

气球科学观测 100 年

顾逸东

(中国科学院空间应用工程与技术中心 100094)

1. 气球及早期科学观测

气球是利用浮力原理升空的飞行器,中国古代的孔明灯是热气球的早期雏形,用松脂等燃料维持灯笼内空气的较高温度和较低密度,在重力场下的大气中就产生了浮力,被用于节庆活动和传递军事信号。1783年9月,作为造纸工匠的法国蒙特哥菲尔兄弟(mongolfière)在凡尔赛宫广场向王室和公众演示了热气球飞行,两个月后又完成了人类首次载人飞行,由此法国被认为是气球的故乡。之后用浮力大的氢气作为浮升气体、涂覆橡胶织物做气囊的气球、飞艇等发展起来,一度在军事、运输、科研中广泛应用,后因著名的齐柏林越洋客运飞艇因静电引起氢气燃爆失事而衰落;而热气球延续至今,成为有众多拥趸的运动和娱乐项目。

气球早期与科学结缘的著名事例是奥地利物理学家赫斯(Victor Franz Hess, 1883~1964)用气球发现宇宙线的实验。20世纪初空气电离是研究热点之一,开始人们认为是由地面放射性元素导致的。赫斯是物理学家,也是气球飞行爱好者,1911~1912年他携带沃尔夫型金箔验电器乘坐氢气球进

行了7次飞行实验,即使以目前的眼光来看,这也是科学探险的壮举。他发现海拔越高空气电离越严重,5390米高空的大气电离率是地面的5倍,表明导致空气电离的源“可能是来自太空的穿透辐射”,即宇宙辐射。1914年德国物理学家柯尔霍斯特将气球升至9300米,测得空气电离是地面的9倍,确认了赫斯的结果。

宇宙线的发现促进了粒子物理学的发展。1932~1953年期间,在宇宙线及与大气作用产物中陆续发现了正电子、 μ 子、 π 介子、 Δ 超子、 K^+ 介子等,成为粒子物理研究的先驱。赫斯和发现正电子的安德森分享了1936年诺贝尔物理学奖。1947年,高度达30 km的气球实验揭示宇宙线除主要成分质

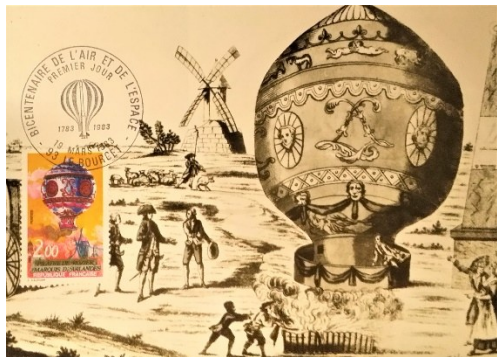


图1 1983年法国纪念气球首飞200年的明信片



Hess bei Ballonlandung (1912)

图2 赫斯1912年乘坐气球开展实验的场景

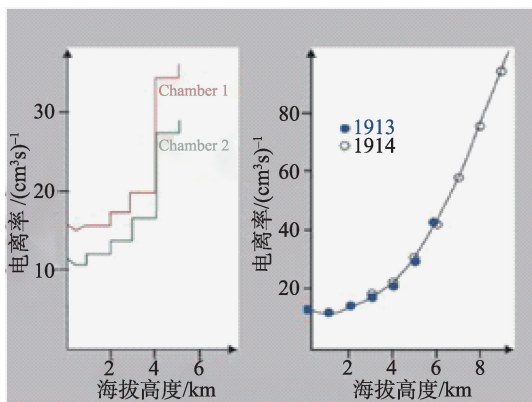


图3 大气电离率随高度变化
(左:赫斯,1912;右:柯尔霍斯特,1913)

子外,还包括氦核和多种重原子核,打开了粒子天体物理的大门。

2. 现代科学气球及科学观测

二战之后,由于高分子材料等技术进步,气球开始采用轻薄、耐低温和廉价的聚乙烯薄膜制造,球膜重量从每平米300克降低到约20克,这是一个巨大进步。简单分析可知,气球在升限高度的浮力和重力平衡,有:

$W = V \cdot (\rho_a - \rho_g) \cdot g$, 其中 W 为总重, V 是气球体积, ρ_a 和 ρ_g 分别是升限高度大气和浮升气体密度。气体密度与压力关系为 $\rho = \mu P / RT$ 。 T 为气温, R 是通用气体常数, μ 是气体克分子量。合并两式得到以气压表示的气球升限公式(注意气压小则高度高):

$$P = \frac{R \cdot T_a}{(\mu_a - \mu_g) \cdot g} \cdot \frac{W}{V}$$

该式表明了升限高度与气球体积和系统总重的确定关系(公式右的前项在平流层基本是定值), 气球体积越大高度越高,大幅减轻气球自重,可携带相当重的载荷达到很高的高度。至于绝对高度和气压的关系可参考著名的大气压高公式,不再展开。

气球的高度和载重对科学研究非常重要。现代气球大多采用零压式“自然形”设计,有纵向加强筋,充氢或氦(现多用氦气),体积几万到上百万立方米,载荷数百公斤至数吨,高度30~45 km或更高,

上方剩余大气仅为地面的1%到0.1%,飘飞在大气层顶,成本相对低廉,实验灵活,准备周期短,广泛用于红外和X-γ射线天文,宇宙线和微波背景观测,大气和地球环境等科学研究以及空间仪器和空间技术试验。零压气球在日落时因太阳辐射消失导致浮升气体降温,体积收缩而下降,需要通过抛压舱物减重恢复飞行高度(每次过夜5%~7%系统重量),这就限制了其飞行持续时间,约2~3天。

随着技术进步,科学气球发展为成熟的高空和空间研究工具。美国国家航空航天局(NASA),法国国家太空研究中心(CNES),俄罗斯科学院,日本宇宙航空研究开发机构(JAXA),瑞典空间研究中心(SSC),印度ISO,巴西空间研究组织(INPE),加拿大航天局(CSA)等国家空间机构都有科学气球设施,气球科学活动持续不断,取得显著成就。

美国国家基金委(NSF)于1961年资助在科罗拉多州建立气球设施,1973年正式成为国家科学气球设施(National Scientific Balloon Facility, NSBF),1982年移交美国航空宇航局NASA,2003年为纪念哥伦比亚号航天飞机失事改称CSBF。NASA总部主持科学气球任务计划和技术发展规划,GADEN和Wallops中心负责技术研究。

NASA提出了将气球利用程度和效益最大化的方针,建有德州巴勒斯登、新墨西哥州萨姆纳堡

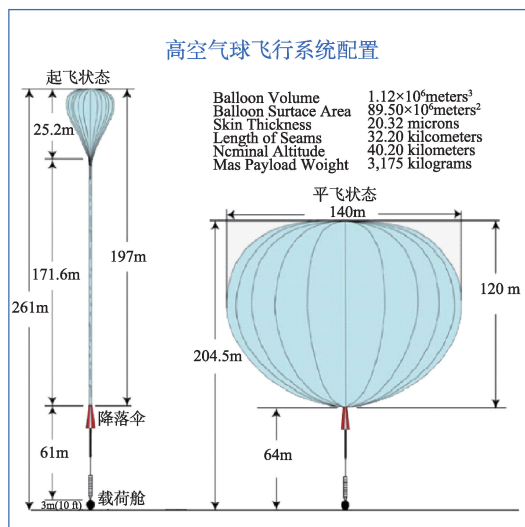


图4 典型的科学气球配置,112万m³气球起飞时高度200米,高空展开直径140米

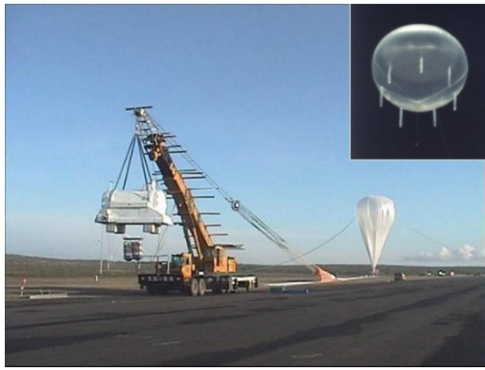


图5 典型的动态式气球发放:气球头部由滚筒约束充氮气,吊舱锁定在移动平台上待球体升起并超前后解锁。右上为高空胀满的气球及下部的排气管

气球站和阿拉斯加 Fairbanks 基地,1990 年在南极 McMurdo(70.5°S, 157.5°W)建站开展绕南极的长时间飞行,还与巴西、澳大利亚、新西兰等合作开展南半球越洋飞行。美国气球活动规模大,气球体积多为 30 万~110 万 m³,最大 170 万 m³,载荷最重 3.6 吨,共发放 2000 多次,与 NASA 的空间计划密切配合,取得显著效益。

1998 年 NASA 启动了超长时间气球计划 (ULDB),致力于发展大型超压气球,目标是体积 73.6 万 m³,高度 35 km,2 吨载重,定高飞行 100 天,能力堪比卫星。超压气球在日落时内部压力降低而体积不变,可长时间定高飞行,但技术难度很大。

ULDB 虽比原计划滞后,但技术进展显著。2009 年在南极创造了 20 万 m³超压气球定高飞行 54 天的记录,2013 年 53.22 万 m³超压气球载 2 吨多载荷飞行了 32 天,2016 年在新西兰又发放成功 53.22 万 m³超压气球(编号 662NT),携 1.25 吨的康普顿分光与成像仪(COSI),在 33.5 km 高度飞行 46 天,吊舱



图6 美国在巴勒斯登站发放气球的航拍照



图7 美国 ULDB 超压气球的 2Mft³缩比实验,球形采用南瓜形,一种外形稳定的欧拉体

在秘鲁降落回收。

同时期,利用南极夏季不落日 and 极涡环形气流条件,美国大型重载零压气球南极长时间飞行取得



图8 携带 COSI 的 662NT 超压气球起飞情景,右上为升限飞行中的超压气球

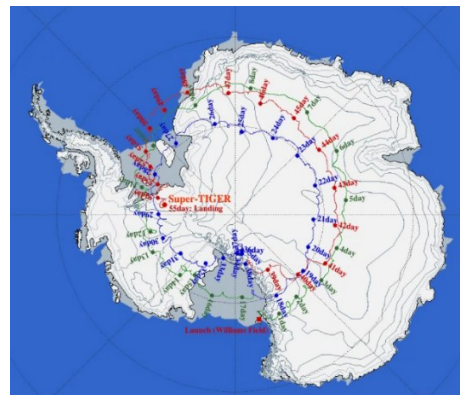


图9 2013 年 Super-TIGER 项目绕南极 3 圈 55 天的航迹,是 NASA 重载零压气球的续航记录

很大成功,1995~2012年进行了44次飞行,其中22次绕极单圈(8~20天),6次双圈(20~32天),4次三圈(35~42天),最长55天,至今共飞行56次。有力支持了高价值的南极气球科学活动。

法国作为近代气球的发源地十分重视科学气球,法国CNES设气球部,是欧洲气球活动的中心。作者在访问CNES时,CNES负责人表示“我们用空间预算中的1%投入科学气球,获得10%的收益”。法国国内气球站有Arie sur l'Adour和Gap in the Alps,曾进行从意大利西西里岛到西班牙降落的跨地中海飞行,2013年起在加拿大开展2~3天长时间飞行。法国共发放气球1000余次,最大气球120万 m^3 ,采用软式发放方式。



图10 法国特有的“软式”起飞法,即用辅助气球升起吊舱避免触地损伤的科学气球发放场景

法国的红外热气球和中小型超压气球别具特色。红外热气球体积约4.5万 m^3 ,50 kg载荷,靠氦气升空,逐步换成空气,夜间靠地面长波辐射加热,昼夜呈30~18 km高度起伏,特别适合大气剖面研究,2001年创造了沿赤道环球飞行71天的纪录。

日本JAXA的宇宙科学研究所ISAS设气球部,开展了长达50年的科学气球活动,早期气球站在三陆,后移至在北海道Taiki,共发放气球600多个,最大体积60万 m^3 ,发展了超压气球和轻量化高高度气球(球膜不足3微米厚,高度达59 km),1993年在南极洲昭和(Syowa)基地建立了气球站,开展长时间飞行。科学气球在日本空间科学和技术试验中具有重要作用。

瑞典是北极区域气球活动的中心,1974年瑞典

空间中心在基律纳市建立Esrange基地(68°N, 20°E)开展气球飞行,实现了环绕北极的飞行,最大气球体积110万 m^3 ,共飞行600余次。瑞典与俄罗斯签订协议,气球吊舱可在俄境内降落,飞行时间3天到一周。许多国家前往瑞典开展极区空间物理、大气科学等研究。



图11 KTH的脉冲星X-射线偏振望远镜PoGO,在基律纳用110万 m^3 气球升空

印度1969年在Hyderabad建立了气球基地和国家气球研究机构NBF,位于地球磁场赤道附近(8°N),有其特殊的地理优势,放飞了500多次高空气球,多为10万~20万 m^3 ,1997后成功发放了40万和74万 m^3 气球。

科学气球系统包括气球球体、发放系统和基地设施,还包括视距或卫星中继测控数传系统,气球吊舱能源、定位、姿控、浮力控制、电子学和数据管理系统,飞行安全管理系统,吊舱回收降落伞等系统,以及搜寻回收和运输等设施。各国均配置了标准化、功能可组合的先进设备。

3. 气球科学观测的重要事例

利用科学气球开展了大量天体物理、宇宙科学、大气和地球科学研究,领域广泛,成果丰硕。以下介绍一些代表性项目。

BOOMERANG(回旋器),为美国宇宙微波背景探测气球实验。宇宙微波背景的发现(1964)和COBE卫星结果(1989)有力支撑了宇宙大爆炸和暴涨理论,分获诺贝尔物理学奖。但宇宙背景的微小不

均匀性蕴藏着宇宙大爆炸后约37.6万光年高速膨胀期量子起伏(声波震荡)、背景光子与天体作用和宇宙结构的大量信息,需要比COBE卫星角分辨率高得多的设备进行测量。1998年美国实施BOOMERANG任务,在南极用80万 m^3 气球进行了11天飞行,得到分辨率小于1度的局部宇宙微波背景图,清晰地描绘出微波背景的不均匀性,并测出宇宙相对密度 Ω_0 在误差范围内为1。

图12显示探测结果很好地符合几何平坦宇宙理论模型的结果预期,即宇宙内涵的总质量产生的重力使其不至塌缩也不至于撕裂,气球观测结果为2003年发射的威尔金森卫星WMAP提供了坚实基础,其重要科学结论也得到证实。

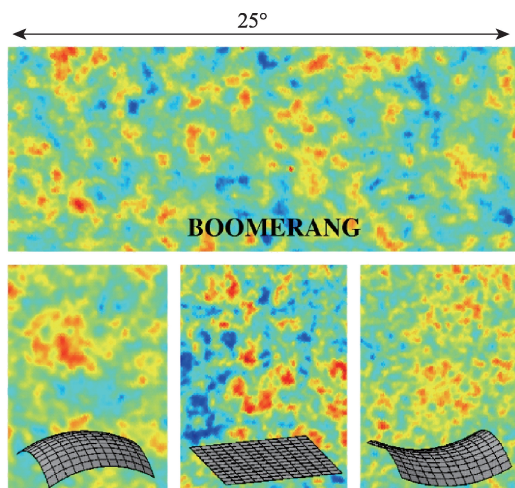


图12 回旋器观测到的宇宙背景不均匀性图形(上),与宇宙弯曲和平直模型预测图形(下)的比较

气球超导磁谱仪BESS,是美日合作项目,测量宇宙线中的低能反质子,寻找反氦核,研究早期宇宙的基本粒子过程、原始黑洞及暗物质证据等,起步于1990年,早于丁肇中先生的AMS计划。探测器包括薄壁超导磁线圈,内漂移室、轨迹漂移室、飞行时间闪烁描述仪等,1997年后采用气凝胶切伦科夫计数器取代漂移室。

反物质缺失是粒子物理学的重大课题,1955年在伯克利BeVatron加速器上首次发现了反质子(获1959年诺贝尔物理学奖),1979年美国科学家用气球磁谱仪在130~320 Mev能区测到28个宇宙线中

的反质子,其反/正质子流强比远超宇宙线与星际气体作用模型,由此反质子的宇宙起源成为重要课题。1989年中苏长时间气球合作时,作者听列宁格勒物理技术学院的科学家说,他们早于美国人用气球磁谱仪发现了宇宙反质子,很可能当时冷战“铁幕”遮蔽了苏联科学家的成就。

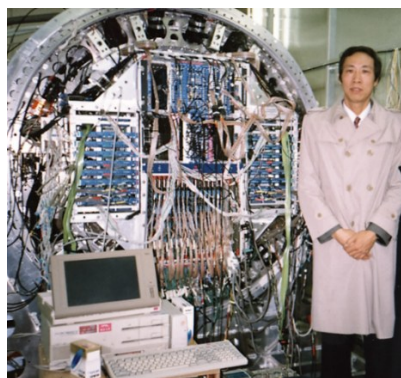


图13 作者1993年在日本KEK,BESS探测器前

1993年到2002年,BESS在加拿大林恩湖气球站进行了9次气球飞行,共探测到2400多个反质子,后升级为BESS-Polar,2004年在南极飞行8.5天,2008年飞行24.5天,获8000多个反质子事例,得到反氦/氦比阈值低于 3×10^{-8} ,为当时最重要的结果。

美国南极气球天文计划,与ULDB计划同步,NASA征集了大量气球天文任务建议,进行优选后形成南极气球天文计划,包括约20个具有原创科学思想和新一代尖端仪器研发的项目。由于超压气球尚在试验中,该计划主要用大型零压气球实施,许多项目飞行了多次,任务持续至今,是科学气球史上最宏大的计划。



图14 南极气球计划气球发放场景

南极气球天文计划包括粒子和非粒子天体物理两部分,粒子天体物理分为宇宙线起源加速、中微子天文、暗物质/反物质三个方向,重要项目有:先进薄型离子量能器 ATIC,宇宙线能量和质量探测器 CREAM,宇宙线电子同步辐射望远镜 CREST,银河全离子成分记录仪 Super-TIGER,南极暂现脉冲天线 ANITA,总反物质谱仪 GAPS(寻找反氦核和中微子湮灭通道)等。在ATIC项目中,中国科学家常进建议同时观测高能电子和伽马射线以及改进粒子鉴别方法,经2002~2007年四次飞行累计56天,发现电子能谱在300~800 GeV能区有一个显著的“超”,引发了观测原初宇宙线电子的一批空间任务,推动了我国暗物质探测卫星 DAMPE 的立项和重大成果产出。ANITA采用非常奇特的方法,用40个超宽带四角高灵敏天线探测中微子次级效应的电磁脉冲,居然在2009年30天飞行中测到2个可能宇宙中微子事例。

非粒子天体物理安排了大爆炸宇宙学、X和伽马射线源、系外行星/宇宙生物学等方向,主要项目有:宇宙学/天体物理扩散辐射绝对辐射计 ARCADE, E/B 模实验 EBEX,宇宙微波前景源探测 NCT,平流层太赫兹天文台 STO,球载大孔径亚毫米波望远镜 BLAST,高空透镜观测台 HALO(暗能量),多普勒敏感核伽马探测 DoGONE,球载系外行星光谱望远镜 BEST(口径0.75 m, offner 光谱仪),行星离子碳谱仪 ICarbS,系外星尘盘探测 Zidiac 等,都是非常新颖的项目。其中 ARCADE 采用全新厘米波(3mm-10cm)精密差分辐射计测量宇宙背景,超流



图15 平流层太赫兹天文台 STO/STO-2, 后续为 GUSTO, 探测星际介质和水汽、恒星和星系形成

氦制冷;EBEX用2米望远镜,1500个超导量子干涉换能边缘敏感器,测量宇宙大爆炸后 10^{-35} 秒暴涨期在背景上留下原初引力波印迹。

美国南极气球计划取得许多成果,如 ARCADE 发现 CMBR 的强烈射电辐射源,LSU 非直接探测到暗物质迹象,BLAST 发现星系形成的重要现象等,CREAM、GAPS 的后续探测器已被送上国际空间站。作者认为其最重要的意义是引领了研究方向,加强了研究深度,激发了科学家的潜能并培养了大批人才。

环境和大气研究。科学气球在大气、海洋科学和全球环境研究中发挥灵活多样的重要作用,仅举几例。HIBISCUS-木槿计划,欧盟委员会“全球变化/气候和生物多样性”大型国际合作(2002~2004),与 ESA 的 ENVISAT 卫星,NASA 的 SAGE III 卫星等配合,开展了23次零压和超压气球飞行,球载仪器包括紫外/可见/红外分光计、激光雷达、臭氧仪、表面声波传感器、光学微粒分光计等,对多种大气微量成分和云、气溶胶等进行原位测量,并开展卫星数据的真实性检验;GAINS-美国大气海洋局 NCAR 的全球大气海洋原位测量计划(2006~2008),采用数百个长时间飞行“Windstar”可控超压气球在全球范围组成观测网络,飞行高度18~28 km,观测海洋和大气相互作用、火山喷发、海藻潮,与卫星观测互补;极区大气研究-CNES 与 NCAR 合作项目,发放了19个超压气球,用下投探空仪、紫外臭氧仪、粒子计数器、GPS 掩星等方法研究区域大气动力学、极区中尺度重力波,臭氧耗尽动力学的微物理/化学过程,进行卫星红外辐射冰面数据修正,改进数值天气预报。上述计划都取得了重要的综合效益。

重要的空间技术试验,举几个典型事例。有翼飞行器重返大气层试验:日本在20世纪90年代初发展小型航天飞机,要解决航天飞机高速进入稀薄大气层的气动特性、气动加热防护、稳定性控制等关键问题。日本 ISAS 用气球在平流层释放航天飞机缩比样机,在重力和动力联合加速下达到所需试验条件,获得了大量姿态、结构响应和振动等动力学参数,气动加热和机体温度场分布等重要参数;火

星低密度超音速制动器(LDSD)试验:NASA为发展新型火星着陆技术,用直径33米的巨型旋转超音速“飞碟”减缓飞船进入稀薄火星大气层的速度。为测试该技术的有效性、提高成熟度,在夏威夷建造专门试验场,用气球将试验系统升入太平洋上空约36千米高空,2012年进行了缩比试验,2014年和2016年进行了两次全尺寸试验,发现了相关的技术问题,试验在继续进行。

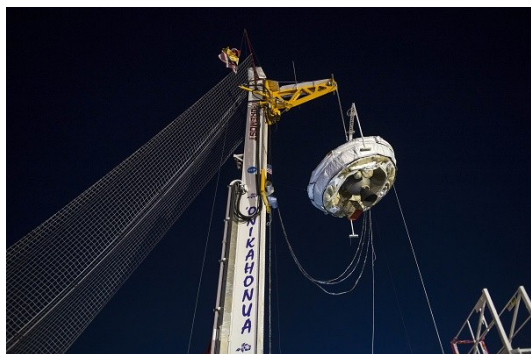


图16 在夏威夷专建的气球设施。LDSD载荷重3.6吨(含火箭发动机),需在高空加速到4马赫

美国、俄罗斯、日本、法国等国还开展了火星、金星、木星、土卫六泰坦等太阳系天体气球探测和火星大气飞机等技术研究,在地球大气中开展了一系列模拟试验。20世纪90年代初中苏气球合作期间,苏联列别捷夫物理所的科学家提出,苏-法合作“火星96”计划拟用夜间着陆、白天升空的气球大范围探测火星风场和地表物质成分,需要在地球高空模拟火星气球从容器中展开的实验,希望中方提供60万 m^3 气球。作者为此访问了苏联负责月球和行星探测的巴巴金空间中心,最终实施了中方提供气球,苏方用我们需要的氢气设备交换的合作。

科学气球涉及领域广泛,方法灵活多样,与各国的空间研究和各种科学计划密切配合,发挥了探索引领,激励创新,凝练科学目标,发展实验方法、验证关键技术,培养锻炼队伍等重要作用。

4. 我国的科学气球及科学实验

我国科学气球起步于文革后洋溢着科学春天气息的年代。1977年,在国家制定学科发展规划期

间,为发展宇宙线和高能天体物理,中科院高能物理所提出发展高空科学气球的倡议,并联合中科院大气所、空间中心、上海天文台和广州电子所开展先期工作,中国科学院组织了联合攻关。作者亲历了那段紧张曲折又充满热情的岁月,一切都自己动手,艰苦创业。气球体积从几百、几千、几万立方米不断提升,材料性能,气球制造工艺,以及发放、测控、姿控、回收技术不断改进,研发了一批科学观测装备,到1984年在河北香河大气所观测站建成了完整的科学气球系统,并同步实施了多学科飞行探测任务。



图17 香河气球站3万 m^3 气球正在进行充氢气操作(1981),当时采用的是“静态发放”方式

到20世纪90年代,我国已经研制并成功发放1万~40万 m^3 成系列的科学气球,最重载荷1.9吨。我国曾与日本合作开展从鹿儿岛跨越东海在江苏回收吊舱的长时间飞行,与前苏联科学院合作开展了我国华北到里海约3天的长时间飞行(北半球最长陆地路线)。据统计,我国共开展了200多次科学气球探测和技术试验,研究领域涵盖宇宙线、硬X和 γ 射线天文、红外天文、太阳物理、空间物理和空间化学、平流层和高层大气物理、微重力科学、空间生物学、遥感技术试验等领域,产生了一批重要成果。

蟹状星云脉冲星观测:蟹状星云是1054年一颗超新星爆发的遗迹,中国古代天文学家曾详细记录了这一重大天文事件。超新星爆发后形成的脉冲星即Crab Nebula PSR-0531,是高速旋转的中子星。这次实验是期望测量中子星X射线的脉冲周期。高能物理所从1980年初开始发展了HAPI-1~4



图18 何泽慧先生等在香河气球站观看升空前的15 cm 太阳红外观测望远镜吊舱(1982年)

系列球载硬 X 射线探测器,采用碘化钠/碘化铯复合探测器,准直器限制张角,后又发展了充氙多丝正比室。探测器的研制很关键,姿态指向控制也进行了验证,但要测脉冲周期就需要精确的时间信息,而当时没有准确的球载时钟,遥测还是老一代调频体制(IRIG 标准,6 路副载频),根本没有数字化遥测和数传。为此作者建议用副载频调制光子形成的电脉冲,由频率较高的副载频传输到地面解调,用斯密特触发器甄别脉冲前沿再用地面精度较高的铷钟记录。1984 年的这次飞行试验很顺利,由于探测器灵敏面积小,实际信噪比很低,经过数据处理并修正了气球飘飞距离的时间差,仅数百个源的信号光子,就用傅里叶方法折叠出精确的 PSR-0531 脉冲周期。这是我国首次对脉冲星周期的测量,获得了中科院自然科学二等奖。

对天蝎座 X-1 的成像观测:硬 X 射线由于量子能量高,不可能用聚焦或掠射方式成像,一直是硬 X/γ 射线天文观测的难题,传统方法是用编码孔径方法成像,但效率低,噪声严重。1992 年,李惕碛、

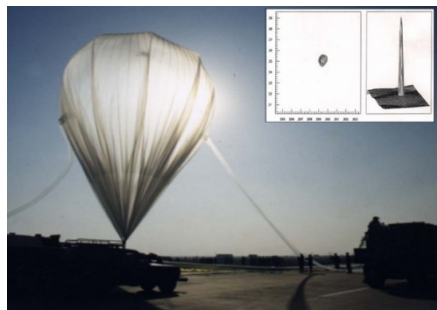


图19 对CygX-1的气球硬X射线观测(1993年9月), 右上为处理后的CygX-1图像

吴枚提出一种直接解调方法,用准直器和非位置灵敏探测器,可得到比准直器内禀视场高得多的角分辨率图像。为验证该方法实际效果开展了气球实验,选择了天蝎座 X-1(CygX-1)进行观测,获得十分清晰、高信噪比的CygX-1点源图像。

这次气球实验有效验证了直接解调成像方法,为空间应用奠定了基础,1999年获973计划支持,并最终导致硬 X 射线调制望远镜(HXMT)卫星立项,2017年成功发射。HXMT的高能、中能和低能探测器都采用了直接解调方法,成为目前国际上探测灵敏度最高,能区最宽、成像能力最强的 X 射线成像卫星,至今正源源不断地取得大量重要科学成果。

中德合作气球微重力实验:为我国载人航空气间科学任务进行先期验证,1998年开展了中德合作气球微重力试验。德方提供微重力落舱(采用冷气推进克服空气阻力,超音速伞回收吊舱),中方提供40万 m³气球并组织飞行实验,双方分享实验资源。气球载600多公斤的实验舱飞到40 km高度,落舱分离自由下落,持续60秒达到1×10⁻⁴ g的微重力水平。中方的预混火焰微重力燃烧试验圆满成功,微重力细胞电融合实验本身达到预期,但发现在回收的6小时过程中,细胞融合所需电解液对融合后的细胞有不利影响,为此改进了设计,后在神舟4号飞船细胞电融合实验中取得优异结果,这一预备实验发挥了不可替代的作用。

20世纪80至90年代,我国利用气球开展了大量科学实验,获得了有价值的科学和应用成果。紫

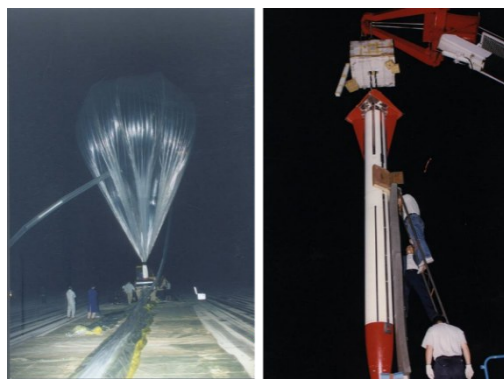


图20 气球微重力实验场景:40万 m³ 气球正在充气(右), 落舱在发放车前部高高升起

金山天文台远红外望远镜观测到塞弗特星系 SCO- $\alpha 1$ 的红外辐射,开展了 X 射线天文观测获;上海天文台成功测量了太阳红外亮度温度;大气所对华北地区不同季节平流层风场结构进行探测获宝贵资料,获大气气溶胶、大气臭氧垂直分布数据,原位测量了大气微量成分;安徽光机所测量了大气温度微结构和大气光学特性;贵阳地化所捕获到平流层宇宙尘;空间中心开展了空间物理参数综合测量,研制试验了大气质谱仪;高能所测量了初级宇宙线核成分、 γ 射线产生的中子本底通量和大气总电离量随高度的变化;大气所和长春光机所测试了太阳/地球紫外光谱仪和太阳常数仪,为这两台重要仪器在载人航天工程中取得成功奠定了基础。气球实验对人才培养也起到重要作用,当前活跃在空间科学探测一线有不少专家当年都参加过气球实验。

我国科学气球一度由于航管和管理体制等原因有所削弱,现已重新起步,进入新的发展时期。2010 年后建设了新的大型气球生产线,在内蒙古四子王旗建立了综合气球实验基地。2018 年中科院启动了“临近空间科学实验系统”A 类先导科技专项即“鸿鹄”专项,旨在发展重载科学气球和超压气球,聚焦临近空间环境和生态系统开展综合科学探测。科研人员在被称为地球第三极的青藏高原开展了大气、生态、环境、资源、灾害等大范围、多尺度、系统化监测;开展了地磁暴平流层环境综合探测等实验。已发放十余个零压气球和超压气球,取得了一批重要的科学数据。



图 21 “鸿鹄”专项用下投探空仪等进行大气原位探测和大气湍流测量,气球在青海格尔木发放

5. 发展愿景

科学气球是目前唯一成熟的临近空间浮空平台,应当发挥其重要作用,推动我国科技创新发展。

加强国内科学气球活动,扩大科学气球应用。发展 60 万~100 万 m^3 大型零压气球和一定规格的超压气球,建成先进可靠的系统,在四子王旗基地开展业务化科学气球飞行,在其他适宜地点建立固定或流动气球站,支持各类科学观测和实验活动。

在空间科技领域,科学气球可测试新型科学与应用载荷,开展空间技术和临近空间技术试验,培育和验证空间项目,应充分发挥其快速灵活,回收升级和重复飞行等特点,有力推进我国空间科技新概念新技术的发展。在大气、环境、生态、地球科学领域,科学气球可配合国家计划,开展大范围、垂直剖面的精细原位测量,与卫星、地面台站等协同形成立体观测网,开展交叉定标和真实性检验,取得倍增效果。

建立南极气球站,开展科学气球长时间飞行。南极在夏季(北半球冬季)呈极昼(不落日)现象,南纬 70° 左右极昼出现在冬至前后各一个半月,零压气球在飞行中始终有太阳照射,避免了温度交变和浮力损失,可长时间定高飞行,并能够持续获得电源,加上平流层有较稳定的绕极极涡气流,可在陆地甚至靠近发放场附近回收吊舱,又规避了跨国飞行和航管限制,成为全球长时间气球飞行的最佳区域。

南极气球飞行是南极科考的有效手段,可大范围考察南极地理、冰盖和冰川,开展极区气候、海洋、生态、环境遥感和测绘;南极有非常奇特丰富的电离层、粒子沉降、极光、磁场、高层大气现象,是开



图 22 开展空间探测仪器试验的气球正在起飞

展空间物理研究的天堂;南极气球天文观测是我国天文界长期盼望的机遇,可开展几乎全电磁波段和粒子天文观测、中微子探测、太阳探测,开辟国内不可视的南部天区观测,其长时间连续观测能力将使观测的科学效益成数量级倍增;南极是地球科学和全球环境变化研究的要地,南极风场和物质运输、水循环及输运扩散规律,南极生态和生物多样性,海平面升高及洋流与气候关联等全球变化重大问题都与作为地球三极之一的南极密切关联。总之,从科学角度看,南极科学气球具有特殊的区位优势,科学价值十分突出。此外,南极气球活动对拓展我国在南极的利益也具有重要战略意义。

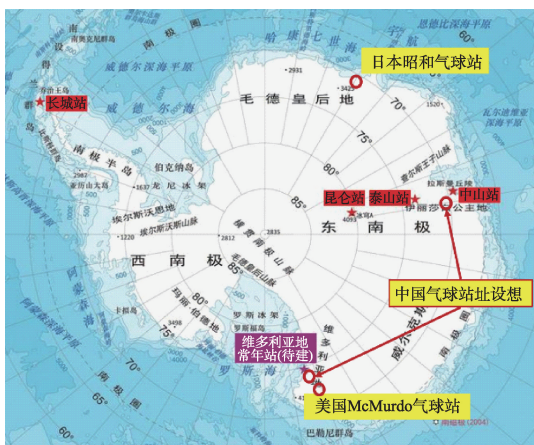


图23 中国南极气球站建站位置设想

我国南极科考已达较高水平,1985年以来持续不断,积累了丰富的经验,已经建成长城、中山、昆仑和泰山4个南极科考站,其中长城和中山站为常年(越冬)站,正在酝酿建立第五南极科考站;我国科学气球技术基础扎实,具备在南极建站开展科学气球活动的条件。

回顾百年来气球科学观测历程,展望我国科技发展前景,期望我国气球科学观测事业行稳致远,期望建立我国南极气球系统,助力我国向科技强国的目标迈进。

参考文献

- ① 姚丽旋、崔君望,200年的飞翔,上海大学出版社,2009
- ② 胡红波、韩金林,编译宇宙线的百年研究,原文详见 <http://pton-line.aip.org>
- ③ 李惕碚,顾逸东,我国的高空科学气球及高能天文观测,自然杂志,7(3),1984
- ④ Yidong Gu, Balloon System and Balloon-Borne Experiment in China,《Adv. Space Res.》,5(1),1985
- ⑤ Wu Mei, etc, Observation of hard X-ray from Crab Pulsar and AU535+25, 19th ICRC, 1(OG), 1985
- ⑥ G. Yidong, J. Luhua and L.Bin: "Review and Prospect of Chinese Scientific Balloon Activities", Adv. Space Res., 13(2), 1993
- ⑦ 李杰信,宇宙起源,科学普及出版社,2015

科苑快讯

3D打印模型助科学家复原3000年前木乃伊的声音

科学家第一次重建古代人类的声音,它属于一具3000年前的埃及木乃伊,名叫内萨蒙(Nesayamun)。为了恢复过去的声音,科学家把木乃伊置于电脑断层扫描仪(computerized tomography scanner)中。这使他们可以创建该木乃伊声道的3D模型,正是这种结构塑造了一个人的独特声音。

研究人员随后3D打印出内萨蒙的气道模型,并将其连接到电子喉头(这是一种提供噪声源的电子喉)上,就合成了内萨蒙的声音。研究组在《科学报告》(Scientific Reports)期刊上总结到,研究结果虽然

简短,但是它却让我们对古代埃及人的声音有了一定的了解。

根据内萨蒙棺椁上的文字和随葬品,研究人员了解到,内萨蒙是一名埃及祭司和书吏,对神唱歌和说话可能是他仪式职责的一部分。他棺椁上的铭文包括,希望“像他以前工作时那样见到神灵并向其祈祷”。现在,他可以向我们说话了。

(高凌云编译自2020年1月23日 www.sciencemag.org)