

機車乘務員教材

蒸汽機車焚火

機車乘務員統一教材編纂委員會編

機車乘務員教材編審組修訂

人民鐵道出版社

序

爲適應目前各局培養機車乘務員和在職職工技術業務學習的需要，特將一九五一年鐵道部機車乘務員統一教材編纂委員會編的司機養成所教材選定八種，重作修正和補充。並將原教材「機車構造及作用（上、下冊）」改爲「蒸汽機車構造及作用（上、下冊）」，「風力制動機構造及作用」改爲「蒸汽機車空氣制動機」，「機車乘務員自檢自修範圍及工作法」改爲「蒸汽機車乘務員檢修」，「運轉理論」改爲「蒸汽機車牽引計算」，「燃料及焚火」改爲「蒸汽機車焚火」，「油脂及給油」改爲「蒸汽機車給油」，「機車操縱」改爲「蒸汽機車操縱」，「機車故障應急處理」改爲「蒸汽機車故障應急處理」。

全部教材內容仍以「ㄅ ㄅ 1」型機車爲主，對其他型機車如「ㄋ T 6」、「ㄆ ㄆ 7」、「ㄆ ㄆ 5」、「ㄅ ㄅ 6」等某些部分品和我國新造機車改進部分，亦予重點列入。並按各書性質、特點，予以適當安排，盡量避免重複。由於修訂時間倉促及限於修訂人員業務水平，難免沒有錯誤和缺點，尙希讀者多提意見，以求更臻完善。

鐵道部教育局

鐵道部機務局

一九五四年十二月

修 訂 說 明

本書係根據原「燃料及焚火」一書重加修正和補充的。全書共分七章。爲便於具有初中文化程度的學員初學時能正確地了解機車焚火作業起見，在前面概括地敘述了燃料、水、熱與蒸汽、燃燒等基本理論知識。第五章焚火作業爲本書中心內容，係根據我國鐵路目前所採用手工投煤方式進行機車焚火工作中應具備的基礎知識；除較詳細地介紹了有關機車焚火作業的一般業務技術知識外，並結合先進工作者孫士貴等快速焚火法及其基本特點加以充實。第七章投煤練習爲練習鐵欄和模型火箱投煤的基本操作方法，並介紹了指導練習和評定成績的方法作爲參考。

目 錄

緒言	1
第一章 燃 料	
第一節 煤的生成及其分類	3
第二節 煤的分析	4
第三節 煤的換算	9
第四節 煤的風化作用和自然發火	11
第二章 鍋 爐 用 水	
第一節 水的性質	12
第二節 自然界的水	13
第三節 硬水的軟化處理	17
第四節 鍋爐放水	20
第三章 熱 與 蒸 汽	
第一節 溫度與熱量	24
第二節 比熱	25
第三節 壓力的測定	26
第四節 熱的傳播	27
第五節 顯熱與潛熱	28
第六節 水的汽化	29
第七節 飽和蒸汽與過熱蒸汽	29
第八節 熱與功的關係	31
第四章 燃 燒	
第一節 燃燒的要素	32
第二節 煤的發火點	32
第三節 燒煤需要的空氣量	33
第四節 黑煙的生成及其防止方法	34
第五節 鍋鳴的原因及其防止方法	35
第六節 通風的種類	35

第七節 通風力和燃燒的關係	33
第八節 火焰流通和火箱溫度的關係	33
第九節 煤的熱損失	38

第五章 焚 火 作 業

第一節 投煤的位置及順序	40
第二節 單手投煤和雙手投煤	41
第三節 三鐵制焚火法	43
第四節 快速焚火法	44
第五節 投煤時機與火色溫度	46
第六節 通風強弱和煤的撒佈	47
第七節 環狀焚火法	49
第八節 焦渣的生成	51
第九節 火層整理	51
第十節 煤炭的撒水和大塊煤的打碎	53
第十一節 由發車到進站	54
第十二節 熟悉綫路與焚火的關係	59
第十三節 困難區間的焚火作業	59
第十四節 灰箱風門的調整	61
第十五節 鍋爐補水及鍋爐水位	61
第十六節 送風器的使用	63
第十七節 蒸汽昇騰不良及費汽費水的原因	63
第十八節 煙垢和蜂巢	64
第十九節 安全閥噴汽的損失	64
第二十節 焚火作業的基本特點	65

第六章 機車的點火及埋火作業

第一節 一般機車點火法	68
第二節 機車新點火法	69
第三節 機車埋火法	70

第七章 投 煤 練 習

第一節 鐵欄投煤練習	73
第二節 模型火箱投煤練習	73

緒 言

工業需要大量煤做燃料；煤對於我們的社會主義建設有極密切的關係。列寧曾經這樣說過：「煤，這是工業的真正食糧，沒有這個食糧，工業就無用武之地了」。蘇聯國民經濟之所以能獲得巨大的發展，是與其大量的煤炭生產分不開的。

鐵路是煤的巨大消費者。而鐵路的用煤中絕大部分都用於機車焚火。根據前中長鐵路的經驗：機車運轉所消費的燃料約佔鐵路全部開支的10%。因此，每單位運輸工作量燃料消費的增減都影響着運輸成本的增高或降低。

燃料節約的主要因素是超軸五百公里運動。根據蘇聯先進經驗：如果列車重量減少1%，則每單位運輸工作量的燃料消費量就要增加0.4~0.5%；相反，如果列車重量增加1%，則燃料消費量亦減低同樣的數量。幾年來，全國鐵路機車熱力技術工作的經驗證明：只要將機車熱力技術狀態整備良好，例如對機車鍋爐施行良好的保溫，正確地使用軟水劑，保證鍋爐各部分不發生漏洩，保持爐篦和拱磚裝置的完整，廢汽口中心和煙筒中心一致，汽機部分的狀態和作用良好，並能採取一切防止機車鍋爐熱損失及其他有效措施時，就能夠使每總重萬噸公里的燃料消耗降到最低程度。

因此，很明顯地，我們必須經常地注意提高列車重量及改善機車熱力技術狀態，很好地掌握機車焚火技術，採用先進焚火作業方法。

担任焚火作業的機車乘務員，在保證根據技術管理規程、按列車運行圖正點牽引列車的同時，還必須充分有效地利用機車的能力，改善機車性能，提高鍋爐蒸發量，節省燃料的消耗。因

此，每一個機車乘務員，都必須瞭解各種燃煤的性質，懂得與燃燒有關的技術理論知識，並在實際焚火工作中使煤的發熱量能得到充分的利用。

機車乘務員，應該首先加強工作中的互相配合和協調一致，提高社會主義覺悟和業務技術水平，進一步學習孫士貴和其他先進工作者的焚火方法，在進一步開展滿載超軸五百公里運動中，在總結經驗的基礎上，鞏固與提高焚火技術和焚火作業方法，為國家節約更多的燃料。

第一章 燃 料

蒸汽機車用的燃料有木材、輕油、重油、焦炭及煤數種。在森林地區，因木材產量豐富，價格低廉，故機車多用木材為燃料；一般地區因木材價格較高，且木材發熱量小，多不採用。使用輕油或重油，不但可以節省人力，並易於保持火箱溫度，減少鍋釜及煙管的腐蝕、破裂及漏洩，更不生黑煙與熔渣，發熱量也大，所以大量產油地區多用油作為機車燃料。在隧道多的地區或繁華市街，為使機車不冒黑煙，也有用焦炭的，但其缺點為火焰短、發熱量小。我國產煤豐富，全國鐵路都以煤為機車主要燃料。所以本書所談的燃料，係專指機車用煤而言。

第一節 煤的生成及其分類

古代植物因地殼變形埋沒在地層中，受地熱、地壓及碳化等作用，年久乃成為煤。因生成年代及地區的不同，煤的性質也異，其中有碳、氧、氫、硫、氮等成分。灰分則是煤中既不燃燒又不揮發的成分。當氫、氧、硫等燃燒時，最初化合為火焰，一般叫做揮發分；其後能作長時間燃燒的固體，叫做固定碳素。煤的種類很多，按其可燃部分內含有固定碳素及揮發分的多少，大致可以分為以下三大類。

一、無 煙 煤

無煙煤生成年代最古，質地堅硬，恆成大塊，不易破碎，亦不易風化，很難自燃，煤塊呈淡黑色而有光澤。其成分中，可燃物質佔80%以上；而在可燃物質中，固定碳素約佔96~98%，揮

發分僅佔2~4%。所以無煙煤不易點火，燃燒時火焰短，並易爆裂成碎末，尚未燃燒即由爐條隙縫落下，因而不適於作機車燃料。但因它含有多量的碳素，一經點火後就可長時間燃燒，發熱量也大，故適用於取暖和冶鍊。

可燃物質中含揮發分8~10%的叫做半無煙煤。其性質大致和無煙煤相似。

二、煙 煤

煙煤生成年代晚於無煙煤，黑色並有光澤，能風化亦能自燃。其成分中，可燃物質佔70~80%；在可燃物質中，揮發分佔35~45%。揮發分佔35~40%的叫做瓦斯煤，佔40~45%的叫做長焰煤。煙煤因為揮發分較多，所以容易點火，燃燒時煙濃而火焰長，發熱量大，適於作機車燃料用。

三、褐 煤

褐煤生成年代較近，褐色，質脆弱，乾燥時易粉碎，其成分中可燃物質僅佔50%左右，而在可燃物質中，揮發分和固定碳素的成分約略相等，燃燒時有濃煙，火焰長，但因其可燃物質含量少，所以發熱量較小。目前我國鐵路也有用褐煤作為機車燃料的。

第二節 煤的分析

煤的分析方法，有化學分析法和工業分析法兩種。

一、化 學 分 析 法

這種方法是用以測定煤的成分，如碳、氫、氧、氮、硫等元素的含有量，供學術研究及計算發熱量之用。根據化學分析所得的結果，煤的成分大約有以下幾種：

1. 碳。碳是煤的唯一主要成分，有成單體存在於骸炭內的

(有時也有極少的氫、氧、硫化合在內)，另有一小部分和其他元素化合在一起。成單體存在於骸炭內的碳，叫做固定碳素，其燃燒時間最長，是煤燃燒發熱的主要成分。

2. 氫和氧。煤中的氧不能單獨遊離存在，完全是和其他元素化合在一起的。未與氧化合的元素，需要與空氣中的氧化合才能燃燒。氧主要是和氫化合在一起，成為水的形態而存在着。在一分子水中，氫與氧的質量比為 2:16，也就是 1:8。譬如化學分析的結果為：含氧 $10/100$ ，含氫 $6/100$ 。那末，與氧化合的氫，其數量應該是

$$\frac{10}{100} \times \frac{1}{8} = \frac{1.25}{100},$$

也就是 1.25% 的氫和氧化合成水而存在煤中。燃燒時，這 1.25% 的氫因化合成水，不能燃燒；在極高的溫度下將氫氧分解後，雖可再行燃燒，但分解時消耗的熱量和再燃燒時所產生的熱量相等，因此毫不起作用。這 1.25% 的氫，由於沒有發熱能力，故叫做無效氫量。其餘 $\frac{6}{100} - \frac{1.25}{100} = 4.75\%$ 的氫叫做有效氫量。可以看出，含氧量越多，有效氫量就越少。氫雖然受氧的作用，有一部分無效，但是因為它的重量很輕，能以很小的重量佔有很大的體積，而且發熱量又很高，因此仍是燃燒發熱的一個主要成分。

3. 硫。硫磺大都是和鐵化合成黃鐵礦，存在於煤中。其含量一般在 0.3~5.0%。黃鐵礦是生成焦渣的主要成分，因為黃鐵礦燃燒後變成硫化鐵，硫化鐵的熔點低，並具有粘結性，所以極易生成焦渣。此外，硫磺也有時並不是作為黃鐵礦的成分而存在，例如有機質的硫磺，就不生成焦渣。所以煤中含硫磺多，並不一定都生成焦渣，要看黃鐵礦含有量的多少來決定。另外，硫磺燃燒時發出硫酸酐(即二氧化硫)的氣體，侵蝕鍋飯，同時還刺激乘務員的呼吸器官。因此，特別在隧道多的綫路，以不使用含

硫多的煤爲宜。

4. 氮。氮在煤中含量很少，大約爲0.5~1.5%，很少有超過2.0%以上的。氮存在於揮發分和骸炭的化合物中，焚火時不能燃燒，隨其他氣體一同排出，損失熱量，對燃燒毫無作用（磷在煤中的含量更少，不過在煉鐵等工業上對此非常注意，因爲極微量的磷，對鐵的成分影響很大，但在機車上則沒有什麼大的影響）。

二、工業分析法

工業用煤，並不採用化學分析法，因爲工業上只要了解煤的使用價值，分析其燃燒部分和不能燃燒部分的數量，以及其燃燒特性。現把工業分析方法說明如下。

1. 揮發分。煤在燃燒時，首先發生火焰的氣體，叫做揮發分。它由氫、氧、硫、碳氫化合物（如沼氣）、氮的化合物、硫的化合物等混合組成。

揮發分中最主要的是氫氣和沼氣。燃燒時，氫氣和空氣中的氧化合成水（蒸汽）。碳氫化合物（沼氣）分解爲碳和氫，分解出來的碳與空氣中的氧化合成二氧化碳。硫的化合物中的硫磺，分解後與氧化合成硫酸酐（二氧化硫）氣體，再和氫氣化合成亞硫酸。含揮發分多的煤，燃燒時能發生長大火焰，用作鍋爐的燃料，傳熱效率很高，非常合適。蘇聯葛拉諾夫斯基對煤的熱能所作的試驗證明：如火箱內溫度不高，空氣供給不足時，便生成一氧化碳，不能完全燃燒，揮發分呈黑煙排出，這對燃料的使用很不經濟。

茲將上面所說的幾種元素在燃燒中可能發生的氣體及其發熱量列於第1表，以作比較。

2. 固定碳素。揮發分燃燒分離以後，餘下的便是骸碳。骸碳中除去一部分灰分以外，便是固定碳素。固定碳素在燃燒時與氧化合成二氧化碳，每公斤可發生熱量8.080大卡；如空氣供給不

第 1 表

燃 燒 元 素	生 成 物	發 熱 量 (大卡/公斤) ①
碳 (C)	二 氧 化 碳 (CO_2)	8,080
	一 氧 化 碳 (CO)	2,440
氫 (H_2)	水 蒸 汽 (H_2O)	28,700
	沼 氣 (CH_4)	13,250
硫 (S)	二 氧 化 硫 (SO_2)	2,230

① 大卡(大卡路里簡稱,等於1000卡路里)是熱量計算單位。詳見第25頁。

足,便成一氧化碳,每公斤僅能發熱 2,440 大卡。兩相比較,就相差 5,640 大卡。一氧化碳再遇氧氣,雖仍能化合成二氧化碳,發生的熱量可補足上述所差之數,但如不遇高熱或空氣供給不足,就無燃燒的機會。實際上,一氧化碳不可能長時間地滯留於火箱,難得有再燃的機會,因此必然造成熱量損失。以氫來說,每公斤氫完全燃燒時,可能發生 28,700 大卡熱量;如果不能完全燃燒而成爲沼氣時,只能發生 13,250 大卡的熱量,熱損失達 15,000 大卡以上。因此,乘務員必須善於控制燃燒,掌握良好的焚火技術,才能充分利用煤的熱能。

3. 灰分。煤燃燒以後,殘留的不能燃燒的部分叫做灰分,其中有的是夾雜在煤中的土和砂,有的是原來存在植物中的礦物質。普通的煤都含有灰分約 6~28%。灰的主要成分是矽化物和氧化鋁,還有硫化物、氧化鐵等。氧化鐵是灰分熔化的接觸劑,使灰熔化,與矽化物、石灰等黏結一起,成爲焦渣,妨碍通風。又灰分中含有石灰質時,燃燒後石灰質殘留在灰中,又成爲氧化鐵熔化的接觸劑,幫助氧化鐵熔化,更助長了焦渣的生成。

根據所含的成分,灰可以有白、黃、灰、淺黃、紅等不同顏色。依照顏色的不同,可以推斷其熔化點,同時也可以推斷出焦

渣的形成。

白色灰大都是矽酸及氧化鋁的生成物，熔點比較高，不易生成焦渣。無煙煤的灰分大都屬於此種。紅色灰是氧化鐵的生成物，氧化鐵能使灰的熔點降低，所以紅色灰的煤容易生成焦渣。當煤中含有硫磺時，雖也能生成焦渣，但灰的顏色並不是紅色。若煤中含有多量的鐵，再加上空氣供給不足時，灰大約成為黑色或淺灰色。如焦渣生成與矽酸結合，則成矽酸鐵，此時灰呈黑色或綠色。

灰分多的煤，不僅使用不便，且易增加火層厚度，影響通風；並且這種無用部分，無謂地消耗許多熱量，增加搖爐和清灰的工作。但是，灰分多的煤多為低質煤，其價格較低，如果機車燒用這種煤，就能給國家節約好煤，供給工業的需要。所以蘇聯機車上使用的燃料中，有相當數量的是灰分多、發熱量較低的煤。

4. 水分。煤中的含水量，依照煤的生成年代的不同，有多有少；並與採掘後存放時間的長短有關係，新採掘的煤所含的水分較多。

水分，大部是以濕氣的形態存在煤內；另一小部分化合水在煤中並不形成水的形態，而形成一種化合物，在燃燒時臨時化合成水，例如揮發分中便有水分的存在。

燃燒時，煤中所含的水分蒸發成汽體，隨通風的誘導流向燃燒室附近，與硫化鐵相遇，則分解為氫、氧二元素，氧與硫化鐵化合成氧化鐵及二氧化硫，產生硫化鐵的燃燒熱（亦叫氧化熱）。氫與氧化合時，亦能發生氧化熱現象。因而說，煤中的水分蒸發和分解時，固然損失一部分熱量，但它在燃燒過程中起着複雜的分解和化合作用，能幫助煤的燃燒，也有一定的作用。

三、發 熱 量

在工業分析中，除了分析以上四種成分以外，測定煤的發熱

量也是極為重要的，因為發熱量的大小就表現着煤的使用價值的大小。而上面所說的四種分析，主要也是作為計算發熱量的資料。

發熱量就是一公斤煤燃燒時所發生的熱量。它可用以下三種方法來測量：

1. **用量熱器測量。**將定量的煤研成細粉，加以定量的氧氣（或氧化物），使其燃燒，外周用水包圍。燃燒後熱量被水吸收，測量水溫上升的多少，可以判定發熱量的大小。

2. **依照化學分析測量。**根據化學分析，知道煤中所含的各種元素。每種元素在燃燒時發出一定的熱量，以這種固定的發熱量為基礎求出煤的總發熱量。但是，煤燃燒時生成新的化合物，發生大量的熱，同時化合物再度分解，又消耗大量的熱，變化非常複雜。這種變化，至今還沒有完全了解。因此，雖然知道煤的成分，在理論上還不能算出正確的發熱量，只能求出近似的數值。

3. **依照工業分析測量。**根據工業分析的結果，按固定碳素及揮發分含量的多少，用實驗公式計算煤的發熱量，非常便利。

四、骸炭的性質分析

揮發分分離以後，殘留的骸炭，因為煤質的不同，有的黏結在一起，有的不黏結。且黏結的程度亦有強有弱。工業上對於黏結亦很需要，但需要的程度則有所不同。所以，黏結性質也是用煤分析的項目之一。根據黏結的程度，一般可分為（1）不黏結，（2）黏結，（3）強黏結。

黏結性煤燃燒時，揮發分分離後，骸炭能黏結在一起，因此很少漏入灰箱和飛散，燃料損失少。

第三節 煤的換算

煤的發熱量因煤種而有不同。各種不同的煤，如不分別計

算，勢必難以正確地考核機車用煤成績。因此必須要有一個換算標準。茲將換算方法舉例說明如下。

一、卡 換 算

以發熱量 7,000 (大卡/公斤) 的煤為標準煤，求出各種煤的換算率。把實際用煤量乘以換算率，所得出的數字就是標準煤量。

過去曾用過這種換算方法。例如：

$$\text{峰峰一礦煤的換算率} = \frac{\text{峰峰一礦煤的發熱量 } 6,882}{\text{標準煤發熱量 } 7,000} = 0.983,$$

1,000 噸峰峰一礦煤換算成標準煤，則為

$$1,000 \times 0.983 = 983 \text{ 噸}。$$

二、技 術 換 算

用卡換算考核機車用煤成績，祇是一個方面；還應當考慮到鍋爐效率，這才是結合實際的，才是科學的。這種將鍋爐效率計算進去的換算方法，叫做技術換算。蘇聯及大多數其他國家都採用這種換算方法，我國鐵路在一九五三年三月也改用了這種方法。

技術換算的公式為

$$\vartheta = \frac{\theta_n^p \times \Pi K}{7,000},$$

式中 ϑ ——技術換算率；

θ_n^p ——實際煤的低發熱量，大卡/公斤；

ΠK ——機車燃用某種煤時的鍋爐效率。

例如，峰峰一礦煤的低發熱量為 6,670 大卡/公斤，使用該種煤時鍋爐效率為 62.86%，則峰峰一礦煤的技術換算率為

$$\vartheta = \frac{6,670 \times 0.6286}{7,000} = 0.599。$$

爲了測定各燃料使用地點的燃料需要量及節煤成績，必須有單位工作指標。例如鐵路給水所的鍋爐以揚水千噸公尺的耗煤量爲標準；機車鍋爐以萬噸公里的耗煤量爲標準；調車及有火停留機車以調車及埋火小時爲標準。

由實際煤量換算成技術換算的標準煤量爲：

技術換算標準煤量 = 實際煤量 × 實際煤的技術換算率。

由技術換算的標準煤量換算成實際煤量則爲：

$$\text{實際煤量} = \frac{\text{技術換算標準煤量}}{\text{實際煤的技術換算率}}。$$

燃料消耗量標準的規定，係以標準燃料來計算。

技術換算標準煤量 = 每萬噸公里技術換算用煤量 × 工作量（萬噸公里）。

第四節 煤的風化作用和自然發火

煤吸收空氣中的氧氣，漸漸氧化，顏色暗淡，質漸脆，發熱量減少，這叫做煤的**風化**。在通常氣溫下，也能發生這種現象。發生的原因，是由於煤中的黃鐵礦被空氣中的氧氣所氧化，以及煤中的硫和氫直接與氧化合所致。當黃鐵礦氧化時，體積膨脹，使煤自行破碎，更促進了風化的作用。普通揮發分多的煤，風化作用較甚。另外，粉煤因爲氧化面積較大，而空氣又不得充分流通時，氧化所生的熱不易消散，內部貯熱增加，所以較塊煤易起風化作用。風化後的煤，品質降低，發熱量減少。發熱量減少的程度，則隨煤的種類、形狀、貯存方法及氣候等條件而不同，最少者每年減少3%，最多者減少18%。

存煤因風化所生的熱，若不使之放散，則更能助長氧化，加快風化作用，使溫度迅速上昇。當溫度上昇到煤的發火點時，煤自行燃燒，叫做**自然發火**。自然發火的產生，亦因煤的種類、形狀、氣候及貯存方法等條件而不同。雖然這些條件大半不是人力所能改變的，但是在貯存方法上，是可以想些辦法來防止或減少

自然發火的。因此，存煤時務使煤場通風良好（現在的貯煤場，在煤堆中大都裝有木製通風筒，以便於通風）；保持低溫度，不可混入着火點低的可燃物；並應保持煤場的充分乾燥，不使煤炭粉碎。若能設法避免風、雨和陽光的直射，或存放於有蓋的場所，那就更安全了。

習 題 一

1. 節省燃料對完成國家運輸計劃，降低運輸成本有什麼重要意義？
2. 煤的工業分析和化學分析是怎樣的？
3. 煤中所含的水分有什麼作用？
4. 什麼叫煤的揮發分？它在機車用煤中有什麼價值？
5. 煤的技術換算和卡換算有什麼不同？
6. 什麼叫做煤的風化作用？
7. 什麼叫做煤的自然發火？應如何防止？

第二章 鍋 爐 用 水

煤在機車鍋爐中燃燒，發生熱量，經鍋飯傳達給水，使水化為蒸汽，送入汽缸以推動機輪，使車輪轉動，牽引車輛，以達成運輸的目的。所以，機車在工作時需要消耗大量的水，而研究鍋爐用水的性質亦就是一件很重要的事情。

第一節 水的性質

除空氣外，水在自然界的分佈最多最廣。在日常生活和工業中，水都是不可缺少的。純粹的水是由氫和氧二元素所組成的化合物。

在大氣壓力下，常溫時，水為無色無臭無味的透明液體。溫度降低到 4°C 時，水的密度最大，降至 0°C 時開始凝結成白色的固體冰。當溫度升高到 100°C 時，水就開始沸騰，大量變