

# 一种沙滩与海面两栖清理车设计

程真 熊佳怡 金威 姚层林  
(武汉商学院 湖北 武汉 430000)

**摘要:** 随着社会的发展和水平的提高,垃圾的产出量越来越高,海面与沙滩上的垃圾也随之增多,影响海洋环境和沙滩的观感。为了解决这一问题,本文设计了一款能够在沙滩行进自如,又能在海面平稳作业的沙滩与海面两栖清理车,比传统的沙滩清理车功能更全面,性能更好。

**关键词:** 海洋污染; 沙滩污染; 两栖清理车

## 0 引言

随着人们心中环保意识不断增强,以及旅游业的迅速发展,对海滩垃圾的清理提出了新的要求。由于海洋和沙滩其环境的特殊性,市面上并没有针对该问题而研发的清理车辆,导致垃圾清理问题只能依靠人力来解决。人工清理的限制太多,需要消耗大量时间和精力。因此设计研发一种能够有效清理沙滩和海面垃圾的清理车迫在眉睫。两栖清理车符合当下经济发展理念,具备了经济、环保、高效、多功能的特点,拥有良好的市场定位,能大量减少人力消耗,减少多余的资金投入,低成本做高效事<sup>[1]</sup>。

沙滩和海面两栖清理车是一种实用性新型垃圾清理机械设备,也是一种具有生态修复功能的机械设备,能取代人力来完成沙滩和海洋垃圾的清理工作,使垃圾清理工作效率显著提高;能有效避免清洁区域形势复杂导致清洁效果不统一的问题,使海滩垃圾清理呈现出智能化的态势。两栖清理车作为一种专门清理海洋和沙滩垃圾的机器,能够有效保护海边环境,为沙滩垃圾清理问题提供一种新的思路,为环保事业贡献一份力量<sup>[2]</sup>。

## 1 机械结构设计思路

### 1.1 螺旋浮筒推进器

两栖清理车的工作区域为沙滩和海面,工作区域非常柔软,着力点相对较少。因此两栖清理车轮子设计为螺旋浮筒推进器。该轮子具有很强的推进能力,且受力面积大,因此施加于沙滩的压强较小,不容易陷入沙滩中,并且该浮筒设计为空心状态,方便在海面上进行工作。螺旋浮筒(图1)选择使用螺旋桨带动的方式运行,可以通过改变两边浮筒的旋转速度实现转向。因此可以真正实现垃圾清理车的两栖运行。

螺旋浮筒选择安装在两栖清理车的两边底架位置,整个螺旋推进器由螺旋叶片、推进器外壳、电机、减速器和轴用密封件组成。外壳部分安装在底架位置,与底架紧密固定,螺旋推进器内部含有电机和行星减速器,可以由电

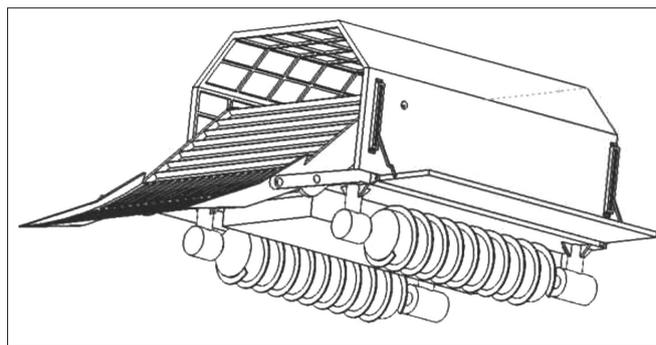


图1 螺旋浮筒示意图

机的输出轴带动行星减速器,从而驱动外壳<sup>[2]</sup>。

使用螺旋推进器可以无视地形的限制,在沙滩以及水面任意行驶,非常有效地避开了目前市面上垃圾清理车很难在软湿沙滩上工作的问题,同时使用螺旋推进器可以更好地清理以及收集沙滩垃圾。

选择偏向于硬质橡胶的材质,因为该材质的耐磨性和耐腐蚀性很适合在沙滩和海面工作的两栖清理车,并且可以延长两栖清理车的使用寿命,大大降低了成本。

### 1.2 螺旋滚筒力学模型

螺旋浮筒满足下列关系式:

$$P = \pi (r + r_1) \tan \theta$$

式中:  $\theta$  - 螺旋升角。

螺旋叶总长为  $NP$ ,  $N$  为螺旋线总圈数。

螺旋浮筒推进器在沙滩上运行时,由于沙滩在提供推力时发生剪切变形,车辆驱动轮的接地面相对地面向后滑动,即出现滑转现象。滑转是指驱动轮实际走过的距离小于纯滚动时应走过的距离,而滑转率是指车辆的理论速度与实际速度的差与理论速度的比值。滑转率为:

$$S_x = \frac{\frac{P\omega}{2\pi} - v_x}{\frac{P\omega}{2\pi}}$$

式中:  $\omega$  - 螺旋角速度;

$v_x$  - 螺旋浮筒推进器在  $X$  方向上的速度。

滑转率既影响车速，又影响燃料的消耗，在车辆驱动状态下， $0 \leq S_x \leq 1$ ；在车辆制动状态下， $-1 \leq S_x \leq 0$ 。

当  $S_x$  为定值，沉陷量  $h$  将达到稳定状态，稳定时沉陷量  $h$  与  $S_x$  成正比例关系，引入系数  $c$ 。 $h$  的计算公式为：

$$h = h_0 + cS_x$$

式中： $h_0$  - 静态沉陷量。

根据理论分析，螺旋浮筒的推进力为：

$$F_x = F \cos \theta$$

$$F = \iint (\tau \cos \zeta - \sigma \sin \zeta) dA d\theta$$

沙滩剪切距离  $d$ ，引入系数  $f_s$ ，可得：

$$\begin{cases} d = \frac{\pi(r+r_1)\tan\theta}{2\sin\theta} & f_s > 0 \\ d = \frac{\pi(r+r_1)\tan\theta}{2\cos\theta} & f_s < 0 \end{cases}$$

式中： $f_s = P/r_1 - \pi(r_1+r)(\tan\theta + \cot\theta)/(2r_1)$ 。

随着螺旋升角  $\theta$  增大， $\theta \geq 45^\circ$  时， $d$  的变化速度明显增大，根据 MSA 的试验资料， $\theta$  对推进力的影响与介质有关。在泥土和淤泥中， $\theta = 30^\circ$  时推进力特性最佳；在水中， $\theta = 60^\circ$  时推进力最佳。

根据这一特性，在设计螺旋浮筒时，将螺旋升角  $\theta$  设计为  $45^\circ$ ，既保证了在滩涂土壤上的推进能力，也保证了在海面上的推进效果。

### 1.3 可收放式浮板

利用可收放式浮板来支撑小车，当在处理海面垃圾时，打开浮板保证小车处于海面上一定高度，稳定收集污染物。普通的两栖运输工具不能很好地应对海洋波动，无论在海面还是海面下，都存在很多波动。在海面上由于海面宽广、海风风速大等原因会出现许多大大小小的海浪。

因此为了使两栖清理车能够在海面稳定工作，给小车两边加装了浮板，并且浮板可通过滑块在滑槽内移动来收起和释放，在海面工作时释放，在沙滩工作时收起。

### 1.4 沙石收集装置

两栖清理车的工作区域分为海面以及沿海沙滩，在沙滩上进行清理垃圾的过程中，无法避免沙石跟随垃圾一起进入垃圾收集区域，因此，在两栖清理车底部安装一个网格状的垃圾收集装置，在该装置底部放上沙石收集装置，以保证清理垃圾的同时不将沙石一并带走。两栖沙滩车工作原理如图 2 所示。

并且，考虑到可能会出现垃圾过多导致网格状底部被堵塞的情况，在沙滩车前铲部分也安装了震动筛沙装置，在收集垃圾的装置中加入震动的电机，使其定时震动，防止出现垃圾过多的情况下导致沙石无法被过滤到底部的沙石收集装置中，并且震动技术也可以减少垃圾收集装置中垃圾所占用的空间，极大增加了两栖清理车外出工作的时长<sup>[3]</sup>。

### 1.5 震动筛沙装置

在震动筛沙装置中，在筛斗前后方加入弹簧的设计，

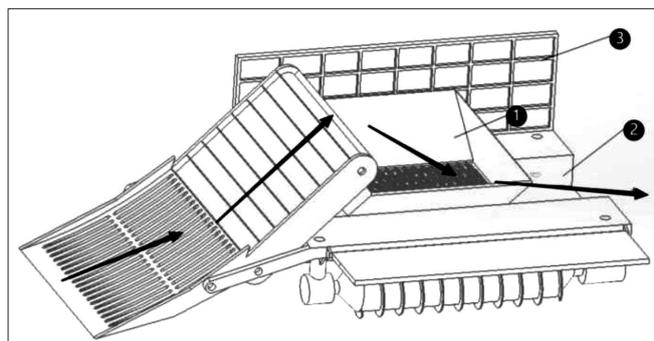


图2 工作原理图

这样可以在筛沙的过程中减小筛斗对两栖清理车的撞击力，从而延长电机以及两栖清理车的使用寿命。考虑到材料的功能消耗以及市场价格，筛斗以及筛沙装置都选择使用钢材，从而保证筛斗在筛沙过程中消耗最小。

利用电机的输出轴旋转来带动筛斗进行筛沙，可以最大程度减少筛沙对两栖清理车正常行驶的影响。震动筛沙功能的基本原理为曲柄滑块联动使筛斗工作。

### 1.6 传送装置

两栖清理车采用了漏铲装置，在沙滩以及水面工作的时候可以自动将部分大颗粒沙石以及海水过滤，只带走污染物<sup>[4]</sup>。并且在水上运作时可以减少水对前铲的推力；还可以防止两栖清理车推动水的同时推走污染物，从而达不到清理的工作要求；甚至可以和传送带结合，使污染物落到传送带上。漏铲的独特之处在于槽孔，一方面，在沙滩上可以减少阻力并且过滤沙石，减少了沙子给沙滩车增加的负重，另一方面，在海面可以减少水流的反作用力，避免将海面垃圾反推回海洋。

## 2 电控与通信方面的设计思路

### 2.1 电机驱动控制系统

在设计两栖清理车的动力系统时，考虑到燃料成本的问题，使用电动机来设计两栖清理车的驱动控制系统，接下来，简单介绍一下电动机选型的相关参数。

电动机的额定功率：指输出功率，是量化电动机负载能力的一项重要参数，也是选择电动机型号的一个重要依据。

正确选择电动机功率的原则：应该在电动机能带得动负载的情况下，选取最经济的方案，如果功率太大，电动机的费用会很高，造成浪费；相反，若功率选的过小，电动机长期过载工作，会很容易损坏。

决定电动机功率的因素有三个：第一，电动机的发热与温升，这是决定电动机功率的主要因素；第二，允许短时间过载能力；第三，对异步鼠笼型电动机还要考虑启动能力。一般来说，根据驱动的负载类型、电动机的额定功率、额定电压、额定转速便可以将电动机大致确定下来。

本文选择 YZNP2-90S-2 智能控制三相异步电动机，额定功率为 1.5kW，变频范围为 25 ~ 60Hz。该电动机与

变频器高度集成为一个有机整体,外形美观,采用F级绝缘材料,防护等级为IP55,电动机体积小、重量轻、变频范围广、性能稳定且操作简单,便于维护。

YZNP2-90S-2智能控制三相异步电动机控制方式为开环矢量控制(无PG),内置PID(进程控制符),可实现过程闭环控制,通过内置PLC或控制端子实现最多16段速运行。

## 2.2 GPS和惯性导航系统

GPS模块是基于ATGM336H-5N的高性能BDS/GNSS定位导航模块,支持中国北斗二号和北斗三号的所有卫星、美国GPS、俄罗斯GLONASS、日本QZSS等多种卫星导航系统,同时接收上述卫星导航系统的卫星信号,提供联合定位、导航和计时服务。

两栖清理车上搭载的GPS模块从卫星接受星历,星历里面有卫星自己准确的空间坐标 $X_1$ 、 $Y_1$ 、 $Z_1$ ,同时也会有一个准确的时间 $T_1$ ,因为卫星有原子钟,卫星会把这些信息发送给车上的GPS接收机。

但是卫星定位最大问题就是误差,由于天气影响,再加上网速很快,所以误差一般在几米到几十米。为了减小误差,就需要与附近的GPS基准站连接,它可以接收车上GPS接收机收到的坐标信息,与GPS基准站已知的固定坐标进行对比修正,再将修正后的数据通过移动通信网络发送给两栖清理车,清理车再将坐标信息传输到设备上,精准定位。

同时在车上搭载惯性导航系统,惯性导航是一种航迹推算的导航系统,根据已知点的位置信息、测得载体的加速度和角速度推算出下一个位置信息。一个惯性导航系统配置三个加速度计和三个陀螺仪,根据牛顿第二定律,对时间二次积分就可以得到运动的行程<sup>[3]</sup>,因此也得到了两栖清理车的运动方向和姿态。

## 2.3 程序与算法控制

程序开始执行后,会优先对各模块及外设功能进行初始化,之后便在while循环中处理GPS回传数据,由于回传速率较慢,故而放在主循环中,以便在IMU(惯性测量单元)中断发出后及时处理数据并计算所需输出。

通过将GPS返回的实时坐标数据和理论目标点的坐标进行对比,就能得到两栖清理车的预期目标姿态角,通过将其与IMU回传的车辆实际姿态进行对比可得角度偏差,最后通过PID算法计算出实际输出。

## 3 结语

结合国内外沙滩清洁车以及国内海洋沙滩污染现状,设计研究了沙滩和海面两栖清洁车,以解决海洋和沙滩垃

圾污染问题。在设计过程中具体完成如下工作:

(1)通过网络资源考察了我国各个海域沙滩污染情况,同时对比了有关沙滩清洁车的国内外论文资料以及研究成果,为两栖清洁车的设计提供了设计依据和指导。

(2)根据资料分析,立足于国内沙滩垃圾的基本组成与分布情况,设计研发了一辆沙滩和海面两栖清洁车,两栖清洁车采用了螺旋浮筒推进器和可收放式浮板两种装置分别处理沙滩和海面的垃圾。

利用螺旋浮筒推进器,两栖清洁车可以适应复杂的沙滩环境,不仅能够各种不同环境下航行,还能更有效地收集沙滩垃圾。利用可收放式浮板来支撑小车,当在处理海面时,打开浮板保证小车处于海面上一定高度,使其能够稳定收集污染物。

针对上述两种模式,分别从设计以及理论上分析了两栖清洁车清洁振动装置的结构与工作原理,为两栖清理车整车结构的设计提供了依据。

(3)两栖清理车采用电动机驱动,完成了两栖清理车动力系统以及GPS和惯性导航系统的构思。同时对两栖清理车动力系统的组成元件例如电动机、GPS模块以及相对应的程序和算法进行了选型和计算,对两栖清理车各个系统的方案进行了分析和比较,最终确定了整车的驱动控制系统以及GPS和惯性导航系统<sup>[5]</sup>。

(4)根据设计的沙滩和海面两栖清理车的整体结构,利用机械动力学软件ADAMS对机构进行仿真,分析了两栖清理车运行的行程以及清理垃圾的情况,同时优化了两栖清理车的布置,为两栖清理车整车的设计研究提供了理论基础参考依据。

**基金项目:**2022年武汉商学院创新创业项目:沙滩与海面两栖清理车,项目编号:202211654039。

## 参考文献:

- [1] 万玉春,张洪燕,李万田,等.近海沼泽地螺旋推进船[J].科学技术创新,2020(05):186-187.
- [2] 郭晓林,刘杰,孙伟,等.螺旋推进器在湿软地面推进力的仿真分析[J].装甲兵工程学院学报,2014,28(03):47-50.
- [3] 邱元阳,刘宗凡,倪俊杰,等.身边的传感器[J].中国信息技术教育,2018(05):65-72.
- [4] 刘瑾,高增亮,钱明星,等.水面垃圾清理设备的研究现状及发展趋势[J].机电产品开发与创新,2022,35(05):82-84+97.
- [5] 张芙蓉,汤泽军.一种水面垃圾清理机器人设计[J].技术与市场,2022,29(09):8-11.