

文章编号: 1000-5013(2009)01-0012-04

城市下水道清淤移动式机械手系统设计

顾立志¹, 牛国玲², 霍艳忠³

(1. 华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021;

2. 佳木斯大学 机械工程学院; 3. 佳木斯大学 信息电子技术学院, 黑龙江 佳木斯 154007)

摘要: 设计一种可手动/远程控制的移动式清淤液压驱动机械手系统. 分析其机械手机构、液压驱动与控制及可编程电器控制的功用、工作原理、组成结构, 研究和设计其相关的运动学和动力学. 通过可编程控制器, 可实现对爪子、回转台上回转臂和升降臂的控制, 完成清淤操作. 提出抓取率的概念和抓端理想轨迹线, 分析实际轨迹线及特性要求, 推导出抓端运动方程, 实现了作业的高效率和过程控制的自动化.

关键词: 机械手; 下水道; 抓取率; 可编程逻辑控制器

中图分类号: TH 6; TU 823. 5; TP 241. 3

文献标识码: A

在城市环卫工作中, 需要定期清除市区下水道中的垃圾、淤泥等^[1-2], 以保证下水道始终畅通. 近20年来, 已采用的吸抽式清淤等技术, 在一定程度上降低了操作者的劳动强度, 提高了生产率, 但在相当程度上仍由人工作业完成, 且能耗大、噪音大, 不利于环保. 此外, 吸抽式除淤系统封闭性、密闭性要求高, 工作端口受限多, 适应性比较差, 对于秸秆、石块等尺寸较大的固形物难以吸抽除去, 因而限制了吸抽清淤技术的应用. 因此, 亟待环保、清洁、低耗、高效、机械化、现代化的清淤设备. 本文设计一种清理城市下水道垃圾淤泥的可移动式液压伺服机械手系统.

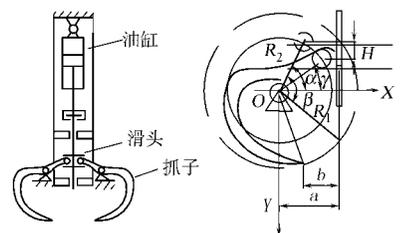
1 机械手机构的分析与设计

机械手机构^[3-4]部分的基本任务是, 在所限定的作业空间内完成淤泥杂物的抓取、提升和转位排淤等动作. 这3个动作分别由抓取油缸、提升油缸和转位液压马达驱动控制完成^[5]. 最后, 再经抓取油缸释放爪子, 实现淤泥杂物的排放. 整个机械手机构由抓取机构、提升机构和转位机构组成.

1.1 抓取机构

1.1.1 功能与结构分析 机械手抓取机构的基本功能是抓取自如、排放可靠, 满足抓取率要求. 即机械手抓取机构必须有较高的可靠性和较好的工作特性, 爪子张开要有足够大的角度, 淤物可自由落下或被强制排出. 运用液压系统的工作稳定可靠、抗干扰性强等特点, 驱动抓取机构, 再辅以爪子结构参数的优化设计, 以实现上述功能(图1).

该机构由一个液压缸铰接一个往复运动的滑头, 带动两侧爪子实现抓放物体. 主动转臂 R_2 与抓臂 R_1 之间的夹角为 β , 且保证尺寸 b 及两个极限位置 α 与 γ . 爪子内部工作型面——抓槽结构应满足排放情况下槽内物完全落下的要求. 爪子两个极端位置的约束条件: $H = R_2(\cos \alpha - \cos \gamma)$, $b = R_1[\cos(\beta - \alpha) - \cos(\beta - \gamma)]$. 其中, R_1 , R_2 分别为抓臂和主动转臂长; α 为主动转臂相对水平位置最大工作转角, 此时抓槽闭合; γ 为主动转臂相对水平位置最小工作转角, 此时抓槽完全打开.



(a) 结构组成 (b) 抓放原理

图1 抓取机构

Fig. 1 Grasping mechanism

收稿日期: 2008-03-17

作者简介: 顾立志(1956-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事金属切削与先进制造技术的研究. E-mail: gulizhi168@hotmail.com.

基金项目: 国务院侨办科研基金资助项目(06QZR06)

1.1.2 抓取率与抓取参数 由于卧泥井、普通检查井等作业空间的限制, 爪子外部结构应保证抓取率 $\omega = 2b/D \geq 70\%$, 亦即 b 的最小数值约为 $D/3$. 其中, b 为主动转臂最小工作转角或爪子完全打开时, 抓槽最大开口水平尺寸的一半, D 为井的直径(圆井)或井的水平尺寸(矩形井).

由此可知, b 值的大小直接影响抓取效果. b 值越大, 抓取率越大, 清淤越彻底, 但结构设计难度增加; b 值越小, 抓取率越小, 清淤不彻底. 影响 b 值的主要因素, 包括爪子外部结构尺寸、爪子承载能力及生产率、抓取机构的工作特性. 单纯从抓槽端的运动学保证抓取率的角度看, 在整个抓取过程中, 抓槽端在作业环境中的理想轨迹应是对清淤井壁面和井底的仿行. 即一段平行且毗邻井壁的垂直线——一段平行且毗邻井底的水平直线, 两直线正交连接. 但是, 在实际中这种状态不可能实现, 而可能的情况是与井壁距离为 e_1 的一段垂线——二次或三次曲线——一段与井底距离为 e_2 的水平线, 如图 2 所示. 垂线的 e_1 和水平线的 e_2 应尽可能小; 垂线和水平线间的过渡段亦应尽可能采用较小的曲率半径, 以满足抓曲率的要求. 另一方面, 该过渡段曲率半径越小, 意味着抓槽端的运动变化越剧烈, 会导致较大的冲击, 不利于系统工作的平稳性要求.

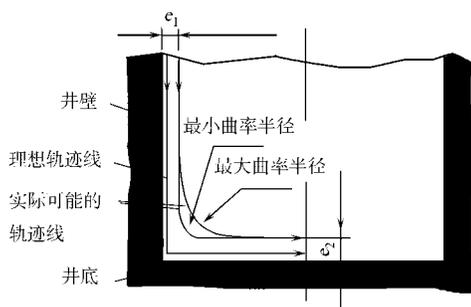


图 2 抓取运动轨迹线
Fig. 2 Grasping locus

因此, 在设计爪子的具体结构时, 应综合考虑机构的工作特性要求、各种影响因素和实际可能, 采用数学规划方法加以确定(限于篇幅, 具体计算略).

1.1.3 抓端运动学分析 将抓端 Q 连同爪子抽象成“L”型杠杆, 支点为 O_1 , 如图 3 所示. 取绝对坐标 OXY 和相对坐标参考系 $O'X'Y'$, Y 及 Y' 与提升臂油缸轴线重合. 先考察抓端 Q 工作过程中的位置.

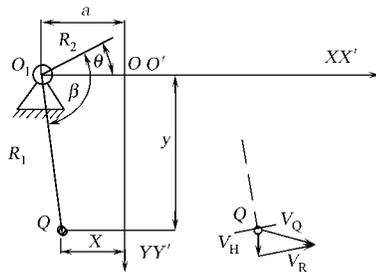


图 3 抓端 Q 的位移与运动速度
Fig. 3 Displacement and velocity of the reference point of the claw device Q

在爪子处于完全张开和完全闭合之间, 抓端 Q 的坐标: $x' = -a + R_1 \cos(\beta - \theta)$, $y' = R_1 \sin(\beta - \theta)$, $\forall \theta \leq \alpha$ 当爪子完全张开时, 抓端 Q 的坐标: $x' = -b$, $y' = R_1 \sin(\beta - \alpha)$; 当爪子完全闭合时, 抓端 Q 的坐标: $x' = 0$, $y' = R_1 \sin(\beta - \gamma)$.

为了提高清淤效率, 将提升臂在进入作业面——开始接触淤物时, 置于工作速度 V_H 并匀速下降至不大于一个槽深位置. 因此, 抓端 Q 的位置不仅仅由绕支点的转动确定, 还取决于提升臂下降工作速度 V_H . 这种影响只作用于 y' 方向, 所以, 在绝对坐标系下, 只需将 y' 再加上一个位移量, 则抓端 Q 的坐标为

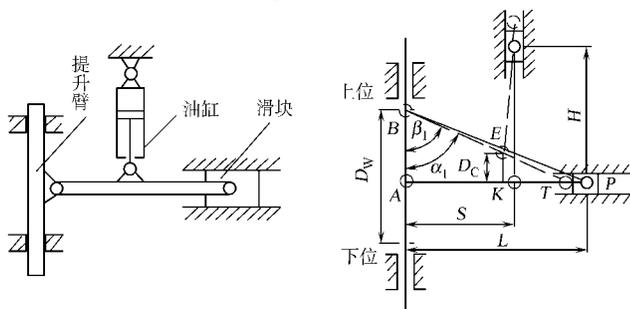
$$x = -a + R_1 \cos(\beta - \theta), \quad y = R_1 \sin(\beta - \theta) + V_H t.$$

上式中, t 为提升臂在开始接触淤物时以工作速度 V_H 匀速下降的时间.

再考察抓端 Q 的运动速度. 如上所述, 抓端 Q 的运动是提升臂的下降线性运动和绕支点 O_1 回转运动的合成. 抓端 Q 的运动速度 V_Q 是以提升臂工作速度 V_H 为相对速度, 以 L 型杠杆绕支点 O_1 回转速度为牵连速度的合成, 即 $V_Q = V_H + V_R$.

1.2 提升机构

利用杠杆的行程放大作用, 使提升臂的运动范围能够满足其功能要求, 在此前提下, 尽量使油缸行程小. 由于实际清淤的操作井深 P 可达 3 m 或更深, 在油缸小行程下实现伸缩臂下降至下位(抓淤)和上升至上位(排淤)极其重要. 提升机构的结构组成, 如图 4 所示. 其中, 构件 AP 相当一杠杆, 点 K 为支点. 杠杆放大系数的恰当选取, 可以保证伸缩臂实现其动作功能. 若取图 4 中构件 AKP 水平位置为



(a) 结构组成 (b) 机构原理
图 4 提升机构

Fig. 4 Lifting mechanism

原始状态,当液压缸活塞杆收缩时,点 K 升至点 E ,伸缩臂上的点 A 升至点 B ;同理,在液压缸活塞杆推动下,伸缩臂下降对应的行程.该机构杠杆放大系数 $\mu = \frac{D_w}{2D_c} = \frac{L}{L-S}$.因此,设计中选取恰当的结构参数即可满足在油缸小行程的情况下获得比较大的提升或下降工作行程.

1.3 转位机构

转位机构应满足在 $0 \sim 180^\circ$ 范围内的转动,以及在此范围内可靠停止和固定在任意所需的位置上.采用光码盘分度技术、液压驱动技术和液压-摩擦式制动技术以实现上述任务.转位机构设计,如图5所示.

利用液压马达驱动回转臂下面的圆盘齿轮,使机械手在平角范围内转动.采用增量式光码盘,实现控制精度小于等于 0.2° ;利用马达的断油自锁,可使机械手在平角转动范围内的任意位置上停止.为保证该位置的准确与可靠,采用冗余技术,在回转臂下部另配置液压-摩擦式制动装置,当转盘液压马达停转,回转臂转入预定位置,而制动装置投入工作.

液压-摩擦式制动装置基本工作过程:与驱动液压马达相配合,当液压马达驱动齿轮使回转臂转动时,液压-摩擦式制动装置电磁阀处于释放状态,制动片不与固定毂接触;当液压马达驱动齿轮使回转臂转动至某一工作角度,回转臂需要固定不动时,液压-摩擦式制动装置电磁阀进入工作状态,制动片以一定的压力与固定毂接触,产生所需的摩擦力,使回转臂可靠地保持在原来的位置上.即便是爪子抓取淤物时,淤物相对于爪子对称面产生一扭转力矩,亦能保证其正确位置.抓取淤物时爪子可能受到的扭转力矩,如图6所示.即 $F_t R \geq F d_i$,或 $F_t R \geq F l_i$,其中 d_i 和 l_i 分别表示等效力臂.液压-摩擦式制动装置提供的摩擦力矩足以抵消此扭转力矩,保证回转臂不动.

液压-摩擦式制动装置基本工作过程:与驱动液压马达相配合,当液压马达驱动齿轮使回转臂转动时,液压-摩擦式制动装置电磁阀处于释放状态,制动片不与固定毂接触;当液压马达驱动齿轮使回转臂转动至某一工作角度,回转臂需要固定不动时,液压-摩擦式制动装置电磁阀进入工作状态,制动片以一定的压力与固定毂接触,产生所需的摩擦力,使回转臂可靠地保持在原来的位置上.即便是爪子抓取淤物时,淤物相对于爪子对称面产生一扭转力矩,亦能保证其正确位置.抓取淤物时爪子可能受到的扭转力矩,如图6所示.即 $F_t R \geq F d_i$,或 $F_t R \geq F l_i$,其中 d_i 和 l_i 分别表示等效力臂.液压-摩擦式制动装置提供的摩擦力矩足以抵消此扭转力矩,保证回转臂不动.

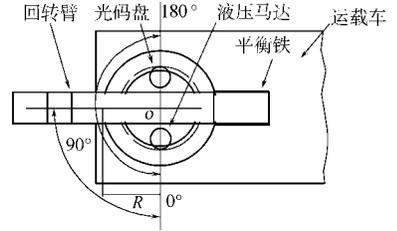
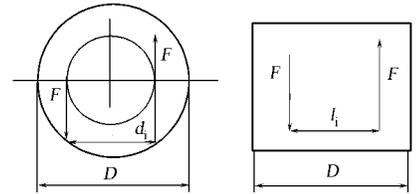


图5 转位机构

Fig. 5 Swing mechanism



(a) 圆井

(b) 矩形井

图6 扭转力矩示意图

Fig. 6 Schematic of torsion

2 液压驱动与伺服控制

根据机械手的运动要求,液压伺服控制油路使用2个油缸,4个三位四通电磁阀,如图7所示.使用三位四通电磁阀的目的,在于实现机械手系统的3种运动并在规定的范围内任意位置上启动和停车.电磁比例阀的作用是调整机械手的运动速度和为液压油缸和马达提供一定的背压,以实现和保证对液压油缸和马达的准确控制.

3 系统的控制与实现

机械手系统的各种动作,是通过对可编程控制器(PLC)的编程实现的.PLC系统的组成原理^[6-8],如图8所示.通过接口电路的传感器,提取爪子的开合状态信号、伸缩臂的位置信号和回转臂的转角信号等输入至PLC.经由PLC处理后,控制液压电磁换向阀和电磁比例阀,完成机械手的相关动作.

在可编程控制系统中,各基本元器件的主要功用:1DT,2DT为排放、收紧爪子电磁阀;3DT,4DT为伸缩臂下降、上升电磁阀;5DT,6DT为转位机构正向、反向电磁阀;7DT为速度控制电磁比例阀;8DT,9DT为液压-摩擦式制动装置工作、释放电磁阀.根据PLC系统的实际需要,机械手臂系统的各电磁阀的动作顺序,如图9所示.

系统复位或启动时,机械手爪子处放松状态,伸缩臂提升至上位,回转臂在 90° 方位上.可编程电气控制系统的控制方式主要是手动控制方式.系统具有手动操作一次后可被存储重复操作的功能,即机械手的每个关节的任意一次动作都可被存储起来.只要没有新的动作,机械手将重复存储的动作,这可大

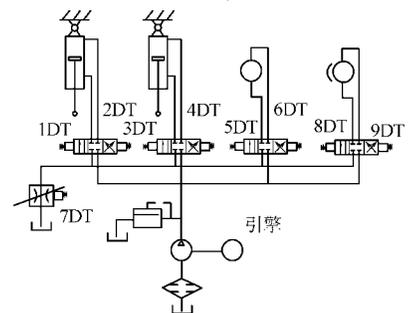


图7 机械手臂液压伺服系统

Fig. 7 Hydraulic servo system of the manipulator system

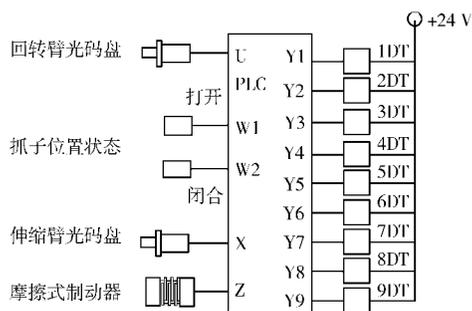


图 8 可编程控制系统

Fig. 8 Programmable logic controller system

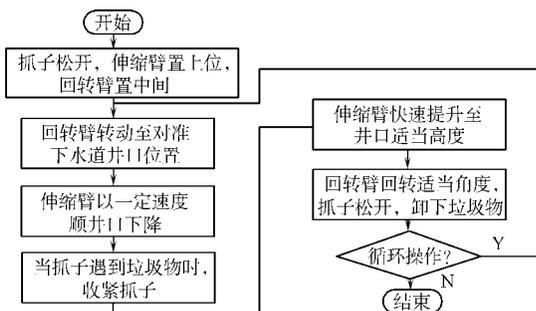


图 9 机械手动作流程

Fig. 9 Flow chart of the arm's movement

大减轻操作者的劳动强度。

4 结束语

车载机械手系统实验表明, 各部分运行可靠、操纵灵活方便、系统噪声较小、淤物抓取迅捷, 完全能够满足现场使用要求. 该机械手系统完全实现了机械化、电气化, 其突出特点是机动性强、效率高、适应性强, 具有一定的智能。

参考文献:

- [1] 郑伟民. 排水灌渠水利疏通[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1980.
- [2] 中华人民共和国建设部. CJ/T 16- 21- 1999 城市环境卫生专用设备[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [3] 楼鸿隶, 邹慧君. 高等机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [4] 吴宗译. 机械零件设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [5] 林国重, 盛东初. 液压传动与控制[M]. 北京: 北京工业学院出版社, 1986.
- [6] 齐从谦, 王士兰. PLC 技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [7] 陈尚松, 雷 加, 郭 庆. 电子测量与仪器[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [8] 张振荣, 晋明武, 王毅平. MCS 51 单片机原理及实用技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.

Design of a Mobile Manipulator System for Sullage Disposal in Urban Areas

GU Li-zhi¹, NIU Guo-ling², HUO Yan-zhong³

(1. College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;

2. College of Mechanical Engineering, Jiamusi University;

3. College of Information Science and Electronics, Jiamusi University, Jiamusi 154007, China)

Abstract: A mobile manipulator system with manually operated remote control and hydraulic servo device is designed for sullage disposal in urban areas. The function, working principle and configuration of the 3 parts, i. e., the mechanical system, the hydraulic servo device and the programmable logic controller (PLC), are analyzed, moreover, the kinematics and dynamics of the manipulator system are analyzed for the further control. The sullage disposal operation is implemented by the manual operated panel to make the PLC to manipulate the claw device, the swivel arm on the turning table and the lifting arm. The kinematic equation of the claw device is derived with the definition of the catch ratio and the ideal trajectory of the claw device, and with the analysis of its real trajectory and the performance requirement, so that the operation with high efficiency and automation of the process control could be realized.

Keywords: mechanical arm; sewer; catch ratio; programmable logic controller

(责任编辑: 钱 筠 英文审校: 郑亚青)