

基于空间句法的校园空间形态与过渡季室外风环境耦合研究

肖铁桥^{1a,2}, 郑立成^{1a}, 水滔滔^{1b}

(1. 安徽建筑大学 a. 建筑与规划学院; b. 环境与能源工程学院, 合肥 230601; 2. 安徽省国土空间规划与生态研究院, 合肥 230601)

摘要: 研究校园空间形态与室外风环境的耦合关系, 为皖中片区校园规划在空间形态设计阶段提供风环境建设的规划思路, 选取同一地区(合肥)相同气候条件下的 5 所高校为研究对象, 通过空间句法理论以及 CFD 软件对大学校园室外空间进行分析。结果表明, 安徽农业大学、国防科技大学合肥校区以及新华学院呈现网格型空间结构, 安徽建筑大学南校区以及安徽大学馨苑校区呈现明显的自由轮轴型空间结构, 安徽建筑大学南校区以及安徽大学馨苑校区校园过渡季风环境要更好。总体来看, 自由轮轴型空间校园在局部空间的感知性上要弱于网格型空间校园, 在整体空间与局部空间的协同性上要强于网格型空间校园。网格型空间校园内部存在无风区, 自由轮轴型空间校园内部不存在无风区, 更适宜大学生进行室外学习生活活动。

关键词: 风环境; 空间句法; 空间形态; 大学校园

中图分类号: TU984.14; TU119

文献标志码: A

文章编号: 1673-4602(2024)03-0061-10

Research on the coupling of campus space form and outdoor wind environment in transition season based on space syntax

XIAO Tiejiao^{1a,2}, ZHENG Licheng^{1a}, SHUI Taotao^{1b}

(1. a. School of Architecture and Planning; b. School of Environment and Energy Engineering,
Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China;

2. Anhui Provincial Institute of Land and Space Planning and Ecology, Hefei 230601, China)

Abstract: This paper studies the coupling relationship between campus space form and outdoor wind environment, and provides ideas for wind environment construction in the space design stage of campus planning in central Anhui. Five universities in the same area (Hefei) under the same climate conditions are selected as the research objects, and the outdoor space of university campus is analyzed by using spatial syntax theory and CFD software. The results show that Anhui Agricultural University, National University of Defense Technology Hefei Campus and Xinhua College have a grid-like spatial structure, while the southern campus of Anhui Jianzhu University and the Xinyuan Campus of Anhui University have an obvious free axle-like spatial structure, and the transitional monsoon environment of the southern campus of Anhui Jianzhu University and the Xinyuan Campus of Anhui University is better. Generally speaking, the free axle space campus is weaker than the grid space campus in the perception of local space, but stronger than the grid space campus in the synergy be-

收稿日期: 2022-09-08

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金资助项目(52008001); 安徽省高校省级人文社会科学研究项目-重大项目(SK2020ZD25)

作者简介: 肖铁桥(1978—), 男, 云南德宏人。硕士, 副教授, 主要从事城乡规划理论与设计、乡村规划与设计方面的研究。

E-mail: 1468852283@qq.com.

tween the whole space and local space. There is a windless area in the grid space campus, but there is no windless area in the free axle space campus, which is more suitable for college students to carry out outdoor learning and living activities.

Key words: wind environment; spatial syntax; spatial form; university campus

合肥市的城镇化率已达 84.04%，城市的快速扩张已经趋于平缓，在此过程中产生的各种城市病却日益凸显，各种极端气候已经严重影响了城市居民的工作、学习和生活。大学生作为城市的常住人口，主要活动都处于大学校园内部，分析校园空间形态与室外风环境之间相互关系就显得尤为重要。空间句法最早由英国学者比尔·希利尔(B. HILLIER)在 20 世纪 90 年代提出^[1]，经过多年的发展，逐渐形成了成熟的理论依据、研究方法以及相关辅助软件^[2]。近年来，国内建筑学、城乡规划以及地理学等相关领域的诸多学者在研究空间形态时开始使用空间句法作为分析工具，并开展了大量的相关研究。如周麟等使用空间句法理论对汕头市旧城中心区的空间形态演变进行多尺度分析以及对北京老城街道网络演变进行分析并提出了相关结论^[3-4]；丁越等对郑州中心区空间形态进行了评析，提出了基于空间句法的空间形态优化策略^[5]；解明镜、陈驰等使用空间句法理论及相关软件对传统村落空间形态进行研究，得出了空间形态与空间认知的内在联系并提出了优化建议^[6-7]；陈建华等对沙湾古镇公共空间进行研究，构造了传统村镇公共空间保护更新框架^[8]。可以看出，目前关于空间形态的研究多以大尺度的城市空间为对象并逐渐过渡为中小尺度的传统村落空间，而对于大学校园空间这一小尺度的空间研究较少。在空间形态与风环境方面，刘恺希等对西安城市开放空间进行研究，得出了基于风环境的优化改造策略^[9]；应小宇等对杭州商业街道空间各种关键空间形态要素进行了分析，得出了商业型街道中的关键空间形态要素与风环境之间的耦合关系^[10]；冯伟等分析了西安典型街区的空间要素，探索了街区风环境与空间形态的内在关联性规律^[11]。目前关于空间形态与风环境的研究多是从城市空间中选取街道、广场等公共空间进行研究，探讨不同空间要素与风环境之间的关系，缺乏校园这种半公共性空间与风环境相互关系的研究。

综上所述，目前诸多学者在对空间形态与风环境的关联关系研究在大学校园这一半公共性小尺度空间的相关研究较少。当前校园规划大多以功能区划、核心空间构建以及校园景观构建为重点，注重校园的功能性以及生态性，较少考虑人群活动以及校园风环境构建^[12-13]。大学校园室外空间作为大学生的主要活动场所，其风环境的建设水平对学生的心理生理健康以及户外活动频率产生了影响。安徽省教育厅、安徽省发展改革委印发的《安徽省“十四五”教育事业发展规划》^[14]中明确了多所高校将在合肥建设新校区，研究合肥市校园过渡季风环境也是有实际意义的，以期从室外风环境的角度，使大学校园空间形态在规划设计阶段通过计算机模拟就能进行有效的控制，从而使研究理论服务于实际建设。

1 研究对象、方法与数据来源

1.1 研究对象

选取 5 所高校作为研究对象的假设前提是：5 所高校均处于同一气候区域且各自地理位置相距不远，具有相似的气候环境，得出的结论对研究区域具有普适性意义；研究对象选取两类不同空间形态的合肥市高校，分别为安徽农业大学、国防科技大学合肥校区、新华学院、安徽建筑大学南校区以及安徽大学磬苑校区。其中，安徽农业大学、国防科技大学合肥校区以及新华学院内部的交通组织方式相对自由，道路交叉纵横，安徽建筑大学南校区以及安徽大学磬苑校区内部的交通组织方式呈现放射网格状，由一条明显的轴贯穿校园。使用空间句法工具对不同校园空间形态进行分析时可以发现数据的差异，但同一类的空间形态在数据分析时具备趋势上的一致性，不同类的空间形态在数据分析时具备趋势上的差异^[15]。

1.2 研究方法与数据来源

使用全能电子地图下载器下载的 19 级卫星图作为底图，高德地图用来观测路网，相关 CAD 校园规划图用以标注，在官网下载的校园总平面图作为参照数据，在此基础上使用 CAD2008 进行光栅图像参照，从而绘得 5 个 CAD 校园轴线图以及校园建筑地图。将 CAD 校园轴线图导入 Depthmap 生成校园轴线地图；将校园建筑地图导入 SketchUpPro2020 进行校园建筑模型的绘制，将生成的 STL 建筑模型导入

PhoenicsVr 进行风环境模拟得到 1.5 m 处校园风速模拟图。最后将校园轴线地图与校园风速模拟图进行叠加分析,得出校园空间形态与过渡季节室外风环境耦合关系。

2 不同校园空间形态分析

2.1 研究区域概况

研究区域位于安徽省合肥市,根据《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—93)^[16]中的规定,我国依照区域气候被划分为 5 个区域,合肥市位于夏热冬冷区域,特征为夏季非常炎热而冬季十分寒冷,过渡季节气候则十分适宜人群活动。合肥市夏季超过 35 °C 气温的天数有 15~30 d,高温天气约占比夏季的 1/3,冬季与我国同纬度的其他地区相比日平均气温普遍低 8~10 °C,也是世界同纬度地区最为寒冷的^[17],过渡季日平均气温为 10~22 °C。可以看出,过渡季节的气候最适宜人群进行室外活动,也是本次研究的重点。5 所高校均位于合肥市蜀山区,校园内的建筑大多为多层建筑,少量为高层建筑。

2.2 集成度分析

集成度在空间系统中的意义是用来测度系统中某一空间与其他空间的集聚程度,可以理解为某一空间到另一空间需要经过的空间步数。集成度越高,系统中某一空间与系统整体的关联性越强,与其他空间相对距离较近,彼此间需要通过的空间步数更小,联系更为紧密^[18-19],引申到轴线地图上就是用来测度轴线与轴线之间的集聚或离散程度,集成度由高到低体现为轴线宽度由粗到细过渡。将卫星底图导入 Computer aided design 中,通过光栅图像参照手绘出校园轴线图,用校园平面图进行对比修正,经过 Depthmap 以及 Adobe illustrator 处理生成校园轴线地图(图 1)。

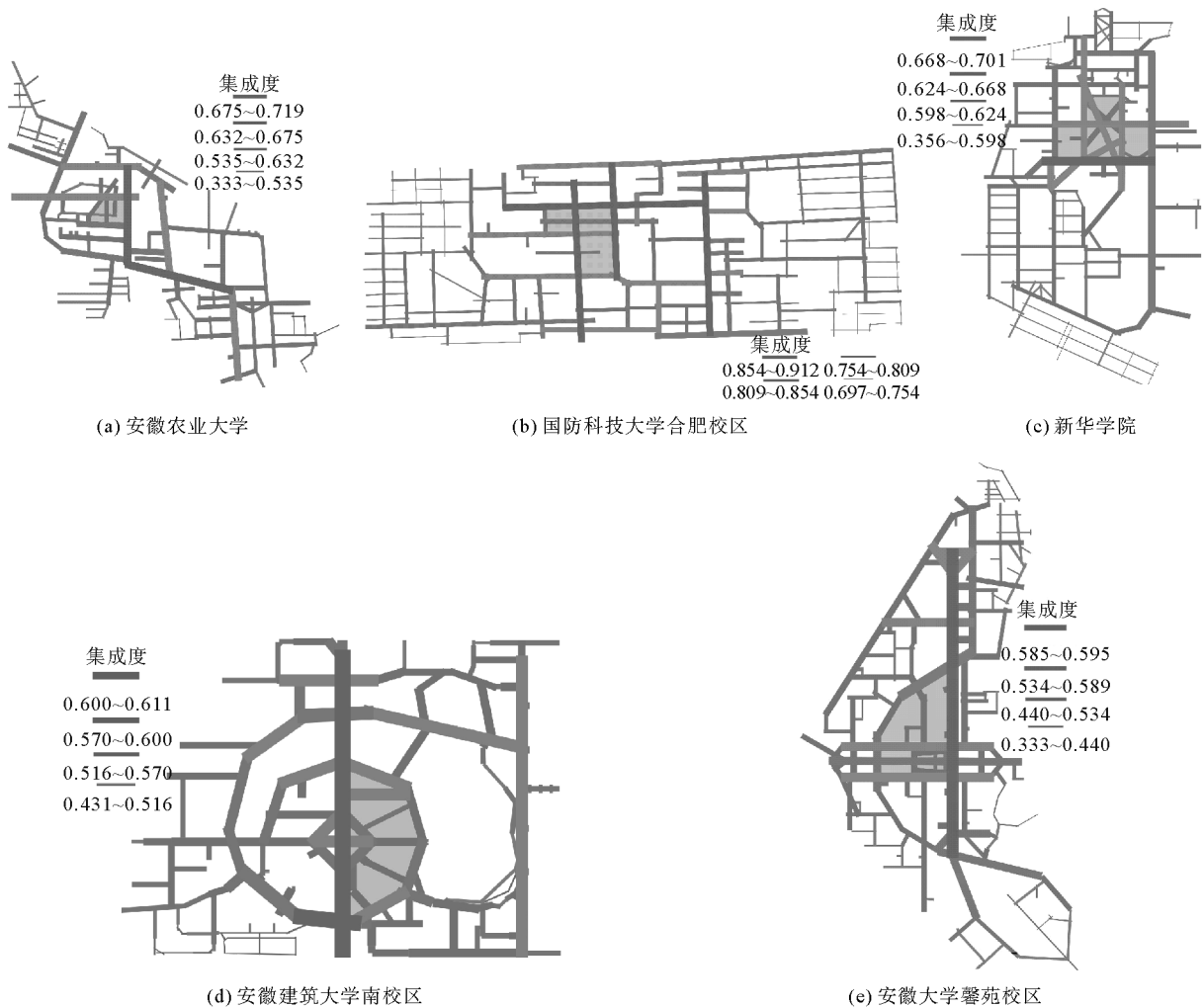


图 1 校园轴线地图

从图 1(a)~(c)中可以看到,集成度最高的几条轴线处于校园中部,纵横相交并处于主导位置,次一级轴线呈网状相交并向周围扩散显示出集成度逐渐减小的趋势,轴线整体略显杂乱,但呈现出由粗到细的过渡,道路为纵横网格格式分布,呈现出了明显的格网型空间结构,由集成度值较高的轴线所围合的灰色区域是校园空间结构的集成度核心。从图 1(d)(e)中可以看到,集成度最高的几条轴线有着明显的“自由轮轴”特征^[20],就是指在空间中存在一条或多条贯穿空间的整合度数值较大、长度也较长的轴线,同时在空间中部存在一组较小整合度数值的轴线穿过整合度数值较大的轴线,并在其尽头被另一组轴线所围合,整体结构类似于“轮轴”与“轮辐”的形态。其中整合度数值较大的轴线称为“轮轴”,次一级轴线称为“轮辐”,由“轮辐”及“轮轴”围合而成的区域是空间的集成度核心,集成度核心区域相对于校园内其他区域来说利用率高,便捷性强,是一个校园的功能集合区,对于大学生有很强的吸引力,是校园空间的结构中心,也是大学生进行学习生活活动最为频繁的场所。

2.3 可理解度分析

可理解度在空间系统中的意义是衡量从一个空间所看到的局部空间结构是否有助于建立起整个空间系统的图景,即具备通过局部空间的所见、所感去联想出整体空间结构的能力,反映的是空间整体结构与空间各局部结构之间的相互作用关系^[1]。连接度的值可以表示不同空间之间的连续程度,这种连续程度与全局集成度以及局部集成度之间的线性相关系数(R^2)的数值可以体现二者之间的可理解度, $R^2 < 0.5$ 说明二者相关性不大, $R^2 \geq 0.5$ 说明二者相关, $R^2 \geq 0.7$ 说明二者显著相关,将 Depthmap 导出的轴线地图数据导入 Excel 中对数据进行处理,得到表 1。

由表 1 可以看出,5 所大校园空间全局集成度的线性相关系数都小于 0.5,表示其协同性较差,说明校园空间可理解度差,整体校园空间的可达性与便捷性较差;安徽农业大学、国防科技大学合肥校区及新华学院 3 所大校园空间局部集成度的线性相关系数均大于 0.5,表示局部空间与整体空间相关性较好,说明 3 所高校局部空间易被感知,局部空间的利用率高,便捷性强,空间的连续性较好,从局部空间到整体校园空间的过渡较为自然,可以通过局部的空间结构特征去感知整体的校园空间形态;安徽建筑大学南校区及安徽大学馨苑校区两所大校园空间局部集成度线性相关系数小于 0.5,表示其协同性较差,说明 2 所高校局部空间不易被感知,局部空间的利用率较低,便捷性不强,空间的连续性较差,从局部空间到整体校园空间的过渡较为生硬,通过局部的空间结构特征去感知整体的校园空间形态的能力较弱。

2.4 协同度分析

协同度的大小意味着空间系统创造分界面的潜力^[21],反映的是空间系统中全局空间与局部空间的协同作用。将 Depthmap 导出的轴线地图数据导入 Excel 中对数据进行处理,将全局集成度与局部集成度分别作为 X、Y 轴的参数进行散点图运算得出线性相关系数(R^2), R^2 的值表示局部空间与全局空间协同作用的程度大小。

由图 2 可知,安徽农业大学及新华学院校园的线性相关系数 $R^2 < 0.7$,国防科技大学合肥校区的线性相关系数 $R^2 < 0.5$,说明 3 所校园空间系统在整体与局部的协同性上欠佳,全局空间与局部空间的关联性一般;安徽建筑大学南校区及安徽大学馨苑校区校园空间的线性相关系数 $R^2 > 0.7$,说明其校园空间系统整体与局部的协同性极强,全局空间与局部空间高度呈现拟合性。

综上所述,安徽农业大学、国防科技大学合肥校区以及新华学院校园空间呈现出明显的格网型空间结构;安徽建筑大学南校区以及安徽大学馨苑校区校园空间呈现出自由轮轴型空间结构。格网型空间结构校园的全局集成度与局部集成度的线性相关系数平均值为 0.60,自由轮轴型空间结构校园的线性相关系数平均值为 0.48,格网型空间结构的校园空间 R^2 平均值为 0.55,自由轮轴型空间结构校园的 R^2 平均值为 0.83,格网型空间结构校园在局部集成度与全局集成度的线性相关系数上更低。

表 1 连接度线性相关系数

学校	连接度线性相关系数 R^2	
	全局集成度	局部集成度
安徽农业大学	0.32	0.66
国防科技大学合肥校区	0.20	0.61
新华学院	0.26	0.55
安徽建筑大学南校区	0.38	0.46
安徽大学馨苑校区	0.28	0.41

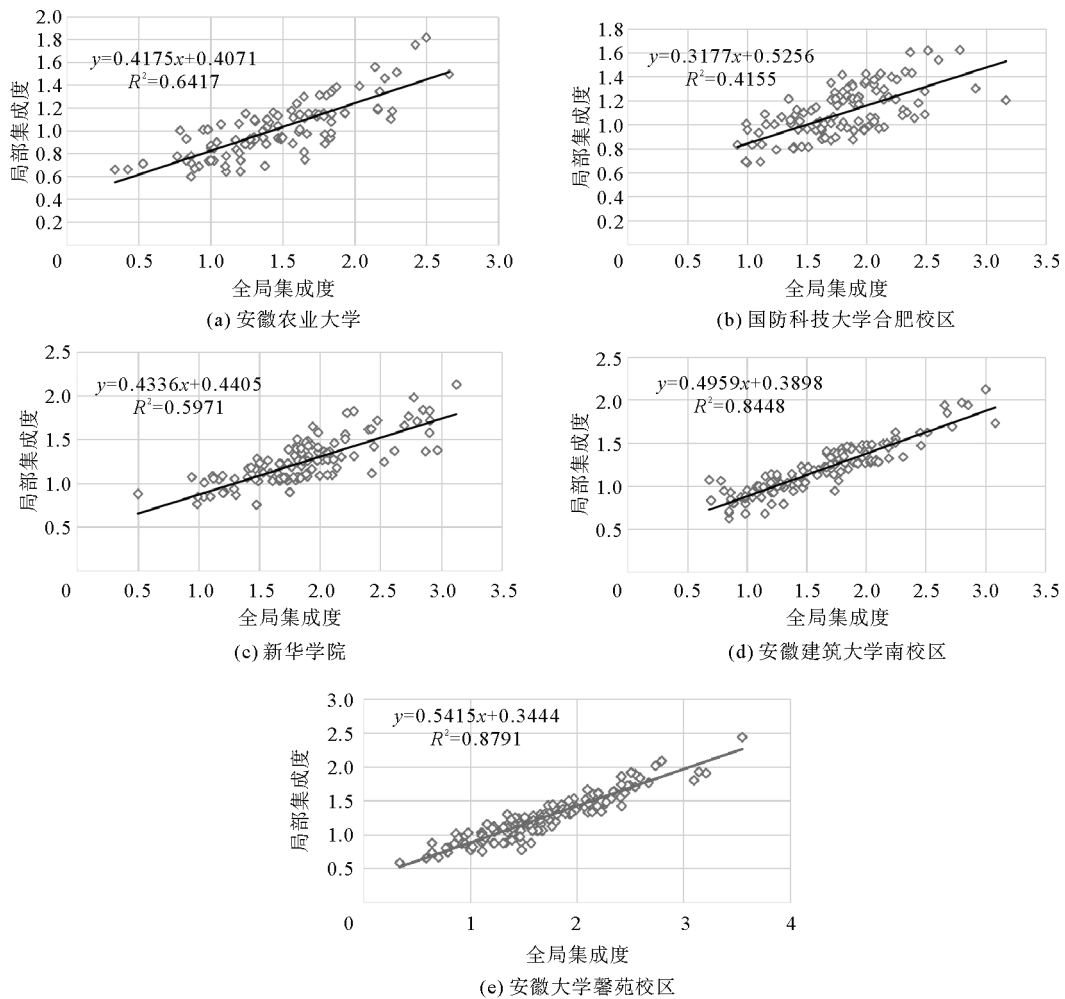


图 2 各校区协同度散点图

3 不同校园过渡季风环境分析

3.1 风环境评价标准

相比于乡村,城市的要素更为集聚,各种建筑就是要素集聚的集中体现,成为了人们生活生产的主要场所,而国家对于各类建筑的碳排放、舒适度以及绿色环保等方面也提出了不同的要求。2019年,发布了最新的《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2019)^[22]对过渡季风环境的设计有着明确的要求:①人群活动的场地内部没有出现涡旋或无风区(无风区可视为风速小于等于0.2 m/s的区域);②建筑一半以上可开启外窗的室内外表面的风压差大于0.5 Pa。本文就以该标准作为过渡季风环境评价标准。

3.2 软件选取及模拟过程

研究风环境的方法主要有3种,现场实测、软件模拟以及风洞试验^[23-24]。现场实测需要进行大量的工作,包括调研、测量、记录以及分析等,实测时会因为各种因素导致实测数据测量不准确,例如车流、人流及空调等,由于实测点的限制也无法做到覆盖整个调研区域,从而无法进行有效分析,得不到准确的结果;风洞试验是人工模拟研究区域风环境,使用缩小比例模型并通过传感器测得数据进行相关风环境分析,测量数据准确,分析结果全面,但是需要大型试验场地与高级试验设备。本文选择软件模拟的方法进行本次风环境的研究,研究风环境的软件有很多,包括Fluent、Airpak、Star-CD以及Phoenics。本次选取应用最广,功能也较为全面的适合城市风环境模拟的PhoenicsVR进行过渡季风环境模拟。

3.3 过渡季风环境分析

将5个校区的建筑模型导入PhoenicsVR,以5倍的建筑模型X、Y轴长度以及3倍的建筑模型Z轴

高度进行计算域边界条件设置;网格数量越多代表计算结果越准确,但计算时间也呈指数性上升。在保证计算结果准确的前提下加快软件的计算效率,将建筑模型基底网格设置为大小均匀的等密度 5 m 方格,计算域边界向建筑模型过渡的区域设置为密度逐渐增加的方格。由于软件模拟是以三维空间为基础进行运算,在 Y 轴方向上增加一个空属性面进行 Y 轴的网格设计,将 1.5 m 以下空间设置为 3 行 0.5 m 并向上方密度逐渐增大的网格线。根据《中国建筑热环境分析专用气象数据集》、安徽省气象局以及合肥气象局中典型气象年统计数据可得出合肥市过渡季节最大频率风为东北(NE)方向,风速平均 3.1 m/s,将其作为风环境参数进行设置,最后进行风环境模拟,得到 1.5 m 处校园风速、风压模拟图(图 3—7)。

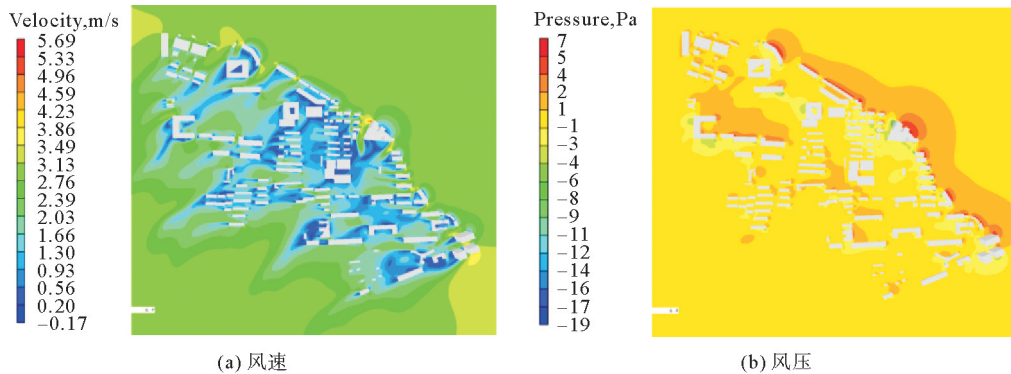


图3 安徽农业大学 1.5 m 高度处风速、风压分布

由图 3 可以看出安徽农业大学校园内出现了深蓝色,即无风区,占比为 8.45%。校园内部出现了大面积的黄色,说明大部分建筑室内外风压超过 0.5 Pa,校园室内外风压大于 0.5 Pa 的建筑大于一半。

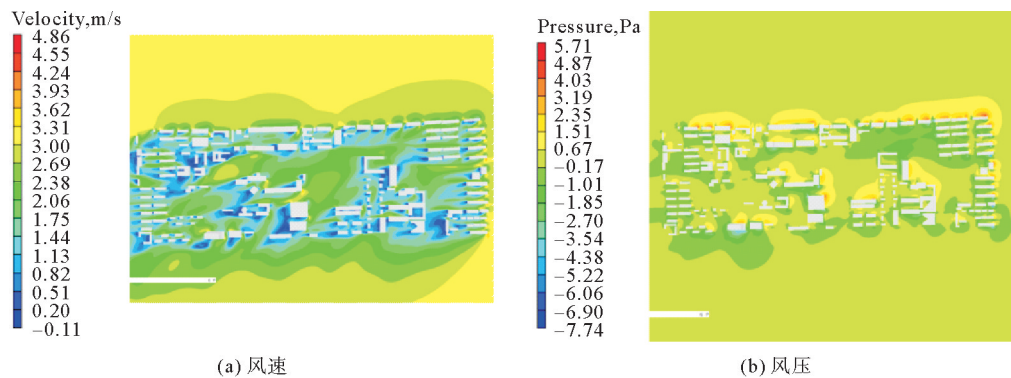


图4 国防科技大学合肥校区 1.5 m 高度处风速、风压分布

由图 4 可以看出国防科技大学合肥校区校园内出现了深蓝色,即无风区,占比为 3.95%。校园内部出现了大面积的绿色及少量的黄色,说明校园内部大部分建筑室内外风压超过 0.5 Pa,校园室内外风压大于 0.5 Pa 的建筑大于一半。

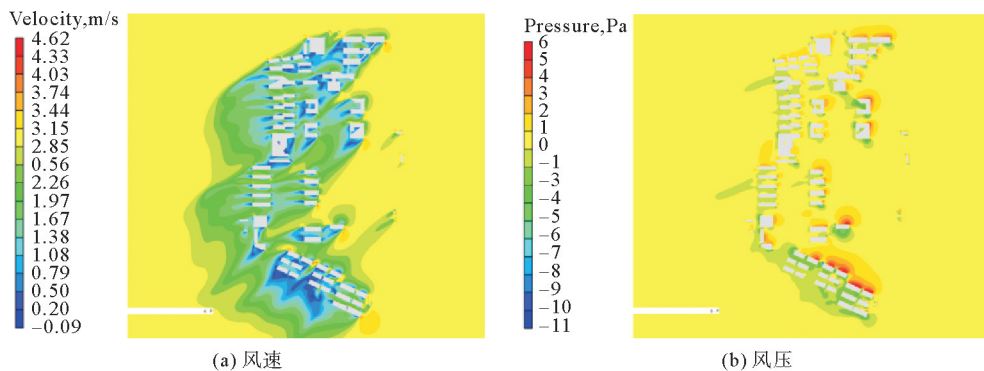


图5 新华学院 1.5 m 高度处风速、风压分布

由图 5 可以看出新华学院校园内出现了深蓝色,即无风区,占比为 4.43%。校园内部出现了大面积的黄色及少量的红色,说明大部分建筑室内外风压超过 0.5 Pa,校园室内外风压大于 0.5 Pa 的建筑大于一半。

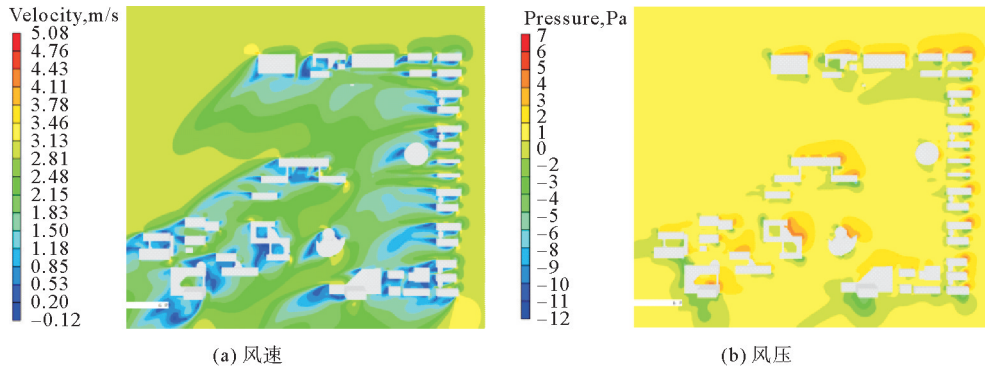


图 6 安徽建筑大学南校区 1.5 m 高度处风速、风压分布

由图 6 可以看出安徽建筑大学南校区校园内出现了深蓝色,即无风区,占比为 0.55%,可以视为校园内部不存在无风区。校园内部出现了大面积的黄色及少量的浅红色,说明大部分建筑室内外风压超过 0.5 Pa,校园室内外风压大于 0.5 Pa 的建筑大于一半。

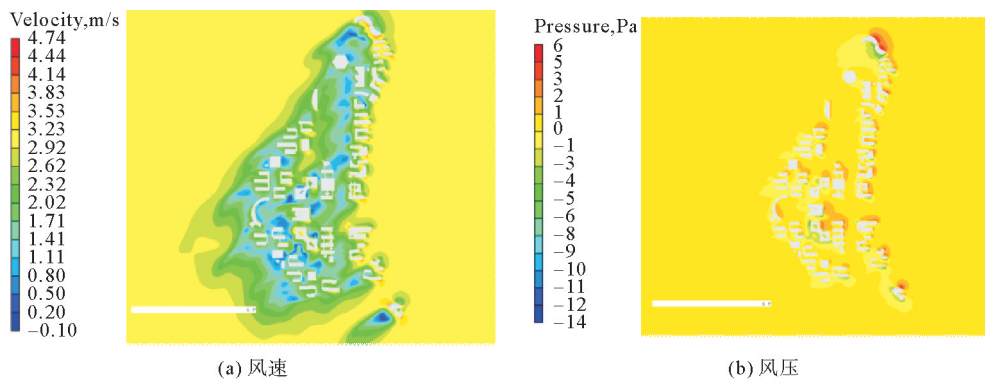


图 7 安徽大学馨苑校区 1.5 m 高度处风速、风压分布

由图 7 可以看出安徽大学馨苑校区校园内出现了深蓝色,即无风区,占比为 0.37%,可以视为校园内部不存在无风区。校园内部出现了大面积的黄色及少量的浅红色,说明大部分建筑室内外风压超过 0.5 Pa,校园室内外风压大于 0.5 Pa 的建筑大于一半。

综上所述,安徽农业大学、国防科技大学合肥校区校园及新华学院校园内部存在无风区,安徽建筑大学南校区校园及安徽大学校园内部不存在无风区。5 个校园内部建筑室内外风压大于 0.5 Pa 的建筑大于一半,说明在室内外风压评价方面 5 个校区均达到标准要求。

4 叠加分析

将各校区轴线地图以及对应的 1.5 m 高度处风速分布图在 Adobe Photoshop 中进行叠加,得到叠加分析图(图 8—12)。

由图 8—12 可以看出安徽农业大学集成度较大轴线处存在无风区,其围合而成的集成度核心区域风速较低,不利于人群的活动以及空气污染物的排出;国防科技大学合肥校区集成度较大轴线围合而成的集成度核心区域风速变化幅度小,存在无风区,不利于人群活动;新华学院集成度较大轴线处存在无风区,其围合而成的集成度核心区域风速较低,气流滞留时间较长,空气的流入及流出速率较慢,易造成污染物的积累。安徽建筑大学南校区集成度较大的轮轴与轮辐处不存在无风区,有利于空气中污染物的排出,其围

合而成的集成度核心区域风速较为平缓,适宜人群活动;安徽大学馨苑校区自由轮轴型空间校园中集成度较大的轮轴与轮辐处不存在无风区,空气流通性较好,其围合而成的集成度核心区域风速较为平缓,适宜人群活动。

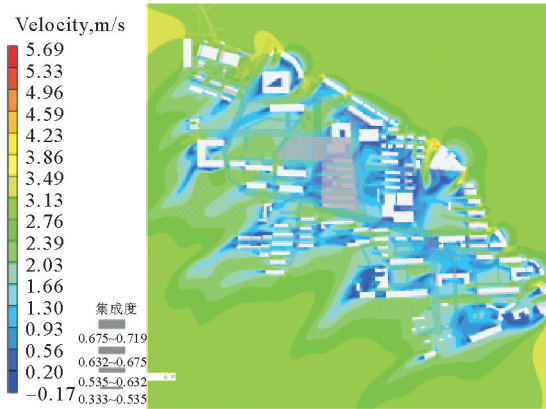


图8 安徽农业大学叠加分析

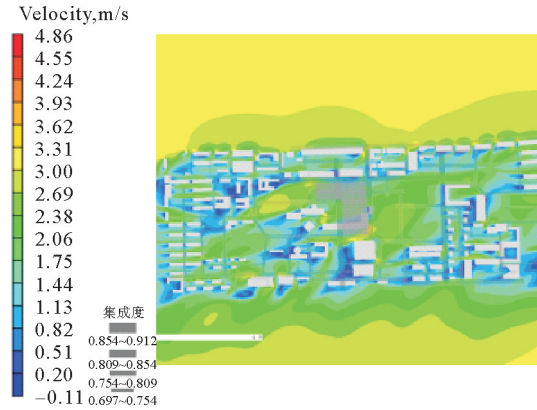


图9 国防科技大学合肥校区叠加分析

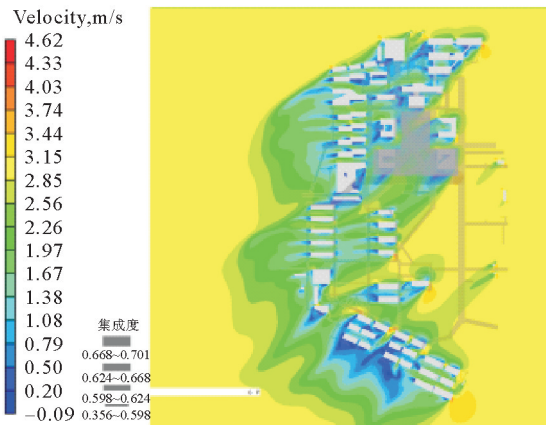


图10 新华学院叠加分析

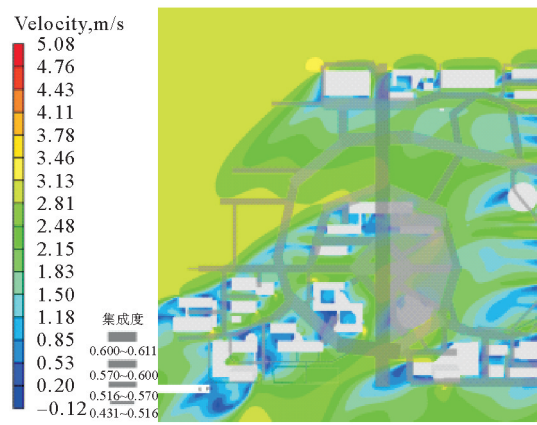


图11 安徽建筑大学南校区叠加分析

格网型空间形态校园中集成度较大轴线处存在无风区,其围合而成的集成度核心区域风速较低,不利于人群的活动以及空气污染物的排出;自由轮轴型空间校园中集成度较大的轮轴与轮辐处不存在无风区,其围合而成的集成度核心区域风速较为平缓,其开敞的空间设计也有利于空气中污染物的排出以及人群活动。

5 结论

1) 空间形态方面,安徽农业大学、国防科技大学合肥校区以及新华学院呈现明显的格网型空间结构,安徽建筑大学南校区以及安徽大学馨苑校区呈现自由轮轴型空间结构,格网型空间结构的校园局部空间比起自由轮轴型空间结构更易被感知,但在整体空间与局部空间的协同性上却更差。

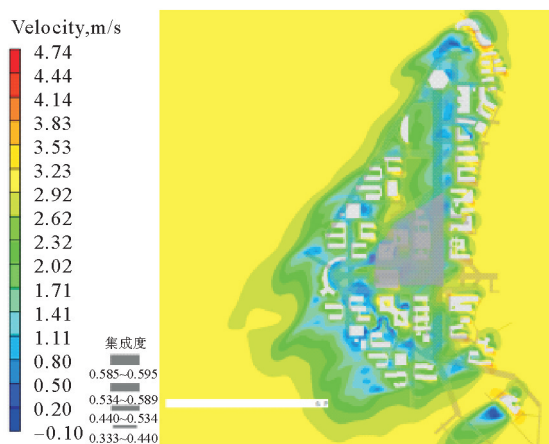


图12 安徽大学馨苑校区叠加分析

2) 过渡季节风环境评价方面,安徽农业大学、国防科技大学合肥校区以及新华学院内部无风区占比大幅高于安徽建筑大学南校区以及安徽大学馨苑校区,说明安徽建筑大学南校区以及安徽大学馨苑校区校园过渡季风环境要更好,5个校园内部建筑室内外风压大于0.5 Pa的建筑大于一半,说明在室内外风压评价方面5个校区均达到标准要求。

3) 格网型空间内部无风区平均占比5.61%,存在无风区;自由轮轴型空间内部无风区平均占比0.46%,可视为不存在无风区。说明格网型空间比起自由轮轴型空间更易产生无风区,过渡季风环境质量更差。集成度较大轴线处与集成度核心区域是大学生室外学习活动频率最高的区域,其过渡季风环境建设水平直接影响到了大学生的室外活动频率,格网型空间形态校园中集成度较大轴线处存在无风区,其围合而成的集成度核心区域风速较低,自由轮轴型空间校园中集成度较大的轮轴与轮辐处不存在无风区,其围合而成的集成度核心区域风速较为平缓。

总体来看,自由轮轴型空间校园在局部空间的感知性上要弱于格网型空间校园,在整体空间与局部空间的协同性上要强于格网型空间校园,在过渡季风环境评价上自由轮轴型空间校园有更好的风环境舒适度,更适宜大学生进行学习生产活动。

参考文献(References):

- [1] HILLIER B. The Common language of space: A way of looking at the social, economic and environmental functioning of cities on a common basis[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 1999, 11(3): 344-349.
- [2] BAFNAS. Space syntax: A brief Introduction to its logic and analytical techniques[J]. *Environment and Behavior*, 2003, 35(1): 17-29.
- [3] 周麟, 金珊, 陈可石, 等. 基于空间句法的旧城中心区空间形态演变研究: 以汕头市小公园开埠区为例[J]. *现代城市研究*, 2015(7): 68-76.
ZHOU Lin, JIN Shan, CHEN Keshi, et al. Multi-scale morphological evolution of historic centre: The case study of small park open port area, Shantou[J]. *Modern Urban Research*, 2015(7): 68-76.
- [4] 周麟, 田莉, 张臻, 等. 基于空间句法视角的民国以来北京老城街道网络演变[J]. *地理学报*, 2018, 73(8): 1433-1448.
ZHOU Lin, TIAN Li, ZHANG Zhen, et al. The street networks evolution in Beijing old city since the establishment of the Republic of China: A syntactical view[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(8): 1433-1448.
- [5] 丁越, 刘晨宇. 基于句法变量分析的郑州中心区空间形态结构研究[J]. *工业建筑*, 2018, 48(4): 51-56. DOI: 10.13204/j.gyjz201804012.
DING Yue, LIU Chenyu. Research on the spatial morphological structure of Zhengzhou central area based on syntactic variable analysis[J]. *Industrial Architecture*, 2018, 48(4): 51-56. DOI: 10.13204/j.gyjz201804012.
- [6] 解明镜, 王雪珂, 马克翱. 基于空间句法的土家族传统村落空间形态研究[J]. *中外建筑*, 2021(6): 99-102. DOI: 10.19940/j.cnki.1008-0422.2021.06.017.
XIE Mingjing, WANG Xueke, MA keao. Research on spatial morphology of traditional settlements of Tujia Ethnic minority based on spatial syntax[J]. *Chinese and Foreign Architecture*, 2021(6): 99-102. DOI: 10.19940/j.cnki.1008-0422.2021.06.017.
- [7] 陈驰, 李伯华, 袁佳利, 等. 基于空间句法的传统村落空间形态认知以杭州市芹川村为例[J]. *经济地理*, 2018, 38(10): 234-240. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2018.10.028.
CHEN Chi, LI Bohua, YUAN Jiali, et al. Spatial morphology cognition of traditional village based on space syntax: A case study of Qinchuan Village of Hangzhou[J]. *Economic Geography*, 2018, 38(10): 234-240. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2018.10.028.
- [8] 陈建华, 孙穗萍, 林可枫, 等. 空间句法视角下传统村镇公共空间使用后评价[J]. *南方建筑*, 2022(4): 99-106.
CHEN Jianhua, SUN Suiping, LIN Kefeng, et al. Post-use evaluation of public space in traditional villages and towns from the perspective of space syntax[J]. *Southern Architecture*, 2022(4): 99-106.
- [9] 刘恺希, 刘晖. 基于风环境优化的西安城市开放空间设计策略研究[J]. *中国园林*, 2018, 34(S1): 50-52.
LIU Kaixi, LIU Hui. Landscape design strategy of Xi'an urban open space based on the wind environment optimization[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2018, 34(S1): 50-52.
- [10] 应小宇, 阚琪. 杭州商业街道空间布局形态关键要素对周边环境的影响[J]. *地理科学*, 2018, 38(12): 2093-2099. DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.12.018.
YING Xiaoyu, KAN Qi. The Influence of street spatial layout factors on wind environment in Hangzhou[J]. *Geographical Sciences*, 2018, 38(12): 2093-2099. DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.12.018.
- [11] 冯伟, 费苗苗, 甄蒙, 等. 西安典型街区风环境数值模拟及城市优化设计策略研究[J]. *现代城市研究*, 2019(8): 35-40.
FENG Wei, FEI Miaomiao, ZHEN Meng, et al. Digital simulation of wind environment and urban optimization design strategy for

- typical blocks in Xi'an[J]. *Modern Urban Research*, 2019(8):35-40.
- [12] 邱彬,毕晓莉,柴凯. 浅谈中小学建筑校园规划设计与功能布局[J]. *工业建筑*, 2021, 51(6):262-263.
QIU Bin, BI Xiaoli, CHAI Kai. A brief discussion on the planning and design and functional layout of architectural campuses in primary and secondary schools[J]. *Industrial Architecture*, 2021, 51(6):262-263.
- [13] 贺禧. 生态视角下校园绿色景观规划探讨:评《绿色校园规划设计》[J]. *环境工程*, 2021, 39(5):247.
HE Xi. Discussion on campus green landscape planning from the perspective of ecology: Comment on "Green Campus Planning and Design"[J]. *Environmental Engineering*, 2021, 39(5):247.
- [14] 安徽省教育厅,安徽省发展改革委. 关于印发《安徽省“十四五”教育事业发展规划》的通知[EB/OL]. (2022-02-18)[2022-10-12]. <http://jyt.ah.gov.cn/xwzx/tzgg/40515179.html>.
Anhui Provincial Department of Education, Anhui Provincial Development and Reform Commission. Notice on the issuance of the "14th Five Year" plan for the development of education in anhui province[EB/OL]. (2022-02-18)[2022-10-12]. <http://jyt.ah.gov.cn/xwzx/tzgg/40515179.html>.
- [15] 何韶瑶,陈舒. 基于空间句法的城市交通空间形态研究:以长沙大学城为例[J]. *湖南师范大学自然科学学报*, 2015, 38(5):64-69.
HE Shaoyao, CHEN Shu. Research on urban traffic spatial morphology based on space syntax: Taking the university town in Changsha as an example[J]. *Journal of Natural Science of Hunan Normal University*, 2015, 38(5):64-69.
- [16] GB 50176-93,民用建筑热工设计规范[S].
GB 50176-93, Thermal design code for civil building[S].
- [17] 王文本,王玉红,刘文海. 合肥市快速发展模式下城郊局地气候变化特征分析[J]. *智能城市*, 2019, 5(14):29-31. DOI: 10.19301/j.cnki.zncs.2019.14.010.
WANG Wenben, WANG Yuhong, LIU Wenhai. Analysis on the characteristics of local climate change in the suburbs of Hefei under the rapid development model[J]. *Smart City*, 2019, 5(14):29-31. DOI: 10.19301/j.cnki.zncs.2019.14.010.
- [18] 王洁晶,汪芳,刘锐. 基于空间句法的城市形态对比研究[J]. *规划师*, 2012, 28(6):96-101.
WANG Jiejing, WANG Fang, LIU Rui. Space syntax based urban morphology comparison[J]. *Planner*, 2012, 28(6):96-101.
- [19] 李江,郭庆胜. 基于句法分析的城市空间形态定量研究[J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2003(2):69-73.
LI Jiang, GUO Qingsheng. Quantitative research of urban spatial morphology based on syntactic analysis[J]. *Journal of Wuhan University (Engineering Science Edition)*, 2003(2):69-73.
- [20] 程晓楠,张昉. 基于空间句法的城市空间形态特征对比研究[J]. *山西建筑*, 2021, 47(17):19-21. DOI: 10.13719/j.cnki.1009-6825.2021.17.007.
CHENG Xiaonan, ZHANG Fang. A comparative study of urban spatial morphology based on space syntax[J]. *Shanxi Architecture*, 2021, 47(17):19-21. DOI: 10.13719/j.cnki.1009-6825.2021.17.007.
- [21] 封晨,王浩锋,饶小军. 澳门半岛城市空间形态的演变研究[J]. *南方建筑*, 2012(4):64-72.
FENG Chen, WANG Haofeng, RAO Xiaojun. The evolution of the urban form of Macau Island[J]. *Southern Architecture*, 2012(4):64-72.
- [22] GB/T 50378—2019,绿色建筑评价标准[S].
GB/T 50378—2019, Evaluation standard for green buildings[S].
- [23] 史立刚,闫洪哲,程新宇,等. 基于冬季适老风环境模拟的寒地建筑形态优化方法[J]. *西部人居环境学刊*, 2020, 35(5):62-68. DOI: 10.13791/j.cnki.hsfwest.20200509.
SHI Ligang, YAN Hongzhe, CHENG Xinyu, et al. Optimization method of building form in cold regions based on the simulation of wind environment suitable for the elderly in winter[J]. *Western Human Settlements and Environment Journal*, 2020, 35(5):62-68. DOI: 10.13791/j.cnki.hsfwest.20200509.
- [24] 沈炼,韩艳,唐春朝,等. 多因素作用下小区风环境风洞试验研究[J]. *工程力学*, 2021, 38(5):88-97.
SHEN Lian, HAN Yan, TANG Chunchao, et al. Study on wind tunnel test of wind environment under the influence of multiple factors[J]. *Engineering Mechanics*, 2021, 38(5):88-97.

(责任编辑 张晓靖;英文校审 程文华)