复合材料损伤破坏与强度研究领域取得系统性突破

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/12176.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

复合材料损伤破坏与强度研究领域取得系统性突破。
近日，复合材料力学知名期刊《复合材料结构》（Composite Structures）在线发表了同济大学黄争鸣教授的最新代表性长文：连续纤维、短纤维及颗粒增强复合材料的本构、变形、破坏与强度（Constitutive Relation, Deformation, Failure and Strength of Composites Reinforced with Continuous/Short Fibers or Particles）。

固体材料和结构分为各向同性与各向异性，其本构、变形、破坏和强度，是固体力学研究的主要内容。虽然各向同性材料的基本力学问题已有解决方案，但各向异性暨复合材料的损伤、破坏和强度分析却依然是固体力学面临的一个最大挑战。在这一重要学科领域，黄争鸣历经多年研究，取得了系统性突破。他创建的复合材料弹-塑性解析本构理论——桥联模型，是唯一满足内应力计算一致性的理论，不满足一致性，就须采用三维本构方程计算纤维和基体中的内应力，相比二维方程的计算量至少增加一个数量级；基体进入塑性后，只有桥联模型的本构方程是解析式，其他模型依赖的Eshelby张量无显式，数值积分须取200个以上高斯积分点方足够精确（Comp. Mech., 7: 13-19, 1990）；众多国外评估证实，桥联模型精度高于其他模型（Int. J. Impact Engng., 2009, p. 899），也是世界范围破坏评估(WWFE)参评精度最高的细观力学理论（Comp. Sci. Tech., 64: 565, 2004），并且是唯一计算了纤维和基体中热残余应力的参评理论（Comp. Sci. Tech., 64: 450, 2004）。桥联模型已成为世界复合材料力学界的一个著名理论，得到了广泛应用，不完全统计，国内外他人基于桥联模型公开发表的研究论文已达220篇。

复合材料除沿轴向的破坏可能源自纤维外，其它破坏一般都源自基体。因此，几乎所有挑战性问题皆因无法准确预测基体破坏所致，关键是现有理论只能求得基体均值应力，而复合材料的性能预报必须基于真实应力，黄争鸣开创并系统建立了基体真实内应力理论。他还首次将复合材料的破坏定义为强度型和损伤型，指明了损伤型破坏主要有三类，即纤维和基体界面开裂、层合板分层及层合板中的非致命破坏，其中，非致命破坏包括基体的拉伸与压缩破坏，一举解决了如何确定飞机等先进复合材料结构损伤容限设计中的损伤容限难题。

基体拉伸和压缩破坏依据其破坏面上的外法向应力大于或小于0确定，黄争鸣依据坚实的物理原理，创建了普适的基体拉、压强度理论。他还彻底解决了任意载荷下纤维和基体界面何时开裂这一难题，除了纤维和基体性能外，只需提供一个复合材料横向拉伸强度即可。

航空界往往视复合材料为脆性材料，盖因其轴向和横向拉伸直至破坏皆为线性的，但无法解释为何剪切非线性变形却异常显著。黄争鸣通过研究揭示纤维和基体界面开裂后的相对滑移是剪切非线性变形的主因，其次是基体塑性和真实内应力影响。

针对为什么从T300到T1100，碳纤维的强度大幅提升，但复合材料沿纤维的压缩强度却几乎不变？黄争鸣揭示，当纤维强度足够高后，纤维偏折导致轴向压缩下基体先发生剪切破坏。因此，进一步提升纤维强度无助于改善复合材料轴向压缩强度，只有通过减少纤维偏心排列、提高基体剪切强度方可改进。

层合板分层是复合材料最为常见的破坏形式，目前预测分层存在两大难题：一是几乎每个加载步都须迭代，计算量极为庞大，工程中无法用；二是有些输入数据的确定甚至没有实验标准可依。黄争鸣建立的分层萌生与扩展分析方法无需任何迭代，除了纤维和基体性能，只需提供单向层合板的临界断裂韧性即可。

黄争鸣建立的理论皆为解析公式，其分析所需的复合材料输入数据不仅降到最低，而且这些数据都可依据现有实验标准预先独立测定。这对复合材料的工程应用具有重要意义。（来源：同济大学）

相关论文信息：https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113279

作者：黄争鸣 来源：《复合材料结构》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发