成都市大气污染源排放清单的研究、实践与思考

成都市环境保护科学研究院

谭钦文 周子航 吴柯颖 邓也 宋丹林

2018.9.26 成都

目录
CONTENTS

01 清单工作历程

02 清单研究工作进展和成果

03 清单在成都市大气环境管理中的实践

04 清单研究与城市应用思考

1、清单工作历程

从2001年开始，成都开始着手大气污染源调查工作，是全国最早开展源清单编制的城市之一，也是环保部首批清单编制试点城市之一。

- 2003：2001-2003年,完成成都市中心城区以SO_2、NOx、TSP、PM_{10}、HC等主要污染物的大气污染物源排放量。
- 2006：2004-2006年，建立2004年大气污染物源排放清单，包含SO_2、NOx、TSP、PM_{10}。
- 2008：2007-2008年，初步建立成都市以SO_2、NOx、HC、CO、PM_{10}、TSP为主要污染物的大气污染物源排放清单。
- 2010：2010年，初步建立成都市储存运输源排放清单。
- 2013：初步建立2012年大气污染物源排放清单，并成功应用于为2013年成都财富论坛空气质量保障
- 2014：2014年起将大气污染物源排放清单建立及更新工作列为常年任务，逐年进行清单的更新和精细化工作。
- 2014：参与四川省灰霾课题，较全面的建立了2013年大气污染物源排放清单，并用于模型计算。
- 2015：2014年大气污染物源排放清单通过了环保部组织的专家验收。
- 2017：连续开展VOCs成分谱测试工作
- 2018：开展石化、机动车VOCs成分谱测试，以及清单系统填报等工作

目录
CONTENTS

01 清单工作历程

02 清单研究工作进展和成果

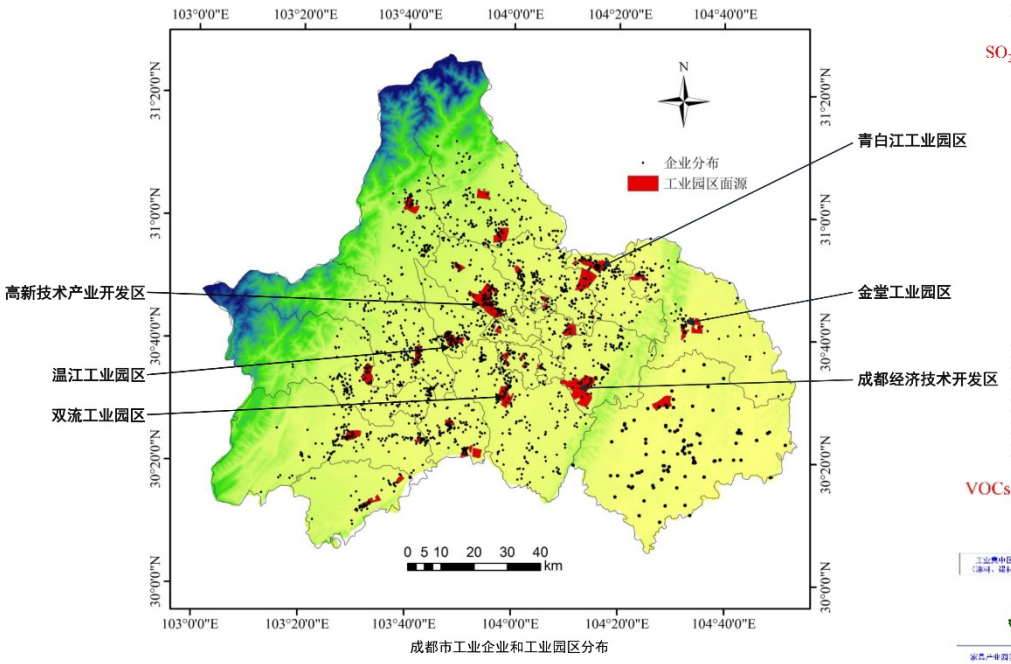
03 清单在成都市大气环境管理中的实践

04 清单研究与城市应用思考

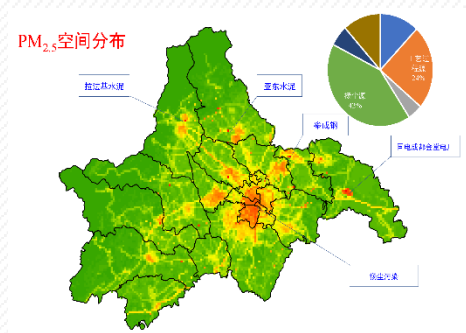
2、清单研究进展和成果

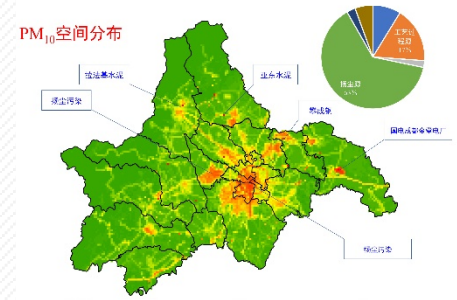
1 本地精细化排放清单研究

持续开展成都市高分辨率排放清单更新，为空气质量模拟和四川盆地大气污染防控提供支撑。

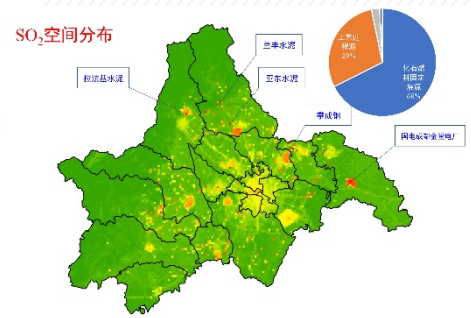


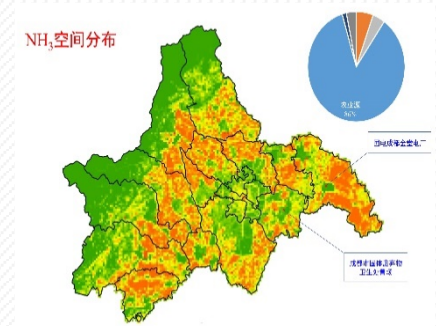
成都市工业企业和工业园区分布

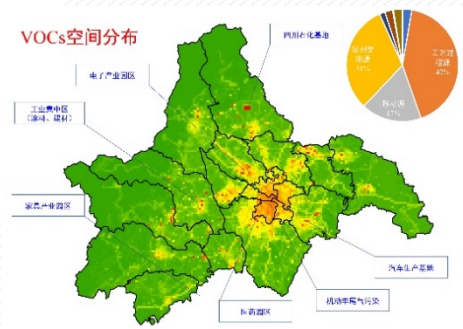


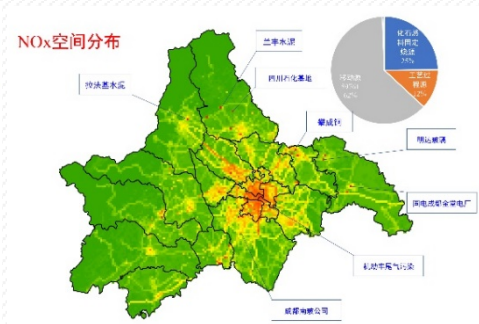


源清单结果分析及污染物空间分布



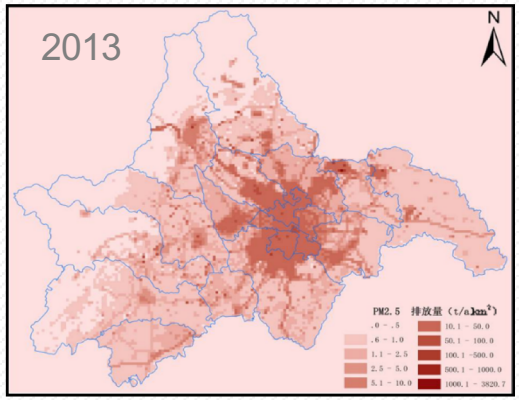


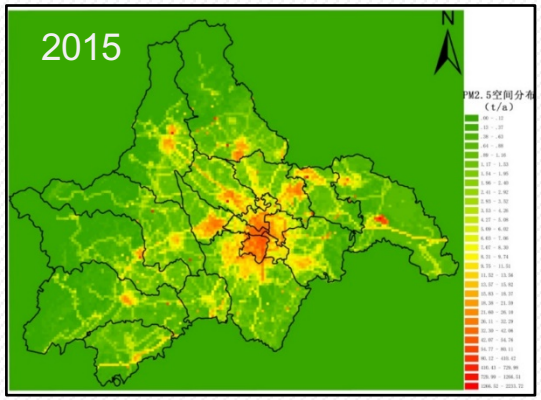


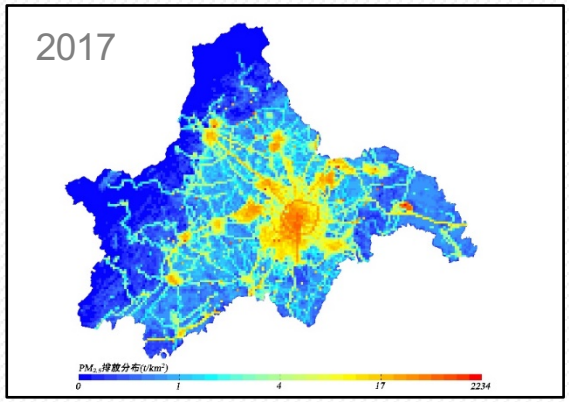


2、清单研究进展和成果

2 动态排放清单更新-污染源点源化







- 排放清单逐年更新，现已实现动态更新
- 排放源分类逐渐细化，目前类别可分为点源和面源，其中点源已实现行业化，模型可识别为21类，面源按照排放类别分为19类，其中机动车按车型细分为11类。
- 精细化排放清单是后续模型源解析、模型评估的重要基础。

2、清单研究进展

3 动态排放清单试点研究

基于清华大学开发的清单管理系统，建立动态评估的大气污染源排放清单。

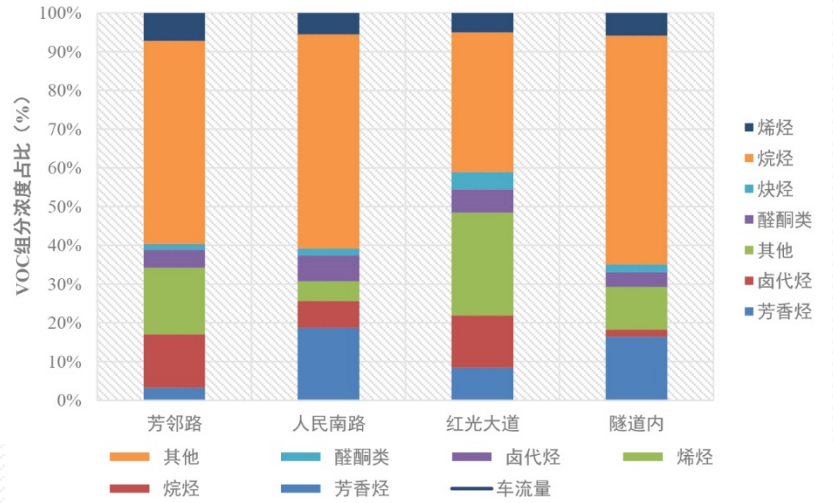
	国民经济大类	国民经济中类	企业分组	所属行业	设备编号	填报设备类型	填报产品类型	填报产品名称	填报产品单位	填报产品产量	填报所属排放源	修正所属排放源	判断
1	农副食品加工业		工业	其他工业	PC2	不分技术	其他食品	配合饲料	吨	500	食品	食品	
2	农副食品加工业		工业	其他工业	PC1	不分技术	其他食品	浓缩饲料	吨	2000	食品	食品	
3	化学原料和化学		工业	石化与化工	PC1	不分技术	苯	乙酰苯胺	吨	6000	有机化工	有机化工	
4	农副食品加工业		工业	其他工业	PC1	不分技术	其他食品	食醋	吨	1000	食品	食品	
5	农副食品加工业		工业	其他工业	PC3	不分技术	其他食品	酱油	吨	500	食品	食品	
6	农副食品加工业		工业	其他工业	PC2	不分技术	其他食品	调味料	吨	500	食品	食品	
7	食品制造业		工业	其他工业	PC1	不分技术	罐肉	烤香肠	吨	20	食品	食品	
8	其他制造业		工业	石化与化工	PC1	不分技术	其他化工品	酸乙醇	吨	200	其他化工	其他化工	
9	非金属矿物制品		工业	其他建材	PC1	不分技术	其他建筑材料	细结构石墨	吨	800	其他建材	其他建材	
10	造纸和纸制品业		工业	其他工业	PC1	不分技术	纸浆	无碳复写纸	吨	3000	造纸	造纸	
11	橡胶和塑料制品		工业	石化与化工	PC1	不分技术	其他塑料	包装膜	吨	12900	塑料	塑料	
12	造纸和纸制品业		工业	其他工业	PC1	不分技术	纸浆	再生纸	吨	6000	造纸	造纸	
13	食品制造业		工业	其他工业	PC2	不分技术	其他食品	馍片	吨	800	食品	食品	
14	食品制造业		工业	其他工业	PC1	不分技术	饼干	米饼	吨	1000	食品	食品	
15	农副食品加工业		工业	其他工业	PC1	不分技术	其他食品	饲料	吨	7440	食品	食品	
16	化学原料和化学		工业	石化与化工	PC1	不分技术	其他化工品	增白剂	吨	280	其他化工	其他化工	
17	化学原料和化学		工业	石化与化工	PC2	不分技术	其他橡胶	中性胶	吨	260	橡胶	橡胶	

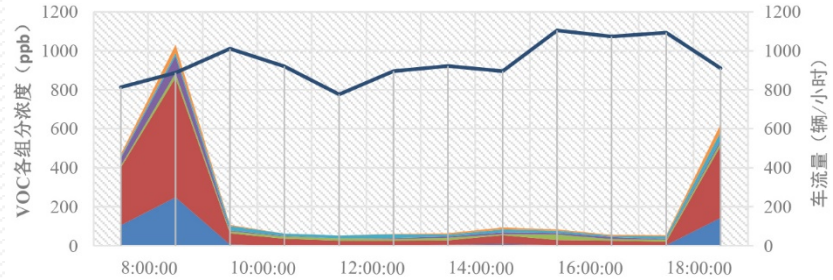
2、清单研究进展

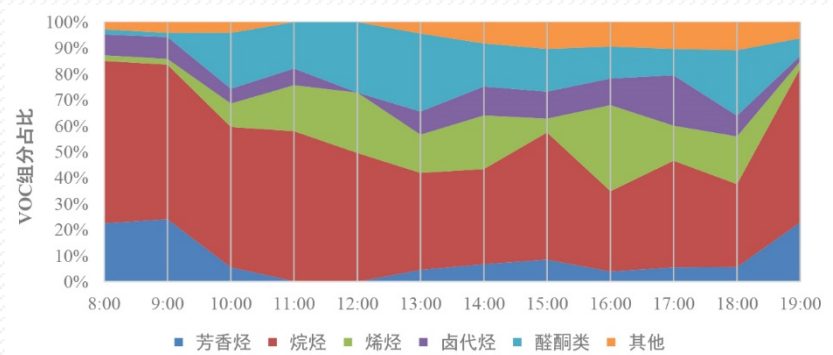
4 道路和隧道移动源VOCs排放特征研究

在成都市中心城区选取了不同类型的三条道路和一条隧道进行了为期30d的道路VOCs组分观测实验，分析了PAMS+TO15的组分和NO_2，并同时采集了道路车流量。

- 四个点位VOC物种浓度占比均是烷烃占比最大，异戊烷为其中浓度最高组分。
- 挥发性有机物浓度与车流量变化较为不同的是，VOC早高峰峰值显著高于晚高峰时段，且早高峰峰值出现时间较车流量高峰提前1小时，这与道路出现严重拥堵总车流量变小有关。
- 从挥发性有机物的组分变化来看，早晚峰值时段烷烃和芳香烃浓度占比较大，午后随着太阳辐射的增加，卤代烃类和其他物种的浓度及占比逐渐增加，指示大气光化学反应增强，光化学反应中间产物增加。
- 基于隧道测试的机动车排放因子计算尚在进行中。

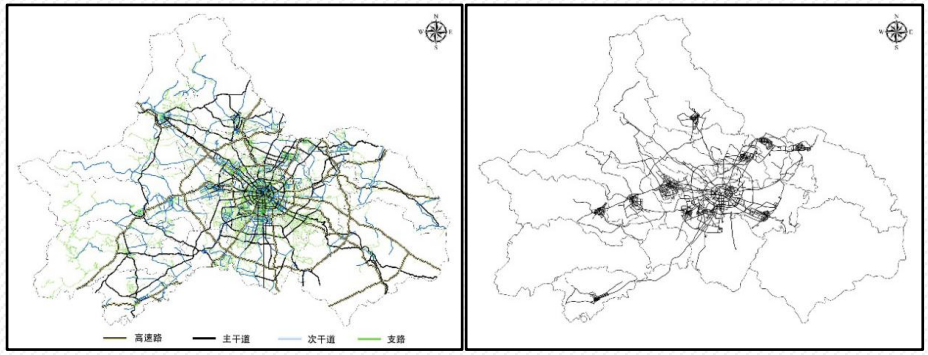




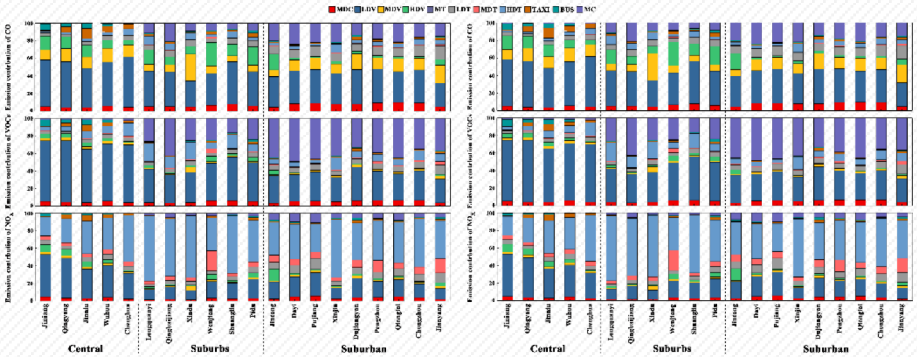


2、清单研究成果

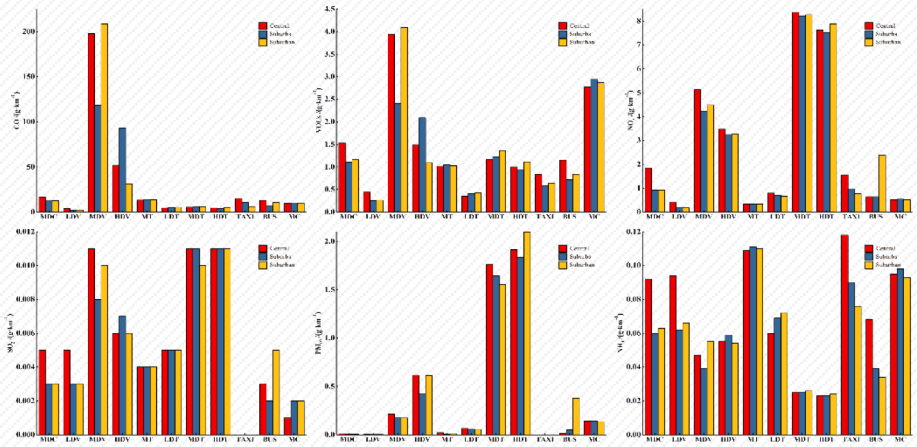
5 本地化机动车排放特征研究



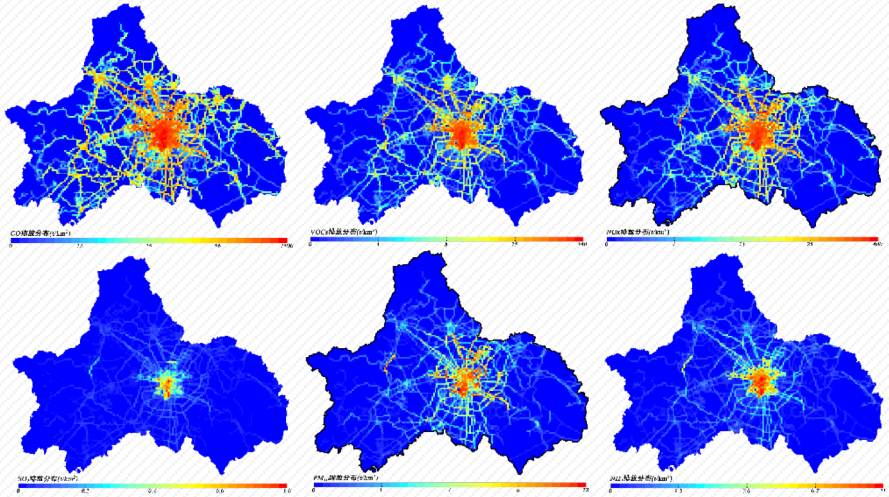
道路路网和浮动车数据轨迹



不同区域机动车污染物分担率



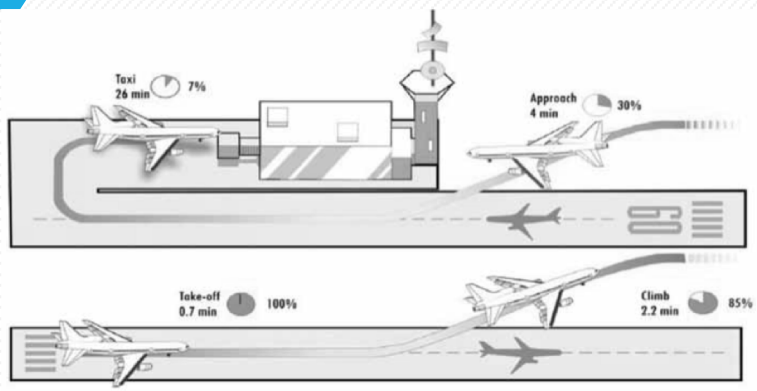
成都市不同区域机动车分车型排放因子



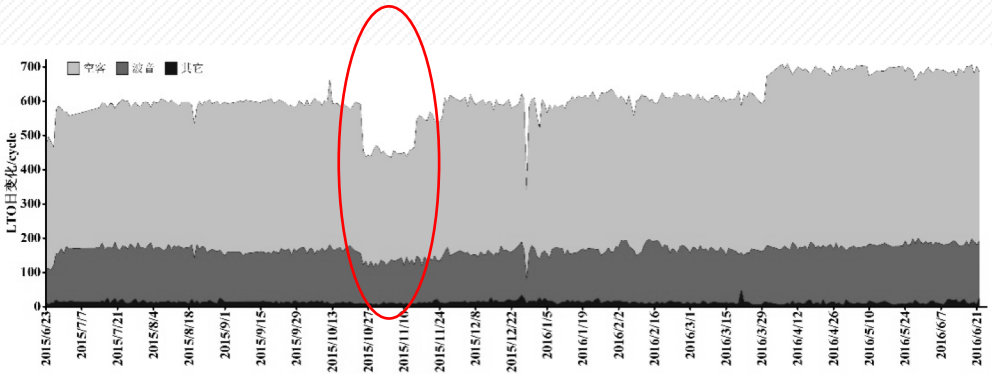
周子航等, 2018

2、清单研究成果

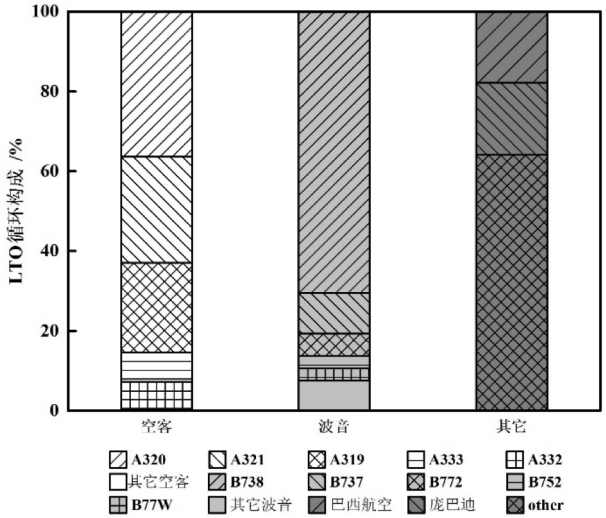
6 成都双流机场排放特征研究



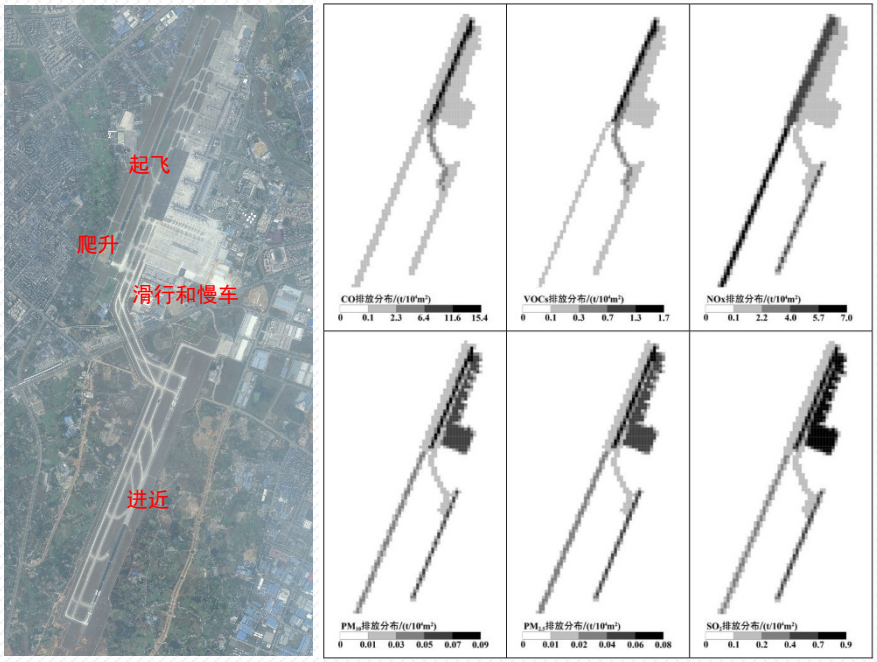
典型LTO循环



成都双流国际机场LTO循环数日变化



成都双流国际机场机型构成



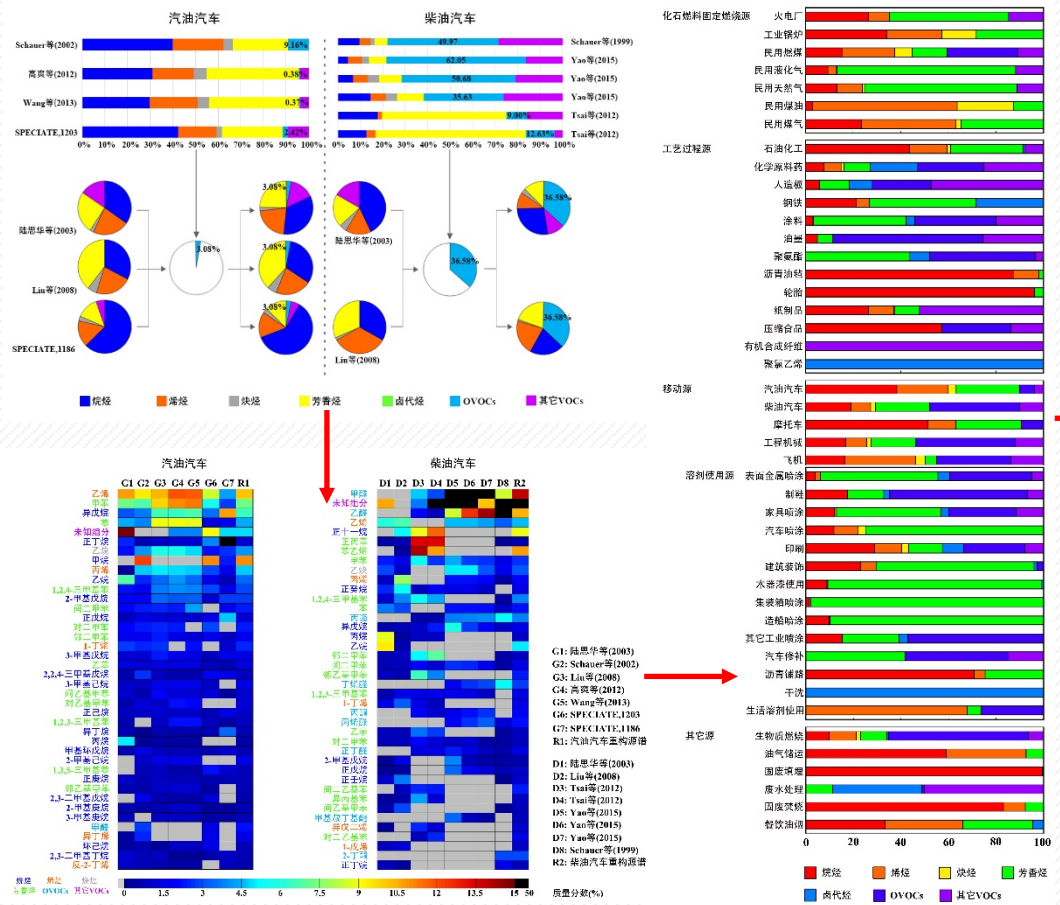
成都双流国际机场大气污染物排放空间分布

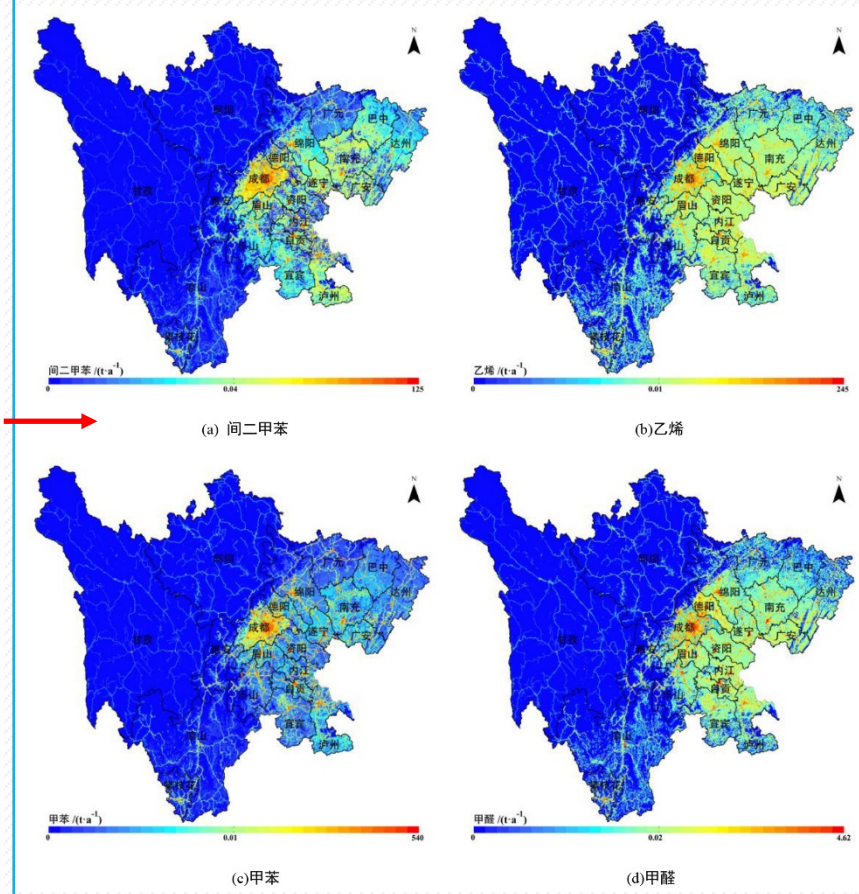
周子航等, 2018

2、清单研究成果

7 本地化VOCs组分排放清单

- 重构后的成都市机动车尾气成分谱



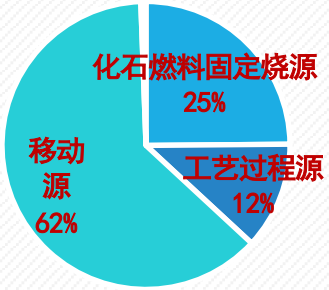


周子航等, 2018

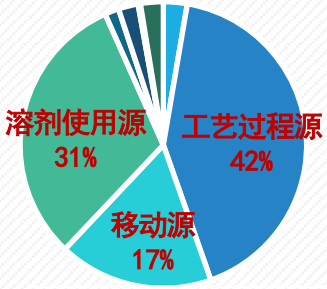
2、清单研究成果

8 臭氧前体物排放清单

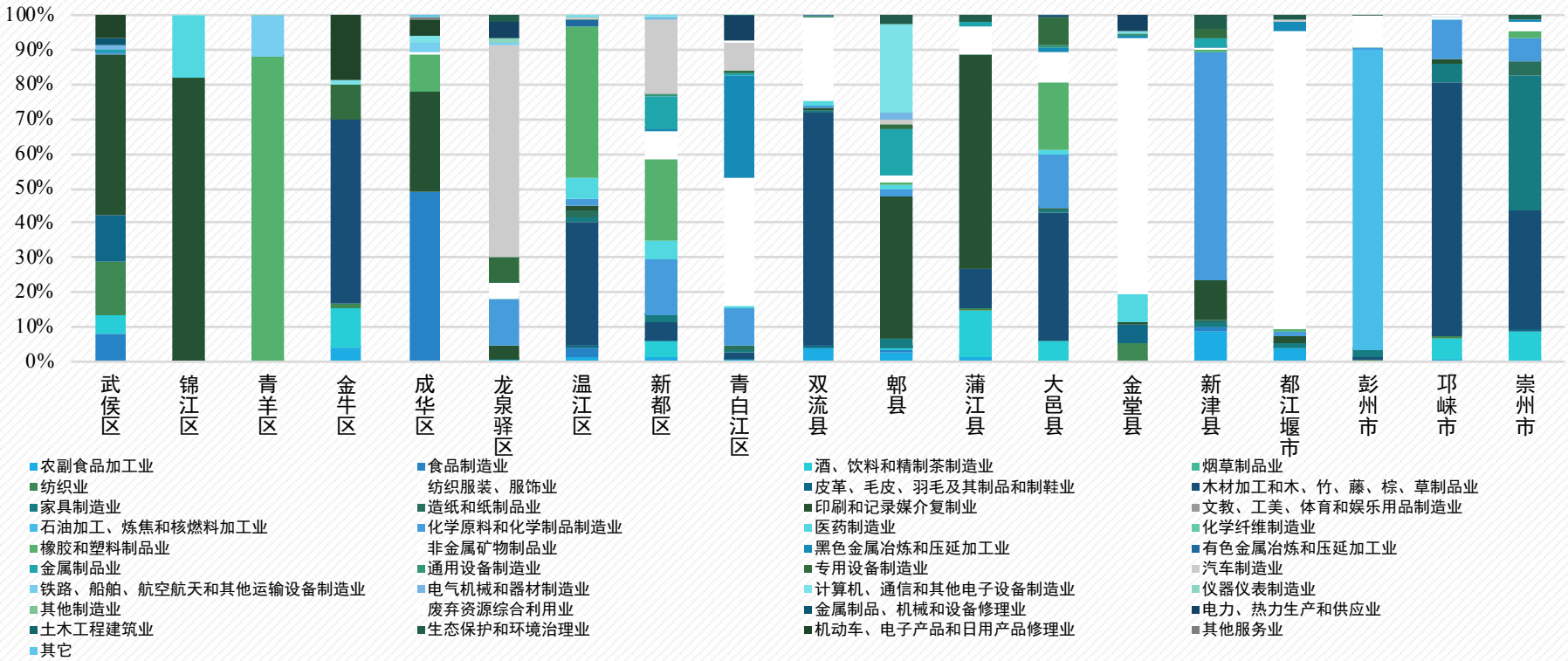
- 移动源和化石燃料固定燃烧源是成都市主要的NO_x排放源；
- 工艺过程源和溶剂使用源是成都市主要的VOCs排放源，其中人造板加工、汽车制造、石油化工、家具制造是主要的排放行业；



NOx 主要贡献源



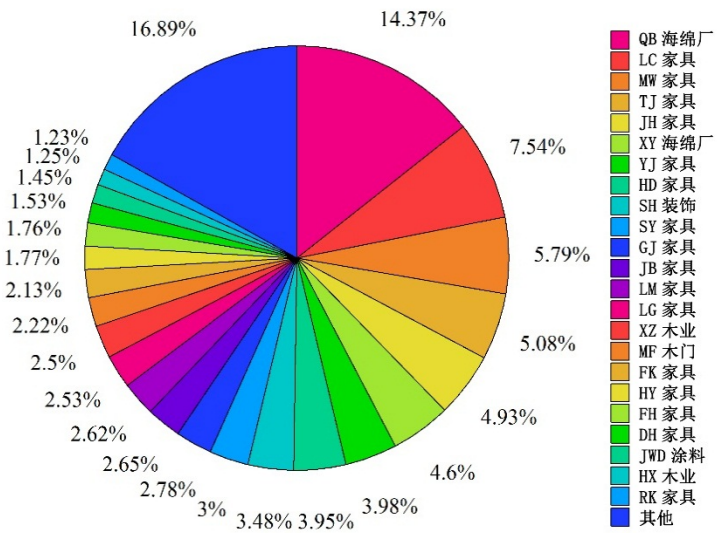
VOCs 主要贡献源



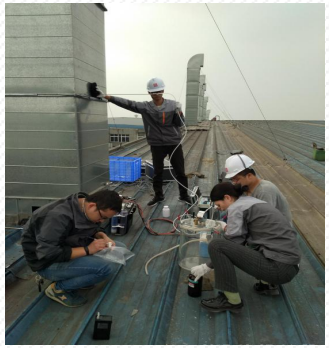
2、清单研究成果

9 成都市家具园区排放特征和石化排放量核算

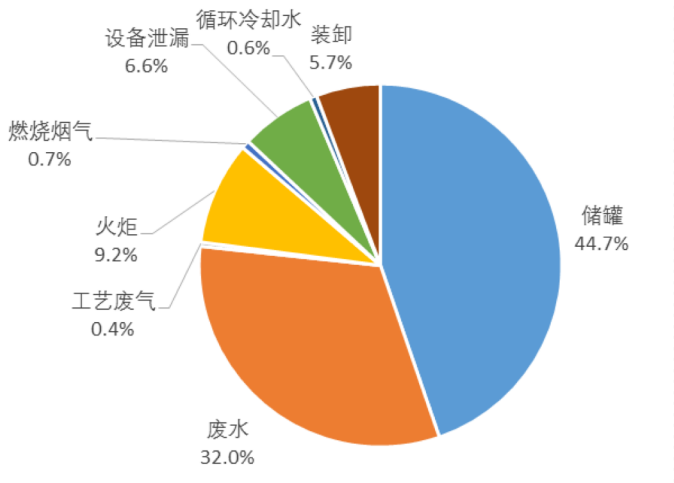
- 园区内各家具涂装生产线中有组织排放的浓度较高，VOCs废气收集装置效率极低，无组织排放严重。



成都家具园区企业排放量占比



- 四川石化基地中排放量较大的环节为储罐和废水收集、处理，占总排放量的44.7%和32.0%；
- 下一步加入LDAR数据和源成分谱信息



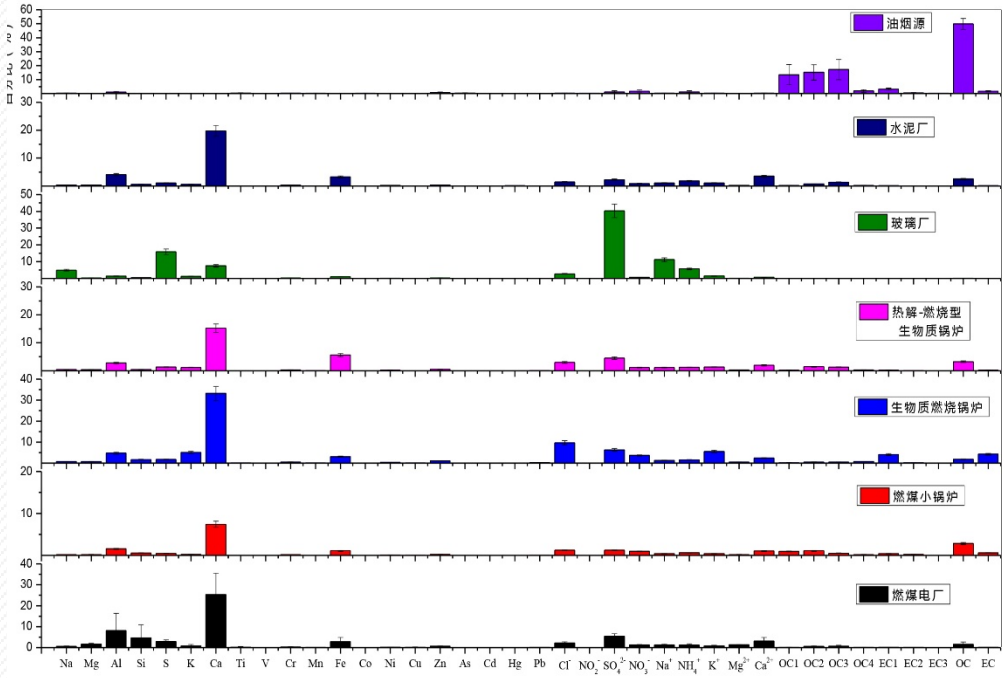
四川石化基地VOCs污染源排放贡献

2、清单研究成果

累计开展成都市重点源实测230(仅VOC)余组，实测源类分别占VOCs和一次PM2.5排放的 38%和15 %，不断提升源排放识别准确度。

10 $PM_{2.5}$成分谱本地化测试

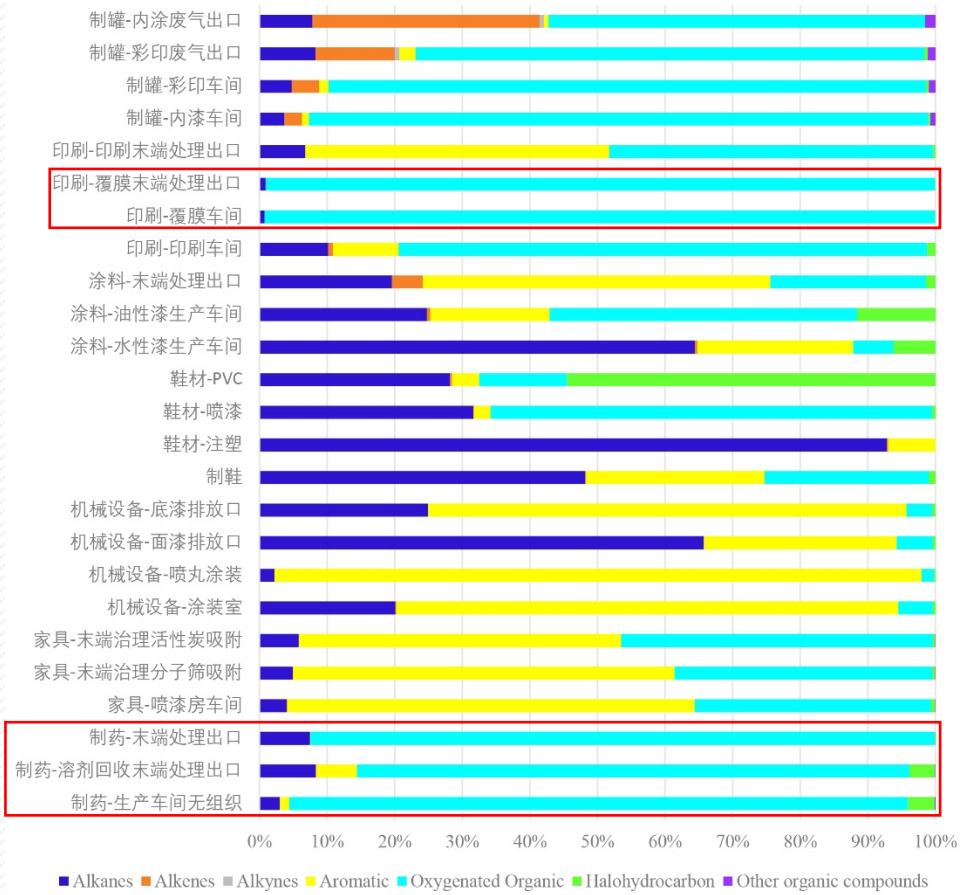
元素Ca为燃煤电厂颗粒物含量最高的成分，所研究的燃煤源细颗粒物中含量最高的污染元素是Zn。玻璃厂$PM_{2.5}$中SO_4^{2-}含量达到40%，在水泥厂的细颗粒中Al具有特征性，餐饮源颗粒物中OC是最显著的特征组份。

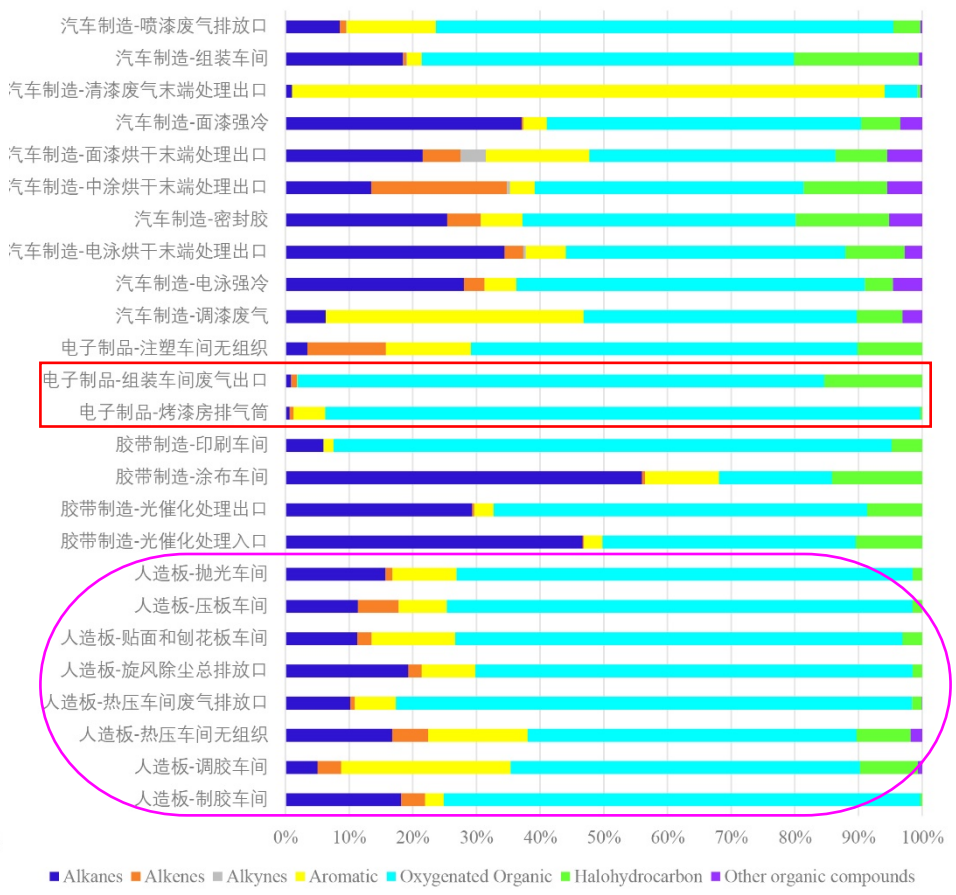


2、清单研究成果

11 VOCs源成分谱本地化测试

持续对成都市家具、人造板、制鞋和汽车制造等典型VOCs排放源，分工艺环节开展了VOCs成分谱测试工作，其中对人造板、涂料制造、胶带制造和制药等国内研究较少的工艺过程源进行了测试。从结果可以看出，大部分源类的醛类、酮类等OVOCs组分均占有较大的比重。

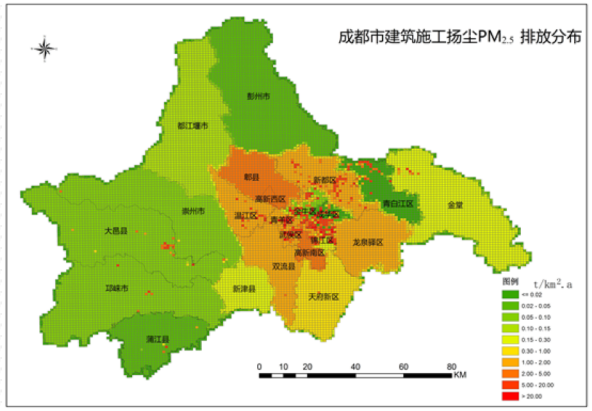




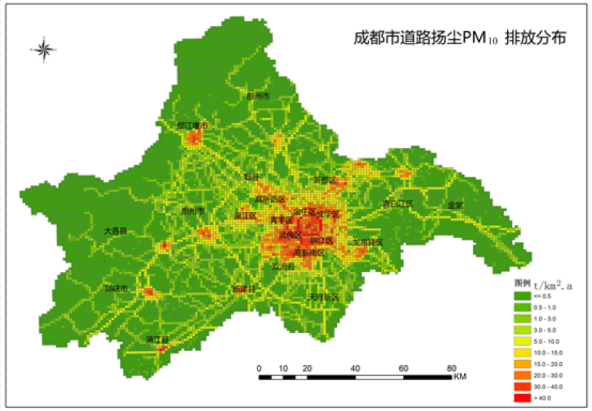
2、清单研究成果

12 基于实测的成都市扬尘源排放清单

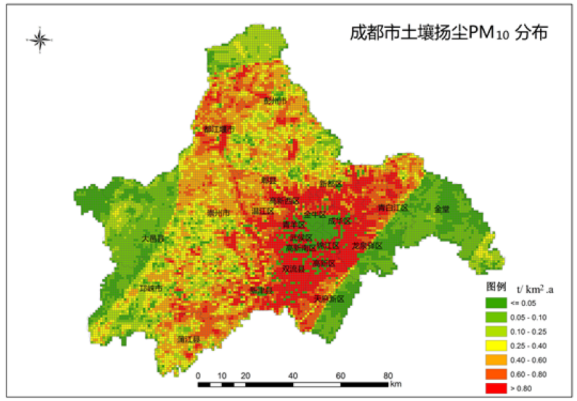
- 施工扬尘排放空间分布特征

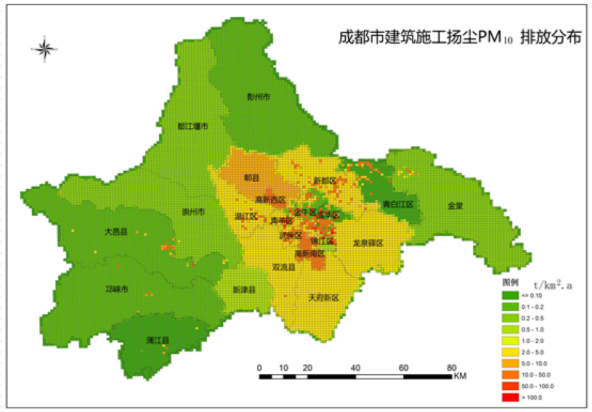


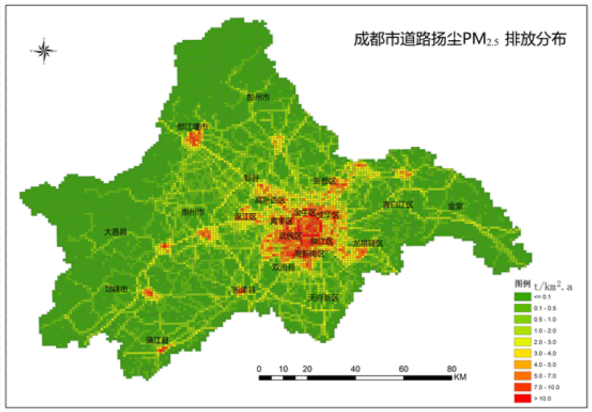
- 道路扬尘排放空间分布特征

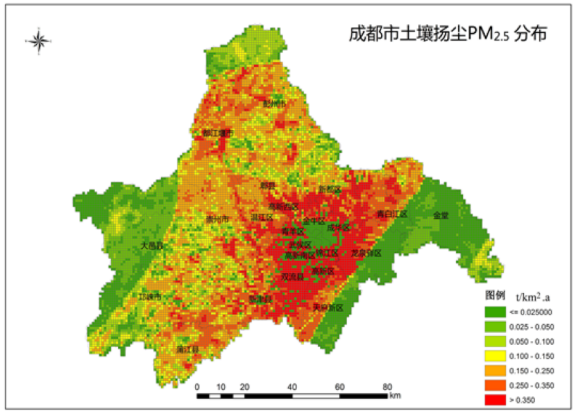


- 土壤扬尘排放空间分布特征









目录
CONTENTS

01 清单工作历程

02 清单研究工作进展和成果

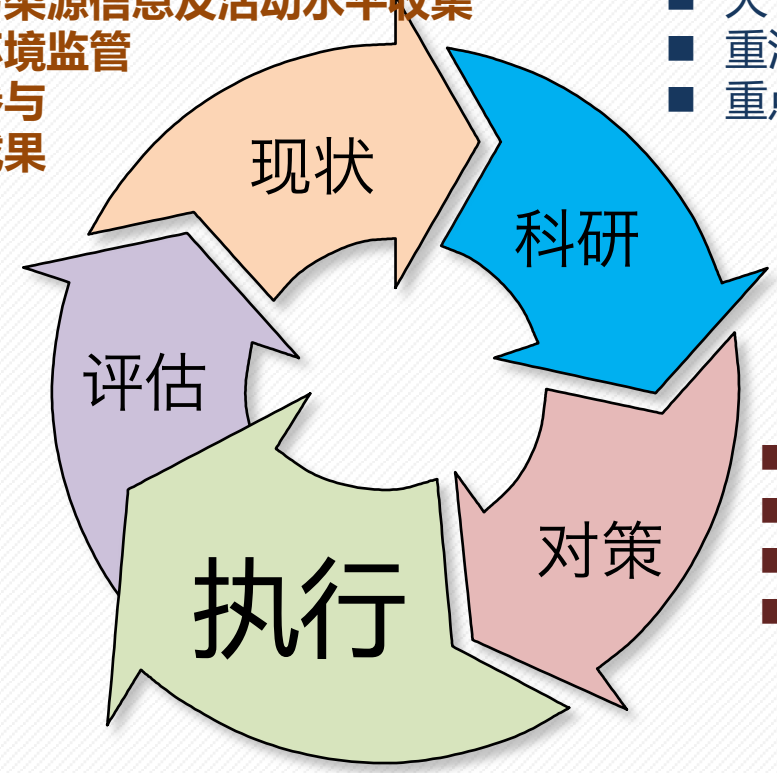
03 清单在成都市大气环境管理中的实践

04 清单研究与城市应用思考

3、清单在成都市大气环境管理中的实践

- **环境空气质量监控**
- **大气污染源信息及活动水平收集**
- **大气环境监管**
- **公众参与**
- **前期成果**

- 污染防治对策与建议（短期）
- 大气污染防治行动计划（中长期）
- 重污染天气应急预案（短期）
- 重点行业座谈会



- 治理效果评估
- 减排措施评估
- 对策评估
- 优化建议

- 夏季臭氧污染防控
- 成都秋冬季大气污染攻坚方案
- 重污染天气应急响应措施
- 空气质量预测预报（市本级、区县级）

- 日常管控措施
- 成都大气污染防治“650”工程
- 重污染天气应急响应
- 环保督查

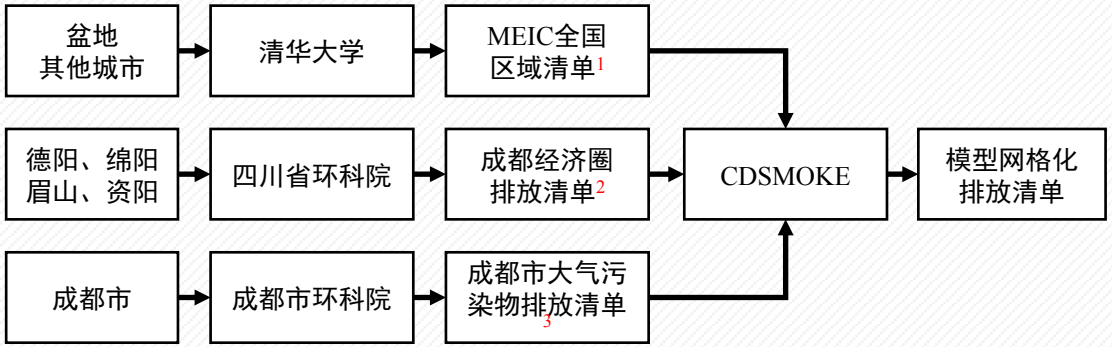
3、清单研究成果应用案例

1 CMAQ空气质量模式在成都市的应用

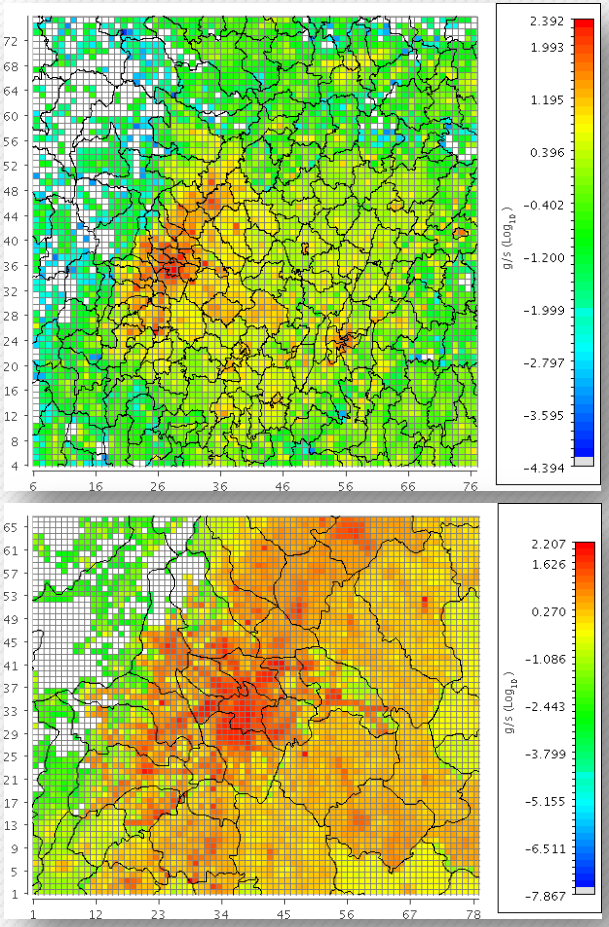
NAQPMS平台—业务化预报系统

CDAQS系统—大气科研平台

不同来源的清单整合



1. http://meicmodel.org/，2.5°*2.5°分辨率，2012年
2.四川省区域大气污染源排放清单建立（2013HBZX02）课题,3Km*3Km分辨率，2012年
3.环保部源排放清单编制试点工作，成都2014年大气污染物源排放清单课题，1Km*1Km，2014年



陆成伟等, 2018

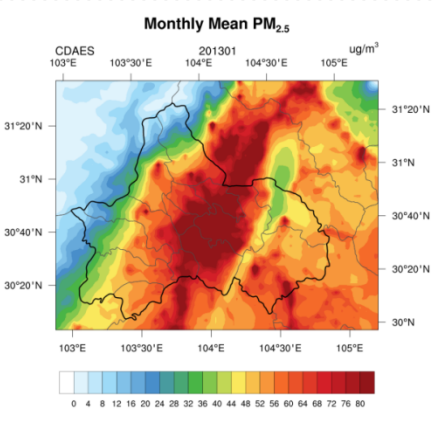
3、清单研究成果应用案例

2 “大气十条”措施成效评估

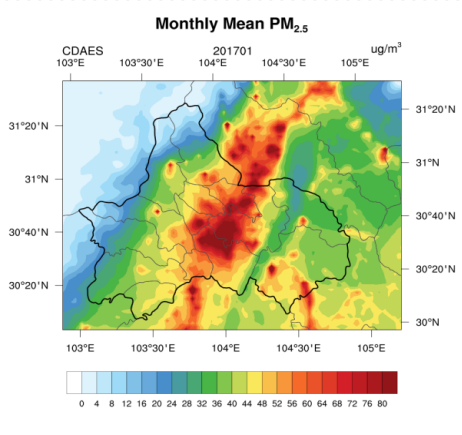
与2013年相比不同年份气象条件对$PM_{2.5}$浓度贡献

年份	全年	冬季
2014年	6%	-2%
2015年	8%	-5%
2016年	-14%	-22%
2017年	-4%	-18%

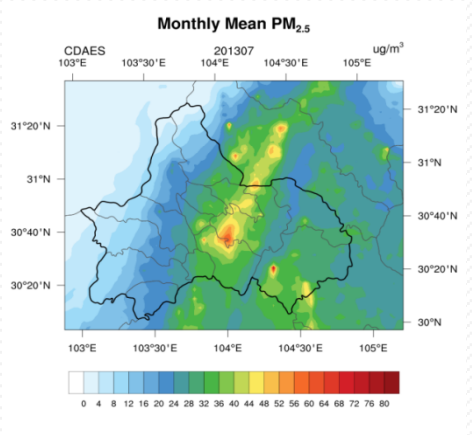
- 与2013年相比：2014年和2015年气象条件相对2013年总体略为不利；2016年和2017年则有利于空气质量改善。
- 2017年气象因素使$PM_{2.5}$浓度下降4%（冬季为18%），而$PM_{2.5}$浓度实际下降42.3%，说明大气污染减排措施对空气质量改善起到主导作用。



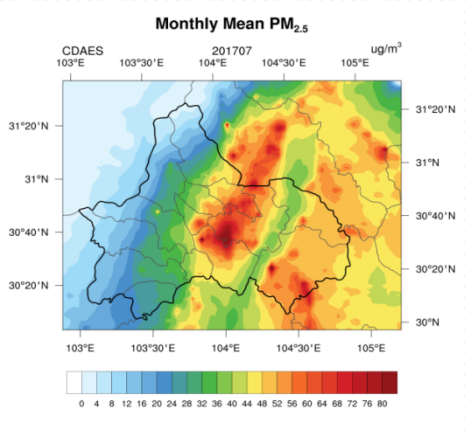
2013年冬季



2017年冬季



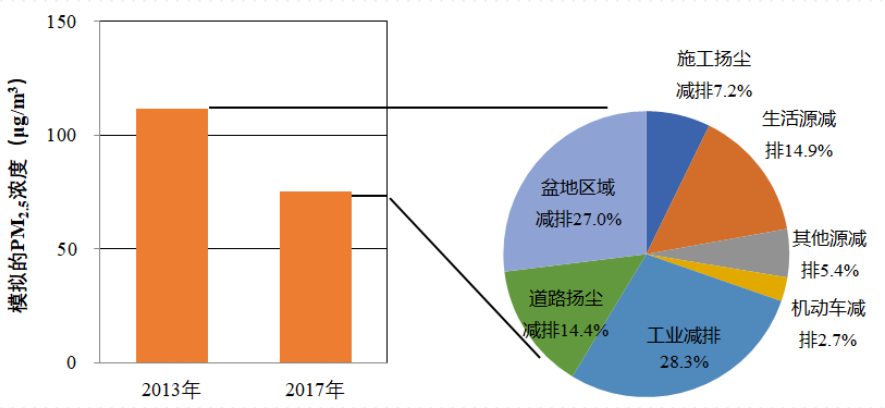
2013年夏季

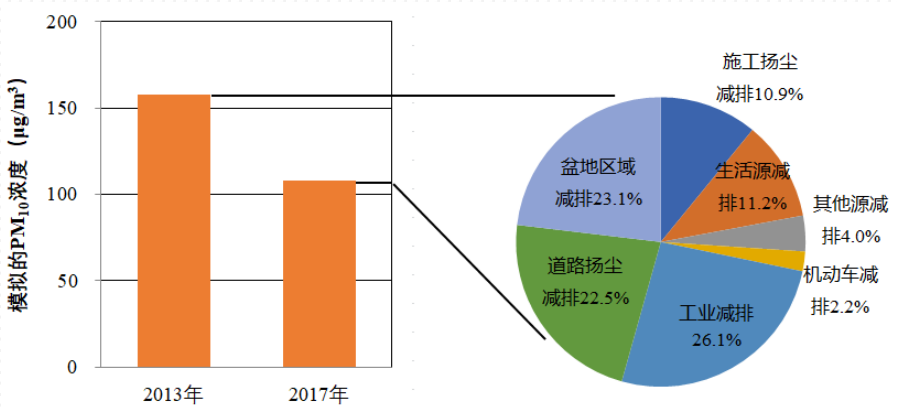


2017年夏季

3、清单研究成果应用案例

2 “大气十条”措施成效评估



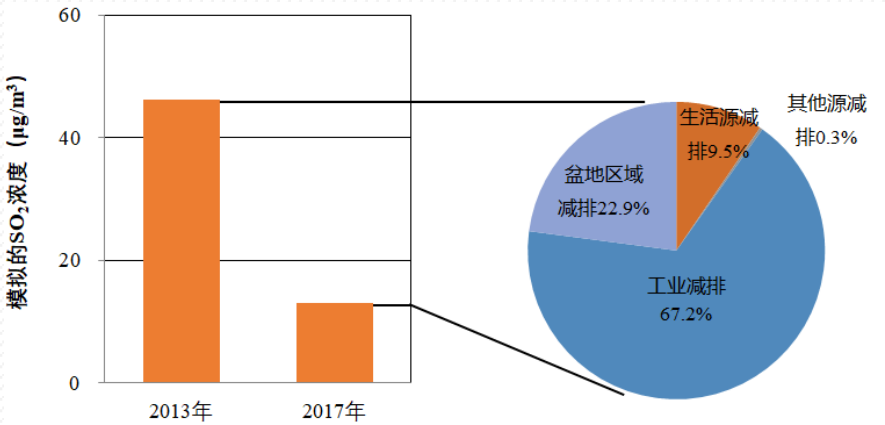


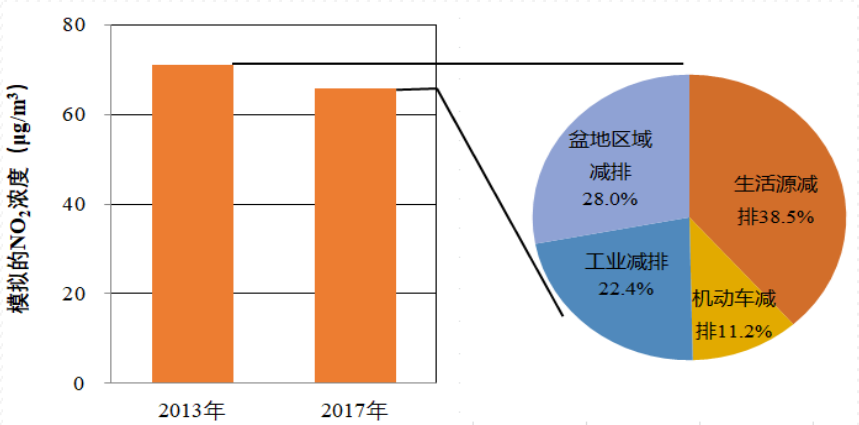
- 模拟结果分解表明：本地减排措施中，工业减排对$PM_{2.5}$浓度改善效果最大，占28.3%，其次扬尘减排，占21.6%；生活源减排贡献14.9%。
- 以上三项措施贡献了成都市$PM_{2.5}$浓度下降的64.8%
- 盆地区域减排贡献27.0%。

- 模拟结果分解表明：本地减排措施中，扬尘减排对PM_{10}浓度下降贡献最大，达到33.4%，其次则为工业减排和生活源减排，分别贡献26.1%和11.2%；
- 盆地区域减排贡献23.1%。

3、清单研究成果应用案例

2 “大气十条”措施成效评估





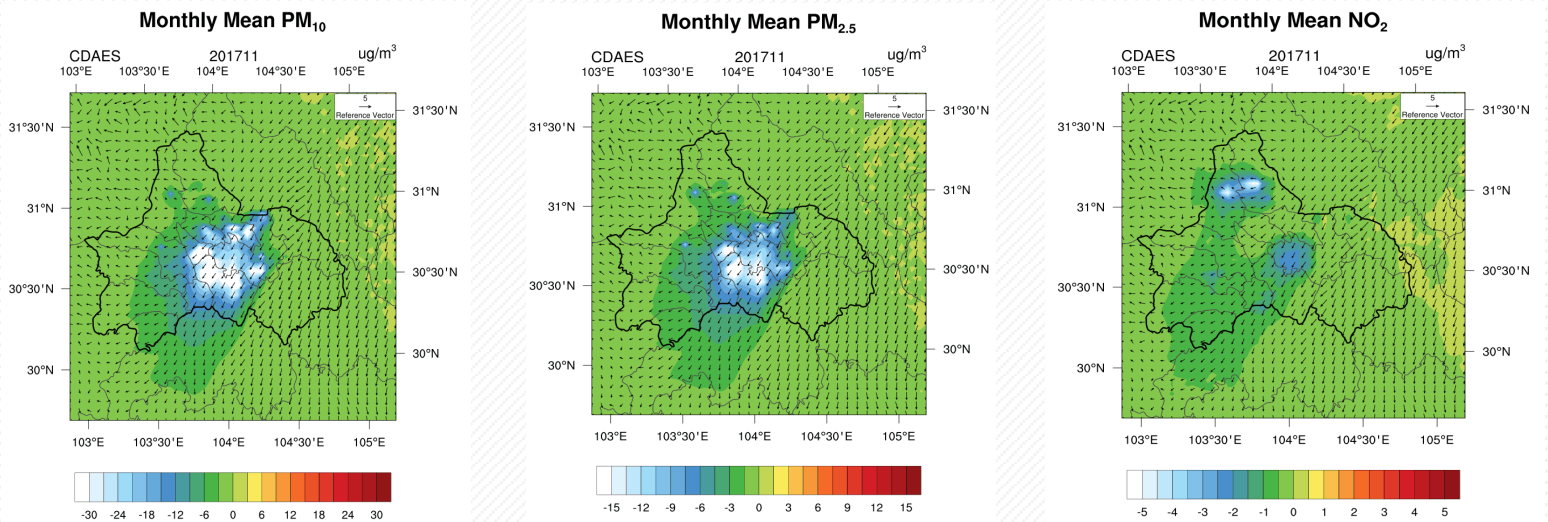
- 模拟结果分解表明：本地减排措施中，工业减排对SO_2浓度改善效果最大，占67.2%，其次为生活源减排，占9.5%；
- 盆地区域减排贡献22.9%。

- 模拟结果分解表明：各项措施对NO_2浓度改善幅度较小；
- 本地减排措施中：生活源贡献最大，站38.5%，其次则为工业减排22.4%，机动车减排占11.2%；
- 盆地区域减排贡献28%。

3、清单研究成果应用案例

3 重污染天气预警措施后评估

- 评估结果显示：2017年成都市启动的10次重污染预警，各项应急措施使成都市$PM_{2.5}$年均浓度下降约1.2μg/m³，可使全年$PM_{2.5}$浓度下降2.9%
- **以2017年11月8-16日黄色预警为例：**期间成都市SO_2、NOx、VOCs和颗粒物日减排比例分别为19%、15%、17%和37%左右；使期间中心城区PM_{10}、$PM_{2.5}$、NO_2浓度平均下降分别为8.1%、5.1%和1.4%。



2017年11月8日~16日黄色预警期间PM_{10}、$PM_{2.5}$和NO_2浓度削减空间分布图

3、清单研究成果应用案例

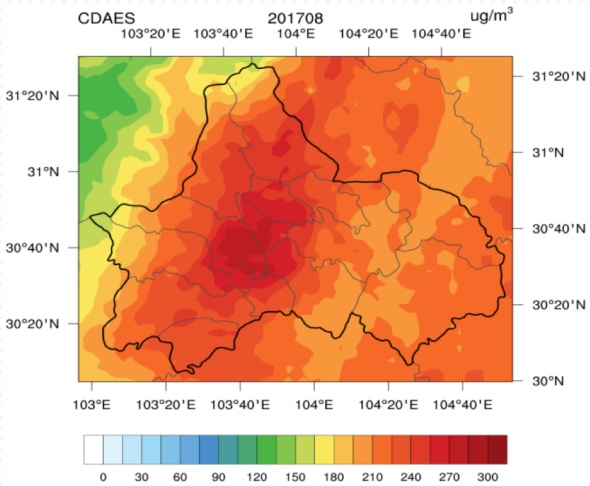
4 臭氧污染防控成效评估

情景		措施描述	清单处理
	情景 0	维持最新清单研究成果，清单基准年为 2016 年	无
情景 1	清理整顿	1.对全市火电、钢铁、水泥熟料、玻璃生产行业不能稳定达标排放的企业停产整改；砖瓦生产企业未完成排污口整治或整治后无法达标排放的停产整改；经监测未达标排放的锅炉一律停用。 2.对全市挥发性有机物排放工业企业进行全面排查，未安装挥发性有机物治理设施或未按规定使用治污设施的责令停产整改。 3.对全市汽车修理企业进行全面排查，对未布设密闭喷漆室的企业责令停工整改，严厉打击露天喷涂违法行为。 4.对中心城区洗衣店进行全面排查，未安装 VOCs 回收装置的责令改正。	1.参照锅炉排放达标情况和能源消耗情况，对全市火电、钢铁、水泥熟料、玻璃生产行业的排放比例进行 NOx 削减：29%； 2.考虑到前期整治效果，对全市挥发性有机物排放工业点源进行 VOCs 削减量估算：20%； 3.考虑到前期整治效果，对全市汽车修理企业点源进行 VOCs 削减量估算：20%； 4.考虑到前期整治效果，对全市洗衣店点源进行 VOCs 削减量估算：50%。
情景 2	工业管控	1.对火电、水泥孰料、玻璃生产企业实施大气污染物超低排放或限制生产负荷，确保氮氧化物排放低于正常工况的 30%；化工、砖瓦、纺织、食品等行业企业，限制生产负荷，确保炉窑、锅炉氮氧化物排放低于正常工况的 30%。 2.对全市汽车制造、家具制造、印刷包装、制鞋、制药等重点挥发性有机物排放企业，限制生产负荷，确保挥发性有机物排放低于正常工况的 50%。	1.所涉及企业点源的 NOx 排放削减：30% 2.所涉及企业点源的 VOCs 排放削减：50%
	交通管控	1.中心城区机动车尾号限行每日 2 个号。公共汽车、出租车、省际长途客运车辆及大型客车以及警车、消防车、救护车、工程救险车、邮政专用车等不限行。 2.绕城高速 G4201（含）以内，重型/中型柴油载货汽车 6:00 至 18:00 禁入。 3.根据污染状况和相关法律法规制定更严格的限行措施。	1.主城区的移动源、道路源排放的 NOx、VOCs 削减：20%； 2.对重型/中型柴油载货汽车的部分进行移动源、道路源排放的时间序列和空间重分配； 3.这部分不做评估。
	加油站等管控	5 月 31 日前未完成油气回收或油气回收装置未正常运行使用的加油站、储油库、油罐车一律暂停营业和使用；已完成油气回收治理的加油站、储油库、油罐车加强监督管理，确保回收装置正常运行和使用。	考虑到对加油站的督查效果，对清单中的加油站 VOC 排放削减：90%。
情景 3	环保督察强化	在情景 01 的基础上，叠加以下参数形成情景 02： 依据全市加油站、储油库油气回收整治工作会、全市机动车维修行业环境污染防治工作大会、全市汽车维修行业污染防治推进大会、全市臭氧污染防控工作会等等了解的企业关停实际情况，对全市工业点源、面源等削减比例进行调整。	1.所涉及企业点源污染物排放削减：80%； 2.所涉及污染物面源污染物排放削减：80%； 其他参数维持情景 01 的参数设计。

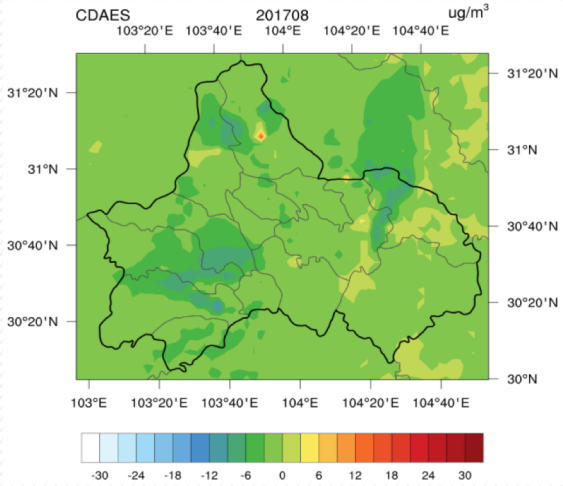
3、清单研究成果应用案例

4 臭氧污染防控成效后评估

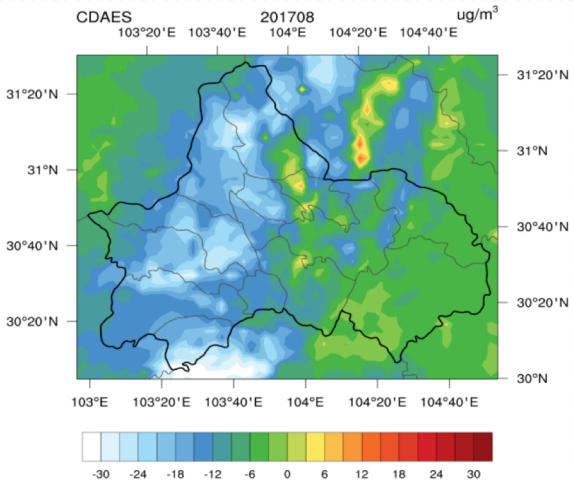
00情景



01情景



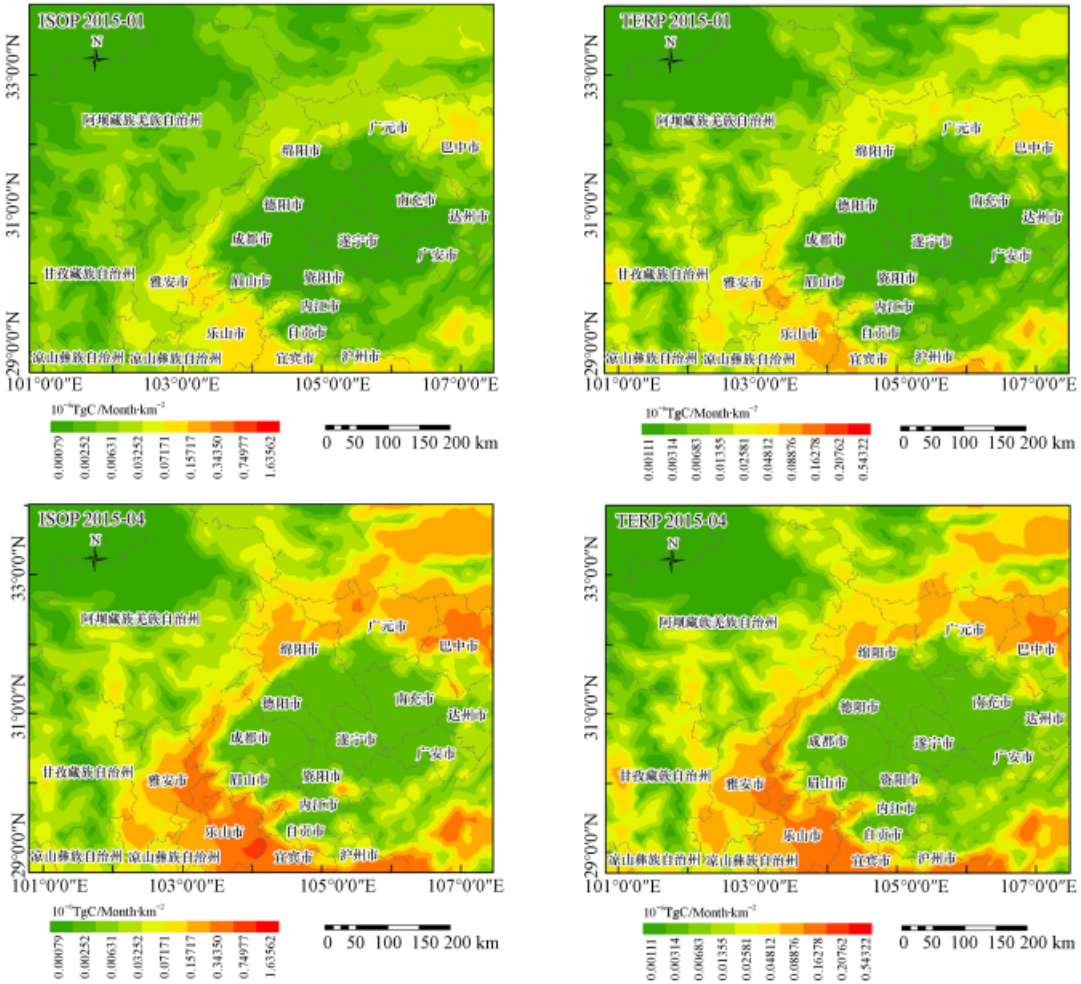
02情景



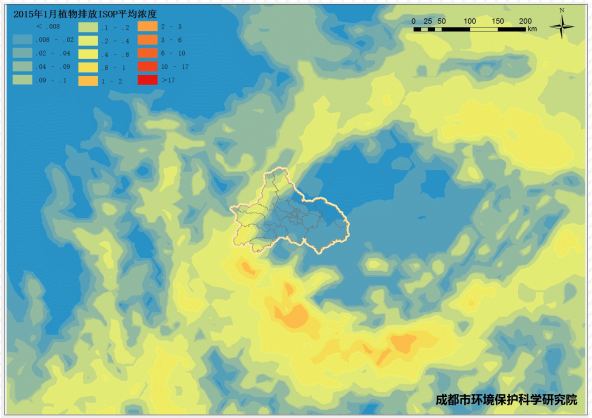
- 00情景（不采取措施）：成都市臭氧呈现出区域连片污染态势，且$O_{3_8h\ max}$的峰值最高达到了320μg/m³。
- 01情景（臭氧行动方案）：大部分区域的$O_{3_8h\ max}$的削减幅度在6~10μg/m³之间，西部沿山部分区域削减幅度最高可达18μg/m³。
- 02情景（叠加环保督查）：城区的$O_{3_8h\ max}$削减幅度维持在6~12μg/m³之间，但在郊区（市）县$O_{3_8h\ max}$最大减排浓度可达30μg/m³。

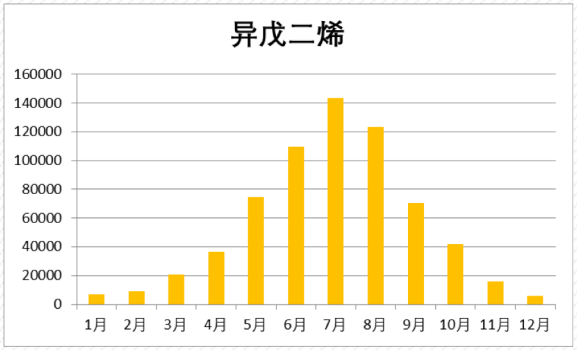
3、清单成果应用案例

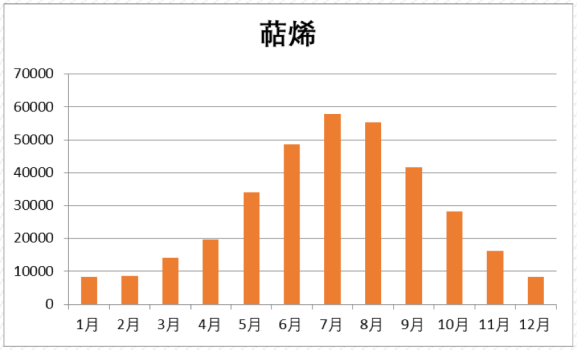
5 动态天然源清单在空气质量模拟的应用



简单天然源排放模型SimpleBIO







陆成伟等, 环境化学 2018

目录
CONTENTS

01 清单工作历程

02 清单研究工作进展和成果

03 清单在成都市大气环境管理中的实践

04 清单研究与城市应用思考

4、清单研究与城市应用思考

几点思考和未来工作重点

- 排放清单的动态更新和完善
- 关键排放因子和源谱的本地化
- 排放清单验证与校核
- 排放清单对大气污染防治的支撑

4、清单研究与城市应用思考

排放清单的动态更新和完善

化石燃料固定燃烧源	工艺过程源	溶剂使用源	道路移动源	非道路移动源	农业源	扬尘源	生物质燃烧源	储存运输源	废弃物处理源	餐饮油烟源
燃料为燃煤、燃气和燃油的电站锅炉、工业锅炉和民用炉灶	工业生产过程，以原料的转化为目的的工业活动	生产、使用有机溶剂的工业生产和生活部门	载客汽车、载货汽车、摩托车	农业机械、非道路机械、铁路内燃机车、民航飞机	在农业生产中排放大气污染物的各种农业活动	在自然力或人力作用下无组织、无规则排放地表松散颗粒物质的颗粒物排放	使用生物质材料为原料的锅炉、炉具，秸秆露天焚烧	挥发性油气产品被收集、储存、运输和销售的过程	废水、固废以及烟气脱硝的过程	餐饮烹饪过程中随油烟排放污染物的污染源
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓

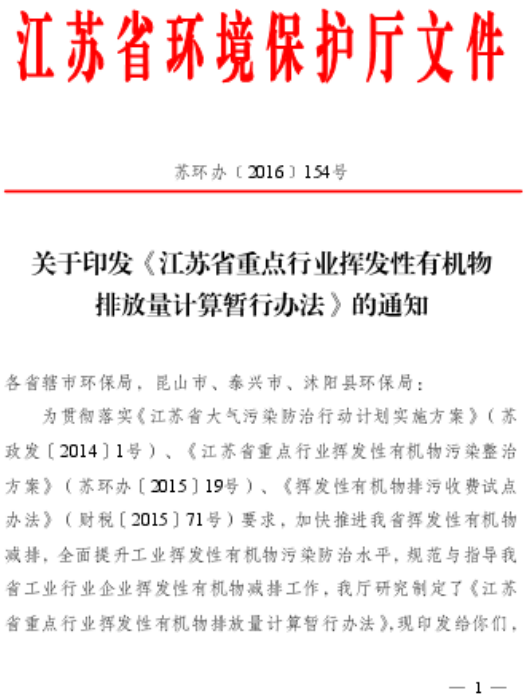
成都市环保部门是否掌握活动水平数据 ✓ ✗

- 成都市环保局已经和其它市级部门建立跨部门机制和数据共享，目前已掌握绝大部分源类的大部分活动水平数据，但溶剂使用源由于种类较多，其中如建筑涂料、沥青使用等仍存在欠缺。生物质燃烧源则存在民用燃料则仅通过调查方式获取。
- 基于其它先进城市经验，逐步开始收集全市交通流数据（厘清外地车辆对本市贡献），完善工地和农业道路的机械登记数据、探索基于生活习惯的民用数据收集和分析方式，真正实现大数据的整合和利用，而不仅仅局限于已有统计和调查数据。
- 将排放清单数据需求逐步纳入到统计体系中，用好清单填报系统，力争实现逐月更新以至更高的更新频率。

4、清单研究与城市应用思考

排放清单的动态更新和完善

- 仅依靠排放清单技术指南和手册对污染物排放量进行核算？对于成都市这种臭氧污染已凸显的城市是不够的。基于本地行业特征，效仿国内先进省市，有针对性的编制典型行业VOCs等污染物核算方法和制定一行一策或一厂一策指南越发重要。


江苏省环境保护厅文件

苏环办〔2016〕154号

关于印发《江苏省重点行业挥发性有机物排放量计算暂行办法》的通知

各省辖市环保局，昆山市、泰兴市、沭阳县环保局：

为贯彻落实《江苏省大气污染防治行动计划实施方案》（苏政发〔2014〕1号）、《江苏省重点行业挥发性有机物污染整治方案》（苏环办〔2015〕19号）、《挥发性有机物排污收费试点办法》（财税〔2015〕71号）要求，加快推进我省挥发性有机物减排，全面提升工业挥发性有机物污染防治水平，规范与指导我省工业行业企业挥发性有机物减排工作，我厅研究制定了《江苏省重点行业挥发性有机物排放量计算暂行办法》，现印发给你们，

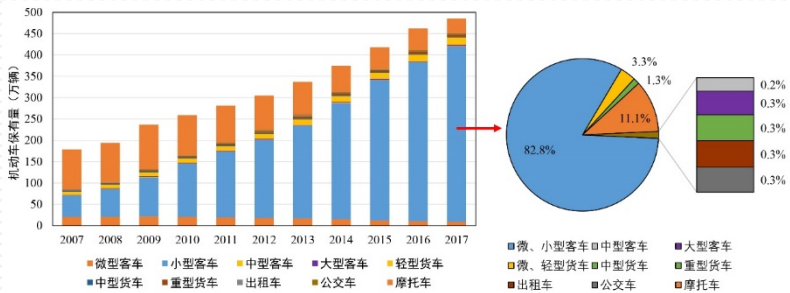
— 1 —

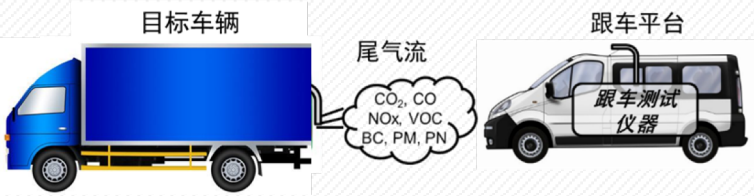
4、清单研究与城市应用思考

关键排放因子和源谱的本地化

- 本地测试的排放因子准么？不准。但对于排放量较大且难以选取的排放因子，可在技术指导的前提下逐步开展。
- 成都市为轻工业为主城市，工业特征与北方城市差异极大，部分行业在现有清单技术手册和研究中缺少对应的源类和排放因子，由于选取排放因子的不确定性，将不确定性传导进入了排放量结果中。
  - 天然气锅炉的NOx排放因子，国内研究较少，难以找到有代表性的测试结果数据；
  - 人造板等行业的VOCs排放因子，由于人造板企业动辄数十万吨的胶粘剂使用量，涉及制胶、热压和风干等多个排放环节，现有的排放因子不具有较好代表性。
  - 化工、药品制造等行业的原辅料和种类多样，在实际选取排放因子时存在极大的不确定性。

- 成都市作为全国机动车保有量第二，城市道路行驶工况恶化的区域中心城市，Chasing测试结果表明公交车公交车等天然气燃料汽车单车排放极高，基于不同道路工况和不同燃料车辆排放研究已迫在眉睫，应关注大量过境和本地柴油车的实际道路排放，科学评估成都市大力推广天然气车背景下的实际减排效果。

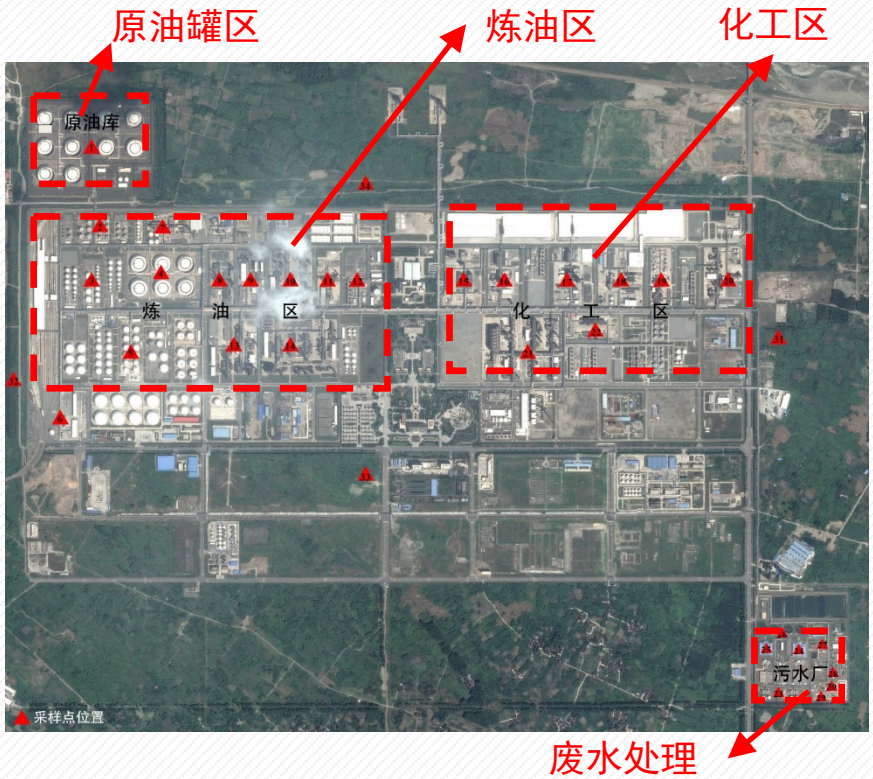




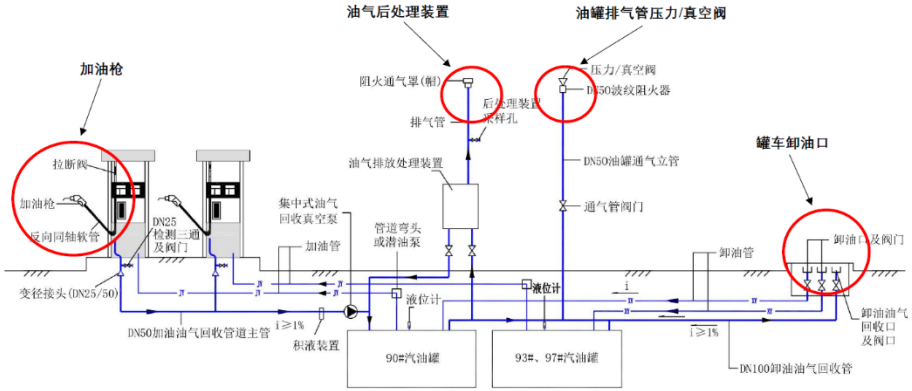
4、清单研究与城市应用思考

关键排放因子和源谱的本地化

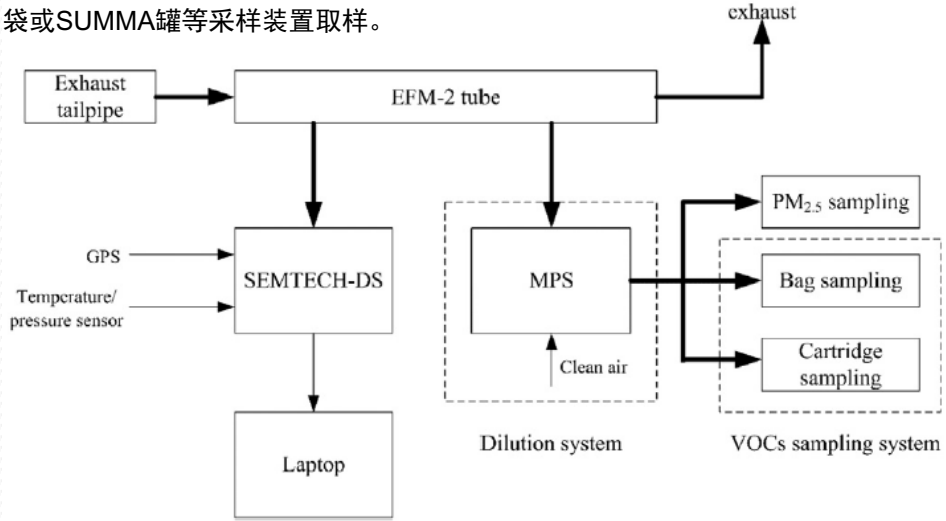
基于四川石化基地VOCs调查项目的排放量核算数据结果，四川石化基地厂区VOCs主要排放于储罐、废水收集和处理、设备泄露和装卸等处，因此设定VOCs监测点位为以上区域。其中，仓储区5个，装卸区1个，炼油区8个，化工区8个，危废处理1个，外环境4个，共计34个点位。



基于加油站油气排放环节，加油站VOCs主要排放于装卸和加油等处，因此设定VOCs监测点位为：（1）加油枪与车辆油箱接口处，选取采样枪进行测试；（2）油罐排气管压力/真空阀（P/V阀），主要针对加油站地埋式的卧式罐；（3）油气后处理装置（VRU）；（4）罐车卸油口，主要针对罐车卸油到罐体的逸散排放；（5）与压力有关的无组织排放。



采集机动车尾气时，连续地将机动车排气和稀释空气的样气收集起来，以备分析。稀释气体从机动车尾气管后的连接装置中进入，同时在稀释通道后，使用采样袋或SUMMA罐等采样装置取样。



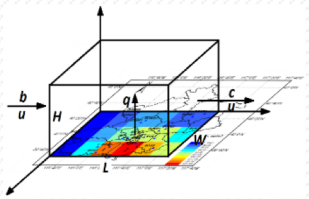
4、清单研究与城市应用思考

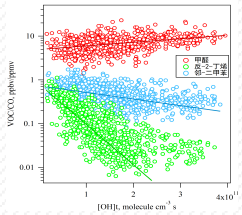
排放清单验证与校核

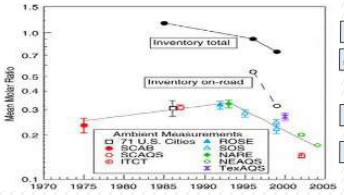
自下而上 (Bottom-up)
优点：简单直接，行业企业分配
缺点：耗时，有遗漏，误差大

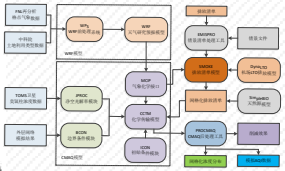
互补

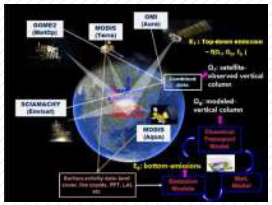
自上而下 (Top-Down)
优点：快速动态，无遗漏
缺点：化学-气象影响显著，难度大











箱模型	排放比	受体模型	趋势分析	化学传输模型	卫星反演
优点：验证空间分布 缺点：基于大量假设	优点：验证物种排放 缺点：参比化合物排放量不准确，排放比难以确定	优点：独立于排放清单 缺点：不能直接提供污染物排放量，不考虑VOCs光化学损耗	优点：验证时间变化趋势 缺点：基于大量假设条件	优点：验证污染源、物种、时空分布、定量校正 缺点：清单和模型参数不准确	优点：时空分辨率高 缺点：反演物种有限

谢绍东，2017

清单验证与校核（尤其是VOCs）方法较多，各有优缺点，作为城市级应用，可基于现有软件（化学传输模型等）和硬件（成都市大气重点实验室、超级站、气溶胶组分分析系统、VOCs在线分析系统），选择最适用于本地的方法。

4、清单研究与城市应用思考

排放清单对大气污染防治的支撑

- 排放清单对于城市而言根本目的是为管理服务，亦可与总量、环统等环保部门数据互补。
- 以支撑决策为目标，推动排放清单在污染治理方面发挥作用，为重点源筛选、重污染应急、控制措施效果评估、空气质量达标规划等业务工作提供支持排放清单验证与校核。
- 通过动态污染源清单业务化建设，建立以观测数据、排放清单、情景模拟为核心的空气质量调控技术体系，逐步形成研判-决策-实施-评估-优化的决策支持体系，为大气污染防治工作提供科技支撑。

tanqw@cdaes.cn

谢谢！