



生态城乡与绿色建筑研究丛书
湖北省学术著作出版专项资金资助项目
国家自然科学基金面上项目(51778251)
李保峰 主编

Development and Application of Optimal Design Method
for Urban Micro-climate

街区室外微气候优化设计 方法开发与应用

陈宏 著



非外借



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



生态城乡与绿色建筑研究丛书
湖北省学术著作出版专项资金资助项目
国家自然科学基金面上项目(51778251)

李保峰 主编

陈宏 副主编/刘小虎 执行主编

Development and Application of Optimal Design Method
for Urban Micro-climate

街区室外微气候优化设计 方法开发与应用

陈 宏 著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

街区室外微气候优化设计方法开发与应用/陈宏著. —武汉:华中科技大学出版社,
2021.12

(生态城乡与绿色建筑研究丛书)

ISBN 978-7-5680-5768-4

I. ①街… II. ①陈… III. ①城市-居住区-微气候-研究 IV. ①P463.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 259856 号

街区室外微气候优化设计方法开发与应用

陈 宏 著

Jiequ Shiwai Weiqihou Youhua Sheji Fangfa Kaifa yu Yingyong

策划编辑:易彩萍

责任编辑:陈 忠

封面设计:王 娜

责任校对:李 弋

责任监印:朱 玟

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北金港彩印有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:12.5

字 数:198千字

版 次:2021年12月第1版第1次印刷

定 价:158.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

本书得到以下基金项目支持：

滨水街区空间形态与江河风渗透之“量”“效”关联性研究——以长江中下游城市为例（国家自然科学基金面上项目，项目编号：51778251）。

作者简介 | About the Authors

陈宏

2004年获日本东京大学建筑学专业工学博士学位,现任华中科技大学建筑与城市规划学院教授,博士生导师。

目前兼任中国绿色建筑与节能委员会委员、住房和城乡建设部绿色建筑评价标识专家委员会委员、中国建筑学会健康人居学术委员会理事、湖北省土木建筑学会理事、湖北省土木建筑学会绿色建筑与节能专业委员会副主任委员。长期致力于绿色建筑设计、气候适应性城市与建筑设计、健康社区与建筑设计、低碳建筑设计等方面的研究与设计实践。

前 言

近年来,伴随着人居环境的恶化,绿色建筑的发展受到广泛重视。我国更是将原来的“实用、经济、美观”六字建筑方针,调整为“实用、经济、绿色、美观”八字建筑方针,并在国家的“十三五”规划与“十四五”规划中明确了绿色建筑的发展目标。目前在我国提出的碳达峰、碳中和目标实现过程中,绿色建筑由于其节约资源及保护环境的特点,在建筑行业内将起到非常重要的作用。与传统的建筑设计不同,绿色建筑设计对于建筑的环境性能更加关注,在建筑设计时需要对设计作品的环境性能进行数值模拟与评价,因此,目前对于绿色建筑设计有了“性能目标导向的建筑设计”的提法。

街区室外微气候是街区环境性能的构成要素。在街区规划与建筑设计过程中分析建筑对微气候的影响,微气候数值模拟是常用的技术手段。但是在实际应用中,微气候数值模拟的作用还仅停留在环境性能评价手段的层面,无法真正实现以建筑环境性能作为设计目标进行最优化设计。本书提出的街区室外微气候最优化设计方法,在街区室外微气候模拟方法的基础上,采用遗传算法构建最优化设计平台,实现了模拟结果的自动反馈与最优化搜索,为利用计算机技术进行最优化设计提供了一条实现途径。

本书中的部分核心章节源于笔者在2004年于东京大学建筑学专业毕业时的博士学位论文。该论文的主要内容属于世界街区室外微气候领域最早开展遗传算法与最优化设计的研究之一。从最初多数人对最优化与遗传算法的不理解,到遗传算法在研究中成为热门工具,再到目前遗传算法与参数化设计结合进行最优化设计在实际工程中的应用,前后也不过十几年的时间。在笔者看来,最优化设计如此快速的发展,既得益于计算机行业的飞速发展及计算能力的迅速提高,也得益于在实际应用中对于提高建筑环境性能的巨大需求。

本书是有关街区室外微气候模拟方法与最优化设计的入门类书籍。近



年来,将数学中的各种优化算法应用于建筑环境性能优化的研究受到广泛关注,尤其是随着参数化设计平台以及各种开源应用插件的传播与普及,基于参数化平台进行建筑环境性能优化的研究成果大量涌现。基于优化算法与参数化平台的建筑环境最优化工具在研究与工程应用领域都开始被广泛接受。但是,对于优化算法选用与优化设计平台的构建,特别是在多目标优化概念与 Pareto 解集合的应用上存在许多困境。因此,我们认为很有必要面向科研人员、广大学生,以及国内一线的设计和工程技术人员较为系统地介绍遗传算法与多目标优化的基础知识、最优化平台构建方法、参数化软件平台与相关工具。鉴于此,在本书的内容设置上,我们注重系统性、应用性及可操作性,衷心希望本书能为包括建筑师、工程师在内的建筑行业的从业人员,以及广大学生的工作与学习带来一定的帮助。另外,本书也可以作为研究生在相关课程学习中的教材。

本书的部分章节源于作者的已毕业研究生陈辛红与张倩同学(现任中南建筑设计院建筑师)的硕士学位论文,在此对二位同学表示感谢。本书策划与出版过程得到了华中科技大学出版社的大力支持,在此深表感谢。

由于最优化问题与参数化涉及范围广泛,我们的理论与知识水平有限,成书时间较为仓促,书中难免存在缺漏及欠妥之处,敬请广大读者批评指正,以便在本书再版时进一步更新与完善。联系邮箱: chhwh@ hust. edu. cn。

陈宏

2021 年 10 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 研究背景	(1)
第二节 本书的构成	(4)
第二章 基于对流辐射耦合模拟的街区室外微气候评价方法	(5)
第一节 概述	(5)
第二节 街区室外微气候模拟与评价方法	(6)
第三节 居住区夏季室外微气候的模拟及精度验证	(11)
第四节 建筑表皮绿化的室外微气候调节效果分析	(31)
第五节 本章总结	(39)
第三章 基于遗传算法与对流辐射耦合模拟的室外微气候最优化设计方法	(41)
第一节 概述	(41)
第二节 街区室外微气候优化设计方法	(42)
第三节 基于遗传算法的最优化设计	(45)
第四节 本章总结	(57)
第四章 多目标最优化与决策	(59)
第一节 概述	(59)
第二节 多目标最优化与多目标最优解的概念	(59)
第三节 决策问题	(65)
第四节 本章总结	(69)
第五章 街区室外微气候优化设计案例:从单目标优化到多目标优化	(71)
第一节 概述	(71)
第二节 树木的最优配置与街区室外微气候优化	(72)



第三节	建筑群的最优布局与街区室外微气候优化	(83)
第四节	架空层的最优布局与街区室外微气候优化	(93)
第五节	多目标优化视角下的树木最优配置问题	(102)
第六节	本章总结	(109)
第六章	江风渗透能力与街道轮廓形态优化	(111)
第一节	概述	(111)
第二节	基于 Grasshopper 的参数化优化设计平台	(111)
第三节	滨江居住街区街道轮廓形态分析	(114)
第四节	试验设计	(117)
第五节	提升江风渗透能力的街道轮廓形态优化设计	(128)
第六节	本章总结	(144)
第七章	基于机器学习的居住区风环境优化	(146)
第一节	概述	(146)
第二节	基于参数化的居住区风环境优化设计模型构建	(146)
第三节	多目标优化结果与分析	(163)
第四节	机器学习方法与住宅区风环境预测	(174)
第五节	本章总结	(188)

第一章 绪 论

第一节 研究背景

最近几年,东京等世界各大城市的天气变得越来越热。

据报道,全球温室效应导致年平均气温不断升高,近 100 年上升了 0.6 °C。事实上,在日本,东京城市中心的气温以比温室效应更快的速度上升,东京的年平均气温大约上升了 3 °C。另外,东京城市中心与周边地区的日最低气温都在上升,且东京城市中心气温的上升速度比周边地区更快。如图 1.1 所示,从东京城市中心和熊谷、宇都宫、横滨以及铫子的气温对比来看,周边地区气温上升 2 °C 左右,东京城市中心气温的上升速度是周边地区的 2 倍。而且,由此引发的一系列大气污染等环境问题更加严峻。另外,不仅仅是日本,世界上很多国家的城市也都出现温暖化现象,特别是大城市的气温都在升高。

我国同样存在上述大城市的温暖化问题。例如,我国的夏热冬冷地区涉及 16 个省、直辖市、自治区,具有地域广、人口多、经济发展迅速的特点,在国内的经济发展中占有较大的比重。近年来随着经济的快速发展,城市化进程急剧加快,导致城市的温暖化现象加剧,进一步突显了诸如城市与建筑热环境恶化、能源消耗剧增等一系列环境与社会问题。

城市温暖化的主要原因包括:随着城市化不断推进,覆盖在地表的人为建造的东西不断增多,导致绿地面积不断减少,水面不断下降,城市能源消费量增大,出现“城市热岛现象”;热岛现象导致大城市气温升高,特别是在夏天,城市中不断出现盛夏、夜晚闷热的现象,发生集中暴雨以及大气污染等环境问题。

在这样的背景下,城市热岛现象成为学术界及建设行业关注的热点问题

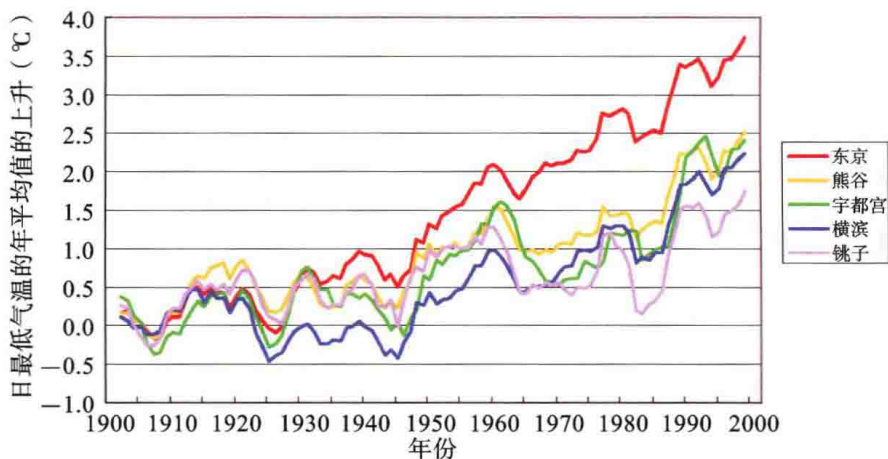


图 1.1 东京和周边地区的日最低气温的年平均变化

(以 1900 年至 1909 年 10 年间的平均值为基准, 图中表示上升的部分)

题。自 20 世纪以来, 建筑师、城市规划师和气象学家一直关注着建筑物与周围环境之间的关系。建筑师认为周围环境主要取决于建筑规模, 城市规划师研究了城市形态对建筑物的能源使用与热舒适性的影响, 气象学家则对城市化带来的气候变化很感兴趣。从 20 世纪 60 年代开始, 建筑师意识到仅将注意力集中在单个建筑物上是不够的, 需要将分析范围扩大到街区与城市。

街区空间作为人们进行室外公共活动交往的重要场所之一, 与人们的生活活动紧密相关。近年来国内外对街区空间的品质以及人们在街区空间中的活动与体验等方面的关注越来越多。传统的街区规划与建筑设计多数是根据设计者的经验确定街区环境的构成要素(例如建筑的体型、建筑群的布局、绿化配置等), 其落脚点更多集中在空间形态设计方面, 主要以定性设计为主, 定量设计为辅。但是从街区室外微气候的角度出发关注设计策略的研究还相对较少。

尽管伴随着计算机的计算能力大幅提升, 通过建筑室内外风环境、街区与建筑微气候的数值模拟, 获取详细的建筑、街区外部空间的流场、温度场、辐射场、湿度场, 从而“量化”地进行街区与建筑室内外微气候的综合评价已经成为设计过程中可以选择的技术手段。但是这样的技术手段主要用于在规划与设计过程中进行微气候环境评价, 还远达不到作为最优化设计方



法进行开发与应用的层面。

街区微气候最优化设计,尤其是夏热冬冷地区的街区微气候最优化设计成为一个复杂的最优化问题主要是基于以下三点原因。

①目前的研究表明建筑的空间组合、绿化布置等环境构成要素的组合方式对于建筑热环境具有重要影响。通过对环境构成要素的优化组合来改善街区及建筑热环境是一种十分有效的手段。

②夏热冬冷地区气候变化极端,具有两种相反的气候特征。设计时需要同时兼顾两种不同的气候特征。建筑环境的热舒适性与节能成为突出的矛盾,需要通过多目标优化与多目标决策来寻找适当的平衡点。

③建筑热环境设计不仅是建筑热工学领域的课题,还涉及建筑设计、城市设计等多个相关领域。

最优化设计的相关研究已经得到广泛运用,产生了巨大的经济与社会效益。对于夏热冬冷地区微气候最优化设计这样的复杂多目标优化问题,采用多目标优化的方法进行最优化设计是非常必要的。在多目标最优化问题中,当需同时考虑的多个设计目标存在折中关系时,其最优解不是唯一解,而是成为 Pareto 最优解集合,决策者(设计者)可以从中选择使(或者满足)自身效率最大化的最优解(设计参数的组合)。对环境构成要素进行优化组合来改善街区及建筑微气候,对于提高资源的利用效率、有效地提高环境品质具有十分重要的现实意义。

近年来,随着对设计方式与相关技术层面的探索,参数化设计引起了设计师们的广泛关注。参数化设计不再单纯地关注于设计的结果,同时还聚焦于设计的过程,其改变传统的以建筑图纸和实体模型为基础调整模型的方式,通过对设计中相关参数的控制来改变设计结果,因此参数化设计在设计过程中不仅可以对设计参数的初始值进行修改,同时还能维护这些变量之间的相互关系。由于参数化设计本身具有非线性和复杂性的特点,设计者在运用参数化理念进行设计时,不仅能专注于对形态的探索,也可将生态和舒适性的理念引入设计体系,从而形成一套更科学严谨且可持续的设计体系。另一方面,最近将机器学习(machine learning)的方法与参数化设计结合进行环境的物理性能驱动的参数化设计也受到了学术界的广泛关注。

例如,使用机器学习方法可以为街区风环境建立预测模型,对风环境进行优化设计,从而提高优化设计的效率。机器学习是人工智能的一个分支,它结合了一些数学算法,使系统无须明确编程即可自动学习并取得改进。目前机器学习方法已广泛应用于众多领域,例如医疗保健、公共交通和智慧城市等。

第二节 本书的构成

本书由七个章节构成。除本章外,主体部分主要分为三个部分。

第一部分:第二~四章为基础理论部分,介绍了基于对流辐射耦合模拟的街区室外微气候评价方法、基于遗传算法与对流辐射耦合模拟的室外微气候最优化设计方法,以及多目标最优化设计与决策等方面的基本知识。

第二部分:第五章为案例分析部分,通过4个案例,利用对流辐射耦合模拟方法及遗传算法,从单目标最优化到多目标最优化等不同角度介绍了行道树最优配置、建筑群最优布局,以及架空层的最优配置等街区微气候最优化设计的具体应用。

第三部分:第六~七章为参数化设计部分,通过2个案例分别介绍了滨江街区基于江风渗透的参数化设计,以及基于机器学习的居住区风环境优化等内容。

第二章 基于对流辐射耦合模拟的 街区室外微气候评价方法

第一节 概 述

街区空间微气候研究是城市室外环境研究的重要组成部分,它以室外空气及辐射、建筑及表皮、地面及植被、人工排热等为对象,研究空气温度、空气湿度、下垫面的表面温度、太阳辐射、气流速度等气候参数。根据不同的研究目的,又可以从不同的角度对城市街区空间微气候进行研究。从理论上说,室外微气候自身的特点决定了微气候环境不只受到单体建筑本身的影响,还受到周围建筑和环境的影响。因此,实际意义上的室外热环境研究的对象应该是建筑群及其附属构件,只有在建筑群中才能体现室外热环境的各种影响因素。

为了提出针对街区空间微气候的有效营造策略,需要了解街区尺度下的微气候的组成及影响要素的基础知识。因此,作为基础理论部分,首先,本章将简要介绍街区微气候的研究内容和组成要素,包括微气候组成要素和环境组成要素。其次,本章将介绍适用于街区微气候的几种常用热舒适性评价指标,包括单一指标和复合指标,并介绍各种指标的优缺点及在街区微气候中的适用范围。最后,本章将对城市中常见的两种建筑形式——点式建筑和板式建筑形成的理想街区进行分析,并利用室外热环境影响度指标对街区微环境进行分析,找出不同街区形态下各影响因子对微环境的作用程度。

本章介绍的微气候评价指标、影响因子将作为后续章节的基础内容。本书将基于此展开分析,提出改善室外热环境的城市设计策略。

第二节 街区室外微气候模拟与评价方法

一、街区室外微气候模拟与评价流程

本书提出了一种基于非稳态分析的耦合模拟方法,采用三维流体分析、三维辐射分析和一维热传导分析^[1]。书中使用的室外微气候模拟与评价方法如图 2.1 所示。首先,根据输入条件建立边界条件。其次,基于蒙特卡罗方法进行三维辐射计算。再次,通过求解非稳态一维热传导方程,计算地面或建筑墙壁内部的温度分布。然后,通过对辐射-热传导计算获取地面和建筑外墙的表面温度分布,并且以表面温度多位边界条件进行对流与水蒸气输送数值模拟,获得风速、空气温度、湿度和 MRT(平均辐射温度)的空间分布。最后,通过假设人体着装量和代谢量,计算人体热舒适指标 SET*^{[2][3]}的空间分布。

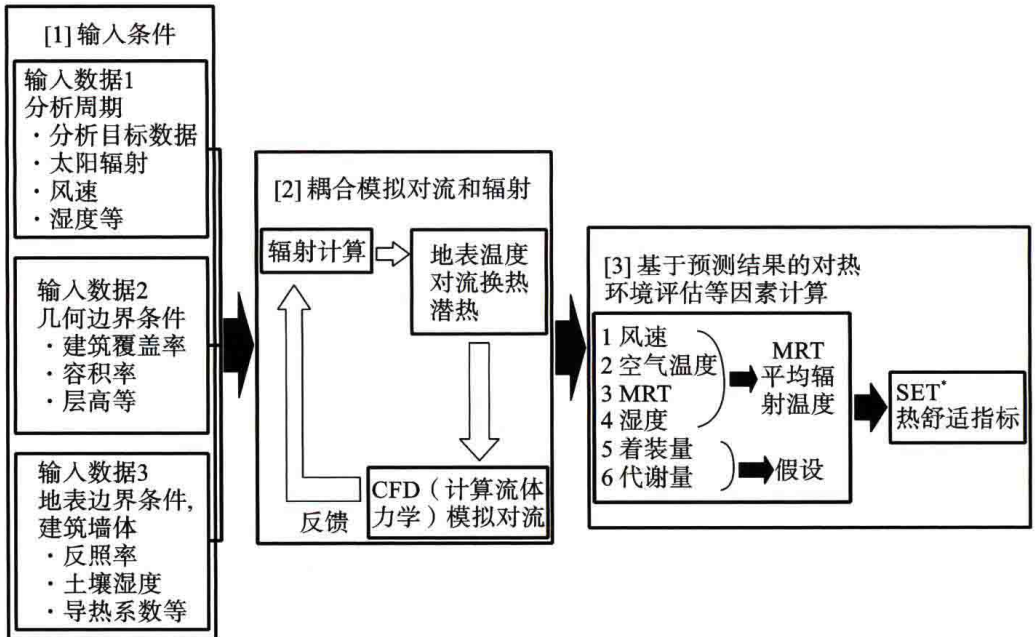


图 2.1 室外微气候模拟与评价方法



二、街区室外微气候模拟的数值模型

1. 辐射模拟

(1) 基于蒙特卡罗方法计算形态因子

室外坐标系如图 2.2 所示。本书采用蒙特卡罗方法来计算形态因子。在蒙特卡罗方法中,如果从空间中的网格 i 中发出的辐射束总数为 $N_{i\text{total}}$,并假设到达网格 j 的辐射束为 N_{ij} ,则形态因子 F_{ij} 由式(2.1)定义。

$$F_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{i\text{total}}} \quad (2.1)$$

(2) 地面及建筑外表面热平衡计算

本书采用式(2.2)定义的热平衡方程计算地表面和建筑外表面的热平衡(图 2.3)。式(2.2)左边的正值表示热量流入网格 i ,负值表示流出。根据热平衡方程,利用辐射传导计算得到地表面及建筑外表面各点的表面温度 T_i 。

$$S_i + R_i + H_i + C_i + L \cdot E_i = 0 \quad (2.2)$$

式(2.2)中各项物理量(S_i 、 R_i 、 H_i 、 C_i 、 $L \cdot E_i$)的计算方程如下。

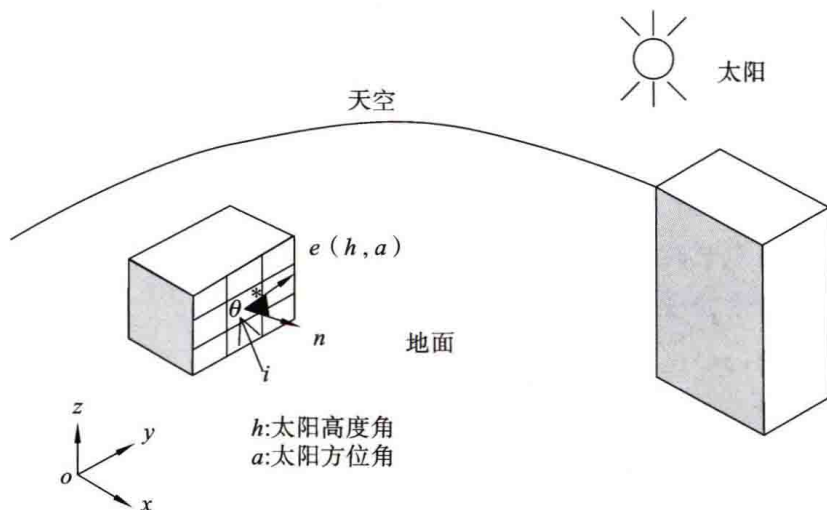


图 2.2 室外坐标系

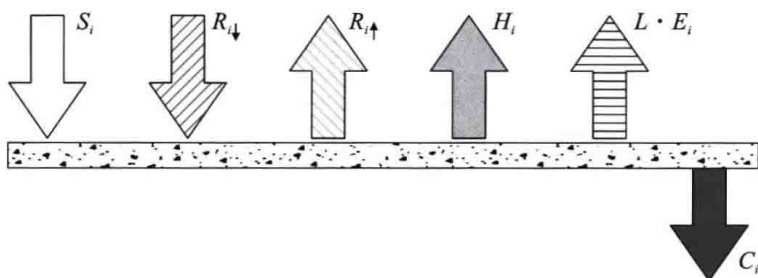


图 2.3 计算表面温度的相关物理量

① 网格 i 吸收的太阳辐射量 S_i 。

$$S_i = \alpha_i (E_{Di} + E_{Si}) + \sum_{j=1}^n B_{ij} (1 - \alpha_j) (E_{Dj} + E_{Sj}) \quad (2.3)$$

其中, 网格 i 获得的直达太阳辐射量为

$$E_{Di} = A_i \beta_i I_N \cos \theta^* \quad (2.4)$$

网格 i 获得的天空太阳辐射量为

$$E_{Si} = A_i F_{iS} I_{SH} \quad (2.5)$$

式中: B_{ij} 为太阳辐射的 Gebhart's 吸收系数; β_i 为网格 i 的天空率; α_i 为网格 i 的太阳辐射吸收率; A_i 为网格 i 的面积; I_N 为法线面的直达太阳辐射量; I_{SH} 为水平面天空太阳辐射量; θ^* 为太阳天顶角。

② 网格 i 吸收的长波辐射量 R_i 。

$$R_i = R_{i\downarrow} - R_{i\uparrow} = \sum_{j=1}^n B_{ij} (\epsilon_j A_j \sigma T_j^4) - \epsilon_i A_i \sigma T_i^4 \quad (2.6)$$

式中: B_{ij} 为太阳辐射的 Gebhart's 吸收系数; T_i 为网格 i 的表面温度; ϵ_i 为网格 i 的长波辐射吸收率。

③ 网格 i 的对流传热量 H_i 。

$$H_i = A_i \alpha_c (T_{ai} - T_i) \quad (2.7)$$

式中: T_{ai} 为邻近壁面 i 区域的空气温度; α_c 为对流传热系数。

④ 网格 i 的热传导量 C_i 。

$$C_i = -A_i \lambda \frac{(T_i - T_{bi})}{\Delta z} \quad (2.8)$$

式中: λ 为建筑外墙材料或地面的导热系数; T_{bi} 为建筑外墙内表面或深度 Δz 处的地下温度, 通过计算固体中的瞬态热传导获得。