

南京林业大学校园不同类型绿地冬季微气候效应分析

熊 瑶,金梦玲

(南京林业大学 艺术设计学院,江苏 南京 210037)

摘 要:园林绿地对城市风热环境的改善发挥着重要作用,选取不同空间类型的校园绿地作为研究对象,对广场类、休憩绿地类、建筑中庭类、道路类 4 种绿化空间的冬季微气候效益进行量化研究。于 2016 年 12 月 12—16 日,每天 8:00—16:00,每 2 h 1 次分别对南京林业大学校园内具有代表性的 10 处样地的温度、相对湿度和风速进行同步测定。结果表明,绿地结构与建筑布局对校园冬季微气候影响最大,水体面积次之,下垫面材料的影响最小。对多数空间而言,在场地西北向或高层建筑下方布置乔—灌—草结构常绿植物构筑风障,东侧群植落叶乔木增加纳阳面积,对冬季微气候环境的改善有显著作用。

关键词:微气候;绿色校园;冬季;风热环境

中图分类号:S731.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2018)01-0281-08

Microclimate Effects of Different Green Spaces in Winter: A Case Study of Nanjing Forestry University

XIONG Yao, JIN Meng-ling

(College of Ait Design, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China)

Abstract: Green space plays an important role in the improvement of urban windy and hot environment. In this research, the authors selected different types of campus green spaces as the objects of study, and studied the winter microclimate benefits of four kinds of green spaces, such as squares, leisure green space, atri-ums and roads. During 8:00—16:00, 12—16 December, 2016, relative parameters were measured within the campus of Nanjing Forestry University every 2 hours each day, including temperature, relative humidity and wind speed simultaneously on 10 representative locations. The results showed that the structure of green space and the layout of the campus had the greatest influence on the microclimate of the campus in winter. The impact of water area was less. The last was cover material. Using arbor-shrub-grass structure of ever-green plants in the northwest of the site or below the tall building could build windbreaks. Planting grouped deciduous trees in the east could increase the illumination area. These measures had significant effects on the improvement of the micro-climate environment in winter.

Key words: micro-climate; green campus; winter; thermal environment

当前,城市受建筑密度、人为热源、下垫面结构等因素的影响,风热环境问题日益凸显,与此同时,室外微气候环境质量的下降又迫使城市居民更多依赖于人工封闭环境,而这种依赖性无疑又将加剧城

市整体能耗。因而近年来,众多学者对气候与建筑及城市之关系,以及城市微气候改善方面进行了大量研究,以期通过有效的环境设计策略,充分利用现有自然资源和气候条件来优化城市微气候环境^[1-8]。

收稿日期:2017-06-09 修回日期:2017-08-09

基金项目:国家自然科学基金青年项目“基于微气候动态信息技术的江南私家园林空间形态研究”(51408316);江苏省研究生培养创新工程项目“江南地区不同绿地结构的微气候特征及其功能评估”(KYLX16_0830)。

作者简介:熊 瑶,女,讲师,博士,研究方向:风景园林规划与设计。E-mail:350589643@qq.com

大学校园作为城市用地的重要组成部分,并非一个独立的封闭系统,其在城市空间中发挥着重要的生态调节和服务功能。随着 1996 年“绿色校园”概念的提出,校园建设开始朝着“低碳、节能、人性化”的方向发展^[9],促使人们对校园微气候有了更多的关注。

在这一领域,以往研究主要集中于三大方面:一是基于温湿度的人体热舒适度作为评价指标,总结安全、健康、舒适等不同层次的校园空间环境特征;二是以绿地斑块为单位,观测比较不同规模、绿量、乔灌木结构、种植方式的绿地自身微气候效应;三是校园建筑能耗预测与优化。此外,针对夏热冬冷地区的城市微气候研究更多侧重于夏季的降温增湿效益,而对冬季城市户外空间的定量研究则较少^[10-14]。

因此,本研究以南京林业大学校园内几处典型空间为例,综合考察空间朝向和尺度、建筑布局、山水格局及比例、植被结构、园路铺地等对微气候的调节作用,定量评估冬季不同校园空间的风热环境,旨在探讨如何营建更加健康、舒适的学习及生活空间,为绿色校园规划与建设做出一些有益的尝试。

1 材料与方法

1.1 样地选择

选取南京林业大学校园作为研究对象,于 2016 年 12 月 12—16 日连续 5 d 进行了校园冬季微气候的现场实测。南京属北亚热带季风气候,四季分明,春秋短、冬夏长,冬夏温差显著,冬季寒冷、干燥,气温最低可至-13.1℃。南京林业大学占地约 86 hm²,历史悠久,钟灵毓秀,校园内植物种类丰富,绿化覆盖率高,植物共有 384 种,隶属 93 科 218 属^[15]。

1.2 测试内容

现场实测主要以定点观测为主,在校园内各测试点设置 DHM2A 通风干湿表[精度:温度:≤±5%;湿度:≤±3%(30%~99%),≤±5%(10%~30%);厂家:天津气象仪器厂],从 8:00—16:00 每隔 2 h 测量并记录距地 1.5 m 高度处的空气温度(*T*)和相对湿度(*RH*);同时,采用流动观测的方法,使用 FYF-1 三杯风向风速仪[精度:±(0.3+0.03*v*)m·s⁻¹;厂家:上海风云气象仪器厂]观测每 2 h 不同测点 1.5 m 高度处的风速(*w*)。

1.3 测试点设置

本研究按照广场、休憩绿地、建筑中庭、道路 4 种空间类型对校园空间进行分类,以便对同类型空间进行比较,探究其冬季微气候效益。在研究区域共布置测点 10 个,主要考察建筑布局、水体布置、植物设计等要素对微气候因子的影响,各测试点的设置情况及参数见表 1。

2 结果与分析

2.1 实测结果

2.1.1 空气温度 将校园内各测点测试日内 8:00—16:00 空气温度实测值进行整理分析,得到同一时段园内各测点与气象站监测数据之间平均空气温度的差异(图 1),通过比较发现:在所测时间段内,8:00 是各测点温度的最低点,此时的温度顺序为:气象观测站(3.0℃)<测点 6(3.1℃)<测点 3、4(3.2℃)<测点 7、10(3.3℃)<测点 5(3.4℃)<测点 2(3.5℃)<测点 1(3.6℃)<测点 9(3.7℃)<测点 8(3.8℃)。14:00 是各测点温度的最高点,此时的温度顺序为:测点 5(5.6℃)>测点 10(5.4℃)>测点 9(5.2℃)>测点 3、7(5.1℃)>测点 1、2、4(5.0℃)>测点 8(4.8℃)>测点 6(4.7℃)>气象观测站(4.5℃),此时主楼前广场气温最高,与气象站观测温度差值达 1.1℃。总体而言,校园内对空气温度优化效果最显著的测点是新青年广场(测点 9),16:00 之前,此处温度均远高于气象站的观测温度,在 10:00 对空气温度的优化更是高达 2℃。其次是其他广场类和道路类测点,如:测点 8、测点 5 及测点 4,这些测点温度表现稳定且高于气象温度,而休憩绿地类测点和中庭类测点大部分时间气温较其他类型略低,但也恒定高于气象温度。

2.1.2 相对湿度 将校园内各测点相对湿度平均实测值与气象数据进行对比(图 2),总体而言:8:00 是白天相对湿度最高的时刻,此时相对湿度的顺序为:测点 1(72.5%)>气象观测站和测点 4(72%)>测点 3(69%)>测点 9(68.2%)>测点 2(67.9%)>测点 6(64.3%)>测点 5(63.3%)>测点 7(63.2%)>测点 8(61%)>测点 10(60.5%)。该时段以玄武大道(60.5%)的相对湿度作为对照,七栋中庭(72.5%)的相对湿度比其高 12%。白天相对湿度最低的时刻为 14:00,此时相对湿度呈现:测点 10(50.3%)<测点 6(52.9%)<气象观测站(53.0%)<测点 5(53.3%)<测点 1、4(53.5%)<测点 3(53.7%)<测点 9(53.9%)<测点 8(54.4%)<测点 7(56%)<测点 2(57.5%)。总体而言,校园内几乎所有测点相对湿度的数值变化都比较平缓,从晨间到傍晚呈缓慢下降趋势,且自 12:00 起,相对湿度均处于 50%~60%的舒适值区间内。另外,由测点间对比可知休憩绿地类空间相对湿度普遍高于广场和道路类空间。

2.1.3 风速 将校园内各测点风速平均值与气象数据进行对比分析(图 3),可以发现:8:00 是各测点平均风速的最高点,风速的排序为:测点 1(0.3 m·

s^{-1})<测点 2、3($0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)<测点 7、9($0.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)<测点 4、10($1.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)<测点 5($1.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)<测点 6($2.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)<测点 8($2.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)<气象观测站($3.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。此时七栋中庭($0.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)与气象观测站的风速差值达 $3.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。16:00 是各测点平均风速的最低点,此时风速的排序为:测点 8($1.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)>测点 6、10($1.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)>气象观测站($1.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)>测点 7($0.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)>测点 2、5、9($0.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)>测点 4($0.3\text{ m}\cdot$

s^{-1})>测点 1、3($0.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。以教五楼前小广场($1.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)的风速作对照,七栋中庭和材料及机电院楼间绿地($0.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)的风速比其低 $1.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。总体来看,校园内各测点的平均风速均明显低于气象站观测风速,对风速优化效果最佳的是测点 3,优化最高可达 $3.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。此外,周围植物丰富的测点 2、9、4 以及空间围合度高的测点 5 对风速的优化效果高于空间围合度低的测点 10。而测点 8 和测点 6 由于建筑布局原因风速始终较高。

表 1 测试点设置情况
Table 1 Information of the measurement points

序号	测点位置	空间类型	主要植物组成	郁闭度	空间特征
1	宿舍七栋中庭	建筑中庭类	桃树(<i>Amygdalus persica</i>)、香椿(<i>Toona sinensis</i>)、香樟(<i>Cinnamomum camphora</i>)、石榴(<i>Punica granatum</i>)、紫叶李(<i>Prunus cerasifera</i> f. <i>atropurpurea</i>)、八角金盘(<i>Fatsia japonica</i>)、桂花(<i>Osmanthus</i> sp.)、花叶蔓长春(<i>Vinca major</i> cv. <i>variegata</i>)	0.6	属线型式中庭,郁闭度适中,场地面积较小,环境密闭
2	一村小游园	休憩绿地类	法桐(<i>Platanus orientalis</i>)、棕榈(<i>Trachycarpus fortunei</i>)、池杉(<i>Taxodium ascendens</i>)、鸡爪槭(<i>Acer palmatum</i>)、栀子(<i>Gardenia jasminoides</i>)、山茶(<i>Camellia japonica</i>)、紫薇(<i>Lagerstroemia indica</i>)、桂花	0.7	郁闭度较高,灌木和地被较少,以落叶大乔为主,视线通透
3	材料及机电院楼间绿地	休憩绿地类	龙柏(<i>Juniperus chinensis</i> ‘Kaizuka’)、圆柏(<i>Sabina chinensis</i>)、乌桕(<i>Sapium sebiferum</i>)、女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)、桂花、紫薇、大叶黄杨(<i>Buxus megistophylla</i>)	0.8	郁闭度高,以砖石铺地为主,落叶及常绿大乔兼有,灌木少量
4	林荫道	道路类	喜树(<i>Camptotheca acuminata</i>)、鹅掌楸(<i>Liriodendron chinensis</i>)、大叶黄杨(<i>Buxus megistophylla</i>)、龙柏、圆柏、樱花(<i>Cerasus</i> sp.)	0.55	道路两侧植物密集,行道树以鹅掌楸为主,下垫面为沥青混凝土
5	主楼前广场	广场类	海桐(<i>Pittosporum tobira</i>)、棕榈、桂花、石楠(<i>Photinia serrulata</i>)、夹竹桃(<i>Nerium indicum</i>)、雪松(<i>Cedrus deodara</i>)、早园竹(<i>Phyllostachys propinqua</i>)	0.2	中心空旷无植被,边界为植被围合,以灌木为主,下垫面为水泥
6	逸夫楼中庭	建筑中庭类	女贞、桂花、鸡爪槭、大叶黄杨、栀子、龟甲冬青(<i>Ilex crenata</i>)、早园竹	0.3	属镶嵌式中庭,无大乔木,南北两侧中下层植被较多,下垫面为花岗岩、卵石和青砖
7	西潭绿地	休憩绿地类	枫香(<i>Liquidambar formosana</i>)、垂柳(<i>Salix babylonica</i>)水杉(<i>Metasequoia glyptostroboides</i>)、桧柏(<i>Sabina chinensis</i>)、毛杜鹃(<i>Rhododendron simsii</i>)、鸡爪槭、桂花、刚竹(<i>Phyllostachys</i>)、扶芳藤(<i>Euonymus fortunei</i>)、樱花	0.35	空间开敞,有面状水体,西侧乔木丰富,东南侧以灌木及地被为主
8	教五楼前小广场	广场类	池杉、水杉、桂花、毛杜鹃、海桐、迎夏(<i>Jasminum floridum</i>)、金银花(<i>Lonicera japonica</i>)	0.2	紧邻高层建筑,下垫面为花岗岩石材,仅南北两侧有少量植被围合
9	新青年广场	广场类	枫杨(<i>Pterocarya stenoptera</i>)、水杉、樱花、桂花、朴树(<i>Celtis sinensis</i>)、榉树(<i>Zelkova serrata</i>)、中山杉(<i>Taxodium hybrid</i> ‘zhongshanshan’)、无患子(<i>Sapindus mukorossi</i>)、孝顺竹(<i>Bambusa multiplex</i>)	0.6	空间开敞,以落叶树阵为主,下垫面为水泥与石材间隔
10	北一门外玄武大道	道路类	香樟、银杏(<i>Ginkgo biloba</i>)、紫叶李、女贞	0.1	城市主干道,行道树矮小稀疏

2.2 不同类型绿地微气候效应分析

根据实测结果,对不同类型绿地进行微气候效应分析,并从每种类型中提取出对冬季微气候改善效果最佳的空间,进一步探究其气候适应性理法。
2.2.1 广场类测点微气候效应分析 广场是大型的储热介质,故冬季广场类空间对温度的优化效果最为明显,从 8:00 起,广场类测点的气温便有明显抬升,约 13:00,对气温优化作用达到峰值,平均每个测点可提升气温 0.93°C 。然而,广场类空间对湿

度的改善效果却较差,尤其是场地空旷、中心无植被覆盖的主楼前广场(图 4)和教五楼前小广场(图 5)。新青年广场(图 6)因有树阵设置,与休憩绿地类空间对相对湿度的优化效果持平,且在晨间和傍晚相对湿度值均较高,可见绿化的增湿效果较为明显。风速方面,由于风速受周边建筑布局 and 建筑高度以及植被覆盖率等影响较大,因此广场类空间在风速的优化效果上表现各异。主楼前广场虽然开敞无遮蔽,但其北、东、南 3 面有高 15 m 的建筑环绕,西侧

为绿地,由喜树及龙柏围合,西北侧亦有高 10 余米的建筑遮挡,故冬季北风被大幅削弱,实测期间此处风速都维持稳定偏低的数值。而教五楼前小广场因北侧为开阔无遮挡的操场,加之西侧近 50 m 高的教五楼使风途经此处产生回流和旋转,故该测点风速始终高于其他测点。综合而言,新青年广场微气候效应最佳。

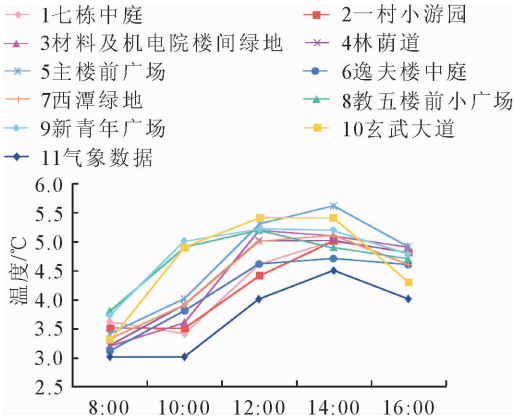


图 1 2016 年 12 月 12—16 日各测点平均温度分布
Fig. 1 Temperature of the measurement points on
December 12—16th, 2016

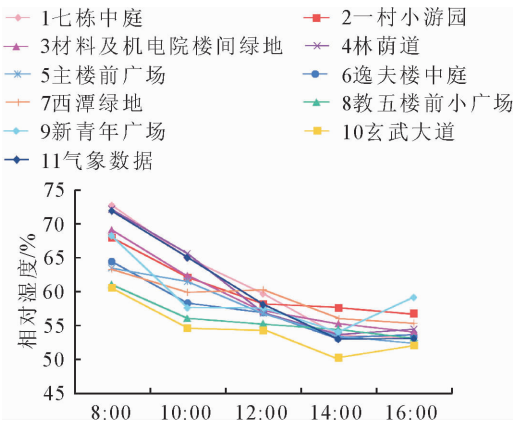


图 2 2016 年 12 月 12—16 日各测点平均相对湿度分布
Fig. 2 Relative humidity of the measurement points on
December 12—16, 2016

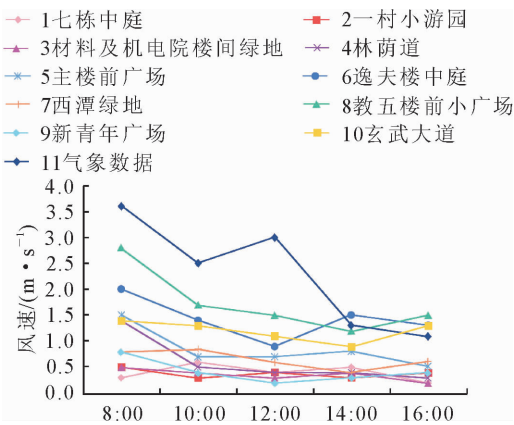


图 3 2016 年 12 月 12—16 日各测点平均风速分布
Fig. 3 Mean wind speed of the measurement points on
December 12—16, 2016



图 4 主楼前广场鸟瞰

Fig. 4 Bird's-eye view of the front square of the main building



图 5 教五楼前小广场

Fig. 5 The square in front of No. 5 teaching building



图 6 新青年广场

Fig. 6 New Youth Square

新青年广场面积约 2 970 m², 中央为枫杨 (*Pterocarya stenoptera*) 树阵, 北部有一面积约 750 m² 的木质舞台, 其后丛植 10 余株高度近 20 m 的水杉; 南临翠竹路, 樱花与银杏作为行道树间植; 西北邻紫湖溪, 岸际栽有枫杨; 东侧为林地, 植有大量枫香、榉树、中山杉、桂花等乔木。

冬季, 枫杨落叶, 利于场地纳阳, 加之广场为水泥与花岗岩结合的铺地, 吸收太阳辐射多, 升温快, 可使空间增温, 故此处 14:00 前对空气温度的优化尤为明显。而西侧紫湖溪与植物结合亦可将该空间的湿度维持在 55%~65% 这一舒适区间内。此外, 在冬季主导风向上三面围合的茂密植被形成了天然的绿色屏障, 抵御了大部分北风, 使广场上平均风速恒定 $< 0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 成为避风、纳阳的活动空间(图 7)。可以预见, 在炎热的夏日, 南面开敞, 利于通风, 外围及中心的高大乔木又能够营造大面积的林荫, 有效降低太阳辐射对该空间的作用, 为师生提供凉爽的感受。

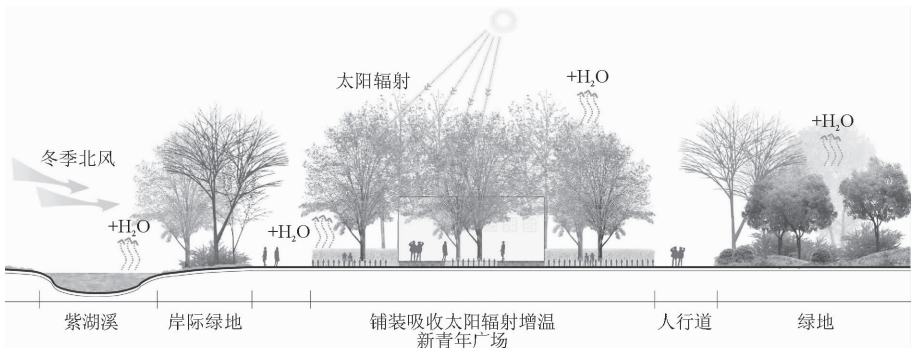


图 7 新青年广场冬季微气候效益分析

Fig. 7 Benefit analysis of winter microclimate in New Youth Square

2.2.2 休憩绿地类测点微气候效应分析 在冬季，主要的增温形式是太阳辐射，各绿地由于树荫遮蔽等原因接受阳光直射的范围较小，故绿地类空间对空气温度的优化程度一般，而对相对湿度的优化效果最佳，湿度实测值均较高，这与植被密度和水体设置紧密相关，平均湿度最优的测点为一村小游园(图 8)，西潭绿地次之(图 9)，而材料及机电院楼间绿地(图 10)由于下垫面以砖石铺地为主，植被主要为常绿和落叶大乔，树冠距地面较高，近地面空气接受到的植物蒸腾水分有限，因此相对湿度在 3 处测点中偏低。可见三维绿量较大、郁闭度较高的乔-灌-草结构以及面状水体的设置对环境的增湿效应更加明显。此外，各绿地对风速改善效果明显，尤其是材料及机电院楼间绿地和一村小游园 2 处测点，对风速的优化平均可达 $1.96\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。综合而言，西潭绿地微气候效应最佳。



图 10 材料院与机电院楼间绿地

Fig. 10 The greenbelt between the materials Institute and the electrical Institute

西潭绿地是由建筑、植物、水体结合而成的空间单元，位于高层建筑教五楼下。西潭宽约 44 m，面积约 1 412 m²，占整个绿地面积的 1/3，北邻高约 8 m、面阔约 48 m 的报告厅，岸际由木栈道和卵石铺地构成主要的步行及休憩空间。西潭以西林木葱郁，大乔有水杉、枫香、垂柳等，樱花、桂花、八角金盘掩映其间，地被为扶芳藤。冬季，水杉、枫香等大乔木落叶后能发挥纳阳功能，常绿乔木加之灌草的组合又与北面报告厅形成风障，共同抵御了大部分干冷的西北风，风从这道绿色屏障经过还会夹杂着水汽，有利于控温增湿，使此处维持较为舒适的热感受。而当气温降至 0℃ 以下，西潭水面结冰能反射阳光，亦可提升周围气温。同时，紧邻教五楼的东侧和南侧设置了宽 8~14 m 不等的绿化带，植有大片高约 3 m 的桂花和刚竹以及八角金盘等，这些常绿植物高矮搭配，使得迎风面形成的高楼风在近地高度分解成风向各异、风力减弱的小漩涡和乱流，极大缓解了高楼风对近地人群活动空间的负面影响(图 11)。

2.2.3 建筑中庭类测点微气候效应分析 中庭类空间温度受建筑布局影响较大，对比 2 处测点不难发现，由于南京冬季阳光几乎全部集中在南面，因此呈东西向线型布置的七栋中庭，气温在多数时间低于逸夫楼中庭(图 12)，后者进深短，面阔长，增大了中庭采光面，在冬季可获得更多的阳光辐射。另一



图 8 一村小游园

Fig. 8 Little garden in Yicun



图 9 西潭绿地

Fig. 9 The greenbelt by the West Lake

方面,七栋中庭由于植被密度较高,增湿效果好,而逸夫楼中庭湿度值则表现一般,可见,尽管冬季落叶乔、灌木的生理活动微弱,但相对于以硬质铺装为主的场地,绿地对干燥环境依然具有较好的缓解作用。中庭类空间的风速与建筑朝向及是否通风有关,七

栋中庭结构较为封闭,加之丰富的植被层次可降低风速和风量,而逸夫楼中庭东侧有宽 20 m 的大门,西侧有 2 处 8 m 宽的开口,加速了中庭内空气对流,导致其风速居高不下,在 14:00—16:00 甚至高于气象风速。

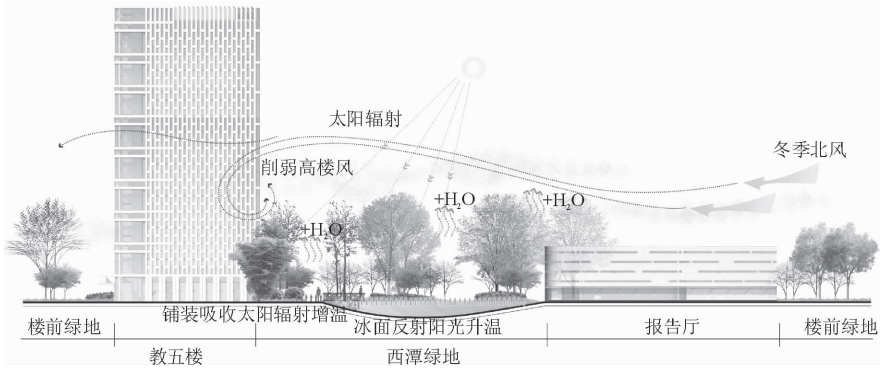


图 11 西潭绿地冬季微气候效益分析

Fig. 11 Benefit analysis of winter microclimate in the greenbelt by the West Lake



图 12 逸夫楼中庭

Fig. 12 Yifu Building Atrium

学生宿舍七栋中庭长 55 m、宽 21 m,总面积约

1 166 m²。中庭小花园布置有东西向的步道和座椅,是供同学们学习、休憩的私密空间。中庭东北和西南部密植香樟、香椿、紫叶李,点缀大叶黄杨、杜鹃、桂花、石榴等观花观果植物,下层为花叶蔓长春,构成了一个高宽比约为 1:1,相对密闭的环境。高密度的植物配置利于减少空气流动,有保暖挡风的作用,此处对风速的优化平均可达 1.93 m·s⁻¹。又因中庭面积较小,植物层次丰富,植被的蒸腾作用可以提升空气湿度,故此处相对湿度值在所有测点中表现最佳,满足冬季温暖湿润的微气候环境需要(图 13)。

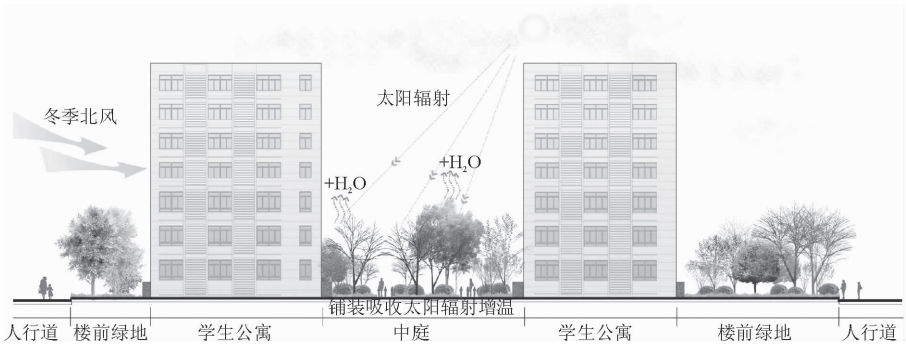


图 13 七栋中庭冬季微气候效益分析

Fig. 13 Benefit analysis of winter microclimate in the atrium of No. 7 dormitory

2.2.4 道路类测点微气候效应分析 道路类测点的温度和湿度与其遮蔽情况及种植结构有关。玄武大道为城市干道(图 14),宽约 38 m,有香樟、女贞等树木植于人行道及分车带,但树形矮小且稀疏,绿化遮蔽度低,加之沥青路面比热容大,受到太阳辐射照射后,可引起近地面气温快速升高。湿度方面,由于

玄武大道树高与路宽比约为 1:19,植物的蒸腾作用难以提高整体空间的相对湿度,因此该测点湿度值最低。此外,实测期间,玄武大道的平均风速始终在 1.0~1.5 m·s⁻¹,约是林荫道风速的 2 倍。

主楼前林荫道(图 15)为东西走向,中间是宽约 6 m 的沥青路面,两侧各有 2.5 m 的人行道,行道树

主要为高约 15 m 的鹅掌楸,林荫道的高宽比约为 2.5∶1。道路两侧为树木葱茏的校园绿地,北侧主要群植龙柏、圆柏、乌柏以及大叶黄杨球等,而南侧植被稍稀疏,以樱花、紫叶李为主,点植水杉、香樟等大乔。冬季鹅掌楸落叶后,易于道路采光,因而该测点各时段气温比气象数据平均高出约 1℃,创造出温暖的纳阳空间。同时,北侧的灌木丛和高大的龙柏、圆柏形成了厚实的风障,加之道路的东西向设置垂直于冬季的盛行风向,亦可最大程度发挥避风效果,故该测点从 10:00 起平均风速均 $<0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

此外,道路两侧近自然的种植模式由于较高的植被覆盖、丰富的群落层次和物种多样性,使其对微气候的调节能力更强。一是能通过植物的蒸腾作用提高相对湿度,并起到净化空气的作用;二是绿地可以在夜晚释放出白天吸收的热量,结合路面的易蓄热特性,至傍晚后产生时滞现象,继续向周围环境辐射热量,以便形成昼夜温差小的舒适微气候环境。



图 14 玄武大道
Fig. 14 Xuanwu Avenue



图 15 林荫道
Fig. 15 Boulevard

表 2 气候适应性设计理法总结

Table 2 A summary of climate adaptive design methods

空间类型	冬季微气候特征	空间实例	设计理法
广场类	增温	新青年广场	1. 宜在广场西北方由外至内以乔-灌-地被(常绿)结构构筑风障,场地东侧宜群植落叶大乔木,增加纳阳面积
	避风	教五楼前小广场	2. 宜将普通广场部分改造为落叶树阵广场,场地宜采用透水性铺装,并设置植草沟排水 3. 广场南面不宜大量栽植 10 m 以上的常绿大乔或设置构筑物 4. 广场不宜建造在建筑北侧或邻近高层建筑
	保温	西潭绿地	1. 绿地宜采用近自然群落式栽植,休憩场地周边应以落叶乔木为主
	避风	一村小游园	2. 绿地中部可设置水景,水体北侧应设置避风地形或种植孔隙率较低的灌木及具有遮蔽作用的常绿植被,乔木高度与水体宽度之比宜为 1∶2 3. 在面积约 3 000~5 000 m ² 的开敞型绿地中,硬质占 15%,地形(山石)+植物占 50%,水体占 35%是较为理想的组合方式
休憩绿地类	增湿	楼间绿地	4. 在面积约 1 000~3 000 m ² 的围合型绿地中,硬质占 25%~30%,地形(山石)+植物占 55%,水体占 15%~20%是较为理想的组合方式
	降噪		5. 若场地紧邻高层建筑,建筑下方应设置 $\geq 6\text{ m}$ 宽的乔-灌-草结合的绿带
	控温	七栋中庭	1. 嵌入式中庭宜采用短进深,长面宽的中庭平面形态
	避风		2. 避免在中庭南北向同时设置开口,形成穿堂风
	增湿		3. 中庭内园路宜采用东西走向,铺装与绿地面积比宜为 1∶6
建筑中庭类	降噪		4. 避免在建筑物南向近距离种植常绿乔木或设置构筑物,可在西南向或东南向种植落叶树,乔-灌-草比例宜为 1∶2∶6
	避风	主楼前林荫道	1. 两侧行道树宜以落叶大乔为主,行道树高度与道路宽度之比宜为 2∶1 至 3∶1
	保湿		2. 道路宜为东西走向,既与冬季主导风向垂直,又与夏季主导风向成 45° 夹角
道路类	增温		3. 道路北侧宜设置构筑物或群植常绿大乔形成冬季风障

3 结论与讨论

在城市风热环境状况日益下降的情况下,园林绿地所带来的生态效益将越来越受到人们的重视,因而在注重景观艺术性的同时需要园林绿地发挥更大的综合效益^[16]。本研究表明日照条件、围合情况及合理的绿化结构是冬季园林空间气候适应性设计

的关键。
南京属于夏热冬冷地区,在冬季低温季节,适宜的常绿植被与落叶植被的配比,尤其是南向落叶大乔的栽植,既能增添冬季的绿色生机,又能提高采光,使场地可吸收更多的太阳辐射。同时,在气温相同的情况下,相对湿度增加,人体表面温度会随之升高,换言之湿度可以加重热感觉。通过观测不难发

现,三维绿量较大、郁闭度较高的乔-灌-地被绿地结构结合景观水体的设置增湿效应明显。此外,在冬季无风或者微风状态下,人体周围的空气会形成一个较稳定的“保温层”,而风速越大,人体的热量散失也就越多越快,因此风速与风向是冬季气候适应性设计中的关键因子。在北向及西北向采用以常绿植物为主的近自然式群落栽植便可形成良好的冬季风障。可见,景观绿地中植物配置既要做到景观层次的复合结构,还需保证每层群落中物种的多样性及多元化,各层植物群落的平衡及稳定既能保证整体群落景观效益的最大化^[17],又能使环境拥有适宜的相对湿度和风环境,从而提升人体热舒适度。

本研究综合空间形态、下垫面、绿化结构总结了一系列适应江南地区气候特征的设计策略,探讨了冬季对于不同类型绿地景观的气候适应性设计理法(表 2),以期为营造舒适的冬季户外休闲活动空间提供新的思路。

参考文献

[1] [日]村上周三. CFD 与建筑环境设计[M]. 朱清宇,等译. 北京:中国建筑工业出版社,2007.

[2] 李鹏. 基于遥感及 CFD 技术仿真的城市热环境研究——以武汉夏季为例[D]武汉:华中科技大学,2006.

[3] 王振. 夏热冬冷地区基于城市微气候的街区层峡气候适应性设计策略研究[D]. 武汉:华中科技大学,2008.

[4] 王振,李保峰. 微气候视角下的城市街区环境定量分析技术[C]//第六届国际绿色建筑与建筑节能大会论文集,2010:118-122.

[5] 徐志华,冯武军,张映冰,等. 高层楼群近地风环境对人居生态的影响以及利用景观建筑设计措施缓解[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2015,11(Supp. 1):127-132.

XU Z H,FENG W J,ZHANG Y B,*et al.* Near ground wind environment influenced by high rise building complexes,its influences on human environment,and its remedy through lands cape architecture designs[J]. Journal of Beijing Normal University:Natural Science,2015,11(Supp. 1):127-132. (in Chinese)

[6] 吴菲,朱春阳,李树华. 北京市 6 种下垫面不同季节温湿度变化特征[J]. 西北林学院学报 2013,28(1):207-213.

WU F,ZHU C Y,LI S H. Seasonal changes of temperature and humidity of six urban underlying surfaces in Beijing[J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(1):207-213. (in Chinese)

[7] 熊瑶,金梦玲. 浅析江南古典园林空间的微气候营造——以瞻园为例[J]. 中国园林,2017,33(4):35—39.

XIONG Y,JIN M. Analysis of micro-climate construction in the Jiangnan classical gardens space—a case study of the Zhan Garden[J]. Chinese Landscape Architecture,2017,33(4):35-39. (in Chinese)

[8] 熊瑶,王亚杰,赵铖,等. 基于微气候改善的江南古典园林空间形态的研究[J]. 西北林学院学报,2015,30(4):295-300.

XIONG Y,WANG Y J,ZHAO C,*et al.* Space form of classical southern China gardens based on micro—climate improvement [J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(4):295-300. (in Chinese)

[9] 李浩达. 基于 CFD 及《绿色校园评价标准》优化景观要素格局——以校园概念设计大赛一等奖作品为例[J]. 建筑节能,2014(9):68-72.

LI H D. Organization of landscape elements based on CFD and “evaluation standard for green campus” [J]. Building Energy Efficiency,2014(9):68-72. (in Chinese)

[10] 冯悦怡,李恩敬,张力小. 校园绿地夏季小气候效应分析[J]. 北京大学学报:自然科学版,2014(5):812-818.

FENG Y Y,LI E J,ZHANG L X. Microclimate effects of campus green space in summer[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis,2014(5):812-818. (in Chinses)

[11] 黄承标,文祥凤,黄丹,等. 大学校园不同绿地结构类型的小气候特征[J]. 广州大学学报:自然科学版,2010(1):37-41.

HUANG C B,WEN X F,HUANG D,*et al.* Microclimate characteristics of different structural types of greenbelt in university campus[J]. Journal of Guangzhou University:Natural Science Edition,2010(1):37-41. (in Chinese)

[12] ABREU-HARBICH L V,LABAKI L C,MATZARAKIS A. Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas,Brazil [J]. Theoretical and Applied Climatology,2013(3):397-406.

[13] ALCOFORADO M,ANDRADE H,LOPES A,*et al.* Application of climatic guidelines to urban planning:the example of Lisbon,Portugal [J]. Landscape and Urban Planning,2009(2):56-65.

[14] 张磊,孟庆林. 湿热地区大学校园夏季热环境测试与分析[J]. 建筑科学,2011(2):48-51.

ZHANG L,MENG Q L. Measurement and analysis of thermal environment of university campus in summer in hot and humid areas[J]. Building Science,2011(2):48-51. (in Chinese)

[15] 刘换换,胡凤荣. 浅析南京林业大学校园植物地理成分[J]. 浙江农业科学,2016,57(1):98-101.

[16] 王利鑫,弓弼,申依宁,等. 校园绿地冬季白天小气候效应分析——以西北农林科技大学南校区为例[J]. 西北林学院学报,2016,31(1):292-297.

WANG L X,GONG B,SHEN Y N,*et al.* Microclimate effects of campus green space in winter day—a case study of the south campus of Northwest A&F University[J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(1):292-297. (in Chinese)

[17] 芦建国,吴秀臣,唐桂兰. 南京绿道植物景观营建特色探析[J]. 西北林学院学报. 2016,31(2):295-301.

LU J G,WU X C,TANG G L. Characteristics of plantscape in greenways in Nanjing[J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(2):295-301. (in Chinese)