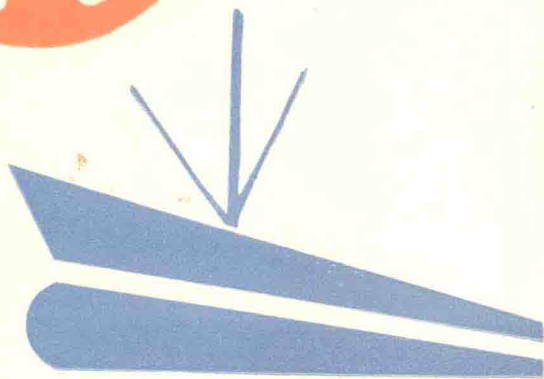


交通实用 节能技术 选编



交通部能源管理办公室

1992·北京

交通实用节能技术选编

Jiaotong Shiyong Jieneng Jishu Xuanbian

交通部能源管理办公室

1992 · 北京

《交通实用节能技术选编》编审委员会

主 任 李宗琦

副主任 何锦淑 陈森亮

委 员 喻钟麟 钮心宪 林宗熊 向隽典

李嘉谷 洪兰芳 熊耀元

前 言

能源的合理利用与节约，国务院已经抓了十多年。1986年又以法规性文件的形式，颁发了《节约能源管理暂行条例》，从而使节约能源的工作，步入了法制轨道，能源节约与开发并重的方针在全国得到贯彻。

交通行业作为国民经济的基础产业，作为国家能源，特别是成品油的消耗大户，节约能源担负着义不容辞的责任。十多年来，交通系统各级管理干部、工程技术人员以及广大实际工作者，积极响应中央的号召，加强管理、精心操作，作了大量开源节流的工作，交通节能取得了明显成效，车船单耗呈现逐步下降的趋势，为国家节省了资源，为企业增加了效益。

在这长期的交通节能工作中，我们特别注重技术进步对节能的推动作用。在交通部能源办公会的统一组织与领导下，交通部能源管理办公室在每个历史时期、每年都制订节能技术进步的规划或计划，并选择一些技术成熟、效果明显、稳定可靠的节能技术项目在全国推广、应用，取得很好的收益。交通部的企业、科研，大专院校大批节能工作人员为此付出了巨大代价，推出了一批又一批的科研成果，供评审、择优、推广。回顾十多年来我们节能技术进步所走过的路，我们对未来交通节能工作的良好前景充满信心。

交通部能源管理办公室，为了把十多年来节能技术成果更广泛地推向全国，组织了科研、大专院校企业节能工作的热心者，收集了“六五”、“七五”期间车船节能实用技术项目，经过比较筛选，收录了三十九篇论文登载于这本选编

之中。这些项目，有的属于新技术、有的属于新产品。在理论上有依根，在使用上有效果。把这些成果推荐给交通系统以及所有车船使用部门，希望能够针对本地区、本企业的实际，选择对自己比较实用的项目，应用推广，相信必定会取得一定效果。

这本汇编的出版，可以说是集体智慧的结晶，许多同志为本汇编论文的编审付出了心血，在此，谨向他们致以衷心的感谢。另外，我也想借此机会，向长期关心、支持交通节能工作的各有关领导、专家，表示我们诚挚的谢意。向长期从事交通节能技术研究、推广的广大工程技术人员致以亲切的慰问。愿我们共同携手、并肩前进，进一步推动交通节能工作的开展，为我国的交通事业乃至国家的现代化建设事业，作出我们应有的贡献。

交通部体改司 李宗琦

一九九一年十二月

内 容 提 要

本书由39篇论文组成,所选论文反映了“六五”、“七五”期间车船等节能实用技术,有的属于新技术、有的属于新产品,这些实用技术,在理论上依据,在实用上有效果。所选论文针对性强且切合实际,基本反映了我国“六五”、“七五”期间交通节能工作所取得的成果。

。 本书主要选列了水运、汽运及港机类节能技术成果。

责任编辑 熊 耀 元

目 录

一、水运类

1. 船舶减功航行及主机优化调整	(1)
2. 螺旋桨随边切割节能技术	(11)
3. 船舶最佳纵倾节能技术	(21)
4. 船舶停泊时的节能	(33)
5. 国产渣油在船用低速柴油机上的应用	(37)
6. 8NVD48A—2U型柴油机加装中冷器	(51)
7. 潮汐与节能	(60)
8. 内河船舶柴油机燃用劣质油技术	(70)
9. 浅吃水肥大型万吨级散货船	(76)
10. 风帆助航	(82)
11. 2000t级沿海综合节能示范船	(91)
12. 非对称双尾鳍船型	(101)
13. 平头涡尾 (PW) 船型	(112)
14. 双尾船型的推广应用	(121)
15. 前置导管节能技术	(130)
16. 新型海船余热锅炉	(141)
17. 内河船余热利用	(150)
18. 锯末纸浆机油滤清器的应用	(158)
19. 减少船体粗糙度的节能技术	(165)
20. 气象导航节能技术	(178)
21. 锅炉及热交换器的化学清洗	(191)
22. 大型船用柴油机缸套减磨节能技术	(204)

23. 船舶补偿导管节能技术 (211)
24. 1940kw推轮加装减速齿轮箱技术..... (232)

二、汽运类

25. 跃进NJ130型、东风EQ140型、北京BJ130
型和北京BJ212型汽车节能技术改造..... (239)
26. 解放CA10B型汽车节能技术改造 (245)
27. 子午线轮胎与节能 (252)
28. 化油器与节油 (259)
29. 汽车风扇离合器 (269)
30. QJ系列汽油机曲轴箱通风节油阀 (283)
31. 润滑油质量检测仪 (290)
32. 汽车化油器浮子室液面稳定器 (304)
33. 阳离子乳化沥青在道路工程中的应用
及其发展情况..... (316)
34. 太阳能综合加热生产乳化沥青工程 (324)
35. 刘呈初驾驶汽车节油经验 (333)

三、港机类

36. 交流电机固态节能起动器 (341)
37. 节能型扭矩抓斗 (353)
38. FDD—34型防震电子电度表及其应用..... (357)
39. 锅炉微机控制系统 (366)

1. 船舶减功航行及主机优化调整

交通部上海船舶运输科学研究所 朱辛华

一、技术简介

船舶减功航行技术是一种利用船舶螺旋桨原理来实现节能的方法。船舶推进的一个特点是消耗的推进功率大致与螺旋桨转速的三次方成正比，因此，对于高速大功率船舶，只要稍稍降低些航速就可以得到幅度要大得多的燃油节省，例如万吨级杂货船若降速1kn就可能使同样航程的耗油量节省14%左右，这样大的幅度是其它改进所难以达到的。但是要实现这点，必须解决如下两个技术关键问题：

1. 如何根据船舶本身及外界营运条件的变化正确确定最合理的减速程度，使之不仅最省油，而且船东可得到最大的综合经济效益。

2. 大幅度减功运行使主机长期在低负荷下工作，由于这时的工作参数和设计工况参数相偏离而导致工作过程的严重失调，不仅使耗油率上升、抵消减速节能的效果，而且将因燃烧换气不良、积碳磨损及低温腐蚀而损及主机的长期运行可靠性、增大维修工作量，限制了减速节能技术的应用。因而还必须同时解决主机部分负荷性能的改善问题。

为解决上述技术关键问题，可利用“剩余功率利用技术”，即通过一系列的优化调整手段，重新组织柴油机及增压器的工作循环及它们间的相互配合，使由原先优化于额定设计工况改变为优化于需要长期运行的部分负荷工况，既解除了由于结构参数匹配失调而造成的工况恶化的种种毛病，

而且还可以“变废为利”，把减功运行后主机巨大的机械负荷和热负荷裕量转化为柴油机热效率的提高，进一步降低了耗油率。在风茂轮上的试验证明：通过优化调整，50%负荷比耗油率下降 $12\sim 14\text{g/kW}\cdot\text{h}$ ，使部分负荷时的比耗油率低于设计工况值。

本技术的节能原理由两个方面结合而成，首先是大幅度减功航行；其次是主机优化调整。这两个方面是相互联系缺一不可的，不实行大幅度减功航行，就不能得到显著的节能效果，同时也就不存在进行低负荷调整所必须的机械强度及热强度裕量；如果不对主机进行优化调整，则即使大幅度降低了功率也不能保证其长期可靠的运行，两者的结合才能使节能效果更为显著。

技术措施要点：

1. 根据船舶本身状态（以船舶性能系数 K 表征）及对航次条件（货种、航线、运费率、航行率、载重率、油价等）的预估数据来确定具有最大经济效益的航速，帮助船东在减功运行时减小盲目性。

2. 主机优化调整所包括的内容主要有：

（1）压缩比调整 在爆压不超过设计值的范围内，提高压缩比是改善其热效率的有效途径，同时还增大了气口换气式二冲程柴油机的有效行程。

一般通过在连杆大端加垫附加的压缩垫片的方法来提高压缩比，也有通过抽除气缸盖垫片法来实现的。各种不同机型在调整压缩比时要根据各自不同的结构特点采取措施以保证安全运行。

（2）喷油定时调整 在最大爆压和压力升高比不超过合理限度的条件下，通过调整，适度增大喷油提前角，使燃烧放热曲线前移，使最大爆压所对应曲柄角向上止点靠拢，

从而提高了部分负荷时的热效率。调整量及调整方法随机型不同而异。

(3) 燃油系统元件结构参数的适配 低负荷运行时, 柴油机的循环喷油量大大减少, 在50%负荷时, 循环喷油量减少30%~40%, 加之油泵柱塞速度的减慢, 更使喷油压力下降, 雾化质量及油束和燃烧室形状的配合均偏离设计工况, 使燃烧恶化。为此, 可以重新设计喷油系统元件, 如改变柱塞直径、凸轮型线等, 其中最简便有效的措施是更换小喷孔油嘴以适当缩小喷嘴总通流截面积及减小孔径。在Sulzer RND柴油机上的小喷孔油嘴对比试验表明, 可以使比耗油率降低 $8\text{g/kW}\cdot\text{h}$ 左右。

(4) 冷却剂工作温度的优化调整 在部分负荷下工作时, 气缸的放热强度远低于设计工况, 加之上述对循环的优化亦使排温下降, 单位时间由冷却剂带走的热量减少。针对这种情况, 把气缸冷却水及活塞冷却水(油)温度提高到高于说明书规定的额定工况冷却剂温度之上, 将兼得以下三方面的好处: ①减小冷却热损失, 提高循环热效率; ②提高缸套表面温度, 防止低温腐蚀; ③稍微增大供给透平的能量及有助于船舶供热平衡。

(5) 涡轮增压器及增压系统的优化匹配调整 低负荷工作时, 原设计的增压器通流能力明显过大, 导致转速低、扫气压力不足。在采用柴油机工作循环优化调整而使循环热效率提高后, 供给透平的废气能量进一步减少, 使这矛盾更加突出, 其后果是充量密度不足, 燃烧过量空气系数和扫气质量将严重恶化。对RND柴油机所进行的开/停辅助鼓风机试验证明, 在50%负荷时, 仅接入一台辅助鼓风机使扫气压力提高 0.003MPa , 就可以得到使比耗油率降低 $7\text{g/kW}\cdot\text{h}$ 左右、排温降低 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的显著效果。因此, 优化匹配增压器以提

高扫气压力是剩余功率利用技术中的一个重要组成部分。由于更换增压器喷嘴环及扩压器需要较大的初投资,投资回收期长,不易为船东所接受。因而初期的主机优化调整并未包括这一内容,1989年起开发成功了“增压器低投资优化匹配技术”,迄今已在6艘船上改装试验成功。该技术是通过计算及实船试验确定能增大到所要求的扫气压力值而又不影响增压器总效率的流道尺寸,利用原有的部件进行改装以实现喷嘴通流面积的减小,同时修改扩压器尺寸,以防止喘振。

以上主要技术措施的分别或组合应用将使主机的低负荷性能有不同程度的改善,从而为减速运行节能创造条件。

这项技术是由交通部上海船舶运输科学研究所开发成功的,1981年在风茂轮进行了成功的实航试验,1982年通过了交通部组织的部级鉴定后进入推广阶段。由于其在推广过程中显示出的技术水平和经济效益突出,1985年获国家科技进步三等奖。

二、节能效果

1981~1982年在上远风茂轮上进行了8个月的对比试验,对本技术的节能效果测得了大量的数据,并在部级评审中得到确认。兹介绍如下:

风茂轮,1.3万t杂货船,主机6ESDZ76/160型,6618 kW/(122 r/min)。当常用转速由100 r/min降为91 r/min时,消耗的功率减小25.3%,主机比耗油率降低13 g/kW·h,即降低6%,使日耗油量减少6t,降幅为29.1%,1n mile耗油量降低23.3%。这样的节油效果是其它节能技术所难以达到的。

代价是航速比原来降低7.7%,扣除由此造成的固定成本的增加,仍能使单位海里营运成本降低11.6%,每1n mile

盈利分摊增加8.3%。表明采用这项节能技术不仅对节能有效,对于提高船舶营运综合经济效益亦是明显有利的。

风茂轮在1982年提供的试验数据在以后近10年200余艘船的推广实践中得到了进一步的证实,根据各公司提供的减速调整前后航次能耗对比数据表明:对原始航速为14kn左右的船舶减速1~1.5kn并进行主机优化调整后的节能幅度大致在18%~28%范围内,单独采取主机优化调整的节能幅度为4%~8%(未包括增压器优化调整的得益)。

在估算可得节能效益时,采用以下公式。若航速由 $v_0(\text{kn})$ 减速到 $v(\text{kn})$,则每1nmile耗油量(F_{OCM})节省率为:

$$\frac{F_{OCMO} - F_{OCM}}{F_{OCMO}} = 1 - \left(\frac{v}{v_0}\right)^2 (1-k) \quad (1-1)$$

每1nmile节油量:

$$\Delta F_{OCM} = F_{OCMO} \left[1 - \left(\frac{v}{v_0}\right)^2 (1-k) \right] \quad (1-2)$$

付出的代价是每1nmile航行时间增加,增加量 Δt_m 为:

$$\Delta t_m = \frac{1}{v} - \frac{1}{v_0} \quad (1-3)$$

上述各式中 k 为主机优化调整后比耗油率的降低百分比,实践证明可取 $k=0.04\sim0.08$,依不同的机型以及允许的爆压调整幅度而异。

例如某轮原来日耗油量24t/d, $v_0=14\text{kn}$,每1nmile耗油量 $F_{OCMO}=71.4\text{kg/nmile}$ 。今降低航速1.5kn并对主机进行优化调整, $k=0.05$,则由以上各式可以估算得到下述结果:

每1nmile耗油量较原来下降35%,即由每1nmile耗油

由71.4kg减少为53.5kg；同时每海里的航行时间比原来延长0.0085h；说明，通过减速航行以稍微增加海上航行时间可换取大幅度的节能，每增加一天航行时间可为企业节油50t。

三、技术经济分析

这项技术除了上述巨大的节能效果外，对企业而言，所取得的经济效益亦是可观的。减功航行的最大盈利航速及其最大盈利取决于一系列技术及营运条件，需要每个航次进行计算。我国远洋船队中一些典型船舶航次经济分析的结果表明杂货船及散货船的最大盈利航速在当时条件下一一般在9~13kn的范围内，很少有超过13kn的。这一分析为扩大这项节能技术的应用面提供了依据。对风茂轮进行的技术经济分析表明，该轮在减速1.1~1.2kn的条件下，在相同航距基础上比较，节油量4.8t/d，扣除航速降低导致的船期损失和固定费用增加的影响，在当时核算条件下，每天增加盈利885元。

这项技术改造的投资费用很低，一般每艘船2万元左右，包括增压器改造在内也不超过3.5万元。投资可在短期内收回，因此可以采用不考虑资金的时间价值的简单计算方法。以风茂轮的例子其投资回收期仅22.5航行天；对于已经降速的船舶，若仅进行主机优化调整，按每天节油0.8~1.2计，其投资也可以在35~50天期间得到收回，因此，推广应用这项节能技术在经济上总是合理的。

除此之外，在技术上有下述的突出优点：调整简便，目前已形成规范化操作和熟练的技术队伍，全部工程只需3天左右时间，因此可以利用待泊装卸货时间进行改装而不需退出营运，安全可靠，迄今已改造200余艘，最早的风茂轮已

运行10年,没有收到过由于这项技术改造而造成故障的报告。相反地,大量的实船使用报告反映改造后烟色改善,排气温度下降,气口及扫气箱污染堵塞情况明显改善,大大改善了船员维修工作量,船员在初期的疑虑已消除,船员普遍欢迎这项节能技术改造。

四、适用范围及推广中应注意的问题

1. 适用范围

(1) 主机具有一定的功率裕量的船舶。因为主机优化调整是基于“剩余功率利用技术”,可利用的剩余功率愈大,节油潜力也愈大。因此,首先可供考虑的是70年代及80年代初建造的高速大功率船,这些船目前常用功率在50% MCR左右,有的甚至低到30% MCR。其次,对于那些常用负荷率为65%~70%,最大负荷率不超过80%的船舶也可以应用本技术。

(2) 适用于各种机型。迄今我们已经改造成功的机型包括 Sulzer、B & W、MAN、Göta verker、12V300、Doxford等厂的各种型号柴油机,都得到良好的结果,尤以回流扫气机型的性能改善更为突出。

(3) 主机技术状态应正常,这主要是指机件没有异常故障。

(4) 在1~2年内不打算退役或出售的船舶。

2. 推广中应注意的问题

(1) 经过10年的开发、改进和应用,这项技术已经成熟,其效果已获公认,在当前单耗下降徘徊不前的形势下,更应加速推广应用该技术,使在尽可能短的时间内把符合前述条件的船舶改造完毕,尤其是70年代建造的高速老龄船,愈早改造,得益愈大。

(2) 减速程度的确定要进一步科学化。单从节能降耗的角度,降低航速总有好处,但从企业综合经济效益出发,应力求每航次的减速程度能符合该船该航次的实际条件而获得最大的收益。这方面已经开发了有关软件系统,但实际上应用不多,因为计算时有些输入数据要进行预估,这造成使用的麻烦和某些不确定性,但如果善于利用和分析每条船的航次报表和决算资料,是有可能减少减速决策中的盲目性的。

(3) 减速应和优化调整结合进行,有时为了迅速取得节能效益,也可以先减速后调整,但如果忽视了后者,只减速不调整,就可能导致船舶技术状况恶化,船员维修工作量加大,节能效果也不能完全实现,在这方面是有经验教训的。所以在实施减速方案后应同时或随即组织对主机及增压器进行优化调整工作。

(4) 对船舶进行优化调整应力求技术规模化及改造力量专业化。在制定优化调整方案时,要充分考虑各船主机的结构差异及技术状况。

五、推广应用情况

据不完全统计,这项技术在国内推广应用的船舶约200艘,这是指进行了综合或单项优化调整的船舶数。减速航行的船舶更是普遍,在高油价下维持原来航速的船舶已找不到了。减速程度平均为1.5kn左右。年平均节油量700t/艘的估计是合理的,不计减速而未调整的船舶,仅以这200艘船的减速调整所形成的年节油量为14万t。以平均油价470元/t计年节约油费可达6580万元。

除此之外,在香港地区已推广改造了70余艘共200余万t船舶,也取得了巨大的经济效益。

六、应用实例

上海远洋公司风茂轮, 13500t杂货船, 主机是国产6ESDZ76/160型柴油机。设计目标由原来常用100 r/min降到91r/min, 负荷率由67%降低到42.7%, 即消耗功率减小25.8%, 设计最高转速为105r/min。采取的优化调整措施包括:

1. 有效压缩比由11.1提高到11.67, 在连杆大端加垫厚度为6mm的压缩垫片。

2. 各缸喷油提前角根据平衡原则分别提早 $3.3\sim 4.6^{\circ}\text{CA}$, 平均提前 3.88° 。

采取以上两项措施的结果是:(1)使压缩压力提高 $0.3\sim 0.4\text{MPa}$; (2)使爆压提高 $0.6\sim 0.7\text{MPa}$; (3)压力升高比提高3%左右; (4)工作循环达到最大压力的相应曲轴转角提前 $2.5\sim 3^{\circ}$, 燃烧初始点提前 4° 左右; (5)相同转速下的比耗油率降低 $7.5\text{g/kW}\cdot\text{h}$ 。

3. 用 $125^{\circ}\times 12\text{孔}\times 0.65\text{R}$ 的小喷孔油嘴取代原来的 $125^{\circ}\times 10\text{孔}\times 0.85$ 规格, 使喷孔截面积减小30%, 并采用了喷孔内缘倒角的新结构。

对比试验结果(1)使比耗油率进一步降低 $5.5\text{g/kW}\cdot\text{h}$ (2)平均排气温度下降 10°C ; (3) P_{max} 升高 $0.2\sim 0.4\text{MPa}$; (4)油管最高压力在不同转速下提高 $4.7\%\sim 14.2\%$ 。

4. 提高气缸冷却水温度 10.5°C 。使(1)各缸平均排气温度升高 4°C , 透平前压力提高 266.6Pa , 扫气压力提高 399.9Pa ; (2)比耗油率改善了 $1.3\text{g/kW}\cdot\text{h}$; (3)改善了气缸工作条件。

改造后的耐久试验表明柴油机运行稳定可靠, 积碳减少