

地球的航天地质研究



[苏]B.Γ.特利福诺夫等 著

地质出版社

地球的航天地质研究

〔苏〕B. Γ. 特利福诺夫等 著

林 彻 王 岩 单理明 蔡克勤 译

林 彻 陈华慧 陈荫祥 校

地 质 出 版 社

苏联科学院地质研究所

专著第 317 号

地球的航天地质研究

莫斯科“科学”出版社，1978年

苏联科学院地质研究所新构造和地球航天象片解译研究室于1971—1976年间对航天影象的处理方法及能否用于解决地质科学和国民经济任务问题进行了研究。本书是上述研究的系统总结。这些研究主要集中在苏联几个地质景观条件不同的地区，即东高加索、中亚、堪察加、图兰台坪、俄罗斯地台和东西伯利亚地台的南部。以这些地区为例，论述了航天影象地质解译和判释的方法和科学研究、实际应用成果。各个章节都系统地介绍了获取航天影象的手段、地质处理方法以及科学研究和实际调查成果。

研究表明：利用航天影象可以迅速而有效地完成许多地质任务，往往为解决重大地质课题提供新的可能性和新的前景。航天影象可用于构造地质填图；划分、对比大型构造形态和构造带；比较岩石圈不同层位的构造变动；划分地震区以及普查石油、地下水和一系列金属矿产。

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

Труры, Вып. 317

В. Г. Трифонов, В. И. Макаров, О. С. Деревянко,
В. М. Панин, А. С. Петренко, С. Ф. Скобелев,
П. В. Флоренский, Б. П. Шорин-Константинов.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА

1978

地球的航天地质研究

〔苏〕В. Г. 特利福诺夫等 著

林彻 王岩 单理明 蔡克勤 译

林彻 陈华慧 陈荫祥 校

*

地质部书刊编辑室编辑

责任编辑：马清阳

地质出版社出版

（北京西四）

地质印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：12¹/₈ 插页一个 字数：284,000

1981年12月北京第一版·1981年12月北京第一次印刷

印数1—1,580册·定价3.00元

统一书号：15038·新469

序 言

现代地质学有两个最重要的趋势。趋势之一是推广新方法，并以此不断加深我们对地壳深层、上地幔和整个岩石圈演变认识。为此，既要采用地质-岩石学研究法（即研究蛇绿岩带地质和岩浆活动，研究花岗岩化现象和变质作用以及进行水下和陆上的深钻研究等）；又要采用地球物理和地球化学方法，尤其必须对深部作用进行模拟试验。

趋势之二是研究地质作用的全球性规律，探索地表构造的总格局，对地质作用进行全球性对比，以及把岩石圈地质结构的一般特点同其它行星和月球的结构加以比较。下述几个方面：生物地层学方法由于汲取了深海钻探资料而得到的发展；放射性和古地磁测定年龄方法的发展；对大洋底部构造的研究及有关月球和其它行星地质资料的出现等等，均促进了这一趋势。

航天仪器拍摄的地球影象颇有助于解决上述问题。借助于这些影象，一方面可以对构造进行横向对比，也就是说，可以查明不同大陆区域构造的相互关系，而不受其交通条件和地质研究程度的影响；另一方面可以进行纵向对比，即把不同比例尺的航天象片与岩石圈各层的构造要素进行对比。

当首批地球的航天影象一出现，就有人提出了这样的看法（Lowman, 1964, 1965a, b, 1966b），可以利用航天影象研究自然环境，特别是研究地质体。该领域的早期论文探讨了利用航天影象研究各种地质任务的可能性。当时使用的象片是“双子星座”和“联盟号”载人飞船、气象卫星和“探测号”上的仪器拍摄的。

И. И. 巴什洛娃及其合作者的著作（Башилова等, 1972, 1973a, б）从不同的方面揭示出，利用最小比例尺影象解决区域构造—地质任务的可能性。他们在对最小比例尺影象和对从载人宇宙飞船上获取的详细的影象解译基础上，绘出了构造—地质图、断裂图并阐明了利用航天影象进行构造—地质研究的前景。这些著作中利用过下列地区的资料：南美大陆南部（Lowman, 1966a, б, 1969b; Lowman等, 1967; Lowman, O'keffe, 1968; Lowman, Tiedemann, 1971）、秘鲁安第斯山（Mckallor, 1968），北非和阿拉伯岛；（Morrisson, Chown, 1965; Meer, Mohr, 1968, 1969; Abdel-Gawad, 1969, 1970; Lowman, 1969a）、近东和中东（Hamphill, Danilchik, 1968; Abdel-Gawad, 1971）、苏联南部及毗连的一些地区（Береговой等, 1972）。另一些著作提供了哈萨克斯坦、南亚半非洲、北美和巴黎盆地航天象片构造—地质解译的实例（Гоним等, 1969; Скарятин, 1970a, б; Виноградов, Григорьев, 1970; Виноградов, Кондратьев, 1971; Трофимов, 1974; Копп, 1974），并对能否将航天影象应用于地貌学和第四纪沉积地质学问题进行了专题研究（Виноградов, 1970; Виноградов, Григорьев, 1970, 1971; Виноградов, Кондратьев, 1971; Григорьев, 1970a, б, 1971; Wobber, 1969; Verstappen, 1970; Zuidam, Verstappen, 1970）。

利用地球的航天象片进行地质解译，在方法上、科学研究上和实际应用上都得到了进一步的发展，这是由于“联盟号”和“礼炮号”载人飞船及美国地球资源技术卫星 ERTS

（“陆地卫星”）提供了质量较高的、特别是多谱段象片的结果。В. Б. 科马罗夫等（1973）、В. Г. 特利福诺夫等（1973）、В. Е. 根得列尔等（1973）、В. З. 萨哈道夫（1973）、В. Д. 斯卡良挺（1973）、В. И. 阿斯塔霍夫和 В. Я. 叶罗门科（1974, 1976）、А. В. 道里沃-道布洛沃斯基和 С. И. 斯特列尔尼科夫（1976）、Л. И. 索洛维耶娃（1976）及其他人的一些著作均阐明了航天影象用于地质研究的基本方向和方法，展示了利用航天影象进行构造地质研究、线性断裂带分析、地形研究、最新沉积和构造变动研究的前景。

利用航天象片系统研究和对比岩石圈各层的构造要素乃是一个崭新的方向。这项工作首先是在苏联图兰台坪、天山以及东高加索完成的（Макаров, Трифонов, Шукин, 1974; Макаров等, 1974; Макагов等, 1974），并在其他一些地区得到验证和发展（Абросимов等, 1974; Скарятин, 1976; Флоренская, 1976; Богородский, Соловьева, 1976）。该领域的许多著作都报道了根据航天象片解译的环形体的地质判释结果（Шульц, 1973; Лукашев, 1974; Доливо-Добровольский, Стрельников, 1976; Богданов等, 1976）。一般说，这些环形体也是深部构造要素的表现。

国外航天象片地质应用的基本方向也是在利用陆地卫星影象的基础上发展起来的。美国地质界拟定的专门计划对于发展这些研究具有重大的意义（Fischer, 1970, 1971; Carter, 1971, 1974; Pecora, 1972; ERTS a, EROS, 1972; Status a, Plans, 1975）。陆地卫星的影象已应用于构造地质填图、研究各类岩性-地层组合和构造变动，特别是断裂的分布（Бодехтель, Ламмерер, 1975; Вейдман等, 1975; Гёц等, 1975; Грегори, 1975; Исаксен等, 1975; Кавелье等, 1975; М. Вильжоан, Р. Вильжоан, 1975; Роуэн, Узглауфер, 1975; Стеффенсен, 1975; Фонтанель等, 1975; Хоппин, 1975; Gregory, Moore, 1975; Rowan, 1975; Viljoen等, 1975); 研究地形、第四纪沉积和火山活动、最新构造运动（Абдель-Гавад, Сильверстейн, 1975; Бреккенридж, 1975; Картер, Итон, 1975; Мак-Ки等, 1975; Моррисон, Халберг, 1975; Пиз, Джонсон, 1975; Уильямс等, 1975; Фонтанель, 等, 1975; Williams, Thorarinsson, 1973; Thorarinsson等, 1973; Williams等, 1974; Molnar, Tarponier, 1975); 寻找地下水和进行工程地质工作（Гёц等, 1975; Голд等, 1975; Йенсен, 1975); 用于金属成矿研究以及普查含矿构造和含矿区（Абдель-Гавад, Сильверстейн, 1975; Бехгольд等, 1975; Винсент, 1975; Роуэн, Уэтлауфер, 1975; Сондерс, Томас, 1975; Sisselman, 1975)。许多著作指出，象片上划出的线性体和环形体都是深部性质的，它们与区域地球物理场和地震活动的特征有关（Абдель-Гавад, Сильверстейн, 1975; Гедни, Ван-Уормер, 1975; Латрам等, 1975; Пиз, Джонсон, 1975; Стеффенсен, 1975; Fischer, Lathram, 1973; Rowan等, 1974)。

为了增强信息，对航天象片的摄影，进行光学和电子技术处理也做了专门研究，有时可以直接进行专题地质填图和分析地质体的分布，如绘制线性体玫瑰图，（Камаров等, 1974, 1976; Ефимова等, 1976; Мелхорн, Синнок, 1975; Рифман, 1975; Росс, 1975)。

为了查明航天影象信息在地质上的应用和确定最合理的解译和判释方法，苏联科学院地质研究所新构造和航天象片解译研究室就上述问题进行了研究。本书就是五年（1971—1976）研究工作的总结。部分研究成果已经发表过（Макаров, 1973; Трифонов, 1973в,

1976; Трифонов 等, 1973; Флоренский, 1973; Макаров 等, 1974; Макаров, Трифонов, Щукин, 1974; Брюханов 等, 1975; Макаров, Соловьева, 1975, 1976; Анашкин, Трифонов, 1976; Иванова, Трифонов, 1976; Панин, Скобелев, 1976; Флоренский 等, 1976; И. Флоренский, П. Флоренский, 1976; 等)。方法性实验工作使作者们首先把注意力集中在地表的个别地区, 它们具有某种类型的地壳结构和一定的景观条件。正是在这样一些面积有限的地段上, 解决了上述方法、理论和实际任务。已发现的规律性后来又在其它地区得到验证。通过验证, 不仅推广了所研究的方法, 扩大了对所查明的规律性的应用范围, 而且还发现了更为普遍的构造关系。虽然有了这些进展, 作者们仍然没有在今天对自己提出分析和对比全球性构造的任务, 而是推至下一研究阶段去完成。要解决前面提出的任务, 则是编写本书的宗旨。

第一章简要的论述了获取航天信息的工具 (取得影象的卫星、仪器和方法); 篇幅最大的第二章按顺序叙述了所选地段的地质解译结果, 并以这些地区为例详细论述了所采用的方法、科学研究成果和实际资料。第三章对研究方法加以系统说明。第四章总结了科学研究成果和实际资料。“结论”一章包括简短结论和建议。

在整个研究过程中, 作者们承蒙 А. В. 裴伟院士、Ю. К. 霍达列夫、Н. А. 什特列伊斯、П. П. 季莫菲耶夫、В. Б. 科马罗夫、И. В. 阿那因、Л. А. 维捷辛、Ю. В. 卓诺夫、В. Д. 斯卡良挺、С. И. 斯特列尔尼科夫等人的建议、谘询和帮助。在准备和撰写本书时, Г. И. 伏尔契科娃、Н. В. 卢金纳、Н. Р. 萨拉赫金诺娃和 А. П. 谢列布梁科夫给予了很大帮助。作者谨对他们致以深切的谢意。

目 录

序言

第一章 获取地球的航天影象的手段	1
一、航天仪器	1
二、航天摄影	3
三、获取航天影象的电子系统	6
第二章 地质研究中航天影象的利用	9
一、经历最新强烈变动的褶皱区	9
(一) 东高加索	9
(二) 天山	24
(三) 塔吉克洼地和帕米尔天山接合带	53
(四) 最新火山活动地区	72
二、地台区	80
(一) 年轻地台	81
(二) 古老地台	88
第三章 航天影象的地质处理方法问题	101
一、航天影象的摄影转换	101
二、各种比例尺航天影象的综合利用	107
三、地球航天影象的地质信息性以及岩石圈深部构造 在航天影象上的显示问题	111
四、多谱段摄影资料的地质应用	116
五、航天信息地质处理的自动化方法与展望	118
第四章 航天摄影测量是地质信息的新来源	126
一、岩石圈各层构造布局的对比	126
二、各地区构造的空间对比	127
三、西亚和中亚晚第四纪构造变动的对比	129
四、航天信息在地质学中应用的若干实际方面	139
结论	141
文献	143
象片	159

第一章 获取地球的航天影象的手段

一、航 天 仪 器

1961年宇航员在“东方号”飞船上对地球进行了首次摄影测量和目视观察，从此开始了从太空系统地研究星球的活动。目前，为了从太空研究地球，大量工具正通过各种功能的仪器（自控卫星、载人宇宙飞船和航宇站）送入外层空间；同时还开展所谓的星下试验：即利用航天仪器、从飞机上、在地面上同时进行研究。例如，1970年的星下试验，就是在库马-马内奇盆地，沿载人宇宙飞船“联盟—9号”的飞行轨道，同时用飞机进行的摄影。这样，我们便获得了在同一地区、同一气象条件下但比例尺却相差75倍的象片。

同一地区的不同比例尺象片可以显著增加航天象片的信息量，并可确定影象由大比例尺象片转为小比例尺象片时概括化的实际意义。一些作者认为，运用 $1:10^5$ 、 $1:10^6$ 、 $1:10^7$ 和 $1:10^8$ 这样一套不同比例尺的象片，最适于进行地质研究，它们认为，这样可以保证在每一比例尺的象片中获取全新的地质信息（航天摄影测量……，1975；Скарятин，1970а，б，1973）。

从这种意义上讲，可以把对地表的航空测量，做为地质学取得的地球影象的第一级概括化。

根据苏联和国外利用飞机进行地壳测量的经验，可以做出以下结论：即机载手段是对太空进行综合研究手段的极有效补充。飞行高度达2500米的飞机就算作对地球资源进行航空和航天研究的综合手段之列，有下述作用：（1）进行星下摄影和测量；（2）通过对不同的自然地物在可见光、红外光和无线电波段中发射及反射的空间、光谱和时间特征进行试验性的摄影和测量，并在研究其结果的基础上探讨解译方法问题；（3）在飞行试验过程中，对光学和无线电物理遥感仪器的性能进行调整（Зимаев等，1975）。

参加试验的操作人员数目取决于飞机型号和仪器数量。例如，当装备总量为6—10吨时，可安排15—20人；总量为2—3吨时，不超过8人。在飞行试验中，非常重要的事实就是在试验过程中和试验后，可以按需要的方向改进和补充仪器和装备。

用低轨道航天仪器（载人宇宙飞船和航宇站）对地球拍摄的 $1:10^6$ 、 $1:10^7$ 比例尺的象片，相当于地表影象的第二级概括化。例如： $1:2.5 \times 10^6$ — $1:7.5 \times 10^6$ 象片（摄自“联盟—9号”）、 $1:2.5 \times 10^6$ — $1:5 \times 10^6$ 象片（摄自“双子座—11号”、“双子座—12号”）、 $1:1.5 \times 10^6$ — $1:7.5 \times 10^6$ 象片（摄自“礼炮号”轨道站）皆属第二级比例尺影象（航天摄影测量，1975）。与机载仪器相比，航天仪器的主要部分大为缩减，单项试验的仪器只有数百公斤左右，参加试验的操作人员只有2—3人。美国“陆地卫星—1，2号”（最初称为地球资源技术卫星）拍摄的扫描象片亦属于第二级概括化影象。这些影象原件的比例尺为 $1:2.5 \times 10^6$ ，地面分辨率为90米左右（ERTS a，EROS，1972）。

地表影像的第三级概括化相当于 $1:(10^7-10^8)$ 比例尺的象片，是用高轨道航天仪器（如“流星”型卫星和“探测者”系列的仪器）对地球拍摄的。例如： $1:1 \times 10^7$ 比例尺的地球影像，是用“探测者—5号”的航天仪器拍摄的（航天摄影测量，1975）。这一级所用仪器的主要部分极小，使用过程中无需操作人员看管和检修。

利用航空和航天手段获取地表影像的现实可能性，使我们可作出下列结论：

（1）应把获取地表影像的航空和航天方法视为统一体，同时又应特别注意航空摄影测量和航天测量各自的特点。

（2）在研究获取地球信息的方法和手段的初期阶段，飞行试验的意义和作用特别重大。

（3）在载人宇宙飞船和航宇站上安装摄影仪器可以使我们广泛应用传统的航空摄影测量方法从宇宙空间研究地球的自然资源。但考虑到低轨道航天仪器的摄影参数和条件会发生很大的变化，而操纵仪器的人数不超过 1—2 人，所以载人航天仪器中的摄影设备应该有相当的自动化程度。

（4）利用高轨道航天仪器可获取概略的小比例尺地表影像。为了获得这种影像，使用了自动摄影仪或专门的电视及扫描仪器（其中包括多谱段扫描仪），并通过电视传真系统“航天仪器—地球”传送图象。这类自动装置尚在不断改进之中。

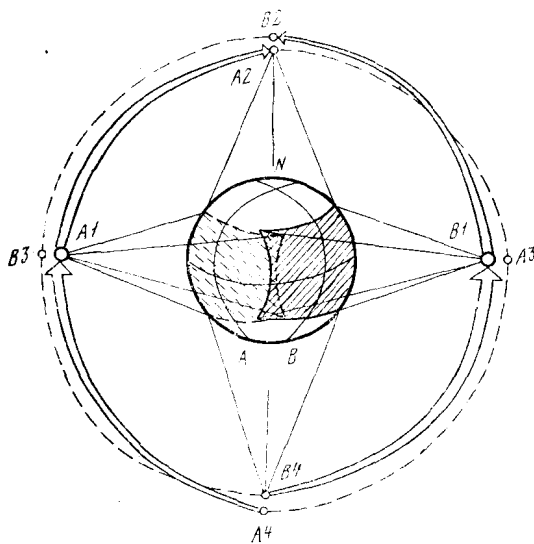
利用航空和航天手段获取地表影像的发展过程，就是不断改善仪器的重量体积参数、改善光谱特性以及扩大红外光和无线电波段的信息，仪器的类型取决于负重能力和摄影条件：开始使用飞机，继而出现载人飞船和航宇站，最后应用了自控卫星和卫星系统。

我们现在以在任何时刻均能提供有关地圈的全球信息的假设性多卫星系统为例，来探讨从空间获取信息的若干技术问题，并且试图确定该卫星系统在解决地球资源研究任务中现代技术能力的状况。

假定一个卫星系统是由极轨道上彼此按经度相距 90° 的两组卫星所组成。四个卫星彼此之间按纬度也是相距 90° 。两组卫星沿自己的轨道这样运行：即当四个卫星位于赤道上空的时候，另两对卫星将相应地位于地球的南、北两极之上（图1）。

每个卫星均装备着可以测量覆盖地表 $90 \times 90^\circ$ 面积的仪器，也就是说，每一组卫星能够不间断地沿经线观察 $\pm 45^\circ$ 的地表地带。如图 1 所示， A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 卫星组拍摄了沿经线 NA 的南北向地带，而 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 卫星组则拍摄了沿经线 NB 的地带；而且 A_1 、 A_3 和 B_1 、 B_3 两对卫星覆盖了相对于赤道 $\pm 45^\circ$ 东西向赤道地带， A_2 、 B_2 和 A_4 、 B_4 两对卫星则分别提供了南、北两极的极区影像。

图 1 连续获取地表完整影像的假想性多卫星系统图



因为星载仪器摄影面积为 $90 \times 90^\circ$ （或 7000×7000 公里），所以决定了卫星系统的轨道高度和摄影仪器的参数（象幅面积为 50×50 毫米，分辨率为 20 毫米^{-1} ）就可以算出预期的

地面分辨率。计算结果表明，从 14000 公里（等于卫星旋转 8 小时的周期）高空拍摄的影象，其地面分辨率为 7—10 公里。这只能解决与全球性作用有关的个别任务。

如果对不断运行的卫星系统的信息特征加以改进，就能显著增加信息量。例如，把空间分辨率从 10 公里提高到 100 米，就可把信息量提高 4 级。总之，卫星观察系统信息量的增加与地面分辨率的平方成正比，并与光谱通道数、轨道高度、信息转换速度有线性相关。例如，当地面分辨率为 10 公里并有 10 个光谱通道、信息每隔两小时转换一次时，传送到地球的信息量约为每秒 10^6 （二进制单位）。当地面分辨率为 100 米时，则约为每秒 10^{10} （二进制单位）。

考虑到获取信息和处理信息的现代化技术正在高速发展。我们可以满怀信心地说：一个具有 6—10 个光谱段、分辨率约为 100 米的观察地球的卫星系统定会在不久的将来研制成功。

二、航 天 摄 影

为了获取高质量的影象，必须严格遵守和考虑航天摄影所需的技术参数和要求。所取得的信息质量取决于光学-机械、技术-物理和大气资料（Береговой 等, 1972; Ходарев 等, 1975）。

成象的依据是感光层能接收一定波长（波段）的电磁波辐射。根据接收辐射的波段，摄影可分为：（1）光谱的可见光部分（0.3—0.7 微米）；（2）近红外辐射部分（0.7—1.1 微米）；（3）红外指示波段（达 3.0 微米）；（4）微波摄影波段（0.3—10 厘米）；（5）超短波波段（0.1—1.0 米）。

被摄地物的个别地段或地面景观的各个部分，都有一定的辐射和反射波长。Е. Л. 克里诺夫（1947）根据反射和辐射的光谱特性对自然地物进行了分类。

他把所有自然地物归纳为三类：Ⅰ. 土壤（四种类型）；Ⅱ. 植被（四种类型）；Ⅲ. 水体（三种类型）。

运用遥感手段进行摄影时，大气柱对光谱亮度系数值的影响见表 1（Кондратьев 等, 1972）。

表 1 地物的光谱亮度系数与摄影高度的关系

地 物	H = 250 公里			H = 0 公里		
	400 毫微米	550 毫微米	680 毫微米	400 毫微米	550 毫微米	680 毫微米
砂	0.222	0.290	0.300	0.079	0.241	0.271
土 壤	0.210	0.231	0.200	0.062	0.170	0.171
水 体	0.170	0.156	0.078	0.003	0.800	0.030
植 被	0.196	0.218	0.130	0.042	0.154	0.087

各种航天摄影具有不同的信息和特征，因此可以根据研究地区的特点和任务的性质，选择一种最佳的航天摄影。

在苏联，航天摄影主要使用黑白全色胶片、带滤光的红外胶片及三层乳剂的彩色胶片。航天摄影工作是在“东方号”“联盟号”载人宇宙飞船和“礼炮号”轨道站上进行的（Береговой 等，1972；…航天摄影，1975；Ходарев 等，1975）。由于大气柱的影响会改变地物的光谱亮度特性，因而必须使用滤光片。从表 1 引用的数据可以看出，随着测量高度的变化，光谱特性亦发生变化，而且在 0.4 微米带内（400 毫微米）地物（植被除外）光谱特性的变化特别大。

表 2 不同光谱段的光谱亮度系数变化

序 号	地 物	400 毫微米	550 毫微米	680 毫微米
1	砂	0.143	0.049	0.029
2	土 壤	0.148	0.061	0.029
3	水 体	0.167	0.076	0.048
4	植 被	0.042	0.062	0.048

从表 2 所引数据可导出曲线图（图 2）。图 2 表示光谱特性的值在接近紫外光谱段时差数增大（自右向左增大）。只有在摄影时采用滤光片才能消除这种误差。

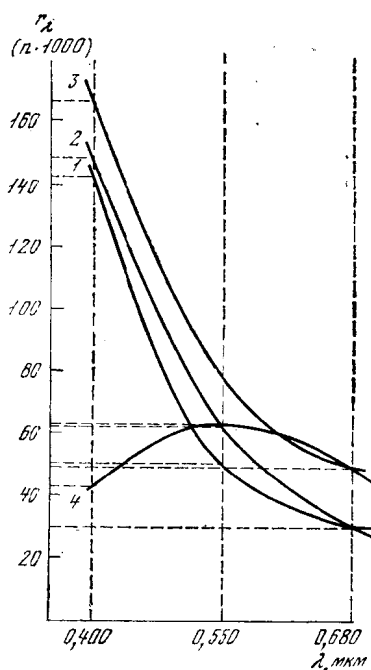


图 2 不同地物的光谱特性值的变化

1—砂；2—土壤；3—水体；4—植被

仅靠黑白象片和彩色象片的信息进行地质解译是远不够的，因为采用普通的黑白摄影不能最大限度地查明从空间所拍摄的地物的必要单位。造成这种状况的原因是：有些地物单位的光谱亮度系数值在任一光谱段内，都有相当明显的差别（参看表 1）；而另一些地物的亮度系数值却变化很小，以致在不同的象片上不足以反映（Кондратьев 等，1972）。光谱段彩色摄影更有可能分别反映地物景观的整个组合，它可以通过两个不同的光谱段对同一地物同时摄影，利用单一的假彩色获得颜色反差最大的两种不同颜色的影象。在这样的象片上，地物呈现出假彩色而与天然颜色不一致。在摄影中，除了使用两层乳剂的光谱段胶片外，还使用了对绿、红和红外光谱段敏感的三层乳剂胶片。

光谱段感光材料的化学——摄影加工的方法和原理与彩色摄影一样。为了提高影象质量，无论在摄影时还是在复制时都要注意保持滤光片的清洁并严格保持其密度，必须利用电子打印装置和校正系统（Горбатов, Тамицкий, 1972），同时必须考虑保持摄影特性相互关系的全部特点，必须特别注意准确曝光和遵守加工制度。类似的这一系列问题，使获取影象的全部过程的工作量变得十分繁重。能否获取优质影象取决于许多因素，其中不少是难以预料和难以消除的。因此彩色摄影和光谱段摄影并不是航天摄影的最好方案，但在航宇员直接操纵下的摄影属于例外。

一定的景观特征反映了一定的地质体和地质现象。多谱段摄影（在若干谱段内同时用几个摄影机拍摄）在确定景观特征方面是最有发展前途的一种航天摄影（Ходарев 等，1975）。它可以使我们似乎从“不同视场角”获得同一地物的影象（象片 1 见 159 页）。一套多谱段摄影象片可提供一幅被摄地区最完整而又最真实的图象。

应用多谱段摄影的优点，不仅在于使我们能够看见那些“不可见的东西”，而且还能取得由不同光谱段（通道）影象重叠而成的高质量象片。由于总密度（图 3）的重叠和增加，因而在保持一定的摄影宽度时亦增加了总的反差系数（图 4）。

虽然多谱段摄影在技术上有许多困难，但比其它类型的航天摄影更为合理和优越。使用滤光片复制各通道负片时既能取得真彩色影象，又能取得有意变色的假彩色影象。多谱段摄影可以按光谱亮度系数识别地物，因而在地质学中被越来越广泛的应用。

在苏联，多谱段航天摄影最早是在“联盟—12”载人宇宙飞船上用九镜头相机进行的（Макаров, Щербаков, 1974），采用了三种摄影胶片：其中两种对可见光谱段敏感，第三种对红外光谱段敏感。

美国的“天空实验室”航宇站也安装了多谱段摄影器，包括 6 个照相机，焦距为 152 毫米，并有 18 个滤光片。6 个照相机分别在下列 6 个光谱段进行摄影：（1）0.5—0.6 微米（黑白全色胶片）；（2）0.6—0.7 微米（黑白全色胶片）；（3）0.7—0.8 微米（红外黑白胶片）；（4）0.8—0.9 微米（红外黑白胶片）；（5）0.5—0.88 微米（红外彩色胶片）；（6）0.4—0.7 微米（彩色胶片）。

胶片象幅尺寸为 70×70 毫米，覆盖面积为 163×163 公里。

1976 年 9 月在“联盟—22”载人宇宙飞船上用苏联和东德专家研制的 MKΦ—6 多谱段照相机进行了摄影测量。MKΦ—6 可以同时在 480 到 840 毫微米的 6 个谱段中进行摄影测量，地面分辨率达 20 米，覆盖面积为 17000 平方公里。MKΦ—6 是目前最完善的仪器。

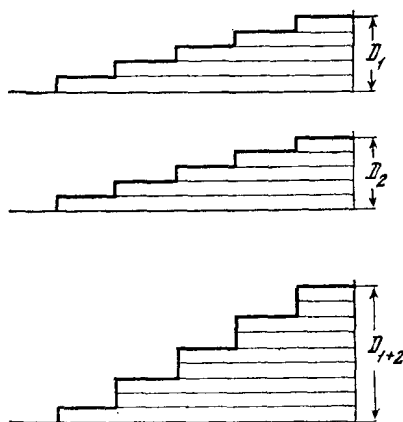


图 3 不同光谱段影象 (D_1 和 D_2) 重叠后影象总密度的增加 (D_{1+2})

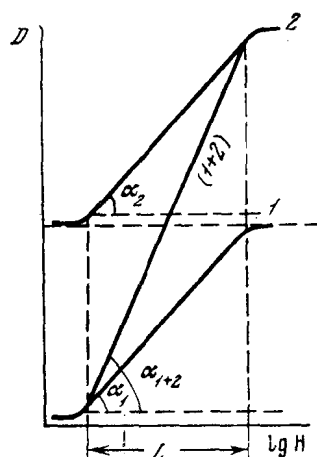


图 4 不同光谱段影象重叠后影象反差系数的增加
(参阅图 3)

三、获取航天影象的电子系统

为了获取地球表面的影象，除了摄影系统外，在航天测量的实践中，还广泛采用电子系统，即运用可见红外和微波光谱段。

光学系统在大多数情况下乃是电视系统，其中主要感光元件是光导摄像管。信号从光导摄像管发出，通过无线电通道转送到地面电视接收机。将收到的无线电信号在电视机荧光屏上显象，并通过照相获得光栅象片。某些卫星电视系统的特征见表3。

陆地卫星的多谱段系统可用于研究自然资源，由三架在不同谱段工作的电视摄影机组成。如果把来自不同光导摄像管的地表信息进行重叠，就可得到彩色影象或假彩色影象（航天摄影，1975）。

表3 电视卫星系统的一些特点

卫 星	电 视 系 统	光 谱 段 (微米)
“流星号”	舷窗式电视仪	0.5—0.64
“ESSO”	带有自动传输信息装置的电视机	0.5—0.64
“地球资源技术卫星”	装有反束光导摄像管的多谱段相机	0.475—0.575
		0.580—0.680
		0.690—0.830

近年来，在宇宙航行中广泛采用电子-光学扫描系统，通过在宽广的光谱频带扫描而获取影象，一般来说，它同时包括电磁辐射的可见光和红外光谱段。

各级自然地物多数根据黑白航天象片上的总亮度、形态和其他间接标志就可容易地被判别出来；采用多谱段摄影的目的是为了辨认那些凭一般摄影资料不可能区别的各级内部包含的地物和现象。为了完成这样的任务（例如区分森林中的树种、鉴别影象色调相近的岩石组合和农作物，应该选择合适的光谱段以便进行多谱段摄影。

地物的光谱特性是某一特定光谱段的函数，因此，可以根据一组离散值来恢复。这就开拓了建立这样一套多光谱系统的可能性，即可以根据若干光谱段的摄影结果恢复光谱特征，从而判别各级内部的地物。

表4中援引了安装在美国卫星上的多谱段扫描系统的一些特征以及苏联科学院宇宙空间研究所研制的多谱段系统的特征（Аванесов等，1974）。

图5所示为多谱段扫描系统的主体图解。让我们以苏联科学院宇宙空间研究所研制的这类系统（Аванесов等，1974）为例，介绍一下各类仪器在飞行中的工作情况。

被地表反射的辐射流进入扫描反射镜，该反射镜垂直飞行轨道获得扫描影象。扫描速度一般为每秒四行以上。扫描镜视场角为 51° 。辐射流通过固定反射镜进入入射物镜。在入射物镜的焦面上装有能确定扫描镜角分辨率的光阑。由平行光管引入的平行辐射流进入衍射光栅并分解为光谱。分散的光通过聚光系统进入辐射检波器，从该检波器发出的视频

表 4 多谱段扫描系统 (MCC) 的一些特征

卫 星	光 谱 段 (微米)	辐射接收机型号
“地球资源技术卫星” ^①	0.5—0.6	ФЭУ (光电装置), 硅二极管
	0.6—0.7	
	0.7—0.8	
	0.8—1.1	
“天空实验室” ^②	0.41—0.46	碲镉汞元件
	0.46—0.51	
	0.51—0.556	
	0.556—0.609	
	0.620—0.670	
	0.680—0.762	
	0.783—0.880	
	0.980—1.080	
	1.09—1.19	
	1.20—1.30	
	71.55—1.75	
	2.10—2.35	
多谱段扫描仪 苏联科学院宇宙空间研究所 ^②	0.4—0.45	ФЭУ (光电装置) 硅光二极管
	0.5—0.55	
	0.6—0.7	
	0.72—0.82	

① 航天摄影..., 1975

② Аванесов 等, 1974

信号靠直流电放大器来增强。衍射光栅和聚光器可在多谱段扫描系统中同时安装 8 个辐射检波器。按光谱灵敏性选择的 ФЭУ—68 (光电扫描装置—68) 可作为可见光谱段的辐射检波器, 而硅光电二极管则可作为近红外谱段的辐射检波器。

在飞行试验中, 从直流电放大器输出的电信号进入四个通道视频带记录器系统。每个通道均使用了相同的 8 级模数转换器。把从转换器输出的 8 级信号和平行信号通过密封器输入数字磁带记录器, 数字信息在这里录入磁带, 密度为 32.8 脉冲磁化点/毫米。

通过多谱段扫描系统的飞行试验, 我们可以获得各象元完全配准的四个光谱段的影像数字磁带记录, 数字视频带记录器呈影像形式再现, 可向我们提供一般解译形式的视频信息。

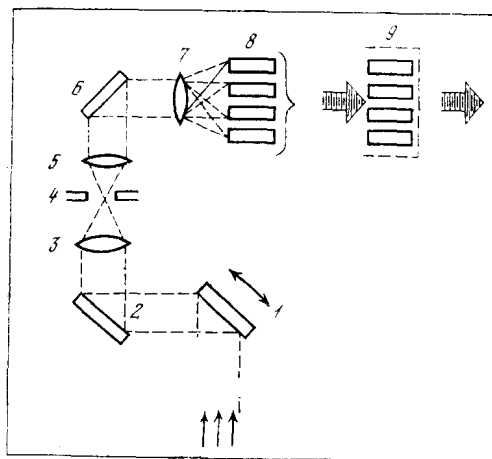


图 5 多谱段扫描系统的立体图解

1—扫描反射镜; 2—固定反射镜; 3—入射物镜; 4—光阑; 5—平行光管; 6—衍射光栅; 7—聚光器; 8—辐射检波器; 9—信号放大器

总之，扫描方法有下列优点：（1）不仅可以使我们获得可见光谱段的影象。而且可以获得红外谱段的影象，将来还可获得微波谱段（CBQ）的影象；（2）在保持数据传送系统和中间储存系统视频信息的几何性质条件下，有可能过渡到使用计算技术处理视频信息的客观方法。

多谱段扫描影象的合成装置乃是一个带有电子机械扫描系统的自动摄影记录器。从三个数字视频带记录器通道读出的视频信号变换为三束调制光源，已调制的光通过二向色镜系统合成，并进入一个光学系统。光束在光学系统中集聚并投影于固定在滚筒上的摄影材料上。影象的扫描是借助于滚筒的旋转和投影光学象元的移动实现的。苏联科学院宇宙空间研究所系统为了记录影象，采用了两种基本的图幅：108×300毫米和54×300毫米，记录密度为5和10脉冲磁化点/毫米（Аванесов等，1974）。

表 5 红外扫描系统的一些特征

卫 星	光 谱 段 (微米)	辐射接收机型号
“云 雨—2”	3.7—4.2	硒 化 铅 电 阻 器
“云 雨—3”	0.7—1.3	
	3.7—4.2	
“云 雨—5”	0.8—1.1	碲镉汞元件
	8.3—9.3	
	10.2—11.2	
“NOAA—1” (美国海洋大气局)	0.52—0.73	硅电阻器和半导体 辐射热测量器
	10.5—12.5	
“NOAA—2”	0.6—0.7	硅电阻器，碲镉汞元件
	10.5—12.5	

航天红外扫描系统除了在近红外光谱段外 还能在3.4—4.2和8—12微米的光谱段工作（表5）。在3.4—4.2微米谱段记录了狭义的地球热辐射，而在8—12微米以上的长波谱段内可以很好的解译冰或雪背景上的云等（航天摄影……，1975）。

微波系统还不能作为一种卫星设备而得到广泛应用，但已进行了一些试验。例如，在美国气象卫星“云雨—5”上安装了一台扫描辐射计ESMR，波长为1.55厘米。这台仪器可用于获取隐伏基底表面的影象和查明沉积物的相带。

根据上述实例可以得出这样的结论：获取地球表面影象的卫星系统正在不断完善中，并且日益扩大到电磁波谱的长波部分。

第二章 地质研究中航天影象的利用

一、经历最新强烈变动的褶皱区

(一) 东高加索

为了对东高加索地区进行地质研究,利用了不同概括程度的各种航天象片:首先是“流星”系列18号卫星的扫描影象(地面分辨率约为1.5公里)和“流星”系列中较老的卫星所拍摄的影象(分辨率为0.8—1.0公里);其次是A. Г. 尼古拉耶夫和B. И. 谢瓦斯奇雅诺夫1970年6月驾驶宇宙飞船“联盟—9”所摄制的可见光谱段黑白象片(分辨率约0.3公里,有的地方更高些),B. A. 拉扎列夫和O. Г. 马卡洛夫1973年10月驾驶宇宙飞船“联盟—12”所摄制的多谱段象片(分辨率为0.05—0.1公里)。因此,上述象片的分辨率分别为1—2级。

东高加索是一个非均质的阿尔卑斯褶皱构造带,经历了强烈的最新变动——既有褶皱作用,又有断裂破坏。由于露头良好,地层和变动类型多样化,地形强烈切割并且反映了多种地质构造的特征,因此为了确定航天象片应用于地质学上的可能性,这个地区就成了理想的对象。根据宇宙飞船“联盟—9”的象片(象片2见160页),在这个地区进行了构造-地质、地貌及新构造研究。

B. З. 萨哈道夫(1973 Берегобой等, 1972)通过解译上述象片,编制了高加索东南部的构造略图,绘出了第四纪和晚第三纪的沉积组合、巨大构造形态单元(大高加索和小高加索大复背斜)、单独的褶皱和断裂构造、泥火山以及有关该地区构造的一些其它资料。这项工作的最大成果是:校正了阿德日恰断层带的分布轮廓、证实了库临盆地东南边缘沿着帕耳米腊-阿普歇伦断裂发生了巨大的左行平移断层、查明了库临盆地中的若干隐伏隆起。

在M. Л. 考普根据上述航天象片解译结果所编制的构造地质图上,绘制了白垩纪、第三纪及第四纪沉积、构造带、某些巨大的在地形上有反映的背斜、岩层的走向以及构造线性体。阐明了这些地质体的解译标志(Трифонов等, 1973,图10)。值得注意的是构造线性体和断层的图纹,是由M. Л. 考普和B. З. 萨哈道夫分别解译的,但其结果在很大程度上是一致的,证明了所得结果的客观性。

研究区航天象片的地貌解译工作,是由T. П. 依凡诺娃(Трифонов等, 1973,)负责完成的。在已编制的略图上,划分了若干地貌区,其中有最大的构造形态;每一个构造形态都具有独特的地形形成因素和地形类型。同时表明有可能获得有关地形形态和成因的新信息。此外,地形分层制图有时是困难的,但是对中高山和高山类型来说,则比较有

希望。这里的夷平面位于不同的高度，由于垂直分带的重叠，各具独特的景观特征，从航天象片上可以清楚地了解。

上述构造地质及新构造研究，大大的校正和补充了我们对该地区最新构造及其演变的认识。

С. Л. 贝卓娃也根据宇宙飞船“联盟—9”的象片（象片3见161页），对东高加索北部地区进行了研究。在构造地质解译图上（Бызова等，1973；Трифонов等，1973，表明了构造带、线性体及最大的火山。地表的侵蚀切割图纹或中等类型的地形则作为主要解译标志。

凡是对东高加索航天象片进行了地质解译和判释的研究者，都注意到构造线性体及构造线性要素，它在地形上及构成航天影象的其它景观要素上均有反映。这些线性体往往与地面地质构造制图时所观察到的断裂并不一致。因此应该比较详细地探讨线性体。

线性体是根据“流星”系列卫星的各种扫描和电视影象（象片4见161页）分别解译的，但所得结果彼此相似。同时还发现了这样的情况：表现最明显的一些线条往往在各种影象上重复出现；而另一些表现较差的线条，往往只在个别象片上看到。这种线条的可靠程度的差别，在根据“流星”扫描和电视象片解译结果编制的线性体综合图上有所反映（图6）。表现最明显的，在图上反复出现的要素中，以“高加索式”走向的线条为主，而且以大高加索南坡地带为最佳。然而，通常存在着无数不反复出现的可靠程度较差的线条，它们具有北东（至北东东）走向，组成若干“反高加索”走向带。表现最微弱的是北西和北北西走向的线条。除了线性体之外，在象片上还可以清楚地看到在地形上有反映的最新大型构造：例如大、小高加索拱形隆起和界于它们之间的一组山间盆地。

大高加索南坡地带的地面地质构造表现很好（Милановский, Хаин, 1963），但同时具有深构造产状，是极其强烈的地震活动带。根据 И. В. 阿那因（Ананьин, Трифонов, 1976）的意见，从卡兹别克山到舍马哈城这个地震带可划分为三部分：（1）震中密度最大的地带，震源能量 $E = 10^{12}$ 焦耳，震源深度达 60 公里。（2）断裂“活化”带，按强度消失系数即地震能量强烈吸收系数计算（Ананьин, 1964）深度达 60 公里。（3）按震源机制的一般规律，即按挤压轴和张力轴的空间分布规律划分的地带。

在大高加索南坡地带以北和以南，一般说来没有见到震源能量值如此之大的地震。在卡兹别克山区和舍马哈及巴库城之间，横切大高加索的两个北东走向带属于例外。在这里，即南坡地带以外，地震的能量为 $E = 10^{12}$ 焦耳，震源深度达 20—30 公里（Ананьин, 1964; Ананьин, 等1969）；这些横向带恰恰与根据“流星”象片（象片4见161页）解译的北东向线性体密集带一致。震中带也沿着北西走向的萨里亚—伦吉比兹线性体延伸（Хаин等1966, Борисов, 1976），这个线性体在分辨率较高的航天象片上表现比较明显（见下文）。

地震活动性并不是确定航天象片解译的构造深度的唯一标准。东高加索的最大最新的大型构造，与深部地震探测查明的莫霍面的构造形态是一致的：一般说来，莫霍面的拗陷相当于地表的最新隆起，而莫霍面的隆起相当于地表的盆地；当然，在这些构造形态系列之间，也并不完全一致（Милановский, 1968）。高加索南坡地带，莫霍面的位置发生了特别显著的变化，地壳被分为两个块段，不仅地壳的厚度不同，而且其物理特性也有差别（Балавадзе, Шенгелая, 1961; Балавадзе等, 1966; Беляевский等, 1970）。北