

车辆发动机设计

吴兆汉 主编

国防工业出版社

车辆发动机设计

吴兆汉 主编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要论述汽车、拖拉机和坦克等车辆发动机的设计要求、技术指标、主要零部件的结构设计以及辅助系统的设计方法。书中以水冷式四冲程柴油机为重点，同时对风冷式柴油机和二冲程柴油机的设计特点、有限元法在发动机设计中的应用，作了比较详细的介绍。附录中还介绍了国内外一些典型车辆发动机的结构类型、特点和主要数据，供学习参考。

本书可作为大专院校内燃机专业的教材，也可供内燃机设计、研究、生产和使用等部门的技术人员参考。

车 辆 发 动 机 设 计

吴兆汉 主编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 27¹/₈ 630 千字

1982年6月第一版 1982年6月第一次印刷 印数：0,001—3,000册

统一书号：15034·2401 定价：2.80元

前 言

本书是根据“车辆发动机”专业教学大纲的要求而编写的。

由于近代车辆发动机中，除了小轿车与部分中、轻型载重汽车采用汽油机外，基本上都是采用柴油机，而且车辆用汽油机和车辆用柴油机的设计原则又相似，因此本书着重论述车辆用柴油机的结构与设计方法。

本书由吴兆汉负责主编。第一篇、第三篇和附录由吴兆汉编写；第二篇和第五篇的第十四、十五章由蔡正卿编写；第四篇和第五篇的第十二、十三章由方球编写；第六篇由陈深龙编写；第七篇的第十八章和第十九章的第四、五节由肖从昌编写；第七篇的第十九章第一、二、三、六、七节由蔡坪编写。魏春源参加了第四篇和第六篇的第十八章初稿的编写工作。全书由汪长民负责审阅。由于编者的水平有限，编写时间又较短促，错误与缺点在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 车辆发动机设计总论

第一章 车辆发动机的设计要求与技术指标	1
第一节 车辆发动机的设计要求.....	1
第二节 车辆发动机的主要技术指标.....	4
第三节 车辆发动机的强化指标.....	9
第二章 车辆发动机的主要类型与主要结构参数	12
第一节 车辆发动机的主要类型.....	12
第二节 车辆发动机的主要结构参数.....	22
第三章 车辆发动机设计的一般程序与方法	28
第一节 车辆发动机设计的一般程序.....	28
第二节 车辆发动机设计的一般方法.....	32

第二篇 曲柄连杆机构运动件设计

第四章 活塞组	41
第一节 概述.....	41
第二节 活塞.....	45
第三节 活塞销.....	61
第四节 活塞环.....	66
第五章 连杆组	78
第一节 概述.....	78
第二节 连杆的材料.....	79
第三节 连杆的结构型式.....	79
第四节 连杆的结构设计与基本尺寸.....	81
第五节 连杆的计算.....	86
第六节 连杆轴承.....	98
第七节 连杆螺栓.....	103
第六章 曲轴组	107
第一节 概述.....	107
第二节 曲轴的材料与制造工艺.....	109
第三节 曲轴的结构型式.....	111
第四节 曲轴的结构设计与基本尺寸.....	113
第五节 曲轴的计算.....	122

第六节 提高曲轴疲劳强度的工艺措施·····	130
------------------------	-----

第三篇 曲柄连杆机构固定件设计

第七章 机体·····	132
第一节 概述·····	132
第二节 机体的材料与制造工艺·····	134
第三节 机体的结构型式与提高刚度的措施·····	136
第四节 机体的结构设计与基本尺寸·····	141
第五节 主轴承盖·····	144
第六节 下曲轴箱·····	148
第八章 气缸套·····	150
第一节 概述·····	150
第二节 气缸套的结构型式·····	150
第三节 气缸套损坏的现象与原因·····	151
第四节 气缸套的材料与表面处理·····	153
第五节 提高气缸套寿命的措施·····	154
第六节 气缸套的结构设计与基本尺寸·····	155
第七节 气缸套的计算·····	158
第九章 气缸盖与气缸盖衬垫·····	164
第一节 概述·····	164
第二节 气缸盖的材料与制造工艺·····	165
第三节 气缸盖的结构型式·····	166
第四节 气缸盖的结构设计与基本尺寸·····	167
第五节 气缸盖衬垫·····	171

第四篇 配气机构与驱动机构设计

第十章 配气机构·····	174
第一节 概述·····	174
第二节 配气机构的型式与气门的布置·····	175
第三节 凸轮机构运动学与凸轮外形设计·····	178
第四节 配气机构受力分析·····	194
第五节 气门弹簧·····	198
第六节 配气机构其他零件的结构设计·····	203
第十一章 驱动机构·····	218
第一节 概述·····	218
第二节 驱动机构的型式·····	218
第三节 联轴器·····	227

第五篇 辅助系统设计

第十二章	进、排气系	230
第一节	概述	230
第二节	进、排气系的布置	230
第三节	空气滤清器	234
第四节	进、排气管及排气消音器	237
第五节	废气引射抽尘器	240
第十三章	冷却系	241
第一节	概述	241
第二节	冷却系的型式	241
第三节	冷却水	243
第四节	冷却系的布置	244
第五节	冷却系的主要设计参数	247
第六节	冷却系的主要部件	247
第十四章	润滑系	263
第一节	概述	263
第二节	机油	264
第三节	润滑系的型式	265
第四节	润滑系的布置	269
第五节	润滑系的主要设计参数	269
第六节	润滑系的主要部件	270
第十五章	起动系	278
第一节	概述	278
第二节	起动系的型式	279
第三节	辅助起动设备与冬季起动装置	280
第四节	起动系的计算	281

第六篇 风冷式发动机和二冲程发动机设计特点

第十六章	风冷式发动机的设计特点	284
第一节	概述	284
第二节	风冷式发动机的散热及热状态	285
第三节	风冷式发动机散热片的设计	290
第四节	风道设计	300
第五节	风冷式发动机的风扇和风扇特性	305
第十七章	二冲程发动机的设计特点	312
第一节	概述	312
第二节	二冲程发动机的换气	312

第三节	二冲程发动机的结构特点·····	319
第四节	换气泵·····	324

第七篇 有限元法在发动机结构设计中的应用

第十八章	有限元法工程应用的基本知识·····	333
第一节	概述·····	333
第二节	基本原理与解题步骤·····	333
第三节	发动机结构分析的任务与计算模型·····	335
第四节	结构物的离散化·····	339
第五节	边界条件·····	344
第六节	计算结果的整理与校核·····	348
第十九章	有限元法在发动机主要零件设计中的应用·····	350
第一节	概述·····	350
第二节	有限元法在连杆设计中的应用·····	350
第三节	有限元法在活塞与气门设计中的应用·····	356
第四节	有限元法在曲轴设计中的应用·····	367
第五节	有限元法在曲轴箱设计中的应用·····	375
第六节	有限元法在气缸套设计中的应用·····	380
第七节	有限元法在气缸盖设计中的应用·····	385
主要参考资料	·····	391
附录	几种典型的坦克、汽车和拖拉机发动机的结构特点及主要数据·····	392

第一篇 车辆发动机设计总论

在发动机设计中，我们必须从我国实际出发，独立自主，自力更生。在这个前提下，吸取外国的经验教训，将国外先进经验与我国实际结合起来，这就需要注意下列几个方面：

1. 我国幅员广大，地形复杂，有平原、丘陵、山地、高原、沙漠等等，海拔和气压相差悬殊；气温范围很大（从 $+40^{\circ}\text{C}$ 到 -40°C ）；干湿状况差别相当悬殊；车辆发动机，特别是坦克发动机应该能适应这些复杂的地理条件。

2. 发动机所用的材料要适应我国资源和材料生产情况。

3. 发动机的结构要适应我国工业组织和生产技术水平，以及便于军民结合，平战结合，和在一定区域内组织协作。

4. 便于驾驶和维修人员在短期内能掌握使用、修理、保养的技术。

本篇主要介绍车辆发动机设计的要求、技术指标、结构类型、主要结构参数，以及设计的一般程序与方法等。

第一章 车辆发动机的设计要求与技术指标

第一节 车辆发动机的设计要求

总的说来，所有的车辆发动机（汽车、拖拉机和坦克发动机）的设计都应该满足使用和制造方面一系列的要求。这些要求是：（1）足够的功率；（2）外廓尺寸小；（3）重量轻；（4）工作安全可靠；（5）工作适应性好；（6）加速性好；（7）运转平稳；（8）起动迅速可靠；（9）燃油和机油消耗率小；（10）使用维修简便；（11）寿命长；（12）贵重金属耗量少；（13）工艺性好；（14）制造费用低；（15）污染和噪音要小等等。

事实上，一台发动机要想满足所有上述要求是相当困难的，况且有些要求是相互矛盾的。例如，要求发动机重量轻，就和要求发动机使用寿命长往往是有矛盾的。因为要保证重量轻必须提高发动机的工作强度，这样必然加速了零件的磨损，降低了使用寿命。又如为了设计重量轻的发动机，就必须采用优质材料及高度的制造精确性，这样就增加了制造成本。同时，随着发动机用途的不同，这些要求的重要性也不尽相同。必须对于具体的事物作具体的分析，根据发动机不同的用途，分析其矛盾的特殊性，找出主要矛盾，设计中在保证主要要求的前提下，尽量满足其他的要求。

车辆发动机是车辆的“心脏”，车辆性能的好坏，在很大程度上决定于发动机的优良与否。这对于坦克来说尤其是这样。坦克是一种既能进攻消灭敌人又能防御保存自己的战斗车辆，是矛盾二者结合为一的武器。因此，它和汽车、拖拉机有共同性，又有特殊性。对坦

克的要求主要是：火力强；机动性好；防御性好。这三个要求是相互联系并在一定的程度上又是互相矛盾的。对坦克的第一位要求是火力强，其次是提高机动性，只有机动性好，才能更好发挥火力强的威力。防御性也是不可少的，必要的防御是为了更好地打击敌人，但相对于前两个性能来说，它是第三位的。所谓机动性好，就是加速性好，速度快，对各种地形和气候条件适应性强等等。而坦克机动性的好坏和坦克发动机关系十分密切。我国幅员辽阔，地形与气候条件差别很大。所以，在设计坦克发动机时必须考虑适合各种地形与气候条件的要求。

根据上面分析，可以看出坦克发动机设计的主要要求是：

一、发动机应有足够的功率。为了适应坦克机动性好这一要求，这就相应地要求坦克发动机的功率不断加大，使其具有足够大的功率。

二、发动机外廓尺寸和整个动力装置的体积要小。坦克发动机的外廓尺寸和整个动力装置的体积的大小直接影响坦克的总体布置。减小发动机的外廓尺寸和整个动力装置体积，就可以相应地减小坦克的尺寸，有利于提高坦克的机动性，或者可以相应地加大坦克战斗部分的空间，从而可以更多地携带弹药。在发动机外廓尺寸中，高度尺寸相对来说更为重要。高度尺寸小，则整个坦克的高度可降低，因而减小了被炮火命中的可能性以及原子弹爆炸后冲击波对坦克的影响。

三、发动机工作应安全可靠。坦克发动机是在战斗条件下工作的，一定要保证工作安全可靠。这不仅要求发动机的结构可靠，保险期尽可能长，在保险期内应保证不发生停车故障，而且还要求所用燃油和材料在作战时起火的危险性要小。

四、发动机的重量要轻。特别是对于轻型、超轻型坦克发动机来说这点尤为重要，因为发动机重量的减少，就可以适当减轻坦克的总重量。

五、发动机燃油和机油消耗率要低。燃油和机油消耗率小，不仅具有经济上的意义，更主要的是具有战术上的意义。燃油和机油消耗率小时，携带同样数量的燃油和机油，坦克行驶半径就可以增大；而当行驶半径一定时，油箱的体积可缩小，从而减小坦克外廓尺寸或增加携带弹药的数量。此外，油料消耗率低，还可以减轻战时运输工作的负担。

六、发动机的工作适应性要强。要求坦克发动机能在高原、高温、严寒、风沙等各种地区正常地工作，并且还应当适应潜渡、涉水、倾斜运转等的要求。此外，最好还能使用几种不同的燃料，以便就地取材，简化后勤供应。

七、发动机的起动性要好。发动机的起动性能好坏，直接影响坦克投入战斗的准备时间。因此，要求坦克发动机在任何情况下（包括气温在零下 40°C 时）都能保证起动迅速可靠。

此外，由于坦克的使用、维修是在比较困难的条件下进行的，因此，要求坦克发动机使用、维修尽可能简便；整个动力装置最好能够整体吊装，减少驾驶与维修人员不必要的体力消耗。为了保证一定批量的生产，坦克发动机的结构工艺性也要好一些，选材也尽可能不要过于特殊，这样便于在战时组织动员生产。坦克发动机的使用寿命，虽然可以不如汽车、拖拉机发动机的要求那样长，但最好能和坦克的大修期相同。

关于坦克发动机的排气对大气的污染及噪音问题，虽然不如一般民用发动机那样要求，但也应该尽量小一些，特别是噪音要尽量小一些，以减少对坦克乘员工作的影响。

在坦克发动机设计的主要要求中，外廓尺寸、整个动力装置的体积与工作可靠性之间的矛盾是主要的，也就是说：要使坦克发动机尺寸和整个动力装置的体积小，会受到工作可靠性的限制。在坦克发动机总体设计中，选择某一种结构形式，或选择某一个参数时，都受到这一对矛盾的影响。在这一对主要矛盾中，外廓尺寸小是矛盾的主要方面，也就是起主导作用的方面。评价一台坦克发动机的先进性如何，首先要看它的单位体积功率是否较高。研究坦克发动机设计的中心任务，也就是如何提高它的单位体积功率。为了达到一定的单位体积功率，要采取一些措施。例如强化、增压或提高转速等等。这样一来，就会使某些结构上的薄弱环节暴露出来，在工作可靠性方面过不了关，于是可靠性就成为矛盾的主要方面。为了要达到新的单位体积功率指标，单位体积功率又成了矛盾的主要方面。

应当指出：各种类型坦克发动机有共同的设计要求，也有各自不同的要求。在设计时必须按坦克的具体用途，细致而深入地分析坦克对发动机的要求，明确各个要求的重要性。例如，对坦克发动机共同的要求之一是重量轻，但由于坦克类型的不同，对重量要求的程度也就不一样。对中、重型坦克来说，坦克发动机的重量只占坦克重量3~6%，因此重量不是主要问题。而对于轻型和超轻型坦克来说，由于坦克重量减小，发动机占坦克总重量的比例增加，对重量的要求就变得比较重要了。设计中，次要性能必须服从基本性能，部件设计必须服从于总体布置。

在设计坦克发动机时，还应考虑到军用与民用结合、平时与战时结合问题，扩大发动机使用范围。这无论从国防生产或国民经济来看，其意义都十分重大，但必须分清主次，在保证满足坦克要求的前提下，采取适当的措施。例如，降低发动机转速与供油量，使功率降低以延长使用寿命；部分零件改用价值较低的材料，改变附件或缸数等方法，以满足民用的要求。然而不能为了满足民用要求影响了坦克发动机的性能指标。

在设计中，考虑发动机的先进与现实性时，也必须根据具体情况。如果发动机急需装备在坦克上供应部队，则应该着重于现实性，而在保证生产方便与使用可靠的基础上，考虑先进技术的应用。对于那些需要较多实验研究的先进科学技术的应用，可以采取逐步丰富完善、分两步走的方针；对于有发展趋向的新技术，应在设计中留下余地，以便将来在改变生产线最少的情况下得到采用。如果是研究性的发动机，应该着重于先进技术的应用，创造出新型的坦克发动机。

汽车的用途和坦克不同，是用来载人或运货的。汽车发动机的使用特点：经常在广泛范围内变速和变负荷；起动、加速频繁。因此，也要求功率较高和起动迅速可靠。为了增大汽车车厢的面积利用率和增加汽车载重量，也要求发动机尺寸和重量尽可能小一些，但不如坦克要求那么严。对载重汽车来说，发动机的长度应取得尽可能小一些，不侵占装载面积；宽度应能装在车架大梁之间（对附件的布置也必须注意到这一点）；对于驾驶室在发动机上方的载重汽车和公共汽车，还要求尽可能降低发动机的高度。由于一般汽车（除了小轿车外）都是连续运转的，为了考虑汽车运转的经济性，必须考虑其整个使用寿命的总支出，即包括初次成本、燃油支出、保养、配件、修理、折旧等一切费用。其中燃油的支出项目最大，其次是保养，最小的项目是发动机的制造成本。因此对汽车发动机来说，不能片面追求造价低，必须尽可能降低燃油消耗率，提高可靠性，降低维修费用。对于边远地区行驶的载重汽车，对可靠性的要求尤其重要，因为在中途损坏不易找到配件和熟练

修理工，否则将造成重大的损失。对于经常在城市行驶的汽车，则对发动机的振动、噪音、排气污染等要求比较高。此外，对汽车发动机的使用寿命要尽可能长一些，零部件结构适于大量生产等等。

拖拉机的用途和汽车又不同，它是用来带动农具或其他机械的。拖拉机发动机的使用特点：经常在大负荷下工作；在野外流动作业，环境条件较差。因此对它的主要的要求是：经常以额定负荷或接近额定负荷的工作情况下，使用寿命应该尽可能长一些；结构刚度大，耐振动；能防水、防尘；使用的燃料和润滑油价格低廉，消耗率尽可能小；此外，制造费用要低，操作维修要简便，结构要适于大量生产。

这里必须注意，车辆发动机有其共同的设计要求，也有各自不同的要求；在设计中，都应该考虑尽可能扩大发动机的使用范围，特别是通过系列化的设计以扩大使用范围。

第二节 车辆发动机的主要技术指标

车辆发动机的主要技术指标通常有下列几项：

一、动力性指标

车辆发动机的动力性指标，指发动机的标定功率、标定转速、活塞平均速度、平均有效压力和扭矩。

(一) 标定功率

发动机的标定功率是发动机出厂时根据使用目的而调整的外特性上所能达到的最大功率，也称为额定功率。由于使用目的的不同，同一种发动机的标定功率可以不同。同时，一台发动机的标定功率根据不同的使用要求，可以作出不同的标定。按照我国国家标准(GB 1105-74)规定，有以下四种：

(1) 15分钟功率——发动机允许连续运转15分钟最大有效功率。适用于汽车、摩托车、摩托车等发动机的功率标定。

(2) 1小时功率——发动机允许连续运转1小时的最大有效功率。运用于工业拖拉机、工程机械、内燃机车、船舶等发动机的功率标定。

(3) 12小时功率——发动机允许连续运转12小时的最大有效功率，适用于农业拖拉机、农业排灌、内燃机车、内河船舶等发动机的功率标定。

(4) 持续功率——发动机允许长期连续运转的最大有效功率，适用于船舶、电站、农业排灌等的功率标定。

对于坦克发动机的功率标定，我国国标还没有作出明确规定。目前有关工厂基本上参照15分钟功率和1小时功率来标定。

坦克发动机所要求标定功率的大小主要是根据坦克的加速性和平均速度来确定的。目前提高坦克机动性的重大措施之一，就是大幅度地提高坦克发动机的标定功率，以提高坦克的吨功率。现代主要坦克发动机的标定功率在520~830马力范围之内，坦克的吨功率为14.2~23马力/吨；而研制中的主战坦克发动机的标定功率有的高达1500马力，坦克的吨功率高达29.7马力/吨。

现代汽车发动机，为了满足在广泛范围内变速、变负荷以及要求具有良好的加速性，

汽车吨功率不断地提高, 达到 6~70 马力/吨, 其中重型载重汽车吨功率一般为 6~10 马力/吨, 而中、轻型汽车、特别是小轿车可大到 70 马力/吨, 甚至更大。现代汽车发动机的标定功率一般在 20~500 马力左右, 个别重型矿山用载重汽车的标定功率达到 1200 马力左右。

拖拉机发动机的标定功率是根据拖拉机具体的用途而确定的, 一般在 10~280 马力左右。

(二) 发动机的标定转速与活塞平均速度

发动机的标定转速与活塞平均速度是发动机在标定功率时的转速与活塞平均速度。活塞平均速度也是决定发动机高速性的指标[●]。提高发动机的标定转速与活塞平均速度是提高发动机单位体积功率的有效措施之一。但是, 随着转速提高, 单位时间内气缸所完成的工作循环的次数增加了, 它使零件的受热程度加剧; 而且还使噪音增加; 随着活塞平均速度的增加, 作用于曲柄连杆机构零件的惯性力增加, 加速磨损, 特别是活塞环和气缸套的磨损, 缩短使用寿命; 此外, 由于提高了配气机构中的气体速度而增加了阻力。因此, 在结构设计时, 经常用活塞平均速度作为指标。通常采用短冲程而提高转速, 使活塞平均速度不至于过高的情况下来提高单位体积功率。

现代主要坦克发动机的活塞平均速度在 9.75~12.8 米/秒 范围之内, 标定转速在 2000~2600 转/分 范围之内。研制中主战坦克发动机的活塞平均速度有的高达 13.43 米/秒。现代汽车发动机的活塞平均速度一般在 7.5~12.5 米/秒 左右, 标定转速为 2000~3000 转/分 左右。个别小排量、短冲程汽车发动机的标定转速达到 4400 转/分。现代拖拉机发动机的活塞平均速度一般为 6.5~10 米/秒, 而标定转速为 1500~2500 转/分 左右。

(三) 平均有效压力

发动机在标定功率时的平均有效压力是表示发动机整个过程完善性和热力过程强烈程度的重要参数之一。它决定于混合气形成的方法、燃料的种类、混合气形成过程、燃烧过程与换气过程的质量、机械效率、进气压力和温度以及发动机的冲程数。提高平均有效压力是目前提高发动机单位体积功率的有效措施。目前车辆发动机提高平均有效压力的方法, 除了改善混合气形成过程, 燃烧过程和换气过程质量以及减少发动机的机械损失等之外, 最主要的是通过增压的办法。由于提高平均有效压力的同时, 必须解决一系列技术上的困难问题, 因此平均有效压力的高低在一定程度上反映了所设计发动机的先进程度。

现代主要坦克发动机在标定功率时的平均有效压力在 6.02~9.6 公斤/厘米² 范围之内(其中较低值为个别不增压发动机)。研制中的主战坦克发动机在标定功率时的平均有效压力有的已高达 23.3 公斤/厘米²。现代汽车拖拉机发动机在标定功率时的平均有效压力一般在 6~9 公斤/厘米², 个别汽车发动机达到 12 公斤/厘米² 左右。

(四) 最大扭矩

对于机械传动的车辆来说, 发动机的最大扭矩是表示发动机牵引性能的一个参数。在相同的标定功率与转速情况下, 要求最大扭矩愈大愈好, 同时要求最大扭矩时的转速愈小愈好。最大扭矩与标定功率时扭矩的比值, 称为扭矩适应性系数或扭矩储备系数 K , 即

● 通常按照活塞平均速度 C_m 值将发动机分为三类: $C_m < 6$ 米/秒 称为低速发动机, $C_m = 6 \sim 9$ 米/秒 称为中速发动机, $C_m > 9$ 米/秒 称为高速发动机。

$$K = \frac{\text{最大扭矩}}{\text{标定功率时扭矩}} = \frac{M_{e\max}}{M_e} \quad (1-1)$$

K 值愈大,表示发动机的扭矩特性愈好,也就是说明发动机适应外界阻力变化能力愈强,可以减少换挡次数,减轻车辆驾驶员的疲劳。

发动机在标定功率时的转速与最大扭矩时的转速的比值称为稳定工作转速变化系数或转速适应性系数 K_n , 即

$$K_n = \frac{\text{标定功率时转速}}{\text{最大扭矩时转速}} = \frac{n_e}{n_M} \quad (1-2)$$

K_n 表示机械传动的车辆在某一排档下行驶速度和变化范围。 K_n 愈大,转速变化范围愈广,可以减少变速箱的排档数,简化结构。

扭矩适应性系数与稳定工作转速变化系数的大小和配气相位、供油调整以及增压情况等等有关。现代车辆发动机的适应性系数一般为1.04~1.25左右。随着高效率涡轮增压等技术的发展,近年来有些国家生产了高扭矩发动机。它们的适应性系数已达到1.4~1.47左右。

现代车辆发动机的稳定工作转速变化系数一般在1.1~2.2左右。

二、经济性指标

车辆发动机的经济性指标是指生产成本、运转中的消耗(主要指燃油和机油的消耗)以及维修费用等等。但是,通常都是以燃油消耗率和机油消耗率,特别是燃油消耗率作为发动机经济性的主要指标。

(一) 燃油消耗率

发动机的燃油消耗率是随运转工况的不同而变化,一般常以标定功率时的每有效马力小时所消耗的燃油量的克数作为衡量指标(有的采用外特性最低的燃油消耗率作为衡量指标)。燃油消耗率主要与发动机的工作过程、燃烧室结构以及机械效率等有密切关系。

现代车辆发动机在标定功率时的燃油消耗率一般在160~230克/马力·小时左右。

(二) 机油消耗率

发动机的机油消耗率,是以发动机在标定功率时每马力小时所消耗的机油量的克数来表示。它与活塞的密封性以及轴承的设计有密切关系。

现代车辆发动机的机油消耗率一般在1~3克/马力·小时左右。

三、紧凑性指标

车辆发动机紧凑性指标,一般是指发动机的比重量、升功率和单位体积功率。

(一) 比重量

发动机的比重量,是指发动机的总重量 G 与标定功率 N_e 之比。它表征总体布置紧凑性以及制造技术和所用材料的综合指标的参数。通常所谓总重量是指净重,也就是不包括燃油、机油、冷却水以及其它不直接装在发动机本体上的附属设备的重量。必须指出,全面评价比重量,要包括整个动力装置的所有附件及机油和冷却水的重量。

现代主要坦克的水冷式发动机的比重量(指对净重而言)一般在1.59~2.75公斤/马力范围之内,在研制中的水冷式主战坦克发动机的比重量有的已达到1.57公斤/马力。风冷式坦

克发动机的比重量(包括冷却系附件)为2.3~3.75公斤/马力,在研制中的风冷式主战坦克发动机的比重量已达到1.35公斤/马力。现代汽车发动机的比重量,一般为2.6~6公斤/马力;拖拉机发动机的比重量则为5.5~11公斤/马力。

(二) 升功率

发动机的升功率是指在标定状态时每单位气缸工作容积(升)所能发出的功率,它是表示发动机工作容积有效利用程度的参数。由于 $N_l = \frac{N_e}{iV_h} = \frac{P_e n}{225\tau}$ 马力/升,所以升功率综合反映了平均有效压力 P_e 、转速 n 以及冲程数 τ 的影响,表征了发动机强化程度,是评价发动机的重要指标之一。

现代主要坦克发动机的升功率,一般在20~37马力/升,个别坦克发动机低一些,而研制中的主战坦克发动机的升功率有的高达67.3马力/升。现代汽车发动机的升功率,一般为13~30马力/升左右,拖拉机发动机的升功率则为10~24马力/升左右。

(三) 单位体积功率

在坦克发动机的设计中,对发动机外廓尺寸和整个动力装置的体积的要求比汽车、拖拉机发动机要求高得多,而且是坦克发动机设计的一个重要的要求。因此,坦克发动机紧凑性指标除了比重量与升功率外,还有一个很重要的指标,就是表征发动机总布置紧凑性的指标,也就是单位体积功率[●]。

发动机的单位体积功率是指发动机的标定功率 N_e 对发动机外廓体积 V 之比(外廓体积 V 就是发动机外廓尺寸 L 、宽 B 以及高 H 的乘积)。单位体积功率可以写成:

$$N_v = \frac{N_e}{LBH} = \frac{N_e}{V} = \frac{N_e}{V_h} \cdot \frac{V_h}{V} = N_l k \text{ 马力/米}^3 \quad (1-3)$$

从式中可以看出,单位体积功率决定于升功率 N_l 以及发动机总排量 V_h 与其外廓体积 V 的比值 k (升/米³称为总布置紧凑性系数)。这说明了要提高单位体积功率,除了必须提高升功率外,还应尽量提高总布置结构的紧凑性。发动机的结构紧凑性,除了与发动机主要机构的结构、布置直接有关外,并与附件的大小和布置有很大关系。所以设计时不仅要注意发动机主要机构的结构布置的紧凑性,还应该注意研制结构尺寸小而性能好的附件和传动件。如同评价比重量的指标一样,要全面评价坦克发动机总布置的紧凑性,还必须包括整个动力装置的附件(如冷却系的附件等等)所占体积在内,使坦克动力室占坦克总容积的百分比为最小,不能片面追求发动机本体长宽高尺寸,而忽视对整个动力装置尺寸的影响。这在比较水冷式与风冷式发动机的单位体积功率时尤其要注意这一点。现代主要坦克的水冷式发动机的单位体积功率(不包括冷却系附件)一般在410~505马力/米³范围之内,总布置紧凑性系数在9.49~30.6升/米³范围内。在研制中的水冷式主战坦克发动机的单位体积功率有的高达1041.6马力/米³。现代主战坦克的风冷式发动机的单位体积功率(包括冷却系附件)在113.7~316.4马力/米³范围之内,紧凑性系数在5.6~12.38升/米³范围之内。

四、可靠性指标

发动机的可靠性是指发动机在设计规定的使用条件下,具有持续工作、不致因故障而影

● 发动机总布置的紧凑性有的用比容积表示,其定义是发动机体积对发动机的标定功率之比,也就是发动机的单位体积功率的倒数(一般用升/马力计)。

响发动机正常工作的能力。可靠性指标通常是以在保证期(有的称为保险期)内不停车故障次数、停车故障次数以及更换主要零件和非主要零件●的数目来表示。对于坦克发动机,在保证期内应保证不发生停车故障;对于汽车、拖拉机发动机,在保证期内应保证不更换主要零件。

现代汽车、拖拉机发动的无故障保证期一般1500~2000小时左右,而坦克发动机的无故障保证期一般在350~500小时左右。

五、耐久性指标

发动机的耐久性是以发动机大修期的长短来表示。发动机的大修期是指发动机从出厂到大修以前累计摩托小时数,或车辆行驶的公里数,也称为发动机的使用寿命。它决定于发动机一些主要零件磨损达到不能继续工作的极限量的运转总时间或车辆行驶的总里数。在个别情况下,也可能由零件材料在交变载荷下的疲劳强度所决定。它和发动机的强化程度、主要零件的材料、刚度、加工精度、润滑条件、运转情况等等均有密切关系。

现代坦克发动机的使用寿命一般为500~1000摩托小时,拖拉机发动机的使用寿命一般为6000~8000摩托小时,而载重汽车发动机的使用寿命则为30~60万公里(大约7500~15000摩托小时)左右。

六、适应性指标

发动机的适应性指标是指适应不同地理条件、不同气候条件的工作能力以及适应多种燃料的能力。

适应不同地理条件的能力,通常是指发动机适应高原工作的能力、适应风沙泥泞等恶劣环境的能力以及在倾斜路面运转所能达到的坡度等。对于坦克发动机来说,还指发动机适应潜渡、涉水等能力。一般要求坦克发动机能够在前、后倾斜 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 和侧向倾斜 $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 的情况下正常工作,而汽车、拖拉机发动机一般只要求能在前、后倾斜 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 和侧向倾斜 20° 左右的情况下正常工作。

适应不同气候的工作能力,是指发动机在高温地区不会过热,在高寒地区能够迅速启动。一般车辆发动机最好能够在气温正负 40°C 范围内能良好地工作。

适应多种燃料的能力,是指发动机能否使用柴油、汽油、煤油等不同的燃料来工作。汽车、拖拉机发动机一般并不一定要求能用多种燃料,而坦克发动机最好能用不同燃料来工作,这样可以就地取材,简化后勤供应。

七、运转性指标

发动机的运转性指标,主要是指操纵使用是否方便、运转是否平稳、起动性与加速性好坏,以及噪音和废气净化情况等等。

操纵使用方便,指车辆驾驶员不需要很特别的专门技能,即可容易地操作,而且在运转中不需要进行调整,同时维护保养方便。

● 主要零件一般指:气缸盖、活塞、活塞环、活塞销、连杆、连杆轴瓦、连杆螺钉、曲轴、机体、曲轴箱、凸轮轴、进排气门、气门弹簧、摇臂、调速器弹簧、调速器飞锤和销子、高压泵凸轮轴与柱塞精密副、出油阀偶件、机油泵齿轮、驱动齿轮等。其他零件则为非主要零件。

运转平稳是指发动机平衡良好，振动小。

起动性好，即发动机起动迅速可靠，一般车辆发动机要求在 -5°C 气温下不附加任何辅助装置能顺利起动，而在更低的温度下利用一些辅助装置也能迅速起动。

发动机的加速性好坏，一般是以发动机从惰转加速到全负荷时的时间长短来表示。这个时间要求愈短愈好。目前车辆发动机，一般在10秒以内就可以从惰转达到全负荷。

噪音对人体有害。国际标准组织(ISO)提出，为保护听力，每天工作八小时，容许的噪音为90分贝(简称为dB或db)；工作时间减少一半，容许值可提高5分贝，在任何情况下不允许超过115分贝。一般要求车辆发动机的噪音(距它表面1米处测量)要小于90分贝。

发动机排出废气中，含有CO、HC、NO_x以及碳烟等有害成分，造成了对大气的污染。因此，要求车辆发动机排气净化好。目前很多国家对车辆发动机排气中的有害成分，都有明确的限制。例如，日本环境保护局在1974年5月对汽车发动机的排气有害成分曾做了如下规定：CO的含量不超过980ppm，HC的含量不超过670ppm，NO_x的含量对直接喷射式燃烧系统不超过1000ppm，对分隔式燃烧系统不超过590ppm，在空负荷突然加速时排气烟度不应大于50%。

八、工艺性指标

发动机工艺性指标，是指发动机结构工艺性与修理工艺性的好坏。它影响生产成本与维修费用。因此设计车辆发动机时要求具有良好的工艺性，使之适于大量生产，便于维修。

第三节 车辆发动机的强化指标

现代车辆发动机，特别是坦克发动机为了得到尽可能大的升功率、单位体积功率和尽可能小的比重量，不断地提高强化程度，也就是不断地提高机械负荷与热负荷的程度。评价强化程度的指标，目前除了广泛采用活塞平均速度 C_m 、平均有效压力 P_e 以及升功率 N_l 之外，还采用了单位活塞面积功率 N_F 作为评价的指标。因为单位活塞面积功率

$$\begin{aligned}
 N_F &= \frac{N_e}{iF_p} = \frac{P_e i V_h n}{225 \tau} \cdot \frac{1}{iF_p} \\
 &= \frac{P_e i \frac{\pi D^2}{4} S \times 10^{-6} \cdot n}{225 \tau} \cdot \frac{1}{i \frac{\pi D^2}{4} \times 10^{-2}} \\
 &= \frac{P_e S n}{225 \tau} \times 10^{-4} = \frac{3}{225} \cdot \frac{P_e C_m}{\tau} \text{ 马力/厘米}^2
 \end{aligned} \tag{1-4}$$

式中 N_e ——发动机的标定功率，马力；

i ——气缸数；

F_p ——活塞面积，厘米²；

P_e ——平均有效压力，公斤/厘米²；

V_h ——每缸工作容积，升；