

# 中国载人航天工程办公室和欧洲空间局联合征集空间应用合作项目建议书的公告



## 工作计划

公告发布	2017年4月
收集合作意向书	2017年5月
中欧载人航空间科学和应用合作研讨会	2017年6月
收集项目建议书	2017年8月
完成同行评议和技术可行性评审	2017年9月
项目遴选	2017年11月

# 目录

1	联合公告简介.....	3
1.1	背景情况.....	3
1.2	公告目标.....	3
2	CMSA 和 ESA 共同科学目标.....	4
2.1	ESA 在空间环境下进行科学研究的总体路线图.....	4
2.2	CMSA 总体科学目标.....	6
2.3	CMSA 和 ESA 共同目标.....	7
	附录一：中欧联合评审标准.....	9
	附录二：成果共享形式.....	10
	附录三：如何提交.....	12
	附录四：同行评议结果背书和项目正式遴选.....	13
	附录五：项目立项.....	14
	附录六：联系信息.....	15
	附录七：项目建议书撰写指南.....	16
	附录八：ESA 和 CMSA 在生命科学领域的支持能力.....	17
	附录九：ESA 和 CMSA 在物理学领域的支持能力.....	21

# 1 联合公告简介

## 1.1 背景情况

中国载人航天工程办公室 (CMSA) 主任和欧洲空间局 (ESA) 局长一致同意, 加强双方机构之间在载人航天领域的合作, 包括首先利用国际空间站 (ISS) 平台实施合作项目, 并在下一个十年初期, 利用中国空间站 (CSS) 实施合作项目。

考虑到适用于国际空间站的边界条件 (如开发新硬件和资源的约束), 最为务实的项目遴选方式为: 在前期已入选在双方空间设施中实施的候选项目中, 遴选科学目标接近的合作项目。双方机构同意促进双方团队的协调和合作, 组成合作科学团队, 以达到在国际空间站和今后的中国空间站实施合作实验的双赢效果, 使全体成员间互利共赢。

现阶段准备工作, 双方机构计划发布公告, 联合征集在近地轨道实施的合作实验项目建议书。本公告的目标是通过整合在欧洲和中国的计划中已遴选出的项目成为合作项目, 进而加强空间科学实验的合作。

## 1.2 公告目标

本中欧联合公告征集建议书的指导原则为:

- 鼓励获得 CMSA 或 ESA 支持的, 前期通过遴选的项目科学家组成合作团队;
- 促成最高质量的科学研究, 使得空间实验的科学回报最大化, 达到双方互惠互利;
- 共享使用互补的设备和飞行机会, 充分利用国际空间站和中国空间站资源;
- 在国际空间站和中国空间站动态支持能力和约束范围内, 将空间研究机会最大化。

关于本次中欧联合公告征集合作项目建议书的通用信息如下:

- 1) CMSA 和 ESA 双方共同的科学目标;
- 2) 可用的飞行机会和研究能力介绍;
- 3) 评审程序;
- 4) 项目建议书撰写说明;

5) 建议书指南。

此次征集涉及以协同方式利用国际空间站和中国空间站资源，达到最优合作效果的实验。

旨在以协同合作方式实施的实验包括：

- 1) 任务前和任务后活动，包括从空间返回前或返回时的数据收集，和/或
- 2) 以协同合作方式开展的可在国际空间站和中国空间站实施的在轨补充实验
- 3) 实验必须与国际空间站和中国空间站动态支持能力和约束范围相匹配。

## **2 CMSA 和 ESA 共同科学目标**

### **2.1 ESA 在空间环境下进行科学研究的总体路线图**

欧洲空间局 SciSpacE 的总体目标是实施世界级的科学研究，包括：

- 从基础科学方面着手，传递社会经济效益，为教育、激励和全球目标做出贡献；
- 为未来人类探索太阳系做出科学贡献。

这些目标的实施将通过：

- 使用 ISS 和其他补充平台，筛选并在空间环境中实施世界级科学实验；
- 关注空间探索相关的优先研究议题；
- 推动开展已实施实验的地面转化应用；
- 促进欧洲在相关领域的科学卓越性和产业竞争力；
- 有效传播、开发和利用已取得的成果。

表 2.1 高水平路线图研究主题

物理学	生物学	人体科学研究
超高精度冷原子传感器，量子信息和高能粒子； 相对论与量子物理边界理论； 先进导航与通信	宇宙生物学： 空间辐射和真空环境暴露下的化学和生物学效应； 宇宙中生命的起源，局限和生命迹象	人体在空间环境下的适应性及其对策； 了解人体的生理过程； 空间探索相关的生命风险及保护措施； 地球上的健康和老化问题
软物质或复杂物质： 泡沫，乳剂，颗粒物质，大气尘埃以及胶体的相互作用和自组装； 食品和石油基化工产品，生物加工的物理学	非地球重力条件下的生物学： 了解细胞和组织的重力依赖过程及机理； 生物化学和健康相关的现象	为重力减小、隔离和限制条件下的生理和神经适应性； 空间飞行对心理，运动感知和神经行为表现的影响； 寻求航天员进行长期航天飞行的遴选、训练和保障的方法学
沸腾，蒸发和传热： 包括相变的流体物理的多尺度建模； 微电子，工业锅炉和发电装置的有效冷却	恶劣环境中的生命保障体系： 了解空间因素对微生物和植物的影响； 空间探索集成闭环生命保障系统	
先进材料加工： 微结构的形成和材料性能； 铸造，自动化和航天工业		
人类探索太阳系宇宙射线风险		
独立的和多学科的研究： 能源存储，防火安全，心血管流体物理，冬眠和麻痹		

上述目标包括基础目标、探索相关目标以及应用研究目标。

相对于 SciSpacE 目标，科学研究路线图是多维的。与三种路线图（与辐射，生命保障和天体生物学）全部相关的只有探索相关目标，其他的路线图（如人体科学研究相关的路线图）都和人类探索、地球上健康效益相关。此外，研究课题可以是与基础知识（宇宙生物学，冷原子传感器）相关的，其他的更专注于全球性目标（人体科学研究、传热）或者科学发展必须的技术（生命保障）。下图给出关于 SciSpacE 目标的路线图。

ESA 项目的遴选与这些研究路线契合，并在本项目征集公告中呈现。

## 2.2 CMSA 总体科学目标

中国载人航天工程空间应用任务的总体目标是开展空间科学的研究和应用：

- 更好的地理解生命，物质以及宇宙的本质；
- 推进中国空间科学的发展，并在一些重要研究领域达到前沿水平；
- 实现空间应用技术的重大突破，为满足社会发展和人民日常生活的需求做出贡献。

通过如下措施实现这些目标：

- 利用 CSS 及其相关的空间平台，筛选和实施世界级空间科学研究和技术验证项目；
- 促进空间科学研究和技术的地面应用；
- 鼓励空间科学技术研究的国际合作。

表 2.2 CMSA 的科学研究目标

生命科学	物理科学
<p><b>基础空间生物学</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 重力产生不同程度变化时，生物体感知和响应机制</li> <li>• 重力生态学</li> </ul> <p><b>空间生物技术及应用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 蛋白质科学和工程</li> <li>• 细胞的培养和组织构建</li> <li>• 生物制造技术</li> </ul> <p><b>先进空间生命生态保障系统的基础研究和前沿交叉学科研究及探索</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 空间生物力学和生物工程</li> <li>• 亚磁生物学</li> <li>• 生物分子设计和合成生物学研究</li> <li>• 地外生命以及生物起源、合成的研究</li> </ul>	<p><b>流体物理和燃烧</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 微重力流体力学</li> <li>• 两相流、相变传热研究和应用</li> <li>• 复杂流体</li> <li>• 微重力燃烧科学</li> <li>• 火灾的预防、检测以及扑灭</li> </ul> <p><b>空间材料科学</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 基础材料科学研究</li> <li>• 先进材料的合成与加工</li> <li>• 空间环境中的材料使役行为研究</li> </ul> <p><b>微重力基础物理</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 高精度时频系统</li> <li>• 相对论与等效原理的试验验证</li> </ul>

## 2.3 CMSA 和 ESA 共同目标

具有共同研究兴趣且有合作潜力的项目列表如下：

表 2.3 生命科学领域具有共同目标的项目

中方项目	ESA Projects
空间微重力环境调控植物细胞结构和功能	Water across plant systems: effects of microgravity on organ morphological and functional traits (ILSRA-2014-020)
	Seedling Growth (ILSRA-2009-0932/1177)
微重力环境调控植物干细胞功能和结构的分子网络研究	Water across plant systems: effects of microgravity on organ morphological and functional traits (ILSRA-2014-020)
	Seedling Growth (ILSRA-2009-0932/1177)
空间微重力环境对骨骼/肌肉系统影响的生物学基础研究	ARED Kinematics (ILSRA-2009-1080): Biomechanical Quantification of Bone and Muscle Loading to Improve the Quality of Microgravity Countermeasure Prescriptions for Resistive Exercise
	CerISS: What changes in the cervical spine and musculature in spaceflight explain increased risk of disc herniations in astronauts? (ILSRA-2014-0033)
	MUSCLE BIOPSY (ILSRA-2004-0155)
	MyotonPRO (ILSRA-2014-0015)
	EDOS-2 (ILSRA-2009-1034)
空间先进水生生态生命保障系统研究	ArtEMISS Arthrospira gene Expression and mathematical modelling on cultures grown in the International Space Station (A02004-085)
空间细胞生理与组织发生的生物力学规律研究	Mechanocell (ILSRA-2014-112)
	Wound Healing and Sutures in Unloading Conditions (ILSRA-2014-043)
空间微重力环境下干细胞 3D 生长及组织构建研究	Three-dimensional culture of bronchial mucosa in microgravity: A new model to study respiratory cell differentiation and stress during space-flight (ILSRA-2014-130)
	Premature senescence of bone mesenchymal stem cells might contribute to bone loss in Microgravity (ILSRA-2014-071)
空间辐射计量及生物损伤评估技术（舱内）	DOSIS-3D (ILSRA-2009-0778)

表 2.4 物理学领域具有共同目标的项目：

中方项目	ESA projects
利用空载高精度时频信号检验重力频移及确定地球重力位的研究	AO-1996 ACES AO-2004-100 SOC
精细结构常数时空依赖性高精度探测	AO-1996 ACES AO-2004-100 SOC
胶体的聚集和相转变的微重力研究	AO-2004-049 COLLOID (incl. NEUF-DIX)
颗粒材料的相变研究	AO-2004-121 SPACEGRAINS; AO-2009-0943 COMPGRAN
空间蒸发相变与热质传输过程强化实验研究	AO-1999-110 EVAPORATION
空间沸腾与强化机理	AO-2004-111 BOILING
微重力沸腾中的气泡热动力学与传热研究	AO-2004-111 BOILING
空间冷凝过程强化及液膜非稳定性研究	AO-2004-096 CONDENSATION
空间两相流体回路特性及稳定性研究	AO-2004-096 CONDENSATION
金属凝固过程中偏析机理的研究	AO-1999-031 MICAST, AO-1999-117 CETSOL, AO-2004-046 XRMON AO-2009-1094 DIFFSOL
空间环境中合金熔体的深过冷与快速晶体生长	EML projects, e.g. : AO-2009-0829 NEQUISOL
金属合金熔体深过冷、形核与凝固组织形成机理	EML projects, e.g. : AO-2009-0898 PARSEC
微重力环境高温熔体导热系数在线测量	EML projects, e.g. : AO-2009-1020 THERMOLAB-ISS AO-2009-1136 OXYTHERM
空间合金熔体热物理性质及非晶材料形成研究	EML projects, e.g. : AO-2009-1020 THERMOLAB-ISS AO-2009-1136 OXYTHERM AO-2009-059 ICOPROSOL AO-2004-144 MULTIPHAS
微重力下透明模型合金凝固过程的原位观测与作用机制研究	AO-1999-031 MICAST, AO-1999-117 CETSOL, AO-2004-046 XRMON AO-2009-1094 DIFFSOL

## 附录一：中欧联合评审标准

在双方主管机构科学应用主管部门监督下,组织成立联合评审组。

- 1) 通过独立同行评议评价合作项目的科学价值
- 2) 通过独立同行评议确认合作项目的空间相关性;
- 3) 合作项目进展过程中出现较小调整时的技术可行性和经费支持能力: ESA 和 CMSA/CSU 内部评估;
- 4) 科学团队研究基础和活跃程度;
- 5) 科学团队内合作的时效性。

## 附录二：成果共享形式

双方主管机构应当尽最大努力尽快为合作机构及合作科学团队的所有成员提供原始数据及校正数据。

合作科学团队双方对于数据集的内容和适于分析的通用数据格式应预先达成一致意见，并在项目建议书中详细阐明。合作双方主管机构将做最大努力，保证在地面接收到所有原始数据及实验样品后的 6 个月内，将完整的原始数据提供给合作科学团队。

双方主管机构应给予开展合作的相关科学团队优先获取原始数据及样品的独占权。独占权（优先获取期限）的持续时间为：从主管机构将适用于分析的数据及样品提供给参与合作的科学团队的所有成员起一年内。优先获取原始数据及样品的独占权只属于合作科学团队的所有成员。

合作科学团队拥有优先获取原始数据及样品的独占权，需满足以下条件：

- 为主管机构对所得到的结果提供分析，并采取一切合理方式来发表此数据，或者，授权主管机构发表此数据（发表的出版物中，须对主管机构所提供的支持以及本合作框架进行致谢）；和

- 使用到在本协议项下实验所产生的数据，应对中欧双方主管机构进行致谢；

- 合作科学团队在本合作框架下产生的文章，在提交至期刊的前两周，应先递交至中欧双方主管机构进行意见征询

- 合作科学团队在本合作框架下发表的文章，相应文章发表当日，向中欧双方主管机构提交电子版副本。主管机构有权复制和传播已经公开发表的数据。

- CMSA 发布的 ESD 及 ESA 发布的 ESR 文件中已明确了不同团队成员在实验实施、数据处理以及文章发表过程中的分工及贡献，且均由合作科学团队的所有成员签署，本公告中涉及的数据权限应当与上述两份文件相一致。

- 在中欧双方主管机构协商考虑后，可申请改变优先获取权的期限，包括但不限于：

- 1) 在实验进展过程中，合作科学团队及合作主管机构参与的程

度及性质发生变化；

2) 处理原始数据的复杂性，包括使原始数据成为适于分析或可发表的结果。

## 附录三：如何提交

### 合作意向书

为便于中欧空间科学和应用合作项目征集及相关工作的进行，机会公告发布后，项目征集范畴内涉及的研究者，需要告知 ESA 和 CMSA/CSU 其有意向提交一份合作项目建议书。

因此，双方科学团队需要提交合作意向书，意向书包括一页摘要和初步拟定的团队成员列表。

结合公告内容和前期合作基础或合作意愿，向双方主管部门提交合作意向书。

合作意向书中应声明：合作双方科学团队之间已经进行了充分的交流，基于此，双方科学团队一致同意进行更加深入细致的讨论以促成两个项目的合作。合作意向书应由中欧双方召集人签字。

合作意向书需提交内容完全一致的中文及英文版各一份。

合作意向书提交截止日期：2017 年 5 月 15 日

通过邮箱同时提交中欧双方，邮箱地址(PDF 格式，不超过 1 MB)：

**CSU: [CMSA-ESA-CFP@csu.ac.cn](mailto:CMSA-ESA-CFP@csu.ac.cn)**

**ESA: [Call-ESA-CMSA@esa.int](mailto:Call-ESA-CMSA@esa.int)**

合作意向书不需要提交纸质版。

### 项目建议书

项目建议书包括内容完全一致的中文及英文版本，并由合作项目中所有团队成员共同签署。中文及英文版本均需包括所有团队成员签名的扫描页。

项目建议书提交截止日期：2017 年 8 月 18 日

通过邮箱同时提交中欧双方，邮箱地址(PDF 格式，不超过 8 MB)：

**CSU: [CMSA-ESA-CFP@csu.ac.cn](mailto:CMSA-ESA-CFP@csu.ac.cn)**

**ESA: [Call-ESA-CMSA@esa.int](mailto:Call-ESA-CMSA@esa.int)**

项目建议书中文版需打印并邮寄 4 份至中国科学院空间应用工程与技术中心，地址：中国北京市海淀区邓庄南路 9 号，100094。

ESA 不需要邮寄纸质版。

## 附录四：同行评议结果背书和项目正式遴选

合作项目的最终遴选须遵循双方项目遴选的适用流程。

在欧方，所有符合条件的项目将提交至生命科学和物理科学工作组进行背书，之后递交至空间探索和利用委员会（EUB），进而交由计划委员会（PB-HME）审批。通过审批的科学项目将被列入 SciSpace 研究项目库，随研究数据库发布于每年度的工作文件中。

在中方，所有符合标准的项目建议书将提交至先关领域的学科专家组进行背书，之后递交至空间应用系统，进而交由载人航天工程办公室（CMSA）审批。通过审批的合作项目将进入国际合作研究项目库。

评审建议发布后，CMSA 与 ESA 应当立即以联名信的形式告知项目申请人，给予一致意见，并附评审的总分和相关评审意见，以及有利于项目实施项目而进行较小调整的技术可行性初步评估结果。评议结果为最终结果，不接受上诉。

## 附录五：项目立项

合作项目正式批准后，启动下述步骤：

针对项目将利用国际空间站实施的部分，由于项目的合作整合，项目科学家需要详细评估科学实验要求(ESR)文件中的任何细微调整。调整内容可能包括科学团队，相关设备主管和项目主管的整合。如果认为调整后方案可行性高且满足经费支持能力，并获得 ESA 内部批准，在科学团队及 ESA 正式签署后，ESR 将被正式更新并照此执行。

针对项目将利用中国空间站实施的部分，由于工程需求的整合，项目科学家需要提交详细科学实验需求(ESD)文件。其中，需求的整合将涉及科学团队，相关硬件开发人员以及项目主管的整合。如果认为提交的方案可行性高且满足经费支持能力，并获得 CMSA 内部批准，在科学团队正式签署后，ESD 将被正式更新并照此执行。

所有通过遴选的项目每三年接受复查，由中欧空间科学和应用联合工作组协调组织。

## 附录六：联系信息

### 欧方联系信息：

关于本机会公告需要咨询 ESA 的问题通过专用邮箱：  
[Call-ESA-CMSA@esa.int](mailto:Call-ESA-CMSA@esa.int)，或直接联系

关于人体生理学：

Dr. Jennifer Ngo-Anh

HRE-UL

Tel. +31 (71) 565 8609

E-mail: [Jennifer.Ngo-Anh@esa.int](mailto:Jennifer.Ngo-Anh@esa.int)

关于生物学、天体生物学、辐射研究：

Dr. Jason Hatton

HRE-UB

Tel. +31 (71) 565 4059

E-mail: [Jason.Hatton@esa.int](mailto:Jason.Hatton@esa.int)

关于物理学：

Dr. Astrid Orr

HRE-UP

Tel. +31 (71) 565 3942

E-mail: [Astrid.Orr@esa.int](mailto:Astrid.Orr@esa.int)

### 中方联系信息：

关于空间生命科学：

曹骞

CSU-ICO

Tel. +86(10) 82178267

Email: [caoqian@csu.ac.cn](mailto:caoqian@csu.ac.cn)

关于物理学：

杨扬

CSU-ICO

Tel. +86(10) 82178280

Email: [yy@csu.ac.cn](mailto:yy@csu.ac.cn)

## 附录七：项目建议书撰写指南

项目建议书需包含以下内容：

- 1) 摘要
- 2) 团队成员名单及所属机构单位，所有团队成员签名
- 3) 前期已入选双方空间机构的将要进行合作整合的项目总结  
*CMSA/CSU 支持的项目总结以及 ESA 支持的项目总结。*
- 4) 项目实施计划  
*本部分中需阐明将要如何实施本合作项目，进而通过本合作项目，充分利用国际空间站及中国载人空间站的资源，共同实现双方团队的研究目标；阐述如何分配及分担双方的研究任务，合作项目的实施计划时间表。*
- 5) 合作成果共享方式  
*本部分中需阐明中欧双方合作的协同效应如何达到双方的互利共赢，取得的成果如何在团队成员之间共享，详细说明实验将要获取的空间飞行数据集和适于分析的通用数据格式，科学实验及应用获取的数据将以通用数据格式在合作团队内共享。*
- 6) 合作基础  
*合作项目中涉及的项目是已启动还是全新的项目，如项目已经启动，提供具体介绍。*
- 7) 所需支持  
*合作项目需要得到来自双方机构的哪些支持。*
- 8) 近期合作项目团队成员发表的相关文章列表。

## **附录八：ESA 和 CMSA 在生命科学领域的支持能力**

### **1. ESA 在人类研究中的潜在贡献**

ESA 在人类研究中表现出的贡献主要包括收集样品所用的标准生物样本试剂盒，航天员按照程序收集样品所花费的时间，以及将样品贮存在合适条件下直到将其带回地球。

### **2. ESA 在生物学及啮齿动物研究中的潜在贡献**

ESA 实施生物学实验最高效的设备是 KUBIK。它包含一个小型温控空间，既可作为培养箱，也可作为冷却器。另外，该设备可以提供电力来进行完全独立的自动实验。KUBIK 和实验界面具有多种可拆卸模块。离心机模块可以模拟 1g 环境作为对照组，与处于微重力环境的样品同时进行实验。

离心机模块通过一系列小型标准化容器进行实验，因此实验设计必须与这些容器相匹配，使其能在该容器内进行。若不能匹配，则需通过 KUBIK 界面安装更大的专用实验硬件。为了使 KUBIK 能够更好地与地面进行通讯，并接受地面的控制，对其改进也一直在讨论中。

### **3. ESA 在外空生物学的潜在贡献**

现在正在计划开发一个新的外部暴露设备，该设备可以使生物学及化学样品在外太空环境下暴露长达 18 个月，之后返回地球进行分析。此外，也可能进行一些简单的原位测定，如光谱分析。继 EXPOSE-E 和 EXPOSE-R 设备在国际空间站内成功用于国际外空生物学和空间化学实验之后，研发本设备。

## 4. CMSA 在生命科学中的潜在贡献

生命生态实验柜为空间生命科学实验和研究提供了强有力的技术支持和条件。

该实验柜主要由通用生物培养模块、小型受控生命生态实验模块、小型哺乳动物培养模块、小型离心机实验模块、生物安全在线监测模块、生物培养环境条件调控模块等部分组成。

该实验柜可用于各种样品，如植物、种子、植物组织、水生生物、小鼠、果蝇、线虫等其他小型动物实验。

生命生态实验柜主要侧重用于开展微重力对独立有机体或组织影响的研究，以及空间环境下生态生命支持系统的基础研究。它也被用于探索生命体及有机体对重力、辐射以及两者协同作用时的感知和适应机制。该实验柜可被用于研究太空环境对于生物个体发生、生长、发育、繁殖、衰老以及生物节律的影响，研究生物复杂系统功能的调控网络，并应用于生物制造技术实验。

该研究硬件可为中国空间站上的合作项目提供相应的应用支持能力。



图 1 生命生态实验柜简图

生物技术实验柜用于空间生命科学及生物技术研究。

该实验柜主要由生物技术实验模块、生命支持与环境调控模块、蛋白质结晶分析模块、分光光度原位动态检测系统、激光共聚焦显微模块、核酸与蛋白专用实验模块等部分组成，适用于各种植物/动物生物分子、蛋白质、细胞及组织样品研究。

生物技术实验柜侧重用于生物细胞、组织、微生物、动物及干细胞在空间的分化和发育研究，以及三维组织培养、组织工程学、细胞培养、生物力学、辐射生物学研究与应用。它还用于新型生物材料、药物及医学的研究。另外，生物技术实验柜也用于探索微重力环境及空间辐射对细胞结构、功能、特性的影响及其分子机制，以及太空环境对动物发生、生长、发育、繁殖、衰老及生物节律的影响。

该研究硬件可为中国空间站上的合作项目提供相应的应用支持能力。



图 2 生物技术实验柜简图

科学手套箱及低温存储柜是一个多用途服务设备，用于支持空间科学与航天医学实验。

该实验柜主要由科学手套箱、低温存储装置等部分组成。

科学手套箱能为空间生命科学实验提供独特的条件，可提供封闭环境、精细的机械装置以及微观观察设备。低温存储装置可提供 4 °C、-20 °C 以及 -80 °C 的贮存环境，这对于空间生命科学样品保存及其研究中的反应都非常重要。

科学手套箱与低温存储柜可支持航天员参与一些小型实验，也能对实验样品进行加载或转运。与此同时，该实验柜通过 3 个不同温度的低温存储区，可满足生物学和医学研究中各种样品的不同要求。

该研究硬件可为中国空间站上的合作项目提供相应的应用支持能力。

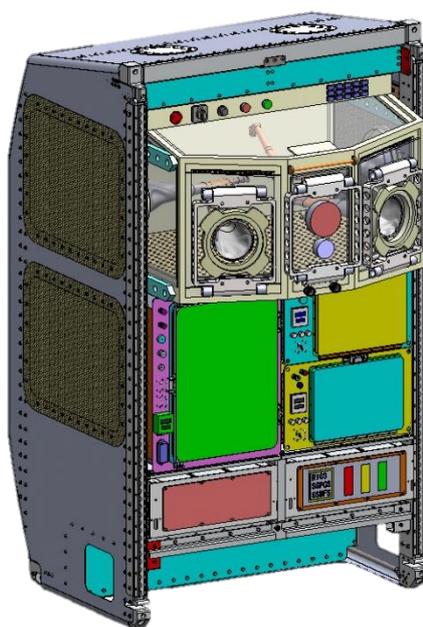


图 3 科学手套箱与低温存储柜简图

## 附录九：ESA 和 CMSA 在物理学领域的支持能力

### 1. ESA 在基础物理学的潜在贡献

ACES 是一个包括两个原子钟的有效载荷：PHARAO(Projet d'Horloge Atomique par Refroidissement d'Atomes en Orbit)，一个基于激光冷却铯原子的初级频率标准，和 SHM (Space Hydrogen Maser, 太空氢微波激射器)，一种可有效应用于空间的氢微波激射器。这两个时钟用于设定飞船上的时间尺度，结合了 SHM 的短时频率稳定性与铯原子钟长时频率稳定性与精确度。PHARAO 和 SHM 在 ACES 的频率对比和分配程序包 (FCDP) 内进行对比，同时，FCDP 也将 ACES 钟信号传递到微波区域 (MWL) 的时间和频率转换系统。ACES 载荷中还包括一个用于时间传递和测距实验的激光链 (ELT, 欧洲激光定时)，以及一个用于测定原子钟所处轨道的全球导航卫星系统 (GNSS) 接收机。

ACES 最重要的一个目标在于维持国际空间站内极其稳定和精确的时间尺度，这将用于空间与地面以及地面与地面之间频率标准的比较。基于这些比较，ACES 将会进行高科学相关性的广义相对论试验，并开发其在不同研究领域的应用。

科学家还可以外加时钟到 ACES 现有的地面网络中，以增加与空间时钟进行对比的基础。根据所选定的地面时钟的表现和所在位置，ACES 研究工作组会给出建议，可考虑使用激光链（或微波链接，取决于可移动终端的实用性）来进行对比。

### 2. ESA 在流体物理学中的潜在贡献

#### 2.1 软物质动力学研究的实验装置

该装置能够对失重状态下的泡沫、乳状液以及颗粒物样品进行研究。装置中配备一个搅拌装置，通过在液体和气体的混合物中来回移动活塞，产生泡沫或乳状液。对于颗粒物，搅拌系统可用实验体积与单元自身体积接近。单元周围配备有一系统光学检测仪器，用于提

供样品随时间变化的定量信息。

物质动力学装置如图 1。

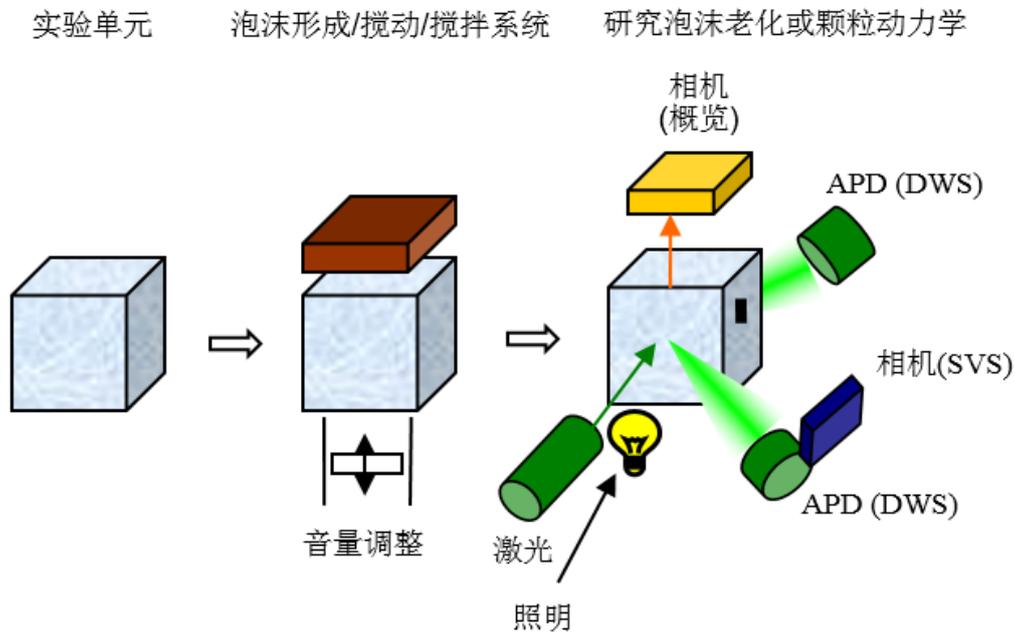


图 1 软物质动力学装置简图

一束规格一致的激光照射到样品的区域至少是  $10 \times 10$  泡沫/滴/颗粒。散射光随后被两个 APD 探测器检测（一个用于反向散射，一个用于正向透射），从而完成 DWS，另外，可进行 SVS 测量的反向散射会被相机检测到。

反向散射中的 DWS 表现出气泡重排或颗粒动力学的性质及平均比率。SVS 技术是在 DWS 加入多散斑时间分辨技术。在反向散射中，SVS 被用于表征重排事件的持续时间，以及在事件中气泡/液滴/颗粒运动的速率。

正向透射的 DWS 将测试其大部分行为是否与 DWS-反向散射以及 SVS 所探测到的近表面行为一致，这将为传输平均自由路径  $l^*$  提供补充信息。

最终，在 DWS/SVS 检测前后，利用一个总览相机检验泡沫或乳状液生产的均一性；确定气泡/液滴的平均尺寸及其尺寸分布宽度。

## 2.2 颗粒物研究实验装置

该装置由一个充满了颗粒的单元组成，其中两个相对的单元壁由

电磁线圈驱动作为振动活塞。

装置中可以使用不同的单元，单元可被划分成不同的隔室或不被划分，在装置中，不同的单元可交换位置。

控制参数包括粒子数  $N$ ，单元长度  $L$ ，以及振幅  $a$  和振动频率  $f$ 。冲击力传感器将用于检测单元壁上的颗粒碰撞，并推导出粒子速率的实验分布以及粒子与墙壁连续两次碰撞之间的飞行时间。加速度计固定在每个振动活塞的轴上，并能推断出输入的平均功率以及输入功率的时间波动。通过两个摄像头使系统可视化，对稀释态中的粒子轨迹进行定量测定，并检测粒子位移之间的相关性。

活塞的位置及其作用于颗粒样品的力均可被精确控制。

可考虑使用的不同单元包括：装填有玻璃颗粒、稀释或致密填充物的 3-D 或类 2-D 单元；玻璃珠颗粒浸泡在液体中的单元；一侧可以产生声波，另一侧可以检测声波的单元；适用于流变学研究的单元。

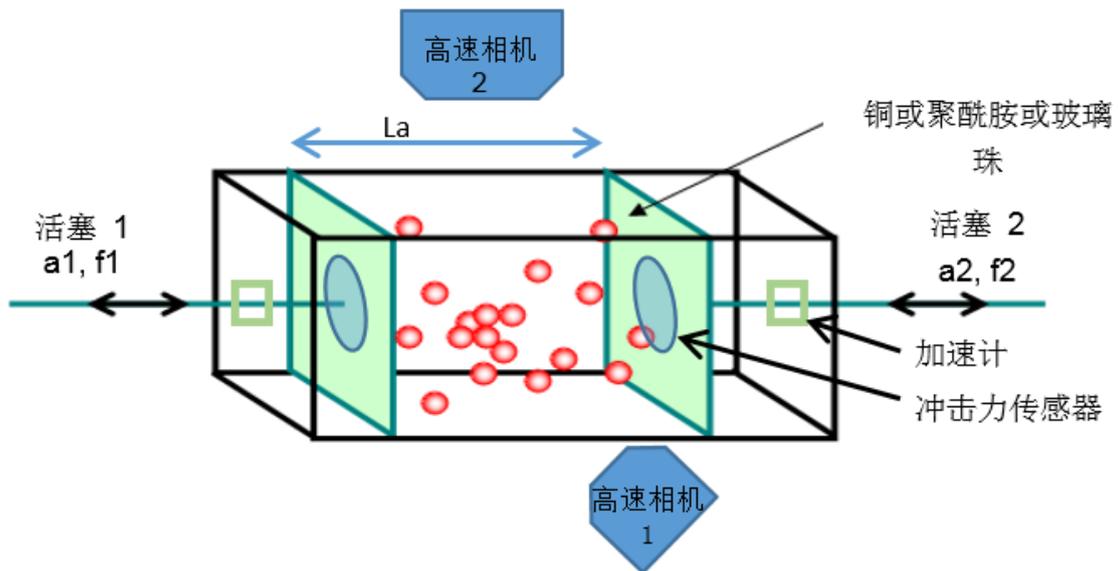


图 2 振动活塞 - 颗粒实验装置图

### 2.3 胶体物理研究的实验装置

胶态颗粒实验装置简图如图 3。该仪器具有一个可交换的实验腔室，可减少其上/下物质载荷的影响，从而满足长时间观察的需要。该仪器一次可以探测一个腔室。

该仪器基于 532 纳米的激光光源，允许多重光散射检测：

三角度 DLS 模式：（近程）反向散射（fibre 1），90° 散射（fibre 2）和一个低角度（35-70°）散射。同样的传感器也可以提供 SLS 和 C(D)DLS 两种数据。

零差检测的 SALS 模式：感应器为一个照相机（CAM4）

三角度 TRC 模式：感应器是多个照相机（CAM1，CAM2，CAM3）。TRC 的三个角度和 DLS 检测的三个角度是围绕光轴对称的。

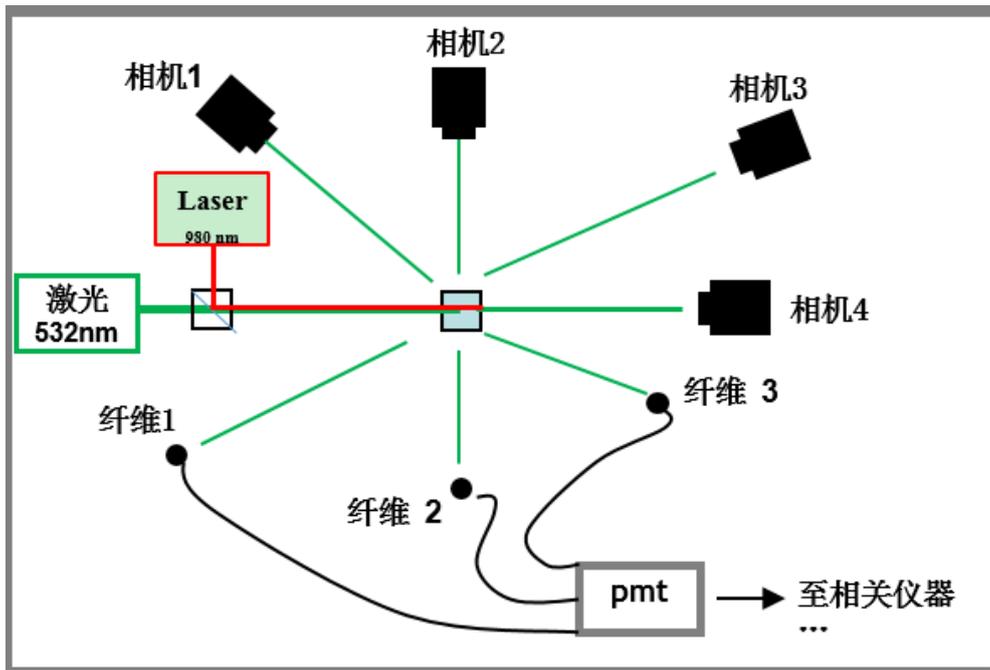


图 3 胶体颗粒处理单元装置简图

热扰动可以通过光学手段获得，可以让溶剂置于合适的吸收波长下，用第二束激光（红色）与主激光（绿色）共轴对散射模块进行加热。对于含水量较高的样品，在近红外约~980nm 波长范围处，水会显示出一个温和的吸收峰。

这使得此类系统和物理过程中很多未被发现的新特性得以被研究（例如凝胶耗散过程中的结构和动力学变化，蛋白晶体的成核和生长，或者胶体晶体的弹性性质）。

## 2.4 两相热传导研究的实验装置

除了目前仍处于关键设计评审的多尺度沸腾实验外，两相传热方

案将主要依赖于热平台的仪器，目的是为了给大多数空间实验项目提供通用的传热和检测能力。将特定的实验进行在轨插入并激活热平台，进而各种相关类型的实验都将得以实现。

目前处于研究阶段的热平台原理图如图 4:

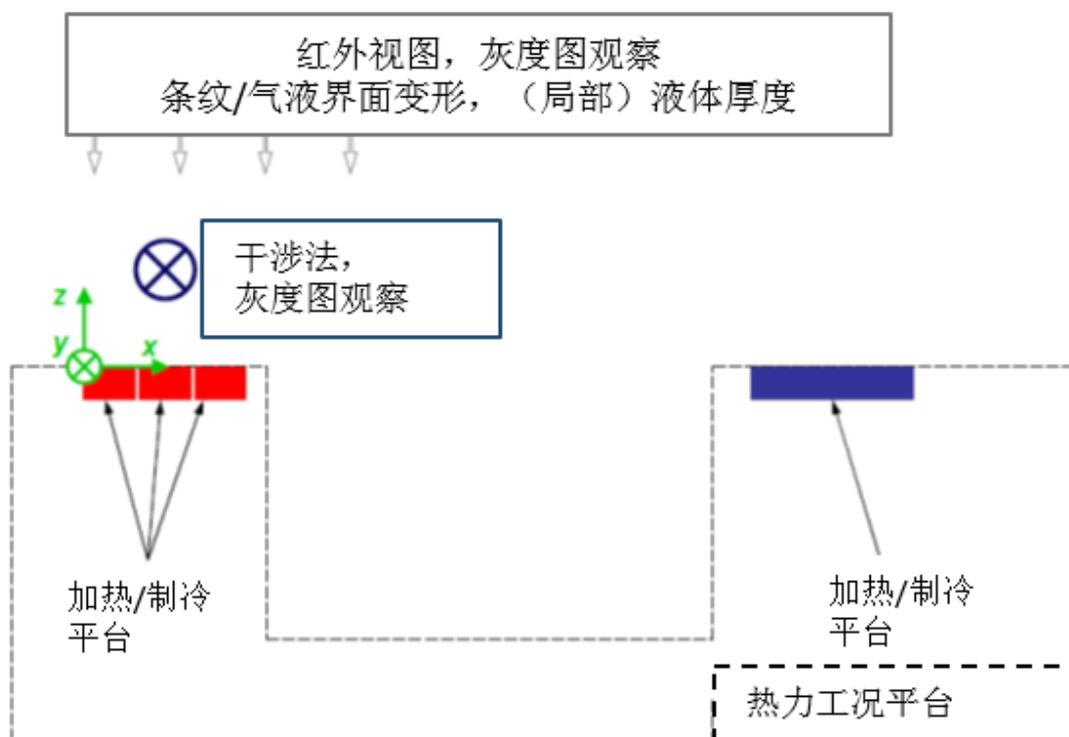


图 4 热平台原理图

目前，热平台研发任务是不同类型实验模块的兼容性。整体的概念设计是：一方面，在一次特定的在轨插入过程中，即可改变参数，另一方面，若不能在轨改变参数，在下一次飞行中实施再次插入，并可改变参数。

基于以上设计给出一个例子，热管插入模块，原理图如图 5:

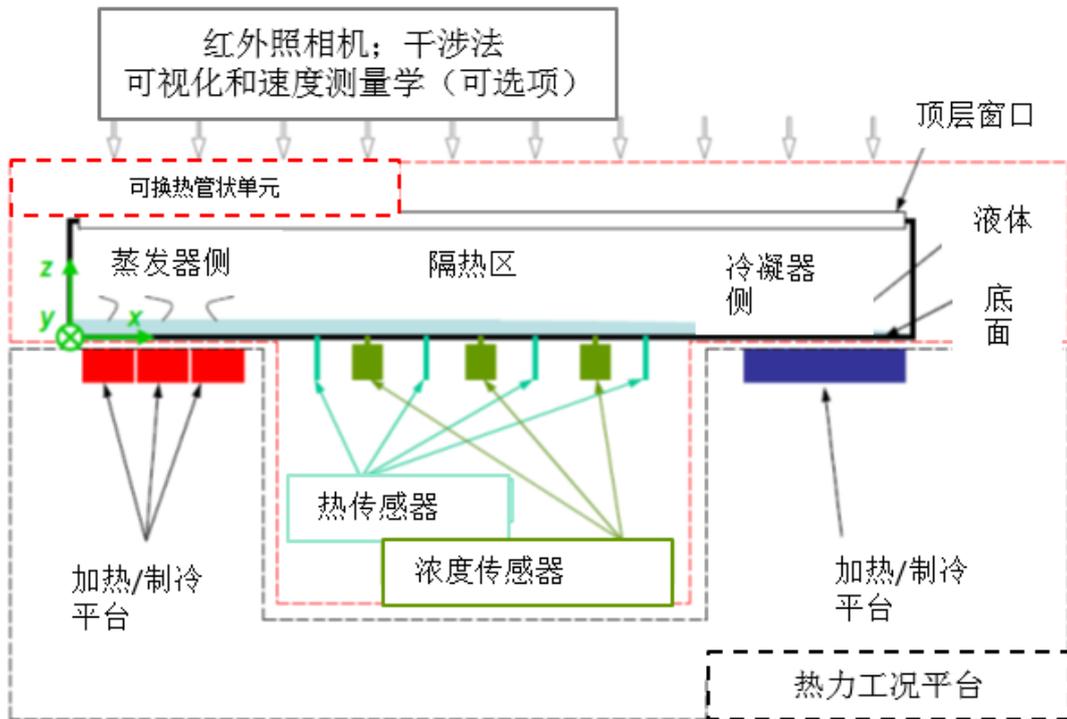


图 5 热管插入模块原理图

以上插入模块的设计还在研发和定义阶段，主要是解决两相传热领域的主要议题，比如：

- 液滴的蒸发
- 沸腾和流动沸腾
- 膜冷凝和毛细管冷凝
- 增强型蒸发器
- 等

### 3. ESA 在材料学的潜在贡献

ESA 可利用 ISS 材料学领域的支持能力如下：

- 材料学实验室 (MSL)，以及其为近平衡态凝固研究而引入的两个布里奇曼式炉（低梯度炉 LGF，凝固和淬火炉 SQF）。有为每个实验开发的专门的样品处理盒。能否实现原位 X 射线检测模块的嵌入仍在讨论当中。

➤ 电磁悬浮(EML)设备,电导样品可以通过外源信号刺激和检测,在无容器处理的条件下最高温度可达 2000 摄氏度,从而可以研究温度在过冷熔化浓缩中的作用以及各种热物理性质。一个典型熔化样品的测量周期如下图。

➤ 可在轨更换的透明合金仪,可通过光学手段观察单元内透明材料中微结构形成的动力学过程。

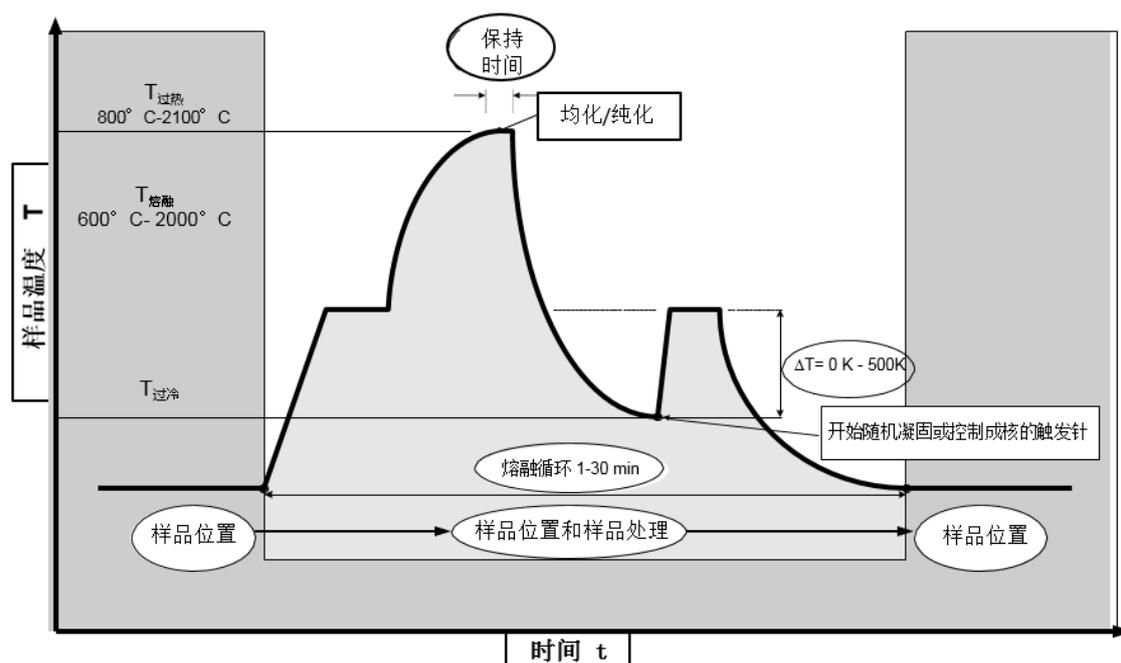


图 6 EML 中样品处理的温度-时间特征图

## 4. CMTA 在基础物理领域的潜在贡献

高精度时频实验柜将作为新型的实验平台，用于基础物理以及测量学领域的精确测量实验。

高精度时频实验柜主要由不同的原子钟组，时间和频率传递链系统，频率对比和控制系统、卫星终端（GNSS）等几部分构成。

高精度时频实验柜关注于高精度时频信号的产生，测试基础物理常数变化，测量由重力引起的红移。

该研究硬件可为中国空间站上的合作项目提供相应的应用支持能力。



图 7 高精度时频实验柜简图

## 5. CMSA 在流体物理和燃烧理论的潜在贡献

流体物理实验柜是一个支持研究微重力流体物理的基本规律的实验设备。

该实验柜主要由流体动力学实验系统、复杂流体实验系统、实验电控模块等部分组成。检测仪器包括 PIV、LDA、激光诱导荧光、数字全息影像、热色液晶、红外热像仪、显微镜和光谱测定设备等。

该实验柜适用于多种透明液体系统的实验。重点探索空间中流体的宏观与微观对流，微重力流体动力学，微重力复杂流体研究，溶液中晶体生长，流体运输过程研究，以及微重力流体物理的基本规律。

该研究硬件可为中国空间站上的合作项目提供相应的应用支持能力。



图 8 流体物理实验柜简图

两相系统实验柜适用于微重力环境下两相系统关键科学问题和工程技术的研究。

该实验柜由实验区、公共观察区、供气和备瓶模块、小流量供液模块，大流量供液模块、实验主控模块等部分组成。实验柜包含的检测设备有PIV、LDA、CCD 显微观测、激光干涉测量仪、红外成像仪等组成。

两相系统实验柜可支持在空间进行蒸发和冷凝相变研究、相变传热、两相流循环系统、先进生命保障系统、空间电池气体的研究。两相系统实验柜可实现液体的循环和控制、在轨控制、热管理，并且在实验柜内可完成质量传递。

该研究硬件可为中国空间站上的合作项目提供相应的应用支持能力。

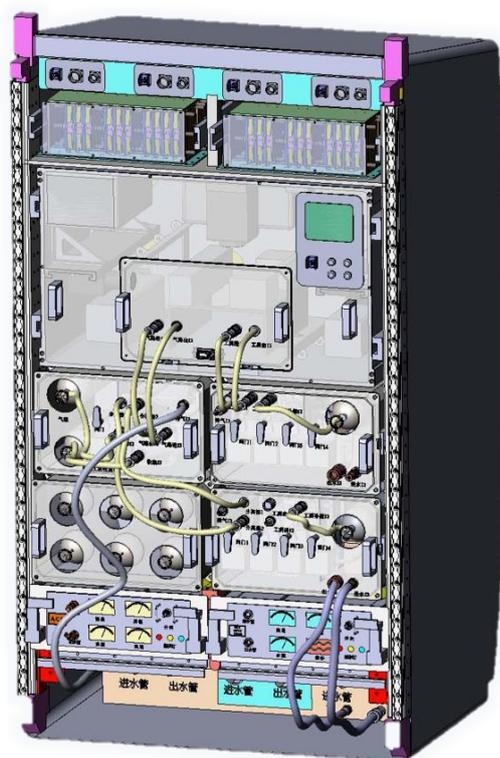


图 9 两相系统实验柜简图

## 6. CMSA 在材料科学的潜在贡献

高温材料科学实验柜能提供最高 1600 摄氏度的加热炉温度,可以实现等温、梯度、区熔等不同实验温场模式。

该实验柜由高温炉、批量样品管理模块、X 射线透射成像模块、光学实时观察模块、控制模块等部分组成。它有不同的炉室,中温炉最高可以达到约 1200 摄氏度,并配备有主动磁场控制功能,高温炉的最高温度可达 1600 摄氏度。

高温材料科学实验柜用于研究空间中材料生长机理及其动力学,支持金属合金、半导体光电材料、纳米和介孔材料、亚稳态材料、特种玻璃、无机功能材料、特种功能材料等多种实验材料空间实验。

该研究硬件可为中国空间站上的合作项目提供相应的应用支持能力。

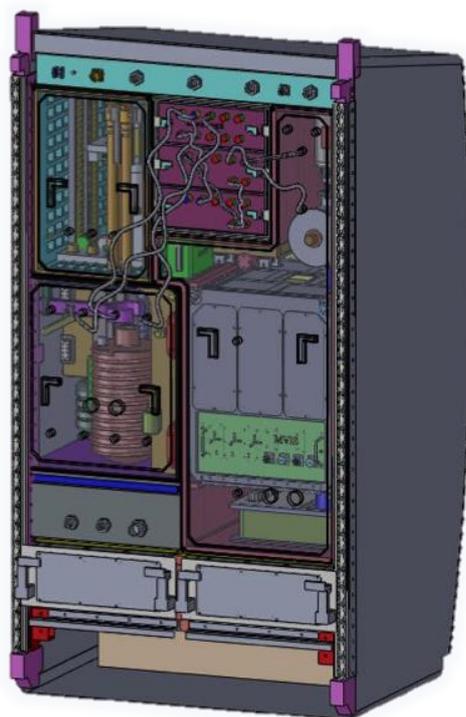


图 10 高温材料科学实验柜简图

无容器材料实验柜采用静电悬浮技术实现无容器加工。

该实验柜主要由实验平台、真空加工模块、实验控制模块等部分构成。该实验柜可以实现 2500 摄氏度温度，并配备了全景观察、位置检测、高速成像等多种检测手段。

无容器材料实验柜可以实现材料的无容器加工和空间中材料生长动力学及机理的研究，也可以广泛应用于功能材料的研究。

该研究硬件可为中国空间站上的合作项目提供相应的应用支持能力。



图 11 无容器材料实验柜简图