

# 煤炭清洁高效燃烧领域理论与工程应用的探索者

## ——记上海交通大学缪正清副教授

我国经济的快速发展离不开能源及其动力工业的支撑。我国的能源资源结构以煤炭为主,煤炭的总体品质较差,相对于工业化发达的国家,我国在能源的利用效率、环保等方面面临巨大的挑战。

缪正清深切地了解我国能源资源结构这一国情,毅然地选择了煤炭清洁高效燃烧这一具有重要研究和应用价值的方向。三十年来,他一直围绕锅炉的高效燃烧,可靠工作、经济运行、清洁排放等方面开展理论与实践相结合的研究,并与企业合作,在研发技术的同时,努力应用于工程,为能源企业排忧解难,为社会创造了可观的经济效益。

### 十年实践,工业锅炉强化燃烧、消烟除尘成果显著

缪正清选择煤炭清洁高效燃烧这一研究方向,他说要感谢导师黄祥新教授的引导。黄教授是国内研究工业锅炉强化燃烧的杰出学者,是上世纪五十年代苏联专家为我国培养的少数几位热能工程的研究生之一。在文革期间,黄教授将锅炉燃烧原理与改炉实践相结合,发明了双入字形高覆盖率炉拱结构,破解了我国工业锅炉燃烧劣质煤着火困难、燃尽差、热效率低、普遍达不到额定出力的技术难题,并因此获得机械工业部1986年科技进步一等奖第一名、1987年国家科技进步二等奖。该技术在全国各个工业锅炉制造厂得到全面推广。

缪正清攻读研究生期间,在导师的指导下,他第一次设计的炉拱是西安蝴蝶手表厂的1台6.5t/h散装机。经过改造,锅炉最大实际产汽量从改造前的4.8t/h,改造后提高到8.3t/h,热效率也显著提高。接着,另外三台锅炉也很快进行了改造,一举解决了用气不足的问题,用户十分满意。此后,西安、咸阳、河南的一些企业来找黄教授改造锅炉的任务老师都交给了他去。考察、设计、改造、调试、验收一系列改炉实践,使他在较短的时间内积累了工业锅炉强化燃烧

的实际经验。

1986—1987年缪正清随导师参与延安大气污染综合治理研究,经过反复的分析、试验,研制成功了以预燃室和M型消烟炉拱的结构组织前后拱烟气对冲燃烧的专利技术,应用于延安地区招待所、延安军分区、延安制药厂、延安卷烟厂、延安地区外贸局的锅炉改造,取得了烟气林格曼黑度从4—5级降为零级的消烟效果(从烟囱看不出锅炉是否在运行)。在此基础上,延安地区环保局组织现场交流会,并发表限期改造,两个多月就改造锅炉19台。这些工作为延安地区大气污染治理做出了贡献,该项目获得国家环保部科技进步三等奖。在1985—1995十年间,改造遍及陕西、河南、上海、江苏、浙江、山西、山东等数十个企业,总计100余台工业锅炉,为企业节能、环保创造了显著的经济效益和社会效益。

### 十年钻研,攻克多项锅炉理论难题

1995年起,缪正清的科研方向转向电站锅炉,聚焦锅炉领域若干重要理论问题,潜心研究十年,获得处理这一类复杂问题的科学分析方法,使多个数十年以来的难题,一一得到理论解析。

他从多年的教学和工程改造实践中,提炼锅炉专业中的科学问题,按照科学研究的建模、理论推导,以及结合计算机求解的方式去进行探索。在复杂科学问题的建模实践中,他不断吸取教训,总结经验。这期间发表了一批有影响的论文,包括:《煤粉炉火焰冲刷时颗粒对壁面对流传热模型》《集箱并联管组内单相流体的流动特性》《集束射流的流动物理》《旋转射流的流动物理》《层状布置组合直流射流的流动物理及其工程应用》《循环流化床轴向空隙率与静压分布的数学物理模型及其实验验证》和《循环流化床U型炉内气固两相流模型》等,推动了锅炉基础理论的进步。这些研究也为此后十年他对电站锅炉的燃烧技术改造打下了

了扎实的理论基础。

### 十年奋斗,献身于电站锅炉技术改造

缪正清认为解决一个专业上的理论难题,只是取得了进入这一领域的入场券,要真正解决现场问题,还必须结合工程实际,在工程中不断磨练,并同一线的工程技术人员搞好协作。

以循环流化床锅炉炉膛气固两相流理论研究的突破为基础,2005—2006年他将其应用于解决包头第一热电厂2台470t/h循环流化床锅炉布风板风帽漏渣与磨损的改造工程,使其从每周一次的“礼拜日”改造后达到长周期稳定运行。该成果2007年获得华北北方联合电力有限责任公司科技进步一等奖、2008年获得内蒙古自治区科技进步三等奖。

直流燃烧器组合射流轨迹的理论预测曾经是国内外长期没有解决好的燃烧流体力学问题,影响到电站锅炉燃烧空气动力的科学设计。缪正清经过多年研究后,于2001—2003年解决了理论建模难题,并且获得了方程的数值解,开发了应用程序。从2003年起先后将其应用于上海闵行发电厂、山西河坡电厂、姚孟发电厂等机组锅炉频繁灭火事故的分析、燃烧器改造方案的制定,改造后消除了锅炉灭火隐患。还解决了陕西银河投资集团榆林上河发电厂、丰镇发电厂、包头第二热电厂锅炉严重结焦、影响带负荷的技术难题。其中,上河发电厂锅炉改造前后机组从110MW提高到满负荷135MW,相当于增加了2台25MW机组,2006年6月初和10月底先后完成锅炉燃烧器改造后,至2007年2月总共为电厂带来2660万元的直接经济效益。该成果在2007年获得陕西省电力公司科技进步一等奖。

对包头第二热电厂锅炉的改造是产学研合作一个典型例子。该厂长期燃用结焦性较强的煤,4台锅炉长期不能高负荷运行。

从2009年到2012年,缪正清团队先后对该厂4台锅炉全部进行了燃烧器改造,每台锅炉平均提高负荷30—50MW,每台机组改造后的年直接效益达到5000—6000万元。

2013年,缪正清团队承担的包头第二热电厂#3炉的改造,成为北方联合电力公司首个实施的低氮燃烧器改造工程;2014年下半年以来他们中标了包头第二热电厂#1、#2、#4机组,丰镇发电厂#5、#6机组锅炉低氮燃烧器改造工程,现在4台机组已经投入运行,各项改造性能指标良好,满足了低氮排放的标准。最后1台锅炉近日将投入运行。他们为济南锅炉厂设计的燃烧器还应用在出口印度和印尼燃煤褐煤的锅炉上,也取得了防止结焦的良好效果。

缪正清在多年来的产学研结合的过程中,获得十多项国家专利,还结识了一批工程技术专家,在工程技术上得到了他们的无私援助和支持,也从这批专家身上学到了许多宝贵的知识。

缪正清并没有满足于已有的成绩,他说:“科研工作需要不断实践,不断思考,不断创新,才对得起我们这个伟大的时代。”

### 对我国雾霾成因提出新见解

“雾霾”以前是个陌生的词汇,自从2013年年底从京津冀扩展至全国以来,以其污染的严重性和常态化而为妇孺皆知。也是从那时候起,引起缪正清对这种不正常环境现象的思考,先后四次撰写文章,发表在百度文库,希望能引起专业人士的探讨。

一般为认为,雾霾污染与我国经济快速发展、能源结构、能源的高速消费有着紧密的关系。在缪正清看来,可能还存在一些隐性的问题,目前还没有深刻认识到,导致因其污染脱离开了环保的有效控制而兴风作浪引发严重雾霾。因此,他认为两个方面均需要研究,以便今后的环保措施能够有效地抑制严重雾霾的产生。

我国能源结构由于资源禀赋而高度依赖煤炭。能源结构也决定了污染的主要方式。我国很长时期以来,大气污染以煤烟型污染为主,其中的粉尘、二氧化硫、氮氧化物也主要与燃煤有关;近年来,汽车的大量使用,钢铁、化工生产的排放也成为大气污染的一个不可忽视的来源。但总体上仍不能与前者相比。

尽管我国对于煤炭使用的主要行业电力与工业,燃煤的主要设备:锅炉与窑炉等制定了与发达国家标准接近的严格的空气污染物,如粉尘、二氧化硫、氮氧化物排放标准,并且,实际排放总体符合国家环保标准,但是,为何到2013年年底,我国大气质量突然恶化,形成了严重雾霾?一年多以来,环保和相关的科研单位都在寻找雾霾之源,却仍无确切结论呢?

缪正清根据雾霾的定义、综合大气成分、雨水样本成分以及雾霾的出没特征,反思近几年大规模湿法烟气脱硫工程可能的副作用,怀疑全国性严重雾霾的反复出现可能与湿法烟气脱硫工艺有关。他在发表的文章中作了详细的分析。这里综述他的一些主要看法。

脱硫与脱硝是近年来开始大规模应用、解决燃煤排放形成酸雨的环保技术。电力系统在国家行政推动下,在前3—4年内烟气脱硫任务已迅速全面完成,烟气脱硝也已基本完成。正因为如此,即使还有一些其他工业和工业锅炉执行排放不严的情况,但全国的酸雨确实少见了,这是我国环保在近几年里取得的最显著而直接的效果。

缪正清认为,烟气脱硫(湿法)与烟气脱硝,这是一项全国规模的巨大工程,也是全世界最大规模的环保工程,因此,如果其本身存在还没有被认识到的副作用,则其影响同样巨大。

现在看来,以往对于湿法烟气脱硫对大气副作用的认识可能是不足的。由于雾霾的越来越严重,又与湿法烟气脱硫工程的大力推广时间节点同步,因此,即使对于湿法

脱硫工艺稍有了解的一般科技人员也会自然地联想到这个问题。

缪正清经常深入火力发电厂现场,尽管他对烟气脱硫以往关注不多,但自从严重雾霾出现后,他开始对雾霾问题进行思考。

他总结了我国雾霾的四个特点,即全国性、突发性、严重性与反复性。即雾霾从2013年底突然大范围出现后,一直以高频率、高浓度影响着全国各地的大气环境。他认为雾霾研究的有效理论,必须首先能够解释这四个特征及现象。据他分析,这很可能与大规模湿法烟气脱硫预先没有预料到的副作用相关。他认为雾霾问题分析应该大胆怀疑,小心排除,不放过任何一个可能的因素。他还认为大气层的“气溶胶”是雾霾能够兴风作浪的前提条件!也是处理问题的难点!

湿法烟气脱硫引起雾霾受到他的怀疑,有几个原因:一个是湿法烟气脱硫确实会排放符合形成雾霾条件的PM2.5颗粒与水蒸气;二是数量相当大;三是这部分污染是新增加出来的;四是大量增加他提出的云层污染——云霾;五是大幅度延长污染颗粒物在大气中的停留时间,累积成很高的颗粒物浓度;六是可以解释雾霾的四大宏观特征表现。如果这一问题引起相关科研工作者的重视,无论这一怀疑得到证实,还是最终被否定,对于雾霾研究都有着重要的意义。

不过,在不能改变以煤炭为主的能源格局情况下,他还是建议,基于我国煤质灰分、硫分含量高的特点,我国要学习国外煤炭利用普遍采用洗煤的经验,首先从煤炭能源的源头上解决污染元素的减量化,减轻使用设备的除尘、脱硫负担,并通过强化环保标准,减少燃煤排放带出颗粒物,并寻求改进技术,大幅度控制向大气排放水蒸气,切断形成雾霾的基本条件。

他相信,如果各行各业将问题都能透明化,控制颗粒排放,控制污染气体包括水蒸气等气溶胶的排放,我国雾霾严重的局面,一定会显著改变,蓝天一定会重新归来。

# 食品安全快检技术亟待革新 新型智能检测设备有待推广

□ 本报记者 项铮

中国的食品安全问题引人关注。

近年来,党和政府高度重视食品安全监管工作,投入大量资金陆续为省、市级监管及检测机构配备了较先进的检验检测设备,建立了比较完善的检验检测体系。随着监管力度不断加大,我国食品安全形势总体稳定向好。然而,我国食品多样,食品链条长,缺乏基层食品安全快速检测设备。在基层,食品安全检验人员在现场难以实时检测,样品送到检验所后往往要几天才能得出结论。新形势下,互联网新技术的应用与普及,对监管的时效性、快速反应能力和应急处置能力都提出了更高要求。如何革新食品安全快检方法技术,如何应用新型食品安全快速检测设备,以提升基层食品安全检测能力及监管效率,成为业内人士关注的课题。

今年两会,有提案指出“推广基层食品安全监管模式,有效提升基层食品安全监管能力和监管效率”,旨在推广我国基层食品安全快速检测设备,尽快提升我国基层食品安全监管水平。

### 北京运用创新技术带动监管模式向智能化、网络化发展

北京人口多、食品种类繁多、食品来源和销售渠道复杂,食品安全监管任务非常重、难度大。另外,北京居民对食品安全要

求高,消费层次高,北京是怎么维护好食品安全的?对此,北京食品药品监督管理局局长张志刚曾总结,北京食品药品监督管理局有四个创新,即体制创新、模式创新、管理创新,技术设备创新。

以往,基层监管缺乏必要的技术检测手段,尤其是不具备现场快速检测能力,多停留在证照核查,眼看手摸阶段,检测仪器功能单一,检测项目少,需要多台机器组合使用,操作、搬运极不方便。

目前,我国各省、市都已经配备了检测设备,然而,基层食品安全快速检测设备缺乏,一些旧有设备手段难以满足日益增加的需求,一些新技术被不法人员利用,新添加物、新造假手段令人防不胜防,食品安全监管面临前所未有的挑战。传统食品安全快速检测方法学以定性为主,依靠人工判断,易出错,导致准确性无法保障,数据不便统计保存,更无法进行宏观动态分析监测。

北京运用了最新的智能基层食品安全检测设备。据了解,近年来,北京为农业、质监、工商、卫生、城管、公安等基层一线执法监测站点配备了网络版食品安全快速检测设备322套。北京的食品安全检测人员每天带着这些设备在批发市场、菜市场、超市、小食品摊、饭店、食堂市场随机抽检,设备可以在2小时内对60余项生物和理化指标进行精确定量分析,如果有需要,检测项目还可以进一步扩展,同时具备网络数据传输功能,可将检测结果第一时间上传至市级风险

监控中心,自动上报检测数据、下达并接受任务,便于集中整合监测力量,形成统一监管网络。这种设备体积小,容易携带,适合基层食品安全工作人员现场检测,能在各种复杂环境中使用,不受实验室条件制约,在交、直流供电模式下均可使用。

正是创新技术的整合应用,大幅提高了北京市基层食品安全检测能力和专业技术水平。

### 倍肯研发出智能化网络版基层食品安全检测设备,助力监管模式变革

“北京市300多套食品安全快速检测设备是我们公司研发的”,北京倍肯集团总裁姚世平告诉记者,2008年,倍肯集团参与了北京奥运会食品安全保障工作,负责供应食品安全检查设备,姚世平发现了现有食品安全监管体系中的不完善之处。

“我国投入大量资金为省、市级监管和技术机构配备了高水平的检测设备,但是这些设备一般不能随身携带,样品送到检测机构往往要几天时间才得到结论。能不能研发出适合基层食品检测员使用的产品,既方便携带,又满足现场检测的设备?”姚世平是技术人员出身,遇到问题,他每次都先想到用技术手段解决。经过调研,姚世平认为,必须将智能化的监管手段迁移到基层。

没有国外先例,他开始凭借自己多年从事医学检验检测行业的经验摸索。奥运会后,姚世平率领倍肯团队研发推出了“食品安全检测网络整体解决方案”,方案由“信息化食品安全管理平台”和“食品安全快速检测体系”组成。“信息化食品安全管理平台”可以帮助政府建立区域内的食品安全数据库,供应商信用信息、原材料溯源体系和食品安全信息体系,能有效支持食品安全应急响应机制和预警机制的运行,实现食品安全风险监测、评估和预警。“食品安全快速检测体系”则由食品安全快

速检测车、食品安全快速检测系统等组成,采用经典的光度比色、酶联免疫技术以及上转发光免疫等专利技术,能够在现场对食品安全中违禁添加、农、兽药残留、食源性致病菌等进行快速检测和筛查,通过内嵌在机器上的3G通讯模块,实时将现场监测数据上传到监管中心,实现区域内食品安全的有效监控,帮助政府大幅提升食品安全监管效率。2010年起在北京、山西和军队系统等广泛使用。

倍肯集团研发的“数字化食品安全快速检测设备”以定量检测方法学为主,结果准确可靠,便于数据统计,网络监管和风险预警;便携易用,集成多方法学,检测项目覆盖全面,满足现场执法需求;装备信息化、智能化,能向监管中心远程传输数据,自动上报检测结果,下达并接受任务,形成线上线下一张网,便于全面监管。

同时,还与信息化食品安全监管平台链接,快检哨点与监管平台结合,实现网络智能监管,高效执法。即在省市级食品安全监管中心配备“信息化食品安全监管平台”信息系统软件,监管平台与快速检测设备通过3G网络实时通讯,各级监管中心与下属基层监管机构间实现互联互通,形成覆盖全区域的智能食品安全检测网络。

监管中心通过监管平台实现食品安全监测任务下达,实时获取区域内的检测数据,汇集各种“违章记录”,进行风险分析和预警,并建立食品安全管理,供应商信用信息,原材料溯源体系和食品安全信息数据库,对越线超标企业进行整顿和处罚,实现食品安全监测任务统一管理,食品安全监测数据实时汇集,食品安全形势动态监控,风险评估与预警,全面提升各级政府食品安全监管效率和风险防范能力。

这样一来,不仅可以为基层食品安全风险预警和监管提供一套标准优化体系和一手准确直报数据,且通过建立食品、食材供应商积分管理数据库,实现对食品、食材供应商资质准入和违章监管,还全面提升各级政府食品安全风险预警速度、防范能力和监



倍肯集团参加北京直属机关工委举办的食品安全科普公益活动

管效率,能有效减少食品安全群体性事件的发生,确保食品安全。

### 食品安全快速检测设备革新及现代监管模式转变势在必行,基层应尽快推广

倍肯集团最近关注两大民生领域:一是基层医疗,二是基层食品安全监管。倍肯的解决方案切实提高了村医医疗水平,减少基层抗生素滥用;提升了基层食品安全水平,使老百姓满意、政府满意,助力政府部门解决民生问题。提到这些倍肯多年深耕创新的丰硕成果,姚世平很自豪。

成功的企业家都勇于担当社会责任,以产业报国为己任,为百姓民生做出贡献。姚世平就是一名成功的企业家。他做临床检验产品起家,认识到中国缺乏基层食品安全快速检测手段。埋头研发,打破了以往的单一技术,创新的将光度比色法、酶联免疫技术、转发光等技术融为一体,结合互联网技术,做成便携、即时传输数据的网络版食品安全快速检测设备,不仅在国内、在国外也是首创,是基层食品安全检测的有力装

备。把基层监测单位武装成监测点,快速准确检测食品农兽药残留、违禁添加、食源性致病菌等有害物质,进行定量分析,并与上级监管机构远程传输数据,形成监管网络。监控效率高,改变了食品安全检测设备的市场格局。

“网络版食品安全快速检测设备”研发了两年,姚世平说,“目前产品还在不断优化,我们希望检测鉴别更精准,更全面。同时,倍肯集团正在研发家用食品安全检测仪。”

据记者了解,目前,市场上已有一些食品安全快速检测设备,但是装备标准不一,严重影响基层食品安全检测能力和监管水平。2015年1月国家食品药品监督管理局总局已开始启动食品安全快速检测设备标准讨论。

姚世平建言相关部门应尽快建立统一标准,规范行业乱象,同时,发展便携易用、功能多样、具有数据传输功能的食品安全快速检测设备,并依托移动互联网技术,研发部署区域食品安全监管平台,构建智能、高效的基层食品安全监管网络。姚世平说,他会率领整个团队尽快向市场推出更新一代,适应市场需求的产品。



北京食药监参加食品安全快速检测系统培训



使用“倍肯数字化食品安全质量监测系统BK-IQMC型”对食材进行实时检测