

672

燃料 潤滑油 水

В·М·岡恰罗夫 著
Л·Г·穆尔

人民铁道出版社

目 录

前言

§ 1. 课程的目的与任务·····	1
§ 2. 燃料对国民经济的意义·····	1
§ 3. 铁路运输部门所消费的燃料·····	2

第一編 燃 料

第一章 燃料的性质、成份与分类····· 4

§ 4. 燃料的概念。燃料分类·····	4
§ 5. 燃料的成份·····	5
§ 6. 燃料的挥发份与粘结性·····	8
§ 7. 燃料化学成份的换算法·····	10

第二章 燃料的热值与当量····· 13

§ 8. 燃料热值的概念·····	13
§ 9. 高热值与低热值·····	14
§10. 按燃料的成份确定热值·····	16
§11. 标准燃料。燃料当量·····	17

第三章 燃料的燃烧过程····· 20

§12. 燃烧的概念·····	20
§13. 燃烧需要的空气量。燃烧产物的化学成份·····	21
§14. 固体、液体和气体燃料的燃烧特点·····	25

第四章 固体燃料····· 29

§15. 固体燃料的分类·····	29
-------------------	----

§16	煤矿的蕴藏量与产地	30
§17.	褐煤	30
§18.	烟煤和无烟煤	30
§19.	燃料标准	32
§20.	选煤	33
§21.	人工固体燃料	34
第五章	液体燃料	36
§22.	石油的产地和蕴藏量	36
§23.	石油的成份和化学性质	37
§24.	石油的物理性质	40
§25.	石油的开采和炼制	45
§26.	液体燃料的种类、分类和性质	48
§27.	汽化器燃料	49
§28.	辛烷值	50
§29.	汽化器燃料的品种和牌号	51
§30.	柴油	53
§31.	十六烷值	53
§32.	柴油的馏份组成	54
§33.	柴油的粘度	54
§34.	柴油的残炭	55
§35.	柴油的灰份、机械杂质和水份	55
§36.	柴油的酸值与含硫量	56
§37.	柴油的密度和凝固点	58
§38.	内燃机车柴油机燃料的品种和特性。柴 油的国定全苏标准	58
§39.	柴油性质的改进。燃料的添加剂	60
§40.	锅炉燃料	61
§41.	从开采的固体燃料中制取液体燃料	62

第六章 气体燃料	64
§42. 气体燃料的种类和优点.....	64
§43. 天然气.....	64
§44. 人工气体燃料.....	65
§45. 固体燃料的气化.....	67
§46. 在内燃机车上采用煤气.....	69
第七章 燃料的消耗定额和节约问题	70
§47. 燃料的消耗定额.....	70
§48. 内燃机车的燃料消耗定额.....	71
§49. 内燃机车节约燃料的措施.....	75
第八章 燃料的储存与取样	80
§50. 燃料分析试样的取样方法.....	80
§51. 化验室的任务.....	82
§52. 柴油的储存和计量.....	83
§53. 安全技术.....	84

第二編 潤滑材料

第九章 潤滑理論的基本原理	86
§54. 摩擦的性质及形式.....	86
§55. 干摩擦.....	86
§56. 液体摩擦.....	87
§57. 液体摩擦系数.....	88
第十章 潤滑材料的分类和理化性质	90
§58. 潤滑材料的分类.....	90
§59. 潤滑材料的炼制方法.....	91
§60. 矿物潤滑油的主要理化性质.....	94
§61. 潤滑油添加剂.....	98
第十一章 液体矿物潤滑油及其质量指标	100

§62.	车轴油.....	100
§63.	工业润滑油.....	101
§64.	压缩机油.....	102
§65.	柴油机润滑油.....	103
§66.	航空润滑油.....	105
§67.	汽车拖拉机润滑油 (车用机油)	106
§68.	传动装置用润滑油.....	107
§69.	透平油.....	108
第十二章	润滑脂	109
§70.	润滑脂的组成和用途.....	109
§71.	润滑脂的分类.....	111
§72.	润滑脂的理化性质——针入度、滴点 及其他.....	111
§73.	用在内燃机车上的润滑脂.....	115
第十三章	内燃机车的润滑	118
§74.	柴油机的润滑.....	118
§75.	柴油机调速器的润滑.....	124
§76.	变速器的润滑.....	124
§77.	压缩机的润滑.....	126
§78.	牵引电动机齿轮传动装置和压缩机传动 联轴器的润滑.....	128
§79.	轴箱轴承、抱轴轴承和走行部份的润滑...	129
§80.	滚动轴承的润滑.....	132
§81.	电器的润滑.....	133
§82.	风动操纵设备的润滑及自动制动机零件 的涂油.....	134
§83.	液力机械传动装置的润滑.....	135
第十四章	润滑材料的消耗定额、储存及再生	135

§84.	內燃机车柴油机润滑油的消耗定额·····	135
§85.	润滑油的再生·····	137
§86.	润滑材料的儲存问题·····	144

第三編 水

第十五章	水的主要性质·····	147
§87.	水质在技术用途上的意义·····	147
§88.	天然水的种类·····	147
§89.	水的理-化性质 ·····	148
§90.	水的硬度和碱度·····	152
第十六章	水锈的形成和金属的腐蚀·····	155
§91.	水锈和它的形成·····	155
§92.	金属的腐蚀·····	157
§93.	防止金属腐蚀·····	159
第十七章	技术用水的预先处理·····	160
§94.	对水质的要求·····	160
§95.	水的淨化·····	161
§96.	化学软水法·····	162
§97.	內燃机车发动机冷却水的预先处理·····	165
§98.	对水质和发动机冷却表面状态的检查·····	169

緒 言

§1. 課程的目的与任务

苏联铁路运输是国内燃料、润滑材料和水最大消费者之一。

燃料的现金支出占目前机务运营费的45%，约为铁路总支出的20%。

为了润滑机车车辆、各种固定设备、车床与机械等的摩擦零件，需要数十万吨各种润滑油和润滑脂。所以经济合理地使用燃料与润滑剂，就有很大的国民经济意义。

为了获得蒸汽和冷却内燃机，以及为了其他技术和日常生活上的需要，铁路运输还需要大量的水。

由于铁路牵引动力向新的型式发展（包括内燃机车在内），需要以往从没用过的新品种燃料与润滑油。

本课程是研究燃料、润滑油和水的物理化学性质，以及其试验方法和合理使用的条件。如果不通晓这些，就不能保证机车车辆不间断和经济地工作。

§2. 燃料对国民經济的意义

随着国民经济的发展，燃料的作用越来越大。因为技术的进步，以及与其紧密联系着的生产机械化、自动化、电气化与化学化，都能显著地提高动力技术的作用，并以需要更多的能量为先决条件。由于燃料至今仍是能量的主要来源，因此，它对于国民经济的作用越来越大。

苏联是世界上燃料蕴藏量最富足的国家，其量超过地球

上全部燃料资源的四分之一。

在苏维埃政权年代里，由于实行了大规模的地质勘探工作，在国内发现了大量新的矿藏：煤、石油、天然气及其他种类的燃料。

伟大的十月社会主义革命以后，苏联的燃料工业成了国民经济重要部门之一。由于燃料工业的大量改建与发展，苏联的燃料开采量比沙俄（1913年）时代增长了14倍以上。煤的开采量跃居世界第一位，石油的开采量已走上欧洲第一位，为世界第二位。

与苏联燃料开采量增长的同时，燃料平衡的结构，也发生本质的变化。

燃料生产的总量中，石油与天然气的比例有显著的增长，而煤的比例，由于它的开采最费力，因而有所下降。苏联对燃料开采所提出的任务是，1965年石油开采量达230~240百万吨，天然气为1500亿立方米。按照1959~1965年的七年计划，规定天然气生产增长4倍，石油增长一倍多，而煤只增21~23%。在燃料总产量中，石油与天然气的比例，将从1958年的31%增到1965年的51%，而煤的比例则相应地从59%下降到43%。七年内由于煤被天然气和石油燃料所代替，能节约125亿卢布。

由于石油与天然气工业的高速发展，使各种燃料的消耗起了很大的变化。

§3. 铁路运输部门所消费的燃料

苏联铁路至今仍是燃料的最大用户之一。铁路用煤的比重，占煤总消耗量15%以上，使用石油燃料占总消耗量10%以上。

由于大量采用了内燃机车与电力机车牵引，以及部份烧

煤的蒸汽机车改成了烧石油，所以铁路的燃料-动力平衡，有了显著的改变。

图 1 是燃料-动力平衡的相对变化图形。

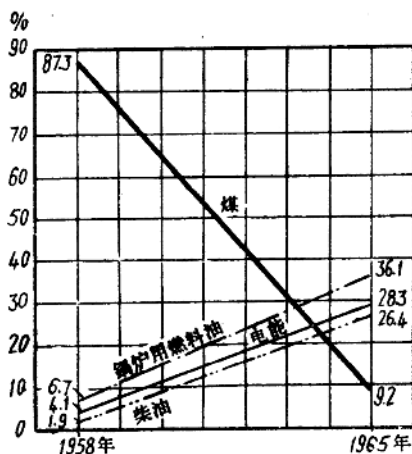


图1. 1958~1965年铁路燃料-动力平衡图

表 1 是七年內，苏联铁路运输在牵引列车上，燃料与电能消费的变化。

1958~1965年苏联铁路运输燃料消费的变化 表 1

名 称	占总能量平衡中的比重(%)	
	1958年	1965年
煤	87.3	9.2
锅炉燃料油	6.7	36.1
柴油	1.9	26.4
各种燃料换算成标准燃料	95.9	71.7
电能	4.1	28.3

第一編 燃 料

第一章 燃料的性質、成份与分类

§4. 燃料的概念。燃料分类

凡是燃烧时能放出可用于技术与经济上的热能的可燃物质，统称谓燃料。

自然界中，燃烧时能放出热量的可燃物很多，但是并非全部都是燃料。只有那些儲量较大，燃烧时利用率较高的物质，才能叫做燃料。此外，这种物质在燃烧时，不应放出有毒的燃烧产物毒害工作人员以及周围的动植物。

只有属于有机物的物质，才能滿足这些要求。所以最好是利用下列物质作为燃料：石油产品、煤、天然气、木材、泥炭及可燃页岩。

按照制取的方法，燃料可分为天然的与人工的；按照物理状态可以分为固体的、液体的和气体的燃料。

天然燃料是自然形成的，不经事先加工制作就能燃烧的可燃物质。经过事先加工制作的叫做人工燃料。

人工燃料是由天然燃料制成，一种是不改变燃料的化学性质，如型煤、粉状燃料、蒸馏液体燃料；另一种是经过强烈的变化，如焦化、气化、裂化等而得的人工燃料。

按照利用的形式，燃料又分为动力燃料与技术燃料。前者用于直接燃烧以便获得热能，后者是用于特殊的目的，如焦化、半焦化、气化及其他。

总的燃料分类列于图 2。

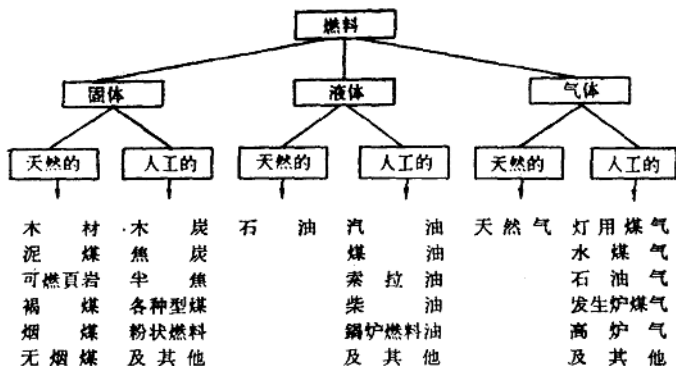


图2. 燃料总分类图

§5. 燃料的成份

所有的燃料都是由可燃部份与不可燃的杂质或惰性物组成的。

燃料的可燃部份，是各种有机化合物的混合物，其中含有碳C、氢H、氧O、氮N和硫S。

水份W和矿物杂质A，属于燃料的不可燃部份。

燃料的性质，主要决定于在燃料中含量最多的那些元素或化合物。

碳是燃料的主要可燃部份。一公斤碳完全燃烧后可发出8140仟卡热量。

不同燃料的碳含量，变动在50~97%之间。一种燃料的含碳量愈高，则燃烧时放出的热量愈多。碳含量高的固体燃料，较难燃烧，且燃烧时没有火焰。

氢也是燃料的最重要组成部份。燃料中一公斤游离状态或者与碳化合状态的氢，燃烧后可放出34100仟卡热量，

亦即为燃烧一公斤碳的 4.2 倍。因之氢的存在，可以显著提高燃料的燃烧热。不同类型的燃料，氢含量在 1~25% 之间。

氧也是燃料中的组成部份，但并不放出热量，它参与燃烧以代替燃烧所必需的空气中的部份氧。各种燃料的氧含量变动范围较大，在 0.5~43%。

氮是燃料中的惰性组成部份，不参加燃烧，可以看作是燃料中的废物。固体和液体燃料中的氮含量，一般不大于 0.5~2.0%，所以对燃烧时的热值没有多大影响。

某些气体燃料中，氮的含量相当高，严重地降低了燃料的热值。

硫在煤中以下列形式存在：1) 金属硫化物 S_K ；2) 钙、钠、镁的硫酸化物 S_e ；3) 成份复杂的有机硫化物 S_{opr} 。三种化合物中含硫量的总和，称做总硫

$$S_{og} = S_K + S_e + S_{opr}$$

式中： S_{og} ——总硫

S_K 与 S_{opr} 可以参加燃烧，因而又叫做可燃硫 S_{rop} 。它燃烧时生成亚硫酸酐 SO_2 。

生成钙、钠与镁的硫酸盐形式的硫 S_e ，实际上并不参与燃烧，而是转成灰份。

煤中的总硫量，变动在千分之几到 7~8% 之间。液体燃料中的硫，有成游离形式，也有成有机物状态。苏联石油中的含硫量，一般为 0.1~4%。

气体燃料中所含的硫，主要成硫化氢 H_2S 、二氧化硫 SO_2 以及其他某些化合物形式存在。

一公斤可燃硫，燃烧时放出 2212 仟卡热。混有可燃硫的燃料是有害的，因为硫燃烧时生成二氧化硫。这种气体腐蚀火箱的金属部份。石油中的硫化物常引起设备的腐蚀。

燃料中的水份 所有固体燃料中都或多或少地含有水份，而泥煤和褐煤中含量特别大，无烟煤和贫煤含水份最少。

液体和气体燃料一般含水量很少。

水份是燃料中的废物，它降低燃料可燃部份的热量；当水份挥发时，白白地消耗掉燃料燃烧时所放出的部份热量。此外，水份还使燃料不易点燃，减缓燃烧过程，降低燃烧温度。

水份又可分为表面的水份 $W_{\text{вн}}$ ，和分析或结合性的水份 $W_{\text{групп}}$ 。两者之和成为燃料的总水份或工作水份。在开采、运输和储存过程中，由周围介质落入燃料中的水份属于表面水份。分析水份是与燃料的有机物质及矿物杂质相化合的。

液体燃料中的水份与燃料的来源无关，只不过是偶然的混合物，是在石油产品运输、储存和倒装时落入的。液体燃料中的水份，可以成滴状和乳化状态存在。

测定煤中的水份 W^a ，按照 ГОСТ 6379-52 进行。测定煤中水份的方法，实际上就是将一定量空气干燥过的粉末燃料，放入 $102 \sim 105^\circ \text{C}$ 的烘箱中的量瓶中进行烘干，直到其重量恒定不变，则煤样的失重即为燃料的水份含量。

$$W^a = \frac{\delta}{a} 100\%$$

式中： δ ——煤样减轻的重量，克；

a ——煤样的重量，克。

固体矿产燃料中所含的矿物性夹杂物 A ，通常分为内部的或结合的，与外部的或游离的二类。内部的矿物杂质与燃料的有机质紧密地结合，因之在进行燃料选矿时无法剔除。外部杂质可在选矿时剔除出去。

液体燃料的矿物杂质，是溶解在油井地下水中的各种盐

类，这些水是在采油时落入石油中的。液体燃料可能含有因贮油槽、油罐车、输油管的腐蚀而生成的产物，也可能含有在酸和碱处理石油产品时的残留物。矿物杂质在液体燃料中的含量一般是很少的，不过有时在锅炉燃料油中含有0.5%，甚至为1%。

燃料燃烧时，在高温影响下，矿物杂质要产生一系列的变化。燃料燃烧后，所留下的不可燃的残渣叫做灰份。灰份是燃料中的废物，它能使燃料的热值降低，并造成储存与运输上的浪费。

不同燃料的灰份含量也不一样。煤的灰份含量可达30%，而褐煤与可燃页岩可达55%甚至更高。研究灰份的性质有很大的意义。灰份是很复杂的混合物，其中含有各种各样的物质。灰份中具有高熔点的矽石 SiO_2 和铝矾土 Al_2O_3 的含量。按熔点的温度，可以分为：a)高熔点灰份，熔点高于 1400°C ；б)中熔点灰份，熔点为 $1200\sim 1400^\circ\text{C}$ ；в)低熔点灰份，熔点低于 1200°C 。高温时，在火室中，灰份可能熔化，形成大块，叫做炉渣。

测定煤中灰份 A^a 按ГОСТ6383-52进行。实际上就是称一定量煤样，放入逐渐加热的马夫炉中烧成灰，然后在温度为 800°C 的情况下煅烧到重量恒定不变即得。按下式计算灰份

$$A^a = \frac{\delta}{a} 100\%$$

式中： δ ——残余灰的重量，克；
a——煤样重量，克。

§6. 燃料的挥发份与粘结性

当隔绝空气加热时，固体燃料便开始分解，同时形成气

体产物，叫做挥发份，和固体的剩余物，叫做焦炭。

挥发份中含有可燃的气体 CO 、 H_2 、各种碳氢化物，和不可燃的气体 N_2 、 O_2 、 CO_2 等以及水蒸汽。

挥发份的性质与含量，对燃烧过程的发生与发展有很大的影响。含挥发份大的燃料，容易点燃，火焰较长，且燃烧是在燃料层的上部进行。含挥发份小的燃料，难以点燃，且燃烧是在炉篦上的燃料层中进行。

各种固体燃料，其挥发份含量的变动范围很大：从无烟煤的 2~9% 到褐煤的 45~55%，以及泥煤和可燃页岩的 70~80%。

按固体剩余物——焦炭的外形和强度，可以判定固体燃料的另外一种很重要的性质——粘结性。生成强度较大而有粘结的焦炭，称为有粘结性的煤；生成强度较小的焦炭，称为弱粘结性的煤；形成粉状的焦炭，叫做无粘结性的煤。

燃料的粘结性，也可以用塑性计的方法测定，即在加热时，以塑性层 y 的厚度（毫米）表示煤的粘结性大小。测定煤的粘结性有很大的实际意义，因为根据粘结性可以确定煤是否能炼焦，以及在炉篦上燃烧的能力。所以挥发份的含量与粘结性，是煤最重要的指标，给煤的技术分类打下了基础。

测定挥发份的含量 V^a ，按 ГОСТ 6382-52 进行。测法的要点是将一定量煤样放入带毛玻璃盖的磁坩锅中，放入 850°C 温度的电炉中加热 7 分钟，即可测定挥发份的含量。挥发份含量按下式计算

$$V^a = \frac{\delta 100}{a} - W^a$$

式中： a ——煤样重量，克；

δ ——坩锅中煤样的失重，克；

W^a ——试样煤的水份含量，%。

测定煤的粘结性，是利用测定挥发份时坩埚中的焦炭饼，根据其外形与强度，就可以测定煤的粘结性的大小。用塑性计方法测定煤的粘结性时，按ГОСТ1186-48进行。

§7. 燃料化学成份的换算法

一般用户所用的燃料为天然燃料，也称为工作燃料。

工作燃料的成份：有碳C、氢H、氧O、氮N、硫S，以及水份W和矿物杂质A。为了表示这些元素及成份的含量是属于工作燃料，故在各符号上面，加上一个角注P，即 C^P 、 H^P 、 N^P 等等。

因此

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S_{\text{oo}}^P + A^P + W^P = 100\% \quad (1)$$

式中： S_{oo} ——总硫含量。

假如以人工干燥的方法，把工作燃料中的水份全部除去，就得到绝对干燥的燃料。

为了表明化学元素是组成绝对干燥燃料的元素，在各元素的符号上加以角注C，例如 C^c 、 H^c 、 N^c ，等等。

因此

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S_{\text{oo}}^c + A^c = 100\% \quad (2)$$

如果燃料中只含分析（结合的）水份，则称为风干燃料。

试验室分析用的燃料，就是风干燃料。所以风干燃料也叫做分析试样（在各符号上加以角注a），其组成以下式表示：

$$C^a + H^a + O^a + N^a + S_{\text{oo}}^a + A^a + W^a = 100\% \quad (3)$$

燃料去掉水份与灰份，叫做燃料的可燃体（相应的符号

上给以角注 Γ ），并以下列公式表示：

$$C^{\Gamma} + H^{\Gamma} + O^{\Gamma} + N^{\Gamma} + S_{\%}^{\Gamma} = 100\% \quad (4)$$

从燃料中除去灰份、水份和硫份，其余的叫做燃料有机体，由碳、氢、氧和氮组成（相应的角注是O）。

$$C^O + H^O + O^O + N^O = 100\% \quad (5)$$

燃料的不同组成如图3所示。

根据上述燃料的不同成份的元素组成方程式，用很简单的比例式，可以表明各元素组成之间的关系。

如果已知分析试样的成份，需要计算工作燃料、绝对干燥燃料、燃料的有机体和可燃体

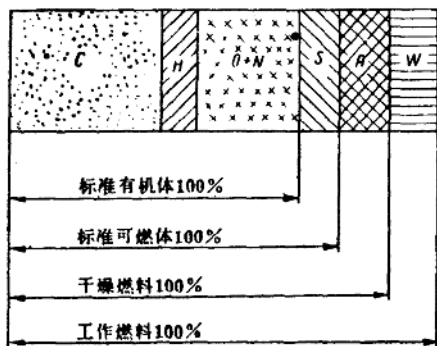


图3. 燃料的不同成份示意图

等成分，可以利用下述诸公式：

a) 工作燃料：

$$X^P = X^a \cdot \frac{100 - W^P}{100 - W^a}, \quad (6)$$

式中： X^P ——工作燃料成份中任一元素；

X^a ——分析试样中任一元素；

6) 绝对干燥燃料：

$$X^c = X^a \cdot \frac{100}{100 - W^a}, \quad (7)$$

式中： X^c ——绝对干燥燃料的任一元素；

b) 燃料的可燃体：