

覆膜滤料及其清灰性能的分析

吴军平

摘要：通过对袋式除尘的清灰方式的分析，以及对比深层过滤与表面过滤，总结出覆膜滤料的应用优势。尤其是对脉冲长袋的难清灰的特点，覆膜滤料的优势更凸出。最后对滤料的清灰性能提出了量化的比较。

关键词：覆膜滤料，清灰性能，清灰方式，清灰效果，深层过滤，表面过滤，环境技术认证，ETV，清灰次数，压差，能耗。

袋式除尘技术最近几年在工业应用中取得了飞速发展，尤其是在水泥生产方面。早期的袋式除尘技术主要使用的是普通针刺毡滤料。然而这些滤料表面并不是很光滑，在其过滤层孔隙很大且不均匀，因此就形成了深层过滤，这对其过滤性能和使用寿命产生了实质性的影响。对于粒径较大(>5 μm)的粉尘收集，普通滤料通常是被认可的。然而对于粒径较小的亚微粒粉尘，却并不适用。对于普通滤料主要的不足之处有：由于细微粉尘非常容易穿透导致排放高；由于滤料内部易被粉尘堵塞导致压差高；清灰周期短导致使用寿命短；每次清灰前后排放波动大。排放波动主要是由于滤料内部的粉尘被清灰后，短时间内滤料孔隙较大，造成粉尘穿透引起的。

为消除以上不足，在普通滤料表面增加致密过滤层不失为一种理想的解决办法。这种理论的提出，早在 1973 年，美国戈尔公司在全世界首次推出由膨体聚四氟乙烯(ePTFE)覆膜的过滤材料，并提出了表面过滤的概念。这种致密过滤层是一种压覆在普通滤料表面的一层连续均匀多微孔极光滑的薄膜，这种覆膜滤料主要有以下几方面的优势：

- 1) 提高过滤效率，尤其是对粒径较小的亚微粉尘具有很好的拦截效果。
- 2) 由于其更低更稳定的压差，可提高产品的质量和系统的可靠性。
- 3) 滤袋压差低，具有很好的粉尘剥离性，清灰性能好。
- 4) 清灰频率低，可以极大的延长滤袋的寿命。

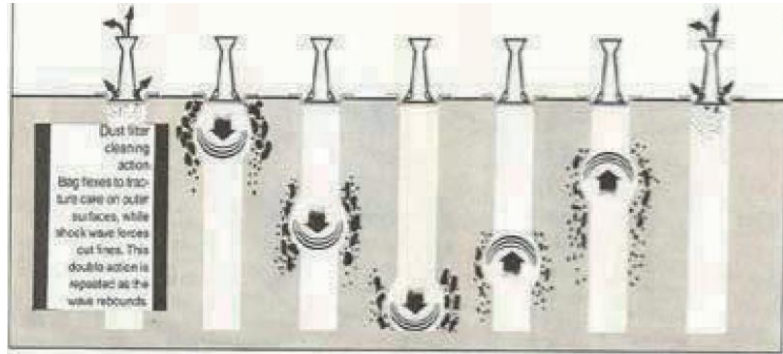
覆膜滤料替代普通滤料，实现表面过滤的优化，可大大提高过滤性能，滤料的使用寿命更长，过滤效率更高，粉尘排放低，完全可满足欧盟排放标准，同时减少系统停机时间。实践证明，使用戈尔公司覆膜滤料后，清灰频率可由普通滤料的每天 360 个循环降至每天 50 个循环，除尘器系统压差在同等条件下覆膜滤料可比普通滤料低 600Pa 以上。

1. 清灰方式与滤袋

袋式除尘技术的发展随同人们对环境保护要求的提高共同推动着过滤科技的向前进步。除尘器的设计发展引导着人们去开发更新的更有效的滤料和更科学合理的除尘器。而科学合理的除尘器中关键的技术之一在于其清灰系统是否合理有效。滤袋的清灰系统是利用一股短促高压的压缩空气喷射进入滤袋内部，并使滤袋发生变形，部分压缩空气穿透滤袋，促使吸附在滤袋表面的粉尘发生剥离。在这种设计模式中，电磁脉冲阀控制着一排滤袋的喷吹，脉冲清灰由两种机械作用来完成，脉冲波使滤袋变形，和高速穿透滤料实现清灰。脉冲压缩空气由对应的电磁脉冲阀进行控制，沿着与过滤气流相反的方向喷入滤袋。可以预先设定好脉冲阀的开断时间，用以控制一定量的脉冲气体喷入滤袋实现清灰作用，确保系统在稳定的压差条件下运行。脉冲式袋除尘可实现在线清灰，即不需要隔离某个过滤室切断含尘气流就可以清灰，而且可以连

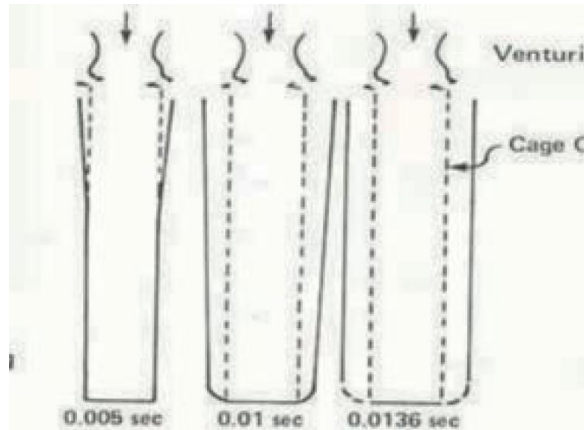
续进行，因此有的系统并没有将全部过滤部分分成若干个独立的箱室。滤袋的清灰依序进行，一行滤袋清灰完成后再进行下一行滤袋的清灰。我们可以设定每行之间的清灰时间间隔的长短来实现连续清灰。脉冲清灰的滤袋可以承受较高的过滤风速。为达到较好的清灰效果，脉冲滤袋的长度相对与反吹风或机械震打的滤袋来说要短些，比如说以往常用的为 6 米。由于过滤与清灰几乎同时进行，滤袋表面要保持干净非常困难，长期运行存在些许粉尘的粘附在所难免。粉尘的粘附率越高，压差就会上升得越快，这与滤料的清灰性能直接相关。前面所说的普通滤料和覆膜滤料，在这方面就存在着本质的区别。

通常脉冲清灰的效果模式有两种，“气球”模式和“气包”模式。对于“气球”模式，脉冲作用类似于一个球状冲击波，沿着滤袋的长度方向从上到下然后再反弹回来，从而抖落掉附着在滤袋表面的粉尘。其脉冲清灰的示意效果如图一所示。



图一“气球”模式清灰效果示意

脉冲清灰的另一种效果模式为“气包”模式。滤袋在过滤状态下是全部被吸附在袋笼的表面。脉冲压缩空气喷入滤袋后，滤袋在瞬间由上到下全部鼓胀起来，类似于一只被充气的圆柱型“气包”。在这过程中整只滤袋经历瞬间加速和减速，这种冲击及滤袋的变形，同时有部分压缩空气穿透滤料，综合作用下使附着在滤袋表面的粉尘被抖落掉。随着这股能量的衰减消失，滤袋则被重新吸附在袋笼的表面。“气包”模式清灰效果示意如图二所示。



图二“气包”模式清灰效果示意

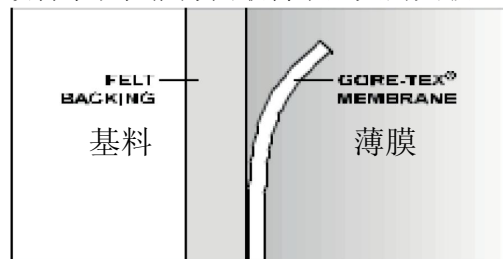
上述所说的两种清灰过程在不到半秒的时间内就会实现，对除尘器的处理能力不产生什么影响。依据清灰压力的不同，通常分为高压脉冲，中压脉冲和低压脉冲三种。

- “气球”模式清灰由于压缩空气有一部分穿透滤料，这种模式清灰的威力会随着“气球”的移动逐渐衰减，因此这种模式仅适用于滤袋较短的类型，属于高压脉冲型式，在文丘里的作用下，可明显提高清灰效果。
- “气包”模式清灰可适用于较长滤袋的清灰，属于中低压脉冲型式，设计通常不带文丘里，喷吹的气体通常需要由附加的 20mm 短管来加以集束。

由于除尘器制作成本及占地面积的诸多方面的因素，加之进风方式方面技术的提升，滤袋的设计由最初的 2.5 米，到现在的 6 米滤袋已经被普遍应用且技术趋于成熟，甚至不少厂家在尝试使用 7~8 米的滤袋。这对于滤袋的清灰效果的也提出了更高的要求，如若除尘器清灰系统设计制作方面存在一些不足之处，对于 6 米的滤袋甚至无法达到较好的清灰效果。由于滤料的选用不当，加之清灰系统设计不佳，结果造成系统运行无法达到设计条件的案例不在少数。对于尝试使用更长滤袋的除尘器，除了在清灰系统设计方面需要实现最佳合理优化，在选用滤料方面，选择一种最易清灰的滤料也成为其必需考虑的因素。覆膜滤料所特有的光滑表面为提高其清灰性能提供了可能。

2. 普通滤料与覆膜滤料

用于脉冲除尘器的滤袋可以是织物料，也可以是针刺毡料。针刺毡料通常较厚，游离的纤维较多。针刺毡是将短纤纱用针刺的型式刺进较稀松平纹织物中，或者直接将这些短纤纱针刺在一起成为无支撑的毡料。这些纤维错综交汇来实现粉尘拦截的能力。人们习惯于将这种滤料称之为普通滤料。这种滤料由于纤维间的孔隙较大，很难拦截细微粉尘。为了达到更好的过滤效果，将一种连续均匀多微孔极光滑的 ePTFE 薄膜压覆于其表面，形成覆膜滤料，如图三所示覆膜滤料的结构示意。由于其薄膜表面的微孔极其致密且光滑，因此对粉尘的拦截效果极佳，同时也解决了普通滤料清灰难的问题。这种最初由美国戈尔公司全球首次推出的技术，极大的推动了过滤材料的技术进步，在节能环保、改善系统性能方面取得了重大的突破。



图三 ePTFE 覆膜滤料

1) 普通滤料的深层过滤

普通滤料的深层过滤是依靠建立在滤料内部和滤料表面的初始粉饼来达到过滤效果的。实际的过滤是依靠这层初始粉饼。如果在没有这层初始粉饼的状况下，普通非覆膜滤料的过滤效率仅为 30—70%。因此必需建立这层初始粉饼，但是也带来了高压差的问题。为了保持系统的压差不至于太高，必需对二次粉饼进行连续有规律的清除。但是这同时会破坏已经建立的初始粉饼，从而造成过滤效率降低，排放高的状况，这会持续到再次建立初始粉饼。如果系统烟气的湿度含量较高，加之普通滤料表面不够光滑，建立在普通滤料上的粉饼将会无法清除，一定时间以后，无法清除的粉饼变得越来越厚，这会直接导致滤料的透气率降低，流量和产量降低，系统维护和停机的时间增加。

2) 覆膜滤料的表面过滤

覆膜滤料的创始人 Bob Gore 发现 PTFE 经过拉伸成膨体 PTFE 薄膜，并且能压覆在普通滤料的表面。这对于工业过滤领域来说意义巨大，标志着过滤精度迈进微过滤的级别，同时也为滤袋清灰难的问题扫除了障碍。膨体 PTFE 薄膜结构的微孔极其致密，即使是对于亚微颗粒的粉尘也很难穿透这种薄膜层，因此几乎所有的粉尘都被拦截在薄膜的表面，从而实现表面过滤。这种薄膜完全优于普通滤料表面的初始粉饼，其孔隙致密均匀，透气率好；同时加之这种薄膜的特殊物理性能，表面极其光滑，极易清灰；薄膜特有的憎水性能，即便是烟气的湿度含量较高，粉尘也很难板结，为滤袋的清灰创造了良好的条件。如图四所示覆膜滤料的过滤与清灰。



图四：覆膜滤料的过滤与清灰

3. 覆膜滤料利于清灰的优势

由于覆膜滤料良好的清灰性能，其应用上的技术和经济效果将集中反映在：

- 清灰频率低，滤袋寿命长。** 由于其光滑的表面，只需要很低的脉冲压力就可达到清灰的目的，因此大大减少了清灰时压缩空气对滤袋的机械损伤。同时由于滤料表面光滑，粉尘很容易掉落，每次清灰后剩余压差很低，且系统阻力上升很慢，因此清灰频率可大大降低。这都极大的延长了滤袋的使用寿命。
- 处理风量大，可增加产能。** 对于任何产能不足，或清灰系统效果不佳的过滤系统，安装覆膜滤袋后，在收尘器系统不做任何大的改动情况下，原有的清灰效果可以大大改善，每次清灰，都会清得更干净，滤袋表面残留的灰尘会大幅度减少。由滤袋产生的压差大大减少，风机就可以在其曲线的不同工作点运转，导致系统流量的增加，可使除尘器处理风量达到甚至超过设计水平，有效地发挥了除尘器的通风除尘功能，确保整个系统运行稳定、可行、安全，并且能在生产系统中大大提高生产产量和生产效益。
- 系统阻力低，能耗低。** 由于覆膜滤袋的高质量和清灰效果，不但使过滤压差大幅度下降，还可以使滤袋在整个服役期间压差始终稳定在较低的水平上，风量始终稳定在较高水平。这将大大节省用户除尘器喷吹所用压缩空气的消耗，也大大节省系统风机以及其它相关设备的单位产量运行能耗。
- 薄膜憎水，可恢复性好。** 覆膜滤袋的表面薄膜具有憎水性，即湿气不能渗入滤袋深层。这使得该滤袋可以适应高湿度条件（如系统喷水过量时），并同样能获得高的除尘效果。因为薄膜将粉尘拦截在表面，在凝结时，湿的粉饼就不会粘附于滤料的纤维上。当温度再次升高，相对于针刺毡的粗糙表面，干的粉饼更容易从光滑的薄膜上清除。

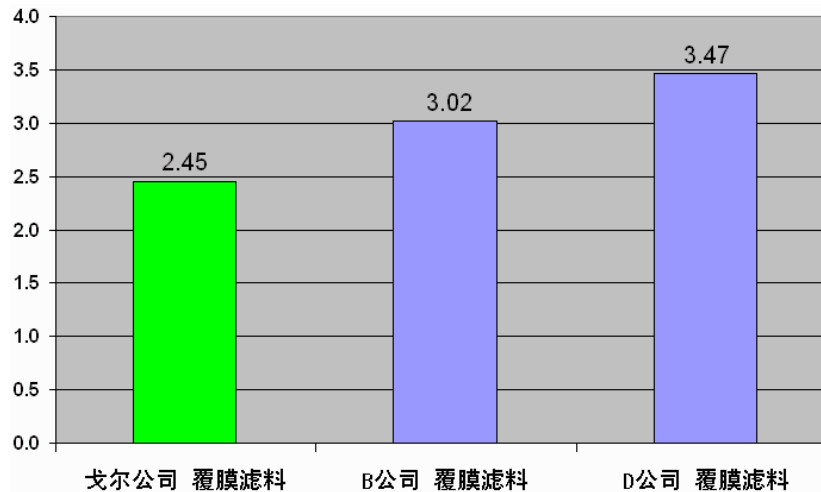
- e) **优化系统性能，脉冲长袋效果更凸出。**由于覆膜滤料的良好清灰性能，使得除尘器系统各方面运行性能得到大大的优化。尤其是对于脉冲长袋，由于设计施工等因素导致清灰系统往往不甚理想，清灰效果很难达到预期效果。即便是当前应用趋于成熟的6米滤袋，常常出现即使频繁的清灰，系统阻力也很难降下来，因此选用覆膜滤料，将会是一种方便可行的选择。而对于有些尝试使用7~8米滤袋甚至更长滤袋的除尘器，选用一种清灰效果更好的覆膜滤料，是保证系统良好运行的必然选择。

同时系统排放低也是覆膜滤料的主要优势所在。对于直径0.3 μm 的微粒，戈尔公司薄膜可以达到99.995%拦截率。用这样的薄膜滤袋来拦截水泥生产中的粉尘，无疑可以达到超低排放。这种超低排放确保了完全符合当前（甚至将来）的环保排放标准。可使粉尘排放水平达到了世界先进水平，从而大大改善了工厂的外部环境，提高了工厂的企业形象，也节省了用户有可能支出的环保费用。

4. 覆膜滤料的清灰性能比较

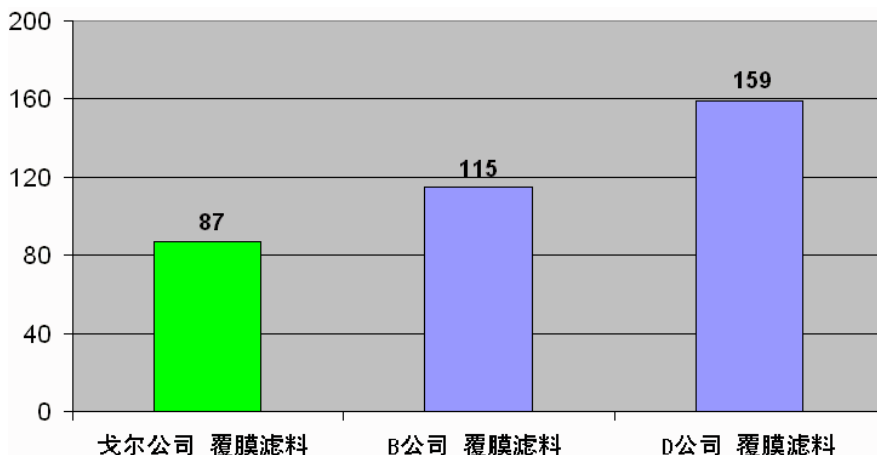
针对不同的滤料，其清灰性能，用户甚至除尘器设计生产厂家往往很难作出具体的分析评价，为了对各种滤料的清灰性能能有一种量化的分析比较，美国环保局（EPA）的环境技术认证项目（ETV）中对袋式除尘器的滤料性能的检测方法和结果，给国内外广大除尘设备用户在选择滤料时提供了数据上的参考。EPA对世界各国的诸多家滤料进行了检测分析。

其对滤料的检测是在特定的模拟条件下，对滤料的多方面性能进行测试，其中的平均剩余压差和清灰频率是直接反映滤料的清灰性能的好坏的主要参数，以下是几家知名公司覆膜滤料测试结果：



图五 ETV 检测结果——平均剩余压差 (cm 水柱)

图五平均剩余压差是指模拟系统在设定的清灰压力10cm水柱压力下每次清灰后的剩余压差的平均值，平均剩余压差低则意味着滤料每次清灰后压差下降幅度大，滤料的脱灰性能优异。



图六 EVT 检测结果——清灰次数

图六清灰次数是指模拟系统在设定的时间内自动喷吹系统所喷吹的次数。喷吹次数少则意味着使用过程中滤料的压差上升的周期长，滤料的自我脱灰能力强，同时喷吹次数少则会直接延长滤袋的使用寿命。

从 EVT 的检测结果可以得知，美国戈尔公司的覆膜滤料每次清灰后的平均剩余压差和在模拟设定时间内的清灰次数，都明显优于其它两家同为美国公司的覆膜滤料。在 EVT 公示的所有检测结果中，戈尔公司作为滤料行业的领军者，其 EVT 检测的全部指标，均优于其它所有滤料。

而普通非覆膜滤料的平均剩余压差和清灰次数均比覆膜滤料又高出许多。

通过比较上述的参数，我们就可以对不同滤料在各方面的性能有一个量化的认识。要查看不同送检滤料的认证结果，可在美国环保局官方网站上查找：

<http://www.epa.gov/etv/verifications/vcenter5-2.html>

5. 总结

这种脉冲喷吹袋式除尘技术已经被全球公认，同时覆膜玻纤滤料用于水泥除尘也被国内外所认可，并且也积累了丰富的经验。靠脉冲清灰的袋式除尘，滤料的选择对于优化系统的运行至关重要。当前许多生产线在不作太大改造的前提下都一定程度的提高产量，因此就会产生更高的过滤风速，清灰频率也大大增加。同时又期望滤袋可以使用更长的寿命。于是，推进了滤料市场去开发发展更优质的滤料，用以优化生产的要求，并降低排放和能耗。对于喷吹系统不够理想，产量提高系统负荷较重，使得除尘器运行欠佳的系统，在除尘器不作太大改造的前提下，选择一种优质的滤料是解决问题的理想选择。优质的滤料对于提高产量，优化系统性能，促进节能减排起着关键的作用。而对于那些尝试更长滤袋的系统，优质的覆膜滤袋更将是保证设备良好运行的必然选择。

参考文献：

1. Improved performance of bag filters through fabric surface modification, A K Choudhary & A Mukhopadhyay.
2. 美国环保局对除尘器滤料性能认证的介绍，刘小峰 薄一歌