

浅析静电喷涂工艺参数中的距离要点设定及确认

杨广成

(联德(广州)机械有限公司, 广州 510663)

摘要: 工艺参数的调整对自动静电喷涂影响较大, 而工艺参数中的距离参数是最容易受到忽视的一个参数, 在不同的喷涂条件下, 合理的距离参数可提高涂料上漆率, 避免涂料浪费, 降低对环境的污染。

关键词: 自动静电喷涂; 喷涂工艺参数; 喷涂距离; 工件间距

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)03-0069-04

Analysis on Setting and Confirmation of Distance Points in Electrostatic Spraying Process Parameters

YANG Guang-cheng

(Langtech (Guangzhou) Machinery Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: The adjustment of process parameters has a great influence on automatic electrostatic spraying, and the distance parameter in the process parameters is the most easily overlooked parameter. Under different spraying conditions, reasonable distance parameters can improve the coating rate, avoid coating waste, and reduce environmental pollution.

Key words: automatic electrostatic spraying; spraying process parameters; spraying distance; workpiece spacing

0 引言

在使用自动静电涂装设备喷涂中, 影响喷涂效果的因素多种多样, 如喷涂工艺参数中的喷涂区域温湿度、雾化涂料的空气压力大小、工作时设定的静电电压、距离及施工的涂料等; 这些因素不仅影响到喷涂品质, 也影响到涂料上漆率; 涂料上漆率高低一般跟喷涂时设定的静电电压有关, 随着设定工作电压升高, 喷涂效率也会相应提升, 但静电电压过高, 会造成反电晕现象, 同样会影响到喷涂效果, 使涂料上漆率变低, 同时对设备的绝缘性能要求也更高, 否则容易因高电压放电造成喷涂设备及管路损坏; 在确认设定静电电压不变情况下, 距离参数变化也同样会影响到涂料上漆率和喷涂品质。

收稿日期: 2023-03-22

作者简介: 杨广成(1969—), 男, 大专, 工程师, 主要从事喷涂设备应用与调节、喷涂工艺的调整与规划等工作。E-mail: 13501538192@163.com。

1 静电涂装原理

喷具上施加静电高压后, 经过喷具雾化后的涂料微小粒子被电离, 带上与静电高压同极性的负电荷, 因受静电电场力同性相斥影响, 涂料微小粒子再次分化成更细小的涂料粒子, 沿着电场力方向均匀吸附到被喷涂工件表面, 形成一层均匀细腻、光滑、丰满度高的装饰保护层。

使用自动静电涂装设备, 影响喷涂品质和涂料上漆率的因素中, 各工艺参数设定和调整最为关键。本文重点就距离参数要点设定确认进行浅析和探讨。

在静电喷涂工艺参数中, 距离参数包含两个要点: 1) 喷具到工件之间的喷涂距离(简称喷距); 2) 工件与工件之间的相邻距离(也是常说的工件间距)。喷涂距离和工件间距也是关系到喷涂品质好坏和喷涂时涂料上漆率高低两个重要因素, 喷涂距离远, 雾化后的涂料粒子飞行到工件表面的时间变长, 在飞行时涂料中的稀释剂挥发较多, 涂层流平时间变短或失去流平时间, 使喷涂件涂层变干, 容易出现橘皮、发干现象, 静电

效果也会变差,在相同流量条件下涂膜会变薄,也容易出现露底情况,影响涂料的上漆率;喷涂距离太近,涂料没有被完全充分雾化成微小涂料颗粒,喷涂到工件表面,出现雾化不良现象,涂料中的溶剂挥发量较少,涂层容易出现流挂、涂层均匀性变差等现象;同时,涂料微小粒子飞行速度快,在喷涂物表面涂料粒子反弹较多,污染喷具和喷涂区域环境;工件间距大,漆雾容易从两工件间隔之间快速穿过,被排风系统排掉,浪费涂料,污染环境,使工件侧面涂膜偏薄,与喷涂正面膜厚误差增大;工件间距过小,由于静电的尖端效应,漆雾不容易从两工件间隔之间穿过,靠近喷涂面的侧边涂膜变厚,有流挂和起泡的风险,也会造成需喷涂的工件侧面涂膜薄,或者出现露底情况。在电工学中,静电强度与距离的公式 $E=U/L$,其中 E 表示静电强度; U 表示静电电压; L 表示喷涂距离,从式中可以看到,静电强度与静电电压成正比,与喷涂距离成反比,距离越远,静电强度越低。喷涂距离关系到设定静电电压高低,影响喷涂时涂料上漆率;工件间距不仅影响喷涂效果,同样也会影响涂料的上漆率。喷涂距离如图 1 所示,工件间距如图 2 所示。

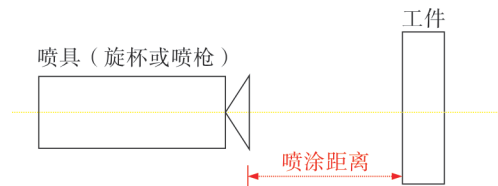


图1 喷涂距离

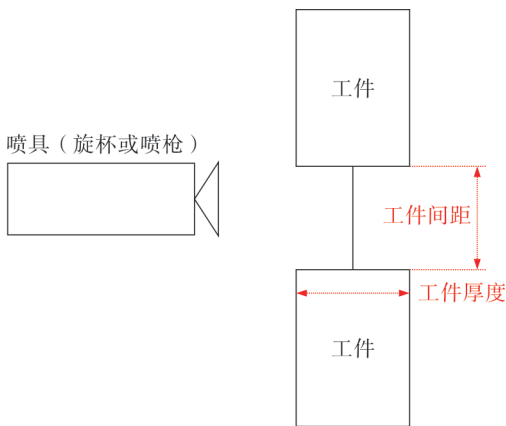


图2 工件间距

设定要求:距离的设定主要是在保证喷涂品质的前提下,静电喷涂设备要安全可靠运行,尽量降低涂料浪费,避免污染环境;喷涂时需要根据不同的涂料、不同的喷具和工件的形状设定静电电压高低,再来确认喷涂距离及工件间距。

2 距离确认

采用自动静电喷涂时,为了获得高品质的静电喷涂效果,距离参数的设定和确认尤为重要。

2.1 喷涂距离确认

喷涂距离是否正确合理,主要取决于被喷涂工件外形和设定的静电工作电压高低,在采用传统方式(传统平面喷涂方式和传统侧面喷涂方式)喷涂时,所用涂料在符合静电涂装设备要求情况下,静电电压的设定必须首先考虑安全距离问题,这个安全距离是在设定的电压下不会出现放电击穿现象的距离,尤其是在静电喷涂时,涂料已经雾化成微小颗粒,在雾化区域如果出现放电击穿现象,很容易形成火灾,造成人员和财产损失。为了确保安全生产,同时考虑到在喷涂生产过程中可能会出现被喷涂件在喷具空气压力作用下有摆动情况,一般设定要求每 10 kV 的安全距离为 30~33 mm。静电电压值设定越高,喷涂距离应相应调远;当静电电压最大设定为 90 kV 时,安全距离在 300 mm 左右比较合适;这个安全距离也是在喷涂中经常提到的喷涂距离,所以喷涂距离设定和确认既影响到喷涂时的安全,也影响到喷涂时涂料的上漆率。

在传统的工业喷涂系统中,由于静电旋杯上漆率高的特点,底漆喷具一般都是选用静电旋杯,为保证面漆的表面效果和金属质感,面漆喷具一般都是选用静电喷枪。在实际生产中,喷涂距离一般都是控制在 180~300 mm 之间,针对一些比较特别的涂料,喷涂距离也会设定到 350 mm。

用静电喷涂设备喷涂时,喷涂距离是怎样影响到涂料的上漆率,为什么喷涂距离远,涂料的上漆率会低,喷涂距离近,涂料的上漆率会相对变高?用实际生产中常用的几组数据进行对比分析。涂料用铝型材行业用的灰色底漆,黏度为 18 s(岩田 2 号黏度杯测量),涂料电阻为 0.8 MΩ(兰氏电阻),喷涂区域温度为 30 ℃,相对湿度为 65%,静电电压测量点位置见图 3,结果见表 1~2。

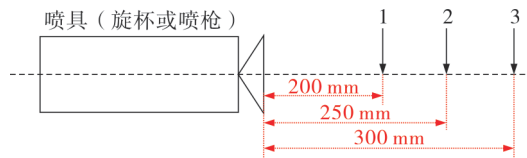


图3 喷具与喷涂距离示意

从表 1~2 中可以看到,当流量分别设定在 100 mL/min 和 200 mL/min 时,不同喷具,在相同喷涂距离位置,测量获得的静电电压值都有不同;在相同位置,静电旋杯明显比静电喷枪电压值高;相同喷具,喷涂距

离变远,测量获得的静电电压值有所降低;随着喷涂距离变远,静电电压降低,靠静电吸附在工件上带电涂料微细小粒子就变少,被抽风机抽走的涂料粒子增多,污染环境同时涂层也会变薄,涂料上漆率降低;在不同吐出量条件下,雾化后的涂料粒子带电荷能力及带电荷量也会影响到各测量点的静电电压值,带电荷能力越强,雾化后的涂料粒子所带电荷量越多,各测量点的静电电压值就会升高;带电荷能力越差,雾化后的涂料粒子所带电荷量变少,各测量点的静电电压值就会降低。涂料雾化粒子的带电荷能力与涂料的电阻值密切相关。同时,在喷具周围也可以测量到静电电压,这是因为周围空气被电离的原因;因空气中含有水分,所以空气不是绝对绝缘体,空气中水分越多,湿度就越大,越容易被静电高压电离,在相同的位置,随湿度的高低变化,测量到的电压值也会有相应高低的变化。

表 1 不同喷具在设定流量为 100 mL/min 时静电电压值对比

喷具	设定流量/ (mL·min ⁻¹)	设定电 压/kV	空气压力/MPa		测量点静电电压/kV		
			旋转/ 雾化	成型/ 扇形	1	2	3
静电 旋杯	100	-60	0.1/-	0.3/-	-15.2	-13.7	-11.9
		-70	0.1/-	0.3/-	-20.8	-18.6	-15.7
		-80	0.1/-	0.3/-	-27.2	-25.3	-22.9
静电 喷枪	100	-60	-/0.1	-/0.12	-13.0	-12.2	-10.0
		-70	-/0.1	-/0.12	-16.0	-15.0	-13.0
		-80	-/0.1	-/0.12	-18.8	-17.8	-15.3

表 2 不同喷具在设定流量为 200 mL/min 时静电电压值对比

喷具	设定流量/ (mL·min ⁻¹)	设定电 压/kV	空气压力/MPa		测量点静电电压/kV		
			旋转/ 雾化	成型/ 扇形	1	2	3
静电 旋杯	200	-60	0.1/-	0.3/-	-20.1	-17.3	-13.1
		-70	0.1/-	0.3/-	-25.4	-23.5	-18.7
		-80	0.1/-	0.3/-	-28.5	-26.7	-21.9
静电 喷枪	200	-60	-/0.15	-/0.16	-15.8	-14.9	-13.5
		-70	-/0.15	-/0.16	-20.3	-19.1	-16.5
		-80	-/0.15	-/0.16	-23.8	-22.5	-20.0

表 3 是在不同空气压力下(无涂料喷出情况),不同喷具在各测量点位置风速测量值。从表 3 可以看到静电喷枪的风速明显大于静电旋杯的风速,距离越远,风速也越小;风速越大,雾化后的涂料小粒子移动速度就越快,到达工件表面时,涂料粒子反弹就会越多,这种涂料反弹现象,在使用带金属颗粒的涂料喷涂时尤为明显;各喷具在喷涂涂料状态,各测量点的风速都会

比表 3 中的各测量点值偏大。从表中看到静电旋杯风速明显比静电喷枪的风速低,主要是这两种喷具雾化涂料的方式不同而造成影响,静电喷枪是通过压缩空气直接雾化涂料,雾化空气和扇形空气都是向前的推力,这些推力就是在不同测量点的风速;而静电旋杯是在压缩空气的作用下,通过旋杯的高速旋转而产生的离心力来雾化涂料,各测量点风速是由成型空气来确定,对成型空气来说,离心力却是它向前推力的阻力,所以静电旋杯的风速明显小于静电喷枪的风速。

表 3 不同喷具在不同喷距下的风速对比

喷具	空气压力/MPa		测量点风速/(m·s ⁻¹)		
	旋转/雾化	成型/扇形	1	2	3
静电旋杯	0.1/-	0.3/-	7.7~8.2	5.6~6.2	5.5~5.8
静电喷枪	-/0.10	-/0.12	12.0~15.0	9.7~11.0	8.5~9.5

喷涂工件确认涂膜厚度对比分析:设定喷具流量都为 120 mL/min,喷涂距离为 200 mm、250 mm、300 mm 3 种情形进行比较,喷涂工件采用 300 mm×200 mm 的金属平板做测试板,测试板以 2 m/min 的速度从喷具前通过,喷具喷涂一块测试板的喷涂时间为 8.2 s,表 4 测试用涂料选用带金属粉(如铝粉)的金属漆,表 5 测试用涂料选用不带金属粉的灰素色漆,施工涂料黏度都为 12 s(岩田 2 号黏度杯测量),表 4~5 中实测膜厚都是指干膜膜厚;除喷涂距离不同以外,相同喷具的喷涂参数都使用同一组参数做对比。

表 4 静电喷枪在不同喷距下的膜厚对比

喷距/mm	喷后工件增重/g		实测膜厚/μm
	湿膜增重	干膜增重	
200	1.79	1.39	16.0~18.5
250	1.82	1.42	17.0~21.3
300	1.76	1.32	14.0~17.2

表 5 静电旋杯在不同喷距下的膜厚对比

喷距/mm	喷后工件增重/g		实测膜厚/μm
	湿膜	干膜	
200	2.61	2.17	21~26
250	2.20	1.70	19~24
300	1.86	1.42	16~20

在确认喷涂距离后,涂料的雾化压力也极为重要,压力越大,雾化后的涂料微粒飞行速度越快,造成涂料微粒越容易反弹。表 4 中喷涂距离在 250 mm、表 5 中喷涂距离在 200 mm 时,涂膜增重最多,涂膜厚度最

厚；这和喷具的雾化特性有关，表4的喷具是静电喷枪，表5的喷具是静电旋杯，雾化后的微细小涂料粒子从喷具喷出到工件这段移动距离中，不同喷具涂料粒子移动的速度不同，用静电喷枪雾化的涂料粒子移动的速度比用静电旋杯雾化的涂料粒子移动速度要快得多（见表3），粒子移动速度越快，到达工件表面后反弹的粒子数就越多，粒子移动速度快，距离越近，粒子反弹量也会越多，所以表4中200 mm的喷涂距离比250 mm时膜厚数据要差；而表5中在200 mm的喷涂距离，因粒子移动速度慢，粒子反弹就少，喷涂距离近，带电涂料粒子吸附到喷涂面就越多，涂膜也会越厚。

2.2 工件间距确认

工件间距确认相对于喷涂距离来说就简单得多，主要是根据工件吊挂方式中相邻两工件的距离多少，这个距离与相邻工件之间厚度有关（见图2）。一般情况下工件间距是根据工件厚度来定，按照工件厚度的2.0~2.5倍确认，工件间距与工件厚度成正比；工件间距确认的依据：两相邻工件厚度完全展开后，形成一个没有重叠的平面或展开面中间有一个小间隙，这个小间隙不能过大。工件间距如图4所示，工件间距过大，有一部分漆雾颗粒从两工件之间的间隙直接穿透浪费，喷涂时间越长，浪费越多，造成环境污染和处理废水、废气成本会增加，涂料上漆率降低；工件间距过小，侧面涂膜厚度会偏薄露底，喷涂不良品增多，影响一次性喷涂产品合格率；在传统侧喷式单面喷涂时，工件侧面涂膜厚度是从1到2位置（图4）逐渐降低变薄。

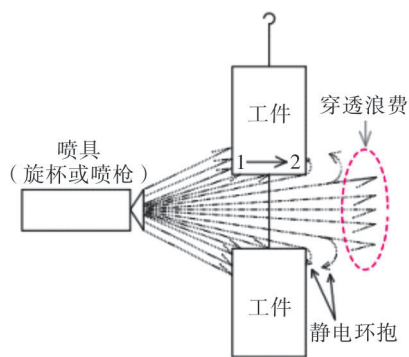


图4 工件间距示意

在两面喷涂时，如果工件间距大，静电环抱到工件背面的涂料也比较多，容易造成1、2位置的涂膜较厚，出现流挂和起泡涂装弊病；在喷涂一些色差较敏感的涂料时，还容易出现正背面阴阳色弊病。

工件间距合适，涂料颗粒从间隙中直接穿透的就少，如果是两面喷涂，侧面与正面的涂膜厚度相差不大，保证工件每个喷涂面涂膜的均匀性，喷涂品质得到保证。

3 结语

合适的喷涂距离和工件间距，不仅可以提高涂料的上漆率，同时可避免涂料浪费造成污染环境，有效提升涂层品质。对比分析测量数据和喷涂效果，针对发现的问题，在调整方向上进行优化，取得了一定的效果，在调整过程中总结一些经验，为这类调整的方向提供参考。◆

（上接第68页）

3.3 换色时间调整

机器人换色时间一般为15~20 s，此时间加长对机器人效率影响很大。换色时还要注意一个问题，两种颜色车尽量不变间隔，避免增加时间，但要保证第二台车喷漆时无漆雾飞溅到第一台车造成混色。

3.4 机械化时间调整

机械化时间指机器人有动作无出漆的时间，即为无效时间，应尽量减少机械化时间来减少节拍时间，应考虑仿形及动作的调整来减少机械化时间。

4 利用率调试

机器人喷漆利用率主要受流量、高压影响，但二者的调整又涉及质量、效率的调试，需综合考虑，首先保证质量。

4.1 流量调整

涂料流量过大会导致流挂缺陷，造成材料浪费；流量大也可能导致漆膜偏厚，质量过剩，同样存在浪

费。涂料流量验证时需要检测漆膜厚度，保证其在工艺要求范围内。

4.2 高压调整

升高电压，电场加大，上漆率提升，相应涂料利用率提升，但可能会出现漆膜偏厚，甚至流挂；降低电压，电场减小，上漆率降低，可能出现露底。高压的调整对于涂料利用率影响较大，但膜厚和上漆率同时提升，从单位面积用漆量来说可能没有变化，这时要提升漆膜利用率，只有在不改变高压情况下降低漆膜出漆量。

5 结语

喷漆机器人调试是个系统工程，涉及工艺、质量、设备、安全、生产等多方面，需统筹规划，在保证质量的前提下，优化成本、效率等因素。喷漆机器人调试也是不断优化改进的过程，新增车型时需增加仿形再进行一系列调试，在日常生产中也需要通过对喷涂参数及仿形的优化来实现提质增效、节能降耗的目标。◆