

— 高等学校教学用书



燃料及其燃烧

B. II. 林切夫斯基著

高等教育出版社

72.55
323

高等学校教学用书



燃料及其燃烧

B. II. 林切夫斯基著

張鳳祿 徐業鵬

韓昭滄等譯

3ks04/09

高等教育出版社

本書系根据苏联黑色及有色冶金科技書籍出版社（Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии）出版的 林切夫斯基（В. П. Линчевский）著“燃料及其燃燒”（Топливо и его Сжигание），一書1947年修訂第二版譯出。原書經契熱夫斯基（Н. П. Чижевский）院士和格羅德左夫斯基（М. К. Гродовский）教授校訂，并經苏联高等教育部審定作为冶金学院教科書。

書中所写的是关于作为可燃物和化工原料的燃料的学說的基本知識，并且也談到了燃料加工及燃燒的方法。

根据教学大綱的要求，本書的內容包括燃料的一般特性（这些特性是燃燒过程热工計算的基础）以及各种燃料（特别是冶金燃料）的具体特性。書中对于根据最新資料来闡述燃燒理論以及工艺燃燒过程方面的叙述給予了特別的注意。

本書系供冶金学院学生使用，并可供工程技術人員参考。

参加本書譯校工作的为北京鋼鐵学院張鳳祿、徐業鵬、韓昭滄、倪学梓、朱元凱、丁翔高、王鑾、陈鴻复、吳永生、丘国仕、孙立剛、高仲龙、王世鈞等同志，南京工学院苏华欽同志也参加了部分校閱工作。

燃 料 及 其 燃 燒

В. П. 林切夫斯基著

張鳳祿 徐業鵬 韓昭滄等譯

高等教育出版社出版 北京琉璃廠170号

（北京市書刊出版業營業許可證出字第054号）

京華印書局印刷 新华書店总經售

統一書号15010·619 開本850×1168¹/₃₂ 印張12 字數306,000 印數0001—1,500

1958年3月第1版 1958年8月北京第1次印刷 定價（10）¥1.80

第二版編者的話

已故教授 B. II. 林切夫斯基的这一本書是燃料及燃燒过程方面的一种唯一的教科書，它适合于作冶金学院及其他高等工業学校的教材。

本書是創造性的著作。第一篇包括燃料的一般特性和燃燒計算，它們是热工学的基础。第二篇講述燃燒的一般理論和基本燃料的燃燒，介紹現代燃燒科学的本質。第三篇說明所有类型的工艺燃料的特性，燃料的加工和燃燒方法，这些方法是根据燃燒理論和燃燒實踐得出的，并应用于各种各样的真实燃料。

B. II. 林切夫斯基来不及实现他所打算出的第二版。但是对第二版的需要十分迫切，因为在書籍市場上不仅缺乏这一类的書，而且一般地也缺乏适合于現代要求的燃料方面的教科書。

編者接受了本書的再版工作任务，對本書作了某些修改，这些修改主要是关于表报数据及其計算的更改，以及根据最新的資料对燃燒理論的敘述。工作是由 H. II. 契热夫斯基院士領導的以斯大林命名的莫斯科鋼鐵学院燃料教研組的教師集体进行的。

H. II. 契热夫斯基院士写了第三篇第一章中有关煉焦的那一段。M. K. 格罗德佐夫斯基教授写了第二篇；并对第一篇第一、二、三章，第三篇第一章（除了人造固体燃料一节）第二章和第四章作了修訂和补充。P. H. 皮亨副教授对第一篇第四、五兩章，第三篇第一章人造固体燃料一节和第三篇第三章作了修訂和补充。

目 录

第二版編者的話	v
緒論 燃料及其意义	1

第一篇 燃料的一般特性

第一章 燃料的化学組成	15
第二章 燃燒热	25
第三章 燃料对加热的关系	56
第四章 燃燒計算	76
求空气消耗量	77
求燃燒产物的組成和量	81
求燃燒溫度	84
理論燃燒溫度	91
第五章 燃料燃燒的完全計算例題	101

第二篇 燃燒理論

第一章 燃料的着火	132
着火的热理論	132
着火的鏈鎖过程	138
工艺的点火	146
第二章 燃料的燃燒	149
燃燒的热理論	150
着火(点火)的溫度極限	156
燃燒过程的現代理論	166
第三章 气体和液体燃料的燃燒	173
氫气的燃燒	173
一氧化碳的燃燒	175
碳氢化合物的燃燒	178
第四章 固体燃料的燃燒	182
扩散在多相燃燒中的作用	182

1468098

碳的燃烧	186
工业煤的燃烧	192
第三篇 燃料类型及其工业燃烧	
第一章 固体燃料	208
固体燃料的天然形态	208
各种固体燃料的一般特性。工业分析	210
木質燃料	215
泥煤	223
褐煤	231
烟煤	237
人造固体燃料	253
固体燃料的物理-机械加工方法	254
固体燃料的物理-化学加工方法	260
第二章 液体燃料	279
天然液体燃料	279
人造液体燃料	287
第三章 气体燃料	294
天然(自然)煤气	294
人造气体燃料	296
第四章 工艺燃烧过程	314
气体燃料的燃烧	314
液体燃料的燃烧	325
固体燃料的燃烧	331
附录	350
参考書目	374

緒論 燃料及其意义

在工業上称为燃料的物質，乃是它們在特別的轉變过程中(實質上是化学的轉變，統称“燃燒”)能放出大量的热能，并且这热能能为人类以各种方式所利用者。这种在历史上奠定了的关于燃料的概念，被科学和技术范围内現有的論据进一步所肯定，这些論据在質和量的方面都限制了作为热能来源的物質的范围，同时这些物質还具有許多次要的技术經濟标志。

茲將能完全包括燃料的特征并能反映利用过程对燃料的要求的这类标志分述于下：

1. 燃燒一單位重量的物質(对气态物質而言是單位容积)所放出的热量，就現代的技术而言，它的利用百分率要相当大。

2. 这种类型的可燃物在自然界中要有足够的蘊藏量，并且在經濟上具有合理开采的条件。

3. 燃燒产物須呈气体状态，因为气态的燃燒产物移动很方便，可以在热放出处以外的其他地方来利用所放出的热。

4. 燃料的燃燒产物，不論是对於燃燒热的利用过程或者是对於設備、工作人員以及周圍的动物和植物都必須是無害的。

在变化的过程中放出大量的热能，虽然是燃料的重要标志，但是不足以說明它是燃料。由下一事实可明显看出，虽然可以找到很多能在化学变化中放出大量热能的物質，但是工業上选作燃料用的仅仅是那些在变化过程中是以氧气作氧化剂的物質。因之，燃料应当是由那些能与氧化合的元素組成的。

上面这些不仅广义地表明了燃料本身的特征，并且也表明了当作燃料用的物質的特征。在鋁热过程里，鋁氧化时高热效应的

利用說明了在这个过程中鋁有可能当做燃料用。在有色和黑色金屬的硫化矿石焙燒时硫的燃燒，在貝斯麦和湯馬斯法的冶煉过程中生鉄雜質(Si, Mn, P 和 C)的燃燒——所有这些都是把个别元素当作燃料使用的例子，但是这些元素中的每一个元素都只是在已知过程的特殊情况下才能起燃料的作用，因之不能認為它們是有一般工業意义的燃料。

不难相信，上面所述的一些标志，实际上决定着能够滿足各种各样工艺过程要求的燃料类型。

只有由有机物为来源的物質才能同时滿足上述各种要求。因为(1)組成有机化合物的 C 和 H 两种元素在氧化(燃燒)时都有很高的热效应；(2)这些元素的氧化产物是气体；(3)燃燒产物对所加工的物料的危害处比較小，并且在濃度很小时对动物和植物都没有害处。

至于說到由有机物为来源的物質在自然界中有足够的蘊藏量的問題，那么现在的植物界和在很久以前的历史时代的植物轉变的产物——矿物煤，石油(其一部分也是由現代植物变成的)，都是巨大的能量来源。

这些物質具有燃料的一切标志——这些标志反映着对燃料所提出的一般要求，而没有連系到任何一个具体的工艺过程，这个事实使我們可以認為这些物質多半都是燃料，并且我們只研究这些可燃物的利用方法和性質就行了。因为天然状态燃料的利用不是在所有的情况下都能保証滿足在發展中的各种工業部門的要求，那么在各种工業燃料範圍内有燃料的这一或那一加工产品出現就很自然了，这些加工的产品叫做人造燃料。燃料的获得法及燃料的物态在現代是燃料的主要的最一般的(意思是說与可燃物的性質或特性無關)分类标志，燃料的分类見表 1。

表 1 燃料的一般分类

燃料的物态	来 源	
	天 然 的	人 造 的
固体·····	木柴,泥煤,褐煤,烟煤,無烟煤,可燃頁岩。	木炭,焦炭,煤磚,粉煤。
液体·····	石油。	汽油,煤油,重油和其他的石油加工产品;酒精,煤焦油等。
气体·····	天然煤气或自然煤气。	焦爐煤气,高爐煤气,照明用煤气,水煤气,發生爐煤气,石油气等等。

作为能量来源来看,燃料在国民經济中的意义可以很确切地用下列数据加以說明。

在所有能量来源中,燃料所占的百分比如下:英国——99.8%,苏联——98%,美国——96%,法国——85%。在苏联所有的大工业中,燃料工业的工人占 20%,基金占 15%。

在苏联,铁路的所有貨物运轉額中,燃料約占 40%。

世界上每年的采煤量由十九世紀初叶的 1200—1300 万吨增加到 1900 年的七亿吨,而战前的最后十年中則增加到 15.5 亿吨;即增加到 120 倍。世界上石油的开采量:1857 年——200 吨/年,1900 年——2 千万吨,而在 1940 年——超过了 3 亿吨;即增加到 150 万倍。

表 2 中提供了世界上可恢复的和不可恢复的能量来源的概况,这些蘊藏量的绝对值,尤其是在苏联,近几年来有很大改变,关于这一問題在本書第三篇再詳述之。

此表主要是根据 Л. К. 臘姆津在 1924 年在国际能量會議上的报告制出的,他所提及的材料后来又根据科学院院士 И. М. 古勃金在第十七次国际地質工作者代表大会上的报告和 М. 朴里哥罗

夫斯基的材料对于苏联在石油和煤的蘊藏量的比例方面作了修正(根据世界的蘊藏量)。

其中石油的蘊藏量仅仅包括“已証明的数据”。

到 1937 年止燃料的每年消費量可大概地用表 3 的数据表明之。

表 2 燃料的資源(以标准燃料計^①,單位十亿吨)

燃料的类别	世 界 的			苏 联 的		
	絕對值	占总量的 %	占世界蘊 藏量的%	絕對值	占总量的 %	占世界蘊藏量的%
不 可 恢 复 的						
煤·····	6800.0	93.30	76.52	1400.0	87.30	77.20 20.6
石油·····	11.1	0.16	0.13	6.1	0.38	0.34 55.0
木柴·····	57.0	0.84	0.64	9.0	0.56	0.50 15.8
泥煤·····	215.0	3.14	2.42	169.0	10.54	9.32 78.7
頁岩·····	175.0	2.56	1.99	20.0	1.22	1.10 11.4
总計·····	7258	100.0	81.70	1604.1	100.0	88.46 22.1
可 恢 复 的						
泥煤·····	50	3.1	0.56	39.0	18.7	2.15 78.0
木柴·····	340	20.8	3.83	63.0	30.2	3.48 18.5
谷草·····	37	2.3	0.42	6.7	3.2	0.37 18.1
風力·····	826	50.8	9.30	69.0	33.0	3.82 8.3
水力·····	374	23.0	4.19	31.1	14.9	1.72 8.3
总計·····	1627	100.0	18.30	208.8	100.0	11.54 12.8
共計·····	8885	—	100.0	1813	—	100.0 20.4

① 标准燃料的定义見后。

从表 2 和表 3 的数据我們可以得出以下的結論:

1. 能量蘊藏量的主要部分是由不可恢复的能量来源構成的, 这些不可恢复的能量来源占有所有資源的 80% 以上。

2. 在这些不可恢复的能量来源中, 矿物煤占第一位 (93.3%), 最少的是石油 (大約占 0.16%)。

3. 在燃料的消耗量中矿物煤的消耗量占的比例最大 (74.6%), 这与它的蘊藏量的百分比是相称的。

4. 石油的巨大消費量是值得注意的, 因为石油的

蘊藏量相当貧乏, 而其消費量竟达到了总消費量的 14.4%。

关于燃料在工業国家生活中的意义, 从下面的表 4 和表 5 中

表 3 世界的燃料消費量
(以百万吨計)

燃料的类别	絕對量	占总量的%
煤.....	1300	74.6
石油.....	250	14.4
木柴.....	150	8.6
泥煤.....	10	0.6
頁岩.....	2	0.1
谷草.....	30	1.7
	1742	100.0

表 4 苏联天然能量資源的总开采量

能 量 資 源	年 代						
	1913	1928	1932	1933	1934	1935	1936
烟煤及褐煤, 百万吨.....	29.05	35.37	64.34	76.02	93.64	108.84	125.96
其中包括以下矿区的开采量:							
庫茲巴斯.....	0.88	2.53	7.04	9.25	11.53	14.12	17.29
頓巴斯.....	25.28	24.33	43.85	49.81	60.03	67.40	75.19
其它矿区.....	2.89	5.51	13.45	16.96	22.08	27.32	33.48
原油, 百万吨.....	9.23	11.62	21.36	21.48	24.15	25.14	27.33
天然气, 十亿立方米.....	—	0.27	0.92	1.08	1.40	1.57	1.87
泥煤, 百万吨.....	1.69	5.31	13.49	13.02	17.19	18.53	22.11
可燃頁岩, 百万吨.....	—	—	0.19	0.17	0.25	0.42	0.48
木柴, 根据砍伐木材的計劃, 百万堆放立方米.....	100.00	74.50	93.40	114.20	116.70	116.70	120.00
水力, 十亿瓩小时.....	0.08	0.36	0.75	1.25	2.41	3.35	4.00
共計标准燃料.....	62.30	66.47	117.40	129.00	151.00	163.40	188.60
共計, %.....	93.70	100.00	176.50	194.20	227.00	253.50	283.70

表 5 苏联的能量资源用作燃料能方面的情况，
以标准燃料計(总量的%)

資 源 的 种 类	年 代						
	1913	1928	1932	1933	1934	1935	1936
煤, 共計.....	53.3	50.6	54.1	56.5	58.8	59.6	61.7
其中包括:							
頓巴斯煤.....	39.2	40.8	40.5	41.1	41.5	41.1	41.0
庫茲巴斯煤.....	1.4	4.0	6.8	7.8	8.3	8.7	8.8
其它矿区的煤.....	3.0	5.6	6.8	7.6	9.0	9.8	11.9
进口煤.....	9.7	0.2	—	—	—	—	—
石油燃料.....	15.7	19.4	22.0	21.2	19.4	19.6	18.4
其中包括:							
重質①产物.....	14.0	15.5	15.1	14.3	12.8	12.4	11.1
輕質②燃料.....	1.7	3.2	5.6	5.6	5.4	6.0	6.3
石油气.....	—	0.6	1.3	1.2	1.2	1.2	1.0
泥煤.....	1.1	3.9	4.2	4.0	4.5	4.4	4.4
可燃頁岩.....	—	—	—	—	—	0.1	0.1
木柴.....	29.9	25.5	19.0	17.2	15.5	14.1	13.1
水力.....	—	0.6	0.7	1.1	1.8	2.2	2.3
共計, %.....	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

① 重油, 渣油等等。 ② 汽油, 煤油及粗汽油。

关于苏联燃料的消费动态以及关于燃料平衡方面的一些资料中可以非常明显地看出, 这些表系引自 Л. С. 津基斯的著作(苏联燃料平衡表编制法, 莫斯科, 1937)。

最后, 在第 6 表中指出了燃料使用的方向, 此表系引自上述的同一著作。研究了表 4、5、6 的数据之后, 就可以看出苏联从一个半农业半工业的国家变成一个高度发展的工业国家的过程中怎样带来了燃料开采以及燃料消费方面的迅速增长。

苏联燃料的开采量, 在 1937 年占欧洲的第二位(低于英国), 占世界的第三位(低于美国及英国)。苏联燃料开采量的增长速度

表 6 各主要燃料消費系統的标准燃料消費量分布情况(总量的%)

消 費 者		年 代		
		1934	1935	1936 (計劃)
НКПС	交通人民委員會.....	21.2	21.4	21.6
НКВД	水运人民委員會.....	3.2	3.1	2.9
НКТП	重工業人民委員會.....	23.9	24.3	24.7
НКЛП	輕工業人民委員會.....	2.1	2.1	2.2
НКПП	食品工業人民委員會.....	3.8	4.1	4.3
НКЛес	林業人民委員會.....	1.1	1.1	1.1
俄罗斯苏維埃联邦社会主义共和国		7.5	6.9	7.1
烏克蘭苏維埃社会主义共和国		1.7	1.7	1.5
白俄罗斯苏維埃社会主义共和国		0.3	0.4	0.4
所有其他消費者.....		3.0	3.4	3.5
共計.....		67.4	68.5	69.3
其中还包括:				
煉焦及生产木炭.....		17.0	17.3	17.1
采取燃料企業本身的消耗, 損失以及在当地出售的燃料廢品.....		10.5	9.9	9.6
出口.....		5.0	4.3	4.0
总计.....		100.0	100.0	100.0

可从圖 1 中看出(根据 A. E. 朴罗勃斯特的資料)。

在第一个和第二个五年計劃的年代里, 燃料的开采及消費量增加了兩倍, 完全是以一种空前未有的速度在逐年地增長着。与燃料消費量增加的同时, 也显示出来在燃料平衡中矿物燃料所占比重的增大。如果說在工業落后的俄罗斯, 木柴在燃料平衡中占了显著的地位(近 30%), 那么, 在第二个五年計劃末期, 它的比重降到了 13%, 而矿物燃料(煤及石油)的比重則从 69% 增高到 80%, 如果再加上泥煤則是从 70.1% 增高到 84.5%。并且, 新产

地的煤和石油在燃料平衡中占有愈来愈重要的地位，这些新产地

只是在苏維埃政权下勘查出来并投入生产的。

圖 2 說明了苏联及美国在 1937 年能量平衡的構成情况。

必須注意到水力的意义，因为它是一种既便宜又可恢复的能量来源，所以愈来愈重要地成为燃料补充物。苏联水力資源占世界第一位。根据第四个斯大林五年計劃，到 1950 年水力应达到国内全部能量消耗的 15%。

重工業及运输業是燃料的主要消費者，它們所消耗的燃料（包括煉焦及生产木炭所消耗的）在消費平衡中占 67%。

根据有关燃料蘊藏量以及燃料消費动态的資料，許多学者不只一次地对那些地下能量資源可能耗尽的期限作了預測。按照这些預測，一般說来，耗尽期限是不大的，而个别燃料的耗尽期限更是小得可憐。例如，矿物煤的蘊藏量估計为 73980 亿吨，并且每年开采量的增加以 2—3 % 計，則耗尽的期限大約为 200 年。当石油每年的开采量增長 8 % 时，則全世界蘊藏的石油將在 20 年內耗尽(根据 1924 年的分析)。

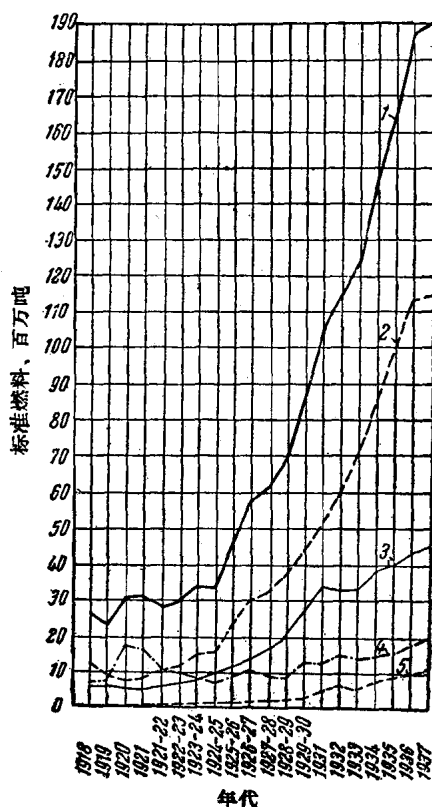


圖 1. 苏联的燃料逐年开采量
(百万吨标准燃料):

- 1—总开采量; 2—烟煤; 3—木柴;
4—石油及煤气; 5—泥煤。

根据上述的一些資料看来，則尽量改善燃料的使用情况以节

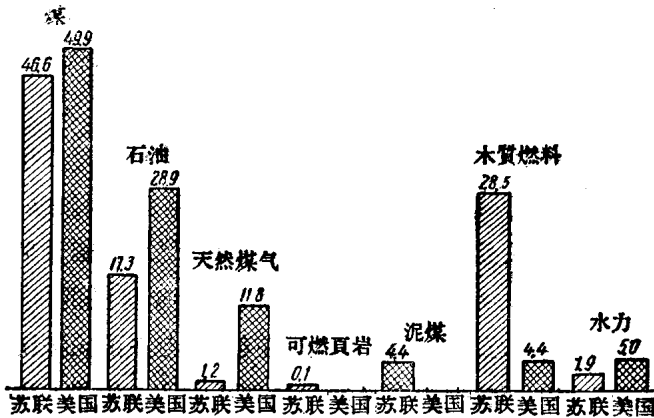


圖 2. 1937 年苏联及美国各种类型的能量資源在能量平衡中的情况(%)。

約燃料的問題可以說成是尽量延長燃料資源耗尽期限的問題。

苏联的例子指出，这样一些悲觀的結論是沒有足够的根据的。第 3 圖說明了在苏維埃政权的年代里(到 1937 年止)，苏联勘探出的能量資源的巨大的增長情况。

从煤和石油的蘊藏量的比較上可以特別明显地看出这一点。例如，在 1924 年煤的蘊藏量共計 4290 亿吨，而在 1937 年 1 月則已經是 16540 亿吨了，并且，可以断言，对蘊藏在苏联地下的財富进一步勘探和研究將無疑地还会增大这一数字。

甚至像頓巴斯这样的地区內，虽然从采煤工業發展的初期就起着極端重大

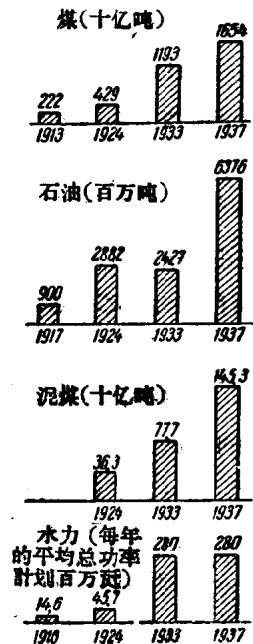


圖 3. 苏联勘探出来的能量資源的增長情况。

的作用，在今天还依然未失掉其作用，根据 1936—1937 年的研究資料，矿区范围显著地扩大了，煤的蘊藏量的数字也大大增加了。石油的总蘊藏量在 1935 年 1 月到 1937 年这一時間內增加了一倍，而个别种类的能量資源的增加甚至还要多。

虽然在最近 12 年內开采出了 180000 万吨石油，但在同时期內世界石油的蘊藏量却增加了 355100 万吨。所以很显然，在很長時間內就为燃料蘊藏量很快的耗尽而擔憂是沒有实际意义的。但是这絲毫也沒降低关于燃料应节省地和合理地利用的問題的意义，特别是对我們苏联的技术人員。在苏联，与在国民經济中的任何損耗作斗争，与任何無意义的浪費作斗争已成为技术政策的基石之一，这一政策的总目标是充分地合理地利用天然富源，以滿足劳动人民不断增長的各种需要。

同时，只有在苏联合理地理智地利用天然富源的措施才能在極大的范围內进行和完全实现。只有在苏联，国民經济的各个部分才是一个完全不被竞争所感染的統一的整体，而这种竞争將把資本主义国家的工業推向对天然資源的掠夺性使用。只有在社会主义获得胜利的国家里才可能有这种对待劳动的态度，它保証所有的劳动大軍都参加到同操作中的浪費現象作斗争的运动中来。

在这种条件下，燃料合理利用的方法也与資本主义国家所采取的方法有不同的特征。除了在操作过程中尽量改善燃料的利用方法以外，对该过程所需燃料本身的选择也有着重大的意义，选择的出發点不仅要看这种燃料的特征是否符合于该技术过程，而且也考虑到全盤的經濟問題。

最大限度地利用当地的燃料，避免燃料的多余轉运以及与此有关的一系列优点，只有在社会主义苏維埃制度的計劃經濟下才有可能实现。

莫斯科省燃料平衡变化的数据(見表 7)就極明显地說明了这种情况。

表 7 莫斯科省的燃料平衡

燃料类别	年 代											
	1908		1927/28		1930		1931		1932		1932	
	吨 百 (实物)	%以 标准燃料計	吨 百 (实物)	%以 标准燃料計	吨 百 (实物)	%以 标准燃料計	吨 百 (实物)	%以 标准燃料計	吨 百 (实物)	%以 标准燃料計	吨 百 (实物)	%以 标准燃料計
頓巴斯煤·····	1.37	33.7	1.83	33.2	2.85	41.5	2.94	37.0	3.68	34.6	200	
进口煤·····	0.07	2.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
石油燃料·····	1.04	29.4	0.50	13.1	0.73	15.2	0.85	15.7	0.92	12.7	184	
木質燃料·····	0.42	25.8	5.28	18.3	5.98	16.3	7.08	17.2	8.26	15.0	156	
泥煤·····	0.12	3.5	2.88	26.7	2.74	20.0	3.04	19.7	4.24	20.5	147	
莫斯科附近的煤	0.02	0.7	1.02	8.7	1.12	7.0	1.67	10.0	3.78	16.8	370	
以标准燃料总计·····	—	100.0	5.40	100.0	6.8	100.0	7.74	100.0	10.35	100.0	192	

研究了这些数据就可以确定,对莫斯科省来说,当地的燃料(泥煤,莫斯科附近的煤)除了绝对消费量的剧烈增长外,其百分比也飞速地由 4.2% 增到 37.3%,这样,当地的燃料的比重就变得很大了。

从圖 4 中可以看出,合理使用燃料的一切綜合措施的意义是多么重大,这个圖告訴我們在現有的一般实际操作条件下以及在理論上完善的燃燒方法^①下得到 1000 馬力/小时 时耗煤量的比較。

如果說在国民經济中运输業和重工業是燃料的主要消費者,則在重工業各部門中冶金工業几乎占第一位。对冶金業来说,燃料是其物料平衡的重要組成部分。

① Хаслам и Руссель, Топливо и его сжигание. М—Д—1934.