

1) 第一行程

活塞由下止点移向上止点。当活塞还处于下止点位置时，进气孔和排气门均已开启。扫气泵将纯净的空气增压到 $0.12 \sim 0.14 \text{ MPa}$ ，经空气室和进气孔送入气缸，扫除其中的废气。废气经气缸顶部的排气门排除，如图 0-9 (a) 所示。当活塞上移将进气孔关闭的同时，排气门也关闭，进入气缸内的空气开始被压缩，如图 0-9 (b) 所示。活塞运动至上止点，压缩过程结束。

2) 第二行程

活塞由上止点移至下止点。当压缩过程结束时，高压柴油经喷油器喷入气缸，并自行着火燃烧，如图 0-9 (c) 所示，高温高压的燃烧气体推动活塞做功。当活塞下移 $2/3$ 行程时，排气门开启，废气经排气门排出，如图 0-9 (d) 所示。活塞继续下移，进气孔开启，来自扫气泵的空气经进气孔进入气缸进行扫气，扫气过程持续到上行活塞将进气孔关闭为止。

0.2.3 不同工作原理的内燃机比较

上面叙述了各类往复式活塞式内燃机的简单工作原理，从中可以看出汽油机与柴油机、四冲程内燃机与二冲程内燃机的若干相同与不同之处。

1. 四冲程汽油机与四冲程柴油机的共同点

(1) 每个工作循环都包含进气、压缩、做功和排气 4 个活塞行程，每个行程各占曲轴转角 180° ，即曲轴每旋转两周完成一个工作循环。

(2) 4 个活塞行程中，只有 1 个做功行程，其他 3 个是耗功行程。

2. 四冲程汽油机与四冲程柴油机的不同之处

(1) 汽油机的可燃混合气在气缸外部开始形成，并延续到进气和压缩行程结束，时间较长。柴油机的可燃混合气体在气缸内部形成，从压缩行程接近结束时开始，并占小部分做功行程，时间很短。

(2) 汽油机的可燃混合气用电火花点燃，柴油机则是自燃；所以又称汽油机为点燃式内燃机，称柴油机为压燃式内燃机。

3. 二冲程内燃机与四冲程内燃机相比具有下列一些特点

(1) 曲轴每转一周完成一个工作循环，做功一次。当曲轴转速相同时，二冲程内燃机单位时间内的做功次数是四冲程内燃机的 2 倍。由于曲轴每转一周做功一次，因此，曲轴旋转的角速度比较均匀。

(2) 二冲程内燃机的换气过程时间短，仅为四冲程内燃机的 $1/3$ 左右。另外，二冲程内燃机的进、排气过程几乎同时进行，利用新气扫除废气，新气可能流失，废气也不易清除干净。因此，二冲程内燃机的换气质量较差。

(3) 曲轴箱换气式二冲程内燃机因为没有气门机构，所以结构大为简化。

0.2.4 内燃机技术状况的评定

1. 评定内燃机技术状况的主要指标

内燃机随着使用时间的增长，技术状况将逐渐变坏，其技术变坏的程度主要根据使用条件、操作技术、维护保养等的情况以及内燃机本身结构强度的差异而有所不同。由于内燃机

各系统技术状况变坏，则必然导致内燃机的动力性能降低，燃料与润滑油消耗增加，各机件的工作可靠性变坏，以至影响内燃机的正常使用。

内燃机技术状况变坏的过程，在正常情况下，是比较缓慢的，而且是有规律性的，也是完全可以预防的。研究内燃机运用技术的重要任务，就是围绕如何使内燃机在使用过程中经常保持其完好的技术状况，达到提高生产效率、降低运行成本的目的。因此，除合理选配发动机外，必须坚持贯彻执行计划预防保养制度、合理操作、遵守各项操作规程。

内燃机在使用过程中技术状况变化的主要评定指标有以下 8 点。

1) 内燃机动力性指标

由于内燃机内部各机件的技术状况不断变化，因此，随着内燃机使用时间的增长，内燃机输出的有效功也随之降低。如内燃机缸套和活塞以及活塞环等的磨损，使配合间隙增大；气门与气门座的磨损等，使气缸内部工作条件恶化；以及其他各辅助设备摩擦阻力的增加（如水泵、油泵、风扇等），使内燃机有效功率降低，其功率的变化就会直接影响驱动功率。

2) 内燃机经济性能指标

内燃机技术状况的变化（如柴油机燃料供给系统中柱塞副的磨损，出油阀偶件密封不严以及柴油雾化不良等），会使燃料的消耗增加。内燃机经济性能指标是以油耗量和耗油率来表示的。随着内燃机技术状况的变化也会使润滑油的消耗增加。

3) 耐用性和可靠性

耐用性和可靠性是指内燃机在较长的工作时间内，不发生故障和损坏的性能。它既与原设计的结构性能和制造质量有关，也与使用情况有密切关系。在运行过程中，由于配合件的

磨损量增加、配合间隙增大、甚至材料硬度改变、弹性消失、强度削弱，从而产生裂纹和折断现象，使内燃机丧失了原有的坚固可靠性，经常发生故障，甚至不能继续运转。这些都说明内燃机可靠性能下降。

4) 机油消耗量

机油消耗量可以反应气缸活塞组的磨损状况，从而能在一定程度上表明内燃机的技术状况。机油消耗量增加的主要原因是气缸活塞组及活塞环磨损过大，机油串入燃烧室燃烧或者排除，造成机油过量消耗。

5) 气缸压力

对内燃机气缸压力（压缩终了时的压力）的检验，可判明气缸活塞、气门与气门座的漏气程度。

6) 曲轴箱压力

曲轴箱压力可以反应气缸活塞组的技术状况。曲轴箱压力大，则说明气缸活塞组磨损严重，串气量大。

7) 机油压力

实践证明，轴承间隙每增加 0.01 mm，机油压力大致下降 10 kPa。因此，可根据机油压力来判断内燃机轴承的磨损程度。

8) 润滑油中含铁（包括其他元素）量

内燃机工作时，各机件的磨损金属屑被润滑油带走，所以润油中磨损微粒的含量可以证明机件磨损程度。测定润滑油中磨损微粒含量的增加速度，还可以反映机件的磨损速度。

润滑油中可以测定的重点元素有：

- ① 铁元素含量，它表明气缸、油泵、轴等零件的磨损状况。
- ② 铬元素含量，它表明活塞环、气门杆等零件镀层磨损状况。
- ③ 铜元素含量，它表明曲轴、凸轮轴轴瓦磨损的程度。
- ④ 硅元素含量，它表明内燃机空气滤清器的工作是否良好。灰尘量越多，硅元素含量越多。

此外，内燃机的温度及运转时的异常响声、振动等现象，都可以用来判断内燃机技术状况的好坏。

2. 影响内燃机技术状况变化的主要因素

内燃机在运行过程中，影响技术状况的因素很多，其中最主要的是零件的磨损。影响磨损的因素有：零件结构及材质加工，运行条件，油料品质，操作技术，技术保养及修理质量等。

1) 零件的结构，材料及加工质量

提高零件表面的加工质量和增加表面硬度，均能提高零件的耐磨性，降低零件的磨损速度，提高零件的使用寿命，如活塞环镀铬。铸件零件表面高频淬火，可提高耐磨性，延长使用寿命。缸套采用铬、钼、钒的合金材料之后，其磨损量比一般铸铁的缸套磨损减少 75% 左右。

在结构上应采用先进的技术，如进气系统空气滤清器芯子采用高效纸芯，润滑系统内设粗、细滤清器等；曲轴箱强制通风，驱出窜入曲轴箱的燃料蒸汽和燃烧产物，可减少润滑油的变质，避免润滑油对机件产生腐蚀；冷却系统内加节温器和润滑系统中装散热器，能使内燃机处于正常温度下工作。这些结构装置都能使内燃机磨损减少，使寿命延长。

2) 运行条件

运行条件主要是指周围的气温和工作环境。冬季寒冷地区内燃机启动困难，润滑状况变坏，磨损加剧。夏季炎热地区发动机过热，润滑油变稀，润滑不良，亦导致零件磨损加剧。

工作环境对内燃机的磨损也有很大影响。特别是现场的灰尘、风沙都会加速内燃机的磨损。

3) 油料品质

燃料的品质是否适合内燃机的结构和使用条件，对零件的磨损有很大的影响。如采用辛烷值过低的汽油，将会使汽油机工作时引起爆燃，降低汽油机的动力性与经济性，并增加零件的磨损。

燃料的含硫量对内燃机的腐蚀影响很大。含硫量增加，内燃机的腐蚀磨损亦增加。当汽油的含硫量超过 0.15%，柴油的含硫量超过 0.71%时，气缸的腐蚀磨损剧烈增加。

柴油的十六烷值（低于 40），发火性能不好，使着火落后期增长，燃烧时易发生爆燃，使曲柄连杆机构冲击负荷增大，加速机件磨损。

润滑油品质对零件磨损的影响因素，主要是黏度和油性。黏度过高、过低都会使润滑条件变坏，从而加速零件的磨损。所以，应根据季节和温度的不同，合理选择润滑油，使之适合机件的结构和工作条件，才能减少零件的磨损。油性是表示润滑油在零件表面的吸附能力，提高润滑油的油性，可以大大降低零件的磨损。

4) 操作技术

操作技术的熟练程度、正确与否对内燃机技术状况的影响极大。在使用中，相同的内燃机，即使在同样条件下运行，由于操作技术和操作方法不同，其技术性能的变化情况是不一

样的。比如内燃机启动前的检查，准备摇车及启动后的暖车；离合器接合等的操作技术，对内燃机零件的磨损及寿命都有影响。

5) 技术保养及修理技术

内燃机在使用过程中，是否按照保养周期及时进行保养和及时修理，并保证修理的质量，对内燃机的技术状况有很大的影响。如及时对各机构进行润滑、调整、检查、紧固和消除故障，则能较长时间地保持完好的技术性能，减少零件的磨损和故障的产生，延长内燃机的使用寿命。相反，如不认真进行预防保养，不遵守预防保养周期和规定的作业内容，就可能使内燃机的性能急剧变坏，甚至不能使用。如不重视空气滤清器的作用，未及时清洗保养，就会丧失滤清能力，过滤性下降，会引起内燃机迅速的磨损。因此，及时而认真地进行技术保养作业，按需要及时进行修理，可以提高内燃机的完好率和延长大修周期。

0.3 内燃机技术管理

0.3.1 内燃机技术管理的基本概念

内燃机作为一种复杂的机械产品，其技术管理工作应属于设备管理的范畴。内燃机技术管理是指对内燃机规划、选配、使用、检测、维修、改装、改造、更新与报废全过程的综合性管理。它包括内燃机实物形态管理和内燃机价值形态管理。

所谓内燃机实物形态管理是指内燃机从选型、使用、维护、修理直至报废的全过程以设备实物形态运动过程的管理。

所谓内燃机价值形态管理是指在整个设备寿命周期内包含的最初投资、使用费用、维修

费用的支出、折旧、技术改造、更新资金的筹措与支出等，构成了设备价值形态运动过程的管理。

从管理工作的性质来看，内燃机实物形态管理是建立在实用技术基础上的管理；内燃机价值形态管理是建立在经济思维基础上的管理。因此，内燃机实物形态管理更注重操作规程的建立、维修技术的优化、技术档案的完善等方面的工作；而内燃机价值形态管理则更注重于经济定额、经济效益、运行效能等方面的分析。两者的有机结合构成完备的内燃机技术管理体系。

内燃机技术管理可分为前期管理、中期管理和后期管理。其中内燃机规划、选配、安装、新机接收以及内燃机使用前的准备，是内燃机前期管理；内燃机使用、检测，维护、修理是内燃机中期管理；内燃机改装、改造、更新、报废是内燃机后期管理。内燃机运行技术管理、内燃机技术档案管理、内燃机技术状况等级鉴定管理、内燃机技术经济定额指标管理以及内燃机租赁、停放、封存和折旧等，都属于内燃机基础管理的范畴。

要做好内燃机技术管理工作，必须遵循以下原则：

“预防为主”：是内燃机技术管理的基本原则，只有做好事前的预防性工作，才能使内燃机经常保持良好的技术状况，尽量减少故障频率，保证安全生产，充分发挥内燃机的效能，降低消耗，延长使用寿命。

“择优选配”：是指内燃机在购置前就要首先考虑市场的具体情况和运行条件，合理确定各种不同机型的最佳配比关系（如大、中、小型的比例等），满足实际使用的需要。

“正确使用”：是指内燃机在使用过程中一定要根据内燃机性能、结构和运行条件等，掌握

内燃机的操作和运用规程，正确使用。

“定期检测”：是运用现代化的技术手段，定期正确判断内燃机的技术状况。它包括两重含义：一是对所有从事运行的内燃机视其类型、新旧程度、使用条件和使用强度等制定定期检测制度，使其在运行一定时间后，按时进行综合性能检测，以达到控制内燃机技术状况的目的，同时这种方法也可通过对维修的内燃机定期抽检，监督维修质量。二是定期检测结合维护定期进行，以此确定维护附加作业项目，掌握内燃机技术状况变化规律，同时通过对内燃机的检测诊断和技术鉴定，确定内燃机是否需要大修，以便实行视情修理。

“强制维护”：是在计划预防维护的基础上进行状态检测的维护制度。它是预防为主方针，对内燃机按规定的运行时间间隔进行强制维护，在执行计划维护时结合状态检测，确定附加维护作业项目，以便及时发现和消除故障、隐患，防止内燃机早期损坏。

“视情修理”：是随着检测诊断技术的发展和维修市场变化而提出的。内燃机经过检测诊断和技术鉴定，根据需要确定修理时间和项目（包括作业范围、作业深度），这样做既可以防止延误修理而造成技术状况恶化，又可以避免提前修理造成浪费。

综上所述，内燃机技术管理的原则概括起来说，就是预防为主和技术与经济相结合的全过程综合性管理。内燃机技术管理的目的，是以最小的花费取得最佳投资效果。

0.3.2 内燃机的技术经济定额管理

内燃机的技术经济定额是运行和维修业户在一定的生产条件下进行生产和经济活动时所应遵守或达到的限额，是实行经济核算、分析经济效益和考核经营管理水平的依据。

1. 技术经济定额指标

内燃机运行企业的主要技术、经济定额和指标有：燃料消耗定额、润滑油消耗定额、内燃机平均技术等级、完好率、内燃机维护与小修费用定额、内燃机大修间隔时间定额、内燃机大修费用定额、内燃机新度系数、小修频率共计十项。

1) 内燃机维护与小修费用定额

内燃机维护与小修费用定额是指内燃机每运行一定时间，维护与小修耗用的工时和物料费用的限额，按机型和维护级别等分别鉴定。对由于机械事故造成的内燃机、各总成需修或更换费用，应按事故费处理，不列入小修费用。

2) 内燃机大修间隔时间定额

内燃机大修间隔时间（里程）定额是指新机到大修，或大修到大修之间所运行的时间（里程）限额，按机型和使用条件等分别制订。内燃机运行时间达到大修间隔时间（里程）定额时，可进行技术鉴定，在技术上允许、经济上合理的条件下，可规定补充运行定额。

3) 内燃机大修费用定额

内燃机大修费用定额是指内燃机大修所耗工时和物料总费用的限额，按内燃机类别和型式等分别制订。它是考核经营管理水平的一项综合性定额。

4) 内燃机新度系数

内燃机新度系数是综合评价使用单位内燃机新旧程度，保持运行生产力和后劲的一项重要指标，可用下式表示：

$$F = C_g / C_y \quad (0-4)$$

式中 F ——内燃机新度系数；

C_g ——年末单位全部运行内燃机固定资产净值；

C_y ——年末单位全部运行内燃机固定资产原值。

一般来说，运行单位内燃机新度系数逐年呈自然下降状态，对它的数值要求应稍有下降，保值或增值应视单位的具体情况而定，一般不低于 0.52。

5) 小修频率

小修频率是指每运行 100 小时发生小修次数（不包括各级维护作业中的小修）。

技术经济定额指标是内燃机管理的主要内容之一，内燃机主管部门、运行和维修业户都必须加强技术经济定额指标的管理。

2. 技术经济定额的制订

1) 技术经济定额的制订

技术经济定额可由省、自治区，直辖市相关厅（局）组织制订和修订，实行分级管理。

各单位可根据上级部门颁发的技术经济定额，制订本单位的技术经济定额。各级内燃机技术管理部门应配备专职管理人员，明确各自的职责，进行有效的管理。

制订技术经济定额常用的方法有：三面统筹法、比例法和系数法。

(1) 三面统筹法。

三面统筹法是适当地选择内燃机运行单位先进面、总体平均面和落后面的比例制订出平均先进定额的一种方法。

$$A = A_1Q_1 + A_2Q_2 + A_3Q_3 \quad (0-5)$$

式中 A ——平均先进定额；

A_1 ——先进面上的平均定额；

A_2 ——总体面上的平均定额；

A_3 ——落后面上的平均定额；

Q_1 ——先进面所占百分比，约 30%；

Q_2 ——总体平均面所占百分比，约 50%；

Q_3 ——落后面所占百分比，约 20%。

三面统筹法适用于制订工时消耗定额、材料消耗定额等，特点是定额比较稳妥，能够从整体出发，照顾后进。使用时要注意先进面、总体平均面和落后面各占的百分数不能太悬殊。若对计算出的平均先进定额不满意，可调整先进面、总体平均面和落花面的比例，重新确定定额。

(2) 比例法。

比例法是把最先进的水平、最可靠的水平和最保守的水平，按 1:4:1 的比例进行平均计算，公式如下：

$$A = (A_4 + A_5 \times 4 + A_6) / 6 \quad (0-6)$$

式中 A_4 ——最先进水平的平均定额；

A_5 ——最可靠水平的平均定额；

A_6 ——最保守水平的平均定额。

比例法适用于制订增长性定额，如内燃机大修间隔、内燃机维修质量等；不适用于降低

性定额，如大修工时和物料消耗定额。

(3) 系数法。

系数法是在平均定额的基础上，根据年度计划指标，确定一个相应的增减系数来进行计算，计算式如下：

$$A_7 = 1 + \delta \quad (0-7)$$

式中 A_7 ——年度平均定额；

δ ——系数。

2) 技术经济定额的修订

技术经济定额一经制定，应有严肃性且保持相对稳定，但随着使用条件的改善和技术进步，一定时期可作必要修订，以保证定额的合理性。

3) 技术经济定额指标的考核

技术经济定额指标的考核应分类进行，如对操作工考核油耗、维护等；对维修工考核维护与小修费用、大修费用、大修间隔时间等；对班组考核内燃机完好率、平均技术等级、内燃机维护与小修费用等；对企业考核内燃机完好率、平均技术等级、内燃机新度系数等。内燃机完好率、平均技术等级、内燃机新度系数这三项指标是综合体现企业技术管理水平、技术装备素质和企业发展后劲的主要指标，考核这些指标，对企业保持生产持续、稳定、协调发展，克服内燃机使用短期行为有着重大作用，有利于实现内燃机的良性循环（包括内燃机不断更新）。

0.3.3 内燃机技术档案