

聚焦国家重大科研项目

# 清洁燃烧技术的突围之路

通讯员 曲田

煤炭为中国经济发展提供了基础能源,与此同时,其燃烧污染也束缚了社会的健康发展。在清华大学,有这样一支团队,他们数十年如一日,致力于清洁煤燃烧技术的创新与突破,用自己的肩膀扛起了中国循环流化床燃烧技术的发展之旗。

团队领头人叫吕俊复,生于上世纪60年代,在循环流化床领域兢兢业业、勤勉攻关20余年。吕俊复和他的团队完成的600兆瓦超临界循环流化床锅炉技术开发、研制与工程示范项目,在没有国际先例的条件下,系统地突破了超临界循环流化床容量跨域和参数提高带来的巨大理论及工程挑战,构建了超临界循环流化床锅炉设计理论和关键技术体系,研制出世界上容量最大、参数最高的600兆瓦超临界循环流化床锅炉,标志着我国在循环流化床燃烧技术领域走在了国际前列,在世界循环流化床锅炉发展史上烙下浓重一笔。

## 寻求技术超临界突破

我国是燃煤大国,一次能源将近70%来自煤炭,而这个局面在相当长的历史阶段无法根本改变。煤炭洗选、按质利用是控制燃煤引发的粉尘和气体污染物(主要是二氧化硫和氮氧化物)的有效途径,洗选产生的低热值部分占到总量的20%以上,而这20%重量的劣质燃料富集了80%以上的灰分和硫分,因而劣质煤高效清洁规模化经济利用十分迫切,而循环流化床燃烧发电正是解决这一问题的最佳选择。

循环流化床技术是洁净煤燃烧技术的一种,它把化工里的流态化技术转移到燃烧领域使用,这一技术的煤种适应性特别宽,各种劣质煤都能烧。更重要的是,这一技术在燃烧过程中无需外部干涉,只依靠自身就能无成本实现氮氧化物排放量低值,并且可以通过在燃烧室中直接放入石灰石的方式脱去燃烧产生的二氧化硫,与在锅炉后尾部烟气净化技术相比,相对简单,成本低,还起到了节水的作用。

清华大学是我国流化床燃烧技术开发的先行者。自上世纪80年代起,清华大学团队便紧跟国际发展前沿,开始致力于循环流化床燃烧技术的自主研究。在张绪伟教授、岳光溪院士等一代代科研工作者的不懈努力下,一系列由清华自主研发的技术与成果相继推出,至本世纪初,以清华大学为代表的中国循环流化床燃烧技术逐渐从“学生角色”转变为“主流”。其中的代表性成果,系列亚临界及以下参数循环流化床锅炉的成功运行,标志着中国循环流化床技术成为了世界引领者。

当我们走到了世界前列,此时发展方向就成为了必须考虑的问题。针对循环流化床燃烧在污染控制上的优势及其在效率上尚存在的不足,上世纪末,清华大学便开始了超临界循环流化床锅炉的探索。在国家863计划支



◀河曲电厂基于项目成果拓展开发的350兆瓦超临界循环流化床。 清华大学 供图



▶循环流化床技术团队带头人吕俊复教授。 清华大学 供图

持下,学校率先进行了超临界循环流化床锅炉技术体系的研究,系统证明了超临界循环流化床锅炉的技术可行性。而后在科技支撑计划支持下,以吕俊复为代表的第三代清华人开始了新一轮“征战”,寻求循环流化床锅炉技术从300兆瓦亚临界到600兆瓦超临界的突破。

## 中国技术实现国际梦想

在吕俊复看来,超临界循环流化床锅炉技术对中国有着特别重要的意义,更高效率、更少污染,燃料适应性强、污染控制成本低,是占煤炭总产量20%以上的劣质煤的经济规模化利用的最佳选择,及时满足了我国新时期的重大市场需求。

我们的研究立足国际前沿和国家需求,针对其中提出的基础问题具体展开。从原有的基本理念开始,到系统性的实验研究和理论探讨,在没有先例的条件下,吕俊复和他的团队十余年如一日,把全部精力扑在了发展适合中国煤种条件的超临界循环流化床技术研发上。

在科研的原野上,辛勤劳作必将收获丰硕。团队在应用研究中获得了一批原创性基础研究成果,完整揭示了超临界循环流化床锅炉的基本原理,创建了超临界循环流化床锅炉设计理论和关键技术体系;开发了超临界循环流化床锅炉设计技术,发明了系列专利部件结构,率先研制出世界容量最大、参数最高的600兆瓦超临界循环流化床锅炉;创建了控制、仿真、系统集成和安装、调试、安全运行技术体系,建成了世界首台600兆瓦超临界循环流化床示范工

程,各项指标全面优于国外同期开发的超临界循环流化床。

项目的意义不止于此。相关成果被广泛推广使用,解决了我国劣质煤的高效清洁利用问题,被鉴定认为:该项目成果完全自主开发,关键技术创新性显著,研究成果达到国际领先水平。

对于吕俊复和他的团队来说,这些还远远不够。我们中国人应当将自己的技术产品更多地推广到世界舞台上。目前,超临界循环流化床锅炉全球市场占有率超过95%,近三年新增产值58.4亿。项目实现了600兆瓦超临界循环流化床的国际梦想,被国际能源组织认定是国际循环流化床燃烧技术发展的标志性事件,是中国在洁净煤发电技术领域对世界的贡献。

回想起科研攻坚的那段日子,留给吕俊复印象最深的是两个经验:一是要敢于打破常规,尝试别人认为不可能实现的目标;二是克服浮躁心态,踏踏实实,找到能够长期做下去的研究领域并乐此不疲。

十余年间的艰难困苦和心血汗水,吕俊复视之淡然:技术开发的过程,就是从理论到实践,再从实践到理论,来回反复,逐步提高的过程。既然迎着重大问题去做,一定会遇到各种各样的困难,要学会享受过程,要敢于承担风险。我想,能尽己所能为中国的工业发展作出贡献,为企业、行业服务,这是我们的追求。

## 从实验室走向工程示范

我们仅仅是一个代表。国家的发

展需求为我们的研究和应用提供了国际同行艳羡的机会。老一辈清华人留下的宝贵的精神财富,激励我们不断探索,尤其是岳光溪院士的指导和呵护,让我们在科研最艰难的时候充满了信心。在吕俊复看来,这个历时十多年的项目取得成功,主要得益于蓬勃发展的时代机遇、清华良好的科学研究平台和氛围,以及优秀的产学研合作队伍。

吕俊复和他的团队是一个跨行业、跨部门的全国性团队,云集了国内主要的循环流化床锅炉研究优势单位。正是这支产学研团队的支持,保障了创新技术从实验室迅速走向工程示范。我们懂工程师的语言,懂企业的难处,企业信任我们,愿意和我们共同承担工程开发的巨大风险。多年的科研攻坚之旅让吕俊复深深地体会到,作为高校的研究人员,必须了解工程实际,善于把理论知识与工程实际结合起来,如此才能解决工程实际中的困难问题。

吕俊复关注更多的是项目成果的应用情况,希望成果能在国民经济建设中发挥更多作用。面对我国能源结构调整、节能减排等新政策要求,以及世界能源利用的新机遇,吕俊复说,作为行业领跑者,将紧紧抓住“中国制造2025”“一带一路”等机遇,瞄准世界科技前沿,进一步提升自主创新能力,以创新实力为世界劣质能源清洁高效利用贡献更多智慧。

未来的路还有很长,要做的事情还很多。我们相信,将来会有更多循环流化床领域的攀登者,会产生更多更为出色的科研成果,为我国的清洁煤事业发展作出更多更大的贡献。吕俊复说。

## 科学人物

以国家重大需求为导向,南京理工大学光电成像与信息处理团队近年来一直活跃在国际学术的前沿。谈及这个活力四射的创新团队,团队负责人陈钱教授充满着自豪。这不仅是因为这一团队是南理工首个国家级的科技创新团队,更主要的是缘于他们从事的光电成像与信息处理领域属于通用性很强的战略学科,在维护国家安全、保障国计民生方面均有着广泛的发展与运用前景。

其实,深感自豪的不只是陈钱教授一人,团队里的很多成员都有着类似的感受。近五年来,团队承担了包括核高基重大专项、国家重点研发计划、国家自然科学基金重点项目、国家自然科学基金优秀青年基金等在内的一系列重大科研项目。团队整体的研究水平居国内先进地位,部分成果达到国际先进水平。

## 科研创新填补空白

究竟是什么因素铸就了这支不同凡响的创新团队?大学时代就酷爱体育,勇于挑战极限的陈钱教授一语道破天机:只有敢于竞争,立足于本领域的学术前沿,才能不断超越。

的确,勇立科技创新的潮头,追求新技术与新方法在本领域内的广泛应用,正是团队在科研内为自己确定的目标。自2000年以来,团队瞄准光电成像技术发展的热点,将原先以微光夜视研究为主,调整为以红外热成像研究为主,并深入探究光子成像技术。在较短的时间内,就在中远红外凝视焦平面热成像理论与技术彩色夜视理论与技术、光子成像技术以及图像数据融合理论与技术等方面取得了一系列重大成果。其中,在微光夜视技术领域,首次把雪崩效应机制引入到夜视技术中,成为继美国、英国之后第三个掌握此芯片制造技术的国家;在高性能红外热成像领域,首次自主研发完成了红外图像数字细节增强技术,打破了国外的技术封锁;在目标搜索与跟踪领域,首创了红外面阵探测器扫描搜索与跟踪的理论及技术体系,研制出国内外首台红外面阵探测器扫描搜索与跟踪预警系统,填补了国际空白。

然而科学研究是一个漫长积累的过程,由量变到质变的跨越更需要研究者有足够的恒心与韧劲。有一次团队去西安做低空目标红外探测试验,当时室外的温度已经接近40摄氏度,试验仪器的表面温度超过了70摄氏度,试验的过程中遇到了很多意想不到的困难。就在大家心情烦躁,逐渐失去信心的时候,陈钱教授给大家厘清楚了这次试验目的,及时改进了试验方案,并冒着酷热与大家一起调整试验系统,从早到晚十多个小时,陈钱老师一直紧盯试验仪器屏幕,关注着每个数据,带着大家分析问题,最终使试验获得圆满成功。

## 百花齐放人尽其才

俗话说,“一花独放不是春,百花齐放春满园”。团队非常重视科研人才梯队建设,积极构建高层次人才培养平台,不断完善团队学术与人才管理机制,形成了人尽其才、和谐发展的团队氛围。集体好了,每个成员才会好;只有团队的氛围好了,每个成员才能迸发出更大的潜力。团队骨干成员之一柏连发教授谈了自己的切身感受。

作为团队的领头人,陈钱教授认为每个成员的优势和特长不尽相同,只有将他们各自的潜能都尽可能地激发出来,团队才能不断超越,续写新的未来。

团队负责人陈钱教授在给嘉宾讲解红外成像原理和成像效果。 南京理工大学 供图

# 南京理工大学「光电成像与信息处理」团队：科研创新中锻造拔尖

通讯员 陈育凡

能够在整体上保持蓬勃向上的生命力。为此,他根据团队每个人的能力与特长,有针对性地给他们安排适宜的工作。以科研见长的,会根据其专业专长和项目内容来确定课题负责人。即使是擅长教学的,也能在适宜的科研项目中找到用武之地,保证他们能接触到学术前沿,反过来又促进了专业教学水平的提升。

青年是科研事业发展的生力军。在光电成像与信息处理团队里,每个年轻人都有足够的发展空间以及很多的锻炼机会。在这里,我们每个人都有独立承担的科研项目和研究课题,大家普遍感觉工作上有奔头。年轻的成员们这样评价自己的团队。

## 严格教学锻造拔尖

对学生严格要求,按照科研的最高标准锻造学生是团队培养拔尖创新人才的目标。有一次,团队随老师带领研究生们调试红外探测器驱动电路,一个电阻一个电容地调试,试了许多方案,效果都不太令人满意,两个星期下来,学生们都有些气馁,但随老师激励大家不要放弃,通过仔细分析不同器件带来的噪声特点,逐一排查,反复试验,最终得到令人满意的噪声性能。

在平时的教育教学中,团队对学生素养的培养不仅体现在有限的课堂讲授之中,还更多地表现在平时与学生的互动交流中。尤其是当学生面临考研、就业等人生重大选择时,团队里的老师总是会适时伸出援手,为他们排忧解难。

为塑造学生的国际视野,特别是打造他们的创新能力,团队近年来先后与多家国际知名的研究机构建立了合作关系,并积极推行国外高校联合培养研究生的机制。辛勤的付出终于换来了丰厚的回报。团队近5年已为国防科技工业和国民经济建设输送毕业生200余名,所培养的学生也连续多年实现了100%的充分就业与升学。与此同时,学生的科技创新也硕果累累,获得各类全国奖项。

长风破浪会有时,直挂云帆济沧海。聚焦学校“双一流”的建设目标,南理工“光电成像与信息处理”团队将会在科技创新中不断超越,续写新的未来。

## 科苑新创

### 复旦大学

#### 析氢反应电催化:廉价材料替换铂金

近日,复旦大学材料科学系吴仁兵、方教授团队在高效非贵金属析氢电催化剂方面获新进展。

氢原料丰富、燃烧值高、零污染,被科学家和大众寄予厚望。贵金属铂是表现最为优异的催化剂,但是很难进入规模化应用。团队突破了现有利用过渡金属纳米材料发展高活性析氢反应电催化剂的瓶颈,解决了过渡金属如铁、钴、镍纳米颗粒对氢原子的吸附较强而不容易脱附、颗粒易团聚、比表面

积低、在电解液的操作环境下不稳定等问题,取得了催化活性和稳定性与贵金属铂接近的研究成果。

专家表示,析氢反应电催化剂研究的重要推动,也为低成本条件下规模提取更高纯度的氢气提供了可能性。新成果将为更多科学研究提供一个用廉价元素替代昂贵元素的方向,也将对清洁能源产业特别是氢能利用领域产生较为深远的影响。

### 西北农林科技大学

#### 证明东亚家牛血统来源

西北农林科技大学姜雨团队与雷朝朝团队合作,首次证明全世界牛至少可分为五个明显不同的类群,即欧洲普通牛、欧亚普通牛、东亚普通牛、中国南方瘤牛和印度瘤牛。

团队对我国22个代表性地方品种的黄牛和8个陕西石铲遗址的古代黄牛样品进行了全基因组重测序,同时比较了国外牛种的全基因组数据。发现中国黄牛地方品种来源于其中的三个血统,分别为约4000年前到达中国北方地区,目前以纯系仅在青藏高原和东北地

区存在的东亚普通牛;可能在1000年前进入中国北方,以蒙古牛和哈萨克牛为代表的欧亚普通牛;以及研究新报道的与印度瘤牛早在4万年前就分离,具体来源和传播历史仍然未知的中国南方瘤牛。

研究还发现通过历史上的跨物种人工杂交选育,中国南方瘤牛和青藏高原的普通牛平均每个个体分别被导入了其近缘物种爪哇野牛和牦牛的血统,从而使迁徙到南方和青藏高原的黄牛各自提高了环境适应性。

### 华东理工大学

#### 世界最小光控单分子火车诞生

近日,华东理工大学费林加诺贝尔奖科学家联合研究中心,成功构建了世界最小光控单分子火车。该成果为单分子器的设计与测量提供了新思路。

研究人员多年聚焦于构建以研究单个生物分子为基础的电化学限域纳米孔界面,发展非平衡态测量的新方法。研究在单个气单胞菌素生物分子界面上成功构建了单分子级“纳米火车”,实现了单分子火车“行驶”状态的光调控。

### 中国科学技术大学

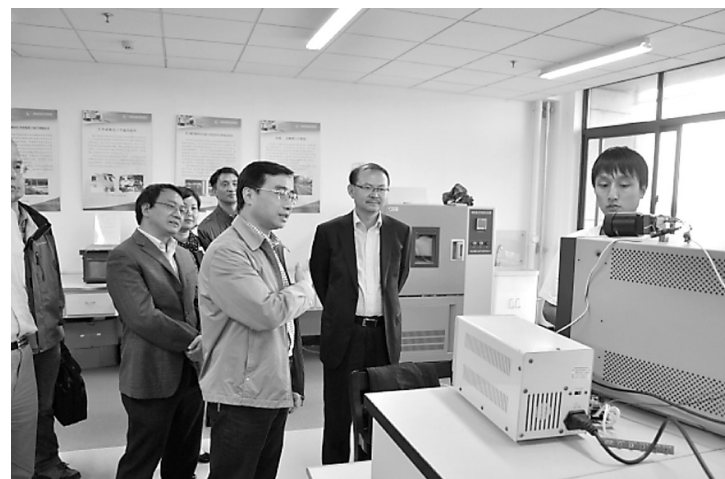
#### 晚寒武世海洋缺氧致三叶虫灭绝

日前,中国科学技术大学教授沈延安团队揭示了寒武纪海洋与现代海洋化学结构和组成的不同,发现晚寒武世海洋缺氧是造成全球三叶虫灭绝的重要因素。

距今约4.97亿年的晚寒武世发生了一次全球规模的碳同位素正偏移事件,持续了数百万年。与之相伴,全球海洋发生了一次显著的三叶虫灭绝事件。过去30年来,对晚寒武世海洋环境以及海洋化学结构和组成的变化是否与三叶虫的消亡存在因果关系,一直有较大的争论。

团队发现浅水与深水剖面的无机碳同位素组成差值达2.3,在碳同位素正偏移事件过程中,碳同位素的分馏值升高了2。这揭示了碳同位素时空变化的二维特征,证明了晚寒武世海洋与现代海洋化学结构的显著差异。研究表明,驱动碳同位素时空变化的机制是晚寒武世海洋的深部缺氧以及大量有机质的快速埋藏,而大规模的海洋缺氧直接导致了全球海洋中三叶虫的灭绝。

(樊畅 整理)



团队负责人陈钱教授在给嘉宾讲解红外成像原理和成像效果。 南京理工大学 供图