

《加油站油气回收可行技术指南》

(征求意见稿)

编制说明

标准编制组

二〇二〇年八月

目 录

1 项目背景	1
1.1 任务来源	1
1.2 工作过程	1
2 标准编制的必要性及基本原则	3
2.1 必要性	3
2.2 基本原则	4
3 加油站油气排放现状	5
3.1 加油站 VOCs 排放环节	5
3.2 加油站 VOCs 排放原理	5
3.3 油气组分特征分析	6
3.4 油气组分对环境潜在影响分析	7
4 加油站油气回收技术	9
4.1 卸油油气回收系统（Stage I）	10
4.2 加油油气回收系统（Stage II）	12
4.3 油气排放处理技术	13
5 标准实施的环境效益及经济技术分析	19
5.1 实施本标准的环境效益	19
5.2 实施本标准的经济效益	20

1 项目背景

1.1 任务来源

随着环保法规、标准的日趋严格，加上石油资源紧缺及节能要求双重压力的冲击，出于安全和环保的考虑，控制加油站油气污染的工作变得十分紧迫。为了确保“建设资源节约型、环境友好型社会”的有效贯彻落实，进行加油站油气排放控制非常必要和及时。油气排放控制工作的开展对提高我国城市大气环境质量，尤其是经济发达城市的大气环境质量，推动我国环保、节能产业向纵深发展均具有重要的意义。

为控制加油站油气挥发污染，国家环境保护总局 2007 年首次制定了《加油站大气污染物排放标准》(GB 20952-2007)，北京市环境保护局 2010 年首次颁布了《加油站油气排放控制和限值》(DB 11/208-2010)。这些标准实施以来，对我国加油站油气减排发挥了至关重要的作用。

为推动加油站油气回收技术建设工作，确保油气回收技术可达性，增强油气回收治理的科学性，根据《中华环保联合会关于〈汽车维修行业大气污染防治可行技术指南〉等十一项团体标准的立项公告》(中环联字〔2020〕43 号)有关要求，中华环保联合会委托北京市环境保护科学研究院组建标准编制组共同编制《加油站油气回收可行技术指南》(以下简称《指南》)团体标准。

1.2 工作过程

项目立项后，北京市环境保护科学研究院成立了标准编制组，并邀请中国环境科学研究院、中华环保联合会 VOCs 污染防治专业委员会作为合作单位标准编制组首先通过资料和文献调研对国内外加油站相关的油气回收技术进行了深入的调研和梳理。其次，对我国加油站油气回收现状进行了现场调研及监测，评估了现行加油站油气回收技术的可行性和科学性，为加油站油气回收技术指南编制提供借鉴。在此基础上，编写了《加油站油气回收可行技术指南》(讨论稿)。

具体工作过程包括：

(1) 资料调研——包括对国内外相关加油站油气回收技术、油气回收现状等资料调研。2016 年 12 月-2017 年 10 月，梳理总结了国外及国内典型地区加油站油气回收技术资料；同时查阅了关于油气回收技术方面的科研文献、研究进展，并对油气回收技术进行了比较分析；对全国加油站汽油销售量及油气挥发量进行调研，并同步收集各地油气回收系统运行现状。前期调研及资料收集整理工作于 2017 年底结束。

(2) 现场调研——2018 年 7 月 24 日到北京市机动车排放管理中心油气油品监管科调研，鉴于北京市加油站油气回收工作在全国前列，重点调研了北京市加油站在油气回收技术方面的经验，了解了北京市加油站油气回收装置安装及运行情况，并就二次回收系统气液比的设定咨询了专家的意见。

(3) 开展加油站监测——2017 年 8 月至 2018 年 4 月，选取采用不同类型油气回收技术的加油站进行

现场检测，每季度检测一次，通过测定加油站油气回收技术的密闭性、液阻、气液比等油气回收技术性能指标，以及排放尾气 VOCs 的浓度和种类，评估油气回收技术运行效果。

(4) 形成《加油站油气回收可行技术指南》(讨论稿)——2018 年 8 月-至今，在国内外油气回收技术资料调研和加油站现场调研、监测的基础上，组织标准编制单位召开了多次研讨会，对《加油站油气回收可行技术指南》(讨论稿)框架及内容进行讨论，在此基础上形成了《加油站油气回收可行技术指南》(讨论稿)及其编制说明。

2 标准编制的必要性及基本原则

2.1 必要性

a) 造成大气环境污染

随着我国社会经济的不断发展，挥发性有机物（VOCs）造成的光化学污染已成为我国面临的一个重要环境问题。加油站的油品蒸发是 VOCs 的一个重要来源。加油站排放的 VOCs 不仅污染环境、浪费资源，而且会给加油站带来潜在的火灾、爆炸等安全隐患。因此，积极回收 VOCs 对石油资源匮乏的我国来说十分必要，不仅能节能减排、改善环境，还能提高安全保障，具有明显的社会效益、环境效益和经济效益。

由于市场上加油站油气回收技术质量参差不齐。因此，在借鉴现有加油站油气回收治理工作经验的基础上，制定《加油站油气回收可行技术指南》，能够为加油站的油气回收治理工作提供管理依据，推动加油站油气回收工作顺利进行。

b) 危害人员身体健康

油气中的苯（包括甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯等）有毒，吸入较高浓度汽油蒸气会发生重度中毒，常表现为流泪、流涕、眼结膜充血、咳嗽等刺激症状，重度中毒会很快出现昏迷、四肢抽搐、血压下降、脉搏细弱、体温下降等中毒性脑病症状，亦可因呼吸麻痹而死亡。少数患者可有惊恐不安、欣慰感、幻觉、哭笑无常、癔病样发作等精神症状。吸入极高浓度可迅速引起心室纤颤立即死亡。1982 年，医学家首次发表了苯与白血病有关的研究报告。此后，许多国家相继报道了接触苯而发生再障、淋巴瘤和白血病等造血系统的病例。无论是流行病学调查还是实验室研究，都证实苯与白血病有因果关系。世界卫生组织下属国际癌症研究机构（IARC）1993 年对于苯的致癌性评级为：一类人类致癌物。

另外，排放到大气中的 VOCs 与氮氧化物之间发生光化学反应，产生的光化学烟雾及其中所含各种有毒物质也将严重危害人体健康和生态安全。因此，为了保障加油站从业人员的身体健康，制定《加油站油气回收可行技术指南》，促进油气回收技术水平显得尤为重要。

c) 造成资源浪费

油气的排放不仅对人类健康和环境有负面影响，另一方面还造成资源的浪费。《散装液态石油产品损耗》（GB11085—89）列出了我国不同地区汽油储运过程中的蒸发损耗率，在我国 B 类地区，加油站卸油过程损失约 2.0%左右，加油站加油过程中的挥发损失约 2.9%，加油站呼吸损耗约 0.1%，总共约为 5%。通过统计数据可知，我国每年加油站 VOCs 排放量约 25.00 万吨。由此可见，如此大量的油气排放对大气环境的负面影响显而易见，加上飞速发展的机动车尾气排放的叠加效应，我国各地频频发生的灰霾天气现象与此密切相关。因此，油气挥发对环境的影响非常显著，同时，油气排放控制能减少汽油油品消耗。因此提

高加油站油气回收系统技术水平，在环保、经济及健康领域均具有重要意义。

d) 安全隐患

加油站油品属易燃易爆危险品，其中一个主要原因是其沸点低、闪点低、易挥发，油气的爆炸极限较宽，为 0.76%~6.9%（体积分数）、爆炸温度极限为-38~-8 ℃。因此，北方冬季加油站、储油库要注意防爆；而在夏季，因气温远远高于爆炸温度上限，油蒸气在空气中的含量超过爆炸浓度，在夏季易发生燃烧，而不是爆炸。油气属易燃易爆气体，空气中浓度恰当时，遇到明火、电火花、打雷、包括静电都可引起爆炸燃烧，因此当油罐区、加油机作业时，在它的危险区域内绝对禁止有明火或电火花等出现。因为油料及其蒸气都是绝缘体，电阻率一般在 $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 左右，在收发、装卸和转运过程中，油料与管线、泵、容器等壁面以及油流与空气相摩擦或碰击均能产生静电。因此，加油站、油库等油品装卸作业场所必须要有防治静电产生或积聚的措施。另外，挥发的油气因相对密度较大，一般都在 $1.59 \sim 4 \text{ kg/m}^3$ （空气约为 1.2 kg/m^3 ）之间，所以不易扩散，在储存场所的低洼处，如地洞、阴沟等人们容易忽视的地方积聚，油气聚集到一定浓度，遇火极易发生爆炸或火灾事故，这就大大增加火灾发生的危险性。经多年事故调查分析，加油站、油库 70% 以上事故主要由于油气挥发而引起，93% 的爆炸事故发生在储罐井和卸油区。

2.2 基本原则

a) 科学性原则

以国家环境保护相关法律、法规、规章、政策和规划为指导，以保护人体健康、改善生态环境质量为目标，综合考虑经济技术成本，结合加油站环保要求，编制油气回收技术指南，体现了指南的科学性原则。

b) 可行性原则

指南制定过程中，充分调研和参考借鉴国外相关加油站油气回收技术，实际测试加油站油气处理装置排放、气液比、密闭性等控制指标，综合分析各项油气回收技术的技术成熟度、回收效率、适用范围以及成本效益等，体现了指南的可行性原则。

c) 整体性原则

根据加油站油气排放环节，分加油、储油、卸油等不同环节的油气回收技术，结合实际测试情况，推荐适合不同阶段的油气回收技术，体现了指南的整体性原则。

3 加油站油气排放现状

3.1 加油站 VOCs 排放环节

加油站主要有 5 项作业环节涉及到 VOCs 排放，分别是油罐车卸油排放、加油过程排放、储油罐呼吸排放、加油枪滴油和胶管渗透，见图 1。其中油罐车卸油排放和加油过程的挥发排放是加油站 VOCs 的主要排放环节。储油罐呼吸排放较少，加油枪滴油和胶管渗透由于影响因素较多不容忽视。

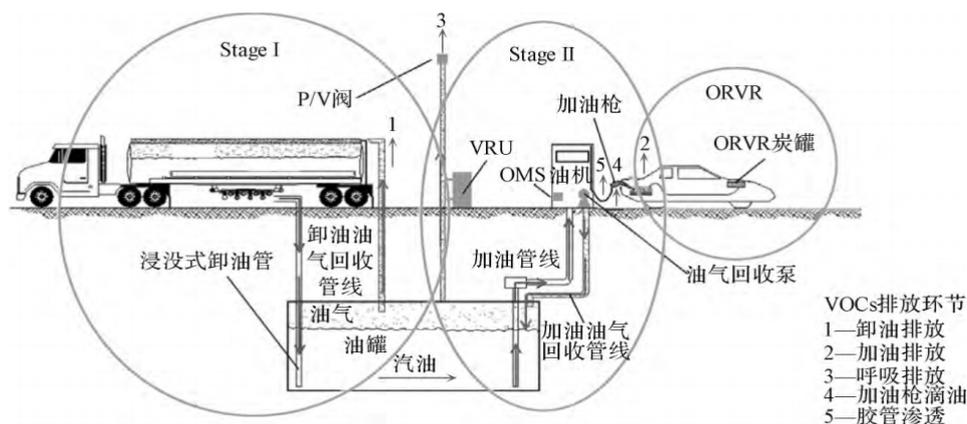


图 1 加油站 VOCs 排放环节

3.2 加油站 VOCs 排放原理

加油站 VOCs 排放只要原因是油品的挥发，挥发的物质主要是油品中较轻的组分：馏分越轻，沸点越低；蒸汽压越大，挥发就越严重。根据 2005 年第七届国际石油会议资料，油品从井场经炼制加工到成品销售的全部过程中，油品损耗的数量约占原油产量的 3%。挥发的油气不仅污染环境、危害人体健康、浪费资源、降低油品质量，也极易引发爆炸和火灾。对加油站而言，油气的正常挥发损耗主要产生在卸油和加油的作业环节。此外，还有加油站埋地油罐的小呼吸损耗。

a) 卸油过程油气挥发

油罐车通过卸油管向地下储油罐卸油时，地下储油罐内液面上升产生的正压以及油罐内汽油扰动产生过量油气所形成的压力，使得罐内的饱和油气会通过排气管向大气中排放（这一过程也称“大呼吸”）。油气回收改造前，油罐车卸油的主要方式有以下两种：

- 1) 喷溅式卸油 (Splash filling)；
- 2) 浸没式卸油 (Submerged filling)。

根据我国《汽车加油加气站设计与施工规范》的规定，加油站应采取浸没式卸油方式，卸油管应伸至罐底上方 0.2m 的高度，美国则要求卸油管伸至距油罐底部 6 寸（大约 0.15m）的高度。

油气回收改造后，油罐车卸油的主要方式为平衡式淹没卸油（Balanced submerged filling），加油站进行一阶段油气回收改造后，即安装了平衡式浸没卸油系统后，油气回收系统可将储油罐排出的油气从回气管输往密闭的油罐车罐体内，相比较前两者而言，后者油气排放大幅度减少。

b) 加油站加油过程油气挥发

加油站给机动车加汽油的过程中，机动车油箱在未加油前存在一定浓度的油气，随着液态油品通过加油枪不断以喷溅方式快速进入机动车油箱，使油箱内液态油品体积迅速增大，液面上升，气相压力迅速升高，致使油气体积被挤出；其次，由于油箱内汽油的剧烈扰动，促进了汽油的挥发，产生过量油气，同样也会形成一定的压力，这两个因素导致机动车油箱内的油气快速向大气中排放。

3.3 油气组分特征分析

油气主要产生于汽油储存和装卸过程中，随汽油的组成不同而不同，油气是由多种烃组分组成的混合气，据统计，油气中的化合物达 450 种，以沸点 120 摄氏度以下的烃类 VOCs 为主。表 1 列出了汽油油气中烃类 VOCs 成分。一般而言，油气中具有不良健康影响的组分多为芳烃类。而烃类 VOCs 作为前体物质则对光化学烟雾的形成具有重要的促进作用，尤其是其中的烯烃类因其具有双键结构而呈现很强的光化学反应活性。

表 1 车用汽油挥发性组分

类别	组分
直链烷烃类	正戊烷、正己烷、正庚烷
支链烷烃类	异戊烷、2,3-二甲基丁烷、2-二甲基戊烷、3-二甲基戊烷、2,2-二甲基戊烷、3,3-二甲基戊烷等
环烷烃类	环戊烷、甲基环戊烷、环己烷、1,1-二甲基环戊烷、顺式 1,3-二甲基环戊烷、反式 1,3-二甲基环戊烷
直链或支链烯烃	3-甲基-1-丁烯、1,3-丁二烯、1-戊烯、2-甲基-1-丁烯、反式-2-戊烯、1-己烯等
含氧烃类	甲基叔丁基醚（MTBE）、乙基叔丁基醚（ETBE）
其他添加剂	甲基环戊二烯三羰基锰（MMT）
芳香烃类	苯、甲苯、二甲苯、异丙苯、1,2,4-三甲苯、1,3,5-三甲苯

汽油油气挥发组分成分复杂，同一标号的汽油，其挥发油气的组成、浓度差别明显。油气样品中检出化合物种类最高达 45 种，主要由烯烃、烷烃、少量芳香烃以及微量醚类、酯类、酮类等组成；以丙烯、丙烷、戊烯、丁烷、异丁烷、戊烷、正己烷为主，还含有少量苯系物，其中最常见的是 C3~C6 组分；油气的

挥发组分、浓度随季节、温度的变化而变化，高温季节时检出挥发性有机物种类多、浓度高，如：夏季样品中检出挥发性有机物 33-45 种，丙烯浓度高达 46.8 g/m³，冬季样品中检出挥发性有机物仅 10-12 种、丙烯浓度明显降低；秋末和冬季在样品中检出大量的甲基叔丁基醚（MTBE，抗爆剂）。分析原因主要是因为低温季节，为了保证车用汽油的抗爆性和挥发性，在其中添加了抗爆剂，提高冷机点发火（即启动）性能。分析结果见表 2。

表 2 加油站各采样点挥发性化合物（VOCs）检出种类和最高浓度

采样点	量油口		地下储罐通气管		末端装置出口	
	数量/ 种	主要化合物名称及 最高浓度（g/m ³ ）	数量/ 种	主要化合物名称及最 高浓度（g/m ³ ）	数量/ 种	主要化合物名称及最 高浓度（g/m ³ ）
2009.4	—	—	18	丙烯（C _{max} =9.91）、正己烷、庚烷、甲苯、苯等	11	1,2-二氯乙烷（C _{max} =2.01）、甲苯、丙酮、氯甲烷、溴甲烷等
2010.10	17	丙烯（C _{max} =65.8）、正己烷、四氢呋喃、甲苯、甲基叔丁基醚等	10	丙烯（C _{max} =71.1）、正己烷、甲苯、苯、甲基叔丁基醚等	—	—
2011.2	11	甲基叔丁基醚（C _{max} =3.44）、正己烷、丙烯、乙酸乙酯、甲苯等	10	甲基叔丁基醚（C _{max} =2.78）、正己烷、丙烯、甲苯、乙酸乙酯等	12	甲基叔丁基醚（C _{max} =1.69）、乙酸乙酯、甲苯、正己烷、丙烯等
2011.5	37	丙烯（C _{max} =44.8）、异丁烷、丙烷、1-戊烯、反式 2-丁烯等	39	丙烷（C _{max} =34.8）、丙烯、异戊烷、n-丁烷、异丁烷等	38	异戊烷（C _{max} =8.01）、丙烯、丙烷、n-丁烷、n-戊烷等
2011.6	41	丙烯（C _{max} =46.8）、丙烷、异丁烷、异戊烷、1-戊烯等	33	丙烷（C _{max} =24.6）、丙烯、1-戊烯、异戊烷、乙烯等	—	—
2011.7	45	丙烯（C _{max} =46）、丙烷、异丁烷、异戊烷、1-戊烯等	45	丙烯（C _{max} =40.4）、丙烷、异丁烷、异戊烷、1-戊烯等	38	丙烷（C _{max} =5.6）、丙烯、1-戊烯、2-甲基戊烷、乙烯等

3.4 油气组分对环境潜在影响分析

我国的车用汽油主要为催化裂化和催化重整、烷基化、汽油加氢等组分调和而成，在此基础上，抗爆指数的差值用辛烷值改进剂进行调合。目前辛烷值改进剂主要使用 MTBE（甲基叔丁基醚）、ETBE（乙基叔丁基醚）、和 MMT（甲基环戊二烯三羟基锰）。北方城市在大范围推广使用乙醇汽油。

由车用汽油国标限值可知，我国汽油的烯烃含量高达 30%，作为汽油的挥发组分，油气以 C3-C5 的烯

烃和直链烷烃为主，这些化学物质往往具有高度的化学活性，是形成管化学反应的主要前体物质。如果不试行油气回收，将会通过储运收发作业环节大量释放到环境空气中，成为参与大气光化学反应的重要成分。尤其是在北京、上海、广州等特大城市人口稠密的城市建成区，加油站、油库挥发的汽油油气对环境的潜在影响更应引起重视——油气挥发的污染可能会加剧灰霾天气的形成，造成城市大气环境质量下降。因此实行有效的加油站油气排放控制不仅对改善区域大气环境质量及人群健康存在密切关联，而且对减缓灰霾天气的形成都具有积极的作用。数据提示我们：提高我国的炼油水平，减少车用汽油烯烃特别是丙烯（C3）含量，值得石化炼油行业认真思考。环保部、发改委等重要政府部门应予以高度重视。

4 加油站油气回收技术

加油站有 5 个 VOCs 排放环节，分别是卸油排放、加油排放、呼吸排放、加油枪滴油和胶管渗透。加油站油气排放控制技术包括：①卸油排放控制采用卸油油气回收技术，该技术也称为 Stage I（第一阶段油气回收技术），包括将喷溅式卸油改为浸没式，并安装卸油油气回收管线。②加油排放控制采用 2 种加油油气回收技术。第一种为基于加油站改造的技术，也称为 Stage II（第二阶段油气回收技术），包括安装真空泵、同轴胶管和油气回收加油枪等设备；第二种为 ORVR（车载油气回收技术），为避免 ORVR 汽车比例较高时与 Stage II 不兼容产生过度排放，需要更换 ORVR 加油枪或安装 VRU（油气处理装置）。③呼吸排放控制。实施油罐密闭和安装 P/V 阀（真空/压力阀）。④加油枪滴油控制。采用 EVR 不滴油加油枪。⑤胶管渗透控制。采用 EVR 低渗透胶管。⑥为了实现对加油站 VOCs 排放的全面监控，国内外都在推广或强制安装 OMS（油气回收在线监控系统）。

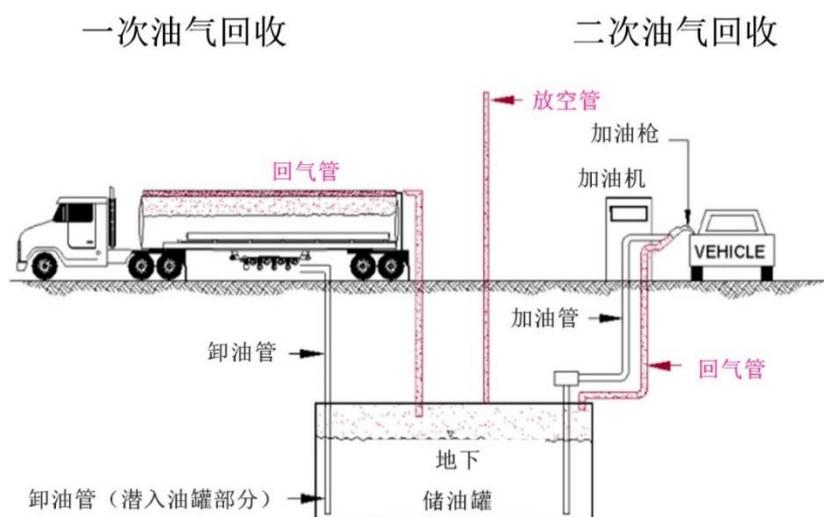


图 2 加油站 VOCs 排放环节与控制技术

从美国油气回收发展趋势来看，其主抓方向是流动源的 VOC 排放限制，即车载油气回收系统 ORVR，加州等部分地区加油站在 ORVR 推行之前已经安装了油气回收系统，目前是加油站油气回收和车载油气回收并行趋势，但最终目的是以 ORVR 取代加油站加油油气回收对加油过程中挥发的油气进行回收利用，这主要基于以下两方面原因：一是机动车排放贡献率远大于加油站，治理机动车排放是解决环境污染的根本途径。从引用数据分析来看，北京市 2009 年流动源（机动车）的 VOC 排放贡献率为 46%，其对臭氧生成的贡献率为 13.4%，远大于加油站 1.52% 的贡献率；二是从投资角度和后续维护角度考虑，目前加油站加油油气回收改造的投入比较大，以每座加油站 10 条加油枪计算，单站投入在 20 万左右，还不包括油气排放后处理装置的安装，且加油站油气回收系统后续维护费用较高。

4.1 卸油油气回收系统 (Stage I)

4.1.1 工作原理

油罐车卸油油气回收系统 (Stage I) 主要是在加油站地下储油罐收油阶段，将油罐汽车卸汽油时产生的油气，通过密闭方式收集进入油罐汽车槽罐内的系统。即将油罐车的输油管路和地下储油罐的回气管路连接成完整的密闭系统。Stage I 油气回收系统主要包括 2 种类型：

a) 两点式油气回收系统

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汽回收管，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，使油罐车中的油气能完全由回收管回到油罐车内。图 3 是两点式油气回收系统的示意图。

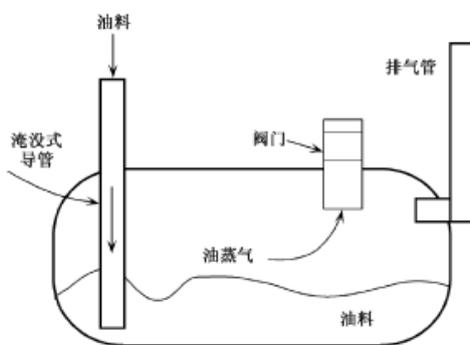


图 3 两点式一级油气回收系统

b) 同轴式油气回收系统

“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，油蒸汽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。

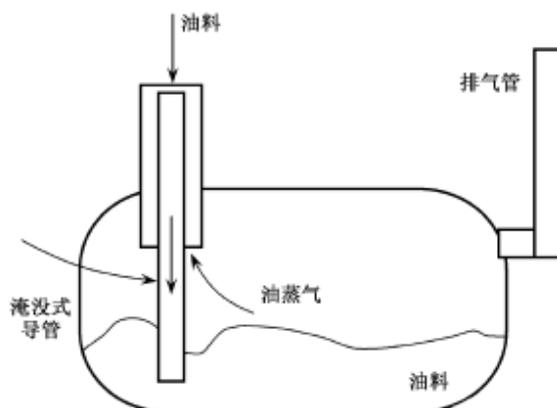


图 4 同轴式一级油气回收系统

4.1.2 技术要求

该系统有由三部分组成：

a) 安装在油罐车右侧下部管路箱内的密封式快速接头——由卸油自封快速接头、截止阀、帽盖，回气管自封快速阴接头、截止阀、帽盖和密封式橡胶垫圈组成；

b) 油气回收系统——该系统由安装在加油站卸油区的含锁柄油气回收阳接头、油气回收软管及安装在人孔大盖的防溢流探头、紧急排气阀、气动阀、连接胶管、油气回收无缝钢管管路、管路箱中的阴接头，卸油区的压力/真空阀（或称 P/V 阀）等组成；

c) 底部装卸油系统——由气动底阀、无缝钢管、海底阀、过滤网、含锁柄卸油快速接头、或油气回收弯管接头、帽盖、卸油管及安装在人孔大盖的防溢流探头、油库装油鹤管等相关部件组成。

上述 3 部分完整组成油罐车底部装卸油系统。

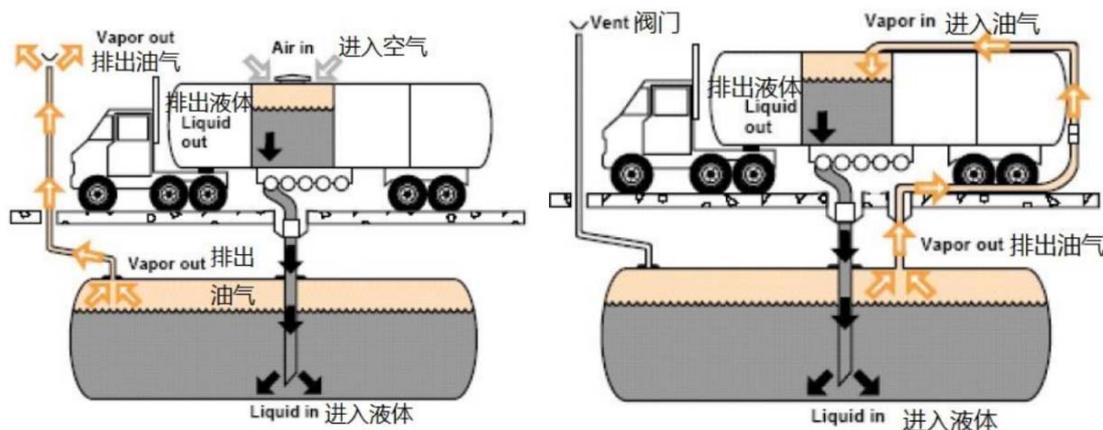


图 5 加油站第一阶段油气回收（左图：不使用油气回收系统；右图：使用油气回收系统）

为了避免卸油时，地下储罐因液面过度扰动增加油气挥发，并产生大量静电，国标 GB 20952 规定应采用浸没式卸油方式，卸油管出油口距罐底高度应小于 200 mm，卸油和油气回收接口应安装 DN 100 mm 的截流阀、密封式快速接头和盖帽。连接软管应采用 DN 100 mm 的密封式快速接头与卸油罐车连接，卸油后连接软管内不能存留残油。所有油气管线排放口应按 GB 50156 的要求设置 P/V 阀。P/V 阀的工作正压宜为 750 Pa，工作负压宜为 1.5-2.0 kPa。现行《加油站大气污染物排放标准》（GB 20952-2007）设定的 P/V 阀呼吸压力值范围为 2000-3000 Pa，但实际业内普遍实行的设定值却是 750 Pa，本标准根据实际情况采用 750 Pa。连接排气管的地下管线应坡向油罐，坡度不小于 1%，管线直径不小于 DN 50 mm。所有影响储油油气密闭性的部件，包括油气管线和所连接的法兰、阀门。快接头以及其他相关部件都应保证在小于等于 750 Pa 时不漏气。

4.1.3 减排效果及影响因素

整个系统运行、维护到位，密闭性良好、设计性能优越，该系统油气回收效率能达到 95%~98%。该系统回收的油气经油罐车运往油库，必须再经由冷凝、吸附等方式进行浓缩、吸收，才能真正做到油气回收。该系统正常运行的关键是保证系统的密闭性良好，包括地罐系统的密闭性和油罐车系统的密闭性，二者缺一不可。管路如果密闭性不佳，将会造成油气泄露，从而降低油气回收的功效。容易泄露的部位包括：联通油罐车与地下储罐的油气回收软管的接头处、油罐车罐体人孔大盖和软管接头处、卸油口连接快接头与软管的接头处等。

4.2 加油油气回收系统（Stage II）

4.2.1 工作原理

Stage II 油气回收系统主要是指在汽车加油时，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。常见的 Stage II 油气回收系统，包括“蒸汽平衡”和“真空辅助式系统”。

a) 蒸汽平衡式系统

蒸汽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管口形成密闭系统，从而为蒸汽平衡提供条件。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。

b) 真空辅助式系统

真空辅助式回收系统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 1200~1400 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。

4.2.2 技术要求

Stage II 油气回收系统主要由具有油气回收功能的加油枪、油气回收反向同轴式胶管、拉断阀、油气分离（调节）阀、止回阀、排液单向阀、真空泵、压力/真空阀等组成。

加油产生的油气应采用真空辅助方式密闭收集。汽油加油机应具备油气回收功能。加油枪应配套采用带封气罩的防溢式油气回收加油枪和软管。加油枪与加油机之间的连接软管上应设拉断阀。加油油气回收管道的公称直径不应小于 50 mm。横管坡向埋地油罐或积液装置的坡度不应小于 1%。

加油机底部与油气回收立管的连接处，应安装检测液阻和系统密闭性的螺纹三通，接头至少应高出地

面 150mm，其旁通短管应设球阀及丝堵，公称直径应为 25mm。

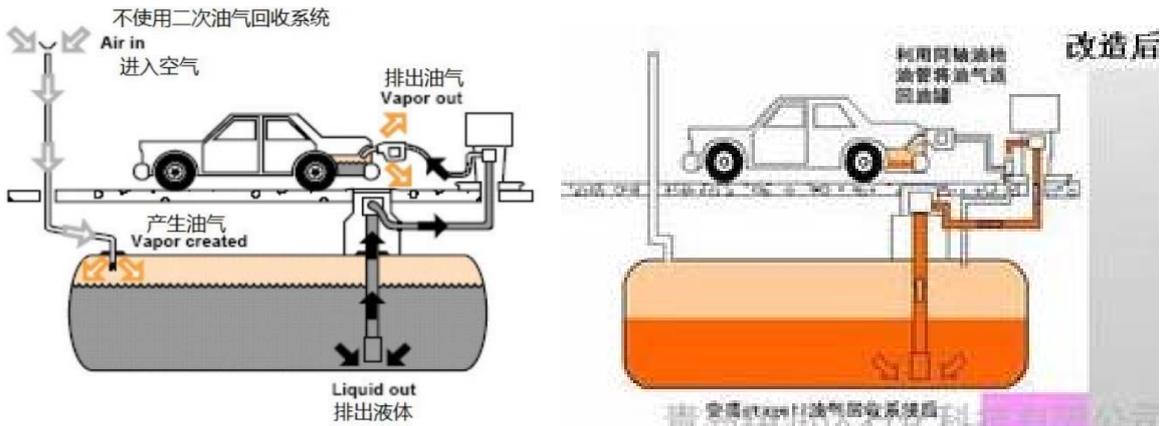


图 6 加油站第二阶段油气回收（左图：不使用油气回收系统；右图：使用油气回收系统）

4.2.3 减排效果及影响因素

理论上 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。

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。同时不论选哪种型式，加油枪都必须在现有情况下改进。

4.3 油气排放处理技术

4.3.1 工作原理

加油站油气排放处理装置是将一、二级油气回收系统收集的油气进行再回收的后端油气处理系统。此装置的安装是为了解决回收到储油罐内的油气过多，或由于温度变化等外界因素的影响造成罐压增高，从而再次向大气排放油气的问题。此装置常用的油气回收技术有吸附法、吸收法、冷凝法、膜分离法及几种方法之间的优化组合。通常油气回收过程中使用的组合法有吸附+吸收、冷凝+膜+吸附、冷凝+吸附等。

a) 吸附法

用活性炭（和硅胶）作吸附剂的油气回收工艺有变压吸附、变温吸附以及两者联合使用的变温—变压吸附工艺。在强吸附剂的情况下一般采用变压吸附，这种工艺自动化程度高、投资少、能耗低、安全性好；弱吸附剂的情况下一般采用变温吸附，这种工艺吸收效率高、设备简单、工艺相对成熟。活性炭既有煤质的也有木质的，通常对加油站、油库排放的油气进行吸附处理的活性炭的单位吸附理想能力必须达到每升

10~14 g/100ml (约 0.25~0.35g/g)。吸附法油气回收技术的筛选要点是：选择对油气具有较高吸附和脱附效率、生产制备容易、强度合适、使用寿命足够长、来源广泛、副作用较小的吸附剂。吸附法回收装置主要有两种类型：固定式加油站油气吸附装置及油罐车携带式油气吸附装置。吸附装置的核心设备为吸附柱。通常在加油站多为吸脱附法+膜处理+冷凝法。

b) 吸收法

吸收法是利用混合气体在溶剂中溶解度的差异，通过溶解吸收来实现油气回收的技术。通过油气和吸收溶剂在填料吸收塔中进行逆流接触，因油气中各组分在吸收剂中溶解度不同，将易溶解的组分和难溶解的组分分离开。目前，油气吸收法一般使用 3 种不同的吸收剂，即轻柴油、低温汽油和有机溶剂。油气吸收法一般吸收法回收装置有两类：常温吸收法和低温吸收法油气回收装置。吸收法处理装置的主要设备为吸收塔。

c) 冷凝法

冷凝法是利用各种有机气体在不同温度和压力下具有不同的饱和蒸气压，通过降低温度或增加压力，使某些有机组分首先凝结出来。冷凝法回收装置一般是采用多级连续冷却方法降低油气的温度，使之凝聚为液体回收。冷凝法适用于高浓度烃蒸气的回收，不适合低浓度的烃蒸气。

d) 膜分离法

膜分离法主要是利用气体组分分子大小不同及在有机薄膜内的扩散能力不同，即渗透速率的不同，来实现有机气体分子与空气的分离。膜分离法利用了高分子膜对油气的优先透过性的特点，让油气和空气的混合气在一定的压差推动下，经膜的“过滤作用”使混合气中的油气优先透过膜得以“脱除”回收，而空气则被选择性截留。

膜分离回收装置通过监测油罐的压力来控制回收系统的间歇式自动操作。汽车加油时，由于抽气速率大于发油速率，油罐的压力将上升。当油罐压力升高到一定值时，膜分离装置自动启动。油罐排放出来的油气排入膜分离装置，油气优先透过膜，在膜的渗透侧富集，再经真空泵返回油罐。脱除油气后的净化空气则直接排入大气。随着油罐中空气的排放，油罐的压力不断下降。当油罐的压力降低到正常水平，膜分离装置将自动停止运行，整个系统密闭。如此往复，完成油气回收过程。

4.3.2 技术要求

《加油站大气污染物排放标准》(GB 20952-2007) 中将气液比值规定为 (1.0-1.2)：1.0，处理装置正是有针对性用于处理加油枪从邮箱内抽回的-10%-30%及偏出此范围的油气。

加油站是否要统一安装油气处理装置在国内一直存在争议。在国际上，欧洲加油站由于气液比(0.95-1.05)允许范围较小，且系统为半开放系统，无须安装处理装置。美国加州在推行加油站二阶段油气回收技术的

过程中，为了最大限度地降低油气排放，颁布了强化油气回收（EVR）法令，根据 EVR 法令要求，诞生了一系列的加油站储罐压力管理系统，使用的原理包括膜分离、吸附技术。我国在国标（GB 20952-2007）中将此类压力管理系统加以引入，要求在二阶段油气回收之后对加油站地下储罐内由于压力过高可能引起排放的油气进行环保处理。但目前处理装置的回收效率评估规范暂时还没有出台，相关技术依据和认证标准还不够完善，因此，有意见提出暂缓安装，主要代表方为成品油销售企业。

该技术有以下技术要求：a) 油气处理装置应有自身故障诊断功能，以及实时显示罐内空间压力的功能或预留随时检测罐内空间压力检测接口；b) 油气处理装置应根据埋地油罐的空间压力实施自动控制开启或停机，开启的压力感应值宜在 150 Pa~300 Pa 之间，停机的压力感应值宜为-150 Pa。卸油期间，油气处理装置应保持开启状态；c) 油气处理装置宜靠近埋地油罐通气管设置，在站内的防火距离可比照加油机确定。d) 处理装置的排气管口高于地面不应小于 4 m；e) 油气处理装置的进口管线应接在埋地油罐罐盖、通气管或卸油油气回收管线上，处理产生的高浓油气或冷凝油应引入低标号汽油罐；f) 与油气处理装置连接的管线公称直径不应小于 50 mm，横管坡向埋地油罐的坡度不应小于 1%。连接部位应设阻火器和阀门；g) 油气处理装置在非开启时应保持密闭状态。

4.3.3 适用范围及优缺点

a) 吸附法

吸附法特别适用于排放标准要求严格、用其他回收方法难以达到要求的含烃气体处理过程。吸附法处理气体时，如果进料气中含有固体颗粒，必须进行预处理，吸附法处理油气装置可大可小，既适合在加油站又可用在油库。

吸附法的优点是结构简单、操作方便、直接操作费用不高、生产运行好、吸脱附效率高；对长期运行和间歇运行都适用，并可以使尾气浓度控制在很小的指标内；缺点为进口浓度很大时，吸附热效应将很明显。此外，该吸附装置是吸附和再生合在一起的装置，费用高于吸收法装置。但如果采用加油站分散吸附，吸附柱集中统一再生处理及回收油气，其操作费用相对并不昂贵，而且这种方法比较适合国内的加油站。

b) 吸收法

吸收法适用范围广，对于处理高浓度、大流量的油气有明显优势；常压常温吸收法有两种回收类型：一是富吸收液可以再生，装置可设计为一个独立完整的系统，适用范围广，但对吸收液性能要求严格；另一种是富吸收液送回炼油厂再加工处理，这时吸收液仅作一次性处理，故限制了其使用范围，这类回收装置尤其适用于炼油厂回收油气。但是，通常这类纯吸收方法不适合在加油站使用。

吸收法优点为设计弹性大，操作方便，可以回收气体混合物，但是吸收法不利于间歇操作，对吸收剂和吸收设备的要求高，吸收剂需进行预冷处理。

c) 冷凝法

冷凝法适用于高浓度烃蒸气的回收，不适合低浓度的烃蒸气。

冷凝法的最大优点就是回收的烃类液体纯净、不含杂质（活性炭吸附法回收的烃含有碳粒，吸收法回收的烃含有吸收剂，但用汽油作吸收剂吸收汽油油气除外）。缺点是设备造价较高，能耗高。必须在很低的温度下才能达到较高的回收率，需要相对稳定的流动和浓度。

e) 膜分离法

膜分离法流程简单，占地面积小，处理气体的流量和浓度不受限制等诸多优点，特别适用于汽油装车、装船的油气回收。膜分离处理装置处理能力可大可小，既适合用在加油站又可以安装在油库。

膜分离法流程简单，回收率高，操作弹性大，自动化程度高，无需专人维护保养，无二次污染，环保节能，安全可靠。其主要缺点是膜材料成本高、使用寿命短，投资大。另外，如果系统还增加压缩机，能耗也较高。

4.3.4 减排效果

吸附法可以达到较高的处理效率（90%~98%），而且排放的浓度很低。但是，国产活性炭吸附力一般只有7%左右；吸收法效率一般在80%~95%不等；冷凝法的回收效率一般在80%~90%，冷凝法要达标需要降到很低的温度，耗电量巨大；膜分离法回收效率一般在85%~95%。膜分离法的回收效率与烃蒸气的浓度、预压缩的压力、膜的制造结构及其材料的选择性能有关。

表 4 加油站 VOCs 排放污染控制技术

序号	油气回收系统	工作原理		适用范围	优缺点	减排效果	成本
1	油罐车卸油油气回收系统	在加油站地下储罐收油阶段，将油罐车卸汽油时产生的油气，通过密闭方式收集进入油罐汽车槽罐内的系统。		用以回收油罐车在加油站装卸油料时产生的油气。	优点为该系统的回收率可达 95%~98%； 缺点为回收的油气经油罐车运往油库，必须再经由冷凝、吸附等方式进行浓缩、吸收，才能真正做到油气回收。	95%~98%	-
2	加油站加油油气回收系统	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。		用以回收加油时产生的油气。	安装要求比较复杂，增加的费用较多。	理论上可达到 95%，但实际的效率为 85%~95%不等	-
3	油气排放处理装置	吸附法	用活性炭（和硅胶）作吸附剂的油气回收工艺有变压吸附、变温吸附以及两者联合使用的变温—变压吸附工艺。	特别适用于排放标准要求严格、用其他回收方法难以达到要求的含烃气体处理过程。	优点是结构简单、操作方便、直接操作费用不高、生产运行好、吸脱附效率高；对长期运行和间歇运行都适用，并可以使尾气浓度控制在很小的指标内； 缺点为进口浓度很大时，吸附热效应将很明显。	90%~98%	吸附剂更换成本高
		吸收法	吸收法是利用混合气体在溶剂中溶解度的差异，通过溶解吸收来实现油气回收的技术。	适用范围广，对于处理高浓度、大流量的油气有明显优势。	优点为设计弹性大，操作方便，可以回收气体混合物； 缺点为吸收法不利于间歇操作，对吸收剂和吸收设备的要求高，吸收剂需进行预冷处理。	80%~95%	设备投资小但能耗大。

序号	油气回收系统	工作原理		适用范围	优缺点	减排效果	成本
		冷凝法	利用各种有机气体在不同温度和压力下具有不同的饱和蒸气压，通过降低温度或增加压力，使某些有机组分首先凝结出来。	适用于高浓度烃蒸气的回收，不适合低浓度的烃蒸气。	优点是回收的烃类液体纯净、不含杂质； 缺点是设备造价较高，能耗高。必须在很低的温度下才能达到较高的回收率，需要相对稳定的流动和浓度。	80%~90%	装备较复杂，成本太高，很难在国内推广。
		膜分离法	利用气体组分分子大小不同及在有机薄膜内的扩散能力不同，即渗透速率的不同，来实现有机气体分子与空气的分离。	特别适用于汽油装车、装船的油气回收。膜分离处理装置处理能力可大可小，既适合用在加油站又可以安装在油库。	优点为流程简单，回收率高，操作弹性大，自动化程度高，无需专人维护保养，无二次污染，环保节能，安全可靠； 缺点是膜材料成本高、使用寿命短，投资大。另，如果系统还增加压缩机，能耗也较高。	85%~95%	目前核心设备需要进口，投资较高；但现行经济效益与环境效益均良好。
		氧化燃烧法	-	-	优点是操作费较低； 缺点是会造成污染，而且具有一定的安全问题。	-	成本与吸收法差不多。

5 标准实施的环境效益及经济技术分析

5.1 实施本标准的环境效益

随着我国机动车保有量的不断增加，加油站数量和油气消费量均呈上升趋势。调研结果显示，截止到2017年底全国共有加油站约14.8万座，比2011年的9.6万座增加了5.2万座，增幅达到了54%。加油站油品年消耗量为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。根据《中国能源统计年鉴-2016》可知，2015年我国加油站汽油销售量4789.58万吨，柴油销售量10248.64万吨。

采用排放因子法估算加油站VOCs污染受控前后的排放量，计算过程基于公式（1）：

$$\text{VOCs} = \text{汽油排放因子} \times \text{汽油消耗量} + \text{柴油排放因子} \times \text{柴油消耗量} \quad (1)$$

根据加油站各排放环节排放因子的研究，综合分析得出采取油气回收技术前加油站VOCs排放因子为5.06 kg/t汽油、0.075 kg/t柴油。假设京津冀地区、长江三角洲地区和珠江三角洲地区安装了储油和加油控制措施，在此基础上得出各省份采取油气回收技术后加油站油气排放因子（见表5）。

表5 我国各省份受控后加油站VOCs排放因子（kg/t）

油品种类	活动过程	VOCs 排放因子	
		京津冀、长三角、珠三角	其他地区
汽油	卸油排放	0.35	0.35
	加油排放	0.37	2.49
	油罐呼吸	0.16	0.16
	油品滴溅	0.11	0.11
	总计	0.99	3.11
柴油	卸油排放	0.00135	0.027
	加油排放	0.048	0.048
	总计	0.049	0.075

根据上述排放因子及加油站油品消耗量数据，由式（1）计算出2015年我国加油站受控前后油品蒸发造成的VOCs排放量，结果见表6。

表6 我国各省份加油站VOCs排放量（2015年）

地区	受控前排放量 (*10 ³ t)	受控后排放量 (*10 ³ t)	地区	受控前排放量 (*10 ³ t)	受控后排放量 (*10 ³ t)

地区	受控前排放量 (*10 ³ t)	受控后排放量 (*10 ³ t)	地区	受控前排放量 (*10 ³ t)	受控后排放量 (*10 ³ t)
北京	2.35	0.50	河南	14.04	8.76
天津	1.62	0.36	湖北	18.86	11.69
河北	3.98	0.91	湖南	8.85	5.58
山西	5.76	3.65	广东	21.16	4.50
内蒙古	8.00	4.97	广西	6.94	4.37
辽宁	16.24	10.15	海南	0.76	0.48
吉林	2.05	1.32	重庆	3.11	2.03
黑龙江	11.88	7.36	四川	10.47	6.48
上海	6.25	1.29	贵州	7.45	4.66
江苏	28.19	5.69	云南	7.07	4.47
浙江	18.05	3.66	西藏	-	-
安徽	9.83	6.16	陕西	5.29	3.34
福建	9.87	6.15	甘肃	2.25	1.45
江西	6.22	3.92	青海	0.44	0.29
山东	6.83	4.44	宁夏	0.38	0.26
新疆	5.87	3.71	总计	250.04	122.61

注：西藏、香港特别行政区、澳门特别行政区及台湾省资料暂缺。

经比较分析可得，我国每年加油站油品蒸发生成的 VOCs 排放量约 25.00 万吨，采取控制措施后加油站 VOCs 排放量约 12.26 万吨，共计减排 VOCs 12.74 万吨，总体减排率约 51%左右。

5.2 实施本标准的经济效益

根据对加油站油气回收系统成本的调研，一阶段油气回收系统和二阶段油气回收系统的建设成本为平均一座加油站约 20-25 万左右。全国 2015 年共有约 14.8 万座加油站需要安装油气回收系统，则所需投入的经济成本为 296 亿元-370 亿元之间。参考目前市场的油价，假定每吨油品价格为 7500 元，由此可得到 2015 年我国油气回收产生的经济效益为 9.56 亿元。