1991年国际低温工程会议

雒慧云

（兰州物理研究所）

由NASA的马歇尔空间飞行中心（MSFC）的亨茨维尔的阿拉巴马（Alabama）大学联合承办的国际低温工程和低温材料会议（ICMC）1991年6月11日至6月14日在美国的亨茨维尔召开。来自世界各国的623名代表参加了会议。参加会议的1219篇论文涉及空间低温技术、制冷机、高温超导、空间流体的输送、低温测量、传热和流体力学、低温电子学等7个方面。

会议期间安排了4次大会报告。内容分别为：1.低温发展史；2.高温超导；3.国际核实验反应堆；4.空间站。其余是分会口头报告、张贴报告。会议两年在美国举行一次。会议论文反映出国际上这些学科近两年的发展和动向。下面就空间制冷及应用方面的情况作一简要介绍。

一、采用低温制冷的空间试验项目

目前大气物理和地球科学研究项目需要大量的不同型式的低温制冷器。这些制冷器的应用，能大大提高探测器的灵敏度和信噪比，降低探测器背景辐射。NASA即将发射的6个用低温制冷器的空间研究项目是：外层大气研究卫星（UARS）高能天文物理实验室（SHEAL—Ⅱ）、宇宙背景探测器（COBE）、重力探测器—B（GP—B）、λ点试验和超流氦轨道传输（SHOOT）。正在研究的还有8个项目。

1.宇宙背景探测器，采用一个650L超流氦杜瓦，低温仪器工作温度大约保持在2K左右，估计寿命14个月，杜瓦采用了12根先进的铝/环氧张力带的支承结构，于1990年9月22日由于液氦耗尽而结束试验。仪器正常工作10个多月。试验过程中采用质量测量技术确定杜瓦的稳定性能和对太阳、地球辐射以及仪器功率变化的响应。

2.外层大气研究卫星装有两台仪器：低温分光光谱仪（CLAES）和改进的同温层中大气层探测器（ISAMS），计划在1991年11月发射。其中低温分光光谱仪原来采用单级固氢制冷器，后因氢易爆而决定改用非可燃制冷剂Ne/CO_2双级制冷器，改变后仪器焦点平面与望远镜工作温度均上升，装置重量由614kg增加到1282kg，目前已进入发射前的准备工作。

3.X射线频谱仪（XRS）是高能X射线天文物理装置（AXAF）中的低温仪器。它由一组32只微热量计和一个工作在0.065～0.1K的制冷装置组成，采用两台分置式斯特林制冷机、480L氦杜瓦和绝热去磁制冷系统组成的混合型制冷装置。工作寿命4～5年，探测器分辨率接近10eV，预计在1998年发射。

4.远红外辐射大气频谱仪（SAFIRE）是NASA第二台地球观测系统（EOS）极轨道平台仪器之一，该系统的冷光学探测器组件采用超流氦杜瓦冷却至3～4K，用两级斯特林制

作者的邮政编码730000

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

冷机冷却杜瓦的三个辐射屏，从而使杜瓦寿命可达5年。

5.红外空间观测卫星有一台空间红外望远镜，用容积100L的超流氦杜瓦冷却探测器，工作温度3K以下，寿命18个月，计划于1993年发射。

6.哈勃空间望远镜（*HST*）是一台在1—2.5μm波长范围内多用途成像分光仪，探测器工作温度58K，采用热电制冷器和固态氮混合制冷装置，预计寿命4.5年。

二、空间用制冷机的发展情况

1.空间应用的微型斯特林制冷机

目前大量精密空间科学仪器已采用微型空间用斯特林制冷机做为冷源。当前主要进行振动与可靠性研究。为了满足空间连续运转10年，可靠性达到0.95～0.99的要求，美国喷气推进实验室（*TPL*）正在进行制冷机特性试验和分析计划，集中研究专门的灵敏度性能测量技术，鉴定制冷机的振动和热性能。同时加速发展可靠性筛选试验的仪器，探求制冷机长期运行性能递降的机理。目前采用6自由度动力仪和电子驱动装置来测量斯特林机的力频谱和可靠性显示，探索同轴对置式斯特林制冷机40Hz驱动频率的剩余上部谐波的起源和衰减方法，测量振动对加速制冷机内部零件疲劳和接触磨损的影响。

美国洛克希德实验室采用高带宽模拟数字闭环控制装置和高精度正弦波形仪驱动方法研究分置式制冷机的残余振动，残留力虽可减少到0.03g范围，但在第二和更高谐波处仍出现相当大的残留力，这些较高谐波无法控制和消除，是产生残余振动的主要来源。

2.固体制冷研究

美国洛克希德实验室为低温分光光谱仪（*CLAES*）研制成功Ne/Co_2双级固体制冷器装置重达1282kg，寿命为两年。目前已完成全部性能实验，将于1991年11月发射。贝尔电力光学/低温部正在研制一台多用途第二代哈勃空间望远镜。其探测器列阵由一固体氮制冷器冷却到58K，寿命4.5年，为了保持这样长的寿命采用了热电致冷器作为前级。兰州物理研究所也介绍了“两年寿命双级固体制冷器的设计”文章。

3.吸附式制冷机

吸附式制冷机是由利用低温气体与多孔介质的可逆热反应原理工作的吸附式压机与*J—T*代组成的。它的特点是设有运动部件，振动小、可靠性高，运转寿命长、适用于空间。美国航空喷气电子装备部（*AESD*）研制成功一台130K，4W的飞行试验样机，采用粉末状活性炭做为吸附剂，甲烷做为制冷工质，膨胀由节流伐完成。目前该机正在进行性能试验。

美国*JPL*采用固态镨（*Pr*）—铈（*Ce*）氧化物/氧吸附压缩机代替了往复运动机械部件，压缩机从1989年3月开始运转至1990年12月已连续工作13500h，性能没有明显下降，采用*X*射线衍射仪，环境检测装置和扫描电镜检测各零部件内部磨损情况，根据测得实验数据估计压缩机工作寿命可达到10年。

4.采用磁性材料做蓄冷器的*GM*制冷机

日本东京工业大学早在1987年开始研究用磁性材料做致冷机的蓄冷器。目前已发现一些新稀土磁性蓄冷器材料有$Er_{1-x}Dy_xNi_2$，$Er(Ni_{1-x}Co_x)_2$，$(Er-Dy)Ni$，Er_3Ni，成本比（$Gd-Er$）Ph系列材料低，但上述材料最低居里温度$T_c\approx 6$K。近来又研制成一系列$(Er_{1-x}Yb_x)Ni_2$和$ErNi_2$，Er_3Ni组合的蓄冷器填料，已在双级GM机上试验，获得了

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.2K制冷温度，制冷量很小。报告中给出了$(Er_{1-x}Yb_x)Ni_2$精确的热容特性和三种材料的比较。这种稀土材料磁热效应是磁制冷机的基础。大的磁热容已用来改进GM机的低温性能，美国采用钨坩锅和喷咀装置将试验材料熔化，在隋性气体保护下喷射，制成φ0.1～0.5mm微球。目前试验材料有$Er_{0.86}Gd_{0.14}Al_2$，GdPd，$GdNi_2$，Er_3Ni等。

5.空间流体输送及管理

在空间低温流体液氢、液氮、液氦加注输送管理过程中正研究无排放加注输送技术，美国通用空间动力装置部研制成功各种喷射系统，解决了在微重力条件下低温流体的加注、保存、排放等技术。同时可预测容器压力，液体液面，加注速度、温度分布和进入流体的温度、压力等参数。

6.其它制冷

脉管制冷机就是代替斯特林制冷机的膨胀机的一种制冷机。美国科罗拉多大学化学工程系将25μm原光刻胶带粘接在50μm的PPMI（或聚酰亚胺）片上，并将其置入蓄冷器内。这种合成片具有小的热导率/热容比，因而延长脉管制冷机寿命并降低制冷温度。

三、结束语

从这次会议发表的有关空间制冷技术的论文来看，可小结以下几点：

1.目前空间制冷技术的发展方向是长寿命、高可靠的混合型制冷技术的研究。对不同的空间探测任务采用不同型式的制冷器。主要有辐射散热器、热电致冷和固体制冷组成工作温度58K，寿命4.5年的混合制冷系统，斯特林制冷机与液氦杜瓦、绝热去磁组成工作温度0.1K，寿命4～5年的多级极低温制冷系统。

2.斯特林分置式制冷机已在跟踪扫描辐射计（ATSR）、同温层探测器（ISAMS）、X射线光谱仪（XRS）和地球观测系统（EOS）中应用。目前研究主要在如何减少振动，提高寿命上进行细致、精确的分析、测量，改善制冷机性能。

3.吸附式制冷机由于其没有运动部件，振动小、可靠性高、寿命长是一种有希望用于空间的长寿命制冷机。目前主要研究如何提高热压缩机和热开关效率。一台活性炭/甲烷130K，4W的飞行样机已研制成功。

4.磁性材料蓄冷器在GM机上应用获得进展，双级GM机最低温度达4.2K。

5.低温液体（液氢、液氮、液氦）在空间加注、输送技术研究受到重视，空间的无排放加注输送技术获得成功。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net