

高等学校教学用书

人造石油工学

上册

北京石油学院人造石油教研室編

石油工业出版社

高等学校教学用书

人造石油工学

上册

北京石油学院人造石油教研室編

(修訂版)

石油工业出版社

本書是北京石油学院人造石油教研室編的高等教材。上册包括固体燃料的預处理、低温干餾、高温干餾（煉焦），造气和煤气之处理等内容。

上册对前述内容作了比較全面的敘述，特別着重地闡述了低温干餾和气化这两大过程。文内列举了低温干餾和气化技术的发展，过程中所起的化学反应在理論上的闡释，影响过程的各项因素，广泛討論了現有各种干餾爐型和发生爐型的优缺点，对低温干餾和气化的发展方向。

本書在敘述过程中，尽量結合了我国具体情况，文内有些数据是取自实际操作中。

本書可作高等学校人造石油专业和化工系煉焦及造气专业的教材，亦可供石油学校人造石油专业和化工学校煉焦和造气专业的师生作参考。此外，它也是各地搞人造石油的同志們在工作上的参考和进修資料。

× × ×

本書出版后受到广大讀者的欢迎，为了更切合实际，故在重版中由原編者对全書做了一次校訂，特别是对低温干餾部分，做了較多的补充和修改。

統一書号：15037·742

人 造 石 油 工 学

上 册

北京石油学院人造

石油工业出版社

（第六版）（重版内）

出书字第08

石油

印刷 新 書店发行

*

850X

本 * 印张15 350千字 * 印1—2,000册

1959年12月北京第1版第1次印刷

定价（10）2.50元

目 录

緒論.....	1
第一章 固体燃料的預备处理.....	5
第一节 概說.....	5
第二节 固体燃料的筛分与破碎.....	6
第三节 固体燃料的精选.....	17
固体燃料精选的意义.....	17
重力选煤法.....	19
煤的浮选.....	25
选煤的工艺流程.....	27
第四节 煤砖压制.....	29
褐煤压砖.....	30
烟煤压砖.....	34
第五节 固体燃料的儲存.....	36
第二章 固体燃料的低温干餾.....	39
第一节 干餾的一般概念.....	39
干餾的定义及目的.....	39
干餾的一般过程.....	40
干餾的分类.....	42
第二节 低温干餾工业与技术的发展.....	45
第三节 低温干餾的原料.....	48
原料性質对产物产率的影响.....	48
原料性質对产物性質的影响.....	51
原料性質对干餾设备操作的影响.....	55
第四节 低温干餾的基本理論.....	57
低温干餾过程.....	57
影响低温干餾过程的操作因素.....	71
第五节 低温干餾的方法与设备.....	85
概說.....	85

外热式爐	96
气体热载体内热式爐	97
固体热载体法干餾爐	147
地下干餾法	155
第六节 固体燃料的综合利用	158
概說	158
固体燃料低温干餾产物的综合利用	158
固体燃料的动力工艺综合利用	167
第三章 固体燃料的高温干餾 (炼焦)	170
第一节 概說	170
炼焦工业的意义	170
炼焦工业发展簡史	171
炼焦的一般过程	177
第二节 炼焦用煤的选择与配制	181
焦炭的质量要求	181
炼焦用煤的选择	183
炼焦用煤的配制	185
第三节 炼焦设备及其操作	190
近代炼焦爐的基本构造和型式	190
炼焦爐的热工操作	198
炼焦用机械設備及其操作	209
第四节 炼焦方法的新发展	217
第四章 原料气及燃料气的制造	222
第一节 概說	222
原料气及燃料气对人造石油工业的重要性	222
制取原料气及燃料气的方法	223
第二节 固体燃料气化的基本理論	224
气化过程及其化学反应	234
气化反应的热力学問題	228
气化过程的动力学問題	233
原料性質对气化的影响	236

第三节 空气煤气与混合煤气	241
空气煤气	241
混合煤气	248
第四节 水煤气	253
间歇法制水煤气	256
二重水煤气及增碳水煤气	281
外热法制合成气 (迪的尔爐)	283
内热法制合成气	286
第五节 其他气化方法	289
常压下, 固体出灰使用汽-氧流的块状燃料气化	289
常压下液态排渣块状燃料的气化	292
压力下操作的气化 (加压气化)	295
粉状与細粒燃料的气化	311
地下气化	319
水平式及垂直式中溫干餾爐	322
第六节 天然气及富氧气体的轉化	325
水汽及CO ₂ 轉化法	325
以氧为轉化剂的方法 (即部分氧化法)	332
以氧化鉄作为氧载体的方法	334
甲烷直接分解法	335
第七节 氢气制造	336
水煤气轉化法制取氢气	336
鉄-汽法制氢	342
富氢气体低溫分离法制氢	345
电解法及其他	349
第八节 造气工段的操作、控制与保安	349
造气工段的操作与控制	349
造气工段的保安問題	353
第五章 粗煤气的处理	356
第一节 概說	356
粗煤气处理的意義	356
粗煤气的成分与性質	357

粗煤气处理的基本方法	360
粗煤气处理的基本流程	361
第二节 煤气的除尘、冷却与除焦油雾	362
煤气的除尘	362
煤气的冷却	378
煤气除焦油雾	390
第三节 煤气中氨与吡啶碱的回收	392
水吸收法回收氨	393
硫酸吸收法回收氨	398
氨回收方法的选择	408
吡啶碱的回收与制取	410
第四节 煤气中轻油的回收	415
冷冻压缩法	417
油吸收法	418
活性炭吸附法	431
第五节 煤气的脱硫	433
干法脱硫	435
氧化法湿法脱硫	444
循环法湿法脱硫	451
有机硫的脱除	462
脱硫方法的选择	465
第六节 煤气中其他杂组份的脱除	467
二氧化碳的脱除	467
一氧化碳的脱除	471
煤气中萘、氰化氢、水份和氧化氮的脱除	473
第七节 煤气的输送与储存	477
煤气输送管道	477
煤气输送机械	480
煤气储存	483

石油工业在解放了的新中国获得了飞跃的发展，1957年的原油产量是146万吨，相当于1949年的12倍，解放后石油工业取得了很大的成绩，这是由于党的领导、工人们的努力和驳斥了帝国主义学者认为“中国是贫油国家”的荒谬而别有用心的理论的结果。石油工作者建立了信心，积累了丰富的经验，这就为石油工业大发展奠定了良好的基础。虽然如此，1957年的石油产量实在太少，不能满足全民的需要，与国内的其他工业发展速度相比，石油工业仍是个薄弱环节，并未摆脱落后的面貌。1958年党中央提出发展石油工业的基本方针是天然石油工业及人造石油工业同时并举，中央工业与地方同时并举，大中小型企业同时并举，洋法生产与土法生产相结合，这样就形成全民办石油的局势，发挥地方和群众的积极性，使石油工业在全国范围内遍地开花成为可能。在党的正确方针的指导下，也就是说在社会主义建设总路线光芒的照耀下，我们石油工业将获得史无前例的飞跃发展，人们的思想得到了解放！

我国石油产量的数字儘管在绝对数字上几年后将会有更大的增长，但以每人平均所有油量计仍嫌过低。这就摆在我们面前一个艰巨的任务：我国石油工业如何能更快的赶上世界先进的生产水平。

人造石油与天然石油并重的总方针是非常正确的。天然石油的资源现在已如雨后春笋不断地涌现，以我国这样广阔的地区，这样众多的人口，地区的条件和资源情况亦有区别，发展人造石油工业不但不会与天然石油工业有丝毫矛盾之处，而且是相辅相成共同前进，为石油工业的跃进各尽其能。人造石油工业的发展是与煤炭和油母页岩的综合利用分不开的，我国煤炭的藏量、品种、性质或地区分布等各方面的条件是很有利的，据1957年一月份

統計，我国煤炭藏量为330亿吨。其中烟煤佔84.6%，无烟煤佔12.1%，褐煤佔3.3%。我国的煤炭估計藏量为1—1.5万亿吨，全世界估計煤藏量为13万亿吨，我国即佔約10%左右。当然随着地質勘探工作的大力展开，煤炭远景儲量仍会不断提高。油母頁岩的藏量据最近数字約为400—500亿吨，尚未探明地区还很多。

我国烟煤佔总量84.6%，无烟煤很少。在烟煤中，高揮发分的烟煤又佔其总量的四分之三，含油率很高，一般为8—10%，很多地区的煤的含油率在12%以上，最高的达20%，这对发展煤炼油工业提供了优越的资源条件。

我国煤炭的分布比較普遍。全国两千多个县中已經有一千多个县有煤，就已探清的情况来看，藏量最大的有山西、河北、內蒙、河南、陝西、甘肃和东北各省、自治区。其他省、自治区都有或多或少的蘊藏。

儲量丰富、煤質优異、分布普遍就是我国煤炭资源的基本特点。油母頁岩的情况与煤炭有类似之处，主要产区有辽宁、陝西、吉林、甘肃、广东、內蒙、山西、四川、云南、广西、湖南、江西等省及自治区。頁岩矿的質量尚无法評定其究竟系貧矿抑为富矿，因为各地正在不断地发现新矿苗，含油率到10%者不在少数。

作为人造石油的原料，除煤及油母頁岩外，尚有天然气及其他工业气体，如高爐气中即含有約30%左右的一氧化碳，也可考虑与水汽混合作为油相合成石油的原料气。由于固体燃料、气体燃料的綜合加工方法的发展，制取人造石油的方法是多样化的，儘管方法各有不同，但均应符合一个总的原則——要更合理地綜合利用天然資源，这就是我們在采用制取人造石油的方法时要时刻注意的根本問題。

人造石油工学是以燃料化学科学知識为基础，研究如何在具体的技术經济的条件下，在工业規模上实现制取人造液体燃料方法和寻找新的更合理的加工途径。以油母頁岩的低溫千餾为例，

燃料化学是研究頁岩的組成，油母在热分解过程中的机理及其在實驗室条件下的焦油产率；而人造石油工学則研究如何用最有效的方法从油母頁岩中取得大量的頁岩油，这里將包括采用那一种爐型，用什么溫度条件，用什么设备来回收頁岩油以及頁岩油的加工方法等問題。除了講述工业情况外还要討論改进的途径，如为了更合理的进行頁岩加工，曾經大量被拋棄的小块及粉末頁岩，我国已經用小块頁岩成堆干餾方法解决这个問題。然而这些利用小块頁岩的方法是否就到此为止或已尽善尽美？显然不是，还应寻找更好的办法来进行加工。

人造石油工业的工艺方法是沿着这样四个方向前进的：

1. 固体燃料的干餾包括低温、中温及高温三种不同的途径，虽然低温干餾仍是主要的途径，但中温及高温干餾工业所能提供的人造原油的来源亦不可忽視，因为后者除提供一定量的原油外尚能生产更有經濟价值的化学品。

2. 固体燃料的气化及气体合成石油包括褐煤，烟煤的完全气化以取得焦油及大量的合成石油的原料气体，或經干餾以取得焦油后所剩半焦再去气化，或用无烟煤制成水煤气而为合成原料气体；在这方面方法很多，总的趋向是气体（ CO 及 H_2 ）在催化剂存在的条件下，合成为液体燃料及若干有机化合物，在我国亦將大为发展，尤其是在我国铁剂合成法研究成功后已为合成石油开辟了广闊的道路。

3. 重質殘油及重焦油的加氫虽是油加工的重要方法之一，从人造石油工业角度看，它已經成为扩大輕質油品和提高油品使用价值最有效途径。加氫所用压力將儘量降低到几十个大气压下进行，而代替过去200—300大气压的操作。至于煤的破坏加氫法，由于工艺程序复杂及使用压力太高，已不复引起人們的注意。

4. 气体的化学加工工艺包括自天然气（主要是甲烷）及其他含氫的气体（例如热裂化的气体）制取合成原料气、氫或化学品等方法。这方面的工业基础在我国仍极薄弱，現已引起极大的注意，特别是由于烯烴的需要很多，从气体烷烴制取烯烴的方法已

成为当前迫切需要建立的工业任务了。

上述四方面的知識是本書的主要內容；必須指出，作为一个人造石油工程师應該了解到低温干餾工业在若干地方是在高温干餾工业基础上发展起来的。人造油的加工是借鏡于天然油加工方法和生产技术，所以它不但不能忽視高温干餾及天然油加工中的基本知識，今后仍应随时注意吸收其生产技术中先进的部分，以充实人造石油工业的技术內容。所以本書还用一定的篇幅来講述高温干餾及天然石油加工的內容。

最后关于本書編写方面应补充几点說明：

1. 由于教学的要求以及各方面对人造石油有关書籍的需要，我們就將原有的“人造石油工学”教学講义，稍經修改就赶于付印了，因此在內容方面，未能仔細研究与重写。尤其是1958年的大跃进，各方面都出現了很多技术改进，也未能及时总结进去，加以編写人造石油工学还是我們首次的尝试，所以一定免不了会有不少錯誤和不到之处。

2. 本書的內容系按人造石油专业的要求而編写的，在高温干餾方面（炼焦工业）、燃料煤气的制备方面，予以不少的精简，故对燃料化学工学专业的学生有嫌不足之处，但此書仍可作为該专业学生的主要参考書。

3. 本書所述內容，在許多敘述性部分，若学生能在学习人造石油工学課前到工厂有較长时期的实习，則可簡要介紹或結合工厂講課以求能更好的理論結合实际。

4. 人造石油工学应包括若干有关計算的內容，該部分受本課程內容系統性的限制，未予列入。

5. 本書編写对象是以工科学院人造石油专业的学生及工程技术人員的水平为准则，所以在普及人造石油技术科学知識上可能注意得不夠，而在具体专业內容上亦有不少缺点，尚請讀者本着提高本書質量以适应全国人民要求的精神，提出宝贵的意見和建議，这是我們殷切的恳求，我們衷心期待着讀者的帮助。

第一章 固体燃料的预备处理

第一节 概 說

人造石油工业最主要的原料是煤和油母頁岩，通过化学加工的方法，可以將它們轉化为液体燃料及各种化学品。但是从矿坑中开采出来的原煤或原頁岩，不适宜于直接进行化学加工，通常需要作一系列的预备处理，主要是采用机械和物理化学的方法，来改变原煤或原頁岩的物理及化学特性；例如区分和改变燃料块度的大小，清除混杂在原煤中的矽石和雜質等。

固体燃料预备处理的意义，首先在于保証化学加工成为可能；到目前为止，还没有一种化学加工的工业設備，可以直接处理几百毫米以上到几个毫米以下混杂在一起的原料。经过预备处理，往往可以大大提高化学加工过程的经济性，例如用于直接加氢液化的煤，它的灰份应该儘量降低，因为灰份使液体产物的收率降低，浪费高压設備的容积，并且导致設備的磨損。同时，预备处理可以保証和提高化学加工产物的質量，降低干餾时焦炭的灰份和含硫量，减少焦油和煤气中的雜組分；这样就扩大了固体燃料化学加工的原料来源，例如一些原来不宜于炼焦的煤，经过适当的预备处理，就可以成为炼焦的原料。随着固体燃料加工技术的发展，將原煤通过预备处理，区分为大小不同性質互異的若干类别，然后按照它們各自的特性，选择最适宜的化学加工方法及利用途径，这样，就可以更合理更有效地綜合利用国家的資源。

最主要的预备处理方法是：篩分、破碎、精选与压砖。篩分与破碎的目的通常是使煤或油母頁岩的块度均匀，大小合适；精选的目的在于除去夹杂在原煤中的矽石等雜質，从而降低煤的灰

份、硫份等的含量；压砖的目的是將細小的煤末压制成大块的煤砖，改善原料的机械性質。

固体燃料在化学加工前需要經過那些步驟的預备处理，决定于两个因素，即燃料本身的性質以及化学加工方法对燃料性質的要求。應該十分明确：每增加一次預备处理的手續，就必然使得燃料的成本提高一步。由于原料費总是燃料化学加工成本中最主要的一項，因而就会显著影响总的經濟核算。另一方面，缺少必要的預备处理步驟，也会造成化学加工时的操作困难，导致生产能力降低和产品质量变坏等恶果。所以在考虑采取对某一燃料的化学加工方法时，應該同时考虑原料的預备处理問題。

由此可見，虽然固体燃料的預备处理通常不屬於燃料化学加工工艺学的范畴，它本身自成一門專門的科学，但我們对于固体燃料預备处理的基本問題，則应有必要的認識。

第二节 固体燃料的篩分与破碎

从矿坑中开采出来的原煤或原頁岩，块度极不整齐，其大小視燃料的性質与开采的方法而異，手工开采和露天开采的大块燃料块径可达数百公厘至一公尺以上，而利用康拜因等机械开采时，几公厘以下的碎块，往往达到总量的30—60%之多。

燃料的进一步加工通常都要求較为整齐的块径。例如块径为几十公厘的块煤和几公厘以下的粉煤，無論是破碎、精选、干餾、气化等作业，都需采用截然不同的設備；为了按照块度大小將燃料分級，必須进行篩分。因之篩分是燃料加工必要的輔助过程；它的工作質量的优劣，往往会严重影响燃料加工的主要过程。

篩分工作的質量由篩分效率来表示（或称为篩子的有效率工作系数 $K_{\text{П.Д.}}$ ）。所謂篩分效率，就是在操作中实际透过篩子的粒子重量与原料中可以透过篩子的粒子重量的比值。如全部可篩过物經過篩后完全篩出成为篩下产品，則篩分效率为100%；实际篩分的效率通常在60—90%左右。

例如原煤中含有10毫米以下的細煤60%，但在全部篩分过程中透过篩網的10毫米以下細煤，只有54%。則：

$$K_{\text{П.Д.}} = \frac{54}{60} \times 100 = 90\%.$$

影响固体燃料篩分效率的主要因素是：

1. 篩孔与过篩物的形状。由于頁岩的形状是扁平的，因之远較煤粒难于篩清；狹长的篩孔較圓形篩孔有較高的篩清能力，但在篩分頁岩时，易造成太块頁岩的漏过现象。在选择篩子篩孔时，通常应取篩孔尺寸略大于需要透过篩子的燃料顆粒尺寸。

2. 燃料的潮湿情况。燃料愈潮湿，篩分的效率愈低。这在篩除較細的碎煤与粉煤时尤为显著（表1-1）。在潮湿的情况下，碎块容易积聚成团，細小的粉末容易粘附在大块上，而且易使篩孔堵塞。煤的水份在2%以下时，篩分很易进行，当大于4%时，即感困难，而当大于6%时，則往往引起篩孔堵塞，而使篩分工作十分困难，直到无法进行。

煤的水份与篩分效率的关系（振动篩） 表 1 - 1

煤 的 水 份, %	篩 孔 大 小		
	3 公 厘	4.5 公 厘	6 公 厘
干 燥 煤	95%	95%	95%
1	95%	95%	95%
2	60%	75%	85%
3	20%	50%	70%
4	堵塞	20%	40%
5	—	堵塞	20%
6	—	—	堵塞

3. 燃料与篩孔的接触。欲使篩分效率增高，应使燃料与篩孔充分接触。因之保持篩上燃料层薄而均匀，物料在篩上有足够的

停留時間，或使篩子運動以震盪篩上的物料增加接觸機會，都可以提高篩分的效率。

篩子的種類繁多，篩分固體燃料時應用最廣泛的有固定篩、轉軸篩、搖動篩和振動篩等幾種。

常用的固定篩，有以金屬棒組成的棒篩（圖1-1），在鐵板上沖孔的圓孔篩和細篩時應用的金屬絲編織成的網篩等種。固定篩的優點是結構簡單，設備與操作費用均極低廉；缺點是篩分效率低。在進行100公厘以上的大塊煤或頁岩的粗篩時，固定棒篩由於它的堅固耐用，因之應用較廣。固定的圓孔篩和網篩，生產能力和篩分效率太低，故很少應用。

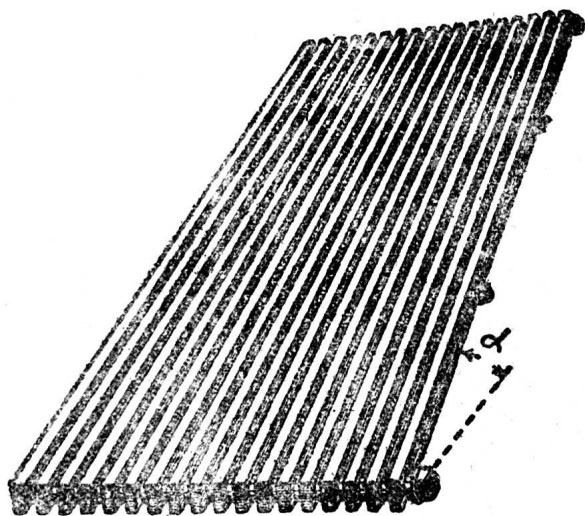


圖 1-1 固定棒篩

α —篩子的傾角。

安設固定篩時的傾角，對廠房高度和篩分效率都有直接的影響。傾角應較煤與篩面的摩擦角為大，通常在 25° — 45° 之間。當被篩物的顆粒較細、水份較大時，為了避免篩孔的堵塞，應選用較大的傾角，因而佔用廠房的高度也較大。

質地松脆的煤採用固定棒篩時，容易發生煤塊粉碎的現象。

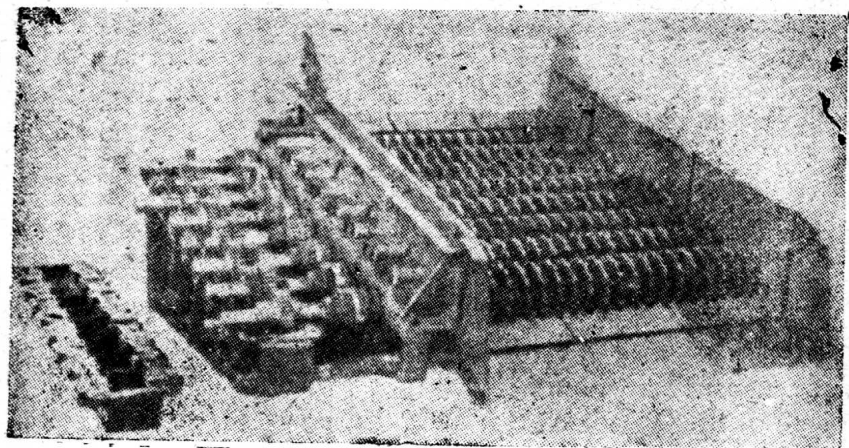


图1-2 轉軸篩

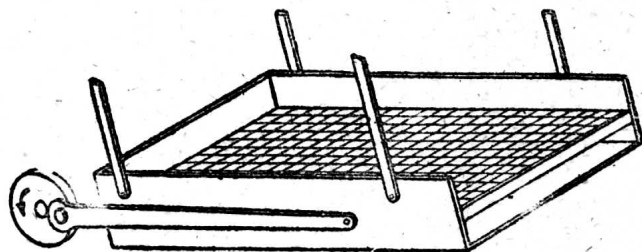


图1-3 搖動篩

轉軸篩（图 1 -2）的轉軸有推移篩上物料的作用，因之安設時不需很大的傾角（不超過 15° ），且物料通過時比較平穩，不

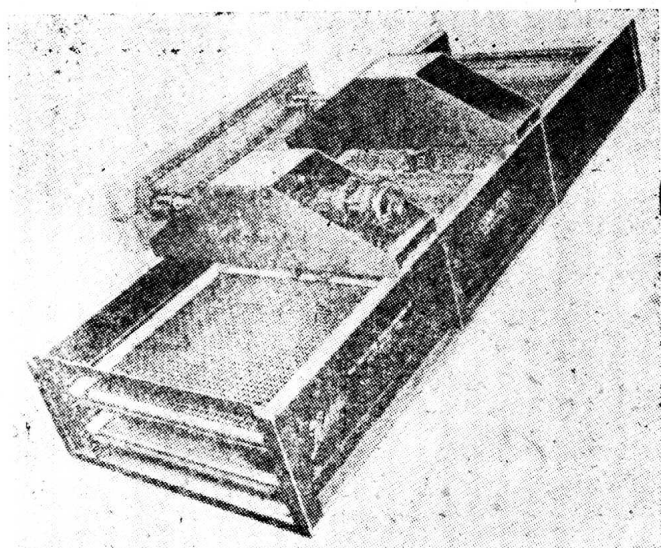


图1-4 振动筛

易造成大块的粉碎，处理能力也很大，因之常常应用于生产量很大的筛分大块燃料而不希望燃料粉碎的场合，例如筛分各级大块无烟煤、褐煤、页岩和焦炭等。它的缺点是设备笨重，转轴的齿轮传动系统复杂，因而价格较贵和需要经常维修。

转轴筛不宜应用于固体燃料的细筛。

摇动筛的型式很多，图1-3为其一种，其基本作用原理是利用机械运动使筛面摇摆，而达到提高筛分效率的目的。摇动筛往往可使筛料移动前进，故安设时倾角很小，甚至可以水平设置。

快速摇动筛每分钟前后运动达400—500次，当筛子向前运动时，筛面稍微升高，煤与筛面一齐向前，当筛面下落后退时，煤与筛面之间几乎没有摩擦力，故煤不随筛面后退，这样，煤就在筛面上颠簸前进。

快速摇动筛广泛应用于40公厘以下煤粒的筛分，但由于其传