

工程机械设计与维修丛书

内燃机

高秀华 郭建华 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

工程机械设计与维修丛书

内 燃 机

高秀华 郭建华 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

内 容 提 要

本书是《工程机械设计与维修丛书》之一。

全书共分 8 章。第 1 章扼要阐述了现代工程机械用内燃机的发展趋势, 内燃机的分类与型号; 第 2 章介绍了内燃机的基本名词和术语、工作原理以及性能指标; 第 3 章详细描述了内燃机的结构、特性以及其与工程机械的匹配等问题; 第 4 章~第 6 章为内燃机的设计与现代设计方法在内燃机技术中的应用; 第 7 章和第 8 章讲述了内燃机故障诊断、故障检测、故障排除的方法及其维护与检修措施等。

本书的特点为: 结构完整, 重点突出; 内容新颖, 通俗易懂; 理论与实践相结合。

本书可供从事工程机械、建筑机械及港口运输机械等的设计研究人员、管理人员、检修维护人员及相关专业的专科生、本科生、研究生和教师使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

内燃机/高秀华, 郭建华编著. —北京: 化学工业出版社, 2005.9

(工程机械设计与维修丛书)

ISBN 7-5025-7670-3

I. 内… II. ①高…②郭… III. ①内燃机-机械设计
②内燃机-机械维修 IV. TK40

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 109371 号

工程机械设计与维修丛书

内 燃 机

高秀华 郭建华 编著

责任编辑: 任文斗

文字编辑: 宋 薇

责任校对: 陶燕华

封面设计: 尹琳琳

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行

工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 22¼ 字数 547 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7670-3

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《工程机械设计与维修丛书》编辑委员会

主 任 高秀华

副主任 王国强 左春桧

委 员	高秀华	王国强	左春桧	马文星	秦四成
	成 凯	王力群	孔德文	赵克利	王智明
	杨占敏	黄大巍	于国飞	杨立夫	周贤彪
	夏禹武	唐向阳	张 鸿	贡凯军	马伟东
	林树才	周彩南	丁树奎	史先信	马 铸
	朱振东	徐 刚	支开印	马喜林	胡加辉
	李 风	邓洪超	王 昕	李国忠	王云超
	郭建华	杨文志	王妍静	张春秋	燕学智

序

近年来,在国家宏观调控政策的影响下,我国工程机械产业进入了加速增长阶段,呈现出前所未有的繁荣态势。工程机械装备已经成为我国国民经济发展的支柱产业之一,占据世界工程机械总量第七位。随着国家西部大开发战略的实施,南水北调工程、西电东送工程、青藏铁路工程的启动,迎接北京 2008 年奥运会的基础设施及场馆建设、推进乡镇农村经济发展、上海黄浦江两岸开发及世博场馆的投入、振兴东北老工业基地等众多国家发展战略的实施,都为国内工程机械产品市场的发展提供了良好的空间,同时也必将有力地拉动相关产业的发展。

据介绍,亚洲其他国家、拉丁美洲和非洲的一些国家最近也相继出台了大规模扩大公路及其他公共设施建设的项目计划,这无疑对工程机械的需求将大幅度增加,也为我国工程机械发展全球市场策略提供了最具竞争力的契机。

从 20 世纪后期开始,国际上工程机械装备的生产注重向大型化、微型化、多功能化、专用化和智能化的方向发展。德国、美国和日本当属工程机械强国,利勃海尔公司(德国)、卡特彼勒公司(美国)、沃尔沃集团(瑞典)、小松制作所(日本)等公司的产品以设计先进、安全可靠、使用寿命长而著称。

我国工程机械行业几经洗礼和经过业内人员的不懈努力,在国际市场上充分显示了强大的生命力。在我国工业化发展进程中,工程机械行业已经由初始发展阶段逐渐走向成熟时期。一些主导产品的研发、设计和制造水平都有相当程度的提高,某些产品质量也达到了用户认可的水平。同时,由于其产品价格相对低廉,在国际市场上具有一定的竞争力。在国内市场处于激烈的成本-价格、质量-规模竞争的形势下,中小型国产工程机械产品在我国显现出了强大的市场占有潜力。但是国际经济市场的变化无时无刻不在冲击着现有的市场份额,市场的占有份额又无时无刻不在重新组合。我国的工程机械行业如何能够继续发展、如何能够尽快提升到我国工业化的第三阶段——强壮期阶段,即无论是对产品的研究、开发、生产以及产品的综合质量和售后服务都进入国际先进行列等问题,都需要认真加以思考。

现在,我国工程机械行业的发展已经有了很好的基础,产品门类,生产规模,大、中、小企业构架和发展环境都比较好,但同国际先进的工程机械制造厂家相比差距还比较大,主要表现在产品的可靠性、使用寿命、绿色工程设计、高新技术的创新应用以及管理模式上。相对而言,我国自主开发能力还比较薄弱,有自主知识产权的产品技术较少,新产品的关键技术大部分还依赖于引进国外技术;另一方面对国外先进技术的消化、吸收、创新不足。其次,对市场反映速度慢,产品更新周期较长。而美国一些机械企业 1990 年已做到了三个“3”,即产品的生命周期为 3 年,产品的试制周期为 3 个月,产品的设计周期为 3 个星期。我国工程机械的规格还有空缺。以上事实表明:中国工程机械市场虽然仍可保持持续增长的势头,但是中国工程机械行业的技术发展仍然任重道远。

为促进工程机械技术的发展,弥补技术图书的匮乏和不足,化学工业出版社邀请吉林大学机械科学与工程学院组织编写了《工程机械设计与维修丛书》,共 16 本,包括《内燃机》、《液压与液力传动系统》、《电器、电子控制与安全系统》、《底盘结构与设计》、《金属结构》、《人机工程与造型设计》、《现代设计技术》、《液压挖掘机》、《轮式装载机》、《斗轮堆取料机》、《推土机与平地机》、《钻孔与非开挖机械》、《振动压路机》、《现代起重运输机械》、《特种车辆》、《商品混凝土成套设备》。丛书的编写者结合多年的教学、科研、生产及管理的经验,努力将传统的经典理论和现代设计方法结合起来,注重介绍工程机械发展中的新理念、新设计方法、新技术、新工艺和新材料。

《工程机械设计与维修丛书》所有编写工作人员在此对鼓励、支持、帮助过我们的领导、同事、同行、朋友等表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中纰漏与错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

《工程机械设计与维修丛书》编辑委员会

前 言

工程机械是我国目前国民经济三大支柱产业之一。工程机械种类繁多,应用十分广泛。随着全球市场国际化的飞跃,工程机械发展迅猛异常,新的理念、新的技术、新的工艺、新的材料不断给予工程机械新的生命力,因而工程机械行业的工程技术人员随之面临着新的挑战 and 考验。

工程机械配套用动力内燃机,无论在结构、性能和设计上,都具有特殊的要求。随着工程机械的发展,这种特殊要求越来越明显,本书正是为了适应这种需要而编写的,旨在希望能够为我国工程机械行业的发展有所增益,希望以此弥补当前工程机械类图书匮乏的现状。

本书是《工程机械设计与维修丛书》之一。

书中结合多年教学经验与科研成果,以模块的形式分别介绍了工程机械用内燃机的工作原理,内燃机的结构特点,内燃机的设计方法以及检测和维护技术。其特点为:结构完整,重点突出,内容新颖,通俗易懂,理论与实践相结合,适用面广。

全书共分8章。第1章扼要阐述了现代工程机械用内燃机的发展趋势,内燃机的分类与型号;第2章介绍了内燃机的基本名词和术语、工作原理以及内燃机的性能指标;第3章详细描述了内燃机的结构、内燃机的特性以及内燃机与工程机械的匹配等问题;第4~6章为内燃机的设计与现代设计方法在内燃机技术中的应用;第7章和第8章讲述了内燃机故障诊断、故障检测以及故障排除的方法,内燃机的维护与检修措施等。

全书由高秀华、郭建华、王雪、韩佳伟、李炎亮等编著,参加编写工作的还有黄大巍、王云超、张春秋、张永智、周桂红、丁德胜等。全书由马利军主审。

本书在编写的过程中得到了各界同仁和朋友的大力支持、鼓励和帮助,并参阅了有关公开出版的书籍和文章、生产厂家及公司的相关资料,在此一并表示感谢!

书中纰漏与错误之处在所难免,敬请各位读者批评指正。

作 者

2005年7月于吉林大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 现代内燃机的发展概况	1
1.2 工程机械内燃机的发展趋势	1
1.2.1 工程机械上使用的内燃机	1
1.2.2 工程机械内燃机的发展趋势	2
1.3 内燃机的分类与型号	3
1.3.1 内燃机的分类	3
1.3.2 内燃机产品的型号编制规则	4
第 2 章 内燃机的工作原理	6
2.1 内燃机的基本工作原理	6
2.1.1 内燃机的基本名词和术语	6
2.1.2 四冲程内燃机的工作原理	7
2.1.3 二冲程内燃机的工作原理	9
2.2 内燃机的性能指标	12
2.2.1 指示指标	12
2.2.2 有效指标	14
2.3 内燃机的增压	17
2.3.1 内燃机增压的基本概念	17
2.3.2 废气涡轮增压器	20
第 3 章 内燃机的结构	21
3.1 内燃机的总体构造	21
3.2 内燃机曲柄连杆机构	24
3.2.1 活塞连杆组	24
3.2.2 曲轴飞轮组	34
3.2.3 机体组件	38
3.3 内燃机的配气机构	43
3.3.1 配气机构的功用	43
3.3.2 配气机构的类型	43
3.3.3 配气机构的主要零件	43
3.3.4 气门间隙	49
3.3.5 进、排气系统	49
3.4 柴油机的燃油供给系统	51
3.4.1 柴油机燃油供给系统的功用和组成	51
3.4.2 喷油泵	51
3.4.3 喷油器	57

3.4.4	调速器	58
3.4.5	柴油机燃油供给系统的辅助设备	65
3.4.6	P-T 燃油供给系统	67
3.4.7	电控柴油喷射系统	71
3.5	汽油机的燃油供给系统	73
3.5.1	化油器式燃油供给系统	73
3.5.2	汽油喷射式燃油供给系统	80
3.6	内燃机的特性与匹配	83
3.6.1	内燃机的特性	84
3.6.2	内燃机的匹配	95
3.7	内燃机的润滑系统	100
3.7.1	润滑系统的功用	100
3.7.2	润滑油	101
3.7.3	润滑方式	101
3.7.4	润滑系统的组成	101
3.7.5	润滑系统的主要部件	102
3.7.6	曲轴箱通风	106
3.8	内燃机的冷却系统	107
3.8.1	冷却系统的功用及冷却方式	107
3.8.2	水冷却系统	108
3.8.3	风冷却系统	111
3.9	内燃机的启动系统	112
3.9.1	内燃机的启动	112
3.9.2	内燃机的启动方式	112
3.9.3	柴油机的启动辅助设备	114
3.10	点火系统	116
3.10.1	电源设备	116
3.10.2	典型触点点火系统	118
3.10.3	无触点点火系统	119
第4章	内燃机设计总论	121
4.1	内燃机设计要求、设计指标与设计过程	121
4.1.1	工程机械内燃机设计要求	121
4.1.2	内燃机主要设计指标	121
4.1.3	内燃机的设计过程	124
4.2	内燃机的总体设计	126
4.2.1	内燃机的选型	126
4.2.2	内燃机主要结构参数选择	126
4.2.3	活塞行程 S 与气缸直径 D 的比值	126
4.2.4	内燃机总体布置	128
4.3	现代设计理论及方法在内燃机设计上的应用	129

4.3.1	CAD/CAE 技术	129
4.3.2	可靠性设计	131
4.3.3	专家系统	131
第 5 章	内燃机动力学	132
5.1	曲柄连杆机构受力分析	132
5.1.1	曲柄连杆机构运动学	132
5.1.2	曲柄连杆机构中的作用力	136
5.2	内燃机的平衡	150
5.2.1	概述	150
5.2.2	单缸内燃机的平衡	151
5.2.3	单列式多缸内燃机的平衡	154
5.2.4	V 形内燃机的平衡	156
5.3	曲轴系统的扭转振动	164
5.3.1	概述	164
5.3.2	曲轴扭振系统当量模型的建立	165
5.3.3	固有频率和固有振型的计算	168
5.3.4	临界转速的计算	170
第 6 章	内燃机主要零部件设计	173
6.1	活塞组	173
6.1.1	活塞组的载荷及设计要求	173
6.1.2	活塞设计及计算	175
6.1.3	活塞销设计及计算	181
6.1.4	活塞环设计及计算	182
6.2	连杆组	186
6.2.1	连杆组设计	186
6.2.2	连杆螺栓	187
6.2.3	连杆强度计算	189
6.2.4	利用有限元法进行连杆强度计算	196
6.3	曲轴与轴承	202
6.3.1	曲轴组设计	202
6.3.2	曲轴的疲劳强度计算	204
6.3.3	利用有限元法进行曲轴强度计算	208
6.3.4	曲轴轴承设计	210
6.4	固定件	214
6.4.1	固定件的工作情况与设计要点	214
6.4.2	固定件的计算	223
6.5	配气机构	228
6.5.1	配气机构的工作情况与设计要点	228
6.5.2	凸轮机构运动学与凸轮外形设计	229
6.5.3	配气机构主要零件设计要点	234

6.6 内燃机辅助系统设计	240
6.6.1 润滑系统设计	240
6.6.2 冷却系统设计	245
6.6.3 启动系统设计	249
第7章 内燃机故障诊断、检测及排除	252
7.1 传统故障诊断方法	252
7.1.1 各种仪器在内燃机故障诊断中的应用	252
7.1.2 内燃机故障人工判断法	253
7.2 现代故障诊断方法	254
7.2.1 内燃机运行故障诊断专家系统	254
7.2.2 基于神经网络法	256
7.2.3 基于小波包分析诊断法	258
7.3 柴油机故障的诊断、检测及排除	259
7.3.1 柴油机故障产生的原因及诊断方法	260
7.3.2 柴油机故障的诊断原则	262
7.3.3 柴油机故障的分类	263
7.3.4 柴油机燃料系统故障的诊断、检测及排除	263
7.3.5 柴油机冷却系统故障诊断、检测及排除	267
7.3.6 柴油机润滑系统故障的诊断、检测及排除	270
7.3.7 柴油机常见故障的预防	275
7.4 汽油机故障诊断、检测及排除	277
7.4.1 汽油机点火系统故障诊断检测及排除	277
7.4.2 汽油机燃料系统故障检测及排除	282
7.4.3 汽油机常见故障的预防	287
第8章 内燃机的维护与修理	292
8.1 内燃机的维护与保养	292
8.1.1 柴油机的维护与保养	292
8.1.2 汽油机的维护与保养	298
8.2 内燃机的修理类别	301
8.3 大修的内容及工艺过程	301
8.4 内燃机的解体	302
8.4.1 解体修理的条件	302
8.4.2 解体过程中的技术要求及注意事项	303
8.4.3 解体的步骤及方法	304
8.5 零件清洗	305
8.6 气缸体与气缸套的修理	309
8.6.1 气缸体的缺陷及修理	309
8.6.2 气缸套的修理	309
8.7 曲轴、轴承及飞轮组的修理	312
8.7.1 曲轴的修理	312

8.7.2 轴承的修理	317
8.7.3 飞轮组的修理	318
8.8 活塞连杆组的修理	318
8.8.1 活塞主要零件的缺陷与修理	319
8.8.2 连杆组的缺陷与修理	321
8.9 配气机构的修理	323
8.9.1 气门组件的修理	323
8.9.2 气门挺杆及其导孔的修理	325
8.9.3 凸轮、凸轮轴及其轴承的检测与修理	328
8.9.4 凸轮轴正时齿轮的检测与修理	329
8.9.5 气门摇臂及摇臂轴的修理	331
8.10 燃油供给系统的修理	332
8.10.1 柱塞副的磨损与修理	332
8.10.2 出油阀偶件的磨损及修理	333
8.10.3 喷油器的修理	334
8.11 进、排气系统的修理	335
8.11.1 消声器的检测及修理	335
8.11.2 进、排气歧管的检测及修理	335
8.11.3 空气滤清器的检测及修理	335
8.12 冷却系统的修理	336
8.12.1 散热器的检修	336
8.12.2 节温器的检修	337
8.12.3 水泵的检修	337
8.13 润滑系统的修理	338
8.13.1 滤清器的修理	338
8.13.2 曲轴前后油封的修理	339
8.13.3 机油泵的修理	339
8.14 电气设备的修理	340
8.14.1 发电机的故障、检验与修理	340
8.14.2 调解器的检验与修理	341
8.14.3 蓄电池的缺陷与修理	342
参考文献	343

第 1 章 绪 论

1.1 现代内燃机的发展概况

在人类的生活和生产活动中,应用最为广泛的动力机械是热力机械,简称热机。热机是将燃料中的化学能转化为机械功的原动机械。热机又可分为外燃机和内燃机。外燃机是将燃料置于动力机械以外的专用设备(如锅炉等)中燃烧,并借助于工质(如蒸汽等)等状态变化实现做功,如蒸汽机、蒸汽轮机等;相对于外燃机,内燃机则是使燃料直接在机械内部燃烧并借助工质(燃气)的状态变化实现做功,如汽油机、柴油机、燃气轮机和喷气式发动机等都属于内燃机。本书所介绍的主要是工程机械上经常使用的内燃机:汽油机和柴油机。

1876年,德国人奥托在蒸汽机的基础上研制成了实用的单缸四冲程卧式煤气机。压缩比只有2.5左右,热效率为12%~14%,该机运行平稳,近于完善,在中小企业中得到广泛应用。

1883年,司派尔在奥托煤气机的基础上发明了汽油机。汽油机的优点是质量轻、价格低,启动和使用方便等。现代汽油机最高转速可达12000r/min,已成为公路车辆的主要动力装置。

柴油机的发明者是德国工程师鲁道夫·迪塞尔,他于1897年左右首先制成了柴油机,即向气缸内充入空气,并将其压缩到温度高于燃料的自燃点,随后将燃料喷入气缸内自燃并推动活塞做功。目前,柴油机的发展日趋完善,广泛用于工业、农业、交通运输及国防各个领域,现代工程机械也多以柴油机为动力源。

1926年,瑞士的阿尔弗雷德·约·贝希设计了利用废气能量来压缩进气的废气涡轮增压器,并用于柴油机。增压柴油机的功率大幅度增加,其经济性也大大提高。目前,增压已成为柴油机的重要发展趋势。

近30年来,影响发动机设计和运行的主要因素是控制发动机对环境的污染。美国加州首先建立了汽车排放标准。随后,欧洲、日本也相应地确立了汽车排放标准,并发展了汽油喷射、三效催化剂、无铅汽油的应用,以控制汽油机的排放。

20世纪70年代初,由于石油危机导致原油价格成倍增长,引起对发动机燃油经济性的重视。为了减少内燃机对日益短缺的石油基燃料的依赖,各国正在加紧进行内燃机代用燃料的研究工作,以逐步减少汽油和柴油的用量。

随着车辆保有量的增加,汽车对环境的污染越来越严重,我国已制定了一系列排放和噪声法规来限制内燃机对环境的污染,同时大力加强代用燃料的基础和应用研究,以求改善人们的生存环境和缓解石油基燃料短缺的矛盾。

1.2 工程机械内燃机的发展趋势

1.2.1 工程机械上使用的内燃机

当前工程机械用的动力装置有电动机、燃气轮机、汽油机和柴油机等。电动机具有功率

范围广、噪声小、无污染等优点，但是，其使用范围受到电源的限制，因此，常用在很少移动或移动距离较短的挖掘机、起重机上。燃气轮机的特点是结构简单、尺寸小、质量轻、运转平稳等，但其功率比汽油机和柴油机低，因而主要用于航空动力方面。汽油机与柴油机相比，由于升功率较高，噪声与振动较小，所以它多应用于中小型汽车上。而柴油机工作可靠，经济性好，适用范围广，故广泛用于国民经济的各个领域，并成为工程机械的主要动力。

1.2.2 工程机械内燃机的发展趋势

随着大型工程项目的增多和规模的扩大，工程机械有向大型化发展的趋势。与其配套的内燃机（主要指柴油机）也在向系列化、提高单机功率、降低燃油消耗率和减少排放及噪声污染的方面发展。

（1）专用系列化

动力机械专用系列化、通用化、标准化等程度越高就越便于大量生产、提高产品质量和降低成本，并且便于使用和维护。同时，它还可以用较少的品种，满足工程机械的多种机型、多挡功率的要求。在工程机械发展较早的国家，如美国、德国、日本和英国等，都已有了工程机械专用的柴油机系列。如美国康明斯公司的 NT、KT 和 VT 柴油机系列；卡特皮勒公司的 3000、3200、3300、3400 及新 3500 柴油机系列。我国在《1981~1990 年全国中小功率柴油机产品发展纲要（试行）》中，特别对柴油机专用系列化做出了具体的规定，以适应各种机械配套的需要。与工程机械配套的柴油机主要有：H、F、J、M、L、T、K 等系列。

（2）提高转速

提高转速是提高功率的一种有效途径，但要受到机件磨损、混合气形成、燃烧过程恶化及热载荷的限制。工程机械的载荷沉重且带有冲击性，又受到底盘传动系统齿轮强度的限制，因此转速不宜过高。但近年来，随着现代设计方法、新结构、新材料、新工艺的不断出现和使用，使机件的强度和寿命不断提高，所以内燃机的转速也有不断提高的趋势。

（3）采用废气涡轮增压

内燃机采用废气涡轮增压，是提高内燃机功率最有效的方法之一，也是内燃机发展的主要趋势。目前，国外工程机械用柴油机，其功率在 150kW 以上的大部分采用废气涡轮增压。根据工程机械的工作特点，其柴油机增压多为中等程度的增压，加装中冷器后，其功率还可提高 15%~30%。

最近几十年，气波增压器发展很快，并且初步进入实用阶段，气波增压具有低速时扭矩大、加速性好等优点。这些特点很适合工程机械及汽车的要求。但其噪声、质量和体积均较大，而且需要内燃机提供动力，故还需要进一步研究和发展。气波增压器也是一种值得重视的增压器。

（4）降低燃油消耗率和采用代用燃料

目前，世界能源状况比较紧张，节约和采用代用燃料也是内燃机发展的重要趋势之一。降低燃油消耗率的方法有以下几点。

① 改进燃烧方式、燃烧室及燃油喷射系统，例如采用电子控制式燃油喷射系统要比机械控制式燃油喷射系统节约燃油 7%；汽油机采用缸内喷射分层燃烧技术可使燃油消耗率 b_e 下降 30% 等。

- ② 提高机械效率。
- ③ 采用增压技术。
- ④ 与工程机械合理匹配。
- (5) 废气净化和降低噪声

随着社会的发展,对环境的保护和对生态平衡的要求也越来越高。内燃机工作时,对环境的危害主要是废气和噪声污染。对于隧道或井下作业的工程机械尤为突出。为此,中国已颁布了载重汽车的噪声及废气污染量限制标准、中小功率内燃机噪声限制标准、工程机械噪声的国家标准等。

(6) 计算机辅助设计

计算机辅助设计已广泛应用于现代汽车、工程机械内燃机的研制和新产品开发中,其优点是可以充分利用现有已成熟的发动机新技术和新成果,并将发动机模型的预测与优化融入设计中,实现发动机设计和选型的计算机化。它不仅能解除设计工作者的繁重劳动,还能大幅缩短研发周期和节约开发经费,计算机辅助设计已成为现代内燃机设计的必然趋势。

1.3 内燃机的分类与型号

1.3.1 内燃机的分类

内燃机的类型和分类方法很多,根据其不同特征可以大致分成以下几类。

(1) 按所用燃料不同分类

按所用燃料的不同,内燃机可分为柴油机、汽油机、天然气发动机、酒精发动机、双燃料发动机(如吸入天然气、喷入柴油点火等)以及灵活燃料发动机(如汽油与醇类燃料可以切换等)。

(2) 按着火方式分类

① 点燃式 点燃式内燃机采用电火花点燃可燃混合气,即混合气的燃烧是靠火焰迅速传播而进行的。汽油机属于此类。

② 压燃式 压燃式内燃机利用空气压缩后的温度高于燃油自燃点,使可燃混合气自行着火燃烧。柴油机属于此类。

(3) 按冲程数分类

① 二冲程机 气缸内活塞移动两个行程(曲轴旋转一周),完成一个工作循环。

② 四冲程机 气缸内活塞移动四个行程(曲轴旋转两周),完成一个工作循环。

(4) 按转速分类

① 高速机 额定转速 n 高于 1000r/min 或活塞平均速度 v_m 高于 9m/s 的内燃机。

② 中速机 额定转速 n 为 $600\sim 1000\text{r/min}$ 或活塞平均速度 v_m 为 $6\sim 9\text{m/s}$ 的内燃机。

③ 低速机 额定转速 n 低于 600r/min 或活塞平均速度 v_m 低于 6m/s 的内燃机。

(5) 按冷却方式分

按所采用的冷却方式不同可分为风冷式内燃机和水冷式内燃机。

(6) 按气缸数及气缸排列方式分类

① 单缸机 此类内燃机每台仅有一个气缸。根据气缸排列方式又可分为立式或卧式两种,气缸中心线与地面垂直者为立式,与地面平行者为卧式。

② 多缸机 此类内燃机具有两个以上的气缸。其气缸排列方式一般为直列式或 V 形结构，个别场合也有排列成 X 形、W 形及星形等形式（见图 1-1）。

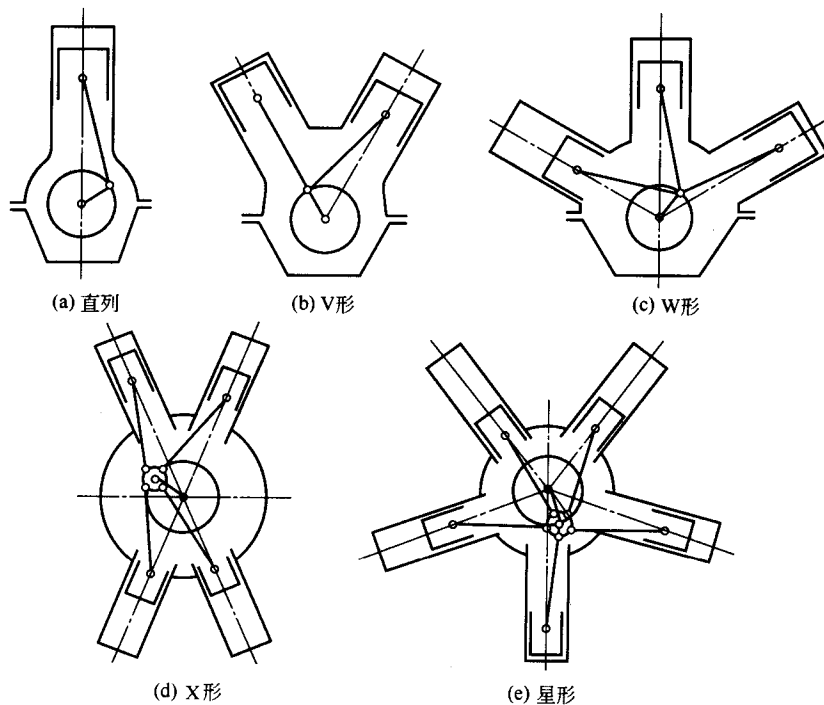


图 1-1 气缸排列形式

(7) 按用途分类

按照不同的用途内燃机可分为工程机械用、汽车用、拖拉机用、农用、船用、铁路牵引机车用及发电用等内燃机。

1.3.2 内燃机产品的型号编制规则

为了便于内燃机的生产、管理和使用，中国在 1982 年对内燃机型号编制颁布了国家标准（GB 725—82）。

内燃机的产品名称按其所采用的主要燃料命名，例如柴油机、汽油机、煤气机等；内燃机的型号应能反映出内燃机的主要结构特征及性能，其主要由以下几部分组成。

① 首部 用汉语拼音的第一个字母表示地方企业代号，用阿拉伯数字表示系列代号和换代符号。

② 中部 用阿拉伯数字表示气缸数、气缸直径（mm），用汉语拼音文字的首位字母表示完成一个循环的冲程数。

③ 后部和尾部 结构特征符号表示该机经过改型后，在结构和性能上的改变。用数字表示改型顺序，与前面的符号用短横线隔开。必要时在短横线前可增加特征符号，用汉语拼音的第一个字母表示。

内燃机型号排列及符号意义如图 1-2 所示。

按上述规定举例如下。

① 6135AZG3 柴油机 表示六缸、四冲程、缸径 135mm、活塞行程 150mm、增压、水

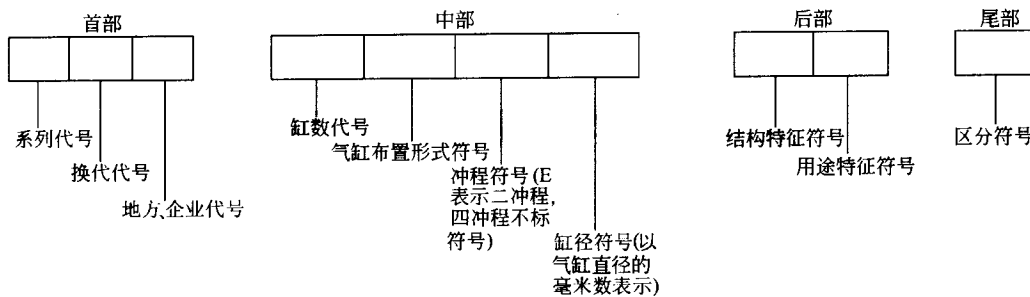


图 1-2 内燃机型号排列及符号意义

冷、工程机械用、变型产品、变型顺序 3。

② N485Q 柴油机 表示 N 系列、四缸、四冲程、缸径 85mm、水冷、汽车用柴油机。

③ 4100Q-4 汽油机 表示四缸、四冲程、缸径 100mm、汽车用、第四种变型产品。

④ 1E56F 汽油机 表示单缸、二冲程、缸径 56mm、水冷。

第 2 章 内燃机的工作原理

2.1 内燃机的基本工作原理

2.1.1 内燃机的基本名词和术语

图 2-1 所示为单缸往复式活塞式内燃机结构。其主要由排气门 1、进气门 2、气缸 4、活塞 5、连杆 7、曲轴 8 和气缸盖 9 等组成。活塞 5 在气缸 4 内做往复运动，通过活塞销 6、连杆 7 推动曲轴 8 转动。气缸盖 9 上设有排气门 1 和进气门 2，用以吸入新鲜空气和排出废气。

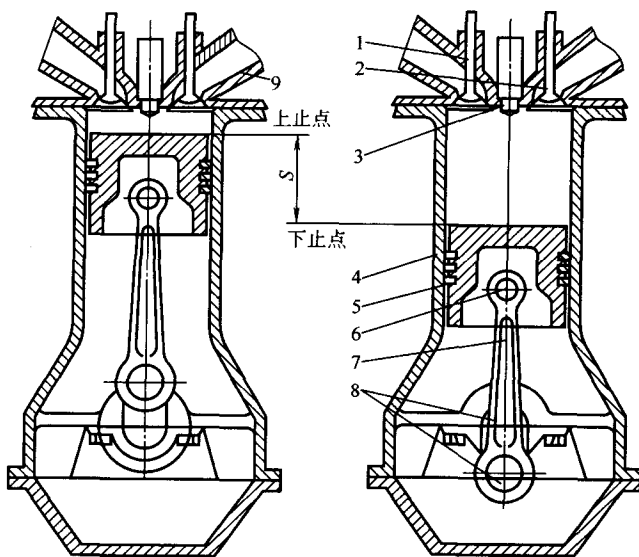


图 2-1 单缸往复式活塞式内燃机结构

1—排气门；2—进气门；3—喷油器；4—气缸；5—活塞；6—活塞销；
7—连杆；8—曲轴；9—气缸盖

(1) 上止点、下止点和活塞行程 S

从图 2-1 中可以看出，活塞在气缸中做往复运动时，曲轴每旋转一周，活塞上下移动一个行程。

活塞在气缸内做往复运动时有两个极限位置，其中活塞顶端离曲轴旋转中心最远处，称为上止点。活塞顶端离曲轴中心最近处，称为下止点。上、下止点间的距离 S 称为活塞行程或冲程。同时，连杆轴颈中心到曲轴轴颈中心的距离 R 称为曲轴半径。而对于气缸中心线通过曲轴中心线的内燃机，其活塞行程等于曲轴半径的 2 倍，即

$$S=2R$$

(2) 气缸工作容积