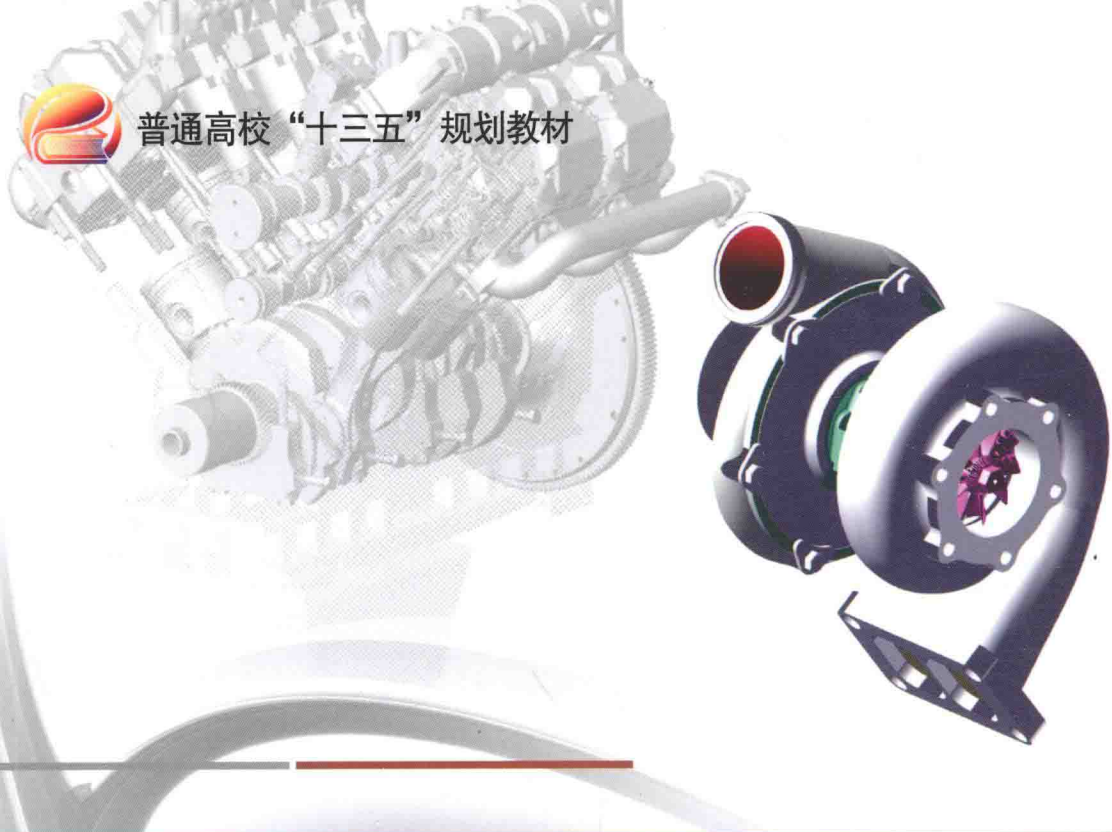




普通高校“十三五”规划教材



内燃机设计

NEIRANJI SHEJI

张翼 苏铁熊 主编



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十三五”规划教材

内燃机设计

张翼 苏铁熊 主编

北京航空航天大学出版社

内容简介

本书系统地阐述内燃机的设计过程和设计方法。全书共分12章,首先介绍内燃机的开发流程,然后从内燃机的工作情况、设计要求和设计指标入手,讲述内燃机的总体设计方法;通过曲柄连杆机构的受力分析,获取机构零部件运动状态和载荷,并阐述曲柄连杆机构零部件及机体组零部件的设计;讲述配气机构的形式、动力学分析方法及零件设计;介绍包括涡轮增压系统的进排气系、冷却系、润滑系和启动系统的选型设计。在系统和零部件的设计过程中,穿插介绍传统分析校核方法和现代分析校核方法。

本书可作为高等学校能源与动力工程专业内燃机方向的本科教材,也可供相关学科的同学及从事内燃机设计、生产的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

内燃机设计 / 张翼, 苏铁熊主编. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2016. 8

ISBN 978-7-5124-2227-8

I. ①内… II. ①张… ②苏… III. ①内燃机—设计
IV. ①TK402

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 200995 号

版权所有,侵权必究。

内燃机设计

张翼 苏铁熊 主编

责任编辑 张艳学

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1000 1/16 印张:18.25 字数:389千字

2016年8月第1版 2016年8月第1次印刷 印数:2000册

ISBN 978-7-5124-2227-8 定价:38.00元

前 言

作为一种高效、便捷的动力机械,内燃机在汽车、工程机械、船舶、农用机械、铁路机车和小型电站等领域被广泛应用。内燃机在人类活动中占有重要的位置,其保有量在动力机械中居于首位,特别是随着我国汽车工业的高速发展和各个行业对动力需求的增加,国内内燃机的需求量和相关的整机和零部件设计、生产需求大大增加,使其重要性更加突出。

本书根据能源与动力工程专业"内燃机设计"课程教学大纲的基本要求,结合近几年来内燃机行业的最新发展和 10 余年来的专业教学实践编写而成。内容包括内燃机的开发流程、设计要求与设计指标;内燃机的总体设计方法;曲柄连杆机构的受力分析;活塞组、连杆组、曲轴组与轴承、机体组零部件的设计;配气机构的形式、动力学分析方法及零件设计;进排气系与涡轮增压系统、冷却系、润滑系和启动系统的选型设计。内容的编排遵循"自顶向下"的设计规律,从"方案设计"到"详细设计"的设计思路入手,注重引导,讲述基本结构,兼顾结构的多样性。在结构设计的阐述中,编入了新结构,丰富了设计结构实例;在分析过程的阐述中,既介绍了传统的分析校核方法,又融入了新的现代设计理论、方法及手段,使本书在学生课堂学习和完成相关课程设计时具有较好的参考性。由于课时限制,内容概括性较强,进一步的深入学习和应用还需要参考设计手册和相关资料。

本书在编写过程中参考了大量的相关著作、教材和论文,在此向相关文献的作者表示真诚的感谢。

本书第 1 章、第 3 章由中北大学苏铁熊编写,其余章节由张翼编写,王英、范存黎参与了图表的收集与整理。

由于编者水平有限,书中可能存在疏漏和不足之处,衷心欢迎广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 内燃机的开发流程、设计要求与设计指标	1
1.1 内燃机的开发流程	1
1.1.1 产品规划阶段	1
1.1.2 样机方案设计和先期研究阶段	2
1.1.3 样机施工设计和试制阶段	3
1.1.4 投产阶段	3
1.2 内燃机的设计要求	3
1.2.1 车用内燃机的设计要求	4
1.2.2 船用内燃机的设计要求	4
1.2.3 工程机械内燃机的设计要求	5
1.2.4 农用内燃机的设计要求	5
1.3 内燃机的设计指标	6
1.3.1 动力性指标	6
1.3.2 经济性指标	8
1.3.3 结构紧凑性指标	10
1.3.4 运转性指标	11
1.3.5 适应性指标	12
1.3.6 强化指标	12
思考题	13
第 2 章 内燃机的总体设计	14
2.1 总体设计的任务与方法	14
2.2 内燃机的选型	16
2.2.1 汽油机、柴油机与多燃料内燃机	16
2.2.2 二冲程与四冲程内燃机	17
2.2.3 增压与非增压内燃机	18
2.2.4 风冷式与水冷式内燃机	19
2.2.5 气缸数及气缸排列形式	20
2.3 内燃机主要结构参数的选择	22
2.3.1 活塞行程 S 与气缸直径 D 的比值	23

2.3.2	曲柄半径 R 与连杆长度 L 的比值 λ	23
2.3.3	气缸中心距 L_0 与气缸直径 D 的比值	24
2.4	总体布置	24
	思考题	28
第3章	曲柄连杆机构受力分析	29
3.1	曲柄连杆机构运动学	29
3.1.1	中心式曲柄连杆机构运动学	29
3.1.2	主副连杆式曲柄连杆机构运动学	31
3.2	曲柄连杆机构中的作用力和力矩	35
3.2.1	曲柄连杆机构运动件的质量换算	35
3.2.2	中心曲柄连杆机构中的作用力和力矩	37
3.2.3	主副连杆式曲柄连杆机构中的作用力和力矩	41
	思考题	43
第4章	活塞组设计	44
4.1	活塞设计	45
4.1.1	活塞的基本结构	45
4.1.2	活塞材料及制造工艺	47
4.1.3	活塞各部位结构的确定	49
4.1.4	活塞的计算	60
4.2	活塞销设计	68
4.2.1	结构设计	68
4.2.2	材料与强化工艺	69
4.2.3	活塞销的计算	70
4.3	活塞环设计	72
4.3.1	活塞环的工作情况与设计的要求	72
4.3.2	活塞环的结构	73
4.3.3	活塞环的材料、表面处理及成形方法	78
4.3.4	活塞环强度计算	80
	思考题	80
第5章	连杆组设计	82
5.1	连杆的结构设计	83
5.1.1	连杆小头	83
5.1.2	连杆杆身	85

5.1.3	连杆大头	85
5.1.4	V形内燃机的连杆大头结构	87
5.1.5	连杆的毛坯成形与材料	88
5.2	连杆强度计算	88
5.2.1	采用公式计算	88
5.2.2	采用有限元法计算	92
5.3	连杆螺栓设计	96
5.3.1	基本结构与材料	96
5.3.2	连杆螺栓的载荷	96
5.3.3	连杆螺栓的直径和预紧	98
5.3.4	提高连杆螺栓疲劳强度的措施	98
5.3.5	连杆螺栓的校核	98
	思考题	99
第6章	曲轴组与轴承	100
6.1	曲轴的结构设计	101
6.1.1	曲拐单元结构	102
6.1.2	曲拐单元的排列与发火次序	106
6.1.3	曲轴的前后端与密封	109
6.1.4	曲轴的轴向止推	110
6.1.5	曲轴的平衡及平衡重	111
6.1.6	飞 轮	112
6.1.7	曲轴的材料	114
6.1.8	提高曲轴疲劳强度的工艺措施	115
6.2	曲轴的疲劳强度计算	116
6.2.1	采用公式计算	116
6.2.2	采用有限元法计算	122
6.3	曲轴滑动轴承设计	125
6.3.1	曲轴轴承的工作情况与设计要求	125
6.3.2	曲轴轴承的结构	125
6.3.3	曲轴轴承的材料	127
6.3.4	薄壁轴瓦过盈量的确定	128
6.3.5	轴承的轴心轨迹	130
	思考题	134

第 7 章 机体组	135
7.1 机体设计	135
7.1.1 工作情况与设计的要求	135
7.1.2 机体的结构设计	136
7.1.3 主轴承盖	146
7.1.4 机体支座	147
7.1.5 机体的材料	147
7.2 气缸套设计	148
7.2.1 工作情况与设计的要求	148
7.2.2 气缸套的结构设计	149
7.2.3 提高气缸套使用寿命的措施	153
7.2.4 气缸套的材料和表面处理	154
7.3 气缸盖设计	155
7.3.1 工作情况与设计的要求	155
7.3.2 气缸盖的结构设计	156
7.3.3 气缸盖的材料	168
7.4 气缸垫设计	168
7.4.1 工作情况与设计的要求	168
7.4.2 气缸垫的结构和材料	169
7.5 气缸盖罩和下曲轴箱设计	170
7.5.1 工作条件与设计的要求	170
7.5.2 基本结构和材料	171
7.6 机体组的计算	173
7.6.1 气缸套的校核估算	173
7.6.2 机体组的有限元计算	174
7.6.3 计算结果	178
思考题.....	179
第 8 章 配气机构与驱动机构	180
8.1 配气机构的形式	182
8.1.1 凸轮轴下置式配气机构	182
8.1.2 凸轮轴中置式配气机构	183
8.1.3 凸轮轴顶置式配气机构	183
8.2 凸轮型线设计	185
8.2.1 凸轮过渡段	186

8.2.2	圆弧凸轮工作段	188
8.2.3	复合摆线凸轮工作段	191
8.2.4	高次多项式凸轮工作段	193
8.2.5	凸轮的校核	195
8.3	配气机构动力学	196
8.3.1	刚体假设理论升程与实际升程	196
8.3.2	单质量动力学计算模型	197
8.3.3	原始数据的确定	198
8.3.4	计算及结果分析	201
8.3.5	多项动力凸轮	202
8.4	配气机构零件结构设计	202
8.4.1	气 门	202
8.4.2	气门座圈	205
8.4.3	气门导管	205
8.4.4	气门弹簧	206
8.4.5	凸轮轴	210
8.4.6	挺 柱	212
8.4.7	推 杆	215
8.4.8	摇 臂	216
8.4.9	可变配气机构	216
8.5	驱动机构	222
8.5.1	工作情况与设计要求	222
8.5.2	驱动机构结构	223
	思考题	226
第 9 章	进、排气系统与增压	227
9.1	进、排气系与增压器的布置	227
9.2	进、排气系主要部件的选择	230
9.2.1	空气滤清器	230
9.2.2	进气管	231
9.2.3	排气管	235
9.2.4	消声器	236
9.2.5	排气净化装置	237
9.3	增压系统	240
9.3.1	增压系统的形式	240
9.3.2	涡轮增压器	243

思考题	253
第 10 章 冷却系	254
10.1 冷却系的形式与布置	254
10.1.1 水冷系统	254
10.1.2 风冷系统	256
10.2 冷却系主要部件的选择与设计	258
10.2.1 水散热器	258
10.2.2 水泵	259
10.2.3 风扇	260
10.2.4 导流罩	262
10.2.5 冷却系温度调节装置	263
思考题	263
第 11 章 润滑系	264
11.1 润滑系的形式与布置	264
11.2 润滑系主要机件的选择与设计	268
11.2.1 机油泵	268
11.2.2 机油滤清器	269
11.2.3 机油散热器与机油恒温装置	270
11.2.4 储油量	270
思考题	271
第 12 章 启动系统	272
12.1 启动系形式的选择与设计参数	272
12.1.1 启动系的形式	272
12.1.2 启动系的设计参数	274
12.2 辅助启动装置	276
12.2.1 减小启动阻力矩的方法	276
12.2.2 改善启动工作条件的方法	277
思考题	278
参考文献	279

第1章 内燃机的开发流程、设计要求与设计指标

1.1 内燃机的开发流程

内燃机的种类和用途不同,其主要设计要求、设计指标及生产批量等也不相同,因此具体的设计过程也各不相同。对于全新设计的大批量生产内燃机,设计的过程大体分为产品规划阶段、样机方案设计和先期研究阶段、样机施工设计和试制阶段、投产阶段。这些阶段中的许多工作内容同样适用于小批量生产的内燃机设计和内燃机的改进设计。

1.1.1 产品规划阶段

产品规划要在集约信息、调研预测的基础上,识别社会的真正需求,进行可行性分析,完成市场调研报告和新产品研制生产可行性论证报告,拟定产品设计技术任务书,提出合理的设计要求和设计参数项目表。

集约信息是情报、设计、制造、销售到社会服务等所有业务部门的共同任务,要从市场、技术、社会环境、企业内部四个方面进行。调研预测要按科学的技术预测理论方法识别需求的可行性,应由所有业务部门组成的并行设计组 and 用户共同完成。

1) 市场调研 调查用户、同行和外购材料供应等,了解用户需求、市场购买力、品种规格、新老产品情况、市场满足率、产品寿命周期、竞争对手情况、相关原材料和元器件的供应情况等,广泛听取他们对内燃机的性能、操纵使用、维护保养等方面的意见、经验和要求等。

2) 技术调研 广泛收集国内外现有产品的技术指标、结构方案、系列、使用情况、存在的问题和解决方案等;收集有关的新材料、新工艺、新技术的发展水平、动态与趋势;收集适用的相关科技成果、标准、法规、专利和情报,必要时可选择适当内燃机作为设计原准机。

3) 社会环境调研 了解国家的计划与政策、产品使用环境、用户的社会心理与需求等。

4) 企业内部调研 包括开发能力的调查,如:各级管理人员的素质与管理方法,已开发产品的水平与经验教训,技术人员的开发能力,开发的组织管理方法与经验教训,掌握情报资料的能力和手段,情报、试验研究、设计人员的素质与数量等;生产能力的调查,如:制造工艺水平、设备能力、生产协作能力等;供应能力的调查,如:供货

条件的能力,选择材料、外购件和协作单位的能力等;销售能力的调查,如:开辟市场的能力与经验,服务用户的能力,信息收集的能力等。这些能力的提升能使新产品设计更符合企业实际。

在调查研究的基础上,确定产品需求,完成市场调研报告和新产品生产可行性论证报告,拟定产品设计技术任务书。技术任务书一般要包括以下内容:

- ① 产品设计的目的、主要用途和适用范围;
- ② 产品的主要技术指标和经济指标;
- ③ 内燃机系列化情况和进一步强化的可能性;
- ④ 新产品与国内外同类先进产品主要指标的比较和分析;
- ⑤ 产品的经济效益分析;
- ⑥ 进度计划与经费等。

设计一种具有先进水平的系列化内燃机一般要 3~10 年,所以在拟定技术任务书时应考虑到这段时间里国内外内燃机的发展动向,并使新内燃机的指标留有进一步提高的余地,以保持其先进性和发展潜力,同时要考虑系列化与变型的可能性以扩大其用途。

1.1.2 样机方案设计和先期研究阶段

技术任务书通过审批后,即可开始进行样机总体方案设计工作。

总体方案设计包括内燃机的选型、主要结构参数的估算与选择以及主要工作系统的总体布置,初步完成内燃机的热力学、动力学计算,完成曲柄连杆机构零件和机体、缸盖等主要零件的设计方案,完成辅助系统的初步选型与布置,绘制出内燃机纵、横剖面图和外形图,编制各主要零部件和系统的设计技术任务书。在总体方案设计时,应同时进行实用化设计和商品化设计,通常要拟定多种方案,得到若干个结构和外观方案,经过必要的原理试验,通过评价与决策,得到最优结构方案和外观方案,最后完成的图纸所表示的是最优结构方案和最优外观方案统一的新产品。在此基础上绘制系列产品和各种变型产品的总布置图,以便统一考虑产品的系列化和变型等问题。

先期研究工作的目的是:充分利用各种手段进行相互校核,提高研究的准确性,迅速而经济地进行多方案比较,避免在多缸内燃机上进行研究时带来的调整困难,避免由于个别零件的损坏引起的整机故障,使内燃机达到预定指标。先期研究工作中需要进行发动机的工作性能研究和主要零部件的设计,可以采用计算机仿真和单缸机试验等技术。

在设计的单缸试验机上,可以进行下面几项试验研究工作:

- ① 工作过程试验,包括燃油系统、燃烧室、进排气道、配气机构等参数的调整和压缩比试验。
- ② 增压模拟试验。

- ③ 二冲程内燃机的扫气系统试验。
- ④ 主要零部件的温度场和应力测量。
- ⑤ 主要零部件机械负荷、热负荷的可靠性和耐久性试验。

通过先期研究工作,可最后确定零部件的最佳结构方案,以及工作过程有关参数的最佳调整范围,使内燃机达到预定的指标。

1.1.3 样机施工设计和试制阶段

样机的施工设计是把样机方案设计和先期研究的结果变成施工的技术文件。通过主要零部件的先期研究与单缸试验机的先期试验研究,基本上确定了燃烧室、进气道、燃油系统、配气机构等的各项参数,以及主要零部件的结构和尺寸,然后修改原来的总体方案,进行样机的施工设计。主要内容包括:全部零件的工程图、毛坯设计图、部件的装配图;全部零件的设计和工艺文件;制定内燃机整机及各部件的试验方法、技术条件等;制定整机的安装、使用及维护保养技术条件。

样机试制在样机施工设计完成后进行。通过样机试制考核结构的工艺性及设计的正确性,及时发现存在的问题。通常要对若干台样机进行性能试验、可靠性试验、耐久性试验以及配套试验等,以考核所生产的内燃机的各项指标是否达到技术任务书中规定的要求。如达不到预期指标或出现故障,应提出相应的改进方案,直到样机达到规定的设计指标。新产品通过耐久性试验后,可以生产一定数量的样机提供给用户进行扩大试验,以考虑在用户使用条件下内燃机的可靠性和动力指标的稳定性。

1.1.4 投产阶段

在扩大用户使用试验中证实了样机达到设计指标后,设计单位即可将完备的设计试制资料、生产图纸和技术文件进行归纳、整理与审查鉴定,经有关部门批准后,该内燃机即可投入小批量生产,由此检验产品设计的工艺性及工艺装备的性能,然后可转入大批量生产。

此后,设计人员还应不断地对内燃机在使用中所暴露出来的问题进行调查研究,并从结构、材料和工艺等方面不断加以改进。

1.2 内燃机的设计要求

内燃机的设计应该满足使用和制造方面的一系列要求。这些要求是:动力性能满足使用要求;燃油及机油消耗率要低;工作应安全可靠,寿命要长;外形尺寸要小,质量应轻;工作适应性好,启动应迅速可靠,使用维修简便;排放污染小,噪声小;工艺性好,制造方便;造价低廉等。事实上,一台内燃机要满足上述所有要求是很困难的,因为其中有些要求是相互矛盾的。例如,要求内燃机质量轻,就与要求内燃机使用寿命长是有矛盾的。因为要内燃机质量轻,必须提高内燃机的工作强度,这样必然加速

了零件的磨损,降低了使用寿命。又如,为了设计质量轻的内燃机,就必须采用优质材料及提高制造精度,这样就增加了制造成本,提高了造价。同时随着内燃机具体用途的不同,这些要求的重要性也不相同。因此,必须根据内燃机的具体用途,在保证主要设计要求的前提下,尽量满足其他要求。下面分别讨论对于车用、船用、工程机械用及农用内燃机的主要设计要求。

1.2.1 车用内燃机的设计要求

车辆性能的好坏,在很大程度上取决于内燃机的性能。汽车内燃机经常需要在较大的范围内变速和变负荷,并且启动和加速频繁。因此,在要求具有良好的动力性能的前提下,启动应迅速可靠。为了增大汽车车厢内体积的利用率,要求内燃机的外廓尺寸和质量尽可能小。由于除小轿车外的一般汽车是长期工作的,为了考虑运转的经济性,必须考虑包括初次成本、燃油和机油支出、保养、配件、修理、折旧等一切费用的整个使用寿命的总支出。其中燃油支出项目最大,其次是维修费用,最小的项目是内燃机的制造成本。因此,对汽车内燃机来说不能片面追求造价低,必须尽可能降低各种负荷下的燃油消耗率,提高可靠性,降低维修费用,在边远地区行驶的汽车,其内燃机可靠性的要求尤为重要。经常在城市行驶的公共汽车、小轿车以及小型载重汽车等,则对内燃机的振动、噪声、排放污染等要求较高。另外,对汽车内燃机的使用寿命要求尽量长,零部件结构的工艺性要好,制造应方便,并适于大量生产。

对于城市公共汽车内燃机的设计首先应节省燃料,可靠性高,维修简便,有害排放少,振动和噪声小;其次应质量轻、体积小,寿命长;然后应考虑制造成本。对于长途客货车内燃机的设计首先应省燃料,可靠性高,维修简便;其次应质量轻,体积小,寿命长,有害排放物少,振动和噪声小;然后应考虑制造成本。对于轿车内燃机的设计首先应变工况范围宽、有害排放少,振动噪声小,可靠性高,维修简便,制造成本低;其次应省油,重量轻,体积小;然后应考虑寿命长。对于拖拉机内燃机,由于经常在大负荷下工作,而且常短期超载,经常在野外流动作业,环境条件较差,因此对它的设计首先应具有一定的功率储备,结构刚度大,耐振动,能防水,防尘;其次应燃料和机油消耗率小、所油料价格低,操作维修简便,使用寿命长;然后应考虑结构上适于大量生产、制造费用低。对于摩托车内燃机的设计首先应质量轻,体积小,制造成本低;其次应噪声小,有害排放物少,可靠性高,维修简便;然后应考虑省油,寿命长,振动小。

对于其他用途的越野车辆内燃机,除了应具有良好的动力性、体积小、质量轻、燃油及机油的消耗率低外,一般要求在前后倾斜 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 、侧向倾斜 20° 的条件下能正常使用,高寒地带工作的发动机应能在 -40°C 的情况下良好启动,高温环境工作的发动机应能在 40°C 的情况下良好工作,在高原、沙漠环境下应有专用机型。

1.2.2 船用内燃机的设计要求

船用内燃机是轮船的动力保障,其可靠性和寿命至关重要。一般,高速机(转速在

1 000 r/min 以上)的寿命应达到 10 000~25 000 h,中速机(转速在 300~1 000 r/min)的寿命应达到 20 000~50 000 h,低速机(转速在 300 r/min 以下)的寿命应达到 50 000~100 000 h;经济性好;质量、体积小,便于维修;启动方便;曲轴可直接反转的内燃机,其换向时间不大于 15 s,台架上测得的倒车功率不小于正车功率的 75%;曲轴回转不均匀度低,常用转速范围内无禁区;在船舶纵、横摇摆条件下能正常运转。

对舰用内燃机,最重要的要求就是运转可靠,生命力强;具有抗冲击能力;振动、噪声小;排气中的火花、热量少。其中,对于登陆舰用内燃机,要求其最低稳定转速小,倒车功率大;对于扫雷舰用内燃机,要求其能在最低转速和最低负荷下稳定运转,内燃机的磁场强度小,超负荷能力大,振动和噪声小;对于潜艇用内燃机,要求其能在一定的真空度与背压环境下运转并发出要求的功率,能适应航行、充电等多种工作要求,内燃机功率范围宽广;对于快艇用内燃机,要求其功率大,且内燃机的功率特性能适应滑艇或水翼艇的推进特性,比质量小,常用强载度大的高速强载型大功率柴油机,加速性好;对于渔船用内燃机,要求其能燃用劣质燃料,能一机多用,在自由端有功率输出装置,以驱动起重机、起网机、发电机、空压机、水泵等,能在最大倾斜度下工作,有较小的最低稳定转速;对于拖船用内燃机,要求其能在航速不变时,推进轴转矩随着拖载的增加而增加;对于船舶电站用内燃机,要求其转速波动小,回转不均匀度通常要求为直流发电 1/100~1/150,交流发电 1/150~1/300,有负荷限制装置,能适应并车运行,保持稳定的转速与负荷分配。

1.2.3 工程机械内燃机的设计要求

工程机械种类繁多,通常分为挖掘机械、铲土运输机械、工程起重机械、压实机械、钢筋混凝土机械、路面机械、凿岩机械及风动机械等 8 类。这些机械使用地域广阔,气候差异甚大,使用条件随着配套的机械各有不同。对于工作环境恶劣、承受冲击力和急剧的变速、变负荷以及经常超负荷下工作的挖掘机械、铲土运输机械等,一般采用专门设计的内燃机,对于其他工作条件较好的压路机等工程机械,多数可将汽车、拖拉机内燃机经变型后使用。

对专用的工程机械内燃机的主要要求,除了与拖拉机内燃机相同的要求之外,还要求能够在斜坡上安全作业,在寒带工作应能保证启动,在热带工作应不产生过热,并能适应高原工作。在城市作业,特别是在坑道作业的工程机械的内燃机,还要求其排放污染少,噪声小。

1.2.4 农用内燃机的设计要求

农用内燃机的用途广泛,常与排灌机械(水泵、喷灌机、深井泵)、水田作业机械(插秧机、拔秧机、机耕船)、田间作业机械(收割机、播种机、联合收割机)、农副产品加工机械(饲料粉碎机、碾米机、磨面机)、植保机械(喷粉机、喷雾机)、场上作业机械(脱

粒机、扬场机)以及农田基本建设机械(开沟机、打井机)等配套使用。除了与农副产品加工机械配套使用的内燃机以及一些与深井泵配套使用的内燃机在室内使用外,与其他农用机械配套的内燃机大多在扬尘、雨淋、日晒或泥水冲溅等恶劣条件下工作,有些是在负荷经常变化,甚至经常短期超负荷下工作。因此,农用内燃机的主要设计要求也随着配套机械的不同而不同。一般要求是:结构简单,使用维修方便,适合农村使用条件;造价低廉,使用寿命长,燃油及机油消耗率低,并能使用低质燃料以降低使用成本;机体刚性好,外露部件应紧固牢靠,以防止在频繁移动中碰撞损坏;对于在灰尘大的条件下使用的农用内燃机,要求有高效率的滤清器;对于经常短期超载情况下使用的农用内燃机,要有一定的功率储备。

因此,各种内燃机有共同的设计要求,也有各自不同的主要设计要求,在设计时既要考虑共同的设计要求,也要根据所设计内燃机的具体用途考虑其不同的要求。

1.3 内燃机的设计指标

内燃机的主要设计指标通常有下列几项。

1.3.1 动力性指标

内燃机的动力性指标是表征内燃机做功能力大小的指标,一般用内燃机的标定功率、标定转速、转矩、活塞平均速度和平均有效压力等表征,这些指标是根据使用要求而确定的。

1. 标定功率

根据内燃机的特性、用途和使用特点而确定的有效功率的最大使用界限叫做内燃机的标定功率。根据我国国家标准规定,标定功率分为下述4种,在给定标定功率的同时,必须给出其相应的标定转速。

1) 十五分钟功率 指内燃机允许连续运转15 min的最大有效功率。适用于需要有短时良好的超负荷和加速性能的汽车、摩托车、快艇等用途的内燃机功率标定。

2) 一小时功率 指内燃机允许连续运转1 h的最大有效功率。适用于需要一定功率储备以克服突增负荷的工程机械、重型汽车、内燃机车及船舶等内燃机的功率标定。

3) 十二小时功率 指内燃机允许连续运转12 h的最大有效功率。适用于需要在12 h内连续运转而又需要充分发挥功率的拖拉机、工程机械、铁道牵引及内河船舶等内燃机的功率标定。

4) 持续功率 指内燃机允许长期连续运转的最大有效功率。适用于需要长期持续运转的排灌机械、电站、内燃机车、远洋船舶内燃机的功率标定。

由此,汽车内燃机功率是按照十五分钟功率标定,工程机械内燃机功率是按照一

小时功率或十二小时功率标定,拖拉机用柴油机功率是按照十二小时功率标定,而农用内燃机则随具体配套机械的不同,按照十二小时功率或持续功率标定。

现代汽车内燃机,为了满足在较大的范围内变速、变负荷以及要求具备良好的加速性,一般汽车吨功率为4~90 kW,其中总重大于20 t的重型货车,自卸车吨功率一般为4~7 kW;而汽车总重为5~19 t的中型货车吨功率一般为7~13 kW;汽车总重小于4 t的轻型货车吨功率一般为10~22 kW,有的轻型货车达50 kW;轿车吨功率可高达50~90 kW。汽车内燃机的标定功率一般在15~370 kW,个别矿山用载重汽车内燃机的标定功率达到900 kW以上。

2. 标定转速和活塞平均速度

标定转速 n 是内燃机在标定功率时的转速;活塞平均速度 c_m 是内燃机在标定功率时的活塞平均速度。即

$$c_m = \frac{sn}{30} \times 10^{-3}$$

式中, s 为活塞冲程,mm; n 为发动机转速,r/min, C_m 单位应为m/s。

提高内燃机的标定转速与活塞平均速度是提高内燃机单位体积功率的有效措施之一。但是随着转速提高,运动件的惯性力提高,内燃机零件的机械负荷加大;活塞、缸盖等燃烧室承热零件的工作循环次数增加,使零件的热负荷加剧;活塞平均速度增加,使得活塞环和气缸套等零件的磨损加剧,内燃机摩擦损失功增加,机械效率下降;内燃机的振动问题突出,噪声加大;进排气阻力增加,使充气系数下降。因此,在结构设计时经常采用短冲程以提高转速,使活塞平均速度在不至于过高的情况下来提高内燃机的单位体积功率。

汽车与拖拉机柴油机的转速为1 500~4 000 r/min,汽油机的转速为2 500~6 000 r/min;工程机械柴油机的转速为1 500~2 800 r/min,汽油机的转速为2 000~3 600 r/min;摩托车用汽油机的转速为3 000~6 000 r/min;中型以上农用动力用柴油机的转速为1 200~3 000 r/min,汽油机的转速为1 500~4 000 r/min;高速船舶用柴油机的转速为1 000~3 000 r/min,汽油机的转速为1 500~2 500 r/min;中速船舶用柴油机的转速为300~850 r/min;发电机组用内燃机转速受电网频率和磁极对数影响,其关系式为内燃机转速 $n=60 \times$ 电网频率/发电机磁极对数 r/min,在我国电网频率为50 Hz,内燃机转速应为(3 000/发电机磁极对数)r/min。低速内燃机的活塞平均速度一般为4~6 m/s;中速内燃机的活塞平均速度一般为6~9 m/s;高速内燃机的活塞平均速度一般为9~15 m/s。

3. 平均有效压力

内燃机在标定功率时的平均有效压力是表示内燃机整个工作过程完善性和热力过程强烈程度的重要参数之一。它决定于燃烧室形式、混合气形成的方法、燃料的种类、混合气形成的过程、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内燃机的冷却方式与冲程数等。提高平均有效压力是目前提高内燃机单位体积功率