

伊比利亚美洲国家综合地球观测系统研究

赵春亮^{1,2}, 张倩倩^{1,2}, 范锦龙^{3*}, Belen Franch⁴, 刘 闯⁵, 赵小溪⁵

1. 国家卫星气象中心, 北京 100081; 2. 许健民气象卫星创新中心, 北京 100081; 3. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875; 4. University of Valencia, Valencia 46100, 西班牙; 5. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

摘 要: 全球综合地球观测系统 (Global Earth Observation System of Systems, GEOSS) 是一个相互协调的、独立系统组成的地球观测、信息和处理系统, 它们相互作用并为公共和私营部门广大用户提供各种地球状态观测和决策支持信息。GEOSS 是建立在世界各国根据本国发展需要建设的地球观测系统之上。伊比利亚美洲国家 (Iberoamérica country) 是以讲西班牙语和葡萄牙语为主的庞大群体, 约 6.8 亿人口, 其地球观测系统具有显著特色, 22 个国家中近三分之一的国家或独立自主研制, 或联合研制, 构建自主的高分辨率光学或雷达卫星地球观测系统。采集的高分辨率卫星影像数据在土地资源管理、灾害风险管理、森林砍伐与非法采伐监测、农作物监测、道路监测和国家安全等方面, 发挥了重要作用。伊比利亚美洲国家地球观测系统的自主发展对广大发展中国家的地球观测系统的发展具有借鉴作用。

关键词: 全球综合地球观测系统; 伊比利亚美洲; 卫星系统; 地球观测; 地球观测组织

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2024.04.05>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.04.05>

1 前言

全球综合地球观测系统 (Global Earth Observation System of Systems, GEOSS) 是一个相互协调的、独立系统组成的地球观测、信息和处理系统, 它们相互作用为公众和私营部门决策提供地球状态和决策支持信息。GEOSS 的目标是建立满足用户需求的一套具有整体概念和组织结构的全球综合地球观测系统框架, 服务各级决策, 特别是涉及人类健康和安全、保护全球环境、减少自然灾害损失、实现可持续发展。通过 GEOSS 第二个十年执行计划的实施, 希望在重点领域取得突出进展, 对全球和地区气候进行年度、十年及更长期的综合监测, 生成有关生物多样性及气候变化的信息产品, 提高防灾减灾、资源环境和生物多样性保护的全球、多体系的信息获取、处理能力, 并为重点用户和决策者提供决策支持信息^[1,2]。

全球综合地球观测系统 GEOSS 是建立在世界各国根据本国发展需要建设的地球观测系统之上的全球综合系统。鉴于伊比利亚美洲国家 (Iberoamérica country) 是以讲西班牙语

收稿日期: 2024-09-18; 修订日期: 2024-12-02; 出版日期: 2024-12-24

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2021YFE0117400)

*通讯作者: 范锦龙, 北京师范大学地理科学学部, fanjl@bnu.edu.cn

引用方式: 赵春亮, 张倩倩, 范锦龙等. 伊比利亚美洲国家综合地球观测系统研究[J]. 全球变化数据学报, 2024, 8(4): 376–390. <https://doi.org/10.3974/geodp.2024.04.05>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.04.05>.

和葡萄牙语为主的群体，其地球观测系统具有特色。本文研究概述伊比利亚美洲国家地球观测系统的自身发展趋势、应用概况，期望对广大发展中国家的地球观测系统的发展提供借鉴作用。

伊比利亚美洲国家包括拉丁美洲 19 个讲西班牙语和葡萄牙语的国家以及欧洲伊比利亚半岛的西班牙、葡萄牙和波多黎各在内的 22 个国家^[3]，即：阿根廷、巴拉圭、巴拿马、巴西、秘鲁、玻利维亚、多米尼加、厄瓜多尔、哥伦比亚、哥斯达黎加、古巴、洪都拉斯、墨西哥、尼加拉瓜、萨尔瓦多、危地马拉、委内瑞拉、乌拉圭、智利、西班牙、葡萄牙和波多黎各。图 1 为伊比利亚美洲国家地理位置。

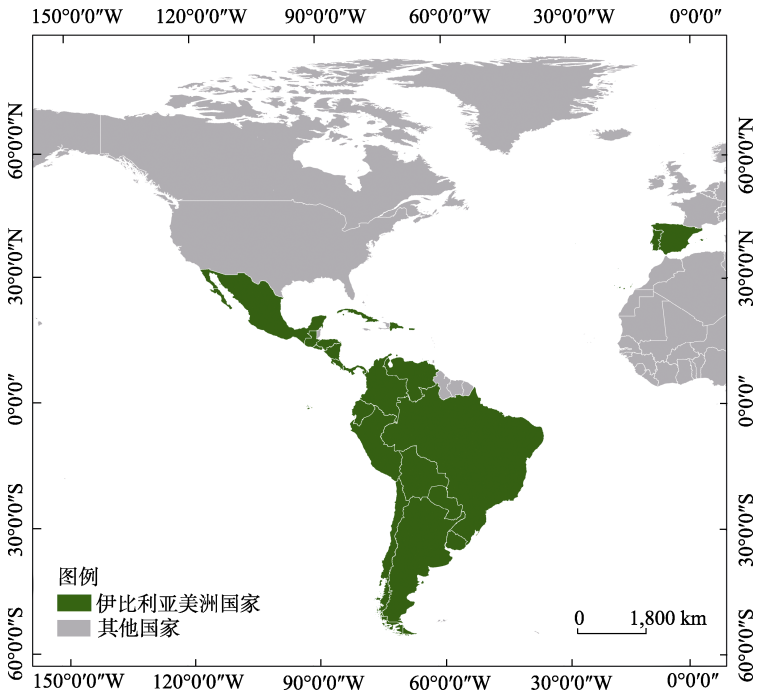


图 1 伊比利亚美洲国家地理位置图

伊比利亚美洲国家的总人口约 6.8 亿，其中人口较多的国家中，巴西拥有超过 2.1 亿居民，墨西哥拥有 1.25 亿居民，哥伦比亚拥有 4,900 万居民，西班牙拥有 4,600 万居民，阿根廷拥有 4,400 万居民^[3]。联合国开发计划署统计的 2023 年伊比利亚美洲国家中，人类发展指数^[4]（Human Development Index，HDR）较高的有西班牙、葡萄牙、波多黎各、智利、哥斯达黎加、阿根廷和乌拉圭。

2 伊比利亚美洲国家地球观测系统概况

伊比利亚美洲发展地球观测系统的国家主要有西班牙、阿根廷、葡萄牙、巴西、哥伦比亚、墨西哥、乌拉圭、智利、巴拉圭、秘鲁、厄瓜多尔、哥斯达黎加、危地马拉和委内瑞拉。其中，西班牙、阿根廷和巴西等国家先后发射了多颗地球观测卫星，具有较强的全球综合地球观测能力。

2.1 西班牙

西班牙是地球观测组织成员国中来自欧洲的重要成员之一，西班牙的遥感卫星通常具有高分辨率、多光谱成像能力以及较长的使用寿命等特点。西班牙的遥感卫星上搭载的传感器能够提供高分辨率图像，在环境监测、农业评估、城市规划等多个领域得到广泛应用，其地球观测系统的主要观测区域是西班牙领土、欧洲、伊比利亚美洲和北非。这些特点使得西班牙的遥感卫星在国际上具有一定的竞争力，在全球范围内都有广泛应用。

2.1.1 GEOSAT-1

GEOSAT-1^[5]于 2009 年 7 月发射，是一颗地球观测中分辨率多光谱光学小型卫星，是灾害监测星座（Disaster Monitoring Constellation, DMC）的一部分。GEOSAT-1 卫星轨道高度约 661 km，是太阳同步近圆轨道，轨道周期为 97.7 分钟。GEOSAT-1 搭载一台多光谱成像仪 MS，具有绿光、红光和近红外波段，空间分辨率为 22 m，超宽幅图像的全球平均重访时间为 2–3 天，中纬度地区平均重访时间为 1–2 天，光谱特性如表 1。GEOSAT-1 提供 NDVI（归一化差异植被指数）、GNDVI（绿光归一化差异植被指数）、RECI（红边叶绿素指数）、SAVI（土壤调节植被指数）和 MSAVI（修正土壤调节植被指数）等重要植被指数参数，也为商业应用、政府使用和灾害发生后快速响应提供图像。

表 1 GEOSAT-1 卫星传感器光谱特征表^[5]

编号	波段	光谱范围 (nm)	地面采样距离 (m)	标准正射影像空间分辨率 (m)
1	近红外	770–900	22.0	20.0
2	红	630–690	22.0	20.0
3	绿	520–600	22.0	20.0

2.1.2 GEOSAT-2

GEOSAT-2^[6]是 GEOSAT-1 的延续，于 2013 年 11 月 21 日发射。GEOSAT-2 卫星是太阳同步近圆轨道，轨道高度 630 km，倾角 98°，重访周期为 4 天，这是由±45°最大偏离最低点指向能力实现的^[7]。卫星携带具有 5 个光谱通道（1 个全色+4 个多光谱）的高分辨率相机，光谱特征如表 2。

表 2 GEOSAT-2 卫星传感器光谱特征统计表^[6]

编号	波段	光谱范围 (nm)	地面采样距离 (m)	标准正射影像空间分辨率 (m)	增强正射影像空间分辨率 (m)
1	近红外	770–892	4.0	3.0	2.0
2	红	640–697	4.0	3.0	2.0
3	绿	532–599	4.0	3.0	2.0
4	蓝	466–525	4.0	3.0	2.0
5	全色波段	560–900	1.0	0.75	0.40

2.1.3 PAZ

PAZ^[8]（西班牙语“和平”）是一颗西班牙地球观测和侦察卫星，于 2018 年 2 月 22 日发射，PAZ 与德国 TerraSAR-X 和 TanDEM-X 双卫星在同一轨道上运行，三颗卫星作为一

个星座一起工作。PAZ 使用高分辨率 X 波段合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR), 传感器特性详见表 3。PAZ 在极地黎明-黄昏太阳同步轨道上飞行, 能够覆盖整个地球, 平均重访时间为 24 小时, 利用两个地面站(马德里和加那利群岛) 获取数据, 平均访问延迟略多于一天。PAZ 能够在白天和夜间对大范围区域进行高分辨率测绘, 用于军事行动、边境管制、情报、环境监测、自然资源保护、城市和基础设施规划以及自然灾害监测。

表 3 西班牙高分辨率 X 波段 SAR 卫星特征统计表^[8]

特征 \ 模式	单极化条带 (SM-S)	双极化条带 (SM-D)	扫描模式 (SC)	宽幅模式 (WS)	单极化聚束 (SL-S)	双极化聚束 SL-D	单极化高分辨聚束 (HS-S)	双极化高分辨聚束 (HS-D)	凝视聚束 (ST)	
极化方式	HH, VV, HV, VH	HH/VV, HH/HV, VV/VH	HH, VV, HV, VH	HH, VV, HV, VH	HH, VV, HV, VH	HH/VV, HH/HV, VV/VH	HH, VV, HV, VH	HH/VV, HH/HV, VV/VH	HH, VV, HV, VH	
标准景 (地距向×方位向) (km)	30×50	15×50	100×150	[273–196]×208	10×10	10×10	[10–6]×5	10×5	[9–4.6]×[2.7–3.6]	
地距分辨率 (m)	MGD, GEC, EEC[SE]	2.99–3.52 at [45°–20°]	6	N/A	N/A	1.55–3.43 at [55°–20°]	3.09–3.5 at [55°–20°]	1–1.76 at [55°–20°]	2–3.5 at [55°–20°]	0.96–1.78 at [45°–20°]
	MGD, GEC, EEC[RE]	6.53–7.65 at [45°–20°]	7.51–10.43 at [45°–20°]	16.79–18.19 at [45°–20°]	35	3.51–5.43 at [55°–20°]	4.98–7.63 at [55°–20°]	2.83–3.11 at [55°–20°]	4–6.2 at [55°–20°]	0.97–1.78 at [45°–20°]
	SSC	1.1 [150 MHz]	1.18	1.17–3.4	1.75–3.18	1.18	1.17	0.6	1.17	0.59
		1.7 (100 MHz]								
方位分辨率 (m)	MGD, GEC, EEC[SE]	3.05	6.11	N/A	N/A	1.56–2.9 at [55°–20°]	3.53	1–1.49 at [55°–20°]	2.38–2.93 at [55°–20°]	0.38–0.7 at [45°–20°]
	MGD, GEC, EEC[RE]	6.53–7.60 at [45°–20°]	7.52–10.4 at [45°–20°]	17.66–18.18 at [45°–20°]	39	3.51–5.4 at [55°–20°]	4.99–7.64 at [55°–20°]	2.83–3.13 at [55°–20°]	4–6.25 at [55°–20°]	0.97–1.42 at [45°–20°]
	SSC	3.01	6.04	18.5	38.27	1.46	3.1	1.05	2.16	0.22

注: HH 水平极化, VV 垂直极化, HV 水平垂直极化; VH 垂直水平极化; MGD(Multi-looked ground range detected) 多视地距检测; GEC(Geocoded ellipsoid corrected) 地理编码椭球校正; EEC[RE](Enhanced ellipsoid corrected [with supplemental elevation]) 增强椭球校正 (含辅助高程) ; SSC (Terrain corrected and slope corrected) 地形校正与坡度校正。

2.1.4 Ingenio/SEOSAT

Ingenio/SEOSAT^[9,10]是西班牙空间计划 2007–2011 的旗舰任务, 是西班牙地球观测卫星系统的一部分。Ingenio/SEOSAT 是一颗用于地球遥感的多光谱高分辨率光学卫星, 旨在为主要观测区域(西班牙、欧洲、伊比利亚美洲和北非) 的用户提供图像, 并在全球环境与安全监测倡议(Global Monitoring for Environment and Security, GMES) 和全球综合地球观测系统(GEOSS) 框架内向其他欧洲用户提供影像数据服务。Ingenio/SEOSAT 是一颗太阳同步轨道卫星, 轨道高度 685 km, 包含一个 2.5 m 分辨率的全色通道和 4 个 10 m 分辨率的多光谱通道(红、绿、蓝和近红外)。该卫星具有全球覆盖的能力, 但数据采集主要集中于西班牙领土。该卫星的重复周期为 49 天, 定位精度为 20 m^[11]。该卫星于 2020 年 11 月发射, 但升空后不久织女星运载火箭发生故障, 导致轨道偏离, 任务失败。

2.2 阿根廷

阿根廷已成功发射了 SAC^[12]系列、SAOCOM 系列和商业卫星 Newsat 星座系列。其国家空间活动委员会（National Space Activities Commission of Argentina, CONAE）是负责地球观测卫星开发和管理的主要机构。阿根廷地球观测卫星取得了显著进展，尤其是高分辨率和 SAR 卫星的发展不仅提高了该国在太空技术领域的地位，也为全球环境监测和灾害管理做出了重要贡献。

2.2.1 SAC-D/Aquarius

SAC-D/Aquarius^[13]卫星是阿根廷和美国之间的联合任务，于 2011 年 6 月 10 日发射升空。其重量为 1,400 kg，太阳同步轨道为 657 km（下午 6 点上升交点），重访周期为 7 天。

SAC-D/Aquarius 包含多传感器任务，涵盖海洋、陆地、大气和空间环境，主要目标是了解整个地球气候系统的水循环与海洋环流，通过卫星测量全球海面盐度（Sea Surface Salinity, SSS）至少三年的变化来研究海洋、大气和海冰之间的交换变化以及对当前和未来海洋环流、天气和气候的影响。表 4 为 SAC-D/Aquarius 卫星传感器特征列表。

表 4 SAC-D/Aquarius 卫星传感器特征统计表^[13]

仪器	用途	技术参数	空间分辨率	负责机构
Aquarius	研究海洋环流、全球水循环与气候相互作用机制,以及阿根廷区域土壤湿度变化	集成 L 波段辐射计 (1.413 GHz) 与散射计 (1.26 GHz) 刈幅宽度: 390 km	3 个波束: 76×94, 84×120, 96×156 km	CONAE
微波辐射计 (MWR)	降雨率、风速、海冰密度、水汽含量、云液态水含量	波段: 23.8 GHz (垂直极化)、36.5 GHz (水平与垂直极化) 带宽: 0.5 和 1 GHz 刈幅宽度: 380 km	16 个波束 < 54 km	CONAE
新型红外传感器技术仪 (NIRST)	热点事件, 海表温度测量	波段: 第 4 波段, 11–12 μm 瞬时刈幅: 182 km 扩展刈幅: 1,000 km 指向范围: ±30°	空间分辨率: 350 m 最低温度: 0.5 °C 最小可检测火区面积: 200 m ²	CONAE CSA
高灵敏度相机 (HSC)	城市夜间灯光, 雷暴活动, 极地区域, 积雪覆盖	全色波段: 450–610 nm 刈幅宽度: 1,600 km	200–300 m	CONAE
数据收集系统 (DCS)	气象环境数据采集	401.55 Mhz 上行链路	与 200 个平台每日进行 2 次通信联络	CONAE
大气无线电掩星探测仪 (ROSA)	大气温度、气压及湿度垂直廓线测定	GPS 掩星技术	水平: 300 km 垂直: 300 m	ASI
技术示范包 (TDP)	位置、速度、时间及惯性角速度测定技术解析	GPS 接收机 惯性参考单元	位置: 20 m 速度: 1 m/sec 角随机游走: 0.008 度/小时平方根	CONAE

2.2.2 SAOCOM 1-A/B 阿根廷微波观测卫星

SAOCOM (SATélite Argentino de Observación COn Microondas) 系列卫星^[14]装备了 L 波段合成孔径雷达 (SAR)，能够穿透云层和光照条件不佳的情况下进行地表观测。SAOCOM-1A 和 1B 是该系列中的两颗卫星，SAOCOM-1A 于 2018 年 10 月 7 日发射，SAOCOM-1B 于 2020 年 8 月发射，太阳同步轨道高度为 620 km，轨道周期为 97.2 分钟，轨道倾角为 97.89°，时间分辨率为 16 天。表 5 列出了 SAOCOM 1-A/B SAR 卫星传感器参数。

SAOCOM-1A 和-1B 携带相同的高分辨率多用途雷达成像仪 L-SAR (L 波段合成孔径雷达)，可以提供具有高辐射质量和几何精度的数据，并提供高重访频率（每天）以支持特

定的应用。L-SAR 影像适用于农业、渔业、林业、天气、水文、海洋学、应急反应、陆地和海洋自然资源、城市地区和制图。

阿根廷与意大利合作形成意大利-阿根廷灾害管理和经济发展卫星系统(Italy Argentina Satellite System for Disaster Management and Economic Development, SIASGE)。SIASGE 由两颗阿根廷 SAOCOM 卫星(X 波段 SAR)和 COSMO-SkyMed 星座的 4 颗卫星(L 波段 SAR)组成。这 6 颗卫星将提供有关火灾、洪水、火山喷发、地震、雪崩、山体滑坡的准确和最新信息。

表 5 SAOCOM 1-A/B SAR 卫星传感器参数统计表^[14]

参数	数值	参数	数值
中心频率	1,275 MHz (L 波段)	天线视角	右 (正常) 左 (可调)
卫星寿命	5 年	入射角	18–50°
最大带宽	50 MHz	数据量化	4 比特块自适应量化
发射峰值功率	6.7 kW	占空比	15% (每圈轨道约 15 分钟, 具体取决于选定的数据采集模式、数据速率以及可用的地面站)
运行模式	条带模式 TopSAR	条带高分辨率模式	10 m×10 m
条带模式幅宽	> 65 km	TopSAR 宽模式	100 m×100 m
信号传输	HH or VV 极化	TopSAR 窄幅模式	150 or 176 km (单极化/双极化) 109 or 110 km (四极化)
等效噪声零点反射率	< -28 dB (单极化和双极化模式) < -34 dB (全极化模式)	信号接收 (单极化)	HH or VV
		信号接收 (双极化)	HH & HV 或 VV & VH
		TopSAR 窄模式	30 m×30 m (单极化/双极化) 50 m×50 m (四极化)

2.2.3 NewSat

NewSat^[15]是阿根廷商业地球观测卫星系列, 由阿根廷 Satellogic 公司设计、建造和运营, 部署 98 颗运行卫星组成 Aleph-1 星座, 2016 年首次搭载于中国长征系列火箭发射。NewSat 运行在 500 km 的太阳同步轨道上, 轨道倾角为 97.5°, 具体特性如表 6。

NewSat 搭载的成像仪提供地面分辨率为 1 m, 400 至 900 nm 之间 4 个光谱通道的数据, 其中 3 个可见光通道 (红, 绿, 蓝) 和 1 个近红外通道 (750–900 nm); 每秒 10 帧的全色动态视频录制时间最长达 60 秒。NewSat 搭载的多光谱成像仪的时间分辨率为每天 7 次, 而高光谱成像每天 1–2 次, 覆盖 29 个光谱频段 (430–830 nm), 地面分辨率为 25 m, 详见表 7。该星座现在能够以 4 种不同的拍摄模式进行拍摄, 包括条带模式、斜条模式、聚光

表 6 Newsat 系列卫星性能对比表^[15]

在轨运行卫星	+25	+40	+60	+130	+200
卫星高度	470 km	470 km	440 km	440 km	330 km
空间分辨率	0.99 m	0.70 m	0.40 m	0.40 m	0.30 m
每日重访次数	5	8	12	25	40
数据产品发布和更新	星座即服务	全球每月更新	全球双周更新	全球每周更新	全球每日更新

表 7 Newsat 系列卫星光谱特征统计表^[15]

ALEPH-1 载荷	多光谱	高光谱
地面采样距离 (GSD)	1 m	25 m
刈幅宽度	5 km	125 km
光谱波段	450–510 nm	460–830 nm
	510–580 nm	29 个波段 (14–35 nm FWHM)
	590–690 nm	
	750–900 nm	

模式和平铺模式。静态和视频图像可供用户用于制图和城市规划、气候监测、资源管理、灾害响应和基础设施监测等领域。

2.3 葡萄牙

2.3.1 PoSAT-1

PoSAT-1^[16]是葡萄牙第一颗卫星，于 1993 年 9 月 26 日从法属圭亚那库鲁航天中心发射入轨，轨道高度为 800 km，轨道倾角为 98.6°，轨道周期为 100.6 分钟，2006 年退役。PoSAT-1 携带了两台 CCD 成像仪，一台是地面分辨率为 2 km 的宽视场仪，另一台为窄视场成像仪，地面分辨率为 200 m。

2.3.2 AEROS MH-1

葡萄牙的第二颗卫星 AEROS MH-1^[17]于 2024 年 3 月 4 日由 SpaceX Falcon9 火箭发射入轨，轨道高度为 510 km，轨道周期为 90 分钟。MH-1 搭载两台传感器，用于海面高度和粗糙度的反射测量，以及用于海洋颜色测量。AEROS 星座旨在通过空间和海洋科学之间的协同作用来监测和支持可持续地球海洋开发，为联合国可持续发展目标做出贡献。

2.4 巴西

2.4.1 中巴资源卫星

中巴地球资源卫星 (China Brazil Earth Resources Satellite, CBERS^[18]) 是由中国和巴西共同投资、联合研制的卫星系列，星上搭载高分辨率 CCD (Charge-Coupled Device) 相机、红外多光谱扫描仪 (Infrared Multispectral Scanners, IR-MSS) 和宽视场成像仪 (Wide Field of Imager, WFI)，特别有利于动态和快速采集地球地面信息。CBERS^[19]包括中巴地球资源卫星 01 星、02 星、02B 星、02C 星和 04 星。

中巴地球资源卫星资源一号 02C 星 (ZY1-02C) 于 2011 年 12 月 22 日成功发射^[19]，搭载全色多光谱相机 (Panchromatic Multispectral Camera, PMC) 和全色高分辨率相机 (Panchromatic High-resolution Camera, HRC)，用于土地资源调查、救灾服务、农业发展、林业、水利、环境监测、城市规划和其他领域。全色多光谱相机 PMC 采用线性推扫式成像方式，包含一个全色波段和三个光谱波段，全色波段空间分辨率为 5 m 和三个光谱波段为 10 m。全色高分辨率相机 HRC 的幅宽达到 54 km，空间分辨率为 2.36 m (表 8)。

中巴地球资源卫星资源一号 04A 卫星 (CBERS-04A) 于 2019 年 12 月 20 日成功发射，是中国和巴西两国政府合作研制的第六颗地球资源卫星。资源一号 04A 卫星共配置了三台光学载荷，中方配置的宽幅全色多光谱相机 (Wide Swath Panchromatic and Multispectral

Camera, WSPMC), 全色分辨率为 2 m, 多光谱分辨率为 8 m, 幅宽 90 km; 巴方配置的多光谱相机 (Multispectral Imager, MSI), 多光谱分辨率为 17 m, 幅宽 90 km; 巴方配置的宽视场相机 (WFI) 多光谱分辨率为 60 m, 幅宽为 685 km (表 9)。资源一号 04A 卫星主要任务是采集全色和多光谱图像数据并广泛应用于国土资源调查和监测、防灾减灾、农林水利、生态环境及城市规划等。

表 8 资源一号 02C 卫星传感器参数统计表^[18]

参数	PMC 相机		HRC 相机	
光谱范围	全色	0.51–0.85 μm	全色	0.50–0.80 μm
	多光谱	0.52–0.59 μm	多光谱	/
		0.63–0.69 μm		/
		0.77–0.89 μm		/
空间分辨率	全色	5 m	全色	2.36 m
	多光谱	10 m	多光谱	/
幅宽	60 km		54 km (2 台相机组合)	
侧摆能力	$\pm 32^\circ$		$\pm 25^\circ$	
重访时间	3 天		3 天	

表 9 资源一号 04A 轨道和传感器技术参数统计表^[19]

项目			参数
宽幅全色多光谱相机	谱段范围	全色	0.45–0.9 μm
		多光谱	0.45–0.52 μm
			0.52–0.59 μm
			0.63–0.69 μm
			0.77–0.89 μm
	量化位数		10 bits
	地面像元分辨率		全色 2 m/多光谱 8 m
	成像幅宽		≥ 90 km
	图像定位精度		优于 50 m (1σ)
多光谱相机	谱段范围	多光谱	0.45–0.52 μm
			0.52–0.59 μm
			0.63–0.69 μm
			0.77–0.89 μm
	量化位数		8 bits
	地面像元分辨率		17 m
	成像幅宽		≥ 90 km
宽视场相机	谱段范围	多光谱	0.45–0.52 μm
			0.52–0.59 μm
			0.63–0.69 μm
			0.77–0.89 μm
	量化位数		10 bits
	地面像元分辨率		60 m
	成像幅宽		≥ 685 km

2.4.2 Amazônia-1

Amazônia-1^[20] (Satélite de Sensoriamento Remoto-1) 是巴西研制的第一颗太阳同步轨道地球观测卫星, 于 2021 年 2 月 28 日发射, 轨道高度为 752 km, 倾角为 98.4°。搭载的宽视角光学成像仪 (Advanced Wide Field Imaging, AWFI^[21]) 是一台包含 3 个可见光波段和 1 个近红外波段的相机, 观测幅宽为 850 km, 空间分辨率为 60 m, 时间分辨率为 5 天(表 10)。Amazônia-1 主要用于野火探测、海岸带和植被监测、土地覆盖和土地利用制图。

2.4.3 Carcará I/II

Carcará I/II 是 2022 年 5 月巴西空军发射的低轨道对地观测 SAR 卫星, 用于支持打击毒品贩运和非法采矿, 确定河流通航性, 监测边境管制行动、野火、自然灾害和专属经济区等。Carcará I/II SAR 能够每天甚至亚每天重新访问地球上的同一位置, 从而实现全新水平的变化检测, 具体特性参数见表 11。

2.4.4 VCUB-1

VCUB-1^[22]是由 Visona Tecnologia Espacial (VTE) 设计的第一颗高分辨率地球观测卫星, 于 2023 年 4 月 15 日发射。VCUB-1 轨道高度为 530 km, 每 90 分钟飞越巴西一次, 搭载一台高空间分辨率相机, 空间分辨率为 3 m。VCUB-1 主要用于监测亚马逊地区森林砍伐和支持农业活动等, 具体特性参数见表 12。

表 10 AWFI 仪器参数表^[21]

成像仪类型	推扫模式观察
光谱波段 (μm)	0.45–0.52 蓝色
	0.52–0.59 绿色
	0.63–0.69 红色
	0.77–0.89 近红外
空间分辨率	60 m
条带宽度	850 km
重访功能	5 天

表 11 Carcará I/II SAR 传感器特性参数表^[22]

成像模式	条带	聚束	精细聚束	驻留	精细驻留	滑动聚束	扫描
标称刈幅 (宽×长) (km)	30×50	15×15	5×5	5×5	5×5	15×15	840×100
斜距分辨率 (方位向×地距向) (m)	3×(0.5–2.5)	0.25×0.5	0.1×0.25	0.05×0.5	0.05×0.25	0.5×0.5	N/A
地面分辨率 (m)	3	1	0.5	1	0.5	1	15
标称采集持续时间 (sec)	10	10	15	25	25	10	15
方位向视数	1–2	4	5	20	10	2	1
最大图像长度 (km)	840	5	5	5	5	15	840

表 12 VCUB-1 传感器特征表^[22]

参数	数值
地面采样距离 (GSD)	3 m, 5 m (@500 km)
光谱波段	蓝、绿、红、近红外
刈幅宽度	14 km
标景尺寸	14 km×14 km = 196 km ²

2.5 哥伦比亚

FACSAT-1^[23]是哥伦比亚的第一颗卫星,于 2018 年 11 月发射升空,轨道高度为 485 km,轨道倾角为 97.5°。FACSAT-1 搭载一台分辨率为 30 m 的成像仪,每天覆盖哥伦比亚领土,数据用于支持城市发展、土地恢复、非法作物替代以及自然灾害和火灾响应。

FACSAT-2^[24]于 2023 年 4 月 15 日发射,轨道高度为 500 km,轨道倾角为 97.379°。FACSAT-2 携带一台分辨率为 5 m 的多光谱成像仪,包含有可见光和近红外 8 个波段。FACSAT-1 与 FACSAT-2 参数概况如表 13。

表 13 FACSAT 传感器特征表^[24]

参数	FACSAT-1	FACSAT-2
尺寸	3U	6U
主载荷	NanoCom C1U GomSpace	Simera MultiScape Cis 100
空间分辨率	30 m	4.75 m
光谱波段	红、绿、蓝	红、绿、蓝、近红外、全色 8 波段
成像模式	快照模式	快照+线扫描混合模式
次载荷	/	Argus 2000 光谱仪
光谱范围	/	1,000–1,700 nm
光谱分辨率	/	–6 nm
空间分辨率	/	1.5 km @500 km

2.6 秘鲁

2.6.1 Chasqui-1

Chasqui-1^[25]卫星于 2014 年 8 月 18 日在国际空间站手动发射,搭载两台相机,一台获取可见光图像,另一台获取近红外图像,相机的 CMOS (Complementary Metal-Oxide- Semiconductor) 探测器采集 640×480 像素的图像。这两台相机将获取秘鲁的图像,用于农业监测、资源管理、森林砍伐和自然灾害监测。

2.6.2 PerúSAT-1

PerúSAT-1^[26]是第一颗亚米级卫星,空间分辨率为 0.7 m,于 2016 年 9 月发射,太阳同步轨道高度为 695 km,轨道倾角为 98.3°。PeruSat-1 搭载一款推扫式成像仪 AstroSat 光学传感器 NAOMI,提供波长范围 0.45 μm–0.75 μm 的全色图像以及 4 个光谱波段的多光谱图像,其中蓝色 (0.45 μm–0.52 μm)、绿色 (0.53 μm–0.60 μm)、红色 (0.62 μm–0.69 μm)、近红外 (0.76 μm–0.89 μm)。在全色模式下,其最低点处的地面采样距离 GSD (Ground Sampling Distance) 为 0.7 m–2.5 m,在多光谱影像下为 2 m–10 m,能够在秘鲁任何地区 3 天内重访,传感器具体参数如表 14。PerúSAT-1 高分辨率的影像数据对农村地籍、灾害风险管理、森林砍伐、根除古柯种植、非法采伐、作物监测、道路监测和安全等应用有重要支持作用。

2.7 厄瓜多尔

NEE-01 Pegaso^[27]立方体卫星于 2013 年 4 月 26 日搭载中国长征二号火箭发射升空,太阳同步轨道高度为 657 km,轨道倾角为 98.04°,周期为 97.45 分钟。NEE-01 Pegaso 是厄瓜多尔第一颗地球观测卫星,由厄瓜多尔民用航天局 (Ecuadorian Civil Space Agency, ECSA) 建造,传感器包括可见光和红外相机。NEE-02 KRYSAOR 为 NEE-01 Pegaso 的备份,于 2013

表 14 PerúSAT-1 传感器 NAOMI 参数规格表^[26]

仪器类型	推扫式成像仪
全色波段 (PAN)	0.45–0.75 μm
多光谱波段 (MS)	蓝色: 0.45–0.52 μm 绿色: 0.53–0.60 μm 红色: 0.62–0.69 μm 近红外: 0.76–0.89 μm
地面采样距离 (GSD)	PAN: 0.7–2.5 m MS: 2–10 m
探测器	N \times 硅面阵列, PAN 为 7,000 像素, MS 波段为 1,750 像素
条带宽度	10 km 至 60 km, 具体取决于 GSD 和探测器数量
数据量化 (动态范围)	12 位

年 11 月 21 日发射, 太阳同步轨道高度为 720 km, 轨道倾角为 98.7°。

2.8 委内瑞拉

2.8.1 VRSS-1

VRSS-1^[28]是委内瑞拉第一颗遥感对地观测卫星, 于 2012 年 9 月 29 日在中国酒泉发射中心由长征二号火箭发射, 太阳同步轨道高度为 640 km。VRSS-1 卫星包含两个不同分辨率的摄像机。最高分辨率的全色模式下分辨率为 2.5 m, 多光谱模式下分辨率为 10 m, 见表 15。较低分辨率摄像机的分辨率为 16 m, 见表 16。

VRSS-1 卫星每 24 小时飞越委内瑞拉上空三到四次, 每 57 天覆盖委内瑞拉同一地区, 用于委内瑞拉资源研究、植被观测, 评估委内瑞拉的土壤和水资源、城市规划、监测非法采矿和毒品活动、支持灾害监测等。

2.8.2 VRSS-2

VRSS-2^[29]是委内瑞拉拥有的第二颗遥感对地观测卫星, 于 2017 年 10 月发射, 太阳同

表 15 PMC 传感器参数表^[28]

成像仪类型	具有 TDI 功能的手推扫帚
光谱波段	PAN/全色: 0.45–0.90 μm B1/蓝色: 0.45–0.52 μm B2/绿色: 0.52–0.59 μm B3/红色: 0.63–0.69 μm B4/近红外: 0.77–0.89 μm
最低点处的条带宽度	–57 km
探测器 CCD	平移: 10 $\mu\text{m}\times 10 \mu\text{m}$, 像素 $\geq 12,000$ (单摄像头) MS: 40 $\mu\text{m}\times 40 \mu\text{m}$, 总像素 $\geq 3,000$ (每个波段/单摄像头)
MTF (调制传递函数)	≥ 0.18 (PAN)、 ≥ 0.2 (毫秒)
SNR (信噪比)	PAN: ≥ 48 dB (太阳天顶角=70°, 表面反照率=0.65) MS: ≥ 48 dB (太阳天顶角=70°, 表面反照率=0.65)

表 16 WMC 传感器参数表^[28]

成像仪类型	具有 TDI 功能的手推扫帚
光谱波段	B1/蓝色：0.45–0.52 μm B2/绿色：0.52–0.59 μm B3/红色：0.63–0.69 μm B4/近红外：0.77–0.89 μm
最低点处的条带宽度	~370 km
探测器	CCD，12,000 像素，尺寸为 6.5 μm
光学系统	折射光学系统，焦距=270 mm
MTF（调制传递函数）	≥ 0.14 （B4）、 ≥ 0.2 （其他波段）
SNR（信噪比）	MS： ≥ 20 dB（太阳天顶角=15°，表面反照率=0.05） MS： ≥ 46 dB（太阳天顶角=70°，表面反照率=0.65）

步轨道高度为 645 km。VRSS-2 包含两种不同的相机，高分辨率相机（全色和多光谱传感器）和红外相机，影像数据共有 10 个波段，包括空间分辨率为 1 m 的全色波段（波段 1）、空间分辨率为 3 m（波段 2–5）、30 m（波段 6–8）和 60 m（波段 9–10）的 9 个多光谱波段（波段 2–10），总共 10 个光谱波段。

VRSS-2 每 24 小时飞越委内瑞拉上空三到四次，主要应用于委内瑞拉国土资源普查、环境保护、灾害监测和管理、农作物估产和城市规划等，对委内瑞拉发展国民经济、改善人民生活、促进社会进步等发挥积极作用。

3 伊比利亚美洲国家地球观测卫星的主要应用

3.1 西班牙国家国土观测计划（Spanish National Plan for Territory Observation, PNOT）

西班牙地球观测系统将满足国家以及国际光学和 SAR 领域的部分用户需求，是西班牙对 GEOSS 国际倡议最重要和最具潜力的贡献，适合与其他卫星相互补充形成全球覆盖。例如 PAZ 和 Sentinel-1，SEOSAT/Ingenio 和 Sentinel-2，在短时间内提供大面积所需的高空间分辨率影像，以进行季节性或年度监测。

西班牙国家国土观测计划^[30]（Spanish National Plan for Territory Observation, PNOT），包括 PNOA（National Plan for Aerial Orthophotography）、PNT（National Plan for Remote Sensing）和 SIOSE（Information System for Land Cover and Land Use in Spain）。PNOT 协调获取航空影像和数字高程模型，提供覆盖全国的遥感数据，包括每 2–3 年更新一次航空多光谱正射摄影，15 cm 分辨率利用 LiDAR 获取的数字高程模型，用于防洪、道路工程和森林清查。PNT 协调地球观测卫星图像，定期（每年、每月和每周）提供覆盖整个国家领土的高、中、低分辨率卫星图像。PNT 推动了所有西班牙公共管理机构、大学和公共研究机构在多个项目和任务中大量使用卫星图像。PNT 在 3 个时空层级提供遥感影像：高分辨率 1 至 10 m，从 2005 年到 2013 年，利用 SPOT5 2.5 m 分辨率夏季图像形成每个覆盖全境一次的影像；中分辨率，空间分辨率 10 至 100 m，采集 2009 年以来覆盖西班牙的所有 Landsat 5 多光谱 30 m 和 Landsat

7 图像, 2011 年和 2012 年开始获取 Deimos-1/2 20 m 分辨率的图像, 以及 Landsat 8, 主要用于年内和年际多时相环境和国土动态监测; 低分辨率, 空间分辨率 100 至 1,000 m, 时间频次为 1 或 2 天, 哨兵 3 号是主要数据源, 主要用于生物物理参数(植被指数、温度、可燃物质数量和火灾风险)提取, 实现近实时环境变量监测。SIOSE 主要执行 1:10 万的 CORINE (Coordination of Information on the Environment) 土地覆盖计划和 1:2.5 万的西班牙土地覆盖和土地利用信息系统。

3.2 巴西亚马逊森林监测应用

巴西是一个幅员辽阔的大陆国家, 其领土由不同的生物群落、多样化的农业系统和复杂的水文、能源、地质和地形系统组成。巴西的自然植被非常多样化, 两个生物群落, 即热带森林和塞拉多森林, 覆盖了该国一半以上的领土。巴西生物群落方面的主要环境问题之一是森林砍伐, 特别是在亚马逊地区。实时毁林监测 (Near real-time Deforestation Detection, DETER)^[31]就是此类举措之一。DETER 系统是 INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) 通过常设部际工作组 (Permanent Inter Ministerial Working Group, GTPI) 对巴西科学、技术、创新和通信部行动计划的贡献, 旨在降低亚马逊地区的合法森林砍伐率。该系统自 2004 年开始运行, 是监测和控制森林砍伐 (尤其是巴西亚马逊地区) 的重要警报工具。DETER 使用空间分辨率为 250 m 的 MODIS (美国 Terra 和 Aqua 卫星上的中分辨率光谱成像仪) 数据。由于 MODIS 图像的空间分辨率为 250 m, DETER 系统只能识别 25 hm² 以上的森林砍伐区域。此外, 云层覆盖也可能限制系统识别毁林情况。因此, 需要更高空间分辨率的遥感数据。另一个致力于监测亚马逊地区森林砍伐的运营计划是遥感森林砍伐测量 (Remote Sensing Deforestation Measurement, PRODES), 该系统基于陆地卫星 (Landsat、CBERS、DMC 等) 数据, 测量森林砍伐面积。

4 伊比利亚美洲国家地球观测系统发展及展望

伊比利亚美洲国家的地球观测系统有一定发展基础, 在 SAR 卫星、高分辨率光学小卫星星座的发展建设方面具有一些特色, 具有商业化、市场化发展的明显趋势。伊比利亚美洲国家的地球观测系统的发展注重提升遥感数据的观测精度和实用性, 推动了相关领域的科学研究和技术应用。特别是 SAR 卫星技术在农业、林业、城市规划、环境监测等多个领域得到了广泛应用, 这些应用不仅提高了资源管理的效率, 还在灾害预警和应对中发挥了重要作用。

尽管伊比利亚美洲国家地球观测技术进步显著, 但与美国、欧洲、中国等相比, 伊比利亚美洲国家在综合地球观测系统构建方面仍有差距, 已有卫星尚未形成完善的地球观测星座, 无法对全球进行全覆盖成像, 中低空间分辨率每天覆盖地球的观测系统尚未建立。

随着 GEOSS 的建设和发展, 伊比利亚美洲国家应继续加大研发投入, 特别是要加强卫星载荷、数据处理算法和卫星平台技术研发, 也应该进一步加强数据共享与合作, 建立完善的地球观测数据共享机制, 促进政府、科研机构和商业企业之间的合作。同时, 应积极参与国际地球观测计划, 尤其是加强气候变化、生态系统监测和灾害管理等方面的地球

观测数据支撑服务,提升数据的国际影响力,共同推动地球观测数据的共享与应用,为全球可持续发展贡献力量。

作者分工: 赵春亮调研和收集了相关数据并撰写了论文初稿;张倩倩、范锦龙、刘闯、赵小溪和 Belen Franch 对调研方案进行了设计和规划,范锦龙最后对论文进行了修改。

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] 冯筠,高峰,黄新宇. 构建天地一体化的全球对地观测系统——三次国际地球观测峰会与 GEOSS[J]. 地球科学进展, 2005, 20(12): 7. DOI: 10.3321/j.issn:1001-8166.2005.12.008.
- [2] 晓月. 全球将加强在地球观测方面的合作[J]. 国际太空, 2005(4): 1. DOI: CNKI:SUN:GJTK.0.2005-04-003.
- [3] Learner Trip. Countries by population (2023) [EB/OL]. <https://learnertrip.com/demography/countries-by-population-2023/>.
- [4] Undp. Human development report 2023–24 [R]. United Nations Development Programme, 2024.
- [5] Jones, S. C., May, C. The Geosat-1 ground station [J]. *International Telemetry Conference Proceeding*, 1985(21): 32.
- [6] Pirondini, F., López, J., González, E., *et al.* DEIMOS-2: cost-effective, very-high resolution multispectral imagery [C]. Conference on Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XVIII, 2014.
- [7] Fernández, C., De Castro, C., Calleja, M. E., *et al.* GEOSAT 2 atmospherically corrected images: algorithm validation [C]. Presented at the 5th International Electronic Conference on Remote Sensing, 2023: 21.
- [8] Bonilla, M. J. G., Munoz, J. M. C., Carrasco, E. V., *et al.* PAZ mission science activities [C]. EUSAR 2021; 13th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 2021: 1–4.
- [9] Marini, A., Barragan, F. J. R., Crippa, G., *et al.* SEOSAT/Ingenio-a Spanish high-spatial-resolution optical mission [C]. International Conference on Space Optics (ICSO), 2014.
- [10] Miravet, C., Zorita, D., Bueno, J. I., *et al.* Development status of the telescope for the Ingenio/SEOSAT mission primary payload [C]. Optical Design and Engineering IV, 2011.
- [11] Marini, A., Reina, F., Popescu, A., *et al.* SEOSAT/Ingenio: a high-resolution land imaging mission [C]. International Conference on Space Optics (ICSO), 2018.
- [12] Colomb, F., Alonso, C., Hofmann, C., *et al.* SAC-C mission, an example of international cooperation [J]. *Advances in Space Research*, 2004, 34(10): 2194–2199.
- [13] Machado, M., Roggero, E., Alonso, R., *et al.* SAC-a satellite [C]. Small Satellite Conference, 1996.
- [14] Giraldez, A. E. SAOCOM-1 Argentina L-band SAR mission overview [J]. *ESA Special Publication*, 2004, 565: 27.
- [15] Vrabel, J. C., Bresnahan, P., Stensaas, G. L., *et al.* System characterization report on the Satellogic NewSat multispectral sensor [R]. US Geological Survey, 2022.
- [16] Leitmann, M. G., Rebordao, J. M., Gomes, N. M., *et al.* PoSAT-1 star imaging system: in-flight performance [C]. Platforms and Systems, 1995: 167–177.
- [17] Lammerzähl, P., Rawer, K., Roemer, N. Results of the AEROS satellite program: summary [R]. 1980.
- [18] Lino, C. D. O., Lima, M. G. R., Hubscher, G. L. CBERS—an international space cooperation program [J]. *Acta Astronautica*, 2000, 47(2–9): 559–564.

- [19] Sausen, T. M. The China-Brazil earth resources satellite (CBERS) [J]. *ISPRS Society*, 2001, 6(2): 27–28.
- [20] Silva, D. F. D., Muraoka, I., Garcia, E. C. Thermal control design conception of the Amazonia-1 Satellite [J]. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2014(6): 169–176.
- [21] Scaduto, L., Carvalho, E., Santos, A. The advanced wide field imaging camera (AWFI) for the Amazonia 1 Brazilian satellite [C]. International Conference on Space Optics—ICSO 2010, 2019: 840–845.
- [22] Moraes, M. S. G. D. Trajetória tecnológica do setor espacial: o comportamento das firmas brasileiras no new space [D]. Brasília: University of Brasília, 2023.
- [23] Méndez, G. J. E., Cheng, A. M., Muñoz, S. FACSAT: conception as a cyber-physical system for satellite observation of the Earth: automated mission planning and scheduling [C]. Proceedings of the ACM/IEEE 14th International Conference on Cyber-Physical Systems (with CPS-IoT Week 2023), 2023: 241–242.
- [24] Rincón-Urbina, S. R., Cárdenas-García, J. M., Pirazán-Villanueva, K. N., *et al.* Diseño crítico del nanosatélite de la misión FACSAT-2 para la observación y análisis del territorio colombiano [J]. *Revista UIS Ingeniería*, 2023, 22(3): 69–86.
- [25] Freese, K. A small box that's a big deal: how Latin American Countries are using CubeSATS and why it matters [J]. *Small Wars Journal*, 2016-07-30.
- [26] Colonia, G., Andy, R. Analysis of spectral applications derived from images perusat-1 satellite [J]. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgíay ciencias geográficas*, 2021, 24(47): 75–81.
- [27] Nader, R., Carrion, H., Uriguen, M. The Ecuadorian experience in space: the NEE ALPHA satellite constellation [C]. 1st International Academy of Astronautics Latin America Cubesat Workshop, 2014.
- [28] Cheng, Y., Li, Z., Zhao, H., *et al.* VRSS-1 satellite summary [C]. Proceedings of the 64th International Astronautical Congress (IAC 2013), Beijing, China, 2013.
- [29] Xuan, G. Alcomsat-1 and VRSS-2 delivered to customers [J]. *Aerospace China*, 2019, 19(1): 56.
- [30] Villar, A. A., Asensio, L. G., Alcázar, G. V., *et al.* Spanish national plan for territory observation (PNOT) [J]. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2008, 37(B4): 1729–1733.
- [31] Diniz, C. G., de Almeida Souza, A., Santos, D. C., *et al.* DETER-B: the new amazon near real-time deforestation detection system [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2015, 8(7): 3619–3628.