

78.5531
XJBY
1

柴油机设计

上册

西安交通大学
内燃机教研室

一九七八年十一月

前 言

遵照伟大领袖毛主席关于“教材要彻底改革”的教导，我们首先对旧教材开展了革命大批判，在此基础上，深入三大革命运动第一线，开门编书，曾先后在西安、上海、无锡、杭州、戚墅堰等地的柴油机和机车车辆制造工厂，科研单位，兄弟院校进行学习和调查研究，得到广大工农兵群众，革命知识分子和革命干部的热情帮助和大力支持，为我们编写教材创造了有利条件，在此谨向他们致以深切的感谢。

由于我们学习马列主义、毛泽东思想不够，业务水平不高，因此在教材中肯定会存在不少缺点和错误，诚恳希望广大工农兵和革命知识分子给予批评指正。

本教材的八、九、十章系专题选讲内容。在其他各章编入的内容中，也有一些部分是偏多的，主要是为了适应工农兵学员在毕业工作中和今后工作中参考之用，讲授时可根据具体情况适当掌握。

内燃机教研室

1973.7

二 版 前 言

本书初版以来，已经经历了五届学员的教学实践，使用过本书的师生，均认为基本上是适用的，为此，在修订本书时，在全书的结构安排上未作重大改变，但鉴于柴油机设计的本身正在经历着重大的变革：由经验设计走向电子计算机辅助设计，各种实验应力分析方法的广泛采用又极大地加速了柴油机设计的进程，因此经过五年以后，教材的修改工作又显得十分必要了。在这一版中，我们着重做了以下几个方面的工作：

1. 根据柴油机设计方法的变革，在教材中反映了运用电子计算机进行曲轴强度计算，轴心轨迹计算，高次方多项动力凸轮设计等方面的新内容；
2. 根据国内柴油机生产的发展，增补了一些内容，特别注意增加中、高速大功率强化柴油机和车用柴油机的内容。此外，根据国内的情况，中速纯废气涡轮增压的大功率柴油机仍在发展，因此在教材中闢出了专门的章节加以论述；
3. 根据教学经验，从便于学员自学出发，修改了一些章节；
4. 订正了初版中已发现的错误；
5. 在各章的后面列出了主要的参考文献，供读者查阅和深入钻研。

在编写本书时，引用了国内许多工厂、研究所和大专院校的大量试验研究资料，在此特致深切的谢意。

本书供内燃机专业普通班和研究生的教学和参考之用。本书的八、九、十章属于专题选讲内容，其中第十章的部分内容理应编入“柴油机原理”，但考虑到在国内二冲程柴油机应用不多，同时也为完整起见，一併归入专章，以便读者阅读。

本书涉及内容较广，由于编者水平较低，实践经验不足，错误缺点在所难免，敬请读者批评指正。

内燃机教研室

1978.10.

本书使用的主要代号及其意义

- p_0, T_0 ——环境压力和环境温度
 p_z, T_z ——气缸最高燃烧压力和最高燃烧温度
 p_z ——气缸瞬时压力
 p_i, T_i ——膨胀终点压力和温度
 p_γ ——排气压力（对四冲程柴油机指排气终点气缸内压力，对二冲程柴油机指排气系统统中的压力）
 p_i ——平均指示压力
 p_e ——平均有效压力
 $p_k(p_s)$ ——增压压力（扫气压力）
 T_T ——涡轮增压柴油机废气涡轮前的排气温度
 $T_k(T_s)$ ——增压柴油机进气管内空气温度（扫气温度）
 T_p ——活塞顶温度
 V_h ——气缸工作容积（气缸排量）
 V_c ——压缩始点气缸容积
 η_v ——充气效率（充气系数）
 ϵ ——实际压缩比
 ϵ' ——名义压缩比（几何压缩比）
 g_i ——指示比油耗
 g_e ——比油耗
 g_w ——比重量
 η_i, η_e, η_m ——指示热效率，有效热效率，机械效率
 N_i, N_e ——指示功率，有效功率
 N_l ——升功率
 N_f ——单位活塞面积功率
 D, D_1, D_2 ——缸径，曲轴主轴径直径，曲柄销直径
 S, R ——冲程长度，曲拐半径 $R = S/2$
 L_0 ——气缸中心距； $\lambda = \frac{R}{L}$ ——曲拐半径和连杆长度比
 τ ——冲程数、四冲程 $\tau=4$ ，二冲程 $\tau=2$
 ψ ——冲程损失系数
 n ——转速
 ω ——曲轴回转角速度
 C_m ——活塞平均速度
 φ （或 α ）——曲轴转角，凸轮轴转角
 i ——气缸数目

F_p —— 活塞顶部投影面积 $F_p = \frac{\pi D^2}{4}$

$G'(m')$ —— 活塞组的重量 (质量)

$G_1(m_1)$ —— 连杆往复部分的重量 (质量)

$G_2(m_2)$ —— 连杆旋转部分的重量 (质量)

$G(m)$ —— 活塞连杆组往复部分的重量 (质量) $G = G' + G_1$

$G_3(G_3)$ —— 连杆大头盖的重量 (质量)

$G''(m'')$ —— 连杆组重量 (质量) $G'' = G_1 + G_2$

P_{fmax} —— 活塞连杆组的最大往复惯性力

$P_z = p_z F_p$ —— 最高燃烧总压力 (循环最大气体力)

P_N —— 侧压力

K —— 作用于曲柄销上的法向力

T —— 作用于曲柄销上的切向力

σ —— 正应力

σ_B —— 强度极限

τ —— 剪应力

σ_s —— 屈服极限

σ_v —— 弯曲应力

σ_c —— 压缩应力

σ_{-1} —— 对称循环下的弯曲持久极限

σ_0 —— 脉动循环下的弯曲持久极限

σ_{max} —— 循环最大正应力

σ_{min} —— 循环最小正应力

τ_{max} —— 循环最大剪应力

τ_{min} —— 循环最小剪应力

$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ —— 循环正应力幅

$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$ —— 循环平均正应力

$\tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2}$ —— 循环剪应力幅

$\tau_m = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2}$ —— 循环平均剪应力

k_σ —— 正应力下有效应力集中系数

k_τ —— 剪应力下有效应力集中系数

$\varepsilon_\sigma, \varepsilon_\tau$ —— 分别为正应力和剪应力下的尺寸工艺系数

n_σ, n_τ —— 分别为正应力和剪应力下的安全系数

μ —— 泊松比

E —— 弹性系数

G —— 剪切弹性系数

γ —— 重率

本书使用的主要单位

长度 微米 μ 毫米 mm 厘米 cm 米 m	压力 公斤/厘米 ² kg/cm^2 工程大气压 at 水银柱(毫米) $mmHg$ 水柱(毫米) mmH_2O	力矩 公斤·米 $kg-m$ 重率 克/厘米 ³ g/cm^3 公斤/米 ³ kg/m^3
体积 毫升 $ml(c.c.)$ 升 l 立方米 m^3	温度 摄氏温度 $^{\circ}C$ 绝对温度 K	转速 转/分 $r.p.m.$
重量 克 g 公斤 kg	功率 公制马力 PS	热量 卡 $cal.$ 千卡 $kcal.$
时间 秒 s 分 min 小时 h	角度 度 $^{\circ}$ 分 $'$ 秒 $"$	比油耗 克/马力小时 $g/ps h$

§ 1-1	绪论	1
§ 1-2	曲轴设计	13
§ 1-3	平衡重及飞轮设计	103
§ 1-4	材料工艺及其对曲轴疲劳强度的影响	106
§ 1-5	曲轴强度计算	109
第五章 固定零件的设计：气缸套、气缸盖和机体		
§ 5-1	气缸套的工作条件和设计要求	185
§ 5-2	气缸套材料和表面处理	186
§ 5-3	气缸套的结构形式和基本尺寸的确定	188
§ 5-4	气缸套的磨损和提高耐磨性的措施	199
§ 5-5	发动机的拉缸和予磨的措施	201
§ 5-6	气缸套的穴蚀和予防的措施	203
§ 5-7	气缸盖的工作条件和设计要求	208
§ 5-8	气缸盖的材料	210
§ 5-9	气缸盖的结构设计和主要尺寸的确定	211
§ 5-10	气缸盖片设计	225
§ 5-11	机体的工作条件及设计要求	236

目 录

第一章 柴油机设计总论

- §1-1 柴油机设计的基本要求..... 1
- §1-2 柴油机设计的大致步骤和方法..... 9
- §1-3 发动机设计中的几个基本概念..... 11
- §1-4 柴油机主要结构参数的确定..... 17
- §1-5 柴油机强化程度的评定..... 30
- §1-6 柴油机设计工作中的“三化”..... 34
- §1-7 关于发动机零件的强度计算..... 36

第二章 活塞组设计

- §2-1 活塞组的工作条件和设计要求..... 45
- §2-2 活塞材料及其对活塞设计的影响..... 48
- §2-3 整体铝合金活塞的结构设计和强度校核..... 52
- §2-4 活塞的冷却和组合活塞..... 75
- §2-5 活塞环的设计..... 83

第三章 连杆组设计

- §3-1 连杆的工作条件和材料选用..... 99
- §3-2 连杆的结构设计..... 101
- §3-3 连杆的疲劳计算..... 111
- §3-4 连杆轴承设计..... 120
- §3-5 连杆螺栓的设计..... 138

第四章 曲轴组设计

- §4-1 概述..... 144
- §4-2 曲轴结构设计..... 148
- §4-3 平衡重及飞轮设计..... 163
- §4-4 材料工艺及其对曲轴疲劳强度的影响..... 166
- §4-5 曲轴强度计算..... 169

第五章 固定零件的设计：气缸套、气缸盖和机体

- §5-1 气缸套的工作条件和设计要求..... 185
- §5-2 气缸套材料和表面处理..... 186
- §5-3 气缸套的结构形式和基本尺寸的选定..... 188
- §5-4 气缸套的磨损和提高耐磨性的措施..... 199
- §5-5 发动机的拉缸和预防的措施..... 201
- §5-6 气缸套的穴蚀和预防的措施..... 203
- §5-7 气缸盖的工作条件和设计要求..... 208
- §5-8 气缸盖的材料..... 210
- §5-9 气缸盖的结构设计和主要尺寸的选择..... 211
- §5-10 气缸垫片设计..... 225
- §5-11 机体的工作条件及设计要求..... 230

目 录

§ 5-12 机体的材料和结构型式	231
§ 5-13 机体的构形及设计要点	238
§ 5-14 机座和油底壳的设计	249
第六章 气伐配气机构设计	
§ 6-1 配气机构的总体布置	251
§ 6-2 气伐组的设计	260
§ 6-3 气伐驱动机构的设计	273
§ 6-4 气伐配气机构的运动学与凸轮外形的设计	279
§ 6-5 多项动力凸轮的设计	298
§ 6-6 气伐弹簧的设计	307
§ 6-7 活塞与气伐最小间隙的验算	312
第七章 柴油机的润滑、冷却和起动系统	
§ 7-1 柴油机的润滑油	314
§ 7-2 柴油机的润滑系统	319
§ 7-3 柴油机的冷却系统	337
§ 7-4 柴油机的起动系统	356
第八章 V型柴油机	
§ 8-1 V型发动机的特点	371
§ 8-2 V型发动机的结构布置	373
§ 8-3 V型发动机气缸夹角的选择	388
§ 8-4 V型发动机的发火顺序	399
§ 8-5 关节式连杆曲柄机构的运动学	404
第九章 风冷柴油机	
§ 9-1 风冷柴油机概述	411
§ 9-2 风冷柴油机的主要结构参数	414
§ 9-3 风冷柴油机的散热和散热片设计计算	417
§ 9-4 风冷柴油机的气缸、气缸盖和配气机构	428
§ 9-5 冷却风量和风扇的确定及调节	438
§ 9-6 冷却风扇的设计	451
§ 9-7 风冷柴油机实例	465
§ 9-8 风冷柴油机展望	470
第十章 二冲程柴油机	
§ 10-1 二冲程柴油机换气过程概述	472
§ 10-2 二冲程柴油机的扫气效率	476
§ 10-3 二冲程柴油机换气过程计算及举例	483
§ 10-4 扫气泵	501
§ 10-5 中、低速大功率二冲程柴油机的纯废气涡轮增压	505
§ 10-6 二冲程柴油机的结构特点	510
§ 10-7 二冲程柴油机的特点和展望	521

第一章 柴油机设计总论

§ 8—1 柴油机设计的基本要求

由于柴油机功率范围宽广，又能适应各种不同用途的要求（如农用，载重汽车用，工程机械用，内燃机车用、船用等等），因此在国民经济各部门获得广泛的应用。根据柴油机使用场合和生产条件的不同，对柴油机在性能指标上，结构型式上和运用维修方面提出的要求也是各不相同的，在设计一台新柴油机之前，必须首先明确设计要求，也就是要明确总的技术任务。

一、基本要求

1. 可靠性和耐久性指标

柴油机工作的可靠性是指柴油机在规定的运转条件下，具有持续工作，不致因故障而影响柴油机正常运转的能力。它主要是由发动机零件的强度和刚度决定的。可靠性指标常用在保证期内不停车故障次数，停车故障次数，更换非主要零件和主要零件的数目来表示。一般把机体（包括机座，曲轴箱），油底壳，曲轴，齿轮，凸轮轴，油泵凸轮轴，气缸盖，气缸套，活塞，连杆，连杆轴瓦，连杆螺钉，活塞销，进排气门，气门弹簧，摇臂，调速器弹簧，调速器飞铁和销子，机油泵齿轮，活塞环，油泵柱塞付偶件，出油伐偶件称为主要零件，其它为非主要零件。对于可靠性指标高的柴油机，应在保证期内不发生这两种故障。

柴油机工作的耐久性是指发动机工作至大修以前的累计运行时间，即寿命。它主要是由发动机零件在工作过程中的磨损所决定的，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。因此柴油机耐久性指标常用柴油机主要零件达到极限磨损量前的运转总时间来表示。柴油机主要零件大修前的极限磨损量及椭圆度大致如下表。

表 1-1 大修前允许的极限磨损量及椭圆度

名称	曲轴主轴径和连杆轴颈 (轴径的)		气缸套的极限磨损量(缸径的)		
	极限磨损量	椭圆度	$D=100-200mm$	$D=200-400mm$	$D=400-800mm$
允许值	$\frac{1}{800}D_1$	$\frac{1}{1250}D_1$	$\frac{1}{800}D$	$\frac{1}{400}D$	$\frac{1}{200}D$

柴油机的寿命问题是一个极为复杂的问题，它与零件的材料，加工精度，发动机强化程度，刚度，润滑条件，运用情况均有密切的关系。现代柴油机先进的耐久性指标大致为：

农用柴油机 6,000—8,000小时

载重汽车用柴油机	30万—50万公里
工程机械用柴油机	10,000—25,000小时
内燃机车用柴油机	
高速	8,000—20,000小时
中速	15,000—32,000小时
船用中速柴油机	15,000—40,000小时
坦克舰艇用高速轻型大功率柴油机	200—1,000小时

从上述数字可以看出，只有军用柴油机是比较特殊的，有的军用发动机甚至只要求在紧急的一瞬间发出最大功率，时间只要求5至8分钟，虽然它寿命短，但要保证绝对可靠。

由上面的分析可知，可靠性和耐久性指标二者之间，既有联系，又有区别。可靠性是耐久性的前提，一台柴油机运转不可靠，就根本谈不上什么耐久，另一方面柴油机耐久性的提高，又为可靠性的进一步增长提供了基础。

在柴油机样机制成以后，应按国家标准进行可靠性耐久性试验，对于一般柴油机应进行1500小时持续功率的耐久试验。对拖拉机用柴油机应进行2000小时（85%12小时功率）的生产使用试验。对汽车用柴油机应进行600小时可靠性试验。对于机车和船用柴油机也应按规定进行耐久试验。在试验中应纪录不停车故障次数，停车故障次数以及更换非主要另件和主要另件的数目，以评定柴油机的可靠性。此外在试验结束后，应测量主要另件的磨损量，按表1-1所列的数据，求出柴油机的计算大修期，以评定柴油机的耐久性。

发动机的计算大修期为：

$$\text{计算大修期限} = \frac{\text{另件大修前允许的磨损量}}{\text{试验中另件实际磨损量}} \times 1500 \quad (\text{小时})$$

这里需要说明的是，上述发动机的计算大修期，仅仅只能作为一个参考。因为发动机的实际运用条件与试验室不一样，此外在实际应用中冷车起动的次数，远比耐久试验时多得多，而一次冷起动导致气缸套的磨损量要比正常工况高6—7倍，因此发动机真正的耐久性应是在实际运用的考验中决定的。

2. 动力性能指标

发动机的动力性能指标是指发动机的功率，扭矩和转速。

一台柴油机的功率，根据不同的使用要求，可以作出不同的标定，根据我国具体情况，国家标准(GB1105-74)规定柴油机功率标定有四级，即15分钟功率，1小时功率，12小时功率，持续功率。但是在柴油机设计时，规定的是“设计功率”，这就是人们在设计时预定应达到的功率，然后据此选择其它参数进行计算(见§1-3)。根据柴油机不同的使用条件，一般把设计功率取为12小时功率(如农用柴油机等)，但也可把设计功率取为15分钟功率(如载重汽车用)或持续功率(电站用或船用)或可定在它们之间。

一般说，一台发动机的功率是不能事前准确地规定的，只能指定一个目标，至于具体的功率标定，应在发动机制成以后，通过试验加以确定。但是，发动机的转速是可以根据使用配套的要求预先规定的，因为在发动机制成以后，它可以用调速器来保证达到。

在设计一台新柴油机时，应根据使用要求，配套对象，进行广泛的调查研究，来确定发动机的设计功率和转速。

农用柴油机的配套标定功率，一般为12小时功率，少数为持续功率，功率范围大致为

3-150PS。根据我国农村调查资料表明，在广大水田和丘陵旱作地区，对拖拉机用柴油机功率的要求，最需要的是12-20马力小型轮式以及35-45马力的中型轮式拖拉机，在排灌机械和农付业加工方面最需要的是10-20马力柴油机，对5-12马力的手扶拖拉机也有一定需要量。对东北和新疆等地区，则需要大功率拖拉机。总的说来，由于这些发动机大致都处在小功率小缸径范围内，根据我国目前的具体情况，转速采用1500至2500转/分是适宜的。

载重汽车用柴油机的功率标定为15分钟功率，载重吨位与功率之间的大致关系为：

功率(马力)	800	400	300	240	≤200	≤160	≤130	≤90	≤52	≤33
吨位	60	32	25	18	≥15	8	5-6	4	3	2

轻、中型载重汽车发动机的转速为2000-4000转/分。

重型载重汽车用柴油机的转速为1500-2600转/分。

工程机械的种类繁多，常见的有推土机，挖掘机，装载机，铲运机，刮土机，压路机，汽车起重机，移动式空气压缩机组等，工程机械用柴油机的服役条件比载重汽车用的严酷得多，因此其功率标定一般用12小时功率，少数用1小时功率。工程机械用柴油机功率范围很宽广，大体在50-1200马力之间，转速在1500-2600转/分之间。

干线内燃机车功率标定一般为1小时功率，单机功率约2500-5000马力，转速为900-1500转/分。

船舶柴油机种类及功率范围最为广泛，从几马力的小艇用舷外挂机到数万马力的远洋巨轮用柴油机，各种机型几乎无所不具备，因此功率标定也无所不包，其中民用船舶主机，由于要长时间连续运行，其功率标定为12小时功率或持续功率，根据国家标准，其标准大气条件为：环境温度30℃，大气压力760mmHg，相对湿度为60%，与陆用柴油机有所不同。船用柴油机需用功率的估计方法也因船型而不同，对于海轮，可以采用海军常数公式

$$N_e = \frac{D^{2/3} v^3}{C_N}$$

式中： D ——为船舶排水量(吨)

v ——为船舶航速(节)

C_N ——为海军常数，它的变化范围很大，影响因素很多，其数值可采用具有相同佛

氏数 $F_R \left(= \frac{v}{\sqrt{gL}} \right)$ 的同类船舶的试验给出， L 为船长， g 为重力加速度。

移动式电站用柴油机的功率标定一般是12小时功率，固定式电站用柴油机一般是持续功率，电站柴油机所需功率可按下式估算

$$N_e = C \cdot W \quad (PS)$$

C 为匹配比，对200KW以下的移动电站 $C=1.8-2.0$ (允许海拔高度1000-1500米) 200-1500KW的移动电站， $C=1.6-1.8$ (允许海拔高度1000米)，固定式电站， $C=1.4-1.6$ ， W 为发电机容量的千瓦数。

此外，对于在一些有克服阻力要求的动力装置上(如汽车、拖拉机和工程机械等)应用的柴油机，对动力指标的要求，除了上述的功率和转速以外，对扭矩特性也提出了要求，例如汽车发动机，为了便于爬坡，起动，改善加速性能等，对低速时的扭矩有严格要求。

扭矩特性一般可用以下二个参数来表示：沿柴油机外特性曲线，表征扭矩储备大小的系数称为适应性系数或扭矩储备系数：

$$K = \frac{\text{最大扭矩}}{\text{标定工况时的扭矩}} = \frac{M_{e\max}}{M_e}$$

以及转速适应性系数

$$K_n = \frac{\text{标定转速}}{\text{最大扭矩时的转速}} = \frac{n_e}{n_{M_{e\max}}}$$

对于各种不同用途的柴油机 K 和 K_n 的一般范围为：

汽车用	$K=1.1-1.2$	$K_n=1.5-2.0$
工程机械用	$K=1.15-1.30$	$K_n=1.6-2.0$
拖拉机用	$K=1.15-1.25$	$K_n=1.6-2.0$

为了获得较高的适应性系数，在柴油机设计和调试时，必须从配气定时，供油系统（如加校正装置）和降低标定功率等办法予以满足。

3. 经济性指标

发动机的经济性指标是多方面的，如生产成本，运转中的消耗（主要指柴油和润滑油的消耗）以及修理费用等等。下面主要讨论柴油和润滑油消耗方面的经济性指标。

比油耗 g_e 是燃油经济性的重要标志之一。固定式柴油机的比油耗 g_e 是指标定工况的比油耗值，车用柴油机的比油耗通常系指外特性曲线上的最低比油耗值。各类柴油机的最低比油耗 g_e 的统计数据列于表 1-1。但是仅给出最低比油耗作为评定经济性的指标是不合理的，因为柴油机在最低比油耗这一工况工作的时间可能不长；同样给出在实验室内比油耗的试验数据作为评价的指标也不够全面，因为实际上成批产品出厂值往往要比实验室的要高。因此作为评价柴油机燃油经济性指标应是在成批出厂的柴油机在标定功率下的比油耗值（固定作业时）和低油耗范围是否广阔（变负荷作业时）。

比油耗值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。一般讲，增压发动机比油耗特性比较平坦。有空气中间冷却的更平坦些（参看原理第十一章），在燃烧室方面应用涡流室的低油耗区较广。至于燃烧室的选型问题已在原理第七章中详述了。总的说来，对于缸径 $D > 200mm$ 的应采用统一式燃烧室， $D = 170-200mm$ 的高速大功率柴油机可以应用予燃室或直接喷射式燃烧室， $D = 100-160mm$ 占主导地位的是半分开式燃烧室，即利用进气涡流与压缩涡流形成混合剂的深盆形燃烧室或球型燃烧室， $D < 100mm$ 的高转速柴油机上以应用涡流燃烧室为主，但近年来亦有改用半分开式燃烧室的趋向。

此外，在评定柴油机的燃料经济性时，还应把柴油机能否燃用重油和其它低质燃料考虑在内。

润滑油的消耗量对四冲程柴油机一般应为燃油消耗量的 1-2%，在某些设计良好的中、高速大功率柴油机上，润滑油消耗量已达 $0.6-0.7g/PS \cdot h$ 的先进水平。柴油机应力求降低润滑油的消耗量，其原因不但因润滑油价格昂贵，还因为过大的润滑油消耗，常常是柴油机故障的先兆（如引起活塞环结胶等等）。

表 1-1 现代四冲程柴油机的主要参数范围

类别	项目	平均有效压力 p_e (kg/cm ²)	活塞平均速度 C_m (m/s)	行程缸径比 S/D	转速 n (rpm)	压缩比 ϵ	比重量 g_w (kg/ps)	升功率 N_i (ps/l)	比油耗 g_e (g/ps.h)
农用柴油机	小功率通用	5.5-8.5	5.5-12	0.9-1.4	1500-3600	16-24	6.5-30 (单缸) 6.5-17 (多缸)	7-20	180-240
	拖拉机用	6.0-10	6.5-10	1.0-1.3	1500-3000	16-22	5-15	10-24	175-210
汽车用柴油机	小型高速车(2吨级)	7.5-8.7	11-13.4	0.9-1.2	3000-4500	17-23	2.2-4.5	27-36	190-230
	载重汽车用(3-12吨级)	7.5-11.5	10-12.5	1.0-1.3	2300-3000	15-22	3.3-5.0	18-28	165-190
工程机械用柴油机		12-15	9-11	0.9-1.0	2000-2500	15-22	3.0-6.0	20-32	170-200
干线内燃机车用柴油机		14-17	9-12	1.0-1.2	900-1600	12-16	2.5-6.0	15-28	150-170
中速四冲程大功率船用柴油机		12-21	6.5-9.0	1.06-1.35	300-600	12-16	8-14	6-10	150-160

4. 重量和外形尺寸指标

发动机的重量和外形尺寸指标是评价发动机结构紧凑性和金属材料利用程度的一个指标。它是用来判明发动机是否功率大、尺寸小、重量轻。不同用途的柴油机对重量和外形尺寸指标提出的要求是不同的，固定作业用柴油机对这一指标要求不严格，但对移动式动力装置用柴油机均有外形尺寸和重量的要求。现举机车柴油机的例子说明一下，我国规定的机车界限尺寸如图 1-1，如果考虑到维修则两边还要留有 0.5 米左右的空隙，这样发动机的宽度就严格限止在 2-2.4 米。发动机的高度尺寸应限止在 2.5-3.0 米之内。柴油机的重量则受到机车轴重的限止，轴重又受到铁路建筑物荷重和轨重的限止，我国干线铁道应用 P43 钢轨（即每米轨重 43.6 公斤）而机车一般为 6 轴，每轴允许重量 22 吨，6 轴共为 132 吨，一般发动机占机车总重量的 15-20% 左右，因此发动机总重量就不能超过 20-25 吨。

衡量发动机重量指标的参数是比重量

$$g_w = \frac{G_w}{N_e} \quad [kg/ps]$$

G_w 为发动机总重量，对各类柴油机的 g_w 值统计于表 1-1。

衡量发动机外形尺寸指标的参数是升功率 $N_i = \frac{N_e}{iV_n} [ps/l]$ (i —气缸数, V_n —单个气缸

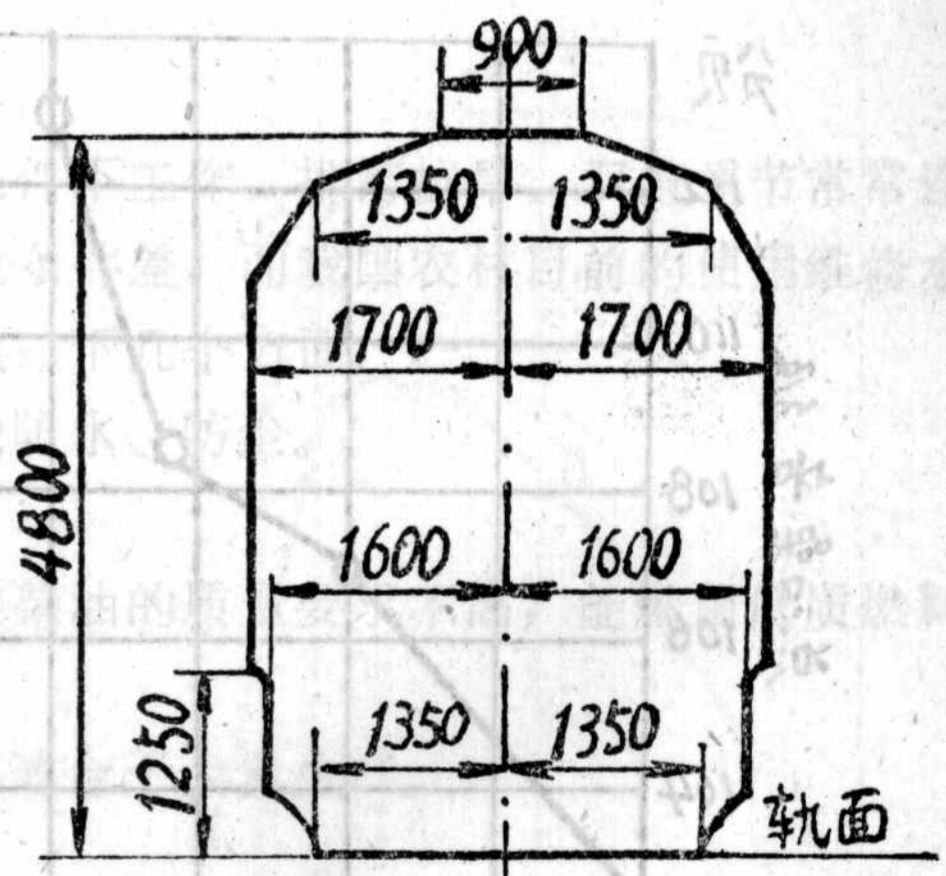


图 1-1 我国机车的界限尺寸

工作容积, 升) 和体积功率 $N_v = \frac{N_e}{V} [ps/m^3]$ (V —发动机总容积, 米, 在一些军用柴油机上, 比重量和体积功率已达到很高的水平, 例如在主战斗坦克上, 体积功率 N_v 达 $1000 [ps/m^3]$ 以上, 比重量 g_w 则到达 $1 [kg/ps]$ 。

5. 运转性指标

运转性指标包括的内容非常广, 例如要求使用操作方便, 起动迅速可靠, 运转平稳, 噪音较低、废气净化好等等。操作方便是指使用者不需要特别的专门技能, 即可容易地进行操作, 而且在运行中也不需进行重大的调整就能维持良好的运转工况, 要做到这一点并不是很容易的。在大功率发动机上还希望采用远距离操纵、自动控制, 自动报警装置等。起动迅速可靠对使用者而言, 具有极为重要的意义, 由于柴油机使用范围广, 在使用中可能遇到的环境温度的变化很大, 特别对行驶在高原边疆地区的汽车柴油机, 钻探用柴油机, 拖拉机柴油机以及其他小型柴油发电机组更需特别予以注意。为了保证起动迅速可靠, 在有些发动机上不惜牺牲其他一些指标 (如重量, 外形尺寸指标等), 采用汽油机起动, 或增添一些其他的起动辅助装置。

运转平稳一般是指发动机平衡良好, 振动较小。

关于发动机的噪音其来源有三个方面: 燃烧噪音; 进排气噪音 (指增压器压气机和排气时引起的噪音); 机械振动引起的噪音。

评判柴油机噪音严重程度的标准是噪音级的大小, 它可以用噪音仪直接测量出来。噪音级的单位是分贝, 简称为“dB”或“db”。声源在单位时间内所辐射的能量, 称为声功率 [瓦], 在声传播的路径上, 单位时间通过单位面积的能量称为声强 I [瓦/米²]。分贝的定义就是声强 I 和基准声强 I_0 (取 $I_0 = 10^{-12}$ 瓦/米²) 之比, 取以 10 为底的对数再乘以 10, 即

$$dB = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

在图 1-2 上表示 4135 柴油机, 不装消音器时总噪音级的变化曲线, 测量时噪音感受器放在排气管出口 45° 线上 0.65 米处。一般发动机排气噪音级在 110—120 分贝之间, 增压器噪音级在 130—140 分贝之间。

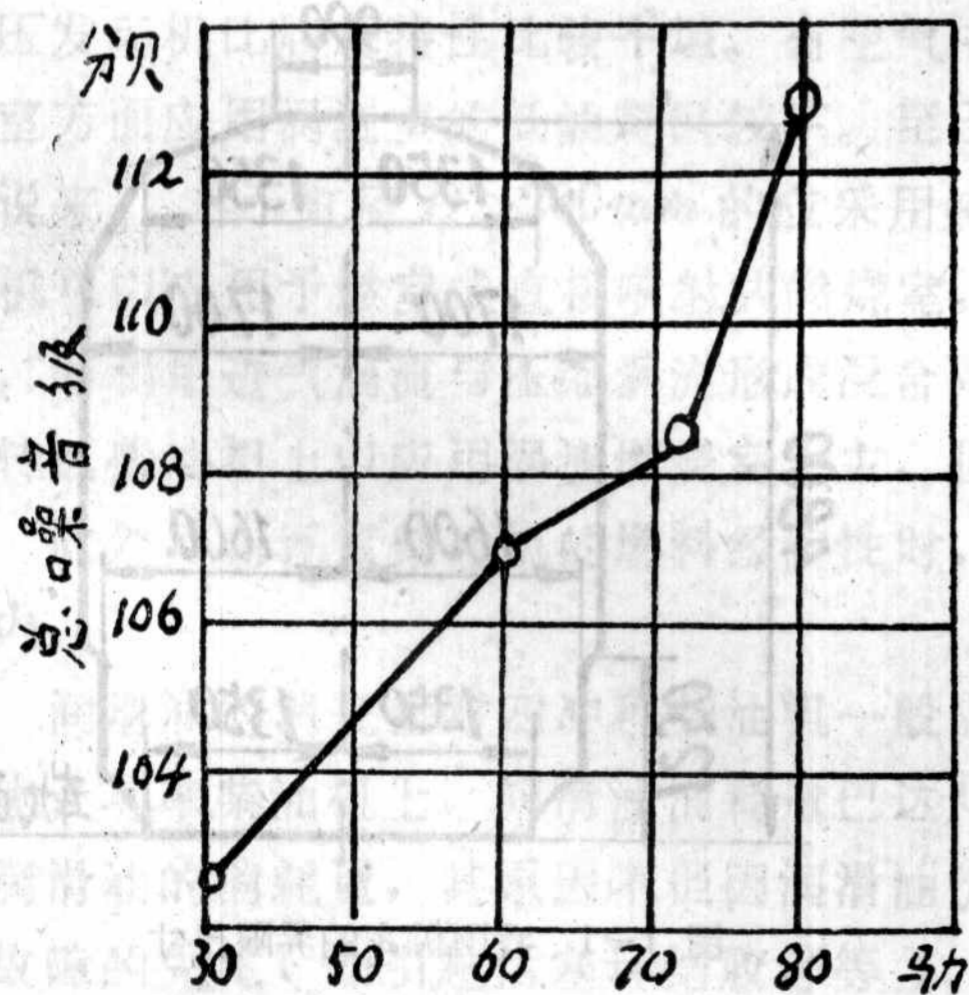


图 1-2 4135 柴油机的噪音
n=1500 r.p.m. 不装消音器

但是, 由于发动机总噪音中包含有不同频率成份的噪音, 而不同结构的消音器, 对不同频率的噪音又具有不同的消减性能, 因此还常常利用噪音分析仪测录出噪音的频谱特性, 即是不同频率成份噪音的级的大小。在图 1-3 上表示 4135 柴油机噪音的频谱特性。

特别对船用和机车用的柴油机, 由于机房空间地位的限止, 更需要注意消减噪音, 为操作者创造较好的工作环境。为此在柴油机设计时必须仔细调试燃烧系统,

减小柴油机的振动和设计低阻力高效能的进排气消音装置。一般要求在离柴油机1米处测得的噪音频谱曲线上,各种频率的噪音级均小于90—100分贝。

6. 结构简单合理,工艺性良好,维护修理方便,外形布置整齐美观。

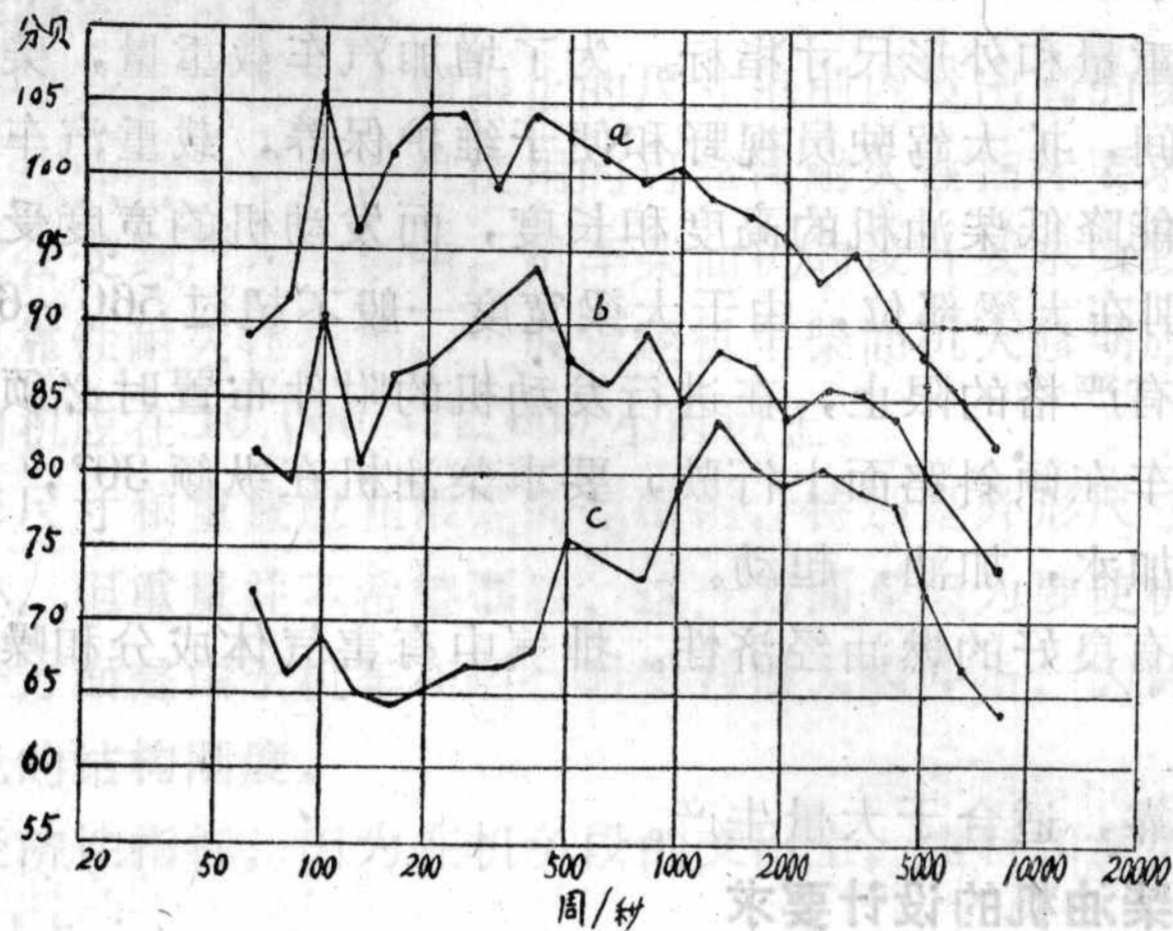


图 1-3 4135柴油机噪音的频谱特性

a—不装消音器 b—装单腔消音器 c—装双腔消音器

二、各类柴油机的设计要求

要求在一台柴油机上全面达到上述六项基本要求显然是相当困难的,因为这些要求的本身彼此就是矛盾的。例如动力性能指标高就与可靠性耐久性之间有矛盾,又如要求重量轻外形尺寸小,就要求柴油机采用优质材料和较复杂的工艺,从而增加制造成本,又如动力性能指标与经济性指标也往往有矛盾,常常是获得了较高的功率而比油耗却增加等等。因此在设计柴油机时应该根据它的使用特点,重点突出几个方面,抓住矛盾的主要方面,处理好相互之间的关系,才能保证设计工作做到多快好省。

1. 农用柴油机的设计要求

农用柴油机的使用特点是经常在长期重负荷条件下工作,排涝抗旱,双抢季节常常连续工作一周以上;农用柴油机在野外流动作业,环境条件差,而我国农村目前的使用维修水平还相对较低,因此对农用柴油机的设计要求应着重以下几个方面:

- (1) 应有较高的可靠性、耐久性指标,能防水、防尘。
- (2) 功率有储备,能保证长期连续运转。
- (3) 经济性指标应较高,售价低廉,并对柴油的质量要求不高,能燃用低质燃料。
- (4) 合适的重量指标,能一机多用。
- (5) 操作维护简单方便,起动迅速可靠,适合于大量生产。

2. 载重汽车用柴油机的设计要求

载重汽车用柴油机的使用特点是经常在广泛范围内变速变负荷,起动、加速和爬坡频繁,最大负荷偶然短时间使用。要求发动机自重小,体积小以增大汽车的载运量,要求车速高以增加汽车运行效果。因此载重汽车用柴油机的设计要求应着重以下方面:

- (1) 高的动力性能指标。从满足汽车柴油机在广泛范围内变速变负荷并有良好的加速性

能出发，它的标定功率和标定转速应尽可能定得高些，以达到高速轻型的要求。此外由于汽车柴油机的最大负荷仅是偶然短时间出现，而汽车柴油机的使用维护条件又较好，因此从可靠性和耐久性指标上看，标定功率和转速定得较高，也是可以允许的。为了便于启动和爬坡，发动机的适应性系数 K 一般希望大于1.1。

(2) 应有较高的重量和外形尺寸指标。为了增加汽车载重量，柴油机自重要尽可能小，为了增大汽车装载空间，扩大驾驶员视野和便于维护保养，载重汽车大多采用平头倾翻式驾驶室，这就要求尽可能降低柴油机的高度和长度，而发动机的宽度受到汽车宽度（一般小于2.5米）的限止，特别在大梁部位，由于大梁宽度一般不超过560—650mm，因此对发动机腰部和下部宽度尺寸有严格的限止，在进行发动机的附件布置时必须予以注意。

(3) 为了保证汽车在倾斜路面上行驶，要求柴油机在纵倾 30° ，横倾 25° 时正常工作，并能在倾斜的路面上加水，加油，启动。

(4) 在部分负荷有良好的燃油经济性。排气中有害气体成分和噪声能符合有关法规的要求。

(5) 启动迅速可靠，适合于大量生产。

3. 工程机械用柴油机的设计要求

工程机械用柴油机的使用特点是经常在急剧的变速变负荷状态下工作，经常超负荷，其负荷的变化比汽车柴油机更是大得多，此外工作环境十分恶劣，对工程机械用柴油机提出许多特殊的要求。

(1) 动力性能指标方面：由于工程机械用柴油机和载重汽车用柴油机工作条件不一样，汽车柴油机按15分钟功率标定，而工程机械柴油机应按12小时功率标定，因此仅为汽车功率的70—80%，由于工程机械用柴油机在急剧的变速变负荷状况下工作，要使柴油机在这样大的速度范围内稳定工作，必须装有性能良好的全制调速器。有时为了得到工作时所需要的理想扭矩特性，发动机设计时应考虑将柴油机扭矩特性进行部分修正，使发动机有足够的扭矩储备， $K=1.25-1.4$ ，并不得低于1.15—1.20，在图1-4上表示一工程机械柴油机

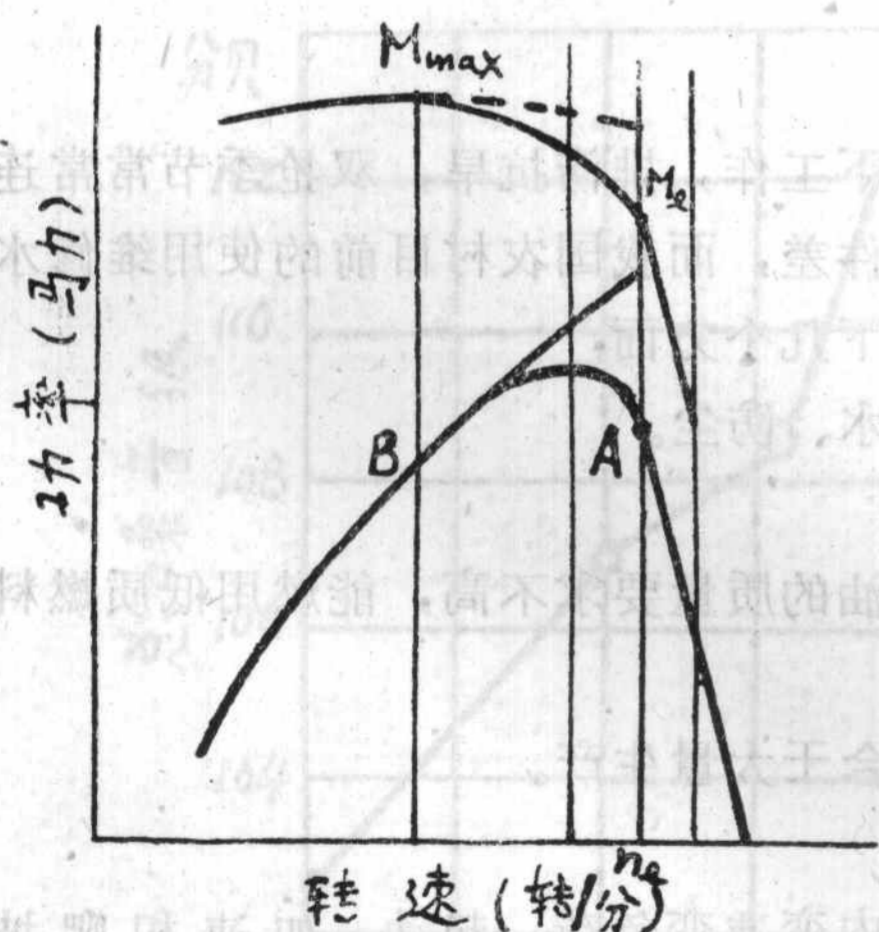


图1-4 工程机械用柴油机的外特性

扭矩特性进行部分修正的情况，虚线表示柴油机12小时功率时的扭矩特性，实线表示进行部分修正后的扭矩特性，A点为标定点。此外，还应指出在工程机械柴油机试验时应装有风扇，发电机，空气滤清器，水泵，润滑油泵等，而不像汽车发动机那样，只是发动机本身。

(2) 整台柴油机经常受到很大冲击而来回振动，因此要求发动机有较大的刚度，附件安装和内部结构要很坚固，有较长的寿命。为了减少底盘变形对柴油机的影响，希望柴油机采用三点支承。

(3) 由于工程机械作业时灰尘大，因此要求高效率的空气滤清器，机油滤清器和柴油滤清器，为了保证能适应急剧的变速、变负荷状态下工作，要

求装备全制式调速器，其瞬时调速率 $\delta_1 < 12\%$ ，稳定调速率 $\delta < 8\%$ 。

(4) 特殊要求方面，例如在寒带地区工作要保证冷启动方便，在热带地区工作要防止过

热，在多尘环境下工作要保证空气滤清质量。在倾斜地面上工作（甚至连续运转在前后左右倾斜 $30-35^\circ$ 的场地上）要保证机油压力不降低，不漏油。要能在水里工作，必须有较大的涉水深度，发动机及电气设备采用防水密封结构。在坑道作业时，要求设置废气净化装置等。

4. 内燃机车用柴油机的设计要求

机车柴油机的使用特点是要求在车厢限止的尺寸范围内发出高的功率，因此机车柴油机一般都是非常强化的，此外机车对柴油机使用的可靠性耐久性指标要求很高，因为机车一旦发生故障，铁路运输就会受到严重的影响。机车柴油机的设计要求大致如下：

(1) 应有较高的可靠性耐久性指标，一般货运机车柴油机大修期应在 $15,000-16,000$ 小时以上，客运机车柴油机应在 $10,000-12,000$ 小时以上。

(2) 柴油机的外形尺寸和重量应在限定的范围内。特别是外形尺寸总希望小一些，因为一般机车内部地位较小。但重量并不希望很轻，这一方面是因为要使机车具有足够的黏着力必须有一定重量，另一方面是由于机车在运行时受到很大的冲击，因此希望在重量允许的范围内尽可能增加柴油机的结构刚度。

(3) 要有较高的经济性指标，因为在机务段的支出上，燃料和润滑油的消耗费用一般要占运行费总额的 50% 以上。

(4) 尽可能考虑自动控制和远距离操纵。

(5) 起动迅速可靠。

5. 船用柴油机的设计要求

对于船用柴油机而言，各种用途的船舶发动机差异是很大的。下面只就长途内河轮船和远洋海轮用柴油机的使用特点说明一下这类柴油机的设计要求。

(1) 长期连续运转（乃至几十天）在水上，因此对运转的可靠性提出特别高的要求，又因为这类柴油机功率大，生产批量小，制造成本高，因此对它的寿命也提出很高的要求。

(2) 要有高的燃油经济性指标，并能燃用重油。不但要求全负荷持续运转这点的油耗低，也希望力求在万有特性曲线上的低油耗区能满足沿螺旋桨特性运转的要求。

(3) 由于在风浪中航行，要求柴油机能在纵倾 10° ，横倾 15° 下长期工作，在纵倾 20° ，横倾 40° 下短期工作。一般采用闭式循环的冷却系统，带有海、淡水热交换器，高温另件如增压器，排气管等均采取隔热措施。

(4) 发动机能远距离操纵，自动报警，自动停车，并且全部操纵机构之间应有连锁装置。为了发动机起动前便于检查，应设有盘车装置。

(5) 有的还要求柴油机本身能逆转。

(6) 在设计时要考虑有尽可能多的另件在左、右机上通用。

(7) 必须符合国家有关验船部门的规定，例如海船用柴油机必须遵守交通部颁发的“钢质海船建造规范”一书的内容。

§ 1—2 柴油机设计的大致步骤和方法

由于柴油机结构复杂，设计中常常会有错误，有些错误往往要到装配，试车、甚至长期运转后才会发现，为了避免生产上的浪费和保证产品能达到予期的要求，根据我国许多单位