

## Function Design of Automatic Vertical Long Tube Inner Wall Rotating Sand-Blasting Machine

Liu Yi

Beijing YILIU Fluid Technology Co., Ltd, Beijing

**Abstract:** The application of high quality pipe inner wall sand-blasting especially suction sand-blasting to the inner wall of long pipe is a difficult problem in surface engineering field. It needs to take the lead in solving the two technical bottlenecks of high efficiency sand-blasting and multi-runner rotary seal. The wind tunnel sand-blasting gun improves the efficiency of suction sand-blasting, the double-flow two-phase flow rotary sealing joint solves the problem of gas and material supply in rotation, and the introduction of scanning mechanism finally realizes the engineering significance of the automatic application of uniform and efficient sand-blasting on the inner wall of long pipe. It provides advanced surface engineering equipment with convenience, environmental protection, high quality and automation for the pretreatment process of pipe inner wall painting, thermal spraying, electroplating and vacuum coating in narrow space.

**Key words:** Long tube; The inner wall of the tube; Suction blasting; Rotary seal joint

Received: 2020-06-04; Accepted: 2020-06-30; Published: 2020-07-08

# 自动化立式长管内壁旋转喷砂机的功能设计

刘 毅

北京溢流流体科技有限公司，北京

邮箱: 13910058858@126.com

**摘 要:** 高质量管内壁喷砂特别是吸入式喷砂应用于长管内壁预先处理是长期困扰表面工程界的难题。它需要率先解决高效率喷砂和多流道旋转密封两个技术瓶颈。风洞式喷砂枪提高了吸入式喷砂效率，双流道两相流旋转密封接头解决了旋转中的供气供料问题，引入扫描机构最终实现了工程意义的长管内壁均匀高效喷砂自动化应用。为狭窄空间的管内壁涂装、热喷涂、电镀、真空镀膜等预处理工序的广大需求提供了具备便捷性、环保性、高质量和自动化的先进表面工程设备。

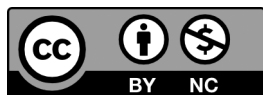
**关键词:** 长管；管内壁；吸入式喷砂；旋转密封接头

收稿日期：2020-06-04；录用日期：2020-06-30；发表日期：2020-07-08

Copyright © 2020 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## 1 引言

金属管道管内壁除锈以及涂装前处理多数采用化学酸洗方法,少数采用喷砂方法。酸洗方法设备和工艺比较简单,但存在基建成本高、质量不稳定、污染严重、生产环境恶劣以及酸洗表面达不到涂覆层附着所要求的粗糙度等缺点,而喷砂处理是目前涂装表面预处理最理想的一种方法。喷砂能彻底清除金属表面的锈层,能造成金属表面一定的粗糙度,增加涂层与基体金属的接触面积,提高涂覆层的结合强度,因而在表面涂覆工程中得到了广泛应用。但在管内壁,特别在长管内壁预处理中采用喷砂方法的比例相对较低。原因在于管内壁喷砂设备不适用且选择范围有限 [1],特别是针对 200 mm 以下口径的长管内壁喷砂仍比较棘手。通常,3 英寸以上长管内壁可选用气动马达或电动马达驱动的斜角旋转压入式喷砂系统,3 英寸以下长管内壁大多采用前端装有散射头的压入式管内壁折射喷砂系统。前者通常采用并列齿轮传动方式驱动喷砂头旋转,占用较大的径向空间,难以应用于更小口径管材;后者的第一次打击作用在耐磨材料的椎形散射头上用以产生径向喷砂分量 [2],第二次打击才作用在管内壁表面,不仅消耗大量能量和砂料,周向均匀性也较差。以上两种喷砂方法均采用压入式喷砂原理,由于压力砂罐和高压控制系统的存在,使得设备系统十分笨重,操作繁琐,安全性差,价格昂贵。

## 2 吸入式管内壁喷砂系统的工作原理

本文介绍一种专门针对长管内壁的吸入式喷砂设备设计,具有结构简单,喷砂质量可靠、操作方便、自动化程度高、环境友好等特点。

不同于现有长管内壁喷砂设备的常规做法,本设计采用独有的均匀高效吸入式喷砂原理 [2]。在保证喷砂效率和质量并且兼顾自动化程度和环保要求的同时,设备构成和操作大幅简化,设备成本和生产消耗明显下降、环境无污染。

### 3 主要部件设计

#### 3.1 长管内壁喷砂机（系统）的核心要件

吸入式喷砂原理应用于自动化长管内壁作业，首先要具备两个先决条件：

条件一，要有多流道两相流旋转密封接头，目的是将砂料和压缩空气分别静态接入，再以旋转状态供给同步旋转中的吸入式喷砂枪；

条件二，吸入式喷砂枪用于管内壁喷砂要高效均匀，传统吸入式喷砂枪喷砂效率普遍低下、均匀性不可控的现状必须改变。

#### 3.2 双流道两相流旋转密封接头

北京溢流流体科技有限公司于2019年研制成功双流道两相流旋转密封接头。它改变了旋转密封技术只适用于单一流体的局面。双流道两相流旋转密封接头中心是由电机驱动旋转的夹套轴，夹套轴的夹层在密封状态下将压缩空气输送给旋转中的喷砂枪，夹套轴的芯管在密封状态下为吸入式喷砂枪提供负压供砂通道。该型旋转密封接头设计巧妙、转动自如、密封良好。它既填补了一项流体机械（双流道两相流旋转密封接头）的技术空白，也成功地为吸入式喷砂枪旋转中工作提供了必要条件。

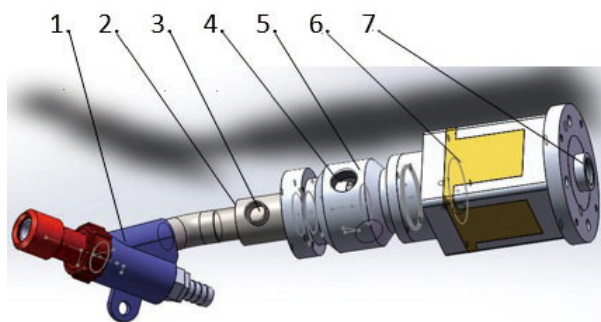


图1 双流道两相流旋转密封接头为核心的旋转喷砂装置

Figure 1 Two channel two-phase flow rotary sealing sand-blasting head

以双流道两相流旋转密封接头为核心的吸入式旋转喷砂装置由吸入式喷砂枪1、双流道两相流旋转密封接头5、驱动电机6等组成。空气接入口4接入压

压缩空气, 旋转夹套轴 2 侧开口的空气出口 3 由软管供给喷砂枪压缩空气; 喷砂枪的吸砂口与旋转套轴芯管链接并一起旋转, 静态吸砂口 7 位于旋转接头静态端口中心。在驱动电机作用下喷砂枪均匀旋转, 压缩空气和负压砂流分别由静态输入状态转变为旋转输出状态, 达到同步向喷砂枪供给压缩空气和砂料的目的, 实现连续旋转的动态喷砂作业。

### 3.3 风洞式喷砂枪

吸入式喷砂枪采用北京溢流流体科技有限公司成熟的制式风洞式喷砂枪。风洞式喷砂枪仍采用吸入式喷砂原理 [4]。结构特点在于将通常的单孔喷气嘴设计成了多孔喷气嘴 1, 每个喷孔设计成优化的拉瓦尔回转面 [3]。

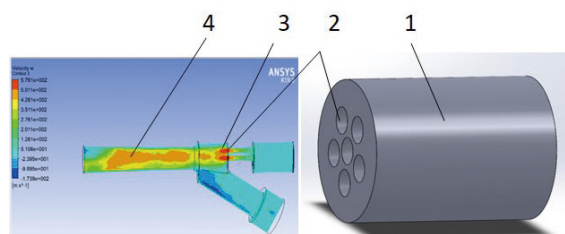


图 2 多孔喷气嘴及流场速度模拟云图

Figure 2 Cloud chart of porous jet nozzle and flow field velocity simulation

使用 Fluent 软件模拟速度流场, 初始条件: 设压缩空气压力 0.75 MPa, 使用 LYP-2.5F 喷砂枪原尺寸三维几何模型, 采用 CFD 自动生成的网格, 基于密度的有限元计算方法, 获得速度数值模拟数据。取纵向对称截面二维云图, 如图 2 所示。云图显示喷气嘴 2 出口有一个 501 ~ 576 m/s 的超声速初始段 3, 在喷砂混合嘴内部有一个大段的速度为 426 ~ 501 m/s 超声速二次加速段 4 (这非常类似于设计有宽阔测试段的超音速试验风洞的初始喷气段结构和测试段结构 [3])。塞满喷砂嘴段管径的二次加速区抑制了径向梯度减速和局部回流, 气体射流通过较宽大的碳化硼喷砂管径 (面积是普通喷砂枪的 4 倍以上) 空间仍在侧向吸砂管创造了实测 -80 KPa 的高度真空 (是普通喷砂枪的 2 倍), 这些流体动态品质有力保证了较大磨料流量在与空气射流的能量交换中获得比较充足的动能, 宽大的喷砂嘴管径有利于增加喷砂磨料的流量, 深度的负压差保证了砂料源源不断的稳定供给。

所以, 风洞式喷砂枪能获得高速大流量且均匀的喷砂射流, 相比于传统喷砂枪, 喷砂效率和效果显著提高。风洞式喷砂枪均匀性体现在砂粒作用密度和强度的空间均匀性与喷砂过程的时间稳定性两个方面。风洞式喷砂枪在航空发动机核心部件热喷涂喷砂预处理、矿用大型球阀热喷涂预处理, 超临界蒸汽轮机定子叶轮清理强化等要求严格的高端应用领域获得了实际应用和好评。

## 4 自动化立式长管内壁旋转喷砂机的功能设计

随着工业的发展, 长管内壁涂装的需求与日俱增。小到 15 mm 大到 1000 mm 口径的长管都有涂装和强化的需求。除更大口径的管材可用抛丸预处理外, 大多数长管内壁都需要喷砂处理 [1], 长管内壁喷砂尤其在 50 ~ 440 mm 口径范围的需求较大。一旦一种吸入式喷砂枪实现了自动旋转作业, 实际工作中各类型号大小的吸入式喷砂枪都可以安装和实现旋转作业。通过引入立向自动调速升降机和除尘单元等辅助成熟技术可以系统装配形成自动化环保型的喷砂机(系统)。

### 4.1 自动化立式长管内壁旋转喷砂系统

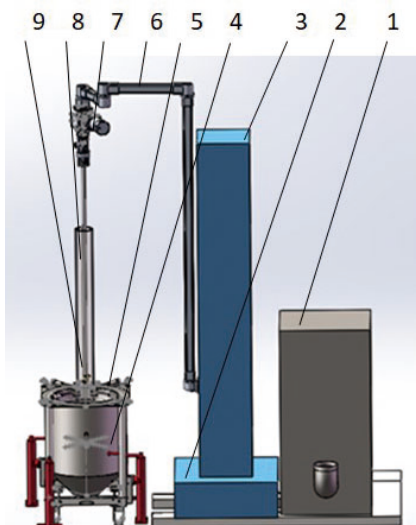


图 3 自动化立式长管内壁旋转喷砂系统

Figure 3 Automatic vertical inner wall rotating sand blasting system

立式长管内壁喷砂系统由除尘机 1、高度调节座 2、自动升降机 3、供料砂尘分离工件平台车 4、管状工件抱卡 5、水平曲伸臂 6、双流道两相流旋转密封接头 7、风洞式喷砂枪 8、以及管状工件 9 组成。工件 9 竖立在工件平台车 4 内并由工件抱卡 5 加以固定；双流道两相流旋转密封接头 7 作为系统的核心工作单元在通电和通入压缩空气后带动喷砂枪 8 匀速旋转，吸入式风洞喷砂枪吸砂管通过旋转密封接头 7 的芯管吸入砂料同步配合回转喷砂作业。除尘机吸尘管接入工件平台车 4 的侧壁接口实施砂尘分离和粉尘收集作业；高度调节座 2 和柔性水平伸缩臂 6 根据工件高度调整喷砂枪的初始位置；自动升降机 3 约束喷砂枪沿管件轴线匀速移动和扫描；升降机 3 运动速度和双流道两相流旋转密封接头 7 的运动速度可通过控制台设置和调节。

## 4.2 功能设计

### 4.2.1 适用的管内壁口径范围

标准设计的立式长管内壁喷砂系统适合内径范围 80 ~ 440 mm 的各种长度的管材的自动化高速高质量喷砂处理。

在双流道两相流旋转密封接头基本结构不变的情况下，既可安装和使用风洞型喷砂枪，也可以使用各种类型的吸入式喷砂枪。这种设计可以最大限度地扩大管材工件适用的内径范围。例如，特殊情况下装配医用牙科喷砂枪可将适用内径缩小到 15 mm；为喷砂枪加装横向刚性吸砂桥管可将适用内径增大到 1 m。但受到标准配套的工件平台车和工件抱卡尺寸的限制，最大管件外径暂不大于 440 mm。目前，管内壁最大适用范围是 15 ~ 440 mm。

### 4.2.2 喷枪旋转速度和直线扫描速度范围

喷砂枪旋转驱动采用大扭矩交流调速电机配减速机形式，喷砂枪设计为 0 ~ 90 转 /min 转速连续可调。升降机构直线扫描连续可调速度为 0 ~ 0.5 m/s。运动参数基本满足喷砂扫描的速度一般需求 [1]。

### 4.2.3 工件长度范围

工件长度受制于升降机构的有效行程。标准设计的有效行程是 1.5 m，工件长度适用范围是 0.1 ~ 3 m。如有需要可将有效行程扩大到 6 m。不同扫描长度

由滑动行程开关锁定。

#### 4.2.4 砂料循环方式

砂料注入工件平台车4内部的砂料斗，工作时在喷砂枪的负压作用下砂料通过吸砂管路送到喷砂枪，喷砂做功后砂料降落回砂料斗循环使用。

#### 4.2.5 除尘功能

自动化立式长管内壁旋转喷砂机自身配套有除尘机，吸尘口连接在工件平台车4的侧壁，喷砂形成的粉尘飘散被除尘机吸附和收集。风量设计为  $30 \text{ m}^3/\text{min}$ 。工作场地无粉尘逃逸，环境友好。

#### 4.2.6 机动性

自动化立式长管内壁旋转喷砂机由两个车体组成，它们是设备车和工件车。设备车包含除尘机、升降机、屈伸臂、电机驱动的旋转接头和喷砂枪；工件车包含工件支撑底座、工件抱卡、砂料斗和吸砂器等。两个车体工作时相互连接，非工作状态时物理性分离，便于现场机动。

#### 4.2.7 对位精度调节

喷砂枪在长管工件的狭窄内部移动喷砂，位置精度要求高。喷砂枪升降装置和长管装有磁吸水平仪，工件车和设备车四角装有调整地脚方便调节垂直度。

#### 4.2.8 人机界面

自动化立式长管内壁旋转喷砂机接入压缩空气和工程电力即可工作。操作面板设在设备车体一端，气压、喷枪转速、扫描线速、扫描限位等在操作面板设置完成，并且工件安装固定后即可开始工作。工作过程全自动，无需中途干预。

## 5 结论

目前市场为数不多的内管喷砂机都是采用压入式喷砂原理，必须配有压力砂罐甚至砂料提升机等，系统构成复杂、操作维护困难、环境脏乱。普通吸入式喷砂机的优点是便利性和超低价格，但缺点是效率低下“不堪大用”。应用吸入式喷砂原理的内管喷砂机鲜有报道。经检索，具有多个喷气嘴的风洞式喷砂枪、双流道两相流旋转密封接头和应用该旋转密封接头的吸入式原理长管内壁旋转喷砂设备都属于国内外首创，该型手动内管喷砂的应用已验证了其可行

性和有效性。运用现有成熟外围设备和控制系统组成的全自动立式长管内壁喷砂机（系统）不仅填补了该领域的技术空白，而且为涂装管材工业和表面工程界增加了更适用的长管内壁喷砂设备的选项。内管喷砂机的发展和努力方向是（1）系列化产品开发；（2）开发卧式喷砂设备以适用于更大长度管材的加工和适合涂装管材生产线的配套设备需求。

## 参考文献

- [1] 姚冠新, 施国洪. 细长管内壁喷砂除锈作业线的设计 [J]. 机械设计与制造工程, 2000, 29 (4): 4-5.
- [2] 周良. 喷丸 (砂)、喷涂技术及装备 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 21-22.
- [3] 中国人民解放军总装备部军事训练教材工作委员会, 中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑委员会. 高低速风洞气动与结构设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [4] 刘毅. 一种均匀高效的吸入式喷砂枪: 中国, ZL201420357395. 6 [P]. 2015-03-25.