

月球地形测绘和月球大地测量(4)

陈俊勇

(国家测绘局, 北京 100830)

【摘 要】 主要介绍了美国在 20 世纪 70 年代著名的“阿波罗(Apollo)”登月项目, 和 90 年代的“克莱门汀号(Clementine)”、“月球探测(Lunar Prospector)”, 以及欧共体的“SMART-1”探月航天器。1969 年至 1972 年间阿波罗项目前后进行了 17 次环绕登月的各种试验, 其中有 6 次成功登月。它们分别是“阿波罗”11, 12, 14, 15, 16, 17 号。“阿波罗”和以后的探月项目向科学家提供了大量的月球数据, 其中有影像资料, 月面和环月试验的成果, 同时还进行了样本收集、月面及其周围环境的地质勘测和月球大地测量等各项工作。

【关键词】 月球; 阿波罗; 克莱门汀; 月球探测; SMART-1; 探月航天器

【中图分类号】 P22 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1009-2307 (2004) 05-0007-05

1 “阿波罗(Apollo)”项目

在 1969—1972 年间“阿波罗(Apollo)”项目有 6 次成功登月, 向科学家提供了大量的月球数据, 包括在环月轨道上和在月面上探测试验的各种成果, 包括影像资料、月球岩土样本收集、地质勘查、地震记录、月球激光测距、月球重力场测定等多项地质勘测工作。

(1) “阿波罗 1 号”
这是“阿波罗”项目启动的第一颗载人飞月航天器。1967 年 1 月 27 日发射失败。

(2) “阿波罗 7 号”
“阿波罗 7 号”是首次载人(四位宇航员)登月舱实际测试, 于 1968 年 10 月 11 日升空, 环地飞行 163 圈, 在空中共停留 10d20h。

(3) “阿波罗 8 号”
“阿波罗 8 号”1968 年 12 月 21 日升空, 在轨有效载荷为 28 883kg。载有宇航员三人, 这是美国第一次实现载人环月(10 圈)航行, 于 12 月 27 日返回, 溅落于太平洋。整个飞行时间为 147h。这次航行的主要目的是研究宇航员登月的实际操作, 和宇航员在月地轨道上的各种生态评估, 测试远距离通讯和阿波罗整个系统的可靠性。同时也进行对月面进行了高分辨率的摄影, 实时传播所摄的月面影像, 特别是对阿波罗号今后可能登陆的地区和其他有科学研究价值的月面资料用遥感技术送回地球。

(4) “阿波罗 9 号”
“阿波罗 9 号”1969 年 3 月 3 日升空, 在轨有效载荷为 42 000kg。它是进一步测试载人航天器在环地轨道上宇宙员的生化反映, 例如失重, 长期空间飞行环境等的影响。此外还测试在环地轨道上航天器和及其支持系统的可靠性。“阿波罗 9 号”共运行了 152 圈环地轨道。

(5) “阿波罗 10 号”
“阿波罗 10 号”1969 年 5 月 18 日升空, 在轨有效载荷为 42 530kg, 载有 3 名宇航员。“阿波罗 10 号”是该项目的第四次载人环月航引, 和第二次带了登月舱的环月航引, 也是“阿波罗 11 号”宇航员登月前的最后一次测试, “阿

波罗 10 号”除了没有登月外, 还进行了逼近月球的模拟登月飞行。先是“阿波罗”航天器(三名字航员)进行环月飞行, 然后将其中登月舱(二名字航员)脱离上述航天器(其中只剩一名字航员)进入只有离月面高度为 14km 处作环月飞行, 是人类第一次最接近月球的航天飞行。

“阿波罗 10 号”的登月舱测试了在月球环境中该舱全部系统的正确性和可靠性, 和舱中的雷达和升降发动机, 测绘了阿波罗 11 号拟登月的地点, 然后再作机动飞行, 回到母航天器。这次航行为 2 个月后人成功登月(“阿波罗 11 号”)作了最后一次检验和准备, 为了最后肯定登月各项准备工作是否正确和可靠。

“阿波罗 10 号”还测试在月地这样远的距离时, 各种维持系统的正确性和可靠性, 还对月球重力场进行了测定。此外, 飞行期间还对月进行大量高质量的摄影。

“阿波罗 10 号”同年 5 月 26 日返回地球, 溅落于太平洋。
(6) “阿波罗 11 号”

“阿波罗 11 号”1969 年 7 月 16 日升空, 在轨有效载荷为 43 811kg, 载有三名字航员。同年 7 月 20 日实现人类登月的梦想。同年 7 月 24 日返回地球, 溅落于太平洋。登月处为 Mare Tranquillitatis。

在登月前登月舱进入离月 100km—122km 的近圆轨道。在轨运行期间对月进行摄影, 为月质学的研究积累资料, 登月后进行了对太阳风的综合试验, 收集月面岩土样本 21.7kg, 在登月处进行全景摄影, 对月面物质进行逼近摄影, 安置激光反射器和被动式地震测试仪等。“阿波罗 11 号”在月面逗留近 21h6min 后, 于同年 7 月 24 日返回地球。



图 1 “阿波罗 11 号”宇航员登月

(7) “阿波罗 12 号”

“阿波罗 12 号” 1969 年 11 月 14 日升空，载有三名宇航员，在轨有效载荷为 43 848kg，于同年 11 月 19 日登月。这是人类第二次载人登月行动，它的登月处为 Oceanus Procellarum 和 1967 年 4 月 19 日 Surveyor 3 号软着陆处相距不远。

“阿波罗 12 号” 探月的科学目的主要有：①在月海地区进行测绘，采集样本；②安放“阿波罗月面测试包”(ALSEP)；③研究在月球环境下人类工作的可行性，④对今后需要勘探地区进行摄影。



图 2 “阿波罗 12 号”的宇航员

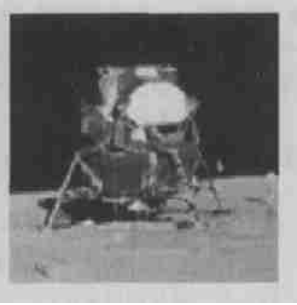


图 3 被动式地震测试仪

“阿波罗 12 号” 的宇航员们还将当年 Surveyor 3 号留在月球上的设备带回到地球，以测试这些设施长期暴露在月面环境中会有什么影响和后果。“阿波罗 12 号” 的宇航员在月面上做了一个地质剖面(1 311m 长)，采集了岩土样本 34.4kg。岩石样本主要是玄武岩，黑色的火成岩，它们比“阿波罗 11 号” 所采集的岩土样本的岩龄年青几亿年。“阿波罗 12 号” 的宇航员在月面逗留 32h 后，于同年 11 月 24 日返回地球，溅落于太平洋。

(8) “阿波罗 13 号”

“阿波罗 13 号” 1970 年 4 月 11 日升空，在轨有效载荷达 43 924kg，由于指令服务舱的动力和喷射系统爆毁，未能达到登月目的，登月舱作为救生舱于同年 4 月 16 日返回地球。

(9) “阿波罗 14 号”

“阿波罗 14 号” 1971 年 1 月 31 日升空，载有三名宇航员，在轨有效载荷为 44 456kg，同年 2 月 5 日于 Fra Mauro 地区登月，是阿波罗项目中的第三次登月。

“阿波罗 14 号” 的主要科学目的是研究月面和月轨飞行方面的科学问题。月面研究主要是运行 ALSEP，进行地质勘探，利用磁强仪测定月球磁场，还收集月球岩土样本 42.9kg 带回地球。此外还安置了激光测月反射器。

在月轨飞行的科学研究方面，包括对以后登月地点的高分辨率摄影，测试月面对 S 波段和 VHF 的反射特性，用观测 S 波段信号的多普勒频移来测试在轨道高度上月球重力的变化。“阿波罗 14 号” 宇航员在月面上逗留了 33h 后，于同年 2 月 9 日返回地球，溅落于太平洋。

(10) 阿波罗 15 号

“阿波罗 15 号” 于 1971 年 7 月 26 日升空，载有三名宇航员，在轨有效载荷为 46 723kg，同年 7 月 30 日于 Hadley-Apennine 地区登月，是“阿波罗” 项目中的第四次登月。在月面上第一次运行月球车(Lunar Roving Vehicle-LRV)，它

平均时速为 9.6km，总共行驶了 27.9km。以前地质勘探只能在月面上徒步行走几百米，现在可以驾车行驶几十公里了。以后到了“阿波罗 17 号” 探月甚至可以行驶达百余公里。

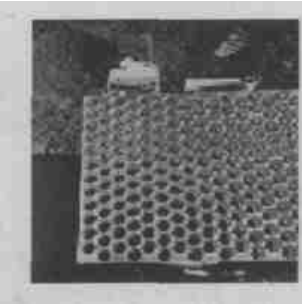


图 4 激光测月反射器



图 5 设备运载车的行驶的轨迹



图 6 运行 ALSEP



图 7 “阿波罗 15 号” 登月舱



图 8 月球车 LRV 位于 Hadley-Apennine 登月处，照片右上部是 Hadley 山(高度约 4500m)的西沿



图 9 宇航员进行地质勘探

这次利用 LRV 和 ALSEP 进行了登月地区的地质勘探，收集月球岩土样本 76.8kg。宇航员还首次离开指令舱进入空间行走，摄取影像。在指令舱作环月飞行时，对月面进行了摄影。“阿波罗 15 号” 在月面上安全逗留近 67h 后，于同年 8 月 7 日返回地球，溅落太平洋。

(11) “阿波罗 16 号”

“阿波罗 16 号” 于 1972 年 4 月 16 日升空，载有三名宇航员，在轨有效载荷为 46 733kg。同年 4 月 21 日在 Descartes 环形山登月，是阿波罗项目中的第五次登月，第二次运行月球车(LRV)。这次登月处是以前各次探月(包括苏联)中从未到过的地区，所以对环形山，月球高地的地质勘探，对探索月面上这类地形的地质形成过程有很大帮助。使用 LRV 和 ALSEP 进行地质勘探，采集月球岩土 94.7kg，此外还对周围月面环境进行了高分辨率的摄影。

表 1 “阿波罗(Apollo)” 登月项目(成功的)

项目名称	发射日期年/月/日	类型	主要成绩
“阿波罗 8 号”	1968/12/21	环月飞行	载人环月飞行，于 1968/12/27 返回地球。
“阿波罗 10 号”	1969/05/18	环月飞行	环月飞行
“阿波罗 11 号”	1969/07/16	宇航员登月	人类首次登月(1969/07/20, Mare Tranquillitatis: 4°1′15″N, 23°26′E), 于 1969/07/24 返回地球。
“阿波罗 12 号”	1969/11/14	宇航员登月	登月(1969/11/19, Oceanus Procellarum: 3°11′51″N, 23°23′08″W), 使用“阿波罗月面测试包(ALSEP)”在月面建立自动研究站。于 1969/11/24 返回地球。
“阿波罗 14 号”	1971/01/31	宇航员登月	登月(1971/02/05, Fra Mauro: 3°41′24″S, 17°27′55″W), 使用设备运载体运输岩石和设备。于 1971/02/09 返回地球。
“阿波罗 15 号”	1971/07/26	宇航员登月	登月(1971/07/30, Hadley—Apennines: 26°06′03″N, 3°39′10″E), 携带了“月球车”，于 1971/08/07 返回地球。
“阿波罗 16 号”	1972/04/16	宇航员登月	登月(1972/04/21, Descartes: 8°59′29″S, 15°30′52″E), 使用“月球车”进行漫游，使用 ALSEP 进行了测试，于 1972/04/27 返回地球。
“阿波罗 17 号”	1972/12/07	宇航员登月	登月(1972/12/11, Taurus—LiHrow: 20°9′55″N, 30°45′57″E), 使用“月球车”进行漫游，于 1972/12/19 返回地球。

“阿波罗 16 号”的宇航员于月面安全逗留 71h 后，于同年 4 月 27 日返回地球。

(12) “阿波罗 17 号”

“阿波罗 17 号”于 1972 年 12 月 7 日升空，载有三名宇航员，在轨有效载荷为 46 743kg。于同年 12 月 11 日在 Mare Serenitatis 的东南处 Taurus—Littiw 处登月。使用了装有电池的月球车(LRV)行走了 31km，进行了重力测量，月震测试，采集月球岩土样本 110.5kg，其中包括在深部钻孔的中子流的测试样本。

“阿波罗 17 号”于月球停留 75 小时后，于同年 12 月 19 日返回地球。



图 10 这照片是阿波罗 17 号登月处。照片中宇航员正察看一块巨大的掉下来的岩石，估计是由这个古老的山上滚下来的



图 11 这张照片很好反映了月球上的荒凉景色，阿波罗 7 号宇航员工作在月球车上

“克莱门汀”航天器平台上载有 5 个不同的影像摄取系统，一个可见光像机，一个近红外像机，一个长波红外像机，一个宽频高分辨率像机，还有一个是对星空像机。为了进行月面的地形测绘，还在该航天器平台上配置了激光测高仪。



图 12 图中红色表示前苏联月亮号(Luna)探月器在月面硬着陆处，绿色表示阿波罗号(Apollo)探月器登月处，黄色表示探索号(Surveyor)探月器硬着陆处。

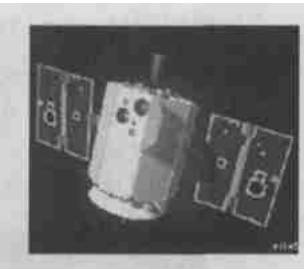


图 13 “克莱门汀”航天器



图 14 “克莱门汀”所摄月南极的 Aitken 环形山



图 15 “克莱门汀”所摄月南极

2 “克莱门汀(Clementine)”

“克莱门汀”探月航天器于 1994 年 1 月 25 日升空，在轨有效载荷为 423kg，同年 2 月 19 日进入环月轨道。“克莱门汀”的正式名称应是“深空科学实验探测器”。

“克莱门汀”是在美国宇航局提出“更快、更好、更廉价”的航天口号下发射的头几个航天器之一。它采用先进的新技术，较轻的重量和构件，较快制作的生产流程，所以克莱门汀从得出原始设计思想到发射，不到 2 年，要大大少于过去其他航天器所花的时间。它总的思路是利用新技术设计，军民两用，低能耗，低成本，长时间空中运行的轻型结构型航天器。

“克莱门汀”的主要研究目标可以归纳为以下三个方面：一是用航天器的激光测测高数据求定全月球的数字地形图；二是用航天器的 S 波段的多普勒追踪数据，和原来历史上“月轨(Lunar Orbiter)”1 号至 5 号的，“阿波罗(Apollo)”1¹ 5 号至 16 号指令舱的 S 波段多普勒追踪数据结

合起来，一并解算月球重力场；三是用新的地形和重力场去更好理解月球的物理和地质的演化过程。

“克莱门汀”的主要成果有二个方面：一是“克莱门汀”运行到同年 5 月 3 日，共摄取和发回了近 180 万帧月面影像，覆盖了月面面积达 380 万 km^2 ，此外还有 32 万帧月面的红外影像，测绘了 $75^\circ\text{S}-75^\circ\text{N}$ 地区的月球地形；以 16km^2 的分辨率进行地形测绘。图 14 是月南极的 Aitken 环形山(冲撞盆地)，它在远月面一边(180°E , 56°S)，用照相测图和测高仪显示该环形山的围堰和盆底，这一环形山直径达 2 500km，深度达 12km。它的是否存在曾一度被怀疑过，通过这次“克莱门汀”号航天器的勘探，证实了这个环形山的存在。图 15 是“克莱门汀”从 400km 高空对月球南极的摄像，它由 1500 幅雷达图像镶嵌而成。

二是“克莱门汀”装备了测定多普勒频移的无线电追踪设备，以改善对月球重力场的知识，此外它对月壳的三维地质结构，月南极是否存在冰的可能性等也提供了有价值的信息。由“克莱门汀”提供的重力模型，即 GLGM，吸收了 361 000 个“克莱门汀”的多普勒数据，和在探月历史上积累的 300 000 个多普勒数据，对低阶次重力场提供了一个强有力的制约。求定了 70 完全阶次的月球重力场球谐系数；此外，综合这些数据，对南纬 $30^\circ-40^\circ$ 和北纬 $30^\circ-40^\circ$ 的地区还可以计算出具有较高分辨率的重力场。

3 “月球探测(Lunar Prospector)”

“月球探测”航天器于 1998 年 1 月 6 日升空，有效载荷为 126kg。“月球探测”号是美国的一个低轨，极轨运行的探月航天器。它主要的科学任务是探测月面岩土构成，极区是否存在冰，量测月球磁场和重力场，运行时间曾定为 1—3a。

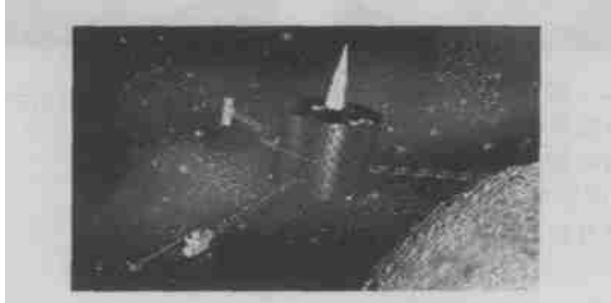


图 16 “月球探测”航天器

“月球探测”于当年 1 月 16 日进入仅距月面 100km 高的环月极轨道，周期为 118min。1999 年 1 月以后，它的轨道高度降低到 30km，然后到 10km，以获得更高分辨率的影像，磁场和重力场等信息。

“月球探测”利用 S 频段的无线电信号，进行多普勒频移测量，以确定航天器自身的轨道及其变化，配合地形信息从而测定月球重力场。

“月球探测”的资料证实月球确有一个很小的月核，这一事实进一步支持月球起源说中的“撞击说”。即月球是由火星样大小的星体撞击地球后，然而由地球分离出来的。月核只占月球总质量的 4%，甚至还可能只有 2%，甚至更少，这是一个很小的比例，因为地核要占地球总质量的 30%左右。而从月球重力测量数据的分析来看，可能月核直径为 300~450km。

“月球探测”一共运行了 19 年月，最终被引导至月南

极地区被怀疑可能存在冰的一个环形山(参见“克莱门汀号”)，于 1999 年 7 月 31 日按指令，在该环形山地区进行硬着陆(撞毁)，以测试有否水的存在，但根据当时和以后的研究，在该环形山的撞击点及其附近没有发现水(冰)存在的现象。

4 “SMART-1”探月航天器

“SMART-1”探月航天器 2003 年 9 月 7 日升空，发射时重量 367kg。SMART 的全称是先进技术的小型研究项目 (Small Missions for Advanced Research in Technology)，它是一个欧空局推出的小型低耗航天计划系列项目，推出这一项目的目的是实际测试新技术，然后将它推广到更大的项目中去。SMART-1 是这一项目系列中的第 1 个。该航天器的一个关键科学任务是测试并验证利用太阳能进行航天喷射运行的技术可行性。同时这也是欧洲第 1 次将一个航天器送到月球附近，进行环月运行。目前还在环月轨道上运行，估计运行时期为 2—2.5a。



图 17 “SMART-1”航天器

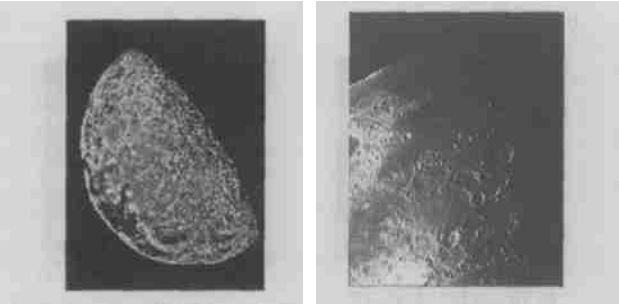


图 18 “SMART-1”航天器所摄月面图像 图 19 “SMART-1”航天器所摄月面环形山(陨石坑)图像

“SMART-1”除了有应用可见光遥感月面图像外，还利用 6 个频段的红外摄影对月面进行摄像。从对月球勘探来说，主要的科学目的还是研究地球化学和月南极的地学情况。“SMART-1”航天器的探月目标：①测绘全球月球地形②探测月球矿藏③进行地球化学测试④精化月球重力场。而探月的主要科学目标：进一步了解日地系统，测定月球质心和几何中心的绝对和相对位置，研究月球的热演变及其地质历史，了解月球上环形山、火山活动，板块运动，月面岩土的侵蚀，这些地质地理现象的演化等。

“SMART-1”探月项目只涉及最重要的科学目的。使用小卫星完成 Clementine, lunar Prospector, 和 lunar-A 等探月工程的未竞事业和任务。因此这次探月重点是完善月球重力场、进行高精度立体摄影、地形测绘、矿产勘查等。这样航天器平台上卫星干物质的质量可大大减少。

“SMART-1”探月航天器平台上载有四种主要仪器。①一台立体摄像机,9通道可见光影像,分辨率为4m;一台近红外光谱仪。②轻型X光的萤光光谱仪,以测定镁、矽、铝、钠、钙和铁的分布,分辨率为10km。③微波仪,分辨率为1km;雷达测高仪;表面温度雷达测量仪;SAR的干涉测量仪。④一个月球卫星,由母卫星追踪,它的多普勒测距测速精度为0.1mm/s,以为高分辨率大地测量服务。

“SMART-1”探月项目可以预期的成果包括:分辨率为8M/像元的全月面多彩色影像;横向分辨率为16m/像元,高程分辨率为20m/像元的全月立体影像;首次完成分辨率为80m的红外光谱月球图;首次获得分辨率为10km的月球X光光谱图;进行高程分辨率为1m的微波雷达测高,特别要指出以这样高的分辨率在月球极区进行测绘也是探月历史上的第一次;首次获得具有20m分辨率的SAR月球影像;首次利用环月小卫星和母卫星之间的无线电多普勒追踪技术,以测定包括远月面在内的月球重力场,精度为1mgal,分辨率为100km。

5 “月球号(SELENE)”探月项目

“月球号”探月项目的原名是SELEnological and ENgineering Explorer, 简称为SELENE, 是日本的探月航天项目。“月球号”预期2005—2006年发射,“月球号”是环月飞行的航天器,轨高100km,轨道为圆极轨,伴同的还有航行在更高轨道上的二个子卫星。环月运行时间设计为一年。

“月球号”航天器平台上载有激光测高仪(LALT);有两个VLBI无线电转发器(VRAD),以便地面对它进行三维追踪;还有多普勒信号接收机,以便对子卫星(RSAT)进行高低卫星跟踪(hl-SST)。

“月球号”预期涉及测绘方面有两项任务:一是利用LALT进行月球大地测量和地形测绘,二是利用RSTA/VRAD进行月球重力测量。

LALT是“月球号”平台上14种科学仪器中的一个,其科学目的是确定月球形状,构建整个月亮的地形数据库,其中包括至今探测较少的极区。在精度和覆盖面方面,LALT要比美国探月航天器Clementine上的LIDAR好。

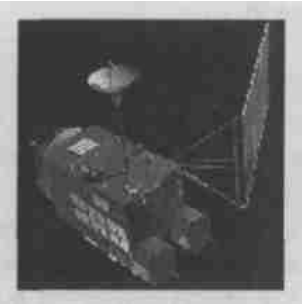


图 20 SELENE 航天器

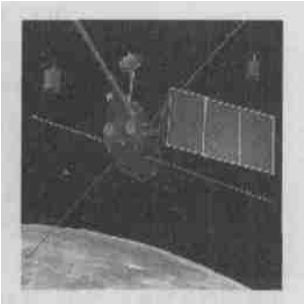


图 21 SELENE 航天器及其二个子卫星

月球形状有个特点,它的质心和它的几何(球形)中心相差约2km,而二者的连线指向地球。进行测高的卫星是以月球质心为运行中心,而测高(月心高)的数据则应以月球的几何中心来进行统一处理,所以精化这“两个心”的立体几何关系是“月球号”拟考虑的一个科学任务。

而月心高的求定,可以改善月面大地控制网的精度

若结合月球重力数据,则对评估月球岩石圈厚度和月球热演化过程也有一定作用,而测制精确的月球极区地形图对于月球是否还存在水(冰)的研究有重要意义。

月球重力场研究是“月球号”科考的另一个重要任务。月球重力场的低阶次分量和月球的天平动数据结合起来,就可以确定月核大小及其密度的制约条件。而月球重力场的高阶次分量和上面的测高数据结合起来,就可以研究月球的板块运动和月球热演化的历史。此外,在以往的月球探测中,对远月面重力场的研究比较差,这是因为地球上接收环月飞行航天器在远月面的多普勒无线电信号有困难,这次采用子母卫星的SST技术,就解决了航天器在远月面无线电信号的接收问题。因此经估算,这不仅可以改善重力场的高阶系数,也可以提高重力场低阶系数的精度达一个量级。

参考文献

[1] Calmle O. Free librations of the moon from lunar laser ranging [A]. In: Scientific Applications of Lunar Laser Ranging [C], Boston, 1977; 53-63.

[2] Davies M E, T R Colvin and D L Meyer. A unified lunar contr ol network; The near side [J]. J. Geophys, 1987, 92; 14177-14184.

[3] Davies M E, T R Colvin and D L Meyer et al. The u-nified lunar cont rol network; 1994 version [J]. J. Geophys, 1994, 99; 23211-23214.

[4] Davies M E, and T R Colvin, Lunar coordinates in the regions of t he Apollo landers [J]. J. Geophys, 2000, 105; 20277-20280.

[5] Dickey J O, P L Bender, J E Faller, et al. Lunar laser ranging; a c ontinuing legacy of the Apollo program [J]. Science, 1994, 265; 482-490.

[6] Konopliv A S, A B Binder, L L Hood, et al. Im-proved gravity field of the moon from lunar prospector [J]. Science, 1998, 281; 1476-1480.

[7] Konopliv A S, S W ASmar, E Carranza, et al. Re-cent gravity mode ls as a result of the lunar prospector mission [J], Icarus, 2001, 150; 1-18.

[8] Lemoine F G, D E Smith, M T Zuber, et al. A 70th degree lunar gravity model (GLGM-2) from clementine and other tracking data [J]. J. Geophys, 1997, 102; 16339-11359.

[9] Smith D E, M T Zuber, G A Neumann, et al. To-pography of the moon from the clementine lidar [J]. J. Geophys, 1997, 102; 1591-1611.

[10] Williams J G, X X Newhall and J O Dickey. Lunar mo-ments, tides, orientation, and coordinate frames [J]. Planetary and Space Science, 1996, 44 ; 1077-1080.

[11] Zuber M T, D E Smith, F G Lemoine, at el. The shape and internal s tructure of the moon from the clemen-tine mission [J]. Science, 1994, 226; 1839-1843.



作者简介: 陈俊勇(1933—), 男, 教授, 中国科学院院士, 原国家测绘局局长, 国家测绘局特邀顾问。

Topography surveying and geodesy on the moon (4)

Abstract: The famous Apollo moon landing mission of United States in the 70's last century, and Space probes Clementine, Lunar Prospector, and SMART-1 for lunar exploration missions in 90's are all briefly introduced in the section 4 of the paper. 17 times lunar exploration of the Apollo mission and various related tests were carried out during 1969–1972. There are 6 times among the 17 succeeding to realize the dream of the human being—landing on the Moon. Tremendous data, images and sample of moon for the investigation and study in geoscience and geo-reconnaissance were brought back from those missions.

Key words: lunar exploration; apollo; clementine; lunar prospector; SMART-1; lunar probes

CHEN Jun-yong(State Bureau of Surveying & Mapping, Beijing 100830)

Detecting outliers from geographic database

Abstract: It is vital to discover knowledge automatically from large geographic databases. This paper discusses four basic approaches of detecting outliers, summarizes their main ideas and evaluates their strengths and weaknesses. The distance-based approach is suitable for geographic data. Its key is to define an appropriate distance function. By applying the distance-based outliers detection method from road datasets of a geographic databases, we show how effective outliers can be found in a large and high-dimensional geographic database.

Key words: geographic databases; data mining; knowledge; outline; distribution

FAN Dazhao, LEI Rong, ZHANG Yong-sheng(Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052)

Synthesis evaluation on GIS quality based on multilevel fuzzy synthesis judgment

Abstract: The paper evaluates GIS quality using principle about multi-levels fuzzy synthesis judgment of fuzzy mathematics. The conclusion manifests that the method of multilevel fuzzy synthesis judgment can not only consider effects of all factors and their action each other on GIS quality, and realize reasonable and fix quantify analysis on GIS quality, and provide a decision on improving GIS quality because it reflects keyword factor that affects GIS quality in a certain extent, but also is simple, practical, scientific and reasonable. The paper is the first to provide this method to evaluate GIS quality and to quantify GIS quality evaluate quantity on GIS quality.

Key words: GIS; GIS quality; multilevel fuzzy synthesis judgment; spatial data quality

HU Sheng-wu, PAN Zheng-feng, WANG Xin-zhou, TAO Ben-zao(School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan, China, 430072)

"Spindle-shape" model about point position error in line element

Abstract: This paper proposes an oppositional opinion to a popularly accepted issue in GIS community about error-band of line element position uncertainty. The earliest proposed line element error band theory is " ϵ -band" model, then "E-band" model was proposed and developed to "G-band" model. The latter two all reckon that basic shape of line element error band based on control points error is "dumbbell-shape", i.e. error in control end points is larger than points error between two control points. The authors view is opposite, i.e. the position uncertainty of points between two control points should be larger than two control points, reaching the largest in the middle of two

control points, i.e. the basic shape of line element error band is "spindle-shape" other than "dumbbell-shape".

Key words: point position error; line element error band; dumbbell-shape; spindle-shape

LI Hai-shan^①, LI Qing-yuan^② (① Guangdong Yingjia College, Meizhou 514015; ② Chinese Academy of Surveying & Mapping, Beijing, 100039)

Study on related-type digital modal of topological structure in GIS

Abstract: In this paper, the author analyses those topological relations between nodes (or vertex), arcs and fields, and builds ER modal graph. The Author also advances the conception of start-node and end-node, first-vertex and end-vertex, so that related-type digit modal is made. This digital modal need to store necessary data referred to those records that have non-equivalent components. Spatial data and feather data can be stored in relation database library. Author programs in imbed-SQL search and find with vernier variant to the data in database library, this procedure command can realize some spatial analysis functions.

Key words: spatial data; related-type database; topological relation; spatial analysis

WANG Huan-liang^{①②}, ZHU Jian-jun^① (① Institute of Physical Information Engineer, Central South University, Changsha 410083, China; ② School of Science, Central South Forest University, Zhuzhou 412006, China)

Extraction of ridge and valley from DEM based on conjugate terrain

Abstract: Ridge and valley are skeleton lines that indicate significant topographic features of the terrain. It is widely used in the fields of surveying and mapping, topography representation and engineering designing. Nowadays, with the wide use of computer in the fields, automatic extraction of ridge and valley from DEM plays an important part in the related areas. Drainage networks analysis method is a commonly used method for extraction of ridge and valley from DEM. In this paper, authors conclude that the method is inconvenient to the extraction of ridge after investigating into the method deeply. And a new method is put forward. The new method uses a conjugate terrain in aid of the extraction of ridge. Because a ridge of terrain is a valley in its conjugate terrain, extraction of ridge can be realized by extraction of valley in its conjugate terrain. Experimental result has proven the new method is quite effective and reliable in its identification of ridge and valley.

Key words: ridge; valley; conjugate terrain; drainage networks analysis

HUANG Pei-zhi, CHEN Kai-hui, LIU Ze-hui(Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong, PRC, 518060)

Application of penalized least squares estimation in gravimetry

Abstract: During surveying data processing, systematic error is always eliminated and compensated as harmful component. With the further development of science and technique of surveying and mapping, however, a few researchers extract systematic error or nonparametric signal by penalized least squares method or others when it is not random variable, thus there is more understanding of it so as to satisfy the need of high precise surveying. While systematic error is random variable in the paper, consider the semiparametric regression model by using the penalized least squares method, estimators of parameter and nonparameter are got. Then, some properties of estimators are discussed. And that, using the penalized least squares method, gravity anomaly in gravimetry are studied, estima-