

# 成套工艺加持，软土路基“强筋健骨”

## 热点透视

redian toushi

在近日举行的 2025 年度中国公路学会科学技术奖颁奖大会上，南京工业大学交通学院教授吴志坚领衔的南京工业大学团队，联合九家单位完成的“软土地区路基工程低碳化加固与智能监测关键技术及应用”项目，获得 2025 年度中国公路学会科技进步奖一等奖。

“当前，我国软土路基低碳化加固设计技术面临理论缺乏、绿色低碳处置技术匮乏、智能监测预警平台欠缺等难题。”吴志坚说，团队经过 15 年的攻关，建立了软土地区路基低碳化加固的理论、方法及其施工工艺与装备，创新了软土地区路基工程多功能全过程智能监测系统平台，并将成套技术应用于我国 26 项重大工程，累计新增产值近 65 亿元，利润超 3.3 亿元。

### 固变废路基骨架

走进如今的浙江省海宁市，只见一条条航道内，船舶往来如织，一片繁忙景象。两年前，这里新开通了京杭运河二通道海宁段，为货船新增了一条通畅便捷的水上大通道。

但开挖京杭运河二通道海宁段航道时，航道下深四五十米的软土一度令施工团队“头疼”：这种土含水率高，挖出后无法直接应用于工程。对此，传统方法一般是将其放置在堆场或由内河转运出海处理。与众不同的是，此次挖出的渣土经过特殊工艺处理后变废为宝，就地用于工程附近的道路和临建场地地基。将这些渣土“化腐朽为神奇”的，是吴志坚团队领衔开发的软土地区路基工程低碳化加固技术。

“在沿江滨湖临海地区，就地用于工程附近的道路和临建场地地基。将这些渣土“化腐朽为神奇”的，是吴志坚团队领衔开发的软土地区路基工程低碳化加固技术。



志坚说，软土的这些特性，对工程施工造成不小的挑战。

“在软土上修建公路铁路桥梁，就像在‘豆腐上筑路’，影响道路成形和工程质量。过去处理软土，要么花钱将其运走填埋，要么从外地拉来好土回填，这种‘一弃一采’的方式，使得每立方米软土的运输成本高达 250 元，还会引发扬尘、水体污染等次生环境问题。”吴志坚介绍，让软土变“坚强”，让施工过程绿色低碳，是团队攻关的核心目标。

经过多年探索，团队摸索出一种新方法，将冶炼渣、粉煤灰等工业固废和建筑固废作为原材料，以替代水泥、石灰，再以电石渣、工业废碱等作为激发剂，按照科学配比，研制出新型固废基绿色凝胶材料（以下简称“凝胶材料”）。

传统方法需用水泥、石灰加固浅表软土，这样的生产过程会产生大量二氧化碳。凝胶材料生产过程无需高温煅烧。每生产 1 吨凝胶材料比生产水泥减少 0.57 吨二氧化碳排放，降碳率达 92%，成本还

能降低四分之一以上。”吴志坚说。凝胶材料相当于软土固化的高性能“环保胶水”。需要加固浅表软土时，团队利用研发的高效解泥造浆装备，把软土切碎、研磨后，再掺入凝胶材料，就可以加固路基。

吴志坚说，经测算，这种“就地改造”技术让软土固化成本降至 40 元/立方米，比传统固化技术省 20%~40%，相较弃土转运更是节约 70%以上工程成本。

如果修普通公路，上述方法足以让软土变得“坚硬”，但若修建高速公路、铁路，还需用特殊工艺让软土的承载力更强，为此，团队设计出多种“桩”。

“我们在固化软土中，加入凝胶材料和发泡剂，制成像海绵一样的轻质填料，这便是轻质固化土桩。”成果共同完成人、东南大学教授邓永锋形象地介绍道，这好比给沉重的路基穿上了“泡棉鞋”，大大减轻了对软土地基的压迫，从而显著减少沉降。

数据显示，用这种方法做成的轻质固化土桩，比传统水泥土桩减少 50%附加应

力，竖向承载力却提升 38.3%，沉降量缩小 23%；而全固废负碳胶结性复合桩的水平承载力，更是比传统桩基提升 70%，就像给软土路基装上了“钢筋铁骨”。

### 工程有了智慧大脑

除了材料革新，项目另一大亮点是为工程建设装上了智慧大脑。以往，路基压实度、桩基质量好不好，往往难以实时精准感知。团队研发的基于全球场弹性波测试理论的检测装备，如同智慧大脑的透视眼，能给路基做 CT 扫描。“我们通过对软土加固区进行纵波、横波、面波的扫描，可监测路基的承载力。”成果共同完成人、上海交通大学副教授袁刚烈说，该设备能透视地下桩基的完整性，检测精度达到 5 毫米，是传统技术的 10 倍；勘测效率提升至 33 平方米/分钟，相当于 5 个人干以前 25 个人的活。

与此同时，团队还打造了多功能全过程智能监测平台。它如同智慧大脑的预警铃，可实时监控加固效果和施工运维风险。一旦出现异常，平台 30 秒内就能发出预警，较传统分钟级预警，反应速度提升一倍。

在杭州某重大航道开挖工程中，该平台敏锐“听”到了桥梁桩基位移的异常信号，成功发出预警，避免了可能发生的重大事故。平台还首次引入了碳汇动态计算，能够实时评估施工过程中碳减排成效，让“绿色施工”可测量、可报告。

该项目取得了可观的社会生态效益。运用该项目技术，在宁波地铁建设中，逾 360 万立方米流塑性工程渣土“变废为宝”，免于异地堆放污染；山东多条高速公路的废弃土方经技术处理后直接成为合格路基填料，节约成本超 70%。

吴志坚说，未来，他们将尝试向珠三角、东南沿海等软土集中区域推广技术，助力更多交通工程施工向“低碳+智能”方向迈进。

金凤

## 加快场景培育和开放新政出台

# 打造技术与制度创新的“试验场”

## 政策解读

zhengce jiedu

日前，国务院办公厅印发《关于加快场景培育和开放推动新场景大规模应用的实施意见》（以下简称《实施意见》），聚焦打造一批新领域新赛道应用场景、产业转型升级的新业态应用场、行业领域应用场景、社会治理服务综合性应用场景以及民生领域应用场景。尹西明认为，这一全面布局通过为新兴产业提供早期应用场景和初始市场，有效助力技术创新跨越“死亡之谷”，加速实现“从 1 到 N”的产业化发展。

### 新场景成为培育新质生产力的引擎

“《实施意见》的出台标志着场景已成为继土地、资本、技术、人才、数据之后，驱动生产力发展的新型关键要素。”北京理工大学国际组织创新学院公共管理系主任尹西明认为，在新时代高质量发展征程中，加快场景培育和开放，推动新场景大规模应用，已成为释放我国超大规模市场优势、培育发展新质生产力的战略引擎。

传统技术创新遵循“先研发、后转化”的线性模式，存在技术供给与市场需求难以有效衔接的结构性矛盾，大量前沿技术被困在实验室阶段，难以实现产业化应用。“《实施意见》旨在突破这一桎梏，以终为始，强调以真实、紧迫的市场需求和综合、具体的应用场景为起点，反向牵引技术方案优化和迭代，形成‘场景涌现需求、需求牵引创新、创新赋能场景’的良性循

环。”尹西明说。

《实施意见》系统性地提出了五大方面 22 类场景培育和开放重点领域，涵盖新领域新赛道应用场景、产业转型升级的新业态应用场、行业领域应用场景、社会治理服务综合性应用场景以及民生领域应用场景。尹西明认为，这一全面布局通过为新兴产业提供早期应用场景和初始市场，有效助力技术创新跨越“死亡之谷”，加速实现“从 1 到 N”的产业化发展。

国家发展和改革委员会创新驱动发展中心主任霍福鹏表示，这一全面布局重点体现了以下特征：一是坚持战略引领，服务国家发展核心利益；二是突出技术通用性与融合性，催生“裂变”与“聚变”效应；三是注重产业带动性与集群性，塑造长期竞争优势。

不仅是技术创新的“试验场”，尹西明特别提到，场景本身也是制度创新的“试金石”。《实施意见》提出要“发挥场景对制度建设的试验作用”，重视发挥场景在各类改革试点中验证制度政策、管理规则、监管体系等方面的作用，通过场景培育和开放与验证，支持制度设计水平提升，推动健全完善相关法律法规。“这为平衡创新与监管提供了重要途径，能够为新兴产业和未来产业发展创造更加包容审慎的监管环境，有效降低制度性交易成本，提高要素资源配置效率，为新质生产力发展创造更加优越的制度环境。”他说。

### 需建立高效的“技术—场景”交互机制

尹西明认为，推动新场景大规模落地发展，建立高效的“技术—场景”交互机制

必不可少，这种交互可通过以下机制实现。

一是建立场景清单发布机制。各地方各有关部门应结合实际，分批次推出应用场景项目清单，围绕建设综合性重大场景、组织实施若干重大项目。

二是构建场景化研发与技术场景化转化的双重路径。场景化研发的核心在于驱动新技术新产品与新场景的精准匹配，通过整合用户行为、行业数据等构建需求预测模型，识别潜在需求，并不断推动模型迭代优化。技术场景化转化则是针对场景需求调整技术参数、升级系统架构等，提升技术适配能力，从而提高创新效率。

三是积极打造测试认证与中试熟化平台。这些平台作为“技术—场景”交互的关键基础设施，能够为新技术新产品提供真实环境下的测试验证机会，降低创新风险与成本，加速技术迭代和成熟。

四是要多元主体协同，资源整合共享。国有企业特别是中央企业应主动开放主业领域场景，吸引民营企业、中小企业和科研院所参与，强化场景开放协同共享。这种场景创新的生态协同机制，是新场景有效推动产业转型升级和新质生产力发展的关键所在。

尹西明认为，在实际操作中，要明确各类主体在新技术新产品新场景大规模应用示范中的功能定位。科技领军企业和中央企业应发挥创新引领作用，带动产业链上下游协同创新；科技先锋企业和民营企业应发挥其创新灵活性和市场敏感度优势，主动发掘市场需求，探索拓展新场景；科研院所和高校应发挥技术研发和人才培养优势，提供前沿技术支持和创新源头供给；政府则应发挥统筹协调和政策引

导作用，营造良好创新生态。

### 加强场景全生命周期管理

推动新场景大规模落地发展，除了要建立高效的“技术—场景”交互机制外，还需构建涵盖场景挖掘、培育、验证及推广的全生命周期管理模式，确保其可持续发展。基于此要求，尹西明提出场景全生命周期管理应重点关注以下环节。

一是场景挖掘与策划。各地及有关部门应立足本地资源禀赋与产业特色，深入挖掘场景资源，因地制宜培育早期场景，并开放地方综合性特色场景。“在此过程中，需注重发挥高价值、小切口场景的示范引领作用。”尹西明表示，此类场景虽切入点小，但示范价值高，易于取得突破性进展。

二是场景培育与验证。针对数字经济、人工智能、生物科技等前沿领域，可探索设立“监管沙盒”，允许在风险可控前提下开展产品测试、商业模拟与压力测试，并建立容错、纠错及退出机制。同时，应加强场景成果的测试认证与标准建设，完善新场景安全风险管控措施，确保场景内部风险可控。

三是场景推广与规模化发展。经验证成功的场景成果，应及时总结经验并加强宣传推广，通过分批发布应用场景项目清单、组织重大场景建设项目等方式，推动场景的大规模应用。“在此过程中，应充分发挥铁路、水利、能源等领域重大项目及运动会、博览会等重大活动对场景培育与开放的牵引作用。”尹西明认为，类似以点带面的推广机制，有助于促进成功场景模式的复制与扩散，实现场景标杆示范的规模化带动效应。

郝苌

## 创新杂谈

chuangxin zatan

全程没有遥控器，搭载着“慧思开物”大小脑的“天工”，精准识别观众、展品与障碍物，实现讲解导览全流程独立运作——近日，全国首个由人形机器人全自主导览的展厅在北京人形机器人创新中心亮相，“天工”的表现令人惊艳。

“扔掉遥控器”，意味着机器人不再需要现场“借用”人类大脑完成环境感知、路径规划，辅助进行动态平衡控制，而是可以靠自身完成“感知—决策—执行”闭环。“天工”的加速进化，正是北京机器人产业蓬勃发展的缩影。十年前，初代搬运机器人遇到障碍物会急停，如今“天铁 2.0”可在高度复杂的物料整理任务中实现“全自主”；十年前，单台单机还是“走 10 步摔 3 次”，如今它们排队行走时队列整齐划一……总体而言，北京机器人的技能点越来越丰富，发挥越来越稳定。

数据显示，北京人形机器人产业规模约占全国 1/3，机器人专精特新“小巨人”企业数量居全国首位，今年上半年产业营收增长近 40%。北京已成为全国领先的机器人技术创新和产业聚集地。那么，是什么让机器人在北京跑出了加速度？

机器人跑得快，首先得益于政策“推得快”。在支持和推动机器人产业发展上，北京高度重视，见事早、行动快，自 2019 年起，连续出台两轮三年行动计划，全力建设全球机器人技术创新策源地、应用示范高地和高端产业的集聚区。近两年间，《关于推动中关村加快建设世界领先科技园区的若干政策措施》《北京市身智能科技创新与产业培育行动计划（2025—2027 年）》等接续出台。夯实算力、数据等“地基”，搭建创新培育平台，一系列政策环环相扣，为机器人行业持续赋能。

有资料显示，科研创新成功率仅有 10% 左右。创新创业，失败乃是常态。可喜的是，各种展会上，比赛中，机器人摔倒，现场没有传来嘘声，而是响起鼓励的掌声……宽容失败，鼓励勇敢探索，这种社会氛围也为机器人产业的发展增添了动力。

作为发展新质生产力的重要驱动力量，人形机器人产业的发展是一场认知与耐力的比拼。如何让产业从降低成本向创造价值升级，如何回应更多更复杂的场景需求，一系列问题有待继续探索。凭借产业优势，加速技术突破，一座人与机器人协同共进的全球机器人应用标杆城市，必将在不远的未来与我们相拥。

短短几年，机器人带给了我们太多惊喜。可以预见，未来它们还将秀出更多绝活儿。播下创新的种子，大胆设想，耐心攻关、细心呵护，孕育的不仅是更先进的生产力，更是幸福生活的无限想象空间。

## 技术赋能 科特派盘活高原菌菇产业

临近冬至时节，走进青海省海南州兴海县最大的日光温室基地，泥土与菌类的特有清香扑面而来。平菇像一把把撑开的小伞，菌盖肥厚、圆润；香菇像褐色的小精灵，星星点点从菌棒里钻出来……

兴海县位于三江源国家级自然保护区，当地产业以牧为主，农牧结合。2022 年以来，该县 001 号科技特派员工作站扎根此间，建立示范基地、开展技术培训，攻克高原食用菌栽培难关。不过，初到此地时，他们面对的是一堆“烂摊子”。

2022 年，兴海县 001 号科技特派员工作站站长、青海省农林科学院土壤肥料研究所副所长李松龄带领工作站成员下田、访农户，兴海县唐乃亥乡 72 个日光温室成为他们的主战场。然而，李松龄和工作站成员一一摸排“家底”后发现，72 个日光温室几近废弃，一些日光温室即便仍在种植，也只是零散种植韭菜、黄瓜、西红柿，难以发挥规模经济效益。

如何盘活兴海县最大的日光温室？化险为夷、实验、试种及进行适应性评价后，李松龄团队锚定食用菌产业。

羊肚菌享有“菌中之王”美誉，出菇期时，喜凉不喜热，温度需控制在 16—18 摄氏度。“在青海种植羊肚菌，有天然优势。青海夏季即便烈日当空，但只要遮阴、通风，日光室内也能确保较低温度。”李松龄说，“外地 3 月开始采摘羊肚菌，至 5 月基本结束。我们越夏栽培，5 月下旬开始采摘，刚好打了时间差。”

2023 年，日光温室长出了羊肚菌，却没形成产量。“羊肚菌难伺候，要适时调控温湿度，才能高产。”李松龄说。他带领团队一遍遍细抠技术要领，2024 年，日光温室的羊肚菌终于大获丰收。“经过专业测产，头茬能采摘 1100 多斤，二茬采摘 200 斤，每亩地 1300 斤的产量，创造了羊肚菌在青海高海拔地区的高产纪录。”李松龄说，羊肚菌鲜货每斤批发价为 60—80 元。

除了羊肚菌，平菇、香菇、鸡腿菇、双孢菇也丰盈了高原“菜篮子”。

2023 年，当地首次在日光温室种植平菇。因当地缺乏设施设备，李松龄带领团队在青海大学的实验基地内制作了 3000 个菌棒。然而，学校距离兴海县近 300 公里，夏天菌棒摆在一起，发热后菌丝就会烧死。于是，李松龄动员师生动手装车，在太阳下山后，连夜运输，确保菌棒天亮之前运抵兴海县。

团队的精心呵护没有白费。“价格美死啦。”操着青海口音的李松龄高兴地说，“立秋前后，南方是秋老虎，青海气候凉爽，采摘的平菇品质、产量不赖，病害少，效益很可观。”

为助力当地食用菌产业发展，李松龄四处搜罗灭菌锅、接种箱、拌料机。工作站还掏出 2 万元科技特派员经费，在当地盖了一间简易的无菌操作间。2024 年 7 月，青海省食用菌研发中心在青海大学挂牌。作为中心主任，李松龄说：“我们首先要对自己的技术有把握，技术可靠、操作可行，才能示范给农户。不能直接把风险往下转移，技术不成熟，会害了一批人。”

如今，兴海县政府投资百万元添置设备，食用菌产业所需的装袋机、锅炉等一应俱全，可谓“鸟枪换大炮”。今年，当地还投入资金对 40 个日光温室进行改造，为食用菌产业保驾护航。

青海省科技厅农村科技处处长苗希春介绍，2025 年，青海在 40 个涉农县（市、区）选派 1000 名科技特派员、布局建立 108 个科技特派员工作站，以特色产业技术创新为主线，加速农牧业实用科技成果转化，打造区域创新增长点，助农业增效益，农民增收收入、农村增活力。

张添福

## “产学研”融合绘就乡村振兴新画卷

（上接 A1 版）除了技术指导，科协还为创新站搭建了“专家资源库”，根据农业科技趋势引荐不同领域的专家。“去年跟着科协去参加全省农业技术交流会，我第一次接触到‘智慧农业’的理念。”李超说，回来后他立刻调整了项目规划，在组培室加装了智能温控和湿度监测系统，“现在种苗的一致性提高了 20%，人工成本还降了不少。”不仅如此，科协工作人员还会定

期上门解读政策，从“山西省农业科技成果转化专项资金申报”到“吕梁市人才引进补贴”，手把手指导准备材料。“去年我们成功申报专项资金，用来更新组培设备，这些支持让我们能更专心搞研发、做转化。”李超说。

如今，创新站的成果已逐步显现。在组培室的展示板上，一组数据格外亮眼：马铃薯脱毒种苗成活率从最初的 80%提升

至 98%，百合脱毒组培周期缩短了 10 天，2025 年的繁育计划——3.5 万瓶马铃薯脱毒种苗、15 亩脱毒原原种、300 亩脱毒原种，正按进度稳步推进。而“植物基因工厂：脱毒种苗+科普研学双引擎计划”，还荣获了山西省农业农村领域“五小”创新创业活动优秀成果一等奖。

谈及未来，李超憧憬道：“接下来，我们要借着乡村振兴的东风，推动脱毒种苗

种植与农产品加工、乡村旅游融合，走出一条科技支撑的现代农业路。”周鹏则计划引入更多博士人才，扩大研究领域：“下一步我们想攻克百合种球国产化技术，让农民能用上更便宜、更优质的种球。”高彩利也有自己的小目标：“希望能把‘脱毒种苗+科普研学’模式做得更好，让它成为吕梁农业的一张名片，让更多人看到科技给农业带来的变化。”