

工业炉

下册

工业炉

GONG YE LU



W. 特林克斯 著
M. H. 莫欣尼

东北工学院 译
冶金炉教研室

冶金工业出版社

冶金工

7712
546
2

社

工

业

炉

GONG YE LU

T

工业炉

工业炉

工业炉

工业炉

工业炉

工 业 炉

下 册

W. 特林克斯 著

M.H. 莫欣尼

东北工学院冶金炉教研室 译

冶 金 工 业 出 版 社

工 业 炉

下 册

W. 特林克斯 著
M.H. 莫欣尼

东北工学院冶金炉教研室 译

*

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 10 11/16 字数 282 千字

1979年4月第一版 1979年4月第一次印刷

印数00,001~20,300册

统一书号: 15062·3399 定价(科三) 1.05 元

译 者 的 话

美国卡尼基工学院名誉教授 W.特林克斯著 Industrial Furnaces 《工业炉》一书反映了美国和欧洲一些国家工业炉设计、建造和操作的水平。在西方各国，这是一部比较有名的著作。现在我们将它翻译过来，供从事工业炉设计、建造和操作人员以及高等院校有关专业的师生参阅。

全书分上、下两册。几十年来作者进行过多次改写再版（下册：1925、1942、1955、1967）。下册最后一版是第四版，由 W.特林克斯和 M.H.莫欣尼二人合写的。上册中译本已出版。本书为下册，是根据1967年版本译出的。

在内容上，作者把有关炉子本体方面的问题（如炉内的热工过程、热平衡、生产率和燃料消耗等）归入上册；而把炉子的附属设备和设施（如供热装置、自动控制、换热器、炉子的机械化、安全设施等）归入下册。

这本书的特点是着重实际应用。这里不妨举出书中的两章来说明这个问题。例如第六章，作者把重点放在讨论换热器的强度和使用寿命上，围绕这个问题，从换热器的材质、设计方案直到结构细节都作了介绍。第七章，作者用了全书四分之一的篇幅系统地介绍了炉内（及炉前炉后）物料运输问题。

读这本书，并不要求有高等数学的基础，全书几乎避开了繁杂的数学公式。作者注意了内容的条理性和系统性，经验的总结也是概括扼要的。但是，理论高度显得不足。

东北工学院冶金炉教研室部分教师担任了本书的翻译工作：

第一章 郭伯伟

第二章 郭伯伟、郭茂先、杨泽宽、陆钟武、陈世海、张洪芝、吴建国

第三、四章 张如一、杜家臻、赵渭国

第五章 池桂兴

第六章 仇化令、唐铁驯

第七章 任世铮、陆伯之、李成之、张永安、陆钟武

第八章 宁宝林

第九章 盛中权

一机部设计总院尹加禾同志也参加了本书的翻译工作。陆钟武同志对全书进行了总校。

由于我们的水平有限，译本中肯定有不少缺点和错误，望广大读者批评指正。

一九七八年三月

目 录

第一章 热源	1
一、燃料概述	1
二、气体燃料	1
1. 天然气	1
2. 焦炉煤气	5
3. 水煤气	8
4. 城市煤气,民用煤气,人造煤气.....	8
5. 发生炉煤气	9
6. 高炉煤气	9
7. 油厂气	10
8. 液化石油气	11
9. 天然汽油	11
10. 混合煤气	11
11. 油氢化气	11
12. 石油气	12
三、液体燃料	14
1. 燃料油	16
2. 煤焦油	19
3. 轻焦油	21
四、固体燃料	21
五、电能、核能	21
第二章 供热装置	24
一、绪言	24
二、气体燃料的燃烧装置	27
1. 概述	27
2. 气体燃料燃烧装置的分类及说明	28
3. 各种燃烧装置和烧嘴	29
4. 煤气烧嘴的能力	67

三、油雾化和油烧嘴	74
1. 蒸发	75
2. 雾化	76
3. 燃烧	77
4. 雾化烧嘴的特性	80
5. 压力雾化	80
6. 高速流雾化	81
7. 油雾化和油烧嘴的能力	91
8. 油烧嘴的故障	91
四、粉煤和焦炭的燃烧装置 (简介)	92
五、电热装置	93
1. 被加热物料自身作为电热体	93
2. 电热体	95
3. 非金属电热体	95
4. 液态电热体	101
5. 金属电热体	103
6. 金属电热体的型式、组合和安装	105
7. 电热体的容量	108
8. 铅浴和盐浴的电加热	111
9. 感应加热	114
第三章 自动控制原理	119
第四章 炉子温度的控制	127
一、绪言	127
二、炉内各处的温度控制	127
三、随时间变化的温度控制	131
四、仪表系统	133
五、控制点的数目	139
六、程序控制	142
七、结论	143
第五章 炉内气氛的控制	144
一、炉压的控制	144
二、炉内气氛的影响	146
三、炉内自然气氛的控制 (燃烧控制)	154

1. 联锁阀门控制	155
2. 废气分析进行燃烧控制	159
3. 用一方的流量确定另一方流量的燃烧控制	160
4. 固体燃料的燃烧控制	165
四、预制气氛的控制	165
五、保护气氛的利用	172
六、铅浴和盐浴的气氛控制	179
第六章 换热器的强度和寿命	183
一、陶土换热器	183
二、金属换热器	189
三、辐射换热器	197
四、温度控制	199
第七章 减轻劳动的装置	205
一、减轻劳动的装置的分类	205
二、间歇式炉上减轻劳动的装置	205
三、连续式炉上减轻劳动的装置	227
1. 直线运动推料式炉	228
2. 斜底炉	240
3. 连续输送带	241
4. 辊筒式输送机	254
5. 往复底(震底)	261
6. 颤底	264
7. 步进梁	264
8. 架空输送机	268
9. 垂直输送	270
10. 圆周运动输送	271
11. 螺旋运输	278
12. 物料作为自身的输送机	280
13. 盐浴炉的自动输送机	285
四、改善劳动条件的装置	286
第八章 热源和炉型的分析比较	291
一、热源和热利用方法的分类	291
二、热能来源	292

三、废热利用	293
四、传热方法	297
五、供热方法	302
1. 部分加热	302
2. 整体加热	305
3. 侧面燃烧和顶部燃烧	308
4. 靠电能在物料内部生成热量	312
5. 供热举例	315
六、装出料和运料方法	319
七、炉内气氛的比较	323
八、热源和炉型的选择	326
第九章 安全措施	328
一、爆炸和起火	328
二、电击	332
三、中毒	332
四、重物的坠落和摆动	333

第一章 热 源

一、燃 料 概 述

工业炉用户和工业炉技术人员，对于燃料或其他热源的地质史，是不感兴趣的。他们感兴趣的是各种燃料的性能、使用价值和相对价格。

各种常用的气态、液态和固态燃料的主要性能列于表1。因为燃料的成分总是变化的，所以表内的数值是一些平均值。结合表1，本章还要详细阐述各种燃料的性能和使用价值。

燃料的一个重要性能是绝热火焰温度，即：燃料在绝热的燃烧室内，在恒定压力下，配以温度为室温的理论空气量，进行燃烧时所应达到的温度。不同燃料在不同条件下的绝热火焰温度见上册（英文第五版）的图99~108。在计算这些图内的温度时，未曾考虑热解作用而引起的降温效果。

二、气 体 燃 料

可燃气体，尤其是冷态的清洁煤气，在许多方面都优越于液体燃料和固体燃料。因此，气体燃料已被广泛使用；即使以每一热量单位为基准的价格略高于其他燃料的价格，也尽量采用气体燃料。

1. 天然气 顾名思义，这种气体燃料既非人工生产，也非化学合成，而是从地下开发出来直接使用的。美国各种天然气的发热量（指高发热量）都在31500~13400千卡/米³范围内。由于单位体积气体燃料燃烧所需空气量大致与气体燃料的发热量成正比，所以各种天然气所需的空气量变化很大。很明显，表1所列的天然气成分只是一种平均值。不过，经由管道送往用户的天然

表 1 各种燃料的主要性能

燃 料 名 称	干燃料化学成分, % (按体积)								低发热量 千卡/米 ³	高发热量 千卡/米 ³	备 注
	CO ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	H ₂	O ₂	N ₂			
天然气①			87.0		7.6			1.9	8820	9740	C ₃ H ₈ = 2.7, C ₄ H ₁₀ = 0.8
焦炉煤气	2.2	6.9	34.2	2.6		47.3	0.3	6.0	4440	4985	H ₂ S = 0.5, H ₂ O = 1.8
热解发生炉煤气	7.5	20.5	3.0			12.5		56.5	1232	1312	采用匹兹堡煤, 含焦油汽 0.01公斤/米 ³
冷净发生炉煤气	9.71	19.03	2.78	0.19		13.48	0.02	54.79	1137	1217	水蒸气1.45%
高炉煤气	12.5	25.4				3.5		58.6	815	830	
水煤气	3.5	43.5	0.7			47.3	0.6	4.4	2480	2696	
城市煤气 (烟煤干馏煤气)	4.6	5.5	36.6	4.6		42.3	4.6	1.8	4778	5300	
城市煤气 (增碳水煤气)	2.9	18.2	23.9	8.1		38.3	4.8	3.8	4500	4735	
混合煤气②	3.46	13.84	28.3	6.92		39.6	4.73	3.15	4600	5050	干馏煤气1份, 增碳水煤气 2份
商品丁烷									26400	28440	C ₄ H ₁₀ = 93%, C ₃ H ₈ = 7%
商品丙烷									21020	22810	均按100% C ₃ H ₈ 计, 商品丙 烷往往含有其他气体

① 这是一种代表性的成分。天然气成分随气井所在地而不同。

② 这种混合煤气是指干馏煤气与增碳水煤气的混合物。在钢铁工业中, 混合煤气通常是指焦炉煤气与高炉煤气的混合物。

续表 1

燃料名称	成分, % (按重量)						低发热量 千卡/ 公斤	高发热量 千卡/ 公斤	备注
	C	H ₂	O ₂	N ₂	S	H ₂ O			
烟煤 (低灰分)	79.86	5.02	4.27	1.86	1.18		7810	8040	
烟煤 (高灰分)	70.00	5.00	8.00	2.00	2.00		6900	7090	
褐煤 (干)	59.9	4.37	18.64	1.22	2.65		5495	5590	平均成分
褐煤 (湿)	41.93	3.06	13.05	0.85	1.86	30.0	3840	3925	
煤焦油	86.7	6.00	3.1	0.116	0.745	3.2	3790	9080	
2号燃料油	86.5	12.6			0.7	O ₂ + N ₂ + 灰分 = 0.2	10200	10800	
6号燃料油	86.8	10.2			2.0	O ₂ + N ₂ + 灰分 = 1.0	9680	10130	
石油焦 (无灰无水分)	93.4	3.8	0.9	0.9	1.0		8800	8960	灰分 1% (折干计算)

续表 1

配合理论空气量完全燃烧

燃料名称	每立方米煤气所需空气量 公斤	每立方米煤气完全燃烧所产生的燃烧产物, 公斤				绝热火焰温度 ℃
		CO ₂	H ₂ O	N ₂	合计	
天然气	12.88	2.180	1.610	9.830	13.620	2016
焦炉煤气	6.090	0.914	0.978	4.700	6.592	2038
热解发生炉煤气 (烟煤)	1.438	0.607	0.147	1.770	2.524	1604 ^①
冷净发生炉煤气	1.318	0.594	0.151	1.540	2.285	1610
高炉煤气	0.839	0.705	0.027	1.335	2.067	1427
水煤气	2.710	0.880	0.370	2.130	3.380	2260
城市煤气 (干馏煤气)	6.200	1.038	0.948	4.778	6.764	2060
城市煤气 (增碳水煤气)	5.640	1.144	0.787	4.370	6.301	2099
混合煤气	5.800	1.102	0.835	4.493	6.430	2093
商品丁烷	37.600	6.060	3.100	29.070	38.230	2104
商品丙烷	29.420	4.635	2.635	22.690	29.960	2016
烟煤	10.8	2.953	0.452	8.318	11.723	2216
烟煤	9.53	2.61	0.45	7.34	10.40	2182
褐煤 (干)	7.72	2.25	0.3933	5.045	8.588	2060
褐煤 (湿)	5.405	1.575	0.5755	4.163	6.313	1888
煤焦油	12.05	3.18	0.572	9.30	13.05	2232
2号燃料油	14.43	3.17	1.134	11.103	15.41	2149
6号燃料油	13.64	3.18	0.912	10.50	14.59	2104
石油焦	13.13	3.43	0.342	10.35	14.12	2116

① 此项数字毫无意义, 只是为了完整起见而在此列出。热解发生炉煤气在进炉时总是热的。如果发生炉位置离炉子很近, 绝热火焰温度约为1730℃。

气大都符合这种平均值，因为得克萨斯州天然气现已远送各地，同“附近”天然气混合后供应用户。这种混合虽然不能消除成分的差别，但是可以有效地使差别变得很小。

发热量较高的天然气含有天然（气态）汽油、丁烷和丙烷。将这些成分提取后，剩下的气叫做“干煤气”。但这一名称并不是指煤气不含水蒸气而言。

对工业炉来说，天然气是现在最理想的燃料。美国境内几乎每个州的工业区都已铺设天然气管道。一般天然气发热量都很高，因此用较小的管道就可以输送。天然气很清洁，一般都不含硫，只有极少数例外。间歇地使用天然气并不需要备用设施，因为地球就是一个人工储气罐。这里所谓人工储气，是指夏季把来自远处气井的天然气压送到近处已经采完的废井内。因而，在废井附近的地区，向工业用户供气极少中断。在远离生产井和储备井的地区，就需要有燃烧丙烷或轻油的备用设施。

天然气几乎全部是由各种碳氢化合物所组成，因此在需要时能够产生光亮火焰。天然气中碳氢化合物含量高，不能在蓄热室或换热器内进行预热，因为碳氢化合物在高温下裂化时会产生碳黑而堵塞通道。此外，预热天然气所能节约的热量是微不足道的，因为天然气的重量还不到燃料与空气混合物总重量的十五分之一。由少量天然气和大量高炉煤气组成的混合煤气，在预热时并不形成碳黑，这大概是因为游离的碳会与高炉煤气内的 CO_2 相化合的缘故。

天然气的价格决定于许多因素，但是最主要的因素是铺设管道和运转压缩站的费用，而这些设施都是必不可少的，因为从气井到用户之间总有一段距离。

值得注意的是，通常所介绍的天然气成分内，都有一定百分比的乙烷。实际上，天然气还少量的含有多种较为复杂的碳氢化合物，但它们都已按发热量折合成乙烷量。

2. 焦炉煤气 这种煤气是用烟煤，或者用烟煤与半烟煤的混合物，在高温下蒸馏而得。通常，这种优良的气体燃料并不广

泛供应，因为产生这种燃料的炼焦厂都附属于钢铁企业，而钢铁企业本身所需使用的煤气量总是超过炼焦厂所产生的煤气量。于是焦炉煤气的使用就局限于钢铁企业内部的炉子。也有个别例外的情况，比如，有的钢铁企业还生产更多的焦炭，供给其他工业部门。但是，这种情况毕竟是极少的。在某些欧洲国家，例如德国，情况就不同，那里的煤气是在煤矿生产，然后用管道输送到远方。这个国家，矿很贫，需要的焦炭就很多，加上对高炉煤气利用得非常经济，因此焦炉煤气就有剩余。

下述数据对焦炉煤气的使用者很有用。1公斤纯净的、高挥发分的煤，所产生的副产煤气总量中含的热量是1830千卡。为了使1公斤煤进行焦化需要610~695千卡^①，而从煤气中提取出来的苯含有110千卡。因此1公斤煤焦化后，向外提供的煤气中的热量，大约还有1056千卡。对于纯净的、高挥发的煤来说，在蓄热效率很高和焦炉管理很好的条件下，上述1056千卡的数值可以提高到1111千卡。至于低挥发分的煤，例如Pocahontas和Somerset矿区所产的煤，则煤气所含热量将下降到1389千卡/公斤煤；而焦化所需热量保持恒定，即667千卡/公斤煤。另一方面，苯内只有55千卡，因此每公斤煤焦化后向外提供的煤气内还留有667千卡的热量。根据这些数据，无论采用何种混合煤都可以算出每公斤混合煤所能提供的热量。

用上述数据来表示，比用外供煤气量来表示，更为切合实际，因为整个系统总有漏气之处，无论漏进或漏出都对于外供煤气量的数字有影响。然而，有些炉子工作者却喜欢采用后一形式的资料，因此，下述数据对这些人仍然是有用的，即：一吨纯净的高挥发分的煤（匹兹堡煤）可以向外提供197~200米³煤气。

匹兹堡煤所产生的焦炉煤气，平均发热量约为5020千卡/米³（指高发热量，于16.7°C，760毫米汞柱）。混合煤的相应数值约

① 如果不用通常的焦炉煤气，而用清洁的高炉煤气在焦炉底部进行燃烧（加热），那么焦炉煤气所提供的热量将增加610~695千卡。

为4800千卡。这两个数字都是对含苯的焦炉煤气而言。焦炉煤气的典型成分如下：

正常煤气	CO ₂	C ₂ H ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	比重
脱苯前	2.2	3.5	0.3	6.8	47.3	33.9	6.0	0.44
脱苯后	2.2	2.6	0.3	6.9	47.3	34.2	6.0	0.42
贫煤气								
脱苯前	2.1	2.0	0.3	6.0	57.0	27.0	5.6	0.38
脱苯后	2.1	1.0	0.3	6.1	57.5	27.3	5.7	0.35

焦炉煤气成分随着下列因素而有显著变化，即：煤的种类，焦化时间，焦化温度，空气渗入，煤上喷油量，以及其他因素；没有一种成分能适合于所有情况。在可能条件下，应该通过试验来确定所用煤气的具体成分。

焦炉煤气比重很小（平均约为0.39，以空气为基准），因为它含有大量的氢和甲烷。正因如此，其低发热量就比较小；以上所列“正常煤气”低发热量约为4515千卡/米³。由于有少量发光物存在，所以一定能获得光亮火焰，除非在燃烧之前煤气和空气已充分混合。为了全面掌握焦炉煤气的性能，还必须说明，每米³煤气内含有0.8克硫化氢和0.0345克二硫化碳。在高硫煤所产生的煤气内，硫化物含量上升到每米³含11.5克。

焦炉煤气的价格随着各种情况而大不相同。如果焦炉煤气是卖给广大用户，价格的计算就象城市煤气（商业煤气）的算法那样复杂。如果焦炉煤气是由产生焦炉煤气的工厂自己使用，那么焦炉煤气的价值通常决定于它所取代的燃料费用。例如，当用于炉子时，每米³焦炉煤气价值将等于每米³天然气价格乘以下列比值：

$$\frac{\text{焦炉煤气发热量}}{\text{天然气发热量}}$$

蒸汽锅炉所燃用的每米³焦炉煤气的价值可以折合为同等热量的煤的价格。煤的价格必须包括煤和灰渣的全部运输费用。

焦炉煤气实际上是专供若干冶金炉使用的。所供炉子的数目