

文章编号:1000-582X(2006)02-0086-04

# 城市地面对天空热辐射角系数问题的求解\*

李百战<sup>1</sup>, 罗庆<sup>1</sup>, 姚润明<sup>2</sup>

(1. 重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400030;

2. 英国剑桥大学 马丁建筑与城市研究中心, 英国 剑桥 CB2 2EB)

**摘要:**针对城市地面对天空热辐射角系数问题求解的复杂性,介绍了一种从天空向地面逆向分析的求解方法,即假定天空有均匀分布的光源,每个光源均在地面形成建筑阴影,统计地面任何一点对天空可见光源的数量,并求得与总光源数的比值,以此来代表地面对天空的辐射角系数.该方法克服了周围建筑布局、高度和形状等因素的影响,实现了对任何复杂的建筑区域,能快速地计算出该区域地面对天空的热辐射角系数.通过实例求解,证明了该算法的可靠性.

**关键词:**热辐射角系数;城市热岛;城市热环境

**中图分类号:**TK51

**文献标识码:**A

## 1 研究背景

由于中国城市化进程不断深入,城市建筑物的大量修建,建筑密度逐步加大,这种情况势必减少城市地面对天空的可见范围,从而减少了城市地面对天空的热辐射能力,这是造成城市温度比周边地区的温度高的原因之一<sup>[1-2]</sup>,这对城市夏季散热,特别是夜间降温极为不利,恶化了城市热环境<sup>[3]</sup>.因此,有必要分析城市化过程中城市地面对天空热辐射能力的变化规律,为改善城市热环境提供分析方法.

城市地面对天空的热辐射能力可以用热辐射角系数来反应,它表示了城市地面向半球空间的热辐射量到达天空的比例,如果这个比例越小,说明地面向半球空间的热辐射受周围建筑的影响越大,很大一部分热量辐射到周围建筑,而不能向天空辐射,最终被城市的建筑物等吸收,导致城市温度的升高.要提高城市热环境质量,特别是夏季的夜间降温,就需要加大地面对天空的热辐射能力,因为夜间的天空可以认为是冷辐射面,地面更多的热量可以通过向天空辐射而散发出去.城市地面对天空的热辐射角系数受地面建筑的布局、高度和形状的影响,地面上任何一点的热辐射角系数都各不相同.因此,在考虑地面对天空的辐射角系数

时,可以对周围将要修建的建筑或改造建筑提出相应的要求(调整建筑的位置、高度和形状)来改变所在地面对天空辐射角系数.

角系数算法<sup>[4]</sup>主要有积分法和代数法等,它们的计算对象大都是几何形状规则,空间位置特殊的平面间的辐射角系数.在积分法中,通常解决的问题是2个大小相同且平行的长方形表面间的角系数;微元面对平行于它的长方形表面的角系数;相互垂直且有公共边的两长方形表面间的角系数.在代数法中只能根据表面间的角系数的互换性、完整性和分解性原理,来解决一些简单的情况,例如凸形表面围成的空腔等.由于城市建筑的空间位置和几何形状都是千变万化的,如果要计算城市地面上某点对天空的热辐射角系数,这些算法将面临非常大的困难.因此,介绍了一种从天空向地面逆向的分析方法来计算城市地面对天空的热辐射角系数,并编制了计算机程序.这种计算方法简便、快捷,能够定量评判新建建筑或改造建筑所在区域的地面对天空的辐射角系数.如果需要保证地面某些区域的角系数值在规定值的范围内,可以调整建筑的位置、高度和形状来实现.

\* 收稿日期:2005-10-20

基金项目:国家科技部“十五”攻关资助项目(2003BA8008A15);英国外交部的全球机遇基金资助项目(FCO-2H176K)

作者简介:李百战(1958-),男,湖南邵阳人,重庆大学教授,主要从事建筑环境方面的研究.

## 2 热辐射角系数计算方法

### 2.1 理论

从热辐射理论知道:微元面积  $dF_1$ , 向半球空间的热辐射能量投落到  $F_2$  表面上的百分数, 可以用角系数  $\varphi_{dF_1, F_2}$  来表示<sup>[4]</sup>:

$$\varphi_{dF_1, F_2} = \int_{F_2} \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2}{\pi r^2} dF_2, \quad (1)$$

其中,  $r$  为  $dF_1$  与  $dF_2$  之间的距离;  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  分别为  $dF_1$ 、 $dF_2$  的法线与连线  $r$  间的夹角。

地面上某微元面积  $dF_1$ , 如果受周围建筑的影响, 则投落到天空的热辐射量与向半球空间的热辐射量的百分数可以表示为:

$$\varphi_{dF_1, sky} = \int_{sky} \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2}{\pi r^2} dF_2, \quad (2)$$

式(2)表示的就是地面微元面积  $dF_1$  向天空辐射角系数的理论表达式。

### 2.2 算法

图1是地面某点A受周围建筑影响后对天空的辐射范围的示意图, 如果没有周围建筑的影响, 那么A点对天空的视角是一个规则的半球面, 它的边界是存在于地平面上的一个圆, 它的圆心就是A点. 采用传统算法很容易知道, A点对天空的热辐射角系数为1. 由于周围建筑的对天空的遮挡, A点对天空的热辐射角系数将会变小, 具体的变化情况, 由A点周围建筑具体的布局、高度和形状情况来决定. 但是, 不论周围建筑情况怎样, 由于它们对天空的遮挡, 这些建筑的外轮廓边界线构成了A点对天空视角的新边界线, 此时的边界线已经完全没有规则, 传统方法难以求解. 怎样求解到A点对天空的热辐射角系数, 是所要解决问题的关键所在<sup>[5-7]</sup>.

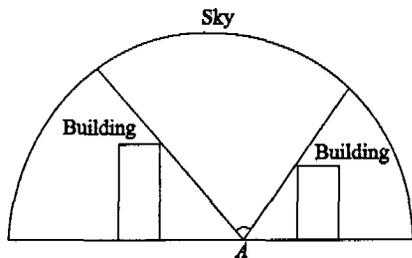


图1 地面A点受周围建筑影响后对天空的视角

假设天空上有许多的光源, 这些光源都均匀地分布在半球空间上, 每个光源所在位置都代表天空的一部分, 这样将天空划分为与光源个数相同的均匀单元面. 这些光源都能发射出平行光线, 而且每个光源都可以在地面上形成建筑阴影. 当分析天空中某个光源在地面形成阴影时, 就可以分析出此时周围建筑在A点

是否形成阴影, 如果形成阴影, 则A点对天空的热辐射不能达到这部分天空; 反之, 如果A点周围的建筑群中没有建筑在A点形成阴影, 则此时A点对天空的热辐射能够达到这部分天空. 如此循环计算, 最后对整个天空的光源在A点形成阴影的情况进行统计分析, 找出所有在A点不能形成阴影的光源个数, 然后与整个天空的光源个数相比, 这个比值就近似认为是A点对天空热辐射角系数。

采用从天空向地面逆向的分析方法, 有效地克服了地面建筑影响的复杂性, 因为在计算地面建筑阴影时, 建筑的布局、高度和形状因素都一起反应在是否能在A点形成阴影. 由于每次分析建筑阴影时, 是对整个地面区域进行分析, 所以在一次计算中可以求得地面上所有点的热辐射角系数值。

## 3 计算结果

### 3.1 算法验证

为了证明该算法的正确性, 将该算法的计算结果与理论值进行了比较, 并采用了一个建筑群进行实例分析(图2). 图2中建筑的基本情况是: 地面区域为  $160\text{ m} \times 160\text{ m}$ , 1#建筑高度为  $8.6\text{ m}$ , 2#建筑高度为  $4.5\text{ m}$ , 3#建筑高度为  $12.8\text{ m}$ , 4#建筑高度为  $21\text{ m}$ , 5#建筑高度为  $14.5\text{ m}$ , 6#建筑高度为  $11.2\text{ m}$ . 通过计算, 地面对天空的热辐射角系数的数值很清晰地表示在图像中, 而且可以查找任意地点的数值. 从图2中看出: 在建筑密集区域, 热辐射角系数明显减小, 而远离建筑区域和建筑的屋顶, 角系数可以接近1, 即基本不受建筑的影响. 考虑到理论值的计算难度, 选择的比较位置, 是能够方便理论值求解的位置, 文中采用与4#建筑的北面墙体相接触的地面位置的角系数进行比较。

比较时采用的天空光源为500个, 此时分析地点的角系数计算值为0.47, 理论值为0.5, 计算误差为6%, 可以满足实际应用的要求。

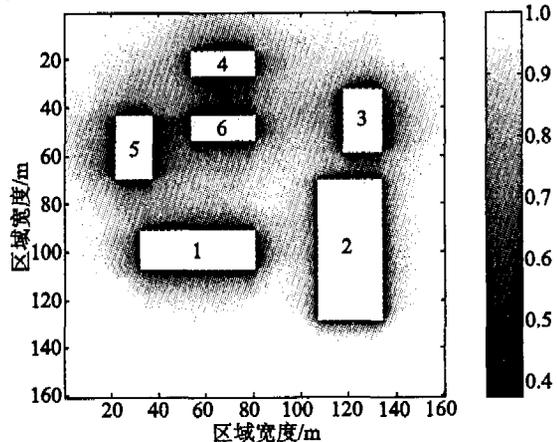


图2 地面对天空的辐射角系数分布(500个光源)

### 3.2 天空划分对角系数的影响

图2、图3中分别列出了500个光源和200个光源时地面热辐射角系数的分布图像,第1种情况相当于将天空划分为500份,第2种情况把天空划分为200份.图2、图3中明显看出,前者由于天空划分更细,热辐射角系数的图像分布也要细致得多,即辐射角系数的值分布更加连续.

采用与4#建筑的北面墙体相接触的地面角系数进行分析:200个光源时计算值为0.46,500个光源时计算值为0.47(理论值为0.5),可以证实:光源数越多(即天空划分越细),角系数计算值越接近理论值.

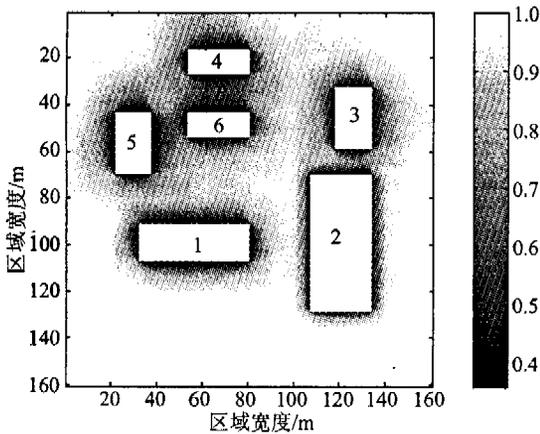


图3 地面对天空的辐射角系数分布(200个光源)

## 4 算法实际运用

通过分析,该算法可以便捷地解决地面对天空的辐射角系数计算问题,但是怎样才能将这个算法应用到实际的建筑设计过程,体现它的实用价值.为此,应用这种方法进行参数分析研究(Parametric Study).分别分析了建筑位置、高度和外形这3个参数对角系数的影响,这对建筑规划设计和城市热环境研究有重要意义.

### 4.1 建筑高度变化的影响

仍然采用上面的算例,辐射角系数分析位置选取4#和6#建筑之间,且距离分析区域上边缘和左边缘分别为37.3 m和64.0 m的B点.天空模型采用500个光源,原有建筑情况(图2)中的B点位置的角系数为0.544.

将6#建筑的高度由原来的11.2 m变为4.5 m,此时B点的角系数为0.682(图4).由此可见,由于B点附近建筑高度的降低,可以增大角系数值,即向天空的辐射面增大.

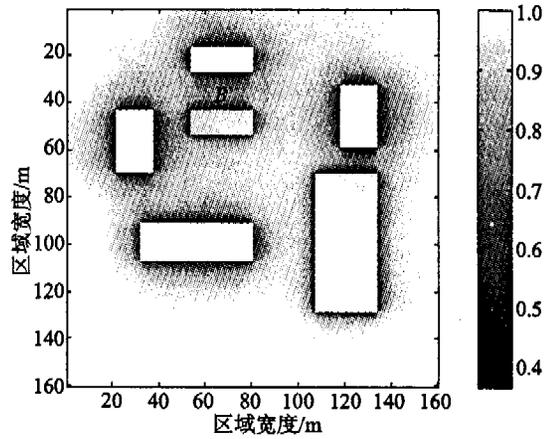


图4 6#建筑的高度改变后的辐射角系数分布

### 4.2 建筑间距变化的影响

将6#建筑向右水平平移10.7 m,此时B点的角系数为0.63(图5).同样可以看出:由于6#建筑位置的移动,减少了对B点遮挡,角系数也得到增大.

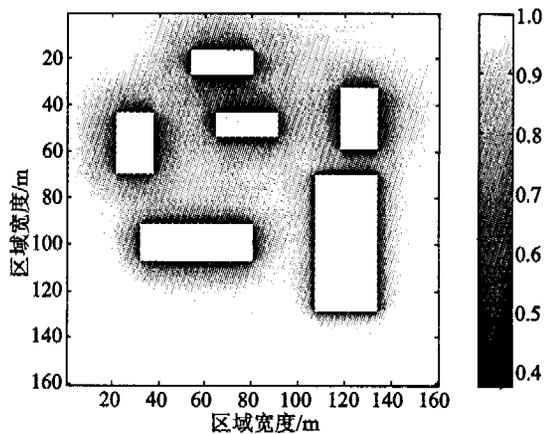


图5 6#建筑的位置改变后的辐射角系数分布

### 4.3 建筑外形的影响

将6#建筑的宽度向右缩减一半,此时B点的角系数为0.65(图6).通过对6#建筑外形的改变,实现了B点角系数的增大.

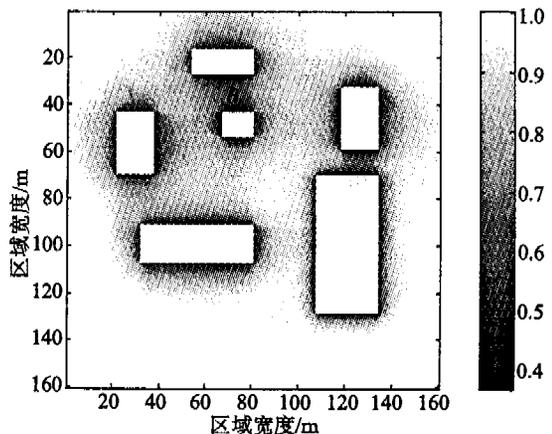


图6 6#建筑外形改变后的辐射角系数分布

从分析可以看出,要提高  $B$  点的辐射角系数,也就是要提高  $B$  点向天空的热辐射能力,通过对  $B$  点周围的建筑的调整是可以实现的.

## 5 结 论

介绍了一种从天空向地面逆向分析求解地面对天空热辐射角系数的算法. 该算法能够快捷地计算建筑区域内地面对天空热辐射角系数,从而判断该区域地面对天空辐射散热的能力,为合理规划城市热环境提供了有力工具.

### 参考文献:

- [1] TAHA H. Urban Climate and Heat Islands: Albedo, Evapotranspiration and Anthropogenic Heat [J]. Energy and Buildings, 1997, 25(12): 99-103.
- [2] OJIMA T. Changing Tokyo Metropolitan Area and its Heat Island Model [J]. Energy and Buildings, 1991, 15(16): 191-203.
- [3] 李百战. 建筑环境科学研究动态与简介[J]. 制冷空调与电力机械, 2004, (1): 1-3.
- [4] 章熙民,任泽霁. 传热学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [5] 姚润明, KOEN STEEMERS, NICK BAKER, 等. 能效建筑规划设计方法[J]. 建筑学报, 2004, (8): 62-64.
- [6] CARLO RATTI, DARREN ROBINSON. LT Urban, The Energy Modeling of Urban Form[Z]. Proceeding of PLEA 2000, Cambridge University, UK, 2000.
- [7] PAUL RICHENS. Image Processing For Urban Scale Environmental Modeling[Z]. Proceedings of the Building Simulation'97, Prague, Czech Republic, 1997.

## Solution on Configuration Factor from Ground to Sky

LI Bai-zhan<sup>1</sup>, LUO Qing<sup>1</sup>, YAO Run-ming<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-environment Under the State Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Martin Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge, Cambridge CB2 2EB, UK)

**Abstract:** Solution on configuration factor from ground to sky is introduced. The method is based on the converse analysis from sky to ground assuming that light sources are distributed in sky and each light source forms shadow. The ratio between lights sources that can be seen and total light sources is the configuration factor. The solution overcomes the complexity of building arrangement, height and form etc., and can be used to solve the configuration factor in any complicated architectural complex. It has been proved valid through the example solution.

**Key words:** configuration factor; heat island; city thermal environment

(编辑 姚 飞)