

DOI: 10.3901/JME.2011.14.129

单缸柴油机油量校正器的设计计算方法*

刘胜吉 李晓东 关涛 王建 尹必峰
(江苏大学汽车与交通工程学院 镇江 212013)

摘要: 以 186FA 柴油机油量校正器设计为例, 分析油量校正器工作原理, 指出现有文献资料中油量校正器设计计算存在的缺陷, 阐明各设计参数与柴油机速度特性、喷油泵速度特性上性能指标的关系, 给出单缸柴油机油量校正器的设计计算方法, 使用此方法能准确地得出油量校正行程、起动加浓行程、校正弹簧最大作用力、起动弹簧预紧力的计算值。所研制的带油量校正和起动加浓功能的油量校正器试验表明, 186FA 柴油机速度特性上的性能指标能完全满足国家标准的相关考核要求, 产品已大量生产, 为移动用途第二代单缸柴油机研发提供技术保证。

关键词: 单缸柴油机 喷油量 校正 速度特性 调速

中图分类号: TK402

Method of Design and Calculation for Single-cylinder Diesel Engine Fuel Corrector

LIU Shengji LI Xiaodong GUAN Tao WANG Jian YIN Bifeng
(School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013)

Abstract: Take the oil corrector design of a 186FA diesel engine for example, the working principle of oil corrector is analyzed, and the calculation and design defects in the existing literature are pointed out, meanwhile the relationship between design parameters and performance of speed characteristics for diesel engine is illustrated, and the design and calculation method for single-cylinder diesel engine oil corrector is given. By using this method, the values of correction stroke, starting oil enrichment stroke, the maximum force of correcting spring, and the pre-tightening force of starting spring can be accurately obtained. The test of the developed oil corrector provided with oil correction and starting enrichment shows that the performance of speed characteristics on 186FA diesel engine fully meets the relevant assessment requirements of national standards, and the products are already mass produced, thus providing technical assurance for the development of second-generation single-cylinder diesel engine for mobile application.

Key words: Single-cylinder diesel engine Injection volume Correction Speed characteristic Speed adjusting

0 前言

由于柴油机功率大、经济性好, 因此被广泛地用作汽车和工程机械的动力^[1]。而伴随着排放法规要求日益严格, 柴油机冒黑烟的问题也越来越受到重视, 从限制油量方面进行喷油泵速度特性调整, 可以有效地降低碳烟^[2-3]。与多缸柴油机用合成式的喷油泵总成不同, 单缸柴油机的喷油泵与调速器为各自独立部件, 安装在柴油机固定件的某个位置。由于结构布置等原因, 有的控制喷油泵油量变化的调速器控制杠杆较长, 使调速器的工作能力增强,

调速器飞锤尺寸可相应减少, 结构紧凑。单缸柴油机喷油泵油量调节拨叉无限位装置, 配套旋耕机、拖拉机、小型工程机械作移动用途时, 在实际使用中负荷增大, 油量拨叉在调速弹簧力作用下按调速特性运行, 达到标定负荷后, 转矩会继续增大, 超负荷继续按调速特性运行, 供油量增大使柴油机冒黑烟, 直至油量过多后黑烟滚滚而熄火, 柴油机不能满足国家标准对移动用途的柴油机考核要求, 因此为防止超负荷运转造成柴油机烟度大、油耗高, 污染环境的问题, 单缸柴油机应安装油量限制器^[4], 将标定工况的供油量限制在标定功率位置, 柴油机速度特性上要求有一定的转矩储备, 最大转矩点转速小于一定转速, 以改善柴油机的动力输出的工作性能, 使柴油机的性能满足国家标准对移动用途的

* 国家高技术研究发展计划资助项目(863 计划, 2009AA045102)。20101103 收到初稿, 20110320 收到修改稿

柴油机的考核要求^[5]。使用刚性油量限制器,柴油机速度特性的转矩储备较小,最大转矩转速也可能偏高;此外柴油机无起动加浓油量,会造成柴油机起动困难。因此油量限制器应是一个弹性机构,允许在柴油机速度特性上,当转速下降时,喷油泵拨叉向油量增加方向移动一定的量,使转矩增大满足移动用途的考核指标和使用要求;在起动时,允许油量增加的再多一些,满足起动加浓要求,又不过量防止柴油机冒黑烟,即油量限制器是有转矩储备的油量校正和满足起动加浓功能的两个油量校正的限位器,故本文称为油量校正器。

油量校正器早在 20 世纪 80 年代国内已有设计,并用于水冷单缸柴油机上^[4,6],校正器直接控制调速器杠杆的油量拨叉端,由于当时的设计文献资料不能正确指导油量校正器参数的设计计算,如校正行程和起动行程等,产品是经多次试验确定设计参数的,从开发到生产历时一年多的时间。国内目前正在研发第二代单缸柴油机,对柴油机比质量、排放、噪声及燃油耗等指标有明确要求,186FA 风冷直喷式柴油机是参考日本洋马 L 系列柴油机^[7]的改进机型设计,经燃烧参数优化和质量控制能达到第二代单缸柴油机指标要求,但作旋耕机等移动用途配套,无油量校正器不能满足移动用途柴油机考核要求,原机作发电等固定动力配套,有一个带起动加浓的油量限制器,其作用是限制突然加载时,柴油机瞬时转速过高,起到柴油机稳速器的作用。它安装在调速器杠杆的调速端,从柴油机结构设计考虑,186FA 油量校正器安装位置应与原油量限制器相同,这样便于生产,但用试验方法来确定油量校正器的参数较为困难。本文给出了一种油量校正器的计算方法,并以 186FA 柴油机为例说明如何设计油量校正器的参数,并用试验结果验证了其正确性。

1 186FA 柴油机调速系统及油量校正器原理分析

图 1 给出了 186FA 柴油机调速系统的结构示意图,柴油机油门控制机构与调速弹簧的上部连接,较大油门位置时使调速弹簧拉力加大,该调速器为全程式,调速弹簧力通过调速杠杆作用与滑套的飞锤作用力平衡,使调速杠杆上端控制油量调节拨叉在某一供油量位置,柴油机在一定转速和负荷工况下运转。

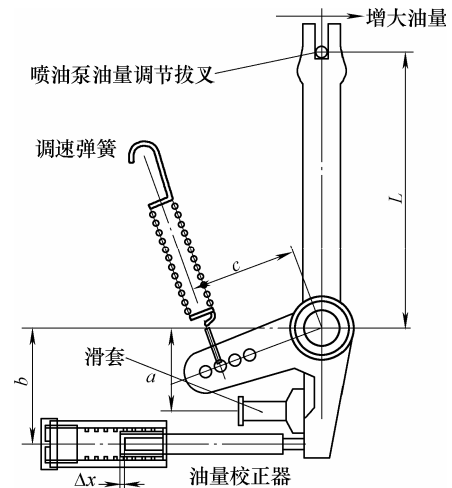
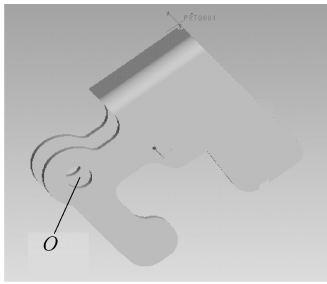


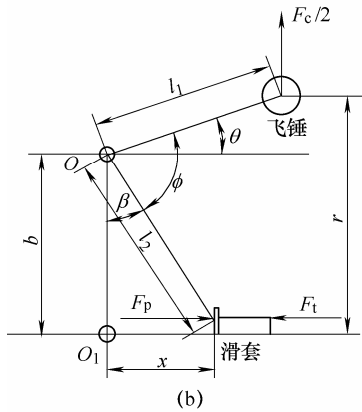
图 1 调速系统和油量校正器结构示意图

飞锤结构见图 2,图 2a 是用 Pro-E 软件造型的飞锤的三维结构图,图 2b 是根据三维图得出的质心位置和飞锤结构简化的模型,飞锤为对称安装的两块,一个飞锤质量为 m ,两个无质量的杠杆长度为 l_1 、 l_2 。飞锤通过飞锤轴(图 2b 上 O 点)安装在飞锤座上,飞锤座由齿轮带动旋转,飞锤绕飞锤轴在旋转离心力作用下摆动,推动调速滑套移动,一个飞锤产生离心力 $F_c/2$,作用于质心,通过杠杆转化作用于滑套,与调速弹簧作用力通过调速杠杆在滑套上产生的力平衡。在柴油机全负荷标定转速工况,在滑套上受上述的两个力而平衡,不安装油量校正器时,负荷增大,转速下降离心力减小,调速器起作用,在调速弹簧力作用下使调速杠杆摆动,油量调节拨叉向大油量位置移动,柴油机沿调速特性运行,转矩增大,但当油量增大到使混合气浓度达冒烟极限(一般是过量空气系数小于 1.2 后)时,柴油机冒黑烟,直至混合气太浓不能较好地燃烧使转矩下降而熄火。安装油量校正器(图 1),负荷增大,转速下降离心力减小,油量调节拨叉向大油量位置移动时,校正器的校正弹簧 3(图 3)受力,限制了油量调节拨叉的移动量,校正弹簧力和离心力在滑套上作用力产生的力矩与调速弹簧力产生的力矩平衡,使柴油机按速度特性运行,油量调节拨叉较小的位移量所增加的供油量使柴油机转矩增大,但保持混合气浓度的合理值,防止柴油机冒黑烟。转速继续下降,离心力减小,校正弹簧力增大,直至最大校正行程 Δx ,柴油机达最大转矩,转速继续下降,油量校正器为刚性限油,柴油机转矩开始下降,柴油机最大转矩后的供油量为喷油泵速度特性的供油量。柴油机速度特性最大转矩后的低速段,校正器是刚性限油,起动弹簧的预紧力必须大于速度特性最低转速时飞锤离心力下降保持调速杠杆受力平衡而作用在校正器上的力,否则校正弹簧座压缩起动弹簧,

转矩再次增大，起动行程较大，油量加浓过度造成柴油机冒黑烟。



(a)



(b)

图 2 飞锤三维图与滑套受力分析图

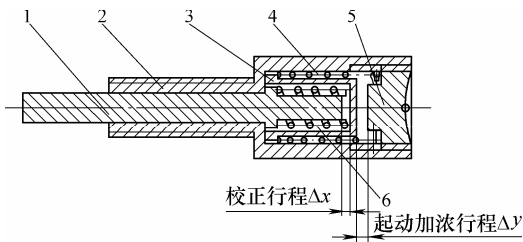


图 3 油量校正器结构

- 1. 校正杆 2. 校正器体 3. 校正弹簧座
- 4. 起动弹簧 5. 校正螺母 6. 校正弹簧

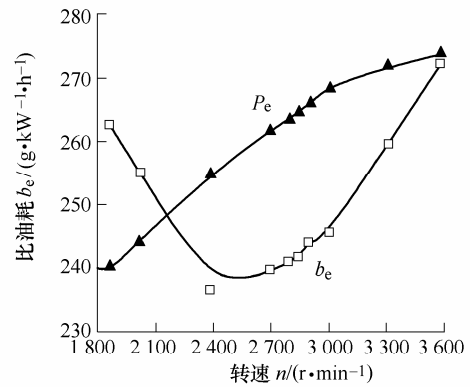
上述分析表明，油量校正器设计须根据国家标准对移动用途柴油机要求的转矩储备和转速适应性系数，计算出最大校正行程和校正弹簧刚度，行程过小，最大转矩值小达不到转矩储备要求；行程偏大，柴油机转矩大，过大的转矩储备会使柴油机冒黑烟，同时最大转矩偏大，柴油机混合气浓，也会造成 NO_x、HC 增大，排放超差。校正弹簧刚度小，柴油机最大转矩转速偏高，转速适应性系数过大而不能达标。而对于起动弹簧，其预紧力非常重要，要保证速度特性上起动弹簧不起校正作用。

2 速度特性转矩校正的校正参数的计算方法

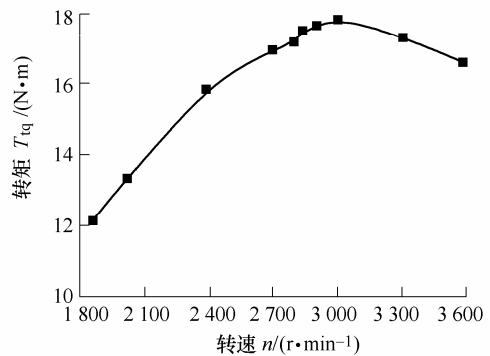
油量校正器转矩校正的设计参数有校正行程、

校正弹簧刚度及校正弹簧预紧力，上述分析表明，需要先确定达最大转矩的校正油量所需校正行程，再根据调速器力的平衡确定最大转矩转速下的校正弹簧力，最终确定校正弹簧刚度及预紧力。

为得到最大转矩所需校正油量，需要知道全负荷标定工况，油量拨叉位置固定时的喷油泵速度特性，可在柴油机上安装刚性限油器进行速度特性试验得出，图 4 是 186FA 柴油机安装刚性限油器测得全负荷速度特性，通过各工况点转速、转矩、燃油耗值计算得出不同转速的循环喷油量^[8]，得到图 5 的喷油泵速度特性的曲线 1，根据柴油机设计要求的转矩储备值(14%)和最大转矩转速值(2 800 r/min)及图 4 相应转速的燃油耗值可求得最大转矩工况点所需循环喷油量(图 5 的 C 点油量值)，C 点与曲线 1 上的 D 点的油量差为校正油量，实际上校正油量由两部分组成，图 5 中点 C、F 之间油量差和转矩储备，最大转矩工况油耗及标定工况油耗的差值有关^[9]，点 D、F 之间油量差决定于喷油泵速度特性，即与柴油机喷油系统的结构参数有关。对 186FA 柴油机而言，按图 4 试验结果标定工况循环喷油量计算得 18.9 mm³，校正油量差 2.2 mm³。根据喷油泵参数计算^[9]得油量调节拨叉位移 0.33 mm。由图 1 的调速杠杆尺寸 L、b，得校正行程 Δx 是 0.13 mm。现



(a) 比油耗与功率



(b) 转矩

图 4 安装刚性限油器的 186FA 柴油机速度特性

有校正油量计算资料中的错误是没有考虑喷油泵速度特性不同转速下油量差值的影响,同时误认为油量储备系数(最大转矩比标定工况喷油量增加的百分比)与转矩储备系数相等(仅当两工况燃油耗相等才成立)来计算校正油量,因此很难得出正确的校正行程。

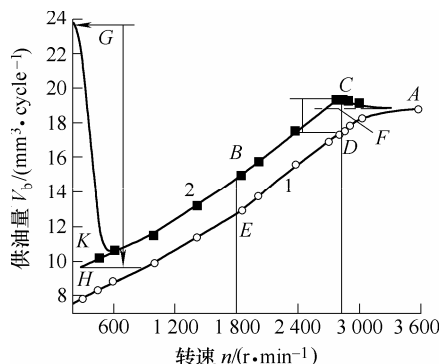


图 5 喷油泵速度特性及校正油量、起动加浓量的分析

油量校正器的校正弹簧力的计算需对调速器进行静力分析,根据调速系统的结构尺寸,求得柴油机在标定工况飞锤质心的旋转半径 r (图 2b),计算飞锤离心力,得到滑套的轴向力 F_q ,同样的方法可得出不同转速下滑套的轴向力与飞锤质心旋转半径 r 的变化关系,结果见图 6。由图 6 可看出,在标定工况 A 点, $F_{qA}=69.43$ N,由调速器调速弹簧的拉力相平衡。在最大转矩点(转速为 2 800 r/min,图 6 中的 B 点),按校正行程可得出调速滑套位移 0.09 mm,对应的飞锤半径略有减小,此时的飞锤作用的滑套轴向力 $F_{qB}=41.85$ N,由图 1 的调速杠杆的力平衡得到最大转矩时校正行程为零的校正弹簧力为 $F_x=19.88$ N。取最大校正行程时有一定的预紧力,计算得出弹簧刚度(186FA 柴油机校正弹簧刚度为 32.15 N/mm)。校正弹簧必须有一定预紧力,以便于调试,防止出现略低于标定转速工况的功率超调。

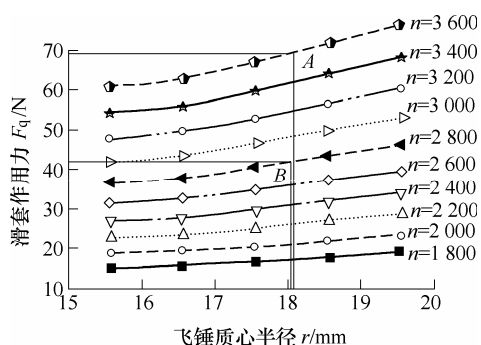


图 6 186FA 调速器滑套作用力随飞锤质心半径的变化

3 起动行程和起动弹簧参数的设计计算方法

柴油机起动油量一般为标定喷油量的 1.3~1.5

倍^[9],柴油机起动转速在 200~300 r/min,186FA 柴油机起动循环喷油量计算得 23.6 mm³,图 5 曲线 2 的最大转矩点后的循环喷油量基本上是与曲线 1 的平行线,曲线 2 在柴油机 300 r/min 时的循环喷油量按其延长线估算得 8.9 mm³,因此起动行程的校正油量是两者之差 14.7 mm³,用与校正行程一样的计算方法求得起动加浓行程是 0.85 mm。

起动弹簧预紧力是校正器的一个重要参数,至少需要保证在柴油机速度特性上校正弹簧不起作用,速度特性的最低转速根据国标按用途必须是标定转速的 45%~55%,186FA 柴油机至少在 50%标定转速前起动弹簧不能起作用。由图 6 知,飞锤离心力产生的滑套作用力是 17.4 N,由此根据力平衡得出起动弹簧预紧力是 37.6 N,起动弹簧预紧力大于此值,柴油机速度特性上不起作用。根据预紧力和起动行程便可设计起动弹簧。

4 油量校正器的试验验证

对按上述方法设计试制的 186FA 柴油机用量校正器进行试验,试验经适当调试后一次成功。图 7 是一台样机试验结果,柴油机燃油耗、转矩储备系数、烟度与最大转矩转速都达到了国家标准要求的指标。后又在某企业进行了小批量生产试验,10 余台柴油机的试验结果是,最大转矩转速在 2 500~2 800 r/min,转矩储备在 12.5%~19%,目前国内已有十余企业使用该油量校正器完成了二代单缸柴油机的研发工作。

特别需要说明的是,安装油量校正器后,柴油机在起动时需要先拉动手油门来回移动几次再将油门固定在起动位置,保证喷油泵油量拨叉在起动油量位置,否则可能会误出现起动困难的现象。

5 结论

(1) 以二代 186FA 单缸柴油机为例,给出了单缸柴油机油量校正器的设计计算方法,能准确地给出油量校正、起动加浓的行程和校正弹簧、起动弹簧的受力值。指出了现有文献资料设计计算中存在的缺陷。

(2) 研制的带油量校正和起动加浓功能的油量校正器经试验表明,186FA 柴油机速度特性上的性能指标能完全满足国家标准的考核要求。

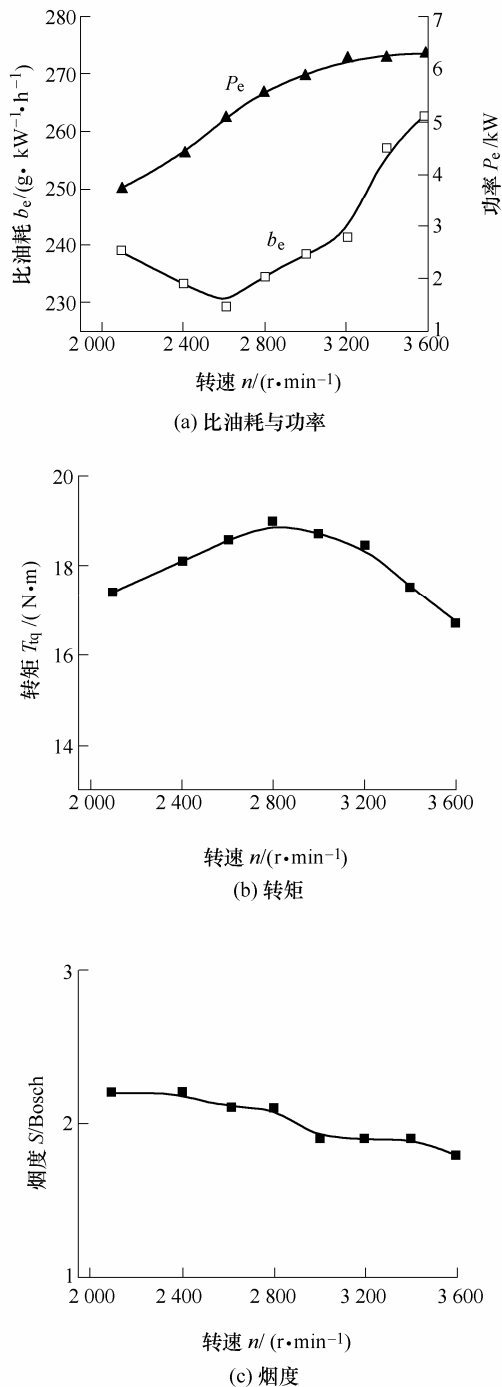


图7 186FA柴油机速度特性曲线

参 考 文 献

- [1] 宁智, 路勇, 资新运, 等. 微粒捕集器对柴油机性能影响的研究[J]. 机械工程学报, 2002, 38(1): 154-158.
NING Zhi, LU Yong, ZI Xinyun, et al. Study on the effect of the particulate filter on the performance of diesel engine[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 38(1): 154-158.
- [2] 邹吉田, 白刚, 申庆颜, 等. 降低柴油机自由加速烟度的试验研究[J]. 内燃机, 1997(2): 28-30.

ZOU Jitian, BAI Gang, SHEN Qingyan, et al. Study on reduce smoke emission from diesel engine at free acceleration process[J]. Internal Combustion Engine, 1997(2): 28-30.

- [3] 王军. 柴油机自由加速烟度和可调式烟雾限制器[J]. 内燃机燃油喷射和控制, 2001(3): 16-18.
WANG Jun. Free acceleration smoke from diesel and adjustable smoke limiter[J]. Modern Vehicle Power, 2001(3): 16-18.
- [4] 程松林. S195型柴油机加装限油器的经济效益[J]. 内燃机工程, 1983, 4(4): 14-18.
CHENG Songlin. The economic benefit of adding fuel limiter to model S195 diesel engine[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 1983, 4(4): 14-18.
- [5] 国家技术监督局. GB/T1147.1—2007 中小功率内燃机(1): 通用技术条件[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
State Bureau of Technical Supervision. GB/T1147.1-2007 small and medium-power internal combustion engines Part 1: General technical requirement[S] Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [6] 茅永兴. 扭矩校正器的设计和计算[J]. 内燃机工程, 1986, 7(4): 30-38.
MAO Yongxing. Design and calculation of torque corrector[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 1986, 7(4): 30-38.
- [7] YOSHIHIRO B. L 系列小型风冷柴油机的设计与研制[J]. 国外内燃机, 1990(1): 21-30.
YOSHIHIRO B. The design and development of L series small air-cooled diesel engine[J]. Foreign Internal Combustion Engine, 1990(1): 21-30.
- [8] 周龙宝. 内燃机学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
ZHOU Longbao. Internal combustion engines[M]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [9] 高宗英, 刘胜吉. 柴油机扭矩特性与喷油系统油量校正机构的合理匹配[J]. 内燃机学报, 1986, 6(2): 177-183.
GAO Zongying, LIU Shengji. Rational matching between the torque characteristics of diesel engine and correction device of fuel injection quantity for fuel injection system[J]. Transactions of CSICE, 1986, 6(2): 177-183.

作者简介: 刘胜吉, 男, 1958 年出生, 教授, 博士研究生导师。主要研究方向为中小功率内燃机工作过程研究与性能的优化。

E-mail: liusj@ujs.edu.cn