

## 第3届全国复合材料学术会议

会议于1984年11月2—7日在杭州举行,由中国宇航学会、中国航空学会和中国力学学会共同主办。全国科研、设计、生产部门和大专院校13个学院87个单位的221名代表参加了会议。大会收到学术报告312篇,接受了182篇,会前即预印了论文集。120篇论文分别在材料工艺、性能测试与应用、静动态力学性能、结构设计分析以及金属基复合材料五个组宣读。论文的数量和质量都比前两届学术会议有所提高(第1届1981年9月在北戴河举行,第2届1982年8月在哈尔滨召开),内容更广泛、深入,工作有较大进展。青年代表占24%,并有30名研究生,增添了朝气蓬勃的气氛。

当前我国先进复合材料发展以碳纤维增强环氧为重点,同时也开展Kevlar纤维增强环氧复合材料的研制。对金属基、陶瓷基复合材料也在进行基础性的预研,包括碳纤维增强铝、碳化硅纤维增强铝、硼纤维增强铝、碳纤维增强铜。会议上还报告了碳纤维增强铅基复合材料的研究。碳/铅可用作大蓄电池板,能大大提高寿命,减小体积和重量,也可用作轴承、薄结构板等。

预印本中力学部分的论文有90篇(其中会上宣读的约60篇,其他书面交流),比前两届学术会议有所增加。其中复合材料的静动态力学性能19篇,疲劳、断裂、损伤18篇,杆、板、壳分析31篇,结构设计与应用12篇,试验技术10篇。这些研究结果具有以下特点。

**1. 注意宏观与微观相结合** 研究复合材料宏观力学性能与微结构(纤维、基体、界面)破坏的关系,是深入揭示复合材料性能和破坏机理的重要环节。例如研究界面反应与性能的关系;纤维不同分布方式和不同含量对性能的影响;对复合材料应力-应变关系转折时的断面微观观察与细观力学模型进行数值分析,取得很吻合的结果;在扫描电镜下观察和研究试件受拉伸时短纤维端部、周围及基体内部裂纹形成的形变带扩展及其对宏观力学性能的影响;采用差分逼近法对短纤维矩形末端的应力或应力集中因子取得了数值解;疲劳条件下碳/环氧微结构破坏与声发射特征量及温度变化的关系。已注意对界面和层间问题的研究。动态复合材料力学性能研究有SMC-R50板材受硬物撞击引起的动力响应和冲击振动等7篇工作,比前届会议取得更多的实验结果。基本力学性能的测试已从一般方法深入了一步,如圆管扭转的实验研究、拉-剪双向载荷下的强度性能以及高、低温潮湿环境对力学性质的影响等。

**2. 损伤破坏的研究引起了重视,断裂与疲劳的研究有了提高** 由于复合材料非均匀各向异性以及内在缺陷存在的特点,破坏机理复杂,线弹性断裂力学运用于复合材料有其局限性。因此近年来运用固体力学新分支——损伤力学解决复合材料的损伤问题开始做了一些工作。例如,研究了初始裂纹尺寸与等价裂纹损伤的定量关系,得到了裂纹能量率与损伤能量率的等价表达式;如通过三种层板损伤试验结果分析,表明损伤能量释放率 $y$ 可用于描述受损复合材料层板的力学状态,它的临界值反映了材料抗损伤扩展的能力。采用实验方法研究复合材料损伤问题(如损伤区的形成与扩展)等工作比损伤力学有更广的含义(如断裂和断裂力学)。考虑了损伤和微结构等因素的复合材料断裂的工作有5篇,如通过双悬臂正交铺层试样的应力分析,建立了以裂纹临界顶端力为基础的断裂判据和张开位移的表达式;对带

中心裂纹的碳纤维复合材料板裂纹尖端应力应变场进行实验研究,结果表明净截面应力和临界应力强度因子与裂纹长度有关。研究疲劳问题的5篇论文内容包括损伤累积、疲劳寿命、拉-压疲劳和刚度变化等问题。例如,通过不同碳/环氧的疲劳试验,表明由于材料损伤的逐步累积,能量释放,温度上升,材料的弹性模量随循环数的增加而下降,下降程度与应力大小、加载方式等因素有关。这对研究复合材料的疲劳失效有实用意义。

**3. 复合材料结构力学的研究在理论上有所深入并进一步与设计、实际相结合** 会上关于复合材料的叠层板壳理论、优化设计及有限元分析的文章占力学部分相当大的比例,不少工作是运用层板理论处理复合材料层板的弯曲、振动和稳定问题的。对复合材料圆柱壳的非线性稳定分析、不对称复合材料层板的室温形状分析和复合材料叠层板壳和翼型结构的优化设计等工作,都是近年来国际上较关心的课题。会上所反映的有关研究成果达到国际交流的水平。具体的有对叠层板在面内载荷作用下的非分枝性状的分析,指出了Ashton理论的局限性;有在Hyer工作的基础上对他的公式作了必要的修正,并导出了非对称层板在温度变化时变形的计算公式;有利用广义变分原理导出了不对称层板室温形状的简单计算,便于工程设计使用;有求出了均匀载荷作用下非均匀圆筒正交各向异性圆板弯曲问题的精确解;有采用理论上更合理的途径解决多层板壳在非线性弹性失稳时的本构关系。关于复合材料薄壁结构刚度等的设计和缝翼柔叶、垂尾壁板等的设计与试验等工作,在国内具有较大的实用意义。

**4. 采用先进测试技术进行研究,对复合材料力学行为的规律有了更符合实际的认识** 利用无损检测手段如超声、声发射、X射线照相、激光全息、涡流技术等和扫描电镜动态观测研究材料的力学行为,取得较好的结果。如应用激光散斑干涉技术研究复合材料裂纹张开位移;用激光全息干涉法检验碳/环氧的分层缺陷;用激光全息技术的实时和时间平均法测定层板的振动特性;云纹法测量裂缝尖端奇异性的全场应变分布,与计算结果符合。用渗透剂增强X射线照相法分析带不同缺口复合材料层板的内部损伤扩展。采用声发射技术研究不同铺层复合材料静载和疲劳过程中的损伤扩展并研究预报破坏的可能性,以及单根纤维与纤维束断裂的统计声发射特征及其相对的定量关系。通过红外热像法非接触测量复合材料受载过程中的温度变化和分布,以判别材料的损伤程度和部位。用涡流法快速测量纤维含量、方向及材料中的某些缺陷。用X射线光电能谱研究纤维的表面及环氧树脂的固化反应。此外,复合材料锥壳、翼盒等结构件的热强度、振动和环境试验的完成,都要建立专门的试验装置与解决特殊技术问题。

当前,我国的复合材料发展已进入实用阶段。这对从事复合材料科技工作的同行提出了更高的要求。为提高和稳定纤维、基体等原材料半成品的质量,认识、改造和使用新型的复合材料,充分发挥复合材料的优越性能,必须加强材料工艺、力学性能与设计应用的横向联系与交流;加强实验工作,提高测试技术;重视理论研究,揭示和阐明其客观规律;微观与宏观相结合;优化设计与工艺铺层相结合。生产、科研与教学部门加强协作,在改革精神指导下,全面安排,这支逐步壮大的复合材料科技队伍将在1986年第4届全国复合材料学术会议上展示更丰硕的成果,推动我国复合材料事业的更大发展!

中国科学院力学研究所 冼杏娟