

[电气化率]

炼化企业提高终端电气化率 路径探讨

文/徐辉

中国石油天然气股份有限公司华北石化分公司

针对炼化企业提高终端电气化率路径进行了探讨，给出了炼化企业终端电气化率的计算公式和详细定义，探讨了炼化企业提高终端电气化率的主要技术路径，并对降低炼化生产装置总用能基数、汽轮机驱动的压缩机和机泵改为电驱、采用电锅炉替代燃油/燃气锅炉进行了分析。建议地处不同区域、不同生产工艺路线的炼化企业，按照技术可行、运行可靠和经济合理的原则，制定“一厂一策”的提高终端电气化率方案。

我国已经宣布CO₂排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。实现绿色低碳发展，主要抓手是CO₂减排，管理手段是从能耗强度与总量双控转向碳强度和总量的控制；核心是用能结构的转变。目前煤、油、气为一次能源，电为二次能源；今后电和热为一次能源，氢为二次能源，实质是传统工业的再电气化。其中“电”是指光伏发电、风电和核电等可再生能源。

终端再电气化是一项复杂的系统工程，与区域经济发展、行业用能特点、企业用能结构和电网排放因子等紧密相关，必须从技术、经济、政策和地域等角度系统研究可行性，积极稳妥有序推进。

终端电气化率的计算

提高终端电气化率是指用能过程不断调整用能结构，在降低过程总用能的基础上，不断提高用电比重，降低化石能源占比的过程。

终端电气化率计算公式定义为

终端电气化率(%) = 电能消耗/总能耗 × 100%
式中，电能消耗为终端用户的用电负荷，采用当量

值计算，耗电量的当量值依据GB/T 2589—2020《综合能耗计算通则》，1 kW·h折合成标油为0.086 kg；总能耗包括电能消耗和其他能耗，其他能耗定义为进出边界的和目标对象的和能量相关的耗能工质。

炼化企业按照GB/T 50441—2016《石油化工设计能耗计算标准》第4.2.2条中说明，原料不计入能耗的体系，所消耗的燃料应包括外部供入和所消耗的自产燃料。

随着清洁电力的持续发展，并入电网的绿电比例不断增加，电网排放因子随之降低。经测算，当电网排放因子低于0.38时，提高终端电气化率能够减少CO₂与污染物的直接排放，且随着相关行业技术装备的不断提升，大规模电力替代将逐步具备可行性。

按照《中国区域电网二氧化碳排放因子研究（2023）》的定义，电网CO₂排放因子是指从电网获取和消费单位电量（1 kW·h）所导致的间接CO₂排放。电网排放因子是消费端核算碳排放的关键指标，用于测算评估由于电力消费所产生的间接排放。根据国家能源局公布的数据显示，河北省南网预估2024年绿电比例在20%左右。

炼化企业终端电气化率状况及提高路径

炼化企业用能结构中，化工装置终端电气化率一般高于炼油装置。炼油装置中，外购燃料气、自用燃料油气和催化烧焦等在耗能中占比较高，有自备电厂的企业燃煤能耗也是主要用能消耗项之一。

提高炼化企业终端电气化率主要路径可以分为降低生产装置总用能基数，汽轮机驱动的压缩机和机泵改为电驱，采用电锅炉替代燃油/燃气锅炉等措施。以下将对其主要技术路径进行进一步分析。

1. 降低炼化生产装置总用能基数

根据原油性质不同，生产加工工艺不同，装置实际运行负荷不同，降低总用能基数应坚持系统思维和问题导向，在做好整体平衡、生产装置能耗计量和公用工程系统优化的前提下，研究落实具有针对性的措施。

原则上应从降低单装置能耗、提高装置间热联合比例、提高加热炉效率、优化系统管网运行、应用新材料降低管网热损失和加强季节性用能优化管理方面入手，做到应降尽降、应收尽收和应用尽用，应关注蒸汽的梯级利用、低温热充分利用等关键点。

2. 汽轮机驱动的压缩机和机泵改为电驱

汽轮机驱动设备改为电驱应优先改造凝气式汽轮机组，原因是凝气式汽轮机效率较低，大约只有25%左右，未能充分实现蒸汽的梯级利用，有较大的节能空间。其次改造背压式汽轮机驱动的设备。

汽轮机改为电驱的难点在于汽轮机转速一般较高，而电动机的同步转速最高只有3 000 rpm，需要增加齿轮箱变速，采用特殊的高速电动机等附属设备；炼化企业使用的汽轮机功率较大，6~10 kV电动机配套困难；汽轮机调速方便，调速准确度高，电动机调速需要增加专用调速设备。

现有电动机调速技术主要有液力（或磁力）耦合器、高压变频器和行星齿轮等方式，要达到调速准确度、稳定性的要求需要进行深入分析，合理选择配置方案。液力（或磁力）耦合器调速属于低效调速，调速准确度最高为1%左右，对现场安装位置要求较高，双层布置时对于运行机组改造的土建结构施工难度大。高压变频器调速属于高效调速，调速准确度可以达到0.5%，但是电力电子设备元器件多、结构复杂，抗电力系统波动能力差。为了提高

可靠性，往往按照一开一备或两开一备方式配置，增加了整体设备投资和控制的复杂性。

行星齿轮调速方式是近年发展起来的机电一体化调速系统技术，主电动机以工频定速运行，通过机电一体化调速装置（EM-VSD）驱动相关设备，效率可以达到94%以上，在热电厂、船舶等行业已经有了相关应用案例。例如：某石化公司乙烯项目在设计压缩机组阶段谋划采用该技术，压缩机组轴功率达到了27 000 kW，按照起动阶段、单/双电动机运行等工况进行操作。行星齿轮调速方式布置示意图如图1所示，原理如图2所示。

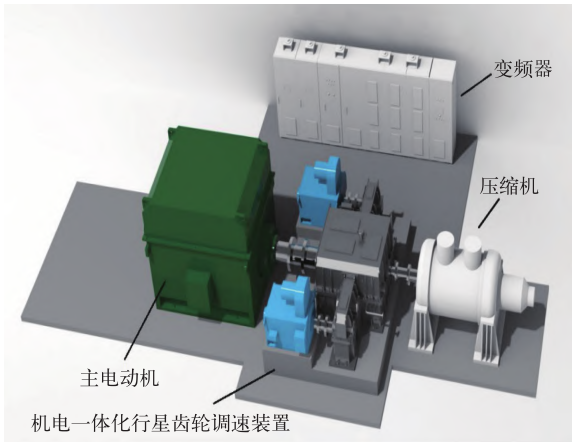


图1 行星齿轮调速方式布置示意图

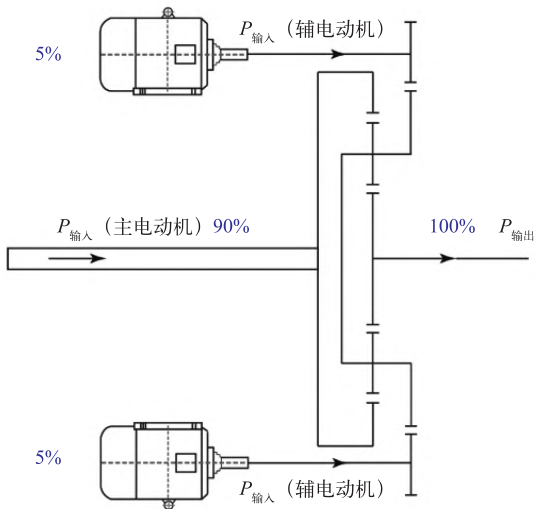


图2 行星齿轮调速方式原理图

机电一体化行星齿轮变频调速装置可靠性分析如下。

1) 装置本体为纯机械行星齿轮传动机构，预计

运行寿命在30年以上。

2) 辅电动机的可靠性与主电动机保持一致。

3) 变频器相对来说是最薄弱环节,但与全容量高压变频调速方案相比,电子元器件数量减少90%,可靠性可以得到保证。

4) 即使变频器出现故障,由于变频器是按照一拖一备的标准设置,也能确保机组继续稳定运行。

3. 采用电锅炉替代燃油/燃气锅炉

电锅炉技术在核电、多晶硅生产企业中已经有应用,由于只做启动锅炉或有中间原料库存,对其可靠性、连续运行的要求没有炼化企业高。

电锅炉具有效率高、可快速起动、调节方便、占地面积小和自动化程度高等优点,现有技术单台运行设备的最大功率可以达到15 MW左右,已有企业在开发更大功率的电锅炉,未来发展应用、推广可期。

电锅炉与绿电消纳相结合,在高电价区域(一般认为度电电价高于0.4元/kW·h为高电价区)采用谷电价段运行,和热水、熔盐等方式储能相结合,在经济上具有可行性。电锅炉推广过程中还需要关注检修期、产生微量H₂的问题,可采用多台电锅炉并行、定期释放H₂等措施来解决。例如:某石化公司储运系统原油卸车间歇使用,对可靠性要求相对较低,与主厂区蒸汽管网距离远、热损失大,经测

算电锅炉生产蒸汽的运行费用与现有燃气锅炉基本相当,具有良好的应用场景。

结论及建议

以上列举的方法是炼化企业提高终端电气化率的普遍手段,其他技术,如增加电伴热,虽有所贡献,但在总用能占比中较少;化工类装置中应用导热油加热的场景,新增或改造为电锅炉较为便利。当地地热资源丰富的,可以引入地热热源来替代部分低温位热水伴热,也有利于终端电气化率的提升。生产装置更多地实现热联合,有利于降低总用能基数,也是主要提升手段之一。

在国家“双碳”目标的大背景下,炼化企业提高终端电气化率是必然选择。地处不同的区域、不同生产工艺路线的炼化企业应根据自身特点,按照技术可行、运行可靠和经济合理的原则,制定“一厂一策”的提高终端电气化率的方案。同时跟踪现有技术的发展和进步,及时调整相关策略,以期在未来市场竞争中占据有利地位。EA

(收稿日期:2024-04-10)

参考文献

- [1] 袁明江,王志刚.石化企业提高终端电气化率路径[J].油气与新能源,2023,35(3):97-102.

