

钢铁降碳须构建“一流两链”系统观

——访钢铁研究总院冶金工艺研究院副院长上官方钦

■本报记者 苏南

今年,国家正式启动为期3年的节能降碳攻坚行动,覆盖钢铁、水泥、电解铝等九大高耗能产业,2028年底全面收官,3年内要清零低效产能,预计累计节约标准煤1亿吨,减排二氧化碳2亿吨。

进入“十五五”时期,我国钢铁行业节能降碳情况如何?面临着哪些挑战?有哪些降碳路径?《中国能源报》记者就此专访了钢铁研究总院冶金工艺研究院副院长上官方钦。

资源安全与碳成本压力交织

中国能源报:“十五五”时期,钢铁行业发展有哪些重大挑战?

上官方钦:核心是资源安全与低碳转型的双重压力。

资源受制于外,利润流失严重是钢铁行业的一大隐痛。中国钢铁业一年铁矿石需求量约14亿至15亿吨,进口依赖度常年超过80%,且高度集中于澳大利亚和巴西。这种局面导致定价权缺失,产业链利润被上游矿山高度垄断。2024年,全球四大矿山的净利润接近420亿美元,而我国黑色金属冶炼及压延加工业的利润只有42亿美元,约为前者的十分之一。

与此同时,“双碳”目标的推进也给钢铁行业带来实实在在的成本压力。由于中国钢铁流程结构中90%为高碳排放的长流程,能源结构90%以上依赖煤炭,这种先天条件决定了行业高碳运行的客观现实。

近期发布的《碳达峰碳中和综合评价考核办法》和《重点行业节能降碳改造攻坚三年行动计划》,意味着碳减排已从“发展



质量要求”升级为“政治责任”。考核结果报送中组部、能效基准以下产能限期清零等硬性指标,将对企业形成前所未有的倒逼机制。碳管理未来将从合规成本升级为生存门槛,碳数据质量直接关系到钢铁企业的生死存亡。

中国能源报:如何理解碳数据质量的重要性?

上官方钦:在落后产能加速出清、能效“天花板”倒逼结构性变革的背景下,碳数据质量已成为关乎企业生存发展的“生命线”。我们近期调研发现,企业对于构建能碳管理平台需求强烈——既为对接全国碳交易市场及下游用户的碳信息披露要求,也为加速实现减污降碳的协同治理。碳数据质量与碳配额管理能力将直接决定企业在碳市场中的成本竞争力。企业必须摒弃过往将碳管理视为单纯合规成本的观念,正视其作为生产经营核心门槛的战略地位,尽快建立健全碳资产管理

管理、碳交易运作及信息披露工作,构建专业化的管理体系。

需要特别提醒的是,低碳转型要力戒“口号化”。2020年至2022年间,钢铁行业曾掀起制定低碳发展规划的热潮,但部分规划流于形式、难以落地。当前,企业亟需梳理并明确具备实操性的低碳转型路径,而非停留在“口号”层面。

能效提升显著,碳成本仍在攀升

中国能源报:目前,我国钢铁行业节能减排情况如何?

上官方钦:经过3年的极致能效工程,钢铁企业大幅降低了碳排放。中国钢铁工业协会最新数据显示,3年来,全行业累计实现节能量超2400万吨标准煤,减少二氧化碳排放达到了6000万吨,其中,143家培育企业累计节能1320万吨标准煤,减排二氧化碳3400万吨,两项指标均已超额完成国家下达的“十四五”钢铁节能降碳任务。

然而,挑战依然严峻。碳成本在不断提升,但低碳投入的价值难以捕获。从国际看,欧盟碳关税今年已正式进入征税期,对钢材出口形成直接壁垒。我们初步测算,目前出口到欧盟的每吨钢要面临上千元的关税成本;从国内看,能耗双控正转向碳排放双控,钢铁行业已纳入全国碳市场,配额逐年收紧,碳成本正在内部化——按近期90元/吨的碳价估算,吨钢碳成本约6元,未来随着碳价上行,这一成本还将进一步增加。

值得关注的是,钢铁行业要实现低碳转型,需要大量资本投入,仅靠行业自身投

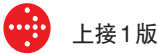
入不现实,需要大量社会资本参与。所以,转型金融未来会发挥越来越大的作用,但目前仍存在突出问题:一是全国统一标准尚未正式出台,仅部分地区开启试点探索;二是金融机构风险偏好与转型需求错配,银行传统风控体系难以适应钢铁企业较长的转型周期;三是对中小企业和民营企业支持不足,转型融资普遍偏好央企国企和大型企业,短流程等先行转型企业虽低碳属性突出,却多属中小民营,融资渠道受限、审批门槛高。未来金融机构还需要企业提供第三方认证的低碳转型路径和减排数据,才能获得低成本的融资,转型金融亟需在标准统一和产品创新等方面加快突破。

构建“一流两链”的系统观

中国能源报:面对上述挑战,钢铁行业应如何破局?

上官方钦:首先要从认识上破局。钢铁行业低碳化发展的物理本质,是钢铁制造流程、供应链、服务链“一流两链”过程中物质、能量、信息、时间、空间等因素耗散结构的合理构建。这一理念要求行业打破传统的线性代谢模式,即铁矿石到钢材再到废弃物,转向动态循环的网络模式,即构建跨行业、覆盖全产业链的“物质流—能量流—信息流”耦合协同新型耗散结构。

在具体路径上,建议要从关注单一制造流程拓展至全产业链。制造端要关注流程效率提升和界面技术优化;供应链端要聚焦铁矿石采选、废钢利用及绿色物流;服务端端则要构建跨产业生态链接,提升产品性能和服役寿命。



上接1版

在这里,读懂中国能源安全密码

既建强设施、打通机制,实现全国范围内的能源跨区域调配,又用好国内国际两个市场、两种资源。

我国持续巩固完善多元油气进口体系建设。目前,已与近50个国家开展油气贸易合作,进口来源涵盖全球主要油气出口国,始终保持油气资源进口稳定可靠。

在黄海之滨,山东青岛港,30万吨级油轮频繁靠泊,原油源源不断输入储油罐区。面对中东局势引发的供应波动,港口早有准备。近年来,港口新建多个泊位,罐区容量翻倍,同时加强了与巴西、加拿大等国的能源合作。山东省能源局相关负责人介绍,今年以来,来自中东的原油有所减少,但相关进口企业准备充分,业务没有受到明显冲击。目前,青岛港原油码头、罐区和管道能力充足,通过优化生产组织,持续提升保障能力。

党的十八大以来,习近平总书记站在党和国家发展全局的战略高度,坚持全国一盘棋,亲自谋划、亲自部署和亲自推动京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设、长三角一体化发展、黄河流域生态保护和高质量发展等一系列区域重大战略。

在区域协调发展的大棋局中,能源是一颗重要的落子。作为区域融合发展的物理底座和产业纽带,通过跨区资源配置、产业链分工重构及绿色要素流通,破解资源与负荷空间错配,推动区域从“物理互联”迈向“功能耦合”。

有形的能源通道、无形的机制保障、跨区域的互济能力、多元化的进口格局,共同构造出一张极具韧性的能源网,更构筑起我国能源安全的“护城河”。

“先立后破”推动能源结构稳健转型

当梗阻的霍尔木兹海峡挑动能源市场的神经、不少国家陷入能源恐慌之时,中国何以能从容应对?

习近平总书记深刻指出,能源问题是发展中的战略问题。

新时代以来,我国加快推进能源结构转型,提高终端用能电气化水平,推动能源消费绿色化低碳化。2025年,我国全社会用电量首超10万亿千瓦时,为全球首次。目前,我国电气化率约30%,这表明全部终端能源消费量中,电能的使用接近三成,已经高于欧美主要发达经济体。中国已成为全球重要的电力国家。

近年来,我国积极发展兼具能源安全、工业脱碳、新型电力系统三重价值的绿色氢氨醇。截至2025年底,我国绿色氢氨醇项目建成产能约29万吨/年,建成投运加氢站约430座,累计推广氢燃料电池汽车约3.4万辆,电解槽、液氢装备、燃料电池等关键装备及其核心零部件均实现国产化突破,进一步降低对传统油气的依赖,提升应对地缘风险与绿色壁垒的能力。

“富煤贫油少气”是我国的基本国情。煤炭占一次能源消费一半以上,煤电装机占比虽降至不足40%,但发电量仍占六成左右。这个基本面决定了能源转型急不得、也等不得,必须把握好节奏,因地制宜走适合自己的路。

习近平总书记指出:“绿色转型是一个过程,不是一蹴而就的事情。要先立后破,而不能未立先破。”“不能把手里吃饭的家伙先扔了,结果新的吃饭家伙还没拿到手,这不行。”

先“立”,意味着要培育出清洁的能源品类,逐步破除传统的高碳路径。

宁夏宁东能源化工基地曾经是“靠煤吃煤”的传统能源重镇,如今通过更系统多元的能源策略,已构建起“煤炭—电力—化工—新能源”的立体能源网络。

在基地东侧的宝丰能源循环经济工业园区,电解

槽、储氢罐、精馏塔等设备整齐排列。企业创新采用“风光储”绿电制绿氢,并将绿氢与现代煤化工耦合,实现以氢换煤、源头降碳。在宁东以东,毛乌素沙地边缘的采煤沉陷区,一排排光伏板组成18万亩的“蓝色海洋”,作为我国“沙戈荒”大型风光伏基地之一,不仅改善了戈壁生态环境,发出的电还可满足720万个家庭一年用电需要,相当于节约标煤约324万吨,经济社会效益、节能环保效益显著。

目前,我国发电装机容量已突破40亿千瓦,火电装机占比从73%降至不足40%,绿色成为愈发鲜明的“电源底色”。

在宁夏,全区发电总装机2025年底突破9000万千瓦,新能源装机占比超63%。新能源外送占比达28%,形成“火电调峰+新能源外送+煤制油储备”的多元安全体系。

在浙江,非化石能源装机2025年底历史性突破1亿千瓦大关,占比达到58.2%。非化石能源发电量1947亿千瓦时,占比达到35.7%。

在山东,能源结构连续实现历史性跨越,2024年6月,非化石能源装机达到1.007亿千瓦,成为东部沿海地区首个过亿省份;2024年10月,非化石能源装机历史性超过煤电;截至2026年6月,非化石能源装机占比已达55.8%。其中,光伏装机已经达到9658.9万千瓦,连续多年全国第一。

先“立”,也意味着要建立起新的绿色技术,用新技术改造传统能源。陕西曹家滩煤矿,2022年以来先后两次产能核增,从设计的1500万吨提到1700万吨,再从1700万吨跃升至2500万吨。产能提升靠的不是多挖洞、多上人,而是技术创新——10米超大采高智能综采成套装备,把特厚煤层一次采完,代表了国内特大型矿井的先进水平。曹家滩的煤是优质化工煤,通过“优劣置换”,既圆满完成了国家保供任务,又避免了“拿人当柴烧”的资源错配。

在国能锦界公司电厂现场,记者了解到该电厂汽轮发电机组被抬升至65米高空,主蒸汽管道缩短34%,通流损失大幅降低。超超临界参数的应用,使得供电煤耗较亚临界机组降低40克以上,降幅超15%。

应对二氧化碳排放的全球性挑战,锦界电厂在2021年建成了当时国内最大的燃煤电厂燃烧后15万吨/年二氧化碳捕集封存和利用全流程示范项目。烟气经过脱硫脱硝除尘后,二氧化碳被化学吸收、解析、加压液化,最终用于制砖,地下封存或加氢合成甲醇。目前,全机组400万吨级碳捕集项目已完成可研,未来将利用鄂尔多斯地下千米的碱性地质条件,实现二氧化碳的永久固化封存,让传统煤电向“近零排放”迈出历史性一步。

面对一二期机组即将面临的退役期,国能锦界公司正在谋划将传统煤电高端升级,通过“三改联动”,实施供热改造,将蒸汽供应给周边煤化工园区,实现从单一供电向电、热、水、气多元能源岛的转变。

中国电力企业联合会常务副理事长杨昆对《中国能源报》记者表示,目前我国新增用电需求几乎全部由绿电满足,能源安全保障更加稳固,绿色转型步伐更加坚实,真正实现了能源电力从过去的“不够用”,向“更强更绿”成功转型。

后“破”,不是简单地关停传统产能,而是动态的、结构性的优化过程。

国能宁夏鸳鸯湖电厂的实践,提供了样本。

鸳鸯湖电厂是西北最大的火电企业之一,承担着向区内、浙江“西电东送”的保供任务。但就在2021年,受市场原因影响,传统单一的发电售电模式让这家电厂亏损高达10.3亿元。



宁夏回族自治区银川市兴庆区的银川第四光伏电站,通过月牙湖330千伏变电站源源不断地将绿色电能输送至千家万户。

袁宏彦/摄

国能宁夏鸳鸯湖电厂党委书记、董事长刘伟表示,园区数十家化工企业日均蒸汽需求超万吨,电厂主动对接,将综合能源列入园区发展规划,2021年寒冬成功供出第一吨蒸汽。随后三年,电厂对四台机组实施系统性供汽改造,建设F2动力站,敷设约30公里管网,供汽规模从每小时5.6吉焦跃升至625吉焦,供应业务扩展至工业蒸汽、压缩空气、氮气、除盐水、绿电、供冷、乏汽供暖、检修运维、仪器仪表检定、固废深加工利用,逐步构建起“十供五回”综合能源体系,服务用户从2家扩展至29家。

转型带来实实在在的回报。2024年电厂盈利6.01亿元,非电业务占比达38%,成为集团最大供汽企业、西北首个“十供五回”综合能源服务商。

后“破”,不是“一刀切”退出,而是功能转换和升级。从单一的“充电宝”升级为全能的“电小二”,从“有啥卖啥”转变为“企业需要什么就开发什么”。

正是把能源安全置于长周期部署和实践,助力中国能源实现稳健转型和有序替代,最终获得穿越行业周期的能力,夯实保障经济社会发展的底气。

“科技自立自强”实现能源产业链自主可控

从化石能源为主体向新能源为主体转型过程中,产业发展的底层逻辑正在发生改变:从资源驱动转向技术驱动。

习近平总书记指出,能源保障和安全事关国计民生,是须臾不可忽视的“国之大者”。要加快推动关键技术、核心产品迭代升级和新技术智慧赋能,提高国家能源安全和保障能力。

从特高压输电领跑全球、核电技术取得突破,到新能源全产业链领跑,再到现代煤化工领域成功破解“卡脖子”难题,我国推动科技创新与产业创新深度融合,将能源产业链的自主可控牢牢抓在自己手中。

从“跟跑”到“并跑”再到部分领域“领跑”,我国科技创新事业的每一步跨越,新质生产力的每一次跃升,都离不开对原始创新的执着坚守和对关键核心技术的全力攻坚。

习近平总书记强调,关键核心技术是要不来、买不来、讨不来的。

在山东东营,龙悦湖畔的胜利油田莱113区块,莱深斜2井静静伫立。运用全球领先的碳捕集、利用与封存(CCU)技术,黏稠的石油被从地下深处的岩石缝隙中高效“洗”出。放眼整个油田,目前胜利油田CCUS示范工程累计注入二氧化碳超14亿立方米,区块日产油从投运初期的220吨跃升至500多吨,实现减

碳与增产双向协同。

这背后是胜利油田对技术底座的不断夯实。自主掌握化学驱油新技术,使油田平均采收率由42.8%提升至52.7%;攻关世界级开采难题,使页岩油钻井效率提升十多倍;加大勘探开发力度,胜利济阳页岩油发现资源量105亿吨,相当于又发现了一个“新胜利”。近三年,胜利油田年产量稳中有升,去年增至2371.1万吨,创近年来新高。胜利油田还建成国内首个百万吨级CCUS项目,关键技术装备获日内瓦国际发展特别嘉许金奖,能耗下降19%,成本下降30%。这些数据的背后,是中国石油人凭借自主创新,把能源饭碗端得更牢。

原始创新是科技创新的“源头活水”,决定着新质生产力发展的根基与后劲。

习近平总书记强调,要把原始创新能力提升摆在更加突出的位置,努力实现更多“从0到1”的突破。

陕煤集团榆林化学有限责任公司(以下简称“榆林化学”)1500万吨/年煤炭分质清洁高效转化示范项目正是煤化工领域科技突破“从0到1”的生动注脚。长期以来,我国煤化工产业高度依赖石油化工,在芳烃等关键基础原料上始终受限。榆林化学将目光锁定在这一区域,深耕粉煤快速热解工艺技术,在煤炭分质利用方面努力探索。

“这一技术突破的终极指向并非仅是煤制油,而是煤制芳烃。”榆林化学党委副书记、董事、总经理段立波告诉《中国能源报》记者,陕煤集团在该工艺技术已历经20年,开发多套工业示范项目,其中榆林化学粉煤热解装置已进行了8次试车,一旦突破工艺瓶颈,将开创一条煤制芳烃新路径,意味着中国将补齐煤化工产业链最关键的一块短板。届时,石油化工退出的芳烃缺口,煤化工可以精准补位,真正实现煤化工对石油化工的全产业链替代。

绿色技术从实验室研发到产业链落地需要市场的“手”助力。在浙江,全国唯一绿色技术交易国家平台——国家绿色技术交易中心聚焦绿色技术交易和产业化,通过绿色技术研发、孵化、落地和交易,成为能源生产和消费向新向绿的助推器。

从地下的智能采煤机到地上的CCUS装置,从煤制芳烃的实验室到光伏板的流水线,科技自立自强,已经变成能源行业实实在在的生产力和竞争力。

既立足当下,又谋定长远;既只争朝夕,又久久为功。我国用十余年的谋划与实践,把能源资源禀赋的客观条件一步步转化为能源安全的绝对底气,走出了一条符合中国国情的能源高质量发展之路。