

高效率陶瓷材料喷涂设备的工艺改进研发

蒋宏翔
(梭莱镀膜工业 (江阴) 有限公司 江苏 江阴 214400)

摘要：随着靶材市场竞争的日益激烈，很多厂商都采取提升产品质量和降低产品价格的策略获取到更多的市场份额，靶材质量与价格已经提升为企业综合市场竞争力的主导因素。本文先对靶材往复运动装置，前、后挡板装置和等离子喷涂间距调整装置的结构进行优化改进，并探讨如何采用专家控制算法对涂层厚度、喷涂间距和导料阀进行控制，可供相关人员参考。

关键词：喷涂设备；工艺设备改进；专家控制算法

0 引言

为了稳固现有市场份额，获取到更多客户的信赖，需要在确保产品质量的前提下降低生产成本，但生产原材料的价格仍持高不下，如何降低靶材原材料的消耗量，确保靶材生产质量和提升材料利用率，是企业亟待解决的问题。这就需要对陶瓷材料喷涂设备生产工艺进行优化改进，采用先进的控制技术保证涂层厚度，进一步提升产品质量和生产效率。

1 高效率陶瓷材料喷涂设备改进

1.1 靶材往复运动装置

陶瓷材料喷涂工艺要求从靶材开始生产到结束不可以出现间断，也就需要持续消耗陶瓷材料^[1]。但喷涂工艺设备的长度均要大于靶材的长度，这样才能保证靶材在往复运动时，在两端换向过程中不会影响喷涂层性能，而此处持续喷涂时间比较长，存在着较为严重的陶瓷材料浪费现象。需要对喷涂设备进行改进，降低原材料的消耗量。

如图 1 所示，位置传感器和移动位置传感器安装

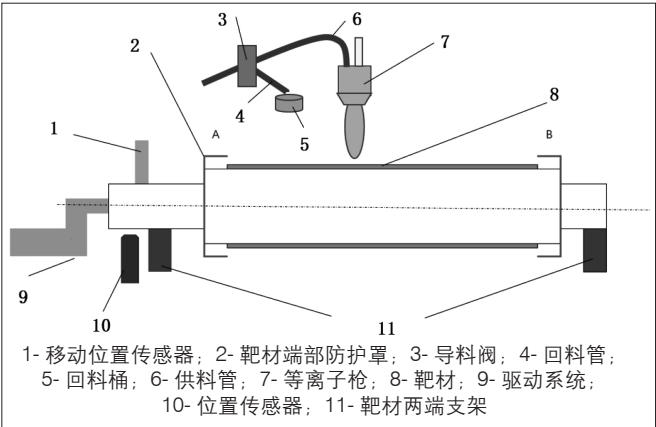


图 1 靶材往复运动机构图

于靶材两端支架附近，用于检测待喷涂靶材两端的精准位置；驱动系统为靶材的旋转及往复运动提供动力；靶材两端支架为靶材旋转、直线往复运动起到支撑作用；靶材端部防护罩 A、B 用于保护靶材两端连接部位；供料管用于输送靶材喷涂采用的原材料；等离子枪形成火焰并融化原料，将材料喷涂到靶材表面；导料阀会根据喷涂需求切换送料、回料管路^[2]。PLC 控制系统采集位置传感器反馈回来的信号，控制靶材以旋转或直线方式移动到机构两端时，也就是靶材两端防护罩 A、B 分别处于等离子枪口下时，等离子枪停止喷涂材料，控制导料阀动作将喷涂材料通过回料管回收，当靶材两端离开等离子枪口时，再将原料导回供料管，以此往复实现节约喷涂材料的目的。靶材往复运动机构的改进，将连续送料方式改为断续消耗原料，可以提高陶瓷材料利用率；通过控制导料阀切换材料流动方式，使原料在回料管和供料管之间来回自动切换，可以保证送料系统稳定性；采用位置传感器对靶材位置信号进行采集，可以准确设置喷涂长度两端的过喷距离长度。

1.2 前、后挡板装置

靶材在喷涂生产过程中，由于靶材在圆形腔体内运动时，会导致墙体内部的气体产生流动，影响等离子火焰和喷涂材料堆积的稳定性。为了减少靶材运动对其产生的影响，可通过增加挡板提高喷涂火焰及材料堆积的稳定性，有利于保证生产效率和材料利用率，确保产品质量达到设计要求。

如图 2 所示，端盖用于打开后装卸靶材及观察靶材运动、喷枪工作情况，圆形腔体是一个密闭空间，为靶材生产提供保护。前挡板和后挡板，可减少靶材向前、后移动时气体流动。等离子枪系统提供喷涂所需的原料，形成高温融化材料并喷涂到靶材表面。联轴器用于联接靶材与驱动轴，驱动靶材实现直线移动和转动。

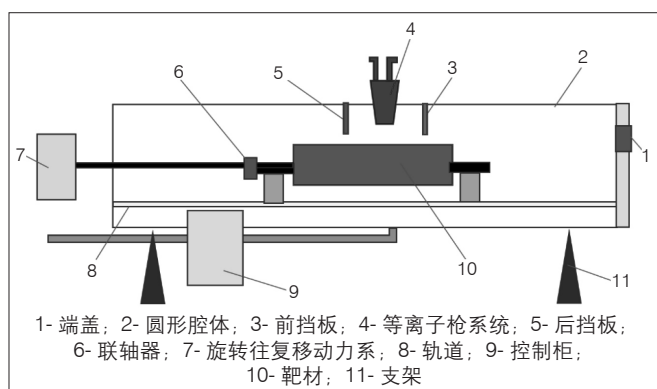


图2 增设前、后挡板结构图

旋转动力系统为靶材提供旋转驱动力，并提供冷却循环水。轨道用于引导靶材在圆形腔内实现直线往复移动，支架为靶材生产腔体提供支撑。控制柜安装 PLC 控制器和变频器等，为靶材生产提供动力，并根据生产实际需要设置运行参数，采集靶料生产的运行数据，根据生产工艺进行控制。通过增加前、后挡板可以减少腔体内气体轴向流动，减少对等离子枪火焰的影响，也可以使喷涂原材料稳定地喷向靶材中心，减少喷涂材料的浪费，有利于提高材料利用率和生产效率^[3]。

1.3 等离子喷涂间距调整装置

在对靶材进行生产过程中，随着靶材涂层的不断变厚，喷枪和工件之间的间距会逐渐缩小，也就是喷涂距离在不断减小。轻微的喷涂距离变化不会给靶材产品带来太大的影响，但在变化幅度超过 1mm 后，就会对靶材产品的热性能、电性能及微观组织结构等造成不利的影响，靶材产品不均匀性会导致无法达到质量设计要求^[4]。需要增设等离子喷涂间距调整装置，通过对靶材工件厚度进行实时监测，实时计算出喷涂间距的变化，将采集到的间距变化信号反馈给 PLC 控制器，PLC 根据生产工艺需要发出控制信号给变频电动机，电动机通过驱动丝杆传动机构改变等离子喷枪的位置，通过光栅测量系统对位置信号进行闭环反馈，通过对比分析位置结果来调整等离子喷枪位置。

如图 3 所示，等离子枪板装夹台用于夹持和固定等

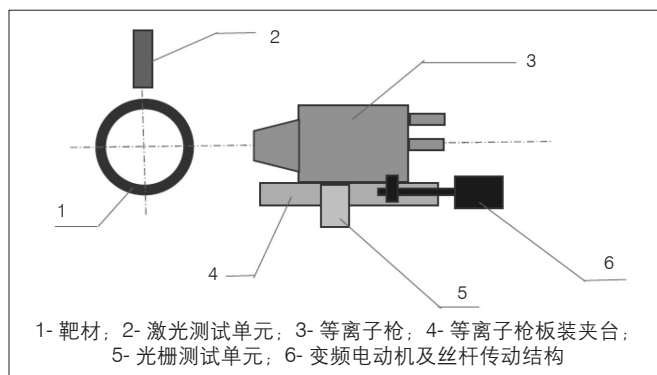


图3 等离子喷涂间距调整装置

离子喷涂枪和喷涂板，激光测试单元用于实时检测靶材工件的实时厚度，PLC 控制器用于接收激光测试单元采集到的涂层厚度信息以及激光测试反馈回来的离子喷枪位置信息，发出控制信号给变频器控制电动机运转，变频电动机驱动丝杆传动结构调整离子喷枪位置^[5]。靶材工件涂层随着沉积时间的变化而逐渐变厚，厚度变化数据会被激光测试单元检测到，并发送给 PLC 控制器，当涂层厚度变化超过 0.5mm 时，PLC 发出控制信号到变频器，电动机旋转驱动丝杆传动结构运动，丝杆传动结构带动等离子枪移动。移动动作执行完毕后，光栅对等离子枪位置进行检测，确认是否执行到位，如果动作确认执行到位，则本轮次调整完毕，否则会和变频电动机编码计数单元数据进行对比，根据对比结果进行再次调整或者发出报警信息。

2 PLC 控制系统设计

2.1 等离子喷涂控制模型

高效率陶瓷材料喷涂设备进行机械部分的工艺改进以后，还需要建立起喷涂控制模型，确定出控制对象和控制性能。根据节省喷涂材料数量、确定涂层厚度的控制要求，将靶材位置信号、等离子枪位置反馈信号、涂层厚度、变频电动机编码信号作为模型输入，将导料阀、等离子枪位置作为模型控制输出，喷涂间距、涂层厚度作为预置参数^[6]。确定出不同参数间的控制关系，作为 PLC 控制程序设计的依据：位置传感器检测到靶材两端防护罩 A、B 点位于等离子枪口时，PLC 控制器输出控制信号使导料阀开启，等离子枪停止喷涂材料，可实现对喷涂材料的回收利用。而当位测传感器检测到等离子枪口位于靶材两端防护罩 A、B 两点之间时，离子枪正常向靶料喷涂材料；激光测试单元实时检测靶材工件涂层的实时厚度，如果涂层厚度变化超过 0.5mm（设定参数）时，PLC 控制器发出喷涂间距控制调整信号给变频器，变频器调整电动机运行频率实现速度调节，电动机会拖动丝杆传动结构向后方运动，等离子枪就会与涂层保持足够的间距，光栅检测等离子枪实际位置并反馈给 PLC 控制器，通过与设置喷涂间距进行对比，并结合变频电动机编码计数单元的数据实现对喷涂间距的闭环控制。高效率陶瓷材料喷涂控制模型见图 4。

2.2 涂层厚度控制

陶瓷材料喷涂并非一次成型，采用重叠涂层方式实现，但重叠涂层会导致喷涂速度变慢，靶材工件和涂层会受到更长的离子弧烘烤时间，不利于控制涂层质量，涂层厚度控制公式为：

$$d = \eta k_d \frac{v_p}{v_z \rho_p l} \quad (1)$$

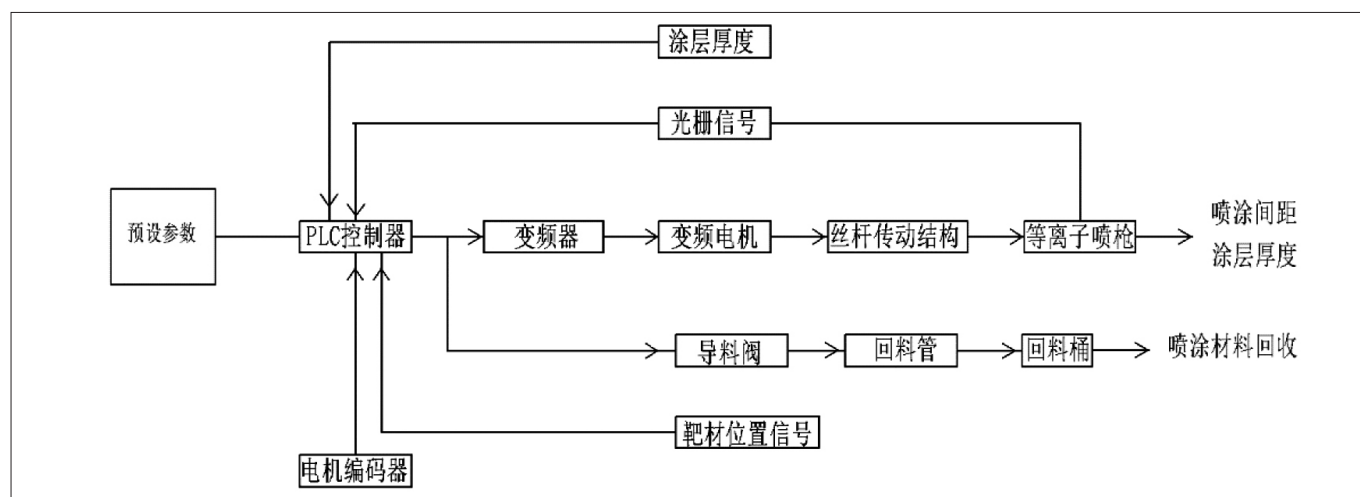


图4 高效率陶瓷材料喷涂控制模型

式中： d —陶瓷涂层厚度；

η —粉末利用率；

k_d —转胎直径；

v_p —送粉速度；

v_z —转胎速度；

ρ_p —陶瓷粉末密度；

l —两次喷涂间距。

涂层厚度要确保变量 d 满足设计要求，确保涂层的均匀性，需要控制好送粉速度和喷涂速度，调整喷涂间距；还应该结合喷涂粉末利用率，避免出现粉末飞溅和浪费，通过设置粉末回收利用装置和前、后挡板装置，可以将粉末利用率提升到90%左右。

2.3 喷涂控制算法

涂层厚度与送粉速度给定、转胎速度给定、喷枪间距调整等存在着时间延迟，时间延迟具有不确定性，可视作非定常参数。时变延滞后，控制系统中为达到鲁棒稳定性，要求时延变化率低于控制系统的下界限，而采用激光测试采集涂层厚度数据具有不完全性，存在着信息失实的问题，采用普通的控制算法无法保证系统稳定性^[7]。采用专家控制算法，控制过程中只针对静态性能，将专家控制器设计为知识库、控制规则集、推理层和信息采集处理层。知识库中存储等离子喷涂经验数据；控制规则集调用知识库中数据对控制参数进行实时调整，实现对涂层厚度、喷枪间距的控制；推理层用于喷涂参数初始化过程，搜索出最为合理的控制数据；信息采集层对外部信息进行处理。

3 结语

综上所述，通过对陶瓷材料喷涂设备机构进行改进，可以有效提升喷涂材料的利用率和保证靶材产品质量，有利于控制生产成本，采用更为先进的控制算法对涂层厚度、喷涂间距和导料阀进行控制，可以获取到高结合强度、更为均匀致密的涂层，有利于提高涂层质量，具有很好的实用价值。

参考文献：

- [1] 刘爽. 阻尼胶的喷涂枪头膜片制备工艺研究 [D]. 沈阳：沈阳大学, 2020.
- [2] 张元宁. 大面积电致变色玻璃的制备与研究 [D]. 上海：东华大学, 2018.
- [3] 刘树峰, 刘思德. 等离子喷涂技术在溅射靶材制备中的应用 [J]. 稀土信息, 2018(04): 32-35.
- [4] 赵国锋, 王莹莹, 张海龙, 等. 冷喷涂设备及冷喷涂技术应用研究进展 [J]. 表面技术, 2017, 46(11): 198-205.
- [5] 陈佳. 等离子喷涂 Nb2O5 溅射靶材的研究 [D]. 天津：河北工业大学, 2016.
- [6] 杨焜, 邓畅光, 邝子奇, 等. 大气等离子喷涂 TiO₂ 涂层性能及厚涂层制备工艺 [J]. 中国表面工程, 2014, 27(04): 12-18.
- [7] 梁静, 林小辉. 等离子喷涂技术在溅射靶材制备中的应用 [J]. 中国铝业, 2014, 38(02): 43-46.

作者简介：蒋宏翔（1982.05-），男，汉族，江苏南通人，本科，一级建造师，研究方向：生产设备机电一体化管理。