精准控温，拒绝烧伤！科学家攻克传热建模难题，为高端制造“退烧”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41317.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！

精准控温，拒绝烧伤！科学家攻克传热建模难题，为高端制造“退烧”。在航空航天、精密模具等高端制造领域，加工精度与工件性能直接决定了装备的可靠性。然而，在切削与磨削过程中，高达90%的机械能会转化为热能并积聚于加工区。以航空发动机叶片磨削为例，瞬时高温不仅可致工件表面烧伤、产生残余拉应力，甚至可能引发微观裂纹，严重制约了加工质量与效率。因此，如何精确调控加工热，成为提升我国高端装备制造水平的核心痛点之一。

近日，青岛理工大学李长河教授、杨敏副教授团队在Frontiers of Mechanical Engineering（已于2026年更名为ENGINEERING Mechanical Engineering）期刊上发表了题为Heat transfer in cutting and grinding processes: mechanisms, models, and applications的综述文章。传热过程是切削与磨削加工中的关键课题，直接关系到加工温度的降低与加工质量的提升，目前该领域尚缺乏系统性的综述研究。文章系统总结了切削与磨削中的传热模型，明确了能量分配系数（EDC）与对流传热系数（CHTC）这两大核心参数的关键作用，为精准控温、减少热损伤提供了理论依据。

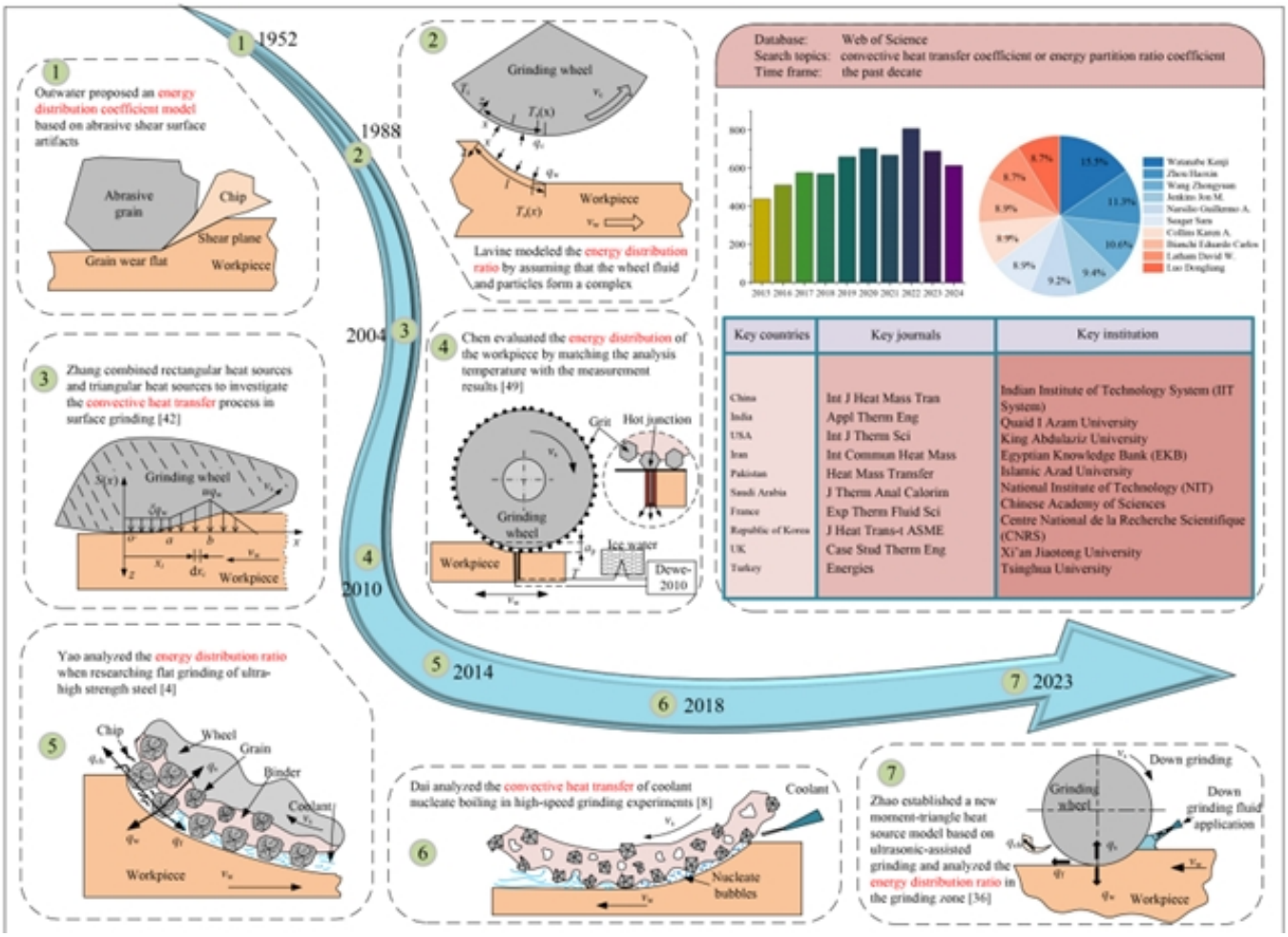


图1.热过程系数建模发展历程

看不见摸不着的热如何量化？

传热过程涉及能量输入、分配、对流等多个复杂环节，其核心难点在于两大关键参数难以精准测定：一是EDC，即多少热量流入了工件；二是CHTC，即冷却液能带走多少热量。传统研究多将磨粒简化为理想球体或忽视冷却介质的复杂热物理机制，导致模型预测误差高达20%以上。特别是在微量润滑（MQL）等新型绿色冷却技术下，冷却液以雾滴形式存在，涉及沸腾、铺展等复杂相变，其传热机制远比传统浇注式冷却复杂，给精确建模带来了巨大挑战。此外，纳米流体微量润滑（NMQL）的引入进一步增加了建模的复杂性。

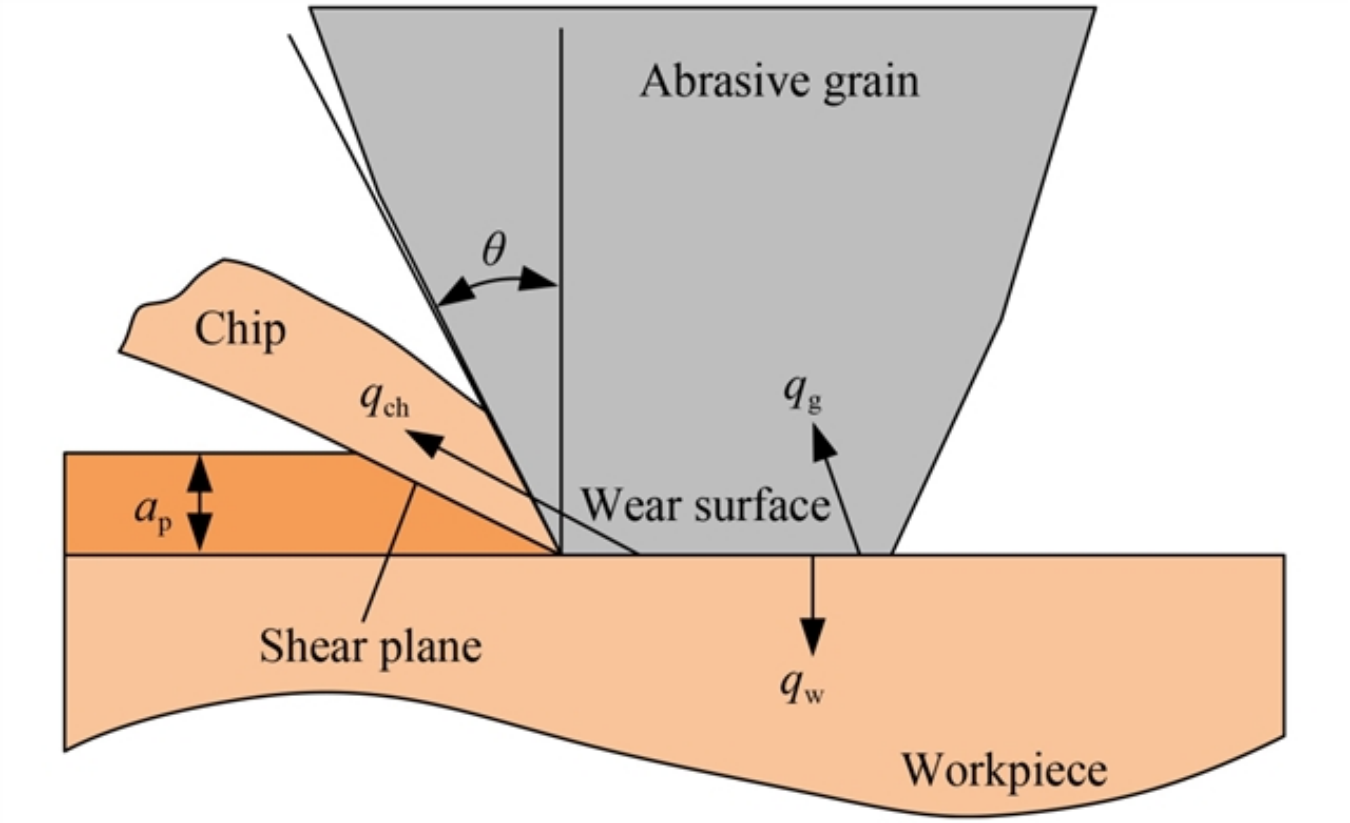


图2.磨粒与工件接触面内热量的产生和传递

多层次、多物理场的精准建模体系

该综述系统梳理了国内外近三十年的研究成果，系统构建了从车削、铣削到磨削的完整传热参数模型谱系。在EDC方面，文章指出，相较于传统的均匀热源模型，三角形热源模型能更准确地反映实际热源分布，并重点介绍了基于磨粒-工件接触机理的改进模型。例如，Yin等人提出的模型综合考虑了砂轮与流体复合特性，在湿磨工况下的实验验证中，其误差范围约为6.94%-14.87%。在CHTC方面，文章分类总结了基于流体动力学、沸腾状态和统计理论等多种建模思路。其中，Wang等人基于对流换热微分方程组建立的模型，其预测结果与实验数据的相对误差仅为2%-2.7%，极具应用价值。

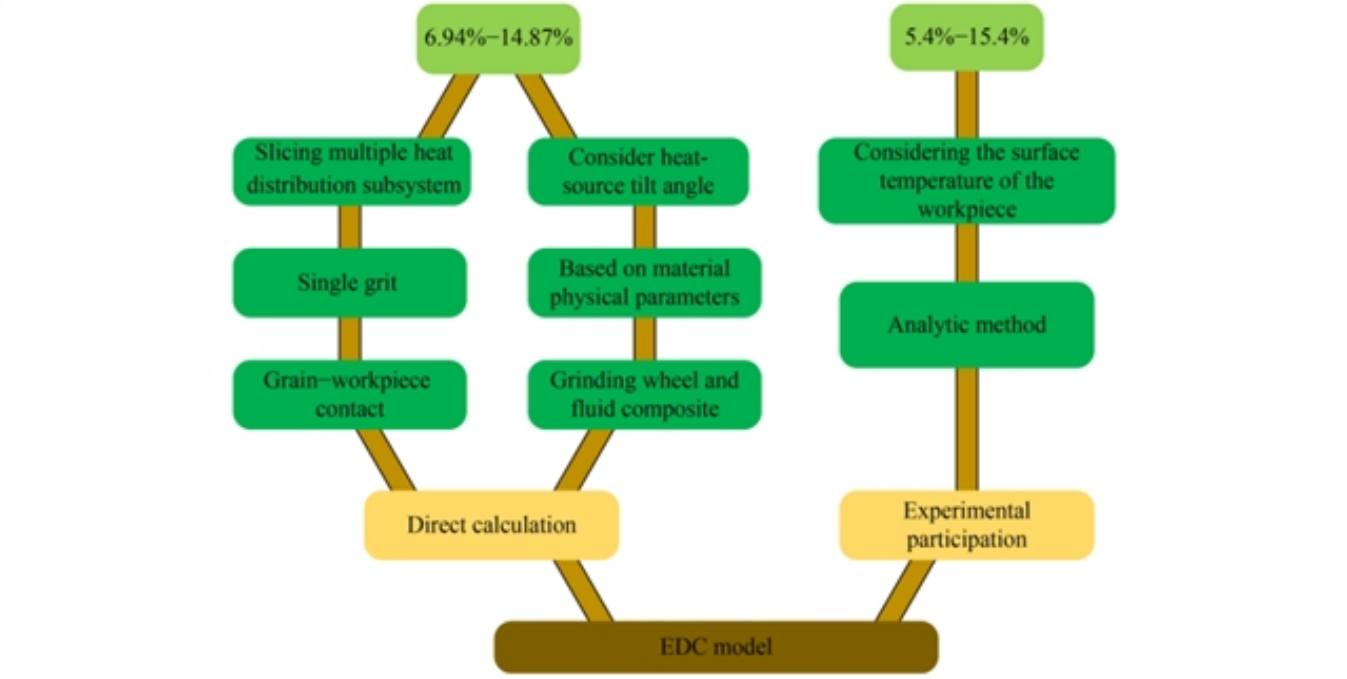


图3.EDC模型分类树图

助力国家战略，引领绿色智造未来

这项研究不仅具有重要的学术价值，更对产业应用意义深远。我国每年因磨削烧伤导致的废品损失巨大，精准的传热模型可直接指导工艺参数优化，显著降低热损伤风险。从国家战略层面看，该研究为推广MQL、NMQL等绿色润滑技术提供了坚实的理论依据。通过优化CHTC模型，可以在保证冷却效果的同时，将冷却液用量从传统的几十升每分钟降至几十毫升每小时，完美契合我国双碳目标与绿色制造战略，为制造业的可持续发展提供了关键的理论支撑。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：https://journal.hep.com.cn/fme/EN/10.1007/s11465-025-0838-2

作者：李长河等 来源：《工程·机械工程》

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