

■ 绿色建筑系列



绿色生态 建筑材料

黄煜镔 范英儒 钱觉时 等编著



化学工业出版社

■ 绿色建筑系列

绿色生态 建筑材料

黄煜镔 范英儒 钱觉时 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

前言

“没有好的建材，建筑永远成不了精品”，即使思路再开阔，设计再玄妙，建筑也必须通过材料这个载体来实现。而绿色建筑是“绿色”建筑设计、施工和建材的集成，建筑材料的选用很大程度上决定了建筑的“绿色”程度，因此无论从建材的使用数量上看，还是从建材能耗和建材生产技术方面看，建筑材料是建筑行业的基础，建筑材料的绿色化和生态化是绿色生态建筑的基础。

“绿色建材”这一概念是1988年在“第一届国际材料研究会”上首次提出的，是指采用清洁生产技术、少用天然资源和能源、大量使用工业或城市固态废弃物生产的无毒害、无污染、无放射性、有利于环境保护和人体健康的建筑材料。而生态建筑材料的概念来自于生态环境材料，是指在材料的生产、使用、废弃和再生循环过程中以与生态环境相协调，满足最少资源和能源消耗，最小或无环境污染，最佳使用性能，最高循环再利用率要求设计生产的建筑材料。

显然，无论绿色建材还是生态建筑材料都是相对和发展的概念，两者内涵不尽相同。绿色强调的是一种理念、一种标志，在建材领域更多地特指安全、无污染；而生态则突出一种过程，常指生物在适应的自然环境下生存与发展的状态；将两者合二为一表示为美好的、与环境协调的一切事物。从人类健康角度出发，对建材提出了绿色化要求，而从提高人类生活质量及与环境相协调的角度出发，则建筑物及其建材的生态化将更加有意义。

本书由黄煜镔副教授（第1、2、3章）、钱觉时教授（第7章）及范英儒（第4、5章）和饶坤普（第6章）共同编写。在编撰过程中，龚七一副教授、王智教授在本书定稿过程中提出了宝贵意见，徐月龙、郭清春、毛敏、范云燕、沈燕等博士或硕士研究生也参与了资料的收集和文字的处理，在此一并表示感谢，同时还要特别感谢化学工业出版社在本书出版过程中提供的帮助。

由于本书编写时间有限，涉及内容较多，书中难免存在疏漏和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者
2011年2月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 环境问题与可持续发展观	1
1.1.1 全球生态环境问题及其影响	1
1.1.2 可持续发展观	2
1.2 绿色生态建筑的提出	3
1.2.1 绿色生态建筑的定义与内涵	4
1.2.2 绿色生态建筑与绿色建材的相互联系	5
1.2.3 绿色生态建筑对建筑材料的要求	6
1.3 绿色建材的国内外发展现状	10
1.3.1 国外绿色建材的发展概况	10
1.3.2 国内绿色建材的发展概况	11
1.4 绿色建材的发展前景	12
1.4.1 国内外研究和应用绿色建材的发展	12
1.4.2 我国发展绿色建材的意义及其重要内容	12
第 2 章 绿色生态建筑中的材料	14
2.1 概述	14
2.2 绿色生态建筑的全寿命周期	14
2.3 传统建材的不利影响	16
2.4 绿色建材的概念与内涵	17
2.5 绿色建材的分类	18
2.6 绿色建材的基本要求	19
2.6.1 应满足人居环境的健康原则	19
2.6.2 绿色建材应与环境相协调	23
2.6.3 绿色建材应具有环境优化效应	25
第 3 章 绿色建材的测试与评价方法	28
3.1 绿色建材的认证	28
3.1.1 环境标志的概念	28
3.1.2 国外环境标志实施概况	28
3.1.3 我国环境标志的实施概况	31
3.2 我国有关绿色建材的政策与规范	38

3.2.1	有关主要规范	38
3.2.2	部分有关政策	39
3.2.3	主要绿色建材产品(性能)评定技术条件	40
3.3	绿色建材评价方法与指标体系	43
3.3.1	材料的环境影响评价方法——材料生命周期评价方法	43
3.3.2	实际应用中绿色产品评价体系	50
3.3.3	绿色建筑中的绿色建材评价体系	56
第4章	生态建筑结构体系中的绿色结构材料	58
4.1	水泥、混凝土生产工艺及其绿色化	58
4.1.1	水泥及其生产工艺简介	58
4.1.2	水泥工业的环境负荷	59
4.1.3	混凝土生产的环境问题	64
4.2	水泥、混凝土绿色化技术	67
4.2.1	水泥的绿色化	67
4.2.2	混凝土的生态环境化	87
4.3	水泥、混凝土绿色化评价——硅酸盐水泥混凝土生命周期评价方法	106
4.3.1	硅酸盐水泥混凝土的LCA评价	106
4.3.2	可完全循环利用硅酸盐水泥混凝土的LCA评价	109
4.4	其他主要绿色建筑结构材料	111
4.4.1	钢结构材料	111
4.4.2	生土	112
4.4.3	木结构材料	114
4.4.4	石材	116
第5章	绿色生态建筑中的功能材料元素	118
5.1	墙体材料	118
5.1.1	砖	119
5.1.2	砌块	122
5.1.3	板材	128
5.1.4	墙体材料元素在生态建筑中的绿色化应用及要求	131
5.2	建筑卫生陶瓷	132
5.2.1	陶瓷原料	132
5.2.2	陶瓷的生产工艺	133
5.2.3	陶瓷的表面装饰	134
5.2.4	建筑卫生陶瓷的分类	134
5.2.5	建筑卫生陶瓷元素在生态建筑中的绿色化应用及要求	135
5.3	建筑玻璃	136

5.3.1	玻璃原料	137
5.3.2	玻璃的制造工艺	137
5.3.3	玻璃制品的加工和装饰	138
5.3.4	玻璃的分类	139
5.3.5	常用的建筑玻璃	140
5.3.6	装饰玻璃纤维制品	143
5.3.7	建筑玻璃元素在生态建筑中的绿色化应用及要求	144
5.4	建筑石材	146
5.4.1	石材的来源与特点	146
5.4.2	装饰石材的一般加工	147
5.4.3	常用装饰石材的种类	148
5.4.4	建筑石材元素在生态建筑中的绿色化应用及要求	151
5.5	木材	153
5.5.1	建筑用木材的种类	153
5.5.2	木材元素在生态建筑中的绿色化应用及要求	159
5.6	建筑塑料	161
5.6.1	塑料的组成	161
5.6.2	塑料制品的加工	162
5.6.3	塑料的基本品种	162
5.6.4	常用装饰塑料制品	164
5.6.5	建筑塑料在生态建筑中的绿色化应用及要求	168
5.7	建筑涂料	169
5.7.1	涂料的基本组成	170
5.7.2	常用的建筑涂料	171
5.7.3	建筑涂料在生态建筑中的绿色化应用及要求	174
5.8	金属装饰材料	176
5.8.1	铝及铝合金装饰板	176
5.8.2	常用钢材制品	178
5.8.3	铜和铜合金	179
5.8.4	金属装饰材料在生态建筑中的绿色化应用及要求	180
5.9	无机矿物制品	180
5.9.1	无机矿物原料	180
5.9.2	常用无机矿物制品的生产工艺、种类与特点	182
5.10	装饰纤维织品	188
5.10.1	常用纤维原料及其特点	188
5.10.2	地毯	191
5.10.3	装饰墙布	194
5.10.4	装饰纤维制品在生态建筑中的绿色化应用	197

5.11 各绿色元素在生态建筑中的组合·····	197
5.11.1 各元素的组合应用原则·····	198
5.11.2 各元素的组合应用·····	198
5.12 生态建筑中绿色功能材料的应用实例·····	200
5.12.1 绿色建材在围护结构保温体系中的应用·····	200
5.12.2 太阳能应用技术中的绿色建材·····	201
5.12.3 生态建筑室内设计中的绿色建材·····	202
第6章 美化环境与景观的绿色建材 ·····	205
6.1 生态建筑室外环境的组成与特征·····	205
6.1.1 生态建筑室外环境的组成·····	205
6.1.2 生态建筑室外环境的特征·····	206
6.2 表土保持技术中的绿色建材·····	207
6.3 低噪声柔性路面材料·····	211
6.4 铺地中的绿色建材·····	212
第7章 绿色建材的应用及展望 ·····	217
7.1 绿色建材在生态建筑中应用的典型实例·····	217
7.1.1 国外应用实例·····	217
7.1.2 国内应用实例·····	227
7.2 绿色建材与智能化·····	236
7.2.1 智能材料的内涵和特征·····	236
7.2.2 智能材料的基本构成和工作原理·····	237
7.2.3 智能材料的分类·····	237
7.2.4 绿色智能化建筑材料·····	238
7.2.5 生态建筑中智能化绿色建材应用举例·····	241
7.3 绿色建材与纳米技术·····	243
7.3.1 纳米材料的特殊效应·····	243
7.3.2 纳米技术在绿色建筑材料中的应用·····	244
7.4 绿色建材与绿色建筑体系·····	250
7.4.1 绿色建筑体系的主要影响因素与绿色建材·····	250
7.4.2 绿色建筑体系的构成与绿色建材的发展·····	252
7.5 绿色建材与绿色建筑技术的开发·····	254
7.5.1 中间技术、适宜技术和实用技术·····	254
7.5.2 高技术·····	254
参考文献 ·····	257

第 1 章 绪 论

1.1 环境问题与可持续发展观

1.1.1 全球生态环境问题及其影响

自工业革命以来，特别是进入 20 世纪以来，随着科学技术、经济的迅猛发展，环境问题日益突出，以往局部、小范围的环境污染与生态破坏已经演变成区域性乃至全球性的环境问题。尤其是 20 世纪 50 年代后，全球生态环境遭到空前破坏，相继出现温室效应、大气臭氧层破坏、酸雨、土壤侵蚀、森林锐减、陆地沙漠化扩大、淡水资源污染和短缺、生物多样性锐减、有毒有害化学品污染与越境转移、海洋环境污染等全球性生态环境问题。

根据联合国开发计划署、联合国环境规划署、世界银行和世界资源所于 2000 年 9 月刊印的《世界资源 2000~2001 年：人与生态系统：被磨损的生命网络》的报告：20 世纪，全世界半数湿地消失；砍伐和占用林地使世界森林缩减一半；全世界约 9% 的树种濒临灭绝，每年约有 $13 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上的热带森林遭到破坏；全世界近 70% 的主要海鱼被过度捕捞；在过去的 50 年中，全世界 2/3 的农田受到土壤退化的影响；堤坝、河流改道及运河几乎破坏了 60% 世界大河的完整性；全世界 20% 的淡水鱼种类或灭绝，或濒临灭绝，或受到威胁。现在全世界每天约有 170 km^2 的土地由于过度放牧和风蚀、水冲而成为不毛之地。据澳大利亚环境部科学家研究，由于全球变暖，使得南极海冰可能已融化了 25%。由此可见，全球生态环境所遭受的破坏是惊人的。

全球生态环境问题，作为影响人类正常生活并降低其生存质量的重大有害问题，从时间上看，其具有跨世纪的特点；从范围上看，其具有普遍性和跨国性；从程度上看，其具有严重性，表现出现实和潜在影响大、强度大、作用时间长的特点，由此引起的生态危机导致生态系统严重失衡和功能退化。

全球生态环境恶化的直接后果就是经济损失。据有关方面估计，中国 2002 年生态破坏的总损失约占 GDP 的 2.3%。中国每年环境污染和生态破坏造成的经济损失约占当年国民生产总值的 14%，其中生态破坏约占 65%，而且在逐年增加。近年来，许多环境保护专家和经济学家提出对经济增长和环境保护进行重新评价，建议将环境损害作为成本纳入到经济增长的核算中去。据此核算方法，我国每年生态破坏、环境污染造成的损失则约占 GDP 的 6% 以上。由此可见，中国经济的高速增长所付出的生态环境代价巨大。

全球生态环境破坏导致生存环境更加恶化。据统计，全球现有 $20 \times 10^8 \text{ km}^2$ 热带雨林，是地球上拥有生物数量最多的天然生态系统，为人类和动、植物提供了良

2 绿色生态建筑材料

好的生存环境，热带雨林的减少不仅意味着森林资源的减少，而且意味着全球范围内的环境恶化。此外，森林还是巨大的基因库。森林的破坏和减少，导致生物多样性遭到破坏、降水量减少、吸收二氧化碳能力下降，进而影响工农业用水和使全球气候恶化，使得人与自然的和谐关系遭到破坏。

人口、资源、环境和生态问题，已经威胁人类社会的生存。由于工业的高度发展，生产力水平大幅度提高，各类产品大量生产，导致对资源、能源的极大消耗和对过时或损坏物品的大量废弃，由此造成资源、能源短缺。预计到 2070 年，全球将会出现金属资源的枯竭，到 21 世纪末，将会出现石油、天然气等石化燃料的枯竭；同时，现代工业生产中释放的有害气体将产生严重的温室效应，使地球气温升高、海平面上升，大量沿海地区将被淹没。因此，人类面临的环境形势十分严峻，地球生态系统正在遭受有史以来最严重的污染和破坏，直接威胁全人类的生存和文明的持续发展。因此，保护地球家园已刻不容缓、迫在眉睫。

2009 年 12 月在丹麦首都哥本哈根召开了世界气候大会（图 1.1），就未来应对气候变化的全球行动签署新的协议。

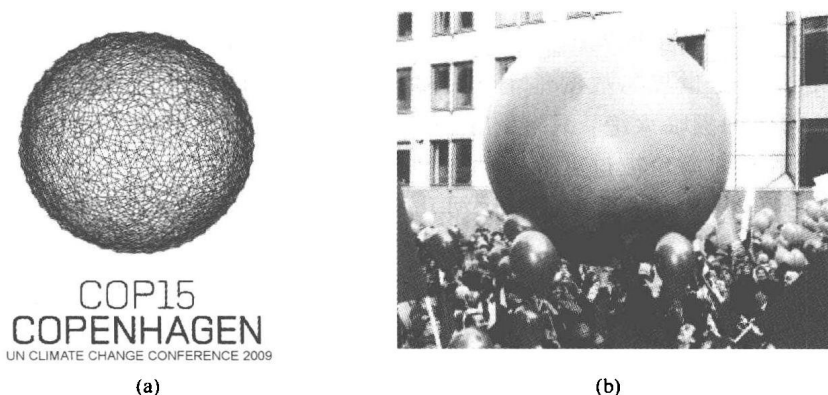


图 1.1 2009 年哥本哈根世界气候大会 [图 (a) 引自 njrb. njnews. cn]

1.1.2 可持续发展观

面临资源短缺和环境恶化两大现实问题，人类所做出的重大决策是提出了可持续发展思想。近年来，可持续发展（sustainable development）思潮的兴起，使越来越多的人开始探讨“持续发展的社会”、“持续发展的世界”，想方设法从根源上解决环境能源问题，其发展经历了以下这样一个过程。

1972 年 6 月，联合国在瑞典的斯德哥尔摩召开了第一次人类环境会议，敲响了全世界环境保护的警钟。会议发表了著名的《人类环境宣言》，把 6 月 5 日定为“世界环境日”，并且提出了一个口号：“只有一个地球”。

1992 年，在巴西里约热内卢召开“世界首脑会议——环境与发展”，成为人类生态意识的一个新的里程碑，它把人类的生态意识和环境意识从一般专业学者的议题转向世界首脑关心的议题，成为全球的共识。这次大会通过了《里

约环境与发展宣言》和《21世纪议程》两个纲领性文件以及《关于森林问题的原则声明》，签署了《气候变化框架公约》和《生物多样性公约》，预示人类比较自觉、全面地对待环境问题的时刻已经到来，标志人类社会进入一个新的文明阶段。

对于可持续发展的定义目前有多种说法，但以布伦特兰为首的世界环境与发展委员会所下的定义最为权威。可持续性（sustainable development）包含“需要”与“限制”的思想内容，“需要”是指对人民基本需要的满足，包括世界上贫困人民的基本需要，应将此放在优先的地位来考虑；“限制”是指当环境能力满足当前和未来的需要时，应在技术和社会经济方面对这种能力施以适当的限制。

可持续发展的观念，提出了发展的未来责任、社会责任和环境责任。第一，它提出了当前与未来的关系，即发展的未来责任，认为我们应当努力做到当代人与后代人的机会平等，不允许当代人片面、自私地追求自己的发展和消费，而剥夺后代人本应享有的同等的发展与消费的权利；第二，提出了人与人的关系，即发展的社会责任，要求人们在财富分配与接近资源的方面必须公平合理；第三，提出了人类活动与环境的关系，即发展的环境责任，强调人类应考虑自身的各种活动对环境产生的影响，否则破坏了生态平衡，将受到大自然的惩罚。

可持续发展是建立在正确认识人地关系的基础上，正确处理人口、资源、发展与环境的关系及合理开发、持久利用自然资源，其已被世界各国公认为是解决人地关系问题的唯一和最佳途径以及未来人类社会发展的正确模式。世界各国都开始或已经制定并实施了可持续的经济、社会发展战略。在我国，这一思想同样受到了前所未有的重视。1994年5月中国政府发布了《中国二十一世纪议程》，确立其为制定国民经济和社会发展规划中的指导性文件，为可持续发展提供了保障。

总而言之，可持续发展是建立在全面认识人地关系及全面反思现代化过程中片面追求经济增长的不合理发展方式的基础上，确立一种全新的发展模式和发展观点，致力于建立一种绿色、生态、循环、持续协调的发展机制。

可持续发展战略是我国21世纪的基本国策，如何保护生态环境、实现可持续发展，是一项紧迫而重大的课题。

1.2 绿色生态建筑的提出

随着可持续发展思想的普及，包括建筑师在内的有识之士逐渐认识到：以可持续发展为指导思想从事本学科的研究与实践，符合历史潮流。从现代主义到后现代主义，从解构主义到新古典主义、晚期现代主义、地域主义，建筑界在这个世纪的百年时间里，经历了一个不寻常的发展时期。然而，各种各样的建筑思潮，几乎都是围绕建筑本体，在本体论、形式论、方法论等范畴内转圈子。它们营建的是一个以人为中心的自然、经济与社会复合起来的人工环境系统。在这一体系中，营造舒

适的人工环境是第一需求,是从掠夺式的自然资源利用中发展起来的。其运营模式是非循环的,即资源—建筑—废物。这种营建和使用模式是以大量消耗自然资源和大量排放废气污染物为特征的。但站在21世纪的新起点上,当重新审视建筑业在建造和使用过程中的消费方式和其生态意义时,这种高能耗、高污染的传统生产模式已不再适用;而把具有节约资源、降低能耗、减少污染、提高室内环境质量等性能的生态建筑作为新世纪建筑设计的方向。

社会经济的快速发展使得建筑业的发展日新月异,为人类提供了更加广阔的活动空间,给人类生活带来了极大的便利,然而同时它却对生态环境与自然资源等带来了十分不利的影响。据统计,在美国,建筑业占能源总消耗量的36%、耗电量的65%、温室气体产生量的30%、原材料使用量的30%、废物产生量的30%、饮用水消耗量的12%。在我国,建筑能耗是发达国家的2~3倍以上,此外,我国人均耕地只占世界的1/3,而实心黏土砖每年毁田达12万亩;我国水资源仅为世界人均占有量的1/4,而卫生洁具耗水量高出发达国家30%以上,污水回用率仅为发达国家的25%;钢材、水泥等物耗水平也要比发达国家高出10%~30%。因此,有效地降低建筑业的能源、资源消耗及减轻建筑业造成的生态环境污染,将建筑业这个传统的高消耗型发展模式转变为高效绿色型发展模式,将对社会可持续发展起到至关重要的作用。绿色建筑正是在此背景下得到高度的重视和广泛的支持。

1.2.1 绿色生态建筑的定义与内涵

生态建筑、绿色住宅、可持续发展住宅虽然名称不同,但实质都是绿色建筑。绿色建筑,也称生态建筑、健康建筑,是指在建筑生命周期的各个阶段,以高效利用能源、资源并最低限度地排放废弃物的方式来营造健康、舒适、高效、环保以及低环境负荷的居住、工作和活动的空间,同时达到人、建筑与环境的健康协调发展。绿色建筑规划、设计时充分考虑并利用了环境因素,施工过程对环境造成的影响大幅度减小,运行阶段能为人们提供健康、舒适、低耗、无害空间,拆除后对环境的危害也会降到最低。因此,绿色建筑可以理解为在建筑寿命周期内,通过降低资源和能源的消耗,减少各种废物的产生,实现与自然共生的建筑。

绿色建筑的内涵包括:①绿色化,即节能环保、节约资源、废弃物无害化和可循环等;②以人为本,也就是说在追求高效节约的同时,不以降低生活质量、牺牲人的健康和舒适性为代价;③因地制宜,不论建筑模式还是设计施工等阶段,都不能照搬既有模式,应该选择个性化的最优方案;④注重整体设计,绿色建筑设计必须结合经济、气候及人文等因素进行综合分析。

一般来说,绿色建筑具有选址规划合理、资源利用高效循环、综合措施有效节能、建筑环境健康舒适、废弃物排放减量无害和建筑功能灵活适宜等特点。绿色建筑还具有节地、节水、节能、改善生态环境、降低建筑造价、延长建筑物寿命等诸多好处,使经济效益、社会效益、环境效益得到完美的统一。

绿色建筑实例如图 1.2 和图 1.3 所示。



图 1.2 绿色建筑实例——
朱比丽校园



图 1.3 绿色建筑实例——
蒙特福特大学的女王楼

1.2.2 绿色生态建筑与绿色建材的相互联系

“没有好的建材，建筑永远成不了精品”。即使思路再开阔，设计再玄妙，建筑也必须通过材料这个载体来实现。建筑材料的生产和使用过程中资源、能源消耗高和环境污染严重是导致建筑不可可持续发展的原因之一。绿色建筑是“绿色”建筑设计、施工和建材的集成，因此材料的选用很大程度上决定了建筑的“绿色”程度。绿色生态住宅如图 1.4 所示。



图 1.4 绿色生态住宅

从数量上看，仅建筑工程所需要的建筑材料就有 76 大类，1800 多个品种，2500 多个规格。每年房屋建筑的材料消耗量占全国同种材料消耗量的比例为：钢材占 25%，木材占 40%，水泥占 70%，玻璃占 70%。

从能耗方面看，我国建筑总能耗占全国总能耗的 20%~30%。在建筑寿命周期各阶段中，建材生产和运输阶段能耗约占建筑能耗总量的 20%~25%。建筑日常使用阶段能耗最大（约为 70%），而在此阶段能耗中，使用保温不良的建筑材料所造成的能耗又占据相当大的比例。

从技术上看，建筑关键技术，如居住环境保障技术，住宅结构体系与住宅节能技术，智能型住宅技术，室内空气与光环境保障技术，保温、隔热、防水技术等与绿色建材相关。这些建筑技术的发展必然以建筑材料为基础。

可以说，建筑材料是建筑行业的基础，建筑材料的绿色化是绿色建筑的基础，发展绿色建材，将促进绿色建筑业的发展。

1.2.3 绿色生态建筑对建筑材料的要求

1.2.3.1 绿色生态建筑对建筑材料在资源利用方面的要求

绿色建筑对建筑材料在资源利用方面的要求可归纳如下。

- ① 尽可能少用建筑材料。
- ② 使用耐久性好的建筑材料。
- ③ 尽量使用可再生资源生产的建筑材料。
- ④ 使用可再生利用、可降解的建筑材料。
- ⑤ 使用由各种废弃物生产的建筑材料。

悉尼奥运会曾提出口号“少用即是环保”，少用材料对减少自然资源和能源的消耗、降低环境污染的作用不言而喻。耐久性好的材料对于能源节约、减少固体垃圾是非常有利的。此外，材料的耐久性对于室内空气质量也起到重要作用，一般来说，耐久性越好的材料对室内污染越小。

绿色建筑强调减少对各种资源尤其是不可再生资源的消耗，包括水资源、土地资源。对于建筑材料来讲，减少水资源的消耗表现在使用节水型建材产品和使用透水型陶瓷或混凝土砖以使雨水渗入地层，保持水体循环，减少对水资源的消耗。在建筑中限制和淘汰大量消耗土地尤其是可耕地的建筑材料（如实心黏土砖等）的使用，同时提倡使用由工业固体废弃物如矿渣、粉煤灰等工业废渣以及建筑垃圾等制造的建筑材料：发展新型墙体材料和高性能水泥、高性能混凝土等既具有优良性能同时又大幅度节约资源的建筑材料；发展轻集料及轻集料混凝土，减少自重，节省原材料。

充分利用建筑材料的可再生性对减少资源消耗具有非常重要的意义。建筑材料的可再生性是指材料受到损坏但经加工处理后可作为原料循环再利用的性能。可再生材料一是可进行无害化的解体；二是解体材料再利用。具备可再生性的建筑材料包括钢筋、型钢、建筑玻璃、铝合金型材、木材等。可以降解的材料如木材、纸板等，能很快再次进入大自然的物质循环，在现代绿色建筑中经过技术处理的纸制品已经可以作为承重构件而被采用。

欧美发达国家对于建筑物均有“建材回收率”的规定，指定建筑物必须使用30%~40%以上的再生玻璃、再生混凝土砖、再生木材等回收建材。1993年日本混凝土块的再利用率高达70%，建筑废弃物的50%均经过回收再循环使用，有些欧洲国家甚至以80%的回收率为目标。反观我国的建筑业却很少使用回收再生建材，目前除了高价的铝、钢筋的回收率高达80%~95%之外，对于混凝土、瓷砖、玻璃、木材、塑料等几乎不回收利用，使建筑垃圾严重污染环境。

利用废弃物生产绿色建材在国内外建材行业已经成为研究和开发的“热点”。废弃物主要包括建筑废弃物、工业废弃物和生活垃圾，可作为再生资源用于生产绿色建材。

建筑废弃物中的废混凝土、废砖瓦经处理后可制成再生骨料用于制作混凝土砌块、水泥制品和配制再生混凝土；建筑污泥可利用制造混凝土骨料；废木材可作为

造纸原料，也可用来制造人造木材和保温材料。

工业废弃物中的煤矸石、沸腾炉渣、粉煤灰、磷渣等可用来代替部分黏土作为煅烧硅酸盐水泥熟料的原料，也可直接作为硅酸盐水泥的混合材；粉煤灰、矿渣经处理可作为活性掺和料用于配制高性能混凝土；一些工业废渣还可用来制砖和砌块，如炉渣砖、灰砂砖、粉煤灰砖等，工业废渣砖已是当今广泛应用的建筑材料；粉煤灰、煤矸石还可用来生产轻骨料和筑路材料。此外，国外还有利用废发泡聚苯乙烯作为骨料生产轻型隔热材料；用造纸淤泥制造防火板材；用垃圾焚烧灰和下水道污泥生产特种水泥（生态水泥）；用废纸生产新型保温材料等。

据统计，生活垃圾中80%是潜在的资源，它们可以回收再利用生产建筑材料：废玻璃磨细后可直接作为再生骨料；废纤维和废塑料经化学处理可制成聚合物黏结剂，用它拌制的聚合物混凝土具有高强度（其抗压强度、抗拉强度为再生骨料混凝土的3~6倍）、高硬度、耐久性好的特点，可用于生产预制构件、修补道路和桥梁；废塑料回收还可生产“再生木材”，其寿命在50年以上，可以取代经化学处理的木材，其不怕潮、耐腐蚀，特别适合在流水、潮湿和腐蚀性介质的地方代替木材制品。另外，如将新鲜垃圾分拣出金属材料再加入生物催化剂，经杀菌、固化处理后可以制成具有一定强度、无毒害、较高密度的固体生活垃圾混凝土，可用于路基材料和空心砖。

绿色建材示例如图1.5所示。

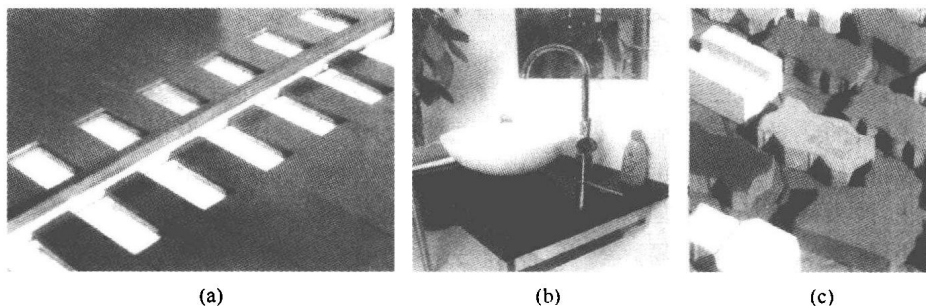


图 1.5 绿色建材示例

1.2.3.2 绿色生态建筑在能源方面对建筑材料的要求

(1) 尽可能使用生产能耗低的建筑材料 使用生产能耗低的建筑材料无疑对降低建筑能耗具有重要意义。目前，我国的主要建筑材料中，钢材、铝材、玻璃、陶瓷等材料单位产量生产能耗较大，单位质量建筑材料在生产过程中的初始能耗见表1.1。但在评价建筑材料的生产能耗时必须考虑建筑材料的可再生性。钢材、铝材虽然生产能耗较高，但其具有非常高的产品回收率，钢筋和型钢的回收率可分别达到50%和90%，铝材的回收利用率可达95%，而且这些材料经回收处理后仍可用于建筑部品。我国目前的废弃玻璃和废弃混凝土在建筑上的回收利用率非常低。回收的建筑材料再生处理过程同样需要消耗能量，但较之初始生产能耗有较大幅度的

降低。目前，我国回收钢材重新加工的能耗为钢材原始生产能耗的 20%~50%，再生加工铝材的生产能耗仅占原生铝的 5%~8%。因此，只考虑高初始生产能耗而限制发展轻钢结构建筑体系的观点是片面的。可再生利用的建筑材料对于节约能源和保护环境都具有相当的影响。

表 1.1 我国单位质量建筑材料在生产过程中的初始能耗 单位：GJ/t

型钢	钢筋	铝材	水泥	建筑玻璃	建筑卫生陶瓷	空心黏土砖	混凝土砌块	木材制品
13.3	20.3	19.3	5.5	16.0	15.4	2.0	1.2	1.8

(2) 尽可能使用可减少建筑运行能耗的建筑材料 国外把节能称为“第五常规能源”，对节约能源采取了许多措施，其中之一是共同的，即发展和应用绝热材料。建筑材料对建筑节能的贡献集中体现在减少建筑运行能耗，提高建筑的热环境性能方面。建筑物的外墙、屋面与窗户是降低建筑能耗的关键所在，加强建筑保温隔热、选用优良的绝热材料是实现建筑节能最有效和最便捷的方法。在各种建筑物采用绝热材料进行保温隔热，是最直观的也是效果最为显著的建筑节能措施；采用高效绝热材料复合墙体和屋面以及密封性良好的多层窗是建筑节能的重要方面。

建筑物热损失的 1/3 以上是由于门窗与室外热交换（热传导、热辐射和热对流）造成的。提高窗户的保温隔热效果需从两个方面采取措施。一方面是透光材料，玻璃的传热系数大，这不仅因为玻璃的热导率高，更主要是由于玻璃是透明材料，热辐射成为重要的热交换方式，因此，必须采用高效节能玻璃以显著提高建筑节能效率。目前我国窗用透光材料从普通的单层玻璃发展到使用单框双玻璃、夹层玻璃、中空玻璃、镀膜玻璃等，大大提高了外窗的保温隔热性能。另一方面是门窗材料，门窗的热导率比外墙、屋面等围护结构大得多，因此，发展先进的门窗材料和门窗结构是建筑节能的重要措施。随着外墙木门窗的停止使用，铝合金、塑钢等材料窗框被大量采用。我国目前开发的铝合金隔热窗框型材有两种：其中一种隔热桥是采用树脂实心连接，隔热效果有限；另一种是采用硬聚氨酯泡沫实心填充隔热桥，隔热效果好，但耐久性差。国外采用高强度树脂双肢隔热桥，用液压工艺连接隔热桥的铝合金隔热窗型材，隔热效果非常好。除此以外，其他型材如铝木复合、钢塑整体挤出、塑木复合型材都要求有较高的生产工艺及技术水平，国内虽然也有类似产品，但生产工艺和产品的技术经济指标及性能与国外产品相比有较大差距。保温材料示意如图 1.6 所示。

我国保温材料在建筑上的应用是随着建筑节能要求的日趋严格而逐渐发展起来的，相对于保温材料在工业上的应用，建筑保温材料和技术还较为落后，高性能节能保温材料在建筑上利用率很低。保温性能差的实心黏土砖仍在建筑墙体材料组成中占有绝对优势。为实现新标准节能 50% 的目标，根本出路是发展高效节能的外墙外保温复合墙体，外围护墙体的保温隔热技术和材料是目前重点研究开发的节能技术，它可以避免热桥的产生，保温效果好。国外以轻质多功能复合保温材料为开发方向，在建筑物的围护结构中，不论是商用建筑还是民用建筑，全部采用轻质高

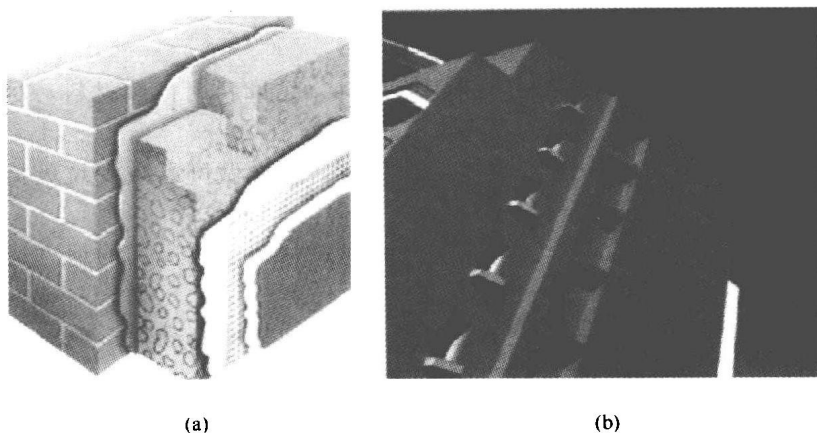


图 1.6 保温材料示意图

效的玻璃棉、岩棉、泡沫玻璃等保温材料，在空心砌块或空心砌筑好的墙体的空腔中，用高压压缩空气把絮状的玻璃棉吹到空腔中，填充密实，保温效果非常好。一些先进的新型保温材料和技术已在国外建筑中普遍采用，如在建筑的内外表面或外层结构的空气层中，采用高效热反射材料，可将大部分红外线反射回去，从而对建筑物起保温隔热作用。目前，美国已开始大规模生产热反射膜，用于建筑节能。

(3) 使用能充分利用绿色能源的建筑材料 绿色能源主要是指太阳能、风能、地能和其他再生能源。在建筑中使用将绿色能源转化为电能、热能等能源的建筑材料，以确保整个建筑物的能源不再需要或较少需要另外供应，减少由于使用化石燃料对环境造成的污染，这是建筑材料的“绿色”化发展方向之一。太阳能作为一种可再生的洁净能源，是建筑上很具利用潜力的新能源之一。太阳能利用装置和材料都离不开玻璃，太阳能光伏发电系统、太阳能光电玻璃幕墙等产品都将大量采用特种玻璃，对用于太阳能转化的玻璃要求具有高透光率、低反射率、高温小变形、高表面平整度等特性。太阳能与玻璃的复合技术已使建筑的幕墙作为建筑本身部分用能的自供电源成为可能，这是建筑构件复合多功能高新技术发展的一个成功实例，也是建筑可持续发展的方向之一。

太阳能发电板在悉尼奥运会中被普遍应用，其中采光材料大量采用低铁玻璃。英国某公司生产的光电幕墙产品已遍布世界，在 100 多个工程中被采用，日本、美国、韩国和欧洲很多国家都采用了此产品。日本公司推出的太阳能发电玻璃窗能吸收 85% 的太阳光，经过太阳能电池板转化为电能，可向室内供电。瑞士发明一种能与玻璃一起安装在窗户上的透明太阳能电池，它是在覆盖有二氧化钛薄膜与感光色素薄膜层的两块玻璃之间，有一层含碘的电解质，太阳光照射到感光色素上产生的电荷，通过电解质接触到二氧化钛，形成电路并产生电流。由于各涂层很薄，不会影响窗户的透明度。

1.2.3.3 绿色生态建筑在环境质量方面对建筑材料的要求

绿色建筑在环境质量方面的选材要求归纳如下。

① 避免选用可能导致臭氧层破坏的材料。应该尽量避免选用以氟利昂为发泡剂的保温材料。

② 尽量选用天然和无须再加工的建筑材料。尽量利用自然材料，尽量展露材料本身，少用涂料等覆盖层或大量装饰。

③ 积极利用可循环使用的建筑构件和材料。这样做可以减少垃圾掩埋的压力和节省自然资源，如砖石、木料、板材、玻璃等。

④ 在可能的情况下尽量选用本地出产的建筑材料。从遥远的地方运输材料到建设现场对整个地球的生态环境来说是不利的。

⑤ 避免使用产生放射性污染和释放有害物质的材料。避免影响建筑工人和建筑使用者的健康，减少环境中粉尘和有机物污染。

⑥ 积极使用可再生能源或提高人体健康的新型材料等。

由于现代建筑趋向高绝热性、高气密性并且大量使用化学建材，由材料散发出的甲醛、有机挥发物（VOC）等有害物质的含量超过限度后，会引发多种疾病。绿色建筑特别强调保证室内环境的空气质量，这就要求建筑物有良好的自然通风换气功能，要控制使用含有有害物质的建筑材料，同时要防噪声、防辐射。从环境无害化的角度来看，建筑材料和装修材料的选择对室内空气质量起到决定性的作用。

室内空气中甲醛、苯、甲苯、有机挥发物等是危害人体健康的主要污染物。现在国内开发出很多有利于室内环境的材料，包括无污染、无害的建筑材料；有利于人体健康的材料，如净化空气材料、保健抗菌材料、微循环材料等；已开发出的无毒、耐候性、长寿命的内外墙涂料，耐候性达到 10 年左右；利用光催化半导体技术产生负氧离子，开发出具有防霉、杀菌、除臭作用的空气净化功能材料；具有红外辐射保健功能的内墙涂料和瓷砖；可调湿的新型建筑材料、抗菌自洁净玻璃等。近期在研究观念上又前进一步，将消极地灭杀空气中有害物质的理念上升为积极地提供有利于人体健康的元素，利用稀土离子和分子的激活催化手段，开发出具有森林功能效应、能释放一定数量负氧离子的内墙涂料及其他建筑材料。这些新材料的研究开发为创造良好室内空气质量提供了基本的材料保证。

1.3 绿色建材的国内外发展现状

1.3.1 国外绿色建材的发展概况

在国外，曾经是工业发达国家支柱产业的建筑和建材业，在经过 20 世纪 80 年代和 90 年代的徘徊后，现已从量的顶峰回落，朝“质”的提高方面发展，而这“质”的标准就是“绿色”。

早在 20 世纪 70 年代末，欧洲一些发达国家的科学家就已着手研究建筑材料释放的气体对室内空气的影响及对人体健康的危害程度，还就建筑材料对室内空气的影响进行了全面且系统的基础研究工作。当时在丹麦、挪威、瑞典等国家，由于建筑物中有机挥发物的存在，人们常出现刺激、乏力、头痛、记忆力减退等症状，这