

# 《全球业余卫星介绍》

## 编者按:

2021 年初,国家无线电监测中心专家编译了美国著名无线电爱好者、AMSAT 组织前任主席 Keith Baker (呼号为 KB1SF/VA3KSF) 发表在《监测时报》上的业余卫星通信系列文章,并在“中国无线电管理”微信公众号开辟了“走进业余卫星通信”专栏。2021 年,在第十个 2·13 世界无线电日之际,我们节选了中心编撰的《业余卫星通信》一书部分内容,简要介绍了业余无线电、业余卫星通信发展历史、使用频段、相关无线电管理政策、现有业余卫星信息等内容,发表了“原创科普《业余卫星通信》”系列文章。两个系列文章一经发表,广受好评。近期,我们将业余卫星通信发展史和全球业余卫星情况进行了整理,结合《业余卫星通信》一书有关内容,推出《全球业余卫星介绍》(节选)系列,即日起在“中国无线电管理”微信公众号连载两天,以期把业余卫星通信有关内容引向深入。

- 第一篇 业余卫星概述
- 第二篇 美国业余卫星
- 第三篇 日本业余卫星
- 第四篇 中国业余卫星(上)
- 第五篇 中国业余卫星(下)
- 第六篇 典型的废弃业余卫星

## 第一篇 业余卫星概述

业余卫星的主要功能是进行信号转发或语音传递,我们可以将在轨业余卫星的状态分为:转发器工作、国际空间站(语音)正常、只有信标、无信号和冲突报告五种(图1),这些状态信息是由全球业余爱好者实时更新,并自愿将这些信息共享以便业余卫星通信爱好者们根据卫星实时状态制定

通联计划。

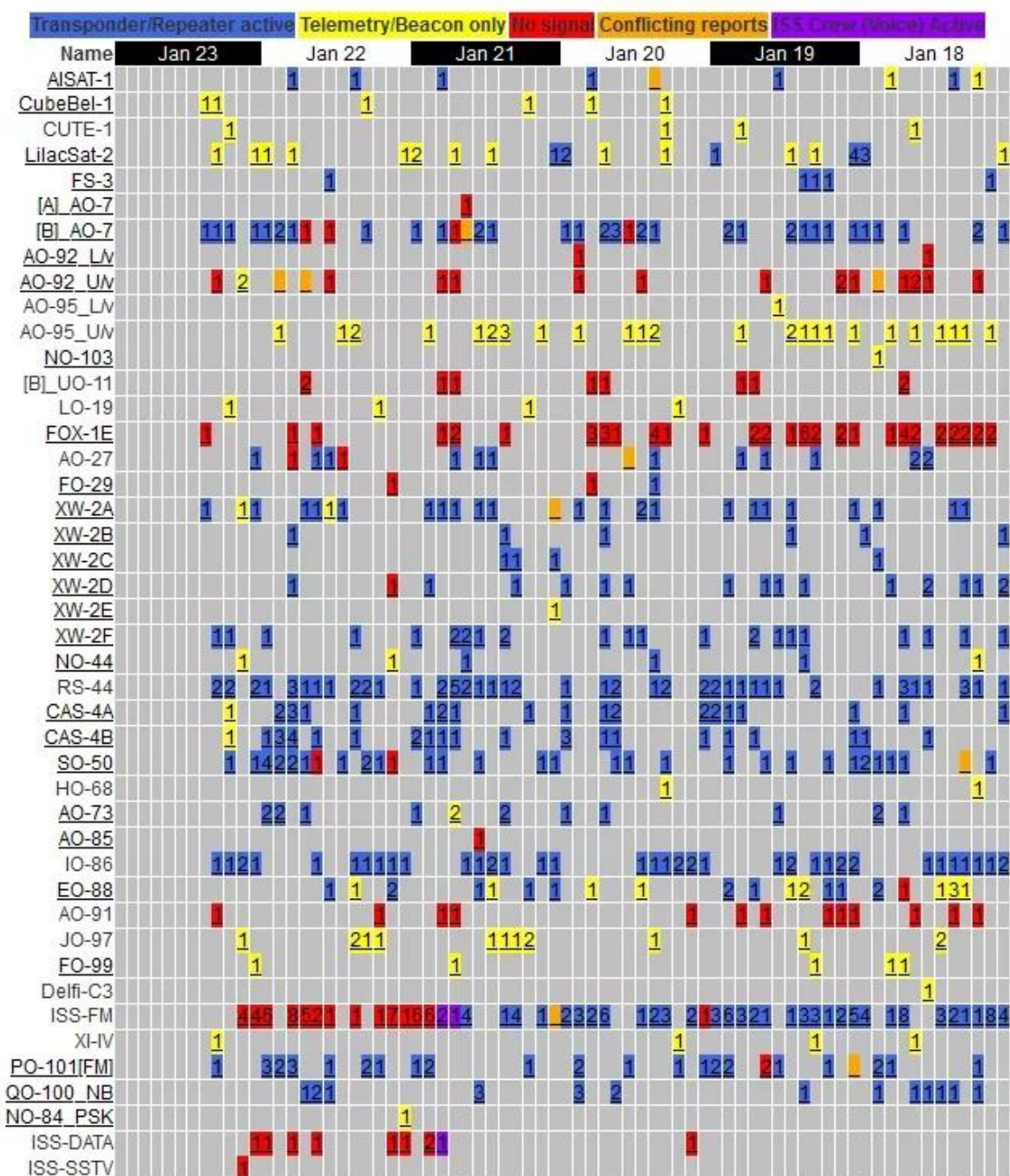


图1 在轨业余卫星的实时通联状态

## 1. 业余卫星发展简史

1957年，苏联发射了第一颗人造地球卫星——伴星一号，开创了人类的宇航时代。四年以后，一颗由业余无线电爱好者自行研制的卫星：OSCAR-1在美国加利福尼亚州的一个

空军基地发射升空，这不但证明了业余无线电爱好者们有能力与航天发射部门进行技术协调，有能力研制、跟踪、控制自己的卫星，有能力采集和处理相关的科学和工程数据；也标志着业余无线电通信从此进入了太空时代。至今世界各地的业余无线电爱好者们已经成功的发射了数百颗业余卫星；目前为止 OSCAR 识别编号已经用到 MO-46，不过有在运作的业余卫星总数大概不到 30 个，许多新一代的 OSCAR 正在研发或制造、测试中。各国的业余无线电爱好者利用这些业余卫星可以方便的进它各种通信方式的试验和联络。最近的几年里，业余卫星还服务于大学的科技组织、自然灾害时的紧急通信以及进行高新科技实验。

AMSAT-OSCAR 卫星的发展阶段：

第一阶段发射的卫星大多使用年限较短,只能进行简单的信号收发实验；这一阶段的代表卫星有 OSCAR-1 至 OSCAR-5 等。1961 年 12 月 12 日发射的 OSCAR-1 卫星，仅在轨停留了 22 天就有 28 个国家的 570 多名业余爱好者接收其信号。OSCAR-3 卫星在轨停留了 18 天，22 个国家的 1000 多名业余爱好者接收到信号。

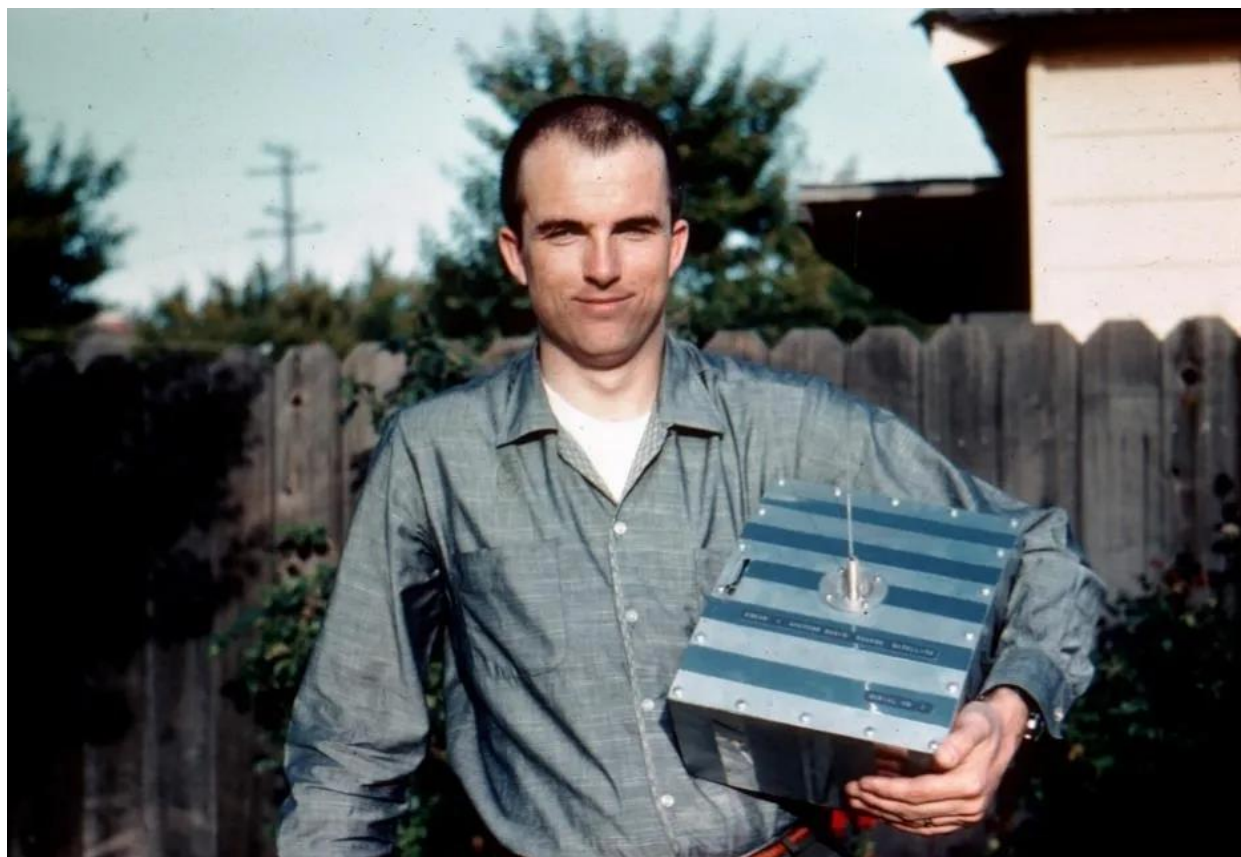




图2 兰斯·金纳 (K6GSJ) 和第一颗业余无线电卫星 OSCAR-1

第二阶段发射的卫星不但使用年限较长（大多数使用时间都在 10 年以上）而且卫星上装载了线性转发器、数字自动转发器、以及其他各种通信设备；现在使用的不少卫星如 AO-6 至 AO-8，俄罗斯的 RS 系列，日本的富士(FujiOSCAR)系列等都是这一阶段发射的。由于其轨道很低，所以到达地面的信号非常强，使用简单的设备就可以进行卫星通信试验；但低轨道卫星绕地球运行的周期都非常短，不超过 150 分钟，每一次经过电台上空的过顶时间都只有十几分钟。

第三阶段发射的卫星主要特点是轨道较高，和第二阶段的卫星一样也具有较长的使用年限和适应各种不同的通信方式。其代表卫星主要有已发射的 AO-10、AO-13、AO-40 等卫星。高轨道卫星环绕地球的时间比上一阶段的卫星有了很大的延长，使得每次通信时间大大加长；由于其高轨道使得覆盖范围有了较大的提高，卫星在远地点时几乎可以覆盖地球表面三分之一的面积。

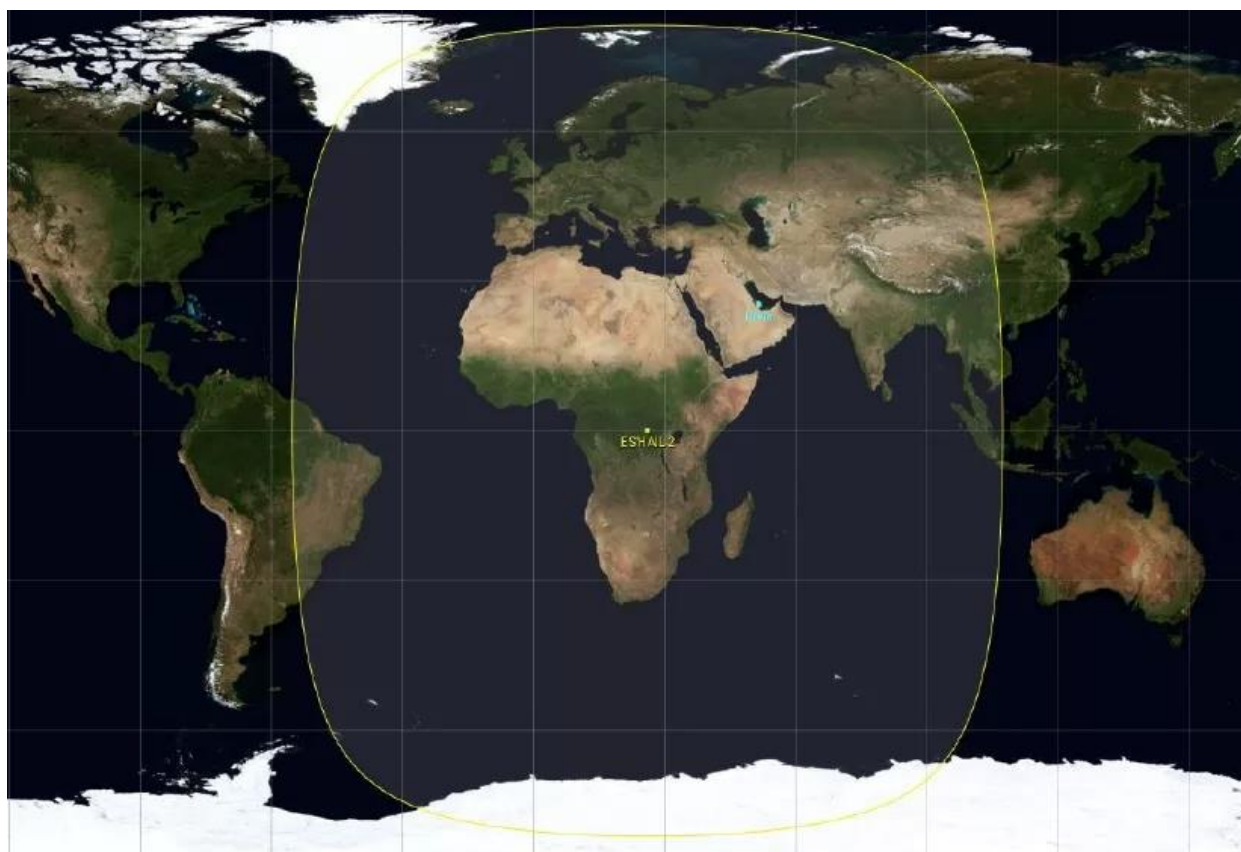


图 3 全球首颗 GSO 业余卫星 QO-100(Es'hail-2)的覆盖图

俄罗斯 RS 系列卫星，是踏上业余卫星通信之路的很好选择。俄罗斯自 1978 年 10 月 26 日发射了第一颗业余卫星 Radio Sputnik-1 至今已发射了十余颗业余卫星(RS-1 至 17)，但早期的卫星轨道高度 1700 千米正好位于范·艾伦带 (Van Allen radiation belt)，大量的高能粒子流的破坏使得这些卫星大都没能达到预定的使用年限。正是因为这个原因自 RS-10、RS11 起 RS 系列卫星都被发射到了 1000 千米左右的低辐射轨道。

自 1961 年以来,无线电爱好者一直负责创建一个由大约 150 颗轨道空间卫星组成的星座。这些卫星通常是与学术机构合作研制的，并在空间和卫星组织的支持下发射。业余卫星分为调频中继器卫星、转发器卫星和数字卫星，现有的卫星的分类具体如下：

调频中继器卫星：SO-50 (SaudiSat-1C)、AO-91 (RadFxSat / Fox-1B)、LilacSat-2 (CAS-3H)、IO-86 (LAPAN-A2)、PO-101 (Diwata-2)、AO-27、ISS Crossband Repeater

转发器卫星：AO-7、FO-29 (JAS-2)、AO-73 (FUNcube-1)、XW-2A (CAS-3A)、XW-2B (CAS-3B)、XW-2C (CAS-3C)、XW-2D (CAS-3D)、XW-2F (CAS-3F)、LO-87 (LUSEX / ÑuSat-1)、EO-88 (Nayif-1 / FUNcube on Nayif-1)、CAS-4A、CAS-4B、FO-99 (NEXUS)、JAISAT-1、TO-108 (CAS-6)、RS-44、QO-100 (Es'hail-2 / P4A) (25.9 ° E)。

数字卫星：FalconSAT-3、NO-44 (PCsat)、NO-84 (PSAT)、IO-86 (LAPAN-A2)、AISAT-1、NO-103 (BRICSAT2)、NO-104 (PSAT2)、ISS Frequency Summary

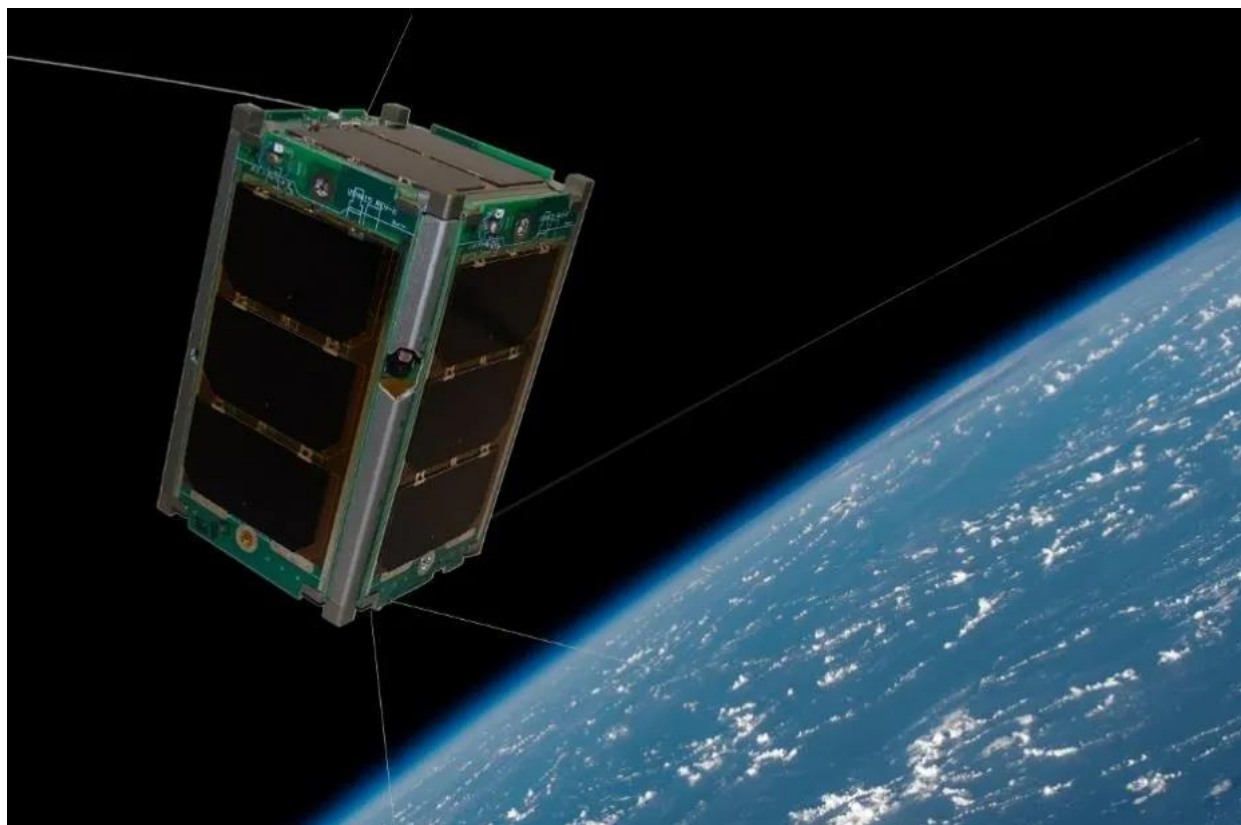


图4 NO-104 效果图

## 2. 业余卫星的国际组织

60 多年来，北美、欧洲和其他地区的 AMSAT 小组在空间科学、空间教育和空间技术方面发挥了重要作用，极大地推动了最新水平的发展。毫无疑问，AMSAT 志愿者工程师在世界各地所做的工作将继续对业余无线电以及其他政府、科学和商业活动的未来产生深远、积极的影响。

1) 业余无线电卫星组织 (AMSAT, The Radio AmateurSatellite Corporation) : 作为一个非盈利的科研教育组织，于 1969 年在美国华盛顿哥伦比亚特区成立。该组织提供业余卫星的设计、建造、测试和操作空间站服务，也在全世界的无线电爱好者和学生中通过出版科技书籍、发布资料信息和提供互联网服务等方式开展科学教育。50 多年来，世界各地的 AMSAT 志愿者进行的工作对卫星通信和航天领域产生深远、积极的影响，在促进空间科学、空间教育、空间技术的发展方面发挥了显著作用。

2) 法语区业余无线电卫星组织 (AMSAT-FR)：旨在发展卫星和空间业余服务，特别是为法语国家。它向业余无线电爱好者和业余无线电爱好者提供支持，使他们能够利用业余无线电卫星，目的是实施、指导或建议与业余或有机体所从事的航天和航空技术有关的航天项目（例如：卫星、运载火箭）。

3) 国际空间站的业余无线电 (ARISS, Amateur Radio on the International Space Station)：让全世界的学生体验与国际空间站的宇航员直接交谈的兴奋感，激励他们追求科学、技术、工程和数学职业的兴趣，并通过业余无线电与无线电科学技术进行接触。

**3. 业余卫星的应用开展**国际电信联盟的《无线电规则》第 1.56 款明确了卫星业余业务供业余无线电爱好者进行自我训练、相互通信和技术研究。

表 1 AMSAT 现有项目介绍

序号	项目名称	项目简介	备注
1	AMSAT 教育	对于那些有着远大梦想和对科学、技术、工程和数学 (STEM) 感兴趣的青年男女来说, AMSAT 充满了成为航空航天和先进通信领域下一代创新者的机会。	自我训练
2	立方星 模拟器	AMSAT CubeSat 模拟器是 AMSAT 教育关系部的一个项目, 它是一个低成本的卫星模拟器, 运行在太阳能电池板和电池上, 传输 U HF 无线电遥测, 有一个 3D 打印框架, 可以通过额外的传感器和模块进行扩展。	自我训练
3	ARISS	ARISS 让全世界的学生体验到通过业余无线电与国际空间站的工作人员直接交谈的兴奋感。下一代 ARIS 互操作无线电系统的首个飞行单元于 3 月发射到国际空间站。	相互通信
4	GOLF 立方星计划	AMSAT 立方星计划的下一阶段, 也是 AMSAT 战略目标的重要组成部分, 涉及高轨、宽访问卫星任务。GOLF 将成为新技术的试验台, 包括软件定义的微波转发器、姿态确定和控制系统等。首个高尔夫立方体卫星, 高尔夫球座 (技术评估环境) 的建设计划于今年年底完成。	技术研究

现有业余卫星的应用开展情况是：

自我训练：国内外的卫星业余爱好者通过自己动手制作天线、跟踪卫星过境进行无线电通联、参与业余卫星制造项目，不断提高自身的无线电水平。

相互通信：业余卫星爱好者通过卫星进行远距离的通信，根据 AMSAT 记录，目前最远的联通距离是 2003 年申报的 18730 千米。

技术研究：自第一颗业余卫星发射以来，业务卫星有了长足的发展，全球无线电爱好者都贡献了力量。从短寿命业余卫星到允许用户在一个或多个大陆上同时进行通联的大卫星，也带动了业余爱好者不断进行技术研究。

## 第二篇 美国业余卫星

美国的多数业余卫星都会用 OSCAR 来进行命名，OSCAR 是 Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio 的缩写，意思是携带业余无线电设备的在轨卫星。卫星名称和编号由美国业余无线电卫星组织 (AMSAT) 进行分配，该组织致力于业余卫星的设计、建造、测试、发射和通联。这些业余卫星可以由获得许可的业余无线电运营商免费用于语音 (FM, SSB) 和数据 (AX.25, 分组无线电, APRS) 通信。

业余无线电卫星帮助推进了卫星通信科学。所做的贡献包括第一个卫星语音应答器（搭载在 OSCAR-3）的发布以及高度先进的数字“存储转发”消息收发应答器技术的开发等。

自 1961 年 12 月 12 日由加利福尼亚州隆波克范登堡空军基地的 Thor-DM21 Agena B 发射器发射了第一颗业余卫星 OSCAR-1 以来，美国的业余卫星可分为两个系列，第一个系列是 AMSAT-OSCAR，第二个系列是 NAVY-OSCAR。

表 1 目前美国的在轨在用业余卫星

卫星名称	状态	发射日期
AMSAT-OSCAR 7	半运行	1974/11/15
AMSAT-OSCAR 16	半运行	1990/1/22
OSCAR 33	半运行	1998/10/24



Navy-OSCAR 44	半运行	2001/9/30
GeneSat-1	在运行	2006/12/16
CAPE 2	在运行	2013/11/20
OSCAR 76	在运行	2013/11/21
OSCAR 83	在运行	2015/5/20
OSCAR 84	在运行	2015/5/20
AMSAT-OSCAR 85	在运行	2015/10/8
AMSAT-OSCAR 91	在运行	2017/11/18
AMSAT-OSCAR 92	在运行	2017/1/12
AMSAT-OSCAR 95	在运行	2018/12/3
Navy-OSCAR 103	在运行	2019/6/25
Navy-OSCAR 104	在运行	2019/6/25

第一颗业余无线电卫星 OSCAR-1 只有 4.5 公斤重 (30 x 25 x 12cm) 。1961 年底, 作为 Corona 9029 (也称为 Discoverer 36) 的第二个有效载荷发射, 这是 KH-3 系列卫星的第八次也是最后一次发射。

OSCAR-1 有一个由电池供电的 140 mW 发射机, 工作在 144.983 MHz 频点, 采用了从凸面中心延伸 60 厘米长的单极发射天线, 但没有姿态控制系统。像人类历史上的第一颗人造卫星 Sputnik-1 一样, OSCAR-1 只携带了一个简单的小信标发射器, 可以被地面站用来测量无线电在电离层中的传播, 这个信标还传送了包含卫星内部温度的遥测信息。

OSCAR-1 在轨道上运行的 22 天, 发送了摩尔斯电码消息“HI”。OSCAR-1 发射后, 美国副总统林登·约翰逊 (Lyndon B. Johnson) 随即以祝贺电报的形式向赞助业余无线电史上这一重大活动的小组致以敬意。

OSCAR-1 的原始数据备份已恢复, 并且可以完全使用交流电源供电。目前 OSCAR-1 在康涅狄格州纽顿市的 ARRL 总部展出, 并可以继续 145 MHz 频段发出摩尔斯电码的“HI”。



图1 第一颗业余无线电卫星 OSCAR-1

## 1. AMSAT-OSCAR 系列介绍

AMSAT 是一个由业余无线电运营商 (HAMS) 组成的全球性组织, 成立四十多年以来, AMSAT 主要利用志愿者提供的服务和捐赠的资源进行卫星设计, 建造, 并在政府和商业机构的协助下, 将卫星发射升空。截至目前, AMSAT 已成功地将 60 多枚业余无线电卫星发射到了地球轨道上。

AMSAT 成立于 1969 年, 是美国哥伦比亚特区特许的非营利性教育组织。其目的是促进业余广播电台参与太空研究和交流。这个组织由 3000 名成员组成。在美国 AMSAT 成立之后, 全世界各地其它地区的团体也开始相继成立, 并同时也在使用 AMSAT 这个缩写。尽管各个小组之间的隶属关系不是正式的, 但组织之间会非常紧密地进行合作。

接下来我们会在 AMSAT-OSCAR 系列中选取几个较为有代表性的卫星进行介绍。

(1) AMSAT-OSCAR-7 OSCAR-7, 也就是 AO-7, 于 1974 年 11 月 15 日发射到低地球轨道, 一直运行到 1981 年电池故障。然后经过 21 年的沉默, 在发射 27 年后的 2002 年 6 月 21 日再次听到了该卫星的声音, 但是卫星的控制系统已经不能工作了。尽管不受地面控制, AO-7 依然能在有光照的大部分时间里通联。



图 2 有 47 年历史的在轨业余无线电卫星 AO-7

卫星带有两个通信中继器, 同时只能有一个处于工作状态。第一个是 OSCAR 6 任务中使用的高功率 (2W) 版本。该同相转发器接收 145.85 MHz 和 145.95 MHz 之间的上行链路信号, 并在下行链路上 29.4MHz 和 29.5 MHz 之间重新发送它们。200mW 遥测信标提供 29.502 MHz 的遥测数据。对于 1 W 的输出, 在中继器输入端子处大约需要 -100 dBm。这对应于 90 W 地面的 EIRP, 到卫星的距离为 2,000 英里, 极化失配为 3 dB。

第二个中继器是由 AMSAT 的子公司 AMSAT Deutschland e.V. 在西德的马尔巴赫建造的, 它是带宽为 40 kHz 的反相线性中继器。它采用了采用包络消除和恢复技术的 8 瓦 PEP 功率放大器, 可在宽动态范围内以高效率保持线性工作。该转发器的上行链路从 432.125 MHz 到 432.175 MHz, 下行链路从 145.975 MHz 到 145.925 MHz。由于上行链路频段与无线电定位服务共享, 因此在转发器中并入了实验性脉冲抑制电路, 以减少上行链路中宽带脉冲雷达干扰的影响。

(2) **AMSAT-OSCAR-85** AO-85 (以前称为 Fox-1A) 是 AMSAT 的 Fox-1 系列 1U 立方体卫星中的第一个。作为 ELaNa XII 的一部分, AO-85 在加利福尼亚州范登堡发射的 NROL 55 Atlas 5 上发射, 它的倾角大约为 65 度, 在 518x810 km 的轨道上有远地点在北半球。

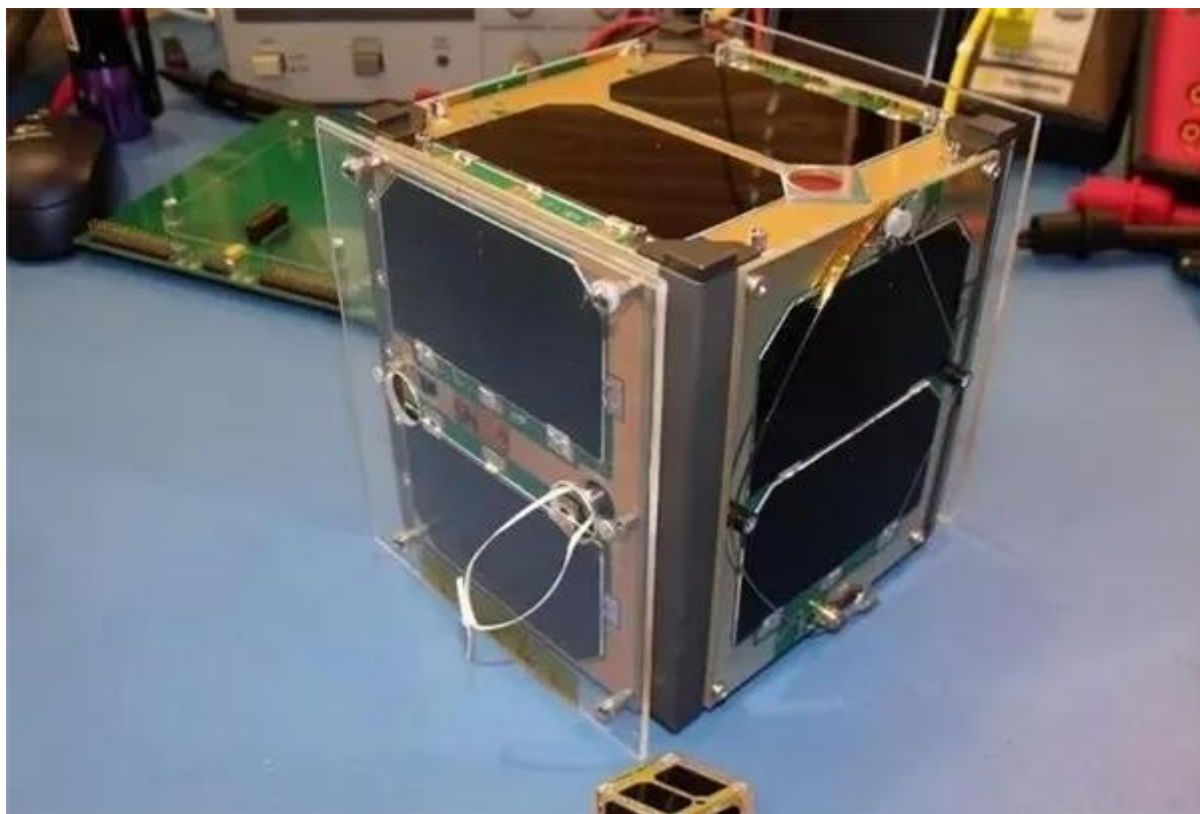


图 3 AO-85 卫星工程原型

AO-85 带有一个工作频率高达 800mw 的 U/V FM 中继器。上行链路计划为 435.180 MHz, 但初步报告表明, 由于无法预料温度差异, 上行链路可能接近 435.172 MHz。中继器的访问要求卫星接收 67.0 Hz 的 PL 音调持续 2 秒钟。如果卫星未接收到携带 67.0 Hz PL 音调的信号, 则转发器将在一分钟后关闭。当中继器未通过携带 PL 音调的信号激活时, 语音信标每两分钟发送一次。下行链路为 145.980 MHz, 包括与中继器同时进行的语音数据 (DUV) FSK 遥测。9600 bps 的高速数据下行链路可用于实验和高分辨率数据。

除了业余操作外, 航天器上会开展一些科学实验。例如范德比尔特大学的低能质子辐射实验, 宾夕法尼亚州立大学的陀螺仪实验。



(3) AMSAT-OSCAR91AO-91 是 AMSAT 与范德比尔特大学 ISDE 合作建造的, 拥有四个有效载荷, 用于研究辐射对现成组件的辐射影响。该卫星于 2017 年 11 月 18 日发射, 是 ELaNa XIV 任务的一部分, 是运载联合极地卫星系统 (JPSS-1) 卫星进入轨道的 Delta II 火箭的第二个有效载荷。

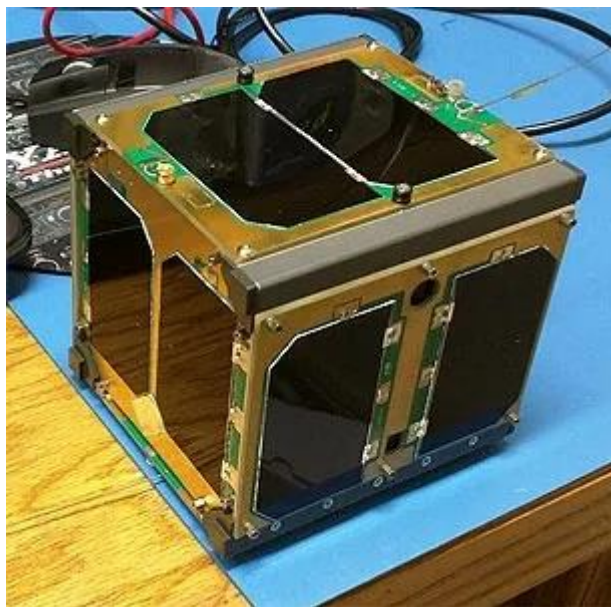


图4 AO-91 卫星工程原型

AO-91 还具有 Fox-1 型 FM U / v 中继器, 其上行链路为 435.250 MHz (67.0 Hz CTCSS), 下行链路为 145.960 MHz。卫星和实验遥测通过“DUV”亚音频遥测流进行下行链路传输, 并且可以使用 FoxTelem 软件进行解码。

**2. NAVY-OSCAR 系列介绍**美国海军学院成立于 1845 年 10 月 10 日, 在前美国海军部长乔治·班克罗夫特的领导下, 是美国五所军校中校龄第二长的, 其毕业生主要加入美国海军和美国海军陆战队。校园面积 137 公顷, 位于安妮阿伦德尔县的塞文河和切塞皮克湾交汇处。NAVY 系列卫星主要就是美国海军学院在发射和操作。(1) NAVY-OSCAR-44

OSCAR-44 (也称为 Navy-OSCAR 44, 或者 NO-44) 是由美国海军学院制造的一颗业余卫星。该卫星由阿拉斯加的科迪亚克发射场于 2001 年 9 月 30 日发射的, 使用的是 Athena 1 火箭, 同时还有三颗卫星被送入了地球轨道, 分别是 Starshine 3, PICOSat 和 SAPPHIRE 卫星。



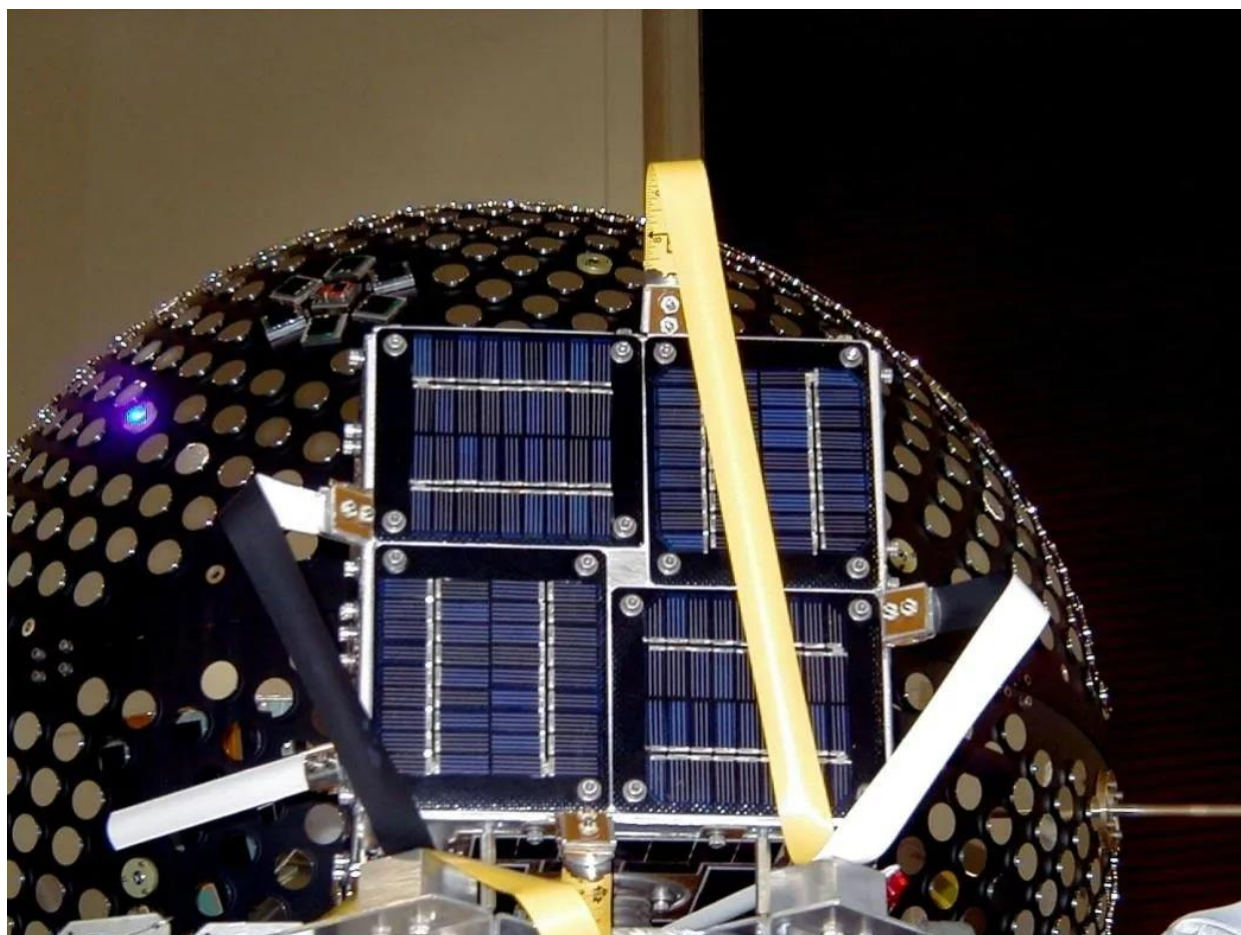


图5 NO-44 卫星工程原型

OSCAR 44 在 2 米波段有一个用于 APRS 的数字中继器，上下行链路为 145.825 MHz(FM FSK, AX.25, 1k2 and 9k6)，卫星通常在负功率平衡下工作。

OSCAR 44 存在严重的电池问题，每年需要将其电池进行三次重置。NO-44 曾于 2003 年 4 月 26 日宣告结束，并于 7 月 17 日死亡。但同年 9 月又神奇地重新恢复运转。自从 2003 年以来，已经进行了许多尝试来恢复该卫星，但是始终未能将其完全恢复。NO-44 在有利日晒的条件下（通常在正午时分）会保持活跃约 30-45 分钟时，随后随着功率下降，又会停止工作。

(2) NAVY-OSCAR-104PSat-2 是美国海军学院的实验性业余无线电卫星，是与捷克共和国布尔诺技术大学合作开发的。AMSAT 北美的 OSCAR 号码管理员为该卫星分配了号码 104；因此，在业余无线电社区中，它也被称为 Navy-OSCAR 104，简称 NO-104。



图6 NO-104 卫星工程原型

PSat-2 (ParkinsonSAT) 是一个学生卫星项目，它使用双向通信应答器，用于通过 Internet 连接的志愿地面站的全球网络将来自远程环境实验或其他数据源的遥测、传感器和用户数据中继回实验者。数据转发器还包括完整的立方体卫星的所有遥测，命令和控制。

## 第三篇 日本业余卫星

自 1986 年日本发射第一颗业余卫星 JAS-1 以来，已经陆续发射各类业余卫星多颗，主要用于新技术验证、科学实验，科普教育、对地遥感和通信等领域。本文简单介绍当前在轨的四颗日本业余卫星，它们的操作者较为灵活，由日本的爱好者组织、日本知名大学或其它机构，为业余无线电爱好者通联日本业余卫星提供参考。

### 1. FO-29

FO-29 (JAS-2) 也称 FUJI-OSCAR29 或者富士三号，于 1996 年 8 月 17 上午 10:53 分从种子岛宇航中心搭载 H2 火箭于日发射入轨，并于 38 分钟后进入轨道。几分钟后，在南

极的昭和基地报告收到了信号。FO-29 的轨道高度约 1300 公里, 绕地一周耗时 112 分钟, 轨道倾角 98 度。信标发射功率 100mW, 转发器发射功率 1W。该卫星重 50kg, 外形为直径 50cm 左右的多面体。不锈钢外壳上贴满太阳能电池板, 电源总消耗平均 22W。轨道近地点约高 800km, 远地点约 1300km, 轨道平面大致与太阳同步。

FO-29 由日本业余无线电爱好者捐款, NEC 公司制造, 日本宇宙开发事业公司测试, 最后作为次要载荷搭载日本 ADEOS/H-II 型火箭从种子岛宇宙中心发射。FO-29 主要参数: 信标 435.795MHz; 转发器下行频率 435.800MHz - 435.900MHz, 上行频率 145.900MHz - 146.00MHz ; 电台呼号 JJ1ZUT。



图1 技术人员对FO-29 卫星做发射前最后调整

设在日本业余无线电联盟总部大楼七层的技术研究所有一间卫星控制室。除信号发生器机柜和四台微型计算机外, 还有四个机柜, 嵌装着一些通用设备和自制设备。一个机柜是多普勒频移测量系统。一旦脱离火箭, 卫星飞行轨道就无法再加以控制。卫星的轨道利用监测

收到的卫星信标信号的多普勒频移，加以积累统计求出，以便定期向业余无线电爱好者发布轨道参数。

两个机柜各装一套无线电收发信机设备，互为备份。监测卫星发射信号的方向图就可以计算出卫星的姿态。技术人员用一台微型计算机用来发出控制指令，通过改变卫星上控制线圈中的电流，利用线圈磁场与地球磁场间的互相作用力，推动卫星发生旋转，校正其姿态，使天线的方向始终对准地球。一个机柜是遥测解码设备，测量卫星的温度，在一台微机上显示。

FO-29 上的转发器使用 1200 /9600bps 的 PACKET 方式和 SSB 方式，不过它的数字化语音转发器(DigiTalk)也允许地面台使用 F3（调频）方式，这对于业余无线电爱好者讲来十分方便，因为 V/UHF 调频收发信机十分普及，而且卫星相对位置变化造成的多普勒频移在 F3 方式中不很敏感，不加补偿也可正常工作。目前已有不少爱好者使用 V/UHF 双频段手机和手持天线成功地通过 FO-29 进行了通信。

## **2.FO-99**

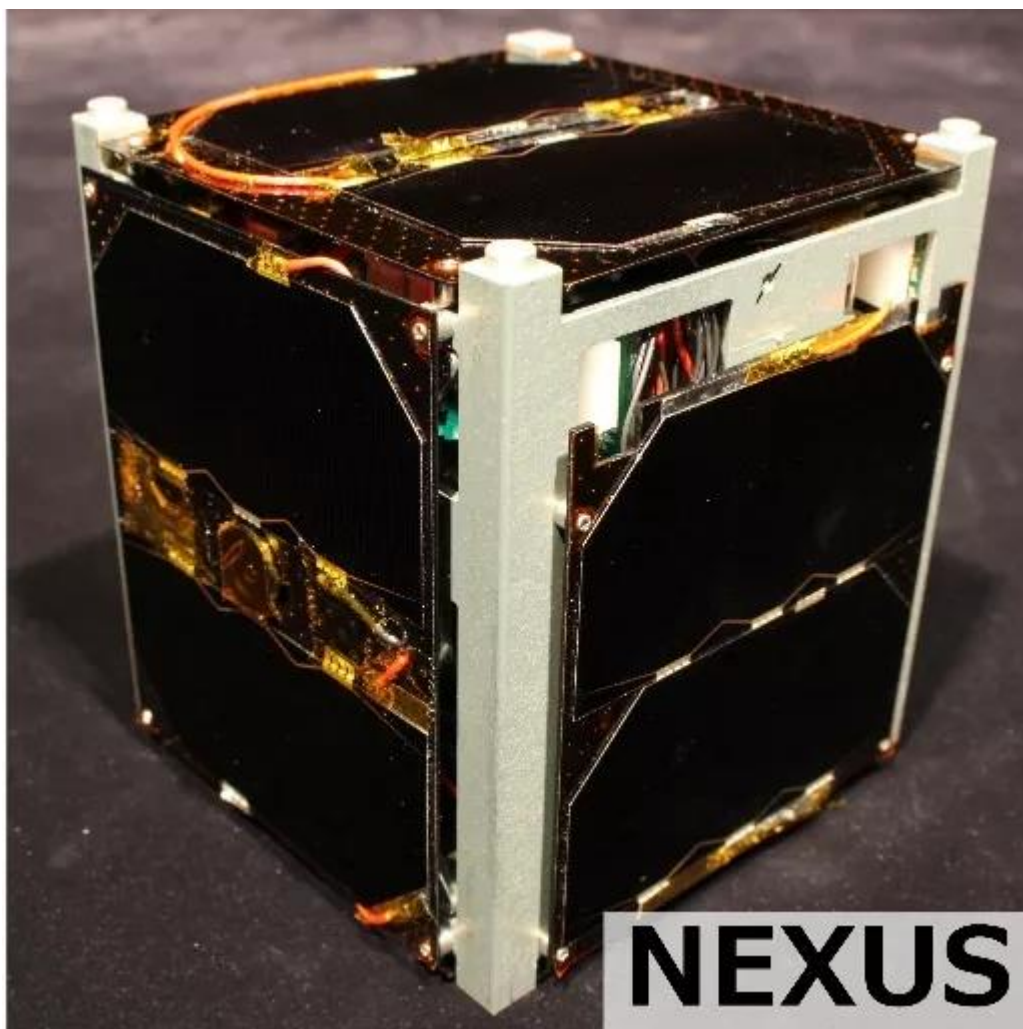


图2 FO-99 卫星

2019 年 1 月 18 日，FO-99（Fuji-OSCAR-99）搭载 NEXUS 在日本内村宇宙航空研究开发机构航天中心的 Epsilon 运载火箭发射升空。NEXUS（nexusgenerationxunique 卫星）是日本大学科学技术学院和日本业余卫星协会（JAMSAT）联合研制的一颗卫星。轨道近地点约高 476km，远地点约 506km，倾角为  $97.32^{\circ}$ ，轨道平面大致与太阳同步。

表 1 FO-99 卫星参数



Communication	○Transmit (435MHz band)	
Bus		CW (437.075MHz, 0.1W)
communication device		GMSK (437.075MHz, 9600bps, 0.8W)
		AFSK (437.075MHz, 1200bps, 0.8W)
Mission		QPSK (435.900MHz, 38400bps, 0.4W)
communication device		FSK (435.900MHz, 1200~19200bps, 0.4W)
		Linear transponder (435.880~435.910MHz, 0.5W)
	○Receive (145MHz band)	
Bus communication device		AFSK (145MHz band)
Mission communication device		Linear transponder (145.930~145.900MHz)

NEXUS 演示了几种新的业余卫星通信技术，包括一个 V/U 模式线性转发器。转发器 2019 年 1 月 26 日成功测试，全球已经接收并解码了遥测数据。该星重量为 1.24kg，卫星规格尺寸为 100×100×113.5mm，携带的设备：位移发射机，FSK 发射机，线性转发器，摄像机系统。遥测频率 437.075 MHz；下行频率 435.880~435.910 MHz；上行频率 145.900~145.930 MHz；呼号 JS1YAV；空间飞行器目录编号 43937；国际卫星标识符 03-F；空间飞行器目录 NEXUS。

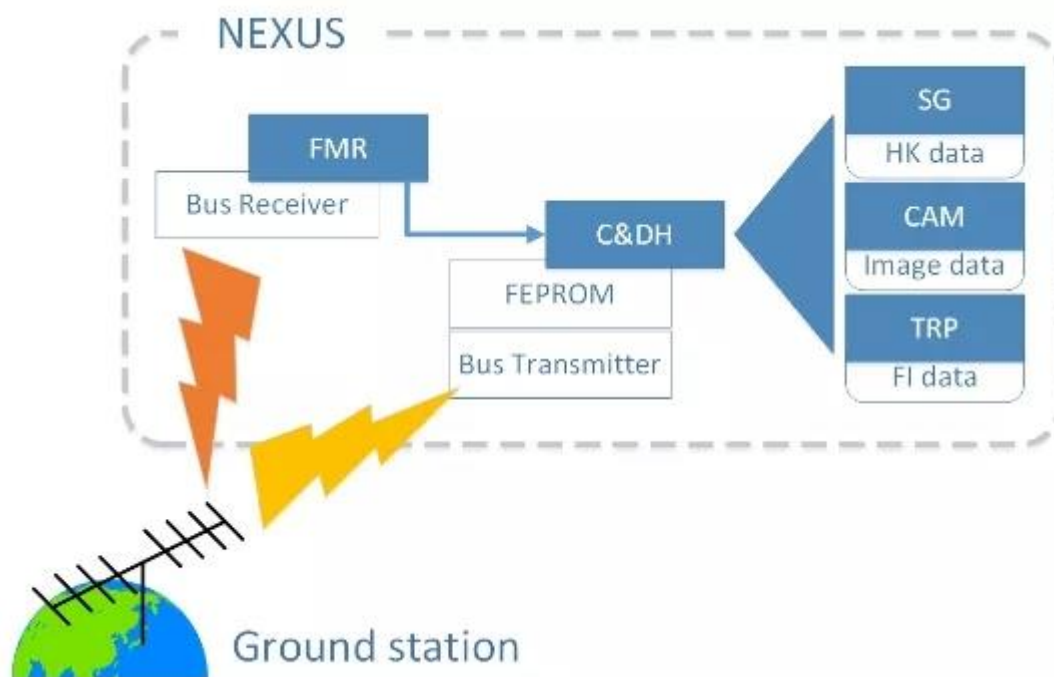


图3 F0-99 卫星命令与数据处理

它是一个获取和存储传感器数据等的系统，将数据传输到地面站，并另外管理任务设备的操作。NEXUS 采集的数据大致分为三个数据，即 HK 数据、图像数据、电场强度数据，所有这些数据都保存在 C&DH 系统中。它从存储的数据创建 FM 数据包并将其发送到地面站，也可以实时发送 HK 数据。

**3. CUBESAT-XI-IV** CubeSatXI-IV (CubeSat-OSCAR-57) 由日本东京大学研制，2003 年 6 月 30 日在俄罗斯普列谢茨克航天发射场搭载呼啸号火箭入轨。CO-57 规格尺寸  $100\times 100\times 100\text{mm}$ ，1Kg 重，轨道近地点高度 813Km，远地点高度 825km，轨道倾角为  $98.7^\circ$ ，轨道周期为 101.3 分钟，作为导航技术卫星，主要为东京大学进行了导航技术测试。

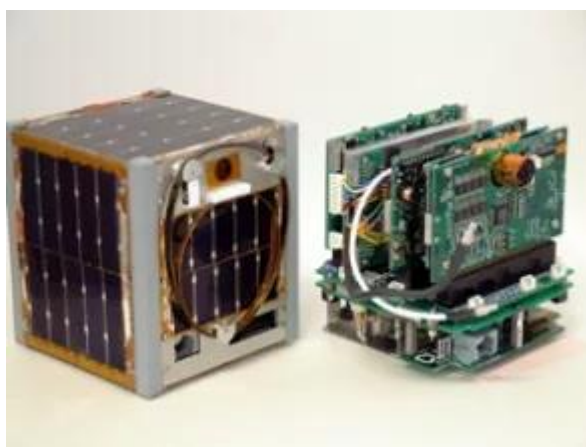


图4 XI-IV 卫星

该星自投运以来它一直处于非常良好的状态，成功的执行各种在轨实验，包括传感器数据采集、姿态估计运动和地球成像等。目的是对微小卫星的关键技术进行验收和测试，检验了商用原器件的应用性能。卫星参数：功率 1.1KW；空间飞行器目录编号 27848；国际卫星识别符 2003-031-J；空间飞行器目录 CUBESAT XI-IV；上行链路 145MHz，下行链路 437MHz；信标 436.848 MHz (CW, 80mW)；上行天线为单极子天线，下行为双极子天线；呼号：JQ1YCW。

CO-57 数据格式已向公众开放，以便业余无线电爱好者根据业余卫星条例进行联通和数据下载。该卫星的主要使命及工作方式：空间工程的教育；在轨演示纳卫星和皮卫星驱动

技术；使用业余频率实现射频通信实验；采用互监电流实现保护电路单事件闭锁(sel)/单事件断线(seu)；采用尺寸小、重量轻、功耗低的射频发射机实现调频分组和 CW 信标传输；

锂电池和充放电控制电路；Cmos 摄像控制电路；采用磁滞阻尼器控制卫星动姿态。

**4. CUBESAT XI-V** CubeSatXI-V (CubeSat-OSCAR-58) 由日本东京大学研制，2005 年 10 月 27 日在俄罗斯普列谢茨克航天发射场搭载宇宙-3M 火箭入轨，规格尺寸  $100\times100\times100\text{mm}$ ，重 1Kg，轨道近地点高度 668Km，远地点高度 693km，轨道倾角为  $98^\circ$ ，轨道周期为 98.7 分钟。

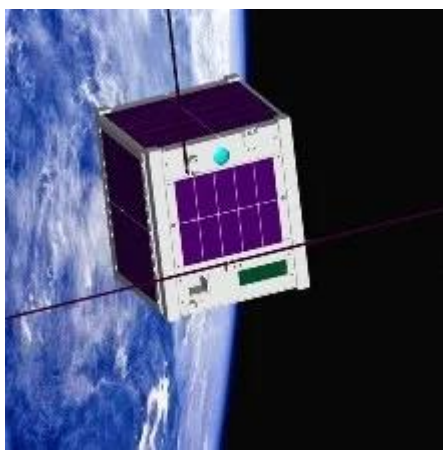


图 5 XI-V 卫星

该星自投运以来它一直处于非常良好的状态，成功的执行各种在轨实验，包括传感器数据采集、姿态估计运动和地球成像等。目的是对微小卫星的关键技术进行验收和测试，检验了商用原器件的应用性能。

CO-58 相对 CO-57 一个主要优势是摄像机从  $128\times120$  像素提升到  $320\times240$  像素，有效的程序代码使在有限的内存下使这种技术变成可能。还有连续拍照模式，可以实现在 200ms 时间间隔连续拍照 8 张照片。同时，CO-58 提供公众服务，具有通过转发器将载波信号进行 Morse 编码传输并将信息存储在 ROM 上的功能。ROM 上的信息从世界各地收集，可以连接到卫星供爱好者下载。空间飞行器目录编号 28895；国际卫星标识符 2005-043-F；空间飞行器目录 CUBESAT XI-V；

下行链路频率 437.345 MHz, 信标频率 437.465 MHz, Mode: 1200bps AFSK CW;  
呼号: JQ1YGW。

## 第四篇 中国业余卫星（上）

在介绍我国第一颗业余卫星的基础上，本篇重点分析我国开展的业余卫星活动并对业余卫星管理方式进行梳理，最后对业余卫星的发展进行探讨。

### 1. 我国第一颗业余卫星

研制我国自己的业余卫星最初想法始于 1998 年，但进展缓慢。直到 2005 年，在航天科技集团第五研究院（中国空间技术研究院）退休专家提议下，将研制业余卫星与研究院倡导的公益小卫星计划相结合，才重启了我国的业余卫星计划，定名为 CAS-1，2006 年完成了卫星的设计、研制。

2007 年，业余卫星计划与公益小卫星计划结合的想法获得了航天科技集团、中国科协、中国宇航学会和北京奥组委认可，各方正式启动了希望一号卫星项目，这是我国第一颗业余无线电卫星，也是我国第一颗科普卫星。希望一号卫星于 2009 年 12 月 15 日在太原卫星发射中心搭载“长征二号丙”运载火箭，“一箭双星”成功发射入轨。

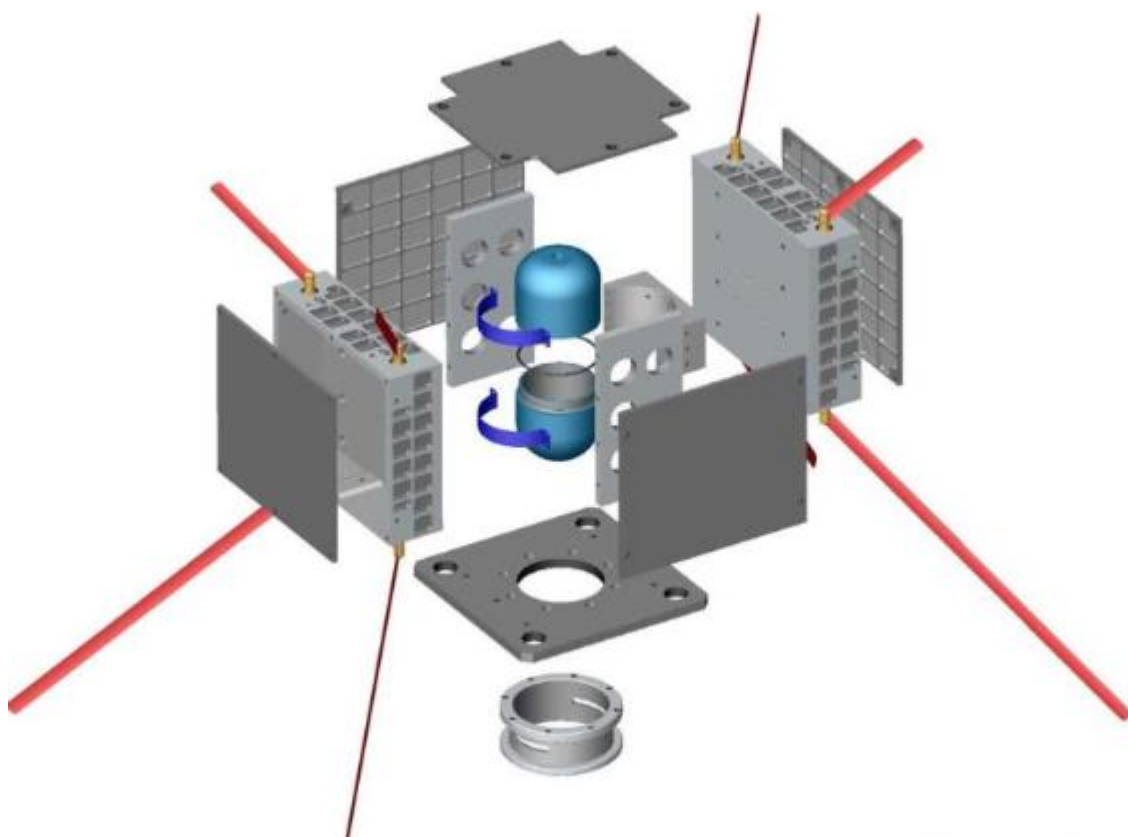


图1 希望一号卫星结构图

2009年12月19日, AMSAT把“希望一号”编为业余无线电卫星第68号, HO-68。H为“希望”的英文“HOPE”的第一个字母, O是国际上对业余无线电卫星的统称“OSCAR”的第一个字母, 这是我国的卫星第一次获得国际业余无线电界的编号。

表1 我国的第一颗业余卫星的技术参数

卫星名称	希望一号 (XW-1/CAS-1)	国际编号	HO-68
卫星形状	八面体柱形。质量约60千克, 星体高480mm、包络直径680mm	业余卫星载荷	一台业余无线电遥测信标机和三台业余无线电通信转发器。
电源系统	卫星采用被动热控方式。砷化镓太阳能电池阵和锂离子蓄电池联合供电。	其他载荷	卫星还携带有一台微型彩色宽视场CMOS摄像机和一个青少年科学实验装置。
工作频率	遥测信标机工作在UHF频段, 发射频率为435.790MHz, 射频输出功率约200mW。	工作模式	三台转发器分别工作在调频中继模式、线性转发模式和数据存储器转发模式。
轨道参数	高度为1200km, 倾角为105°, 运行周期	调制方式	无调制载波、等幅报和AFSK等方式; 国际标



为 109 分钟的太阳同步轨道。	准莫尔斯电码发送。
------------------	-----------

希望一号卫星的遥测信标信号每一次发送一个数据帧，发送时间约 40 秒，然后停止发送 10 秒钟，再发送下一个数据帧，周而复始。每个数据帧的遥测数据由星上微处理器实时更新，虽然希望一号卫星现在仅有一台信标发射机工作，但其优异的设计及稳定的性能使其成为业余卫星中的长寿星，至今仍然在轨运行。

“希望一号”卫星遥测信标发送时序如下：



图 2 希望一号卫星的信标时序图



图 3 希望一号卫星的星下点轨迹

可以说，我国的业余卫星计划开始较晚，但一开始就得到了国家的大力支持，这也成为我国业余卫星部署的特点：由国家相关部门牵头，各公益组织或科研机构 and 高等院校大力支持，后续的相关卫星将在下一篇文章中详细介绍。

**2. 我国开展的业余卫星活动**我国的业余卫星爱好者在与国外爱好者通联的同时，也开展了各种各样的具有中国特色的活动：一是开展中小学科普教育，二是鼓励青少年参与航天器研制，三是由国家相关部门建设科普实验基地。

### (1) 开展通联竞赛

国家体育总局联合教育部、中国科协、共青团中央等部委已连续多年持续开展了“全国青少年业余无线电卫星通信锦标赛”及相关的业余无线电活动。



图4 青少年参与业余卫星通信锦标赛

青少年业余卫星通信相关的活动主要包括卫星通信天线制作和卫星信标抄收两个部分，天线制作竞赛由参赛选手在规定的时间内，按规定的方案独立完成 VHF/UHF 双波段手持式业余卫星通信八木天线的制作和调试，并当场提交书面制作报告。卫星信标抄收竞赛由参赛选手使用自制的天线，自备接收机和相关设备，在规定的时间和地点架设设备，本人手持天线跟踪指定的业余无线电卫星，完成信标信号的接收。业余卫星通信的相关的竞赛活动让我国的青少年感受到了航天探索的魅力，近年举办的卫星业余的相关赛事遍布华北、华东、华南等地区，详见下表。

表 2 全国青少年业余无线电卫星通信锦标赛的举办地点

举办时间	举办地点
2010 年	广东省珠海市
2011 年	安徽合肥 中国人民解放军陆军军官学院
2012 年	广东省广州市
...	...
2017 年	北京市朝阳区
2018 年	江苏镇江
2020 年	河北保定

从历年的参赛情况来看，选手既有小学生也有高中生，孩子们通过赛前的训练和比赛过程，不仅学习了业余无线电、天文学、物理学和航天科技等方面的知识，同时又通过动手，学到了课本之外的知识。小朋友们在制作和通信中体会到了学习的乐趣，并且在活动的过程中培养了他们的探索精神，用竞技比赛与科技体验活动相结合的方式，彰显出了我国卫星业余无线电通信的独特魅力。

卫星业余无线电的信标首先被用于地面业余无线电爱好者跟踪卫星的运行。其次，卫星信标信号通常包含有反映卫星工作状态的遥测数据，业余无线电爱好者通过解码遥测数据可了解卫星的工作情况。2010 年和 2011 年举办的前两届全国青少年业余无线电卫星通信锦标均使用了我国的第一颗业余卫星 HO-68 (XW-1)。

## (2) 青少年科普活动

2016 年，11 月 10 日早上 7 点 42 分，我国第一颗由中学生参与研制的科普卫星——“丰台少年一号”暨“少年梦想一号”卫星在酒泉卫星发射基地搭载长征 11 号运载火箭成功发射升空。我国成为继美国、俄罗斯、法国、日本、印度之后第 6 个发射由青少年参与研制卫星并顺利升空的国家。这是北京市丰台区大力推进中小学生科技教育，提升青少年科学素养整合各方资源成立钱学森青少年航天科学院以来取得的阶段性重大成果。

2011 年，北京市丰台区在中国运载火箭技术研究院等院士和知名专家的帮助下成立了钱学森青少年航天科学院，启动了青少年“小卫星计划”项目。小卫星发射升空工作是钱学森青少年航天科学院的一项重点工作，首颗小卫星的样星于 2012 年由北京十二中钱学森航天实验班的同学研制成功。



图5 北京市丰台区中小学科技课程启动仪式

“丰台少年一号”暨“少年梦想一号”长 10 厘米、宽 10 厘米、高 20 厘米，重 1.87 千克，主体是黑色。该卫星也是钱学森青少年航天科学院研制的第三颗青少年卫星，主要用于钱学森青少年航天科学院开展中学生天地通联实验。小卫星升空后，全世界的无线电爱好者都可以接收卫星信号并接收语音信息。





图6 青少年参加“丰台少年一号”卫星研制

来自北京十二中、北京十八中、北京市航天中学3所学校6名学生在专家龚万骢(BAIDU)老师的指导下,参与这颗小卫星的课题研究。他们利用周末和节假日时间,系统地完成了卫星结构、星箭分离、卫星电源技术、星地无线电通讯、卫星发射场的雷电探究与防治、卫星轨道的分析和计算、太空环境对食用菌的影响等七个专题的学习,并参与卫星研制、星箭匹配、卫星测试,最终于11月10日成功发射升空。

“小卫星计划”项目旨在让青少年参与研发卫星发射升空,中学生参与卫星设计、研制过程,将极大地提升学生的科学素质,有效地培养学生的科技探究能力。随着研究的推进,中国运载火箭技术研究院已经同意将此小卫星计划打造成系列,“丰台少年2号”小卫星的功能将更加强大,在轨工作时间可以达到2年。

### (3) 建设科普基地

业余无线电的爱好者有自己的圈子,有自己开展活动的方式和方法,青少年朋友们也有相应的活动组织方式,但上述活动的开展没有固定的时间、场所,也没有相应的关联性。国



家无线电监测中心作为无线电管理技术机构，指导下属单位北京东方波泰无线电频谱技术研究所专门建设了业余无线电科普研学基地。



图7 研究所建设的业余无线电科普基地

有了国家无线电监测中心的技术支持，于2020年11月投入试运行的业余无线电科普研学基地，今后将在无线电通信技术、天文知识等多领域科学普及中发挥更大作用，通过科普带动大家的科研探索兴趣，努力让公众理解科学、热爱科学、探究科学，培养科研人才，助力科技强国建设。

### 3. 我国业余卫星的管理 (1) 我国的业余卫星组织

1969年，美国的业余无线电卫星组织（AMSAT-NA）在华盛顿特区成立。国际上很多国家都有自己的业余卫星组织，如英国的AMSAT-UK、德国的AMSAT-DL、巴西的BRAMSAT和阿根廷的AMSAT-LU。我国也成立了相应的业余卫星组织——CAMSAT，各国的业余卫星组织都独立运营，但也在很多大型项目上展开广泛的合作。如早期美国的爱好者和澳大利亚、日本及欧洲的爱好者共同推进了业余卫星通信活动成为一种无线电业务。业余卫星的发射和运营由我国的航天主管部门（国家航天局）审批，无线电频率和轨道资源的审批由频率主管部门（工业和信息化部）审批。为扩展卫星业余无线电活动的影响力，在中国无线电协会的支持下成立了业余分会，业余卫星的通联和活动在中国无线电协会业余分会的指导下开展。(2)

我国的业余卫星管理在《无线电规则》和《中华人民共和国无线电频率划分规定》中，对业余无线电相关活动有明确的定义：业余业务是指供无线电爱好者进行自我训练、相互通信和技术研究的无线电通信业务。业余无线电爱好者系指定正式批准的、对无线电技术有兴趣的人，其兴趣纯系个人爱好而不涉及谋求利润。卫星业余业务是指利用地球卫星上的空间电台开展与业余业务相同目的的无线电通信业务。关于业余无线电台的管理，我国在 2012 年出台《业余无线电台管理办法》，该办法涉及业余无线电台的设置审批、业余无线电台的使用、业余无线电台呼号等内容，并附有申请表格和电台呼号说明。管理办法第二十八条的第（二）款明确规定禁止利用业余无线电台从事商业或者其他与营利有关的活动。对于卫星业余业务的开展，必须要保证其公益的属性，让爱好者和青少年朋友们从中受益，让航天探索走近寻常百姓，让科技创新和技术实践成为我们走向星辰大海的力量源泉。

#### 4. 业余卫星的未来展望

自从 1961 年第一颗业余无线电卫星 OSCAR-1 升空以来，业余卫星就受到来自全球大量业余爱好者的关注。无线电爱好者利用业余卫星进行通联、试验，甚至在抢险救灾的重要关头发出珍贵的呼救信号。业余无线电卫星通信是当今简单、廉价而且能够清晰的体验卫星通信全过程的有效手段。

OSCAR-1 的成功充分证明了：业余无线电爱好者有能力设计和制造能可靠工作的人造地球卫星，业余无线电爱好者有能力与航天发射部门进行技术协调，业余无线电爱好者有能力跟踪人造地球卫星，业余无线电爱好者有能力处理相关的科学和工程数据。

近年来随着卫星商业模式和微小卫星制造产业的成熟，微小卫星有了井喷式的发展，其广泛应用于新技术验证、科学实验、科普教育、对地遥感和通信等领域。但与此同时，部分卫星操作者违规使用业余卫星进行商业运作，在业内造成负面影响，甚至在国际上引发投诉事件。未来的业余卫星将有如下的发展趋势：

**(1) 卫星平台多样：**业余卫星在向小型化发展的同时，也将出现更多的形态，既有单独的专用业余卫星平台，也有与通信卫星、导航卫星、对地观测卫星等卫星平台结合的方式。

**(2) 组网方式丰富：**以往的业余卫星，多数情况下均为单颗卫星独立工作，未来将出现业余卫星的队列，甚至专业的业余卫星星座。

**(3) 新技术含量高：**未来的微小卫星和业余卫星，将广泛应用于科学实验、新技术、平台设计验证等方面。其中的典型代表为：2019 年 7 月我国最新发射“北理工 1 号”，即是一颗微小业余卫星，该星主要用于验证“帆球”航天器技术和新型空间电台技术。



图8 北理工一号卫星的运行效果图

**(4) 研制周期短：**未来的业余卫星研制会大大压缩，平台化和专业化生产会让业余卫星项目立项、实施和运行的周期缩短。

**(5) 研制经费低：**现在通常百万到千万人民币的数量级就可以研制一颗微小卫星，未来批量化、模块化生产让成本更低。

**(6) 发射成本低：**利用小型火箭批量发射，或搭载大卫星作为次载荷发射，方式多样，火箭技术的进步让小卫星的发射成本降低。

**(7) 合作方式丰富：**国内外各方的技术人员将加大合作力度的同时，国内的科研机构和商业航天公司也将会积极探索新的合作模式。

## 5. 总结

从目前的情况来看，我国业余卫星的操作者主要是科研院所、教育机构（特别是高校）和新兴卫星运营商，主要用于科学实验、试验星验证、科普教育等用途，从频率上可以看出我国业余卫星主要使用的仍是 UV 频段。高频段的厘米波甚至毫米波具有丰富的无线电频率资源，将是未来开展业余卫星的有利条件。

相信我国的业余卫星活动会越来越丰富，随着我国空间站的部署和火星探测活动的推进，我们将从太空走向深空。

## 第五篇 中国业余卫星（下）

在回溯我国第一颗业余卫星的基础上，本文分别对我国目前在轨的业余卫星、已退役的业余卫星及未来将部署的业余卫星进行梳理，总结我国发展卫星业余业务开展的特点。

### 1. 我国在轨的业余卫星

从 AMSAT 网站提供的爱好者通联记录来看，我国目前在轨的业余卫星共计 10 颗，分别是 XW-2 系列、CAS-4 系列、LilacSat-2、FMN-1，详见表 1。

**表 1 在轨的我国业余卫星（截至 2021 年 2 月）**

卫星系列	数量	操作者
XW-2A、XW-2B、XW-2C、 XW-2D、XW-2E、XW-2F	6 颗	东方红卫星公司 中国业余卫星组织
CAS-4A、CAS-4B	2 颗	珠海欧比特卫星公司
LilacSat-2	1 颗	哈尔滨工业大学 中国业余卫星组织
FMN-1	1 颗	翎客航天技术有限公司

上述卫星中的操作者既有业余卫星组织，也有商业公司，还有大学，丰富的参与单位为业余卫星的相关活动开展提供了大量的机会和平台。

### 1.1 XW-2 (CAS-3) 系列卫星

2015 年 9 月 20 日上午 7 点 01 分，希望二号系列卫星在太原卫星发射中心升空。该系列共有 6 颗卫星，其中 XW-2A 为 20 公斤级的皮卫星，XW-2B/2C/2D 为 3 颗 10 公斤级的皮卫星，XW-2E/2F 为 2 颗 1 公斤级的立方星。

#### (1) XW-2A 卫星

XW-2A (CAS-3A) 卫星携带有 U/V 模式 20kHz 带宽线性转发器，运行在 400km 高度的太阳同步轨道。

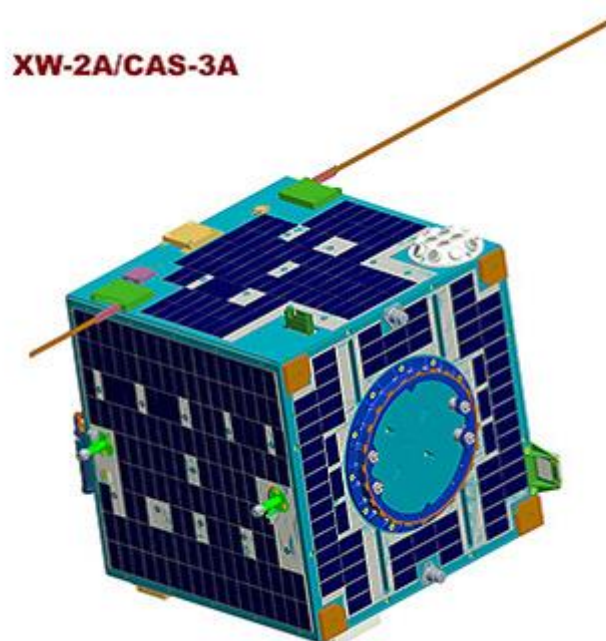


图 1 XW-2A 卫星示意图

#### (2) XW-2 B/2C/2D 卫星

XW-2B/2C/2D (CAS-3B/3C/3D) 是一组相同的卫星队列，都携带 U/V 模式 20kHz 线性转发器，运行在 500km 高度的太阳同步轨道。



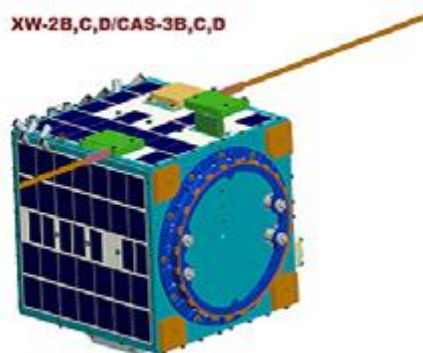


图2 XW-2B/2C/2D 卫星示意图

### (3) XW-2E/2F 卫星

XW-2E/2F (CAS-3E/3F) 是两颗小卫星，同样携带 U/V 模式 20kHz 线性转发器，运行在 500km 高度的太阳同步轨道。

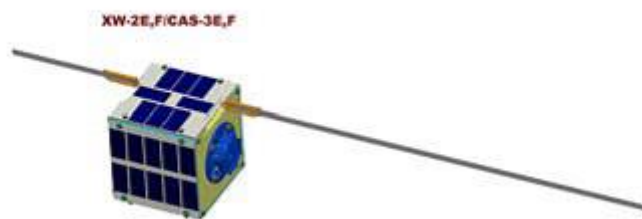


图3 XW-2E/2F 卫星示意图

下图为希望二号系列卫星的转发器频率配置情况。

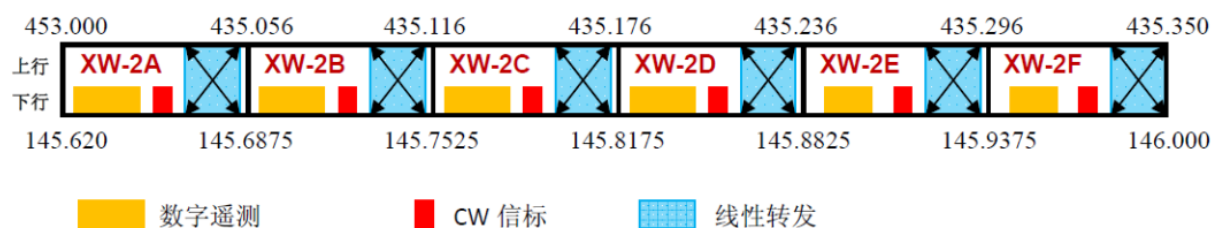


图4 XW-2E 系列卫星频率配置示意图

XW-2 系列卫星的转发器频率为业余爱好者广泛使用的 VHF/UHF 频段(145/430MHz 频段)，该系列卫星各配置了相同的线性转发器，并配以相同的四分之一波长的单极鞭状天线。每颗卫星各配置一副 UHF 天线、一副 VHF 天线，如图所示，详细的频率方案如下。

表2 希望二号系列卫星的上行频率

卫星	频率范围 (MHz)	带宽 (kHz)	应用
希望二 A XW-2A	435.030 - 435.050	20	线性转发 (频谱倒置)
希望二 B XW-2B	435.090 - 435.110		
希望二 C XW-2C	435.150 - 435.170		
希望二 D XW-2D	435.210 - 435.230		
希望二 E XW-2E	435.270 - 435.290		
希望二 F XW-2F	435.330 - 435.350		

表3 希望二号卫星的下行频率配置表

卫星	呼号	应用	频率范围 (MHz)	带宽 (kHz)	发射功率 (dBm)	调制体制
希望二 A XW-2A	BJ1SB	数字遥测	145.640	30	20	9.6/19.2kbps, GMSK
		CW 信标	145.660	0.1	17	22wpm, CW
		线性转发	145.665 - 145.685	20	20	
希望二 B XW-2B	BJ1SC	数字遥测	145.705	30	20	9.6/19.2kbps, GMSK
		CW 信标	145.725	0.1	17	22wpm, CW
		线性转发	145.730 - 145.750	20	20	
希望二 C XW-2C	BJ1SD	数字遥测	145.770	30	20	9.6/19.2kbps, GMSK
		CW 信标	145.790	0.1	17	22wpm, CW
		线性转发	145.795 - 145.815	20	20	
希望二 D XW-2D	BJ1SE	数字遥测	145.835	30	20	9.6/19.2kbps, GMSK
		CW 信标	145.855	0.1	17	22wpm, CW
		线性转发	145.860 - 145.880	20	20	
希望二 E XW-2E	BJ1SF	数字遥测	145.890	16	20	9.6kbps, GMSK
		CW 信标	145.910	0.1	17	22wpm, CW
		线性转发	145.915 - 145.935	20	20	
希望二 F XW-2F	BJ1SG	数字遥测	145.955	16	20	9.6kbps, GMSK
		CW 信标	145.975	0.1	17	22wpm, CW
		线性转发	145.980 - 146.000	20	20	

希望二号系列卫星采用一体化设计，将星上的电子设备标准化、星载设备通用化、星内设备无缆化。我国的相关机构通过希望二号系列卫星的研制，探索和实践了皮纳卫星的初步应用，实现了皮纳卫星在轨自主管理、多模式异构备份等技术，初步建立了通用化、标准化皮纳卫星产品体系和标准协议，为应用型皮纳卫星的后续发展和使用奠定了基础。

## 1.2 LilacSat-2 (CAS-3H) 卫星

LilacSat-2 (CAS-3H) 卫星，即紫丁香 2 号卫星，由哈尔滨工业大学研制，携带 V/U 频段的 FM 转发器，目前运行在 500km 高度的太阳同步轨道上。LilacSat-2 与 XW-2 系列卫星使用同一颗长征 6 火箭以一箭 20 星的形式成功发射，下图为紫丁香一号卫星的星上结构和功能模块示意图。

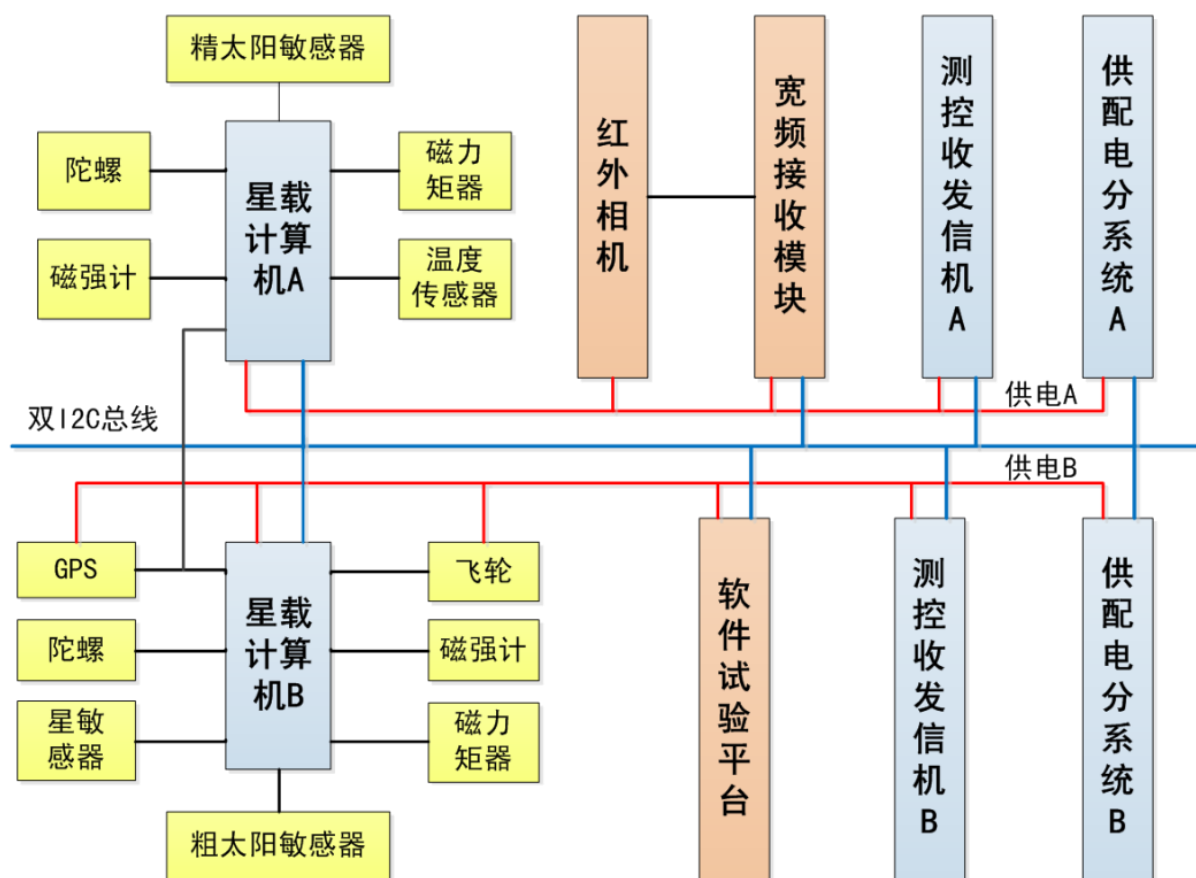


图5 紫丁香一号卫星的星载

测控收发信机 A 是采用 IQ 零中频/低中频架构的 V/U 软件无线电收发信机，可实现多通道收发及对多种射频参数的灵活配置与切换，多模式业余无线电转发器也在其基础上实现。其下行模式包括：1.2/9.6 kbps BPSK、1.2 kbps MSK、1.2 kbps AFSK 以及 FM 等，最大输出功率 27 dBm；上行模式包括 AFSK、FM 等。测控收发信机 B 是 L/U 频段的 FSK 收发信机，可全双工工作，其下行码速率为 1.2/4.8 kbps，最大输出功率 27 dBm。

紫金山一号卫星主要目的在于构建飞行软件在轨试验平台，用于分析空间单粒子效应对 FPGA 软件功能和性能的影响。同时卫星也基于星上电子设备，进行全球航班 ADS-B 等状态信息监测和大型野生动物踪迹跟踪等任务。另外卫星还携带了一个工业红外相机，探索采用纳卫星进行对地环境监测的可行性和有效性。

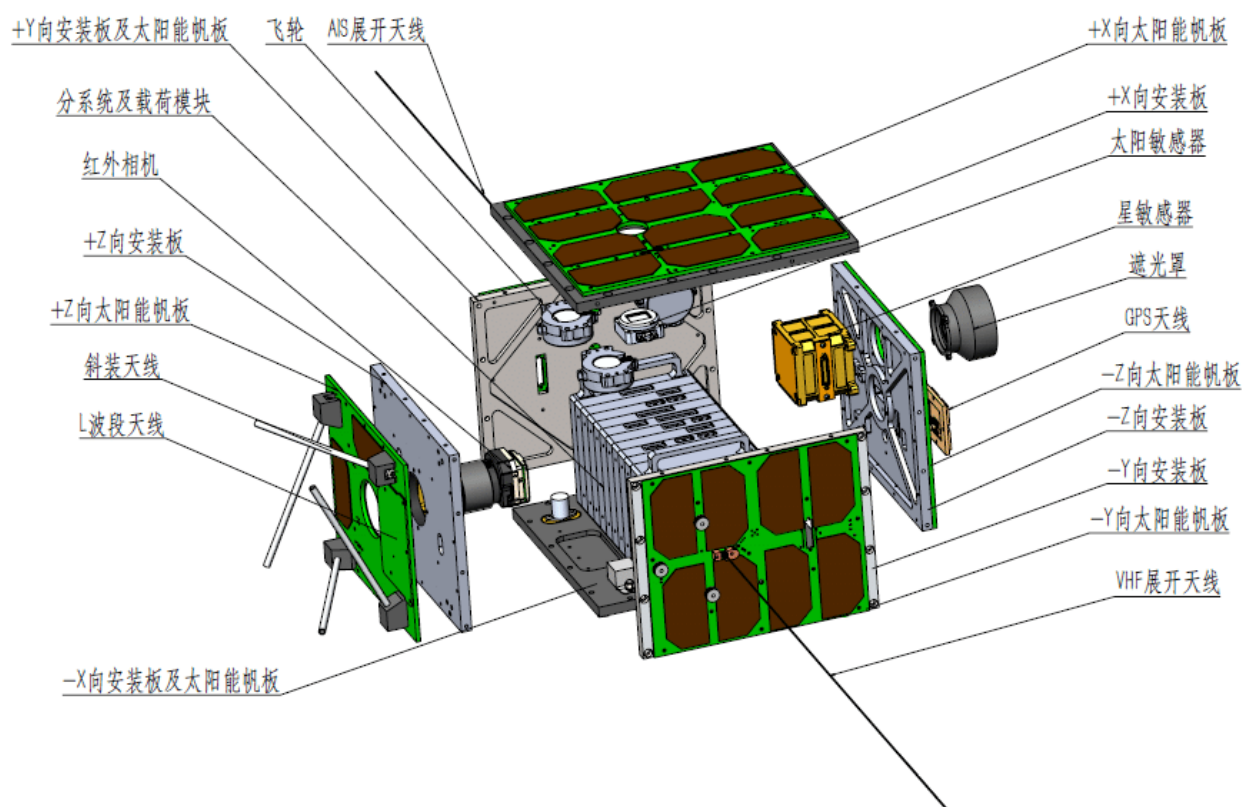


图6 紫丁香一号卫星结构图

紫丁香2号卫星的射频系统包括测控收发信机A、测控收发信机B、GPS/BD2接收机、宽频接收模块和配属的天线，组成框图如图所示。



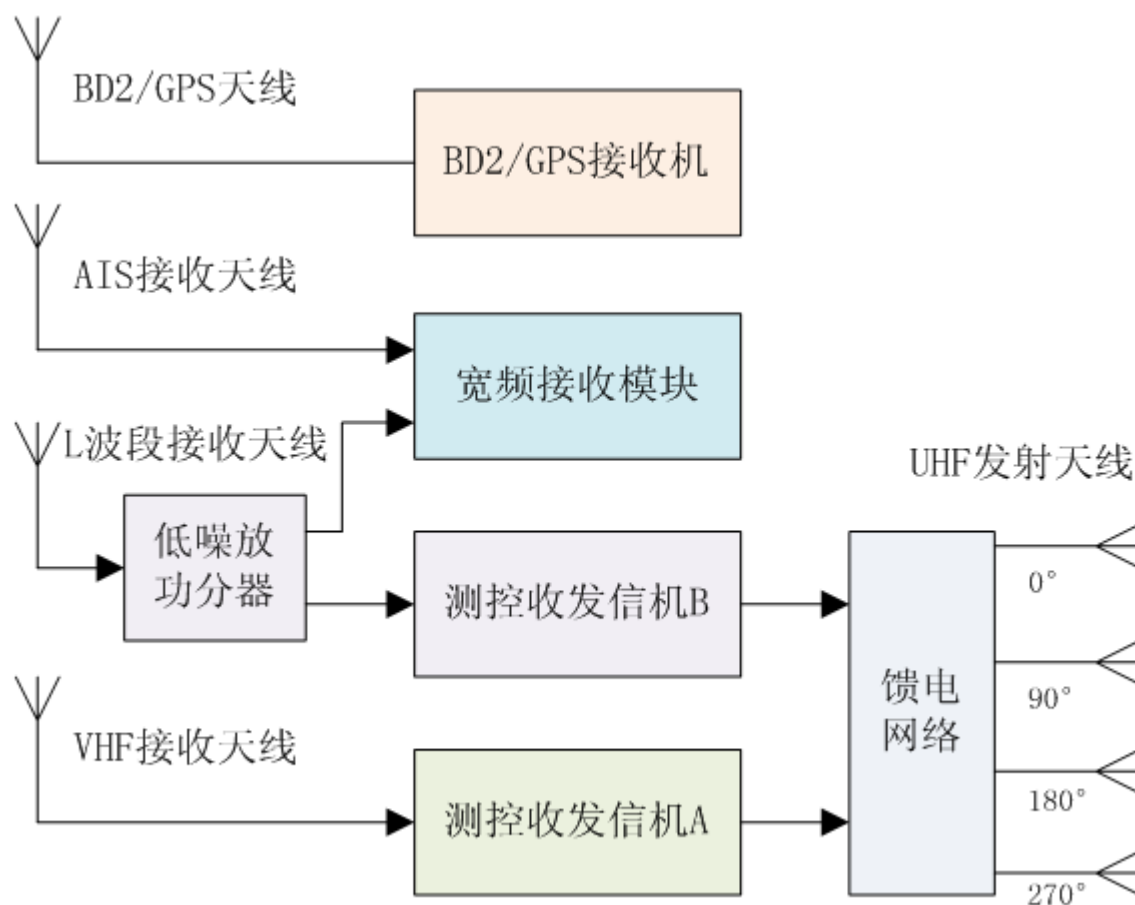


图7 紫丁香一号卫星射频系统组成框图

紫丁香一号卫星的 UHF 频段天线由 4 根倾斜的 1/4 波长振子组成双圆极化全向阵列；VHF 天线和 AIS 天线为使用钛镍记忆合金材料的 1/4 波长展开天线；L 频段天线和 BG2/GPS 天线为微带天线。

紫丁香一号的特别之处在于，该卫星由哈尔滨工业大学的 15 名大学生设计建造，是大中小學生参与航天探索的有益尝试。

### 1.3 CAS-4 系列卫星

CAS-4 (ZhuHai-1/2) 系列为搭载在遥感卫星上的卫星业余载荷，目前有 CAS-4A/4B 两颗在轨卫星。CAS-4A 和 CAS-4B 搭载在珠海 1 号星座中的两颗遥感卫星 OVS 1A 和 OVS 1B 上，于 2017 年 6 月 15 日发射，运行在 500km 高度的倾斜轨道上，卫星配备

U/V 段线性转发器（下行 145MHz 频段/上行 435MHz 频段），这两颗微小卫星还承担着光学遥感的任务。

CAS-4A 线性转发器的下行频率为 145.87MHz，上行频率为 435.22MHz，遥测频率为 145.835MHz；CAS-4B 线性转发器的下行频率为 145.925MHz，上行频率为 435.280MHz，遥测频率为 145.890MHz。



图8 珠海一号卫星效果图

CAS-4 系列的两颗卫星是由民营航天机构发射的卫星，特别之处在于这两颗卫星搭载在遥感卫星上，是另一种有益的尝试。

#### 1.4 FMN-1 (FENGMANIU-1) 卫星

2018 年 2 月 2 日 15 时 51 分，我国国内首颗私人卫星在酒泉卫星发射中心成功发射。卫星发起者、御风资本董事长冯仑表示，希望通过“风马牛一号”来实现卫星和手机互动娱乐的结合，探索媒体的新玩法。“风马牛一号”外形尺寸为 300mm\*100mm\*100mm，与鞋盒大小相仿，重量 4 公斤，功耗 8W。它配备了 4K 高清全景摄像头，可以呈现 360 度太空高清照片。“风马牛一号”卫星是探索空间业务新应用的一种尝试，该卫星搭载了业余无线电的载荷，能够为全球的爱好者提供通联的平台，上下行频率分别为 145.945MHz 和 435.35MHz。

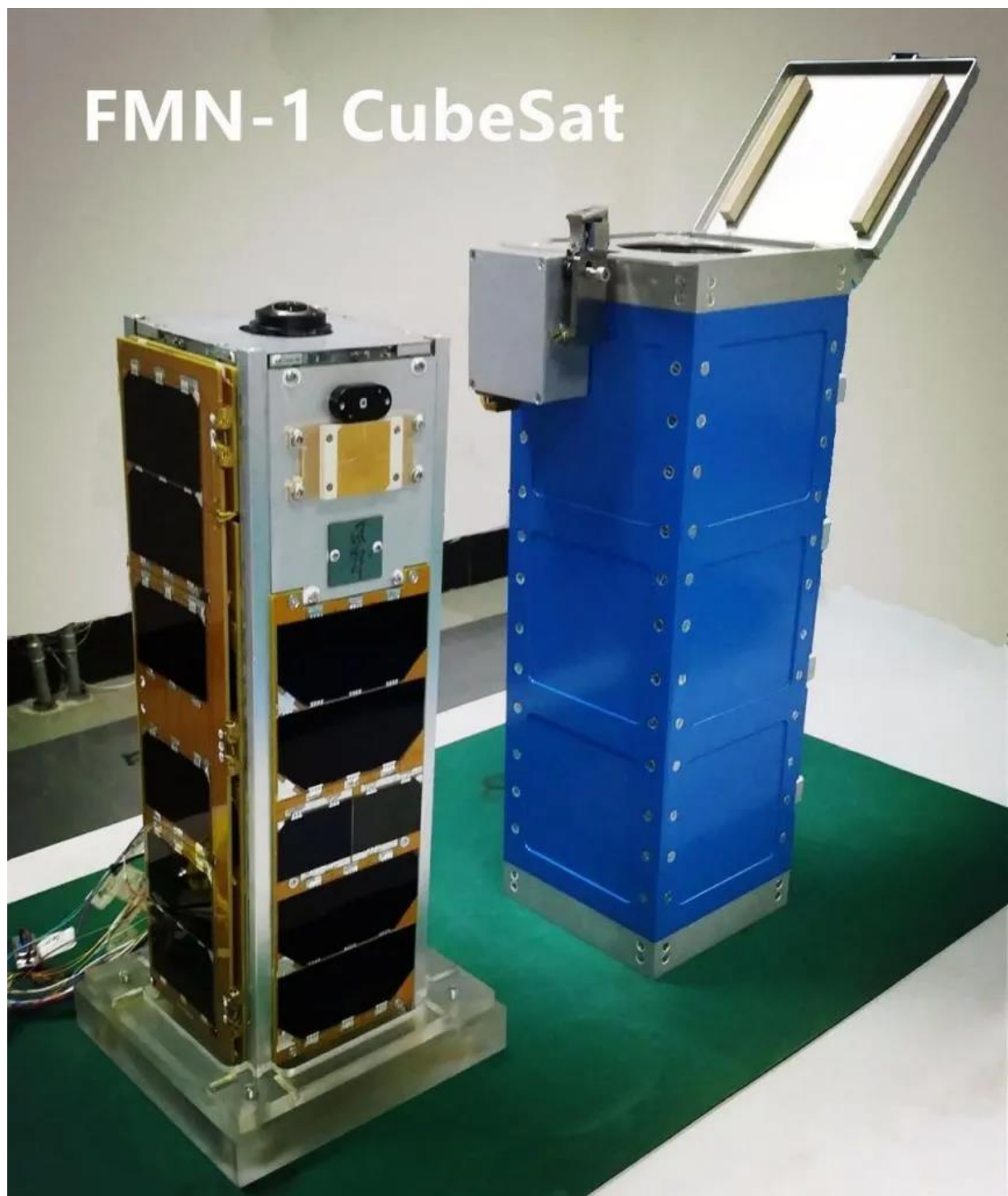


图9 风马牛一号卫星效果图

“风马牛一号”是首次将卫星作为媒介，以承载内容为核心的一颗卫星，卫星还将携带童声合唱版《千字文》进入太空。卫星进入轨道后，配合地面的接收设备，能收到实时图图像。除了媒体的应用和探索，还将推广公益和航天教育。



图 10 风马牛一号卫星效果图

“风马牛一号”是世界首颗全景卫星，作为首个媒介形式的卫星，风马牛一号离大众“既远又近”。通过科学技术，它跨越了时间和空间的障碍，为大众传来渺远太空的图像和声音。但它并没有拉开距离感、降低普通民众的参与度，而是作为新兴媒介、以新型内容激发起大众的互动兴趣。在卫星发射前，风马牛团队发起了关于梦想语音的征集，收集到的祝福将随卫星上天，绕地球旅行后回传到地面，仅这次活动就有上千人参与。

风马牛一号卫星的成功离不开中国迅猛发展的民用航天技术，它也致力于公益活动和航天教育，形成良性循环。风马牛团队将独家开发一套用于卫星信号接收的硬件设备，并与国内顶尖的青少年航天教育机构合作，打造一系列基于卫星信号接收的课程与兴趣活动，激活大众、特别是少年儿童对航空航天事业的兴趣，让卫星所产生的社会意义和价值最大化。

## 2. 我国退役的业余卫星

我国的卫星业余业务发展迅速, 至今有多颗卫星退役, 分别为、CAS-2、CAS-6、CAS-7 系列, 详细如下。

## 2.1 CAS-2 系列卫星

原计划在 2015 年发射的 CSA-2A1 和 CSA-2A2 两颗卫星, 由 CAS-3 系列卫星取代。这个系列中的 CAS-2T 卫星即丰台少年一号卫星, 是一颗搭载了卫星业余无线电载荷技术验证卫星。



图 11 丰台少年一号卫星示意图

## 2.2 CAS-6 系列卫星

CAS-6 (Tianqi-1/TQ-OSCAR-108/TO-108) 卫星是一颗搭载了业余无线电载荷的引力波探测实验卫星, 在 2019 年 12 月 20 日发射升空。该卫星由东方号卫星公司为中山大学和华中科技大学建造, 卫星尺寸为 490mm×499mm×430mm, 重量约 35kg, 搭载 VHF 频段 CW 遥测信标和 U/V 模式带宽为 20kHz 的线性转发器和大气风 (Atmospheric Wind) 探测器。





图 12 CAS-6 卫星测试图

CAS-6 卫星搭载的长征 11 号运载火箭是我国首次尝试在海上发射，具有里程碑意义。

### 2.3 CAS-7 系列卫星

CAS-7B(BP-1B)卫星是一颗与教育相结合的业余无线电卫星。中国业余卫星组 (CAMSAT) 正在与北京理工大学 (BIT) 合作大学为卫星的发射提供支持，北京理工大学的许多教师和学生正在参与卫星的开发和测试，CAS-7B 在 2019 年 7 月底发射进入预定轨道。

在 CAMSAT 的帮助下，北京理工大学成立了业余无线电俱乐部（呼号：BI1LG），大学生通过学习业余无线电卫星通信相关的知识，在体验着无尽的乐趣的同时激发了对太空的向往，也为以后的学习提供了实践基础。

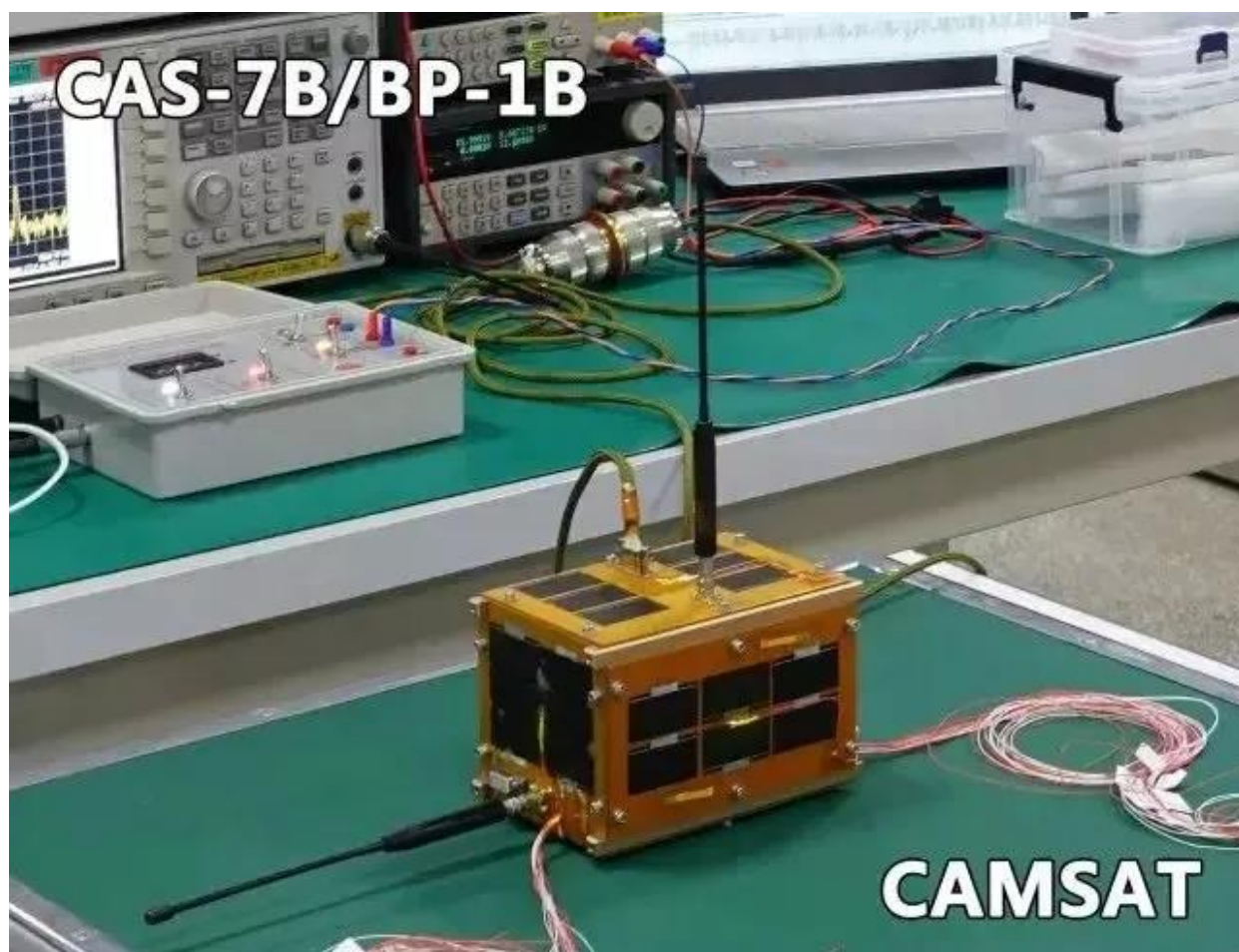


图13 CAS-7 卫星实验图

CAS-7B 为 1.5U 立方体卫星，卫星一面由直径为 500 mm，质量约 3kg 的软性薄膜球覆盖，卫星由气动阻力帆被动控制轨道来保持稳定，卫星运行在 300km 高度圆轨道，轨道倾角 42.7 度。卫星配备 VHF 天线：1/4 波长的单极子天线，最大增益 0dBi，位于+Y 侧；两幅 UHF 频段的 1/4 波长单极子天线的最大增益 0dBi，位于卫星-Z 和+Z 侧。CW 遥测信标频率：435.715MHz/20dBm，V/U 调频转发器下行链路：435.690MHz/20dBm，带宽 16kHz，V/U 调频转发器上行链路：145.900MHz，带宽 16kHz。



图 14 CAS-7 卫星飞行效果图

作为一颗科学技术验证微型卫星，“北理工 1 号”卫星完成两项具有创新性的科研验证任务，“帆球”技术和新型空间电台技术。值得一提的是，这是我国第一次在太空发射任务中使用和验证空间“帆球”技术。

“帆球”技术及基于“帆球”的柔性轻型航天器技术，是将柔性材质的航天材料以折叠方式存放于卫星舱内，当卫星正常入轨之后，释放柔性材料并展开膨胀成为球状，球状结构的体积大于卫星数倍，如同为卫星展开一面风帆。未来，“帆球”技术将直接服务于小天体探测等深空探测任务。BP-1B 卫星的备份星 BP-1A 预计将在 2021 年发射。

### 3. 我国后续的业余卫星 3.1 CAS-5 卫星系统

CAS-5 系列共有两颗卫星，分别是 CAS-5A 和 CAS-5B，原计划在 2018 年发射。CSA-5A 是一颗尺寸为 6U 的立方星，计划搭载如下的业余无线电载荷。

表4 CAS-5 系列卫星的转发器模式

频段	载荷类型
HF/HF	H/T 模式线性转发器
HF/UHF	H/U 模式线性转发器
HF	CW 遥测信标
VHF/UHF	V/U 模式线性转发器
VHF/UHF	V/U 模式 FM 转发器
UHF	CW 遥测信标
UHF	AX.25 4.8k/9.6k 波特的 GMSK 遥测

上述转发器中，除 H/U 模式的转发器带宽为 15kHz 外，其余转发器均为 30kHz，计划部署在轨道高度为 530km、轨道倾角为 97.5 度的太阳同步轨道。

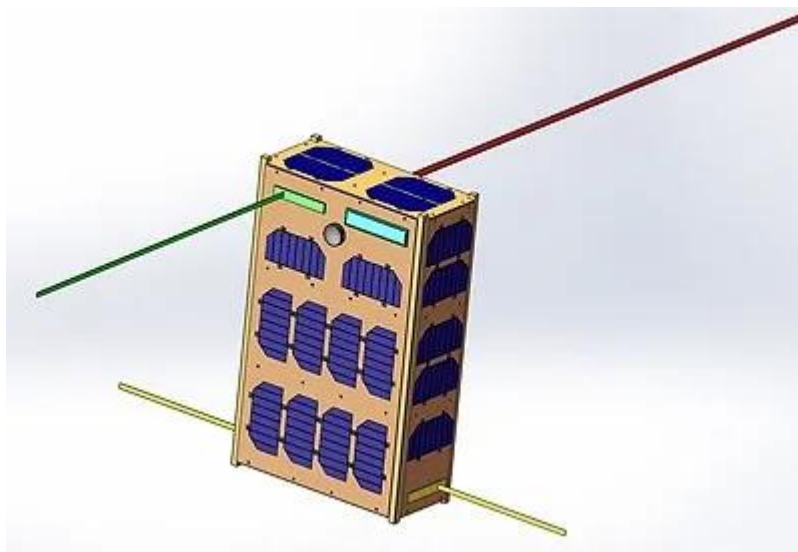


图15 CAS-5A 卫星效果图

CAS-5B 卫星是一颗质量仅为 0.5kg 的飞卫星 (Femto-Satellite) 计划搭载 UHF 频段的 CW 信标，并与 CAS-5A 卫星一同部署。

### 3.2 CAS-8 系列卫星



规划中 CAS-8 卫星系统是由亚太空间合作组织（APSCO）发起的学生小卫星项目。APSCO 于 2008 年成立，是一家总部设在北京的政府间组织，成员国包括孟加拉国、中国、蒙古、巴基斯坦、秘鲁、泰国、土耳其和印度尼西亚。CAS-8 卫星项目由四颗卫星组成，包括两颗 30 公斤级的微卫星一颗用于技术验证的实验微卫星 CAS-8A 和一颗初级微卫星 CAS-8B，两颗 3U 立方星 CAS-8C 和 CAS-8D。

CAS-8 卫星项目由北京航空航天大学牵头，与中国业余卫星组织（CAMSAT）合作，将业余无线电带入该项目，并将共同带领亚太空间合作组织其余 7 个成员国完成该项目。

CAS-8A 携 V/U 线性转发器、UHF 频段的 CW 信标和 AX.25 4k8/9k6 GMSK 遥测信标以及 S 频段 192kbps GMSK 图像和 4k8/9k6 GMSK 遥测下行链路。

四颗卫星预计的频率分别是：

**表 5 CAS-8 系列卫星的频率规划**

卫星名称	上行频率 (MHz)	下行频率 (MHz)	遥测信标 (MHz)	遥测频率 (MHz)	图传频率 (MHz)	星间链路 (MHz)
CAS-8A	145.820	435.525	435.575	435.725	2405.100	2405.300
CAS-8B	145.855	435.610	435.580	435.750	2405.100	2405.300
CAS-8C	145.890	435.645	435.585	435.775	——	2405.300
CAS-8D	145.925	435.680	435.590	435.800	——	2405.300

CAS-8 卫星将是我国首次设置星间链路的业余卫星，是一种新的尝试，为今后的业余星座的探索积累经验。CAS-8 项目旨在为亚太空间合作组织成员国的学生和教师提供空间技术学习和卫星工程实践的平台，通过小卫星的设计、研制、在轨飞行测试和应用，提升成员国航天教育水平，与成员国共建“一带一路”空间信息走廊，为亚太空间合作组织成员国航天教育体系发展贡献力量。同时，CAS-8 卫星将实现 APSCO 八国通过太空共建业余无线电联盟的协同效应，为 APSCO 成员国青年学生增加新的科普工具，进行自我培训、相互交流和技术考察，也为全球业余无线电爱好者提供了新的卫星平台。

## 4. 总结



从我国业余卫星的发展历程来看，我国的业余卫星仍处于技术探索和积累阶段，且多为搭载的方式，即在商业卫星上搭载业余卫星的转发器，为爱好者提供通联的平台。

从业余卫星的参与单位来看，既有卫星业余组织，又有大学等科研机构，可以说技术的先进性和探索性具有重大的意义。

当前我国的业余卫星发展状况较好，不少商业卫星搭载了卫星业余的载荷，但商业氛围浓厚可能会成为爱好者探索空间通信技术的障碍。

## 第六篇 典型的废弃业余卫星

业余卫星发展经历了三个阶段：第一阶段从 1961 年到 1972 年，这一时期的业余卫星寿命很短，大多只有二三十天，主要用作卫星技术试验，参与通信的业余无线电爱好者人数约为几百至几千人；第二阶段从 1972 年到 1980 年，卫星的寿命有很大的提高，可以达几年，且有较强的通信能力，运行的轨道多为近地轨道，更多的业余无线电爱好者加入到业余卫星通信的行列；第三阶段从 1980 年至今，业余卫星通信时代到来，卫星也向更高、更强发展。

20 世纪发射的业余卫星到现在已经几乎全部废弃。本篇文章介绍几颗较为典型的废弃业余卫星。

### 1. OSCAR-2

OSCAR-2 于 1962 年 6 月 2 日在加利福尼亚州范登堡空军基地搭乘 Agena-B 型运载火箭升空并进入运行轨道。该星由 OSCAR-1 的同一组织设计制造，相对 OSCAR-1 而言有很多改进。一项升级内容是改进了内部温度感应机制，提高了感应准确度；另一项改进了卫星的外部保护层，以确保内部能保持较低的温度；还有一项修改降低了信标发射机的输出功率低至 100mW，用来延长卫星电池的使用寿命。在 1962 年 6 月 20 日停止了为期 18 天的服役，并于 1962 年 6 月 21 日重新启动。

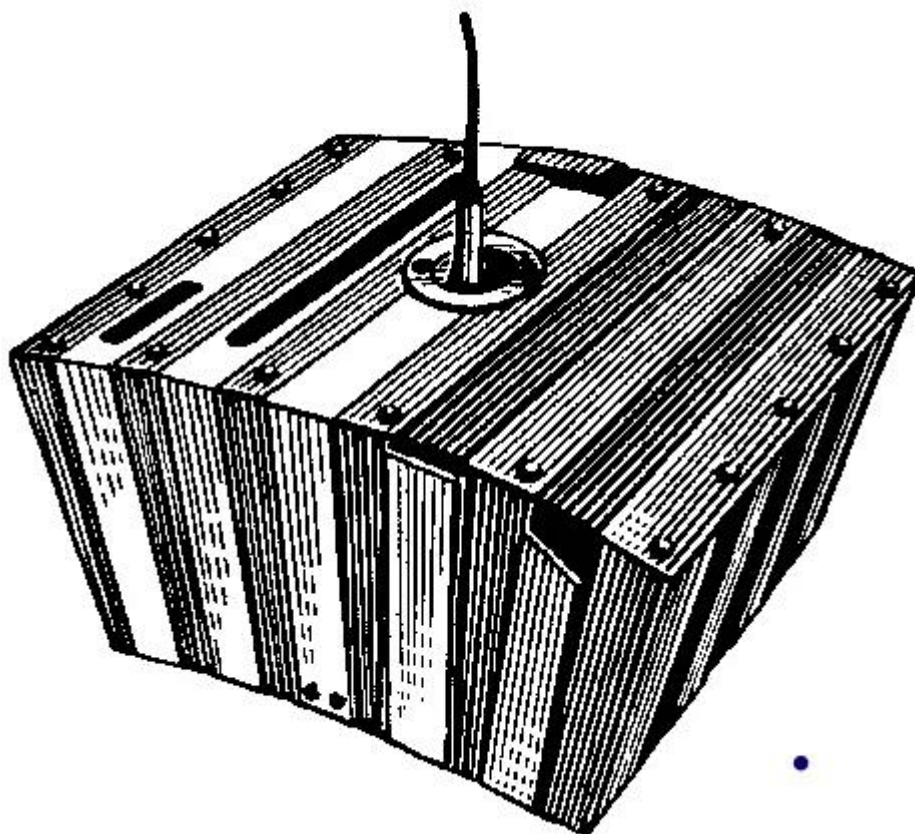


图1 OSCAR-2

## 2. OSCAR-5

OSCAR-5 又称 Australis-OSCAR-S, 于 1970 年 1 月 23 日从加利福尼亚州的范登堡空军基地发射升空, 搭乘运行美国气象卫星的 Delta 火箭到达 1488km 高的极地轨道。它是由宇航部门和澳大利亚墨尔本大学无线电俱乐部的学生设计建造的。该星在 29MHz 和 144MHz 传输遥测信标数据, 也是第一颗可以从地面控制的业余卫星, 它有一个遥控指令接收机, 可以让地面站控制卫星上的 29MHz 信标发射机。OSCAR 5 未携带转发器, 所以它不能用来做中继通信。但是它安装了一个创新性的磁场姿态稳定系统。

## 3. RS-1 和 RS-2

RS-1 和 RS-2 于 1978 年 10 月 26 日从前苏联北部的普列谢茨克国家航天发射场搭载一枚 F-2 型火箭升空, 进入距地球 1600km 的椭圆轨道。这两颗卫星都携带了 145MHz~29MHz 的转发器。这两颗卫星也被称之为 Radio-1 和 Radion-2, 绕地球一圈约为 120 分钟。它们用莫尔斯电码传送温

度和电压遥测信号，有太阳能电池和“Codestore”存储转发邮件系统，在莫斯科、新西伯利亚及海参崴建有地面控制站。

RS-1 和 RS-2 有灵敏度非常高的接收机和防止上行功率过大时保护接收机的过载断路器，断路器只能在卫星覆盖前苏联的时候被重置。然而，西方的业余无线电爱好者们有时用数百瓦的功率来过载发射，这种不断的触发断路器动作使这两颗卫星转发器被不断关闭。前苏联的地面控制人员不得不重置该断路器来保持打开状态，但最终的结果是卫星只能在覆盖前苏联的时候可以通联，因为在卫星覆盖北美和西欧的时候西方的业余无线电爱好者们总是触发这个断路器。RS-1 只工作了几个月，但是 RS-2 一直工作到 1981 年。

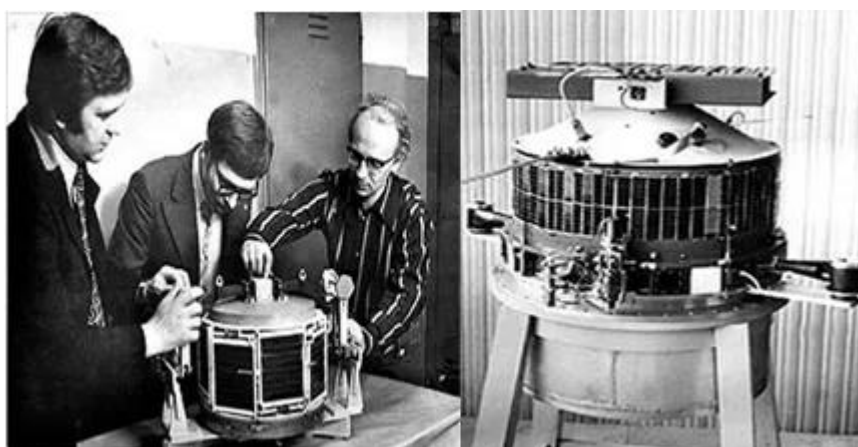


图2 RS-1 和 RS-2

#### 4. Iskra-1

前苏联在 20 世纪八十年代也忙于自己的业余卫星项目，虽然大多数前苏联的业余无线电卫星被称为“Radionsputniks”（无线电人造地球卫星），但有一个系列的卫星被称为“Iskra”，其俄语中的含义是“火花”。莫斯科航空研究所的学生业余无线电爱好者们制造了 28kg 的“Iskra”。这颗卫星有太阳能供电的转发器、遥测信标、地面指令信道、存储转发信息公告板和星载计算机。“Iskra”的转发器在 21MHz 和 28MHz 传输信号，它的遥测信号在 29MHz 附近。卫星通过莫斯科和卡卢加的地面站控制，其目的是希望促进保加利亚、古巴、匈牙利、老挝、蒙古国、波兰、罗阿尼亚、前苏联还有越南的业余无线电爱好者们通联。

Iskra-1 于 1981 年 7 月 10 日在北部的普列谢茨克航天中心发射场用 A-1 火箭送到 680km 的极地轨道。在运行了 13 周以后于 1981 年 10 月 7 日因再入大气层而烧毁。

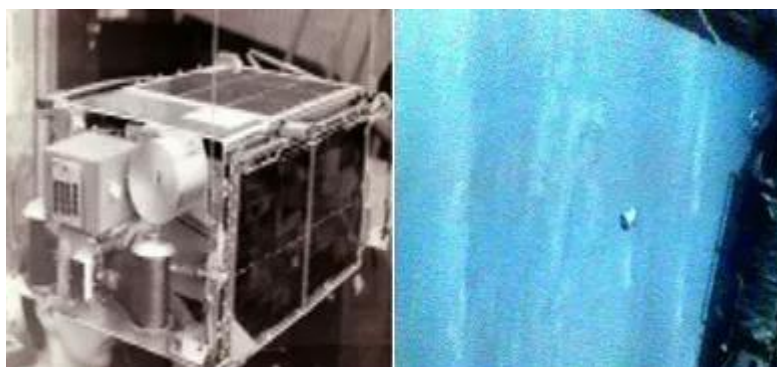


图3 前苏联的“Iskra-1”业余卫星

## 5. UoSAT-OSCAR 9

英国的第一颗业余无线电卫星是英国萨利大学的学生设计的UO-9。其实“UoSAT”就是“University of Surrey Satellite”（萨利大学的卫星）。这颗52kg重的科学教育卫星于1981年10月6日在美国加利福尼亚州范登堡空军基地由Delta火箭送入547km高的极地轨道。

虽然UO-9没有携带通信转发器，但是他可以发送数据，并且将携带的摄像机的图像传输回地球。这颗卫星装有一个最早期的（CCD）阵列，它组成了首个用来防止荒漠化的低成本空间电视摄像机。相对于早期的技术来说，它拍摄并传送的空间图像是非常壮观的。UO-9卫星的摄像机并没有稳定地指向地球，所以照片所涵盖的区域也是随机拍摄的。

UO-9上带有磁力计及辐射探测仪，此外还带有两台粒子计数器用来测量太阳活动及极光对无线电信号的影响。卫星还装载了具有150个词汇的语音合成器，用来报告卫星的状况。它既在145MHz和435MHz发射信标，又在7MHz、14MHz、21MHz、28MHz的短波频率及2GHz和10GHz的微波频率发射信标。

1982年由于软件错误造成145MHz和435MHz的信标被错误地同时开启，导致卫星的接收机被自己的发射阻塞，萨里大学的业余无线电爱好者呼吁斯坦福大学及加州的业余无线电爱好者对卫星实施干预。斯坦福大学的业余无线电爱好者使用43米的蝶形天线用15mW的功率向卫星发射，这一办法后来让卫星恢复了控制。

UO-9在经过7年多可靠的运行和服务后于1989年10月13日坠入大气层烧毁。

**结语：**由国家无线电监测中心组织编写的《全球业余卫星介绍》（节选）连载已完结。后续，我们将在无线电科普丛书《业余卫星通信》中系统介绍业余卫星通信基本原理、主要特点、系统组成，

业余卫星通信的基本方法和当前在轨业余卫星应用情况等内容,与广大读者共飨业余卫星通信领域的科学之美。