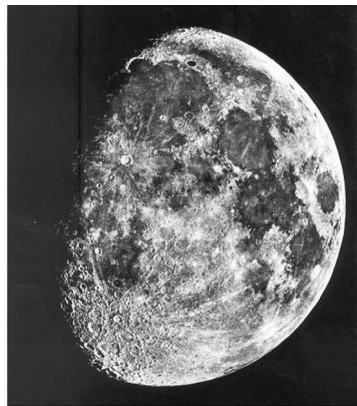


探索月球的秘密

李 良



2007年10月24日18时,我国自主研发的“嫦娥一号”月球探测卫星顺利发射升空,开始了又一次壮观的太空之旅!在那激动人心的时刻,笔者感受到,我们中华民族千年的飞天幻想,已经从敦煌石窟上斑驳的壁画,逐步变成一幅史诗般的现代太空画卷,中国人的“飞天”、“奔月”之梦终于实现了!

我国的月球探测活动举世瞩目,始终遵循以下几个原则:一是和平利用太空、开发太空资源造福人类,服从和服务于科教兴国的战略和可持续发展的战略,以满足科学技术、经济、社会发展的综合目标为需求。二是根据国情国力贯彻“有所为、有所不为”的方针选择有限目标,突出重点,集中力量在关键领域取得突破,同时要循序渐进、持续发展,为深空探测活动奠定基础。三是通过优选探测目标,优化探测实施途径,力求做一些别人没有做过的事情,具有先进性和创新性,形成我国自己的特色。在这些原则的基础上我国制定了2020年前实现“绕、落、回”三步走的月球探测规划。“嫦娥一号”月球卫星发射成功,是中国人月球探测的第一步,它标志着我国在和平利用太空、发展深空探测技术、积极开发太空资源造福人类方面取得了又一个具有里程碑式的重大胜利。这对于进一步提升我国的国际地位,增强国家的经济实力、科技实力、国防实力和民族凝聚力,鼓舞全国各族人民紧密团结在党中央周围,不断把中国特色社会主义伟大事业推向前进,具有极其深远的意义。

最近几年来,美国、欧洲、日本、俄罗斯、印度、英国、德国和韩国纷纷各自制定了探测月球的崭新计划,并逐步开始实施,从而在全世界掀起了新一轮探月热潮。近年来人类探索月球的热情之所以逐渐高涨,原因是多方面的,其中月球上汇集的历史谜团、独特的自然环境和丰富的资源,是相关国家下决心探月的重要原因。

一、月球概貌

月球是地球唯一的天然卫星,俗称月亮,也称太阴。漆黑的天空中,月球好似一轮明镜,它自身不会发光,全靠反射太阳的光,才使人们看到其面貌。月球在围绕地球运行时,处在轨道的不同位置上,由于被太阳照亮的部分不同,形成不同的月相。古代文人雅士常常利用月亮的圆缺变化做诗填词抒发感情。

科学大师伽利略于17世纪初第一次用望远镜观察月球时,发现月亮并非人们以前想象的那样完美无瑕,而是满目疮痍、坑穴累累,伽利略曾为此困惑不解。他根据自己通过望远镜的观察用笔描绘了月面主要特征,譬如绘出月面一些环形山和月海。

月面由完全不同的两部分组成:月海和月山。说是“海”其实它是月面上呈暗色的平原部分,是月球上的凹地(或称盆地);月山即月面呈亮色的崎岖不平的区域,围绕月海展开。很久以来,天文学家把月面上的许多坑穴称为环形山,而地质学者称其为月坑。月坑深度一般在几十米到几千米,其半径相差悬殊,最大的月坑直径达295千米,小的直径则只有几米甚至几厘米。大多数月坑呈碗口形状,四周环壁高出月面。有些较年轻的大环形山如“哥白尼

环形山”和“第谷环形山”,周围还保留有清晰的辐射纹,最长的辐射纹达1800千米,月球上最高的山峰约9000米,最长的亚平宁山脉达1000千米。

月球上面有阴暗部分和明亮区域。早期的天文学家在观察月球时,以为发暗的地区都有海水覆盖,因此把它们称为“海”。著名的有云海、湿海、静海等。而明亮的部分是山脉,那里层峦叠嶂、山脉纵横,到处都是星罗棋布的环形山。位于南极附近的贝利环形山直径295千米,可以把整个海南岛装进去。最深的山是牛顿环形山,深达8788米。除了环形山,月面上也有普通的山脉,高山和深谷叠现,别有一番风光。

月球直径约为3476千米,稍大于地球直径的 $\frac{1}{4}$,体积是地球的 $\frac{1}{49}$ 、平均密度为水密度的3.3倍、总质量为 7.35×10^{25} 克,约为地球质量的 $\frac{1}{81}$ 。月球可以说是地球一个不小的伴侣,因此有些人把地球和月球看作一个双行星系统。虽说月球质量大约只有地球的 $\frac{1}{81}$,但其引力却足以成为地球的一个无形刹车,即不断使地球自转减速,在以往的40多亿年里,月球至少使地球自转速度减慢了一半,而月球也随着地球转速的减慢放松了对它的束缚,逐

渐离地球远去, 远到当人类出现之后, 从地球上看到它的表面直径和太阳的表面直径正好吻合, 这给人类观测太阳的活动规律带来极大的方便。

由月球造成的海洋潮汐每时每刻都抚摸着陆地, 正是这个推动小小贝壳的力量, 亿万年来亿万次摩擦, 终于使地球转速逐渐从每天 10 个小时的昼夜交替, 减慢成现在的大约 24 小时。月亮留给人们足够做美梦的温馨长夜, 它赠给人类的最珍贵礼物是地球有史以来相对稳定的坚实地壳。宇宙是复杂或者说多样性的。像月球这样的小天体如果遇到一些特殊的外在条件, 其表面会发生难以想象的事情, 在太阳系大行星的周围, 有很多类似月球这样的卫星, 它们虽然离太阳很远, 但却由于靠近引力巨大的大行星, 而出现和月亮完全不同的情况。

月球的基本结构是(从中心起)月核、部分融化区、月幔和月壳。月核半径约为 700 千米, 在月核到月幔之间是部分融化区, 其厚度约为 400 千米, 月壳厚度不均, 在不足 1 千米到 65 千米的范围内。

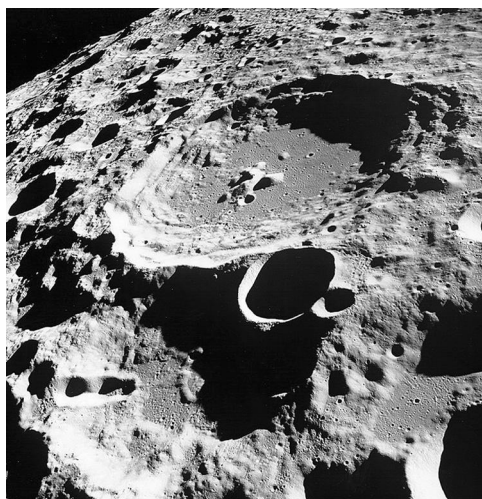


图 1 巨大的月面陨石坑直径达 80 多千米

根据观测统计知道, 月球表面直径大于 1 千米的撞击坑(也叫做陨石坑, 图 1)总数在 3.3 万个以上。科学家认为, 绝大多数环形山(图 2)是由陨星冲击形成的, 极少数环形山是月球火山喷发形成。分析从月球带回来的样品, 发现月坑周围的碎石含有玻璃微粒, 可能是岩石被冲击熔化又迅速冷却而形成的。月球表面上覆盖着一层细腻的粉末或碎石, 深度约为 1~20 米。这层物质通常称为月壤(即月球表土), 但是其中不包含水或有机物。它是在几十亿年中由于大大小小的陨星不断轰击月面, 以及月面岩石白天受太阳辐照而阴影区或晚间不受太阳

辐照产生的剧烈温差而碎裂形成的。陨星冲击月面后往往形成月坑, 每次撞击都会砸碎一些岩石, 使物质散落到撞击坑周围, 并对月壤起一定搅拌作用。

有一种理论认为 45 亿年前, 一个火星大小的天体撞击地球, 产生的部分碎片形成月球, 但这也仅限于推测。月球形状的另一谜团是, 月球面对地球一面在物质构成及外貌方面与背对地球一面差异很大: 前者地壳比另一面地壳薄许多, 并拥有由玄武岩构成的广阔平原, 这些平原被称为月海, 这是很久以前月球表面火山喷发的结果。背对地球的一面地壳厚很多, 有更多陨石坑, 几乎没有月海。月海中密度较高的玄武岩使月球的质量中心不在几何中心, 而是偏离了约 1.6 千米。但是, 这种月球地质迁移的发生过程尚不清楚。

二、月球的运动

平常人们常说“月亮绕着地球转动”, 这句话没什么错误, 但从科学角度来说不够严格, 因为实际情形是月球和地球都绕着地-月天体系统的质量中心转动, 地-月系统质量中心的位置处在地球内部, 在向月面的地表下 1707 千米处, 距离地心 4671 千米, 距离月心 37.9729 万千米, 而月亮与地球的平均距离为 38.84 万千米。

当月球正好运转到地球和太阳中间的时候, 人们看不到月球的朝阳面, 即天空中看不到月亮, 这时候的月相叫作朔(也称新月), 随着月球沿轨道过来, 我们也渐渐看到月球的朝阳面, 于是天空中就出现一弯月牙儿。到月球转过 1/4 轨道路程时, 我们就可以看到半个圆饼似的月亮, 称为上弦月。上弦以后, 明亮部分继续扩大, 月亮变得越来越圆。当月球和太阳分居地球的两侧, 遥遥相对时就会看到圆圆

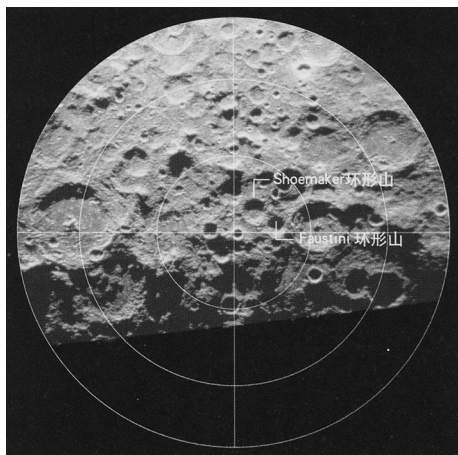


图 2 月球北极的 Shoemaker 和 Faustini 环形山

的满月,这就叫作望。满月之后,月亮又逐渐变缺,经过下弦月、残月,又回到朔上。

细心观测者会发现,明月升起或落下的时间不是固定不变的。由于月球的公转,月亮升起的时间每天都要迟 50 分钟左右。

月亮围绕地球公转一周历时 27.3 天,即 27 日 7 时 42 分 11.47 秒,这是恒星月,而朔望月是 29.5 天,即 29 日 12 时 44 分 2.78 秒。农历的 1 个月是根据地球上观察到月球盈亏 1 周(即 1 个朔望月)制定的。恒星月与朔望月相差 2 日 5 时 0 分 51.31 秒(约 2.2 天)。二者相差的原因在于,我们看到的是月球反射太阳光。太阳、地球、月球的相对位置不同,看到的月相也就不同,月球除绕地球运行外,还随地球绕太阳运行。月球绕地球运行 1 周,地球绕太阳运行大约 27° ,因此地球上观察到的月球月相,在月球绕地球 1 周的末尾与起始时不同,而再经过 2.2 日后的月相才与起始月相相同。实际上,我们观察到的月相盈亏变化 12 次,即农历的 12 个月中,月球绕地球运行了约 13 圈。

因为月球的自转周期和公转周期完全一样,所以我们只能看见月球永远用同一面向着地球。自月球形成早期,月球便一直受到一个力矩的影响导致自转速度减慢,这个过程称为潮汐锁定。亦因此,部分地球自转的角动量转变为月球绕地公转的角动量,其结果是月球以每年约 38 毫米的速度远离地球。同时地球的自转越来越慢,1 天的长度每年变长 15 微秒。

月球围绕地球的轨道为同步轨道,所谓的同步自转并非严格。由于月球轨道为椭圆形,当月球处于近日点时,它的自转速度便追不上公转速度,因此我们可见月面东部达东经 98° 的地区。相反,当月球处于远日点时,自转速度比公转速度快,因此我们可见月面西部达西经 98° 的地区。这种现象称为天秤动(图 3)。

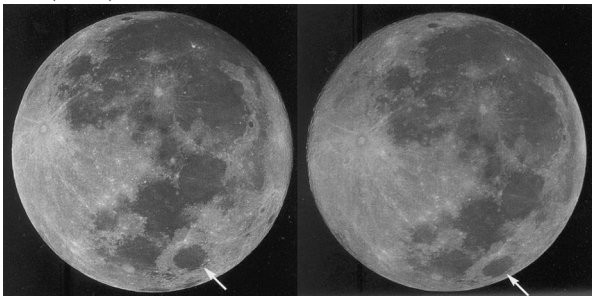


图 3 月球天秤动可见月面 59%

月球的轨道平面(白道面)与黄道面(地球的公转轨道平面)保持 5.14° 夹角,而月球自转轴则与黄道面的法线成 1.54° 夹角。因为地球并非完美球形,而是在赤道较为隆起,因此白道面在不断进动(即与黄道的交点在顺时针转动),每 6793.5 天(18.5966 年)完成 1 周。期间,白道面相对于地球赤道面(地球赤道面以 23.45° 倾斜于黄道面)的夹角会由 28.60° (即 $23.45^\circ + 5.15^\circ$) ~ 18.30° (即 $23.45^\circ - 5.15^\circ$) 之间变化。同样地,月球自转轴与白道面的夹角亦会介于 6.69° (即 $5.15^\circ + 1.54^\circ$) 及 3.60° (即 $5.15^\circ - 1.54^\circ$) 之间。月球轨道这些变化又会反过来影响地球自转轴倾角,使它出现 $\pm 0.00256^\circ$ 的摆动,称为章动。白道面与黄道面的两个交点称为月交点——其中升交点(北点)指月球通过该点往黄道面以北;降交点(南点)则指月球通过该点往黄道以南。当新月刚好在月交点上时,便会发生日食;而当满月刚好在月交点上时,便会发生月食。

大家知道,月球不断围绕地球旋转,同时,地球又带着月球不停围绕太阳旋转。日食和月食就是由于这两种运动所产生的结果。当月球转到地球和太阳的中间,而且这三个天体处在一条直线或近于一条直线的情况下,月球遮住了太阳光,就发生了日食现象。当月球运转到地球背着太阳的一面,而且日、地、月这三个天体处在一条直线或近于一条直线的情况下,就月球而言,地球挡住了太阳光,就发生了月食现象。

从地球上看去,太阳和月亮的视直径恰巧差不多大,这就让月球有机会能正好完全遮挡住太阳,使位于日食中心带的人们能够幸运地观测到壮观的“黑太阳”——日全食。当光辉的太阳被月轮黑影逐渐“吞食”干净,黑夜似乎提前降临,原来太阳所处的方位霎时只剩下个黑洞洞的圆盘——俗称“黑太阳”,其周围是青白色的日冕以及几束像红色火舌的日珥。此时出现亮星闪现天空、大地上阴风习习、鸡犬不宁等现象,可谓大自然的壮观! 1999 年 8 月 11 日的日食发生时,法国宇航员在俄罗斯和平号空间站上曾拍下月球在地球表面上投下的影子。由于在天球上太阳和月亮相对于恒星背景均是自西向东运动,而月亮视运动又比太阳快得多,所以日食发生时月影总是自西向东遮住太阳。发生日全食现象时,从初亏到复原一般要经过大约三四个小时,而“黑太阳”(太阳被月轮完全遮蔽)现象只有短短的两分钟

左右。在食既前很短一段时间里,弯月状的太阳逐渐被黑黑的月轮淹没,在最后时刻被月球边缘上的山谷“切割成”一串光珠,俗称“贝利珠”。到食既前的最后一刹那,仅剩的一颗“贝利珠”就如同戒指上的钻石一般夺目。

观察者如果位于地球上被月球半影所扫过的地方,看到太阳被月球遮住了一部分,叫作日偏食。有时,由于月球离地球的距离不同,发生日食时,月球的影子不到达地面,那么在被月影延长线所包围的区域内,还能看见太阳的边缘,也就是说月球只遮住太阳的中心部分,这种现象叫做日环食。需要说明的是,一般在日全食和日环食阶段前后也能看到日偏食现象。

月食是当地球夹在太阳和月亮之间、地球的阴影投在月球上的时候发生。如果在月食过程中,月球能完全进入地球的本影中,那么就称之为月全食。当月球完全进入地球阴影时,月球并不会完全失去光亮,而是通常呈现古铜色或者橙黄色。这是因为,在月全食发生时,仍有一部分阳光通过地球大气折射到月面上,此时月面的颜色取决于地球大气中尘埃和云。

与日食不同,月食发生的时间并不因地而异,而是全球同步。月球被食的程度叫食分,它是月球直径为1来计算的,譬如食分0.25,就是说月球的直径被地球本影遮住了 $1/4$ 。食甚时月球恰好与地球本影内切,食分等于1,如果月球更深入本影,食分大于1。月全食的食分大于或等于1,月偏食的食分小于1。发生月食时,当月亮部分进入地球的阴影(本影)时,这叫作月偏食;而当月亮全部进入地球的阴影时就叫做月全食。在月球轨道上地球的本影也比月球大得多,所以月全食持续的时间比日全食要长得多,最长能持续1小时40多分钟。

月食发生时,整个地球夜半球的居民都可以看到,但只有狭长日食带上的居民才能有缘观赏日食。所以对于给定地点来说,一定时间内看到月食的次数要比日食多得多。平均来讲,每3年某地的人就可以欣赏到1次月全食,而对于日全食来讲,虽然平均每1年半地球上就有1次日全食发生,但同一地点看到两次日全食之间的时间间隔平均是370多年。所以每当有日全食发生的时候,常有天文学家和天文爱好者不远万里踏勘最佳观测地点,以观测这一天文奇观。

三、月球空间探测

1959~1976年的17年间,美国和前苏联前后一共发射了108个与月球探测有关的探测器,这是国际月球探测的第一次热潮。那时探月并不全是为了科学研究,主要目的在于争夺太空霸权,满足冷战时政治和军事上的需要。

1959年1月2日,前苏联发射了“月球1号”探测器(图4)。“月球1号”从距离月球表面5000多千米处飞过,并在飞行过程中测量了月球磁场、宇宙射线等数据,这是人类首颗抵达月球附近的探测器。前苏联的“月球2号”第一次在月球表面硬着陆,“月球3号”拍

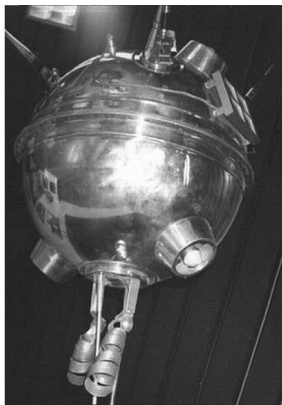


图4 苏联“月球1号”

回第一张月球背面的照片。1966年,“月球9号”又第一次实现月面软着陆。1966年3月31日,苏联发射了“月球10号”探测器,几天后,探测器进入环绕月球飞行的椭圆轨道,成为首个环月飞行的月球探测器。“月球10号”成功绕月飞行56天。那时苏联在绕月飞行技术和月面软着陆技术两方面都率先获得突破。1969年7月,苏联为载人登月计划研制的N-1重型运载火箭从拜科努尔发射场起飞66秒后炸毁。到1972年,N-1火箭4次试验发射均告失败,使苏联终止载人登月计划。

1961年5月25日,美国总统肯尼迪在国会作特别演讲时宣布,在20世纪60年代结束之前,将把人送上月球并安全返回地面,阿波罗计划正式启动。1964年7月,美国发射了“徘徊者7号”硬着陆月球探测器。该探测器在撞到月球之前,成功拍摄了4308张月面照片,照片显示了小到直径只有1米左右的撞击坑和25厘米大小的岩石,这是人类获得的第一批月面特写镜头。

美国“阿波罗”登月计划共计花费255亿美元,先后动员400万人参与,终于在1969年7月22日,让宇航员阿姆斯特朗在月球上留下了第一个人类足迹。1969~1972年,“阿波罗”计划成功实现6次载人登月,有12名宇航员踏上月球,共带回381.3千克月岩样品。

1969年7月16日至24日,美国完成了首次登月任务。“阿波罗11号”飞船登月舱在月面停留了

21 小时 36 分, 两名美国航天员——飞船指令长阿姆斯特朗和宇航员奥尔德林(图 5) 陆续走出登月舱。首先出舱的阿姆斯特朗小心翼翼地踏上月面, 他当时说道:“对一个人来说, 这是一小步, 但对人类来说, 这是跨了一大步。”他们在月面上采集了 21.7 千克月球样品, 安装了一些科学仪器, 在舱外活动 2 小时 31 分钟。



图 5 “阿波罗 11 号”登月宇航员奥尔德林在月面上

此后, 又有 5 艘“阿波罗”飞船成功完成登月任务, 即“阿波罗”12、14、15、16 和 17 号载人飞船, “阿波罗 13 号”因故障中途被取消。由于月球上没有大气活动, 科学家估计, 除了偶然的陨石撞击因素外, 登月宇航员在月球上留下的脚印将可清晰保存上百万年。科学家根据“阿波罗 17 号”带回的一些月球岩石碎片分析研究得出月球的年龄, 即月球形成于 45 亿年前。月球形成后, 曾经发生过较大规模的岩浆洋事件, 通过岩浆的熔离过程和内部物质调整, 大约于 41 亿年前形成了斜长岩月壳, 以及月幔和月核。大约 40 亿~ 39 亿年前, 月面曾经遭受大量陨石的剧烈撞击, 形成广泛分布的月海盆地, 月球史上称之为雨海事件。月球的土壤——月壤成分复杂, 主要由岩石碎屑、粉末、角砾和撞击熔融玻璃等组成, 月壤厚度最薄处不足 1 米, 据估计最厚达 20 米。

根据“阿波罗”11、12、14、15、16 和 17 号宇宙飞船及原苏联“月球号”飞船所采集的月球和月壤样品所测定的年龄表明, 月山(或者称月陆) 主要由斜长岩组成, 其年龄为 39 亿~ 42 亿年, 月海主要是月火山喷发形成的玄武岩, 其年龄为 31.5 亿~ 39 亿年, 通过铷- 锶法、铀- 钍- 铅法等测定月岩年龄所计算的月球形成年龄为 45 亿~ 46 亿年。

科学家研究分析认为, 月球一生中的最初几亿年异常动荡激烈, 以至几乎没有留存下什么痕迹。月球形成后, 其外层几乎马上完全熔融, 直到几百千米的深处。尔后熔融层逐渐冷却, 在 40 亿~ 42 亿年前分异出斜长岩成分的月壳和一种含富钾稀土以及磷的“克里普”岩(KREEP 岩), 在此期间月球曾遭到较大行星及较小天体的轰击。其中有些小行星约有美国那些较小的州那么大。39 亿年前是各类小天体撞击月球的极盛时期, 形成月球表面上一系列的“海洋”, 如雨海、澄海、东海、风暴洋和静海等。以后轰击渐渐减退, 长寿命的放射性元素(如铀和钍) 衰变产生的热开始使月面下约 200 千米的内部熔化。在距今 39 亿~ 31 亿年之前, 大量熔岩流从内部涌出, 注入撞击形成的巨大盆地, 造成人们现今看到的月面暗区。

有些学者认为, 自 32 亿年前起, 月球就成了一颗相当宁静的“死”星, 只有陨星还不时地光顾它、轰击它, 打破它表面的寂静。1972 年 5 月 13 日, 月震仪记录了一颗大陨星冲击月面一个称为“风暴洋”的地方, 形成足球场那么大的陨石坑。关于月面环形山的形成原因, 有人估算, 环形山中 17% 属于内因(如月球早期火山爆发的火山口)、83% 属外因(由陨星撞击溅射物堆积在月坑周围形成的山脉) 形成。

2006 年月球上出现了一个全新的陨石坑。它宽约 14 米、深 3 米, 年龄则精确地等于 1 个月零 25 天(截至 2006 年 6 月 27 日)。NASA 的天文学家目睹了它的形成过程:“2006 年 5 月 2 日, 一颗流星携带着 170 亿焦耳的动能, 击中了月球的云海(Mare Nubium), 其能量大约相当于 4 吨 TNT 炸药。”NASA 设在阿拉巴马州亨茨维尔市的流星环境办公室的主管比尔·库克(Bill Cooke) 说:“这场撞击产生了一个明亮的火球, 被我们用一台 10 英寸(1 英寸等于 2.54 厘米) 的望远镜拍摄到。”这是迄今记录过的最完美的一次月面爆炸过程。

月震的实验也许可以说明月球的结构。登陆月

球的航天员要出发回到地球之前,会驾驶登月小艇飞离月球表面,与返回地球的太空舱结合后,登月小艇便被抛弃在月球表面。设置在72千米外的地震仪测得月球表面的震动,这个振动持续超过15分钟,就像用锤子用力敲击大钟一样,振动持续很长时间才慢慢消失。举个例子,我们用力敲击一个空心铁球时,会发出嗡嗡而持续的振动,而敲击实心铁球的时候,只会维持短暂的振动,时间不长就停止了。这个持续振动的现象引起一些科学家对月球内部物质构造的猜想。当一个实心物体遭受撞击时可以测出两种波,一种是纵波、一种是表面波,而空心物体只能测到表面波。“纵波”是一种穿透波,可以穿透物体,由表面的一边经过物体中心传导到另一边。“表面波”如同其名字一样,只能在极浅的表面传递。但是,放置在月球上的月震仪,经过长时间的记录,都没有记录到纵波,全部都是表面波。根据这个现象,科学家们认为月球很可能是空心的。

自1972年美国“阿波罗计划”结束以后,月球探测一时有所降温,因为探月活动耗资巨大。然而,人类还是抵挡不住月球独特自然环境和资源的诱惑,再加上现代航天技术的发展为人类提供了进一步探测月球的可能性,20世纪90年代后期,人们又把目光投向了月球。1990年1月24日,日本发射了“飞天号”探测器,该探测器的主要任务是验证借助月球引力的飞行技术和进入绕月轨道的精确控制技术,飞行中“飞天号”还释放了绕月飞行的微型“羽衣号”探测器。

四、月球找水纵横谈

随着探月热潮的兴起,欧洲一位月球探测学者提出一个新颖观点,称月球是地球的第八大陆。令人遗憾的是,月球这块“大陆”环境非常恶劣。众所周知,月球上面大气非常稀薄,可以说几乎没有大气。月球夜晚时,大气密度只有大约 $2 \times 10^5 / \text{cm}^3$,而白天则降到了 $10^4 / \text{cm}^3$,其主要成分是氦、氢、氦和氩。正是由于月球缺乏大气,其白天温度高达 127°C ,夜间则降到 -183°C 。在1994年美国“克莱门汀号”月球探测器到达月球空间探测之前,人们一直认为月面上不可能有水。

1994年1月21日,美国发射了“克莱门汀号”探测器。该探测器在对月球南极进行探测时,首次发现月球南极可能存在水的直接证据。事实上,这是一次搭车之旅,美国军方为这个探测器出资,主要

目的是为了测试可能用于反导弹系统的一些技术,探测月球只是“撙草打兔子”——捎带的次要任务。结果,“克莱门汀号”带来了一个令人振奋的消息,它不仅绘制了月面图,而且发现月球的南极地区可能存在冰。根据报道,“克莱门汀号”探测器在月球的南极附近发现,月球南极爱肯大盆地里有厚约几米的冰淤泥混合在一起的冻土——“冰湖”。图6为“克莱门汀号”得到的南极爱肯盆地图。

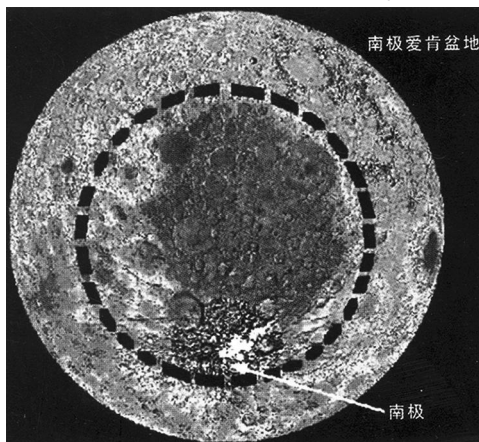


图6 “克莱门汀号”得到的南极爱肯盆地图
(黑色环内所示),其直径约为2500千米、深达13千米,
月球南极位于该盆地边缘,大部分为永久阴影区

1998年1月7日,美国又发射了“月球勘测者号”探测器,主要寻找月球上是否有冰湖的踪影。月球勘测者号环绕月球飞行了1年,最近时距离月面仅10千米。在飞行中拍下了几张图片,显示冰湖存在的可能性。“月球勘测者号”的感应器证实了“克莱门汀号”的发现:艾肯盆地存在水冰,它们冰冻于月球岩石或缝隙中,与人们在地球北极发现的情形类似。根据月球勘测者号发回的数据推测,月球上水的储量可能在1100万~3.3亿吨之多。1998年3月5日,美国航天局向全球发布了一条特大新闻:“月球勘测者号”探测器发现月球两极存在大量液态水,其储量约为0.1亿~3.3亿吨,它们分布在月球北极近5万平方千米和南极近2万平方千米的范围内。有人提出,如果月球陨石坑底部土壤水层非常深厚,那么月球上的水资源储量最终有可能达到13亿吨。后来,还有人估计月球上的水约为100亿吨!“月球勘测者号”首席分析家艾伦·宾德博士欣喜若狂地说:“我们在月球上找到了水!”他认为,这一发现证实过去几十亿年里,冰彗星和冰陨石袭击月球时,把冰留在了月球上。

月球上的水资源首次被证实,在全世界也产生
现代物理知识

了强烈反响! 因为这一发现对于人类在下个世纪建立永久性月球基地具有里程碑式的重大意义。找到这些水对于人类建立月球基地, 飞往更遥远的其他星球(如火星)具有重要意义。根据推算, 即使月球上的水只有 3300 万吨, 也可供 2000 人在月球上生活 100 年, 而如果从地球将这 3300 万吨水运往月球, 至少要耗资 60 万亿美元。

月球上到底有没有水? 人们还是不能过于乐观。必须特别指出的是, “月球勘探者号”完成绕月探测使命后, 高速撞向月球上可能存在水冰的区域, 以便通过巨大撞击能量产生水汽云, 以进一步证明水冰的存在。遗憾的是, 最终地面和太空中的望远镜都没有观测到期待的水汽云。尽管结果如此, 科学家们还是认为在月球两极附近环形山的土壤深层存在着某种形态的冰, 至少在月球两极地区深处存在一些小冰晶。

在月球两极地区, 照射到月球表面的太阳光线与水平面的夹角不超过 2° , 使大片区域被长长的阴影遮盖, 永久处于黑暗之中。当飘荡在水空中的水分子到达这些地方时, 立即就在 -225°C 的低温环境下凝结成固态。曾有人猜想如果历史上曾有冰彗星撞到这些地方, 那里很可能会保留一些水冰。2004 年, 由美国史密森学会地球与行星研究中心 Bruce A. Campbell 领导的阿雷西博研究小组, 采用 70 厘米波长的射电波探测月球表面之下冰的踪迹, 据说探测深度可达所有先前研究的 5 倍。科学家对所看到的较强射电波反射的含义存在很大争议, 即它可能是存在厚冰块的证据, 也可能是来自典型的环形山倾斜、崎岖地形的反射。

争议不大的是 1998 年所公布的“月球勘测者号”在月球两极黑暗地区探测到大量明显的氢元素, 估计是来自水。但是这些初期调查只探测到月球表面土壤中一两米的深度。Campbell 领导的研究小组利用阿雷西博射电望远镜探测了月球北极地区的几个小环形山以及位于南极的 Shoemaker 和 Faustini 环形山, 射电波可深入月球表面以下 5 米多, 但天文台只检测到很弱的雷达反射波, 研究人员得出结论, 认为电波遇到的肯定只是岩石和尘土, 因而才将电波大部分吸收了。Campbell 承认, 他对于没有找到厚冰块感到非常失望, 但同时指出, 他们的探测结果决不意味着月球上没有冰。他解释说, 如果月球土壤成份中冰晶的常见体只有高尔夫球般大小, 雷达

便测不到它们。问题在于, 这些冰晶也许只有雪片大小或者更小。与挖掘大冰块相比较, 从其他月球物质中提取这些小冰晶要困难得多而且代价昂贵。

假如能够在距离月球地面 2 米以下发现大冰块, 那么月球冰的总量将远远超过先前 100 亿吨左右的最佳估计值。这个数字听起来很大, 其实按照有关学者的说法, 实际上只有大约一个小湖的储水量。学者认为, 探月者将难以抉择如何储存这些极其有限的资源。还有一些研究者坚持认为, 在人们没有观察到的地方可能存在大冰块, 而且很可能存在于许多地球上观测不到的撞击环形山的表面之下。

月亮是地球唯一的天然卫星, 在人类开发太空活动中具有特殊地位。它不仅是人类探测太阳系和其他行星最理想的中转基地, 而且还蕴藏着丰富的资源, 例如月球土壤里存在的氦 3 就是地球上十分难得的核燃料, 将来如果能全部开采利用, 可满足全世界几百年甚至上千年的能源需求。此外, 月球还是理想的光学天文、射电天文、引力波物理和中微子物理等学科的实验和观测基地。总之, 一旦证实月球上有水的存在, 首先将对人类探月以及飞往火星的探测活动产生巨大激励。人类可在月球上建立基地和补给站, 将其作为天然大“跳板”——即飞往遥远星际的空间站。

五、月球的起源和演化

月球的起源是个十分古老的问题, 一直是人类不断探索的谜题之一。研究月球可提高人类对太阳系演化及特点的认识, 了解地球自然系统与太空自然现象之间的关系。月球表面保留着数十亿年前与彗星、小行星碰撞的痕迹, 而地球上的地质变化销毁了这些记录。因此, 探测月球可以提供有关地球上生命起源和进化的线索。

18 世纪以来的月球起源假说归纳起来, 可以分为三类, 即同源说、分裂说和俘获说(图 7)。“同源说”是最早出现的一种月球起源假说, 它认为月球和

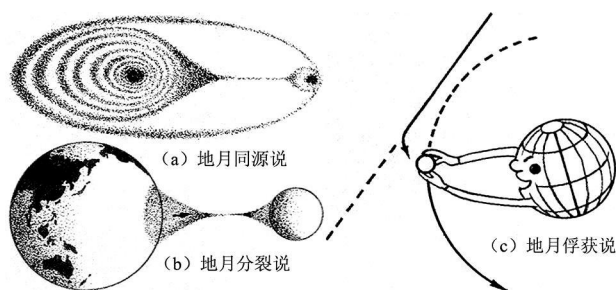


图 7

地球具有相同的起源。“分裂说”则认为在太阳系形成初期,地球还处于熔融状态时,地球的转速相当高,以致有一部分物质被甩出去后形成了月球(甚至有人认为太平洋就是月球分出去后留下的疤痕)。继同源说和分裂说之后提出的“俘获说”认为,月球和地球是在不同地方形成的,一次偶然的的机会,地球把运行到附近的月球俘获,成为自己的卫星。

以上假说都获得了一些实验的支持,但在某些问题上又都难以自圆其说。20世纪80年代中期,一位美国天文学家提出了一个摆脱上述三种假说框框的崭新假说。该假说认为,在太阳系形成早期,大约在相当目前地-月系统存在的空间范围内,形成了一个原始地球和火星般大小的天体,它们在各自的演化中均形成了以铁为主的金属核和以硅酸盐组成的幔及壳。一个偶然的的机会这两个天体撞在了一起,地球被撞出了轨道,火星大小的天体也碎裂了。飞离的气体、尘埃受地球的引力作用“落”在地球周围,通过吸积,先形成几个小天体,以后像滚雪球似地形成了月球。这种假说在某种程度上兼容了三种经典假说的优点,并得到了一些地质化学、地质物理学实验的支持,但还未被确认。

还有一些科学家假设,月球形成初期的自转公转周期比为3:2,也就是说,月球公转2周期间自转3周,这种情况至多持续了几亿年,最后自转因为潮汐力而降速,自转公转比稳定为1:1。计算结果表明,这段自转比公转快的时期可能提供足够的力,为月球形成目前的形状准备了条件。

2001年,美国和法国的科学家利用1969年美国宇航员登月时放置在月球上的镜子进行测量的结果表明,28年来地球与月球的距离增加了1米多,美、法两国科学家是利用精确的时间测量法来测量月地之间距离变化的,这种方法使激光脉冲投射到镜面上然后又反射回地面上的探测器,一个来回约为2.5秒钟,不断测量来回所用时间的变化,就可得知月地距离的变化。多次测量表明,地球与月球之间的距离由于地球表面上潮汐的磨擦作用每年增加将近3.8厘米。科学家认为,在月球引力的作用下地球产生潮汐,这种潮汐运动中的一部分能量就分散到地球的海洋里,这种能量的失去影响了月球系统的运动,这可能是月球逐渐远离地球的原因。

美国两位地理学家通过研究鹦鹉螺化石,也发现月球确实正在远离地球。他们观察了现存的几种

鹦鹉螺化石,研究发现其贝壳上的波状螺纹具有树木年轮一样的性能,螺纹分许多间隔,虽宽窄不同,但每间隔上细小波状生长线在30条左右,与现代农历一个月的天数完全相同。观察发现,鹦鹉螺的波状生长线每天长一条、每月长一间隔。这种特殊生长现象使两位科学家得到极大启发,他们又观察了古鹦鹉螺化石,惊奇地发现古鹦鹉螺的每隔生长线数随化石年代的上溯而逐渐减少。而相同地质年代的螺壳生长线却是固定不变的。研究显示,现代鹦鹉螺贝壳上的生长线是30条、新生代渐新世螺壳上的生长线是26条、中生代白垩纪是22条、侏罗纪是18条、古生代石炭纪是15条、奥陶纪是9条。由此推断,在距今4.2亿年前的古生代奥陶纪时,月亮绕地球一周只有9天。两位地理学家又根据万有引力定律等物理学原理,计算了那时月亮和地球之间的距离,得到的结果是,4亿多年前月球与地球之间的距离仅为现在的43%。科学家们还对近3000年来有记录的月蚀现象进行了计算研究,结果与上述推理完全吻合,证明月亮正在逐渐远去。

六、月球几个待解的谜

月球年龄之谜 令人惊异的是,从月球带回的岩石标本,经分析发现其中99%的年龄要比地球上90%年龄最大的岩石更加年长。阿姆斯特朗在“寂静海”降落后拣起的第一块岩石经测定的年龄是36亿岁。其他一些岩石的年龄为43亿岁、46亿岁和45亿岁,几乎和地球及太阳系本身的年龄一样大,地球上最古老的岩石是37亿岁。1973年,世界月球研讨会上曾测定一块年龄为53亿岁的月球岩石。更令人不解的是,这些古老岩石都采自科学家认为的月球最年轻区域。根据这些证据,有些科学家提出,月球在地球形成之前很久便已在星际空间形成。

月球磁场之谜 早先探测和研究表明月球几乎没有磁场,可是对月球岩石的分析却证明它有过强大的磁场。这一现象令科学家大惑不解,月球岩石具有非常奇特的磁性,这完全出乎意料。如果月球曾经有过磁场,那么它就应该有个铁质的核心,可是有证据显示,月球不可能有这样一个核心;而且月亮也不可能从别的天体(诸如地球)获得磁场,因为假如真是那样的话,它就必须离地球很近,这时它会被地球引力撕碎。日本“月亮女神”的任务之一就是研究月球磁场和重力场这种基础科学课题。

月球土壤的年岁比岩石年岁更大之谜 月球古

现代物理知识

老的岩石已使科学家束手无策,然而和这些岩石周围的土壤相比,岩石还算是年轻的。据分析,土壤的年龄至少比岩石大 10 亿年。乍一听这是不可能的,因为科学家认为这些土壤是岩石粉碎后形成的。但是,测定了岩石和土壤的化学成分之后,科学家发现,这些土壤与岩石无关,似乎来自月亮以外。2007 年 9 月 14 日发射的日本“月亮女神”号探测器欲揭示的谜团之一就是月球上是否存在过岩浆海洋,而岩浆海洋掌握着解开月亮诞生之谜的钥匙,该卫星上的雷达测深器就是承担这一使命的设备之一。

月球中心之谜 受到巨大物体袭击时,月球发出空心球似的声音。在“阿波罗”探险过程中,废弃的火箭第三节推进器会轰的一下撞在月球表面。据美国航空航天局的文件记载,“每一次这样的响声,听起来仿佛是一个大铃铛的声音”。当登月人员降落在颜色特别黑的平原上时,他们发现要在月球表面钻孔十分困难。土壤样品经分析后发现,其中含有大量地球上稀有的金属钛(它被用于超音速喷气机和宇宙飞船上);另一些硬金属(如锆、铌、钽)的含量也很丰富,这使科学家迷惑不解,因为这些金属只有在约 4500 °F 的高温下才会和周围岩石融为一体。

不锈铁之谜 月面岩石样中还含有纯铁颗粒,科学家认为它们不是来自陨星。前苏联和美国的科学家还发现了一个更加奇怪的现象:这些纯铁颗粒在地球上放置 7 年也不生锈。在科学世界里,不生锈的纯铁是闻所未闻的。

月球放射性之谜 月亮中厚度为 8 英里(1 英里= 1.609 千米)的表层具有放射性,这也是一个惊人的现象。当“阿波罗 15 号”的宇航员们使用温度计时,他们发现读数高得出奇,这表明,亚平宁平原附近的热流温度的确很高。科学家非常吃惊,并猜测月球的核心一定更热。然而研究表明,月球核心温度并不高。热量是月球表面大量放射性物质发出的,可是这些放射性物质(铀、钍和钷)是从哪里来的?假如它们来自月心,那么它们是怎么来到月球表面的?

七、我国的探月工作

我国的月球探测活动始终遵循和平利用太空、开发太空资源造福人类的原则,服从和服务于科教兴国的战略和可持续发展的战略,以满足科学技术、经济、社会发展的综合目标。

1978 年,美国总统卡特的安全事务顾问布热津
19 卷 6 期(总 113 期)

斯基访华,向当时的国家主席华国锋赠送了两件特殊礼物,一件是由“阿波罗”宇航员带上月球再带回地球的中华人民共和国国旗,另一件是一块小指尖大小的月球岩石样品。样品铸在一个类似凸透镜的有机玻璃块里,看着很大,其实只有 1 克的质量。当时贵阳中国科学院地球化学研究所工作的欧阳自远和王道德正在从事天体化学研究,当他们从电视上看到那 1 克的月球岩石后,兴奋得睡不着觉,连夜写出报告,向中国科学院领导申请承担月球岩石样品的综合分析与研究任务。中科院也很重视,立即向国务院提出申请,不到一两星期国务院就批复同意。

那时,中国科学院地球化学研究所的一群年轻科研工作者编写出版了一本名为《月质学研究进展》的书,这是中国第一部月质学专著,是总结前苏联“月球号”和美国“阿波罗号”登月成果的著作。这本书当时是集体署名的,参与者有王道德、欧阳自远等,介绍了月球表面的物质组成,包括“月壤”、岩石等。欧阳自远院士对此曾经回忆说:“此时,美国的宇宙飞船已六次登月,这块是哪次登月采集的?采自月球哪个地方?这些我们都不知道,美国人也没有说。当时研究天体岩石的科学家很少,有关部门就把石头送到我们那里,仅仅 1 克。我小心地取了一半做研究,另一半送到了北京天文馆。”他们考虑得很周到,因为来自月球的岩石十分难得,应该让大众有机会一睹为快。至今这 0.5 克的月岩仍是天文馆最珍贵的展品之一。

就这 0.5 克月球岩石,欧阳自远院士等组织全国相关研究机构的研究人员开展了充分研究,总共发表了 14 篇研究文章,不仅确认了岩石是“阿波罗 17 号”登月时采集的,还确认了采集地点,甚至确认了石头所在地是否有阳光照射等等。1981 年 12 月,王道德和欧阳自远合作在《地球化学》刊物上发表了一篇名为《阿波罗-17(70017-291)高钛月海玄武岩的化学组成及其成因的探讨》的论文,对当时的研究结果进行了总结,一些资料对后来中国天体研究乃至今天的探月工程都有帮助。另外,分析研究月岩这个科研项目还大大促进了中国微粒、微量分析技术的提高。我国科学家对月球岩石的分析研究结果获得了国际同行的好评。就是这样,1960~1994 年,我国科学家用整整 35 年的时间对国外的月球探测资料进行跟踪调研。

探测月球必须要有强大的航天技术作为支撑。

1992年,中国载人航天工程正式立项,这标志着我国已经初步具备了开展月球探测工作的能力。载人航天要求运载火箭具备足够的推力,要求具备成熟的卫星研制能力和飞船研发能力,还要求建立一整套地面测控系统——这些同样是实现探月任务必须具备的条件。由于当时对月球探测尚未提出一个完整的发展规划,缺乏长期和有深度的科学探测目标。同时,国家的经济环境刚刚好转,航天基础还不像今天这样扎实,只能做到简单的环月飞行对国家科技发展贡献有限,尤其是国家正在实施载人航天计划,即“神舟”号系列载人飞船,所以这时探月计划未能启动。

1994年,欧阳自远院士和李春来、邹永廖、林文祝、褚桂柏等人提出了《中国探月工程的必要性和可行性研究》,这是我国第一个真正意义上的探月构想,可以说是“嫦娥一号”绕月工程的起点,是中国人的探月理想走向现实的第一个步骤,接下来是为探月计划进行方案设计和论证。经过3年多研究,我国科学家在1998年提出中国的月球探测发展规划,将探月工程分为“探”(不载人月球探测)、“登”(载人登月)、“驻”(建立月球基地)战略性三大阶段。后来,在这个基础上开展了“我国月球资源探测卫星科学目标研究”。2000年完成的研究报告第一次明确提出,我国不载人月球探测分为“绕”(绕月卫星探测)、“落”(软着陆探测)、“回”(月球取样返回)三期,还具体设计了第一期绕月探测工程的科学目标和有效载荷配置方案——这就是“嫦娥一号”探月工程的雏形。2000年8月,这份报告通过了专家评审。

2002年12月,我国著名科学家孙家栋院士组织200多位专家,对中国绕月探测工程进行了综合立项论证。4个月后得出结论:这项工程科学目标明确、先进,技术上合理可行,符合中国国情,在现有条件下可以实现。很快,立项论证报告上报党中央,获得国务院的认可。2004年1月,温家宝总理签发、批准了我国月球探测一期工程——绕月探测工程,“嫦娥一号”工程正式启动实施,这个绕月探测计划的实施历经3年多,即2004年是绕月工程的启动年,科学家提出了完成各项探测任务的各种具体技术方案;2005年是攻坚年,要克服绕月工程中遇到的许多技术难关;2006年,所有卫星、火箭、发射场、测控和地面系统的正样产品均必须研制出来,所以2006年又叫做决战年;到了2007年,“嫦娥一号”卫

星已经一切准备就绪,卫星只待发射。中国探月卫星“嫦娥一号”总重2350千克,本体尺寸2000毫米×1720毫米×2200毫米,采用三轴稳定姿态控制,对月定向工作,卫星在轨运行寿命1年左右。

总而言之,近期我国探月计划就是“绕、落、回”三个发展阶段。第一阶段(绕):研制和发射我国第一个月球探测器——“嫦娥一号”月球探测卫星,对月球进行全球性、整体性与综合性探测。第二阶段(落):发射月球软着陆器,试验月球软着陆和月球车技术,就地勘测月球区域地形地貌、月岩与月壤成分、月壤剖面、月壳岩石结构,记录月震与撞击事件,开展月基天文观测,并为月球基地的选择提供基础数据。第三阶段(回):月面软着陆与采样返回:发射月球软着陆器,对着陆区地形、地质构造、岩石类型、月壤剖面、月球内部结构等进行就位探测;发射小型采样返回仓,采集关键性月球样品返回地球。我国有望在2012年前后实现无人探测器在月球软着陆和自动巡视勘察;2017年前后实现探测器自动采样返回。我国绕月探测工程所有研制工作正按计划顺利展开。“嫦娥工程三期”完成以后,中国将进入载人登月阶段,届时我国的载人登月计划就会全部浮出水面。

八、多国竞相探月 方兴未艾

月球的自然资源独特且丰富,在地球能源面临潜在危机的今天,月球资源吸引着各国的月球探测者们。全世界都开始用新的眼光来打量离人类最近的星球——月球。现代人类终于认识到,月球是一个极其丰富的资源宝库。事实表明,地球上的能源正在逐渐走向枯竭,而月球上的能源开发后,保守地估计也够人类用上几万年。1984年,联合国通过了《指导各国在月球和其他天体上活动的协定》(简称《月球条约》),规定月球及其自然资源是人类共同财产,任何国家、团体和个人不得据为己有。

月球的自然资源包括太阳能、氦的同位素氦3和其他多种有用元素。据测算,每年到达月球的太阳光辐射能量约为12万亿千瓦,按太阳能发电装置的光电转化率为20%计算,则每平方米太阳能电池每小时可发电2.7度。以氦和氦3为原料进行受控核聚变发电,每年只需100多吨氦3,就能满足地球能源需求。据初步估算,月球上的氦3储量达100万~500万吨,能够满足人类上万年的需求。月球表面的不同岩石富含硅、铝、钾、磷、铀、钍和稀土元

素。据有人初步估算,月岩中的稀土元素达 225 亿 ~ 450 亿吨,铀元素达 50 亿吨。

月球还可能是人类探测更遥远天体和宇宙空间的理想平台。月球表面的地质构造比地球表面稳定得多,使其成为架设天体望远镜和遥感器的极好场所。同时,月球没有大气层,设置在月球上的观测系统能比地面同样的系统更清晰地观测各种天体。而一旦在月球上建立永久基地,丰富的自然资源足以使其成为人类探索太阳系其他天体的中转站。月球可谓一大太空远征试验场,可帮助人类积累涉足其他星球的经验,协调人与探测机器人的考察作业,学习如何在恶劣环境下持久生存,提高远程医疗技术等。月球探测活动带动其他领域科技发展的作用也不可小觑。人工智能、遥控作业、光学通信和高速数据处理、超高强度和耐高温材料及空间生命科学等基础科学和应用技术都有望在探月过程中得以提升。

最近几年来,美国、欧洲、日本、中国、俄罗斯、印度、英国、德国和韩国纷纷制定了各自探测月球的崭新计划,并且逐步开始实施,从而在全世界掀起新一轮探月热潮。这次探月热潮与 1958~1976 年间的探月热潮相比,具有许多新特点。譬如:探月目的由冷战时期主要满足政治和科学需要,改变为科学探索和经济利益相结合,以探测月球资源为主,为未来月球资源开发、利用打基础;探月规模更为宏大,将陆续发射采用最新技术成果的多种先进的月球探测器,主要研究月球矿产资源的分布情况,以便将来进行月球特殊空间环境资源的开发和利用。

21 世纪太空探测的重点是月球和火星,由于月球比火星近得多,因此一般认为是先探测月球,然后才主攻火星。无论是探月还是探测火星,技术非常复杂,而且耗资巨大,因此科学家们一般主张和平利用太空,探索太空必须开展国际合作,这样更有利于探测、研究和开发。事实上,目前的国际探月形势是国际合作与一国单干并存。下面简单介绍一下几个国家的探月计划。

美国 美国在 2004 年提出“重返月球”计划,其最终目的是以月球为跳板探索火星甚至宇宙。美国总统布什 2004 年 1 月 14 日在宇航局总部发表讲话,宣布美将制造新一代宇宙飞船,使美国宇航员最早于 2015 年重返月球建立基地,并以此为跳板,把人类送上火星乃至更遥远的宇宙空间。布什指出,美国计划于 2010 年前退出国际空间站项目,与此同

时逐步淘汰美国现有的几架航天飞机,以新型宇宙飞船取而代之。在今后 5 年内,美国需要为空间探索计划投资 120 亿美元。美国空间项目发展计划主要内容如下:近期利用航天飞机完成美国参与的国际空间站项目;在 2010 年前停止与空间站有关的大部分工作,使美方任务局限于空间飞行的人体健康研究,与此同时淘汰航天飞机。远景规划:在整个太阳系增加机器人探索的次数,开始研制飞出地球轨道的新一代空间探索飞行器。飞行试验将于 2008 年前开始,2014 年前发射,用于将宇航员送往空间站,2008 年前对月球进行无人飞船探测。在 2015~2020 年间,使美国人重返月球建立永久性基地,并以此为基础将人类送往火星乃至更远的宇宙空间。

比较起来,美国的探月目标最为宏伟、明确——建立月球基地。为此,美国将于 2008 年发射“月球勘测轨道器”,主要是为未来无人和载人探测任务寻找可能的着陆点。美国重返月球将使用名叫“猎户座”的新型登月飞船。它采用类似“阿波罗”飞船的舱段构型,体积却是“阿波罗”飞船可居住空间的 2.5 倍,可重复使用 10 次,可供多达 6 名乘员航行,安全性是航天飞机的 10 倍。美国拟在 2020 年用它首次将 4 名航天员送上月球,他们将停留约 7 天时间开展月球基地建设。美国将在 2024 年基本建成月球基地,最终的月球永久基地将可保障每批航天员在月球定居 180 天。2007 年 9 月 20 日,美国航空航天局公布了建立月球基地计划的最新细节,可能为单次发射一个大型登月舱,由无人驾驶飞船送上月球。美国航空航天局局长格里芬 9 月 24 日在印度参加国际宇航联大会时说,他们准备在 2037 年把人送上火星。

欧洲空间局 欧洲空间局的月球探测计划总共分为 4 个阶段:1. 研制月球探测器;2. 研制长期工作在月球基地的机器人;3. 月球资源第一阶段的利用;4. 建立月球人类前哨基地。第一阶段主要围绕建造和发射无人的月球轨道器、着陆器和月球漫游车,以获取月球表面知识细节。第二阶段将在第一阶段基础上,加快地面操作系统和月球工作系统之间的协调,如地理考察。第三阶段调研利用月球当地材料进行现场制作,如氧的生产和科学应用。第四阶段,人类返回月球。虽然欧空局的月球计划尚不明朗,但是最近成立的国际月球探索工作组将是实现这一计划的形式。早在 1996 年,国际月球探索工作组达

成一致,所有参与者共同分享现在和未来的月球探测数据,包括美国的月球勘探者和欧洲月球计划的探测数据。

2003年9月27日,欧洲空间局成功发射了其第一个月球探测器——Smart 1,这也是进入21世纪后,人类发射的第一颗月球探测器。它于2004年11月15日顺利进入绕月轨道。Smart 1是世界首个联合使用太阳能电推进系统和月球引力的空间探测器,取得了大量成果,包括在月球北极发现了一个可以建立人类定居点的地方。2006年9月3日,圆满完成探测任务后的Smart 1在地面人员操控下,成功击中月球表面预定位置,此举轰动世界,也宣告探月任务最终胜利结束。撞击月球后激起了大量的尘埃,观测这些尘埃有助于科学家对月球表面的化学成分、月球的起源和演化等进行深入研究。

2007年欧洲空间局公布了一项新的探月计划:向月球发射机械钻探器,寻找源自地球早期的陨石。科学家认为,月球上的地质活动并不活跃,因此在其外壳表面下可能蕴藏着大量来自地球的陨石,时间可能追溯到38亿年前地球生命起源的时候。欧洲空间局计划在2020年实现载人登月,同时完成月球基地建设。

日本 日本在1990年就发射过月球探测轨道器“羽衣号”,此外还研制过“月球A”(LUNA-A)月球探测器,因设计得不够合理,所以计划改动频繁;又因为国内无法及时提供发射用运载火箭,搁置时间过久致使卫星的部分器件失效而报废。但是这对于掌握月球卫星研制提供了经验。日本重视科学卫星及其观测仪器的研制与应用,研制和发射了搭载X射线、等离子体、电波、各种光谱、磁场观测等仪器的卫星为“月亮女神”的问世积累了经验。正在返回地面的小行星探测器“隼鸟”号的研制与应用也为月球探测卫星的研制提供了经验。

日本“月亮女神”于2007年9月14日发射成功。日本“月亮女神”月球计划,耗资550亿日元(4.84亿美元)。“月亮女神”探测器重达3吨,也被称之为“SELENE号”探测器。SELENE是Selenological and Engineering Explorer的缩写,意为“月球探测工程”。而SELENE一词又恰巧是希腊神话中月亮女神的名字,故译为“月亮女神”。日本科学家称,“月亮女神”计划是继几十年前美国“阿波罗号”登月计划之后世界上技术最为复杂的月球任务。

“月亮女神”主卫星在围绕月球的轨道上,距离月面约100千米,然后把两枚子卫星部署于月球极轨道。日本在1990年发射“羽衣号”仅属于近天体轨道飞行,有别于这次“月亮女神”的围绕月球轨道实施探测飞行。日本“月亮女神”以H-IIA火箭运送,号称是自美国阿波罗系列以来最大规模的探月任务。

“月亮女神”的6项飞行任务包括:1.月面勘测:利用星上搭载的荧光X射线分光光度计和 γ 射线分光光度计调查并获取月球表面的组成元素;利用月面摄像机等对月面进行摄像,根据一幅幅照片的颜色等判断月面的岩石分布情况;利用分光仪调查月面岩石的种类。2.判断月球的地形和内部结构:利用月面摄像机等仪器进行摄像,获取月面地形信息;利用月面雷达探测器调查月表下2~5米的地层情况并判断断层情况;利用激光雷达高度计调查月球地形以及标高,绘制月球地图。3.调查月球环境:月球磁场观测装置测量月球磁场;利用粒子辐射测量仪测量月球上的宇宙射线以及在月球上的火山活动情况;利用等离子体观测装置测量月球周围的等离子体分布状况;利用射电科学观测装置获取月球附近电离层的分布状况。4.测量月球的重力场分布情况:利用中继器测得月球里侧的重力场分布情况;利用月球表面射电源测得月球表面的重力场分布情况。5.从月球上调查地球:利用等离子体成像仪对地球极光进行摄像等。6.利用高清晰度摄像机在地球出现在月球表面时对地球摄像。

“月亮女神”计划绕月1年,目标包括探测月表元素和矿物、月表与深层结构、磁场、月球两侧的地理特征。上述这些信息的获取,无疑将为科学家了解月球、研究月球,从而更好地开发月球、利用月球发挥重要作用。据日本研究人员称,这是日本2025年建立载人太空站的第一步。据日本广播协会电视台报道,日本宇宙开发委员会2007年10月26日决定,今后将进行月球无人探测器的开发。日本即将开发的无人探测器能够着陆月球,并利用探测车对月球内部结构等进行调查,会议决定将争取于2015年前后使其发射升空。日本宇宙开发委员会表示,他们正在制订从2008年开始崭新的宇宙开发计划,日本下一次发射月球探测器将是在2012年,届时将使一个机器人装置在月面上着陆。2018年,日本将再发射一个探月器,并争取能使其成功返回地球。日本最终目标是在月球建立“太空港”。日本宇航

空研究开发机构的官员表示,他们计划在2030年在月球建立一个无人驻守的基地。根据这项计划,日本将在2020年左右把航天员送往月球,由他们逐步开始月球基地的建设,预计花费10年时间。

俄罗斯 月球曾是前苏联探索太空的一个重点。20世纪50年代末~70年代初,苏联共向月球发射了32个探测器,取得了丰硕的科研成果。据最近俄罗斯有关媒体报道,俄罗斯在2006年制定了自己的月球探测计划,其第一个步骤是实施“月球-全球”探测任务。俄罗斯的“月球-全球”探测项目的主要任务是发射自动探测器绕月飞行进行探测,其目的是为未来的月球车登陆月面选择地理位置、为今后建立月球基地进行工程和科学考察。如果进展顺利,俄将在2012年发射一颗新型月球车。本次任务完全由俄罗斯单方面实施,不过探测器可能会安装日本开发的仪器。第二步是在2012年向月球发射科学实验室,即能够实施多光谱探测的科学仪器。俄罗斯计划通过国际合作实现这项任务,拟邀请印度、中国和欧洲国家参与。其中,探测器的发射和着陆任务将由俄罗斯承担,其他受邀国家可以为着陆舱提供科研仪器。如果可能,他们还可以为发射工作提供某些必要的服务。第三步是将月球土壤样品带回地球。第四步则是在月球表面选择建立自动探测基地的最佳区域,这将是未来月球探测计划中载人登月任务要完成的工作。

根据俄罗斯2007年8月公布的2040年前的太空计划,俄计划在2025年前实现宇航员登月,于2027~2032年间在月球建立永久性基地,2035年后开始载人火星之旅。俄有关方面负责人说,俄罗斯需要研制出新的飞船和发射系统。俄计划在2015年前建成可多次重复使用的新型载人飞船。研制新的载人飞船,就需要研制新的运载火箭,并建设新的发射场。俄罗斯将不仅考虑使用哈萨克斯坦境内的拜科努尔发射场,还将考虑使用本国发射场。俄罗斯还计划在2016~2025年间建成新一代轨道空间站,届时飞往月球的航天器可以从空间站直接发射。如果俄罗斯第一阶段的探月活动完全由俄罗斯专家和航天公司顺利完成,第二阶段的探月活动将联合印度航天公司进行。按照巴利休克的说法,俄罗斯和印度开展合作的方式是:印度方面提供搭载月球探测车升天的运载火箭以及发射火箭使用的场地;俄罗斯方面提供月球探测车以及对月球资源进行勘

探开发的各种技术设备。除了近期无人探月计划外,俄罗斯还制定了远期载人探月计划。俄罗斯航天署署长佩尔米诺夫2007年9月公布了俄罗斯未来载人探月计划,其中包括实现宇航员登月、建造月球永久基地等。分析人士认为,随着俄罗斯经济的复苏,俄将在新一轮探月热潮中力争占有一席之地。

印度 除了欧美日俄航天大国纷纷计划抢占月球外,印度也已提出自己的探月计划。印度“初航1号”月球探测卫星将在2008年下半年发射升空,该探测器将由一个双推进剂系统(该系统对轨道维持和姿态控制也有贡献)从地球静止转移轨道送入月球轨道,在月球轨道中的净重为525千克,绕月两年,与此同时还计划布建一套深度太空天线系统,为2010年的无人登月铺路。“初航1号”的主要任务是制作高清晰的月球地图,对月球两极是否存在水进行初步探索,还将搜集月球表面矿物质和化学物质的有关数据。它携带的有效载荷包括:1台5米空间分辨率地形测绘摄像机、1台超光谱成像仪、1台月球激光距离修正仪、1台用来测量月球表面散发出来的荧光X射线的低能X射线频谱仪、1台高能X射线测绘照相机。此外,“初航1号”还可能携带一个重30千克的撞击器,进入月球轨道后撞击月球,激起月球土壤,获取矿物质和水的科学数据。印度将利用探月的机会向世界展示印度在火箭、导航和通信等领域的高技术。“初航1号”将完成两项工作:探测月球表面的物理特征,其中包括绘制月球表面某些地区的3维地图;测量月球表面的化学成分。参与印度探月计划的主要机构有:Vikram Sarabhai航天中心、印度国家物理实验室、Tata基础研究所、物理研究实验室、印度科学研究所、印度天体学研究所和拉曼研究所。

2007年9月,印度与俄罗斯讨论一个合作项目,计划发送无人探测器至月球,并在月表软着陆一个移动实验室。印度可能会提供助推器火箭和一个月球轨道舱,而俄罗斯可能提供月球移动实验室。印度有关方面甚至声称一定要比中国人先登月。

德国 2007年2月27日,德国航空航天中心(DLR)向国会提交了一份发射月球探测器的计划书。宇航项目部的主任瓦尔特·多灵格说,这次不会像以往国际空间站项目那样只是一个合作伙伴,这个月球探测器将完全贴上德国自己的标签。向全世界展示德国的技术,同时德国也将获得自己位列先

进国家的“感觉”。月球表面只有 8% 的面积被测绘过地图, 计划在轨道上飞行的德国探测器可以填补其余的空白。这方面德国正好具有优势, 即柏林自由大学曾经成功地为欧洲“火星快车”号探测器研制了高分辨率的 HRSC 摄像机。据介绍, 德国探月的目标非常明确, 即使用高精度探测仪器详细考察月球表面的构成, 调查尚不为人类熟悉的月球极点, 绘制比以往更加完整、清晰的月球三维“地图”。德国的探月计划还包括考察月球矿物质组成、磁场和月球内部结构等。按照计划书, 这个探测器将于 2012 年左右发射, 预算大约是 3 亿欧元。

2007 年 8 月, 德国宣布将在 2012 年发射月球探测轨道器, 包括两个以编队方式飞行、能同时对月面进行测量的探测器, 可使科学家看到月面地物的立体景象, 还能以三维方式研究月球正面和背面的磁场和引力场; 主探测器重约 500 千克, 而辅助探测器则仅重 150 千克左右。

事实上, 作为欧洲航天局最重要的成员国, 德国并不缺乏独立实施探月项目所需的先进技术。德国在外太空测量、摄像和雷达测控等领域都拥有最先进的技术。欧洲航天局发射的首个火星探测器——“火星快车”上搭载的高分辨率摄像头就是德国制造的。此外, 德国还是欧洲伽利略计划的领导国家。德国还广泛参与欧洲的火箭发射以及国际空间站各种科研设备的研制, 积累了丰富的航天技术知识, 这些都为德国开展月球探测, 实现“太空强国”梦想打下了良好基础。德国宇航中心探月项目负责人瓦尔特·德林格博士在接受新华社记者专访时表示, 该探月计划由德国 11 家航天研究所在 2007 年 2 月份共同制订, 如果顺利的话, 德国将于 2013 年前后向月球发射轨道探测器。

英国 多国纷纷推出雄心勃勃的探月计划, 极大刺激了英国人, 他们已打算加入未来月球探测竞赛。2007 年 1 月初, 英国国家航天中心空间科学部主任向媒体透露, 目前英国有关部门正在对其探月计划的可行性和实施该计划所需的财政投入情况进行研究和论证。研究和论证完成后, 有关探月计划及其费用问题将提交政府审议。英国的探月工程分两个计划:“月光”计划和“月耙”计划。“月光”计划主要是从月球轨道上向月球表面发射四个称为“月球微型动力穿透器”的飞镖状物体, 这种飞镖物体每支重 13 千克、长 4 米, 从月球轨道向月面发射, 速度

可达每秒 300 米, 能穿透 2 米多深的月面。在飞镖状物体的内部装有 10 多种探测仪器, 如地震仪等。这种飞镖物体钻进 2 米深的月面下, 能向科学家提供有关月球地下的重要数据, 如月震情况和月心热流数据, 还可以帮助科学家在月球上寻找水, 甚至有机分子等。利用探测器中的仪器“聆听”月震和测量月球温度变化, 分析月球的表面构成和地理活动, 考查月球表面 2 米深范围内的地质活动和地表构成。

过去对月球的探测主要是探测月球的正面, 即对着地球的一面, 而“月光”计划主要是探测月球背面。对于月球背面至今了解不多, 因此这种探测的意义重大。“月光”计划将于 2010 年发射, 约耗资 1 亿英镑。如果“月光”计划成功, 接着就实施“月耙”计划, 即发射一个月球着陆器, 仔细分析月球的尘土和岩石, 并寻找水和有机物的痕迹, 目的是寻找适合人类居住的地方。有猜测认为, 月球上的大型深坑可能蕴涵有机分子, 在月球两极附近探测到的氢元素可能是水, 研究人员希望能够借助“月光”探测器找到答案。简而言之, “月耙”计划主要是向月球发射一个着陆器, 负责为将来的月球基地选址。

韩国 韩国科技部于 2007 年 11 月 20 日宣布, 韩国将于 2017 年自主发射 300 吨级的运载火箭, 2020 年发射探月轨道卫星, 2025 年发射探月着陆器, 进入名副其实的空间强国行列。韩国的这一探月路线图是根据 2007 年 6 月确立的《宇宙开发振兴基本计划》, 具体制定了宇宙开发项目的详细目标和推进日程以及宇宙技术自主战略, 还描绘了未来十几年韩国宇宙开发项目蓝图。韩国运载火箭方面的计划包括, 2008 年发射 170 吨级小型卫星运载火箭 (KSLV-1), 并于 2017 年自主研发 300 吨级大型运载火箭, 而后以韩国运载火箭为基础, 于 2026 年开发能够发射宇宙探测卫星的宇宙运输系统; 计划于 2017 年启动探月卫星 (轨道飞船) 1 号的研发项目, 并于 2020 年发射, 而后在 2021 年启动探月卫星 (着陆船) 的研发工作, 并于 2025 年发射。除了探月计划, 韩国还打算今后每 3~4 年发射一颗重量约为 100 千克的卫星, 每年至少发射两颗重量 1~10 千克的卫星。自 1992 年以来, 韩国共发射 11 颗卫星, 多用于海洋观测和通讯, 所有 11 颗卫星由外国制造的运载火箭在韩国本土以外发射。

在 20 世纪五六十年代, 发射一枚人造卫星就是一个国家国力强大的象征, 而后来发展到月球探测

宇宙线与超新星的关联

丘秀强

宇宙线是存在于恒星际、星系际间的超高能粒子流, 主要是由原子核(其中, 主要是氢原子核, 即质子)、电子等组成。1912年, 维克托·赫斯(Victor Hess)在一次高空气球飞行实验中首次记录到宇宙线。经过了90多年的发展, 如今宇宙线观测的能量范围已从低能区(10^7 eV)到高能区(10^{21} eV), 直跨13个数量级, 流量落差达30多个数量级, 其能谱的总结构呈现为非热幂律谱特征, 即流量(N)与能量(ε)的关系满足 $N(\varepsilon) = A\varepsilon^{-\alpha}$, 但是整体能谱曲线在 10^{15} eV 和 10^{19} eV 附近都有明显的折断, 我们把这些折断处分别称之为“膝”和“踝”, 相应的在这些不同能量段上的幂律指数 α 的值也就不相同了。虽然我们在观测上有了很大发展, 但宇宙线的起源至今还是个公认的难题, 能量越高的宇宙线, 其起源就越不确定。在探索过程中, 天文学家发现超新星爆发形成的激波会加速星际介质中的粒子。因此, 人们一直把宇宙线能谱低能区($E \leq 10^{15}$ eV、幂律指数 $\alpha = 2.7$)的源与超新星联系在一起。近年来, 由于低能区不断有新的观测数据以及理论模型的不断完善, 人们更加坚信超新星与宇宙线之间的联系。

一、超新星——宇宙线低能区的主要源

在探索宇宙线起源的历程中, 费米在20世纪40年代末首先提出了“费米加速机制”。这种机制认为, 由两块星际空间磁云组成的磁镜能捕获荷电粒子, 当两块磁云相互接近时, 荷电粒子与磁云的相互碰撞可以增大荷电粒子的能量。计算发现, 若磁镜具有随机速度 u , 能量为 E 的粒子碰撞一次平均增加能量为 $\Delta E \approx (u/c)^2 E$ 。银河系中介质云运动速度往往较低, $u/c \leq 10^{-4}$, 而能量的增加率约为 u/c 的二次方。所以, 这种机制的加速效率非常低。

与介质云加速机制相比, 激波加速星际粒子是一种更有效的加速机制。因为银河系超新星爆发产生的激波运动速度约为 10^4 km/s, 远远超过星际介

质的声速(约10 km/s)。当它扫过粒子时, 粒子将获得加速。由于 $u/c \approx 10^{-1}$, 且能量增加率是与 u/c 成二次方比值的, 故强激波加速机制比较有效, 经激波加速后核粒子可达 $10^{15} \sim 10^{17}$ eV 这一尺度, 目前多数学者已认可这种加速机制。然而这种机制却还未能很好地解释银河系宇宙线存在的问题——微小的各向异性振幅。宇宙线来源的方向分布是非常均匀的。在能谱 $10^9 \sim 10^{15}$ eV 范围内, 各向异性振幅小于 10^{-3} , 这是令人不解的。因为从理论上, 振幅 A 与分布函数系数 D 振幅存在着正比关系, 而系数 D 随能量 E 以 E^s 的形式增长($s \approx 0.3 \sim 0.6$)。因此, 各向异性也会相应增大。然而观测中并未发现各向异性的增大。

2006年, 叶尔雷金(A. D. Erlykin)和沃尔夫安德(A. W. Wolfendale)通过考虑超新星爆发的特征以及超新星爆发的不规则分布模型解决这一困难, 数值模拟计算了银河系内 10^6 个超新星的随机爆发, 这些爆发均匀分布于时间段为 10^8 年里。计算结果显示, 当超新星遗迹只喷射质子时, 可以获得指标约为2.65的宇宙线低能谱, 并伴有较大波动。同时还得到了宇宙线各向异性的振幅 A 随能量 E 以 $E^{0.5}$ 的斜率增长。与前面所述的“ s ”值相比可知, 这种增长趋势相对来说偏大了。事实上, 超新星爆发除产生质子外, 还有氦、氧、铁等粒子流。当考虑这些粒子流混合时, 就有可能达到降低各向异性振幅的效果。因为宇宙线的加速与传播依赖于粒子的硬度和来自超新星遗迹的最大粒子流。当它们混合时, 这些来自不同方向的粒子流就会出现相消性干扰, 从而在很大程度上降低了其方向性, 粒子总流量的各向异性振幅也因此降低。这也是能够降低各向异性振幅的第一个因素。其次是单星源, 也就是邻近超新星发生的偶然爆发, 爆发的方向来自于宇宙线主流的下游处。来自单星源的平直能量谱对宇宙

以及建立外太空探测基地则是一个国家综合国力强大的体现, 对于提高我国在国际上的威望, 增强国民的巨大凝聚力很有意义。展望未来, 和平利用太空, 开发太空资源离不开国际间的密切合作。我们可以

想象, 在不久的将来, 为了建设各种月球基地, 各国的探月飞船将穿梭于地-月之间, 月球上面将要像蜜蜂筑巢般地忙碌起来。

(北京天文馆 100044)