

性能与排放

关于主机用 TBD620V16 柴油机限制特性油量标定的研究

张晓亮, 靳源锋, 李林书, 孙 勇, 云 炎

(河南柴油机重工有限责任公司, 河南 洛阳 471003)

摘 要: 通过对 TBD620V16 柴油机限制特性曲线的适用性验证, 及其配置海茵茨曼电子调速器油量标定技术的研究, 在对几种可能方法的验证比较后, 形成了针对该型柴油机的限制特性油量标定的可行方法。通过该方法正确设置柴油机各转速功率, 可避免柴油机出现部分工况下转速异常, 或超负荷运行而导致排温高、拉缸等故障。

关键词: 柴油机; 限制特性曲线; 电子调速器

中图分类号: TK424.3⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2021)03-0032-04

Research on Calibration of Fuel Quantity Under Limited Characteristic of TBD620V16 Diesel Engine Used as a Main Engine

Zhang Xiaoliang, Jin Yuanfeng, Li Linshu, Sun Yong, Yun Yan

(Henan Diesel Engine Co., Ltd., Henan Luoyang 471003)

Abstract: Through the applicability verification of TBD620V16 diesel engine limit characteristic curve and the research on the fuel quantity calibration technology of HEINZMANN electronic governor, a feasible method for the fuel quantity calibration under diesel engine limit characteristic was put forward by verification and comparison of several potential methods. This method was used to set the diesel engine power with different rotational speeds correctly, which can avoid abnormal speed under some working conditions, or over-load operation, which may lead to the faults of high exhaust temperature and scuffing, etc.

Key words: diesel engine; limit characteristic curve; digital electronic governor

0 引言

柴油机用作船舶主机时, 考虑工作可靠性和使用寿命, 须限制其在各转速下的最大有效功率, 使其机械负荷和热负荷不超出规定的允许范围, 否则, 柴油机将因超负荷导致故障停机, 危及船舶的航行安全。

柴油机按限制特性工作时, 不同转速下喷油泵的每循环供油量须根据限制条件做相应的调整。在国内, 大多数用作船用主机的大功率高速柴油机所使用的机械调速器、液压调速器、模拟电子调速器, 对于燃油限制都是采用在柴油机标定工况下,

通过设定最大供油限制螺钉的方式来实现的。随着电子技术的应用, 国外船用主机, 如 MTU 柴油机和 DEUTZ-MWM 柴油机等, 其调速系统已普遍采用数字式电子调速器, 可通过在调速器控制程序中设置相应的燃油限制曲线, 限制不同工况下的燃油量, 达到保护柴油机的目的。

TBD620 柴油机为德国 DEUTZ-MWM 公司 600 系列柴油机的第五代机型, 其最高功率档 (2 240 kW/1 860 (r · min⁻¹)) 的 TBD620V16 柴油机凭借优良的技术性能, 广泛应用于船舶主推进动力领域。充分利用该型柴油机配置的海茵茨曼数字电子调速器中的油量限制功能, 研究设定与柴油机相匹

配的限制特性曲线和油量标定方法，对防止柴油机出现因限制特性功率设置较低，导致在试航过程部分工况下转速拉不上；或因限制特性功率设置较高导致超负荷运行，排温高及拉缸等故障的发生，具有十分重大的意义。

1 柴油机限制特性曲线研究

1.1 TBD620V16 柴油机限制特性曲线

TBD620V16 柴油机(2 240 kW/1 860(r·min⁻¹))的限制特性曲线图由 DEUTZ-MWM 公司提供(见图 1)。整个工作范围被分成四个区域：区域 1 为柴油机持续运行工作范围；区域 2 为包括 3% 超速的调速工作范围；区域 3 为出于船舶加速目的允许短期工作的范围；区域 4 为根据船舶的用途允许有限时间运行的范围；Ⅱ为燃油限制曲线、Ⅲ为额定螺旋桨曲线。在船舶的设计中务必使船舶长期运行的功率范围不越出区域 1。图 1 给出了三个功率标定点：L₃(1 867 kW@1 750 r/min)、L₃'(2 053 kW@1 805 r/min)及 L₃''(2 240 kW@1 860 r/min)。L₃ 为 100% 功率的标定点，即可长期使用的最大功率。L₃'、L₃''分别为超载 10% 和 20% 的工作点，这两种功率只能有限制地使用，具体分别为每 12 h 内使用 2 h 和每 12 h 使用 1 h。该设计可符合大部分巡逻艇的使用工况要求^[1]。

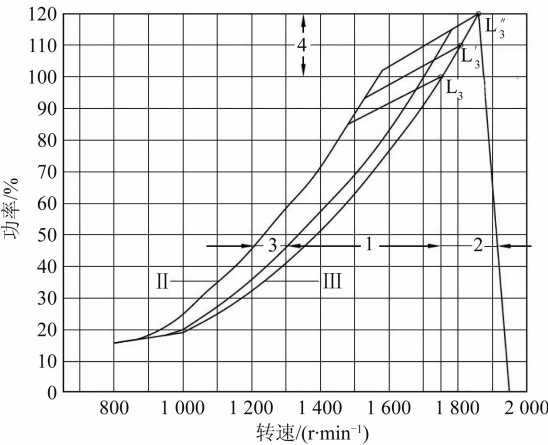


图 1 TBD620V16 船用主机工作特性曲线
($n=1\,750\sim1\,860\text{ (r}\cdot\text{min}^{-1})$)

1.2 TBD620V16 柴油机限制特性曲线的适用性验证

TBD620V16 柴油机自 2000 年由 DEUTZ-MWM 公司的引进许可技术生产以来，虽然增压器、喷油泵、喷油器等关重零部件仍主要选用 ABB、Bosch 公司的产品，但在经历多次国产化改进提高后，柴油机功率能否在相关参数限制值范围内达到理论限制特性线，是该型柴油机能否按限制

特性曲线标定燃油限值的重要前提。因此须对其进行适用性验证。

在一台 TBD620V16 柴油机上，按标准工艺调整调速器拉杆、喷油提前角，然后分别按推进特性、限制特性进行台架试验。期间，测定柴油机各转速下热工参数、执行器油量，并监控柴油机最高燃烧压力、涡轮增压器转速和涡轮排气温度等限制参数。当各转速下柴油机相关参数达到限制值(表 1)时，记录柴油机功率。柴油机限制特性试验相关性能参数见表 2。

表 1 主要限制参数

增压器涡轮前 排气温度/℃	增压器转速/ (r·min ⁻¹)	最高燃烧 压力/MPa	最大排气 背压/kPa
≤650	≤52 000	<18	≤2.5

根据以上试验结果可以看出：在目前生产型 TBD620V16 柴油机标准配置状态下，柴油机在限制特性线相应功率上，各项参数均在相应限值范围内；柴油机在各转速下的最大功率均高于限制特性线功率(图 2)。因此，该限制特性曲线图(图 1)适用于目前 2 240 kW/1 860 (r·min⁻¹) 配置的 TBD620V16 柴油机；按该图限制特性曲线标定燃油限值能够保证柴油机安全可靠运行。

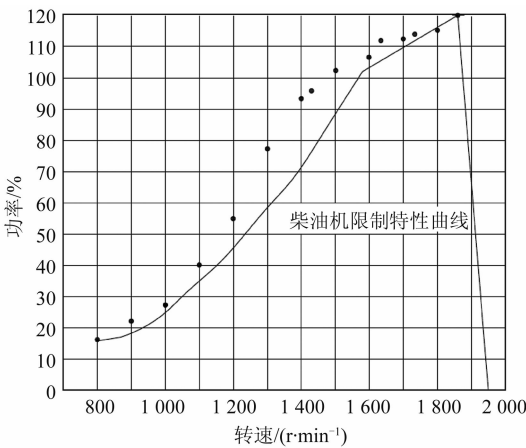


图 2 柴油机在限制值内达到的最大功率
与限制特性线功率对比

2 调速器油量标定技术研究

主机用 TBD620V16 柴油机配置海茵茨曼 DC2 数字式电子调速器，基于通讯软件 DCDESK 进行参数调整。在操作界面中纵坐标显示燃油油量百分比，横坐标显示柴油机转速，即在柴油机不同转速下通过设置转速与供油量关系曲线来实现油量限制功能，根据柴油机自身的带载能力进行油量限制。

表 2 限制特性试验相关性能参数

转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	功率/ kW	涡轮前排 气温度/ $^{\circ}\text{C}$	涡轮后排 气温度/ $^{\circ}\text{C}$	机油压 力/MPa	增压器转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)		油量/%	最高燃烧 压力/MPa	排气背压 水柱/mm
					A	B			
650	0	119.7	116.2	0.350	—	—	21.5	—	—
1 134	508	479.7	404.9	0.518	16 300	16 300	34.0	8.2	65
1 134	740	578.1	512.1	0.392	22 300	22 400	42.6	9.8	100
1 429	1 016	519.0	434.8	0.485	31 400	31 500	46.0	10.8	160
1 429	1 800	588.0	448.1	0.444	41 900	42 100	77.0	17.0	200
1 636	1 524	513.4	388.0	0.514	41 400	41 400	61.0	13.8	200
1 636	2 058	630.1	475.6	0.511	44 100	43 900	80.0	16.2	280
1 739	1 829	590.1	444.2	0.518	43 100	43 300	71.0	14.6	230
1 739	2 135	633.1	472.3	0.512	45 800	45 700	88.0	16.0	340
1 800	2 032	618.2	458.8	0.497	45 100	44 900	78.0	15.0	320
1 800	2 150	636.8	470.2	0.505	46 400	46 200	85.0	15.7	360
1 860	2 240	649.5	475.1	0.515	47 800	47 700	91.0	15.9	405
1 700	1 706	541.5	403.1	0.507	43 000	43 200	68.0	14.6	250
1 700	2 065	628.6	470.4	0.507	44 700	44 600	89.0	15.6	300
1 600	1 443	509.1	381.8	0.508	39 700	39 600	57.0	13.3	155
1 600	2 000	631.0	479.3	0.513	43 300	43 300	83.0	15.9	245
1 500	1 199	523.0	424.7	0.509	35 500	35 600	52.0	11.7	115
1 500	1 916	632.0	476.8	0.472	41 900	42 200	82.0	16.2	210
1 400	975	532.2	454.2	0.461	30 600	30 700	47.0	10.4	65
1 400	1 735	580.8	444.1	0.425	41 600	41 700	74.0	16.9	185
1 300	772	533.4	468.7	0.434	25 600	25 600	42.0	9.5	45
1 300	1 445	596.9	484.0	0.395	37 100	37 200	65.0	15.5	115
1 200	600	526.1	480.5	0.406	20 700	20 700	37.0	8.8	20
1 200	1 005	608.1	524.7	0.391	29 200	29 300	52.0	11.8	55
1 100	457	503.0	477.9	0.373	16 600	16 700	33.0	8.0	10
1 100	750	602.0	536.9	0.368	22 400	22 500	45.0	10.2	25
1 000	350	446.1	427.1	0.352	13 100	13 200	31.0	7.5	5
1 000	515	546.0	495.1	0.344	16 400	16 500	37.0	8.3	7
900	305	425.4	406.4	0.312	11 200	11 300	30.0	7.0	5
900	404	497.6	456.3	0.308	13 200	13 200	35.0	7.7	5
800	284	418.0	393.2	0.300	9 800	9 800	31.0	7.0	5
800	303	442.2	413.3	0.296	10 200	10 300	31.0	7.1	5

由于在 DCDESK 的操作界面中显示的是油量百分比,在实际限制特性油量标定过程中,其数值与柴油机相应的功率转速无直接对应关系,因此,选用合理可行的方法进行油量标定,简便地实现各转速下最大功率标定,对柴油机出厂试验工作具有重要影响。可采用的方法主要有:

(1) 柴油机按螺旋桨推进曲线运行,得到各转速油量百分比,在此基础上按经验增加油量百分比,标定柴油机最大限制特性功率。

(2) 按细致划分的机型,参考 1.2 节所述方法,分别试验得到每型柴油机的最大限制功率对应

的油量百分比,在后续出厂试验后,按机型直接在通讯软件中标定。

(3) 参考 1.2 所述方法,在出厂试验中监控柴油机最高燃烧压力、涡轮增压器转速和涡轮排气温度等限制参数,待柴油机运行至限制特性曲线功率再标定相应油量点。

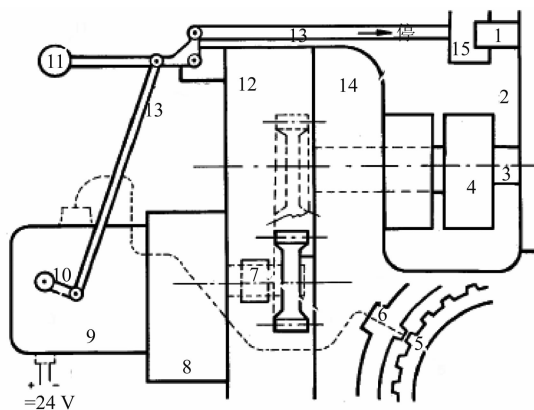
2.1 方法 1

方法 1 基本能够满足柴油机油量标定的要求,理想情况下可以将柴油机各转速下最大功率标定至接近理论限制特性功率。但由于受每台柴油机油量标定的原始点不同,以及环境温度、燃油温

度差异的影响,该方法在实际标定时,同样的油量百分比对应的功率存在一定差异,当相关因素影响较大时将导致柴油机转速拉不上、超负荷现象的发生。

2.2 方法2

由于方法 1 在使用过程中容易出现较大的标定误差, 影响柴油机运行的可靠性, 因此考虑使用方法 2。但在实际配机试验中发现: 该方法虽然可在不同环境温度、燃油温度下测得每型柴油机的限制特性曲线油量百分比, 避免相关因素影响功率标定的准确性, 但由于 TBD620V16 柴油机调速器执行机构与高压油泵连接机构(图 3)的特殊性, 每台柴油机无法通过调整得到完全相同的执行器供油拉杆长度, 而这一因素对油量标定存在一定影响。具体试验验证情况如下。



1—喷油泵控制杆; 2—喷油泵; 3—喷油泵传动轴; 4—喷油泵联轴节;
5—起动齿圈; 6—通过电磁频率传感器的转速讯号输入; 7—通过调速器
机械传动的转速讯号输入; 8—过渡连杆(连接); 9—调速器(执行机构);
10—调速器杠杆; 11—手动车杆(向上提起停车); 12—前端盖;
13—调速器连接杆; 14—机体; 15—连接装置

图3 TBD620V16 柴油机调速装置示意图

调节供油拉杆, 保证最大供油量处于电调执行器行程的 65% 左右, 进行配机试验。试验结果见表 3。

此时设定柴油机转速为 800 r/min, 缓慢增加负荷至大于等于 280 kW 时, 柴油机自动降速。

调节供油拉杆，保证最大供油量处于电调执行器行程的 80% 左右，进行配机试验。试验结果见表 4。

此时设定柴油机转速为 800 r/min, 缓慢增加负荷至大于等于 280 kW 时, 柴油机自动降速。

由表 3、表 4 可以看出：同一台柴油机在不同的供油拉杆长度下，各功率档对应的油量百分比均存在差异，即在一台柴油机上得到的限制特性曲线油量百分比，并不完全适用于另一台同型柴油机。因此使用方法 2 依然存在一定的标定误差。

表3 供油量处于65%电调执行器行程时配机试验结果

转速/ (r · min ⁻¹)	齿条行程	执行器行程(油量百分比) /%
650	7.0	31.4
800	6.7	30.9
880	7.0	31.1
1 000	7.8	34.3
1 100	8.5	37.6
1 200	9.0	41.4
1 300	10.2	46.2
1 400	11.4	51.3
1 500	12.5	58.1
1 590	13.8	65.3
1 700	14.2	68.2
1 800	15.0	70.8
1 860	15.5	74.2

表4 供油量处于约80%电调执行器行程时的原机试验结果

转速/ (r · min ⁻¹)	齿条行程	执行器行程 (油量百分比) /%
650	6.0	29.3
800	6.0	28.5
880	6.1	28.9
1 000	6.8	32.8
1 100	7.3	36.9
1 200	8.4	41.4
1 300	9.2	47.2
1 400	11.0	54.0
1 500	12.3	61.2
1 590	13.7	70.9
1 700	14.0	73.1
1 800	15.1	77.2
1 860	15.6	79.5

2.3 方法3

鉴于 2.2 节中已通过试验证实了部分国产化配置的 TBD620V16 柴油机在各转速下的最大功率均高于引进资料中提供的理论限制特性线功率,且各项参数也在相应限值范围内,因此,可按限制特性曲线图标定油量限值。在柴油机出厂试验时,可按标准工艺调整调速器拉杆、喷油提前角,然后实施台架试验,在监控柴油机最高燃烧压力、涡轮增压器转速和涡前排气温度等限制参数的前提下,当各转速下柴油机相关参数达到限制曲线值时,标定柴油机调速器油量。方法 3 相比方法 1 和方法 2,油量标定的准确性高,标定完成后柴油机可在标准条件下准确依照油量限制曲线在设定区域运行。

(下转第 42 页)

- et al. Off-road diesel engine transient response improvement by electrically assisted turbocharging [C]. SAE Paper, 2011.
- [12] TERDICH N, MARTINEZ-BOTAS R, ROMAGNOLI A, et al. Mild hybridization via electrification of the air system; electrically assisted and variable geometry turbocharging impact on an off-road diesel engine [J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2014, 136 (3): 1-12.
- [13] DIMITRIOU P, BURKE R, ZHANG Q, et al. Electric turbocharging for energy regeneration and increased efficiency at real driving conditions [J]. Applied Sciences, 2017, 7 (4): 350-375.
- [14] John Deere Moline Technical Center. Turbo compounding: a technology who's time has come [R]. 2005.
- [15] BRIGGS I, MCCULLOUGH G, SPENCE S, et al. A parametric study of an exhaust recovery turbogenerator on a diesel-electric hybrid bus [C]. Asme Turboexpo, 2013.
- [16] HOUNTALAS D T, KATSANOS C O, LAMARIS V T. Recovering energy from the diesel engine exhaust using mechanical and electrical turbocompounding [C]. SAE Technical Paper, 2007-01-1563.
- [17] JANG S M, CHO H W, CHOI S K. Design and analysis of a high-speed brushless DC motor for centrifugal compressor [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2007, 43(6): 2573-2575.
- [18] SOONG W L, KLIMAN G B, JOHNSON R N, et al. Novel high-speed induction motor for a commercial centrifugal compressor [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2000, 36 (3): 706-713.

(上接第 35 页)

3 总结

本文对主机用 TBD620V16 柴油机限制特性油量标定进行了研究,并验证了 DEUTZ-MWM 公司提供的限制特性曲线图适用于目前部分国产化配置的 2 240 kW/1 860 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) TBD620V16 柴油机,按该图限制特性曲线标定燃油限值能够保证柴油机安全可靠运行。

在实际生产工作中,为保证 TBD620 系列柴油机限制特性油量标定的准确性,出厂试验中应采用监控柴油机最高燃烧压力、涡轮增压器转速和涡前

排气温度等限制参数,通过对每台机进行配机试验的方法来完成柴油机限制特性功率的标定,保证柴油机作为主机使用时能够在燃油限制特性功率范围内安全可靠运行,以避免因限制特性功率设置较低导致在试航过程中部分工况拉不上转速,或因限制特性功率设置较高导致超负荷运行,排温高、拉缸等故障发生。

参考文献

- [1] 陆威嵩.现代船用柴油机特性曲线的研讨 [J]. 柴油机, 2005, 27 (4): 15-20.