

石化行业新型电力系统构建及再电气化发展综述

文/王树国
中国石化工程建设有限公司

新能源接入石化企业电气电网集成化研究

1. 背景

2020年9月，习近平总书记在第75届联合国大会讲话中提出“碳达峰”、“碳中和”的宏伟目标，同年12月进一步明确到2030年我国非化石能源占一次能源消费比重达到25%左右，风电、太阳能发电总装机容量达到12亿kW以上。2022年1月，习近平总书记在中央政治局第三十六次集体学习中指出，要加大力度规划建设以大型风光电基地为基础、以其周边清洁高效先进节能的煤电为支撑、以稳定安全可靠的特高压输变电线路为载体的新能源供给消纳体系。落实习近平总书记的指示，国家发改委与国家能源局于2022年5月发布了《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》，为中国新能源发展制定了明确框架。

2. 新能源的范围

根据《“十四五”现代能源体系规划》，新能源在原料侧主要包括光伏、风电、生物质能、核电、氢能、地热能等可再生能源与清洁能源；在应用侧则主要包括新型储能（电化学、飞轮、超级电容、空气储能）等。

近年来，我国以风电、光伏发电为代表的新能源发展成效显著，装机规模稳居全球首位，发电量占比稳步提升。随着国家“碳达峰”“碳中和”的国家战略及中石化《关于新能源发展工作的指导意见文件》的发布，在石化系统内应大力开展分布式或集中式的光伏、风力发电业务。

3. 传统配电网变成有源配电网带来的变革

随着光伏发电、风力发电在石化行业中的飞速发展，石化电力系统由传统配电网逐渐转变成有源

配电网。

由于分布式能源大量接入传统配电网，改变了传统配电网的潮流和故障电流的运行方式，给配电网运行在电能损耗、电能质量、电压、继电保护、电网可靠性等方面带来较大的影响。

4. 光伏发电安全接入电力系统要求

在石化行业中，光伏电站接入系统设计应从全局出发，统筹兼顾，按照建设规模、工程特点、发展规划和电力系统条件合理确定接入方案。其中，设计方案应符合国标《光伏电站接入电力系统技术规范》（GB/T 50866—2013），接入电力系统技术方案应满足国标《光伏电站接入电力系统技术规定》（GB/T 19964—2024）。

5. 风力发电并网技术要求

应满足国家标准《风电场接入电力系统技术规定》（第1部分：陆上风电）（GB/T 19963.1—2021）及《风电场接入电力系统技术规定》（第2部分：海上风电）（GB/T 19963.2—2024）。

石化行业新型电力系统构建

1. 石化行业新型电力系统定义

石化行业新型电力系统是以确保石化行业供配电安全为前提，以满足石化行业高质量发展电力需求为目标，以高比例新能源消纳为主线，以源网荷储多向协同、灵活互动为支撑，以坚强、智能、柔性石化电网为平台的新时代石化电力系统。

在新型电力系统中，供电侧通过智能控制、柔性调节、储能系统，解决新能源波动性、间歇性、不稳定性的问题，提高新能源消纳率。用电侧从原来的有序用电过渡到负荷需求响应，从“被动适应

负荷”向“源网荷储主动协调”发展。同时进行再电气化流程再造，从工艺流程、关键装备、控制系统等方面，对石化加工流程进行再造，以适应新的能源供给模式。

石化行业传统电力系统是无源单向的，用电侧

电源取自公共电网，电压波动、频率范围等电源质量取决于公共电网。石化新型电力系统是有源的，用电侧与公共电网是协同共生的，可实现源网荷储协调发展。它具有安全高效、清洁低碳、柔性灵活、智慧融合四个特征，如图1所示。

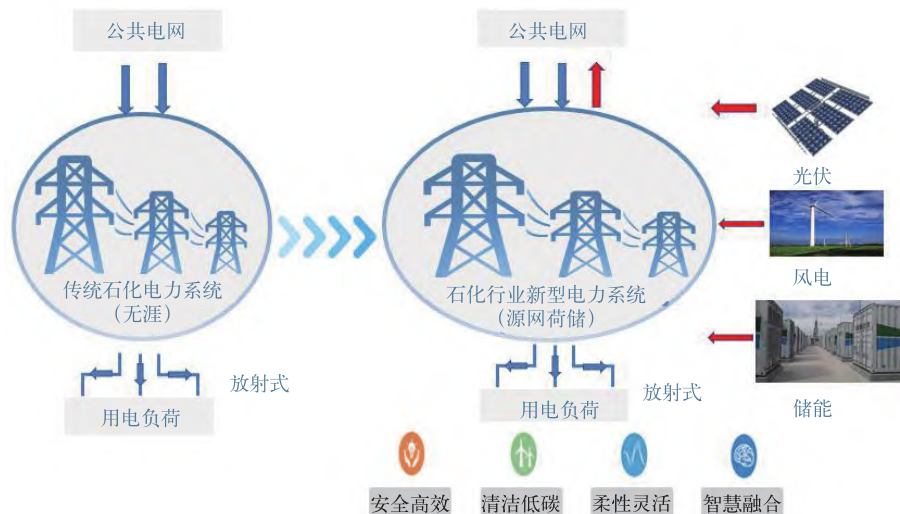


图1 石化行业新型电力系统与传统电力系统的区别

2. 石化新型电力系统的构建路径

石化新型电力系统的构建是一项复杂而艰巨的系统工程，不同发展阶段特征差异明显，需统筹谋划路径布局，科学部署、有序推进。按照党中央提出的新时代“两步走”战略安排要求，锚定2030年前实现“碳达峰”、2060年前实现“碳中和”的战略目标，根据2023年6月份“国家能源局组织发布《新型电力系统发展蓝皮书》”为依据，基于我国石化行业特点，以2030年、2045年、2060年为石化

新型电力系统构建战略目标的重要时间节点，首次制定石化行业新型电力系统“三步走”发展路径。

构建石化新型电力系统可按照低碳演进路径和零碳演进路径稳步实施推进。低碳演进路径中电力系统无法自身实现碳中和。零碳演进路径的关键影响技术有三种，分别为直接降碳（CCUS）、替代降碳（电气可再生电源+大容量长时储能）、结构降碳（电氢综合利用）。石化新型电力系统零碳演进路径如图2所示。

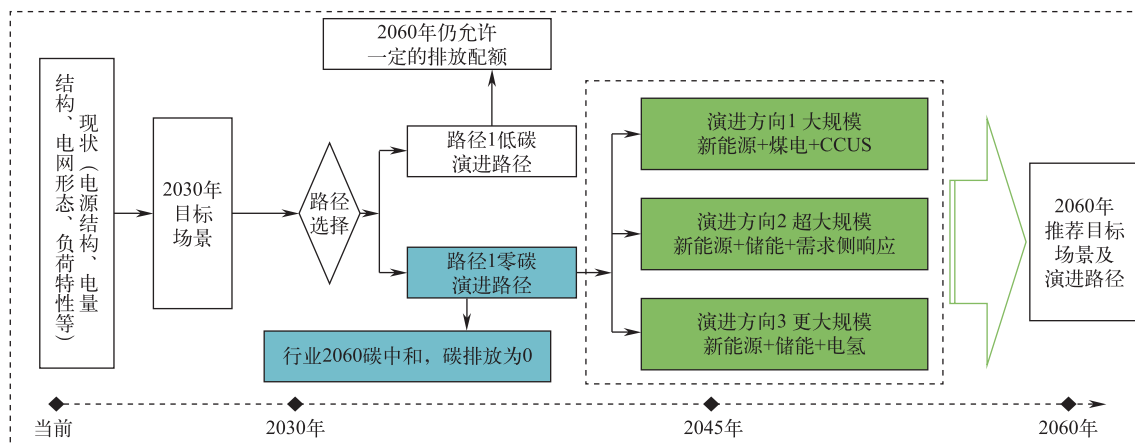


图2 石化新型电力系统零碳演进路径

构建石化新型电力系统，基于各类零碳路径的关键技术都在加快研发，应根据石化行业特点、选择综合方案。石化行业新型电力系统稳步实施包括如下路径。

(1) 与公共电网共生的柔性电力系统的构建路径

1) 对公共电网的要求。“双碳”背景下加大公共电网“绿电”接入比例，通过增设风光功率预测系统、集中储能等措施提高公共电网调峰能力，为石化新型电力系统构建提供保障。

2) 对石化配电网的要求。通过构建石化柔性配电网，通过用电侧总负荷需求及电动机启动对电网的波动感知等技术实现与公共电网的和谐共生，保证公共电网的稳定可靠运行。

“双碳”背景下提高风光等可再生能源接入石化配电网的接入率，最大可能增大可再生能源消纳率。通过构建石化行业风光功率预测系统、动态无功补偿（SVG）系统等提高石化配电网“故障”穿越能力，通过构建智能石化配电网调度系统，从各级调度协同模式，过渡到分层分散自治、集中协调模式，向大电网、配电网相互协调的一体化智能调度发展，最大程度提高石化行业新型电力系统的“韧性”。从适配并网、辅助支撑向构网型主动支撑技术发展。并网技术从小规模、低电压等级接入发展为大规模、中高压接入。

石化行业源网荷储能源管控一体化智能构建路径如下：

1) 随着石化行业新型电力系统构建，石化配电网运行逐渐呈现智能化、数字化的特点。发展“源网荷储一体化”运行急需“云大物移智链边”。其中的云计算、大数据、石化电力物联网、边缘计算等技术手段，让石化配电网系统配备拥有海量数据处理分析、高度智能化决策等能力的云端解决方案。从而实现各类石化能源资源整合、打通能源多环节间的壁垒，让“源网荷储”各要素真正做到友好协同。

2) 从有序用电，过渡到负荷需求响应，向源网荷储管控一体化智能发展。通过构建石化行业能源管理系统，从“源随网动”、“网随源动”、“网随荷动”向“源网荷互动”协调发展。新型储能从源、荷侧小型储能，经过大规模储能，向大容量网

侧构网型储能发展。从“被动适应负荷”向“源网荷储主动协调”发展。

3) 依托海量数据和超强算力，推动构建新能源供给的消纳体系，借助数字技术和绿色技术融合助推重点行业领域用能结构转变和效率提升。另一方面，依托数据共享和业务协同全面满足用户需求，解放用户潜能，更好推进绿色化所需的数字化采集、网络化传输、智能化应用，促进电碳耦合综合能源服务与智慧能源等新产业、新业态、新模式加快发展。

4) 作为衔接风光发电电源、电网、制氢厂用电负荷和储能控制的中间枢纽系统，通过贯穿电源、电网和负荷的“能量平衡”理念，应实现源网荷储各类资源的可观、可测、可控、可调，充分发挥源网荷储各类资源在实际运行中的作用，来提高绿电制氢供电系统的稳定和可靠性，实现平稳运营，实现能源综合利用效率的提升和用能成本的优化。

“源网荷储一体化”的落地将有效解决新能源与传统能源和储能之间协同难、消纳难等制约新能源行业发展的突出“痛点”助力加快构建以新能源为主体的新型电力系统。

具体到石化行业，首先实现风光电源、电网、制氢厂用电负荷和储能智慧能源管控，实现源网荷储各类资源的可观、可测、可控、可调，充分发挥各类资源在实际运行中的作用，来提高绿电制氢供电系统的稳定和可靠性，实现平稳运营，实现能源综合利用效率的提升和用能成本的优化，进而推广到各类使用项目，确保运行稳定性，降低用电成本，促进新能源综合利用和节能减排是十分必要的。

适用于大规模绿电制氢的新型电力系统构建路径如下：

1) 氢能是高效、清洁、可持续的“无碳”能源，发展氢能经济是人类摆脱对化石能源依赖、保障能源安全的永久性战略选择。大规模风/光耦合制氢已经成为我国能源利用的主要方向之一，有效助力中石化打造第一氢能公司的目标的实现。风电和光电虽然都是波动性电源，但两者具有一定的互补性，利用丰富的风、光等电气可再生能源进行电解水制氢，发电、制氢全程无碳排放，结合适量的储能设施，实现“绿电”制造“绿氢”。

2) 大规模风、光发电往往位于沙漠、戈壁、荒漠地带, 根据发电量的多数, 需要升压至220kV甚至更高电压等级, 经长距离输电线路送至制氢降压变电站。

3) 风光耦合制氢项目的电力系统分为并网工

况(与公共电网连接时)和离网工况(不与公共电网连接时)。

绿电制绿氢全流程可分为三个部分: 光伏风电发输绿电、绿电配电制氢、绿氢储存输送, 典型框图如图3所示。

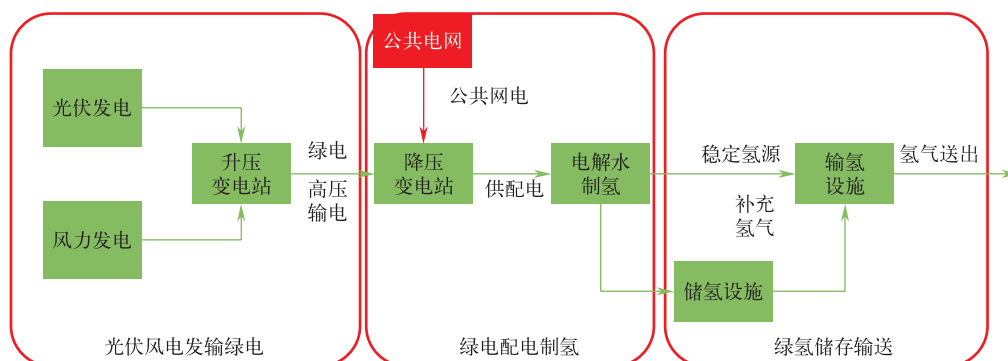


图3 绿电制氢典型框图

3. 绿电条件下对石化用电侧的“再电气化”路径

绿电条件下, 石化用电侧消纳新能源、消费绿色电力不仅与企业自身的可持续发展战略相符合, 也体现了企业社会责任和担当。石化用电侧作为终端能源消费侧, 加大电力利用比重, 有利于减少化石燃料及化石燃料延伸品的直接碳排放污染。同时未来绿电等新能源安全可靠的程度提高, 石化行业可通过用电侧“再电气化”、消纳绿电, 积极的在多种能源共生的新能源结构下, 为节能降碳做出积极响应。在绿电背景下, 与石化用电侧相关的再电气化发展方向主要为: 末端加热用户电气化; 石化用电侧汽驱透平改电驱。

(1) 末端加热用户电气化

石化用电侧加热用户包括各工艺加热炉, 重沸器, 再热器等, 这部分体量巨大, 也是蒸汽梯级利用的最终用户。绿电应用背景下, 部分重沸器热量可以采用电加热方式解决, 还可以通过热泵等能量升级方式实现局部优化, 同时将目前蒸汽伴热改为电伴热。目前有蓄热式与直热式工业加热炉应用的研究, 正研究电导热油炉等方式替代燃料消耗, 可进一步提高再电气化程度。

(2) 石化用电侧炼化厂汽驱透平改电驱

在现阶段终端加热用户热能利用方式没有实质性改变时, 在做好全厂蒸汽梯级利用后, 凝汽式透平改为电驱是节能降碳的发展方向。

透平机组电气化, 核心设备是高压大功率变频

装置和大容量防爆电机。对于高压大功率变频装置, 已知目前国外最大容量为100 MV·A; 国内最大容量为130 MV·A。

随着2024年5月24日, 中景石化集团全球最大年产100万t丙烷脱氢项目正式投产。其中国内企业研制的TZYW-50 000 kW 4P/10 kV大型无刷励磁正压通风防爆同步电动机、RMVC-60 000 kV·A/10 kV超大容量水冷高压变频器已经正式投入商业运行。标志着国产已投运的最大容量约60 MV·A, 国内石化行业大型正压通风型同步电动机50 MW(配套国内励磁系统及国内变频器)已经有应用业绩, 从技术、装备、制造能力等综合方面分析, 国内大型电气驱动设备具备60 MW电动机及其变频驱动的要求。故此, 从供电可靠性、电气设备制造、工程实施性可行性方面汽改电方案是可行的。

电气化率的提高、用电负荷的大量增加、绿电的接入, 都对传统的炼化企业主接线型式产生很大影响, 应对绿电电源、电网、用电负荷和储能设施进行深度分析, 进行仿真计算。炼化企业的用电负荷虽然相对稳定, 但是有必要对其中为数不少的非生产负荷进行收集、剖析, 以尽可能对其精准预测, 实现“源随荷动”。应对绿电背景下、高电气化率的炼化企业电力系统进行能源调节模式的研究、电气储能设备的研究和用电安全分析。

4. 石化行业新型电力系统的储能实施路径

新能源发电特性决定了对其出力进行精确预测

的难度很大,因此新能源发电大规模并网对电力系统发电调节的手段及能力提出了更高要求。引入大量绿电后,石化行业的电网质量会下降,电源频率偏差和电压偏差都会加大,电力系统调节能力变差,结合电气化率的提高,上述问题将更严重。设置适量的储能系统是提高石化行业电力系统调节能力和备用容量的关键手段,也是保证石化电网稳定可靠运行的重要措施之一。

储能可分为储电与储热,目前储能方式主要分为机械储能、电磁储能、电化学储能。电化学储能是指各种二次电池储能,是利用化学元素做储能介质,充放电过程伴随储能介质的化学反应或者变化。由于电化学储能目前技术及应用业绩较成熟可靠,已成为石化行业储能的主要形式。

电化学储能主要包括铅酸电池、液流电池、钠硫电池、锂离子电池等,目前以磷酸铁锂电池为主。

安全、绿色、高效是新时代石化行业电力高质量发展发展的关键因素,要做到和谐统一、统筹协调。储能可发挥支撑石化行业电力保供、提升系统调节能力、保障石化配电网运行安全等重要作用,具有多元、多时间尺度的应用场景,通过储能的规模化应用,石化电力系统由传统源随荷动向源网荷储融合互动发展转变,从而实现安全、绿色、高效三个发展目标的统筹协调。

5. 构建石化行业新型电力系统关键技术支撑

1) 石化行业新型电力系统柔性电网关键技术。新能源接入后,石化电网的技术特性从“硬、集、大、稳”向“软、散、小、晃”变化。电气可再生资源不具备自主支撑能力,无法通过规模增大而自然实现互助增强,电网系统安全性下降,通过石化行业新型电力系统柔性电网关键技术开发,可解决石化电网适应性强,源网耦合互动,提高石化电网的韧性。

2) 风、光等新能源互补与石化电网耦合关键技术。石化电网通常是稳定、连续、可靠电网,大量新能源接入后石化电网将有无源电网变成有源电网,通过对电网关键参数可靠性分析,提高新能源消纳率,最大力度实现节能降碳目标。

3) 适用于石化行业的电储能核心技术。随着石化电网的大规模新能源接入,开发具有石化行业特点的电化学储能技术,为大幅提高风、光等新能源

消纳率提供储能保障。

4) 国产特大容量正压外壳型电动机、特大容量电动机国产变频起动技术、基于电驱动的零碳排放加热炉成套技术开发,为新型石化行业再电气化提供电气解决方案。

新质生产力下石化电气技术的发展

(1) 新质生产力作为推动经济社会发展的重要力量

在石化行业,新型电力系统建设作为石化企业因地制宜发展新质生产力的重要载体,是推动传统石化电网数字化绿色化转型升级、战新产业和未来产业发展的主要抓手。同时,新质生产力的兴起也将重塑石化电力行业的产业结构。

(2) 新型电力系统与新质生产力具有相同的底层逻辑

两者都强调科技创新的引领性。新型电力系统聚焦数字技术、绿色技术等原创性引领性技术突破,以技术变革为牵引,推动传统电力系统向新型电力系统形态转变。

两者都厚植绿色发展底色。新质生产力本身就是绿色生产力,新型电力系统建设以构建高比例新能源消纳体系为主线,推动能源生产和消费革命,是石化电力领域绿色发展的集中体现。

(3) 新型电力系统是推动新质生产力发展的重要路径

新质生产力下石化电气技术的发展新质生产力下本质是创新。立足石化新兴产业、未来石化电气技术的发站是新质生产力的落脚点。

新质生产力下石化电气技术的发展将利用数智赋能技术、绿色低碳理念引领传统石化电力系统网转型、产业迭代升级。构建新型电力系统、加快数字产业集群建设、储能产业集群建设、综合能源产业集群建设、电动汽车充换电集群建设、石化电力工业软件系统六大战新产业,布局氢能等未来产业,着力强化石化企业在能源产业价值链上的技术优势和产业优势。

新质生产力下要加大科研攻关力度。聚焦新型电力系统,在大容量风电、高效光伏、大规模储能、绿电离网制氢等重点领域和方向,加快开展技术攻关和成果转化应用。EA