

能源“金三角”：破解“硬约束”还需“硬手段”

■本报记者 崔雪芹

在今年的政府工作报告中，“污染防治持续推进，生态环境总体改善”成为2020年能源发展的目标之一。

然而，能源与环保的相互掣肘，却让中国工程院院士、中国科学院大连化学物理研究所所长刘中民满含忧虑：“能源‘金三角’地区的宁东基地，估计已有近千万吨固废亟待处理。”

作为我国能源资源的富集地，西北地区也被称为化石能源和可再生能源的大型综合能源基地。其中，内蒙古鄂尔多斯、陕西榆林和宁夏宁东最为典型、集中，被誉为能源“金三角”。

当前，该地区社会经济得到快速发展，正进入转型升级阶段。但是，刘中民早就注意到，能源资源开发利用带来的环境及碳排放问题，正成为能源“金三角”发展的“硬约束”，区域经济发展与环境保护对立的景象日益严重。

于是，在刚刚结束的全国两会上，刘中民提出了“合理设定和管理化石能源聚集区环境容量”的建议。这也与中国工程院院士、安徽理工大学校长袁亮的方法“不谋而合”。

区域经济与环境发展“两手抓”

关于能源发展与环境保护的相互掣肘，刘中民曾做过很多调研。

他认为，能源开发的主要问题，一是总体上环境约束指标已经限制了其进一步发展；二是煤炭利用产生的固体废物还没有办法很好地解决。另外，环境容量指标方面也有不合理的地方，如西电东送、东部用电，指标都留在当地。而要想从根本上解决问题，还要依靠多能融合发展。

袁亮团队长期从事煤炭安全高效开采基础研究与技术攻关。近年来，他们团队长期扎根内蒙古、陕西煤炭生产一线，围绕鄂尔多斯盆地矿产资源协调开发战略、鄂尔多斯市伊金霍洛旗辖区煤矿无煤柱开采关键技术、神东矿区深部开采灾害预测与防控基础研究及关键技术等开展了系列攻关，为能源“金三角”地区高质量发展提供了技术支撑。

相似的科研方向与经历，使得袁亮对刘中民提到的能源“金三角”如何开发、固体废物如何综合利用等观点完全赞成。实际上，中国科学院院士谢克昌也对《中国科学报》表示，刘中民的建议，正是他们的“共识”。

长期以来，我国能源资源禀赋和消费需求呈逆向分布格局，形成了西电东送、西气东输、北煤南运的能源格局和流向。

到2018年，能源“金三角”地区以全国



中煤榆林煤制烯烃工厂

中国科学院大连化学物理研究所供图

不到1.4%的国土面积，赋存了全国30%的煤炭资源储量、近1/8的油气当量储量；提供了全国31%的原煤、5.6%的原油和29.1%的天然气等共22.4%的化石能源；建成了全国1/4的大型煤电基地和超过1/3的现代煤化工项目；切实保障了我国能源供应安全。

化解区域经济发展与环境保护对立现象，必须两手抓，两手都要硬，这成为科研人员的共识。

“二氧化碳虽然对环境不利，但它是一个宝贵的资源，也是原材料。国外提出了CCS，即碳捕集与封存。而我们国家更加重视二氧化碳资源性利用，提出了CCUS，即碳捕集、利用与封存。”袁亮对《中国科学报》说。据透露，两会期间，袁亮提出的“尽快启动科技创新2030——‘煤炭清洁高效利用’重大项目”的议案将会尽快启动。

发展中保护 保护中发展

针对煤炭区域发展与环保现状，刘中民早有自己的思考。他提出了“坚持发展中保护，保护中发展”的解决方案。

首先要正确认识和处理好经济发展与环保治理二者的辩证关系。“在不突破生态保护红线的前提下，科学、合理地设定环境容量指标和考核方法，精准、有力地实施环保治理政策，避免不顾经济安全运行的‘一刀切’政策。”刘中民对记者说。

其次，建立跨行政区域的环境容量协同管理机制。当前以行政区域为界的环保治理体系已经难以应对环境污染的跨区域流动问题，亟须建立跨行政区域的区域协同管理机制。化石能源聚集地区也需建立如能源“金三角”环境容量协同管理机制，

探索以市场化、行政化手段协同管理区域环境容量。

另外，刘中民还提出要充分考虑化石能源聚集地区保障全国能源供应的战略定位和能源产品外调为主的格局，对于跨区域性的碳排放控制问题，合理分配排放源地区和能源产品终端消费地区的碳排放责任。同时，要建立环境容量的分区、分类差异化评价考核机制。加快建立环境质量自动监测、动态评估和决策体系，因时、因地、因项目制定相应的环境容量管理措施。

袁亮建议国家要重视未来几十年我国能源价值开发利用最大化。另外，他还强调，“金三角”地区地处黄土高坡，干旱少雨，生态环境较为脆弱。在合理开发和利用能源资源的同时，更要有效地保护和改善生态环境。

把固废“还”回地下

此前，中国科学院曾组织27名专家，论证合肥综合性国家能源研究院研究的4个方向，其中第一个方向就是煤炭清洁高效利用，袁亮团队就负责这个方向。他认为，我国有些学者提出“去煤”的观点是片面的，因为他们对煤的了解并不全面。

“煤具有双重属性，一是燃料，二是原材料。很多人认为煤炭就是用来烧的，这一

认识是不全面的。”袁亮说，2017年他提出了绿色煤炭资源量的新概念，通俗地讲就是好采的煤炭资源量。全国现在探明的煤炭资源量中，绿色煤炭资源量仅占总量的1/10，约有5000亿吨左右。

“5000亿吨什么概念？按照现在的开采方法和需求，我们只能采40至50年。在有限的煤炭资源开发利用中，我们不但需要把煤当作燃料燃烧，还要发挥它重要的资源作用。”袁亮强调说。

科学认识并充分发挥煤的“两重性”，我们最需要做什么？那就是煤炭的清洁高效利用。“不是把煤一烧了之直接变成电，而是要尽可能地通过科技进步来延长它的价值链。”

袁亮就此提出“全生命周期”“全产业链”的概念，即煤矿从建设、生产到最后闭坑的全生命周期，以及煤炭从开采到利用的全产业链，都要开展清洁高效利用研究。首先是煤炭的绿色开采，开采后不能破坏土壤、地下水等生态环境。另外，要大力开展低损伤无害化开采研究。同时，还要研究煤炭的清洁燃烧和高效转化，提高它的燃烧效率，实现燃烧最充分、排放最低、耗煤最低，要降到300克/千瓦时以下。

袁亮告诉记者，他们团队今年承担了国家重点研发计划项目“大型煤电基地固废规模化利用成套技术及集成示范”中多源煤基固废协同利用与绿色充填关键技术的攻关。“这是全世界的一次重大尝试，就是研究能源‘金三角’地区宁夏宁东基地近千万吨煤基固废全产业链协同利用，通过千万吨无害化处置及绿色充填关键技术，实现固废的无害化、资源化、规模化利用，把它‘还’回地下。”

幸运的少数：用叶绿素造太阳能电池

■本报见习记者 池涵

地球上的自然光合成生物体通过10亿年以上的进化，逐渐形成了完善的从光能到化学能的转化体系，可以实现从光能捕获到能量传递、最终到电荷分离的全过程。

由此，人们不禁展开想象，能否仿照大自然的造物，用叶绿素造一块太阳能电池？

日前，吉林大学物理学院教授王晓峰课题组与日本立命馆大学、长浜生物科学技术大学的研究团队合作，开发出了两种不同结构的双层或三层全叶绿素的生物太阳能电池，仅由叶绿素衍生物作为光敏材料的生物太阳能电池，实现了4.2%的高光电转换效率。相关论文已发表于ACS Energy Letters。

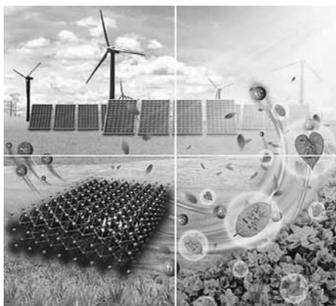
从叶绿素到太阳能电池

叶绿素分子是自然界中储量最为丰富、对环境最为友好的功能有机半导体材料，将叶绿素及其衍生物作为主要材料制备新型太阳能电池，既可以实现廉价可再生自然资源的有效利用，又可以通过模仿天然体系的光能转化过程，实现超亮的高光电转换效率。

“最初科学家只是简单地将生物体中的色素—蛋白复合物提取出来，将其分散在导电基板上制成生物电池。”王晓峰告诉《中国科学报》。这样做虽然也能时常获得微弱的电流，但光电转换效率很低。并且，具有生物活性的蛋白质在体外极其不稳定，电池的工作时间非常短暂，因此不具有实际应用价值。

此前，科学家先是半合成了一系列叶绿素及其衍生物作为染料分子应用于染料敏化太阳能电池，获得较高的光电转化效率。之后，叶绿素衍生物被应用于平面异质结和体异质结结构的有机小分子太阳能电池。随之又将叶绿素聚集体作为无添加剂的空穴传输材料应用于钙钛矿太阳能电池，逐步优化获得了较高的电池效率。

从这些先驱工作积累的经验中，王晓



叶绿素太阳能电池示意图

李娜制图

峰等人发现，虽然叶绿素的结构骨架一样，但结构上如中心金属和外围官能团的差别，会导致叶绿素在稳定性、吸收光谱和转移电荷能力方面的差异。

例如，在叶绿素大环上直接引入羧基可以作为与二氧化钛的结合位点，从而有效注入电子；用锌替代镁做中心金属，可以提高叶绿素的稳定性，并能够自组装成为叶绿素聚集体，有特别强的电荷扩散长度，有效传递光子电荷等。

在此认识基础上，为模拟自然界Z型光合作用中可视为电子给体和受体光系统的电荷传递方式，王晓峰与合作团队开始摸索用自然界中最丰富的叶绿素a，改造并组装成双层或三层全叶绿素材料的生物太阳能电池。

在三层结构中，最上层以具有双极性含有双氨基的叶绿素a衍生物来模拟光系统II（电子给体），中间层采用含有羧基、中心金属为锌的叶绿素a聚集体，模拟光系统I（电子受体），最下层采用含羧基官能团能够与二氧化钛纳米粒子键合的叶绿素a衍生物。

这种级联叶绿素a衍生物的组合可达到最高效的光吸收、电荷抽取和传递。

光、暗反应，相辅相成

王晓峰说，在他们的太阳能电池中，作为原料的人工叶绿素衍生物是将广泛存在于自然界中的叶绿素原料进行简单的化学修饰获得。

电池的制备也相对简单。叶绿素衍生物经过抽取和提纯后，溶于有机溶剂中，利用匀胶机旋涂在导电玻璃表面，通过控制转速和旋涂时间来控制叶绿素衍生物薄膜的厚度。同样的旋涂方法在叶绿素衍生物薄膜的上层分别旋涂电子传输层和空穴传输层或其他有机活性层，最终在其顶层利用金属蒸发镀膜机沉积金属电极。

“由于整个制作过程对外部环境要求不严格，因此适于规模化生产。”王晓峰坦言，“用导电玻璃基板的人工叶绿素电池成本估计每平方米100元，比依赖高分子材料的有机光伏和钙钛矿电池便宜。”

光合作用包含光反应和暗反应阶段。王晓峰等人的工作主要集中在光反应阶段，后续暗反应可以通过铂/TiO₂—光催化反应还原二氧化碳来制备有机物。

“这项工作主要创新在于人工暗反应过程。”王晓峰说，“但是这个体系并没有解决光反应过程的人工构筑，依然使用了天然的叶绿体。”他认为，由于天然叶绿体的蛋白质骨架在体外环境下不稳定，会影响这项成果的实际应用意义。

“如果这一工作能够结合我们的叶绿素生物电池体系模拟光反应过程，可能更有现实意义。”王晓峰说。

幸运的少数

王晓峰认为，由于人工叶绿素太阳能

电池的材料消耗少、质量轻、能耗较少、成本低廉且环境友好，有利于模块化大面积生产，未来有望取代传统硅太阳能电池成为光伏发电的主流。

“我觉得最有意思的应用莫过于与有机农业结合，用叶绿素电池给有机农业种植提供照明能源。”王晓峰说。由于人工叶绿素太阳能电池透光性好，可用于汽车顶篷、窗户和建筑屋顶来增加收集太阳能的可用表面积。由于人工叶绿素太阳能电池的制备方式简单，也可以利用柔性基底将其制备成可穿戴的电子设备，为智能生活添砖加瓦。

“经常听闻蓝藻对水域的污染，殊不知蓝藻也是很好的叶绿素电池生产原料。我们完全可以变废为宝。”王晓峰说。而用他们的人工叶绿素太阳能电池水解制氢的话，乐观估算，“按照中试程度，厂房都算进去，未来成本有望实现10~20元/公斤。这一成本效率比当前的普通光催化体系高3~4倍”。

然而，同其它类型光伏电池相比，全叶绿素太阳能电池是一条人迹罕至的小径，研究者相对较少，其研发重要性有待更多人了解和参与。

“我们是少数，也是幸运的少数。”王晓峰说，“当初有机聚合物太阳能电池刚出来的时候效率只有1%。在经过长期的优化后，现已能达到15%~16%。”

通过对光谱范围、填充因子、光伏电压和导电材料等的进一步优化，全叶绿素太阳能电池体系的确有潜力可挖。王晓峰相信在越来越多的研究者注意并开始研究人工叶绿素太阳能电池后，其商用化在未来5~10年就会进入关键期。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1021/acsenerylett.8b00797>

<https://doi.org/10.1021/acsenerylett.8b02279>

<https://doi.org/10.1002/solr.202000162>
<https://doi.org/10.1126/science.aaz6802>

视点

当前，我国化工总产值约占世界的40%，是世界第一大化学品生产国。国内现有生产、进口的化工产品超过4.5万种，其中危险化学品2800余种。而危险化学品多为易燃易爆、有毒有害物质，极易引发火灾、爆炸、中毒等事故。

随着化工工艺设备日趋大型化、复杂化、集成化，危险物料的储量及使用量持续增加，化工过程潜在危险性和事故破坏程度急剧上升，国家亟须加强危险化学品安全管控能力。

用信息化手段实现安全管控

从行业看，危险化学品生产、储存、流通发生在不同的时间和空间域，人、机、物交互过程复杂，影响因素众多，目前尚缺乏对事故演化、风险外溢、多米诺效应等致灾深层规律和机制的认识。尤其在不确定、开放环境下，缺乏发现局部异常并判断其传播过程的有效手段，难以从全局角度评估人员、装备、环境、管理等因素对系统整体风险的动态影响和作用。

此外，与我国化学品产业的体量及增速相比，危险化学品全生命周期信息智能感知技术和装备水平相对落后，特别是在广谱型、低成本、智能化的传感材料和功能器件发展方面存在极大不足。信息不完善且来源与结构多元化，也造成信息感知与知识集成受限困难，催生出大量信息孤岛。

尤其令人担忧的是，当突发化学品安全事故时，如果相关基础信息难以快速获取，应急救援将依旧传统且孤立，事故后果也无法实现动态评估。

为此，我们应该针对化学品全生命周期业务复杂和信息流状态下的特征参数、状态预警、危险告警等有效信息的感知与集成困难等问题，研发高可用、高可靠、高灵敏的智能感知材料及器件，以及基于边缘计算的危险化学品特性智能感知与监测关键技术，形成基于工业物联网的危险化学品安全物联网和物化信息智能感知与信息集成平台。

同时，开展危险化学品异常状态识别与传播分析等相关研究，研发基于动态数据驱动的危险化学品安全异常模式动态识别技术，以及融合多源异构数据的危险化学品安全风险因果逻辑推理与分析技术，提升对异常传播机制和规律的认识，形成危险化学品安全异常模式分析与报警管理等关键技术。

针对危险化学品风险表征与量化的问题，还需开展复杂环境下常见事故情景的动态演变分析研究，研发危险化学品事故情景量化后果分析技术，提出风险分级、管控资源分级与监管责任分级标准，构建危险化学品环境耦合风险评估和分级管控体系。

另外，不断总结事故经验，研究不同危险化学品事故情景中人员疏散模型与路径优化方法，提升应急管理效能。

建设本质安全型危险化学品企业

危险化学品管控的源头在企业。目前，危险化学品相关企业普遍存在整体安全条件差、管理水平低、重大安全风险隐患集中等问题，危险化学品生产、贮存、运输、使用、废弃处置等环节存在系统性安全风险。

建设本质安全型危险化学品企业是推进危险化学品安全治理体系现代化的必然要求，也是实现化工行业可持续性发展的根本途径。

本质安全是指通过消除或减少具有危害特性的物质，或改变工艺过程或条件，使危害最小化、生产系统更安全，从而降低事故发生的可能性和事故的严重性。本质安全将风险控制重点转移到风险出现源头，为风险管控提供全新思路。

但实现本质安全还存在着一些问题，比如，当前的工艺、技术、设备不足以支撑本质安全型危险化学品企业建设。

接下来，首先必须要加强危险化学品本质安全技术研发，深入开展反应安全分析、工艺安全设计、工艺平稳性、监测预警、应急救援等本质安

危险化学品安全管控需多方发力

■钱锋

全技术研究，形成具有自主知识产权的本质安全新材料、新工艺、新技术、新设备等，为危险化学品本质安全型企业构建提供安全科技支撑。

其次，要加快化工企业数字化转型，依托大数据、人工智能和工业互联网等，推进危险化学品安全生产风险监测预警系统建设，构建风险智能化管控新模式，提高重大风险预警与研判能力，强化危险化学品的平行监管。

此外，要加快推进危险化学品企业安全生产标准化建设，加快危险化学品安全培训平台与实操培训基地建设，通过系统化管理实现“人—机—环—管”各环节的闭环管理，防控系统性安全风险。

加强高层次管理人才培养

提升危化品行业治理体系和治理能力至关重要，而决定因素是人才，特别是安全管理高层次人才。

目前，企业安全管理高层次人才配备普遍不足，中小企业的情况更严重。现有人员中具备危化品安全管理能力的人员很少，这与该领域人才总体学历偏低、对口专业人才比例不高、企业在职培训不到位相关。

安全管理高层次人才来源不足，国内设置安全工程相关专业的高校不多，专门针对危化品安全管理高层次人才培养的方向少，无法向行业输出数量充足的危化品安全管理人才。校企合作培养不足，学生实践实训时间无法保证，对危化品风险预防和处理的的基本技能等缺少实际了解，实践能力有待提升。

危化品行业安全管理需跨学科复合型人才，但目前跨学科培养机制尚未建立，高校培养的安全工程专业学生缺少化学化工、法律管理等方面知识，化学化工专业的学生又缺少安全管理及法律方面知识，导致危化品安全管理人才的复合性不强，无法胜任行业需求。

为此，应尽快设置危化品安全管理专业，扩大招生规模。在有资质、有充足师资配备的高校增设危化品安全管理专业，在原有安全工程等相关专业中增设危化品安全管理方向，鼓励扩大招生规模，加大人才培养力度。此外，也可在现有安全工程、化工等相关专业培养方案中增设危化品安全管理、法律、管理学等课程，使未来可能从事危化品安全管理的学生具备完备的知识结构。

为了提升危化品安全管理人才的实践能力，除了加强与企业共建校外实践基地，还应该邀请企业专家参与相关专业的培养方案制定、课程建设等，将企业实践直接转化到高校人才培养中，通过案例教学、项目教学以及虚拟仿真教学等丰富学生对危化品安全管理实际的认识。

针对在职人员，要建立定期培训机制，组织危化品企业负责人、安全管理人员在危化品安全培训培训资质的院校接受在职培训，提升管理技能和水平。

（作者系中国工程院院士、华东理工大学副校长，本报记者黄辛、卜叶整理）