

# 可送粉末复合式电弧喷涂枪的设计

蒋湘云,谭蓉,魏继昆

(昆明理工大学机电工程学院,云南昆明650093)

**摘要:**基于针对电弧喷涂应用的局限性,设计了一种能有效结合电弧喷涂和火焰喷涂优点的复合式电弧喷涂枪。该喷涂枪设有一个送粉装置,可同时实现电弧喷涂和粉末喷涂,扩大了电弧喷涂的应用范围。通过改变合金粉末的种类和送入量,实现不同性能要求的复合涂层的制备。

**关键词:**电弧喷涂;复合式电弧喷涂枪;拉伐尔喷管;送粉装置

**中图分类号:**TG439.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2303(2008)08-0065-03

## Design of a combined type arc spray gun with the powder feed device

JIANG Xiang-yun, TAN Rong, WEI Ji-kun

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science & Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** Based on the applied restriction of the arc spraying method, a compound arc spray gun that combine the advantages of the arc spraying and flame spraying was designed. The arc spray gun have a powder feed device. The traditional arc spray gun can only spray same material, but the arc spraying and flame spraying can be synchronously completed by use of the new device. So that the scope of the application of arc spraying is expanded. The composite coats of the different performance requirements can be carried out by means of the changing of the alloy powder and the adjusting of the alloy powder volume.

**Key words:** arc spray; combined type arc-spray gun; laval nozzle; powder feed device

## 0 前言

电弧喷涂枪集电、丝材、气于一体,是电弧喷涂设备的关键部件之一。近年来,为了获得性能良好的电弧喷涂涂层,很多学者从两个方面开展了研究工作:一是利用优化设计理论和计算机辅助设计改进喷枪结构;二是提高喷涂枪雾化效果和喷涂粒子的速度。但是,电弧喷涂由于受喷涂原理的限制,在发展过程中也表现出了一些应用方面的局限性。例如,电弧喷涂时要使用两根丝材才能进行喷涂,会受到丝材种类的限制。由于火焰喷涂粉末的种类相当丰富,因而火焰粉末喷涂又有相对较广的应用范围。如果要制备两种及多种材料的合金涂层,就要通过使用两根不同材料的丝材来进行电弧喷涂。但是,目前的电弧喷涂送丝机构很难做到这一点。为满足多种性能喷涂涂层的需要,打破单一材料制备单一功能电弧喷涂涂层的限制,在原有电弧喷涂枪的基础上,设计出了一种能够结合电弧喷涂优点和火焰喷涂优点的复合式电弧喷涂枪。由于加载了一

个送粉装置,新型的电弧喷涂枪在实现电弧喷涂的同时还可实现火焰喷涂,从而扩大了电弧喷涂的应用范围。此外,通过改变粉末的种类,可制备不同性能要求的复合涂层。

复合式电弧喷涂枪的核心组成部分之一是压缩空气通道的拉伐尔喷管和加料装置。拉伐尔(laval)喷管是实现高速气流电弧喷涂的重要手段。良好的喷管设计对提高高速电弧喷涂涂层的质量有重要影响。粉末加料装置设置在喷管前端,借助高速气流可将送入的粉末带入电弧区。熔化的粉末粒子与丝材熔化后形成的粒子混合在一起,最终以较高的速度溅射到待喷涂的工件表面,实现复合涂层的制备要求。在不添加粉末的情况下,利用这种新型的喷涂枪还可实现单一功能的电弧喷涂。

## 1 拉伐尔喷管的设计

设计拉伐尔喷管的目的是为了获得高速的压缩空气气流。由于喷枪采用封闭式结构,喷管短小,且气流流速要求高,故喷管的结构设计显得十分重要。拉伐尔喷管的设计方法很多,喷涂用的拉伐尔喷管通常有锥形和钟形两种。本设计采用钟形喷管,

收稿日期:2008-03-19

作者简介:蒋湘云(1974—),女,湖南人,讲师,主要从事机械设计与制造的研究与教学工作。

并采用解析法和图解法相结合的方式设计。所设计的拉伐尔喷管由稳定段、收敛段、喉部、扩张段四部分组成,如图 1 所示。

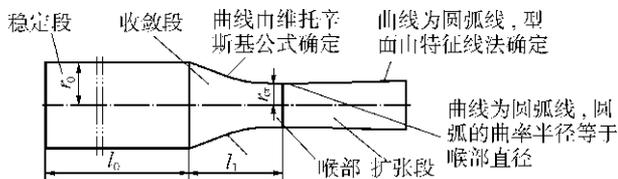


图 1 拉伐尔喷管的几何形状示意

### 1.1 稳定段<sup>[1-2]</sup>

稳定段的作用是使进入喷管的气流均匀化或降低其紊流度。收敛段的设计以均匀气流为前提。如果气流不均匀,则收敛段的出口气流也会不均匀。稳定段的半径  $r_0$  与其喉部半径  $r_{cr}$  有关。从理论上来说,  $r_0$  与  $r_{cr}$  的比值越大越好。在具体设计时,根据经验,若取  $r_0=2r_{cr}$ ,且当收敛段长度  $l_1=2r_0/3$  时,收缩曲线可获得较好的气流品质。但实际上会受到喷枪整体尺寸设计的限制。稳定段需要足够的长度  $l_0$  保证来流均匀。理论上  $l_0$  应为喉部直径的 10 倍左右,但实际上它同样会受到喷枪整体设计尺寸的限制。具体数值的选择在设计时需要兼顾,并经过实验来修正。

### 1.2 收敛段<sup>[1]</sup>

收敛段的作用是加速气流,并获得均匀、平直的高速流。拉伐尔喷管的收敛段主要由入口半径  $r_0$ 、喉部半径  $r_{cr}$  和收敛段长度  $l_1$  所限定。喉部半径  $r_{cr}$  由空压机提供的气流量、滞止参数以及出口气流的速度要求确定。收敛段的长度  $l_1$  应尽量取短些,以减少气流损失,即要减少紊流的产生。

收敛段设计提出的基本要求是在收敛段出口产生均匀流动。只有设计得很平整的壁面,才能使气流在喷管中逐渐得到膨胀,以保证进口截面产生的横向压强梯度和径向分速逐渐减小,并在出口截面上趋于零,从而获得均匀的出口气流场。一般认为,比较满意的是用维托辛斯基公式来计算壁面的型线

$$\left(\frac{r_{cr}}{r_0}\right)^2 = 1 - \left[1 - \left(\frac{r_{cr}}{r_0}\right)^2\right] \frac{[1 - (x/l_1)^2]^2}{[1 + (x/l_1)^2/3]^3}$$

维托辛斯基公式确定的收敛段曲线的主要特点是:曲线在入口处的收缩较快,然后较缓慢的收缩,最后到达喉部<sup>[1]</sup>。

### 1.3 喉部<sup>[3]</sup>

喉部是使气流从低速度转向较高速度的过渡段。喉部的作用是保证实现音速流,不合理的喉部设计会造成能量损失。喉部曲率半径越小,损失越大,

当喉部曲率半径约等于喉部半径时,损失最小。喉部半径  $r_{cr}$  由空压机提供的气流量、滞止参数和出口气流速度确定。但设计时还受喷枪结构和空压机提供的气流量的限制。

### 1.4 扩张段<sup>[3-4]</sup>

扩张段的作用是加速气流,在管口处产生具有较高速度的均匀气流场。喷管的出口速度取决于以下因素:一定的管道面积比(出口截面积  $A_1$ :喉部截面积  $A_{cr}$ )、喷管进口总压  $P^*$  和外界反压  $P_b$  (通常为环境气压  $P_e=P_b$ )。当管道面积比一定时,出口速度与气压比有关。不同的气压比,产生的出口气流流态是不一样的。在面积比一定的情况下,须保证气压比  $P_e/P^* \leq 0.5283$  时才能达到超临界状态。为了使出口的气流速度能达到较高的速度,需要通过合理的设计来确定拉伐尔管的型面曲线,以使气流处于完全膨胀状态或欠膨胀状态。当气流处于完全膨胀状态,气流在喷管出口的静压刚好等于环境气压,气流在管口处仅有微弱的扰动,有马氏波形成,这样的气流比较均直;当气流为欠膨胀状态,气流在喷管内膨胀不完全,此时的气流在出管口后继续膨胀加速,喷管口附近的气流速度值一般要大于设计的气流速度值。这两种状态都可使得出口的气流速度达到很高的数值,并有助于气流的雾化。

扩张段的型面曲线采用圆弧线,该圆弧与喉部圆弧线相切,可通过特征线法求得。

## 2 复合式电弧喷涂枪的设计

复合式电弧喷涂枪由喷枪体、压缩空气通道(含拉伐尔喷管)、送丝通道、(丝材)导电嘴、送粉装置、雾化喷嘴、手柄和开关组成,可实现电弧喷涂的送丝和粉末的添加。其外形结构如图 2 所示。通过加料装置中流量控制阀的调整可改变送入的粉末量,可制备不同性能的复合涂层。

复合式电弧喷涂枪的喷涂过程是:丝材由喷涂设备的送丝机构通过喷涂枪的送丝通道进入其导电嘴。两个丝材的导电嘴以一定的角度相交,并分别连接着喷涂电源的正、负极。喷涂时,随着两根丝材的同时送入,在金属丝端部接触短路瞬间形成电弧。在喷涂电源和送丝机构的共同作用下,金属丝的末端会因稳定的熔化而保持适度的距离,并获得稳定的电弧。电弧热不断熔化连续送进的金属丝材,并形成小熔滴。与此同时,空压机产生的压缩空气经喷涂枪压缩空气通道中的拉伐尔喷管获得很高的气流

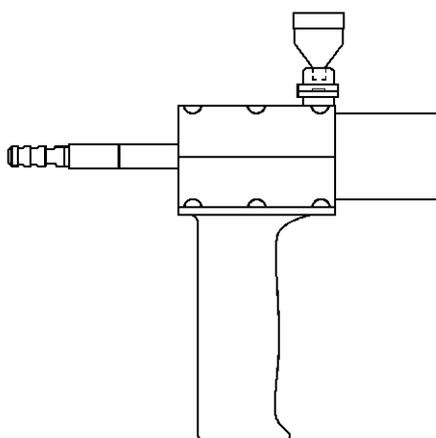


图2 复合电弧喷涂枪的外形结构示意图

速度。在拉伐尔喷管出口处,设计有送粉装置。该装置的送粉通道与压缩空气的通道相垂直。在人为加压和粉末自重的作用下,粉末从送粉通道持续流出,在气流的带动下进入电弧区熔化。熔化的粉末熔滴与电弧区丝材熔化的金属熔滴一起汇合。这些熔滴在高速压缩空气气流的作用下,经喷涂枪喷嘴的雾化作用,形成细小的微粒,并以较高的速度喷射到经过预处理的基材表面,最终形成喷涂层。如果不使用粉末,该喷涂枪的使用方法与一般喷涂枪的基本一致。此时,可作单一功能的电弧喷涂枪使用。喷枪压缩空气通道的水平剖视如图3所示。

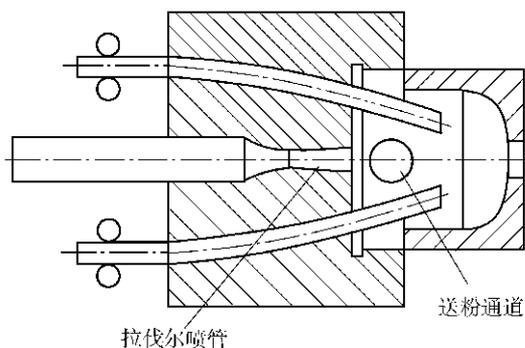


图3 喷枪压缩空气通道的水平剖视示意

### 3 实验结果

采用自制的NB-500逆变式电弧喷涂电源,主电路采用IGBT全桥式逆变主电路<sup>[5-6]</sup>,配合使用南通振康的SB-10H电弧喷涂送丝机(见图4),利用自制的电弧喷涂枪、喷涂用的丝材(如铝丝等)、粉末材料(如锌粉等),进行了复合喷涂或丝材电弧喷涂试验。结果表明,所设计的新型喷涂枪能够满足电弧喷涂和复合喷涂的使用要求,可获得良好的喷涂涂层。部分试件如图5所示。

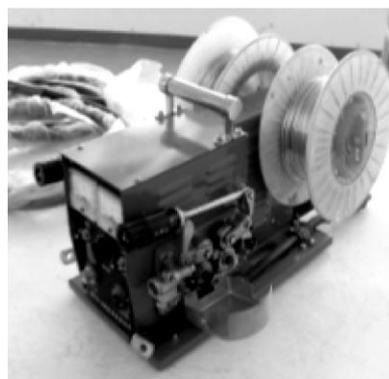


图4 SB-10H 电弧喷涂送丝机

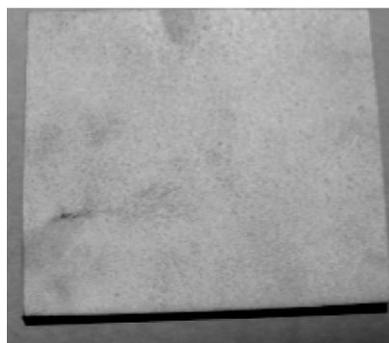


图5 喷涂后的部分试件照片

### 4 结论

复合式电弧喷涂枪能够集电弧喷涂和火焰喷涂的优点于一身,克服现有电弧喷涂枪只能进行单一丝材喷涂的不足。利用该喷涂枪喷涂时产生的高流束、强雾化和电弧高温,在熔化丝材的同时还能够将送入的粉末熔化,并进行有效雾化,最终获得性能良好的喷涂涂层。同时,通过调整丝材和粉末的成分,还可获得不同性能的合金涂层。与单一的电弧喷涂枪相比,该喷涂枪打破了原有喷涂枪只能使用丝材进行电弧喷涂的局限性,拓宽了电弧喷涂的应用领域,适用于两种及多种材料的合金涂层的制备。

### 参考文献:

- [1] 王新月.气体动力学基础[M].陕西:西北工业大学出版社,2006.
- [2] 项建海,索双富.超音速电弧喷枪的拉瓦尔喷嘴设计及流场的数值模拟[C].珠海:第八届全国热喷涂年会,2004.
- [3] 王汉功,查柏林.超音速喷涂技术[M].北京:国防工业出版社,2004.
- [4] 梁秀兵,徐滨士,马世宁.高速电弧喷涂枪的设计[J].兵工学报,2004,25(2):119-121.
- [5] 朱锦洪,史耀武,梁文林.IGBT逆变焊机的保护与可靠性问题的探讨[J].电焊机,1999,29(9):5-9.
- [6] 曾敏,薛家祥,黄石生,等.IGBT弧焊逆变器可靠性的研究[J].电焊机,1999,29(8):11-13.