

长江中下游地区高校教室自然通风潜能分析

——以合肥地区为例

李娟 沈天清

(合肥学院 城市建设与交通学院,合肥 230601)

摘要:自然通风是改善室内热环境的一种有效手段,量化自然通风对室内热环境的改善效果,有助于合理利用自然通风。本文通过建立室内人体舒适温度和室外气温的关系式的方法,结合 China Typical Meteorological Year 2 气象数据库中合肥地区典型年气象参数,对高校教室在四种工况下的 4—10 月份室内过热时数进行计算,并统计自然通风、关窗和机械通风对室内热环境的改善效率百分比。结果表明,长江中下游地区在 6—9 月份有较高的可改善过热时数,自然通风潜能较大。合理组织教室室内通风、减少教室关窗时数并辅助机械通风对改善教室室内热环境成效显著。

关键词:合肥地区;高校教室;自然通风潜能;室内热环境

中图分类号: TU111.19 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2020)01-0091-06

自然通风不仅是一种简单、经济的通风方式,也能有效的降低室内温度、调节室内湿度^[1]。通过合理的组织建筑室内自然通风,可以有效的提高建筑室内热舒适度。但是自然通风效率主要受气候因素影响,不同气候分区的自然通风潜能差别显著。本文以合肥地区为例,就该地区标准年气象参数中的温度、湿度及风速等具体数值,使用人体室内舒适温度计算公式衡量自然通风在过渡季和夏季对教室内热湿环境的调节效率。合肥地处长江中下游,属于我国五大建筑气候分区中典型的“夏热冬冷”地区^[2]。该地区四季分明,夏季闷热、冬季湿冷,当地居民历来具有开窗通风的生活习惯^[3],自然通风不仅可以降低过高的室内温度,同时可以带走室内多余的湿度^[4]。高校教室有别于中小学教室寒暑假教室空置情况,高校教室的使用率更高,使用时间跨度更长^[5]。研究高校教室自然通风潜能不仅可以了解自然通风对节能减排的具体贡献,也为高校教室室内热湿环境控制策略的制定提供理论指导。通过研究过渡季和夏季不同月份(4—10月)通风方式对教室内过热时数的改变规律,分析合肥地区高校教室的自然通风潜能,总结不同月份的热、湿环境特征及有效的通风方式。

1 气象数据选择

教室内的热环境不仅取决于室内的各种电器热源的发热状况及教室内的通风状况,更主要受教室外的气候条件影响。研究教室室外的气候条件是进行教室室内自然通风潜能分析的必要前提。室外气候条件变化非常复杂,作为建筑热环境分析用的某一地区常年气象数据不能选择短期测量结果,应该选取多年累积测量的统计结果更为准确^[6]。我国现阶段用于建筑热环境分析用的气象数据库主要有 3 套(见表 1)。由于研究目的和建筑热环境计算方法的不同,对表征室外气候条件的气象数据要求也随之不同。这三套气象数据库分别代表了不同的数据来源。本研究需要通过分析逐时气象参数来判断自然通风潜能,研究用数据库中关键气象参数应为逐时参数。其中 CSWD 不具有逐时气象参数;DeST 虽然具有逐时数据,但是该数据主要用于建筑能耗模拟分析。ChinaTMY2 数据库不仅具有逐时温度、逐时湿度和逐时风速等全套逐时气象参数,应用范围也更广。因此本研究选取 ChinaTMY2 数据库^[7]中合肥地区典型气象年数据作为分析依据。

收稿日期: 2019-09-08; 修回日期: 2019-12-09

基金项目: 安徽省高等学校自然科学研究项目(KJ2019A0821); 合肥学院科学研究发展基金项目(18ZR02ZDA)

第一作者简介: 李娟(1987—),女,安徽合肥人,讲师,硕士,研究方向为绿色建筑与物理环境研究。E-mail: lijuan9495@163.com

表 1 建筑用气象数据库^[8]
Tab.1 Building meteorological databases^[8]

简称	全称	站台数	观测年限	是否具有相应逐时数据		
				温度	湿度	风速
CSWD	Chinese Standard Weather Data	270	1971—2003	无	无	无
DeST	Designer's Simulation Toolkit	194	最大 50 年	有	有	有
ChinaTMY2	China Typical Meteorological Year 2	360	1995—2005	有	有	有

2 自然通风潜能评价方法

自然通风对室内热环境的改善作用即自然通风潜能,主要体现在对室内温度和湿度的降低作用.长江中下游地区室内热环境的主要问题是高温伴随高湿度,因此自然通风对长江中下游地区的室内热环境的调节效果是显而易见的,但是其调节作用并非无限的.在两种情况下,自然通风潜能体现不足:一种是室内温、湿度较为适宜的情况;另一种是室内温、湿度太高,超出自然通风调节能力的情况.首先要确定自然通风对室内热环境调节的有效阈值,其次通过量化自然通风的降温 and 除湿效果才能对自然通风的潜能进行有效的评价.自然通风情况下,教室室内热环境主要受室外气候影响,通过建立室内热环境与室外气候的关系,有助于评价自然通风潜能.澳大利亚学者 Dedear^[9]于 1985 年提出的“中性温度”,即通过建立室内人体舒适温度和室外气温的关系式,间接反应室内热环境与室外气候的关系.形式如: $T_n = at_0 + b$ 其中 T_n 为中性温度即人体室内舒适温度(°C); t_0 为月平均温度(°C).在此基础上,西安建筑科技大学的茅艳博士研究得出了我国不同气候区的中性温度线性回归方程,其中适用于长江中下游地区的线性回归方程为公式(1)^[10].

$$T_n = 0.326t_0 + 16.862 \quad (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

以中性温度为基点,90%人群可接受温度范围为 $-0.25 \sim 0.25$ °C.自然通风状态下可接受的最高温度为 30 °C.得到自然通风状态下 90%人群可接受最低室内舒适温度为 $T_{n\min}$,最高室内舒适温度为 $T_{n\max}$,计算公式参见公式(2)、(3)^[11].

$$T_{n\min} = T_n - 2.5 \quad (^\circ\text{C}) \quad (2)$$

$$T_{n\max} = T_n + 2.5 \quad (^\circ\text{C}) \quad (3)$$

教室内的通风措施主要有开窗自然通风、使用电扇补偿自然通风以及关闭窗户(关闭窗户的

情况在上课期间较为多见,通常为了减少教室外的噪音干扰)三种工况.在室内中性温度回归方程的基础上,分别量化三种措施对舒适温度的贡献.

当风速在 $0.1 \sim 2.1$ m/s 时,风速对中性温度会有一定的提升.当风速在 $0.1 \sim 2.1$ m/s 时,教室的人体室内舒适温度为 T_v ,计算公式参见公式(3)^[12].

$$T_v = 7 - \frac{50}{4 + 10v^{0.5}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (4)$$

T_v 为风速对中性温度的提升(°C); v 为风速(m/s).建筑室内在自然通风工况下的舒适区上限相对湿度为 70%,在此基础上,相对湿度每增加 10% 相当于环境温度升高 0.4 °C^[13].建筑室内在自然通风工况下,相对湿度大于 70% 对温度的升高为

$$\Delta H = \varphi - 70\% (\varphi \geq 70\%) \quad (-) \quad (5)$$

ΔH 为空气相对湿度超过 70% 的具体数值; φ 为日平均相对湿度.

$$T_h = -0.4 \frac{\Delta H}{10\%} \quad (^\circ\text{C}) \quad (6)$$

T_h 为湿度对中性温度的降低(°C).模型中补偿风速的上限值应考虑人的实际活动以及建筑功能.对于教育建筑来说,可以通过机械辅助通风的方法,将室内风速提高到 $2 \sim 4$ m/s^[14].为衡量机械通风对自然通风的补偿效果,本研究对机械通风对室内风速提高统一设定为 2.1 m/s(对中性温度有效提升的风速阈值中的最高值).则机械通风对中性温度的提升为 T_m (°C).计算方式参照公式(5).

$$T_m = 7 - \frac{50}{4 + 10(v + 2.1)^{0.5}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (7)$$

当教室室外气候条件一定时,不同通风措施对室内温度和湿度的调节,最终可反映为对人体室内舒适温度阈值的提高.自然通风条件下教室的人体室内舒适温度受自然风速和湿度影响,则该条件下最高值应该为 $T_{n\max} + T_v - T_h$; 不开窗条件

下教室的人体室内舒适温度仅受湿度影响, 则该条件下最高值应该为 $T_{nmax} + T_h$; 机械通风条件下教室的人体室内舒适温度受自然风速、机械风速和湿度影响, 该条件下最高值应该为 $T_{nmax} + T_m - T_h$. 分别限定出自然通风、不开窗和机械通风三种措施对室内热环境调节的有效阈值最高值. 三种措施对室内热环境调节的有效阈值最低值均为 T_{nmin} .

3 结果及讨论

依据式 (1) ~ (7) 分别计算无措施、自然通风、关窗和机械通风四种工况下的教室的人体室内舒适温度最高值 T_{nmax} , $T_{nmax} + T_v - T_h$, $T_{nmax} + T_h$ 和 $T_{nmax} + T_m - T_h$, 以及最低值 T_{nmin} . 其中无措施工况即教室室内热环境仅受室外热环境影响. 理论条件下, 该工况下的过热时数是不同通风措施可以改善的潜在过热时数. 可以发现在整个夏季和过渡季, 潜在过热时数较高的月份为 6—9 月份

(图 1), 与长江中下游地区的空调日数较高月份^[15]是吻合的. 在室外空气温度和湿度不高的 4, 5 月份 相较于无措施工况, 仅采取自然通风措施即可有效的提高教室室内人体舒适温度, 使得整个月份均无过热时数. 此时无需使用机械通风补偿(图 1(a)(b)). 另一方面, 即使在上课过程中为了降低噪音干扰而关闭门窗也不会增加全月过热时间数. 在室外温度和湿度较高的 6, 7, 8, 9 月份 相较于无措施工况, 仅采取自然通风措施对教室内人体舒适温度的提高作用有限, 在这几个月份中需要借助机械通风补偿(图 1(c)~(f)). 机械通风的补偿作用在温度较高的情况下也是受限的, 这一情况在 7 月份尤为显著(图 1(d)). 主要原因是 7 月份空气相对湿度较大, 导致教室内人体舒适温度最高值被降低, 过热时数增多. 9 月份因为“秋老虎”的存在, 机械通风的补偿作用同 7 月份一样受限. 10 月份温湿度适宜, 全月无过热时数.

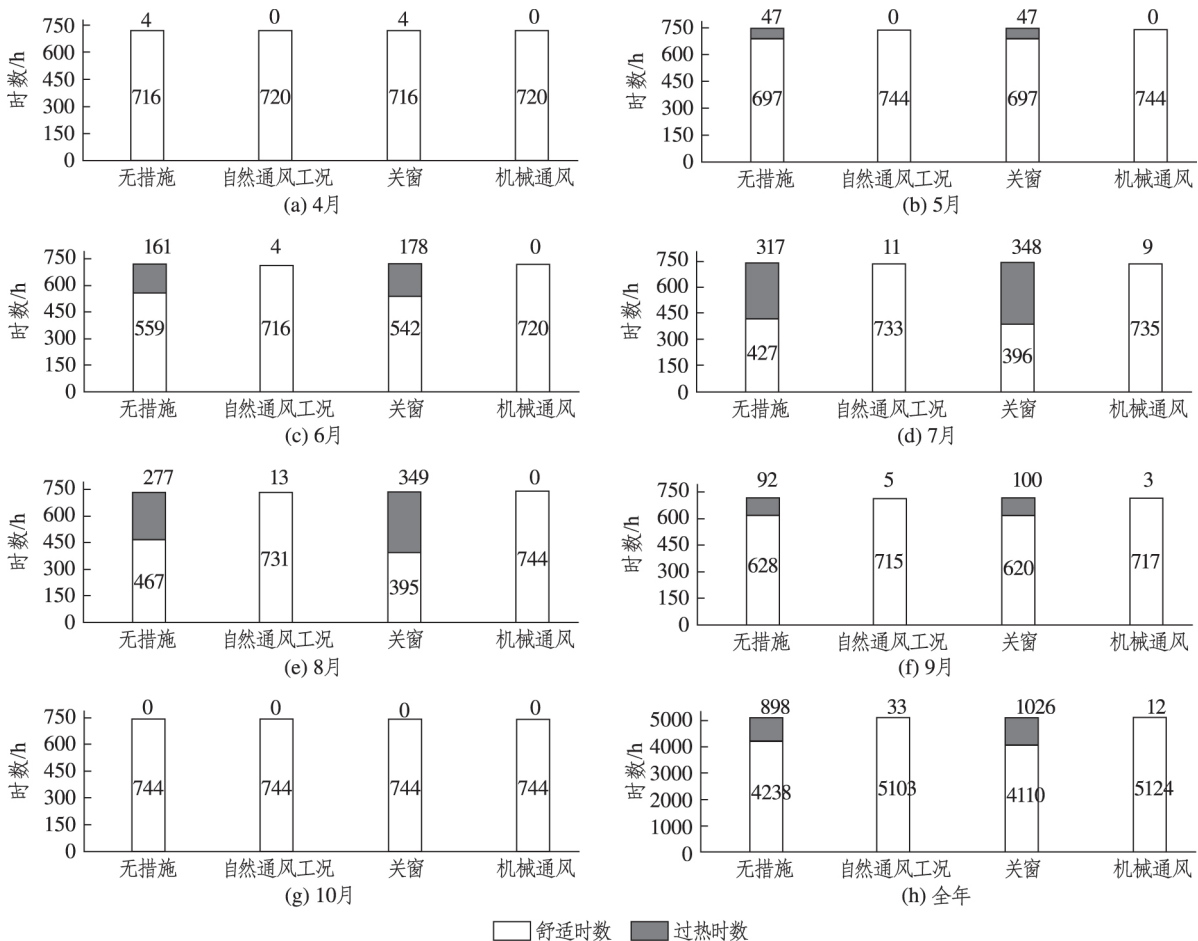


图 1 不同工况下舒适时数占比

Fig.1 Proportions of comfortable hours in different conditions

统计全年夏季和过渡季的无措施工况下的过热时数为 898 h,具有较高的被改善潜能.自然通风和机械通风的改善作用虽然有一定的限制,但是相较于无措施状态,改善效果仍然显著.教室授课过程中,为了避免噪音干扰而采取的关窗措施,在 6—9 月份则显著提高了过热时数.因此在教室建筑设计过程中应该考虑采取有效的隔声降噪措施.

在此基础上进一步计算不同通风措施对教室室内人体舒适温度的贡献效率百分比,即自然通风、关窗、机械通风三种工况对无措施工况下过热时数的改善潜能(结果见图 2).在 4、5 月份不依

赖机械通风的情况下,自然通风潜能为 100%(图 2(a)(b)).在这两个月份,在 6、8、9 月份,自然通风潜能分别为 98%、95%、95%(图 2(c)(e)(f)).通过机械通风辅助措施,可进一步提高至 100%、100%、97%.在温湿度较高的 7 月份,自然通风潜能为 97%,即使采取机械通风辅助措施也并未进一步提供这一比例(图 2(d)).该月份或是自然通风效果受到显著限制,必须采取空调制冷的月份.全年夏季和过渡季关窗措施对室内热环境呈现负贡献效率,数值为-14%(图 2(g)).全年夏季和过渡季的自然通风潜能为 96%,机械通风潜能为 99%(图 2(h)).

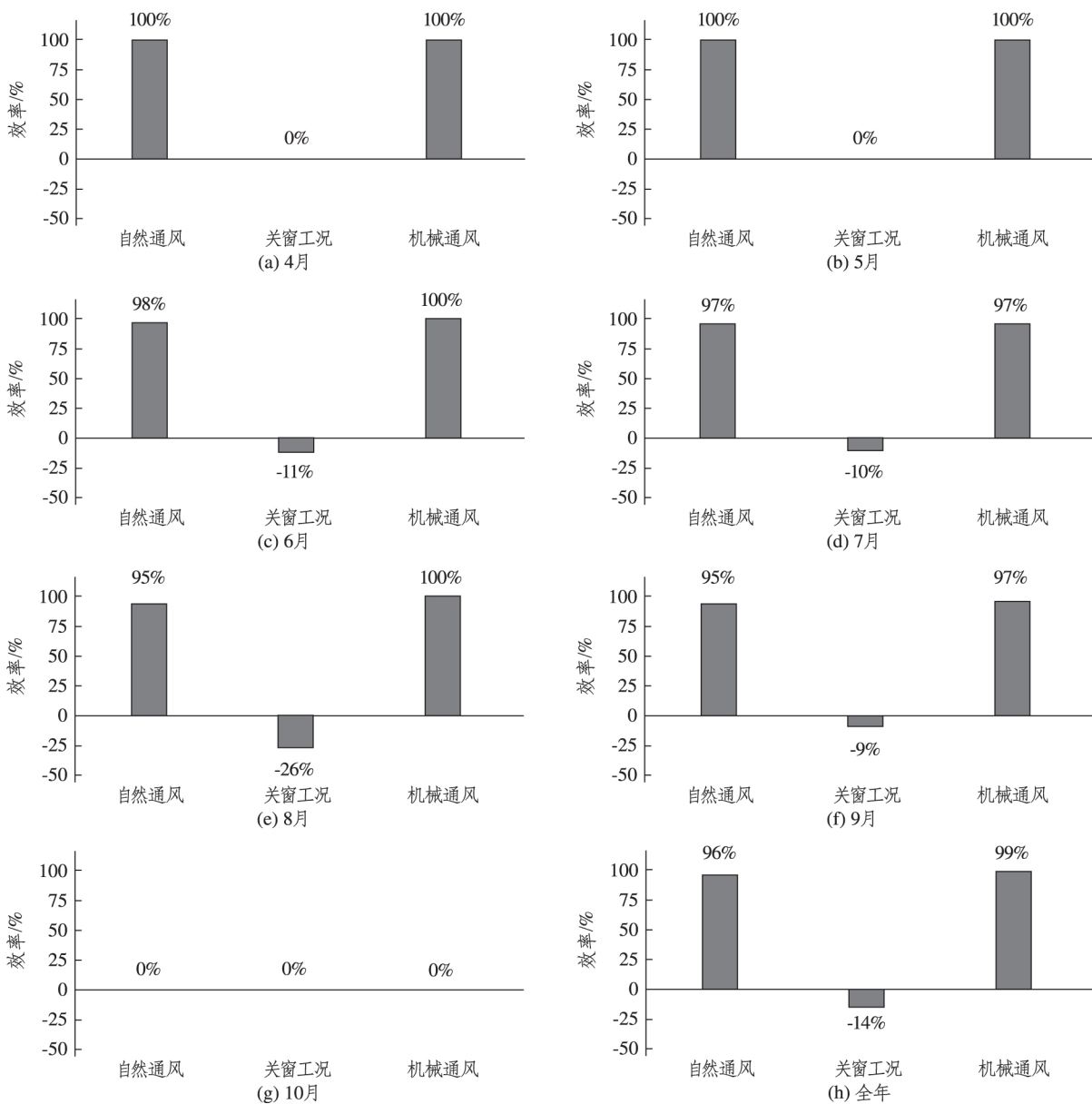


图 2 不同措施贡献效率

Fig.2 Contribution efficiencies of different measures

4 结论

本文结合典型年逐时气象数据,运用人体室内舒适温度计算公式计算了合肥地区4—10月份在四种工况(无措施、自然通风、关窗和机械通风)下的过热时数,通过统计分析夏季及过渡季的过热时数,分析了以合肥地区为代表的长江中下游地区高校教室的自然通风潜能,总结了不同月份的热、湿环境特征及有效的通风方式,并得出以下结论。

1) 长江中下游地区在夏季和过渡季具有较高的自然通风潜能。自然通风潜能较高的时间段主要集中在6—9月份,与长江中下游地区的空调度日数较高月份相吻合。如果在这些月份能够有效提高自然通风效率或辅助使用机械通风,可以达到减少使用空调整冷时间,降低建筑能耗的目的。

2) 长江中下游地区在7月份,由于空气相对湿度较大,教室内人体舒适温度最高值被降低,导致自然通风潜能下降。仅依靠自然通风和机械通风补偿手段改善室内热环境效果受限,应考虑增加其他被动式除湿手段。

3) 在4—7月份中,自然通风和机械通风措施对室内热环境的改善效果均达到了95%以上。关窗措施对室内热环境的改善效果则呈现为负值,即该措施对室内热环境产生负面影响。在建筑设计中若能考虑增设教室隔音降噪措施,较少教室关窗时间数。通过教室建筑平面设计合理组织室内通风并配合使用一定的机械通风措施,可有效改善教室室内热环境。

在选取和处理气象数据过程中,研究用风速数据直接选用了气象站点的实测数据。这一数据相较于教室室内的实际风速是存在一定偏差的。教室室外的实际风速通常受建筑周边的区域环境影响显著,在后续研究中将进一步讨论气象风速数据与教室室外实际风速的具体关系。

参考文献:

[1] 杨玉锦,秦孟昊.夏热冬冷地区室外空气污染对自

然通风节能效果的影响[J].土木建筑与环境工程, 2016(S1): 112-117.

- [2] GB 50176-2016,民用建筑热工设计规范[S].
- [3] 建筑新技术 5[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [4] YOU W,GAO Z,CHEN Z,et al.Improving residential wind environments by understanding the relationship between building arrangements and outdoor regional ventilation[J].Atmosphere,2017,8(6):102.
- [5] 武春峰,周志伟,沈阳,等.自然通风条件下教室内热环境调查分析——以武汉某高校教学楼为例[J].城市建筑,2019,16(1):143-145.
- [6] OLLER P E,RODRÍGUEZ J M A,GONZÁLEZÁ S,et al.Improving the calibration of building simulation with interpolated weather datasets[J].Renewable Energy,2018,122:608-618.
- [7] 张晴原,杨洪兴.建筑用标准气象数据手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [8] 李娟.皖南传统民居气候适应性技术研究[D].合肥:合肥工业大学,2012.
- [9] DEDEAR R J.Validation of the predicted mean vote model of thermal comfort in six Australian field studies[J].ASHRAE Transactions B,1985,91(2):452-468.
- [10] 茅艳.人体热舒适气候适应性研究[D].西安:西安建筑科技大学,2007.
- [11] 田元媛,许为全.热湿环境下人体热反应的实验研究[J].暖通空调,2003,33(4):27-30.
- [12] NICOL F,HUMPHREYS M.Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251[J].Building and Environment,2010,45(1):11-17.
- [13] 嵇赞喆,高屹,王晓杰,等.空气流速对人体热舒适影响的研究[J].兰州大学学报(自然科学版),2003,39(2):95-99.
- [14] 董浩,刘加平,杨柳.西安市居住建筑通风降温时效性分析[J].暖通空调,2017(4):65-67.
- [15] 程海峰,吴军,占霞飞,等.合肥地区采暖与空调度日数分布特征研究[J].安徽建筑大学学报,2016,24(1):49-52.

Natural Ventilation Potential of College Classrooms in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River: Taking Hefei as an Example

LI Juan , SHEN Tianqing

(School of Urban Construction and Transportation ,Hefei University ,Hefei 230601 ,China)

Abstract: Natural ventilation is an effective way to improve indoor thermal environment. The quantification of the improvement effect of natural ventilation on indoor thermal environment is helpful to the rational utilization of natural ventilation. The relationship between indoor human comfort temperature and outdoor air temperature were established in this research. Combined with the China Typical Meteorological Year 2 ,the numbers of indoor overheating hours of university classrooms in Hefei were calculated under four working conditions in 4–10 months. Then ,the percentage of improvement efficiency of natural ventilation ,window closing and mechanical ventilation on indoor thermal environment were counted. The results show that great natural ventilation potential from June to September existed in the middle and lower reaches of the Yangtze River. The indoor thermal environment of the classroom could be improved by reasonably organizing the indoor ventilation ,reducing the closing hours and assisting with mechanical ventilation.

Keywords: Hefei region; university classroom; natural ventilation potential; indoor thermal environment

(责任编辑 李维卫)

(上接第 80 页)

Abstract ID: 1673-8020(2020) 01-0076-EA

Urban Network Structure of Shandong Province Based on the Traffic and Information Flow

HE Xian , DU Chenchang

(Qingdao City Planning and Design Institute ,Qingdao 266071 ,China)

Abstract: Based on Baidu Qianxi and Baidu Index of 16 cities in Shandong Province ,spatial analysis and social network analysis method are used to study the urban spatial connection and network feature and its influencing factors. The results show that traffic connection network shows “H” shaped pattern wholly ,and contiguous cities maintain close contact. Information connection network shows the radiation pattern results from two centers ,meanwhile primary center and sub-center are entirely different. The network structure feature takes Jinan and Qingdao as dual cores. And it suggests that the urban comprehensive development strength ,the urban outward function ,the urban functional orientation have a certain effect on the spatial network of Shandong Province.

Keywords: spatial connection; network structure; Baidu Index; Shandong Province

(责任编辑 李维卫)