

美国燃煤电厂脱硫废水环保法规和处理技术

1. 背景介绍

美国燃煤电厂从 20 世纪 70 年代开始安装脱硫装置。在美国《清洁空气法案》的支持下，燃煤电厂脱硫装置在 20 世纪 90 年代以后得到了大力发展。随着湿式脱硫装置的安装，电厂烟气排出的污染物明显减少。然而，人们发现随着空气质量逐渐好转，电厂排出的污水却增加了，水质也更差了。2009 年纽约时报报道了电厂水污染的情况，引发了全社会的广泛关注。

美国火电厂（主要是燃煤电厂）是《清洁水法案》下美国所有工业类别中排放最多有毒污染物的工业^[1]。火电厂排出的污水含有很多重金属，营养物，和其他污染。这些污染物会导致癌症，降低儿童的智商，对鱼类和其他水生生物的繁殖有不利影响。

比如，美国脱硫废水中广泛含有大量汞和硒。汞和硒会在鱼类和其他水生生物体内积聚，也会在湖泊或水库的底泥中积聚，可以保留几十年。一个例子是北卡罗来纳州的布鲁斯湖（Belews），因为附近电厂的硒排放，导致该湖鱼类几乎灭绝。另一个例子是德克萨斯州的马丁湖（MartinLake），由于大量排放含硒，汞废水损害了当地鱼类和鸟类的繁衍。

美国环保局在 1974 年颁布了“火电厂点源类污水排放限制指导和标准”，1977 和 1982 年分别做了修正。然而其后经过了 20 多年的发展，新的排放标准迟迟没有出台，导致了环保组织的抗议和对美国环保局的诉讼。2009 年美国环保局对美国燃煤电厂水污染情况做了一个广泛调查，在这个调查的基础上，于 2013 年颁布了新的“火电厂点源类污水排放限制指导和标准”草案^[2]，其中一个主要的部分就是对脱硫废水的排放制定了新的标准。草案发布后经过 90 天公众评议，美国环保局共收到超过 20 万条反馈意见。经反复修改斟酌，形成最终版的“火电厂点源类污水排放限制指导和标准”，这里简称排放标准。该标准在 2015 年 9 月 30 日正式颁布，于 2016 年 1 月 4 日正式生效。

美国环保局对已建成电厂和新建电厂的脱硫废水有不同的排放标准，见表 1-3。可以看出，最终版的标准比草案中的标准要宽松一些，尤其是对硝酸盐/亚硝酸盐的排放。

表 1 美国现有燃煤电厂脱硫废水排放标准最终版（2015）

污染物	长期平均 (long term average)	日最大排放限值 (Daily Maximum Limitation)	月平均限值 (Monthly Average Limitation)
砷 (ppb)	5.98	11	8
汞 (ppt)	159	788	356
硒 (ppb)	7.5	23	12
硝酸盐/亚硝酸盐 - N (ppm)	1.3	17	4.4

表 2 新建电厂或自愿采用零排放的现有电厂脱硫废水排放标准最终版（2015）

污染物	长期平均 (long term average)	日最大排放限值 (Daily Maximum Limitation)	月平均限值 (Monthly Average Limitation)
砷 (ppb)	4	4	
汞 (ppt)	17.8	39	24
硒 (ppb)	5	5	
TDS (ppm)	14.9	50	24

表 3 美国现有燃煤电厂脱硫废水排放标准草案（2013）

污染物	长期平均 (long term average)	日最大排放限值 (Daily Maximum Limitation)	月平均限值 (Monthly Average Limitation)
砷 (ppb)	NA	8	6
汞 (ppt)	NA	242	119
硒 (ppb)	NA	16	10
硝酸盐/亚硝酸盐-N (ppm)	NA	0.17	0.13

2. 脱硫废水特征

要讨论脱硫废水的处理问题，首先考虑的就是脱硫废水的水量水质特征。脱硫废水的水量水质特征是由煤的品质，锅炉设计，脱硫装置前的烟气处理手段，脱硫装置的设计和运行决定的。

2.1 脱硫废水水量特征

水量：脱硫废水的水量取决于煤的氯含量；FGD 前端是否喷洒碱性物质，如 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等；FGD 运行时的含氯量等。对美国燃煤电厂的脱硫废水而言，针对部分电厂的统计数据，美国环保局的数据显示燃煤电厂脱硫废水的平均流量是 448 加仑/分钟（28.4 升/秒），流量范围是 30-2300 加仑/分钟（1.9-146 升/秒）^{【3】}。

2.2 脱硫废水水质特征

美国环保局和美国电力研究院（EPRI）都分别对一些电厂的含硫废水进行了调查。通过对一些数据的解读，美国脱硫废水的一些水质特征如下^{【3】}^{【4】}。

表 4 美国脱硫废水水质特征

参数	单位	典型区间
溶解性总固体 (TDS)	mg/L	6,000 - 80,000
悬浮性总固体 (TSS)	mg/L	33 - 140,000
氯 (Cl^-)	mg/L	690 - 40,000

化学需氧量 (COD)	mg/L	20 - 2,000
钙 (Ca)	mg/L	849 - 8,000
镁 (Mg)	mg/L	176 - 4,830
硝酸根 (NO ₃ ⁻)	mg/L	10 - 700
硼 (B)	mg/L	16 - 450
锰 (Mn)	mg/L	1.9 - 225
铅 (Pb)	mg/L	0.068 - 0.5
硒 (Se)	mg/L	0.086 - 15
汞 (Hg)	mg/L	0.01 - 0.3
砷 (As)	mg/L	0.07-1.6

3. 美国脱硫废水处理技术

从 2000 年以后燃煤电厂脱硫废水的污染在美国逐渐引起了重视，针对脱硫废水的一些特性，很多国际性公司和美国本土公司加强了脱硫废水处理的研发。以下介绍目前美国正在使用和正在研发的处理技术。针对不同的水量水质特征，结合电厂的实际情况，可以选用不同的处理技术。

应该强调的一点是：硒，尤其是硒酸根（ SeO_3^{2-} ）是目前最难以处理的重金属离子。所以很多处理技术（零排放除外）主要是针对硒的处理进行优化设计的。

3.1 自然沉淀法

自然沉淀法一般采用人工水塘或水池，沉淀脱硫废水中的悬浮性固体，其中主要是硫酸钙，硫酸镁。一般采用两个水塘或水池轮流运作的方式，即在一个水塘或水池接受脱硫废水的时候，清理另外一个水塘或水池的固体沉积物。

水塘或水池的出口部分的出水一般很清澈，可以和其他水，比如冷却水混合稀释排放。在脱硫废水标准出台之前，这个方法在美国被很多电厂采用。此种方法成本低，而且这些电厂有大量土地资源可以使用。有的电厂在脱硫废水流入水塘或水池之前添加氯化铁等絮凝剂增加固体沉淀。

3.2 传统物理化学沉淀法

物理化学沉淀法（简称物化法）通过添加化学药剂，调整 pH 值，经过脱饱和，絮凝，混凝，沉淀的方式达到去除固体和溶解性重金属离子的目的。普遍使用的药剂有氢氧化钙，氢氧化钠，氯化铁，氯化亚铁，无机硫化物（比如 Na_2S ），有机硫化物（如 TMT）等。

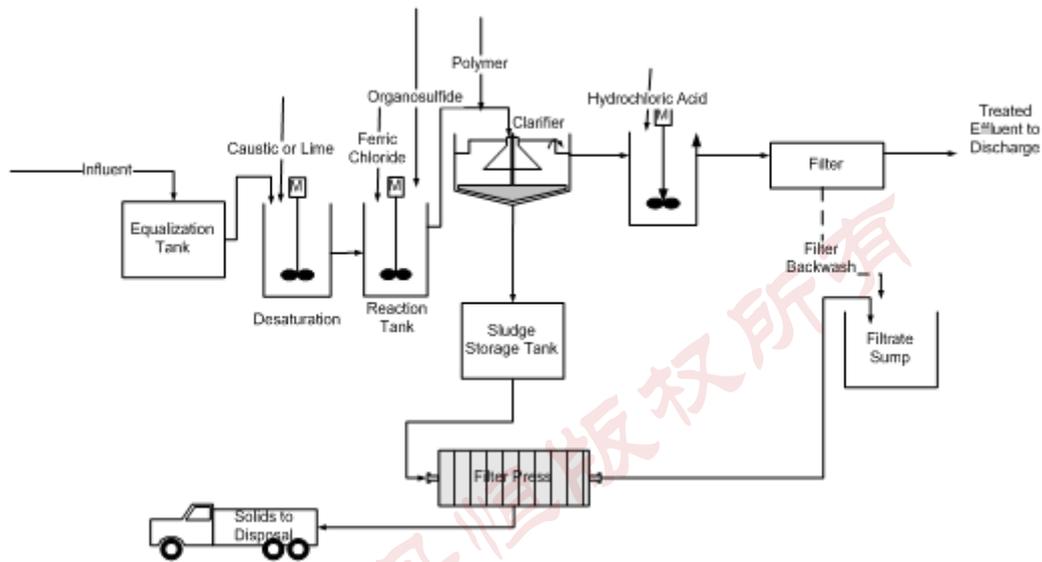


图 1 物理化学沉淀法流程

该法优点：

1. 可以除掉大部分重金属；
2. 该处理法经过很多年的实践，是目前运行最成熟的脱硫废水处理技术；
3. 成本相对较低；
4. 可以作为后续处理的预处理。

该法缺点：

1. 无法满足最新的排放标准；
2. 对待脱硫废水，仍然有一些运行上的问题，尤其是管道阻塞问题。

3.3 生物处理法

生物处理法是一种有效的处理重金属和例如硝酸根、亚硝酸根等营养物质的方法。这一部分介绍三种在美国应用于实践的生物处理方法。一般生物处理法并不单独使用，而是和物理化学沉淀法或自然沉淀法一起使用。

3.3.1 GE ABmet 技术

ABmet 是美国 GE 水处理公司（GE Waters）的一项生物处理技术。该技术是一种厌氧生物膜处理技术。该技术采用两个反应器，反应器里面填充多孔活性炭作为媒介，在活性炭上让选择好的微生物生长形成生物膜。GE 声称这种微生物是为处理脱硫废水特殊培养的【5】。

该方法除硒分两个步骤：第一步降低氧化还原电位，主要去除硝酸根或亚硝酸根，同时去除一部分汞，砷和其他重金属，第二部分去除硒酸根，并进一步去除其他金属离子。

第一个反应器的主要反应为：



第二个反应器的主要反应为：



图 2 物化法装置和 ABmet 生物处理装置(美国北卡罗来纳州某电厂)

该技术优点：

1. ABmet 技术是脱硫废水处理领域比较先进的方法。该法经过 10 多年的实践和改进，在去除硒，汞，砷，和氮氧化物有很好的处理效率。在管理和维护上也取得了许多经验；
2. 处理后，废水中硒含量可以稳定的达到美国脱硫废水排放标准；
3. 可以有效去除硝酸盐或亚硝酸盐，处理后废水排放稳定达到美国脱硫废水排放标准；
4. 和物化法联合使用可以有效去除砷和汞，达到美国脱硫废水排放标准；
5. 和物化法联合使用可以有效去除其他重金属，如镍，铅，镉等。

该技术缺点：

1. 产生硫化氢；

2. 对汞的处理效率不十分稳定，需要有一个处理效率高的预处理系统（物化法）协助汞的处理；

3. 操作上要严格控制反冲洗，既要防止生成大量气体造成短路，也要防止微生物过度流失。

3.3.2 InfilcoDegremont 公司的 IBIO 技术

IBIO 生物处理方法是 InfilcoDegremont 公司 2007 年开发出来的一种生物处理脱硫废水的方法。该法在原理上和 GE 的 ABmet 技术是一致的，都是采用两级缺氧厌氧的方式达到硒酸根的还原。但 GE 采用的是生物膜的形式，IBIO 采用的是微生物悬浮生长的模式^[6]。

IBIO 也采用两级厌氧处理装置，第一个反应器主要用来去除硝酸根，第二个反应器用来处理硒酸根。



图 3 IBIO 技术中试（美国佐治亚州某电厂）

该技术优点：

1. 反应器不需要反冲洗。因为是悬浮生长型的生物反应器，液料混合均匀，没有液流短路等问题；

2. 不需要媒介，如粒状活性炭；

3. 造价相对 GE 的 ABmet 技术低一些。

该技术缺点：

1. 处理效果不如 GE 的 ABmet 技术；
2. 反应微生物未经过精细筛选（相对 ABmet 而言）；

3.3.3 人工湿地

人工湿地是由人工建造和控制运行的与沼泽地类似的地面，将污水有控制的投配到经人工建造的湿地上，主要利用土壤、人工介质、植物、微生物的物理、化学、生物三重协同作用，对污水进行处理的一种技术。一般的人工湿地主要是好氧反应，需要种植植物等作物加强水中的氧气供应。脱硫废水的处理过程中因为需要缺氧厌氧反应一般不种植植物，而采用投放木屑、牛马粪等固体物质。

为达到缺氧厌氧，处理脱硫废水的人工湿地水流采用纵向流动。

优点：

1. 造价低，运行方便；
2. 容易管理；
3. 能够处理重金属含量低的脱硫废水。

缺点：

1. 对重金属含量高的脱硫废水很难达到美国脱硫废水排放标准；
2. 对土地的需求量大；
3. 天气条件影响较大；
4. 一旦由于某种原因微生物大量死亡，处理效率的恢复需要较长时间。

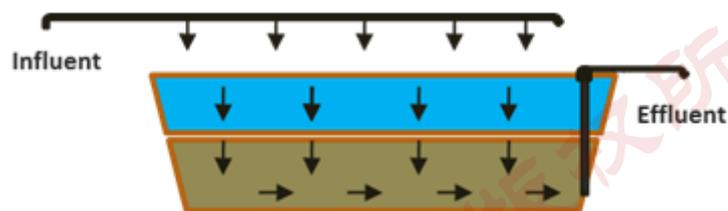


图4 纵向流人工湿地示意图

3.4 铁法

铁法是采用零价铁以及铁化合物的还原特性，对溶解性重金属离子进行还原，吸附和沉淀的方法。之前提到过，在治理脱硫废水的过程中，硒的去除是最困难的。这里仍然以除硒为例讨论铁法的工艺技术。

3.4.1 Kurida 铁化学技术

日本 Kurida 公司在 2001 年以零价铁做还原剂，实现了对硒酸根的还原反应工程性使用。主要的反应为：

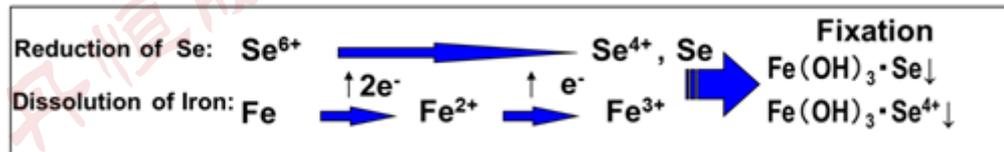


图 5 铁原子还原硒酸根的过程

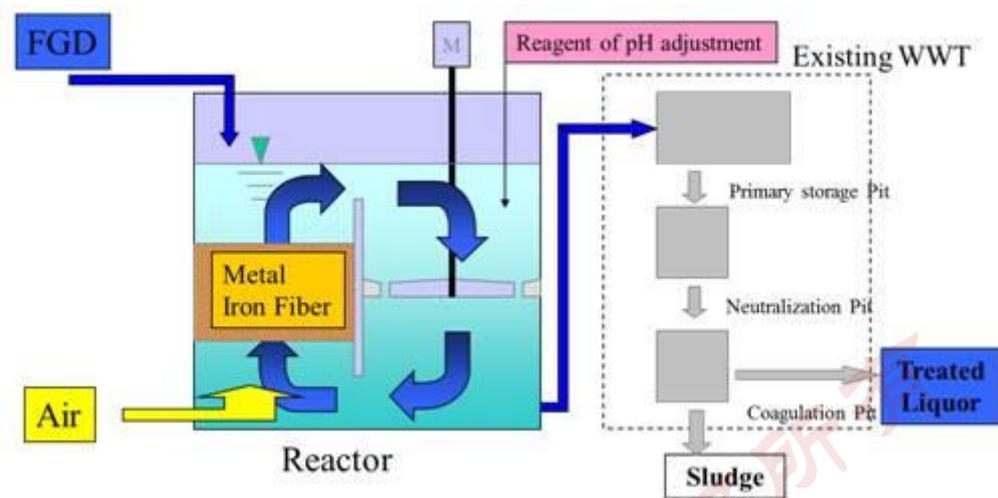


图 6 Kurita 铁技术处理流程

该技术在至少 6 家日本电厂用于处理脱硫废水。日本对脱硫废水的排放标准是 0.1ppm。采用该方法可以把含 0.5-0.6ppm 硒的脱硫废水降解到 0.1ppm 以下。但是，对于美国标准的 12ppb，该方法没有办法达到。另外，该技术需要加入大量的酸和碱进行 pH 值的调整，以利于铁的溶解和铁的沉淀。为了达到比较快的反应速度以减小反应器的尺寸，该公司设计的进水温度为 70° C，实践中采用蒸汽加热脱硫废水。由于铁颗粒的大量溶解，经沉淀后产生了大量的污泥。这些都显著增加了运行成本。

3.4.2 活性铁技术

零价铁（铁粉）用于处理废水过程中，铁粉表面容易形成铁锈钝化层，致使铁粉媒介迅速失活失效，成为零价铁技术应用的主要障碍。美国 Texas A&M 大学黄永恒教授通过界面化学控制铁的锈蚀反应，生成具有高度还原活性的铁氧化物相，并与零价铁互动形成协

同效应，生成活性铁反应媒介（Activated Iron Media），不但解决了铁粉钝化失活问题，而且极大地提高了其对各类重金属污染物的去除反应效率^[7]。

美国 Evoqua 水技术公司（原 Siemens waters）获得该技术授权开发活性铁技术，目前已经开始规模化应用于脱硫废水的处理。

优点：

1. 对各类重金属污染物，包括硒，汞，砷等都能高效去除，可以稳定达到美国排放标准；
2. 对汞的去除效果尤其出色，出水通常都低于 10 ppt 的痕量；
3. 成本比较低，不需要高效的物化法处理；
4. 相对生物处理技术，不产生硫化氢等有害气体。

缺点：

1. 对含硝酸根浓度高的脱硫废水除硒酸根的反应速度比较慢；
2. 硝酸根转化成铵根离子而不是氮气。



图 7 活性铁技术 16 升/秒的处理系统（佐治亚州某电厂）

3.4.3 ZVI BLUE 技术

ZVI Blue 技术是由美国 LibertyHydro 公司研发的一项零价铁还原处理技术。该技术仍然是依靠零价铁的强大还原能力去除脱硫废水中的溶解性重金属离子。它的特点是把细小的零价铁颗粒用胶粘附在弹性有机纤维海绵体上，该海绵体放入一个桶中形成一个反应单元。在该反应单元内零价铁和铁氧化物对重金属离子产生还原，吸附等作用。一个完整的反应器可以包含多个反应单元。

该技术已经进行了几个中试，在某些水质情况下取得了比较好的效果。但对于大范围的脱硫废水是否适用仍然有待试验和观察。



图 8 ZVIBLUE 技术中试（佐治亚州某电厂）

3.5 零排放技术

美国环保局脱硫废水的排放标准规定新建电厂必须采用零排放。另外，美国环保局鼓励现有电厂优先采用零排放技术。下面着重描述目前在美国使用和测试的零排放技术。

3.5.1 脱硫废水循环使用

美国很多电厂的脱硫系统不支持脱硫废水的循环使用，原因一般有两种：1. 建设脱硫系统时没有设计循环使用的管道；2. 脱硫装置的内衬耐盐度比较低，没有办法承受循环使用脱硫废水产生的高氯离子浓度。这些电厂很难实现依靠水循环达到零排放的目的。

然而另外一些电厂在脱硫系统中循环使用脱硫废水。一般方式是：脱硫废水排入人工水池或物化法处理设施，固体沉淀后的上清液被水泵送回脱硫装置补给水的水罐里，然后再补充到脱硫装置中。

在美国很多电厂脱硫装置产生的石膏没有进入市场，而是就地填埋。这些填埋的石膏可以带走脱硫废水，以及其中的氯离子。

在脱硫废水循环使用和填埋石膏的前提下，如果管理得当，石膏可以把脱硫系统产生的废水完全吸附，通过填埋的方式达到脱硫废水的零排放。

通过这种方式实现零排放的限制条件有：1. 煤的氯含量不能过高；2. 脱硫系统内衬对氯离子的耐受程度要高。3. 运行脱硫装置时氯离子浓度一般比较高。4. 石膏需要填埋

如：“MountStorm”电厂的湿式脱硫装置中氯浓度常年运行在 40,000ppm。石膏的含水率在 20-25%之间。石膏填埋对石膏中的氯含量没有要求。多年实践表明脱硫废水可以稳定地被石膏带入填埋场，达到了零排放的要求^[31]。

3.5.2 蒸发塘

在美国西南干旱少雨的地区，有三家电厂利用蒸发塘自然蒸发脱硫废水。由于当地温暖干旱的气候，电厂建起一个或多个水塘进行自然蒸发。由于水塘的净蒸发量（蒸发量-降雨量）大于或等于脱硫废水的水量，这三个电厂都达到了零排放的目标。

如果自然蒸发的能力达不到零排放的目标，也可考虑设立喷洒式蒸发器增加蒸发速率。

3.5.3 灰搅拌法

美国燃煤电厂产生的飞灰大约 50%进入市场重新利用，另外还有 50%的灰需要填埋。在飞灰运输和填埋的过程中，需要加水来控制扬尘，并且使飞灰容易运输和处理。美国至少有一家电厂通过把脱硫废水和灰搅拌，然后填埋的方式达到脱硫废水零排放的目的。如果脱硫废水水量比较多，也可以通过蒸发器浓缩脱硫废水，降低脱硫废水水量，然后再用灰搅拌法达到零排放。

3.5.4 蒸发结晶法

蒸发结晶法是实现脱硫废水零排放的一个主要方法。该方法可以达到水的清洁回用，结晶的固体在一些地方可以用作工业原料。如果晶体无法循环利用，则要进行填埋。

蒸发结晶技术整个过程主要包括预处理，软化过程，蒸发器，结晶器等组成部分，此外还有晶体脱水装置，冷却系统等部分。

预处理过程(Pre-treatment)：预处理过程在这里一般是指脱硫废水通过物理化学沉淀系统，使脱硫废水中的悬浮性固体得到沉淀，过饱和的硫酸钙得到脱饱和而析出沉淀，溶解性重金属离子大部分被去除，易导致蒸发结晶器结垢的硫酸根，氟离子也被去除。

软化过程(Softening Process)：脱硫废水的硫酸根大部分被去除后，废水中大部分的溶解性固体是氯化钙和氯化镁。传统的蒸发结晶技术中，需要利用软化过程去除钙镁离子。主要原因有：1. 水中存在钙镁离子对后续的蒸发结晶过程很容易引发结垢问题，引起电厂设备维护的复杂化。2. 氯化钙和氯化镁的结晶温度比较高，而氯化钠的结晶温度比较低。因此软化过程会降低蒸发结晶的能量消耗。3. 氯化钠的结晶体比氯化钙和氯化镁的结晶体在脱水方面容易处理的多。因此，目前的蒸发结晶法处理脱硫废水一般采用投加碳酸钠/碳酸氢钠把废水中的钙镁离子沉淀。这个过程就是脱硫废水的软化过程。

由于一些脱硫废水中钙镁离子含量很高，软化过程中所需的药剂需求量巨大，成本极高。有的美国公司开始研发在进行部分软化（只去除镁离子保留钙离子）和不进行软化的情况下如何做到蒸发结晶的稳定性和经济性。

蒸发器(Evaporator):也叫溶液浓缩器(BrineConcentrator)。蒸发器就是利用蒸汽或机械蒸汽再压缩(MechanicalVaporRecompression-MVR)的方式,将经过预处理过的脱硫废水加热至沸腾,使部分水汽化并通过冷却系统移除,从而达到脱硫废水的浓缩。目前欧美应用于脱硫废水的蒸发器主要是立管降膜式蒸发器(Falling-film evaporator),立管采用很薄的抗腐蚀能力很强的钛合金制作。蒸发器有单效和多效强制循环蒸汽蒸发器,强制循环机械蒸汽再压缩(MVR)蒸发器等。蒸发器蒸发单位废水所消耗的能量要远小于单效结晶器。

对一些含盐量比较少的脱硫废水,也可以在软化过程后面和蒸发器前端加装反渗透膜或正渗透膜来提高待处理废水的浓度。这样的选择是基于膜浓缩废水的成本低于蒸发器浓缩废水的成本。如果脱硫废水本身的TDS浓度就很高(>50,000ppm)的话,膜处理的成本就会大幅提高,运行的稳定性也不会有保障。

结晶器(Crystallizer):经过蒸发器浓缩后的溶液进入结晶器。结晶器利用蒸汽或机械蒸汽再压缩(MVR)的方式,继续加热浓缩液并产生结晶。含有晶体的浓缩液经过脱水装置将晶体分离出来,浓缩液回到结晶器继续参与结晶过程。

由于欧美很多已建成电厂的蒸汽循环系统已经处于平衡或接近平衡状态,加装脱硫废水蒸发结晶装置可能得不到足够的蒸汽供应,因此大部分欧美电厂采用强制循环机械蒸汽再压缩技术驱动蒸发器和结晶器。



图9 脱硫废水的蒸发器,结晶器,脱水装置(意大利ENEL Brindisi电厂)

根据预处理过程,蒸发器和结晶器的组成又可以细分为以下几种方式^[8]:

1. 物化法预处理+蒸发器;
2. 物化法预处理+软化+蒸发器+结晶器;

3. 物化法预处理+部分软化+蒸发器+结晶器；
4. 物化法预处理+蒸发器+结晶器；
5. 物化法预处理+软化+多效结晶器。

目前应用在燃煤电厂脱硫废水处理的蒸发结晶装置主要分布在意大利，美国，中国，南非和日本。在德国，荷兰有一些垃圾焚烧电厂采用多效（一般为三效）蒸发结晶装置处理脱硫废水。在美国为脱硫废水提供蒸发结晶技术的主要厂家有 Aquatech、HPD、GE 和 GEA。

3.5.5 喷雾干燥法

3.5.5.1 WES 脱硫废水蒸发系统

三菱公司开发的 WES 脱硫废水蒸发系统主要是利用烟气的潜热，把脱硫废水直接用喷头雾化喷洒在烟道内蒸发达到零排放的目的^[9]。脱硫废水从脱硫装置排出后，经过简单的固液分离，废水即可通过水泵输送到布置在除尘装置之前，预热器之后的双流式喷嘴。双流喷嘴由气流带动水流使脱硫废水均匀雾化喷洒到烟道中。雾化后的水滴在烟道中很快蒸发，剩余固体和飞灰一起被除尘装置（静电除尘，袋式除尘器等）收集。该技术的关键设备是高效稳定的双流式喷嘴。由于从喷嘴到除尘装置的停留时间很短，该喷嘴要控制雾化水滴的大小和蒸发速率，要保证短时间内水滴全部蒸发，否则水滴夹带飞灰会沉积到烟道壁上。同时要防止脱硫废水的钙镁等造成喷头部分固体沉积，影响水滴的雾化效果。

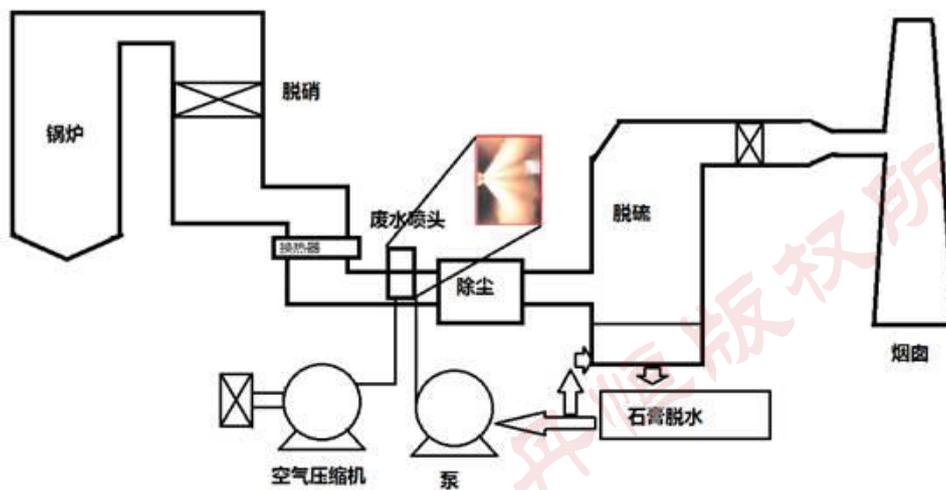


图 10WES 脱硫废水蒸发系统

3.5.5.2 喷雾干燥塔

喷雾干燥塔是另外一种利用烟气热量蒸发脱硫废水从而达到零排放的方法。预热器前的部分热烟气被引到一个单独的喷雾干燥塔中。脱硫废水经固液分离后，废水通过水泵输送到塔上端的双流式喷嘴，然后被雾化喷洒在塔内部。热烟气把雾化的水滴蒸发，剩余固体和飞灰随着这部分烟气回到主烟道，然后和主烟道的飞灰一起被除尘装置收集。

相对于 WES 蒸发技术，喷雾干燥塔可以有效增加水滴和烟气的接触时间，避免了主烟道有可能产生的烟道壁固体沉积，同时喷嘴的运行也更加稳定，维护更加方便。缺点是不能完全利用全部烟气的废热，而是需要预热器前的一部分有价值的热量。

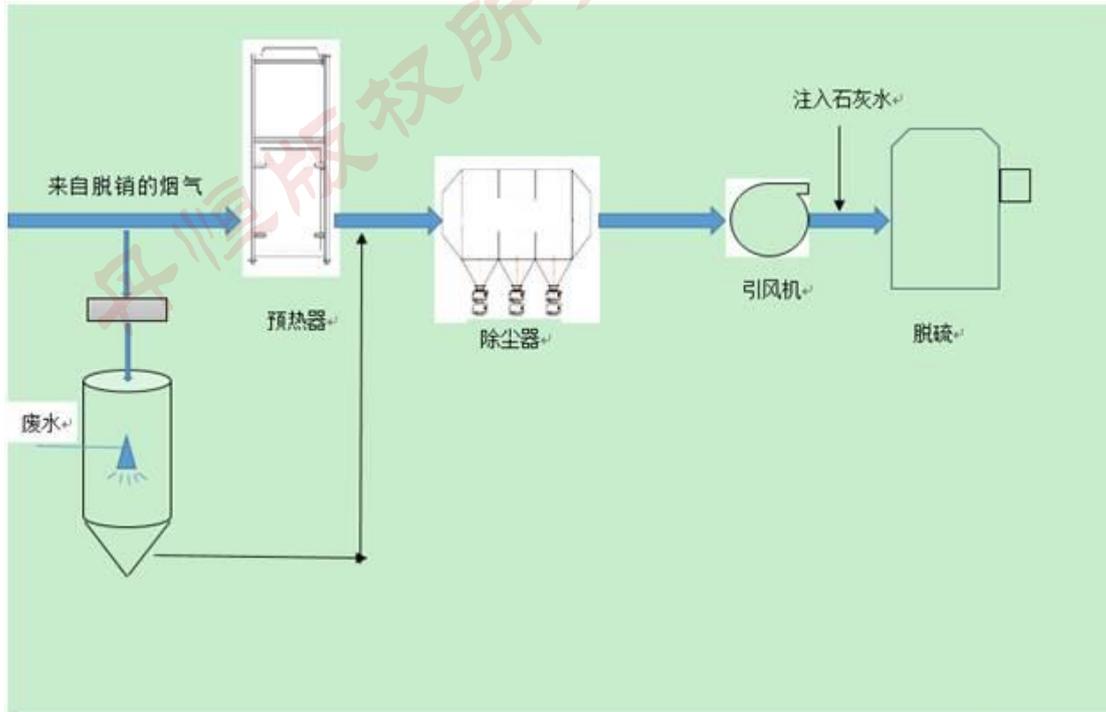


图 11 喷雾干燥塔

3.5.6 干法脱硫+袋式除尘+湿法脱硫

美国最新投入运行的一个机组（北卡罗来纳州 Cliffside 电厂）采用了干法脱硫+袋式除尘+湿法脱硫的方式达到零排放的要求。干法脱硫是在脱硫塔中通过注射和雾化石灰液的方式进行第一步的脱硫。石灰液中的水被烟气带来的热量蒸发，留下固体被带式除尘器去除。湿法脱硫进行进一步脱硫，产生的脱硫废水和其他水混合，和石灰搅拌形成干法脱硫需要的石灰液，从而消除脱硫废水的排放。

3.5.7 深井注射法

深井注射法并非是完全意义上的废水零排放，而是达到地表废水零排放的要求。对脱硫废水，需要首先进行物化法处理，然后通过深井注射到 1000 米以下地层中。该法的优点是没有废水的地表排放，建设成本和维护成本也比蒸发结晶法等零排放技术低。

使用该方法对电厂当地的地质地理条件有一定的要求，并且需要详细的地质勘报告。深井注射法如果建设运行不当，有可能污染当地地下水。另外，美国有一半的州在州法律中禁止工业废水的深井注射，尽管一些电力公司开始试图和州政府协商开放禁令，但挑战州法律是一个漫长而艰难的过程。

4. 总结

随着美国对火电厂脱硫废水排放标准的颁布和实施，美国各大电厂已经或者正在建设脱硫废水的相关处理设施。由于对发电行业应对气候变化的要求，美国已经几乎不可能再有新建的燃煤电厂出现。对于现有电厂的脱硫废水处理设施，各个电厂会根据具体情况采取不同策略，比如在一些环保要求严格的州或地方会采用零排放技术，其他电厂会采用物化法加生物处理技术或铁法技术。其他一些技术仍然在研究之中。