

# 科技日报

SCIENCE AND TECHNOLOGY DAILY

2024年3月13日 星期三 科技日报社出版 国内统一连续出版物号 CN11-0315 代号 1-97 总第12666期 今日8版

## 仿出中国大电网

——国产化大型电力系统电磁暂态仿真技术及平台攻关纪实



◎本报记者 陈瑜 都芄

人勤春来早。眼下，神州大地按下了生产劳作的“快进键”。田间，春耕春灌一派繁忙；工厂里，机器轰鸣灯火通明。

此时此刻，位于北京市海淀区的国家电网有限公司仿真中心（以下简称“仿真中心”）四楼内，电磁暂态仿真计算正在全速运行。一排排机柜有节奏地闪烁着灯光，犹如“呼吸”一般守护着电网。

这就是最近入选“2023年度央企十大国之重器”的国产化大型电力系统电磁暂态仿真技术及平台。依靠它，全球电压等级最高、规模最大、结构最复杂、清洁能源发展最快的中国电网，多年来一直保持着最长的安全运行纪录。

### 告别“仿不了”

电网设计是否有缺陷？系统到底稳不稳定？提前开展电网仿真分析，是作出判断的最有效手段。

“2010年，随着特高压直流输电工程加速建设，我们原有的仿真方法不太灵了！”仿真中心副主任李亚楼告诉科技日报记者，究其原因，主要是新入网的设备富含各种电力电子器件，以前的机电暂态仿真方法无法准确模拟这些设备的快速响应和复杂控制特性。

用什么技术替代？已成功用于局部电网的电磁暂态仿真技术行不行？一个疑问萦绕在仿真中心数模混合仿真研究室主任朱艺颖的脑海里。

当时，仿真领域专家普遍认为，电磁暂态仿真步长小、计算效率低、建模复杂，根本无法仿真大规模实际电网。

朱艺颖偏“不信邪”。她带领一群30岁出头的科研人员，下定决心要攻下这个“山头”。

随着时间的推移，研发团队先后攻克了大电网仿真数值计算方法、并行解耦算法、分散同步数模混合仿真技术等难关，研发出指定潮流自动构建和数据通信传输等技术，尤其是突破了至关重要的50微秒步长实时仿真技术。

“50微秒的实时仿真步长意味着，系统要在1秒钟内对华东电网6000个节点进行20000次计算。”朱艺颖解释。

“每一个CPU内核既要完成自己的任务，又要与其他CPU内核交互数据，还要完成与外接物理装置上万路信号的交互，且计算速度必须跟实际物理

过程同步。”在朱艺颖看来，这好比让数字电网练就“凌波微步”。

2017年的一个夏夜，仿真中心实验室里灯火通明，几百个CPU内核飞速运转，几万路信号实时交互。当看到故障仿真模型仿真结果与实际波形几乎重合时，现场爆发出热烈的欢呼声——这意味着，包含11回直流的华东区域电网首次实现了精准的电磁暂态实时仿真，大电网被仿出来了！

### 破解“仿不准”

准确的仿真结果离不开精准的模型。在啃下大电网实时仿真这块“硬骨头”后，研发团队发现，仿真结果和电网实际运行情况仍存在较大差异，“仿不准”问题日益凸显。

造成“仿不准”的原因是什么？时任仿真中心数字混合仿真研究室主任张星告诉记者，仿真建模涉及直流输电工程、新能源机组等多个环节，出于技术与商业的考虑，设备厂商将有关设备参数视为“独门绝技”，不愿意提供设备相关参数和控制逻辑。受限于此，研发团队只能参照经典控制理论进行建模。

“这会导致搭建的模型只能片面反映控制器的一部分性能指标，无法完整复现控制器的响应特性。”张星将此过程形容为“盲人摸象”。

而且，情况还在变得越来越复杂。由于电网工程涉及的设备厂家数量繁多，随着新的电网工程建设，仿真结果的准确性更加难以保证。

面对这一难以跨越的鸿沟，研发人员苦思解决方案。

“拿到数据的可能性微乎其微。那么，可不可以像安卓开放系统一样，让厂家自己封装数据建好模型，平台只需开放接口，将其像App一样安装进来？”张星大胆设想。

在国家电力调度控制中心的统筹下，大家很快达成了共识。

研发团队在仿真平台设置开放化接口，让厂家给自己的设备建模，实现模型和设备1:1克隆后，再“安装”到仿真平台上来。

“这就好比厂家直接提供‘菜品’，配方却是保密的。”朱艺颖说，“而我们一样可以综合各家的‘菜品’，做出‘满汉全席’来。”

这样一来，既保护了厂家的知识产权，又实现了对控制逻辑的精确仿真。

在南瑞、许继等众多直流、新能源设备厂商的全力支持下，历时3年多，仿真中心终于建成了电磁暂态仿真平台的模型库，解决了复杂控制保护设备“仿不准”这一难题。

社会、国际同行有更多互动。

### 探索长周期贯通培养模式

中国科学院院士陶智认为，面对新形势新要求，创新高等教育育人模式是关键。“大学是培养青年科技人才的重要阵地，应积极探索育人模式改革，提升科技人才自主培养能力。”

陶智建议，鼓励探索基础学科长周期贯通培养模式，根据学生禀赋特长开展个性化培养，支持学生针对关键科学或技术问题进行“十年磨一剑”的探索。同时，建立进阶式科教融合培养体系。针对低年级学生，开设探索类课程，让学生在实验室参与“微课题”，激发研究志趣，培养科研习惯；针对高年级学生，可设置源自实际问题的高阶挑战项目，引导学生选定研究方向，为开展持续攻关打好基础。

具有学科交叉背景的复合型人才，将成为引领未来科技发展的主力军。为此，陶智建议在高校探索项目制学科交叉培养模式试点。“在高校设立集成多个学

### 实现“仿得快”

“仿不准”解决了，“仿不快”又成为新问题。

“以前采用单机串行模式就能满足仿真计算要求，现在随着计算量指数级增长，这种模式提供的算力捉襟见肘。”李亚楼说，以往完成单个省级电网的仿真模拟，都要以“天”为单位，要实现全国规模的电网仿真，时间还会更长。

必须提高工作效率！“一项工作量太大时，可以拆分给多个人来干。同理，仿真计算量太大，那就交给服务器集群来处理。”张星就此提出了建设我国电力系统首个超算中心的设想。

彼时，国内虽有成熟的商用超算中心案例，但电力系统尚无专用的超算中心。从硬件架构设计到软件系统开发，都无经验可循。

CPU选型、数据网络交互方式、CPU冷却方案、软硬件融合可行性、计算适配性……研发团队一项一项理、一件一件干。

“4家国内主流厂商、10多个解决方案，被我们反复比较、来回测试。”张星回忆道，没有直接可用的方案，大家就集思广益，与供应商一起进行二次开发，持续改进、不断完善，逐一满足大电网高效仿真的特殊需求。

测评对比、计算验证、系统联调……解决方案终于确定下来。

硬件有了，但其性能的挖掘还得靠软件。张星比喻道：“犹如再强健的肌肉，如果没有神经系统指挥，那也毫无用处。”

在方案选型伊始，研发团队就潜心打造基于超算的仿真云计算架构，充分挖掘数万个CPU核的计算潜力，“软硬兼施”成功搭建出仿真平台专用超算中心。

如今，仿真平台已在国家电网得到全面应用。张星自豪地说：“过去，扫描分析电网架2.6万条线路、1.8万台变压器的安全风险，需耗时10天以上，现在只要不到5分钟。”

随着电力系统不断向高比例可再生能源、高比例电力电子设备的发展方向演变，其系统的复杂程度、对控制响应速度的要求都在快速上升。

“全国大电网是一个牵一发而动全身的系统，能源保障和安全是必须不可忽视的‘国之大者’。”研发团队负责人、中国电力科学研究院副院长郭强表示，“团队将以‘十年磨一剑’的韧劲，心无旁骛攻坚克难，为提高国家能源安全和保障能力作出更大贡献！”

科的特色培养项目，以关键科学问题和重大项目为牵引，对课程、师资、平台等资源进行整合重组，支持学生‘多学科’培养、‘多指标’评价。”陶智说。

### 创造更好的育人生态

高校还应创造更好的育人生态。张荣认为，高校应从以教师为中心向以学生为中心转变、从“以教为中心”向“以学为中心”转变、从统一模式培养向个性化培养转变。“以往都是老师教什么，学生学什么。如果不考虑学生的自主兴趣，教学效果不会理想。学校应转变观念，为学生提供发展平台，引导学生了解社会需要，考虑学生的爱好和想法，在此基础上将学生培养成学生自己希望的样子。”

培养拔尖创新人才需完善协同育人机制，让高等教育改革中的先进理念延伸到基础教育阶段。张荣说：“如果不能将高等教育开展的改革延伸到基础教育阶段，可能很多比较理想的人才培养设计将建立在不牢靠的基础上。”（下转第三版）

各位代表：

现在，我代表国务院，向大会报告政府工作，请予审议，并请全国政协委员提出意见。

### 一、2023年工作回顾

过去一年，是全面贯彻党的二十大精神开局之年，是本届政府依法履职的第一年。面对异常复杂的国际环境和艰巨繁重的改革发展稳定任务，以习近平同志为核心的党中央团结带领全国各族人民，顶住外部压力、克服内部困难，付出艰辛努力，在疫情防控实现平稳转段、取得重大决定性胜利，全年经济社会发展主要目标任务圆满完成，高质量发展扎实推进，社会大局保持稳定，全面建设社会主义现代化国家迈出坚实步伐。

——经济总体回升向好。国内生产总值超过126万亿元，增长5.2%，增速居世界主要经济体前列。城镇新增就业1244万人，城镇调查失业率平均为5.2%。居民消费价格上涨0.2%。国际收支基本平衡。

——现代化产业体系建设取得重要进展。传统产业加快转型升级，战略性新兴产业蓬勃发展，未来产业有序布局，先进制造业和现代服务业深度融合，一批重大产业创新成果达到国际先进水平。国产大飞机C919投入商业运营，国产大型邮轮成功建造，新能源汽车产销量占全球比重超过60%。

——科技创新实现新的突破。国家实验室体系建设有力推进。关键核心技术攻关成果丰硕，航空发动机、燃气轮机、第四代核电机组等高端装备研制取得长足进展，人工智能、量子技术等前沿领域创新成果不断涌现。技术合同成交额增长28.6%。创新驱动发展能力持续提升。

——改革开放向纵深推进。新一轮机构改革中央层面基本完成，地方层面有序开展。加强全国统一大市场建设。实施国有企业改革深化提升行动，出台促进民营经济发展壮大政策。自贸试验区建设布局进一步完善。出口占国际市场份额保持稳定，实际使用外资结构优化，共建“一带一路”的国际影响力、感召力更为彰显。

——安全发展基础巩固夯实。粮食产量1.39万亿斤，再创历史新高。能源资源供应稳定。重要产业链供应链自主可控能力提升。经济金融重点领域风险稳步化解。现代化基础设施建设不断加强。

——生态环境质量稳中改善。污染防治攻坚战深入开展，主要污染物排放量继续下降，地表水和近岸海域水质持续好转。“三北”工程攻坚战全面启动。可再生能源发电装机规模历史性超过火电，全年新增装机超过全球一半。

——民生保障有力有效。居民人均可支配收入增长6.1%，城乡居民收入差距继续缩小。脱贫攻坚成果巩固拓展，脱贫地区农村居民收入增长8.4%。加大义务教育、基本养老、基本医疗等财政补助力度，扩大救助保障对象范围。提高“一老一小”个人所得税专项附加扣除标准，6600多万纳税人受益。加强城镇老旧小区改造和保障性住房供给，惠及上千万家庭。

回顾过去一年，多重困难挑战交织叠加，我国经济波浪式发展、曲折式前进，成绩来之不易。从国际看，世界经济复苏乏力，地缘政治冲突加剧，保护主义、单边主义上升，外部环境对我国发展的不利影响持续加大。从国内看，经历三年新冠疫情冲击，经济恢复发展本身有不少难题，长期积累的深层次

## 政府工作报告

全国人民代表大会第二次会议上  
二〇二四年三月五日在第十四届

国务院总理 李强

一年来，我们深入学习贯彻党的二十大和二十届二中全会精神，按照党中央决策部署，主要做了以下工作。

一是加大宏观调控力度，推动经济运行持续好转。针对严峻挑战和疫后经济恢复特点，我们统筹稳增长和增后劲，突出固本培元，注重精准施策，把握宏观调控时、度、效，加强逆周期调节，不搞“大水漫灌”和短期强刺激，更多在推动高质量发展上用力，全年经济运行呈现前低中高后稳态势。围绕扩大内需、优化结构、提振信心、防范化解风险，延续优化一批阶段性政策，及时推出一批新政策，打出有力有效的政策组合拳。财政政策加力提效，加强重点领域支出保障，全年新增税费优惠超过2.2万亿元，增发1万亿元国债支持灾后恢复重建、提升防灾减灾救灾能力。货币政策精准有力，两次降低存款准备金率、两次下调政策利率，科技创新、先进制造、普惠小微、绿色发展等贷款大幅增长。出台支持汽车、家居、电子产品、旅游等消费政策，大宗消费稳步回升，生活服务消费加快恢复。发挥政府投资撬动作用，制定促进民间投资政策，能源、水利等基础设施和制造业投资较快增长。因城施策优化房地产调控，推动降低房贷成本，积极推进保交楼工作。制定实施一揽子化解地方债务方案，分类处置金融风险，守住了不发生系统性风险的底线。

二是依靠创新引领产业升级，增强城乡区域发展新动能。强化国家战略科技力量，加快实施重大科技项目。全面部署推进新型工业化。出台稳定工业经济运行、支持先进制造业举措，提高重点行业企业研发费用加计扣除比例，推动重点产业链高质量发展，工业企业利润由降转升。数字经济加快发展，5G用户普及率超过50%。深入实施新型城镇化战略，进一步放宽放开城市落户条件，增强县城综合承载力，常住人口城镇化率提高到66.2%。强化农业发展支持政策，有力开展抗灾夺丰收，实施新一轮千亿斤粮食产能提升行动，乡村振兴扎实推进。完善区域协调发展体制机制，在落实区域重大战略方面推出一批新举措，实施一批重大项目，区域发展协调性、平衡性不断增强。

三是深化改革扩大开放，持续改善营商环境。出台建设全国统一大市场总体工作方案，清理一批妨碍公平竞争的政策规定。分别推出支持国有企业、民营企业、外资企业发展政策，建立政企常态化沟通交流机制，开展清理拖欠企业账款专项行动，加强违规收费整治。深化财税金融、农业农村、生态环保等领域改革。推动外贸稳规模、优结构，电动汽车、锂电池、光伏产品“新三样”出口增长近30%。完善吸引外资政策，拓展制度型开放。扎实推进共建“一带一路”高质量发展，与共建国家贸易投资较快增长。

（下转第二版）



时下，各地农民抢抓农时开展春季农业生产，田间地头一派生机勃勃的农忙景象。图为3月12日，农民驾驶农机在河北省石家庄市栾城区赵家庄村农田里作业（无人机照片）。新华社发（李明发摄）

## 新污染物治理需强化科技支撑

◎本报记者 何亮 刘园园

“算上今年，‘新污染物治理’已经连续3年写入政府工作报告。”日前，中国科学院院士江桂斌在接受科技日报记者采访时说道，“尽管新污染物听起来是一个笼统的新事物，但是这个‘新’不是新旧之新，英文译为‘emerging’，意味着这种污染物是正在出现的、动态变化的。”

联合国环境规划署认为，新污染物包括任何合成的或天然存在的化学物质或微生物，它们在环境中通常不被监测或管理，具有已知或可疑的对生态和人体健康的不利影响。江桂斌表示，年轻人喜欢穿的冲锋衣、钟爱的化妆品、使用的电子产品都含有新污

染物。“在不知不觉中接触、会持久性留存、对人体健康和环境系统危害不易察觉等，这些特质构成了新污染物的共性特征。”

这种“隐形的污染”，正在成为污染防治的新目标。江桂斌告诉记者，新污染物治理的关键点是“新”、难点也是“新”。“因为‘新’，存在监测方法跟不上、污染底数不清、环境过程不清楚、环境危害不掌握、常规防治方法不起作用等问题。”

目前，国际上广泛关注的新型污染物有两大类：持久性有机污染物、内分泌干扰物、抗生素等。2023年，生态环境部联合11部门发布了5种需要管控的新污染物清单，但这只是“冰山一角”。现阶段，新污染物治理的科技支

撑能力不足是亟待破解的难题。中国科学院院士、清华大学化学系教授李景虹在调研中发现，一些微颗粒、微塑料甚至可以通过母亲的血液输送到胎儿的胎盘上，但是其发生机理及对健康的影响仍待科学研究给出答案。

在江桂斌看来，新污染物快速识别方法短缺、理论基础薄弱，导致科学界对大多数新污染物的毒性作用机制不明确，新污染物治理的高效净化技术匮乏。

中国科学院院士赵进才认为，新污染物治理需要新理论、新方法、新范式，应进一步加强新污染物治理相关基础研究，为我国新污染物治理提供科学理论和数据支撑。（下转第三版）