14种烟气脱硫技术！

国内外已经建成的[烟气脱硫](http://daqi.bjx.com.cn/zt.asp?topic=%d1%cc%c6%f8%cd%d1%c1%f2)设施以燃煤电厂居多，[脱硫技术](http://daqi.bjx.com.cn/zt.asp?topic=%cd%d1%c1%f2%bc%bc%ca%f5)的研究也以电厂为主，石油炼化企业脱硫技术研究可在一定程度上借鉴电厂烟气脱硫已有的成熟技术。目前，按副产物的形态，烟气脱硫技术可分为湿法、干法、半干法三种。

**湿法烟气脱硫技术（WFGD）**

吸收剂在液态下与SO2反应，脱硫产物也为液态。该法脱硫效率高、运行稳定，但投资和运行维护费用高、系统复杂、脱硫后产物较难处理、易造成二次污染。

湿法烟气脱硫技术优点：湿法烟气脱硫技术为气液反应，反应速度快、脱硫效率高，一般均高于90%，技术成熟、适用面广。[湿法脱硫技术](http://daqi.bjx.com.cn/zt.asp?topic=%ca%aa%b7%a8%cd%d1%c1%f2%bc%bc%ca%f5)比较成熟，生产运行安全可靠，在众多的脱硫技术中，始终占据主导地位，占脱硫总装机容量的80%以上。缺点：生成物是液体或淤渣，较难处理，设备腐蚀性严重，洗涤后烟气需再热，能耗高，占地面积大，投资和运行费用高、系统复杂、设备庞大、耗水量大、一次性投资高，一般适用于大型电厂。分类:常用的湿法烟气脱硫技术有石灰石-石膏法、间接的石灰石-石膏法、柠檬吸收法等。

石灰石/石灰-石膏法

是利用石灰石或石灰浆液吸收烟气中的SO2，生成亚硫酸钙，经分离的亚硫酸钙（CaO3S）可以抛弃，也可以氧化为硫酸钙（CaSO4），以石膏形式回收。这是目前世界上技术最成熟、运行状况最稳定的脱硫工艺，脱硫效率达到90%以上。

间接石灰石-石膏法

常见的间接石灰石-石膏法有:钠碱双碱法、碱性硫酸铝法和稀硫酸吸收法等。原理:钠碱、碱性氧化铝（Al2O3˙nH2O）或稀硫酸（H2SO4）吸收SO2，生成的吸收液与石灰石反应而得以再生，并生成石膏。该法操作简单，二次污染少，无结垢和堵塞问题，脱硫效率高，但是生成的石膏产品质量较差。

柠檬吸收法

原理：柠檬酸（H3C6H5O7˙H2O）溶液具有较好的缓冲性能，当SO2气体通过柠檬酸盐液体时，烟气中的SO2与水中H+发生反应生成H2SO3络合物，SO2吸收率在99%以上。这种方法仅适于低浓度SO2烟气，而不适于高浓度SO2气体吸收，应用范围比较窄。另外，还有海水脱硫法、磷铵复肥法、液相催化法等湿法烟气脱硫技术。

**干法烟气脱硫技术（DFGD）**

脱硫吸收和产物处理均在干状态下进行。该法系统简单、无污水和废酸排出、设备腐蚀小、运行费用低，但脱硫效率较低。

干法烟气脱硫技术优点：干法烟气脱硫技术为气同反应，相对于湿法脱硫系统来说，具有设备简单、占地面积小、投资和运行费用较低、操作方便、能耗低、生成物便于处置、无污水处理系统等优点。缺点：反应速度慢，脱硫率低，先进的可达60～80%。但目前此种方法脱硫效率较低，吸收剂利用率低，磨损、结垢现象比较严重，在设备维护方面难度较大，设备运行的稳定性、可靠性不高，且寿命较短，限制了此种方法的应用。分类：常用的干法烟气脱硫技术有活性炭吸附法、电子束辐射法、荷电干式吸收剂喷射法、金属氧化物脱硫法等。典型的干法脱硫系统是将脱硫剂(如石灰石、白云石或消石灰)直接喷入炉内。以石灰石为例，在高温下煅烧时，脱硫剂煅烧后形成多孔的氧化钙颗粒，它和烟气中的SO2反应生成硫酸钙，达到脱硫的目的。

活性炭吸附法

原理：SO2被活性炭吸附并被催化氧化为三氧化硫（SO3），再与水反应生成H2SO4，饱和后的活性炭可通过水洗或加热再生，同时生成稀H2SO4或高浓度SO2。可获得副产品H2SO4，液态SO2和单质S，即可以有效地控制SO2的排放，又可以回收硫资源。该技术经西安交通大学对活性炭进行了改进，开发出成本低、选择吸附性能强的ZL30，ZIA0，进一步完善了活性炭的工艺，使烟气中SO2吸附率达到95.8%，达到国家排放标准。

电子束辐射法

原理：用高能电子束照射烟气，生成大量的活性物质，将烟气中的SO2和氮氧化物氧化为SO3和二氧化氮（NO2），进一步生成H2SO4和硝酸（NaNO3），并被氨（NH3）或石灰石（CaCO3）吸收剂吸收。

荷电干式吸收剂喷射脱硫法

原理：吸收剂以高速流过喷射单元产生的高压静电电晕充电区，使吸收剂带有静电荷，当吸收剂被喷射到烟气流中，吸收剂因带同种电荷而互相排斥，表面充分暴露，使脱硫效率大幅度提高。此方法为干法处理，无设备污染及结垢现象，不产生废工业烟气脱硫技术研究进展水废渣，副产品还可以作为肥料使用，无二次污染物产生，脱硫率大于90%，而且设备简单，适应性比较广泛。但是此方法脱硫靠电子束加速器产生高能电子；对于一般的大型企业来说，需大功率的电子枪，对人体有害，故还需要防辐射屏蔽，所以运行和维护要求高。四川成都热电厂建成一套电子脱硫装置，烟气中SO2的脱硫达到国家排放标准。

金属氧化物脱硫法

原理：根据SO2是一种比较活泼的气体的特性，氧化锰（MnO）、氧化锌（ZnO）、氧化铁（Fe3O4）、氧化铜（CuO）等氧化物对SO2具有较强的吸附性，在常温或低温下，金属氧化物对SO2起吸附作用，高温情况下，金属氧化物与SO2发生化学反应，生成金属盐。然后对吸附物和金属盐通过热分解法、洗涤法等使氧化物再生。这是一种干法脱硫方法，虽然没有污水、废酸，不造成污染，但是此方法也没有得到推广，主要是因为脱硫效率比较低，设备庞大，投资比较大，操作要求较高，成本高。该技术的关键是开发新的吸附剂。以上几种SO2烟气治理技术目前应用比较广泛，虽然脱硫率比较高，但是工艺复杂，运行费用高，防污不彻底，造成二次污染等不足，与我国实现经济和环境和谐发展的大方针不相适应，故有必要对新的脱硫技术进行探索和研究。

**半干法烟气脱硫技术（SDFGD）**

半干法烟气脱硫技术（SDFGD）半干法吸取了湿法和干法的优点，脱硫剂在湿态下脱硫，脱硫产物以干态排出。该法既具有湿法脱硫反应速度快、脱硫效率高的优点，又具有干法无污水和废酸排出、硫后产物易于处理的优点。

半干法烟气脱硫技术半干法脱硫包括喷雾干燥法脱硫、半干半湿法脱硫、粉末-颗粒喷动床脱硫、烟道喷射脱硫等。

喷雾干燥脱硫法

是利用机械或气流的力量将吸收剂分散成极细小的雾状液滴，雾状液滴与烟气形成比较大的接触表面积，在气液两相之间发生的一种热量交换、质量传递和化学反应的脱硫方法。一般用的吸收剂是碱液、石灰乳、石灰石浆液等，目前绝大多数装置都使用石灰乳作为吸收剂。一般情况下，此种方法的脱硫率65%～85%。其优点：脱硫是在气、液、固三相状态下进行，工艺设备简单，生成物为干态的CaSO4、CaSO4，易处理，没有严重的设备腐蚀和堵塞情况，耗水也比较少。缺点：自动化要求比较高，吸收剂的用量难以控制，吸收效率不是很高。所以，选择开发合理的吸收剂是解决此方法面临的新难题。

半干半湿法

半干半湿法是介于湿法和干法之间的一种脱硫方法，其脱硫效率和脱硫剂利用率等参数也介于两者之间，该方法主要适用于中小锅炉的烟气治理。这种技术的特点是:投资少、运行费用低，脱硫率虽低于湿法脱硫技术，但仍可达到70%tn，并且腐蚀性小、占地面积少，工艺可靠。工业中常用的半干半湿法脱硫系统与湿法脱硫系统相比，省去了制浆系统，将湿法脱硫系统中的喷入Ca（OH）2：水溶液改为喷入CaO或Ca（OH）2粉末和水雾。与干法脱硫系统相比，克服了炉内喷钙法SO2和CaO反应效率低、反应时间长的缺点，提高了脱硫剂的利用率，且工艺简单，有很好的发展前景。

粉末-颗粒喷动床脱硫法

技术原理：含SO2的烟气经过预热器进入粉粒喷动床，脱硫剂制成粉末状预先与水混合，以浆料形式从喷动床的顶部连续喷入床内，与喷动粒子充分混合，借助于和热烟气的接触，脱硫与干燥同时进行。脱硫反应后的产物以干态粉末形式从分离器中吹出。这种脱硫技术应用石灰石或消石灰做脱硫剂。具有很高的脱硫率及脱硫剂利用率，而且对环境的影响很小。但进气温度、床内相对湿度、反应温度之间有严格的要求，在浆料的含湿量和反应温度控制不当时，会有脱硫剂粘壁现象发生。

烟道喷射半干法

烟气脱硫该方法利用锅炉与除尘器之间的烟道作为反应器进行脱硫，不需要另外加吸收容器，使工艺投资大大降低，操作简单，需场地较小，适合于在我国开发应用。半干法烟道喷射烟气脱硫即往烟道中喷人吸收剂浆液，浆滴边蒸发边反应，反应产物以干态粉末出烟道。

**新脱硫技术**

脱硫新技术最近几年，科技突飞猛进，环境问题已提升到法律高度。我国的科技工作者研制出了一些新的脱硫技术，但大多还处于试验阶段，有待于进一步的工业应用验证。

硫化碱脱硫法

由Outokumpu公司开发研制的硫化碱脱硫法主要利用工业级硫化纳作为原料来吸收SO2工业烟气，产品以生成硫磺为目的。反应过程相当复杂，有Na2SO4、Na2SO3、Na2S203、S、Na2Sx等物质生成，由生成物可以看出过程耗能较高，而且副产品价值低，华南理工大学的石林经过研究表明过程中的各种硫的化合物含量随反应条件的改变而改变，将溶液pH值控制在5.5~6.5之间，加入少量起氧化作用的添加剂TFS，则产品主要生成Na2S203，过滤、蒸发可得到附加值高的5H20˙Na2S203，而且脱硫率高达97%，反应过程为:SO2+Na2S=Na2S203+S。此种脱硫新技术已通过中试，正在推广应用。

膜吸收法

以有机高分子膜为代表的膜分离技术是近几年研究出的一种气体分离新技术，已得到广泛的应用，尤其在水的净化和处理方面。中科院大连物化所的金美等研究员创造性地利用膜来吸收脱出SO2气体，效果比较显著，脱硫率达90%。过程是:他们利用聚丙烯中空纤维膜吸收器，以NaOH溶液为吸收液，脱除SO2气体，其特点是利用多孔膜将气体SO2气体和NaOH吸收液分开，SO2气体通过多孔膜中的孔道到达气液相界面处，SO2与NaOH迅速反应，达到脱硫的目的。此法是膜分离技术与吸收技术相结合的一种新技术，能耗低，操作简单，投资少。

微生物脱硫技术

根据微生物参与硫循环的各个过程，并获得能量这一特点，利用微生物进行烟气脱硫，其机理为:在有氧条件下，通过脱硫细菌的间接氧化作用，将烟气中的SO2氧化成硫酸，细菌从中获取能量。生物法脱硫与传统的化学和物理脱硫相比，基本没有高温、高压、催化剂等外在条件，均为常温常压下操作，而且工艺流程简单，无二次污染。国外曾以地热发电站每天脱除5t量的H2S为基础;计算微生物脱硫的总费用是常规湿法50%。无论对于有机硫还是无机硫，一经燃烧均可生成被微生物间接利用的无机硫SO2，因此，发展微生物烟气脱硫技术，很具有潜力。四川大学的王安等人在实验室条件下，选用氧化亚铁杆菌进行脱硫研究，在较低的液气比下，脱硫率达98%。