

燃油喷射装置设计

摘要

内燃机试验是内燃机生产和科学研究工作中不可缺少的一个环节。随着工业生产和科学技术的迅速发展，内燃机应用的范围在不断扩大，品种和数量在不断增长，对内燃机中各系统零件的性能、使用寿命等技术指标的要求也愈来愈高。因此，进行内燃机工作过程的研究；节约燃料、扩大燃料的品种、新型结构的研究；以及设计和研制合乎要求的产品的分析改进，以满足各种用途的需要，自然就成为内燃动力工程技术人员的重要任务。

在内燃机试验的自动控制系统中，需对被控参数进行测量，将测量的结果反馈到输入端的求和装置上，与假定值或输入变量进行比较，以达到精确控制的目的。自动控制系统的控制精度在很大程度上取决于测量反馈精度，因此，被控物理量的测量装置，也就成为内燃机台架试验自动控制系统的重要组成部分。

本课题也是内燃机试验的一个重要组成部分。主要是对内燃机燃油喷射系统中的油管残留压力进行研究，通过设计相应的油管残留压力测量装置用于检测出残留压力信号，从而可以对油管的残留压力进行定性、定量的分析。通过对此装置的研究可以使我们对内燃机燃油喷射系统有一定的了解；对燃油喷射系统的压力特性有一个比较全面的认识并对测量控制系统有一定的认识。

关键词：内燃机，自动控制，求和装置

目 录

第一章 引言.....	1
第二章 研制目的.....	2
第三章 压燃式发动机的燃料喷射装置概述.....	2
3.1 喷油过程.....	4
3.2 几何供油规律和喷油规律的定义.....	4
3.3 喷油器总成.....	5
3.4 压力波动的分析.....	6
3.4.1 燃油的可压缩性.....	6
3.4.2 管路的容积变化.....	6
3.4.3 管路中的压力波动.....	7
3.5 喷油泵的参数选择及其对柴油机性能的影响.....	7
3.6 喷油泵的速度特性校正	10
3.6.1 可变减压容积	10
3.6.2 可变的减压作用	10
3.7 高压油管	11
3.8 压燃式内燃机异常喷射现象	11
3.8.1 二次喷射	12
3.8.2 穴蚀	12
3.8.3 滴油现象	13
3.8.4 不稳定喷射.....	13
第四章 测量控制系统概述	13
第五章 残留压力测量装置的研制	17
5.1 残留压力测量装置的原理	17
5.2 相位调整	18
5.3 测量线路	18
5.4 试验结果分析.....	21
5.5 校验压电压力传感器	22
5.6 相关油管嘴端压力与针阀体压力室压力	23
第六章 测试精度	23
第七章 机械传动选用及设计计算	26
第八章 设计小结	

第一章 引言

测试的基本任务是获取有用的信息。首先是检测出被测对象的有关信息，然后加以处理，最后将其结果提供给观察者或输入其他信息处理装置、控制系统。因此，测试技术是属于信息科学范畴，是信息技术三大支柱（测试控制技术、计算技术和通信技术）之一。

测量是以确定被测物属性量值为目的的全部操作。测试技术具有试验性质的测量，或者可理解为测量和试验的综合。人类在从事社会生产、经济交往和科学研究活动中，都与测试技术息息相关。

测试是人类认识客观世界的手段，是科学研究的基本方法。科学的基本目的在于客观地描述自然界。科学定律是定量的定律。科学探索需要测试技术，用准确而简明的定量关系和数学语言来表述科学规律和理论也需要测试技术，检验科学理论和规律的正确性同样需要测试技术。可以认为精确的测试是科学的根基。

在工程技术领域中，工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能试验等，都离不开测试技术。特别近代工程技术广泛应用着的自动控制技术已越来越多的运用测试技术，测试装置已成为控制系统的重要组成部分。甚至在日常生活用具，如汽车、家用电器等方面也离不开测试技术。

定性地观察物理现象和定量地测定物理量的大小，是物理实验过程中的主要内容。

测量是人类认识和改造物质世界的重要手段之一。通过测量，人们对客观事物获得数量的概念，通过归纳和分析，总结出规律。为了进行测量，必须规定一些标准单位，如在国际单位制中，规定长度的单位为米，时间的单位为秒，质量的单位为千克，电流强度的单位为安培等等。所谓测量是借助仪器把待测物理量的大小用某一选定的单位表示出来，其倍数即为物理量的数值。测量值应该由数值和单位组成。

总之，测试技术已广泛的应用于工农业生产、科学研究、国内贸易、国防建设、交通运输、医疗卫生、环境保护和人民生活的各个方面，起着越来越重要的作用，成为国民经济发展和社会进步的一项必不可少的重要基础技术。因而，使用先进的测试技术也成为经济高度发展和科技现代化的重要标志之一。

根据获得测量结果的方法不同，测量可分成两大类：

1. 直接测量

能够利用仪器直接读出物理量的测量值的测量称为直接测量，相应的物理量称为直接测量量。例如，用电压表测量电压，用温度计测量温度等。

2. 间接测量

在多数情况下，借助于一定的函数关系，由直接测量通过计算而获得待测物理量的测量称为间接测量，相应得到的物理量称为间接测量量。

例如，圆柱的体积 V 可以用米尺测出它的高 H 和直径 D ，通过 $V = \frac{1}{4} \pi D^2 H$ 计算。 H 和 D 是直接测量量，而体积 V 则是间接测量。

由于本课题研究的是油管的残留压力，该压力是可通过装置直接采样的，无需通过借助一定的函数关系计算获得，因此该压力测试是直接测量。

第二章 研制目的

柴油机供油系统多参数的电测量，为研究供油系统喷射特性提供了手段。而且，目前在评估新品开发设计的喷油泵和喷油嘴的性能时，也常以多参数的电测量作为考核项目之一。因此，测量的精确性就显得越发重要了。

本所在以往的电测试验中，出现过油嘴已喷油的工况下，测出的油管压力低于油嘴开启压力的情况。例如在二零零二年八月高速一号泵的电测试验中，油嘴开启压力为 12.5MPa，当油泵转速为 250RPM 时，测出的嘴端最高压力只有 11.69MPa。还有，日本 VE 泵在二零零二年九月的试验中，油嘴开启压力为 18.13MPa (185kgf/cm²)，在油泵转速为 390RPM 时，测出的嘴端最高压力只有 17.013MPa (173.6 kgf/cm²)。在上述两例试验中，油嘴针阀均已开启喷油。

产生这种现象的原因是什么呢？

本所现有使用的传感器、信号转换器、数据处理仪、都是具有世界先进水平的仪器。精度很高，随机误差很小。这就要考虑是否存在较大的系统误差，即要从测试方法的角度去考虑了。本所目前一般采用压电式传感器测量压力。压电传感器因其机械强度高，体积小，重量轻、高频特性良好，输出线性好等优点，而被广泛采用。但当被测压力变化频率低，变化幅度小时，压电晶体的电荷量变化难于反映到测量结果中，即压电传感器的低频特性差。而我们测量的油路中存在这种变化频率低、幅度小的压力——高压油管中的残留压力。因此，压电传感器是测不出这种压力的。上面提到的现象极可能是因为测不出残留压力而产生的。

在课题立项时，还曾考虑过压电传感器灵敏度变化问题，还有高压油管嘴端压力与针阀体内压力室的压力差异问题，是否会对压力测量精度产生一定的影

响。这些都将在下面的论文中予以阐述。

第三章 压燃式发动机的燃料喷射装置概述

燃油喷射装置是柴油机的一个重要组成部分,在产品改进和新品试制过程中,为了获得良好的性能指标,往往需要对燃油喷射系统进行大量的调试工作.根据大量实践表明,对现代柴油机喷射装置的要求是:

- (1) 能精确的控制每循环的喷射量(并要求每缸等量),并在规定的时间内(喷射持续角)喷入汽缸,换言之,即要求具有合适的喷油率.
- (2) 为了优化柴油机的性能、烟度、噪声和排放,需要具备能随柴油机负荷和转速变化的、精度为 $\pm 1^\circ\text{CA}$ 的喷油提前角.
- (3) 为了将柴油和空气混合,需要高的喷射压力,对具有强空气涡流的直喷式或非直喷式柴油机,最大喷射压力为 $30\sim 40\text{MPa}$,对低涡流直喷式,最大喷射压力约为 $45\sim 48\text{MPa}$,对无涡流直喷式,最大喷射压力在 100MPa 以上.

近年来,得到蓬勃发展的电控喷射系统,在实现要求(2)方面已比常规的机械液力式喷射装置显示出更大的优越性,并开辟了将喷油系统控制和运输车辆控制结合起来的可能性.

在压燃式内燃机出现早期,燃油喷射是通过高压空气实现的.一九二七年,德国博世(BOSH)公司开始专业生产以螺旋槽柱塞旋转方式调整供油量的机械式喷油泵,这种喷油泵的工作原理至今仍用于多数压燃式内燃机的燃料供给系统中.

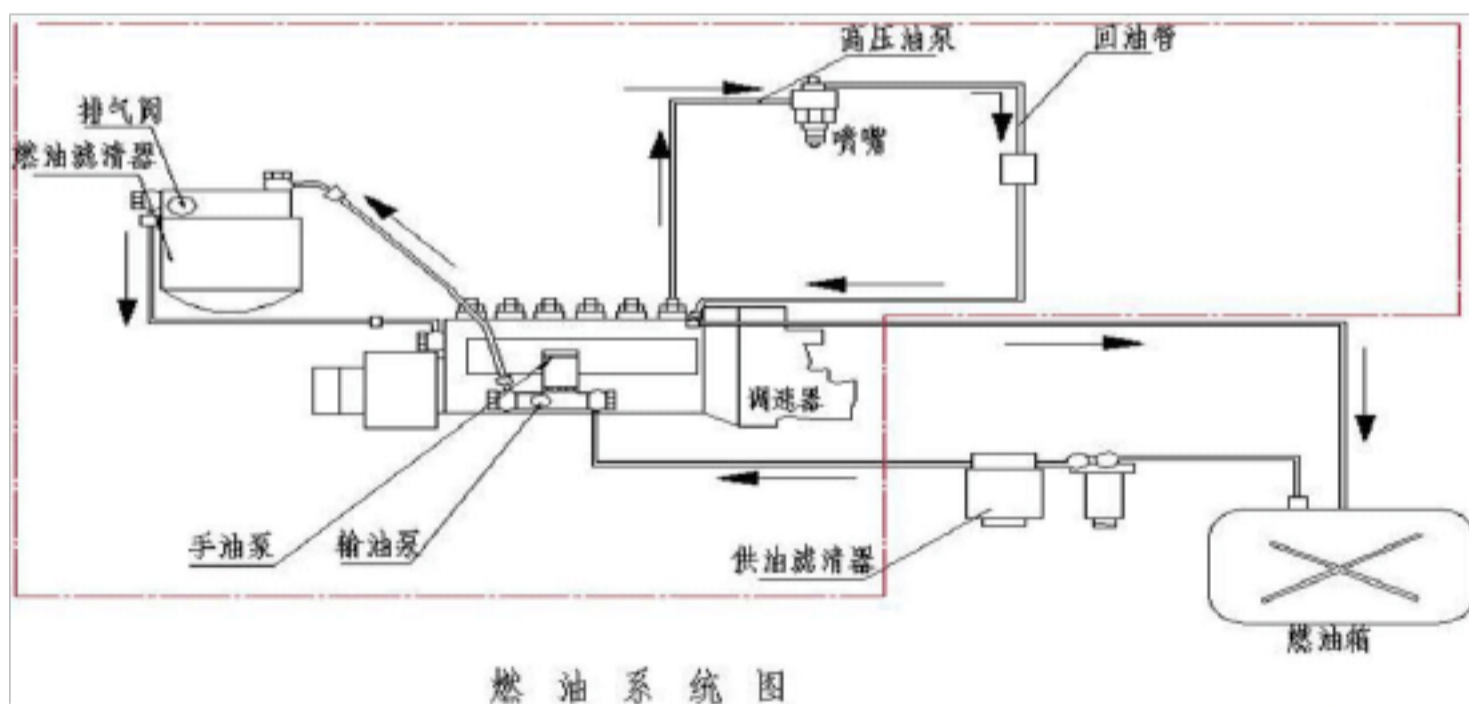


图 1

如图 1 整个燃油系统由低压油路(油箱、输油泵、燃料滤清器、) (喷油泵、高压油管、喷油器) 和调节系统组成。其核心部分是高压油路所组成的喷油系统,人们也把这种传统燃料供给系统称之为泵-管-嘴系统。在这种系统中,喷油泵有

柱塞式喷油泵和转子分配式喷油泵两种。对柱塞式喷油泵，每个柱塞元件对应于一个气缸，多缸内燃机所用的柱塞数和气缸数相等且和为一体，构成合成式喷油泵；对小型单缸和大型多缸内燃机，常采用每个柱塞元件独立组成一个喷油泵，称之为单体喷油泵。转子分配式喷油泵是用一个或一对柱塞产生高压油向多缸内燃机的气缸内喷油，这种主要用于小缸径高速压燃式内燃机上，其制造成本较低。

在上述泵-管-嘴燃料供给系统中，由于有高压油管的存在，使喷油系统在内燃机上的布置比较方便灵活，加上已积累了长期制造与匹配的理论经验，因此，目前这种系统仍在各种压燃式内燃机上得到广泛应用。但是，也正由于高压油管的存在，降低了整个燃油供给系统高压部分的液力刚性，难于实现高压喷射与理想的喷油规律，也使这种传统燃料供给系统的应用前景受到一定的限制。为了满足压燃式内燃机不断强化及日益严格的排放与噪声法规的要求，目前正在大力发展各种高压、电控的燃料喷射系统，如采用短油管的单体泵系统、泵喷嘴与PT系统、蓄压式或共轨系统等等。

在目前对于上述各种喷射装置的研制中，对喷射装置系统压力性能有着很高的要求，而油管的残留压力，在整个压力系统中占有十分重要的地位，因此对残留压力装置的研究对整个燃油喷射装置性能的提高有着十分重要的作用。

3.1 喷油过程

压燃式内燃机工作时，曲轴通过定时齿轮驱动喷油泵旋转，燃油从油箱经滤清、输油泵加压（约 $0.1\sim 0.15\text{MPa}$ ）到喷油泵的低压油腔。当挺柱体总成的滚轮在凸轮基圆时，柱塞腔与低压油腔通过进、回油孔联通，向柱塞腔供油，喷油泵凸轮轴运转，凸轮推动挺柱体总成克服柱塞弹簧力向上运动。当柱塞顶面上升到与进、回油孔上边缘平齐，进、回油孔关闭，柱塞腔与低压油腔隔离。当柱塞再向上运动时，柱塞腔内的燃油被压缩，压力升高。当压力上升到大于出油阀开启压力与高压油管内残压之和时，出油阀开启，燃油流入出油阀紧帽进到高压油管、喷油器体内油路及针阀体盛油槽内。柱塞继续上升，油压升高，当喷油器针阀体盛油槽内的油压达到并超过针阀开启压力时，针阀打开，向气缸内喷油。由于柱塞顶面积大，喷油器的喷孔面积小，故喷射过程中压力继续升高。当柱塞上升到其斜槽上边缘与回油孔的下边缘相联通时，柱塞再上升，柱塞腔与低压油腔相通，燃油流经回油孔开启截面进入低压油腔，柱塞腔压力下降。随后出油阀在弹簧力和两端油压的综合作用下开始下行，当减压凸缘进入出油阀座孔后，出油阀紧帽腔与柱塞腔隔离，使紧帽腔到喷油器所组成的高压油路内保持一定量燃油，出油阀仍继续下行到落座。出油阀在落座过程中，由于减压容积的作用，使高压油路（出油阀紧帽腔、高压油管、喷油器体内油道、盛油槽容积的总和）中燃油压力迅速下降。当盛油槽内的燃油压力小于针阀关闭压力时，针阀落座，喷

油停止。由于燃油的可压缩性与惯性，压力的传播与反射，高压油管内的燃油将产生一定的压力波，压力波在出油阀紧帽腔到针阀体的盛油槽内不断衰减，趋于一定压力定值即残留压力。上述喷油过程是可用压力传感器及位移传感器和相应仪器测出，考虑到测量的方便性和可行性，通常喷油过程试验仅测出泵端压力、嘴端压力、针阀升程和喷油速率随凸轮轴转角变化关系。随后，出油阀落座时，柱塞在凸轮驱动下继续上行到最大行程后，在柱塞弹簧力作用下，沿凸轮下降段下行，在下行过程中，喷油泵不产生泵油作用，至此，完成了一个泵油循环。在柱塞上升过程中，柱塞从下止点上升到进、回油孔关闭时所经过的距离，称之为喷油泵柱塞的预行程，它的大小决定了柱塞在压油过程中初速度的大小，将影响喷油速率；柱塞封闭进、回油孔开始压油到柱塞斜槽上边缘与回油孔相通开始回油所经历的升程，称之为喷油泵柱塞的有效行程，它的大小与循环供油量有关，决定了喷油器循环喷油量的大小。

从上述喷油过程的概述可知，喷油试验过程涉及了泵端压力嘴端压力。而为了真实获得这两个压力必须与油管的残留压力结合起来。因此油管的残留压力是整个喷油过程的一个组成部分，对整个喷射过程有着十分重要的作用。

3.2 几何供油规律和喷油规律的定义

几何供油规律是指从几何关系上求出的油泵凸轮每转一度（或每秒）喷油泵供入高压系统的燃油量（ $\text{mm}^3/(\cdot)$ 泵轴或 mm^3/s ）随凸轮轴转角 ψ （或时间 t ）的变化关系。由于它纯粹是几何关系决定的，因此只要知道柱塞的运动特性即可。

喷油规律是指在喷油过程中，每秒或每度泵轴转角从喷油器喷出的燃油量随时间或泵轴转角的变化关系。

3.3 喷油器总成

喷油器总成对于柴油机来说，有着非常重要的作用。喷油器总成在发动机上的安装及喷油器总成的喷射性能直接影响柴油发动机的动力性、经济性、使用性能及可靠性。喷油器不仅决定着喷雾质量、油束与燃烧室的配合，而且影响喷油特性（喷油时刻、喷油延续时间、喷油规律），这些都直接影响发动机的性能指标。如果喷油不良，油束和燃烧室配合不好，则混合气形成恶化，燃烧变坏，性能下降。在新产品的试制过程中，往往需要对喷油器作大量的调试，才能使柴油机达到设计指标；在使用过程中，常由于喷油器的故障使发动机性能下降，甚至不能运转。所以喷油器是影响柴油机设计指标和使用性能的关键部件之一。

喷油器总成通过法兰、压板和螺套紧固在发动机的气缸头上，它的喷油嘴端深入到发动机气缸的燃烧室内。喷油器的高压油道通过高压油管与喷油泵总成的出油阀接头相连接，回油油路相互连接直接回到油箱。

喷油器总成的功用是：

1. 将一定数量的具有合适喷射压力的燃油雾化，以促进燃油在发动机气缸内的着火燃烧。

2. 借助于（或者不借助于）空气涡流将燃油喷注并力求均匀分布到气缸的燃烧室内，特别对于无涡流的开式燃烧室，喷油器总成的安装精度是一个很值得重视的问题。一般喷油器总成由喷油嘴偶件、喷油器体、调压装置、油管接头、紧帽等、部件组成。

当高压燃油经高压油道进入喷油嘴偶件盛油槽部位而压力积蓄到能克服调压弹簧对针阀的压紧力时，针阀被升起，高压油进入嘴端的高压腔经喷孔雾化而喷射到气缸的燃烧室内。当喷油泵终止泵油，油道内压力降低，针阀受弹簧的压力而降致针阀座面以关闭高压腔，这时燃油不能经过喷油孔而进入发动机气缸的燃烧室，而燃烧室的燃点也不能进入喷油器体内。由于喷油器总成的主要组成是喷油嘴偶件，而喷油嘴偶件又有不同的结构形式，所以喷油器总成也有不同的结构形式。

小发动机的油嘴开启压力较低，而大发动机的油嘴开启压力和关闭压力应足够高，以保证喷射终止后针阀能克服燃烧室高压而落座，否则燃烧室气体将进入油嘴，使喷孔和针阀积碳而进一步影响燃油的喷射和燃烧。

喷油器中喷油压力的影响：

在燃油喷射过程中，燃油压力是变化的。一般讲，小型高速柴油机的喷油嘴针阀开启压力为 12~20MPa，最高燃油压力是 40~60MPa，而大型柴油机喷油嘴针阀开启压力为 21~30MPa，最高喷油压力约为 80~100MPa 以上。喷油压力直接影响喷油持续时间和燃油雾化质量。如果喷油压力过低，则燃油雾化不好，而且容易引起燃气回窜将喷油嘴烧坏。随着喷油压力提高，可以使油束出口速度增加，降低油滴的平均直径，使油滴蒸发加快，加速油束在空气中的扩散，使空气卷入的相对速度增加，同时喷射持续期缩短，这样就大大提高了混合气形成速率，从而改善燃烧性能。

喷油压力对燃油消耗率的影响：

随着喷油压力提高，燃油消耗率下降。所以近年来在柴油机上有提高喷油压力的趋势，甚至采用高压喷射。例如在大型柴油机上喷油压力已提高到 100MPa 以上，MAN 公司的 58/64 系列柴油机的最高喷油压力已达 130MPa，并打算提高到 140MPa，在小型高速柴油机上，由于受到喷油泵强度的限制，最高喷油压力通常在 70MPa 以下。应该指出，由于最高喷油压力的出现是瞬时的，因此应用平均有效压力（即在喷油持续期内通过喷孔的平均压降）来判断喷油过程的好坏更为合理。随着平均有效压力的提高，燃油消耗率和烟度都相应下降。

3.4 压力波动的分析

在高速柴油机中，燃油喷射的持续时间很短，只有 15 度~35 度曲轴转角。在这样短的时间内，喷油泵柱塞变速供油，高压管路中燃油压力变化却很大，在喷油时的最高压力可以高达 30~100MPa，而不喷射时（即在相邻两次喷油过程之间），高压管路中的残留压力又很低。由于高压系统中燃油压力变化大和变化快的特点，就产生了下面三种现象：

3.4.1 燃油的可压缩性

当压力变化不大时，可以认为液体是不可压缩的，但在柴油机的燃油系统中，由于压力变化幅度大，燃油的可压缩性就必须加以考虑。当压力变化 25MPa 时，柴油体积约缩小 1%，体积变化的数值不大，但由于每循环的供油量本身就很小（如 6135G 柴油机全负荷时为 0.13ml/循环），而高压管路中积聚的燃油比每循环供油量要多得多，这部分燃油被压缩，喷油器中的压力升高就要延迟，就会对喷油过程产生较大的影响。燃油的可压缩性

可用压缩系数 β 表示

$$\frac{V_1}{V_2} \frac{P_2}{P_1} \quad \text{m}^2/\text{N}$$

或写成

$$\frac{dV}{V dP} \quad \text{m}^2/\text{N}$$

压力变化愈大或容积愈大，则体积变化也愈大。当压力变化在 $(2\sim3) \times 10^7 \text{Pa}$ 时， $\beta = (4\sim5) \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$

压缩系数 β 的倒数称为燃油的弹性系数 E

$$E = \frac{1}{\beta}$$

$$E = (2\sim2.5) \times 10^9 \quad (\text{N} / \text{m}^2)$$

3.4.2 管路的容积变化

高压油管一般是用厚壁无缝钢管制成，钢管是有弹性的，在高压作用下管子会胀大。当油管中压力变化为 ΔP 时，管子内径改变量为：

$$\Delta r = \frac{r}{E} \frac{R}{R_2} \frac{r_2}{r_2} \quad p$$

式中 r —高压油管的内半径

R —高压油管的外半径

μ —泊桑系数，钢 $\mu=0.3$

E —弹性模数，钢 $E=2.2 \times 10^{11} \text{N} / \text{m}^2$

由上式可知，压力变化愈大，管子内径愈大，管子愈长，则容积变化也愈大。

3.4.3 管路中的压力波动

燃油的可压缩性和管路的弹性，使高压系统形成一个弹性系统，燃油在高压系统中的流动也就产生弹性振动。在供油过程中，出油阀开启之前，柱塞运动仅使泵油室中燃油压力升高；出油阀开启的瞬间，在高压油管靠近喷油泵一端的燃油受到自泵油室来的燃油压力冲击，其附近区域产生局部的压力升高，出油阀开启后，柱塞运动将燃油挤向高压油管。但由于燃油的惯性和可压缩性，柱塞所排挤的燃油量与高压油管中流动的燃油量之间不平衡，造成燃油瞬时堆积，使压力继续升高。这种局部压力的瞬时提高，都以压力波的形式沿高压油管向喷油器一端传播。传播的速度就是声速在这种介质中的传播速度，其值约为 $1400\sim 1600\text{m/s}$ 。这种传播速度应该在纯油状态下；但在实际情况下其值应为 $700\sim 1200\text{m/s}$ ，声速在传播中是变化的。

压力波的传播情况可作以下说明。当出油阀开启时，高压油管中靠近喷油泵一端的燃油产生的压力波向喷油器一端传播。经过 L/a (L —高压油管长度， a —声速) 到达喷油器端。如果第一个压力波不足以升起针阀，则压力波全部被反射，向喷油泵端传播，反射波经过 L/a 到达喷油泵端与该处新产生的压力波叠加起来，又被反射向喷油器一端传播。当压力传播使喷油器端的燃油压力升高到大于针阀开启压力时，针阀即打开，喷油开始，此时，传至喷油器端的压力波仍要部分地反射回去。所以，在整个供油过程期间，压力波往复传播多次反射，高压油管中的压力也就随时间和地点而变。在针阀关闭后，油管中的压力仍会往返波动，如果这个波动大，有可能使针阀再度开启，造成不正常喷油，引起燃烧恶化，如果波动不大，由于管壁摩擦阻力和燃料粘性阻尼（内摩擦）的作用，压力波较快衰减，以至在下次供油之前，油管中的压力可以达到稳定状态，此时残留压力为 p_r 。

由于上述的压力波动现象存在，使实际喷油过程与柱塞的供油过程很不一致。这也是对油管的残留压力进行研究的重要原因之一。

3.5 喷油泵的参数选择及其对柴油机性能的影响

提高喷油压力的措施很多，如增大柱塞直径；采用较陡的油泵凸轮廓线，提高柱塞供油速度；减少高压系统的阻力，以减少高压燃料的能量损失；减小喷孔直径等。采用高压喷射后，由于燃烧过程加快，使未燃的碳氢化合物 HC 的排放明显减少。燃烧过程加快，就可能采取推迟喷油的措施来降低有害排放物，而又不使燃油经济恶化。但高压喷射也带来其它问题，如二次喷射、穴蚀，油泵凸轮疲劳剥落等，需要采取相应措施加以解决。以上问题将在下面的文章中予以说明。

喷油泵柱塞和喷油泵凸轮，共同决定着每循环供油量及几何供油规律，它们

对柴油机性能的影响主要反映在供油时刻和供油持续时间（即供油速度）对性能的影响上。供油时刻可由供油提前角予以调整，而供油持续时间则和柱塞直径、凸轮外形等因素有关。由于本课题主要是对油管的残留压力进行研究，所以仅对上述几个和油管的残留压力有关的特性参数作简要描述。

直接影响燃烧性能的是喷油提前角，因为测量喷油提前角必须有一套电气设备来测量喷油器针阀开启时刻，这是动态测量，比较麻烦，所以平时柴油机测试，就是测量供油提前角，产品说明书上给用户的提前角的数据都是指供油提前角。供油提前角就是喷油泵开始压油到上止点为止的曲轴转角，是用静态法测量，也就是使发动机处于停车状态，凭目力观察出油管是否冒出燃油来确定供油始点（溢油法），或者从计算进油孔关闭的时刻来确定。因此，用静态法测出的供油提前角与实际喷油提前角之间可能有较大的差别，其差别取决于喷油延迟角 θ_x 即

$$\theta = \theta_s + \theta_x$$

θ — 供油提前角

θ_s — 喷油提前角

θ_x — 喷油延迟角

θ_x 与许多因素有关。不同转速和高压油管长度对喷射延迟都有影响，喷油延迟角随转速升高而增大；当油管增长时，由于压力波传播的时间增加，使喷油延迟角也随之加大。

供油提前角对柴油机性能影响很大，主要是影响经济性、压力升高率 $\Delta p / \Delta \psi$ 和最高燃烧压力。供油提前角过大，则燃料在压缩过程中燃烧的数量就多，不仅增加压缩负功使燃油消耗率增高、马力下降，而且 θ 大时由于着火延迟较长，压力升高率和最高燃烧压力迅速升高，工作粗暴（可以听到有清脆的“嘎嘎”震声），怠速不良，难于起动；如果供油提前角过小，则燃料不能在上止点附近迅速燃烧，后燃料增加，而且喷油后很快燃烧，油气混合均匀性差。虽然最高燃烧压力较低，但虽然燃油消耗率和排气温度增高，发动机过热。所以对每一工况，有一最有利的供油提前角，此时燃油消耗率最低。

最佳供油提前角都是调试过程中由试验最后选定。应该指出，有些发动机，特别是增压发动机，在最佳供油提前角时最高燃烧压力较大，为了降低机械负荷，实际选用的供油提前角比最佳值略小一些。

当柴油机转速增加时，一方面喷油延迟角加大，另一方面混合气形成和燃烧的时间（以秒计）缩短，为了保证在上止点附近燃烧，就需要供油相应提前一些，因此，最佳供油提前角是随柴油机转速升高而增大的。

喷油泵的主要结构参数是柱塞直径、柱塞的有效行程、全行程和油泵凸轮

廓线等。初步选择喷油泵的结构参数的主要依据是柴油机的每循环供油量。考虑到发动机可能超载运行,以及柱塞偶件长期使用后因磨损使漏油增加等因素,实际每循环供油量计算时应大 25~35%。由于每循环供油量与柱塞的直径有关,所以在确定了每循环供油量后就可通过相应的公式计算出柱塞的直径。同样柱塞的有效行程、全行程和油泵凸轮廓线都可通过相应的计算和凸轮升程表获得。

当柱塞的直径增大时,喷油延迟角及喷油持续时间都减小,但供油速度增大,使喷初期油速率也较大,喷油规律曲线变高,所以一般说来,柱塞直径加大经济性好,但运转粗暴。当发动机强化时,每循环供油量加大,就要特别考虑加大柱塞直径以缩短喷油延续时间,改善经济性。同时从改善性能的角度考虑,为了保证迅速燃烧,高速柴油机全负荷时的喷油持续角不希望大于 25°CA ,中速柴油机的喷油持续角不应大于 $30\sim 40^{\circ}\text{CA}$,因此也就要求供油持续角不能过大。供油持续时间缩短 就要求提高供油速度,可以增加柱塞直径或增加柱塞速度来提高供油速度。增加柱塞直径将使驱动力明显增加(驱动力与柱塞直径平方成正比),而加大柱塞速度又会使柱塞容易磨损及传动机构的动力负荷增大,因此柱塞直径和柱塞速度要合理选择,既要有良好的性能,又要保证有足够的使用寿命。为了保证柱塞有一定的寿命,柱塞最大速度不希望超过 $2.5\sim 3\text{m/s}$ 。选取供油持续角和在有效行程期间的柱塞平均速度后,喷油泵参数根据统计资料或理论公式初步选定后,还要进行试验,才能最后确定。

在与喷油泵特性有关的各个参数中,还有一个与燃油压力有关的重要参量。那就是出油阀对燃油压力的影响。我们可知道,喷油泵的出油阀头部带有密封锥面,尾部又有四个铣槽在阀头与阀尾之间有一个圆柱形的减压带,在油管的残留压力和弹簧的作用下,使出油阀压紧在阀座上。这样,在柱塞吸油行程时,出油阀就阻止高压油管中的燃油倒流入泵油室,从而保证柱塞有一定的供油量。当柱塞压油时,泵油室中油压升高,克服弹簧力及油管中的残留压力,将出油阀向上压,一直等到圆柱减压带离开阀座导向孔时,才有燃油经过铣槽流入高压油管。柱塞在有效行程结束时,泵油室中油压迅速下降,出油阀开始下降。当柱形减压带进入导向孔时,高压油管与泵油室即被隔开,此后直到阀面落座,出油阀又下落一距离 h (实际 h 从锥面密封带算起),这样,在高压油管中就突然增加一部分容积,这部分容积使油管中的燃油膨胀,从而使高压油管中的油压迅速下降,喷油迅速停止。我们把出油阀使高压油管中压力骤然下降的作用称作出油阀的减压作用。

借助出油阀的减压作用可以控制高压油管中的残留压力,由此影响喷油特性。通过合理选择减压带高度 h ,可以消除喷油器滴油的现象,而出油阀的升程、开启压力等也影响燃油喷射过程,所以出油阀对柴油机性能也有一定影响。随着

减压带高度的增加，减压容积加大，由于减压效果增加而使性能得到改善。

出油阀紧帽的高压储油容积在整个高压系统的容积中占有相当的比重，可以通过出油阀紧帽内径的改变或改变减容器尺寸，来改变出油阀紧帽的高压储油容积。高压储油容积减小，可以减小喷射过程的压力的波动，提高压力上升速度，缩短喷油延续时间，使经济性有所改善。从在供油提前角都相同的情况下的试验结果可以看出，由于出油阀高压储油容积减小，喷油延迟角也减小，因此，最佳供油提前角也减小。

3.6 喷油泵的速度特性校正

当喷油泵油量控制机构（齿条或拉杆）位置不变时，每循环供油量随转速的变化特性称作喷油泵的速度特性。由于柴油机负荷变化是靠改变供油量来实现，即平均有效压力（或扭矩）大致与每循环供油量成正比，所以喷油泵的速度特性直接影响柴油机的速度特性。从喷油泵的速度特性分析可知，每循环供油量随转速升高而增加，这是由于进、回油孔的节流作用而引起的。理论上当柱塞上端关闭进、回油孔时，才开始压油，实际上当柱塞上端面还未完全关闭油孔时，由于节流作用，被柱塞排挤的油量来不及通过油孔流出致使泵油室内压力升高，出油阀提早开启。同样道理，当供油终了，柱塞的斜切槽边缘开启油孔通道还不足够大时，由于节流作用，泵油室中燃油不能立即流到低压系统中去，仍维持较高压力使出油阀延迟关闭。出油阀的早开和迟闭必然使流向高压油管的燃油量增多，而转速愈高，柱塞的压油速度就愈大，泵油室内的压力建立也愈早，压力下降也愈迟，所以，供油量随转速升高而增加。

从使用要求和充分发挥柴油机潜力来看，都需要设法改变喷油泵的速度特性。目前常用的校正方法有出油阀校正和弹簧校正两种，针对前面对于喷油泵出油阀压力特性的描述，现在本文中仅对出油阀校正进行介绍。

出油阀校正目前常用的有两种形式

3.6.1 可变减压容积

带有减压带的出油阀的油泵，其供油量大体是与柱塞有效排量和减压容积之差成比例的，如使减压容积能随转速而增加，则喷油泵速度特性将变得平坦，当柴油机转速升高时，作用在出油阀下部的燃油压力及燃油流过通道时速度增大，使出油阀升程加大，在油管中所占的体积也增大。当供油终了时，由于节流作用，流通截面尚未关闭就已开始减压作用，转速愈高，节流作用愈显著，出油阀的减压作用愈早，高压管路中的减压容积也愈大。在下一次供油时，必须以供油量中的一部分来填满这一减压容积后，才能提高油管中压力，使喷油器喷油。这样实际上就减少了喷油量，供油量随转速升高而减少。这种校正阀的缺点是随转速的升高，喷油延迟比普通出油阀为大，而且变化不规则，对选用供油提前角自动提

前器不利。

3.6.2 可变的减压作用

利用出油阀减压带凸缘与出油阀座内孔的不同间隙可以得到各种不同的减压作用，间隙在小油泵上为 0.025~0.076mm，在大油泵上可达 0.18mm。这种减压方法在所有转速范围内出油阀的升程是一样的。当回油孔打开后，泵端油压迅速下降到油泵进油压力（即柴油机输送泵的出口压力值），在减压带进入出油阀阀座以后，即开始发生减压作用，把泵端压力抽成真空，这时喷嘴端的燃油迅速回流填补，与此同时，由于减压带和阀座之间间隙的存在，低压油腔内将可能有一些燃油回流到高压油管内，从而使减压作用有所削弱。在高速时，由于间隙的节流作用较大（亦即流体的动力阻力大，出油阀的上下压差大），出油阀落座迅速，燃油回进高压油管的现象不明显，因此基本上完全减压。在低速时，正相反，由于节流作用相对较小，出油阀落座时间相对增长，燃油回进高压油管的现象比较明显，减压效果削弱，残留压力升高，因此使每循环的供油量增加。

3.7 高压油管

连接喷油泵和喷油器的高压油管，承受着高压脉动负荷及振动，常常发生高压油管接头漏油及油管疲劳震裂等故障。在发动机设计中，我们是根据燃油系统性能要求来确定油管内径、外径及长度，这对保证良好燃烧及延长喷油嘴使用寿命有重要的作用，由于高压油管也是整个燃油压力系统的一个重要组成部分，本课题涉及的也是对高压油管残留压力的研究，因此对高压油管应予足够的重视。

要求高压油管在高压下（100~120MPa）应能保证密封，并有良好的抗冲击负荷及振动能力。高压油管一般用厚壁钢管制成，以适应高压工作，为了尽量减少管系因高压而膨胀，油管外径是内径的三倍以上。油管在喷油泵及喷油器两端的防漏结构，目前普遍采用的是冲制的锥形管接头。为了消除振动的不良影响，在有些发动机上将油管特别予以夹紧，管子夹头的最好材料是非金属的（我所采用的是丁晴橡胶），因为金属夹头有时会使管子表面受到损伤。

高压油管容积是燃油高压系统容积的一部分，如果油管容积大，亦即高压系统容积大，使喷射时压力波动影响很大，喷油延迟大，喷油也不易迅速终止，但油管过细，则燃油流动阻力增大。所以油管内径的选择应以燃油在管路中平均流速在 20~40m/s 的范围内为宜。高压油管的长度，一般是根据柴油机总体布置决定。高压油管尺寸也必须经过试验最后才能选定。油管越长，压力波传播的时间也愈长，使喷油更加延迟，而喷油持续时间基本不变，因此高压油管长时，最佳供油提前角应该更提前一些。多缸发动机各缸油管长度不相等，使各缸喷油规律有所差别，这也是影响多缸发动机工作不均匀的原因之一。随着油管内径减

小，燃油流动阻力增大，使喷油延迟角加大。

3.8 压燃式内燃机异常喷射现象

由于供油系统中的高压容积、高压油管长度的存在，是产生各种不正常喷射的根源。由于增压柴油机要求在喷油持续角基本上和非增压柴油机差不多的条件下，大幅度地增加每循环的供油量，因此使泵的供油率、油管内的最高压力均大幅度地增加，随发动机工况变化，每循环供油量的变化幅度也大大增加，从而使各种不正常喷射的情况更加突出的表现出来。大功率增压柴油机的性能在增压系统设计良好的条件下，主要决定于供油系统和燃烧室形状之间具有良好的配合，因此在研制大功率强化柴油机和高速车用柴油机时，必须对供油系统的各种不正常喷射的情况予以极大的注意。同时由于柴油机在转速和负荷范围都变化的面工况下工作，喷油系统系统结构参数选择既要考虑在高速、大负荷工况，又要考虑在低怠速工况时都能正常工作，两者对某些结构参数要求是矛盾的。当喷油系统结构参数选择不当时，在某些工况可能会出现不正常的喷射，这些通称为异常喷射现象。这些现象会造成柴油机性能的恶化，如经济性能下降，冒黑烟，排放差，或低速不稳定，游车，喷油嘴积碳烧损，喷油系统零件产生穴蚀损坏等等。因此，对匹配优良的柴油机不应存在这些不正常的喷射现象。在喷油系统与柴油机主机匹配之前，应在喷油泵试验台上进行先期试验，测试喷油系统的压力、针阀升程和喷油规律，消除这些异常喷射；也可应用计算机进行喷油过程的模拟计算，计算出结构参数对喷油过程的影响，优化匹配方案，消除异常喷射。下面对以上讲到的异常喷射情况做简单描述。

3.8.1 二次喷射

二次喷射是指发生在主喷射结束之后，喷射终了针阀落座后又第二次开启向气缸内喷油的现象。二次喷射使整个喷油持续时间延长，二次喷射的燃油是在较低的压力下喷入气缸的，雾化质量差，燃烧不完全且喷射偏离上止点附近，后燃严重，造成燃油消耗、排烟和排温升高，性能恶化，零部件过热甚至喷孔积碳堵塞。

二次喷射出现的工况是在柴油机大负荷、高速运转工况。判断柴油机有无二次喷射，最直接可靠的办法是测量针阀升程，也可以通过测取油管嘴端压力来间接判断，但值得注意的是嘴端测点至盛油槽的压力，两者存在着一定差异。

二次喷射产生的原因是燃油在高压作用下的可压缩性和燃油压力波在高压油路的传播与反射。当喷油系统结构参数匹配不当时，主喷射期柱塞供油结束，出油阀落座，高压油路的燃油回流；这一膨胀压力波传到喷油嘴端，针阀落座，主喷射结束，同时燃油流回出油阀紧帽；因出油阀已落座，压力上升，此压力波再次传到喷油嘴端时，当盛油槽内压力峰值超过喷油器开启压力时，针阀二次开

启，向气缸内喷油。

消除二次喷射的方法主要有：

- 1) 适当增大等容出油阀的减压容积，减小高压油路容积，如缩短高压油管长度、减小内径、减小出油阀紧帽腔容积等等。其目的是在一定油管峰值压力下，出油阀减压容积与高压油路容积有一个合适的比值，限制主喷射后压力波传播和反射的峰值。
- 2) 在保证喷雾质量的前提下，适当增大喷孔总面积。喷油速度的加快将使油管峰值压力有所下降。
- 3) 增大出油阀弹簧刚度和开启压力。开启压力增大，使本来由于进油孔的节流可以进入高压油管的附加油量减少，从而每循环供油供油量减少，油管内最高压力减小；弹簧刚度增大，使出油阀落座速度加快，两者都有助二次喷射的消除。
- 4) 对油管压力峰值较高的喷油系统，上述措施难以优化综合性能，可采用等压出油阀或阻尼出油阀等结构。

3.8.2 穴蚀

上述消除二次喷射的措施往往会促成穴蚀破坏发生。在高压油路中，当测试的油压为零时，可能会出现零压或真空。当油压突降到其相应温度的饱和蒸汽压（1~3KPA）时，高压油路中会产生油的蒸汽泡。在喷油过程的一个循环中，压力是变动的。当油压达到一定值时，气泡将破裂，气泡连续产生和破裂的过程，将会造成能量的骤变。若气泡破裂过程的能量达一定数值，对金属表面形成冲击而导致疲劳损坏，称为穴蚀现象。在中、小功率柴油机中，高压油路中的残压有可能常常为零。甚至真空，但不一定产生穴蚀；反过来穴蚀一定是由气泡溃灭过程产生。因此，在采取一些消除二次喷射措施的同时，应合理选择参数，防止穴蚀的发生，如出油阀减压速度不能过大等等，这在高压喷射中需特别注意。

3.8.3 滴油现象

这里讲的不是因喷油器针阀密封不良造成的滴漏，而是在针阀密封正常的情况下，喷射終了仍可能有燃料自喷嘴流出，流出速度很低（形似漏油），燃油不雾化，结集在喷孔处容易结碳，使喷孔堵塞。滴油现象特别在喷孔面积较大，出油阀减压作用不够时发生。因此可采用增加弹簧刚度减小针阀直径以及减小喷孔面积，提高油管压力适当增大减压容积的办法来解决。

此外，滴油现象的存在，从时间概念上表明，在回油孔打开后针阀是以小的落座速度缓慢地在关闭，因而有可能在落座过程中当喷油器内的压力低于气缸

燃气压力时，针阀还没有完全落座，燃气就挤开燃油进入喷油器内，从而导致过热，喷油嘴结焦等故障，因而消除滴油现象和前述的二次喷射，同样也为防止燃气回窜创造了条件。

3.8.4 不稳定喷射

在喷油过程中，对一固定的拉杆（或齿杆）位置和喷油泵转速，理论上每循环喷油量应是恒定的。在正常喷油过程中，每循环喷油量也是基本不变的。但是，在某些工况（特别是低怠速工况），当结构参数匹配不当时，循环供油量不断变动，各循环喷油规律也有差异，这种现象称之为不稳定喷射，也称不规则喷射。对于不稳定喷射，测量针阀升程和喷油归律可以明显判定，如针阀开启不足，针阀的跳动无一定的规律，造成每循环喷油量的变动；更为严重的是有的循环针阀不能开启，产生隔次喷射现象。造成这些现象的原因是高速、大负荷时，为提高喷油速率而采用高喷射压力，为防止二次喷射而采用较大的出油阀减压容积，但在低怠速工况时，循环供油量少，柱塞有效供油行程小，漏油增多，油压低，高压油路中减压过度，且燃油有一定压缩量，这些因素造成高压油路系统残压降低并产生波动，从而使循环喷油量产生变动。用孔式喷油嘴，在低怠速工况下，容易出现不稳定喷射。除在与主机匹配时合理选择喷油系统参数，防止不稳定喷射外，采用两级开启压力的双弹簧喷油器，可以改善低怠速的不稳定喷射。低怠速运转时，喷油压力低，仅能使喷油器达第一级开启压力（一般为14~16MPa），针阀升程不大于0.1mm。这样，针阀上下运动的泵吸作用也减少，针阀稳定在此升程下喷油，故喷油稳定。当柴油机转速和负荷增大，压力增高，达第二级开启压力时，进入喷油器的正常工作状态。采用等压出油阀也可改善低怠速工作的稳定性。

以上就是对燃油喷射系统作的简单描述。

第四章 测量控制系统概述

信息总是蕴涵在某些物理量之中，并依靠它们来传输的。这些物理量就是信号。就具体物理性质而言，信号有光电信号、光信号、力信号，等等。其中，电信号在变换、处理、传输和运用等方面，都有明显的优点，因而成为目前应用最广泛的信号。各种非电信号也往往被转换成电信号，而后传输、处理和运用。

在测试工作的许多场合中，并不考虑信号的具体性质，而是将其抽象为变量之间的函数关系，特别是时间函数或空间函数，从数学上加以分析研究，从中得出一些具有普遍意义的理论。这些理论极大地发展了测试技术，并成为测试技术的重要组成部分。这些理论就是信号的分析 and 处理技术。

一般说来，测试工作的全过程包含着许多环节：以适当的方式激励被测对象、

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/078124106115006142>