

巴西航天遥感地质的进展

刘占江 Jos' Eduardo Rodrigues Paulo Roberto Martini

(巴西空间研究院 Instituto de Pesquisas Espaciais, C. P. 515—CEP 12201—S.

J. Campos—São Paulo—Brasil)

1989年1月25日收稿

在巴西总统访问中国期间的1988年7月6日,中巴两国正式签订了资源卫星合作计划。该计划包括卫星研制与发射,信息接收、处理与应用等技术合作。计划在1992年底,第一颗中巴地球资源卫星(CBERS)进入轨道。值此中巴两国在航天遥感方面携手合作之际,笔者撰写此文,供中国遥感地质界同僚概略了解巴西航天遥感地质概况时参考。

一、绪言

巴西国土面积为851.2万平方公里,地跨北纬 5° 至南纬 34° ,西经 35° 至 74° 。赤道与南回归线分别经亚马逊河口与圣保罗市,大部分国土属热带与亚热带,仅南大河州稍具温带气候。巴西位于南美地台(图1),地台基底主要为前寒武系变质岩与火成岩。按岩石与构造以及沉积盖层的分布,可将该地台划分为10个地质单元,即3个稳定地块(cratons),3个古沉积盆地(Syneclises),3个褶皱带,及沿大西洋陆棚的一系列盆地。地块早在17



图1 南美洲主要大地构造区

Fig. 1 The main geotectonic region of the South America

亿年以前即已稳定,褶皱带则是在 17—5 亿年间造成的,介于地块间的三个大盆中的沉积

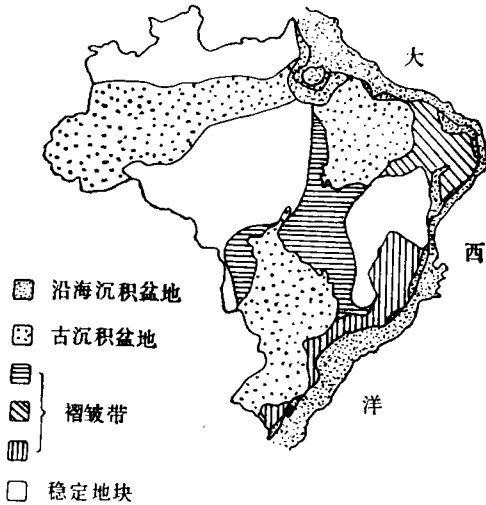


图 2 巴西构造区略图

Fig. 2 Sketch map of tectonic region in Brazil

层的时代,自志留纪初期至白垩纪晚期,整个地台完全稳定,沉积遂告停止。侏罗纪晚期至白垩纪早期,因地壳运动的复苏,老古瓦纳 (Gondwana) 大陆块破裂而造成了沿大西洋陆棚的一系列盆地 (图 2)^[1]。

矿产是巴西经济的重要支柱。例如,在 1987 年出版的巴西统计年鉴中记载,1985 年的矿产出口总值为 354.9 万美元,占巴西出口总值的 13.84%,仅次于食品工业 (17.47%)。主要矿产有: 铁矿砂 16 800 万吨,铝矾土 1 000 吨,石灰石 4 500 万吨,锰矿 350 万吨,铌矿 150 万吨,滑石 37.5 万吨,石英 11.3 万吨,镍矿 150 万吨,钛矿 260 万吨,锌矿 100 万吨,菱镁矿 62.3 万吨,铜矿 680 万吨,纯

金 29 吨,纯银 38 吨^[2]。

巴西地域辽阔,天然资源丰富,但除对少数重点地区有所了解外,所知有限。因此,不仅极需作区域地质普查,亦需作重点详查,以补所知之不足,和利于地下资源的开发。由于巴西地处热带与亚热带,植物被覆茂密,风化层甚厚,兼以地形起伏平缓,表流侵蚀多未及基岩,所以传统的野外地质调查将事倍功半,而应用遥感方法在巴西进行地质调查,则不仅会卓有成效,而且经济快速。

1964 年 7 月—1970 年 7 月,由美国空军航空测量部门摄制了除亚马逊流域外覆盖全巴西的 1:6 万的航空像片。鉴于亚马逊河流域和巴西东北部地区常年多云、不宜航摄,以及制作地形图和地质、植物、森林、土壤等普查的需要,在 1969 年制定了机载侧视雷达遥感计划。1970 年巴西矿产与能源部成立了雷达委员会,专门负责这项计划的实施,并在 1971—1972 年间,用美国古德伊尔公司的电子制图系统 (GEMS),完成了覆盖全亚马逊流域和北部及东北部地区的雷达影像,总计 460 万平方公里,占巴西国土的大半。该侧视雷达采用 x-波段 (波长 2.40—3.75 厘米),制成镶嵌影像,图幅经度 $1.5^{\circ} \times$ 纬度 1° , 比例尺 1:25 万,特别适用于区域性普查,因此该计划不断扩大,到 1974 年即已覆盖了整个巴西。

由于陆地卫星可作多波段扫描,且光谱与空间分辨率皆不断改进,加之图幅覆盖地面面积大,影像畸变小,所以自 1972 年巴西有了陆地卫星影像以来,航摄像片和侧视雷达图像就成了辅助手段。本文仅介绍陆地卫星资料在巴西应用于地质调查方面的进展。

二、陆地卫星在巴西

了发展空间科学与技术,曾与美国国家航空与宇宙航行局(NASA)进行了密切合作。1966年与 NASA 签定了技术与系统转移协定,以便处理和分析遥感资料,并评价航天遥感装置的实用性。1968年,在美国地质调查局(USGS)与 NASA 的安排下,有14位巴西科技人员在美国接受了为期6个月的训练^[3]。1969年,巴西空间研究院选择了五处地面实验区,由 NASA 进行遥感作业,飞机上装有 X-波段侧视雷达、热红外扫描仪、多光谱扫描仪及测量照像机(metric camera)等。这项遥感定名为第96号任务(mission 96),是巴西遥感发展史上的第一件大事,因它不但提供了极有意义的成果,而且在资料处理上获得了宝贵的经验^[3]。

1971年巴西空间研究院向 NASA 申请提供覆盖全巴西的陆地卫星1号(ERTS-1)的资料。1973年3月27日双方签署了一项备忘录,NASA 同意巴西空间研究院追踪美国地球资源调查计划中的试验卫星^[4]。1973年4月,建在巴西 Mato Grosso state Cuiaba 市附近的地面接收站开始运行,从而使巴西成为世界上第三个可以接收与处理陆地卫星资料的国家。1978年,该地面站经过扩充与改装后,可接收与处理陆地卫星3号所传输的资料。陆地卫星3号上装备有热红外波段 MSS-8 与新设计的单一全色波段的返束光导摄像机(RBV)^[5,6]。

1980年5月,巴西空间研究院拟定了“INPE-Landsat D”计划,并与美国 Scientific Atlanta 签订了发展可以接收陆地卫星4号信息的子系统。同时向欧洲推进公司申请装设可接收与处理 SPOT 资料的子系统^[6,7]。1983年初,接收与处理陆地卫星4号信息的子系统开始运行,接收与处理 MSS 资料的功能完全正常,但因能源供应问题及 X-波段传输能力的不足,尚不能直接接收 TM 资料^[7]。1984年3月1日,陆地卫星5号进入轨道后,NASA 立即对其本土以外的地面站以 K-波段传输,巴西空间研究院也开始正常接收覆盖巴西本土的 TM 资料^[6]。由于从操作与增强 MSS 与 RBV 处理系统中获得了经验,从而使巴西空间研究院可以参与 MSS 及 TM 地面处理系统的设计与运行^[7]。

三、陆地卫星资料在地质方面的应用^[8,9]

自1972年美国陆地卫星1号开始提供遥感信息以来,在巴西空间研究院的指导下,巴西的地质与矿业界对遥感资料的需求与应用与日俱增。其指导方式包括:(1)开设遥感应用硕士课程,为大学毕业生提供深造机会,培养遥感应用专业人才。攻读硕士学位的多为来自全国各大学以及地质与矿业等公私机构的在职人员。(2)根据需要为在职人员举办短期培训班,每年若干次,时间为两周至一个月不等,内容包括遥感理论与方法及其在各领域的应用。(3)应邀向大学或专业机构作为期一周或两周的遥感讲座。(4)共同合作进行专题研究。如巴西空间研究院同甜河地质与矿业公司签订的利用 Landsat-TM 与 SPOT-HRV 资料,就巴夷亚州北部绿石带金矿勘探进行区域性地质研究的计划。

由于这些培训和合作研究活动,很快就把遥感地质推广到了全国各学术界与实业界。从近十几年来巴西空间研究院主办与召开的每两年一次的全国性“巴西遥感研讨会”(Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto—SBSR)看,遥感应用的成绩是很卓著的。限于篇幅,本文仅介绍巴西空间研究院在地质方面应用陆地卫星资料的一些情况。

3-1 区域地质填图

最初应用 Landsat MSS 试作的区域地质判读图的比例尺是 1:100 万。1972 年底完成了第一幅覆盖 Goiás 州东南部(包括巴西利亚特区)的地质图,于 1973 年初由巴西制

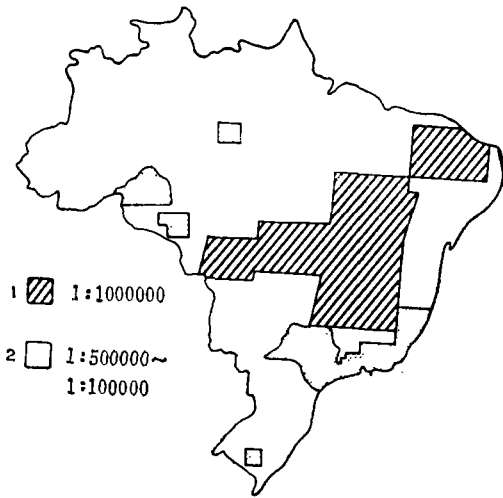


图 3 区域地质成图覆盖地区示意图

Fig. 3 Sketch map for regional geology mapping area

图局出版发行^[10]。1973 年至 1974 年初完成了 São Francisco 古生代沉积盆地及其邻近的沉积变质岩区的地质判读图,1974 年出版^[11]。覆盆面积 80 万平方公里,约占巴西领土的 1/10,它包括 Bahia 州西部, Minas 州西北部, Maranhão 与 Piauí 二州的南部, Goiás 州东部及圣保罗州北部。这幅图反映了岩石地层单元,包括群与层的划分;地质构造,包括褶皱、断层与构造线,以及区域大地构造的趋势。在此基础上,按计划逐一完成了一系列 1:100 万的区域地质图。图 3 的斜线部分给出了截止 1978 年已完成图幅所覆盖的地区。

Rio de Janeiro state (里约州) 位于巴西东南部,濒大西洋,处于前寒武纪褶皱带北半部。全州尽属强烈变质的元古界结晶基底,由各类片麻岩、混合岩 (migmatite) 与侵入火成岩所组成。野外作图极难划分出岩石单元,更不易确定其区域构造特征,所以多幅局部地质图均以单一色表示,称为“未划分的前寒武系结晶杂岩”,换言之,该州没有州地质图。1975 年,巴西空间研究院应里约州政府地质与矿业局的请求,共同测绘州地质图。它们先用 1:50 万的多光谱扫描影像,作出地质判读图,划分岩石填图单元,并勾绘出区域构造线格局,然后选取均匀分布全州的若干条露头良好的剖面线,作野外地质核查。该图 1976 年发表于巴西地质学会年会^[12],1977 年由巴西制图局出版发行,是迄今为止里约州唯一的州地质图。

由于成功地制成了里约州 1:50 万地质图,因而,自 1976 年以后,除继续按计划用 1:100 万多光谱扫描影像制做区域地质图外,不仅开展了利用 1:50 万、1:25 万和 1:10 万等不同比例尺的多光谱扫描影像,结合其它遥感影像(如机载侧视雷达、返束光导摄影机、天空实验室等),制作更精确的区域地质图,而且还借此进行了遥感找矿的探索。图 3 用点标出的部分为这些工作所覆盖的地区。

3-2 矿藏勘探与岩石区分

1975 年巴西空间研究院引进了美国通用电气公司制造的影像分析电脑 Image-100,于是以电脑分析陆地卫星 CCT 磁带资料的处理技术开始用于地质研究。此后,该所经数年设计和改进,于 1985 年自行发展成功一种较小型影像分析电脑,定名为 SITM

(葡萄牙文 Sistema de Tratamento de Imagens 的缩写),意为影像处理系统,可结合微电脑操作。

影像分析电脑的功能有二,一是电脑监督分类,另一是数据影像增强。对若干出露于地表的风化矿床,用电脑监督分类处理数据影像,勾绘其分布范围,具见成效。如 Para' 州东南部 Carajas 山区的铁矿床及该州西北部 Trombetas 河流域的含铝红土层。该研究成果 1976 年发表于巴西地质学会年会^[43]。此后,许多矿业公司要求与巴西空间研究院合作,共同勘探圣保罗州西部清河(Rio claro)上游与 Minas 州南部 Pocos de Caldas 地区的粘土矿,及巴西东北部 Pernambuco 州的 Floresta 城附近的钛铁矿。

但由于巴西绝大部分地区植物覆盖茂密,风化层极厚,因而,除上述若干特例外,用电脑监督分类处理影像并不能取得任何地质信息。因此,无论作岩石区分、矿藏勘探或提取线性构造,均以数据影像增强处理方法,更有利于目视判读和地质信息提取。图 4 中的图例 1 为矿藏勘探试验靶点,图例 2 作岩石分类的试验区。

3-3 地质构造与大地构造研究

由元古界与太古界结晶基底所构成的南美地台,除有沉积盖层外,在卫星影像上所显示的基底,只有错综复杂的线性构造。所以线性构造研究,应为巴西遥感地质研究的重要课题。

自遥感技术问世以来,用遥感资料研究线性构造的方式,归纳起来有以下几种:(1)根据空间影像辨认和印证某些已知大断层,并根据从空间影像所获得的新知识,延伸、强调或重新解释这类大断层。(2)从卫星影像上追踪并勾绘出长而明显的线性构造,并与地质、地球物理等资料相印证,解释这类线性构造是已知的还是推断的断层迹线,并设想其可能属于某已认知的大地构造。(3)由于卫星影像所反映的不仅仅是长而明显的线性构造,而且还显示出许许多多长短不一、走向各异、明显度有别的线性构造。而这些线性构造又很难在地面上一一找出实际证据,甚或无法与地质、地球物理等资料相对比。这样,为了合理解释其地质意义,就提供了各种不同的分析方式和分类方法。

1982 年,首先在里约州进行了线性构造研究。经分析与对比文献中所提出的各种线性构造的分析与分类方法,从而找出更为直接、简便、合理与易行的方案,来分析并划分覆盖里约州的 1:50 万陆地卫星多光谱扫描影像上所反映的线性构造。所有可能提取的线性构造经分析和分类后,参考有关地质文献合理地解释了其地质意义与大地构造的演变^[44]。此后,又先后在既有多光谱扫描和机载侧视雷达影像、又有 TM 影像的巴西东北部地区和东南部的若干地区,以不同的分析方式,进行了线性构造的研究。这些工作都已



图 4 矿藏与岩石区分研究地区示意图
Fig. 4 Sketch map of study area for mineral deposit and rock type recognition

于 1986—1988 年陆续完成。图 5 示出了这些研究的工作地区。

3-4 石油地质研究

1979 年巴西空间研究院应圣保罗州政府所属“圣保罗州石油勘探公司”的要求，在巴拉那古沉积盆地 (Parana Syncline) 探寻石油存在的可能性。该盆地有晚白垩系地层平铺其上，地表平坦。多光谱扫描影像经数字滤波、对比度扩展等影像分析处理，以增强水系格局的影像显示，并从水系分析中找出可能的背斜与穹窿构造。此后，巴西石油公司对以同样方法在亚马逊中游地区所勾绘出的穹窿构造的典型地段，用地震探测方法进行了验证，结果亦显示出了穹窿特征。

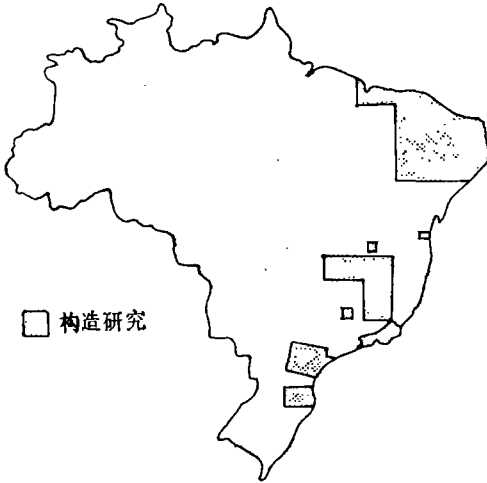


图 5 地质构造与大地构造研究覆盖地区示意图
Fig. 5 Sketch map of study area for geological Structure and geotectonics

在巴西东北部沿海，位于大陆架的若干盆地，虽经过长时间的勘探与研究，但用沉积、物探、钻井等方法研究所推论的构造格局，与其相邻的陆上地质图所示的构造不一致。也就是说，地质图未能提供有助于沿海盆地地下地质钻探与物探所推论的构造的解释。1986 年，巴西空间研究院与巴西石油公司曾根据

1985 年的协议完成了第一个研究计划——巴西东北部 São Luiz 与 Fortaleza 间的地质构造研究^[45]。这项研究计划是以分析里约州线性构造的方法，分析该地区在陆地卫星与机载侧视雷达影像上所显示的线性构造，并据以推论该地区的构造格架与发展过程。结果不仅符合沿海地下地质的研究和构造的推论，而且可以结合沿海沉积与地下地质资料，对大地构造作更进一步的推论，即非洲与南美板块的分离与漂移。图 4 的图例 3 示出了上述为勘探石油所作的区域构造地质研究区域。

四、结 语

巴西空间研究院遥感应用室地质组成员有限，目前仅有 7 人。1974—1984 年，最多时曾达 16 人。日常研究工作大多侧重于应用及协助地质与矿业机构开展实际地质工作。此外，还担当研究院的教学工作，如讲授硕士课程，与遥感地质有关的一些课程，指导研究生学位论文及支援短期讲习班等。因此，在遥感实验方面几乎没有开展什么研究。

1988 年 10 月 10—15 日，在巴西北大河州首府 Natal 市举行的第五届巴西遥感研讨会有四位中国科学家与会。他们是中国国家科学技术委员会新技术局张炳南副总工程师、中国国家遥感中心武国祥工程师、中国科学院遥感应用研究所副所长郭华东副研究员

和中国林业科学研究院资源信息研究所所长徐冠华研究员。在会议上, 武国祥介绍了中国遥感发展概况, 郭华东发表了遥感技术在新疆金矿勘探中的应用的报告, 使大会极为增色。

参 考 文 献

- [1] Almeida, F. F. M. de; Hasui, y; Brito Neves, B. B. de; Fuck, R. A. Brazilian Structural Provinces: An Introduction. *Earth-Sciences Reviews*. 17: 1—29, 1981.
- [2] IBGE, Anuário Estatístico do Brasil. Rio de Janeiro, 1987.
- [3] Machado, J. B. Brazilian Program for Remote Sensing of Earth Resources. São José dos Campos, CNAE, May 1971. (LAFE-Report 152).
- [4] INPE. The Brazilian Remote Sensing Program. São José dos Campos, April 1975. (INPE Report 643-DIV/002).
- [5] Parada, N. de J. A. Brief Description of the Current Status and Future Plans of the Brazilian Applications Satellite Program. São José dos Campos, INPE, February 1983 (INPE Report 2636-PRE/260).
- [6] Parada, N. de J. Brazilian Remote Receiving, Recording and Processing Ground System in the 1980's. São José dos Campos, INPE, October 1984. (INPE Report 3312-PRE/619).
- [7] Barbosa, M. N. A Nova Estacao Landsat D e D'. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2, Brasília, May 1982, Proceedings. 2: 657—660.
- [8] Correa, A. C.; Mendonca, F. de; Liu, C. C. The Geological Application of Landsat Imagery in Brazil. In: Remote Sensing Applications for Mineral Exploration, Chapter 13, edited by William L. Smith. Dowdon Hutchinson T. Toss, Inc., USA, pp. 318—333, 1977.
- [9] Liu, C. C.; Rodrigues, J. E.; Martini, P. R. Geologic Remote Sensing at INPE: An Overview. São José dos Campos, INPE, August 1986 (INPE-3975-PRE/987).
- [10] Liu, C. C.; Carraro, C. C.; Yamagata, S. K. Capítulo de Geologia. In: "imagens ERTS...suas possibilidades". Fundação Instituto Brasileiro de Geografia, Departamento de Cartografia, 1973.
- [11] Liu, C. C.; Carraro, C. C.; Yamagata, S. K. Geological Remote Sensing of São Francisco Basin, Interpretative Results from Analysis of ERTS-1 MSS Imagery. COSPAR seminar paper B. 4. 2., São José dos Campos, 1974.
- [12] Liu, C. C. et alii. Geologia do Estado do Rio de Janeiro Baseado em Imagens MSS do Landsat-1. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto, 1976, Proceedings.
- [13] Amaral, G. Aplicabilidade de Interpretação Automática de Imagens Landsat para Prospecção Mineral. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto, 1976, Proceedings.
- [14] Liu, C. C. Análise Estrutural de Lineamentos em Imagens de Sensoriamento Remoto: Aplicação ao Estado do Rio de Janeiro. Test de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.
- [15] Miranda, F. P. de; Liu, C. C.; Rodrigues, J. E. Análise Estrutural Tectônico do Pré-Cambriano Adjacente às Bacias de Barreirinhas e do Ceará, através de Dados de Sensores Remotos. CENPES-736, Pétrobrás, R. J., Setembro 1986 (Relatório Petrobrás N^o 673—8984).

Development of Satellite Remote Sensing for Geology in Brazil

Liu Chan Chiang José Eduardo Rodrigues Paulo Roberto Martini

(Institute for Space Research, National Council for Scientific and Technological Development, Brazil)

Abstract

Satellite remote sensing technique has become one of the most important means for natural resources survey in Brazil. The Institute for Space Research of Brazil hosts its satellite data receiving station and conducts basic studies in digital image processing research for remote sensing geology has been achieved the significant results, which include in the field of regional geology mapping, mineral deposit exploration, rock type recognition, geological structure, geotectonics and petroleum geology studies. Above research activities and results have provided a sound basis for CBERS (China-Brazil Earth Resource Satellite) program, which will be launched in 1992.