



大海上画出道道绚丽“彩虹”

吹沙作业。

□ 通讯员 钟君敏 国玲 周富林 全媒体记者 龙巍 文/图

2016年10月29日，“浚洋1”来到港口城施工现场。两年多来，“浚洋1”累计完成吹填量约2700万方，占整个港口城项目近4成的回填工程量，成为中国交通建设股份有限公司在斯里兰卡的一张“名片”。

骄人成绩的背后离不开船舶团队的努力，在港口城的陆域上，始终有着这么一群追逐“彩虹”的人。

“务必用好每一分钟！”这是“浚洋1”船长张裕山时常挂在嘴边的一句话。“浚洋1”建成投产的第一个项目就是科伦坡港口城，船长张裕山说，“这是‘浚洋1’和科伦坡港口城的‘缘分’。我们从中国远道而来，有幸参与到中斯‘一带一路’标杆项目建设，这是全船人员的荣誉。”为了发挥这艘具有世界领先水平的超大型挖泥船最大效用，张裕山每天都在驾驶台上“蹲点”指挥施工作业。从取砂、满载航行、虹吹、再到下一船次取砂，这样的工作“浚洋1”每天都在反复进行，并且每一船次他们都认真对待，每位船员都争分夺秒，力争缩短每一船次的运行时间。

相隔不远的“万顷沙”，最先来到科伦坡，并于2016年9月28日傍晚吹出了港口城项目复工以后的第一道“彩虹”，也吹散了长达一年半的停工阴霾。自此之后，“万顷沙”施工团队始终坚守在科伦坡港口城，推进各项施工任务。2017年12月17日，新华社发表题为《吹沙造地筑梦南亚——探访中国“万顷沙”号耙吸吹沙船》的文章，称它将“港口城填海造地的梦想变成现实”。

2018年10月下旬，上航“新海龙”及“新海凤”轮通力协作、精密配合，按时优质完成总长度为3245米的防波堤最后一段堤心砂的抛填成型任务，确保了堤心砂进度和后续成陆施工任务的高质量完成。其中，“新海龙”轮更是解决了港口城项目收官之战的最后一个难题——北口三级砂平台抛填，按期通过北口收口关键节点验收。北口各级砂平台间的衔接坡比不同，坡顶、坡脚、坡度均有标高偏差限制，抛填和舱喷精细程度创下新高。

对于“新海凤”轮船长杨春雷来说，在港口城吹填作业的每一天，他始终坚持“三心”。信心——杨春雷不分昼夜，在驾驶台扛起重担，带领全体船员一起摸着石头过河；细心——全船巡查，是杨春雷工作重点之一，普通人看来无非是例行的检查，杨春雷脑海里呈现的却是两幅船容船貌“对比图”；真心——杨春雷没有华丽的言辞，却用平易近人的态度去倾听、开导船员，让他们有新的收获和启迪。

船员们需应付多变的天气。科伦坡属热带季风气候，经常是前一秒晴空万里、酷热难耐，下一秒便暴雨倾盆、凉爽宜人。开始，他们总备着雨伞和雨衣，后来为了方便，出门的时候直接把雨衣往身上一套，顶风冒雨地跑到现场，撸起袖子就干。一天下来，无论是晴天还是雨天，他们的雨衣都是湿的，“部分不湿是雨水还是汗水了，一件雨衣常常不到两个月，就褪色了。”广航局科伦坡港口城项目经理刘志回忆说。

269公顷的科伦坡新城，需要吹填超过7000万立方米的海沙，吹填面积相当于376个国际标准足球场。

如此巨量的海沙并不能简单地“一推了事”。“如果落砂点计算不准确，不仅会大幅增加吹填现场的平整难度，还将直接影响耙吸船虹吸连续成陆的可持续性，进而影响整个工程建设速度。”刘志说。

早在2014年，在编制科伦坡港口城吹填施工组织设计时，刘志便组织项目团队进行技术攻关，改进并沿用科伦坡南港项目形成的“大型耙吸挖泥船虹吸加抛填整体成型填筑的施工工艺”，通过实践数据结合数学模型，得出虹吸的落砂点与连续成陆条件的关系方程式，在实践中编制虹吸施工网格图，对陆地形成顺序科学排序。

为了精准测量这道“彩虹”的落砂点，广航局项目团队不分昼夜地在现场值班，采集数据。

1月16日，清晨的科伦坡阳光灿烂，海风徐徐。随着“新海龙”轮机声逐渐停止，项目管吹作业也随之停止，269公顷土地在碧海环绕中显得格外金光灿灿。

斯里兰卡大都市与西部发展部部长拉纳瓦卡称赞“一带一路”倡议为斯里兰卡创新发展提供了历史机遇。

他说，港口城项目正引领斯经济社会发展的深远变革，将大大助力科伦坡打造成为印度洋地区金融中心，实现当地经济发展发展的“量子飞跃”。

本报讯（通讯员 陈尚虎）继2月26日姊妹船“航凌6008”轮完成试航后，3月26日下午16时08分，由中交上航局投资建造的耙吸挖泥船“航凌6009”轮完成历时4天的全功能海上试航任务（见下图），标志着这对疏浚“双子座”即将进入交付阶段。

“航凌6008”、“航凌6009”皆由荷兰IHC公司基础设计、上海振华重工建造，型长108.25米，型宽24.50米，型深7.60米，最大挖深30米，舱容量6500立方米；采用双机双泵驱动、单泥泵单耙管配置、溢流筒配备新型环保装置，具有无限航区航行能力，同时配备了代表世界先进水平的疏浚控制系统，自动化程度高，节能、环保效果好，适用于国内外港口航道、近沿海的疏浚与吹填工程。

“航凌6008”轮于2017年10月9日开工，2018年4月3日第一次坞内合拢，2018年8月18日顺利下水，具有无限航区航行能力。

上海振华重工启东海洋工程股份有限公司以特种海洋工程船舶、各类海上平台等海工装备船舶的设计、建造为主，兼顾多用途船等船舶类型的设计制造。

据悉，两艘挖泥船预计于4月交船，届时将服务于上海国际航运中心建设、上海自贸区建设及“一带一路”沿线国家的港口码头建设，为我国疏浚事业的发展提供新动力。



无人挖泥挑战传统疏浚业

□ 魏长赞



疏浚行业作为一个极度依赖装备的传统产业，市场深度调整正带来前所未有的挑战：严苛的排放标准，复杂的深海环境，高规格的环保要求正促使疏浚行业转向更加精确、高效、环保的施工之中，而“人工智能”无疑成为了行业升级的助推器。那么疏浚行业中的“人工智能”目前发展如何，遇到何种挑战，又亟待解决哪些问题？

“人工智能下”的疏浚

“人工智能”这个名词在沉寂了近30年之后，最近几年“咸鱼翻身”，随着AlphaGo的横空出世，人工智能走向深度学习阶段，波士顿动力机器人的后空翻给未来科技带来了无限遐想。“人工智能”的热度居高不下，受到各国政府的重视和投资界的追捧，各种高峰论坛接踵而来，政府战略规划应接不暇。

在疏浚行业，人工智能技术的蓬勃发展也加速了疏浚装备的更新换代。目前各类挖泥船的作业过程主要依靠驾驶员凭经验进行手动操作，由于操控台仪表繁多，长时间的 manual 操作容易使驾驶员产生疲劳，无法集中注意力进行精细化施工，而且手动操作易受驾驶员情绪波动的影响，操作失误率大，导致疏浚作业的实际产量远低于预计产量。此外，人工操作严重依赖驾驶员的经验，而且驾驶员的操作水平良莠不齐，差异较大，优秀驾驶员的经验难以批量复制和传承。

近年来随着人口红利的逐步消失，疏浚工程的用工成本也显著增加。上述种种需求，进一步催生了疏浚行业快速向自动化、智能化发展。

在国际上，荷兰IHC公司与代尔夫特理工大学、屯特大学等通力合作，进行了一系列智能疏浚控制技术的研发，其最具有代表性的成果是研发了最新一代的ACC (Automatic Cutter Controller, 自动挖掘控制器) 和APC (Automatic Pump Controller, 自动泵送控制器)，其特点是融合了传统的经典控制技术与基于模型的人工智能技术，其自动控制级别代表着当今世界最先进水平。

近来，国内在相关方面的研究也不甘落后，2019年1月亚洲最大、最先进的自航吸砂船“天鲲号”进行了施工考验，并首次尝试了自动挖泥技术，标志着中国疏浚技术的又一重大突破。

自动操控尚有难度

作为荷兰IHC公司研发的新一代ACC和APC，其主要定位还是“辅助”驾驶员：帮助新手驾驶员在众多仪器仪表前不至于手忙脚乱，确保施工安全；帮助有经验的驾驶员在施工工况简易稳定时，采取自动挖掘、自动泵送模式，减轻劳动强度。

当施工工况复杂多变时，目前ACC和APC的自动驾驶模式尚难以应对。这就带来了一个比较现实的问题：即便挖泥船安装了ACC和APC，在实际疏浚工程中，驾驶员更相信自己的手动操作水平，很少开启自动挖掘、自动泵送模式，以免自动驾驶引起安全事故，承担安全责任。其背后的原因，值得深入探究。

为了实现自动挖掘、自动泵送的无人化操控，ACC和APC的技术路线融合了传统的经典控制技术和基于模型的人工智能技术。传统的经典控制技术（如PID和LQR），易于构成闭环最优控制，但无法建立精确的数学模型来描述系统的复杂性、非线性、不确定性、时变性和不完全性。而基于模型的人工智能方法通过分析历史施工数据，凭借神经网络的万能逼近特性和卡尔曼滤波、粒子滤波等状态估计方法，能够构建描述疏浚挖掘/输送过程的动态模型，克服了复杂系统无法建模的问题。这种融合经典控制技术和数据驱动控制技术的方案，在模型覆盖范围之内，能够输出较为理想的控制策略，但从安全层面来看，系统极易受到不确定因素的干扰，即便构建的系统模型准确率高达99%，在实际应用中，仍然会犯很多“弱智”的错误，存在确定的安全隐患。

这也就是为何当前ACC和APC的自动挖掘、自动泵送模式，避不开种种限制条件，只能够在简易稳定工况下“照章办事”，按照预先确定的“章”来施工，没有足够的灵活性，远远没有达到人们想象中的智能，更无法与优秀驾驶员的操控相媲美。

据了解，在实际疏浚工程中，国内外挖泥船驾驶员也很少采用ACC和APC的自动操控模式，究其原因还是因为当前的控制系统尚无法应对不确定、非恒定的工况（土质、地形、环境等多变因素）。

简而言之，目前的自动挖掘、自动泵送模式已经初步解决了特定条件下的“安全驾驶”问题，未来真正意义上的无人操控仍需

要进一步解决如何媲美优秀驾驶员的操作水平，达到高产且高效的目标，其核心难点是如何实现智能感知和类脑决策。

智能疏浚控制技术的难点一：智能感知。

为使无人操控系统的表现媲美优秀驾驶员，需要其具备人的感知能力（如视觉、听觉、触觉等）。挖泥船需要通过采集各类传感器数据，实时感知外界工况变化，同时监测及分析自身设备的运行状态。与无人挖泥船较为贴近的实例是无人驾驶汽车，无人驾驶汽车可以通过（如视觉、激光雷达、微波雷达和红外雷达等）传感器获取复杂多变的道路状况，在此基础上寻求安全、经济和舒适的行走路径。智能挖泥船需要利用已有传感器（如浓度计、流量计、压力仪表等）和加装额外的传感器，在此基础上进行决策来寻求安全、高产和高效的控制策略。同时，采集的数据需要进行多模态融合，才能形成完整的感知信息。相比而言，挖泥船在浑浊水体中进行土质/地形探测，绞刀/耙头等挖掘机具的切削状态估计，泥沙长距离管道输送状态估计等，还面临着复杂的智能感知难题。

智能疏浚控制技术的难点二：类脑决策。

为使无人操控系统的表现媲美优秀驾驶员，需要引入类脑决策机制。有观点认为既然近年的AlphaGo在一系列游戏决策中展现出巨大威力，远远超过人类的决策，为何不能直接引入到智能疏浚控制系统中？首先，围棋的走法貌似随意但却有通用规则，棋盘格局对于残差卷积也便于计算，而挖泥船操作中各种参数相互关联、互相制约，无法用简单的规则来评价操作水平的“好”与“坏”。其次，棋局的决策模型是在自我不断对抗中逐步进行修正与完善，而且棋局环境易于复现和重复训练，而对于智能疏浚控制系统而言，构建类似的虚拟学习环境十分困难，即便是利用采集到的海量施工数据，也无法保证历史施工数据均代表了优秀驾驶员的操作经验。

类脑决策允准模型自我完善

当前，虽然各类挖泥船均安装了数据采集系统，但当前采集到的传感器数据并不满足智能感知的有效性、准确性和全面性的要求。

其次，由于挖泥船仪器仪表普遍存在校准或各类故障问题，采集的数据常常失真，甚至是完全错误的，这就意味着并不是所有采集的数据均可以作为数据样本。深度学习技术在经过了近几年的蓬勃发展后，专家学者逐渐认识到数据集的重要性，普遍认为：在如今的深度学习应用，面对的是工程问题（可信数据集的缺乏等），而非纯粹的技术问题。海量的疏浚施工数据本身是一种资源，但沉睡的资源是很难创造价值的，它必须经过清洗、分析、建模等加工处理之后，才真正产生价值。数据清洗是发现并纠正施工数据文件中可识别的明显错误值、缺失项、异常值、可疑数据，选用适当方法进行“清理”，使“脏”数据变为“干净”数据，是准确感知施工环境及船舶状态的前提条件，更是建立后续智能决策模型的首要任务。

与优秀挖泥船驾驶员操作相媲美的无人操控技术需要解决如何从海量的历史施工数据中，萃取优秀驾驶员的操作经验，从而形成智能决策模型。从直觉上讲，既然有深度学习技术，则可以通过学习历史施工数据，寻求最优的施工操作策略，但任何的智能决策模型均不能“以不变应万变”。严格意义上讲，疏浚工程中没有任何两处的工况是完全一样的，无法建立恒定不变的“普世”模型。即便优秀的驾驶员在面对新的疏浚工程，也需要经过试挖阶段，更新自己的经验库。因此，智能疏浚控制系统的决策模型



疏浚现场。广航局供图