

加油站油气排放净化控制技术

1 背景及意义

“实现碳达峰、碳中和”是党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策。生态环境部明确提出“以实现减污降碳协同增效为总抓手”的思路；温室气体与传统大气污染物排放具有相同的驱动力、相同的根源。挥发性有机物 VOCs 是 O_3 及 PM.5 的共同前体物，将取代 SO_2 成为“十四五”城市空气质量考核新指标，降低 VOCs 排放对于深入打好污染防治攻坚战尤为关键。随着《环境保护税法》、《排污收费制度》和《排污许可管理条例》等法律法规的发布，日益严格的管控政策也对加油站油气排放净化控制技术提出更加精准严格的要求。

车载加油油气回收系统(Onboard Refueling Vapor Recovery, ORVR)在美国逐步取代 stage II 技术；随着《轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》(GB 18352.6-2016)的实施，ORVR 技术的推广使用将有利于汽车节能减排。在《加油站大气污染物排放标准》(GB 17952-2020)4.4.4 和《加油站油气排放控制和限值》(DB11/208-2019)4.1.8，都明确提出当辖区内采用 ORVR 的轻型汽车达到汽车保有量的 20%后，油气回收系统、在线监测系统应兼容 GB 18352.6 要求的轻型车 ORVR 系统。ORVR 技术从 2019 年开始在中国实施，预计到 2025 年，ORVR 车辆将占全球汽车年销量的 55%。

该技术以车载加油油气回收(ORVR)系统为切入点，针对其中的关键基础问题开展理论和实验研究，开发适用国内油品品质和加油工况的高效加油排放控制技术，以及高效 ORVR 炭罐优化及油气吸附剂开发，为我国自主掌握 ORVR 系统的关键技术提供理论指导并奠定坚实基础。

2 技术创新

项目在实施过程中，从 ORVR 系统管路和 ORVR 炭罐优化设计、以及加油过程工艺参数优化两个角度提高处理效率。

ORVR 车辆加油过程的流动机理与特性：机动车在加油过程中，油箱内气相空间的压力随着加油过程的进行，通常可分为三个主要阶段，从流体力学的角度来看涉及到三维瞬态流动、相变、自由表面紊流和气液两相流动。集总参数法可以获得燃油系统内部气相压力的变化情况，分析加油管直径、翻车阀直径等结构参数、加油速度和空隙比等操作参数以及燃油挥发性对燃油箱顶部气相压力的影响，获得关键部位和时段的压力变化数据可用于开展机动车加油系统结构优化设计。

ORVR 车辆加油过程气液两相流动特性：燃油从加油管出口进入燃油箱时，在重力和惯性力的共同作用下，初始阶段会与燃油箱底部产生强烈的冲击碰撞；随着燃油箱中液面的升高，新注入的燃油将与燃油箱中的燃油液面发生撞击，并伴随有空气卷吸、气泡产生和液体飞溅等。因此，ORVR 系统的加油过程实际上是一个涉及气液两相瞬变和传质的复杂动态过程，两相流体动力学特性和传质过程的合理分析、评价，有助于 ORVR 技术的成功实施和优化设计。

ORVR 炭罐吸附过程传质传热规律：吸附过程是扩散过程，在方形炭罐内部都在中间安装隔离板以延长油气吸附路径长度。炭罐的设计要满足标准《汽油车燃油蒸发污染物控制系统(装置)》(HJ/T 390-2007)。因此，ORVR 炭罐优化设计是典型的传质传热过程，采用实验与数值模拟相结合的方法，开展高效吸附剂的开发和炭罐结构的优化设计，从提高吸附效率和降低炭罐温度两个方

面，主力 ORVR 碳罐的优化设计。

3 推广应用

成果推广后，可以有效降低车辆加油过程中 VOCs 的排放，具有良好的环境效益。

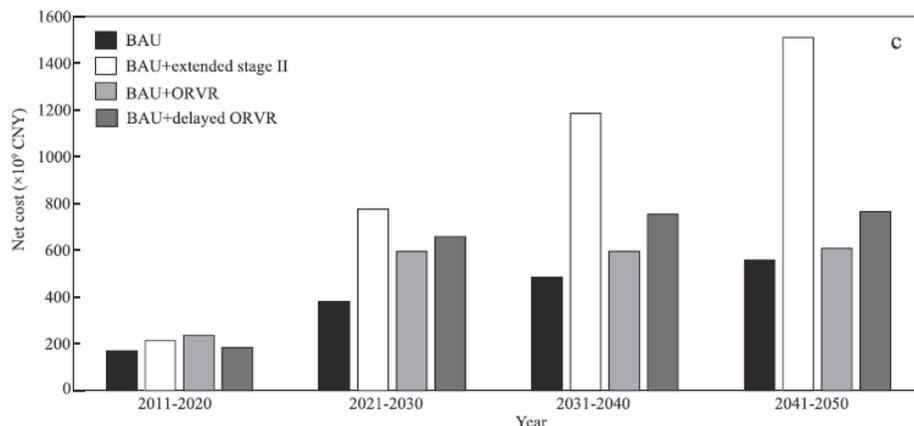
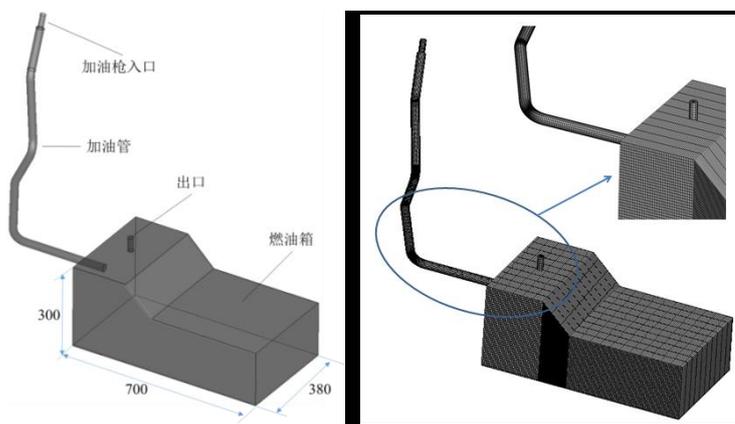


图 两种控制技术和四种使用场景的成本效益对比

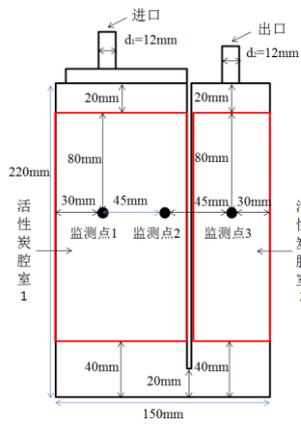
单个加油站安装 stage II 系统的费用为 30 万元，每年平均运行费用为 9.05 万元，包括监控测试系统、更换加油枪零部件和其他维护费用等。ORVR 平均成本仅约为 200 元/辆，且不需要维修费用。配备 stage II 系统的加油站，即使所有回收的 VOCs 都转化为汽油，在其生命周期内都无法收回成本。而 ORVR 汽车每 1000 公里可节省 0.145 升汽油，车辆将在 9-10 年内达到成本效益平衡点。为达到最佳的总 VOCs 控制方案(BAU + ORVR)，2025 年总投资为 1090 亿元，2050 年为 4660 亿元；相对应的是 2025 年净成本约为 620 亿元，2050 年约为 1490 亿元。stage II 系统的投资占总投资的 80%。根据美国的经验，当 ORVR 普及率超过 75%时，stage II 系统可以逐步淘汰。



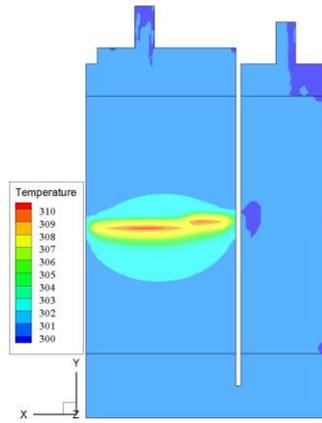
(a) 几何模型(mm)

(b) 网格划分(网格数量为 240 万)

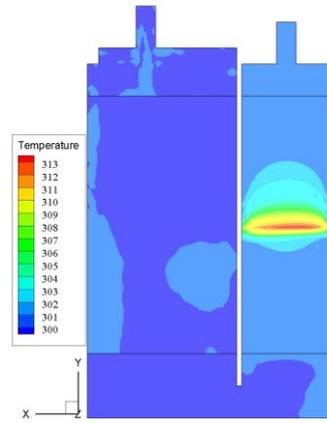
图 全尺寸 ORVR 燃油系统几何模型与网格划分



(a)测温点位置示意图



(b)测温点 1 和 2 温度云图



(c)测温点 3 温度云图

图 炭罐吸附正丁烷温度分布云图

4 联系方式

联系人：朱玲教授

联系电话：13683318665

邮箱：zhuling75@bipt.edu.cn