



# 大海上画出道道绚丽“彩虹”

吹沙作业。

□ 通讯员 钟君敏 国铃 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“一堆了事”。“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作业的可持续性，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；采用双机双桨驱动、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

### 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。



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、最先进的自航绞吸船“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。

必须能够根据实际工况进行自我演化，需要“离线”学习优秀驾驶员的历史数据，也要“在线”具有自我探索、自我完善的功能，在保证设备安全运行的前提下，能够充分发掘设备的潜力，以追求安全、高产和高效为目标，“青出于蓝而胜于蓝”，使无人操控的知识能够积累和进化，逐步超越优秀驾驶员的表现。

与任何一种无人系统的技术路线一样，智能疏浚挖泥船的研究也不能一蹴而就，在一朝一夕之间就能实现完全的无人化操控。按照无人驾驶汽车的智能化测评等级，当前挖泥船的自动挖掘/泵送控制水平仍然处在辅助自动驾驶阶段，亟待逐步开展的阶段包括：条件自动驾驶、高度自动驾驶和完全智能驾驶。逐步使当前的ACC和APC过渡到ICC（Intelligent Cutter Controller，智能挖掘控制器）和IPC（Intelligent Pump Controller，智能泵送控制器），最终实现真正意义上的全系统无人驾驶。智能疏浚控制技术的研究没有捷径，需要从理论方法、实验室样机测试、实船检验逐步推进。实验室阶段可在不同物理模型比尺范围内，对智能控制系统的模型进行反复测试和极限检验，以较低的成本来攻克智能控制系统中潜在的不确定难题，确保智能控制系统的迭代更新能够安全进行。

（作者系河海大学疏浚技术研究所工程研究中心博士）



疏浚现场。广航局供图