

# 煨后石油焦汽电联产的产品单位成本测算

王宽永 段全斌 杨云庆 吴俊

(中海油能源发展股份有限公司石化分公司 广州 516086)

**【摘要】**煨后石油焦厂在产出煨后石油焦的同时,依靠生产过程中产生的高温烟气流转进行蒸汽及电力的生产。怎样分配成本中占比较大的原料石油焦及重油价值,以确定煨后石油焦、蒸汽和电力的成本;如何分摊蒸汽及电力总成本,以确定其单位成本,都是实务中的难点。本文根据煨后石油焦厂生产特点,采用“按照热量流转进行单位成本核算”的思路,通过分析比较,确定不同生产状况下适用的产品单位成本测算方法。

**【关键词】**煨后石油焦 蒸汽 电力 热量 单位成本

煨后石油焦厂主要装置为煨烧窑(美国美卓公司 Metso 制造)、X吨蒸发量余热锅炉、烟气净化装置、Y千瓦的汽轮发电机组及公用工程设施。

煨后石油焦厂利用炼油厂生产的延迟石油焦,高温煨烧生产煨后石油焦,煨烧过程产生的高温烟气通过锅炉产生 9.8MPa 蒸汽,经汽轮发电机组发电,并产生 1.5MPa 及 2.5MPa 低压蒸汽对外销售,这一过程主要是通过热能转换进行的。对于构成煨后石油焦厂成本最大比例的石油焦及重油的价值,如何分配给蒸汽及电力较为困难。由于煨后石油焦厂的生产主要是靠热量流转、热能转换实现蒸汽及电力产出,我们可以采用核算热量流转的方式对石油焦及重油价值进行分配,核算蒸汽及电力的成本,进而测算其单位成本。对于折旧、人工、办公消耗等费用可以按照一般财务方法进行归集分配。

## 一、热量流转法的基本操作方法

热量流转法就是根据石油焦中可燃物挥发份及重油的产热系数,计算挥发份及重油燃烧产热量,在各个产品之间按照各自消耗热量的比例,分摊消耗重油及石油焦中挥发份占比的价值。该方法需要结合热力学中热量相关系数,并通过化验的方法确定石油焦中挥发份的比例,从而按照比例确定挥发份的价值(炼油厂供应的石油焦中挥发份的含量一般较为稳定)。

### (一)基本方法

1. 按照生产过程中煨后石油焦的收率,原料石油焦的可燃物挥发份含量一般为 10%,按照石油焦及重油消耗量,结合挥发份及重油的产热系数,确定总产热量(参考热值表):

$Q_1$  重油产热系数:  $41\ 040 \times 1\ 000\text{KJ}/\text{t}$ 。 $Q_2$  石油焦产热系数:  $36\ 140 \times 1\ 000\text{KJ}/\text{t}$ (10%挥发份含量产热系数)。

2. 按照蒸汽及电力的耗能系数作为分摊标准(参考焓熵图):①5MPa, 270°C 蒸汽焓值  $3\ 003\text{KJ}/\text{kg}$ ;②5MPa, 250°C 蒸汽焓值  $2\ 885\text{KJ}/\text{kg}$ 。电力  $3\ 600\text{KJ}/\text{kwh}$ 。

3. 按照蒸汽及电力产量,计算消耗的热量作为分摊比例,确定蒸汽及电力分摊的石油焦及重油价值。

### (二)成本测算的两种方法

由于重油及挥发份产生的热量除了产生蒸汽及电力,对石油焦进行煨烧生产煨后石油焦也要消耗热量。按照这种基本操作方法,计算中要考虑两种情况:①挥发份及重油产生的热量,由煨后石油焦及副产品蒸汽和电力三种产品分摊;②挥发份及重油产生的热量,全部由蒸汽及电力两种产品分摊。下面分别对这两种情况进行描述,并分析其适用的生产负荷情况:

**方法一:**考虑煨烧装置散热及煨后石油焦带走的热量,也要分摊挥发份和重油产生的热量,该方法要测算窑体散热,冷却水耗热,煨后石油焦带走的热量,蒸汽伴热消耗的热量。

1. 该种情况下需要的生产参数及计算公式如下(根据生产过程测算,求平均值):

煨后石油焦带走热系数( $Q_3$ ):  $29\ 308 \times 1\ 000\text{KJ}/\text{t}$

在生产过程中,需要消耗一次水,进行煨后石油焦冷却,每吨石油焦一次水用量为  $8.282 \times 0.7\text{t}$ 。

一次水耗能系数( $Q_4$ ):  $2\ 508\text{KJ}/\text{t}$

筒体散热( $Q_5$ ):  $[(\text{回转窑})\text{筒体散热 } 11\ 052\ 022\text{KJ}/\text{h} + (\text{冷却机})\text{体散热 } 1\ 368\ 702\text{KJ}/\text{h} + (\text{后燃烧室})\text{散热 } 27\ 192\ 011\text{KJ}/\text{h}] \times 365 \times 24\text{h} \times 2 = 6.940\ 151\ 172 \times 10^{11}\text{KJ}$

生产过程中需要伴热蒸汽按 4 吨/小时 1.5MPa 270°C 蒸汽,每小时总耗热为:蒸汽伴热耗能系数( $Q_6$ ):  $4 \times 3\ 003 \times 1\ 000\text{KJ}/\text{h}$ 。

则由蒸汽及电力分摊的热量计算公式:

$$\Sigma Q=Q_1+Q_2-(Q_3+Q_4+Q_5+Q_6) \quad (1)$$

2. 根据热量分布进行单位成本测算:

根据公式(1),热量 $\Sigma Q$ 由蒸汽及电力分摊,( $Q_3+Q_4+Q_5+Q_6$ )热量由产品煨后石油焦承担。在计算过程中,考虑锅炉及汽轮发电机组的热效率,损失部分由蒸汽及电力按比例分摊。相关变量定义为: $S_1$ 为1.5MPa蒸汽产量, $S_2$ 为2.5MPa蒸汽产量, $P$ 为汽轮发电机组发电产量, $S_3$ 为煨烧伴热消耗1.5MPa蒸汽量, $M_1$ 为10%挥发份价值, $M_2$ 为消耗的重油价值。

(1)煨烧过程产生的总热量,由煨后石油焦与副产品进行分摊:煨烧部分分摊热量百分比 $C_1=(Q_3+Q_4+Q_5+Q_6)/(Q_1+Q_2)$ ,煨后石油焦分摊石油焦及重油价值= $C_1 \times (M_1+M_2)$ ,蒸汽及电力部分分摊热量百分比 $C_2=\Sigma Q/(Q_1+Q_2)$ ,蒸汽及电力分摊石油焦及重油价值 $M=C_2 \times (M_1+M_2)$ 。

(2)在1.5MPa蒸汽及2.5MPa蒸汽、电力之间,分摊石油焦及重油价值 $M$ ,按照各自的耗热系数及产量计算的耗热量,占三者按照该方法计算的耗热量之和的百分比,作为各自分摊 $M$ 的价值的比率:

$$1.5\text{MPa蒸汽产量分摊额} = S_1 \times 3\,003 \times 1\,000\text{KJ/kg} / (S_1 \times 3\,003 \times 1\,000\text{KJ/kg} + S_2 \times 2\,885 \times 1\,000\text{KJ/kg} + P \times 3\,600\text{KJ/Kwh}) \times M$$

$$2.5\text{MPa蒸汽产量分摊额} = S_2 \times 3\,003 \times 1\,000\text{KJ/kg} / (S_1 \times 3\,003 \times 1\,000\text{KJ/kg} + S_2 \times 2\,885 \times 1\,000\text{KJ/kg} + P \times 3\,600\text{KJ/Kwh}) \times M$$

$$(3)\text{电力产量分摊额} = P \times 3\,600\text{KJ/kgwh} / (S_1 \times 3\,003 \times 1\,000\text{KJ/kg} + S_2 \times 2\,885 \times 1\,000\text{KJ/kg} + P \times 3\,600\text{KJ/kwh}) \times M$$

方法一需要生产部门提供相关数据,计算相对复杂。

方法二:煨烧部分由挥发份及重油燃烧产生的热量,全部作为生产副产品的热量消耗,并按照蒸汽及电力各自消耗的热量进行分摊。实际工作中采用蒸汽及电力按照各自耗热系数与产量计算的热量,占三种产品按照该方法计算的耗热之和的比率,作为分摊挥发份及重油价值的标准:

$$1.5\text{MPa蒸汽产量分摊额} = S_1 \times 3\,003 \times 1\,000\text{KJ/kg} / (S_1 \times 3\,003 \times 1\,000\text{KJ/kg} + S_2 \times 2\,885 \times 1\,000\text{KJ/kg} + P \times 3\,600\text{KJ/kwh}) \times (M_1+M_2)$$

$$2.5\text{MPa蒸汽产量分摊额} = S_2 \times 3\,003 \times 1\,000\text{KJ/kg} / (S_1 \times 3\,003 \times 1\,000\text{KJ/kg} + S_2 \times 2\,885 \times 1\,000\text{KJ/kg} + P \times 3\,600\text{KJ/kwh}) \times (M_1+M_2)$$

$$\text{电力产量分摊额} = P \times 3\,600\text{KJ/kwh} / (S_1 \times 3\,003 \times 1\,000\text{KJ/kg} + S_2 \times 2\,885 \times 1\,000\text{KJ/kg} + P \times 3\,600\text{KJ/kwh}) \times (M_1+M_2)$$

方法二需要的前提条件较少,计算简便,易于操作。

## 二、两种热量流转法的具体适用情况

(一)按照煨后石油焦厂产能利用100%情况进行两种方法的对比分析

1. 按照工厂的生产实际情况进行计算,通过对计算结果的分析,确定两种方法的具体适用生产状况(假设该厂年产40万吨煨后石油焦,收率80%):

(1)按照实际煨后石油焦的收率,原料石油焦消耗量中可燃物挥发份10%的含量,按照石油焦594元/吨的价格,以及重油的消耗量,重油2393元/吨的价格,确定的挥发份及重油价值,作为分摊价值。

表1

原料采购价格		产品销售价格	
石油焦	594元/吨	煨后石油焦	1010元/吨
重油	2393元/吨	蒸汽	135元/吨
		电力	0.62元/度

(2)采用产出产品量,计算热量,作为分摊比例,确定蒸汽及电力分摊的石油焦及重油价值。

(3)加上折旧费、人工费及办公费等其他成本。

2. 方法一下单位成本计算情况:

表2 热量价值计算表

项目	消耗量(吨)	采购单价(元/吨)	总金额(万元)
挥发份	50000	594	2970
重油	8307	2393	1988
合计			4958

表3 正常生产情况下的煨后石油焦厂热量分布表

项目	加工量(吨,KWH)	产生热量	热量分布比例	分摊金额
石油焦热量	500000.00	1807000000000.00		
重油产生热量	8307.00	340919280000.00		
煨后石油焦耗热	400000.00	11054495836880.00	0.60	2977
向后热量		7356423443120.00		
发电量	46688000.00			
发电热量	168076800000.00	407803062012.77	0.02	110
1.5MPa蒸汽	676992.00			
1.5MPa蒸汽耗热	2033006976000.00	4932664531369.68	0.27	1328
2.5MPa蒸汽	288000.00			
2.5MPa蒸汽耗热	830880000000.00	2015955849737.55	0.11	543
发电及蒸汽总热量	3031963776000.00			

待分摊挥发份及重油价值:4958.00

表4 煨后石油焦单位成本计算

煨后石油焦成本(产量:40万吨)	数量	单价(元/吨)	总价(万元)	单位成本(元/吨)
石油焦	450000	594	26730	668.25
分摊成本			2977	74.43
其他成本			5248	131.20
合计			34955	873.88

**表 5 蒸汽单位成本计算**

蒸汽成本(产量 96 万吨)	总价(万元)	单位成本(元/吨)
分摊成本	1 871	19.49
其他成本	4 146	43.19
合 计	6 017	62.68

**表 6 电单位成本计算**

电成本 (产量:4 668.8 万 KWH)	总价 (万元)	单位成本 (元/KWH)
分摊成本	110.00	0.02
其他成本	1 315.00	0.28
合 计	1 425.00	0.31

该种情况下,煨后石油焦单位成本 873.88 元/吨,销售价格 1 010 元/吨,毛利为:(1 010-873.88)×40 万吨=5 444.8 万元。

蒸汽单位成本 62.68 元/吨,销售价格 134 元/吨,毛利:(134-62.68)×96 万吨=6 846.72 万元。

电单位成本为 0.31 元/度,概算销售价格 0.62 元/度,毛利:(0.62-0.31)×4 668.8 万度=1 447.33 万元。

该厂毛利合计:5 444.8+6 846.72+1 447.33=13 738.85 万元。毛利分布较均衡,考虑装置负荷高,煨烧部分消耗及损失热量有所升高,煨后石油焦也要承担产热成本,该种成本计算方法适用于装置负荷率高、产品产量较高的情况。在高负荷下,蒸汽锅炉热能利用充分、效率较高,毛利上升,符合实际生产状况。

**3. 方法二下单位成本计算。**

**表 7 正常生产情况下的煨后石油焦厂热量分布表**

项 目	加 工 量	产 生 热 量	热量分 布比例	分摊 金额
石油焦热量	500 000	18 070 000 000 000		
重油产生热量	6 230	255 679 200 000		
煨烧耗热	400 000		0%	-
向后热量		18 325 679 200 000		
发电量	46 688 000			
发电热量	168 076 800 000	1015883 349 974	5.54%	275
1.5MPa 蒸汽	676 992			
1.5MPa 蒸汽耗热	2 033 006 976 000	12 287 822 812 543	67.05%	3 324
2.5MPa 蒸汽	288 000			
2.5MPa 蒸汽耗热	830 880 000 000	5 021 973 037 483	27.40%	1 359
发电及蒸汽总热量	3 031 963 776 000			

待分摊挥发份及重油价值:4 958

**表 8 煨后石油焦单位成本**

煨后石油焦成本 (产量:40 万吨)	数 量	单 价 (元/吨)	总 价 (万元)	单 位 成 本 (元/吨)
石油焦	450 000	594	26 730	668.25
其他成本			5 248	131.20
合 计			31 978	799.45

**表 9 蒸汽单位成本计算**

蒸汽成本(产量 96 万吨)	总价(万元)	单位成本(元/吨)
分摊成本	4 683	48.78
其他成本	4 146	43.19
合 计	8 829	91.97

**表 10 电单位成本计算**

电成本 (产量:4 668.8 万 KWH)	总价 (万元)	单位成本 (元/KWH)
分摊成本	110.00	0.02
其他成本	1 315.00	0.28
合 计	1 425.00	0.31

该种情况下,煨后石油焦不分摊挥发份和重油成本,煨后石油焦单位成本 799.45 元/吨,毛利为:(1 010-799.45)×40 万吨=8 422 万元。

蒸汽单位成本 91.97 元/吨,毛利=(134-91.97)×96=4 034.88 万元。

电单位成本为 0.34 元/度,毛利:(0.62-0.34)×4 668.8 万度=1 307.26 万元。

毛利总额:8 422+4 034.88+1 307.26=13 764.14 万元。该种情况下,毛利主要由煨后石油焦销售体现,蒸汽及电力毛利偏低,利润分布不均衡,与工厂产业多元化的设计背离。在产量相对较高的情况下,煨烧过程耗热及损失较高,蒸汽锅炉热能利用充分、效率提高,适宜采用方法一—的计算方法。

**(二)按照该煨后石油焦厂产能 60%情况进行分析**

**1. 方法一—的计算。**

**表 11 热量价值计算表**

项 目	消耗量(吨)	采购单价(元/吨)	总金额(万元)
挥发份	30 000	594	1 782
重油	4 984	2 393	1 193
合 计			2 975

**表 12 正常生产情况下的煨后石油焦厂热量分布表**

项 目	加 工 量 (吨、KWH)	产 生 热 量	热量分 布比例	分摊 金额
石油焦热量	300000	1084200000000.00		
重油产生热量	4984	204543360000.00		
煨后石油焦耗热	240000	6949049456208.00	0.63	1871
向后热量		4097493903792.00		
发电量	28012800			
发电热量	100846080000	227144498292.49	0.02	61
1.5MPa 蒸汽	406195			
1.5MPa 蒸汽耗热	1219803585000	2747470931246.91	0.25	740
2.5MPa 蒸汽	172800			
2.5MPa 蒸汽耗热	498528000000	1122878474252.61	0.10	302
发电及蒸汽总热量	1819177665000			

待分摊挥发份及重油价值:2 975

**表 13 煨后石油焦单位成本计算**

煨后石油焦成本 (产量:24万吨)	数量	单价 (元/吨)	总价 (万元)	单位成本 (元/吨)
石油焦	270 000	594	16 038	668.25
分摊成本			1 871	77.96
其他成本			5 248	218.67
合计			23 157	964.88

**表 14 蒸汽单位成本计算**

蒸汽成本(产量57.6万吨)	总价(万元)	单位成本(元/吨)
分摊成本	1 042	18.09
其他成本	4 146	71.98
合计	5 188	90.07

**表 15 电单位成本计算**

电成本 (产量:2 801.28万 KWH)	总价 (万元)	单位成本 (元/KWH)
分摊成本	61.00	0.02
其他成本	1 315.00	0.47
合计	1 376.00	0.49

煨后石油焦毛利:(1 010-964.88)×24=1 082.88万元,蒸汽毛利:(134-90.7)×57.6=2 494.08万元,电力毛利:(0.62-0.49)×2 801.28=364.17万元。毛利合计:2 173.08+3 608.64+653.63=6 435.35万元。60%负荷率下,装置负荷降低,锅炉效率下降,该种计算方法毛利主要由蒸汽销售体现,与实际生产状况不相符,同时毛利分布不均衡。

2. 方法二下的计算。

**表 16 正常生产情况下的煨后石油焦厂热量分布表**

项目	加工量	产生热量	热量分布比例	分摊金额
石油焦热量	300 000	10 842 000 000 000		
重油产生热量	4 984	204 543 360 000		
煨烧耗热	240 000		0%	-
向后热量		11 046 543 360 000		
发电量	28 012 800			
发电热量	100 846 080 000	612 364 925 559	5.54%	165
1.5MPa蒸汽	406 195			
1.5MPa蒸汽耗热	1 219 803 585 000	7 406 980 336 022	67.05%	1 995
2.5MPa蒸汽	172 800			
2.5MPa蒸汽耗热	498 528 000 000	3 027 198 098 419	27.40%	815
发电及蒸汽总热量	1 819 177 665 000			

待分摊挥发份及重油价值:2 975

**表 17 煨后石油焦单位成本计算**

煨后石油焦成本 (产量:24万吨)	数量	单价 (元/吨)	总价 (万元)	单位成本 (元/吨)
石油焦	270 000	594	16 038	668.25
其他成本			5 248	218.67
合计			21 286	886.92

**表 18 蒸汽单位成本计算**

蒸汽成本(产量57.6万吨)	总价(万元)	单位成本(元/吨)
分摊成本	2 810	48.78
其他成本	4 146	71.98
合计	6 956	120.76

**表 19 电单位成本计算**

电成本 (产量:2 801.28万 KWH)	总价 (万元)	单位成本 (元/KWH)
分摊成本	165.00	0.06
其他成本	1 315.00	0.47
合计	1 480.00	0.53

煨后石油焦毛利:(1 010-886.92)×24=2 953.92

蒸汽毛利:(135-120.76)×57.6=820.22万元

电力毛利:(0.62-0.53)×2 801.28=252.12万元

以上三种产品毛利合计:2 953.92+820.22+252.12=4 026.26万元。

该方法保障了煨后石油焦销售毛利总额,由于装置负荷低,锅炉效率下降,蒸汽毛利降低,符合实际生产状况。装置负荷低,煨烧部分消耗及损失热量有所降低,产品煨后石油焦可以不再承担产热成本。

方法二适合装置负荷较低的情况。

三、结论

1. 煨后石油焦汽电联产工厂各项产品单位成本,可以采用热量流转法进行测算,并可根据装置负荷及蒸汽产量情况采用不同方法。

2. 通过对以上计算方法的对比分析,可以得出在装置负荷较低,产品产量较低,蒸汽产量显著下降情况下,采用方法二,蒸汽及电力的成本按照各个副产品热量系数与产量计算耗热之和,各个副产品耗热占三者之和的比例,作为挥发份及重油价值的分摊比例,确定蒸汽及电力的单位成本。在产量较低时,可以通过蒸汽及电力平衡煨后石油焦单位成本。

3. 在生产状况显著改善,装置负荷提高,产品产量较高的情况下,采用方法一,石油焦中挥发份含量的价值,消耗重油的价值,由煨后石油焦及蒸汽和电力按照各自消耗热能比例进行分摊。相同生产条件下,煨后石油焦单位成本高于方法二。

4. 对于化工产品生产厂,都可以按照原料主要成分,或者产品主要成分含量,进行成本分摊,进而确定各产品单位成本。

主要参考文献

1. 刘朝东,罗辉,崔银河等.大型石油焦回转窑煨烧过程三维数值模拟.轻金属,2011;1
2. 周萍,刘朝东,周乃君等.石油焦煨烧回转窑内多场耦合数值仿真与操作参数的优化.炭素技术,2006;2