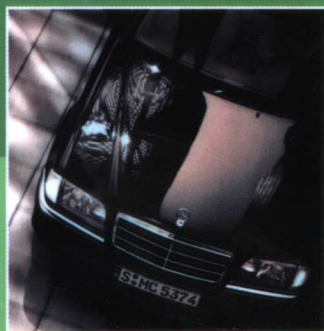
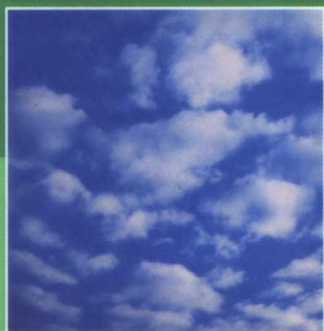




主 编 吴冠京

副主编 付兴国 朱明慧

车用清洁燃料

CHEYONG

QINGJIE RANLIAO

石油工业出版社

车用清洁燃料

主 编 吴冠京

副主编 付兴国 朱明慧

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了国际原油及汽柴油市场供需情况、清洁燃料标准及相关排放法规、清洁燃料的生产工艺、燃料添加剂的开发应用情况和替代燃料的发展状况,以及国内清洁燃料的发展现状。通过研究国外清洁燃料的现状及发展趋势,探索我国清洁燃料的发展方向及路线。可供从事车用燃料研究、生产、管理工作的人员以及相关标准制定的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

车用清洁燃料/吴冠京主编.

北京:石油工业出版社,2004.7

ISBN 7-5021-4614-8

I. 车…

II. 吴…

III. 汽车-无污染燃料

IV. U473

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 025036 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:26

字数:664 千字 印数:1—2000 册

书号:ISBN 7-5021-4614-8/TE·3237

定价:80.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

全球汽车工业的发展极大地促进了国民经济的增长和人民生活水平的提高,但同时也带来了汽车尾气排放造成空气严重污染的问题,对人类的健康、生存和发展构成了严重威胁。汽油、柴油等车用燃料的质量与汽车尾气排放和空气质量紧密相关。改善燃料质量对减少汽车排放具有十分重要的作用。

受到环境压力和汽车技术进步双重因素的影响,世界燃料质量标准不断更新。美国率先于1990年通过了清洁空气法修正案,提出了使用新配方汽油(RFG)的要求,目前执行的清洁汽油规格是硫含量 $140\sim 170\mu\text{g/g}$,烯烃含量 $6\%\sim 10\%$,苯含量不大于 1% ,到2004年要求硫含量小于 $30\mu\text{g/g}$ 。欧盟目前执行的汽油标准(EN 228—99)规定硫含量不大于 $150\mu\text{g/g}$,烯烃含量不大于 18% ,芳烃含量不大于 42% ,到2005年硫含量要降至 $50\mu\text{g/g}$ 以下。对柴油来说,目前美国执行的清洁柴油规格是硫含量小于 $500\mu\text{g/g}$,总芳烃小于 36% ,十六烷值大于40,2006年硫含量降到 $15\mu\text{g/g}$ 。《世界燃料规范》提出了世界范围的汽油和柴油标准,其中,Ⅲ类和Ⅳ类汽油标准的硫含量分别为低于 $30\mu\text{g/g}$ 和 $5\sim 10\mu\text{g/g}$,Ⅲ类和Ⅳ类柴油标准硫含量分别达到小于 $30\mu\text{g/g}$ 和无硫要求。

目前在我国,由汽车尾气排放造成的大城市空气污染也已十分严重,成为可持续发展亟待解决的关键问题。为控制汽车排放造成的污染,对汽柴油质量的要求也日益严格。我国于1999年12月颁布了《车用无铅汽油质量标准》,要求硫含量不大于 0.1% ,烯烃含量不大于 35% ,芳烃含量不大于 40% ,该标准自2000年7月1日作为第一阶段首先在北京、上海、广州三大城市实施,其中硫含量和烯烃含量分别执行 0.08% 和 35% 的规格;第二阶段自2003年1月1日(延期至2003年7月1日)起全国执行,硫含量和烯烃含量分别执行 0.08% 和 35% 的规格。为满足环保对车用柴油的更高要求,我国修订并颁布了轻柴油新标准(GB 252—2000),已于2002年1月1日起在全国实施。该标准将硫含量修订为不大于 0.2% ,氧化安定性总不溶物不大于 $2.5\text{mg}/100\text{mL}$,十六烷值不小于45。参照欧盟EN 590—1998《车用柴油标准》制定的我国城市车用柴油标准GB/T 19147—2003现已出台,但正式文本还未下发。要求柴油车的排放达到欧Ⅱ标准,规定了今后城市车用柴油的硫含量不大于 0.05% ,十六烷值不低于49。

随着汽、柴油标准的日益苛刻以及世界各国对清洁燃料需求的不断增长,燃料清洁化已成为一种无法阻挡的世界性潮流。生产低硫、低烯烃、低芳烃的清洁燃料以减少汽车有害物质的排放已成为当今炼油业的发展主题。

鉴于目前国内缺乏一本全面论述清洁燃料的生产、规格以及市场发展的专著,由中国石油炼化化工技术研究中心牵头,中国石油兰州润滑油研究开发中心组织人员编写了本书。

本书主要通过对国际原油及汽柴油市场供需情况、清洁燃料标准及相关排放法规、清洁燃料的生产工艺、燃料添加剂的开发应用情况和替代燃料的发展状况的调研,结合国内清洁燃料的发展现状分析,研究国外清洁燃料的现状与发展趋势,从中探索我国清洁燃料的发展

方向及路线，为有关部门制定清洁燃料发展战略提供决策依据。

在本书的编写过程中，得到了国内有关专家和领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。
由于水平与能力有限，书中的不足之处，敬请广大读者指正。

编 者

2003 年 11 月

目 录

第一章 车用燃料的历史性变化与展望	(1)
第一节 国外车用燃料清洁化的历程	(1)
一、概述	(1)
二、减少尾气污染物排放的汽车发动机的新设计	(1)
三、清洁燃料的规格标准及其制定依据	(3)
第二节 关键技术开发和工业应用的现状	(11)
一、生产清洁汽油的关键技术	(11)
二、生产清洁柴油的关键技术	(19)
第三节 清洁燃料生产和使用的现状与预测	(25)
一、现状	(26)
二、近期预测	(28)
三、远期发展趋势和生产方案预测	(33)
第四节 替代燃料工业应用的现状与前景	(36)
第五节 值得思考的问题和值得借鉴的做法	(40)
第二章 国际原油和汽柴油市场	(44)
第一节 世界能源结构现状与预测	(44)
一、世界能源结构的回顾与现状	(44)
二、未来世界能源结构预测	(47)
第二节 世界石油供需现状与预测	(47)
一、世界石油储量	(47)
二、世界石油产量及分布	(48)
三、世界石油消费及分布	(49)
四、世界石油供需平衡现状	(49)
五、世界石油供需预测	(51)
六、石油安全战略	(52)
七、国际石油市场价格变化回顾	(54)
第三节 世界天然气供需现状与预测	(56)
一、世界天然气供需现状	(56)
二、未来世界天然气供需预测	(57)
第四节 国际汽柴油市场	(58)
一、概述	(58)
二、美国汽柴油市场供需现状及预测	(60)
三、欧洲汽柴油市场供需现状及预测	(62)
四、亚太地区成品油供需状况及预测	(67)

第五节 国际清洁燃料市场概况	(74)
一、全球范围汽油的无铅化	(74)
二、美国清洁燃料市场	(75)
三、欧洲清洁燃料市场	(76)
四、日本清洁燃料市场概况	(79)
参考文献	(79)
第三章 国外汽车尾气排放法规和车用清洁燃料规格标准	(80)
第一节 概述	(80)
第二节 影响尾气排放的因素	(81)
一、汽车尾气中有害物质对环境的影响	(81)
二、汽油性质对尾气排放的影响	(84)
三、柴油性质对尾气排放的影响	(90)
四、发动机对尾气排放的影响	(95)
第三节 国外汽车排放法规	(95)
一、美国汽车排放法规发展历程及相关标准	(95)
二、欧洲汽车排放法规发展历程及相关标准	(103)
三、日本汽车排放法规发展历程及相关标准	(106)
四、国外排放标准对比情况	(108)
五、国外汽车排放法规发展历程	(110)
第四节 国外汽车尾气污染治理措施	(110)
一、汽车尾气污染治理思路	(110)
二、汽油车尾气污染治理技术	(111)
三、柴油车尾气污染治理技术	(112)
第五节 国外清洁燃料质量标准	(113)
一、国外汽油质量标准发展历程及相关标准	(113)
二、国外柴油质量标准发展历程及相关标准	(127)
三、世界燃料规范	(135)
四、标准制定与相关部门的关系	(136)
参考文献	(138)
第四章 国外清洁燃料的生产技术开发与工业应用	(140)
第一节 清洁汽油生产技术开发与工业应用	(140)
一、清洁汽油调合组分的性质、作用及存在问题	(140)
二、降低汽油硫含量的技术	(143)
三、降低汽油烯烃含量的技术	(167)
四、降低汽油苯含量技术	(179)
五、优质汽油组分的生产技术进展	(181)
第二节 清洁柴油生产技术开发与工业应用	(193)
一、清洁柴油调合组分的性质、作用及存在问题	(193)

二、柴油组分脱硫技术·····	(195)
三、柴油加氢深度脱芳烃提高十六烷值技术·····	(212)
四、生产优质柴油组分的加氢裂化技术·····	(220)
第三节 国外炼油厂生产清洁燃料的措施及经济投入·····	(237)
一、调整装置结构·····	(237)
二、加工不同原油的炼油厂满足未来燃料规格要求的措施·····	(241)
三、采用区域合作生产清洁燃料·····	(248)
四、国外炼油厂围绕清洁燃料生产改造和新建实例·····	(252)
五、国外生产清洁燃料的经济投入分析·····	(260)
参考文献·····	(264)
第五章 国外汽油、柴油添加剂的开发·····	(268)
第一节 国外汽油、柴油添加剂供需现状和预测·····	(268)
第二节 汽油添加剂的品种及应用现状·····	(272)
一、清净分散剂·····	(272)
二、抗爆剂·····	(282)
三、抗氧剂·····	(291)
四、金属钝化剂·····	(294)
五、抗静电剂·····	(294)
第三节 柴油添加剂的品种与应用现状·····	(296)
一、清净分散剂·····	(296)
二、润滑性添加剂·····	(298)
三、低温流动性改进剂·····	(309)
四、十六烷值改进剂·····	(314)
五、助燃剂·····	(319)
六、柴油多功能添加剂·····	(319)
参考文献·····	(320)
第六章 国外车用替代燃料的技术开发与工业应用·····	(322)
第一节 车用气体燃料(天然气和液化气)的现状与发展趋势·····	(322)
一、车用气体燃料的技术性能与相关标准·····	(322)
二、车用气体燃料的生产技术·····	(324)
三、国外燃气汽车的应用及政府发展计划·····	(325)
四、车用气体燃料的优缺点及应用前景分析·····	(328)
第二节 醇类燃料的现状与发展趋势·····	(329)
一、醇类燃料的性能及相关标准·····	(329)
二、醇类燃料的生产技术·····	(331)
三、世界各国醇类燃料的开发与应用情况·····	(333)
四、醇类燃料的优缺点分析·····	(335)
第三节 生物柴油的现状与发展趋势·····	(336)

一、生物柴油的性能及规格标准·····	(336)
二、生物柴油的生产技术·····	(337)
三、国外生物柴油的发展现状·····	(339)
四、生物柴油的优缺点分析·····	(341)
第四节 二甲醚作车用燃料的现状与发展趋势·····	(341)
一、二甲醚(DME)作车用燃料的主要性能及规格·····	(341)
二、二甲醚的生产技术·····	(343)
三、二甲醚作车用燃料的优缺点及相关领域研究动向·····	(345)
第五节 车用燃料电池燃料的现状与发展趋势·····	(347)
一、车用燃料电池对燃料的要求·····	(347)
二、几种燃料电池燃料的优缺点及相对评价·····	(348)
第六节 天然气合成燃料的现状与发展趋势·····	(350)
一、天然气合成燃料的性质·····	(350)
二、天然气合成燃料的生产技术·····	(350)
三、天然气合成燃料的优劣势分析及应用前景展望·····	(353)
第七节 替代燃料的相对评价结果及各国政府的优惠政策·····	(354)
一、几种替代燃料的相对评价结果·····	(354)
二、各国政府对替代燃料的使用政策·····	(356)
参考文献·····	(358)
第七章 国内车用清洁燃料发展概况·····	(360)
第一节 我国石油资源的供需现状及预测·····	(360)
一、能源构成及变化趋势·····	(360)
二、石油资源的供需现状·····	(361)
三、石油资源的供需预测·····	(362)
第二节 我国汽车工业的发展及汽车尾气排放法规的演变·····	(363)
一、汽车工业的现状·····	(363)
二、汽车工业的发展规划与预测·····	(364)
三、汽车尾气排放标准的演变历程·····	(365)
四、汽车工业为满足排放法规采取的改进措施·····	(366)
五、汽车工业对汽柴油质量的要求·····	(367)
第三节 我国汽、柴油质量现状及市场供需·····	(370)
一、我国汽、柴油国家标准及执行安排·····	(370)
二、汽、柴油质量现状及存在问题·····	(374)
三、我国汽、柴油的供需现状及预测·····	(378)
第四节 车用清洁燃料生产技术的开发应用·····	(380)
一、车用清洁燃料的推广应用情况·····	(380)
二、清洁汽油生产技术开发应用·····	(381)
三、清洁柴油技术开发应用情况·····	(389)

四、燃料添加剂的开发应用状况.....	(392)
五、生产清洁燃料对炼油厂经济效益的影响.....	(395)
第五节 替代燃料开发应用状况.....	(398)
一、乙醇汽油.....	(399)
二、甲醇汽油.....	(400)
三、车用天然气和液化气.....	(401)
四、天然气合成油（GTL）	(403)
五、燃料电池.....	(404)
参考文献.....	(404)

第一章 车用燃料的历史性变化与展望

第一节 国外车用燃料清洁化的历程

一、概述

20 世纪 90 年代以来,国外炼油工业发生了重大而深刻的历史性变化。这个变化的重要标志就是炼油工业加大了实施可持续发展战略的力度,承担起社会责任,开始清洁生产和生产环境友好的清洁燃料,为社会经济和汽车工业的发展,为减少污染、保护环境、改善人类生存环境和提高生活质量做出新的贡献。

炼油工业是伴随着汽车工业的进步而发展的。汽车的年产量已经从二次世界大战以后的 500 万辆增加到目前的近 5500 万辆。随着世界人口和国民生产总值 (GDP) 的增长,预计汽车产量还将继续强劲增长,特别是在发展中国家。目前世界汽车保有量已达 6.6 亿辆,如果把摩托车也计算在内,机动车保有量已超过 8 亿辆,预计在几年内将达到 10 亿辆。车用运输燃料的消费量也与日俱增。1973 年运输燃料的消费量约占世界石油消费量的 34%,1985 年上升到 40%,1995 年达到 46%,目前已接近 52%。其中北美地区运输燃料的消费量已占石油消费量的 65%,居世界各地区之最。汽车在用量和汽柴油消费量的增长为世界经济的发展做出了重要贡献,但也对大气质量造成了严重污染。从理论上讲,汽柴油在发动机中燃烧以后排出的尾气中只有二氧化碳和水。但由于燃烧不完全,也产生了大量一氧化碳 (CO)、烃类 (HC)、挥发性有机化合物 (VOC)、氮氧化物 (NO_x)、硫氧化物 (SO_x)、颗粒物 (PM) 和有毒物质 (苯、1,3-丁二烯、甲醛、乙醛、多元有机化合物) 等污染物,造成大气严重污染,危害人体健康。据调查,美国大气中的污染物约有 50% 来自汽车尾气,其中包括 79% 的 CO、53% 的 NO_x 、43% 的 VOC、33% 的 CO_2 、80% 的苯和其他大量的有毒物和致癌物。世界上首次出现汽车尾气造成的大气严重污染情况是 1943 年美国洛杉矶地区的光化学污染。20 世纪 60 年代中期这种汽车尾气污染物排放造成的城市大气污染成了美国的全国性问题。随后欧洲一些国家和日本也出现了类似问题。近 30 多年来,发达国家为治理这种污染,采取了一系列措施,并不断加大治理力度,已取得明显成效。美国 2000 年在用汽车的总数比 1970 年增加一倍,可是汽车尾气污染物的排放量还低于 1970 年;欧盟国家 2000 年的汽车在用量和汽柴油消费量都远高于 1970 年,但汽车尾气污染物的排放量却远低于 1970 年,并正在向大气质量的目标值靠近 (表 1-1)。总结 30 多年来发达国家治理汽车尾气污染的实践经验,综合治理才是行之有效的措施。首先是国家立法,颁布清洁空气法和汽车尾气排放标准;其次是改进汽车发动机设计,改善燃烧过程 (机内净化),并安装汽车尾气转化器 (机外净化),淘汰包括二冲程发动机 (大约有三分之二的燃料由于燃烧不完全而随汽车尾气排入大气) 汽车在内的老式汽车,加强在用车的维修保养;第三是提高车用燃料质量,规范燃料组成;第四是对交通运输实行科学管理。

二、减少尾气污染物排放的汽车发动机的新设计

近 30 多年来,美国、欧洲和日本的汽车制造厂家为减少汽车尾气污染物排放和提高燃油经济性,在发动机设计方面做了大量工作,其主要改进和创新可以归纳如下:

表 1-1 美国和欧盟治理汽车尾气污染改善大气质量的目标

项 目	欧盟目标/ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$		美国联邦目标 / $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
	上限	下限	
NO_x			
1h 平均值	200	93	—
年平均值	50	—	100
CO			
8h 平均值	10	5	10
苯			
年平均值	10	10	—
长期目标值	2.5	2.5	—
臭氧			
8h 平均值	120	120	156
1h 平均值	180	180	235

- (1) 提高发动机压缩比，提高动力性能，节省燃油；
- (2) 燃油喷射系统由原来的化油器发展到单点集中喷射，又发展到多点直接喷射；
- (3) 喷油由无控制发展到机械控制，进而又发展到计算机控制；
- (4) 尾气由直接排放发展到通过催化转化器（用氧化型催化剂减少 CO 和 HC 的排放量，用还原型催化剂减少 NO_x 的排放量）处理后再排放；
- (5) 采用废气再循环（EGR）技术，降低发动机的燃烧温度和 NO_x 的排放量；
- (6) 采用尾气捕集器，减少柴油车尾气中 PM 的排放量。

现代汽油发动机的设计着眼于降低油耗、减少尾气污染物排放、提高功率/重量比。为减轻重量，现代汽油发动机采用铝制曲轴箱、轻金属缸套，并采用滚头引导以减少气缸磨损。为优化负荷变化，多气门发动机采用切换式进气系统和凸轮轴控制。为优化燃烧，采用顺序多点喷油和带静电高压分电的全电子点火系统。如采用双火花点火和三气门技术的 Benz V6 发动机，由于燃烧加快，发动机出口处的 HC 排放量减少了 20%。为降低油耗，采用贫油气点火技术、降低排量技术（用一台气缸容积较小的发动机加涡轮增压器替代自然进气的发动机）以及气缸休眠技术等，使燃油消耗降低 5%~19%。采用控制排气歧管的气隙隔离和尾气三效催化转化器，使尾气污染物排放量大大减少。采用 NO_x 存储催化转化器每 30s 用富油气混合气再生一次，使 NO_x 排放量大大减少。

现代柴油发动机采用了预燃烧室系统，由于二级燃烧大大减少了 NO_x 排放量；特殊的喷油设计和油气混合实现了非常低的 PM 排放量，还降低了燃烧噪音。为提高燃油经济性和减少 CO_2 排放量，预燃烧室系统正在向直喷技术过渡。直喷技术精确控制油气的预混合，不仅能够节油 15%~20%，降低 CO、HC 和 NO_x 排放量，还能降低噪音和 PM 排放量。最新设计的共轨直喷（CDI）系统，喷油压力、先导喷油、主喷油和后喷油在发动机各段均可自由变化，这样可使 CDI 柴油发动机燃烧室内的油气充分混合，改善燃烧过程，从而实现了

比采用其他喷油系统都低的噪音和污染物排放量。CDI 发动机除采用废气循环 (EGR) 技术减少 NO_x 排放量外, 还采用了双催化转化器: 一个装在发动机附近, 通过内部旁路使一部分未燃烧的 HC 进入另一个装在底盘下面的催化转化器, 从而使 HC 排放量进一步减少。与未采用催化转化器的柴油发动机相比, 尾气中的 CO 排放量减少 80%, NO_x 减少 9%, HC 减少 20%, PM 减少 32%。CDI 柴油发动机与相应的汽油发动机相比, 体积油耗低 35%。即使考虑到柴油的密度大, 仍有 CO_2 排放量低 27% 的优势。所以越来越多的商用车 (卡车和客车) 和轿车采用柴油发动机, 这已成为现代汽车的发展趋势。

需要指出的是, 发动机的新设计虽已取得很大进展, 可以改善燃烧状况, 减少汽车尾气污染物的排放, 提高汽车的动力性能并节省燃油, 但尾气排放仍不能符合标准要求, 同时对车用汽柴油也提出了更高的要求。如多点直喷发动机需要使用烯烃含量低的汽油, 装有尾气转化器的汽车需要使用硫含量很低的汽油, 高压压缩比的发动机需要使用高辛烷值汽油等等。因此, 没有高辛烷值清洁汽油和高十六烷值清洁柴油供发动机使用, 不仅机内净化和机外净化的效果无法实现, 使尾气排放达标也只能是一句空话。

三、清洁燃料的规格标准及其制定依据

汽油和柴油作为发动机燃料, 其质量对汽车尾气污染物的排放有重要影响。美国 3 家汽车制造商和 14 家炼油商 1989 年开始实施改善汽车 - 燃油 - 大气质量的研究计划 (U. S. Auto/oil Air Quality Improvement Research Program, 简称 AQIRP), 欧洲有关厂商 1991 年开始实施改善汽车 - 燃油 - 尾气污染物的研究计划 (European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies, 简称 EPEFE), 欧洲汽车制造商协会 (ACEA) 和欧洲石油工业协会 (EUROPIA) 1993 年开始实施改善汽车 - 燃油质量的第一阶段研究计划 (Auto Oil Programme, 简称 EAOP-I), 1997 年开始实施改善汽车 - 燃油质量的第二阶段研究计划 (Auto Oil Programme, 简称 EAOP-II), 欧洲石油公司的环境、健康和安全组织 CONCAWE (Conservation of Clean Air and Water in Europe)、日本清洁空气计划 (Japanese Clean Air Program) 等也都对改善汽车 - 燃油 - 尾气污染物的关系进行了研究。经过多年的试验研究, 在搞清汽柴油性质与汽车尾气污染物排放关系的基础上, 分别制定了各自的清洁燃料规格标准。

1. 清洁汽油

发达国家车用汽油都经历了含铅、无铅和清洁汽油三个阶段。日本 1987 年实现汽油无铅化, 巴西 1991 年、澳大利亚 1994 年、美国 1998 年、欧盟 2000 年实现汽油无铅化。

美国 1970 年颁布清洁空气法 (CAA)。在 1970 年以前, 美国炼油厂主要依靠添加四乙基铅提高汽油辛烷值。由于四乙基铅毒性大, 后来就减少四乙基铅添加量, 改用重整油提高辛烷值。重整油辛烷值高, 但苯和芳烃含量很高、毒性大, 苯还是致癌物。1990 年清洁空气法修正案 (CAAA) 颁布后, 限制汽油中苯和芳烃含量, 开始使用含氧化合物提高汽油辛烷值。从 1992 年 11 月起在 16 个州 41 个 CO 超标的地区使用含氧量不低于 2.7% (相当于 MTBE 15%) 的含氧汽油 (OxyFuel), 从 1995 年 1 月起在 22 个州 (其中 9 个臭氧严重超标地区和 41 个 CO 严重超标地区) 使用新配方汽油 (Reformulated Gasoline, 简称 RFG, 主要指标为苯含量 $<1.0\%$ 、氧含量 $>2.0\%$, 不含重金属, 主要性能为减少 VOC、 NO_x 和毒物排放量)。按照新配方汽油实施计划 (表 1-2), 1995~1997 年实施第一阶段简单模型方案, 主要通过控制汽油蒸气压和苯含量来降低汽车尾气中的挥发性有机化合物 (VOC) 和毒物 (TOX) 排放量, 要求新配方汽油的蒸气压不高于 56kPa (北方) 和 50kPa (南方),

苯含量（体积分数）不超过 1.0%（全年），氧含量不低于 2.0%。此外，还要求硫、烯烃和 T_{90} 不超过 1990 年常规汽油的实际值（表 1-2）。1998~1999 年实施第一阶段复杂模型方案，主要要求进一步降低汽车尾气中的 VOC 排放量，同时也降低 NO_x 排放量。2000 年开始实施第二阶段复杂模型方案，要求进一步降低汽车尾气中的 VOC、 NO_x 和毒物（TOX，指苯、1,3-丁二烯、甲醛、乙醛和多环有机化合物）排放量。由于影响汽车尾气污染物排放量的主要因素是汽油中的硫、烯烃和芳烃含量，所以要求降低新配方汽油中硫、烯烃和芳烃含量的幅度都很大。美国加利福尼亚州（简称加州）汽车尾气造成的大气污染情况最为严重，所以加州从 1996 年 6 月开始执行更为严格的新配方汽油规格。1999 年底美国环保局颁布了更为严格的汽车尾气排放新标准，要求汽车尾气的 NO_x 不得超过 0.0435g/km，轿车和轻负荷卡车的 NO_x 排放量分别降低 77% 和 95%。为此，要求从 2004 年起炼油厂和贸易商销售的汽油含硫量全年平均不得超过 120 μ g/g，2005 年炼油厂生产的汽油含硫量全年平均不超过 90 μ g/g，2006 年炼油厂生产的汽油含硫量全年平均不超过 30 μ g/g，封顶值为 80 μ g/g。根据汽车尾气排放标准制定的美国清洁汽油（新配方汽油）规格标准如表 1-3 所示。欧盟和日本的清洁汽油规格标准见表 1-4 和表 1-5。

表 1-2 美国清洁汽油（新配方汽油）实施计划

美国新配方汽油实施计划（22 个州）			美国加州新配方汽油实施计划
新配方汽油 第 I 阶段简单模型 1995~1997 年实施	新配方汽油 第 I 阶段复杂模型 1998~1999 年实施	新配方汽油 第 II 阶段复杂模型 2000 年实施	生产厂 1996 年 3 月 1 日实施 销售商 1996 年 6 月 1 日实施
标准：每加仑 ^① 毒物 减少 15% VOC 减少 15% 蒸气压 南方 50kPa 北方 56kPa 苯 ^② 不超过 1.0% 氧 不少于 2.0% NO_x 不增加（%）	标准：每加仑 毒物 减少 15% VOC 减少 35.5%（南方） 15.6%（北方） 苯 不超过 1.0% 氧 不少于 2.0% NO_x 不增加（%）	标准：每加仑 毒物 减少 20% VOC 减少 27.5%（南方） 25.9%（北方） 苯 不超过 1.0% 氧 不少于 2.0% NO_x 减少 5.5%	尾气排放物减少： VOC 17.0% NO_x 5~7% SO_x 80.0%
平均标准 毒物 减少 16.5% VOC 减少 15.0% 蒸气压 南方 50kPa 北方 56kPa 苯 不少于 0.95% 不超过 1.3% 氧 不少于 2.1% NO_x 不增加（%）	平均标准 毒物 减少 16.5% VOC 减少 35.1%（南方） 15.6%（北方） 苯 不少于 0.95% 不超过 1.3% 氧 不少于 2.1% NO_x 不增加（%）	平均标准 毒物 减少 21.5% VOC 减少 27.5%（南方） 25.9%（北方） 苯 不少于 0.95% 不超过 1.30% 氧 不少于 2.1% NO_x 减少 6.8%	汽油规格 硫 30 μ g/g 烯烃 ^② 4.0% 苯 <0.8% 芳烃 ^② <22.0% 蒸气压 <48kPa 氧 1.8%~2.2% T_{50} 93℃ T_{90} 143℃

①1gal = 4.5461L。

②体积分数。

表 1-3 美国清洁汽油的规格标准

项 目	1990 年美国 常规汽油 (夏季/冬季)	美国 (22 个州) 新配方汽油			美国加州新配方汽油	
		1995 年	2000 年	2004~2006 年	1996 年	2002 年
硫/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	339/338	<338	140~170	30	30	15
烯烃/% (体积分 数)	9.2/11.9	10.8	6~10	20.0 ^①	4.0	4.0
苯/% (体积分 数)	1.53/1.64	<1.0	<1.0	<1.0	0.8	0.8
芳烃/% (体积分 数)	32.0/26.4	<22.0	<25	25~30	22.0	22.0
蒸气压/kPa	60/79	北方 56 南方 50	北方 56 南方 50	51.7	48	48
氧/%	0	>2.1	>2.1	<2.7	1.8~2.2	1.8~2.2
$T_{50}/^{\circ}\text{C}$	103/93	—	—	—	93	95
$T_{90}/^{\circ}\text{C}$	166/167	—	—	—	143	146
RON/MON		95/85	95/85	95/85	95/85	95/85
尾气排放标准	—	EPA Tier 0	EPA Tier I	加州 LEV ULEV	加州 LEV ULEV	加州 LEV ULEV

①原文如此,可能有误。

表 1-4 欧盟清洁汽油的规格标准

项 目	1993 年	1998 年	2000 年 Auto Oil I	2005 年 Auto Oil II	2011 年
硫/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	<1000	<500	<150	<50	<10
烯烃/% (体积分 数)	无规定	无规定	<18	<18	<18 ^②
苯/% (体积分 数)	<5.0	<5.0	<1.0	<1.0	<1.0 ^②
芳烃/% (体积分 数)	无规定	无规定	<42	<35	<35 ^②
蒸气压/ ^① kPa			<60~70	<60~70	
氧/%	无规定	无规定	<2.7	<2.7	<2.7 ^②
E_{100} (100°F蒸发量) / % (体积分 数)			>46	>46	
RON/MON			95/85	95/85	95/85
铅/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	13	13	5	5	
尾气排放标准	欧 I	欧 II	欧 III	欧 IV	

①夏季。

②待批。

表 1-5 日本清洁汽油的规格标准

项 目	1996	2000	2005
硫/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	<100	<100	<50
烯烃/% (体积分数)	<10.0	<10.0	<10.0
苯/% (体积分数)	<5.0	<1.0	<1.0
芳烃/% (体积分数)	—	<42	<42
氧/%	<1.6	<1.6	<1.6
蒸汽压/kPa	<78	<44	<44
$T_{50}/^{\circ}\text{C}$	<110		
$T_{90}/^{\circ}\text{C}$	<180		

由美国发动机制造商协会 (EMA)、美国汽车制造商联盟 (Alliance)、欧洲汽车制造商协会 (ACEA) 和日本汽车制造商协会发起组织的“世界燃料委员会”，经过两年多的协商，1998 年 6 月在比利时布鲁塞尔召开的“第三届世界燃料会议”上提出了世界范围的车用汽油和车用柴油标准——“世界燃料规范”的建议，经过征求意见和修改以后，2000 年 4 月公布了“世界燃料规范”的正式文本。这个“世界燃料规范”是汽车制造商根据环保要求对车用燃料提出的基本要求，对车用无铅汽油（表 1-6）和车用柴油分为四个不同的质量类别。其中，I 类适用于对汽车尾气污染物排放没有或有极少要求的国家和地区，主要考虑汽车发动机本身的性能；II 类适用于对汽车尾气污染物排放有严格要求或其他要求的国家和地区，如执行 EPA Tier 0 或 Tier I 尾气排放标准的美国 22 个州，执行欧 I 和欧 II 尾气排放标准的欧盟国家和执行类似排放标准的其他国家；III 类适用于对汽车尾气污染物排放有很严格要求和其他要求的国家和地区，如执行 LEV、ULEV 尾气排放标准的美国加州，执行欧 III 和欧 IV 尾气排放标准的欧盟国家和执行类似排放标准的其他国家；IV 类适用于对汽车尾气污染物排放有非常严格要求并采用先进 NO_x 和颗粒物后处理技术的国家和地区，如执行 LEV-II 尾气排放标准的美国加州和执行 EPA Tier II 尾气排放标准的美国其他州，执行欧 IV 尾气排放标准的欧盟国家和执行类似排放标准的其他国家。

表 1-6 世界燃料规范——车用无铅汽油的主要质量指标

类 别	I	II	III	IV
RON91 RON	>91.0	>91.0	>91.0	>91.0
MON	>82.0	>82.5	>82.5	>82.5
RON95 RON	>95.0	>95.0	>95.0	>95.0
MON	>85.0	>85.0	>85.0	>85.0
RON98 RON	>98.0	>98.0	>98.0	>98.0
MON	>88.0	>88.0	>88.0	>88.0
硫/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	<1000	<200	<30	无硫 (5~10)
烯烃/% (体积分数)	—	<20.0	<10.0	<10.0
苯/% (体积分数)	<5.0	<2.5	<1.0	<1.0
芳烃/% (体积分数)	<50.0	<40.0	<35.0	<35.0

续表

类 别	I	II	III	IV
氧/%	<2.7	<2.7	<2.7	<2.7
潜在胶质/ $\text{mg} \cdot (100\text{mL})^{-1}$	<70	<70.0	<30.0	<30.0
实际胶质/ $\text{mg} \cdot (100\text{mL})^{-1}$	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
燃料喷嘴清洁度				
流量损失/%	<10.0	<5.0	<5.0	<5.0
进气阀粘滞 (通过/失效)		通过	通过	通过
进气阀清洁度 II				
CEC F-05-A-95 (平均 $\text{mg}/\text{阀}$)		<50	<30	<30
或 ASTM D 5550 (平均 $\text{mg}/\text{阀}$)		<100	<50	<50
或 ASTM D 6201 (平均 $\text{mg}/\text{阀}$)		<90	<50	<50
燃烧室沉积物				
ASTM D 6201/%		<140	<140	<140
或 CEC-F-20-A-98 ($\text{mg}/\text{发动机}$)		<3500	<2500	<2500

注：1. 各类汽油中都不允许含铅、磷、锰和硅。

2. 为满足含氧量要求，添加含氧化合物，最好是醚；按以前的规定，乙醇的添加量最高可达 10%（体积分数），但调合后的成品汽油的各项指标必须合格，不允许添加甲醇。

3. 所加的添加剂必须与发动机油有可配伍性，不增加发动机油泥和漆膜沉积物。

由表 1-3~表 1-6 的数据可见，随着清洁汽油的升级换代，清洁汽油的规格指标越来越严，硫、烯烃、苯、芳烃含量等都要降低，硫含量要大幅度降低（图 1-1）。世界燃料规范还对汽油发动机喷嘴、进气阀和燃烧室的工作状态列出了具体指标。据了解，制定这些指标的基础是大量的科学试验数据。归纳起来，制定这些指标的依据可以简述如下。

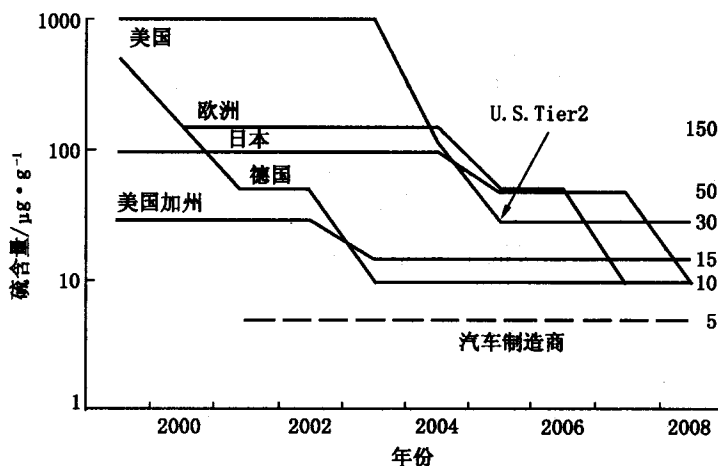


图 1-1 发达国家清洁汽油降低硫含量的时间安排

(1) 降低硫含量：除了要减少汽车尾气中的 SO_x 排放外，一个重要原因是，即使汽油中有少量硫存在，也会使汽车尾气转化器中的催化剂中毒，从而使尾气排放出的 CO 、 NO_x