

焦炉·无烟·装煤

JIAOLU·WUYAN·ZHUANGMEI

〔苏〕A.B.哈吉欧格洛 等著

秋 枫 译 王福成 校

冶 金 工 业 出 版 社

焦炉无烟装煤

〔苏〕A.B.哈吉欧格洛等 著

秋 枫 译

王福成 校

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书译自苏联1978年出版的《Бездымная загрузка коксовых печей》一书，专门讨论湿煤与热处理煤无烟装炉的理论与实践。书中着重介绍苏联目前掌握的、带有烟气抽吸与净化系统的装煤车进行热处理煤和湿煤无烟装煤的方法。此外，还系统地介绍了普列卡邦埋刮板输送机装煤方法和考泰克管道装煤方法。

本书可供从事焦化专业 and 环境保护的科技人员使用，对有关院校师生也有参考价值。

焦 炉 无 烟 装 煤

(苏) A.B. 哈吉欧格洛 等 著

秋 枫 译

王福成 校

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 5 1/4 字数 135 千字

1984年11月第一版 1984年11月第一次印刷

印数00,001~2,000册

统一书号: 15062·4135 定价1.00元

前 言

苏联焦炭生产从1961年就占世界的第一位。无论是苏联、还是其它黑色冶金工业发达的国家，焦化工业发展速度快，主要是由高炉炼铁的规模（大约需用全焦总量的70%左右）所促进〔1〕、〔2〕。黑色冶金发展方向的科学预测证明，高炉在生铁生产方面仍然起着重要的作用；同时其它工业部门（化学、有色冶金、铸造等生产部门）对焦化产品的需用量也在增加。

分析焦化工业技术与工艺的目前状况与发展趋势表明，用室式焦炉生产高炉焦的方法，现在是，将来仍是占主导地位。为满足国民经济对焦炭需求量不断增长的要求，必须继续改善炼焦工艺，以提高炼焦产品的数量和质量。为此，必须减少污染环境的排放物和使笨重的生产流程实现机械化与自动化。

目前的室式焦炉炼焦的缺点是有大量烟尘排出。焦炭生产的增长导致有害气体排放量增加〔3〕。加上繁重的劳动条件造成招聘工作人员困难。

装一吨水分8~10%的煤料，平均生成3~5米³烟气，其中含有10~60克/米³灰尘〔4~7〕，有一部分飘散在周围大气中。焦化企业中大约有70%左右的放散物是在炭化室装煤时排入大气的〔8〕。装煤时排出的烟尘能使设备加速磨损，并且严重妨碍炉顶作业的机械化和自动化。

苏联和其他国家在工业上普及的以喷射办法将煤气引入集气管的无烟装煤法也有不足之处，如带走灰尘，使煤焦油中的灰分增加、焦炉煤气中氧化氮量增加、上升管结石墨等。喷射无烟装煤法，在煤料水分小于8%时很难使用，而对热处理煤则根本不能使用，因会增加集气管中煤气含尘量〔8〕。

必须注意到，强化炼焦过程受四大车运转时间限制，特别是受运转频繁的装煤车限制〔9〕。此外，喷射装煤法还要求装煤车

22-97/04

按顺序装煤。

由此可见，制定比较完善的炭化室无烟装煤法是一项现实的课题。焦化企业环境污染的程度、改善劳动条件的可能性和炼焦生产的强化，在很大程度上都取决于这个问题的解决。采用煤预热能提高焦炉生产能力30~50%，改善焦炭质量和扩大炼焦原料基地，但不用特殊装煤方法根本不可能实现^[10~12]。

本书作者长期在实验室、半工业和工业试验条件下研究了用装有烟气抽吸和净化系统的装煤车往炭化室装入预热煤和湿煤的方法。

作者在收集与分析技术文献时积累了有关各种装煤方法的大量情报资料和试验的资料，可以认为这些资料对焦化工作者是有一定意义的。

把所有资料系统地整理，可以概括说明苏联和其他国家所使用的焦炉装煤方法的特点和为此所做的研究（见第二、第三与第八章）。特别值得注意的是装有烟气抽吸与净化系统的装煤车装煤法，这种方法在苏联尚处于工业试验阶段。第一章与第四~七章记载作者在乌克兰煤化学研究所和哈尔科夫焦化试验厂所做的工作结果。

整理本书的手稿时，P.З.列尔涅尔提出许多宝贵意见，对此，作者深表感谢。同时也感谢参加研究与设计工作的国立焦化设计院和该院所属斯拉维扬斯克焦化机械设计研制所，以及哈尔科夫焦化试验厂的同事们。

本书著作者：一、四、五、七章为A.Б.哈吉欧格洛；三与六章为B.И.布特科；二与八章为B.Г.扎什克瓦拉、B.И.布特科、B.Б.加弗里科夫与Г.Н.库罗皮亚特尼克等。

目 录

前 言

第一章 煤料的物理机械性质及其装炉条件	1
第一节 煤料的移动阻力和煤斗拱口的流体压力半径	3
第二节 煤料的外摩擦系数	7
第三节 煤料的动力密实	8
第四节 装煤高度对煤料自然倾斜角的影响	16
第五节 炭化室模型装煤	18
第六节 无烟装煤法的发展方向	25
第二章 喷射法无烟装煤	27
第一节 苏联用蒸汽喷射抽吸烟气进行无烟装煤的研究	27
第二节 其他国家对蒸汽喷射无烟装煤的研究	36
第三节 喷射器型式及其工作效果	40
第四节 推荐使用的蒸汽喷射无烟装煤法	46
第五节 提高蒸汽喷射无烟装煤的效率	49
第六节 喷射压缩焦炉煤气或氨水的无烟装煤法	53
第三章 用有烟气抽吸和净化装置的装煤车的无烟装煤法	55
第四章 用有烟气抽吸和净化系统的装煤车装热处理 煤料的无烟装煤法	69
第一节 装煤工艺方法的选择和依据	69
第二节 工艺因素对热处理煤料装炉过程的影响	72
第三节 热处理煤料装炉时烟气的成分和数量	84
第四节 热处理煤料装炉过程中的物料平衡和热平衡	90
第五节 抽吸系统放散出的烟气与煤泥水中的有害物质含量	93
第五章 用有烟气抽吸和净化系统的装煤车装湿煤的 无烟装煤法	96
第一节 工艺因素对湿煤装炉过程的影响	97
第二节 装湿煤时烟气的组成和数量	104
第三节 湿煤料装煤过程的物料平衡与热平衡	109

第四节	从抽吸系统放散掉的烟气、周围空气和煤泥水中有害物含量.....	112
第六章	装煤车烟气净化系统强化除尘和煤泥水的利用.....	115
第七章	用有烟气抽吸与净化系统的装煤车无烟装煤法的比较和完善	124
第一节	装煤过程工艺指标的比较分析.....	124
第二节	无烟装煤法的改进.....	128
第三节	无烟装煤法的经济效果.....	135
第八章	炭化室用装煤车以外的方法装煤.....	137
第一节	用不同机械装煤.....	137
第二节	风力输送装煤.....	139
参考文献		155

第一章 煤料的物理机械性质 及其装炉条件

煤料从装煤车煤斗中均匀地流出是保证焦炉无烟装煤的一个基本条件，可以保证煤料装炉速度与烟气抽吸相适应，缩短装炉时间，保证净化装置的负荷稳定。

可是，往往由于棚料^[13]的缘故而破坏细粒物料由煤斗中流出的均匀性。

一些作者的研究^[14~16]表明，在排放松散物料时，料斗排料口的上面形成动力拱，承受上面物料层的压力并把压力传到料斗壁上。动力拱的上面，彼此相接触的颗粒进行运动，而从下面开始，颗粒逐渐加速自由下落。因此，在等于0.5~0.7料口直径的区间，排放松散物料的速度与料柱高度无关^[14]。这个区间表明煤斗排料口上面形成动力拱的位置，而且一般是取决于松散物料的物理机械性质。

动力拱是由于松散物料颗粒在料斗各个部位（如正对排料口的中间和靠料斗壁处）的流速和特点不同，在流出时互相挤压形成的。如果高分散性物料具有粘度（粘着性），特别是水分较大的时候，就可能出现各颗粒之间的粘着力与其重力相等而形成静力拱和物料停止流动。

在静力拱形成方面，P.И.津科夫的理论和试验研究^[17]很值得注意，他的意见是，只有根据松散物料的物理机械性质正确地选择排料口的尺寸，才能够保证料斗顺利工作。

根据拱的形成理论的基本原则，松散物料的流动取决于物系平衡遭受破坏时物料颗粒间产生的移动阻力。移动阻力是由内摩擦和粘着力这两种因素决定的。生成静力拱的根源是松散物料的粘性，即初始移动阻力（咬合力）值 τ_0 。无粘性物料 $\tau_0=0$ 。

理论规定, 极限切应力 τ_0 与松散物料在负荷作用下产生的正应力 σ 之间的关系为:

$$\tau = \tau_0 + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (1)$$

式中 $\operatorname{tg} \varphi$ ——松散物料的内摩擦系数。

拱口流体压力半径 R (拱口截面积与其圆周的比) 同样与松散物料的物理机械性质有关:

$$R = \frac{\tau_0(1 + \sin \varphi)}{\gamma} \quad (2)$$

式中 γ ——松散物料的堆比重。

为了不形成静力拱, 拱口的最小 (极限的) 直径 D , 等于 $4R$ 。

因此, 关系式 (1) 对于确定松散物料流动性和确定形成拱口极限直径都具有理论和实际的意义。

这一理论在研究各种粘性物料形成拱的过程时得到了证实。这一理论指出, 初始移动阻力足以说明对形成拱有影响的几种主要因素 (水分、密度、粉碎程度) 的综合效果^[13]。因此, 根据形成静力拱的容器放空速度来评定粘性松散物料流动性的方法是不全面的。

制造了许多装置, 用于防止各种粘性物料在固定贮槽里形成拱和棚料^[13]、^[18~21]。为了振落装煤车煤斗里的湿煤料, 在苏联的实践中广泛采用小型振动装置^[22]。

这些装置并不是经常有效的, 在形成静力拱时不但不能将拱振落, 反而会使煤料更密实, 拱也就更坚固。

用不锈钢制作煤斗和把煤斗壁涂油, 或者在煤料中加油来减小外摩擦系数 (后者同样会降低内摩擦系数), 会显著地改善煤料的流动过程。

为了使煤料从装煤车的煤斗中尽快地流出, 煤斗中装设通往外面的管子, 放料时使空气进入煤料中的最大负压区^[23]。

加快煤料从装煤车煤斗的流出速度不单纯是缩短装炉时间, 而且也增加了炭化室中煤料的堆比重, 并能改善焦炭质量。但不能随意加快煤料流出速度, 否则不能与烟气抽吸装置的能力相适

应，从而影响无烟装煤的效果。

预热煤料装炉产生的困难更多些，对这种煤料的物理机械性质的研究还不够。设想，干燥煤料的流动性与理想的松散物料的流动性相似，形成静力拱的可能性很小。但据我们所做的预试验表明，当煤斗内干燥煤料捣实后就不能消除不均匀放料和拱的形成。

同样，对各种湿度的煤料往装煤车煤斗里装煤、运输和往炭化室装煤时产生的静负荷和动负荷的作用下的性状研究也不够。

综上所述，从分散物料的力学原理出发，研究煤料物理机械性质并找出装煤时改变这些性质的规律性是必要的。

由于水分、密度和粒度对松散物料粘性起主要作用^[17]，曾用数学法研究了煤料物理机械性质与上述因素的关系（乌克兰煤化学研究所技术科学硕士M.B.鲁利耶参加这项工作）。

利用工业设备进行这项综合研究，实际上是不可能的，因此，这项工作在实验室完成。

研究对象是哈尔科夫焦化试验厂的煤料，它的组成是南方厂典型配煤组成(%)：Г40；Ж30；К15；ОС15。

煤料的颗粒组成：

粒级，毫米	>6	6~3	3~1	1~0.5	0.5~0.25	<0.25
含量，%	5.6	11.6	18.5	24	19.7	20.8

第一节 煤料的移动阻力和煤斗拱口的流体压力半径

在使用不同湿度和不同粒度的煤料的条件下研究了关系式(1)。

将能造成煤料密实的正应力 σ (公斤/米²)、煤料的粉碎度(<3毫米粒级的含量) Σd (%) 和煤料湿度 W (%)作为自变数(因素)。在选择因素变差程度时，考虑了因素可能的变化幅度(表1)。

煤料粉碎度是以改变大于3毫米和小于3毫米粒级的含量比进行调节的，而需要的湿度则是用干燥或加水润湿的办法解决。

将极限切应力(移动阻力) τ (公斤/米²)(Y_1)和静负荷时煤料的堆比重 γ (公斤/米³)(Y_2) 作为因变数。

煤料的移动阻力按照所熟悉的研究方法, 用摩擦力计(图 1)测定[17]、[24]。作用到摩擦力计上的料箱内煤料的正应力按下式确定:

$$\sigma = P/F \quad (3)$$

式中 P ——荷重板、箱盖和料箱内的煤料的重量, 公斤;

F ——料箱截面积, 米²。

表 1 因素变化幅度

变差和因素界限	正应力 σ 公斤/米 ²	煤料粉碎度 $\Sigma_0^3 d$ %	煤料水分 W , %
零限 ($x_i = 0$)	195	83	5
变差 (δ_i)	45	8	5
上限 ($x_i = +1$)	240	91	10
下限 ($x_i = -1$)	150	75	0
符号	x_1	x_2	x_3

$$\tau = (G - m)/F \quad (4)$$

式中 G ——使装料的料箱移动的配重盘中砝码的重量, 公斤;

m ——补偿空料箱运动阻力的配重盘和砝码重量, 公斤。

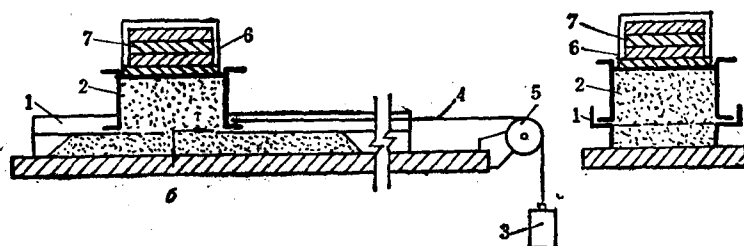


图 1 摩擦力计系统图

1—固定溜槽; 2—活动料箱; 3—配重盘; 4—拉绳; 5—滑轮;

6—框; 7—荷重板

堆比重是按施加静负荷后料箱中煤料的重量和体积进行计算

的。

曾做过完整的 2^3 型因素试验^[25~29]，其结果的回归分析表明，当值为0.05时，所研究的关系完全符合下列方程式：

$$Y_1 = 162.4 + 28.6X_1 - 6.9X_2 + 23.1X_3 + 2.9X_1X_2, \quad (5)$$

$$Y_2 = 696.8 + 16.2X_1 - 8.5X_2 - 117.5X_3, \quad (6)$$

式中 $X_1 = (\sigma - 195)/45$;

$$X_2 = (\sum d - 83)/8;$$

$$X_3 = (W - 5)/5.$$

当将变数 X_1 、 X_3 换为自然数 σ 、 W 时，回归方程(5)可写成下式：

$$Y_1 = (27.9 + 2.1W - 6.9X_2) + (0.571 + 0.013W)\sigma \quad (7)$$

比较方程(1)与(7)表明：

$$\tau_0 = 27.9 + 2.1W - 6.9X_2,$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 0.571 + 0.013W$$

对所得方程的分析可作出一系列结论。

干煤料[●]($W < 2\%$)是粘性介质($\tau_{0\min} = 27.9 - 6.9 = 21$)，因而具有形成静力拱的能力。

显然，干煤料的粘性是由于煤料密实时，颗粒互相咬合所致。随着煤料水分增加和粒度增大，放料时形成拱的可能性也越大。

在所研究的范围内，提高正应力会使煤料中的极限切应力增大，煤料中水分越高，切应力越大。

在所研究的可变因素变化范围内，煤料堆比重的指标与可变因素的关系是直线关系，而且煤料水分的作用是相当大的。确定与水分这个关系的直线性质应加静负荷。

所求得的关系和方程(2)可以计算各种水分和粉碎度的煤

● 这项研究开始时和以后研究之前所做的空白试验都未能确定干煤料(水分 $< 2\%$)与预热煤料(加热到 $150 \sim 170^\circ\text{C}$)有什么区别，因此，“干煤料”和“预热煤料”这两个术语是同义的。

料的物理机械性质指标 (表 2)。

表 2 的数据证实干煤料比湿煤料粘结性小, 因而有较高的流动性, 但是, 无粘性 (理想松散的) 介质是没有的。因此, 把干煤料当作理想松散介质, 其根据是不足的。

表 2 煤料的物理机械性质

煤 料 的 参 数	煤 料 水 分, %					
	0			100		
	<3 毫 米 粒 级 含 量, %					
	75	83	91	75	83	91
初始移动阻力 τ_0 , 公斤/米 ²	34.8	27.9	21.0	55.8	48.9	42.0
内摩擦系数 $\operatorname{tg} \varphi$	0.571	0.571	0.571	0.701	0.701	0.701
堆比重 ^① γ , 公斤/米 ³	823	814	805	588	579	570
拱口流体压力半径 R , 米	0.063	0.051	0.039	0.149	0.133	0.116
拱口极限直径 D_a , 米	0.252	0.204	0.156	0.596	0.532	0.464

① 换算成干煤料。

湿煤料形成拱口的极限直径大于炭化室的宽度, 因此, 为了使装煤车煤斗放煤稳定, 必须采取防止形成拱的措施。

如果形成拱的区域内的堆比重为表 2 所示的数值, 干煤料流放应是均匀的。此堆比重与静负荷的作用是相适应的。与此同时, 从煤塔往装煤车装煤和装煤车运行时所产生的动力负荷对煤料的物理机械性质也起很大的作用。

实际说来, 动负荷的作用对煤料起到附加的密实作用。为评价这种作用, 曾做过模拟动力密实煤料的试验。为此, 在摩擦力的料箱里装入一定数量的煤料, 分层捣固使其堆比重达到工厂条件下的堆比重 (干煤料和湿煤料以干基计算, 分别为 860 公斤/米³和 660 公斤/米³)。按前面采用的正应力作了一系列试验 (图 2), 说明干煤料 $\tau_0 = 53$ 公斤/米² 和 $\varphi = 37^\circ$, 而水分 $W = 10\%$ 的煤料 $\tau_0 = 112$ 公斤/米² 和 $\varphi = 48^\circ$ 。这时拱口的极限直径相应增大到 0.4 米和 1.2 米。

研究结果认为有两种防止形成拱和保证煤料从装煤车煤斗中

均匀流出的途径:

1) 如果在装煤车煤斗下装置给料器(圆盘式或振动式),可把排放口直径增大到超过极限尺寸[4];

2) 在形成拱的区域,用放煤稳定器松散煤料,以消除动负荷的影响(此时应保证煤料具备表3中所示的物理机械性质)。稳定器也必须能均匀放煤,以保证炭化室装煤速度与抽吸必要的烟气的量之间相互适应。

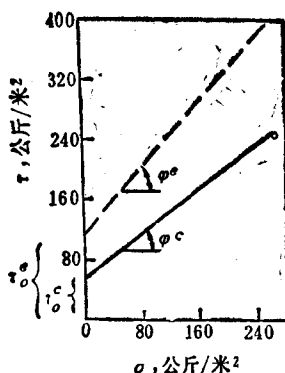


图 2 密实的煤料中极限切应力(移动阻力)

——煤料的水分0%, 堆比重为860公斤/米³;
 ——煤料的水分10%, 堆比重为660公斤/米³

第二节 煤料的外摩擦系数

煤斗放煤的稳定性在很大程度上取决于外摩擦系数。

与确定流体半径时一样,也测定了煤料在钢板上的极限移动阻力。这时,摩擦力计的料箱(图1)安置在所试验的金属板上。同样也采用了因素和变差(见表1)。

试验结果的回归分析表明,主要影响外摩擦系数值的是使煤料产生移动时的金属材料的质量。

外摩擦系数与煤料水分的关系很小(只是煤料在CT3非合金钢上移动时才这样),并且在所研究的因素变差内与煤粉粒度毫无

关系。煤料动力密实试验证明，外摩擦系数与堆比重同样无关。

用求得的回归方程式确定的各种水分的煤料物理机械性质的定量指标如下：

	煤料水分，%	
	0	10
Cr3非合金钢		
外摩擦系数 f_1	0.65	0.71
外摩擦角 φ_1	33°00′	35°20′
X18H10T合金钢		
外摩擦系数 f_2	0.40	0.40
外摩擦角 φ_2	21°50′	21°50′

从上述数据可以看出，使用合金钢时，干煤料比湿煤料的摩擦系数能降低40~45%。

第三节 煤料的动力密实

许多文章〔10〕、〔11〕、〔30~35〕记载了各种因素对煤料堆比重值的影响，这些文章着重指出，减少煤料水分会大大提高煤料的密度。装煤时在动负荷作用下对各种颗粒组成的干煤料与湿煤料的堆比重变化特性进行比较是很有意义的。

煤料流入装煤车煤斗或炭化室时的落下高度是影响煤料动力密实的最基本因素。因此，除煤料粉碎程度 $\Sigma\%d(X_1)$ 和煤料水分 $W(X_2)$ 之外，将装煤时的高度 $H(X_3)$ 作为自变数。

前两个因素的变差程度和范围还保持原有值（见表1中 X_2 和 X_3 ），而装煤高度增加到6米，即现代炭化室的平均高度。取煤料堆比重 γ （公斤/米³）（ Y ）作为因变数。

用各种不同的仪器测定煤料堆比重〔30〕、〔36〕、〔37〕。在这些仪器中可装试样从0.5~0.6公斤（A.A.阿格洛斯金方法）到50公斤（焦化厂采用的马格尼托哥尔斯克钢铁公司的方法）。工业设备中，例如，炭化室中平均堆比重与用不同结构实验室仪器测定的堆比重值之间的关系也是直线关系〔30〕。

在此基础上制定了研究装煤高度与装煤速度对煤料动力密实的影响的方案，并装设了实验室的设备（图3）。

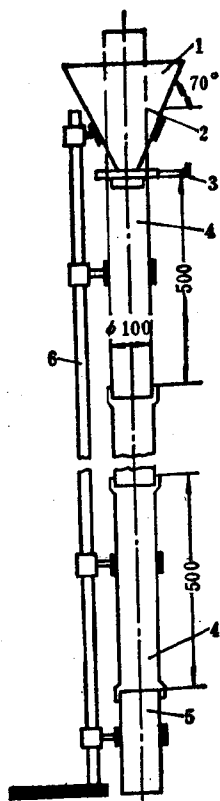


图 3 装煤高度和速度对煤料动力密实影响的实验室研究装置图

- 1—锥形煤斗（容积为1.5升，放煤口直径为50毫米）；2—圆筒形煤斗（容积为1.5升，放煤口直径为100毫米）；3—插板；4—接管；5—受煤槽（容积为1升）；6—固定立柱

研究的方法如下：为保证动负荷相同，称出1公斤严格规定的煤样，而且，为了消除过度密实的影响，在每次试验之前称取新煤样^[38]。装煤高度用接管来变更，安装接管的垂直度要靠并列安置的立柱来控制。用锥形煤斗和圆筒煤斗排放煤料时，即在

两种装煤速度下进行了相似试验。

从锥形煤斗排出1公斤煤料的时间:干煤料为2.5~3秒(350~400克/秒);湿煤料为6~10秒(100~170克/秒)。从圆筒煤斗排放煤料的速度,干煤料和湿煤料都是1000克/秒。

受煤槽中煤料的堆比重用一般的方法确定^[30]。

此研究是用水分为0%和10%的两种煤料,在改变三次煤料粉碎度和13次装煤高度的条件下进行的。

试验结果示于表3和图4。从中可看出,增加装煤高度(到约5米)和装煤速度会增加煤料的堆比重。此时,湿煤料的堆比重要比原来堆比重很高的干煤料变化的幅度大。加快装煤速度会增大干煤料堆比重的变化幅度。

装煤高度为5.5~6米时,发现煤料堆比重有降低的趋势。因此,为了做数学分析,最好考虑两部分试验数据,其中每一部分数据说明增加堆比重或者减少堆比重。

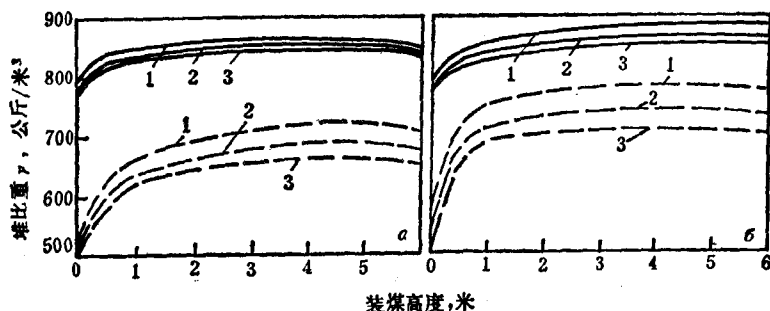


图4 煤料堆比重与用锥形煤斗a与圆筒煤斗b装煤高度的关系

-----水分为10%; ——水分为0%。

粉碎度<3毫米含量, %: 1—75; 2—83; 3—91

根据从5米以内的高度放煤的试验结果(见图4中a与b), 堆比重与装煤高度的关系可写成如下指数方程式:

$$Y = Y_0 + A[1 - \exp(-KX)] \quad (8)$$

式中 Y_0 ——开始的堆比重(在装煤高度为0米和没有动负荷时), 公斤/米³;