



中华人民共和国国家标准

GB/T 39115—2020

过程自动化能效评估方法

Energy efficiency evaluation methods for process automation

2020-10-11 发布

2021-05-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 术语和定义 1

3 过程工业生产能效相关因素 3

 3.1 概述 3

 3.2 能源消耗 3

 3.3 物质消耗 3

 3.4 污染排放 3

 3.5 生产管理 3

 3.6 产出因素 3

4 过程工业能效评估指标 3

 4.1 过程工业能效相关指标概述 3

 4.2 能效指标定义 4

5 过程工业能效评估通用模型 6

6 能效基准 7

7 过程工业能效评估通用流程 7

8 过程工业能效诊断 8

附录 A（资料性附录） 能效评估示例 9

参考文献 17

图 1 过程工业能效评估指标 4

图 2 设备级/过程级/系统级能效评估模型 6

图 3 过程生产能效指标分析 7

图 4 能效评估流程框图 8

图 A.1 换热器能效评估模型 9

图 A.2 离心压缩机能效评估模型 10

图 A.3 乙烯裂解炉能效评估模型 13

图 A.4 乙烯生产系统能效评估模型 14

表 A.1 换热器输入输出参数表(示例) 9

表 A.2 离心压缩机输入输出参数表(示例) 11

表 A.3 离心压缩机参数计算表(示例) 12



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会(SAC/TC 124)归口。

本标准起草单位:机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、中国石油天然气股份有限公司抚顺石化分公司、大连理工大学、中国科学院沈阳自动化研究所、浙江大学。

本标准主要起草人:王麟琨、张春庭、钱新华、邵诚、邹涛、赵均、王克峰、张士博、丁宝苍、王洲。



过程自动化能效评估方法

1 范围

本标准规定了用于过程工业的能效评估指标体系、能效评估通用模型和能效评估通用流程。
本标准适用于过程工业的能效评估、能效诊断等。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

能源 energy

电、燃料、蒸汽、热力、压缩空气以及其他类似介质。

注1：能源包括可再生能源在内的各种形式，可被购买、贮存、处置，在设备或过程中使用以及被回收利用。

注2：能源可被定义为一个系统产生外部活动或开展工作的动力。

[GB/T 23331—2012, 定义 3.5]

2.2

能量转换 energy conversion

能源的物理或化学形态的变换。

[CEN/CLC/TR 16103:2010, 定义 4.1.7]

2.3

一次能源 primary energy

还未经历任何转换过程的能源。

注：一次能源包括不可再生能源和可再生能源。来自所有能源资源的一次能源总和可称为总一次能源。

[CEN/CLC/TR 16103:2010, 定义 4.1.6]

2.4

二次能源 secondary energy

由一次能源的能量转换所得到的能源。

注：二次能源包括电力、汽油、过程蒸汽和压缩空气。

[CEN/CLC/TR 16103:2010, 定义 4.1.8]

2.5

能耗 energy consumption

使用能源的量。

[GB/T 23331—2012, 定义 3.7]

2.6

节能 energy saving

实施能效提升行动后，能耗的减少。

[CEN/CLC/TR 16103:2010, 定义 4.2.8]

2.7

能效 energy efficiency

输出的能源、产品、服务或绩效与输入的能源之比或其他数量关系。如：转换效率、能源需求/能源

GB/T 39115—2020

实际使用、输出/输入、理论运行的能源量/实际运行的能源量。

[GB/T 23331—2012,定义 3.8]

2.8

能效指标 efficiency indicator

能效的指示值。

[CEN/CLC/TR 16103:2010,定义 4.3.8]

2.9

单位能耗 specific energy consumption

每物理单位输出的能耗。

[CEN/CLC/TR 16103:2010,定义 4.3.10]

2.10

能源管理 energy management

指导和控制实体的能源使用的协调活动。

[CEN/CLC/TR 16103:2010,定义 4.5.1]

2.11

输入 input

进入一个单元过程的产品、物质或能量流。

[GB/T 24040—2008,定义 3.21]

2.12

输出 output

离开一个单元过程的产品、物质或能量流。

[GB/T 24040—2008,定义 3.25]

2.13

设备 device

实现控制、执行和(或)传感功能以及与自动化系统内其他此类实体连接的实体。

[GB/T 19659.1—2005,定义 3.11]

2.14

过程 process

一组将输入转化为输出的相互关联或相互作用的活动。

[GB/T 24040—2008,定义 3.11]

2.15

产品 product

劳动的或自然过程或人工过程的预期或已完成的结果。

[GB/T 6988.1—2008,定义 3.1.11]

2.16

排放 releases

排放到空气、水体和土壤中的物质。

[GB/T 24040—2008,定义 3.30]

2.17

废物 waste

处置的或打算予以处置的物质或物品。

[GB/T 24040—2008,定义 3.35]

3 过程工业生产能效相关因素

3.1 概述

能效反映生产过程中投入与产出的比例关系。影响生产过程中各个环节能源与物质消耗的因素都是能效影响因素。在过程工业生产过程中考虑的能效因素有能源消耗、物质消耗、污染排放、生产管理、产出因素。

3.2 能源消耗

过程工业生产过程中设备、生产单元、生产过程以及其他产品生产全过程所消耗的各类能源介质的消耗量,包括一次能源和二次能源。

示例:石化行业生产消耗的能源介质有电能、燃气、燃油、蒸汽、水、压缩空气、氮气等。

3.3 物质消耗

过程工业生产过程中设备、生产单元、生产过程以及其他产品生产全过程所消耗的各类物料、辅料等的消耗量。

示例:乙烯生产过程消耗的物料有混合石脑油、加氢尾油等,消耗的辅料有各类催化剂、添加剂等;钢铁生产过程消耗物料有铁矿石,辅料有冷却剂、增碳剂等。

3.4 污染排放

过程工业生产过程中设备、生产单元、生产工艺段以及其他产品生产全过程所产生的各类污染排放。

示例:钢铁生产过程排放的水污染物、大气污染物和固体废物等废弃物。大气污染物主要含氟、二氧化硫、各类颗粒物等,水污染物主要含氟化物、氰化物、铅等重金属、悬浮物等,固体废物主要包括高炉炉渣、钢渣等。

3.5 生产管理

过程工业生产过程中对设备、生产单元、生产工艺段的现场操作、工艺参数设置与调整等,以及对原料、中间产品及最终产品质量检测和保障,物料和能源供需平衡等因素。

示例:高炉、裂解炉等的出口温度、空气过剩系数、排烟温度设置等。



3.6 产出因素

能效的定义是输出的能源、产品、服务或绩效与输入的能源之比或其他数量关系。因此产出因素包括产品的数量、输出的能源量等都会影响能效。

示例:生产过程中产能、设备能源利用效率、单位能耗的产品产量等。

4 过程工业能效评估指标

4.1 过程工业能效相关指标概述

过程工业生产过程复杂,单一指标难以全方位反映能效的整体情况,应采用多指标从不同层面对能效情况进行描述。

按照过程工业生产相关内容,能效指标可分为:

——经济能效指标:应考虑能效对企业经济效益的影响,主要包括单位产品能耗指标和单位能耗收益指标等;

- 管理能效指标:应考虑管理工作对企业能效的影响,主要包括关键设备和生产单元的计划外停机指标、原材料和辅助材料质量指标等;
 - 生产能效指标:应考虑生产过程对企业能效的影响,主要包括生产设备单位产能能耗、生产设备能量转换效率、生产单元单位产能能耗、生产负荷率等;
 - 环境能效指标应考虑生产过程对环境的影响,主要包括单位产品污染物排放指标等。
- 按照不同的粒度,能效指标可分为:
- 设备级能效指标:主要包括设备计划外停机、设备单位产能能耗、设备能量转换效率等。
 - 过程级能效指标:主要包括生产单元计划外停机、生产单元单位产能能耗、原材料和辅助材料质量、生产负荷率等。
 - 系统级能效指标:主要包括单位产品能耗指标、单位产品能耗收益指标、生产负荷率、单位产品污染物排放等。
- 过程工业能效评估指标体系如图 1 所示。

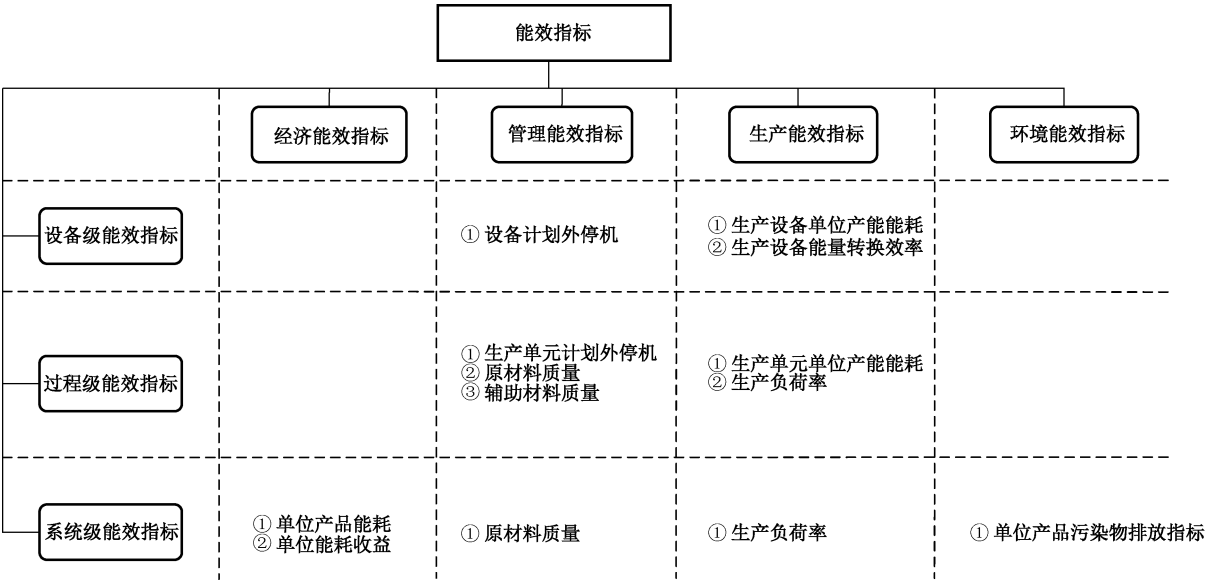


图 1 过程工业能效评估指标

4.2 能效指标定义

4.2.1 单位产品能耗指标

单位产品能耗指标(η_U)应按照式(1)计算:

$$\eta_U = \frac{E}{M_p} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

E ——产品的综合耗能,单位为吨(t);

M_p ——产品产量,单位为吨(t)。

注: 耗能单位可为标油或标煤。

单位产品能耗指标也可转换为单位产品能源成本指标。

4.2.2 单位产品能耗收益指标

单位产品能耗指标(η_E)应按照式(2)计算:

$$\eta_E = \frac{S_{in}}{E_h} \dots\dots\dots (2)$$

式中：
S_{in}——单位产品的销售收入，单位为万元；
E_h——单位产品消耗的能源成本，单位为万元。

4.2.3 生产设备/单元单位产能能耗

生产设备/单元的单位产能能耗指标(η_c)应按照式(3)计算：

$$\eta_c = \frac{E}{M_p} \dots\dots\dots (3)$$

式中：
E ——设备/单元综合能耗，单位为吨(t)；
M_p——设备/单元中间或最终产品产量，单位为吨(t)。



4.2.4 生产设备/单元能量转换效率

生产设备/单元的能量转换效率指标 η_T 应按照式(4)计算：

$$\eta_T = \frac{E_o}{E_i} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：
E_o——设备或单元的输出能量，单位为千焦(kJ)或千瓦(kW)；
E_i——设备或单元的输入能量，单位为千焦(kJ)或千瓦(kW)。

4.2.5 生产设备/单元计划外停机指标

生产设备/单元计划外停机指标(η_D)应按照式(5)计算：

$$\eta_D = \frac{T_f}{T_w} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中：
T_f——计划外停机时间，单位为小时(h)；
T_w——单位时间段内的生产时间，单位为小时(h)。

4.2.6 原料和辅助材料质量指标

对于其成分含量影响产品质量的原料和辅助材料，应设置质量指标。原料和辅助材料的质量指标可定义为实际成分值与限值(上限值或下限值)的偏离量和限值的比值。

4.2.7 生产负荷率

生产负荷率指标(η_L)应按照式(6)计算：

$$\eta_L = \frac{P_f}{P_d} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中：
P_f——某类产品在规定时间内实际生产量，单位为千克(kg)或吨(t)；
P_d——某类产品在规定时间内设计生产能力，单位为千克(kg)或吨(t)。

4.2.8 单位产品污染物排放指标

单位产品污染物排放指标(η_p)应按照式(7)计算：

GB/T 39115—2020

$$\eta_P = \frac{M_{ds}}{M_p}$$

..... (7)

式中：
 M_{ds} ——污染物排放，单位为千克(kg)或吨(t)；
 M_p ——产品产量，单位为千克(kg)或吨(t)。

5 过程工业能效评估通用模型

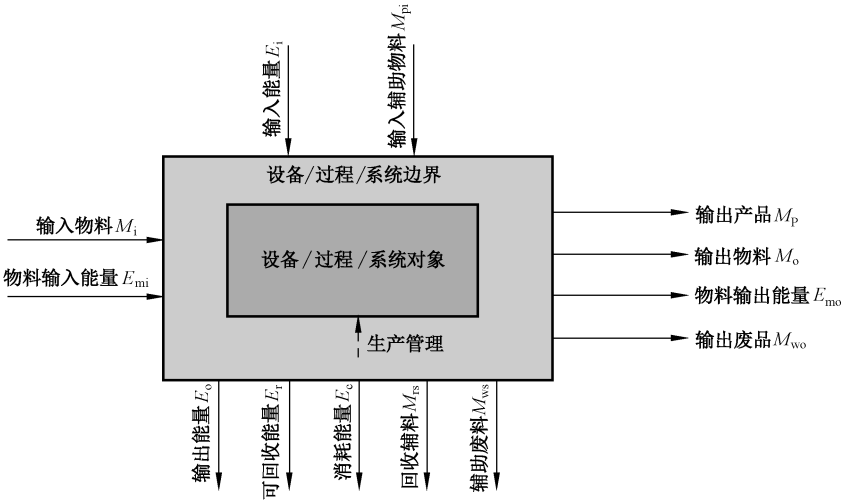
过程工业生产能效评估模型如图 2 所示。

模型中包含的主物料因素包括输入物料 M_i 、输出物料 M_o 、输出产品 M_p 、输出废品 M_{wo} 。

模型中包含的辅助物料因素包括输入辅助物料 M_{pi} 、回收辅助物料 M_{rs} 、辅助废料 M_{ws} 。

模型中包含的能量因素包括物料输入能量 E_{mi} 、物料输出能量 E_{mo} 、输入能量 E_i 、输出能量 E_o 、可回收能量 E_r 、消耗能量 E_c 。其中消耗能量 E_c 包括生产中的使用能量 E_u 和损失能量 E_l 。

模型中包含的生产管理因素作用于设备/过程/系统实体，会直接或间接地影响整个设备/过程/系统的物料和能量消耗。



能效评估模型体现了物质平衡和能量平衡。

物质平衡方程见式(8)：

$$M_i + M_{pi} = M_{rs} + M_{ws} + M_p + M_{wo} + M_o$$

..... (8)

能量平衡方程见式(9)：

$$E_i + E_{mi} = E_r + E_c + E_{mo} + E_o$$

..... (9)

式中，物料输入能量 E_{mi} 、物料输出能量 E_{mo} 受温度、压力等因素影响，难以计量，可不作统计。

过程生产系统按工艺分成不同的生产过程。应针对每个设备和过程来分析输入、输出、使用、回收和损失的资源。资源包括物料、产品和能量。设备对应于管理能效指标和生产能效指标，过程对应于管理能效指标和生产能效指标，系统对应于经济能效指标、管理能效指标和环境能效指标。具体指标应从指标体系中选取。过程生产能效指标分析如图 3 所示。

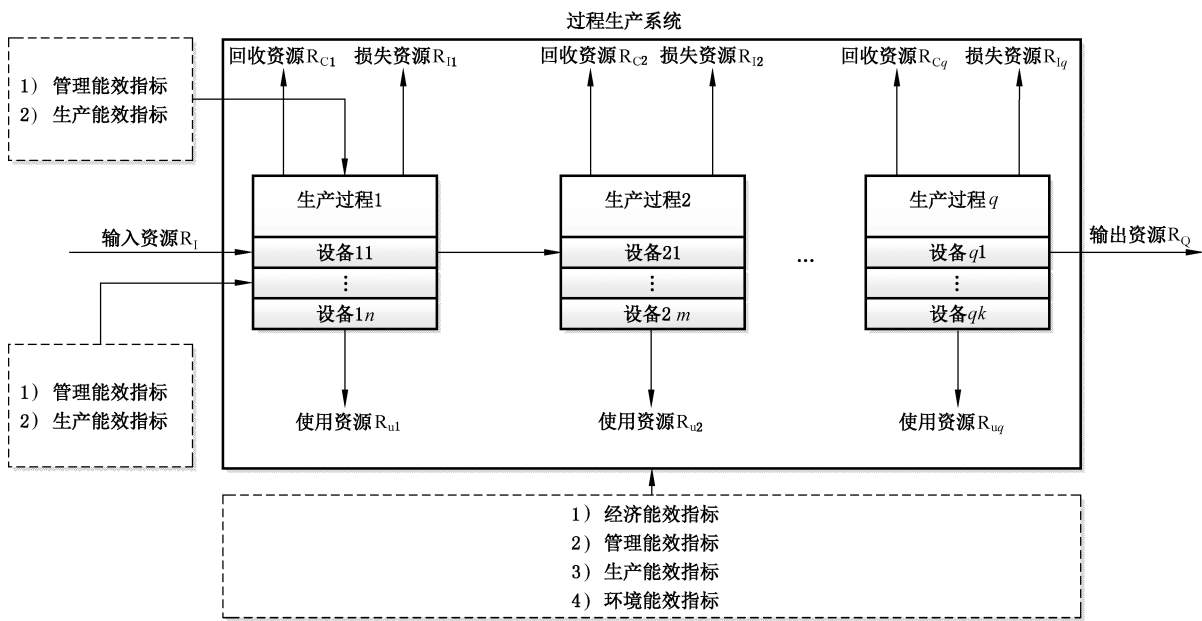


图 3 过程生产能效指标分析

根据本章的能效评估方法,实际应用中的评估示例参见附录 A。

6 能效基准

能效基准是为了比较能效水平所提供的基础量化值。能效基准的建立方法包括：

- a) 机理建模方法:根据热力学定律、化学反应、物理变化等客观规律推导能效函数关系式,采用机理建模方法建立的能效基准是理想值；
- b) 数理分析方法:基于历史数据,通过数据拟合或统计分析方法确定能效基准线；
- c) 经验方法:将行业确定标准,或优秀企业或本企业生产过程中最优能效结果作为能效基准。

能效基准优先选取采用机理建模方法计算出的设计值;当没有设计值,可考虑使用数理统计法选取过去历史段的数据或历史最优数据;上述两种情况都不可行情况下也可采用经验方法确定能效基准。

7 过程工业能效评估通用流程

过程工业生产能效通用评估流程如图 4 所示。

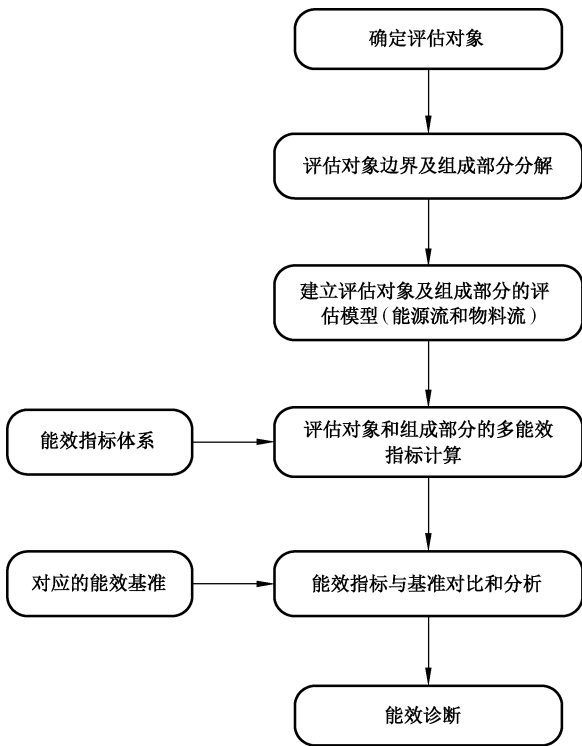


图 4 能效评估流程框图

能效评估流程应包括：

- a) 确定评估对象(设备、生产单元、过程、系统等)；
- b) 根据评估对象，界定评估边界；并根据生产流程和工艺特点，将评估对象划分为各组成部分；对于能源消耗量非常小的设备或过程可以忽略不计；
- c) 梳理评估对象各组成部分的能源流和物料流，建立能效评估模型，同时把经济能效指标、管理能效指标、生产能效指标、环境能效指标对应到设备、过程及系统中；
- d) 针对评估对象的各组成部分，基于已建立的能效指标体系，计算适用的各个指标；
- e) 将评估对象的各个指标的计算结果，与已建立的能效基准进行对比，并对对比结果进行分析；
- f) 形成能效诊断输出，用于生产能效优化；
- g) 采用各种能效优化手段，提升能效水平，同时修改对应的能效基准。

8 过程工业能效诊断

过程工业的制造过程是连续的，要求运行操作处于平稳状态，应尽量避免反映运行状态的参数存在较大的变化。生产过程出现能效异常时，可通过对设备级、过程级和系统级的多能效指标进行计算和分析，对产生能效异常的原因进行诊断和异常定位，对生产和管理进行相应的调整，相应地改善能效水平。

附录 A
(资料性附录)
能效评估示例

A.1 概述

以乙烯裂解系统为评估对象,其典型工艺包括:原料预热、裂解、急冷、压缩、冷分离、热分离、制冷、废碱氧化、汽油加氢等。本附录针对设备级、过程级和系统级给出能效评估示例,设备级主要包括:换热器、离心压缩机,过程级围绕乙烯裂解炉,系统级评估围绕乙烯裂解系统。

A.2 设备能效评估示例——换热器

A.2.1 评估模型及指标

以乙烯裂解过程使用的线性换热器为评估对象,其输入热流体是高温高压裂解气,输入冷流体为锅炉水,输出热流体为低温低压裂解气,输出冷流体为热蒸汽和水。换热器的评估模型见图 A.1。



图 A.1 换热器能效评估模型

选取换热效率(η)作为换热器的能效评估指标:

$$\eta = Q_f / Q_d$$

式中:

Q_f ——实际换热量,单位为千焦(kJ);

Q_d ——设计换热量,单位为千焦(kJ)。

A.2.2 输入输出参数

换热器的输入输出参数见表 A.1。

表 A.1 换热器输入输出参数表(示例)

序号	输入输出参数项		示例值
1	组成	裂解气:乙烯/丙烯/C4/汽油/氢气/甲烷/焦油	33%/15.5%/12%/22.6%/1%/11.4%/4.5%
2	温度	管程入口温度 T_{pi} /管程出口温度 T_{po}	848 °C/514 °C
3		壳程入口温度 T_{si} /壳程出口饱和蒸汽温度 T_{so}	116 °C/322 °C

GB/T 39115—2020

表 A.1 (续)

序号	输入输出参数项		示例值
4	压力	管程入口压力 P_{pi} /管程出口压力 P_{po}	0.25 MPa/0.04 MPa
5		壳程入口压力 P_{si} /壳程出口压力 P_{so}	11.6 MPa/11.6 MPa
6	流量	管程流量 S_p	82.5 t/h
7		壳程锅炉水流量 S_s	56 t/h

A.2.3 能效指标计算

根据裂解气成分含量计算总比热容(c): $c=3.596\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ 。

实际换热量: $Q_f=c\times S_g\times(T_{pi}-T_{po})=99.05\times10^6\text{ kJ/h}$ 。

设计换热量: $Q_d=125.52\times10^6\text{ kJ/h}$ 。

转换效率: $\eta=Q_f/Q_d=78.9\%$ 。

A.3 设备能效评估示例——离心压缩机

A.3.1 评估模型及指标

以乙烯裂解过程使用的裂解气离心压缩机为评估对象,裂解气离心压缩机的段数为 5。
乙烯裂解系统使用的是裂解气离心压缩机,能效评估模型见图 A.2。

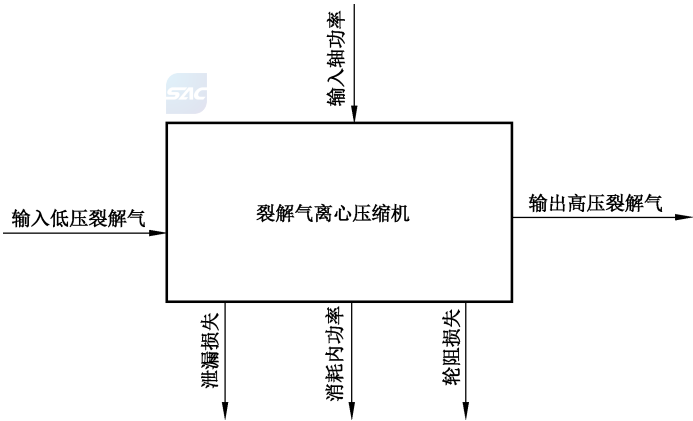


图 A.2 离心压缩机能效评估模型

选取压缩机效率(η)作为能效评估指标:

$$\eta = N_i / N_s$$

式中:

N_i ——内功率,表示裂解气的内能,单位为千瓦(kW);

N_s ——轴功率,外界输入能量,单位为千瓦(kW)。

A.3.2 输入输出参数

离心压缩机的输入输出参数见表 A.2。

表 A.2 离心压缩机输入输出参数表(示例)

序号	段数	裂解气流量 $Q_j/(\text{kg/s})$	入口温度 T_{ij} /出 口温度 T_{oj}/K	入口压力 P_{ij} / 出口压力 $P_{oj}/(\text{MPa})$	入口绝热指数 K_{ij} / 出口绝热指数 K_{oj}	进气口压缩系数 Z_{ij} / 出气口压缩系数 Z_{oj}
1	一段($j=1$)	89.78	313.2/359.7	0.225/0.354	1.215/1.196	0.995/0.993
2	二段($j=2$)	86.92	310.1/357.9	0.33/0.571	1.223/1.204	0.991/0.989
3	三段($j=3$)	83.72	310.7/359.2	0.543/1.005	1.232/1.215	0.984/0.980
4	四段($j=4$)	80.40	310.8/359.9	0.971/1.880	1.250/1.236	0.970/0.963
5	五段($j=5$)	77.05	280.5/351.1	1.630/4.071	1.329/1.314	0.937/0.930
$j=1\sim 5$, 对应段数。						

A.3.3 能效指标计算

A.3.3.1 计算公式

主要计算包括：

a) 段压缩比 ϵ_j

$$\epsilon_j = P_{oj} / P_{ij} \quad (j=1\sim 5, \text{对应段数})$$

式中：

P_{ij} ——第 j 段入口压力,单位为兆帕(MPa);
 P_{oj} ——第 j 段出口压力,单位为兆帕(MPa)。

b) 绝热指数 K_j

$$K_j = (K_{ij} + K_{oj}) / 2 \quad (j=1\sim 5, \text{对应段数})$$

式中：

K_{ij} ——第 j 段进气口压缩指数;
 K_{oj} ——第 j 段出口绝热指数。

c) 压缩系数 Z_j

$$Z_j = (Z_{ij} + Z_{oj}) / 2 \quad (j=1\sim 5, \text{对应段数})$$

式中：

Z_{ij} ——第 j 段进气口压缩系数;
 Z_{oj} ——第 j 段出气口压缩系数。

d) 多变指数 m_j

$$m_j = 1 / \left[1 - \ln \left(\frac{T_{oj}}{T_{ij}} \right) / \ln \left(\frac{P_{oj}}{P_{ij}} \right) \right] \quad (j=1\sim 5, \text{对应段数})$$

式中：

P_{ij} ——第 j 段入口压力,单位为兆帕(MPa);
 P_{oj} ——第 j 段出口压力,单位为兆帕(MPa);
 T_{ij} ——第 j 段入口温度,单位为开尔文(K);
 T_{oj} ——第 j 段出口温度,单位为开尔文(K)。

e) 多变效率 η_{pol}^j

$$\eta_{pol}^j = (m_j / m_j - 1) / (K_j / K_j - 1) \quad (j=1\sim 5, \text{对应段数})$$

式中：

m_j ——第 j 段多变指数;

GB/T 39115—2020

K_j ——第 j 段绝热指数。

f) 内功率 N_{ij}

$$N_{ij}=9.807\times10^{-3}\times Q_j\times\frac{m_j}{m_j-1}\times R\times Z_j\times T_{ij}\times[\epsilon_j^{(m_j-1)/m_j}-1]/\eta_{\text{pol}}^j$$

式中：

Q_j ——第 j 段工况质量流量，单位为千克每秒(kg/s)；

m_j ——第 j 段多变压缩指数；

R ——气体常数，单位为焦耳每摩尔开尔文[J/(mol·K)]；

Z_j ——第 j 段压缩系数；

T_{ij} ——第 j 段进气温度，单位为开尔文(K)；

ϵ_j ——第 j 段压缩比；

η_{pol}^j ——第 j 段多变效率。

A.3.3.2 计算结果

离心压缩机参数计算结果见表 A.3。

表 A.3 离心压缩机参数计算表(示例)

序号	段数	压缩比 ϵ_j	绝热指数 K_j	压缩系数 Z_j	多变指数 m_j	多变效率 η_{pol}^j	内功率 N_{ij} /kW
1	一段($j=1$)	1.573	1.206	0.994	1.439	56.10%	7 063.96
2	二段($j=2$)	1.73	1.214	0.99	1.353	67.60%	6 809.6
3	三段($j=3$)	1.851	1.224	0.982	1.309	77.60%	6 357.01
4	四段($j=4$)	1.936	1.243	0.966 5	1.287	87.70%	5 737.92
5	五段($j=5$)	2.497	1.322	0.933 5	1.305	98.90%	5 979.82
$j=1\sim5$, 对应段数。							

$$N_i=\sum_{j=1\sim5}N_{ij}=32\,014.82(\text{kW})$$

裂解气离心压缩机的轴功率设计值 N_s 为 40 171 kW。

压缩机的效率：

$$\eta=N_i/N_s=32\,014.82/40\,171=79.7\%$$

A.4 过程能效评估示例——乙烯裂解炉

A.4.1 评估模型及指标

乙烯裂解炉的能效评估模型见图 A.3。

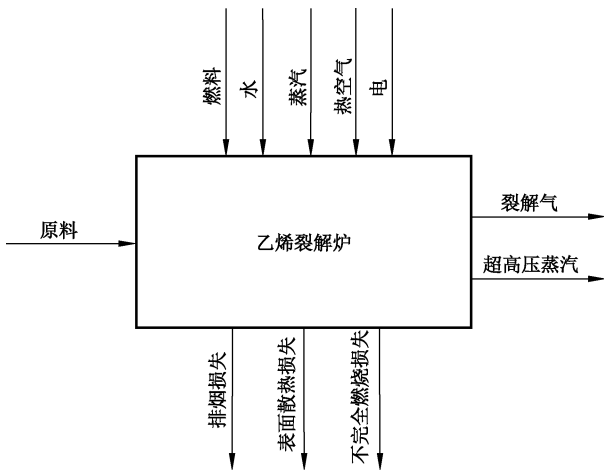


图 A.3 乙烯裂解炉能效评估模型

选取裂解炉热效率(η)作为能效评估指标:

$$\eta=(1-Q_L/Q_G)\times 100\%$$

式中:

Q_L ——总损失能量,单位为千焦(kJ);

Q_G ——总供给能量,单位为千焦(kJ)。

A.4.2 能效指标计算

A.4.2.1 计算公式

按照以下公式计算综合效率(η):

$$\eta=[1-(Q_{L1}+Q_{L2}+Q_{L3})/Q_G]\times 100\%$$
$$Q_G=Q_{dw}+H_{rx}+Q_w+Q_{wi}$$

式中:

Q_{L1} ——排烟损失热量,单位为千焦(kJ);

Q_{L2} ——燃料化学不完全燃烧损失热量,单位为千焦(kJ);

Q_{L3} ——散热损失热量,单位为千焦(kJ);

Q_{dw} ——燃料收到基低发热量,单位为千焦(kJ);

H_{rx} ——燃料物理热,单位为千焦(kJ);

Q_w ——雾化蒸汽的显热,单位为千焦(kJ);

Q_{wi} ——燃烧用空气的显热,单位为千焦(kJ)。

其简化公式如下:

$$\eta=1-\frac{(0.065\ 49+0.032\ 685\alpha)(t_g+1.347\ 5\times 10^{-4}t_g^2)-0.075\ t_o+(4.043\alpha-0.025\ 2)\times 10^{-4}w_{CO}}{100+0.04\alpha\Delta t}-0.03$$

式中:

t_g ——排烟温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

t_o ——基准温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

Δt ——温差,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

w_{CO} ——排烟中一氧化碳含量;

α ——空气系数。



GB/T 39115—2020

A.4.2.2 指标计算

取抚顺乙烯厂 1 号裂解炉的相关数据：

排烟温度： $t_g=153$

热空气的温度： $t_a=10$

雾化蒸汽用量： $W=0$

烟气氧含量： $w_{O_2}=3.78\%$

烟气中一氧化碳含量： $w_{CO}=0$

空气过剩系数： $\alpha=1.24$

按简化公式计算可得： $\eta=92.29\%$ 。

A.5 系统能效评估示例——乙烯生产系统

A.5.1 评估模型及指标

以某石化企业乙烯生产系统为例，其工艺过程主要由原料预热、裂解、急冷、压缩、冷分离、热分离、制冷、废碱氧化及汽油加氢等单元组成。乙烯生产系统的能效评估模型见图 A.4。

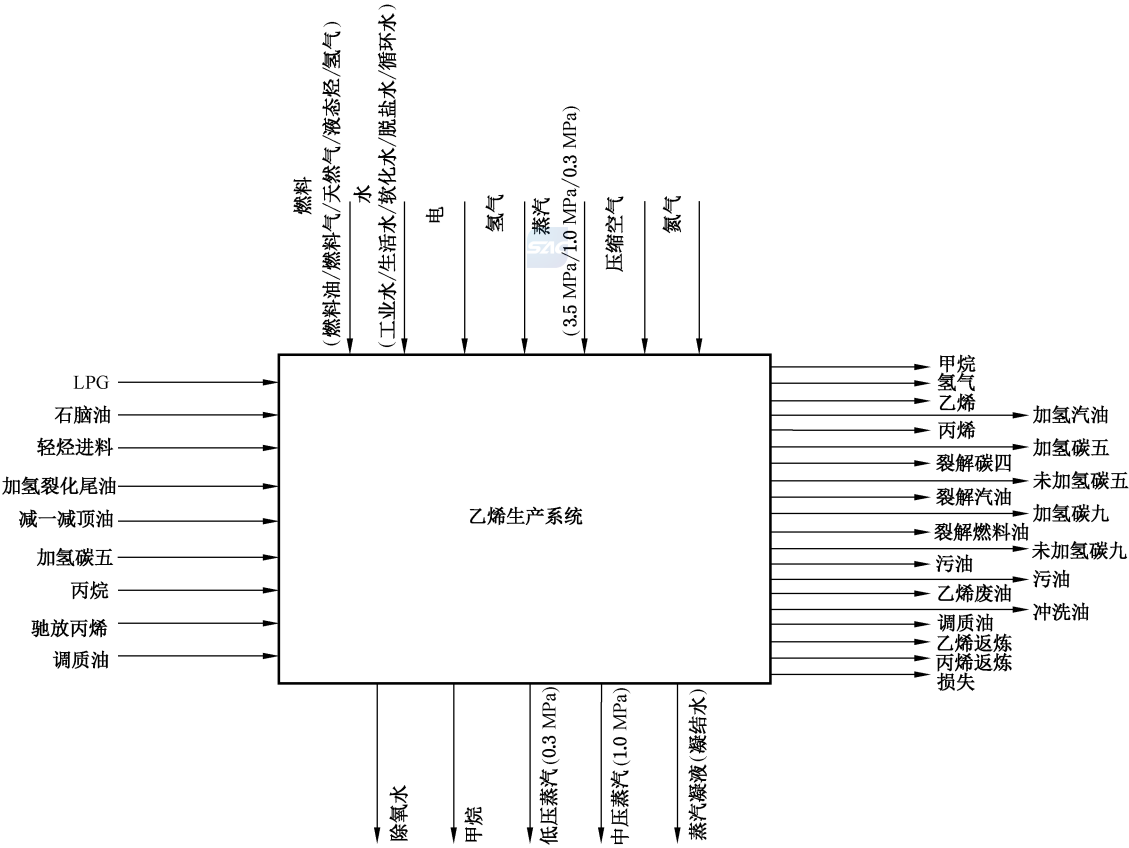


图 A.4 乙烯生产系统能效评估模型

选取乙烯生产系统的乙烯和丙烯单位产品能耗(η)作为能效指标：

$$\eta = E / M_p$$

式中：

E ——产品的综合耗能,单位为吨(t)；

M_p ——产品产量,单位为吨(t)。

A.5.2 能效指标计算

A.5.2.1 计算公式

主要计算包括:

a) 乙烯生产系统输入能量:

$$E = \sum_{i=1}^n M_i R_i + \sum_{j=1}^m Q_j$$

式中:

M_i ——输入的第 i 种燃料、蒸汽、电、水或耗能工质的质量,单位为吨(t)、千瓦时(kW·h)或立方米(m^3);

R_i ——折能系数,即为输入的第 i 种燃料、蒸汽、电、水或耗能工质与千克标准油的换算关系,GB 30250—2013 对折能系数做了规定;

Q_j ——外界输入乙烯生产系统的第 j 种能量量,单位为千克标准油(kgoe)。

b) 乙烯裂解装置能耗

乙烯裂解系统包括乙烯裂解装置和汽油加氢装置。乙烯裂解装置耗能分摊系数 0.7,汽油加氢装置的耗能分摊系数 0.3。消耗能源种类包括燃料、水、电、蒸汽、氮气和风,所有能源都折算成标准油:

- 1) 燃料: $E_{11} = M_{\text{燃料油}} \times R_{\text{燃料油}} + M_{\text{燃料气}} \times R_{\text{燃料气}} + M_{\text{天然气}} \times R_{\text{天然气}} + M_{\text{液态烃}} \times R_{\text{液态烃}} + M_{\text{氢气}} \times R_{\text{氢气}}$
 $M_{\text{燃料气}} = (M_{\text{LPG}} + M_{\text{石脑油}} + M_{\text{轻烃进料}} + M_{\text{加氢裂化尾油}} + M_{\text{减一减顶油}} + M_{\text{加氢碳五}} + M_{\text{外供丙烷}} + M_{\text{弛放丙烷}} + M_{\text{调质油}}) \times 12\% - M_{\text{外供甲烷}} + M_{\text{外补LPG}} + M_{\text{氢气转燃料}};$
- 2) 水: $E_{12} = M_{\text{工业水}} \times R_{\text{工业水}} \times 0.7 + M_{\text{生活水}} \times R_{\text{生活水}} \times 0.7 + M_{\text{软化水}} \times R_{\text{软化水}} \times 0.7 + M_{\text{脱盐水}} \times R_{\text{脱盐水}} \times 0.7 + M_{\text{循环水}} \times R_{\text{循环水}} \times 0.7 + M_{\text{热水}} \times R_{\text{热水}} \times 0.7 - M_{\text{凝结水}} \times R_{\text{凝结水}} - M_{\text{除氧水}} \times R_{\text{除氧水}}$
- 3) 电: $E_{13} = M_{\text{电}} \times R_{\text{电}} \times 0.7$
- 4) 蒸汽: $E_{14} = M_{\text{蒸汽3.5 MPa}} \times R_{\text{蒸汽3.5 MPa}} \times 0.7 + (M_{\text{蒸汽消耗1.0 MPa}} - M_{\text{蒸汽产出1.0 MPa}}) \times R_{\text{蒸汽1.0 MPa}} + (M_{\text{蒸汽消耗0.3 MPa}} - M_{\text{蒸汽产出0.3 MPa}}) \times R_{\text{蒸汽0.3 MPa}}$
- 5) 氮气和风: $E_{15} = M_{\text{氮气}} \times R_{\text{氮气}} \times 0.7 + M_{\text{压缩空气}} \times R_{\text{压缩空气}} \times 0.7 + M_{\text{清焦空气}} \times R_{\text{清焦空气}} \times 0.7$

c) 汽油加氢装置能耗

汽油加氢装置消耗的能源种类包括水、电、蒸汽以及氮气:

- 1) 水: $E_{q1} = M_{\text{工业水}} \times R_{\text{工业水}} \times 0.3 + M_{\text{生活水}} \times R_{\text{生活水}} \times 0.3 + M_{\text{软化水}} \times R_{\text{软化水}} \times 0.3 + M_{\text{脱盐水}} \times R_{\text{脱盐水}} \times 0.3 + M_{\text{循环水}} \times R_{\text{循环水}} \times 0.3 + M_{\text{热水}} \times R_{\text{热水}} \times 0.3$
- 2) 电: $E_{q2} = M_{\text{电}} \times R_{\text{电}} \times 0.3$
- 3) 蒸汽: $E_{q3} = M_{\text{蒸汽3.5 MPa}} \times R_{\text{蒸汽3.5 MPa}} \times 0.3$
- 4) 氮气和风: $E_{q4} = M_{\text{氮气}} \times R_{\text{氮气}} \times 0.3 + M_{\text{压缩空气}} \times R_{\text{压缩空气}} \times 0.3 + M_{\text{清焦空气}} \times R_{\text{清焦空气}} \times 0.3$

A.5.2.2 指标计算

指标计算如下:

a) 输入条件

以某日相关数据计算能效:

乙烯产量 2 546.41 t, 甲烷的自产率为 12%, 使用的燃料为燃料气。

燃料: $M_{\text{燃料油}} = 0$ t, $M_{\text{燃料气}} = 883.73$ t, $M_{\text{天然气}} = 156.83$ t, $M_{\text{液态烃}} = 0$ t, $M_{\text{氢气}} = 0$ t;

水: $M_{\text{工业水}} = 26.73$ t, $M_{\text{生活水}} = 0.2$ t, $M_{\text{脱盐水}} = 4\ 167.5$ t, $M_{\text{循环水}} = 1\ 093\ 056$ t, $M_{\text{热水}} = 16\ 693$ GJ,

GB/T 39115—2020

$$M_{\text{凝结水}} = 4\,342.25 \text{ t}, M_{\text{除氧水}} = 219.25 \text{ t};$$

$$\text{电}: M_{\text{电}} = 185\,000 \text{ kW} \cdot \text{h};$$

$$\text{氮气和空气}: M_{\text{氮气}} = 89\,040 \text{ t}, M_{\text{压缩空气}} = 93\,641 \text{ t}, M_{\text{清焦空气}} = 0 \text{ t}。$$

b) 能耗计算

$$E_1 = E_{11} + E_{12} + E_{13} + E_{14} + E_{15} = 1\,293\,458.66 \text{ kgoe}$$

$$E_q = E_{q1} + E_{q2} + E_{q3} + E_{q4} = 147\,796.33 \text{ kgoe}$$

c) 能效指标计算

能效指标计算包括：

1) 乙烯单位产品能耗

$$\eta_{\text{乙烯}} = E/M_p = (E_1 + E_p)/M_{\text{乙烯}} = 565.99 \text{ kgoe/t}$$

2) 丙烯单位产品能耗

$$\eta_{\text{丙烯}} = E/M_p = (E_1 + E_p)/M_{\text{丙烯}} = 1\,224.03 \text{ kgoe/t}$$



参 考 文 献

[1] GB/T 2587—2009 用能设备能量平衡通则

[2] GB/T 2589—2008 综合能耗计算通则

[3] GB/T 3484—2009 企业能量平衡通则

[4] GB/T 3485—1998 评价企业合理用电技术导则

[5] GB/T 6422—2009 用能设备能量测试导则

[6] GB/T 6988.1—2008 电气技术用文件的编制 第1部分：规则

[7] GB/T 8174—2008 设备及管道绝热效果的测试与评价

[8] GB/T 8222—2008 用电设备电能平衡通则

[9] GB/T 13234—2018 用能单位节能量计算方法

[10] GB/T 13338—2018 工业燃料炉热平衡测定与计算基本规则

[11] GB/T 13471—2008 节电技术经济效益计算与评价方法

[12] GB/T 15316—2009 节能监测技术通则

[13] GB/T 15318—2010 热处理电炉节能监测

[14] GB/T 15320—2001 节能产品评价导则

[15] GB/T 15587—2008 工业企业能源管理导则

[16] GB/T 15914—1995 蒸汽加热设备节能监测方法

[17] GB/T 16665—2017 空气压缩机组及供气系统节能监测

[18] GB/T 17166—2019 能源审计技术通则

[19] GB/T 17357—2008 设备及管道绝热层表面热损失现场测定 热流计法和表面温度法

[20] GB/T 19659.1—2005 工业自动化系统与集成 开放系统应用集成框架 第1部分：通用的参考描述

[21] GB/T 21367—2008 化工企业能源计量器具配备和管理要求

[22] GB/T 23331—2012 能源管理体系 要求

[23] GB/T 24040—2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架

[24] GB 30250—2013 乙烯装置单位产品能源消耗限额

[25] GB/T 34044.2—2017 自动化系统与集成 制造运行管理的关键性能指标 第2部分：定义和描述

[26] GB/T 35115—2017 工业自动化能效

[27] GB/T 35132.1—2017 自动化系统与集成 制造系统能源效率以及其他环境影响因素的评估 第1部分：概述和总则

[28] SH/T 3045—2003 石油化工管式炉热效率设计计算方法

[29] CEN/CLC/TR 16103 Energy management and energy efficiency—Glossary of terms
