

编者按：中国的热物理性能测试技术的研究起步于 1960 年左右，基本与欧美处于同步发展水平，以何冠虎和周熙宁老师为代表的老一辈学者则是我国热物理性能测试领域的开拓者。这里转载两位老师所撰写的文章，一方面是为了部分展示我国热物理性能测试技术的发展历史，另一方面是表达对前辈老师们的崇高敬意。

## 金属所材料热物理性能测试研究五十年

作者：何冠虎 周熙宁

准确的热物理性能数据是材料制备、热过程控制、热结构设计计算的基础。金属所建所之初，在开展金属物理基础研究的同时，十分重视物理性能测试方法和测试装备的研究工作。1958 高温测试研究室正式成立，其任务是结合高温材料的发展与使用，在高温测试方面进行有关的系统研究，为金属所日后成为全国高温热物理性能测试基地的重要成员单位之一打下了坚实的基础。

1961 年，国家科委决定成立包括一批研究所和高校在内的高温测试基地，承担科研，协作和仲裁任务，由李薰教授任领导小组组长，严东生教授和姚桐斌教授任副组长，周本濂和周熙宁等同志任组员。从此金属所在李薰所长的领导下，以该基地重要成员单位的面貌投入到热物性测试的研究工作中。

60 年代，金属所在国外严密封锁和资料匮乏的情况下，依靠自己的力量，初步建成了一批测试装置，并有不少是创新性的研究工作。如 1963 年基本建成的纵向热流绝对法金属热导率测试装置，中心加热器上下试样组合方式有别于传统的热源与热汇两端设置，能充分利用中心热源功率，以工业纯铁为标准参考试样，所得结果表明在  $70^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$  范围内的热导率，接近文献结果；金属所于 1963 年基本建成比长仪直测法线膨胀仪。建成电热稳态法高温热导率测试装置。首先提出弹性模量测试的端点悬挂声频共振法。克服了高温下试样内耗大不易激发振动的困难。端点悬挂声频共振法高温弹性模量测试方法和装置与电热稳态法石墨高温热导率测试

方法和装置于 1965 年通过委托单位专家的验收鉴定，全部合格。此外，1500°C电脉冲石墨高温比热，1000°C脉冲回波法钢材小试样弹性模量，1000°C声频共振弹性模量，1000°C示差线膨胀装置也都相继建立。

70 年代在我国第一颗返地卫星研制任务的带动下，金属所的高温热物性测试研究进入全盛的发展时期。卫星裙部热控材料铝合金板材厚度仅几个毫米，热导、比热、模量、热膨胀、热辐射等性能均是必不可少的设计参数，1960 年代建立的测试方法已不能满足板材热物性的需求。于是激光热导，铜卡计比热，板材示差法和直测法线膨胀，电热稳态法半球发射率，弯曲共振法弹性模量等一系列测试装置相继建成。1974 年 7 月在北京召开的第一届空间热物理会议全面反映了卫星热控设计，热控材料制备，热模拟试验和热物理性能测试方法和装备的最新结果，金属所的热物性测试研究工作不仅满足了任务需求，而且测试研究水平上了一个新台阶。这一阶段的代表性成绩有：

(1) 金属所在国内首批合作研制激光脉冲热导仪，该项目在 1978 年获全国科学大会奖以后，金属所又在激光脉冲加热 - 降温测量比热容新方法和整机微机运控研究中取得成果。至今，金属所的激光脉冲法热导率装置已为所内和国内 70 多个单位提供了 400 多种材料，包括金属，合金，陶瓷，石墨，橡胶，高聚物等的可靠数据。(图片 1 为仪器研制现场)。



图为仪器研制现场

(2) 高温半球向全发射率测试装置的建立与发展，1971 年至 1974 年热物性组在建成电热稳态法测试装置的同时，为一批批板材及时可靠地提供了大量数据，为金属所承担的卫星裙部蒙皮的研制和卫星的回收起到了重要作用。在此基础上设计制成的自动记录高温辐射仪是我国第一台三参数（温度，电流，电压）实现自动记录的半球向全发射率测试装置，该装置至今已为所内和国内高辐射率节能涂料，金属高辐射涂层材料，难熔合金管材和板材等提供了大量发射率测试数据。

(3) 建成高精度真空自动绝热控制铜量热计比热测试装置，经对 $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 标准参考试样热温测试表明与美国 NBS、前苏联科学院数据相差 3%，而且测量了它的熔化潜热。

金属所的材料热物理性能测试研究始终以材料研制为背景，不断建立新方法和新装备，服务于材料研制的需求。目前金属所仍然保持着结构材料所必须的物理性能，如热扩散率和热导率、比热容、线膨胀系数、弹性模量、剪切模量、泊松比，低温 DSC 相变、熔点、密度等系列测试装备，并建立了碳 - 碳材料高温双向强度测试装置（图片 2 为双向试验装置）。测试服务范围已遍及所内和国内材料研制重点企业，研究院所和高等院校 100 多个单位 600 多种各类固体材料的高温（2600℃）和低温（-150℃）测试需求，金属所已经成为全国提供热物理性能测试数据最主要的单位之一。



图为双向试验装置 左一为周本濂院士

90年代以来,周本濂同志在研究固体薄膜材料热膨胀动态过程中,发现了温度升高在先、热膨胀有滞后的现象,说明瞬态加热时薄膜材料内部存在巨大的热应力。与此同时,热物性研究组在中国科学院院长基金特别资助项目和多项国家自然科学基金项目资助下开展了二维材料热输运性的热膨胀的研究,取得了可喜的成果,并在863课题中得到应用。获得了不同工艺条件下金刚石膜的热扩散率,建立了由TEA CO<sub>2</sub>脉冲激光(0.1s脉宽), (HgCdTe)红外探测器(0.01s响应)和DAS 820M瞬态采集仪组成的测试系统,不仅测出了50um铝、铜薄膜的热扩散率,而且成功地探测了0.35mm金刚石膜的温升曲线和热扩散率。不同工艺制备的金刚石膜有不同的热扩散率。

采用CCD非接触法测量薄膜的热膨胀系数,创建了由准直卤素光源,光学放大系统、CCD采集处理系统组成的测试系统,试样因升温膨胀时,其像边缘移动,在CCD图像上出现两个边缘像,用滤波平滑处理和多点判据法可以确定移过的光敏元数,最终计算出试样伸长量。本方法的长度分辨率达到0.2um的高精度,已获得国家发明专利。

金属所的热物性测试研究之所以在国内有一定的地位,除了为材料研究提供测试数据外,是与周本濂教授力主创新,不断开拓新领域,促进国际学术交流,多次应邀在亚洲热物性会议上作大会邀请报告并获得热烈反响和好评分不开的。在一次于美国召开的国际热物性大会上,周本濂教授作了介绍我国热物性研究概况的报告及金属所多人作了热导率和比热容测试的报告后,美国信息及数据综合和分析中心(CINDAS)主任,著名科学家,美籍华人何焯彦(C.Y.Ho)教授十分感慨地说,想不到中国在热物性研究领域有如此高的水平。

在即将迎来金属所成立五十周年之时,回顾热物性测试研究的发展历程,抚今追昔,我们十分怀念已故著名科学家李薰院士和周本濂院士,是他们的高瞻远瞩和执着追求带来了金属所热物性测试研究的成就,是他们的拓展深化和求实创新精神为我们树立了榜样,激励着我们不断前进。我们相信,金属所热物性测试研究之舟,在改革开放的大潮中,一定能绕过礁石,冲破急流,在曲折中登上新的航程,驶向胜利的彼岸。

作者信息:



何冠虎



周熙宁

本文转自: <http://50.imr.ac.cn/wyjss11.htm>