

关于洁净室电缆集尘问题的研究

戈尔公司 (W. L. Gore & Associates)

介绍

电缆拖链中的电缆集尘对于洁净室环境是一个复杂的问题。为了尽量减少集尘，需要尽可能地避免电缆以及套管之间的摩擦。尽管通过减少运动器件可以减少集尘，但是不可能没有自动化生产线上电缆的运动。另外，用于分隔圆形电缆和套管的分隔片和支架是产生集尘的另一个因素。如果不使用分隔片，或者分隔片没有正确的安装，电缆以及套管之间的摩擦将导致这些部件的蠕变、移动或扭曲，这样就会增加集尘。为了获得能运行上千万次寿命的低集尘电缆系统，系统设计工程师应尽可能减少运动器件的数量，以及这些零件之间的摩擦。电缆拖链制造商会提供详尽的正确安装和使用电缆的指南，它决定了你的电缆系统洁净度。然而，用在洁净室环境的电缆和电缆拖链应该经过测试确定电缆材料的集尘特性，以及电缆在整个系统的相互作用问题。

戈尔公司 (W. L. Gore & Associates) 最近与德国斯图加特弗劳恩霍夫制造技术与自动化研究所 (Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation IPA) 合作，测试两款申请ISO洁净室证书的戈尔电缆的集尘特性。当然，弗劳恩霍夫认证应该仅用来对比在相同测试条件下电缆和电缆拖链集尘情况的评价，弗劳恩霍夫研究所的测试表明戈尔电缆在多次弯折后集尘量是最低的。

测试设计

为了鉴别集尘是由电缆还是电缆拖链造成的，戈尔将相同的扁平电缆放在同一厂家生产的两种不同的电缆拖链中进行了测试。在测试中，戈尔选择了两种非金属电缆拖链——一种是低振动，无噪音的清洁型电缆拖链（拖链 A），一种是带有链环和销的传统拖链（拖链 B）。除了测试了戈尔无拖链电缆（TK31540-01），戈尔还对三种电缆拖链组合作了评估：

- 1 电缆拖链 A，安装 2 根戈尔高柔性扁平电缆，一根电缆叠放在另一根上面
- 1 电缆拖链 B，安装 2 根戈尔高柔性扁平电缆，一根电缆叠放在另一根上面
- 1 电缆拖链 A，安装 2 根圆形电缆，一根电缆放在另一根旁边，无分隔器。为了使对电缆的摩擦最小，戈尔设计了具有足够空间的拖链使这两条圆形电缆之间不会彼此接触。

每个电缆拖链垂直放置，与洁净室的空气流动方向相对应，以确保产生的所有微粒都被记录下来。先确定最有可能产生集尘的电缆拖链的关键地方，光学微粒计数器放置在每根电缆的这些区域的三个位置（见图1）。每个计数器会记录0.1至5.0微米大小的微粒。

在每个测量点对产生的悬浮微粒作100分钟记录，每根电缆分别在运行速度0.5米/秒，1.0米/秒，2.0米/秒作测试。

然后，弗劳恩霍夫研究所使用数学方法按微粒尺寸（0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0和5.0微米）计算每个测量点的最大数，按照Guideline VDI 2083 Part 9.1标准确定集尘数量。为了能测定每个电缆拖链系统的运行实效，弗劳恩霍夫研究所使用这些结果来确定最高集尘量的测量点。运行实效被用来确定ISO洁净度认证的等级。

图表 1



结果

光学微粒计数器记录了戈尔无拖链电缆（见图表2）和装有戈尔高柔性扁平电缆的电缆拖链A在每个测量点产生0个微粒（见图表3）。按照VDI Guideline 2083 和 ISO 14644-1标准的集尘可能性的计算方法，弗劳恩霍夫研究所测定这些电缆在上述测试速度的集尘可能性低于0.1%。

图表 2

戈尔无拖链电缆

每立方英尺 微粒个数	速度			超出极限值 的可能性
	0.5 米/秒	1.0 米/秒	2.0 米/秒	
0.1 μm	0.0	0.0	0.0	< 0.1%
0.2 μm	0.0	0.0	0.0	< 0.1%
0.3 μm	0.0	0.0	0.0	< 0.1%
0.5 μm	0.0	0.0	0.0	< 0.1%
1.0 μm	0.0	0.0	0.0	< 0.1%
5.0 μm	0.0	0.0	0.0	< 0.1%

图表3

戈尔高柔性扁平电缆——安装在电缆拖链 A

每立方英尺 微粒个数	速度			超过极限值 的可能性
	0.5 米/秒	1.0 米/秒	2.0 米/秒	
0.1 μm	0.0	0.0	0.0	< 0.1%
0.2 μm	0.0	0.0	0.0	< 0.1%
0.3 μm	0.0	0.0	0.0	< 0.1%
0.5 μm	0.0	0.0	0.0	< 0.1%
1.0 μm	0.0	0.0	0.0	< 0.1%
5.0 μm	0.0	0.0	0.0	< 0.1%

安装圆形电缆的拖链 A 在不同运行速度都产生了不同数量的微粒（见图表 4）。按照 VDI Guideline 2083 和 ISO 14644-1 标准，弗劳恩霍夫研究所鉴定这种电缆拖链/电缆装置产生集尘的可能性是 3%。

图表4

圆形电缆 —— 安装在电缆拖链A内

每立方英尺 微粒个数	速度	超过极限值 的可能性	速度	超过极限值 的可能性	速度	超过极限值 的可能性
	0.5米/秒		1.0米/秒		2.0米/秒	
0.1 μm	0.3	< 0.1%	2.5	< 0.1%	0.0	< 0.1%
0.2 μm	0.1	< 0.1%	1.3	< 0.1%	0.0	< 0.1%
0.3 μm	0.1	< 0.1%	1.0	< 0.1%	0.0	< 0.1%
0.5 μm	0.1	0.2%	0.7	< 0.1%	0.0	< 0.1%
1.0 μm	0.0	3.0%	0.4	0.8%	0.0	< 0.1%
5.0 μm	0.0	< 0.1%	0.0	3.0%	0.0	< 0.1%

安装戈尔高柔性扁平电缆的拖链 B 在不同运行速度下也产生了不同数量的微粒（见图表 5）。按照 VDI Guideline 2083 和 ISO 14644-1 标准，弗劳恩霍夫研究所鉴定这种电缆拖链装置产生集尘的可能性是 3%。

图表5

戈尔高柔性扁平电缆——安装在电缆拖链B内

每立方英尺 微粒个数	速度	超过极限值 的可能性	速度	超过极限值 的可能性	速度	超过极限值 的可能性
	0.5米/秒		1.0米/秒		2.0米/秒	
0.1 μm	1.3	< 0.1%	0.6	< 0.1%	1.7	< 0.1%
0.2 μm	0.5	< 0.1%	0.3	< 0.1%	0.9	< 0.1%
0.3 μm	0.4	< 0.1%	0.3	< 0.1%	0.7	3.0%
0.5 μm	0.4	< 0.1%	0.3	< 0.1%	0.6	3.0%
1.0 μm	0.3	< 0.1%	0.2	< 0.1%	0.5	3.0%
5.0 μm	0.2	1.6%	0.1	0.6%	0.1	2.0%

该测试结果表明电缆运行速度是某些电缆拖链装置是集尘产生量的影响因素之一，但不是全部原因。根据 ISO 标准，弗劳恩霍夫研究所在产生最多集尘的运行速度基础上给予 ISO14644-1 洁净室认证（见图表 6）。

图表6

ISO洁净室证书

电缆	电缆拖链	速度			ISO等级证书
		0.5米/秒	1.0米/秒	2.0米/秒	
戈尔无拖链电缆	无	1 级	1 级	1 级	1 级
戈尔高柔性扁平电缆	A	1 级	1 级	1 级	1 级
戈尔高柔性扁平电缆	B	5 级	5 级	5 级	5 级
圆形电缆	A	3 级	4 级	1 级	4 级

结论:

戈尔无拖链电缆是保持低集尘，最清洁，高柔性的选择。当运行行程不超过1.5米时，这些电缆不需要电缆拖链，分隔器，和支架，所以这些电缆能非常可靠地应用在1级洁净室。

通过测试安装在两种不同电缆拖链的戈尔高柔性扁平电缆表明，集尘不是戈尔电缆而是由电缆拖链造成的。戈尔高柔性扁平电缆在拖链往返弯折运动的集尘量是最低的。戈尔电缆具有独一无二的低摩擦、极低集尘护套，符合ISO14644-1标准1级洁净室应用。除了不需要电缆拖链里的分隔器和支架外，戈尔电缆的扁平结构均匀分布对电缆护套的作用力，这样就减少了对电缆护套的磨损，以及由于运动引起的摩擦。通过将所有电缆、软管和光纤结构都放置在戈尔高柔性扁平电缆内，就可使用更小更轻的电缆拖链。

在测试带拖链的圆形电缆系统时，为使集尘产生量最少，戈尔测试了两根具有低集尘护套电缆，放置在无分隔器或支架，低振动的清洁型电缆拖链内。由于集尘量取决于运行速度，这种电缆系统能应用于ISO14644-1标准的4级洁净室。然而，这种设计不能准确反映实际使用中的电缆拖链的集尘情况，因为实际使用中电缆拖链内塞满了电缆，套管，分隔器和支架，这就增加了摩擦和集尘量。