

# 《北京工业园区 VOCs 管控新技术与政策研究》

## 项目报告

英环（上海）咨询有限公司

2021 年 9 月

本项目为能源基金会资助的 31834 号项目

# 致谢

感谢能源基金会和北京市生态环境局对本项目的慷慨支持。感谢项目开题会、中期会、结题会各位领导和专家对本课题提出的宝贵意见和建议。

# 目录

<b>致谢</b>	<b>1</b>	
<b>目录</b>	<b>3</b>	
<b>1.</b>	<b>项目背景</b>	<b>8</b>
1.1	挥发性有机物（VOCs）及其排放源	8
1.2	北京市的空气质量与 VOCs 排放	9
1.3	工业园区的概念	12
1.4	北京市工业源及工业园区分布	13
1.5	工业园区相关政策及园区 VOCs 管控政策	22
1.6	北京市重点工业 VOCs 排放标准	24
1.6.1	石油和化工工业	25
1.6.2	电子工业	26
1.6.3	汽车制造业	27
1.7	项目内容及技术路线图	27
<b>2.</b>	<b>北京市典型工业园区调研</b>	<b>29</b>
2.1	燕山石化	29
2.1.1	调研背景	29
2.1.2	园区概况	31
2.1.3	VOCs 治理概况	33
2.1.4	主要 VOCs 排放源及排放控制	34
2.1.5	VOCs 监测	39
2.1.6	其他管理细节	41
2.1.7	园区的问题	42
2.1.8	调研总结	53
2.2	北京市经济技术开发区	53
2.2.1	调研背景	53
2.2.2	经开区管委会调研	55
2.2.3	经开区重点企业调研 - 中芯北方	58
2.2.4	经开区重点企业调研 - 北京奔驰	61
2.2.5	经开区重点企业调研 - SMC 中国	63
2.2.6	调研总结	64
<b>3.</b>	<b>工业园区 VOCs 管控策略及典型案例</b>	<b>66</b>

3.1	工业园区 VOCs 管控策略概述	66
3.2	典型工业园区 VOCs 管控经验	69
3.2.1	注重规划与公共设施-新加坡裕廊工业园	69
3.2.2	政府机构的强力监管-台湾新竹科学工业园	72
3.2.3	企业管理提供设施便利-德国赫斯特工业园	76
3.2.4	国内特色园区管理体系-上海化学工业区	79
3.3	生态工业园区及其对 VOCs 管控的影响	83
3.4	综合案例分析-北九州市工业园区	84
3.4.1	历史背景	84
3.4.2	园区规划和运行理念	86
3.4.3	企业准入与支持	88
3.4.4	循环经济与回收利用	88
3.4.5	VOCs 排放控制-自主减排和 3R 政策	90
3.4.6	能源结构优化与低碳规划	93
3.4.7	多方参与和国际合作	94
3.4.8	北九州工业园发展模式的启示	95
3.5	活性炭再生利用	96
3.6	对北京市工业园区 VOCs 管控发展方向的思考	98
<b>4.</b>	<b>工业园区 VOCs 的精细化管控-以南海岸空气质量管理局为例</b>	<b>99</b>
4.1	美国 VOCs 排放管控架构概述	99
4.2	南海岸空气质量管理局及其空气质量管理法规架构	100
4.2.1	SCAQMD 的空气质量管理法规架构	102
4.2.2	VOCs 排放管控法规	103
4.3	炼油化工行业 VOCs 排放源管控	106
4.3.1	泄漏检测与修复 (LDAR)	106
4.3.2	火炬	112
4.3.3	监测	115
4.3.4	协同减排/减碳	121
4.4	溶剂使用类 VOCs 排放源管控	123
4.4.1	半导体行业 VOCs 排放源管控细节	123
4.4.2	工业涂装行业 VOCs 排放源管控细节	124
4.4.3	汽车涂装 VOCs 排放源管控细节	126
4.4.4	涂装工序的协同减排/减碳	128
4.5	对北京市工业园区 VOCs 精细化管控的思考	130

## 图表目录

图 1.近地面臭氧形成机制 .....	8
图 2.北京 1998-2019 主要空气污染物的年平均浓度变化 .....	9
图 3.2013 年至 2019 年北京市空气质量级别比例图 .....	10
图 4.中国国家级经开区、高新区历年批准数量.....	13
图 5.北京市工业园区和工业企业分布图 .....	13
图 6.项目阶段规划图 .....	28
图 7.石化行业生产装置与 VOCs 排放环节示意图 .....	29
图 8.燕山石化组织结构图 .....	31
图 9.燕山石化的 VOCs 网格化监测站 .....	39
图 10.燕山石化 2020 年下半年 LDAR 情况总览 .....	41
图 11.燕山石化环保管理信息平台首页 .....	41
图 12.集成电路制造主要生产工序、材料消耗与污染物排放示意图 .....	59
图 13.中芯北方监测点位示意图 .....	60
图 14.北京奔驰 MRA 工厂监测点位示意图 .....	62
图 15.SMC 中国第二工厂监测点位示意图 .....	64
图 16.江北新区新材料科技园企业园区边界及周边敏感区大气监测数据及异常因子排查溯源服务图 示 .....	68
图 17.新加坡裕廊工业园地图 .....	70
图 18.新加坡裕廊工业园的一个典型“化学群” .....	71
图 19.新加坡裕廊工业园的“即插即用”公共设施 .....	72
图 20.台湾新竹科学工业园地图 .....	72
图 21.台湾新竹科学工业园空气质量监测站布点 .....	75
图 22.德国赫斯特工业园地图 .....	76
图 23.德国赫斯特工业园的公共设施 .....	78

图 24.上海化学工业经济技术开发区园区规划布局图.....	80
图 25.基于物联网技术的上海化工区环境综合监管系统建设方案 .....	81
图 26.北九州生态工业园区工程的诞生背景 .....	85
图 27.北九州市工业园区分布图 .....	86
图 28.北九州生态工业园示意图 .....	88
图 29.北九州生态工业园内的互相合作 .....	89
图 30.北九州市废热回收系统实例 .....	92
图 31.北九州市生态工业园中的清洁能源分布.....	93
图 32.南海岸空气质量管理局管辖范围 .....	100
图 33.南海岸空气质量管理局空气质量循环管理框架.....	101
图 34.南海岸空气质量管理局火炬时间通知系统（FENS） .....	112
图 35.海岸空气质量管理局臭氧监测站分布 .....	116
图 36.南海岸空气质量管理局臭氧监测站监测目的分布图 .....	117
图 37.SCAQMD 社区空气监测计划一阶段入围社区和监测点 .....	118
图 38.Chveron EI Segundo 炼油厂边界监测布点示意图 .....	119
图 39.美国 2017 年炼油厂温室气体排放源及贡献 .....	121
 表 1.第二次全国污染源部分行业和领域的普查结果 .....	9
表 2.京津冀地区 2015 年 VOCs 排放源清单 .....	11
表 3.美国加州 2012 年排放源清单 .....	11
表 4. 北京各工业园区信息总结 .....	15
表 5.废气中已有检测方法标准的有机特征污染物及排放限值 .....	25
表 6.北京市《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》设备与管线组件的挥发性有机物泄漏限 值 .....	25
表 7.北京市《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》生产工艺单元非甲烷总烃排放浓度限值 .....	26
表 8.炼焦行业有组织排放大气污染物新排放限值（单位 mg/m <sup>3</sup> ） .....	26
表 9.燕山石化许可 VOCs 年排放量限值 .....	33
表 10.燕山石化许可无组织排放 VOCs 排放量限值 .....	33
表 11.燕山石化炼油部主要 VOCs 废气污染物排放点 .....	34
表 12.燕山石化合成橡胶部主要 VOCs 废气污染物排放点 .....	35
表 13.燕山石化合成树脂部主要 VOCs 废气污染物排放点 .....	36
表 14.燕山石化化学品部主要 VOCs 废气污染物排放点 .....	36
表 15.现行储罐罐壁油垢因子 .....	43
表 16.美国典型储罐法规与国内现行法规对储罐要求的对比 .....	44
表 17.BAAQMD Regulation 8, Rule 5 中对罐型选择的要求 .....	49

表 18.北京经济技术开发区 1-8 月分产业产值 .....	53
表 19.北京经济技术开发区 2020 年大气环境重点排污单位名录 .....	55
表 20.中芯北方与 VOCs 排放相关的原材料年用量 .....	60
表 21.洛杉矶市工业区域类型 .....	66
表 22.新竹科学工业园企业入园环保许可文件申办流程（VOCs 排放相关） .....	73
表 23.Infraserv Hochst 的“4+2”企业服务措施 .....	76
表 24.UNIDO 生态工业园区环境绩效指标主题和描述 .....	83
表 25.北九州市各工业园特点 .....	86
表 26.日本《大气污染防治法》中针对不同设施的 VOCs 排放标准 .....	90
表 27.日本企业参与 VOCs 减排的相关措施 .....	91
表 28.南海岸空气质量管理局法规目录 .....	102
表 29.南海岸空气质量管理局与工业 VOCs 排放相关的法规 .....	104
表 30.SCAQMD Rule 1173 与国内现行法规 LDAR 要求的对比 .....	107
表 31.SCAQMD 的 VOCs 相关常规空气质量监测项目 .....	116
表 32.炼油厂减碳策略与减排协同性 .....	122
表 33.SCAQMD 法规与北京市电子工业排放标准的对比 .....	123
表 34.SCAQMD Rule 1107 涂料 VOCs 含量限值 .....	125
表 35.SCAQMD Rule 1151 的涂料含量限值 .....	127
表 36.涂装工序减碳策略与减排协同性 .....	128

## 1. 项目背景

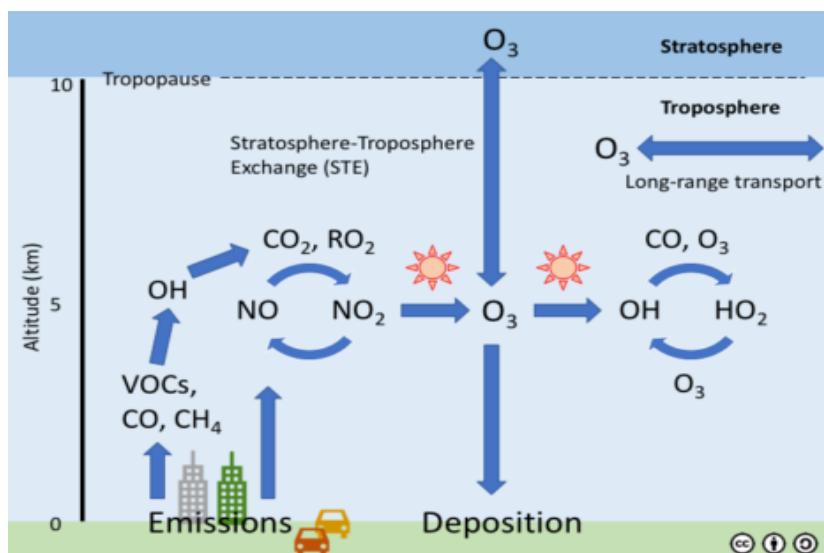
### 1.1 挥发性有机物（VOCs）及其排放源

近年来，我国在改善空气质量方面做出了巨大的努力，并取得了显著的成绩。根据生态环境部二月例行发布会上的通报，2020年，未达标地级及以上城市PM<sub>2.5</sub>平均浓度比2015年下降18%，全国优良天数比率比2015年提高3.3%，“十三五”约束性指标已经超额完成。2020年，未达标地级及以上城市PM<sub>2.5</sub>平均浓度比2015年下降28.8%，全国优良天数比率比2015年上升5.8%，完成率分别超出“十三五”目标的60%、76%<sup>1</sup>。

随着一次污染物浓度的下降，挥发性有机物（VOCs），作为二次细可吸入颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）和臭氧的重要前体物，逐渐在中国受到了更多的重视。自2015年《中华人民共和国大气污染防治法》的第二次修订版首次将VOCs列为首要污染物以来，中央和各地方已经出台了各种法规、标准和政策，以控制VOCs的排放。并且生态环境部已经明确了VOCs将代替二氧化硫，成为“十四五”空气质量改善指标之一，与PM<sub>2.5</sub>、优良天数、氮氧化物和基本消除重度污染天数一起构成五个空气质量改善指标。同时，生态环境部提出了今年的目标，即全国PM<sub>2.5</sub>平均浓度下降0.5微克/立方米，达到34.5微克/立方米；优良天数比率提高0.4个百分点，达到85.2%<sup>2</sup>。

近地面臭氧的形成机制如图1所示。

图1.近地面臭氧形成机制



VOCs和NO<sub>x</sub>是近地面臭氧生成的两种主要前体物。根据城市特征和污染物排放的区别，臭氧生成可分为VOCs控制和NO<sub>x</sub>控制。众多研究表明，城市区域的臭氧生成机制偏向于VOCs控制，即：VOCs浓度的增加会导致臭氧浓度上升。根据生态环境部的分析，我国近年来O<sub>3</sub>浓度逐渐上升的原因主要有以下几方面：一是O<sub>3</sub>的主要前体物NO<sub>x</sub>和VOCs排放量居高不下。2020年，形成我国大气复合型污染的四种主要大气污染物的排放量中，SO<sub>2</sub>和一次PM<sub>2.5</sub>的排放量已降至百万吨级，而NO<sub>x</sub>和VOCs的排放量仍然是千万吨级。而这两项千万吨级排放水平的污染物恰是O<sub>3</sub>污染的前体物，居高不下，尤其是在京津冀及周边和长三角等重点区域，涉VOCs排放的产业高度集中，11省市占国土面积的13%，排放量却占了全国的47%；原油加工量占全国的49%，原料药、化学农药原药、家具、船舶制造等行业企业数量多、规模小，合计产量分别占全国的50%左右~88%之间，产业布局调整难度很大。二是高温少雨的气象条件有利于O<sub>3</sub>生成。从

<sup>1</sup> 生态环境部二月例行发布会，生态环境部大气环境司司长刘炳江。

<sup>2</sup> [https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202102/t20210225\\_822424.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202102/t20210225_822424.html)

有统计数据以来，2013—2019年的7年间有5个最暖年份，尽管国家尽力削减NO<sub>x</sub>和VOCs抵消O<sub>3</sub>的形成，但温度的上升把这一部分抵消了。三是观测表明全球O<sub>3</sub>背景值不断提升。近几十年来，全球O<sub>3</sub>以每年近1微克/立方米的速度上升，欧洲、美国、日本等北半球国家O<sub>3</sub>浓度近几年也呈逐年上升趋势<sup>3</sup>。由此可见，控制臭氧前体物VOCs的排放，将是臭氧污染治理的重中之重。

目前，中国尚未建立完整的VOCs排放源清单。根据华南理工大学叶代启教授的估算，我国整体VOCs排放总量巨大（位居全球第一）。2019年全国VOCs排放总量约为2342万吨。第二次全国污染源普查对部分行业和领域挥发性有机物进行了尝试性调查，其结果<sup>4</sup>如表1所示。

**表 1.第二次全国污染源部分行业和领域的普查结果**

排放源类型	2017年VOCs排放量（10 <sup>4</sup> 吨/年）	排放贡献比（%）
工业源	481.66	47%
交通	239.16	24%
生活源	296.63	29%
总排放量	1017.45	100%

由上表可见，普查得到的总VOCs排放量为1017.45万吨，工业源为第一大VOCs排放源。对于工业源中挥发性有机物VOCs的排放量，位居前3位的行业分别是：化学原料和化学制品制造业107.57万吨，石油、煤炭及其他燃料加工业67.75万吨，橡胶和塑料制品业40.36万吨。上述3个行业合计占工业源挥发性有机物排放量的44.78%。由此可见，工业源VOCs管控是实现总体VOCs减排的重要途径。

## 1.2 北京市的空气质量与VOCs排放

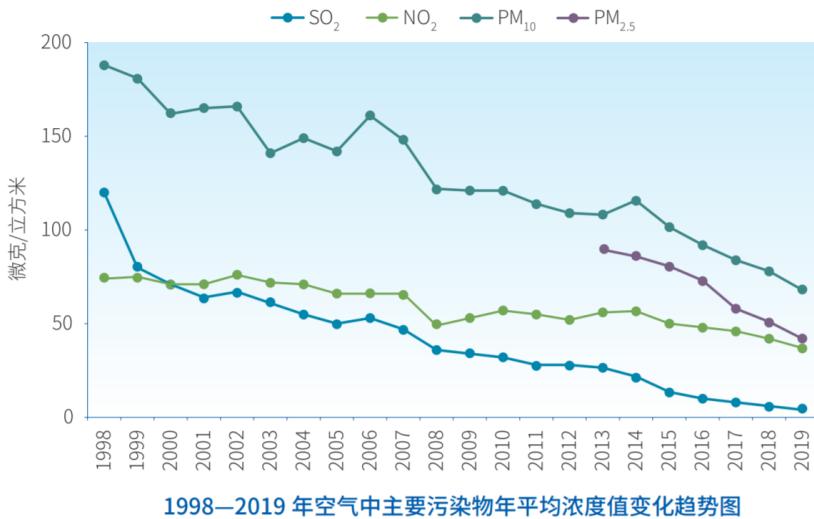
北京市近年来根据总书记对北京市提出的“加大大气污染治理力度”的要求，在深入发展的同时也以超常规的措施和力度治理大气污染，实现空气质量明显改善。根据2017年的数据，与20年前相比，北京的国民生产总值、人口和机动车保有量分别增长了1078%、74%和335%。然而，北京市主要污染物的浓度却出现了显著的下降，如下图2所示。

**图 2.北京 1998-2019 主要空气污染物的年平均浓度变化<sup>5</sup>**

<sup>3</sup> [https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202102/t20210225\\_822424.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202102/t20210225_822424.html)

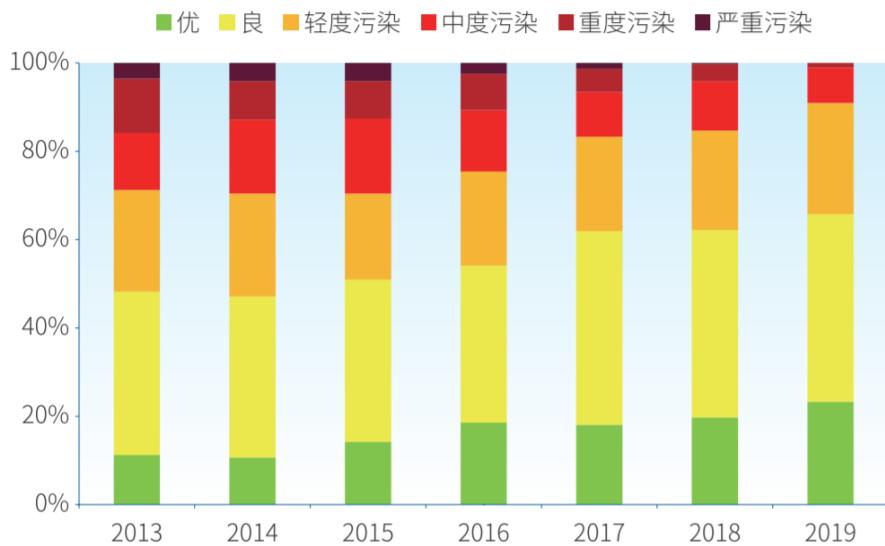
<sup>4</sup> [http://www.gov.cn/xinwen/2020-06/10/content\\_5518391.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2020-06/10/content_5518391.htm)

<sup>5</sup> 2019北京市生态环境状况公报 Beijing Ecology and Environmental Statement 2019



2013 年至 2019 年空气质量级别比例图如图 3 所示，截至 2019 年，空气质量达标（优和良）天数为 240 天，达标比例为 65.8%，比 2013 年增加 64 天。空气重污染（重度和严重污染）天数为 4 天，比 2013 年减少 54 天。

图 3.2013 年至 2019 年北京市空气质量级别比例图<sup>6</sup>



2020 年，京津冀及周边地区“2+26”城市平均优良天数比例为 63.5%，同比上升 10.4 个百分点； $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度为 51 微克/立方米，同比下降 10.5%<sup>7</sup>。其中，2020 年北京市  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度首次实现“30+”，为 38 微克/立方米，相比 2019 年的 42 微克/立方米下降了 4 微克/立方米，创下了自 2013 年监测以来的最低值，与国家标准（35 微克/立方米）的差距进一步拉近<sup>8</sup>。2020 年，北京市  $\text{O}_3$  浓度为 174 微克/立方米，比 2015 年下降 29 微克/立方米，遏制了  $\text{O}_3$  上升趋势，为“十四五”  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{O}_3$  协同治理

<sup>6</sup> 2019 北京市生态环境状况公报 Beijing Ecology and Environmental Statement 2019

<sup>7</sup> [http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202103/t20210302\\_823100.html](http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202103/t20210302_823100.html)

<sup>8</sup> 中国环境报，《2020 年北京  $\text{PM}_{2.5}$  浓度首次实现“30+”》

奠定了一定基础<sup>9</sup>。2020 年全年，北京没有出现严重污染日，发生重度污染日 10 天，其中 7 天的首要污染物为 PM<sub>2.5</sub>，另 3 天为臭氧<sup>1</sup>。

尽管北京市的空气质量取得了长足的进步，但与国家标准相比仍有很大的进步空间。高臭氧浓度会影响北京市优良天数的比例，也会抵消由 PM<sub>2.5</sub> 污染控制所带来的公共健康效益。此外，虽然北京市空气质量明显改善，但空气质量改善成效还不稳固，尤其 O<sub>3</sub> 成因复杂，是传输性很强的污染物，需要区域层面深入推进结构优化、联防联控。因此，控制近地面臭氧浓度将成为进一步改善北京空气质量的新重点。

VOCs 同样是北京市实现臭氧浓度控制的重点管控对象。谢绍东教授等在《Verification of Anthropogenic VOCs Emission Inventory through Ambient Measurement and Satellite Retrievals》研究中估算了 2015 年京津冀地区各 VOCs 人为源的排放量，其结果如表 2 所示。

表 2. 京津冀地区 2015 年 VOCs 排放源清单

排放源类型	2015 年 VOCs 排放量 (10 <sup>4</sup> 吨/年)	排放贡献比 (%)
工业源	127.6	39%
溶剂使用	59.0	18%
交通	108.0	33%
燃料燃烧	20.0	6%
生物质燃烧	13.0	4%
总排放量	327.6	100%

由上表可见，对于京津冀地区，工业源是第一大 VOCs 排放源，而交通源是第二大排放源。这体现了工业源 VOCs 管控在京津冀地区的重要地位。对于北京来说，虽然近年来由于政策和环境变化，有许多工业企业已经外迁，但工业源在北京仍占有重要地位。

表 3. 美国加州 2012 年排放源清单

排放源类型	年均 ROG 排放量 <sup>2</sup> (10 <sup>4</sup> US tons/yr)	排放贡献比 (%)
固定源	376.1	22.27%
石油产业	107.7	6.38%
燃料使用	28.2	1.67%
清洁和表面涂装	135.5	8.02%
废弃物处置	52.7	3.12%
其他工业生产过程	52	3.08%
移动源	748.6	44.34%

<sup>9</sup> 中国环境报，《2021 年全国生态环境保护工作会议-北京协同治理 PM<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 蓝天“含金量”提高》

道路机动车	435.9	25.82%
其他移动源	312.7	18.52%
面源	563.8	33.39%
溶剂使用 <sup>3</sup>	349.6	20.70%
其它过程	214.2	12.69%
总排放量	1688.5	100.00%

表 3 展示了美国加州 2012 年排放源清单，通过将北京 2015 年的结果与加州 2012 年的统计数据相比，可以发现：

- 工业源在京津冀地区约占 39%，加上燃料燃烧的 6% 约有 45%，加州对应的排放源的排放水平在 22%；
- 交通源在京津冀地区约占 33%，交通源在加州约占 44%。交通源对于 VOCs 的贡献分列第二和第一；
- 溶剂使用源在京津冀地区约占 18%，而其在加州约占 21%。

从以上对比可以看出，加州的 VOCs 排放源贡献排名与京津冀地区的排放源贡献排名有所区别。这主要是因为加州经过多年 VOCs 管控，已经对工业源 VOCs 排放进行了有效的控制。对于现阶段的北京来说，工业源仍然是 VOCs 排放控制的最重要切入口。

### 1.3 工业园区的概念

按照联合国工业发展组织（UNIDO）的定义，工业园区（Industrial Park）是“根据综合规划开发并分为若干区块的一片土地，提供道路、交通和公用事业服务，有时还提供公共设施，供工业企业集中利用”<sup>10</sup>。一般来说，工业园区可以分为生态工业园（EIP）、经济特区（SEZ）、边境经济区、出口加工区（EPZ）、自由贸易区（FIZ）、保税区、高科技园区（HTP）及农工业园区（AIP）等等。尽管各类型工业园的实际目标、功能或形式有所不同，但其一般具有一些共同的特征<sup>11</sup>，例如：

- 工业园区一般是一块由国家或地方政府部门从地理上划定的土地，并提供相关的公共服务，如电力、电信、工业废物和废水处理、景观管理、应急服务、急救、安保、交通等等。
- 工业园区一般有详尽的总体规划方案，并对园区内的各个要素，如建筑环境等，设有标准和规范。
- 工业园区一般由单个行政实体（政府或企业）进行管理，以批准和接纳新公司入驻园区，并对园区内的公司进行监管。同时，园区的管理部门还需要制定长期规划，以促进园区的发展。

一个规划管理得当的工业园区能为地区带来很多益处，例如增加就业、吸引投资、推动产业变革、提高生产力、鼓励研发创新。从生态环境保护的角度上讲，工业园区内的企业可以通过公用基础设施来降低生产成本和排污，同时还可以通过集中式的废物回收利用、水资源管理、园区循环经济等途径提高材料、水和能源的利用效率。这其中，生态工业园区又是其中的佼佼者，它们往往会通过应用先进的污染防治策略和技术、推广可再生能源、实现工业共生及其他环境管理方法和技术来进一步减少污染和浪费，降低工业企业对区域的环境影响。

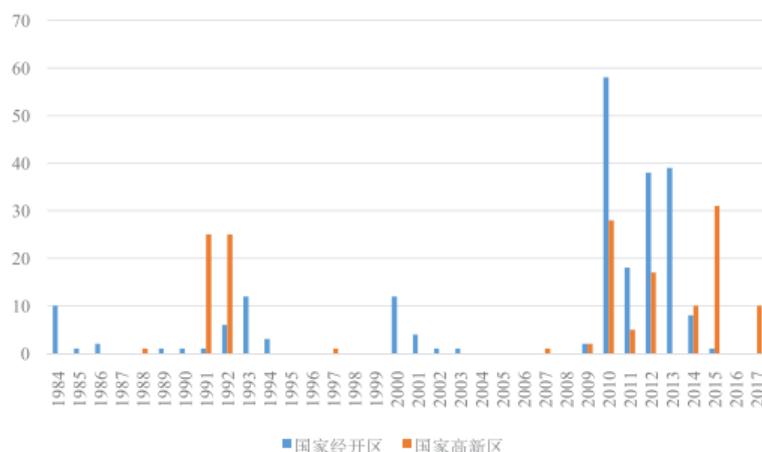
中国的工业园区经过 40 年的发展建设，在数量和规模上都有长足发展，且在园区性质、类型等方面均具有独特性。例如，国外工业园区一般为企业和科研机构自发组织形成，而中国的工业园区的管理机构，如开

<sup>10</sup> <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-06/Peru-report-digital-eng1.pdf>

<sup>11</sup> [https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-05/International\\_Guidelines\\_for\\_Industrial\\_Parks\\_CH\\_spreads\\_0.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-05/International_Guidelines_for_Industrial_Parks_CH_spreads_0.pdf)

发区管委会、园区管委会等一般是政府的下属机构。另外，中国工业园区类型多样且规模差异大。根据中国发展改革委员会（发改委）的报告，截至 2018 年，中国共有各类国家级开发区 552 个，有排放废水的省级及以上工业园区共 2356 个，县级及以下的工业集聚区上万家，且多以经济技术开发区和高新技术产业开发区为主<sup>12</sup>。中国主要的工业污染源大多集中在各类工业园区中，优化对工业园区的规划和管理对包括 VOCs 在内的空气污染物减排、温室气体减排和环境质量提升具有重要意义。

**图 4.中国国家级经开区、高新区历年批准数量**



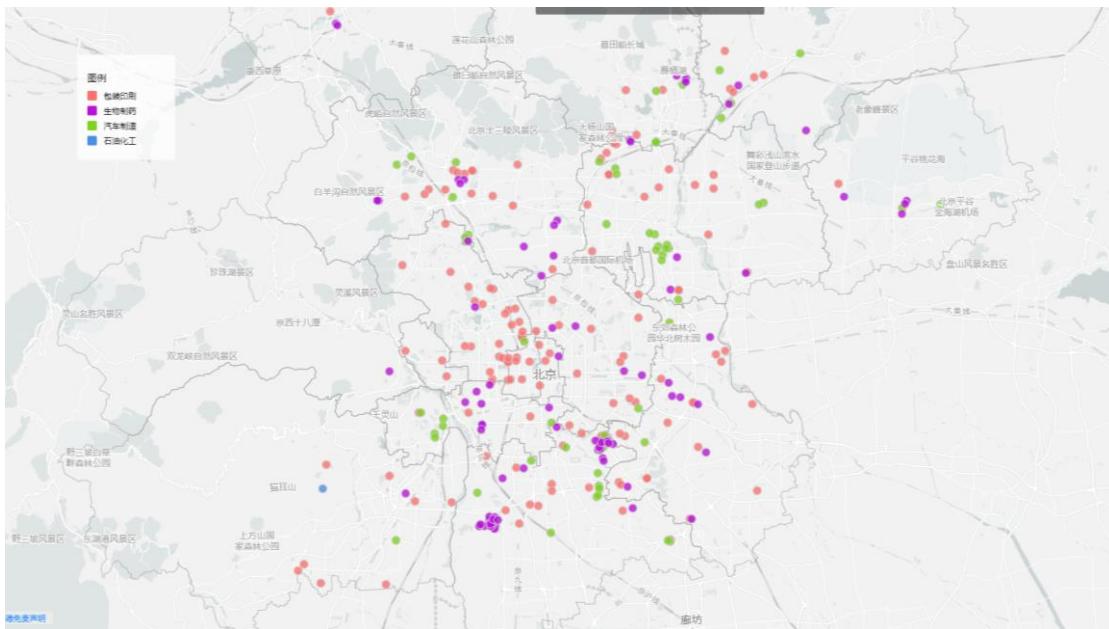
#### 1.4 北京市工业源及工业园区分布

根据《2019 年北京统计年鉴》，2018 年北京市生产总值为 30320 亿元，其中三次产业增加值分别为第三产业 81.0%，第二产业 18.6%，和第一产业 0.4%<sup>13</sup>。工业企业中，涉 VOCs 工业企业约 3000 家，分布在炼油石化、工业涂装、医药制造、印刷、汽车制造、化学品制造、家具制造、半导体及电子等行业。依据高德地图中的企业信息，课题组绘制了北京市四种重点 VOCs 排放工业企业类型（包装印刷、生物医药、汽车制造和石油化工）的分布地图，如下图 3 所示。

**图 5.北京市工业园区和工业企业分布图**

<sup>12</sup> [https://www.un-page.org/files/public/page\\_jiangsu\\_gip\\_report\\_cnjiang\\_su\\_sheng\\_gong\\_ye\\_yuan\\_qu\\_lu\\_se\\_zhuan\\_xing\\_zong\\_he\\_bao\\_gao\\_4.15.pdf](https://www.un-page.org/files/public/page_jiangsu_gip_report_cnjiang_su_sheng_gong_ye_yuan_qu_lu_se_zhuan_xing_zong_he_bao_gao_4.15.pdf)

<sup>13</sup> <http://nj.tjj.beijing.gov.cn/nj/main/2019-tnjz/k/indexch.htm>



从这张地图可以看出，北京的重点工业产业有比较明显的集群化趋势。例如，北京市的石油化工产业基地聚集在房山区的石化新材料产业园，该产业园的代表是北京市的龙头石化企业—燕山石化。而汽车产业则主要集中在顺义汽车产业园。另外，在 2020 年 9 月的服贸会上，顺义区长发布了在顺义区打造中德国际合作产业园，聚焦智能汽车产业。可以预见，北京未来的汽车产业园的数量和规模可能还会继续增加。相比石化行业和汽车制造，北京市的生物医药和包装印刷行业的企业相对比较分散，除几个主要的工业园区外，在北京城区内也有分布（印刷厂）。此外，在十里堡附近也有一个包装印刷的产业集群，它同时也是国家《2020 年挥发性有机物治理攻坚方案》里面提到的涉 VOCs 重点产业集群之一。总的来说，这张地图体现了北京市工业企业的分布特点，即重要的工业源大多分布在各类工业园区之中。

目前，北京市现有国家级经济技术开发区三个，包括北京经济技术开发区（经开区）、中关村科技园区、以及北京天竺综合保税区。其中，经开区是北京市唯一一个同时享受国家级经济技术开发区和国家高新技术产业园区双重优惠政策的国家级经济技术开发区<sup>14</sup>，同时也是国家生态工业示范园区；中关村科技园区是中国第一个国家级高新技术产业开发区、第一个国家自主创新示范区、第一个国家级人才特区，也是京津石高新技术产业带的核心园区；北京市天竺综合保税区是全国唯一与机场口岸无缝连接的综合保税区。除国家级开发区外，北京市还有 15 个市级开发区，以及多个其他重要开发区<sup>15</sup>。

下表展示了北京市各个主要工业园区的基本信息。

<sup>14</sup><https://baike.baidu.com/item/%E5%8C%97%E4%BA%AC%E7%BB%8F%E6%B5%8E%E6%8A%80%E6%9C%AF%E5%BC%80%E5%8F%91%E5%8C%BA/8025041?fr=aladdin>

<sup>15</sup> [http://invest.beijing.gov.cn/tzbj/tzysjgk/cyyqydx/gjjkfq/zgckjyq/201912/t20191208\\_969338.html](http://invest.beijing.gov.cn/tzbj/tzysjgk/cyyqydx/gjjkfq/zgckjyq/201912/t20191208_969338.html)

表 4. 北京各工业园区信息总结

园区名称	规划面积	位置与交通	基础设施情况 <sup>16</sup>	功能定位与园区优势	优惠政策
北京经济技术开发区	46.8 平方公里	京津塘高速公路、五环路、四环路、机场高速路等多条高速公路、城市快速路和城市主干道以及城市轻轨	十一通一平	移动通讯产业、显示器产业、集成电路产业、汽车制造业产业、生物制药产业、装备制造产业、医疗设备产业、信息安全产业、新能源产业	减免企业所得税、地方所得税、单位和个人营业税；土地租赁办法；进出口优惠；人才引进；股权激励政策；管理流程优化
天竺空港工业区	6.6 平方公里	首都机场高速公路西侧 1000 米，101 国道--京承公路贯穿工业区南北，将工业区分为 A、B 两个区域。	九通一平	以电子、光机电一体化、生物制药与航空相关的产业，产业结构以高新技术为主，合作对象以跨国公司为主投资规模以大型化为主。	完善空港口岸功能和航空服务全产业链，支持扩大货运航权；建设空港物流
林河经济开发区	4.16 平方公里	开发区西邻 101 国道、东六环，北有顺平快速路	九通一平	汽车及配套零部件、微电子、光机电一体化和生物新医药。	拨划方式的土地政策；政府跟进投资；政府贴息；针对集成电路企业的税收优惠政策
小汤山经济开发区	1.22 平方公里	位于昌平区小汤山镇东北侧，顺沙路以北，南距天安门广场 22 公里，东距首都机场 16 公里，六环路横穿东西	九通一平	新材料产业、现代制造业和包装印刷业	市政基础设施建设；从入驻到投产为企业提供一条龙服务，“全面规划、分期建设、流动开发、由小做大”的方针

<sup>16</sup> “九通一平”，指的是即给水、排水、电力、热力、通讯、天然气、道路、有线电视、宽带网络和场地平整。“十通一平”，指的是即给水、排水、电力、热力、通讯、天然气、污水、道路、有线电视、宽带网络和场地平整。“十一通一平”的基础设施，即：给水、排水、热力、电力、污水、工业蒸汽、天然气、道路、通讯、有线电视、宽带网络和场地平整。

园区名称	规划面积	位置与交通	基础设施情况 <sup>16</sup>	功能定位与园区优势	优惠政策
延庆经济开发区	6.65 平方公里	临近 S216、G110，靠近延庆火车站	基础设施完善	发展无污染的现代科、工、贸企业为主，同时发展住宅、别墅、娱乐、公共、公益设施等	业国家扶植基金；税收补贴；增值税、营业税优惠政策；落户政策
八达岭经济开发区	4.013 平方公里	距北京市区 60 公里，八达岭高速公路直通区内	九通一平	新能源和环保产业基地及新能源和环保设施应用	税收优惠；环保和新能源政策扶持
雁栖经济技术开发区	14.97 平方公里	临近 101、111 国道、京承高速公路以及京承、京通、大秦三条铁路从开发区周边经过	九通一平	食品饮料、包装印刷、生物制药、现代制造及信息电子	人才引进、资金扶持；高新技术企业发展资金；税收优惠政策
密云经济开发区	35 平方公里	紧邻京承快速路，101 国道和京承铁路，距北京 65 公里，距首都机场 40 公里，距天津塘沽港 160 公里	九通一平	高新科技产业、汽车零部件、绿色食品、生物医药产业	税收优惠政策；财政扶持政策；服务费减免；税收奖励返还
中关村昌平园区科技园	17 平方公里	京张高速公路附近，距离机场 42 千米	九通一平	能源科技、生物医药、先进制造、新材料和电子信息	企业所得税优惠；免征营业税；免关税和增值税；人才落户优惠政策
北京国际信息产业基地	10 平方公里	距城铁 13 号线 4km，规划建设的昌二支线从园区穿过，并在二期地块设有朱辛庄站，紧邻京昌八达岭	九通一平	信息产业、软件、电子产品为主导，环保产业、生物医药	中关村科技园区和昌平区政府给予的双重优惠政策

园区名称	规划面积	位置与交通	基础设施情况 <sup>16</sup>	功能定位与园区优势	优惠政策
		高速路，20多条公交线路始发或途径园区			
中关村生命科学园	0.52 平方公里	北清路（东西向）和京藏高速公路（G6，八达岭高速公路，南北向）	基础设施完善	国家级生物技术和新医药高科技产业	企业所得税优惠政策；技术转让所得税；公司型创投企业所得税；园区内科研服务、政务服务和科技金融等公共服务平台
中关村永丰高新技术产业基地	3.8 平方公里	海淀区北清路 99 号	基础设施完善	新材料产业、信息产业、生物工程与新医药产业、环保及资源综合利用产业、光机电一体化产业、空间技术产业	企业所得税减免；房租补贴；专业化精准服务
中关村软件园	0.6 平方公里	距八达岭高速公路 1 公里，距城市轻轨西二旗站 700 米，距首都机场 40 公里	基础设施完善	软件创新、软件开发、软件出口	创新平台资金支持；租金补贴；高新成果产业化补助；创业投资服务
上地信息产业基地	1.81 平方公里	与中关村北大街相连接，北部是中国航天城和永丰科技园，西北部是中关村软件园	九通一平	电子信息产业、生物工程	滚动式开发、市政先行的开发模式，政府政策扶持，地产管理模式
北大科技园	0.8 平方公里	北京大学	基础设施完善	科技成果转化基地、科技企业孵化基地、创新创业人才培育基地、产学研合作示范基地和高科技产业化发展基地	留学人员企业开办费；高层次人才计划；专项资助基金；居留与落户优惠政策

园区名称	规划面积	位置与交通	基础设施情况 <sup>16</sup>	功能定位与园区优势	优惠政策
清华科技园	0.3 平方公里	清华大学	基础设施完善	创业企业孵化、高新企业研发、创新人才培养、科技成果转化	政府资源、社会资源、教育资源优势；政府重点资助；落户政策
天竺出口加工区	1.251 平方公里	空港经济开发区地处 20 万人口空港城核心地带，拥有快捷便利的立体交通网络。101 国道穿区而过	七通一平、标准化工业园区厂房	进出口加工	简化通关手续；降低通关费用；企业所得税减免、退还；土地价格优惠；引进奖励政策
现代汽车产业基地	2 平方公里	顺义区汽车产业基地	基础设施完善	汽车生产、技术研发	汽车产业专项政策、企业融资，减免房租，稳定外资外贸、建设智能汽车基地
金马工业区	3.07 平方公里	北邻城市六环高速公路，东接京密公路，西为火寺路，南至首都机场 5 公里	六通一平	家用电器、食品加工、纺织	招商引资税收优惠政策；高新技术企业税收优惠
兴谷经济开发区	5 平方公里	平谷北街 15 号	七通一平	汽车零部件、食品、机械	增值税、营业税优惠；企业所得税优惠；
通州经济开发区	2.78 平方公里	临近京沈高速公路、京津公路从开发区的南北两侧通过，西侧紧邻北京市六环路和八通轻轨列车总站	六通一平	电子、轻工、机电、新型建材	企业扶持政策和产业促进扶持政策；投资者优待；荣誉称号
中关村科技园区通州园·光机电一体化产业基地	7.5 平方公里	位于通州区中关村科技园通州园	十通一平	微电子、光电子、先进装备制造业、智能仪器仪表、激光技术、数控机床、印刷	风险投资机构净资产全额投资、注册资本分期缴付；自主选择经营项目；人才政

园区名称	规划面积	位置与交通	基础设施情况 <sup>16</sup>	功能定位与园区优势	优惠政策
				机械、医疗设备、半导体材料	策，落户优惠；土地优惠；税收优惠
永乐经济开发区	10 平方公里	紧邻京津塘高速公路（距离廊坊出口仅 500 米），北侧距京沈高速 10 公里，东侧规划中京津塘 2 号线。	六通一平	制造业、建材业、仓储运输业	土地价格优惠；纳税奖励；落户政策；园区快捷服务
北京印刷包装产业基地	3.9 平方公里	北京南部工业产业带核心位置，地处南六环路与南中轴路的交汇处	六通一平	印刷、包装、印刷设计	大兴区规划优势；产业集聚效应；就业政策
中关村科技园区大兴生物医药产业基地	28 平方公里	北京生物工程与医药产业基地天河西路 19 号	九通一平	生物工程、研发、孵化器	土地优惠政策；税收优惠政策
丰台科技园	8.18 平方公里	外环西路四环路西南角	九通一平	航天军工、轨道交通、工程服务和生物医药	科技创新企业无偿资助；房价补贴；收税返还奖励；中小企业贴息；奖项表彰
北京良乡经济开发区	1.1 平方公里	京港澳高速、六环路、107 国道、京周公路、良乡机场、京广铁路	九通一平	生物工程与医药和新材料	所得稅、增值税地方财政奖励；财政补贴土地成本；科研项目融资贴息；税收优惠，土地厂房投资
北京石油化工新材料产业基地	6.67 平方公里	距北京六环路 1000 米，京石高速路 1500 米；距京广铁路 2 公里，京原铁路 1.5 公里，且基地内有铁路专用线与京广、京原铁路相通。	十一通一平	新型建材、生物医药、化工新材料、高新技术企业	免费政策咨询，核定低税费优惠；扶持科技型企业

园区名称	规划面积	位置与交通	基础设施情况 <sup>16</sup>	功能定位与园区优势	优惠政策
房山工业园区	2.42 平方公里	距北京市中心 38 公里，北京市 14 个卫星城之一的燕房卫星城总体规划区的东部	九通一平	新型建材业、现代加工制造业、机械制造和高新技术企业	“工业强区”资金扶持政策；股权投资企业税收优惠政策
石龙经济开发区	4 平方公里	距北京市中心 24 公里，东临永定河，西倚九龙山	八通一平	电子工业、生物医药、轻工食品、精细化工和新型建材	财政奖励扶持基金、税收奖励；个人户口或资金奖励；土地优惠政策；收费优惠政策；优质高效服务
马坊工业园区	3.45 平方公里	园区地处平谷西南部，与顺义、河北三河接壤。距首都国际机场 35 公里，紧邻 G101、G102 国道，是北京东部发展带与天津出海口的交汇地。	七通一平	工贸、塑胶制品、服装、科技、纺织、造纸和公共设施建设	土地价格优惠；招商引资中介人奖励；城镇户口办理政策
采育经济开发区	11 平方公里	沿京津塘高速公路的“京津塘科技新干线”布局，北京 30 个重点发展的中心小城镇之一	八通一平	汽车零部件产业、新材料产业、都市工业	强化企业服务；扶持和奖励资金；专业招商队伍引进项目；产业发展支持资金

从上表中总结的北京市包括国家级园区、市级园区在内的各个工业园区的信息中可以发现，随着企业入园的政策引导，北京市的工业园区主要可以分为两种类型，在北京市的重点工业产业的集群化趋势下，一种是单一产业类型聚集的工业园区，典型案例就石化行业的燕山石化，其特点是占地面积多大，产品多，工艺复杂。无组织排放源多，产业结构相对单一；另一种是多种产业类型聚集的复合型工业园区，典型案例就是北京经济技术开发区，其特点是行业类型多样，企业分布密集，既有高科技行业企业也有制造业的 VOCs 重点管控行业。上表中所列北京各个工业园区除了北京印刷包装产业基地以单一产业的印刷与包装为主体、中关村软件园以软件产业为主体、中关村生命科学园以生物技术和医药产业为主体以及天竺出口加工区以进出口加工为主体外，别的工业园区都是多行业混合型园区。此外，2021 年 9 月，中关村工业互联网产业园在北京市石景山区奠基，预计建



成后将成为北京市规模最大、产业链最为齐全、产业集聚度最高的工业互联网产业园<sup>17</sup>。因此，对于不同类型的工业园区在实施 VOCs 管控的时候也要充分考量各个园区的特点，考虑园区的集群效应和生态效益。

<sup>17</sup> <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1711138958520358026&wfr=spider&for=pc>

## 1.5 工业园区相关政策及园区 VOCs 管控政策

鉴于工业园区的优势和重要性，国家和北京市均出台了许多政策，鼓励工业园区的发展和建设。同时，针对园区内工业源 VOCs 的管控，也提出了相应的政策和要求。早在 2007 年，国家生态环境部（原环保部）就发布了《关于开展国家生态工业示范园区建设工作的通知》（环法〔2007〕51 号）<sup>18</sup>，鼓励国家级经济技术开发区和国家高新技术产业开发区通过生态化改造申报综合类生态工业示范园区，支持开发区内具备条件的工业园区申报行业类生态工业示范园区和静脉产业类生态工业示范园区。

2012 年，国家发改委和财政部发布了《国家发改委、财政部关于推进园区循环化改造的意见》<sup>19</sup>，明确指出了工业园区在经济发展中的重要支撑作用和在合理分析园区循环化改造必要性前提下，体系性地提出了园区循环改造的总体要求、原则和实施要点。

2013 年 9 月，工信部和发改委发布了《关于组织开展国家低碳工业园区试点工作的通知》，提出通过试点建设，大力使用可再生能源，加快钢铁、建材、有色、石化和化工等重点行业低碳化改造；并且推广一批适合我国国情的工业园区低碳管理模式，从而引导并带动工业的低碳发展。

2014 年，国务院办公厅发布了《国务院办公厅关于促进国家级经济技术开发区转型升级创新发展的若干意见》（国办发〔2014〕54 号）<sup>20</sup>，对如何进一步发挥国家级经济技术开发区作为改革试验田和开放排头兵的作用，促进国家级经济技术开发区转型升级和创新发展。同时，国家大力推广工业企业按照产业发展规模化、现代化的原则，搬迁至工业园区并实施升级改造。工业园区及产业集群的优势有以下几个方面：基础配套设施和服务较为完善，企业能够通过资源共享提高产出，更容易获得政府的资金等帮扶支持。

2015 年工业和信息化部发布的《促进化工园区规范发展指导意见》中提出，要求加强环境应急预案管理和风险预警，建立健全环境应急预案体系，园区管理机构应当组织建设有毒有害气体环境风险预警体系，建设园区环境风险防范设施。

2017 年，国务院办公厅又进一步出台了《国务院办公厅关于促进开发区改革和创新发展的若干意见》（国办发〔2017〕7 号）<sup>21</sup>，为新的形势下促进开发区改革和创新发展，形成新的集聚效应和增长动力，引领经济结构优化调整和发展方式转变等方面提供了建议。同年，六部委联合印发的《“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案》要求重点地区严格限制石化、化工、包装印刷、工业涂装等行业高 VOCs 排放量的建设项目，新建涉 VOCs 排放的工业企业要入园。

2018 年生态环境部发布的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》中提出了我国工业园区大气污染防治工作的三个重要方针：优化产业布局、整治“散乱污”、深化工业污染治理。计划的具体要求包括：对列入整合搬迁类的企业，需要按照产业发展规模化、现代化的原则搬迁至工业园区并实施升级改造；推进各类园区循环化改造、规范发展和提质增效；对开发区、工业园区、高新区等进行集中整治，限期进行达标改造，减少工业集聚区污染。《计划》同时指出，需要完善环境监控监测网络，在国家级新区、高新区、重点工业园区以及港口设置空气质量监测站点<sup>22</sup>。

2020 年 7 月，发改委发布了《关于组织开展绿色产业示范基地建设的通知》<sup>23</sup>，提出到 2025 年，绿色产业示范基地建设应取得阶段性进展，提高基地绿色产业聚焦度和综合竞争力，有效构建绿色产业链，完善基础设施和服务平台，健全绿色产业发展的体制机制，从而起到引导全国绿色产业发展的作用。生态环境部颁布实施的《2020 年挥发性有机物治理攻坚方案》中，则对 2020 年涉 VOCs 化工园区和产业集群的

<sup>18</sup> [https://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022\\_172456.htm](https://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172456.htm)

<sup>19</sup> <http://www.qingdao.gov.cn/n172/n24624151/n24625275/n24625289/n24625303/131111102307244237.html>

<sup>20</sup> [http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/21/content\\_9231.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/21/content_9231.htm)

<sup>21</sup> [http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02/06/content\\_5165788.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02/06/content_5165788.htm)

<sup>22</sup> 《打赢蓝天保卫战三年行动计划》

<sup>23</sup> [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202007/t20200714\\_1233738.html?code=&state=123](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202007/t20200714_1233738.html?code=&state=123)

VOCs 治理攻坚提出了具体要求和措施，包括：资源共享、集中治理；监测评估数据共享；加强溯源、深化无组织排放管理等。

2020 年 11 月，生态环境部发布了《关于进一步加强产业园区规划环境影响评价工作的意见》，旨在夯实主体责任、推进规划环评与生态环境分区管控衔接、指导入园建设项目环评改革、加强规划环评质量监管，切实提升产业园区规划环评效力，促进区域绿色发展<sup>24</sup>，发挥切实效力以聚焦产业园区生态环境质量改善、优化产业园区基础设施建设以及推动建立健全环境风险防控体系。

2021 年 8 月，生态环境部发布了《关于加快解决当前挥发性有机物治理突出问题的通知》（环大气〔2021〕65 号）。通知指出了要针对当前的突出问题展开排查整治，包括石化行业、化工行业以及涉及涂装的行业等。组织企业针对挥发性有机液体储罐、装卸、敞开液面、泄漏检测与修复（LDAR）、废气收集、废气旁路、治理设施、加油站、非正常工况、产品 VOCs 含量等 10 个关键环节，认真对照大气污染防治法、排污许可证、相关排放标准和产品 VOCs 含量限值标准等开展排查整治<sup>25</sup>。通知要求大气污染防治重点区域于 2021 年 10 月底前、其他地区于 12 月底前，组织企业自行完成一轮排查工作。在企业自查基础上，地方生态环境部门还要对企业 VOCs 废气收集情况、排放浓度、治理设施去除效率、LDAR 数据质量以及储油库、加油站油气回收设施组织开展一轮检查抽测，其中排污许可重点管理企业全覆盖，通知要求重点区域力争于 2022 年 6 月底前基本完成整治，其他区域 2022 年 12 月底前基本完成。鼓励重点区域石化、化工行业集中的城市和工业园区建立 LDAR 信息管理平台，进行统一监管。对于有条件的工业园区和企业集群鼓励建设集中涂装中心等措施，以实现 VOCs 集中高效处理。

2021 年 9 月，生态环境部更新了《规划环境影响评价技术导则 产业园区》（HJ131-2021）。该导则中提出，规划方案要基于产业园区基础设施环境影响分析，论证产业园区污水集中处理、固体废物（含危险废物）分类集中安全处置、集中供热、VOCs 等废气集中处理中心等设施选址、规模、建设时序、排放口（排污口）设置等的环境合理性。对于规划建设项目环境影响评价，可以对依托产业园区供热、清洁低碳能源供应、VOCs 等废气集中处理、污水集中处理、固体废物集中处置等公用设施的建设项目提出正常工况下的环境影响直接引用规划环境影响评价结论的建议<sup>26</sup>。并且，这项导则重点提出了推进减污降碳协同增效，将碳减排要求融入各评价章节。提出统筹产业园区减污降碳协同共治、资源集约节约及循环化利用、能源智慧高效利用、环境风险防控等重大事项，引导产业园区生态化、低碳化、绿色化发展，尤其是以电力、钢铁、建材、有色、石化和化工等重点碳排放行业为主导产业的产业园区，应调查碳排放控制水平与行业碳达峰要求的差距和降碳潜力。

在环境监测方面，《2021 年国家生态环境监测方案》相较于《2020 年国家生态环境监测方案》，但监测项目总数增加了七项，其中就包括了工业园区专项监测。监测范围包括“十四五”大气污染重点防治区域，应对石化、化工、工业涂装、包装印刷等涉 VOCs 的产业集群和工业园区，以及氮氧化物排放较大的产业集群和工业园区开展监测、各地根据颗粒物和臭氧协同控制的需求确定具体范围。提出了基本的工作方式是由省级生态环境部门统筹组织开展所确定工业园区的监测能力建设，园区管理单位负责具体监测点位的建设并组织实施开展监测工作<sup>27</sup>。2021 年的方案中，在 VOCs 的监测上，要持续加强 VOCs 组分监测和光化学监测能力建设，加强污染源 VOCs 监测监控，鼓励大气污染防治重点区域推动有条件的企业建设厂内 VOCs 无组织自动监控设施，并在主要排放工序安装视频监控设备<sup>28</sup>。

北京市对 VOCs 治理也非常重视，VOCs 管控政策出台时间早、力度大且覆盖面广。北京于 2013 年发布《北京市 2013-2017 年清洁空气行动重点任务分解》，提出要将各区县重点行业挥发性有机物排放每年减少 10% 左右，2017 年要比 2012 年累计减排 50% 左右。2017 年，北京市环保局发布了《大气污染物综合排放标准》（DB 11/501-2017）<sup>29</sup>，该标准为强制标准，为 DB 11/501-2007 和 DB 11/237-

<sup>24</sup> [https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202011/t20201124\\_809500.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202011/t20201124_809500.html)

<sup>25</sup> 《关于加快解决当前挥发性有机物治理突出问题的通知》

<sup>26</sup> <http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/pjjsdz/202109/W020210913584503290181.pdf>

<sup>27</sup> <http://zok-hn.com/ueditor/php/upload/file/20210415/1618498274252210.pdf>

<sup>28</sup> <https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202105/W020210527592239067284.pdf>

<sup>29</sup> <https://max.book118.com/html/2017/0420/101340409.shtml>

2004 的替代标准，该标准加严了标准限值，标准覆盖范围内的有组织颗粒物排放量可减少 2/3，有组织 VOCs 排放量可减少 37.5%。这些年来，北京市先后出台了炼油与石油化学工业、工业涂装工序、印刷业、木质家具制造业、电子工业、有机化学品制造等行业大气污染物排放标准，严格 VOCs 排放限值。2020 年，北京市将挥发性有机物治理作为大气污染防治工作的重点之一。年初，《北京市污染防治攻坚战 2020 年行动计划》发布，深入开展 VOCs 治理专项行动，并且在《北京市蓝天保卫战 2020 年行动计划》、《VOCs 治理专项行动方案》中，对工业等领域 VOCs 治理工作进行了专项部署。对于工业企业和园区，结合清洁生产审核深度治理，将 VOCs 排放重点企业纳入北京市重点排污单位名录，进一步强化监管；重点石化企业如燕山石化公司对泵、压缩机等重点环节开展两轮泄漏检测与修复；组织 61 家重点行业企业开展 VOCs “一厂一策” 深度治理；开展汽修企业集中化治理改造，建成全市标准化、集中化、封闭化钣喷中心示范，最大限度减少分散式钣喷作业污染排放；截至 2020 年 6 月底，共退出 68 家一般制造业和污染企业；创新监管模式，开展重点工业园区 VOCs 走航监测，精准识别 VOCs 浓度高值点位。截至目前，北京市的 VOCs 管控已经取得了显著成效，并将在“十四五”期间进一步深化。

近年来，北京市也在进一步探索与深化工业园区的发展路径和经验。2017 年，北京市政府印发了《北京市“十三五”时期现代产业发展和重点功能区建设规划》<sup>30</sup>就提出了部分产业园区的集约高效布局的要求，优化调整高端产业功能区，比如中关村国家自主创新示范区、北京经济技术开发区和临空经济区等，严格资源、环保、人口等准入标准，完善投入产出评价体系，提高园区产出效益，提高高端化、集约化发展水平。该规划还提出了加快建设特色功能区，例如北京高端制造业（房山）基地和中关村软件园等。

北京市 2019 年印发了《关于新时代深化科技体制改革加快推进全国科技创新中心建设的若干政策措施》<sup>31</sup>，提出了对于中关村科学城和北京经济技术开发区的创新管理体制机制，并且充分发挥国家自主创新示范区、自由贸易试验区、北京市服务业扩大开放综合试点、国家高新技术产业开发区及国家级经济技术开发区等相关政策作用，进一步加强政策互动，推动京津冀协同创新。

2021 年 8 月，北京市新近发布了《北京市“十四五”时期高精尖产业发展规划》<sup>32</sup>，提出打造南北两个产业集聚带，即北部研发创新与信息产业带和南部先进智造产业带，都需要发挥工业园区的优势来完成产业带的建设，同时也在积极加强京津冀的合作，建设更多的特色园区。在绿色园区的建设上，也鼓励企业、园区积极创建绿色工厂、绿色园区、绿色供应链，大力推行工业产品绿色设计，提升国际市场竞争力，规避低碳壁垒。促进企业、园区优先使用可再生能源，支持有条件的企业和园区率先探索碳中和实现路径。

## 1.6 北京市重点工业 VOCs 排放标准

制定排放标准是国家和北京市对 VOCs 进行管控的重要手段。针对 VOCs 排放，生态环境部现已出台了两个综合排放标准。针对固定源排放，现行的国家综合排放标准是《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）。该标准对苯、甲苯、二甲苯、酚类等有机挥发物控制指标限定了最高浓度排放限值和排放速率，并且规定了新污染源非甲烷总烃最高允许排放浓度为 120 mg/m<sup>3</sup>。<sup>33</sup>最高允许排放浓度与排气筒高度无关，但是不同排气筒高度所对应的最高允许排放速率不同。

对于 VOCs 无组织排放源，生态环境部于 2019 年 5 月发布了《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB 37822-2019），其中包括了 VOCs 物料储存无组织排放控制要求、VOCs 物料转移和输送无组织排放控制要求、工艺过程 VOCs 无组织排放控制要求、设备与管线组件 VOCs 泄漏控制要求、敞开页面 VOCs 无组织排放控制要求以及 VOCs 无组织排放废气收集处理系统要求、企业厂区内及周边污染监控要求。该标准对挥发性有机液体储罐的控制要求做出了详细规定，例如，对于浮顶罐，GB 37822-2019 明确提出需要罐体保持完好、采用浸液式密封或机械式密封等高效密封方式等要求；对于固定顶罐，排放的废气应收集处理并满足相关行业排放标准的要求，或者处理效率不低于 90%；并规定挥发性有机液体应采用底部装载方

<sup>30</sup> [http://www.beijing.gov.cn/zhenge/zhengefagui/201905/t20190522\\_60076.html](http://www.beijing.gov.cn/zhenge/zhengefagui/201905/t20190522_60076.html)

<sup>31</sup> <http://zgcgw.beijing.gov.cn/zgc/zwgk/zcfg18/bjs/620766/index.html>

<sup>32</sup> [http://kw.beijing.gov.cn/art/2021/8/19/art\\_2388\\_14420.html](http://kw.beijing.gov.cn/art/2021/8/19/art_2388_14420.html)

<sup>33</sup> 来源：<http://www.gb688.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=72B7BB9338A1B19773000E6E318AEB44>

式，若采用顶部浸没式装载，出料管口距离槽（罐）底部高度应小于 200mm<sup>34</sup>。另外，GB 37822-2019 还包括了对重点地区的特别控制要求，执行的地域范围和时间由国务院生态环境主管部门或省级人民政府规定。重点地区收集的废气中 NMHC 初始排放速率 $\geq 2\text{kg/h}$  时（其他地区为  $3\text{kg/h}$ ），应配置 VOCs 处理设施，处理效率不低于 80%，采用的原辅材料符合国家有关低 VOCs 含量产品规定的除外。

对于某些高排放浓度和/或高排放量的行业或者大气污染形势严峻的区域，的综合排放标准的管控力度仍稍显不足。因此对于一些特定行业，国家也出台了一些行业标准作为综合标准的延伸，使之更为有效。本节针对北京市重点工业行业的相关标准展开说明。

### 1.6.1 石油和化工工业

国家于 2015 年发布了《石油炼制工业污染物排放标准》（GB 31570-2015）、《石油化学工业污染物排放标准》（GB 31571-2015）、《合成树脂工业污染物排放标准》（GB 31572-2015）。

其中，《石油炼制工业污染物排放标准》中对于 VOCs 有组织排放的排放限值如下：（以非甲烷总烃浓度判断）废水处理有机废气收集处理装置为  $120\text{ mg/m}^3$ ；重整催化剂再生烟气为  $60\text{ mg/m}^3$ ；有机废气排放口要求处理效率达 95% 或以上<sup>35</sup>。标准中也含有对石化工艺流程中特征污染物的排放限值。例如，对常见的苯系物如苯、甲苯、二甲苯的排放限值分别为  $4\text{ mg/m}^3$ 、 $15\text{ mg/m}^3$  和  $20\text{ mg/m}^3$ 。

《石油化学工业污染物排放标准》（GB 31571-2015）中明确了企业需要根据使用的原料，生产工艺过程，生产的产品、副产品来确定需要控制的有机特征污染物的种类以及排放浓度限值。目前已经发布污染物检测方法标准的有机特征污染物种类及限值排放量如表 4 所示。

**表 5. 废气中已有检测方法标准的有机特征污染物及排放限值**

污染物项目	排放限值 ( $\text{mg/m}^3$ )	污染物项目	排放限值 ( $\text{mg/m}^3$ )
环己烷	100	硝基苯类	16
氯乙烯	1	甲醇	50
苯	4	甲醛	5
甲苯	15	乙醛	50
二甲苯	20	丙烯腈	0.5
乙苯	100	苯胺类	20
苯乙烯	50	光气	0.5
氯苯类	50	氰化氢	1.9

除国家标准外，北京、天津、河北又先后出台了《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》（DB 11/447-2015）、《有机化学品制造业大气污染物排放标准》（DB 11/1385-2017）、《工业企业挥发性有机物排放控制标准》（DB 12/524-2014），《工业企业挥发性有机物排放控制标准》（DB 13/2322-2016）等地方标准，这些标准往往拥有更严格的排放限值和对无组织排放控制的要求。

例如，北京市的《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》（DB11/447-2015）中规定了北京市设备与管线组件的挥发性有机物泄漏限值，自 2017 年 1 月 1 日起，限值如下表所示。

**表 6. 北京市《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》设备与管线组件的挥发性有机物泄漏限值**

<sup>34</sup> <http://www.gongyishi.gov.cn/zfxgk/rootfiles/2020/06/01/1592341879038837-1592341879458462.pdf>

<sup>35</sup> 来源：《石油炼制工业污染物排放标准》（GB 31570-2015）

设备	泄漏检测值（单位: $\mu\text{mol/mol}$ ）
气体、挥发性有机液体流经的泵、压缩机	1000
其他	500

GB 31571-2015 中对于有机气体和挥发性有机液体流经的设备和管线组件泄漏检测值为 2000  $\mu\text{mol/mol}$ , 其他挥发性有机物则为 500  $\mu\text{mol/mol}$ 。可见, 北京市标准的泄漏限值比国家标准更加严格。

对于工艺废气, 北京市标准要求炼油与石油化工生产单元排放的有机工艺尾气、应回收利用: 不能(或不能完全)回收利用的, 应采用工艺加热炉、焚烧炉予以焚烧, 或采用吸收、吸附、冷凝等非焚烧方式予以处理, 其排气筒中的挥发性有机物排放浓度(以非甲烷总烃为指标考核)执行如下表规定的限值。

表 7.北京市《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》生产工艺单元非甲烷总烃排放浓度限值

处理方式	焚烧处理	非焚烧处理
排放限值	20	100
处理效率	大于等于 97%	

对于无组织排放源, 自 2017 年 1 月 1 日期, 北京市的浓度限值标准也比国家标准更加严格。比如非甲烷总烃在厂界监控点处浓度, 国家和北京市的污染物浓度限值分别为 4.0 和 2.0  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。按北京市标准, 苯, 甲苯和二甲苯的厂界监测点处浓度限值分别为 0.2  $\text{mg}/\text{m}^3$ 、0.8  $\text{mg}/\text{m}^3$  和 0.5  $\text{mg}/\text{m}^3$ ; 而国家标准中苯, 甲苯和二甲苯的厂界监测点处浓度限值分别为 0.4  $\text{mg}/\text{m}^3$ 、0.8  $\text{mg}/\text{m}^3$  和 0.8  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

对于无组织排放控制要求, GB 37822 有更详细的规定。例如, 对于浮顶罐, GB 37822 明确提出需要罐体保持完好、开口密闭等要求。另外, GB 37822 还包括了对重点地区的特别控制要求。

2021 年 9 月, 生态环境部发布了最新修订的《炼焦化学工业污染物排放标准(征求意见稿)》<sup>36</sup>。标准要求, 新建企业自 2022 年 7 月 1 日起, 现有企业自 2023 年 7 月 1 日起, 炼焦化学工业企业的大气污染物排放控制按本标准的规定执行, 不再执行原标准中的相关规定, 其涉及 VOCs 污染物排放限值如下表所示。利用焦炉焚烧处理有机废气的, 应满足下表中焦炉烟囱的控制要求。对于无组织排放, 新标准的征求意见稿也对企业边界大气污染浓度限值作出了限定: 苯、酚类和非甲烷总烃的浓度限值分别为 0.4  $\text{mg}/\text{m}^3$ 、0.02  $\text{mg}/\text{m}^3$  和 2.0  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

表 8.炼焦行业有组织排放大气污染物新排放限值(单位  $\text{mg}/\text{m}^3$ )

序号	污染物排放环节	苯	酚类	非甲烷总烃	监控位置
1	焦炉烟囱			80	车间或生产设施排气筒
2	冷鼓、库区焦油各类贮槽及装载设施	50	50		
3	苯贮槽及装载设施	6		50	
4	生产废水处理设施			50	

## 1.6.2 电子工业

2008 年, 原环境保护部(现生态环境部)印发了一系列电子工业污染物排放标准的征求意见稿, 涉及半导体器件、电子元件、电子终端产品、平板显示器、电真空及光电子器件。2015 年, 环保部将这些征求意见

<sup>36</sup> 《炼焦化学工业大气污染物排放标准(征求意见稿)》

见稿汇总并且发布了《电子工业污染物排放标准》（征求意见稿）规定非甲烷总烃最高允许排放浓度为  $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，特别排放限值是  $80\text{mg}/\text{m}^3$ ，没有涉及总挥发性有机物（TVOCs）。

2018 年生态环境部印发《电子工业污染物排放标准》（二次征求意见稿），规定非甲烷总烃最高允许排放浓度为  $100\text{ mg}/\text{m}^3$ ，TVOCs 排放浓度为  $150\text{ mg}/\text{m}^3$ ；适用于重点地区的大气污染物特别排放限值则分别为  $50\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $100\text{ mg}/\text{m}^3$ 。该标准目前尚未正式发布实施。

虽然国家还没有强制执行的电子工业的大气污染物排放标准，但是各省市及地方已经实施了部分电子工业排放法规还有：

- 北京市《电子工业大气污染物排放标准》（DB 11/1631-2019），其中规定非甲烷总烃最高允许排放浓度为  $20\text{ mg}/\text{m}^3$ ，TVOCs 排放浓度限值为  $40\text{ mg}/\text{m}^3$ 。同时，该标准在无组织排放控制要求方面，提出了 VOCs 物料的储存、转移和输送控制要求、VOCs 物料的使用过程控制要求、设备与管线组件泄漏控制要求、敞开液面 VOCs 逸散控制要求、废气收集处理系统要求、厂区内的 VOCs 无组织监控要求等 6 项无组织控制要求。
- 天津市《工业企业挥发性有机化合物排放控制标准》（DB 12/524-2020），规定电子工业 VOCs 最高允许排放浓度为  $40\text{ mg}/\text{m}^3$ 。
- 上海市《半导体行业污染物排放标准》（DB 31/374-2006）。规定 VOCs 最高允许排放浓度为  $100\text{ mg}/\text{m}^3$ 。2021 年 3 月，上海市生态环境局发布了《半导体行业污染物排放标准》（征求意见稿），以进一步贯彻落实《上海市清洁空气行动计划（2018-2022 年）》。新标准草案将非甲烷总烃有组织排放要求收严为  $20\text{ mg}/\text{m}^3$ ，并加入了对 VOCs 的排放要求（同样为  $20\text{ mg}/\text{m}^3$ ）。
- 2017 年广东省《电子工业挥发性有机物排放标准》（征求意见稿），规定 VOCs 最高允许排放浓度为  $30\text{ mg}/\text{m}^3$ 。2017 年广东省《电子设备制造业挥发性有机化合物排放标准》（征求意见稿），规定 VOCs 最高允许排放浓度为  $40\text{ mg}/\text{m}^3$ 。
- 2018 年江苏省《半导体行业污染物排放标准》（DB 32/3747-2020），规定非甲烷总烃最高允许排放浓度为  $50\text{ mg}/\text{m}^3$ 。

### 1.6.3 汽车制造业

汽车制造业 VOCs 成分复杂，排放强度大，体量大，是 VOCs 重点排放源。自《大气污染防治行动计划》，特别是《打赢蓝天保卫战三年行动计划》实施以来，不少省市陆续出台了汽车制造行业涉 VOCs 污染控制管理的排放标准。其中，比较早发布汽车制造业排放标准的省市有：

- 北京市《汽车整车制造业（涂装工序）大气污染物排放标准》（DB11/1227-2015）
- 广东省《表面涂装（汽车制造业）挥发性有机化合物排放标准》（DB 44/816-2010）
- 上海市《汽车制造业（涂装）大气污染物排放标准》（DB 31/859-2014）
- 重庆市《汽车整车制造表面涂装大气污染物排放标准》（DB50/577-2015）
- 江苏省《表面涂装（汽车制造业）挥发性有机物排放标准》（DB32/2862-2016）

各省市出台的标准对 VOCs 有组织排放的浓度和排放速率、以及厂界无组织排放浓度限值做出了限制，并详细阐明了控制 VOCs 排放的生产工艺措施和管理要求、废气收集要求、VOCs 污染控制台账记录要求等。

### 1.7 项目内容及技术路线图

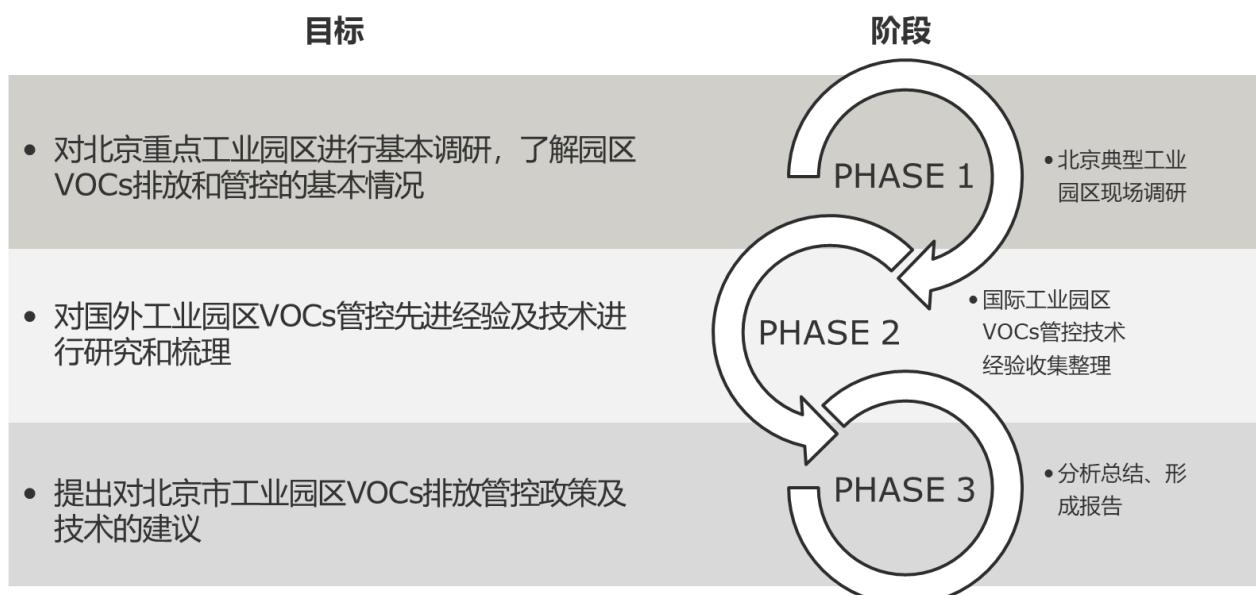
从以上背景分析可以看出，尽管北京市的空气质量已经得到了很大改善，但臭氧情况依然严峻。2019 年北京市臭氧日最大 8 小时滑动平均第 90 百分位浓度值为 191 微克/立方米，与 2018 年的 192 微克/立方米、2017 年的 193 微克/立方米基本持平，仍然有很大的下降空间。考虑到北京涉 VOCs 工业源往往集中在不同的工业园区中，对工业园区的 VOCs 进行管控尤为重要。目前国际和国内在工业园区的 VOCs 排放管控上已经取得了一些经验，值得进行参考和借鉴。本课题希望通过梳理、对比目前国际及国内其他地区工

业园区 VOCs 管控的相关经验和技术、获取有效信息，为北京市工业园区 VOCs 的管控提供合理有效的思路与建议。

根据 2020 年 9 月 16 日本项目开题时各位专家提出的意见，本项目的研究内容分为三部分：

- 第一部分：选取北京市典型工业园区（燕山石化和北京经济技术开发区）为目标进行线上和实地调研，了解其行业分布、运行状况、VOCs 排放特征以及相关管控难点等；
- 第二部分：对美国及国际的工业园区 VOCs 管控措施和政策进行深入了解，根据第一部分的调研结果，参考北京市的情况，总结针对性的及实用的管控政策和技术，并提供典型案例；
- 第三部分：对前两部分的研究成果进行总结，对调研园区及北京市工业园区未来的 VOCs 管控和精细化管理提出意见建议，完成项目报告。

图 6. 项目阶段规划图



## 2. 北京市典型工业园区调研

为了了解北京市典型工业园区的行业分布，运行状况，VOCs 排放特征，以及相关管控难点，本课题结合专家的意见与建议，选取了两个北京市典型工业园区进行现场走访和调研。这两个园区分别是：燕山石化园区，以及北京市经济技术开发区。本章主要总结两个园区的概况以及相应的走访和调研结果。

本课题对北京市典型工业园区的调研分为线上调研和线下调研两个部分。首先进行线上调研，了解园区的基本情况，有针对性的制作调研提纲；之后进行线下调研，实地走访园区、管理部门和企业，了解园区企业的实际情况、相关问题和需求。本次调研的时间为 2020 年 11 月至 12 月。

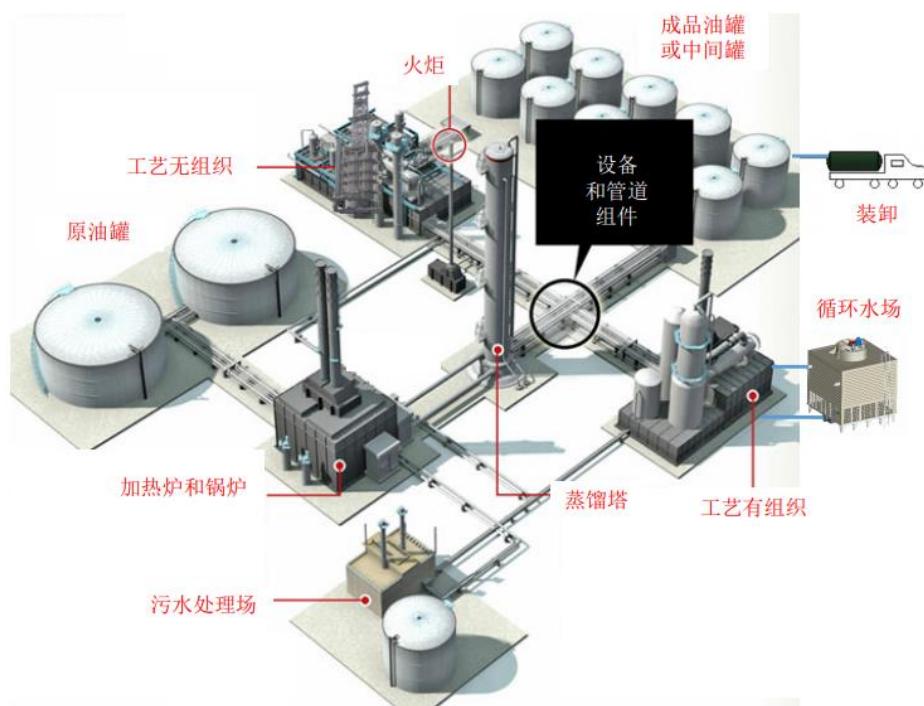
本章以下内容总结了相关调研结果。

### 2.1 燕山石化

#### 2.1.1 调研背景

石化行业是 VOCs 管控的重点行业之一。石化行业的 VOCs 排放分为有组织排放和无组织排放两部分，其典型排放环节如下图所示。

图 7. 石化行业生产装置与 VOCs 排放环节示意图



其中，炼油环节主要涉及有组织 VOCs 排放的工艺过程包括连续重整和延迟焦化，而化工环节涉及有组织 VOCs 排放的工艺过程包括以下几类：

- 树脂生产：聚乙烯装置/聚丙烯装置
- 橡胶生产：顺丁装置
- 化工生产：乙二醇装置、苯酚丙酮装置、苯乙烯装置、聚苯乙烯装置等
- 加热炉和锅炉燃烧烟气排放
- 火炬排放

石化行业的 VOCs 无组织排放主要是工艺无组织排放、有机液体储存和调和的挥发损失、有机液体装卸过程的挥发损失，废水集输、储存及处理处置过程的无组织逸散、冷却塔、循环水冷却系统释放以及设备和管道组件动静密封点的泄漏。

此外，还有非正常工况排放、事故排放等非正常 VOCs 排放源。

本次调研主要针对燕山石化的整体情况以及炼油部、储运部、烯烃部进行调研。

### 2.1.1.1 调研流程

项目组于 2020 年 12 月 21 日和 12 月 22 日对燕山石化进行了线下实地调研。调研安排如下：

	第一天-上午 (能源与环境保护部)	第一天-下午 (炼油部)
9:00 - 11:30	<b>交流要点总结</b> 部门设置、工作内容、人员配置 VOCs 排放管控方面的日常工作 VOCs 减排目标和绩效指标的设立及现状 与石化新材料产业园环保上的沟通协作 重污染天气应对工作流程及减排策略 各二级单位有组织和无组织排放的排序 自动监测设备现状及运维情况 环境空气网格化监测现状及运维情况 《排污许可证》VOCs 排放计算方法 其他希望我们可以帮助研究的内容	<b>交流要点总结</b> 炼油部各工艺装置正常运行 VOCs 排放及控制 工艺加热炉燃料气来源及燃烧效率 工艺装置泄压或打开检修的 VOCs 控制 储罐（原油及产品）及搅拌过程的 VOCs 控制 清罐过程的 VOCs 控制 启停机/非正常工况下火炬使用及 VOCs 控制 LDAR 工作程序/泄漏修复程序，平台使用 液体泄漏的发现、标记、控制、修复程序 冷却塔循环水和工艺废水的 VOCs 控制 场地参观
13:00 - 16:00	<b>第二天-上午 (储运部)</b> <b>交流要点总结</b> 储运部负责的储罐基本情况及 VOCs 控制过 航煤、柴油、成品油的调配过程及 VOCs 控制 储运损失率与装卸净率与 VOCs 排放的关系 储罐及装载过程的 VOCs 排放控制的最佳措 施 管道运输概况及 LDAR 工作程序 罐区雨、污水收集 场地参观	<b>第二天-下午 (烯烃部)</b> <b>交流要点总结</b> 裂解装置加热炉的运行及 VOCs 排放控制 乙烯、制苯、苯乙烯装置常压储罐 VOCs 控制 封闭式地面与高架火炬的运行情况及效率 苯乙烯和乙二醇装置的 VOCs 排放控制 场地参观

### 2.1.1.2 适用标准

燕山石化属于炼油与石油化学工业，与 VOCs 排放相关的主要法规包括：

- 《石油炼制工业污染物排放标准》(GB 31570-2015)
- 《石油化学工业污染物排放标准》(GB 31571-2015)
- 《合成树脂工业污染物排放标准》(GB 31572-2015)

- 《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-93)
- 《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》(DB 11/447-2015)

## 2.1.2 园区概况

### 2.1.2.1 园区背景

燕山石化位于北京市西南郊房山区境内，与房山城关镇相邻，地理坐标北纬  $39^{\circ} 42' 38'' \sim 39^{\circ} 46' 41''$ ，东经  $115^{\circ} 53' 55'' \sim 115^{\circ} 59' 30''$  之间，距北京市中心约 50km 左右，位于北京石化新材料科技产业基地的西区。燕山石化区域范围内总占地面积 36 km<sup>2</sup>，其中工业用地 13 km<sup>2</sup><sup>37</sup>。燕山石化隶属于中国石化集团，前身为北京石油化工总厂，成立于 1970 年 7 月 20 日由当时的东方红炼油厂、向阳化工厂、胜利化工厂、东风化工厂等单位组成，曾更名为北京燕山石油化学总公司和中国石化北京燕山石油化工公司。1997 年 8 月 18 日，组建北京燕山石油化工集团有限责任公司。1999 年更名为中国石化集团北京燕山石油化工有限公司（以下简称燕山有限公司）。

2000 年，中国石化集团进行整体改制，将炼油、化工等主要经营业务剥离上市，为中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司（以下简称燕山分公司）。原燕山有限公司为存续部分，名称仍为中国石化集团北京燕山石油化工有限公司，隶属于中国石化集团公司，主要负责热电设备。另外，燕山石化旗下还有高科技术有限责任公司，该公司目前还是独立企业，主要负责科研和实验，也包括部分销售业务。

整个燕山石化下设有炼油部、化学品部、烯烃部、储运部等多个二级部门或分公司，涉及 63 套生产装置，68 套辅助生产装置，可生产清洁汽油、柴油、航空煤油、合成树脂、合成橡胶、苯酚、丙酮等 120 种 494 个牌号的石油化工产品<sup>38</sup>。其中，燕山分公司可生产 94 个品种、431 个牌号的石油化工产品，原油加工能力 1000 万吨/年，乙烯生产能力 80 万吨/年，是中国石化 12 个千万吨炼厂和 11 个大型乙烯装置之一；聚乙烯生产能力 55 万吨/年，聚丙烯生产能力 40 万吨/年，合成橡胶生产能力 24 万吨/年，苯酚丙酮生产能力 24 万吨/年，是我国重要的合成橡胶、合成树脂和高品质成品油生产基地。2019 年原油加工量 936.51 万吨、乙烯产量 81.47 万吨、合成树脂产量 108.38 万吨<sup>39</sup>。

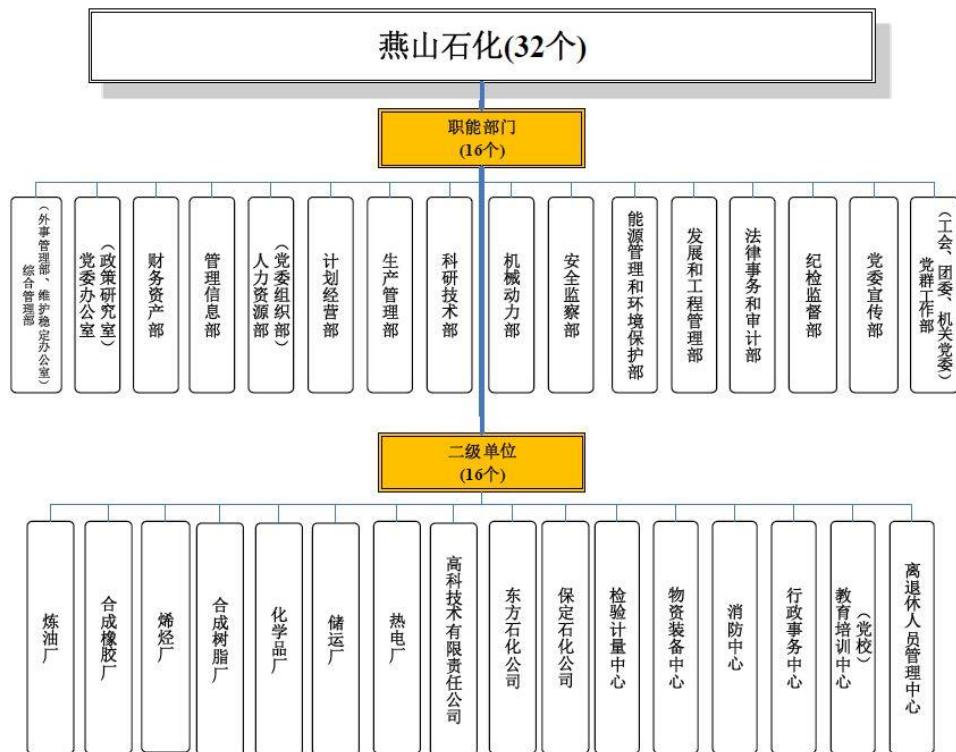
燕山石化的组织结构如下图所示：

图 8. 燕山石化组织结构图

<sup>37</sup> 来源：《中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司自行监测方案（2021）》

<sup>38</sup> 来源：北京市企业事业单位环境信息公开平台. [http://gzcx.sthjj.beijing.gov.cn/monitor-pub/org\\_jbxx/860d79e3-63ae-4878-84af-b0a54f8ac3ac.do](http://gzcx.sthjj.beijing.gov.cn/monitor-pub/org_jbxx/860d79e3-63ae-4878-84af-b0a54f8ac3ac.do)

<sup>39</sup> 来源：《2021 年中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司企业自行监测年度报告》



受到新冠疫情影响，燕山石化目前的产能负荷大概是在 79% 左右，还没有恢复满负荷生产。受影响较大的二级部门主要是炼油部。目前，燕山石化正在与大兴机场进行合作商讨。如果和大兴机场成功合作的话，航空煤油的产能会从现有的 150 至 180 万吨/年提升至 220 至 250 万吨/年。

### 2.1.2.2 环保职能部门

燕山石化是中石化旗下各个石化企业中唯一有独立环保部门的企业。其负责环境保护的主要职能部门为能源管理和环境部，包含 3 个科室，共 21 人。3 个科室中 2 个为环保科室，1 个为能源科室。此外，燕山石化还设有环境监察大队，共 17 人，主要负责现场监察、检查和投诉响应。该监察大队于 2009 年成立，也是燕化集团旗下第一家成立环境监察大队的单位。除主管环境部门外，各二级单位还设有专门的健康、安全与环境（HSE）科室。同时，每套主要装置也设有专职的安全总监，该安全总监也负责相应装置的环保工作。

### 2.1.2.3 管理机制

燕山石化对环保工作的管理主要通过不同的奖惩措施来实现，包括考核和挂牌。公司每年会设立减排目标，并与各二级单位签订责任书，将减排任务分解下发到各个部门。根据各个单位的职责和减排潜力，二级单位和部门之间会有合作，尤其是储运部与其他部门的合作。每个月前几名的部门会有奖励措施，而后几名会有相应的考核。此外，公司会根据减排成效进行挂牌，分为黄牌、橙牌和红牌。除公司内部的目标外，每年北京市也会给燕山石化布置减排任务，包括 VOCs 排放量目标和 VOCs 环境空气质量浓度目标，一般每年的减排目标为 10%。

此外，燕山石化通过了 ISO 14001 环境管理体系认证。

### 2.1.2.4 VOCs 排放及计算

2020 年，燕山分公司的 VOCs 排放量为 1112.74 吨，燕山有限公司未通报 VOCs 排放量。按照各个二级单位的排放量排序，则合成橡胶部对有组织排放的贡献最大，其它各二级部门排放量接近；无组织方

面，储运部的无组织排放最大，约占到总排放的 90%。有组织排放的年排放量一般是根据自动监测和手动监测的数据计算得到。

按照燕山分公司最新获得的排污许可证上的相关要求，燕山分公司在 2021 年至 2025 年间的有组织和无组织许可年排放量限值如下表所示。

**表 9.燕山石化许可 VOCs 年排放量限值**

源项	许可 VOCs 年排放量限值 (t/a)				
	2021	2022	2023	2024	2025
有组织排放源	855.218	774.578	693.938	683.698	623.938
无组织排放源	1737.489	1556.389	1406.389	1311.389	1271.389
总计	2592.707	2330.967	2100.327	1995.087	1895.327
减排幅度	-	-10%	-10%	-5%	-5%

由上表可见，在 2021 年至 2025 年之间，燕山石化的有组织排放、无组织排放和总排放预计仍然呈下降趋势，大约下降比例为：2021-2023 年每年 10%；2024-2025 年每年 5%。排污许可证中的排放主要是根据实测值计算的。值得注意的是，如果燕山石化在 2020 年的实际总 VOCs 排放量为 1112 吨，则其已经提前完成了 2025 年的减排任务。

如果仅看无组织排放源的话，燕山石化排放量最大的无组织排放源是挥发性有机液体常压储罐呼吸，其次是设备与管线组件密封点泄露，最后是有机液体装载及分装废气。这主要是因为燕山石化储罐众多、普遍容量大且分布广泛，而有机液体装载主要采用压力式装载，排放量较小。

**表 10.燕山石化许可无组织排放 VOCs 排放量限值**

产污环节	无组织排放源数量	许可 VOCs 年排放量限值 (t/a)				
		2021	2022	2023	2024	2025
挥发性有机液体常压储罐呼吸	109	937.85	848.98	758.98	683.98	683.98
设备与管线组件密封点泄漏	76	799.541	707.311	647.311	627.311	587.311
有机液体装载及分装废气	5	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098

此外，2019 年，燕山石化为响应国家第二次污染普查的要求，进行了污染源排查。但是，污染源排查使用的核算方法基本是纯理论计算，与二污普和生态环境部的污染源排查工作指南中的方法都有一些区别。

### 2.1.3 VOCs 治理概况

在“十二五”之前，燕山石化环境治理主要针对锅炉所产生的 NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 和颗粒物，如对锅炉进行低氮、低硫改造等。从“十二五”开始，燕山石化开始大力发展环保，且环境治理的主要方向转移至 VOCs 的治理。从 2013 年至今，燕山石化在三废治理方面的投入超过 35 亿元。其中，废气为主要的投入方向，约 2/3 的投入在 VOCs 治理上，包括有组织和无组织两方面。无组织排放主要是泄漏检修（LDAR）和储罐排放的治理。储罐方面，所有蒸汽压大于 2.8 kPa 以及涉苯的储罐都进行了相应治理；许多蒸汽压较小的储罐（如柴油储罐）也更换为浮顶罐。目前，有组织和无组织的源项基本完成了治理工作。未来可能不会有大的改造项目，但还是会有一些改善环境空气质量的小的项目，如更换呼吸阀等等。

由于燕山石化厂区覆盖多个二级部门，各个二级部门之间会有协同治理的情况。例如，有些储罐收集的气体，如果距离附近某工艺装置已有的废弃控制设施较接近，那可能就会连入这个已有的设施进行处理。

## 2.1.4 主要 VOCs 排放源及排放控制

燕山石化生产装置主要划分为炼油和化工两大系统，常减压蒸馏装置是炼油系统的龙头装置，原油经常压和减压蒸馏，按沸点高低分馏为馏程范围不同的馏分油和渣油，供下游装置进一步加工；乙烯装置作为化工系统的龙头装置，以石脑油、加氢尾油和轻烃等为原料，通过高温裂解、压缩、分离得到高纯度乙烯和丙烯产品，同时副产碳四、裂解汽油等有机化工原料，为下游生产装置提供原料。

依照《排污许可证申请与核发技术规范 石化工业》的要求，石化工业需要纳入排污许可管理的废气有组织排放源包括以下几类：石油炼制工业的重整催化剂再生烟气排空筒、离子液法烷基化装置催化剂再生烟气排空筒、废水处理有机废气收集处理装置排空筒、有机废气排空口，石油化学工业的含卤代烃有机废气排放口、其他有机废气排放口，合成树脂工业的车间或生产设施排空筒和废水、废气焚烧设施排空筒、火炬。

根据最新的燕山分公司的排污许可证信息，目前分公司与 VOCs 相关的纳入排污许可管理的废气有组织排放源共有 81 个。主要的废气治理设施包括：催化烟气脱硫除尘、苯酚丙酮和间苯二甲酸尾气催化氧化等治理设施。有组织排放的处理设备包括焚烧装置如 RTO、TO、CO，以及活性炭吸附装置等。在十几套有组织排放控制设备中，3 套为活性炭吸附装置，位于烯烃厂，其余设备为焚烧装置，在控制效率上优于活性炭吸附装置。

### 2.1.4.1 炼油生产装置

炼油部现有 33 套主要炼油生产装置，生产的主要产品有汽油、煤油、柴油、苯类、液化石油气、石蜡、润滑油基础油等七个品种。各装置加热炉设有烟囱，使用炼油部燃气管网统一提供的脱硫燃料气，并且大部分加热炉配有低氮燃烧器。各装置产生的低分气、塔顶气经过脱硫处理后去制氢或进燃料管网，不对外排放。此外，3#三废联合装置焚烧炉设有氢氧化钠脱硫设施处理尾气，催化裂化装置再生烟气设有脱硫脱硝除尘设施处理尾气。涉及 VOCs 排放的装置及排放点如下表所示。

表 11. 燕山石化炼油部主要 VOCs 废气污染物排放点

装置名称	装置编号	排放点	排放口编号	监测情况	允许排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> )
延迟焦化	PU006	加热炉	DA044		20
1#连续重整	PU003	再生烟气	DA464		20
催化裂化 II	PU069	再生烟气	DA099		20
催化裂化 III	PU048	再生烟气	DA102		20

值得注意的是，1#连续重整装置的排放口（DA464）并不包括在燕山石化最新公开的排污许可证的管理范围内。

除连续重整装置的再生尾气外，炼油部现还有一套延迟焦化设施。延迟焦化的冷焦过程以及切焦前的泄压操作也会导致 VOCs 排放。延迟焦化装置目前还处于正常开工状态，焦炭塔每 20 个小时开盖一次，开盖时间可能视原油生产情况有所调整。焦炭塔开盖前，首先给塔里通入蒸汽，将 VOCs 全部吹到一个塔中进行冷凝回收，然后通入水浸泡，所产生的废水也会全部回收，回到罐中循环使用。开盖过程中还是会少量 VOCs 逸散，但浓度不会很高，一般下风向 5 m 处固定点的最大浓度为 10 mg/m<sup>3</sup> 左右。除开盖切焦时逸散的 VOCs 外，其它过程中产生的 VOCs 会通入统一管网进行燃烧或回收，不对外排放。为了响应北京市对高污染燃料治理的要求，目前燕山石化正在开展清洁化改造项目。该项目将拆除酮苯脱蜡、汽油加氢、石蜡加氢、丙烷脱沥青、糠醛精制等 5 套老旧装置，并停止延迟焦化装置的运行，预计停止时间为 2022 或 2023 年。

### 2.1.4.2 合成橡胶装置

合成橡胶部共有 13 套生产装置和一套罐区装置，主要废气污染源为 DMF 抽提丁二烯装置后处理装置排空、乙腈抽提丁二烯装置后处理装置排空、顺丁橡胶装置后处理排空、丁苯橡胶装置后处理排空以及丁基橡胶装置氧化炉尾气、脱水挤压机排空罩废气等，是燕山石化有组织排放贡献最大的二级部门。合成橡胶部已有的涉及 VOCs 排放的装置和排放点如下表所示<sup>40</sup>。

表 12. 燕山石化合成橡胶部主要 VOCs 废气污染物排放点

装置名称	装置编号	排放点	排放口编号	监测情况	允许排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> )
溴化丁基橡胶装置	PU002	A 线脱水设备	DA008		100
		B 线脱水设备	DA009		100
		RTO	DA027	气相色谱仪自动监测	20
镍系顺丁橡胶装置	PU011	1、2 线 CO	DA016		20
		3、4 线 CO	DA017		20
丁苯橡胶装置	PU009	4 线 CO	DA018		20
		1、2、3 线 CO	DA020		20
稀土/镍系柔性顺丁橡胶装置	PU005	CO	DA019		20
4.5 万吨/年丁基橡胶装置	PU001	焚烧炉	DA029	气相色谱仪自动监测	20
		一线脱水设备	DA031	气相色谱仪自动监测	100
		二线脱水设备	DA032	无 VOCs 监测, 有 NO <sub>x</sub> , PM, SO <sub>2</sub> 手动监测	100
		三线脱水设备	DA033	无 VOCs 监测, 有 NO <sub>x</sub> , PM, SO <sub>2</sub> 手动监测	100
		一线干燥箱	DA034	无 VOCs 监测, 有 NO <sub>x</sub> , PM, SO <sub>2</sub> 手动监测	100
		二线干燥箱	DA030	无 VOCs 监测, 有 NO <sub>x</sub> , PM, SO <sub>2</sub> 手动监测	100

<sup>40</sup> 来源: [http://bypc.sinopec.com/bypc/news/com\\_news/Documents/20200723/doc\\_20200723\\_566392440315.pdf](http://bypc.sinopec.com/bypc/news/com_news/Documents/20200723/doc_20200723_566392440315.pdf).

		三线干燥箱	DA035	无 VOCs 监测, 有 NO <sub>x</sub> , PM, SO <sub>2</sub> 手动监测	100
--	--	-------	-------	---	-----

#### 2.1.4.3 合成树脂装置

合成树脂部现有六套装置，包括三套聚丙烯装置和三套聚乙烯装置，分属于聚丙烯生产基地（原化工二厂）和聚丙烯生产基地（原化工六厂）。涉及到聚丙烯生产的主要装置和排放点如下表所示。

表 13. 燕山石化合成树脂部主要 VOCs 废气污染物排放点

装置名称	装置编号	排放点	排放口编号	监测情况	允许排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> )
第一聚丙烯装置	PU034	旋风分离器	DA002	手动监测	60
		旋风分离器	DA096	手动监测	60
		旋风分离器	DA003	手动监测	60
		旋风分离器	DA097	手动监测	60
第二聚丙烯装置	PU044	旋风分离器	DA004	手动监测	60
		旋风分离器	DA100	手动监测	60
第三聚丙烯装置	PU029	焚烧炉	DA011/DA009 (有限公司)		20

由于时间所限，本次调研对合成橡胶部涉及较少，此处不做过多描述。

#### 2.1.4.4 烯烃装置

烯烃部一共有 4 个乙烯装置、10 个制苯装置、13 个苯乙烯装置以及 8 个乙二醇装置，主要废气处理设施为三套活性炭吸附设备。活性炭吸附后会进行再生，并进行更换，更换频率为三月一次。每套活性炭设备会有一个吸附罐和一个脱附罐，使用时进行切换。目前，燕山石化已将制苯装置的吸附设备中的活性炭吸附改为树脂吸附，去除效率可达 97.5%，显著高于活性炭。苯乙烯装置因为 VOCs 浓度较低，目前仍使用活性炭。

现场调研时，活性炭吸附设备的管道有冷凝水滴落的情况，另外装置外有显著的异味。

#### 2.1.4.5 化学品装置

表 14. 燕山石化化学品部主要 VOCs 废气污染物排放点

装置名称	装置编号	排放点	排放口编号	监测情况	允许排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> )
一苯酚丙酮装置	PU024	一苯酚装置氧化尾气处理系统	DA134	手动监测	20
		储运东区液体 TO 焚烧炉	DA076	手动监测	20

二苯酚丙酮装置	PU015	二苯酚装置氧化尾气处理系统	DA135	手动监测	20
---------	-------	---------------	-------	------	----

由于化学品装置不是燕山石化有组织和无组织排放的贡献大户，因此本次调研对化学品部涉及较少，此处不做过多描述。

#### 2.1.4.6 装卸过程

燕山石化生产的油品主要通过管道、汽车和火车运输。火车装车点位于凤凰亭站台，一共有 5 个装货站台，其中两个是航空煤油专用的站台，装车时间视产品而定。装车主要采用顶部浸没式装卸，根据产品形式使用大鹤管和小鹤管两种设备。装车过程中会有一个密闭的集气袋，气体收集至集气袋后通过管线连接到末端的 RTO 炉，不会进行回收。在凤凰亭站台主要是散装，之后会在中铁进行对接，组成 50 列的全列火车。火车到达时站台会对视情况对火车进行密闭清洗。一般装航空煤油的火车需要清洗，装柴油汽油的火车则不需要。如果客户有要求，或者火车之前运载过其他产品，也会进行清洗。清洗采用独家的“蒸汽密闭洗车”技术，先用水冲洗车厢，再通入蒸汽，最后将蒸气回收，残液通过残液泵打回至储液罐中，气体则经收集后送至凤凰亭站台末端的 RTO 炉进行处理，以减少洗车过程中的无组织排放。

另外，凤凰亭站台配备有航煤移动过滤装置。它是一个解决航空煤油杂质的可移动装置，比较方便灵活、容易拆卸。在航空煤油装车完之后发现油品有杂质，就会将煤油抽出来过滤一下。过滤装置的滤芯有两组滤筛，使用过的滤芯拆下来清洗之后再回装。该装置主要是为了提升航空煤油的质量，平时使用较少，不用的时候一般是密封搁置在站台上。

汽车装载也有前端处理设施，最终均在 TO 或 RTO 中进行处理。装载过程中所有储罐均是固定储罐，无临时容器或储罐。

现场调研时发现，凤凰亭车站油品装卸系统的顶部集气罩的密封不太好，另外，鹤管有滴油的情况出现，尽管滴油的速率并不太快，但是可以明显观察到滴油的情况和地面上油滴的聚集。另外，现场调研时，相关部门提到会使用转子泵代替真空泵抽出残油，并使用预紧式油气回收罩。

#### 2.1.4.7 储罐

燕山石化目前有约 375 个储罐，大体的分布为炼油区和化工区。炼油区包括联合罐区、重油罐区、新原油罐区、汽油罐区、柴油罐区、沥青罐区等。油品储罐分为原油罐、中间罐和成品罐。

油品储罐方面，十万立方米的原油储罐有 4 个；轻质油罐 32 个，每 4 个一组分为 8 组；重油罐 18 个。这些储罐均由储运部负责。进入炼油装置之前，有原油的调和过程，原油现在使用的基本上都是进口油，所有油都是从天津港的一个码头运输过来的。原油运输采用管道运输，由管道公司负责运维。到达燕山石化之后，首先经过一个粗调过程，然后到新原油罐区，之后分配给炼油部的蒸馏装置。调和是在管线上进行的。而原油搅拌一般在上游完成。成品油的调配主要根据不同汽油的成分进行调和。调和的过程是自动化控制的，调和的过程在成品油罐中进行，根据各组分的比例需求（如芳烃组分和烯烃组分）往罐里打料。如果一次调和的产品没有达到要求，会再次进行调和，全部调和的过程都是密闭的。乙醇汽油目前在北京还在科研阶段，但在河北那边已经开始使用了。航空煤油的运输也是使用管道。中石化下属的子公司都没有直接对外销售的权力，燕山石化会把成品油通过管道运输至中石化下属的销售公司，具体销售业务不由燕山石化负责。

原油在从采购的过程中，从收转，到储存，再到储存了一段时间送到炼油，中间会有一些损失。这些损失主要是途耗和储耗。另外，由于储罐的品种较多、密度变化大，计量的偏差到每个月结算的时候会比较大。除本身损耗外，计量计的长时间使用对其准确性也有影响。最近因为原油量偏差较大，部门进行了检查并对计量计进行了标定，发现确实有计量不准确的问题。

油品储罐的清洁采用的是机械清罐。罐上有浮顶，浮顶上有外挂的原油机械清洗设备，设备上有注油、注氮气和吹扫的口，连接到浮盘上，接上之后再打开人孔，注油，通过机械搅拌、清洗，将清油提取出来再

打给蒸馏，相当于进行了一个简单化的处理。最终固定的杂质，处理不了的，作为危废处理。这个过程中基本没有 VOCs 产生。

油品储罐的巡检一般两个小时进行一次，使用手持式的巡检仪对储罐的温度、压力等参数进行检查，并检查是否有泄漏的情况。所有检查结果都会汇总至环保管理系统。此外，储运部一个月会进行两次高处巡检，另外还有监察大队的例行检查，超过集团制度的标准（一月一次）。储运部门对储罐的巡检主要还是以观察外观为主，数据量相对较少。

油品储罐的呼吸分为大呼吸和小呼吸，呼吸排气接入四台焚烧炉进行处理（两台 TO、两台 RTO），排口浓度限值按北京市要求为  $20 \text{ mg/m}^3$ 。每个月会对浓度进行一次检查。

烯烃部方面，苯罐有 10 个，苯乙烯罐有 13 个，乙烯罐有 4 个，乙二醇罐约有 8 个，碳八和碳五没有储罐。这些储罐都是很小的储罐，且产生的废气已经被收集至处理设备进行处理。另外，炼油部还有 16 个半成品罐，均为内浮顶罐。

如前所述，燕山石化已经对所有蒸汽压大于  $2.8 \text{ kPa}$  以及涉苯的储罐都进行了相应治理，主要是更换储罐的呼吸阀或从固定罐换成浮顶罐。2020 年，燕山石化更换了一批超低压排放的呼吸阀，符合国际标准，原理上包括液封式和机械式。下一阶段，燕山石化会进一步进行呼吸阀的更换，采用高效密封呼吸阀和全接液浮盘。该项目目前还在内部研发和试点阶段。

#### 2.1.4.8 锅炉

燕山石化锅炉的主要燃料是炼油厂自产的瓦斯和天然气，废气中会有一定含量的 VOCs。治理方面，最早是从“十五”开始进行脱硫脱销和除尘工作，其中包括用氢氧化钙法和石灰石进行脱硫、电袋法除尘，以及末端 SCR 脱硝。2015 年之前锅炉治理完成。自 2016 年开始，由于新政策的出现，该锅炉不再使用。此外，还有两台烧石油焦和煤的混烧锅炉，也是一样的除尘和脱硫工艺，但由于焚烧温度较低，只有 700-800 度，不需要脱硝。这两台锅炉从 2019 年开始烧纯石油焦，石油焦主要来自内部调配。由于厂区进行清洁化改造，延迟焦化装置即将停止运行，因此预计 2020 年底会将这两台石油焦炉也停止运行，并改造为天然气炉。另外，燕山石化还会新建一个天然气炉。

#### 2.1.4.9 火炬

燕山石化目前共有 17 座火炬，分为封闭式地面火炬和高架火炬两种。最早投入使用的是高架火炬，但由于高架火炬噪音大、点燃时火光明显，容易引起周围居民的担忧，因此后来多采用封闭式地面火炬。另外，地面火炬一般也更加节能环保，符合未来的趋势。一般而言，火炬平时不启用，保持火种长明，遇到异常情况时才会使用，但每天会有试点运行检查火炬是否能够正常工作。火炬配有在线流量计和温度检测仪，启用时会向政府部门报备。火炬的监测指标主要是林格曼黑度，火炬控制的首要目标就是尽量减少林格曼黑度。其他的指标，诸如火炬的热值等等，有些政府部门已经出台了相关要求，还在推进落实之中。火炬的处理效率难以量化，也无法监测，因此目前尚未有明确结论。

17 座火炬中，5 座在炼油部，而储运部没有火炬。

#### 2.1.4.10 废水及循环水

燕山石化地面实行雨污分流，有专门的雨污装置的切换阀。初期（前十五分钟）雨水进入污水装置，之后进行切换。河道的雨排系统都安装有在线的自动监测设备，可以检测 TOD、液氯、氨氮等参数。如果发现超标，负责部门会进行问题溯源，并尽快处理。

燕山石化的废水，如储罐的切水、检修、冲洗等产生的污水的收集和输送均使用密闭系统，和雨水系统分开。隔油池大部分是密闭的，未密闭的也使用呼吸阀。废水收集之后统一由成立雅污水处理厂处理。

循环水目前还是敞开式的，未来在这方面会加强监测。

### 2.1.4.11 非正常工况的排放

装置需要泄压或检修时，一般是先退油到小型压力罐或浮顶罐组。之后根据介质不同，进行氮气吹扫或蒸汽吹扫。吹扫废气一般通过给气送至火炬燃烧处理。一般来说，开盖之前首先需要进行 24 小时以上的处理，之后在开口处进行放空测试，设备的 VOCs 浓度需要下降至 50 ppm 以下才允许开盖。如果 VOCs 的浓度大于 50 ppm，则继续吹扫。储存装置退油的油罐有气体回收装置，连通至瓦斯管网，再分流至各个焚烧炉进行处理。

对于大型设备及装置的停工与检修，燕山石化一般会分阶段（停工阶段、检修阶段、开工阶段）制定治理措施方案。2020 年，燕山石化试验了内部研发的新型基于催化氧化的移动式 VOCs 监测站，用于监测停工检修阶段的 VOCs 排放。

燕山石化上一次进行设备大修为 2016 年，预计 2021 年会进行新一轮的设备大修，大约在 3 月份开始。

### 2.1.5 VOCs 监测

目前，燕山石化对 VOCs 的监测主要由三部分组成：网格化监测、自动监测和手动监测。监测主要由清洁生产科负责，包括 VOCs 网格化管理人、LDAR 管理人、废气和环保设施（在线仪表）管理人以及排污许可证管理人。在 2017 年发放排污许可证后，燕山石化加大了 VOCs 监测和检测的力度。

按照燕山石化的最新数据<sup>41</sup>，燕山分公司对外公开自行监测点位 258 个，其中废气点位 205 个，废水排放点位 29 个，无组织厂界点位 8 个，厂界噪声点位 9 个，地下水点位 7 个。相比 2019 年，废气自行监测点位增加了 61 个。2020 年，燕山分公司累计完成 VOCs 检测 115641 次，平均浓度为 6.42 mg/m<sup>3</sup>。2020 年网格化厂界点位非甲烷总烃浓度为 0.45mg/m<sup>3</sup>，相比 2019 年下降了 0.14 mg/m<sup>3</sup>，同比下降 27%。

#### 2.1.5.1 网格化监测

从 2017 年开始，燕山石化在厂区布署了非甲烷总烃和 VOCs 的网格化监测系统，网格大小为 200 m × 200 m，东厂区和西厂区共设置了 46 个监测站点，这其中 5 个是厂界站点。这些监测站点主要监测 PM2.5、非甲烷总烃和一些特征污染物，采用 GC-FID 方法。各监测点有专人巡检，每周不少于两次。厂界点每个月进行两次标定，其他站点每月标定一次。进样滤芯每月更换一次。此外，根据这 46 个监测站点的监测数据进行厂区污染物溯源和分析的软件已经基本完成开发，正在进行内部测试。

2020 年，46 个网格化站点的平均 VOCs 浓度为 0.90 mg/m<sup>3</sup>，同比下降 27.6%<sup>42</sup>。

图 9. 燕山石化的 VOCs 网格化监测站

<sup>41</sup> 来源：《2021 年中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司企业自行监测年度报告》

<sup>42</sup> 来源：《2019 燕山石化社会责任报告》



### 2.1.5.2 自动监测

燕山石化的自动监测点位的设置是根据物料流动情况以及该排放点位是否会协同处理其他装置产生的有机工艺废气而决定的。如果有以上情况，该排放口就会安装 VOCs 的在线监测设施。如果不需要协同处理，则不需要安装。此外，按照北京市生态环境局 2020 年 1 月出台的新的自动监测要求，所有重点排放口均需要安装自动监测设施，且安装自动监测设施的排放口的排放量需要达到总排放量的 65% 以上。由于排污许可要求针对每一个排放口需确定前端的物料使用情况，来分辨该工艺流程和排放口所排放的特征污染物，因此基本每一个 VOCs 的排放口都会有特征污染物的监测。特征污染物监测主要以苯、甲苯、二甲苯为主。目前，燕山石化共有在线自动监测设备 60 套，监测范围包括锅炉、VOCs 有组织排放口、加热炉、硫化和催化工艺废气排放口等，排放覆盖率为 75% 左右。监测项目为五项气象参数、常规污染物（二氧化硫、氮氧化物和颗粒物）、VOCs 以及流量。所有监测数据会汇总至统一的在线环保信息平台。此外，这些监测设备与环保部门联网，进行数据实时上传和公开。目前，燕山石化的自动监测委托北京中燕建设工程有限公司及北京雪迪龙科技股份有限公司进行运维<sup>43</sup>。

### 2.1.5.3 手动监测

手动监测的监测范围包括 100 多个排放口，包括自行监测，以及区里、市里的监测。燕山石化每个月都会对检测情况进行评估和分析。手动监测结果也会上传至在线环保信息平台，并向公众公开。手动监测主要由环境监察大队负责，监测仪器一般是 FID、PID 和红外成像仪。燕山石化目前也在进行走航监测的试点，采用的是质谱仪。

### 2.1.5.4 泄漏检测与修复 (LDAR)

燕山石化厂区自 2014 年开始实施 LDAR，至今共开展了 13 轮的 LDAR。LDAR 的工作主要委托第三方负责，每半年检测一次，每次检测约 90 万个密封点，分为四轮动密封检测加两轮静密封检测，每年的检测费用在 500 余万元。判定泄漏的标准为 500 ppm。2014 年厂区的泄漏率大约为 0.55%，到今年 11 月，泄漏率已降至 0.09%，这说明 LDAR 的效果是显著的。

<sup>43</sup> 来源：《中国石化集团北京燕山石油化工有限公司自行监测方案（2021）》

对于检测到的泄漏点，公司会按规范进行维修处理，具体方式包括维护、更换零件、更换阀门、更换密封填料等等。如果泄漏点无法在装置运行中修复，则会安排停工检修。所有的 LDAR 计划和实施情况都会汇总在公司的环境管理信息平台上。

按照现场调研的结果，2020 年下半年，燕山石化共计划检测 873960 个密封点，其中 52.8% 的密封点在炼油部。不同类型的密封点中数量最多的为接头，占总密封点数的 40.94%。实际检测 870716 个密封点，完成率为 99.99%。检测共发现泄漏点 726 个，占总密封点数的 0.08%。其中严重泄漏点 40 个，占总泄漏点数的 5.5%。5 日内修复 708 个，15 日内修复 18 个，修复率为 100%。使用最多的修复方法为更换垫片，占总修复数量的 4.55%。

图 10. 燕山石化 2020 年下半年 LDAR 情况总览



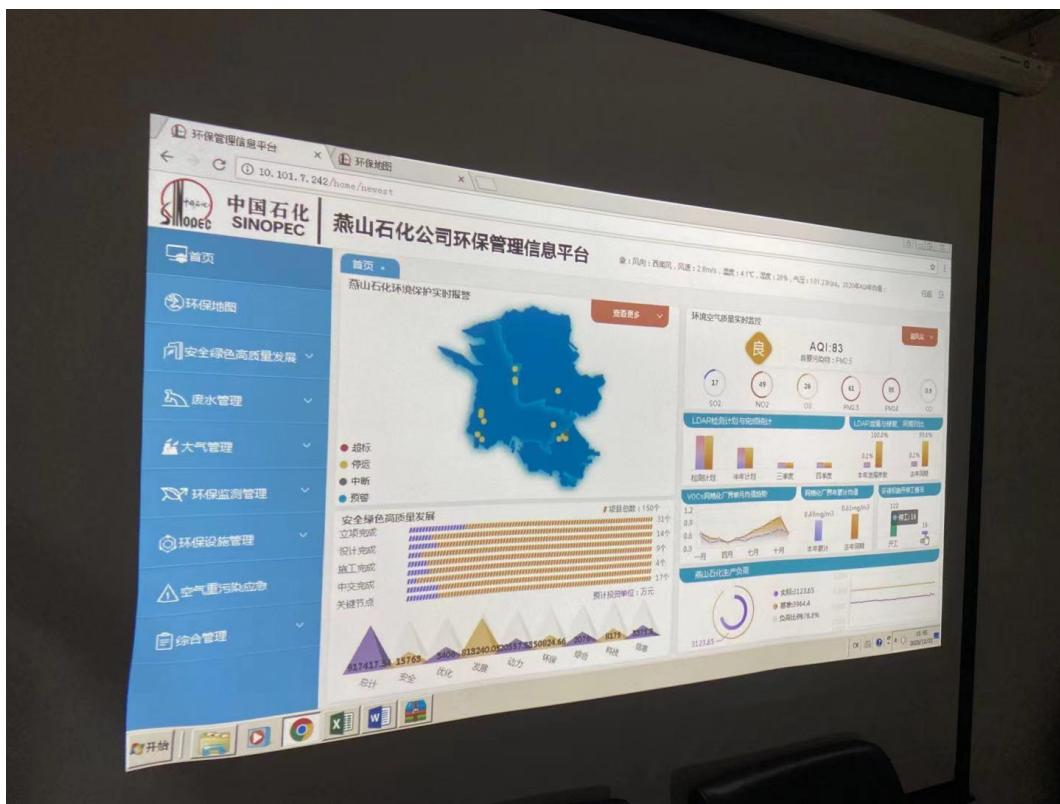
## 2.1.6 其他管理细节

### 2.1.6.1 信息平台建设

燕山石化开发了内部使用的环保信息管理平台，该平台整合了不同方面的环境数据，方便相关人员进行监督和管理。目前，该平台与 VOCs 管控相关的功能主要有以下几个：

- 环保地图：将各排放口的实时监测数据以可视化的方式呈现；
- 大气管理：对环境空气质量进行实时监控；
- 环保监测管理：显示和分析环保监测数据；
- 环保设施管理：显示各个环保设施的运行情况；
- LDAR 管理：对厂区的各个密封点，以及相关的 LDAR 计划和进度进行管理；
- VOCs 网格化：对 46 个网格化站点的监测数据进行分析管理。

图 11. 燕山石化环保管理信息平台首页



### 2.1.6.2 台帐记录

按照相关要求，VOCs 治理设施的台帐、火炬的点火开启记录等，一般保存三年。

### 2.1.6.3 重污染天气应急

燕山石化每年都会对重污染天气应急预案进行修订。根据不同重污染天气的级别，响应措施也会进行相应的调整。

### 2.1.6.4 处理投诉

燕山石化设有 24 小时投诉电话，由环境监察大队负责。另外，监察大队每天夜间都会在厂区内部和居民区进行监察。除此以外，每天还会进行两次环境监测车（配备手持 PID 等设备）的巡查。目前，尚没有接到过因为检修造成的异味投诉等。

### 2.1.6.5 与石化新材料产业园的沟通协作

燕山石化于 2020 年和燕山区办、房山区生态环境局创建了一个三方合作项目，计划安装 90 台左右的更快速 VOCs 排放监测仪，主要监测恶臭气体、TVOCs、气象数据等，安装位置将覆盖周边居民区。目前，该项目正在进行现场踩点。该监测系统主要用作定性趋势分析，监测数据的趋势变化，不作为执法依据。这个项目主要由政府出资，燕化方面进行配合。

### 2.1.7 园区的问题

在本次实地调研过程中，燕山石化也提出了几个与 VOCs 管控相关的问题，其中包括：

**问题 1：**美国的先进企业对于 VOCs 的无组织管控、储罐的监控上都有什么要求？中国目前对于储罐的管控很严格。例如，对于不同频次的除锈，在排放量估算的默认参数上差了将近一百倍。但是，在实际情况

中，一年除一次锈是很难做到的，因为石化企业一般**4-5**年才进行一次大修。那么，对于国外的企业在这些环节的排放量的核算上是怎么做的？在排污许可上怎么选择这些参数？

按照国家《排污许可证申请与核发技术规范 石化工业》目前的规定，储罐的锈度对 VOCs 排放计算的影响主要体现在对储罐罐壁油垢因子的影响，该因子用于计算浮顶罐的挂壁损耗（工作损失的一种）。目前国家的要求见下表所示。

**表 15. 现行储罐罐壁油垢因子<sup>44</sup>**

介质	罐壁状况	排放点	排放口编号
	轻锈	中锈	重锈
汽油	0.0015	0.0075	0.15
原油	0.006	0.03	0.6
其它油品	0.0015	0.0075	0.15

注：储罐内壁平均 3 年以上（包括 3 年）除锈一次，为重锈；平均两年除锈一次，为中锈；平均每年除锈一次，为轻锈。

由上表可见，除锈频率对油垢因子的影响和对挂壁损耗的影响较大。中锈的油垢因子为轻锈的 5 倍，而重锈的油垢因子为轻锈的 100 倍。由于挂壁排放损耗与油垢因子成正比，因此最终的挂壁损耗排放量也有 5 倍和 100 倍的差别。油垢因子参数的设定和挂壁排放损耗的计算参考了美国 AP-42 第 7 章第 1 节中 Clingage Factor，即罐壁附着油量参数的设定，以及对 Working Loss，也就是储罐工作损失的计算<sup>45</sup>。其数值与 AP42 中所用数值是一致的。但是需要注意的是，AP42 所用数值并没有除锈周期的规定。AP42 的储罐排放计算方法也被用于 US EPA 开发的用于计算储罐排放的 TANKS 软件中。按照该软件的描述<sup>46</sup>，如果储罐锈蚀情况未知的话，一般按照“轻锈”处理。

**问题 2：**国外对于 LDAR、储罐、火炬等是怎么监控的？从十二五到现在，我们一直是在快马加鞭的进行治理，那么现在治理完了之后，最主要的就是如何进行精细化的管理，我们现在也是在管理上遇到了一个瓶颈。

除 US EPA 的全国性法规、政策以及指南外，各州和地区也会出台相应的地方性规章。以美国加州的湾区空气质量管理局（BAAQMD）为例，其整个 Regulation 8 均为针对有机物控制的法规，其中对不同工业过程和操作过程的 VOCs 排放控制均有精细的要求。

以挥发性液体储罐为例，Regulation 8, Rule 5 为对应储罐 VOCs 控制的法规，其核心内容包括：

- 定义：对储罐、储罐各个核心部件以及一些关键术语的定义
- 豁免：法规中包括对小型储罐（容积小于  $1.0 \text{ m}^3$ ）、特定的早期汽油储罐（1976 年前安装的容积小于  $7.6 \text{ m}^3$ ，并安装有浸没式填充管的地上汽油储罐）、储存低蒸汽压物质（小于 0.5 psia）的储罐等的豁免，以及一些特定的限期豁免条件（如已在管理部门备案的储罐维护操作）
- 标准：对储存不同物料的储罐性能及排放控制系统的要求。
- 精细化要求：法规对浸没式填充管、呼吸阀、固定顶罐和浮顶罐、排放控制系统、边缘密封等部件，以及清罐、储罐清洗等操作均有精细化要求

<sup>44</sup> 来源：《石化行业 VOCs 污染源排查工作指南》

<sup>45</sup> 来源：AP42 Chapter 7: Liquid Storage Tanks. Last Updated 06/2020.

<sup>46</sup> 来源：User's Guide to TANKS 4.0 – Storage Tank Emissions Calculation Software

- 管理性要求：法规对不同型式储罐的检查、维护、检漏等储罐管理方面均提出了要求，另外还有对监测及台账的要求

下表比较了 BAAQMD Regulation 8, Rule 5, 北京市现行的 DB11 /447-2015 标准以及 GB 37822-2019 国标中对储罐的要求的异同。

**表 16.美国典型储罐法规与国内现行法规对储罐要求的对比**

要求	BAAQMD Regulation 8, Rule 5 中要求	DB11 /447-2015 中要求	GB 37822-2019 中要求
豁免	对小型储罐（容积小于 1.0 m <sup>3</sup> ）、特定的早期汽油储罐（1976 年前安装的容积小于 7.6 m <sup>3</sup> ，并安装有淹没式填充管的地上汽油储罐）、储存低蒸汽压物质（小于 0.5 psia）的储罐等的豁免	无豁免条件，但法规本身对小型储罐（容积小于 75 m <sup>3</sup> ）无要求	无豁免条件，但法规本身对小型储罐（容积小于 75 m <sup>3</sup> ）无要求
对罐型的要求	依据储存物质的蒸汽压和储罐容积分为 9 类，具体要求见下表。	<p>(1) 对于储存物料的实际蒸气压大于 76.0 kPa，且容积大于或等于 75 m<sup>3</sup> 的有机液体储罐，采用压力罐或其它等效措施。</p> <p>(2) 对于储存物料的实际蒸气压大于 2.8 kPa 但小于 76.0 kPa，且容积大于或等于 75 m<sup>3</sup> 的有机液体储罐，以及容积大于或等于 75 m<sup>3</sup> 的二甲苯储罐，应符合下列规定之一：采用浮顶罐；如采用固定顶罐，应安装密闭排空系统，排空至污染控制设备；其它等效措施。</p>	<p>(1) 对于储存物料的实际蒸气压大于 76.6 kPa，且容积大于或等于 75 m<sup>3</sup> 的有机液体储罐，采用低压罐、压力罐或其它等效措施。</p> <p>(2) 对于储存物料的实际蒸气压大于或等于 27.6 kPa 但小于 76.6 kPa，且容积大于或等于 75 m<sup>3</sup> 的有机液体储罐，应符合下列规定之一：采用浮顶罐；如采用固定顶罐，应安装密闭排空系统，排空至污染控制设备；采用气象平衡系统；其它等效措施。</p> <p>另有对实际蒸气压大于或等于 5.2 kPa 但小于 27.6 kPa，且容积大于或等于 150 m<sup>3</sup> 的特别控制要求。</p>
对淹没式填充管的要求	<p>(1) 采用顶部装载时，当液体的高度达到 15 cm 后，装载管的末端需要完全浸没在液体中；</p> <p>(2) 采用侧边装载时，当液体的高度达到 46 cm</p>	无	

要求	<b>BAAQMD Regulation 8, Rule 5 中要求</b>	<b>DB11 /447-2015 中要求</b>	<b>GB 37822-2019 中要求</b>
	后, 装载管的末端需要完全浸没在液体中;		
对呼吸阀的要求	<p>(1) 呼吸阀需要设置为至少 90% 的储罐最高允许工作压力, 或者至少 25.8 mmHG, 且呼吸阀必须处于良好状态;</p> <p>(2) 呼吸阀需要保持气密性, 除非操作压力高于阀门本身设定的压力, 或呼吸阀排空被专门的蒸气回收装置回收, 该装置的收集效率应高于 95%。</p>	对于固定顶罐, 储罐呼吸阀, 除工作、测量或取样外, 应保持气密状态。	<p>(1) 自动通气阀在浮顶处于漂浮状态时应关闭且密封良好, 仅在浮顶处于支撑状态时开启。</p> <p>(2) 边缘呼吸阀在浮顶处于漂浮状态时应密封良好, 并定期检查定压是否符合设定要求。</p>
对初级密封的要求	<p>(1) 初级密封不应有破洞、裂缝或其他破损情况;</p> <p>(2) 初级密封应为液体镶嵌式密封、机械式鞋形密封或其他等效密封;</p> <p>(3) 机械式鞋型密封应确保鞋形的一端浸在所储存有机液体中, 另一端垂直向上延伸的最小距离应距离有机液体液面 61cm, 距离内浮顶罐液面至少 45.7 cm;</p> <p>(4) 鞋形的几何形状须满足使鞋形和储罐壁的最大空隙不超过规定的储罐壁与初级密封之间密封缝隙标准, 与液面垂直距离为 46 厘米的两倍</p>	在对固定顶罐、内浮顶罐和外浮顶罐的要求中有所体现	在对固定顶罐、内浮顶罐和外浮顶罐的要求中有所体现
对次级密封的要求	<p>(1) 次级密封不应有破洞、裂缝或其他破损情况;</p> <p>(2) 罐壁与次级密封之间的空隙不超过 1.3 cm, 空隙超过 0.32 厘米的, 累计长度不能超过储罐周长的 5%;</p> <p>(3) 罐壁与次级密封之间应允许插入最多 3.8 cm 以下的探针, 用于检测初级密封的空隙;</p>	在对外浮顶罐的要求中有所体现	在对外浮顶罐的要求中有所体现

要求	BAAQMD Regulation 8, Rule 5 中要求	DB11 /447-2015 中要求	GB 37822-2019 中要求
对固定顶罐的要求	<p>(1) 罐壁不得有液体泄漏的情况；</p> <p>(2) 压力罐需始终保持合适的工作压力；</p> <p>(3) 用于储存除天然气外的有机气体的压力罐的密封或减压设备应始终保持气密性，除非操作压力高于阀门本身设定的压力，或呼吸阀排空被专门的蒸气回收装置回收，该装置的收集效率应高于 95%</p>	<p>(1) 储罐呼吸阀、计量或取样装置，除测量或取样外，应保持气密状态；</p> <p>(2) 罐顶不应有破洞、裂缝或其他破损情况。</p>	<p>(1) 固定顶罐排放的废气应收集处理并满足相关行业排放标准的要求，或者处理效率不低于 80% 或 90%（特别控制要求）；</p> <p>(2) 固定罐罐体应保持完好，不应有孔洞、缝隙；</p> <p>(3) 固定顶罐附件开口，除采样、计量、例行检查、维护和其他正常活动外，应密闭；</p> <p>(4) 定期检查呼吸阀的定压是否符合设定要求。</p>
对内浮顶罐的要求	<p>(1) 1993 年后生产的内浮顶罐应采用双封式密封，且满足法规中对初级密封和次级密封的要求；</p> <p>(2) 1993 年后生产的内浮顶罐的固定顶上应至少保留三个观测孔；</p> <p>(3) 浮顶必须在液面之上，初级密封和次级密封的上面或浮顶的上面不得有储液；</p> <p>(4) 浮顶附件应满足相关要求；</p> <p>(4) 罐壁不得有液体泄漏的情况。</p>	<p>(1) 内浮顶罐应安装下列之一高效封气设备：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 液体镶嵌式密封；</li> <li>b) 机械式鞋形密封；</li> <li>c) 双封式密封；</li> <li>d) 其他等效密封。</li> </ul> <p>(2) 罐顶上方挥发性有机物检测浓度应不超过 4000 <math>\mu\text{mol/mol}</math></p>	<p>(1) 内浮顶罐的浮顶与罐壁之间应采用浸液式密封、机械式鞋形密封等高效密封方式；</p> <p>(2) 浮顶罐罐体应保持完好，不应有孔洞、缝隙。浮顶边缘密封不应有破损；</p> <p>(3) 除储罐排空作业外，浮顶应始终漂浮于储存物料的表面。</p>
对外浮顶罐的要求	<p>(1) 外浮顶罐应采用双封式密封，且满足法规中对初级密封和次级密封的要求；</p> <p>(2) 初级密封和次级密封的顶上不得有储液；</p> <p>(3) 罐壁不得有液体泄漏的情况；</p>	<p>(1) 外浮顶罐应采用双封式密封，且初级密封应为液体镶嵌式密封、机械式鞋形密封或其他等效密封；</p> <p>(2) 初级密封外壳和二级密封不得有任何开口。</p>	<p>(1) 外浮顶罐的浮顶与罐壁之间应采用双重密封，且一次密封应采用浸液式密封、机械式鞋形密封等高效密封方式；</p> <p>(2) 浮顶罐罐体应保持完好，不应有孔洞、缝隙。浮顶边缘密封不应有破损；</p>

要求	BAAQMD Regulation 8, Rule 5 中要求	DB11 /447-2015 中要求	GB 37822-2019 中要求
			(3) 除储罐排空作业外，浮顶应始终漂浮于储存物料的表面。
对浮顶罐附件的要求	<p>(1) 除泄压装置外，所有通过浮顶的开口都应在页面以下设置一个凸起；</p> <p>(2) 任意除浮顶支柱架外的浮顶开口均须安装带衬垫的盖子、密封圈或气密盖板，并始终保持密封状态，且盖板的空隙不得超过 0.32 cm。对于内浮顶上不可及的开口，从目视点应看不到明显空隙；</p> <p>(3) 任意储罐计量或取样装置须安装气密盖板，并始终保持密封状态，且盖板的空隙不得超过 0.32 cm。</p> <p>需要打开盖子进行计量或取样时例外。罐顶应保持气密状态且没有破洞、裂缝或任何开口。</p>	在对固定顶罐、内浮顶罐和外浮顶罐的要求中有所体现，但要求相对较少	<p>(1) 支柱、导向装置等储罐附件穿过浮顶时，应采取密封措施；</p> <p>(2) 除自动通气阀、边缘呼吸阀外，浮顶的外边缘板及所有通过浮顶的开孔接管均应浸入液面下。</p>
对污染控制设备的要求	污染控制设备的处理效率需达到 95%以上，且具有气密性	采用密闭排气至污染控制设备，大气污染物排放执行标准中限值	采用密闭排气至污染控制设备，大气污染物排放执行标准中限值
对储罐排空的要求	<p>除取样或连接/断开排空设备外，任何操作者不得将储罐的内部蒸汽空间通过开口或人孔与大气连接，除非：</p> <p>(1) 对于容积大于 75 m<sup>3</sup> 的储罐，排空产生的 VOCs 必须被污染控制设备收集和处理，且控制效率需大于等于 90%。残余的 VOCs 浓度应由至少 4 次，每次间隔不小于 15 分钟的检测确定。残余 VOCs 浓度不得大于 10,000 ppm；</p> <p>(2) 如空气质量管理部门预告次日将出现臭氧超标，则不得进行排空操作，除非排空操作通过污染控制设备</p>	无直接规定。停工检修/工艺采样的要求中有类似规定。	无直接规定。

要求	<b>BAAQMD Regulation 8, Rule 5 中要求</b>	<b>DB11 /447-2015 中要求</b>	<b>GB 37822-2019 中要求</b>
	<p>控制，且满足法规对污染控制设备的相关要求；</p> <p>(3) 需进行排期操作的运营者需在排空作业开始前至少 3 天向管理部门发出书面通知。如需进行紧急排空，需在排空操作开始后 8 小时内电话告知管理部门。</p>		
对储罐清洁的要求	<p>储罐内部清洁剂须满足如下要求，除非清洗过程中产生的 VOCs 被污染控制设备收集和处理，且控制效率大于等于 90%：</p> <p>(1) 清洗剂的沸点应大于 302 华氏度，且实际蒸汽压应小于 0.5 psia，或清洗剂的 VOCs 含量小于 50 g/L；</p> <p>(2) 废水处理设施不得使用蒸汽清洗罐体内部；</p> <p>(3) 只有在完成常规罐体清洗后，才可使用蒸汽去除罐体内表面的水垢或残余储液。</p>	<p>无直接规定。停工检修的要求中有类似规定。</p>	<p>无直接规定。</p>
对检查与修复的要求	<p>外浮顶罐：</p> <p>(1) 检查储罐初级密封和次级密封的周长是否符合法规要求，每年至少检查两次，间隔 4 至 8 个月。新安装或进行修理的初级或次级密封应进行检查；</p> <p>(2) 罐体附件每年检查两次，间隔 4 至 8 个月。</p> <p>内浮顶罐：</p> <p>(1) 检查储罐初级密封和次级密封的周长是否符合法规要求，检查的间隔不超过 10 年。新安装或进行修理的初级或次级密封应进行检查；</p>	<p>(1) 每日巡检目视检查固定顶罐、内浮顶罐罐顶和外浮顶罐浮顶是否有开口；浮顶罐排空时目视检查封气设备是否有开口。出现问题，应在 72 小时内修复；</p> <p>(2) 每月检测内浮顶上方的挥发性有机气体的浓度并记录，记录至少保存两年。检测浓度超过 4000 <math>\mu\text{mol/mol}</math>，应自发现之日起 90 日内完成修复；</p> <p>(3) 每月检测外浮顶罐浮盘密封设施的状态并记录，记录至少保存两年。发现密封设施不能密闭的，应自发现之日起 90 日内完成修复；</p>	<p>储罐如不符合法规中相关规定，应记录并在 90 d 内修复或排空储罐停止使用。如延迟修复或排空储罐，应将相关方案报生态环境主管部门确定。</p>

要求	<b>BAAQMD Regulation 8, Rule 5 中要求</b>	<b>DB11 /447-2015 中要求</b>	<b>GB 37822-2019 中要求</b>
	<p>(2) 目视检查最外侧密封的周长，每年两次，每次间隔 4 至 8 个月；</p> <p>(3) 罐体附件每年检查两次，间隔 4 至 8 个月。</p> <p>呼吸阀的气密性，每年检查两次，间隔 4 至 8 个月。</p>		
对台账的要求	<p>(1) 日常操作记录（储罐储液种类、储液量、实际蒸气压范围）至少保存两年；</p> <p>(2) 对于内浮顶罐和外浮顶罐，更换或维修初级密封和次级密封时，应准确记录所更换密封的长度和更换日期。该记录至少保存十年；</p> <p>(3) 其他所有本法规要求的记录和报告至少保存两年；</p> <p>(4) 应保存呼吸阀的工程数据信息。</p>	同上，记录至少保存两年	无针对储罐的特别要求。
激励计划	运营者可向管理部门提交一份加强检查计划，以获得一些特定条件下的法规豁免。该计划要求运营者提交所有储罐的清单。运营者可选择其中 25% 的储罐（每个设施不少于一个）进行加强检查。如外浮顶罐数量超过 25%，则只能选择外浮顶罐。受到加强检查计划约束的储罐，对上述所有检查要求，检查频率均提升为 1 年 4 次，间隔 2 至 4 个月。执行加强检测计划的运营商在储罐出现不符合法规要求的情况的时候，如果已采取相应措施最大程度的减少违规排放，则可不被视为违规。	无	无

表 17.BAAQMD Regulation 8, Rule 5 中对罐型选择的要求

储罐容积	储存物料的实际蒸汽压
------	------------

	<b>3.45 kPa 至 10.34 kPa</b>	<b>10.34 kPa 至 76.0 kPa</b>	<b>大于等于 76.0 kPa</b>
1.0 m <sup>3</sup> 至 37.5 m <sup>3</sup>	浸没式加料管	浸没式加料管（地下储罐或地上非汽油储罐）、呼吸阀、内浮顶罐或外浮顶罐	压力罐或经审批的排放控制设备
37.5 m <sup>3</sup> 至 75 m <sup>3</sup>	浸没式加料管	浸没式加料管（地下储罐）、呼吸阀、内浮顶罐或外浮顶罐	压力罐或经审批的排放控制设备
75 m <sup>3</sup> 至 150 m <sup>3</sup>	浸没式加料管	内浮顶罐或外浮顶罐	压力罐或经审批的排放控制设备
大于等于 150 m <sup>3</sup>	内浮顶罐或外浮顶罐	内浮顶罐或外浮顶罐	压力罐或经审批的排放控制设备

由上可见，美国各地区对储罐的管控与中国目前的管控思路是一致的。对于大型的储存易挥发物料的储罐，都是要求运营商采用浮顶罐或带有污染控制设备的密闭排空系统。另外，北京市的排放标准，以及2019年出台的《国家挥发性有机物无组织排放控制标准》也已经对储罐的特性、检查与修复流程等提出了进一步的要求。但是，美国对储罐的管控明显要更趋向于精细化管理，法规中包括很多对储罐方方面面的细致要求，例如，对呼吸阀定压的要求、对储罐排空作业和清洁作业的要求、对密封孔隙的要求等等。同时，美国目前对小型储罐的管理也更加严格。燕山石化可以参考美国的法规，制作一份储罐管理对照单，根据企业目前的操作进行一一核对，找到自己做好的地方和还可以管理的更精细的地方，来进一步的实现 VOCs 减排和精细化管理。

**问题 3：**在进行污染物排放量的折算时，如何考虑氧含量的折标？我们的排放都会有一个氧含量的折标。美国的排放量是如何考核？是直接测出来进行考核还是根据标准氧含量折标进行判定的？装置在开停车过程中，氧含量会变化比较剧烈。污染物排放量按氧含量进行折算，现在我们的标准是 3%，这样折算就会导致开车和停车过程的污染物含量超标。目前我们只有锅炉和催化是有豁免的，其他所有设施包括 VOCs 的治理设施都没有豁免，那么是否应该豁免？

标准氧含量折算这一要求首次出现于生态环境部于 2015 年发布的数项排放标准之中，这其中包括与炼油石化企业相关的《石油炼制工业污染物排放标准》（GB 31570-2015），《石油化学工业污染物排放标准》（GB 31571-2015），《合成树脂工业污染物排放标准》（GB 31572-2015）等三项标准。

按照目前标准（如 GB 37822-2019）的要求，进入 VOCs 燃烧（焚烧、热氧化）装置的废气需要补充空气进行燃烧、氧化反应的，排气筒中实测大气污染物排放浓度，应换算为基准含氧量为 3% 的大气污染物基准排放浓度，并以基准排放浓度作为达标判定依据。利用锅炉、工业炉窑、固废焚烧炉焚烧处理有机废气的，烟气基准含氧量按其排放标准规定执行。进入 VOCs 燃烧（焚烧、氧化）装置中废气含氧量可满足自身燃烧、氧化反应需要，不需另外补充空气的，按排气筒中实测大气污染物浓度作为达标判定依据，但装置出口烟气含氧量不得高于装置进口废气含氧量。含氧量折算的公式如下：

$$\rho_{\text{基}} = \frac{21 - O_{\text{基}}}{21 - O_{\text{实}}} \times \rho_{\text{实}}$$

其中：

- |                   |   |                                  |
|-------------------|---|----------------------------------|
| $\rho_{\text{基}}$ | = | 大气污染物基准排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> ) |
| $O_{\text{基}}$    | = | 干烟气基准含氧量 (%)                     |
| $O_{\text{实}}$    | = | 实测的干烟气含氧量 (%)                    |

$$\rho_{\text{实}} = \text{实测大气污染物排放浓度 (mg/m}^3)$$

这一折算要求的引入主要是为了防止企业通过空气稀释实现污染物达标排放，欧美国家目前对相应过程的标准氧含量折算均没有相应的要求。实际要求执行过程中，是否按基准氧含量折算污染物浓度，对判定废气处理装置净化排气是否达标影响很大，燕山石化的这一问题正属此例。考虑到要求的目的是为了防止人为稀释，建议环境主管部门在对相关标准进行修订时，将要求进一步完善，如规定“如无人为稀释，则不必按基准氧含量进行折算”。

**问题 4：**目前的自动监测设备的监测频次比较密集，每 3 分钟一次，但是这样对设备维护的压力也很大，1-2 年很快就会超过它的使用周期，这在其他企业中有没有这样的情况，是怎么解决的？对于燕化来说，更换这些零件的成本甚至比更换一台全新的设备还要高。而且，现在燕化出现了大范围的需要更换监测设备的情况。但实际上三年就要换一台设备，是很不合理的。国外这些企业对于这些监测设施的使用频率是否有这么高？

美国对设施 VOCs 自动监测的要求与国内有所不同。一般而言，国内的 VOCs 自动监测要求更为严格，如在国务院印发的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》中，明确要求将重点源纳入重点排污单位名录，并督促企业安装烟气排放自动控制设施。而根据《重点排污单位管理规定》，石化企业属于废气重点监管行业，应当纳入重点排污单位管理，且应当加装强化自动监测设备。在最新出台的《关于加快解决当前挥发性有机物治理突出问题的通知》中也明确要求，加快 VOCs 重点排污单位主要排放口非甲烷总烃自动监测设备安装联网工作，鼓励重点区域推动有条件的企业建设厂区无组织排放自动监测设备。如上可以看出，国内对 VOCs 监测的要求体现在两个方面，一个是对重点源安装自动监测设备，另一个是安装厂区内无组织排放监测设备。

对于美国的炼油厂来说，其监测要求分为联邦要求和地方要求两部分，地方要求往往比联邦要求更为严格。首先，目前美国法规中对固定源 VOCs 监测的要求以定期手动监测为主，尚无对自动监测的强制性要求。对于无组织排放监测来说，根据 US EPA 的最新规定，炼油厂需要对厂边界（Fenceline）的苯浓度进行监测<sup>47</sup>，并定期向 US EPA 报告。无组织排放监测的标准方法为 EPA 方法 325A 和方法 325B，这两种方法都是定期取样（每 14 天为一周期）<sup>48</sup>，采用被动式监测管采样器，而非连续监测。美国加州的要求更为严格。加州于 2017 年底通过 AB617 法案，要求各地方空气管理机构划分弱势（Environmental Justice）地区，并在这些地区开展社区监测及邻近固定源边界监测。根据该法案的要求，SCAQMD 出台 Rule 1180，要求属地的炼油厂对多种属于 VOCs 的有毒空气污染物进行边界连续监测和社区监测。周边连续监测主要使用的设备为开路式光学设备，如傅里叶变换红外光谱仪（OP-FTIR），紫外差分吸收光谱仪（UV-DOAS）等等，采集频率约为 3-5 分钟；而社区监测则主要采用自动气相色谱仪（Auto-GC），采集频率约为 1 小时<sup>49</sup>。

由上可见，美国目前对 VOCs 的监测主要还是以手工监测为主，对于炼油厂等重点工业类型要求进行边界连续监测。由于边界监测使用的设备与目前国内主流网格式监测的设备不同，所以无法直接比较，但是其 Auto-GC 的采集频次是比燕山石化的频次低的。考虑到国内目前尚未出台针对石化企业的挥发性有机物无组织排放连续监测系统技术要求，燕山石化可以与环保部门沟通，在保证系统功能的情况下降低监测频次，如 15 分钟/半小时一小时一个数据，同时辅以辅助监测手段，来降低总体维护费用。

**问题 5：**在火炬上，新的要求安装热值温度监测设备。但因为火炬气组分非常复杂，目前市场上有没有比较好的设备可以推荐？就火炬来说，系统内还没有安装特别全的先例，尤其是热值。

US EPA 在最新发布的《炼油业行业法规》（40 CFR, Part 63）的修正案中提出了对火炬排放的控制要求。该法规要求炼油厂的火炬符合以下操作限制要求：

- 监测燃烧区净热值（NHV<sub>cz</sub>）

<sup>47</sup> [https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-03/documents/petroleum\\_refinery.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-03/documents/petroleum_refinery.pdf)

<sup>48</sup> <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/63.658>

<sup>49</sup> [http://www.aqmd.gov/docs/default-source/fenceline\\_monitoring/r1180\\_draft\\_community\\_monitoring\\_plan\\_rev\\_2\\_04022020\\_final\\_use\\_updated1.pdf?sfvrsn=8](http://www.aqmd.gov/docs/default-source/fenceline_monitoring/r1180_draft_community_monitoring_plan_rev_2_04022020_final_use_updated1.pdf?sfvrsn=8)

- 监测稀释净热值 ( $NHV_{dil}$ )
  - 监测火炬头出口速度
  - 具备引燃火焰
  - 基于 15 分钟的阻塞周期，规定燃烧区净热值最低运行限值为 270 BTU / scf 的可见排放量。如果  $NHV_{cz}$  降低至接近 270 BTU / scf 的水平，则需添加额外的助燃气以保证  $NHV_{cz}$  能够达标。
- 由此可见，测量和计算燃烧区净热值是美国炼油企业火炬符合法规要求的必须条件。燃烧区净热值一般根据排气的净热值和气体流量计算而出，公式如下：

$$NHV_{cz} = \frac{(Q_{vg} \times NHV_{vg})}{(Q_{vg}) + (Q_{am})}$$

其中：

$NHV_{cz}$	=	燃烧区净热值 (Btu/scf)
$Q_{vg}$	=	排气体积流量 (scf/hr)
$Q_{am}$	=	辅助介质体积流量 (scf/hr)
$NHV_{vg}$	=	排气净热值 (Btu/scf)

而排气净热值又可以根据如下公式进行计算：

$$NHV_{vg} = \sum_{i=1}^n x_i \times NHV_i$$

其中：

$x_i$	=	排气中某组分的浓度 (摩尔比)
$NHV_{vg}$	=	排气中某组分的净热值 (Btu/scf)

由此可见，测量火炬热值，本质上就是对火炬的各气体组分进行测量。目前主流的测量火炬排气组分的监测技术有 4 种：

- 气相色谱法 (GC)：气相色谱法是目前最常用的用于测量火炬排气组分的方法。主要优点是可以同时测量所有火炬组分，且相对简便易用；主要缺点是分析周期长（5-20 分钟），可能会限制一些通过使用燃烧区净热值来控制火炬运行参数的操作。另外，气相色谱仪有较高的校准要求，一般而言，所有火炬排气组分都必须在校准气体之中。
- 质谱法 (MS)：质谱法也用于测量火炬排气组分，目前已在美国炼油厂中应用。相比 GC 法，质谱法的分析周期很短，非常适合控制火炬运行参数。但质谱法对于某些核质比相近的物质和含硫物质可能会难以区分，并在能同时检测的气体种类的数量上也有所限制。另外，质谱的校准要求也较高。
- 拉曼/傅里叶红外变换双光谱法 (Raman/FTIR)：该方法通过联用拉曼光谱仪和 FTIR 光谱仪来测量火炬排气组分。该方法可以检测最多的气体组分，检测周期也很短。同时，该方法只需要两种单组份校准气。
- 量热法：量热法可以直接测量排气的净热值。根据检测原理，一般常用的两种量热仪是氧弹量热仪和火焰量热仪。量热仪相比其他仪器成本较低，且只需要单一参照气做校准。但由于量热法测量的是混合气体的净热值，因此无法测定排气的组分。

考虑到目前北京市的标准已经要求火炬防空时需记录燃烧气体的成分及硫含量，而量热法无法支持气体成分的分析，因此一般气相色谱法或质谱法是较好的选择（拉曼/FTIR 法目前应用还相对较少）。鉴于国家和北京市目前尚没有对火炬热值的要求，而质谱法在初始成本和维护成本上都更高，选用气相色谱当前阶段可能是更经济的选择。

### 2.1.8 调研总结

燕山石化是一家集炼油及化工与一体的大型企业，也是北京市 VOCs 管控的重点企业。由于企业规模大、工艺复杂，难以在短时间内取得详尽的调研结果。但根据课题组的线上调研和实地调研的结果，可总结出以下几条初步调研结论：

- **燕山石化在 VOCs 排放控制上付出的努力和取得的成果都是显著的。**燕山石化在 VOCs 排放控制上非常积极主动，无论是从组织架构上、对污染治理的投入上、还是在管理要求上，都付出了许多努力。经过数年的管控，燕山石化的 VOCs 排放和 VOCs 浓度均有非常显著的下降，取得了很好的成果。
- **面对下一阶段的减排任务，推进精细化管理是主要的方向。**目前，燕山石化的大型设备改造项目基本已完成，下一步主要是进行精细化管理，一方面是稳固目前的减排成果，防止环境事故；另一方面，是通过精细化的管理手段进一步减少 VOCs 的排放。这里面就涉及到对各个 VOCs 排放源的仔细分析和管理。在这一点上，美国由于起步较早，许多经验是值得参考的。
- **生态环境保护部门可以通过进一步明确法规和标准的要求，帮助企业实现更好的 VOCs 管控。**相比美国，我国的 VOCs 管控起步的比较晚，因此很多相关的标准或法规的要求可能不是非常细致。例如，北京市标准中对储罐呼吸阀的要求、以及燕山石化提到的排放量计算的问题，都是可以进一步细化来帮助企业实现更好的 VOCs 管控的内容。

## 2.2 北京市经济技术开发区

### 2.2.1 调研背景

北京经济技术开发区（以下简称“经开区”）位于中国北京大兴亦庄地区，是北京市唯一同时享受国家级经济技术开发区和国家高新技术产业园区双重优惠政策的国家级经济技术开发区。北京经济技术开发区面积较大，功能齐全，不属于传统意义上的封闭式的工业园区，但其辖区内工业企业众多、涵盖各种不同工业类型，尤其是高新科技企业，是北京重要的、具有代表性的新型工业区域。因此，本项目根据专家意见，对北京经济技术开发区进行调研，并选取重点行业的龙头企业进行实地调研。

根据课题组对经开区 2020 年 1-8 月份的产业产值<sup>50</sup>情况的了解，位居产值前三的产业分别为（1）汽车及交通设备产业；（2）电子信息产业；（3）装备制造产业。同时，在经开区的大气重点排污单位名录中的绝大部分企业（13 家）都属于这三个产业类别，因此，本课题的调研也集中在这三个产业类别。另外，为了充分了解经开区多产业并存的环境管理挑战，课题组也在与经开区环境主管部门的座谈中涵盖了其他的产业类别。

**表 18. 北京经济技术开发区 1-8 月分产业产值**

指 标	2020 年 1-8 月	2019 年 1-8 月	增减%
汽车及交通设备产业	1364.9	1351.8	1.0
电子信息产业	560.7	505.0	11.0
装备制造产业	346.7	335.3	3.4

<sup>50</sup> 来源：<http://kfqgw.beijing.gov.cn/zwgk/sjfb/tjsj/202009/P020200930589631581231.xls>.

生物工程和医药产业	313.7	338.8	-7.4
都市产业	131.7	139.9	-5.8
基础与新材料产业	67.5	61.5	9.8

项目组于 2020 年 12 月 23 日和 12 月 24 日对经开区管委会、北京奔驰汽车有限公司（以下简称“北京奔驰”）、SMC（中国）有限公司（以下简称“SMC”）和中芯北方集成电路制造（北京）有限公司（以下简称“中芯北方”）进行了线下实地调研。调研安排如下：

第一天-上午 (管委会环境主管部门)	第一天-下午 (中芯北方)
拟交流要点总结	拟交流要点总结
部门设置、工作内容、人员配置	企业基本情况及含 VOCs 原辅材料使用/存储
针对 VOCs 排放监管方面的日常工作（监测、帮扶、执法、资金申请和审批及项目验收等）	生产工艺中 VOCs 有组织及无组织排放路径 涉 VOCs 排气筒排放特征及后处理设施特征 VOCs 无组织排放特征及管控措施 含 VOCs 废水/废液的处理(如异丙醇、丙酮) 排气筒及无组织排放监测方法及日常运维 是否有与园区内其他企业就 VOCs 管控进行过能力共享或合作？
环境主管部门与企业的信息交流沟通渠道 各产业的 VOCs 排放情况及管控难点 支持区内企业 VOCs 减排的工作思路和已开展的相关工作	场地参观
区内环境空气质量监测及监测平台的使用 区内企业自动监测设备的使用及运维情况 园区环境协同管理（如生物医药园危险废物中转服务）	
重污染天气应对 资金扶持（如绿色发展资金）的执行模式	
13:00 - 15:30	
第二天-上午（奔驰后驱车厂）	第二天-下午 (SMC 一厂)
拟交流要点总结	拟交流要点总结
企业基本情况及含 VOCs 原辅材料使用/存储	企业基本情况及含 VOCs 原辅材料使用/存储
生产工艺中 VOCs 有组织及无组织排放路径 (喷漆、补漆、清洗、密封胶、电泳、烘干等)	生产工艺中 VOCs 有组织及无组织排放路径 涉 VOCs 排气筒排放特征及后处理设施特征 VOCs 无组织排放特征及管控措施 含 VOCs 废水/废液/危险废物的处理 排气筒及无组织排放监测方法及日常运维 是否有与园区内其他企业就 VOCs 管控进行过能力共享或合作？
车体用漆的稀释过程及 VOCs 控制 涉 VOCs 排气筒排放特征及后处理设施特征 VOCs 无组织排放特征及管控措施 含 VOCs 废液的处理(如废清洗剂、废稀释剂)	
含 VOCs 危险废物的处置 排气筒及无组织排放监测方法及日常运维	场地参观
13:00 - 15:30	

## 2.2.2 经开区管委会调研

### 2.2.2.1 园区概况

经开区目前是北京最密集的工业区域。就 VOCs 来说，涉及的行业在北京是比较全面的。按照二污普的普查结果，经开区内的工业企业大概有 400 多家。13-17 年，国家和北京市出台了很多 VOCs 的排放标准，区里也做了一些现场的调研。就经开区自己来说，也是将 VOCs 的排放治理作为打赢蓝天保卫战中工业源污染防治部分中最主要的工作。园区企业的 VOCs 治理走在前列，重点企业基本都安装了催化燃烧等去除效率高的末端治理设施。从排放量上来说，VOCs 排放量最大的是汽车制造企业，之后是电子企业和印刷企业。目前，VOCs 减排上最主要的问题还是控制无组织排放。例如，印刷和涂装作业的废气收集环节，有些大型涂装设备可能会难以密封，就很难保持高收集效率。

2020 年，经开区的大气环境整点排污单位共 22 家，涉及多个行业，如下表所示。

**表 19. 北京经济技术开发区 2020 年大气环境重点排污单位名录<sup>51</sup>**

序号	行政区划名称	统一社会信用代码 (或组织机构代码)	单位名称
1	北京经济技术开发区	91110302101182835B(00)	北京博大开拓热力有限公司
2	北京经济技术开发区	911103026843513880(00)	北京京东方显示技术有限公司
3	北京经济技术开发区	911103027404017237(00)	中芯国际集成电路制造(北京)有限公司
4	北京经济技术开发区	91110302600003205F(00)	北京奔驰汽车有限公司
5	北京经济技术开发区	911103025996328555(00)	采埃孚汽车底盘系统(北京)有限公司
6	北京经济技术开发区	9111030260002492XA(00)	SMC(中国)有限公司
7	北京经济技术开发区	91110302600055056H(00)	博世力士乐(北京)液压有限公司
8	北京经济技术开发区	91110302769904535H(00)	比泽尔制冷技术(中国)有限公司
9	北京经济技术开发区	911103028011469905(00)	诺兰特移动通信配件(北京)有限公司
10	北京经济技术开发区	91110302765505908J(00)	华润协鑫(北京)热电有限公司
11	北京经济技术开发区	91110000722600841J(00)	北京同仁堂科技发展股份有限公司
12	北京经济技术开发区	91110302071737747W(00)	中芯北方集成电路制造(北京)有限公司
13	北京经济技术开发区	911103027493533932(00)	北京京东方光电科技有限公司

<sup>51</sup> 来源：[http://kfqgw.beijing.gov.cn/zwgk/zdlyxxgk/hjdh/zdwryjbxx/202003/t20200330\\_1749154.html](http://kfqgw.beijing.gov.cn/zwgk/zdlyxxgk/hjdh/zdwryjbxx/202003/t20200330_1749154.html)。

14	北京经济技术开发区	91110302765506732Y(00)	北京东进世美肯科技有限公司
15	北京经济技术开发区	911103027002289890(00)	北京章光 101 科技股份有限公司
16	北京经济技术开发区	91110302797550236W (00)	康宁显示科技（中国）有限公司
17	北京经济技术开发区	91110302329587417K(00)	采埃孚传动系统（北京）有限公司
18	北京经济技术开发区	91110302795955432X(00)	蓝星（北京）化工机械有限公司

### 2.2.2.2 组织架构

从去年开始，经开区进行了一些调整，去掉了原来的环保局和生态环境局，与生态环境相关的管理职能由城市运行局的生态环境处来执行。在工作内容上，除了环评审批和排污许可证的核发由行政审批局进行，后期的处罚和执法（不含审查，只是处罚）由综合执法部门进行之外，剩下的与生态环境相关的工作基本都有城市运行局负责。具体到违规处置上，搜集证据，发现问题是由城市运行局负责，然后递交给执法部分处理。目前，城市运行局相关人员加上主管局长一共是 27 个人。

### 2.2.2.3 日常监管

针对 VOCs 排放监管的日常工作主要分为几个部分，日常工作检查部分是按照全市的环境监察总队年初给下达的监察执法任务，有针对性地按行业按批次进行专案专项检查。平均下来每个行业全年覆盖 2-3 回，重点监察行业覆盖 4-5 回。重点行业包括印刷、电子、涂装、医药、汽修等等，都是涉及 VOCs 排放的企业。

经开区的监测频次高于北京市规定的监测频次。监测主要分两部分：一个是市级部门针对重点排污企业每年下达的监测任务；第二是监察总队下达的监察任务，对企业要求是全覆盖，尤其是涉 VOCs 的企业。以汽修行业为例，经开区有喷漆房的企业一共有 21 个，那么检查时就会把所有企业都检查一遍。

监测站点上，经开区有两个大型空气监测站，均属于市局监测中心，主要检测特征污染物，如 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、臭氧、氮氧化物、二氧化硫等。市里建的小型微站有 5 个，主要用来监测 TSP，之后可能也会加装 VOCs 监测设备。经开区自己安装建设的类似于大站的站点有两个，一个是以测 NMHC/TVOCs 为主，一个是以测 PM<sub>2.5</sub> 为主。此外，还有 100 个小微站，主要用来进行 PM<sub>2.5</sub> 的网格化监测。网格化监测数据会上传至统一平台，有预报、日报、周报和月报。目前，监测上的主要问题有两个，一个是对 PM<sub>2.5</sub> 外的特征污染物的监测重视程度还是不够，即使是 VOCs 也一般只测 NMHC；另外在监测设备的布点上还可以做更多考量。

VOCs 的走航监测经开区目前也已经开始尝试，也是委托专业的第三方来做，目前还没有固定的监测频次。2021 年，经开区会增加监测次数，一般在重污染天气进行走航监测，检查管控的效果已经空气比较差的区域；而天气晴好时会走航监测频率会比较低，主要是作为背景值。走航监测主要针对 VOCs，使用的是和市局一样的车载 GC-MS，实时，秒级输出，设备相对来说也比较简单，可以测量的 VOCs 有 20 多种。走航的结果对经开区进行 VOCs 管控还是有些帮助的，结果一般与预计的差不多。走航、小微站等希望形成一个验证的关系，而且希望结果能更精准一些，因为企业的的确非常密集。目前，经开区管委会还没有使用便携式的检测设备，但未来打算采购，包括风速仪、快速 VOCs 检测器等等。

在线监测上，经开区的重点企业都已经安装了在线监测，也都已经和市局联网。经开区有自己的在线平台，之前用过一段时间，但现在打算停止使用，因为设备已经相对过时了，不过平台会保留下来。在线监测的招标由企业自行招标，经开区只提出要求。运维有第三方做也有企业自己做，一般来讲企业自己做比第三方效果好。

对于厂界的监测要求，一般就是按照国家和北京市的要求。但是经开区的企业很多离得很近，有些甚至公用一面外墙，而且特征污染物也相近，实际操作的时候会有难以区分污染物来源的问题。

现在经开区已经开始进行 PM<sub>2.5</sub> 源清单的编制工作，预计需要一年多的时间才能完成。这其中可能也会涉及臭氧，但臭氧前体物的源清单编制目前还没有开始，主要是资源不够。

重污染天气的应急预案都是按照生态环境部里的重污染应急减排分级管理清单要求来做的。列入清单内的企业由我们的工业主管部门牵头，分别是营商合作局和科技创新局，营商合作局管规模以上的企业，科技创新局管规模以下的企业，二者一起作为工业主管部门。企业建立预案，由工业主管部门审核他们的预案，再报到市里或者部里，按照 A、B、C、D 进行评级。其中，C 级和 D 级是区里自己评，B 级是由市局大气处，A 级企业是由生态环境部来进行现场核查。经开区范围内一共有 3 家 A 级企业，分别是利乐包装（北京）有限公司、北京奔驰汽车有限公司和采埃孚汽车底盘系统（北京）有限公司。

#### 2.2.2.4 激励措施

经开区设有专门的资金激励企业采取减排措施。自 2014 年以来，每年经开区管委会都会结合当年的环保工作的重点方向将资金补贴方案和补贴内容进行一些微调。这个资金出发点是为了促进企业的节能减排，根据每年的任务安排，如安装环保设施、VOCs 减排、低氮改造等，管委会都会相应地提出奖励措施。一般的环保技改都在这个资金的覆盖范围之中，一般补贴比例在 20-30%，因为按照财政部门的要求，企业的一个项目拿的各级的财政补贴不能超过总金额的一半，所以经开区补贴的基本上都是安装运行设备的成本。2019 年之前，资金还涵盖了一些大兴区的项目，但从 19 年以后就不涵盖了。2019 年比较大的变化是增加了建筑节能和发展中的能耗的项目，比如绿色工艺、绿色工厂、分子光谱发电等大环保项目。只要对生态环境有改善，这些措施都是鼓励的。

对于项目审批，企业申报完项目之后，由城市运行局先进行一个初审，然后到管委会层面各个相关部门征询意见，再根据项目类别，如大气、水、固废等，邀请相关行业的专家进行项目评审，如检查该项目能不能带来实在的减排收益等等。除环境专家外，管委会还会请财务专家，对项目财务进行审查。有的企业的项目申报不符合标准，比如要上在线监控，应该写明是检测设备费用，但有的企业就写了监测费，这样的就不能通过审查。财务方面的专家主要目的是确保项目合同、费用等的真实性。专家审查之后还有一轮领导小组会，由区长来最终决定企业是否通过审批。2020 年一共有 120 个项目上报，但最终有 38 个项目未通过审查，因此审查还是比较严格的。

对于项目验收，现在一般都是企业自行验收。

#### 2.2.2.5 沟通和园区环境协同管理

目前，环保部门和企业之间的交流方法主要还是用微信群，按行业来划分，一个行业一个微信群。重点企业经开区会主动进行联系。由于每年的重点排污单位名单都会有更新，因此经开区会每年会主动跟重点排污企业开一次会，并对当年的重点工作和国家法规的变化进行培训。除微信群之外，管委会也在考虑增加新的沟通渠道，更多的从非执法的方向与企业沟通，比如环保管家（环保伙伴、环保合作伙伴）等，这些设想目前还在初步阶段。

除环保部门与企业之间的交流外，企业之间也通过各种渠道有横向的交流联系。如果需要管委会出面协助沟通，管委会也会帮企业进行沟通（例如安排参观访问等等）。对于经开区，生态环境部一直把经开区视为一个大型工业园区，但实际上在经开区内部还有 20 多个特色产业园区，每个园区可能有自己不同的管理制度和协作。举例来说，经开区的一家做废物收集的单位在生物制药园找了一个仓库，专门给生物制药园那边的小企业做废物收集的服务，每个单位会自己跟他们签合同，这也是各个单位自己的管理制度的要求。因为很多中小企业有这种需求，他们没有地方储存，废弃物的量也不大，这种方式可以让他们做到日产日清，费用也会相对小。这就是一个产业园区内的协作模式。

经开区现在有四个污水处理厂，年处理量 17 万吨，雨污分流，地表只有 3 个污水排放口。企业污水没有直排地表的。经开区目前没有活性炭的集中处置/再生，主要是因为活性炭回收再生的成本很高。现在用活性炭的企业不是很多，因为碳的处置费用比较高，主要集中在汽修和医药行业，因为浓度太低，只能用活性

炭。用完不再生，直接作为危废处理。所以，经开区也希望能找到成本有效性更高、占地相对小的活性炭再生的方法。

### 2.2.2.6 响应投诉

对于居民投诉，最集中最多的问题还是与异味有关。相比别的区，经开区的剧名投诉相对比较少，2020年环境类的投诉大概300多件。投诉方式最多的是12345，也有极个别直接打电话打到城市运行局。接到投诉后，先是到全区政务中心，然后区里派发到各相关部门进行处理。处理期限一般是5个自然日，办完了必须给予反馈，没办完也要跟投诉人说明原因，一般也是通过12345进行反馈。

### 2.2.2.7 问题和建议

在调研过程中，管委会的领导也提出了目前针对VOCs治理的一些问题和建议。

#### 建议 1

VOCs的核算方法可以更加明确。现在VOCs核算有好几种算法，2012年市环境局做VOCs摸底和统计有一套算法，排污申报有一套算法，二污普又有另一套算法。现在生态环境部认可度比较高的算法是二污普和排污许可证的算法。但这种算法与经开区自2012年开始使用的算法算出的结果相差较大。如京东方，相差的数值可能达到上千吨。对于经开区来说，最好是有一套固定的算法，方便进一步开展工作。

#### 建议 2

目前，经开区企业的VOCs治理水平普遍已经很高了，继续减排对企业有一定压力。目前开发区里VOCs排放排名前十的十家企业可能占经开区总VOCs排放的80%-90%，但针对这十家企业，能采用的治理措施，能管控的环节都已经管控到位了，VOCs排放水平可能已经远低于国家的标准。但由于行业特点，排放总量仍然较大。经开区目前的管控重点已经转向排放量较小的企业（1-2吨），但大部分小企业也都已经配备了高端的末端治理设施。继续再治理可能会有些过度治理的倾向。因此，无论对于经开区还是企业，在VOCs的继续治理上都有一种无从下手的感觉，希望得到一些建议，看看还有什么潜力可以挖掘。

#### 建议 3

关于使用低VOCs原料的问题。2019年，生态环境部出台了VOCs无组织排放管控技术指南，其中规定工艺原材料的VOCs含量如果低于10%，可以不安装收集设施和末端治理设施，进行直排。现在经开区有些企业马上就能达到这个标准，那么这些企业是否可以进行VOCs的直排？举例来说，有个印刷企业，投入一百多万专门研究低VOCs技术，实现了全环节的技术更新，目前原料VOCs含量可以低至3%。但是目前对于这个无组织排放标准里的10%的概念的理解还是不够明确，需要进一步明确。

#### 建议 4

有关污染物监测。对于网格化监测设备的布点的选择，在精细化管控程度上还可以提高。举PM<sub>2.5</sub>的例子。在别的区的范围内可能一个3 km × 3 km或者500 m × 500 m的网格内只有几家企业，而经开区在一个网格化的格点内可能有十几家或者几十家单位，即使检测出来的PM<sub>2.5</sub>浓度在这个格点内较高，也不能准确定位到哪一家单位。而且，我们认为这些值不是实际测量值，而是建模算出来的。另外，100个小微站使用的设备，包括采样、分析、测量等功能，一共两万块钱，我们认为是测不准的。但是我们觉得趋势是对的，就是在都测不准的情况下，可以通过高低趋势的判断来确定污染物浓度的变化。而且我们认为区内划定的很多点是有问题的，测量的结果也是不精确的。

### 2.2.3 经开区重点企业调研 – 中芯北方

#### 2.2.3.1 企业概况

中芯北方集成电路制造（北京）有限公司（以下简称“中芯北方”）成立于2013年7月，是中芯国际与北京市政府共同投资设立的12寸先进制程集成电路制造厂。中芯国际作为中芯北方的控股股东和技术提供来源，全权负责中芯北方的生产和运营。企业经营范围包括：半导体（硅片及各类化合物半导体）集成芯片的制造，与集成电路有关的开发、设计服务、技术服务、光掩膜制造、销售自产产品等。

中芯北方具备两座月产 3.5 万片的 300mm 晶圆厂。第一座晶圆厂主要生产 40 纳米和 28 纳米 Polysion 工艺产品；第二座晶圆厂具备 28 纳米 HKMG 工艺及更高技术水平（厂房在建中）。完全达产后，中芯北方将与中芯国际北京厂一起成为国内集成电路制造的重要生产基地。

中芯北方目前已拥有国内外客户 30 余家，产品涵盖通用逻辑电路、低功耗逻辑电路、混合电路和射频等领域；产品分别应用到移动电话、无线连接、数字家庭、汽车电子、微处理器、智能卡、闪存等等。其中使用 28nm 多晶硅栅极工艺与高通合作生产的骁龙处理器，是国内代工厂率先实现量产的 28 纳米系统级芯片。

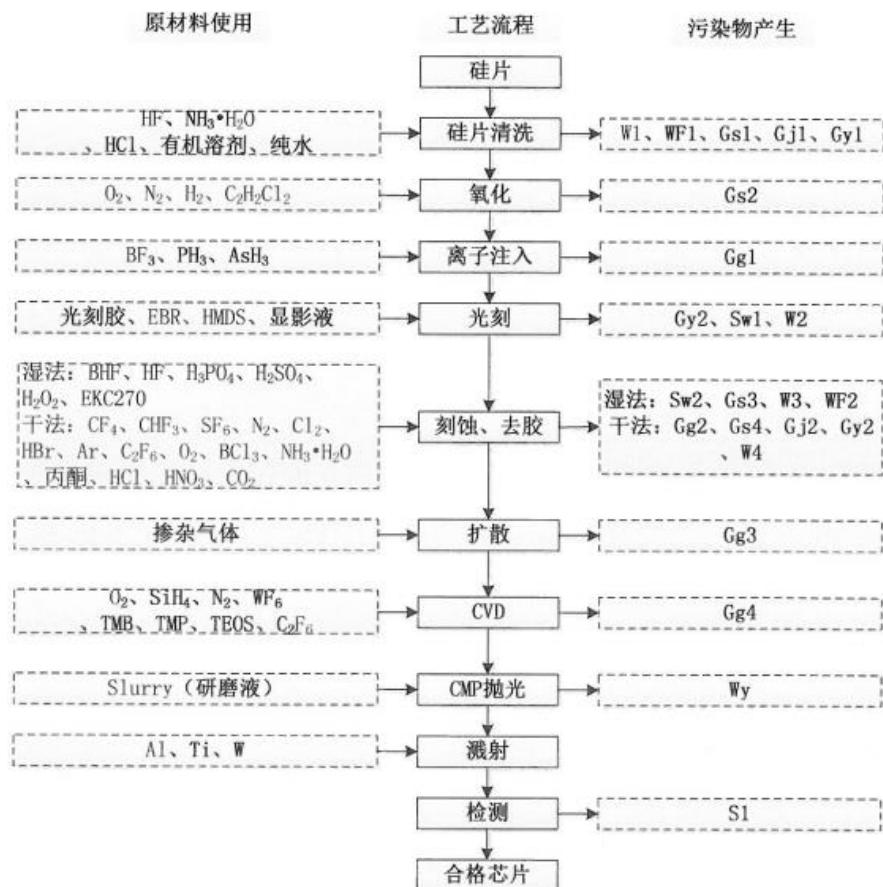
中芯北方目前只负责芯片代工，没有封装测试等业务，也没有研发实验室，一年生产 365 天。

中芯北方通过了 ISO 14001、ISO 50001 和 ISO 14064 认证。

### 2.2.3.2 VOCs 排放源和处理设备

芯片制造主要涉及的工序、使用的原材料和产生的污染物如下图所示。

图 12. 集成电路制造主要生产工序、材料消耗与污染物排放示意图



这其中，主要涉及到 VOCs 排放的是硅片清洗、光刻和刻蚀等步骤，主要是因为过程中会用到大量有机清洗剂对芯片进行清洗，另外光刻过程中使用的光刻胶、稀释剂（OK73）和显影液等的 VOCs 含量也较高。

按照中芯北方最新排污许可证上的信息，中芯北方共有 43 个废气排放口，涉及非甲烷总烃排放的有 6 个，其中有 2 个为备用排放口，另外 4 个为在用排放口。由于 VOCs 不算主要污染物，因此无排放限值和总量限值。

目前中芯北方的原材料年用量如下表所示。

**表 20. 中芯北方与 VOCs 排放相关的原材料年用量**

名称	年用量 (kg)
丙酮	504
光刻胶	81,598
光刻胶去除剂	79,840
稀释剂	966,208
六甲基二硅胺	2,307
显影液	369,360

由于工艺的要求，芯片的制造是在恒温恒压（微正压）的超净间内的全密闭环境下完成的。超净间通过新风系统换气（HEPA 过滤网+化学过滤）。所有工业流程中产生的废气均通过各机台的唯一密闭集气罩，先经酸/碱喷淋吸收塔处理后，收集至沸石转轮-RTO 设备中进行后处理后通过排气筒排放。后处理设备目前共有三台，采用一用两备的模式，后续可能会改为两用一备，VOCs 去除效率可达 95%以上。设备每周有专人进行运维，也有定期校正。此外设备内部设有预警值，到达预警值会报警，会有专人负责检查。目前，收集设备的总风量在 130,000 m<sup>3</sup> 左右。除有机废气排放口外，中芯北方还有 13 个酸性废气排放口和 5 个碱性废气排放口。

中芯北方有两个化学品库，其中一个是危险品库，有排气设施，采用活性炭吸附进行处理（主要针对异常泄漏）。活性炭无再生，两年进行一次更换。普通化学品库暂时没有排气设施。所有原材料运输、转移、混合过程均为密闭操作。

无组织排放方面，由于工艺采用整体密闭机台，无组织排放较少，测量得到的厂界 NMHC 浓度值与背景值接近。

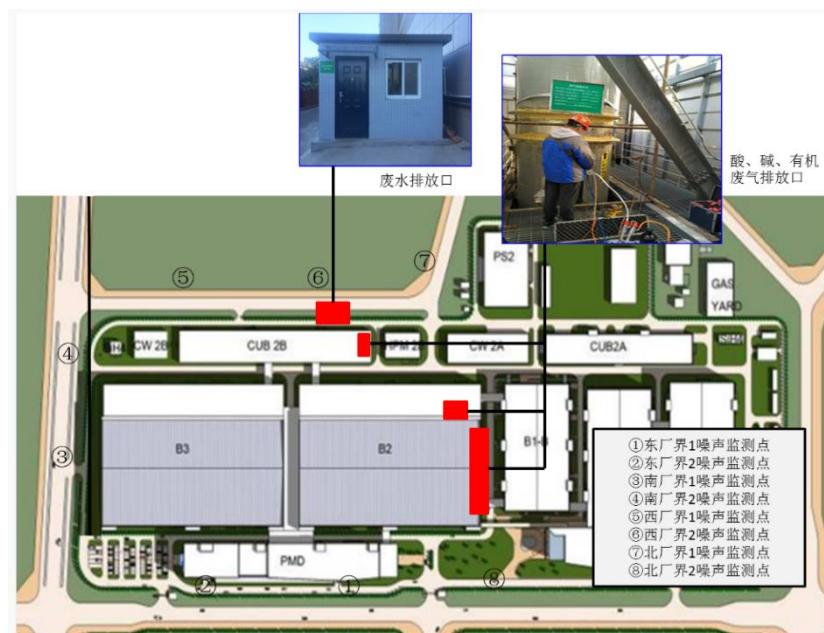
按照中芯北方自己的测算，2019 年中芯北方的总 VOCs 排放量在 0.4 吨/年左右，2020 年总工业废气排放量为 683,708 万立方米，非甲烷总烃产生量 0.55 吨<sup>52</sup>，其中 2020 年 1-11 月约产生 0.5 吨。按照 1-11 月生产了 34.45 万片芯片计算，则每片芯片的 VOCs 排放约为 1.45 g。

### 2.2.3.3 VOCs 监测

监测上，中芯北方采用的是 Thermo Fisher 的在线 GC-FID，每分钟监测 NMHC 的数值。除自动监测外，公司还有手动监测，频率为 1 个月 1 次，主要监测 NMHC。监测记录和数据报告等保存 3 年。

**图 13. 中芯北方监测点位示意图**

<sup>52</sup> 来源：《中芯北方集成电路制造（北京）有限公司 2020 年自行监测年度报告》



按照 2021 年 3 月的公开监测数据，中芯北方 2020 年对企业 21 个废气监测点分别开展了 12 次监测，对厂界无组织废气进行 1 次监测。有组织排放口 NMHC 年平均监测浓度为  $1.10 \text{ mg/m}^3$ ，监测浓度最大值为  $3.24 \text{ mg/m}^3$ ，最小值为  $0.45 \text{ mg/m}^3$ ，达标率 100%。最新的有机废气排口数据（2021 年 1 月）为  $3.05 \text{ mg/m}^3$ ，低于北京市要求的  $20 \text{ mg/m}^3$ ；厂界 NMHC 浓度为  $0.86 \text{ mg/m}^3$ ，低于北京市要求的  $1 \text{ mg/m}^3$ ，但较为接近。

由于 RTO 设施是两用一备，目前的备机上还未安装自动监测设备。企业也希望得到相关建议，即备机在基本不使用的情况下，是否需要安装在线监测设备并连线。

由于密封点数量较少，管路复杂，目前中芯北方还没有开展 LDAR 工作。

## 2.2.4 经开区重点企业调研 – 北京奔驰

### 2.2.4.1 企业概况

北京奔驰汽车有限公司（以下简称“北京奔驰”）成立于 2005 年 8 月 8 日，是北京汽车股份有限公司与戴姆勒股份公司、戴姆勒大中华区投资有限公司共同投资，集研发、发动机与整车生产、销售和售后服务为一体的中德合资企业。

目前，北京奔驰业已成为戴姆勒全球同时拥有前驱车、后驱车、电动车三大车型平台，以及发动机与动力电池工厂的合资企业，并实现了发动机核心零部件与整机的出口，成为梅赛德斯-奔驰全球生产网络的重要组成部分。以此为依托，北京奔驰引入了梅赛德斯-奔驰八大主力车型：EQC 纯电 SUV、AMG A 35 L、长轴距 A 级轿车、长轴距 C 级车、长轴距 E 级车、长轴距 GLC SUV、GLB SUV 以及 GLA SUV。同时，北京奔驰还生产四款发动机和一款动力电池。

此外，作为中国最先进的世界级汽车制造企业，北京奔驰在汽车制造行业率先使用了水性涂料，从源头降低了对大气环境的污染，并建设了污水处理中心。在企业发展及规划中坚持做到“高技术、低污染”；坚持走新型工业化道路，发展循环经济，保护生态环境，形成低投入、低消耗、低排放和高效率的节约型增长方式，制造“绿色的产品”，博采众长，脚踏实地，在快速发展的同时，承担好企业的环保责任，履行可持续发展的承诺。按照北京奔驰最新的规划，2030 年，全公司达到 50% 车为新能源车；2039 年达到 100% 车均为新能源车。另外，北京奔驰计划在 2030 年实现碳中和。

北京奔驰推行环境管理体系的 PDCA 的管理模式，并持有 ISO 14001 环境管理体系认证。

北京奔驰一年生产 277 天，周末双休。

#### 2.2.4.2 VOCs 排放源和处理设备

整车制造业的 VOCs 排放主要来源于汽车的喷漆过程。本次调研所在的奔驰 MRA 工厂 2 号喷漆房大小为  $340\text{ m} \times 63\text{ m}$ ，总面积  $48,515\text{ m}^2$ ，整体自动化率达到 70%，产量约 30 辆/小时，主要生产奔驰 GLC 和 E 级轿车，共使用 16 个颜色的色漆和 2 种清漆。喷漆采用免中涂工艺，每辆车共上 2 道色漆和 1 道清漆，可以节省 30% 的成本和 20% 的涂料使用量。原料漆不需要稀释，但需要进行搅拌。所有色漆（VOCs 含量约  $200\text{ g/L}$ ）和清漆（VOCs 含量约  $300\text{ g/L}$ ）均符合国家和地方相应标准。除漆外，喷漆过程还是用清洗剂（需稀释至 6% 使用）和胶（主要成分为醋酸丁酯和乙二醇丁醚），也会带来 VOCs 排放。

喷漆房整体密闭，喷漆采用全自动喷涂，共有 36 台喷涂机器人和 24 台开门机器人，废气通过干式过滤进入后处理系统。集气风量约为  $0.3\text{ m/s}$  至  $0.5\text{ m/s}$ ，共有 78 个收集漏斗。干式过滤采用  $15\text{ }\mu\text{m}$  石灰，主要吸附大分子树脂和颜料。80% 的石灰循环使用，剩下的 20% 经测算一般含漆量小于 5%，作为普通固废处理。

烘干方面一共有 5 个烤箱，废气采用 TNV 进行处理和回收。

后处理设备方面，MRA 工厂 2 号喷漆房采用沸石转轮-TAR，去除效率在 95% 以上，排风量约  $7,000\text{ m}^3/\text{h}$ 。

除涂装车间外，总装车间也有补漆操作，后处理设备采用活性炭吸附，使用频率较低，一天运行时间不到一个小时。

北京奔驰自行测算的 2020 年 VOCs 排放量为 389.865 吨，或  $6.669\text{ g/m}^2$ ，采用系数法计算<sup>53</sup>。

现场调研时发现，喷漆房的混漆间不是密闭车间。另外，除喷漆房整体密闭外，整个喷漆车间通过新风系统连接至大气，无废气收集和后处理系统。

此外，本次调研未参观的 MRA 工厂 1 号喷漆房仍使用文丘里湿式除漆，企业也在探索能够相对以较低成本实现湿式至干式转换的方法。

#### 2.2.4.3 VOCs 监测

北京奔驰共有 133 个废气监测点。其中 MRA 工厂采用的自动监测设备为 GC-FID，约 1 分钟检测 1 次。另外，北京奔驰每月还会进行人工监测，以及在车间内进行无组织监测，由聚光环保负责。2020 年共监测 NMHC 663 次，年平均检测浓度为  $1.6\text{ mg/m}^3$ ，监测浓度最大值为  $23.7\text{ mg/m}^3$ ，监测浓度最小值为  $0.07\text{ mg/m}^3$ ，达标率 100%。

图 14. 北京奔驰 MRA 工厂监测点位示意图

<sup>53</sup> 来源：《2020 年北京奔驰汽车有限公司自行监测年度报告》



## 2.2.5 经开区重点企业调研 – SMC 中国

### 2.2.5.1 企业概况

SMC（中国）有限公司是 SMC 公司于 1994 年 9 月在北京经济技术开发区投资建立的生产工业自动化气动元件的外商独资企业。20 多年以来，SMC 的技术与产品在汽车制造、半导体芯片、液晶面板、二次电池、太阳能电池、生物制药、食品包装等生产自动化装备中发挥着重要的作用，公司的全部产品符合 RoHS 标准，在满足中国国内需求的同时，产品直接出口到全球 55 个国家与地区，成为全球气动产业最重要的研发与生产基地之一。SMC（中国）有限公司从国外引进数控精密专用加工机床、表面处理生产线、自动/半自动组装、检测生产线等世界一流的设备和于日本、德国、美国同等成熟制造工艺。目前形成了挤压成型、阳极氧化、喷漆涂装、自动加工、组装配作业等一整套国际先进水平的生产线，是北京市第一批认定的高新技术企业及中国制造 2025 国家重点发展的“强基”工程，是工信部绿色制造试点立项企业。

本次调研场所为 SMC 第二工厂，因为 SMC 第一工厂主要生产非标品，运行时间较短，一天仅一至两小时左右。

### 2.2.5.2 VOCs 排放源和处理设备

SMC 生产工艺流程中主要涉及 VOCs 排放的工艺是涂装，零件首先经过喷漆室进行人工喷漆，之后进入流平室，最后进入干燥室进行干燥，得到成品。SMC 零件年产量约为 1300 万件，但大多数不需要涂装。所用涂料符合国家和地方标准，VOCs 含量约为 478 g/L，用量约为 5-6 吨/年。稀释剂使用 SMC 专用稀释剂，主要成分为 2-丁酮，含量 99.5% 以上。涂料使用前需要进行手工调漆。除涂料外，生产过程还用到少量胶粘剂。

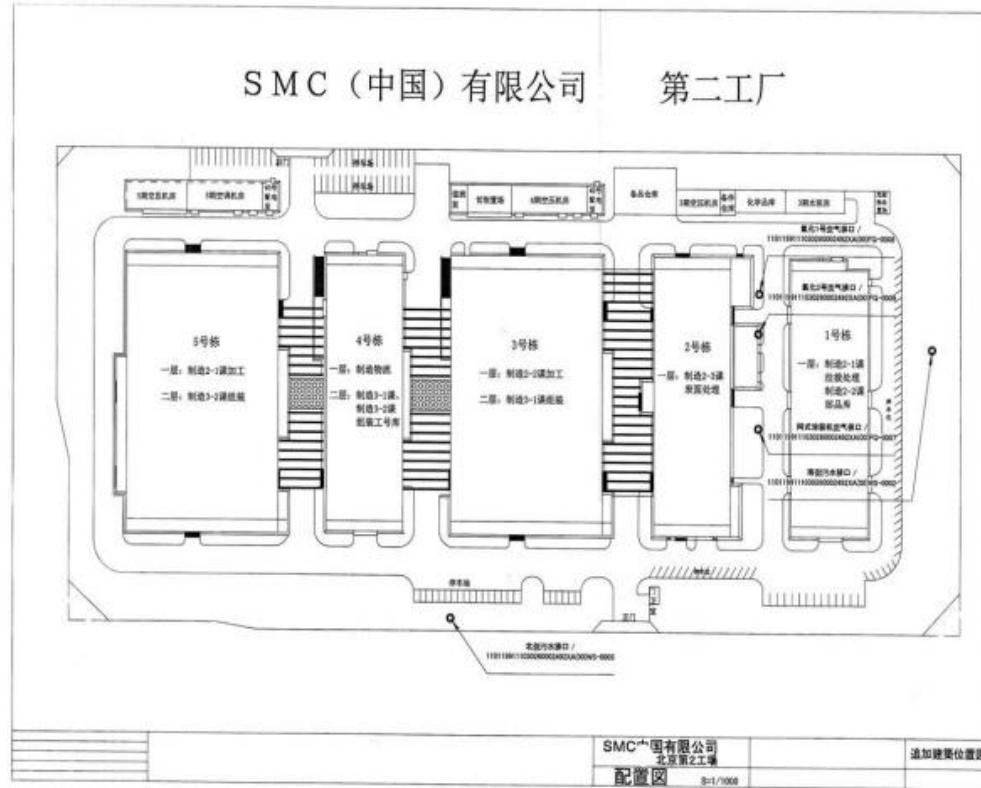
为了控制 VOCs 排放，SMC 将所有涉及涂装工艺的工序改造为微负压密闭空间（在车间内密闭），废气收集后进入吸附浓缩（沸石转轮）加催化燃烧装置进行处理，处理风量 15000 m<sup>3</sup>/h，催化燃烧功率 45 KW，去除效率在 90%以上。

SMC 自行测算的 2020 年 VOCs 排放量为 1.604 吨，排气量为 10,800 万立方米<sup>54</sup>。

### 2.2.5.3 VOCs 监测

监测方面，有机废气排放口安装有 VOCs 自动监测设备，另有每月一次的手动监测和每年一次的厂界监测，由第三方认证机构负责。

图 15.SMC 中国第二工厂监测点位示意图



### 2.2.6 调研总结

经开区是北京市最大的综合性工业园区，也是非常具有代表性的工业园区。由于园区面积大、企业数量多而密集、涉及行业及工艺复杂，难以在短时间内取得详尽的调研结果。但根据课题组的线上调研和实地调研的结果，可总结出以下几条初步调研结论：

- 经开发区对企业 VOCs 管控的要求较高，减排效果也很好。经开发区管委会和企业对 VOCs 管控都非常重视，绝大部分企业都已经安装了较为高端的 VOCs 管控设备。另外，管委会对日常监管、与企业的沟通、以及激励措施等都有严格的标准。因此，经开区整体的 VOCs 控制和减排效果都非常显著。

<sup>54</sup> 来源：《2020 年 SMC (中国) 有限公司自行监测年度报告》

- **企业对于减排成本的效益性较为关心。**对于下一步的工作，企业主要关心的是有没有比较先进的技术或管理措施，能够让企业在进行环保改造的时候在保证效果的情况下尽量节约安装和运营成本，避免花钱导致“过度治理”的问题。
- **生态环境保护部门可以通过进一步明确法规和标准的要求，帮助园区和企业实现更好的 VOCs 管控。**与燕山石化调研结果相似，目前无论是园区管委会、还是企业，都需要生态环境保护部门提供更多指南和文件，指导地方开展 VOCs 减排和控制工作。例如，VOCs 的核算是否有统一的方法、使用低 VOCs 含量原料企业在实际运行中是否可以不进行废气收集和治理、后处理系统的备机是否需要安装 VOCs 治理设备等，都是主管部门可以给予更多指导，或者给出更明确要求的问题。

### 3. 工业园区 VOCs 管控策略及典型案例

实现工业园区 VOCs 的综合治理有两条主要途径：

- 运用工业园区的优势和特点，对 VOCs 排放进行监管，并促进减排；
- 进行 VOCs 排放源的精细化管控。

一般而言，直接实现 VOCs 减排主要是针对企业和 VOCs 排放源进行直接管控，通过源头替代、过程控制、末端治理等方式对 VOCs 排放提出要求。然而，工业园区由于其独特的优势和特点，也可以在 VOCs 的综合治理中发挥明显的作用。本章将对工业园区的 VOCs 管控策略和典型案例进行总结，而第四章将针对北京市的重点工业类型，介绍 VOCs 精细化管控的国际经验。

#### 3.1 工业园区 VOCs 管控策略概述

工业园区的开发需要周密的规划和监管。园区的规划、设计、建设、运营、管理和评估过程均有可能对园区现有或未来的 VOCs 排放产生影响。因此，对工业园区的 VOCs 进行管控需要从工业园区规划和管理的全流程上进行思考。本节将重点介绍几个工业园区规划和管理过程中可能进行 VOCs 管控的方法和措施。

##### 工业园区规划

工业园区的规划和是计划新工业园区和对现有园区进行升级改造时最重要的步骤之一。针对空气污染物排放或 VOCs 排放，工业园规划的主要考量因素是“环境敏感度”和“累积影响”，环境敏感度指的是考量规划工业园区所在位置是否处于环境敏感区域，或会对周边的环境敏感点产生较大影响；而累积影响则指的是集中于工业园区的企业群是否会对当地的 VOCs 排放和臭氧浓度产生显著影响。工业园规划对园区的选址、规模、工业类型及企业准入条件有重要影响。

一般而言，工业园区的规划主要需要对包括 VOCs 排放在内的空气污染物排放及其影响做如下评估：

- 找到工业园区周边的环境敏感点和敏感地区；
- 对预期企业排放进行估算并进行空气扩散模拟；
- 根据模拟浓度对敏感点进行健康风险分析；
- 确定园区规划的可行性、缓冲区大小以及对公共设施和减排措施的需求。

以美国加州的洛杉矶市为例。第三章提到，美国较少有集中和封闭式的“工业园区”，而更多是“工业区域”。洛杉矶市的工业区域分为三种类型：重工业区主要引进大型工业企业和设施，包括大型制造业、航空、大型交通与物流设施或集中分配中心、炼油厂、金属冶炼厂等等；轻工业区主要包括服装制造业、家具制造业、包装印刷业、生物/医药研究和制造业等；工作室和制造区域主要包括需要额外空间和电力设施，但不会产生大量污染物排放的企业类型，包括电影工作室/制片厂、数字录音室和影音工作室等等。根据环境影响和设施类型的不同，工业区域又可细分为以下几种类型<sup>55</sup>。

**表 21.洛杉矶市工业区域类型**

工业区域代号	类型
M-1	轻工业
M-1.5	受限制的重工业
M-2	重工业（制造业）
M-2.5	航空器及其他重工业
M-3	未分类

<sup>55</sup> [https://planning.lacity.org/odocument/f6a208f7-e0d3-4896-a6dc-8cec5fa97d86/attachment\\_b.pdf](https://planning.lacity.org/odocument/f6a208f7-e0d3-4896-a6dc-8cec5fa97d86/attachment_b.pdf)

MPD	制造业-工业规划发展区
B-1	缓冲带
B-2	角落缓冲带

每种工业区域都有其特定的企业类型及要求，且需要随洛杉矶市的总体规划进行更新。在项目批准的过程中，洛杉矶市主要是运用累积影响的概念。在 **California Environmental Quality Act (CEQA)** 的定义中，（一个项目）有累积影响指的是“当把这一项目和其他项目，包括过去的项目、现在正在进行的项目、以及未来可能发生的项目联合起来考虑的时候，该项目对环境造成的增量影响是显著的。”因此，工业园区的规划方案（如上面提到的总体规划）和项目规划都需要编写环境影响评价报告（EIR），且在报告中需要分析项目对环境造成的累积影响。对于单个设施和排放源，在新排放源审查过程中，对于 NAAQS 的达标区，要进行 PSD 的相关分析，此分析中除了要求项目源本身对于空气质量的影响要小于一定限值，也要证明项目源与周边其他源一起不会对空气质量达标构成威胁。另外，运行许可申请也有评估累积影响的相关要求。通过这种方式，洛杉矶市能够尽量控制其工业区域的排放对周边社区及敏感点的健康影响，并保持城市的发展活力。

### 集中式公共设施和公共服务

许多工业园区会建设或引进集中式公共设施，帮助企业进行废物、废水的集中处置或回收利用，在减少企业处置压力和生产成本的同时提升材料、水和能源的使用效率，减少污染和浪费。一般来说，与 VOCs 排放相关的集中式公共设施包括如下几类：

- 物流集运中心和公共仓库
  - 这类设施的主要优势是优化园区的交通流量，同时为企业提供灵活的物流和仓储服务，从而实现园区内交通源的减排。
- 清洁能源（天然气电站、可再生能源等）
  - 这类设施向企业提供清洁的外部电力供给，从而减少企业对自行发电和高排放强度电力的依赖，从而降低直接或间接排放。
- 集中式废水处理站
  - 这类设施收集园区内多个企业的废水统一处理，并确保对经处理的污水的处置或再利用，从而降低企业对废水处理的需求，并减少分散式废水处理过程中产生的排放。
- 废物处理/再利用设施
  - 这类设施主要负责集中处置园区内不同企业产生的废弃物，收集可再生/可回收部分，并促进资源的循环利用，从而降低园区企业的成本和排放，与 VOCs 排放相关的设施包括溶剂集中回收设施和活性炭集中再生设施等。
- 集中工业服务设施
  - 这类设施主要负责将某类工艺操作，如涂装、包装印刷等集中到园区统一设施完成，从而降低园区企业的成本和排放。此外，这类设施也包括引入的三方维护企业、废物管理企业等。

集中式公共设施往往是生态工业园区实现“工业共生”（*industrial symbiosis*）的优先考量项目。例如，瑞典的赫尔辛堡商业园大约有 20 家化工和服务公司。该园区企业均属于能源密集型产业，总能源需求很大，因此园区管理方通过工业热回收和外热反应进行企业的余热回收，回收率在园区年总能源需求的 60%，其中主要的热量来源于园区内的硫酸厂、过氧化氢厂和盐酸厂。这些回收能源由园区的能源分配中心进行统一分配，除通过蒸汽发电供给园区电力外，也作为地区供热供应给附近的赫尔辛堡市，占地区总供热

需求的 1/3。该举措不仅大大提升了园区的能源利用效率，也显著降低了来自于化石燃料燃烧所产生的二氧化碳和污染物排放<sup>56</sup>。

需要注意的是，集中式公共设施与园区的规划和设计息息相关。园区所需的集中式公共设施的类型应与规划中预期入驻的企业类型相对应，且在设施设计时需要满足相关企业类型的要求和特点。同时，

### VOCs 排放监测与监管

工业园区的一大优势是可以对园区内的企业进行集中和统一的监督和管理，从而实时监控企业的 VOCs 排放水平，并及时发现可能的 VOCs 超排事件。国外的工业园区或区域的 VOCs 监测主要是以发现泄漏点和排放事件、维护人体健康为主，如 3.4.3 节介绍的 SCAQMD 的 VOCs 监测项目，纽约州的 Flushing 工业园区在设施建设过程中使用 PID 监测工人工作区域的 VOCs 浓度<sup>57</sup>，加拿大的 Kuusamo 工业园区使用走航监测回应周边居民的异味投诉<sup>58</sup>等等。

相比之下，我国的很多工业园区已经建设了完整的园区 VOCs 监测预警体系，南京的江北新材料科技园是国内在 VOCs 监测上做的最好的工业园区之一。江北新材料科技园每年面临的废气治理和信访投诉压力非常大，为此，园区开发了新一代大气监控预警系统。大气监控预警系统包含 5 个固定自动监测站、1 辆移动监测车和 1 个数据中心，并配备 24 小时数据分析和异常溯源排查团队。“五”站采用 GC-MS 和 PTR-TOF，实现片区重点 VOCs 的广覆盖、快响应和准监测。“一车”为江苏环保产业技术研究院自主研发的国内首台具备氨、硫化氢等恶臭因子监测能力的移动系统，可通过实时绘制污染地图的方式，对园区 100 多种特征污染物进行定性定量移动监测，解决园区恶臭因子难以监测、难以管控等问题。数据中心的智慧平台首次采用基于站点数据修正风向场的高分辨率拉格朗日计算模型，结合园区气态污染物特征因子“指纹库”及大数据分析，预警后 3 分钟内实现大气问题的“定向”溯源<sup>59</sup>。通过该系统，江北新材料科技园得以及时发现并精确追溯可疑排放源，做到科学监测与科学监管，有效对企业废气排放进行监管，并缓解异味扰民等情况。

图 16. 江北新区新材料科技园企业园区边界及周边敏感区大气监测数据及异常因子排查溯源服务图示



<sup>56</sup> <https://www.sustenergy.org/awards/industrial-symbiosis-kemira-kemi/>

<sup>57</sup> [https://www.dec.ny.gov/data/DecDocs/C241051/Work%20Plan.BCP.C241051.2007-12-21.Appendix\\_SMP\\_.pdf](https://www.dec.ny.gov/data/DecDocs/C241051/Work%20Plan.BCP.C241051.2007-12-21.Appendix_SMP_.pdf)

<sup>58</sup> <https://open.alberta.ca/dataset/0ce7bc4d-747b-4152-8df7-3a7f050e49e7/resource/f8590e41-dd4f-4b16-898a-267a93e68cc0/download/8795.pdf>

## 激励政策、合作机制与培训

合理的激励政策和措施对园区的环境发展有很好的辅助作用。激励政策一般分为两种，一种用于吸引绿色/高能效企业入驻，如为该类型的企业提供建设补助或税收减免；另一种用于鼓励企业进行减排，例如对排放控制设备进行补贴等等。例如，SCAQMD 向所有企业提供自愿性减排补助，如果企业实现了与地区总体规划相一致的减排，则可向 SCAQMD 申请补贴。SCAQMD 经过评估后会进行打分，并选择优秀企业给予一定的资金补助<sup>59</sup>。

园区还能够为企业提供有效的合作机制、平台和培训项目，从而提升企业的减排能力和意愿。例如，瑞典工业园区会向企业提供与工作相关的交流论坛和非正式交流活动，如体育俱乐部等，增进企业的交流和合作，并确定环境改善的机会。很多非正式会议建立了跨越公司边界的纽带，从而促进了知识的分享和共同提高。此外，园区长期向企业提供专家咨询渠道，并为企业员工提供相应的培训机会。这些措施极大的加强了企业的环境意识和能力，促进了园区的环境发展。

由上可见，工业园区的各个流程均有实现 VOCs 减排与管控的机会。很多时候，工业园区需要综合运用多个方法进行综合管控。此外，根据管控主体的不同，能够或适合采取的管控策略也有所差异。一般而言，以“公司”的方式进行市场化的管理能够更有效的吸引相关企业和搭建企业合作平台，而政府进行管理的模式则可以带来更强有力的监管政策和执行力度。本章的后续章节将对典型工业园区的管控主体、管理模式和 VOCs 亮点管控策略进行分析和介绍。

## 3.2 典型工业园区 VOCs 管控经验

世界上很多工业园经过长时间的规划和发展，都已经在园区管理和 VOCs 管控上取得了不错的成绩。这些经验值得参考和借鉴。本节将以几个国际和国内的工业园为例，介绍各工业园在工业园区管理上的亮点和特色，这其中包括：

- 新加坡裕廊工业园，以先进的规划理念和完善的公共设施减少污染，并实现企业的和谐共生。
- 新竹科学工业园区，由政府下属机构全权监管的高科技园区，通过完善的企业准入、管理和监测维持环境质量。
- 德国赫斯特工业园，管理企业向园区提供一体化的环境问题解决方案，来提高能效并降低企业的环境影响。
- 上海化学工业经济开发区，国内园区管理做的最好的工业园区之一，拥有完善的 VOCs 综合管理体系。

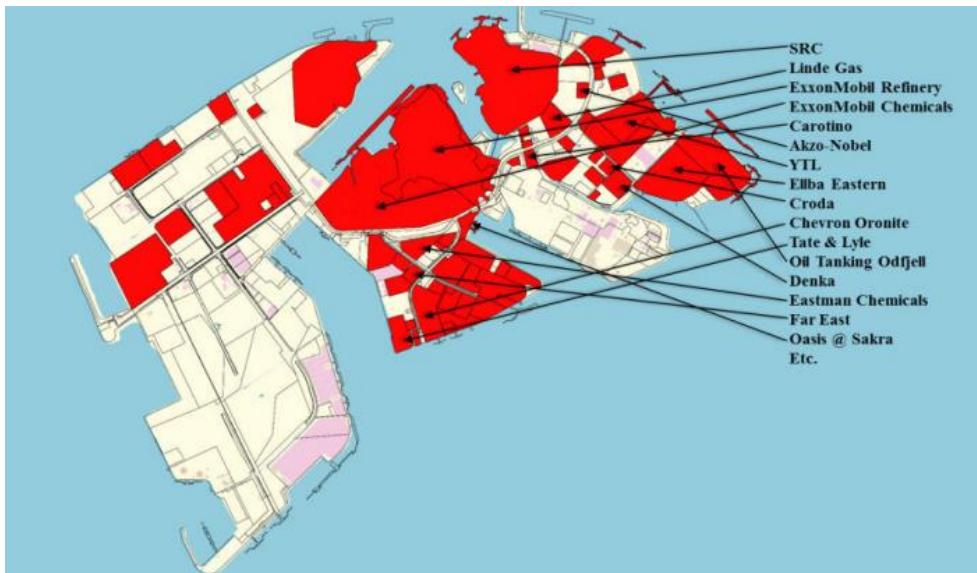
### 3.2.1 注重规划与公共设施-新加坡裕廊工业园

新加坡是一个城市型国家，其面积仅有 728 平方公里，仅为北京市面积的 4.5%。由于面积的局限，新加坡在发展上以规划优先，最大程度上推进城市的统一规划和发展。其总体发展思路是将所有重工业迁至新加坡岛的西部和离岸工业园中，而裕廊工业园的规划即为其中的典范。从园区定位规划开始，占地 32 平方公里的裕廊工业园就以土地集约利用化、资源利用效能化、产业配套便利化为原则进行设计和建设。

1968 年，工业园区内的厂房、港口、码头、铁路、公路、电力、供水等各种基础设施相继完工。同年 6 月，下属于新加坡贸易及工业部的裕廊管理局（JTC）成立。作为具有半官方性质的市场化管理机构，JTC 专门负责经营管理裕廊工业园和新加坡其他工业园。JTC 统一控制全国工业用地和各类园区供给，并由招商队伍统一负责招商，这从一定程度上避免了园区多头管理的职责划分问题，同时又实现了土地、产业、资本等资源的全国配置。裕廊工业园从自身竞争优势和就业情况出发，选择了炼油业为主导产业，后逐步推进升级，经历了劳动密集型、技术密集型、资本密集型和知识密集型四个发展阶段，不断进行产业优化。目前，该工业园拥有 100 多家石油、石化和特种化学品公司，其中包括 ExxonMobil、Shell、BP 等国际知名炼油巨头和 BASF、DuPont、Mitsui Chemicals 等大型国际化工企业，是世界第三大的石油炼化中心。

<sup>59</sup> <https://www.aqmd.gov/home/air-quality/clean-air-plans/air-quality-mgt-plan/voluntary-incentive-program>

图 17. 新加坡裕廊工业园地图



新加坡的环境主管部门是新加坡可持续发展及环境部（MSE），主要负责能源、气候、环境质量、公共卫生等方向；其下设新加坡国家环境局（NEA），主要负责法规的执行与监管。MSE 相信环境问题在很大程度上可以通过适当的土地使用规划来避免，基于此理念，MSE 制定并施行了强有力的土地使用条例。该条例基于注重实用主义和节约成本的方法的概念规划来治理污染，并将环境、经济和社会因素都纳入考量。这个规划每 10 年就会重新评估一次，并且部分细化为一个每 5 年评估一次的中期战略蓝图。在企业准入方面，NEA 要求企业在土地使用规划、开发控制和建筑控制的各个阶段都会考虑到环境因素，以尽量减少污染的影响，其一般流程如下<sup>60</sup>：

- 工业选址咨询（ISC）：NEA 要求企业选址必须与居民区有一定距离。新加坡将工业企业分为四种类型：清洁工业、轻工业、一般工业和特殊工业，所有的工业类型都必须建设在规划的工业用地上。这四种类型中，只有清洁工业和轻工业可以建设在与居民区相邻的工业用地上，而特殊工业和一般工业则只能建设在远离居民区的工业园中（如裕廊工业园）。此外，在这个阶段，企业还需要与 NEA 下属的发展控制部门（DCD）咨询，就所需的清洁技术、污染控制设备、废物管理手段等方面展开初步讨论。
- 环境信息（EI）：NEA 要求企业为其项目提供相应的环境信息，包括简述高度限制、健康和安全缓冲区的距离等等，该申请必须在提交发展控制计划之前提交。
- 发展控制（DC）：在这一阶段，企业需要编制并提交相应的发展控制计划。该计划需要保证企业能够满足所有的环境相关要求，计划提交后由 DCD 进行批准。作为发展控制计划的一部分，企业需要进行污染控制研究（Pollution Control Study），确认排放源、排放污染物种类及排放量，评估排放对空气质量的影响，识别污染控制措施。
- 建筑计划（BP）：该阶段要求企业确保待建项目的建筑计划和相关的建筑服务（如固体废物和污染控制系统）能够满足相关法规、守则和标准的要求。例如污染控制建筑计划就需要包括对待建的污染控制设备、污水处理厂、燃烧设备、储罐、焚烧炉等的相关信息。
- 临时占用许可证（TOP）：对于建设完成的项目，企业需要检查所有与环境卫生和污染控制相关的建筑工程已按照批准的建筑计划完成，并申请 DCD 的清关。DCD 会同企业一起开展现场检查，或要求企业提供相关材料。

<sup>60</sup> <https://www.nea.gov.sg/our-services/development-control/guidelines-for-building-plan-submission/building-plan>

- 法定竣工认证（CSC）：完成以上所有步骤后，DCD 会下发法定竣工认证，此时企业可以开始合法运营。

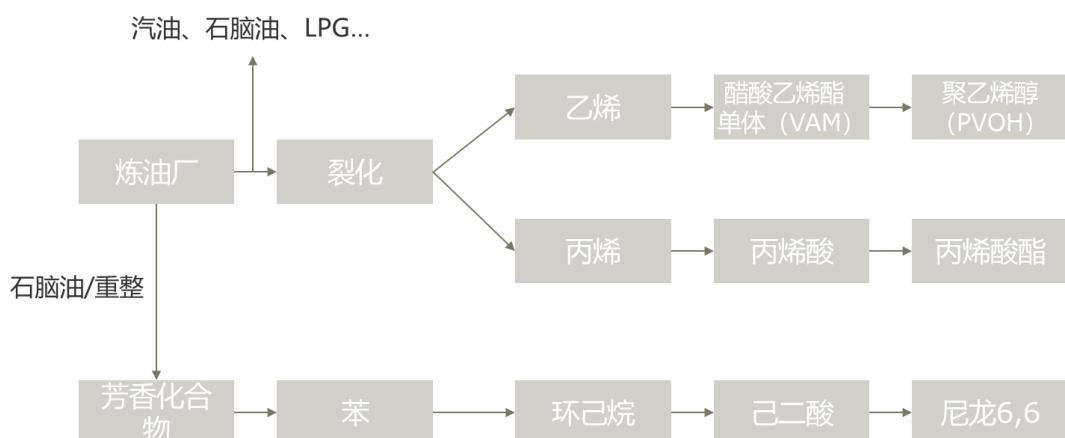
由上可见，裕廊工业园的企业准入制度和流程是较为严格的，且全过程都有环境主管部门的强力介入和监管。通过这种方式，新加坡能够保证所有的工业企业都按规划引入，并尽量减少污染和对人群的健康风险。

此外，根据 NEA 的要求，企业在运营阶段还需要定期进行排放源测试（Source's Emission Test），并安装使用实时排放监测系统，以确认排放合规性。根据 MSE 制定的《污染管制工作守则》（Code of Practice on Pollution Control），当任何企业的拥有者或运营者在经营厂址内进行任何工业工艺，或运行任何燃料燃烧设备、工业厂房的行为活动造或者允许大气污染物超过了该行为所规定的浓度或者排放速率的标准，即被视为违规。若没有规定的标准，则企业的业主或运营者有责任对于任何工业生产或者燃料燃烧设备以及工业厂房的使用需要依据已有的最佳的可实际操作的规定来防止或者将大气污染影响降到最低。根据新加坡环境保护与管理法案（Environmental Protection and Management Act）（94A 章）<sup>61</sup>，违规者将会受到如下处罚：

- 首次定罪处以不超过 20,000 新元的罚款，若还有持续违规的现象，自定罪日之后的全部时段或部分时段处以每日不超过 1,000 新元的罚款；
- 对于第二次定罪，处以不超过 50,000 新元的罚款，若还有持续违规的现象，自定罪日之后的全部时段或部分时段处以每日不超过 1,000 新元的罚款。

以上的企业审批和污染排放监管是由环境主管部门完成的。而作为工业园区的主要管理和招商机构，JTC 除引导企业完成以上审批流程之外，还负责引导企业形成上下游的产业集群。例如，裕廊工业园的石化产业就形成了一个“化学群”的战略形式<sup>62</sup>，通过集中投资形成化学簇群、上下游产业一体化的发展模式，在企业之间形成完整的上下游关系链。一个典型的石化链条如下图所示。

**图 18. 新加坡裕廊工业园的一个典型“化学群”**



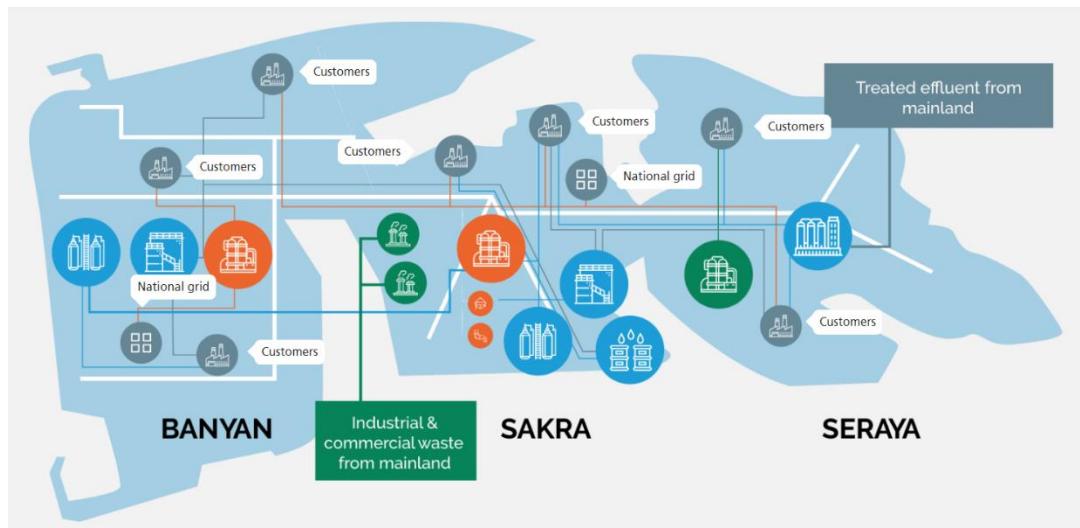
为了帮助企业打通上下游，JTC 在工业园区修建了种类齐全的公共设施，其中包括统一建设的地下管网和公用地下储存空间-裕廊岩洞。在促进能源和资源的回收利用方面，园区聘请咨询企业，设计并建设了“即插即用”的公共设施，如下图所示。这其中，灰色图标代表企业和国家电网，蓝色图标是各类污水处理和再生设施，绿色图标代表废物处理设施，而橘色图标则代表能源供给设施。这其中的许多设施都贯彻了循环经济的理念，并追求能源和资源的高效利用。例如，能源供给设施中包括热电联产发电站以及烧废物料和生物材料的锅炉。另外，统一的管网使工业园区得以将废气作为燃料合并到一个锅炉中，在实现了规模化的同时

<sup>61</sup> <https://sso.agc.gov.sg/Act/EPMA1999#pr67->

<sup>62</sup> <https://max.book118.com/html/2019/0803/7000100125002044.shtml>

也提升了能源效率<sup>63</sup>。废物利用方面，园区引入了集中式综合工业废物回收利用企业，可实现包括废金属回收、危废-能源转化、污泥处置、废水处理、一般废物回收、有毒废物处置、特殊化学品回收等多项功能。2020年，该企业还建设了全新的活性炭再生设施，可实现每日300吨以上的活性炭再生<sup>64</sup>。除此之外，园区还引入了专业的三方公司为企业提供设备维护和清洁等方面的服务。

**图 19.新加坡裕廊工业园的“即插即用”公共设施**



目前，裕廊工业园正在进行新一轮的产业升级，目标引入更多特种化学品生产企业，进一步扩展目前已形成的“化学群”的下游链条，从而实现更集中的资源利用和更好的园区发展。总的来说，通过统一的规划、管理和协调，以及严格的企业准入和管理机制，裕廊工业园引进了合适的企业并打通了上下游，有效地利用了园区的空间和面积，提供了“即插即用”的公共设施。这些措施既降低了企业的投资成本和物流费用，提高了产品的竞争力，又可以达到节能降耗和保护环境的效益，实现了园区的可持续发展。

### 3.2.2 政府机构的强力监管-台湾新竹科学工业园

中国台湾的新竹科学工业园位于新竹市区东南，于1980年设立，群聚于此的产业多为高科技产业，包括集成电路、电脑及周边、通讯、光电、精密机械及生物技术产业。经过多年发展，该园区不仅创造多项世界第一，更被誉为“台湾硅谷”。目前，新竹科学工业园与周边的竹南科学园、龙潭科学园、铜锣科学院、宜兰科学园和新竹生物医学园一起，构成了完整的新竹科学园区，总开发面积1375公顷，入驻厂商数超过560家。

**图 20.台湾新竹科学工业园地图**

<sup>63</sup> <https://www.semcorporation.com.sg/business/integrated-solutions/resource-revolution-on-jurong-island/>

<sup>64</sup> <https://www.jtc.gov.sg/news-and-publications/featured-stories/Pages/Local-firm-redefines-waste-management.aspx>



整个新竹科学园区的管理均由新竹科学园区管理局（竹科管理局）负责，该管理局是台湾“科技部”的直属机构，主要管理目标是引进高级技术产业及科学技术人才，提升区域创新整合能量，以及维护园区的良好运营。管理局下设企划、投资、环安、工商、营建及监管 6 个部门，为园区厂商提供优质的基础建设和一站式的服务。这其中，与维护园区环境相关的部门有 3 个：

- 环安部类似于国内的环境、健康与安全部门，下设劳工行政科、劳动检查科与环境保护科，分别负责园区的劳工权益、安全卫生与环境管理<sup>65</sup>。
- 营建部负责有关园区公共工程的建设及维护，以及园区场上的用水、用电等。
- 建管部负责园区规划的拟定、更新和检查，以及园区景观的维护和垃圾的清除和集运。

此外，工商部和投资部也会在企业进驻过程中参与相关的审核。

新竹科学工业园的六大产业的主要空气污染物均为 VOCs。据政府资料，2019 年，新竹科学工业园的列管污染源企业为 33 家，VOCs 排放达到 112.67 吨，超过 PM、SO<sub>x</sub> 与 NO<sub>x</sub> 的排放量总和<sup>66</sup>。正因如此，园区对于 VOCs 排放管控也极为重视。台湾“环境保护署”将与园区企业相关的固定污染源设置和操作许可的审查、核发和延期等事项全权交由竹科管理局负责，使管理局获得了环保审批上的行政权力。基于此，竹科管理局对园区企业从入驻到运营的全流程 VOCs 排放进行了强力的监管，其中的主要管理流程由环安部负责。园区的企业准入流程如下表所示<sup>67</sup>。

**表 22. 新竹科学工业园企业入园环保许可文件申办流程 (VOCs 排放相关)**

<sup>65</sup>

[https://www.sipa.gov.tw/home.jsp?serno=201001210028&mserno=201001210023&menudata=ChineseMenu&contlink=content/about\\_5\\_3.jsp&serno3=201001280012](https://www.sipa.gov.tw/home.jsp?serno=201001210028&mserno=201001210023&menudata=ChineseMenu&contlink=content/about_5_3.jsp&serno3=201001280012)

<sup>66</sup> <https://www.hccep.gov.tw/service/file/InPublic/20200929104326-S4F13.pdf>

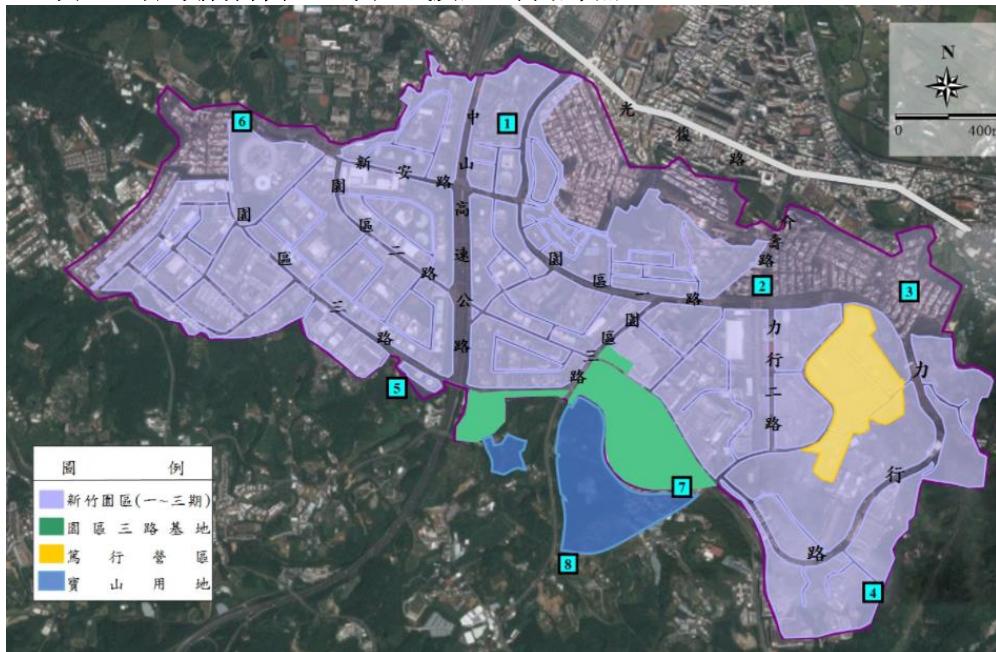
<sup>67</sup> [https://saturn.sipa.gov.tw/SPAEP/page\\_detail.do?fmeLv1Id=830310a9-b10f-4fd0-95e3-1aa02d0d8431&fmeLv2Id=5c7e0ed2-b452-40c6-afa7-5011a90aed51](https://saturn.sipa.gov.tw/SPAEP/page_detail.do?fmeLv1Id=830310a9-b10f-4fd0-95e3-1aa02d0d8431&fmeLv2Id=5c7e0ed2-b452-40c6-afa7-5011a90aed51)

入园流程		负责部门	具体要求事项
入园许可		投资部/环安部	1. 填写《污染总量预估表》
核配土地/厂房		建管部/环安部	1. 签署《新竹科学园区环保约定书》 2. 核配土地/厂房后签署《污染总量预估表》，向管理局申请污染配额
建筑申请	建筑许可申请	建管部/环安部	1. 按企业规模和要求办理环境影响评估 2. 详细列出排放口位置并送审 3. 提交污染物总量配额文件
	建筑施工期间		1. 根据环评中的内容，制定施工期间环境保护执行计划，并纳入工程合约 2. 依据《企业环评承诺自我查核表》进行自行管控
污染控制设备安装建造前		环安部	1. 须达到空气污染防治法规中的相关要求，并申请管理局审核，获得相应空气污染设置许可
工厂登记		工商部/环安部	1. 取得前述各项环保许可或未达规模豁免后，在工商部进行工厂登记
企业运营		环安部	1. 依照法规要求向环保局申请设置相关专责人员 2. 定期申报空气污染操作许可，并及时办理环保许可文件变更 3. 依照《企业环评承诺自我查核表》进行自行管控
投资完成			1. 根据《污染防治检查表》进行检查和报批

如上表所示，园区 VOCs 管控的基本思路在于将总量控制与排放浓度控制相结合。总量控制方面，园区每年设定污染物排放总量，采用环境影响评价结果作为总量管制上限基准，并对园区各企业排放量发放配额，总配额量不得超过环评的核定总量。事实上，实际许可排放量配额要远低于环评中的总量上限。以 2019 年为例，VOCs 的环评核定排放量为 1084 吨，而实发配额总量为 260 吨。排放浓度控制方面，企业需经各项环保许可审核通过后方可开始运营，相关审核与许可的发放均又园区管理局负责完成。仅 2019 年，园区管理局审核的污染总量许可达 120 件，固定空气污染源许可达 226 件。除审核外，园区管理局还对园区进行日常空气质量监测和监管。监测方面，新竹园区周边共设 8 个空气站（监测站或固定式空气质量监测车），分设在园区周边和敏感点，可对常规污染物、碳氢化合物以及特征 VOCs 进行实时监测。下图展示了新竹园区的空气质量监测点位<sup>68</sup>。

<sup>68</sup> <https://pictor.sipa.gov.tw/emon/hsinchu/monmap/mapdsp?p=U0lQQTAwMQ==&s=MQ==>

图 21.台湾新竹科学工业园空气质量监测站布点



监管方面，园区环保部会对企业进行定期的机动性巡查，2019-2020 年度巡查次数达 997 家/次，了解各项污染防治方案的执行情况并进行现场辅导。

同时，园区还设置了与各利益相关方的定时沟通、交流机制。园区管理局设置环保监督小组，由专家学者、环保团体、市区环境主管部门、区县政府部门、厂商代表和管理局代表共同组成，负责监督管理局环保事务的执行、协助园区环保争议事项的解决、以及提出改善建议。在与公众交流方面，园区设立“环境保护咨询网”，其中包括园区所涉及的环保业务及申办流程、推荐的污染防治技术、环境监测数据、以及节能减排资讯平台等，在向公众传达环保讯息的同时，也让园区可以实现对企业更好的管理。园区每年还会发布《企业社会责任报告》，讨论园区在环境可持续发展上所取得的成就和未来规划。在企业激励方面，园区每年会评选并奖励各类优秀企业及个人，如“减碳企业绩优奖”、“园区事业环保绩效优良奖”、“优良环境保护专职人员”等等，增加企业的减排动力。

目前，园区正在推动智慧园区的建设，并发展绿色能源和循环经济，向世界领先的生态高科技工业园区的目标迈进<sup>69</sup>。针对园区的产业类型，管理局持续推动园区企业的源头减量措施，包括鼓励企业采用“晶片边角料回路利用”、“晶片切割钻石刀取代钢线砂”、“切削液过滤后重复使用”等工艺，2019 年减少废弃物量达 5 万 6 千吨。同时，园区定期统计并掌握企业的资源使用情况，在确保符合环评和定量的同时，推动企业进行节能减碳，并通过修建“光伏停车场”等方式，以绿色电力替代化石燃料发电，实现温室气体的减排。

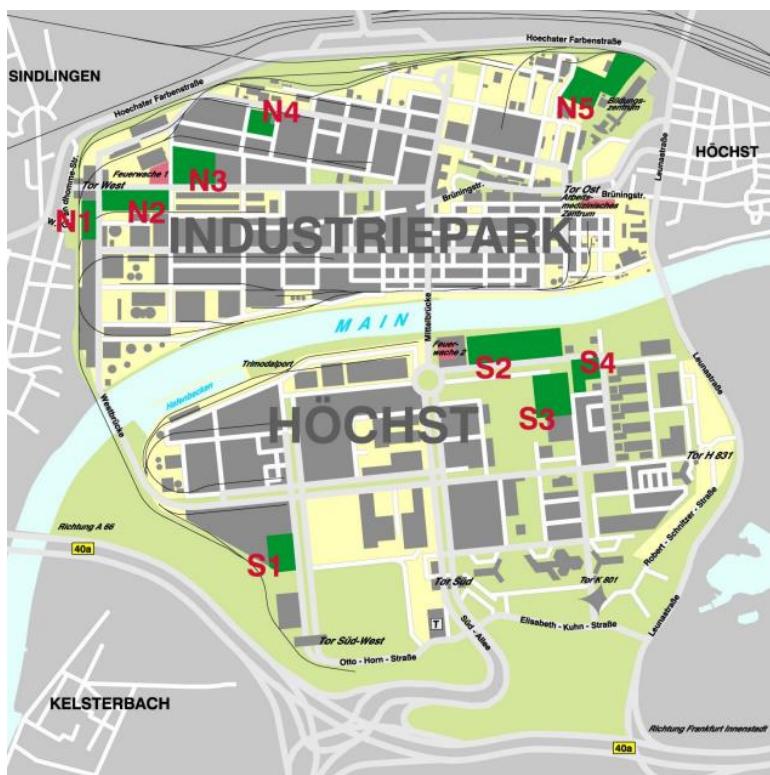
总体而言，新竹科学工业园是高科技园区发展的代表，其 VOCs 管控是以政府直属部门负责的。这样的主要优点是园区管理机构可以进行从审批到运营的完整 VOCs 监督和管理，不仅可以对企业 VOCs 排放进行更加强有力的监管，也在一定程度上减轻了企业设厂或进行环保审批时需要对接不同政府部门的负担，同时保证了政府部门与企业及其它相关方的有效沟通和交流。此外，其总量控制与排放浓度控制并抓的思路也值得参考和借鉴。

<sup>69</sup> <https://web.sipa.gov.tw/CSRWeb/per05.jsp>

### 3.2.3 企业管理提供设施便利-德国赫斯特工业园

德国的赫斯特工业园区位于德国法兰克福市西郊，是德国的主要工业园区之一。赫斯特工业园占地 460 公顷，其化学工业生产始于 1863 年，到目前有超过 140 年的工业生产历史。赫斯特工业园区驻扎着来自全球 60 多个国家 90 余家化工、医药、生命科学和生物技术领域的企业，是欧洲最大的化工、医药领域研发和生产中心之一，研发及生产的产品涉及制药业、基础和专用化学品、食品添加剂、涂料、塑料、农作物保护等多个领域。

图 22. 德国赫斯特工业园地图<sup>70</sup>



赫斯特工业园区是典型的企业管理模式。园区的管理公司为赫斯特基础建设服务公司（Infraserv Hochst），其主要工作职责在于进行园区基础设施的运行维护与管理，向企业提供相关服务，并与企业、行业协会和管理部门保持良好的沟通。企业服务方面，Infraserv Hochst 运用“4+2”步骤，可以向企业提供从规划、选址、建设到企业运营的全流程支持。通过这些步骤，管理方也能更好的帮助企业提高能效、减少污染，从而实现园区环境效益的提升。

表 23. Infraserv Hochst 的“4+2”企业服务措施

步骤	步骤名称	服务范围	环境效益
01	选址	帮助企业确定用地需求，以及选择合适的用地	引导企业确定合理的设施面积，从而实现能效的优化
02	基础设施	帮助企业识别和满足生产或研发活动所需的基础设施和原料需求	帮助企业打通上下游，在园区取得合适的原材料和资源，减少物流和材料成本及其环境影响

<sup>70</sup> [https://www.industriepark-hoechst.com/media/standortportal/investoren/dokumente\\_exposees/pachtflaechen\\_industrieparkhoechst.pdf](https://www.industriepark-hoechst.com/media/standortportal/investoren/dokumente_exposees/pachtflaechen_industrieparkhoechst.pdf)

03	人力资源	向企业提供人力资源服务，包括寻找拥有合适技能的员工，并协助其满足福利相关的需求	-
04	实施	帮助企业进行设施的规划、建设和改建，帮助企业管理相关许可	在规划和建设上帮助企业选择高能效、环境友好的方案，并保证企业能够符合政府的相关环境要求
05	运营	帮助企业与相关方（政府部门、其他企业）等进行良好的沟通，向企业提供高效的公共设施和物流平台	通过提供公共设施和物流网络减少企业成本和环境影响
06	扩张	帮助企业实现良性发展和业务扩展	-

在 VOCs 的排放控制上，作为以企业管理为主的园区，赫斯特工业园的 VOCs 管控仍然主要依靠来自政府的强制性排放控制要求。作为欧盟的重要成员，德国的 VOCs 减排政策与欧盟的政策基本保持一致。欧盟设置了不少直接或间接的减排政策来减少非甲烷 VOCs (NMVOCs) 的排放，包括：

- 《控制汽油在储存和从终端到服务站运输中的挥发性有机物排放指令》(Directive 1994/63/EC)<sup>71</sup>也设定了汽油在终端储存时和从终端到服务站运输过程中的挥发性有机物的排放。
- 《综合污染防治与控制指令》(Directive 1996/61/EC 指令)于 1999 年开始实施，对特定工艺过程中的设备制定了以最可行技术为基础的排放标准。
- 《大气质量框架指令》(Directive 1996/92/EC)，通过设立环境环境目标、指定常用方法和标准来评估大气质量、获取和传播信息等途径来保持和提高欧盟社区内的环境空气质量。
- 《溶剂排放指令》(Directive 1999/13/EC)是欧盟实现工业 VOCs 减排的主要政策手段，涵盖多种含 VOCs 溶剂使用的工业过程，如印刷、表面清洁、涂装、干洗、药品生产等。该指令要求这些工业过程所使用的设备符合排放限值，或者使用低 VOCs 含量的产品。该指令还设置了废气中不同 VOCs 的排放限值以及无组织排放限值。
- 《国家排放限值指令》(Directive 2001/81/EC, NECD)要求成员国达到包括 NMVOCs 在内的主要污染物标准。
- 《涂料指令》(Directive 2004/42/EC)是针对涂料使用的专项法规，对建筑物和汽车修补等特定用途的涂料设定了 VOCs 含量上限。
- 《环境空气质量指令》(Directive 2008/50/EC)，设立了苯和臭氧的环境空气质量标准。
- 《国家减排承诺指令》(NEC Directive 2016/2284/EU)适用于指导欧盟成员国家大气污染减排工作，并且用于评估成员国是否达到了他们的减排承诺。

如上所述，欧盟对于 VOCs 减排的主要关注点是减少含 VOCs 原料的使用或减少产品的 VOCs 含量。德国以欧盟的指令为政策指导和目标，也颁布了一些自己的政策指令。2002 年 7 月 24 日德国设立了《大气质量控制技术指南》<sup>72</sup> (TA Luft)，其中要求企业取得设施的预建许可、运营许可和改建许可，并提出了相关排放限值。欧盟关于溶剂使用的法规后来也被转置成了德国的法律。《涂料指令》和《溶剂基油漆和清漆条例》(2004 年德国颁布的限制关于在特定油漆、清漆和汽车修补涂料产品有机溶剂中挥发性有机物排放的条例)一起被转置为德国溶剂型漆和清漆条例 (ChemVOCsFarbV)。

<sup>71</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A31994L0063>

<sup>72</sup> [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Luft/taluft\\_engl.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/taluft_engl.pdf)

尽管园区本身不对企业的 VOCs 排放进行直接监管，但 Infraserv Hoechst 通过向企业提供包括多种类型的公共设施和服务来保证其环境合规，并帮助企业降低 VOCs 和其他污染物排放，其中包括：

- **能源/材料供给：**Infraserv Hoechst 向企业提供多种能源选项，包括蒸汽、热水、电力、天然气等等。除此之外，它还向企业提供一系列基础化工原料，包括氢气、氧气、氮气、氩气、压缩空气、不同等级的纯水、冷却用盐水、液氮、乙烯等等。这其中一部分由管理方的设施生产，另一部分来自于园区内的其他企业。值得一提的是，用于生产工业气体的空气组分分离设施已经实现了净零排放，电力供给中也包括碳中和电力的选项。
- **废物处理：**园区引入了优质的第三方废物处理服务商，可进行从废物管理咨询到废物回收在内的一系列服务。园区建有沼气发电站，用于将废水处理厂处理后的生物质废物转化为电力、蒸汽和生物甲烷；污泥焚烧站则将废物焚烧后经三级静电除尘和两阶段烟气洗涤器处理后排放；废物至能源发电站（WTE）每年可焚烧多达 67 万吨由废物产生的燃料，并通过热电联产实现超过 80% 的能源效率；有害废物焚烧站则可以实现高效、清洁的有害废物处理。
- **设施管理：**园区向企业提供多种设施管理服务，其中包括通风和加热系统服务、清洁服务、建筑自动化服务等等，这些服务可以帮助企业选择合适的设备并进行设施管理，有效的提高建筑和设备的能效。
- **基础设施：**铁路方面，Infraserve Hoechst 向园区企业提供铁路运输服务，并可协助规划私人侧线和装载站；下水系统方面，工业园有三个不同压力级别的下水道系统，包括一个冷却水和雨水下水道系统、一个卫生下水道系统和一个工业废水和生物废水下水道系统；交通方面，园区提供智能交通管理，帮助企业优化交通流量和行车路线，从而提高效率，减少交通拥堵和排放。
- **物流网络：**园区提供各种不同大小和规格的仓库，可用于储存危险化学品、活性药物原料、原材料、包装容器等，所有的仓库均满足国家要求和国际标准；园区还提供物流服务，帮助企业将物料以优化的路线转运至其他区域。此外，得益于欧洲西部的地理优势，德国的化工园区与相邻化工园区、周边地区化工园区、甚至欧洲其他国家的化工园区通过管道、水路、轨道、和公路的运输方式相互连接，形成资源互供的关系，大大降低了成本<sup>73</sup>。
- **员工服务：**园区向企业员工提供各种培训服务，帮助企业员工更好的进行废物管理、物流管理、职业健康管理等。
- **环境服务：**Infraserv Hoechst 向入驻企业许可咨询服务，帮助企业获得各类环境许可。空气质量方面，园区可以帮助企业建立污染物扩散模型、进行排放监测、测试和校正排放相关设备等，排放测量遵循国际标准化组织和国际电工委员会的《测试和校准实验室能力的通用要求》（DIN EN ISO/IEC 17025）。
- **应急响应：**Infraserv Hoechst 运营全年无休的紧急响应中心，遇到污染事件、意外泄漏、火灾等会及时发出预警并进行响应。

**图 23. 德国赫斯特工业园的公共设施**

<sup>73</sup> <https://max.book118.com/html/2019/0803/7000100125002044.shtml>



由上可见，赫斯特工业园提供的公共设施和服务是非常全面而完善的。通过这种管理方式，园区得以将环境友好、高能效的生产方式传达给企业，并帮助企业进行实施，从而减少企业对周边环境的影响。园区自行运营的设施也取得了很好的环境效益。在减少碳排放上，Infraserv Hoechst 每年通过内部发电减少了超过 50 万吨的有害 CO<sub>2</sub> 排放，其中大约三分之二的减排来源于赫斯特工业园的高效能源生产设施。赫斯特工业园的热电联产（CHP）电厂与现代燃气轮机电厂结合使用时，可达到大约 90% 的生产效率，约为传统电站效率的两倍<sup>74</sup>。此外，来自处理厂和生产厂的废热通过系统的回收，输入到园区的供应网络中，大大减少了化石燃料的消耗和 CO<sub>2</sub> 的排放。同时，Infraserv Hoechst 还加强了对可再生能源的利用，并采用了废物转化能源战略。德国化工园区和企业对于循环经济的重视度很高。赫斯特工业园有着德国最大的沼气工厂之一，其创新工艺使用过期食品和有机废物生产沼气，甚至可工业污水污泥中产生沼气。赫斯特工业园区秉持安全、高效、可持续的发展战略，从近 20 万吨高纯生物废水和 20 万吨淤泥中通过共厌氧消化的方式生产 160GWh 的沼气，并将产生的沼气被升级为管道质量的沼气，并作为工业园区的可持续能源用来发电，并进入公共电网<sup>31</sup>。

在与利益相关方的沟通方面，Infraserv Hoechst 会帮助企业之间增加合作和交流，实现材料的有效利用。同时，Infraserv Hoechst 还会与行业协会或者管理部门交流，组织行业内企业会谈，与其他开发区或者工业园区管理机构接洽，为企业发展提供良好的外部环境。另外，园区通过专项网站向周边公众公开管理信息和环境事务<sup>75</sup>，并传达其可持续发展理念，园区还会通过实施一系列环境计划（如臭气监测计划），来服务于周边社区。

赫斯特工业园的发展模式在德国以及整个欧洲都较为普遍。通过企业对工业园区实行管理，可以有效降低企业的成本，并向企业提供一系列专业化的服务，企业因为可以专注于自身的可持续发展。同时，园区也因此可以用较高的环境标准来降低整个园区的污染物排放。另外，德国和欧洲的各个工业园之间均有紧密的联系，通过资源共享和优化的物流网络，可以大幅度的提高运输效率，降低运输成本和由运输所带来的移动源排放。

### 3.2.4 国内特色园区管理体系-上海化学工业区

上海化学工业区（上海化工区）位于杭州湾北岸，规划面积 29.4 平方千米，是改革开放以来上海第一个以石油和精细化工为主的专业开发区。经过 20 年的发展，上海化工区形成了以乙烯为龙头的循环经济产业链，和以化工新材料为主导的特色产业集群，吸引世界 500 强企业 20 家，是国家级经济技术开发区、首批新型工业化示范基地、国家生态工业示范园区，并连续 6 年蝉联全国化工园区排名榜首<sup>76</sup>。

<sup>74</sup> <https://industriepark-hoechst.com/en/stp/menu/powerd-by-infraserv/sustainability>

<sup>75</sup> [https://www.ihr-nachbar.de/de/home/unsera\\_umwelt/im\\_ueberblick\\_umwelt/unsera\\_umwelt\\_im\\_ueberblick.html](https://www.ihr-nachbar.de/de/home/unsera_umwelt/im_ueberblick_umwelt/unsera_umwelt_im_ueberblick.html)

<sup>76</sup> <http://hbt.jiangsu.gov.cn/attach/0/9bf379d555214dae938844689506dff4.pdf>

上海化工区能够取得如此成绩，与其完整而具有创新型的园区管理体系是分不开的。上海化工园区将园区管理机构与开发机构分开，园区管理方为上海化学工业区管理委员会，是上海市人民政府的派出机构，主要负责园区的行政事务；开发方是上海化学工业区有限公司，该公司是国有控股的多元投资企业，公司作为上海化学工业区的开发、建设、运营主体，主要负责园区的开发建设、招商引资、配套服务和投资运营，是化工区内专业的土地开发商和集成服务商。这种创新的模式使得上海化工区可以兼顾政府管理的强监管和企业管理的灵活性，达到优化的管理效果。

上海化工区的 VOCs 管控体现在工业园区管理的各个方面。从规划上，化工区会在项目实施前通过规划环评的方式，对有关规划的资源环境的可承载能力进行科学评估，从源头预防环境污染，并限定区域排放总量，实现环境与经济的协调发展。例如，2008 年的《上海化工区产业规划环评》要求通过减少对周边环境污染和减缓环境危害出发来调整和优化整体布局。布局规划重点为以化工区为化工主体区，金山分区及奉贤分区则作为主体区配套的环境风险较小的化工产业过渡区。过渡区同时相当于一个降低环境风险的缓冲区，在主要化工生产装置外设置 1 公里的限制带、2 公里的控制带和 2-3 公里的防范带。此外，由于上海化工区南侧为杭州湾，居民区分布在西北和东北侧，因此其产业布局采取“南重北轻”的模式，在南区布置三级重化工装置，发展石油化工；北区布置环境风险相对较小的一、二级化工装置，发展基本有机原料、合成材料、精细化工等化工项目。西区则为炼油及乙烯项目用地<sup>77</sup>。上海化工区的区域规划图如下图所示。

图 24. 上海化学工业经济技术开发区园区规划布局图



企业准入方面，上海化工区建立了完善的项目准入制度，对入区企业的设备、技术、工艺提出了严格要求，并在项目环评阶段对企业污染物排放标准、环境风险控制防范提出了不低于项目引进国的要求。对新建项目，园区提出三个“可得技术”，对新建项目和改建项目的 VOCs 排放进行控制，其中包括：

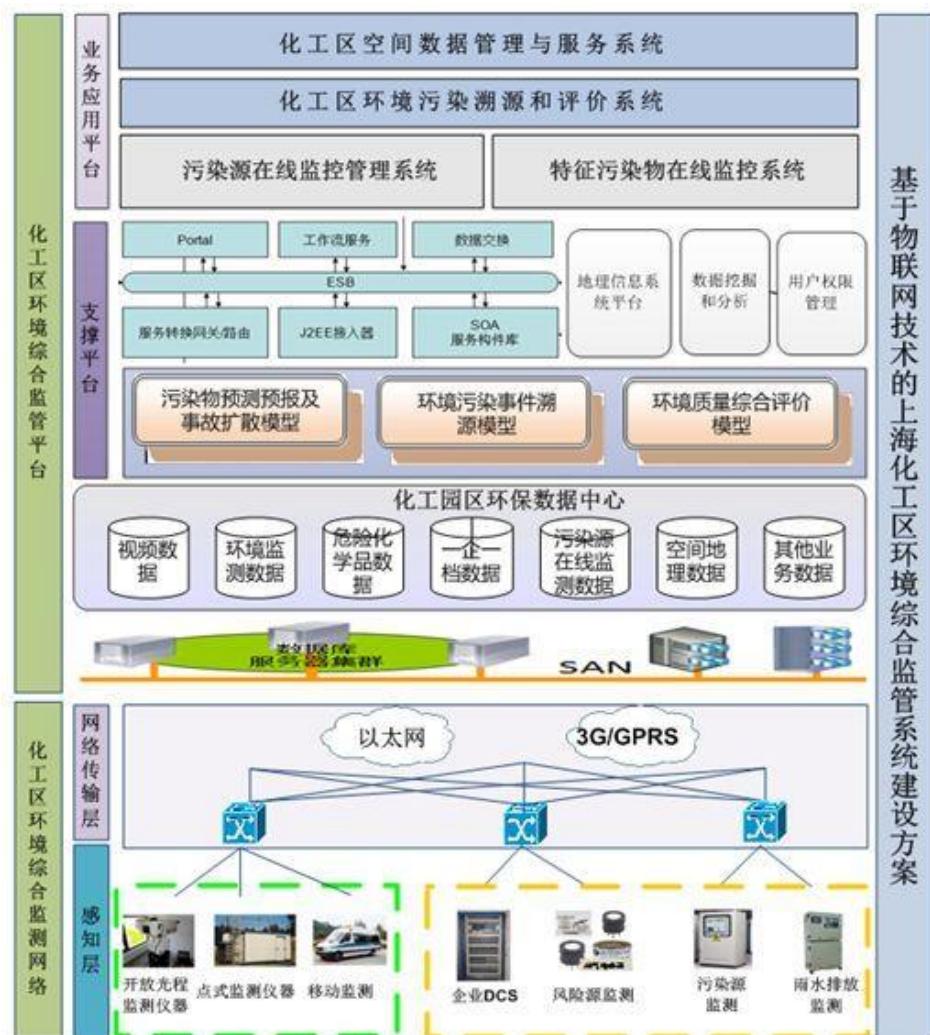
- 对于未达标区域的新建/改建项目，考虑“最低可得排放率技术”，最大限度降低排放量；
- 对于达标地区的现有项目，考虑“一般可得的控制技术”，以合理为原则，要求企业进行持续性的改进；
- 研究提出“最佳可得控制技术”，按照现有最佳企业（前 20% 或前 5）平均表现水平确定，并向园区企业推广。

<sup>77</sup> [http://www.360doc.com/content/20/0414/07/68753266\\_905819088.shtml](http://www.360doc.com/content/20/0414/07/68753266_905819088.shtml)

在公共设施方面，园区引进诸多第三方服务企业，提供包括供水（工业水、生活水、脱盐水）、污水处理、热电联供、工业气体、码头、公共储罐、废物处理以及公共管廊在内的多种基础设施。同时，园区也引入物流、物业、分析检测、咨询等第三方专业机构，为企业提供环境方向的各项服务。

完整的环境监测与预警系统是上海化工区的一大特色。园区建立全覆盖的环境监测系统，对化工园区环境空气质量与污染物的排放实施 24 小时环境风险监控。园区委托上海市环境监测中心定期开展环境监测，监测要素覆盖空气质量、地表水、地下水、近海水域、土壤、噪声等方面。2010 年，园区建成总投资 764 万元的环境空气质量超级自动监测站，监控因子包括挥发性有机物、无机有毒有害气体等主要污染物。2013 年，园区再次启动总投资 3400 余万元的“上海化工区环境综合监管项目”，通过固定监测站、移动监测车、企业有组织排放口在线监测、雨水排放口在线监测、厂界和公共区域传感器监控相结合的方式，实现园区环境实时监控，完善园区环境风险预警与应急管理体系，努力将环境风险控制在最低水平，避免石化行业成为环境事故频发的不稳定因素<sup>78</sup>。

图 25. 基于物联网技术的上海化工区环境综合监管系统建设方案



目前，上海化工区的监控体系包括五个层面：

- 1) 环境在线监测，园区现有 5 个在线监测站并配备一辆移动式监测车，对 VOCs 等常规污染物及主要特征污染物进行实时监控；

<sup>78</sup> [http://www.360doc.com/content/20/0414/07/68753266\\_905819088.shtml](http://www.360doc.com/content/20/0414/07/68753266_905819088.shtml)

- 2) 企业在线监测，对企业排气筒、无机废水口、雨水口设置在线监测；
- 3) 委托监测，对化工区内水、气、声、土壤、海水及重点污染源进行定期监测；
- 4) 执法监测，对区内企业进行监督性监测；
- 5) 信访监测，对应急事件进行专项监测。

通过以上的环境监测体系，上海化工园区实现了对于园区内大气常规污染物及特征污染物的全面实时监测及应急监测。大气环境监控设置了 6 座特征污染监测站，7 个公共区域监测点（23 套传感器），15 套有组织排放监测传感器，实现 85 种气体的在线监测<sup>79</sup>。同时，园区在监测站内配备 GC-FID、FTIR、UV-DOAS 等监测设备，对园区内部及边界的 VOCs 及特征物种进行实时监测，并结合气象设备和监控网络进行污染溯源。由上海市生态环境局执法总队派驻的上海化学工业区环境监察支队驻守上海化工区，进行日常的环境监察。

污染治理方面，上海化工园区设立管理目标，建立针对 VOCs 的全排放清单管理平台；在重点企业开展试点工作，摸清企业主要排放环节，并根据试点结果规范统一的园区 VOCs 总量计算办法。同时，园区建立《上海化学工业区区域环境综合整治任务清单》，投资 10 亿元，对清单所涉及的 10 大类共 91 个项目分解至各企业进行具体落实，推动区内企业深入开展各项环境整治工作，减少污染物的排放；重点推进巴斯夫、赛科等企业实施 LDAR、VOCs 收集治理等项目，鼓励企业通过第三方治理方式开展环境污染治理。2014 年，园区启动了 13 家挥发性排放重点企业“一企一方案”的编制工作，并组织专家对 8 家企业的挥发性有机物减排方案进行了评审，后续共推动 44 家企业完成“一企一方案”的编制及相应年度治理工作；2015 年管委会委托第三方对区内 5 家企业、24 套装置、14444 个密封点的 LDAR 工作现场审计，并完成漕泾发电的超低排放改造<sup>80</sup>。

应急响应方面，上海化工区设有“园内企业-化工区应急响应中心-上海市应急联动中心”三级联动应急响应体系，由多个部门协作执行。除了较为完善的监测系统，化工区还建立了环境风险管理平台，基于地理信息系统（GIS）开发，运用环境风险事故后果预测模型进行模拟分析、灾害评价，为化工园区提供风险管理的辅助决策。园区任何环节出现问题，都会第一时间反应至应急平台进行处理。同时，各部门能够同步联通灾害现场监测点，实现统一接出警和联合指挥调度。

在绿色循环经济的发展上，园区制定《上海化学工业区产业绿色发展专项扶持实施办法》，推动企业开展以降低能耗、减少排放、促进资源化、提高利用效率为核心的清洁生产审核，园区废弃物循环利用率稳步提升，如中法水务将处理后的无机废水进一步处理形成除盐水，提供给企业生产使用；升达废料处理有限公司危险废液焚烧线产生的高温烟气，用于余热锅炉产生蒸汽，并对尾气中的污染物进行治理。另外，园区也加大对绿色能源的供给，如支持长浦新电在 G3 空地建设移动式光伏电站，年发电量约 4780 万度，年节能量达 1.4 万吨标煤，CO<sub>2</sub> 年减排量达 3.9 万吨<sup>81</sup>。

在这样的特色园区综合管理体系之下，上海化工园区的 VOCs 管控也取得了明显的成效。“十三五”以来，园区区域环境空气中挥发性有机物浓度从 2015 年的 130 微克/立方米下降到目前的 53 微克/立方米，园区重点企业清洁生产执行率均为 100%，重点企业环境信息公开率均达到 100%。园区内持续开展泄漏检测与修复，累计完成 27 家企业近 12 万个泄漏点位的复核工作。在实现减排的同时，减碳和可持续发展的工作也同步推进。“十三五”以来，园区万元产值（加工）能耗逐年下降，大幅领先于全国同行业水平，能耗低于行业的 1/2，耗水量低于行业的 1/12，废气低于行业的 1/3，废水低于行业的 1/8。

综上所述，一个创新型的园区管理体系与一个完整的园区 VOCs 管控体系造就了上海化学工业园的成功。这说明，国内的化工园区在起步晚的情况下仍然能够通过创新和特色体制获得超越，这也是十分值得我国的其他园区学习和借鉴的。

<sup>79</sup> [https://m.thepaper.cn/baijiahao\\_10745200](https://m.thepaper.cn/baijiahao_10745200)。上海化学工业区：勇于当标杆 潮涌再扬帆。

<sup>80</sup> [https://www.sohu.com/a/321331704\\_120060684](https://www.sohu.com/a/321331704_120060684)

<sup>81</sup> [https://m.thepaper.cn/baijiahao\\_10745200](https://m.thepaper.cn/baijiahao_10745200)。上海化学工业区：勇于当标杆 潮涌再扬帆。

### 3.3 生态工业园区及其对 VOCs 管控的影响

按照 UNIDO 的定义，生态工业园区（EIP）是“在适当地点供产业使用的专用区域，可通过将社会、经济和环境质量考量纳入其选址、规划、管理和运营中确保可持续性”。生态工业园区提倡“工业共生”，园区内的各公司可以通过交换材料、能源、水资源、副产品等实现共赢，并实现包容性和可持续性的发展。一个规划合理的生态工业园区可以为驻地提高资本效率、节约公用事业成本、保持业务连续性、提升企业竞争力、吸引外资、增加出口并创造额外收入。

一个工业园区要发展成为生态工业园区，必须尽量避免、最小化和减轻有害的环境影响。为此，需要设定相应的环境目标和绩效指标。此外，还需要引入低碳/零碳能源发电和资源节约型生产工艺。通常，生态工业园区的主要环境问题包括污染防治、资源高效利用与清洁生产、工业共生和协同作用，以及水、废弃物和能源管理。UNIDO 的《生态工业园区国际框架》中提出了生态工业园区的典型环境绩效指标，如下表所示<sup>82</sup>。

**表 24.UNIDO 生态工业园区环境绩效指标主题和描述**

主题	子主题	描述/要求
管理和监测	环境/能源管理体系	企业有功能强大且符合需要的环境管理体系和能源管理体系。园区管理主体可以获得这些管理体系的摘要信息，其将负责汇总并报告园区层面的数据。
能源	能耗	工业园区有适当的计量与监测体系来评估园区与企业层面的能耗。
	可再生与清洁能源	工业园区利用现有可再生发电能源，制定计划来增加对公共服务的贡献（例如，太阳能路灯、生物质、水力、天然气等）。
	能源效率	在园区和企业层面积极识别可以改善能效的机会，以降低能源使用和相关的温室气体排放。生态工业园区应在其自身和入驻企业业务运营中识别相应的技术和流程措施，促进相关的技术干预。
水资源	用水量	建立有关机制，适当监测整个园区的用水量，并确保在缺水状况下实施需求管理措施。以可持续发展的方式向水源地（例如，河流和地下水）取水。
	水处理	工业园区已制定关于适当处理、回收废水以及再利用处理后废水的规定。杜绝产生严重影响饮用水资源以及当地社区或附近生态系统健康的流出物。
	用水效率、再利用和再循环	园区和企业均部署适当系统，以促进节水和再利用。
废弃物和材料的使用	废弃物/ 副产品的再利用和再循环	制定有关计划/机制来促进和鼓励园区内企业重复使用和回收材料（例如，加工和非加工应用的原材料）

<sup>82</sup> [https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-10/Chinese%20An%20International%20Framework%20for%20Eco%20Industrial%20Parks\\_1.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-10/Chinese%20An%20International%20Framework%20for%20Eco%20Industrial%20Parks_1.pdf)

主题	子主题	描述/要求
气候变化与自然环境	危险和有毒物质	制定有关计划/机制，在减少和避免园区内企业使用危险和有害物质方面有明确目标。
	废弃物处置	有运行良好的废弃物收集、处理和处置系统，确保在适当的垃圾填埋场处理，或处置未使用的废弃物材料。
气候变化与自然环境	动植物群	原生动植物群对于维持自然平衡非常重要。尽可能将动植物群保护整合到工业园区和自然生态系统中。
	空气、温室气体排放和污染防治	建立有关机制来避免、最大程度减小和/或减轻重要的点源污染和温室气体排放，以及对化学品和农药进行有效的使用和管理。

如上可见，生态工业园区关注多环境因素的协同保护和利用。例如，生态工业园区建立的循环经济体系能够有效的促进材料的利用，从而减少不必要的运输，在减少废弃物的同时实现空气污染物的减排和温室气体的减排；再例如，生态工业园区的整合的能源和供热网络可以实现废弃物能源和热量的交换，降低园区对外部电力的依赖和化石燃料的消耗，实现能效的提升和协同减排/减碳。

世界已有上百个生态工业园区，其中也有很多来自中国。目前，列入生态环境部《国家生态工业示范园区一览表》的国内工业园区共有 93 个，北京经济技术开发区为其中之一<sup>83</sup>。在未来，生态工业园区也将成为工业园的发展趋势。因此，在考量工业园区的 VOCs 管控时，在可能的情况下，应该同时考量生态工业园区的规划和建设，通过良好的规划实现环境效益的协同发展。

### 3.4 综合案例分析-北九州市工业园区

日本福冈县北九州市是日本重要的工业城市，目前常住人口有 93 万。作为日本钢铁和重工业的发祥地，北九州市曾为日本经济高速发展和繁荣立下汗马功劳，但它也同时付出了沉重的环境代价。面对严重的环境污染问题，北九州市历经多年转型，现在已经成为世界著名的环境模范城市，也是世界生态工业园区的代表。本节将以北九州市生态工业园为例，从城市和园区的角度介绍国际领先生态工业园区的形成、发展、转型的全流程及先进经验，为北京市日后发展生态工业园区提供参考。

#### 3.4.1 历史背景

北九州市是九州岛最大的港口城市，是以钢铁、化学、金属、陶瓷等原材料型产业为中心的重要工业园区，也是日本最重要的重化工基地之一。1901 年，北九州市建成投产国营的八幡制铁所，启用了日本引进德国技术建造的第一座近代化高炉，成为新日本制铁的前身<sup>84</sup>，也开启了北九州近代工业发展的序幕。然而，工业的繁荣为当地带来了严重的环境污染。在上世纪五十年代和六十年代，北九州市是当时全日本大气污染最严重的地区，水污染问题也非常严重。1968 年的“多氯联苯污染事件”更是使得北九州环境问题的严重性达到了顶峰，原先以重工业为主的北九州工业急剧衰落。北九州附近的洞海湾，在污染最严重时候曾

<sup>83</sup> <https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bh/201803/W020180315564951035618.pdf>

<sup>84</sup> [http://www.xinhuanet.com/globe/2021-03/11/c\\_139794207.htm](http://www.xinhuanet.com/globe/2021-03/11/c_139794207.htm)

经被称为“死海”，连大肠杆菌也无法在其中存活；北九州也因为创下日本最高降尘量纪录而被冠以“七色烟”的称号<sup>85</sup>。

严重的环境问题唤醒了当地居民的环保意识，他们不断向行政机构陈情，要求企业对污染排放进行治理。在民众的强大呼声下，当地政府逐渐意识到问题的严重性，开始与公众和企业一起研究污染治理问题并着手制定环境改善计划。当时的北九州政府将城市转型的短期目标设定为工业污染的治理，解决严重的空气污染和水质污染问题，而长期的目标则设定为通过环境治理和重新规划城市的产业发展，通过从高能耗、高污染生产方式向低能耗、低污染生产方式的转型，最终实现城市环境的改善。

为了实现环境改善的目标，在法律和政策层面上，北九州市政府采取了一系列措施<sup>86,87</sup>：

- 1962年2月，北九州市设立了专家、企业和市民三方组成的协调组织“北九州市公害防止对策审议会”，共14人组成，对环保政策进行审议评估；
- 1963年，市政府在卫生局设立公害科，配置4名专员；
- 1965年，公害科升级为公害对策课，成员增加到7人；
- 在1967年日本颁布了《公害对策基本法》之后，1970年公害对策课改编为公害对策部，成员增加到20人；
- 1969年北九州市设立了“北九州市公害对策联络会议”，不仅作为讨论议事机构，也作为执行机构，由市长担任委员长、委员10余人，干事30余人。下设相关部门如住宅转移对策部会、工厂转移对策部会、有害物质对策部会等，负责针对性地执行具体政策；
- 1971年公害对策部升级为公害对策局，人员扩充到45人，并制定了比当时国家法规更为严格的“北九州市公害防止条例”，为了弥补当时国家法律上的漏洞；
- 市政府还与市内的重点企业签订了“公害防止协议书”，1967至1976年间，政府与各类企业共签订污染防治协议150件以上，到2005年累计共签订了191件协议；

1960年代后期，日本国家层面的环境保护法律体系也逐渐开始建立，《大气污染防治法》等环境保护法规相继获得通过。得益于国家和地方环保法规体系的完善和民众意识的觉醒，日本企业的经营理念也逐渐发生改变，企业社会责任感大幅提升，并逐步认识到环境保护的重要性，开始积极引进环保技术、改良设备。经过近20年的治理和管控，北九州市的环境问题得到了极大改善，成功从“灰色城市”转型到“生态城市”。1990年6月，北九州市被联合国环境署评为“全球环境500佳城市”，同时北九州市也完成了产业结构从钢铁、造船为代表的重工业到以半导体、汽车制品为主的加工、组装型产业的过渡。1997年，北九州市成为日本第一个开展生态工业园区实践的城市，成为了日本乃至世界生态工业园建设与发展的代表。2000年之后，北九州市将发展重点逐渐转向建设低碳社会。2004年10月，北九州市政府将生态工业园项目扩大到全市范围，并且提出了建设“世界环境首都北九州”的长远目标规划，包括250个具体项目，从“共同生存、共同创造”的社会层面、“以环境开拓经济”的经济层面和“提高城市的可持续发展”的环境层面整体推进循环型经济社会建设<sup>88</sup>。

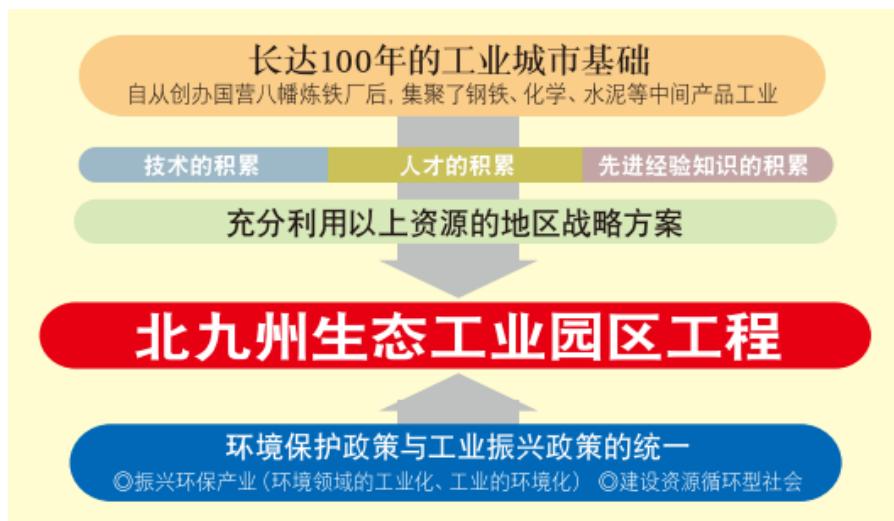
**图 26. 北九州生态工业园区工程的诞生背景**

<sup>85</sup> <https://www.kitaq-ecotown.com/docs/20191030/ecotown-pamphlet-ch.pdf>

<sup>86</sup> 刘大炜，朱亚鹏：转型管理与城市转型——基于日本北九州市地分析。

<sup>87</sup> 《环球视野》，朱光明，杨继龙。日本北九州：“灰色城市”到“绿色城市”的治理之路。

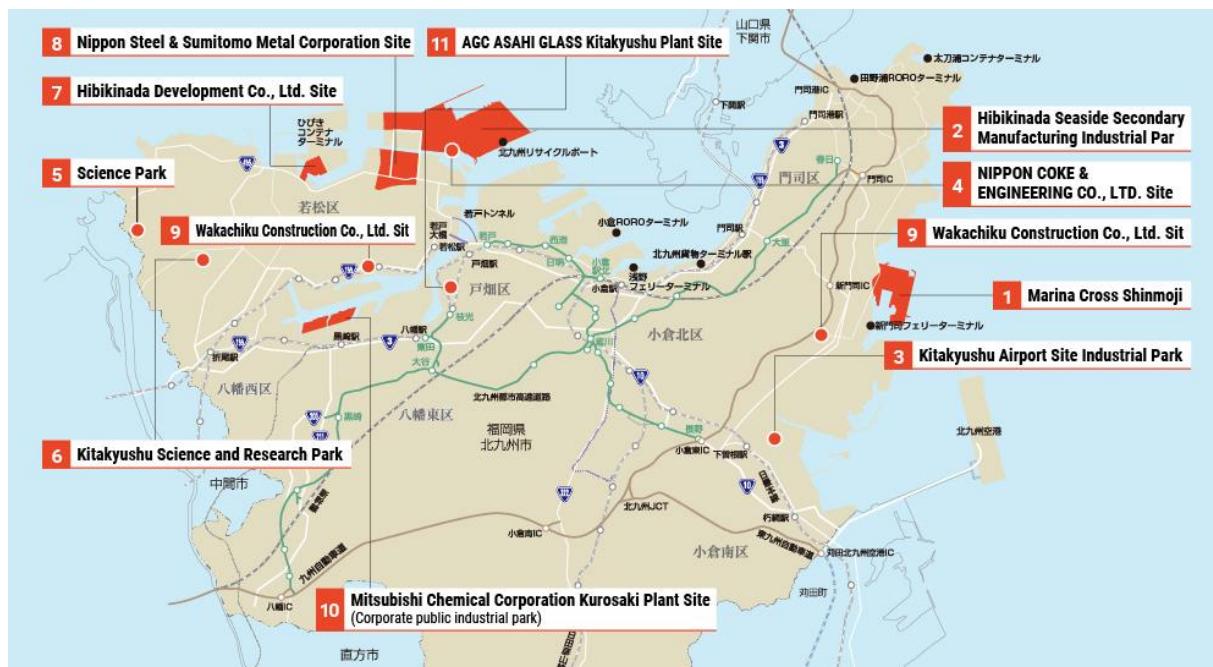
<sup>88</sup> [http://www.chinaepc.cn/zt/zrzxzt/sznhd/xgdt/200801/t20080127\\_117083.htm](http://www.chinaepc.cn/zt/zrzxzt/sznhd/xgdt/200801/t20080127_117083.htm)



### 3.4.2 园区规划和运行理念

北九州市目前有 11 个主要的工业园区，分布在城市的各个方位，每个工业园区都有不同的定位和功能。各工业园区的方位如下图所示<sup>89</sup>。

图 27. 北九州市工业园区分布图



各园区的名称、面积和定位如下表所示。

表 25. 北九州市各工业园特点

<sup>89</sup> <https://www.kti-center.jp/invest-kitakyushu/industrial/index.html>

编号	工业园名称	面积 (m <sup>2</sup> )	定位
1	新门司港工业园	244,900	物流中心，园内有西日本最大的渡轮码头-新门司港，目前是超过 90 家企业的物流基地。
2	响滩临海工业园	102,700	临港工业基地与新能源产业园，依托临港的优势，主要吸引大型国际制造企业和新能源企业，沿海建有风力发电站。
3	北九州空港工业园	366,000	邻空港工业园区，拥有完备的基础设施和公共设施，目前进驻的主要是大型化工企业和制药企业。
4	日本焦炭工业株式会社园区	18,624	日本焦炭工业株式会社专属园区。该公司是一家主要从事煤炭、焦炭、化工设备等生产和销售的大型企业。
5	北九州科技园	880,000	北九州市最主要的科技产业园，相对比较新，拥有完善的绿化和景观，主要吸引高科技企业。
6	北九州学术研究城	250,000	科研中心，园内有大学、研究机构、产学研合作机构等，同时也是机动车、机器人、半导体行业的示范基地。
7	响滩开发株式会社园区	85,132	临近响集装箱码头，可作为与亚洲国家往来的物流基地。
8	新日本制铁株式会社园区	1,350,000	配套设施齐全的大型工业地块，可以承接大型工业企业。
9	若叶建设株式会社园区	330,000	位于山坡的工业园区，交通条件便捷，基础设施完善，周边最大企业是若叶建设株式会社。
10	三菱化学控股株式会社园区	未知	北九州市政府与三菱化学合建的大型专属化工园区，拥有独立的天然气生产设施、码头、火力发电站和活性淤泥污水处理厂和垃圾焚烧站。
11	AGC 玻璃北九州园区	353,000	靠近城市中心和集装箱码头，是 AGC 玻璃的生产基地。

由上表可见，北九州市的工业园区规划和定位十分明确，临近港口的区域发展为物流园区，基础设施齐全的区域则发展为大型化工园区，另外北九州市也设有专门的科研园区、高新技术园区和绿色园区。同时，北九州市还与大型工业企业合作，建立专属园区并向其他工业企业提供基础化学品和原料。北九州市规划和运行工业园区的基本理念包括两个方面：

- 降低环境负荷，主要通过环保的污染治理和循环利用工程，正确处理和循环利用废水、废气、废渣和余热；
- 最大限度地利用资源、兼顾技术水平和经济效益，注重项目的连续性，吸引并培育健全的“静脉产业”。同时，最大限度地进行废弃物资源化再利用，并将有偿转让带来的收益用于落实环保政策，实现园区良性经营。

该理念主要通过北九州市环保产业振兴战略实现，其中包括三个主要内容：

- 教育和基础研究：宣传和推广环境政策理念、鼓励基础研究和人才培养、打造产学研合作基地；
- 技术和验证研究：扶持各个领域的验证研究、培育本地环保及再生企业；

- 企业化运作：通过政策和激励手段推进各种再生利用项目和环保商务项目，对中小企业和风险企业项目进行扶持。

### 3.4.3 企业准入与支持

在企业支持上，北九州市通过政策和财政吸引环保企业和拥有先进技术的企业加入园区。从日本国家到地方的各级政府建立了生态工业园区补偿金制度，对进入园区的具有先进技术的企业，国家会补助其企业建设 1/3 至 1/2 的支出，北九州市再另外对入园企业补助总投资额的 2.5%，并对入园企业在土地、选址、建设项目建设等方面给予支持。自购土地的企业的新建项目最多可获得 10% 的补助，而扩建项目最多可获得 6% 的补助；租赁土地的企业可获得项目第一年的 50% 的租金减免。此外，在政府政策投资银行等的政策性融资对象中，与再生利用、循环利用事业和废弃物处理设施建设等相关的项目可以得到税收优惠。北九州市同时还推行“环保产业融资”与“环保未来技术发展补助金”，前者根据项目类型向环保产业提供不同利率和还款期限的贷款，后者针对进行“验证研究”的企业和机构发放上限达 1500 万日元/年（约人民币 87 万）的补助金。通过这些政策和财政支持，北九州市吸引了大量环保企业入驻。目前，环保产业已成为北九州市重要的支柱产业。

准入方面，自 2009 年起，北九州市所开展的一定规模以上的开发项目，在设计阶段必须进行环境考查，并填写相应的《环境考察清单》，由政府部门批准<sup>90</sup>。北九州市发布了相应的《环境考察指南》，用于指导相关流程。对于开发项目对环境造成的影响，在进行环境考察时需要对相应的保护措施进行分析，以“回避”和“降低”为最优先，在无法实现的情况下，则使用“补偿”手段对环境影响进行恢复。

### 3.4.4 循循环经济与回收利用

北九州市周边围绕着多家大型汽车制造商，年汽车产量可达 130 万辆以上<sup>91</sup>。如此大规模的汽车制造业产生了大量的原材料的需求与废物回收的需求。因此，推广循环经济与回收利用成为了北九州市发展生态工业园的主要目标之一。北九州市诸多园区中，最具代表性的生态园区是北九州市生态工业园。该园区主要由三个小园区组成：验证研究区、综合环保联合企业群区和响再生利用工厂群区，最主要的特点是通过企业、大学和政府部门的强有力的协作，推动循环经济、资源的再生利用和可再生能源的使用，形成日本最大规模的再生产业基地。

图 28. 北九州生态工业园示意图

<sup>90</sup> [https://www.city.kitakyushu.lg.jp/kankyou/file\\_0468.html](https://www.city.kitakyushu.lg.jp/kankyou/file_0468.html)

<sup>91</sup> <https://www.kti-center.jp/invest-kitakyushu/about/manufacturing.html>

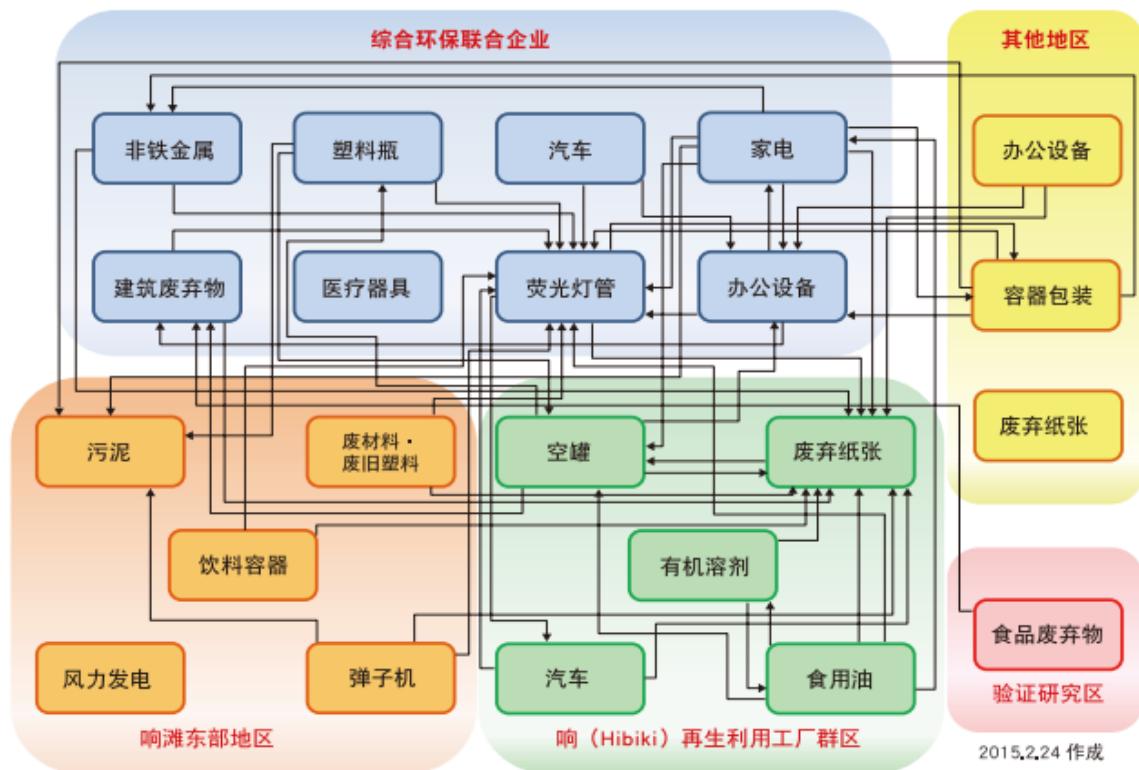


上图展示了北九州市生态工业园中各区域的地理分布。生态工业园区坐落于最远离市区的港口区域，又可分为两个小区域，综合环保联合企业区有多个环保和再生利用企业，再生项目囊括了塑料瓶、办公设备、汽车、家电、荧光灯管、医疗器具、建筑混合废物、非铁金属、小家电等。此外，该区域还拥有一座专用的北九州循环利用专用港。响（Hibiki）再生利用工厂群区主要是新再生技术开发区，包括由7家汽车拆解厂联合组成的汽车再生区域，以及由食用油再生项目、使用完毕有机溶剂提炼循环再利用项目、废纸的铺草替代品再生项目和饮料罐再生项目组成的新技术开发区域。验证研究区位于内陆，与响滩临海工业园相毗邻，主要机构包括福冈大学资源循环和环境控制系统研究所、新日铁北九州环境技术研究中心等。这些研究机构进行各环保领域的验证研究，如垃圾处理厂管理技术、焚烧灰再利用、食品残渣回收、污染土壤净化技术等。响滩临海工业园（响滩东部地区）则主要扶持中小型环保企业和新能源产业，包括风力发电项目、弹球游戏机再生项目、饮料容器和自动售货机再生项目、污泥、金属等的再生利用项目，超硬合金再生项目、手机再生项目等等。

为促进企业的共同发展，提高环境效益、降低排放，北九州市政府大力推动生态园区内企业的相互合作，以零排放为目标，在各区域内，让企业能够作为原料利用的废弃物进行互相交易。以汽车回收为例，依托2005年颁布实施的《汽车回收再利用法》，北九州市将原本分散在城区内的7家汽车拆解厂集体搬迁至响再生利用工厂群区，并设定了全国首个共同合作推进项目。与日本其他汽车回收企业相比，该项目更追求彻底的资源利用，所有的燃料、废油、废冷却剂等都会被彻底回收并处理，综合回收率可达95%。在技术上，该工厂通过严格的自动化技术实现拆解过程的环境友好性，包括全面铺装和四周设置沟槽防止环境负荷物质向地下渗透，并采用不会发生碎屑的工艺流程。所有拆解下来的零部件、铁块、保险杠等会被分类储存和出售，如时间太长无法出售的则以废弃物方式处理，如废旧轮胎会送至三菱化工厂投入燃烧，残余的轮胎金属部分则直接混入水泥窑中烧成粉碎后混合于水泥中使用。

截至2017年，生态工业园区的总投资额达到770亿日元（约45亿人民币），其中来自企业的投资额约占74%，国家拨款约占17%，其余来自市政府拨款。目前，北九州生态工业园区已实现各种方式的循环利用，发展为日本最大规模的再生产业基地。

图 29. 北九州生态工业园内的互相合作



### 3.4.5 VOCs 排放控制-自主减排和 3R 政策

北九州市对工业源 VOCs 的管控主要基于日本《大气污染防治法》、《恶臭防治法》和《工业安全与卫生法》三部法规。《大气污染防治法》主要对工厂和商业机构在生产和商业活动中的挥发性有机物排放进行了规定。其核心理念是“最佳政策混合”措施，即将法规管控与自主性减排措施相结合。法规管控主要针对大型排放源（排放量大于 50 吨/年），包括印刷设施、干燥设施（用于印刷、粘合剂、凹版印刷或平板印刷以及化工生产）、工业生产的清洁设施以及 VOCs 储罐。这些设施需要将设备的安装和变化的相关信息进行申报、遵守 VOCs 排放标准并进行 VOCs 的浓度监测。

表 26. 日本《大气污染防治法》中针对不同设施的 VOCs 排放标准

VOCs 排放设施	规模要求	排放标准	
用于生产使用 VOCs 作为溶剂的化学产品的干燥设备	送风或排风能力为每小时 3,000 立方米或更高	600 ppmC	
涂装设备（仅限于进行喷漆的设备）	排风能力为每小时 100,000 立方米或更高	用于汽车制造的	现有：700 ppmC
		其他的	新：400 ppmC
用于涂装的干燥设备（不包括与喷涂和电沉积涂漆有关的设备）	送风或排风能力为 100,000 立方米或更高	用于制造木材和木制品（包括家具）的	1,000 ppmC
		其他的	600 ppmC

用于粘合印刷电路的覆铜层压板、胶带/粘合片、剥离纸或包装材料（仅限于层压合成树脂的包装材料）的生产过程的干燥设备	送风或排风能力为每小时 5,000 立方米或更高。	1400 ppmC
用于粘合的干燥设备（不包括前款所列的干燥设备以及用于制造木材和木质产品（包括家具）的干燥设备）	送风或排风能力为每小时 15,000 立方米或更高	1400 ppmC
用于印刷的干燥设备（仅限于与胶版轮转印刷有关的设备）	送风或排风能力为每小时 7,000 立方米或更高	400 ppmC
用于印刷的干燥设备（仅限于与凹版印刷有关的设备）	送风或排风能力为每小时 27,000 立方米或更高	700 ppmC
工业用 VOC 清洗设施（包括干燥设施）	VOCs 与空气接触的面积等于或大于 5 平方米	400 ppmC
汽油、原油、石脑油和其他 VOCs 储罐，其蒸气压在 37.8 度的温度下超过 20 千帕（不包括密闭式储罐和浮顶罐（包括内浮顶罐））	储罐容量为 1,000 千升或以上	60,000 ppmC（对于现有储罐，排放标准适用于容量为 2,000 千升或更大的储罐）

自主性减排政策主要针对小型或中型设施以及未受到管控的设施。为调动中小型企业 VOCs 自主减排的积极性，日本政府推出了许多经济激励与引导政策，比如为购买 VOCs 处理设备的企业提供低息贷款，或提供安装低 VOCs 排放设备的税收优惠。同时，政府还会加强对企业的教育和引导，通过举办排放研讨会等方式加强企业的减排意识和能力。日本企业参与自主性减排政策的积极性很高，据统计，日本三分之二的 VOCs 减排量是通过行业协会组织协调企业自行完成的。下表列出了企业本身积极参与的相关措施，包括企业参与的动机、所能得到的收益、参与的方案设计和已有的参与方案。

**表 27. 日本企业参与 VOCs 减排的相关措施**

企业参与相关因素	具体参与措施
动机	<ul style="list-style-type: none"> <li>避免法律法规的制裁；</li> <li>在政策制定过程中企业可以派出代表参与；</li> <li>环境意识或者战略的要求。</li> </ul>
收益	<ul style="list-style-type: none"> <li>节约成本；</li> <li>减少强制性法规；</li> <li>减少邻居投诉和职员健康影响。</li> </ul>
方案设计	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用商业协会的方案；</li> <li>对于协会外企业采取跟踪方案。</li> </ul>
已有方案	<ul style="list-style-type: none"> <li>对于大气污染物的自愿管理项目；</li> <li>污染物排放与转移登记制度（PRTR）；</li> <li>绿色采购法。</li> </ul>

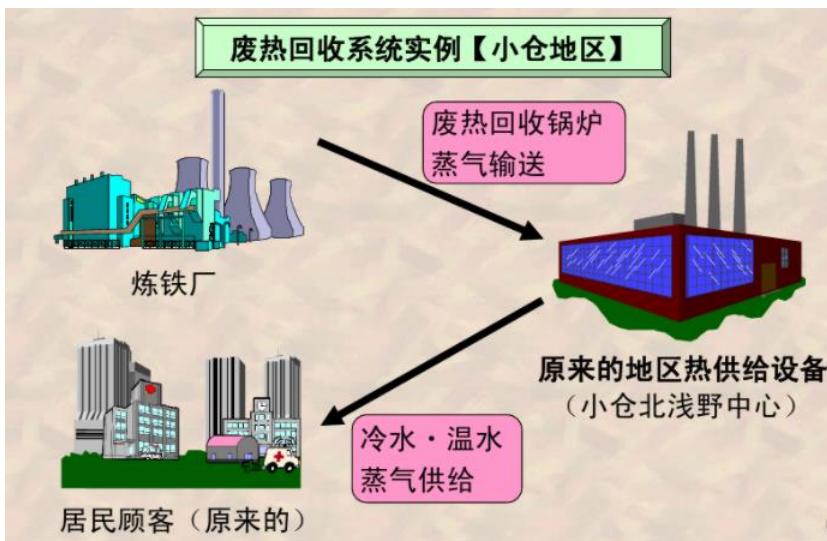
可以说，日本的 VOCs 管控既有政府政策的影响，也有企业本身的努力。根据 2021 年发布的《2020 年度挥发性有机化合物排放清单研究小组的报告》，日本中央环境委员会在控制 VOC 排放方面的基本立场是，首先要评估和促进自愿性的努力，同时最大限度地尊重过去自愿性努力的结果。为了监测控制 VOC 排放措施的进展，应报告自愿行动的状况以及法律和法规的效果，此外，还应定期监测自愿行动的状况、法律和法规的效果以及 VOCs 排放控制体系实施的其他方面。报告还提出有必要维护和更新 VOCs 排放清单，在编制 VOC 排放清单的过程中，政府和地方政府应努力确定有可能排放 VOC 的新行业和企业类型，并鼓励这些公司和行业减少 VOCs 排放，向这些公司和行业解释减少 VOC 排放的必要性和自愿努力的意义，并鼓励他们参与这些努力<sup>92</sup>。可以看出，日本可以取得较好的 VOC 减排效果与政府和企业自身的积极参与协同合作是密不可分的。

除排放控制政策外，在清洁生产方面，北九州市的企业要坚持 3R 原则，即减排（reduce）、再利用（reuse）和循环利用（recycle）。北九州市通过发展循环经济与回收利用，引进了一批再利用与循环利用企业。例如，NIPPON REFINE 株式会社是一家专门从事溶剂回收的环保企业。他们利用以蒸馏为中心的分离技术，从客户使用过的溶剂中提取目标成分，并交付给客户。如果客户不能回收溶剂，公司则利用其销售网络，将回收后的溶剂出售给其他公司，以实现更有效的资源利用。再例如，日本 Bent Night 工业株式会社主要从事活性炭再生业务，通过收集废活性炭，进行热处理再生和品质试验，再交付给同一客户，实现活性炭的回收利用。

下图展示了北九州工业园区的企业清洁生产与末端治理的实例。传统的末端治理主要是从污染物的排放口进行防治处理，而北九州市提倡的清洁生产技术则是从获取原料到产品制造、报废以及再生产利用等整个过程都建立在减轻环境负荷的思想基础之上，并包含了每一个环节的技术措施和系统管理方法的一种生产方式。北九州工业园区通过引进各类环保企业和材料回收利用企业，对生产设备及工艺的彻底改造，以及对废弃物、排热的循环利用，提高了原材料、燃料的利用效率，大大提高了生产效率，同时有效减少了污染物的排放，节约了资源及能源<sup>93</sup>。

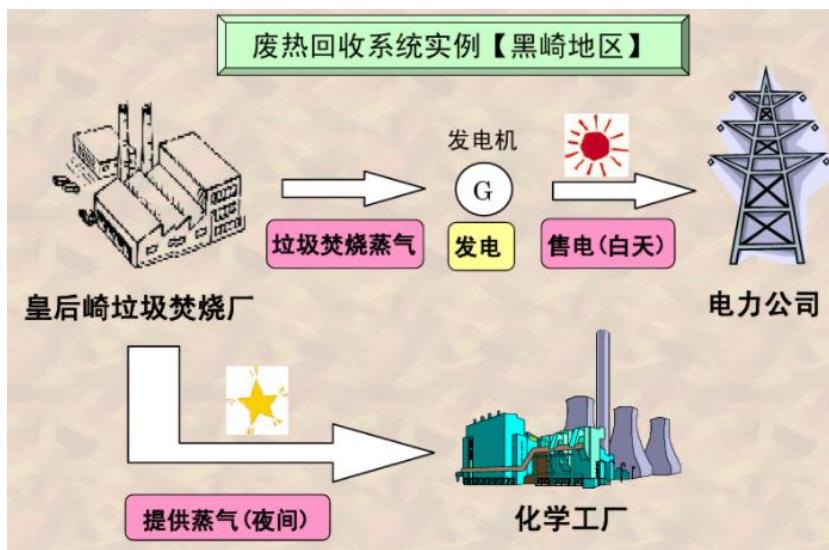
能源的梯级循环利用方式如下图所示：

图 30. 北九州市废热回收系统实例



<sup>92</sup> [http://www.env.go.jp/air/%20air/osen/voc/inventory/2\\_r2\\_main.pdf](http://www.env.go.jp/air/%20air/osen/voc/inventory/2_r2_main.pdf)

<sup>93</sup> 《环球视野》，朱光明，杨继龙。日本北九州：“灰色城市”到“绿色城市”的治理之路。



### 3.4.6 能源结构优化与低碳规划

北九州市希望通过推动生态工业园区的发展，同时成为解决环境和能源问题的基地。针对这个需要，北九州市采用了多种多样的减碳政策。在应用可再生能源方面，北九州市计划在工业园区内建设智能能源网，利用太阳能发电、风力发电、生物量火力、高效 LNG 火力等为厂区供能并逐渐向市区延展<sup>94</sup>。北九州市生态工业园开展了响滩海上风力发电项目，于 2017 年开始在响滩的一般海域进行导入海上风力发电的可行性调查。在港湾区域，园区目前已引入 Hibiki Wind Energy 的 44 台海上风力发电设备，计划于 2022 年开工建设并顺次投入运转。按照北九州市的计划，北九州市生态工业园未来会发展成为风力发电产业的综合基地，形成包括大型海上风力发电厂、测试中心、维修训练设施以及风车部件物流中心的风力发电产业集成体系，同时鼓励风力发电的相关企业来本地发展。除风电外，北九州市生态工业园也会成为新一代能源区，通过使用包括太阳能、沼气发电、小型水利发电、热电联产等多种方式逐渐摆脱对传统能源的依赖。下图展示了北九州市目前应用清洁能源及可再生能源的情况。

图 31. 北九州市生态工业园中的清洁能源分布

<sup>94</sup> <https://www.kitaq-ecotown.com/docs/20191030/nextgen-pamphlet-ch.pdf>



除政府措施外，北九州诸多非正式团体也组成了运营委员会并在 2009 年 3 月制定了“北九州环境示范都市行动计划”（北九州市绿色边界规划）<sup>95</sup>。这是北九州市“官、产、学、民”集中力量的重要体现。该计划提出了三条基本方针<sup>96</sup>：

- 通过工厂和街区的合作，确定以产业基础为核心的地域最佳能源系统，提出了“作为工业城市在低碳社会中的发展方式”：以北九州市的八幡东区东田地区为代表，对工厂旧址再开发，积极导入太阳能发电，建设能减少 30% CO<sub>2</sub> 排放量的环境共生住宅，利用焦炭工厂产生的市政企开设“北九州氢气站”等，并与 2010 年纳入“次世代能源、社会系统实证项目”4 个实施地区进行节能和碳减排的建设；
- 通过街区的集约化、使用期限长期化、提高公共交通设施的便利性等措施，提出了“应对少子老龄化社会的低碳社会的发展方式”：包括低碳化街区和节能建筑的普及、城市结构向集约型转换、高效率的交通系统的构筑，改变对机动车过度依赖的城市结构，合理抑制城市的扩张，实现中心城区的再生，最终建成宜居的街区；
- 为支持正在成长中的亚洲各工业城市的持续发展，提出了“指向亚洲低碳化的城市环境外交的发展方式”：在该行动计划中北九州市提出了到 2050 年相较于 2005 年的水平减少一半以上至 800 万吨水平，并且通过国际合作协助亚洲其他地区减排 2340 万吨，并于 2010 年 6 月成立了“亚洲低碳化中心”。

### 3.4.7 多方参与和国际合作

北九州工业园区的发展除了政府的有力政策支持、完善的法律保障体系外，还有各个组织和个人的自愿参与。北九州生态工业园区的建设以地方为主体，中央政府和地方政府共同辅助和管理，企业、研究机构、行政部门和城市居民都积极参与，形成了“官、产、学、民一体化”的生态工业园区管理和运作模式。与学界合作方面，北九州市的高校和科研机构作为北九州生态发展模式的主要技术支撑，积极展开了环保技术与理论的研究和实证，并不断向企业和政府输送环保人才，提供技术支撑。例如：“低公害型生产技术”

(Cleaner Production Technology) 的积极导入，不仅采用了集尘装置、脱硫脱硝装置、排水处理设施等

<sup>95</sup> 北九州市环境局环境政策部环境首都政策课，北九州市环境示范都市行动计划、2009。

<sup>96</sup> 《当代经济科学》，岸本千佳司，彭雪，日本北九州市的环境政策演变：从克服公海到创建环境首都，2010。

中断处理设备，而且通过对原材料的适用和生产工艺整体重新考虑及废弃物、排热的循环利用，提高了原材料、燃料的利用效率也大大减少了污染物质的排放。在与企业的长期合作进程中，高校和科研机构的学术水平也得到了极大的提升，为高校和科研机构自身的发展也奠定了雄厚的基础，并创设了市场指向型的应用平台。

与民众沟通方面，政府向社会和市民公开信息，加强与市民之间有关风险方面的信息交流。政府提倡并大力弘扬健康、积极的消费理念与生活方式，形成全社会愿意为环保产品支出成本的消费理念和消费行为。通过消费行为，制约企业的生产行为，迫使企业增强环保意识，提高环保水平。同时百姓环保意识增强，可以为生活垃圾的处理提供有效基础条件，减少垃圾产生量。北九州市生态工业园一般会定期开放再循环工厂，作为对学生进行环境教育的生动教材，向来参观的学生介绍生态工业园的产业活动内容；资助市民与非营利组织的绿色宣传活动。在大的开发建设项目开工前，政府会召开说明会和市民座谈会，通过政府的鼓励引导，吸引市民积极参与，取得公众的理解和信任<sup>97</sup>。企业也做到信息、设施公开，与市民共享信息，并制定风险管理与风险评价的方法，以加深相互的理解，力争避开或降低风险，最终消除市民的不安感与不信任。例如：2001年举办的以环境为主题的北九州博览节，展示了北九州市克服公害、发展经济的过程和成就，提倡绿色生活方式；2002年召开了以市民为主体的绿色宣传大会、推动市民、非政府组织和行政部门联合行动；还系统地编写了中小学综合环境教育辅导材料<sup>98</sup>。

除了上述政策与措施之外，北九州工业园和北九州政府还积极推进国际城市合作。早在1979年5月，北九州市就与大连市结成友好城市；1981年10月在大连开展了“公害管理讲座”；1993年12月北九州市提案“大连市环境示范区整备规划”；从1996年12月到2000年3月，在大连开展了开发调查和制定环境改善的总体规划，成为了国家级别的政府开发援助的案例，帮助大连市克服了大气和水资源污染的问题，致力于提高市民的环境意识和发展环保产业。在良好的城市合作关系下，大连市于2001年6月获评

“全球环境500佳城市”，成为中国第一个获得该奖项的城市。除对外援助外，北九州市也通过国际间的联合研究实现减排能力的提升。例如，北九州市环境局与上海市环境保护局（现上海市生态环境局）开展了关于VOCs减排对策的联合研究，共同开发对工业涂装领域、涂料油墨制造业和印刷包装行业的VOCs减排策略和技术；北九州市还与天津市联合开展了VOCs分析技术的联合研究，强化了两市VOCs环境监测的能力和实验室质量体系运营管理能力<sup>99</sup>。

目前，北九州市正在积极拓展国际城市网络，其国际城市网络计划主要包括：

- 亚洲环保合作城市网络：1997年在北九州市召开了“亚洲环保合作城市会议”，与东南亚四个国家的六个城市共同建立了环保城市合作网络；
- 东亚经济交流推进机构（环境分布）：2004年由日本、中国和韩国的十个城市组成，旨在通过推进经济和人文的交流，构建环黄海经济圈，我国的青岛、天津、大连等城市都与北九州市合作建设生态工业园区；
- 北九州环保倡议合作网络：2000年在联合国亚太经社委员会（UNESCAP）举办的创办，由18个国家62个城市组成，通过举行讲座、组织考察团、实施试点项目等活动形式积极促进城市环境的改善。

### 3.4.8 北九州工业园发展模式的启示

总而言之，北九州工业园区转型成功的原因是多方面的。这其中，值得参考和借鉴的主要有以下几点：

- “全员参与”的模式：北九州市以政府为主导机构，将企业、市民、非政府组织、高校与研究机构进行了有效的串联与引导，通过互动合作促进了环保项目的实施，在整体规划中体现工业发展与环境保护之间的平衡，适时调整法律，并提倡实施信息的公开化。在转型管理的过程中，通过创新性政策

<sup>97</sup> 日本生态工业园规划和机制研究。

<sup>99</sup> [https://www.iges.or.jp/jp/china-city/pdf/20161012/10\\_Kitakyushu\\_CN.pdf](https://www.iges.or.jp/jp/china-city/pdf/20161012/10_Kitakyushu_CN.pdf)

的实施，积累相关经验，进而将这些经验进一步反馈到下一阶段的政策制定，加强了政策形成和政策实施之间的联动性。

- **良好的规划和定位：**北九州市的工业园区规划和定位十分明确，依托不同地区的特点和优点，规划不同类型的工业园区，尽可能的增加企业之间的协同性。在产业结构上，北九州市能够顺应发展潮流，积极进行区域产业升级，及时跟进技术发展，引进绿色产业和环保产业，将新理念、新思想及时整合进入“北九州模式”的基本框架之中，保持了发展的活力。
- **充分发挥企业的作用：**北九州市企业在应对污染问题上发挥了关键性的作用，基于日本 VOCs 管控强制政策与自愿行动相结合的理念，由行业协会和大型企业带头实现 VOCs 的减排。比起政府的单方面管制，官民协作的公害对策更容易推行和实现。此外，依靠政府相关政策的支持和税收激励措施，企业得以将市场与环保紧密地结合起来，主动创新环保技术，提升环保水平，节省生产成本，提高企业竞争力。
- **推动循环经济和低碳发展：**根据城市周边的产业结构和需求，以及自身发展的需要，北九州市大力推动循环经济与回收利用，引进相关企业，支持相关研究，将工业园区内部乃至整个城市通过循环经济连接起来，实现综合的环境效益。
- **注重交流与合作：**北九州市积极与国内及国际城市进行环境方面的交流，建立友好关系和城市间合作平台，就关键环境问题展开联合研究，在输出自身经验的同时，也提升自身能力和知名度，为城市内工业园区和企业的发展提供了新的方向。

### 3.5 活性炭再生利用

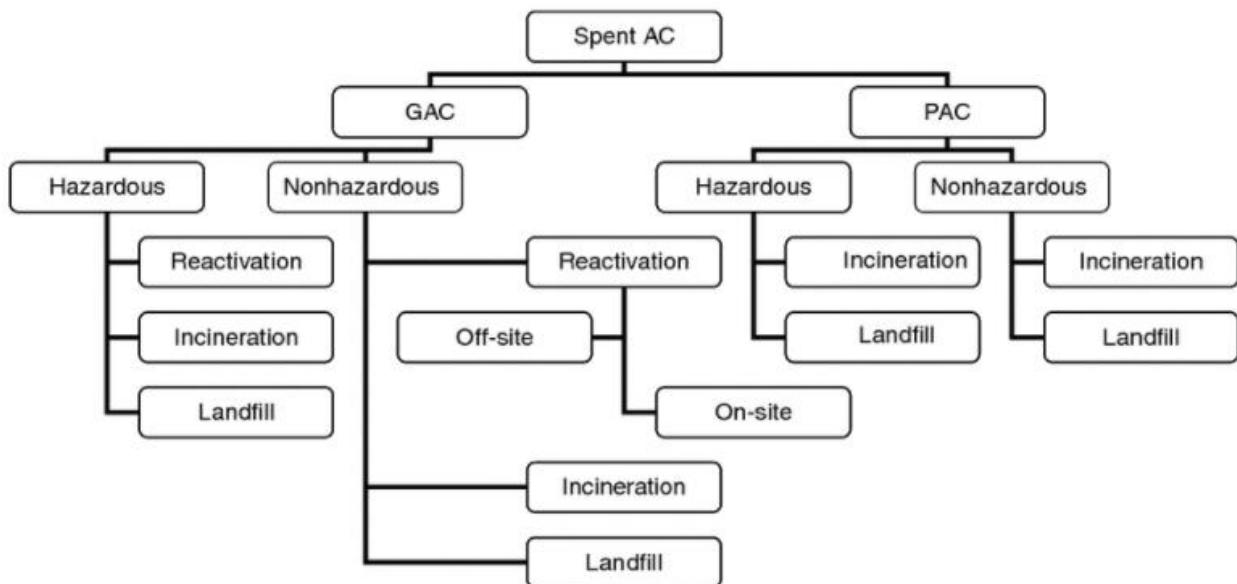
如前文所述活性炭被广泛利用于各个工业园区和工业行业之中。活性炭可以作为优良的吸附剂被用于多种工艺过程，但是由于活性炭在使用过程中容易饱和而失去吸附能力，必须经常更换，但由于活性炭的价格因素且大多数废活性炭属于危险废物，因此需要找到处理废活性炭的合理方法。美国国家科学工程和医药学会<sup>100</sup>总结了三种常见的处理废活性炭的方法：

1. 再生 Reactivation;
2. 填埋 Landfill;
3. 焚烧 Incineration。

活性炭一般可分为颗粒活性炭（GAC）和粉末活性炭（PAC），对于这两种类型的活性炭，美国国家科学工程和医药学会也总结了其分别适用的处理方式，如下图所示：

图 32. 废活性炭的处理方法通用流程图

<sup>100</sup> <https://www.nap.edu/read/12646/chapter/7#46>



GAC 和 PAC 都可以分为有害类和无害类，分别进行处理，对于 GAC 来说，有害的和无害的活性炭主要处理方法有再生、填埋和焚烧；而对于 PAC 来说，基本属于不可再生的活性炭，处理方法只有焚烧和填埋。

在活性炭的再生上，有多家外国公司有着较为丰富的处理和再生经验，比如 CalgonCarbon 公司、日本三菱化学公司、库拉雷化学公司、BiecoLink 公司等。日本的 Kuraray Co., Ltd 公司是日本的一家化学品材料生产商，其旗下的 CalgonCarbon 公司在活性炭再生业务上有着较为完善的技术和经验。颗粒活性炭（GAC）的吸附能力使其成为除去水、空气、液体和气体中各种污染物的理想产品。同时，GAC 也是一种环保产品，可以通过热再生，在同一应用中多次使用。通过变更生产条件，形成不同的内部孔隙结构，使得每个产品种类具备独特的吸附能力<sup>101</sup>。CalgonCarbon 公司可以对吸附能力耗尽的活性炭进行热再生，高温再生后的废气处理能够破坏掉吸附的有机化合物，而再生活性炭能够重新回到相关设施中继续使用。

CalgonCarbon 公司的再生流程包含的主要步骤：

- 废活性炭在不含氧的熔炉中加热，利用蒸气作为氧化剂；
- 吸附的有机物可从活性炭中挥发，或者被分解成焦炭；
- 挥发的有机物在熔炉补燃器中被处置消灭；
- 利用化学洗涤器去除酸性气体；
- 与蒸气的高温反应可恢复活性炭的吸附能力。

通过再生，废颗粒活性炭可回收再利用，几乎抵消了处理相关废弃活性炭的成本。此外，从环境保护的角度来说，再生活性炭过程中的 CO<sub>2</sub> 排放量明显低于天然活性炭生产、供应及使用过程产生的 CO<sub>2</sub> 排放量，有利于碳中和目标的建设和工业园区的可持续发展。

对于活性炭的再生工艺过程，需要再生炉保持在负压状态，确保不会向外部环境泄漏。再生炉的废气通过一个后燃烧器，以销毁任何残留的未燃烧的有机物。然后，排放流通过一个化学洗涤器，以去除任何可能已经形成的酸性气体。最后的处理是通过袋式除尘器，以去除留在气流中的任何微粒物质<sup>102</sup>。

新加坡裕廊集团作为新加坡裕廊工业园的管理单位，也是新加坡第一家建设活性炭工厂的企业，该工厂每个月大约可以处理 300 吨废活性炭来生产再生活性炭，从而在工业生产过程中继续作为净化成分。

<sup>101</sup> <https://www.calgoncarbon-china.com/granular-activated-carbon/>

<sup>102</sup> [https://www.calgoncarbon.com/app/uploads/Reactivation\\_Services\\_FAQ.pdf](https://www.calgoncarbon.com/app/uploads/Reactivation_Services_FAQ.pdf)

### 3.6 对北京市工业园区 VOCs 管控发展方向的思考

本章对工业园区 VOCs 的管控策略和典型案例进行了介绍和分析。总的来看，工业园区管理的全流程都有 VOCs 的减排空间，国际和国内的许多工业园都已进行了相关实践并取得了很好的成果。就北京市的情况来看，北京市的工业园区以高新技术产业和制造业为主，开发程度较高，基础建设较完善，已经有了不错的基础。考虑到园区进行 VOCs 管控时，往往也伴随着其他环境效益的提升，接下来北京市的园区的总体思路应是向生态工业园区逐步转型。根据对北京市两个典型园区的调研结果，以及对 SCAQMD 经验的梳理，课题组对北京市工业园区 VOCs 管控及整体发展的思考如下：

- 根据城市的总体工业发展方向，对现有工业园的定位进行梳理。按照目前北京市的现有规划，如 2021 年的《北京市人民政府关于印发《北京市“十四五”时期高精尖产业发展规划》的通知》，北京市目前的发展目标为“一区两带多组团、京津冀产业协同发展”，主要企业发展方向为智能制造、产业互联网、医药健康、集成电路、智能网联汽车、智能制造与装备和绿色能源与节能环保。按照这个思路，将各个工业园的定位进行进一步明确，并作出区分。并且按照各园区的定位，对相关的公共设施和基础设施进行规划。
- 选择合适的管理模式。从国际和国内园区的管理经验来看，政府管和的工业园区往往能够实现更强有力的法规执行和监管，而企业管理的工业园区则会在配套公共设施/服务以及打通企业合作路径方面有更大的优势。对于北京现有的大型工业园，主要还是政府下属的管委会管理为主。这种情况下，应该：
  - 充分发挥管委会在监管上的优势，通过政策手段对园区内企业的 VOCs 排放提出整体要求；
  - 根据园区定位和《准入清单》，完善企业准入制度，将更多的准入批准权限给予管委会，通过 VOCs 总量控制和行政许可等手段对入驻企业的排放水平提出要求。
  - 对于新型工业园区，可以试点管委会行政管理+企业园区管理的新型管理模式；对于现有园区，可尝试引进第三方支持/咨询/服务机构，为企业入驻全流程的 VOCs 减排提供协助。
- 根据园区定位和企业类型，引入合适的公共设施和服务商。对于燕山石化和石化新材料产业园，依托燕山石化可以为下游提供大量石化原材料的优势，完善园区内的管网和物流系统，支持下流企业更高效的获取相关原料；对于北京经济技术开发区，其工业 VOCs 排放以溶剂使用类型为主，且排放控制设备多为活性炭吸附或沸石转轮 RTO，可尝试引入国外或国内的先进溶剂回收企业或活性炭再生企业；对于以汽车制造或装备制造为主体的园区，还可尝试引入先进的机动车拆解回收企业及其他相关回收企业，促进园区内循环经济的发展，增加材料的利用效率。
- 强化园区的 VOCs 监测和管理体系。参考上海、江苏等园区的 VOCs 监测预警系统建设的经验，对于石油化工园区，以管委会为投资主体，建设覆盖厂区的 VOCs 监测预警系统，并辅以走航监测等形式对园区 VOCs 排放进行长期监管。开发园区的 VOCs 排放源管理系统，对企业的排放源和排放数据进行统一管理。对于由管委会管理的园区，应制定完善的巡检和监察流程，对企业实行 LDAR、源头替代、过程控制、末端治理的效果进行监管。
- 根据《国家生态工业示范园区标准》（HJ 274-2015），设定北京市相应的生态工业园区发展目标和标准，定期对现有工业园区的发展水平进行评价。
- 通过定期交流会、顾问委员会等形式增强与企业及其他利益相关方的沟通，提升园区企业在政策制定中的参与度，鼓励企业通过主动减排的方式获得政策或要求的豁免；园区应与周边相关科研机构组成合作伙伴，产学研一体，进行技术研发和创新，并通过园区企业进行试点，实现减排新技术的快速研发和应用。
- 园区管委会或管理机构应设置公共平台，向公众告知园区相关 VOCs 排放信息、空气质量监测数据、执法信息等，并提供公众意见的反馈渠道。

## 4. 工业园区 VOCs 的精细化管控-以南海岸空气质量管理局为例

第三章中提到，针对不同 VOCs 排放源进行精细化管控是实现 VOCs 排放最直接的途径。而从第三章的典型工业园区案例中也可以看出，不论是由政府机构管理的工业园区，还是由企业管理的工业园区，对 VOCs 排放源的管理仍然主要依赖于政府和环境主管部门的 VOCs 管控法规和政策。同时，政府针对工业园区和园区内工业源 VOCs 所展开的监测、监管、研究等行动和项目也可以为工业园区 VOCs 的管控提供有效的支撑，并为园区管控策略的发展提供方向。正因如此，本章将以美国南海岸空气质量管理局为例，对工业园区 VOCs 的精细化管控进行讨论。

### 4.1 美国 VOCs 排放管控架构概述

美国对 VOCs 的管控主要依托于联邦清洁空气法案（CAA）。根据这个法案的要求，美国环保署（US EPA）出台了一系列的管控法规和政策。整个管控体系包括几项核心要求，涉及到工业源 VOCs 产生的各个环节<sup>103</sup>：

- 《清洁空气法案》要求 US EPA 设立国家环境空气质量标准（NAAQS）。该标准包括对于 6 种主要环境空气污染物的浓度限值：CO, Pb, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM 和 SO<sub>2</sub>。根据地区对各项污染物的浓度的达标与否，US EPA 会将各地区指定为“达标区”或“非达标区”。各项政策的要求会因地区程度而发生变化。
- 对于臭氧空气质量超标的州/地区，美国环保署（US EPA）要求各州制定州实施计划（SIP）来达到 NAAQS 中的空气质量限值。对于臭氧超标程度不同的地区（轻微、中度、重度、严重、极度），US EPA 对 SIP 会有不同的要求（例如，不同的汇报日期，更严格的监测要求，更严格的新源管理策略）。
- US EPA 要求所有州都必须建立排放源清单，并定期更新。
- “新排放源能力标准”（NSPS）要求 US EPA 建立包括所有重要行业主要排放源的排放限值，并对这些排放源设立硬件/运行上的相应要求，以控制首要污染物的排放。此标准一般适用于这些排放源设备的制造商（例如固定式燃气轮机制造商）。此外，与 NSPS 相似的“有毒空气污染物国家排放标准”（NESHAP）中有一些也有对 VOCs 管控的要求。
- “新排放源审查”（NSR）要求所有主要固定排放源在新建或主要改建之前取得 US EPA/州或地方空气管理机构的预建许可和运营许可，并使用“最低可达排放速率”（LAER）或“最佳可行控制技术”（BACT）。对于达到 NAAQS 地区的新建排放源或改建大型排放源，则需申请“防止显著恶化”（PSD）许可证。
- “管控技术指南”（CTG）和“可行技术指南”（ACT）<sup>104</sup>为不同源类型的 VOCs 管控技术和相应投资额度提供了相关信息。
- “运营执照”（Title V）要求包含有主要排放源的工业企业实际运行时向政府机构取得运营执照。主要排放源的定义在达标区或轻微或中度不达标区为 100 吨/年，在重度不达标区为 50 吨/年，严重不达标区为 25 吨/年，极度不达标区为 10 吨/年。
- 针对溶剂 VOCs 含量的 VOCs 含量限值法规，如国家 VOCs 排放标准法案。

排污执照制度是美国 VOCs 管控中最重要的一环。除特殊情况外，一般新源审查执照证会由州政府或地方空气质量管理机构颁发。各州可以根据其空气质量管理需求对新源审查的要求和执行程序进行修订，但必须达到或超过 US EPA 的要求。因此，美国的各州往往会在联邦政府的要求上有更精细化的 VOCs 排放控制

<sup>103</sup> <https://www.epa.gov/regulatory-information-topic/regulatory-information-topic-air>

<sup>104</sup> [https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/control-techniques-guidelines-and-alternative-control-techniques#:~:text=Control%20Techniques%20Guidelines%20\(CTGs\)%20are,and%20their%20respective%20cost%20effectiveness.&text=Note%20%E2%80%93%20This%20document%20is%20regarded,with%20an%20EPA%20document%20number.](https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/control-techniques-guidelines-and-alternative-control-techniques#:~:text=Control%20Techniques%20Guidelines%20(CTGs)%20are,and%20their%20respective%20cost%20effectiveness.&text=Note%20%E2%80%93%20This%20document%20is%20regarded,with%20an%20EPA%20document%20number.)

和管理要求。以美国加州为例，对于主要工业源的管控除了要满足联邦的要求之外，一般工业源还要基于加州的 **BACT**（严格程度相当于联邦政府的 **LAER**），以及 **TBACT**（基于有毒空气污染物的 **BACT**），申请基于人体健康影响的运行执照。

在规划上，美国的各个城市会在城市中划分专门的“工业街区”或“工业园区”来容纳各个工厂和企业，形成专门的工业区块。这样的划分不仅方便城市对不同类型的工业企业进行管理，也方便环境部门进行管控。在规划新的工业园区时，相关单位需要编写环境影响报告（**EIR**）并发送给空气质量管理部门询问意见。

总体而言，美国对工业区域 **VOCs** 管控的总体思路是通过规划、管理、检测、报告、执法、激励等措施综合减少工业区域 **VOCs** 的排放，例如：区域规划、累计影响、**VOCs** 排放清单和台账、检测网络和监测计划等。除此之外，美国各地区也在使用不同的经济手段来降低来自工业源和工业园区的污染，这其中包括收费机制和经济激励机制，例如

- 要求工业企业每年申报 **VOCs** 等污染物排放情况并按排放量缴纳排污费，如南加州的“年排放报告”项目（**AER**）；
- 通过不同的激励机制鼓励现有企业主动置换单个或整个园区的高污染设备，如加州的 **Carl Moyer** 项目（The Carl Moyer Memorial Air Quality Standards Attainment Program）<sup>105</sup>；
- 通过不同的激励机制鼓励现有企业使用零排放或近零排放的技术和设备，如德州的“新技术实施补贴项目”（**NTIG**）<sup>106</sup>；
- 鼓励使用零排放或近零排放技术和设备的企业进入城市的工业区域/园区（提供补贴、简化申请流程等）。

经过数十年的努力，美国的 **VOCs** 管控已取得显著成效。按照美国 2014 年国家排放清单（**NEI**）的数据<sup>107</sup>，从 1990 年到 2014 年，美国的人为 **VOCs** 排放下降了 47%（从 2300 万吨每年下降至 1220 万吨每年）。其中，来自工业源的 **VOCs** 排放从 1400 万吨下降至 750 万吨，下降幅度达到近 53%<sup>108</sup>。

## 4.2 南海岸空气质量管理局及其空气质量法规架构

美国加州的南海岸空气质量管理局（**SCAQMD**）是南加州的空气质量监管机构，管辖南加州的四个郡县，面积为 10743 平方英里，约为北京市的 1.7 倍<sup>109</sup>。其管辖范围内有 1700 万人口，占比接近加州总人口的二分之一。根据《联邦清洁空气法案》和《加州清洁空气法案》，**SCAQMD** 通过制定计划、法规和项目，减少来自工业和商业的空气污染物和温室气体排放，帮助地区实现空气质量达标。**SCAQMD** 管辖范围内包括约 28400 个企业，大约 25% 的臭氧前体污染物来自于固定源，另外 75% 则来自于移动源。由于移动源的减排措施主要由联邦（如美国环保署）和州政府（如加州空气资源管理局）制定，因此 **SCAQMD** 的主要职责范围在于对固定源排放进行管理。

**图 33. 南海岸空气质量管理局管辖范围**

<sup>105</sup> <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/carl-moyer-memorial-air-quality-standards-attainment-program>

<sup>106</sup> <https://www.tceq.texas.gov/airquality/terp/ntig.html>

<sup>107</sup> [https://cfpub.epa.gov/roe/indicator\\_pdf.cfm?i=23](https://cfpub.epa.gov/roe/indicator_pdf.cfm?i=23)

<sup>108</sup> Calculated based on data in <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/air-pollutant-emissions-trends-data>

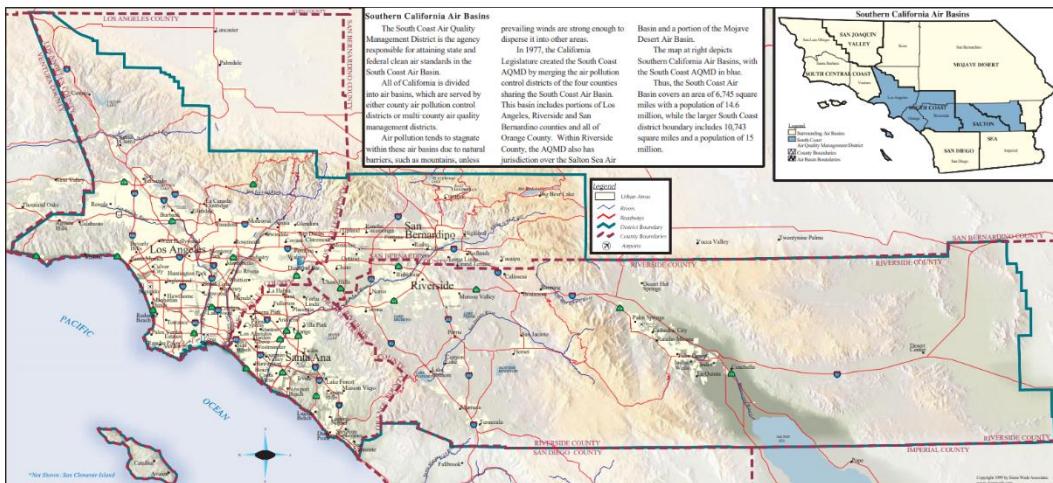
<sup>109</sup> <https://www.aqmd.gov/docs/default-source/default-document-library/map-of-jurisdiction.pdf>



# SOUTH COAST AIR QUALITY MANAGEMENT DISTRICT

21865 Copley Drive, Diamond Bar, CA 91765-4182

Information: 1-800-CUT-SMOG (1-800-288-7664)

Internet: <http://www.aqmd.gov>

SCAQMD 的空气质量管理框架可分为如下五个组成部分：

- 空气质量监测（Air Monitoring）：空气质量监测数据是评估地区空气质量、减排策略成效、以及进行模式验证的重要参考依据。
- 策略研究和规划（Planning）：系统性的针对各类型的污染问题研究制定相应的管制策略。
- 法规制定（Rules and Regulations）：纳入诸多考量因素制定法规。
- 行政许可（Permitting）：通过发放和审批行政许可对固定污染源进行管理。
- 监察执法（Enforcement）：根据法规开展监察执法活动，确保相关方的合规。

这五个部份组成了一个完整的循环管理框架，如下图所示：

图 34. 南海岸空气质量管理局空气质量循环管理框架

## Holistic Air Quality Management



SCAQMD 的污染物管理逻辑是优先管制对人体健康有影响的污染物类型（有害空气污染物），其次是对区域性空气质量产生影响的污染物（如 PM 或臭氧），最后是温室气体。其污染物排放控制策略的制定基于定期更新的《空气质量管理计划》。

SCAQMD 是目前世界上对工业源 VOCs 管控最细致、要求最严格的地区之一，也取得了诸多成效。此外，其面积与人口也与北京市在同一量级。因此，本课题以 SCAQMD 为例，梳理总结 SCAQMD 的工业 VOCs 排放管控法规架构、管控历程及管控细节，旨在为北京市进一步完善 VOCs 排放管控体系提供参考，同时为北京市工业园区 VOCs 的管控提供新的思路。

#### 4.2.1 SCAQMD 的空气质量管理法规架构

经过多年发展和实践，SCAQMD 已经构建了一套完整的空气质量管理法规体系，其核心是根据联邦和加州法律要求所制定的一系列空气质量管理法规，与之配套的是对应各个法规实施的合规项目、计划和工作组。法规的制定需要考量多种因素，包括技术可行性、产品性能、成本有效性、对企业的符合、地方竞争力、行政负荷、减排收益及达标时间等。其当前空气质量管理法规的结构如下表所示：

**表 28. 南海岸空气质量管理局法规目录**

法规章节	主要内容	法规编号
I.	一般规定	Rules 101 - 118
II.	排放许可	Rules 201 - 223
III.	缴费	Rules 301 - 320
IV.	禁止项	Rules 401 - 481 and Addendum
V.	听证会前程序	Rules 501 - 518.2
VI.	(暂时为空)	
VII.	紧急情况	Rules 701 - 715
VIII.	消减令	Rules 801 - 817
IX.	新固定源能力审查 (NSPS)	Regulation IX
X.	有害空气污染物国家排放标准 (NESHAP)	Regulation X
XI.	与特定排放源相关的规定	Rules 1100 - 1196
XII.	与加州健康与安全法案第 40509 节相关的规定	Rules 1201 - 1231
XIII.	新排放源审查 (NSR)	Rules 1300 - 1325
XIV.	有毒物质和其他非首要空气污染物	Rules 1401 - 1480
XV.	行程削减/间接源	Rules 1501 - 1504
XVI.	移动源抵消项目	Rules 1605 - 1634
XVII.	防止显著恶化 (PSD)	Rules 1701 - 1714 and Appendix
XVIII.	(保留)	
XIX.	联邦符合性法规	Rules 1901 - 1902
XX.	区域性清洁空气激励市场 (RECLAIM)	Rules 2000 - 2020
XXI.	可携带设备注册	Rule 2100
XXII.	移动源减排项目	Rule 2202
XXIII.	基于特定设施类型的移动源措施	Rule 2305

XXIV.	在用移动源减排项目	Rule 2449
XXV.	内部信用交易	Rules 2501 - 2507
XXVII.	气候变化	Rules 2700 - 2702
XXX.	Title V 排放许可	Rules 3000 - 3008
XXXI.	酸雨许可项目	Subpart A - I
XXXV.	铁路和铁路运营	Rules 3501 - 3503

如上可见，SCAQMD 的法规涉及到包括首要空气污染物、有害空气污染物、其他有毒物质以及温室气体等多种污染物，且针对不同的排放源类型和设施，从规划、建设、运营到转卖、关停的不同阶段均设有不同的法规。法规类型一般分为两种：行政法规和非行政法规。大部分法规属于非行政法规，这类法规一般包括对设备的详细要求。另外一部分法规属于行政法规，又可分为两种：基于市场的法规和命令与控制法规（Command-and-Control）。基于市场的法规规定了排放污染物需要的成本，如需要缴纳排污费等；命令与控制法规则规定了对某一行业的排放要求，如设施排放标准或需要达到的排放控制技术水平。对于某一特定法规，其法规结构一般包括四部分的内容：适用范围、术语、法规要求和豁免。

#### 4.2.2 VOCs 排放管控法规

在所有 SCAQMD 法规中，与工业源 VOCs 排放相关的法规主要包括以下几个章节：

- 第一章：一般条款
  - 该章节主要包括对 VOCs 的定义（Rule 102）、对含 VOCs 物料使用的台账要求（Rule 109）、以及产品 VOCs 含量标准测试方法（Rule 109）。
- 第二章：排放执照
  - 该章节主要包括区域内与区域内设施建设或运营执照相关的法规和要求。执照分为预建执照和运营执照两种。如 4.1 节所述，SCAQMD 对执照的要求基于美国《清洁空气法案》，并由联邦政府授权区政府、地区政府进行管理，执照的主要内容以排放源和排放控制设备为基础。预建执照主要适用于新建排放源以及申请变更的重大排放源，执照要求这类排放源采用最佳可行控制技术（BACT）或实现最低可达排放速率（LAER）。运营执照适用于所有重大污染源，除垃圾焚烧厂外每 5 年更新一次，包括对污染源监测、记录保存及申报等的要求。排放较高的大型工业企业除需遵守本章的法规要求之外，还需要额外遵守第三十章：Title V 排放执照中的要求。执照审查的重点包括排放限值、BACT/LAER，污染物累积排放量以及健康风险评估等等。
  - 该章节还包括对连续排放监测装置（CEMS）的要求，SCAQMD 要求企业使用的 CEMS 需要事先取得认证。
- 第三章：费用
  - 该章节主要包括对各种收费的法规和要求。与工业源 VOCs 排放最为相关的是许可相关的费种，包括许可证申办手续费、年许可费以及排污费，费率由设施类型和排放量决定。例如，如果设施的年有机气体排放量达到了 4 吨每年，即需要缴纳相应的排污费。此外，违法及不合规行为的罚金也在本章有所规定。
- 第四章：禁止项
- 第七章：紧急情况
  - 该章节主要包括对重污染天气响应的法规和要求。例如，当空气中臭氧小时浓度达到 0.20 ppm, 0.35 ppm, 0.50 ppm 时，设施需启动一级、二级、三级响应。对于年 VOCs 排放

量在 100 吨以上的设施，启动二级或三级响应后，需要在工作日减少至少百分之二十的 VOCs 排放。

- 第九章：NSPS
  - 该章节主要列出了所有与 NSPS 相关的联邦法规条款。
- 第十一章：与特定排放源相关的规定
- 第十三章：NSR
  - 该章节主要包括与新排放源审查相关的法规和要求。
- 第十七章：防止显著恶化（PSD）
  - 该章节主要包括与联邦 PSD 相关的法规和要求。《清洁空气法案》要求 SCAQMD 对已达《国家环境空气质量标准》（NAAQS）地区的新的固定污染源进行空气质量分析和施工前审查，确保其不会导致该地区空气质量恶化，且能够保持一段时间。同时，该法规还要求该设备使用最佳可行控制技术（BACT）。
- 第二十五章：内部信用交易
  - 该章节包括对一些排放交易项目及激励项目相关的法规和要求。例如空气质量投资计划是一个自愿性的合规替代项目，通过向 SCAQMD 支付资金，资助特定的固定源和移动源减排战略，来达到等同于或高于投资方所需履行的第十一章法规中要求的减排量。
- 第三十章：Title V 排放执照
  - 第一阶段法规要求年 VOCs 实际排放量在 8 吨/20 吨/80 吨（取决于设施所在地区）的设施申请 Title V 排放执照；第二阶段法规（2020 年 12 月及之后）要求设施根据排放潜力申请 Title V 排放执照。

这其中，直接对设施运营过程中 VOCs 排放提出要求的法规主要集中在法规第四章和第十一章。第四章主要是非行政法规，对工业生产过程中的设备提出要求，而第十一章主要是与生产过程相关的 VOCs 排放标准。目前，SCAQMD 与 VOCs 管控相关的现行法规共有 58 部。这些法规可以根据排放源类型分为如下三类：涂装作业、溶剂使用和过程排放，其制定理念是对不同类型的排放源实现精确管控。58 部法规如下表所示。

**表 29. 南海岸空气质量管理局与工业 VOCs 排放相关的法规**

法规实施年	法规编号	法规名	法规最新修订年	修订次数
1976	Rule 442	溶剂使用	2000	5
1976	Rule 443	溶剂标签	1976	0
1976	Rule 461	汽油转运和分配	2012	19
1976	Rule 462	有机液体装载	1999	6
1976	Rule 464	废水分离系统	1990	4
1976	Rule 465	炼油厂真空装置或系统	1999	6
1976	Rule 466	泵和压缩机	1983	4
1976	Rule 467	减压装置	1982	1
1976	Rule 470	沥青鼓风	1976	0
1977	Rule 463	有机液体储存	2011	5
1977	Rule 481	喷涂作业	2002	4
1978	Rule 1104	木质扁材的涂装作业	1999	7
1978	Rule 466.1	阀门和法兰	1984	3

法规实施年	法规编号	法规名	法规最新修订年	修订次数
1979	Rule 1107	金属零件和产品涂料	2020	18
1979	Rule 1108	稀释沥青	1985	3
1979	Rule 1108.1	乳化沥青	1983	2
1979	Rule 1115	机动车组装线涂装作业	1995	6
1979	Rule 1122	溶剂型脱脂剂	2009	10
1979	Rule 1123	炼油厂工艺周转	1990	2
1979	Rule 1125	金属容器、盖子和线圈涂装作业	2008	11
1979	Rule 1126	漆包线涂装作业	1995	7
1979	Rule 1128	纸张、织物和薄膜涂装作业	1996	8
1980	Rule 1103	药品和化妆品制造	1999	2
1980	Rule 1130	图形艺术	2014	15
1983	Rule 1136	木制品涂料	1996	11
1983	Rule 1141	控制树脂生产中的挥发性有机化合物排放	2000	4
1983	Rule 1141.1	涂料和油墨制造	2000	3
1983	Rule 1145	塑料、橡胶、皮革和玻璃涂料	2009	16
1984	Rule 1141.2	表面活性剂制造	2002	2
1985	Rule 1163	控制氯化乙烯的排放	1985	0
1986	Rule 443.1	含有有机溶剂的材料标签	1986	0
1987	Rule 1149	储罐和管道的清洗和脱气	2008	3
1987	Rule 1162	聚酯树脂作业	2005	11
1988	Rule 1106	船舶和游艇涂料	2019	8
1988	Rule 1151	机动车和移动设备非装配线涂装作业	2014	13
1988	Rule 1164	半导体制造	1995	3
1988	Rule 1166	土壤去污的挥发性有机化合物排放	2001	2
1989	Rule 1168	粘合剂和密封剂	2017	14
1989	Rule 1173	控制石油设施和化工厂部件的挥发性有机化合物泄漏和释放	2009	5
1989	Rule 1175	控制聚合蜂窝（泡沫）产品生产过程中的排放物	2010	4
1989	Rule 1176	污水处理系统的 VOCs 排放	1996	3
1990	Rule 1110.2	气体燃料和液体燃料发动机的排放	2019	11
1991	Rule 1130.1	丝网印刷作业	1996	2
1991	Rule 1171	溶剂清洗作业	2009	10
1991	Rule 1179	公共处理设施作业	1992	1
1998	Rule 1118	控制炼油厂火炬的排放	2017	2
2000	Rule 1131	食品制造和加工	2003	1
2000	Rule 1189	氢气厂工艺排放口的排放物	2000	0
2001	Rule 1132	进一步控制高排放喷房设施的 VOCs 排放	2006	3

法规实施年	法规编号	法规名	法规最新修订年	修订次数
2001	Rule 1178	进一步减少石油设施储罐的 VOCs 排放	2020	3
2003	Rule 1133.1	切削和研磨活动	2011	1
2009	Rule 1143	消费品级油漆稀释剂和多用途溶剂	2010	3
2009	Rule 1144	金属加工液和直接接触的润滑剂	2010	1
2012	Rule 1177	液化石油气转让和分配	2012	0
2013	Rule 1114	炼油厂焦化作业	2013	0
2017	Rule 1180	炼油厂边界和社区空气质量监测	2017	0
2019	Rule 1118.1	控制非炼油厂火炬的排放	2019	0

从表中可以看到，SCAQMD 在工业 VOCs 管控上的起步较早，在 1976 年就颁布了 9 部与工业 VOCs 管控相关的法规-涉及到不同过程的 VOCs 排放。1978 年，第一部针对特定工艺过程的 VOCs 管控法规出台，且分工业过程进行管控成为之后法规的重点。1979 年，SCAQMD 集中出台了 8 部与 VOCs 管控相关的法规，主要针对工业涂料、沥青制造和炼油厂过程排放。1980 年至 1990 年，更多与不同制造业相关的专项法规出台，同时 SCAQMD 还对石化行业储罐和管道的清洗和脱气作业，以及泄漏检修等提出了要求。1990 年至 2000 年的新法规相对较少，最重要的法规是对一般溶剂清洗作业的规定。至此，一个面向全工业行业的 VOCs 管控法规体系已经基本形成。2000 年之后，SCAQMD 进一步对重点 VOCs 排放源，如高排放喷漆房，以及石油储罐等提出了专项法规。2017 年，第一个与工业 VOCs 监测相关的专项法规出台，主要针对炼油厂，要求炼油厂进行厂界和周边社区的分组分连续空气质量监测。目前，SCAQMD 正计划对储罐的 VOCs 排放法规（Rule 1178）进行进一步修订。

从修订次数来看，许多法规，尤其是现行法规，都经历了多次修订。以金属零件和产品涂料法规（Rule 1107）为例，自 1979 年颁布后，该法规共经历了 18 次大大小小的修订，最新一次的修订在 2020 年。一般来说，进行法规修订的主要原因有以下几点：

- 增加/修改定义，如添加产品类型等；
- 对排放限值、含量限值或相关要求进行修订，以实现进一步的减排；
- 对法规的适用范围和/或豁免条件进行修订；
- 添加标准测试方法。

与我国或北京市现有法规对比来看，SCAQMD 的法规更偏重于对不同工艺流程的排放进行管控，法规种类多，每项法规中的规定比较细致，对于某些重点行业可能有多个法规同时进行约束；而我国或北京市的法则主要针对某一类型排放源或工业领域出台整体性的排放控制法规，例如由生态环境部发布的《挥发性有机物无组织排放标准》（GB 37822-2019）中就涉及了 SCAQMD 多个法规中包括有机液体装载、溶剂使用、废水分离系统等的要求。

### 4.3 炼油化工行业 VOCs 排放源管控

SCAQMD 对不同工业流程的 VOCs 管控是十分精细的。辖区内的洛杉矶及其周边郡县是全美最早要求石油、石化以及有机化工行业实行泄漏检测与修复（LDAR）的地区，旨在有效地控制阀门、法兰或螺纹接头和泵/压缩机密封器等管道组件产生的逸散性 VOCs 排放。本节根据对燕山石化的实际调研结果，对 SCAQMD 辖区内炼油厂的几个重点 VOCs 管控法规进行总结和分析。

#### 4.3.1 泄漏检测与修复（LDAR）

LDAR 技术是指对工艺装置的潜在泄漏点进行定期检测，以及时发现存在泄露现象的组件，并进行修复和替换，从而降低泄漏排放。LDAR 包括识别、定义、检测、修复、记录保存和报告五大环节。SCAQMD

的 Rule 1173 是专门对工艺装置 LDAR 进行要求的法规<sup>110</sup>，最早颁布实施于 1989 年，历经 5 次修订，最新版本为 2009 年的修订版。该法规对泄漏标准、泄漏检测方法以及泄漏修复要求等进行了规定。

下表比较了该法规与北京市现行的 DB11 /447-2015 标准以及 GB 37822-2019 国标中对 LDAR 的要求的异同。

**表 30.SCAQMD Rule 1173 与国内现行法规 LDAR 要求的对比**

要求	SCAQMD Rule 1173 种要求	DB11 /447-2015 中要求	GB 37822-2019 中要 求
适用对象	轻质液体、气体、蒸汽流经肉眼可见的设备或管线组件，以及所有重质液体流经的主要及次要管线组件	挥发性有机物流经的以下可能产生挥发性有机物泄漏的设备或管线组件：  泵、压缩机、泄压设备、取样连接系统、阀门、开口阀门及管线、法兰及其他连接件、其他密封设备。	企业中载有气态 VOCs 物料、液态 VOCs 物料的设备与管线组件的密封点大于等于 2000 个。  需要检测的组件包括：  泵、压缩机、泄压设备、搅拌器（机）、阀门、开口阀门及管线、法兰及其他连接件、取样连接系统、其他密封设备。
挥发性有机物泄漏认定	a) 挥发性有机物泄漏检测限值：  轻质有机液体、气体、蒸汽流经的组件：50000 ppm  重质液体流经的组件：500 ppm  b) 在任何连续的 24 小时内发生泄漏，则使用以下标准泄漏阈值：  轻质有机液体、气体、蒸汽流经的组件：10000 ppm  释压装置：200 ppm  用于重质液体的泵：100 ppm	满足下列条件之一，则认定为泄漏：  a) 目测设备与管线组件存在液滴滴下现象，或  b) 挥发性有机物泄漏检测值超过规定的限值：  泵、压缩机：1000 ppm 其他：500 ppm	满足下列条件之一，则认定为泄漏：  a) 密封点存在渗液、滴液等可见泄漏现象，或  b) 挥发性有机物泄漏检测值超过规定的限值：  气态：5000 ppm / 2000 ppm（重点地区）  挥发性有机液体：5000 ppm / 2000 ppm（重点地区）  其他液态 VOCs 物料：2000 ppm / 500 ppm（重点地区）
泄漏检查	泵、压缩机、释压装置：每 8 个工时巡检目视检查；  所有可及的轻质液体、气体、蒸汽流经的组件和重质液体流经的泵：每 3 个月检测一次	泵、压缩机、释压装置：每日巡检目视检查；  泵、压缩机：每 3 个月检测一次；  释压装置：每 3 个月及每次释压排放后 5 日内检测一次  其它：每 6 个月检测一次	每周进行目视检查；  泵、压缩机、搅拌器、阀门、开口阀或开口管线、泄压设备、取样连接系统：每 6 个月检查一次；  法兰及其他连接件、其他密封设备：每 12 个月检测一次；

<sup>110</sup> <http://www.aqmd.gov/docs/default-source/rule-book/reg-xi/rule-1173.pdf>

要求	<b>SCAQMD Rule 1173 种要求</b>	<b>DB11 /447-2015 中要求</b>	<b>GB 37822-2019 中要 求</b>	
	<p>所有不可及的轻质液体、气体、蒸汽流经的组件：每年检测一次</p> <p>释压装置：每次释压排放后当日检查一次，14 日内复检一次</p> <p>所有经过维修或更换的组件，更换的 30 日内检测一次</p> <p>如果设施密封点超过 25000 个，则需要保留检测的电子记录</p>		<p>释压装置：每次释压排放后 5 日内检测一次</p> <p>设备与管线组件初次启用或维修后，90 日内检测一次</p>	
泄漏超标的认 定	<p>如果 SCAQMD 在检查中发现企业存在如下条件之一，则认定为违规：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 挥发性有机液体泄漏大于 3 滴/分钟，或</li> <li>b) 挥发性有机物泄漏检测值超过规定的限值：</li> </ul> <p>轻质有机液体、气体、蒸汽流经的组件：50000 ppm</p> <p>重质液体流经的组件：500 ppm</p> <p>c) 在任何连续的 24 小时内发生泄漏，且数量（见下表）超过该部件的标准泄漏阈值：</p> <table border="1"> <tr> <td>轻质有机液体、气体、蒸汽流经的组件：10000 ppm</td> </tr> </table> <p>释压装置：200 ppm</p> <p>用于重质液体的泵：100 ppm</p> <p>d) 开放式管路和位于管路末端的阀门，没有用盲板、塞子或第二个封闭的阀门进行密封。</p>	轻质有机液体、气体、蒸汽流经的组件：10000 ppm	<p>满足下列条件之一，则认定发生了泄漏超标：</p> <p>挥发性有机液体泄漏大于 3 滴/分钟，或</p> <p>根据受检测设备或管线密封点数量，存在泄漏的密封点数量超过规定。</p>	
轻质有机液体、气体、蒸汽流经的组件：10000 ppm				
泄漏源修复	一般为 7 日，运营者可选择不超过总组件数量 0.05% 的泄漏组件延长修复期限（7 日）。对于严重泄漏的组件（泄漏量超过	存在泄漏的设备及管线组件以及挥发性有机液体泄漏数量不超过 3 滴/分钟的泄漏，应予	对泄漏源予以标识并及时修复，5 日内进行首次修复，15 日内完成修复。	

要求	<b>SCAQMD Rule 1173 种要求</b>	<b>DB11 /447-2015 中要求</b>	<b>GB 37822-2019 中要 求</b>
	10000 ppm)，修复期限为 1 日-2 日，延长修复期限最多为 3 日  如果某组件已在连续 12 个月内由于泄漏更换了 5 次，则需要将该组件更换为 BACT/BRACT，或将组件排气至废气控制装置  所有泄漏、维修、重新检查的记录需要按季度提交至 SCAQMD，且每年需提交年度检查报告	以标识，并最晚不迟于自发现之日起 15 日内完成修复。  不能在 15 日内完成修复的泄漏的情况，应提前记录备案，并在具备条件时立即完成修复。记录应至少保存 2 年。	符合下列条件的组件可延迟修复，但应报生态环境主管部门备案，并于下次停车（工）检修期间完成修复：  a) 停车（工）条件下才能修复；  b) 立即修复存在安全风险；  c) 其他特殊情况。
泄压设备	炼油厂的所有释压装置需要安装防修改的电子阀门监测设备（记录释压时间及释放量）  如果某直接排放的释压装置在连续 24 小时释放量超过 500 磅 VOCs，则需要进行故障分析并于 30 日内采取措施  在以下两种情况下，所有原油日产量超过 20000 桶的炼油厂均需要在将释压装置采用密闭排气至回收或污染控制设备，除非设施运营者愿意支付 35 万美元的罚金：  a) 在一个 5 年周期内出现两次以上的连续 24 小时内超 500 磅 VOCs 排放，或 b) 连续 24 小时内超 2000 磅 VOCs 排放  所有直接排放的释压装置释放量超标（100 磅 VOCs）时，均需在 1 个小时内通知 SCAQMD，且在事件发生后 30 日内提交书面报告	释压装置应采用密闭排气至回收或污染控制设备，不能密闭排气至回收或污染控制设备的释压装置应提前记录备案。记录应至少保存 2 年。  直接排放的释压装置应记录每次释压的持续时间和释放量。若连续 24 小时内释放量超过 250 kg，应进行故障分析并于 30 日内采取措施，并记录故障分析结果和采取措施情况。记录应至少保存 2 年。	在工艺和安全许可的条件下，泄压设备泄放的气体应接入 VOCs 废气收集处理系统。
检测方法	US EPA Method 21	《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物 检测技术导则》（HJ 733-2014）	《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物 检测技术导则》（HJ 733-2014）
记录保留时间	5 年	2 年	3 年

要求	<b>SCAQMD Rule 1173 种要求</b>	<b>DB11 /447-2015 中要求</b>	<b>GB 37822-2019 中要 求</b>
豁免	<p>满足以下条件的组件可以豁免检查：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 检查组件会导致安全风险；</li> <li>b) 组件正在被维修或更换；</li> <li>c) 组件用于承载商业天然气；</li> <li>d) 流经组件的液体的 VOCs 含量在 10% 或更低；</li> <li>e) 组件在负压的密闭环境下运行；</li> <li>f) 组件完全封闭，不会有 VOCs 排放；</li> <li>g) 组件位于地下；</li> <li>h) 储罐的真空阀；</li> <li>i) 适用于 Rule 1178 的储罐舱门；</li> <li>j) 对于泄压设备：由于不可抗力因素导致的泄漏；</li> <li>k) 用作超压保护的泄压阀，但该泄压阀排放的液体必须排放至排水管道或回流至管道系统。</li> </ul>	无	<p>满足以下条件的组件可以豁免检查：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 组件在负压的密闭环境下运行；</li> <li>b) 采用屏蔽泵、磁力泵、隔膜泵、波纹管泵、密封隔离液所受压力高于工艺压力的双端面机械密封泵或具有同等效能的泵；</li> <li>c) 采用屏蔽压缩机、磁力压缩机、隔膜压缩机、波密密封隔离液所受压力高于工艺压力的双端面机械密封压缩机或具有同等效能的压缩机；</li> <li>d) 采用屏蔽搅拌机、磁力搅拌机、密封隔离液所受压力高于工艺压力的双端面机械密封搅拌机或具有同等效能的搅拌机；</li> <li>e) 采用屏蔽阀、隔膜阀、波纹管阀或具有同等效能的阀，以及上游配有爆破片的泄压阀；</li> <li>f) 配备密封失效检测和报警系统的设备与管线组件；</li> <li>g) 浸入式（半浸入式）泵等因浸入或埋于地下以及管道保温等原因无法测量的设备与管线组件；</li> <li>h) 安装了 VOCs 废气收集处理系统，可捕集、输送泄漏的 VOCs 至处理设施；</li> <li>i) 采取了其他等效措施。</li> </ul>
其他要求	如果设施在连续 5 个季度内没有组件出现泄漏现象，则运营者可向 SCAQMD 申请减少检查频次	无	开口阀和开口管线需要配备合适尺寸的盲法兰、盖子、塞子或二次阀。

要求	<b>SCAQMD Rule 1173</b> 种要求	<b>DB11 /447-2015</b> 中要求	<b>GB 37822-2019</b> 中要求
			<p>气态 VOCs 物料和挥发性有机液体取样连接系统应符合下列规定之一：</p> <p>a) 采用在线取样分析系统；</p> <p>b) 采用密闭回路式取样连接系统；</p> <p>c) 取样连接系统接入 VOCs 废气收集处理系统；</p> <p>d) 采用密闭容器承装，并记录样品回收量。</p>

由上表可见，SCAQMD 对 LDAR 有比较详细的规定。与国内及北京市的现行标准相比，其区别主要在于以下几点：

- 泄漏标准更加精细，对于不同的流经物质及设备类型有不同尺度的标准；
- 对泄漏源修复的要求相对严格，尤其是对泄压装置和泄漏较为严重的组件；
- 对泄压装置监测及排放事件的要求更严格；
- 对企业按时报告的要求更严格；
- 有相对丰富的豁免条件，例如如果物料含 VOCs 比例较低，则可申请豁免；
- 对表现好的企业有相应的宽限政策。

除法规上的要求外，SCAQMD 在法规执行上也有一些精细化的措施。例如，SCAQMD 认为工作人员的技术能力和专业素质的 LDAR 的关键，因此其会为检测员与技师提供统一与标准化的培训和认证。在人员资质方面，从事浮顶罐检查、石棉拆除和清除、目视评估排放等工种的技术人员必须取得强制性专业认证，企业内部进行 LDAR 组件检查的人员也需获得推荐性认证。作为标准化培训的补充，还有许多培训班旨在为相关人员提供特定类型的排放源和排放控制设备的常识。这一举措保证了各企业执行 LDAR 工作的质量。

从监管的角度上，SCAQMD 对企业执行强有力的监管政策，不仅要求企业按季度汇报检查结果，还会每年展开“Blue Sky”突击检查执法，检查企业的合规情况。同时，SCAQMD 也为表现良好的企业提供了优惠政策，鼓励企业自行提升 LDAR 的效率，减少 VOCs 无组织排放。该法规的实施效果比较好，据统计，2007 年至 2011 年的组件泄漏率较为稳定，约在 0.26% 至 0.8% 之间。

对于北京市来说，地标《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》于 2015 年发布，其中已经包括了许多对 LDAR 的要求。总体来说，北京市的要求较国标更为严格，泄漏阈值更低，且对检查频次的要求也比较高。但相比国标和 SCAQMD 的法规，北京市的要求也有一些还需要完善，例如，需要对不同组件的泄漏标准进行更详细的区分，增加豁免条件，以及提高对监测和报告的要求等等。鉴于燕山石化是北京市唯一一家大型炼油石化企业，且燕山石化已经在 LDAR 上做了大量工作，并建立了电子化管理系统，本课题组对 LDAR 管控方面的建议如下：

- 适时修订《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》，根据目前的无组织排放国标以及国际标准（SCAQMD、BAAQMD 等）将目前的 LDAR 相关要求更加精细化，包括：

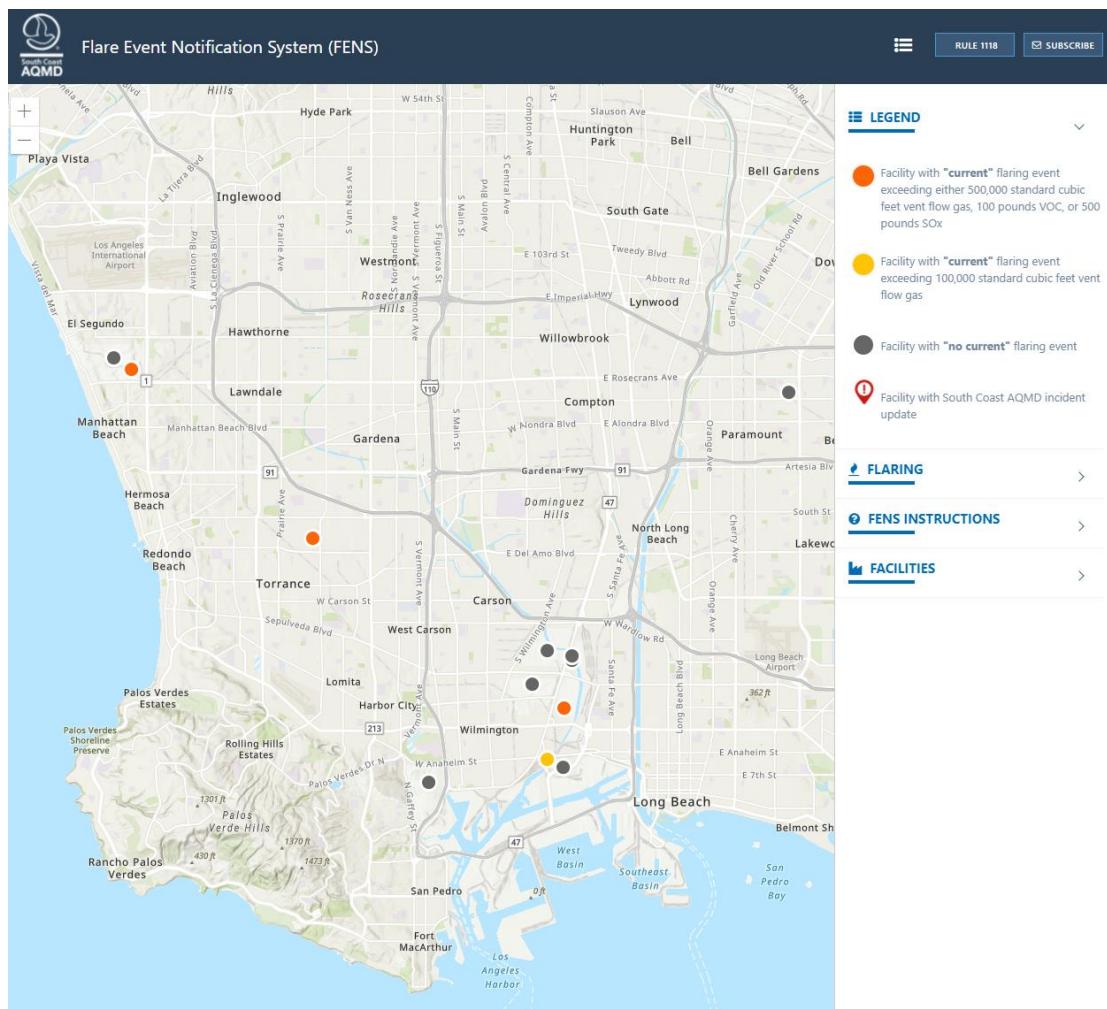
- 泄露认定及修复方面，评估燕山石化目前 LDAR 的运行情况，对不同类型以及不同物质流经的组件进行进一步区分，如适当提高对释压装置和泵的要求，维持或降低对普通组件或长期保持良好运转组件的要求（如设立豁免条件）；
- 报告方面，要求燕山石化及其他炼油石化企业将 LDAR 数据与生态环境主管部门联网或定期上报，并聘用第三方对企业进行周期性（如每年一次）的独立审计；
- 豁免方面，增加合适的豁免条件，鼓励企业采用密封性好， VOCs 无组织排放低的组件。
- 依托研究机构或第三方对企业 LDAR 相关负责人开展培训，或要求 LDAR 执行方通过审查或认证，提升 LDAR 能力和执行效率；保持与企业的沟通渠道，对于一些 LDAR 开展过程中的重点和难点（如检测位置、距离等）进行解答。
- 进一步完善无组织 VOCs 排放计算方法，提升排放清单的准确度，为后续政策规划和制定提供依据，也保证企业能够更有效地评估减排的需求和成效。

#### 4.3.2 火炬

SCAQMD 辖区内共有 30 座火炬，分别来自 7 个炼油厂、3 个制氢厂和一个硫回收厂<sup>111</sup>。火炬的运行模式一般分为两种，一种是“计划性事件”，即在设定好的维修环节、设备开停机或其他情况下按计划使用火炬；另一种是“非计划性事件”，即在设备出现故障、断电或其他紧急情况下使用火炬，避免工业装置中的气体对周边环境和人群造成影响。针对这两种火炬运行模式，SCAQMD 颁布实施了 Rule 1118 – 控制炼油厂火炬，对火炬的使用和管理进行管控。该法规要求每个设施监测火炬的排放情况，达到排放目标，定期向 SCAQMD 提交通知和报告，并保持公众咨询热线的畅通。根据企业提交的信息，SCAQMD 开发了火炬时间通知系统（FENS），在地图上实时显示各火炬的位置和运行状况，使公众能够得到第一手的信息。

**图 35. 南海岸空气质量管理局火炬时间通知系统（FENS）**

<sup>111</sup> <http://www.aqmd.gov/home/rules-compliance/compliance/r1118>



Rule 1118 的核心要求包括以下几项：

### 火炬运行要求

SCAQMD 对火炬运行的参数提出了较为细致的要求。所有火炬都必须以无烟、无可见排放的方式运行，每两个小时可见排放的持续时间不得超过五分钟。所有炼油厂的一般服务火炬需要保证焰口速度低于 60 英尺每秒。自 2019 年开始，所有火炬的 15 分钟平均燃烧区气体净热值需要保持在 270 BTU/ft<sup>3</sup> 或更高，该热值需要通过在线监测仪器确定。

### 火炬监测及报告

SCAQMD 要求设施提交火炬监测和记录计划（Flare Monitoring and Recording Plan），该计划需要包括如下内容：

- 设施的平面布置图，注明火炬位置；
- 火炬的类型和参数；
- 先导气和吹扫气的性质、流量、最大硫浓度、热值；
- 火炬结构图，注明主要组件及其尺寸和管道设计；
- 工艺流程图；
- 对辅助系统的过程控制、火焰检测系统和点火系统进行完整描述；
- 对气体燃烧过程和火炬操作方法进行完整描述；

- 对火炬气回收系统和蒸气回收系统进行完整描述；
- 注明火炬气取样的地点、流量计的位置、热值分析仪的位置以及硫分析仪的位置；
- 对所有火炬监测仪器的类型、特点、功能、精度、维护流程、数据验证方式等进行详细描述；
- 对开/关流量指示器的设置和验证设置的方法进行完整描述；
- 火炬排气的热值和硫含量的分析/取样/计算方法；
- 火炬监测系统的数据收集、记录、管理方法；
- 对每次火炬事件确定、监测、和记录气体体积、热值和总流浓度的方法进行详细描述；
- 对新启用或重新开始启用的设施，一个详细的为火炬安装监测系统的计划；

各个设施需要在火炬计划批准后 6 个月内开始实施，需要监测的参数包括气体流量、热值和总硫浓度。针对火炬监测系统，Rule 1118 提出了下列要求：

- 火炬监测系统的非正常停机时间不得超过每季度 96 个小时；例行维护时间不得超过每 18 个月 14 天，且需要向 SCAQMD 提交申请；
- 监测一般气体火炬的监测系统需要配备连续流量计、连续热值分析仪，且连续流量计必须能够准确的测量总排气体积；
- 使用热电偶或其他同等装置监测引燃火焰；
- 使用彩色摄像机监测可见排放，且需要有时间戳。

在报告方面，SCAQMD 要求设施定期进行如下报告：

- 设置 24 小时电话热线，接受公众关于火炬事件的质询；
- 对任何排气量超过 50 万立方英尺或 VOCs 排放量超过 100 磅的非计划火炬事件，一个小时内通过网络平台向 SCAQMD 提交事件通知；
- 对任何排气量超过 50 万立方英尺或 VOCs 排放量超过 100 磅的计划火炬事件，开始前 24 小时通过网络平台提交事件通知，且开始前 1 小时对通知进行更新；
- 对任何日累计排气量超过 10 万立方英尺的计划或非计划火炬事件，对相应的通知进行更新；
- 按季度提交火炬排放报告，说明季度内各个火炬的排气量和污染物排放量，描述所有的计划和非计划火炬事件和排放量，描述监测系统的停机时间及理由，以及所有的事件通知。

### **特殊原因分析（Specific Cause Analysis）**

对于所有的非计划火炬事件，当排气流量超过 50 万立方英尺，SO<sub>2</sub> 排放量超过 500 磅，VOCs 排放量超过 100 磅，或违反了火炬的运行要求时，运营方均需要进行特殊原因分析。该分析需要在火炬事件发生后 30 天内完成并提交至 SCAQMD，内容包括：事故发生的原因、持续时间以及任何已经执行的或计划的缓解和纠正措施。运营方需要在事件发生的 45 天内实施特殊原因分析中提到的缓解和纠正措施，除非向 SCAQMD 提出延期申请并获得批准。

对于严重性较低的非计划火炬事件，如果排气量超过了 5000 立方英尺，运营方也需要分析事件发生的原因并告知 SCAQMD。

### **范围界定书（Scoping Document）**

SCAQMD 要求所有设施运营方在 2017 年至 2018 年之间提交范围界定书，评估削减火炬排放的可行性。排放削减目标包括：

- 按照炼油厂 2004 年度原油处理能力，每百万桶原油的硫氧化物排放为 0.1 吨；
- 按照炼油厂 2004 年度原油处理能力，每百万桶原油的硫氧化物排放为 0.05 吨；
- 按照炼油厂 2004 年度原油处理能力，每百万桶原油的硫氧化物排放为 0.01 吨；
- 来自清洁气流（甲烷、氢、液化石油气等）的 VOCs 排放量为 0.1 吨/年。

该文件需要包括对减排方法、技术可行性、预计支出和时间因素的分析。除计划事件外，对于四种意外情况导致的非计划事件，运营方需要至少分析三项物理或自动化过程控制技术，可以用于减少这些情况下的非计划火炬排放。需要分析的情景包括：

- 相当于 2012 年以来所有紧急事件导致的最高排放气体流量突然涌入火炬气体集管；
- 某拥有最高回收气体燃烧率的工艺设备突然停机；
- 设施的所有外部电力供应突然丧失；
- 任何非后备电力装置突然失去所有电力供应。

### 排放目标和火炬削减计划（FMP）

如果设施在某一年的火炬排放超过了 Rule 1118 中规定的排放目标（0.5 吨二氧化硫每百万桶原油），则需要制定火炬削减计划并报 SCAQMD 批准，同时缴纳相应的罚金（25000 美元每吨超额排放）。该计划需要详细的描述设施计划采取的减排政策和措施，并提供详细的设备参数和流程示意图。

除以上主要要求外，Rule 1118 还详细描述了对火炬监测系统的要求以及排放计算方法。可以看出，SCAQMD 非常重视来自火炬的排放，对辖区内火炬的管理十分精细，尤其对含硫化合物非常重视。相比较而言，目前中国的法规和标准以对火炬的设计要求为主，精细化程度还有待提高。2015 年颁布的《石油炼制工业污染物排放标准》（GB 31570-2015）和《石油化学工业污染物排放标准》（GB 31571-2015）均对火炬提出了相关要求，包括：采取措施回收排入火炬系统的气体和液体；在任何时候，挥发性有机物和恶臭物质进入火炬都应能点燃并充分燃烧；应该连续监测、记录引燃设施和火炬的工作状态（如火炬气流量、火炬头温度、火种气流量、火种温度等），并保存记录 1 年以上。北京市的 DB 11/447-2015 额外提出了对火炬放空的要求：装置开停车、检修、紧急事故等非正常工况下废气可排入火炬燃烧放空，火炬安装消烟装置。正常工况下排放废气应回收或排入污染控制设备处理。紧急状况下需要燃烧放空时，应记录火炬燃烧放空数据（火炬气流量、火炬头温度、燃烧时间、冒黑烟时间、燃烧气体的成分及硫含量）备查，记录至少保存 2 年。北京市的标准相对国标更加严格，但仍然尚未针对火炬的使用和排放提出精细化的管理要求和排放限值。

有研究指出，目前国内火炬的燃烧效率在 90%-95% 之间，没有达到预期的 98% 的燃烧效率，因此火炬燃烧时仍会有较多的残留 VOCs 排入大气<sup>112</sup>。此外，火炬燃烧会造成大量的温室气体排放。从减排和减碳的角度考量，对于火炬排放进行进一步管控仍是重要且必要的。因此，课题建议如下：

- 对现有标准进行修订或更新，要求企业强化对火炬的管控，制定相应的管理计划，并对火炬流量和热值进行连续监测；
- 针对非密闭的火炬，每次使用需向生态环境主管部门进行报告，并及时通知公众，至少半年进行一次排放报告；
- 针对火炬气的特征和性质进行进一步的研究，开发更精确的排放因子和排放计算方法，对火炬排放进行核算。

#### 4.3.3 监测

空气质量监测是 SCAQMD 空气质量管理中的重要环节，其重要性主要在于了解空气质量现状，同时，监测结果可作为评估政策减排效果的依据。VOCs 和臭氧都是 SCAQMD 展开空气质量监测的对象，常规监测项目包括基准污染物监测计划（SLAM）、光化学评估监测网络（PAMS）、国家有害空气污染物趋势监测站（NATTS）等。目前，SCAQMD 的各个空气监测项目如下表所示<sup>113</sup>。

<sup>112</sup>

<http://www.hjkxyj.org.cn/html/2019/9/20190903.htm#:~:text=API%E6%A0%87%E5%87%86%E4%B8%AD%E8%A7%84%E5%AE%9A%EF%BC%9A%E7%81%AB%E7%82%AC,%E4%B8%8D%E9%AB%98%E4%BA%8E115%20dB>.

<sup>113</sup> <http://www.aqmd.gov/docs/default-source/clean-air-plans/air-quality-monitoring-network-plan/annual-air-quality-monitoring-network-plan-v2.pdf>

表 31.SCAQMD 的 VOCs 相关常规空气质量监测项目

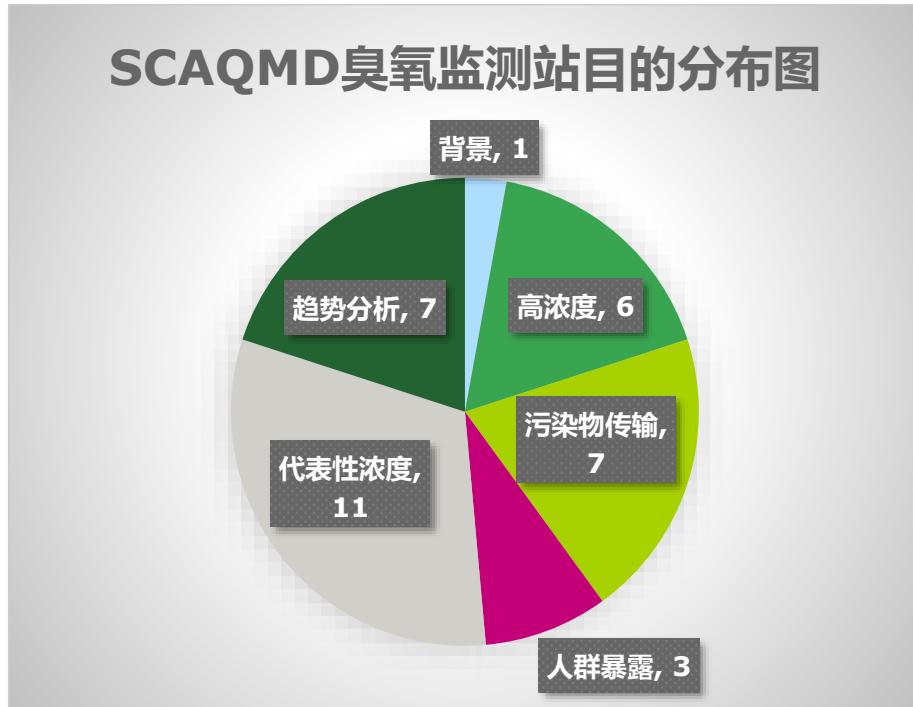
项目名称	目的	数量	监测污染物种类	使用仪器
基准污染物监测计划 (State and Local Air Monitoring Sites, SLAM)	进行区域性综合空气质量监测, 分为四种类型: 最高浓度站、人群暴露站、来源导向站、背景站	共 42 个, 其中 29 个站进行 O <sub>3</sub> 浓度监测	CO、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub> 、PM2.5、PM10 及 PB 等基准污染物	臭氧分析仪, 每周进行采样介质的装载
光化学评估监测网络 (Photochemical Assessment Monitoring Stations, PAMS)	主要设置于 O <sub>3</sub> 浓度较高的地区, 监测影响近地面 O <sub>3</sub> 的各项空气污染物。共分为四种类型: 上风背景站、最高前驱物站、最高 O <sub>3</sub> 浓度站、最高下风浓度站	2 个	O <sub>3</sub> 、CO、NO、NO <sub>2</sub> 、NO <sub>y</sub> 、58 种 VOCs 以及气象参数等	Auto-GC, 连续监测, 小时平均值
国家有害空气污染物趋势监测站 (National Air Toxics Trends Station, NATTS)	主要监测有害空气污染物的浓度	2 个	重金属、多环芳烃碳氢化合物 (PAHs)、醛酮类化合物等	与 SLAM 站点相同

下图展示了 SCAQMD 的 29 个 O<sub>3</sub>浓度监测站的分布和监测目的。

图 36. 海岸空气质量管理局臭氧监测站分布



图 37. 南海岸空气质量管理局臭氧监测站监测目的分布图



由上可见，SCAQMD 辖区内臭氧监测站点的设置与其监测目的是密不可分的。29 个常规臭氧监测站中：1 个是用于监测南加州盆地的 VOCs 背景值；6 个是为了监测区域内的最高臭氧浓度；7 个是为了监测臭氧在不同区域间的传输过程；3 个位于人群稠密的地区；11 个平均分布在区域内的不同地区，用于代表不同区块的平均臭氧浓度，另外 7 个用于比较臭氧浓度的变化趋势。按照联邦的要求，SCAQMD 每年会对空气质量监测网络进行评估和更新，通过空气质量监测网络计划（AQMNP）报告对监测点或仪器设备增加、迁移或终止的需求。最新的 2021 年 AQMNP 发布于 2021 年 7 月。

除常规监测项目外，SCAQMD 还会运行一系列特殊监测项目，来表征各个次区域或社区的有毒空气污染物和其他标准污染物的水平，为后续的法规规划、制定和执法提供支持。目前，SCAQMD 运行的与 VOCs 或臭氧相关的特殊监测项目包括：

#### 多种有毒空气污染物暴露研究（Multiple Air Toxics Exposure Study, MATES）

MATES 是一项于 1986 年开始的有毒空气污染物研究，主要针对有致癌性的有毒空气污染物。1998 年的 MATES II 对 40 种已知的有毒空气污染物进行了监测，同时通过模型表征了这些污染物带来的健康风险。2004 年的 MATES III 进一步研究了这些空气污染物对人体健康的负面影响。目前最新的 MATES V 项目从 2018 年 5 月至 2019 年 4 月，历时一年完成。该项目包括一个由 10 个固定站组成的监测项目，同样通过排放清单和模型研究表征健康风险<sup>114</sup>。其中，VOCs 浓度监测主要使用 Xontech PC 罐采样器，通过 GC-MS 分析；而对醛酮类化合物的监测主要使用 DNPH 硅基试剂盒，通过 HPLC 分析。MATES V 尤其注重对炼油厂周边的有毒空气污染物浓度进行监测和研究，其监测计划中提出使用数种最先进的空气质量监测技术，例如：

<sup>114</sup> [http://www.aqmd.gov/docs/default-source/planning/mates-v/appendixiii\\_final.pdf?sfvrsn=4](http://www.aqmd.gov/docs/default-source/planning/mates-v/appendixiii_final.pdf?sfvrsn=4)

- 基于航空的红外成像测量技术提供了主要炼油厂所在区域的空气污染物浓度地图，该技术可以轻易找到普通监测方式中难以发现的污染源和“热点地区”，测量结果可用于指导地面走航的路线和传感器的布置。
- 光学帐篷（optical tent）主要采用光学遥感技术进行苯、甲苯和二甲苯的近实时测量，用于提供连续的炼油厂监测数据和即时的泄漏检测。
- 高密度低成本传感器网络主要用于测量重点区域的 VOCs。该网络被设置在一个主要炼油厂周边的弱势社区中，传感器使用 S-Pod 低成本传感器，可以采集周边的 VOCs 浓度。该网络一共包括 36 个 S-Pod 传感器。
- FluxSence 监测车主要利用远红外传感技术检测甲烷和非甲烷 VOCs 组分，主要用于表征炼油厂的排放并识别可能的泄漏点和热点地区。走航监测每个月进行一次，共进行了 12 次。

### **第 617 号法案-社区空气倡议 (Assembly Bill 617 Community Air Initiatives, AB 617)**

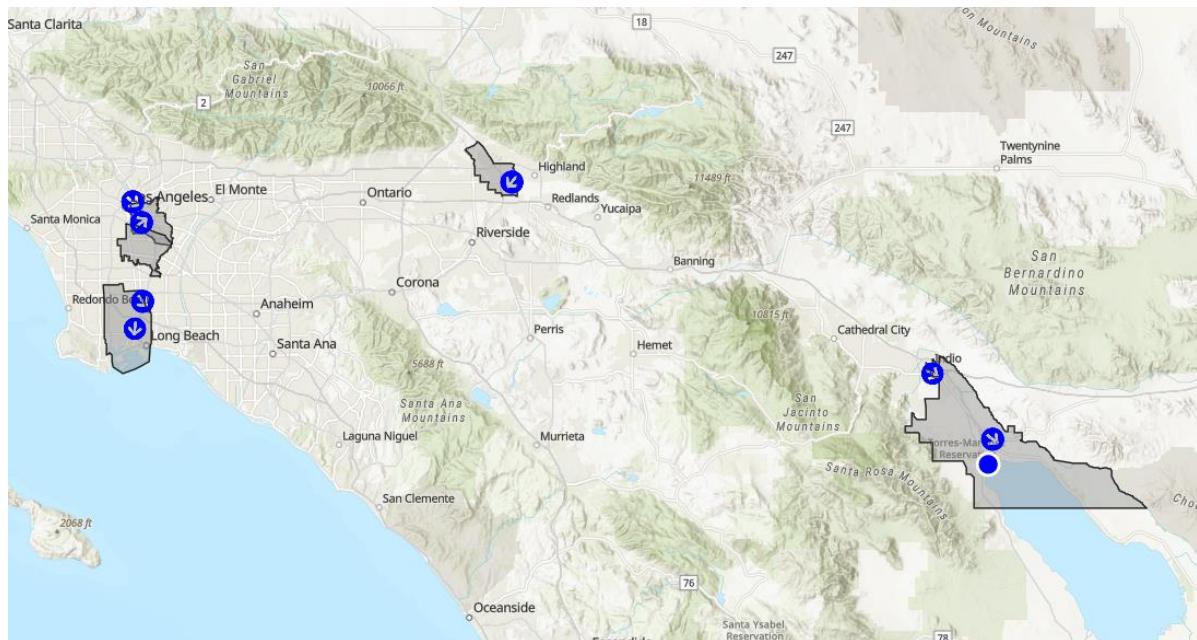
AB 617 法案的制定主要是为了维护弱势社区的健康利益，该法案于 2017 年通过，要求 SCAQMD 减少影响弱势社区的空气污染物排放。根据法案要求，SCAQMD 制订了社区空气监测计划 (CAMP)，对社区进行调研，并选取弱势社区开展分阶段的社区监测和研究。通过调研，SCAQMD 选取了 5 个社区作为第一阶段的研究对象，并在社区中部署了用于监测甲烷和非甲烷总烃的 GC-FID 和用于监测 VOCs 的 Xontect 采样器，分种类 VOCs 监测则使用 Auto-GC 和质子转移反应飞行时间质谱 (PTR-TOF-MS)。同时，该计划还将使用新型的快速臭氧检测器和连续 VOCs 监测仪实现实时、精确的污染物监测。

除固定空气质量监测站外，CAMP 还运用实时或近实时的走航监测对规模较大的社区进行空气污染测绘。该计划到目前一共采用了三种走航平台：

- 第一种走航平台装备了 Teledyne 臭氧分析仪，同时配备了风速计和全球定位系统 (GPS)，能够在空气质量测量期间实时绘制车辆位置、速度和方位图，主要用于标准污染物的实时监测和测绘。
- 第二种走航平台 (FluxSence 监测车) 装备了数种具有远红外传感能力的检测设备，包括红外掩日通量检测设备 (SOF)、天顶差分吸收光谱仪 (SkyDOAS)、移动提取傅立叶变换红外光谱仪 (MeFTIR) 以及移动式白单元差分吸收光谱仪 (MwDOAS)，于测量甲烷和多种 VOCs 组分的浓度，响应时间约在 1 秒至 30 秒之间。该走航设备对于识别无组织排放非常有价值。该平台也配备了 GPS 和车载显示器，同时还配备用于测量风向的光学雷达 (LiDAR)，用于测距和提供垂直方向。该平台主要用于监测和表征来自炼油厂和其他大型化工设施的 VOCs 排放。
- 第三种走航平台主要装备了 PTR-TOF-MS，用于实时监测上百种 VOCs 组分，该设备响应速度快，且对低浓度 VOCs 非常灵敏。该平台主要用于异味投诉的响应、泄漏检测以及其他排放源检测。该平台同样配备风速仪和 GPS，用于实时测绘。

CAMP 运用的第三种监测方式是固定式空气监测拖车。使用拖车的主要目的是能在特定的位置表征污染物的社区暴露（如某排放源的下风向）。现有的 5 台监测拖车中，有两台配备有 VOCs 监测设备，主要使用 Mocon Baseline 9000 甲烷/非甲烷分析仪，Tricorntech 环境 VOCs 在线监测仪和 Xontect 罐式采样器。

**图 38.SCAQMD 社区空气监测计划一阶段入围社区和监测点**



### 法规 1180：炼油厂边界空气监测（Rule 1180 Refinery Fenceline Air Monitoring）

针对炼油厂，SCAQMD 于 2017 年 12 月颁布了 Rule 1180，要求属地的炼油厂对多种属于 VOCs 的有毒空气污染物进行边界连续监测和社区空气质量实时监测并予以公开。按照法规的要求，SCAQMD 辖区内的所有炼油厂均需要提交一份全面的边界空气质量监测计划（FAMP），该计划需要包括如下内容：

- 对炼油厂内的常规排放源进行识别和评估；
- 分析炼油厂工艺可能涉及到的无组织排放；
- 分析炼油厂产生的空气污染物的扩散趋势以及对周边社区的影响；
- 设计边界空气质量监测系统，并详细注明该系统所用的设备的细节、监测污染物、检测限、位置等参数；
- 描述该系统的运行和维护程序；
- 描述该系统的实施时间，该时间需要与 Rule 1180 的要求一致；
- 设计一个网络平台，用于公开监测数据；
- 详细描述该网络平台或其他向公众传递信息的渠道；
- 展示独立的系统监督能力。

2018 年 8 月，SCAQMD 辖区内的全部 6 家炼油厂均向 SCAQMD 提交了 FAMP 草案。在对计划进行初步审查后，SCAQMD 的工作人员确定，所有提交的计划都有重大缺陷。工作人员与每个炼油厂单独合作，对计划进行改进。作为这项工作的成果，所有炼油厂都提交了修订后的 FAMP，并接受公众审查。

以 Chevron EI Segundo 炼油厂为例，按照其最新 FAMP 的描述，Chevron 将在炼油厂厂界搭建由 12 个主监测点位组成的边界监测系统<sup>115</sup>，如下图所示。

图 39.Chevron EI Segundo 炼油厂边界监测布点示意图

<sup>115</sup> [http://www.aqmd.gov/docs/default-source/fenceline\\_monitoring/updated\\_rule\\_1180\\_plans/chevron-updated-fenceline-air-monitoring-plan-and-qapp-\(10-15-19\).pdf?sfvrsn=8](http://www.aqmd.gov/docs/default-source/fenceline_monitoring/updated_rule_1180_plans/chevron-updated-fenceline-air-monitoring-plan-and-qapp-(10-15-19).pdf?sfvrsn=8)



边界监测点位的布置是根据风向、敏感点分布和污染物扩散模拟结果确定的。该炼油厂的风向主要是西南向东北，污染物扩散主要影响北部和东北部的 EI Segundo 社区。12 个点位中，光路 1 位于储罐区与 EI Segundo 社区之间；光路 1.5A 位于实验室、原油区与社区之间；光路 2-7 主要用于监测来自储罐区和工艺区的下风向污染物浓度；光路 8 位于东南角，受到炼油厂排放影响较小，可做为参照；光路 9-11 主要位于工艺区与 Manhattan 沙滩之间，西边由于没有敏感点，未设置光路。这 12 个点位共同构成了一个完整的边界监测网络。每个点位均设有 OP-FTIR，用于实时监测 VOCs 组分（总烯烃、甲醛、乙醛、丙烯醛、1,3-丁二烯、苯乙烯和苯系物（BTEX）），光路长度在 200 m 至 500 m 之间，检测限在 1 ppb 至 53 ppb 之间。同时，12 个点位也均设有 UV-DOAS，主要用于监测苯系物浓度，检测限在 1 ppb 至 21 ppb 之间，相较 OP-FTIR 更为灵敏。

Chevron 为边界监测系统设计了实时数据展示平台和通知平台，当任一光路的污染物浓度达到阈值时，平台将会发出报警。数据平台同时还配有数据验证系统和完整的质量控制程序。

目前，SCAQMD 还与所有炼油厂就 FAMP 的其他内容进行合作，包括备份仪器的监测与维护、公众参与与告知系统、质量保证项目计划（QAPP）等。

相比 SCAQMD，北京市目前的 VOCs 和臭氧监测网络组成相对比较简单，起步较晚但发展迅速。北京市目前共有 36 个空气质量监测站点，其中 11 个为国控站，其余为市控站，全部可以进行臭氧浓度的监测。但是，在具体 VOCs 物种的监测上，目前北京市的站点还相对较少。另外，北京市也已进行了多次走航监测，但主要还是以标志空气污染物为主。北京市有公开的空气质量数据<sup>116</sup>，但在站点的相关信息、以及公众

<sup>116</sup> <http://zx.bjmemc.com.cn/getAqiList.shtml?timestamp=1631543690194&timestamp=1631592449758>

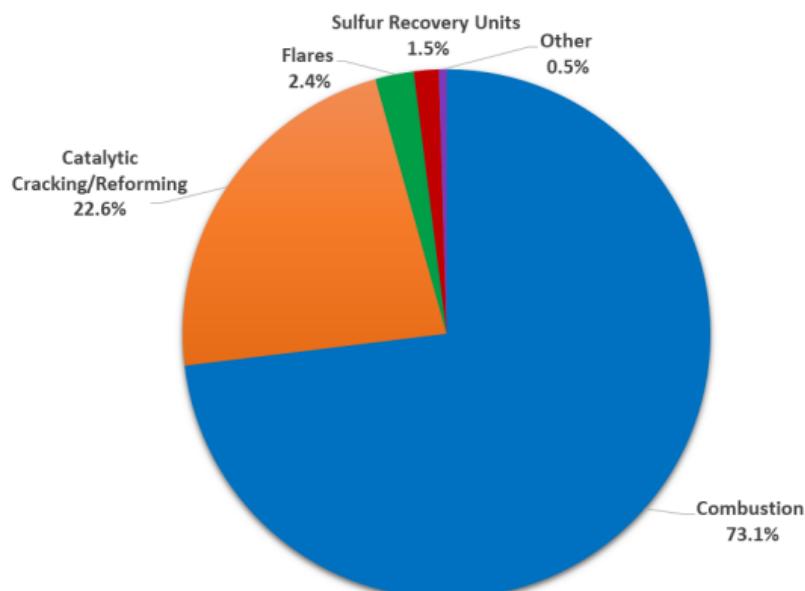
教育上（如与空气质量相关的知识等）还有可以提升的空间。根据 SCAQMD 的经验，课题组在北京市进一步提高 VOCs 监测水平上有如下建议：

- 考虑风向及污染物扩散对周边社区的影响，在化工园区周边增加臭氧和 VOCs 空气质量监测站；
- 提高对大型炼化企业的边界监测的要求，在 VOCs 总量以外，要求企业对 VOCs 中对人体健康风险较大的物种进行单独的连续监测；
- 通过边界监测、走航监测及新式监测方法获得化工园区边界 VOCs 特征，并开发主要 VOCs 物种的溯源方法；
- 开发数据验证标准流程或方案，对目前已有空气站和设备的数据准确度进行验证和把控；
- 在现有基础上加大监测数据的公开力度，丰富现有站点的内容，令市民和化工园区周边居民能够及时掌握空气污染事件和空气质量状况。

#### 4.3.4 协同减排/减碳

炼油厂是一个复杂工艺流程和系统的集合体，在将原油通过各种流程转化为最终石油产品的过程中会带来大量的碳排放。根据 US EPA 的统计，炼油厂主要的产碳环节包括：燃料燃烧、催化裂化/重整、火炬燃烧、硫回收单元等，其对温室气体排放的贡献如下图所示<sup>117</sup>。

**图 40.美国 2017 年炼油厂温室气体排放源及贡献**



如图所示，炼油厂最大的温室气体排放源是燃烧过程，占总温室气体排放的 73.1%。炼油厂生产过程中会产生大量的燃料气，这些燃料气通过管路进行回收并最终通过燃烧的方式处理。第二大排放源是催化裂化/重整过程，占总温室气体排放的 22.6%。第三大排放源是火炬，占总温室气体排放的 2.4%。制定减碳策略时一般也会从这三大排放源入手，这其中很多措施可以起到减排/减碳的协同作用。

一般来说，炼油厂减碳分为两大方向：提升能源效率和碳捕集与封存（CCS）。提升能源效率主要是通过各种手段减少各工艺流程的燃料消耗，从而降低排放，主要的减排策略有：改进控制、改进热回收、氢气和燃料气体管理、公用设施优化、工艺优化等等。此外，使用高质量的原油/轻质油或使用可再生原料也可以增加炼油厂的能源效率。碳捕集主要是将碳排放储存在地下，并进行持续的监测、核查和验证。这其中最适

<sup>117</sup> [https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-10/documents/petroleum\\_refineries\\_industrial\\_profile\\_9\\_25\\_2019.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-10/documents/petroleum_refineries_industrial_profile_9_25_2019.pdf)

合 CCS 技术的工艺过程就是制氢（催化裂化）过程。制氢过程中会产生高浓度的二氧化碳，将产生的碳捕集与封存可以有效的降低来自制氢过程的温室气体排放。

目前主流的炼油厂减碳策略及减排协同性如下表所示<sup>118,119</sup>。

**表 32. 炼油厂减碳策略与减排协同性**

策略	描述	减排协同性
提高对锅炉工业炉的要求（如使用 BACT）	老旧锅炉的燃烧效率往往较低，因此会产生大量的 CO <sub>2</sub> 排放，更换老旧锅炉或要求锅炉使用更清洁的技术可以有效的提升锅炉的能源效率。	好。使用更清洁的锅炉不仅可以降低 CO <sub>2</sub> 排放，也可以降低来自锅炉低效率燃烧所产生的 NO <sub>x</sub> 排放。
热电联产/余热回收	热电联产可以降低炼油厂对外部电力的依赖，同时可以保证炼油厂在遇到电力供应事故时保持正常生产。	较好。热电联产可以有效提升能源利用效率，降低温室气体排放，同时减少供电不足时设备停机或损坏的风险，从而降低因不正常情况导致的 VOCs、SO <sub>x</sub> 、PM 的排放。
增加泄漏检测与修复力度	管路组件泄漏会导致大量气体逸散至大气，其中包括温室气体和空气污染物，运用 LDAR 等手段增加泄漏检测与修复力度可以有效减少来自组件泄漏和损坏的排放。	好。增强对组件的泄漏检测与修复可以有效降低泄漏导致的温室气体和空气污染物排放。
火炬排放控制	火炬排放释放大量温室气体和空气污染物，通过管理手段和监测减少火炬的非必要使用可以控制来自火炬的排放。	好。减少火炬排放可以显著的减少温室气体、VOCs 和 SO <sub>x</sub> 的排放。
重质/劣质原油使用限制	重质/劣质原油往往含有更长的碳链，需要更多的劣化和焦化过程和配套的制氢、硫回收等装置，带来大量的温室气体排放。因此，在非必要的情况下应该尽量限制重油的使用。	好。与重油处理相关的工艺过程会带来大量的额外温室气体排放和空气污染物排放，减少重油使用将可以避免这些额外污染物的产生。
使用清洁电力	炼油石化企业的耗电量较大，且绝大部分电力来自于化石燃料燃烧，导致大量的直接或间接二氧化碳排放。使用清洁电力，如风能或太阳能，可以有效降低来自发电的温室气体排放。	较好。使用清洁电力往往也能减少来自化石燃料燃烧导致的空气污染物排放。
炼油厂 CCS	炼油厂碳捕集和封存可以有效减少二氧化碳排放。	一般。目前 CCS 技术仍在早期发展阶段，可能产生可持续性问题。但目前的研究表明，CCS 会降低电厂的 PM、NO <sub>x</sub> 和 SO <sub>2</sub> 排放，但会导致氨排放增加 <sup>120</sup> 。

<sup>118</sup> <https://www.nrdc.org/sites/default/files/california-petroleum-carbon-reduction-IB.pdf>

<sup>119</sup> [https://www.arb.ca.gov/lists/scopingp1n08/1505-attach\\_c\\_oil\\_refinery\\_sector\\_ab32\\_may\\_08.pdf](https://www.arb.ca.gov/lists/scopingp1n08/1505-attach_c_oil_refinery_sector_ab32_may_08.pdf)

<sup>120</sup> <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/179015/roadmap-ccs-prc-zh.pdf>

总的来说，能源效率提升的减碳策略一般都带有良好的减排协同性。考虑到 CCS 还在研究阶段，且北京市的地质条件可能不适合利用 CCS，因此课题组建议北京市从能源效率提升政策入手，实现炼油石化企业的协同减排/减碳。具体建议如下：

- 对现有的炼油石化企业进行能源审查，了解其能耗情况及分布，找到能耗高的工艺和设备；
- 根据审查结果，要求炼油石化企业出台能效提升计划，淘汰老旧锅炉和工艺装置，增加热电联产/余热回收的能力，增加泄漏检测与修复力度和火炬排放控制；
- 在企业准入/规划和扩建/改建方面，加大对碳排放和空气污染物排放的审查力度，要求新进企业使用清洁、高效的能源和设备；
- 企业支持方面，加大对相关研究的推动和激励，鼓励企业研究和使用新型的原油加工技术和节能技术等，视情况基于补贴或政策扶持。

#### 4.4 溶剂使用类 VOCs 排放源管控

##### 4.4.1 半导体行业 VOCs 排放源管控细节

SCAQMD 对半导体制造行业的 VOCs 排放管控基于 Rule 1164-半导体制造<sup>121</sup>。该法规最早实施于 1988 年，最新修订于 1995 年。该法规主要包括对溶剂清洗站、光刻胶操作、清洗用溶剂的要求。

下表对比了 SCAQMD 法规和北京市现行法规《电子工业大气污染物排放标准》（DB 11/1631-2019）中对 VOCs 排放的要求。

**表 33.SCAQMD 法规与北京市电子工业排放标准的对比**

要求	SCAQMD Rule 1164	DB 11/1631-2019
固定源排放标准	无（体现在排放许可中）	NMHC: 10 mg/m <sup>3</sup> 苯: 0.5 mg/m <sup>3</sup> 甲醛: 5.0 mg/m <sup>3</sup> 苯系物: 8 mg/m <sup>3</sup>
无组织排放标准	无	厂区: NMHC: 2.0 mg/m <sup>3</sup> 厂界: 苯: 0.1 mg/m <sup>3</sup> 甲醛: 0.05 mg/m <sup>3</sup>
过程控制	溶剂清洁站: a) 所有用于转移、储存或容纳含挥发性有机物的材料的加热或不加热的蓄水池、水槽、水箱和容器，应配备全盖或经批准的排放控制系统（90%以上控制效率）； b) 对所有加热或不加热的蓄水池或水槽，如果 VOCs 组分的分压在 33 mmHg (20 摄氏度)，需要具有 1.0 或	a) VOCs 物料的储存、转移和输送控制要求、设备与管线组件泄露控制要求、敞开液面 VOCs 逸散控制要求同 GB 37822-2019。 b) VOCs 物料的使用过程应采用密闭设备，或在密闭空间内进行操作，废气经收集系统导入处理系统后排放。不能密闭的，应采取局部气体收集导入处理系统后排放。

<sup>121</sup> <https://www.aqmd.gov/docs/default-source/rule-book/reg-xi/rule-1164.pdf?sfvrsn=4>

要求	SCAQMD Rule 1164	DB 11/1631-2019
	<p>更高的出水高度比，或安装经批准的排放控制系统；</p> <p>c) 包含 VOCs 的材料应以连续不间断的方式使用，避免因泼溅导致的液体损失；</p> <p>d) 如果管线组件出现 3 滴/分钟以上的泄漏，应在 24 小时内修复或更换。</p> <p>光刻胶作业：</p> <p>所有含 VOCs 蒸汽均需排至经批准的排放控制系统。</p>	
溶剂使用	<p>a) 清洗用溶剂的 VOCs 含量不得超过 200g/L 或分压超过 33 mmHg (20 摄氏度)，除非整个清洗过程完全密闭，或清洗溶剂会被完全回收，不会挥发至大气；</p> <p>b) 储存、转运或丢弃清洗过程中使用的工具或配件（如手套、纸、布）的容器必须是非吸收性且封闭的。</p>	无对溶剂的单独含量要求，但须遵守《清洗剂挥发性有机物含量限值》(GB 38508-2020)。
豁免	如果设施每日产生的 VOCs 排放量少于 5 磅，则可获得法规豁免	无
监测	无强制要求	<p>a) 建立企业监测制度，制定监测方案，对污染物排放状况及其对周边环境质量的影响开展自行监测，保存原始监测记录，并公布监测结果；</p> <p>b) 企业应依法安装污染物排放自动监控设备；</p> <p>c) 按要求对企业厂区和边界污染物进行监测。</p>

从上表可见，SCAQMD 对半导体制造行业的要求主要体现在过程控制上。溶剂清洁过程、光刻作业和物料运输均需在密闭环节进行，这点与北京市的要求是基本一致的。同时，SCAQMD 在 VOCs 监测上无强制要求，但北京市标准在 VOCs 监测上要求更高。就实地调研结果来看，目前管理部门对企业 VOCs 排放的监察力度较大，半导体企业在 VOCs 管控上也做的较好，实现了全密闭的作业环境，并使用了高效 VOCs 处理设备。下一步北京市可以在现有基础上对减排成效显著、长期表现好的企业给予优惠或鼓励，并加强与企业的沟通，及时解决企业的问题，规划和实现成本效益更高的减排策略。

#### 4.4.2 工业涂装行业 VOCs 排放源管控细节

对于工业涂装行业，根据涂装部件类型和工艺的不同，SCAQMD 出台了多项不同的法规，包括：

- Rule 1106 - 船舶和游艇涂料
- Rule 1107 - 金属零件和产品涂料
- Rule 1125 - 金属容器、盖子和线圈涂装作业
- Rule 1126 - 漆包线涂装作业

- Rule 1127 - 纸张、织物和薄膜涂装作业
- Rule 1136 - 木制品涂料
- Rule 1145 - 塑料、橡胶、皮革和玻璃涂料
- Rule 1162 - 聚酯树脂作业

以上法规的形式基本以涂装材料 VOCs 含量限值为主。以 Rule 1107 为例，该法规首次实施于 1979 年，经过 18 次修订，最新修订版为 2020 版。其对各种涂料的 VOCs 含量限值如下表所示。

**表 34.SCAQMD Rule 1107 涂料 VOCs 含量限值**

涂料种类	风干(g/L)	烤干(g/L)
一般单组份涂料	275	275
一般多组分涂料	340	275
军事规格涂料	340	275
蚀刻填充物	420	420
太阳能涂料	420	360
耐热涂料	420	360
高光涂料	340	360
金属光泽涂料	420	360
高性能涂料	420	360
预制建筑单组份涂料	275	275
预制建筑多组分涂料	340	275
润色涂料	420	360
修补用涂料	420	360
硅树脂释放涂料	420	420
高性能建筑涂料	420	420
伪装涂料	420	360
真空塑化涂料	420	420
防霉密封涂料	420	420
高温涂料	420	420
电绝缘清漆	420	420
锅底涂料	420	420
预制涂料	420	420

如上可见，SCAMQD 对金属涂料含量限值的要求是按照涂料类型来设定的，VOCs 含量限值在 275 g/L 至 420 g/L 之间。需要注意的是，此处的 VOCs 含量指的是去除水和豁免物质之后的 VOCs 含量。法规豁免了镂花涂装涂料、有安全作用的涂料、数据磁盘用涂料、固体薄膜润滑剂和绝缘导热涂料。VOCs 含量测定使用 US EPA Method 24 或 SCAQMD Method 304，豁免物质测定使用 SCAQMD Method 303。除

含量限值外，该法规还对涂装作业的溶剂使用过程提出了要求，包括要求将所有涂料储存在密闭容器、要求企业按照 Rule 1171 要求进行溶剂清洗操作。如果企业选择使用排放控制设备，则法规要求排放收集装置的收集效率达到 90%以上（要求设施使用永久性全封闭构造），控制设备的控制效率达到 95%以上，且控制设备需要安装污染物连续监测设备或按照 US EPA Test Method 25 进行性能测试。

SCAQMD 对其他工业涂装工序的法规与 Rule 1107 类似。就监测而言，目前仅有 Rule 1136 对自动监测设备进行了强制要求。

北京市目前与工业涂装相关的排放标准有两个，一个是《工业涂装工序大气污染物排放标准》（DB11/1226-2015）<sup>122</sup>，另一个是国标《工业防护涂料中有害物质限量》（GB 30981-2020）<sup>123</sup>。北京市地标主要要求企业对含 VOCs 废气进行收集和处理，并设置了相应的有组织排放和无组织排放浓度限值；国标则是针对涂料 VOCs 含量提出要求，但与 SCAQMD 标准不同的是，国标主要根据产品用途和主要类型（底漆、中涂、面漆、清漆等）进行分类，其中水性涂料的 VOCs 含量限值在 250 g/L 至 480 g/L 之间，溶剂型涂料的 VOCs 含量限值在 480 g/L 至 780 g/L 之间。

国内的 VOCs 含量限值标准起步较晚，但发展迅速。考虑到源头控制对 VOCs 减排的重要性，可以预见的是，未来将会有更多的 VOCs 含量限值标准颁布实施。对于北京市，目前的工业涂装地标采用的是排放限值，建议北京市未来从三个方向入手，进一步对工业涂装行业的 VOCs 排放进行管控：

- 源头替代：在目前的标准中进一步增加对于涂料产品 VOCs 含量限值的要求；对于使用低 VOCs 含量涂料的企业，设计合理的激励政策或豁免条件，提高企业进行源头替代的积极性；
- 过程控制：对于企业目前的废气收集装置的收集效率进行分析，仿照美国的模式，对不同类型废气收集系统（如永久封闭、半封闭）的收集效率及要求进行明确；
- 监管：进一步加强对企业台账及报告的要求，要求企业每日记录所使用的涂料及性质，并每季度/每半年汇报。

#### 4.4.3 汽车涂装 VOCs 排放源管控细节

SCAQMD 对整车制造业涂装工序中的 VOCs 排放控制的主要执法依据是 Rule 1115 和 Rule 1151，分别对应组装线上的涂装作业和组装线下的涂装作业<sup>124</sup>，<sup>125</sup>。Rule 1115 是 SCAQMD 第一批发布的针对特定工艺流程的空气污染物控制法规之一，最早实施于 1979 年，历经 6 次修订，最新版本为 1995 年的修订版；Rule 1151 于 1988 年实施，主要针对汽修行业，用于补充对机动车生产线下涂装作业的要求，共有 11 次修订，最新版本为 1998 年的修订版。两项法规均遵循源头替代、过程控制和末端治理的原则，对机动车涂装用漆的 VOCs 含量、作业过程和 VOCs 控制效率提出了要求。

Rule 1118 的含量限值要求相对简单，包括：

- 电泳底漆：145 g/L（减去水和豁免物质）
- 最终修补漆：580 g/L（减去水和豁免物质）
- 气雾式底漆、底漆表面剂（中涂漆）、面漆：1.8 kg/L 固体

与工业涂装法规相同，企业也可以通过安装废气收集和处理系统来豁免含量限值的要求。如果企业选择以此形式合规，则使用的排放控制系统必须要经过 SCAQMD 的批准，且该系统的减排量必须等于或大于使用低 VOCs 含量漆所减少的排放量。此外，该法规还要求所有溶剂清洁过程中使用的设备、零件、产品、工

<sup>122</sup> <http://www.meecec.com/upload/202004/16/202004161037297136.pdf>

<sup>123</sup> <http://www.gzns.gov.cn/attachment/6/6722/6722585/6931059.pdf>

<sup>124</sup> <http://www.aqmd.gov/docs/default-source/rule-book/reg-xi/rule-1115.pdf>

<sup>125</sup> <http://www.aqmd.gov/docs/default-source/rule-book/outdated-sip-rules/rule-1151-motor-vehicle-and-mobile-equipment-non-assembly-line-coating-operations.pdf>

具等符合 Rule 1171-溶剂清洗作业的要求。该法规豁免了不使用在整车外表面金属和车身的涂料，以及车轮面漆、防锈涂料、后备箱涂料、车内部涂料、柔性涂料、密封剂、塑料部件、以及点缀和条纹漆。

Rule 1151 对涂料的含量限值要求更为复杂，且针对一类车（重型卡车、巴士、移动机械）和二类车（小客车、小型卡车、摩托车）有不同的限值要求，一类车的要求更高。现行限值如下表所示：

**表 35.SCAQMD Rule 1151 的涂料含量限值**

涂料类型	一类车含量限值 (g/L)	二类车含量限值 (g/L)
预处理清洗底漆	780	780
底漆/底漆表面剂（中涂漆）	250	250
底漆封闭剂	250	340
一般用途面漆	340	420
金属/闪光面漆	340	420
多色面漆	685	685
多涂层面漆（超过 2 gal/day）	340	420
多涂层面漆（少于 2 gal/day）	340	420
多色多涂层面漆 <sup>1</sup>	340	420
特种漆	840	840

注：

1. 多涂层面漆指一个包含底漆/清漆和面漆的两级或三级涂层的面漆系统，不同阶段根据使用的稀释剂或添加剂不同而进行区分。

以上限值与加州大气资源署的 Rule 1116 的要求一致。除含量限值标准外，Rule 1151 还限定了汽修行业的涂装技术，仅允许使用静电喷涂、高流低压喷枪喷涂或具有同等效率的涂装技术。同时，该法规还禁止任何个人在辖区内销售、提供或分配不符合相应含量限值的涂料。另外，所有在辖区内销售清漆的企业都应该提供至少一种 VOCs 含量在 251 g/L 或更低的清漆品类。该法规不适用于修补涂料和镂花涂料。

对于整车涂装，北京市现行法规《汽车整车制造业（涂装工序）大气污染物排放标准》（DB11/1227-2015）中对材料 VOCs 含量的要求更为严格，例如，底漆的 VOCs 含量限值为 50 g/L，面漆的 VOCs 含量限值为 500 g/L。同时，该标准还对涂装工序的大气污染物排放浓度和无组织排放提出了要求。对于汽修行业，北京市现行标准为《汽车维修业大气污染物排放标准》（DB 11/1228-2015），其中也包括 VOCs 含量限值和排放浓度限值两类要求，目前实行的第二阶段限值已收严至业界领先水平。同时，该标准还对汽车维修作业中的工艺措施和管理提出了一定的要求，例如：含挥发性有机物原辅材料在运输和储存过程中应保持密闭，使用过程中随取随开，用后应及时密闭，以减少挥发；应设置专门的调漆室，并安装集气系统，保证调配环节产生的挥发性有机物经由集气系统导入挥发性有机物控制设施，达标排放；使用溶剂型涂料的喷枪，应密闭清洗等。

就调研的情况看，北京市的整车制造企业在 VOCs 管控上整体做的较好，但细节上仍有改进之处。因此，课题组提出以下建议：

- 对标准进行修订，提高过程控制及无组织排放控制的要求，对整车涂装/汽修涂装中的溶剂清洗过程、调漆过程等做出进一步的规定；
- 为企业进一步减排提供技术支撑，在目前已有的技术规范文件（如《汽车维修业污染防治技术规范》（DB11/T 1426-2017））的基础上，发布更多的技术指导文件，指导企业的生产管理、无组织废

气收集和污染物治理工作，如注明具体的高效喷涂设备及使用要求，或对企业进行现有工艺的改造提供技术支持；

- 制定相应的激励政策或豁免政策，鼓励企业使用更高效的喷涂技术和更低 VOCs 含量的涂料和溶剂。

#### 4.4.4 涂装工序的协同减排/减碳

工业生产的主要温室气体排放来自于能源消耗，而涂装工序是工业制造过程中的能耗大户。以整车制造为例，根据美国 Energy Star 的数据<sup>126</sup>，整车制造厂的所有能源消耗中，60%-69% 来自于燃料燃烧，剩下 31% 来自于电力消耗。对于一个大型整车制造厂来说，其年燃料消耗量约为 160 万 MBtu，而电力消耗约为 18.8 万千瓦时。在所有整车制造的工序中，涂装工序的能耗可占总能耗的 50-60% 或更高，主要来自于喷涂系统和烘干系统（HVAC）。由于涂装工序也是 VOCs 的主要来源，许多提升涂装工序的能源效率的措施可以带来协同减排/减碳的双赢效果。

提升涂装工序能源效率的措施可分为以下几类：热量分配和回收系统优化、涂装系统改造、废气处理系统优化、管控精细化等等。下表展示了常见的能效提升措施及对各措施减排协同性的讨论<sup>127</sup>。

**表 36. 涂装工序减碳策略与减排协同性**

策略	描述	减排协同性
减少热量稳定期的持续时间	烘干程序往往需要将房间加热到一定温度并保持稳定，减少稳定期的持续时间可以节约大量的能源。这一目标可以通过优化生产线的流程来实现，例如设置一个梯度加热计划，让车辆到达烘干室的时候恰好达到所需温度，而非提前加热并保持稳定。	一般。主要体现在能源节约，根据加热方式，可能会有空气污染物（如 NO <sub>x</sub> 、CO 等）的减排收益。
减少涂装车间的空气流量	涂装车间的空气流量越低，需要持续加热和处理的空气体积就越少，节约的能源就越多。但实际应用时需要对低空气流量的爆炸阈值和安全阈值等进行评估。	同上。
增加隔热性能	烘干室的隔热性能越好，热损失就越低。研究指出，热量辐射损失大约占整个能量消耗的 5%。对于新建和改建车间，应该充分考量房间的隔热性能。例如，隔热层为 100 mm 的房间比隔热层为 75 mm 的房间可减少约 25% 的热损失。	同上。
余热回收	余热回收可以节约大量的能源。目前常见的热量回收技术包括热轮式热回收装置，或者应用回收式热力直燃系统（TAR）对废气进行处理。	同上。
高效换气系统	可通过减少送风速度，在生产间歇期调整风量，以及对送风量进行按需自动控制等	同上。

<sup>126</sup> [https://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/Industry\\_Insights\\_Auto\\_Assembly\\_2015.pdf](https://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/Industry_Insights_Auto_Assembly_2015.pdf)

<sup>127</sup> <https://www.energystar.gov/sites/default/files/buildings/tools/LBNL-50939.pdf?b32d-9162>

策略	描述	减排协同性
	提高换气系统的效率，达到节省能源的目的。	
高效烤箱	根据工艺流程和需求选择合适的加热炉可以有效提升能效。一般来说，箱式炉在加热和固化阶段有大量的热量输入，但操作上具有更大的灵活性，适合有多种涂料类型或组件类型的情况；隧道式炉则更适用于产量较大的连续加工作业，一天仅需要加热一次。	同上。
红外固化	红外烤箱可以取代传统的燃气烘烤烤箱，减少烘干室所需要的尺寸并减少烘干时间。红外烤箱还能减少未固化涂料中的杂质。实际能源节约率可达 50% 或更高。	同上。
湿态喷漆法（“湿碰湿”工艺）	湿态喷漆法（将湿涂料直接涂在未烘干的湿涂料上）可以消除中间的烘烤步骤。例如，下层颜色往往不需要像上层颜色那样有很高的外观质量，因此可以将下层颜色直接喷涂在底漆或中涂漆上，而不需要单独进行底漆/中途漆的干燥步骤。	同上。
3C1B 工艺/无中涂工艺	该工艺取消了传统 3C2B 工艺中的中途漆烘干步骤，中涂后闪干或用低温烘烤，或在电泳烘干后直接进行色漆、清漆的喷涂，从而实现能源节约。该工艺同时还可以减少涂料的消耗。	好。该工艺减少涂料的消耗，从而减少 VOCs 排放。
粉末涂料	粉末涂料依靠粉末与载体之间的静电吸引而沉积在表面，利用率较高。使用粉末涂料可以有效减少 VOCs 排放，从而减小对通风和废气处理的要求，达到节约能源的目的。目前，粉末涂料已经有粉末中涂、粉末色漆、粉末清漆等，在克莱斯勒及通用、宝马、标致等汽车涂装生产线上已有大规模使用。	好。粉末涂料可以有效降低涂装工序中的 VOCs 排放，并减少能源需求。
其他新型涂料	为减少涂装工序的 VOCs 排放，目前涂料的发展趋势是向高固体分涂料方向发展，如采用低粘度的聚酯、丙烯酸树脂，以及高固体分的氨基树脂等，主要应用在汽车用单色面漆、罩光清漆等方面。	好。新型水性涂料和高固体分涂料可以有效降低涂装工序中的 VOCs 排放，并减少能源需求。
超滤/反渗透污水净化技术 (UF/RO)	对使用水性涂料或溶剂的涂装工序来苏红，相关设备和工具必须定期用水进行清洗。通过 UF/RO 技术可将废水清洗到可再次利用的程度。废水首先经过预过滤去除大的固体，然后经超滤去除悬浮固体和高分子量颗粒，再通过反渗透去除最小的杂质。该技术可回收多达 95% 的废水。该方法可以有效减少有毒有害废弃物的产	一般。主要环境效益为节约能源、节水和减少污水处理量。

策略	描述	减排协同性
	生量，从而减少相关的运输、或焚烧所需的能源消耗。	
VOCs 排放控制系统优化	不同涂装工序的 VOCs 排放量不同，根据 VOCs 排放特征选择合适的 VOCs 排放控制系统也可以有效的节约能源。例如，活性炭吸附比蓄热燃烧的能源消耗低很多。如果某涂装工序可通过源头替代等方式减少 VOCs 排放，则可选择耗能和成本更低的排放收集和控制系统，实现能效优化。此外，排放控制设备本身的优化也可以实现能源节约，例如提升 RTO 的热回收效率（TRE）等等。	好。VOCs 排放控制系统本身即可大幅减少 VOCs 排放。如果选择合适的减排设备，则可在保证 VOCs 减排效率的基础上减少能源消耗所带来的温室气体排放。
利用高压水流替代碱性脱漆剂	大型自动化生产车间一般利用滑橇输送系统运输需组装的部件。采用高压水枪进行滑橇的脱漆比利用加热碱的性脱漆剂浸泡更加节约能源。	一般。主要体现在能源节约。

从上表可以看到，涂装工序减碳的要点在于节约各环节所需的能源。在诸多措施中，协同减排/减碳效果最好的是进行涂料的替代和涂装工艺的优化（节省涂料使用量），这更凸显了源头替代的重要性。此外，合理的生产线设计也可以降低对废气收集系统流量的要求，减少能耗。另外，在要求企业安装 VOCs 排放控制设备时，应综合考量各减排手段的减排能力和能源消耗，指导企业使用合适的设备，不增加非必要的能源消耗。这不仅要求环境保护管理部门进一步提升对企业的技术支撑能力，通过出台或更新技术规范及指南的形式，帮助企业做出合适的选择；也要求相关部门对目前市场上的 VOCs 排放控制设备供应商的资质和能力进行监督和审查，确保这些供应商能够向企业提供有效且合理的设计方案和设备。

#### 4.5 对北京市工业园区 VOCs 精细化管控的思考

本章介绍了美国南加州空气质量管理局的法规架构，以及一些重点 VOCs 排放源的管控细节。尽管 SCAQMD 辖区内没有如国内及北京市典型工业园区一般的封闭式园区，而是以工业区域为主，但很多 VOCs 管控思路是一致的。根据对北京市两个典型园区的调研结果，以及对 SCAQMD 经验的梳理，课题组对北京市工业园区 VOCs 精细化管控的思考如下：

- 监测是进行 VOCs 管控政策设立的基础。北京市目前已有分布全市的空气站，但主要仍以监测臭氧浓度为主。各个园区对企业的固定源排放监测要求很高，但对于园区和企业边界的监测要求还不够明确。同时，根据经开区管理局的反馈，目前在网格化监测的布点的合理性和测量值的准确程度上还有提高的空间。此外，不同工业园区的特征 VOCs 不同，对特征污染物进行监测是实现园区未来 VOCs 精细化管控的基础。因此，北京市可以参考 SCAQMD 的监测项目，增强监测能力。例如：
  - 参考 SCAQMD 使用的石化企业移动监测平台和技术，和燕山石化合作，开展 VOCs 及特征污染物的监测和排放特征的相关研究；
  - 在主要 VOCs 园区周边增设，或要求园区增设 GC-MS 或 PTR-TOF-MS 监测站，对特征物种及其排放趋势进行长期连续分析；
  - 在非封闭性工业园区，如经开区等，开展低成本 VOCs 传感器试点和相关研究，同时覆盖工业企业居民区，并研究工业企业 VOCs 排放对周边居民区的影响；

- 参考 SCAQMD 对监测系统质量验证及数据审核的要求，出台相应的政策或指南，指导园区和企业提高监测水平和能力；定期对园区和企业管理的监测系统展开审查或第三方抽查，确保监测系统能够反映实际的排放水平和污染物浓度变化。
- 北京市的 VOCs 管控法规体系已经初步成型，在许多行业的 VOCs 排放标准的严格程度上已经达到国内和国际领先水平，但仍有一些标准可以进行进一步完善和细化。园区管理方可负责或协助对相关标准和要求的执行。
  - 对石化企业和化工企业来说，LDAR 的执行效果是控制 VOCs 排放的重中之重。目前，北京市相关行业标准中对 LDAR 的要求仍可继续强化，如参考 SCAQMD 的管控策略，强化对释压系统的要求，以及对记录和报告的要求。
    - 对于政府机构管理的工业园区，可参考上海化学工业区，将 LDAR 监管的职责下放至园区管委会，由管委会对企业进行定期的监督和审查。
    - 对于执行 LDAR 的三方供应商，完善相关的资格审查、认证和建档，定期对相关人员（尤其是主持人员）的资质和能力展开抽查。
  - 火炬是重要的 VOCs 及二氧化碳排放源，目前北京市相关标准里对火炬排放的要求相对较低，可继续强化，首先要求企业安装流量和热值连续监测设备，并进行周期性的报告。同时，与企业协作开展火炬减排研究，协助企业制定火炬管理计划，对火炬排放事件进行精细化管控。
  - 参考 SCAQMD 的其他现有法规及管控顺序，对目前标准还未覆盖的部份实现逐步覆盖，如冷却塔循环水的排放控制等。
  - 溶剂使用方面，目前北京市是源头替代、过程控制和末端治理并行。这样做好处是可以在短时间内大幅降低来自企业的 VOCs 排放，但也会给企业带来一定的压力，同时在一定程度上降低企业更换更高效环保工艺技术的意愿。因此，可以针对管控程度较好的工业园区（如经开区）展开试点，根据 GB37822-2019 的豁免思路，提出明确政策，为使用低 VOCs 含量原料、无 VOCs 原料、或能起到同等减排效果的清洁技术的企业提供过程控制和末端治理的豁免。同时与园区管委会合作，定时展开监督检查，确保这类企业的 VOCs 排放合规。
  - 参考 SCAQMD 的经验，对关键定义进行进一步的明确，例如“密闭空间”如何界定、各类型溶剂的具体定义和判定方法等等，减少企业的疑惑，同时让园区管理方进行合规判定时更为快速和准确。
- 协同减排/减碳方面，可基于北京市目前的计划和目标，对于碳排放量大的园区和企业，要求其进行第三方能源审查，并根据审查结果编制响应的能效提升方案，在能效提升方案中需要对协同减排/减碳的收益进行考量。
  - 对主要工业类型的协同减排/减碳策略进行研究和分析，并选择合适园区或企业进行试点。对于主动进行工艺升级和能效提升措施，并实现协同减排/减碳的企业，可与财政部门或其他相关部门合作，向企业提供税收减免、补助等，也可要求园区出台相应的激励计划，鼓励企业实现协同减排/减碳。
- 目前北京市已经建立了信息收集和公开平台，但仍可进一步整合，实现更高效的企业和污染源管理，同时也使公众更了解相关企业和污染源的排放状况，发挥群众的监督作用并提升其环保意识。
  - 参考 SCAQMD 的 F.I.N.D 系统和 AER 年度排放汇报系统，对现有信息收集平台进行整合，将企业和污染源相关信息整合在统一平台，方便整体监管。
  - 在同一页面提供所有设施信息公开系统的链接（如排污许可证公开系统、自动监测信息公开系统等），或将现有信息汇聚至统一平台，方便研究机构和公众进行查看，同时设置反馈区，接收公众的意见。

- 要求园区设置统一的环境信息公开平台，对园区涉及 VOCs 排放的关键信息（如园区排放源类型、空气质量监测数据、园区的监管及投诉反馈流程、企业准入要求等等）予以公开。
- 对相关信息公开页面（如空气质量监测信息公开页面），增加更多科普性及介绍性的内容（如监测站所使用的仪器、监测方法、数据验证方法等等），提升公众的环保意识和知识水平。

## 5. 参考建议

工业源是 VOCs 的重要排放源，也是北京市进一步实现臭氧治理的重点管控对象之一。工业园区是工业企业的集聚地，园区内的企业通过公用基础设施、统一管理和增强的交流合作来降低生产成本和排污，并实现减排和减碳的协同发展。空气质量管理是工业园区的一个重要考量因素，这主要是因为相较于材料资源和水资源，空气污染物相对较难进行集中式的收集和治理。同时，由于工业园区内的企业密度较高，排放量大，成分复杂，其空气污染物排放容易对周边的空气质量和社区人群的健康造成影响。因此，对园区的空气质量进行监控和管理是重要且必要的。

VOCs 排放源多而复杂，无组织排放比例大，且不同行业的排放特点相差较大，对于北京市来说，北京的工业企业目前分为两种类型，一种是以燕山石化为首的重型基础化工产业，这类企业的特点是数量少、规模大、工艺流程复杂、VOCs 排放源多且主要来自于原料和产品的无组织排放；另一种是以汽车制造、包装印刷、工业涂装等的新型或小型工业企业，这类企业的特点则是数量多、规模从小到大均有、主要 VOCs 排放来自于单一工艺中的溶剂使用操作。本课题通过线上调研和线下调研分别对北京市两个典型工业园区：燕山石化（石化新材料产业园）和北京经济技术开发区的 VOCs 排放和管控情况进行了调查，并通过调查结果对重点的国际/国内工业园区 VOCs 管控手段和经验进行了研究。

总的来说，实现工业园区的 VOCs 管控主要关注以下两点：

- VOCs 排放源的精细化管理；
- 运用工业园区的优势和特点，对 VOCs 排放进行进一步监管，并促进减排。

分行业对园区内 VOCs 排放源进行精细化管控是实现 VOCs 减排最重要也是最有效的手段。国家和北京市目前已经出台了很多与 VOCs 管控相关的法规和政策，对 VOCs 的精细化管控已经提出了较高的要求。但是，由于中国对 VOCs 的管控起步较晚，在国际上仍然有一些精细化管控的经验值得借鉴与参考。美国加州的各地区有长期的 VOCs 管控历史，政策较世界其他国家和地区较为领先和激进，且加州的发展水平与方向也和北京有类似，因此是一个很好的参考对象，尤其在法规架构和针对一些 VOCs 排放源的管控细节上值得借鉴。

工业园区发展的各个阶段都对 VOCs 的排放和管理有影响。规划上，工业园区需要通过对环境敏感度和累积影响的考量减轻排放量集中对周边的影响，同时还需要对进驻的企业类型和准入条件提出要求；工业园区的设计需要在企业类型的基础上促进资源的回收、共享和利用，并通过合适的公共设施和集中设施帮助企业实现节约成本和减排的双赢；园区管理机构还需要通过监测、监督等方式及时发现企业的问题，并鼓励企业主动进行减排和进行合作。在这些方面，国际和国内的很多工业园区都已经进行了很好的尝试。同时，建设生态工业园区将能够整体的提升园区的规划和管理水平，并促进包括空气质量在内的多环境因素的协同发展，也是未来世界工业园区发展的方向。

综上所述，北京市可以综合利用园区 VOCs 排放源精细化管控和园区 VOCs 整体管控两个方向，实现进一步的工业园区 VOCs 减排，并带来减排/减碳的协同效益。基于对北京市工业园区及国际/国内典型工业园区 VOCs 管控经验的调研，本课题对北京市未来工业园区的 VOCs 管控提出以下建议：

### 1. 定义重点工业园区，聚焦工业园区生态环境质量的改善，整体上加强对生态环境质量的重视

对于北京市众多工业园区、经济技术开发区和产业集群进行梳理，将单一产业结构的园区和复合型产业结构的园区区分开来，分别定义其重点工业园区。对于重点工业园区，系统梳理园区所在区域存在的环境问题，明确制约工业园区环境质量改善的主要因素。

- a. 对于单一产业（包括单一企业）为主体的工业园区，调查主要污染源工艺或者设备和主要污染物；
- b. 对于复合产业的工业园区，调查各个工业园区主要污染行业、污染源和主要污染物。

### 2. 在现有基础上稳步推进对工业园区 VOCs 排放源的精细化管控

- a. 要求企业强化对目前的 VOCs 管控政策和法规中相关要求的落实，并要求园区确保对相关要求的监管力度。

- i. 对于燕山石化及其类似园区/企业（工艺排放类企业），通过其所属的监管单位，增加对其 LDAR 的监督力度和汇报要求，并对企业执行 LDAR 的人员的能力进行考察；要求燕山石化安装火炬流量和组分监测装置，并按时报告计划事件与计划外事件。
  - ii. 对于北京经济技术开发区及类似园区/企业（溶剂使用类企业），增强与园区管委会和企业的沟通，解决其相关疑惑，对于监督与抽查过程中发现的问题要求企业进行及时整改。
  - iii. 明确排查检查要点，排查涉及 VOCs 原辅材料的重点企业，量化 VOCs 有关数据和信息，建立完整的管理台账。对于含 VOCs 的产品的各个工艺过程展开抽样检查，形成并与相关方分享检查报告。
  - iv. 加强园区内企业的运行维护管理，对于企业开工/停工和检修维修期间，尽力做到治理设施较生产设施“先启后停”，需要密闭操作的工艺所产生的 VOCs 废气排放应做到及时收集和处理，确保满足标准要求。对于治理设施，明确只有在生产设备停工，残留 VOCs 废气收集处理完毕之后，方可停运治理设施。
  - v. 对于多个行业复合类型的工业园区，对于主要污染来源行业要加大低 VOCs 含量原辅材料的源头替代力度，指定详细的替代计划和时间表，含 VOCs 的产品在出厂时需要明确调配方式以及不同调配方式下 VOCs 含量等信息。
- b. 进一步完善现有的 VOCs 排放标准和技术指南。
- i. 对于石化行业，提高对火炬排放的要求，如要求企业制定火炬排放管理计划，以及增加对冷却塔冷凝水 VOCs 排放的管控要求；
  - ii. 对于溶剂使用类企业，强化对低 VOCs 含量溶剂替代的要求和对溶剂清洗过程的要求，对设施或车间的不同密闭程度下的要求、检测方式及收集效率等进行更明确的定义和解释，并给出相应的技术要求，强化对企业台账的要求；
  - iii. 对于新型重点产业，及时制定相应的行业 VOCs 排放标准，对于各回收和处理设施应作出明确的定义，对于放空气体 VOCs 浓度监测标准和方法做出定义。。
- c. 根据协同减排/减碳的需求，以及减排效果和目标，调整法规和标准的方向。
- i. 对于工业排放类企业，根据各工艺的减排/减碳能力和成本有效性的综合评估结果，对企业提出进一步要求；
  - ii. 对于溶剂使用类企业，如果可以做到使用低含量溶剂达到预期的减排效果，则可适当放松对过程控制及末端治理的要求；
  - iii. 根据特征组分和健康影响，对单独组分进行单独限制和管控。

### 3. 加强园区 VOCs 监测管理水平

- a. 完善当前园区内的 VOCs 监测网络。
- i. 对于北京经济技术开发区，在重点企业或热点区域内增设 VOCs 监测站点，并继续利用走航监测等方式了解园区排放特征；
  - ii. 对于燕山石化，运用长程监测手段（如 SOF）对周边 VOCs 的排放特征和可能的泄漏进行监测；
  - iii. 对于燕山石化，加强易泄漏密封点的检测频次，例如在用泵、备用泵、调节阀、搅拌器、开口管线等密封点，重点关注储罐、装载、生产工艺废气收集输送管道、尾气治理设施密封点的情况；
  - iv. 对于其他企业或园区，根据特点增设 VOCs 监测站点并开展走航监测、无人机监测等。

- v. 对于涉及 2000 个密封点及以上的企业，检查密封点的全覆盖情况，检查 LDAR 频次、泄漏点修复情况和台账记录、LDAR 信息记录等。
- b. 建立系统化的园区 VOCs 监测和管理体系。
  - i. 园区管理机构应建立统一 VOCs 监测管理平台，对园区内的 VOCs 排放信息进行汇总和收集，要求企业定期向平台报告排放源数据、排放数据、LDAR 数据等，并对园区内企业的监测数据和报告做定期的汇总和核查，敦促不达标企业采取相应的整改措施；
  - ii. 要求企业自身完善 VOCs 的监测体系，将现有在线监测系统与平台连线，做到实时的监测数据上传，对于手工监测，也需定期向平台上传监测结果；
  - iii. 采用监督性监测技术（如走航监测等）核查企业上报的污染物排放情况、并发现可能的污染事件；
  - iv. 要求企业对任何停工检修以及意外事件等导致的非计划排放进行及时的报告和分析；
  - v. 政府发挥监督作用，每年对不同园区整体的 VOCs 排放水平和监管水平建立评分标准并进行评分，推广优势经验和先进技术的使用。
  - vi. 对于石化行业为主体的园区，可以鼓励石化企业以及化工园区成立检测团队，自行开展监测工作或检测抽查工作，例如燕山石化的环保监察大队，可以作为其他化工企业和化工园区的借鉴模板。
- c. 与园区和相关科研机构合作，强化园区 VOCs 排放清单和排放计算水平。
  - i. 将现有的排放计算方法进行归纳和总结，选择最合适的标准计算方法，应用于园区的所有排放计算过程；
  - ii. 参考国际主流的计算指南，完善全流程的排放计算方法；
  - iii. 对本地 VOCs 排放特征展开研究，制定本地化的排放因子和计算方法；
  - iv. 要求园区根据企业上报数据编制园区 VOCs 排放源清单；
  - v. 根据园区排放清单，提升北京市 VOCs 排放清单的精度和细度。
- d. 与园区和相关科研机构合作，开展对园区 VOCs 特征物种及其健康风险的研究。
  - i. 在重点园区内及周边敏感点设置 GC-MS 等组分分析仪器，或通过走航分析等手段对不同园区的 VOCs 特征物种及浓度进行分析；
  - ii. 根据分析得到的特征物种分析其健康影响和对周边敏感点的风险；
  - iii. 参照建议 1.c.iii，对重点物种进行进一步管控。
  - iv. 加强对于 VOCs 监测的监管，建立健全跟踪监管的长效机制。
- e. 与园区和相关科研机构合作，开展对园区企业协同减排/减碳可行性及方式的研究。
  - i. 对燕山石化等能源密集型企业或代表性行业的企业展开能源审计，确定其主要耗能点和低能效点；
  - ii. 对识别出来的工艺展开协同减排/减碳可行性研究，寻找可行且易推广的协同减排/减碳手段，在设定整体空气质量改善目标的同时，针对重点区域及部分城市设置差异化、有针对性、更为具体的阶段性改善目标，展开产业结构、能源结构深度调整，并分析其成本效益；
  - iii. 根据研究结果制定协同减排/减碳路线图，发布指南并要求企业据此制定能效提升方案；
  - iv. 对履约企业的碳排放施行跟踪检测，敦促履约企业的碳排放相关信息和数据进行核算并由管理部门进行核查，根据履约企业的生产计划和实际生产数据、排放数据预测年度碳排放量，形成监测跟踪报告并适时调整碳减排计划。

#### 4. 推动生态园区发展与建设

- a. 根据北京市规划、工业园区特点、现有公共设施和现有环境影响，明确园区定位，对园区功能和企业类型进行区分，并考虑不同园区之间的联接和合作。
- b. 设定北京市相应的生态工业园区发展目标和标准，对现有工业园区的发展水平进行评价。根据评价结果，要求园区提出发展目标和规划方案。管控部门从生态环境保护角度对规划的产业定位、布局、结构、发展规模、建设时序、运输方式及工业园区循环化和生态化建设等方面提出优化调整建议，推进区域生态环境质量改善<sup>128</sup>。
- c. 要求园区管理方完善企业管理要求。
  - i. 根据园区环境敏感度及现有 VOCs 排放水平，利用总量控制、排放配额等方式对新进企业的准入条件提出进一步要求；
  - ii. 要求工业园区管理者对企业进行环境风险评级（包括 VOCs 排放水平、排放控制水平、过往违法违规情况等），对重点企业加强监督与检查。
  - iii. 考虑引入第三方咨询/管理/服务企业，协助园区管理，并为企业提供相关服务。
- d. 优化工业园区基础设施建设，增加对工业园区推进循环经济和引进集中型公共设施的支持。
  - i. 选择试点工业园区（如北京经济技术开发区），对各企业生产、消耗的主要产品和材料进行调研，制定材料循环利用方案；
  - ii. 对产业较集中的工业园区（如生化园区、医药园区等），引入国际或国内领先的集中溶剂回收设施、活性炭集中再生设施和其他再生回收设施；
  - iii. 对园区所涉及的集中供水、供热、污水处理、中水回用及这些设施的配套管网、一般固体废物和危险废物集中储存和处理装置、交通运输等基础设施提出新设施建设及已有设施的优化调整方案。
  - iv. 对能源密集型企业，开展绿色能源与余热回收试点。
  - v. 进一步设置激励项目，鼓励园区和企业自行开展相关活动。
- e. 增强与园区和企业的交流和能力建设。
  - i. 通过研讨会、会议、专家库等方式，向园区管理方和企业提供 VOCs 排放控制、减排措施的成本效益和生态园区等的相关知识，并保持流畅的沟通渠道；定期向园区管理人员和重点企业管理人员提供培训，增强其环境意识和能力水平；
  - ii. 鼓励园区管理方开发并维持企业定期交流机制，促进企业的互相交流和合作。

#### 5. 加强园区信息管理与公开

- a. 参考 SCAQMD 的 F.I.N.D. 系统，对目前的工业源 VOCs 信息管理系统进行进一步完善，将企业的与 VOCs 相关的许可、排放源、监测、各类方案与报告、检查记录/违规记录等进行整合；
- b. 要求园区整合当前的在线信息公开平台，逐步增加信息公开的水平，例如在可能的情况下公布 VOCs 排放清单，以及向工业园区周边敏感居民区公开监测数据，并及时发布污染或事件预警。
  - i. 共享园区环境质量和规划环境评价等信息，大气、水等环境质量和污染源在线监测结果与当地生态环境主管部门联网，非在线数据存档备查，建立产业园区规划环评文件、环境质量监测数据等信息共享工作机制并与入园建设项目及时共享；

<sup>128</sup> [https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202011/t20201124\\_809477.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202011/t20201124_809477.html)

- i. 政府向社会和市民公开信息，加强与公众的信息交流，向公众普及科学的 VOCs 风险和应对的相关知识。