



高等院校**建筑环境与设备工程专业**

规划教材 >>>

LUSE JIANZHU YINGYONG JISHU

绿色建筑应用技术

杨晚生 等编著 孔祥强 主审



化学工业出版社



高等院校建筑环境与设备工程专业

规划教材 >>>>

LUSE JIANZHU YINGYONG JISHU

绿色建筑应用技术

杨晚生 等编著 孔祥强 主审



化学工业出版社

·北京·

高等院校建筑环境与设备工程专业规划教材

编审委员会名单

(姓氏笔画排序)

顾问：马最良 傅忠诚

主任：李永安

副主任：李念平 陈振乾

委员：丁云飞	马良涛	王 瑛	王智伟	方修睦	卢 军
冉春雨	付祥钊	白 莉	丛晓春	刘冬华	刘伟军
刘建龙	刘艳华	苏 成	李九如	李小华	李永安
李百战	李念平	杨晚生	连之伟	张永泉	张吉光
张国强	张增凤	陈振乾	周孝清	郑万兵	孟庆林
侯根富	徐正坦	曹子栋	符永正	彭世尼	董 惠
解国珍	廉乐明	谭羽非			

前 言

绿色建筑技术作为构建和谐社会、实现健康、舒适、节能、环保等可持续建筑目标的新型应用前沿技术，在节能减排日益重视的今天和未来必将得到巨大的发展，然而由于其内容涉及建筑学、建筑环境学、建筑环境与设备工程学、给水排水工程学、建筑材料学等众多专业面，不同专业背景人员对其理解和掌握关注的重点有很大区别。实际上建筑环境与设备工程专业作为建筑环境技术和绿色建筑技术实施的主导专业，在其技术应用层面有其独特的优势。

本教材编写重点从技术角度出发，利用建筑环境学和建筑热工等基本理论知识，对绿色建筑技术的应用及评价展开详细的编写，教材编写的主要特点体现在以下几个方面：（1）紧密结合绿色建筑技术应用和评价实例展开编写，避免空洞的技术介绍和理论分析；（2）紧密结合《绿色建筑评价标准》和绿色建筑评价标识的内容展开系统的实例应用研究，研究内容具有实用性和可操作性；（3）紧密结合建筑节能、水资源再循环利用技术及模式、材料再循环利用模式等展开技术应用介绍和剖析，避免编写内容的不系统性和空泛性；（4）编写时不过分强调绿色建筑应用技术的先进性和高科技性，而着眼于成熟技术的组合和适宜技术的联合应用，有利于技术在工程实际中的应用和推广发展，具有较广的应用面。

本书既可以作为建筑环境与设备工程专业、给水排水专业、建筑学和城市规划、市政工程专业等专业的本专科生及研究生的教材使用，又可以作为相关专业的工程技术人员参考资料，强调工程技术的实际应用是本教材的基本出发点，将本书编写成实用性和可操作性都很强的可持续性应用教材是编写的主要目标。

本书由广东工业大学杨晚生副教授、梅胜副教授、山西大学工程学院辛云岭老师、北京新型材料建筑设计研究院有限公司的韩海涛高级工程师以及郭创、谢孺强共同编撰完成，具体撰写分工如下：第一章（杨晚生）、第二章（杨晚生、梅胜）、第三章（杨晚生）、第四章（杨晚生、辛云岭）、第五章（杨晚生、谢孺强）、第六章（杨晚生、郭创）、第七章（韩海涛）、第八章（辛云岭）、第九章（梅胜、谢孺强）、第十章（梅胜、郭创）、附录（辛云岭）。全书由杨晚生副教授负责统稿；硕士研究生钟桃丽、郭黄欢负责担任本书的校稿和部分绘图工作。本书由山东科技大学孔祥强教授（博士）担任主审，在此向孔祥强教授所付出的辛勤劳动表示衷心的感谢。

本书在编写过程中参阅了大量的学术专著和相关文献资料，在此向所参考文献的作者表示敬意和感谢，感谢他们的工作为本书的成稿所做的铺垫和奠定的基础。同时限于作者本身学识水平有限，书中难免存在错误和漏失，敬请读者提出批评指正。

杨晚生

2011年1月于广州

目 录

第1章 绿色建筑的概念及其内涵	1
1.1 绿色建筑的发展	1
1.2 绿色建筑的基本概念及其内涵	1
1.3 绿色建筑的发展原则及控制指标体系	3
1.3.1 绿色建筑的发展原则	3
1.3.2 绿色建筑的控制指标体系	4
1.4 绿色建筑的热环境控制	5
1.4.1 绿色建筑热环境控制要求	5
1.4.2 绿色建筑的热环境控制因素	5
1.4.3 绿色建筑的热环境控制策略	6
1.5 绿色建筑的室内空气品质	7
1.6 绿色建筑的光环境控制	10
1.7 绿色建筑的声环境控制	11
参考文献	12
第2章 节地与室外环境	13
2.1 节地与室外环境评价指标及要求	13
2.1.1 公共建筑	13
2.1.2 居住建筑	13
2.2 室外热环境的控制营造技术	14
2.2.1 改善地表结构	15
2.2.2 以瀑布景观形式改善建筑外环境	17
2.2.3 建筑物表面种植攀沿植物	17
2.2.4 建筑底部营建通风廊	18
2.2.5 改变屋面构造模式	18
2.3 案例分析	19
参考文献	27
第3章 绿色建筑的围护结构	28
3.1 建筑围护结构基本状况	28
3.2 建筑墙材的类型及特点	29
3.3 华南地区建筑墙材基本状况	35
3.4 建筑门窗节能研究	37
3.5 建筑屋面类型及隔热措施	40
3.5.1 隔热设计标准对屋面隔热的要求	40
3.5.2 屋面常见隔热措施	40
3.5.3 既有建筑屋面的构造模式	42
参考文献	44
第4章 绿色建筑与太阳能光热利用技术	45

4.1	国内外应用研究状况	45
4.2	国内外太阳能光热一体化利用模式	46
4.2.1	国内外光热利用基本模式	46
4.2.2	国内外太阳能利用新进展	50
4.2.3	国内太阳能与建筑一体化应用典型实例	53
4.2.4	存在的主要问题	57
4.3	太阳能光热利用分析及发展思路	57
4.3.1	太阳能光热利用分析	57
4.3.2	发展思路	60
4.4	太阳能与建筑光热一体化装置的应用模式	61
	参考文献	67
第5章	屋面板被绿化隔热技术及应用	68
5.1	国内外屋面板绿化的发展状况	68
5.2	屋面板绿化的相关概念	69
5.3	一般屋面板绿化的构造	69
5.4	屋面板被绿化的材料	71
5.5	屋面板绿化的设计	74
5.6	屋面板绿化的施工	75
5.6.1	施工程序及步骤	75
5.6.2	施工要求及要点	76
5.6.3	施工实例	78
5.7	植被屋面板隔热性能实验测试	82
	参考文献	86
第6章	蒸发隔热屋面板技术及应用	87
6.1	蒸发隔热屋面板的概念及发展状况	87
6.2	被动式蒸发冷却技术及其分类	89
6.3	蒸发隔热屋面板的设计	90
6.4	蒸发隔热屋面板的施工	94
6.5	蒸发隔热屋面板的实验测试	94
6.5.1	屋面板蒸发材料选择	95
6.5.2	实验测试模块构造及测试基本情况	95
6.5.3	测试结果及分析	95
	参考文献	100
第7章	绿色建筑的材料资源及利用	101
7.1	绿色建筑节材与材料资源利用的基本要求	101
7.1.1	节材与绿色建材	101
7.1.2	节材	101
7.1.3	材料的资源化利用	105
7.1.4	《绿色建筑评价标准》中对节材和材料利用的要求	106
7.2	建筑材料的选用	106

7.3 绿色建材的资源化利用技术	110
7.4 绿色建筑节材与材料利用的评价	112
参考文献	114
第8章 绿色建筑与水循环利用技术	115
8.1 绿色建筑水资源利用控制要求	115
8.2 结合屋面绿化的雨水回用设计	115
8.2.1 屋面绿化在雨水回用中的作用	115
8.2.2 屋面绿化雨水循环利用设计	116
8.2.3 经济效益分析	118
8.2.4 雨水利用的构思	119
8.3 空调冷凝水回用系统	121
8.4 循环冷却水臭氧水处理系统	123
8.4.1 冷却塔循环水系统本身存在的三大问题	123
8.4.2 传统处理方法与问题	124
8.4.3 臭氧处理系统	125
参考文献	126
第9章 绿色建筑的运营管理	127
9.1 绿色建筑的运营管理基本要求	127
9.2 运营管理的构建	128
9.3 运营模式的选择与确定	129
9.4 绿色建筑管理运营模式的评价	129
参考文献	132
第10章 绿色建筑评价标识	133
10.1 国外绿色评价体系	133
10.2 国内绿色建筑评价标识的发展	134
10.3 绿色建筑评价体系	134
10.4 绿色建筑评价标识的申请	136
10.5 绿色建筑评价等级及内容	137
10.6 《绿色建筑评价标准》与 LEED 标准比较	138
10.7 我国绿色建筑发展中的误区	139
10.8 我国绿色建筑面临着几大问题	140
10.9 绿色建筑的发展展望	142
参考文献	143
附录1 《绿色建筑评价标识管理办法(试行)》	144
附录2 绿色建筑评价技术细则(公共建筑)	147

第 1 章 绿色建筑的概念及其内涵

1.1 绿色建筑的发展

绿色建筑的发展主要基于以下几个原因。

(1) 建筑能耗的不断加剧

有资料显示, 各类建筑消耗了全球 40% 的能源, 16% 的水资源, 并释放出占全球 50% 的 CO₂ 排放量。目前我国建筑能耗已占到全社会终端能耗的 27.5%, 单位建筑面积采暖能耗相当于相同气候地区发达国家的 2~3 倍。现有城乡建筑面积 400 多亿平方米, 95% 左右都是高耗能建筑。在我国高速发展的城市化进程中, 中国的城镇建筑面积在 5 年内翻了一番, 需要新建住宅面积约 68 亿平方米。据统计到 2020 年, 全国城乡房屋建筑面积还将新增约 300 亿平方米, 如果不采取有力的节能措施, 每年建筑用能将消耗 12 万亿度电和 4.1 亿吨标准煤, 接近目前全国建筑能耗的 3 倍。

根据发达国家经验, 建筑能耗在中国社会终端总能耗中所占的比例将逐步提高到 35% 左右, 成为各行业中耗能的首位。

(2) 资源利用的持续增加

随着建筑的迅速发展, 在建筑能耗不断增加的同时, 建筑形成过程中的资源利用量也在持续增加, 包括建造建筑和运营建筑的土地资源、原材料资源、水资源、自然植被资源、森林资源、矿物资源等, 这些资源利用量的持续增大, 使得其逐渐趋于枯竭甚至消失, 影响了整个社会的可持续发展。

(3) 环境状况的日益恶化

在建造及使用建筑的过程中, 由于建造本身及建筑使用者需要依赖于必要的能源和资源进行建筑的运转, 在能源和资源的利用、转换和传递过程中, 不可避免地造成了对环境的破坏和影响, 而且具有不断扩大和恶化的趋势。如建筑能源使用过程中所造成的温室气体的排放和污染物质的排放, 对地球自然环境造成了一定的破坏和影响, 导致全球气候变暖、自然灾害频发。

(4) 居住者的健康性和舒适性要求逐步提高

建筑本身的功能就是为人们提供必要的遮风、挡雨、御寒、防害等场所。随着经济和技术水平的不断加大, 对建筑的安全性、健康性、和舒适性功能要求的与日俱增, 使得满足人们健康、安全和舒适性功能成为当今建筑发展的必然趋势。

1.2 绿色建筑的基本概念及其内涵

所谓“绿色建筑”的“绿色”, 并不是指一般意义的立体绿化、屋顶花园, 而是代表一种概念或象征, 指建筑对环境无害, 能充分利用自然环境资源, 并且在不破坏环境生态平衡

条件下建造的一种建筑，又可称为可持续发展建筑、生态建筑、回归大自然建筑、节能环保建筑等。

绿色建筑是指在设计与建造过程中，充分考虑建筑物与周围环境的协调，利用光能、风能等自然界中的能源，最大限度地减少能源的消耗以及对环境的污染。绿色建筑的室内布局十分合理，尽量减少使用合成材料，充分利用阳光，节省能源，为居住者创造一种接近自然的感觉。以人、建筑和自然环境的协调发展为目标，在利用天然条件和人工手段创造良好、健康的居住环境的同时，尽可能地控制和减少对自然环境的使用和破坏，充分体现向大自然的索取和回报之间的平衡。

绿色建筑的重要核心思想是舒适、健康、高效。由于人们超过 80% 的时间在室内度过，室内空气质量极大地影响着人员的舒适、健康和生产效率，因此如何创造良好的室内空气质量已成为绿色建筑室内环境的关键问题。

绿色建筑首先应当以提高人的居住和工作环境为目标，即为居住者提供健康、舒适而安全的室内物理环境。为了保证室内舒适的要求、良好的建筑外部环境是必需的。它不仅关系到室内环境质量，而且还是人们户外活动的空间，更是全球空间的一部分，是城市可持续发展的重要一环。所以，良好的建筑外部空间也是绿色建筑不可缺少的一部分。

在满足了人们对建筑室内外环境绿色要求的前提下，降低建筑能耗，充分利用可再生资源，减轻建筑耗能对环境和全球生态系统的压力，成为绿色建筑的重要组成部分。

因此可以认为，节能性好、资源耗费率低且具有良好室内外物理环境是绿色建筑的基本特征。

关于绿色建筑（Green Building）的概念，目前不同的学者对其概念及内涵有着不同的描述和表达，他们分别从不同的专业视角出发对绿色建筑进行了相关的诠释和定义。其中不乏有对绿色建筑经典而深刻的解释，也有狭隘而偏颇的观点。如何正确理解和诠释绿色建筑的基本概念，对绿色建筑的健康、科学发展有着重要的作用。正确、科学和合理地理解和认识绿色建筑，对促进其技术的健康发展和工程实践应用都有着不可估量的意义。正是因为如此，我们才有必要花一定篇幅搞清楚绿色建筑的基本定义及其内涵。即所谓“知己知彼、百战不殆”正是基于这种现实的考虑。

K·丹尼尔斯（Klaus Daniels）在他的专著《The Technology of Economical Building》（《生态建筑技术》）指出：“绿色建筑是建筑科学领域的一次运动，它通过有效地管理自然资源，创造环境友好、节约能源的建筑。它使得主动和被动利用太阳能成为必须，并在生产、应用和处理材料的过程中，尽可能减少对自然资源（如水、空气等）的危害”。

阿里莫·B·洛文斯（Amory B. Lovins）在他的文章《东西方的融合：为可持续发展建筑而进行的整体设计》（《East Meet West: Holistic Design for Sustainable Building》）中指出：“绿色建筑是将人们生理上、精神上的现状和其理想状态结合起来，是一个完全整体的设计，一个包含先进技术的工具。绿色建筑关注的不仅仅是物质上的创造，而且还包括经济、文化交流和精神上的创造”。“绿色设计远远超过能量的得失平衡，自然采光、通风等因素，它力图使人和自然亲密结合，它必须是无害的、可再生和可积累的。”

台湾学者林宪德指出：“有人将绿色建筑误以为是‘采菊东篱下、悠然见南山’浪漫诗歌，或是高科技科幻世界的‘生活容器’，或是掩饰奢华浪费生活的‘赎罪卷’；许多媒体将

绿色建筑联想成一些及其昂贵的商品,例如闪闪发亮的太阳能光电板、嗡嗡作响的风力发电、追踪太阳的光纤照明、晶莹剔透的帷幕玻璃、核子潜艇般的储冰槽空调、太空舱式的中水循环技术,这些商品有时招来更奢华、更破坏环境的结果。”“绿色建筑并不是昂贵的高科技品,而是一种住小一点的房子、简朴的建筑外形、无华的室内设计、简单的结构系统、重复使用的家具建材、最少管理的自然庭院景观的生活智慧而已”。

文献 GB/T 50378—2006 绿色建筑评价标准指出:所谓的绿色建筑是指在建筑的全寿命周期内,最大限度地节约资源(节能、节地、节水、节材)、保护环境和减少污染,为人们提供健康、舒适、高效的使用空间,与自然和谐共生的建筑。

上述所谓的全寿命周期是指产品从摇篮到坟墓的整个生命历程,对建筑物这个特殊的商品而言,就是指从建材生产、建筑规划、设计、施工、运营维护及拆除、回用,这样一个孕育、诞生、成长、衰弱和消亡的过程。

对绿色建筑的理解主要应从以下几个方面展开:①绿色建筑首先考虑的是健康、舒适和安全,即保证人们最佳工作和生活环境的建筑;②绿色建筑作为一种理念,并不指特定的建筑类型,它适用于所有的建筑;③绿色建筑是在全寿命周期中实现高效率地利用资源(能源、土地、水资源、材料)的建筑物;④绿色建筑是对环境影响最小的建筑;⑤绿色建筑就是生态建筑和可持续建筑。

有些专家把绿色建筑归结为具备 4R 的建筑,即 Reduce,减少建筑材料、各种资源和不可再生能源的使用;Renewable,利用可再生能源和材料;Recycle,利用回收材料,设置废弃物回收系统;Resue,在结构允许的条件下重新使用旧材料。因此,绿色建筑是资源和能源有效利用、保护环境、舒适、健康、安全的建筑,从而实现与自然和谐共生。

绿色建筑作为人类先进乃至未来建筑理念应遵循全球人居可持续发展战略,实施国际上公认的三大主题:即以人为本、呵护健康舒适;资源的节约和再利用;与周围生态环境相协调和融合。

强调绿色建筑应具有以下几个特点:①绿色循环;②绿色布局;③绿色水源;④绿色能源;⑤绿色回收;⑥绿色环境;⑦绿色居所。

1.3 绿色建筑的发展原则及控制指标体系

1.3.1 绿色建筑的发展原则

绿色建筑应坚持“可持续发展”的建筑理念。理性的设计思维方式和科学程序的把握,是提高绿色建筑环境效益、社会效益和经济效益的基本保证。绿色建筑除满足传统建筑的一般要求外,尚应遵循以下基本原则。

(1) 关注建筑的全寿命周期

建筑从最初的规划设计到随后的施工建设、运营管理及最终的拆除,形成了一个全寿命周期。关注建筑的全寿命周期,意味着不仅在规划设计阶段充分考虑并利用环境因素,而且确保施工过程中对环境的影响最低,运营管理阶段能为人们提供健康、舒适、低耗、无害的环境,使环境危害降到最低,并使拆除材料尽可能再循环利用。

(2) 适应自然条件、保护自然环境

① 充分利用建筑场地周边的自然条件,尽量保留和合理利用现有适宜的地形、地貌、

植被和自然水系；

② 在建筑的选址、朝向、布局、形态等方面，充分考虑当地气候特征和生态环境；

③ 建筑风格与规模和周围环境保持协调，保持历史文化与景观的连续性；

④ 尽可能减少对自然环境的负面影响，如减少有害气体和废弃物的排放，减少对生态环境的破坏。

(3) 创建适用与健康的环境

① 绿色建筑应优先考虑使用者的适度需求，努力创造优美和谐的环境；

② 保障使用的安全，降低环境污染，改善室内环境质量；

③ 满足人们生理和心理的需求，同时为人们提高工作效率创造条件。

(4) 加强资源节约与综合利用，减轻环境负荷

① 通过优良的设计和管理，优化生产工艺，采用适用技术、材料和产品；

② 合理利用和优化资源配置，改变消费方式，减少对资源的占有和消耗；

③ 因地制宜，最大限度利用本地材料与资源；

④ 最大限度地提高资源的利用效率，积极促进资源的综合循环利用；

⑤ 增强耐久性能及适应性，延长建筑物的整体使用寿命；

⑥ 尽可能使用可再生的、清洁的资源 and 能源。

1.3.2 绿色建筑的控制指标体系

绿色建筑控制指标体系是根据其定义对绿色建筑的性能所作的一种完整的表述，它可用于评估实体建筑物与按定义表述的绿色建筑相比在性能上的差异。绿色建筑控制指标体系由节地与室外环境、节能与能源利用、节水与水资源利用、节材与材料资源、室内环境质量和运营管理六类指标组成。这六类指标涵盖了绿色建筑的基本要素，包含了建筑物全寿命周期内的规划设计、施工、运营管理及回收各阶段的评定指标的子系统。

图 1-1 为绿色建筑控制指标体系框图，表 1-1 为绿色建筑分项指标及重点应用阶段划分。

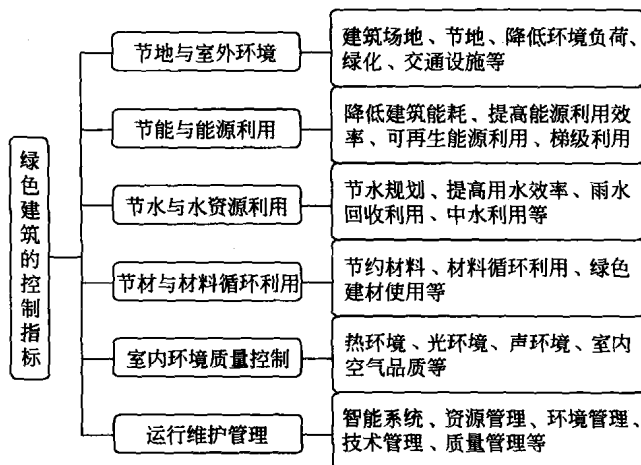


图 1-1 绿色建筑控制指标体系

表 1-1 绿色建筑分项指标及重点应用阶段划分表

项 目	分项指标	重点应用阶段
节地与室外环境	建筑场地	规划、施工
	节地	规划、设计
	降低环境负荷	全寿命周期
	绿化	全寿命周期
	交通设施	规划、设计、运营管理
节能与能源利用	降低建筑能耗	全寿命周期
	提高能源利用效率	设计、施工、运营管理
	使用可再生能源	规划、设计、运营管理
	能源梯级利用	规划、设计、运营管理
节水与水资源循环利用	节水规划	规划
	提高用水效率	设计、运营管理
	雨污水综合利用	规划、设计、运营管理
	中水利用	设计、施工、运营管理
节材与材料资源循环利用	节材	设计、施工、运营管理
	使用绿色建材	设计、施工、运营管理
	材料循环利用	设计、施工、运营管理
室内环境质量控制	光环境	规划、设计
	热环境	设计、运营管理
	声环境	设计、运营管理
	室内空气品质	设计、运营管理
运营维护管理	智能化系统	规划、设计、运营管理
	资源管理	运营管理
	改造利用	设计、运营管理
	环境管理体系	运营管理
	技术质量管理	运营管理

1.4 绿色建筑的热环境控制

1.4.1 绿色建筑热环境控制要求

绿色建筑对建筑热环境的控制要求如下。

- ① 优化建筑外围护结构的热工性能，防止因外围护结构内表面温度过高或过低、透过玻璃进入室内的太阳辐射热等引起的不舒适感；
- ② 设置室内温度和湿度调控系统，使室内的热舒适度能得到有效的调控，建筑物内的加湿和除湿系统能得到有效调节；
- ③ 根据使用要求合理设计温度可调区域的大小，满足不同个体对热舒适性的要求。

1.4.2 绿色建筑的热环境控制因素

绿色建筑对室内热环境的控制主要包括三个基本目标：保证居住者的健康、保证居住者的舒适和保证居住者的高效工作。与热环境有关的室内物理量介绍如下。

- ① 室内空气温度 室内空气温度对人体热舒适影响较大。根据我国国情，推荐室内空气温度为：夏季，26~28℃，高级建筑及人员停留时间较长的建筑可取低值，一般建筑及停留时间较短的应取高值；冬季，18~22℃，高级建筑及停留较长的建筑可取高值，一般及短暂停留的建筑取低值。
- ② 室内空气相对湿度 空气中所含水蒸气的压力称水蒸气分压力。在一定温度下，空

气中所含水蒸气的量有一个最大限度,称饱和蒸气压力,多余的水蒸气会从湿空气中凝结出来,即出现结露现象。

所谓相对湿度 φ 就是空气中水蒸气的分压力 P 与同温同压下的饱和蒸气压力 P_q 的比值,即

$$\varphi = \frac{P}{P_q} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中, φ 为空气相对湿度,%; P 为空气中水蒸气的分压力, Pa; P_q 为同温同压下的饱和蒸气压力, Pa。

由此可知,相对湿度表示的是空气接近饱和的程度。 φ 值小,说明空气的饱和程度低,感觉干燥; φ 值大,表示空气湿润。 φ 值的大小还关系到人体的蒸发散热量。 φ 值在 60%~70% 左右是人体感觉较舒适的相对湿度。

③ 空气平均流速 室内空气流动的速度是影响人体对流散热和水分蒸发散热的主要因素之一。气流速度大时,人体的对流蒸发散热增强,亦即加剧了空气对人体的冷作用。我国室内平均风速的计算值为:夏季:0.2~0.5m/s;冬季,0.15~0.3m/s。

④ 室内平均辐射温度 室内平均辐射温度近似地等于室内各表面温度的平均值,它决定人体辐射散热的强度,进而影响人体的冷热感。我国《民用建筑热工设计规范》(CB 50176—93)对结构内表面温度的要求是,冬季,保证内表面最低温度不低于室内空气的露点温度,即保证内表面不结露;夏季,要保证内表面最高温度不高于室外空气计算温度的最高值。

室内空气温度、相对湿度、室内气流速度和室内平均辐射温度组成室内热环境的四大要素,四大要素合理配置才能创造出人体热感觉舒适的环境。

1.4.3 绿色建筑的热环境控制策略

根据人体热舒适性方程可知:多个不同的热量组合都可使 $\Delta q=0$,也就是说:人们会遇到各种不同组合的热平衡,然而只有那些能使人体按正常比例散热的热平衡才是舒适的。

所谓按正常比例散热:指的是对流换热约占总散热量的 25%~30%,辐射散热量约为 45%~50%,呼吸和无感觉蒸发散热量约占 25%~30%。处于热舒适的平衡,称之为“正常热平衡”。

当劳动强度或室内气候发生变化时,本来是正常的热平衡就可能被破坏,但并不至于立即使体温发生变化,因为人体有一定的代谢率调节机能。当环境过冷时,皮肤毛细血管收缩,血流减少,皮肤温度下降,以减少散热量;当环境过热时,皮肤血管扩张,血流增多,皮肤温度升高,以增加散热量。甚至大量出汗使散热量变大,以争取新的热平衡。这时的热平衡称为“负荷热平衡”。在负荷热平衡下,虽然 $\Delta q=0$,人体已不在舒适状态。不过只要分泌的汗液量仍在生理允许的范围内,其热环境虽不舒适,但仍是可允许的。

人体的物质代谢调节能力是有限的。它不可能无限制地通过减少输往体表血量的方式抵抗过冷环境,也不可能无限制地借蒸发汗液来适应过热环境。当室内的环境恶化到一定程度之后,终将出现 $\Delta q \neq 0$ 的情况,于是体温开始发生升降现象。虽然当体温变化不大、持续时间不长时,改变环境后仍然可以恢复到正常体温,但从生理卫生学角度来看,这已是不能允许的。

许多研究者研究了生产条件下热环境对人体的影响。现已查明,热舒适明显地影响着劳

动效率,当温度偏离最佳值达到 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 时,不舒适感急剧增加。那么,绝对热舒适环境是否就是健康的绿色热环境呢?根据卫生学的观测数据,在一天之中温度的变化对人体的健康是有益的。它与新陈代谢强度的关系及人体活动特征有关。建议居室内空气温度按24h周期变化,且在夜间降低 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。冬季的办公室内温度从早晨保持 19°C ,到中午升到 21°C ,午后降低到 18°C 是适宜的。因此对大多数建筑来讲,按舒适要求来规定室内气候标准是不恰当的。因为从生理上说,人们长期处于稳定的室内气候下,会降低人体对气候变化的适应能力,不利于人体健康;另外,从经济上也是不现实的。例如一些发达国家在办公室、住宅、旅馆、医院等民用建筑中,广泛采用高气密性的空调房间,虽然室内气候达到绝对舒适的标准,但却出现所谓“空调症”等问题,而且在耗费大量能源的同时,引起了一系列环境问题。

绿色建筑的室内热环境除了保证人体的总体热平衡外,身体个别部位所在处的条件对人体健康和舒适感往往有着非常重要的影响。

对热感觉有着特别重要影响的是处于热条件下的头部和足部。头部对辐射过热是最敏感的,其表面的辐射热平衡应为散热而不是受热状态。根据卫生学的研究可以判断,在舒适的热状况下,头部表面上单位面积可允许的辐射热平衡大致为:由受热时的 $11.6\text{W}/\text{m}^2$ 至受冷时的 $73\text{W}/\text{m}^2$ 。人体的足部对地板表面的过冷和过热以及沿着地板的冷空气流动是很敏感的,因此,在冬季,地板温度不应比室内空气温度低 $2\sim 2.5^{\circ}\text{C}$,在夏季则建议不对地面进行冷却,这些研究成果与我国中医学人体保健理论十分吻合,也是绿色建筑室内物理环境的组成因素。

1.5 绿色建筑的室内空气质量

(1) 绿色建筑的室内空气质量控制要求

绿色建筑对室内空气质量的控制要求如下。

① 对有自然通风要求的建筑,人员经常停留的工作和居住空间应能自然通风。可结合建筑设计提高自然通风效率,如采用可开启窗扇自然通风、利用穿堂风、竖向拔风作用通风等。

② 合理设置风口位置,有效组织气流。采取有效措施防止串气、泛味,采用全部和局部换气相结合,避免厨房、卫生间、吸烟室等处的受污染空气循环使用。

③ 内装饰、装修材料对空气质量的影响应符合《民用建筑室内环境污染控制规范》GB 50325的要求。

④ 采用满足室内空气质量要求的新型环保装饰装修材料。

⑤ 设置中央空调系统的建筑,宜设置室内空气质量监测系统,维护用户的健康和舒适。

⑥ 采取有效措施防止结露和滋生霉菌。

(2) 绿色建筑的室内空气质量控制策略

从上述绿色建筑的室内空气质量的控制要求可以看出,对建筑内部采取有效措施并结合自然通风改善室内空气质量、采用健康环保的室内装饰装修材料等措施是绿色建筑室内空气质量的基本要求。

影响室内空气质量的因素主要包括:室外空气污染,建筑材料和建筑装饰材料,新风量,空调系统导致的霉菌、粒子等污染物,单区域和多区域的气流组织,家具家电办公设备,室内燃料燃烧和烹调油烟,家用化学品,吸烟,人员活动等。而建筑物的实现主要包括

规划设计、施工、验收评估和运行管理阶段。室内空气质量控制策略始终贯穿建筑物整个实现过程是解决目前室内空气污染问题中比较可行、有效的手段。具体控制技术如下。

① 规划设计阶段室内空气质量控制技术 在规划设计阶段主要影响室内空气质量的因素包括建筑设计（建筑物位置和周边建筑情况、房间功能和房间位置、建筑材料）、装饰设计（墙体、天花板、地板装饰材料）、装修设计（家具家电、办公设备位置和散发强度、净化设备）、人员、通风系统设计（系统形式、气流组织、净化方式和效率、新风量和新风采集位置以及新风途径）。随着目前模拟技术的发展，在设计期对浓度场、温度场等参数进行预评估可以有效地发现设计存在的问题，起到防患于未然的作用。

② 施工阶段室内空气质量控制技术 施工中主要问题是辅材的合理选择，不使用或者少使用含有甲醛等的胶黏剂，同时注意规范施工，洁净施工，避免材料与结构造成尘埃等的积聚。

③ 验收与运行管理阶段室内空气质量控制技术 在验收与运行管理阶段关键问题是进行空气质量指标检测及出现问题的原因分析，并提出相应的改善措施。在此阶段通风系统运行和维护的正常是空气质量良好的重要保证。

(3) 绿色建筑室内空气质量控制实例分析

为了实现良好的室内空气质量，在绿色建筑的实现中从选址评估、设计优化、建筑材料筛选、空调系统选择、绿化配置以及自然通风等方面需要实施全过程控制，从而避免室内空气污染，创造健康舒适的室内环境。以下针对上海生态办公示范楼进行技术策略分析。

① 选址 IAQ 评估 生态楼的选址初期，为了了解室外空气污染状况，对生态楼选址处的空气本底值进行了测量，检测结果见表 1-2。

表 1-2 空气质量本底值检测结果汇总

检测点	空气质量室外值检测结果		检测点	空气质量室外值检测结果	
	NO _x /(mg/m ³)	SO ₂ /(mg/m ³)		NO _x /(mg/m ³)	SO ₂ /(mg/m ³)
GB 3095—1996 标准值	≤0.1	≤0.15	5	0.043	0.059
1	0.072	0.075	6	0.019	0.116
2	0.019	0.060	7	0.035	0.079
3	0.041	0.107	8	0.040	0.056
4	0.018	0.068	9	0.031	0.080

检测结果 NO_x 和 SO₂ 符合 GB 3095—1996 标准，生态楼的选址符合环境空气质量标准。

② 优化房间空间布置并满足通风量要求的设计

a. 通风量模拟计算 为了评价室内外温差对自然通风效果的影响，设置室外温度为 20℃和 25℃（室内为 28℃）及室内外温差分别为 8℃和 3℃的情况下进行模拟，考察在不同情况下，典型区域室内通风量和换气次数的影响。表 1-3 给出了不同工况下典型房间通风参数的模拟结果值。

表 1-3 生态楼各层典型区域通风指标在不同温差情况下的模拟结果

室外温度	1 楼				2 楼		3 楼	
	仪器自校室		生态建筑展示厅		第三测量室		仪器分析室	
	kg/s	ACH	kg/s	ACH	kg/s	ACH	kg/s	ACH
20℃	1.374	37.05	30.63	83.72	0.161	4.97	2.415	45.91
25℃	0.829	22.36	18.45	50.43	0.099	3.041	1.473	28.00

由表 1-3 中数据可以判断,随着室内外温差的降低,通风量和换气次数都减少。观察自然通风最小的 2 楼区域可以判断,如果将 3 次换气次数作为通风基本要求的话,室外 25℃ 及室内外温差为 3℃ 将是一个极限,也就是说当室内外温差大于等于 3℃ 时,可以满足自然通风的要求。在过渡季节可以满足室内各房间换气次数 1 次的要求。

b. 优化房间空间布置 由于生态楼的实际功能是建筑环境实验楼,因此,有污染物释放的功能实验室的具体位置关系到生态楼里的空气质量现状。为了更好地控制污染物的释放及减少实验室污染物释放对空气质量的影响,采用了 CONTAMW 对其室内污染和通风进行模拟。由表 1-4 的模拟结果可知,把可能有污染物释放的化学和微生物实验室放在三楼北面,则整个生态楼里建筑室内污染物浓度大致分布均匀,且处于相对较低的浓度水平;而把这些房间的浓度置于偏高,则发现这些处于高污染物浓度的房间,对周围的室内空间影响达到较小的程度。

表 1-4 生态楼部分区域污染影响模拟结果

门窗状态	高→低			
开	2 楼西部楼梯区	1 楼实验设备区	1 楼左中厅	3 楼电梯前室
	0.339mg/m ³	0.334mg/m ³	0.156mg/m ³	0.025mg/m ³
关	2 楼西部楼梯区	3 楼北部楼梯区	1 楼实验设备区	1 楼左中厅
	0.349mg/m ³	0.337mg/m ³	0.206mg/m ³	0.131mg/m ³

由表 1-4 中数据可以得到,当某些功能房间由于工作的需要可能产生污染物的时候,它对其它房间的影响是相当小的,当 VOC 浓度在设定房间内为 1000ppm (2.33mg/m³) 时,无论是门窗开关,受影响的区域最大浓度只有 0.35mg/m³,而标准为 0.6mg/m³。过渡季节自然通风的条件下,化学分析实验室、微生物实验室等有污染的区域,在热压驱动下,不会对周边房间产生污染危害。

③ 建筑材料控制技术 建筑材料和装修材料的选择对室内空气质量起到重大作用,在设计、装修、使用生态楼的过程中,主要考虑生态楼内建筑材料的来源鉴定;采用清洁无害的绿色建材,适度装修,慎重装修,装修保证一次到位。

④ 自然通风策略 对于有空调的生态楼来说,当伴有充足的室外空气进入后,70% 的使用循环空气对人群不会造成不良的健康影响。许多空调室内的污染物,如可吸入粒子、NO_x、CO、CO₂ 以及甲醛等浓度都可通过改善通风而有所降低。生态楼利用中庭顶的“老虎窗”拔风的自然通风方式来改善室内空气质量,通过室内二氧化碳传感器的监测,及时开关外窗以保证室内新风量和空气质量。

⑤ 热湿分离的健康空调系统 在目前建筑中,空调系统普遍使用表冷器换热,通过降温将空气中的水分冷凝下来,以达到降温除湿的目的。潮湿的表冷器表面,是滋生大量霉菌的最好环境,同时也能造成其它病菌和病毒的聚集和滋生。特别是在空调箱停机期间(如下班或放假),在空调箱的密闭空间内,细菌浓度能骤然上升几十万倍。这些微生物通过送风系统大量进入室内,会对室内的空气品质造成严重的影响。为了避免问题,生态楼建筑中采用了热湿分离空调系统,这种热泵驱动的热、湿负荷独立控制的空调系统通过避免使用有凝结水的盘管,解决了目前空调系统中存在的霉菌滋生问题。同时通过除湿机内盐溶液的喷洒除去空气中的尘埃、细菌、霉菌及其它有害物,有效改善室内空气品质。

⑥ 室内绿化 针对生态楼局部区域空气质量有待改善的情况,引入室内绿化对之进行调节改善,根据许多绿色植物对化学复合物的吸收能力很强,如芦荟、常青藤等可吸收苯,

龙舌兰、吊兰可吸收空气中的甲醛等,在生态楼内放置一些能吸收有害物质的植物。引入的品种根据室内主要污染物类别的不同来选择室内绿化植物:吊兰、冷水花、常春藤、绿萝、富贵竹等,可以提高室内空气质量。

1.6 绿色建筑的光环境控制

(1) 绿色建筑对室内光环境的控制要求

绿色建筑对室内光环境的控制要求如下。

- ① 设计采光性能最佳的建筑朝向,发挥天井、庭院、中庭的采光作用,使天然光线能照亮人员经常停留的室内空间;
- ② 采用自然光调控设施,如采用反光板、反光镜、集光装置等,改善室内的自然光分布;
- ③ 办公和居住空间,开窗能有良好的视野;
- ④ 室内照明尽量利用自然光,如不具备自然采光条件,可利用光导纤维引导照明,以充分利用阳光,减少白天对人工照明的依赖;
- ⑤ 照明系统采用分区控制、场景设置等技术措施,有效避免过度使用和浪费;
- ⑥ 分级设计一般照明和局部照明,即满足低标准的一般照明与符合工作面照度要求的局部照明相结合;
- ⑦ 局部照明可调节,以有利使用者的健康和照明节能;
- ⑧ 采用高效、节能的光源、灯具和电器附件。

(2) 绿色建筑室内光环境的控制策略

对人体生理健康及心理状态均有益的绿色光环境,不仅要根据房间使用性质达到行之有效的照度和亮度,而且室内光分布也至关重要,它直接关系到工作效率和室内气氛。舒适健康的光环境包括易于观看、安全美观的亮度分布,眩光控制,照度均匀度控制等。

① 眩光的控制 建筑物内的眩光多为不舒适眩光,不舒适眩光又可分为直接眩光、反射眩光和光幕反射。

眩光的限制可以通过选择表面亮度低的光源或灯具加以控制。在室内装修时,亦可调节室内光环境的亮度比来达到减弱眩光的目的。如设法增加室内各表面的亮度,或减少光源及灯具与其周围环境的亮度对比,以取得合适的亮度比。为达到此目的,通常要求选择适当的墙面、顶棚和地面材料的颜色和反光系数,如墙面采用白色或浅色的粉刷、壁纸或石膏纸等。通过光的多次反射限制环境亮度与灯具之间的亮度比,顶棚和墙的反光系数一般控制在0.7~0.8和0.3~0.5之间。

室内饰面的反光性能对眩光的产生和控制也有很大的影响。定向反射材料出现的镜面反射,易产生反射眩光,因此,各种装修或家具表面宜采用有光泽的材料或涂料,同时调整有玻璃的家具物品与光源的相对位置,控制它们的反射光,以免落入人眼形成反射眩光。

② 工作面照度的均匀性 视野范围内的亮度应尽可能地均匀,尤其是长时间视看的工作场所。若照度不均匀,容易引起人眼对环境的明暗适应,出现视觉疲劳,影响工作效率和休息娱乐的舒适性和人体健康。

为避免明暗适应过程造成的视觉疲劳,一方面要求空间照度的最大值、最小值与平均值的差值不超过平均照度的1/6。最低照度与平均值之比不低于0.7。上述要求可通过灯具的