

内耗理论与实践的奠基者

记葛庭燧教授

李义发

1989年7月在北京召开的第九届国际固体内耗与超声衰减学术会议上,葛庭燧荣获了这一国际科学领域的最高奖——“内耗与超声衰减国际奖”,以表彰他半个世纪以来在这个领域内的理论、实验研究及其他方面的创造性贡献。葛庭燧是国际上著名的内耗理论与实验的奠基者与开拓者,他最突出的贡献有如下几个方面:

一、扭摆内耗仪和扭动装置的发明和研制

葛庭燧从1945年开始用内耗方法研究金属晶粒间界的力学性质,当时他遇到的最大困难是:用声频进行测量时,晶粒间界弛豫出现在高温,因而无法探知晶界弛豫的全貌。葛庭燧巧妙地把他在大学时期做物理实验所用的扭转振动装置的原理应用到内耗测量上,在克服各种困难之后,终于发明了现在国际上广泛应用的低频扭摆内耗仪。这在内耗的研究史上是一个划时代的突破,全世界纷纷按照他的发明与设计建立了这种仪器装置,极大地促进了内耗研究领域的发展。与此同时,他还根据转动线圈电流计的原理,发明了可以很方便地用测量内耗的同一根试样来测量在恒应力下的微蠕变和在恒应变下的应力弛豫。1957年,麦克伦教授在他的名著《金属的晶粒间界》中特辟一章来介绍葛的方法,并说葛庭燧是把扭转振动和扭动线圈装置融为一体的第一人,因而把这个装置命名为葛氏扭转装置是公正的。随后在国际上人们都把扭摆装置称为葛氏扭摆,把扭转线圈装置称为葛氏弛豫计。另外,葛庭燧还在1949年发明了可以测量极高内耗的机械驱动强迫振动扭摆和用电磁铁装置来激发和接收声频信号的声频内耗装置。

二、晶粒间界内耗峰的出现和晶界无序原子群模型的提出

由于低频扭摆的发明和应用,葛在1947年发现了多晶铝的晶粒间界内耗峰(作为温度的函数)。他明确地指出,这个内耗峰只在多晶体中出现,在单晶体中不出现。1949年,R. King和B. Chalmers在《金属物理的进展》一书中用极大篇幅介绍了葛关于晶粒间界的研究工作和所取得的进展。他们宣称,葛的工作是研究在小形变作用下晶粒间界的粘滞性质的最完整的系列实验,对晶界具有粘滞性质提出了肯定的结论。这是一个重大的突破。此外,葛根据他的一系列实验结果,算出了晶界粘滞系数随温度变化的数学表达式,根据此式推算出的铝在熔点时晶界粘滞系数理论值

与实验值是相符合的。葛的这项工作使国际上该领域的学者受到极大的震动,众多的实验室都纷纷重复他的实验和开展进一步的研究工作。著名的金属物理大师莫特亲自写信

祝贺,并且根据葛的实验结果,在1948年提出了晶粒间界“小岛模型”,他根据葛的数据算出每次涨落当中所“熔化”的原子数目。葛最先提出晶界滑动是一种扩散过程的论断,并测出了有关的激活能,并在1949年提出了晶粒间界“无序原子群模型”的理论,这在国际上被称为“葛庭燧晶粒间界模型”。

1976年,葛在1947年所发现的晶粒间界内耗峰被正式命名为葛峰。在80年代,葛与他的助手们在原有成果基础上对晶界葛峰又进行了更深入、系统的研究,澄清了意大利和法国科学家在1976年提出来的关于晶粒间界葛峰来源的争议,肯定了葛峰是由于晶粒间界的过程所引起的论断,并在葛峰附近发现了两个新的内耗峰。最近,通过对葛峰和竹节晶界峰的弛豫强度随温度降低而减小、并最终变为零的新发现,葛又把晶界内耗峰的研究成果与晶界的重合点阵模型及结构单元模型联系起来,这是晶界内耗研究与晶界原子结构研究相结合的一个重要突破的苗头。

三、奠定了经典的滞弹性弛豫的理论基础

滞弹性内耗的创始人甄纳在1948年撰写了经典名著《金属的弹性和滞弹性》,提出了滞弹性的概念,其实验基础就是葛在1947年所发表的一系列研究成果。在这部只有163页的专著中,引证葛的工作15次,图6个,表1个。葛用自己发明的扭摆和扭动装置对99.991多晶纯铝进行了内耗、动态模量弛豫、在恒应力下的微蠕变(包括弹性后效)及在恒应变下的应力弛豫等四种测量,发现它们可用一条综合曲线来表示,由四种方法所得到的晶粒间界粘滞滑动弛豫强度的值是相同的,与甄纳算出的理论值相符合,这对于甄纳关于滞弹性的假说是一种强有力的支持。因此,甄纳在葛的工作成果发表后不久就立即提出了“滞弹性”的概念,并出版了他上述著名的经典专著。因此,从这种意义上来说,葛的工作是奠定了滞弹性内耗的理论基础。1976年2月日本金属学会会报第15卷第2号(第127页)刊登了小岩昌宏的文章说:“内耗研究创初期曾进行晶界内耗先驱性研究工作,在扭摆子装置留下了“葛型”及其名字T. S. Ke(葛庭燧);现在还健在中国科学院金属研究所(沈阳)。由于他的影响,中国的内耗方面做了许多工作”。葛50年来连续不断地坚守在内耗领域中进行研究工作,这在世界历史上是罕见的。

四、非线性内耗峰的出现和位错弯结气团模型的提出

点缺陷与位错交互作用的研究是当前十分活跃并具有重大学术意义和实际意义的课题。葛是用低频内耗方法来研究这个课题的创始人之一。他在这个领域的突出贡献是1949年在他由美国回国前夕,在经过高度冷加工和部分退火的铝铜替代式固溶体中发现了表现反常振幅效应(即内耗随着振动振幅的增加而减小)的非线性内耗。回国后,他在沈阳金属所继续在铝铜和铝镁系中进行系统深入的研究,发现了温度内耗峰、振幅内耗峰和应变时效内耗峰的同时出现,并提出位错弯结气团模型。在合肥固体所,他与其助手们在铝镁和铝铜系中发现了点缺陷与位错(弯结)交互作用所引起的一系列的表现反常振幅效应的低频内耗峰,并提出了引起这些内耗峰的综合模型。最近,葛与其助手们对于他们所提出的“跟、拖、甩”物理模型用数学关系式进行描述,从而在实验上和理论上突破了经典的滞弹性线性内耗理论的框架。

另外,葛在体心立方金属中的填隙原子与位错的交互作用所引起的“冷加工内耗峰”方面也有创始性的贡献。1982年,国际冶金快报主编 J. B. Hirth 指出,由于葛的工作,这个内耗峰(指“冷加工内耗峰”)应当命名为斯诺克-葛庭燧-屈斯特峰(Snoek-Ké-Köster Peak, 或 SKK 峰)。

五、点缺陷弛豫型内耗峰的新发现

点缺陷弛豫型内耗峰的研究较早,迄今关于这方面的研究也较为完整和全面,其中最著名的有斯诺克峰(Snoek 峰)和甄纳峰(Zener 峰)。葛对于这两个内耗峰的理论的完善和发展都做出了十分可贵的贡献。1941年,斯诺克在含碳或氮的铁中发现了内耗峰以后,葛在1948年对此峰的出现条件及冷加工的影响作了仔细的科学分析。接着葛发现这个内耗峰也出现在含填隙原子碳、氮和氧的体立方钨中。这一发现表明斯诺克峰的存在是一普遍现象,由此引发了后来国际上对含碳、氮、氧和氢的许多体心立方金属中的 Snoek 弛豫所进行的研究热潮。此外,葛在回国后与其助手们还发现了含碳的面心立方系不锈钢、锰钢、 γ 铁和纯镍及低碳马氏体中出现斯诺克类型的内耗峰,并提出了产生内耗峰的机理,从而肯定了填隙原子在含有替代式合金元素的面心立方系中及在面心立方系的纯金属中都能引起斯诺克型内耗峰的科学论断,这项成果又引起了国际上对点缺陷内耗研究的新热潮,并为后来点缺陷内耗弛豫的普遍理论的建立奠定了坚实的基础。

六、对于应用内耗现象联系和解决材料科学实际问题的贡献

葛关于晶粒间界的粘滞滑动的研究成果为研究金属高温蠕变机制提供了有用的信息。L. Rotherham 在1951年编写的《金属的蠕变》一书中有6处引证了葛的工作,认为葛的研究成果表明,高温蠕变中的可回复

部分是由于晶界所引起的,并且晶界蠕变在一定情况下可比晶内蠕变要快。

葛在他的关于铜晶界内耗及含铋的影响的研究(1949年)中指出,铋在晶界区域的分布是不均匀的,并提出含铋使铜变脆的机制。这为随后用内耗方法去研究晶界偏析的动力学及对于晶界力学性质的影响的研究开辟了道路。

葛在高温蠕变方面还首次提出了用提高测量温度的方法来缩短高温蠕变测试时间的原理(1947年),回国后,并与其助手用这种方法测定了高温合金钢的蠕变极限,联系和解决了若干实际生产中的问题。在国外,宴恩等人于1953年也应用了这种方法。后来,人们把这种方法称为葛庭燧-宴恩方法。

在马氏体相变方面,葛与其助手观察到“在铁锰合金的正、反马氏体相变的温度范围内出现的位错阻尼内耗峰”(1966年),并研究了锰铜合金中马氏体相变所引起的非线性内耗机制以及在锰铜合金中加铝以得到高阻尼和高强度合金的途径(1988年)。

在范性形变方面,葛及其助手通过对“金属在范性形变过程中的内耗(1957年)”等一系列研究,提出了“范性形变过程中的低频内耗的动力学模型(1975年)”。在疲劳载荷方面,通过“铝在疲劳载荷中所发生基本过程(1962年)”、“替代式溶质原子气团在周期形变中所发生的作用(1981年)”等一系列研究,首次提出利用测试疲劳载荷过程中的能量损耗来研究和获得疲劳载荷过程中所发生的内部结构变化的信息,并用点缺陷与位错交互作用的理论对比进行了科学的解释。1981年,葛等与法国里昂国家应用科学学院合作研究,把低频内耗测试的结果与疲劳测试结果联系起来,并合作研制出具有高水平的疲劳超声内耗仪。

名家谈物理学习方法(四)

现象、规律与分析。随时注意周围的自然现象,尽量以已知的物理学规律加以解释。要清楚地掌握已知物理学中各种规律的存在条件,对自己进行研究的问题也要分析清楚它所存在的条件。

谢毓章(清华大学教授)

理论联系实验。视野要广,专业要精,既注意其发展历史和相邻学科的关系,又执著一项研究领域并深入下去,不断关心其发展,注意相关的新技术和新应用。

李国栋(中科院物理所研究员)

观察、现象与条件。亲自去观察现象,而为了做到这一点,就要自己去实现观察现象的条件。

王义遒(北京大学教授)