


汽 / 车 / 先 / 进 / 技 / 术 / 译 / 丛

汽车工程手册

(美国版)

(英) D. A. 柯尔 主编
田春梅 李世雄 等译



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



汽车先进技术译丛

汽车工程手册 (美国版)

(英)D. A. 柯尔 主编
田春梅 李世雄 等 译



机械工业出版社

本书对发动机设计、发动机测试、发动机排放、数字式发动机控制、变速器、电动汽车、混合动力汽车、悬架、转向系统、轮胎、操纵性、制动器、车辆控制系统、智能交通系统、车辆建模、结构设计、车辆安全性、材料、空气动力学、声振精细化、仪表和远程信息处理系统等汽车设计的方方面面进行了详细的介绍，全书数据翔实图表、公式丰富，指导性很强。

Automotive Engineering

D. A. Crolla

Original ISBN: 978-1-85617-577-7

COPYRIGHT© 2009 Elsevier

Original edition published by Elsevier

All Rights Reserved.

Published in China by China Machine Press under special arrangement with Elsevier Singapore Pte Ltd.. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授予机械工业出版社在中国大陆地区(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口, 视为违反著作权法, 将受法律之制裁。

Elsevier Ltd.

Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2010-3896 号

图书在版编目(CIP)数据

汽车工程手册: 美国版/(英)柯尔(Crolla, D. A.)著; 田春梅等译. —北京: 机械工业出版社, 2012. 1

(汽车先进技术译丛)

书名原文: Automotive Engineering: Powertrain Chassis System and Vehicle Body

ISBN 978-7-111-36043-8

I. ①汽… II. ①柯…②田… III. ①汽车工程-技术手册 IV. ①U46-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 199976 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 徐 巍 责任编辑: 徐 巍 版式设计: 霍永明

责任校对: 刘怡丹 封面设计: 鞠 杨 责任印制: 乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

210mm × 285mm · 37.25 印张 · 1589 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-36043-8

定价: 198.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010)88379649

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

译者的话

本手册是一本面向车辆设计与研发人员的参考书，各章节均选自国际汽车领域内各专业学科领军人物的权威著作。手册共分23章，涵盖发动机、变速器、底盘和车身等各大系统，既有对基础知识的阐述，又有对先进技术的介绍。书中配有大量插图，方便读者对内容的理解和消化。一卷在手，借力多位国际技术权威的智慧组合，各专业领域的基本原理、关键技术、最佳工程实践和实用方法尽在掌握，方便查阅，是汽车研发人员案头必备资料。

在本手册的引进上，得到了清华大学汽车工程系徐石安教授的大力支持。

本书译者全部来自汽车行业的从业人员，既有高校教师也有生产企业的研发工程师。主要译者和审校不仅有多年的汽车制造厂工作经验，而且有多年的专业翻译经历。为了保证内容的准确性，忠实再现原作内容，严格按翻译质量保证流程进行，每一章节均由翻译、一审二审三个环节组成，最后进行全书通读审校。

本书由田春梅统筹组织翻译和审校，并负责对全书进行最终审校。主要翻译和审校人员有：田春梅、李世雄、吕子强、李真芳、金晓萍、郭峰，参加了部分章节翻译的有辛喆、信世强、迟瑞娟、张秀花、叶萍、杨柳、刘荣琴、丁淑芳。特别感谢长期在清华大学电动汽车项目组工作的施双荣教授，在百忙之中抽出时间为本书的电动汽车和混合动力汽车章节(第6章和第7章)进行了专业审校，并提出了许多宝贵意见。

由于手册涉及的知识面具有相当的广度和深度，在各知识点的理解和翻译上难免有欠妥之处。如果有不当之处，欢迎大家批评指正，以便再版时我们及时修正。

目 录

译者的话

第1章 发动机设计简介

Heinz Heisler

1.1 内燃机	1
1.1.1 发动机组成部件和术语	1
1.1.2 四冲程火花点火式(汽油)发动机	2
1.1.3 配气相位图	4
1.2 二冲程汽油机	4
1.2.1 回流扫气	4
1.2.2 曲轴箱盘形阀和簧片阀进气控制	4
1.2.3 二冲程和四冲程汽油机比较	6
1.3 四冲程压燃式(柴油)发动机	7
1.4 二冲程柴油机	9
1.5 汽油发动机和柴油发动机的比较	10
1.6 发动机性能术语	11
1.6.1 活塞排量或气缸工作容积	11
1.6.2 平均有效压力	11
1.6.3 发动机转矩	11
1.6.4 发动机功率	11
1.6.5 发动机排量	12
1.7 压缩比	12

第2章 发动机测试

A. J. Martyr M. A. Plint

2.1 引言	14
2.2 转矩测量用耳轴式(托架式)测功机	14
2.3 使用串联轴或转矩测量凸缘测量转矩	15
2.4 转矩测量的误差校正和估算	16
2.5 加速和减速条件下的转矩测量	17
2.6 转速测量	18
2.7 测功机选择概述	18
2.8 测功机分类	18
2.8.1 串联混合测功机	21
2.8.2 一、二或四象限测功机	21
2.9 发动机与测功机性能的匹配	22
2.10 发动机的起动	23
2.10.1 发动机的起动(无起动机)	23
2.10.2 发动机的起动(有起动机)	23
2.10.3 非电起动系统	23
2.11 测功机的选择	24
2.12 选用测功机应考虑的其他问题	24
2.13 发动机与测功机的连接	25
2.13.1 引言	25
2.13.2 连接问题的实质	25
2.13.3 辅助阅读材料	25
2.13.4 扭转振动与临界转速	25
2.13.5 连接轴的设计	28

2.13.6 应力集中、键槽和无键毂连接	29
2.13.7 轴的振颤	29
2.13.8 联轴器	29
2.13.9 挠性联轴器的减振作用	30
2.13.10 传动轴设计举例	31
2.13.11 发动机与测功机连接:设计程序概述	34
2.13.12 飞轮	34
2.13.13 符号与单位	35
参考文献	35
其他阅读材料	35

第3章 发动机排放控制

T. K. Garrett K. Newton W. Steels

3.1 早期的排放控制措施	36
3.2 美国联邦测试循环的演变	37
3.3 催化转化	38
3.4 二元催化转化	38
3.5 催化转化器	39
3.6 催化剂载体	39
3.7 用于整体式催化转化器的金属基体	40
3.8 福特用来预热催化剂的废气点火系统	41
3.9 三元催化转化器	41
3.10 电控系统	41
3.11 热空气进气系统	41
3.12 蒸发排放物	42
3.13 曲轴箱排放物的控制	43
3.14 空气喷射和补气阀	43
3.15 空气控制阀	43
3.16 一些结构更复杂的阀的布置情况	44
3.17 蒸气回收与炭罐清污系统	45
3.18 柴油机排放	47
3.19 降低排放:相互矛盾的要求	47
3.20 氮氧化物(NO_x)	47
3.21 未燃碳氢化合物	49
3.22 一氧化碳	50
3.23 颗粒物	50
3.24 颗粒物捕集器	50
3.25 燃油质量对柴油机废气排放的影响	51
3.26 黑烟	51
3.27 白烟	52

第4章 发动机数字控制系统

W. Ribbens

4.1 简介	53
4.2 发动机数字控制	53
4.3 发动机数字控制特征	53
4.4 燃油控制模式	54
4.4.1 起动	56

4.4.2 暖机	56	5.4.4 JF 506E 自动变速器工作原理	86
4.4.3 开环控制	56	5.4.5 换档策略	87
4.4.4 闭环控制	57	5.4.6 自动变速器控制器(ATCU)	88
4.4.5 加速加浓	58	5.5 连续可变无级变速器(CVT)	89
4.4.6 减速减稀	59	5.5.1 无级变速器(CVT)的理论基础	89
4.4.7 怠速控制	59	5.5.2 液力变速器	90
4.5 废气再循环控制	60	5.5.3 带式无级变速原理	90
4.6 可变配气正时控制	60	5.5.4 带式无级变速器	91
4.7 电子点火控制	61	5.5.5 牵引式环面无级变速原理	92
4.7.1 点火正时的闭环控制	62	5.5.6 牵引式环面无级变速器	93
4.7.2 SA 修正方案	64	5.6 变速器应用问题	94
4.8 发动机集中控制系统	65	5.6.1 工作环境	94
4.8.1 二次空气喷射控制	65	5.6.2 效率	94
4.8.2 炭罐清污控制	65	5.6.3 其他变速器部件	95
4.8.3 系统自动调节	66	参考书目	96
4.8.4 系统诊断	66	深入学习材料	96
4.9 控制模式小结	66	其他有价值的参考资料	96
4.9.1 起动	66	第6章 电动汽车 J. Fenton R. Hodkinson	
4.9.2 暖机	66	6.1 引言	97
4.9.3 开环控制	66	6.2 蓄电池	97
4.9.4 闭环控制	66	6.2.1 先进铅蓄电池	97
4.9.5 急加速	67	6.2.2 钠—硫蓄电池	97
4.9.6 减速和怠速	67	6.2.3 镍—金属氢化物蓄电池	98
4.10 发动机电子控制系统的改进	67	6.2.4 氯化钠/镍蓄电池	100
4.10.1 发动机集中控制系统	67	6.2.5 太阳能电池	101
4.10.2 EGO 传感器的改进	67	6.2.6 锂电池	102
4.10.3 喷油正时	67	6.2.7 超级电容器	102
4.10.4 自动变速器控制	68	6.2.8 飞轮储能	102
4.10.5 液力变矩器锁止控制	68	6.3 蓄电池汽车改装技术	104
4.10.6 牵引控制	68	6.3.1 改装案例研究	104
4.10.7 HV 动力传动系控制	69	6.3.2 电动机控制方案的选择	104
第5章 变速器 J. Happian-Smith		6.4 电动汽车发展历史	107
5.1 绪论	72	6.5 当代电动汽车技术	108
5.2 汽车对变速器的要求	72	6.5.1 本田“EV”	109
5.2.1 汽车布置	72	6.5.2 通用汽车公司的“EVi”	109
5.2.2 汽车起步	73	6.5.3 交流驱动	110
5.2.3 车辆要求——动力传动系功能	73	6.5.4 福特 e-Ka: 锂电池电源	112
5.2.4 改变传动比——变速器和汽车的匹配	74	6.6 电动厢式车和货车设计	112
5.3 手动变速器	77	6.6.1 厢式货车向车队汽车的改装	112
5.3.1 前轮驱动汽车变速器(乘用车)	77	6.6.2 福特 EXT II	112
5.3.2 后轮驱动汽车变速器(乘用车和商用车)	78	6.6.3 英国 EVA 对 CVS 的建议	113
5.3.3 换档和同步器	78	6.6.4 晶闸管控制	115
5.3.4 各档传动比——如何实现	80	6.6.5 福特 Ecostar	115
5.3.5 离合器	81	6.6.6 Bradshaw Envirovan 环保厢式车	117
5.3.6 自动控制手动变速器	81	6.7 燃料电池电动汽车	118
5.4 自动变速器	82	6.7.1 通用公司的 Zafira 项目	118
5.4.1 Jatco JF506E 高级变速器	82	6.7.2 福特 P2000	118
5.4.2 流体动力变矩器	83	6.7.3 液态氢或燃料重整	118
5.4.3 行星齿轮机构——自动变速器的关键部件	85	6.7.4 戴姆勒-克莱斯勒的燃料电池样车	118
		参考文献	121

其他阅读资料	121	8.7.1 全时四轮驱动优缺点	177
第7章 混合动力汽车 J. Fenton R. Hodkinson		8.7.2 带超速档的四轮驱动车辆	179
7.1 引言	122	8.7.3 商用和全地形车辆的手动可分离式 四轮驱动	180
7.2 混合动力的前景	122	8.7.4 全时四轮驱动, 四轮驱动乘用车 基本型	181
7.2.1 图谱控制驱动管理	122	8.7.5 全时四轮驱动, 基本型为标准 设计乘用车	184
7.2.2 开发混合动力车的合理性	123	8.7.6 各种四轮驱动总结	186
7.2.3 混合型混合动力驱动的配置	125	第9章 转向系统 J. Reimpell H. Stoll J. Betzler	
7.3 混合动力技术案例研究	125	9.1 转向系统概述	189
7.3.1 小型汽车的混合动力解决方案	125	9.1.1 转向系统的要求	189
7.3.2 更好的混合动力组合解决方案	125	9.1.2 独立悬架上的转向系统	190
7.3.3 转子发动机与永磁电动机的动力组合及 原理概述	125	9.1.3 非独立悬架上的转向系统	190
7.3.4 汪克尔转子发动机	127	9.2 齿轮齿条式转向器	192
7.3.5 混合动力小客车	127	9.2.1 优点和缺点	192
7.3.6 出租车混合驱动	128	9.2.2 结构型式	192
7.3.7 复合式混合动力系统	130	9.2.3 转向横拉杆铰接在转向器的齿条侧端	192
7.3.8 混合驱动加装飞轮	130	9.2.4 转向横拉杆中部取下的机械转向器	194
7.4 量产混合动力汽车	132	9.3 循环球式转向器	195
7.4.1 丰田普锐斯系统	133	9.3.1 优点和缺点	195
7.4.2 量产混合动力汽车的新成员	135	9.3.2 结构型式	195
7.5 混合动力客运车和商用车	138	9.4 助力转向系统	196
7.5.1 混合动力公共汽车	138	9.4.1 液压助力转向系统	196
7.5.2 压缩天然气—电动混合动力车	138	9.4.2 电动液压式助力转向系统	197
7.5.3 先进的混合动力客车	141	9.4.3 电动助力转向系统	198
7.5.4 先进的混合动力货车	142	9.5 转向管柱	200
参考文献	143	9.6 转向减振器	204
第8章 悬架类型和驱动型式		9.7 转向运动学	204
J. Reimpell H. Stoll J. Betzler		9.7.1 转向器的类型和位置影响	204
8.1 车辆悬架的一般特性	144	9.7.2 转向连杆配置	205
8.2 独立车轮悬架——概述	147	9.7.3 转向横拉杆的长度和位置	205
8.2.1 对悬架的要求	147	第10章 轮胎 J. Reimpell H. Stoll J. Betzler	
8.2.2 双横臂式悬架	147	10.1 对轮胎的要求	212
8.2.3 麦弗逊式滑柱和滑柱式减振器	148	10.1.1 可互换性	212
8.2.4 后桥纵臂式悬架	150	10.1.2 对轿车轮胎的要求	212
8.2.5 半纵臂式后悬架	150	10.1.3 对商用车轮胎的要求	213
8.2.6 多连杆式悬架	151	10.2 轮胎设计	213
8.3 非独立悬架和半独立悬架	156	10.2.1 斜交轮胎	213
8.3.1 非独立悬架	156	10.2.2 子午线轮胎	213
8.3.2 半独立曲柄悬架	158	10.2.3 无内胎轮胎和有内胎轮胎	215
8.4 前置发动机后轮驱动	159	10.2.4 高宽比	215
8.4.1 前置发动机后轮驱动设计优缺点	161	10.2.5 轮胎规格和标志	216
8.4.2 非驱动前桥	161	10.2.6 轮胎承载能力和充气压力	219
8.4.3 后驱动桥	162	10.2.7 胎侧标志	223
8.5 发动机后置和发动机中置的驱动型式	166	10.2.8 滚动周长和行驶速度	223
8.6 前轮驱动	167	10.2.9 轮胎对车速表的影响	223
8.6.1 结构类型	167	10.2.10 轮胎花纹	224
8.6.2 前轮驱动优缺点	168	10.3 车轮	226
8.6.3 前驱动桥	170	10.3.1 概念	226
8.6.4 非驱动后桥	172		
8.7 四轮驱动	177		

10.3.2 轿车、轻型商用车及其挂车的轮辋	226	12.3.1 汽车制动运动学	272
10.3.3 轿车、轻型商用车及其挂车的车轮	227	12.3.2 汽车制动动力学	274
10.3.4 车轮安装	228	12.3.3 轮胎与路面之间的摩擦力	274
10.4 轮胎弹性	228	12.4 制动力比例关系与附着力利用率	275
10.5 轮胎不均匀度	229	12.4.1 静力学分析	275
10.6 滚动阻力	231	12.4.2 使用恒定制动比进行制动	276
10.6.1 直线行驶时的滚动阻力	231	12.4.3 制动效率	277
10.6.2 转弯时的滚动阻力	232	12.4.4 附着力利用率	279
10.6.3 其他影响因素	232	12.4.5 车轮抱死	279
10.7 纵向附着摩擦与滑动摩擦	232	12.4.6 车桥抱死对汽车稳定性的影响	279
10.7.1 滑动率	232	12.4.7 汽车车身在制动时的俯仰运动	281
10.7.2 摩擦系数	233	12.4.8 可变制动比的制动	282
10.7.3 路面影响	233	12.5 材料特性	285
10.8 侧向力和摩擦系数	234	12.5.1 对制动系统的材料要求	285
10.8.1 侧向力、侧偏角和摩擦系数	234	12.5.2 铸铁制动盘金相分析	285
10.8.2 车辆的自转向特性	234	12.5.3 制动盘替代材料	286
10.8.3 摩擦系数和滑动率	236	12.5.4 制动盘材料/设计评价	286
10.8.4 干燥路面上的侧偏特性	236	12.6 先进的制动技术	288
10.8.5 影响因素	236	12.6.1 驾驶人行为分析模型	288
10.9 合成附着系数	239	12.6.2 线传制动	288
10.10 轮胎回正力矩和轮胎拖距	240	12.6.3 防抱死制动系统	288
10.10.1 轮胎回正力矩概述	240	12.6.4 牵引力控制系统	288
10.10.2 轮胎拖距	240	参考书目和深入学习材料	288
10.10.3 前轮上的影响因素	240	第 13 章 车辆控制系统	W. Ribbens
10.11 轮胎倾覆力矩和力作用点偏移	242	13.1 引言	290
10.12 转矩转向	242	13.2 典型巡航控制系统	290
10.12.1 由于法向力变化产生的转矩转向	242	13.2.1 速度响应曲线	291
10.12.2 轮胎回正力矩引起的转矩转向	243	13.2.2 数字巡航控制	293
10.12.3 运动学和弹性动力学影响	244	13.2.3 节气门执行器	293
第 11 章 操纵性	Hans Pacejka	13.3 巡航控制电子技术	295
11.1 引言	245	13.3.1 基于步进电动机的执行器	295
11.2 轮胎和车桥特性	245	13.3.2 真空操纵的执行器	296
11.2.1 轮胎特性的介绍	245	13.3.3 高级巡航控制	298
11.2.2 有效车桥侧偏特性	247	13.4 防抱死制动系统	298
11.3 车辆操纵稳定性	250	13.5 电子悬架系统	302
11.3.1 汽车运动平面的微分方程	251	13.5.1 通过可变滑柱液体粘度改变阻尼	303
11.3.2 两自由度模型的线性分析	253	13.5.2 可变弹簧刚度	303
11.3.3 非线性稳态转向解	259	13.5.3 电子悬架控制系统	304
11.3.4 制动或驱动时的车辆	263	13.6 电子转向控制	305
11.3.5 力矩方法	265	第 14 章 智能交通系统	L. Vlacic M. Parent
11.3.6 汽车—挂车组合	266	14.1 全球定位技术	307
11.3.7 在较复杂轮胎侧偏条件下的 车辆动力学	268	14.1.1 GPS 历史	307
第 12 章 制动系统	J. Happian-Smith	14.1.2 NAVSTAR GPS 系统	307
12.1 概述	269	14.1.3 卫星定位基础	309
12.1.1 制动系统的功能和使用条件	269	14.1.4 GPS 接收器技术	313
12.1.2 制动系统设计方法	269	14.1.5 GPS 应用技术	316
12.1.3 制动系统部件和结构	270	14.1.6 结论	318
12.2 法规	270	参考文献(1)	318
12.3 制动基础知识	272	14.2 决策架构	318
		14.2.1 引言	318

14.2.2 机器人控制架构及自主运动	319	17.2 乘员保护	421
14.2.3 用于自动汽车的 Sharp 控制决策架构	325	17.3 乘员安全试验	422
14.2.4 试验结果	330	17.4 保护行人免受严重伤害	423
14.2.5 车辆运动规划	332	17.5 主动安全	424
参考文献(2)	342	17.6 结构安全和安全气囊	424
第 15 章 汽车建模	M. Blundell D. Harty	17.7 乘员室的完整性	426
15.1 引言	346	17.8 小型车的问题	427
15.2 车身	347	17.9 侧面碰撞	427
15.3 测量输出	348	17.10 智能安全气囊	427
15.4 悬架系统表示	349	17.11 座椅安全带	428
15.4.1 概述	349	17.12 主动安全的改进措施	429
15.4.2 集中质量模型	349	17.13 轮胎、悬架和转向	429
15.4.3 等效侧倾刚度模型	350	17.14 一般电子控制系统	429
15.4.4 摆臂模型	350	17.15 电动助力转向	429
15.4.5 杆系模型	350	17.16 制动器	430
15.4.6 概念悬架方法	350	17.17 自动制动和牵引力控制	430
15.5 弹簧和减振器建模	354	17.18 新近出现的先进系统	430
15.5.1 简单模型的处理	354	17.19 悬架控制	430
15.5.2 钢板弹簧建模	355	17.20 人机工程与安全性	431
15.6 防侧倾杆	355	17.21 座椅	431
15.7 确定等效侧倾刚度模型中的侧倾刚度	357	17.22 踏板的控制	432
15.8 空气动力学效应	359	第 18 章 材料	G. Davies
15.9 车辆制动建模	360	18.1 车身结构设计材料与材料选用	433
15.10 牵引建模	364	18.1.1 引言	433
15.11 其他传动部件	365	18.1.2 历史视角和不断演变材料工艺学	433
15.12 转向系统	367	18.1.3 有限元分析	438
15.12.1 转向系统机构建模	367	18.1.4 宝马采用的现代设计方法	441
15.12.2 转向比	368	18.1.5 板件耐冲击性与刚度试验	445
15.12.3 车辆机动操作的转向输入	369	18.1.6 疲劳	447
15.13 驾驶人行为	370	18.1.7 其他车身结构	448
15.13.1 转向控制器	371	18.1.8 材料与设计的融合	455
15.13.2 路径跟踪控制器模型	373	18.1.9 塑料与复合材料部件的工程要求	460
15.13.3 车身侧偏角控制	375	18.1.10 成本分析	460
15.13.4 双回路驾驶人模型	377	18.1.11 要点总结(1)	462
15.14 案例研究 7——整车操纵模型比较	377	参考文献(1)	462
15.15 总结	385	18.2 车身结构材料的考虑因素与使用	463
第 16 章 结构设计	J. Brown A. J. Robertson S. Serpento	18.2.1 引言	463
16.1 车辆结构类型术语和概述	386	18.2.2 可选材料与选择依据	466
16.1.1 刚度和强度的基本要求	386	18.2.3 铝	477
16.1.2 车辆结构类型历史和概述	386	18.2.4 镁	479
16.2 标准轿车——基本负荷路径	397	18.2.5 聚合物与复合材料	480
16.2.1 引言	397	18.2.6 要点总结(2)	482
16.2.2 标准轿车的弯曲负荷工况	398	参考文献(2)	483
16.2.3 标准轿车的扭转负荷	401	第 19 章 空气动力学	J. Happian-Smith
16.2.4 侧向负荷情况	410	19.1 概述	484
16.2.5 制动(纵向)负荷	413	19.2 空气动力	484
16.2.6 总结和讨论	415	19.3 气动阻力	484
第 17 章 车辆安全性	T. K. Garrett K. Newton W. Steels	19.4 降低气动阻力	485
17.1 碰撞试验	418	19.5 稳定性和横向风	487
		19.6 噪声	488

19.7 发动机室的通风	488	21.5.1 道路噪声简介	512
19.8 乘员室的通风	489	21.5.2 内部道路噪声	512
19.9 风洞测试	489	21.5.3 分析道路结构噪声	512
19.10 计算流体力学	489	21.5.4 控制内部道路噪声	513
参考书目	490	21.6 气动(风)噪声	513
深入学习材料	490	21.7 制动噪声	513
第20章 声振精细化	M. Harrison	21.8 “吱吱”、“咯咯”、“嘶嘶”声	514
20.1 引言和定义	491	21.9 通过多孔材料的吸声来控制噪声	514
20.2 本章覆盖的范围	491	21.9.1 实用方法	514
20.3 汽车声振精细化的目的	492	21.9.2 多孔材料吸声的物理过程	516
20.4 在汽车制造领域中如何实现声振精细化	492	21.9.3 流动阻抗	516
20.5 汽车声振精细化历史: 一个典型汽车品牌		21.9.4 多孔性	517
20年的历程	493	21.9.5 结构因子	517
20.6 声振精细化目标	494	21.9.6 改进的一维线性平面波动方程	517
20.6.1 整车外部噪声指标	495	21.10 通过面板的声传递最小化来控制噪声	518
20.6.2 单个零部件外部噪声指标	495	21.10.1 方法介绍	518
20.6.3 整车内部噪声指标	496	21.10.2 隔声罩声学性能测量	518
20.6.4 乘坐品质指标(包括振动感受指标)	497	21.10.3 解读由隔声罩和面板制造商提供的声学	
参考文献	497	特性数据	519
第21章 内部噪声	M. Harrison	21.10.4 声学密封条的重要性及侧	
21.1 噪声的主观和客观评价方法	499	向传声的控制	520
21.1.1 背景知识	499	21.10.5 穿过面板的声传递	521
21.1.2 空气噪声和结构噪声之间的平衡	500	21.10.6 大隔声罩内外的声音	524
21.1.3 有关车辆内部噪声的测量	500	21.10.7 贴近安装的隔声罩内部和外部噪声	525
21.1.4 内部噪声的主观评价	500	附录 21.A 有关系统的一些背景信息	525
21.2 噪声路径分析	501	附录 21.B 卷积	526
21.2.1 背景知识	501	附录 21.C 协方差函数、相关和相干	527
21.2.2 噪声路径分析的相干方法	502	附录 21.D 频率响应函数	529
21.2.3 噪声路径分析的标准方法	503	附录 21.E 带有终端阻抗的管中的平面波	529
21.2.4 噪声路径分析的非侵入方法	504	附录 21.F 线性质量守恒方程的求导本附录内部引自	
21.3 测量内燃机和其他汽车噪声源的声功率	505	Fahy 和 Walker(1998)	530
21.3.1 近声场和远声场	505	附录 21.G 非线性(和线性)无粘性流体运动欧拉方	
21.3.2 测量声功率的各种方法	505	程式的求导	531
21.3.3 在自由声场中采用声压技术		参考文献	531
测量声功率	505	第22章 外部噪声	M. Harrison
21.3.4 扩散声场中声功率的测量	506	22.1 汽车噪声认证	534
21.3.5 半混响远声场中声功率的测量	506	22.1.1 认证背景	534
21.3.6 近声场中声功率测量	507	22.1.2 EC 噪声认证	534
21.3.7 用表面振速测量确定声功率	508	22.1.3 车辙和大气的影晌	535
21.3.8 用声强仪确定声功率	508	22.1.4 EC 内噪声认证的未来发展	536
21.3.9 不同环境下测量声功率的标准方法	509	22.1.5 美国和其他非欧盟国家的噪声认证	536
21.4 发动机噪声	509	22.1.6 满足认证噪声限制的结果	536
21.4.1 发动机噪声介绍	509	22.2 噪声源分级	537
21.4.2 燃烧噪声	510	22.3 进气系统和排气系统: 性能和噪声影响	538
21.4.3 机械噪声	511	22.3.1 介绍	538
21.4.4 发动机转速和负载对噪声的影响	511	22.3.2 进气噪声——目标	539
21.4.5 测量发动机噪声	511	22.3.3 有关进气系统设计的问题	539
21.4.6 发动机噪声分级	511	22.3.4 进气系统	539
21.4.7 发动机噪声控制	512	22.3.5 进气系统设计者	539
21.5 道路噪声	512	22.3.6 进气系统研发周期	539

22.3.7	主要进气系统部件	539	23.2	输入输出信号转换	568
22.3.8	进气口位置	539	23.3	采样	570
22.3.9	进气管和滤清器壳尺寸	540	23.4	燃油量测量	571
22.3.10	为改进发动机性能而进行的进气和 排气系统设计	540	23.5	冷却液温度测量	572
22.3.11	进气及排气噪声源	548	23.6	机油压力测量	572
22.3.12	流动管路声学	551	23.7	车速测量	573
22.3.13	进气噪声控制: 案例研究	556	23.8	显示设备	573
22.3.14	排气噪声控制	559	23.9	LED	574
22.4	轮胎噪声	561	23.10	LCD	574
22.4.1	轮胎空气噪声源	562	23.11	VFD	575
22.4.2	路面对轮胎空气噪声的影响	562	23.12	CRT	576
22.4.3	测量轮胎空气噪声	563	23.12.1	扫描电路	577
22.4.4	通过设计控制轮胎空气噪声	563	23.12.2	CAN 总线	580
附录 22.A	气门和气门口几何形状	563	23.13	玻璃驾驶舱	580
	参考文献	563	23.14	行程信息计算机	580
第 23 章	汽车仪表及远程信息处理	W. Ribbens	23.15	远程信息处理	581
23.1	现代汽车仪表	567	23.16	汽车诊断	581
			附录	常用法定计量单位及其换算	582

第1章 发动机设计简介

Heinz Heisler

1.1 内燃机

活塞式内燃机的原理是将空气和燃油的混合气送入气缸，在气缸内混合气先被压缩，然后进行燃烧。燃油在气缸内部燃烧释放的热能使缸内气体压力升高，高压气体作用在活塞上，迫使活塞在缸内向下移动，从而将热能转化为有用的机械功。因此，可以说，内燃机仅仅是一个能量转换器而已。

为了能够利用活塞的运动，人们借助连杆将作用于活塞的气体作用力传递给曲轴，而曲轴能够将活塞在缸内的直线运动转化为曲轴的旋转运动(图 1-1)。这样，在曲轴曲柄销的圆形轨迹和导向缸体的约束下，活塞被迫来来回回重复着它的运动。

通常，将活塞来来回回的前后移动称为活塞的往复运动，所以这类动力装置也被称为往复发动机。

1.1.1 发动机组成部件和术语

理解往复活塞式发动机结构的关键是能够识别其各个组成部件并叫出其名称。为此，下面简要描述一下发动机的主要组成部件并给出其名称(图 1-1 和图 1-2)。

(1) 缸体 采用铸造的方法制造，缸体内钻有圆柱形孔，用于导向和支撑活塞并约束工作气体，此外，缸体内还铸有用于容纳冷却液的水套。

(2) 缸盖 这个铸件从缸体上部封闭燃烧室。上面布

置着进、排气门及进、排气口，从而使可燃混合气可以进入燃烧室，并能使燃烧产物从燃烧室内排出。

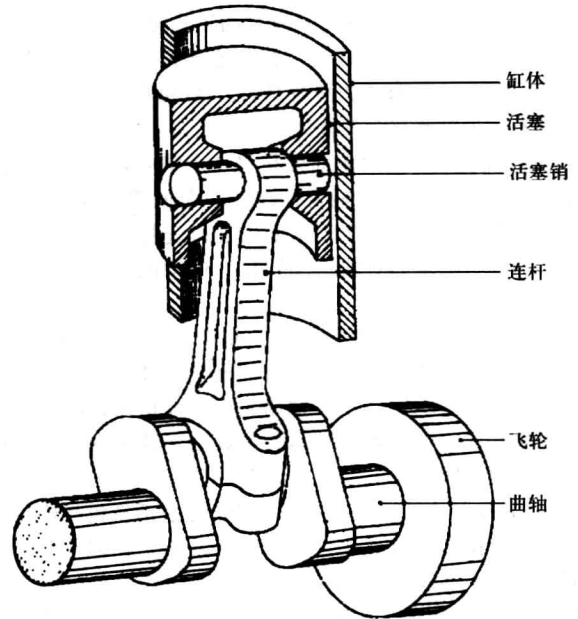


图 1-1 发动机结构简图

(3) 曲轴箱 这是一个具有一定刚度的铸造部件，用于支撑和容纳曲轴及其轴承。曲轴箱通常与缸体铸成一体。

(4) 油底壳 它是一个容器，用钢板冲压或铝合金铸造而成，用来封闭曲轴箱底部，并为发动机润滑剂提供储存空间。

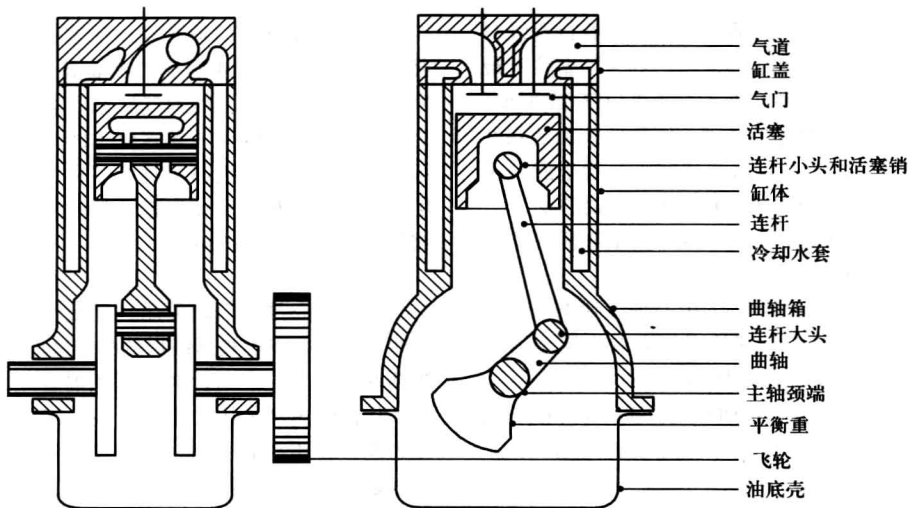


图 1-2 基本发动机剖视图

(5) 活塞 活塞是一种能耐高压的圆柱形柱塞, 承受着气体膨胀所产生的压力。其功能是将燃烧产生的气体压力转化为沿连杆的集中推力, 为此, 它还须为连杆小头提供导向作用。

(6) 活塞环 这些圆环对活塞和气缸之间产生的间隙进行密封, 其目的在于防止漏气, 并控制允许进入气缸顶部的润滑剂的数量。

(7) 活塞销 活塞销将作用于活塞顶部的气体作用力传递至连杆小头, 同时允许连杆在曲轴旋转时来回摆动。

(8) 连杆 它同时起着支杆和连接杆的作用, 可以将作用于活塞上的均布压力脉冲传递至曲轴的连杆轴颈, 这些压力在此处被转化为旋转力。

(9) 曲轴 一个简单曲轴是将一个空心轴部分弯曲以形成两个与轴垂直的曲柄臂, 以及一个偏置的连杆轴颈, 轴的未弯曲部分作为主轴颈。曲轴通过连杆与活塞间接相连, 从而能将活塞的直线运动转化为曲轴围绕主轴颈轴线的旋转运动。

(10) 曲轴轴颈 包含主轴颈和连杆轴颈, 是曲轴上加工非常精细的圆柱形部分, 与曲轴的中心轴线及偏心轴线平行。主轴颈轴承安装在曲轴箱内, 连杆轴颈轴承安装在连杆大头孔内, 将曲轴和轴承装配好后, 这些轴颈能够在滑动轴承内旋转。

(11) 连杆小头 它指的是连杆上通过活塞销将连杆和活塞进行铰接的部分。这样连杆在气缸内来回移动时, 可相对于气缸中心线自由摆动。

(12) 连杆大头 它指的是连杆与曲轴连杆轴颈进行连接的部分。这样, 当发动机运转时, 这两个部件之间可进行相对角运动。

(13) 主摩擦副 它指的是曲轴主轴颈, 与装在曲轴箱内的相应滑动轴承组成的摩擦副。

(14) 行程线 活塞在气缸约束下上下移动时所经路径的中心线称为行程线。

(15) 上止点和下止点 当曲柄臂和连杆沿着行程线对齐时, 活塞将处于它的两个极端位置之一。如果活塞位于最接近缸盖的位置, 则称曲柄和活塞处于上止点 (IDC 或 TDC) 的位置; 若活塞位于距缸盖最远的位置, 则称曲柄和活塞处于下止点 (ODC 或 BDC) 的位置。这些参照点, 对于配气正时和点火时刻或喷油时刻的设置来说具有十分重要的意义。

(16) 余隙容积 活塞处于上止点时, 缸盖和活塞顶之间的空间被称为余隙容积或燃烧室容积。

(17) 曲柄半径 从曲轴主轴颈的中心轴线到连杆轴颈中心轴线的距离称为曲柄半径。其长度将影响作用于活塞顶部的气体压力施加给曲轴的旋转力矩的大小。

(18) 活塞行程 活塞从 IDC 到 ODC 的位移称为活塞行程, 曲轴相应转过半圈或 180° 。活塞行程等于两倍的曲柄半径。

$$\text{即 } L = 2R$$

式中 L ——活塞行程;

R ——曲柄半径。

这样, 行程长时对曲轴施加的转动力就大, 行程短时施加的转动力就小。

(19) 气缸孔 缸体最初被铸造时, 砂芯占据着气缸空间。除掉砂芯后的粗糙的气缸孔, 要使用径向固定在旋转杆端的单头刀具进行加工。通常, 将去除孔内多余金属的过程, 称为将气缸镗至所需要的尺寸。将这样精加工后的圆柱形孔称为缸孔, 其内径简称为缸径或孔径。

1.1.2 四冲程火花点火式(汽油)发动机

首个使用煤气为燃料, 采用四冲程工作循环成功运转的内燃机是由 Nicolaus August Otto 在 1876 年制造的。Otto 是一位自学成才的德国工程师, 就职于科隆附近的道依茨煤气发动机制造厂, 在很多年里该厂曾是世界上最大的内燃机制造厂。Otto 的合作伙伴之一, Gottlieb Daimler 随后开发了利用汽油作燃料的发动机, 详情见 1885 年的 4315 号专利, 他也率先将汽油发动机应用到机动车上(图 1-3)。

汽油机吸入可燃的空气燃油混合气, 并将这种混合气进行压缩后在精确的时刻由火花塞点燃。因此, 有时也将这种发动机称为火花点火式(S. I.)发动机。

这类发动机需要四个活塞行程来完成一个工作循环: 活塞朝着远离缸盖的方向移动, 吸入空气燃油混合气的行程; 活塞朝缸盖方向运动, 压缩空燃混合气充量的行程; 活塞朝着远离缸盖方向移动的做功行程和活塞朝缸盖方向运动的排气行程。

1. 进气行程

进气门开启, 排气门关闭。活塞下行远离缸盖(图 1-3a)。活塞沿气缸快速移动产生压力下降或真空, 在距上止点三分之一行程处缸内负压达到最大值, 约比大气压低 0.3bar。实际产生的真空度将取决于发动机的转速和负荷的大小, 典型的平均真空度比大气压低 0.12bar。缸内产生的真空度可吸入由空气和雾化汽油组成的重量比为 10 ~ 17:1 的新鲜充量和。

利用缸内真空吸入新鲜充量的发动机叫做“正常吸气”或“自然吸气”式发动机。

2. 压缩行程

进气门和排气门均关闭。活塞开始上行, 朝缸盖方向移动(图 1-3b)。吸入的空气燃油混合气被逐渐压缩, 在活塞处于上止点时被压缩到气缸原有容积的八分之一至十分之一。压缩过程将空气和雾化了的汽油分子紧紧挤压在一起。压缩过程不仅提高了缸内气体的压力, 还升高了其温度。在节气门开启发动机带负荷运转时, 缸内气体最大压缩压力一般可达 8 ~ 14bar。

3. 做功行程

进气门和排气门均关闭, 且就在活塞接近压缩上止点之时, 火花塞点燃被压缩后的高密度的可燃充量(图 1-3c)。当活塞到达上止点时, 缸内可燃混合气开始燃烧, 产生热量, 促使缸内气体压力迅速升高。当作用在活塞上的气体压力超过作用在其上阻力时, 燃烧气体开始膨胀, 改变活塞运动方向, 并将活塞推至下止点。于是, 气缸压力从满负荷下大约 60bar 的峰值压力降低到活塞接近下止点时的 4bar 左右。

4. 排气行程

做功行程结束时, 进气门仍保持关闭状态, 而排气门

开启。活塞改变运动方向，从下止点向上止点位置移动(图1-3d)。大部分废气靠其自身的能量排出气缸，而剩余的废气将在活塞上移的过程中被活塞强行推入排气道排入大气中。

在排气行程中，缸内气体的压力将会从排气门开启时的压力(根据发动机转速和节气门开度的不同可能为2~5bar范围内的某个值)逐渐下降，到活塞朝缸盖方向移动接

近上止点时缸内气体压力为大气压力，甚或更低。

5. 四缸发动机(图1-3e~g)的工作循环

图1-3e说明了四缸发动机工作循环的各个过程，即进气、压缩、做功和排气是如何分阶段实施的。在图1-3f和图1-3g中清楚地显示了在四个行程中气缸压力是如何随活塞位置变化而变化的。循着箭头，可以看到在反复地走一个“8”字形。

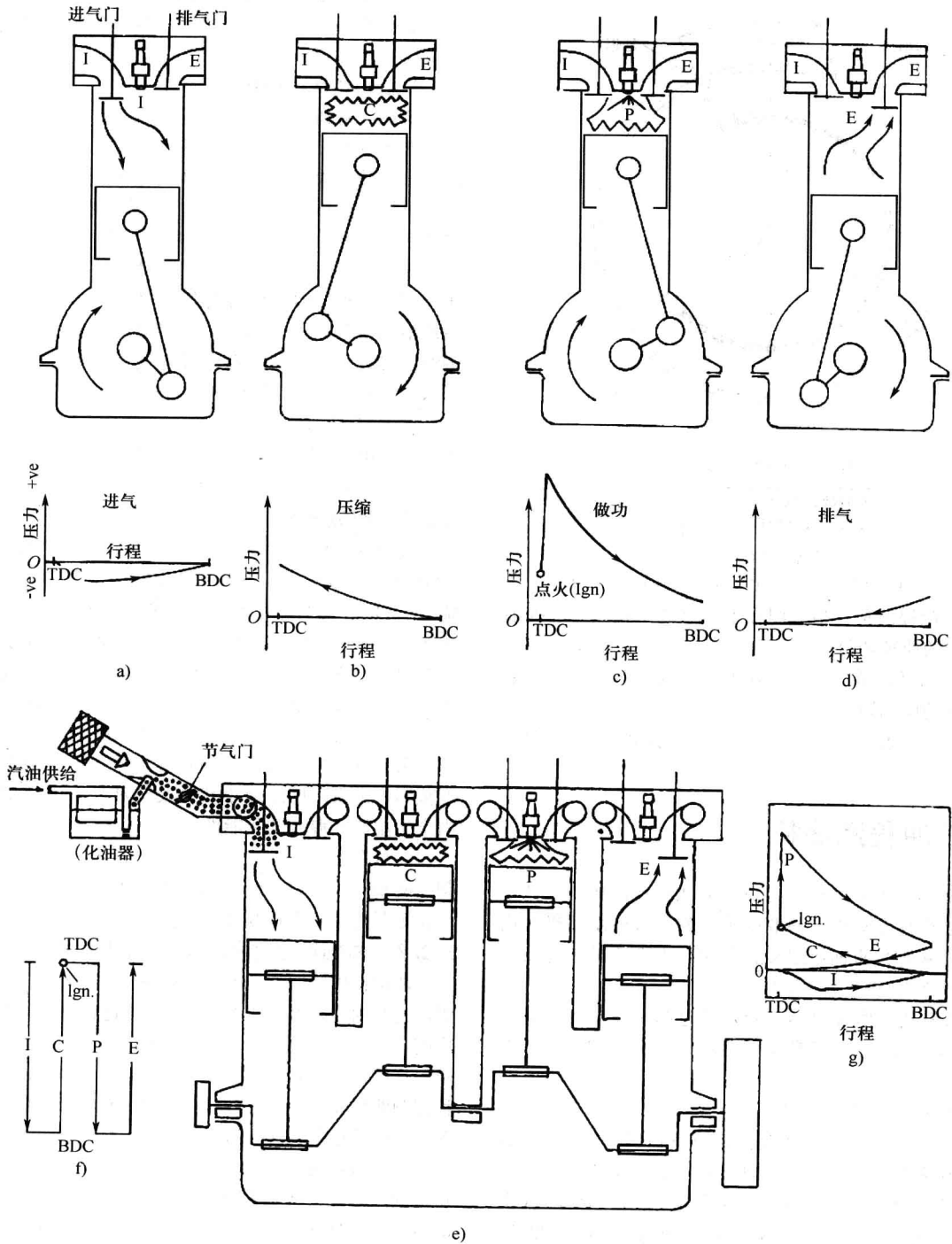


图1-3 四冲程汽油机

a) 进气行程 b) 压缩行程 c) 做功行程 d) 排气行程 e) 化油器的工作 f) 活塞运行 g) 示功图

1.1.3 配气相位图

实际上,组成四冲程工作循环的各个过程并不是准确地在活塞行程的两端开始和结束的。为了改善吸气和排气效果,特意将进气门安排在上止点之前开启,在下止点之后关闭;排气门在下止点之前开启,在上止点之后关闭。这种提前开启和推迟关闭的情况可用配气相位图表示出来,如图1-4所示。

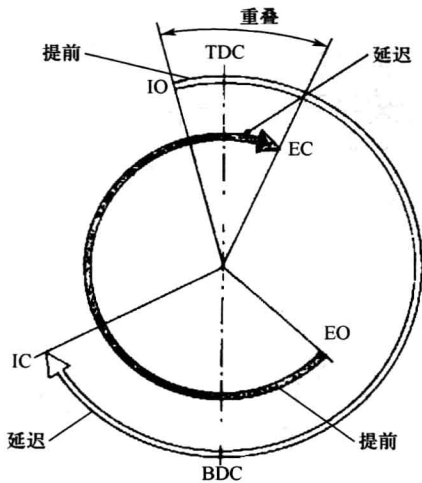
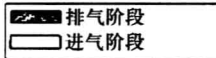


图 1-4 配气相位图



EO = 排气门开启 EC = 排气门关闭
IO = 进气门开启 IC = 进气门关闭

(1) 气门提前角 指气门在上止点或下止点之前提前开启所对应的曲轴转角。

(2) 气门延迟角 指气门在上止点或下止点之后延迟关闭所对应的曲轴转角。

(3) 气门重叠 这是进气门和排气门同时开启的曲轴旋转角度。

1.2 二冲程汽油机

在1889年, Joseph Day及Bath的儿子首次成功设计了三气口式二冲程发动机,并取得了专利。这种发动机利用活塞底部和密封的曲轴箱组成扫气泵(‘扫气’是通过吸入新鲜的充量排除废气,见图1-5。

这种发动机在曲轴每转一圈或经过两个完整的活塞行程后,就可完成由进气、压缩、做功和排气过程组成的一个工作循环。

1. 曲轴箱-气缸混合气传送

活塞沿气缸向下移动,先是露出排气口(E),将燃烧后的废气排放到大气中。同时,向下移动的活塞压缩活塞下方先前已进入曲轴箱内的空气和雾化了的汽油混合气(图1-5a)。活塞进一步向下移动就会露出换气口(T),此时,曲轴箱内经过压缩的混合气被传送到气缸的燃烧室侧。随后缸内的情形是,进入气缸的新鲜充量会继续将残余的燃

烧产物排出,通常将此过程称为横流式扫气。

2. 气缸压缩和曲轴箱进气

曲轴旋转,活塞朝缸盖方向移动。活塞先是封闭换气口,稍后完全关闭排气口。活塞的进一步上移会将空气和雾化了的汽油混合气压缩到大约原有容积的1/7至1/8(图1-5b)。

活塞上移压缩活塞顶上方的新鲜充量的同时,增加了曲轴箱的容积,由此在其中产生真空。大约在到达气缸行程的一半时,活塞的裙部下方就会露出进气口(I),从而将化油器准备好的新鲜空气和汽油混合气吸入曲轴箱内(图1-5b)。

3. 缸内燃烧和曲轴箱压缩

就在活塞到达其行程的最高点之前,位于缸盖中心的火花塞定时发火并点燃压缩后的高密度混合气。缸内空燃混合气迅速燃烧,致使缸内压力急剧升高,在满负荷下,缸内气体最高压力可达50bar。随后,燃烧的混合气膨胀,迫使活塞向下运动,气缸压力随之相应下降(图1-5c)。

现在考虑曲轴箱内活塞下面发生的情况:最初活塞位于行程最高点时,新鲜混合气通过进气口进入曲轴箱。当活塞沿其行程向下移动时,活塞裙部会挡住进气口,活塞继续下移将会压缩曲轴箱内混合气,为下次将进气充量传入气缸和燃烧室空间做准备(图1-5c)。

图1-5d显示的是适合于三缸发动机的综合工作循环。图1-5e和图1-5f分别显示了按照开启及关闭过程、气缸容积和压力变化的一个完整工作循环。

1.2.1 回流扫气

为了提高扫气效率,开发了回流扫气系统,或称Schnuerle(以发明人E. Schnuerle博士的名字来命名)扫气系统(图1-6)。这种系统在排气口的两侧各设有一个换气口,这些换气口可使空燃混合气在扫气过程中以几乎切线的方向引向对面的气缸壁。两股扫气混合气在对面气缸壁处相遇合流,在缸内形成一股上升气流,这股气流在气缸盖下调头并在扫气口侧向下流动,从而形成一个完整的扫气循环。采用进、排气口的这种布置形式,可在很宽的活塞速度范围内最大限度地减小残余废气和新鲜空燃混合气在缸内产生湍流并混合的可能性。

注意在这种特殊设计中,进气混合气通过在活塞裙部制造的扫气口传送。也有人喜欢延长扫气通道,使活塞裙部在定时传送中不再起作用。

1.2.2 曲轴箱盘形阀和簧片阀进气控制

曲轴箱进气口除了可由活塞进行控制外,还可使用一个固定在曲轴上并由曲轴驱动的盘形阀进行控制(图1-7a)。盘形阀定时开启和关闭,以便新鲜充量尽可能早地被吸入曲轴箱,且仅在进气充量将要被送入气缸时才将盘形阀关闭。这种控制曲轴箱进气的方式不依靠活塞移动来露出气口,因此,可以通过调节其开闭相位来延长充气时间(图1-7)。

另一种改善曲轴箱充气的方式是使用簧片阀(图1-7b)。这些阀不是定时开启和关闭,而是在曲轴箱和进气管之间的压差足以使簧片打开时自动开启。换句话说,这类阀可以感知曲轴箱的要求,相应调节开启及关闭的频率来满足发动机的需要。

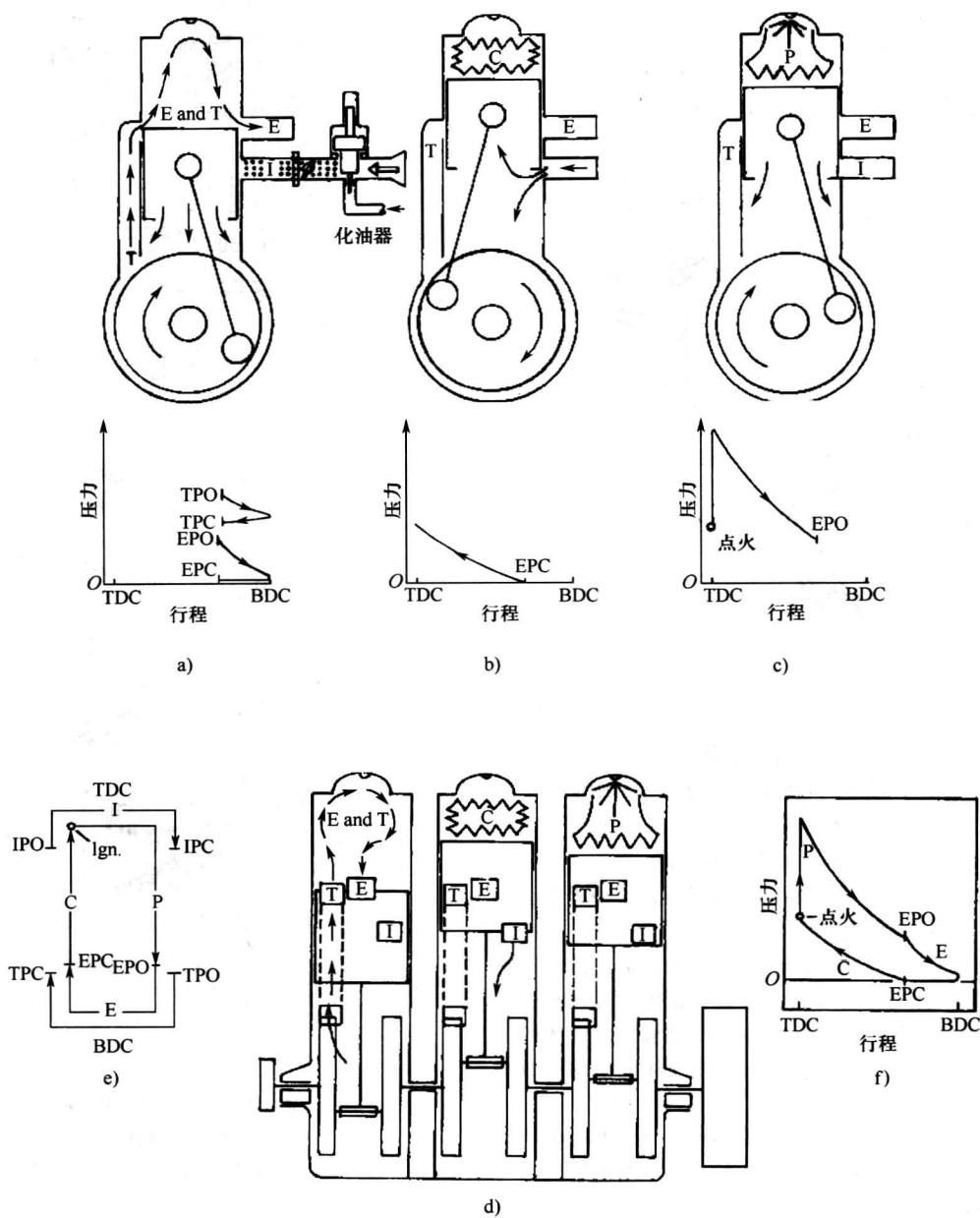


图1-5 二冲程汽油机

- a) 气缸扫气；气缸排气；曲轴箱-气缸混合气传送 b) 气缸压缩；曲轴箱进气
 c) 气缸压缩；曲轴箱压缩 d) 三缸发动机的循环 e)、f) 完整工作循环
 TPO = 换气口开启 EPO = 排气口开启
 TPC = 换气口关闭 EPC = 排气口关闭

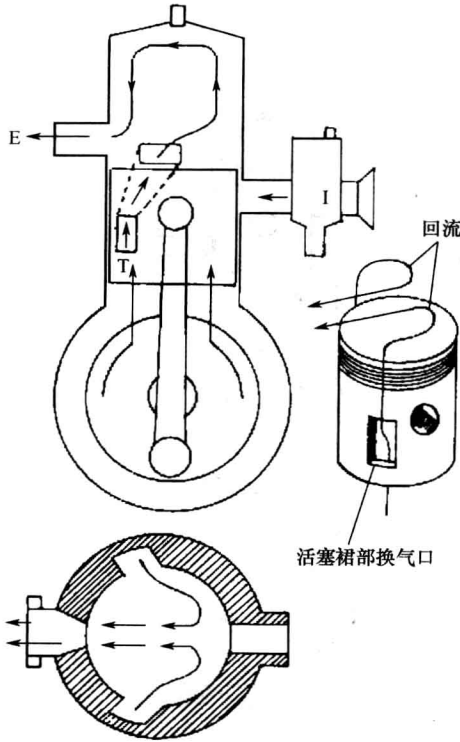


图 1-6 回流或 Schnuerle 扫气

1.2.3 二冲程和四冲程汽油机比较

下面就两种发动机循环的效率进行一下大略的比较。

1) 二冲程发动机的曲轴每转一圈即完成一个工作循环, 相比之下, 四冲程发动机曲轴需要转两圈。

2) 从理论上讲, 气缸排量相同的情况下, 二冲程发动机发出的功率应是四冲程发动机的两倍。

3) 实际上, 二冲程发动机排出的废气和通过曲轴箱进入气缸的新鲜混合气量远远低于具有单独排气行程和进气行程的四冲程发动机。因此, 二冲程发动机缸内气体的平均有效压力远远低于四冲程发动机缸内气体的平均有效压力。

4) 由于二冲程发动机是每转一圈而不是每转两圈做功一次, 因此, 在飞轮尺寸相同的情况下, 二冲程发动机的运转会比四冲程发动机的运转更平稳。

5) 与四冲程发动机不同, 在相邻两次做功行程期间, 二冲程发动机没有单独的排气行程和进气行程来冷却气缸和活塞。因此, 在恶劣行驶条件下, 活塞和连杆小头容易发生过热。

6) 二冲程发动机由于扫气过程欠佳, 还可能遭遇以下问题:

- ① 送入气缸内的新鲜混合气量不足。
- ② 气缸内残留的废气过多。
- ③ 通过排气口直接排出新鲜充气。

这些不利条件在不同的转速和负荷情况下都可能发生, 会极大地影响发动机的功率和燃油消耗率。

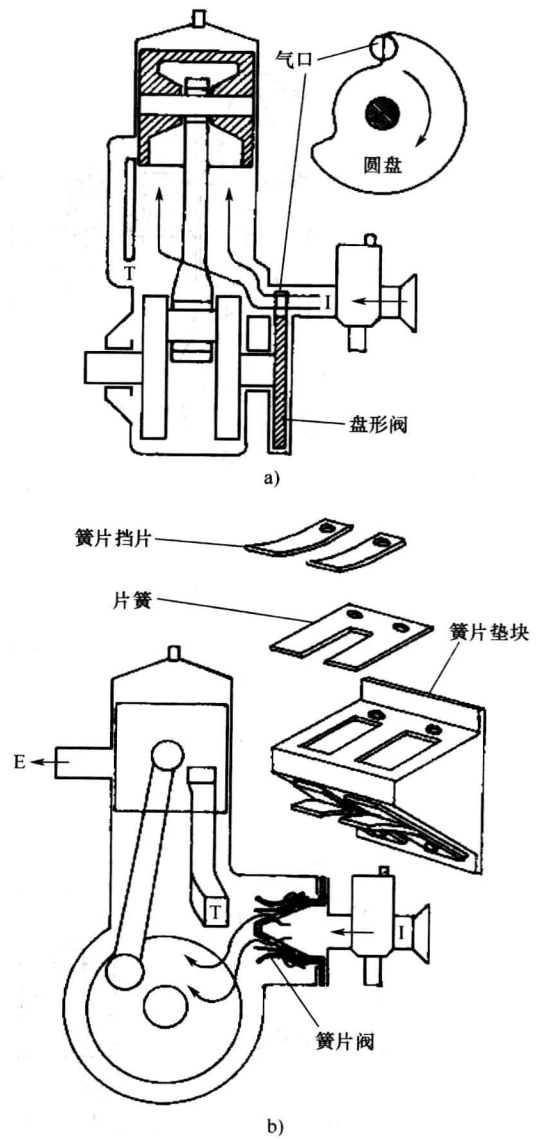


图 1-7 由曲轴箱盘形阀和簧片阀控制的进气

a) 曲轴箱盘形阀进气 b) 曲轴箱簧片阀进气

7) 与四冲程发动机相比, 预期二冲程发动机的保养工作量会少很多, 但在进气口、换气口和排气口处可能会出现燃烧积炭。

8) 二冲程发动机的润滑是由少量机油与汽油按照一定比例(介于 1:16 和 1:24 之间)混合来实现的, 这样, 在曲轴箱进气时, 各个旋转部件和往复运动部件将会由汽油与机油混合而成的油雾进行润滑。显然, 气缸内总会有机油参与燃烧并将燃烧产物排入大气中, 从而增加了令人讨厌的排放物。

9) 二冲程发动机中的工作部件比四冲程发动机少, 所以二冲程发动机的制造成本通常较低。