

## 人机共舞

## 亲历

在西溪湿地,记者与智能运维机器人互动——

## 毫厘之间,铁臂“保姆”精准服务

■ 本报记者 胡静漪  
通讯员 李筱盼 夏燕挺

走进杭州西溪湿地,水道是这里的路网,船只是来往的车辆。船行鸟不惊、人过鱼不散,勾勒出一幅人与自然和谐共生的生动图景。

林深处,有一座已经值守近20年的水质自动监测站,时刻紧盯着湿地水质的细微变化。杭州亚运会后,这里多了一位“新伙伴”——智能运维机器人,它不仅为运维人员分担了很多工作,自身也经历了多次升级。

有了机器人助力,运维工作有啥不一样?机器人又给监测和工业领域带来怎样的变化?近日,我们跟随杭州申昊科技股份有限公司和浙江环境监测工程有限公司的工作人员,与智能运维机器人进行了一次近距离互动。

## 误差控制在1毫米以内

“没有人带路的话,根本找不到!”浙江环境监测工程有限公司工作人员王波带着我们,从游客熙熙攘攘的大路拐进一条石板小径,穿过茂密的树林,一座两层小楼出现在眼前。

一间50平方米的监测室内,十多台自动化水质监测设备依次排列,分别负责总磷、总氮、氨氮、高锰酸盐、重金属等不同指标的监测。智能运维机器人则静静立在墙边。

仔细打量,它身高约1米,体重达150公斤,“肌肉发达”的底部运动模块搭载电池;“肚子”中空,形成上下两层可放置试剂的存储架;前方伸出一只机械臂,凭借6个关节实现臂展范围内的灵活运动。

最精细的部位在机械臂末端——夹爪如同它的手指,深度相机则是它的眼睛。“通过扫描物品二维码实时定位,‘眼睛’配合‘大脑’共同指挥手臂做出动作。”杭州申昊科技股份有限公司工作人员倪瑶琪一边介绍,一边带我来到“智能运维驾驶舱”前,“你来试试!”

显示屏上,是向机器人发送指令的三个按钮:“一键运维”“一键换试剂”“一键电极清洗”。系统支持远程指令下发和数据实时查看。



本报记者 胡静漪 摄

我们按下“一键换试剂”,机器人迅速“苏醒”,身旁的冰柜自动拉起卷帘,露出4个贴有二维码的试剂盒——这是为机器人量身定制的“套餐”,将4种试剂组合在一起,相比人工运维的剂量更大,一次更换,可保障设备运行一个月。

机器人缓行至冰柜前,“看准”一个试剂盒,伸出机械臂稳稳夹起,转身将它放在存储架上,接着移动至待更换的监测设备前。同样的动作,将设备内的空试剂盒取出,换上新试剂盒。随着“哒”一声轻响,试剂盒的4个接口与设备精确定位,液体开始输送。

看似简单的动作,背后是大量的研发投入。“精准对接,就必须把误差控制在1毫米以内,非常不容易。”倪瑶琪说。目前,市面上的机器狗或人形机器人,虽然活动范围大、动作复杂,但精度有限;而工厂流水线上从事精密作业的机械臂,又通常被固定在基座上。

既能自由移动,又能完成精细操作,这样的复合型机器人,不仅填补了生态环境自动监测运维领域的应用空白,对



记者按动“一键换试剂”给机器人下指令。

于整个工业领域也是重要突破。

## 补上监管机制的关键一环

除了更换试剂,监测水质五参数的

台监测设备的屏幕显示数据,与后台上传数据进行比对,确保设备无故障。接着它俯身查看废液桶是否满溢,提示及时更换。

“原来站点运维频次在3天到一周一次。”王波说,“现在一个月来一次就行,轻松多了。”机器人不仅承担了大量重复性劳动,更关键的是,杜绝了人为操作中可能出现的试剂错漏、电极清洗不及时、故障发现滞后等问题。

检测水样从何而来?我们跟随王波来到屋后的取水口,这里靠近深潭口电瓶船码头,每4小时自动抽水进站。他介绍,湿地的水体与杭州主城区的水网相连,向东汇入京杭大运河,经运河及杭州东部水系网络,最终与钱塘江相通。

“智能运维驾驶舱”屏幕上数据显示,当天站点水质情况保持在Ⅱ类,全年水质情况基本在Ⅲ类水及以上。多数水质波动出现在梅雨季或台风季,一旦监测到数值异常且持续时间较长,系统就会及时向生态环境部门发出预警。

除数据预警之外,系统还配备了“人为干扰预警”功能,并实时展示“电子围栏”(即在特定区域内设置的监控摄像头)的监控画面。

据介绍,加强对人为干扰行为的监控是自动监测智能运维的重要方向之一。“目前,大多数监测站在取水和监测环节已实现自动化,人工运维环节成了最后一个‘黑箱’。”王波解释。机器人的到来,不仅替代了人力劳动,更是补上了监管机制中的关键一环。

完成任务后,机器人缓缓归位,靠墙停入一台方形设备,那是它的充电桩。“充满电需要4小时,可以续航10小时。”倪瑶琪补充道,“如果换算成在户外作业,它能以每秒1米的速度跑30公里以上。”

## 未来还需要继续改进

眼前的这台机器人已经历两次迭代。

倪瑶琪指了指我们头顶上方,介绍说:“那台悬挂在天花板上的生态环境智能运维巡视机器人,是我们在2023年上半年推出的第一代产品,形似摄像头,可

以沿着铺设的轨道滑动并升降,实现对监测设备的巡检。”

能否进一步拓展更多的功能?

2023年8月,浙江省生态环境监测中心联合杭州申昊股份有限公司、宁波理工环境能源科技股份有限公司,正式立项开展智能运维机器人的研发工作。这是一项汇聚结构、硬件、算法、软件等十多个专业领域的系统工程。“时间非常紧,所幸我们公司在电力、轨道交通等行业已积累了不少机器人研发和应用的经验,在此基础上进行场景迁移,制造了二代机器人。”倪瑶琪说。

随后的半年里,机器人一边运行一边升级,最终在去年年初定型成为目前的第三代产品。比如,优化结构设计,提升负重时的稳定性;尽可能减轻自重;更换传感器造型,机器人在行进中遇障时启停更灵敏;算法模型优化迭代,软件功能进一步丰富……

“每次出错都是迭代的信号。我们更换过零部件供应商,调整过图像识别算法,未来还需要继续改进。”倪瑶琪坦言,“从市场角度而言,复合型机器人还处在市场培育阶段,有待行业内企业共同推动产业链完善。”

他举例说,进一步减轻机器人重量,需要压缩电池体积,这要依靠电池行业加速固态电池的产业化进程;减重同时保证负载能力,这就要求机械结构方面摆脱对厚重底盘的依赖,突破关节扭矩的技术瓶颈。此外,机器人要在户外复杂环境中自主行走,还需更强大的图像识别和AI处理能力,有待服务器和AI算法等相关领域的突破。

目前,智能运维机器人已经在全省多个设区市的水质监测站点进行试点应用,“水质监测站只是第一步,机器人还能适应于危险的工作场景,发挥更大的价值。”王波说,比如受有机物污染的土壤环境,存在洋流和密闭风险的海底环境。未来,复合型机器人还可以向其他监测和工业领域拓展。

“开拓更多具有真实需求和高频率使用的应用场景,可以让机器人行业加速迭代、降低成本,迎来爆发式增长。”倪瑶琪满怀期待。



胡静漪

在东阳隧道里,记者现场感受智能机器人的强大能力——  
“隧道卫士”全天候无死角巡检

■ 本报记者 傅颖杰 杨振华  
通讯员 徐帆 蒋锦航

有经验的驾驶员都知道,如果发现前方隧道突发险情,宁愿车停在隧道外也不能跟车进入,原因是隧道内情况不明。而对应急以及公路管理部门而言,也存在同样的困扰,在不掌握隧道内实时突发状况的情况下,应急指挥救援行动很难科学有效开展。

如今,这个难题有了新解决,日前,在G351国道东阳屏岩山隧道和G527国道东阳天宫寺隧道提升改造工程中,几台智能巡检机器人正式“上岗”。这些机器人融合了物联网、多传感器融合、高精度定位、AI视觉识别等技术,堪称是集“监测、预警、处置”功能于一体的“隧道卫士”。他们突破了人工巡检在时间和空间上的限制,可以实现24小时全天候、无死角巡检,显著提高了隧道安全管理效率和运营效率。

## 不到4分钟跑完1700米

椭圆形的隧道内,一台闪着红光的黄色小车,沿着隧道顶的特制轨道匀速滑行,一边走一边发出提示音:“进入隧道、注意安全”。

这是东阳市G527国道天宫寺隧道投用的智能巡检机器人。近日,在东阳市公路与运输管理中心桥梁隧道科科长李华明的带领下,我们身穿反光背心,头戴安全帽,来到天宫寺隧道,近距离了解机器人的超强能力。

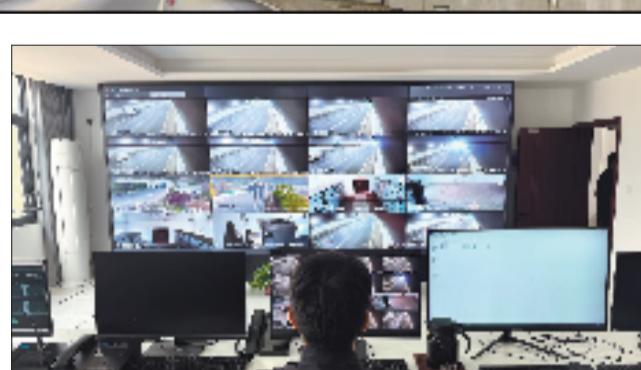
作为连接东阳与义乌的重要交通道,天宫寺隧道每天车流量很大。我们站在隧道一侧的紧急疏散通道上,抬头就看见了机器人的身影,它近1米长,悬挂在一条单行轨道上,总体呈长方形,黄色,顶上有4组滑轮,下挂一只可360度旋转的摄像头,机身上有一块LED显示屏,以红色字体显示“隧道机器人”5个字。

随着机器人离我们越来越近,声音越来越响亮,感觉和操场喇叭差不多。“最高有120分贝,足以穿透任何车身玻璃,让驾驶员听得清清楚楚。”李华明说,除了提醒驾驶员注意安全外,在遇到紧急情况时指挥中心还能直接通过机器人向隧道内喊话广播。



△ 机器人在隧道里巡检。

受访者供图



△ 记者在东阳市桥隧综合管控平台操控巡检机器人。

本报记者  
杨振华 摄

隧道内一旦发生意外,特别是在烟雾弥漫的情况下,第一时间告知大家正确的撤离方向,是救援的关键。李华明说到这里,就电话联系了指挥中心,很快,巡检机器人就开始在隧道广播:“这里是指挥中心,遇到危险请听我指挥……”

“万一它在这头巡检,另外一头发生险情了,它来得及赶过去吗?”我们看着机器人慢悠悠的移动速度质疑道。“那你们可小瞧它了,别看它有60公斤重,其实跑起来可快了。”看到我们半信半疑的表情,李华明说:“现场实验,让你们眼见为实。”

于是我们站在隧道的一侧出口,让机器人从另外一侧出口赶来。结果1700多米长的隧道,机器人只用了3分45秒,时速约30公里。李华明介绍,机器人有5档速度可调,这是最快的5档。最慢的1档,也就是我们刚才看到的日常巡检速度,大约是每小时2.81公里。

“那还是比不上无人机。”我们不服气地说。“速度是比不上,但隧道里它可以比无人机强多了,不会撞墙也不会受烟雾影响。”李华明解释,巡检机器人能突破大多数复杂条件,抵达隧道内任一地

点,这是无人机所不能比拟的,而这也是应急救援最需要的。

## 自动充电还会自我清洁

正当我们惊叹机器人的超强能力时,轨道上的机器人却突然掉头往回走了。“嗯?不是还没巡视到头吗?机器人也会偷懒吗?”我们打趣说。

“估计是刚才跑得太快,电量不足了,所以自动回去充电了。”李华明说,机器人在电池电量低于40%时,会自动就

度过高,一点火花就可能导致意外。而机器人配备了双电池供电,即便隧道突发断电,仍能够持续运行2小时以上,确保应急处置不会中断。

“工作久了是不是也要维护保养,能不能带我们现场体验一下?”我们问。李华明拒绝了我们的提议,他说,机器人保养要动用巡检登高车等专业设备,而且还要对道路进行封道,“其实机器人日常保养很少,你们看,机器人镜头上有刷子,这套自清洁系统,可以自动清理摄像头表面的油气脏污,至于齿轮和皮带等损耗,通常每隔一个季度检查,半年定时更换,都有明确流程。”李华明表示,仅此一项,每年就可减少养护车辆出行约200车次,降低碳排放近1.5吨。

“既然这么好,为什么不每个隧道都配上一个?”我们好奇地问。“你们想得太简单了,这个使用成本可不小呢!”李华明介绍,由于机器人配备了多种传感器和芯片以及大容量电池,一台就要约60万元,此外全铝合金材质耐腐蚀的轨道造价也要约200元一米。不仅如此,隧道是一个整体,改造不只是加条轨道、多一个机器人这么简单,在东阳屏岩山隧道和天宫寺隧道提升改造工程中,还涉及包括无线基站的改造,电路电线的改造以及充电桩的建设、车道指示器的联动等,是一个复杂的系统性工程。

我们看到,平台还记录了包括温度、湿度、湿滑系数、一氧化碳等很多数据,这引起了我们的好奇。李华明告诉我们,机器人身上配置的高清摄像头、红外热成像仪、温湿度传感器、气体传感器等众多感应探头,实时采集隧道内CO浓度、能见度、空气质量等环境数据,目的是维护隧道内的行车安全。有些危险气体浓度过高,会有中毒、爆炸等风险。

不仅如此,平台还融入了AI算法,能够自动识别10余种交通事件以及安全隐患,“小到一张餐巾纸、一瓶矿泉水等抛洒物,系统识别准确率可达95%以上。”李华明指着屏幕右侧的记录介绍,

“你们看,这都是系统自动记录的,诸如地面有抛洒物、异常停车、有电动自行车或者行人通行等异常状况。”

东阳市交通局相关负责人介绍,当前,东阳正加速推进各平台数据的全面接入与系统联动,计划至2027年底全面构建一体化智慧管养新模式,推动公路桥梁养护从“传统经验型”向“数据驱动型”加速转变。



傅颖杰

杨振华

“巡检机器人要很好地发挥能力,背后离不开管控平台的支持。”李华明带我们来到东阳市桥隧综合管控平台(以下简称“平台”),感受机器人背后的智慧。

14时12分,一辆蓝色小货车行驶至G527国道天宫寺隧道中间段时,突然打开双闪靠边停车,密集车流中驾驶员竟然下车检查货物捆扎情况……导致后方车辆纷纷采取紧急避让措施。

这是我们在平台监控大屏上看到的画面。这起不久前的突发险情,让我们看到巡检机器人的速度和高效。险情出现后,这危险的一幕,被隧道内的固定摄像头及时捕捉,并迅速传至平台。平台第一时间识别并自动拉响警报。在排除危险品泄漏等紧急情况后,平台值班人员派遣巡检机器人以最高时速迅速前往

14时14分许,巡检机器人抵达异常停车点上方,通过应急广播向驾驶员喊话:“这里是天宫寺隧道指挥中心,您当前处于非紧急停车区域,临时停车已影响交通通行,请立即上车驶离,前往前方紧急停车带或隧道出口处理,感谢配合!”

听到指令后的驾驶员加快了动作,14时17分,小货车驶离现场。由于处置及时,现场未发生追尾等次生事故。

“以前遇到隧道内临时停车,要么靠人工巡检发现,要么等驾驶员报警,往往滞后性强,很容易引发拥堵和次生事故。”李华明说,这次实战中巡检机器人发挥了巨大作用。

我们看到,平台还记录了包括温度、湿度、湿滑系数、一氧化碳等很多数据,这引起了我们的好奇。李华明告诉我们,机器人身上配置的高清摄像头、红外热成像仪、温湿度传感器、气体传感器等众多感应探头,实时采集隧道内CO浓度、能见度、空气质量等环境数据,目的是维护隧道内的行车安全。有些危险气体浓度过高,会有中毒、爆炸等风险。

不仅如此,平台还融入了AI算法,能够自动识别10余种交通事件以及安全隐患,“小到一张餐巾纸、一瓶矿泉水等抛洒物,系统识别准确率可达95%以上。”李华明指着屏幕右侧的记录介绍,

“你们看,这都是系统自动记录的,诸如地面有抛洒物、异常停车、有电动自行车或者行人通行等异常状况。”

东阳市交通局相关负责人介绍,当前,东阳正加速推进各平台数据的全面接入与系统联动,计划至

2027年底全面构建一体化智慧管养新模式,推动公路桥梁养护从“传统经验型”向“数据驱动型”加速转变。

这是我们在平台监控大屏上看到的画面。这起不久前的突发险情,让我们看到巡检机器人的速度和高效。险情出现后,这危险的一幕,被隧道内的固定摄像头及时捕捉,并迅速传至平台。平台第一时间识别并自动拉响警报。在排除危险品泄漏等紧急情况后,平台值班人员派遣巡检机器人以最高时速迅速前往

14时14分许,巡检机器人抵达异常停车点上方,通过应急广播向驾驶员喊话:“这里是天宫寺隧道指挥中心,您当前处于非紧急停车区域,临时停车已影响交通通行,请立即上车驶离,前往前方紧急停车带或隧道出口处理,感谢配合!”

听到指令后的驾驶员加快了动作,14时17分,小货车驶离现场。由于处置及时,现场未发生追尾等次生事故。

“以前遇到隧道内临时停车,要么靠人工巡检发现,要么等驾驶员报警,往往滞后性强,很容易引发拥堵和次生事故。”李华明说,这次实战中巡检机器人发挥了巨大作用。

我们看到,平台还记录了包括温度、湿度、湿滑系数、一氧化碳等很多数据,这引起了我们的好奇。李华明告诉我们,机器人身上配置的高清摄像头、红外热成像仪、温湿度传感器、气体传感器等众多感应探头,实时采集隧道内CO浓度、能见度、空气质量等环境数据,目的是维护隧道内的行车安全。有些危险气体浓度过高,会有中毒、爆炸等风险。

不仅如此,平台还融入了AI算法,能够自动识别10余种交通事件以及安全隐患,“小到一张餐巾纸、一瓶矿泉水等抛洒物,系统识别准确率可达95%以上。”李华明指着屏幕右侧的记录介绍,

“你们看,这都是系统自动记录的,诸如地面有抛洒物、异常停车、有电动自行车或者行人通行等异常状况。”

东阳市交通局相关负责人介绍,当前,东阳正加速推进各平台数据的全面接入与系统联动,计划至

2027年底全面构建一体化智慧管养新模式,推动公路桥梁养护从“传统经验型”向“数据驱动型”加速转变。

这是我们在平台监控大屏上看到的画面。这起不久前的突发险情,让我们看到巡检机器人的速度和高效。险情出现后,这危险的一幕,被隧道内的固定摄像头及时捕捉,并迅速传至平台。平台第一时间识别并自动拉响警报。在排除危险品泄漏等紧急情况后,平台值班人员派遣巡检机器人以最高时速迅速前往