



# 乙烯行业——煤制烯烃





## 前 言

国家节能中心制定能效评价技术依据的主要目的是为全国节能中心系统有关工作提供支撑，例如，固定资产投资项目节能评估和审查、“中国能效之星”评价以及能源审计等。同时，随着能效评价技术依据的不断修订和完善，希望能为相关行业、企业及机构统一规范地开展能效评价工作提供帮助，并为国家标准的制修订提供参考。

能效评价技术依据的核心内容是能效评价指标体系的设置，主要包含能效评价指标和指标值两个部分。其中，指标的设置参考了国家能耗限额标准、地方能耗限额标准（限额文件）、行业能耗限额标准，以及相关行业和企业的统计指标；指标值的确定参考了国家能耗限额标准、行业能耗限额标准、地方能耗限额标准，以及国家节能中心和地方节能中心所掌握的能效数据、行业协会和相关科研机构的统计数据、典型企业的实际运行数据等。此外，能效评价技术依据还对指标体系的具体应用进行了解释。

煤制烯烃行业能效评价技术依据由国家节能中心组织制定。在制定过程中得到了中国煤炭科学研究院姜英、张国光等专家以及神华煤制油化工有限公司包头煤化工分公司等机构的大力支持和帮助，在此表示感谢。

### 1 适用范围

本技术依据适用于以煤为原料，经气化、净化、甲醇、制烯烃系统及烯烃分离等工艺，得到乙烯、丙烯及其他产品企业的能效评价，包括新建项目

的节能评估和审查，以及既有项目的能效评价等。

## 2 规范性引用文件

本技术依据引用了下列文件的条款。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 12723 单位产品能源消耗限额编制通则
- GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则
- GB/T 2586 热量单位、符号与换算
- GB/T 2589 综合能耗计算通则
- GB/T 12497 三相异步电动机经济运行
- GB/T 13462 电力变压器经济运行
- GB/T 13466 交流电气传动风机（泵类、空气压缩机）系统经济运行通则
- GB/T 14549 电能质量、公用电网谐波
- GB 18613 中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级
- GB 19153 容积式空气压缩机能效限定值及节能评价值
- GB 19761 通风机能效限定值及节能评价值
- GB 20052 三相配电变压器能效限定值及节能评价值
- GB/T 23331 能源管理体系要求

## 3 能效评价指标

能效评价指标是反映煤制烯烃企业能源利用效率的综合性指标。根据煤制烯烃企业能源消耗情况特点，能效评价指标为煤制烯烃单位产品能源消耗。

## 4 评价指标的定义及计算方法

### 4.1 煤制烯烃单位产品能源消耗的定义

**定义：**在统计期内，煤制烯烃企业生产单位合格乙烯和丙烯产品的综合能耗量，能源消耗总量等于煤制烯烃生产过程中输入的各种能源折标准煤合计量减去向外输出的各种产品实物量折标准煤合计量。

**统计范围：**将整个煤制烯烃的生产过程作为能源消耗的统计边界，输入系统的能源包括原料煤、动力煤、外购电能、燃油和其他动力消耗，输出系统的能源包括煤制烯烃生产过程中产出的乙烯、丙烯、C4、C5+类、LPG、汽油、硫磺等产品。

煤制烯烃系统的能源统计边界见图1。

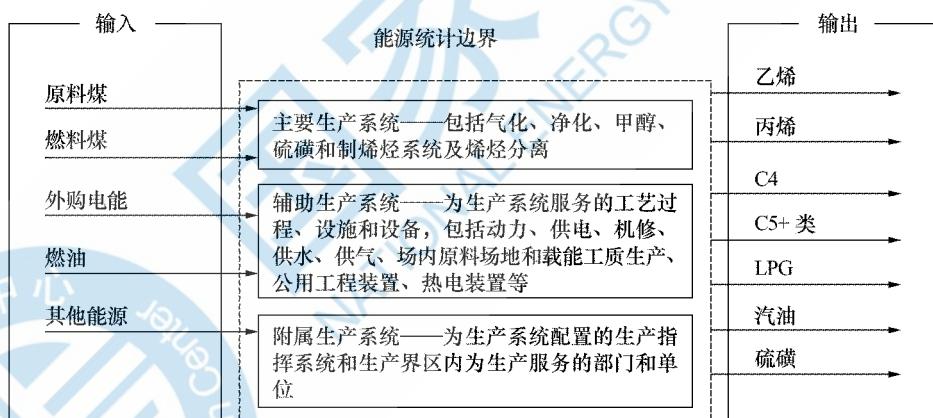


图1 煤制烯烃能源消耗统计边界图

煤制烯烃的能源统计边界仅到乙烯和丙烯为止，不包括产品聚合工序。

(1) 煤制烯烃综合能耗包括主要生产系统、辅助生产系统和附属生产系统所消耗的各种一次能源量、二次能源量和损失量；不包括建设和改造过程用能和生活用能（指企业系统内宿舍、学校、文化娱乐、医疗保健、商业服务和托儿幼教等方面用能），不包括烯烃聚合工艺的能源消耗量。主要生产系

统包括备煤、气化、空分、变换净化、甲醇合成、甲醇制烯烃、烯烃分离和硫回收等生产装置；辅助生产系统是为主要生产系统服务的公用工程、热电和安全环保等工艺过程、设施和设备，包括动力、供电、机修、供水和供气等生产装置；附属生产系统是为生产系统配置的服务部门和单位，包括办公室、化验室、浴室和维修室等。

(2) 煤制烯烃输出能量是指煤制烯烃系统向外输出的供其他产品或装置使用的能量。煤制烯烃生产系统产生的废气、废液、废渣中未回收使用的、无计量的、没有实测热值以及不作为能源利用的（如直接用于修路、盖房等），均不得计入输出能量。

(3) 煤制烯烃生产回收利用的能量，用于本系统时，不得作为输入能量计入；向外系统输出时，应计入煤制烯烃向外输出能量。

(4) 烯烃聚合及其他深加工工序消耗的各种能源折标准煤合计量，应从煤制烯烃的综合能耗中扣除。

(5) 耗能工质（包括外购和自产自用）不计入煤制烯烃综合能耗。外购的耗能工质，计入煤制烯烃企业单位产品能源消耗；自产自用的耗能工质，不计入煤制烯烃单位产品能源消耗。

#### 4.2 煤制烯烃单位产品能源消耗的计算方法

计算公式：

$$e = \frac{E + E'}{P} \quad (1)$$

式中：

$e$ ——煤制烯烃单位产品能源消耗，单位为千克标准煤每吨 (kgce/t)；

$P$ ——指合格煤制烯烃产品产量，单位为吨 (t)；

$E$ ——煤制烯烃综合能耗，单位为千克标准煤 (kgce)；

$E'$ ——外购耗能工质能源消耗折算量，单位为千克标准煤 (kgce)。

其中，煤制烯烃综合能耗按式（2）计算：

$$E = \sum_{i=1}^n (E_i \times k_i) - \sum_{j=1}^m (E_j \times k_j) \quad (2)$$

式中：

$E$ ——煤制烯烃综合能耗，单位为千克标准煤（kgce）；

$E_i$ ——煤制烯烃生产过程中输入的第  $i$  种能源实物量，包括原料煤、燃料煤、外购电力和各种油类等，单位为吨（t）或千瓦时（kW·h）或标准立方米（Nm<sup>3</sup>）；

$k_i$ ——输入的第  $i$  种能源的折标系数，单位为千克标准煤每吨（kgce/t）或千克标准煤每千瓦时（kgce/kW·h）或千克标准煤每标准立方米（kgce/Nm<sup>3</sup>）；

$n$ ——输入的能源种类数量；

$m$ ——输出的能源种类数量；

$E_j$ ——煤制烯烃生产过程中输出的第  $j$  种产品实物量，包括乙烯、丙烯、碳四、碳五类、LPG 和油品等，单位为吨（t）或千瓦时（kW·h）或标准立方米（Nm<sup>3</sup>）；

$k_j$ ——输出的第  $j$  种产品的折标系数，单位为千克标准煤每吨（kgce/t）或千克标准煤每千瓦时（kgce/kW·h）或千克标准煤每标准立方米（kgce/Nm<sup>3</sup>）。

各种能源应以其低位发热量为计算基础折算为标准煤量，以企业在统计报告期内的实测值为准，没有实测条件的，采用附录 A 中各种能源折标准煤参考系数。低位发热量等于 29307 千焦的燃料，称为 1 千克标准煤。各种耗能工质应采用附录 B 中各种耗能工质折标准煤参考系数为计算基础折算为标准煤量。甲醇按等价值折算标准煤。

式（1）中，外购耗能工质能源消耗折算量按公式（3）进行折算：

$$E' = \sum_{t=1}^u (E'_t \times p_t) \quad (3)$$

式中：

$E'_t$ ——煤制烯烃生产过程中外购的第  $t$  种耗能工质，包括新水、软化水、压缩空气、氧气和氮气等，单位为吨（t）或标准立方米（Nm<sup>3</sup>）；  
 $p_t$ ——外购的第  $t$  种耗能工质的折标系数，单位为千克标准煤每吨（kgce/t）或千克标准煤每标准立方米（kgce/Nm<sup>3</sup>）；  
 $u$ ——外购的耗能工质种类数量。

## 5 能效评价指标值

目前，煤制烯烃的生产工艺路线主要分为两大部分，首先是通过煤气化后制甲醇，然后通过两种不同的转化技术将甲醇转化成烯烃类产品，即 MTO（甲醇制烯烃）和 MTP（甲醇制丙烯）。这两种工艺都是解决烯烃的生产问题，但是各自的目标产品和副产品的结构不同：MTO 工艺生产出的烯烃类产品主要是乙烯和丙烯，还包括少量的碳五以上烯烃、低碳饱和烃，烯烃类产品的总量占整个产品总量的 90% 及以上；而 MTP 工艺产出的烯烃类产品主要是丙烯，还包括少量的乙烯、碳五以上烯烃、低碳饱和烃等，烯烃类产品的总量占整个产品总量的 70%。

因此，以“乙烯、丙烯”两项作为煤制烯烃单位产品能源消耗指标计算“合格煤制烯烃产品产量”时，由于统计原则的原因，使得 MTO 生产工艺的单位产品能源消耗指标要比 MTP 生产工艺的单位产品能源消耗指标低 25% ~ 30%。因此，在制定煤制烯烃单位产品能源消耗的评价指标时，应对生产不同主产品的企业分别制定指标值，以提高不同企业间能耗指标比对的合理性和可操作性。

目前，我国煤制烯烃产业正处于发展初期，正式投入连续生产的煤制烯烃企业共有三家，其生产工艺水平、装备水平和能耗水平基本处于国内甚至国际先进水平。大部分煤制烯烃的企业都处于拟建阶段，因此实际能耗水平数据较少，大部分数据来自项目的可行性研究报告。

根据对煤制烯烃示范企业的调研数据，并选取了目前拟建的煤制烯烃企业可行性研究报告数据，对 MTP 和 MTO 两种生产工艺的能源消耗量设计值进行比较，确定煤制烯烃能效评价指标值（具体见表 1）。

表 1

煤制烯烃单位产品能源消耗

单位：kgce/t

工艺	主产品结构	能效指标			
		A	B	C	D
MTO 工艺	乙烯和丙烯	3500	3700	4000	4500
MTP 工艺	丙烯	5000	5200	5500	6000

其中：A 值以煤制烯烃的理论计算数据为基础，相当于能效领跑者水平；B 值以煤制烯烃的理论计算数据为基础，设定能效先进水平；C 值主要参照目前设计部门、科研机构、高等院校等相关单位的研究数据以及煤制烯烃可行性研究报告中的数据，相当于准入水平；D 值为目前国内三家煤制烯烃示范性企业实际运行的能效平均水平。

## 6 能效评价指标体系的应用

### 6.1 固定资产投资项目节能评估和审查

煤制烯烃企业的固定资产投资项目节能评估文件，应提供能效评价指标设计值及计算过程。

在固定资产投资项目节能评审中，新建煤制烯烃项目采用煤制烯烃单位产品能源消耗作为评估判断项目总体能效水平的指标。具体判断方法如下：

煤制烯烃单位产品能耗设计值  $\leq B$  值，国内领先水平；

$B$  值  $<$  煤制烯烃单位产品能耗设计值  $\leq C$  值，国内先进水平；

$C$  值  $<$  煤制烯烃单位产品能耗设计值  $\leq D$  值，国内一般水平；

煤制烯烃单位产品能耗设计值  $> D$  值，国内落后水平。

### 6.2 “中国能效之星”评价

“中国能效之星”评价指标体系（工业领域）中的“能效水平状况”指

标可采用本技术依据。煤制烯烃企业采用稳定运行后的单位产品综合能源消耗为总体能效水平评价指标。申报“中国能效之星”的煤制烯烃企业，应该申报材料中明确列出单位产品综合能源消耗指标，指标值应采用实际测试数据，测试和监测方案应按有关标准执行，并委托第三方机构进行检测与测算。

根据“中国能效之星”评分规则，在行业平均水平（D 值）与最高水平（A 值）之间划分为 12 个区间，分别给予不同分值。具体评分时，对主要产品为乙烯和丙烯的装置和主要产品为丙烯的装置分别进行评分，具体标准如表 2、表 3 所示。

表 2 MTO 装置“中国能效之星”评分标准参考

煤制烯烃单位产品（乙烯和丙烯） 能源消耗 (kgec/t)	得分	煤制烯烃单位产品（乙烯和丙烯） 能源消耗 (kgec/t)	得分
$e \geq 4500$	0	$4400 \leq e < 4500$	1
$4300 \leq e < 4400$	2	$4200 \leq e < 4300$	3
$4100 \leq e < 4200$	5	$4000 \leq e < 4100$	7
$3900 \leq e < 4000$	9	$3800 \leq e < 3900$	12
$3700 \leq e < 3800$	15	$3600 \leq e < 3700$	18
$3500 \leq e < 3600$	21	$e < 3500$	25

表 3 MTP 装置“中国能效之星”评分标准参考

煤制烯烃单位产品（丙烯） 能源消耗 (kgec/t)	得分	煤制烯烃单位产品（丙烯） 能源消耗 (kgec/t)	得分
$e \geq 6000$	0	$5900 \leq e < 6000$	1
$5800 \leq e < 5900$	2	$5700 \leq e < 5800$	3
$5600 \leq e < 5700$	5	$5500 \leq e < 5600$	7
$5400 \leq e < 5500$	9	$5300 \leq e < 5400$	12
$5200 \leq e < 5300$	15	$5100 \leq e < 5200$	18
$5000 \leq e < 5100$	21	$e < 5000$	25

### 6.3 能源审计

能源审计报告中应当报告单位产品综合能耗指标，指标值应采用实际测

试数据，数据测试和监测按照国家标准方法执行，并委托第三方检测机构进行检测与统计。

能源审计机构应依据各指标所处的区间，综合考虑该煤制烯烃装置的能效水平，分析能源利用中存在的问题，判断问题产生的原因，查找节能潜力，提出改进措施和建议。

### 6.3.1 影响因素

#### 6.3.1.1 煤气化工序能效

煤气化技术是煤制甲醇技术的“龙头”，用于将煤制成合成甲醇所需的合成气（ $\text{CO} + \text{H}_2$ ）。原煤气化是煤制烯烃生产过程中的重点耗能工序，也是以原煤为原料生产烯烃产品和以油类为原料生产烯烃产品最大的区别所在。因此，如何能根据煤源地煤质特点选取适合的煤气化工艺是煤制烯烃新建企业在进行可行性研究阶段的重点工作，将直接决定企业正式投运后单位产品能耗指标的大小。

煤气化技术已有 100 多年的历史，大致经历了从空气气化到纯氧气化，从小规模常压气化到大规模高压气化的发展历程，气化炉炉型也经历了固定床、流化床到气流床的演变历史。当前，大规模高温高压纯氧气流床气化技术代表了煤气化技术发展的主流方向，其代表性技术有美国 GE 水煤浆加压气化（原 Texaco）技术、荷兰壳牌粉煤加压气化（Shell）技术和德国未来能源粉煤加压气化（GSP）技术，这些技术已具备建设单台投煤量在 2000t/d 左右的大型煤气化炉的能力。近年来，国内自主研发的大型气流床气化技术也得到了长足发展，以华东理工大学等单位开发的多喷嘴对置水煤浆气化技术为代表的国内具有自主知识产权的煤气化技术已趋于成熟，单台投煤量在 1000t/d 左右的气化炉已成功投入商业运行。

#### 6.3.1.2 空分装置能效

空分装置是煤制烯烃生产过程中的重点耗电单元。目前，煤制烯烃生产

过程中的气体来源主要有自产和外购两种形式，因此在计算单位产品能耗指标时应将外购的耗能工质折算成能源消耗量等价值计入总能耗，以提高指标的可比性。

在煤制烯烃技术中，空分装置用于为煤气化装置提供所需的原料氧气，年产百万吨级的煤制烯烃装置配套的空分装置供氧能力一般需要 10 万  $m^3/h$  以上，大型煤制甲醇装置要求配套大型空分装置，以降低单位产能的投资及生产运行费用。空分技术的发展历史已有 100 余年，是一项非常成熟的工业技术，随着技术及装备水平的不断提高，目前国外著名的空分技术供应商如德国林德公司（Linde）、美国空气产品和化学品公司（APCI）、法国空气液化公司（AirLiquide）等都具备提供单套制氧能力超过 10 万  $m^3/h$  的空分设备的能力。近年来，国内大型空分设备在流程、设计水平和规格方面均取得了重大突破，目前已有多套制氧量 5 万  $m^3/h$  的空分装置成功投入工业运行，另有多套 6 万  $m^3/h$  的空分装置正在建设过程中。

### 6.3.1.3 合成气净化

目前，世界上大型煤气化装置产生的合成气净化普遍采用低温甲醇洗（Rectisol）技术，该工艺是采用冷甲醇作为溶剂脱除酸性气体的物理吸收方法，是由德国林德公司和鲁奇公司联合开发的一种有效的气体净化工艺，具有技术成熟可靠、能耗较低、气体净化度高等特点，可将  $CO_2$  脱至 10ppm 以下， $H_2S$  小于 0.1ppm；溶剂价格便宜，吸收能力大，循环量小，操作费用低。目前，国外低温甲醇洗工艺有林德工艺和鲁奇工艺两种流程，两者在基本原理上没有根本区别，都有多套商业化装置运行经验。两家专利在工艺流程设计、设备结构和工程实施上各有特点。大连理工大学经过近 20 年的研究，也开发成功了低温甲醇洗工艺软件包，并获得了国内两项专利。

### 6.3.1.4 甲醇合成技术

近年来，甲醇技术逐渐向大型化发展，据测算，甲醇装置规模若从 30 万

吨/年扩大到 300 万吨/年，单位成品投资可降到原来的 68%，生产成本降至原来的 73%。随着 Lurgi 公司超大规模甲醇（Mega-Methanol）概念的提出，Lurgi、TopsΦe、Davy 等著名甲醇技术供应商相继开发出了年产百万吨以上规模的甲醇生产技术，并成功实现了商业转让。

### 6.3.2 改进措施

#### 6.3.2.1 经济运行措施

企业应选用能使煤制烯烃各生产系统达到经济运行状态的专用大型固定设备和通用设备，加强设备的检修、维护工作，提高设备的负荷率，使其长周期运行；应使生产转动设备合理匹配，经济运行；应使静止设备处于高效率、低能耗运行状态；应按照合理用能的原则，对各种热能科学使用，梯级利用；对余热和余压，加强回收和利用；对各种带热（冷）设备和管网，应加强维护管理，防止跑、冒、滴、漏的现象发生。加强先进控制、实时优化、能量系统优化、原料优化调度等先进技术推广应用，降低装置能耗的同时持续提升装置经济效益。

#### 6.3.2.2 节能技术措施

新建或改建企业应根据当地煤质资源的特点，选取与之相匹配的气化工艺和装置。鼓励选用低阶煤或劣质煤作为煤制烯烃的原料。推进清洁生产，提高资源利用效率，减少污染物排放量。推广“三废”综合利用技术，推广高效率的气化、净化、合成技术，淘汰高能耗、高污染的工艺和设备。

#### 6.3.2.3 节能管理措施

按照 CB 23331《能源管理体系要求》建立完善的能源管理体系。建立健全能源管理组织机构，对节能工作进行组织、管理、监督、考核和评价。制定行之有效的能源计划、能源计量、能源统计及能耗分析、节能监测、主要耗能设备定额等节能管理制度，强化责任制，建立健全节能责任考核体系。建立能源计划、能耗统计、能耗测试、能源平衡和能耗考核结果的归档，并进行受控管理。

**附录 A**  
**(资料性附录)**  
**各种能源折算标准煤系数**

能源名称	平均低位发热量	折标准煤系数
原煤	20908kJ/kg (5000kcal/kg)	0. 7143kgce/kg
洗精煤	26344kJ/kg (6300kcal/kg)	0. 9000kgce/kg
其他 洗煤	洗中煤	8363kJ/kg (2000kcal/kg)
	煤泥	8363kJ/kg ~ 12545kJ/kg (2000kcal/kg ~ 3000kcal/kg)
焦炭	28435kJ/kg (6800kcal/kg)	0. 9714kgce/kg
原油	41816kJ/kg (10000kcal/kg)	1. 4286kgce/kg
重油	41816kJ/kg (10000kcal/kg)	1. 4286kgce/kg
煤油	43070kJ/kg (10300kcal/kg)	1. 4714kgce/kg
汽油	43070kJ/kg (10300kcal/kg)	1. 4714kgce/kg
柴油	42652kJ/kg (10200kcal/kg)	1. 4571kgce/kg
煤焦油	33453kJ/kg (8000kcal/kg)	1. 1429kgce/kg
渣油	41816kJ/kg (10000kcal/kg)	1. 4286kgce/kg
液化石油气	50179kJ/kg (12000kcal/kg)	1. 7143kgce/kg
炼厂干气	46055kJ/kg (11000kcal/kg)	1. 5714kgce/kg
油田烯烃	38931kJ/Nm <sup>3</sup> (9310kcal/Nm <sup>3</sup> )	1. 3300kgce/Nm
气田烯烃	35544kJ/Nm <sup>3</sup> (8500kcal/Nm <sup>3</sup> )	1. 2143kgce/Nm
煤矿瓦斯气	14636kJ/Nm <sup>3</sup> ~ 16726kJ/Nm <sup>3</sup> (3500kcal/Nm <sup>3</sup> ~ 4000kcal/Nm <sup>3</sup> )	0. 5000kgce/Nm <sup>3</sup> ~ 0. 5714kgce/Nm <sup>3</sup>
焦炉煤气	16726kJ/Nm <sup>3</sup> ~ 17981kJ/Nm <sup>3</sup> (4000kcal/Nm <sup>3</sup> ~ 4300kcal/Nm <sup>3</sup> )	0. 5714kgce/Nm <sup>3</sup> ~ 0. 6143kgce/Nm <sup>3</sup>
高炉煤气	3763kJ/Nm <sup>3</sup>	0. 1286kgce/Nm <sup>3</sup>

续表

能源名称	平均低位发热量	折标准煤系数
其他 煤气	a. 发生炉煤气 5227kJ/Nm <sup>3</sup> (1250kcal/Nm <sup>3</sup> )	0.1786kgce/m <sup>3</sup>
	b. 重油催化裂解煤气 19235kJ/Nm <sup>3</sup> (4600kcal/Nm <sup>3</sup> )	0.6517kgce/m <sup>3</sup>
	c. 重油热裂解煤气 35544kJ/Nm <sup>3</sup> (8500kcal/Nm <sup>3</sup> )	1.2143kgce/m <sup>3</sup>
	d. 焦炭制气 16308kJ/Nm <sup>3</sup> (3900kcal/Nm <sup>3</sup> )	0.5571kgce/m <sup>3</sup>
	e. 压力气化煤气 15054kJ/Nm <sup>3</sup> (3600kcal/Nm <sup>3</sup> )	0.5143kgce/m <sup>3</sup>
	f. 水煤气 10454kJ/Nm <sup>3</sup> (2500kcal/Nm <sup>3</sup> )	0.3571kgce/m <sup>3</sup>
乙烯	50303kJ/kg (12030kcal/kg)	1.7162kgce/kg
丙烯	48692kJ/kg (11644kcal/kg)	1.6613kgce/kg
粗苯	41816kJ/kg (10000kcal/kg)	1.4286kgce/Nm <sup>3</sup>
热力 (当量值)	—	0.03412kgce/MJ
电力 (当量值)	3600kJ/kW · h [860kcal/(kW · h)]	0.1229kgce/kW · h
电力 (等价值)	按当年火力发电标准煤耗计算	—
甲醇 (等价值)	—	1800kgce/t
蒸汽 (低压)	3673MJ/t (900Mcal/t)	0.1286kgce/kg



附录 B  
(资料性附录)  
耗能工质能源等价值

品种	单位耗能工质耗能量	折标准煤系数
新水	2. 51MJ/t (600kcal/t)	0. 0857kgce/t
软水	14. 23MJ/t (3400kcal/t)	0. 4857kgce/t
除氧水	28. 45MJ/t (6800kcal/t)	0. 9714kgce/t
压缩空气	1. 17MJ/Nm <sup>3</sup> (280kcal/Nm <sup>3</sup> )	0. 0400kgce/Nm <sup>3</sup>
鼓风	0. 88MJ/Nm <sup>3</sup> (210kcal/Nm <sup>3</sup> )	0. 0300kgce/Nm <sup>3</sup>
氧气	11. 72MJ/Nm <sup>3</sup> (2800kcal/Nm <sup>3</sup> )	0. 4000kgce/Nm <sup>3</sup>
氮气 (做副产品时)	11. 72MJ/Nm <sup>3</sup> (2800kcal/Nm <sup>3</sup> )	0. 4000kgce/Nm <sup>3</sup>
氮气 (做主产品时)	19. 66MJ/Nm <sup>3</sup> (4700kcal/Nm <sup>3</sup> )	0. 6714kgce/Nm <sup>3</sup>
二氧化碳气	6. 28MJ/Nm <sup>3</sup> (1500kcal/Nm <sup>3</sup> )	0. 2143kgce/Nm <sup>3</sup>



# 乙烯行业——石油烃类制烯烃



国家节能中心  
NATIONAL ENERGY CONSERVATION CENTER



国家节能中心  
NATIONAL ENERGY CONSERVATION CENTER

## 前 言

国家节能中心制定能效评价技术依据的主要目的是为全国节能中心系统有关工作提供依据，例如，固定资产投资项目节能评估和审查、“中国能效之星”评价、能源审计等。同时，随着能效评价技术依据的不断修订和完善，希望能为相关行业、企业及机构统一规范地开展能效评价工作提供帮助，并为形成国家标准提供参考。

能效评价技术依据，其核心内容是能效评价指标体系的设置，主要包含能效评价指标和指标值两个部分。其中，指标的设置参考了国家能耗限额标准、地方能耗限额标准（限额文件）、行业能耗限额标准，以及相关行业和企业的统计指标；指标值的确定参考了国家能耗限额标准、行业能耗限额标准、地方能耗限额标准，以及国家节能中心和地方节能中心所掌握的能效数据、行业协会和相关科研机构的统计数据、典型企业的实际运行数据等。此外，能效评价技术依据还对指标体系的具体应用进行了解释。

乙烯行业（石油烃类为原料）的能效评价技术依据由国家节能中心组织制定。在制定过程中得到谢艳丽、段国华、陈广卫、王学文、王广河、章龙江等专家和中国石化集团公司经济技术研究院，以及中国石化、中国石油两大集团公司下属设计院和生产企业的大力支持和帮助，在此表示感谢。

### 1 适用范围

本技术依据适用于以石油烃类为原料的乙烯企业能效评价，包括新建项

目的节能评估和审查，以及现有项目的能效评价等。

## 2 规范性引用文件

本技术依据引用了下列文件的条款。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本技术依据。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本技术依据。

- GB/T 2586 热量单位、符号与换算
- GB/T 2589 综合能耗计算通则
- GB/T 12497 三相异步电动机经济运行
- GB/T 12723 单位产品能源消耗限额编制通则
- GB/T 13462 电力变压器经济运行
- GB/T 13466 交流电气传动风机（泵类、空气压缩机）系统经济运行通则
- GB/T 14549 电能质量、公用电网谐波
- GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则
- GB 18613 中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级
- GB 19153 容积式空气压缩机能效限定值及节能评价值
- GB 19761 通风机能效限定值及节能评价值
- GB 20052 三相配电变压器能效限定值及节能评价值
- GB/T 23331 能源管理体系要求
- GB/T 50441 石油化工设计能耗计算标准
- SH/T 3045 石油化工管式炉热效率设计计算

## 3 能效评价指标体系

按照乙烯行业通行的能耗统计、计算方法，乙烯生产装置能耗统计各种燃料（燃料油、燃料气、液化气、天然气等）、动力（电、蒸汽）以及耗能工

质（水、氮气、压缩空气）等能源消耗。乙烯装置的能耗主要集中在裂解炉、分离过程的压缩机上。其中，裂解炉的能耗主要体现在燃料（甲烷/氢或部分LPG）消耗上；分离过程的能耗分布在压缩机机组（裂解气压缩机与供冷压缩机）功率、泵功率、塔的精馏和换热（如加热、冷却、再沸与冷凝等）工序等方面，体现在各级蒸汽的消耗、用电量和冷却水的循环量上。

### 3.1 核心指标

主要反映整体能源利用水平，指标包括单位乙烯能耗、单位双烯能耗、单位乙烯能效指数、单位双烯能效指数。

### 3.2 参考指标

反映主要用能工序和用能环节的能效水平，指标包括裂解炉热效率、吨乙烯压缩机机组轴功率。

## 4 评价指标的定义及计算方法

统计范围：乙烯装置能耗统计界区包括原料脱硫和脱砷、裂解炉区、急冷区、压缩区、分离区和火炬气回收压缩机、乙烯产品储罐等单元，不包括汽油加氢、辅助锅炉、主火炬、废碱处理、其他产品储罐、循环水场、空压站等单元。乙烯装置能耗统计界区示意图参见如图1所示，实线所包围区域为能耗统计计算界区。

乙烯装置能耗统计包括燃料、电、蒸汽及耗能工质，耗能工质包括新鲜水、循环水、除盐水、除氧水、凝结水、氮气和压缩空气。乙烯装置消耗的燃料是指统计界区内消耗的各种燃料之和。能耗包括生产过程及装置开停工、检修、维修消耗的能源，不包括基本建设消耗的能源。

### 4.1 核心指标

#### 4.1.1 单位乙烯能耗

定义：同一统计报告期内的乙烯装置能源消耗量与乙烯合格产品产量的比值。

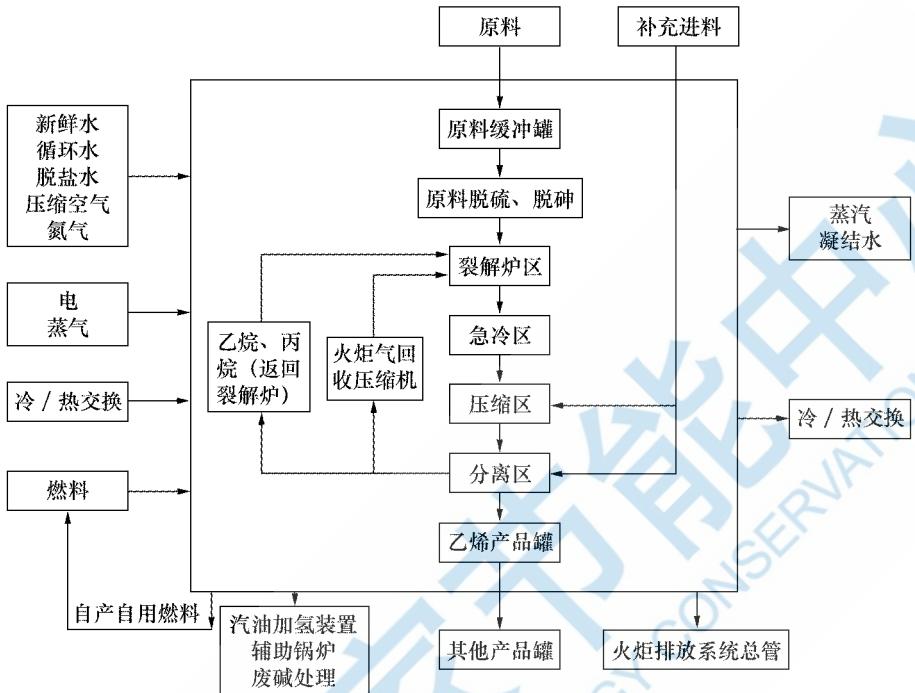


图 1 乙烯装置能耗统计界区示意图

计算公式：

$$e_e = E/G_e \quad (1)$$

式中：

$e_e$ ——单位乙烯能耗，单位为千克标准油/吨 (kgoe/t)；

$G_e$ ——乙烯装置合格乙烯产品产量，单位为吨 (t)；

$E$ ——乙烯装置能源消耗量，单位为千克标准油 (kgoe)。

乙烯装置能源消耗量为统计报告期内，乙烯装置在生产过程中实际消耗的各种燃料、蒸汽、电及耗能工质的实物量，按式（2）计算方法和单位分别折算为标准油后的总和计。

$$E = \sum_{i=1}^n (M_i R_i) + \sum_j^m Q_j \quad (2)$$

式中：

$M_i$ ——统计报告期内输入的第  $i$  种燃料或输入输出的第  $i$  种蒸汽、电或耗能工

质的实物量，单位为吨（t）、千瓦时（kW · h）、标准立方米（Nm<sup>3</sup>），向统计界区内输入实物量计为正值，输出计为负值；

$R_i$ ——统计报告期内输入的第  $i$  种燃料或输入输出的第  $i$  种蒸汽、电或耗能工质的能源折算值，单位为千克标准油/吨（kgoe/t）、千克标准油/千瓦时（kgoe/kW · h）、千克标准油/标准立方米（kgoe/Nm<sup>3</sup>）；

$Q_j$ ——乙烯装置与外界交换的第  $j$  种能源，单位为千克标准油（kgoe），向乙烯装置输入的能源计为正值，从乙烯装置输出的能源计为负值。

乙烯装置能源及耗能工质折算值见表 1。

表 1 乙烯装置能源及耗能工质折算值

序号	项目	单位	折算值千克标准油（kgoe）	折算值兆焦（MJ）
1	标准油	t	1000	41868
2	燃料油	t	1000	41868
3	液化石油气	t	1100	46060
4	甲烷氢	t	1200	50242
5	油田天然气	Nm <sup>3</sup>	0.93	38.94
6	气田天然气	Nm <sup>3</sup>	0.85	35.59
7	炼厂燃料气	t	950	39775
8	回收火炬气	t	700	29308
9	电	kW · h	0.233	9.76
10	10.0MPa 级蒸汽 a	t	92	3852
11	5.0MPa 级蒸汽 b	t	90	3768
12	3.5MPa 级蒸汽 c	t	88	3684
13	2.5MPa 级蒸汽 d	t	85	3559
14	1.5MPa 级蒸汽 e	t	80	3349
15	1.0MPa 级蒸汽 f	t	76	3182
16	0.7MPa 级蒸汽 g	t	72	3014
17	0.3MPa 级蒸汽 h	t	66	2763
18	<0.3MPa 级蒸汽 i	t	55	2303
19	新鲜水	t	0.17	7.12

续表

序号	项目	单位	折算值千克标准油 (kgoe)	折算值兆焦 (MJ)
20	循环水	t	0.10	4.19
21	软化水	t	0.25	10.47
22	除盐水	t	2.30	96.30
23	低压除氧水 j	t	9.20	385.19
24	高压除氧水 k	t	13.20	552.66
25	凝汽机凝结水	t	3.65	152.81
26	加热设备凝结水	t	7.65	320.29
27	净化压缩空气	Nm <sup>3</sup>	0.038	1.59
28	非净化压缩空气	Nm <sup>3</sup>	0.028	1.17
29	氮气	Nm <sup>3</sup>	0.15	6.28

注: a  $7.0 \text{ MPa} \leq P$ ;

b  $4.5 \text{ MPa} \leq P < 7.0 \text{ MPa}$ ;

c  $3.0 \text{ MPa} \leq P < 4.5 \text{ MPa}$ ;

d  $2.0 \text{ MPa} \leq P < 3.0 \text{ MPa}$ ;

e  $1.2 \text{ MPa} \leq P < 2.0 \text{ MPa}$ ;

f  $0.8 \text{ MPa} \leq P < 1.2 \text{ MPa}$ ;

g  $0.6 \text{ MPa} \leq P < 0.8 \text{ MPa}$ ;

h  $0.3 \text{ MPa} \leq P < 0.6 \text{ MPa}$ ;

i  $P < 0.3 \text{ MPa}$ ;

j 温度  $105^{\circ}\text{C}$  , k 温度  $148^{\circ}\text{C}$ 。

#### 4.1.2 单位双烯能耗

定义: 同一统计报告期内的乙烯装置能源消耗量与乙烯及丙烯合格产品总量的比值。

计算公式:

$$e_{ep} = E / (G_e + G_p) \quad (3)$$

式中:

$e_{ep}$ ——单位双烯能耗, 单位为千克标准油/吨 (kgoe/t);

$G_e$ ——乙烯装置合格乙烯产品产量, 单位为吨 (t);

$G_p$ ——乙烯装置合格丙烯产品产量，单位为吨（t）。

#### 4.1.3 单位乙烯能效指数

定义：同一统计报告期内的单位乙烯能耗与单位乙烯基准能耗比值。

计算公式：

$$EEI_e = e_e / e_{e,B} \times 100 \quad (4)$$

式中：

$EEI_e$ ——乙烯能效指数；

$e_e$ ——单位乙烯能耗，单位为千克标准油/吨（kgoe/t）；

$e_{e,B}$ ——单位乙烯基准能耗为《乙烯装置单位产品能源消耗限额》国家标准的准入值，640 千克标准油/吨（kgoe/t）。

#### 4.1.4 单位双烯能效指数

定义：同一统计报告期内的单位双烯能耗与单位双烯基准能耗比值。

计算公式：

$$EEI_{ep} = e_{ep} / e_{ep,B} \times 100 \quad (5)$$

式中：

$EEI_{ep}$ ——双烯能效指数；

$e_{ep}$ ——单位双烯能耗，单位为千克标准油/吨（kgoe/t）；

$e_{ep,B}$ ——单位双烯基准能耗为《乙烯装置单位产品能源消耗限额》的准入值，430 千克标准油/吨（kgoe/t）。

### 4.2 参考指标

#### 4.2.1 裂解炉热效率

定义：指乙烯裂解炉有效利用的热量占输入裂解炉热量的百分比，表征裂解炉对供给热量的利用程度及其设计先进性。

计算方法：根据 SH/T 3045—2003 《石油化工管式炉热效率设计计算》行业标准测量计算，热效率计算公式见（6）、（7）。重点关注裂解炉炉墙温度和

排烟温度指标。

热效率计算公式：

$$e = \frac{3.6 \times 10^3 Q_d}{B(h_L + \Delta h_a + \Delta h_f + \Delta h_m)} \times 100 \quad (6)$$

或

$$e = \left( 1 - \frac{h_u + h_s + h_L \cdot \eta_r}{h_L + \Delta h_a + \Delta h_f + \Delta h_m} \right) \times 100 \quad (7)$$

式中：

$e$ ——裂解炉热效率，单位为百分比 (%)；

$Q_d$ ——有效热量，即工艺热负荷，单位为千瓦 (kW)；

$B$ ——燃料量，单位为千克/时 (kg/h)；

$h_L$ ——燃料低位发热量（低热值），单位为千焦/千克 (kJ/kg)；

$\Delta h_a$ ——由单位燃料所需燃烧用空气带入体系的热量，单位为千焦/千克 (kJ/kg)；

$\Delta h_f$ ——由单位燃料带入体系的显热，单位为千焦/千克 (kJ/kg)；

$\Delta h_m$ ——由雾化单位燃料油所需雾化蒸汽带入体系的热量，单位为千焦/千克 (kJ/kg)；

$h_s$ ——按单位燃料计算的排烟损失，单位为千焦/千克 (kJ/kg)；

$h_u$ ——按单位燃料计算的不完全燃烧热损失，单位为千焦/千克 (kJ/kg)；

$\eta_r$ ——散热损失占燃料低发热量的百分数。

#### 4.2.2 吨乙烯压缩机机组轴功率

定义：乙烯压缩机机组轴功率比是指乙烯装置裂解气压缩机及制冷压缩机机组轴功率之和与乙烯小时产量的比值。

计算公式：

$$\eta_e = P/g_e \quad (8)$$

$$g_e = G_e / 8000 \quad (9)$$

式中：

$\eta_e$ ——乙烯压缩机机组轴功率比，单位为千瓦时/吨（kW·h/t）；

$P$ ——乙烯装置裂解气压缩机与供冷压缩机机组轴功率之和，单位为千瓦（kW）。

$G_e$ ——乙烯装置每小时合格乙烯产品产量，单位为吨（t）；

## 5 能效评价指标值

乙烯装置能效评价指标值见表 2。

表 2 乙烯装置能效评价指标值

	A	B	C	D
单位乙烯能耗	610	625	640	690
单位双烯能耗	400	407	430	470
单位乙烯能效指数	95	98	100	108
单位双烯能效指数	93	95	100	109
裂解炉热效率	>93%			
吨乙烯压缩机机组轴功率	<750			

其中：A 值为全国乙烯装置能效领跑者目标值；B 值为全国乙烯装置能耗最好水平值；C 值为全国同类乙烯装置能效前 3 名水平值；D 值为全国同类乙烯装置平均水平值。

## 6 能效评价指标体系的应用

### 6.1 固定资产投资项目节能评估和审查

新建项目固定资产投资项目节能评估文件，应提供所有核心指标和参考指标的设计值及计算过程。

在固定资产投资项目节能评审中，对新建项目采用单位乙烯或双烯能耗

设计值为判断项目总体能效水平的指标。具体判断方法如下：

单位乙烯或双烯能耗设计值≤B 值，国内领先水平；

B 值 < 单位乙烯或双烯能耗设计值≤C 值，国内先进水平；

C 值 < 单位乙烯或双烯能耗设计值≤D 值，国内一般水平；

单位乙烯或双烯能耗设计值 > D 值，国内落后水平。

节能评估文件中，除核心指标外，还应在项目能效水平评价部分分析其他参考指标，并进行对标分析。固定资产投资节能评审项目能效水平应至少达到 C 值以上，并且必须满足乙烯装置裂解炉热效率不低于 93%，吨乙烯压缩机机组轴功率小于 750kW · h/t，方可实施。低于 C 值的固定资产投资项目，不允许其开工建设或投入生产。

节能评估阶段必有的节能措施包括：原料结构与质量的优化；采用裂解炉强化传热、空气预热、引风机变频调速和裂解炉稳定操作的先进控制技术；采用急冷油减黏、急冷水的热回收利用，对于不同分离顺序的流程，充分运用渐近分离和蒸馏塔节能的先进理念，采用预切割、模糊切割、双塔分离、多股进料、侧线出料、中间再沸器或冷却器、热泵精馏等工艺技术，压缩机采用三元流叶轮、高效蒸汽透平以及先进控制系统，裂解气压缩机段间采用低阻力降换热器；乙烯精馏塔和丙烯精馏塔的先进控制及优化等先进的分离技术；采用热集成、热联合、热平衡以及能量梯级利用等措施系统优化能量，优化换热网络和公用工程运行；保证装置的安全、稳定、长周期、满负荷优化生产的预防性措施；新建装置压缩机上安装直接测量压缩机轴功率的功率仪。

推荐使用的节能措施包括：应用高效填料、高效塔盘、高效换热器和甲烷膨胀机等节能设备，加强回收并利用低温位热能。

## 6.2 “中国能效之星”

“中国能效之星”评价指标体系（工业领域）中的“能效水平状况”指

标可采用本技术依据。以单位乙烯能耗（或单位双烯能耗）为总体能效水平评价指标，要求乙烯装置裂解炉的热效率不低于93%，吨乙烯压缩机机组轴功率小于750kW·h/t，同时具有固定资产投资项目节能评估和审查要求的必有节能措施。申报“中国能效之星”的乙烯企业，应在申报材料中明确列出单位乙烯能耗（或单位双烯能耗）指标，指标值应采用实际测试数据，数据测试和监测方法应按有关标准执行，并委托第三方机构进行检测与测算。

根据“中国能效之星”评分规则，在行业平均水平（D值）与最高水平（A值）之间划分为12个区间，分别给予不同分值。具体标准如表3所示。

**表3 乙烯企业“中国能效之星”评价标准**

单位乙烯能耗 $e_e$ (kgoe/t)	得分	单位乙烯能耗 $e_e$ (kgoe/t)	得分
$e_e \geq 690$	0	$688 \leq e_e < 690$	1
$686 \leq e_e < 688$	2	$684 \leq e_e < 686$	3
$680 \leq e_e < 684$	5	$676 \leq e_e < 680$	7
$672 \leq e_e < 676$	9	$666 \leq e_e < 672$	12
$660 \leq e_e < 666$	15	$654 \leq e_e < 660$	18
$648 \leq e_e < 654$	21	$e_e < 640$	25

### 6.3 能源审计

能源审计报告中应当包含所有核心指标和参考指标，指标值应采用实际测试数据，数据测试和监测按照国家标准方法执行，并委托第三方检测机构进行检测与统计。

在能源审计项目中，应以乙烯装置稳定运行后的单位产品能耗为特征指标，判断该项目的能效水平，综合考虑乙烯企业的能效水平，分析能源利用中存在的问题，判断问题产生的原因，查找节能潜力。乙烯装置各主要用能工序和用能环节能效水平提高，要以国家节能中心能效评价依据（石油烃类制烯烃）评价指标A值为目标，结合固定资产投资项目节能评估和审查要求的应有及推荐的节能措施提出改进方向，同时，考虑生产装置运行中单位乙

烯及单位双烯核心指标的以下影响因素和改进措施。

### 6.3.1 原料的结构及品质优化

在相同工艺技术水平的前提下，乙烯收率主要取决于裂解原料的性质，原料结构很大程度上决定了乙烯生产的能耗水平。原料好，乙烯综合收率高，装置的连续运行周期长，裂解炉的运行周期长，烧焦次数少，则其综合能耗值低。应采取各种优化措施优化原料，原料轻质化，增加正构烷烃含量高的优质乙烯原料，努力提高乙烯收率，增加乙烯产量，以降低乙烯能耗。

### 6.3.2 提高裂解炉炉效

裂解炉是乙烯装置最大的耗能用户，降低裂解炉能耗是降低乙烯装置能耗的主要途径之一。要推广裂解炉强化传热、空气预热、引风机变频调速、延长裂解炉运行周期等先进节能技术，优化公用工程运行特别是蒸汽系统的优化运行，改善保温保冷状况等，持续降低装置能耗。以管理促提升的重点是裂解炉的节能改造和优化延长运行时间，提高蒸汽品质和合理使用各级蒸汽，挖掘急冷油的热效率，以及减少各种损失等。在裂解炉的日常管理上，注重裂解炉氧含量的准确性，严控炉管出口温度波动，每日监测炉管表面温度，优化烧焦时间，努力降低排烟温度，尽可能地提高热效率。

### 6.3.3 装置平稳运行

维持装置平稳生产，避免非计划停车，是降低能耗的基本点。乙烯装置的非计划停车，将导致大量物料放火炬，加大了加工损失率，同时乙烯产能的损失，也将导致能耗的上升，因此必须加强管理。全面选取装置工艺系统关键部位的温度、流量、压力、液位等运行参数，对其进行高密度监控，对工艺报警设有专门的管理制度并建有平台，自动收集汇总装置运行中的报警信号，并由工艺操作人员对报警信号做出相应的解释说明，以确保生产运行过程的每一个重要警告信息都受到重视，有力地保证装置运行平稳。

### 6.3.4 延长运行周期

长周期运行是节能降耗的基础，企业要有自己成熟的各项管理制度，确保装置安稳运行。除了抓好日常运行管理和设备运行维护之外，还要对装置关键设备裂解炉、大机组纳入特护管理，成立特护小组重点监护，按照工艺、设备、仪表、电气分专业进行日巡检、周联检，并定期召开特护会议，汇总分析特护设备运行过程中所发生的一切问题，提出相应的解决办法及布置进一步的改进工作，以确保特护设备保持长周期安全稳定运行。

#### 6.3.5 运用过程控制技术

过程控制技术综合应用化学工程技术、计算机应用技术和自动控制技术，对乙烯生产过程实行计算机先进控制和优化操作，是充分发挥设备的内在潜力、降低能耗的手段之一。应用裂解炉温度与负荷先进控制技术、乙烯精馏塔先进控制与优化技术、丙烯精馏塔先进控制与优化技术等控制技术。

#### 6.3.6 精细管理层面

一是抓好各项工艺、设备管理制度的落实，确保装置平稳运行，避免非计划停工造成物料损失；二是注重绝热材料选型和对施工环节全过程的监管，对设备和管线的保温、保冷集中实施整改；三是加强蒸汽系统优化利用，改善蒸汽参数，提高透平驱动做功效率。另外，应采用热集成、热联合等措施优化系统能量，优化换热网络和公用工程运行，为节能降耗提供必要的保障。

