

超重力强化甲醇柴油 乳化燃料制备技术

■ 焦纬洲 著

- ◇ 阐述乳化柴油的燃烧机理与研究现状
- ◇ 创建超重力强化甲醇柴油乳化新机制
- ◇ 研究甲醇柴油乳化燃料稳定性等性能
- ◇ 揭示超重力强化甲醇柴油的乳化行为
- ◇ 实现超重力环境下连续制备乳化柴油
- ◇ 对发展低排放代用燃料具有重要意义



国防工业出版社

National Defense Industry Press

超重力强化甲醇柴油乳化 燃料制备技术

焦纬洲 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了作者在超重力强化甲醇柴油乳化燃料制备及性能研究中取得的重要研究成果,详细阐述了石油资源的现状、开发甲醇柴油乳化燃料的意义、乳化柴油制备的国内外现状,并对超重力技术及其连续制备甲醇柴油乳化燃料工艺的开发进行了描述。本书对影响甲醇柴油乳化燃料的流变性、稳定性、分散性、腐蚀性 & 超重力环境下甲醇柴油乳化过程等进行了系统研究,更重要的是实现了甲醇柴油乳化燃料的连续性制备,制得的甲醇柴油乳化燃料各项性能满足国家柴油燃烧指标,可以“现做现用”,达到少用乳化剂目的,开拓了乳化柴油制备新工艺。本书使读者对超重力技术连续化制备甲醇柴油乳化燃料及性能有充分的了解,对于缓解能源短缺,发展新型代用燃料、降低环境污染具有重要的理论研究意义和工业应用前景。

本书可供化学、化工、能源、环境保护及相关学科的研发、生产技术人员和应用人员使用,也可供高等院校相关专业师生参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

超重力强化甲醇柴油乳化燃料制备技术/焦纬洲著. —北京:

国防工业出版社, 2013.12

ISBN 978-7-118-09252-3

I. ①超… II. ①焦… III. ①轻柴油—乳化燃料—制备
IV. ①TE626.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 015691 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 11¼ 字数 229 千字

2013 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1500 册 定价 89.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

前 言

石油资源日趋短缺和环境污染日益严重,发展低排放代用燃料已引起世界各国的重视,特别是醇类燃料的研究一直是广大科技工作者十分关注的课题之一。结合我国煤资源丰富的国情,以煤制甲醇的技术比较成熟,生产成本低。甲醇柴油乳化燃料是一种污染排放可控的环境友好燃料,可部分代替柴油,在能源紧缺、环境污染日益严重的今天越来越受到科研工作者的重视。

影响制备甲醇柴油乳化燃料性能的两个关键因素是乳化剂和乳化装置。在乳化剂方面,通过国内外文献可以看出,采用单一乳化剂,达不到乳化目的。采用含氮类乳化剂的燃料燃烧时会导致 NO_x 污染物的增加,同时乳化剂含量高、用量大,显著增加了乳化柴油成本。在乳化装置方面,传统乳化装置主要有搅拌器、均质器和胶体磨等,存在流体质点受力不均、混合效果差、间歇操作、设备体积大和能耗高等缺点,致使乳化剂用量大、稳定性差。因此,开发新型乳化剂和连续操作的高效乳化装置势在必行。围绕以上思路,本书提出了一些创新思想。

(1) 采用撞击流-旋转填料床作为乳化装置制备甲醇柴油乳化燃料,是超重力技术在甲醇柴油乳化燃料制备工艺中的一次尝试,是传统工艺与高新技术的一次结合。本技术最显著的特色在于,油醇两相在撞击流-旋转填料床装置中高速剪切、强烈分散,制备的乳化柴油具有稳定时间长、乳化剂用量少、粒径分布均匀等特点,更重要的是制备乳状液为连续操作,实现了“现做现用”。这可根据实际稳定时间需求,添加少量乳化剂和助乳化剂,达到降低乳化成本的目的,开辟了乳化柴油连续制备的新工艺。

(2) 首次将超重力环境下甲醇柴油乳化燃料制备过程划定为撞击流初始乳化、旋转填料床强化乳化和壁面反溅完善乳化等三个乳化过程。采用数值可视化法验证了撞击流-旋转填料床制备乳化柴油的三个强化区域,建立了流体质点在撞击区和旋转填料区的流体速度场分布,揭示了制备甲醇乳化柴油的旋转填料床内径与撞击面的“耦合”结构参数(雾化切割半径),采用拔河模型分析了 HLB 值对甲醇乳化柴油的影响规律,通过对撞击流-旋转填料床装置和高速分散器中流体质点的受力分析,并对各种性能进行了对比,论证了撞击流-旋转填料床制备甲醇柴油乳化燃料的科学性。

(3) 以 Prince 的混合膜理论为指导,根据两种不同 HLB 值的非离子表面活性

性剂复配时,其增溶能力大大超过两者中的任何一个的原则,开发了甲醇柴油乳化的新型绿色环保复合型乳化剂。该乳化剂仅含 C、H、O 元素,燃烧后不产生新的污染;根据助乳化剂在界面层中吸附量最大的原则,优选了最优的助乳化剂正丁醇,系统研究了助乳化剂对甲醇增溶能力的影响,将助乳化剂吸附在油水界面可进一步降低界面张力,增强界面膜的流动性,减少乳液形成所需的弯曲能,对于完善乳化理论具有重要的学术价值和指导意义。

本书撰写过程中,参阅了国内外众多学者的卓越工作,在此谨向他们表示衷心的感谢。李静、许承骋、俸志荣、李鹏、刘文丽、郭亮、王立达、上官民等研究生为本书出版付出了辛勤的劳动,在项目开发过程中,得到了山西省超重力化工工程技术研究中心的祁贵生、王建伟、袁志国、高璟、申红艳等老师的协作。本书作者的研究工作得到了中北大学刘有智教授的指导,得到了国家青年科学基金(21206153)、山西省青年科技研究基金(2010021007-2)等项目的资助,谨在此一并表示感谢。

本书试图阐述撞击流-旋转填料床强化甲醇柴油乳化行为及机制,但限于水平和学科知识面,其缺点和错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

2013 年 10 月 22 日

目 录

第1章 绪论	1
1.1 开发甲醇柴油乳化燃料的意义	1
1.1.1 石油资源的现状	1
1.1.2 柴油	4
1.1.3 甲醇	9
1.1.4 甲醇柴油乳化燃料的理论依据	20
1.1.5 乳化柴油的特点	20
1.1.6 开发乳化柴油的意义	21
1.2 甲醇在柴油机上的应用技术	22
1.2.1 甲醇与柴油理化性质比较	22
1.2.2 国内外研究概况	23
1.2.3 甲醇燃料应用技术	24
1.3 乳化柴油制备方法和设备	26
1.3.1 乳化柴油的制备方法	26
1.3.2 乳化柴油的制备设备	27
1.4 乳化柴油的研究现状	31
1.4.1 国外乳化柴油的研究现状	32
1.4.2 国内乳化柴油的研究现状	34
第2章 甲醇柴油乳化燃料制备理论基础	39
2.1 乳状液	39
2.1.1 乳状液类型	39
2.1.2 乳状液理论	40
2.1.3 乳化剂作用	44
2.1.4 乳状液的不稳定性	45
2.1.5 影响乳状液稳定的因素	46
2.2 乳化柴油燃烧节能降污机理	47
2.2.1 乳化柴油燃烧机理	47
2.2.2 乳化柴油节能机理	48

2.2.3	乳化柴油降污机理	49
2.3	超重力技术	50
2.3.1	超重力技术基本概念	51
2.3.2	超重力装置的结构与类型	54
2.3.3	超重力装置填料结构	63
2.3.4	超重力技术应用	70
2.4	超重力技术制备甲醇柴油乳化燃料理论分析	76
2.4.1	撞击流—旋转填料床	76
2.4.2	乳化剂选择原则	78
第3章	高速分散器制备甲醇柴油乳化燃料及性能研究	81
3.1	试验部分	81
3.1.1	试剂及仪器	81
3.1.2	甲醇柴油乳液制备	83
3.1.3	分析测试方法	83
3.2	甲醇柴油乳液稳定性能	84
3.2.1	乳化剂含量对甲醇柴油乳液稳定性的影响	86
3.2.2	甲醇含量对甲醇柴油乳液稳定性的影响	86
3.2.3	转速对甲醇柴油乳液稳定性的影响	87
3.2.4	乳化时间对甲醇柴油乳液稳定性的影响	88
3.2.5	助乳化剂对甲醇柴油乳液性能的影响	88
3.2.6	同分异构体醇对甲醇柴油乳液稳定性能的影响	89
3.2.7	助乳化剂的含量对甲醇柴油乳液稳定性能的影响	90
3.2.8	结论	90
3.3	甲醇柴油乳液流变性能	90
3.3.1	乳化剂流变性能研究	91
3.3.2	乳化剂的质量分数对甲醇柴油乳液黏度的影响	91
3.3.3	甲醇质量分数对甲醇柴油乳液黏度特性的影响	93
3.3.4	助乳化剂的种类对甲醇柴油乳液流变性能的影响	93
3.3.5	同分异构体醇对甲醇柴油乳液流变性能的影响	94
3.3.6	助乳化剂的含量对甲醇柴油乳液流变性能的影响	95
3.4	甲醇柴油乳液拟三相图	95
3.4.1	增溶性试验	95
3.4.2	不同乳化剂之间的复配	95
3.4.3	乳化剂不同 HLB 值的复配	96
3.4.4	助乳化剂与乳化剂的质量比	96

3.4.5	结果与讨论	96
3.4.6	结论	98
3.5	甲醇柴油乳液分散性能	99
3.5.1	转速对分散性能的影响	99
3.5.2	乳化时间对分散性能的影响	100
3.5.3	甲醇含量对分散性能的影响	101
3.5.4	温度对分散性能的影响	101
3.5.5	乳化剂含量对分散性能的影响	102
3.5.6	结论	102
3.6	甲醇柴油乳液的理化性质	103
3.6.1	甲醇柴油乳液的制备	103
3.6.2	性能测试	103
3.6.3	甲醇和乳化剂含量变化对甲醇柴油乳液黏度的影响	104
3.6.4	甲醇和乳化剂含量变化对甲醇柴油乳液密度的影响	104
3.6.5	甲醇和乳化剂含量变化对甲醇柴油乳液表面张力的影响	105
3.6.6	甲醇柴油乳液其他性能	106
3.6.7	结论	106
第4章	超重力技术制备甲醇柴油乳化燃料稳定性能	108
4.1	理论基础	108
4.1.1	稳定性定义	108
4.1.2	稳定性衡量标准	109
4.1.3	影响乳化柴油稳定性的因素	109
4.2	试验部分	111
4.2.1	药品和仪器	111
4.2.2	超重力环境下甲醇柴油乳液制备工艺	112
4.3	结果与讨论	113
4.3.1	超重力因子对甲醇柴油乳液稳定性的影响	113
4.3.2	撞击间距对甲醇柴油乳液稳定性的影响	114
4.3.3	甲醇含量对甲醇柴油乳液稳定性的影响	114
4.3.4	HLB 值对甲醇柴油乳液稳定性的影响	115
4.3.5	乳化剂含量对甲醇柴油乳液稳定性的影响	116
4.3.6	柴油流量对甲醇柴油乳液稳定性的影响	117
4.3.7	助溶剂对甲醇柴油乳液稳定性的影响	118
4.3.8	循环次数对甲醇柴油乳液稳定性的影响	119
4.4	小结	119

第5章 超重力技术制备甲醇柴油乳化燃料流变性能	121
5.1 试验部分	121
5.1.1 药品和仪器	121
5.1.2 工艺流程	122
5.1.3 乳状液的流变特性试验	122
5.2 乳化剂的流变性能	123
5.3 乳化柴油的流变特性	123
5.3.1 柴油含量对乳化柴油流变特性的影响	123
5.3.2 乳化剂含量对乳化柴油流变特性的影响	125
5.3.3 水含量对乳液流变性能的影响	126
5.3.4 黏度对乳状液流变性能的影响	127
5.4 小结	128
第6章 超重力技术制备甲醇柴油乳化燃料分散性能	129
6.1 试验部分	129
6.1.1 药品和仪器	129
6.1.2 工艺流程	129
6.1.3 试验内容	129
6.2 结果与讨论	130
6.2.1 超重力因子对分散性能的影响	130
6.2.2 柴油流量对分散性能的影响	131
6.2.3 甲醇含量对分散性能的影响	132
6.2.4 乳化剂含量对分散性能的影响	133
6.2.5 分散相平均直径关联式	133
6.3 小结	134
第7章 超重力技术制备甲醇柴油乳化燃料理化性质	135
7.1 试验部分	135
7.1.1 药品和仪器	135
7.1.2 工艺流程	135
7.1.3 试验内容	135
7.2 密度	136
7.3 表面张力	137
7.4 腐蚀性能	138
7.5 十六烷值	139
7.6 小结	140

第 8 章 超重力环境下甲醇柴油乳化过程分析	141
8.1 超重力环境下强化乳化过程分析	142
8.1.1 撞击流乳化模型	142
8.1.2 旋转填料床乳化模型	145
8.1.3 壁面反溅乳化模型	146
8.2 撞击流—旋转填料床强化乳化过程数值法可视化研究	147
8.2.1 撞击流乳化过程流场研究	148
8.2.2 撞击流—旋转填料床流场研究	153
8.3 超重力环境下甲醇柴油乳液的特性分析	158
8.3.1 稳定性对比	158
8.3.2 分散度对比	159
8.3.3 微观混合性能对比	160
8.3.4 运转功耗对比	161
8.4 小结	161
参考文献	163

第1章 绪 论

能源与环境是当今人类社会发展中遇到的严重问题。由于世界性石油危机,能源日益紧张,加速了人类对发动机代用燃料的研究。近年来,环境污染问题日益受到重视,各国政府对发动机都制定了更加严格的排放法规,进一步加快了对代用燃料的开发和研究。从目前各国的研究现状来看,一致的看法是醇类燃料(包括甲醇和乙醇)是一种较理想的代用燃料。究竟是采用甲醇还是乙醇作为发动机的代用燃料,是一个战略问题,其中涉及到一个国家的能源开发利用政策。针对我国能源的实际情况,从长远利益考虑,从天然气和煤中制取甲醇作为内燃机代用燃料是切实可行的。

1.1 开发甲醇柴油乳化燃料的意义

1.1.1 石油资源的现状

能源是继粮食之后人类生存与发展的又一重要的物质基础。能源的开发利用和技术进步在人类社会一直扮演着极其重要的角色,一个国家能源支撑和保障水平是衡量其经济、科技、文化和人民生活水平的重要标志。

随着世界经济的快速发展,能源的消耗与日俱增。人类在用能源的90%是不可再生能源,石油占主要份额。人类在充分享用石油能源的同时,也深刻体会到石油能源给人类生存环境带来的严重污染,大量燃烧有机燃料所产生的二氧化碳(CO_2)、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO_2)、氮氧化物(NO_x)和碳氢化合物(HC)等排放物给人类带来深为忧虑的环境问题。科学家们根据大气成份正在恶化的事实,曾经多次警告世界正面临着温室效应、臭氧层破坏和酸雨等严重的环境问题。由此可见,石油燃料的日益枯竭和环境污染的日益加剧,严重威胁着人类社会的可持续发展。为了保护我们的“地球村”,保护人类健康,保持生态平衡,在人类进入21世纪后能源与环境问题成为世界关注的两大问题,因此我们必须开发和利用新能源。

美国能源部 and 世界能源理事会的一项预测表明,全球石油生产将于2050年达到顶峰。他们预测全球化石类燃料的开采期分别为石油39年,天然气60年,煤211年。随着石油的大量开采和石油资源的日益短缺,世界的化石能源结构必

将向以煤和天然气为主的能源结构发展。

我国是一个富煤贫气少油的国家。在世界已探明的储量中，中国的石油占 2.7%，天然气占 0.9%，而煤炭却占 15% 左右。1998 年国家统计局资料表明，国内煤炭的保有储量为 10070.7 亿 t，可开采储量为 7650 亿 t；石油预测资源量为 940 亿 t，可开采储量为 52.6 亿 t；天然气的预测资源量为 40 亿 m^3 ，可开采储量为 2 亿 m^3 。因此煤炭资源是我国主要的化石能源。正由于这种特殊的化石能源结构，形成了我国特有的以煤炭为主的能源消费结构。

我国所面临的能源形势比较严峻。自 1993 年，我国成为石油进口国之后，每年进口量不断加大，2004 年我国进口石油 1.23 亿 t。2008 年，我国仅柴油消费量就达到 1.388 亿 t。据报道，我国 2012 年进口石油超过 2.8 亿 t，石油对外依存度上升至 58%，比上年提高 1.5 个百分点。我国已超过日本成为亚太地区第一大石油消费国、全世界第二大石油消费国。我国整体上属于资源短缺的国家，随着我国石油缺口越来越大，我国对国外石油的依存度也将进一步加大，世界石油市场的供求变化、暂时和局部的短缺、油价的异常波动以及政治动荡等，势必会对我国石油供给产生巨大冲击，进而危及国家经济安全。

从近年的能源稀缺造成的油荒、气荒、价格波动等现象来看，能源仍是未来中国经济往低碳经济转型的战略部署，中国的未来都与“能源”紧密相关，迫切需要一个高规格的国家级能源机构来作出相关决议计划。2010 年 1 月 27 日发布的《国务院办公厅关于成立国家能源委员会的通知》，为加强能源战略决议计划和统筹协调，国务院决定成立国家能源委员会。2013 年 7 月 11 日发布的《国务院办公厅关于调整国家能源委员会组成人员的通知》称，国务院总理李克强出任国家能源委的主任，副主任则由国务院副总理张高丽担任。这是目前我国最高规格的能源机构。国家能源委员会的主要职责是负责研究拟订国家能源发展战略，审议能源安全和能源发展中的重大问题，统筹协调国内能源开发和能源国际合作的重大事项。由此可见，国家对于能源的重视程度。

近五年来，我国汽车工业发展速度很快，保有量以每年 10% 以上的速度在增长，轿车生产的速度达到 15% ~ 20%。而且，在国外发达国家轿车保有量一般占汽车总数的 70% 以上，我国仅为 30% 左右，轿车发展空间很大。由于车辆的快速增长，汽柴油需要量也呈较大的增长速度。从 1995 年到 2002 年，汽柴油需要量从 7700 万 t 增长到 12400 万 t，增长率为 7.04%。一般汽柴油要占到原有加工量的 50% 以上。原有加工量从 1995 年的 1.49 亿 t 增加到 2000 年的约 2.2 亿 t，增长率达到 8.11%。高速增长的石油需求给石油开采和炼制工业带来压力，基于国内原油资源缺乏，从上世纪 90 年代以来，原油产量年均增长仅为 250 多万 t，2002 年总产量达到 1.67 亿 t，仅满足需求量的 76% 左右，缺口都是由进口原油解决。

随着经济的高速发展，世界上许多国家日益关注节能问题，并采取了相应对策。其中，发展节能环保的车用柴油发动机，实现社会交通节能目标即是一个重

要方面。柴油车因其节油效果显著、环保性能好，而得到了许多国家的高度重视。事实证明，发展现代先进柴油机是迄今为止解决汽车环保与节能双重压力最有效、最经济的手段之一。从世界范围来看，汽车柴油化已经成为一种不可逆转的趋势。在这方面，欧洲国家走在了国际社会的前列，是目前执行柴油技术战略最早、最彻底、最成功的地区，堪称现代先进柴油技术的发祥地。柴油车，尤其是柴油轿车，已在欧洲主要国家成为汽油轿车的替代品。可以预言，在今后数十年内，发展柴油发动机将成为世界车用动力的主流趋势。

刚刚过去的 2012 年，中国经济增长成为全球瞩目的焦点，GDP 比上年增长 7.8%，已超越日本成为第二大经济体。在国民经济支柱产业中，我国汽车工业已经步入发展阶段。据中国汽车工业协会官方公布的数据称，2012 年全国汽车产销 1927.18 万辆和 1930.64 万辆，同比分别增长 4.6% 和 4.3%，比上年同期分别提高 3.8 个百分点和 1.9 个百分点，增速稳中有进。预计，2020 年汽车保有量将会达到 13103 万辆，届时每年需要 7 亿 t 石油。据专家分析，由于我国人口众多，人均汽车保有量仍然很低，巨大的购买潜力陆续变成拉动我国汽车工业快速增长的动力，中国汽车市场将仍然保持高速持续增长。因此，为了节省石油资源，减少对进口石油的依赖，代用燃料的研究与开发是十分必要的。

伴随着全球人口膨胀和经济发展而来的是一系列负面影响：地球变暖、能源消耗和地球自然资源被破坏——这些都日益成为社会关注的问题：发展必须是可持续的。美国加州就有法案规定：2003 年所有在用车辆的 10% 必须是无污染的零排放车辆。类似的立法在全球范围内也必将越来越多、越来越严，其中欧盟委员会（EU）制定的欧洲标准是大多数国家和地区执行的参照标准。表 1-1 为欧盟重型柴油机排放标准。我国在 2000 年开始执行我国认证的排放法 A，相当于欧 I 指标；2005 年要求执行排放法 B，相当于欧 II 指标。因此，节能和降低排放已成为各国科技攻关的重点之一。汽车对环境的影响成为当今所有汽车厂家以及环保人士最关心的问题，对现有内燃机的改良以及对燃油品质的改善固然是两个可行的举措，但是开发新型环保的代用燃料则是解决汽车对环境影响以及能源短缺的一个一举两得的良策。

表 1-1 欧盟重型柴油机排放标准 g/kW·h

标准	启用时间	CO	HC	NO _x	PM	碳烟
欧 I	1992（<85kw）	4.5	1.1	8.0	0.612	
欧 II	1996.10	4.0	1.1	7.0	0.25	
欧 III	2000.10	2.1	0.66	5.0	0.10	0.8
欧 IV	2005.10	1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
欧 V	2008.10	1.5	0.46	2.0	0.02	0.5

在世界各国对环境问题日益重视的情况下，为解决石油短缺和空气污染问题，对柴油发动机的清洁燃料和代用燃料的研究越来越广泛。例如：复合柴油及

柴油添加剂等节油防污染技术相应产生,出现各种替代燃料包括醇类、植物油、氢气、天然气、液化石油气、二甲醚、煤基合成油和天然气基合成柴油等。虽然替代比例很小,但根据欧盟和美国提出的规划,2020年替代汽、柴油的比例将为20%和10%。在多种替代燃料中以柴油机燃用乳化柴油是比较容易实现的一种方式。这种方式可以不改变柴油机的结构,用较简单的技术措施和较低的经济代价实现替代部分柴油,既节约了柴油,又降低了环境污染。柴油掺醇乳化技术具有节能(10%~20%),燃烧效率高、明显减少尾气污染(NO_x , CO, C)等优点,所以对于乳化柴油的研究已经逐渐引起重视。大量研究与实践证明:乳化柴油是一种很有发展前途的节能降污燃料。很多专家预测,乳化柴油必将成为21世纪世界主要能源之一。因此,积极推广节油节能新技术,是当前的一项迫切任务。

1.1.2 柴油

石油通过用蒸馏法提炼(根据各种烃类化合物的沸点不同,用蒸馏法在不同温度下会得到不同的产物)制得柴油。

柴油作为一种重要的石油炼制产品,在各国燃料结构中占有较高的份额,已成为重要的动力燃料。柴油是应用于压燃式发动机(柴油发动机)的专用燃料。柴油的外观为水白色、浅黄色或棕褐色的液体,又分为轻柴油与重柴油二种。轻柴油是用于1000 r/min以上的高速柴油机中的燃料,重柴油是用于1000 r/min以下的中低速柴油机中的燃料。一般加油站所销售的柴油均为轻柴油。

由于柴油机与汽油机的工作过程有本质的区别,因此对燃料的质量要求也与汽油有所不同。柴油发动机对轻柴油的要求是:良好的燃烧性、良好的低温流动性、适当的蒸发性、良好的安定性、合适的黏度、良好的抗腐蚀性。

我国柴油的牌号分别为10号、5号、0号、-10号、-20号、-35号和-50号,其划分依据为柴油的凝点。

1. 组成

柴油是复杂的烃类混合物,主要包含烷烃、烯烃、环烷烃、芳香烃、多环芳烃等,碳原子数约10~22。柴油中含碳为85%~88%,含氢12.0%~13.6%,含硫0~0.8%,含氧0~300 $\mu\text{g/g}$,含氮0~60 $\mu\text{g/g}$ 。柴油的相对分子质量为190~240,多为210~220。

柴油中,氢碳原子比($\frac{\text{H}}{\text{C}}$)_a和碳氢原子比($\frac{\text{C}}{\text{H}}$)_m是评价柴油品质的重要标志之一。前者越高,后者越低,则意味着柴油的品质越好。

市售柴油是各种柴油组分按不同比例混合而成。常用的柴油组分有:直馏柴油、热裂化柴油、催化裂化柴油、焦化柴油、电化学精制(酸碱精制)柴油、减压塔顶油、尿素脱蜡柴油、加氢精制柴油等。

柴油中的芳烃含量几乎是决定柴油其他特性指标的因素，是影响柴油品质的基本因素，也是影响柴油在柴油机着火、燃烧、放热、排烟、排放、排温、经济性和动力性的最重要的因素。直馏柴油含芳烃最少，热裂化柴油含芳烃亦较少，而催化裂化柴油含芳烃最多。其他柴油组分含芳烃的量介于直馏柴油和催化裂化柴油之间。

2. 含硫量

硫是柴油中的有害成分，其含量视原油产地与生产工艺而异，重油裂解往往导致柴油中含硫量的增加。内燃机中，硫的燃烧不仅会导致燃烧产物 SO_2 的排放，增加大气污染，而且会产生硫酸盐微粒，加重柴油机零部件的磨损，并有可能使排气后处理装置（De- NO_x 催化转化器）过早失效。

我国 2011 年普通柴油标准规定硫含量为 0.035%，即 $350\mu\text{g/g}$ 。而在欧盟 EN-590 标准中规定，2001—2004 年硫含量为 $350\mu\text{g/g}$ ，2005—2008 年为 $50\mu\text{g/g}$ ，2009 年开始采用硫柴油（硫含量小于等于 $10\mu\text{g/g}$ ）。这表明，我国标准与国外先进水平还有一定差距，我国石油炼制工业技术水平有待进一步提高。

3. 添加剂

为了改善柴油性能，往往要在柴油中加入各种添加剂。柴油添加剂种类繁多，不同添加剂可以对柴油不同性能进行改善，如十六烷值、流动性能、润滑性能、去污除锈、防止起泡等。添加剂虽有各种好处，但有时也有副作用产生，从而影响柴油的基本性能（如密度、黏度与馏程等），故在欧盟柴油标准中，对添加剂问题也有一定限制，即其总浓度不超过 0.1%。

4. 密度

密度是燃料油最重要、最常用的物理指标。它与燃料油其他技术指标有关。在已知燃料油密度的确切数值（一般应准确到小数点后第四位）后，可以确定燃料油其他指标的大致数值，其中有些指标值可以根据燃料油密度用经验公式计算出来。另外，在储存、运输和销售过程中，可以根据燃料油密度来设计和确定相应的容器大小。在军事上，甚至可以根据燃料油的密度，来计算飞机、战车和舰艇上燃油箱的大小及其活动半径。

对内燃机而言，燃料供给系统是按容积来控制喷油量的。由于柴油热值是柴油燃烧时单位质量的发热量，且基本上保持不变。因此，同一柴油机使用密度不同的燃料，就会出现性能上的明显差别。柴油密度偏大，会出现混合气过浓，功率增加而排放变差的后果；反之，柴油密度偏小，则会出现功率不足的现象。

柴油的馏程愈高，则其密度和平均分子量愈大。柴油的相对密度为 0.810 ~ 0.890。其中，轻柴油为 0.810 ~ 0.825，中柴油为 0.830 ~ 0.860，重柴油为 0.870 ~ 0.890。

5. 黏度

黏度也称粘性系数，是表示柴油稀稠度的一项指标，它实质上是衡量流体内部摩擦大小的尺度，是流体内部阻碍其相对运动的一种特性，即流体抵抗剪切作用的一种能力。柴油的黏度随温度的变化而改变，温度升高时黏度减小，温度降低时黏度增大。

柴油的黏度与其流动性、润滑性以及雾化、燃烧性能有很大关系，对柴油机燃料供给系统的影响也十分明显。在柴油机中，柴油能在各种条件下，不间断地供油和雾化，才能提供正常燃烧的良好条件。柴油的雾化过程：柴油经过喷油嘴，高速喷入气缸，由于气缸内压缩空气阻力和柴油流经喷孔时本身的扰动分散而形成细小的油滴颗粒而分散开来。柴油雾化好既能缩短着火时间，又能燃烧完全；反之，会使滞燃严重，甚至发生排气冒烟。柴油的黏度既不能太大，也不能太小。黏度太大，则喷油时破碎、雾化困难，雾粒直径过大，射程较远，圆锥角小，影响柴油的及时蒸发、混合和燃烧。当黏度过低时，喷出油流射程太近，圆锥角大，与燃烧室形状不适应，燃烧不良。此外，黏度过低时，一方面在喷油泵、出油阀和喷油器三对偶件中的磨损量增加，影响其正常功能；另一方面，三对偶件工作时漏失量增加，供油系数急剧下降，特别是低转速时更为明显。我国国家标准规定了普通柴油中，10号至-10号柴油的黏度为 $3.0 \sim 8.0 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

6. 润滑性

润滑性是柴油用作压燃式内燃机的优点之一，即对于燃料供给系统精密摩擦的润滑作用。不言而喻，柴油的润滑性能是一项十分重要的指标，但以前缺乏统一的试验标准，往往用黏度等指标来进行间接判断，国外早期标准与我国2000年颁布的轻柴油标准中均没有关于柴油润滑性的直接规定。目前，评价柴油润滑性能的测试方法为ISO 12156—1规定的高频往复运动磨损试验法（High Frequency Reciprocating Rig, HFRR）。

在柴油加氢脱硫过程中，往往将其中有助于润滑的极性物质也一并去除，从而降低了柴油的润滑性能。柴油添加剂的使用可以改善柴油的润滑性能。

7. 表面张力

表面张力是评价燃料油品质的一个重要物理指标。燃料油的表面张力对内燃机气缸内的燃烧有很大关系。燃料油的撕裂（在喷油嘴附近）、破碎、雾化、气化、吸热等过程，喷注和油珠在飞驰过程中所受的阻力、速度衰减，油蒸汽和油珠与热空气之间的传热和混合等，都与燃料油的表面张力有关。

柴油中，含芳烃愈多，则其表面张力愈大；含烷烃愈多，则其表面张力愈小。柴油的表面张力与炼制方法及精炼程度有关。越是精炼的柴油，其表面张力越小。

8. 流动性

浊点是指在试验条件下，降低燃料油的温度，直至燃料油中开始出现结晶，

使油开始混浊时的最高温度。

冷滤点是国际上公用的、评价燃料油低温性能的指标。内燃机在长期使用和大量试验证明，燃料油的凝点与内燃机在低温下使用没有直接关系。因为燃料油不是到了凝点才不能在内燃机中使用，而是在凝点以上 $4 \sim 6^{\circ}\text{C}$ 就已经不能用了。此时的燃料油开始结晶，在燃料油内形成网状晶格，从而堵塞燃料油过滤器，使内燃机供油不够或停止供油而急剧降低功率，甚至停机。据此，不堵塞燃料滤清器的最低温度被称为冷滤点。

燃料油的凝点按国家标准 GB/T 510—83 “石油产品凝点测定法”测定。在一定的试验仪器和试验条件下，当燃料油在试管内降低温度过程中，将试管倾斜 45° ，经 1 min 后，液面未见有位置移动，这时燃料油被认为已凝固，形成这一现象的最高温度称为燃料油的凝点。

柴油的浊点、冷滤点和凝点等都是柴油的低温流动性能指标。柴油的浊点一般比其冷滤点高 $2 \sim 5^{\circ}\text{C}$ ，多数为 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ ；而冷滤点比其凝点高 $4 \sim 6^{\circ}\text{C}$ 。我国普通柴油标准中，同时标注 0 号柴油的冷滤点为 4°C ，凝点为 0°C ，适合夏季使用；-20 号柴油的冷滤点为 -14°C ，凝点为 -20°C ，适合冬季使用。

9. 馏程

在标准条件下，蒸馏石油所得的沸点范围称为“馏程”，即在一定温度范围内该石油产品中可能蒸馏出来的油品数量和温度的标示。馏程是石油产品的主要理化指标之一，主要用来判定油品轻、重馏分组成的多少，控制产品质量和使用性能等。它是控制石油产品生产的主要指标，可用沸点范围来区别不同的燃料，是轻质油品重要的试验项目之一。馏程是保证柴油在发动机燃烧室里迅速蒸发、气化和燃烧的重要指标。柴油的馏程对柴油的品质有着重要影响。目前，各国柴油的馏程差异很大。在各国各厂的标准中，一般不列出初馏点和终馏点的数值，只标出馏出 10%（体）、50%（体）和 90%（体）的温度，有的厂再加馏出 95%（体）的温度。我国柴油的国家标准规定 $T_{90} \leq 300^{\circ}\text{C}$ ，各炼油厂实际值多数为 $265 \sim 285^{\circ}\text{C}$ 。当柴油的馏程提高后，其相对分子质量、密度、黏度、闪点和十六烷值等指标均增加。

10. 沸点

柴油按沸点不同，可以分为两类：轻柴油（沸点范围约 $180 \sim 370^{\circ}\text{C}$ 和重柴油（沸点范围约 $350 \sim 410^{\circ}\text{C}$ ）。对石油及其加工产品，习惯上对沸点或沸点范围低的称为轻，相反称为重。柴油的馏程对柴油的沸点有很大的影响，馏程提高，沸点增大。

11. 闪点

柴油在一定试验条件下加热，燃料的蒸汽与周围的空气形成可燃混合气，当接近火源时开始出现闪火的最低温度为闪点。闪点是表示柴油蒸发性和安全性的指标。闪点过低，表示柴油组分中轻质馏分过多，不仅会增加运输与储存过程中