

# 以AI赋能中国工业软件创新

陈十一

## 数字经济发展水平彰显综合国力

数字经济是数字时代国家的综合实力的重要体现，是构建现代化经济体系重要引擎，是我国经济发展的“稳定器”和“加速器”，大力发展数字经济是把握新一轮科技革命和产业变革新机遇的战略选择。党的二十大报告指出，加快发展数字经济，促进数字经济和实体经济深度融合，打造具有国际竞争力的数字产业集群。

近年来，中国数字经济发展迅速。根据2022年发布的《中国数字经济发展白皮书》，2012年以来，我国数字经济年均增速高达15.9%，显著高于同期GDP平均增速。2021年，中国数字经济规模达到45.5万亿元，同比名义增长16.2%。中国的数字经济综合实力在国际上处于优势地位。截至2021年底，我国建成5G基站142.5万个，占全球的六成以上。最近5年，算力年均增速超过30%，算力规模居全球第二位。从2017年到2021年，中国数据产量从2.3ZB增加到6.6ZB，位居世界第二。规模以上软件营收增长至9.5万亿，工业互联网应用已经覆盖45个国民经济大类。电子政务在线服务指数跃升至全球第九位。

## 工业软件对数字经济发展起支撑作用

作为数字经济的基础，数字技术的核心领域包括六大类别：人工智能、大数据、云计算、软件技术、互联网和区块链。工业软件是软件技术发展的产物，是把将工业知识软件化，即工业技术、工艺经验、制造知识和方法的显性化、数字化和系统化，是一种典型的人类使用知识和机器使用知识的技术泛在化过程，是工业生产提质增效的重要工具。工业软件是数字经济高速发展的关键核心技术之一。

数字经济是以数字化的知识和信息作为关键生产要素，可分为数字价值化、数字产业化、产业数字化和数字化治理四大板块。工业软件作为数据价值化的应用实践之一，始于数据价值化，成长于数字产业化，盛开于产业数字化和数字化治理。产业数字化是数字经济中最重要、规模最大的板块，工业软件则是产业数字化的核心要素之一，服务于企业的“规划、研发、生产、销售、服务”全流程，实现了工业知识软件化，把企业在产品全流程中的经验沉淀、融合在软件系统中，用以提升企业全流程的工作效率，助力企业研发创新高速发展。工业软件是制造业的大脑神经，不仅在产业数字化转型中具有重要的作用，在数字化治理中更是应用广

泛，包括高端装备的研发创新、城市环境治理等。

工业软件可以精细模拟流动过程与物理现象，揭示动力学演化规律及其内在物理机制，替代物理实验与工程试验，显著缩短研发周期、降低研发成本。通过数值优化与设计，显著提升产品性能、技术水平和市场竞争力。因此，工业软件的经济价值之高是不言而喻的，这一点可以从飞机设计中充分体现出来。我们知道，无论飞机整体外形还是零部件的设计，都必须充分考虑和精细计算升力、阻力、稳定性等各种参数，需要进行一系列试验，在航空制造发展早期，美国波音公司通过传统方式开展机翼设计，要做多达77个试验。随着现代信息技术的发展，特别是工业仿真软

件、计算机辅助设计、计算机辅助制造、电子设计自动化等；生产制造类工业软件主要作用是在工业产品生产和制造过程中进行数据采集、分析和决策，负责生产管理、物料管理、质量管理、设备管理等，包括工业控制系统、数据采集与监控系统、先进控制系统等；信息管理类工业软件的主要作用是管理和协作，包括办公协同、供应链管理、商业智能等；运维服务类工业软件主要服务于生产设备的维护和保养，包括故障预测与健康管理、维护维修运行管理等。

经过多年努力，中国工业软件技术和产业获得了长足进步，上述四大类工业软件产品类别齐全，但是国产工业软件整体上实力不强，并且发展不均衡。相关报告表明，经营管理类

通过工业软件，模拟工业安全事故应急处置，是保障安全生产的重要手段。图为一款此类工业软件的视频截图。



件的应用，相关试验很快被减少至30多个。现在，机翼设计绝大多数过程在工业软件上进行，相关试验被大幅减少到5次。作为后发研制的中国大型客机，C919包括机翼在内的设计正赶上工业仿真软件以空前的广度和深度应用的时期，其绝大部分设计就是通过工业仿真软件来完成的，大大提高了效率、性能，降低了成本。只要是具有创新能力的企业，就必然使用工业软件，换句话说，是否使用工业软件和使用工业软件性能的高低是判断某个企业创新能力大小的重要标准。

## 研发设计类工业软件更要奋起直追

从制造业生产周期维度，工业软件可以分为四大类：研发设计类、生产控制类、信息管理和运维服务类。其中，研发设计类工业软件主要作用是提升企业在产品研发工作领域的能力和效率，包括计算机辅助工

业和信息化部印发实施《“十四五”软件和信息技术服务业发展规划》，提出“重点突破工业软件，研发推广计算机辅助设计、仿真、计算等工具软件”。2021年12月，工业和信息化部等八部门印发《“十四五”智能制造发展规划》（以下简称《规划》），提出到2025年，中国智能制造装备和工业软件技术水平和市场竞争力显著提升，市场满足率分别超过70%和50%，培育150家以上专业水平高、服务能力强的智能制造系统解决方案供应商。为此《规划》要求，推动工业知识软件化和架构开源化，加快推进工业软件云化部署；依托重大项目和骨干企业，开展安全可控工业软件应用示范。

中国紧紧抓住新科技变革机遇，实现云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术的快速发展，正在为工业软件技术创新和应用注入强劲动力，补齐在此领域发展的“短板”。在云计算技术的支撑下，工业云服务平台体系开始实现对传统工业软件体系的升级和替代，可以优化计算速度和成本，集成工业仿真工作流程，提高工业仿真软件的易用性，降低使用门槛。大数据技术和人工智能技术的应用可以大幅缩短工业仿真软件的求解时间并提高求解精度。工业互联网的建立和数字孪生技术的应用，使得跨流程和系统构建更复杂的工业仿真系统成为可能。

## 抓住人工智能等新科技变革机遇

造成中国工业软件发展现状的原因是多方面的，其中包括起步相对较晚，人才基础和技术基础薄弱；工业软件的使用“黏性大”，导致路径依赖强，一旦选用外国软件就会造成进口替代难。

在清楚地意识到发展现状和面临的困难的同时，我们也要看到，当前，中国工业化与信息化融合持续深入推进，产业加工度和技术密集度不断提升，产业结构升级不断加速，自主创新的意识日益增强。中国工业软件发展正迎来前所未有的发展机遇。

包括工业软件在内的中国软件行业正获得空前力度的国家政策支持。习近平总书记在两院院士大会上指出，“实践反复告诉我们，关键核心技术是要不来、买不来、讨不来的。只有把关键核心技术掌握在自己手中，才能从根本上保障国家经济安全、国防安全和其他安全。”为突破关键核心技术，推动实现高水平科技自立自强，国家有关方面近年来作出了一系列战略部署，出台了诸多强有力支持政策。

在工业软件方面，2020年8月，国务院印发《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展若干政策》，聚焦包括工业软件在内的一系列关键核心技术研发，提出不断探索构建社会主义市场经济条件下关键核心技术攻关新型举国体制。2021年2月初，工业软件首次入选科技部国家重点研发计划首批重点专项；2021年11月，



作者陈十一肖像画。张武昌绘

人们在博物馆参观，看到霸王龙、飞鸟、海洋单细胞生物的各种化石栩栩如生，可能会好奇：这些化石是怎么从不同的岩性地层中被发掘、修复并展示在参观者面前？

最适合回答这个问题的当然是考古工作者，他们在野外对新发现的化石进行发掘。新发掘出来的化石通常叠压杂乱，裹满泥土，“面目”全非。考古工作者对其中有科研价值的标本进行修复，使其完整地呈现出来，供科研人员做研究，或向公众展出。

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所标本馆位于北京市西城区，陈列着46万余件化石和人类遗存标本。笔者在该所从事化石标本修复工作已有13个年头，主要修复的有犀牛、铲齿象、三趾马、后猫、剑齿虎、小羚羊、和政羊等的化石。平时，我就在所里以化石为伴，开展化石修复工作。有时，我也会到甘肃、云南、山西等化石丰富省份出差，参与当地化石修复工作。

甘肃省和政县是我常出差的目的地之一，该县具有“古动物化石之乡”之称，是地质科学研究和科普教育的首选基地。和政古生物化石国家地质公园已发现超过100处化石点，产出3纲、8目、150多个属的各类古脊椎动物化石。

前不久，我又赶赴和政县，参与修复包括古犀牛化石等在内的数件化石标本。为防止破损，人们在发掘这些标本时已采取了一些保护措施，比如做石膏皮劳克（又称石膏包）加固。同时，有关人员还要做好相关基本信息的记录，其中包括标本发现人员信息、标本发现的精确时间和位置、标本原始状况等，以便研究人员据此确定标本所在的地层环境、所处年代等。

修复化石标本的第一步当然是打开皮劳克，而在此之前，必须对该化石的原始数据拍照留存。接着就是打开皮劳克了，我用的具体方法是以切割机为主，辅以手工锯，这比传统只用手工锯要省时省力得多。打开后，我便对化石拍照，记录下其最新状态和数据。

## 让远古生物“活”起来

苏丹

由于化石标本通常非常脆弱，有的骨片比较松散，容易因外力而失去原始的连接面、连接位置，因此在没有着手修复之前，我要对所有暴露于外面的标本进行加固。具体来说，我用3%比例的稀胶，轻轻地沿标本缝隙或各个散面刷稀胶或者用滴管滴稀胶。加固是一项基础工作，也是最关键的步骤，在很大程度上决定了修复工作的质量，做好这项工作需要极大的细心和耐心，需要丰富的经验和高超的随机应变能力。

加固后，就可以根据杂质的硬度，选用相应的风刻笔对化石开展修复作业了。风刻笔是一种专用工具，笔尖是细钢针，与空气压缩机连接，通过压缩空气不停地震动，就可以剔去化石表面的杂质，或把粘连叠压在一起的化石拆解开，使之分离但绝不能伤害到标本。这是一项极费时，又考验耐心和精细操作能力的工作。我常常在工作台上一干就是数小时，深深沉浸其中，忘掉了外面的世界，忘掉了流逝的时光，甚至也忘掉了自己。

不同类型的化石标本修复的难度也不同。如果标本是平面的页岩，比较容易修复；如果是立体或者类似于悬空雕刻的形状，修复的难度就会增大。如果标本是从野外直接发掘而来的，相对容易修复；如果之前曾修复过，比如从民间收集而来的化石标本，会因为之前接错位、加胶量过多等因素，增大修复难度。不仅难度有差别，而且修复时还会增加健康风险，比如为了祛除之前用的胶，必须使用解胶剂，或用热熔切割，都会产生有害气体。修复人员作业时，必须做好防护。

修复大尺寸的标本，比如古犀牛长度超过1米或2米的大型骨架的化石时，操作者需要进行翻模和装架，需要用好固化剂和催化剂等。修复啮齿类动物极细小的化石时，操作者则要借助显微镜进行精细作业。对那些不宜运输或者移动的标本，操作者就用扫描仪采集相关信息，之后据此通过3D打印等科技手段，制作出原始化石标本的仿真件。化石标本修复完成后，或以单个形态存在，或被拼接组装起来呈现出动物本来的形态，供科研人员研究之用或用于展览、展示。

从我们的手中，一块块化石标本被修复，一个个史前生物穿越漫长的时空，呈现在科学家和大众面前，无声地讲述着我们这颗星球上远古的故事。欢迎朋友们到中国科学院古脊椎动物与古人类研究所标本馆来参观，探索古生物古人类发展的历史，了解从古至今生生不息的演化过程。

浙江 诸暨

## “乡村艺课”开讲



春季学期开学以来，浙江省诸暨市东白湖镇斯民小学开设了国画、书法、传统手工竹艺等“乡村艺课”，让孩子们更好学习和传承中华优秀传统文化。图为斯民小学的传统手工竹艺课堂。

新华社记者 徐昱摄

江西 赣州

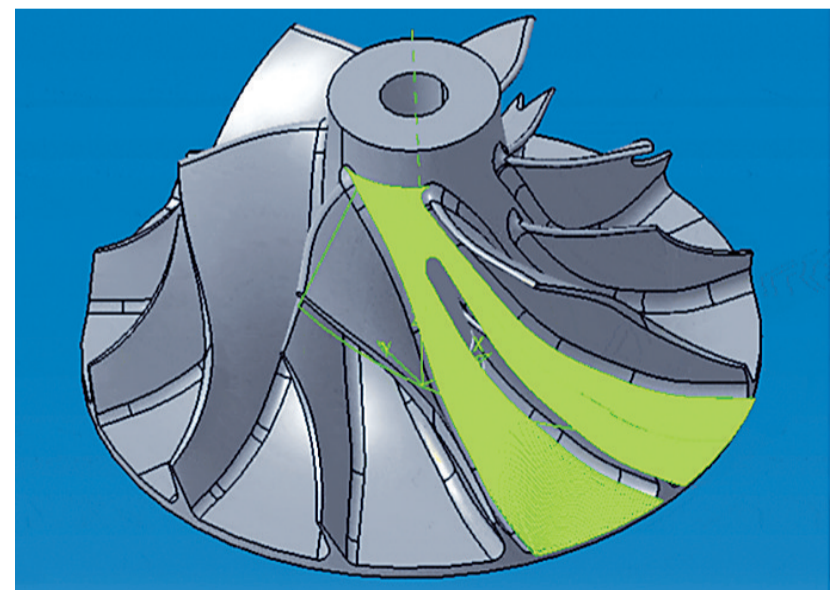
## “放飞”创新梦想



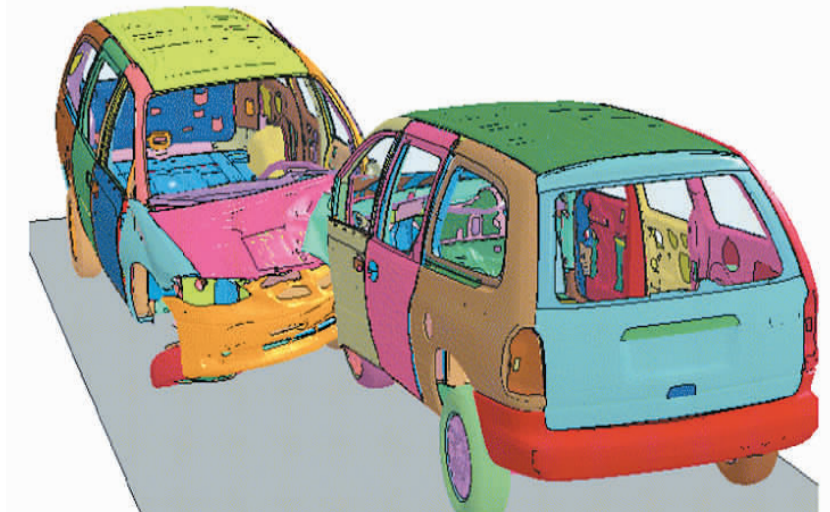
近日，江西省赣州市厚德路小学举办创客节，展示学生们的创客作品，放飞创新梦想。

图为学生在操控无人机飞越障碍物。

胡江涛摄



▲像这样包含复杂曲面的零部件在加工前必须用工业软件进行模拟仿真。  
▼用工业软件来模拟分析车辆相撞试验，用来测试汽车在意外情况下的安全程度，可以大幅降低研发成本。



## 科技名家笔谈

中国科协科学技术传播中心、科学出版社与本报合作推出