

柴油煤气机用作河船动力

黃澤炎 編著

人民交通出版社

这本小册子分析柴油煤气机用于内河船舶的优越性，介绍4160型柴油煤气机的改装试验，根据试验过程的心得分析柴油煤气机设计上的几个重要参数，介绍经验数据，最后就使用发生爐煤气工作的柴油煤气机增压的可能性进行探讨，提出三种增压方案作了比较讨论。

这本小册子可供柴油煤气机设计及制造部门参考，也可供用船部门及内河煤气机船船员参考。

柴油煤气机用作河船动力

蔣澤炎 編著

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六号

新华书店发行

人民交通出版社印刷厂印刷

*

1959年8月北京第一版 1959年8月北京第一次印刷

开本：787×1092 1/32 印张：1 张

全書：19,000 字 印数：1—700 册

統一書号：15044·6159

定价(8)：0.13元

目 录

一、柴油煤气机用作河船动力机的优越性·····	2
二、4160型柴油煤气机改装試驗及其結果·····	5
三、对柴油煤气机設計或改装的几点意見·····	10
四、柴油煤气机增压方案的探討·····	24
五、結語·····	29

一、柴油煤气机用作河船

动力机的优越性

全国工农业大跃进和大丰收以来，内河运输十分繁忙，目前内河运输力量远远不能满足形势要求，为此，必须建造大批内河新船。新建内河自航船舶的载重量约自100到2000吨，拖带船只的功率则应自60到600匹马力，这两类船舶都要求配备性能良好、经济实用的中、小功率动力机。目前，发展和改进各类型的河船动力机是造船工作者面临的严重任务。

内河船舶对其动力机的要求是：

1. 热效率高；
2. 重量较轻；
3. 采用地方性燃料；
4. 钢铁消耗量少，造价低廉；
5. 运转可靠；
6. 管理操作方便。

各类船用动力机中，汽轮机及低速柴油机因功率范围不合要求，自由活塞机及燃气轮机尚在研究阶段，故目前只有柴油机、蒸汽机、煤气机在内河航运中的应用较为普遍。蒸汽机以其工作可靠、管理简单闻名，但其热效率甚低，一般只有8~12%，

故耗煤率常達 1.2 公斤/有效馬力-小時以上，同時蒸汽機重量較大，耗費鋼鐵也多，造價也貴，在淺水航道及小噸位船舶上根本無法採用。柴油機熱效率最高，重量最輕，在操作管理及運轉安全可靠等方面的性能皆屬良好，值得推廣使用，但其缺點是採用價格較高的液體燃料，在內河使用的經濟性較差，而且目前大量供應液體燃料還有困難。煤氣機重量雖因加帶煤氣發生裝置而稍遜於柴油機，但和蒸汽機相比仍十分出色。河船蒸汽機單位重量指標約 50~100 公斤/馬力，但煤氣機只有 20~30 公斤/馬力。在熱效率方面，煤氣機也稍低於柴油機而遠遠超過蒸汽機。一般煤氣機耗煤量為 0.5~0.65 公斤/有效馬力-小時，指標較差的都是一些由舊汽車用低壓縮比汽油機改裝的煤氣機，新制的煤氣機一般都能使耗煤量控制在 0.5 公斤/有效馬力-小時左右，燃料費用一項實比蒸汽機節省極多，若和柴油機相比，則因能採用價格低廉的固體燃料，故其燃料費用甚至可比柴油機低 1/2~1/3 倍，目前在內河中之所以普遍樂於採用煤氣機的原因就在這裡。但是，煤氣機的缺點是馬力較小，即單位馬力的重量較大，而在使用上還有某些困難，例如發生爐結渣、氣缸腐蝕及起動困難等等，尤其是易因發生爐工作不良而影響發動機功率，甚至容易因發生爐的故障而影響正常航行。因此，積極改進煤氣機的工作可靠性是必要的，尤其在功率較大的船上，安全航行尤為重要，故一般功率在 100 匹有效馬力以上的河船煤氣機以採用柴油煤氣機為宜。

柴油煤氣機在我國內河中的應用較為罕見，但也有某些航運部門，例如福建省交通廳，早已注意到柴油煤氣機的優點，先後在 6 艘閩江河船中加以採用。一般說來，柴油煤氣機是煤氣機的一種，不過採用柴油來代替電火花引燃，因而要求採用較高的壓縮比（13~15），同時也允許停止煤氣而完全用

柴油工作。但就其性能來說，柴油煤气机接近于柴油机，和电火花引燃的低压縮煤气机相比，具有下列优点：

1. 功率較大，即单位重量較小。一般將柴油机改装成电火花引燃的煤气机时，改装后的功率只等于柴油机的60~75%，若改装成柴油煤气机，則使用煤气时可維持原机功率的85~90%，某些柴油机由于原有設計較保守，过量空气系数較大，甚至改装成柴油煤气机后也能維持原机功率。柴油煤气机若燃用柴油，則功率和柴油机十分接近，只降低1~2%。

2. 運轉可靠。在煤气发生爐工作情况較劣时，可以稍微加大点火油量而維持航速，在煤气发生爐发生故障时，可以改用柴油工作，維持正常航行。

3. 起动及停車采用柴油，不但起动性能良好，而且可以减少气缸腐蝕。運轉性能也优于普通煤气机，在浅水河道中打滩时，加大油門往往可以发出和柴油机相同的功率，也可以完全用柴油打滩，这是电火花引燃煤气机所沒有的优点。

4. 热效率較高。由于采用高压縮比，一般为13~15，而一般普通煤气机只有7至9的压縮比，故热效率較高。但一般燃料总費用仍高于普通煤气机，因为柴油价格极高，点火油的价格高出部分抵偿不了燃煤的节省。

柴油煤气机的点火油消耗量一般为柴油机消耗量的6~15%，在經濟上十分优越，以上海地区牌价計算，燃料費用只等于柴油机的25~30%；在某些边远地区，例如广西、云南等地，这个差額还要显著些。

从上面的分析比較看来，柴油煤气机用作河船动力机是符合于我国国情的技术措施，这种机型值得在全国推广使用。

二、4160型柴油煤气机改装 試驗及其結果

为了取得柴油煤气机的設計及使用經驗，船舶科学研究所曾对济南柴油机厂出品的4160型柴油机进行了改装試驗，配設白煤（即无烟煤）煤气发生爐供給煤气，試驗的結果表明，該机无須改动燃油系統結構，即可保証耗油率在柴油机的15%以下，功率保持在90%以上。

发动机的主要参数是：

气缸直径 $D=160$ 毫米

活塞行程 $S=225$ 毫米

缸数 $i=4$

冲程数 四冲程

功率(柴油机), $N_e=90$ 有效馬力

耗油率(柴油机) $g_e=190$ 克/有效馬力-小时

压缩比 $\varepsilon=16$

改装前后的发动机試驗結果

表 1

项 目	柴 油 机	柴油煤气机	备 注
额定功率	90有效馬力	81有效馬力	
额定轉速	750轉/分	750轉/分	
耗油率	190克/有效馬力-小时	27克/有效馬力-小时	
耗煤率	0	400~450克/有效馬力-小时	未精确測定
总重量	1900公斤	約2600公斤	
单位馬力重量	21.1公斤/有效馬力	30.3公斤/有效馬力	
燃料費用比較	100%	25~30%	
初造价	100%	115%	
每晝夜節省燃料費		120元/台以上	柴油煤气机費 3000元

从经济核算观点看来，柴油煤气机是十分经济的，改装费用（3000元）可在1~2月内由燃料费的节省收回。

改装部分很简单，只是加设煤气发生装置及气体混合机构，燃油系统未加改动，其他结构也和柴油机一样。

所配煤气发生装置的主要性能如下：

炉膛直径	560毫米
炉横面积	0.189米 ²
气化强度	180~200公斤/米 ² ·小时
气化层高度	720毫米
吸气方式	上吸式，中央吸气
吸气管直径	喉颈处2½"
炉子外形尺寸（直径×高度）	φ640×2400
湿滤器外形尺寸（直径×高度）	φ600×2000
干滤器外形尺寸	φ540×1000
煤气导管尺寸	φ4"

发动机在试验室中的试验装置参见图1及图2。

图3是安装在室外的煤气发生炉装置，炉旁即为湿滤器。

图4是发动机改装的气体混合器及进气总管，每两气缸公用一个混合器和一段进气总管。

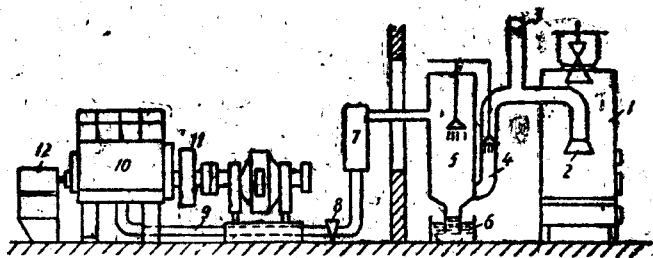


图1 4180型柴油煤气机试验装置

- | | | | |
|---------|--------|----------|----------|
| 1-煤气发生炉 | 2-吸气管 | 3-旁通管 | 4-水淋管 |
| 5-湿滤器 | 6-水封 | 7-干滤器 | 8-4"停止阀 |
| 9-煤气导管 | 10-发动机 | 11-水力测功器 | 12-电力测功器 |

发动机安装在四周挖有防震沟的試車台上，其自由端带动电力风动示功器，用以測繪其工作过程的示功图形。发动机的輸出端拖动水力測功器以測定其有效功率。燃油消耗量采用重量測定法，由三通攷克轉換供給燃油，当发动机使用測定台中燃油时，用秒表計量其消耗。

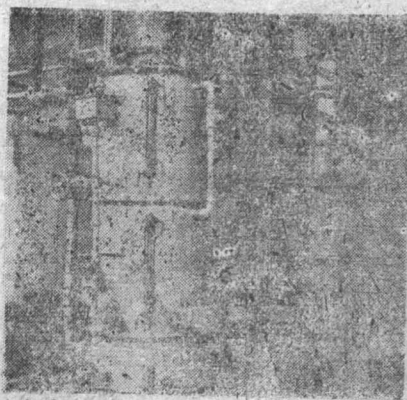


图 3 煤气發生爐和湿濾器

滌以后大約只有 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ 的溫度，进入湿濾器再度冷却与清洗，以后进入干濾器，溫度只有 30°C 左右。干濾器中放有鉄屑及棕絲以消除煤气中的硫化物，最后煤气再沿导管送到发动机的混合器使用。

煤气在各部分的真空度由水柱压差計測得（參見图 4），



图 2 实验室裝置布置

发动机的第三缸装有燃烧滞燃計，用来測定其实际射油提前角及滞燃角度。第四缸上則装設燃烧压力計測定最高爆发压力，參見图 5。

煤气由装設在室外的煤气发生装置供应（參見图 1），由发生爐出来的煤气約具 $450\sim 500^{\circ}\text{C}$ 的高温，經水淋管冷却清

当用煤气工作时，出爐子的真空度約为 120 毫米水柱，混合器前为 160 毫米水柱，进气管中約为 260 毫米水柱。

4160型发动机在實驗室中經歷了下列試驗：

1. 柴油特性試驗——測定改装前燃用柴油的性能。

2. 煤气調正試驗——

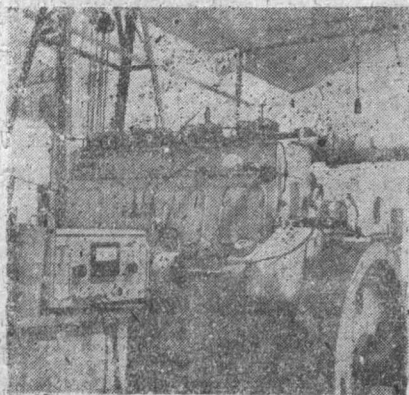


图5 在发动机試驗时所装設的測量仪表的一部分



图4 发动机上所装混合器

改燃煤气工作时，对各項参数及結構进行調正变动。

3. 煤气特性試驗——对按双燃料循环工作时的性能进行鑑定。

4. 煤气发生装置試驗。

煤气調正試驗是最繁重的工作，开始时发动机按双燃料循环工作，只发出50匹有效馬力，且耗油

在30%左右，經過变动爐子蒸汽夹层位置、加大爐栅进风量、选择正确的取气管直径、混合器尺寸調整、气閥間隙調整、射油正时調整及装設旁通空气閥等等一系列工作完成以后，最后达到的指标为功率等于81匹有效馬力，耗油量为27克/有效馬

力-小时。在工作良好情况下，偶尔可得到85匹有效馬力时耗油在27克/有效馬力-小时以下，也能得到81匹有效馬力时耗油为24克/有效馬力-小时，这都不是长期运转的稳定情况，故不能作为其工作指标。

本机改装的特点为：

1. 发生爐的尺寸小、重量輕，直径比常用爐子約小 $\frac{1}{2}$ 左右。

2. 发动机的零件改动較小，燃油器具完全使用原有設備，改装十分簡便。

4160型柴油煤氣机热力計算的主要参数

表 2

参 数	符 号	单 位	数 值
煤氣温度	Tr	°C	30
發生爐系統阻力	Hr	毫米水柱	300
压缩比	Σ		16
总过量空气系数	α		1.7
吸入終点压力	Pa	公斤/厘米 ² (绝对)	0.87
吸入終点温度	Ta	°K	313
压缩終点压力	Pc	公斤/厘米 ²	33
压缩終点温度	Tc	°K	850
燃烧压力	Pz	公斤/厘米 ²	65
燃烧最高温度	Tz	°K	1870
膨胀終点压力	Pb	公斤/厘米 ²	2.64
膨胀終点温度	Tb	°K	985
充气效率	η_h	%	81.15
初膨胀比	ρ		1.228
終膨胀比	δ		13
压力升高比	λ		1.71
平均示功压力	Pi	公斤/厘米 ²	6.42
机械效率	η_M	%	0.82
平均有效压力	Pe	公斤/厘米 ²	5.28
有效功率	Ne	有效馬力	79.6

3. 保証功率为原机的90%以上，而耗油为15%以下，可节省大量燃料費用。

改装后本机尚待改进地方：

1. 控制系统较为复杂，管理较为麻烦，有进一步簡化的必要。

2. 压缩比稍嫌高些，故运转较为猛烈，操作不妥时，特别是撬爐时会出现燃烧压力过高现象，甚至产生敲缸，影响发动机功率。

至于功率，我們曾經再三努力企图繼續提高，但效果一直不佳。我們因此認為，改装后的发动机功率是和原机設計参数大有关系，特别是与过量空气系数很有关系，下面再加以介紹。对4160型柴油煤气机进行的热力計算結果列于表2。

三、对柴油煤气机設計或改装的几點意見

柴油煤气机一般都由柴油机变型而来，即将現时生产的柴油机系統加以改装而成柴油煤气机系統，在这种改装設計过程中，下列論点有助于設計研究：

1. 过量空气系数数值和功率

对于同时燃烧煤气与柴油的柴油煤气机來說，其燃烧所需空气的过量系数共有三种，一为总过量系数 α ，即吸入空气与两种燃料总空气理論需要量之比。其他两系数分别为吸入空气量与煤气或柴油单独需要量之比 α_1 及 α_2 。

三者之間具有一定关系：

$$\alpha = \frac{\alpha_1 L_0^r + b \alpha_2 L_0^{\text{煤}}}{L_0^r + b L_0^{\text{煤}}}$$

式中： b ——燃油加入比例，公斤/标准立方煤气；

L_0^* ——燃油理論空氣需要量，公斤模尔/公斤；

L_0^r ——煤氣理論空氣需要量公斤模尔/公斤模尔。

在一般柴油煤氣機中 $\alpha=1.4\sim 1.8$ ，而 α_1 則在 $1.5\sim 2.2$ 之間， α_2 則隨燃油比例而變。 α 及 α_1 的數值和發動機功率有很大關係，尤其是对柴油機進行改裝時，這一參數尤為重要。

當 α_1 較小時，說明工質中煤氣濃度較大，氣缸尺寸不變的發動機可以發出更大馬力，同時爆發壓力也愈高，運轉更為猛烈，至一定限度時將發生不正常的煤氣自燃現象，發動機不能正常工作。故在一定的壓縮比條件下，對煤氣的濃度有一定限制，一般壓縮比為 $14\sim 15$ 的發動機的 α_1 以 $1.6\sim 1.7$ 為宜。

在將柴油機改裝成柴油煤氣機的过程中，由於氣缸尺寸已經給定，當採用一定壓縮比時，最小的 α_1 數量已被確定，故發動機能夠發出的功率是一定的。換句話說，假如原有發動機設計上較為保守，則設計時取的過量空氣系數較大，那麼在改裝時可能維持原機功率，否則由於一部分氣缸工作容積被煤氣占去，發動機吸入空氣量減小，將要使原機功率減低至一定百分比。

一般柴油機改裝後的功率為：

$$N_e^r = (0.85 \sim 0.90) N_e$$

N_e 為改裝前按柴油循環工作時的功率， N_e^r 為按柴油煤氣循環工作時的功率。當然上述範圍只是一般情況，特殊例子也會超過上述範圍。

2. 敲缸現象和壓縮比的選擇

柴油煤氣機由於吸氣沖程是吸入空氣與煤氣的混合工質，這種工質有一定的自燃溫度和壓力，倘若超過一定數值，氣缸中的工質將自行發火爆炸，而且燃燒過程的進展極為迅速，形成氣缸內的气体壓力沖波，發動機發出金屬敲擊聲音，這就是

所謂爆燃敲缸現象。引起柴油煤氣機爆燃敲缸的原因可以歸納為：

- 1) 發動機壓縮比過高。
- 2) 煤氣中含氫的成份過高。
- 3) 混合比過濃，即過量空氣係數過小。
- 4) 燃燒渦動不佳，致局部煤氣過濃。
- 5) 混合不良。
- 6) 煤氣溫度过高。
- 7) 點火角度過于提前。
- 8) 冷卻水套溫度过高。

這些因素都有影響，尤以壓縮比的影響為重要。我們知道，在電火引燃的低壓縮煤氣機中，假如壓縮比小於9，那麼任何濃度的煤氣都不會敲缸，但壓縮比提高以後就有困難，濃度太高則要敲缸，濃度太低則又點火困難。柴油煤氣機之所以能在很高的壓縮比（13~16）下工作，乃是因為它吸入的工質濃度較低，故在壓縮終點時仍不至於自燃，同時它又利用柴油點火，克服了點火困難的缺點，點火柴油能釋放大量熱能和足夠數目的火苗，故能正常發火工作。但是壓縮終點溫度仍有限制，一般文獻中介紹壓縮壓力和溫度不應超過以下表列數值。

表 3

發 動 機 型 式	壓縮終溫(T°C)	壓縮終壓(大氣壓)
氣體噴射式柴油機	770~870	32~34
機械噴射式柴油機	740~900	28~34
熱球式柴油機	600~680	8~16
電火引燃煤氣機	620~710	14~16
柴油煤氣機	740~860	23~32

虽然上列数据中对柴油煤气机的推荐值和柴油机相差不多，但是由于柴油煤气机吸入的工质并非单纯的空气，而是含有大量一氧化碳的煤气空气混合物，一氧化碳在混合过程及吸入、压缩冲程中将和空气中的氧起变化，形成一种缓慢的氧化燃烧过程，不过速度比燃烧时缓慢若干倍而已。这一过程一般称为预氧化过程，由于预氧化过程的存在，使得在压缩过程中压力及温度的升高较一般柴油机为快，反映在工作循环计算上就是压缩过程的复热变化指数较高，这个数值在文献上推荐为：

四冲程煤气机（快速） $n_c = 1.38 \sim 1.40$

（慢速） $n_c = 1.58 \sim 1.60$

柴油煤气机 $n_c = 1.38 \sim 1.38$

假如上述发动机的活塞具有冷却装置时，则可以从上值中减去0.02~0.03。

由于压缩复热指数较高，故压缩过程温度、压力的升高也很急，这样就限制了压缩比的数值不能过高。当压缩比为15及16时，4160型柴油煤气机的压缩终点压力及温度分别列于下表中。

表 4

	$\epsilon = 15$		$\epsilon = 16$	
	P_c	T_c	P_c	T_c
$n_c = 1.38$	34.2	826	38	850
1.38	36.4	874	40	900

可见，当压缩比为16时， P_c 及 T_c 都超过一般推荐数据。在这次的改装试验中，由于发动机压缩比仍取为16，故运转时发现了爆发压力过高的情况。倘若能将压缩比减至15，则可避

免这种运转猛烈的缺点。

最近，船研所6187型柴油煤气机试验中，发动机的压缩比采取14，试验结果十分令人满意，功率约为原机功率90%以上，而耗油量只有13%左右。因此，可以建议：

对于开式燃烧室柴油煤气机来说，压缩比以14到15为宜，而以15为限界。

一般柴油机改装时降低压缩比的办法为：在气缸套和气缸盖间增加垫片或将活塞顶面削一部分；对于船用式的连杆大端结构，可以利用抽除垫片的办法达到要求。但应注意，削活活塞顶时必须慎重，因为柴油机改成柴油煤气机时，一般爆发压力皆比柴油机高。高速发动机改装后 $P_c=65\sim75$ ，低速机也有55~65大气压，故要注意到强度安全，不能过分削薄。

当压缩比改动时，气缸应增加的容积为：

$$m = V_h \left(\frac{1}{\epsilon' - 1} - \frac{1}{\epsilon - 1} \right) \quad \text{厘米}^3$$

式中： V_h ——气缸工作容积 厘米³

ϵ' ——改变后的压缩比

ϵ ——改变前的压缩比

与此相应，由于气缸工作容积增大，柴油煤气机的功率相应有所增加，其增加值为：

$$\Delta N_e = \frac{m}{V_h} N_e = \left(\frac{1}{\epsilon' - 1} - \frac{1}{\epsilon - 1} \right) N_e, \text{有效马力}$$

式中： N_e ——压缩比降低以前的功率，有效马力。

当然压缩比降低后，热效率要稍低。但这个因素不应作为主要考虑根据。

射油提前角对敲缸现象也有影响，当提前角增大时，爆发压力就有加大的趋势，图6表示爆发压力 P_z 和提前角 ψ 之间的关系。爆发压力加高就会促成运转猛烈，超过一定限度就要发生敲缸，因此提前角不应太大。由于煤气引燃性能较好，工作循环的进行接近于奥图循环，因此滞燃期较短，故原则上说来，射油提前角应该比柴油机减小。

3. 影响耗油量的因素

經試驗中的摸索，可以把影响耗油量的因素归纳成：

- 1) 煤气質量的优劣。
- 2) 油泵和油头的結構及其尺寸。
- 3) 各缸射油量的均匀性。
- 4) 工質浓度的調整。
- 5) 調速器与油泵的連結方式。
- 6) 高压油管的容积。
- 7) 操作管理水平。

煤气質量是主要影响因素之一，当煤气質量較好时，发动机的功率才能发

足，否則必須以額外的燃油来补添煤气热量的不足。一般发动机在柴油開車后2~3分鐘即可使用煤气，但煤气質量开始总是很差，因此耗油量也較大，直至30分鐘后才能使耗油量維持在15%以下。也由于这个原因，对于煤气管路密封的要求就較高，发生爐气化层高度也应适当，否則油量仍将較高。

射油泵的結構形式对耗油的影响很大，共軌定压式油泵的

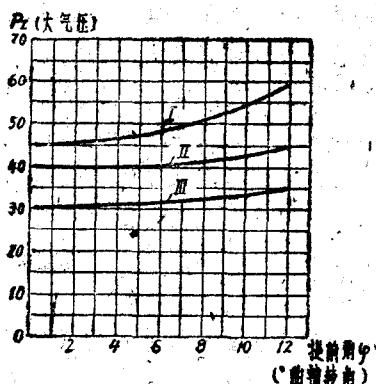


图6 燃燒最高压力和射油提前角的关系

I- $\alpha=1.2$, II- $\alpha=1.8$, III-柴油工作。