

甲基叔丁基醚(MTBE): 警示性故事

托马斯·O·麦加里蒂 (Thomas O. McGarity)

上世纪80年代和90年代, 甲基叔丁基醚 (methyl tertiary-butyl ether, “MTBE”) 取代四乙基铅, 成为石油行业首选的汽油添加剂。MTBE被视为有利于环境保护, 它不仅大幅减少造成雾霾的空气污染物排放, 还具有生产成本相对低廉的优势。但是到90年代末, MTBE从遍布全国的数万个地下储油罐中泄露, 造成地下水污染, 引起大规模的环境危机。本文将主要探讨MTBE的兴衰发展, 将其作为监管失败案例来进行研究, 并回顾了5个美国联邦环保局或国会能够防止MTBE危机或大大降低这一问题严重程度的关键决策点。此外, 本文还以这一历史为鉴, 探讨了8个著名监管理论和监管失败的阐释力以及可从MTBE危机中吸取的经验教训。若环境监管采用更多的多媒体方式, 受影响的各利益方更加广泛地参与其中, 更少地顺从被监管方狭隘的经济关切, 在关键决策中采取更加谨慎的方法, 则可以避免类似的环境监管灾难。

I. 引言

1990年3月14日, 《化学周刊》(Chemical Week) 宣布甲基叔丁基醚(methyl tertiary-butyl ether, “MTBE”)是“世界上发展最快的化学物质”¹。MTBE不仅替代四乙基铅成为防止发动机“爆震”的石油行业首选添加剂, 一些企业还开始使用MTBE来生产“环保型”混合燃料, 这些燃料能够减少造成雾霾的空气污染物排放。而MTBE这一行业热潮则忽视了一个令人不安的事实, 那就是MTBE这一臭名昭著的恶臭化学物质正越来越多地出现在全国各地地下储油罐附近的地下水中。9年后的1999年3月25日, 加利福尼亚州州长格雷·戴维斯(Gray Davis) 签署行政命令, 禁止加州在汽油中添加MTBE²。此后不久, 加利福尼亚陪审团裁定数家石油公司就造成太浩湖(Lake Tahoe) 供水污染赔偿6900万美元, 另有数家石油公司初步同意支付圣莫尼卡市(Santa Monica) 3000万美元赔偿并另外支付2亿多美元用于新建一座水处理工厂³。全国各地有多起类似诉讼, 此外另有15个州也已禁止在汽油中使用MTBE⁴。2003年7月22日, 《休斯顿记事报》(Houston Chronicle)报道, 最大的MTBE生产企业之一已申请破产保护⁵。

MTBE这个有趣的兴衰故事是有许多原因的, 其中最重要的是联邦政府在推动MTBE的广泛使用以及这一增长造成广泛环境污染中所发挥的作用。在MTBE缓解四乙基铅过渡过程、帮助各州在一些污染最为严重地区实现有关光化学氧化物国家环境空气质量标准(NAAQS)的同时, 它正在默默地污染滋养

国内各城市饮用水含水层的地下水。事实上, 如果说汽油除铅是现代环境监管制度优点的一个突出实例, 那么在一个配有多个机构且以阻止MTBE正在造成的这类环境破坏为目的的一个强有力监管机构的众目睽睽下, 在汽油中添加MTBE就是一个最引人注目的失败案例。

*德克萨斯大学法学院W·詹姆斯·克隆泽法学教授; 渐进式监管中心主席。笔者要感谢2003年哈佛法学院环境法会议的与会者对本文初稿所给予的有意建议和意见, 还要感谢Baron and Budd, P.C.事务所的斯科特·萨米和伊恩·麦金塔在收集MTBE监管历史信息中所给予的帮助和鼓励。最后, 笔者要感谢斯科特·麦德洛克在本文撰写中所给予的研究方面的协助。

¹ «MTBE的巨大收益», 1990年3月14日《化学周刊》, 第50页(引述德威特能源资源公司)。

² 加州第D-5-99号行政命令(1999年3月25日)(收入《哈佛环境法评论》)。在联邦环保局(EPA)驳回加利福尼亚提出的联邦新配方汽油要求豁免请求后, 加州对这一驳回提出挑战, 第九巡回上诉法庭认为联邦环保局的行为主观武断、反复多变, 因而取消这一行为。戴维斯诉联邦环保局案, 348 F.3d 772 (2003年第九巡回法庭)。2004年4月初, 能源部长斯宾塞·亚伯拉罕告知国会, 布什政府正在“认真”考虑侯审的豁免请求。伊莉莎白·道格拉斯, «油气期货暴跌», 2004年4月2日《纽约时报》, C3版。

³ 理查德·西蒙, «国会问案», 2003年5月18日《洛杉矶时报》, A1版。

⁴ 目前加利福尼亚州、科罗拉多州、康涅狄格州、伊利诺斯州、印第安纳州、爱荷华州、堪萨斯州、肯塔基州、密歇根州、明尼苏达州、密苏里州、内布拉斯加州、纽约州、俄亥俄州、南达科他州和华盛顿州已禁止在汽油中使用MTBE。能源信息署, «各州MTBE禁令的现状和影响», <http://www.eia.doe.gov/oiaf/servicerpt/mtbeban> (2003年3月27日最后修订)(存入《哈佛环境法评论》)。

⁵ 尼尔森·安托斯, «MTBE销售下降下的本地两家受害者», 2003年7月22日《休斯顿记事报》, B1版。2003年9月初, 休斯顿地区另一家大型MTBE企业也已关闭。迈克·戴维斯, «企业停止MTBE生产», 2003年9月6日《休斯顿记事报》, B2版。

本文将探讨MTBE是如何成为典型的监管失败案例，并以史为鉴来探讨数个知名监管成功和监管失败理论的阐释力。本文首先介绍MTBE及其对空气和地下水质量的重要影响，主要介绍MTBE所具有的使其成为重要汽油添加剂，以及使其在必须地下储罐存储产品中的使用尚存有疑问的独特性能。此外，本文还将对地下储油罐系统（USTS）及其如何易于泄露从而导致内储物质流入周边土壤和地下水做出解释。

随后本文将集中探讨联邦环境监管在造成和限制当前MTBE危机中所发挥的作用，并对五个关键点进行研究，在这些关键点上，若联邦环保局或国会采取不同的决策将有可能防止这一危机或大幅减少这一危机的严重程度：1979年决定逐步去除汽油中的四乙基铅；1979年决定给予MTBE燃料添加剂豁免；1988年决定对MTBE生产企业实行限制性的毒性检测要求；1988年决定颁布新型和升级型储油罐及泄露检测系统标准；以及1990年决定在污染严重的臭氧未达标区使用新配方汽油的要求。1990年后联邦政府也已做出多项重要决定，但这五个决策点是造成当前MTBE问题的最关键点。

最后，本文将探讨八个可能的监管理论以及对在已制定全面的联邦监管制度旨在防止环境危害的情况下为什么仍出现MTBE危机这一“监管失败”进行解释。“悖谬论”认为，MTBE问题在于决定去除汽油中的四乙基铅或强令炼油厂生产新配方汽油时所产生的意想不到的结果。对环境监管的多媒体关注认为这是未能考虑到为保护空气质量所采取的行为对地下水所造成的影响后果。“可靠科学”的倡导者认为，MTBE问题在于联邦环保局在重要的决策点未能使用现有的最佳科学。“综观方法论”认为，原因在于在这些关键点上未能认真考虑到成本和收益。“政府俘虏”理论指出，联邦环保局在技术信息和解决方案上过于严重依赖石油炼制和销售企业。相关的“监管部门失职”理论认为环保团体和饮用水供应企业代表应该更加关注联邦环保局的活动。另一可能性是基础法律的制定在激励被监管行业发展的同时，无视了其产品和活动所带来的风险，从而在有信息表明其危险本质时造成不确定性。“预防性方法”认为MTBE危机源于联邦环保局在关键决策点时未能“力求确保安全”。

在这8个理论的帮助下，本文将探讨MTBE的发展历史将为未来的决策者提供哪些经验教训，这些决策者可借鉴MTBE成功的监管经验，吸取其失败的监管教训。虽然这些理论多数具有一定的阐释力，但MTBE故事强烈地表明，如果环境监管采用更为广泛的多媒体观点，鼓励受影响的各利益方更广泛地参与其中，更少地顺从被监管方狭隘的经济关切并在关键决策中采取更为谨慎的方法，那么环境监管将会更为有效。

II. 当前的MTBE问题

A. MTBE的特点及用途

甲基叔丁基醚(methyl tertiary-butyl ether, “MTBE”)是一种广泛使用的汽油添加剂⁶。从化学专业来说，MTBE是由甲醇（木质醇）和异丁烯（石油提炼的副产品）合成的醚类产品⁷。石油提炼企业在其产品中添加MTBE主要有三个用途。一是，自上世纪70年代末期以来，一些提炼企业在其中高标号汽油产品中添加MTBE（3%-7%）以取代四乙基铅来提高辛烷值，从而防止发动机爆震以及由此导致的性能损失⁸。尽管这是MTBE十多年内的主要用途，但现在生产的MTBE只有不到5%用来提高辛烷值⁹。第二

⁶ 甲基叔丁基醚（MTBE），《根据〈美国有毒物质控制法〉有意启动关于消除或限制将 MTBE 作为汽油添加剂使用的预先通知》，联邦公告第 16094 号和 16095 号（2000 年 3 月 24 日），[以下称为《MTBE 提前意向通知》]。

⁷ 同上，联邦公告第16096号。甲醇经碘化树脂催化与异丁烯发生液相反应，这一过程包括进行冷却以去除反应热能的固定反应器。《化学物质将缓解辛烷紧缺问题》，1979年4月11日《化学周刊》，第43页。

⁸ 《MTBE提前意向通知》，联邦公告第16097号。辛烷是汽油抗不受控燃烧从而导致发动机爆震的指标。同上。20世纪70年代，美国出售的几乎所有汽油中均添加四乙基铅来使发动机产生更高压缩比，从而保存燃料，避免被压缩燃料在气缸中过早爆炸而不是均匀燃烧时产生“爆震”。《无铅汽油》，1979年1月27日《经济学家》，第76页。由于车辆的正常运行能力是至关重要的，因此行业中称为“辛烷值”的这一特性，实际上是炼油企业在汽油生产过程中主要考虑的性能特征。联邦环保局，第No. 420-

个用途是，在上世纪80年代末期，石油企业开始在汽油中添加MTBE（11%-15%）以满足尚未达到一氧化碳国家环境空气质量的某些地区所实行的州级和联邦冬季增氧剂要求¹⁰。近年来，在几乎所有的冬季增氧剂计划中，MTBE已被乙醇所取代¹¹。第三个用途是，炼油企业已使用MTBE(约11%)来满足《1990年清洁空气法修正案》（1990 Clean Air Act Amendments）对十大都市区提出的新配方汽油（reformulated gasoline, RFG）要求，规定了最为严格的夏季光化学氧化物（臭氧）水平¹²。2000年，美国在售汽油中超过30%的为新配方汽油，其中约87%含有MTBE¹³。

冬季增氧剂计划和新配方汽油计划使得某些急需改进空气质量的地区，空气质量明显好转¹⁴。但是MTBE对未来空气质量的效益仍有待商榷。尽管在1992年至1999年间，MTBE帮助36个实施冬季增氧剂“冬季含氧燃料”计划的一氧化碳区域中的27个达到了国家环境空气质量标准，但是剩下的地区中只有两个在2000年开始使用MTBE，而在这些使用MTBE的地区中有一个也正在逐步淘汰MTBE¹⁵。含MTBE的新配方汽油在过去已大大减少了苯这类已知的人类致癌物质的排放¹⁶，也大幅减少了一氧化碳、挥发性有机化合物（VOC）、氮氧化物（NO_x）的排放¹⁷。但是随着机动车技术的发展，新配方汽油对汽车排放的影响还有待商榷。一些科学家认为，MTBE这类增氧剂对现代车辆的尾气排放不再产生显著影响¹⁸。尽管MTBE仍将改善老式汽车的排放，但是随着旧式汽车的逐步淘汰，这一益处也将失效。

上世纪90年代MTBE作为汽油添加剂的广泛使用以及美国60年地下储油罐基础设施的不断恶化，在90年代末当研究显示“全国供水系统中广泛检测到MTBE”时，导致了MTBE地下水危机的爆发¹⁹。1999年，美国地质调查局（the United States Geological Survey, USGS）报道了在大量使用MTBE的城市地区，MTBE地下水污染的发生率在27%²⁰。根据1999年联邦环保局蓝带小组（EPA Blue Ribbon Panel）

R-99-021号报告，《实现清洁空气和清洁的水：蓝带小组关于汽油增氧剂报告》，27-36页（1999年）[以下称为《联邦环保局蓝带小组报告》]，可访问下列网址获取：<http://www.epa.gov/oms/consumer/fuels/oxypanel/r99021.pdf>。

⁹《MTBE提前意向通知》，联邦公告第16097号。

¹⁰同上，联邦公告第16096号，阿图罗·凯勒等，《MTBE健康与环境评估：根据参议院第SB 521号法案向加利福尼亚州州长和立法机构提交的报告》，第15页（1998年）（存入《哈佛环境法评论》）。增氧剂通常是醇或醚类产品。同上，第15页。汽油中添加增氧剂主要是“提高发动机在冷启动或富燃等不利条件下的更有效燃烧”，否则燃料将在未燃烧状态下从发动机中流失。同上。含氧燃料中的额外氧气有助于确保发动机产生二氧化碳而一氧化碳这种不完全燃烧产生的有毒物质。同上。从较小程度来看，增氧剂可帮助汽油中的烃转化为二氧化碳和水。同上。增氧剂含量高（10%-15%）的汽油被称为“含氧燃料”，可减少汽车在冬季的二氧化碳排放，在美国一些地区寒冷天气来临时会导致一氧化碳环境浓度飙升。

¹¹《MTBE提前意向通知》，联邦公告第16097号。

¹²同上，联邦公告第16096号和16097号。以上十个“严重”地区包括巴尔的摩、芝加哥、哈特福德、休斯顿、洛杉矶、密尔沃基、纽约、费城、萨克拉门托和圣地亚哥。此外，17个州和华盛顿特区自愿参与新配方汽油计划。同上。加利福尼亚州已单独制定了更为严格的“第二阶段”新配方汽油要求。凯勒等人，上述第10条注释，第11页。

¹³《MTBE提前意向通知》，联邦公告第16097号。

¹⁴联邦环保局在1998年成立一个特殊“蓝带小组”来对汽油增氧剂的使用进行评估，得到的结论是其中85%含有MTBE的新配方汽油“已大大减少了机动车产生的大量空气污染物的排放，尤其是挥发性有机化合物（臭氧先质）、一氧化碳以及流动有毒空气污染源（苯、1,3-丁二烯等），大多数情况下的减排甚至超过法律要求”。《联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第1页；参阅凯勒等，上述第10条注释，第19页（发现与使用新配方汽油有关的“主要空气质量效益”的“强有力证据”）。

¹⁵《联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第33页。洛杉矶已逐步停止使用MTBE，以遵守加利福尼亚全州实行的禁令。伊莉莎白·道格拉斯，《油气期货暴跌》，2004年4月2日《洛杉矶时报》，C3版。

¹⁶《联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第22页；凯勒等，上述第10条，第11页。

¹⁷《联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第1页（现有计划有证据表明“加大增氧剂的使用可减少一氧化碳排放，而且添加剂有助于减少燃料中的芳烃，带来相关空气质量效益”）。

¹⁸凯勒等，上述第10条注释，第11页（发现“相较于替代的...非增氧配方，在新配方汽油中使用MTBE等增氧剂对空气质量并没有显著的增益”）。

¹⁹《MTBE提前意向通知》，联邦公告第16094号和16098号（2000年3月24日）。

²⁰同上，联邦公告第16099号。

的报告，在MTBE广泛使用区域，5%至10%的社区饮用水供应可检测到MTBE含量²¹。但是，由于“缺乏长期监测数据”，美国国内地下水污染的”程度和趋势“仍还不为人所知”。²²

数个涉及到MTBE污染市政饮用水的公开事件增加了公众对MTBE问题的认识。这其中最广为人知的事件是1995年加利福尼亚州圣莫尼卡市在供应城市50%饮用水的两个水源地中的一个检测到了MTBE。MTBE含量在随后一年显著上升，为此圣莫尼卡市关闭了从这一水源地取水的所有五座水井²³。随后的调查也发现，另一含水层的水源地也可能因另一地下储油罐泄露而受到MTBE污染²⁴。

在一份公开报告中，马里兰州在对1200多条供水系统进行检测后，在其中的100个中检测到了MTBE²⁵。最近的报道还包括印第安纳州罗斯蓝学龄儿童饮用水中的MTBE含量是联邦环保局所建议含量的10倍，这也让这一添加剂暴露在公众的视野中²⁶。

但是石油行业认为，地下储油罐泄露造成MTBE地下水污染的程度已经是相当温和的了。由于只有少数汽油零售企业居住在特定区域，而这些企业中拥有泄露储油罐的数量则更小，因此石油行业认为任何特定州的地下水不太可能受到不利影响。行业还注意到，在加利福尼亚州自立法机构要求对MTBE进行监测以来，公共供水系统中只有1.9%检测到MTBE可测量水平²⁷。

由于MTBE极易溶于水，因此它在地下水中的传播速度要远快于在苯甲苯、乙基苯和二甲苯（BTEX）等其他汽油成份中²⁸。另外，与BTEX相比，MTBE更能抗生物降解²⁹。相比之下，不含MTBE的汽油泄露可被土壤微生物自然生物降解³⁰。因此，MTBE比BTEX更有可能污染饮用水³¹，也比BTEX更难从被污染的地下水中清除³²。

正因为存在这些问题，所以“需要采取比传统汽油泄露更积极的管理和补救方法”来处理MTBE泄露³³。但是联邦环保局和石油行业制定的通过监测“自然衰减”和最低实际清理来对地下储油罐泄露点进行补救的方法，即“基于风险的补救措施”，总的来说，并不是适合MTBE污染区域的恰当处理方法³⁴。

²¹ 《联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第1页。

²² 同上，第14页。

²³ 《MTBE提前意向通知》，联邦公告第16098号。

²⁴ 同上，联邦公告第16098号和16099号；请参阅“地下水MTBE污染：发现和解决问题：美国众议院能源和商业委员会环境及危险物品下属委员会听证”，第107届国会第25号（2002年）[以下简称《MTBE听证》]（美国审计总署环境事务主任约翰·史蒂芬陈述）（请注意截至2001年，圣莫尼卡市已关闭供应全市50%用水的7座水井）。这些发现结果所提起的诉讼，赔偿金额达到2.3亿美元。上述第3条注释及附图。

²⁵ 《MTBE听证》，上述第24条注释，第25页（约翰·史蒂芬陈述）。

²⁶ 同上，第21页。

²⁷ 作为主要证据支持案件共同答辩的詹姆斯·赖辛格声明，第9-10页（2001年7月16日），美好环境社区组织诉尤尼科公司案（旧金山市加利福尼亚州高等法院）（第997011号）。

²⁸ 《MTBE提前意向通知》，联邦公告第16097号。

²⁹ 同上，联邦公告第16097号。

³⁰ 同上，联邦公告第16102号。

³¹ 《联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第2页（MTBE由于其在水中的持久性和流动性，与汽油的其他成分相比，更易污染地下和地表水）。

³² 同上，第17页（认为“由于MTBE更易溶于水，不易吸附到土壤颗粒上且生物降解更慢，因此与其他汽油成分相比MTBE的移动更快”）；凯勒等，上述第10条注释，第17页（“MTBE在环境中耐持久，具有高溶性特点，在地下水中移动速度快，且不像其他汽油烃那样易于生物降解，因此MTBE可比其他汽油成分更容易污染水资源”）。

³³ 凯勒等，上述第10条注释，第17页。

³⁴ 《联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第52页和第56页。

对于一个高达46%的饮用水依赖于地下水的国家来说，这一争议并不是无关紧要的³⁵。人们最为关心的健康影响是癌症。尽管并没有人类流行病学数据可用于评估MTBE的致癌性，但动物研究已明确显示，通过吸入和饮食摄入，MTBE在老鼠中具有致癌性³⁶。在对甲醛和硫代巴比妥酸（TBA）这两种MTBE主要代谢产物的致癌性进行更多研究后，对MTBE健康风险的综合评估认为“MTBE是一种可能导致人类癌症的动物致癌物质”³⁷。联邦环保局也认为，MTBE是一种“可能”的人类致癌物，并建议将MTBE“视为一种可能的致癌物质，有对人类构成危害的风险”³⁸。

不足为奇的是，一些调查人员质疑“啮齿类动物癌症结果的人类相关性”，认为MTBE的致癌机制仅特定于啮齿类动物，因此与人类不相关³⁹。例如，有“大量文献”表明，鼠类中由MTBE引起的这类肾脏肿瘤可归因于它与鼠类特有蛋白质产生的相互化学作用，但这种蛋白质并不存在于人类中，因此对鼠类研究与人类的相关性提出质疑⁴⁰。但是由于MTBE的数据符合联邦环保局和国际癌症研究机构（IARC）在确定鼠类肾脏肿瘤是否仅由MTBE这一致癌机制造成时所使用的部分但不是全部标准，所以在加利福尼亚大学为加州州长所准备的MTBE毒性综合评估中认为，应“谨慎考虑雄性老鼠中所观察到的肾小管肿瘤，这显示具有潜在的人类致癌风险。”⁴¹

但是总的来说，仍缺乏MTBE健康影响的相关数据 – 这个事实令人担忧，因为MTBE开始在汽油中广泛使用已有二十多年的历史。加利福尼亚大学报告指出，“我们在对MTBE的急慢性毒性理解中存在重要的数据鸿沟”⁴²。MTBE通过口服摄入被身体所吸收的程度以及相关的代谢产物还未在人类中进行研究⁴³。我们对于MTBE动物研究“预示人类致癌风险”的程度还需要做进一步探索⁴⁴。最出人意外的是，到2000年初，还没有一份通过饮用水摄入MTBE的健康影响研究报告⁴⁵。鉴于这一信息鸿沟，联邦环保局在2002年5月表示，由于在评估MTBE的健康影响中存在“不确定性”，因此它无法建立MTBE的健康饮用水标准⁴⁶。联邦环保局已建议，饮用水供应企业根据下述的味道和气味特性，将MTBE含量保持在20-40微克/升⁴⁷。但是很多州已禁止在汽油中使用MTBE或规定饮用水中的MTBE含量标准为5-70微克/升⁴⁸。

MTBE也像很多醚类产品一样有着非常难闻的味道和气味，被描述为“像松节油”、“令人讨厌的”、“苦”、“像溶剂”、“恶心”等⁴⁹。另外，即使饮用水中的MTBE含量低到2微克/升，有些

³⁵ «MTBE提前意向通知》，联邦公告第16097号。

³⁶ 凯勒等，上述第10条注释，第24页。（“对通过摄入或吸入途径长期接触MTBE所进行的研究，有实质证据表明MTBE对老鼠具有致癌性”。）我们尚不清楚MTBE引起实验动物患癌的机制，不过显然甲醛和叔丁醇在其中发挥了作用。同上，第25页，MTBE被吸入后迅速进入血液中，并代谢成叔丁醇和甲醛，可能具有人类致癌性。同上，第20页；参阅«联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第76页。

³⁷ 凯勒等，上述第10条注释，第24页。

³⁸ «MTBE提前意向通知》，联邦公告第16098号。但是由于“可能数据的局限性”，联邦环保局尚未对MTBE的“致癌能力”进行定量评估。同上。国际癌症研究机构以及美国卫生和公众服务部至今尚未找到充分证据来根据其分类制度对MTBE进行分类。同上，«联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第77页。

³⁹ 凯勒等，上述第10条注释，第25页。

⁴⁰ 同上，第25-26页。

⁴¹ 同上，第26页。

⁴² 同上，第12页。

⁴³ 同上，第21页。

⁴⁴ 凯勒等，上述第10条注释，第25页。

⁴⁵ «MTBE提前意向通知》，联邦公告第16098号；«联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第77页。联邦环保局、健康影响研究所和化学工业毒理研究所正在进行这样的研究。«联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第77页。

⁴⁶ «MTBE听证》，上述第24条注释，第23页（约翰·史蒂芬陈述）。

⁴⁷ 同上，第25页。

⁴⁸ 同上，第26页。

⁴⁹ «MTBE提前意向通知》，联邦公告第16097号（“像松节油”）；«联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第77页（“像松节油”）；凯勒等，上述第10条注释，第20页（“令人讨厌的”、“苦”、“像溶剂”、“恶心”）。

人还是能够检测出来⁵⁰。饮用水对 MTBE 这一极低的耐受性阈值常被石油行业作为一个优点来引述，因为许多消费者完全不能容忍饮用水的污染程度高到对其健康构成巨大风险⁵¹。另一方面，很有可能从自己的水井中取水的人们将对 MTBE 的味道和气味不再“敏感”，从而最终多年来一直饮用含 MTBE 的水⁵²。

B. MTBE 的替代品

1. 乙醇

对于冬季增氧剂和新配方汽油计划来说，乙醇是 MTBE 主要的替代品。酒精饮料的消费者非常熟悉这一物质，乙醇一般通过蒸馏玉米等量产作物来生产。乙醇与汽油混合时是一种强有力的增氧剂，但由于乙醇极易挥发，因此对提高汽油的辛烷值帮助不大。混合乙醇的新配方汽油已大幅减少一氧化碳、挥发性有机化合物和苯的“尾管”排放⁵³。但是具有更高挥发性的乙醇来替代 MTBE 可造成加油及车辆正常操作中气罐和发动机油路排放更多的“挥发性”挥发性有机化合物，除非炼油厂将其与更昂贵但具有低挥发性的汽油混合料相混合⁵⁴。

乙醇极易溶于水，因此在地下水中有和 MTBE 一样的传播速度⁵⁵。但是乙醇易于生物降解，在地下水中持续存在的程度不同于 MTBE⁵⁶。一些证据表明乙醇可抑制 BTEX 的生物降解，因为土壤中的微生物似乎优先代谢乙醇⁵⁷。不过由于 BTEX 的传输速度不如 MTBE 那么快，因此乙醇混合汽油中的 BTEX 羽流不可能像 MTBE 混合汽油中的 MTBE 羽流那么快地传播⁵⁸。

乙醇的健康影响是众所周知的⁵⁹。人们发现在酒精类饮料的含量水平（3%-50%），乙醇会导致发育缺陷，带来不利的神经系统影响以及癌症⁶⁰。在人类接触到的饮用水中较低的含量水平时，加利福尼亚大学的研究结论是乙醇所产生的风险是“不明确的”⁶¹。乙醇燃烧也会导致乙醛、甲醛和过氧乙酰硝酸盐（PAN）排放的增加⁶²。前两种化学物质是可能的致癌物，后一种则会刺激眼睛和损害作物⁶³。

乙醇一个重要的实用性缺点在于其可获得性。要替代汽油中的 MTBE，乙醇的日产量需从 12 万桶增加至约 18.7 万桶⁶⁴。另一个实用性问题在于运输企业无法用管道运输乙醇混合汽油。由于乙醇易溶于水而水又普通存在于管道中，因此在运输过程中乙醇可能会与汽油分离而溶入水中。因此汽油调配企业须将乙醇单独运送至输送管道终端的配送终端进行调配，以更接近汽油的最终目的地。转向乙醇替代品

⁵⁰ 凯勒等，上述第 10 条注释，第 20 页。

⁵¹ « MTBE 听证 »，上述第 24 条注释，第 25 页（约翰·史蒂芬陈述）。

⁵² 同上。

⁵³ 凯勒等，上述第 10 条注释，第 17-18 页。

⁵⁴ «MTBE 提前意向通知»，联邦公告第 16105 号。芝加哥和密尔沃基地区（主要是出于政治原因）仅使用乙醇混合的新配方汽油，显然并没有干扰这些地区争取达到臭氧环境空气质量标准的进程。同上。

⁵⁵ «联邦环保局蓝带小组报告»，上述第 8 条注释，第 17 页；另请参阅«MTBE 提前意向通知»，联邦公告第 16105 号。

⁵⁶ «MTBE 提前意向通知»，联邦公告第 16104 号；«联邦环保局蓝带小组报告»，上述第 8 条注释，第 17 页。

⁵⁷ «联邦环保局蓝带小组报告»，上述第 8 条注释，第 17-18 页；另请参阅«MTBE 提前意向通知»，联邦公告第 16105 号。

⁵⁸ «MTBE 提前意向通知»，联邦公告第 16105 号。

⁵⁹ «联邦环保局蓝带小组报告»，上述第 8 条注释，第 79 页。

⁶⁰ 凯勒等，上述第 10 条注释，第 27 页。

⁶¹ 同上。加利福尼亚大学的报告指出，国际癌症研究机构已确定酒精饮料具有致癌性，但是进一步观察到“乙醇用做汽油添加剂时的致癌性具有多大仍相当不确定”。同上。吸入汽油中所含的乙醇不太可能有害于人体健康。«联邦环保局蓝带小组报告»，上述第 8 条注释，第 79 页（“考虑到人体内自然形成低量乙醇，因此吸入低量人体可能接触到的乙醇通常不会导致不利的健康影响”）«MTBE 提前意向通知»，联邦公告第 16105 号。

⁶² 凯勒等，上述第 10 条注释，第 19 和 27 页。

⁶³ 同上，第 19 页。

⁶⁴ «MTBE 提前意向通知»，联邦公告第 16104 号和 16105 号。但是乙醇利益方预测，在充足的生产周期下乙醇产量可增加至这一水平。同上。

的最后一个实际问题是成本增加⁶⁵。能源部1999年的一项研究表明，4年内分阶段淘汰MTBE在新配方汽油中作为增氧剂使用，将导致新配方汽油的价格每加仑上涨2.4到3.9美分⁶⁶。

2. 其他增氧剂

像二异丙基醚（DIPE）、乙基叔丁基醚（ETBE）、叔戊基甲基醚（TAME）、叔丁醇（TBA）等其他增氧剂已用于或考虑用于新配方汽油，但是由于这些增氧剂的生产成本均高于MTBE，因此无一方法已被证实取得商业成功⁶⁷。此外，要达到新配方汽油2%的法定氧气要求，就需要加大ETBE和TAME的使用量⁶⁸。与将乙醇简单混入汽油相比，使用乙醇生产出的ETBE也需要更多的乙醇量⁶⁹。

尽管对于这些替代增氧剂只有极少量的数据信息，但它们在化学性质上与MTBE类似，因此也可能“以MTBE类似的方法和量在土壤和水中移动”⁷⁰，也有可能呈现“极易溶于地下水、土壤吸附差、生物降低速度慢于BTEX”等类似性质⁷¹。醚类替代品的健康影响数据则更为缺乏。例如，对于最有可能替代MTBE的醚类根本没有进行任何致癌性研究⁷²。

3. 芳烃和烷基化物

苯、甲苯和二甲苯等芳烃类能够增加辛烷值，可在炼油企业通过“催化改质”流程来生产⁷³。如前所述，BTEX的这些成分与MTBE相比移动性稍差，且更易于生物降解，因此不太可能像MTBE那样留在饮用水中⁷⁴。不过这些物质也并不是无害的，苯是已知的人类致癌物，二甲苯是光化学氧化物的主要贡献者⁷⁵，甲苯的毒性可能稍弱于苯，但也与某些毒性相当大的副产品有关⁷⁶。

烷基化物是“通过催化裂化过程从原油中生产出高辛烷值、低蒸汽压化合物的混合”⁷⁷。为通过提高汽油中的烷基化物浓度来实现辛烷值要求，炼油企业不得不同时调整其他输入流以保持足够低的挥发性⁷⁸。烷基化物不如MTBE那样易溶于水，在地下水中的表现更像BTEX⁷⁹。虽然烷基化物的毒性信息“有限”，联邦环保局已得出结论，出于保持传统汽油辛烷值这一有限目的来添加其他烷基化物以取代MTBE，将“不会明显威胁饮用水资源”⁸⁰。

C. 地下储油罐泄露问题

⁶⁵ 同上，联邦公告第 16105 号。

⁶⁶ 同上，联邦公告第 16105 号。加利福尼亚能源委员会的一项类似研究预测，若用乙醇替代 MTBE，则加利福尼亚的汽油价格从长期来看（6 年）将每加仑上涨 1.9 美分至 2.5 美分。

⁶⁷ 同上，联邦公告第 16097 号和 16106 号。

⁶⁸ 同上，联邦公告第 16106 号。

⁶⁹ 《MTBE 提前意向通知》，联邦公告第 16106 号。

⁷⁰ 同上，联邦公告第 16104 号。

⁷¹ 同上，联邦公告第 16106 号。

⁷² 同上。

⁷³ 《联邦环保局蓝带小组报告》，上述第 8 条注释，第 27-36 页。

⁷⁴ 《MTBE 提前意向通知》，联邦公告第 16106 号。

⁷⁵ 同上。

⁷⁶ 同上。

⁷⁷ 同上。

⁷⁸ 同上。

⁷⁹ 《MTBE 提前意向通知》，联邦公告第 16106 号。

⁸⁰ 同上。

MTBE地下水污染主要来自服务站的地下储油罐泄露⁸¹。地下储油罐系统包括一个装载液体的储罐以及填充罐体、移动液体和输入空气以替代被移除液体的必要管道⁸²。现代单壁地下储油罐包括一个或多个耐腐蚀罐，这些储油罐埋在拥有不透水墙壁和地面的深坑内，并回填砾石或沙子从而将储油罐与自然存在的土壤相隔开⁸³。大多数地下储油罐的坑顶均设置了沥青或混凝土盖⁸⁴。现代化的地下储油罐系统还在传输系统上设置自动关闭阀以最大限度地减少溢出，设置防溢装置在油箱加满时切断汽油流动，此外还包括泄露检测系统以及坑内填充材料观察井⁸⁵。遗憾的是，石油销售行业初期（上世纪60年代之前）所安装的地下储油罐均达不到这些现代标准。

在这些时期，服务站所有者总是安装由碳钢焊接而成的“裸钢罐”。各种私营的标准制定组织对钢板厚度、罐头设计、通风口尺寸、罐深以及类似功能等制定各种标准⁸⁶。由于碳钢罐在腐蚀性土壤环境中极易发生泄露，因此随后几年储油罐生产企业开发各种涂层以应用于钢制地下储油罐的内外面⁸⁷。但是由于涂层钢罐仍会发生泄露，生产企业又开发出“阴极保护”装置，以中和可造成腐蚀的地下电流⁸⁸。现在服务站所有者可使用玻璃钢（FRP）罐来消除腐蚀威胁，但是这些储油罐具有易碎特点，若安装不当则很容易破裂⁸⁹。与钢罐一样，私营标准实体也已建议制定玻璃钢罐的规格标准⁹⁰。最安全的系统一般会采用双壁钢罐或玻璃钢罐，在两层罐壁之间的空隙安装泄露检测系统⁹¹。

由于在整个上世纪60年代，服务站所有者总是安装裸钢罐，因此到70年代中期我们开始面临一个无声但实际的地下储油罐泄露问题⁹²。这一行业每年要替换2.9万个储油罐，其中相当多的储油罐有泄露问题⁹³，但只有约一半的泄露储油罐通过内衬处理被修复而不是替换⁹⁴。随后十多年里，随着这一问题越来越多地引起公众关注，国会在1984年11月9日通过了《危险和固体废弃物修正案》（*Hazardous and Solid Waste Amendments of 1984*，“HSWA”）⁹⁵。联邦环保局所实施的法规要求所有者使用符合环保局新要求的系统来对现有系统进行升级处理。但是，当联邦环保局开始收到因“设计、安装、维护和/或操作不恰当”而导致某些升级系统泄露报告时，这一升级计划几乎没有完成⁹⁶。联邦环保局1999年任命的一个特殊“蓝带小组”认为，无法“证明联邦地下储油罐升级计划在防止泄露方面的有效性”

⁸¹ 参阅《联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第41页。

⁸² 凯瑟琳·S·雅格曼，〈地下储油罐：联邦计划的成熟〉，第21 *Envtl. L. Rep.*号（环境法研究所，10136（1991年））。

⁸³ 纽约州环境保护厅，〈危险液体储存技术：最新技术评估41号（1983年）〉 [以下称为“最新技术评论”]（存入《哈佛环境法评论》）。

⁸⁴ 同上。

⁸⁵ 同上。

⁸⁶ 同上，第46页。

⁸⁷ 同上，第50页。

⁸⁸ 参阅《最新技术评论》，上述第83条注释，第50页。

⁸⁹ 同上，第52页。

⁹⁰ 同上。

⁹¹ 同上，第54页。在防止泄露方面，管道系统与罐体一样重要。管道系统包括管道、阀门、泵及相关的连接接头和配件。同上，第63页。腐蚀、物理破损、因磨损或安装不当而造成连接松动都有可能造成管道系统泄露。管道系统须能承受腐蚀性力以及机械负载所造成的压力、来自内部的液压压力、热胀冷缩以及对系统部件产生压力的其他应力。管道也和罐体一样可由钢、涂层钢或塑料制成，双壁管道系统是防止系统泄露的最佳方式。同上，第63和66页。

⁹² 埃克森公司，〈地下泄露研究一〉（1973年） [以下称为“埃克森地下泄露研究”]（研究报告认为“服务站地下泄露”已成为“石油销售企业日益关注的问题之一”）。

⁹³ 马塞尔·莫罗的证词，第18页（2000年10月6日），美好环境社区组织诉尤尼科公司案（旧金山市加利福尼亚州高等法院）（第997011号）（引述石油装备研究所刊物 *TulsaLetter*，1977年11月4日期）（收入《哈佛环境法评论》）。

⁹⁴ 同上（引用《API 储油罐和管道泄露调查》，1981年2月5日）。

⁹⁵ 公共法第 *Pub. L. No. 98-616*, *98 Stat. 3221* 号(1984年)，编纂修订为美国法典 *42 U.S.C. § 6901* (2000年)；参阅玛丽·桑顿，〈里根签署法案扩大联邦环保局职权〉，1984年11月10日《华盛顿邮报》，A4版。

⁹⁶ 《联邦环保局蓝带小组报告》，上述第8条注释，第1页。

⁹⁷。2002年5月，美国审计总署（GAO）报道，国内仍继续面临地下储油罐泄露问题⁹⁸。由于服务站中约三分之一的储油罐用于储存MTBE混合汽油，因此直至今日，这一化学物质仍继续污染地下水源。

⁹⁷同上，第45页。

⁹⁸《MTBE听证》，上述第24条注释，第23页（约翰·史蒂芬陈述）。