

森美思在环境污染治理中的卓越功效

奉向东 王密灵

格丰科技材料有限公司

◇ 格丰人的中国梦：“通过森美思技术，使我们的天更蓝，水更清，土更沃，幸福感更强！”

● 技术意义

工业和城市现代化建设的飞速发展，已将中国变成了世界最强大的制造大国，工业和军事现代化已在赶超国际水平，人民的生活水准也已步入小康水平。但是，工业的现代化也带来了环境的巨大污染，与公众对良好生活环境质量需求的矛盾日益增强。

从全国来看，经过多年的发展，我国环保产业领域不断拓展，已经形成具有一定规模、门类基本齐全的产业体系，环保产业技术也不断进步。至 2014 年，全国环保企业数量已超过 50000 家，较 2005 年翻了约二十翻。但由于我国环保产业与西方发达国家相比有较大的差距，在环保产品生产、环保技术开发等领域却仍以常规技术为主导，缺少原创性开发，自主完成技术开发并占领市场者仅占全部企业的 20% 左右。各类产品的标准数量差异也较大，标准数量较少，处理设备等产品标准数量较少；采用国际标准和国外先进标准的进程较慢；不少企业没有企业标准体系，标准制定不规范。

我国环境治理材料的开发和生产及应用行业在品种和技术的创新能力上正在迅速缩短与国际先进水平的差距，并在部分品种和技术领域上达到国际先进水平。通过技术辐射，可有效推动我国环境治理材料行业的整体发展并促进相关产业发展；通过全新的工艺创新，提高生产效率，高性能新品种等技术的研究和推广应用，可有力的促进我国环保行业的技术进步和科技创新，提升我国环保行业的市场竞争能力。

● 技术介绍

（1）技术来源

森美思（Self-Assembled Monolayer Molecular Nanomaterials, SAMMNS）是一种应用于“三废”污染治理的具有国际领先技术的新型高自组装、密集功能单分子、有序可控多孔、纳米复合材料（简称“森美思”或“功能单分子多孔材料”）。

森美思技术，是格丰科技材料有限公司创始人兼董事长奉向东博士应用在国际材料领域 30 多年的前沿科学及经验创新性开发而成的一种环境治理材料技术。奉向东博士，2013 年中组部特聘“千人计划”专家，中国第一批公派留美研究生，曾任美国西北太平洋国家实验室首席科学家之一，美国陶瓷学会会士，于 1997 年和 2004 年分别在《Science》周刊以第一作者发表材料类文章两篇，获得美国及中国多项大奖。

（2）技术原理

森美思技术是两项最前沿的科学技术的结合（图 1）：亚微孔陶瓷材料制备技术和单分子自组装技术。亚微孔陶瓷材料是一种孔径可控比表面积高的新型材料。它的孔径可被控制于 5 纳米到 2000 纳米之间，它的比表面积可以高达 900 m²/g，这样它能提供化学分离中必须的高吸附率。单分子自组装技术依托于奉向东博士于 1997 年在《Science》（科学）

杂志发表的《在介亚多孔硅纳米材料表面上实现了功能化单分子层的自动组合》研究成果(图2)，将具有功能基团的有机分子在陶瓷的表面有序地和高密度地形成单分子层键合。这样为亚微孔陶瓷提供了极好的分子识别能力从而以有效地去除重金属或其它目标污染物。两项技术的完美结合，巨大的比表面积保证了 SAMMNS 的大吸附容量，陶瓷基体使得其物理稳定性高（耐酸碱，耐高温，强度大），独特的分子识别功能保证其灵敏度高，可稳定的将目标污染物降低到排放标准以下（图2，森美思将 781ppb 的铊降低到 0.5ppb 以下）。此两项前沿科学的结合而重大创新性开发出的功能单分子多孔环保材料技术，不仅解决了传统环境治理材料吸附容量小，无专一性的问题，还克服了现有功能介孔材料的合成条件苛刻，成本高，细粉状产品难以用于大规模应用，机械强度低、寿命短等问题。

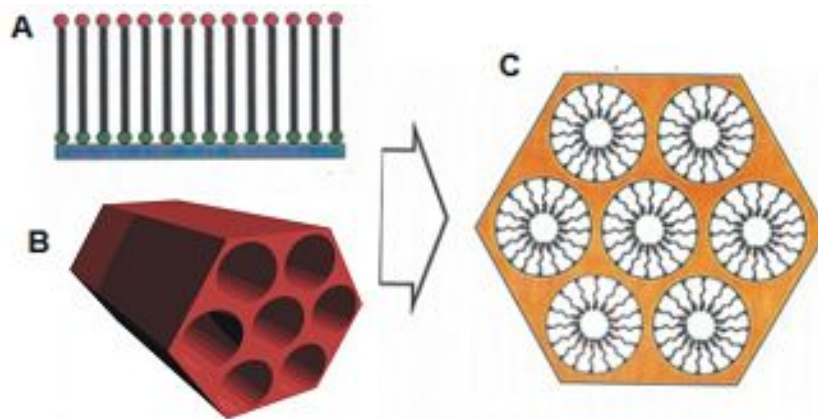


图 1. 森美思技术原理
(A) 自组装单分子 (B) 有序的介微孔材料
(C) 单分子自组装多微孔材料 (SAMMNS, 森美思)

样品标识	样品状态	检验结果 (μg/L)	
		铊	镉
150826-1 处理前水样 (原水样)	液体、澄清	8.18×10^2	99.3
150826-2 沉淀后水样 1	液体、澄清	7.64×10^2	0.82
150826-3 沉淀后水样 2	液体、澄清	7.81×10^2	0.23
150826-4 过滤后	液体、澄清	0.44	0.50
150826-5	液体、澄清	0.13	0.16
150826-6	液体、澄清	0.08	0.13

图 2. SAMMS 在 781ppb 铊溶液中的吸附

(3) 技术特点

① 高吸附率：由于功能单分子多孔环保材料的高比表面积，单位重量的功能单分子多孔环保材料能吸附废水中的重金属量十分高。譬如：一公斤的特型功能单分子多孔环保材料

可吸附高达 0.3 公斤左右的废水中的汞；

② 高选择性：通过自组装方式的陶瓷表面修饰和多孔材料的孔径大小、分布的控制，该材料具备高选择性地吸附油污，或磷或水溶液中的不同的重金属，如铅、汞、银、镉、铜、镍等并且不受碱金属或碱土金属的影响；

③ 广泛适应性：功能单分子多孔环保材料通过表面的不同修饰，能够高效低成本的应用于水、气和固体污染治理，如适用于从气相（空气，烟尘和排气）和液相中去除重金属离子，悬浮粒子，油污，和有机物；也可用于从土壤和污泥中除去重金属和其他有毒物；

④ 可重复使用：功能单分子多孔环保材料再生方法简单，成本低廉。多次循环使用而有效降低处理成本；

⑤ 多样性：功能单分子多孔环保材料可优于目前使用的各类高效除尘，重金属吸附剂，也可制成多种多样的特定高效率处理装备；

⑥ 资源回收：功能单分子多孔环保材料的选择性吸附和再生功能使得我们从废物中实现资源回收成为可能！

⑦ 安全性：该技术无毒无害，不造成二次污染。吸附有重金属的功能单分子多孔环保材料可以通过固体废物毒性试验；

⑧ 低成本：由于每公斤功能单分子多孔环保材料所能吸附的悬浮物或重金属的量极大，并具有极好的选择性，且应用简单，可再生，并能实现资源回收，所以处理成本非常低。

（4）技术成果转化

2014 年 8 月，森美思技术通过了以潘自强院士为首的专家领导小组的成果鉴定，鉴定结论为国际领先水平。SAMMNS 可塑性非常强，可制成球状、粒状、管状、蜂窝状、柱状等不同形状，以适用于不同条件下的三废处理，还可开发出不同的整体化环保装备，专注于系统解决污水的深度处理问题。2015 年 7 月中国高科技产业化研究会在北京组织 7 名“十三五”规划专家对格丰技术在农田重金属治理方面的应用做科学技术成果评价，评价委员会认定该项目技术达到国际先进水平，一致同意通过科技成果评价。

产品目前已在工业废水领域，包括电镀废水，冶炼废水，石油化工废水，煤化工废水等；生活污水领域及农田土壤修复领域对森美思产品进行验证，通过使用案例，证明森美思对重金属（森美思除重金属产品，SAMMNS-MA）、无机磷（森美思除磷产品，SAMMNS-PA）、COD（森美思催化剂，SAMMNS-CT）等污染物具有优秀的去除功能。

● 技术应用

（1）重金属污水治理

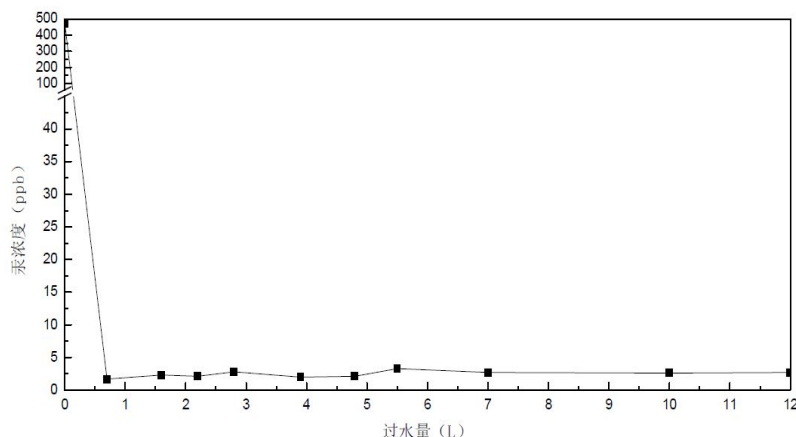
森美思除重金属（SAMMNS-MA）是森美思系列的拳头产品，可用于水质复杂的工业废水（冶炼废水、电镀废水、化工废水等）重金属去除处理，可也直接用于大体积污染水域，如：河水、湖水和灌溉用水的重金属去除处理；还可用于重金属污染土壤和污泥的治理，重金属工业烟气处理等。吸附饱和的 SAMMNS-MA 根据资源回收的要求可用酸或碱或 EDTA 溶液进行再生。

在工业废水中，SAMMNS-MA 对汞、镉、铅、铬（III）、铜、镍等具有高效的去除功能。SAMMNS-MA 对镉的最大吸附容量可达 400mg/g 以上；对 340ppb 的 Cd 可在线处理至 1ppb 以下，480ppb 的 Hg 降低至 5ppb 以下，2930ppb 的 Cu 降低到 34ppb。

江苏 XXX 电镀废水中含有次亚磷、有机络合物及重金属等，很难处理，通过格丰公司的臭氧预氧化+森美思除磷+森美思催化臭氧氧化+森美思除重金属工艺，废水达到《电镀污染

物排放标准》表 3 最严格标准。 $100\text{m}^3/\text{h}$ 的处理水量，投资成本约 700 万元，运行成本约 4.49 元/吨水。

通过对内蒙古 XXX 公司的 PVC 行业含汞废水进行处理，可将预处理到 480ppb 的汞降低到 5ppb 以下，达到《烧碱行业、聚氯乙烯工业污染物排放标准》（GB15581-1995）要求。



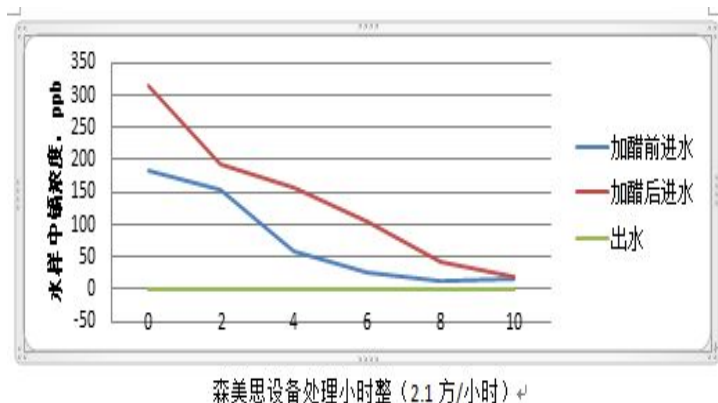
长沙 XXX 公司对铅锌冶炼废水用 SAMMNS-MA01 进行了试用，结果证明，可将废水中的汞、铅、镉在线式降低至 0.027mg/L、0.124mg/L、0.066mg/L。

(2) 重金属污染农田修复

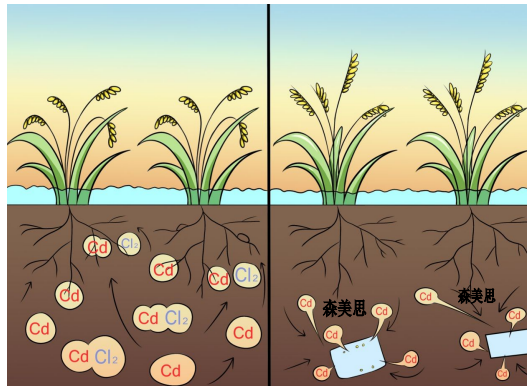
在农田重金属修复领域，开发出了“永久去除技术”、“原位钝化技术”及“快速去除技术”，并在湖南、江西等地进行中试。2015 年 7 月，“改性多孔陶瓷纳米材料在水田重金属治理的应用”项目，通过了在北京召开的中国高科技产业化研究会的评审，被鉴定为“国际先进”水平。

快速除活性重金属技术，被污染的农田，在灌溉水淋洗的作用下，土壤中的活性重金属转移到水相中，再通过森美思除重金属装备，将水相中的重金属去除，如此循环，即达到短时间内快速修复目的。

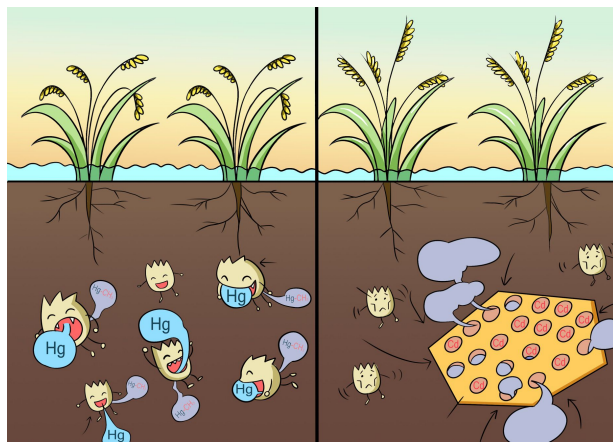
此方案已在湖南衡阳大浦进行了中试示范，结果显示森美思技术可将水相中 150-350ppb 的镉降低到 1ppb 以下。通过 4 轮的快速洗涤，土壤中的活性镉降低了 76%。在经过快速洗涤的土壤上种植水芹菜，水芹菜富集的镉减少了 84.4%。



永久除重金属技术，将森美思包裹在网袋中或制成大颗粒状，放入土壤中，与土壤中的水充分接触，利用森美思对镉的亲合性比植物的根大成千上万倍，实现对土壤中镉的永久性去除。



原位钝化修复技术，将森美思颗粒/粉末均匀的撒在土壤中，经过一段时间的土壤径流，土壤中的镉被安全稳定的吸附于森美思颗粒中，不随土壤酸度的改变而释放，达到原位钝化目的。

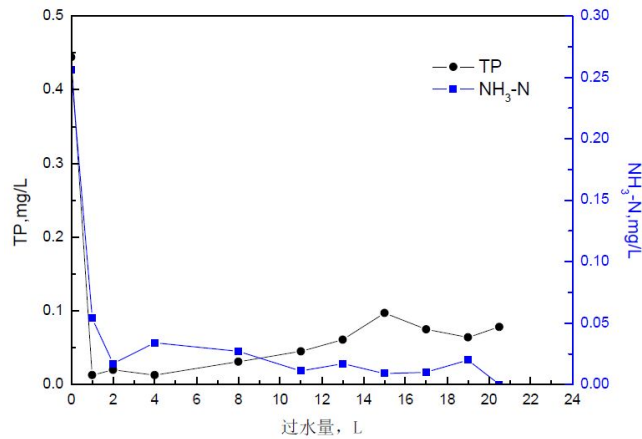


2015年7月23号，第三方国家认证专业机构检测的早稻稻谷数据显示：使用了改性多孔陶瓷纳米材料的农田中的稻谷含镉量为0.19mg/Kg，低于国家标准(0.2mg/Kg)，而在同块农田中的对照稻谷的镉含量为0.41mg/Kg。在镉污染的农田中使用改性多孔陶瓷纳米材料(格丰科技材料有限公司的森美思™技术)能够有效的将“镉大米”转化为符合国家标准的安全大米。稻谷中镉含量降低达53.7%。

- ①良好物理和机械稳定性：森美思纳米陶瓷颗粒不易破碎，吸附重金属后不随水漂流；
- ②强化学稳定性：森美思材料与重金属的共价键结合不会因为土壤变酸或者酸雨而重新释放重金属；
- ③优秀生物稳定性：10-35nm的纳米孔使微生物(一般为2000nm尺寸)无法进入纳米小孔来将重金属转化为毒性和流动性更大的有机重金属(如甲基镉)；
- ④地质稳定性：吸附了重金属的森美思陶瓷材料在农田的泥浆中，在重力的作用下会缓慢的向耕作层的底部沉积，在经过一到两年的耕作之后在耕作层之下成为重金属矿物质类物质，重金属不再被水稻的根部所吸收，从而不进入我们的食物链，不给环境造成重金属污染，达到就地钝化的最终目的；
- ⑤土壤特性和结构的保护性：森美思材料不吸收碱土金属，钾、磷等营养成分，不引入化学品，纳米陶瓷颗粒能改善土壤的透气性，同时不影响农田的正常工作和种植；
- ⑥长期有效性：森美思材料吸附容量大，一次使用，可确保5-10年无重金属污染。

(3) 在生活污水或工业污水中的深度磷去除

森美思除磷材料（SAMMNS-PA）对污水中的无机磷具有高效的鉴别吸附功能，东源 XXX 生活污水厂，应用 SAMMNS-PA，可将 0.5-2.0mg/L 的总磷降低到 0.02mg/L，远远优于《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III 类水体要求，是传统的化学沉淀法达不到的，是低浓度含磷废水提标改造的利器。吸附饱和的 SAMMNS-PA 可用无害的化学药剂实现 95%以上的再生，不对材料造成损失，使用寿命长。



江苏 XXX 电镀污水，污水中含有大量的次亚磷，用氧化+沉淀方法，可去除其中 95%-98% 的磷，但要进一步降低，则需要大量的沉淀剂，药剂费用高，污泥量大。用格丰科技材料有限公司的 SAMMNS-PA 对其进行吸附深度处理，在线式的将 12-18ppm 的磷降低到 0.4mg/L 以下，达到《电镀污染物排放标准》（GB 21900-2008）表 3 要求（TP<0.5mg/L）。

（4）在催化臭氧氧化中的应用

森美思臭氧催化氧化剂（SAMMNS-CT）是基于高比表面积、多孔无机材料及有效催化组份组合而成的新型催化剂，该催化剂催化组份不随水流失，可长时间多次重复使用，使用寿命达 2-4 年。经验证，与国内其他知名催化剂相比，在同等条件下，可将 COD 为 200~500mg/L 的原水直接降低到 27~48mg/L，显著缩短臭氧氧化时间，降低电耗。

广东省某研究所通过对 SAMMNS-CT03 的使用，认为经 SAMMNS-CT03 催化臭氧氧化后的垃圾渗滤液，降低了 70%以上的 COD。

对辽河某采油厂的采油二浮出水，用催化臭氧氧化方法降低 COD，在相同量的催化剂、臭氧量和相同的时间的条件下，森美思催化剂（SAMMNS-CT）可将 200~500mg/L 的原水直接降低到 27~48mg/L，优于国内现在正在使用的一些催化剂，可将 COD 高达 600mg/L 的二浮出水直接处理至达标（COD<50mg/L）。

催化 剂	SAMMNS-CT 06	国内知名催化 剂 1#	国内知名催化 剂 2#	国内知名催化 剂 3#
原水	325.0			
15min	148.6	252.8	216.7	150.0
30min	91.7	241.6	207.1	97.0
45min	66.7	222.2	190.5	72.0
60min	47.2	216.6	185.7	66.7