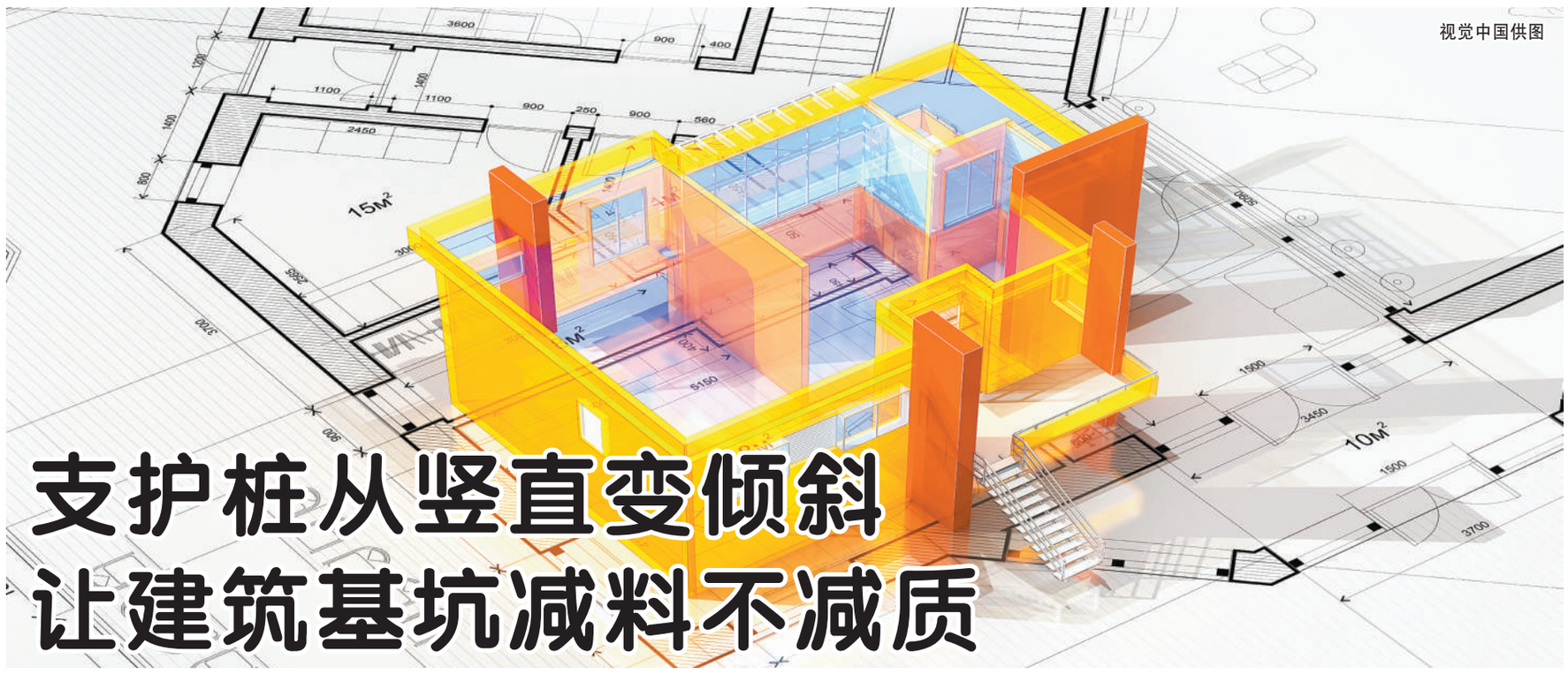
视觉中国供图

支护桩从竖直变倾斜 让建筑基坑减料不减质

◎本报记者 陈 曦

我国建材生产碳排放量占全国碳排放总量的28%，地下设施建造和地下空间开发时常需要先修建复杂的围护体系，以保证施工安全。水平内支撑支护是软弱土地区最常见的支护方式，随着地下结构的建设进程，绝大多数水平内支撑都要被拆除。而这一过程需要耗费大量钢筋、混凝土等建材，是一只名副其实的“碳老虎”。

天津大学郑刚教授团队研发的“基坑工程自稳型无支撑绿色支护技术及其工程应用”项目，突破了长期以来地下1—2层深度基坑围护体系采用水平内支撑技术的瓶颈，形成了系列倾斜桩无支撑支护技术。新技术可显著降低水泥、钢筋和砂石等建材消耗，在节能、降耗和减碳方面效益显著。日前，该项目获得2021年度天津市科技进步特等奖。

传统基坑工程支护技术遇瓶颈

俗话说，“万丈高楼平地起”，强调的是打牢基础的重要性。基坑就是建筑物施工建造的“第一步”，是施工时由地表向下开挖土体形成的地下空间，住宅、地铁、机场、商场、体育场馆、城市综合管廊、市政及其他城市地下空间开发等都大量涉及基坑工程。

在基坑开挖和地下结构施工期间，为了防止基坑四周的土体倒塌、地表凹陷，甚至周围建筑破坏，需要用桩、墙结构配合水平内支撑进行挡土，以保证基坑和周边环境的安全。这些技术措施总体上构成了基坑支护结构体系。

“悬臂支护和水平内支撑支护是软弱土地区基坑工程最常见的两种支护形式。”项目组成员、天津大学副教授周海祚介绍，悬臂支护是一种传统的无支撑支护，就是用一根根桩排列在基坑四周用于挡土。这种支护形式施工便捷，材耗低且工期短。但是悬臂支护“能力弱”，变形和稳定控制能力都比较差，如果遇到基坑周围有隧道等变形控制要求高的基础设施，就很难使用。所以一般悬臂支护只能用于软弱土地区深度5米以内的基坑。

“遇到5米以上的基坑时，以往一般会采用水平内支撑支护。”周海祚介绍，这种支护增加了连接竖向支护桩的横向支撑，相当于搭了一个“架子”。这种支护形式自稳能力强，但所有水平方向搭建的“架子”在地下结构建造好后都要全部拆除，从而造成材耗多、造价高、工期长、施工难度大等问题。

我国沿海、沿湖和沿河的不少重要城市所在地区土质软弱，而且随着高层建筑越来越多，绝大多数基坑深度都超过5米，因此施工中越来越多地采用水平内支撑支护技术。“别小看这种技术的材耗量，我们进行过测算，一个3层地下室深度、面积90000平方米的基坑采用水平内支撑支护消耗的建材相当于5—6栋25层建筑所需，而且这些最终大多会被拆除浪费。”周海祚说。

倾斜支护兼具艺术感和高性能

几十年来国内外建筑施工工程都在使用悬臂支护和水平内支撑支护这两项技术，虽然也在不断进行结构优化，减少材耗量，但始终没有突破这两种支护形式的范畴。

早在10年前，郑刚就产生了关于低碳基坑的设想，并申请承担了科技部“十二五”科技支撑项目“可持续发展的现代基坑工程”。在团队组会上，郑刚不止一次地说：“为什么要做低碳创新？老学科要有危机感，创新才能有安全感。”

郑刚敏锐地注意到一个细节，基坑工程支护桩都默认竖直打入。“何不突破常规，倾斜打入呢？”这个富有创造力的想法付诸实践后，不仅让支护桩变得充满艺术感，测试结果也很“美”。仅仅将部分桩倾斜10—20度，就可以大幅度提升支挡性能。

“针对占基坑数量60%—80%的地下1—2层深度的基坑工程，我们研发了基坑倾斜桩无支撑支护技术（以下简称倾斜桩），这种技术的桩体与竖直方向呈一定角度倾斜设置。”周海祚介绍。随后团队又在倾斜桩的基础上，发展出了由倾斜桩与竖直桩或不同倾斜方向桩体组合并用冠梁连接的倾斜桩组合支护结构，如斜直交替桩组合支护、X形和个字形倾斜桩组合支护、斜直组合双排桩支护等。

不同的倾斜桩组合支护结构可以适应多种支护条件，而且无需水平内支撑，就能稳稳地控制支护变形以及周边环境。最重要的是，对比传统水平内支撑支护技术，基坑施工周期、造价和建材用量可降低20%—40%，大幅减少支撑施工涉及的大量高强度人工劳动，提升基坑工程工业化建造水平。

40%

不同的倾斜桩组合支护结构可以适应多种支护条件，而且无需水平内支撑，就能稳稳地控制支护变形以及周边环境。最重要的是，对比传统水平内支撑支护技术，基坑施工周期、造价和建材用量可降低20%—40%，大幅减少支撑施工涉及的大量高强度人工劳动，提升基坑工程工业化建造水平。

为倾斜桩铺平应用道路

虽然各项数据显示，倾斜桩技术各项性能都非常优秀，但是作为一种全新的支护方式，其工作机理、分析理论、设计方法及技术标准都是一片空白。同时在走向应用的道路上，也缺乏施工技术和装备。

为此，课题组开展了土工离心机试验、室内大型模型试验、数值模拟和理论分析的研究工作，提出了自稳型无支撑支护体系的五个作用，即地基梁作用、自撑作用、刚架作用、重力作用和减隆作用，揭示了自稳型无支撑支护技术变形和桩土相互作用机理，建立了变形和稳定分析理论和设计方法，主编了相关技术标准。

同时针对施工设备无法满足城市环境低振动和低噪音的问题，课题组邀请工业界专家开展产学研合作，发明了预制倾斜桩静力压桩设备、倾斜钻孔灌注桩等成套技术与系列装备，解决了对应的施工难题。同时取得了“系列自稳型无支撑绿色支护技术开发”“自稳型无支撑支护技术分析理论、设计方法及技术标准”“城市环境下无支撑支护施工成套技术与系列装备”，和“工程应用”的全链条成果。

目前，该成果已成功应用于天津市首个国家重大科技基础设施——“大型地震工程模拟研究设施”工程项目中。

据介绍，该设施建成之后将成为世界最大地震工程模拟研究设施，项目基坑开挖深度达14.7米，基坑面积约29500平方米，而且基坑开挖深度范围内分布有厚层淤泥质软土。

“原设计采用了两道水平内支撑支护，但水平内支撑的施工和拆除会占用工期，而且水平内支撑的存在会导致土方开挖、外运、基础与地下结构施工难度增大，且基坑支护结构与地下结构交叉施工不能满足振动台基础底板分块浇筑要求。”周海祚说。

应用了该成果的自稳型倾斜桩梯级支护技术，把14.7米的基坑分为两级开挖，第一级支护开挖深度为8米，采用自稳型倾斜桩；第二级支护开挖深度6.7米，取消了水平内支撑。

“第一级开挖完成后，自稳型倾斜桩支护的最大水平位移仅为12—24毫米，变形控制效果良好。”周海祚介绍，同时基坑土方开挖高效，施工便捷，取消的水平内支撑节省的钢筋、混凝土材耗量大致与一栋25—30层建筑面积20000平方米建筑物相当，工期缩短72天，直接节省造价约1100万元。

成果还应用于天津、河北、福建、贵州、四川、湖北等省市的数十项工程。未来，天津大学郑刚教授团队还将进一步加强该项成果的技术推广，推动基坑工程在节能减排和持续健康发展方面的创新，为我国实现“双碳”目标作出贡献。

成果播报

扬州炒饭有了“高富帅”专供稻米品种

◎本报记者 过国忠 通讯员 肖 宁

科技日报记者从5月28日举行的虾稻专用水稻“虾优100”品种权签约暨扬州炒饭首选大米全产业链发展论坛上了解到，江苏里下河地区农业科学研究所针对扬州炒饭缺乏合适优质米的问题，通过对水稻种源筛选，利用现代生物育种技术，成功培育出具有“高富帅”特性的专用品种，并将在今年采取虾稻综合种养模式大面积推广示范种植。

江苏里下河地区农业科学研究所蔡跃博士介绍，扬州炒饭是淮扬菜中一道传统名菜，食材主要有米饭、火腿、鸡蛋、虾仁等，且选料严谨、制作精细、加工讲究，更注重配色。尤其是炒制完成后，要呈现颗粒分明、粒粒松散、光泽饱满、香糯可口。因此，要求稻米软硬有度、颗粒均匀。

扬州炒饭常选用国产籼米、新粳米或泰国稻米，经干洗或湿洗后，再配辅料进行炒制。多年来，由于缺乏扬州炒饭专供稻米，致使扬州炒饭品质难以得到保障。

“通过采用现代生物育种技术，加快选育适合扬州炒饭的稻米新品种，不但能擦亮扬州炒饭美食品牌，还能解决扬州炒饭产业链发展的关键问题。”江苏里下河地区农业科学研究所所长李爱宏研究员说。

近年来，该所结合乡村振兴战略，从培育地方特色产业出发，凭借多年积累的优质种质资源，组成跨专业科研团队。基于稻虾共作生产高端优质稻米的品种特性需求，通过分子设计育种的策略，定向培育了耐水淹、抗病强、产量高、品质媲美泰国香米的扬州炒饭专供稻米新品——水稻“虾优100”。

用李爱宏的话来说，“虾优100”是一个“高富帅”的水稻新品，高是指稻秆平均高1.2米、呈高抗病虫性、亩产可达1200斤；富是指米质优良、食味纯正、营养丰富；帅即后期挺拔、秆青籽黄、熟相好。

此次合作签约虾稻专用水稻“虾优100”品种权的扬州市扬子江种业有限公司，是一家主要从事小麦、水稻等主要农作物新品种的选育、繁育、栽培、推广和技术服务的农业科技型龙头企业。该企业通过开展产学研合作，建成了设施先进的高标准种子生产基地、产业示范基地和固定繁种基地，承担了省市一批农业示范项目，引领扬州农业生产走向智能、高效、高产。

“今年起，我们将围绕推进种粮一体化协调产展，发挥双方在科研和产业应用等方面优势，凭借‘一稻三虾’种养技术标准体系，采取虾稻综合种养模式，加大‘虾优100’新品推广，重点打造一批示范种养一体基地，旨在实现产业链品种专用化、品质高端化、产品品牌化，全面提高农业经济效益和社会效益。”扬州市扬子江种业有限公司总经理卞庆中表示。

江苏里下河地区农业科学研究所建立的“虾优100”种植示范基地 肖宁摄

云上巡查电厂设备 智能平台看清摸准电力运维情况

◎本报记者 张景阳
通 讯 员 贾婷婷

近日，由青山电气（内蒙古）股份有限公司（以下简称青山电气）牵头，联合内蒙古科技大学、华北电力大学等共同实施的“基于计算科学和多能优化分析的智慧能源云平台关键技术及应用”项目研发获得重大进展，这一全新平台兼具广域数据采集监测、故障预警、状态检修、应急管理、能效分析等功能，有效解决了需求侧“看不见”“摸不准”和“管控难”等问题，该项目获得内蒙古自治区科学技术进步一等奖。

“当下，我国智能电网建设如火如荼，我们科研团队瞄准智能风潮，以‘互联网+大数据’为创新点，打造体现科技创新、集约共享、互联互通、产融结合等特点的‘青电云’智慧能源云服务平台，不但确保了用户用能安全、提升了设备资产利用效率和终端用能效率，对我国未来能源电力系统及相关产业的转型也将起到积极的促进作用。”青山电气负责人周健告诉记者。

数字化设计催生智慧化转型

“接下来，请大家跟我进行一次电厂巡检。”在云平台的操作现场，参观者们刚准备起身，便被技术人员翟春霞拦了下来。“大家请坐，我们不用真的去现场。在‘青电云’上就能完成虚拟巡检。”

说着，翟春霞将光标移动到虚拟电厂的设备上，一连串数据马上跳了出来。“这些都是实时运行数据。我们还可以通过设备列表快速定位，查看备品备件数量、历史拆装信息、档案信息等，更能通过摄像头看到现场画面。”

据翟春霞介绍，“青电云”平台能打造出与现实电厂完全一致的全景画面，只需打开管理系统，便可以“遨游”现场，实时掌握电力运维情况。

记者走进青山电气“青电云”电力服务调控中心，技术人员正在登陆平台派发工单，为包头阿特斯阳光能源科技有限公司电力设施进行安全大检查。这间不足40平方米、“活力与实力”并存的小小调控中心，每天都完成着“护航百户企业、响起千次预警、调度万名电工、挽救无数损失”的任务。

据周健介绍，当前，构建清洁、低碳、安全、高效的能源体系，核心在于强化需求侧能源消费分析，发展能够支撑“源—网—荷—储”耦合互动的新一代智慧能源系统和相关技术尤为关键。青山电气“青电云”平台的开发，采用“1391”体系整体布局，即“1个主题、3个主要研究内容、9项关键技术、1个应用平台”，围绕未来能源需求特性辨识、场站/设备智能监测、能效优化管理三项内容开展相关研究，有效解决了需求侧行为特性分析难度大、精确度差、有效性低的问题，支撑了新型电力系统对需求侧设备实时状态监测和管控水平的高要求，为“双碳”背景下能源电力系统规划优化提供了科学依据。

“青电云”平台可实现24小时、360度无死角监控，并形成了三级报警模式，可通过预警及时发现事故隐患，延长设备使用寿命。此外，平台还能精准地告诉用户具体工作中的故障点，故障产生原因，让电力系统现有的工作更简洁、更精准。

目前，“青电云”平台已经成功实现技术成果转化，其服务范围涉及智能设备工程应用、智慧电力技术服务、智慧水务技术服务以及消防、大型工程、城市管理等诸多领域。

标准化流程形成强大运维能力

青山电气科研团队首席技术官彭巨告诉记者，目前，“青电云”平台可实现24小时、360度无死角监控，并形成了三级报警模式，可通过预警及时发现事故隐患，延长设备使用寿命。此外，平台还能精准地告诉用户具体工作中的故障点，故障产生原因，让电力系统现有的工作更简洁、更精准。

当技术不断实现突破，优质的服务便成为企业占领市场的有力根基。前不久，在包头市市场监督管理局的积极帮扶下，青山电气利用标准化手段将技术创新进行固化，制定出全套服务模式与质量要求标准，大幅提高了服务质量与效率，使得“青电云”平台的数据处理能力、运算能力、存储能力及可靠性要求达到国内先进水平，初步完成了物联网大趋势下的智能电气行业布局，并开辟了新的发展空间。

“我们正在从数字化设计出发，推动传统的单一电厂设计服务，向包含设计、施工、运维在内的多元、智慧电厂全生命周期拓展服务转变，为客户提供一站式综合服务。”周健告诉记者，目前，“青电云”已服务客户1000多家、网点1000余个，产生经济效益4亿余元。

新一代船用双燃料主机完工 可减少28%以上温室气体排放

科技日报讯 （何宝新 徐赵刚 记者王春）6月3日，由中国船舶集团旗下中船动力（集团）有限公司研制的全球首台新一代智能控制废气再循环（iCER）系统的双燃料主机7X62DF-2.1，在位于中国（上海）自由贸易区临港新片区的上海中船三井造船柴油机有限公司完工交付。该主机的研制成功，不仅丰富了我国双燃料主机的型谱，也标志着中国继拥有全球最大船用双燃料低速机X92DF之后，其在船用低速双燃料发动机研发制造领域保持新的优势，实现新的跨越。

该型双燃料主机，配置了中国船舶集团旗下WinGD公司研发的iCER系统，最大持续功率15400千瓦，将作为主推进装置安装在招商局金陵船厂（南京）有限公司为日本NYK船东建造的液化天然气（LNG）双燃料动力7000车汽车运输船（PCTC）上。

iCER系统的成功装机应用为进一步降低船用发动机温室气体排放，提供了新的实践和案例。其最大优势是，通过特定算法自动跟踪并动态调整空气和燃气比例，使气体模式下的甲烷逃逸降低50%，可减少28%以上温室气体排放。在当下绿色环保低碳的大趋势下，有望成为市场青睐的新型主机。

据了解，采用iCER系统的双燃料主机，其应用前景将更为广泛。不仅可安装于大型汽车运输船，还可安装在大型LNG运输船，超大型集装箱船等船型上。