

燃煤电厂的“团聚”除污术

■本报见习记者 韩扬眉

“目前，我国燃煤电厂的污染控制已经达到了世界最好水平，但‘水难治’和‘霾难防’等难题却始终存在。”对于出生在山西、成长于产煤区的张军营来说，年少时家乡随处可见的黑烟、刺鼻的焦油味让他难以忘怀，解决这两大难题也是他一直以来的梦想。

去年3月，作为华中科技大学煤燃烧国家重点实验室教授，张军营带领团队研发的团聚强化除尘协同脱硫废水零排放技术（简称团聚协同技术）在湖北能源集团鄂州发电有限公司的两台30万千瓦机组上进行示范应用。不久前，经权威机构测定，该技术使三氧化硫排放平均每平方米降低了17.2毫克，三氧化硫脱除效率达到54.3%。这意味着，团聚协同技术不仅有效减少了三氧化硫排放，还成功破解了脱硫废水零排放难题。

团聚协同技术，是张军营实现“碧水蓝天”之梦的重要“武器”。筑梦之途坎坎坷坷，张军营从孤军奋战到“一呼百应”，经历了18年。

排放难题萦绕心头

燃煤电厂是每一座城市的“标配”，为城市源源不断地输送着电力能源。然而，燃煤电厂之中一个个高大的烟囱却常常“口吐白烟”。殊不知，这些烟里就深藏着大气污染的“罪魁祸首”。

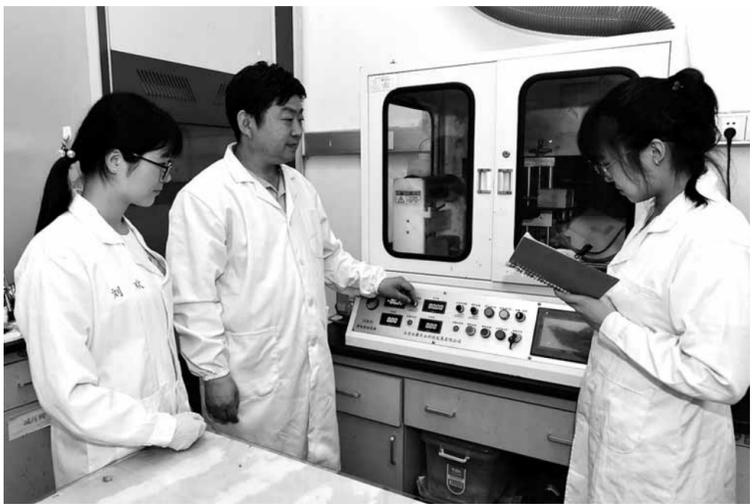
近年来，我国大力推进实施燃煤电厂超低排放改造，对电厂的硫、尘、硝排放和治理有着明确的标准，燃煤电厂在常规污染物控制方面取得了较大进展。但PM2.5、三氧化硫等非常规污染物的排放问题未能得到有效解决，亟待开发脱硫废水经济高效零排放处理技术。

“煤燃烧一次颗粒物占大气PM2.5比例20%左右。常规的除尘技术对细颗粒的脱除效率很低，加之我国电厂总量大，它们成为雾霾的主要来源之一。”张军营告诉《中国科学报》，没有安装湿式电除尘器的电厂还使得PM2.5重要来源之一三氧化硫的排放浓度增加。

三氧化硫比二氧化硫毒性高十余倍，且具有强腐蚀性。烟气中的三氧化硫冷凝形成亚微米级酸雾，排放后会与大气中的碱性物质反应，生成大量二次硫酸盐颗粒物，这些硫酸盐颗粒物在大气中具有很强的消光效应。

“这是造成局部地区能见度降低和雾霾加剧的重要原因之一，但目前三氧化硫限制排放缺乏国家标准，同时还缺乏有效脱除三氧化硫的技术。”张军营坦言，没有安装湿除的超低排放燃煤电厂，三氧化硫气溶胶排放需要特别关注。“它是‘有色烟羽’产生的罪魁祸首，对环境影响很大。”

燃煤电厂脱硫废水的处理也是张军营的



张军营(中)正在与学生交流。

“心头之患”。脱硫废水是燃煤电厂处理难度最大的废水，其中含有大量重金属和氯离子，pH值偏酸性、固溶物含量高且具腐蚀性，而最难解决的便是氯离子和腐蚀性物质。

“常规的脱硫废水处理难以达到越来越严的环保要求，而要实现脱硫废水零排放，投资太大，处理费用太高。”张军营表示。

“歪点子”破难题

如何协同治理燃煤电厂的诸多难题，张军营在屡次攻关的过程中冒出一个与众不同的“歪点子”。

就除尘而言，燃煤电厂传统的除尘方法通常为物理方法，如静电除尘器、布袋除尘器以及湿式静电除尘器等。但这些技术脱除PM2.5、PM10等细颗粒物的效率较低，尤其是PM10的脱除效率不足50%。

更让张军营忧心的是，电厂为增强除尘效率，加大设备升级，使得投资和运行成本增加，施工难度加大，甚至还导致阻力增加以及设备腐蚀等问题，实际效果也不尽如人意。

2001年，在一次电厂处理厂考察调研时，张军营看到水厂技术人员向废水池中倒入絮凝剂后，水中的悬浮微粒便慢慢聚集集成粗大的絮状体。一个反其道而行的“歪点子”便在37

岁的张军营的脑海中迸发：利用化学方法很轻易地就能实现高效脱硫脱硝，那么，能否也用化学方法进行除尘呢？

随之，他提出了“化学团聚”一词，并形象地解释道：“PM2.5就像一颗颗米粒，单独过筛时很容易漏下去。若把大米蒸成米饭形成饭团，就漏不掉了。除尘亦是如此，我们通过特殊的团聚剂把粉尘细颗粒物变大，除尘效率自然就提高了。”

遵循这一思路，张军营带领团队研发出团聚强化除尘技术，而在原有特殊团聚剂的基础上，开发了高温烟气三氧化硫磺化引发剂，使得同时对三氧化硫、重金属等污染物也有明显脱除作用，实现多污染物协同治理。

同样的思路如果也能把脱硫废水“一举拿下”那就更完美了。研究人员在PM2.5团聚技术基础上增加钝化剂，降低脱硫废水的腐蚀性在确保除尘稳定达到超低排放标准的同时，将脱硫废水在烟道蒸发，实现脱硫废水零排放。

最令张军营感到自豪的是，团聚协同技术及相关添加剂颠覆传统的解决思路，同时不改变电厂运行参数，无需增加大型设备和大量投资即实现诸多难题的协同解决，为保证了电厂安全稳定运行生产，提供了先进的环保节能解决方案。

18年曲折“开花”

迄今为止，团聚协同技术已在江西、山西、新疆、河南、安徽、湖北等省区的20多家企业得到应用，被应用方称为“多污染协同治理利器”。

2016年，国家能源集团国电丰城发电有限公司作为第一家大型机组（34万千瓦）电厂应用了该技术。该公司生产技术部环保高级工程师高为飞清楚地记得，面对比原计划提前一年完成的燃煤电厂超低排放和节能改造紧迫任务，他们亟须升级除尘等污染物控制技术。

“我们一开始也是抱着试试看的心态，毕竟这项新技术以前从未在大型机组电厂中用过，效果如何我们也不确定。”作为现场负责人，高为飞告诉《中国科学报》，他们在4号机组（340兆瓦）上应用，并连续运行5个月后，经江西省环保厅环境监测中心站检测，除尘效果超出预期，颗粒物排放浓度由原15.17mg/m³降至1.7mg/m³，远低于国家超低排放标准（10mg/m³）。

现场企业以及相关专家和技术人员都不敢相信这一结果，随后又请了西安热工院、中国环保产业协会、清华大学等专业机构和专家们进行测试和技术鉴定，结果与此前如出一辙。

高为飞说，该技术一直运行到现在，其系统运行简单，投资成本不高，依托于高校，可信度很高。

2001年的想法为何直到2016年才首次“开花结果”？张军营感慨：“中间差点都做不下去了。”

从最开始提出“化学团聚”时因缺乏理论基础而不被认可，只好先沉寂多年取得理论突破；到寻找团聚剂时如大海捞针长期无功而返；再到长达5年团队未发表一篇相关高水平论文而被自己的博士生“抛弃”，以及因诸多专家学者对我国污染形势的乐观判断，导致研究颇受质疑“差点”不被支持……

面对质疑和无果，张军营很感谢“863”计划、“973”计划和国家自然科学基金等的长期立项支持，让他能静下心来，慢慢琢磨逐步推进。曾经有段时间，尽管张军营门下已有20多名学生，但在团聚协同技术研发方面却是“光杆司令”，而现在，越来越多的学生和年轻人愿意从事这项研究。

在张军营看来，他坚守“碧水蓝天”的使命未变，“PM2.5、脱硫废水、三氧化硫以及重金属和汞这五大污染问题并未得到完全解决。未来，我希望通过团聚、钝化、磺化、凝并和氧化这一套控制理论实现五大污染物一体化解决”。

建言能源“十四五”系列谈②

中国工程院院士衣宝廉：

“十四五”燃料电池汽车将走“降本”之路

■本报记者 崔雪芹 李惠钰

刚刚步入2020年，燃料电池汽车就释放出诸多积极的信号。

1月5日，国内首批（10辆）氢燃料电池通勤客车在武汉开发区正式交付；1月14日，247台新能源汽车在云南五龙汽车有限公司下线；1月20日，山东潍坊100台氢燃料电池车采购中标，计划于年内正式上线运营……

燃料电池汽车以其高效率和零排放等优势，备受国内外追捧。中国电动汽车百人会副秘书长王贺武就曾预测，2025年我国氢能燃料电池汽车有望实现5万~10万辆的规模；2030年我国将实现百万辆级别的氢能燃料电池汽车在路上行驶；2050年氢能燃料电池汽车能够与纯电动汽车共同实现汽车的零排放，即移动端的零排放。

站在“风口”上的燃料电池汽车，热度攀升的背后还需怎样的冷思考？“十四五”又该如何实现更大的跨越？《中国科学报》就此采访了中国工程院院士、中国科学院大连化学物理研究所研究员衣宝廉。

氢燃料电池是理想的选择

《中国科学报》：相比纯电动汽车，燃料电池汽车有何优势？

衣宝廉：以氢燃料电池为动力的燃料电池车与锂离子电池车相比，具有续航里程长、安全等优势。氢燃料电池比能量高达0.5~1.0Wh/Kg，且燃料氢和电堆是分开的，因此即使电池的膜破损，只要将氢切断，就不会产生燃烧和爆炸。此外，氢燃料加注方式与燃油车加油类似——加注时间短，特别适用于重载、长途运输车、大客车和各种商用车。若采用可再生能源制氢，还可做到零排放。

《中国科学报》：《中国氢能及燃料电池产业发展研究报告》指出，未来氢在我国终端能源体系占比至少将达10%，您如何看待氢燃料电池汽车未来发展前景？

衣宝廉：人类生活、生产所用的化石燃料，从煤、石油到天然气，是一个逐步减碳的过程。



衣宝廉

而氢是零碳燃料，用氢代替化石燃料是理想的选择。但氢需要用其它能源制取，用可再生能源，如水能、风能、太阳能等制氢是最佳选择。近年来，由于实行二氧化碳减排，控制本世纪温升在2℃以内，可再生能源的高速发展与燃料电池和燃料电池车技术的进步，将大力促进氢能的发展。

《中国科学报》：“氢能源”虽然是备受期待的一种新能源汽车方案，但目前我国在制氢、储氢、运氢等环节并不完善，对此您认为该如何解决？

衣宝廉：氢气的密度最低，所以它的体积比能量最小，导致氢的储运是发展氢能的重大难题。国内应发展和示范液氢和管道运输氢，同时研究用有机化合物加氢脱氢的办法（如甲基环己烷脱氢和甲苯加氢）储运氢，利用石油运输的设备与经验。

要想尽快发展氢能和提高氢能占比，最有效的办法是大力发展西南水电、西北风电，将不上电网的电力直接用于电解水制氢，再将氢送入管网，与天然气混合输送给用户。目前，国际上天然气管网可混入5%~20%的氢气，减少了天然气的进口。此外，建立海上风电，直接电解海水制氢，并输送至天然气管网，也是一个重要方向。

氢的爆炸限很宽，起爆能量很低，因此也

是一种易燃、易爆气体。但氢与天然气和石油相比，极宜检测，因此要研发稳定、可靠、廉价的氢传感器，确保用氢安全。

“十三五”仍存成本压力

《中国科学报》：“十三五”期间，燃料电池汽车都取得了哪些关键突破？

衣宝廉：经过北京奥运会23辆燃料电池车、上海世博会196辆燃料电池车等示范运行，已经证明燃料电池车技术可行。“十三五”期间，加氢站建设被列入2019年政府工作报告，极大鼓励了燃料电池车的研发和示范。

第一，2018年由国家能源集团牵头成立了中国氢能联盟，为我国氢能及燃料电池的发展坚定了信心，并给予了技术和资金的支持。

第二，2019年燃料电池车的销量已达2737辆，我国燃料电池车的保有量已达五千多辆，仅次于美国，占世界第二位。国内示范运行的燃料电池车以大客车和商用车为主，适于发挥燃料电池车的优势，已引起国际汽车界的重视。

第三，由于大规模燃料电池车的商业化示范，创建了车用燃料电池的关键材料和部件市场，国内关键材料和部件的生产企业逐渐增加，并开始批量生产双极板、膜电极三合一（MEA）、电催化剂、质子交换膜、空压机和高压储氢瓶等，进一步降低燃料电池车成本。

第四，加氢站的建设速度加快，由“十三五”初期的十几座到2019年建成38座、投运46座，关键部件如氢气压缩机、加氢机等也开始研制和试用，国产化提速。

第五，由于国家、地方政府和企业的大力支持，并介入燃料电池车的研发与商业化示范运行，吸引了国际从事燃料电池车研发企业进入中国，促进了国内燃料电池车的商业化示范运行。

《中国科学报》：开发燃料电池汽车还存在哪些技术性挑战？该如何应对？

衣宝廉：由于燃料电池发动机成本较高，导致燃料电池车价格是燃油车的2~3倍，是锂离子电池车的2倍左右。此外，氢的制备、运输

百叶窗



研究人员正在进行一项独特的实验。

生物燃料作为排放更清洁的可再生能源拥有诸多潜在的好处，但由于有成千上万种生物燃料可供选择，能源部门因此很难将重点放在少数几种燃料上以求进一步发展。这就是为什么美国中佛罗里达大学（UCF）的研究人员正在努力缩小潜在生物燃料领域的范围，同时这也是美国能源部一项名为“燃料与发动机联合优化”计划的一部分。

为确定哪种生物燃料燃烧产生的致命副产品最少，UCF机械和航空航天工程系副教授苏比斯·瓦苏与其博士生塞缪尔·巴拉克进行了一项独特的实验。日前，他们在美国《国家科学院院刊》发布的研究报告指出，乙醇是最好的生物燃料，因为它产生的煤烟最少，而煤烟是燃料在燃烧过程中产生的一种致命的副产品，与呼吸道疾病、癌症和心脏疾病直接相关。

“能源部和其他机构正在努力生产更经济、更高效的生物燃料。”瓦苏说，生物燃料有超过1万种潜在的候选材料，而他的研究小组负责测试能源部认为最有前途的5种材料，包括苹果、葡萄、香蕉和其他一些水果中发现的醋酸甲酯，以及自然存在于桃金草和荷兰薰衣草中的甲基呋喃等。

“这项计划的美妙之处在于，它将尽快决定将哪种燃料可以投入使用的生物燃料添加到我们的燃料流中，以提高性能、减少碳排放，并对现有系统的影响最小。”巴拉克介绍说，在首次实验中，他们将生物燃料放在一个可进行受控燃烧实验的长圆柱形微波管中，并将其置于约3000华氏度的高温下，再通过激光测量实验过程中产生的烟量。

最终发现，乙醇作为生物燃料潜在优势最多。目前，美国出售的大部分汽油中都含有乙醇。乙醇在其他生物燃料领域占据了优势，因为它的制造基础设施成熟，且成本低廉，原料来自玉米等农作物，并且是碳中性的。

研究人员还确定了燃烧反应中涉及的化学途径，这些信息可用于进一步研究减少煤烟的产生，研究数据也已经被应用到国家燃烧反应的计算机模型中。

据悉，这项研究由美国能源部能源效率和可再生能源办公室资助，始于2017年，并将持续到2021年。未来，研究人员还将进一步生成数据来改进燃烧模型。（李惠钰编译）

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1073/pnas.192023117>

资讯

中国石化二月份将生产近10万吨医卫原料

本报讯 近日，《中国科学报》从中国石化新闻办获悉，进入2月以来，中国石化已向市场投放聚丙烯等医卫原料1.5万吨，预计二月份还将继续向各大医卫材料客户提供生产原料约8万吨。

据悉，针对疫情防治中用到的口罩、注射器等聚丙烯化工产品原料，中国石化调整生产计划，1.2月份安排医用牌号合成树脂16万吨，同比增产4.5万吨。同时，安排江汉盐化工满负荷生产，以支持国内市场消毒液的原料供应。

石化产品广泛应用于医疗卫生防疫工作，其中聚丙烯、部分有机化工原料、合成纤维产品应用尤其重要。据介绍，医疗用口罩一般都是多层结构，原料以聚丙烯为主。从口罩用料上来看，聚丙烯高熔指无纺布专用料是最佳选择，可用于一次性手术衣、被单、口罩、盖布、液体吸收垫等多个方面。

除生产支援防疫外，中国石化燃料油公司还利用跨境电商平台的优势，分四批次从海外采购150万副防护口罩，紧急支援山东、重庆、湖南、辽宁等多个地区。中国石化国际事业公司还发挥粤派客海外平台国际贸易优势，通过全球采购的方式，尽快将防疫物资运往湖北。（计红梅）



上海石化聚丙烯联合装置工作人员现场检查聚丙烯粒子情况。 朱燕摄

乙醇或为最具潜力生物燃料