

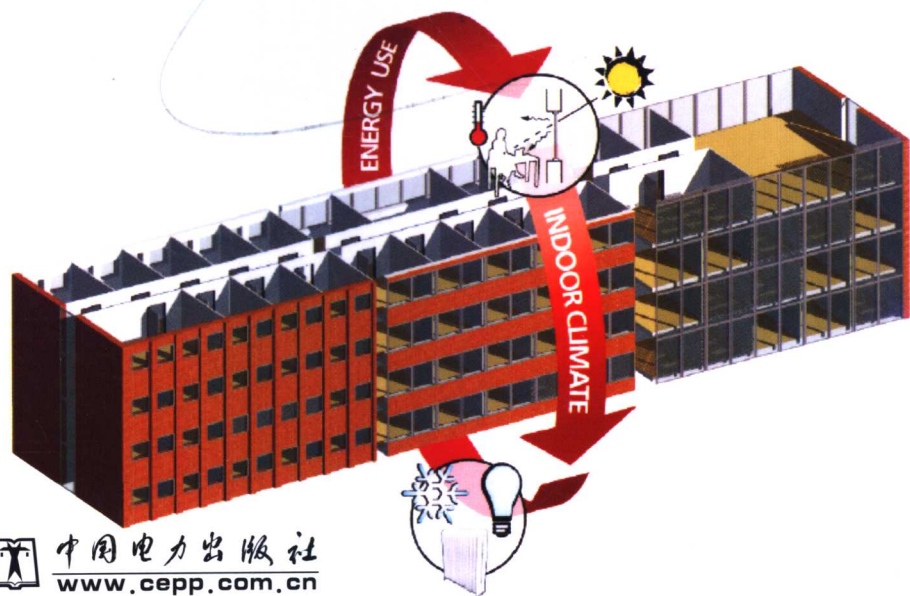
单层玻璃幕墙 办公建筑

Single Skin Glazed
Office Buildings

能量消耗和室内气候模拟

Energy Use and Indoor Climate Simulations

[瑞典] 哈里斯·波依拉兹 (Harris Poirazis) 著
吴媛媛 译



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

单层玻璃幕墙 办公建筑

Single Skin Glazed
Office Buildings

能量消耗和室内气候模拟

Energy Use and Indoor Climate Simulations

[瑞典] 哈里斯·波依拉兹 (Harris Poirazis) 著
吴媛媛 译



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

Harriz Poirazis

Single Skin Glazed Office Buildings, Energy Use and Indoor Climate Simulations

ISBN 91-85147-11-7

© copyright Harris Poirazis and Division of Energy and Building Design. Lund University,
Lund Institute of Technology, Lund 2005.

This work is subject to copyright. All Rights reserved. No part of this publication may
be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system,
without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition copyright © 2006 by China Electric Power Press.

本书中文简体字翻译版由中国电力出版社出版。未经出版者预先书面许可，不
得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号：01-2005-5455

图书在版编目 (CIP) 数据

单层玻璃幕墙办公建筑：能量消耗和室内气候模拟/（瑞典）波依拉兹（Poirazis,
H.）著；吴媛媛译. —北京：中国电力出版社，2006.6

书名原文：Single Skin Glazed Office Buildings: Energy Use and Indoor Climate
Simulations

ISBN 7-5083-4347-6

I. 单… II. ①波…②吴… III. 办公室-幕墙-结构设计 IV. TU227

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 045946 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑：黄肖 责任印制：陈焊彬 责任校对：罗凤贤

北京铁成印刷厂印刷·各地新华书店经售

2006 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 · 12.5 印张 · 196 千字

定价：35.00 元

版权专有 翻印必究

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

本社购书热线电话 (010-88386685)

摘 要

现代办公建筑具有很高的节能潜力和改善室内气候的潜力。在 20 世纪 90 年代期间,人们建造了许多玻璃幕墙办公建筑,其中有一些还是双层玻璃幕墙。与单层玻璃幕墙建筑相比,双层玻璃幕墙建筑的优点是减少了供热、供冷需求,增加了对室外的隔声效果以及具有更有效的遮阳功能。玻璃幕墙办公建筑具有良好的通风效果,重量轻,透明且易透光。然而,人们对于斯堪的纳维亚地区的玻璃幕墙办公建筑的功能、能量消费和视觉环境并没有足够的认识。因此,为了更好地积累玻璃幕墙办公建筑关于能量耗费和室内环境问题的可能性和局限性方面的知识,我们建立了一个新的项目。这就意味着我们要进一步发展计算方法和分析工具,提高分析方法学,考虑寿命周期成本以及改善对玻璃幕墙办公建筑结构的建议和完善指导方针的编辑总结,并同时增强和提高瑞典高级建筑资源有效利用的能力。

这个项目的第一部分包括建造一个带着不同类型单层玻璃幕墙的参考建筑,选择模拟工具并完成对选定玻璃幕墙类型的模拟。

首先选定一个 20 世纪 90 年代后典型期的办公建筑作为参考建筑,然后将不同类型的玻璃幕墙应用于该建筑物。模拟时选择了动态能量模拟程序 IDA ICE。很显然,模拟工具的一些改进是很值得的,它的进一步发展为模拟更准确的模型提供了可能,并使参数研究更为详细,同时也能检测到其他方面的问题。

这篇报告提出了精心设计的建筑玻璃幕墙类型以及参数研究的方法和结果,这些参数研究来源于立面墙带有 30%、60% 及 100% 玻璃的办公建筑。这些有趣的结果通过改变建筑物的朝向、内部平面布置形式(大开间和单元型办公室)、安装的玻璃类型和遮阳设施以及暖通空调方案而获得。本文还对不同的建筑模型与不同的室内环境等级进行了比较,同时对于人员舒适和运行建筑物的能量利用方面也进行了一个灵敏度分析。

高比率玻璃幕墙办公建筑与传统立面办公建筑相比,会有更高的供热、供冷能量消耗,有时还会有更差的热舒适性。然而,研究同时显示改进窗户类型及配套的遮阳装置使能量减少明显是可能的,但能量消耗很可能仍比传统建筑要高一点。对于装有高比率玻璃面的幕墙且其墙体外层比传统立面对室外气候条件响应灵敏得多的办公建筑,研究其内部气候是一项很复杂的工作,因为许多参数会影响其品质。研究还显示如果能对每一个建筑设计进行详细的研究,包括合适地控制设定点组合和选择窗户、遮阳设备,并合理地应用确定的占用时间和建筑功能,也可以得到低能耗且已改进的室内环境。

隆德大学

隆德大学由八个系和多个研究中心以及专业研究所组成，是斯堪的纳维亚地区最大的研究和高层教育机构。该大学的主要部分位于隆德这座拥有大约 101 000 人口的小城，而许多研究和教育部门位于马尔默。隆德大学成立于 1666 年，现在共有 6 006 名教职工和 41 000 名学生，在 88 个系里开设了 90 个学位科目和 1 000 门课程。

能量分配和建筑设计专业

减少建筑结构和设备操作对环境的影响是社会的中心任务，而减少能耗又是此任务的重要方面。最近开设的能量分配和建筑设计专业隶属于瑞典隆德技术研究所建筑结构和建筑学系，该专业主要对能量利用、被动和主动式太阳能设计、日光利用和建筑物遮阳领域进行研究。用户对热力舒适和视觉舒适的影响与要求是这项工作必不可少的一部分。能量分配和建筑设计项目同时也为计划过程提供了指导方针和方法。

单层玻璃幕墙办公建筑

能量消耗和室内气候模拟

哈里斯·波依拉兹

能量分配与建筑设计

建筑与建筑环境系

隆德大学

隆德大学技术研究所，2005

报告 EBD-T-05/4

关键词：

建筑特性，能量消耗，室内气候，室内环境，热舒适，建筑模拟，单层立面，玻璃幕墙建筑。

致 谢

这篇学位论文是在隆德大学隆德技术研究所下属的建筑结构与建筑学系能量分配与建筑设计专业完成的。该项目由瑞典能源部和 SBUF（瑞典建筑结构工业发展基金会）建立，并得到了 Skanska Teknik 和 WSP 的支持。

在此我要感谢我的导师 Dr. Maria Wall 和 Dr. Åke Blomsterberg，他们在我做研究和写论文期间对我进行了指导并提出了建议。我还要感谢建筑师 Christer Blomqvist 和暖通工程师 Lars Sjöberg，他们在办公建筑模型设计阶段给予了帮助。同时我还要感谢能量分配和建筑设计专业帮助过我工作的全体同事。感谢在设计办公建筑不同类型的玻璃幕墙时帮助过我的课题组，其中包括来自隆德大学能量分配与建筑设计专业的 Bengt Hellström 和 Helena Bülow-Hübe，来自 WSP 的 UIF Liliengren, Diana Avasoo, Torbjörn Strand 和 Lennart Sjödin 以及来自 SKANSKA 的 Bengt Bengtsson。感谢评审组，包括来自 White Arkitekter AB 的 Per - Mats Nilsson 和 Fredrik Källström，来自 WSP 的 Stefan Camitz，来自瑞典能源机构的 Tomas Berggren，来自 Erichsen&Horgen（挪威）的 Ida Bryn，来自 SKANSKA 的 Sigurd Karlsson 和 Bo Eriksson，来自 Wihlborgs Fastigheter AB 的 Leif Svensson 以及来自 Midroc Engineering 的 Rickard Sjöqvist。

最后，我还要谢谢那些提供给我可以参考和学习的论文、报告和文章的专家们。

2005.5 隆德

Harris Poirazis

目 录

摘要

关键词

致谢

1 前言	1
1.1 “玻璃幕墙办公建筑”研究项目简介	1
1.2 系统方法	2
1.2.1 概述	2
1.2.2 设计标准分级	4
1.2.3 热舒适状况	5
1.2.4 热舒适与生产率	11
1.2.5 影响人员健康和生产率的其他室内气候参数	13
1.2.6 建筑品质	14
1.2.7 环境特性	16
1.2.8 成本	17
1.2.9 不同性能参数之间的相互影响	18
1.3 本论文的局限性	20
1.4 定义和符号	20
2 技术状况	24
2.1 概述	24
2.2 典型办公建筑布局	24
2.3 瑞典办公建筑中的能耗	25
2.4 瑞典的办公建筑	27
2.5 瑞典玻璃幕墙办公建筑	28
2.6 用于办公建筑的双层玻璃幕墙	29
2.6.1 定义与概念	29
2.6.2 分类	30

2.6.3	空腔的技术介绍和建筑物理学	31
2.6.4	优缺点	32
3	方法	35
3.1	能耗与室内气候的建筑模拟	35
3.2	所用建筑模拟程序—IDA ICE3.0 的简介	35
3.3	建筑测定样品的产生	37
3.3.1	参考建筑(30%安装玻璃)测定样品	37
3.3.2	60%和100%玻璃幕墙建筑测定样品	37
3.4	输出说明	40
3.4.1	模拟工具 IDA 的输出	40
3.4.2	“建筑性能工具”的输出	41
4	建筑描述	44
4.1	参考建筑的描述	44
4.1.1	建筑的几何特性	44
4.1.2	办公建筑的布置	45
4.1.3	建筑构件的描述	47
4.1.4	模拟模型特别的修改	51
4.1.5	室内空气温度的控制设定点	53
4.1.6	占用时间	53
4.1.7	灯光	57
4.1.8	空气处理机组	57
4.1.9	电动设备	60
4.2	60%玻璃幕墙建筑的描述	60
4.2.1	立面结构	61
4.2.2	窗户特性	63
4.3	100%玻璃幕墙建筑的描述	64
5	模拟结果	67
5.1	输出结果的描述	67
5.1.1	概述	67
5.1.2	建筑级别的参数研究	68
5.1.3	区域级别的参数研究	70
5.2	能耗	70

5.2.1 建筑测定样品的能耗	70
5.2.2 地板设计类型的影响	80
5.2.3 朝向的影响	83
5.2.4 控制点的影响	83
5.2.5 窗以及遮阳设施对 60% 和 100% 玻璃幕墙建筑的影响	84
5.3 室内气候对建筑物的影响	90
5.3.1 测量平均空气温度	90
5.3.2 参考建筑的热舒适感	93
5.3.3 窗及遮阳设施类型对 60% 和 100% 玻璃幕墙建筑热舒适度的影响	99
5.4 生产率	108
5.5 区域级别上的室内气候	110
5.5.1 平均环境温度和潜在的过热问题	110
5.5.2 定向有效温度	114
5.5.3 参考建筑中的热舒适感 (<i>PMV</i> , <i>PPD</i>)	118
5.5.4 60% 和 100% 玻璃幕墙建筑中的热舒适感 (<i>PMV</i> , <i>PPD</i>)	125
6 讨论与结论	129
6.1 平面布置形式	129
6.1.1 能耗	129
6.1.2 室内气候	130
6.2 朝向	132
6.2.1 能耗	132
6.2.2 潜在的过热问题	132
6.2.3 定向有效温度	134
6.2.4 参考建筑中的热舒适感 (<i>PMV</i> , <i>PPD</i>)	135
6.3 控制设定点	136
6.3.1 能耗	136
6.3.2 室内气候	138
6.4 立面结构	140
6.4.1 能耗	140
6.4.2 室内气候	143
6.5 进一步的研究	144

7 概要	146
7.1 方法	146
7.2 建筑物模型的介绍	147
7.2.1 参考建筑物的介绍	147
7.2.2 占用时间	149
7.2.3 HVAC 方案	150
7.2.4 控制设定点	150
7.3 玻璃幕墙办公建筑样品的产生	151
7.4 结果和讨论	151
7.4.1 平面布置形式	152
7.4.2 朝向	153
7.4.3 控制设定点	154
7.4.4 立面因素（窗户和遮阳设施）	155
7.5 结论	157
附录 A 参考建筑的性能规范	159
附录 B 建筑图	161
附录 C 单元式和大开间式热区的几何特性	165
附录 D 校正的理论 U-值（包括热桥）	174
附录 E AHU-通风速率	177
附录 F 窗框结构	180
参考文献	182

1 前 言

这篇学位论文是玻璃幕墙办公建筑研究项目（简介如下）重要的一部分。本论文主要对单层玻璃幕墙办公建筑室内气候和能量消耗进行了分析，研究工作始于斯堪的纳维亚地区的一个参考建筑。

1.1 “玻璃幕墙办公建筑”研究项目简介

高比率玻璃幕墙办公建筑的能效和热力工况经常受人质疑。然而，现在已有越来越多的玻璃幕墙建筑被建造起来，这是由于以下原因：

- 为提高透明度而采用高比率玻璃幕墙的建筑师比率呈现不断增加的趋势。
- 使用者（并不考虑由于这种结构类型而引起的热力和视觉的不舒适）又经常喜欢增加玻璃区域的面积，因为这样可以有更好的视野和更宜人的室内环境。
- 想要使自己有一个与众不同的形象（例如透明度或开阔度）的公司也经常选择玻璃幕墙办公建筑。

因此发起了“玻璃幕墙办公建筑——能量消耗和室内气候”这个研究项目，并投入了资金。

这个研究项目的目的就是为了获得一些关于在瑞典当地的边界条件下玻璃幕墙办公建筑的可能性和局限性方面的资料，主要包括：

- 能量消耗
- 室内环境（热舒适、视觉舒适、室内空气品质、声学效果等）
- 环境性能
- 建筑品质
- 寿命周期成本

在此研究项目的4年期间，我们将调查不同类型的办公建筑，并且为了提高整个办公建筑的能效，还要对能效高的立面结构提出建议。装高比率玻璃幕墙的办公建筑的性能将会被评价、优化，并与更多的传统建筑相比较。为了达到这些目标，我们还对单层和双层玻璃

幕墙能量消耗和室内气候进行了模拟。

另外，为了确定每一层空腔不同高度处的空气流动和温度，双层幕墙空腔的详细模拟（CFD）将被完成。对系统性能的了解将会使得对建筑性能有更准确的预测。为了使模拟结果有效，对测试房间的测量要与模拟同时进行。

该项“玻璃幕墙办公建筑”工程包括：

- 计算方法和分析工具的进一步发展
- 分析方法学的改进
- 寿命周期成本计算
- 对于瑞典气候下玻璃幕墙办公建筑的设计/结构的建议和指导方针的发展
- 瑞典高级建筑资源有效利用能力的加强和发展

1.2 系统方法

有关系统方法的详细描述可以在“玻璃幕墙办公建筑工程的介绍报告”（Poirazis, 2004b）中找到，以下是对该报告的一个总结。

1.2.1 概述

描述这篇论文所关注的参变量（和它们的局限性）之前，首先需要介绍构成建筑性能的主要组成部分。这样比较容易理解能效和改进的室内环境之间是如何相互影响的，从而有助于建筑物全面性能的优化。

建筑物可以被看作作为一个：

- 它所处环境的子系统。在其整个寿命周期里，建筑物主要受环境和能量消耗问题的影响。
- 影响人员舒适和生产率的超系统。

为了在办公建筑设计阶段成功得到整体的方法，考虑各部分之间的相互影响以及各部分对总系统性能的影响是比较重要的，如图 1.1 所示。

为了得到更全面的方法和更准确的预测结果，设计组应该在计划过程确定的最初阶段考虑到设计的局限条件。这样可以避免不必要的事情发生，增加寿命周期成本和/或者消减有关能量消耗和室内气候的性能。这些局限条件包括：

- 气候（太阳辐射、室外温度等）
- 建筑物位置和障碍物（纬度、当地日光可用率、大气条件、

外部障碍物、地面反射等)

- 建筑物利用 (运行时间、人员密度、时间安排和活动性等)
- 建筑设计规范

由于全面的好方法可以从不同的方式进行定义,而这些不同的方式又取决于设计局限条件和设计组区分其目标和需要优先级的方式,因此很明显难以得到最优的建筑设计。

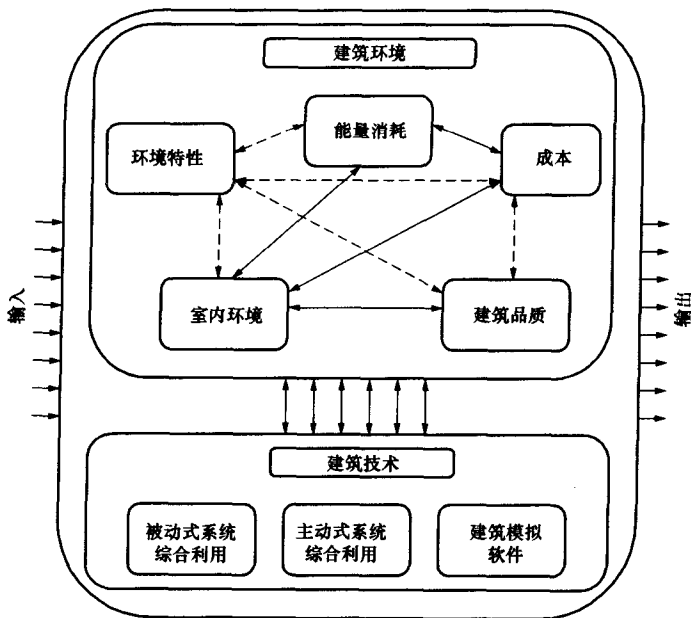


图 1.1 建筑系统描绘

建筑环境的性能参数是相互影响的。因为与室内气候有关的能效是“玻璃幕墙建筑”工程中测试的主要方面,因此图 1.1 中的线是连续的。

在可持续的建筑设计中,太阳能技术综合利用是件棘手的事情。除非太阳能技术综合利用在早期设计阶段已经考虑,否则就不能得到被动式或主动式太阳能系统的良好性能。系统的效率与建筑物的位置和功用紧密联系并且直接受建筑形状和朝向的影响,而系统效率又会影响寿命周期费用和环境场,并且对于室内环境品质至关重要(例如:双层幕墙使得墙板内层有较好的温度,可以增加热力环境的均匀性,从而改善用户的热舒适性)。

1.2.2 设计标准分级

在正在进行的“玻璃幕墙办公建筑”研究项目中，主要目的就是研究在有适宜的室内环境、合理的寿命周期成本 LCC（投资、运行和维护成本）、低环境影响和良好的建筑品质（参考 1.2.6 节）的条件下，不同类型的能量有效利用的办公建筑。图 1.2 给出了“玻璃幕墙办公建筑”研究项目的分级情况（从上到下）。顶级目标是比较笼统的，但随着向下分级它们就变得更加明确。

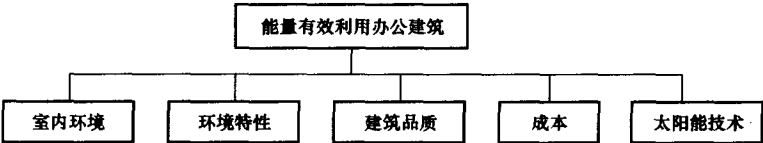


图 1.2 设计标准分级

按照 Wouters (2000)，建筑设计是得到适宜的室内环境最重要的步骤。对技术装置能耗的限制是建筑性能重要的一部分，因此，能效也可以被认为是建筑设计中重要的一部分。然而，低能设计并不是仅有的目标，因为其他参数也会有助于改进整体性能。

当设计办公建筑时，考虑到能耗，同时要得到一种适宜的室内环境是最大的挑战之一。定义室内环境的主要组成部分如图 1.3 所示。这些因素都会对人员生产率甚至建筑物全部经济价值产生影响。按照 ASHRAE 标准 55 (1981)，“热舒适指的是表达对热力环境满意的思想状况”。

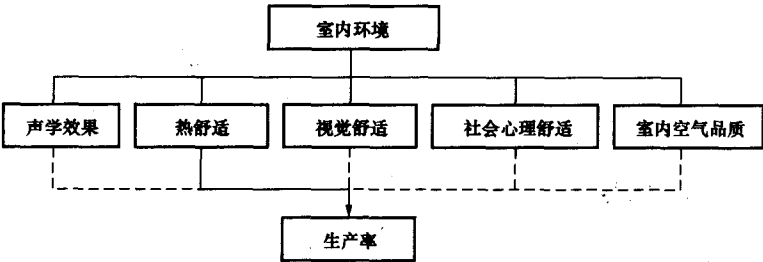


图 1.3 室内环境标准

这篇论文主要论述热舒适参数，而其他参数主要在“玻璃幕墙办公建筑”项目中研究。热舒适可以分成影响热力环境品质的主要因素和次要因素，如图 1.4 所示。

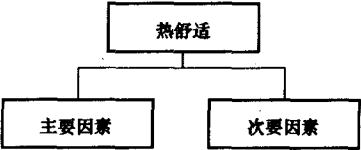


图 1.4 热舒适的主要方面

1.2.3 热舒适状况

按照 Liddament M. (1996) 的说法, 热力感觉是舒适感知中最主要的参量。就像他写的, “由于空气流速和扰动会影响冷感和干燥感, 空气就是热舒适最主要的交通工具。高渗透和不必要的换气次数会造成处理过的空气损失, 并且可能阻碍达到舒适条件”。

如上述, 影响热舒适的因素分为主要因素和次要因素。主要因素如图 1.5 所示。

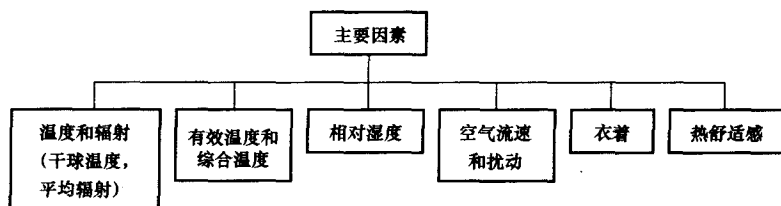


图 1.5 热舒适的主要因素

温度和辐射（干球温度，平均辐射）

热力感觉主要是由周围环境温度所决定的, 然而, 将标准干球温度作为营造舒适的室内热力环境的指标通常是不够的, 因为它并没有考虑辐射能的影响。这就是说, 平均辐射温度是更合适的热舒适指标, 因为它是对用户与周围环境表面平均辐射交换的一个度量。

有效温度和综合温度

有效温度和平均综合温度经验地综合了干球温度和平均辐射温度。有效温度就是指除了当空气温度 (θ_a) = 辐射温度 (θ_r) = 有效温度 (θ_{op}) 时, 在某一温度下一个人释放与以前相同的热量时的这个温度。对于房间的各部分, θ_{op} 值并不相等 (当使用加权方法时)。

由于温度低、角系数大 (测量点越接近表面, 角系数越大), 使得冷表面附近 θ_{op} 降低。人员离表面越远, 角系数减小得就越多, 这样冷表面的影响就越小。由于加权了房间的所有表面, 墙产生的影响会比冷窗大 (尽管墙体温度更接近于空气平均温度)。因此, 有效温度作为一个整体给了房间一个量度, 但是它作为体现冷表面对用户舒适影响的指标是不够的。由于这种原因, 提出了定向有效温度, 其计算方法与有效温度相同, 惟一不同的是仅测定人员所处且面对的表面观测点, 如图 1.6 所示。然而, 当人员正进入空间内时, 可以使用有