

城市绿色基础设施对街道峡谷污染物扩散的影响

杨 洋, 赵 磊*, 李发光, 王大为, 谢廷涛

辽宁石油化工大学机械工程学院, 辽宁 抚顺

收稿日期: 2026年1月5日; 录用日期: 2026年2月4日; 发布日期: 2026年2月12日

摘 要

在城市街道峡谷中, 建筑与道路围合的空间形态会改变局地风场与污染物扩散。植被作为重要环境要素, 既可通过拦截沉降等过程促进颗粒物去除, 也可能因增加阻力削弱通风交换, 从而影响污染物分布与暴露水平。本文梳理植被对街道峡谷污染扩散与清除效应的研究进展, 重点讨论树种差异、布局模式与风速变化的作用机理, 并分析绿色屏障及树木排列产生的结构性影响。研究表明, 植被效应具有明显情境依赖性, 树木间距、冠层郁闭度与叶面积指数等为关键参数, 应结合城市形态与气象条件优化绿色基础设施配置。

关键词

城市绿色基础设施, 街道峡谷, 污染物浓度

Impacts of Urban Green Infrastructure on Pollutant Dispersion in Street Canyons

Yang Yang, Lei Zhao*, Faguang Li, Dawei Wang, Tingtao Xie

College of Mechanical Engineering, Liaoning Petrochemical University, Fushun Liaoning

Received: January 5, 2026; accepted: February 4, 2026; published: February 12, 2026

Abstract

In urban street canyons, the enclosed geometry formed by buildings and roadways alters the local wind field and pollutant dispersion. As a key component of the street environment, vegetation can promote particulate removal through interception and deposition, yet it may also impede ventilation by increasing aerodynamic resistance, thereby reshaping pollutant distributions and human exposure.

*通讯作者。

文章引用: 杨洋, 赵磊, 李发光, 王大为, 谢廷涛. 城市绿色基础设施对街道峡谷污染物扩散的影响[J]. 环境保护前沿, 2026, 16(2): 126-133. DOI: 10.12677/aep.2026.162014

This study reviews recent progress on vegetation-induced effects on pollutant dispersion and removal in street canyons, with emphasis on the underlying mechanisms associated with species-specific traits, spatial configuration, and variations in wind speed. Particular attention is given to the structural impacts of green barriers and tree arrangement on flow organization and dispersion processes. The evidence indicates that vegetation effects are strongly context-dependent; tree spacing, canopy closure, and leaf area index are identified as critical parameters. Accordingly, green infrastructure should be optimized in conjunction with urban morphology and meteorological conditions.

Keywords

Urban Green Infrastructure, Street Canyon, Pollutant Concentration

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市化的发展,城市车辆数量逐渐增加,交通排放显著上升。车辆对城市街道交通排放的影响问题对城市环境尤为重要[1]。此外,城市街道峡谷的几何形状对交通排放的分布和扩散也有显著影响[2]。这对街道峡谷中道路两侧的行人、司机、居民和工人的健康产生了不利影响,使得城市街道峡谷中的气流和交通污染物的扩散成为城市空气质量的关键问题[3]。

在城市街谷中,气体扩散的影响因素主要有污染源、植物、建筑、气象因子等。本文主要对前人污染物的不同设置和不同绿植的布设对污染物扩散的影响进行梳理,为城市峡谷设计和城市植被规划,为保障居民舒适度和改善街道峡谷空气质量和风环境提供理论参考。

2. 污染源设置对街道峡谷污染物扩散的影响

2.1. 污染物的来源

在城市高密度建成区,机动车尾气排放是街道峡谷内首要的污染来源。受限于街道峡谷“深宽比”较大的几何特征,交通排放的污染物极易在近地面的行人呼吸区(离地 1.5 m~2.0 m)发生累积,形成高浓度暴露区[4]。

机动车排放的污染物主要分为两类,其在峡谷内的扩散机制与植被的相互作用方式存在显著差异。颗粒物(PM_{2.5}/PM₁₀):主要源于燃油燃烧及轮胎磨损等。不同于气态污染物,颗粒物具有一定的沉降速度,能够通过植被叶片的吸附与拦截作用被部分去除,这使得绿色基础设施在降低 PM 浓度方面具有特殊的物理清除潜力[5]。气态污染物(NO_x, CO, HC 等):其中 CO 是燃料不完全燃烧的产物;NO_x 则包含 NO 与 NO₂,且 NO 在排入大气后易发生快速光化学反应生成毒性更强的 NO₂ [6]。气态污染物的去除主要依赖于峡谷内外的空气交换,若植被配置不当导致风速降低,极易加剧此类污染物的滞留效应。因此,区分这两类污染物在峡谷流场中的不同响应机制,是评估绿色基础设施环境效益的前提。

2.2. 车道(污染源)布设

近年来,污染源形状对污染物在室内扩散的影响备受关注。而污染源形态对城市街道峡谷中污染物扩散的影响尚未得到明确的分析。由于大城市存在多种交通车道布局,因此有必要对不同污染源形状条

件下的污染物扩散进行评价和分析。以往研究中普遍关注的是线源、带源和地表源[7]。

依据 Oke [8]等人的研究结论,垂直吹向街道峡谷的背景来流风会在 H/D 为 1.0 的街谷内会形成一个顺时针旋转的涡旋。城市街道峡谷内气流结构对其通风换气和污染扩散起到决定性作用,在街谷无限长的理想情况下,其内部污染物主要依靠背景来流风在街谷内形成的涡旋结构将街谷底部机动车排放的尾气污染物带至顶部,最后被来流风吹离街谷。

关于城市街道峡谷内污染物浓度分布的差异性特征,刘稳[9]开展了系统性研究。值得注意的是,在街谷内部形成顺时针单涡旋的情况下,背风侧相较于迎风侧呈现出更高的污染物浓度值。特别需要强调的是,采用线源设置方式时背风与迎风两侧的浓度差异度显著超越了面源设置方式所呈现的差异程度。实例表明,当车道数量呈现递增趋势时,上述浓度差异度会表现出逐渐减弱的态势。

进一步观察发现,顺时针单涡旋的存在使得背风侧的污染物浓度值普遍性地维持在较高水平。实例可见,随着车道位置从上游建筑区域向下游建筑区域过渡的过程中,背风与迎风两侧的浓度差异度呈现出递减规律性特征。这种现象在街谷底部区域表现得尤为显著。针对行人活动高度区域的测量数据显示,不同车道数量条件下背风侧的污染物浓度值均高于迎风侧对应数值。由此可见,虽然增加车道数量会导致两侧浓度差异度的减小趋势显现出来,但行人活动高度处的总体平均浓度却随着车道数量的增加而持续上升。这一现象反映出采用线源设置方式进行机动车污染排放模拟的传统方法存在着局限性:虽然不影响污染物分布的整体趋势判断准确性,但会人为扩大背风和迎风两侧的浓度差异程度评估结果。

值得关注的是随着车道位置逐渐向下游建筑靠拢的过程发生着污染物的转移现象:从背风侧向迎风侧方向迁移的趋势明显可见。由此导致的结果是原本较高的背风侧行人活动高度处污染物浓度呈现下降态势;相反地原本较低的迎风侧相应区域则表现出上升特征。

污染源的位置对城市街道峡谷内污染物的扩散也有影响。然而,到目前为止,关于污染源位置对城市街道峡谷内污染物扩散影响的研究还很少。Kastner Klein 和 Plate [10]在一个孤立的街道峡谷的迎风和背风壁上对污染源位置对污染物浓度分布的影响进行了风洞研究。Xu 等人[11]在一个孤立的街道峡谷内,而不是在一个城市街道峡谷内,对来自不同车道的汽车尾气的扩散特性进行了数值调查。显然,为了帮助城市规划者选择对当地空气质量影响最小的交通车道的最佳位置,还需要进一步的研究工作来阐明源位置对城市街道峡谷内车辆污染物扩散的影响。

Table 1. Key research summary on the impact of green infrastructure in urban street canyons on pollutant diffusion in the past 10 years

表 1. 近 10 年关于城市街道峡谷绿色基础设施对污染物扩散影响的关键研究总结

植被类型 (参数设置)	峡谷特征(H/W)	研究方法	主要结论
行道树 (LAD、沉积速度)	1.0 (理想峡谷)	CFD (RANS)	气动效应导致背风侧浓度增加 54%, 但沉积效应主要由 LAD 主导[12]。
综合植被 (孔隙率、高度)	多种情景	综述	在开阔地方植被可作为绿色屏障,但在深峡谷中,茂密树冠(乔木)会因降低通风效率而导致浓度升高[13]。
绿篱 (高度、密度)	0.5, 1.0	风洞实验	与乔木不同,路边绿篱能够改善行人高度的空气质量,阻挡污染物扩散至人行道,也不会严重阻碍峡谷通风[14]。
行道树 vs 绿篱 (布局模式)	深/浅峡谷	综述	街道峡谷中,绿篱通常优于高大树木,高大树木容易让污染物在地面累积[15]。
综合配置 (热力效应)	多种比例	CFD (ENVI-met)	不仅考虑物理阻挡,还引入了热力效应。发现植被的降温作用抑制了热浮力驱动的污染物扩散[16]。

3. 绿植对街道峡谷污染物扩散的影响

3.1. 不同风速下有无绿植布置

表 1 介绍了近 10 年关于城市街道峡谷绿色基础设施对污染物扩散影响的关键研究总结。Wang [17] 在研究中发现, 树木的存在在物理上阻挡了街道峡谷中的气流。气流被树干、树冠或树枝剪切, 然后绕过它们, 特别是在高流入风速下。街道峡谷内的低速区分布在树干背风侧和冠层区域, 且低速离散分布主要存在于冠层区域。在入流风速为 1.7 m/s 时, 有树木的街道峡谷的平均风速比无树木的峡谷低 39.5% 左右。在有树木存在的情况下, 街道峡谷内污染物浓度显著增加, 且污染物在树干与背风侧之间显著积累。随着入流速度的增加, 街道峡谷的污染物浓度不断变化, 但远高于没有树木的情况。风速为 5.7 m/s 时, 有树木的街道峡谷平均污染物浓度比无树木的街道峡谷高 18.6%。

街道峡谷内污染物浓度及其分布受树木和入流风速的共同影响。树木的存在增加了街道峡谷中无因次平均污染物浓度, 改变了污染物的分布。随着入流风速的增加, 街道峡谷的平均无因次污染物浓度增加, 其中树木的影响最大, 增幅为 18.6%。在入流风速为 0.7 m/s 时, 街道峡谷内的污染物浓度分布受树木影响较小。然而, 在入流风速为 1.7 m/s 、 3.7 m/s 和 5.7 m/s 时, 树木对这种分布有显著影响。

3.2. 绿色屏障

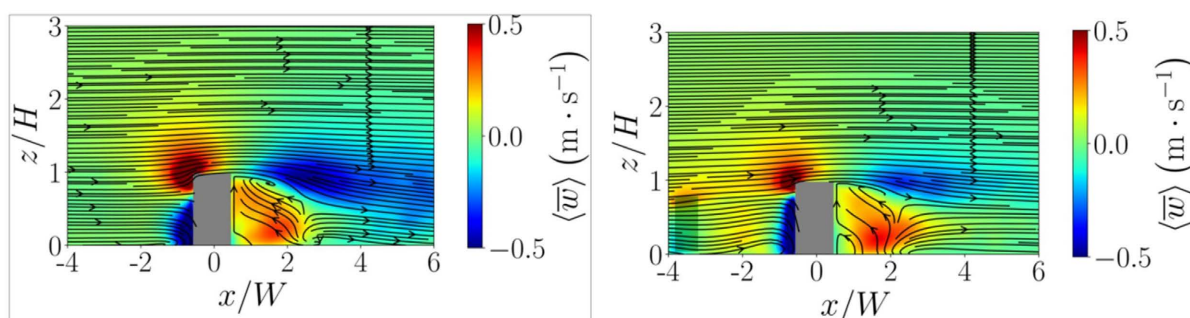


Figure 1. Comparison of the impact of vegetation barriers on airflow with and without vegetation barriers [19]

图 1. 有、无植被屏障对气流影响的对比图[19]

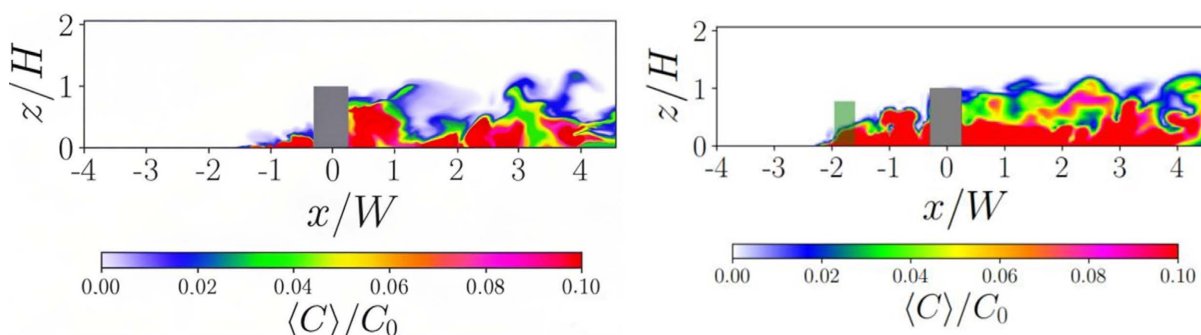


Figure 2. Comparison of the impact of vegetation barriers and non vegetation barriers on pollutant diffusion [20]

图 2. 有、无植被屏障对污染物扩散影响的对比图[20]

快速的城市化和人口密集化给城市小气候带来了巨大的环境挑战。城市绿色基础设施(UGI), 包括草地、绿色屋顶、植被或绿色墙壁和行道树, 越来越多地被用作生态可持续设计策略, 以缓解城市热岛(UHI), 影响空气质量, 并降低建筑能耗。街道峡谷中的障碍物可以定义为发生在其他相关城市设施(如建筑物和

街道)上方的气流障碍。其中包括停放的汽车、边界墙、树篱和树木,它们已显示出改变污染物扩散模式和降低街道峡谷内污染物浓度的潜力[18]。对政策制定者和社区来说,在街道垃圾站设置障碍物是一种负担得起且容易获得的解决方案,比对城市布局进行结构性调整更可行。然而,障碍物的有效性取决于当地气象条件、污染物类型、污染物浓度水平和城市形态等因素。

城市街谷中障碍物对气流结构及污染物扩散具有显著影响。已有研究表明,相比于无植被条件,植被屏障能够明显改变近地层风场结构,在障碍物迎风侧形成减速区,并在背风侧诱导更复杂的回流与湍流结构,从而影响街谷内的通风效率。如图 1 所示,在设置植被屏障的情况下,障碍物上方及其下游区域的平均垂直风速分布发生显著变化,气流被重新分配,局部上升和下沉运动得到增强,表明植被通过动量耗散与诱导扰动共同作用,重塑了街谷内的气流组织形式。

气流结构的变化进一步影响了污染物在街谷内的输运与扩散特征。图 2 对比了植被屏障与非植被屏障条件下的污染物浓度分布,结果显示,相较于刚性非植被屏障,植被屏障在一定程度上削弱了近地面污染物的积聚,并促进了污染物向街谷上方的输运。这主要归因于植被引起的湍流增强效应以及垂直交换能力的提升,从而改变了污染物在街谷中的扩散路径与空间分布特征。

虽然像树木这样的大型障碍物会影响污染物在整个街道峡谷内的扩散,但像汽车和边界墙这样的小型障碍物预计会给行人呼吸区(如人行道)带来最大的好处。步行区位于距地面 1.5 米的范围内,从污染物暴露的角度来看,在城市峡谷中享有更大的优先权。因此,必须开展调查研究,评估这一地区障碍物的性能,以指导更好的决策过程,减少反复试验的必要性。

多孔障碍物,尤其是树木,是复杂的,因为研究表明,不同树木变量对城市地区空气污染的影响存在相互矛盾的证据。林分密度、排列方式、树冠孔隙度和叶面积密度等因素对污染浓度水平的影响不同[21]。一些实地研究表明,树木的空气动力学效应通常比沉积效应具有更显著的影响,导致街道峡谷中污染物浓度的恶化,在限制性/较深的街道峡谷中,树木更有可能产生“捕获”效应。然而,在开放的道路条件下(如高速公路),这种捕获效应可能是有益的,因为一些实地研究表明,密集、高大和低孔隙度的植被,再加上隔音屏障,可以为周围社区带来更好的空气质量。Abhijith 和 Kumar 等人[22]审查了绿色基础设施减少空气污染的性能及其对人类健康的影响,推断开放的道路条件可能受益于植物屏障的一般建议。但建成的街道峡谷应该有量身定制的设计指南,衡量它们提供的特定空气质量对健康的好处。

3.3. 树木结构

Gromke and Ruck [23]通过风洞实验和数值模拟研究了树木形状和布局对不同高宽比街道峡谷中污染物扩散的影响。在他们的作品中,树木被简化为多孔介质。Shaw 和 Schumann [24]通过在流动中加入阻尼效应,提出了一个均匀冠层的数值模型。在这个模型中,可以考虑树的形状和叶子的密度。Ries 和 Eichhorn (2001) [25]在街道峡谷污染物扩散的数值模拟中,采用附加阻力模型来考虑植被的影响。Shaw [24]建立了树木热源模型,采用 Shaw and Schumann 模型在大涡模拟的框架下考虑树木的阻尼效应。因此,可以研究各种大气不稳定条件对街道峡谷流动特性的影响。Hiroka (1993) [26]发展了一个树模型,该模型结合了树对动量方程、湍流动能(TKE, 记为 k)方程和湍流能量耗散(记为 ϵ)方程的影响。Wang 等人(2018) [27]使用耦合大涡模拟-拉格朗日随机建模框架研究了城市树木对城市冠层空气污染物扩散的影响。

然而,基于多孔介质的模型和均匀冠层模型都存在着难以解决的问题:(1) 模型参数,如阻力系数、叶面积密度和孔隙率只能通过实验获得。此外,这些参数与具体情况有关,因此不能普遍使用。(2) 在这些模型中,树木的形状被假设为长方体或球形,这与真实树木的形状有很大的不同。(3) 假设树木覆盖区域为多孔介质,在某些局部区域,如树干或主干覆盖区域,情况并非如此。为了考虑实树对流动特性的

影响,在模拟中采用实树的结构是很重要的。

4. 绿植对街道峡谷污染物的影响

绿化植被是街道空间的重要构成,其对污染物的影响具有典型的“双重性”:一方面,叶片与枝条可通过拦截、吸附与沉降等过程促进颗粒物去除;另一方面,树冠作为多孔障碍会改变街道峡谷内流场结构、削弱空气交换,从而可能导致污染物滞留与行人暴露增加。因此,绿化的净效应并非“天然改善空气质量”,而是受污染物类型(PM/气态)、来流条件与植被配置共同决定。

在颗粒物削减方面,已有研究表明不同树种对颗粒捕获能力差异显著,叶片结构更细密复杂的树种(如部分针叶树)往往表现出更强的颗粒物捕获与滞尘潜力,提示可通过树种选择与组合提升颗粒物沉积去除效率。低风速条件($<2\text{ m/s}$),选择高叶面积指数($\text{LAI} > 4$)且叶面粗糙度大的树种(如部分针叶树)有利于最大化颗粒物的去除效率。高风速条件下,树冠的阻力作用会显著改变流场。当背景风向垂直于街道时,过度密集的树冠会打碎主涡旋,导致局部滞留。从城市尺度估算看,伦敦城市树冠对 PM_{10} 具有可观的年去除量,并指出调整树种结构(提高针叶树与阔叶树比例)可进一步提升沉积贡献。在街道峡谷情景下,数值模拟也发现树木在阻碍气流的同时仍能对颗粒物产生沉降削减效应,且沉积效果随季节叶面积密度变化而变化;不同植被配置的对比研究显示,合理的行道树与灌木组合、以及在两侧布置更有利于缓解街道中部的颗粒物高值区,部分树种的沉积速率高于其他类型植被。此外,除地面绿化外,屋顶绿化可能通过热力效应在一定条件下增强街道峡谷内气流与交换,从而促进污染物稀释并降低浓度[28]。

然而,针对气态污染物与通风过程,更多证据提示高郁闭度/低孔隙率的行道树可能强化“通风阻碍效应”:现场观测指出,高郁闭度行道树会抑制街道内 CO 等气态污染物扩散。风洞与数值研究进一步揭示,树干高度、树冠直径、树木间距以及树冠渗透性均会显著影响街谷浓度分布;适当增大树木间距、提高冠层孔隙率有助于改善空气流通并降低污染物浓度。从暴露角度看,三维模拟结果也表明低孔隙率、高林分密度的树冠更易削弱街道峡谷通风,进而显著提高行人活动高度的污染暴露风险[29]。根据现有 CFD 模拟结果,建议在交通繁忙的街道峡谷中,行道树的冠层孔隙率应保持在 $0\%\sim 40\%$ 以上,对于通风极为困难的严重污染路段,建议修剪下层枝叶(增加树干高度),以保留底部通风廊道。在常年多风地区,应适当增大树木间距,避免形成连续的防风墙。进一步建议在深峡谷($H/W \geq 1.0$)中优先采用垂直绿化或低矮绿篱,若必须种植乔木,应严格控制冠层密度(孔隙率 $< 10\%$)。浅峡谷或开阔道路($H/W < 0.5$)的通风扩散条件较好,高度在 $1.5\text{ m}\sim 2.0\text{ m}$ 且结构致密的绿篱可作为有效的物理屏障,将行人呼吸区的污染物暴露水平降低 $30\%\sim 50\%$ 。

绿化配置应从“沉积去除-通风交换-行人暴露”三者协同出发:对以颗粒物为主的情景,可通过优化树种与叶面积结构提升沉积去除,但需避免形成高郁闭、低孔隙率的连续冠层;对气态污染物或低风速、深峡谷等通风本就街谷不利的街道,应优先控制冠层密度与连续性,通过抬高树冠、增大间距、引入更通透的植被形态或结合屋顶绿化等方式,降低阻塞通风造成的累积效应。

5. 结论与展望

本文围绕城市街道峡谷情景,系统分析了绿化植被对污染物输运扩散及街道空气质量的影响。研究表明,植被效应具有显著的“双刃性”:其一,叶片与枝条可通过拦截与沉降等过程增强颗粒物去除,从而降低近地层颗粒物水平;其二,树体及冠层增加的空气动力阻力可能削弱峡谷内通风交换,导致污染物在局地滞留并在特定条件下抬升浓度。结果显示,在较低来流风速条件下,植被的滞尘/沉降贡献更易体现,尤其针叶树因叶片结构细密,对颗粒物捕获能力相对更强。相较之下,当来流风速较高或冠层更为致密时,树木对流场的阻塞效应可能占主导,污染物稀释能力下降;其中树冠密度、树木间距及冠

层渗透性等参数对扩散与累积过程具有关键调控作用。与此同时,绿色屏障的实际表现受季节变化(叶面积特征)、树种差异及空间配置方式影响,合理的设计策略(如优化树种选择、适度增大间距、提高冠层通透性等)有助于在保证沉积去除的同时降低通风受阻风险。综合而言,绿化配置不宜采用“一刀切”的经验做法,应结合街道形态特征与气象条件进行差异化优化,以实现污染扩散与浓度控制之间的协调平衡。未来可进一步评估多种绿化组合在不同城市环境中的适用边界,并探讨其与其他污染治理措施的协同增效机制。

参考文献

- [1] Pu, Y. and Yang, C. (2014) Estimating Urban Roadside Emissions with an Atmospheric Dispersion Model Based on In-Field Measurements. *Environmental Pollution*, **192**, 300-307. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.019>
- [2] Huang, Y., He, W. and Kim, C. (2014) Impacts of Shape and Height of Upstream Roof on Airflow and Pollutant Dispersion Inside an Urban Street Canyon. *Environmental Science and Pollution Research*, **22**, 2117-2137. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3422-6>
- [3] Chen, R., Pan, G., Zhang, Y., Xu, Q., Zeng, G., Xu, X., et al. (2011) Ambient Carbon Monoxide and Daily Mortality in Three Chinese Cities: The China Air Pollution and Health Effects Study (CAPEs). *Science of the Total Environment*, **409**, 4923-4928. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.08.029>
- [4] Soulhac, L., Salizzoni, P., Cierco, F.-X. and Perkins, R. (2011) The Model SIRANE for Atmospheric Urban Pollutant Dispersion; Part I, Presentation of the Model. *Atmospheric Environment*, **45**, 7379-7395. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.07.008>
- [5] Leiva G, M.A., Santibañez, D.A., Ibarra E, S., Matus C, P. and Seguel, R. (2013) A Five-Year Study of Particulate Matter (PM_{2.5}) and Cerebrovascular Diseases. *Environmental Pollution*, **181**, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.057>
- [6] 张莹, 宁贵财, 康延臻, 尚子微, 王式功, 李旭, 王昀. 北京市大气污染物与呼吸系统疾病入院人数的时间序列[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2015, 51(1): 87-92.
- [7] Gallagher, J. and Lago, C. (2019) How Parked Cars Affect Pollutant Dispersion at Street Level in an Urban Street Canyon? A CFD Modelling Exercise Assessing Geometrical Detailing and Pollutant Decay Rates. *Science of the Total Environment*, **651**, 2410-2418. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.135>
- [8] Oke, T.R. (1988) Street Design and Urban Canopy Layer Climate. *Energy and Buildings*, **11**, 103-113. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)
- [9] 刘稳. 城市街道大气污染物时空分布扩散规律及规划应对研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2022.
- [10] Kastner-Klein, P. and Plate, E.J. (1999) Wind-Tunnel Study of Concentration Fields in Street Canyons. *Atmospheric Environment*, **33**, 3973-3979. [https://doi.org/10.1016/s1352-2310\(99\)00139-9](https://doi.org/10.1016/s1352-2310(99)00139-9)
- [11] Xu, W.J., Yu, Z., Cai, M. and Liu, Y.H. (2010) Numerical Modeling of Pollutant Dispersion from Different Lanes in Urban Street Canyons. *Research of Environmental Researches*, **23**, 1007-1012. (In Chinese)
- [12] Yuan, C., Ng, E. and Norford, L.K. (2014) Improving Air Quality in High-Density Cities by Understanding the Relationship between Air Pollutant Dispersion and Urban Morphologies. *Building and Environment*, **71**, 245-258. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.008>
- [13] Janhäll, S. (2015) Review on Urban Vegetation and Particle Air Pollution—Deposition and Dispersion. *Atmospheric Environment*, **105**, 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>
- [14] Gromke, C., Jamarkattel, N. and Ruck, B. (2016) Influence of Roadside Hedgerows on Air Quality in Urban Street Canyons. *Atmospheric Environment*, **139**, 75-86. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.014>
- [15] Abhijith, K.V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., et al. (2017) Air Pollution Abatement Performances of Green Infrastructure in Open Road and Built-Up Street Canyon Environments—A Review. *Atmospheric Environment*, **162**, 71-86. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.014>
- [16] Cui, P., Ji, R., He, L., Zhang, Z., Luo, Y., Yang, Y., et al. (2023) Influence of GI Configurations and Wall Thermal Effects on Flow Structure and Pollutant Dispersion within Urban Street Canyons. *Building and Environment*, **243**, Article ID: 110646. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110646>
- [17] Wang, L., Su, J., Gu, Z. and Tang, L. (2021) Numerical Study on Flow Field and Pollutant Dispersion in an Ideal Street Canyon within a Real Tree Model at Different Wind Velocities. *Computers & Mathematics with Applications*, **81**, 679-692. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2019.12.026>
- [18] Buccolieri, R., Carlo, O.S., Rivas, E., Santiago, J.L., Salizzoni, P. and Siddiqui, M.S. (2022) Obstacles Influence on

-
- Existing Urban Canyon Ventilation and Air Pollutant Concentration: A Review of Potential Measures. *Building and Environment*, **214**, Article ID: 108905. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108905>
- [19] Duan, G., Bi, Z., Zhao, L., Yang, T. and Takemi, T. (2024) Modulating Local Winds and Turbulence around a Single Building Obstacle with the Obstruction of Tall Vegetation. *Physics of Fluids*, **36**, Article No. 26. <https://doi.org/10.1063/5.0227565>
- [20] 毕真, 赵磊, 杨洋, 等. 植树位置对瞬态被动标量污染扩散过程影响的研究[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(2): 212-223.
- [21] Buccolieri, R., Santiago, J., Rivas, E. and Sánchez, B. (2019) Reprint of: Review on Urban Tree Modelling in CFD Simulations: Aerodynamic, Deposition and Thermal Effects. *Urban Forestry & Urban Greening*, **37**, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.07.004>
- [22] Kumar, P., Druckman, A., Gallagher, J., Gatersleben, B., Allison, S., Eisenman, T.S., *et al.* (2019) The Nexus between Air Pollution, Green Infrastructure and Human Health. *Environment International*, **133**, Article ID: 105181. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105181>
- [23] Gromke, C. and Ruck, B. (2007) Influence of Trees on the Dispersion of Pollutants in an Urban Street Canyon—Experimental Investigation of the Flow and Concentration Field. *Atmospheric Environment*, **41**, 3287-3302. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.043>
- [24] Shaw, R.H. and Schumann, U. (1992) Large-Eddy Simulation of Turbulent Flow above and within a Forest. *Boundary-Layer Meteorology*, **61**, 47-64. <https://doi.org/10.1007/bf02033994>
- [25] Ries, K. and Eichhorn, J. (2001) Simulation of Effects of Vegetation on the Dispersion of Pollutants in Street Canyons. *Meteorologische Zeitschrift*, **10**, 229-233. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2001/0010-0229>
- [26] Hiraoka, H. (1993) Modelling of Turbulent Flows within Plant/Urban Canopies. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **46**, 173-182. [https://doi.org/10.1016/0167-6105\(93\)90127-a](https://doi.org/10.1016/0167-6105(93)90127-a)
- [27] Wang, C., Li, Q. and Wang, Z. (2018) Quantifying the Impact of Urban Trees on Passive Pollutant Dispersion Using a Coupled Large-Eddy Simulation-Lagrangian Stochastic Model. *Building and Environment*, **145**, 33-49. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.014>
- [28] Baik, J., Kwak, K., Park, S. and Ryu, Y. (2012) Effects of Building Roof Greening on Air Quality in Street Canyons. *Atmospheric Environment*, **61**, 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.076>
- [29] Abhijith, K.V. and Gokhale, S. (2015) Passive Control Potentials of Trees and On-Street Parked Cars in Reduction of Air Pollution Exposure in Urban Street Canyons. *Environmental Pollution*, **204**, 99-108. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.04.013>