



怀着对创新事物的好奇、对科研的热忱和对工程建设的投入，廖海燕一直在煤炭利用创新领域奋勇登攀，践行着劳动最光荣、劳动者最伟大的真理。

## 廖海燕：劳动最光荣

文/本刊记者 张琴琴

今年五一假期，廖海燕发了个朋友圈：劳动最光荣，配图是锦界能源燃煤电厂燃烧后二氧化碳捕集与封存全流程示范项目（以下简称“锦界CCS项目”）现场。

这个项目由国家能源集团与浙江大学于2017年联合申报，2019年11月1日开工，2021年1月安装建设完成。6月25日，项目一次通过168小时试运行，试运期间实现二氧化碳捕集率90%、捕集二氧化碳的浓度超过99%，连续生产出纯度99.5%的工业级合格液态二氧化碳产品，成功实现了燃煤电厂烟气中二氧化碳大规模捕集。

这个项目建设规模达到15万吨/年，是目前国内规模最大的燃煤电厂燃烧后二氧化碳捕集与驱油封存全流程示范项目。

### “多个合作单位共同的智慧结晶”

身为原国华研究院副总经理的廖海燕也兼任着这个项目的“大管家”，用她的话说，就是“管技术、管工艺、管省钱”。

“双碳”目标已定，作为示范的锦界CCS项目需要尽快投入运行。今年的劳动节，廖海燕就在锦界项目现场，为项目早日投运做着最后的调试准备。

实际上，在过去的一年半里，廖海燕几乎每个月都要从北京飞到锦界，花费少则一两天、多则一两周的时间，处理项目遇到的大大小小的问题。

“这个项目是多个合作单位共同智慧的结晶。”在项目现场接受采访时，廖海燕多次强调这一点。这也是项目的重大意义之一：多家单位的科研成果在这里落地，并验证了可行性。

这个项目依托的是锦界能源1号600兆瓦亚临界机组，采用的是复合胺化学吸收方式。煤电厂排放的烟气先是进入水洗塔水洗，接着进入吸收塔进行二氧化碳吸收，之后在再生塔加热解吸出

“这个平台更多是验证落地各家科研单位的项目成果，为后续我国燃烧后二氧化碳捕集封存和利用技术提供多方面参考。”



二氧化碳气体以后，经压缩干燥冷却制成液态二氧化碳，通过车辆运输到油田，进行驱油。

各家单位的科研成果就体现在燃烧后的二氧化碳捕集—封存—利用的整套流程中。比如多种吸收剂的应用，复合胺吸收剂来自南化集团研究院、两相吸收剂来自清华大学、离子液体来自中国科学院过程工程研究所，今后这些都将在这个平台中开展试验研究；此外，根据浙江大学200Nm<sup>3</sup>/hCO<sub>2</sub>吸收中试验证结果，示范项目还采用了级间冷却、富液分流、贫液压缩等节能工艺，采用了浙江大学开发的塑料填料吸收塔、全焊接高效板式换热器和北京化工大学开发的超重力再生反应器等节约投资的设备；中国能建西北院、中石化节能环保公司、十四化建等单位则参与了项目的设计和建设。

作为项目“大管家”，廖海燕需要带领研究院的团队，对科研单位完成的每一项实验研究成果、每一项工艺优化措施，进行评估论证并决定是否采纳。

正是因为对锦界CCS项目全流程的投入，廖海燕对燃煤电厂燃烧后二氧化碳捕集封存和利用问题有了更深入的思考。

“双碳”话题火热，国内CCS项目也在加速上线，到锦界CCS项目现场来取经的人更是不少。对于这种火热现象，廖海燕的态度相当谨慎，她直言：“很多东西在还没有得到验证之前，不能太着急。新技术、新工艺的效果如何，





需要项目试运行后才有结论，验证完成后再进行推广也会更有保障一些。”

### “要先找到二氧化碳的去处”

廖海燕的这种谨慎是有理由的。

从某种意义上来说，锦界CCS项目有其特定的优势条件。

“这个平台更多是验证落地各家科研单位的项目成果，为后续我国燃烧后二氧化碳捕集封存和利用技术提供多方面参考。现在‘双碳’很热，但是各地上马CCS项目前一定要先找到二氧化碳的去处。”国家能源集团当初将CCS示范项目选址在锦界电厂，是经过多方面考量的。

经济方面，地处陕西榆林的锦界电厂邻近煤矿，煤的品质和价格很有优势，电厂盈利可观，有意愿也有经济实力和研究院合作做一些创新性

的成果。而且，电厂距离长庆油田不远，捕集出来的二氧化碳可运送至油田驱油和封存。

廖海燕同时也提到，油田利用二氧化碳驱油，也受需求、油价以及二氧化碳价格的影响。目前全球范围内，二氧化碳驱油（EOR）与封存已有十多个大规模项目在北美实现商业化运行，美国政府2021年1月颁布的“45Q条款最终法规”从税收优惠方面出台了较为完整的措施，激励碳捕获、驱油等整条价值链的各方发挥作用。

目前，锦界CCS项目捕集的烟气占锦界电厂排烟量的5%。未来，如果捕集烟气比例加大，设备工艺也要再上一个台阶，这都有待进一步的探索。

### “压力太大时就去跟工人一起穿管”

廖海燕的这种严谨性、抗压能力是被一个个项目工程锤炼出来的。



<< 廖海燕与团队在锦界CCS项目现场。

翻看履历，从神华国华工程技术中心设计技术管理部设总兼业务经理，到国华研究院技术研究中心新技术部经理、清洁发电技术研究所所长，再到国华研究院总经理助理、副总经理，廖海燕参与和主导的项目越来越大，也越来越复杂。

2000年到2007年，廖海燕在西南电力设计院工作期间，承担过从50兆瓦~1000兆瓦各种煤电机组的设计工作，贵州黔北电厂、盘南响水电厂、云南滇东电厂、国华宁海电厂二期都是她曾经战斗过的地方。

相比这些，廖海燕坦言压力最大的还是印尼爪哇7号2×1050兆瓦燃煤发电工程海水淡化EP项目。当时国华研究院掌握了万吨级及以上大型MED（多效蒸发）海水淡化技术的自主知识产权，但对于承担整套海水淡化工程的施工设计和

设备供货还是第一次。

廖海燕担任该项目经理，需要全面负责海水淡化岛的设计、设备采购和供货，并配合现场安装和调试工作。完成主设备蒸发器招标后留给印尼爪哇7号项目的供货时间只有8个月，远低于通常MED海水淡化设备供货周期在国内需要的10~12个月。

“海外项目和国内项目不一样，到了时间就必须得交货，否则轮船空船费和再一次运输的损失是我们不可承受的。临近交货期，那段时间的压力就特别大。”当时，廖海燕在驻厂一个多月的时间里，每天都变换着多种角色——监造者、车间主任、工人，她狠抓制造的每一个环节，帮助细化生产计划。

压力太大的时候，这个娇小的重庆女人就在蒸发器现场，跟着工人一起穿蒸发器的受热面管

“实际能源低碳转型需要考虑多目标的达成：在满足能源充足供应的前提下，除能源自身需要的安全性、经济性、可实现性外，还要考虑我国高质量发展要求的经济增长、环境保护、人员就业、民生保障、粮食供应、社会稳定等各方面。”



道。靠着这股干劲和狠劲，最终廖海燕带领团队避免了蒸发器制造进度失控的风险，两套海水淡化装置分别于2019年5月25日和7月29日顺利出水并实现满出力运行，在“一带一路”的重点海外项目上树立了国家能源集团自主技术品牌。

### “学习，就是一直不停地学习”

从早年设计煤电机组到印尼爪哇7号2×1050兆瓦燃煤发电工程海水淡化EP项目、印尼南苏电厂（超高水分褐煤干燥发电一体化关键技术研究及示范），再到如今的锦界CCS项目，廖海燕对交叉学科知识的需求也越来越多。

“学习，就是一直不停地学习。”这是廖海燕一种潜意识的习惯，不加班的晚上也要安排学习，写论文和写报告。

1994年本科毕业时，廖海燕赶上了中国的一波建设高潮。由于人手紧张，师傅仅仅带了廖海燕一年，她就得独自设计项目。“那会儿工程进度太紧张了，都等着图纸去施工，基本是边订设备、边设计、边施工。没办法，就只能边干边学。”在那波建设高潮中，即便在这种高压之下，廖海燕设计出手的项目也有质量保证，没有出过大的问题。

与此同时，在西南电力设计院，廖海燕有过多次“第一”的尝试，计算机制图是其中一项。当时设计人员还是用绘图板制图，同样的机组设计图，即便一模一样也得再手绘一遍，费时费力。廖海燕就在高压工作之余，用单位刚购置的计算机自学制图，“那会儿还是286的计算机，DOS命令都是英语，我学的是俄语，只有靠死记硬背。”当时，廖海燕主管“六道”（锅炉烟风煤粉管道）的设计，“六道”有很多异形件，不标准，她通过详细计算将这些异形件一笔一笔描到计算机上，成为设计院第一册“六道”图纸。之后廖海燕又绘制了第一套锅炉系统总布置图，这些最早的计算机制图至今还保存在西南电力设计院。她还第一次将锅炉辅助系统热力计算程序化，大大提高工作效率；西南电力设计院设计的第一个600兆瓦和第一个1000兆瓦煤电项目，她都是热机的主设人。

廖海燕也把学习的习惯潜移默化传给了儿子。儿子刚上小学时并不太爱学习，廖海燕就开始有意识地给他讲历史故事。2个月下来，儿子就有了阅读的兴趣，此后的学习再也没让廖海燕操心过，后来更是以优异的成绩申请到德国亚琛工业大学，就读电气工程专业。

廖海燕自己也于2020年通过推荐、选拔、面试，申请到清华大学创新领军工程博士班，这是清华大学于2018年首次开设的工程博士项目，旨在培养工程类别创新领军人才，申请门槛很高、录取比例很低。谈起博士课程学习，廖海燕神采奕奕，国产燃气轮机、氢能飞机、高速飞车、云计算等这些在课堂上与尖端制造、计算机等不同领域的领军人才交流讨论的话题，让她觉得有趣又兴奋。

“我喜欢干的事就是看见有实物出来。”但





<< 印尼爪哇7号海水淡化项目蒸发器制造厂，廖海燕跟着工人一起穿蒸发器的受热面管道。

多年从事科研工作，也让她意识到在能源领域尤其是煤炭领域，我国基础理论研究的不足。“以前我们设计煤电厂，最主要的一个酸露点的公式一直是沿用苏联人的成果，也没彻底搞明白，得出的结论是排烟温度要达到120~130摄氏度以上。最近日本的理论显示，排烟温度达到100摄氏度也可以。但是我们以前就没搞清楚，走了不少弯路。”

如今“双碳”话题火热，社会对于煤炭乃至煤电普遍看衰。对此，兼任国家科技部“面向2035年的能源领域科技发展战略研究”组专家的廖海燕鲜少公开发表看法。相比于单一视角，她更倾向于从系统视角、用切实的数据说话。“现在很多研究机构都做了温控1.5℃和2℃目标下，不同情境中多种能源占比问题研究，仁者见仁，智

者见智。实际能源低碳转型需要考虑多目标的达成：在满足能源充足供应的前提下，除能源自身需要的安全性、经济性、可实现性外，还要考虑我国高质量发展要求的经济增长、环境保护、人员就业、民生保障、粮食供应、社会稳定等各方面。”她已将这一想法形成论文，准备在内部发表，以做进一步的小范围讨论。

锦界CCS项目的成功试运行，并不是终点。如今，廖海燕将开启新征程——履新国家能源集团新能源研究院新技术新材料中心副主任一职，主管新能源科技工作。换岗不换心，换职不换志。她仍将延续对创新事物的好奇、对科研的热忱和对工程建设的投入，继续践行劳动最光荣、劳动者最伟大的真理。■