

## 被动维修变为主动防范

## 深中大桥用上2万吨防腐钢筋

◎洪恒飞 高晓静 本报记者 江耘

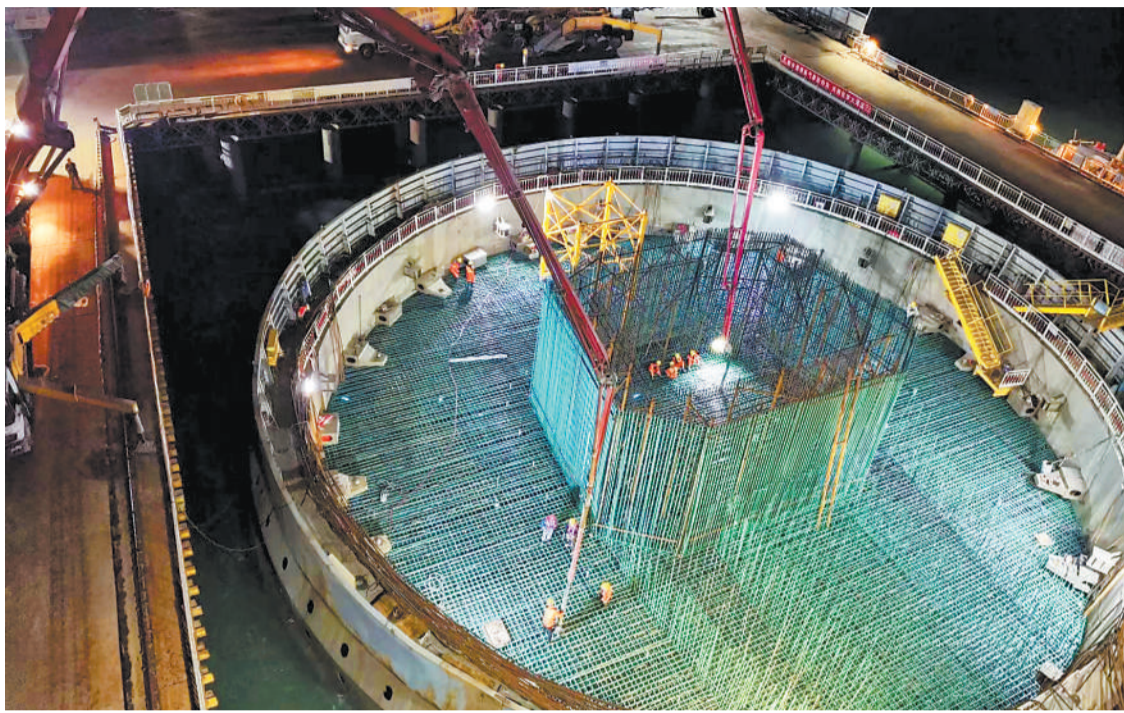
一桥飞架，跨越伶仃。近日，深圳至中山跨江通道(以下简称“深中通道”)通车试运营。

作为粤港澳大湾区核心枢纽工程，深中通道集“桥、岛、隧、水下互通”于一体，全长约24公里。深中通道管理中心总工程师宋神友介绍，深中通道是我国推进“平安百年品质工程”的示范工程。

台风频发、高温高盐、海底情况复杂……深中通道面临着苛刻的服役环境。为此，工程建设人员集成应用一批创新技术，为深中通道顺利建设保驾护航。

其中，由中国工程院院士薛群基和中国科学院宁波材料技术与工程研究所研究员王立平领衔的科研团队，联合宁波科鑫腐蚀控制工程有限公司研制的二维纳米材料增强高耐久性熔融合环氧涂层钢筋技术，在深中通道首次应用。

联合团队成员、中国科学院宁波材料技术与工程研究所研究员赵文杰介绍，深中大桥是深中通道关键控制性工程之一。大桥的承台和墩身结构使用了2万吨经二维纳米材料增强熔融合环氧涂层加工的钢筋。这种钢筋将传统的被动维修改变为主动防范，可有效抵抗海水、酸雨、化学品以及混凝土助剂对钢筋的腐蚀，使用寿命大大延长。



深中大桥施工现场，混凝土浇筑环氧涂层钢筋。 宁波科鑫腐蚀控制工程有限公司供图

部损坏。根据实际需要，钢筋还会被加工成不同的造型，弯折处的环氧涂层容易开裂。

涂层与基材之间的结合强度，即涂层附着力，直接影响涂层的使用寿命和性能表现。涂料的配方和成分直接影响涂层结合强度。但在材料学领域，高强度和高韧性通常难以兼顾。

徐旭锋说，涂层要防止磕碰损伤，需要厚一些，从而增加强度。但单纯增加涂层厚度的话，它在弯折时容易开裂。

## 特殊结构令腐蚀介质“放慢脚步”

此次应用于深中大桥的二维纳米材料增强高耐久性熔融合环氧涂层钢筋技术，有何奥妙？针对深中大桥的施工需要，中国科学院宁波材料技术与工程研究所与宁波科鑫腐蚀控制工程有限公司的科研人员，在环氧树脂粉末中添加了以石墨烯为代表的二维纳米材料，研制出二维纳米材料增强熔融合环氧涂层。多次调整测试显示，涂层各项指标达到预期效果。

“二维片层结构的纳米材料起到‘迷宫’的作用。”赵文杰介绍，这种涂层附着在钢筋上后，二维纳

米材料会发挥优异的阻隔特性，大幅降低腐蚀介质在涂层中的渗透扩散速率，使腐蚀介质难以接触金属表面。它与环氧树脂协同，使钢筋获得优异的耐腐蚀功能。

记者了解到，相比常规的环氧涂层钢筋，深中大桥此次用到的防腐钢筋，环氧涂层厚度增加了50%。赵文杰介绍，传统环氧涂层的涂层结合强度通常在10兆帕以下。经过测试，联合团队研制的这款环氧涂层，结合强度能达到50兆帕以上，同时具有干缩小、延性大以及可弯性强等优点。

赵文杰说，此次研发的涂层材料，在抗冲击、耐弯曲、硬度、耐磨、附着力、阴极剥离、光泽和边角覆盖等技术指标方面具有巨大的优势，未来可广泛应用于深潜器、海上风电、油气钻采平台、输气管道、工程机械等在苛刻环境下服役的装备和设施。

值得一提的是，虽然环氧涂层配方有所调整，需要对二维纳米材料进行表面化学改性，但这批防腐钢筋基本上仍然按照传统环氧涂层钢筋的工艺流程制作，制作成本增幅并不大。

“单纯就环氧涂层进行改进的空间越来越小。从复合涂层的角度，对钢筋进行防腐处理，选择会更多。”徐旭锋透露，围绕这一方向，他们正与中国科学院宁波材料技术与工程研究所联合研制一款金属锌与环氧涂层结合的复合涂层，让钢筋在遭到磕碰后自行修复。修复后，钢筋表层仍有环氧涂层保护。

高到650摄氏度，其富集程度与碳酸岩成矿流体中稀土的含量完全吻合，从而揭示了碳酸钠是碳酸岩中控制稀土迁移与富集的关键因素。

实验解释了为什么在一些碳酸岩中，稀土主要结晶为黄铁矿，而在另一些碳酸岩中，稀土却大量结晶成氟碳铈矿并和霓石、钠铁闪石等碱性硅酸盐矿物共生。此外，实验进一步证实了中低温热液不能大量迁移和富集稀土，但是会造成黄铁矿等原生稀土矿物发生蚀变，并形成次生氟碳铈矿、碳铈矿等，从而改变稀土矿化结果并影响人们对稀土成矿条件的判断。

管控，使运营项目实现少人值守。”中国铁工投资建设集团党委副书记、工会主席福兵说。

供水智慧水务平台方面，中国铁工于2020年在宁夏银川投资3000多万元建设了供水智慧水务运行平台，涉及取水、输水、制水、供水、客服全业务链。年福兵介绍，该平台采用自控信息和物联网技术，可对取水、蓄水、制水及配水进行统计、分析，对异常情况及时预警。

专家认为，水务运营项目具有服务范围广、工况复杂多变、设备数量众多、生产信息量大等特点，运营工艺需时刻根据水质进行调整，环节多、难度大，标准化运营体系建设是水务环保类项目的立身之本。中国铁工通过建设智慧水务管理系统，在标准化管理、精细化控制、智慧化运营方面不断探索和实践，树立一批典型项目，为我国智慧水务行业发展提供了有益借鉴。

## 成果播报

## 超精密主动减振器走向产业化

科技日报讯(记者吴纯新 通讯员高翔)记者7月13日获悉，华中科技大学与光谷科创企业——武汉格蓝若智能技术股份有限公司近日签署成果转化合作协议，由后者出资8000万元，对华中科技大学陈学东院士团队超精密主动减振技术进行产业化转化。

中国工程院院士陈学东团队20年磨一剑，创新性地研发出准零刚度、频变阻尼、协同控制等超精密主动减振核心技术，突破降频率与保承载、减共振与抑高频、减振动与稳位姿三大技术难点，解决了高性能主动减振关键核心技术难题。该团队先后荣获国家技术发明奖二等奖2次、国家科技进步奖二等奖1次。

作为高端制造装备、精密仪器设备的核心功能部件，该产品不仅可以有效隔离外部振动，还能通过实时采集振动信息，基于先进的控制策略生成多维振动控制信号，精准抑制各种内外扰动导致的合体振动，让被减振部件达到接近“绝对静止”的状态。

在双方通力合作下，专门承接此技术成果的武汉格蓝若精密技术有限公司于6月25日挂牌成立。基于前期合作研发成果，该公司集中推出超精密型、抗冲击型、适用真空型等20余款超精密主动减振器。减振支撑形式包括空气弹簧、金属弹簧、磁浮弹簧、复合弹簧等，可以满足从公斤级到数十吨级设备的高性能减振需求。

## 赤铁矿基人工湿地可高效去除抗生素

科技日报讯(记者马爱平)记者7月12日从中国农业科学院获悉，该院农田灌溉研究所非常规水资源安全利用团队研究发现，赤铁矿基人工湿地可有效去除磺胺类抗生素。相关成果日前发表在《国际期刊《危险材料杂志》》上。

人工湿地可进一步净化污水处理厂再生水，但对磺胺类抗生素净化率相对不高。这制约了区域再生水循环利用。已有研究表明，铁基基体可去除有机污染物，故自然界中价廉易得的赤铁矿在人工湿地去除抗生素方面有较大应用前景。

为此，科研人员开展了赤铁矿基人工湿地模拟试验，以磺胺甲恶唑为典型磺胺类抗生素，利用材料表征、宏基因组测序等手段解析赤铁矿基体与磺胺甲恶唑之间的作用机制。试验结

果表明，赤铁矿基湿地主要通过基体吸附、植物吸收及微生物降解等途径去除磺胺甲恶唑。进一步研究表明，当磺胺甲恶唑初始浓度较低时，赤铁矿基体生物利用度导致磺胺甲恶唑主要被吸附去除，而不是被微生物降解，基体吸附贡献率达到了37.8%。

论文第一作者、中国农业科学院农田灌溉研究所助理研究员崔二革介绍，随着磺胺甲恶唑初始浓度增加，赤铁矿通过微生物附着及电子传递提高了人工湿地微生物多样性和磺胺甲恶唑降解菌丰度，此时微生物降解成为主导去除方式，贡献率达到了67.0%。此外，磺胺甲恶唑初始浓度增加，并没有增加高风险抗生素抗性基因的累积。这表明用赤铁矿基去除人工湿地磺胺甲恶唑，不会增加潜在生态风险。

## 新型安全管控系统精准监测作业环境

科技日报讯(记者孙越 通讯员陈草原 曹卉)近日，在10千伏不停电作业工作现场，国网南阳供电公司工作人员正在利用实时数据调用存储、手机App画面展示、数据分析等方式，快速实时采集现场环境数据及人的身体健康指标数据，实现对线路不停电作业的精细化安全管理。

该成果是国网南阳供电公司凭借对科研的深入探索和持续创新，成功研发出的配电网不停电作业综合感知安全管控系统。此系统集成了先进的传感器技术，在实现对作业现场环境和作业人员状态实时、精准监测的同时，显著提升了作业安全性和效率。据统计，不停电作业综合感知安全管控系统投入使用后，作业事故率降低了65%，作业效率提升了43.7%，保障了该公司的安全生产和效益增长。

“与传统作业方法相比，国网南阳

供电公司的科技创新成果在性能、效率和安全性等方面均展现出了显著优势。”该公司相关负责人介绍，“特别是智能窃电分析仪，大幅提升了窃电行为的检测效率和准确性，使窃电率下降了55.2%，为公司挽回了大量经济损失。这些科技创新成果，不仅增强了企业的市场竞争力，也提高了供电可靠性和客户满意度。”

据悉，国网南阳供电公司注重将科技创新成果转化为实际生产力，并积极对这些成果进行推广。通过举办技术交流会、培训班等形式，该公司向行业内其他企业展示了其科技创新成果，并分享了相关技术和经验。同时，该公司积极与高校、科研机构等合作，共同推动电力行业的科技进步。据统计，通过应用综合感知安全管控系统和智能窃电分析仪等创新技术，公司每年可节约运维成本约84.9万元。

最大型号超长运距智能刮板  
输送装备联合试运转成功

科技日报讯(记者孙明源)7月10日，中国中煤能源集团张家口煤矿机械有限公司(以下简称“张煤机公司”)研发的世界首台套8兆瓦超长运距智能刮板输送装备在张家口联合试运转成功。该装备是满足采高3米以上煤层一次采全高的SGZ1400/8000型刮板输送设备，生产能力为6000—8000吨每小时，输送长度为400—600米，全生命周期整机预计寿命为6000万吨以上，满足了特厚煤层一次采全高年产2000万吨工作面配套需要。

张煤机公司总工程师胡登高介绍，8兆瓦超长运距智能刮板输送装备是目前行业最大型号规格产品，在智能变频永磁驱动技术应用方面实现巨大突破，兼顾了设备运输能力及节能低碳使用要求。

据了解，该设备配套关键部件均由张煤机公司自主研发设计，整机实现国产化研发制造，使用性能、可靠性、智能化程度均达到领先水平，下一步可进入井下工业性试验阶段。



图为世界首台套8兆瓦超长运距智能刮板输送装备。 本报记者 孙明源摄

常规涂层材料难以  
兼顾强度与韧性

由于钢筋混凝土中存在缝隙或空隙，海工设施在服役过程中会受到盐水或酸雨等侵蚀，引起钢筋锈蚀。锈蚀产生的氧化铁皮让钢筋的体积膨胀，久而久之导致混凝土开裂、保护层剥落，腐蚀和性能劣化速度加快。

“目前建筑施工中，主要采用两种防腐钢筋：不锈钢钢筋和环氧涂层钢筋。”宁波科鑫腐蚀控制工程有限公司副总经理、高级工程师徐旭锋介绍，环氧涂层钢筋的制作过程是将除锈后的钢筋加热到200摄氏度，喷上基于环氧树脂制作的粉末，待经粉末熔融、固化后即可成型。环氧涂层钢筋表面涂层厚度是150—220微米。

徐旭锋告诉记者，不锈钢钢筋成本偏高，每吨价格35000元左右。环氧涂层钢筋的制作成本在每吨2000元左右，算上原有的钢筋价格，每吨价格3500元左右。相对来说，环氧涂层钢筋制作工艺简单，性价比

高。在施工过程中，由于运输不规范、工人操作不当等原因，环氧涂层钢筋表面免不了磕碰，造成涂层局

## 我科研团队实验揭示——

## 碳酸钠是控制稀土迁移与富集关键因素

科技日报讯(记者操秀英)记者近日从自然资源部深地科学与探测技术实验室召开的学术报告会上获悉，通过高温高压实验模拟，由该实验室袁学银、杨志明等组成的成矿系统研究团队揭示了碳酸岩中稀土元素的富集与成矿机理，为稀土找矿工作提供重要理论支撑。研究成果近期发表于国际综合性学术期刊《科学进展》。

稀土元素是元素周期表中镧系元素和钪、钇共17种元素的总称。该研究第一完成人、自然资源部深地科学与探测技术实验室成员、中国地质科学院矿产资源研究所副研究员袁学银

介绍道，碳酸岩是一种富含碳酸盐矿物的特殊岩浆岩。它尽管数量稀少，却为全世界提供了超过一半的稀土资源。世界上著名的稀土矿床都属于碳酸岩型矿床。碳酸岩的成分和性质都非常独特，关于碳酸岩中稀土元素是如何富集并成矿的，长期以来一直是国内外矿床学领域的研究热点。

大量地质证据表明，在碳酸岩中，稀土元素主要结晶为氟碳铈矿、黄铁矿和独居石等矿物，并且矿体中普遍发育富含碱金属(钠和钾)、硫酸根、碳酸根和卤素离子(氟和氯)的熔体包裹体。这些包裹体所代表的高

盐度、具有复杂成分的熔体是稀土迁移和富集的关键载体。“但是熔体中哪一种(或几种)组分是控制稀土迁移和富集的关键因素，氟碳铈矿、黄铁矿等稀土矿物又是在什么条件下从熔体中结晶的?这些问题目前并不清楚。”袁学银说。

为了解决上述关键问题，研究团队通过结合热液金刚石压腔和激光拉曼光谱实验技术，对不同稀土矿物在碳酸盐熔体中的溶解和结晶过程开展深入研究。实验结果显示，当温度超过450摄氏度时，稀土在富钠的碳酸盐熔体中开始大量富集；当温度升

高到650摄氏度，其富集程度与碳酸岩成矿流体中稀土的含量完全吻合，从而揭示了碳酸钠是碳酸岩中控制稀土迁移与富集的关键因素。

实验解释了为什么在一些碳酸岩中，稀土主要结晶为黄铁矿，而在另一些碳酸岩中，稀土却大量结晶成氟碳铈矿并和霓石、钠铁闪石等碱性硅酸盐矿物共生。此外，实验进一步证实了中低温热液不能大量迁移和富集稀土，但是会造成黄铁矿等原生稀土矿物发生蚀变，并形成次生氟碳铈矿、碳铈矿等，从而改变稀土矿化结果并影响人们对稀土成矿条件的判断。

## 智慧平台提升水务精细化管理水平

◎本报记者 矫阳 薛岩

实时监测水质状态，自动识别水管缺陷，全景仿真处理工艺……如今，水务系统的智能化程度不断提高。近日，记者走进四川省成都市都江堰蒲阳污水处理厂的中控室，一块电子大屏映入眼帘，上面显示着各厂区重要区域的实时画面、运行情况和相关数据等。

水务行业是支撑社会经济和城镇化健康发展的重要行业，是保障居民生产生活的基础性行业。根据《城镇水务2035年行业发展规划纲要》发展目标，到2035年，安全、便民、高效、绿色、经济、智慧现代化城镇水务体系将基本建成。

作为世界灌溉遗产，都江堰承担着农业灌溉、城乡供水、水产养殖、防洪、发电、旅游等多目标综合服务任务。近年来，四川省、都江堰市陆续出

台了系列政策，指导智慧供排水项目建设，推动供排水管理效率、质量和水平全方位提升。

“为解决都江堰市供水、污水体系运行维护管理的实际需求，我们建设了17座污水处理厂和131座农村污水处理站，铺设427.24公里污水管网，提升了都江堰市供水、污水体系运维信息化管理水平，实现了智慧化运营管理。”都江堰市生态环境治理有限公司总经理王小波介绍，都江堰市供排水系统提升项目将继续投资7600万元完善供排水智能监管平台，包括供水管网智能监测系统、排水管网智能监测系统、视频监控系统等。

供排水智能监管平台有助于保障企业安全生产。王小波说，依托监管平台，通过实时监控和数据分析，企业可以及时发现并解决潜在的安全隐患，确保供排水系统的安全稳定运行。尤其是发生突发事件时，平台还

能迅速启动应急预案，为应急处理提供决策支持，确保人民群众的生命财产安全。

该项目由中国铁工投资建设集团(以下简称“中国铁工”)建设，综合运用GIS、数字孪生等技术手段，全景仿真自来水厂、污水处理厂的各项工艺流程，实现自来水生产、污水处理工艺全流程的三维可视化展示。在此基础上，项目集成水厂自动化控制系统，实现水处理工艺全流程的自动化运行，有效提高了工厂的精细化管理水平，保障水厂安全高效运转。

当前，智慧水务管理系统一般由供水板块和污水板块构成。中国铁工近几年来不断探索，在两大板块的智能化管理方面打出了一套“组合拳”。

污水智慧水务平台方面，中国铁工开发出一套管理系统，由11个功能模块、1个手机应用客户端以及1个微信公众账号组成。“这一平台能大幅提升项目管理效能，通过信息化、智慧化