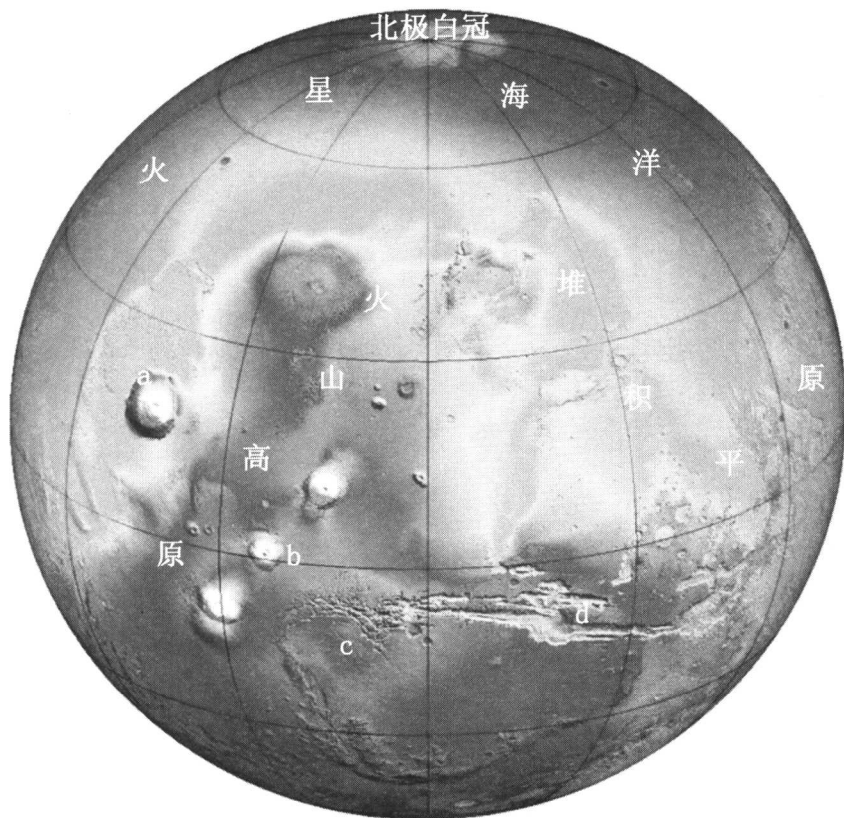


图 1-1 火星地貌地质影像图之一

a—奥林匹斯火山锥；b—三斑火山锥；c—火山穹窿；d—科普雷特斯（断谷）串珠状河流

^① 太阳系的行星一直被认为有九颗，即水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星。但 2006 年 8 月 24 日冥王星被第 26 届国际天文联合会划归为矮行星，从九大行星中除名。

火星大气成分为：二氧化碳（CO₂）占95%，氮（N₂）占3%，氩（Ar）占1%~2%，氧（O₂）占0.1%~0.4%，水（H₂O）占0.01%~0.1%，还有少量一氧化碳（CO）和氢（H₂）以及微量的甲烷（CH₄）、氖（Ne）、氪（Kr）和氙（Xe）。

火星上的表面温度以赤道上白昼最高，可达+28℃，但到了夜间则降低到-132℃。火星两极各有一块白色区域叫极冠（图1-1），主要成分为水冰，可能有少量干冰（即固态的二氧化碳CO₂）或水冰与干冰的混合物。极冠大小随季节而变化，夏季温度高时甚至会消失，在寒冷的冬季则又重新增大。由于火星各处气温差异较大，因而风速较大，最低风速为1.1m/s，最高风速可达7.2m/s以上，相当于地球上的4~5级的风力。平均风速为4.3m/s，此时已成为强风暴。有资料记载，最大风暴发生于1971年的大尘暴，估计风速达270km/h（即75m/s），自1971年9月下旬开始，直至1972年1月上旬才完全平息。

火星表面成分，目前尚无直接的化学分析结果，但据目前探测，主要为中基性安山岩、玄武岩。

火星土壤由红色细粒、角砾碎屑物组成，其化学成分为：O（50%），Si（15%~30%），Fe（15%~16%），Al（2%~7%），Ca（3%~8%）等，其中含O及Fe高，说明火星过去曾经有相当丰富的水存在过。



图1-2 火星地貌地质影像图之二

火星表面地形起伏较大，其中科普雷特斯峡谷谷底比周围平原深达 5~6km，希腊盆地起伏高差可达 7km，奥林匹斯山高出周围平原达 20km，比地球最高峰珠穆朗玛峰还高出 1 倍多（图 1-1、1-2）。

火星上有广阔的海洋（图 1-3）、大小明显不同和密集的陨击坑及巨大的盆地、峡谷、河道、山脉、火山、断裂构造等。希腊盆地直径达 2000km，科普雷特斯大峡谷长超过 2700km，宽 400~500km。河道主要发育于北纬 30°到南纬 40°之间，河道向源分叉，下游变宽，有的河道围绕火山区形成火山泉水的河流特征。火星山脉多为发育于陨击坑周边或已残破的陨击坑残余山体（图 1-2）。

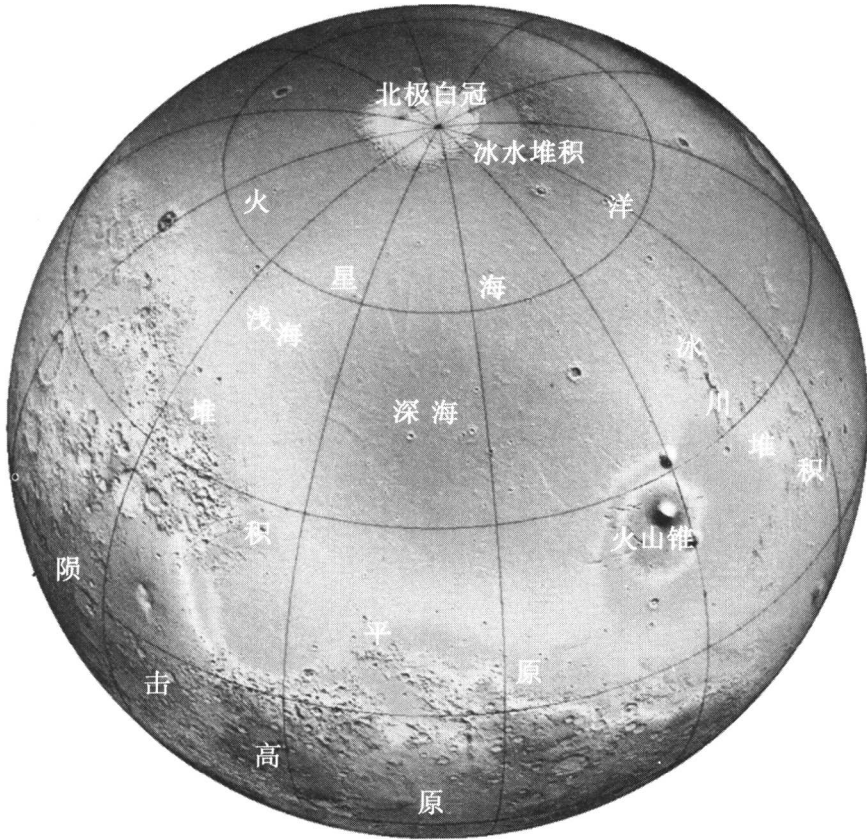


图 1-3 火星地貌地质影像图之三

火星上火山发育普遍，有典型的火山锥，如著名的奥林匹斯火山、三斑火山等，奥林匹斯火山锥高出平原约 24km，基座宽达 700km，山顶有直径达 65km 的巨大火山口。古老的破火山口及火山堆积物布满整个火山高原。在火星海区还有深海火山喷发熔岩流和大量小的火山锥、熔岩丘、熔岩饼分布。

火星上断裂亦常见，走向以 NW、NE、SN 和 EW 方向为主。在近代火山喷发区周边常形成辐射状断裂系统。

火星上陨击坑不但大小悬殊，分布也极不均匀，最大陨击坑直径达上千千米以上，最小的不及百米。在陨击高原区陨击坑最密集，在海区及现代火山区分布密度最小。

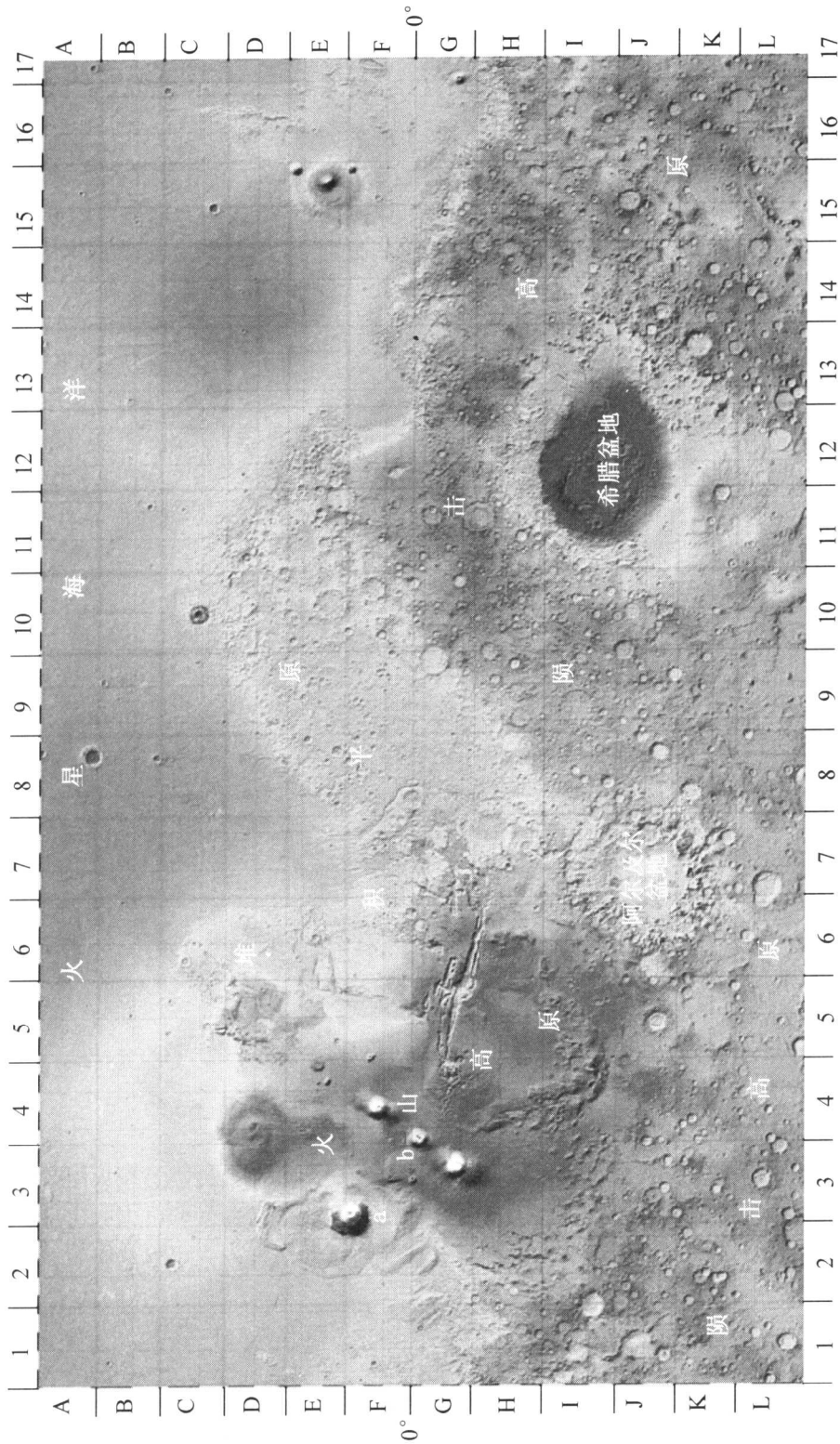


图1-4 火星展开地貌与地质图
a—奥林匹斯火山锥；b—三斑火山锥

火星陨击坑形态，除发育与月球上相似的盆状、碗状、辐射状等之外，在火星海区和两极极冠区及其附近，还常形成特有的波环状、圆盘状陨击坑。

目前研究结果表明，火星上曾有过冰川发育，可见有 U 形谷、冰蚀平原区、冰川堆积区、冰川漂砾、冰水沉积分布。

火星地质发展按前人资料可划分为 5 个发展阶段：①形成期；②古塞尔锡斯隆起期；③火山广泛喷发期；④辐射状断裂形成期；⑤新火山活动期。

据我们目前研究结果，可将火星地质发展由老到新划分为：李氏纪、孙氏纪、周氏纪、景氏纪和现代纪。这是为纪念为我国第四纪冰川地质工作做出杰出贡献的李四光教授、孙殿卿教授、周慕林教授、景才瑞教授等进行命名的。

火星赤道附近主要地貌、地质如图 1-4 所示。

第二章 火星陨击坑类型的划分、特征和分布

第一节 陨击坑概念及研究现状

一、陨击坑的概念

陨击坑，是指天外陨石（或称陨星）高速猛烈撞击地面形成的，形态上多呈圆形、椭圆形，或形成辐射状和环形构造的坑穴，称陨石撞击坑，简称陨击坑，也称陨石坑。陨击坑内壁陡外缘缓，较大陨击坑内常见有明显凸起的中央峰，坑内常有角砾岩和高变质矿物出现。陨击坑形成过程如图 2-1 所示。

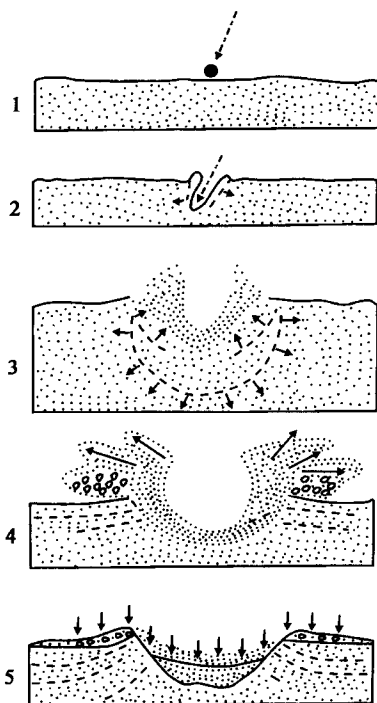


图 2-1 陨击坑形成过程示意剖面图
(据《地球科学大辞典·基础学科卷》，2006)

二、陨击坑研究现状

当前，对陨击坑的研究，主要集中在月球，其次是火星和地球，其他行星涉及不多。

对陨击坑的研究目前偏重于形态特征，并且分类较粗略。对月球陨击坑和火星陨击坑的研究均停留在形态特征上，并把月球上的陨击坑划分为如下 5 种类型（图 2-2）。

- 1) 克拉维型月坑：为形成最早的陨击坑，以单环构造全充填为特征。
- 2) 哥白尼型月坑：形成时间较晚，以单环白色辐射纹全充填为特征。
- 3) 阿基米德型月坑：为单环全充填月坑。
- 4) 碗型月坑：为晚期无充填小月坑。
- 5) 酒窝型月坑：为晚期小月坑。

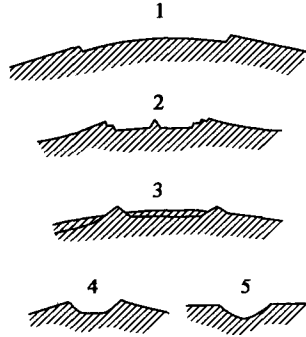


图 2-2 月球月坑类型示意剖面图

（据《地球科学大辞典·基础学科卷》，2006）

1—克拉维型月坑；2—哥白尼型月坑；3—阿基米德型月坑；4—碗型月坑；5—酒窝型月坑

我们通过对月球、火星和地球上有关陨击坑特征的详细分析和研究后，提出如下陨击坑分类方案，包括 6 方面的分类，即：

- 1) 依据陨击坑形态进行分类；
- 2) 依据陨击坑大小进行分类；
- 3) 依据陨击坑的分布密度进行分类；
- 4) 依据陨击坑的风化程度进行分类；
- 5) 依据陨击坑的充填物多少进行分类；
- 6) 依据陨击坑所在的地貌类型分类。

我们对各种类型陨击坑特征、分布等进行了初步研究，目的是为确定行星地质体形成的相对时代提供依据。这对研究行星地质发展和对比有着重要作用。

第二节 火星陨击坑类型的划分及特征

一、据陨击坑的形态特征分类

据陨击坑形态暂可将其划分为 6 种基本类型，即中央峰型陨击坑、堆积型陨击坑、多环型陨击坑、波环型陨击坑、圆盘型陨击坑和辐射型（或放射型）陨击坑。现将各类型的主要特征简述如下。

1. 中央峰型陨击坑

陨击坑的中央峰，是指陨击坑明显凸起于坑底之上的中心部分，被认为是陨击作用过程中，向高空抛射物质回填到坑中形成的。研究表明，除此之外，还可由于陨击作用发生在含冰层的火星壳表面时，因冲击波回弹作用使坑底物质凸起于坑底而成为中央峰。中央峰一般位于陨击坑中心部分，少数有些偏离中心区。火星陨击坑有很大部分具有中央峰，并以中小型陨击坑居多。过大或过小的陨击坑都不利于中央峰的产生（图 2-3、2-4、2-5、2-6）。

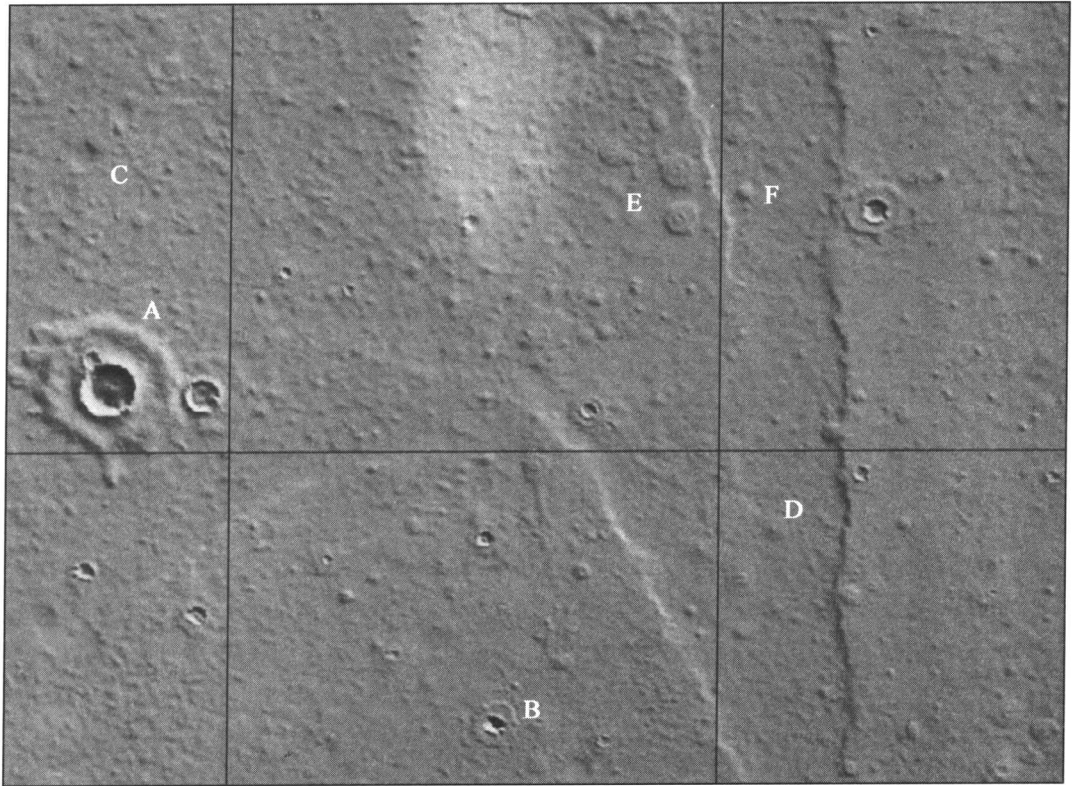


图 2-3 中央峰发育于波环陨击坑中

A—中央峰发育于波环陨击坑中；B—三波陨击坑；C—圆盘型陨击坑；D—熔岩断裂带；E—熔岩饼；F—熔岩丘
位于火星海洋浅海区 B-13 地区，陨击坑以中小型双波陨击坑为主，有少量三波陨击坑和圆盘型陨击坑，无充填或极少充填，也见半充填；低密度，弱风化；盖层为含冰海相沉积、海底火山堆积；另发育熔岩断裂带、熔岩饼和熔岩丘

应当看到有些陨击坑的中央峰实质上是后期火山喷发堆积形成的，有的可见火山口分布，其与真正的中央峰的不同在于，后期火山喷发堆积形成的中央峰分布面积大且顶部呈平缓状。由于冲击波回弹作用产生的中央峰，一般顶部多浑圆状，而回填产生的中央峰顶部多以呈尖棱状为特征。

2. 堆积型陨击坑

堆积型陨击坑，与月球上的碗形陨击坑相似，具或不具中央峰。环壁陡峻，环缘向外翻，多分布于高原区坚硬岩石处且岩层有较厚风化粉尘物质存在时，分布较普遍（图 2-7）。

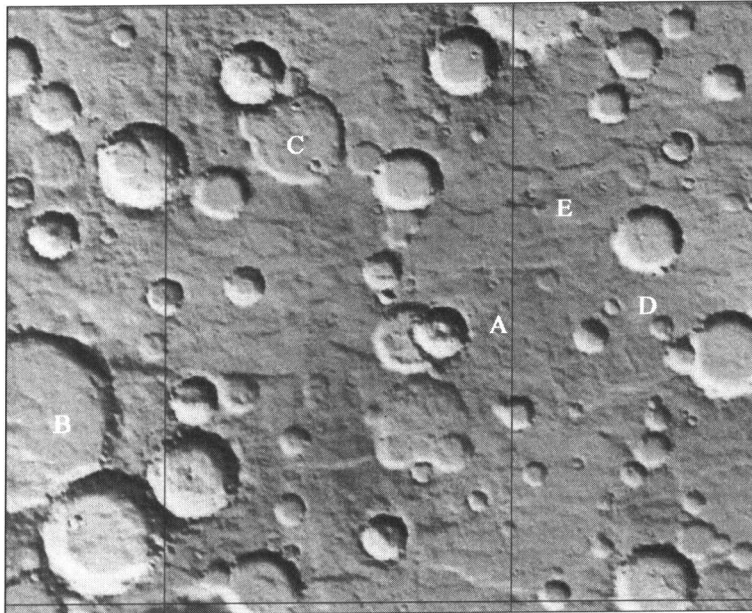


图 2-4 中央峰发育于堆积型陨击坑中

A—中央峰发育于堆积型陨击坑中；B—熔岩喷溢满充填；C—熔岩喷溢全充填；
D—不甚明显的陨击坑；E—区域喷溢小火山口群

位于高原陨击区 L-13 地区，陨击坑以大-中等堆积型陨击坑为主，熔岩喷溢满充填、全充填，高密度，弱-中等风化；小型陨击作用正好发生于区域喷溢阶段，产生的陨击坑不甚明显；大陨击坑总体为小陨击坑所切割和叠加

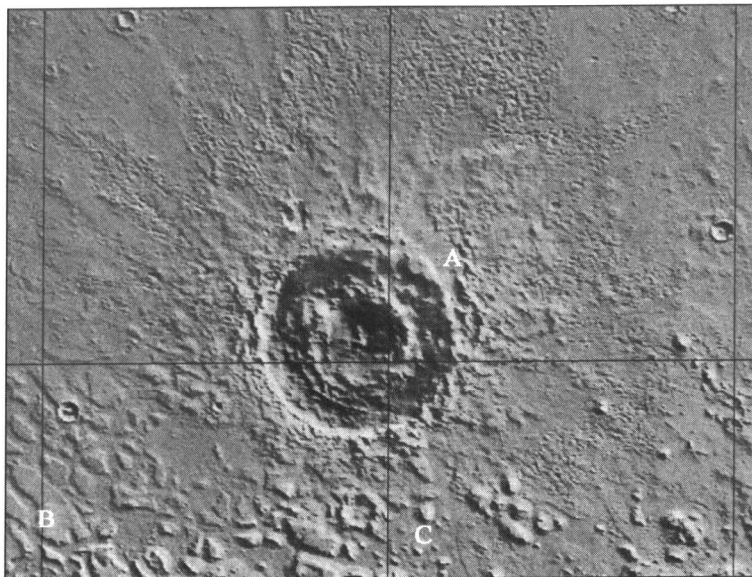


图 2-5 中央峰发育于辐射沟多环型陨击坑中

A—中央峰发育于辐射沟多环型陨击坑中；B—U 形谷；C—冰川漂砾

位于火星海洋浅海区 C-10 地区，陨击坑具辐射沟多环状，以大-小型为主，少充填或无充填，低密度，弱风化；盖层为滨海沉积、冰川堆积、火山堆积；另海岸带有 U 形谷、巨大的冰川漂砾分布

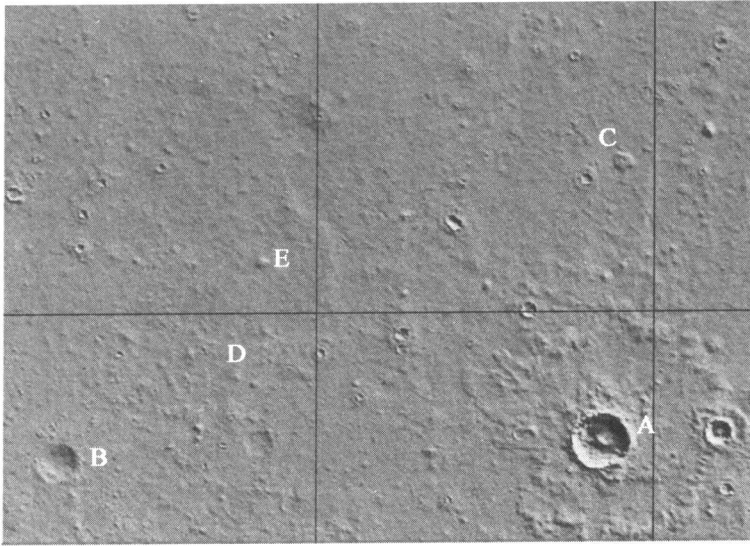


图 2-6 中央峰发育于辐射状波状环陨击坑中

A—辐射状、波状环型陨击坑；B—圆盘型陨击坑；C—熔岩饼；D—熔岩丘；E—平顶火山锥
 位于火星海洋浅海区 B-11 地区，陨击坑辐射状波环型、圆盘型，中-小型，无充填或少充填，低密度，弱风化；另有熔岩饼、熔岩丘和平顶火山锥分布

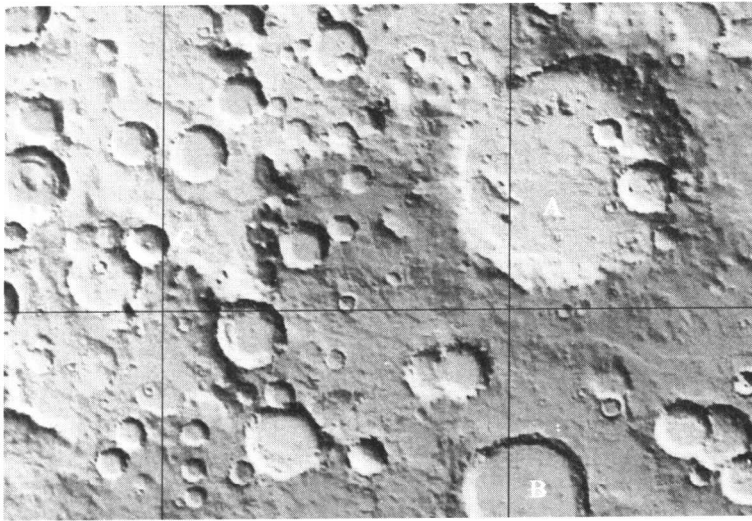


图 2-7 堆积型陨击坑

A、B—堆积型陨击坑；C—中央峰型陨击坑；D—熔岩锥型中央峰
 位于高原陨击区 K-13 地区，陨击坑以堆积型为主，有少量中央峰型；老的区域喷溢区（右侧）以大、中型为主，熔岩全充填或满充填，中等风化，高密度；新的区域喷溢区（左侧）以中、小型为主，熔岩锥充填明显，高密度，弱-中等风化；大陨击坑总体为小陨击坑所切割和叠加

3. 多环型陨击坑

多环型陨击坑，是指陨击坑以呈多环状为特征，多为大型和巨大型陨击坑，多出现于