

道路交通和空气质量：典型分析方法概述

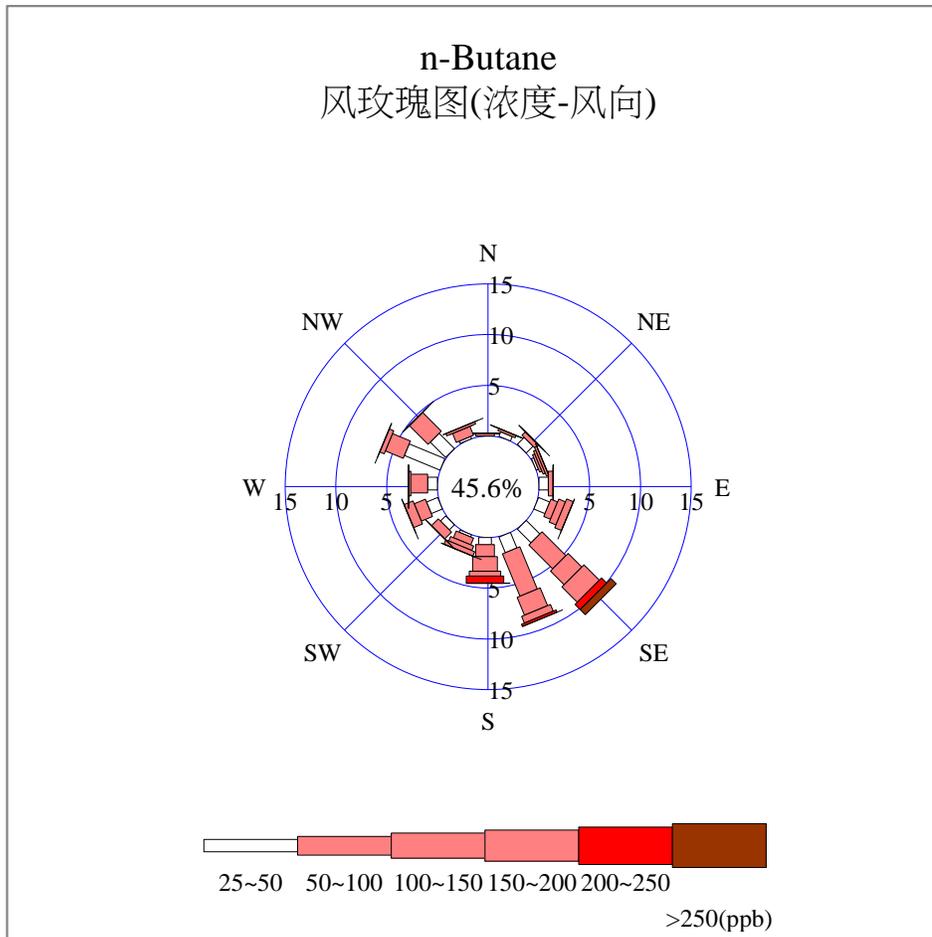
Sonoma Technology 柏松

道路交通是城市空气污染的主要来源，通常被界定为道路移动源。例如在美国旧金山湾区，道路机动车的 NO_x 排放占区域 NO_x 总排放量的 43%；该地区与有毒空气污染物相关的癌症风险 80% 以上来自于移动源的柴油颗粒物排放。相比之下，北京道路机动车的排放贡献率甚至更高，在最近的排放清单中，其排放的氮氧化物 (NO_x) 占比超过 55%，排放的细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$) 占比超过 30%。因此，降低道路排放和近道路污染物浓度对于改善城市空气质量以及控制道路环境中的健康风险至关重要。

在对道路机动车排放以及近道路污染物浓度的评估研究中，广泛应用的方法是针对移动源的空气质量数据分析和模型模拟分析，其中模型分析结果同样可以用于量化减排措施的有效性。此外，空气质量模型分析也为暴露和健康风险评估提供了数据基础。本文将介绍几种主要的针对道路移动源的空气质量分析方法。

环境质量数据分析

当研究人员计划评估综合道路交通系统（例如高速公路、主干道、支路）对空气污染的影响时，一个基本的方法是通过空气质量监测系统收集环境质量数据，并将这些监测获得的污染物浓度数据、风向、风速等气象信息与道路源进行关联分析。例如，在道路源位置附近，可以创建污染玫瑰图以显示与污染物浓度范围相关联的风向频率分布。这是一种有效的数据分析方法，可以掌握道路源对空气质量影响的大致范围，尤其是分析从道路下风向处收集的浓度监测数据。然而，这种数据分析有一个主要局限，尤其体现在大型城市地区：分析中使用的监测数据可能反映了众多移动源和其他非移动源混合带来的混杂影响。因此，需要更详细的模型模拟方法，以分别识别来自道路源和其他主要污染源的污染贡献。



源解析

一种详细的分析方法是使用受体模型，即一种自上而下的分析方法，通常称为源解析。受体模型使用时间序列的受体组分浓度作为模型的输入参数，并评估每个污染源对受体（即测量数据收集位点）的贡献。受体模型分析法的前提假设是污染物化学组成在大气环境中及其采样期间是相对稳定的。不同于简单的浓度数据分析，受体模型使用的测量数据已经通过实验室分析出元素组分谱信息。例如，PM_{2.5} 样品可以包括有机碳、元素碳、硫酸盐、硝酸盐、铵盐、钠离子、钾离子和其他金属元素等组分。对这些组分的质量浓度进行源解析后可以确定源成分谱的组成和各个污染源对受体的污染贡献，包括确定移动源（汽油车和柴油车排放）和其他非移动源（例如木材烟雾和工业加工过程的排放）的污染贡献值。

化学质量平衡模型（CMB）和正定矩阵因子分解（PMF）是美国两种最常用的源解析工具。CMB 使用统计算法将已知的源成分谱信息与受体的污染物测量值进行

匹配。PMF 则不需要提前掌握源成分谱信息，它将多因子分析应用于包含多个样本和化学组分信息的数据集，并识别潜在的污染源类别及其对测量样本的污染贡献值。

在城市地区，这些源解析工具有助于识别城市本地导致高浓度的重要污染源类型，并且能够量化潜在污染源包括道路移动源的污染贡献。源解析的结果还可以应用于编制、调整、优化地区排放清单。

近年来，源解析方法仍然是空气质量管理的重要分析手段。例如，美国加州在开展的一项综合性的社区空气保护计划（Community Air Protection Program）中，将源解析模型作为分析污染源贡献（包括移动源）的重要方法。在中国，上海环境监测中心近几年开发了基于 PMF 的在线源解析分析平台，以实时分析测量的小时 PM2.5 数据。源解析的成功应用不仅需要分析员的经验和知识，还需要高质量的环境监测数据和污染物组分信息。因此，这项工作是需要大量资源和资金支持的。

扩散模型分析

另一种可直接评估道路交通对空气质量影响的详细分析方法是扩散模型法。对于道路移动源，扩散模型法是一种自下而上的分析方法，在一个模型链条中包含了多个要素，例如移动源活动水平模型、排放模型和大气扩散模型等。在这个模型链条上，道路活动的活动水平数据与机动车排放因子相结合可以估算出移动源的排放量，估算结果可以与气象学数据一同作为扩散模型的输入参数，由此得出的扩散模型结果可以估算（而非测量）道路排放源附近受体暴露的污染物浓度。

收集或通过模型模拟计算高时空分辨率的交通活动水平数据是该模型链条的一个重要开端。交通流量（道路段机动车数量）、平均速度和车队构成是获取交通活动水平的三个关键参数。这些参数通常通过交通监视设备收集或是使用交通需求模型、交通模拟方法和机动车注册数据库进行估算。由美国环保署开发的 MOVES（Motor Vehicle Emission Simulator, 简称 MOVES）模型和由加州空气资源委员会开发的 EMFAC（EMission FACtors, 简称 EMFAC）模型是两个可用于计算机动车排放因子的排放模型工具。这些排放模型根据机动车类型、燃料类型和机动车技术等测算不同的排放因子，并且考虑了车型年份和车辆的劣化性。而活动水平参数和排放因子直接相关，例如，平均车速低的车辆（比如速度低于 20 英里/小时）通常反映的是走走停停的交通拥堵路况，因此尾气的排放因子较高；车队结构中重型卡

车比例的增加往往会导致车队平均的排放因子提高。对于道路污染源的分析来说，将活动水平数据和机动车排放因子结合起来可估算道路交通的排放强度，并用于进一步的扩散模型分析。

在美国，AERMOD, CAL3QHC/R 和 CALINE4 是估算近道路污染源污染物浓度常用的几种扩散模型。这些模型将道路作为线源进行模拟，结合气象信息应用稳态高斯扩散模式，并计算特定受体位置的污染物浓度（例如 PM 和 CO）。一般情况下，扩散模型的结果显示高排放强度、低风速、受体与道路源之间的近距离等因素会造成污染物浓度上升。在空气质量管理中，扩散模型的结果广泛应用于量化大型交通规划项目所产生的空气质量影响，或者是预测近道路地区未来几年污染物浓度的变化。在美国环保部门的颗粒物管控规定下，某些特定的大型交通项目需要使用扩散模型来预测道路附近未来几年的污染浓度，并证明在项目区域内不会违反国家环境空气质量标准。

Summary 总结

近道路的环境质量数据分析法、源解析法和扩散模型法是量化道路交通对空气质量影响的几种典型分析方法。因为每一种分析方法都有利有弊，所以当我们评估道路污染源对空气质量的影响时，将这些方法结合起来以满足特定的分析需求是一个很好的策略。

近年来的实践经验显示，道路交通对空气质量的影响发生了一些关键性变化。例如，随着汽车尾气排放标准的日益加严，移动源的排放和组分谱逐渐在变化；非尾气排放，如刹车磨损和轮胎磨损造成的排放也更加突出，因此，对于这类型的排放，需要开发更加精细的模型方法。此外，车辆组成结构也在逐渐变化，由于乘用车的车辆更新换代周期比货运车辆更短，尤其是零排放汽车逐步替代了传统燃油车，使得重型卡车成为主要的污染源，因此了解卡车的特征和活动水平对于评估道路对空气质量的影响至关重要。

此外，空气质量监测技术也在不断完善，更多低成本（但通常精度较低）的传感器已用于收集道路沿线的高时空分辨率污染物浓度数据，这些数据为评估近道路空气质量提供了新的来源。空气质量分析研究人员应考虑以上这些变化，从而开展严密的模型分析，避免偏颇的空气质量分析结果。