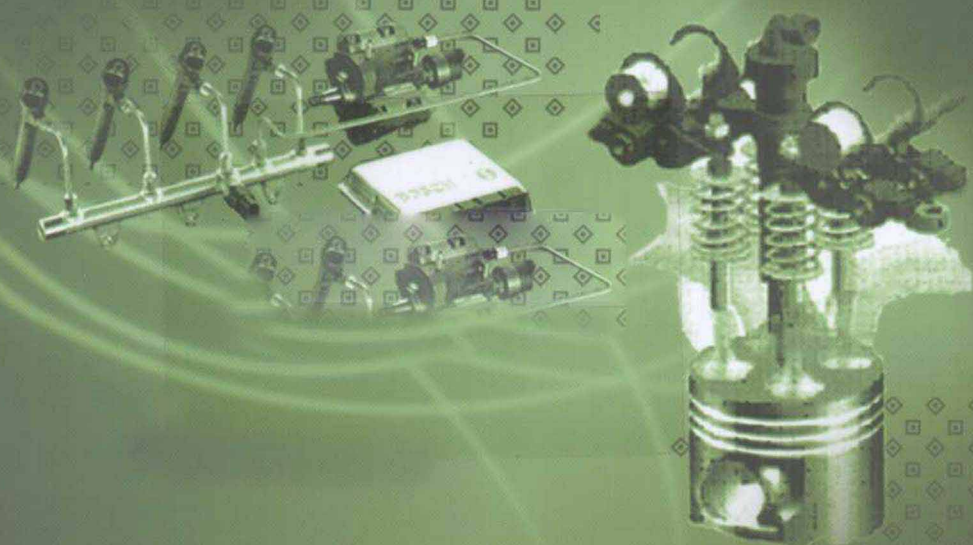


现代车用柴油机实用技术

Modern Vehicle Diesel Engine Practical Technology

王启航 王永红 苏庆运 张松涛 编著



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

现代车用柴油机实用技术

Modern Vehicle Diesel Engine Practical Technology

王启航 王永红 苏庆运 张松涛 编著

邱 东 主审



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

现代车用柴油机实用技术 / 王启航等编著. — 大连:
大连理工大学出版社, 2012.3

ISBN 978-7-5611-6697-0

I. ①现… II. ①王… III. ①汽车—柴油机 IV.
①U464.172

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 281064 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

电话:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

大连美跃彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm	印张:19.5	字数:317 千字
2012 年 3 月第 1 版	2012 年 3 月第 1 次印刷	

责任编辑:于建辉

责任校对:李 慧

封面设计:季 强

ISBN 978-7-5611-6697-0

定 价:68.00 元

序

爱因斯坦曾经说过：“世间最美好的东西，莫过于有几个头脑和心地都很正直的朋友。”很高兴，我们四人能在从事发动机开发的过程中结识，相互切磋学习，最终成为好朋友。

王启航负责平台产品开发的全面工作，在柴油机性能开发、可靠性设计及整车匹配方面有丰富的经验；王永红长期从事燃烧过程和增压系统的开发工作，在商用车柴油机和乘用车汽油机涡轮增压领域积累了丰富的实战经验；苏庆运毕业于德国海德堡大学，师从 Warnatz 教授，主要从事内燃机燃烧与排放控制、燃烧与催化化学反应动力学等方面的教学与研究；张松涛自 1993 年开始从事发动机试验工作，对发动机性能及排放测试、发动机电控标定与优化颇有心得。四人虽然业务主攻方向不同，教育背景也有差异，但是共同围绕着柴油机开发工作，专注于自己研究的领域，相互沟通，共同交流，在质疑和探讨中共同进步。

偶然小聚，苏庆运提议将这些年工作所得汇集整理成书，供同行参阅，并自告奋勇担任该书出版的总协调人。作为主要的撰稿人，王启航倾注了大量的心血：第 2 章与王永红共同编写；第 5 章与苏庆运共同执笔；第 1 章及第 10 章与张松涛共同编写。王书庆、侯方、段军、金喆、韩祖豪等提供了标定技术方面的支持和指导，对完成第 6 章的编写起到了重要作用；赵兵先生对第 3 章试验开发和售后服务部分提出了很有建设性的意见。

因为长期处于发动机开发工作的第一线，深知手头资料缺乏的苦痛，所以我们将自己十余年的工作经验与心得汇集整理，编纂成书，以期在目前战斗在“最前沿阵地”的工程师们提供参考。



概括起来,本书的三个特点是:“实,全,新”。

所谓“实”,就是一切从工程的实际需求出发,来指导发动机开发过程中的具体问题。没有复杂的数学公式推导,没有深奥的基础理论探讨,完全站在基础工程师的角度来看问题,直接列举和描述当前的主流解决方案的优缺点及应用场合,直接把热点话题如 EGR 技术、标定技术、4 气门技术各列为一章专门介绍,以上从本书的章节设计也可初见端倪。对于发动机开发工作中的“牛皮癣”——机油耗和冷启动问题,花大量的笔墨来讨论,系统地梳理方方面面的原因,在讨论问题的同时,还充分考虑实际使用环境,融入了笔者多年解决售后问题的经验心得。本书的“实”还体现在大量的实例中,几乎每个小节、每个主题都有具体的应用情况说明并配有大量的实物照片,大大拉近了理论说教和实际工程的距离。这些例子全部来自于多年发动机开发的实际案例,具有很好的典型性和示范性。另外,在介绍实用技术的同时,用了相当的篇幅来说明常见故障模式及排除方法,如在第 3 章电控技术中,就用了近 10 页的篇幅介绍电控系统故障排除。

所谓“全”,并不是妄图覆盖柴油机开发的各个方面,而是尽量全面详尽地介绍涉及的主题。比如在车用发动机增压技术一章中,就涵盖了放气阀式、变截面和两级增压三种型式增压系统,既有乘用车汽油机增压实例,又有商用车柴油机的应用,以使读者能够全面清晰地了解涡轮增压技术的应用。

所谓“新”,是指本书在编写过程中,既紧贴时代,详细展示了当今成熟的技术,如在电控技术中,介绍了电控分配泵、Bosch CRS2.0 和 1.3 经济型共轨系统、Bosch 200 MPa 共轨系统、Denso 共轨系统、电控单体泵系统以及泵喷嘴系统,又具有一定的前瞻性,如第 5 章中排气后处理发展趋势展望和第 10 章欧 V/VI 技术的简介。

临近付梓,在此特别感谢大连理工大学邱东教授,邱老师在百忙之中审阅了全稿。硕士研究生孙树平、王胜配合出版社做了校对工作。

感谢道依茨一汽大连柴油机公司何毅总经理、韩笑、李来群、蒋鹏、姜涛、陈晓红等领导给予编者多年的无私帮助和耐心指导。感谢中国一汽技术中心李金成总监、侯福建部长,强鸿、孟繁臣、吴世友、皮文列、蒋文虎等高

级工程师,在长期的合作开发项目中使编者从诸位身上受益匪浅。

这是一本工程师写给工程师看的书。虽无“两句三年得,一吟双泪流”,但也数次批阅,几番删减。如果能对读者有所帮助或借鉴的话,我们会从内心感到欣慰。

由于受专业水平及个人经验所囿,除特别说明外,主要针对轻型车用柴油机范围。即使这样,书中个别观点论断,难免有不尽全面,甚至有失偏颇之处,敬请同行们批评指正!

编著者
于 2012 年春

目 录

第 1 章 绪 论 / 1

- 1.1 我国的排放法规介绍 / 1
 - 1.1.1 GB 18352.3—2005 / 1
 - 1.1.2 GB 17691—2005 / 3
- 1.2 国内轻型汽车电控柴油机的技术简介 / 5
 - 1.2.1 微型轿车柴油机——YC4W 柴油机 / 5
 - 1.2.2 轿车柴油机 / 6
 - 1.2.3 长城 GW4D20 柴油机 / 9
- 1.3 国内主流 3 L 电控柴油机介绍 / 10
 - 1.3.1 3 L 国Ⅲ柴油机 / 10
 - 1.3.2 3 L 国Ⅳ柴油机 / 12
- 1.4 小 结 / 14
- 参考文献 / 14

第 2 章 车用发动机增压技术 / 16

- 2.1 车用发动机对增压系统的要求 / 16
- 2.2 放气阀式增压器及其匹配技术 / 20
 - 2.2.1 放气阀式增压器 / 20
 - 2.2.2 放气阀式增压器匹配实例 / 21
- 2.3 可变几何参数增压器(VNT)及其匹配技术 / 26
 - 2.3.1 VNT 的结构和原理 / 26
 - 2.3.2 VNT 柴油机的运行特点 / 28
 - 2.3.3 VNT 的匹配 / 29
 - 2.3.4 VNT 匹配实例 / 30



- 2.4 两级增压及其匹配技术 / 33
 - 2.4.1 两级增压的工作原理 / 33
 - 2.4.2 商用车柴油机的两级增压系统 / 34
 - 2.4.3 乘用车柴油机的两级增压系统 / 35
 - 2.4.4 两级增压系统的调节 / 36
 - 2.4.5 柴油机两级增压的实例介绍 / 37
- 2.5 汽油机增压技术 / 47
 - 2.5.1 汽油机增压 / 47
 - 2.5.2 汽油机增压特点 / 48
 - 2.5.3 大众 1.4TSI 汽油机简介 / 53
 - 2.5.4 汽油机增压的匹配实例 / 58
- 2.6 小 结 / 61
- 参考文献 / 62

第 3 章 柴油机电控技术 / 63

- 3.1 电控技术的发展 / 63
- 3.2 电控分配泵 / 69
 - 3.2.1 轴向柱塞式电控分配泵 / 69
 - 3.2.2 径向柱塞式电控分配泵 / 72
 - 3.2.3 国内半电控 VE 泵介绍 / 76
 - 3.2.4 电控 VE 泵的市场情况 / 79
- 3.3 Bosch CRS2.0 共轨系统 / 80
 - 3.3.1 四大核心部件的功能介绍 / 81
 - 3.3.2 传感器介绍 / 92
- 3.4 Bosch CRS1.3 经济型共轨系统 / 101
- 3.5 Bosch 轿车用 200 MPa 共轨系统 / 103
- 3.6 Denso 共轨系统 / 106
- 3.7 电控单体泵系统 / 112
 - 3.7.1 电控单体泵 / 112
 - 3.7.2 国产电控单体泵系统 / 114
- 3.8 泵喷嘴系统 / 116
- 3.9 共轨柴油机故障及其诊断 / 120

- 3.9.1 ECU 诊断功能 / 120
- 3.9.2 共轨柴油机典型故障统计 / 121
- 3.10 小 结 / 128
- 参考文献 / 129

第 4 章 柴油机冷却废气再循环技术 / 130

- 4.1 废气再循环(EGR)降低 NO_x 机理 / 130
 - 4.1.1 NO_x 生成机理 / 130
 - 4.1.2 废气再循环系统降低 NO_x 排放的机理 / 131
- 4.2 废气再循环系统方案布置 / 132
 - 4.2.1 内部 EGR / 132
 - 4.2.2 外部 EGR / 133
- 4.3 EGR 阀 / 137
 - 4.3.1 真空膜片式 EGR 阀 / 139
 - 4.3.2 电控 EGR 阀 / 140
 - 4.3.3 EGR 阀冷端和热端布置 / 143
- 4.4 EGR 冷却器 / 143
 - 4.4.1 EGR 冷却器的结构 / 144
 - 4.4.2 EGR 冷却器的特性 / 144
- 4.5 EGR 对燃烧和排放的影响 / 147
- 4.6 EGR 对柴油机的磨损和可靠性的影响 / 149
- 4.7 设计实例 / 152
- 4.8 小 结 / 156
- 参考文献 / 156

第 5 章 柴油机排气后处理技术 / 158

- 5.1 绪 论 / 158
 - 5.1.1 催化转化器的性能指标 / 158
 - 5.1.2 柴油机尾气后处理技术 / 159
- 5.2 柴油机氧化催化转化器 / 160
- 5.3 微粒氧化催化器技术 / 163
- 5.4 颗粒过滤器 / 166

- 5.5 选择性催化还原技术 / 174
 - 5.5.1 化学反应 / 174
 - 5.5.2 催化器的型式 / 178
 - 5.5.3 SCR 系统原理 / 181
- 5.6 NO_x 存储还原技术 / 183
- 5.7 采用 DOC+POC 技术难题 / 185
- 5.8 小 结 / 188
- 参考文献 / 189

第 6 章 柴油机标定技术 / 190

- 6.1 绪 论 / 190
 - 6.1.1 标定的必要性 / 190
 - 6.1.2 标定的基本概念 / 190
- 6.2 电控单体泵柴油机的标定工作 / 192
 - 6.2.1 电控电体泵柴油机的标定策略 / 192
 - 6.2.2 电控单体泵的标定策略 / 192
- 6.3 Bosch CRS2.0 系统柴油机的台架标定介绍 / 202
- 6.4 电控共轨柴油机的整车标定 / 204
 - 6.4.1 整车标态标定 / 204
 - 6.4.2 整车寒区标定 / 205
 - 6.4.3 整车高原标定 / 206
 - 6.4.4 整车热带标定 / 208
- 6.5 电控共轨柴油机 EGR 的标定 / 210
 - 6.5.1 EGR 保护标定 / 210
 - 6.5.2 EGR 阀特性试验 / 211
- 6.6 OBD 标定介绍 / 212
- 6.7 SCR 标定介绍 / 217
 - 6.7.1 尿素喷射量的定义 / 217
 - 6.7.2 标定过程 / 219
- 6.8 小 结 / 222
- 参考文献 / 222

第 7 章 柴油机 4 气门技术 / 223

- 7.1 绪 论 / 223
- 7.2 4 气门缸盖的概念设计 / 224
 - 7.2.1 汽缸盖材料的选择 / 224
 - 7.2.2 每缸缸盖螺栓数量的选择和定义 / 226
 - 7.2.3 气道形状与布置 / 228
 - 7.2.4 4 气门缸盖进、排气门尺寸的确定 / 230
 - 7.2.5 进气道入口、排气道出口尺寸定义 / 232
- 7.3 4 气门缸盖的配气机构 / 234
 - 7.3.1 顶置凸轮轴 / 234
 - 7.3.2 凸轮、挺柱、推杆 / 235
 - 7.3.3 正时驱动系统 / 236
- 7.4 气道试验台简介 / 239
- 7.5 气道开发流程 / 241
- 7.6 小 结 / 242
- 参考文献 / 243

第 8 章 柴油机降机油消耗技术 / 244

- 8.1 降机油消耗的措施 / 244
- 8.2 缸孔变形对机油消耗的影响 / 245
- 8.3 缸套网纹质量对机油消耗的影响 / 248
- 8.4 活塞环对机油消耗的影响 / 250
 - 8.4.1 活塞环类型 / 250
 - 8.4.2 活塞环材料 / 252
 - 8.4.3 外圆耐磨涂层 / 253
 - 8.4.4 活塞环的发展技术 / 255
- 8.5 柴油机降机油消耗开发实例 / 256
 - 8.5.1 实例一:缸孔变形对机油消耗的影响 / 256
 - 8.5.2 实例二:油环刮油刃对机油消耗的影响 / 258
 - 8.5.3 实例三:活塞-活塞环间隙对机油消耗的影响 / 259
 - 8.5.4 实例四:某轻型柴油机国Ⅲ机油消耗开发 / 260

8.5.5 实例五:螺旋滑动珩磨技术降低柴油机的磨损和机油消耗 / 262

8.6 小 结 / 264

参考文献 / 265

第 9 章 柴油机冷启动技术 / 266

9.1 绪 论 / 266

9.2 柴油自燃 / 267

9.3 压缩比对柴油机冷启动的影响 / 270

9.4 起动机与柴油机的低温匹配 / 272

9.5 蓄电池 / 274

9.6 辅助预热 / 279

9.7 冷启动对柴油和机油牌号的要求 / 284

9.8 供油系统对柴油机冷启动的影响 / 285

9.9 小 结 / 287

参考文献 / 288

第 10 章 柴油机欧 V / VI 技术 / 290

10.1 EGR 路线的欧 V 技术 / 290

10.2 SCR 路线的欧 V 技术 / 295

10.3 欧 V / VI 柴油机经济性的评价 / 297

10.4 小 结 / 299

参考文献 / 300

第1章

绪论

1.1 我国的排放法规介绍

根据《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国大气污染防治法》，为了保护环境，防治机动车排放对环境的污染，改善空气质量，制定了GB 18352.3—2005《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ阶段)》和GB 17691—2005《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段)》。

1.1.1 GB 18352.3—2005

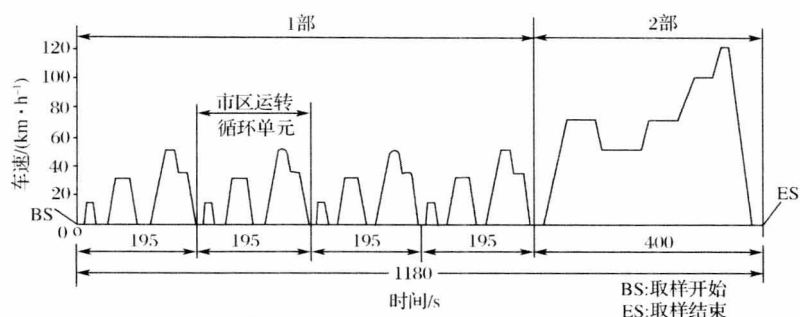
定义的车型：轻型汽车，指最大总质量不超过 3500 kg 的 M_1 类、 M_2 类和 N_1 类汽车。

装压燃式发动机的汽车必须进行下述试验：

- (1) I 型试验，指常温下冷启动后排气污染物排放试验；
- (2) V 型试验，指污染控制装置耐久性试验；
- (3) 车载诊断(OBD)系统试验。

I 型试验规定了整车在底盘测功机的运转循环，如图 1-1 所示。

基准质量(RM)指汽车的“整备质量”加上 100 kg。汽车的整备质量就是汽车经整备后在完备状态下的自身质量，即汽车在加满燃料、润滑油、工作油液(如制动液等)及发动机冷却液和装备(随车工具及备胎等)齐全后但未载人、货时的质量。I 型试验的排放限值见表 1-1。

图 1-1 I 型试验运转循环^[1]表 1-1 I 型试验的排放限值^[1]

阶段	类别	级别	基准质量 (RM)/kg	限值/(g/km)								
				一氧化碳 (CO)	碳氢化合物 (HC)	氮氧化物 (NO _x)	碳氢化合物 和氮氧化物 (HC+NO _x)	颗粒物 (PM)				
				L ₁		L ₂		L ₃		L ₂ +L ₃		L ₄
				点燃式	压燃式	点燃式	压燃式	点燃式	压燃式	点燃式	压燃式	压燃式
III	第一类车	—	全部	2.30	0.64	0.20	—	0.15	0.50	—	0.56	0.05
	第二类车	I	RM≤1305	2.30	0.64	0.20	—	0.15	0.50	—	0.56	0.05
		II	1305<RM≤1760	4.17	0.80	0.25	—	0.18	0.65	—	0.72	0.07
		III	1760<RM	5.22	0.95	0.29	—	0.21	0.78	—	0.86	0.10
IV	第一类车	—	全部	1.00	0.50	0.10	—	0.08	0.25	—	0.30	0.02
	第二类车	I	RM≤1305	1.00	0.50	0.10	—	0.08	0.25	—	0.30	0.02
		II	1305<RM≤1760	1.81	0.63	0.13	—	0.10	0.33	—	0.39	0.04
		III	1760<RM	2.27	0.74	0.16	—	0.11	0.39	—	0.46	0.06

V 型试验的运行规范^[1](污染控制装置耐久性试验)如图 1-2 所示。

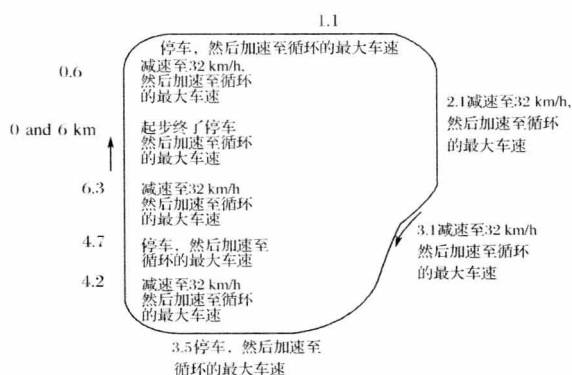


图 1-2 V 型试验的运行规范

按运行的程序,在试验跑道或道路或底盘测功机上,进行 80000 km 耐久性试验,确定实测劣化系数,试验结果见表 1-2。

表 1-2 劣化系数^[1]

发动机类别	劣化系数				
	CO	HC	NO _x	HC+NO _x	PM
点燃式发动机	1.2	1.2	1.2	—	—
压燃式发动机	1.1	—	1	1	1.2

车载诊断系统是指排放控制用车载诊断系统。它具有识别可能存在故障区域的功能,并以故障代码的方式将信息存储在电控单元存储器内。

1.1.2 GB 17691—2005

该标准适用于设计车速大于 25 km/h 的 M₂、M₃、N₁、N₂ 和 N₃ 类及总质量大于 3500 kg 的 M₁ 类机动车装用的压燃式(含气体燃料点燃式)发动机及其车辆的型式核准、生产一致性检查和在用车符合性检查。若装备压燃式(含气体燃料点燃式)发动机的 N₁ 和 M₂ 类车辆已经按照 GB 18352.3—2005《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ阶段)》的规定进行了型式核准,则其发动机可不按本标准进行型式核准。

M₁、M₂、M₃、N₁、N₂、N₃ 类车辆的定义如下:M₁ 类车指包括驾驶员座位在内,座位数不超过九座的载客车辆;M₂ 类车指包括驾驶员座位在内,座位数超过九座,且最大设计总质量不超过 5000 kg 的载客车辆;M₃ 类车指包括驾驶员座位在内,座位数超过九座,且最大设计总质量超过 5000 kg 的载客车辆;N₁ 类车指最大设计总质量不超过 3500 kg 的载货车辆;N₂ 类车指最大设计总质量超过 3500 kg,但不超过 12000 kg 的载货车辆;N₃ 类车指最大设计总质量超过 12000 kg 的载货车辆。

第一类车指包括驾驶员座位在内,座位数不超过六座,且最大设计总质量不超过 2500 kg 的 M₁ 类汽车;第二类车指本标准适用范围内除第一类车以外的其他所有轻型汽车。

ESC 试验(European Steady State Cycle,稳态循环)的具体定义^[2-3]如图 1-3 所示;ELR 试验(European Load Response Test,负荷烟度试验)的具体定义^[2-3]如图 1-4 所示;ETC 试验(European Transient Cycle,瞬态循环)的具体定义^[2-3]如图 1-5 所示。ESC 和 ELR 的法规限值见表 1-3,ETC 的法规限值见表 1-4。

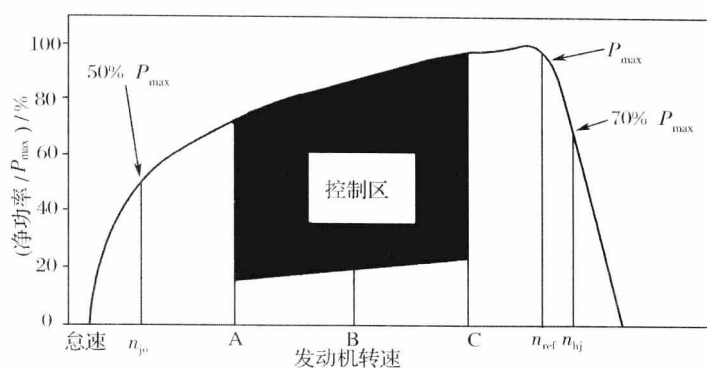


图 1-3 ESC 试验的具体定义

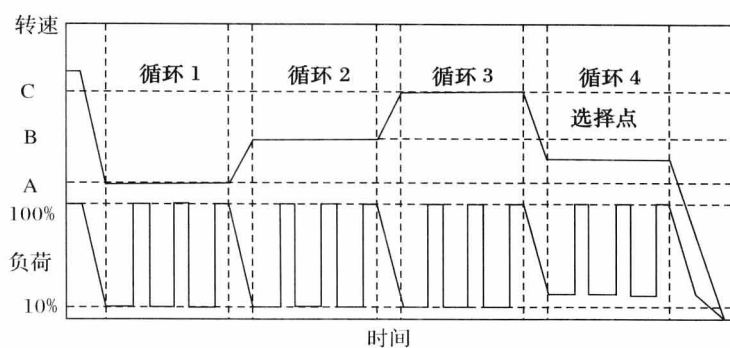


图 1-4 ELR 试验的具体定义

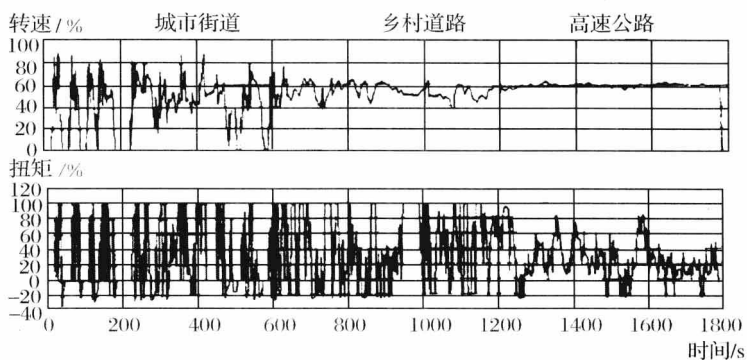


图 1-5 ETC 试验的具体定义

表 1-3 ESC 和 ELR 的法规限值^[2]

阶段	一氧化碳(CO)	碳氢化合物(HC)	氮氧化物(NO _x)	颗粒物(PM)		烟度/m ⁻¹
	g · (kW · h) ⁻¹	g · (kW · h) ⁻¹	g · (kW · h) ⁻¹	g · (kW · h) ⁻¹		
Ⅲ	2.1	0.66	5	0.10	0.13 ⁽¹⁾	0.8
Ⅳ	1.5	0.46	3.5	0.02		0.5
V	1.5	0.46	2	0.02		0.5
EEV ⁽²⁾	1.5	0.25	2	0.02		0.15

注:(1)适用于每缸排量低于 0.75 dm³ 及额定功率转速超过 3000 r/min 的发动机;

(2)EEV 指环境友好汽车(Enhanced Environmentally Friendly Vehicle),它所装用的发动机应符合表中规定的 EEV 排放限值。

表 1-4 ETC 的法规限值^[2]

阶段	一氧化碳(CO)	非甲烷碳氢化合物	甲烷(CH ₄) ⁽¹⁾	氮氧化物(NO _x)	颗粒物(PM) ⁽²⁾	
	g · (kW · h) ⁻¹	g · (kW · h) ⁻¹	g · (kW · h) ⁻¹	g · (kW · h) ⁻¹	g · (kW · h) ⁻¹	
Ⅲ	5.45	0.78	1.6	5	0.16	0.21 ⁽³⁾
Ⅳ	4	0.55	1.1	3.5	0.03	
V	4	0.55	1.1	2	0.03	
EEV	3	0.4	0.65	2	0.02	

注:(1)仅适用于 NG 发动机;

(2)不适用于第Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ阶段的燃气发动机;

(3)适用于每缸排量低于 0.75 dm³ 及额定功率转速超过 3000 r · min⁻¹ 的发动机。

车载诊断系统(OBD)要求:新型车自第Ⅳ阶段开始应装备车载诊断系统(OBD)或车载测量系统(OBM),用以监测使用中的排气污染物。

1.2 国内轻型汽车电控柴油机的技术简介

1.2.1 微型轿车柴油机——YC4W 柴油机

YC4W 柴油机^[4]如图 1-6 所示。该机是玉柴从 FEV 公司引进的高速小型直喷(HSDI)柴油机(FEV 公司为福特设计的 4 气门车用柴油机),玉柴拥有自主知识产权,填补了国内自主开发轿车柴油机的空白。

YC4W 柴油机为立式、直列四缸、水冷、四冲程,排量为 1.22 L,铝结构轻量化设计。主配车型为微型轿车,所应用的主要技术有:①汽缸盖、汽缸体采用了全铝结构、轻量化的设计;②用长的贯穿螺栓来强化整机强度、刚度。在排放和