

需综合开发、梯级利用“地球热库”

——访中国科学院院士汪集暘

■本报记者 张胜杰



“在未来的能源体系中，地热要发挥更大作用，就该有‘地热+其他新能源’的意识。当然，也可以‘其他新能源+地热’，不争老大老二、不分你我，综合利用，真正做到‘多能互补、一能多用’。”近日，在中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院院士汪集暘在接受《中国能源报》记者采访时指出。

55年前，我国“地质学之父”李四光教授发出号召——“去打开这个无比庞大的热库，让它为人民所利用”。汪集暘便是首批响应者之一，成为“热一代”。从河北雄县的第一口83摄氏度热水井，到今天京津冀2700万平米清洁供暖版图，他见证了中国地热从“冷门学科”成长为“双碳”赛道的重要力量。

《中华人民共和国可再生能源法》中明确规定地热定义为与风电、光伏并列的六大可再生能源。这些年，地热发展经历了哪些起落？如何摆正“小众”能源的地位，从而真正“热”起来？记者近日采访了地热大家汪集暘院士，聆听我国地热发展的前世今生。

■■■“热一代”迎来春天 建成全国首座“取暖无烟城”

“地球是个庞大的热库，我们一定要把地球内部的能量开发出来。”20世纪70年代，李四光曾提出这样的观点。

李四光是我国研究、开发、利用地热能源的首倡者。正是在他的感召之下，汪集暘才决心投身到地热事业中。

汪集暘回忆，1970年，李四光在天津主

持“开发利用地热资源动员大会”并指出，新华夏构造不仅有石油，而且存在着地热。地质工作者的任务就是要弄清地质构造的性质、查明热异常的变化与断裂的关系等。

当听到这则消息后，汪集暘备受鼓舞，想到自己在留苏期间学到的地热科学知识终于有了用武之地，可以报效祖国，心中有说不出的高兴。

此后，汪集暘就从“凉水”研究转到探索地热，成了“热一代”。

回忆起1970年自己参与建设我国的第一座试验性地热发电站的那段时光，汪集暘不胜感慨：“一开始，我们搞了广东丰顺汤坑邓屋地热电站，出水温度91摄氏度，但是发电仅有300千瓦，今天在原来的世界地热图上还能找到这个点。”汪集暘坦言，也正是那个时候，中国地热开发利用

的春天到了。

再后来，他在中国科学院地质研究所所长张文佑教授的倡导下，给中央、河北省发改委写信，称雄县的地热资源非常好，应以雄县为中心，大力开发地热。

经过多年努力，雄县县城95%区域实现了地热供暖，基本建成全国首座“取暖无烟城”。2014年2月，国家能源局在雄县召集全国地热能开发利用现场会，大力推广“雄县模式”的地热代煤取暖方式，并对其技术成熟度和经济可行性给予了充分肯定。

汪集暘坚定地认为，在新能源大家族里，与太阳能、风能、生物质能相比，地热能源具有安全、稳定、清洁、低碳、可再生、不受季节和昼夜变化的影响等优势，是最现实且最具竞争力的能源之一。

“能源利用效率高是地热的最大优点，它的能源利用系数平均可达73%，高的时候可达到90%以上。”汪集暘说。

■■■为何“凉”下来？ 存在“大材小用”或“小马拉大车”

虽然在《中华人民共和国可再生能源法》中，地热的地位得到了肯定，但与风电和光伏的快速发展相比，地热的发展热度貌似有些“凉”。

“我搞了大半辈子地热，每次听到大家把地热放在太阳能、风电等可再生能源的‘等’里，我就特别不服气！”在一次地热行业论坛上，汪集暘的一句牢骚，真切反映地热在新能源竞逐中的尴尬处境。

汪集暘观察发现，在地热项目实践过程中，的确会出现“大材小用”“小马拉大车”的现象。他进一步解释：“比如，有的地热温度很好，水质也很好，但有些开发企业并没好好利用，很多地热资源就白白浪费了。再比如，有的地热本来没那么多热量，若一定要它去做大事，就会不堪重负。”

因此，他建议，要严格对照地热梯级利用表，对地热资源进行合理规划使用。

据统计，我国地热供暖面积已达13.9亿平方米，位居世界第一，年减排超1亿吨二氧化碳，但发电装机却进展缓慢。为何会出现这种“热冷不均”的发展格局？

汪集暘认为，一方面，地热资源的开发利用受地域的限制，比利用太阳能风能要复杂得多，因为首先它要做地质勘察，要打钻，而打钻这个环节会占到其成本的60%左右；另一方面，地热的地下资源分布很不均匀，投入产出比不高。“比如说打10口井，有一半能出热水就不错了。”

鉴于我国的地理条件，汪集暘认为，我国东部的油田区地热资源非常好，可以将他们充分利用起来。这些在地下封存着95%的“热水废井”，可“把油田变热田，热田变储热”。汪集暘建议，大庆、胜利、辽河、中原等油田减产后，可以变为“地下热储”，继续服务社会。

■■■如何“热”起来 建议综合开发、梯级利用

那么，地热能开发的终极模式是什

么？在汪集暘看来，就是大力发展“地热+”，将地热这一地球本土的未来能源和来自太阳系的其他可再生能源，诸如太阳能、风能、生物质能、海洋能等结合起来一并加以开发利用，打造多能互补储能和供能系统“地球充电宝”，真正做到“多能互补、一能多用”，在实际应用中发挥更大的作用。“地热+”的内涵被他生动地概括为“天（太阳能）地（地热能）合一”“动（风能、海洋能、生物质能）静（地热能）结合”。

今后，地热如何真正“热”起来？需要遵循什么原则？

对此，汪集暘做了凝练概括：“综合开发，梯级利用。”比如说，从供暖、制冷、养鱼、养虾一直到温室大棚等设施农业的应用，一定要综合开发。最为关键的是，利用一定要合理，即温度从高到低，要有一个积极的利用方案。假如地热温度不够，非要去发电不行；假如地热温度很高，却用来养鱼、养虾，那还得把热水的温度降下来，这些做法都不科学。

此外，我国还一定要尽快重视对年轻人才的培养，做好传承，通过地热资源的系统性研究和地热专业人才的培养，以科技研发引领带动“一带一路”地热资源开发。”汪集暘强调，希望政、产、学、研、金、服、用结合起来，共同促进地热产业蓬勃发展，为现代能源体系建设作出更大贡献。

从技术到标准——

我国燃气热水器行业加快推进绿色升级

■本报记者 王海霞



在“双碳”目标引领能源变革的时代浪潮下，天然气作为优质高效、绿色清洁的低碳能源，其在能源体系中的关键作用愈发凸显。与此同时，国家积极推动大规模设备更新和消费品以旧换新，也为天然气的高效利用与安全普及注入新动力。

作为家庭用能的重要构成部分，天然气的发展态势备受瞩目。在2024年，我国天然气表观消费量达到4260.5亿立方米，较上一年同比增长8%。这一数据彰显了天然气需求持续上扬的趋势，也反映出其在能源结构优化进程中扮演的重要角色。

7月30日，“中国燃热技术突破与产业绿色升级”专家研讨会召开。会议由中国能源报社主办、美的集团厨房和热水事业部协办。碳中和与能源领域院士、国家相关部委所属科研机构的专家，以及中国质量认证中心部长司立峰，全国政协委员、中国科学院关键技术人才张振涛，华中科技大学煤燃烧与低碳利用全国重点实验室教授、博士生导师邹春，中国信通院双化协同部主任蒋阿芳，中国信通院泰尔终端实验室战略规划部副主任、IoT行业首席研究员葛涵涛，中国五金制品协会专职副会长柳润峰，美的集团厨房与热水事业部研发总监、全国消费品安全标准化技术委员会委员辛森森等出席本次研讨会。

■■■领跑燃气热水器一级能效赛道

燃气热水器是家庭用能“大户”，提升能效重要性不言而喻。国家部委的所属科研机构的专家在会上给出一组权威数据：2024年，我国燃气热水器年出货量为1300万台，其中二级能效产品占比94%，如果全部替换为一级能效产品，年节约燃气23亿立方米，可减排二氧化碳近500万吨。在促内需、扩消费的大背景下，一级能效可享20%以旧换新补贴，为经济增长提供持续动能，真正实现消费者得实惠、企业增效益、经济稳增长的多赢局面。以美的为代表的冷凝水净化技术，解决了两大痛点——安装门槛高和酸雾外排负面影响，从源头切断了污染链条，实现了“资源节约、用户健康、环境友好”三重社会价值。这位专家表示，以一级能效产品为引领，提升燃气热水器产品出口的“含绿量”“含新量”，向国外出口高端产品，高附加值的产品，是未来提升出口质量的重要路径。

中国能源汽车传播集团有限公司党委书记、董事长谢彬彬表示，“双碳”目标下，燃气热水器行业的绿色、低碳化转型势在必行，达到一级能效不仅顺应燃气热水器行业低碳化的要求，更是打造中国制造绿色低碳发展的标杆。

然而，实现一级能效并非易事。邹春指出了行业难题所在：“为实现一级能效高达98%的热效率，必须采用双级换热器，但由于产生的冷凝水呈强酸性，破坏家居环境，腐蚀设备，更可能危害健康。”更何况，在我国，87%的家庭将燃气热水器安装在厨房，传统解决方案要么需要破坏装修安装排水管，要么采用雾化排放导致酸雾倒灌——打通“最后一公里”，成为高能效产品普及的关键。

辛森森分享了他们团队的破局之路：以美的的企业为代表，一级能效无冷凝水产品通过热量回收舱，高效回收利用烟气余热，实现热效率高达107.2%，远超一级能效98%标准要求。同时，其首创的离子捕获净化技术，有效净化酸性冷凝水，降低用户安装门槛，减少污染排放，并规避了酸雾外排威胁用户呼吸健康等缺陷问题。美的的集团为了在技术“无人区”闯出新路，累计投资达20亿元人民币，组建实验室，研发人员来自材料科学、燃烧、净水、流体、电控、自动化、高分子技术涂层等多个学科领域。团队历时十年研发攻坚，在26年净水技术积累的基础上最终成功研制出离子捕获净化技术。从实验室概念到市场标杆，技术攻坚是一场没有终点的马拉松。“市场是基础，产品是试金石，美的一级能效燃气热水器热效率跃升至107.2%，上市一年即创造10万台销售奇迹。”辛森森表示。

■■■夯实标准，打造制度引擎

一级能效的技术突破需要制度护航。司立峰认为：“提升产品的热效率，可以促进行业整体标准提升。美的推出一级能效的产品，带动了产业升级，促进整个行业向更高标准、更高效、更环

保的趋势发展。”

实际上，美的成为行业首个解决冷凝水排放难题的企业。仅在“一级能效无冷凝技术”领域，美的前后就申请了19项专利，并主导制定了行业第一个冷凝水净化技术要求标准，填补了行业空白，成为“行业一级能效无冷凝水标准制定者”，并获得行业权威认证；其首创的一级能效冷凝水净化技术更是达到了国际领先水平。

邹春说：“前瞻布局全球趋势，高能效、低排放是行业发展必然方向。一级能效产品对燃烧相关技术、管道降噪技术、烟气降温技术都提出了更高要求，要在厨房这种比较狭小的空间内实现技术提升和性价比的兼容，难度很大。”

面对共性难题，美的在实践中给出破局之策：通过冷凝水净化技术消除用户健康隐患，让消费者在8年时间省下5000元燃气费，实现环保与经济的双赢。这种“用户获益驱动普及”的模式，使绿色技术真正惠及千家万户。

“一流企业做标准，二流企业做品牌，三流企业做产品。”这是会议上专家们多次提到的话。司立峰表示，要让企业积极参与并引领标准制定，美的集团持续研发，让中国企业跳出价格战，用技术创新和标准升级提升行业整体水平。

柳润峰透露：“协会始终紧盯行业痛点，让标准真正落地。”标准发布后，一级能效产品市场份额从6%跃升至10%，印证了“技术+标准”双轮驱动的爆发力。更深远的是，这套中国方案正在影响国际标准制定话语权。柳润峰展望未来：“协会将继续推动中国标准与国际接轨，让更多‘美的式创新’走向世界。”

■■■绿色创新，实现战略升维

面对“如何让燃气热水器行业突破同质化竞争”的尖锐提问，葛涵涛指出破局关键：“解决行业痛点，占据科技制高点，美的用十年攻坚证明，解决核心痛点才能建立技术护城河，消费者自然会作出节能、低碳、省钱的选择。”

绿色革命重塑全球产业版图。张振涛指出：“安全、低碳、高效。当美的将净化水质提升至母婴级，他们输出的不仅是产品，更是可持续生活范式。”

据悉，目前美的已建成37家国家级绿色工厂，其六大绿色支撑体系(设计、采购、制造、物流、回收、服务)正通过全球供应链产生“溢出效应”。当一台台搭载中国创新技术的燃气热水器进入欧美家庭，节约的不仅是能源，更在改变全球消费者对中国制造的认知。

在这场关乎产业未来的绿色革命中，一滴冷凝水的净化之旅，折射出中国制造业的转型智慧。从被动排放到主动净化，从遵循标准到定义标准，从价格竞争到价值创造——中国燃气具行业正在完成发展范式的根本转变。

辛森森指出：“科技尽善，生活尽美是美的集团的企业愿景，也是我们对科技驱动美好生活长期追求。美的创新研发冷凝水净化技术，没有粗放式将冷凝水简单外排，而是让净化后的沐浴水质达到国家生活饮用水卫生标准，我们改变的不仅是产品，更是人与环境的关系。”

随着国家“双碳”目标的深入推进，这场由技术破冰、标准筑基、全球布局构成的绿色革命，正在重塑中国燃气热水器产业的未来。

能聊能说

光伏破“内卷”离不开法律和自律

■ 王海霞

7月31日，国家发改委召开2025年上半年发展改革形势通报会。会议强调，纵深推进全国统一大市场建设，破除“内卷式”竞争，深入推进招标投标制度改革，规范地方招商引资行为，推动要素顺畅流通，促进民营经济健康发展、高质量发展。7月28日，工信部提到，要加强光伏等重点行业治理，以标准提升倒逼落后产能退出。这是我国近期“反内卷”浪潮从政策倡导走向行业实践的最新举动。

在“双碳”目标下，我国光伏产业装机规模屡创新高。但盛况之下，暗流汹涌：产能无序扩张、价格恶性厮杀、技术同质化泥沼，交织成“内卷”风暴。近日，多家光伏企业发布2025年半年业绩预告，亏损仍是行业主流，也再次印证了“内卷”的恶果。一边是企业利润薄如蝉翼，一边是“虚胖式增长”下的装机潮汹涌，它们共同昭示着光伏行业亟须结束“内卷”，从野蛮生长转向高质量发展的必要性。

值此关键时刻，国家发改委与市场监管总局共同就《中华人民共和国价格法修正草案》公开征求意见。该草案绝非简单的条文增补，而是直指恶性竞争的核心病灶。草案首次清晰地将“相互串通操纵价格”与“低于成本价倾销”列为禁区，尤其强调为“排挤对手或独占市场”而进行的倾销属违法。这为光伏行业频发的价格混战提供了明确的法律认定尺度和执法依据，直击恶性竞争的七寸。

修正案旨在“引导资源优化配置、促进公平竞争”，其精神内核高度契合光伏行业摆脱价格血拼、回归技术驱动与价值创造的本质诉求。它将从法律层面终结“劣币驱逐良币”的现象，为行业健康竞争筑起坚实的法治堤坝。

然而，法律的刚性约束只是破局开篇。根治“内卷”沉疴，离不开行业自身的觉醒和主动作为。法律与自律，缺一不可。清晰的法律边界为行业自律撑腰壮胆，当恶性价格竞争受到法律严惩，企业方能摆脱“不降价即出局”的囚徒困境，将精力投向创新研发与品质提升。强有力的行业法则极大降低监管成本，提升法律执行效率，主动形成的技术标准与质量公约是对法律条文的有力补充和细化。正如中国光伏行业协会执行秘书长刘泽阳所指出的：“目前是万里长征第一步，没有真正治理好，就不能停止。不达目的，誓不罢休！”

光伏破“内卷”还需地方政府角色的转变。在招商引资竞赛中，有些地方政府扮演了非理性推手的角色。对GDP和政绩的片面追逐，催生了大量脱离市场实际需求的产能项目。在一些光伏行业会议上，开始还是行业协会和龙头企业反“内卷”的呼喊，过一会儿就是地方政府招商引资的各种推介。

其实，为进一步地方政府行为规范，《公平竞争审查条例》基础上进一步细化举措，剑指地方保护、不当补贴、设置隐性壁垒等各类不当市场干预行为。它要求地方政府在制定产业政策、招商引资时，必须进行严格的公平竞争审查，从源头上纠偏，破除阻碍资源自由流动的“地方篱笆”，真正服务于“全国统一大市场”。

地方政府必须从“招商锦标赛”的助推者，转变为“规则守护者”与“生态培育者”。一方面，要坚决摒弃以土地、税收、补贴等“超常规优惠”诱导企业盲目扩张的做法，让市场在资源配置中真正起决定性作用。另一方面，要将资源与精力投入到更可持续的领域。譬如，优化区域电网规划和建设，提升新能源消纳能力；推动建立地方性的绿电交易与绿证市场；支持建设公共技术创新平台与检测认证中心，为行业共性技术突破提供坚实支撑。唯如此，才能从源头上遏制产能泡沫，引导行业回归理性发展的轨道。

行业须将资源压向颠覆性技术前沿：譬如钙钛矿叠层电池的效率突破、异质结技术的成本下探、光储深度融合的系统革新……唯有掌握核心技术，才能跳出同质化红海，在全球价值链中向上攀升。同时，需主动拥抱电网变革，积极参与电网友好型技术研发，推动储能规模化经济应用，探索多能互补与智能微网模式，携手电网企业完善市场机制，彻底打通并网消纳的“任督二脉”。

光伏穿越“内卷”迷雾的征程已然开启。《价格法修正草案》为市场秩序奠定了基石，地方政府职能的深刻转变为行业理性发展清除了障碍。当此时，行业更需以刮骨疗毒的勇气拥抱自律，锚定创新。

法律筑底、政府归位、自律破茧、创新制胜——在这四股力量合力下，中国光伏突破“内卷”重围成为必然。在全球能源革命的浪潮中，中国光伏不仅是绿色电力的供给者，更将成为新型电力系统构建规则的引领者与价值创造者。