

煉焦与选煤新技术

Л. М. 薩保什尼柯夫 著
А. З. 尤洛夫斯基

周其良 潘 平 譯

冶金工業出版社

成型冶金燃料

随着黑色冶金工業的發展，对專門的冶金燃料——焦炭的要求也不断增加。

目前焦炭的生产都是在联合成煉焦爐組的間歇操作的室式爐（圖1）內进行的。室式爐的煉焦週期時間很長——約为15小时左右。热流是从灼热的炭化室牆傳向裝爐煤的。因此，靠近炭化室牆1的煤層受到最强烈的加热，同时生成焦炭層2和膠質層3；而在炭化室中部却依然是虽被加热但还没有轉变成膠質状态的煤4。这三种不同層的生成过程是由同一热流所引起的，因此不可能分別地加以控制。

在室式爐中不可能使全部煤層达到均匀加热，但是煉焦技术操作所要求的恰恰是这种加热均匀的制度。

实际上，靠近灼热的炭化室牆所生成的焦炭層很快即已过热，而尚未轉变成膠質状态的靠近中心部份的煤却加热得非常緩慢，並且要在100℃左右的溫度下保持很長時間。这样，就引起了極其不良的后果。

由膠質状态的煤生成的焦炭如果加热得很快，就会發生稠密的裂紋網，並將裂成小塊而不适用於大型的煉鐵爐。受热的煤如果在轉变成膠質状态之前保持很長的時間，則煤就会軟化得很不好，並將失去粘結能力，从而不能煉出坚实的、粘結良好的焦炭。

在現代的室式爐中，由於不合理的煉焦制度而只有使用某些一定种类的煙煤，即所謂“煉焦煤”，才能生产出令人滿意的冶金焦炭。这些煉焦煤具有足够的熱穩定性，並且在緩慢地加热到

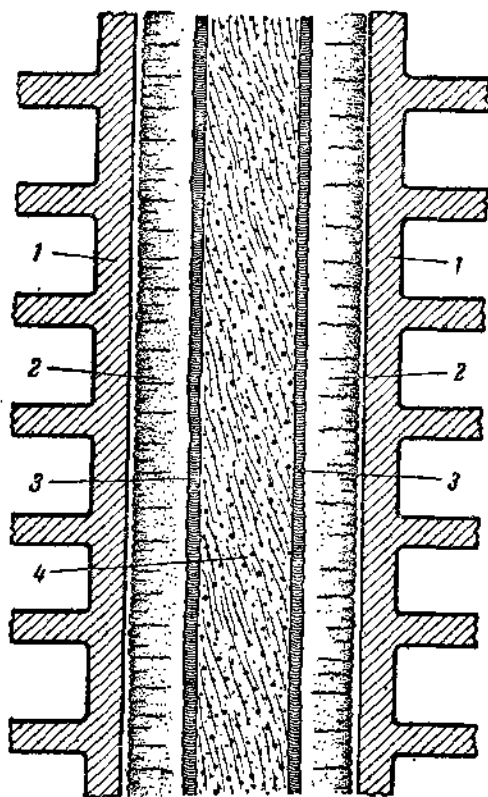


圖 1 間歇操作的室式爐中煉焦過程圖示

1—炭化室牆； 2—焦炭層； 3—膠質層；

4—虽被加熱但还没有轉變成膠質狀態的煤

軟化溫度的情況下不會顯著地失去粘結性。同時由這些煤的混合物所生成的焦炭層，即使加熱得很快，也不會生成過份稠密的裂紋網。

但是，这样的煉焦煤的儲藏量是有限的。在苏联煤田的儲藏量中主要的还都是些气煤和弱粘結煤，这些煤在目前仅仅少量地用於煉焦。在頓巴斯、庫茲巴斯和卡拉干达等地，气煤和弱粘結煤佔全部儲藏量的絕大部份，而在那些对冶金工業很有發展前途的煤田，例如：在伊尔庫茨克、米努辛斯克、布列雅，气煤和弱粘結煤的儲藏量都佔 100 %。

世界上所有国家都感觉到煉焦煤儲藏量的缺乏。这就給冶金工業的發展帶來了巨大的困难，並且阻碍了新的經濟地区的开发。

此外，在目前所煉制出来的焦炭，它的强度和塊度都已經不能滿足冶金工業的要求，並且限制了煉鉄爐容量的进一步增加及其生产能力的提高。

根据煉焦过程的理論，应当認為：从所有牌号的煤、其中也包括气煤和弱粘結煤，都可以煉出大塊而又坚实的焦炭。为了不使这些煤丧失粘結性，必須把它們迅速地加热到軟化溫度。而为了使軟化的煤粒能够結合成塊，在膠質状态时期必須使它們受到不大的压力。当焦塊硬化以后，必須緩慢地加热，以免其中生成裂紋。

这样的煉焦制度在間歇操作的室式爐中是不可能實現的。为了解决这个問題，苏联科学院可燃矿产研究所研究出一种新的連續操作的流水式煉焦过程。这种煉焦过程要經過几个順序阶段来实现。每一阶段都是在一个每小时处理 50 公斤加工煤料的連續操作設備中於最适宜的条件下进行的。

用普通錘式粉碎机粉碎出来的煙煤，把它迅速地加热到規定的溫度，这个溫度是因煤而異的。在这个規定的溫度下煤显著地分解並析出可燃气体和汽态焦油。於是煤即發生軟化並逐漸轉變

成膠質狀態。

此後讓軟化的煤保持在規定的溫度之下。在保持的時間內煤質發生熱分解，並從中析出部份分解產物（焦油和可燃氣體），而固體的煤質則將解離並轉變成軟化的膠狀物質。

當膠質狀態的均勻性達到最大程度時，軟化的煤粒在不大的外界壓力（幾個大氣壓）作用下被壓緊並粘結成塊。因為被壓緊的煤是處在軟化的狀態，所以可以把它壓成完整型式的燃料制品（稜體、圓柱體、球體、雙凸扁平體、等等）。冶金工業用的燃料制品必須壓制得比動力方面用的燃料制品具有較大的尺寸。

脫型後的燃料制品應該立刻在比成型溫度稍高一些的溫度下進行燒結。在燒結階段，膠狀煤質發生深度的分解並從中析出幾乎全部的焦油和大部份的碳氫化合物氣體；成型燃料發生硬化並形成一種獨特的多孔結構的焦炭。但是這種產品還沒有具備足夠的機械強度。

為了得到堅實的冶金燃料，燒結後的燃料制品應該進行緩慢的鍛燒階段直到中等的溫度。這時成型冶金燃料的製造過程即告結束。為使冶金燃料制品中不產生裂紋，升溫速度應該小些。

動力用的小塊燃料制品可以在迅速加熱情況下鍛燒，因為在小塊制品中不會產生裂紋。鍛燒動力燃料的最終溫度低於鍛燒冶金燃料的最終溫度。燒結小塊制品的時間較短；在動力燃料的成型過程中燒結階段實際上是和鍛燒階段合併在一起的。

成型冶金燃料製造過程的總共時間約為 3 小時，而動力燃料製造的總共時間則為 20 分鐘左右。

成型冶金燃料具有比普通冶金焦炭較大的強度，在機械作用下完全不會分裂成碎塊，也不會分離出粉末來。成型冶金燃料在很高的溫度下不會被破碎。成型冶金燃料含有少量的殘留揮發物

質，這些物質當燃料在煉鐵爐中被加熱時以氫的狀態析出，能够促進爐料中鐵礦石氧化物的還原作用。

掌握新的冶金燃料製造過程的基本方法就是控制：在把被粉碎的煤進行快速加熱以前的規定溫度和軟化了的煤在這個溫度下保持的延續時間。用改變加熱溫度和改變保持時間的方法，可以調節煤質熱分解的程度，可以確定對軟化煤加壓成型的时间。

每種煙煤都有它特有的軟化溫度和硬化溫度，這是煤的膠質狀態的自然界限。

如果燃料製品成型的規定溫度接近於煤的硬化溫度，且在這個溫度下它的保持時間又是足夠的，則煤質就將發生深度的分解，而煤粒就將產生很大程度的解離；由於分解而生成的焦油蒸汽和碳氫化合物氣體得以從煤顆粒中析出。在這種情況下施加外界壓力就能生成堅實的帶有厚氣孔壁的燃料成型物。這時在燒結階段迅速升高溫度是沒有危險的，因為它不會引起燃料製品的膨脹。按這種成型制度制得的煉焦製品經過鍛燒以後具有極高的強度。

如果在加工煙煤時降低規定的加熱溫度和縮短製品成型前的保持時間，則煤質就來不及像那樣強烈地分解，並且也來不及從中析出必要數量的焦油和碳氫化合物氣體。在這樣的情況下，當除去成型壓力以後以及在製品的燒結階段期間，製品中仍將繼續析出揮發性的分解產物而生成許多氣孔。這時成型物料的气孔率增加，氣孔壁變薄，因而制得的焦炭的強度略有降低。在這種情況下成型物在燒結階段期間不允許受到迅速的加熱，因為分解氣體強烈地析出會引起成型物中生成很大的氣泡，顯著地降低燃料的強度。根據上述的方法可以制得均勻氣孔結構的均質成型物，它具有所需要的容積和尺寸的氣孔。

膠狀煤質硬化以後，燒結過的物料在繼續加熱下受到很大的壓縮。所受的壓力愈大，則制得的冶金燃料愈堅實。然而過份的壓縮卻會引起燃料制品中產生內應力，並隨之出現裂紋，而成型制品就將沿着這些裂紋裂成碎塊。

在加工氣煤、長焰煤和被氧化的煤時，當成型物硬化以後立刻就有裂紋開始生成。因此，在制取冶金燃料時，必須急劇改變在這段溫度範圍內的加熱速度。上述幾種類型的煤，它們的特点是粘結性低，因而必須把它們儘快地加熱到燒結硬化階段，否則所制得的焦炭就將是疏松的、不堅實的。但是在燒結以後，又必須急劇地減低成型物的加熱速度，否則燃料制品中就將生成裂紋，並將碎裂成 30—40 毫米大小的碎塊。因此，脫型後的冶金燃料制品在燒結階段應該保持在不超过開始生成裂紋的溫度（對該種類型的煤）之下。

利用上述总的原則，我們就可以控制新的煉焦過程，而從任何一種煙煤都能制取具有預先規定的一定的物理化學性質（塊度、形狀、強度、氣孔率、反應能力、可燃性、等等）的成型燃料。

在蘇聯科學院所設計出來的新煉焦方法的模型裝置中，煤的加熱和使它保持在一定溫度之下都是在一個具有外部電熱器的迴轉圓筒（圖 2）之內進行的。加熱器是由沿着圓筒全長分佈的四個部份所組成。

依靠圓筒對水平綫的傾斜角度可以改變煤在圓筒內停留的時間。用改變各加熱部份中電流強度的辦法可以沿着圓筒的全長改變煤的加熱溫度。這樣，就使我們有可能來保證預定的規定溫度、煤的加熱速度和煤在規定溫度下在圓筒中保持的預定時間。

燃料制品的成型用螺旋壓力機來實現，這種壓力機可以保證

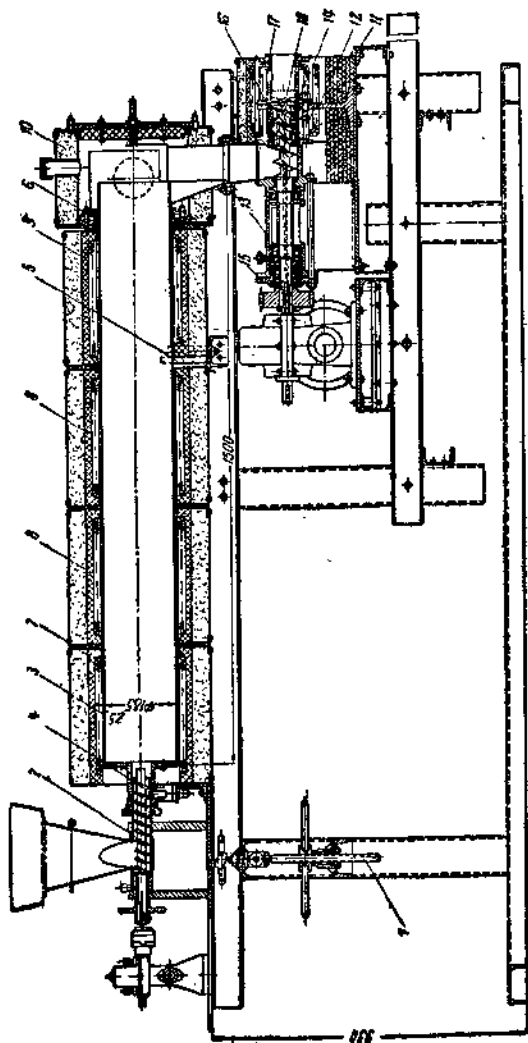


圖 2 試驗用的燃料成型聯動設備

- 1—傾斜螺旋調節器；2—螺旋加料器；3—圓筒 $d=185$ 毫米；4—前輥式支座；5—后輥式支座；6—填料盒裝置；7—第一電熱段；8—第二電熱段和第三電熱段；9—第四電熱段；10—出口室；11—螺旋壓力機合板；12—支柱；13—壓力機機體；14—加壓螺旋（螺旋推進器）；15—蓋；16—套筒（套管）；17—成型口；18—壓力機加熱爐

使軟化的煤質在几个大气压的压力下受到壓縮。螺旋压力机的螺桿可以把軟化的煤質从压力机的狹窄的成型口压挤出来。壓縮的压力決定於煤質的軟化程度和成型口的錐度。成型口的錐度可以用專門的夾紧螺母来調节。从成型口不断地压出膠質的煤条，随后再被截成一段段的圓柱体。

燒結和鍛燒是在帶有自动控制温度的管狀电爐（圖3）內进行的。在脫型制品剛要裝入以前，管狀爐已被加热。当被裝入的制品經過保持以后，用計劃調节器使每个管狀爐的温度以一定的速度自动均匀地上升。在这个最終温度下得到的冶金燃料还需要保持几分鐘，然后再从爐中取出，迅速地加以冷却，並进行全面的物理机械試驗、热試驗和物理化学試驗。

在上述的裝置中可以处理几十吨各种不同的煤。从頓巴斯、庫茲巴斯、布列雅、伊尔庫茨克等煤田的气煤和長焰煤以及从庫茲巴斯、卡拉干达、頓巴斯和其他产地的弱結結煤都能煉制出質量优良的成型冶金燃料。所有这些煤直到最近还被認為是不适宜於單獨煉焦的。

圓柱形成型燃料样品的外貌如圖4所示，而圖5則是表示切成二半（沿圓柱体的縱軸和橫軸）的同一样品。这些样品是由各种頓巴斯、庫茲巴斯和布列雅的气煤制得的，然而它們都具有典型的焦炭結構。对从这些劣質煤制得的燃料进行的試驗，都得到了良好的結果。

把成型冶金燃料在試驗轉鼓中进行試驗，約可得到95%稍被滾輾的圓柱形剩余物和5%的焦末。在处理时轉鼓內沒有生成中間的等級，因为在成型制品中沒有裂紋。这是極為良好的机械試驗的結果。当加热到 1400°C 时成型燃料制品仅在体积上稍有收縮，並变得更为坚实。这时制品既不会产生焦末，也不会裂成

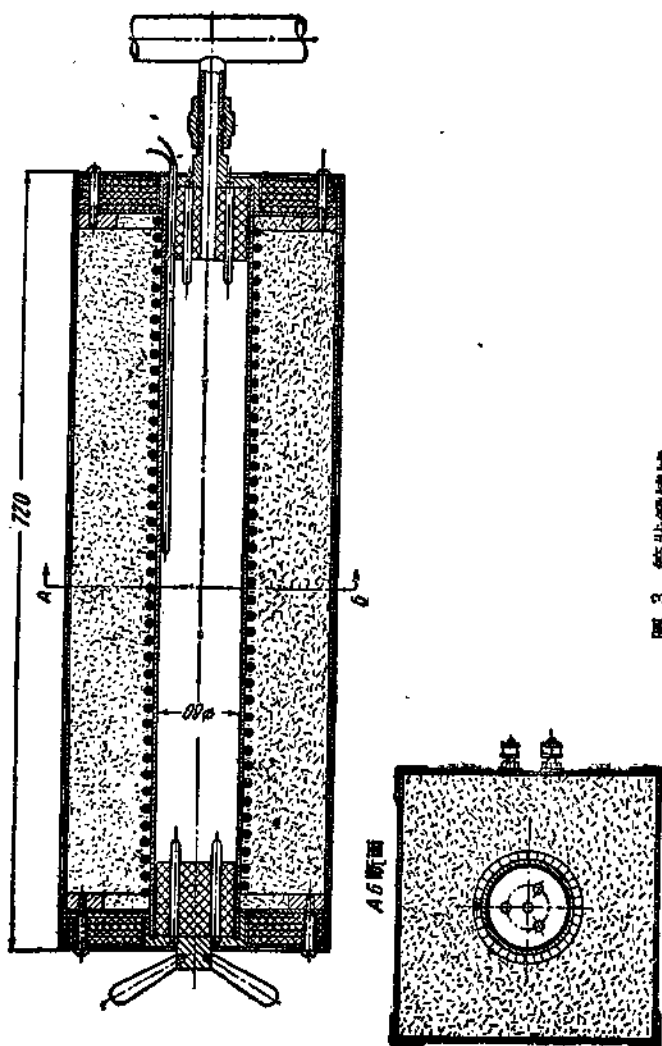


圖 3 管狀烘爐

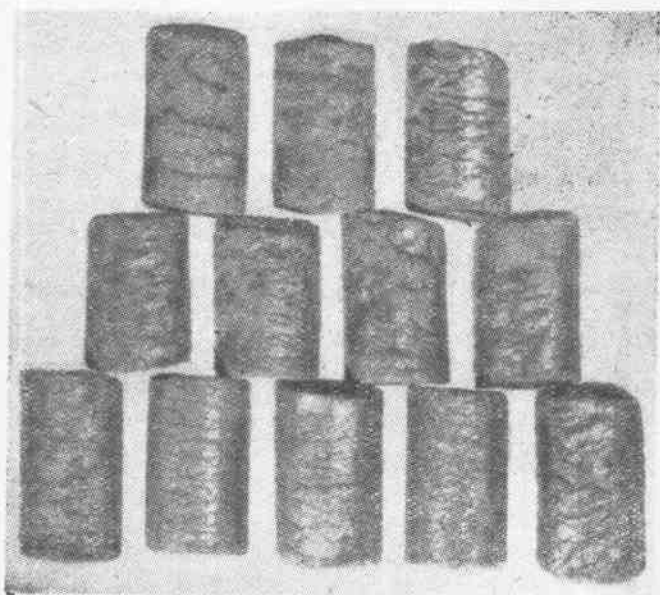


圖 4 圓柱形成型燃料樣品的外貌

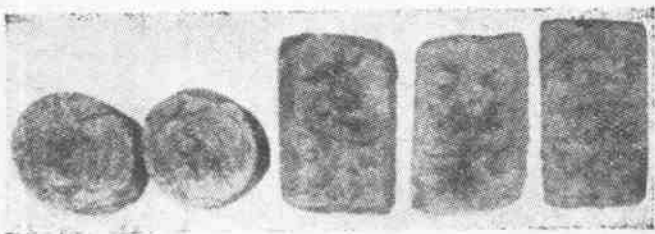


圖 5 切成兩半的成型燃料樣品

碎塊。成型燃料的反應能力和可燃性相當於一般的冶金焦炭，但當需要時可以用改變成型制度的辦法來顯著地加以提高或降低。

蘇聯科學院的裝置的缺點就是生產能力低。

迴轉圓筒的生產能力，每晝夜不能超過 50 噸。此外，當加熱時在圓筒中能加工的僅僅是弱粘結性煤，而強粘結性煤在加熱時生成流動性的膠質體，這種膠質體粘着在圓筒的熾熱壁上而妨礙過程的進行。

按照蘇聯黑色冶金工業部的決定，國立焦化工業設計院設計了並在試驗煉焦工廠中裝配了一座大型裝置，這座裝置跟上述裝置有顯著的區別，它可能成為將來煉焦工廠的原型。

國立焦化工業設計院的裝置的最主要部份就是渦旋加熱室。在這個加熱室里使處於懸浮狀態的粉煤在渦旋氣流中受到加熱。

送進加熱室的熾熱燃燒產物在加熱室中造成高速迴旋的熾熱氣流，逐漸向加熱室開放着的端部移動。從加熱室的另一端（封閉着的端部）用加料器連續地加入粉碎到 3 毫米的煤，而這些煤立刻就被熾熱的渦旋氣流所圍住。由於小的煤粒具有較大的受風面和較短的迴旋時間，因而主要是被氣流的前進移動所帶動，並且很快地即被帶出室外。顆粒的尺寸和重量愈大，則它們的受風面愈小；受氣流迴旋移動的節制愈大；同時在加熱室中停留的時間也就愈長。

這樣，加入加熱室中的煤就將因顆粒的大小和重量而成層地分离開來。由於在熾熱氣體和煤粒相互接觸時，加熱大的顆粒比加熱小的顆粒要慢些，所以在渦旋氣流室中所有的煤粒都能被加熱到同一規定溫度，這對保持過程的正確操作是非常重要的。

渦旋氣流把煤粒帶入分离器，在分离器中煤粒即從氣體載熱體中沉降下來。煤和排出氣體的溫度差是不大的。

在气体載热体中煤很快地即被加热而来不及發展其分解过程，因此不会使焦油和可燃的碳氢化合物气体殘留在排出的載热体中而造成很大的損失。同时煤也来不及充分軟化，因为它的軟化是由於热分解的結果。

煤的分解和軟化进行得較晚，即在过程的第二阶段，当煤在單独的保持设备中保持的时候进行。煤出渦旋室的分离器后即落入該设备。

由此可見，在这个裝置中，过程的第一阶段和第二阶段不是在同—个设备中进行（像苏联科学院的裝置那样），而是在不同的设备中进行的，这就使得过程易於控制。

燃料制品可以用类似苏联科学院裝置中的那种螺旋压力机来进行压型，但也可以規定分两个阶段用輥式压力机来进行压型。加热到規定溫度的煤具有很小的堆比重，而成型的制品則具有很大的視比重。所以有这样大的壓縮是因为在开始时是用平滑的輥式压力机把制品压成帶狀成型物而达到的，然后再用第二对表面上帶有凹部的輥式压力机把帶狀成型物滾輥成單个的制品。

为了燒結和鍛燒脫型制品，設計了用熾热气体在外部加热的專門爐子。这些爐子原則上和現有的連續操作的爐子沒有区别。

我們認為，成型后的燃料也可以在普通的煉焦爐組內鍛燒。这样就有可能实现煤煉焦技术的高度現代化。在現行生产的煉焦化学工厂可以增設一些煤的渦旋加热、煤的保持和燃料塊的成型等設備。

如果現有的煉焦爐組能裝入这样的燃料塊，那末就有可能在同时提高焦炭的塊度、强度和均匀性的情況下使普通煉焦爐的生产能力增加若干倍，使加工煤的范围（使用气煤和弱粘結煤）得以大大地扩大。这样就可以充份地利用現行生产工厂的设备（貯

煤場、备煤設備、煉焦爐組、化学工厂和所有輔助設備)。一个工厂如果有四座普通的煉焦爐，可以留下兩座，而在其他兩座的地方安裝煤的加热和成型的附加設備，这时工厂將比改建前能生产出更多的产品。

成型动力燃料

在煤炭工業中矿山工作机械化以后，煤中的碎煤含量大大增加，而且以后还将繼續增加。但是機車、輪船、煤气發生爐、农業和城市企業需要的是大塊煤，如果供应它們碎煤，就將造成国民經济上的損失。機車上的燃料被煙筒所帶走的很大一部份都是裝入爐子里的煤。煤在貯煤場貯存时由於自动氧化、自燃和碎裂而受到損失。在小的农業和城市企業，它的利用效率显著降低。居民区將被煙塵和煙灰所沾污。

在大型电热站燃燒煤粉和鐵路中的部份电气化並不降低煤在国民經济中利用之前預加处理的必要性。

利用新的方法，使煙煤中的碎煤可以在 20 分鐘的時間內轉變成高發热量的無煙动力燃料，这种燃料被压成坚实的、大小均匀的、圓柱体或双凸扁平体的形狀。这种燃料不会分离出碎煤，能耐湿、耐热和耐寒，不自燃，燃燒时火焰無煙；使用这种燃料只要用一些簡單的裝置就可以使裝爐和燃燒过程自动化。

新型的成型动力無煙燃料可以应用於帶有煤气發生爐的內燃機車和渦輪機車，在某些情况下也可以供作拖拉机和各种农業發动机使用。显然，这种新型的燃料还可以应用在大型的固定动力裝置中，使应用固体燃料的煤气渦輪机进行工作。

制造成型动力燃料比制造冶金燃料簡單，並且在实际上也比

較容易制造。为此，需要建立小型的、但生产能力很高的企业。

在新的热煉过程中，除成型燃料外，同时还可以得到优质的中温焦油和高发热量的煤气。

在新的过程中，不仅可以控制所得固体燃料的性质，而且还可以控制液体产品和煤气的产量、组成和质量。在这个基础上，就可以向所建企业附近的工业和居民区供应煤气。大量的未被利用的焦油和煤气可以加工成为很贵重的化学产品和人造液体燃料。这样一来，烟煤的新的加工方法就为最贵重的化学原料的利用开辟了广阔的前途，而目前这种原料却在蒸汽锅炉中白白地被烧掉。

离心力场中煤的精选

新的选煤方法的建立是跟新的煉焦技术直接有关的。两种方法的目的都是为了要从根本上来改良冶金燃料的质量并能互相补充。

现代选煤工业尚未解决的最重要的问题，就是：

1) 降低精煤中的硫含量；

2) 在利用难选煤的情况下增加精煤的产率并降低其灰份。

降低焦炭中的硫含量是苏联南部冶金工业的中心问题之一。

硫是矿物煤中最有害的杂质。焦炭中的硫份每增加1%，煉鉄爐的生产能力就要降低约15—20%；焦炭的消耗量就要增加10—15%。

在頓涅茨煤田埋藏有大量优良的煉焦煤，但都含有过高的硫份，因而感到低硫煤的缺乏。如能研究出煤的脫硫方法，就可以大大地扩大頓涅茨冶金用煤的资源。

大家知道，不管在苏联或别的国家，所有的燃料精选方法都不能保证任意地大量降低硫的含量。通常在机械选煤时硫的含量平均仅能降低15%左右，而所降低的硫含量按绝对数值计算只不过0.2—0.4%。

近代在选煤工厂中利用浮选法精选碎煤和煤泥，对精煤产率的提高起了良好的作用。但在降低硫份上用这种方法却不能得到良好的效果（因为黄铁矿和煤-黄铁矿结合物很容易浮游起来）。

煤质中共有三种含硫化合物：硫酸盐、有机硫和黄铁矿。以硫酸盐形式存在的硫含量通常不超过0.1%，因而没有实际意义。有机硫和煤质本身连在一起并包含于许多有机化合物的结构中。

任何高硫煤中，硫的基本的和主要的形式都是黄铁矿硫，黄铁矿硫是在煤质本身形成时于煤层中生成的。如果能把煤中所含黄铁矿全部除去，则炼焦煤脱硫的问题就能得到解决。在这种情况下，任何高硫的劣质煤都可以转变成中硫煤和低硫煤，而适用于炼焦。

在选煤除硫方面遇到的主要困难，就是黄铁矿在煤质中分散得非常细微。在大多数炼焦煤中，黄铁矿夹杂物的大小都波动于100—200到5—10 μ 之间。

假使原料煤在破碎过程中能生成各种含有显著不同数量黄铁矿夹杂物的颗粒组，则选煤除硫即可进行。这样的破碎和现在的选煤粒度比较将更加深入。

在备煤过程中合理的破碎确是必要的，然而还不是足够的条件。为使原料煤经过合理破碎后所得各种煤粒中的黄铁矿达到统计学上的不均匀的分布，必须采用比普通选煤过程所用的更为灵

敏和更加准确的煤分散方法。

在难选煤脱灰时也發生同样的困难。在这种情况下选煤时所以發生困难是由於矿物夹杂物在煤質中細微分佈的結果。因此，采用旧式的破碎和普通的选煤方法在很多情况下会使精煤的回收率很低，灰份很高。例如，精选卡拉干达許多煤層的煤和頓涅茨以及其他煤田的个别煤的情况就是如此。

在很多情况下煤對於灰份的难选性常常使煤失去利用於煉焦的可能性，並使国家許多重要地区的冶金工業的發展受到威胁。布列雅和南高加索的煤就是代表性的例子。而在这样的情况下如能選擇最适宜的破碎制度以及进一步精确地分开煤-矿物質的顆粒和它們的結合物，就可以大大地改善选煤的指标。

这样，在合理地建立新的选煤技术以前，必須首先进行理論研究，以奠定数学計算系統的基础。有了这个基础，就可以計算出在深度破碎被选煤时分开煤-矿物質相的最适宜的条件。

所研究出来的關於在煤破碎过程中分开矿物質的理論，对所提出的問題可以作出具体的回答。

現在用最簡單的形式来研究一下所提出的問題：原始物料由基本組份 A （煤質）和許多單个的矿物夹杂物 B （例如黃鉄矿）所組成，矿物夹杂物具有相同的平均直線大小 α 並杂乱地（按或然率）分佈在基本物質 A 的内部。

所有的夹杂物体积部份 J 和基本的矿物質体积部份 $1-J$ 比較起来，都可以認為是很小的。原始的有用矿物破碎成塊度相同或相近的顆粒，其平均直線大小为 β 。

$$\text{比例} \quad K = \frac{\alpha}{\beta}$$

被称为破碎后有用矿物的粉碎度。如下所述，实际的物料表明，