

# 浅谈脉冲袋式除尘器的两大功能：过滤与清灰

肖宝恒

国电环境保护研究院

**摘要：**脉冲袋式除尘器有两大功能，一是过滤，一是清灰。长期以来，人们只从除尘器运行的宏观参数（譬如过滤风速、设备阻力、喷吹压力、清灰周期、脉冲宽度等）来判断其性能，这种方法因受到许多复杂因素的影响而往往带有较大的偏差，使得除尘器的研制、设计选型和使用都带有较大的盲目性。本文探讨了这两种核心功能。

**关键词：**脉冲 袋式除尘器 过滤 清灰

袋式除尘是通过滤袋自身固有的以及附着在滤袋表面的粉尘层的过滤作用，来截留烟气中具有一定颗粒的粉尘。经滤袋及粉尘层过滤后的洁净烟气经排气口排出，而滤袋表层的灰可通过不同的清灰方式进行清除。众所周知，脉冲喷吹袋式除尘器主要是以压力气包内的压缩空气作为清灰动力，使脉冲阀启动时形成一股脉冲气流，逆向从滤袋顶部到袋底进行脉冲抖动。其目的是通过脉冲抖动，把滤袋外侧的粘灰抖进除尘器灰斗。

笔者认为，深入研究脉冲袋式除尘器的过滤和清灰这两大功能，对于提高其性能和确保其长期可靠运行非常重要，下面就此分别谈一些初步的看法。

## 1 过滤风速的取值

对于袋式除尘器来说，过滤风速的选取，对保证除尘效果、确定除尘器的型号和占地面积，乃至除尘系统的总投资，具有关键性的作用。

近年来在一些工程项目招标和设计中，业主和有些设计人员对过滤风速的要求有越来越偏低的现象，究其原因可能有如下几点：

- (1) 过去有文献或专著特别强调过滤风速不能取得太高，以免阻力增大，运行费用提高；
- (2) 有些设计人员认为过滤风速取低一些，可以提高除尘效率、增强清灰能力、延长清灰周期，从而延长滤袋使用寿命；
- (3) 目前一些袋式除尘器和滤料生产厂普遍地推荐在 1.0~1.5m/min 范围，而一些设计人员和业主往往在此基础上再降低一定的数值来确定过滤风速，从而导致过滤风速取值偏低。

应该说，上述理由并非毫无道理，但是，如果轻易地降低过滤风速，即使降低的绝对值较小，如 0.1~0.25m/min，由此使过滤面积增加约 10%，设备投资也将增加近 10%。处理的风量越大，增加的投资必然越多，设备的占地面积亦相应加大，显然这是不经济的。影响袋式除尘系统性能和长期可靠运行的因素很多，孤立地看待上述理由，也是不合适的。实际上，正确地选定过滤风速是一项较复杂的工作，它与粉尘性质、烟气的初始含尘浓度、滤料的种类、清灰方式等都有密切的关系。

目前市场上的产品可供选择的滤料种类及其清灰方式并不是很多，滤料及其清灰方式相应的易于确定；至于烟气初始含尘浓度，除了工艺提供资料外，经实测或参照同类型工况和炉型，凭经验确定。所以，正确选择过滤风速的关键，首先在于弄清烟气和粉尘的性质，其次要正确理解和认识过滤风速与除尘效率、过滤阻力、清灰性能三者的关系。对于烟气和粉尘性质，要最大限度地弄清烟尘的粒径分布、粉尘的化学成分和粉尘的物理化学性质，如湿度、湿度、容重、粘性、腐蚀性等。客观地讲，要全面而准确地收集这些资料有一些困难，但作为一个设计人员至少应对其有一定的了解。

对于过滤风速与除尘效率、过滤阻力、清灰性能三者之间的关系，可以从三个方面来理解：

第一，过滤风速与除尘效率。我们知道，从除尘机理上讲，有惯性效应（包括碰撞、拦截）和扩散效应。按 Friedlander 的理论，对滤料单一纤维的除尘效率为：

$$\eta = \frac{K_D}{d_F^{1/2} \cdot d_p^{2/3} \cdot V_s^{3/2}} + \frac{K_I \cdot d_p^2 \cdot V_s^{1/2}}{d_F^{3/2}}$$

(扩散效应)                      (惯性效应)

式中：  $K_D$ 、 $K_I$ ——由烟气温度的、粘度、密度确定的常数；  
 $d_F$ ——单一纤维直径；  
 $d_p$ ——粉尘粒径；  
 $V_s$ ——过滤风速。

由上式可知，若烟尘  $d_p$  为  $1\mu\text{m}$  以下的微尘，借助扩散效应能有效地捕集，适当降低过滤风速  $V_s$  可以提高除尘效率；若烟尘  $d_p$  为  $5\sim 15\mu\text{m}$  以内的粒径，借助惯性效应能有效地捕集，提高过滤风速  $V_s$  可以提高  $\eta$ 。实践证明，对一般性烟尘，提高过滤风速  $V_s$  对除尘效率  $\eta$  影响甚微。

第二，过滤风速与过滤阻力。过滤阻力随滤料上粉尘量的增大而增大，滤料不同，单位滤料面积上容尘量也不同。但从工程的角度来讲，其差异毕竟较小，一般仅从粉尘粒径来考虑滤料的容尘负荷，对粒径大的粗粉尘取  $300\sim 1000\text{g}/\text{m}^2$ ，对微细粉尘取  $100\sim 300\text{g}/\text{m}^2$ 。目前还没有燃煤电厂粉尘的滤尘量、过滤风速和过滤阻力三者关系的实测数据。但国内早在 20 世纪 80 年代就有专著介绍水泥粉尘的滤尘量、过滤风速、过滤阻力三者关系的实测数据，见表 1。

表 1 过滤阻力 (Pa)

过滤风速 (m/min)	滤袋滤尘量 (g/m <sup>2</sup> /)					
	100	200	300	400	500	600
0.5	300	360	410	460	500	540
1.0	370	460	520	580	630	690
1.5	450	530	610	680	750	820
2.0	520	620	710	790	880	970
2.5	590	700	810	900	1000	—
3.0	650	770	900	1000	—	—

从表中数据可以看出，当滤尘量一定时，过滤风速增加 1 倍，阻力增加 25~50%；即使过滤风速增加 2 倍，阻力增加亦不到 80%，而且过滤风速越低，阻力增加的百分比越小；反过来说，当滤尘量一定，过滤风速降低 1 倍时，阻力降低不到 30%。可见，过滤风速的增减与过滤阻力的增减不成正比，如果简单地用降低过滤风速的办法来达到降低过滤阻力从而降低运行费用的目的是欠妥的。

第三，过滤风速与清灰性能的关系。粉尘的清灰性能与粉尘的性质，即粘性/粒度、容重有极大的关系。粉尘的粘性大、粒径小、容重小，清灰困难，过滤风速应取低一些，反之可取高一些。

国内有人做过实验，对于滑石粉类中细滑爽粉尘，在所有工况条件下，仅需一次反吹清灰，滤袋阻力即可恢复原值，二次积尘几乎全被吹落，反吹风量仅需 25~30%；而对于氧化铁类超细粉尘，通常需要连续多次反吹清灰，才能有效降低滤袋阻力，还难以恢复原值，反吹风量比率高达 50~70%。这说明，对某一确定的袋式除尘器，粉尘的清灰性能主要取决于粉尘及含尘气体的性质，并不是所有粉尘，过滤风速取低些，就可增强清灰能力。

第四，在滤袋确定的情况下，降低过滤风速可以延长清灰周期，但是滤袋的使用寿命并

不完全取决于清灰周期。因为当确定了某个过滤风速时，滤袋的不同部位的过滤风速也不同。国外做过实验发现，在一条滤袋上的局部过滤风速相差可达4倍，甚至超过4倍。

综上所述，可以得出这样的结论：盲目地降低过滤风速，并不能完全保证提高除尘效率，也不一定能够降低过滤阻力，还可能造成不必要的经济损失；只有在充分了解粉尘性质及系统特性的基础上，优化除尘器本体结构设计，正确进行经济技术分析，才能合理地确定过滤风速。

## 2 脉冲清灰问题

对于脉冲袋式除尘器，很多人都认为压缩空气脉冲作用于滤袋所产生的冲击对清灰起主要作用，并将粉尘分离力  $F_s$  定义为滤袋上单位面积的粉尘载荷  $m_d$  与滤袋膨胀到极限位置时所获得的最大反向加速度  $A_p$  的乘积，即  $F_s = m_d \cdot A_p$ ，指出只有当粉尘分离力  $F_s$  超过粉尘与滤袋的粘附力  $F_A$  时，才会发生粉尘剥落。可见，对于某一特定的脉冲喷吹清灰系统特定的粉尘/滤料体系，就应该相应有一个合适的反向加速度  $A_p$  值范围，以保证能获得满意的清灰效果，而其清洁滤袋在脉冲喷吹过程中获得的最大反向加速度  $A_p$  则反映它受到压气脉冲作用所产生冲击的强弱程度，表征了清灰系统所具有的清灰能力。

冶金部环保研究院作过环隙脉冲喷吹系统滤袋喷吹加速度试验，从有关的试验中可以分析得出：在脉冲喷吹过程中，滤袋最初加速向外膨胀；当膨胀到一定程度时，由于滤袋的拉伸而产生一个阻碍其膨胀的张力，滤袋正向（径向向外）加速度随之减小，但滤袋仍然向外作加速膨胀；随着滤袋继续膨胀，张力急剧增大，当合成张力与喷吹气流静压力平衡时，加速度变为零，而滤袋向外运行的速度则达到最大；随后滤袋开始反向加速，作减速膨胀；当膨胀到极限位置时，其速度为零，张力升至最大，滤袋在此很大回复力作用下产生一个很强的冲击振动，同时获得最大的反向加速度  $A_p$ ；随后滤袋开始回缩，一旦滤袋离开极限位置，它所受到的张力便急剧减小，而且喷吹气流阻碍其恢复到原来的静止位置；在此后的脉冲喷吹过程中，滤袋在极限位置附近作很弱的振动，当滤袋向外膨胀时，喷吹气流静压力是激振力，而当滤袋回缩时它又成为阻尼力，且气流静压在脉冲喷吹过程中时刻在变化；另外，滤袋振动的回复力（即合成张力）又是一个冲力。由此可见，滤袋在整个脉冲喷吹过程中运动是一个复杂的有阻尼受迫振动。在脉冲喷吹清灰时，滤袋自上而下顺序开始膨胀，并顺序达到极限位置。滤袋膨胀形式并不是如通常所想象的可以视为一个压力气泡自上而下在滤袋内扫过，而是当袋底部分开始膨胀时，整个滤袋处于不同的膨胀程度，是倒置的圆台状。

在我国，脉冲清灰根据喷吹压力的高低分为高压清灰与低压清灰两种，国外则将脉冲清灰分为高压小气量（HPLV）、中压中气量（IPIV）与低压高气量（LPHV）三种。国内一般有这样的看法：喷吹压力低，清灰时对滤布的作用力就小，这样有利于延长滤布的使用寿命，也就是说低压清灰优于高压清灰。试验证明，这种看法实际上不够全面，在喷吹量不同的情况下，无法比较高压清灰与低压清灰两者对滤布作用力的大小。

从上世纪90年代，以上三种脉冲喷吹方式在欧美及澳大利亚的燃煤电厂的烟气除尘系统中都有广泛的应用。1988年美国电力研究院（Electric Power Research Institute, EPRI）对当时已经在世界各地电厂锅炉运行的多台脉冲袋式除尘器作了深入的调查比较。结论是以上三种脉冲袋式除尘器均能够达到预期的运行效果和烟气排放标准，都适合在美国电力系统推广。

为了同等工况比较三种脉冲喷吹袋式除尘器的性能和清灰效率，美国电力研究院（EPRI）在佛罗里达州 Scholz 电厂，采用以上三种脉冲喷吹方法，进行清灰试验，结论是：

- （1） 在三个月的测试过程中，没有产生滤袋破损或失效的现象；
- （2） 三种清灰效果都能满足电厂燃煤锅炉的除尘效率要求；
- （3） 并非清灰压力越低，其运行耗电量越小。

---

由此可见，高效清灰的 HPLV 具有运行费用最低，清灰次数最少等特性。经过一段时间的设备运行后，可以推断出其除尘器的滤袋与袋笼的摩擦次数最少。因此高压低气量的脉冲袋式除尘器将能够最佳地延长滤袋的使用寿命。当然喷吹压力也不能太高，干什么都要有个“度”，如果清灰压力太强，滤袋也可能由于振荡力太强导致与袋笼的严重摩擦而裂袋。因此，无论采用高、中或低压的空气源，设备的清灰力度和流量都必须综合考虑工艺和现场条件以及滤料性质来合理配置。在实际使用中，高、中、低压并没有严格的分界，只是相对而言。

清灰压力不是决定滤袋受到清灰力（即反向加速度）大小的唯一因素，低压清灰作用在滤袋上的力不一定比高压清灰小，不能从清灰压力的高低作为影响滤袋寿命的判断依据。大孔径、低喷吹压力也能使滤袋产生更大的加速度。

当滤袋内外的压差达到设定值时，自动控制系统发出信号，脉冲阀迅速开启，压缩空气在瞬间释放，经由脉冲阀和喷吹管向滤袋内喷射，实验证明，脉冲阀的喷吹气量大并不能说明脉冲阀的性能优越，延长喷吹时间并不能对喷吹时滤布的加速度有什么影响，无益于提高清灰效果，而脉冲阀的响应速度才是一个重要的技术指标。不同厂家生产的脉冲阀，由于其响应速度不同，在喷吹气量上造成的差别也是很大的。响应速度慢的脉冲阀不仅要多消耗压缩空气，由于在喷吹时滤袋内部反向压力上升的速度慢，还会影响到滤袋的加速度，也就是说影响清灰效果。

袋式除尘是一个复杂的系统工程，一个完善的袋式除尘系统需要考虑的因素很多，能够围绕袋式除尘器这两大基本功能进行深一步的研究，我认为就是抓住了袋式除尘器的本质。笔者仅谈了一些初步的看法，如果对同行能起到一点抛砖引玉的作用，将是自己的最大愿望。

#### 参考文献

- [1] 杨复沫 脉冲袋式除尘器清灰能力的评价方法和手段的试验研究 冶金部环境保护研究院
- [2] 刘荣毅 布袋除尘系统设计中的两个问题 长沙冶金设计院
- [3] 肖宝恒 袋式除尘器燃煤电厂应用技术特点 国电环境保护研究院
- [4] 陈隆枢 吴媛媛 高滤速袋式除尘器净化大型高炉煤气问题探讨 武汉天澄环保股份有限公司