

嫦娥探月 圆梦圆

□ 文图 / 欧阳自远

当代的深空探测，也就是太阳系的探测，可以说是 21 世纪科学发展竞争的焦点，也是航天科技可持续发展的必由之路。开展深空探测的目标，仍然是为了人类社会的可持续发展。可以说，深空探测是人类探索宇宙的一个永恒主题。

人类之上下求索

我们生存的地球自形成以来已有 46 亿年，大约 38 亿年前，地球上出现了生命。生命长期在海洋里演化，然后逐渐走上陆地，形成了各种各样的物种。虽

然生命的演化自身非常脆弱，但演化链条非常清晰、顽强，而且一直进化到现在生物界的生命。各种各样的物种来到陆地之后，大约几百万年前，出现了人类，而人类又经过几百万年的进化，成为现代人。

人类在陆地上生长，但是人类总想了解自己周围的世界。最接近的是辽阔的海洋，发展到今天，形成了非常先进的航海事业。除海洋外，人们还希望了解自己头顶上的天空，也是经过长期努力，发展到现在，才有了非常先进的航空事业。

但人类还想了解更遥远的空间，了解更为广阔的宇宙，所以就产生了航天活动。

航天活动大约可以分为三个部分：卫星应用、载人航天和深空探测。深空探测是指探测器在不以地球为主要引力场的空间运行，而是以其他天体为主要引力场的空间运行。本文主要介绍深空探测中的探月工程。

深空探测图景明

迈入太空的第一步是月球探测。因为月球是地球的天然卫星，是距地球最近的一个天

作者简介 欧阳自远，著名天体化学家和地球化学家，积极参与并指导中国月球探测的近期目标与长远规划的制订，具体设计国内首次月球探测的科学目标与载荷配置，以及第二、三期月球探测的方案与科学目标，是中国月球探测工程的首席科学家，被誉为“嫦娥之父”，1991年当选为中国科学院学部委员（院士）。



体，是我们人类飞出地球、开展该深空探测的首选目标。月球是人类的一个非常重要的探测基地，监测地球大尺度的气候变化、环境变化、重大灾害，也包括我们的重大工程，甚至军事活动；月球是一个很重要的科学研究基地，同时又是一个新的军事平台，是深空探测的前哨站和转运站。另外，月球的资源和能源，将会对人类社会的可持续发展作出重要贡献，起到重大的支撑作用。

21 世纪将是人类全面探测太阳系，并为人类社会可持续发展服务的一个新的时代。开展深空探测，是我们人类社会的进步和科技发展的综合需求，也是推动科学创新、高新技术的突破，改善生存环境，提高生活质量，增

强我们的综合国力和建立创新型国家的关键领域。

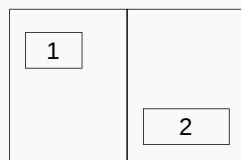
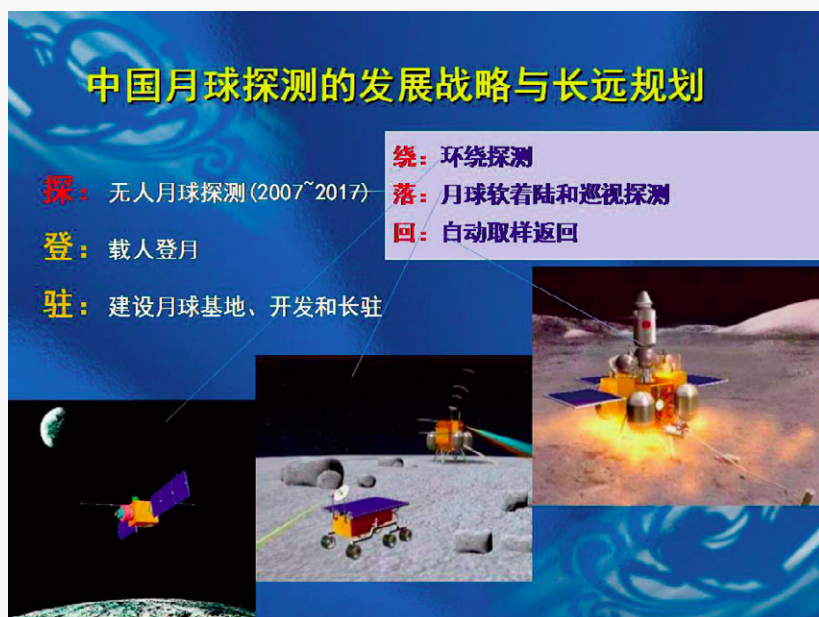
探月登月路漫漫

每个人都见过月球，在地球上永远只能见到朝向地球的这一半，没有人见过背向地球的另一半。月球一直伴随着地球的沧桑变化，也伴随着人间的悲欢离合。赞美、歌颂月球的诗词歌赋和神话众多。我们中国有嫦娥奔月的故事，国外也有月亮女神故事。中国人给月球起的名字大概有 50 多种。月球在人类心目中是非常圣洁的、可以寄托思亲和花好月圆美好前景的天体。

然而，月球的环境是很严酷的。从 1959 年到 1976 年，人类

一共发射了 108 个探测器探测月球，成功率接近一半。人类实现了 6 次载人登月，12 名宇航员登陆月球，现在一共得到 382 千克来自月球的岩石和土壤样品。另外在南极大陆冰盖和一些沙漠里找到了 26 块从月球落到地球上的陨石。虽然过去人类对月球进行了 108 次探测，但人们对月球的认知仍十分有限。

前几年网上有传言说，美国阿波罗登月是假的，是在摄影棚里拍的。我可以负责任地说，阿波罗载人登月是真的，真的上去了，而且我还研究过它的样品。1978 年时任美国卡特总统的安全事务顾问布热津斯基到中国访问，赠送了两件礼品：一件是一克月球样品，一件是中华人民共和国国旗，是由阿波罗登月宇航



1 中国月球探测的发展战略与长远规划
2 月相的变化

员带上月球后返回来的。我们组织了全国的有关力量参与，只用了半克样品进行研究，就发表了 14 篇文章。我们可以证明：它采自哪里，样品编号，样品物理、化学特点，样品的矿物组成和岩石结构，样品成因，等等。这些都可以证明阿波罗登月是真的。剩下的半克样品，后来提供给北京天文馆，供公众观赏。

由于月球表面是超高真空，有人觉得美国国旗在月球上不可能迎风招展。这里需要解释的是，当宇航员把旗杆插入月球表面时，一松手旗杆就会摆动，带动国旗晃动。由于月球表面是超高真空，没有空气阻力，会产生比较长时间的摆动，所以拍录像片时旗子一直在晃动。

阿波罗登月促使了 20 世纪 60 到 70 年代一大批科技工业群体的诞生，带动了高新技术的发展。“阿波罗计划”催生了 3 000 多项技术，也使人类受益匪浅，其投入产出比是 1:14。作为一项巨大的科学工程，它同时也取得了巨大的经济效益。

古老的僵死星体

经过长期的探索，人们知道了月球表面是真空状态，它会有两个结果：一个是声音的传播，月球上谁说话也听不见，没有任何声响；

另外，月球上没有空气，无法传导热量，所以照着太阳的地方是 110 摄氏度至 130 摄氏度，没有照着太阳的地方为零下 130 摄氏度至零下 150 摄氏度。月球的表面环境极其恶劣。

我们都知道，地球有一个很标准的南北极磁场。古代中国人发明了指南针，使全世界受益匪浅。但火星探测的结果表明，它没有南北极磁场，而是有很多个南北极，叫多极子的磁场。而月球探测的结果证明它没有磁场，月球曾经有过像地球一样的偶极子磁场，而现在磁场消失了。磁场的产生是由于内部有电流的流动，流动的方向反了，南北极就倒转了，地球历史上南北极经常倒转。

目前，月球内部已经凝固固化，月球内部没有带电流体的流动，因而磁场就消失了，证明月球内部呈固体状，就是一块大石头，一个僵死星体。任何星球，也包括太阳，既然有它的诞生，也必然有它的衰老和死亡。我认为这与生命过程一样。

月球表面由于没有大气，被砸得千疮百孔，直径 1 千米以上的撞击坑就有 33 000 多个，坑坑洼洼的。其表面是很厚的土壤，有 5~20 米厚，这层土壤将有可能解决我们人类社会发展上万年的能源需求。

最近发现月球上有冰，这是怎么回事呢？原因是：在月球上有永远照不到太阳的地方，我们称为永久阴影区。砸到月球上的彗星是冰块加尘土组成的，一砸

到月球上彗星碎块就会向四处溅射，而溅射到永久阴影区的碎块就被永远保存下来了。可这些冰毫无用处，你要跑到零下150摄氏度的地方，把土都刮起来，冰的含量才0.3%左右，要加温，变成水蒸气，然后收集冷却成蒸馏水，再运出来。这个成本极其昂贵，带1千克的水上月球大概得2万美元的成本，也很昂贵。科学家提出利用月球的钛铁矿生产水，可能是最好的方案。

另外，月球上没有任何有机化合物和生命迹象。月球的内部结构很像我们的地球，有月壳、月幔和月核，也像一只鸡蛋，有蛋壳、蛋白和蛋黄。因为月球形成以后很快就冷却了，里面的东西还没有调整好，所以有很多巨大的“质量瘤”，这都是月球跟地球不一样的地方。

月球内部的能源是非常微弱的，有点像一个临死的躯壳在喘息着，因为月球内部已经没有岩浆和火山活动了，月震活动也很微弱。月球自45亿年前形成以

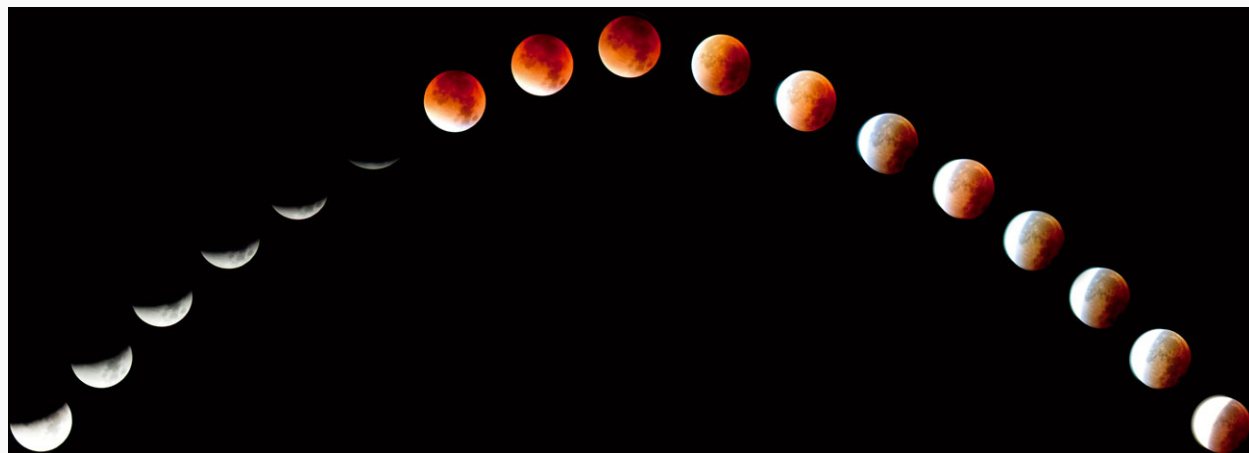
来到31亿年前是很活跃的，月球的生命活力是很旺盛的。此后，月球再也没有强烈的活动了。它是一个古老的、僵死的星体，它内部的能量已经衰竭，它保留了31亿年前最古老的状态，不像我们的地球还有强烈的岩浆活动、火山喷发、地震活动和板块运动。

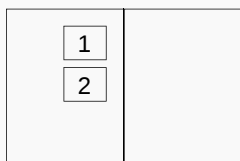
探测月球的缘由

很多国家提出要重返月球，这些国家（或组织）包括中国、美国、欧空局、俄罗斯、日本、乌克兰、奥地利、德国、巴西、印度。因为月球条约规定，月球不属于任何国家，不能对它殖民，不能将它归于本国领土。不过，月球可以说是谁先开发利用谁先获益，因为月球上有不少矿产资源和特殊的环境。

月球上还有极其丰富的能源。一种是太阳能，月球白天和黑夜一天的时间接近于地球的一个月，白天的时间接近于地球的半个月长，晚上的时间也接近地球的半个月长。由于没有任何云

层阻挡，太阳直射月球表面，可以无限制地安设太阳能电池板。所以，只要在经度每隔120度设置三个太阳能发电厂，至少有一个电站永远被太阳照射，一照就是半个月，可产生巨大的太阳能。而且，太阳能可以通过微波或激光发射到地球上，再转换成电能加以利用。另外一种能源是人类未来将要实现的可控核聚变发电的原料氦-3。1939年，一位美国物理学家发现了太阳燃烧的秘密：太阳之所以如此光芒万丈，是因为我们的太阳一直在那儿产生原子核的聚变反应，就是氢的同位素氘和氚产生聚变反应生成氦-4和中子，并释放出巨大的能量，也就相当于一颗巨大的氢弹在持续爆炸。太阳一直在产生巨大的辐射，我们的地球只接受了太阳的十六亿分之一的能量，却让地球表面万物生长、生机勃勃，也给地球带来了无限温暖。我们整个地球的气候活动完全被太阳操纵了，所以太阳的能量非常巨大。





1 月球上的“脚步”

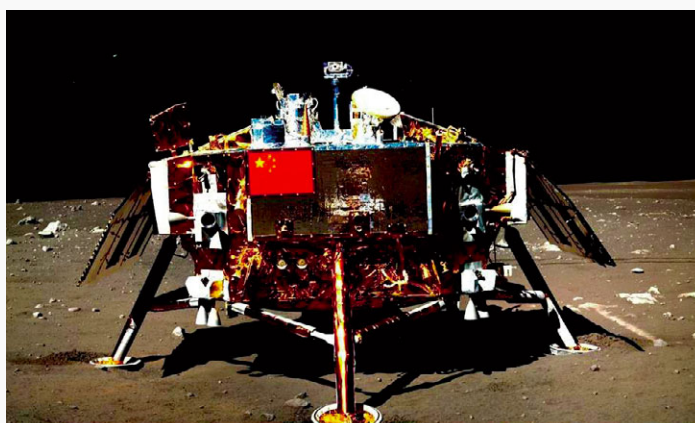
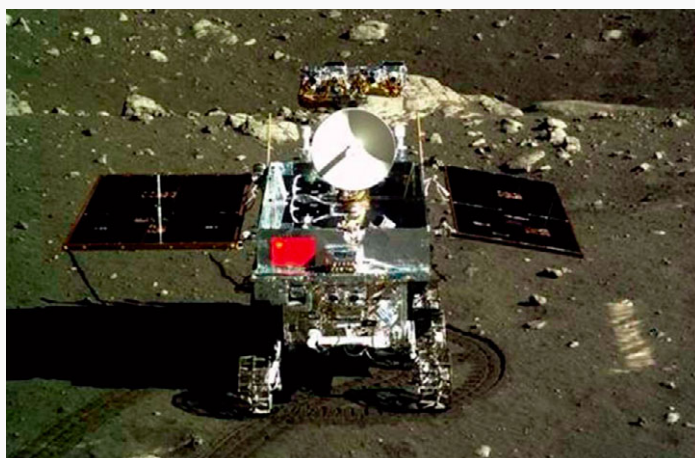
2 D点：巡视器对着陆器成像

科学家一直在努力，要实现人造太阳和可控核聚变发电的梦想，半个多世纪以来全世界进行了很多试验。中国科学院等离子体研究所在合肥研制的人造小太阳已经开始运作了。其原理是：在几千万度、甚至上亿度的温度条件下，让氢的同位素氘和氚产生聚变反应，生成氦-4和中子，并释放出巨大的能量。科学家用强大的磁场来约束高温的等离子体。

现在国际上一些国家联合起来，在法国建立了核聚变反应堆，我们中国也参与并投资了100亿元人民币。这是人类今后要走的共同道路，也是解决人类能源问题的终极办法，估计还要30年到50年以后才能实现。

氘和氚产生聚变反应，释放出巨大的能量，但氚是放射性同位素，不安全，反应后的产物之一是中子，环境保护和放射性防护要求很高。科学家希望用氦-3来代替氚，可全球只有15吨左右的氦-3。月球表面的土壤每天接受太阳辐射，太阳风里含有一种气体氦-3，40多亿年以来太阳风注入的氦-3粒子不断富集在月球土壤里。

根据现在估算，月球土壤里大约含有100~500万吨氦-3。假如这种发电方式能够成为现实的话，中国一年的发电量需要的氦-3约为8吨，满足全世界的能源需求氦-3的用量大约是100吨，这就能解



决全世界的能源需求，月球上的氦-3可以供人类上万年的需求。目前，我们中国的能源每年消耗石油2亿多吨、煤将近20多亿吨，还有天然气、水电，等等。

月球表面属于超高真空，没有大气活动，没有声响，没有磁场，地基稳定，重力只有地球的1/6。它也没有污染，是很好的科学观测基地，是研制新型材料和特殊生物制品的好场所。

我与月球的渊源

我在1952年考入北京地质学院，当时，我们的新中国刚刚成立不久，国家要实现工业化，急需矿产资源。当时宣传的口号很豪迈：“唤醒沉睡的高山，寻找祖国的宝藏”，把青春献给祖国。1956年毕业以后，我留在学校做前苏联专家的副博士研究生，后来因导师要回国，我就在1957年报考了中国科学院地质研究所的研究生，研究长江中下游铜矿和铁矿的成因。

这一年发生的一件事情，让我的人生发生极大转折。1957年10月4日，前苏联发射了第一颗人造地球卫星，拉开了人类空间新时代到来的帷幕。1958年，美国和前苏联两个超级大国，相继开展月球探测，1960年实施了火星探测。我觉得我们这些“修理”地球的人也可以利用人造卫星，可以全球性、整体性、综合性地研究地球。我们一定要为人类走向空间时代的地球科学的发展做准备。虽然那个时候中国还是“一穷二白”，没有实力发射人造卫星，但是总有办法做一些事情，去创造条件，迎接我们中国空间时代的到来。

于是，从1958年起，我们开始收集和在地外物质，如陨石、宇宙尘埃、月球样品，研究小天体撞击地球所诱发的气候环境灾变和生物灭绝，研究月球和火星地质，等等。

陨石，有铁质的和石质的。在我国河北商代墓葬中发现的青铜武器——钺，在钺的头部插入了一块铁片，经我们测定铁片的成分居然是合金钢。那是青铜时代，商代时中国尚未掌握炼铁技术，战国时期才开始炼铁的历史。假如商代能够炼铁的话，中国炼铁的历史就提前了1000多年。后来我们鉴定了一下，这块青铜武器——钺的刀锋是铁陨石。古人很聪明，天上掉下来的铁陨石是不锈钢，他们将铁陨石这种合金钢加温打扁以后插入到青铜武器里去，这是当时最锋利的武器。

我们研究小天体撞击地球，在西藏出露的海相第三系—白垩系的界线层中找到了系统确凿的证据，证明6500万年前，确实有一个直径大约10千米的小天体撞击在现今墨西哥的尤卡坦半岛，形成了直径约200千米的奇科苏卢布（Chicxulub）撞击坑，导致地球的气候环境大灾变和物种的大灭绝。小天体撞击地球，极强的冲击波撞击地面，引发森林大火，甚至全球大火；冲击波导致大量的尘埃向外溅射，使大气层密布尘埃和森林燃烧后的灰烬，使地面的太阳辐射大大减弱，全球温度下降，气候变冷。这样一来，植物因光合作用减弱而大批死亡。导致了一批动物物种因食物链中断而死亡。恐龙不是被砸死的，而是因为气候环境的灾变和食物链中断而灭绝。整个地球历史上有多次生物灭绝，恐龙灭绝事件是中等规模的，还有更大规模的灭绝。所以，地球生命的演化是极其艰难、极其顽强的，个体虽然是很脆弱的，但整个生命的进化是持续的。

我有十多年时间是在做地下核试验的选场、地下核试验过程的模拟研究、地下核试验爆炸介质的要求、地下水的污染与防治、地下核试验的地质体稳定性和效应等，爆炸后验证完全成功。国家的需要就是方向，我觉得看准方向一定要坚定不移，竭尽全力去实现目标。

中国月球探测梦

1992年，国家已经立项了载人航天项目，我们认为中国有能力进行月球探测。所以从1994年开始进行了中国开展月球探测的必要性与可行性论证、中国月球探测的长远规划论证、第一期月球探测的科学目标与有效载荷配置论证、根据科学目标提出的研制总要求论证等，2002年，国家组织了立项论证。

2004年春节期间，时任国务院总理温家宝同志批准我们国家的第一次月球探测方案。我国的月球探测虽然起步很晚，但是起点一定要高，一定要坚持有特色、有创新，要突出重点，一定要紧密地结合国际发展形势，又要结合自己国情，做出中国人的特色和贡献。

我国的月球探测分为三个阶段，第一是无人探月阶段，第二是载人登月阶段，第三是在月球上建立基地，进行研究开发的阶段。

第一个探月阶段分三期实现。中国人从来没去过月球，需要全面了解月球，所以我们第一期就发射绕月探测卫星，全球性、整体性和综合性地探测月球；第二期是落月探测，发射软着陆器与月球车，进行区域性的精细的就位探测与巡视探测；第三期，要发射携带各种采样器的着陆器，进行区域性的精细的就位探测，铲取和钻孔岩心取样并返回地球。我们的总指挥栾恩杰说过，中国现在有能力把宇航员送到月球上去，但只有单程票，回不来。有些人很着急，但是科学研究要循序渐进。



> 神秘的太阳系

2007 年发射的“嫦娥一号”卫星首次绕月探测的圆满成功，树立了中国航天的第三个里程碑，突破并掌握了一大批具有自主知识产权的核心技术和关键技术，使我国成为世界上为数不多的具有深空探测能力的国家，实现了多个中国航天史及航天器的“第一”：第一次研制并成功发射中国首颗绕月探测卫星；第一次实现了绕月飞行和科学探测；第一次形成了深空探测任务的总体设计思路和研制流程。这些都充分体现出我国综合国力显著增强，自主创新能力和科技水平不断提高。

“嫦娥一号”有几个难点：

第一个难点是轨道很难设计，因为一个月只有一次零窗口的发射机会，而这一次当中又只

有某个 35 分钟是合理的时间，也就是说一个月只有 35 分钟可以发射。如果偏离零窗口的时间超过 35 分钟，调整到设计的标准轨道就要消耗更多的燃料。

第二个难点是三轴稳定，也就是太阳帆板要对准太阳，通信天线要对准地球，探测仪器要对准月球。但是，太阳、地球和月球一直在运动，相对位置一直在变化，这个难点也得到了解决。

第三，38 万千米太远了，测不准。我们过去有非常好的测控系统，但是毕竟有限，因此又加了一套系统。我们用了 4 个全国最大的射电望远镜，让几个望远镜联合起来进行甚长基线干涉测量来测定卫星的位置，达到了目标。

第四，几十万千米的信号传

输下来衰减得很厉害，一定要有大功率的大天线接收数据。因此，新建了一个直径 50 米的天线和一个直径 40 米的天线，用来接收科学数据，现在工作很正常。

我们要把全部的数据提交给全国的科学家，因为这是国家的项目，是纳税人的钱，目前已经组织 69 所高校和 30 个科研院所的专家们，成立了绕月探测科学应用专家委员会。对于全部探测数据，专家们要什么，只要我们有就都提供，期待他们充分利用全部科学数据，做出高水平的研究成果。2007 年时任国务院总理温家宝同志还批示，要突破关键技术，严格对工程全过程管理，坚持质量第一，确保绕月飞行圆满成功。

根据国际惯例，向国内发布

科学探测数据一年后,全部科学探测数据上网发布,无偿提供给全球的科学家分析研究。

2010年发射的“嫦娥二号”携带了CCD立体相机、伽玛谱仪、太阳风离子探测器、高能粒子探测器等7种科学载荷,获取了高分辨率全月球影像、虹湾地区局部影像以及地月空间等约6TB原始数据,按照中国探月工程科学数据发布政策,已分级发布给包括港澳台在内的中国相关高校和科研院所。这将带动中国月球和空间科学的深化研究以及科学数据的分析研究。截至目前,已取得了空间分辨率7米的全月球图像、多种元素月面分布图等多项重要科学成果。科学数据的分析研究是个长期的过程,经过一段时间的研究,基于“嫦娥二号”获取的数据,科学家们会进一步深化对月球科学及空间科学的认识和理解,解答月球和太阳系起源等科学问题,得到更多的创新成果。

2013年发射的“嫦娥三号”探测器是中华人民共和国嫦娥工程二期中的第一个探测器,是中国第一个月球软着陆的无人登月探测器。“嫦娥三号”探测器由月球软着陆探测器(简称着陆器)和月面巡视探测器(简称巡视器,又称玉兔号月球车)组成。2013年12月16日,中国官方宣布“嫦娥三号”任务获得成功。“嫦娥三号”着陆器目前工作状态良好,但巡视器在第二次月夜休眠前出现异常不能行走。2014年12月14日21时14分,“嫦娥三号”登陆月球已满一周年,北京航天飞控中心也实现了精心护航“嫦娥三号”着陆器月面安全工作一年的预定工程目标。2016年1月5日上午,中国国家国防科技工业局正式发布国际天文学联合会批准的“嫦娥三号”探测器着陆点周边区域命名为“广寒宫”。“广寒宫”周围的撞击坑以中国古代“二十八星宿”命名。邻近“广寒宫”的三个撞击坑分别命名为“紫微”“天市”“太微”。此次成功命名后,以中国元素命名的月球地理实体达到22个。

中国近期的月球与火星探测

2020年中国将全面建成小康社会,进入世界科技创新型国家行列,国家批准“十三五”期间,中

国的深空探测将实施“嫦娥五号”月面采样返回;“嫦娥四号”将实施人类首次着陆器与月球车着陆月球背面,开展区域性精细探测;还将实施火星轨道器与火星车联合探测火星。

2017年,中国将使用“长征5号”运载火箭发射“嫦娥五号”的轨道器和软着陆月面的着陆器、上升器与返回器。这将实现首次地外天体自动铲取和钻孔岩心采集月球土壤和岩石样品,自动有序安放在返回器内,上升器与返回器飞离月面,在38万千米外的月球轨道上与轨道器进行无人交会对接,轨道器与返回器返回地球,返回器以半弹道轨道再入地球大气层,安全降落在地面指定位置和进行样品回收。当前已经组织全国有关科研院所和高等院校,开展月球样品的系统分析与深入研究,提交系列创新性研究成果。

2018年,我国将发射“嫦娥四号”。“嫦娥四号”原是“嫦娥三号”的备份星,由于“嫦娥三号”圆满完成任务,“嫦娥四号”的结构基本不变,仍分为着陆器和巡视器两部分,但这次着陆点选在月球背面。针对不同的地质条件,对“嫦娥四号”也进行了有针对性的改进。

“嫦娥四号”计划在2018年6月前后发射轨道器。轨道器定位在地—月拉格朗日L2位置,担负地球与月球背面的测控与通信的中继星任务。2018年年底发射着陆器和巡视器,将实现人类首次月球背面软着陆探测。这也将实现人类首次开展月球背面的区域性精细探测。

2020年,中国将发射火星轨道器和火星车,经历大致8个月的飞行,2021年到达火星,实现火星轨道器和火星车的天地联合探测火星。

月球和火星探测将为中国的科学创新、技术突破、经济发展繁荣提供新的机遇,也为人类的深空探测做出贡献。“嫦娥工程”得到了公众支持,也被寄予厚望,我们深受鼓舞,一定艰苦奋斗、竭尽全力工作。我们也希望专家学者和青年学子们,能够投入到探索宇宙的奥秘、“嫦娥工程”和太阳系探测的行列中来,为人类社会的持续发展和美好前景、为中华民族的振兴和繁荣昌盛做出贡献。 