

· 第 1 章 ·

柴油机燃烧基础

知识目标

- 说出柴油的理化特性。
- 说出柴油机的燃烧过程。
- 说出电控柴油机的主要部件作用。

技能目标

- 能进行柴油机曲柄连杆和配气机构的拆装。
- 能边拆边讲主要部件的工作原理。
- 能进行柴油机供油系统的排气操作。
- 能进行柴油机供油系统的喷油器检查操作。
- 能进行柴油机供油正时检查操作。
- 能进行柴油机三大偶件检查操作。

1.1

柴油性能指标

同汽油机一样，柴油机的燃烧过程将直接影响发动机的性能指标。由于柴油机使用的是馏程比汽油高的柴油燃料，且依靠压缩自燃而着火燃烧，使柴油机的混合气形成与燃烧过程与汽油机有很大的区别。

本章将介绍柴油的主要性能指标，阐述柴油机的混合气形成与燃烧过程、各种燃烧室特点、发动机排放污染与控制。重点研究柴油机的燃烧过程及其影响因素。

1. 柴油的组分及牌号

柴油按所含重馏分的多少分为重柴油和轻柴油。重柴油多用于 1000r/min 以下的中低速柴油机，轻柴油多用于 1000r/min 以上的高速、中高速大功率柴油机。柴油的物理化学性质对柴

油机的着火和燃烧影响很大。

柴油的馏分组成是指柴油达到某一温度时能蒸馏出来的成分的容积百分数，它的大小可表示燃料蒸发的特性。柴油中在 250 以下能蒸馏出来的成分叫轻馏分，250~350 之间蒸馏出来的成分叫中等馏分，350 以上蒸馏出来的成分叫重馏分。轻馏分易于蒸发，因此含轻馏分多的柴油易于在汽缸内蒸发，便于着火和启动。重馏分多的柴油，黏度大，在汽缸中不易蒸发，难以完全燃烧。品质良好的轻柴油是轻、重馏分适量，大部分为中等馏分的柴油，且馏分组成的温度范围较窄。

柴油中碳原子为直链排列的烷烃叫正构烷烃。含碳原子越多，结构越不紧凑，常温下化学性质较稳定，但温度高于 300 时，易产生过氧化物，在高温下易分解。正构烷烃的自然点最低，在柴油机燃烧过程中容易着火，燃烧性能好。在柴油中环烷烃的燃烧性能不如正构烷烃。烯烃的凝点较低，掺入柴油中可降低其凝点。但这类掺和产品，因安定性差，不易长期储存。

国家标准 GB252—81 规定的国产轻柴油规格见表 1-1。

表 1-1 国产轻柴油规格

项 目	质 量 指 标					试验方法
	10 号	0 号	-10 号	-20 号	-35 号	
十六烷值不小于	501	50	50	45	43	GB386—64
馏程：						
50%馏出温度（ ）不高于	300	300	300	300	300	GB251—77
90%馏出温度（ ）不高于	355	355	350	350		
95%馏出温度（ ）不高于	365	365	—	—	350	
运动黏度（20℃）， $1 \times 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$	3.0~8.0	3.0~8.0	3.0~8.0	2.5~8.0	2.5~7.0	GB261—75
10%蒸余物残炭（%）不大于	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	GB263—77
灰分（%）不大于	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	GB508—65
含硫量（%）不大于	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	GB380—77
机械杂质（%）	无	无	无	无	无	GB511—77
水分（%）不大于	痕迹	痕迹	痕迹	痕迹	痕迹	GB260—77
闪点（闭口）不低于	60	60	60	60	50	GB261—77
腐蚀，（铜片，50℃，3h）	合格	合格	合格	合格	合格	GB378—64
酸度，mgKOH/100ml 不大于	10	10	10	10	10	GB258—77
凝点（ ）不高于	10	0	-10	-20	-35	GB510—77
水溶性酸或碱	无	无	无	无	无	GB259—77
实际胶质（mg/100ml）不大于	70	70	70	70	70	GB509—77

2. 主要性能指标

（1）着火性

柴油着火性是指柴油的自然能力，其评定指标是十六烷值，十六烷值越高着火性越好。

着火性好的燃料。喷入汽缸后能及时燃烧，柴油机工作柔和，冷启动性能随之改善。若着火性能差，燃烧前所需的物理、化学准备时间长，着火后压力升高率过高，导致柴油机工作粗暴。

柴油的十六烷值与燃料的分子结构及分子量有密切的关系。一般直链烷烃比环烷烃的十

十六烷值高；同类烷烃中分子量越大，十六烷值越高。但随着燃料分子量增大，燃油的黏度将上升，蒸发性能会下降。因此，若十六烷值过高，将导致排气中出现黑烟，经济性下降。

不同类型的柴油机，对柴油十六烷值要求不同。一般在高速柴油机上，十六烷值在 40 ~ 56 之间的柴油能保证适时启动和正常燃烧。中速和低速柴油机所用的柴油十六烷值在 35 ~ 50 之间。采用直接喷射式燃烧室的高速柴油机比采用分隔式燃烧室的高速柴油机对柴油的十六烷值要敏感些。

（2）蒸发性

馏程表示柴油的蒸发性，由柴油的蒸馏试验决定。将柴油加热，分别测定蒸发出 50%、90% 和 95% 的馏分温度。馏出 50% 的温度低，说明这种燃料轻馏分多，蒸发性能好，有利于混合气的形成和燃烧。但若轻馏分过多，着火前蒸发油气过多，使柴油机工作粗暴。90% 和 95% 馏出温度标志柴油中所含难于蒸发的重馏分的数量。若重馏分过多，在汽缸中不易蒸发，与空气混合不均，则燃烧不完全。若重馏分超过 40%，柴油机易产生冒烟和积炭。

（3）黏度

柴油的黏度对燃料在管道中的流动特性和燃烧室中的雾化质量及燃烧特性有重要影响。若黏度过大，使滤清沉淀困难，流动阻力增加，柴油从喷油器喷出时的雾化性差，不易形成均匀的混合气；若黏度过小，将增加喷油泵及喷油器之间的柴油漏失量。加剧这些精密偶件表面的磨损。所以柴油应具有适中的黏度。

（4）凝点

凝点是指柴油冷却到开始失去流动性的温度，它的高低表示柴油的低温流动性。国产轻柴油的牌号就是按凝点编定的，如 10 号轻柴油的凝点为 10（见表 1-1）。好的柴油应具有低凝点。若凝点过高，不利于燃料的正常供给，尤其在低温条件下工作，可能造成油路堵塞。选用柴油时，其凝点至少要比最低环境温度低 5。

1.2

柴油机混合气的形成

柴油机混合气的形成是指燃料自喷入汽缸至着火及燃烧的整个阶段中所发生的破碎、雾化、汽化并与空气之间相互渗透和扩散的过程，它直接决定着燃烧质量。由于柴油的蒸发性差，因此柴油机是采用高压喷射的方法，即在压缩冲程接近终了时，借助喷油器将柴油喷入燃烧室，与汽缸中高温、高压的空气混合形成可燃混合气。经过一系列物理化学准备后，着火燃烧；随后，混合气的形成和燃烧便重叠进行，即一边喷油，一边混合和燃烧。

柴油机的混合气形成与汽油机相比有两个显著特点：其一是混合气的形成在汽缸内部；其二是混合气混合时间。从喷油到结束，占 $11^\circ \sim 30^\circ$ 曲轴转角，当柴油机转速为 2000r/min 时， 15° 的曲轴转角仅相当于 $1/8000$ s，在如此短的时间内，混合气的形成是极不充分的，也极不均匀。为了使喷入汽缸中的柴油尽可能燃烧完全，在柴油机中常使用 $\alpha > 1$ 的稀混合气，但 α 过大会影响柴油机的动力性。一般高速柴油机 $\alpha = 1.2 \sim 1.6$ ，增压柴油机 $\alpha = 1.8 \sim 2.2$ 。

理想的柴油机混合气形成过程应该是燃料喷入燃烧室后在尽可能短的时间内与周围空气均匀雾化、混合，形成可燃混合气；着火后继续喷入的燃料应及时得到足够的空气和混合能

量，以便迅速混合，力求避免燃料直接进入高温缺氧区域，引起裂化。

柴油机混合气形成依靠两方面作用：一是燃料喷雾；二是组织空气运动。组织必要的空气运动可以促使柴油很快在整个燃烧室空间得到均匀分布，加速混合气形成。

1. 形成混合气的两种基本方式

柴油机可燃混合气的形成，按其形成的原理可分为空间雾化混合和油膜蒸发混合两种方式。

(1) 空间雾化混合方式

该方式直接将柴油喷射到燃烧室空间，经雾化、蒸发与空气混合，形成雾状混合物。为了使混合迅速而均匀，要求采用雾化质量较好的多孔喷油器，并使喷射油束与燃烧室形状相配合；在燃烧室内组织适当的空气运动，使油束中的油滴在运动中与空气分子之间产生摩擦和碰撞，进一步分裂细化。相对运动速度越高，这种摩擦和碰撞越激烈，分裂后的油滴直径越小，数量越多，总的蒸发表面积也越大，混合气也越均匀。

空间雾化混合气的优点是混合气形成速度快，燃烧过程比较稳定，对转速范围的适应性强。其缺点是燃料在着火以前形成的混合气量较多，使燃烧过程较为粗暴，并生成较多的 NO_x ，若油滴蒸发、雾化速度不及燃烧速度快，将产生不完全燃烧。在中低速柴油机中，几乎都是采用空间雾化方式组织混合气的；在中小型高速柴油机中，无论用何种燃烧系统组织混合气，空间雾化方式也占有一定的比例。

(2) 油膜蒸发混合方式

该方式是将绝大部分柴油喷射到较高温度的燃烧室壁面上，形成一层油膜，只有 5% 左右的柴油直接喷射在燃烧室空间的空气中，这一部分柴油在空间雾化与蒸发，与空气混合而首先着火。着火后使燃烧室的温度迅速升高，使燃烧室壁面上的油膜在强烈的旋转气流作用下，以越来越快的速度蒸发并与空气形成均匀的可燃混合气。

影响这种混合气质量的主要因素是燃烧室壁温、油膜厚度和空气与油膜相对运动的速度。燃烧室壁温过低，油膜蒸发缓慢；壁温过高会引起燃料裂化。油膜越薄、越均匀，混合气形成速度越快；空气运动速度越高，则混合气形成的速度越快。

油膜蒸发混合方式比空间雾化混合方式所得到的混合气更均匀。通过油膜的蒸发和气流的旋转运动还可以实现分层燃烧，做到既减少冒烟又可控制燃烧速度，防止工作粗暴。因此，用这种方式形成的混合气比例越高，燃烧越柔和，排气中 NO_x 含量也越低。其缺点是油膜蒸发的速度受壁温、油膜厚度和气流运动的影响很大，燃烧不及空间雾化稳定。当燃烧室壁温较低时，混合气形成慢，冷启动困难，怠速及小负荷时 HC 排放高。

因此，近年来单独使用这种混合气形成方式及其燃烧系统的发动机已日趋渐少。但对于小型高速柴油机来说，由于燃料或多或少地会喷到燃烧室壁上，所以两种混合方式都兼而有之。从这个意义上说，油膜蒸发混合方式仍有重要的学术和实用价值。

2. 影响混合气形成的主要因素

影响混合气形成的因素包括燃料喷雾、气流运动、燃烧室结构等。

(1) 燃料的喷雾对混合气形成的影响

利用喷油器将柴油喷散成细粒的过程称为柴油的喷雾或雾化。

油束的形成及特性

燃料在高压下（15 ~ 30MPa），高速（100 ~ 300m/s）从喷油器的喷孔喷入空气中，便形

成类似圆锥体形状的油束，如图 1-1 所示。油束在缸内压缩空气中高速穿透，由于空气阻力及高速流动时的内部扰动而被粉碎成细小油滴，增加了与空气接触氧化的机会。油束中间部分雾化较差，是油粒密集、速度较高的粗油滴，越向外围，油滴越细，速度越小，最先蒸发并与空气混合形成可燃混合气。

柴油的喷雾质量对混合气形成及燃烧有很大影响，一般用油束的喷雾锥角 β 、射程 L 及雾化质量来评定。

· 喷雾锥角

喷雾锥角 β 标志油束在燃烧室中的扩散程度。其大小与喷油器结构有很大关系。 β 大说明油束松散，油粒细，则柴油雾化好，混合气均匀。

· 油束射程

射程 L 表示油束在燃烧室中的贯穿距离。 L 大小影响柴油在燃烧室中的分布。若燃烧室尺寸小，而 L 大，就会有较多的柴油喷到壁面上；反之，若 L 过小，则柴油不能很好地分布到燃烧室空间，燃烧室周边的空气得不到充分利用。因此，油束射程大小必须根据混合气形成方式与燃烧室相互配合。

· 雾化特性

雾化特性是指柴油喷散雾化的程度，一般用喷雾的细微度和均匀度表示。喷雾越细、越均匀，则雾化质量越好。

喷雾细微度可用油束中油粒的平均直径表示，平均直径越小，则喷雾越细。喷雾均匀度用油粒的最大直径与最小直径之差表示，直径差值越小则喷雾越均匀。如图 1-2 所示为用实验方法测绘出的雾化特性曲线。曲线越窄，越靠近纵坐标轴，则表示油粒越细，越均匀，即雾化质量越好。图中曲线 2 不如曲线 1 的特性好。由于此法使用不便，在实用中常用喷油压力试验器检验喷油器的喷雾质量。

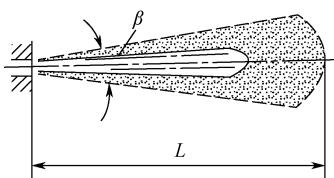


图 1-1 多孔喷油中单孔油束的形状

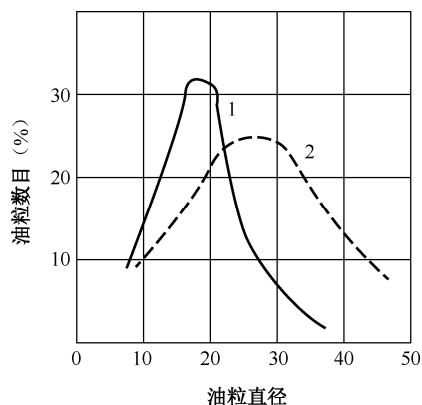


图 1-2 雾化特性曲线

影响油束特性的因素

· 喷油器结构

不同结构的喷油器引起油束形成的内部扰动也不同，从而产生不同形式的油束。

· 柴油的喷油压力

喷油压力越大，则流经喷孔时所产生的扰动以及流出喷孔后所受到的空气阻力也越大，雾化质量好。但喷油压力不能过高，否则，高压油管容易胀裂，喷油器容易磨损等。

- 柴油的黏度

柴油的黏度越大，雾化越困难，燃烧缓慢。因此高速柴油机要求使用黏度较小的轻柴油，低速柴油机则允许使用黏度稍大些的重柴油。

- 汽缸内压缩空气的反压力

当汽缸内压缩空气的反压力增加时，引起作用在油束上的空气阻力增加，因此燃料雾化有所改善，喷雾锥角增大，射程缩短。非增压柴油机中汽缸中空气的反压力变化不大，对油束特性的影响不显著。

- 喷油泵凸轮外形及转速

喷油泵凸轮形状较陡或转速较高时，均使喷油泵的柱塞供油速度加快，由于节流作用，会使油管中的燃料压力增加，从而使喷油速度增大，因此雾化得到改善，油束射程和喷雾锥角均有所增加。

(2) 空气运动对混合气形成的影响

燃料完成喷射雾化后，还必须与空气迅速有效地混合，才能形成均匀的可燃混合气。对于大型低速柴油机，过量空气系数 α 较大，燃烧时间较长，可利用多孔喷油器同时喷出几股油束，以此增加柴油与空气混合的机会；对于小型高速柴油机，由于燃烧时间短促， α 又比较小，必须组织剧烈的空气运动，促使混合气迅速形成。

不同燃烧室结构产生空气运动的形式也不同，主要有进气涡流和挤压涡流。

1.3

柴油机的燃烧过程

柴油机的燃烧过程是从压缩冲程上止点前喷油开始到膨胀冲程燃烧终了为止，所占时间很短（为 $50^\circ \sim 70^\circ$ 曲轴转角，高速柴油机只有 $0.003 \sim 0.006s$ ），整个过程非常复杂。

1. 柴油机的着火

柴油机利用柴油化学安定性差，易自燃的特点，采用压缩自燃的方式使可燃混合气着火。

在压缩冲程的末期将柴油喷入汽缸，此时缸内空气温度高达 $500 \sim 900^\circ C$ ，远远超过了柴油的自燃温度，但燃料并不能立即着火燃烧。要使可燃混合气着火燃烧，必须具备如下两个条件。

(1) 可燃混合气必须加热到某一临界温度以上，否则，燃料就不能着火。燃料不用外界能量点燃而能自行着火的最低温度叫着火温度或自燃温度。

(2) 可燃混合气中燃料与空气的比例要在着火界限范围内才能着火燃烧。若混合气过浓，表明氧分子相对较少，燃料分子过多；混合气过稀，表明燃料分子过少氧分子过多。这两种情况的氧化反应程度都不够。因此，混合气过浓或过稀超出了着火界限，就不能着火。应当指出，着火界限也不是一成不变的，随着温度升高，分子运动速度增加，反应速度加快，将使得着火界限扩大。

柴油机汽缸内燃料油束的着火情况非常复杂。位于油束外围直径很小的油滴，在很短时间内即蒸发完毕，这时虽然可以形成有适当浓度的混合气区域，但由于温度不够或化学准备

来不及,则此处不可能着火。经过一段时间后,扩散作用使这部分的混合气变稀,也难以着火。所以首先着火的地点不在最小油滴处,也不在油束核心浓度过高的部分。首先着火的地点是在油束核心与外围之间混合气浓度和温度适当的地方。由于在汽缸中形成浓度适宜的混合气及温度条件相同的地方不止两处,因此,首先着火的火源一般也不止一个,而是几处同时着火。柴油机各个循环中喷油情况与温度状况不可能完全相同,使得每个循环的着火地点也不一定相同。

2. 柴油机的燃烧过程

柴油机的燃烧过程通常利用展开示功图即 $P-\varphi$ 图来分析和研究。

燃料着火、燃烧后,使汽缸中工质的压力和温度迅速升高,根据汽缸中工质压力和温度的变化规律,将柴油机的燃烧过程划分为4个阶段,即着火延迟期、速燃期、缓燃期和补燃期。如图1-3所示。曲线1、2、3、4、5表示汽缸中进行正常燃烧的压力曲线,虚线表示不向汽缸喷油的纯压缩、膨胀压力线。

(1) 着火延迟期

从喷油开始(点1)到压力脱离压缩线开始急剧上升(点2)止,这一阶段称为着火延迟期。

在压缩过程接近终了的上止点前点1,喷油器针阀开启,向汽缸喷入燃料。这时汽缸中空气温度虽远远高于燃料在当时压力下的自燃温度,但并不能马上着火,而需要经历一系列的物理、化学变化过程,包括燃料的雾化、加热、蒸发、扩散与空气混合等物理准备阶段,以及着火前的化学反应准备阶段,直到点2才开始着火、燃烧,致使缸内压力急剧升高。着火延迟期的长短以 $F_1(s)$ 或曲轴转角 φ_1 表示,一般为 $0.0007 \sim 0.0035s$,它受到喷油时缸内的温度和压力等因素的影响。这段时间的长短,是控制和改善整个燃烧过程的关键。

(2) 速燃期

汽缸压力急剧上升的始点2至终点3,称为速燃期。由于在着火延迟期内喷入汽缸的燃料都已经过不同程度的物理、化学准备,一旦混合气着火后,几乎一起参加燃烧而急剧放热,其放热量 Q 约为每循环总放热量的 $1/3$ 左右,且燃烧是在活塞靠近上止点、汽缸容积变化较小的情况下进行的,接近等容燃烧。因此,汽缸内压力上升急剧,最高燃烧压力 P_z 可达 $5.4 \sim 8.8MPa$ (高速柴油机的 P_z 约在压缩冲程后 $6^\circ \sim 15^\circ$ 曲轴转角时出现),致使压力升高率 $\Delta P/\Delta \varphi$ 较大,产生较强的燃烧噪声和振动。

压力升高率决定了柴油机的噪声大小和运转的平稳性,当 $\Delta P/\Delta \varphi$ 超过 $400 \sim 600kPa/(^\circ)$ 曲轴转角,将导致燃烧最高压力 P_z 增大,不仅产生强烈噪声,还直接使燃烧室壁、活塞等机件产生强烈振动,称之为柴油机工作粗暴。柴油机工作粗暴,使运动件受到很大的冲击负荷,导致发动机寿命缩短。

速燃期压力升高率的大小,与着火延迟期喷入汽缸的燃料量有直接的关系。因此,适当

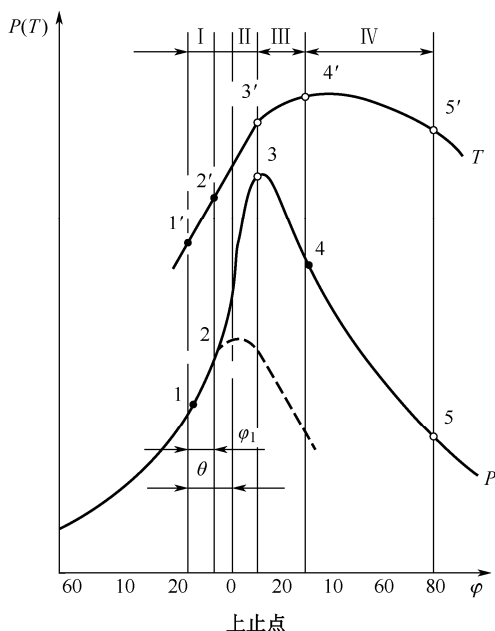


图 1-3 柴油机燃烧过程的展开示功图

(θ 喷油提前角; φ_1 着火延迟角)

缩短着火延迟期，使这段时期的供油量减少，则速燃期开始时，已完成物理、化学准备的可燃混合气的量也较少，则压力升高率将较低。这不但使发动机工作柔和，而且动力性和经济性也得到改善。

（3）缓燃期

从汽缸压力急剧升高的终点 3 到压力急剧下降的始点 4（或到汽缸内出现最高温度点）为止，称为缓燃期。

实际循环中的大部分燃料在此阶段中燃烧，同时汽缸的容积在不断增加，结果是缸内温度继续增高，工质的压力几乎不变或稍有升、降。这阶段结束时的放热量约占循环放热量的 70%~80%，最高温度可达 1970~2270K，最高温度点出现在上止点后 20°~35°曲轴转角。

在缓燃期内，随着燃烧的进行，燃烧产物不断增加，可燃混合气中氧的浓度不断减小，高温、局部缺氧成为这一阶段的特点。如果燃料与空气混合不均匀，燃料就会在高温缺氧的条件下发生裂化分解，生成碳烟，使经济性下降，排气冒黑烟。因此，在缓燃期内应加强空气涡流强度。加速混合气的形成，并提高混合气的均匀性，保证燃烧过程在上止点附近迅速、完全地进行，以提高柴油机的动力性、经济性，减少排气冒烟。

（4）补燃期

从缓燃期的终点 4 到燃料基本上燃烧完毕点 5 为止，称为补燃期。在柴油机中，由于燃烧时间短促，燃料与空气的混合又不均匀，总有一些燃料不能及时烧完而拖延到膨胀过程中期乃至后期继续燃烧。特别是在高速大负荷时，由于过量空气少，混合气形成和燃烧时间更短，补燃现象比较严重。补燃期一般认为放热量达到每循环总放热量的 95%~97%时即结束。

由于在补燃期活塞已远离上止点，燃料在较低的膨胀比下燃烧放热。不仅放出热量的有效利用程度很低，而且还增加了散给冷却水的热损失，活塞组的热负荷也增大，使排气温度升高，结果使柴油机经济性能恶化。因此，应努力缩短补燃期。

1.4

影响柴油机燃烧过程的主要因素

1. 着火延迟期及其影响因素

通过以上的分析可知，柴油机着火延迟期时间的长短和喷油量的多少对整个燃烧过程影响极大。若着火延迟期过长，喷入燃烧室的燃料较多，使着火前形成的可燃混合气增多，在速燃期开始几乎一起燃烧的着火点也增多，造成压力升高率和最高燃烧压力过高，使柴油机工作粗暴，使用寿命降低；若着火延迟期过短，则燃料与空气未充分混合即开始着火燃烧，使燃烧速度缓慢，造成动力性和经济性下降。因此，每一种柴油机应具有适中的着火延迟期。

影响着火延迟期的主要因素有：燃料性质、压缩比、喷油提前角、转速与气流运动，负荷和增压等。

下面分析这些因素对着火延迟期，以及对燃烧过程和柴油机性能的影响。

（1）燃料性质的影响

柴油的十六烷值和馏程决定着火延迟期的长短，也就影响燃烧过程。在其他条件相同的情况下，适当地提高燃料的十六烷值，会使着火延迟期缩短，速燃期内的压力升高较平缓，

柴油机运转稳定，易启动。馏程表明燃料的蒸发性。馏程低的柴油，蒸发性好，可缩短着火延迟期。

如果燃料的十六烷值高，则馏程较高蒸发性差，会造成燃料来不及蒸发，在高温下裂解成碳烟，反之，若柴油的馏程较低，则着火性差，会使着火延迟期延长，导致速燃期最高燃烧压力 P_z 和压力升高率增大，柴油机工作粗暴。因此，柴油的十六烷值和馏程选择要适当，且要互相配合。一般高速柴油机所用的轻柴油规定十六烷值为 40~56，馏程为 200~350。

(2) 压缩比的影响

柴油机为了保证燃料可靠地着火燃烧，要求具有足够高的压缩比。压缩比提高，使压缩终了的温度和压力增大，促使喷入的燃料加速雾化与蒸发，缩短了着火延迟期，使速燃期压力升高率降低，柴油机工作柔和，还能改善冷启动性能。但压缩比也不能过高，否则使曲柄连杆机构负荷过高，影响发动机寿命。

(3) 喷油提前角的影响

喷油提前角是指喷油开始到活塞到达压缩冲程上止点为止的曲轴转角。如果喷油提前角过大，柴油在汽缸压力和温度较低的状态下进入汽缸，使着火延迟期延长，不仅速燃期的压力升高率和最高燃烧压力过高，而且还增加了压缩负功，工作粗暴，发动机的动力性和经济性均下降，启动困难，启动时冒黑烟，怠速不稳定；如果喷油提前角过小，则燃料不能在上止点附近燃烧完毕，补燃量增加，排气温度升高，虽可使最高燃烧压力有所降低，但造成排气冒黑烟，柴油机过热，发动机功率下降，油耗增大。柴油机在每一种工况下，均有一个最佳喷油提前角，此时柴油机功率最大、耗油率最小。这通常是在标定工况下由实验选定的。

(4) 转速及气流运动的影响

适当组织燃烧室内的气流运动，可提高燃料蒸发与雾化速度。当转速增加时，燃烧室内的气流运动加强，喷油压力增加；同时，转速增加还减少了散热损失和汽缸漏气损失，使压缩终了的温度和压力增高，这些都有利于燃料的蒸发和雾化，将促进可燃混合气的形成，结果以秒计的着火延迟期 T_i 缩短。但应指出，转速增加后，以曲轴转角计的着火延迟期有所增大 ($\varphi=2nT_i$)。为了保证燃烧在上止点附近迅速完成，最佳喷油提前角应随转速的增加而增大。现代车用柴油机为改善使用性能均装有供油自动提前器，以保证在各种转速范围内都有合适的喷油提前角。

(5) 负荷的影响

柴油机若转速保持不变而负荷增加，意味着循环供油量增加，循环放热量也随之增加，缸内温度上升，有利于混合气的形成，使着火延迟期缩短，柴油机工作柔和。但是，循环供油量加大，使喷油持续角延长；同时，随着负荷增大，过量空气系数减小。这些都会导致补燃增加，热效率降低，经济性下降。特别是负荷过大时，因空气不足，引起燃烧恶化，排气冒碳烟，经济性更差。

当柴油机在怠速或低负荷工况下运行时，汽缸内温度较低，着火延迟期延长，使速燃期压力升高率增大，产生较强的振音，称为柴油机的“惰转噪声”。随着转速升高及负荷增加，柴油机热状态正常后，此现象随之消失。

(6) 增压的影响

柴油机采用增压技术后，进入汽缸的空气密度增大，进气压力和进气温度升高，压缩终了的温度和压力均随之提高，使着火延迟期缩短，有利于降低燃烧噪声和机械负荷，柴油机工作变得柔和、稳定。

2. 燃烧过程的影响

(1) 供油系统

供油系统应确保柴油按时、按质、按量喷入汽缸，以保证柴油机的燃烧完全、及时，获得良好的动力性、经济性、工作平稳性及低噪声、低污染。按时，就是在整个转速范围内，均能按最佳喷油提前角喷油；按质，就是燃料喷雾质量高，并能和燃烧室结构相匹配；按量，就是根据负荷的要求准确地喷射定量的燃料，且各缸内的喷油量保持均匀一致。

柴油机高压燃料的供给主要是由喷油泵和喷油器完成的。它们的性能对柴油机燃烧过程影响很大。

喷油泵

喷油泵的功用是根据柴油机的要求，将燃料提高到一定的压力，按照规定的时间和供油规律供给喷油器而喷入汽缸。目前大多数汽车柴油机都采用柱塞式喷油泵。与一般柱塞泵相比，P 型泵对柴油机的不断强化和高速化有良好的适应性，被重型货车柴油机广泛采用。

由于微电子技术的迅速发展，柴油机排放标准的实施和降低燃料消耗率的要求，电控喷油泵产品已于 20 世纪 80 年代初期问世。电控系统一般由传感器、控制器和执行器三部分组成。传感器有多种形式，它们对转速、供油定时、流量、位移、压力、温度等信号进行测量并输入控制器。控制器将输入的信号同原来储存的程序进行比较、处理并发出控制指令，由执行器实施控制，使柴油机在各种变工况下都能在最佳的供油提前角和供油量状态下进行，从而获得发动机的低排放，以及更好的动力性和经济性。

例如，1989 年 Zexel 公司研制成功了 MD-TICS 和 HD-TICS 电控喷油泵，分别用于中、大型柴油机上。

TICS 电控泵结构上采用了控制滑套机构来实现可变的供油定时。低速时预行程增大，提高了凸轮速率和供油压力，使之高于一般喷油泵。因此低速工况雾化良好，烟度和燃料消耗率明显降低。而在高速时，预行程减小，使凸轮速率和供油压力保持与一般喷油泵一样的较低水平上，从而相对提高了喷油泵的工作可靠性与寿命，降低了对主要零部件强度与刚度的要求。同样，它由于预行程随转速的提高而减小，使相应供油定时提前，起到了供油提前器的作用。采用了 TICS 的电控系统可省去供油提前装置。

目前，电控喷油泵的功能已从供油定时，供油量、供油速率的控制，发展到可以具有一系列的附加功能，如空燃比、转矩校正、海拔与进气压力的补偿调节，以及系统工况诊断、车速控制等。

喷油器

喷油器的作用是将柴油雾化成较细的颗粒，并合理分布到燃烧室内，与燃烧室形状及气流运动相配合，以获得良好的混合气。中小型高速柴油机主要采用闭式喷油器，有孔式和轴针式两种形式，其头部喷嘴的结构如图 1-4 所示。

孔式喷油器主要用于直接喷射式柴油机，喷孔的数目和方向取决于各种燃烧室对喷雾质量的要求，它的特点是喷孔直径小、喷油压力高，

但易引起结炭、堵塞。例如，CA6110—2 型柴油机采用 5 孔闭式喷油器。轴针式喷油器主要

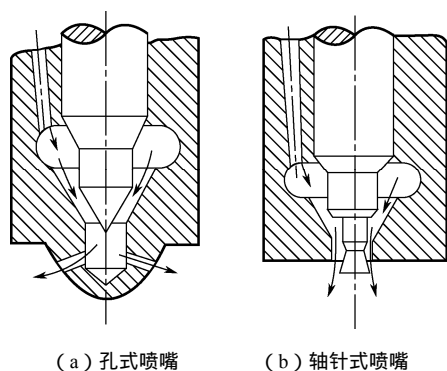


图 1-4 喷油器的头部结构

用于对喷雾要求不高的分隔式柴油机，其特点是喷孔孔径大(1~3mm)，喷油压力较低(12~14MPa)，喷孔不易堵塞。轴针的形状不同，形成的油束也不同，它对燃烧过程有很大影响。如图 1-4 (b) 所示的节流轴针式喷油器，其喷射初期的喷油率较小，可用来控制着火延迟期中的喷油量，以防止柴油机工作粗暴。

鉴于高喷油压力和高喷油速率的发展趋势，一般的喷油器在低速工况区易产生不均匀喷油，从而引起柴油机在低速工况下工作不稳定、游车(发动机在运转中，转速不稳定，超过允许的转速波动率，进行周期性的游动)和敲缸(由于燃烧粗暴，在汽缸内出现金属敲击声)。这主要是由于针阀升程大所致。如果按低速小负荷工况的要求，减小针阀升程和改变开启压力即可消除此不均匀喷油，但这就难以满足高速大负荷工况的要求。可见一般的喷油器难以同时兼顾高、低速工况。国外某些公司开发了双弹簧喷油器并应用于重型汽车柴油机上，取得了很好的效果，其构造和工作原理如图 1-5 所示。

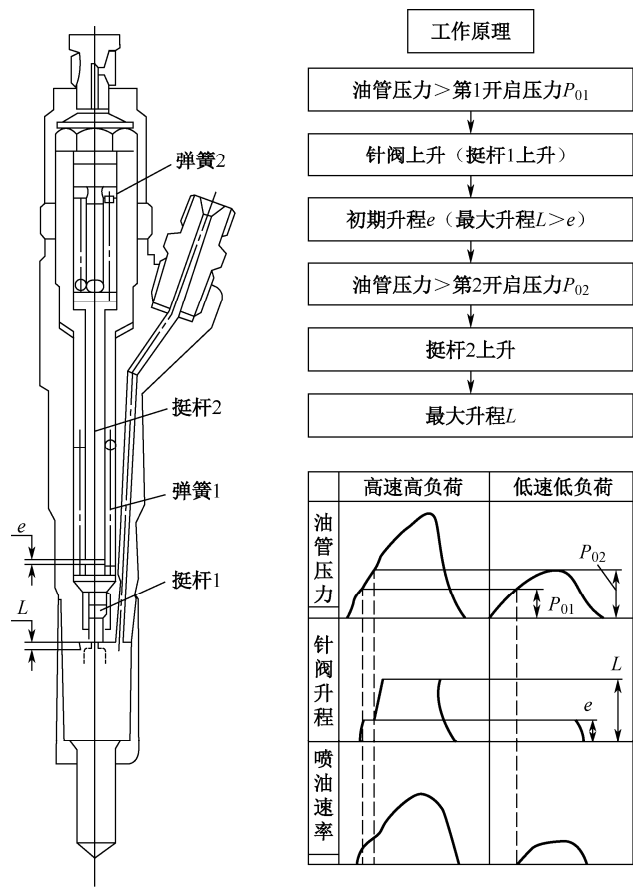


图 1-5 双弹簧喷油器的构造和工作原理

它的喷油过程分为两个阶段。第一个阶段适于低速低负荷工况。其针阀开启压力 P_{01} 由弹簧 1 调整决定。当油管压力大于或等于 P_{01} 时，针阀开启，并随压力上升升程加大，直至升程为 e 。该阶段的特点是喷油器针阀开启压力低、升程小，可避免不均匀喷油现象发生，保证柴油机稳定工作。第二阶段适于高速、大负荷工况。针阀的第二开启压力 P_{02} 由弹簧 1 和弹簧 2 的合力决定。当油管压力大于或等于 P_{02} 时，针阀再次上升直至最大升程。

该段由于喷油器是在相应的大于 P_{02} 的高开启压力和小于 L 的大升程下喷油的，能满足

柴油机功率特性的要求。

带泵喷油器

带泵喷油器是将喷油泵和喷油器合成一体,不需要高压油管,直接安装在缸盖上原喷油器的位置,由高置的凸轮轴通过摇臂来驱动,同时完成泵油和喷油作用。喷油泵/喷油器的优点在于它具有高的喷油压力,而又不易发生二次喷油和穴蚀现象,用于对喷油压力要求高的重型载重汽车柴油机上。

(2) 喷油规律

喷油规律是指喷油过程中单位时间(或单位泵轴转角)从喷油器喷出的燃料量随时间(或泵轴转角)的变化关系。它对柴油机的燃烧规律和放热规律有很大的影响。

对喷油规律的要求,必须与燃烧室结构形式、气流运动及运转工况结合起来考虑。对于分隔式燃烧室,希望喷入的燃料主要在主燃烧室内燃烧,要求喷油规律急喷急断。对于直接喷射式燃烧室,希望着火延迟期内的喷油量少一些,只要能形成着火条件即可,以控制速燃期内的压力升高率;着火燃烧以后,中、后期的喷油量要多、要急,以缩短燃料喷射的持续时间,使燃料尽量在上止点附近完成燃烧。因此要求喷油规律是先缓后急。

喷油规律主要取决于柴油机燃油泵凸轮外形形状、喷油器的结构形式及其调整等。

图 1-6 所示为几种典型的喷油规律图。图 1-6(a)表示采用高速凸轮,喷油速率大,曲线变化很陡,喷油延续时间短,柴油机经济性和动力性好,但由于开始喷油时喷油速率大,在着火前大量燃料已喷入汽缸,有可能在着火前形成大量的可燃混合气,造成柴油机的压力升高率 $\delta \Delta P / \Delta \varphi$ 高,工作粗暴,燃烧噪声大,图 1-6(b)所示的喷油规律是,开始喷油时喷油速率很大,同样使柴油机工作粗暴,燃烧噪声大,后期曲线下降平缓,喷油速率变小,喷油延续时间长,结果使燃烧时间拖长,补燃量增多,排气温度升高,发动机易过热,性能下降。图 1-6(c)所示的喷油规律是,开始喷油时,喷油速率较小,曲线变化平缓,然后喷油速率很快上升,接着又很快结束,这样使喷油延续时间不致过长,柴油机工作柔和,使燃料

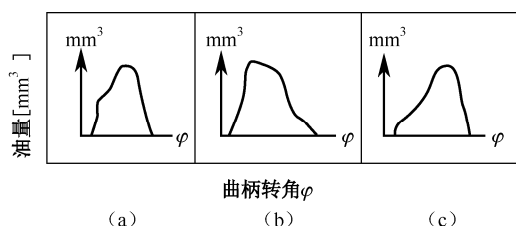


图 1-6 几种喷油器的规律类型

在上止点附近尽快燃烧,动力性和经济性好。

(3) 不正常喷射

燃料在喷射过程中,由于供油系统中存在高压容积特别是压力波在其间的往复传递,当供油系统各参数或其配合不当时,有可能产生不正常的喷射现象。图 1-7 所示为正常喷射及各种不正常喷射的喷油器针阀升程曲线。

二次或多次喷射

在喷油器针阀落座后,由于高压管路中压力波的影响,若发生针阀第二次升起便产生第二次喷射见图 1-7(b),甚至在针阀二次落座后,又出现第三次升起产生第三次喷射的现象,分别称二次喷射、三次喷射或多次喷射。

实践说明,柴油机在高速、高负荷下容易发生二次喷射。增加发动机的强化度,加大柱塞直径,提高喷油速度、喷油压力等均会增加二次喷射的趋向。

二次喷射使喷射延续期拉长,补燃现象严重,使柴油机经济性下降及部分零件过热。同时,由于二次喷射是在燃料压力较低情况下进行的,这部分燃料雾化不良,导致燃烧不完全,

排烟量增加，喷孔易被积炭堵塞。因此，应避免二次喷射。

加大出油阀减压容积是避免二次喷射的有效手段，但又容易发生穴蚀问题。研究结果表明，等压出油阀既可避免二次喷射又可避免穴蚀问题，已在其他缸径较大的柴油机上应用。没有高压油管的喷油系统，在这方面比较有利。

穴蚀

高压油管内的压力若急剧下降到低于大气压力时，管内将形成气泡和气泡爆破，使高压油管内发生穴蚀现象。在一般负荷不高的非增压柴油机上，由于喷油压力不太高，较少发生；但在大功率增压柴油机或直接喷射式柴油机上，由于高压油管内压力较高，易产生穴蚀。高压油管产生穴蚀，使其内表面上形成蚀痕，严重时，会导致高压油管破裂；针阀锥面产生穴蚀将破坏针阀的密封性。产生滴油及燃气向喷油器倒流等现象。导致喷孔积炭堵塞、燃烧不良、排烟增多、动力性和经济性下降，同时，穴蚀也严重影响喷射系统的使用寿命。为防止穴蚀发生，应选用最佳的喷油器喷孔直径等参数。

滴油现象

这里所说的滴油现象不是指由于喷油器针阀副密封不良引起的滴漏现象，而是指在针阀副密封正常的情况下，针阀落座后仍有燃料自喷孔流出。这种在喷射终了后流出的燃料，流速很低，压力也很低，使燃料难以雾化，集结在喷孔处，容易积炭使喷孔堵塞。

滴油现象是在油管压力较低、喷孔面积增大、减压作用较小、针阀关闭压力较低时产生的。因此可采用增加弹簧预紧力（同时也增加针阀开启压力）、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。

断续喷射

当喷油泵的输出油量小于喷油器喷出油量和燃料充填针阀上升空出的空间的燃料量之和时，将发生断续喷射现象。表现为针阀在喷射期间周期性地跳动见图 1-7 (c)、(d)。当喷油器针阀压力室燃料压力超过针阀开启压力时，针阀上升，喷油器开始喷油。由于喷出的油量多于自高压油管补充的油量，压力室燃料压力迅速下降，针阀落座。待进入喷油器压力室的燃料量再次使压力升高达到针阀开启压力时，针阀重新升起，喷射过程又继续进行。这种针阀升起和降落的过程重复进行，直到喷油泵回油孔开启，喷射过程结束为止。断续喷射将原应一次喷入汽缸的燃料，分成两次或几次喷入汽缸，虽然总的喷油持续时间并未延长，对雾化质量影响也不大，但针阀对阀座撞击次数增多，易过度磨损，降低针阀的使用寿命。

容易发生断续喷射的柴油机，在低速小负荷运转或空车惰转时，由于喷油泵供油量小，还可能产生隔次喷射或间歇喷射见图 1-7 (e)。即柱塞一个有效行程供油量不足以使针阀开启，必须两次的柱塞行程的供油量、积蓄的燃料压力才能使针阀打开一次。这种喷射将使柴油机空车运转不稳定，且一个循环燃烧两个循环的燃料量，也易使运转粗暴。因此限制了柴油机的最低稳定转速。

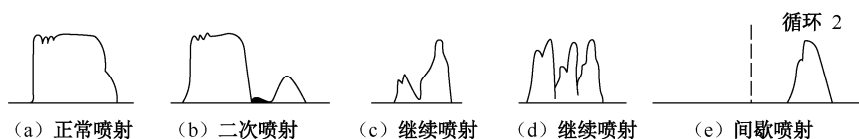


图 1-7 正常及不正常喷射针阀升程图

(4) 喷雾特性

柴油机的燃烧在很大程度上受喷雾特性的影响。喷雾的主要作用是使喷入燃烧室的燃料

分裂成直径非常细微的油滴，以增加燃料与空气接触的表面积，同时使油束具有与燃烧室的几何形状和尺寸良好配合。适当的喷雾锥角及射程，使油束和油滴在燃烧室内形成有利的空间分布和时间分布，保证燃料良好雾化并与空气充分混合，有利于提高燃烧质量。反之，当燃料的雾化质量差，油束的射程和锥角不适当时，将不利于混合气的形成，使燃烧不良，导致发动机动力性和经济性降低。

1.5

柴油机的燃烧室

由于柴油机的混合气形成和燃烧都是在燃烧室内进行的，所占的时间又非常短促，因此，要使发动机具有良好的性能，不但要有良好的燃料喷射系统，较高的燃料喷雾质量，还必须要有与燃料喷射配合恰当的燃烧室形状和气流运动，使燃料与空气混合均匀，提高空气利用率。

柴油机燃烧室按结构形式，可分成两大类：直接喷射式和分隔式。

1. 直接喷射式燃烧室

直接喷射式燃烧室由活塞顶面，汽缸盖底平面及汽缸壁所包围的统一空间组成。活塞顶上均开有深浅不同、形状各异的凹坑，如图 1-8 所示。按凹坑深浅不同又分为开式和半分开式燃烧室两种。

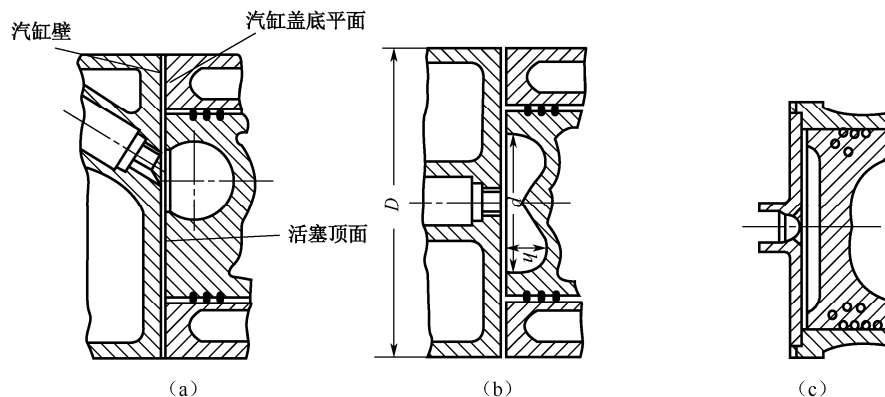


图 1-8 直接喷射燃烧室

通常把活塞顶内燃烧室的口径比 $d/D > 0.6$ 、径深比 $d/h > 3$ 的视为开式燃烧室，而把 $d/D < 0.6$ 、 $d/h < 3$ 的视为半分开式燃烧室。其中 D 为汽缸直径， d 为活塞顶内燃烧室的口部直径， h 为该燃烧室的最大深度。开式燃烧室（见图 1-8 (a)）多用于大中型柴油机上，汽车上均采用半分开式燃烧室。

(1) 直接喷射式燃烧室内的空气运动

合理的气流运动是加速混合气形成的有效手段，也是保证直接喷射式燃烧室燃烧完全的重要条件。直接喷射式燃烧室产生空气运动的方法有两种：一种是进气涡流，是利用进气道内腔和气阀形状以及气阀相对于汽缸壁的位置使气流沿限定方向运动而形成的；另一种是压缩涡流（或挤压涡流），在压缩行程上止点附近产生，持续时间较短。

进气涡流产生的方法。

四冲程柴油机中产生进气涡流常用如图 1-9 所示的两种方法。

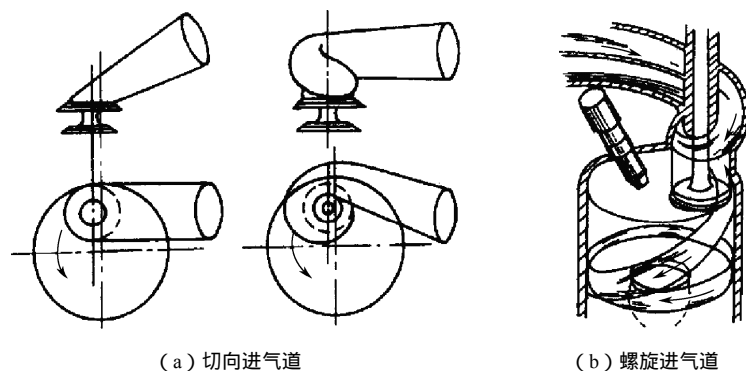


图 1-9 产生涡流的进气道

· 切向进气道

进气道与汽缸盖底平面夹角较小，气道断面收缩较大，且进气道中心线与汽缸轴线空间相错，使空气沿切向进入汽缸，产生绕汽缸中心线的旋转涡流。切向进气道结构简单，在进气涡流要求低时，流动阻力不大；当涡流要求高时，由于气阀口速度分布过于不均匀，气道阻力增大很快。因此，切向进气道适用于进气涡流强度要求不高的柴油机上。

· 螺旋进气道

进气道呈螺旋形，空气经过螺旋气道的导流，在进入汽缸后产生绕汽缸中心线的高速旋转涡流。这种气道的优点是流动阻力小、涡流强度大，适用于要求强涡流的高速柴油机上，其缺点是制造工艺和加工要求高。解放 CA6110 柴油机采用了螺旋进气道。

为增加进气充量，希望气道的流动阻力越小越好；而进气涡流会增加进气阻力，一般阻力随涡流强度的增加而增大。合理的进气道应在尽可能小的流动阻力下有较高的涡流强度，这需要在气道试验台上试验确定。

挤气涡流

在压缩冲程后期活塞接近上止点时，活塞顶上部的环形空间中的空气被挤入活塞顶凹坑的燃烧室内，形成空气的涡流运动称为挤流，如图 1-10 (a)、(b) 所示。当活塞下行时，燃烧室中的空气向外流到环形空间，产生膨胀流动，称逆挤流，如图 1-10 (c) 所示。这些流动不影响充气效率，有助于燃料的分布和混合。随着燃烧室喉口直径及挤气间隙 S_0 减小，挤流将增强。与进气涡流相比，挤流的强度较小，且不能维持较长时间，随着活塞下行将很快减弱、消失。对混合气形成和燃烧起主导作用的是进气涡流和逆挤流，挤流起辅助作用。

(2) 半开式燃烧室

如图 1-10 (b) 和图 1-10 (c) 所示分别为 ω 形和球形半开式燃烧室，活塞顶上的凹坑加深，口径 d 缩小如图 1-10 (a) 所示。应用在中小型高速柴油机上。

ω 形燃烧室

属有进气涡流空间雾化型燃烧室，应用最广。

混合气形成特点：一方面是依靠燃料在空气中的雾化和推进来实现，另一方面组织一定强度的进气涡流，加速混合气形成。一般采用 3~5 孔的多孔喷油器，将大部分燃料均匀地分布到燃烧室空间，油束具有一定的贯穿力，锥角较大，雾化较好，使燃料能很快蒸发并与空

气混合。

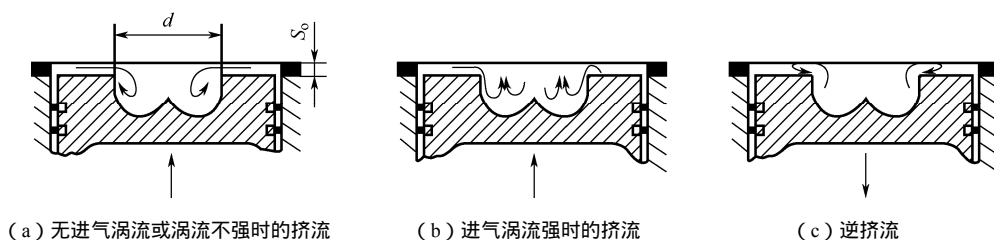


图 1-10 挤气涡流

这种燃烧室的主要优点是对燃料的雾化要求不是很高，但可获得较好的油气混合和燃烧效率，燃料经济性好，冷启动性能也较好。缺点是进气的损失较大，充气效率较低。此外，涡流强度对转速比较敏感，难以兼顾高、低速时的性能；对气道的制造要求也较高。它与分隔式柴油机相比，工作较粗暴，排气中的 NO_x 较多。

球形油膜燃烧室

球形油膜燃烧室属于有进气涡流油膜蒸发型燃烧室（或称 M 过程燃烧室）。它利用偏离燃烧室中心并倾斜布置的单孔或双孔喷油器及强烈的进气涡流和挤流，使大部分燃料在较短的距离内穿越空气，随即将附壁形成油膜，在适当壁面温度（最佳为 $300 \sim 350^\circ\text{C}$ ）下油膜迅速蒸发并被吹拂气流卷走，在壁面附近形成基本上属于气相的混合气。从油束中分散出来的一小部分燃料是极细的油雾，在炽热的空气中首先完成着火准备，形成火源，然后靠此火源点燃从壁面蒸发形成的可燃混合气。随着燃烧进行，产生大量的热量，辐射在油膜上，使油膜加速蒸发，不断提供新鲜混合气，进入燃烧。这种燃烧类似于汽油机的分层燃烧。

球形燃烧室采用油膜蒸发混合，使发动机工作柔和，燃烧噪声小，排烟少，性能指标好。但也存在缺点，如冷启动困难、对突变负荷及增压的适应能力较差、低速性能不好等。因此，球形燃烧室有逐渐被淘汰的趋势。

复合式燃烧室

复合式燃烧室是有进气涡流空间—油膜复合燃烧室。这是在吸收了空间雾化混合及油膜蒸发混合的优点后发展起来的一种燃烧室。燃烧室位于活塞顶中心，形状如 U 字形，采用轴针式喷油器，喷油方向基本与空气涡流运动方向垂直，只有一个很小的角度顺气流趋向，其混合气形成是壁面蒸发混合与空间雾化混合相结合，即一部分燃料在涡流作用下沿壁面分布成油膜，一部分燃料呈空间雾化混合，二者的比例与发动机工况有关。在高速运转时，气流运动强，壁面分布的燃料增多，具有油膜燃烧的特点；在低速运转或启动时，气流速度低，空间分布的燃料增多，较多的具有空间燃烧的特点，改善了冷启动性能。国产新 105 系列柴油机采用了复合式燃烧室。

微涡流燃烧室

随着直接喷射式燃烧室技术的发展，出现了微涡流燃烧室，它使直接喷射式燃烧室更趋完善，性能更好。如图 1-11 所示为小松公司的 MTCC (Micro Turbulence Combustion Chamber) 微涡流燃烧室。它是在四角形燃烧室的基础上发展起来的。燃烧室上部是四

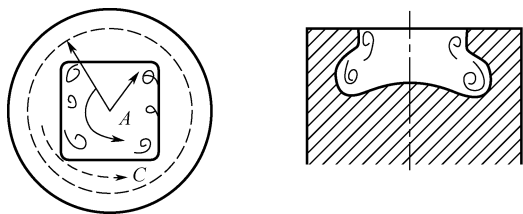


图 1-11 小松燃烧室涡流情况（A、C 为大涡流）

角形，下部为回转体，上部四角形部分，除了具有四角形燃烧室的优点外，还起一定的缩口作用，产生不规则的挤流。此外，利用燃烧室形状的突变可产生更多的微涡流。由于多种涡流、挤流和微涡流的存在，大大加速和改善了混合气形成和着火后燃烧的速度。最高燃烧压力和压力升高率降低，排气速度、热负荷和 NO_x 等降低。小松燃烧室微涡流情况如图 1-11 所示。

2. 分隔式燃烧室

分隔式燃烧室由两个空间组成，即主燃室和副燃室。主燃室设在活塞顶与缸盖底面之间，副燃烧室在汽缸盖内，两室由一个或几个孔道相连。按其气流运动方式又分为涡流室和预燃室两种燃烧室。

(1) 涡流室燃烧室

如图 1-12 所示，在汽缸盖内呈球形的涡流室，借与其内壁相切的孔道和主燃烧室连通。孔道直径较大，可以减少流动损失。

混合气形成与燃烧的特点：在压缩过程中，活塞迫使空气从汽缸经过孔道挤入涡流室，形成强烈的、有规则的压缩涡流运动。燃料顺涡流方向喷射到涡流室后，较小的油滴随空气运动，在空间蒸发与空气混合，较大的油滴在气流作用下被带向燃烧室外围，其中部分燃料分布在壁面上。混合气在通道口附近靠近壁面处首先着火，在强烈涡流作用下，密度较小的燃烧产物被卷入涡流室中央，密度较大的新鲜空气不断压向四周形成良好的“热混合”。涡流室中着火燃烧后，室内气体压力和温度迅速升高，大部分燃料在涡流室中燃烧，未燃部分与高压燃气一起通过切向孔道喷入主燃室，并在活塞顶的浅凹槽内形成二次涡流，加速燃料与空气混合，继续完成燃烧。

由此可知，在涡流室燃烧室中，混合气形成主要靠空气强烈的、有组织的涡流运动（压缩涡流和二次涡流）。涡流强度宜适中，太强会引起较大的传热损失和流动损失，太弱会影响混合气的形成。

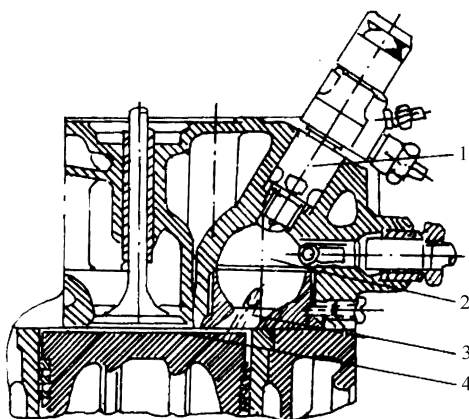
这种燃烧室的主要优点：由于混合气的形成与燃烧主要利用压缩涡流，因此对进气道无特殊要求，进气损失小，充气效率高；对供油系统及燃料品质的要求也不高；对转速的适应性好，空气利用率高，噪声小，污染低。缺点是经济性不如直接喷射式燃烧室，冷启动较差。因此广泛用于 3000 ~ 5000r/min 的小型高速柴油车上。

(2) 预燃室燃烧室

预燃室燃烧室结构如图 1-13 所示，主燃室在活塞顶上，作为副燃室的预燃室在汽缸盖内。连通主、副两室的孔道直径较小，喷油器安装在预燃室中心线附近。

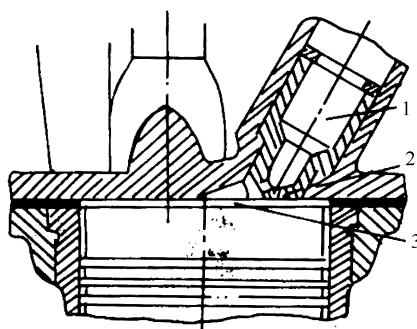
混合气形成与燃烧的特点：在压缩过程中，部分空气经连接孔道被压入预燃室。由于连接孔道不与预燃室相切，因此在预燃室中形成强烈的、无规则的紊流运动。燃料喷到预燃室通孔附近后，依靠空气紊流的扰动与空气初步混合。气流只将一部分小油粒带向预燃室的上部空间，并在那里着火。着火后使预燃室内压力和温度迅速升高，高温、高压的燃气携带未燃的燃料高速经孔道喷入主燃室。由于窄小孔道的节流作用，在主燃室中产生燃烧涡流，促使燃料进一步雾化与空气混合，并达到完全燃烧。

这种燃烧室由于混合气形成主要靠燃烧涡流，故对燃料系统要求低；对转速及燃料品质不敏感；窄小通道的节流作用，使主燃室压力上升缓慢， $\Delta P/\Delta \varphi$ 较低，工作柔和，噪声小。缺点是流动损失大，经济性较差，冷启动困难等。



1—喷油器；2—涡流室；3—通道；4—主燃烧室

图 1-12 涡流室燃烧室



1—预燃室；2—通道；3—主燃烧室

图 1-13 预燃室燃烧室

3. 几种燃烧室比较

如前所述，直接喷射式燃烧室的混合气是在燃烧室空间形成的，要求有组织空气运动的特殊进气道和使燃料雾化良好的供油系统，以保证直接喷在燃烧室的燃料及时形成混合气；分隔式燃烧室的混合气形成则主要依赖燃烧室结构，形成压缩涡流或燃烧涡流，对进气道和供油系统要求不高。根据上述各自混合气形成的特点。对燃烧室进行如下比较。

(1) 经济性

由于分隔式燃烧室存在主副燃烧室之间的通道损失（流动损失和传热损失），散热面积大，所以其经济性不如直接喷射式燃烧室。

(2) 噪声和振动

由于分隔式燃烧室的 $\Delta P/\Delta\phi$ 和 P_z 比直接喷射式低，故工作柔和、运转平稳、噪声小。

(3) 排放和烟度

由于分隔式燃烧室利用了部分燃料先期着火燃烧的能量来促成后期的混合气形成和燃烧，因此，与直接喷射式燃烧室相比，燃烧更完全，排放的 NO_x 、CO、HC及烟度较小，一般比直接喷射式低 $1/3 \sim 1/2$ 。

(4) 启动性

直接喷射式燃烧室中无通道损失，燃烧室散热面积小，启动性优于分隔式燃烧室。

(5) 对供油系统的要求

直接喷射式燃烧室要求燃料的雾化质量较高，因此对供油系统要求高，制造成本也高。

(6) 对进气系统的要求

在直接喷射式燃烧室中，必须依靠特殊的进气道来产生有组织的空气涡流运动，因此进气系统的结构比分隔式燃烧室复杂，使进气损失增大，充气效率降低。

(7) 热负荷

由于分隔式燃烧室副燃烧室在汽缸盖内，因此汽缸盖的热负荷比直接喷射式燃烧室高。

由以上分析可看出，两种类型的燃烧室结构不同，混合气形成方式不同，燃烧过程也有所差异。直接喷射式燃烧室易启动，热效率高，动力性和经济性较好，但对进气道和供油系统要求较高，且 $\Delta P/\Delta\phi$ 和 P_z 较大，燃烧噪声较大，适用于载重汽车发动机；分隔式燃烧室基本与直接喷射式燃烧室相反，适用于小型车辆乃至轿车发动机。