

中国加油站 VOC 排放污染现状及控制

沈旻嘉, 郝吉明*, 王丽涛

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要:应用排放因子法估算了2002年度全国加油站VOC的排放量.在综合考虑经济、社会、人口等各方面因素后,通过调整现有的活动水平估算了未来20a内全国的燃油消耗情况,以及VOC排放的增长趋势.结果表明:2002年我国加油站VOC排放量为 187.6×10^3 t,由此造成的经济损失达到了 7.5×10^8 元人民币.在维持现有控制水平情况下,到2030年VOC排放量将达到 1196×10^3 t,经济损失高达 47.8×10^8 元人民币.比较了Stage I、Stage II油气回收系统以及ORVR的回收效率和成本,并对其可行性和经济适用性进行分析.结果表明:这3种回收技术的引进将会大规模的消减加油站VOC的排放,并且选择性的措施组合能够取得更好的效果.相对于Stage II回收系统,ORVR的效率更高费用更低.但是ORVR的引进需要比Stage II更长的时间,为了达到80%的普及率至少需要11a左右.为在短期内达到一定的控制要求,可优先考虑Stage II回收技术;但是从长期的环境和经济效应来看,ORVR才是最终的选择.

关键词:加油站;挥发性有机物;排放清单;油气回收装置

中图分类号:X511 **文献标识码:**A **文章编号:**0250-3301(2006)08-1473-06

VOC Emission Situation and Control Measures of Gas Station in China

SHEN Min-jia, HAO Ji-ming, WANG Li-tao

(Department of Environment Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The emission factor is used to estimate the volatile organic compound (VOC) emission caused by gas station. After considering the economical, social and population factors, the activity rate was modified, and then the fuel consumption and VOC emission trend in the next 20 years can be predicted. The result shows the VOC emission from gas station in China 2002 was 187.6 kt and this number will increase to 1196 kt in 2030 if no further control measures will be implemented. And the economic loss caused by gasoline vapor arrived to 0.75 billion RMB in 2002 and will be 4.78 billion RMB in 2030. The cost-benefit approach of the commercially available gasoline vapor recovery technologies in China included Stage I, Stage II and on-board refueling vapor recovery (ORVR) were analyzed, and the result shows introducing these three systems will bring larger reduce of VOC emission, and the combination of them can do a even better job. Compared with Stage II, ORVR is more efficient and cheaper, but it will take long time to implement ORVR. And it will take at least 11 years in China to convert to ORVR above 80%. So Stage II vapor recovery system may be a short term option while ORVR should be treated as the ultimate solution for controlling the vapor emission from gas stations in the future.

Key words: gas station; volatile organic compound (VOC); emission inventory; gasoline vapor recovery systems

目前挥发性有机物(volatile organic compound, VOC)造成的光化学污染已成为我国部分城市面临的一个重要环境问题.城市加油站的油品蒸发是VOC排放的一个重要来源.并且油品蒸气所含的VOC物种的化学活性非常高,因此加油站VOC排放对臭氧生成的贡献率不容忽视.同时VOC物质自身具有很强的毒性,且绝大多数的加油站都位于城镇交通要道等人群相对集中地方,存在较大的潜在危险.加油站的油品蒸发还造成巨大的资源浪费和经济损失,并且随着油价的不断上涨,这部分经济损失还在继续扩大.据报道2001年全国用于机动车运输的汽油消耗量为 14.19×10^6 t,占汽油总消耗量的40%^[1].随着交通用油的需求不断增长,加油站的数目也会迅速上升.在无控制的情况下,这部分来源于加油站油品蒸发而产生的排放对环境和经济的

影响会越来越严重.因此研究我国加油站各排放环节的VOC排放情况,建立排放清单,同时对不同控制措施的可行性和经济性进行分析,选出适合我国使用的油气回收装置具有重要意义.

1 我国的加油站 VOC 排放清单

采用排放因子法估算VOC的排放量,计算过程基于公式(1)^[2]:

$$EM(i, j, k, l) = EF(j, k, l) \times AC(i, j, k) \quad (1)$$

式中, i, j, k, l :地理范围或网格,排放过程,时间,排放种类;EM:排放量;EF:排放因子;AC:活动

收稿日期:2005-09-27;修订日期:2005-12-29

作者简介:沈旻嘉(1982~),女,硕士,主要研究方向为大气污染控制,E-mail:smj00@mails.tsinghua.edu.cn

* 通讯联系人,E-mail:hjm-den@tsinghua.edu.cn

水平。

在本研究中,排放活动水平为用于交通运输业的不同种类的燃油消耗量,即全国各省市在 2002 年用于交通运输并经由加油站转运分配的汽油和柴油的消耗量。

1.1 排放过程及排放因子^[3~6]

通常情况下,加油站正常作业的 VOC 主要产生于装卸和加油作业 2 个环节:在装卸作业中,油罐车通过输油管道向储罐内卸油,罐内液面上升,形成正压,罐内饱和油蒸气由通气管排向大气中(这一过程也称“大呼吸”);在加油作业环节中,由于加油枪与油箱口的非密接,使得大量油气从油箱口排出进入大气。此外油品在储存中,由于环境温度的变化,罐内饱和油气也存在着呼吸损失,但是这一部分的排放相对是比较少的。

根据北京市大气污染成因和来源分析等研究报告的计算结果可以得到北京地区加油站油气蒸发的 VOC 排放因子数据。相对于其它省份的加油站,由于北京市的加油站已基本安装了 Stage I 油气回收装置,因此由于卸油过程造成的排放相对较小。目前尚未取得详细的除北京地区以外的其它省份的加油站 VOC 排放因子,因此本文根据北京市和其它省份的情况差异对其排放因子进行适当调整后得到其它省市的加油站 VOC 排放因子。其排放系数平均值为 4.95kg/t 汽油,0.075kg/t 柴油,具体各排放环节的排放因子见表 1。

表 1 2002 年我国加油站 VOC 排放因子/kg·t⁻¹

Table 1 VOC emission factors for gas station categories in China 2002/kg·t⁻¹

油品种类	活动过程	排放因子	
		北京	北京以外的其他省市
汽油	储油罐呼吸损失	0.16	0.16
	加油过程的挥发排放	2.49	2.49
	卸油过程的损失	0.115	2.3
	总计	2.76	4.95
柴油	储油罐呼吸损失		
	加油过程的挥发排放	0.048	0.048
	卸油过程的损失	0.001 35	0.027
	总计	0.049	0.075

1.2 2002 年我国的加油站 VOC 排放量

根据上述排放因子及基础排放源活动水平数据,由式(1)计算出 2002 年我国加油站油品蒸发造成的 VOC 排放量,结果见表 2。

1.3 加油站 VOC 排放量增长趋势预测

通过调整现有的活动水平,估算未来 20a 时间段内 VOC 排放的增长趋势。为此首先需要估计算机

动车保有量的增长趋势。

表 2 我国加油站油品蒸发排放量(2002 年)¹⁾ × 10³/t

Table 2 Gasoline vapor emission from gas stations in China (2002) × 10³/t

地区	加油站总排放量	地区	加油站总排放量
北京	6.06	河南	9.90
天津	4.23	湖北	5.88
河北	12.68	湖南	5.24
山西	5.75	广东	22.91
内蒙古	4.23	广西	4.65
辽宁	8.23	海南	1.14
吉林	4.36	重庆	2.37
黑龙江	5.19	四川	8.62
上海	5.36	贵州	2.56
江苏	11.87	云南	6.44
浙江	9.37	西藏	0.45
安徽	4.75	陕西	4.52
福建	4.65	甘肃	2.18
江西	3.15	青海	0.79
山东	15.46	宁夏	0.90
新疆	3.71	总计	187.6

1) 台湾省资料暂缺

1.3.1 机动车保有量预测

机动车保有量的估算主要基于弹性经济法,将人均车辆数与人均 GDP 联系起来^[7]:

$$VP_{ip} = VP_{i-1,p} \times f_i(GDP_p, \theta) \quad (2)$$

式中,VP 为机动车保有量(下标 i 代表年份, p 代表人均), f 为弹性经济因子,它不但与经济发展(GDP_p,下标 p 代表人均)有关,同时与人口密度、城市公共交通系统状况以及政府的政策导向有关(用综合因子 θ 表示)。基于上述因素和假设,可以估算今后几年内各种类型新车的增长量。

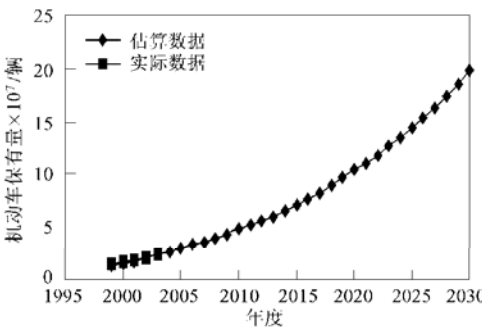


图 1 中国机动车保有量(2002~ 2030)

Fig. 1 Vehicle population in China (2002~ 2030)

图 1 是最新的 1999~ 2030 年全国机动车保有量的估算数据(机动车总量包括轿车、卡车和客车)和 1999~ 2004 年实际的机动车保有量数据^[8]。由图 1 可见估算的数值与实际数据基本吻合。

1.3.2 燃油消耗和 VOC 排放趋势

选用低燃料经济发展情景作为预测基础^[7]. 假设我国政府会采取一系列缓和的政策来规范今后的燃料经济市场, 并且这些措施将会在 2005、2010、2015 和 2020 年分阶段实施. 在每个阶段, 假设这些能源措施都会影响机动车的燃油用量并使燃油消耗增长率保持在 10% 到 20% 的范围内. 由此估算了今后 20a 内各阶段用于交通运输的燃油消耗量. 综合已有的排放因子得到相应年度的 VOC 排放量, 计算结果见表 3.

表 3 我国加油站油品消耗量、VOC 排放量
增长趋势预测 (2002~2030)

Table 3 Fuel consumption, VOC emission trend of
gas stations in China (2002~2030)

参数	2002	2005	2010	2015	2020	2030
汽油 $\times 10^6/t$	38.4	62.9	91.4	115.9	144.9	239.2
柴油 $\times 10^6/t$	25.3	34.4	54.2	75.7	96.9	152.9
VOC 排放量 $\times 10^3/t$	187.6	314	456	579	724	1 196

加油站油品蒸气排放不但对环境会产生巨大压力, 同时还会造成资源浪费和经济损失. 考虑到油蒸气的主要成分是 VOC, 因此假设油气蒸发量在数值上近似等于 VOC 排放量. 参考目前市场的油价, 假定每 t 油品价格为 4000 元, 由此可得到 2002 年我国由于油品蒸发造成的经济损失为 7.5×10^8 元. 如果保持现有的控制水平, 到 2030 年, 这一项经济损失将达到 47.8×10^8 元. 考虑到油价持续上升的市场状况, 有理由相信实际的经济损失还会更高.

2 油气回收系统

以上计算结果表明: 无论从环境保护的角度或是从节约能源的角度出发, 都是有必要在加油站安装油气回收装置的. 从已有的加油站各排放环节的排放因子可知: 绝大多数的油气排放来源于油罐车卸油和机动车加油 2 个过程, 因此这 2 个过程是控制加油站油气排放的关键. 目前可以供我国选用的油气回收系统主要有: 一级油气回收系统 (Stage I); 二级油气回收系统 (Stage II) 和车载油气回收系统 (ORVR). 常见的一级和二级回收系统见图 2.

2.1 Stage I 油气回收系统

当装满挥发性油料如汽油的储罐逐渐放空时, 空余的空间就会被空气和油蒸气的混合气体所填充. 油罐车在加油站装卸油料时, 随着新的油料进入地下油罐, 罐中的油蒸气就会排入空气中. Stage I 油气回收系统主要是针对这一部分的逃逸蒸气而设

计, 它是指在油罐车卸油时采用密封式卸油, 减少油气向外界溢散. 其基本原理就是用导管将逃逸的油气重新输送回油罐车里, 完成油气循环的卸油过程. 回收到的油罐车的油气, 可由油罐车带回油库后再经冷凝、吸附或是燃烧等方式处理^[9]. 这一系统实施后其回收率可达到 95%^[10].

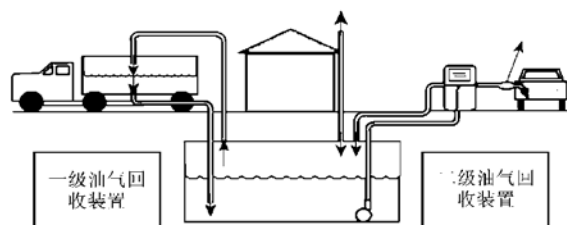


图 2 一级和二级油气回收系统

Fig. 2 Stage I and Stage II Vapor Recovery System

Stage I 油气回收系统主要包括 2 种类型: 两点式和同轴式油气回收系统. 设有“两点式油气回收系统”的地下储油罐一般有 2 个出口, 一个用于连接输油管, 一个用于连接装有弹性阀的蒸气回收管. 当油罐车上油气回收管线正确连接到油罐的回收口时, 回收口的弹性阀就会打开, 同时排气管关闭, 使油罐中的油气能完全由回收管回到油罐车内. 图 3 是一个两点式 Stage I 回收系的示意图. 目前国内的 Stage I 系统主要采用这种形式. “同轴式油气回收系统”是由 2 个相互嵌套的导管组成, 它们之间由同轴弹簧相连接. 这类系统只设有一个储油罐出口. 油料在内管中流动, 油蒸气从内管和外管的空隙中排出. 图 4 是同轴式回收系统的示意图.

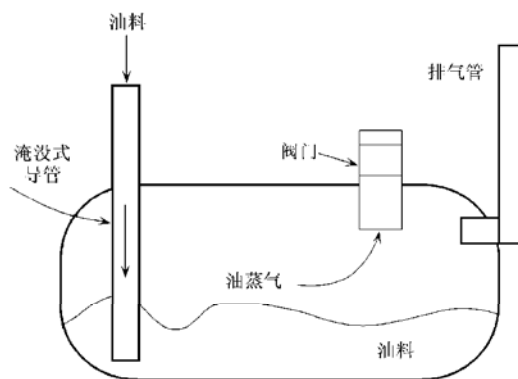


图 3 两点式一级油气回收系统

Fig. 3 Dual point top filling system

2.2 Stage II 油气回收系统

这种油气回收系统主要就是指在汽车加油时, 利用油枪上的特殊装置, 将原本会由汽车油箱溢散于空气中的油气, 经由加油枪、抽气马达汇入油罐内.

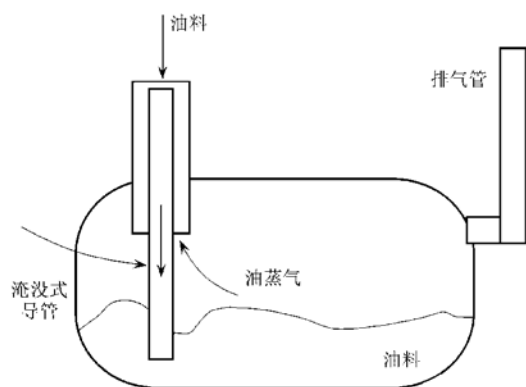


图4 同轴式一级油气回收系统

Fig. 4 Coaxial system

常见的 Stage II 油气回收系统, 包括“蒸气平衡”和“真空辅助式系统”^[11]。“蒸气平衡”回收系统利用汽油和油气相互交换比例接近于 1:1 的原理进行回收。该回收系统主要依靠加油枪油管口的面板与机动车油罐口之间的充分密封连接来完成。利用一根同轴胶管的连接, 形成一个回路, 可以使机动车加油和油气回收同时进行。并且通过一个导入式的管口形成密闭系统, 从而为蒸气平衡提供条件。这类系统要求在加油枪和机动车的油罐口之间的接触面具有充分的密闭性。

与“蒸气平衡”系统不同, 通常“真空辅助”回收系统不需要在管口设置探入式导管。其工作原理系利用外加的辅助动力如真空马达或同步叶片涡轮式真空泵, 在加油运转时产生约 1 200~1 400 Pa 的中央真空压力, 再通过回收管、回收油枪将油箱逃逸出来的油气回收。这种系统的操作同样需要油枪与加油口的密合。根据真空泵型式可以分为中央吸取式真空泵及分散加油机吸取式真空泵。根据以往的经验^[12], Stage II 油气回收系统的安装要求比较复杂, 增加的费用也较多。首先要增加地下油气管线网, 油气管线的大小基本与输油管线差不多, 油气管线太小会增加油气输送阻力, 对真空度的要求较高; 管线太大的话又容易造成浪费。若采用分散式吸取真空泵则在选择加油机时需考虑如何通过管网设计来完成各自油品油气回收; 而采用中央吸取式真空泵则每个油品油罐或每台潜油泵都需要设置一台中央吸取式真空泵, 通过加油机内部管线设计完成各自油品油气回收。同时不论选那种型式, 加油枪都必须在现有情况下改进。

理论上讲 Stage II 油气回收系统可以达到 95% 的效率, 但是由于受到各种其他因素的影响, 其实际

的效率为 85%~95% 不等。

2.3 车载油气回收系统(ORVR)

ORVR 是指安装在机动车内部的油气回收系统。该技术是美国 EPA 在 1994 年推出以作为 Stage II 的一种替代选择。相对于 Stage II 油气回收系统, ORVR 系统在汽车内部形成一个输油管密封系统, 在加油过程将油蒸气通过导管输送到安装在机动车上的碳罐中。当机动车正常的行驶时, ORVR 系统利用发动机的真空压力将油蒸气释放出来, 并送入发动机燃油系统。目前国内机动车上安装的碳罐主要是针对机动车行驶过程中的油蒸气挥发所造成的排放, 但没有涉及在加油过程中的油蒸气排放问题。ORVR 技术就是通过改进现有的燃油蒸发回收系统以达到回收加油站蒸发排放的目的。

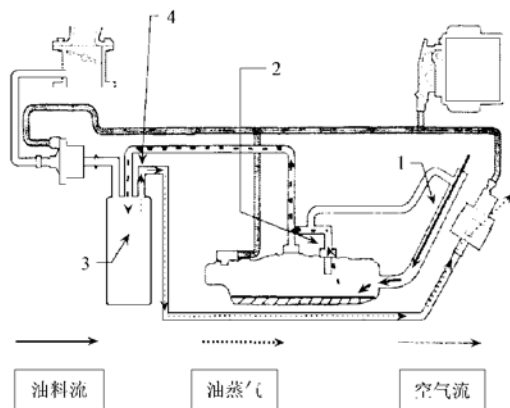
ORVR 系统主要有 2 种生成密封输油管的方法, 包括动态法和机械法^[13]。在动态法中, 通过使液体充满输油管以达到密封的效果, 此时汽油积聚在导管中并产生足够的压力使油罐顶部的油蒸气进入碳罐中。在机械法中, 通常使用一个适合加油枪喷嘴型号的 O 型环或是其他机械密封装置。这样的密封可以防止顶端的油气在加油过程中从喷嘴或是输油管接触面逃逸。当使用机械式密封 ORVR 系统时, 在油气回路中的蒸气浓度和蒸气体积都会与使用动态密封系统时的不一样, 并且差异量取决于不同系统的结构差异。

ORVR 系统主要包括以下几个部分: 输油管, 截止阀, 储油罐, 浮阀, 碳罐, 碳罐关闭阀, 压力传感器, 清洗阀, 旋转阀等。以动态法的 ORVR 为例, 其工作原理主要分 2 个部分: 储油量小于 95% 和储油量大于 95%, 见图 5 和图 6。

从图 5 可以看出, 在加油过程中, 油料以液态形式进入输油管。当液体油通过特殊设计的入口进入输油管顶端时, 少量的空气也被吸入导管。这就使得所有的油蒸气都会跟随这些空气进入储油罐。液态油进入油罐后, 当储油量小于 95% 时, 油料首先经过“截止阀”。在油罐中的油蒸气和空气会通过敞开的浮阀进入含有活性炭的碳罐, 空气通过碳罐关闭阀逃逸到大气中, 而油蒸气却被活性炭吸收了。(碳罐关闭阀在发动机没有运行时处于敞开状态)。

随着油料的不断进入, 当油罐中油料的体积超过 95% 时, 浮阀就会关闭, 见图 6。此时, 在储油罐中的空气和油蒸气就会通过旋转关闭阀进入活性炭罐。与其他阀门不同, 旋转关闭阀只允许空气和油蒸气缓慢的通过进入碳罐, 此时随着油罐中的压力

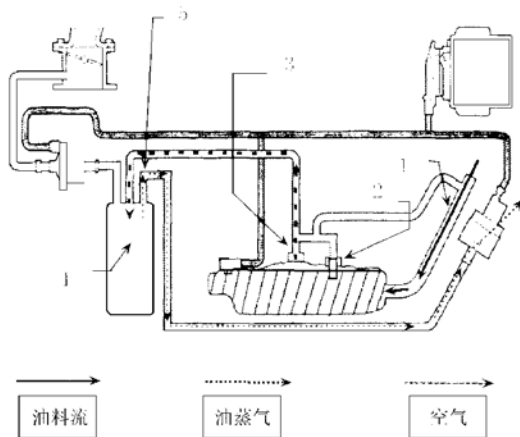
不断增大, 液态的油料只能被退回到输油管, 这就使得加油泵停止工作. 随着储油罐中的空气和油蒸气通过旋转关闭阀缓慢输出, 残存在输油管中的液态的油料也会慢慢的流入储油罐. 注意到图 6^[16] 中在浮阀/ 旋转关闭阀和输油管颈部上端之间有一个导管将两者连接起来. 这根导管的作用是如果在输油管内的油料全部流入储油罐前管口就被关闭, 它仍能使油料流入储油罐.



1. 液体油料进入油罐; 2. 空气和油蒸气通过浮阀;
3. 油蒸气储存在碳罐中; 4. 空气通过关闭阀逃逸

图 5 加油过程(储油量小于 95%)

Fig. 5 Refueling (less than 95% full)



1. 液体油料进入油罐; 2. 浮阀关闭; 3. 空气和油蒸气通过旋转阀; 4. 油蒸气储存在碳罐中; 5. 空气通过关闭阀逃逸

图 6 加油过程(储油量大于 95%)

Fig. 6 Refueling (over 95% full)

ORVR 技术的预期回收效率在 95% ~ 98% 之间^[11]. 与 Stage II 油气回收装置一样, 如果只安装 ORVR 设备, 对地下油罐的呼吸损失是没有效果的.

2.4 油气回收系统的 VOC 回收效率、成本及对排放趋势的影响

2.4.1 油气回收系统的 VOC 回收效率和成本

3 种油气回收系统的 VOC 回收效率和每 t VOC 回收成本见表 4^[10, 14].

表 4 油气回收系统的效率和成本

Table 4 Typical efficiency and cost of VOC recovery

参数	Stage I	Stage II	ORVR
效率/%	95	85~ 95	95~ 98
成本/(\$ · t ⁻¹)	0~ 2 120	840~ 13 420	900~ 1 000

2.4.2 ORVR 普及率的计算^[15]

与其它 2 种技术不同, ORVR 技术的引进需要相对较长的时间. 它的推广普及主要是依赖于机动车的自然淘汰, 因此对不同控制情景下排放趋势做出预测之前, 必须了解今后不同时期内 ORVR 的普及情况. 为计算 ORVR 的技术普及率假设:

(1) ORVR 技术的引进与市场上新车的引进速度是一致的. 且早期引进的装有 ORVR 系统的车型并不会遭到淘汰, 相反还会加快 ORVR 的普及率. 假设我国的机动车淘汰年限为 15a. 忽略各种潜在的消费者购买和驾驶习惯; 并忽略由政府部门正在推广的淘汰旧车和引进电动车的计划所带来的影响.

(2) 由于过去 10a 是中国机动车保有量增长速度最快的时期, 因此假设本文涉及的机动车最早是从 1985 年开始使用的.

(3) 忽略卡车和轿车燃油经济性的不同. 根据中国 1985~ 2020 年机动车保有量数据, 可以计算出不同时期 ORVR 技术进入中国市场后的普及情况. 其中从 1985 年到 2004 年的机动车保有量数据来源于相应的统计年鉴^[9], 其后的机动车保有量数据是估算的.

根据计算: 从 ORVR 开始进入中国市场到达 80% 的普及率需要 11a 左右的时间. 同时由于现在是我国机动车保有量增长最快的时候, 因此 ORVR 技术越早进入中国市场就能普及得越快. 当然普及率的预测需要根据市场的实际情况进行不断的更新和调整.

2.4.3 不同控制情景的排放趋势比较

为了能够更好的评估各种控制措施的利弊, 本文根据未来各时间段内各排放过程的活动水平和考虑各种控制情景后的排放因子, 预测了各控制措施对削减 VOC 排放量的贡献. 本文设计了 4 种控制情景作为比较的基础: ①无控制措施; ②只采用 Stage I 油气回收系统; ③同时使用 Stage I 和 Stage II 回收系统; ④同时使用 Stage I 和 ORVR 技术. 图 7 为不同控制情景下的 VOC 排放量的预测.

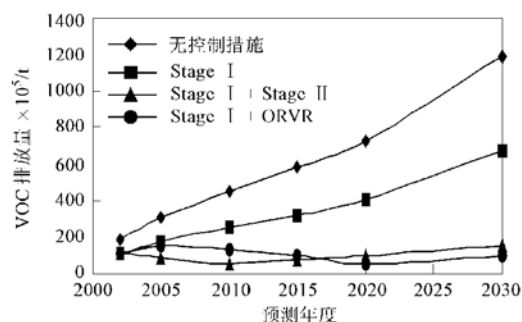


图7 不同控制情景下的 VOC 排放趋势(2002~ 2030)

Fig. 7 General VOC emission trends with different control measure

计算过程中假设 Stage II 和 ORVR 技术是分阶段实施的: 对于 Stage II, 假设到 2005 年有 20% 的加油站将实施该技术, 到 2010 年普及率达到 100%; 对于 ORVR 技术, 其普及率参照 2.4.2 节中的计算结果, 假设从 2005 年开始引进 ORVR 技术, 预计在 2016 年达到 80% 的普及率. 从图 7 可以看出, 在 Stage I 的基础上再引入 Stage II 或 ORVR 技术都会带来显著的 VOC 排放的消减, 并且 ORVR 的效果会更加明显, 但是 ORVR 技术的引入需要比 Stage II 更长的时间. 因此如果只是为了达到短期的排放要求, Stage II 是首选, 但是考虑长期的环境和经济效应, ORVR 才是最终选择.

3 结论

(1) 加油站油气蒸发是 VOC 排放的重要来源之一. 根据已有的排放因子和活动水平, 2002 年我国加油站 VOC 总排放量为 $187.6 \times 10^3 \text{ t}$, 由此造成的经济损失高达 7.5×10^8 元.

(2) 如果不采取进一步的控制措施, 到 2030 年我国加油站的 VOC 排放量将达到 $1195 \times 10^3 \text{ t}$, 经济损失高达 47.8×10^8 元.

(3) 目前可供选择的 3 种油气回收系统中: Stage I 的回收效率为 95%, 主要是针对卸油过程中的蒸发损失; Stage II 的回收效率为 85%~95%; ORVR 为 95%~98%, 这 2 种回收技术旨在回收给机动车加油时造成的排放. 计算表明选择性的措施组合能够取得更好得控制效果. 3 种技术尤其是 Stage II 的运行成本变化范围比较大, 实际的成本取决于加油站本身的实际情况.

(4) 与其它 2 种技术不同, ORVR 技术的推广主要取决于旧车的自然淘汰. 经计算可知从 ORVR 开始进入我国市场到达 80% 的普及率需要 11a 左

右的时间. 现在是我国机动车保有量增长最快的时期, 因此 ORVR 技术越早进入中国市场就能更快地得到普及.

(5) 为了保护环境并降低经济损失, 引进 Stage I, Stage II 或是 ORVR 油气回收系统是非常有必要的. ORVR 技术比 Stage II 系统具有更高的回收效率和更低的成本. 但由于 ORVR 技术的普及需要较长的时间, 因此为在短期能达到一定的控制要求可以先选用 Stage II 油气回收系统, 而 ORVR 则是控制加油站油气排放及其回收的长期的和最终的选择.

致谢: 美国 MeadWestvaco 公司为本研究提供了经费资助, 蓝志羲博士和秦颖浩先生对本课题的开展提供了许多支持, 谨致谢意.

参考文献:

- [1] 中国国家统计局. 中国能源年鉴(2000-2002)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004. 136~137.
- [2] 胡泳涛. 区域空气质量及其影响因素研究[博士学位论文]. 北京: 北京大学, 2000.
- [3] Kristin Abraham, Kwame Agyei, Ray Bishop, et al. Gasoline marketing (Stage I and Stage II)[R]. U. S. A: Eastern Research Group Inc, 2001. 1~5.
- [4] Schifter M, Magdaleno L, Díaz B Krüger, et al. Contribution of the Gasoline Distribution Cycle to Volatile Organic Compound Emissions in the Metropolitan Area of Mexico City[J]. Air & Waste Management Association, 2002, 52(5): 535~541.
- [5] 北京大学. 北京市大气污染的成因和来源分析[R]. 北京: 北京大学, 2002. 219~223.
- [6] 邹宏梅. 油气回收技术在加油站中的应用[J]. 安全与环境工程, 2004, 11(3): 18~21.
- [7] He Kebin, Huo Hong, Zhang Qiang, et al. Oil consumption and CO₂ emissions in China's road transport: current status, future trends, and policy implications[J]. Energy Policy, 2005, 33(12): 1499~1507.
- [8] 中国国家统计局. 中国统计年鉴 2004[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004. 642~643.
- [9] 陈锡剑. 加油站油气回收系统的应用[J]. 石油库与加油站, 2003, 12(5): 27~31.
- [10] MACTEC Engineering and Consulting Inc. Midwest Regional Planning Organization Identification and Evaluation of candidate control measures[R]. U. S. A: Midwest regional planning organization, 2005. 54~58.
- [11] U. S. A Environmental Protection Agency. Stage II Vapor Recovery Systems Issues Paper[R]. U. S. A: U. S. A Environmental Protection Agency, 2004. 6~10.
- [12] 劳溪辉. 浅谈汽车加油站油气回收[J]. 广东化工, 2004, (3): 18~20.
- [13] California Environmental Protection Agency. Total Hydrocarbon emissions from the phase II vacuum assist vapor recovery systems during baseline operation and simulated refueling of onboard refueling vapor recovery (ORVR) equipped vehicles[R]. California: California Air Resources Board, 1999. 2~5.
- [14] U. S. A Environmental Protection Agency. Regulatory Impact Analysis Control of Emissions of Air Pollution from Highway Heavy-Duty Engines[R]. U. S. A: U. S. A. Environmental Protection Agency, 2000. 94~95.
- [15] Joe Guerrero. ORVR Penetration Calculations[R]. California: California Air Resources Board, 2002. 3~5.