

中国低硫汽油（**10ppm**）的 辛烷值提升方案选择

HARTENERGY

2013 年 7 月

2013 年 7 月

Hart 能源 提供特殊的数据/信息产品、会员专属服务、为全世界特定客户群体提供咨询，是全球能源工业领域信息数据分析方面的领先企业。我们的核心出版物和咨询专家意见目前已经可以提供在线产品（数据库、地图）和在线服务（网站、市场信息），同时还包括行业会议和展览等。**Hart 能源**的客户来源于能源行业、金融行业、投资团体、工程汽车行业、公共事业、大型 NGO 以及世界各国政府等。

主要作者

Terrence Higgins

执行主任，炼油与专项研究

Hart 能源咨询公司

Hart 能源出版社下属机构

地址：616 S. Voss Rd. Suite 1000

Houston, TX 77057 USA

网址：www.hartenergy.com

版权所有 © 2013, Hart 能源出版社与国际清洁交通委员会

本报告是为国际清洁交通委员会（ICCT）撰写，但报告中的观点并不全面代表 ICCT 观点。

目录

概述	1
第 I 节: 中国汽油和辛烷值产品概况	3
A. 背景及介绍	3
B. 汽油生产、硫及辛烷来源	3
C. 通过炼制流程改善辛烷值的能力	5
第 II 节: 汽油低硫化战略以及对辛烷值的影响	6
A. 中国炼油厂汽油脱硫及辛烷值影响	6
B. 还原辛烷值损失的可选方案	8
第 III 节: 中国汽油脱硫和禁用 MMT 导致的辛烷值损失	10
第 IV 节: 还原中国汽油辛烷值的成本	10
第 V 节: 中国辛烷值还原的最优化成本	12

图表清单

表 I.1: 炼油厂组别: 输入/产量, 汽油产量和低硫化成本	4
表 I.2: 炼油厂组别: 吞吐量、汽油产量和低硫化成本	5
表 I.3: 中国炼油和轻质油产能	5
表 II.1: 中国炼油厂组别生产能力	6
表 II.2: FCC 石脑油加氢处理过程中的辛烷值损失大致情况	7
图 II.1: 新加坡辛烷价格	9
表 III.1: 脱硫和禁用 MMT 导致的辛烷值损失	10
表 IV.1: 投资和汽油成本: MTBE 和炼油工艺流程	11
表 IV.2: 投资和汽油成本: 仅限炼油工艺流程—不增加 MTBE	11
表 V.1: 优化还原方案—各情景成本比较	12

概述

中国自 2009 年 12 月起将国家汽油标准中的硫含量限值由 500ppm 降低至不超过 150ppm，而一些城市/省级标准则对硫含量限值做出了下列规定：

- ◆ 北京要求不超过 10 ppm；
- ◆ 其他一些主要城市要求 50 ppm：上海、杭州、宁波（浙江省）、南京、镇江、常州、无锡、苏州、扬州、南通（江苏省）以及珠三角地区。

中国计划继续推进低硫化，直至在全国范围内实施 10ppm。

降低汽油中的硫含量主要依靠对汽油掺混原料流进行脱硫，特别是对硫含量相对较高的催化裂化汽油原料流进行脱硫。脱硫工艺流程会导致脱硫后的汽油原料流辛烷值下降。辛烷值下降的问题在中国尤其显著，因为中国生产的汽油大部分都是催化裂化汽油。

中国目前采用的是含有金属的添加剂 MMT 来提高辛烷值。目前已经开始有一些针对减少或不使用 MMT 的讨论。而既要不使用 MMT 又要降低汽油硫含量就需要为中国找出一种汽油辛烷值的替代来源。

国际清洁交通委员会（ICCT）委托我们开展研究，评估降低中国汽油硫含量和禁用 MMT 的影响。本次研究是基于 Hart 能源与 MathPro 此前为 ICCT 所开展的另一项关于中国燃料降硫的全面成本分析研究而开展的。

本次研究的目的是了解中国产品辛烷值的特点，量化降硫和禁用 MMT 对于辛烷值的影响，找出 MMT 之外的辛烷值改进剂替代产品，并量化采用各项替代产品来还原降硫和禁用 MMT 所损失的辛烷值的具体成本。在此要注意的是，无论是前期的低硫化研究还是本次研究，在成本方面都包含了去除硫份而造成的辛烷值损失的那部分还原成本。

本报告最终得出的评估结论是，去除硫份导致的辛烷值损失为 0.4，禁用 MMT 的辛烷值损失为 0.9，总计损失辛烷值 1.3。下文则会总结采用 MTBE 及其他产品来还原这部分损失的辛烷值所需要的成本。

投资和汽油成本：MTBE和炼制工艺流程

	组别 A	组别 B	组别 C	组别 D	组别 E	中国合计
汽油产能，千桶/天	553	241	261	534	161	1750
基准 MMT，毫克/升	8	8	8	8	8	8
去除，毫克/升	无	无	无	无	无	无
投资，百万美元	302	76	34	175	89	676
增加的炼制成本，百万美元/年	196	77	76	172	60	571
融资费用和固定成本	57	14	7	33	17	128
运营成本	139	63	69	139	43	443
每升汽油成本，美分/升	0.61	0.56	0.50	0.56	0.64	0.57
每升汽油成本，人民币分/升	3.73	3.43	3.06	3.43	3.92	3.49

投资和汽油成本：仅通过炼制工艺—不增加 MTBE

	组别 A	组别 B	组别 C	组别 D	组别 E	中国合计
汽油产能，千桶/天	553	241	261	534	161	1750
基准 MMT，毫克/升	8	8	8	8	8	8
去除后，毫克/升	无	无	无	无	无	无
投资，百万美元	318	76	199	302	141	1036
增加的炼制成本，百万美元/年	207	81	110	196	71	665
融资费用和固定成本	60	15	38	57	27	197
运营成本	147	66	72	139	44	468
每升汽油成本，美分/升	0.65	0.58	0.73	0.63	0.76	0.66
每升汽油成本，人民币分/升	4.0	3.5	4.5	3.9	4.7	4.0

第1节：中国汽油和辛烷值产品概况

A. 背景及介绍

中国自2009年12月起将国家汽油标准中的硫含量限值由500ppm降低至不超过150ppm，而一些城市/省级标准则对硫含量限值做出了下列规定：

- ◆ 北京要求不超过10 ppm，
- ◆ 其他一些主要城市要求50 ppm：上海、杭州、宁波（浙江省）、南京、镇江、常州、无锡、苏州、扬州、南通（江苏省）以及珠三角地区。

中国计划继续推进低硫化，直至在全国范围内实施10ppm。

在2011至2012年期间，国际清洁交通委员会（ICCT）委托我们开展了一项针对几个发展中国家过渡至低硫汽油的技术和经济分析¹。该分析全面总结描述了中国炼油工业的情况特征。最终的分析报告中也估测了生产50ppm和10ppm汽油的投资要求和融资/运营成本。其中炼油要求和成本的判定是通过将炼油企业划分至五个组别（五个组别的定义详见第二节），并使用炼油厂线性模拟模型来模拟出不同硫含量水平的汽油的供应、需求和炼制方案。

炼油厂模拟模型被用来进行ICCT的汽油低硫化分析评估，判定各组炼油厂生产50ppm和10ppm汽油的脱硫要求。模型同时计算出由于脱硫操作导致的辛烷值损失，并综合计算出投资成本要求和维持产品质量（硫以外的其它质量要求，包括汽油辛烷值等）所需的运营成本变化。还原辛烷值的成本也被纳入了汽油低硫化的整体成本当中。

在汽油低硫化分析中，非炼油厂辛烷值来源（MMT和含氧添加剂）在基准情景、50ppm情景和10ppm情景下是被视为一个衡量。这部分辛烷值来源没有被考虑到脱硫过程当中，该研究也没有探究减少非炼油厂辛烷值来源的问题。

B. 汽油生产、硫及辛烷来源

在ICCT的汽柴油低硫化分析中提供了2010年炼制产品供需情况，并预测了现有炼油厂、扩建炼油厂以及预期新增的炼油厂到2015年的总产能。同样的炼油厂产业结构和供求关系预测也被用于此次的辛烷值补充分析当中。表I.1分别展示了在基准炼油情景下（高硫）和10ppm硫含量炼油情景下现有（2010）炼油厂组别、炼油厂原料输入和产出、汽油产品、汽油硫含量以及炼油产品辛烷值的情况。同时，表I.1还展示了生产每升10ppm汽油所需的基础投资和炼油运营成本。此处的低硫化成本包括全部基础投资和维持汽油辛烷值的炼油运营成本。

¹ 《巴西、中国、印度和墨西哥过渡到超低硫燃料的技术和经济分析》，编制用于ICCT，Hart能源和MathPro公司联合编写，2012年10月。

表1.1: 炼油厂组别：输入/产量，汽油产量和低硫化成本

	组别 A		组别 B		组别 C	
	基准	10 ppm	基准	10 ppm	基准	10 ppm
原油输入 (千桶/天)	2759	2766	839	842	1661	1661
其他原料输入(千桶/天)	44	44	19	19	30	30
炼油产品产量 ¹ (千桶/天)	2957	2960	873	876	1685	1684
汽油产量 (千桶/天)	553	553	241	241	261	261
汽油硫含量(ppm)	110	10	150	10	11	10
汽油辛烷值 (RON)	90.3	90.3	90.3	90.3	90.3	90.3
低硫化基础投资 (百万美元)		429		333		7
融资/固定成本 (百万美元/年)		82		63		1
炼油运营成本(百万美元/年)		43		21		0
每升汽油成本(美分/升)		0.4		0.6		<0.1
每升汽油成本(人民币分/升 ²)		2.45		3.67		<0.61
	组别 D		组别 E		总计	
	基准	10 ppm	基准	10 ppm	基准	10 ppm
原油输入 (千桶/天)	1985	1993	918	916	8162	8178
其他原料输入(千桶/天)	44	44	470	470	607	607
炼油产品产量 ¹ (千桶/天)	2077	2073	1401	1391	8993	8984
汽油产量 (千桶/天)	534	534	161	161	1750	1750
汽油硫含量(ppm)	150	10	150	10	117	10
汽油辛烷值 (RON)	90.3	90.3	90.3	90.3	90.3	90.3
低硫化基础投资 (百万美元)		1004		424		2197
融资/固定成本 (百万美元/年)		191		81		417
炼油运营成本(百万美元/年)		129		53		246
每升汽油成本(美分/升)		1.0		1.4		0.7
每升汽油成本(人民币分/升)		6.12		8.57		4.28

注: (1)不包含焦炭、硫以及燃料或氢产品所使用的炼制原料流。

来源:《巴西、中国、印度和墨西哥过渡到超低硫燃料的技术和经济分析》

在此前的低硫化研究中，基于现有数据资料，假设汽油调和总组分中的 RON 为 90.3。但之后，Hart 公司获取了一些补充数据，对中国汽油的辛烷值评估进行了调整。目前中国的汽油调和总组分包含有辛烷值 90//93/97 三种级别的汽油，其比例分配为 40%/50%/10%。因此，汽油调和总组分的辛烷值评估值应为 92.2。

中国依靠含氧组分来提供大部分汽油和辛烷值。同时，中国还使用 MMT 来补充辛烷值。MMT 的使用情况在各地有所不同，但 2012 年的总体使用量约为 11.5 毫克/升。在部分地区，MMT 的用量已经开始减少，到 2013 年底会减少至 8 毫克/升。

² 根据 2013 年 9 月 5 日汇率，美元对人民币 1: 6.12

根据当前的辛烷值评估状况，基准情景下假设 MMT 的使用量为 8 毫克/升。而根据最新更新的市场信息，此次基准情景下假设的含氧组分使用量也比进行低硫化研究时设定的用量有所增加。而基准情景下使用的含氧组分有所增加（因此为汽油贡献的辛烷值也有所增加）也正拟合了 MMT 假设用量的减少。

表 1.2 展示了各组别炼油厂汽油产量、含氧组分和 MMT 假设用量以及含氧组分和 MMT 的辛烷值贡献值。

表1.2: 炼油厂组别：吞吐量、汽油产量和低硫化成本

	组别 A	组别 B	组别 C	组别 D	组别 E
汽油产量 (千桶/天)	553	241	261	534	161
汽油辛烷值 (RON)	92.2	92.2	92.2	92.2	92.2
甲醇 (千桶/天)	20	8	18	17	12
乙醇 (千桶/天)	11	3	9	12	3
MTBE (千桶/天)	37	14	8	35	6
含氧组分 (RON)贡献值 ¹	1.3	.7	.7	1.1	1.2
MMT (毫克/升)	8	8	8	8	8
MMT RON 贡献值	.9	.9	.9	.9	.9

来源: Hart 能源咨询公司编写 (2010)

来源: 《巴西、中国、印度和墨西哥过渡到超低硫燃料的技术和经济分析》

C. 通过炼制流程改善辛烷值的能力

中国的炼制结构很特殊，炼油厂有很大一部分都属于转化产能（主要是催化裂化和焦化），而轻质油加工设备相对较少。在辛烷值方面，就整体汽油炼制生产系统而言，中国炼厂在汽油重整、异构化和烷基化方面的能力较差。中国轻质油产量不足原油处理量的 8%，而美国可达 25%，欧洲和日本也可达 20%。炼油厂可以增加汽油重整操作，从而提高重整汽油原料流的辛烷值水平以及整体提高汽油调和总组分的辛烷值（详见第二节 B 部分）。鉴于重整能力有限，中国调整辛烷值的空间也比较小。表 1.3 展示了中国五个炼油厂组别的轻质油生产能力。

表1.3: 中国炼油和轻质油产能
(千桶/天)

	组别 A	组别 B	组别 C	组别 D	组别 E
原油蒸馏	3090	870	2140	2350	2250
汽油重整	260	70	170	277	18
异构产品	0	0	0	0	0
烷基化产品	15	3	0	8	0

来源: Hart 能源和美国能源信息管理局

第 II 节： 汽油低硫化战略以及对辛烷值的影响

A. 中国炼油厂汽油脱硫及辛烷值影响

ICCT 汽油低硫化研究中指出中国汽油产品的产能主要来源于大型转化炼厂。研究将炼厂分类定义为五个组别，每组都有特定的转化设备组合方式，包括焦化、催化裂化（FCC）和加氢裂化（表 II.1）。

表II.1: 中国炼油厂组别生产能力

转化工艺流程	炼油厂组别					炼制调和产品
	A	B	C	D	E	
焦化	●	●	●		●	焦化石脑油
催化裂化	●	●		●	●	FCC 石脑油
加氢裂化	●		●	●	●	加氢裂化产物

生产超低硫汽油（硫含量小于 50ppm）的主要目标就是在转化过程中对汽油混合原料进行脱硫——主要是焦化和 FCC。

对于拥有 FCC 加工单元的炼油厂而言（例如炼油厂组别 A、B、D 和 E），由于 FCC 石脑油在汽油总组分中的比例大且硫含量较高，所以是汽油中硫的主要来源。在进行硫含量控制工艺之前，FCC 石脑油对汽油硫含量的贡献率可高达 95%。因此，生产超低硫汽油需要对 FCC 石脑油进行严格脱硫，目前主要通过特定的加氢处理单元，如 FCC 石脑油加氢处理装置或 FCC 后处理装置来实现脱硫。

对于拥有焦化装置的炼油厂而言（例如炼油厂组别 A、B、C 和 E），生产超低硫汽油也要求对焦化石脑油进行脱硫。在部分炼油厂，焦化石脑油在 FCC 后处理装置中进行脱硫，然后再和处理过的 FCC 石脑油一起被加入汽油混合组分中。但更为普遍的方法是在石脑油加氢处理单元对焦化石脑油进行脱硫（可将催化重整进料脱硫至约 1ppm），然后再送至重整装置。

对于拥有加氢裂化装置的炼油厂（例如炼油厂组别 A、C、D 和 E），轻质和中质加氢裂化石脑油（硫含量较低）可被直接掺混入汽油当中，或者采用更加普遍的方法将其直接送至石脑油加氢处理装置然后送至催化重整装置。

最终，要满足最严格的硫含量标准（例如 10ppm 硫含量标准）还需要对含有少量硫份的汽油混合原料进行脱硫，主要是直馏石脑油和液化天然气。这部分脱硫操作可通过现有的或新装石脑油加氢处理装置来实现。

FCC 石脑油含有较大比例的烯属组分（烯烃），这部分组分的辛烷值较高（与美国常规等级汽油相比）。在 FCC 石脑油加氢处理装置中，在进行想要的脱硫反应时，烯烃与氢会发生附带反应形成链烷烃（一种烯烃饱和反应）。通常，链烷烃比烯烃的辛烷值要低，所以烯烃饱和反应会降低 FCC 石脑油的辛烷值。这种不希望发生的附带反应是汽油脱硫以后导致辛烷值损失的主要原因（FCC 石脑油加氢处理催化剂从设计上可以限制烯烃饱和，但也不能完全规避这个问题）。

大体上，以下两方面原因会增加辛烷值损失： (i) FCC 石脑油原料硫含量增加； (ii) 对处理后的 FCC 石脑油进行脱硫，详见表 II.2。

表 II.2: FCC石脑油加氢处理过程中的辛烷值损失大致情况

未完成的 FCC 石脑油	完成的 FCC 石脑油	
	50 ppm	5 ppm
120	0.9	1.3
500	1.3	1.8
1500	1.8	2.2
2500	2.2	2.5

假设 FCC 石脑油占汽油总组分体积的 40%，将 FCC 石脑油脱硫至 50ppm 和 7ppm 可分别满足 30–50ppm 以及 10ppm 汽油硫含量标准的要求（根据硫含量标准，其它汽油混合原料，如直馏石脑油和液化天然气可能也需要进行脱硫才能满足标准要求）

还是假设 FCC 石脑油占汽油总组分体积的 40%，因此这部分石脑油对整体汽油组分辛烷值损失的影响就应当是上表数据的 40%左右（例如将 FCC 石脑油从 50ppm 脱硫至 5ppm，辛烷值损失约为 0.7）。

除了辛烷值损失之外，FCC 石脑油在加氢处理过程中也会有少量的产量损耗，大约为 FCC 石脑油体积总量的 1%。

辛烷值损失和产量损耗都需要进行还原，从而保持脱硫后的汽油总组分的辛烷值和产量。

B. 还原辛烷值损失的可选方案

MTBE

在缺少炼油设备投资的情况下，中国可以增加 MTBE 的使用量，最高可将氧含量提高至 2.7%（质量百分比）。目前中国在汽油中添加不同浓度的 MTBE、乙醇和甲醇。按照目前的含氧剂添加量，每天增加 3 万桶 MTBE 用量就会使汽油总组分到达 2.7%（质量百分比）的最大值。而每天 3 万桶 MTBE 可将汽油总组分的 RON 提升 0.4 左右。中国近来已经明显扩大了 MTBE 的产能，减少进口依赖。每天增加的这 3 万桶 MTBE 也可以在亚洲市场上购买到。

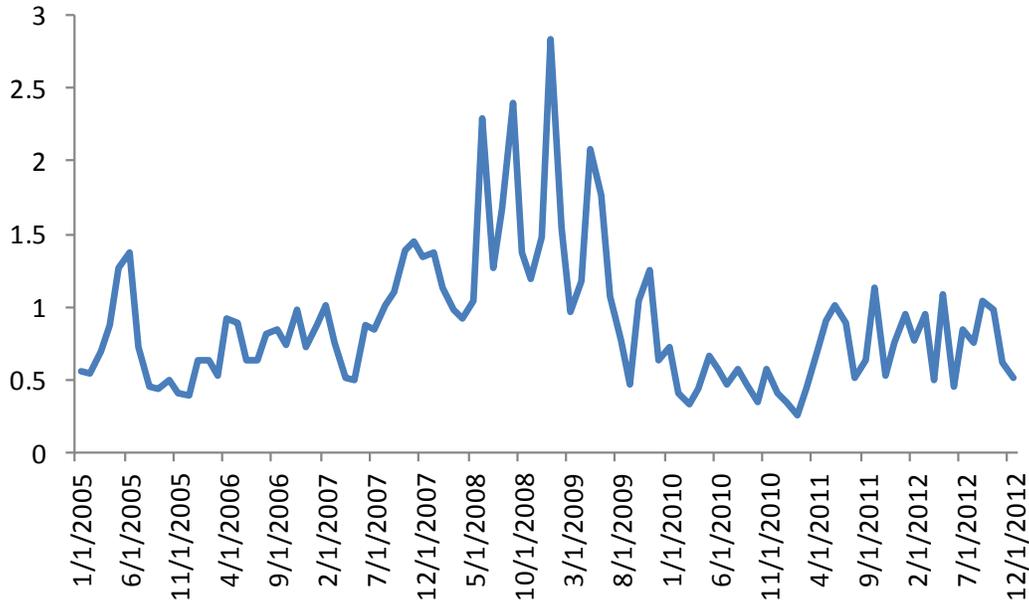
在美国，自 2006 年底对新配方汽油的氧含量要求被新的可再生燃料标准取代之后，炼油商就可以自愿停止在汽油中混入 MTBE。出于公众对污染地下水问题的担忧，已经有 24 个州采取行动要求限制 MTBE 使用量或禁用，但联邦政府尚没有采取这方面的行动。一方面是因为美国人比较爱对各类问题进行诉讼，另一方面就是可再生燃料标准的出台，所以炼油商不愿意冒着被起诉的风险继续使用 MTBE。

在美国有一大批比较老旧的单层壁储油罐，这种储油罐很容易发生泄漏，从而污染地下水。但对于像中国这样的国家而言，可以快速的安装新的加油基础设施，从而有机会投资安装不容易泄漏的双层壁储油罐。当然，广泛的供应乙醇使得美国可以快速的淘汰 MTBE，但这对中国而言在短期内不是一个现实的选择。在今后较长一段时期，中国可能会想要着力寻求替代 MTBE 的解决方案。

购买辛烷值较高的汽油

在亚洲市场上可以买到一些辛烷产品来提高辛烷值。中国可以利用这一市场优势购买一些辛烷值高的组分，如购买辛烷值高的汽油并出口低辛烷值的汽油或掺混原料。市场上的辛烷资源很难量化，但在对亚洲市场辛烷产品价格进行分析后可以得知亚洲市场辛烷产品产能仍有余量，可以通过上述方法获得一些补充的辛烷产品。图 II.1 展示了 2007 年至 2012 年新加坡汽油中辛烷的价格。辛烷的价格是基于普通汽油和优质汽油的价差来计算的。辛烷产品的价格目前低于 2008 年价格峰值（表明当时炼制产能不足）并且与历史价格差异不大。因此可以看出在这一地区，辛烷的供应完全不紧张，还可以提供一些富余的产能

图II.1: 新加坡辛烷价格
(美分/升辛烷)



本次针对辛烷的研究并没有包括从亚洲市场购买汽油来满足供应要求的备选方案。所有关于有多少辛烷可用的假设都是推断的。我们认为从市场上购买辛烷产品是一种辛烷值的额外来源，但市场具有较大的不确定性。上面的信息可以反映出亚洲市场增加辛烷值的成本情况，因此应该不会与中国增加辛烷值的成本相差太多。此次研究中，又有一部分辛烷值是通过 MTBE 来提供的，而购买辛烷产品的成本与通过 MTBE 来增加辛烷值的成本相仿。

炼油厂运营调整

另一种增加辛烷值的方法是炼油厂通过优化现有操作流程来从炼油厂内部提高现有重整汽油的辛烷值。这种方法应该算是炼油商的首选方案，通过调整工艺增加的辛烷值可以还原一部分因为脱硫而损失的辛烷值。

增加重整

催化汽油重整（或简称为重整）是一步核心工艺流程，被广泛用于提高汽油总组分的辛烷值。重整流程是唯一可以通过工艺操作条件来控制产品辛烷值的工艺。小范围调整操作条件就可以使产品的辛 RON 在 85 到 100 之间变化。因此，重整既是增加汽油辛烷值的主要工艺来源也是控制汽油总组分辛烷值的主要方法。

增加重整来提高辛烷值也会造成重整汽油产量上的损耗。这部分损耗与 FCC 石脑油加氢处理过程中的损耗是叠加的。为了维持汽油总产量不变，这两部分流程产生的损耗必须予以还原。

还原汽油产量损耗最直接的方法就是增加炼油厂的原油处理量，当然这也就相应的需要增加各个汽油生产流程的原料投入。

重整设备投资

另外一个增加辛烷的方案就是投资扩大炼油厂的生产能力。扩大重整单元和烷基化单元是两个主要方案，但烷基化会受到一些原料供应方面的限制。

第 III 节：中国汽油脱硫和禁用 MMT 导致的辛烷值损失

估测将中国汽油硫含量降低至 10ppm 会损失多少辛烷值主要取决于两个方面，即 FCC 汽油硫含量和 FCC 汽油在汽油总组分中所占的比例。表 III.1 展示了中国各组炼油厂在脱硫和禁用 MMT 过程中损失的辛烷值。关于 MMT，我们假设所有组别的炼油厂的 MMT 使用量都是 8 毫克/升，因此所有炼油厂组别在禁用 MMT 方面的辛烷值损失评估值都是相同的。五个组别的平均辛烷值损失为 1.3。

表 III.1: 脱硫和禁用 MMT 导致的辛烷值损失

	组别 A	组别 B	组别 C	组别 D	组别 E
汽油产量 (千桶/天)	553	241	261	534	161
脱硫导致的辛烷值损失 (RON)	0.3	0.5	0.0	0.6	0.3
禁用 MMT 导致的辛烷值损失 (RON)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
炼油厂还原脱硫损失的选项:					
MTBE 和炼油厂工艺调整	●	●	●	●	●
增加重整	●	●		●	●
重整设备投资				●	●

来源: Hart 能源咨询公司编写 (2010)

表 III.1 还展示了还原脱硫导致的辛烷值损失的备选方案。这里展示的备选方案与最初脱硫情景的备选方案有所不同。在最新的研究中，初始辛烷值要求有所提高。因此，在基准情景中提高了重整辛烷值所占的比重。较之前研究的低硫化研究，本次研究的低硫化情景必然会需要更多的炼油厂重整设备投资。

第 IV 节：还原中国汽油辛烷值的成本

表 IV.1 展示了禁用 MMT 以后还原辛烷值损失的投资、运营和单升成本。此处的投资成本是还原辛烷值所需的新建炼油设备的总值。在此次分析中，新建设备投资主要是汽油重整设备的产能投资，融资费用则指年度融资费用和其它一些与投资有关的固定成本，而运营成本则是购买原油（还原产量损耗等）、燃料以及各种催化剂和化学制剂的直接成本。其中，购买 MMT 的成本已从运营成本中扣除。

表 IV.1: 投资和汽油成本：MTBE和炼油工艺流程

	组别 A	组别 B	组别 C	组别 D	组别 E	中国合计
汽油产量, 千桶/天	553	241	261	534	161	1750
基准 MMT, 毫克/升	8	8	8	8	8	8
去除后, 毫克/升	无	无	无	无	无	无
投资, 百万美元	302	76	34	175	89	676
增加的炼制成本, 百万美元	196	77	76	172	60	571
融资费用和固定成本	57	14	7	33	17	128
运行成本	139	63	69	139	43	443
每升汽油成本, 美分/升	0.61	0.56	0.50	0.56	0.64	0.57
每升汽油成本, 人民币分/升	3.73	3.43	3.06	3.43	3.92	3.49

表 IV.2 展示了禁用 MMT 但在不增加 MTBE 使用量的前提下还原辛烷值损失所需要的投资、运营和单升成本。在这种情景下, 增加的所有辛烷值都不是来源于 MTBE 而是要求进行重整设备投资, 大约会增加投资需求 50% 以上。还原辛烷值所需的单升总成本也比使用 MTBE 要高出 16%。

表 IV.2: 投资和汽油成本：仅限炼油工艺流程—不增加MTBE

	组别 A	组别 B	组别 C	组别 D	组别 E	中国合计
汽油产量, 千桶/天	553	241	261	534	161	1750
基准 MMT, 毫克/升	8	8	8	8	8	8
去除后, 毫克/升	无	无	无	无	无	无
投资, 百万美元	318	76	199	302	141	1036
增加的炼制成本, 百万美元	207	81	110	196	71	665
融资费用和固定成本	60	15	38	57	27	197
运行成本	147	66	72	139	44	468
每升汽油成本, 美分/升	0.65	0.58	0.73	0.63	0.76	0.66
每升汽油成本, 人民币分/升	4.0	3.5	4.5	3.9	4.7	4.0

表 IV.1 和 IV.2 中的辛烷值还原成本与脱硫工艺过程中损失的辛烷值的还原成本是叠加的（详见第二节 A 段）。脱硫导致的辛烷值还原成本已经在表 I.1. 中被纳入脱硫总成本当中。

第 V 节： 中国辛烷值还原的最优化成本

对于炼油商而言，还原脱硫和禁用 MMT 导致的辛烷值损失的最优成本方案就是将各项备选方案以成本最低的方式进行结合。对比表 IV.1 和 IV.2 可知，与添加 MTBE 同时调整炼油工艺流程相比，单纯添加 MTBE 的成本是最低的，但是由于有氧含量最大值的限制，单纯通过添加 MTBE 来降低成本是不可行的。

炼油商的另外一个选择就是购买辛烷值较高的汽油。不过市场上辛烷值的余量有多少是很难量化的，所以表 IV.1 和 IV.2 的分析中并没有包含这部分成本。

基于图 II.1 中展示的新加坡辛烷产品均价走势，购买高辛烷值产品可能有潜质进一步降低成本。从新加坡购买辛烷产品的成本比添加 MTBE 来提高辛烷值的成本要高，但低于炼油厂投资的成本。

为具体说明辛烷成本最优化范例，我们进行了一项情景分析，假设中国炼油商要通过亚洲市场每天将 5 万桶 90 号（RON）汽油升级至 95 号（RON）汽油。在这种情况下，从亚洲市场所购买的辛烷产品数量应该不会导致新加坡辛烷产品价格明显升高。这种情景下的单升成本与前文表 V.1 各情景的单升成本进行比较。单升成本从 0.57 美分/升（3.49 人民币分/升）下降至 0.56 美分/升（3.43 人民币分/升），下降了不到 2%。

表 V.1: 优化还原方案-各情景成本比较
(美分/升)

	组别 A	组别 B	组别 C	组别 D	组别 E	中国合计
MTBE 和炼油厂工艺流程	0.61	0.56	0.50	0.56	0.64	0.57
仅限于炼油厂工艺流程	0.65	0.58	0.73	0.63	0.76	0.66
MTBE, 工艺流程和购买辛烷产品	0.61	0.54	0.49	0.54	0.62	0.56

(人民币分/升)

	组别 A	组别 B	组别 C	组别 D	组别 E	中国合计
MTBE 和炼油厂工艺流程	3.73	3.43	3.06	3.43	3.92	3.49
仅限于炼油厂工艺流程	3.98	3.55	4.47	3.86	4.65	4.04
MTBE, 工艺流程和购买辛烷产品	3.73	3.30	3.00	3.30	3.79	3.43