

中国工程院院士、安徽理工大学校长袁亮：

5 年左右将尘肺病总量增长势头控制住

■本报记者 李玲

“我小的时候住在矿区，曾亲眼目睹过一位患有重度尘肺病的老煤矿工人坐着死去。他瘦得皮包骨，身体蜷曲，用膝盖死死顶着肺部，但肺就像石头一样，张不开了，导致无法呼吸，非常惨痛。后来工作进入煤炭行业，一听到尘肺病，我的脑海里立马就浮现出那个场景。所以当时就有这个想法，要开始做相关研究。”在近日于合肥召开的第二届粉尘防控与职业安全健康国际会议间隙，中国工程院院士、安徽理工大学校长袁亮向《中国能源报》记者讲述了自己多年来致力于煤矿粉尘防控和职业安全健康研究的初衷。

国家卫生健康委近日发布的《2022 年我国卫生健康事业发展统计公报》显示，2022 年全国共报告各类职业病新病例 11108 例，其中职业性尘肺病 7577 例，占比近 70%，2022 年全国因尘肺病死亡 9613 例。

不过，袁亮对《中国能源报》记者指出：“通过多年的研究和在多个大型煤矿的实践，我们已经对煤矿粉尘防控和职业安全健康构建了完全清晰的思路。尤其是 2018 年以来，国家相关部门高度重视煤矿粉尘防控和职业安全健康。我相信通过各方的努力，一定可以在未来 5 年左右将尘肺病增长势头控制住，未来也一定可以把它消灭掉。”

■“危害矿工职业健康的‘头号元凶’”

据了解，矿山行业是我国职业病危害的重灾区，其中煤炭、金属矿山行业职业病占比达 88%、建材行业职业病占比超过 5%。职业性尘肺病是我国数量最多、危害最严重的职业病，在矿山和建材行业尤为



袁亮

严峻。

我国煤矿地质条件复杂，井工煤矿占比超过 90%。井下作业环境中的粉尘、高温、高湿、噪声、有害有毒物质不同程度地威胁着矿工的身体健康，可能诱发尘肺、慢阻肺、皮肤癌、风湿性关节炎等疾病。

“当前，我国煤矿粉尘防控与职业安全健康形势严峻。采煤、掘进、运输等煤炭主要生产环节均产生大量肉眼无法看到的呼吸性粉尘。其中采掘工作面是主要尘源，产尘量占全矿井 85%以上。”袁亮指出，“一方面，我们推动我国煤炭生产领域技术进步，采用机械化采煤，但另一方面人还必须跟着机械走，叫随机作业，这样采煤、机械割煤时会产生大量呼吸性粉尘，局部作业环境 PM2.5 浓度超过地面空气 PM2.5 最高限值的 260 倍。许多细小的粉尘随着呼吸进入肺部，长此以往，就容易积累形成尘肺病。”

数据显示，截至 2021 年，全国累计报告职业病 102.5 万例，其中职业性尘肺病

91.5 万例，近半数均为煤工尘肺，每年新增煤工尘肺病例仍然居高不下。2020 年，全国因尘肺病死亡人数 6668 人，其中煤工尘肺死亡人数约 4000 人，是当年煤矿生产事故死亡人数的 17 倍。

“过去，我们通过多年的研究推动技术进步，解决了煤矿瓦斯爆炸的问题，挽救了众多矿工的生命，但是煤矿粉尘导致的尘肺病又成为威胁矿工生命安全的新问题。煤矿粉尘已成为危害矿工职业健康的‘头号元凶’。筛查出来的最年轻尘肺病人只有 28 岁，参加工作还不到 10 年时间。”袁亮感慨。

■“粉尘防控正处在攻坚阶段”

基于我国煤矿粉尘防控与职业安全健康现状，以袁亮院士为首的团队多年来一直通过创新技术手段、推动理工医多学科交叉融合以及煤矿现场试验和实践等方式，为煤矿粉尘防控走出了一条新路径。

据袁亮介绍，团队研发了神东矿区综采工作面综合除尘技术，提出了煤巷粉尘分级高效协同治理关键技术，开发了巷/隧道干式过滤除尘技术等。针对陕北矿区矿井空气净化与职业健康问题研发成套理论与技术。这些技术已在全国 150 余座煤矿累计 600 多个掘进面和 30 余个隧道推广应用，呼吸性粉尘浓度能够降低 85%—90%。

“过去两年，我们围绕煤矿粉尘源头治理、职业危害因素致病机理、个体防护、职业健康治理体系等方面开展了大量卓有成效的研究。与国家能源集团、陕煤集团等大

型企业建立职业安全健康协同创新研究，积极开展原创技术攻关，形成了一系列新理论、新技术、新装备与新体系。多项技术成果鉴定达国际领先水平，并在安徽、陕西、山西、内蒙古等大型矿区推广应用。”袁亮指出。

以在陕煤集团神木红柳林煤矿打造的全国首个“井下空气质量革命”示范矿井为例，袁亮告诉《中国能源报》记者：“我们通过在实验室进行基础研究后，在红柳林煤矿对粉尘防控技术进行改造，根据产能、开采效率、产尘量和速率，进行精准地捕捉，将粉尘浓度降到最低。同时，对每一个矿工进行记录，包括年龄、身体状况、作业地点、每天吸了多少粉尘等数据，精准、透明地让矿工自己知晓。这样他在工程技术措施上，也会自觉地、坚决地安装使用到位，保护这些设备。这是一个多主体协同的过程，缺一不可。”

“通过各方的努力，当前我国煤矿粉尘防控和职业安全健康工作整体呈现出较好态势。但由于尘肺病的形成是一个长期积累的过程，因此这项工作的成果具有滞后性。我们只有把煤矿粉尘降下来，才能减少尘肺病病例总数增长，之后是持平、下降。”袁亮表示，“因此，当前我国煤矿粉尘防控正处在攻坚阶段，希望各方继续共同努力，攻坚克难，争取用 5 年左右的时间，让煤工尘肺病病例数达峰。”

■“未来煤炭行业将没有粉尘、没有职业病”

在袁亮看来，虽然取得显著成果，但目

前我国煤矿粉尘防控与职业安全健康仍存在基础研究薄弱、理工医交叉融合不足、关键技术装备缺乏、职业病防治服务能力不足等制约瓶颈。

“与国际先进水平相比，我国的煤矿粉尘防控和职业安全健康水平，整体还处于追赶阶段。主要体现在人工智能技术、职业病防治及治疗等方面。”袁亮表示，“首先是智能传感器，一些国家已经可以做到和手机一样大小，往井下放，哪里的数据都能看到，我们目前还做不到。另外，目前传统手段没办法解决尘肺病的治疗问题，需要研究新的方法，我们实验室在通过医工交叉等方法在做。这些事做好了，距离我们追赶国际先进水平的目标就不遥远了。我认为‘十四五’末应该会有大的突破。”

对于接下来如何整体布局和发力，袁亮建议：“第一，相关部门要主导进行制度建设，对标发达国家，高标准建设煤矿粉尘和职业病防控标准。第二，需要系统布局一些大型科研项目，支持院校科研人员、企业技术人员做技术攻关，解决当前面临的一些难题。第三，煤炭企业自身要有积极性和社会责任感，把企业的主体责任落实到整个粉尘防控和职业健康的行动中。”

“未来，煤炭行业必须走高质量发展道路，与其他学科同步发展，比如人工智能、大数据、云平台等技术，将来这个行业一定是地下无人、地面地下一体的清洁化开发模式，甚至变成流体化的开发。未来，煤炭行业将会成为高科技行业，全产业周期不再再有职业危害，未来的煤炭行业将没有粉尘、没有职业病。我对这个行业的未来充满信心。”袁亮说。

液态空气储能大有可为

——访英国皇家工程院院士丁玉龙

■本报记者 卢奇秀

随着新能源渗透率的快速攀升，其出力波动加大，负荷侧不确定性增加，导致市场对长时间、大规模储能的需求愈发迫切。在这一领域，除了大众熟知的抽水蓄能、压缩空气储能、液流电池储能外，液态空气储能作为一项高潜力的新技术正在快速兴起。

“液态空气储能与空气压缩储能技术一样以空气为主要储能材料，具有能量密度高、占地面积小、单位储能容量成本低的优势，可灵活应用在发电侧、输配侧和用户端，是一项中时、大容量的储能技术。”英国皇家工程院院士丁玉龙在接受《中国能源报》记者采访时说。

据介绍，我国目前有多家科研院所和企业，都在开展液态空气储能的研究。其中，江苏金合能源科技有限公司（以下简称“江苏金合”）多个液态空气储能项目已完成技术方案论证，正在办理接入系统批复等前期手续；预计首台套项目有望在年内开工，这将加快液态空气储能商业化进程。

■ 优势突出

液态空气储能由压缩空气储能技术衍生而来，利用空气压缩—膨胀过程，完成电能—热能与压力能—电能的转换。与压缩空气储能不同，液态空气储能压缩后的气体不进入储气室，而是进入液化单元，使气态空气变成液态空气进行储存。

“液态空气储能的储能密度是压缩空气储能的 10—40 倍，可以在较小的容器中储存更多的能量。”丁玉龙进一步指出，传统压缩空气储能建设需要具备地下盐穴、矿井等特殊地理条件，液态空气储能则摆脱了类似地理条件要求，也无需使用大量高压容器，具有选址灵活、安全环保的优势。

据介绍，20 世纪 70 年代，英国人史密斯率先提出液态空气储能技术的概念；随后日本三菱、日立等公司开展了液态空气储能的技术研究，但并没有获得实质进展。直至 2005 年左右，丁玉龙团队在国际上首次提出了先进液态空气储能系统技术，并进行了部件和系统的实验室规模实验，其后与英国 Highview 公司先后建成了 350kW 中试和 5MW 商业示范系统。

“从理论研究、实验室小系统实验，到 2018 年完成首台 5MW/15MWh 商业示范电站的建设，再到目前在建全球首台 50MW/300MWh 大规模商业液态



丁玉龙

空气储能系统，一步步探索，这条路我们走了近 20 年。”丁玉龙指出，经过示范应用，液态空气储能技术的可行性和可靠性已得到有效验证。

■ 定位精准

当前储能技术路线百花齐放，液态空气储能如何找准定位？

丁玉龙指出，各种储能技术可按照存储时长划分为短时、中时和长时储能。短时储能技术主要包括电池、超级电容、飞轮储能等，存储时间一般不超过几小时，具有高功率、低容量和快速响应的特点，每天可多次充放电循环；中时储能包括抽水蓄能、压缩空气储能、液态空气储能、液流电池和储热等，存储时间在几小时到几个月，具有中高功率、中高容量和中等响应速度等特点，典型运行场景是每天充放一次；长时储能则包括氢能、热化学储能等，具备跨季节乃至跨年的储能能力，每年循环次数一般在个位数。

同属中时储能，各技术也各具特点。丁玉龙指出，抽水蓄能储能容量大、全生命周期成本低、技术最为成熟，但目前全球储能装机的 80% 以上，但选址受地理条件和水资源限制，适合建设的地方极为有限；压缩空气储能具有储能容量大和安全性好等特点，近几年有了长足发展，但项目建设也受制于地理条件；液流电池储能技术安全性好，目前只有全钒液流电池实现规模化示范应用，该技术由于钒价格高昂，与压缩空气储能和抽水蓄能相比，投资成本较高。

“尽管液态空气储能与压缩空气储能同属一脉，覆盖功率范围相似，容量范围有一些重叠，但两者之间更多的是相辅相成的关系。”丁玉龙指出，液态空气储能规模可大可小，不受地理条件限制，更为灵活，可广泛应用于可再生能源消纳、电网调峰、分布式能源和综合

能源服务等领域。尤其是液态空气储能除了作为规模化储能外，还可用于冷热电三联供。在钢铁厂、化工厂、水泥厂等工商业领域，液态空气储能是理想的高效能源利用解决方案。“大规模液态空气储能系统效率在 60% 左右，若是冷热电三联供，其效率可以达到 75%—85%。”

■ 前景广阔

丁玉龙预计，到 2050 年，我国短时储能需求量为几个 TWh，中时储能需求量为几十 TWh，而长时储能需求量为几百 TWh。“长时储能因为循环次数少，可视为能源战略储备。而中时储能可以代替部分长时储能，因此未来对中时储能的需求较大，液态空气储能无疑将迎来广阔的应用前景。”

今年以来，市场也加快了液态空气储能商业化进程。2022 年 4 月，中国绿发与中科院理化所签署投资协议，致力于液化空气储能技术产业化发展，并推进青海海西 60MW/600MWh 液态空气储能项目的实施。2022 年 12 月，河北建投国融能源申报的液态空气储能科技攻关项目，被列为河北省省级科技计划项目。

江苏金合在液态空气储能项目落地方面也走在前列。据介绍，江苏金合是一家专注热能存储技术研发和应用推广的国家级专精特新“小巨人”企业和国家级高新技术企业，已掌握液态空气储能技术的核心能力，公司正在福建、江苏和上海等地推进相关项目的建设实施。

“液态空气储能关键设备，如压缩机、低温膨胀机、液体泵和膨胀发电机等国产设备已较为成熟，产业链完备齐全，实际成本低于社会估算。首先，首台套项目成本预计较高，随着规模化推广应用，价格还会快速下行；其次，项目成本不是设备价格的简单叠加，系统集成后还存在一定的降本空间；最后，项目造价与应用场景息息相关，不同应用场景的成本投资存在差异。”丁玉龙指出，整体来看，液态空气储能度电成本和压缩空气、抽水蓄能处于同一价格区间。随着储能系统容量增大，造价将趋于下降，8 小时储能系统功率达到 100MW 时，单位造价相比 10MW 预测可下降 46%。

在丁玉龙看来，液态空气储能还处于发展初期，产业发展离不开政策的支持。他呼吁，政策对于各种储能技术的市场准入、退出、产业发展、招商引资等，应予以同等对待，给予各种技术公平竞争的机会。



为“一带一路”输送绿色动能

——访金风科技副总裁、金风国际董事长吴凯

■本报记者 李丽昊

“共建‘一带一路’倡议为我们送来了‘中国制造的风机’，还配套全面的金融服务、运维解决方案，这是送来了未来发展的希望！这是金风科技在巴基斯坦援建风电场之时，当地业主表达的感谢声音。”金风科技副总裁、金风国际董事长吴凯在接受《中国能源报》记者专访时表示，“正值共建‘一带一路’倡议提出 10 周年，中国已与全球 100 多个国家和地区开展绿色能源项目合作，共建‘一带一路’倡议正为全球能源经济发展注入绿色新动能。”

■ 响应倡议，业务出海收获丰

“2013 年，面对世界发展与历史变迁，共建‘一带一路’倡议正式提出。如今，这份倡议从愿景转变成现实，成为深受欢迎的国际公共产品和国际合作平台，中国与共建国家地区的发展交流不断加深。”吴凯指出，“其中，能源合作领域不断拓展，规模不断扩大，质量不断提升。”

金风科技是我国最早出海的风电企业之一。在吴凯看来，在这 10 年里，中国可再生能源企业是共建“一带一路”倡议的积极参与者、推动者，同样也是受益者。最新数据显示，金风科技已连续 12 年稳居中国风电整机制造商第一、连续 8 年位列全球前三，在金风科技出口机组覆盖的国别中，有 60% 都是共建“一带一路”国家和地区。

“可再生能源已成为推进共建‘一带一路’倡议的关键领域。10 年来，中国已与 100 多个国家和地区开展绿色能源项目合作，在共建‘一带一路’国家和地区的绿色低碳能源投资已经超过传统能源。中国贡献了全球 70% 以上的光伏产能和 60% 的风电产能，有力促进了全球可再生能源成本下降。”吴凯表示，“金风科技积极响应共建‘一带一路’倡议，推动全球能源转型，向共建‘一带一路’国家和地区源源不断输送绿色能源。”

■ 中国品牌国际化水平迅速提高

在吴凯看来，10 年来，中国品牌国际化水平正随着共建“一带一路”倡议迅速提高。

据吴凯介绍，时至今日，金风科技业务已遍及全球 6 大洲、38 个国家。

“在南非市场，金风科技在南非的团队有超过 70% 是属地员工，并在过去多年通过各种方式培训、培养了 30 多名当地各类人才；同时，与南非众多的合作伙伴



吴凯

都建立了公平、友好的长期伙伴关系。”吴凯表示，“金风科技通过属地化推动国际化，成功获取了项目，为南非市场的可持续发展打下基础，实现发展共赢。”

同时，吴凯介绍称，2022 年，金风科技越南解决方案工厂在胡志明市成功开业。截至 2022 年 9 月，金风科技在越南运维人员属地化比例为 66%，属地化培训覆盖率达 100%。2022 年，金风科技还与阿布扎比未来能源公司签约乌兹别克斯坦 Zarafshan 500 兆瓦风电项目，这也成为了当时中亚最大单体风电项目。

吴凯表示，通过与全球重要的能源、电力企业以及银行的密切合作，金风科技成为在全球可再生能源领域被广泛认可的中国品牌。

■ 为绿色发展注入新动能

国家发改委等部门发布的《关于推进共建“一带一路”绿色发展的意见》就提出，到 2025 年，将不断深化共建“一带一路”生态环保与气候变化国际交流合作，扎实推进绿色基建、绿色能源、绿色交通、绿色金融等领域务实合作，实现“一带一路”绿色发展。

吴凯表示，发展可再生能源、推动能源转型是全球应对气候变化、实现经济社会发展可持续发展的必然要求。未来，金风科技一方面将与国内企业一起“走出去”，另一方面会继续加深国际投资者对中国风电整机企业的认知。金风科技将继续积极响应共建“一带一路”倡议，依托全产业链优势，布局风电、服务、零碳综合能源、储能、氢能等多元业务，采取属地化、系统化原则为共建“一带一路”国家和地区提供清洁能源整体解决方案，在全球范围内助力更多国家和地区实现绿色发展和减碳目标。