

《加油站油气排放控制要求》

(征求意见稿)

编制说明

标准编制组

二〇二〇年十月

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 产排污情况分析	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 加油站 VOCs 组分特征分析	6
3.4 我国加油站 VOCs 排放现状	10
4 加油站 VOCs 排放控制技术比较研究	14
4.1 加油站 VOCs 排放环节与控制技术	14
4.2 第一阶段油气回收系统 (Stage I)	14
4.3 第二阶段油气回收系统 (Stage II)	15
4.4 油气回收在线监测系统	18
5 标准主要技术内容	20
5.1 标准适用范围	20
5.2 标准结构框架	20
5.3 术语和定义	20
5.4 污染物排放限值的确定及制定依据	20
6 国内外相关标准现状与发展趋势	25
6.1 美国加油站油气回收历史	25
6.2 欧洲加油站油气回收历史	28
6.3 我国加油站油气回收过程	30
7 标准实施的环境效益及经济技术分析	33
7.1 实施本标准的环境效益	33
7.2 实施本标准的经济效益	33

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。为加快改善环境空气质量，打赢蓝天保卫战，进行加油站油气排放控制非常必要和及时。在全面认真调查研究的基础上，逐步使加油站的污染控制和油气回收纳入我国环保的日常工作中，才能满足诸多面临的紧迫要求，并为国家环境保护行政主管部门对加油站的污染排放控制和管理提供决策依据。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，原国家环境保护总局 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）并于 2019 年对其进行了修订。这些标准实施以来，对我国加油站油气 VOCs 减排发挥了至关重要的作用。

为推动加油站油气回收建设工作，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〈加油站油气排放控制要求〉团体标准立项的公告》（中环联字〔2020〕81 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《加油站油气排放控制要求》（以下简称《要求》）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联合中国环境科学研究院和中华环保联合会 VOCs 污染防治专业委员会成立了标准编制组，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排放控制标准政策、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，评估了现行加油站标准的可行性和科学性，总结油气回收的经验，为标准制定提供借鉴。在此基础上，编写了《加油站油气排放控制要求》（征求意见稿）。

具体工作过程包括：

（1）资料调研——对国内外相关排放标准、油气回收控制技术、油气回收现状等资料进行调研。2016 年 12 月-2017 年 12 月，梳理总结了国内外典型地区加油站油气排放控制标准、管理要求和油气回收技术资料；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 1 月-12 月，先后对北京市油气油品监管部门和各地加油站油气回收现状进

行了现场调研，评估了现行加油站油气排放控制标准及油气回收技术的可行性和科学性。鉴于北京市加油站油气回收工作在全国前列，编制组到北京市机动车排放管理中心油气油品监管科调研，重点调研了北京市加油站在油气回收控制方面的经验，了解了北京市加油站油气回收装置安装及运行情况，及现行北京市加油站标准的实施情况。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，选取不同规模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系统的密闭性、液阻、气液比等油气回收系统性能指标，以及排放尾气 VOCs 的浓度和种类，评估油气回收系统运行效果。

(4) 形成《加油站油气排放控制要求》(讨论稿)——2018年8月-至今，在国内外标准、控制技术资料调研和加油站现场调研、监测的基础上，综合加油站实际情况及进一步减排的要求，组织标准编制单位召开了多次研讨会，对《加油站油气排放控制要求》框架及标准内容进行讨论，在此基础上形成了标准讨论稿。

2 标准编制的必要性及基本原则

2.1 必要性

a) 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 排放的一个重要来源。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。

b) 人员健康危害

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。

c) 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。根据《散装液态石油产品损耗》（GB11085—89）列出的我国不同地区汽油储运销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‰。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。因此加油站安装油气控制和回收系统，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% 以上的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，制定油气排放控制限值，体现了标准的科学性原则。

b) 可行性原则

标准制定过程中，充分调研和参考借鉴国内外加油站油气排放标准和先进的油气回收控制技术，实际测试加油站油气处理装置液阻、气液比、密闭性等控制指标，区别对待新老加油站的油气排放问题，现有加油站给予一定的整改时间，分阶段有序推动标准实施，体现了标准的可行性原则。

c) 整体性原则

根据加油站油气排放环节，分加油、储油、卸油、油气处理装置等不同环节的控制要求，结合实际测试情况，制定气液比、密闭性、油气处理装置检测方法，增加监督性监测要求，体现了标准的整体性原则。

3 产排污情况分析

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。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。

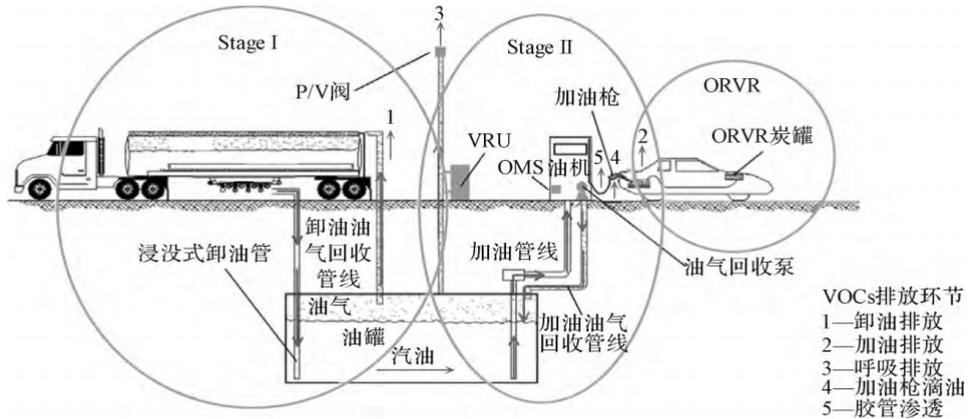


图 3-1 加油站 VOCs 排放环节

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。

3.2.1 加油站卸油过程油气挥发

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。

3.2.2 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 加油站 VOCs 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 3-1 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 3-1 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

为了更好的了解加油站 VOCs 的排放特征，对 VOCs 的主要组分做了调查研究。通过对加油站不同采样点位进行汽油油气样品采集和挥发组分的分析，进一步研究 VOCs 组分分布特征。

3.3.1 油气组分及碳原子数分析

由于地下储罐压力变化时，储罐上方的油气将会通过地下储罐通气管向外排放，并且夏季油品挥发较

为显著。因此，以夏季试点加油站地下储罐通气管采样口采集的油气样品分析结果为例，讨论 VOCs 组分分布特征。

地下储罐通气管夏季油气组分及碳原子数分析结果见图 3-2~图 3-4。

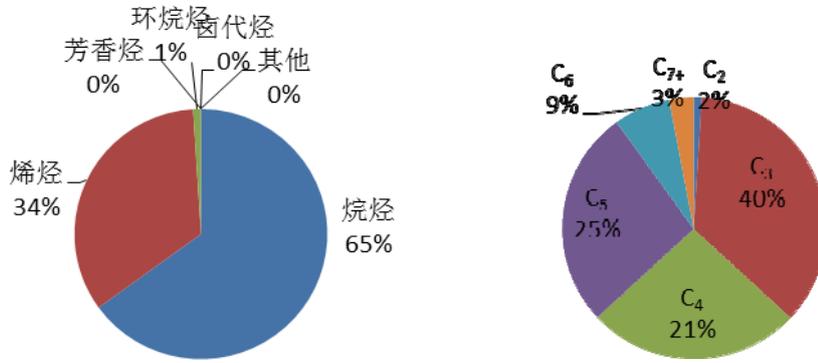


图 3-2 5 月地下储罐通气管油气组分分布特征

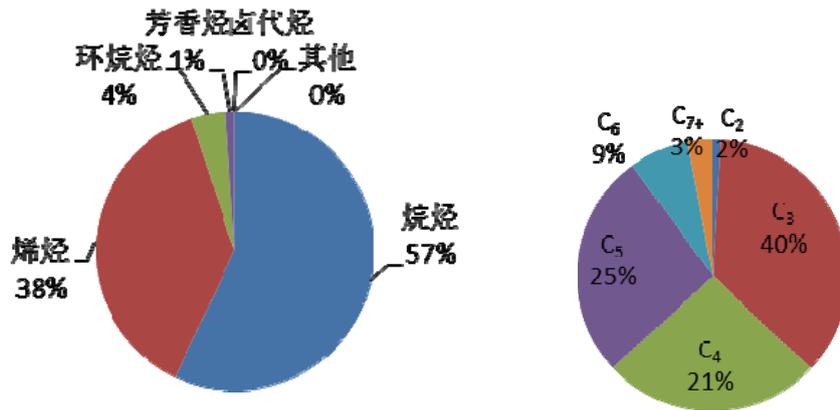


图 3-3 6 月地下储罐通气管油气组分分布特征

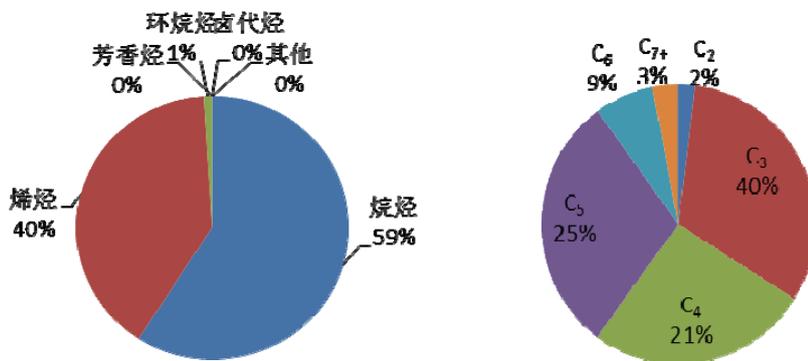


图 3-4 7 月地下储罐通气管油气组分分布特征

由图 3-2~图 3-4 可见，夏季地下储罐通气管排放的油气，从有机物的分类上看，烷烃占 57%-65%，烯烃占 34%-40%，其次为环烷烃 ($\leq 4\%$)，芳香烃浓度较低 ($\leq 1\%$)，卤代烃和醚类、酯类、酮类等几乎没有

检出。从碳原子数看，C₃占32%-40%，C₄占21%-26%，C₅占25%-30%，C₆不到10%，C₂和≥C₇的组分均占比很小。丙烯、丙烷、异丁烷、异戊烷、戊烯等是地下储罐通气管油气采样口主要排放物质，丙烯和丙烷的最高浓度超过40 g/m³。

3.3.2 不同点位油气组分比较

以7月量油口采集的油气样品分析结果（图3-5）为例，分析与地下储罐通气管采样口采集样品分析结果的异同。

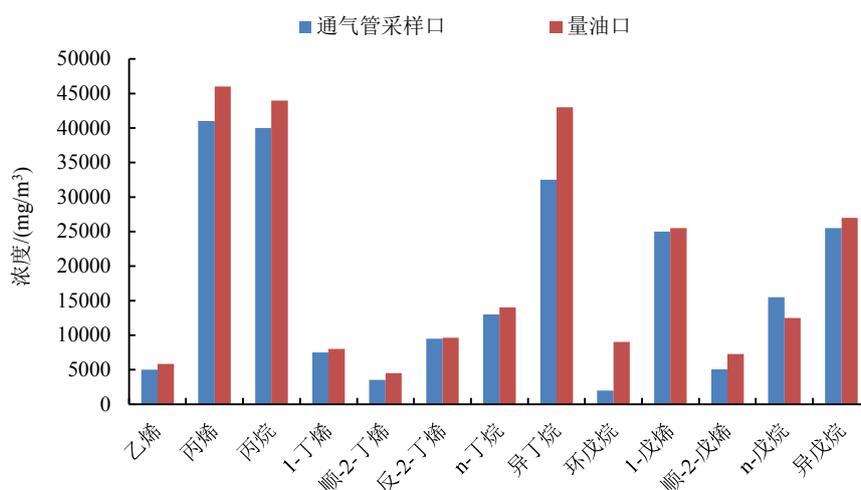


图 3-5 7月量油口与地下储罐通气管采样口样品主要组分浓度对照

由图3-5可见，在夏季同一月份，在量油口采集的主要组分浓度与地下储罐通气管采样口采集的主要组分十分类似，排放的主要组分均为丙烯、丙烷、异丁烷、异戊烷、戊烯等，并且浓度较高，浓度最大值超出了45 g/m³，其中≥25 g/m³的组分5种，浓度≥10 g/m³以上的有7种。

检测结果显示汽油油气在地下储罐系统呈现较稳定、均质分布；在气温炎热的夏季，地罐内油温达27-28℃，整个气相空间充满高浓度的挥发性油气，卸油时地罐油液扰动强烈，油气浓度和蒸汽压将大幅度上升，从而引发污染排放。

3.3.3 加油站 VOCs 的排放特征

通过以上分析研究成果可初步了解：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。采集的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（抗爆剂）。分析原因主要是因为是在低温季节，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，提高冷机点发火性能。分析结果见表 3-2。

表 3-2 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

3.3.4 VOCs 排放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。

3.4 我国加油站 VOCs 排放现状

3.4.1 我国加油站建设及油气消费情况

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%。各省份加油站数量分布如图3-6所示。加油站数量最多的三个省份分别为山东省、河南省和河北省，这三个省份加油站数量均超过一万座，为油气消费大省。加油站数量较少的省份为海南省、青海省和西藏自治区，其中西藏自治区最少，只有275座。

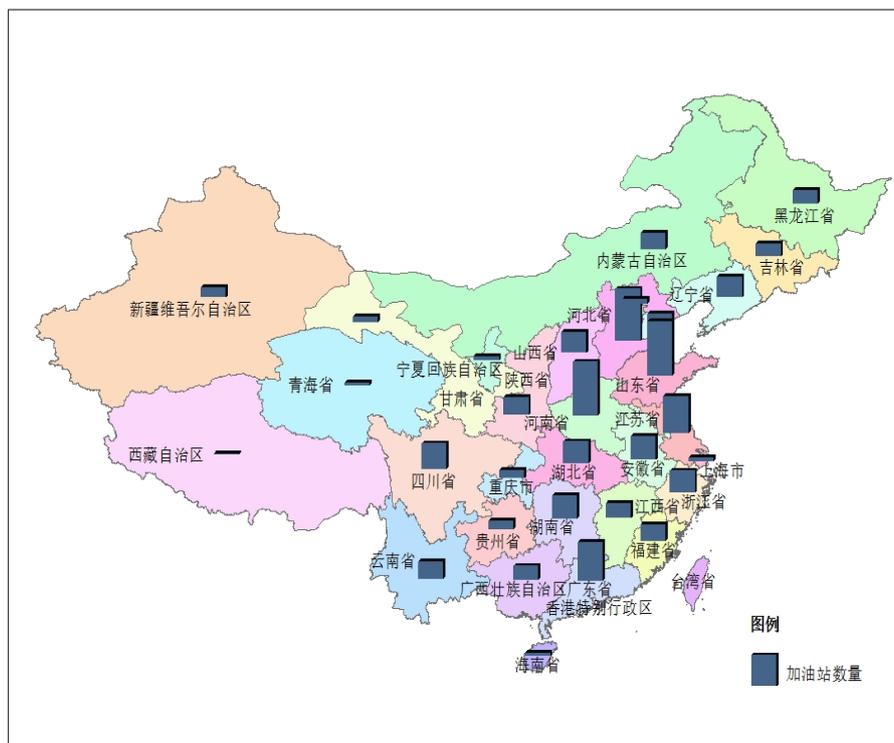


图 3-6 全国各省份加油站数量空间分布图

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。全国各省份加油站油气销售量见表3-3。其中，广东省、江苏省和浙江省油气消耗量较高，而海南省、青海省和宁夏回族自治区的油气消耗量较低。整体呈现长江三角洲地区和珠江三角洲地区油品消耗量较多，西部地区油气消耗量较少的特点。

表 3-3 全国各省份加油站油气销售量（2015 年）

地区	汽油销售量 (万吨)	柴油销售量 (万吨)	地区	汽油销售量 (万吨)	柴油销售量 (万吨)
北京	44.65	118.00	河南	270.67	461.45
天津	30.20	118.45	湖北	367.29	362.56
河北	72.85	389.52	湖南	167.44	500.63
山西	108.30	374.76	广东	402.74	1043.47
内蒙古	155.32	188.15	广西	131.47	379.73
辽宁	312.23	590.39	海南	14.30	51.89
吉林	37.58	198.68	重庆	55.56	396.13
黑龙江	231.95	188.66	四川	204.58	160.01
上海	120.63	201.47	贵州	142.84	291.17
江苏	549.71	498.65	云南	133.16	440.97
浙江	351.00	381.00	西藏	-	-
安徽	188.18	405.25	陕西	100.14	295.14
福建	190.95	280.60	甘肃	41.00	234.00
江西	118.00	328.00	青海	7.65	72.95
山东	122.41	843.85	宁夏	6.10	89.42
新疆	110.68	363.69	总计	4789.58	10248.64

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。

3.4.2 加油站 VOCs 污染受控前后排放量的比较分析

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。其中卸油排放和加油排放是加油站 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。

本研究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）：

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

根据现有对加油站各排放环节排放因子的研究，综合分析得出采取控制措施前加油站 VOCs 排放因子为 5.06 kg/t 汽油、0.075 kg/t 柴油。根据《加油站大气污染物排放标准》（GB 20952-2007）中的时间表，我们假设 2015 年全国各省份加油站均安装了卸油控制措施，京津冀地区、长江三角洲地区和珠江三角洲地区

还安装了储油和加油控制措施，在此基础上得出各省份受控后加油站 VOCs 的排放因子（见表 3-4）。

表 3-4 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 3-5。

表 3-5 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)
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。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 9.56×10^8 元。

根据估算结果可知，京津冀地区、长江三角洲地区和珠江三角洲地区的加油站 VOCs 减排率均可达到 75%以上，而其他地区 VOCs 减排率只有不到 40%。因此，除京津冀地区、长江三角洲地区和珠江三角洲地区以外的其他地区加油站 VOCs 减排重点为推进加油油气回收系统的安装和应用，以提高这些地区的 VOCs 减排率。而已安装的油气回收系统在实际运行过程中，由于操作人员培训不到位和后期维护的缺失等原因，导致油气回收效率较低，实际减排率应低于估算减排率。因此，在油气回收系统安装较完善的地区应该重点提升油气回收系统的运行效率。

4 加油站 VOCs 排放控制技术比较研究

4.1 加油站 VOCs 排放环节与控制技术

图 4-1 为加油站 VOCs 排放环节与控制技术。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。采用不滴油加油枪。⑤胶管渗透控制。采用低渗透胶管。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）。

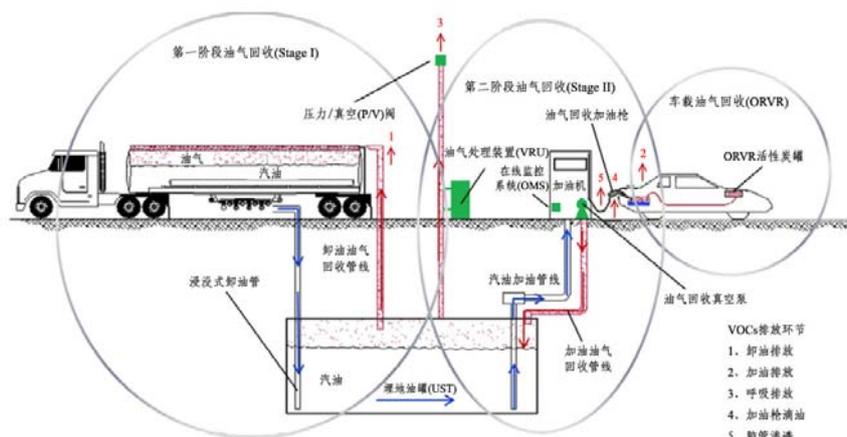


图 4-1 加油站 VOCs 排放环节与控制技术

4.2 第一阶段油气回收系统（Stage I）

第一阶段油气回收系统针对地下储油罐的收油阶段，也就是将油罐车与地下储油罐的输油管及油气回收管连接成密闭的回收系统，当油罐车卸油时，地下储油罐中同体积的油气就会回收到油罐车中，油罐车将回收的油气带回油库。

一般在地下储油罐的排气管顶端安装有呼吸阀，呼吸阀在正常情况下紧闭，当罐内平均压力超出76.2 mm水柱高时，呼吸阀会自动打开释放油气；若罐内产生一定的真空度时，呼吸阀也会自动打开，从大气中吸入空气以平衡罐内压力。如图3-2所示，由于油品输入加油站地下储油罐时会因液面震荡起伏而增加油气的挥发与溢散并产生大量的静电，因此加油站建设规范要求输油管必须深入油面下方以减少液面扰动，《汽

车加油加气站设计规范》中规定输油管距罐底高度为200 mm。油品自潜入液面下的输油管注入，产生的油气则由液面上的回收管收集至油罐车内。

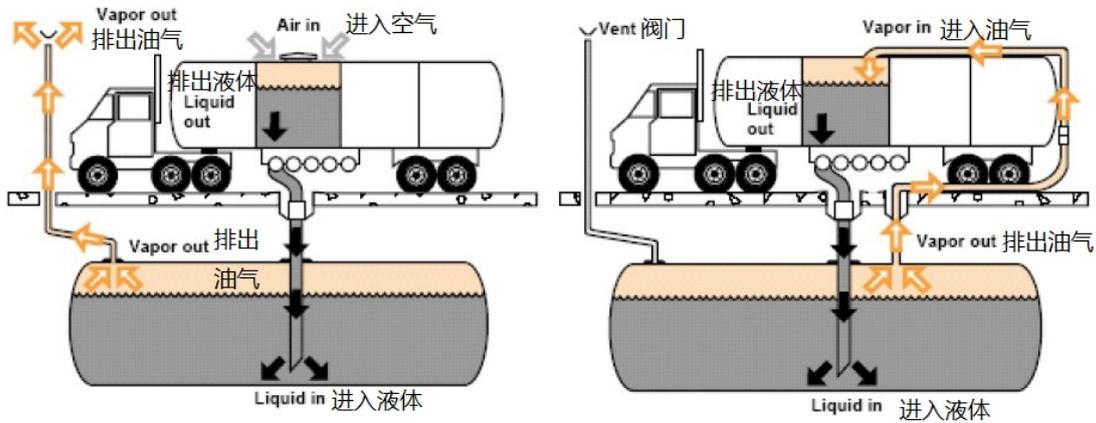


图 4-2 加油站第一阶段油气回收系统示意图

4.3 第二阶段油气回收系统 (Stage II)

当车辆加油时，利用加油枪上的特殊装置，将原本由车辆油箱逸散于空气中的油气经加油枪、抽气泵进行回收，并将回收的油气储存在地下储油罐内保压，不做排放。当地下储油罐内的油气压力过高时，地下储油罐排气口处的呼吸阀会自动打开，排出超压的油气（图4-3）。

常见的Stage II油气回收系统包括蒸气平衡式和真空辅助式2种，这2种型式都必须采用专用的油气回收型加油枪。蒸气平衡式油气回收系统利用加油枪抽气量A与加油量L的比值（air to liquid volume ratio, A/L）接近于1:1的原理进行回收，亦即每加1L油，地下储油罐液位下降产生1L空间，而同时经由加油枪回收相当于1L体积的油气，送回地下储油罐内填补液位下降空间而达到压力平衡。该油气回收系统主要依靠加油枪管口的面板与机动车油箱口之间的充分密封来实现，需要设置探入式导管，同轴软管形成的圆形和环空密闭流道使得发油和油气回收同步进行。

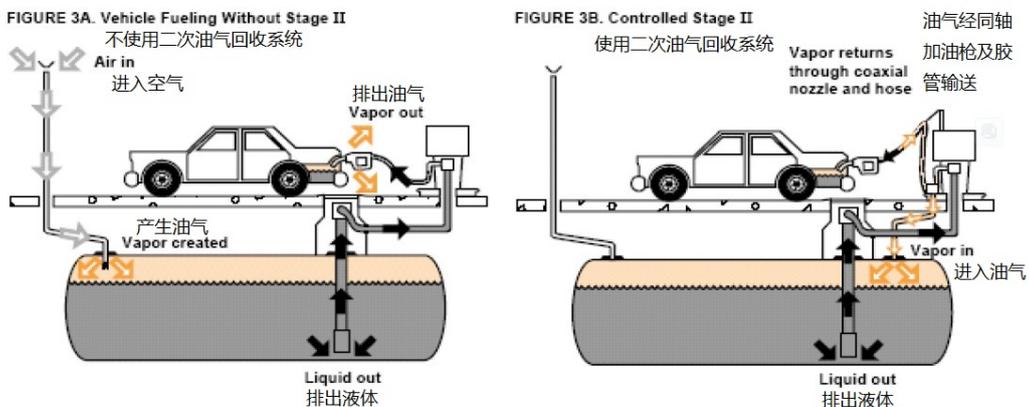


图 4-3 加油站第二阶段油气回收系统示意图

目前普遍使用的回收设备是真空辅助式油气回收系统。其特点是在给车辆加油的同时利用真空泵产生的吸力进行油气回收，主要设备包括真空泵、油气分离接头、同轴短皮管、拉断阀、同轴软管和回收型加油枪等。加油时，油品从同轴软管的外层流出，通过回收型加油枪注入车辆油箱；产生的油气在真空泵作用下从回收型加油枪枪头四周的小孔进入油枪内部，经同轴软管的内层及分离器进入回收泵，然后流回地下储油罐。根据真空泵的型式，可分为分散吸取式和中央吸取式（或称集中式）2大类。

（1）分散吸取式的真空泵一般分别设置于各台加油机内，通常采用涡轮叶片式真空泵连结一条与输油管平行的油气回收管线和地下储油罐连结。当油品输出时电机带动涡轮叶片式真空泵产生真空，进而通过回收油枪达到回收车辆油箱内挥发油气的效果。

（2）中央吸取式的真空泵设置于油气回收管与地下储油罐连接处，一般每个地下储油罐设置1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。真空泵直接利用潜油泵所提升的油品压力来驱动,毋需额外增加驱动动力。

加油站油气排放处理技术

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。几种油气排放处理技术的比较见表 4-1。目前，国内加油站多采用冷凝+吸附的组合法。

表 4-1 加油站油气排放处理技术比较

工作原理		适用范围	优缺点	减排效果	成本
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。
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。

4.4 油气回收在线监测系统

加油站在线监控系统是一套能够在线监控油气回收过程中油枪的气液比、油气回收系统压力和管线的液阻这三项指标是否正常的系统，当系统发现异常时可提醒操作人员采取相应措施，并能记录、储存、处理和传输监控资料。在线监控系统一般由气体流量计、压力传感器、电测子系统、数据远程传输子系统、数据集中管理软件平台组成。

安装油气回收在线监控系统可以实现对油气回收系统的及时监控，随时掌握加油站油气回收系统的运行状况，全程监控、及时报警、及时维护，从而在管理机制上保障油气回收系统的正常运行。此外，可以通过监控系统储存数据分析，及时发现和排除故障，确保加油站油气排放控制设施的有效运行。

目前国内在线监控系统技术类型主要有美式和德式两大类。产品包括：德国 FAFNIR-VAPORIX 油气回收在线监控系统、美国维德路特公司 ISD 系统、美国富兰克林 ISD 系统、中国机械科学研究总院自行开发的 RSS 在线监控系统。此外，还有法国托肯闭环控制油气回收系统和南京天膜油气回收公司的 OMS 在线监测系统。

5 种在线监控系统成本投入：

德国 FAFNIR-VAPORIX：>32 万元/加油站（代理商提供根据不同的配置方案，价格可控制在 15 万元）。

美国维德路特：>25 万元/加油站；

美国富兰克林：>25 万元/加油站。

中国机械科学研究总院制造工程研究所：11.8 万元/加油站。

表 4-2 加油站 VOCs 排放污染控制技术比较表

油气回收系统	工作原理	适用范围	优缺点	减排效果	成本
油罐车卸油油气回收系统 (Stage I)	在加油站地下储罐收油阶段, 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。	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%	加油站按 10 把枪计, 平均一座加油站约 20-25 万左右。
加油站加油油气回收系统 (Stage II)	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%。	
车载油气回收系统(ORVR)	ORVR 技术是在机动车内部形成一个输油管密封系统, 将加油过程中的油气通过导管输送到安装在机动车上的油气回收装置。	安装在机动车内部的油气回收系统。	Stage II 油气回收系统的一种替代选择, ORVR 效率更高, 费用更低。 但其安装有赖于机动车的更新换代, 所需时间较长。	预期回收效率在 95%~98% 之间。	每辆车改造成本约 160 元-260 元。
油气排放处理装置	采用吸附法、吸收法、冷凝法、膜分离法、组合法等工艺对二次回收的油气进行回收处理。	一般安装在加油站加油油气回收系统之后。	用于防止油罐压力过大, 达到顶开 P/V 压力值时油气通过泄压排放, 造成油气污染。	80%-95%	10 万-14 万
油气回收在线监测系统 (OMS)	加油站在线监控系统是一套能够在线监控油气回收过程中油枪的气液比、油气回收系统压力和管线的液阻这三项指标是否正常的系统。	/	安装油气回收在线监控系统可以随时掌握加油站油气回收系统的运行状况, 保障油气回收系统的正常运行。此外, 可以通过监控系统储存数据分析, 及时发现和排除故障, 确保加油站油气排放控制设施的有效运行。	/	不同配置价格在 10 万元-30 万元之间。

5 标准主要技术内容

5.1 标准适用范围

本标准规定了加油站油气排放限值、控制技术和检测方法。

本标准适用于加油站新建、改建和扩建项目和现有加油站油气回收改造项目的设计、安装、验收、环境影响评价和建成后的油气排放管理。

5.2 标准结构框架

5.2.1 主要章节内容

本标准的主要章节为：范围、规范性引用文件、术语和定义、排放限值、技术措施和检测要求。其中，排放限值、技术措施和检测要求是标准的主体部分。

5.2.2 执行标准的时间

基于现阶段大气污染防治的严峻形势，同时，考虑加油站的油气污染特征，推动标准顺利实施，对现有加油站和新建加油站施行分阶段执行，即：

- (1) 现有加油站自标准发布之日起延期 2 年执行标准规定的油气排放限值；
- (2) 新建加油站自标准发布之日起执行标准规定的排放限值。

5.3 术语和定义

本标准中定义了加油站、油气、油气排放浓度、加油站油气回收系统、卸油油气回收系统、加油油气回收系统、在线监控系统、油气排放处理装置、油气回收系统密闭性、油气回收管线液阻、气液比、真空辅助方式等 12 个术语。其中，加油站的定义明确了标准的适用对象和适用范围，有利于标准的准确实施。同时对加油站油气回收系统、卸油油气回收系统、加油油气回收系统、在线监控系统、油气排放处理装置 5 个回收系统进行了定义，明确了各个油气回收系统的工作原理和使用范围。此外，还对油气回收系统密闭性、油气回收管线液阻、气液比、真空辅助方式 4 个技术术语进行了定义，有利于对技术术语的正确理解和使用。

5.4 污染物排放限值的确定及制定依据

5.4.1 排放控制指标的选择

a) 油气回收系统性能指标

根据加油站油气回收系统的工作原理，为保证油气回收系统高效工作，本标准规定了加油站油气回收系统的密闭性、液阻、气液比三项性能指标。

密闭性是指油气回收系统在一定压力状态下的密闭程度。加油站油气回收系统的密封状况是整个回收系统有效运行的根本保证，系统密闭性越好回收效果就越好。液阻是指凝析的液体积聚在加油机至埋地油罐之间的油气回收管线内，在油气通过时产生的阻力。液阻能模拟油气在回收管线中的运动状态及油气有否在管道内产生凝结并“储留”在回气管的凹处。通过观察油气回收管路中氮气所受阻力的变化来判断管路是否存在阻塞或变形。气液比是指加油时回收的油气体积与同步加油体积的比值。气液比（A/L）是人为可控的参数，通过加油枪 A/L 阀可以进行调节，理论上 A/L 越大，环境减排效果越好。通过以上三项性能指标可以有效评估油气回收系统的运行状况。

b) 油气排放处理装置 VOCs 排放浓度指标

对于油品蒸发混合气中油气的排放处理，关键技术在于怎样进行油气和空气的分离，通常采用吸附、吸收、冷凝、膜分离等方法，分离出来的空气中 VOCs 浓度降低到一定程度后才能排入大气中。因此，本标准还规定了加油站油气排放处理装置 VOCs 排放浓度限值。对油气排放处理装置 VOCs 排放浓度进行限定，能有效减少 VOCs 排放量，提高油气回收效率。

5.4.2 密闭性指标限值确定及依据

加油站油气回收系统的密封状况是整个回收系统有效运行的根本保证，系统密闭性越好回收效果就越好。通过向油气回收系统中注入氮气，观察系统压力保持状况即可评估系统的密闭性。通入氮气 5min 之后系统压力大于剩余压力说明系统的密闭性较好，反之，则相反。

图 5-1 给出了 5min 之后压力和最小剩余压力之间的关系。图中在密闭性差的情况下 5min 之后的压力变化范围大，说明不同的系统泄漏的差异较大；当密闭性较好时，系统 5min 之后的压力非常接近最小剩余压力。

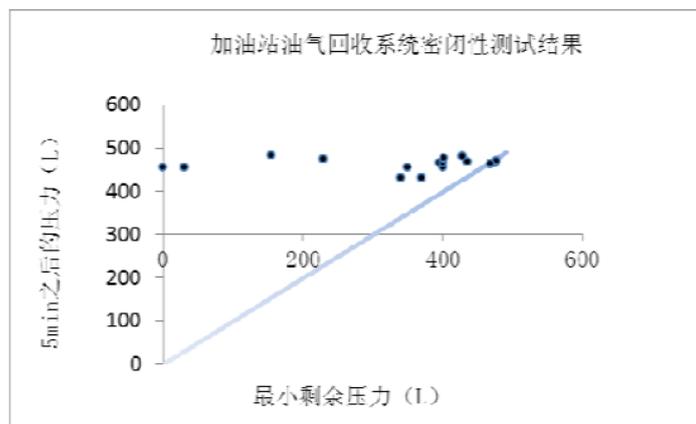


图 5-1 回收系统 5min 之后的压力与最小剩余压力的关系

本标准中通过规定系统的最小剩余压力限值来评估密闭性，具体限值的确定参考了《加油站大气污染物排放标准》（GB 20952-2007）和北京市地标《加油站油气排放控制和限值》（DB 11/208-2019）。需要对加

油站进一步调研，进一步明确密闭性最小剩余压力限值。

密闭性跟油气回收系统的基建有很大关系，应对系统的管道、接头、真空压力阀、加油机、卸油口、人孔盖（即罐盖）等环节做到严格密封，才能保证油气回收系统的回收效率。

5.4.3 液阻指标限值确定及依据

液阻能模拟油气在回收管线中的运动状态及油气有否在管道内产生凝结并“储留”在回气管的凹处。通过观察油气回收管路中氮气所受阻力的变化来判断管路是否存在阻塞或变形。

油气回收管路中注入不同流速的氮气则所受阻力有所差别，图 5-2 给出了不同流速下管路内所受阻力的变化关系。图中落在方框内的点表明液阻较小，在国标限值以内；而落在方框外的点受到的阻力较大，甚至超过 400Pa，说明油气回收管路严重变形或有液体“储留”而堵住管路。

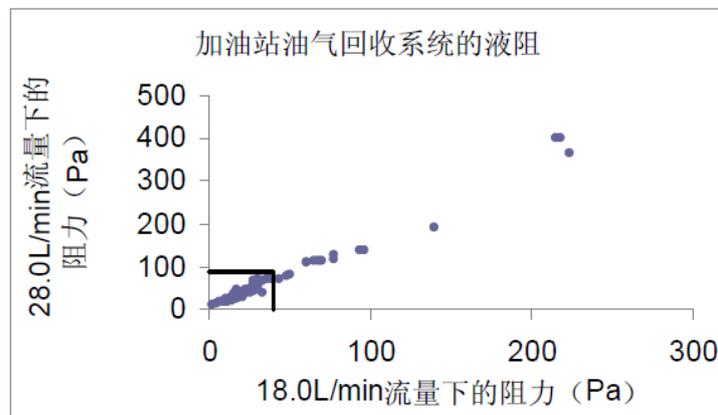


图 5-2 在不同流速的氮气下所受阻力的关系

本标准中规定液阻检测值应小于不同氮气流速下对应的最大压力限值。具体限值确定参考了《加油站大气污染物排放标准》（GB 20952-2007）和北京市地标《加油站油气排放控制和限值》（DB 11/208-2019）。需要对加油站进一步调研，进一步明确液阻最大压力限值。

液阻不合格的主要原因是没有严格按照标准规定的坡度施工。另外回气管线过长、直径较小和不注意清除施工时管线内垃圾等也是重要的影响因素。

5.4.4 气液比指标限值确定及依据

在 Stage II 油气回收系统中，气液比（A/L）的取值对整个加油站油气回收系统的运行效果起关键作用。气液比是人为可控的参数，通过加油枪 A/L 阀可以进行调节。理论上 VOCs 减排效率随气液比（A/L）的增大而增大，但是密闭性合格的加油站，当 $A/L > 1.0$ 时，可能导致地下油罐压力增大，最终顶开真空压力阀释放压力，若没有末端治理设备，则直接排放，导致油气过多损失；当 $A/L < 1.0$ 时，可能导致加油时 VOCs 排放增加。

不同的国家和地区对 Stage II 油气回收系统中 A/L 的规定也不相同，如美国为 1.0~1.3、欧洲为 0.95~1.05、香港为 0.80~1.20。我国国标参考美国标准确定 A/L 为 1.0~1.2。

表 5-1 加油枪在不同 A/L 时 VOCs 排放浓度

A/L	VOCs 浓度/(g·m ⁻³)	η/%
0	299.7	—
0.95	29.74	90.76
1.00	20.21	93.26
1.05	9.14	96.95
1.10	1.54	99.49
1.20	0.96	99.68

根据表 5-1 研究结果，Stage II 系统运行后，VOCs 减排效果明显，VOCs 回收效率基本上随 A/L 的增大而增大。1.00<A/L<1.20 时，VOCs 回收效率为 93.26%< η <99.68%；0.95<A/L<1.05 时，VOCs 回收效率为 90.76%< η <96.95%。

通过以上分析，本标准中规定气液比控制在 1.0-1.2，VOCs 回收效率为 93.26%< η <99.68%，基本能满足油气回收要求。限值确定参考了《加油站大气污染物排放标准》（GB 20952-2007）和北京市地标《加油站油气排放控制和限值》（DB 11/208-2019）。

A/L 偏小的系统，有很大部分是由于真空泵受油气和灰尘等影响，在运行一段时间后发生磨损，性能和工作效率下降，造成回气量减小和气液比下降，通过重新调节 A/L 阀就能满足要求。而有一部分是由于回收泵本身动力不足等技术缺陷导致回收油气体积偏小，应改进这些设备以满足要求，或尽量不选用这些有缺陷的设备。

5.4.5 油气处理装置排放限值

本研究收集了全国对加油站处理装置 VOCs 排放浓度监督性检测数据，从不同工艺处理装置 VOCs 排放浓度年际变化（图 5-3），可以看出 2014~2017 年处理装置 VOCs 排放浓度呈逐年下降趋势，排放浓度中位数由 2014 年的 8.77g/m³ 下降至 2017 年的 3.97g/m³，不同工艺处理装置 VOCs 排放浓度高低顺序为：“冷凝+吸附”>“冷凝+膜+吸附”>膜>“冷凝+膜-A”>“冷凝+膜-B”>吸附。

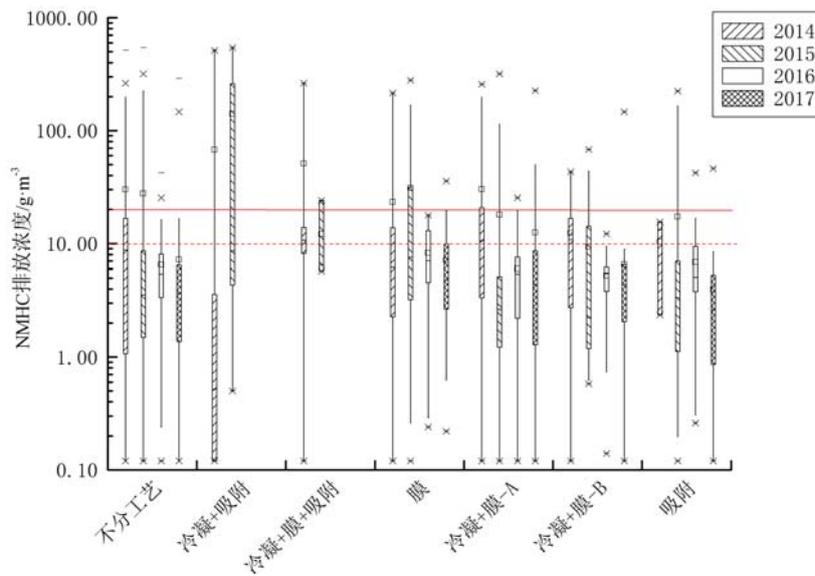


图 5-3 不同工艺处理装置 VOCs 排放浓度年际变化

通过对国内外加油站处理装置油气排放浓度的比较发现美国和欧盟的限值均为 35g/m^3 ，而北京市地标相对较严格，2010 年标准为 20g/m^3 ，现行标准对新建企业加严到 10g/m^3 。综合国内外标准和技术经济成本，同时考虑加油站所处位置的人口密度，排放浓度限值暂定人口密集处 $\leq 10\text{g/m}^3$ ；其他地区 $\leq 20\text{g/m}^3$ 。人口密集处指加油站与居民区距离小于 50m，以及地处人口密度高（人口密度 ≥ 100 人/ km^2 ）的城市建成区。需要对加油站进一步调研，进一步明确排放浓度限值。

表 5-2 国内外加油站处理装置的油气排放浓度汇总表

序号	标准名称	油气处理装置油气排放浓度 (g/m^3)
1	国家标准《加油站大气污染物排放标准》(GB 20952-2007)	$\leq 25\text{g/m}^3$
2	北京市地标《加油站油气排放控制和限值》(DB 11/208-2010)	$\leq 20\text{g/m}^3$
3	北京市地标《加油站油气排放控制和限值》(DB 11/208-2019)	现有企业 $\leq 20\text{g/m}^3$ 新建企业 $\leq 10\text{g/m}^3$
4	美国	人口密集处 $\leq 10\text{g/m}^3$ ；其他地区小于 35g/m^3
5	欧盟	$\leq 35\text{g/m}^3$

6 国内外相关标准现状与发展趋势

6.1 美国加油站油气回收历史

1975年美国南加州空气O₃浓度约有200 d超过美国联邦标准，而导致其超标的VOCs（挥发性有机物）有很大一部分来自于当时没有采取任何措施的加油站和配送系统。油气回收是加州最早实施的VOCs控制措施，CARB（加州空气资源委员会）在1976年首次采用《法规461汽油转移和加油》来控制油气排放时，加州汽油消费量约 2840×10^4 t/a，油气排放量约为400 t/d。20世纪80年代初，加州在O₃浓度未达到联邦和州健康标准的地区全面实施VR（第一代油气回收），1990年在汽油消费量比1975年增加20%以上的情况下，VR却将油气排放量减至150 t/d。2000年CARB通过了EVR（增强型油气回收系统）法规，2010年随着EVR全面实施，油气排放量减至80 t/d。自1975年以来，尽管加州汽油使用量增长了近50%，但是经过CARB、地方空气管理局和工业界的共同努力，加州油气排放量下降了80%，2014年南加州每年O₃浓度约有100 d超过美国联邦标准，比1975年减少了50%。

6.1.1 清洁空气法案

早在20世纪60年代，美国石油学会（API）以及一些石油公司就针对加油站的油气排放进行了大量理论研究，研究内容主要是评估第二阶段设备的成本和可靠性，以及是否应该将油气回收作为汽车强制性控制系统中的一部分。1970年，美国联邦政府颁布了清洁空气法案，相应成立的美国环保署（EPA）制订了国家环境空气质量标准，对SO₂、颗粒物、CO、光化学氧化物、NO₂及碳氢化合物等6种常见的污染物限制排放，其中包括加油站在加油和卸油期间产生的排放。加州作为美国经济总量最大的州，因工业发展迅猛而致使早期空气污染比较严重，加州政府为此专门成立了空气资源委员会（CARB）。加州的圣地亚哥市于1972年率先要求加油站进行油气回收，并鼓励使用新技术，下属桔县和海湾地区于一年后开始正式推行；CARB也于同年通过了州立法案，要求州内的空气非达标区在1976年前、全州在1991年前全部实施加油站油气回收。此后，加州一直走在全美油气回收技术和标准的最前沿，代表了世界油气回收技术的发展水平。1977年，美国EPA发布了实行加油站第二阶段油气回收的国家建议法案，但并未付诸实施。由于加油站第一阶段的油气回收控制工作主要发生在地下储油罐与油罐车之间，实施起来的技术难度相对较低，因此重点和难点在第二阶段。

6.1.2 真空辅助式替代平衡式技术

在圣地亚哥市的推动下，美国在20世纪70年代早期，开发、测试了许多面向加油站第二阶段的油气回收系统。其中一些系统仅是油库油气回收设备的缩小版，如活性炭吸附法、热氧化法和冷凝法等，但这些

产品仅仅在几年之后就消失了，仅保留了压力平衡式和真空辅助式两种方法。压力平衡式回收方法在加油时要求油枪与油箱口紧紧密闭，油品从同轴胶管内部的一个小直径软管流出，油气从外部大直径的环形空间返回地下储油罐，这种系统的加油速度较低、油枪体积大，同轴软管的长度通常局限在10英尺（约3 m）以内以便减小油气流动阻力。平衡式自上世纪70年代以来在设计上几乎没有什么变化，但因问世时间最长，目前在美国境内数量仍较大。

针对平衡式油气回收系统存在的问题，在回收系统增加了真空泵，利用真空泵产生的吸力辅助实现气液体积比（A/L）为1:1的油气回收效果。世界上第一个真空辅助式回收系统由James W. Healy于1980年开发，主要由回收型加油枪、同轴胶管、同轴拉断阀、真空泵、油气分离接头等组成。加油时，油品从同轴胶管的外层环形空间流出，通过回收型加油枪注入汽车油箱；油箱内的饱和油气和高速流动汽油挥发产生的油气，从回收型加油枪枪头四周的小孔进入油枪内部。与此同时，装在气路上的真空泵启动，将油气通过同轴胶管的内层管状流道，送到加油机中的油气分离接头中，汽油油路和油气气路在此处分开，油气经气路输送到地下储油罐。

按照真空泵的工作能力及相应的管线铺设方式，真空辅助式油气回收系统又可分为分散吸取式和中央吸取式或称集中式两大类，目前分散吸取式使用较多。在真空辅助式油气回收系统中，A/L是十分重要的指标，目前有两种方式来进行调节控制。第一种，真空泵的转速、真空度保持不变，根据加油的流速调整加油枪内部的回气阀门（机械比例阀），实现近似1:1的调节。美国Healy公司的加油枪专利产品采用这种方式（该公司于2006年9月被美国富兰克林电气公司并购）；有时也通过位于加油机中的电磁比例阀来达到这一目的。第二种，在加油机内部加装主要由电子板和变速电机构成的速度控制系统，电子板读取加油机加油过程中的流量信息，处理后控制变速电机的转速，带动真空泵产生不同的真空度，实现近似1:1的油气回收效果。

6.1.3 ORVR 系统与二阶段的兼容性

1990年版的清洁空气法案修订版（CAAA）要求实施两种不同的汽车加油控制技术：①第182（b）（3）中要求大多数非达标区，必须在1993年11月前实施第二阶段油气回收；②第202（a）（6）要求国家环保署（EPA）制订车载油气回收系（ORVR）标准。与此同时，美国联邦政府对油气回收设备建立了认证制度，采用的认证程序和测试方法委托CARB制订，该认证和测试程序在1996年进行了一次修订。

1994年，EPA发布了ORVR系列的安装阶段进程表，计划经过1998年的示范性安装之后，新生产的轻型汽车要求到2000年实现100%安装，3 t以下轻型卡车和中型汽车要求到2003年实现100%安装，3-4 t中型汽车要求到2006年实现100%安装。ORVR系统被设计固定在油箱和加油枪之间，当汽车加油时，油箱中的油气会被车活性炭罐吸收，当发动机开始运转时，炭罐中的油气就会进入发动机进气管，从而作为燃料被使用。

6.1.4 增强型（EVR）油气回收系统

在常规的密闭发油工艺中，为了防治地下储油罐内压力过高造成油气从呼吸阀排放到大气中，要求 $A/L \leq 1$ ，以保持地下储油罐内轻微的负压。CARB于1999年进行的加油站现场测试表明（当时与ORVR的兼容协调性问题尚不突出），此类系统有90%泄漏，整个加州地区有相当一部分加油站的油气回收系统处于比认证效率低的情况下工作，系统的设备故障率为4.8%~47.4%。德国TUV（德国技术监督协会）现场测试也表明，当时 $A/L=1$ ，真空辅助平衡式油气回收系统的有效回收率为75%~80%，只有当 A/L 增大到1.3时，平均油气回收效率才能达到95%。但提高 A/L 值就意味着有更多的空气被收集到地下储油罐中，不采取有效的油气/空气分离措施，则会使油气回收系统内的压力升高，油气又会从呼吸阀排放到大气中。

针对加油站油气回收不彻底的现象，CARB于2000年推出了增强型油气回收（EVR）法令。EVR是目前世界上对于油气回收最严格的标准，不仅要求对油气回收系统进行在线监测，而且对第一阶段和第二阶段油气回收系统的回收效率、加油枪的滴油数等方面做了更严格的要求。例如，把第一阶段的油气回收效率从95%提高至98%；第二阶段的油气回收效率从90%提高到95%；地下储油罐的30天正压均值不超过6.35 mm水柱（约62.27 Pa），日最高正压不超过38.1mm水柱（约373.6 Pa）；与ORVR兼容协调；每次加油时加油枪的滴油数不超过3滴；年加油量大于60万加仑（227.1万L，约1700 t）的加油站安装站内诊断系统（ISD）等等。自EVR法令颁布以来，因技术可行性和配套设备研发滞后等方面的原因，CARB先后于2005年4月、2006年6月对实施时间进程进行了调整。其中EVR第一阶段油气回收系统于2001年7月开始实施，2005年4月前改造完成；第二阶段油气回收系统于2005年4月开始实施，2009年4月1日前改造完成。

6.2 欧洲加油站油气回收历史

6.2.1 德国法规

德国在1992年10月14日实施了一阶段油气回收法令（20. BImSchV），要求必须针对汽油的转移排放安装油气回收设备；1993年1月1日实施了二阶段油气回收法令（21. BImSchV），要求在新建加油站安装油气回收系统，并对现有加油站进行改造，要求加油站的油气回收效率不低于85%，必须由有资质的专家对油气回收设备进行认证。德国工程师协会（VDI）制订了VDI4205标准《评价加油站油气回收系统的测量和测试方法》，德国TUV（德国技术监督协会）按照VDI标准对油气回收系统进行认证检测。TUV要求在试验加油站对8种汽车进行有无加油油气回收系统的排放因子测试。德国21. BImSchV有关加油站油气回收管理模式见表6-1。

表 6-1 德国加油站油气回收管理模式

人员	有资质的专家 (qualified expert)		加油站运营商 (fuel station operator)		专业公司 (specialist company)			
职责	认证 certify	验收 verify	测量 (check)		委托 commission	检测 (inspect)		修理 repair
			有自动 监测	无自动 监测		有自动 监测	无自动 监测	
周期	产品认证 证书终身 有效	运营 6 周后 第一次,以后 每 5 年一次	/	每月	委托有资质专家 verify, 委托专业公 司 inspect 和 repair	2 年	1 年	有故 障, 随 时修理
内容	回收效率	密闭性、气液 比	/	气液比		气液比	气液比	设备

德国在 2002 年对 21. BImSchV 进行了修订, 修订内容包括: 将 A/L 设定在 0.95~1.05 之间; 必须为油气二阶段回收系统安装自动监控系统, 如果故障持续 72h 以上, 将强制关闭加油机 (如进行自我修复, 则可豁免)。2006 年, 英国环保署也颁布了相应的法规及标准, 要求其境内销量大于 1300 吨/年的加油站安装油气回收在线监测系统。

德国规定的加油枪 A/L (0.95-1.05) 是和加油油气回收效率 (85%) 相匹配的, 首先德国对加油油气回收效率的要求比美国宽松 (90%), 因此对 A/L 数值要求不像美国和中国那么大; 其次, 德国加油枪 A/L 是一个固定的数值范围, 且在 1 附近美国 A/L 是变化的, CARB 在认证不同品牌系统时, 发现不同系统达到 90% 的回收效率对应的 A/L 范围不同, 因此不同品牌系统的 A/L 范围都不同, 如 0.9-1.1、1.0-1.2、0.95-1.15, A/L 是系统认证值, 中国汽油饱和蒸汽压高, 为了保证加油油气回收效率, 国标要求 A/L 大于 1; 第三, 美国和中国的 A/L 范围都是±0.1, 相比德国的±0.05, 在 A/L 检测时, 相对容易达标。

6.2.2 欧盟法规

欧盟在德国的基础上, 于 1994 年 12 月颁布了指令 (94/63/EC) 《汽油储存和从储油库向加油站配送汽油过程的挥发性有机物 (VOC) 排放控制》, 除了那些豁免执行指令的污染源, 其他适用对象最迟 2006 年 12 月 31 日都应该达标, 储油库油气回收装置排放的油气小时平均浓度不超过 35g/Nm³, 比德国和美国标准宽松。此外, 1993 年 1 月 1 日以前安装的油气回收装置, 参照本指令附录提出的规范进行测量, 装置满足油气小时平均浓度限值 50g/Nm³, 可以准予豁免执行本附录提出的 35g/Nm³ 小时平均浓度限值。

2009 年 10 月颁布了指令 (2009/126/EC) 《加油站给机动车加油过程中的第二阶段汽油油气回收》, 要求二阶段油气回收系统效率至少大于 85%, 2012 年以后新建加油站必须满足指令, 吞吐量大于 3000m³/年的现有加油站最迟在 2018 年底满足指令。

6.2.3 二阶段实施范围

欧洲的一部分区域强制要求使用二阶段油气回收系统，如：瑞典、瑞士、德国、丹麦、卢森堡、奥地利、荷兰、意大利、法国、西班牙、匈牙利、捷克、斯洛文尼亚和英国。在一些国家，早在 1992 年和 1993 年就已经引进了二阶段油气回收系统。欧盟指令出台以后，欧盟将要求每一个国家都采取相同的二阶段油气回收标准（回收效率和测试方法）。欧洲许多国家都建立了加油站最小加油量标准，允许小型加油站不使用二阶段油气回收设备。从 2002 年 4 月开始，英国通过与工业行业达成的协议，计划开始使用二阶段油气回收系统。但是环境、食品和农业事业部（2005）指出，这样的协议是不切实际的，并且行业已经表示倾向于接受法律规章。因此，2006 年 10 月 1 日起，规章规定每年汽油加油量大于 350 万升/年（2625t/a）的现有加油站和每年加油量大于 50 万升（375t/a）的新建加油站，都必须于 2010 年之前开始使用二阶段油气回收系统。

6.3 我国加油站油气回收过程

6.3.1 油气回收历程

我国从 20 世纪 80 年代起开始进行油气排放污染控制方面的探讨研究并陆续开发和引进了一些应用装置，1989 年出台了《散装液态石油产品损耗》（GB11085-89），受到当时技术条件的限制，给出的允许损耗额过大，致使经济损失数量惊人。1996 年出台了国家标准《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996），标准中对非甲烷烃类气体的排放浓度做出了明确限定：现有大气污染源和新大气污染源排放的非甲烷总烃最高允许排放浓度分别为 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $120\text{mg}/\text{m}^3$ 。但是直到 1999 年以前，我国油气损耗中的 82.4% 发生在运输装卸和加油站部分，这部分的油气基本没有回收，而是出于随意排放状态。

2007 年 6 月 22 日，原国家环境保护总局和国家质量监督检验检疫总局联合发布了《储油库大气污染物排放标准》（GB 20950—2007）、《汽油运输大气污染物排放标准》（GB 20951—2007）、《加油站大气污染物排放标准》（GB 20952—2007）3 项具有强制执行效力的标准。在 3 个标准中，对油库、汽油运输油罐车和加油站的“卸油油气排放控制标准”及“储油、加油油气排放控制标准的”实施区域和时限分别做了具体规定。处理装置的油气排放浓度应小于等于 $25\text{g}/\text{m}^3$ ，原则上分三步走：为了迎接奥运会，北京、河北（部分地区）、天津（部分地区）2008 年 5 月 1 日已正式实施；上海等长江三角洲 16 座城市（迎接世博会）和广州等珠江三角洲 9 座城市 1 月 1 日前实施“卸油油气排放控制标准”，2015 年 1 月 1 日实施“储油、加油油气排放控制标准”。

6.3.2 油气回收相关规定

加油站进行油气回收，应设置专用于卸油过程的卸油油气回收系统和加油过程的加油油气回收系统。

现有的埋地油罐一般是打开人孔盖通过检尺的方法量油，为保证埋地油罐做为油气的中间储罐，收集和储存油气，防止因其它作业而造成的油气排放，埋地油罐应设置密闭量油装置。为防止因卸油作业操作不当，而发生溢油现象。埋地油罐应设带有高液位报警功能的液位计，杜绝溢油情况的发生。为保证卸油过程的油气回收，必须采用密闭卸油方式，需要对汽车油罐车进行相应的改造，以适于油气的收集和密闭保存。加油站卸油油气回收系统和加油油气回收系统的管道、阀门、油罐、真空泵、法兰及各种接头等应保证达到 GB50156-2002《汽车加油加气站设计与施工规范》机械呼吸阀的工作压力在负压 2000Pa 至正压 3000Pa 之间的良好密闭性，罐体不产生变形，不产生油气泄漏排放。城市市区一般属于环境空气质量功能区二类区的城镇规划中确定的居民区、商业交通居民混合区、文化区，对位于上述环境空气质量功能区的，包括环境空气质量功能区一类区的加油站，汽油年加油量等于或大于 $2.0 \times 10^3 \text{t}$ ，提出油气控制的要求，控制区域内各加油站的油气排放量小于 10t/a 。对于环境空气质量功能区二类区的一般工业区和农村地区、三类区的加油站，汽油年加油量等于或大于 $3.0 \times 10^3 \text{t}$ ，提出油气控制的要求。

北京市较早在国内组织油气回收改造技术和管理方面的研究，组织起草了 3 项北京市地方标准：《储油库油气排放控制和限值》(DB11/206—2003)、《油罐车油气排放控制和检测规范》(DB11/207—2003) 和《加油站油气排放控制和限值》(DB11/207—2003)，DB11/207—2003 中规定“正常加油时，通气阀口处每间隔 15 分钟的 4 次浓度检测中，不应有 2 次以上（含 2 次）的检测浓度超过 200mg/m^3 ”，以及“所有埋地油罐人井在盖封情况下内部油气浓度应小于 10000mg/m^3 ”，该项规定为北京市开展油气回收治理改造提供了法律依据。此 3 项标准在 2010 年颁布了修改文件，结合油气回收改造进程中出现的重要问题进行了修订，DB 11/208—2010《加油站油气排放控制和限值》中规定“处理装置油气排放质量浓度不超过 20g/m^3 ，加油机壳体内以及人井内油气浓度不超过 0.05%”。

加油站卸油和加油油气排放控制标准规定如下：

- (1) 加油站应符合《汽车加油加气站设计与施工规范》(GB 50156) 的有关规定要求。
- (2) 加油站的埋地油罐应符合《钢制焊接常压容器》(JB/T4735) 的有关规定要求。
- (3) 埋地油罐应设密闭式量油装置。
- (4) 埋地油罐应设带有高液位报警功能的液位计。
- (5) 加油站卸油必须采用密闭卸油方式。
- (6) 汽油年加油量等于或大于 $2.0 \times 10^3 \text{t}$ ，建于环境空气质量功能区的一类区；二类区的城镇规划中确定的居民区、商业交通居民混合区、文化区的加油站，应设置卸油油气回收系统和加油油气回收系统。
- (7) 汽油年加油量等于或大于 $3.0 \times 10^3 \text{t}$ ，建于环境空气质量功能区二类区的一般工业区和农村地区、三类区的加油站，应设置卸油油气回收系统和加油油气回收系统。
- (8) 加油油气回收系统宜采用真空辅助平衡式油气回收法。

(9) 卸油油气回收系统和加油油气回收系统的管道、阀门、油罐、真空泵、法兰及各种接头应保证气体在负压 2000Pa 至正压 3000Pa 压力下的良好密闭性，罐体不产生变形，不产生油气泄漏排放。

(10) 符合 (6)、(7) 规定要求的新建、改建和扩建的加油站，从本标准实施之日起执行。

(11) 城市和地区的符合 (6)、(7) 规定要求的现有加油站，从标准实施之日起 1 年后执行。

除 (10) 和 (11) 规定要求以外的符合 (6)、(7) 规定要求的其它现有加油站，从本标准实施之日起的 3 年后执行。

6.3.3 趋势与存在问题

环境标准是评价环境质量和企业环境污染治理效果的尺度，也是环保部门进行环境管理和监督执法的依据。通过多年的努力，我国在加油站大气污染物控制方面颁布有国家环境标准污染物排放标准和方法标准等，地方政府也根据环境管理需要，制定和发布了地方环境标准。但是，由于受到各种因素的制约和影响，我国现行国家环境标准还存在诸多问题，如：技术指标宽严程度掌握不准确，与技术经济条件结合不紧密，社会影响力较差。反映到加油站汽柴油销售业，除上述不足之处外，还有一个行业特点不突出的问题。成品油销售业的原材料构成、生产工艺和产品结构都很复杂，尤以汽油的烃类污染物排放具有明显的行业特征，一些指标没有兼顾行业的技术经济发展水平。如国标中大气污染物排放标准规定非甲烷总烃高允许排放浓度为 120mg/m³，即使安装先进的油气回收设备，也很难达到此要求。因此，有必要根据加油站油品销售业的特点，制定技术上先进、经济上合理、符合清洁生产和可持续发展战略的污染物排放和控制标准。

据当地环保局抽测，北京、上海储油库排放浓度达标率分别为 86.4%和 77.8%；中石化对全国南北方 6 座储油库的油气回收装置抽样检查显示，平均汽油回收率为 0.20%—0.68%，低于预期值和国外实际水平（1%）。关于油罐车达标率，各地环保部门普遍不掌握年检数据，难以进行达标统计。北京市汽油运输企业按环保部门的要求开展了油罐车年度检测，2012 年此项检测的一次合格率为 80%。

未来加油站污染控制与监管方面将朝着标准化、严格化和资源化的方向发展，主要体现在：

(1) 加油站油气回收水平大幅提升，油气回收带来的经济效益显著增加；

(2) 加油站油气回收设施的运行状况将通过物联网在线监控，使得加油站油气排放标准能够得到有效执行。

7 标准实施的环境效益及经济技术分析

7.1 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，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。

7.2 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，由此可得我国油气回收产生的经济效益为9.56亿元。