

6300ZC 型柴油机加中冷节能研究

张家良

(湛江水产学院, 524025)

摘 要 我院与广西北海海洋渔业公司、广州柴油机厂合作,对 6300ZC 型柴油机加中冷节能研究,经四年多的努力,设计、研制了二代空冷节能器样机,台架试验和实船试用,均取得了明显节能效果,使 6300ZC 型柴油机性能、燃油耗率达到国内先进水平。

关键词 柴油机, 节能, 燃油耗率

6300ZC 型柴油机是我国国营渔业公司主要渔轮主机,标定功率 441、552kW,标定转速 400、500r/min,使用说明中标燃油耗率为 225、220g/kW·h,油耗偏高,因此生产成本低。而目前我国水产捕捞企业中尚有 400 多台,陆用发电机组及航运部门使用的数目则更多。如何降低该机型的燃油耗率,具有重要的现实意义。对该机从不同角度进行节能研究,取得了一定成果。如 711 研究所和上海海洋渔业公司、宁波动力机厂共同合作,对该机的活塞、活塞环、进排气凸轮、燃油系统及气缸盖等进行技术改造,使该机燃油耗率降到 212g/kW·h(156g/HP·h)(水产节能技术专辑,1992)。广州柴油机厂研究所对该厂生产的该机型进行了全面技术改造,采用新型增压器等,使该机燃油耗率降到 215g/kW·h(158g/HP·h)。

我院与广西北海海洋渔业公司、广州柴油机厂合作,对 6300ZC 型柴油机配套设计空冷节能器,进行节能研究。北海海洋渔业公司资助研制经费并负责实船试验,湛江水产学院张家良、唐文模两位副教授负责设计研制空冷节能器样机,广州柴油机厂负责台架试验。先后已作二代样机,经台架性能对比试验,燃油耗率由 215g/kW·h 降到 209g/kW·h(153.6g/HP·h)达到国内先进水平。转速 500r/min 时,功率可由 552kW 提高到 600kW,最大功率达 623kW(847 马力)仍无黑烟,功率增大,技术状态良好。北海海洋渔业公司先后在北渔 407 船和北渔 421 船安装空冷节能器,并派科技人员随船进行实船试验,同样取得了明显效果。

1 节能机理

柴油机与增压器的匹配,其增压度按增压压比分高增压(2 以上),中增压(1.4~2.0)和低增压(1.4 以下)。柴油机增压后进气压力、温度均升高,柴油机的机械负荷,热负荷也相应增加。空气从大气状态“0”压缩到增压状态“K”所发生的密度变化,根据气体状态方程式可写成:

$$\frac{\rho_k}{\rho_0} = \frac{P_k}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_k} \quad (1)$$

收稿日期:1995-04-11。

(1)水产节能技术专辑,1992。老 300 型柴油机的节能改造。渔业节能通讯,(26):51。

由上式可知,增压空气密度 ρ_k 与压力 P_k 成正比,而与出口绝热温度 T_k 成反比。提高增压度可使柴油机平均有效压力成倍增加,功率成倍增大,这是增压柴油机的绝妙。但增压柴油机的机械负荷和热负荷必须限制在适当范围,这是柴油机工作者应努力实现的目标。

高温空气直接供柴油机使用,对柴油机带来不利影响。(1)它会使气缸中的工作气温相应升高,与工作气体相接触的零件如喷油器、活塞、活塞环、气缸套和气缸盖等所承受的热负荷增加。(2)高温空气将使气体密度减少,油耗增加,柴油机功率不能充分发挥。(3)增压空气温度升高后会造成柴油机排气温度急剧升高,使机舱温度大大升高,造成涡轮叶片强度下降,零件不耐用,机械负荷增加引起事故。

对于增压没有冷却时,由压气机绝热效率 η_k 的定义可知:

$$T_k = T_0 \left\{ \frac{1}{\eta_k} \left[\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] + 1 \right\} \quad (2)$$

当压比 $\frac{P_k}{P_0}$ 一定时,经过压气机压缩后,空气密度 $\frac{\rho_k}{\rho_0}$ 的提高受到压气机绝热效率 η_k 的限制,为使 $\frac{\rho_k}{\rho_0}$ 获得提高,必须对增压空气中间冷却,故高增压、中增压普遍采用了中冷,而低增压柴油机上采用中冷国外不见报道,国内很少人考虑。主要原因是受柴油机原理经典理论的影响,认为“当增压器出口温度低于 70°C 时,装中冷作用不大[刘颖,1980]。因此低增压柴油机原机出厂未有中冷。

6300ZC 型柴油机的增压器型号 VTQ2018T 增压器出口绝热温度 T_k 可按(2)式计算:

$$T_k = T_0 \left\{ \frac{\pi_k^{\frac{k}{k-1}}}{\eta_k} + 1 \right\}$$

式中, π_k ——压比实测 1.38 ~ 1.42, 取 $\pi_k = 1.4$; η_k ——压气机效率 0.72; t_0 ——环境温度,随机舱温度升高而升高。

$$\text{当室温 } t_0 = 25^\circ\text{C} \text{ 时, } T_k = 298 \left\{ \frac{[1.4^{(0.4/1.4)} - 1]}{0.72} + 1 \right\} = 339^\circ\text{K}$$

即 $t_k = 66^\circ\text{C}$, 故原机未用中冷。

所谓中冷,就是在增压器与进气管之间装一个空气冷却器,用冷却水对增压空气冷却后再进入气缸内。油耗可降低,功率可增加 20% ~ 50%。

南方的广东、广西和海南省常年气温高,机舱通风不好,实测渔船主机增压空气温度高达 80°C ,到西沙、南沙捕捞生产气温更高,其机轮温度 t_0 与增压空气温度 t_k 关系如下:

t_0	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	42°C	45°C	48°C	50°C
t_k	60°C	66°C	72°C	78°C	83°C	86°C	89°C	93°C	96°C

排气温度与增压空气温度的关系:增压空气温度每升高 10°C ,排气温度升高 $25 \sim 30^\circ\text{C}$ 。增压空气温度经过中冷,每降低 3°C ,空气密度可提高 1%。

根据空气流量方程式:

$$G_k = \frac{V_h \cdot n \cdot \eta_r \cdot r}{2 \times 60 \times 1000} \quad (3)$$

式中, G_k ——进入柴油机气缸的空气量; η_r ——柴油机充气系数; n ——柴油机转速; r ——进气门前空气(重量密度)比重; V_h ——柴油机工作容积。

由上式可知,空气密度增加可使进入气缸的空气量增加。我们为 6300ZC 型柴油机匹配设

计了空冷节能器,经台架试验实测得知,降低了增压空气温度 $30 \sim 40^{\circ}\text{C}$,即可提高空气密度 $10 \sim 13\%$,进气量增加使气缸内燃油燃烧更加完善,降低油耗,达到了节能的目的。同时使柴油机功率充分发挥[唐文模和张家良,1981]。

低增压空冷节能技术的研究,我们于1982年开始,1985年列为重点科研项目,1989年通过技术鉴定,1990年4月获广东省重大科研成果登记证书。这是一项创造性的应用技术,打破了增压经典理论框框,将空冷节能理论向前发展了一步,已在多种机型数十台机上推广应用,将科技转化为生产力,现又发展在6300ZC型柴油机上实船使用,取得了明显效果,是节能的有效措施之一。

2 设计要点及其主要参数

空冷节能器的设计,包括热力计算和总体布置结构设计,其要点为:

(1)总体布置紧凑合理,配机工程小尽量不改原机,容易被操作人员所接受。空冷节能器的设计关键是提高传热系数,降低热阻,保证水密和气密,增加冷却效率,选最佳匹配效果。

(2)将空冷节能器装在增压器上方,取下原机的进气弯管,使经过冷却后的空气通过新作的一条弯管进入柴油机进气总管。布置紧凑,安装简单。冷却水系统可将海水泵的水有一路分支,通过空冷节能器后排出舷外。

(3)确定空冷节能器所需散热面积和外形尺寸,使空冷迎风面积和深度尺寸之间形成最佳组合,从而使空冷节能器效率高、体积小、重量轻、阻力小和造价低。

(4)选择合理的空气流速,使空冷效率与空气阻力损失,外形尺寸之间形成最佳组合。

(5)选择合理的冷热流体水当量比,并使热阻与克服表面两边的阻力所消耗的功率之间形成最有利的比值。

(6)组织最佳流动形式,选定合理的冷却水流速,从而使冷热流体向获得最大的温差数值和最高冷却效果。

(7)选择合理结构形式和外形尺寸,防止漏水、漏气,并使拆装清洗方便,不影响机舱通道[船用柴油机设计手册编委会,1983]。

渔船通风条件差,机舱空间小,进出港频繁,水质污秽,腐蚀严重。因此对空冷节能器的结构形式,外形尺寸提出了更严格的要求。经热力计算得到如下主要参数:

空气流量	$G_k = 1.2 \sim 1.3\text{kg/s}$;	空气进口压力	$P_k = 0.14\text{MPa}$
水流量	$G_w = 7.7\text{kg/s}$;	冷却度	$\Delta t_k = 30 \sim 40^{\circ}\text{C}$
散热面积	$F = 16.65\text{m}^2$;	冷却效率	$\eta = 0.81$
气阻压力损失	$\Delta P_k = 0.003\text{MPa}$;	肋片系数	$\varphi = 11$

3 台架试验

本试验是由广州柴油机厂提供全套测试技术、测试设备和测试仪表(符合国标),并有进口的自动油耗仪等先进仪表。

表 1 6300ZC-1 型柴油机加空冷节能器台架性能对比试验记录

Table 1 The record of the contrast experiments on the benches of model 6300ZC-1 diesel engine with a matching intercooler

测量项目		负荷率		原 机					装空冷节能器后					
				50%	75%	90%	100%	110%	50%	75%	90%	100%	110%	超负荷
柴油机转速(r/min)				500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	514
柴油机功率(kW)				276	413	497	552	606	276	413	497	552	606	623
燃油耗率(g/kW.h)				236	223	214	215	218	230	220	208	209	210	
各缸爆压(MPa)	缸次	1		6.0	6.3	6.4	6.5	6.6	6.0	6.3	6.4	6.4	6.5	
		2		6.0	6.2	6.4	6.5	6.6	6.0	6.2	6.3	6.5	6.6	
		3		5.7	6.2	6.3	6.4	6.5	5.7	6.2	6.3	6.3	6.5	
		4		5.9	6.2	6.4	6.5	6.6	5.8	6.3	6.3	6.4	6.6	
		5		6.1	6.4	6.8	6.95	6.95	6.0	6.4	6.5	6.8	6.8	
		6		6.0	6.3	6.4	6.5	6.6	6.0	6.3	6.3	6.4	6.5	
各缸排温(°C)	缸次	1		275	310	350	380	385	270	305	340	370	375	
		2		275	310	350	375	380	270	300	340	355	370	
		3		275	310	360	365	375	270	300	350	360	370	
		4		275	310	360	365	375	270	310	350	355	365	
		5		275	315	360	390	390	270	310	350	360	370	
		6		275	315	350	375	380	270	310	350	360	370	
上排气歧管排温				310	420	430	440	446	305	405	415	420	425	
增压系统	增压压力(MPa)	空冷前		0.114	0.126	0.142	0.146	0.150	0.114	0.126	0.140	0.142	0.150	
		空冷后							0.113	0.125	0.138	0.138	0.146	
	增压空气温度(°C)							60	60	65	70	78	83	
装空冷器后空气温度°C								30	30	32	34	35	38	
润滑系统	机油压力(MPa)	滤前		0.56	0.55	0.55	0.55	0.56	0.55	0.55	0.56	0.55	0.55	
		滤后		0.47	0.47	0.48	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	
机油温度(°C)				48	48	48	48	50	48	48	50	50	50	
冷却系统	温度(°C)	进机		28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
		出机		45	45	51	51	54	45	45	48	48	50	54
	进空冷器水温(°C)								28	28	28	28	28	
出空冷器水温(°C)									30	30	30	30	30	

注:机型为 6300ZC-1, 标定功率:552kW; 试验日期:1994.11.23; 环境温度:22°C; 标定转速:500r/min; 增压器型号:VTQ208T; 相对湿度:61%。

广州柴油机厂是生产 6300 机型的厂家, 因此将研制的空冷节能器分别安装在该厂生产的 6300ZC-1 船用和 6300ZL-1 陆用发电机组用的两种机型上, 分别在该厂研究所试验机组上和 产品试验车间试验台上, 参照国家标准 GB3254-85 柴油机台架试验方法进行。对原机不 装空冷器和装空冷器, 在相同条件下, 于 1993 年 7~8 月和 1994 年 11 月进行了反复的对比试

验,取得了可靠数据。台架试验记录见表1。夏天气温高更需要冷却,节能效果更好。

试验结果综合如下:

(1)在标定工况下,燃油耗率由215g/kW·h降低到209g/kW·h,达国内先进水平。

(2)对增压空气冷却由60~83℃降低到30~38℃,使6300ZC型柴油机降低进气温度30~40℃,增加空气密度10%~13%,提高了柴油机空气过量系数和总空气量过量系数,使燃油燃烧更加完善,油耗降低,达到节能的目的。

(3)由于进气温度降低,热负荷、机械负荷降低,零件耐用,减少事故,延长机器使用寿命。

(4)装空冷节能器后进行了加大功率的测试,转速500r/min,功率由553kW(750马力)增加到606kW,最大功率达623kW(847马力)仍无黑烟,柴油机技术状态良好。

台架对比试验数据是科学评价空冷节能器设计研制水平的重要依据,更重要的是看实船使用效果和用户的反映,通过实践来检验。

4 实船试验

台架试验虽然取得了好的效果,但要将科技转化为生产力,被广大用户所接受,却不是一件容易的事。

两代样机实船试验,1991年7月安装在北渔407船、1994年8月分别安装在北渔407船和北渔421船上,科技人员随船测试。

(1)试验目的为测定空冷节能器安装在渔船主机6300ZC型机上,实际生产中的节油率。

(2)安装方框图

进气系统:增压器→空冷节能器→主机进气管

冷却系统:海水泵→空冷节能器→舷外

燃油:日用油箱→流量计→主机

流量计:自流式,公称直径 $\phi 10$,压力0.16MPa,流量0.04~0.4千升/小时,合肥仪表厂生产。

(3)经济效果

北渔407船于1992年10月13日至12月25日,实测节油率3%~5%,已经使用二年多了。北渔421船于1994年8月22日至11月12日,科技人员随船进行实测,航次节油率3%以上,航次节油1420.74公斤;按油价2000元/吨,直接经济效益2841.48元/航次,间接经济效益按该船南沙生产,每航次油箱装油52吨,安装空冷节能器后节约的油,每航次可多捕鱼一天,其所增加的收入扣除每生产一天的费用,实增值8537.44元/航次。该轮到南沙生产每年按9航次计算,单船年增效益为 $(2841.48 + 8537.44) \times 9 = 10.24$ (万元)。

5 小结

6300ZC型柴油机匹配空冷节能器的研究,对空冷节能理论的发展起了推进作用,理论和实践充分证明,它是这种机型节能挖潜最有效的途径,投资少,见效快。从台架试验和实船试验取得了明显效果,为将科技转化为生产力创造了条件。广西北海海洋渔业公司计划逐步推广使用。在6300ZC型船用柴油机和6300LC-1型陆用发电柴油机组上应用空冷节能技术,深信必将会被越来越多的科技人员和用户所接受。

参 考 文 献

- [1] 刘 颖, 1980。船舶柴油机原理, 571。国防工业出版社(京)。
- [2] 唐文模、张家良, 1981。渔船柴油机及传动装置, 289~290。广东科技出版社(广州)。
- [3] 船用柴油机设计手册编委会, 1983。船用柴油机设计手册(六), 377~380。国防工业出版社。

STUDY ON ENERGY SAVING OF MODEL 6300ZC DIESEL ENGINE WITH ANINTERCOOLER

Zhang Jialiang

(Zhanjiang Fisheries College, 524025)

ABSTRACT Zhanjiang Fisheries College, Guangxi Beihai Fishery Company and Guangzhou Diesel Engine Factory have jointly studied the energy saving on Model 6300ZC Diesel Engine with an intercooler for four years. Two types of sample machines have been designed. The experiments on benches and in real ships have been made. The obvious effects on the energy saving were observed. Both the characteristics of the energy saving and the consumption of fuel oil have reached the advanced level in our country.

KEYWORDS diesel engine, energy saving, consumption of fuel oil