



降低中国车用燃油硫含量的成本与收益

国际清洁交通委员会 (ICCT) 由空气质量与交通管理领域经验丰富的国际知名政府官员和专家以个人身份参加组成。其目标在于快速降低私人、公共交通与货物运输中产生的传统污染物和温室气体排放, 以改善空气质量、保护人类健康并减轻对气候变化的影响。ICCT 主要从以下几个方面寻求解决问题的最佳措施和综合方案: 减少车辆排放; 提高效率; 改进燃油品质并推动替代燃料的可持续应用; 在用车污染控制; 国际货物运输的污染物排放控制。



作者:

Katherine Blumberg
国际清洁交通委员会

贺克斌教授
清华大学

周昱
清华大学

刘欢
清华大学

Nancy Yamaguchi 博士
Trans-Energy Research Associates, Inc., USA

此研究报告作者诚挚感谢我们世界各地的许多同事，感谢他们在百忙之中花费时间和精力审阅本报告草案并提出许多宝贵意见。在此要特别感谢以下的ICCT成员，他们仔细审阅了本报告并且支持本报告的研究结果和建议。

ICCT 审阅小组:

何东全博士
能源基金会北京办事处交通项目主管

傅立新教授
清华大学大气污染控制工程研究所主任

Ms. Margo Oge
美国国家环保署交通与空气质量办公室主任

Mr. Michael Walsh
美国国际清洁交通委员会理事会主席

Martin Williams 博士
英国环境、食品与农村事务部大气与环境
质量部门主任

目录

摘要	6
1. 简介	13
1.1. 研究背景	15
2. 研究方法	17
2.1. 机动车排放模拟	19
2.2. 暴露研究	23
2.3. 健康影响	25
2.4. 收益价值的估算	26
2.5. 燃油和车辆成本	30
3. 研究结果	34
3.1. 改进车辆技术和燃油品质的总收益和成本	34
3.2. 改进燃油品质的不同情景	37
3.3. 敏感性分析	39
4. 结论	40
注解	43
参考文献	44
附录A : 美国环保署近期法规的成本收益分析结果	47
附录B : 本研究中使用的城市、人口和城市面积	49
附录C : 确定不同硫含量下的排放修正因子	51
附录D : 炼油行业模型中的输入参数	55
附录E : 减少的健康影响(分城市)	60
附录F : 降低燃油硫含量各情景的近期收益分析	62
作者与审阅者简介	64

图目录

图 ES-1. 车辆排放和燃油品质标准对全国机动车PM ₁₀ 总排放的影响 (2005-2030)	8
图 ES-2. 改进燃油品质和车辆技术在未来若干年内的净收益	10
图 ES-3. 2030 年净现值在各变量的不确定性的影响下的变化范围 (90%确定性)	11
图 1. 中国机动车PM ₁₀ 总排放	22
图 2. 人均 GDP (PPP) 和统计性生命价值VSL 随着时间的增长	30
图 3. 改进燃油品质和车辆技术在未来若干年内的净收益	36
图 4. 各种不确定性来源对 2030 年净现值的影响	38
图 C-1. 硫含量对NO _x 排放因子的影响 (第二阶段及以前车辆)	50
图 C-2. 硫含量对NO _x 排放因子的影响 (第三、四、五阶段车辆)	51
图 C-3. 硫含量对 CO 排放因子的影响 (第二阶段及以前车辆)	51
图 C-4. 硫含量对 CO 排放因子的影响 (第三、四、五阶段车辆)	52
图 C-5. 硫含量对HC排放因子的影响 (第二阶段及以前车辆)	52
图 C-6. 硫含量对HC排放因子的影响 (第三、四、五阶段车辆)	53
图 C-7. 泰国曼谷欧2 和欧3柴油车使用低硫燃油时的排放削减率	53
图 D-1. 炼油能力、原油加工能力和原料利用率	58
图 D-2. 原油加工能力和利用率的上升 (2010 年高炼油能力情景)	58
图 F-1. 引入低硫燃油的不同情景的近期净收益	62

表目录

表 ES-1. 燃油硫含量限值与实施时间	7
表 ES-2. 2008到 2030年之间降低的不利健康影响	9
表 1. 中国和欧洲的排放标准	16
表 2. 燃油硫含量限值与实施时间	17
表 3. 中国经济增长和 GDP 预测	19
表 4. 人口预测 (十亿)	20
表 5. 各排放技术水平车辆在不同硫含量水平下的排放修正因子	21
表 6. 吸入因子	25
表 7. 用于死亡率和发病率的浓度响应系数和基准发病率	26
表 8. 统计性生命价值的研究结果	28
表 9. 死亡和发病的货币价值	29
表 10. 增加的燃油成本	32
表 11. 增加的车辆成本	33
表 12. 2008 到 2030 年之间降低的不利健康影响	34
表 13. 预计轿车每周新增成本	34
表 14. 改进燃油和车辆后预期的年度和累计收益与成本	35
表 15. 不确定性分析的参数	39
表 A-1. 2030 年美国的收益和成本	46
表 B-1. 本研究使用的城市、人口和城市面积	46
表 D-1. 模型输入的原油类型、价格和可获得性	54
表 D-2. 模型中对中国的炼油产品和调和组分的价格假设	55
表 D-3. 中国当前、规划中的和将来可能的炼油能力	56
表 D-4. 分析的燃油情景	57
表 E-1. 通过改进车辆技术和燃油品质而减少的健康影响 (分城市)	59
表 F-1. 燃油品质提高方案	61



中国的机动化交通正在迅速增长，在2000到2005年的短短几年内，中国轻型客车的保有量增加了超过一倍，同时中国轻型与重型货车以及摩托车的保有量也在迅速增加。

中国的机动化交通正在迅速增长，在2000到2005年的短短几年内，中国轻型客车的保有量增加了超过一倍，同时中国轻型与重型货车以及摩托车的保有量也在迅速增加。这是中国经济快速发展的结果，也是人民生活水平提高的标志，但同时也带来了一系列环境与社会问题，而这当中就包括加重空气污染以及对公众健康的损害。在2005年进行监测的522个城市中，211个城市可吸入颗粒物PM₁₀超过了意在保护城镇居民公众健康的二级标准，而其中的29个城市劣于三级，污染比较严重。

新标准的实施将有助于减轻机动车保有量增加对公众健康的影响，降低在用车污染对环境的压力。但是要完全发挥这些新标准对改善空气质量和保护公众健康的作用还必须实施配套的车用汽油和柴油品质标准。

在这样的背景下，国际清洁交通委员会（ICCT）和清华大学一起对中国加严机动车排放与燃油品质标准的成本和收益进行了研究。与国家环保总局合作进行的这项研究的主要目的是评估已颁布的和将来可能实施的车辆与燃油控制法规的收益。

为了保护公众健康，中国国家环保总局（SEPA）将在未来几年内陆续实施新的更为严格的轻型车辆与重型发动机排放标准。这些

政府行动

中国已经颁布了一系列机动车排放标准，计划的实施时间只比欧盟同水平标准滞后了几

年，2010年将实施轻型车第四阶段标准，2012年将实施车用压燃式发动机第五阶段标准。本研究发现迅速加严车辆排放标准将大大减轻空气污染和改善公众健康，特别是对于那些较为发达的城市。本研究同时还发现实施这些标准的货币化社会收益要远高于生产商所要增加的成本。

但同时中国并没有借鉴颁布欧盟排放控制法规中重要组成部分之一的燃油品质标准。更严格的排放标准所需的先进排放控制技术要

考虑到排放控制技术对燃油品质的依赖关系，包括欧盟、日本和美国在内的许多国家和地区政府都制定了与排放标准配套的燃油品质标准。香港特别行政区也实施了这样的配套措施，在保证新车排放标准效果的同时，由于使用了低硫燃油还能制定并实施针对老旧货车和公共汽车的柴油车改造措施。如表ES-1所示，按照目前已经颁布的标准，从2008年起中国的燃油硫含量水平将与车辆排放标准脱节。

表ES-1.燃油硫含量限值与实施时间

中国实施机动车排放标准的计划		欧盟认证燃油硫含量(ppm)		中国燃油硫含量限值(ppm)	
轻型和重型车辆	年份	汽油	柴油	汽油	柴油
第二阶段	2005	500	500		
第三阶段	2008	150	350		
第四阶段	2010	50	50	500	
第五阶段(仅重型车)	2012	10	10		2000 (500 推荐标准)

求使用清洁燃油，特别是低硫燃油。车用燃油中的硫可能会使排放控制装置失效，同时还会转化生成SO₂和细颗粒物。降低燃油中的硫含量可以同时降低新车和老旧车的污染物排放，而满足更严格排放标准的车辆如果使用了高硫燃油将导致车辆实际排放水平比设计时满足的排放标准差许多，还可能使一些关键的污染控制装置失效。

污染物削减收益

本研究首先分别对中国加严车辆排放标准和降低车用燃油硫含量的收益进行了估算。为了估算燃油品质对排放的影响，本研究基于对满足今后排放标准可行的并且对燃油硫含量相对较不敏感的排放控制技术的短期影响测试归纳了排放修正因子。而且本研究还做出了如下假设：基于超低硫燃油的排放控制



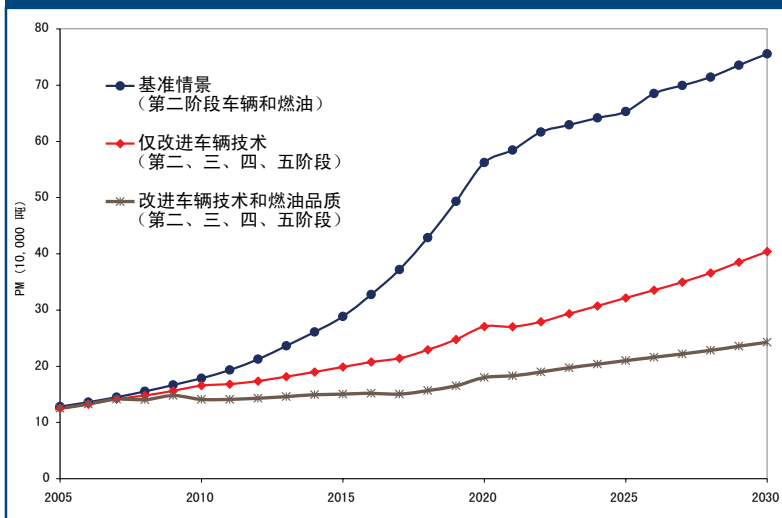
装置在使用硫含量较高的燃油时仍然能够使用，车辆的维护或者耐久性能并不会受到严重影响。该假设从长期影响的角度来看可能不太符合实际情况。

如图ES-1中最上方的曲线所示，如果不实施更严格的机动车排放和燃油品质标准，随着机动车保有量的快速增长，中国的机动车颗粒物排放量将迅速增加。到2020年，加严机动车排放标准（燃油硫含量仍然维持在500ppm）能将排放削减约一半，而同步加严机动车排放和燃油品质标准将使颗粒物排放削减约三分之二。而从更长远来看，为了稳定甚至降低机动车总排放，中国还必须进

一步加严车辆排放和燃油品质标准。将来的重型车欧6、轻型车欧5和欧6排放标准很可能强制要求柴油车辆安装颗粒捕集器，如果能在使用超低硫燃油的前提下借鉴实施，将给中国城市带来巨大的健康效益。

尽管实施更严格的车辆排放和燃油品质标准后，全国总排放仍然有可能继续上升，但具体城市的排放有可能得到大大削减。在那些目前机动车污染已经比较严重的城市，加严车辆排放和燃油品质标准甚至可能将机动车排放削减高达80%，这将大大改善这些城市的空气质量和公众健康水平。最近一项对北京各种污染控制和能源改善方案的健康收益评估研究发现，包括改善车辆排放和燃油品质在内的清洁交通措施对降低 NO_x 和颗粒物（从健康角度看最为重要的污染物）暴露的影响最大，并且到2020年全套清洁交通措施对健康总收益的贡献要比包括煤改气、降低高污染企业排放和显著提高能源利用效率等在内其他所有措施的全部贡献都要大。

图ES-1. 车辆排放和燃油品质标准对全国机动车 PM_{10} 总排放的影响（2005-2030）



公众健康改善

接下来本研究将机动车排放削减与包括早夭、支气管炎、哮喘和活动受限等在内的多个健康影响类型关联起来。如表ES-2所示，加严车辆排放标准将大大降低各种对公众健康的不利影响，而加严燃油品质标准所增加的降低效果也很可观。在2008年和2030年之间，中国通过加严车辆排放标准将减少110万例早夭，而同步加严燃油品质标准还能另外减少37万例早夭，特别需要指出的是在所有这些减少的早夭病例中包括减少2万例的婴儿死亡。

当然这些收益仅仅代表了其中一部分减轻空气污染给胎儿和儿童健康带来的收益。空气污染会以多种方式影响胎儿的健康，包括降低新生儿体重和增加可能与将来癌症发生相关的胎儿基因突变。除了支气管炎、哮喘和活动受限之外，空气污染还会对儿童健康造

成终身的影响。近期美国加州一项长期研究发现受高大气污染水平暴露的儿童肺部发育和功能都会受到永久性的损害。

实施成本

实现表ES-2中所示的健康收益所需的成本包括新车排放和燃油品质标准两部分，它们都在非常合理的范围内。同时如果不同步改进燃油品质还很可能增加一些其它的成本，主要包括满足更严格排放标准的车辆使用高硫燃油时车主所要支付的更高保养费用和零部件更换费用以及汽车制造商满足排放标准额外所需的成本，本研究并没有将这些成本考虑在内。

对大多数轿车来说，排放控制技术的改进将使大多数轿车的价格上涨不到1%，分摊到每个星期成本平均将增加1~3元。虽然与汽油



表ES-2.2008到2030年之间降低的不利健康影响

健康影响类型	改进车辆技术	改进燃油品质	合计减少的病例
总死亡人数	110万	37万	147万
慢性支气管炎	280万	93万	373万
急性支气管炎	7900万	2700万	1亿600万
哮喘	1000万	350万	1350万
活动受限天数	7亿4000万	2亿5000万	9亿9000万



轿车相比，预计柴油轿车所需的新增成本要更高，甚至可能高达汽油轿车的5倍，但先进的排放控制技术对于降低柴油轿车对健康的影响要更为关键。目前大部分在用柴油车的颗粒物排放要比汽油车高出10倍以上，而如果不进一步实施包括加严排放和油品标准在内的全套法规，柴油车销售份额的增加只会加重中国的污染问题。

提高燃油品质的新增成本与加严车辆排放标准相近，预计车主每周的汽油或柴油开支平均将增加1~3%，大概只是每周1~3元人民币。面对国际市场平均原油价格上涨趋

势，采用更高品质燃油所带来的新增成本显得微不足道，2004年与2002年相比中国的主驾驶相同的里程每周要多支付约17~21元人民币。

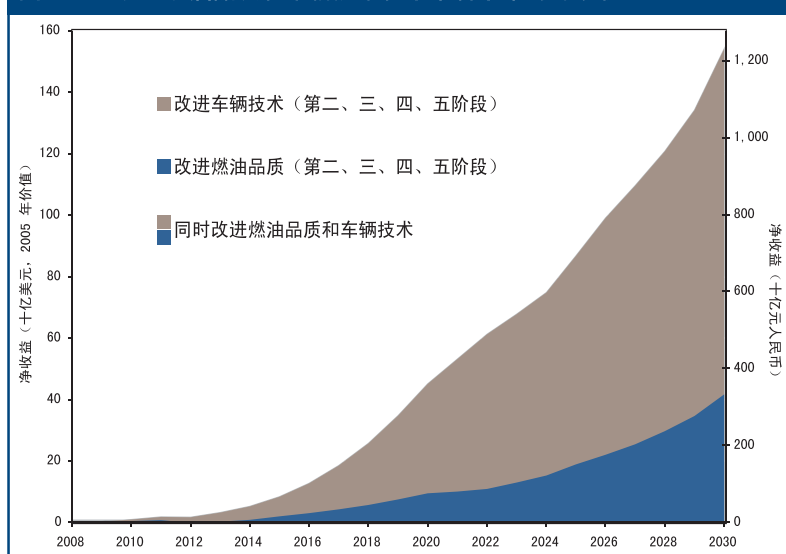
货币化公众健康收益

本研究通过对各公众健康影响类型定价将车辆排放与燃油品质法规的社会效益货币化。

从货币化的社会收益中扣除炼油企业和汽车制造商的新增成本后就得到了控制措施的净收益。如图ES-2所示在2030年实施车辆排放标准的净收益预计将达到9000亿元人民币，而同步加严燃油标准还将另外增加3400亿元人民币的净收益。同步实施车辆标准和配套燃油标准的系统化措施，在2030年的净收益将达到约1.2万亿元人民币。

在2030年，车辆和燃油控制措施的货币化社会收益大约是其成本的20倍，其成本和收益都与美国近期法规中包括燃油品质与车辆排放的系统措施评价结果的数量级相当。加严车辆排放和燃油品质标准确实是收益成本比卓越的中国空气污染制措施。如果将各种污染物的年排放量综合起来分析，削减排放的

图 ES-2. 改进燃油品质和车辆技术在未来若干年内的净收益



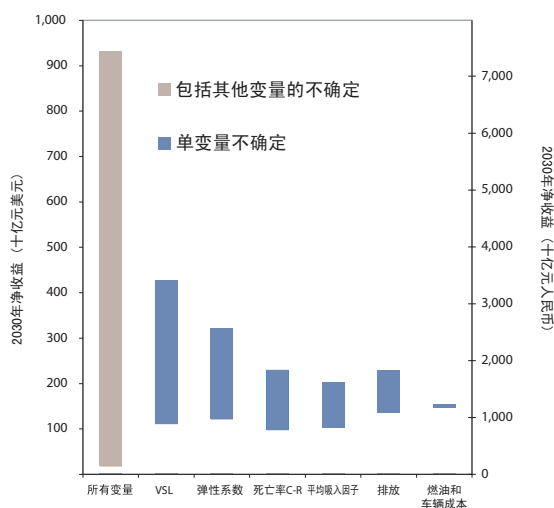
成本收益将在最初几年的每吨7200元(900美元)到2030年的每吨2400元(300美元)之间,这要比欧美等国近期控制法规都低的多。

敏感性分析

在这类研究中,存在大量必要的假设,而每一项假设都会给结果增加一定的不确定性。为了能够比较各种不确定性来源的相对重要程度,本研究进行了一次 Monte Carlo 模拟以检验输出的结果对输入参数的敏感性。但这并不能检验一些本研究未考虑因素的不确定性,例如满足严格排放标准的车辆使用高硫燃油后故障增多等。图ES-3列出了在给出在每个变量不确定性的情况下,2030年净收益的平均值以及90%的确定性范围。通过图中的结果可以看出在本研究中的最大的不确定性来源以及不确定性的方向。

大的不确定性来源。为了确保不高估控制措施的收益,本研究对大多数变量都使用了保守值。因此在各变量90%的确定性范围内,净收益都向较高的值倾斜,这意味着本研究更可能是低估了改善车辆技术和燃油品质的净收益。

图ES-3. 2030年净现值在各变量的不确定性的影响下的变化范围(90%确定性)



如图中最右侧的图柱所示,净收益对成本的

通过模拟的结果可以发现本研究更可能是低估了加严车辆排放和燃油品质的收益。如图ES-3所示,在各变量的不确定性范围内,2030年的净收益在1400亿到73000亿元人民币之间。用于确定减少早夭的货币化效益的统计性生命价值(VSL)和弹性系数是两个最

不确定性很不敏感。加严车辆排放和燃油品质标准所带来的收益要远远超过其成本,即使燃油和车辆的成本提高三倍,对净收益的影响也不大。而另一方面,从以往的经验看,实际成本往往要比在控制措施实施之前估计的要低的多。





结论

本研究发现实施目前中国已经颁布的机动车排放标准将带来巨大的健康收益：2030年将减少110万例早夭，而新车售价只会略微增加。低硫燃油品质标准将保证车辆排放标准完全发挥效果，2030年将另外减少37万例早夭，而车用汽油和柴油的售价只会增加1~3%。但是时间紧迫，目前中国的柴油硫含量水平将严重损害一些最有效的排放控制技术甚至使其完全失效，而这些技术很可能在2010年用于第四阶段柴油轿车和在2012年用于第五阶段重型柴油发动机。

表明实施包括车辆和燃油在内的全套法规措施，是减轻空气污染、改善公众健康以及提高人民生命质量的最有效的措施。

本研究的结果体现了中国在机动车保有量持续增长的情况下继续加紧控制机动车排放的必要性。在快速发展的中国城市中发挥非机动车和公共交通对满足机动性和改善空气质量的重要作用的同时，加严燃油品质和车辆排放标准是应对机动车保有量快速增长的重要措施。为了确保最大程度削减新车和在用车的排放，中国在加严燃油品质标准的同时，还必须根据最新发展趋势继续颁布更严格的车辆排放标准，严格实施新车认证以及在用车生产一致性控制措施。本研究的结果



华盛顿特区办事处
1250 I St., Suite 350
Washington, DC 20005
United States of America
电话: +1 (202) 347-8932

旧金山办事处
1 Hallidie Plaza, Suite 838
San Francisco, California 94102
United States of America
电话: +1 (415) 399-9019