

中国科学院綜合考察委員会資料

編 号:

密 級:

关于油煤混合燃料技术经济的几个问题

中国科学院自然资源综合考察委员会能源研究室

王家诚 郑 合

当今世界由于石油供应紧张和油价猛涨，各国都在积极寻找节约用油的新途径。其中，油煤混合（COM）燃料被认为是有希望代替燃料油的一种新型燃料。COM燃料是将一定细度的煤粉和重油均匀混合而成的泥浆状燃料，可以用于燃油锅炉、高炉喷吹和冶金炉、加热炉等燃油设备。使用这种燃料的主要优点是：1. 节约燃料油，按热值计，油和煤重量比为一比一的COM燃料，可压缩原来燃油量的25~30%（煤的热值为5000—6000大卡/公斤）；2. 燃油设备改造比较经济现实，可利用原有烧油系统、储存设备等，窑炉本体改动较少，停炉改造时间省；3. 扩大煤炭利用范围，一般电站锅炉只能适用烟煤中非粘结性煤，而COM燃料可用无烟煤、烟煤、次无烟煤等。

目前国外对COM燃料的使用，大部分国家尚处于试验研究阶段，研究较早的美国和日本也还没有达到工业应用的地步。我国对COM燃料的研究工作刚刚开始，中国科学院、清华大学、上海燃料太阳能利用技术研究所和杨树浦发电厂等单位，在COM燃料的特性、制备、输送、储存以及燃烧方面，正进行初步的试验研究，并取得一定的进展。本文试图从技术经济的角度，根据当前国内外的研究动态，分析在我国使用COM燃料是否经济合理的问题。

我国试验研究C O M燃料技术的意义何在

与国外主要工业国家的一次能源消费构成以油、气为主不同，我国一次能源的消费构成是以煤炭为主，目前大致为煤炭70%，石油23%，天然气3%，水电4%。石油虽然不是我国的主要能源，但是每年消耗量很大。特别是每年烧油量均在4000万吨左右，其中烧原油1200—1300万吨左右，实在可惜。同时，目前的烧油构成亦很不合理。据统计，1979年全国燃料油计划内分配消费量中，属于作原料和工艺上必须烧油的数量仅占28%，而锅炉烧油量占72%。为了迅速改变不合理的烧油构成和争取多出口些石油以换取四化建设所需物资，国家采取压缩烧油和节约用油的政策是十分必要的。压缩烧油和节约用油的办法和措施很多，我们认为，结合国情因地制宜地使用C O M燃料技术，作为以煤代油节约用油的一个措施，有其一定的意义。

据统计，我国现有锅炉烧油总量（2510万吨）中，原设计烧煤的锅炉烧油量（1150万吨）占46%，而按烧油设计的锅炉烧油量（1360万吨）占54%。根据国家压缩烧油的政策，原设计烧煤的烧油锅炉，必须改回烧煤，这是确定无疑的。一般来说，原设计烧煤的烧油锅炉改回烧煤，在技术上所遇到的问题比较容易解决。然而按烧油设计的锅炉改为烧煤，尤其是容量大、烧油量大的大型电站锅炉改造过程中所涉及的问题较多，需要进行调查研究，提出比较切实可行和经济合理的改造方案。

目前我国按烧油设计的电站装机容量将近700万千瓦，约占总装机容量11%，每年需烧油量1250万吨左右（1979年实际分

配1100万吨)。据初步了解，按烧油设计的电站改为烧煤，首先遇到的问题是锅炉出力降低，发电量减少。根据北京电力设计院提供的410吨/时燃煤与燃油锅炉的比较材料，由于燃料油的热值(9800大卡/公斤)大大高于煤(4830大卡/公斤)，在额定蒸发量的情况下，油炉炉膛容积(1196立米)仅为煤炉(2139立米)的56%。这样，在炉膛尺寸不变的情况下，燃油炉改为烧煤后，出力一般要降低40-50%，相应减少了发电量。若按降低出力40%计称，全国700万千瓦按烧油设计的电站改为烧煤后将减少发电能力280万千瓦，影响较大。

其次，锅炉本体改造工作量大，费用高。在要求不降低出力的情况下，烧油锅炉改烧煤，必须扩大炉容，锅炉的前后墙都要外移，汽包要抬高，水管要接长。为降低尾部烟气流速减少炉管磨损(油炉过热器烟速为10.7米/秒，省煤器烟速为8.5米/秒；煤炉烟速为7.74和7.61米/秒)和提高空气予热器空气出口温度(油炉为310℃，煤炉为220℃)，尾部受热面必须大改，需将油炉的一级空气予热器(管式)和省煤器改为两级布置，以满足烧煤的要求。此外，燃油锅炉改烧煤，要增加燃煤粉的燃烧器，加装吹灰器和排渣槽，增加出灰系统和烟气除尘装置等。上述锅炉改动的工作量和所需的资金，并不比新建燃煤炉的工作量和资金少。例如据上海闵行电厂改造两台400吨/时燃油锅炉(配两台12.5万千瓦发电机组)的估称，在不降低出力的情况下，每台锅炉需资金400万元，时间3-5个月，相当于新建一台同样规模燃煤锅炉的造价和时间。假若烧油锅炉改烧煤在炉膛尺寸不变的条件下进行，降低出力40%左右，锅炉本体改动工作量和资金固然会减少一些，据估计，一台670吨/时烧油锅炉(配20万千瓦发电机组)改烧煤后

出力降为12.5万千瓦，锅炉改造费用约350万元，相当于锅炉原价(820万元)的43%。但是要维持原发电能力，应增加一台220—410吨/时的燃煤锅炉的资金。

第三，燃油电站改烧煤，除了锅炉本体改造外，还需增加制粉装置、各种辅机，以及解决煤场、灰场、运输、环保和提高防震级数等问题。这些，不仅需要增加资金，更重要的是个场地和外部条件的问题。与烧煤电站相比，按烧油设计的电站的厂区布置一般都比较紧凑，若烧油改烧煤后煤场、输煤和出灰渣系统就难于布置，有的甚至还有扩大锅炉厂房等问题。同时大多数按烧油设计的电站布局在远离煤源的消费地区，改烧煤后煤源、运输、排灰场、环保等问题都需要妥善解决。

总之，按烧油设计的电站改为烧煤的问题比较复杂，可能会出现一些难以解决的技术上和条件上的难题。在这种情况下，在国内抓紧试验研究C O M燃料技术，以C O M作为按烧油设计的电站的燃料，达到节约用油的目的，可以作为一个方案来与烧油电站改烧煤的各种方案进行技术经济比较。假如我国现有700万千瓦按烧油设计的电站全部改烧C O M燃料，按C O M燃料中煤的重量比30—50%计标，则每年可节约燃料油200—300万吨以上。这就是在我国开展C O M燃料试验研究的意义所在。如果C O M燃料进一步推广使用于属于必须和合理烧油的各种燃油设备，那么它的节油意义将会更大。

C O M燃料的主要技术内容

各国研究C O M燃料技术从实验室基础研究开始到自前处于工

业性燃烧试验，已有6—7年的时间。我国从1979年开始研究至今虽然尚处于实验室研究阶段，但是吸取国外的成功经验，在较短时间内掌握C O M燃料技术是可能的。

C O M燃料技术的关键是使重油和煤均匀混合乳化，并能达到较长期贮存和稳定燃烧。为了达到燃烧稳定，必须使煤和重油保持一定的比例，并在均质状态下运输和使用，这需要解决煤的粒度、混合比和稳定剂等问题。

重油中煤粉粒度越小，其沉降速度就越慢。要使重油和煤在较长时间保持稳定混合，应尽可能使煤粉的粒度细些。一般认为可采用火电厂所用的粉煤粒度，即200网目（约74微米），这样可以毫不改动地利用现有为火电厂生产的煤粉制造装置。

提高煤的混合比，尽量增加煤粉的用量，可以减少重油的消耗，提高C O M燃料的节油效果。但是过高的煤含量会使C O M燃料的粘度急剧加大，造成运输和使用困难。试验表明，C O M燃料中煤的混合比不宜超过50%。

为了使C O M燃料具有良好的稳定性，可采用两种不同的作法：一种是添加界面活化剂作为稳定剂，另一种是不添加稳定剂，单纯依靠机械搅拌或用电超声、机械簧片哨、旋涡哨等方法，使煤和重油均匀混合。

据国外资料报导，稳定剂的种类很多，大致可分为乳化型和弥散型两类。乳化型稳定剂用量较大（占C O M燃料总量的百分之几），而且往往因在输送时使用泵而破坏乳化悬浮。弥散型稳定剂可被煤的颗粒表面吸附，在电的作用下使煤的颗粒弥散悬浮，这种稳定剂的用量小（仅为乳化型稳定剂用量的十分之一），且可保证大约一个月的静态稳定。日本电力开发公司曾试验了四千种稳定剂，只有

四种能最有效地制备出可稳定 30 天的 C O M 燃料，稳定剂的用量为 C O M 总量的 0.1—0.15 %。美国业已找到一种新型乳化剂，用它可制成在一般烧油锅炉上使用的含煤 50 % 的 C O M 燃料，不需要搅拌可在高达 90°C 的温度下稳定贮存六个月，乳化剂的用量为 C O M 总量的 0.5—5 %。我国上海有机化学研究所根据国外资料报导，最近利用国内化工原料和炼油厂下脚料等原料合成了 11 种分散剂，价格大致为每吨 2000—10000 元，其稳定性能尚好。

从技术经济角度考虑，采用添加稳定剂的方法会增加 C O M 燃料的成本。同时，添加剂在燃烧过程中的变化情况，及长期运行中对锅炉各部件如受热面、引风机、除尘器等的影响不清楚。因此，美国部分运行厂认为最好不采用添加剂的方法制备 C O M 燃料，宁可多消耗些电力将煤磨得更细，以改善煤粉沉降特性，或不停循环使煤粉不沉降。考梯尔超声燃烧公司用 50 % 煤，30 % 油和 20 % 水通过强有力的超声而不加乳化剂制备了稳定的胶体燃料。它是利用超声腔内每秒爆发 2 万次，产生 100 万磅/吋² 数量级的压力，使煤粒子内部和外部受到湿润，从而使包括外层在内的油能够沾住大量的煤—水混合物。超声进一步粉碎预先雾化过的煤粒子，因此提高了燃料的稳定性。由于煤粒度减小，增加了表面积使燃料得到充分燃烧。

我国杨树浦发电厂、清华大学和浙江大学至今进行的 C O M 燃料燃烧试验，都是单纯采用机械搅拌的方法制取 C O M 燃料的。浙大用浙江炼油厂的渣油和平顶山统煤（含量 20—50 %）、清华用东方红炼油厂的渣油和山西混煤（25—30 %）、杨厂用胜利原油和平顶山统煤（20—25 %）在机械搅拌器内制成的 C O M 燃料，分别在 100 公斤/时试验台、1.5 吨/时锅炉和 60 吨/时锅炉上试烧过

多次，每次1小时左右（浙大每次试烧4小时），情况良好，炉火明亮，燃烧效率（98%左右）略低于烧油炉。试验表明，结合我国情况在一般烧油电厂使用C O M燃料，采用不加稳定剂、现搅拌制备现输送燃烧的方法是可能的。当前的问题是要进一步研究试制煤、油混合效果好而且效率高的机械搅拌器。

由于C O M燃料保持液体性质，可以利用原有的储油设备和输油管道。同时国内外的试验表明，C O M燃料的点火和燃烧情况与重油基本相似。然而由于C O M燃料中含有煤的成分，煤中灰和硫含量比重油高，烧油设备改烧C O M燃料时，也需要增加相应的制煤粉、飞灰回收和排灰渣系统；同时对燃烧器等设备要进行些改造；从环保角度考虑，还需增设烟气脱硫装置、电除尘器或布袋过滤器。

美国匹兹堡能源研究中心在1台1.5吨/时火管锅炉上进行1000小时的含煤40%的C O M燃料燃烧试验。主要考察燃烧情况，设备的适应性及排放烟气污染情况。试验中修改了C O M燃料的进料系统，如在燃烧器前增设C O M燃料回流线；在C O M燃料加热器前增加过滤器；增设回压调节器等，以避免C O M进料系统的堵塞与燃烧火焰的波动。试烧结果，炉管内仅有少量灰尘，排出飞灰中的残炭含量21-25%，当调节雾化空气压力并使空气量过剩30%，可使炭燃烧完全；当C O M燃料含煤20%时，炭的燃烧完全程度为99.4-99.8%；烧C O M燃料的锅炉效率为79.9%与烧油（效率为80.1%）基本相同；排放的烟气中，CO、NO_x和SO₂的浓度略高于烧油。

美国通用汽车公司在萨吉诺工厂的1台54吨/时锅炉上进行较大规模的试验，采用50%煤、43.3%重油、6.5%水和0.2%添加剂D-5200的C O M燃料，试烧494小时，耗量950立米，

其中煤的加入量550吨。试验锅炉中安装了除灰装置，即在炉底上装一移动式蒸汽吹灰器和炉尾装一集尘漏斗，但在实际试验中因积灰很少（只有燃料中灰分的1%堆积起来）而未使用。同时，根据使用空气雾化燃烧器和蒸汽雾化燃烧器的对比试验，前者孔径大些，燃烧情况更好，且无积灰和堵塞现象。试验还表明，烧C O M与烧油相比，排放烟气中CO的含量基本相同，而NO_x、微粒排放及浑浊度有所增加。因为排放微粒粒径全都小于20微米，故不能采用机械方法分离，而需增设电除尘器或布袋过滤器。

我国浙大、清华和杨厂等单位在C O M燃料输送和燃烧方面的试验时间不长，还不能提供更多的情况和数据。目前在输送系统试验中出现的的问题是油泵的磨损大寿命短。杨厂使用天津工业泵厂制造的螺杆泵，在进行C O M燃料循环输运试验时，连续运行72小时后螺杆磨损严重，压力急剧下降。目前该厂改用焦油（柱塞）泵和泥浆泵进行试验。浙大使用齿轮泵，经过多次试验运转后，磨损也较严重。因此，有必要委托有关单位进行C O M燃料输送泵的专项研制工作。在C O M燃料燃烧试验方面，杨厂采用机械雾化燃油喷咀，头两次试烧时，喷咀堵塞频繁；后来在喷咀前加装旋转式可清理滤网，同时将试验煤粉全部通过1.5m/m孔电动筛，喷咀堵塞情况大大好转。目前该厂已设计制成了一个美国福尼公司的Verloop型低压空气雾化燃烧器（喷量0.5-0.6吨/时），需配相应的低压风机后才能试用。浙大和清华均采用Y型内混式蒸汽雾化喷咀，并作了一定的改进，雾化和燃烧效果都比机械雾化喷咀好。

综上所述，从目前C O M燃料技术的试验研究情况看，这项技术有希望在近期内推广应用，因而各国政府都十分重视。目前美国

能源部直接资助进行C O M燃料的研究，投资在3000万美元以上，其中包括基础技术研究和工业试验。为了解决石油供应紧张的问题，美国有关专家研究认为在短期内压缩烧油和增加煤的利用的唯一途径是制造C O M燃料。为此，美国政府又特别追加了1亿美元的投资进行C O M的工业试验，还准备增加一个烧C O M的发电容量为20万千瓦机组，来进行示范试验。日本电力开发公司等五个单位的C O M燃料研究工作，也是在政府资助下进行的。加拿大C O M燃料的大部分试验工作，是在联邦政府的改烧煤基金的资助下开展的，主要目的是为了减少对进口油的依赖。

C O M燃料技术的经济性探讨

C O M燃料技术的主要着眼点在于节约燃料油，扩大煤的利用范围。与煤的气化、液化技术相比，它可在较短时间内达到实际应用程度。但是与按烧油设计的电站改烧煤相比，改为烧C O M燃料是否经济合理，尚需进行技术经济比较和研究。由于数据缺乏，只能作些定性的分析探讨。

首先分析一下C O M燃料的价格（或成本）。据美国通用汽车公司的计划方案，重油的价格为1.130日元/千大卡，煤的价格为0.74日元/千大卡，重量比为一比一的C O M燃料价格为1日元/千大卡。日本对上述情况进行了对比试验，经数据分析，充分证实了C O M燃料的单位发热量的价格介于煤和重油之间。美国能源部估计C O M的销售价为9.12美元/百万大卡，比6[#]燃料油9.92美元/百万大卡略低。

影响C O M燃料价格的因素有煤和油的价格、稳定剂价格、制备装置及污染控制设备费用等。在装置和设备费用相同的情况下，煤和油价格的比差越大，C O M燃料中煤的混合比越高，那末，烧油改烧C O M燃料的经济效益越大。美国的煤价一般为油价的 $\frac{1}{2}$ ，烧用含煤30% C O M燃料可节约燃料费15-20%。但是C O M燃料采用加稳定剂的方法制取，对其价格和经济性有很大影响。美国通用汽车公司认为，以稳定剂制取的含煤35%的C O M燃料，工业规模的用户在经济上不感兴趣。

我国一些火电厂煤的入厂价格在30-40元/吨左右，重油的入厂价格在70-80元/吨左右。但与国外相比，我国动力煤的质量差，发热量一般4000大卡/公斤左右。因此，按热值计标，我国的重油价实际上比煤价略低或相等。这样，烧油改烧煤或C O M的经济性自然要受价格因素的影响。也可以这样说，由于我国重油价格偏低，C O M燃料的价格虽然也介于油和煤之间，但与国外正相反，C O M的价格要比重油高而比煤低。当然，我国原油的价格（入厂价130元/吨左右）比重油高，按热值计标的价格也高于煤，这样C O M燃料的价格就比原油低而比煤高。因此，我国烧原油的电站改为烧煤或C O M，要比烧重油的电站改烧，在经济上有利。

再分析一下按烧油设计的电站改烧C O M燃料的改造费用。

在国外，尽管C O M燃料的价格比重油低而比煤高，但为了压缩烧油并不是把烧油电站一次改为烧煤，而致力于研制C O M燃料。这是因为，美日等国按烧油设计的电站居绝大多数，若直接改烧煤，则投资大，设备多，时间长，而且目前的烧油锅炉尚有20-30年的使用寿命，同时由于环境保护要求高，改烧煤后矛盾突出。而C O M燃料属于浆状燃料，易于管道输送，还能适应各种煤种，虽

然烧油电站改烧 C O M 燃料也需增加相应的制煤粉，出灰渣系统和对燃烧器等设备进行改造，但是所需的投资和设备要小一些，停炉改造时间也短一些。据美国 1977 年估计，按烧油设计的电站改烧煤的改造费用每千瓦约需 240-350 美元，相当于新建电厂的一半。其中仅因烧煤需要增加的烟气脱硫装置一项就需花费 100 美元/千瓦。而美国新英格兰电力公司塞兰港电厂在一台 62.5 万磅/时（约 280 吨/时）锅炉上进行 C O M 燃料工业性试验，改造费用估计为 600 万美元，其中 40 % 为改装低油压空气雾化燃烧器和相应的设备，30 % 为 C O M 燃料制备设备。若折合成相应的发电能力 8 万千瓦计标，每千瓦的改造费约 75 美元。美国福尼公司 1978 年估计 10-30 万千瓦能力的燃气锅炉改烧 C O M 燃料的改装费用为每千瓦 84-56 美元（未包括锅炉本体的改装费）。由于改烧 C O M 燃料后燃料费用节约，该公司认为改装是合标的。

在我国，目前 C O M 燃料技术的试验研究尚未达到工业规模的阶段，现无法估计按烧油设计的电站改烧 C O M 的改造费用，也无法与改烧煤的改造费用相比较。不过如前所述，我国原设计烧油电站改烧煤的改造费用相当大。据最近电力建设总局对全国设计烧油电厂改烧煤工作普查资料，30 万千瓦机组烧油改烧煤的改造费用为每千瓦 240 元（望亭电厂），工期一年左右；12.5 万千瓦机组（闸北电厂）的改造费用为每千瓦 220 元，需停产 9-12 个月；10 万千瓦机组（青山电厂）的改造费用每千瓦为 250 元。假若按照平均每千瓦 200-250 元的改造费用计标，全国 700 万千瓦按烧油设计的电站全部改为烧煤，则需总投资 14-17.5 亿元。如果再计标由于停产造成的损失，按 1 个 10 万千瓦机组一年可发电 7 亿度和每度电创造工业产值 5-7 元计，700 万千瓦机组停产 1 年要损失

工业产值2450—3430亿元；再按利润率15%计标，则将损失367.5—514.5亿元的利润。当然，按烧油设计的电站改为烧C O M燃料也需要投资和停产，但根据国外的资料，改烧C O M的费用和损失要比改烧煤的费用少55—70%。特别是在按烧油设计的电站改烧煤的过程中遇到不可解决的难题时，采用改烧C O M燃料的方案具有节约用油的现实意义。

几点看法和意见

1. 目前我国每年烧油量很大，为了节约用油，增加出口，国家积极采取压缩烧油的方针。由于按烧油设计的锅炉烧油量在锅炉总烧油量中所占比例高达54%，特别是现有700万千瓦按烧油设计的电站每年需烧油量1250万吨，若全部改为烧煤，不仅所需投资大、设备多、时间长，重要的是改造过程中在场地和外部条件方面可能会遇到解决不了的难题。在这种情况下，我们一方面要积极开展调查研究，提出切实可行经济合理的烧油改烧煤的技术方案；另一方面应支持和抓紧C O M燃料技术的试验研究和技术经济分析工作，把它列为压缩烧油和节约用油的一项技术措施。

2. C O M燃料技术的经济性和节油效果，与煤的质量和混合比例关系很大。在试验研究中要注意尽可能提高C O M燃料中煤的含量，同时对煤的质量指标（如灰分、硫分）进行合理的选择和规定。为了节能和减少运输量，我国动力煤的洗选问题，应该提到议事日程上加以解决。

3. 当前我国油价偏低，应该适当调整油、煤的比价。否则，

将影响一些烧重油电站改烧煤和C O M燃料的积极性。目前我国烧原油量每年超过1000万吨，从对企业经济有利的角度看，烧原油电站试烧C O M燃料的条件比烧重油电站优越。

44 由于我国按烧油设计电站的锅炉和厂区布置等各不相同，对于每个电站改烧C O M燃料是否经济合理，必须具体进行技术经济比较，然后选择优者。

1980年5月

主要参考资料

1. “全国设计烧油电厂改烧煤工作普查简况”，电力建设总局设计处，1980年3月。
2. “煤油混合燃料——一种节油、扩大煤资源利用的新途径”，程凤阁，“科技参考资料555期”1979年3月。
3. “煤—油混合燃料”，陈开澄等，“能源与热物理”，1980年第一期。
4. “油煤混合燃料的发展方向”，石油部科技情报所编“石油科技动态（油气加工）1”，1980年1月。
5. “煤—油混合燃烧技术资料汇编”，清华大学热能工程系资料室。
6. “烧油锅炉改烧煤技术座谈会简报”，国家计委办公厅编“情况反映（12）”，1980年2月23日。