

冶金炉热工译文集

平炉用高发热值燃料炼钢

萧泽强 马文元 等 译

本譯文集共收集了18篇有关平炉使用高发热值燃料的文章，选譯自苏联、美国、日本等国出版的杂志和书籍。本书内容包括二部分，第一部分为平炉用重油作燃料时液体燃料性质对火焰亮度的影响，重油平炉热工制度的研究，“反应喷射式”雾化喷嘴在平炉上的应用，酸性平炉改用重油加热，平炉用重油的自动切断装置等；第二部分为平炉用天然气作燃料时，天然气对冶炼工艺、鋼质量、热工制度、火焰組織的影响，混合煤气加热的平炉改烧天然气和天然气自增碳法的經驗，以及喷嘴的設計和計算等。上述文章基本上反映了重油、天然气作平炉燃料时技术上存在的主要問題及生产上取得的成就。

本书可供生产、設計、研究单位平炉热工及炼鋼专业的工程技术人员参考，亦可供高等和中等院校师生参考。

冶金炉热工譯文集
平炉用高发热值燃料炼鋼
蕭泽强 馬文元 等譯

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯（北京灯市口71号）

中国工业出版社出版（北京德胜门内大街10号）

北京市书刊出版业营业登记证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $6^{5/16}$ ·字数131,000

1965年11月北京第一版·1965年11月北京第一次印刷

印数 0001—1,500·定价（科四）0.80元

*

統一書号：15165·4147（冶金·641）

目 录

前 言

1. 液体燃料的性质对平炉火焰亮度的影响.....	1
2. 用重油加热煤气平炉.....	15
3. 重油平炉热工研究的若干结果.....	24
4. 平炉改用重油加热及几个问题.....	34
5. 采用不同类型喷嘴的平炉操作的研究.....	41
6. “反应喷气式”雾化在平炉中的应用.....	47
7. 酸性平炉改用重油加热.....	60
8. 平炉重油喷嘴的自动切断装置.....	70
9. 天然气用作平炉燃料.....	74
10. 混合煤气平炉改烧天然气.....	86
11. 天然气平炉冶炼优质钢.....	104
12. 改善平炉热工作.....	109
13. 平炉用天然气加热的热工研究.....	120
14. 重油平炉用天然气自增碳法加热.....	129
15. 平炉内煤气-重油火焰的研究.....	139
16. 重油平炉改烧天然气时火焰的组织.....	155
17. 新建用天然气加热的平炉.....	171
18. 煤气-重油喷嘴的设计与计算.....	189

1. 液体燃料的性质对平炉火焰亮度的影响

M. A. 格林科夫, Ю. Ф. 波罗夏诺夫

采用高压喷嘴的液体燃料平炉比一般煤气平炉炉体结构简单, 且火焰动能大。因而研究液体燃料性质对火焰亮度的影响具有非常重要的意义。本文所得出的结论同样适用于各种含硫液体燃料。因为这些含硫液体燃料可以应用于平炉熔炼的后期(熔化末期和沸腾期), 只有在使用氧强化燃烧的平炉上, 才能在熔炼前期采用。

平炉的顺利操作要求获得稳定的火焰亮度〔1〕。显然, 这一点只有在火焰内含有大量较大的固体炭粒(1μ 或 1μ 以上)时才有可能。

燃料的天然性质肯定地要影响火焰的辐射能力。例如国际火焰辐射研究协会所作的研究, 曾经肯定了某些燃料的 C/H 重量比与火焰黑度之间存在一定的关系(见图 1)。

国内文献也指出过重油火焰亮度是随着重油重度增加而增加的。

下述方法可以用来提高平炉中火焰的亮度: 用 C/H 值为 14 的煤焦油代替 C/H 值为 7 的重油, 能提高平炉

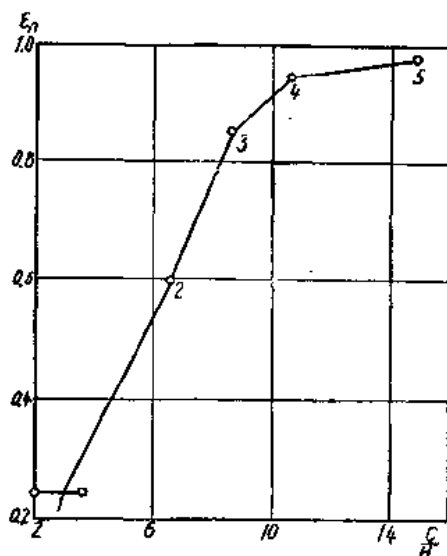


图 1 距喷嘴两米处火焰黑度与 C/H 的关系

1—焦炉煤气; 2—煤气—油; 3—重油;
4—杂酚油; 5—杂酚焦油

生产率約9%；往輕质重油中加入炭黑或粉煤^[2]（炭黑加入量为5%时，生产率提高約9%，“鐮刀和錘子”工厂燃烧重油和粉煤的胶体燃料时，曾縮短熔炼時間和降低燃料消耗量达4—15%）；以及降低重油含水量。

減少雾化剂和过剩空气的用量，用空气代替蒸汽雾化以及其他等等都能增加火焰的亮度。

重油通常是石油在300°C时的蒸餾残余物^[3]。得到的重油有低粘度和高粘度的。重油的牌号就是根据各种重油的条件粘度大小划分的。經由铁路輸送的各种重油粘度的規格在ГОСТ 1501—57內作了規定（图2）。

直接分餾的和裂化重油的区别（表1）在于石蜡、焦油和油瀝青烯的含量不同，以及重度、結焦性等不同。重油的結焦性按“Конрадсон”法（ГОСТ 5987—51）測定，若将被測定的产品置于温度为520+5°C的电炉內保持30分钟，也能获得相同的結果。

已經肯定油瀝青烯、焦油和多环芳香族成分都具有結焦性能。这些物质受热时，将按下列过程变化而产生焦炭粘合物：油→焦油→油瀝青烯→銅炔→碳化物→焦炭。液体燃料結焦性的大小見表2。

根据依日尔斯克工厂和主要文献的重油及其成分的分析資料可以确定結焦性与C/H、重度 γ 、粘度（BY）的关系（图2）。

C/H值、 γ 和BY增加时，結焦性也要增加。从物理意义上讲，K与C/H值和 γ 是有区别的，K与火焰中存在的各种現象更为密切。比如重油滴燃烧時間愈长，則結焦性愈大（图3）。高溫下液体燃料中焦炭粒析出量与Конрадсон結焦性成正比^[5]。例如表3中无水渣油的K=37.1, 1100°C时焦炭粒析出量为34%；1200°C时为33.1%；1300°C时为33%；高于1300°C时实际上不会有揮发物析出，而只发生炭粒的石墨化过程。

因此，重油的結焦性就决定了火焰中炭粒（1 μ 和1 μ 以上）的数量，从而也就是决定平炉稳定的火焰亮度的一个指标。

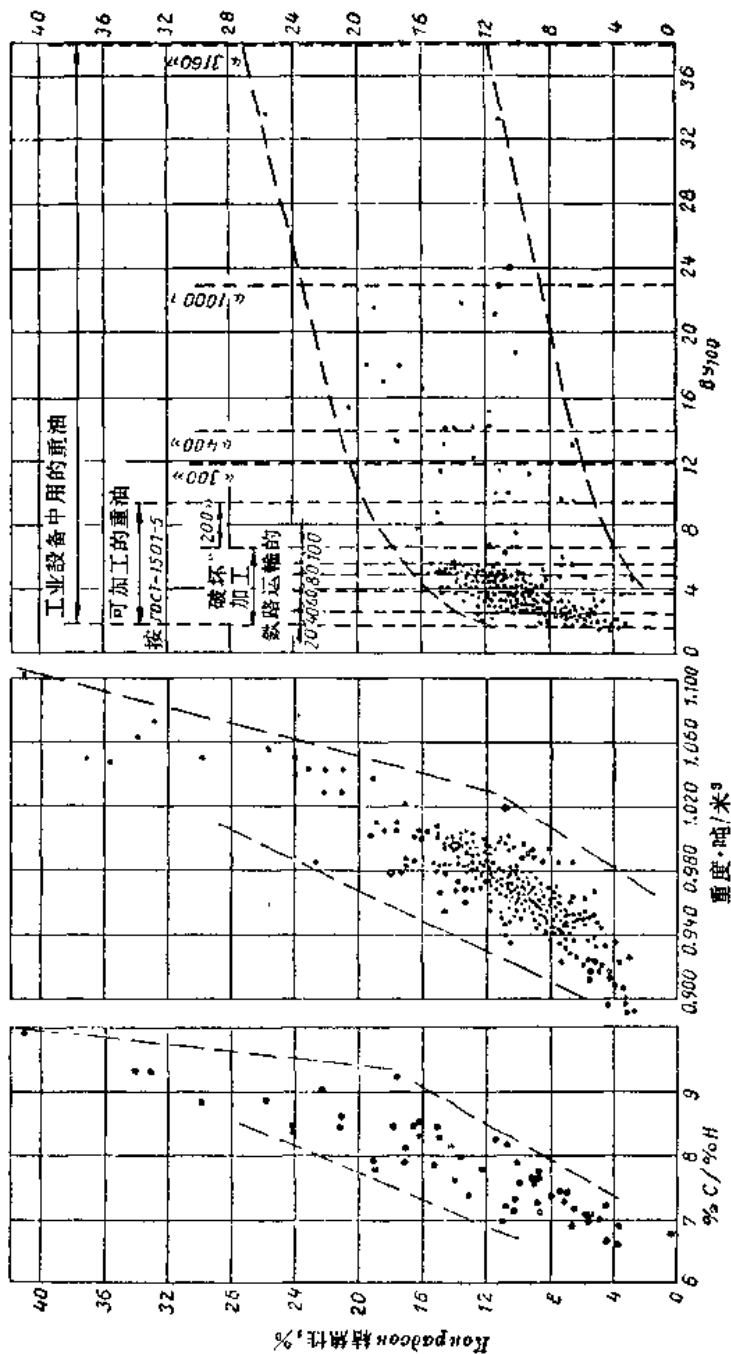


图 2 石油产品的结焦性

石油产品的几种性质

表 2

	K (%)	γ_{f}^{20} (吨/米 ³)	C/H	产 物	K (%)
石蜡	0	$\gamma_{\text{f}}^{10}=0.775$	5.7	油中环烷	0.001 -0.06
煤油	0	0.813	6.1	芳族烃	0.47
太阳油	0.2	0.850	6.8	石油中的焦油	6—21
萘	0	1.145	15.0	石油中油沥青烯	60—70
葱	0.2	1.242	16.65	机用油	0.2—0.7
綠油	0.75	—	—		

注：綠油为石油在235—250°C沸腾温度下的热解产物，綠油中含有萘酚、葱和其他高分子芳香族碳氢化合物，它是石油瀝青、軟瀝青和瀝青的溶解剂。

液体燃料的性质和成分[3]

表 3

	一 級 焦 油		瀝 青			无水渣油
	褐煤焦油	煤 焦 油	热解石油 瀝 青	褐煤瀝青	煤 瀝 青	
含氮：%(重油)						
石蜡	8—6	—	—	1.5	—	—
油	—	82	61.8	26—48	—	—
焦油	—	—	11.7	8—11	—	19.2
油瀝青烯	40	—	12.5	—	—	12.5
碳化物	—	—	14	0.5	7.4	3.45
Конрадсон焦炭		14—40	—	—	28.5	37.1
重度，吨/米 ³	0.978	1.15—1.20	1.08	1.05—1.2	1.25	1.052

K与C/H值、 γ 和BY之間并无明显的关系(图2)。当C/H值、重度和条件粘度为某一固定值时，結焦性的变动范围达1—4倍(虛綫間的区域)，这是因为燃料中存在有其他結焦物质的緣故。对于石油的热解产物——萘、葱及其他物质，它們的K—C/H和K— γ 的变动范围还要大得多。

重油及其組成物的C/H， γ 和BY的增大与其中焦油瀝青量的增加成正比(表2和表4)。

但是，由石油加工过程中所获得的各种焦油和瀝青油烯的結焦性能也有显著差别。例如：比重为1.0078的石油瀝青中含瀝青油烯30.82%、焦油25.19%和其他油质48.06%〔6〕。其結焦性

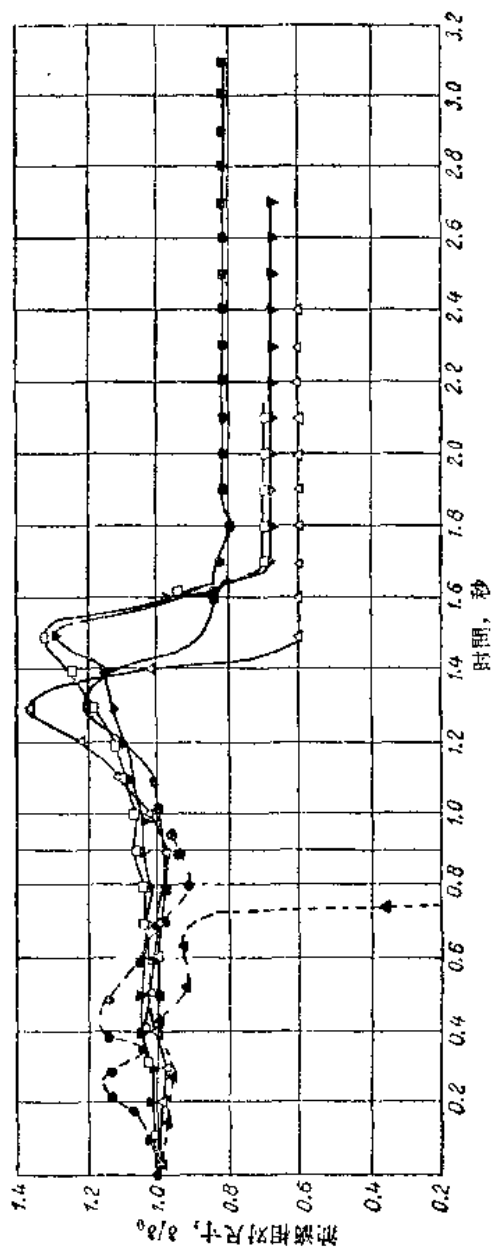


图 3 重油和裂化油滴的燃烧时间

●—重油, $\delta_0=1.188$ 毫米; ▼—重油, $\delta_0=1.380$ 毫米;
 ▲—重油, $\delta_0=1.388$ 毫米; ▲—重油, $\delta_0=1.147$ 毫米;
 ■—裂化油, $\delta_0=1.750$ 毫米; □—裂化油, $\delta_0=1.380$ 毫米

为 13.27%，但按表 2 計算的 K 值应大于 20%。这就是說，焦油瀝青含量仍然不是液体燃料結焦性的标志。

重油中焦油，油瀝青烯，碳化物的物理化学性质 表 4

	状 态	重 度 (吨/米 ³)	C/H	C %	分子量	分子截面积 Å ²	分子长度 Å
焦油	液态到固态， 可溶	1.03— 1.078	7.8— 8.46	77.9— 82.62	670—829	76.39— 83.1	12.7— 15.6
油瀝青烯	固态，不可溶	1.117— 1.14	11.5— 13.3	82.2— 86.7	1300	97—106	18.7— 19.4
碳化物	固态，不可溶	1.228	18.1	87.52	—	—	80— 200 μ

至于重油結焦性与 C/H 无固定关系，这可由下列事实証实：
往重油中加入梅笠草烯（萘的同系物，萘的 C/H 值查表 2）以后，
重油中 C/H 值增大了，但重油的結焦性却降低了。

加入 10% 的梅笠草烯，重油結焦性就由 10.82% 下降到
3.87%，燃烧过程因而加速，这一点也可以証明結焦性对稳定火
焰亮度的影响。

由上所述可以肯定，C/H 值高，重度和条件粘度大是获得稳
定的重油火焰亮度的次要因素。重油火焰亮度的基本指标仍然是
重油的高結焦性。

气相重油火焰中，除了粒度为 1μ 和 1μ 以上的焦炭粒以外，
尚含有 $0.01—0.15\mu$ 的炭黑质点 [1]。显然，这种质点并不能造
成稳定的火焰亮度，因为它们遇到活性氧分子以后就很快燃
烧。由不結焦的碳氢化合物——石蜡、煤油、萘等（表 2）析出
炭黑质点的数量与 C/H 成比例关系。这些质点的大小与质点本
身形成的条件有关 [1,7]。显然，这种质点总是非常細小的。

可以看出，本文提到的往輕质重油中加入 5% 炭黑后所获得
的良好效果，并不是由于胶体燃料中 C/H 值的增大，而是像在重
质重油中存在的固体炭粒那样，散布在胶体燃料中的炭黑轉变为
焦炭粒的結果。

加热平炉时可以采用焦油、瀝青和其他液体燃料。其中焦油

瀝青的成分如图 4 和表 3 所示。其主要性质见表 3 和表 5。从所引用的資料可以看出，对重油所作出的結論同样适用于其他液体燃料，也就是說，决定稳定的火焰亮度的因素是燃料的結焦性。

根据上述原則，就可以：

1) 当同时供应两种重度相同的液体燃料时，正确地选择燃料，以获得稳定的火焰亮度。〔例如 $\gamma=0.960$ ， $K=14.7\%$ 的重油和沸点在 285°C 以上， $\gamma=0.960$ ， $K=1.74\%$ 的裂化油的真空分餾产物配合使用 (图 2)； $\gamma=1.163$ ， $C/H=15.4$ ， $K=27.1\%$ 的煤焦油和蒽油 (蒽油为 $270^{\circ}\text{—}360^{\circ}\text{C}$ 沸騰溫度下蒽分餾物，

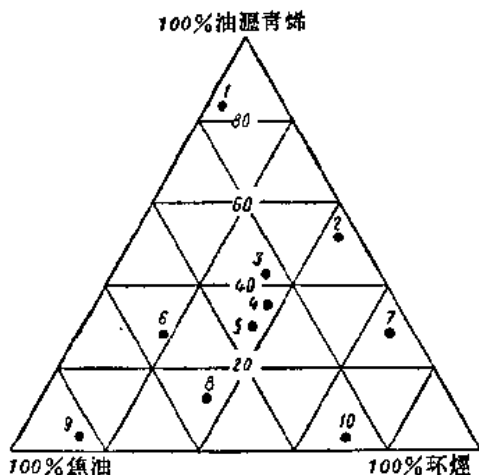


图 4 碳氢化合物的組合成分
(Маркусон) [8]

- 1—硬瀝青；2—煤焦油；3—棉籽瀝青；4—特立尼达地瀝青；5—瀝青渣；6—羊毛蜡瀝青；7—加壓渣油；8—頁岩渣油；9—热分解物；10—糠醛萃液

其 $\gamma=1.242$ ， $C/H=16.65$ ， $K=0.2\%$ ，表 2 和表 5) 配合使用；以及两种煤瀝青配合使用 (表 5)〕。

2) 选择必要的燃料加工工艺方法，使液体燃料获得所要求的結焦性。

3) 选择燃料送入平炉前預先处理的工艺方法 (例如加入梅笠草烯)。

同时还可以得出这样一个結論：即某些石油类燃料 (裂化渣油和瀝青) 本身提高火焰亮度的能力很大，从而可以免除往燃料中掺入炭黑或粉煤的繁重劳动。既然石油类燃料具有和煤炭类燃料一样的提高火焰亮度的能力，因而也无需采用煤焦油来加热，仅仅需要掌握裂化渣油和瀝青的燃烧方法。

液体燃料的主要物理化学性质〔4〕

表 5

	50°C下的 条件粘度	γ_{20}^{20} (吨/米 ³)	C/II	Конрадсон 結焦性 (%)	石油加工工厂
直接分馏重油	5	0.924	6.9	3.66	—
直接分馏重油	12	—	7.0	5.79	—
裂化重油	31.4	0.976	7.9	10.03	Грозненский
裂化重油	68	0.985	8.31	14.9	“
裂化渣油	531	1.005	8.52	16.1	“
油浸膏	800	0.987	8.45	—	“
裂化渣油	27.28	1.058	8.84	25.8	“
无水渣油	軟化点, 77°	1.052	—	37.1	“
裂化渣油	31	0.97	7.97	13.3	Туапсинский
裂化渣油	58.6	0.9941	8.19	10.67	“
裂化渣油	61.0	0.999	8.26	11.27	“
裂化渣油	79.4	1.002	8.3	16.1	“
重油	46	0.956	7.6	9.1	Бакинский
重油	55	0.948	7.2	10.6	“
重油	75	0.952	7.25	8.4	“
渣油	1600	0.957	7.3	10.2	“
煤焦油	16.4	0.89	8.5	9.6	—
頁岩焦油	1.6—4.7	0.96—1.0	8.0	—	—
煤焦油	18.4	1.163	15.4	27.1	—
軟煤瀝青	軟化点 40°	~1.25	18.74	~20.0	—
硬煤瀝青	軟化点, 80—85°	~1.3	8.45	~40.0	—

若能保持平炉稳定的火焰亮度，即使供热量和消耗在雾化剂上的能量最少，也能获得很高的平炉生产率。

在溫度較低的熔炼前期（装料和熔化前期），使用高結焦性的液体燃料加热，由于不能显著提高火焰溫度，平炉生产率的提高受到限制。因此炉子的热負荷受到燃料燃烧条件的限制。

例如平炉用煤瀝青〔2〕加热与用重油加热比較，生产率提高6%时（用煤焦油加热提高9%），燃料消耗量也增加6.3%。因此熔炼前期最好采用結焦性較小的燃料。

在溫度較高的熔炼后期（熔化末期和沸騰期），热負荷受到炉衬耐火度的限制，因为此期内炉頂和格子砖溫度都达到了最大

值。此期內火焰的組織应当保證沿熔池表面的均勻傳熱和氧由熱空氣向熔池傳遞。這時，熔池中溢出的 CO 將在熔池表面燃燒，從而增加了向金屬熔池的傳熱量。熔煉後期要求結焦性較高的燃料，K 值愈大，供給火焰的能量也可以愈大，而不降低火焰亮度。

熔煉前後期對燃料的不同要求可以通過往重油中加入相應的附加物來解決。熔煉前期可以往重油中加入能降低結焦性的梅笠草烯，熔煉後期則可加入能增加結焦性的無水渣油。無水渣油和瀝青（表 3 和表 5）都具有流動性，但無水渣油和瀝青也可以分別以粉狀和塊狀運輸，因此它們在運輸中不會吸收水分。

熔煉各期燃料結焦性的最佳值可以根據測量的火焰輻射溫度、廢氣分析和熔池脫碳速度確定之。

同時還可以根據上述數據決定霧化劑用量、鼓入空氣量的合理範圍，以及將蒸汽霧化改為空氣霧化的適當時刻。

由油管輸送的含水重油可以形成含水乳油液，有利於重油的燃燒。但是這種重油不能保證平爐獲得穩定的火焰亮度。這是因為水分破壞了重油中的膠質體。重油中膠質體由固體質點（泊瀝青烯和銅炔等）所構成〔3〕，這些質點的表面為焦油所包圍。存在於重油中的水分將固體質點、以及和這些質點反應生成焦炭粘合物的那些組成成分都吸附在自己的表面。水分進入火焰以後就要沸騰蒸發，隨水分蒸發而帶走的固體質點和活性氧相遇後迅速燃燒。所以說，水分是重油中的有害雜質。重油送入平爐燃燒以前應進行充分的脫水處理。同樣當火焰中析出輕質分時，輕質重油油滴也將破裂。

依日爾斯克工廠用結焦性 $K = 12-16\%$ 的重油加熱平爐，比採用 $K = 5-8\%$ 的重油生產率提高了 $8-15\%$ ，燃料消耗量降低 $10-20\%$ 〔9〕。

為了解決兩個熔煉階段對燃料的不同要求，就須要設計一個相應的噴嘴。很多現行噴嘴都不能滿足這個要求。

依日爾斯克工廠燃燒 $K = 5-8\%$ 的重油時，使用了經過改進

的ИЖ-ПД型噴嘴（Ю.Ф. 普罗夏洛夫和 В.В. 頓波夫斯基設計）。

与該厂原来使用的Упи-К型噴嘴的区别是：在ИЖ-ПД型噴嘴內安有一可移动的中心噴头（图5）。这样有可能将全部或部分重油經由中心噴头送入。此时重油雾化程度較差，氧进入火焰中心的数量减小，从而为焦炭粒在火焰中心部分的长大創造了条件。同时可以在燃烧輕质重油时，采用上述方法增加火焰沿其长度上的亮度，而不降低火焰的动能。这一点对熔炼后期特别重要。但使用Упи-К型噴嘴时，只有降低火焰动能或增加重油結焦性才能做到这一点。

此外，若由中心噴头补充一部分雾化剂时，就能获得熔炼前期所需要的更为銳利的火焰。

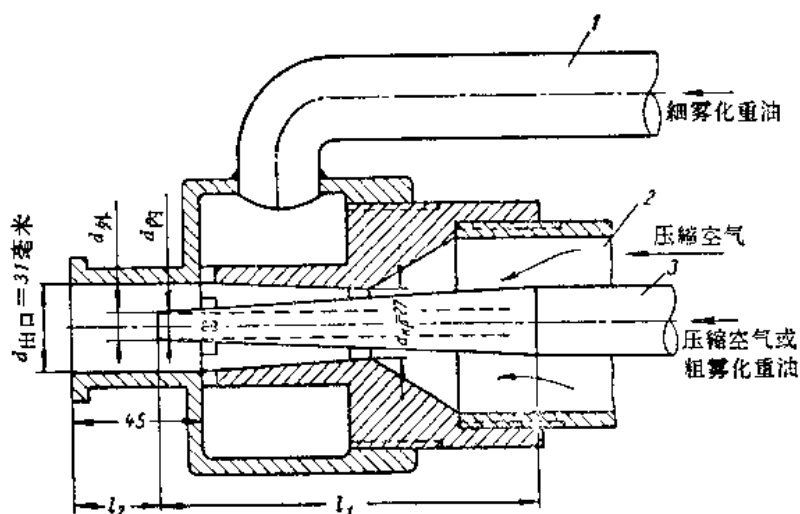


图 5 带活动空气噴头的 ИЖ-ПД 型噴嘴
(原图中缺 d_2 。譯者注)

停止由中心噴头送入雾化剂后，火焰长度增加。此时經過拉瓦尔管內的雾化剂流速随着增加，形成的火焰比 Упи-К 型噴嘴的火焰銳利。切断中心噴头与炉子空气总管的连接以后，火焰速度增加。

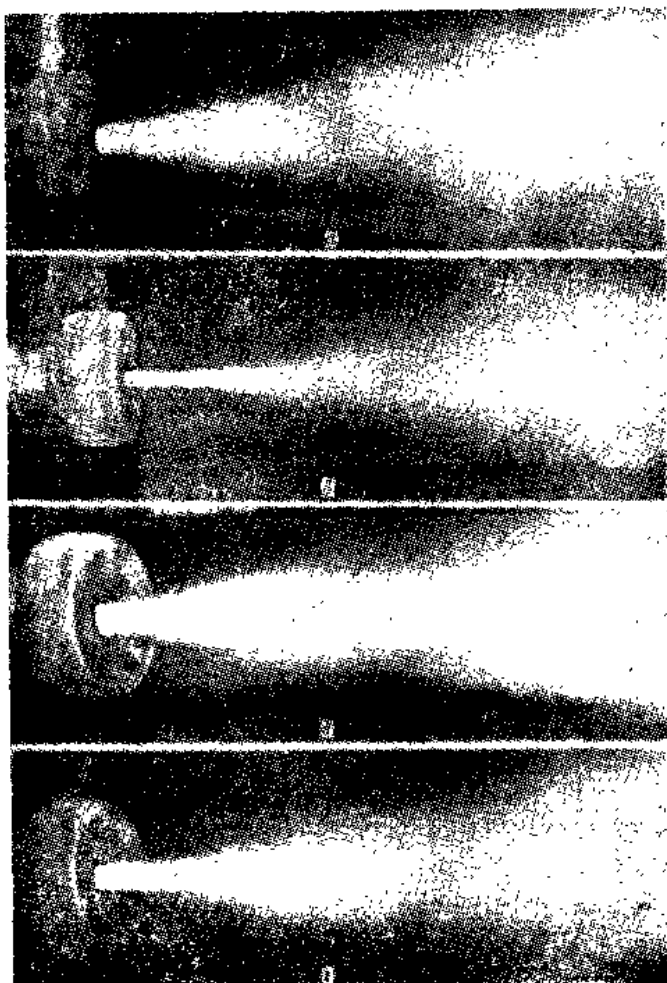


图 6 不同操作制度下 ИЖ-ПД 喷嘴火焰的形状

а, б, в—内圆锥形喷头尺寸: $d_{\text{в}} = 8$ 毫米; $d_{\text{ж}} = 10$ 毫米; $d_3 = 20$ 毫米; $l_1 = 100$ 毫米,

г—外形为圆柱形喷头尺寸: $d_{\text{ж}} = d_r = 20$ 毫米; l_1 ① = 100 毫米;

拉瓦尔喷头 $d_{\text{в}} = 12$ 毫米; $d_{\text{出口}} = 16$ 毫米; $l_2 = 40$ 毫米,

а— l_2 ② = 0, 水由管 1 和喷头 3 送入 (可以清晰地观察到两股未混合的火焰)

б— l_2 ② = 50 毫米, 水全部由喷头 3 送入 (火焰流股小而致密)

в— l_2 ② = 75 毫米, 与 б 同, 但火焰流股较大

г— l_2 ② = 50 毫米, 与 б 同, 但火焰流股较大

水的流股一直延伸到喷头的外边界线, 然后扩散 (与自由流股相似)。上述符号见图 5 (d_r —中心管 3 的外径)

① 原文为 l_2 。——译者注 ② 原文为 l_r 。——译者注

移動端部呈圓錐形的中心噴頭，在較大範圍內調節霧化劑量和火焰的形狀，就可以找出熔煉各期中霧化劑用量的最佳值（圖6，а，б，в）。

隨着爐子使用期的增加，改變中心噴頭的尺寸還可以調節霧化劑的用量和火焰的形狀（圖6，г）。

在實驗台和現有爐子上對ИЖ-ПД型噴嘴的研究〔9〕証實了在很大範圍內調節火焰長度和形狀的可能性。

火焰的輻射溫度用Тера-50型光學高溫計測量。Тера光學高溫計安裝在爐子縱向中心截面和爐門中心截面的交綫所正對的爐頂上，並對准火焰流股。由光學高溫計所發出的脈沖傳送到ЭПП-09型六點式電位差計（每10秒記錄一次）。測量火焰溫度的輻射高溫計同時可用來測定由火焰的給熱量。

ИЖ-ПД型噴嘴在平爐上的試驗結果表明，不論用何種重油，平爐的生產率比使用УПИ-К型噴嘴時高3—7%，燃料消耗量低4—7%。

使用ИЖ-ПД型噴嘴時，從裝料、熔化到熔池為爐渣覆蓋時為止，向中心噴頭內送壓縮空氣（也可以送氧氣），在熔煉後期則送全部或部分重油（也可以送焦油或粉狀燃料）。

結 論

1) 平爐用高壓噴嘴燃燒液體燃料時，表示穩定的火焰亮度的基本指標不是燃料中C/H的重量比值，也不是燃料的重度或條件粘度，而是按ГОСТ 5987—51規定的燃料結焦性。

2) 所有採用液體燃料加热的平爐都有通過增加火焰亮度來提高平爐生產率、降低燃料消耗的巨大潛力。正確選擇燃料的結焦性可使火焰亮度提高8—20%，改進噴嘴結構後可提高火焰亮度3—7%。

3) 熔煉各期中燃料結焦性的最佳值可以根據火焰輻射溫度的測量，廢氣分析和已知的脫碳速度來確定。

参 考 文 献

- [1] М.А.Глишков, Основы общей теории тепловой работы печей, Металлургиздат, 1959.
- [2] Центральный институт информации, МЧМ. 1944. № 20.
- [3] Г.Д.Крейцер, Асфальты, битумы и пеки, 1952.
- [4] З.И.Геллер, Высоковязкие мазуты, как котельное и печное топливо, Гостоптехиздат 1959.
- [5] V Международного нефтяного конгресса, Технология переработки нефти и сланцев, Гостоптехиздат, 1956.
- [6] Г.Л.Шапиро, С.М.Тер-Аветикян, Азербайджанское нефтяное хозяйство, 1936, № 11.
- [7] В.В.Кельцев, П.А.Теснер, Сажа, свойства, производство и применение, Гостоптехиздат, 1952.
- [8] С.Р.Сергиевко, Высокомолекулярные соединения нефти, Гостоптехиздат 1959.
- [9] М.А.Глишков, Ю.Ф.Присянов, Влияние свойств жидкого топлива и конструкции форсунки на тепловую работу мартеновских печей. Сталь, 1962. № 7①.

(萧泽强译自 《Известия ВУЗ.черная металлургия》, 1962, №5, 陈世海校)

① 原文为№6。——译者注