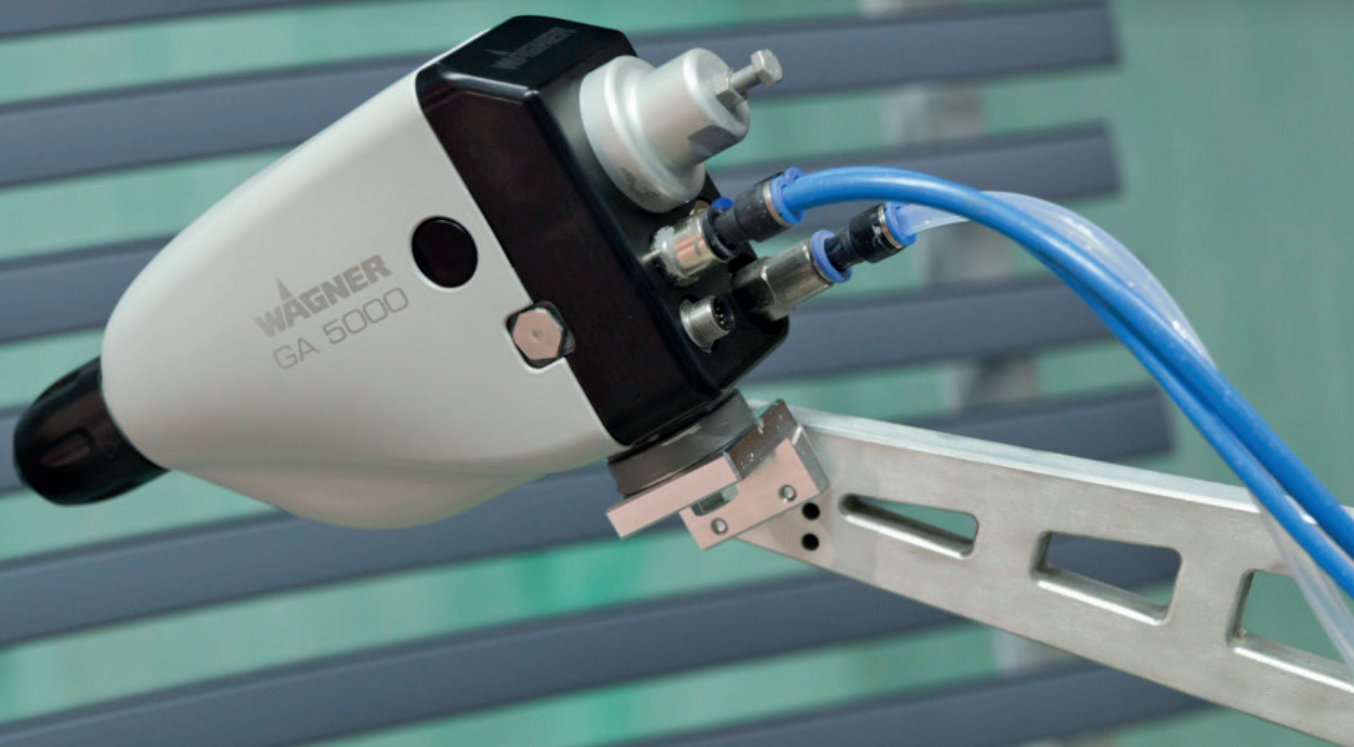


WAGNER



液体涂料静电涂装应用

静电喷涂液态涂料

为什么这项经济又环保的工艺值得投资

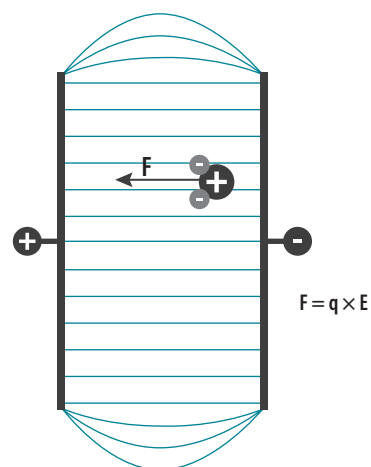
表面静电涂装技术多年来一直代表着行业的最先进水平。极高的表面质量、卓越的涂装效率，以及对日益严格的环境法规的良好适应性，是推动该技术发展的核心动力。然而，与传统液体涂装相比，静电涂装的初始投资成本较高，加之现有的安全顾虑，导致部分用户对其望而却步。”

本文不仅阐述了静电涂装的基本原理，还客观分析了这项技术的局限性及其带来的巨大机遇，并清晰地证明了：初期较高的投资成本实际上能够很快收回（摊销）。而对当前实际工况进行全面分析，正是确保涂装工艺取得成功的关键所在。



什么是静电？

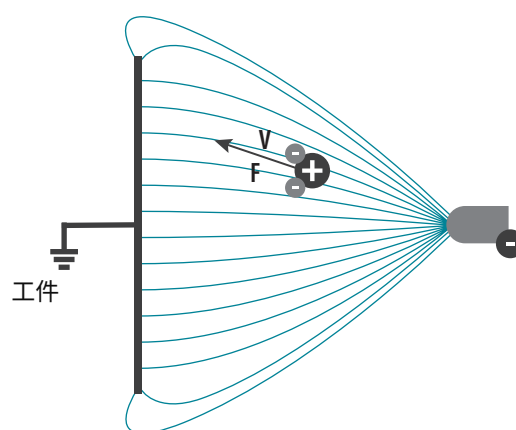
这种现象大家肯定都不陌生：雷暴天气中突然划过的闪电电弧，下车时短暂的‘触电’感，或者家电表面总是容易吸附烦人的灰尘。这些其实都是带电粒子在‘作祟’。同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引（比如带负电的灰尘被吸附在接地的屏幕上）。而带电粒子的运动轨迹，则是由电场决定的。在电场中，粒子会根据自身的电荷量和电场强度，沿着电场线方向受到作用力。



电场中带电粒子所受的库仑力

静电在涂装中的作用

在进行涂装前的表面处理时，我们会想尽一切办法避免或消除电荷，以防止带负电的灰尘颗粒附着在工件上。但在进行静电喷涂时，情况却恰恰相反。我们的目标是建立尽可能强大的电场，从而引导带电的漆滴沿着规则的轨迹飞向工件，避免它们作为废料进入分离装置，进而破坏VOC（挥发性有机化合物）的平衡。



静电喷枪的任务：
雾化 + 产生电场 + 使漆滴带电

因此，我们的目标是产生尽可能强大的电场，并使雾化后的漆滴带上负电荷。静电喷枪除了必须具备常规的雾化性能外，还必须能够完美地兼顾这两项功能。为此所需的电压由高压级联装置（高压倍压发生器）产生，根据具体的涂装工艺，最高电压可设定至 100,000 伏特。

成功实现静电涂装的条件与适用性

适用的涂料:

水性涂料通常具有良好的导电性。而溶剂型涂料则必须至少具备最低限度的导电率，以便使涂料粒子能够带电，随后在高压电场线的作用下被导向工件。如有任何疑问，建议直接联系涂料制造商。

导电工件:

静电涂装最适用于导电工件，尤其是金属材质的工件。工件的电阻不应超过 1 兆欧 (1 MΩ)。如果木材中残留的水分至少达到 15%，也可适用该技术。此外，塑料或玻璃等非导电工件也经常使用此技术进行涂装，但这需要特殊的预处理。在某些情况下，预先涂覆一层导电底漆就足够了——例如在玻璃瓶涂层的应用中（见图片）；或者可以直接从接地点开始涂装，这样仍处于液态的导电涂层就能创建一个到接地点的导电连接。无论何种情况，都必须确保工件的最佳接地。



最佳的接地状态:

尽可能保持高度的清洁，尤其是在电气连接处、接地线路以及工具表面，这是实现良好接地并发挥最佳静电效果的基本前提。只有这样，才能确保尽可能多的涂料附着到工件上，从而最大化涂装效率。任何形式的沉积物或残留物都会导致接地中断或产生爬电距离，进而破坏静电涂装的正向效果。

工件几何形状:

具有网格结构或呈圆形的复杂工件特别适合采用静电涂装。由于存在“环抱效应”，涂料能够附着到工件的背面，从而最大程度地节省材料。同时，单件工件的涂装时间也能显著缩短。

静电涂装的优势

电场线始终垂直于工件表面——即使是背向喷流的一侧也是如此。这为涂装工艺带来了一系列优势。得益于极高的涂装效率，静电涂装工艺也特别经济且环保。

环抱效应:

即使是背向喷流一侧的工件背面，也能被均匀涂覆。

精细雾化:

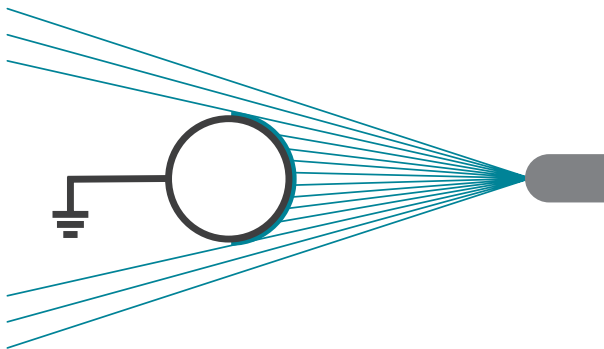
除了常规的雾化作用外，漆滴间的排斥力还能确保产生更小的液滴。根据具体情况，静电技术可进一步降低涂料压力和空气压力，从而实现更精细的雾化，获得更小的漆滴粒径。

均匀的涂层质量:

带电的漆滴会沿着电场线飞向工件，并在同性电荷相互排斥的作用下，垂直且均匀地附着在工件表面。这造就了极高的表面涂装质量。

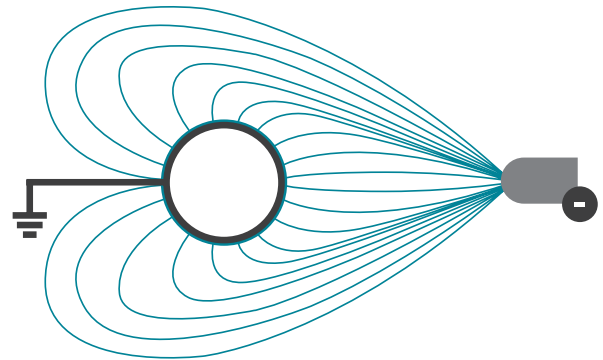
最佳的边缘涂装效果:

通过使电场线集中在工件的角落和边缘处，可以有效避免这些部位出现涂层过薄的现象。



无静电涂装

严重的过喷现象 / 无环抱效应



采用静电涂装：

过喷现象减少 / 显著的环抱效应

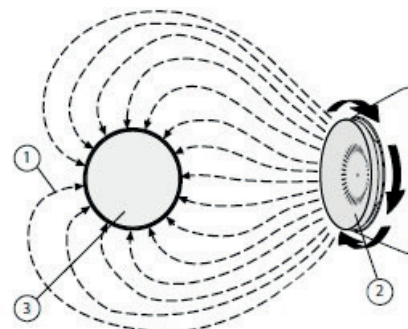
溶剂型还是水性系统？

涂料系统的选择，从根本上决定了涂料的带电方式，进而也决定了所适用的喷涂设备以及整个涂装系统。

溶剂型涂料是通过位于喷流中心、直接安装在喷枪内部的电极进行直接带电的。之所以可行，是因为溶剂型涂料具有较高的电阻率（即电导率较低），高压在喷涂设备内部即被消耗掉，因此不会对操作人员造成危险。

如果涂料的电导率过高，就会有大量电流流向接地端，导致高压急剧下降的风险。在这种情况下，高压会反向传导至输漆软管，并可能向外部发生闪络。采用耐高压且经过绝缘处理的专用输漆软管，即可使用相同的技术来处理这类涂料。

高速旋杯雾化器带电方式示意图：



- 1 - 漆雾颗粒（或 涂料微粒）
- 2 - 旋转雾化杯（或 旋杯）
- 3 - 接地工件

水性涂料的使用在环保方面正发挥着越来越重要的作用。针对这类涂料，目前有两种不同的处理工艺。

在采用内部带电方式时，水性涂料是在喷涂设备内部或涂料容器中进行带电的。由于水性涂料的电导率较高，整个系统——包括喷涂设备、输漆软管、泵、涂料容器及其附件——均处于高压状态，因此出于安全考虑，必须对其进行相应的绝缘处理。

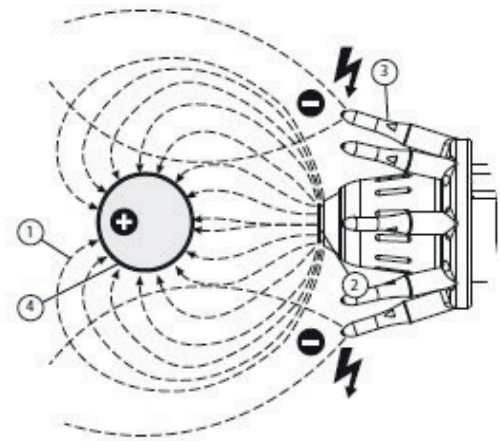


带内部带电功能的高速旋杯雾化器

为了隔离所有与涂料接触的部件（如输漆软管、泵和供漆桶），调漆房（或供漆区）必须通过封闭的房间或防护网进行隔离保护。或者，也可以将其安装在耐高压的机柜中，例如 AquaCoat 5010/5020 型号。该机柜包含了完全绝缘的供漆单元（涵盖泵、高压电源、安全技术、输漆软管和喷枪）。只有在系统完全放电后，才能打开接触供漆桶。其内置的安全系统能确保喷漆工永远不会接触到高压电。



AquaCoat 静电涂装系统



- 1 - 漆雾颗粒
- 2 - 旋转雾化杯（或 旋杯）
- 3 - 带电极指（放电针）的电极环
- 4 - 接地工件



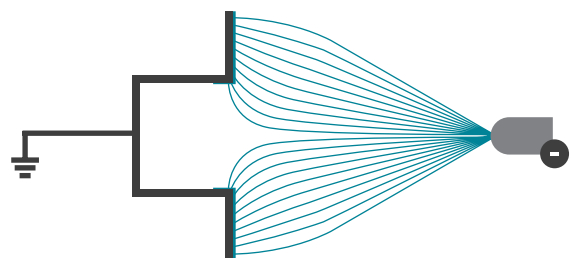
带外部带电功能的高速旋杯雾化器

在采用外部带电方式时，由于水性涂料的电导率较高，通常使用位于喷流外部的电极（电晕工艺）对其进行带电。通过电极环释放的高压会使周围空气发生电离，从而使喷出的涂料带上电荷。这一工艺尤其广泛应用于汽车制造业中，通过高速旋杯雾化器来喷涂水性涂料。

在这种设计中，喷涂执行器具有良好的绝缘性，因此其本身不带电。与内置式充电涂装相比，其节省涂料的效果稍逊一筹。然而，外置式充电的最大优势在于：用户无需对整个涂装系统（包括调漆房）进行充电和绝缘处理，这显著降低了系统的投资成本。

静电涂装的局限性

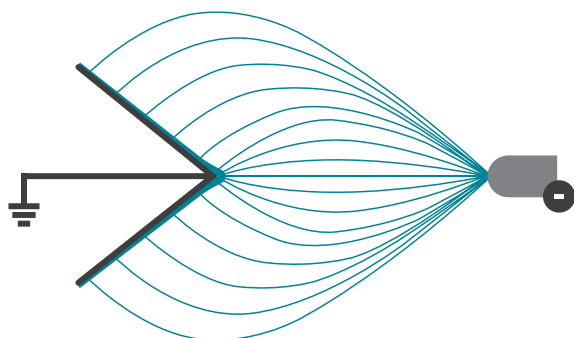
内涂层、杯状结构或空腔：在这些区域，法拉第效应会完全屏蔽电场，从而阻止电场线穿透。为了能够对这些区域进行喷涂，系统必须能够（在短时间内）关闭静电功能。或者，必须使用相对较高的涂料压力和空气压力。



电场屏蔽：
电场线无法穿透空腔。
法拉第效应会阻碍静电涂装过程。

边缘过厚（过喷）：

这既是机遇，也是风险。电场线会集中在边缘和角落，从而确保了这些部位的可靠覆盖；但同时，这也极易导致涂层过厚（即‘画框效应’）。在这些位置，建议相应地降低高压参数。



电场集中（或膜厚增加）：
电场线在边缘和凸起处的集中，会导致涂层过厚。

静电涂装的应用技术

静电技术广泛应用于空气喷涂和混气喷涂（这两种工艺均有适用于水性涂料的 AquaCoat 版本），以及高速旋杯雾化。

然而，该工艺不适用于涂料压力超过 250 bar 的应用场景。原因在于，相对较大的液滴和极高的喷涂压力会产生巨大的动能，这会削弱甚至抵消静电效应。

要获得良好的静电效应，关键在于所选用的涂装工艺及其参数设置。喷涂设备的涂料压力和空气压力设置得越低，静电效应就越好。

原因很简单：漆雾颗粒的动能会与电场中的静电吸引力叠加（产生对抗）。因此，引入的液滴尺寸越小、动能越低，产生的过喷就越少，涂层的包覆性（环抱效应）和均匀度也就越好。

空气喷涂

传统的空气雾化工艺是最经典的涂料雾化方式。涂料仅依靠提供的雾化空气（通常也处于 1-3 bar 的压力下），在极低的涂料压力（通常在 1-3 bar 之间）下实现雾化。这种工艺能产生极其细腻、微小的漆雾颗粒。

由于空气喷涂能带来极高的表面涂装质量，因此在许多工业应用中，它经常与静电技术结合使用。



静电自动空气喷枪

混气喷涂

混气喷涂工艺的一个显著特征是具有较高的涂料压力（最高可达 250 bar），涂料在离开喷嘴时即被雾化。此外，由于引入了额外的雾化空气，喷出的漆流特别平稳且均匀。这得益于位于喷嘴孔正前方的中心供气装置（风帽），它像夹套一样包裹着喷涂介质，从而确保了上述效果。

该工艺的进一步核心优势在于：涂装速度快、漆雾产生量低，同时还能保持极佳的涂装质量。而且，漆雾颗粒的动能依然足够小，因此完全适用于静电喷涂。



带静电功能的混气喷涂枪（手动）

高速旋杯雾化

在该工艺中，涂料依靠在极高转速（约 20,000 - 60,000 rpm）下运行的旋杯所产生的离心力实现雾化。空气导流环上的整形空气负责引导漆雾的方向，并根据需要调节喷涂云团的尺寸（200 - 700 mm）



安装在机器人手臂上的高速旋杯雾化器

正确的产品与工艺选择

经验法则：涂料压力和空气压力设置得越低，静电效应就越好。在实际操作中，涂料压力往往被设置得比实际需要的要高得多。此时，空气压力也必须相应地提高。结果就是，高动能和由此产生的过喷会阻碍漆雾颗粒被有效吸附到工件上。因此，最好逐步缓慢地提高压力，直到达到最佳雾化效果。

空气喷涂、混气喷涂还是高速旋杯雾化？

纯空气雾化或高速旋杯雾化能产生最细小的漆雾颗粒。在这种工艺下，涂装速度略慢于空气辅助无气喷涂，但能获得最高的表面涂装质量。而在混气喷涂工艺中，液滴尺寸、过喷量以及涂装速度都相对更大（更高）。不过，得益于静电效应，该工艺依然能实现极佳的表面涂装质量。

作为一个极佳的替代方案，主要用于大批量生产的高速旋杯雾化工艺，正日益受到一般工业领域的青睐。它同样能实现极其细腻的雾化效果，并带来高水平的涂装质量与极高的涂料利用率。

静电涂装的所有核心优势，均同样适用于各类静电产品——无论是手动还是自动设备，无论使用溶剂型还是水性涂料，无论是低压还是高压系统，亦或是高速旋杯雾化器，皆不例外。

选择人工涂装还是自动涂装，主要取决于经济性，当然也取决于技术上的可行性。在通过升降装置、直线导轨或机器人实现自动化不划算或无法实施的情况下（例如涂装超长起重机部件或飞机机身），通常会采用人工涂装。



瓦格纳产品组合

瓦格纳提供种类繁多的静电涂装手动及自动产品与解决方案，全面覆盖各种工艺流程与应用需求。

	手动空气喷涂	自动空气喷涂	手动混气喷涂	自动混气喷涂	内置式高速旋杯雾化	外置式高速旋杯雾化
溶剂型涂料	GM 5000EA 	GA 5000EA 	GM 5000EAC 	GA 5000EAC 	TOPFINISH RobotBell / Bell 1S 	
水性涂料	GM 5020EAW + AquaCoat 5010/5020  	GA 5000EAW + AquaCoat 5010/5020  	GM 5020EAC + AquaCoat 5010/5020  	GA 5000EACW + AquaCoat 5010/5020  	 	TOPFINISH RobotBell ECH / Bell 1S ECH  