

爬壁除锈机器人在储罐外壁除锈作业中的应用

周 敏 (中国石化海南炼化化工有限公司, 海南 洋浦 578101)

摘要: 文章介绍了爬壁除锈机器人的抛丸除锈功能以及配套使用的回收净化系统的构成和各部分的工作原理。叙述了爬壁除锈机器人在20000m³大型储罐外壁除锈作业中的应用,应用结果表明:与传统的人工干气喷砂除锈法相比爬壁除锈机器人在安全环保、改善喷砂作业的环境以及减轻工人劳动强度方面表现出较大的优越性。同时分析了爬壁除锈机器人在20000m³大型储罐外壁除锈作业应用现场暴露出的不足之处,并提出改进建议。

关键词: 储罐; 爬壁机器人; 抛丸除锈; 回收净化

0 引言

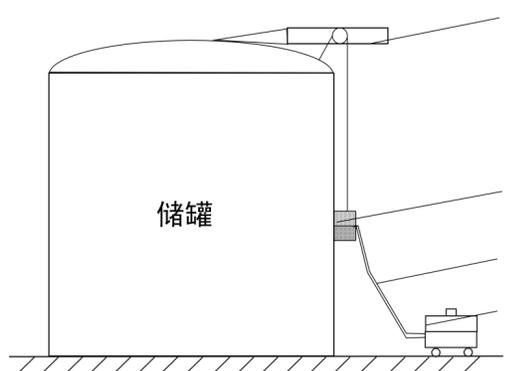
随着经济的快速发展,人们对石油化工产品的需求不断增加。为了满足人们对石油化工产品日益增长的需求,大型立式焊接钢制储罐在石油化工产品的储存中发挥重要作用,是石油化工产品非常重要的储运设备。随着储罐运行年限的增长,储罐外壁腐蚀问题日益突出。近几年,储罐因外壁腐蚀引起的使用年限缩短的事件时有发生。大型立式焊接钢制储罐的外部腐蚀是多种因素综合影响的结果,但是主要因素表现为大气腐蚀,目前最广泛应用于大型立式焊接钢制储罐减缓大气腐蚀的方法是涂刷防腐层。在影响大型立式焊接钢制储罐外防腐涂层使用寿命的诸多因素中,60%~70%是由于外表面处理不当引发的,涂料本身性能的原因只占约25%。

因此,在储罐使用生命周期中需要定期除锈,喷涂防腐层。目前石油化工行业绝大部分的储罐除锈方式是人工干气喷砂除锈,虽然这种方式除锈效率高,但是这种除锈方式也存在诸多问题:一是环境污染严重,人工喷砂作业过程中喷射会产生大量石英沙粉尘、储罐外壁被石英砂喷射打落的油漆粉尘以及铁锈粉尘,这些粉尘随风飘扬对环境产生严重污染。二是人工干气喷砂除锈操作人员长期处于空气粉尘中喷砂作业,身体健康受到了极大的威胁。三是人工干气喷砂除锈作业需要操作人员手持喷枪站在脚手架上连续作业,劳动强度大,作业风险大。

1 爬壁除锈机器人的构成

爬壁除锈机器人主要由提升设备、抛丸除锈设备、回收净化系统、电控系统和安全保护装置等构成,如图1所示。提升设备包括电动卷扬机、支撑架、钢丝绞盘、滑轮、万向轮、配重等;抛丸除锈设备包括电机、抛丸轮、永磁吸附器、储料斗、分离装置等;回收净化系统包

括脉冲反吹除尘器、连接管、灰斗等;电控系统包括提升设备控制台和回收净化系统控制台等;安全保护装置包括提升设备防坠钢丝绳和紧急停车按钮等。



1. 提升设备; 2. 抛丸除锈设备; 3. 连接管; 4. 回收净化系统
图1 爬壁除锈机器人工作示意图

2 爬壁除锈机器人各部分的工作原理

2.1 提升设备

提升设备包括电动卷扬机、支撑架、钢丝绞盘、滑轮、万向轮、配重等组成。提升设备放置在储罐顶部用于控制抛丸除锈设备的上行与下降,抛丸除锈设备通过钢丝和滑轮与提升设备的钢丝绞盘连接,提升设备上的电动卷扬机带动钢丝绞盘转动带动钢丝的收放从而控制抛丸除锈设备的上行与下降。提升设备四脚安装万向轮可以实现提升设备本身的移动。为了平衡抛丸除锈设备的重量,提升设备上放置了相应的配重,配重的重量随着抛丸除锈设备不同的工作方式而不同。

抛丸除锈设备在自下而上工作与自上而下工作时,提升设备所需要的配重分别为:

$$W_m \geq W_{i+} (F_a + F_b - F_y) \cdot \mu + F_c \quad (1)$$

$$W_m \geq W_{i-} (F_a + F_b - F_y) \cdot \mu + F_c \quad (2)$$

式中: W_i 为抛丸除锈设备自重, N; F_a 为负压吸附力, N; F_b 为抛丸除锈设备磁吸力, N; F_y 为喷砂

反冲力, N; F_c 为回收净化系统连接管重力, N; μ 为储罐外壁静摩擦系数。

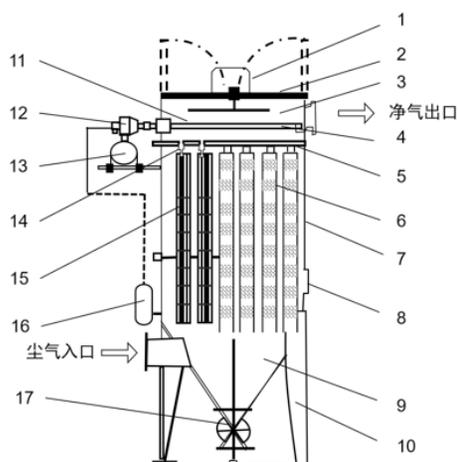
由公式 (1) 和 (2) 可以看出抛丸除锈设备在自上而下工作时需要的配重较少。为了减少储罐顶部的载荷, 在现场使用中选择配重较少的工作方式。提升设备还配备了防坠钢丝绳, 防止提升设备配重失效引发的事故。

2.2 抛丸除锈设备

抛丸除锈设备包括电机、抛丸轮、永磁吸附器、储料斗、分离装置等组成。抛丸除锈设备是通过电机带动抛丸轮高速旋转, 高速旋转的抛丸轮产生离心力和风力将直径 1.2-1.5mm 的钢丸抛出冲击在储罐外壁上, 使得储罐外壁上的铁锈与附着物脱落。工作时储料斗里的钢丸通过进丸管进入抛丸轮的内部, 抛丸轮高速旋转在离心力和风力的作用下钢丸沿着抛丸轮叶片的切向方向不断加速运动直至抛出, 高速抛出的钢丸经过定向套窗口后会形成扇形的流束冲击在储罐外壁上。完成冲击之后的钢丸、灰尘、杂质等在回收净化系统吸尘器强力抽吸下进入抛丸除锈设备的分离装置, 钢丸经过分离器分离后进入储料斗循环使用, 灰尘和杂质通过连接管被吸进除尘器。

为了使抛丸除锈设备紧贴储罐外壁工作, 定向套窗口安装有永磁吸附器可以使定向套窗口紧紧吸附在储罐外壁上, 因此高速抛出的钢丸可以有效的冲击在储罐外壁上。抛丸除锈经过多年的发展, 国内外都有文献表示抛丸除锈在表面处理上存在着无可比拟的优势。

2.3 回收净化系统



1. 电机; 2. 上盖板; 3. 上箱体; 4. 扇叶; 5. 花板; 6. 除尘滤袋; 7. 除尘箱体; 8. 检查门; 9. 灰斗; 10. 支架; 11. 喷吹管; 12. 电磁脉冲阀; 13. 气包; 14. 文氏管; 15. 滤袋框架; 16. 控制仪; 17. 排灰装置

图2 回收净化系统示意图

回收净化系统包括脉冲反吹除尘器、连接管、灰斗等组成, 如图 2 所示。脉冲反吹除尘器是回收净化系统的核心设备, 回收净化系统工作时, 在除尘器产生的强大吸力作业下, 灰尘和杂质通过连接管被吸进除尘器中。灰尘和杂质进入除尘器后, 首先经过致密滤芯的分离, 大部分灰尘和杂质在重力作用下进入杂质料斗, 少部分灰尘和杂质吸附在滤芯表面。此时脉冲反吹器按照设定的时间间隔将压缩机产生压缩空气按反吹进滤芯里, 保障滤芯的清洁。

3 爬壁除锈机器人在 20000m³ 大型储罐外壁除锈作业中的应用

爬壁除锈机器人在 20000m³ 大型储罐外壁除锈作业中的应用, 如图 3 所示。爬壁除锈机器人除锈效果好, 满足 Sa2.5 除锈标准, 如图 4 所示。



图3 爬壁除锈机器人的应用

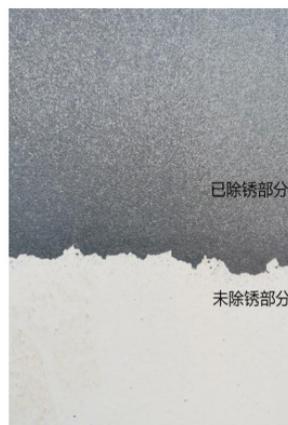


图4 爬壁除锈机器人除锈效果

3.1 爬壁除锈机器人的安装

将提升设备安装到储罐顶部、连接好抛丸除锈设备以及回收净化系统。

3.2 爬壁除锈机器人的使用

首先启动罐顶的提升设备将抛丸除锈设备缓缓升至预定的高度, 然后启动回收净化系统, 观察回收净

化系统运行正常后启动抛丸除锈设备,此时抛丸除锈设备将会吸附在储罐外壁上,最后控制提升设备把抛丸除锈设备竖直下放至指定位置即完成一次除锈作业。在完成一次除锈作业后,将提升设备沿着储罐圆周方向移动,然后重复上述爬壁除锈机器人的使用步骤即可完成另一次除锈作业,不断重复以上两个动作即可完成储罐外壁大部分除锈作业。爬壁除锈机器人使用效果与传统的干气喷砂除锈的比较见表1。

表1 爬壁除锈机器人使用效果与传统的干气喷砂除锈的比较

	爬壁除锈机器人	人工干气喷砂
除锈速度	15-20 m ² /h	8-10 m ² /h
研磨料消耗	10g/m ²	30kg/m ²
安全性	高	较低
扬尘	无	有
劳动强度	小	大

在实际应用中经过简单的培训,工人很快掌握了爬壁除锈机器人的操作方法。爬壁除锈机器人除锈效果好,达到Sa2.5除锈标准。爬壁除锈机器人的使用减少了对脚手架的过分依赖,在保证储罐外壁除锈质量同时又能大大降低了高空作业潜在的安全风险。抛丸除锈设备使用钢丸代替了传统人工干气喷砂使用的石英砂,有效的减少粉尘污染环境同时由于不需要人员近距离操作喷砂职业病危害也相对减少。

4 爬壁除锈机器人暴露出的不足之处以及改进建议

4.1 运动灵活度差、自由度有限

由于爬壁除锈机器人体积较大且仅仅依靠提升设备完成提升和下降。因此,爬壁除锈机器人自由度有限,只能完成储罐壁面大面积锈层的清洁,而不能储罐外壁清除边角、喷淋管、抗风圈、加强圈、以及靠近旋梯等狭窄区域的锈层的清理。针对爬壁除锈机器人无法完成狭小区域锈层的清理工作的问题,霍建玲提出在现有的爬壁机器人基础上增加机器臂携带喷枪以及改进现有机器人运动算法的方法实现喷淋管、抗风圈、加强圈、以及靠近旋梯等狭窄区域的锈层的清理。

现有爬壁除锈机器人运动灵活度差,储罐外壁曲面适应性差。可以使用搭载自适应弹簧悬架行走模块与多自由度喷漆机械臂模块的四轮驱动永磁吸附式爬壁机器人。

4.2 功能单一

目前使用的爬壁除锈机器人仅仅可以完成储罐外壁的除锈工作。储罐外壁的除锈只是储罐防腐作业的第一个工序,在完成除锈作业后还需要经历防腐涂料的涂装和防腐涂层的测厚。使用多功能爬壁机器人可

以实现储罐除锈、防腐涂层涂装以及防腐涂层的测厚等工序。

5 总结

①爬壁除锈机器人在20000m³大型储罐外壁除锈作业中效果良好,极大的提升了储罐外壁除锈的安全性,改善喷砂作业的环境、减轻工人劳动强度;②爬壁除锈机器人在20000m³大型储罐外壁除锈作业应用现场暴露出运动灵活度差、自由度有限、功能单一等不足之处,并提出改进建议。

参考文献:

- [1] 李洪川. 沿海原油储罐的外腐蚀分析与防护措施[J]. 中国石油和化工标准与质量,2016(12).
- [2] 孙福斌. 抛丸法除锈在大型储罐施工中的技术应用[J]. 石油工程建设,2020(08).
- [3] 马涛. 储油罐防腐的施工方法及技术标准分析[J]. 全面腐蚀控制,2019(4).
- [4] 袁江峰,张昌永,徐慧锦. 喷砂除锈施工过程中粉尘预防及其防护措施[J]. 能源技术与管理,2010(07).
- [5] 上官知春. 大型储罐抛丸除锈技术[J]. 化工管理,2019(2).
- [6] Heinz Neise. Consistently Excellent Shot Blasting Results[J]. IST International Surface Technology,2016(11).
- [7] 陈立新. 壁挂式钢板立表面除锈机在利旧钢制储罐外壁除锈的应用[J]. 石油工程建设,2018,40(03):73-75.
- [8] 郝文阁,石伟,丁姝,朱娜. 回转反吹袋式除尘器清灰机理与清灰系统设计方法[J]. 东北大学学报(自然科学版),2009,30(10):1497-1500.
- [9] 齐辉. 脉冲逆喷反吹清灰袋式除尘器设计[J]. 设备管理与维修,2018(19):65-66.
- [10] 陆文. 布袋除尘器除尘效果的影响因素及对策探究[J]. 科技风,2019(36):124.
- [11] 周旭明. 爬壁除锈机器人结构设计与分析[D]. 天津:河北工业大学,2024.
- [12] 霍建玲. 石化储罐除锈机器人控制系统研究[D]. 天津:河北工业大学,2018.
- [13] 张沙. 面向石化储罐喷漆作业的爬壁机器人结构设计及运动控制研究[D]. 天津:河北工业大学,2018.
- [14] 刘淑良,赵言正,高学山,徐殿国,王炎. 喷砂、喷漆、测量用磁吸附爬壁机器人[J]. 高技术通讯,2000(09):86-88+99.
- [15] Surachai Panich. Development of a Wall Climbing Robot[J]. Journal of Computer Science,2010,6(10).