

对 ATL25 柴油机增压器喘振裕度的研讨

龚凯伦

(东风柴油机制造厂, 重庆 400026)

摘要: 通过采用增大增压器喷嘴环面积的办法, 拓宽了 ATL25 型柴油机配机增压器的喘振裕度, 台架试验(包括实船运行)表明, 该方法简便且行之有效, 可满足特定船舶对主机的特殊要求。

关键词: ATL25 柴油机; 增压器; 喘振裕度; 试验

中图分类号: TK421+.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2009)05-0036-04

Discussion on Surging Orangin of Supercharger for ATL25 Diesel Engine

Gong Kailun

(Dongfeng Diesel Engine Factory, Chongqing 400026)

Abstract: The surging orangin of the supercharger of ATL25 diesel engine is increased by enlarging the nozzle ring area. Bench test (including on board test) show that this method is easy and effective, and can meet with the special requirements for the main engine of specific ships.

Keywords: ATL25 diesel engine; turbocharger; surging orangin; test

1 前言

东风-苏尔寿 ATL25 型柴油机具有结构紧凑坚固、使用安全可靠、油耗低、性能优良、操作维修简便等优点, 是当今世界先进的中速柴油机之一。

近年来与发动机技术同时发展起来的增压器技术也取得了很大的发展, 但是怎样把迅速发展起来涡轮增压技术和已经相当成熟的发动机技术结合起来, 圆满地解决两种不同运动的机械匹配, 使其既能充分发挥效能, 又能满足各种突变工况, 已是迫切需要研究和探讨的新课题。

2 对喘振裕度要求的提出

2.1 苏尔寿公司 VTR250 增压器配机情况

(1) 从苏尔寿公司提供的资料来看, 用 VTR250 增压器(脉冲式增压)配 ATL25 型 750 r/min 柴油机, 在 100% 负荷时的额定增压比 $\pi_k = 2.9$, 空气流量 $G_k = 2 \text{ kg/s}$ ($t_0 = 27^\circ\text{C}$ 、 $P_0 = 0.1 \text{ MPa}$)^[1], 换算到 15°C 时的

流量约为 $V_{288} = 1.72 \text{ m}^3/\text{s}$ 。根据 VTR250 压气机特性曲线图(图 1)可知, 这一配机额定点在 $\eta_k = 0.76$ 的等效率曲线附近, 离喘振线很近, 压气机在高效率区工作, 其喘振裕度^[2]为:

$$C_Y = \frac{V_s - V_c}{V_c} \times 100\% = \frac{1.72 - 1.58}{1.58} \times 100\% = 8.9\%$$

式中: C_Y 为柴油机额定负荷时的喘振裕度; V_s 为柴油机额定负荷时的空气流量; V_c 为柴油机额定负荷时喘振的空气流量。

(2) 苏尔寿公司用 VTR251 增压器(脉冲式增压)配 ATL25 型 1000 r/min 柴油机, 在 100% 负荷时的增压比 $\pi_k = 2.9$, 空气流量 $G_k = 2.75 \text{ kg/s}$ ($t_0 = 27^\circ\text{C}$ 、 $P_0 = 0.1 \text{ MPa}$), 折合流量约为 $V_{288} = 2.37 \text{ m}^3/\text{s}$ 。根据 VTR251 压气机特性曲线图(图 2)可知, 配机额定点在 $\eta_k = 0.78$ 的等效率线上, 其喘振裕度为:

$$C_Y = \frac{V_s - V_c}{V_c} \times 100\% = \frac{2.37 - 2.15}{2.15} \times 100\% = 10.2\%$$

2.2 理论要求

苏尔寿公司根据欧洲内河水流较为平稳的航运情

收稿日期: 2008-12-17; 修回日期: 2009-01-14

作者简介: 龚凯伦(1949-), 男, 工程师, 研究方向为中速柴油机设计与制造, E-mail: 757393665@qq.com。

况,且 ATL25 型柴油机具有高增压比($\eta_k = 3.1 \sim 3.4$),从理论上讲高增压比要求压气机在高效区工作,而且高转速增压器(VTR250 转速为 30 000 r/min)只有在接近喘振线处才具有良好的运行线。

2.3 实际要求

东风-苏尔寿 ATL25 型柴油机用作川江船舶的主机,必然会在滩多水急转弯多的水域内作变工况运行。如“江汉 62”轮、“长江明珠”轮、“北斗”轮、“国宾”轮等,都是使用 ABB 公司原配苏尔寿 ATL25 型 750 r/min 柴油机的 VTR250 增压器。在遇到紧急情况时,主机换向由“前进三”开倒车(即前进三-停-倒车一)时,或使用倒车,由“倒车四”到“倒车二”(或“倒三”至“倒一”)时,主机工况相当于突卸负荷。主机运动部件因阻力大,转速很快下降,而增压器转速高,因本身的惯性,一时不能停转,瞬时供气量不变,相对于柴油机来说,此时的压气机供气量变大了,致使压气机背压升高而发生喘振。另一种情况则是发生在转弯时,特别是急转弯,因舵要偏转一个角度,致使两桨之间的负荷分配不均,靠近转弯中心的内桨负荷增加,引起柴油机负载突增,调速器控制油门自动加大油量,相对于柴油机来说此时压气机瞬时供气量不足,使得增压器与柴油机暂时匹配失衡,不可避免地出现喘振。

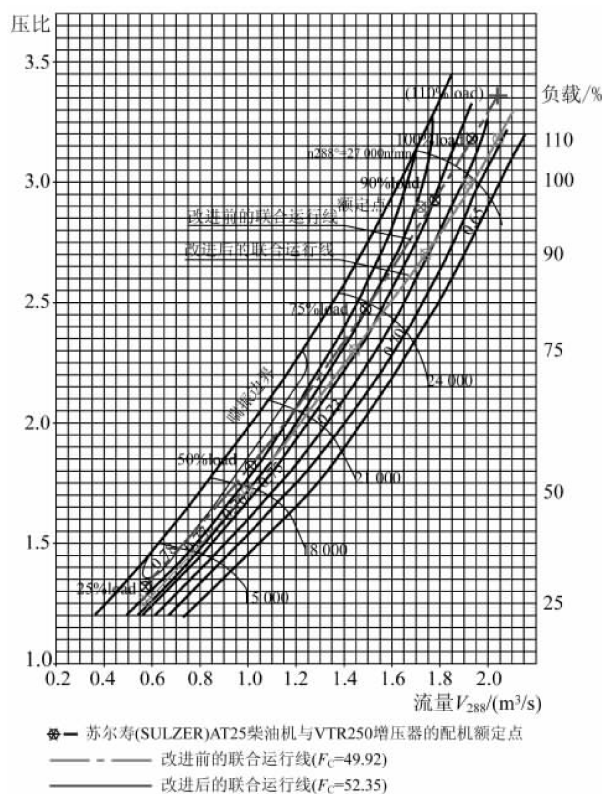


图 1 VTR250 Z4 R338 压气机特性曲线

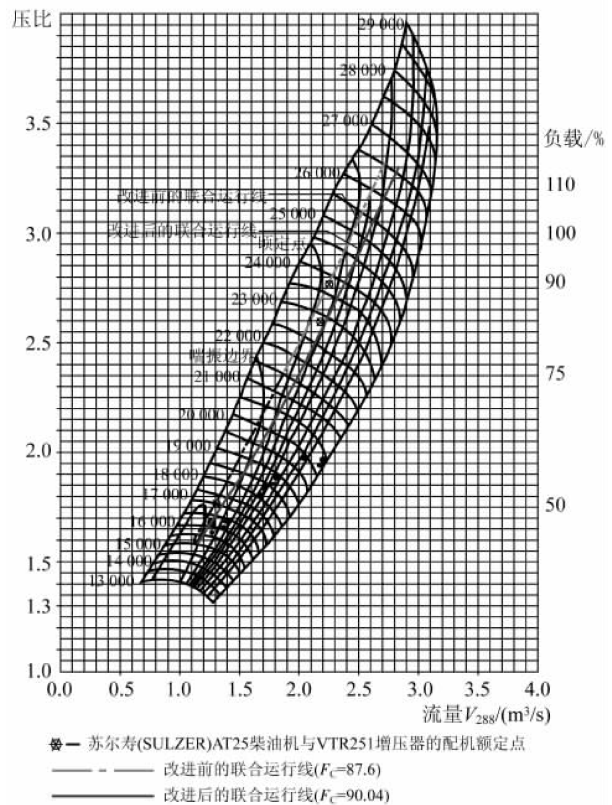


图 2 VTR251 F5 T23.2 压气机特性曲线

增压器发生喘振时,除了引起压气机叶片强烈振动,发出噪声外,还使出口压力下降,直接导致柴油机进气管压力不稳定,因而使发动机转速也不稳定,达不到预期的增压比,破坏了压气机的正常工作,甚至损坏压气机零件。虽然增压器产生喘振现象是暂时的,船检局从航行安全着想,希望在制造东风-苏尔寿 ATL25 型柴油机时,能拓宽配机增压器的喘振裕度,并要求参照铁道部内燃机车对增压器留有 15% 的喘振裕度来实施。

一方面,要想提高发动机效率,只能使压气机在高效区工作,不得不靠近喘振界线运行;另一方面,在不影响涡轮效率的情况下,满足川江船舶的特殊要求而拓宽喘振裕度。这显然是矛盾的。

3 在台架试验中的改进

为了找出解决办法,需对增压器喘振裕度做深入的分析,分别对 VTR250 增压器配 ATL25 型 750 r/min 柴油机和 VTR251 增压器配 ATL25 型 1 000 r/min 柴油机做对比改进试验。

3.1 对 VTR250 增压器的改进

3.1.1 原设计方案

DF005/92-01 为东风-苏尔寿 ATL25 型

750 r/min 柴油机, 持续功率 $N_e = 960$ kW。根据苏尔寿公司推荐选配的增压器是 VTR250, 规格为 ZB4 R338IIIHH51 AW3PR。1992 年 2 月 24 日将编号为 XCN1190 增压器按推进特性作匹配试验, 数据见表 1。

连续两次在负荷加至 110% 时都发生喘振, 可

以断定喘振是由于柴油机超负荷运行时, 空气流量不够造成的。100% 负荷时, 根据实测空气流量算出此时的喘振裕度 $C_y = 12.2\%$ 。根据这一情况, 征得船检意见后, 换装另一台编号为 XCN1191 增压器, 于 1992 年 2 月 26 日重新按推进特性作空气流量试验, 数据见表 2。

表 1

主机负荷/%	100	110	90	75	50	25
主机转速 $n/(r/min)$	752	774	724	682	594	475
扭矩 $M/(Nm)$	12 220	13 060	11 440	10 060	7 640	4 890
增压气转速 $n_t/(r/min)$	27 540	29 000	26 250	23 640	18 510	11 850
空气流量 $V_{288}/(m^3/s)$	1.935	发生喘振	1.78	1.49	1.01	0.57
压比 π_k	3.18		2.930	2.47	1.82	1.32

(注: 推进特性的负荷加减顺序, 是按当时试验时的顺序来列表的, 以下同。)

表 2

主机负荷/%	25	50	75	90	100	110
主机转速 $n/(r/min)$	472	595	682	724	750	775
扭矩 $M/(Nm)$	4 860	7 700	10 100	11 340	12 270	13 100
增压气转速 $n_t/(r/min)$	11 550	18 280	23 410	25 950	27 560	29 000
空气流量 $V_{288}/(m^3/s)$	0.55	0.98	1.48	1.73	1.93	2.04
压比 π_k	1.32	1.83	2.47	2.86	3.16	3.36

在试验中, 除突卸时发生喘振外, 其余工况均未发生喘振, 在 100% 负荷时 $C_y = 12.8\%$ 。这是由于该两台增压器喷嘴环实际面积不一致而产生的不同效果。XCN1190 喷嘴环面积为 $F_c = 49.92$ cm², 而 XCN1191 的 $F_c = 50.04$ cm² (虽然名义面积 $F_c = 51$ cm², 但是在制造时允许有 2.5% 的偏差), 因而出现不同的台架试验效果, 但是两台增压器与柴油机匹配的运行线基本重合。

3.1.2 改进方案

防止喘振的办法有两种, 一种是使喘振线左移, 这需要减小扩压器通道喉口尺寸, 但拆装、加

工不方便。另一种行之有效的办法是使运行线右移, 这只需要增大喷嘴环喉部截面尺寸, 且加工方便。 F_c 增大后, 涡轮的通流能力增大, 压气机的流通面积也随之增大, 这样就可以避免喘振。根据这一方案, 通过估算, 将喷嘴环加工到 $F_c = 52.35$ cm² 左右 (略超偏差上限值)。

3.1.3 改进后的试验

XCN1191 增压器的喷嘴环加工到 $F_c = 52.35$ cm² 后, 于 1992 年 4 月 13 日又按柴油机推进特性再次试验, 数据见表 3^[3]。

表 3

主机负荷/%	110	100	90	75	50	25
主机转速 $n/(r/min)$	7 744	753	725	680	594	469
扭矩 $M/(Nm)$	13 150	12 230	11 420	10 100	7 710	4 810
增压气转速 $n_t/(r/min)$	28 760	27 200	25 800	23 200	17 980	11 320
空气流量 $V_{288}/(m^3/s)$	2.043	1.897	1.741	1.447	0.993	0.575
压比 π_k	3.18	2.96	2.72	2.32	1.72	1.26

试验中各工况运行良好, 包括突卸在内均未发生喘振, 其余性能指标都达到标准。从两次试验的

运行线比较中可以看出, 喘振裕度已从 12.8% 拓宽到了 17.8%, 见表 4 和图 1。

表 4

负荷/%	喘振裕度/%	
	修改前	修改后
110	12.7	18.8
100	11.1	17.8
90	10.9	17.6
75	10.9	17.6
50	12.5	22.5
25	15.8	38.5

3.2 对 VTR251 增压器的改进

3.2.1 原设计方案

DF008/92-03 东风-苏尔寿 ATL25 型 1 000 r/min 柴油机, 持续功率 $N_e = 1\,320\text{ kW}$, 根据苏尔寿公司推荐, 选配的增压器是 VTR251, 其规格为 F5 T23.2 IICH86 AW3PR, 实际配机增压器的喷嘴环面积 $F_c = 87.6\text{ cm}^2$ 。1992 年 10 月 18 日按推进特性进行增压器流量试验, 数据见表 5^[4]。

表 5

主机负荷/%	100	110	90	75	50
主机转速 $n/(r/min)$	1 000	1 032	969	909	792
扭矩 $M/(Nm)$	12 620	13 430	11 730	10 370	7 930
增压气转速 $n_t/(r/min)$	25 160	26 520	24 290	21 700	17 350
空气流量 $V_{288}/(m^3/s)$	2.448	2.63	2.25	1.87	1.30
压比 π_k	2.99	3.22	2.77	2.36	1.77

各工况运行良好, 未发生喘振, 100% 负荷时喘振裕度 $C_Y = 10\%$, 但是取下测量空气流量的锥型流量计, 则 110% 负荷时发生喘振。并且根据以前的经验, 只有 11.3% 的喘振裕度是不能满足需求的, 故仍采用增大喷嘴环面积的办法来处理。

3.2.2 改进后的试验

由于对增压器喘振裕度的要求还处于摸索中, 对于增加多少面积才能满足 15% 的要求, 无法准确计算, 因此先后将喷嘴环面积加工到 88.36、89.36 cm^2 , 都按推进特性进行了空气流量试验, 但均达不到要求, 于是根据前两次的经验, 将喷嘴环加工到 90.04 cm^2 。1992 年 10 月 30 日, 用 $F_c = 90.04\text{ cm}^2$ 的增压器再次按推进特性作空气流量试验, 数据见表 6^[4]。

表 6

主机负荷/%	100	110	90	75	50
主机转速 $n/(r/min)$	1 000	1 033	965	909	794
扭矩 $M/(Nm)$	12 600	13 410	11 750	10 420	7 940
增压气转速 $n_t/(r/min)$	25 400	26 600	23 850	21 240	16 460
空气流量 $V_{288}/(m^3/s)$	2.38	2.58	2.174	1.85	1.26
压比 π_k	2.78	3.01	2.6	2.238	1.68

试验表明, 改进达到要求, 在 100% 工况额定点的喘振裕度已达到 18.5%, 足以满足川江船舶的要求。前后两次的对比试验所作的运行线见图 2, 对比数据见表 7。

表 7

负荷/%	喘振裕度/%	
	修改前	修改后
110	8.2	15.7
100	11.3	17.2
90	11.4	15.6
75	13.3	20.9
50	13	17.8

通过两台不同转速柴油机的台架试验, 可以看出脉冲增压的增压器喷嘴环面积变化率分别为:

$$VTR250 = \frac{52.35 - 51}{51} \times 100\% = 2.65\%$$

$$VTR251 = \frac{90.04 - 86}{86} \times 100\% = 4.7\%$$

试验证明: 脉冲式增压器的喷嘴环面积在 +5% 内变化, 对涡轮效率不会有明显的影响, 因而不会影响柴油机其它性能指标。

4 推广应用

取得拓宽增压器喘振裕度的一些经验后, 就可以直接应用到其它的 ATL25 型柴油机上, 对于配 750 r/min 主机的 VTR250 增压器, 可在喷嘴环原有面积的基础上增加 1.25 ~ 1.5 cm^2 。这样即能满足柴油机各项性能指标, 又能保证川江船舶的航行安全。例如对 DF007/92-04, 在摸底试验后, 直接将喷嘴环面积增加了 3.5 cm^2 , 一步加工到位, 于 1992 年 12 月 8 日一次交验成功, 喘振裕度为 15.32%^[5], 取得满意的效果。从 1992 年至今, 我厂一般都采用这种较为成熟的技术来解决喘振问题, 2008 年 7 月底在“蓝鲸”游轮上对增压器的匹配, 就是对这种技术成功应用的证明。

综上所述, 为了拓宽船舶柴油机增压器的喘振裕度, 采用增大喷嘴环面积的方法简单易行, 是一种值得推广的方法。

参考文献

- [1] 东风苏尔寿 ATL25 柴油机使用说明书[R]. 重庆: 东风柴油机制造厂.
- [2] 曹孝瑾. 涡轮增压器与柴油机的匹配[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984.
- [3] DF005/92-01 柴油机台架试验报告[R]. 重庆: 东风公司东风柴油机制造厂, 1992.
- [4] DF008/92-03 柴油机台架试验报告[R]. 重庆: 东风公司东风柴油机制造厂, 1992.
- [5] DF007/92-04 柴油机台架试验报告[R]. 重庆: 东风公司东风柴油机制造厂, 1992.
- [6] 刘颖. 船舶柴油机原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.