

煤炭加工利用文集

水煤浆技术译文集

——国际煤浆会议论文选

中国煤炭加工利用协会

74.6747083
144
C.2

36596/1-7
前 言

水煤浆(CWS)是近几年发展起来的一种以煤代油的新型燃料。它具有液体燃料的流动性，可以泵送；在常规的燃重油工业炉窑及锅炉上，无需脱水即可燃烧。水煤浆的制备，比起煤的直接液化，工艺简单，成本也较低廉。它的燃烧比直接燃煤又具有污染低的优点，而与油煤浆(COM)相比，它又实现了全煤化代油。因此，各国都投入相当多的人力、物力进行研究，近两年来进展迅速。瑞典和美国已经研制成功煤粉浓度达70%的煤浆，准备作为商品出售。美国能源部及一些大公司、研究单位相继宣称在不同类型的试验锅炉上试烧水煤浆获得成功，并正在扩大试生产规模。日本、西德等国也都在大力开展研究。

我国的水煤浆研究起步并不晚，自1981年以来，十几个单位都先后开展了水煤浆的实验研究工作，并已列入国家重点攻关课题。国家科委委托我协会组织协调有关单位联合攻关，目前已取得了一定进展，但水煤浆的制备、输送、燃烧各环节的试验规模与国外相比还有不少差距。为使水煤浆这一有较好发展前途和经济价值的新型燃料在我国尽早实现工业应用，为借鉴国外经验，学习先进技术，我协会组织翻译了第4~5届国际煤浆会议部分技术资料，并编辑出版这本译文集。由于时间仓促，编辑出版中可能有不少错误之处，请读者批评指正。

感谢哈尔滨煤矿机械研究所的杨世林同志为编辑出版这本译文集做了大量工作，付出了辛勤的劳动；感谢黑龙江省科技情报所印刷厂为印刷出版提供了方便条件。

目 录

用于煤浆制备的灰分低于1%的煤的物理精选法	[美] D.V. 凯勒 (1)
超低灰煤作为煤基燃料的可用性	[美] P.T. 贝塞尔等 (7)
选煤对水煤浆输送特性的影响	[美] A.C. 埃克曼 (16)
高浓度水煤浆的最近研究	[日] 安之中林等 (28)
水煤浆制备技术的一些看法及其燃烧特性	[中] 黄兆祥等 (44)
煤的散粒悬浮液和直接湿磨煤水混合物	[美] G. 施欧勒 (54)
煤浆添加剂的研究	[中] 宋永玮等 (67)
添加剂的选择对水煤浆的影响	[美] S.L. 李等 (74)
水煤浆添加剂的研究	[日] 信一渡边等 (86)
高浓度水煤浆添加剂的研制	[日] 秋宏那贺等 (94)
水煤浆添加剂的研究	[日] 秋宏那贺等 (101)

水和非水介质煤浆的比容	.....[美]R.L. 诺威尔 (112)
高浓度煤水悬浮液的流变性能	..... [中]李兴长等 (116)
悬浮煤浆搅拌桶试验	..... [美]R.R. 弗迪克 (120)
用Columbia Chase 集混机制备的水煤浆燃料的流变和泵送特性	.....[美]S.K. 巴塔等 (130)
水煤浆的流变特性	..... [美]E.Z. 卡斯舍等 (141)
水煤浆的流变特性	..... [日]康宏清修等 (154)
水煤浆的贮运特性	..... [美]约翰多赫尔等 (163)
煤的灰分对燃水煤浆锅炉性能的影响	.....[美]Y.S. 佩恩等 (171)
弗洛索尼克和皮博迪雾化器在煤浆中的侵蚀研究	.....[加]J.A. 贝内特等 (186)
新型水煤浆燃烧器的设计	.....[美]S.K. 巴塔 (196)
水煤浆燃料燃烧器的发展	.....[美]R.H. 希克曼等 (208)
水煤浆用于炼铁的评价	.....[意]G. 马加里尼等 (213)
水煤浆的燃烧及燃烧特性	.....[美]M.J. 哈格罗夫等 (222)

煤炭转化选择的比较

.....[美]E. 凯莫尔 (232)

在多燃烧器炉膛内燃烧水煤浆

..... [日]黑田弘等 (246)

南巴拉拉电站的水煤浆大规模燃烧试验

..... [意]G. De 米歇尔等 (257)

燃用水煤浆锅炉前部设备的选择、性能及流体力学

..... [美] J. F. 琼斯等 (264)

加拿大东部电站锅炉燃水煤浆技术的进展

..... [加]D. M. 兰金等 (272)

利用先进的选煤和煤浆技术改造燃油电厂

..... [美] R. C. 弗曼 (284)

澳大利亚褐煤粉用于柴油机

..... [澳]考威尔蔡司克等 (293)

用于煤浆制备的灰份低于 1% 的煤的物理精选法

[美] D.V. 凯 勒

摘 要

为生产灰份小于 1% 的精煤, 把煤和矿物质分离的物理方法, 进而用此精煤制备水煤浆已经演示出来了。

这里的讨论将包括描述 Otisca T 法加工的产物、煤化学的控制参数及其对某些有趣的小型试验结果的说明。

也包括描述每天生产 2.4 吨 (T-煤) 的中试厂的一些运转结果。

引 论

过去十年来, Otisca 产业公司的主要目标一直是在可行技术的限度内, 使能够办得到的而且最有效的选煤工艺过程商业化。用经营的术语来说, 有效能的选煤就是在最佳的经济效益下, 为特殊的最终用途对特殊的原料进行加工。这样, 考虑当前的使用需要, 如果不包括昂贵的液化、气化和其它复杂的化学方法的话, 选煤厂可以从简单的粒度分级到物理精选。精选的程度由用户来定, 而在目前, 受到原煤资源的限制。例如, 一个消费者可能对 15% 的灰分和 4.5% 硫份就完全心满意足了。因为, 发电装置是为它而设计的。而另一消费者却为把 1% 灰分的煤选到 0.15% 而十分焦虑, 因为它有更专门的用途, 由此看来, 供给前者的原煤对后者也适用是很不可能的, 我们目前对原煤的化学和形态学的知识及我们的开发煤和矿物质分离原则的能力, 可作为技术限度, 可以把任何煤分离成纯的碳氢化合物和纯的废物。下面的讨论探索了 Otisca 所用的物理分离法碰到的精选限度, 首先, 应承认我们的认识只局限于已有定量数据的系统, 而把一些普遍原则外推到未试验也未鉴定的煤系统, 充其量不过是冒险罢了。

煤在制浆方面的应用, 提出了超越煤种和选煤原则的新的约束条件。例如煤浆的粒度分布和希望的浓度极限的关系, 提出了另一组限制条件, 参考 Funk 的著作⁽³⁾, 当一个系统针对一种给定的原煤, 这些限制不一定与最终产物的需要相容。

为了解这些变数之间的一些相互关系, 让我们考虑一下用典型的匹兹堡煤制备水煤浆

的一些可能有的方案，设水煤浆具有下列特性：

灰分： 2 磅/百万英热单位

英热单位/磅浆： 10,000

精度： 1000 厘泊（剪切率为100/秒）

挥发份： > 35%

来自煤的限制

原煤的来源、煤化学、矿物质的形态学决定成品煤的发热量、灰份，或者更准确一点说，决定在理想的煤浆粒度分布下的灰份。大部分烟煤的典型可选性分析表明：在相同的分选比重下，成品煤灰分随原煤的粒度下降而下降，此外，在相同的粒度下，成品煤的灰分随比重下降而下降，成品煤的产率也同样下降，这一事实给出了精选的限度，当比重小于 1.3 克/毫升，产率就很小甚至没有。实际上对匹兹堡煤层要想得到 80% 的产率，产品的灰分就限于 4% 左右，粒度为 2 mm 以上⁽²⁾，高产率是同高灰分和大颗粒相联系的，这样，用经典的选煤方法，产品就遇到灰分下限。

仔细研究把匹兹堡煤磨到粒度分布在 1 微米以下表明：在一定的磨矿条件下，煤越细灰分解离得越多。然而，现在遇到的限制是我们的能力能否用物理方法分离这样的体系。在一般重力场下，用简单的密度差分离法（浮沉法），把煤和矿物质分开，对磨到 100 微米以下的原煤来说是根本无效的，这是由于分离液的温度梯度和/或布朗运动的影响⁽⁴⁾，在较大的力场下，如离心机或水力旋流器，即使粒度小于 30 微米也可以得到合理的分选，有较高的产率。

利用煤表面性质的浮选⁽⁶⁾和油团法⁽⁷⁻⁹⁾来分离极细颗粒表明：选煤效率同煤种（煤的来源）和颗粒的粒度分布有关。例如 otisca T-1 过程能非常有效地分离粒度上限小于 1 微米的煤。

从以上的讨论中，得到两个重要的煤的导出关系，这对改善煤浆特性是重要的。Gzay⁽¹⁰⁾指出：一种煤的热值与灰分的关系可以用以下线性方程表示：

$$\text{英热单位/磅} = -m (\text{灰分}\%) + C \quad (1)$$

对大多数阿帕拉契区的烟煤，这里 m 值为 150~180 英热单位/磅灰分%，C 值为 13,000~15,500 英热单位/磅，都是以干基计算。对很多煤，我们的研究证实了这一关系，并指出灰分含量在 0.3% 的范围内适用，相关数保持在 $R^2 = 0.999^+$ 。对这一特定的煤层，这一关系已被仔细研究了七年，在短期内（± 1 年）这一关系保持不变，但在整个七年中有持续的漂移，C 的漂移误差 ± 0.5%，而 m 为 ± 5.7%。

第二个从煤导出的变数，是在破碎时期解离的矿物质。在这一情况下，煤的来源、破碎过程和程度是关键变量。例如，在一组特定的条件下用湿球磨加工匹兹堡煤，观察到解离的矿物质的数量与下式有关。

$$\text{灰分}\% = n \ln M + C' \quad (2)$$

这里灰分%是理论精煤中保留的灰分，M 是粒度对数正态分布的最频值（出现频率），n 和 C' 是与磨矿过程及入料煤有关的经验常数。

人们可以注意到(2)式只与原煤中所谓微量矿物质有关，它是不能用简单的比重差方法除去的。微量矿物质的形态学和含量确定了 otisca-T 法降灰的极限。

如果接受(2)式作第一次逼近，显然一旦原煤选定后，特定的粒度分布就决定了成品煤灰分的含量，而随着也就能用方程(1)决定成品煤的干基热值。这样浆的许多特性值也就能确定了，例如，方程(1)得：

$$\frac{\text{磅灰}}{\text{兆英热单位}} = \frac{\text{灰分}\%}{\text{英热单位/磅}} \times 10^4 = \left(\frac{C}{\text{英热单位/磅}} - 1 \right) \left(\frac{1}{m} \right) \times 10^4 \quad (3)$$

和

$$\frac{10,000 \text{ 英热单位/磅浆}}{\text{英热单位/磅 (干)}} \times 100 = \text{浆中固体重量浓度}\% \quad (4)$$

由于挥发分只同煤种有关，并随灰分的降低而单调增加，因而除了在给定浓度下制备粘度为1000cp 的浆这一项以外，所有的特性值都能得到了。粒度分布和浆的流变学特性的关系 Funk (3) 和其他人已讨论了 (11)。

OTISCA-T 生产流程

Otisca T-过程 (OTP) 由两个相当简单的步骤构成。a) 原料的破碎，使矿物质和煤解离；b) 使用高效的团聚剂，煤泥浆里的煤粒聚结成比分散在煤浆中的矿物质 (<0.3mm) 大得多的 (~3 mm) 团粒。在这样的情况下，利用弧形筛甚至旋流器就可以有效地把这两者分开。团聚剂的作用基本上是回收所有的炭质颗粒，而不论其矿物质的含量如何，这样在所有的情况下废弃物是不含煤的。

这个过程的附带优点是在磨矿中从煤基体中解离出的黄铁矿，同其他矿物质一道被排除到废弃物中。例如，把匹兹堡煤的灰分降到 0.5% 的结果，基本上所有的黄铁矿的硫也都从成品煤中脱除了。

1982年 Otisca 建立了一座日产 2.4 吨的中试厂，并投入了运行，中试厂及其研究由 Florida Power and light (Miami, FL)，Otisca 和 Slurrytech (Miami, FL) 资助。Otisca 致力于把它的精选技术与 Slurrytech 开发的技术结合在一起制备高浓度、低粘度的水煤浆。

中试厂的流程如图 1 所示。粒度为 10 厘米以下的原煤送入串连的标准锤碎机被破碎到粒度在 60 目 (250μm) 以下。从锤碎机得出的 -60 目产物，用循环水配成浓度为 50% 的煤浆，作为搅拌球磨机的入料。虽然许多商业上可用的搅拌球磨机是令人满意的，但是 Otisca 设计出了特殊的磨机，并且产品粒度在 15μm 以下 (最频值 7μm)，能力为 200 磅/小时，能耗为 30 度电/吨。从此磨机出来的超细度产物，用循环水进一步稀释到 15% 的浓度，为分离矿物质做准备。

15% 浓度的浆与合适的团聚剂混合，这一作用在高剪切率的混合器里完成。进入混合器的固体是完全分散的，在不到一分钟的时间，煤就形成大的球状团聚物，而不影响矿物质的分散状态，对可能成功的许多团聚剂，详细研究证明：氯氟碳-113 (3-氯，3-氯乙烷) 是更合适的一种。

煤团粒和在水中分散的矿物质混合物在筛上分离。分离后的团聚物保持10—40%之间的水分,其具体量决定于高切力的混合器的操作。成品煤—团聚剂—水的混合物被送到间接火力加热传导蒸发器,使团聚剂蒸发,氯氟碳—113的沸点为47°C。蒸气在合适的压力下,冷凝在一组冷凝器中,储存并回到系统中。成品煤含团聚剂低至50ppm(百万分之一),含水30—40%以便制备煤浆。

含有50ppm以下的团聚剂的矿物质水浆,被送到常规的浓缩机中,使水的循环闭路化,也就是说,澄清的水返回到磨矿循环或用于制浆中。

试验结果

在1982年下半年,中试厂就运转了,1983年致力于单元过程的最优化并开发放大的数据。成品煤的灰分确实揭示了通过实验室分析特定的煤所得到的方程(2)具有很好的灰分与粒度分布的相关关系。

可以指出的一个结论是:成品煤的灰含量是一个湿磨原煤粒度分布的可测函数。此外,搅拌球磨机的湿磨产物,仅按粒度分布就能同标准实验室磨机得出的湿磨产物连系起来,灰分—粒度分布这个关系的作用,可以通过检验加入助磨剂的效果加以评价;助磨剂被认为是能促进灰粒与煤的解离的。至今已研究了很多助磨剂,其中一些确实增加裂解速度,但没有一种能显著地改变这个灰分—粒度分布关系。这表明,增加裂解速率的添加剂可能是通过使磨机里的浆流变性发生变化,延长煤粒在球的接触区里的停留时间。

各种夹层煤经用OTISCA T法,处理各煤层得到的典型实验数据列于表1中。在考查这些数据时,应该注意:对每一层煤,常常是一种煤源,在磨碎过程和分选过程都有某些细微问题,这就需要大量的试验来获得今天所认为的彻底降灰。有很多事实说明,对这些煤的每一种进行更彻底的研究,灰分还能进一步降低。

T—煤产品的水煤浆

从美国某些主要煤层选出含灰量低于1%的T—成品煤,要求磨后的粒度分布具有对数正态最频值在15 μm ,以下甚至常在2—7 μm 之间。这种特细粒度分布是原有的制浆配方未曾遇到的,需要进一步开发技术;典型的高浓度煤浆细度在30 μm 以上⁽¹¹⁾。

一些用T—产品煤制浆的初步研究结果列在表2中。使用Haake Rotvisca RV—3在室温下对充分脱气的水煤浆测量其流变学数据。

结 论

根据连续生产的中试厂和实验室数据开发出的Otisca T—生产工艺表明,有可能用煤生产一种可以和石油媲美的新型燃料。此外,这些超细度和超纯精煤是与制浆配方技术相适合

的，因为可以不加不希望有的正离子就可以制备成。

目前，虽然我们尚未完整地从中试厂详细归纳出经济数据，但已确实表明：加工费用包括合理的投资回收约在0.7美元/兆英热单位。掌握了这一点，并认识到所提出的技术还很年轻，我们能重新调整物理精选法的目标，使它包括把煤的灰分降到 0.2%。这种燃料的问世将敲开很多那些至今从未考虑到有可能用煤的用户的大门。

参 考 文 献

1. D.V.Keller, Jr., "The Otisca Process of Preparation and Dewatering of Fine Coal", Conference "The Consolidation and Dewatering of Fine Particles", University of Alabama, August 10, 1982.
2. D.V.Keller, Jr., "Otisca T-Process, A New Coal Beneficiation Approach for the Preparation of Coal Slurries", Conference "Coal Gasification, Liquefaction and Conversion to Electricity", University of Pittsburgh, August 5, 1982.
3. J.E.Funk, "Coal-Water Slurry Method for Preparation", U.S. Patent 4,282,006 (August 4, 1981).
4. D.V.Keller, Jr., "Fine Coal Separation in Low Viscosity Organic Liquids", Electrical power Research Institute, RP 1853-2, Final Report, September 1981.
5. D.V.Keller, Jr. and F.Simmons, "Heavy Liquid Beneficiation of Fine Coal", U.S. Department of Energy, Pittsburgh Energy Technology Center, Contract No. DE-A2280PC 30139, Final Report in review(1-83)
6. F.F.Aplan, Coal Flotation, publ. American Institute Mineral, Metallurgy and petroleum Engineers, New York(1976) pp, 1235-1264.
7. C.E.Capes, A.E.McIhinney and A.F.Sirianni, "Agglomeration from Liquid Suspension—Research and Application", Agglomeration-77 V-2, ed, K.V.S.Sastry, publ, American Inst. Mining, Met. and Pet. Engineers, Inc., New York(1977) pp. 910-930.
8. R.N.Bhattachryya, A.K.Moza and G.G.Sarkar, "Role of Operating Variables in Oil-Agglomeration of Coal", *ibid*, pp. 931-938.
9. A.R.Swanson, C.N.Bensley and S.K.Nicol, "Some Fundamental Aspects of the Selective Agglomeration of Fine Coal", *ibid*, pp.938-951.
10. V.R.Gray, "Graphical Methods for the Determination of the Mineral Matter Free Properties of Coal and the Mineral Matter/Ash Ratio". *Fuel*, 59 (1980) pp.551-556
11. R.G.Donnolly, "Formulation, Handling and Combustion Characteristics of Coal Water Mixtures", Coal Technology, 82.5th International Coal Utilization Exhibition and Conference, Houston, Texas, December 7-9, 1982.

表 1 OTISCA T—生产工艺对不同的美国煤炭加工的结果表

煤样	原料灰分 %	成品煤灰分 %
弗吉尼亚 Moss 1 号层	6.73	1.05
伊利诺斯 6 号Herrin 层	7.68	0.98
澳大利亚 Ulan	10.84	0.84
肯塔基兰宝石层	3.30	0.22
宾州华盛顿公司 匹兹堡层	5.71	0.62
同上	5.70	0.60
同上	12.0	0.99
	4.1	0.64
宾州 GREEN 公司 匹兹堡层	5.30	0.95
西弗吉尼亚州 peerless 层	14.88	0.93
西弗吉尼亚州上Freeport层	5.62	0.85
俄亥俄州俄亥俄 9 号层	23.63	2.08
肯塔基州 Hazard 4 *层	5.83	0.73
肯塔基州 9 号层	9.08	1.22
宾州无烟煤	7.98	0.76

灰分% (美国标准试验法) 干基

表 2 OTISCA T—生产工艺用成品煤制浆

浓度%	添加剂用量%	粘度 (厘泊)	粒度分布 最频值	英热单位/磅	磅灰/ 兆英热单位
55.7	0.8	735	1.5	7850	0.83
60.2	1.0	1130	1.5	8488	0.79
61.6	0.2	2008	6.3	9060	2.45
64.8	0.2	2400	3.3	9140	0.80
68.6	1.0	2470	16	9670	0.64

* 添加剂平均商业价格约0.18美元/磅

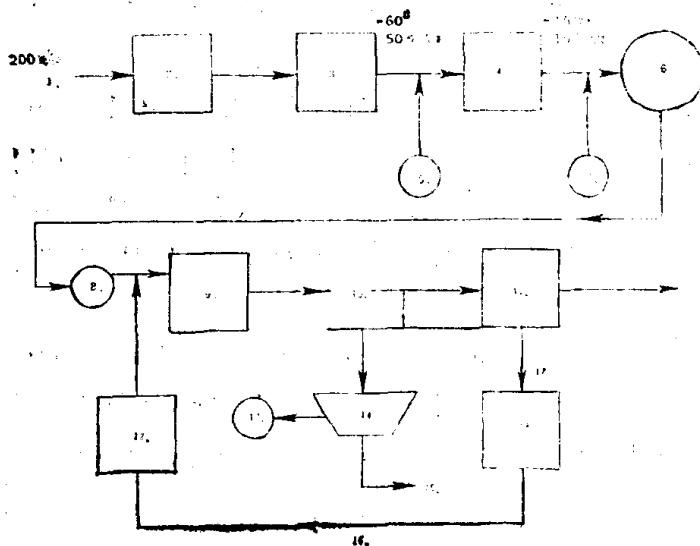


图 1 OTISCA T—生产流程

1—入料原煤, 2—原煤给煤机, 3—锤碎机, 4—搅拌球磨机, 5—水, 6—缓冲槽, 7—水, 8—泵, 9—高剪切混合器, 10—分选机, 11—蒸发器, 12—团聚剂储罐, 13—澄清水, 14—水及矿物质, 15—废弃的矿物质, 16—回收循环用团聚剂, 17—团聚剂蒸气, 18—回收设备, 19—产品煤。

朱书全 译 王祖谏 校

超低灰煤作为煤基燃料的可用性

[美] P. T. 贝塞尔, F. R. 塞尔

内 容 提 要

对于以煤为基础的浆类燃料来说, 现存的原设计燃油或燃气动力锅炉和工业锅炉是主要的目标市场。燃油及燃气锅炉实有很大的能力, 但由于油和气的价格比煤高很多, 因而锅炉的能力愈来愈利用不足。为了克服在燃油或燃气锅炉上燃用煤炭的技术局限性, 发展以极低灰煤为基础燃料的可靠能源是极其重要的。如果在这些锅炉中燃用精煤完全得到证实, 那么在燃油或燃气锅炉剩余的服务年限内, 将节省大量的燃料费, 并且不需投入大量资本以获得新的燃煤锅炉能力。

煤浆的开发者们已经充分注意到了采用深度精选技术生产精煤浆的可行性。其中的一些技术表明, 能够生产极低灰的煤用于制备煤浆。可是在近期内要把它放大用到电站和满足作为工业燃料的需要, 还存在着很大的障碍。

经过证明的常规精选技术, 只要很短的更改调试时期, 就可以扩展到用来以商业化规模生产灰分在 2% 到 4% 的产品。所归纳出的流程图说明了如何从现有的选煤厂获得这些产品。向典型用户提供燃料的价格是每百万英热单位约为 2.4~2.8 美元。

COM 公司和 A. T. Massey 煤炭公司正在从事于在燃油或燃气锅炉中燃用煤炭的示范工作。Massey 公司每年向美国和国外许多大的工业和动力用户提供 2 亿吨以上的煤炭, 这些煤大部分经过现代化的大型选煤厂精选过。COM 公司专于发展组合燃料并使之商品化以及其有关工艺技术。在 1981 年后, COM 公司在 Port Sutton 佛罗里达的厂子开始商业化生产, 并在这过去的一年以来, 已经把超细粒的煤油混合物 (COM) 运到佛罗里达州动力有限公司的 Bartow 一号机组上使用。

前 言

尽管当前油和天然气过剩, 但在改进煤的燃烧技术方面, 一直是很吸引人的。之所以感兴趣, 有如下几个基本的原因:

- (1) 把煤转变成能量, 直接燃烧比气化或液化在成本上更为有效。
- (2) 应该把油和天然气供运输、石油化工原料、住宅民用以及作为某些要求高质燃料的商业或工业使用。
- (3) 在世界上一些政治稳定、煤储量丰富的地区, 都希望使煤成为一种成本较低、长

年能保证供给的能源。

当核能还不能在政治上可接受的情况下，煤将成为主要的锅炉燃料。

遗憾的是，如今现存的大多数工业和动力锅炉并不是设计成烧煤的。事实上，大多数锅炉专家和燃烧专家都会一致认为，若把标准的动力煤用于燃油或燃气锅炉，一定会引起严重的操作问题。用常规的燃煤方式会产生过长的火焰，并且产生含灰量高的燃烧产物，这样引起大量的锅炉运转问题。此外，烧煤可能需要安装昂贵的烟道气脱硫设备，以满足当前的环保要求。

按目前的更改费用来计算，对许多公司来说，现有的燃油或燃气锅炉的容量代表了一笔重要的财产。如果允许选择建设新的燃煤锅炉能力或者把现存的燃油或燃气锅炉的能力更改为燃煤的，那么，不管是否要求安装烟道气脱硫设施，大多数公司总会选择后一种方案。

然而，存在这样一种选择吗？是的，可能存在。越来越多的运行锅炉人员正在密切注意着使用超细颗粒、灰分极低的煤以浆或粉状的形式用于燃油或燃气锅炉。

油的灰分在 0.1%，天然气是无灰的，相比之下，常见的动力用煤灰分却在 7%~15% 之间。在燃油或燃气锅炉中燃用灰含量较高的煤时，将会迅速导致炉底灰渣积聚、炉中结渣、对流和省煤器管子污蚀、大量颗粒飞散。为控制细粒飞散，一般可增加除尘器和集尘室，而对其他一些与灰分有关的问题，只有投资改造锅炉方能得到解决。若把煤粉碎到常规粒度〔80%的为-200目（74 μ m）〕以下时，则可减小火焰长度，取得一如降低燃料中的总灰量的效果。如果其中有一种技术或两者都投入使用，则我们就会有更理想的答案——在现有的燃油或燃气装置上，不用昂贵的锅炉改装投资而燃烧低价格的煤燃料的方法。

在这近几年内，正在进行和计划要做的锅炉试验和论证工作将确定最大煤粒尺寸及最低灰含量等判据；在此期间，还必须要考查生产和提供超细粒、低灰煤基燃料在经济和商业规模方面的可行性。本文中研讨提供低灰煤的可行性、成本和获得性等重要方面。

A. T. Massey 公司和 COM 公司合作的经验为这项研究提供了充分的基础。A. T. Massey 公司在宾夕法尼亚州、西弗吉尼亚州、肯塔基州和田纳西州共拥有 23 个矿井联合企业，其中包括 18 座选煤厂。Massey 公司年产煤炭能力为 2 千万吨，按合同销售给民用、国外动力用以及冶金部门等市场。Massey 公司低硫煤的总储量超过 10 亿吨。

说明 Massey 公司潜力的一个典型例子是其位于西弗吉尼亚州附属的 Marrowbone 开发公司：每天有 24000 吨以上的原煤从井下或露天矿井运至中央洗煤厂。该洗煤厂的设计能力是每小时入洗原煤 1500 吨，有三个主要流程，利用重介选，生产的数量效率在 96% 以上。入洗原煤中近一半是脱水后的最终洗研，用作土地充填物。每年生产 250 万吨合格精煤，用一万吨的长大列车运送给几个动力用户使用。

由 Dravo 公司、佛罗里达动力公司以及 A. T. Massey 公司联合组成的 COM 公司，自 1978 年以来就积极开发组合燃料和相应的技术。COM 公司在 Tampa 拥有一座地区性煤浆厂，现在每年生产 50 万桶以上的超细粒煤油混合物，通过驳船运送到佛罗里达州动力公司供 Bartow 电站的 12.5 万千瓦发电机组使用。这座燃料制备厂是 COM 公司为其他地区的燃料用户服务而将要建立若干个厂的样板。在运用超细磨技术制备煤基燃料方面，COM 公司已处于领先地位。

如何精选

在本篇论文中涉及到的精煤，将限于讨论其灰含量，暂不考虑硫的含量，而是假设精煤的含硫量小于1%，在现有燃油或燃气锅炉上燃烧时，可以满足排放标准。如上所述，在燃油或燃气锅炉上使用煤时，尽管可能需要添加烟道气脱硫设施（FGD），但煤的灰分含量仍是主要的操作指标。

利用什么方法获得燃油或燃气锅炉使用的灰分相当低的煤，这是一个复杂的值得着重讨论的问题。也存在着很多与特定的煤和所考虑的锅炉有关的因素。煤的重要特性除了自身的灰含量以外，还包括燃态的颗粒大小、挥发份以及灰分特定的化学性。重要的锅炉因素有锅炉体积和管路布置。

不考虑采用的精选技术，精煤的成本大致随着灰分的降低而呈指数规律增加。增加的费用必须是能被因降灰而节省的锅炉运行费用所抵消，诸如减轻颗粒物排放的控制，减少灰渣输送装置，较低的维修量，被迫停炉的时间，出力的降低率和灰渣处理成本等。

如图—1的综合曲线所描述的那样，存在着一个选煤成本与降低灰分花费与获益之间的经济平衡点。在这一点，锅炉运行的总平均成本最低，而锅炉营运者的纯节约费用最高。最佳灰含量降到最优水平以下时，则不能带来较大的经济效益以抵消这种花费。

可惜燃油或燃气锅炉用低灰煤的运行资料还不充分，尚不能完成这种分析，甚至概括地表示也不行。目前在缺乏数据的情况下，关于煤炭精选到什么程度，多数的意见似乎是含灰1%至4%，才能使燃油或燃气锅炉得到合理的运行效果。

深度精选工艺技术

由于典型的动力用烟煤灰含量在7%至15%之间，潜在的需要是灰分为1%至4%，这就出现了商业规模供煤的问题，从而引起对新的深度精选技术的兴趣浪潮。

在多数情况下，技术开发者们正在采取已被接受的物理精选技术，如油团选、磁选或电选等。这些精选方法中有几种可能与煤浆制备相结合而得到潜在的最佳效益，尽管采用其中两种未被验证的会冒技术风险。

现在，一些这类技术开发方案已进展到中试厂阶段。为了确定其竞争的利益，可靠的成本预测仍必须取决于各种煤的回收率特性。

要在下一个五年内及时按比例扩大到富有生命力的商业化生产，还有大量开发工作的障碍需要克服。一台10万千瓦的小型电站锅炉每年大约需要17.5万吨精煤。这种需求量虽然远远低于现有选煤厂的常规生产力，但对一个小时产量一吨的中试装置，要扩大50倍。

常规的选煤方法

要提供商业数量的含灰1%至4%的低灰精煤，比较现实的方法是扩展常规的、已经得到证明的那些选煤技术。考察美国矿业局掌握的可选性资料，可以看到，东部有相当大数量

的烟煤可以通过洗选而得到灰分为 2% 至 4% 的产品，其中某些煤在过去仅考虑作为冶金用煤。然而，过去几年中，冶金用煤市场已大为衰退，而且在近期内似乎也不能很快恢复原状。由于大量的采矿设施已形成，因此无需或仅需很短的更改时间，这些煤就可投放到高品质动力煤市场。

以几个正在运转的选煤厂为例，描述并说明生产灰分 2% 至 4% 产品的几个综合流程。这些工艺技术并不一定对所有的煤都适用，但能适应于多数煤层，使得在近期内向燃油或燃气锅炉提供极低灰精煤成为商业上可行的。

单段浮选

目前，有不少选煤厂生产灰分小于 4% 的产品，而另外一些选煤厂只要降低现行的洗选比重便可调整为生产超低灰精煤。可是，这种简单的方法只有在选煤厂能保持适当高的回收率，并且该煤层是能够生产出低灰产品这样的条件下才可以得到应用。

Massey 公司在南部西弗吉尼亚州生产厂提供了一个单段洗选流程的很好例子，利用该流程可以生产灰分小于 4% 的精煤产品。该厂每小时可以正常入洗 400 吨原煤，年产精煤 90 万吨；现有的工艺流程完全采用常规设备；把来自几个矿的原煤实行配煤而始终保持产品质量；自动控制系统能严密监测洗选比重。具有代表性的原料煤可选性分析如表一 1 所示：

表一 1 南部西弗吉尼亚州 Massey 煤炭公司选煤厂 6 × 0 吋原料煤可选性分析

比 重		重量 r%	灰 分 %	硫 %
沉物	浮物	(单元浮物)		
	1.30	56.0	2.22	0.88
1.30	1.40	8.28	8.26	1.28
1.40	1.50	2.78	15.86	1.69
1.50	1.60	1.04	25.33	2.13
1.60	1.70	1.01	34.47	2.52
1.70	1.80	0.73	43.56	2.79
1.80		29.86	86.56	1.62
(累积浮物)				
	1.30	56.30	2.22	0.88
1.30	1.40	64.58	2.99	0.93
1.40	1.50	67.36	3.52	0.96
1.50	1.60	68.40	3.86	0.98
1.60	1.70	69.41	4.30	1.00
1.70	1.80	70.14	4.71	1.02
1.80		100.00	29.15	1.20

从表中可以看到，甚至用比较高的比重1.60分选时，也可以获得灰分在3.86%的产品，且预期得到的理论产率达68.40%。可选性分析还表明，若把有效分选比重降到1.40，在产率大约65%时，可以得到灰分为3%的产品。同样，从理论上还可以获得灰分2.2%（该厂的最低限度）的产品；此时的产率大约56%。

显然，该厂的分选比重越低，所得产品灰分越低，产率也越低，而更多的热值转移到了洗矸中。从资源利用的观点来说，这是不理想的。然而，根据产率降低和矸石处理成本提高这两个方面，便可很容易确定按照这种方法生产超低灰精煤的经济性。

如果该厂以每吨43美元（1.56美元/百万Btu）的出厂价格出售灰分4%的产品，那么灰分为3%的产品的售价大约47美元/吨（1.68美元/百万Btu），灰分为2.5%的产品售价将为51美元/吨（1.81美元/百万Btu）。由于一般的低硫、含灰10%的动力用煤（硫含量 $<0.8\%$ ）目前矿井售价约为8美元/吨（1.46美元/百万Btu），因此，根据上述这种方式生产的低灰精煤仅可获得8~16美元/吨（0.10~0.35美元/百万Btu）的额外收入。

两段洗选

许多能生产超低灰产品的煤层要想获得合理的回收率，就不能用一段洗选。对于这些煤，需要使用两段洗选，即以很低的比重提取出超低灰精煤，再以较高的比重回收副产品，从而提高总产率。有许多各种各样的两段洗选流程，图一2给出典型的应用框图，它是把煤分成各个粒级，然后进入分别的洗选流程。

为了提高矿物质的解离程度，先将原煤破碎（图一3）。然后通过筛分和脱泥过程将2~0吋的原料分成三个等级（见图一4）。首先使用简单的筛子分出2~3/8吋部分，然后用湿法筛分将3/8吋~28目的部分与-28目的物料分离开。使用水力分级旋流器除去+400目物料中的高灰细粒粘土。

块煤洗选流程（图一5）使2~3/8吋的原煤在标称比重为1.6的主洗重介槽中分选，下沉的物料即作为矸石。通过脱水筛和脱介筛除去附着的重介质以后，浮煤即进入重介再洗槽中按1.35的标称比重进行分选。从再洗槽中得到的浮物是超低灰优质产品，沉物是副产品。

中等粒级3/8吋~28目的煤，利用具有两段精选系统的重介旋流器流程（图一6）洗选。该流程和粗粒煤洗选流程一样，原煤首先进入洗选比重为1.6的一组重介旋流器中洗选，分离出矸石物料，然后浮物进入第二组旋流器，其分选比重低于前一组。在这里，主产品从旋流器的顶部排出，较重的高灰副产品则从其锥下部排出。

对于小于28目的细粒煤，从脱泥系统中泵送至泡沫浮选槽（图一7）。从第一组浮选槽中得到非常清洁的主产品，其尾矿作为第二组浮选槽的入料。第二组浮选槽中得到的浮物主要是高灰产品，尾矿送入浓缩机浓缩后即作为矸石处理。可以有这样一种变更方案：在第一组浮选槽中利用强烈的泡沫把煤浮出，然后将选得的精煤送入第二组浮选槽再选，这时，得到的浮物便作为主要的低灰产品，尾矿作为副产品。

Massey公司所拥有的几个选煤厂都使用了这种两段洗选法。在企业中还可找到其它例子使用这种作了某些修改的方案来生产两种产品。

Massey公司在西弗吉尼亚州的一个选煤厂使用一组重介旋流器选出低灰煤，尾矿经过再

选获得高灰产品。副产品作为动力用煤出售或出口到国外市场或再与主产品混合后作为灰分较高的冶金用煤。该厂具有每年生产125万吨主产品和5万吨副产品的能力,目前主产品的质量在4%—4.5%的灰分之间。在主产品的产率损失不大于5%的范围内,可以很容易获得灰分在3.5%~4%的产品,这些损失可以由得到的质量较好、产量较高的副产品部分地补偿。

Massey公司在宾夕法尼亚州的一座选煤厂使用主、再洗重介分选槽生产高质、低灰的冶金用煤或锅炉用煤,以及含灰较高的副产品出售给各电站。额定生产能力年产250万吨主产品和10万吨副产品。

两段洗选的经济性

Massey公司的另一个选煤厂也是位于西弗吉尼亚州,为分析研究两段洗选法的经济性提供了一个好的例子。目前,该厂每年可生产250万吨灰分为6%的产品,作为冶金或动力用煤;生产的高灰低品位的副产品,与其他灰较低的煤混合后也作为动力煤。

选煤厂经营者认为,假如其总收入等于或超过出售灰分为6%的煤和低品位副产品所得的总收入,那么生产灰分3%或4%的产品是值得的。

改变一下分选比重,利用厂内现有的工艺条件,就可以生产出超低灰主产品。通常可以利用理论产率来近似表示生产低灰主产品的经济效果。由于重介选系统的洗选效率本来就比较,因此,不同比重间的洗选效率的一些差别可以略去不计。

目前,灰分为6%的低硫煤,在矿区的售价大约40美元/吨(1.52美元/百万Btu),我们可以假设低品位的高灰副产品最多只有5美元/吨的价格。该厂灰分为6%的产品理论产率为62.6%,副产品产率为2.5%,因此,在每小时入洗原煤1000吨的情况下,该厂每小时可挣得25165美元($626 \times 40 + 25 \times 5$)。

产品灰分为4%时,理论产率下降到51.7%,而副产品灰分为15%,产率可达11.3%,目前这种副产品的价格约为20美元/吨。因此副产品每小时获得的总收入为2260美元(113×20),不足部分应从灰分为4%的主产品获得。在这样的假设下,灰分4%的产品售价应为44.3美元/吨 $[(25165 - 2260) \div 517]$ 。灰分6%的产品发热量为13,200Btu/磅,而灰分4%的煤,发热量将增加到13,500Btu/磅。因此,灰分4%的煤,在矿区的售价应是1.64美元/百万Btu,以能量为基础计算,比之运到最终用户的售价要便宜一些。按此法类推,灰分3%的煤,售价将是47.20美元/吨(1.73美元/百万Btu)。

如果不生产和不出售灰分15%的副产品,那么灰分4%的主产品价格则应是48.68美元/吨($25165 \text{美元} \div 517$)。可见,为了提高选煤厂的总回收率,通过应用两段洗选法,可以节省成本4美元/吨以上。在这里,生产煤炭的大企业在一定范围的技术规格内,为了满足市场对几种煤炭可以直接出售或混合出售的能力,具有明显的优越性。

结论和展望

从美国许多煤的固有可选性来看,很有可能性采用被证实的常规选煤技术以商业规模生产灰分为2%至4%的精煤,供给对灰分敏感的燃油或燃气锅炉。对某些现有的选煤厂,只