

降低汽车蒸发排放 -
最大 VOC 排放源 形成中国主要城市地区的
雾霾、PM2.5 和臭氧:

国际经验及其对中国未来可能影响之宏观与微观分析



综合摘要

挥发性有机化合物（volatile organic compound 简称 VOC）排放在中国造成 20%到 30%的 PM2.5 和 47%的雾霾。VOC 排放的一大部分是来自汽车的汽油蒸发（汽车蒸发排放）。以欧标为基准的蒸发排放控制标准及第二阶段油气回收系统（Stage II）只能为中国的昼间排放、行驶损耗排放、加油排放、渗漏排放及热浸排放等不同蒸发排放提供 46%的控制率。这种低效率的控制造成了中国汽车每年产生 110 万吨的蒸发排放。汽车蒸发排放集中在车辆保有量大的城市地区，城市蒸发排放直接造成了 7%到 12%的 PM2.5 和 15%到 20%的雾霾。

每辆车花费不到人民币 200 元且非常有效的蒸发排放控制技术如车载油气回收系统（onboard refueling vapor recovery 或简称 ORVR）和多日昼间排放控制从 1990 年代起就已经在美国被采用了，将蒸发排放控制率提升到 95%到 98%。中国应以修订现行蒸发排放法规、颁布新版蒸发排放控制法规或制定新法规的方式推行类似的蒸发排放控制法规，并尽快在中国的新车上执行。如果不尽快执行此种控制以降低蒸发排放，那么在未来 10 年内，每年的蒸发排放会增加到 300 万吨，进而形成更多的 PM2.5、雾霾和臭氧。

如果关于 ORVR 以及多日昼间排放（即油箱内汽油蒸发排出的油气）的要求能在 2018 年实施，那么每年的蒸发排放量可控制在 100 万吨以内。新车安装 ORVR 能增大并改进中国已经投资的第二阶段（Stage II）对加油排放的控制；同时执行 ORVR 与 Stage II 不但能控制目前尚未安装 ORVR 的在用车的加油排放，也能控制未来安装 ORVR 的新车的加油排放，是最大化控制加油排放的方法。美国是同时执行这两种控制的成功范例，辅以其它的控制管理，使得美国城市有比欧洲城市更好的空气品质。虽然 ORVR 和其它多日昼间排放控制会增加汽车费用，但每位车主因汽油回收而省下的汽油钱约 500 元人民币足够弥补安装控制设备而增加的费用。这新增的设备会给众多的中国本土及跨国的供油系统制造企业带来新的业务，包括通风管、油箱阀门、碳罐及活性炭等等。如果中国一方面准备投入大量资金强化固定排放源的排放控制，另一方面却放任汽车蒸发排放继续恶化，造成大城市雾霾频仍甚至不断升级，这将会是一件让人遗憾的事情，特别是如果我们既可以又快又省地控制这种蒸发排放。

介绍

为了降低悬浮颗粒物（PM）及雾霾等空气污染问题，中国已经通过相关法规显著减低了汽车尾气排放，改进了油品品质。但是，汽车还会排放出另一种污染物，即 VOC 蒸发排放。VOC 蒸发排放主要来自汽车的汽油蒸发排放，造成大量的 VOC 外泄。这种外泄的 VOC 会形成 PM2.5、雾霾及臭氧等污染物。汽车在停车、行驶及加油的过程中会产生蒸发排放。中国每辆汽车每年产生的蒸发排放约相当于 12 升的汽油损失，这代表着每位车主每年所损失的能源及经济价值。蒸发排放造成的污染问题在保有大量车辆及交通拥挤的城市地区十分严重。这种污染问题在有限号要求（规定某些车辆在某天停驶）的城市尤为严重。工业 VOC 污染源——比如来自石化、涂漆及其它以溶剂为基础的制造业——是那些工业所在地污染的最大源头，但这些工业污染通常并不是大型城市污染的重要源头。在这些大型城市地区，大量且较集中的车辆形成了 VOC 污染的主要源头。因此要改善空气质量，我们务必在 VOC 外泄的地方对 VOC 施行有效控制。

要改进中国城市的空气质量，需要同时对包括 VOC 等的各种污染源进行控制。这与李克强总理在 12 届人大第一次会议上提出的“要提升中国的发展模式，让老百姓能呼吸新鲜空气”的目标相一致。复旦大学庄国顺教授和其他专家已指出了大气内 90-100% 的 VOC 经过光合作用后会产生次级有机气溶胶（SOA），而 SOA 占到 PM2.5 组成的 20% 到 30%。更重要的是这些由 VOC 产生的 SOA 是造成雾霾的最主要成分，占了雾霾组成的 47%，剩余的 53% 是由硫化物（20-30%）、硝酸盐（10-20%）、黑烟末（7%）等组成。在城市地区，排放清单表明由轻型汽油车排出的 VOC 占到总 VOC 量的 38% 到 50%，剩余的 50% 到 72% 则是由无数个点源排放源排出的。

本报告指出汽油车的蒸发排放是汽车排放出的 VOC 的最大源头，也就是城市中排放到大气内的 VOC 的最大源头。同时因为 VOC 不会扩散很远，这意味着在中国的主要大城市，汽油车蒸发排放出的 VOC 是产生雾霾、PM2.5 及臭氧等污染物的最主要源头。幸运的是如果中国的汽车能进一步现代化，将美国已经使用了 16 年的技术应用在中国的新汽车上，我们就能有效、经济并快速地降低这些排放物。

1. 关于汽车排放控制管理的美国法规（包括联邦法及加州州法）要比欧盟及其它国家（如日本）先进许多。

人们常常误认为欧洲的机动车排放标准是全世界最严格和有效的。其实不然，自 2007 年以来，美国对尾气的氮氧化物和碳氢化合物排放标准已经比欧洲还要严格，即将执行的 Tier 3 则将进一步拉大美国与欧盟的差距。此外，欧洲的蒸发排放管理比美国滞后 20 年。自 1996 年以来，美国通过有关法规不断强化了对新制汽油车的排放控制，以控制车辆长时间停驶排放（昼间排放）、行驶损耗排放、加油排放、渗透和泄漏排放；同时要求制造商重新标定汽车引擎，使汽车在慢速或短距离行驶时，控制蒸发排放的碳罐也能脱附；此外，美国还完善了在用车法规及监控标准。相对而言，欧标仍沿用 24 小时昼间排放且排放值偏高的标准，又未采用任何在用车监管体系。因为美国采取了严格的汽车排放标准和其他措施，所以比欧洲有更清洁的空气。美国城市的 PM2.5 和 PM10 浓度是欧洲城市的一半，但臭氧浓度几乎相当。美国和中国在气温变化、以汽油车为主的车辆类型及造成尾气和蒸发排放的条件方面都非常相似。中国立法部门应该重新思考：为了制定中国的汽车排放标准，实现降低中国汽车排放量和改善空气质量的目標，是应该采用欧洲的汽车排放标准，还是采用美国的汽车排放标准？

2. 在常温条件下，典型的行驶模式所造成的蒸发排放量要超出汽车氮氧化物和碳氢化合物的排放总量的 80%。

当所有的蒸发排放类别得到准确计算后 - 包括热浸排放、行驶损耗排放、渗透排放、加油排放和昼间排放 - 中国每年每辆车产生约 8200 克的 VOC 排放。这是每年尾气排出的碳氢化合物总量的 6 倍多，比氮氧化物排放量高出近 11 倍，也意味着每年 11.7 升的汽油损失。Emisia 利用欧洲污染物排放清单模型（一般称为 COPERT4）估算出每年每车只有 80 克的蒸发排放，这比美国环保署 MOVES2010 模型所估计的当今美国最清洁汽油车的排放量还要低 80%，所以 COPERT4 模型存在严重的缺陷。蒸发排放中行驶损耗排放占比最大，而昼间排放和加油排放（即使加油站加装了 Stage II）仍是蒸发排放的主要来源。中国目前的控制技术仅能控制 46%的蒸发排放。如果采用加强蒸发排放控制标准和 ORVR，蒸发排放控制可增加到 90%-95%。VOC 会形成 SOA，而 SOA 占了雾霾的 47%，占了 PM2.5 的 20-30%。因此，控制蒸发排放 - 特别是在车辆多且集中的城市地区 - 是改进空气品质最有效的方法。

3. ORVR 是最有效最实用的蒸发排放控制工具，特别是在中国这种气温较高且轻型车燃料以汽油为主的地区，其效果更加明显。

ORVR 是控制蒸发排放最有效最实际的工具，特别是像中国这样位处较暖和地区且车辆大部分是汽油动力轻型车的国家。ORVR 的大吸附容量和快速脱附的特性使它成为增加蒸发排放控制最快速最有效的方法。在理想情况下，将 ORVR、低 48 小时昼间排放标准及缩短汽车行驶周期相结合可以更加有效地控制蒸发排放。先进的蒸发排放控制必须尽快加装在中国的汽车上以避免 VOC 排放增加和 VOC 形成的 PM2.5 和雾霾不断上升。安装 ORVR 能在短期内减缓这问题的恶化，长期运行后，则能降低蒸发排放量。研读本报告讨论的各种强化蒸发排放控制的法规及中国从 2014 年到 2035 年的蒸发排放预估后，大家就可以了解为什么应尽早执行 ORVR 能帮助恢复中国的蓝天白云。在中国，汽油车蒸发排放是 VOC 排放清单的重要成分之一；在城市中，这种情况更加明显，城市内汽油车蒸发排放占到城市总 VOC 排放的 30-40%。VOC 会形成 SOA，而 SOA 占了雾霾的 47%，占了 PM2.5 的 20-30%。因此，一旦采用 ORVR，它能单独地将雾霾浓度降低 15-20%，PM2.5 浓度降低 7-12%。

4. 成本效益分析：利用美国 ORVR 经验分析中国情况，算出先进的车载蒸发排放控制技术，特别是 ORVR，能为车主带来的最高经济利益。

ORVR 是回报很高的投资，它回收汽油的价值远远大于控制技术的成本。大家都知道要控制污染物，前期的投入是必需的。汽车制造商会抱怨他们要增加成本，但对车主而言，车辆装了 ORVR 对他们绝对是有好处的。就其它先进的车载蒸发排放控制技术而言，它们的效果都还可以，仅比 ORVR 略差。相对而言，Stage II 只能有限的降低 VOC 排放，而且其安装及保养都是相当贵的。总之，所有蒸发排放控制所带来的经济效益，不管是汽车制造商或石油企业获得的最后都应该会转嫁给车主，所以经济价值高的项目应该是优先选择。

5. 在广泛使用 ORVR 之前，ORVR 和 Stage II 可以一起运行以实现最大值的加油控制。

ORVR 和 Stage II 是可以一起运行的，但总的蒸发排放控制率会略受影响，除非采用预防措施减少新鲜空气进入加油站的地下储油罐，或像北京市利用 Stage III 后处理设备处理油罐排空管排出的油气。这影响其实很低，因此在 ORVR 车辆开始上路后，没有必要对加油站的 Stage II 进行改造。

6. ORVR 和其它先进的蒸发排放控制装置都可以安装在中国所有包括微客车和微卡等的轻型车内。

ORVR 和其他先进的蒸发排放控制装置都能够以合理的价格装载在任何轻型车上，包括微型车、微卡等。目前行驶的每辆车，包括微型车，都必须装有符合国 IV 的蒸发排放控制设备。安装先进的蒸发控制装置意味着更大地发挥这些装置的效用。影响此系统设计的因素有：（1）设计时在车内要为碳罐多留出 1 - 1.5 升的空间；（2）加油管要重新设计为一个能够有效防止油气外泄的加油管；（3）给汽车制造商足够的时间进行设计修改。这些因素都不是问题。例如长安汽车新车示意图已将 ORVR 设计在其微型面包车上。

7. 在前期没有要求汽油车安装 ORVR 或其它先进的蒸发排放控制装置的情况下，要降低目前在用车和未来非 ORVR 车的蒸发排放，Stage II 不但昂贵而且效果有限，却是唯一可行的方案；Stage II 不是先进的蒸发控制装置如 ORVR 的替代品；仅在加油站加装 Stage II 而没有要求在车上安装 ORVR 是不可能降低在今后 10 年预测的每年 3 百万吨汽车所带来的蒸发排放污染的。

要降低目前在用车使用的低效落后的蒸发排放控制装置所带来的污染，昂贵且效果有限的 Stage II 是唯一能控制部分加油排放的选项。一件很重要的事大家应该明白：Stage II 本身是从来不能大幅度降低蒸发排放的，它基本上只是作为治理蒸发排放的一个小起点。因此，Stage II 不是 ORVR 或其它先进蒸发排放技术的替代品。原因是加油排放大约占了中国汽油车总蒸发排放的 20%。行驶损耗排放和昼间排放占了蒸发排放的主要部分，安装 ORVR 及其它对行驶损耗和昼间排放控制的设备是唯一能有效的控制这些排放的方法。与此同时，已安装的 Stage II 并不是浪费，这是因为对现行的在用车及未来的新车所排放出来的 VOC 的治理最有效的方法是 Stage II 与 ORVR 并行。

8. ORVR 的设计、制造和相关服务不是由少数几家公司控制的。事实上，安装 ORVR 会给包括中国本土公司在内的众多公司带来新业务。

ORVR 加油标准要求汽车在整个加油过程中汽油蒸发排放量小于 0.05 克每升。对于如何达到这项标准，ORVR 没有明确规定。但是在目前美国市场上，制造商们纷纷通过增加现有昼间碳罐容量和改变通风系统来实现这项标准，因为这样做不仅成本低，且易于实现。假设在中国也采取这样的方法，众多的中国及跨国零部件供应商会从这新增的车辆部件当中受益。

油箱排气管和防回泄阀会要求制造商制造新规格的产品。油气管供应商要供应新的大管径的管道。目前众多制造碳罐的制造商需要制造较大型的碳罐，这将带动塑料（聚丙烯、尼龙、聚乙烯）、弹簧、过滤材料和活性炭的需求。供应这些材料的 2 线及 3 线供应商也会获益。脱附阀的供应商也需要提供高流量的阀。油箱、加油管和油箱盖等的制造商会将其产品略加改造继续供货。这意味着，增加的 36 到 210 元人民币会由众多的供应商分享。而节省的 0.5 到 1% 的用油能为车主带来直接的经济效益，抵消了买车时多付的费用。更进一步说，降低 VOC 更会减低城市雾霾（即蓝天多了）、PM2.5 及臭氧 - 也带来了其它经济和社会效益。也就是说，ORVR 的受益者是众多的。

依据美国环保署运输与空气质量办公室的估算，一般的车主在一次性多付了成本 36 元人民币给汽车制造商安装 ORVR 后¹，他可以预期每年能省 150 到 180 元人民币的汽油钱。在中国的汽车制造商估计需要花费 210 元人民币安装 ORVR。基本上，车主要付这增加的费用，但同时他们也得到了增付这笔费用所带来的经济回报。而且安装 ORVR 后能改善空气质量，因而带来更大的社会与经济效益。

¹ 参考 <http://www.haldemanfordkutztown.com/Onboard-Refueling-Vapor-Recovery/>

9. 轻型车排放出来的 VOC 是 VOC 总排量中很显著的一部分，因此我们需要对之及其它如炼油厂等的工业定点 VOC 排放口进行优先管理。

城市地区的空气污染 - 包括雾霾、PM2.5 和臭氧等 - 是中国重要的问题之一，而 VOC 是造成这问题的重要原因之一。几乎 90% 的 VOC 会演变成 SOA，而 SOA 占雾霾组成的 47%，占 PM2.5 组成的 20-30%。VOC 也会和 NOx 起反应形成臭氧。大部分汽油轻型车集中在城市地区，城市汽油轻型车队是城市 VOC 排放和增长的重大原因。依据北京环保局与清华大学的估计，汽油车排放的 VOC 占了北京 VOC 总排放的 38% 到 60%，较小的数值很可能未将所有的蒸发排放都纳入其内。上海环保局估计汽车尾气排放占 VOC 排放的 12%，若加上蒸发排放，汽车排放将占到 VOC 排放的 40%，因为汽车的蒸发排放量是其尾气排放量的 5 到 10 倍，所以蒸发排放是城市地区最大的 VOC 污染源。随着汽车数量的不断增加，轻型车 VOC 排放也在不断增加，安装先进的蒸发排放控制设备如 ORVR，是减少城市地区 VOC 污染改善空气品质最有效且唯一的方法。

中国大型的 VOC 排放工业 - 如纸厂、炼油厂等 - 都已从大型城市内搬迁到市外郊区的地区，因此这些设施的排放量的提升率比蒸发排放的提升率要低。蒸发排放量和汽车数量都以每年 15% 的速度增长。研究和测试结果表明蒸发控制措施是全面和完整的。与蒸发控制相关的经济学证明汽油回收的价值是控制成本的三倍。此外，在车辆上装载蒸发控制装置可以被迅速实施。如果中国的轻型车在未来 10 - 15 年内没有办法改造或减少蒸发排放，那么可能中国在 VOC 控制上投入数十亿美元也不一定能改善雾霾状况。中国需要快速解决迅速增长的轻型车的蒸发排放问题。

讨论

1. 关于汽车排放控制管理的法规，美国的联邦法及加州州法要比欧盟先进许多。

欧盟和美国环保署会定期评估和强化他们的汽油轻型车的尾气排放标准，在有新技术和成本效益合理的情况下，发布新标准和法规来改善空气质量。美国环保署从 2007 年起对尾气中的氮氧化物（NO_x）和非甲烷类碳氢化合物的排放标准要比欧盟的要求严格。如图 1-A 所示，美国环保署 2007 年执行的 Tier 2 尾气排放标准中对氮氧化物和碳氢化合物的要求要比欧盟的 2010 年的欧 5 和 2015 年的欧 6 汽油车尾气排放标准低了约 20%。美国在 2017 年将执行的 Tier 3 标准将更进一步降低尾气中的氮氧化物和碳氢化合物排放，它们将比最新的欧 6 标准低了 80%。

欧洲和中国的汽油轻型车的蒸发排放标准更是远远落后于美联邦和加州的法规。1995 年以前，美国汽车的蒸发排放控制体系与当前安装在最新的欧洲车和中国车上的控制体系相似。图 1-B 所示，从技术方案角度来看，1995 年以前的美国蒸发排放体系与欧 3，欧 4，欧 5（等同于国 III，国 IV，国 V）的要求相似。欧洲和中国汽车采用 24 小时‘IV 型’昼间排放要求和排放限值为 2 克/天、脱附碳罐的行驶工况时间为 60 分钟和热浸试验。同时还要能满足脱附控制阀连续性的要求。然而，美国从 1996 年以来，已执行了好几轮新的排放标准要求，不断强化对这些排放的控制。这几轮新的排放标准陈述如下。

- (1) 48 小时昼间蒸发排放测试、认证及在用车的排放限值为 0.65 克/天，脱附行驶工况时间为 30 分钟的标准，这标准是要模拟汽车在交通严重拥堵或短途行驶时的状况，以确保汽车碳罐在包括低速的任何状况下均能脱附。
- (2) 72 小时昼间蒸发排放测试、排放限值为 0.5 克/天和 0.03 克/公里的行驶损耗排放的标准，这标准能保证碳罐的高容量和更精良的设计、汽车燃油箱温度适中及碳罐在所有的驾驶情况下都会脱附。这 72 小时标准是与上面提到的 48 小时标准同时并存的。
- (3) 车载油气回收系统（onboard refueling vapor recovery 简称 ORVR）和 0.05 克/升的排放标准；这标准是要将加油排放降到最低（要求在用车的油气回收率为 98%）。
- (4) 车载诊断系统（onboard diagnostics 简称 OBD）来识别和警示车辆燃油系统的泄漏。

早在 1970 年代，美国环保署和加州空气资源委员会（CARB）已发现汽油轻型车是 VOC 污染的主要源头之一，排放的 VOC 会形成高浓度臭氧和 SOA，而 SOA 是组成 PM_{2.5} 和雾霾的主要成分。即使在严格的 Tier 2 排放标准要求下，美国环保署和加州空气资源委员发现汽油轻型车仍释放可观的蒸发排放和尾气排放；也发现这些排放是可以在花费合理的费用后将它们降到更低的水平。为了进一步改善空气质量，美国环保署在 2014 年 3 月 3 日宣布从 2017 年起，全美国的蒸发排放标准 Tier 3 将和加州的 LEV III 一致。新的 Tier 3 标准将有效地使 VOC 蒸发排放降低到近乎为零的水平。为了降低臭氧，美国环保署和加州空气资源委员了解必须同时减少氮氧化物（NO_x）和 VOC 的排放，这就是为什么他们要求同时执行最严格的尾气排放和最严格的蒸发排放标准。同样的，通过限制车辆的 NO_x，硫氧化物（SO_x）、颗粒物和 VOC 等的排放，也能有效的控制 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的浓度。严格的尾气和蒸发排放标准一加上严格的固定排放点控制—这些就是为什么美国空气质量胜于欧洲的主要原因。

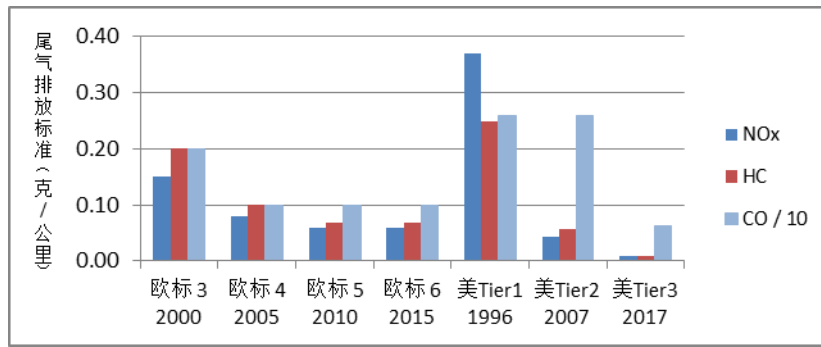


图 1-A 欧洲和美国（联邦）的汽油轻型车尾气排放标准的对比。请注意，实际的一氧化碳标准是图中所示的 10 倍（CO/10）

标准	国 IV/V	美国 ≤ 1995	美国 ≥ 1996-2004
ORVR			✓
24小时昼间排放	✓	✓	
48小时昼间排放			✓
72小时昼间排放			✓
蒸发排放标准 = 2 克/天	✓	✓	
蒸发排放标准 < 0.5-0.65 克/天			✓
热浸	✓	✓	✓
行驶损失			✓
车载自动诊断系统			✓

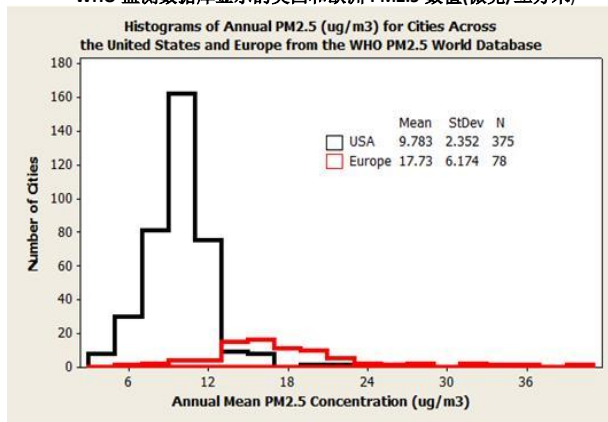
图 1-B 欧洲和美国（联邦）的轻型车蒸发排放标准的对比。目前欧洲和中国的蒸发标准基本上是相当于 1990 年代初美国“强化”蒸发排放 Tier 1 以前的标准

世界卫生组织（WHO）有一个专门储存城市户外 PM2.5 和 PM10 空气污染实测数据的数据库，它涵盖了 91 个国家超过 1100 个城市²。图 1-C 和 1-D 比较了美国 and 欧洲各城市的空气质量数据，分析表明欧洲的 PM10 和 PM2.5 的浓度是美国的 2 倍。图 1-E 显示另一个类似的分析，加拿大环境部将 2011 年北美和欧洲城市的每天 8 小时最高臭氧浓度的年平均值做了个比较³。结果显示，北美的臭氧浓度平均值比欧洲高 5ppb，但它们的浓度分布规律大部分是互相覆盖的。VOC 是造成臭氧超标的主因，北美的汽油轻型车数量是欧洲的两倍（北美有 2.69 亿辆，欧洲有 1.48 亿辆），北美平均温度和阳光强度要比欧洲高得多（欧洲所处纬度高于大部分北美地区），在这些外在负面条件的影响下，北美地区 VOC 的排放仅比欧洲高 5ppb 可以说美国和加拿大的 VOC 控制做得相当好，也才能有低浓度的臭氧和良好的空气品质。美国自 1990 年代初以来，空气质量有了极大的改善，如果美国维持与欧盟相同的车辆排放标准，空气质量的改进是不会发生的。

² 参考 http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/

³ 参考 <http://ec.gc.ca/indicateurs-indicators/default.asp?lang=en&n=FDBB2779-1#r2>

WHO 监测数据库显示的美国和欧洲 PM2.5 数值(微克/立方米)



欧洲和美国的 PM2.5 数值分布

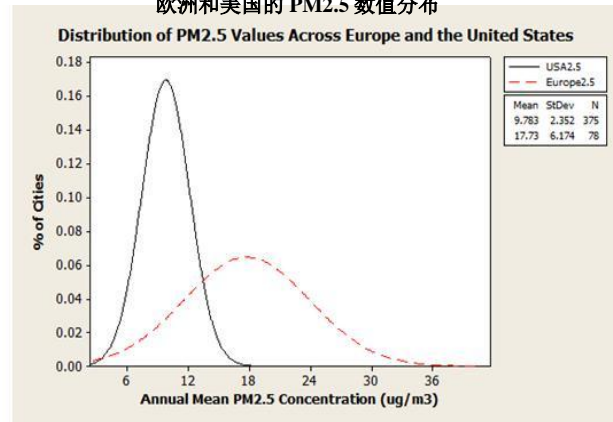
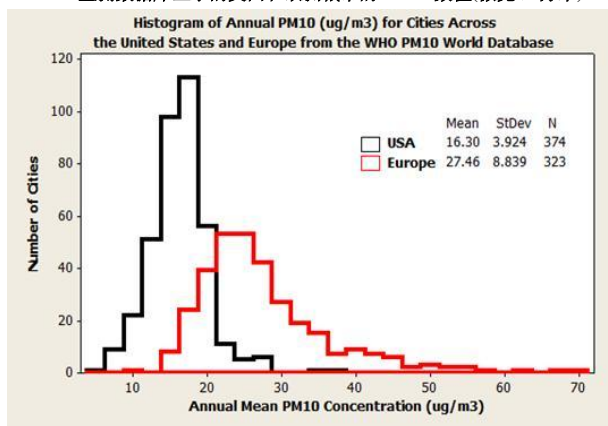


图 1-C 2008-2009 年美国 and 欧洲主要城市年平均 PM2.5 的比较。数据来自世界卫生组织的全球空气质量监测数据库。欧洲的 PM2.5 均值是美国的近两倍。左：天数；右：统计分布

WHO 监测数据库显示的美国和欧洲城市的 PM10 数值(微克/立方米)



欧洲和美国的 PM10 值分布

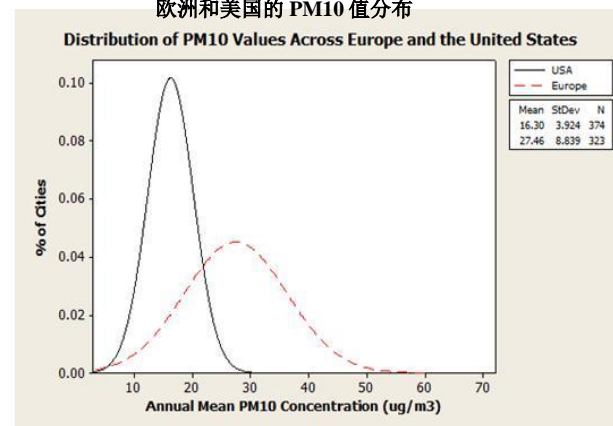
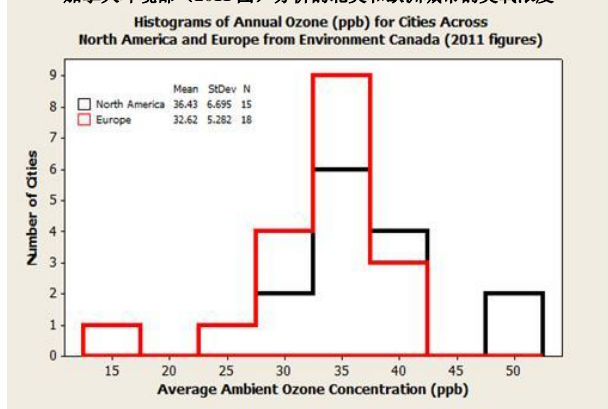


图 1-D 2008-2009 年美国 and 欧洲主要城市年平均 PM10 水平的比较。数据来自世界卫生组织的全球空气质量监测数据库。欧洲的 PM10 均值几乎是美国的两倍。左：天数；右：统计分布

加拿大环境部 (2011 图) 分析的北美和欧洲城市的臭氧浓度



北美和欧洲的臭氧值分布

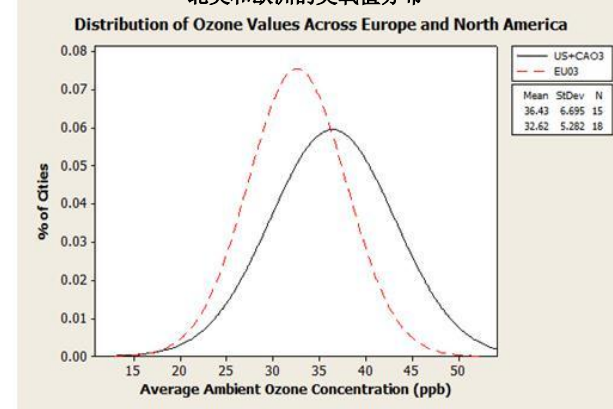


图 1-E 北美和欧洲主要城市日均 8 小时最大臭氧浓度的对比图。分析表明，北美和欧洲的臭氧浓度是差不多的，但北美的臭氧平均值要高出 5ppb。左：天数；右：统计分布

中国与美国有相同的气候与车辆组成，中国目前正在设法克服美国在 40 年前就开始治理的空气污染的问题。中国可以借鉴美国的经验，选取最有效的治理方法尽快改进其空气品质。中国目前大约有 1 亿辆汽油车。每辆汽油车会产生约 9 千克/年的蒸发排放，包括了昼间排放、加油排放、行驶损耗排放和渗透排放等。也就是说，中国的汽油车每年会产生约一百万吨的蒸发排放，这相当于每年有 14 亿升的液态汽油蒸发到大气中。先进的控制蒸发排放的设备只能安装在新汽车上；改造在用车减少其蒸发排放是不现实的。汽油车预计在未来十到二十年间将会增长到 4 到 5 亿辆 -- 这将是欧洲汽油车的三倍，美国汽油车的两倍。如果中国蒸发排放标准没有显著强化，汽车 VOC 排放量将达到每年 400 万吨。美国的实际经验可以借鉴：美国的汽车在九十年代初其蒸发排放约 10 千克/年，到了执行 Tier 2 和 ORVR 标准后，车辆的蒸发排放降低到低于 0.5 千克/年。将美国同样的蒸发排放控制要求运用到中国的车辆上，不仅能以合理的价格改善空气质量，更可以节约能源。

小结

人们常常误认为欧洲的机动车排放标准是全世界最严格和有效的。其实不然，自 2007 年以来，美国对尾气排放的氮氧化物和碳氢化合物有世界上最严格的标准，即将执行的 Tier 3 排放标准将进一步拉大美国与欧盟的差距。此外，欧洲的蒸发排放标准更比美国滞后 20 年。自 1996 年以来，美国利用法规，对新汽油车不断强化其蒸发排放标准，控制车辆的长时间停驶排放（昼间排放）、行驶损耗排放、加油排放、渗透排放和泄漏排放；美国也要求汽车制造商重新标定引擎，使其在慢速或短距离行驶损耗时，控制蒸发排放的碳罐也能脱附；同时也完善了在用车法规及监控标准，改进了美国在用车的性能。相对而言，欧标仍采用 24 小时昼间排放管理的较松排放标准，更没有在用车监管体系。美国采取了严格的汽车排放标准和其他的管理措施，才能有比欧洲更洁净的空气。欧洲城市的 PM2.5 和 PM10 浓度是美国城市的 2 倍。两地的臭氧浓度几乎一致。美国和中国在气温变化和以汽油车为主的车辆组成以及这两因素造成的尾气和蒸发排放都非常相似。中国立法部门应该重新思考是仍采用欧洲还是改用美国的汽车排放标准制定中国的汽车排放标准以改善中国的空气质量。

讨论

2. 在正常天候及典型的行驶损耗情况下，车辆的蒸发排放量是其氮氧化物及碳氢化合物排放量的 4 倍。

要建立完整的中国汽车排放总量清单，车辆的蒸发排放和尾气排放都应被纳入其中。建立汽油车尾气排放清单一般并不困难。氮氧化物、碳氢化合物和一氧化碳等排放因子能利用驾驶在有代表性的驾驶工况取得完整的记录，并以每公里行驶损失所产生的排放克数来表达。尾气排放总量清单可以将汽车总数按不同年份乘以该车年份的排放因子（详见图表 2-1）和车辆行驶过里程（VMT）而得。在此计算方法中，假设排放因子是等于排放标准的，而在现实生活中，实际排放因子可能会高于或低于排放标准。

表 2-1 中国汽油轻型车尾气排放标准

	标准年限	碳氢化合物排放标准 (克/千米)	氮氧化物排放标准 (克/千米)	一氧化碳排放标准 (克/千米)
国 III	2008 – 2011	0.2	0.15	2.3
国 IV	2011 – 2018	0.1	0.08	1.0
国 V	2018 – XXXX	0.1	0.06	1.0

目前在中国，还未就蒸发排放因子和清单有准确的估计，欧洲亦是如此。唯一在欧洲已公布的蒸发排放因子是 0.22 克/天，这个数据是由 Emisia 通过使用 COPERT4 模型得到的。该 COPERT4 模型用来计算蒸发排放的部分和由此得到的蒸发排放估计都是有缺陷的，主要原因是：

- Emisia 模型没有计算行驶损耗排放
- Emisia 模型没有计算渗透排放
- Emisia 模型没有计算加油排放
- Emisia 模型对于昼间排放的估计偏低，因为：
 - 计算时最长的停车时间是 12 小时；事实上有一半以上的车辆停车总时远大于 12 小时；
 - Emisia 模型没有考虑到实际的驾驶情况及其对碳罐脱附和再生能力的影响；
 - Emisia 模型假定碳罐的容量是实际使用的 2 倍。

如果将 COPERT4 模型中用的 0.22 克/天的排放因子来计算一年的排放量，那么每年的蒸发排放估计只有 80 克。美国已建立的可正确量化的在用车蒸发排放因子比 Emisia 算的高了许多倍。图 2-A 显示了美国环保署估计：符合 Tier 2 和 LEV II 标准的车辆每年产生约 500 克/车的蒸发排放，这比 COPERT4 的估算要高 6 倍。明白了欧盟标准比美国 Tier 2 标准要落后很多，Emisia 模型使用的 0.22 克/车的蒸发排放量就显得颇为荒谬。美国环保署的和加州环保局的估算是使用美国复杂的 MOVES2010 蒸发排放

经验模型得到的，这蒸发排放经验模型是逐年依据在用车严格测试结果而得到的。这些符合 LEV II/Stage 2 标准的车辆是目前世界上对蒸发排放控制最严格的车辆，它们车上装置的蒸发排放控制设备会比欧盟及中国目前车上的设备能更有效地控制蒸发排放。实际上，最新款的欧洲车或中国车的控制蒸发排放的控制设备是等同于美国 1995 年前车辆上的设备，因此这些车的蒸发排放也会与美国 1995 年以前的车一样。这意味着欧洲与中国的汽油车每年的蒸发排放约为 8 千克到 9 千克 - 这比 *Emisia* 公布的蒸发排放因子要高 100 倍。

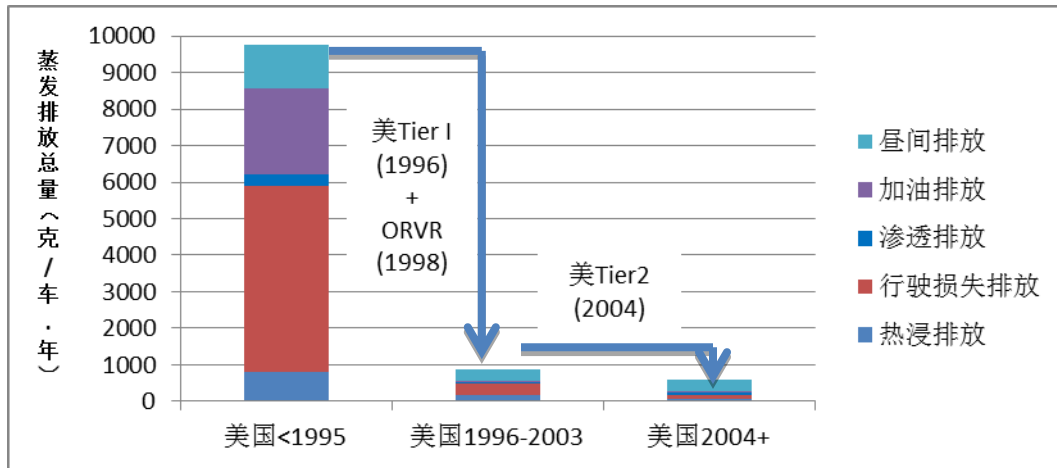


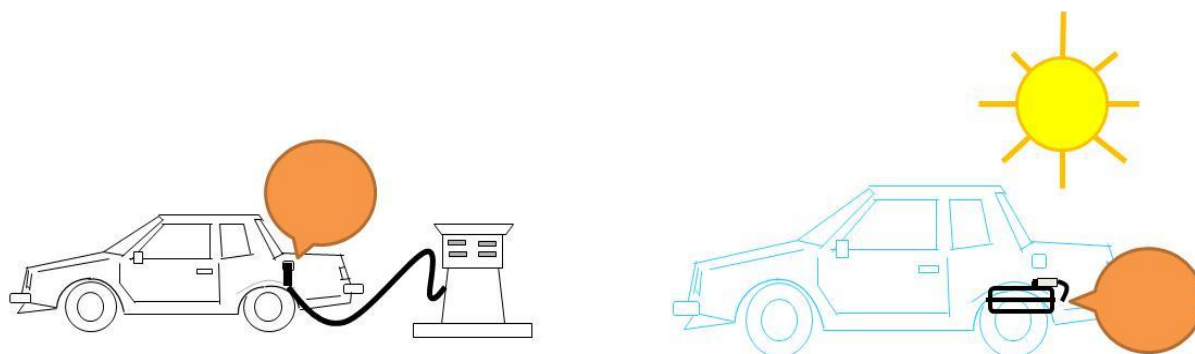
图2-A 利用 MOVES2010 和昼间及加油排放的模型估算的美国车辆年蒸发排放量。中国汽车的蒸发排放控制装置与美国 1995 年前（加严排放控制标准以前）的车辆相同。

COPERT4 模型及其 0.22 克/天的蒸发排放因子没有正确地将所有蒸发排放源都包括在内。蒸发排放包括汽油车在停车、驾驶及加油等不同情况下排放出的油气。蒸发排放源主要有五大类：

- (1) 加油排放，
- (2) 昼间排放（也称为冷浸或停车排放），
- (3) 行驶损耗排放，
- (4) 渗透排放，
- (5) 液态和气体汽油燃料系统的泄漏排放。

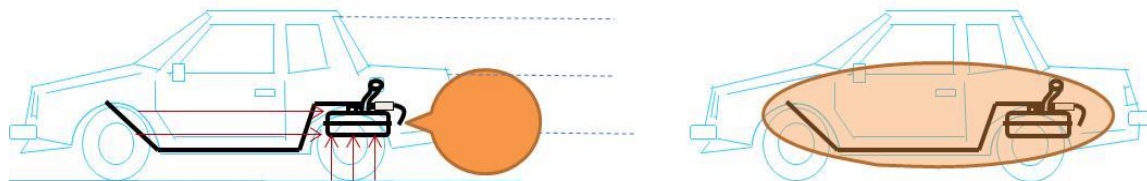
前 4 种蒸发排放在图 2-B 中进行了描述。每一种排放的量都有可能很大，这取决于法规的要求、车辆的设计、当地的汽油蒸气压（RVP）以及当地的天候温度。美国环保署与研究协调委员会（CRC）

合作，对数十年不同车型的好几百辆车⁴⁵，进行了严密的研究，量化了蒸发排放，建立了行驶耗排放、渗透排放和热浸排放的排放因子⁶，这些排放因子全部应用于 MOVES2010 蒸发排放清单模型中。



加油排放：加油时油箱内原有的油气受到新加入汽油的置换排到大气中。每加 1 升的汽油，油气的排放量约为 1.0-1.8 克，换算为每天的排放量约为 5.7-8.1 克。这些外排的油气可用 ORVR（98%的控制）和 Stage II（50-70%的控制）加以控制。

昼间排放：日照使得油箱温度上升产生汽油蒸汽并且外排。排放水平是由温度、汽油挥发性和停车时长所决定的；排放量则是取决于储存这些油气的碳罐容量。使用 24 小时碳罐，日均排放量为 2.4 到 4.6 克之间。使用 72 小时或 ORVR 碳罐，日均排放量能减少至 0.6 到 1.2 克之间。



行驶排放：车辆运行时，油箱温度受到从道路、引擎、加油系统和排气系统等传来的热量而上升。若油箱温度超过 65°C，会产生大量油气。车辆运行时，这排放量可高达 10 克/小时，平均排放量 12 克/天。提高碳罐脱附速率、增加碳罐容量和改善输油泵都能减少这排放。

渗透排放：油气会通过燃料系统的塑料和橡胶组件渗透出来。排放量主要取决于环境温度和组件的材料，平均排放量为 0.02-0.06 克/小时。降低密闭室（SHED）排放标准，会强制选用低渗透性组件，进而降低排放量到 0.005-0.01 克/小时。

图 2-B，四种主要的蒸发排放

不同于美国环保署利用试验测试程序在特定模式下量化不同的排放量（包括运行损失、热浸、昼间及加油）的 MOBILE 系列模型，MOVES2010 模型计算蒸发排放是依据蒸发的原理、途径、渗透、油箱油气排出、液体泄漏及加油排放等来分类。如此一来，排放过程可以用各种不同的影响各个排放的排放因子来模拟。

⁴ Fuel Permeation from Automotive Systems, Final Report, CRC Project No. E-65, Prepared for the California Air Resources Board and Coordinated Research Council by Harold Haskew and Dennis McClement, September 2004.

⁵ A Report on Vehicle Evaporative Emission Mechanisms: A Pilot Study, CRC Project E-77, June 2008. NOTE, this report references four other CRC reports on evaporative emissions: (1) 300 vehicle Auto-Oil Hot Soak Pilot Study, 1993, (2) 150 vehicle CRC E-9 Real-Time Diurnal Study, 1996, (3) 150 vehicle CRC E-35 Running Loss Study, 1997, and (4) 50 vehicle CRC E-41 Late Model In-Use Evap Emissions, 1998.

⁶ Calculations for the Motor Vehicle Emissions Simulator MOVES2010, Final Report, Assessment and Standards Division, Office of Transportation and Air Quality, US Environmental Protection Agency, September 2012.

热浸、行驶损耗损失、渗透基线的排放因子（基线 72°F 及调整到当地温度）在 MOVES2010 中依据符合排放法规要求由汽车制造商按照其接受的技术方案进行单独计算。表 2-2 列举了排放因子和技术方案，可以配合图 1-B 进行对比。将这些基线值调整后应用在 MOVES2010 便得出了如图 2-A 所示的年排放量。MOVES2010 模型计算的昼间及加油排放不适用于中国情况，所以这两种排放用另外的模型来单独计算。

清华大学、美德维实伟克公司和田纳西大学通过研究合作开发了应用在中国车辆上的昼间排放和加油排放模型，详细计算了这两种 VOC 排放。该模型是依据韦德-雷迪方程式建立的，利用车辆停放的情况、当地的燃油蒸气压和当地的月平均气温算出在该地车辆油箱内汽油蒸发产生的油气累积量。为了评估昼间排放，车辆驾驶的情况和碳罐脱附的实测数据被用来估算碳罐在停驶前的再生程度。算出油气产生的总量和碳罐容量之间的相互关系，再将这关系应用在当前或未来的技术上来计算昼间排放量。为了估计加油排放，设定 Stage II 有 70% 的回收率，这个设定是依据一项使用美国加州空气资源委员会（CARB）对于在执行加强型蒸发排放标准前实测的数据研究而得到的⁷⁸。此回收率也是美国环保署用来评估全美 47500 个配备了 Stage II 加油站的实际效益的。此模型也设定 ORVR 的油气回收率为 98%，此 98% 的回收率设定是根据美国环保署公布的在用车监管体系对大量在用车实测的结果得出的。

表 2-2 美国 MOVES2010 模型的热浸、行驶损耗及渗透的蒸发排放因子

法规标准分类	技术方案	美国车辆年份分组	非 I/M 热浸排放因子 (克/小时)	行驶损耗排放因子 (克/小时在行驶时)	基线 (72° F) 渗透速率 (克/小时)
美国加强排放管理以前	<ul style="list-style-type: none"> · 24 小时昼间 + 热浸 以及 2 克/天的标准 * · 对碳罐控制阀的连续性要求 * 	1978 - 1995	0.627	11.6	0.0554
美国 Tier 1	<ul style="list-style-type: none"> · 48 小时昼间 + 热浸 以及 2.5 克/天的标准 · 72 小时昼间 以及 2 克/天的标准 · 0.05 克/英里 行驶损耗测试和标准 · OBD 泄露测试以及 0.04 英寸泄露的标准 · ORVR 以及 0.2 克/加仑的标准 · 在用车遵从标准 	1996 - 2003	0.124	0.72	0.0102
美国 Tier 2	<ul style="list-style-type: none"> · 48 小时昼间+ 热浸 以及 1.2 克/天的标准 · 72 小时昼间 以及 0.95 克/天的标准 · 0.05 克/英里行驶损耗测试和标准 · OBD 泄露测试以及 0.04 英寸泄露的标准 · ORVR 以及 0.2 克/加仑的标准 · 在用车遵从标准 	2004+	0.060	0.234	0.0102

*符合欧洲的欧 3、4 和 5 和中国的国 III、IV 和 V 标准的排放控制技术装置与美国在执行加强排放控制法规前的 1978 年至 1995 年车辆的装置相同。

昼间排放量是由车辆停驶产生的油气量和碳罐的容量所控制。油气的产生率受到当地温度、停车时间的长短和燃料的蒸气压力很大的影响。油气产生率通常都是通过应用多年的韦德 - 雷迪方程式来计算的。油气产生率和昼间排放量会随着气温的上升（即移向纬度低的地区）而增加。车辆在美国、欧

⁷ “Vapor Recovery Test Report,” California EPA Air Resources Board Compliance Division, April 1999

⁸ Glenn Passavant: Memorandum “Calculating Vacuum Assist Stage II VRS and ORVR Excess Emissions,” Public Docket EPA-HQ-OAR-2010-1076, May 7, 2012.

洲、中国、日本、印度、韩国和泰国的某些城市的日均油气昼间产生率是根据当地的月平均气温、当地汽油的蒸汽压、典型的驾驶和停驶数据计算得到的⁹。这些不同城市的昼间排放率与其所处的维度画在图 2-C。

从图 2-C 可以看出，在高纬度地区的欧洲，因气温较低，其油气产生率非常低。横跨中间维度较暖和地区的中国，油气产生率高于或等于地处相似位置的美国。由于环境温度较高，中国的昼间油气排放高于欧洲。正因美国与中国的气候相似，与欧洲的排放因子相比，美国的排放因子更适用于中国。

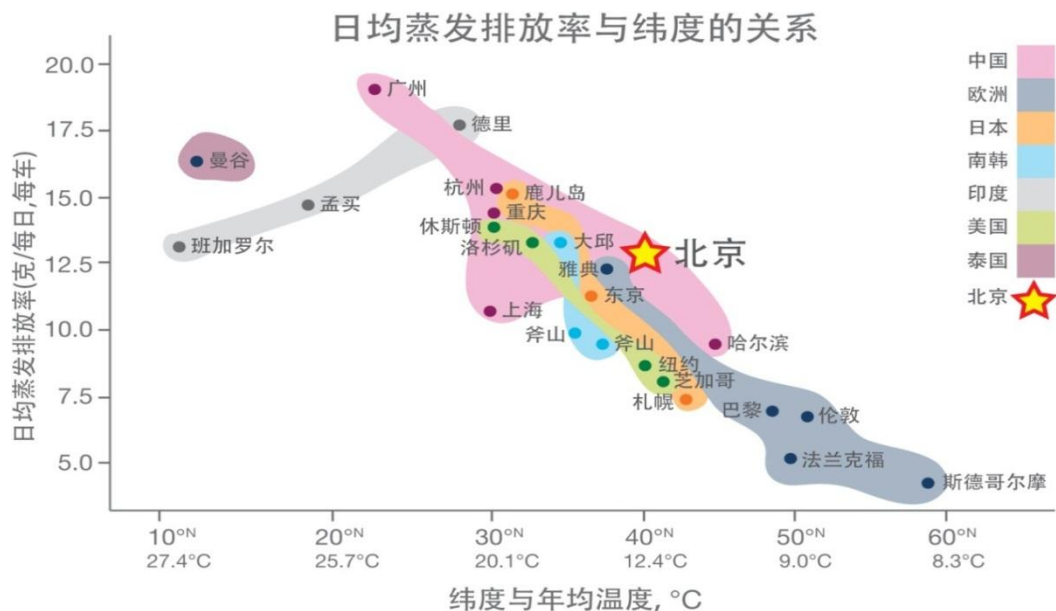


图 2-C 北半球不同区域的城市其每车每日的平均昼间排放与纬度和温度的关系

加油排放率也可用类似的方法表示 - 以每车日均来分析 - 加油排放也会和昼夜排放一样随着气温的升高，纬度的减小而增加。如图 2-D，加油蒸发产生率在欧洲是最低的，是因为那里的温度相对较低，在中国与美国加油排放率大致相似。

⁹ Driving activity data provided by Emisia from a set of GPS data from Florence, Italy.

加油排放率与纬度的关系

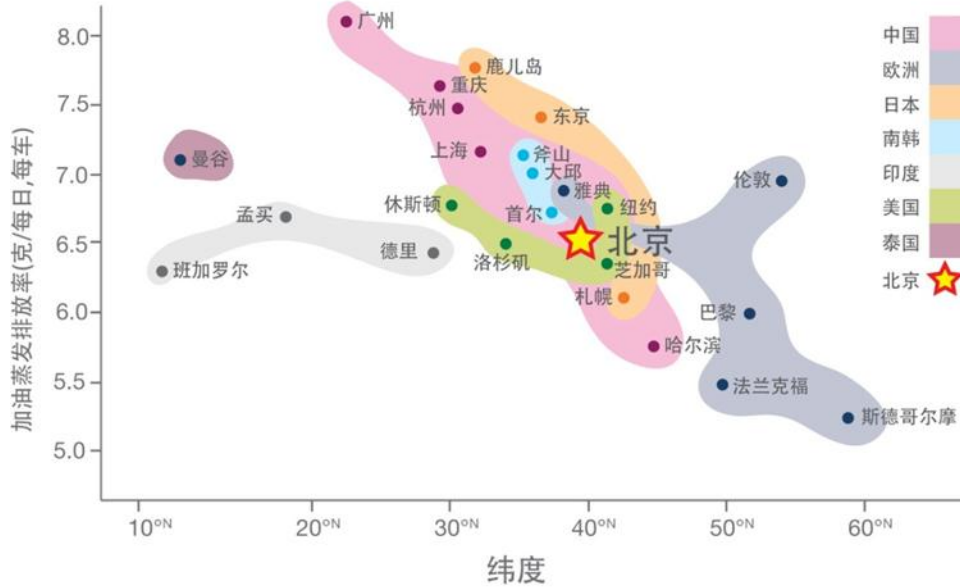


图 2-D. 北半球不同区域的城市其每车每日的平均加油排放（符合当地的排放标准）

利用先进的昼间排放经验模型和加油排放计算模型以及各城市的昼间和加油排放标准，将每个城市每车日均昼间和加油排放因子加以计算和累计（如表 2-3 所示）。将各城市累计的昼间排放和加油排放与该城市的地理纬度画在图 2-E 中。图 2-E 可以看到三条线条：第一条线是那些只有 24 小时昼间排放标准而没有加油排放标准的城市，他们的排放量最高，每天每车产生 6 至 11 克的油气。第二条线，是要求加油站配备 Stage II 且要求车辆必须满足 24 小时昼间排放标准的城市，他们的昼间和加油排放量居中。欧洲的排放是每天每车 2 至 4 克，而中国每天每车的排放达到 4 到 8 克。究其原因，就是中国比欧洲温度高。第三条线是在美国有包括 ORVR 等严格昼间和加油排放要求的城市，每天每车的排放量仅为 1 克。正因为美国环保署和加州有严格的蒸发排放要求，美国的昼间和加油排放总量才会如此之低，这也就是为什么美国有比欧洲和中国更好的空气质量。

热浸、行驶损耗及渗透的排放因子是利用美国环保署公布的排放因子（列于表 2-1）及北京、重庆、广州、杭州、哈尔滨和上海等城市地区的月均温和当地汽油的蒸汽压估算得到的。这些排放因子被调整为每车每年平均行驶 12414 公里¹⁰。蒸发排放模型被用于计算昼间和加油排放因子。总蒸发排放 - 包括热浸、行驶损耗、渗漏、加油及昼间排放 - 的估算见图 2-F。在中国，每辆车平均每年的蒸发排放超过 8100 克。中国各城市之间的加油排放量不同，主要有两个原因：第一就是有些城市采用了 Stage II，另外一个原因是各地的温度不同。热浸排放占总排放量每年每车 8181 克的 6%，行驶损耗排放量最高，占到总排放量的 54%，渗透排放占 5%，加油排放占 20%，昼间排放占总排放量的 15%。

¹⁰ Vehicle Mileage Traveled (VMT) provided from IHS Global Insight database

表 2-3 蒸发排放标准应用于昼间和加油模型分析

地区	城市	昼间控制	加油控制
中国	北京	24 小时和 2 克/天标准	Stage II
	重庆	24 小时和 2 克/天标准	无
	广州	24 小时和 2 克/天标准	Stage II
	哈尔滨	24 小时和 2 克/天标准	无
	上海	24 小时和 2 克/天标准	Stage II
欧洲	雅典	24 小时和 2 克/天标准	Stage II
	法兰克福	24 小时和 2 克/天标准	Stage II
	伦敦	24 小时和 2 克/天标准	Stage II
	巴黎	24 小时和 2 克/天标准	Stage II
	斯德哥尔摩	24 小时和 2 克/天标准	Stage II
印度	班加罗尔	24 小时和 2 克/天标准	无
	德里	24 小时和 2 克/天标准	无
	孟买	24 小时和 2 克/天标准	无
日本	鹿儿岛	24 小时和 2 克/天标准	无
	札幌	24 小时和 2 克/天标准	无
	东京	24 小时和 2 克/天标准	无
韩国	釜山	24 小时和 2 克/天标准	无
	大邱	24 小时和 2 克/天标准	无
	首尔	24 小时和 2 克/天标准	不到 50% Stage II
泰国	曼谷	24 小时和 2 克/天标准	None
美国	芝加哥	48 小时和 0.65 克/天标准	ORVR
		72 小时和 0.50 克/天标准	Stage II
	休斯顿	48 小时和 0.65 克/天标准	ORVR
		72 小时和 0.50 克/天标准	Stage II
	洛杉矶	48 小时和 0.65 克/天标准 (70%) 72 小时和 0.50 克/天标准 (70%) 48 小时和 0.35 克/天标准 (30%) 72 小时和 0.35 克/天标准 (30%)	ORVR Stage II + 增进油气回收
纽约	48 小时和 0.65 克/天标准 72 小时和 0.50 克/天标准	ORVR Stage II	

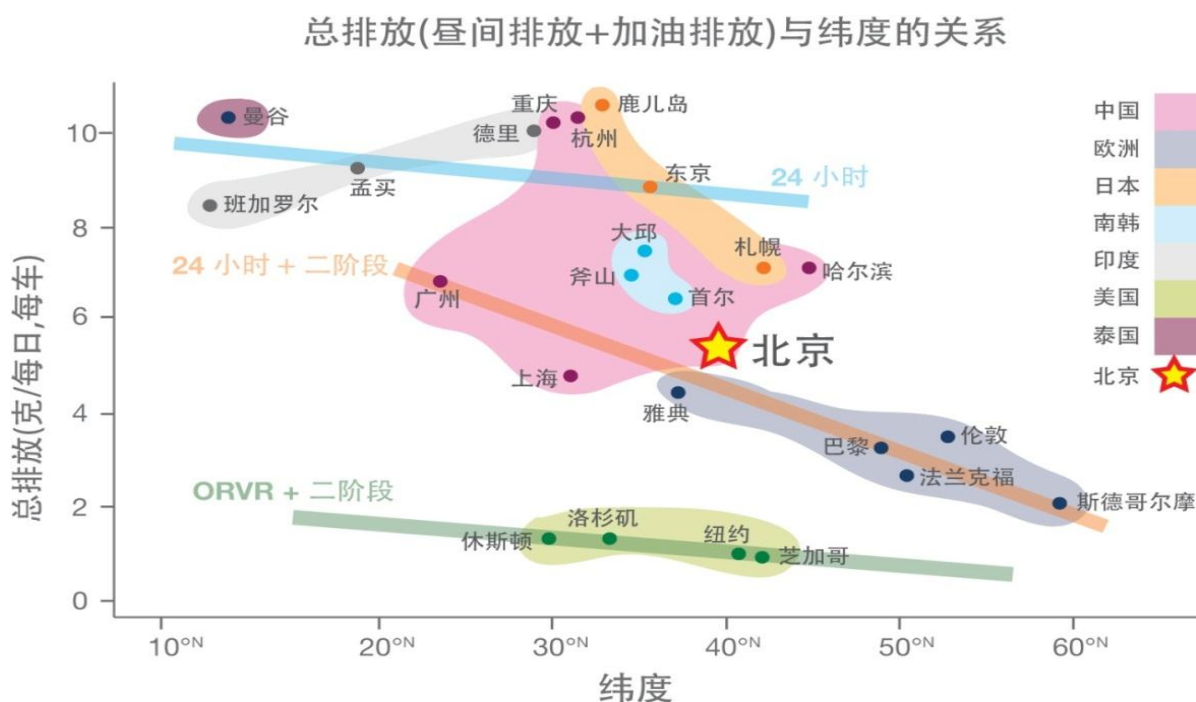


图 2-E. 北半球不同区域的城市其每车每日的平均蒸发总排放（符合当地的排放标准）

即使 Stage II 全面在中国各大城市和农村大规模实施，蒸发排放仍将高于每年每车 7000 克。一个更全面更有效的方法，不仅可以进一步规范加油、昼间、行驶损耗和渗透排放，更可以有效将这些排放控制在每年每辆车 500 克以下，这个方法已在全美得到了很好的实施。

假设在用车的排放与新车认证的标准一样，每辆车平均总蒸发排放、氮氧化物和碳氢化合物排放都被计算了。这些排放的实际排放量可能高于或低于标准。如表 2-4，中国每年每车估计的平均蒸发、氮氧化物和碳氢化合物排放量总和为 10167 克。蒸发排放占据了总排放量的 80.5%，占了碳氢化合物（挥发性有机化合物+碳氢化合物）排放量的 87%。增加强化蒸发排放控制的要求 - 包括 ORVR、昼间排放及行驶损耗排放控制等要求 - 是降低车辆排放的最佳机会；车辆排放的降低意味着由车辆排出的 VOC 会减少，更意味着 VOC 产生的臭氧、雾霾和 SOA (PM2.5) 会减少。

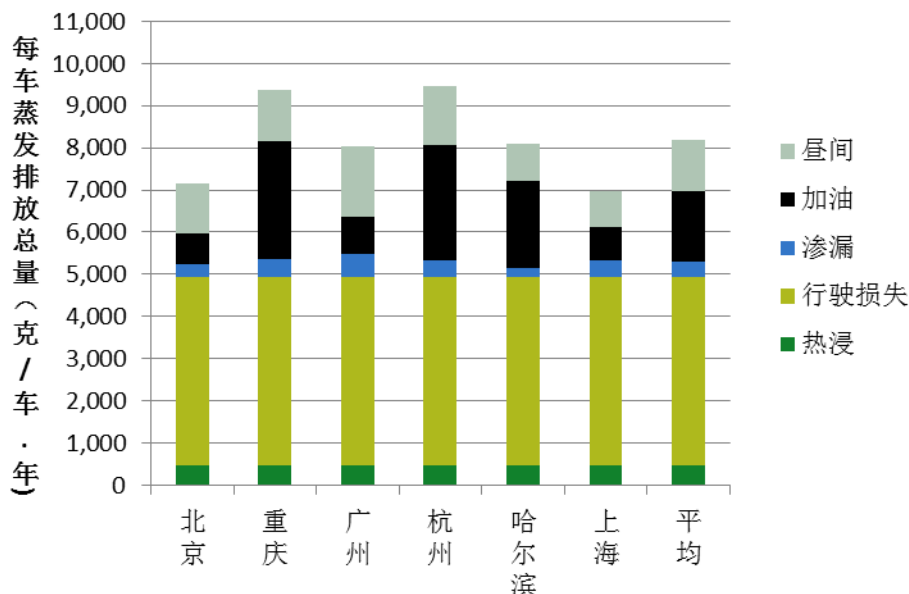


图 2-F 中国各城市平均每年每车蒸发排放总量(包括热浸,运行损失,渗透,加油,和昼间排放)。

如果中国汽车的蒸发排放可以降低到符合在美国销售车辆的水平，那么按照每年有 2 千万新增车的速度来预估，中国每年可以避免超过 15 万公吨 VOC 的排放污染。

表 2-4 中国汽车蒸气排放和尾气排放总量

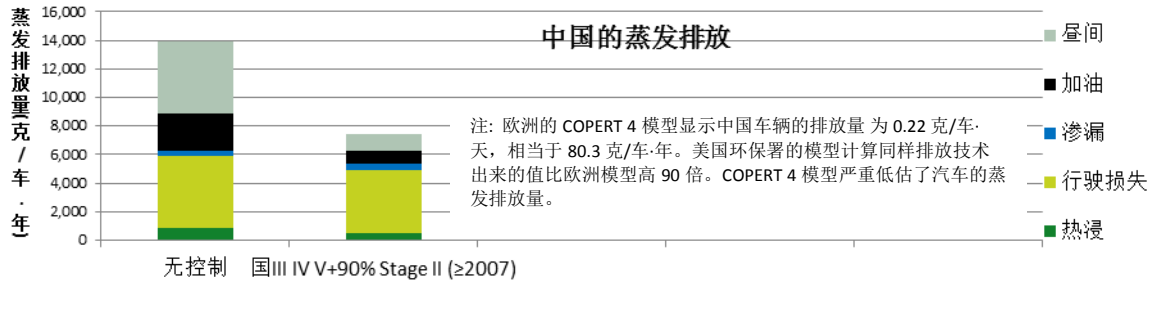
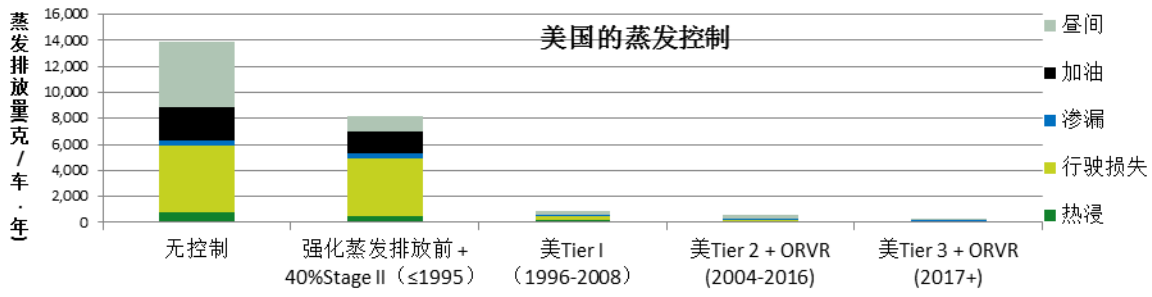
排放类型	国 V 排放标准	平均每车排放量 (克/车·年)	平均每车排放量 (克/千米)	占汽车总排放量百分比 (%)
蒸发 VOC	24h 昼间和 2 克/天 标准	8, 181	0. 66	80. 5%
氮氧化物	0. 06 克/千米	745	0. 06	7. 3%
尾气碳氢化合物	0. 1 克/千米	1, 241	0. 1	12. 2%

图 2-G 显示美国蒸发排放法规有效有序地改进装备技术含量以控制排放。在 1990 年代初，美国汽车使用的蒸发排放控制技术与中国汽车目前使用的蒸发排放技术是一样的。到 1995 年，只有 41% 的蒸发排放量被控制，也就是说在那时候，每一辆美国车的年均 VOC 排放量是 8000 克。也就在那段时间，美国正在设法解决臭氧和雾霾的问题，美国环保署推动了重要法规，大幅度地降低了这种主要的 VOC 污染源。从 1996 到 2003 年，ORVR 和强化蒸发排放管理法规 Tier I 相继推出，VOC 排放控制的效率提升到 93%。随着 Tier II 及 Tier III 的推出，VOC 排放控制率将继续提升为 96% 及（预测的）98%。目前中国汽车 VOC 排放控制率约为 46%，与美国在 1995 年前的车相似。造成这种低控制率的主因是目前执行较松的法规，目前的汽车使用美国 1995 年以前的控制技术。

预计，在未来的 10 年到 20 年内，中国汽车总量将会从目前的 1 亿辆增加到 4 亿辆，总蒸发排放量则将超过每年 400 万吨，执行这些强化蒸发排放控制就会是极其重要的，以确保：（1）雾霾、PM_{2.5} 和臭氧问题不会恶化；（2）有可能降低此类污染。复旦大学庄国顺教授指出接近 100% 的 VOC 排放会转变成 SOA。而 SOA 是雾霾组成的 47%，是 PM_{2.5} 组成的 20-30%。由于排放 VOC 的工业大部分已迁出城市地区，所以控制汽油车的蒸发排放在城市地区极其重要，如此才能改进空气品质。

小结

当把所有的蒸发排放类型准确计算后 - 包括热浸、行驶损耗、渗透、加油和昼间 - 中国每年每车平均产生约 8200 克的 VOC。这比每年从汽车排气管中排放的碳氢化合物的总量高出 6 倍，比氮氧化物排放量高出近 11 倍，相当于损失了 11.7 升汽油。通过 Emisia 设计的欧洲模型，称为 COPERT4，估计每年每车只有 80 克的蒸发排放，这比美国环保署的 MOVES2010 所估计的当今美国最清洁的汽车的排放量还要低 80%，所以 COPERT4 存在严重缺陷的估计。蒸发排放中最大的一块是行驶损耗排放，即使使用了第二阶段油气回收系统，昼间和加油排放依然占相当的比例。目前在中国，蒸发排放控制率约为 46%，如果增加强化蒸发排放控制要求和采用 ORVR，蒸发排放控制率可增加到 90%-95%。VOC 排放会转变成 SOA，而 SOA 是雾霾组成的 47%，是 PM_{2.5} 组成的 20-30%。控制汽油车蒸发排放 - 特别在车辆多且集中的城市地区 - 会得到改善空气品质的最大效果。



技术方案	无控制	美国 1995 年前 国 III, IV, V (2007+)	美 Tier1+ORVR (1996-2003)	美 Tier2+ORVR (2004-2016)	美 Tier3+ORVR (2017+)
热浸控制		✓	✓	✓	✓
行驶损失控制			✓	✓	✓
低渗透材料			✓	✓	✓
24 小时昼间控制		✓			
48 和 72 小时昼间控制			✓	✓	✓
Stage II 油气回收系统		✓	✓	✓	
ORVR			✓	✓	✓

图 2-G. 美国与欧洲在不同法规和相应的计算下的蒸发排放控制效率。排放因子是从美国环保署 MOVES2010 得到的。

讨论

3. ORVR 是最有效最实用的蒸发排放控制工具，特别在气温较高且轻型车燃料以汽油为主的地区，其效果更加明显

轻型汽油车的蒸发排放是中国 VOC 排放组成清单的主要成分之一，在有 Stage II 的地区，每辆车每年排放平均约 7 千 5 百克 VOC，在没有 Stage II 的地区，每部车每年平均排放 9 千克 VOC — 也就是说在 2013 年，1 亿零 8 百万辆汽油车的蒸发排放总量几乎达到 1.1 百万公吨。图 3-A 显示，中国的汽车总量将在 20 年后达到 4 亿辆¹¹，这会使蒸发排放总量增加近乎 4 倍。图 3-B (a) 预测了依据中国目前汽车蒸发排放的标准及预计未来汽车的增长量，未来 20 年汽车蒸发排放的总量。如果现行的汽车蒸发排放标准不变，到了 2035 年，中国年蒸发排放总量会达到近 4 百万吨，这等同于 57 亿升的汽油蒸发到大气去，将造成臭氧、次要有机气溶胶 (SOA) 及 PM2.5 的连续产生。如果 ORVR 能以独立法规形式被确定或在 2018 年国 VI 能被采用，汽车的年蒸发排放量到 2035 年能降到 1.1 百万吨。如要进一步降低蒸发排放，可执行美国的 TIER 2 或 TIER 3 标准，年蒸发排放的 VOC 量可降低到每年 0.6 或 0.3 百万吨。

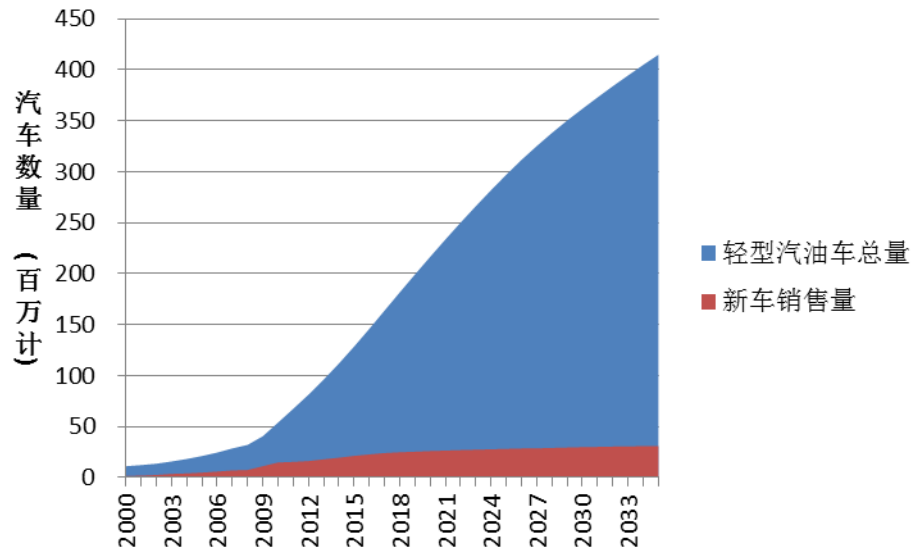


图 3-A IHS Global Inside 对中国汽油轻型车的总量及新车年销售预测 (2013 年估算)

通过这个分析，我们能很清晰地看到：（1）当前的蒸发排放量相当大，中国需要准备面对当这排放量继续加大时所带来的影响；（2）Stage II 只能局部小范围地减低蒸发排放；（3）改造在用车的蒸发排放控制技术不存在，中国政府应当考虑尽快立法要求新车安装先进的蒸发排放控制技术。

¹¹ IHS Insight CERA, IHS Automotive Scenarios Dataset—Outlook to 2035, Global Redesign Scenario, December 2013
Update: VERSION 2.0

表 3-1 提供了全世界各国现行的和被规划的蒸发排放控制标准及相应的测试方法。在这中间，中国仅采用了 24 小时昼间排放及热浸排放的“IV 型试验”及在部分地区的加油站加装了第二阶段油气回收系统（Stage II）。

美国加州目前有着全世界最严格的蒸发排放标准，在 2014 年 3 月，美国环保署完成了 Tier 3 法规的所有工作，要求全美国各州都要与加州同步执行 Tier 3 标准，也就是说，全美各地都在执行世界最严格的蒸发排放标准。韩国已经执行美 Tier 2 标准，并计划在 2018 年执行 Tier 3 标准。*欧洲，中国以及其它采用欧标的国家仍执行全世界最宽松的蒸发排放标准，这造成了在执行蒸发排放标准上，他们比美国的要求落后了 20 到 40 年。*

加州及美国环保署从 1995 年就开始执行强化性的蒸发排放标准，19 年来法规不停改进才有了当前的标准要求，与此同时，新的控制技术也陆续产生且日趋成熟。包括 Tier 3 法规在内，每次标准法规更新前，美国环保署都会很严谨地进行经济评估，以确认新增的控制要求是有经济效益的。

面对目前的空气污染问题，中国可以吸取美国这一套立法过程的经验。另外，*从立法的经验来分析，尽早执行严厉的蒸发排放控制法规能让中国在立法的过程更有效，汽车制造商及执法者都更容易遵从。中国采用的标准应能对其环境做最大的改进，能最有效地降低雾霾和 PM2.5，能最快地被大多数汽车制造商执行，并可进化成为世界最先进的标准。*

立法部门在评估现行的或未来的蒸发排放法规时，应考虑的主要技术问题包括：

1. 目前正在使用的碳罐有足够的容量能储存停驶时该车蒸发排放出来的所有油气吗？
 - 有些城市对车辆行驶有限号的要求，这会造成车辆停驶时间的加长。
 - 要符合目前 24 小时昼间排放的法规，车辆需要平均 0.8 升容量的碳罐，提供约为 40 克的油气储存量。目前的碳罐在车辆停驶超过一天后，其储存量就满了，油气就会外泄，通常每车每天产生的油气量会超过 30-40 克。
 - 符合 48 小时昼间排放法规的碳罐需要约 1.3 升的容量，符合 72 小时昼间排放的碳罐需要约 1.8 升的容量。
 - 符合 ORVR 法规的碳罐需要约 2.1 升容量，能提供大于 72 小时昼间排放和加油排放的储量。容量高的碳罐不但能控制长时间停驶产生的油气也能控制短程行驶的蒸发排放。
2. 在中国目前的各种驾驶情况下，其法规对碳罐的再生有足够的要求吗？
 - 碳罐的脱附率是依照认证试验时的驾驶循环工况时间（目前在中国和欧洲是 59 分钟）、碳罐容量及昼间排放测试标准来决定的。
 - 如果碳罐容量增加，和/或驾驶循环时间减少，汽车制造商将要重新调整引擎标定，增加脱附率。增加脱附率能使在用车碳罐在非认证的驾驶工况下更有效地脱附。
 - 依据中国及欧盟的测试标准，车辆碳罐容量平均为 0.8 升，完全脱附需要驾驶 59 分钟。图 3—C 显示，一种没预料到的情况，欧洲及中国的某些汽车被标定成只在高速公路工况高速驾驶时会脱附，在市区工况低速驾驶时完全不脱附，而在完成驾驶所有的工况后认证试验结束时，能达到排放标准。这些被标定成只能在高速工况脱附的车辆遇到交通繁忙拥挤的时候，它将不能储存其昼间、行驶损耗排放等造成的油气外泄。唯一能制止这种情况发生的方法就是制定采用大型碳罐和缩短工况驾驶时间的法规。也就是将碳罐加大到 ORVR 或 72 小时碳罐的容量及缩短认证测试的工况驾驶时间。汽车制造商会选择

标定其车辆在高速行驶时才脱附是为了要节省其尾气排放控制费用和简化校准强化驾驶性能。这节省的代价就是污染大气和车主的汽油损失。

- 与目前中国使用的碳罐比，ORVR 脱附率会高出 50%到 75%。如使用 ORVR 及 48 小时昼间排放标准，加上 30 分钟的工况驾驶 - 也就是与美国的 Tier 1, 2, 3 要求相同 - 与目前中国使用的碳罐比，符合这些条件的 ORVR 碳罐的脱附率将高过 125%到 150%。

3. 目前的法规能直接或间接影响造成驾驶损失排放的各种因素吗？

- 目前，中国以及欧洲的法规对行驶排放是没有任何要求的。这种行驶损耗排放量是大的，一般采用的控制方法是用热屏蔽来减低油箱内的温度上升，选择先进的输油泵技术，能在各种实际驾驶情况下保持脱附率，以及加大碳罐容量以提供油气储存的缓冲区间。
- 美国 1996 年前的汽车，其行驶损耗排放是各种的蒸发排放中最大的一块，1996 年美国开始执行强化蒸发排放标准，将包括行驶损耗排放在内的各种蒸发排放加以控制。目前在美国，行驶损耗排放量几乎是零。
- 目前在中国，约 50%的汽车使用回路式的供油系统，高温未使用的汽油循环回到油箱后能造成油箱温度上升，达到汽油的沸点。
- 由于受到路面，引擎及排气管等高温的影响，中国汽车油箱的温度很容易高过 50-60^o C。这种温度是接近或高过汽油的沸点。如果脱附速率低或碳罐容量不足，行驶损耗排放量会超过碳罐的容量，造成大量的油气外泄。行驶损耗排放也会对碳罐的再生造成负面影响，因而增加昼间排放量。
- ORVR 能增加碳罐容量，加大脱附率，降低约 70%的行驶损耗排放。增加行驶排放标准是唯一能将行驶排放降到几乎零（即小于 0.03 克/公里）的方法。

4. 昼间排放的标准有没有低到在新车上必须使用低渗漏的材料程度？

- 目前 2 克/天的昼间排放标准即使使用表现差、价格低及高渗漏的材料都能达标，这就是渗漏排放发生的主因。将渗漏排放标准降低到 0.3-1.2 克/天是唯一能要求制造商使用低渗漏材料的方法。
- 在欧洲及中国，大约 30-50%的汽车仍然使用氟化的油箱，这种材料，长期而言，是不能有效地控制渗漏，特别是使用掺加了酒精的汽油。氟化的油箱在美国已经没有人使用了，因为它不能通过初始认证测试的昼间排放标准，也不能通过在用车的耐久性要求。

5. 法规会鼓励使用设计良好有效的碳罐，使其在车辆的整个生命周期内不用维护就能稳定地控制蒸发排放？

- 碳罐的设计会影响其耐久性，吸附材料的选择会影响实际运行时的工作性能。
- 好的碳罐设计能让油气均匀流过碳罐的横切面，并会利用多个分隔区分配油气的均匀输送，防止产生短路。
- 好的碳罐设计能将脱附能力最大化进而清空碳罐，更能防止昼间排放的无序漫射。
- 一个大于 72 小时容量的碳罐，能完全控制该车第一天和第二天的昼间排放，使其排放量几乎是零。这意味着大部分车辆的大部分停驶时所产生的昼间排放几乎被完全控制。
- 仅通过新车认证测试是不够的，特别是在如果在用车没有正确的维护而不能达到在用车的标准的情况下。在用车的使用标准及在用车的检测能保证批量生产车与初始认证车的一致性，更也保证了该车辆在其使用周期内，蒸发排放都会被控制达标。
- ORVR 要求大的油气储存容量，能将昼间排放控制到近乎零。

6. 中国是否在全国都使用最高效及最经济的方法来控制其加油排放？

- 在用的 Stage II 在实际操作时达到约 70%的回收率，安装该设备能控制现有在用车加油时的排放。即使是维护最好的 Stage II，其实际使用时的回收率最高也就是该设备初始认证结果的 90%。实际上，由于加入的汽油与油箱内原有的汽油有温差，Stage II 设备部件的磨损或损坏，设备部件的功能超出了标定的范围等，Stage II 实际回收率远低于此数字。
- ORVR 有 98%的回收率，提供比 72 小时碳罐还大的储存容量，缓冲减低了行驶损耗排放，这能增加脱附功能，改进在用车的碳罐再生能力。
- 当 ORVR 与传统的 Stage II 一并使用时，ORVR 会维持其 98%的回收率。Stage II 因而吸进绝大部分的空气，造成些微的油站地下储罐内的油气经排空管排出。地下储罐排出的油气量与在该加油站加油车辆内装有 ORVR 的车辆成正比，最高为单车加油排放量的 8%，这最高 8%排放量是在该站加油的所有 100%的车辆都装了 ORVR 后才会达到。也就是说，当一辆 ORVR 汽车来加油时，其净加油排放控制率是从 98%（当来加油的车辆中，极少数装了 ORVR）降到 90%（当所有来加油的车辆都装了 ORVR）的。ORVR 与 Stage II 一并使用的讨论会在第 5 节中展开讨论。

简言之，昼间排放测试用的时间、昼间排放的标准、加油排放的标准、测试时的驾驶工况、行驶损耗排放的标准及在用车的标准等等都影响了在用车的蒸发排放量，这排放量正是政府监管部门最关心注意的事项。为了演示法规对排放的影响，以下分析研究了四种不同法规对单车蒸发排放的影响，及长期全国汽车蒸发排放的总量清单。蒸发排放，正如在第一节中介绍过的，主要来自五个源头：（1）热浸排放，（2）行驶损耗排放，（3）渗漏排放，（4）加油排放，及（5）昼间排放。前一节的图 2-A，列出这五种蒸发排放源的年排放因子，它们也是美国以实测数据所研发的 MOVES2010 模型中计算用的排放因子。在此数据库中，美国 1995 年前的车辆有着最高的排放因子，这可视为等同于目前中国最低的控制，收列在表 3-2 内。最佳也就是最低的排放因子是车辆符合加州 LEV II - 美国 Tier 2 以及加州 LEV III - 美国 Tier 3 标准的车辆，这些因子也收列在表 3-2 内。中国的蒸发排放标准在国 3 后就没有更改过，Stage II 已加装在部分地区，因此目前中国的蒸发排放因子应该是在最高与最低之间。表 3-2 及图 3-D 将四种不同法规对五种不同的蒸发排放因子列在一起做比较。这四种法规是：

1. 24 小时 + 100% Stage II：这代表了到 2035 年，目前执行的 2 克/天的昼间排放标准维持不变，到 2018 年全国约 9 万个加油站都加装了 Stage II。这也意味着，24 小时碳罐控制部分昼间排放，Stage II 能控制部分的加油排放，但热浸排放、行驶排放、渗漏排放及部分加油排放和大部分昼间排放都没有被控制。
2. 24 小时 + ORVR：这代表了目前执行的 2 克/天的 IV 型昼间排放标准不变，符合 VII 型加油排放草案标准的 ORVR 碳罐要安装在 2018 年及以后的新车上。在此法规要求下，碳罐容量从平均 0.8 升增加到 2.1 升，昼间排放的储量会超过 72 小时碳罐的储量，减低了昼间和热浸排放。另外，脱附速率也会增加 75%，从目前的约 2 升/分钟增加到 3.5 升/分钟。ORVR 的高脱附率及大容量能有效地降低行驶损耗排放，从目前的 10.4 克/小时降到 3.0 克/小时。但由于昼间排放的标准没有调整，渗漏排放量尚不会降低。
3. 48 小时 + ORVR + 行驶损耗排放：这代表了，车辆的设计要求基本上达到 2001 年加州的 LEV II 及 2004 年美国的 Tier 2 标准。这些标准包括了 48 小时昼间排放标准降到 0.65 克/天，脱附率增加到 10.5 升/分钟，要求使用低渗漏材料，强化了碳罐设计。这些标准也要求行驶损耗排放标准降低到 0.03 克/公里，造成行驶损耗排放减少到 0.234 克/小时。

4. 加州 LEV III + ORVR：这代表了加州零蒸发排放的要求，也就是对蒸发排放最严格的要求。这标准等同于美国的 Tier 3 及 ORVR 的要求。

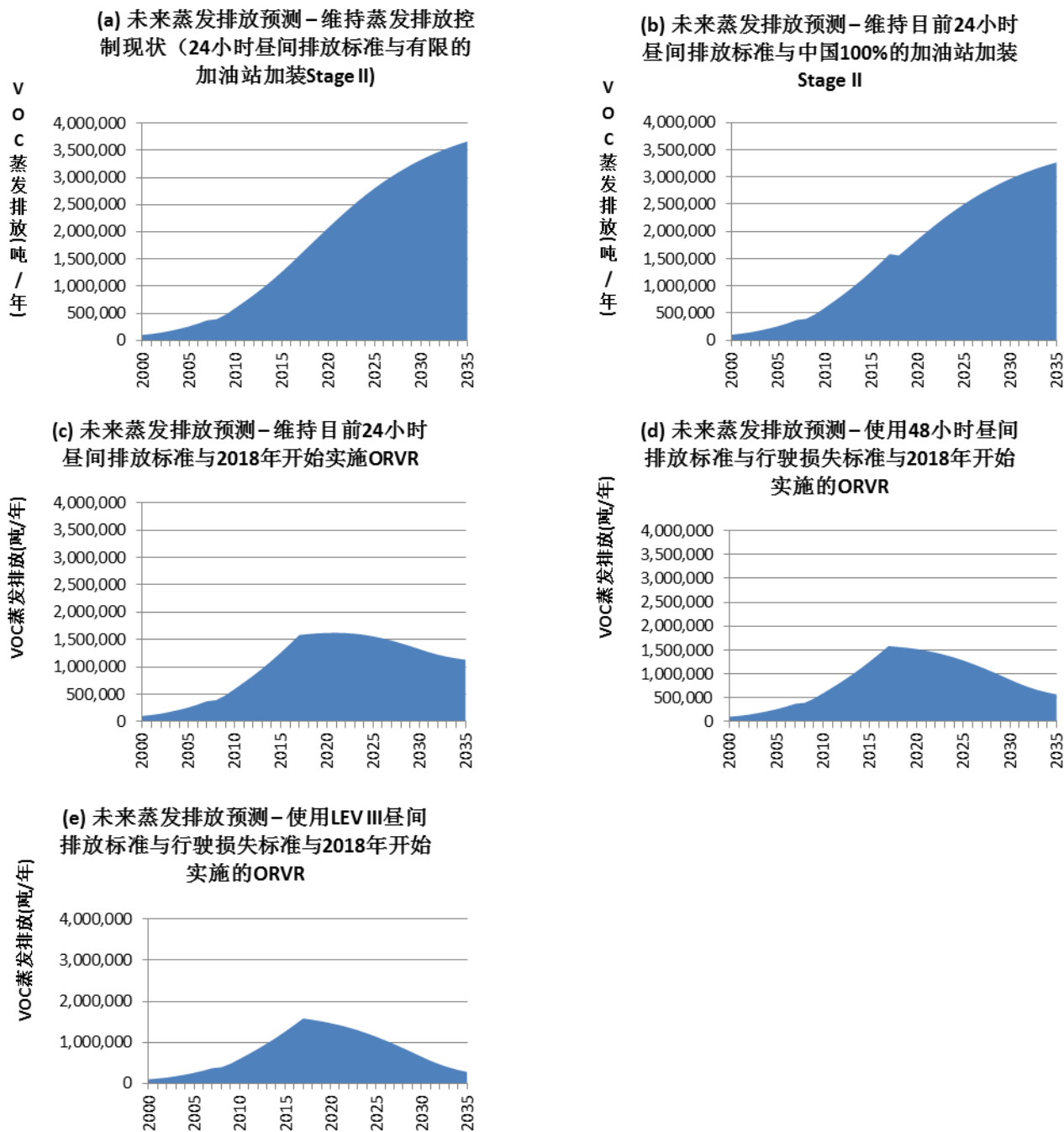


表3-B. 不同法规控制下对未来VOC蒸发排放预测清单： (a)维持现状，目前IV型试验及有限的Stage II, (b)维持现状，目前IV型试验及2018年全国100%加油站加装Stage II, (c)IV型试验及2018年增加ORVR, (d)增加ORVR和48小时和行驶损耗，等同于美国Tier 2标准, (e)ORVR和昼间排放和行驶损耗，等同于美国Tier 3标准

表 3-1 世界各国蒸发排放标准

控制	标准	行驶周期	行驶(脱附)时间	行驶距离	平均行驶速度	车辆密闭室 (SHED) 标准	活性炭罐平均容量	典型的 SHED 测试中分配到活性炭罐排放物	
昼间 24 小时	欧标 3, 4, 5 (2000 年)	ECE+2xEUDC+ECE+EUDC+ECE	59 min	33.021km	33.63 km/h	2.0g/d	0.8 L	0.5-1.0 g/d	
	中国国 III, IV, V (2001 年)	ECE+2xEUDC+ECE+EUDC+ECE	59min	33.021km	33.63 km/h	2.0g/d	0.8 L	0.5-1.0g/d	
	日本 (2000 年)	2xJC08	40min	16.4km	24.4 km/h	2.0g/d	0.8 L	0.5-1.0g/d	
昼间 48 小时	美标 Tier I (1996 年)	EPA III	31min	17.806km	34.19 km/h	2.5g/d	1.3 L	< 1.0g/d	
	美标 Tier 2 (2004 年)	EPA III	31min	17.806km	34.19 km/h	1.2g/d	1.3 L	< 0.23 - 0.5g/d	
	加州 LEV I (1995 年)	EPA III	31min	17.806km	34.19 km/h	2.5g/d	1.3 L	< 1.0g/d	
	加州 LEV II (2001 年)	EPA III	31min	17.806km	34.19 km/h	0.65g/d	1.3 L	< 0.230g/d	
	PZEV (2001 年) 加州 LEV III (2013 年)	EPA III	31min	17.806km	34.19 km/h	0.35g/d 0.30g/d	1.3 L	< 0.010g/d	
	韩标 Tier 2 (2013 年)	EPA III	31min	17.806km	34.19 km/h	1.2 g/d	1.3 L	< 0.5 g/d	
	美标 Tier 3	EPA III	31min	17.806km	34.19 km/h	0.30 g/d	1.3 L	< 0.010 g/d	
	欧标 6 (可能)	ECE+EUDC+2xECE	45.3min	19.111km	25.28 km/h	2.0 g/d	1.3 L	< 1.0 g/d	
	昼间 72 小时	美标 Tier I (1996 年)	EPA III+EPA II +2xNYCC+EPA II	97min	45.645km	27.11 km/h	2.0 g/d	1.8 L	< 1.0 g/d
		美标 Tier 2 (2004 年)	EPA III+EPA II +2xNYCC+EPA II	97min	45.645km	27.11 km/h	0.95 g/d	1.8 L	< 0.08 - 0.3 g/d
加州 LEV I (1995 年)		EPA III+EPA II +2xNYCC+EPA II	97min	45.645km	27.11 km/h	2.0 g/d	1.8 L	< 1.0 g/d	
加州 LEV II (2001 年)		EPA III+EPA II +2xNYCC+EPA II	97min	45.645km	27.11 km/h	0.50 g/d	1.8 L	< 0.08 g/d	
PZEV (2001 年) 加州 LEV III (2013 年)		EPA III+EPA II +2xNYCC+EPA II	97min	45.645km	27.11 km/h	0.35 g/d 0.30 g/d	1.8 L	< 0.010 g/d	
美标 Tier 3		EPA III+EPA II +2xNYCC+EPA II	97min	45.645km	27.11 km/h	0.30 g/d	1.8 L	< 0.010 g/d	
行驶损失		美标 Tier 1	EPA III+EPA II +2xNYCC+EPA II	97min	45.645km	27.11 km/h	0.30 g/d	1.8 L	<< 0.03 g/d
加油 ORVR	美标 ORVR (1998 年)	EPA III+EPA II +2xNYCC+EPA II	97min	45.645km	27.11 km/h	0.053 g/L	2.1 L	< 0.025 g/L	
	中国国标 VII ORVR 草案	ECE+2xEUDC+ECE+EUDC+ 2xECE+EUDC+ECE	93min	48.08km	31.55km	0.05 g/L	2.1 L	< 0.025 g/L	
加油 Stage II	加州 (1972 年)								
	美国环保署 (1992 年)								
	中国 (2008 年)								
	欧洲 (2011 年)								

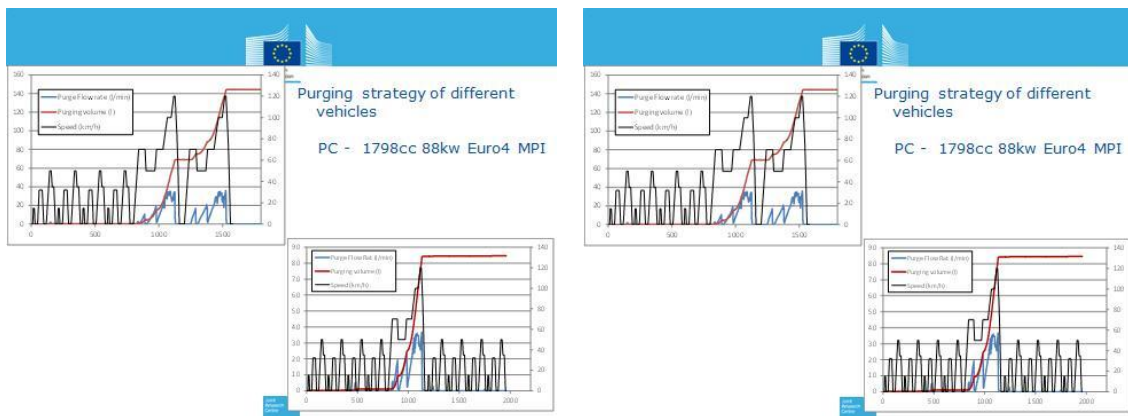


图 3-C 脱附追踪 - 由欧盟联合研究中心 (Joint Research Center, Ispra, Italy) 对两款均通过欧五标准的车辆进行的脱附追踪。左边的车辆在 NEDC 的城市及高速公路两种工况下都显示相当一致的脱附能力。右边的车辆则被校准为仅在高速公路的工况下脱附，城市工况下完全不脱附。

表 3-2 对蒸发排放最高及最低控制不同方案的分析与比较

	碳罐容量以昼间排放负荷量来表示 (及平均容量)	平均脱附速率	行驶排放速率	渗漏排放速率	昼间排放速率	加油排放控制率	热浸排放速率
最低控制	24 小时 (0.8 升)	2 升/分钟	11.6 克/小时	0.037 克/小时	3.3 克/天	0%	0.627 克/小时
目前的国五 + Stage II	24 小时 (0.8 升)	2 升/分钟	10.4 克/小时	0.037 克/小时	3.3 克/天	0 - 70%	0.376 克/小时
最佳控制	大于 72 小时 (2.1 升)	10.5 升/分钟	0.234 克/小时	0.037 克/小时	0.09 克/天	98%	0.012 克/小时
<u>几种被考虑的法规分析</u>							
(1) 24 小时 + 100%的 Stage II	24 小时 (0.8 升)	2 升/分钟	10.4 克/小时	0.037 克/小时	3.3 克/天	70%	0.376 克/小时
(2) 24 小时 + ORVR	大于 72 小时 (2.1 升)	3.5 升/分钟	3.0 克/小时	0.037 克/小时	0.9 克/天	98%	0.124 克/小时
(3) 48-小时 (0.65 克/天的排放标准) + ORVR + 0.03 克/公里的行驶排放标准	大于 72 小时 (2.1 升)	10.5 升/分钟	0.234 克/小时	0.007 克/小时	0.9 克/天	98%	0.124 克/小时
(4) 加州 LEV III 或相似标准 + ORVR	大于 72 小时 (2.1 升)	10.5 升/分钟	0.234 克/小时	<0.007 克/小时	0.09 克/天	98%	0.012 克/小时

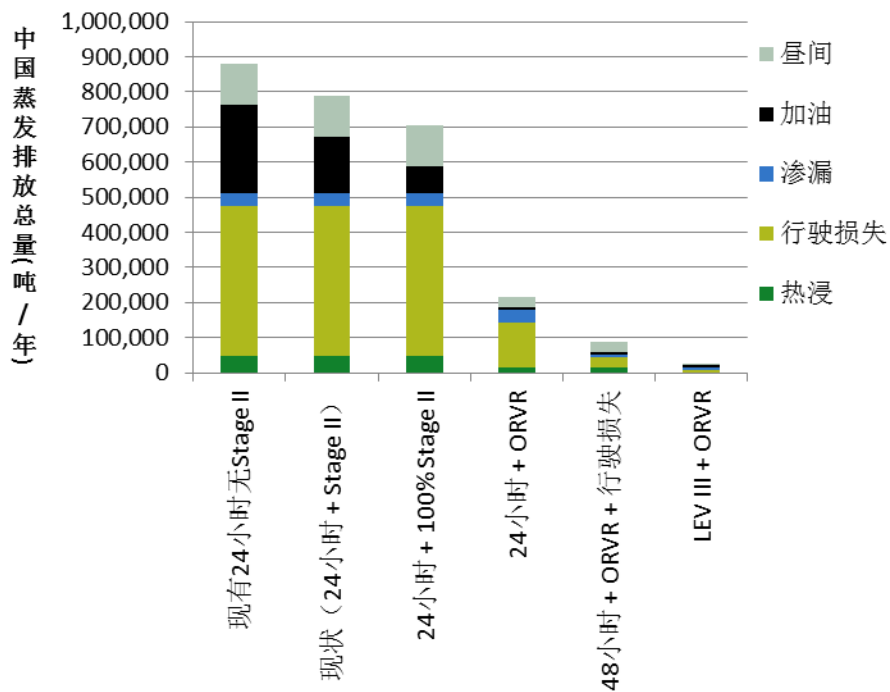


图 3-D 中国车辆依据不同法规要求而产生的年蒸发排放因子。中国目前车辆蒸发情况是由“现状（24 小时+Stage II）”为代表。全国全面采用 Stage II 仅能适度地控制加油排放，但对蒸发总排放而言，降低量有限。ORVR 及其它对车辆蒸发排放的控制则可以非常有效地降低蒸发排放。

如果全中国的加油站都加装 Stage II，对加油排放的控制必然会有正面的效果。如图 3-D 显示的，Stage II 可以减少约 1900 克/车·年的汽车排放。但即使有了 Stage II，中国的车辆仍然因热浸排放、行驶排放、渗漏排放及未被控制的昼间排放和加油排放，排出约 7300 克/车·年的 VOC。随着汽车总量的快速增长及假设所有加油站到 2018 年都加装了 Stage II，图 3-B (b) 显示，到 2035 年，汽车的年蒸发排放的 VOC 总量会随着汽车量的增加而达到 3.3 百万吨。这排放量会是目前年排放量的 3.5 倍，会远高过所有其它类别的 VOC 排放。基本上，这意味着由 VOC 形成的 SOA 将会继续增加，造成城市地区的 PM2.5 和雾霾将非常难以降低或根本没法降低。利用法规来降低热浸排放、行驶排放、渗漏排放及未被控制的加油排放和昼间排放是极其重要的，因它们能在短期内和长期内控制蒸发排放，减少雾霾和 PM2.5。除了能高效控制加油排放，ORVR 更能有效得控制昼间排放、行驶损耗排放和热浸排放；因此 Stage II 不能成为 ORVR 的替代品。

表 3-3 列举了 3 种先进的蒸发排放法规规定下的排放因子及排放量（也显示在图 3-B），并将它们与中国现状作比较。可以看到，如果维持现有的排放标准，经过一段较短时间到 2020 年，每年的年 VOC 蒸发排放量将会增加到 2 百万吨。即使是执行选项 2、3、4，VOC 在大部分时间内也只能维持 2017 年的水平，比 2013 年要高出约 40%。但就长期来看（即 2025 年后），选项 2、3、4 可以将蒸发排放量减低到 2017 年水平之下；如采用选项 4（即 LEV III - Tier 3），蒸发排放可降低到 2014 年的水平。在中国，如要想控制蒸发排放并同时增长车辆总数，唯一的方法就是强化如选项 2、3、4 等车辆法规，对其排放加以控制。否则的话，VOC 排放形成的臭氧及 PM2.5 的污染将会不断恶化。这就是为什么

中国应立刻采取行动进一步管理蒸发排放是很关键的；否则，因为没有方法改造在用车降低它们的蒸发排放，此污染问题将会继续恶化，花数十年的时间都将无法补救。

近期内，增加 ORVR 的规定，如可能，加上 0.65 到 1.2 克/天的 48 小时昼间排放标准及缩短工况驾驶测试时间是很有效的第一步。ORVR 技术已使用 16 年了，能很快地安装在中国销售的汽车上；48 小时昼间排放法规也是一样，能很快地被执行。如果要立马执行严格的 LEV III - Tier 3 则有很大的挑战性，因此这应当做一个远程目标。

表 3-3 依据不同法规要求计算得出的中国蒸发排放量清单

法规要求	排放因子 (克/车·年)	2014 年中国车辆蒸发排放量 (吨/年)	2017 年中国车辆蒸发排放量 (吨/年)	2020 年中国车辆蒸发排放量 (吨/年)	2025 年中国车辆蒸发排放量 (吨/年)	2035 年中国车辆蒸发排放量 (吨/年)
(1) 24 小时 + 100% 的 Stage II	7,291	1,142,000	1,607,000	2,021,000	2,621,000	3,286,000
(2) 24 小时 + ORVR	2,241	1,142,000	1,607,000	1,636,000	1,562,000	1,132,000
(3) 48-小时 (0.65 克/天的排放标准) + ORVR + 0.03 克/公里的行驶排放标准	922	1,142,000	1,607,000	1,535,000	1,285,000	570,000
(4) 加州 LEV III 或相似标准 + ORVR	249	1,142,000	1,607,000	1,484,000	1,144,000	283,000

小结

ORVR 是一个控制蒸发排放最有效最实际的工具，特别是对位处较暖和地区和车辆大部分是汽油动力轻型车的国家。ORVR 的大油气储存容量和高效的脱附能力能最大化地降低蒸发排放。ORVR 加上低的 48 小时昼间排放标准和短时间的驾驶工况是降低蒸发排放的最理想的方法。先进的蒸发排放控制必须尽快加装在中国的汽车上以避免 VOC 排放上升，也避免由 VOC 形成的 PM2.5 和雾霾的不断上升。随着中国车辆不停的攀升，安装 ORVR 能在短时间内减缓这问题的恶化，在长期范围内会降低蒸发排放总量。研读在本报告中讨论的各种强化蒸发排放控制的法规及中国从 2014 年到 2035 年的蒸发排放的预估后，大家可以了解为什么应尽早执行 ORVR 能帮助恢复中国的蓝天白云。汽车蒸发排放在中国总 VOC 排放清单里占了重要地位，特别是在城市地区，汽车蒸发排放占了总 VOC 清单的 30 到 40%。由 VOC 演变的 SOA 占了雾霾的 47%，占了 PM2.5 的 20%到 30%，ORVR 和其他先进的蒸发排放控制技术可单独地将雾霾浓度降低 15%到 20%，将 PM2.5 降低 7%到 12%。

讨论

4. 成本效益分析：利用美国 ORVR 经验分析中国情况，算出先进的蒸发排放控制技术，特别是 ORVR，能为车主带来的最高经济利益。

通过分析表 3-3 内的 4 种法规（控制）选项，我们发现这些先进的蒸发排放控制不但能降低 VOC 的排放，还能替车主省钱。虽然安装这些蒸发排放控制的费用，汽车制造商会转嫁给车主，但这些排放控制的货币价值从购车开始就高于其成本。相反的，安装 Stage II 的货币价值低于其成本，不能为加油站主人带来任何经济回报。

当加油排放油气被 Stage II 吸收后，吸收油气所带来的经济效益是由加油站收取。同样的，当蒸发排放油气（包括加油、热浸、行驶、渗漏及昼间排放）由车载碳罐吸附，所带来的经济效益则由车主收取。这回收的汽油所带来经济效益能抵消加装油气回收控制的费用。这分析对控制设备的前期资本、设备的维护费用及回收 10 年汽油的效益加以比较分析。美国及欧洲所用 10 年净现值（Net Present Value 简称 NPV）分析方法是标准的经济分析方法，一般而言，控制技术的资本成为前期负担，而汽油回收所带来的效益是分为 10 年获取的。这分析使用了一个保守的 6% 的折现系数。

表 4-1 提供了 Stage II 的经济分析，表 4-2 提供了各种先进的油气回收控制的经济分析。Stage II 的费用数据是由 Gilson 环保公司的 Don Gilson 准备的¹²。各种先进油气回收控制的费用数据是在中国多次讨论后得到的，这是较保守的算法，因此它们比美国环保署应用的费用数据要高。例如，美国环保署估算安装 ORVR 要增加 6 美元/车（36 人民币/车），在此分析中，用了保守的 183 元人民币/车来计算。

表 4-1 中国 Stage II 的安装及维护的费用

	安装费（人民币/加油站）	年维护费（人民币/加油站·年）	加装该设备加油站的百分比	净安装费（人民币/加油站）	净年维护费（人民币/加油站）
基本的 Stage II 油气回收系统	325,000	40,121	100%	325,000	40,121
二次处理的 Stage III 后处理设备	225,000	25,920	33%	74,250	8,554
(1) Stage II 的总费用				399,250	48,675

¹² Donald Gilson, "Vapor Recovery at Gasoline Filling Stations in China," June 21, 2011.

表 4-2 先进蒸发排放控制中国费用

	新技术对汽车制造商所需增加的成本 (人民币/车)	年维护费 (人民币/车·年)
(2) 24 小时 + ORVR	183	0
(3) 48 小时 (0.65 克的测试标准) + ORVR + 0.03 克/公里行驶损耗测试标准	300	0
(4) 加州 LEV III 或类似 + ORVR	420	0

计算净现值时假设受通货膨胀影响，会损失其它投资机会，而且钱的价值会随着时间而缩小。一般来说，计算时是采用 6% 的折扣率的，一般通货膨胀率的 2 倍。这分析涵盖了 10 年的时间。也假设 Stage II 要利用 5 年的时间（安装速率为 10%、15%、25%、25%、25%）达到 100% 安装在所有的加油站。Stage II 的吸气泵及 Stage III 后处理装置，只有 7 年的使用周期，因此这些设备的更换费用，在表 4-1 的计算中，都按年计算加在 Stage II 的年维护费用内。车载蒸发排放控制的设备不需要维护，所以年维护费是零，所有的投资费用均为汽车制造商前期投入。

图 4-A 的数据表显示了详细的成本分析计算，计算结果也以柱状图列于图 4-B。净现值的计算结果是以设备的最终拥有者（即加油站主人拥有 Stage II，汽车车主拥有先进的车载控制技术）在一开始拥有该设备时（第 0 年）的净储蓄来表示。也就是说，如果净现值是零，就表示前期的投入费用及每年的维护费用与回收的汽油总价完全一样。一个正的净现值表示前期的投入费用及每年的维护费用低于回收的总汽油价值。反之，一个负的净现值表示前期的投入费用及每年的维护费用高于回收的汽油价值。图 4-B 显示，Stage II 是负的净现值。使用 Stage II 来回收汽油，每回收 1 吨的汽油需花费 9,401 元人民币，加油站拥有者需要付出这笔费用。这并不是坏事，如果这些污染物没有被回收而排到大气造成环境污染带来的人民健康、农业损失及其它问题的费用会更高。但是，如果有经济效益高低成本的控制技术，这就该考虑了。这分析假设了加油站的总数维持在 9 万个，而汽车总量会依据图 3-A 而增长。这个假设是相对保守的，因每个加油站回收的汽油量是与汽车总量成正比。实际上，加油站在中国的量会随着汽车总量的增长，但是以略低于汽车增加率的增长率增长，这也意味着 Stage II 的实际净现值比这里计算的数值更为不利。

所有的先进车载技术的净现值都是正的，而 ORVR 为最高。基本上，这可以用下列 2 种方式来解释：

- 利用先进的车载油气回收技术，每回收 1 吨的油气，相当于 2,881 元人民币（选项 4：即 LEV III + ORVR）到 4,840 元人民币（选项 2：即 24 小时 + ORVR）。这会在一开始（第 0 年）拥有设备时，回馈给该设备的拥有者。
- 就车辆而言，在买车时，汽车制造商将花在先进控制技术的增加费用转嫁到车主的买价上。也就是说，车主在买车时要先付 183 到 420 元人民币的成本费用去购买控制技术，而这控制技术能为车主带来 322 到 255 元人民币扣除成本费用的纯利润。这就像车主在买车时多付了 183 元人民币，购买了一个 10 年期总价值为 515 元（即 183 元+332 元）人民币的油票；也就是有 6% 的收益率。这是非常好的经济投资，更能够从污染清单上将数百万吨的 VOC 去掉。

从纯粹经济投资回报来看，先进的车载蒸发排放控制是非常好的投资。这就是为什么美国环保署及美国加州能不断提出更严格的控制标准—仅是回收的汽油价值已远高于新增的先进控制设备的费用。更附带的改善居住环境及人民健康！反过来，Stage II 是不能带来相似的价值，它总是在赔钱，也仅能带来有限的环保利益。

所有的控制选项中，ORVR 是最有效益的。48 小时的昼间排放与 ORVR 的经济效益相似，可以与 ORVR 同步，或略晚些执行。在中国执行 48 小时昼间排放以及低排放标准的最大挑战是油箱供应商要提供渗漏性低的油箱。

小结

ORVR 是很吸引人的投资，它回收汽油的价值远远大于控制技术的费用。为了控制污染，前期的投入是必需的，汽车制造商会抱怨他们要增加成本，但对车主而言，车辆装了 ORVR 对他们绝对是有好处的。其它的先进蒸发排放控制技术，它们的投资回报效果都还可以，仅比 ORVR 略差一些。相对而言，Stage II 只能降低部分的 VOC 排放，而其前期投入和后期维护的费用都相当高。所有蒸发排放控制所带来的经济效益不管是汽车制造商或石油企业获得的最终都应该会转移到车主，所以经济价值高的选项该是大家的选择。

	Year -->	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NPV
Installation Cost (RMB/st)	0										
Annual Maint (RMB/st.yr)		15%	25%	25%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	
% of Stations		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Net Installation (RMB/st)		325,000	325,000	325,000	325,000	325,000	325,000	325,000	325,000	325,000	
Net Maintenance (RMB/st.yr)		40,121	40,121	40,121	40,121	40,121	40,121	40,121	40,121	40,121	
Weighted Cost Stage II		225,000	399,250	399,250	399,250	399,250	399,250	399,250	399,250	399,250	0.06
Stage II											
Stage II Implementation %		10%	15%	25%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	
Total No. of GDFs		90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000
Vehicle Population		108,40	126,74	146,25	166,54	187,40	208,27	228,87	249,22	269,38	289,31
GDF Stage II Conversion Costs, RMB		3,593,250,000	5,389,875,000	8,983,125,000	8,983,125,000	8,983,125,000	8,983,125,000	8,983,125,000	8,983,125,000	8,983,125,000	0
Stage II Maintenance Costs, RMB		0	438,075,257	1,095,188,143	2,190,376,286	3,285,564,429	4,380,752,571	4,380,752,571	4,380,752,571	4,380,752,571	4,380,752,571
Total Annual Investment into GDFs, RMB		-3,593,250,000	-5,827,950,257	-10,078,313,143	-11,173,501,286	-12,268,689,429	-13,358,831,571	-14,448,984,143	-15,539,136,714	-16,629,288,857	-17,719,441,000
Metric Tons Gasoline Recovered, mt		19,706	57,600	132,929	227,062	340,666	416,052	489,705	563,358	637,011	710,664
Annual Credit for Recovered Gasoline, RMB		196,878,686	575,470,721	1,328,058,812	2,268,517,070	3,403,502,765	4,526,665,228	5,649,827,691	6,773,000,154	7,896,172,617	9,019,345,080
Net Cost to GDFs (Cost+Credit), RMB		-3,396,371,314	-5,252,479,536	-8,750,254,331	-8,904,984,216	-8,865,186,664	-8,750,254,331	-8,635,319,143	-8,515,396,560	-8,395,474,143	-8,275,551,714
Net Cost on Per-Vehicle Basis, RMB/veh		-31.3	-41.4	-59.8	-47.3	-47.3	-47.3	-47.3	-47.3	-47.3	-47.3
Net Control Cost, RMB/mt VOC		-172,351	-91,188	-65,826	-39,218	-26,023	-15,580	-9,211	-4,845	-2,521	-1,311
Current 24-hr +ORVR											
Total Vehicle Investment, RMB		-183	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metric Tons Gasoline Recovered, mt		0.006868398	0.006868398	0.006868398	0.006868398	0.006868398	0.006868398	0.006868398	0.006868398	0.006868398	0.006868398
Annual Credit for Recovered Gasoline		68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6
Net Cost to Vehicle Owner (Cost+Credit), RMB/veh		-114.4	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6
Net Control Cost, RMB/mt VOC		-16,653.0	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7
Net Control Cost, RMB/mt VOC		-300	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Vehicle Investment, RMB		0.00818772	0.00818772	0.00818772	0.00818772	0.00818772	0.00818772	0.00818772	0.00818772	0.00818772	0.00818772
Metric Tons Gasoline Recovered, mt		81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8
Annual Credit for Recovered Gasoline		-218.2	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8
Net Cost to Vehicle Owner (Cost+Credit), RMB/veh		-26,649.5	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7
Net Control Cost, RMB/mt VOC		-420	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Vehicle Investment, RMB		0.008860293	0.008860293	0.008860293	0.008860293	0.008860293	0.008860293	0.008860293	0.008860293	0.008860293	0.008860293
Metric Tons Gasoline Recovered, mt		88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5
Annual Credit for Recovered Gasoline		-331.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5
Net Cost to Vehicle Owner (Cost+Credit), RMB/veh		-37,411.8	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7	9,990.7
Net Control Cost, RMB/mt VOC		-255.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3
NPV Savings from Controlling VOCs (RMB/vehicle)		-193.9	-9,401	-9,401	-9,401	-9,401	-9,401	-9,401	-9,401	-9,401	-9,401
Current 24-hr + 100% Stage II		332.4	4,837.7	4,837.7	4,837.7	4,837.7	4,837.7	4,837.7	4,837.7	4,837.7	4,837.7
48-hr + ORVR + Running Loss		319.0	3,896.6	3,896.6	3,896.6	3,896.6	3,896.6	3,896.6	3,896.6	3,896.6	3,896.6
LEV III + ORVR		255.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3	2,881.3

图 4-A Stage II 及先进蒸发排放技术的净现值成本分析

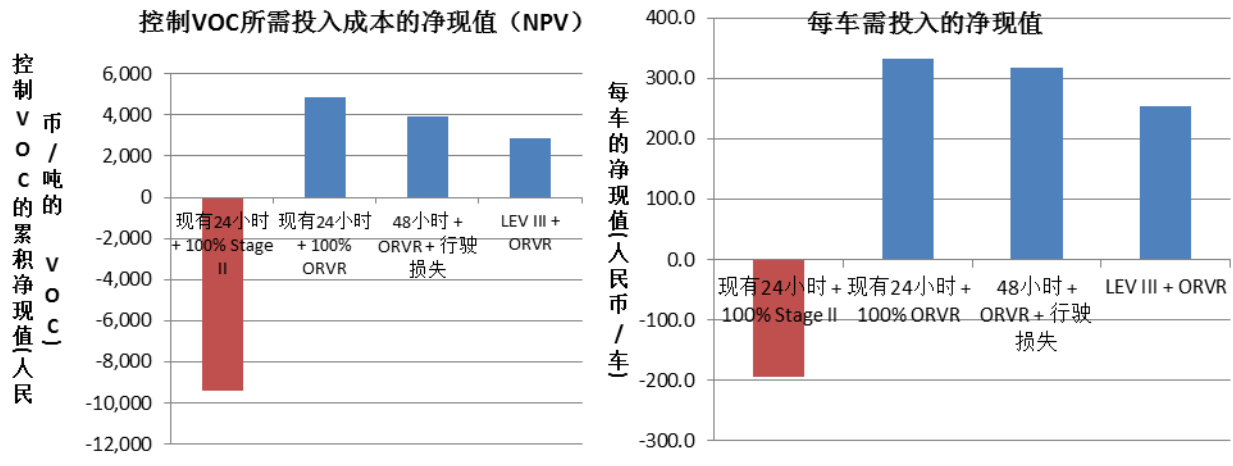


图4-B Stage II 及其它先进蒸发排放控制技术的净现值成本-获益比

讨论

5. ORVR 与 Stage II 一起运作能最大化得控制加油排放，同时不会引起立法过程的困惑。

ORVR 和 Stage II 油气回收系统能够一起运行，但是总体的加油排放效率可能因 Stage II 存在有少量的影响，而这些影响可以通过预防措施降低新鲜空气回抽至地下储罐，或者用北京市某些加油站已采用的 Stage III 后处理系统处理地下储罐的排气管道排放得以解决。但是 如果仅使用传统式（真空辅助式）Stage II 系统对 ORVR 的车辆进行加油时，ORVR 系统在汽车上仍然维持 98%控制效率，没有油气能从加油口排出给 Stage II 去吸收，造成 Stage II 系统抽入空气，而不是空气和油气的混合气至地下储罐。这时候地下储油罐上部的原本饱和的油气浓度会被稀释到饱和水平以下，从而造成地下储油罐下部的燃油液体开始蒸发。随着油气量不断上升，地下储油罐不断受压并最终导致通过通风管道向大气中释放油气。这部分油气排放就是如上所说的会影响加油排放控制的总体效果，影响程度与 ORVR 车辆保有量成比例，见表 5-1 第四列。

可以通过两种方式将 Stage II 系统改造成与 ORVR 兼容，维持 ORVR 98%的总体控制效率。但即使使用传统式 Stage II 与 ORVR，最糟的加油排放控制率也还高达 90%，这情况是在所有到该加油站加油的车子都装了 ORVR 条件下发生的。 以下将讨论以何种方式能将 Stage II 系统改造成与 ORVR 兼容。

第一种方式是使用与 ORVR 兼容的加油枪，当 ORVR 车辆在加油时，这些加油枪的机械感应器（非电子）能感应到吸力而切断通往地下储油罐的空气流路。许多生产商在加州市场销售这些加油枪，包括：

- **Franklin**– 型号 800-02G3 FS 和 800-02G3 SS 加油枪都经加州认证，可以与 VP1000 系列的真空泵配套 (<http://www.franklinfueling.com/americas/en/800-series-orvr#Highlights>)
- **OPW** – 型号 21GV-0400 Accuflo 加油枪可以直接替换现有的加油枪，无需改变加油设备 (<http://www.opwglobal.com/Product.aspx?pid=474>).
- **Healy** –800 系列 ORVR 加油枪，可以使现有的加油设备直接转变为 CARB 认证的 ORVR 兼容系统(<http://erlingsales.com/Store/nozzles-breakaways-and-swivels/nozzles/healy800.html>).

第二种获得 ORVR 兼容系统的方式是在地下储油罐的通风管道口安装 Stage III (有时称为“后端”)后处理装置处理释放的油气。这 Stage III 系统在北京的加油站已经使用。也就是说北京有 1/3 的加油站已拥有与 ORVR 兼容的 Stage II 系统，这些加油站不需要对其加油枪进行改造。

图 5-A 展示了三种不同情况下 ORVR 车辆的保有量如何影响总体的加油效率：

- 1) 传统的 Stage II 系统无兼容改造(蓝线),
- 2) 只有 ORVR，加油站没有安装 Stage II（红线）
- 3) ORVR 兼容的 Stage II 系统，含 ORVR 兼容加油枪和/或者 Stage III 后处理装置（绿线）。

根据美国环保署和加州 CARB 在排放清单中使用的估算值，Stage II 的效率是 70%（见虚线）。图中显示当使用 ORVR 和与其兼容的 Stage II 系统时，加油控制效率可以达到最大。这是由于随着 ORVR 车辆保有量的增加，加油控制效率从 70%线性增长到 98%。北京一旦实施 ORVR，北京的所有加油站都加装 Stage III 处理装置，这条最佳效果线将会在北京出现。

表 5-1 加油控制效率总览
ORVR + 传统 Stage II 系统 vs ORVR + 兼容的 Stage II 系统

ORVR 车辆的百分比 (%)	车辆端 ORVR 系统加油控制效率 (%)	传统式 Stage II 系统并无 Stage III (或者后端) 后处理装置		ORVR 兼容 Stage II 系统和/或者传统 Stage II 系统有 Stage III (或者后端) 后处理装置	
		通风管道排放对总体加油控制的影响 (%)	总体加油效率对 ORVR 车辆 (%)	通风管道排放对总体加油控制的影响 (%)	总体加油效率对 ORVR 车辆 (%)
0%	98%	0%	98%	0%	98%
25%	98%	-2%	96%	0%	98%
50%	98%	-4%	94%	0%	98%
75%	98%	-6%	92%	0%	98%
100%	98%	-8%	90%	0%	98%

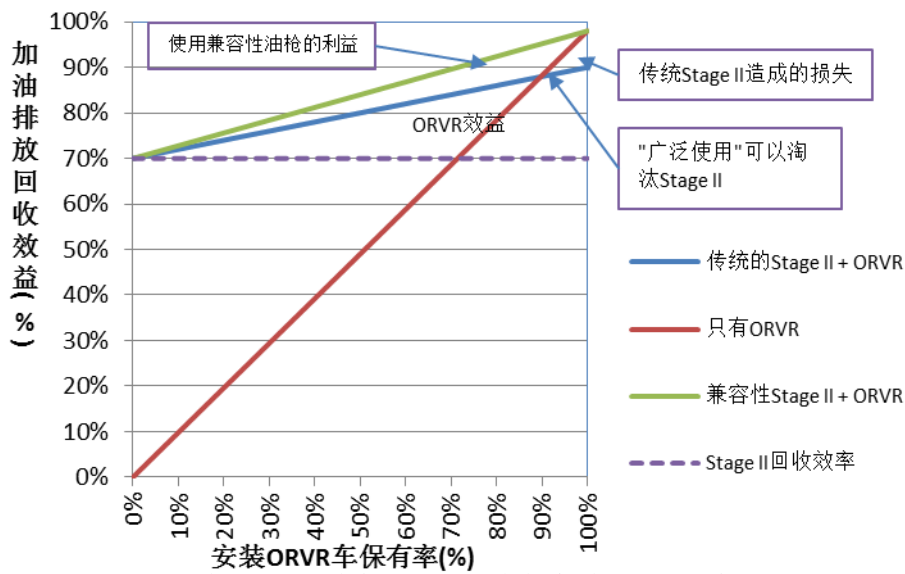


图 5-A 总体加油控制效率与 ORVR 车辆保有量的关系

当 ORVR 结合传统的 Stage II 系统，所获得的总体效果将比单独使用 ORVR 或者 Stage II 要好，直到 ORVR 车辆的保有量达到“广泛使用”这个点。也就是说，一旦 ORVR 开始安装在汽车上，它结合 Stage II 就能立马降低 VOC 排放，这还没有包括 ORVR 能控制的热浸排放、行驶损耗排放和昼间排放。达到这“广泛使用”点之后，如果不用 Stage II，总体加油排放控制效率将会达到最佳状况。美国于 2013 年达到这个点，Stage II 在除了加州之外的地区都在被淘汰。表 5-2 提供了美国各州对 Stage II 在 2014 年 3 月的应用情况、各州加油站加装 Stage II 的数目及 Stage II 使用情况（继续使用、正在淘汰中及已淘汰完毕）。在美国，共有 49485 个加油站加装了 Stage II，占了全美国加油总量的 40%。假设加州是全美唯

一维持 Stage II 的州，加油站加装 Stage II 的总数会掉到 11707 个。在此特别感谢美国环保署提供这些数据。

ORVR 和 Stage II 油气回收系统是能够一起运行的，因此可以避免有些单位的困惑和疑虑。正如前面所述，在 ORVR 开始采用后，相当长的时间，所获得的总体效果将比单独使用 ORVR 或者 Stage II 要好。如果使用与 ORVR 兼容的加油枪或加装 Stage III 后处理装置，这共生关系可以继续延长。某些单位的困惑或浪费的疑虑是可以避免的，如果 ORVR 或 Stage II 的法规附加一条，当 ORVR 车辆达到“广泛使用”时，Stage II 可以考虑被淘汰掉。在没有达到“广泛使用”之前，Stage II 的要求不做任何改变。这个做法的先例发生在美国，前面也已讨论过。

表 5-2. 美国 Stage II 的现况

州名	有加装 Stage II 的加油站数量	占美国汽油总消耗量的%	Stage II 的现况
Connecticut	1780	1.06%	取消了
Delaware	380	0.31%	逐步淘汰中
Washington DC	159	0.13%	逐步淘汰中
Maryland	1539	1.62%	逐步淘汰中
Massachusetts	3205	1.92%	取消了
New Hampshire	440	0.30%	取消了
New Jersey	3128	2.60%	逐步淘汰中
New York	3200	2.43%	逐步淘汰中
Pennsylvania	1573	1.50%	逐步淘汰中
Rhode Island	514	0.31%	逐步淘汰中
Vermont	332	0.36%	取消了
Virginia	1109	1.05%	逐步淘汰中
Maine	120	0.19%	取消了
Arizona	984	1.08%	逐步淘汰中
California	11707	11.14%	维持
Georgia	2221	1.68%	逐步淘汰中
Illinois	2418	1.68%	逐步淘汰中
Indiana	655	0.29%	逐步淘汰中
Louisiana	463	0.22%	逐步淘汰中
Missouri	875	0.78%	逐步淘汰中
Texas	6392	3.74%	逐步淘汰中
Wisconsin	880	0.66%	逐步淘汰中
Kentucky	402	0.38%	逐步淘汰中
Nevada	763	0.54%	逐步淘汰中
Ohio	1907	1.64%	逐步淘汰中
Oregon	263	0.43%	考虑中
Tennessee	750	0.49%	逐步淘汰中
Washington	1326	1.32%	考虑中
TOTAL	49,485	39.58%	

小结

ORVR 和 Stage II 油气回收系统能够一起运行，但是总体的加油排放效率可能因 Stage II 存在有少量的影响，而这些影响可以通过预防措施降低新鲜空气回抽至地下储罐，或者用北京市某些加油站已采用的 Stage III 后处理系统处理地下储罐的排气管道排放得以解决。总之，Stage II 对 ORVR 的副作用是微小的，当 ORVR 被要求执行后，也不需要对其 Stage II 进行改造。

讨论

6. ORVR 和其它先进的蒸发排放控制可以安装在所有汽车中，包括中国市场上的微型车和微型厢式面包车。

ORVR 和其它先进的蒸发排放控制可以以合理的价格设计安装在任何轻型车上，包括微型车和微型厢式面包车。可以注意到，每一辆车，包括微型车，目前在中国被要求满足昼间排放 IV 型的测试。安装先进强化蒸发排放控制仅意味着将目前使用的低效蒸发排放控制设计成更有效的。受影响的设计包括：(1)在车上要设计额外的 1 到 1.5 升的空间以安装新型碳罐；(2) 设计油气不能溢出的加油管路。如果汽车制造商有充裕的时间更改设计以及获得相关部件，这些问题都将迎刃而解。

和中国一样，在美国也有很多微型车在市场上销售。这些美国微型车必须和大型车辆一样满足相同的安全和排放要求，许多汽车制造商已经成功在美国市场上设计、认证和销售微型车。表 6-1 提供了四款美国环保署认为是微型车的详细信息。这些车辆包括奔驰 Smart forTwo、Mini Cooper、丰田 Scion IQ 和菲亚特 500。这些车辆的相关图片请参照图 6-A。这些车辆的大小和在中国销售的微型车相似，它们都符合美国 Tier 2 和 ORVR 标准。从表 6-1 中可以看到，这些车辆的碳罐容积范围为 1.4 到 2.2 升，表示车上有足够的空间安装碳罐，同时也还有足够的内部空间和油箱体积。因此没有理由认为这些相同的工程设计不可以在中国的汽车上运用。

中国的微型厢式车同样可以安装 ORVR，ORVR 已经设计在长安汽车的微型厢式面包车内，其它大型碳罐也已设计并运用在山西成功汽车的甲醇汽油微面上，有效得控制由甲醇汽油生成的大量蒸发排放。图 6-B 显示的是长安微型箱型车的 ORVR 系统布局的示意图。

如果设计加油管使其形成液封并保持合理的加油能力有问题时，一种机械密封设计可以代替液封。虽然机械密封的使用在美国非常罕见，但它在车上可以起到两个作用：(1) 加油管可以被降低到和油箱同样的高度 (2) 它可以使原本所需的碳罐工作能力和容积降低大约 20%，因为加油过程中夹杂的空气降为零。这两个作用降低了 ORVR 系统的尺寸而且不会影响系统功能。

表 6-1 在美国能符合 Tier 2 和 ORVR 标准的微型车及其碳罐的详细信息

在美销售的微型车	承载量	油箱容量	发动机排量	燃料消耗	碳罐丁烷工作能力	碳罐容量
奔驰 Smart ForTwo	1.29 m ³	32.9 L	1.0 L	6.52 L/100 km	85 g	~1.4 L
Mini Cooper	2.09 m ³	50.0 L	1.6 L	7.34 L/100 km	130 g	~2.2 L
丰田 Scion IQ	2.09 m ³	32.2 L	1.3 L	6.35 L/100 km	85 g	~1.4 L
菲亚特 Fiat 500	2.15 m ³	39.7 L	1.4 L	6.91 L/100 km	100 g	1.7 L



图6-A 在美国能符合 Tier 2 和 ORVR 标准的微型车 (左上：奔驰 Smart for Two；右上：Mini Cooper；左下：Scion IQ；右下：菲亚特 500)

小结

ORVR 和其它先进的蒸发排放控制可以以合理的价格设计在任何轻型车上，包括微型车和微型厢式面包车。可以注意到，每一辆车，包括微型车，目前在中国和其它有蒸发排放控制的地区都被要求满足昼间排放 IV 型的测试。安装先进强化蒸发排放控制仅意味着将目前使用的低效蒸发排放控制设计更高效。受影响的设计包括：(1)在车上设计额外的 1 到 1.5 升的空间安装碳罐；(2)设计不会使油气溢出的加油管路。如果汽车制造商有充裕的时间更改设计以及获得相关部件，以上的问题将迎刃而解。长安微型箱型车已设计安装有 ORVR 的微面，山西成功也已经商业化生产含大型碳罐使用甲醇汽油的微面。

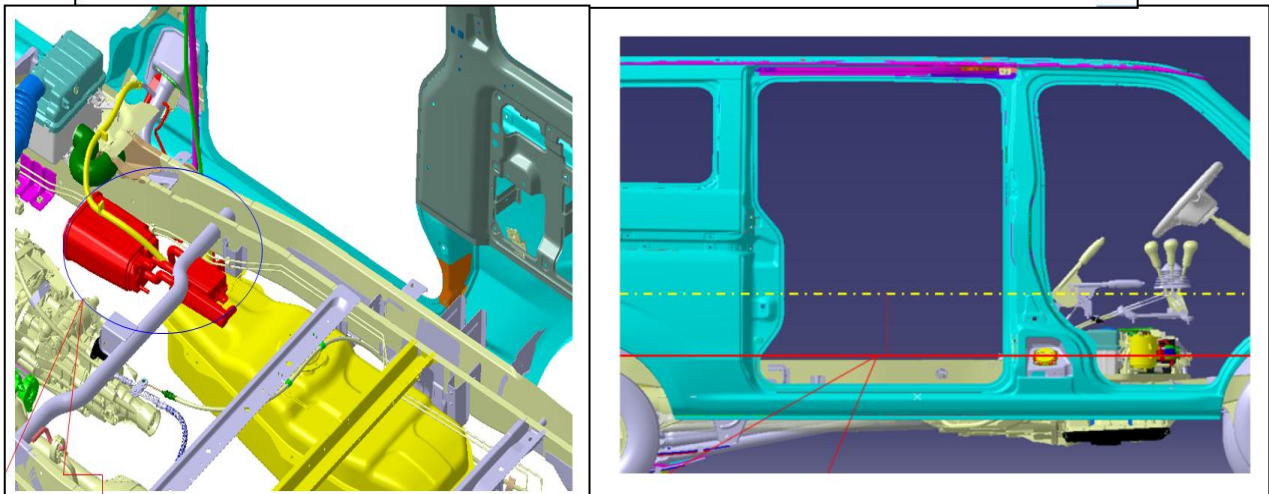
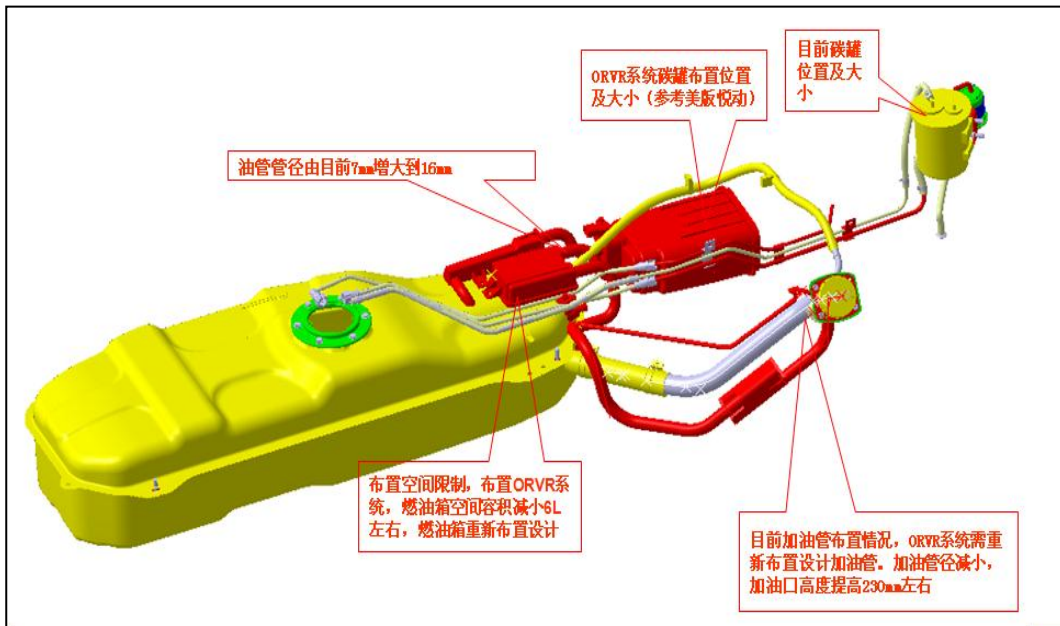


图 6-B 微型箱型车安装 ORVR 示意图

讨论

7. 在前期没有要求汽油车安装 ORVR 或其它先进的蒸发排放控制装置的情况下，要降低目前在用车和未来非 ORVR 车的蒸发排放，Stage II 不但昂贵而且效果有限，却是唯一可行的方案；Stage II 不是先进的蒸发控制装置如 ORVR 的替代品；仅在加油站加装 Stage II 而没有求在车上安装 ORVR 是不可能降低在今后 10 年预测的每年 3 百万吨汽车所带来的蒸发排放污染

过去，中国一直遵循欧洲的轻型车排放法规。这种效仿缺乏对自身特有状况连带产生的环境影响的完整认识，包括高比例的汽油车保有量、更为温暖的气候及构成雾霾和 PM2.5 重要成分的 SOA 和臭氧。随着中国汽车保有量以惊人的速度持续增长，中国的环境也正在承受遵循欧洲排放法规的影响。在图 3-A 中，中国汽车保有量在 2010 年从 5000 万辆快速增加到今天的超过 1 亿辆。同时，当今的汽油车蒸发排放量已经超过每年 100 万吨。中国汽油车的保有量将持续增长并在今后 10 年达到 3 亿辆，除非实施强化蒸发排放控制法规，否则到那时汽车蒸发排放量将超过每年 300 万吨。

估计 ORVR、48 小时昼间排放及行驶损耗排放等标准很可能要到 2017 年或者 2018 年才能在中国实施，这是依据北京市环保局目前计划发布新版蒸发排放标准(包括 ORVR)的时间而估计的。但到那个时间，汽油车保有量将达到 1.5 亿辆。由于目前还没有任何对在用车进行改进的技术，以降低其蒸发排放，这意味着到 2018 年 1.5 亿辆车将会每年产生 150 万吨的蒸发排放直到它们报废退出市场，这很可能要持续到 2033 年。虽然 Stage II 已经在运行，但它的控制还是有限的。Stage II 作为一种价格昂贵但效果有限的蒸发排放控制系统，是目前存在的使用非强化蒸发排放控制车辆降低蒸发排放的唯一选择。为了能真正实现更大的减排，执行 ORVR 和先进的强化蒸发排放控制是必要的。

多年的事实也显示，当 Stage II 与 ORVR 结合使用时，加油排放控制的功效达到最大化。图 7-A 显示 4 种不同加油排放控制的比较：

选项 1: 无 Stage II 无 ORVR 这也就是没有控制的情况，用来作为基线判定各种控制的有效性；

选项 2: 100%的 Stage II 这是假设 Stage II 的实施覆盖面将在 2018 年达到 100%；

选项 3: 仅 ORVR ORVR 能被安装于新车，假设这将在 2018 年才能实施；

选项 4: Stage II+100%的 ORVR 假设 Stage II 将在 2018 年达到 100%覆盖，ORVR 也将在 2018 年开始实施。

图 7-A 表明在 2018 年，相对于所有车辆都安装 ORVR 的情况，Stage II 能够贡献大约每年 20 万吨的加油排放的减少量（2018 年安装 ORVR 车辆相对少）。这种 ORVR 与 Stage II 结合方式也是美国采取的策略，Stage II 在上世纪 90 年代初强制执行，然后在 1998 年实施了 ORVR。但由于 Stage II 的高成本及检查其执行情况的难度，美国环保署从战略层面仅仅要求在中度到重度污染的地区加装 Stage II 系统。美国的加油站约为 17 万个，Stage II 加装在其中的 4.7 万个内。如此可以把加油排放降低，直到配备 ORVR 的车辆占有率提高后能够有足够的控制。事实是，单独使用 Stage II 从未能够大幅度降低蒸发排放，它仅是做到了作为蒸发排放控制起始点的作用。

Stage II与ORVR对加油排放的比较

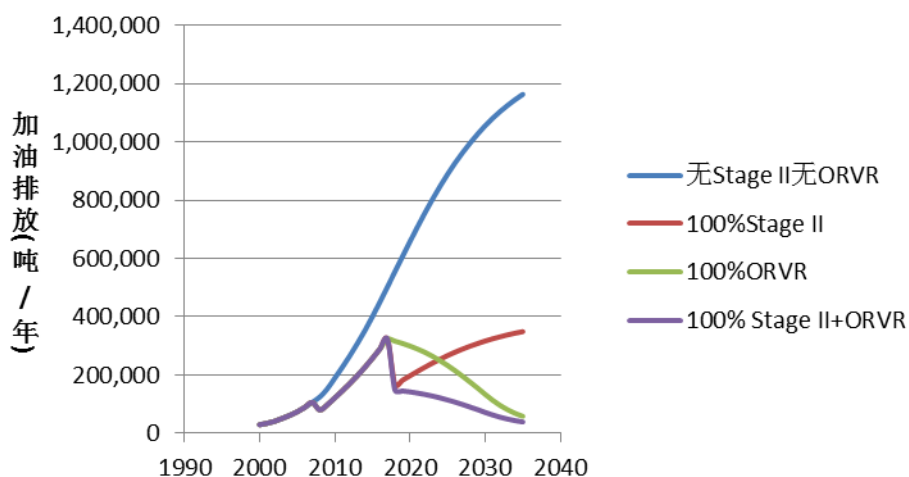


图7-A 加油排放总量在ORVR与Stage II不同组合情况下的比较。共同执行ORVR和Stage II能将加油排放量控制在最低

在此报告前部曾提到，**Stage II**并不是先进强化蒸发排放控制包括**ORVR**的替代品。一个主要理由是加油排放仅占汽油车蒸发排放总量的20%。行驶损耗排放和昼间排放占了蒸发排放总量的主要份额，降低这些不同蒸发排放的唯一途径就是安装**ORVR**及其它控制昼间和行驶损耗排放的法规。同时，立法部门也不要认为**ORVR**与**Stage II**结合会是一种浪费。因为目前重要工作之一是控制VOC以降低PM2.5和雾霾；针对中国的现况，目前减少汽车蒸发排放的最佳途径就是同时执行**ORVR**和**Stage II**。

如果中国希望短期和长期都能降低VOC，更理想的方法就是增加**ORVR**的同时也执行缩短驾驶工况时间、降低排放标准的48小时昼间排放和增加行驶损耗排放的试验等要求。如图7-B所示，加油排放仅仅代表了20%的蒸发排放总量。即使全面实施**Stage II**，也只能将汽车VOC排放总量减少15%。该图另一个重要信息就是蒸发排放总量很大并且增长很快，加油排放与其相比是较少的(见图7-B(b))。如果近期内安装**ORVR**，蒸发排放总量会迅速趋于稳定，这是因为加油排放和其它非加油排放都将得到控制(见图7-B(c))。要能大幅度降低蒸发排放，先进的强化蒸发排放要求结合**ORVR**并在近期内执行，这可以在2035年将蒸发排放总量减少到当前总量的50%。总之，尽快实施先进的强化蒸发排放控制至关重要，否则蒸发排放将随着汽车保有量的快速增长而变得势不可挡。

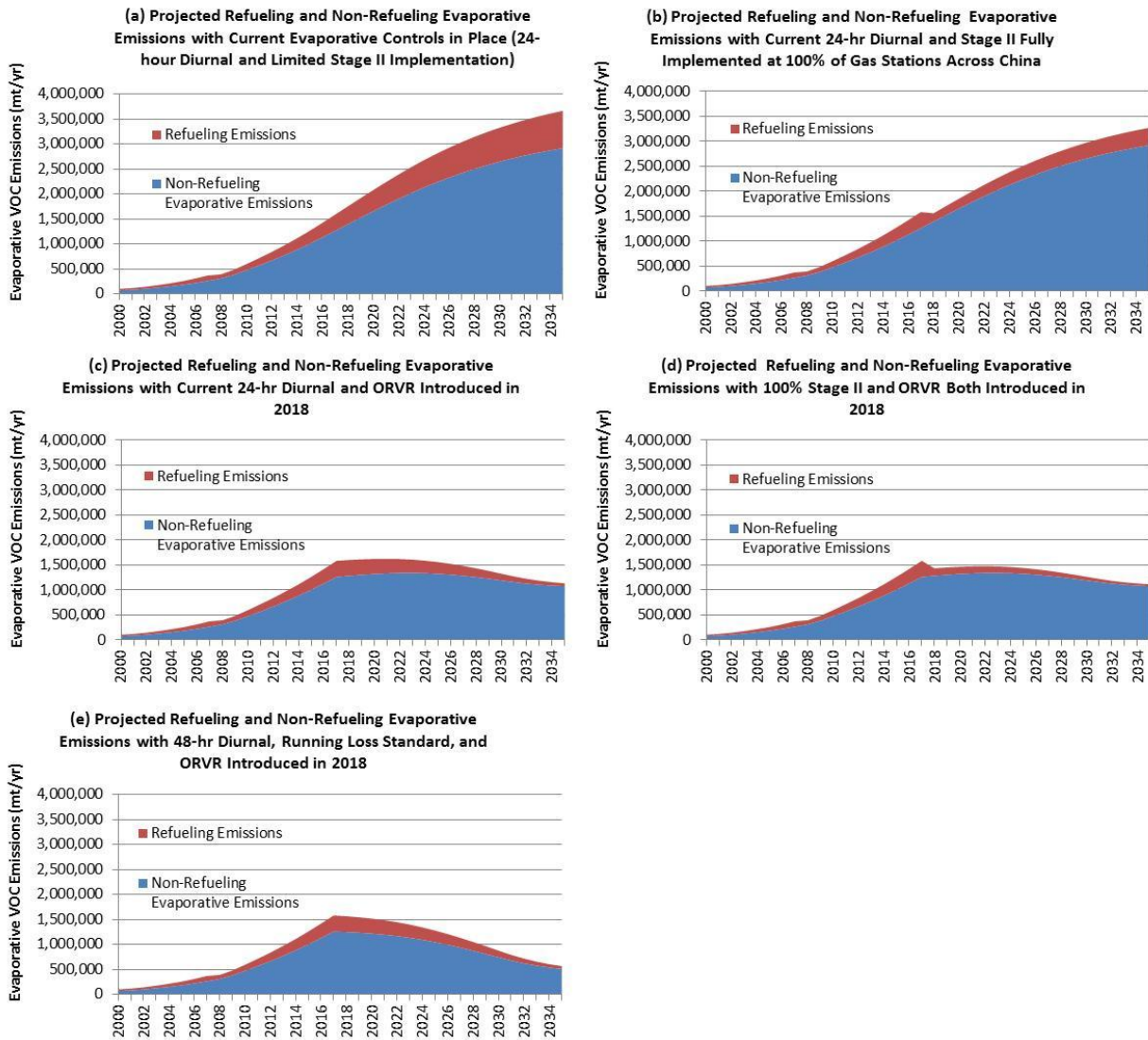


图 7-B 不同法规控制下对未来加油排放和其它非加油排放预测清单小结

小结

Stage II 作为一种价格昂贵且效果有限的蒸发排放控制系统，是目前存在的使用非强化蒸发排放控制车辆降低蒸发排放的唯一选择。单独使用 Stage II 从未能够大幅度降低蒸发排放，它仅是做到了作为蒸发排放控制起始点的作用。Stage II 不是先进强化蒸发排放控制包括 ORVR 的替代品。这是因为加油排放仅占汽油车辆蒸发排放总量的 20%。行驶损耗排放和昼间排放占了蒸发排放总量的大部分，能同时降低这些不同蒸发排放的唯一途径就是安装 ORVR 及其它控制昼间和行驶损耗排放的法规。立法部门不应该认为 ORVR 与 Stage II 结合是一种浪费。最重要的是控制 VOC，针对中国的现况，目前减少汽车蒸发排放的最佳途径就是同时执行 ORVR 和 Stage II。

讨论

8. ORVR 系统的设计、生产制造以及相关服务不是由少数几家公司控制。ORVR 的实施及相关的應用将会给包括中国本土企业在內诸多企业带来相当多的新业务。

ORVR 是一种加油排放标准，规定汽车加油过程中产生的油气需要控制在车内由汽车直接回收，更规定在整个加油过程中每加 1 升的汽油所产生的油气外排放必须少于 0.05 克。对于如何达到这项规定标准，ORVR 没有明确规定。在美国市场，汽车制造商纷纷通过增加现有碳罐容量和改变油箱排气系统来达到这标准，因为这样做不仅成本低，且易于实现。假设在中国也采取这样的方法，众多的中国及跨国零部件供应商会从这新增的车辆部件中受益。

生产油箱排气系统及防回溅阀门的公司将要制造新规格产品。油气管路供应商要供应新的大管径管路。众多碳罐供应商要供应较大型的碳罐，因而带动了塑料（聚丙烯、尼龙、聚乙烯）、弹簧、过滤片和活性炭的需求。这些二级甚至三级的供应商也会因此获益。碳罐脱附阀的供应商也需要供应高流量的电磁阀。燃油箱、加油管和加油盖生产商需要对其产品做出少许改动，即可继续供货。也就是说，增加的 36-210 元人民币的费用将会被大批供应商所共享。而节省的 0.5 到 1% 的用油更能为车主带来直接的经济效益，抵消了买车时多付的费用。况且，降低 VOC 更会减低城市雾霾（即蓝天多了）、PM2.5 及臭氧 - 带来了更大的经济和社会效益。也就是说，ORVR 的受益者是非常广泛的。

按照美国环保署交通运输及空气质量办公室和空气及辐射办公室的结论，汽车制造商安装 ORVR 的成本价是 36 元人民币¹³，一般车主预期每年能省平均 150 到 180 元人民币的汽油钱。在中国的汽车制造商估计需要花费 210 元人民币安装 ORVR。基本上，车主会承担安装排放控制的额外费用，而他们也会从这部分投入中获得实惠。更重要的，空气品质的提升会带来巨大的经济和社会利益。

¹³ See <http://www.haldemanfordkutztown.com/Onboard-Refueling-Vapor-Recovery/>

讨论

9. 轻型车排放出来的 VOC 是 VOC 总排量中很显著的一部分，因此我们需要对之及其它如炼油厂等的工业定点 VOC 排放口进行优先管理。

城市空气质量（雾霾、PM2.5 和臭氧）在中国已引起极大关注，而 VOC 排放是该问题的主要因素。几乎 90% 的 VOC 排放物最终会被转换为次级有机气溶胶（SOA），SOA 在雾霾物质中占到 47%，在整个 PM2.5 中占 20-30%。VOC 还会与 NO_x 产生反应生成臭氧。轻型汽车在城市中心数量大密度高，城市汽油轻型车队是城市 VOC 排放和增长的重大原因。按照北京环保局和清华大学的估计，汽车 VOC 排放在北京总 VOC 排放中占到 38-60%，较小的比例未将所有的蒸发排放都纳入计算。上海环保局估计汽车尾气排放占到 VOC 排放总量的 12%，如果加上蒸发排放，汽车排放可能高达 VOC 排放总量的 40%，这是因为蒸发排放比尾气排放高出 5-10 倍。轻型汽车的 VOC 排放还随着汽车保有量的增加而增加，采用先进的强化蒸发排放控制如 ORVR，是在允许汽车总量继续增加同时能降低 VOC 蒸发排放的唯一途径。

固定排放源（如石油化工企业）的排放控制也能减少中国整体 VOC 排放量，然而这些企业通常位于市区以外，和汽车蒸发排放量增加的速度相比，这些企业的 VOC 排放增长速度相对较缓。汽车数量以每年 15% 的速度增长，其蒸发排放也正以相同速率增加。支持强化蒸发排放控制的相关研究与测试已经周密完成。强化蒸发排放控制而增加的回收汽油经济效益是其控制设备成本的 3 倍。而且，汽车制造商能快速地在车上安装强化蒸发排放控制。汽车的生命周期一般为 10 到 15 年，这期间没有方法能改造其在用部件和加强控制其蒸发排放；因此如果投入大量资金强化固定排放源的排放控制，但大城市却雾霾依旧甚至恶化，这将会是一件令人遗憾的事情。面对轻型车的持续高速增长，采取行动控制轻型车的蒸发污染排放，已经刻不容缓。