

电晕空间电荷对电场的影响

兰州电力修造厂 蒙 骅

电除尘器阴、阳极之间在外施电压下产生电晕后,在电晕区(电晕线附近的高场强区)和电晕外区(电晕区以外的低场强区)都有空间电荷存在。这些空间电荷使原电场分布畸变,导致负极性击穿电压高于正极性击穿电压;使电晕电流受到自身空间电荷的影响,并使电场、外区空间电荷、电流三者互相处于平衡状态。对于不同性质的烟气和粉尘,由于空间电荷对电场影响的程度不同,电晕发生后所产生的效果亦不同。

本文从空间电荷对电场影响的角度解释极性效应及除尘器运行中常见的“电晕封闭”、“反电晕”等现象,并结合电除尘器的设计、安装和运行谈谈应注意的一些问题。

一、不均匀电场电晕形成的机理

由于自然界的放射线、紫外线等的作用,气体中常包含一些被电离的分子和自由电子。负针尖对极的不均匀电场在外施电压达到一定值时,由于尖电极附近的电场强度大,而极间空间其余部分电场强度小,当尖电极附近的场强达到临界场强时,自由电子获得了足够的能量,和气体分子碰撞,发生碰撞游离,产生正离子和新的电子。新生电子除少数与分子结合成负离子外,大部分又立刻参加到碰撞游离中去,于是游离过程加强,生成更多的正离子和电子,结果气体中的电子象雪崩似地增长,形成电子崩。电子崩中的正离子迁移速度小,聚集在尖电极附近,留在崩尾;而迁移速度大的电子则离开尖电极向外跑,集中在崩头。留在崩尾的正

离子向负尖电极加速并撞击尖电极引起二次电子发射,而电子则由于多次碰撞而失去能量附着在分子上形成负离子。这些负离子向正极运动,其速度和它们的电荷及电场强度成比例($F=q \cdot E$),构成了电晕外区的电晕电流。随着游离的进行,负离子空间电荷增多,使正电极的电力线都落到这些负离子上而达不到尖电极附近,因而使尖电极处的场强减小,游离停止。当负离子跑开后,电力线又可穿过负电荷层到达尖电极,此时该处的场强又加强。因此,隔一段时间后重新发生游离。此后重复上述过程形成重复脉冲电流,即负电晕脉冲电流。当外施电压较高时,负离子可以更快地跑开,因此两个脉冲的相隔时间就较短。电压更高时,前一个电子崩的正空间电荷还未进入负尖电极,就产生新的电子崩,补充上新的空间电荷,前一个脉冲的终了和下一个脉冲开始前的电流最小值也随之增加,使其脉冲电流的波形趋于平展。当电压再升高(10~20KV),在尖电极附近相当范围内的场强都相当大,从而电子跑得更快,要在远离尖电极的地方才能形成负离子。这些负离子对尖电极附近的电场影响相对减弱,以致游离不断发生,空间电荷在间隙的分布不再随时间变化,不再有高频脉冲而进入持续电晕阶段。此时的电压,称之为电除尘器的起晕电压。

二、电晕空间电荷对电场的影响

持续电晕是一种局限在高场强区的自持放电。电晕发生后,在电晕区(尖电极附近

的高场强区)和电晕外区(电晕区以外的低场强区)都有空间电荷。这些空间电荷无疑对电场有着很大的影响。

1. 电晕区的正空间电荷对电场的影响

从图1看,不管尖电极的极性如何,间隙的游离都是从尖电极附近开始的,它们的起晕电压也基本相同。但是,它们的击穿电压却差别很大,负尖电极的击穿电压要比正尖电极高2~3倍。这是因为电晕正空间电荷在不同极性下分布状况很不相同,使电场畸变的结果。如图2所示,电晕产生后,由于电子运动十分迅速,很快离开电极而散去,在尖电极附近留下正离子空间电荷。这堆正空间电荷对不同极性的尖电极附近的电场影响是不同的。对于负尖电极,极尖附近的正空间电荷减弱了向极板方向的电场强度,而加强了朝向极尖的电场强度,因此负电晕被压缩在负尖电极附近,使放电不易向前发展。对于正尖电极,极尖附近的正空间电荷加强了朝向极板的电场强度,使高场强区移向间隙深处,而朝向尖电极的电场强度则减弱了。对于放电发展而言,重要的正是朝向极板方的电场区域场强的大小,这样正尖电极在间隙深处造成场强高而易引起游离。假如,由于偶然的原因,间隙深处某个电子引起游离,那么电子崩留下来的正离子又将高场强区引伸出来,使游离更加深入间隙,结果游离一路发展下去,形成放电通道,造成击穿。这就是正极性击穿电压比负极性击穿电压低得多的原因,称之为极性效应。

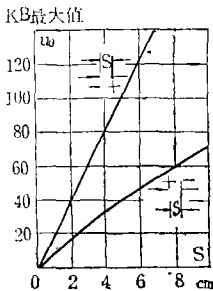


图1 不同极性的放电电压与极间距离的关系

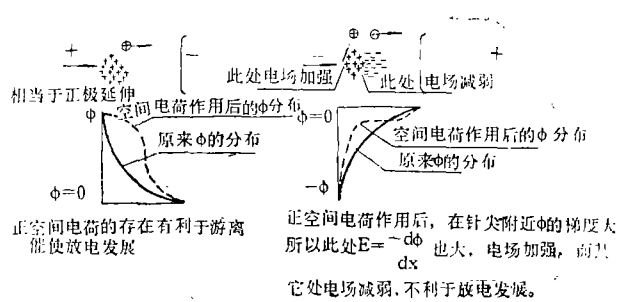


图2 正空间电荷对电场的作用

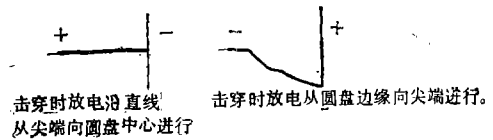


图3 不同极性的尖电极的极性效应

工业电除尘器一般采用负电晕。那么,这里讨论极性效应的实际意义何在呢?请看图3:当尖电极为正极时,击穿时放电通道沿直线路径从尖电极向圆盘中心进行。当尖电极为负极时,虽游离开始于负尖电极,但击穿时放电通道拉长了,并且是从圆盘边缘向尖电极进行。这说明从正圆盘的边缘开始的放电通道的发展条件要比负尖电极开始更有利些(正圆盘边缘电力线较密,电场强度比圆盘其余地方要高,这在电学中称为边缘效应)。就是说,正圆盘的边缘由于边缘效应和极性效应很可能形成除尘器中不希望的放电,而这种正极性的放电由于击穿电压低影响整台除尘器的工作电压的升高。例如,我厂移动式试验台空载试验时,发现阳极板排最边一块极板上口(防风沟处有毛刺)对阴极小框架钢管放电(此处间隙距离为200毫米),而阴极线至阳极板间隙距离为142毫米却未发生放电。又如,田东电厂#3炉的电除尘器空载试验时,一开始是阳极板排中部腰带的支撑角钢对阴极小框架放电,击穿电压为45KV以下。处理后电压又有所升高,此处放电消失,但又发生腰带螺栓头对阴极小框架放电。再次处理后,电压升到60KV以上。以上两例都说明这里发生了极性效应和

边缘效应,使阳极边缘的尖刺部位或阳极其它出现尖刺的部分对阴极小框架产生正极性放电。因此,对阳极部分的尖角毛刺一定要除掉,对腰带等部件一定要在制造时打圆角。另外,在安装中对边缘部位的极间距及腰带部位的极间距要从严检查。从设计上考虑,可取消阳极板排中的腰带,用其它方法来保证板排的平面度。

2. 电晕外区空间电荷对电场的影响

除了电晕区内的正空间电荷外,在电晕外区也有空间电荷,它对电场也有很大影响。由于电晕外区的空间电荷总是与电晕极同符号(负电晕时此部分空间电荷为负),因此这些空间电荷总要屏蔽一部分通向电晕极的电力线,减弱电晕极附近的场强,并使收尘极附近的场强稍有加强,从而空间的游离将减少。在某一临界电压下,当持续电晕产生后电流表上便有电流指示,但是即使外回路电阻很小,电流也还是稳定在一个数上,不至于不断增长(自持放电时,按理即使电压不增加,电流也是按指数规律不断增长)。这是由于电晕电流受到自身负空间电荷影响的缘故。假如在外施电压不变的情况下,由于某种原因电晕电流增长了,电晕外区的负空间电荷也随之增多,它就有削弱游离的趋势,使电晕电流恢复原值。反之,假如电晕电流减少了,则外区的负空间电荷也减少,游离就有加强的趋势,使电晕电流恢复原值。这样,电晕电流的稳定值正是相应于该电压下电场、外区负空间电荷、电晕电流三者互相平衡的状态。当电压再升高到某值时,原来的平衡状态被打破,游离区扩大,电晕电流也增大,但它仍不会无限增长,因为在这一电压下外区负空间电荷仍然限制着它,使电场、外区负空间电荷、电晕电流三者又处于一个新的平衡状态。

工业电除尘器中,电晕外区不仅有气体负离子形成的空间电荷,还有许多已荷电的粉尘粒子。由于电除尘器沿电场长度方向(烟

气流方向)负粒子的浓度是逐渐减少的,所以在电场入口主要以负粒子空间电荷影响电场;在电场出口,则因随着尘粒被除去,主要以气体负离子空间电荷影响电场。由于负粒子的迁移速度比负离子小得多,所以电场入口整个负空间电荷(包括粒子空间电荷和气体负离子空间电荷)对电场的影响要比电场出口大得多。这也就是电除尘器在一般正常运行情况下总是前面电场的电晕电流小于后面电场电晕电流的原因。同样,宽极距的电晕电流一般小于常规极距的电晕电流,也是因宽极距与常规极距相比,它的负空间电荷浓度大的缘故。

当除尘器处理含尘浓度高、粉尘粒度细(比表面积大)的烟气时,经常会发生“电晕封闭”,这可以用电晕外区空间电荷对电场的影响来解释。含尘浓度高的烟气进入除尘器后,尘粒即高度荷电,电晕外区的空间电荷就由气体的负离子和负尘粒子组成(主要成分是负粒子)。其总量比纯气体负离子时要大得多。如前所述,由于粒子的迁移速度比离子小得多,所以对电场的影响就比纯负气体离子时的影响大得多,使电晕极附近的场强削弱得更厉害。当烟气中含尘浓度高到一定程度时,甚至能把电晕极附近的场强减少到电晕的始发值,因而电晕电流就大大下降,甚至会趋于零。这种现象就称为“电晕封闭”。

对含尘浓度大、易发生电晕封闭的一电场,在设计上应采用较窄的极间距,电晕线采用芒刺线、鱼骨线,使放电较集中,增加电风影响。运行中要保证振打机构完好,使电晕线处于清洁状态;合理整定电流值等。图4是含尘浓度变化时,除尘器伏安特性曲线的变化,可供运行人员监测时参考。

电除尘器运行中发生的“反电晕”现象,也可用负空间电荷对电场的影响来解释。当高比电阻粉尘($\rho > 10^{10}$ 欧姆·厘米)到达阳极形成层时,所带电荷不易释放,在阳极

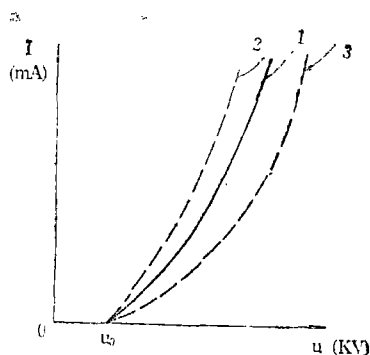


图4 含尘浓度变化时伏安特性曲线的变化(旋摆)

- 1.一除尘器原投运的热态伏安特性曲线;
- 2.一含尘浓度降低时热态伏安特性曲线;
- 3.一含尘浓度增加时热态伏安特性曲线

板面上形成一个残余的负离子层,屏蔽部分通向电晕极的电力线,削弱电晕极附近的场强而提高阳极板面处的场强,造成电晕区游离减弱,电晕电流下降。这时从仪表上看,电压下降不多,也可能为正常值,但电流却比正常减小不少。当这个过程继续进行,阳极表面积灰厚度增加,由于残余电荷分布的不均匀性,就会使阳极局部的粉尘层的电流密度与比电阻的乘积超过粉尘层的绝缘强度而局部击穿,发生局部游离,产生电子和正离子。如果这些局部击穿现象频频发生,则产生大量的正离子,这些正离子进入电晕外区将使原电场负空间电荷的影响大大降低,使游离又加强,电晕电流也相应增大。另外,电晕外区的低场强区又是大批正负离子会合的地区,由于该地区场强小,正负离子运动的相对速度减小,正负离子的浓度却

较高,这些条件将造成此区的正负离子的复合,放出光电子,从而导致放电过程由电子崩转变为流注。流注形成后,电流则是正负离子的等离子流动,故电流大。流注的形成又将造成更强的游离,加速放电的发展,使击穿电压较原来大为降低。这时从仪表来看,电压低,电流大,这就是“反电晕”。发生反电晕时伏安特性曲线出现拐点,如图5所示。

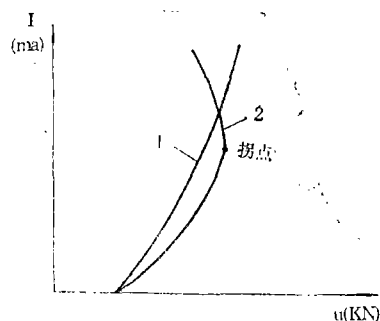


图5 发生反电晕时的伏安特性曲线(出现拐点)

- 1.一不发生反电晕的伏安特性曲线;
- 2.一发生反电晕的伏安特性曲线

为了防止“反电晕”的发生,设计者要考虑选取较保守的趋极速度值;对烟气进行调质;采用辅助电极;采用双区电除尘器;采用脉冲电源;采用极电流密度均匀的极板形式;末电场采用线电流密度均匀的电晕线等。运行中要经常对电压、电流的变化进行监测,发现“反电晕”时,人为地控制电晕电流,将工作点定到拐点附近,以及加强振打清灰等。

(上接第12页)

效率 $\eta_{0-1-2}=98.2\%$,由此可见,YFH型电除尘器捕集微尘的效率相当高。

注:本工作由西安热工研究所、兰州电力修造厂、韩城电厂共同完成。西安热工研究所参加本工作的还有印廷伟、高毅川、侯争胜等同志。