



科技点亮生活 创新改变未来

同济大学解决地铁隧道穿越敏感建构筑物关键技术

盾构装上“透视眼” 智能预警防塌陷

图东方IC

目前越来越多的城市开始修建地铁，盾构机是地铁施工中最主要的施工设备。但是，盾构施工会引起土体沉降，在穿越老旧居民楼、运营地铁隧道、电力隧道等敏感建构筑物时，会造成既有建构筑物变形开裂。如何能提前感知并有效控制可能出现的沉降？同济大学土木工程学院谢雄耀教授团队成功研发了“深埋近距离地铁隧道穿越敏感建构筑物关键技术及装备”，为解决这一难题提供了创新方案，就像是给盾构机装上了一双“透视眼”。该成果亮相于本周开幕的中国国际工业博览会后，一定会相当“弹眼落睛”。



科创新探索

■ 第二代产品在济南地铁中的应用 图片由采访对象提供 ■ 产品在超大直径盾构隧道——上海北横通道中的应用

思路

从地层损失率控制入手

盾构，如同一只巨大的穿山甲，它在城市地下挖掘土方、运送渣土、整体推进并安装管片，从而完成地铁隧道的“毛坯房”建造。谢雄耀教授介绍，随着我国城市规模不断扩大，对互联互通需求进一步增强，亟需建设大量的大体量通道工程，盾构隧道迎来快速发展。城市核心区地下空间开发、密集建构筑物、复杂地质环境，使得盾构在近距离穿越敏感建构筑物时，易发生开挖面失稳、邻近建构筑物沉降过大、开裂甚至垮塌的安全事故，因此，对隧道穿越所产生的沉降进行有效控制非常关键。

由于穿越市中心时引起的开裂纠纷成本非常高，通常希望沉降最小甚至没有，那么如何实现这一点呢？研究团队从地层损失率控制入手，在机理、技术、装备、平台四个方面实现了地层损失预测、微扰动施工控制、注浆实时感知、沉降协

同管控的实质性创新，提出了“在沉降发生前感知并控制”的理念，形成了盾构施工的微沉降智能预警方法与技术，解决了盾构隧道近距离安全高效穿越敏感建构筑物的关键技术难题。

施工

准确判断同步注浆情况

“盾构隧道施工中，沉降发生的主要原因在于盾构机开挖形成的直径大于拼装好的管片直径，这个空隙是通过盾尾壁后注浆进行填充的。在施工中，我们只能控制注浆的压力和注浆总量，至于浆液注入到管片背后发生了什么、如何分布，现有的手段是看不到的。如果注入的浆液不能充满盾尾的空隙，会导致盾尾上方的土体发生沉降，传递到地表敏感建构筑物，就会引起房屋变形开裂等。”谢教授说，“我们团队提出的方法，是通过雷达来解决这个问题，雷达天线发射的电磁波穿透过管片，经浆液和土体反射回来，这两

者的反射信号存在明显的差异，通过找出这种差异，就能分辨出管片与土体间浆液的分布情况。这就如同在盾构机上安装了一双‘眼睛’，而且是能‘透视的眼睛’”。为了能够更加快速准确地判断同步注浆的情况，他们团队开发了一种车架随行式壁后注浆检测装备，该装备能够在两分钟内自动完成壁后注浆情况的检测，如果发现注浆不饱满，就可以在沉降发生前及时安排二次补注浆。

领先

摸清地层沉降发展规律

这一技术的实现依赖于四个方面的创新。一是在沉降发生的机理方面开展了大量的模型试验和数值仿真，摸清了盾构穿越不同类型建构筑物的地层损失情况和沉降发展规律。二是在沉降控制手段方面积累了丰富的工程经验，提出了新的注浆浆液配比。三是发明了车架随行式盾构壁后注浆雷达实时检测装

备，“透过”管片“看到”实际的注浆情况，能够在沉降发生前二次补浆。四是在盾构施工信息联动交流方面开发了一系列软件平台，打破了现有施工过程中地面和地下沟通不畅的壁垒，使得项目管理人员、工程师、业主等随时随地掌握盾构施工情况。

目前，该成果已成功应用于上海地铁、南宁地铁、济南地铁、上海长江隧道、北横通道等国内标志性工程以及莫斯科地铁三号线等国际工程中，实现了穿越老旧居民楼、铁路股道、火车站站房、运营地铁隧道、机场跑道、电力隧道及建筑物桩基等敏感建构筑物，沉降均控制10毫米以内，产生直接经济效益12.59亿元。该成果申请专利40项，获上海市优秀发明专利1项，总体达到国际先进水平，部分达到国际领先水平，显著推动了城市盾构隧道穿越建构筑物的科技进步，为城市地下空间的建设保驾护航。

首席记者 王蔚

物料仓储、分拣、驳运、加工，再完成个性化定制的数字雕刻图案，原本需要至少十余位工人接力完成的生产过程，如今全部由机器取代。即使是在不开灯车间，也能24小时连轴流畅作业，并且实现不同定制需求产品的中小规模生产。

当互联网悄然影响商业逻辑，用户对产品的需求反馈“直达”工厂，挑战制造。于是，更灵活机动、更精准高效的柔性制造诞生了。历时5年的联合研发，上海理工大学机械工程学院联合上海锐铎自动化有限公司合作的“智能柔性工厂生态链系统”实现了从制造到“智造”的蜕变。该成果已获得7项发明专利、20多项实用新型和软著。这套系统将在工博会高校展区上理工展台首次亮相，让市民亲身体验科技的魅力。

让制造业实现“私人定制”

当前终端商品对多样化和个性化的需求越发显著，比如一家生产手机的企业，同时它又想生产电脑以及其他电子产品，再比如一个客户想要定制不同款式及功能的手机，那么就需要机械制造企

机器人身兼数职 打造“私人定制”工厂

上理工与锐铎联合研发“智能柔性工厂生态链系统”

业采购不同的生产设备进行生产，成本难以降低、加工费时费力，也很难保证产品的质量和一致性。“目前，大部分企业需要的是中小批量、多品种零部件的生产，这就需要运用‘柔性制造’——根据各种不同形状加工对象实现程序化制造加工，具有设备利用率高，单件产品的成本低、质量高等优点。”项目负责人、上理工机械工程学院院长李蔚林谈到。

对此，团队尝试“智能柔性技术”，为客户量身订制工厂生态链系统，仅需要订购该系统就可以实现多样化、个性化产品的制造与搬运。对此，团队成员、上海锐铎自动化有限公司董事长白中强谈到：“柔性化是智能工厂的特色之一，它不仅强调的是设备技术上的智能化，也表现在对产品的个性化需求上。我们的系统涵盖机械、自动化控制、电气、车辆工程

等多个专业领域，它的每个模块就像自助餐的菜品，根据客户需求我们将这些菜品进行集中‘烹饪’，最终呈上定制的‘盛宴’。”

“空无一人”也能完成任务

传统的生产工厂中，需要调度员、分拣工、搬运工、操作工等多名工人的协作。如今，随着“客户”在操作屏上按下开启键，从拿起加工料一直到运回成品件，在“空无一人”的状态下就能全部完成。

“AGV集成搬运机器人”担纲全场总调度，灵活地将加工料分配到指定的分拣平台；装有多组全向旋转的“物料全向输送装置”则可以将物料旋转到合适角度等待“搬运工”搬走；“AGV工厂搬运机器人”取代了原先辛苦繁忙的搬运环节，驳运加工料、驳运成品件都由它来完成；“智

能机械臂”代替操作工，根据需求灵活切换“包角”“铣”“钻”等多个工夹具并进行工件加工……机器人“乖乖听话”，整个环节流畅自如，不但节省了人力成本，更是提高了效率。

锐铎公司总经理唐超说道，“我们研发的系统可以让一个机器拥有多项‘技能’，单就搬运机器人，它就可以完成托举、取料、送料等动作。此外，我们的AGV还能保证操作中的误差在0.2mm范围之内，这是人工无法超越的能力和精确度。”

此外，这套中国制造的智能系统也将大幅降低生产成本。在国外，一台功能类似的工厂搬运机器人报价在30万元-40万元，而上理工联合锐铎研发的AGV工厂搬运机器人销售价则在10万元-15万元，为工厂智慧转型奠定很好的基础。

本报记者 易蓉