

# 1500 个日夜，他们携手破冰

挑战学界“圣杯级”难题

2020年初，当海南大学海洋清洁能源创新团队负责人田新龙教授首次提出“在温和条件下实现甲烷高效转化”的设想时，团队成员难以置信。在不少人看来，这几乎是一项“不可能完成的任务”。

甲烷作为可燃冰的主要成分，就像一个“完美的四面体堡垒”，它由四个坚固的C-H键构成，非常稳定。传统工业转化过程通常需在800℃以上高温和数十个大气压的高压环境下进行，不仅能耗巨大，还容易造成甲烷过度氧化生成二氧化碳，导致资源浪费和环境污染。因此，实现甲烷在温和条件下高效、高选择性转化为甲醇，被国际催化界公认为“圣杯级”难题。

“我们要面向世界科技前沿，服务国家能源安全与‘双碳’战略的重大需求。”田新龙强调，“中国南海蕴藏丰富的可燃冰资源，但其商业化开发一直受制于高效转化技术的缺失。科研就是要敢于挑战不可能，我们要做的就是实现从0到1的突破。”

迎难而上！团队于2020年5月启动该研究。初创阶段，团队仅有田新龙、邓培林两位老师和几名刚入学的硕博研究生，实验设备也极为有限。

“在温和条件下活化甲烷，就像不用重型武器（高温高压），而是用一把‘特制的分子钥匙’，精准插入分子最薄弱处，打开它却不破坏结构（避免积碳或完全氧化）。”项目负责人邓培林表示，团队面对的是世界级难题，但研究条件非常有限，该领域几乎缺乏可借鉴的成果，一切从零开始摸索。“就像用玩具钥匙去打开一扇保险库大门。”

然而，正是这片“无人区”激发出团队的昂扬斗志。他们立志找到一种犹如“分子钥匙”的新型催化体系，最终实现可燃冰的安全、高效与绿色开发，让能源宝藏真正造福人类。



邓培林（左）在指导博士生张雪做实验

在海南大学南海海洋资源利用国家重点实验室，气相色谱仪的屏幕上首次清晰跳出了甲醇产物的特征峰。“是甲醇！真的是甲醇！”海南大学海洋清洁能源创新团队成员张雪和师弟几乎屏住呼吸。他们反复核对数据，才最终确认：在温和条件下，甲烷被成功转化为甲醇。

这支平均年龄不足35岁的团队，历经1500多个日夜、成百上千次失败，最终破解了长期困扰学界的世界性难题。他们设计出一种纳米级钯（Pd）催化剂，通过对催化剂晶面进行精密“装修”，在70℃的低温条件下，以99.7%的选择性将甲烷高效转化为甲醇，几乎实现“零损耗”，为我国南海丰富的天然气水合物资源就地转化与高效利用，提供了具有自主知识产权的核心技术方案。该颠覆性研究成果近日发表于国际权威学术期刊《自然·通讯》。



## 千百次试错破困局

科研之路，漫长而曲折。

邓培林回忆道，最初，团队成员日夜沉浸于文献之中，白板上画满了分子结构与反应路径，常常因一个技术路线讨论至深夜。很快，他们决定通过持续优化金属钯催化剂的微观结构，引入金原子调控其电子状态和表面活性位点，最终达到在温和条件下实现甲烷高效活化与甲醇快速脱附的目标。

海南大学副研究员徐月山当时作为田新龙的博士生，承担了最关键的催化剂制备工作。他将这一过程比作“炒菜”：“主料是钯和金，但形状、载体、配比、温度和时间等‘火候’稍有差异，结果就天差地别。”

与炒菜不同的是，催化剂制备没有优劣之分，只有成功和失败。团队进行了成百上千次试验，最艰难时连续半年毫无进展。一种理论上优异的催化剂始终“沉默”，毫无活性。经过反复排查，他们发现是材料表面被杂质覆盖导致活性位点未能暴露。最终通过大量对酸处理和热处理的

摸索，在180℃下找到了“解锁”方法。

更大的挫折随之而来。团队花费一年多心血研究的分子筛负载型钯催化剂，数据非常理想，却最终被证实是一场“美丽的误会”——载体吸附了甲醇、乙醇等杂质，严重干扰实验结果。

徐月山回忆：“那一刻，感觉一年多的心血全白费了，整个人都垮了。”在低谷时刻，田新龙教授给予安慰和鼓励，并果断决策优化载体制备条件，转向碳材料负载钯基催化剂。这个决定最终成为整个研究的决定性转折点。

科研是对智力、体力和意志的多重考验。对女博士生张雪而言，每次操作反应釜都极为不易——需用重钳拧紧螺丝以确保密封。海南炎热，实验室需持续通风，即便开着空调，她仍常汗流浃背。无数个夜晚，她满怀期待却等来失败，深夜归寝后偷偷落泪。但第二天，她总准时回到实验室。“既然选择了，就必须坚持。”她说。



田新龙（左一）在指导学生做实验。本版图片均由受访者提供

## 团队携手终见曙光

随着研究深入，团队逐渐汇聚了来自催化化学、材料科学、理论计算乃至机械工程等多学科背景的成员，这种交叉融合为创新奠定了坚实基础。

2021年加入团队的吴道雄老师通过理论计算与人工智能技术，在计算机上预测催化剂结构，显著缩小了实验范围。“理论计算就像团队的‘藏宝图’，虽不能直接定位宝藏，却大幅降低了试错成本。”邓培林说。

团队每周雷打不动会召开组会，不同背景的成员必须用最通俗的语言讲解自己的进展和困境，迫使大家跳出自己的专业“黑话”，在思想的碰撞中激发创新火花。

在日复一日的坚持中，转机悄然来临。2023年一个清晨，张雪和师弟在气相色谱仪上首次观测到甲醇的特征峰，反复核实后才敢确认——甲烷终于在温和条件下成功转化！“有产物了！”这一发现瞬间点燃了全员的希望。团队不断优化条件，最终成功构建出“分子钥匙”：借助单原子催化剂制备技术，将催化金属原子逐一精准“种植”于特定载体上。每个活性位点高度一致，实现了对反应过程的精确控制，使甲烷在70℃下高效转化为甲醇，选择性高达99.7%。相关成果形成的论文

最终在《自然·通讯》等国际顶级期刊发表，引起了国内外同行的广泛关注和积极评价。该领域的权威学者称赞成果“令人惊叹”“为甲烷转化领域开辟了一条新的道路”。

在这场“破冰”科研中，既有“80后”老师的引领、“90后”博士生的攻坚，也有“00后”硕士生的成长。研三学生赵雪倩屡败屡战，一度几近崩溃，却在团队鼓励下重拾信心。如今成为学姐的她，主动指导新生，传承方法与经验。“科研不是一个人的战斗，”她说，“是团队的支持让我们共同前进。”

“实验室的成功只是第一步。”邓培林介绍，团队正集中攻克催化剂规模化制备和反应器放大两大难题，计划未来2~3年完成小试到中试工艺，5~10年内实现工业应用。“希望我们的科研成果服务偏远气田和深海开采，最终实现可燃冰就地高效转化成甲醇这一清洁燃料，同时用于合成新材料、特种纤维等高附加值产品。”邓培林说。

从屡战屡败到破茧成蝶，海南大学海洋清洁能源创新团队正朝着构建“开采—转化—制造”全链条创新体系迈进，用实际行动诠释着中国科研人员为能源革命和可持续发展贡献智慧的决心与能力。■