

清洁炼焦技术不再受制于人

■本报记者 张晶晶

钢铁是国民经济的基础工业，炼焦是钢铁工业的支柱产业。近年来我国年产焦炭约4.5亿吨，占世界焦炭产量的70%。

作为焦炭生产及出口大国，直到21世纪初，我国的炼焦技术与国际先进水平仍存在较大差距，在支撑冶金、化工和机械制造等行业高速发展的同时面临尴尬的现实——污染物排放量大、资源与能源利用效率低、技术装备水平落后，无法满足钢铁工业绿色升级的战略要求。

由此，研发清洁高效炼焦技术，便是摆在中国焦化行业面前的一道难题。

不久前，“清洁高效炼焦技术与装备的开发及应用”项目，获得2018年国家科技进步奖一等奖。

焦炉大型化亟待解决

焦炉大型化是焦化行业技术升级的必由之路，大规模集中化生产可以有效降低焦化过程中的污染物排放量。

根据中国炼焦行业协会统计数据，在2003年初，我国焦炉仍以中小型为主，大型焦炉产能仅占全国焦炭总产能的15%，单元生产能力最大的是100万吨规模炉型。而早在上个世纪80年代，德国、日本便开始大规模建设单元生产能力150万吨以上规模的焦炉，中国炼焦技术与国际先进水平差距接近30年。

2003年，德国大容积焦炉技术进入中国，于2006年投产使用，并迅速占领大型焦炉市场，其炼焦技术可使氮氧化物排放达到350毫克/立方米以下，炉组产能可达200万吨以上。然而，引进技术也存在一些问题，如引进技术原是为德国鲁尔地区煤种开发设计的产品，存在吃精料的问题，即优质炼焦煤配入量

大，如换成国内传统配煤，则生产存在问题。

清洁炼焦技术被国外垄断，劣质炼焦煤消耗量大、生产顺行性差等不利因素都共同指向一条路：自主研发适用我国炼焦煤资源特征的清洁高效炼焦技术。

走一条符合国情的清洁高效炼焦技术

2008年，中冶焦耐工程技术有限公司、北京科技大学、鞍山钢铁集团有限公司三家联合，以“超大型容积顶装焦炉技术与装备开发”为题，申请国家“863”计划资源环境技术领域的重点项目。该项目于2009年12月获批，鞍山、北京两地联动，设计院、高校、生产企业紧密合作，依托国内焦化龙头企业的生产实践，深入探索焦炉加热技术和清洁生产技术的深层次机理，实现工程技术创新。这支完美实现产学研一体的创新团队，为实现清洁高效炼焦技术与装备的开发及应用打下了坚实的基础。

中冶焦耐副总工程师王明登在采访中向《中国科学报》介绍说，研发适合中国国情的清洁炼焦技术，需要解析焦炉内传热、燃烧、流动机理，从源头上解决焦炉氮氧化物污染的问题。

焦炉炭化室长18米、高7米、宽0.5米，在间接加热的条件下，如何才能将里面的煤料实现适度和均匀的供热，进而快速均匀地炼焦？

这是摆在科研人员面前的第一道难题。王明登解释说，焦炉尺寸越大，对其内部温度有效控制的难度越大。如果焦炉内局部火焰温度过高，不仅耗热量大、能耗大，更重要的是氮氧化物会大量生成，无法实现源头减排，甚至会烧坏炉体；如果温度过低或者温度不均匀，则

会出现生焦，不能保证产品质量。

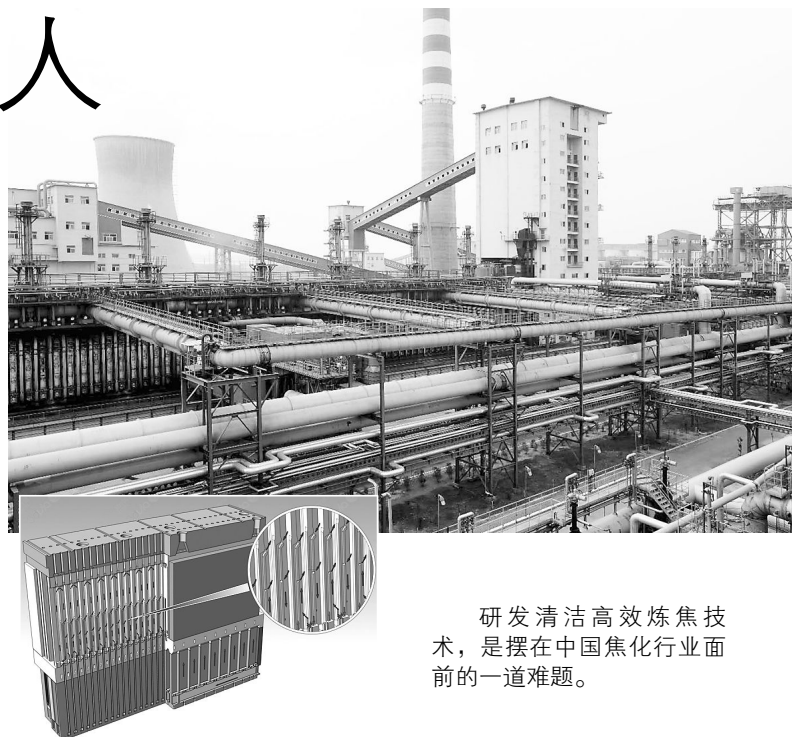
中冶焦耐将根据多年工程经验设计的焦炉产品与边界条件交到北京科技大学的手里，委托其对清洁炼焦的关键问题进行有针对性的研究，以找到最佳设计参数。北京科技大学承担了大型焦炉炼焦全过程的数值模拟、炼焦过程及其关键设备的模拟、优化和设计软件的研制等工作，北京科技大学教授张欣欣在接受《中国科学报》采访时表示，为了保证炭化室数百平方米的加热面积温度差控制在正负5摄氏度之内，他们对焦炉的长向加热和高向加热提出多种控制方案与优化模型，从中选出最优方案，最终才实现了精准的温度控制。

在仿真平台的基础上，研发团队开发了炭化室煤热解模型、炉顶空间温度综合控制技术、炉底气流协调分配技术，解决影响大型焦炉均匀加热和生产顺行的关键技术难题，开发出适用中国炼焦煤资源的高效炼焦炉体技术，最终使炼焦模产能提升50%以上、节约优质炼焦煤资源7.5%以上。

在高效炼焦技术装备方面，研发团队作了大量卓有成效的工作，研发了高严密、自适应密封关键装备，使不同温度场的工艺部件热变形保持一致，保证焦炉严密、完整；开发了集气系统远程操作、煤气远程切换等系列无人化装备技术；创建了炼焦智能多层管理系统、焦炉模拟仿真系统、专家诊断系统，在充分考虑时效性的条件下，对炼焦生产过程进行预判、控制和诊断，保持生产过程稳定化，实现炼焦生产从基础控制到智能管理的跨越。

技术已输出海外

鞍钢四期焦炉项目于2010年8月开工建设；2011年8月，焦炉点



研发清洁高效炼焦技术，是摆在中国焦化行业面前的一道难题。

火烘炉；2012年4月，项目一次性投产、达产。鞍钢炼焦总厂首席工程师甘秀石向《中国科学报》强调，鞍钢焦炉四期项目集成了多项创新技术，“绝非普通意义上的焦炉升级改造”。

他介绍说，新型焦炉一投产就实现了安全生产、清洁环保、稳定运行。创新技术并成功在鞍钢焦化五期改造推广应用，全面完成鞍钢炼焦的技术升级，走向了高质量发展之路。新增优质产能300万吨/年，占比达到鞍钢本部焦炭产能41%。同时焦炭质量大幅度提升，增效降本明显。焦炭冷态指标M40达到89%以上、M10为6.2%以下；焦炭热态指标反应性为23.0%以下；反应后强度达到65.0%以上。焦炭质量的提高，降低了高炉炼铁焦比1.5%，提高炼铁生产能力0.5%，每年产生延伸经济效益达8575万元。

在环保水平和劳动效率的提升也非常显著。低氮燃烧技术降低了

废气中NOx的含量，混合煤气加热时含量为330mg/Nm³，低于国家标准的500mg/Nm³。焦炉实现超大大容积化，单孔焦量提高46.5%，劳动生产率提高30%以上。

中国清洁高效炼焦技术不再受制于人，并且实现了海外输出，在老挝越南河静、印度TATA和JSW等47个海内外项目中实现系列化应用，实现国内大型焦炉市场占有率达96%，近十年来在海外市场占有六成份额。

绿水青山就是金山银山，实现清洁高效炼焦，打造绿色未来。在该项目的带动下，中国大型焦炉占比从15%增长至52%，平均每家焦炉企业生产规模提升了3.8倍；每年节约优质炼焦煤1290万吨；每年节约焦炉煤气3.8亿立方米、高炉煤气18.6亿立方米（合50万吨标准煤）；显著减少污染物排放，实现清洁生产，每年减排氮氧化物45000吨、二氧化碳173万吨。

热词

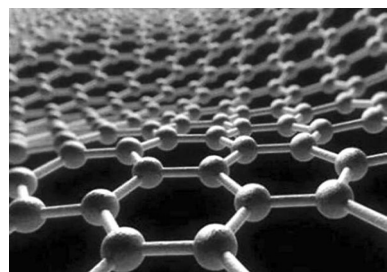


平价上网光伏项目

日前，国内首个平价上网光伏发电项目——三峡新能源格尔木50万千瓦光伏领跑者项目正式并网发电。

该项目是国家第三批光伏发电应用领跑者基地项目，占青海省2018年领跑者项目一半规模。该项目是在充分发挥青海水电调节优势的基础上，以大规模光伏电量上网消纳为依托进行的地方清洁能源多元化发展模式，届时年发电量可达9.05亿千瓦时。其中，2号至5号项目中电价为0.31元/千瓦时，低于青海省脱硫燃煤标杆电价0.32元，提前在青海省实现国家光伏发电平价上网的目标，使更多家庭早日用上平价新能源电力。

该项目严格按照火电煤耗314克/千瓦时的环保要求，减少大气污染物排放，全力保护青藏高原的生态环境。



新型铝离子电池组

近日，美国雪城大学的侯赛因研究小组研发出一种新型固体电解质，用以替代目前锂离子电池中的液体电解质，使其满足汽车等高需求应用。

据了解，该电解质由一种柔软的聚合物和一种非常坚硬的环氧树脂组成，聚合物让锂离子渗透，而环氧树脂提供了热稳定性和耐久性。该聚合物可通过溶解铝盐（如硝酸铝）到聚合物基质中转化为铝离子电解质。目前，该研究小组正致力于实现全固态铝离子电池的制造，该电池包括电解质在内的所有组件都是固态，将帮助铝离子电池纳入汽车等高需求应用中。（王剑整理）

让氢来得更高效些吧

■本报记者 张思玮

通常来说，光催化材料对于太阳光的利用率很低，为3%~4%，大多数的太阳光不能被光催化材料吸收。为了提高对太阳光的利用效率，科学家尝试通过能带调控和结构调控等各种手段，以试图获取更多的氢。

近日，江苏科技大学理学院博士胡友友与南京大学教授吴兴龙课题组合作研究的课题“高效催化产氢”取得重要进展，连续在《Nature Communications》杂志上发表两篇研究论文。

“我们将光催化材料作为突破口，没有选择传统的碳化氮(C₃N₄)材料，而是制备了具有半金属性质层状氮化碳材料[C(CN)₂](C₄N₄)，并利用多孔氧化铝作为材料生长模板，使得小尺寸的氮化碳纳米薄片附着在人工纳米多孔管阵列中。”胡友友说。

百叶窗

新技术使海水淡化效率更高

据世界粮农组织估计，到2025年，全世界将近20亿人可能没有足够的饮用水来满足日常需求。那么，海水淡化可能是解决这个问题的可能方法。然而，从海水中去除盐分需要的能量是传统淡水供应方式（即从河流或水井中抽水）的10至1000倍。

意大利都灵理工大学能源部的一组工程师在这个问题的启发下设计了一个新的模型，通过有效地利用太阳能，进行可持续和低成本的方式淡化海水。与以往的解决方案相比，该技术实际上能够使给定的太阳能的产水量翻一番，而且在不久的将来效率可能会进一步提高。相关研究发表在《自然—可持续性》杂志上。

研究人员称，这项工作的工作原理非常简单：灵感来自于植物通过毛细血管作用和蒸腾作用从根部输送到叶子，而他们的漂浮装置能够使用低成本的孔材料收集海水，从而避免使用昂贵而笨重的泵。

“收集到的海水被太阳能加热，从而维持盐和蒸发水的分离。

这种新制备材料具有半金属特性，不仅有利于载流子的传输和催化活性提高，还可以有效促进光生载流子的自旋单态和三重态的转换，从而延长载流子寿命，实现电子—空穴对的有效分离。

不过，虽然研究小组在实验上发现了制备的层状氮化碳材料具有优异的吸收特性和产氢速率，但是从理论上缺乏科学合理的解释。

为了解决这个问题，在吴兴龙和南京大学副教授刘力哲的引领下，研究小组经过多次集体讨论，从学科交叉的角度创造性地引入了偏振光的P波和S波理论和光学谐振增强理论，最终有效地解释了材料的增强吸收特性。

“随后，我们在研究中通过引入光学微谐振结构来提升整体太阳能的利用率，使其具有较宽的

吸收光谱。尤其在红外波段，可以增强数倍。”胡友友说，此项研究使得产氢速率达到1009μmol g⁻¹ h⁻¹，而这个数据是未经过处理g-C₃N₄片层材料的60多倍。

并且，该光学微谐振结构的制备方法简便，成本低廉，不仅能提高对太阳光的利用效率，还在推广上具有优势。但该项研究团队并未止步，他们又从电催化入手，以试图获取更多的氢。

胡友友告诉《中国科学报》，常见的FeS体材料在400K左右会发生半导体—金属相变，可以用于电催化产生氢气。“我们研究发现，在红外光照下，FeS的相变温度可以降低到300K左右，这是因为光生载流子降低了相变势垒。并且，我们还发现碳纤维—硫化铁纳米片复合结构，

利用光的偏振吸收特性增强了光的吸收，实现了常温下FeS的半导体—金属相变，这样就可以用于高效电催化产氢，还为材料相变的调控提供了新方法。”

“尽管这两篇论文的材料体系不一致，分别属于电催化和光催化材料，但是这两篇论文都通过对光场的调控，增强了材料对光的吸收，进而增强材料的催化效果。”胡友友说，在光催化、电催化、光电催化以及光伏电池领域，改善材料性能、增强光吸收是永恒的问题。“我们应该打破传统的材料科学与物理学科的界限，实现材料科学与物理学科的交叉，通过光场调控增强光吸收，进一步提高材料与器件的性能。”

相关论文信息：
DOI:10.1038/s41467-018-05590-x
DOI:10.1038/s41467-019-08358-z



研究人员在利古里亚海进行太阳能蒸馏器测试

“经过研发和在利古里亚海的直接测试，这项技术适用于那些缺少饮用水的偏远沿海地区。

这一过程可以通过在受污染的水和饮用水之间插入薄膜来避免它们的混合，类似于一些能够在海洋环境中生存的植物，比如红树林。”研究人员解释说。

传统的海水淡化技术不仅需要昂贵的机械或电子元件（如泵和/或控制系统），还要有专门的技术人员进行安装和维护，然而该团队提出的海水淡化方法是基于自发过程发生的，不需要辅助机械和容器。因此，被称为“被动”技术。所有的这些都使得该设备本质上便宜，易于安装和维护。后一种特点在长期缺乏饮用水的沿海地区特别具有吸引力。

目前，与“主动”技术相比，它的能源效率很低。同样，都灵理工大学的研究人员在创新方面也遇到了这个障碍。

“以往的研究主要集中在如何最大限度地吸收太阳能，而我们已经把注意力转移到如何更有效地管理吸收的太阳能热能。通过这种方式，我们的生产力达到了创纪录的水平，每天每平方米暴露在阳光下的饮用水可达20升。性能提高

的原因是在多个级联蒸发过程中太阳能热的“回收”，这符合“用更少的能量做更多事情”的理念。”研究人员称，基于这一过程的技术通常被称为“多效应”，以证明这种策略对于“被动”海水淡化技术也非常有效。

经过两年多的研发和在利古里亚海的直接测试，都灵理工大学的工程师们声称，这项技术非常适用于那些缺少饮用水的偏远的沿海地区。

当然，该技术还特别适用于在紧急情况下提供安全、低成本的饮用水，例如在遭受洪水或海啸袭击的地区。未来，这项技术的进一步应用设想是用于食品生产的浮动园区。

此外，为了使原型更加耐用、可伸缩和多用途，研究人员正在寻找可能的企业合作伙伴。例如，该装置的工程版本可用于过度开采地下水导致咸水渗入淡水蓄水层的沿海地区，或可用于处理工业或采矿厂污水的水。（刘建文）

相关论文信息：DOI:10.1038/s41893-018-0186-x

■ 能言快语

栏目主持:李惠钰

邮箱:hyli@stimes.cn

今天谈“油控”，对人类、对全球来说，都有非常重要意义，这是因为人类已进入全新的时代。目前，人类生存面临来自环境和气候变化的威胁，化石能源是对环境和气候变化影响最大的因素之一。

环境对人类的伤害，是由过去落后的生产发展方式所导致，这一点我们深有体会，这也让我们的可持续生存与发展受到挑战。所以，化石能源的控制，对中国有特殊意义，对整个人类也是意义非凡。

■ 可再生能源将超出预期

石油消费控制，是今天必须采取积极、坚定的措施。

中国政府在这一方面已经采取了行动。这些年对煤的控制已经有了很好的效果，而且也对石油消费进行控制采取了相应措施。

中国政府在《巴黎协定》承诺，到2030年，二氧化碳排放要达到峰值，然后不断递减。我们相信，中国过去所采取的有效行动，可以使碳排放的高峰期提前到来。特别是在石油消费控制上采取积极措施，可以更好地实现《巴黎协定》的承诺。

按照我们的测算，中国石油消费高峰是7.2亿吨。如果不控制石油消费，人类未来发展不仅在环境和气候变化上不可持续，也会在生存空间上不可持续。

未来，世界要发生很大变化，其中之一就是工业化国家越来越多。工业化在某种程度上意味着资源的大量消耗和环境的严重污染。所以，中国在十六大提出要走新型工业化道路，就是要走出一条技术含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人类资源能够充分发挥的工业化道路。

如果13亿中国人走工业化，超过13亿人口的印度也走工业化，再加上中东国家、非洲国家、南美洲国家，世界石油不仅不够用，而且会带来更大的灾难。所以，走新型工业化道路，是中国采取的可持续发展的新方式。

按照现在的能源消费趋势，不管美国页岩气和页岩油的发展有多好，考虑到2050年人类要增加20亿~30亿人，如果按照过去的工业化发展方式，没有那么多能源可供。走新型工业化道路，发展可再生能源，是我们的必然途径。

这些年来，由于技术的进步，光伏、风能的成本大大降低。按照世界可再生能源组织的预测，到2020年，无论是海上风电、陆上风电，还是光伏、光热，它的下端成本都会接近传统化石能源。2020年以后，这些技术进步还会有一个大的突破。

2018年底，三峡集团在青海投产的一个光伏项目，上网电价是每度0.31元，而当地的煤电脱硫后的上网电价是0.32元。所以，可再生能源有非常好的性价比。

如果再坚持5到10年，我相信，可再生能源大规模发展将超出我们的预期，它们将会成为能源消费量增长的绝对主力。在传统能源的存量中，化石能源消费量会大幅降低。石油替代方案在短期内将能取得较大效果。

■ 中国要力争能源自给

推动石油消费控制的另外一个主要意义是，如果主要发展中国家和发达国家将绿色低碳作为发展战略，国际能源、地缘政治版图将重新改写。2030年以后，如果新能源消费在能源消费总量上占到30%，这个版图还会发生重大变化。

能源安全问题、中国能源自给问题，从现在开始都要慎重考虑。中国起码要做到60%~70%的石油不再对外依赖，而是可以对内依赖，甚至对内依赖能达到70%~80%。这就需要进行规划和采取措施。

目前，中国有四大优势可以得到充分发挥。第一，要改变能源结构，应以清洁能源为主，大力发展天然气，中国的页岩气发展潜力远远超出想象，所以，主要精力要放在技术进步上。

第二，要把提高能效作为节省资源能源的第一要务。中国的能耗是发达国家的3倍，所以在提高能效上，从中国政府到民间，要作为第一要务来抓。

我们很多行业的技术标准不高，能源浪费太大。随着新技术领域的进步，从工业互联网、大数据、到智能制造等，能效都可以大幅提高，能耗大幅降低。

此外，还要极大地推动可再生能源和清洁能源的发展，特别是电动汽车领域。其实，中国无论在汽车领域、建筑领域，还是化工领域，在产业、技术、能源、政策等方面，都应该作整体规划，再统一实施。

现在，政府职责越来越清晰。如果还用以往的眼光去看待新的经济规模和新发展方式，就失灵了。企业的发展也是一样，如果还按照昨天的发展思维考虑明天的事情，到明天就一定会受挫，会遇到大的阻力。

中国要立足于能源自给或者能源基本自给，或许有很多人不相信有这个可能性。我想说，这个可能性极大，虽然确实存在诸多困难，但有机会实现。现在重要的是不在于能不能做，而在于我们的视野有多远，能不能看到这一点。

所以，政府建议各级企业、各个行业要用未来的眼光来做今天的事业，用未来人类的生存方式和生活方式，来推动今天的生产方式变革、技术变革和企业发展模式变革。

（作者系中国石化集团原董事长、油控项目核心组组长，本报记者李惠钰根据其任首届“跨越石油时代”国际研讨会上的发言整理。）

控制石油消费对中国意义重大

傅成玉