

比尔·劳森 博士 著 (澳大利亚新南威尔士大学建筑学院)
大卫·鲁德 注册建筑师 协著



建筑材料、 能源与环境： 朝向生态可持续发展

中国环境科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑材料、能源与环境：朝向生态可持续发展 / (澳) 劳森著；张明顺译 . —北京：中国环境科学出版社，2000.3

ISBN 7-80135-962-3

I. 建… II. ①劳… ②张… III. ①建筑材料工业-可持续发展-研究 ②建筑材料工业-环境保护-研究 IV. X799.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 76911 号

中国环境科学出版社出版发行

(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)

北京联华印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000 年 2 月第 一 版 开本 787 × 1092 1/16

2000 年 2 月第一次印刷 印张 11 3/4

印数 1—1 000 字数 278 千字

定价：35.00 元

致 谢

很多人为本书的出版做出了贡献。我十分感激澳大利亚和中国的一些公司和公司代理，是他们不仅提供了制造工艺的数据，而且提供了建筑师、建设者的信息。这些建筑师、建设者给了我使用他们的建筑做为本书案例研究的权力，许多出版社给了我应用他们出版物资料的版权。

十分感谢牛犊小路的版权所有，但遗憾的是已不可能知道谁是该版权的所有者。

大卫·鲁德 (David Rudder) 帮助了本书的第一次出版。他不仅帮助作者收集数据，而且帮助作者整理成文，帮助作者完成了中文版。除了另外署名外，案例研究的图都由大卫·鲁德摄制。

张杰先生负责了本书的版式的设计，使本书增辉。

作者的同事对本书的第一版提供了许多宝贵的意见，并提供了中文版的大纲，我非常感谢澳大利亚环境、体育与国土局为本书的第一版提供了财政资助，也十分感谢新南威尔士大学建筑环境学院为本书中文版提供资助。我也十分感谢帮助本书出版的中国朋友们，包括中国环境科学出版社的编辑，本书的译者以及天津大学建筑工程学院的沈天兴教授、李志国教授，是他们不惜牺牲自己的时间，帮助和组织了本书的出版。在此，一并表示谢意。

本书提供的信息都是以科学数据为依据的事实性、非正规数据，对于一些有关复杂的生态问题的数据解释主要依据不同的概念和观点。本书中的一些观点并不是作者以及澳大利亚福利部以及中国的观点，对于本书的一些数据和建议，仅供读者参考，作者不负责任。

比尔·劳森

Bill Lawson

译者前言

自 90 年代以来,可持续发展已成为最热门的话题之一。可持续发展观念的提出标志着人们在对人类发展历史的全方位思考同时,渴望寻求一种新的发展模式:一种经济、社会与环境平衡发展的新模式,一种人类能与自然环境和地球上的生命系统和谐相处的新模式,一种不仅考虑代内公平,而且考虑代际公平的长期的、持续的发展新模式。毫无疑问,在可持续发展的框架之下,人类的各项活动都要受到应有的限制和约束。

建筑及其相应的一系列活动是人类改造自然,重塑环境的最主要的活动之一。本书作者劳森博士是一位建筑学家,在多年的建筑实践中,他十分关注建筑与环境、建筑与能耗、建筑与生态、建筑与可持续发展的关系,并在多年积累的基础上著成了此书。本书包括八章、二个附录,比较详细地论述了建筑材料的提取、加工;建筑物的设计、使用、维护以及建筑物的拆毁等各个环节对环境的影响以及消耗的能量,并结合澳大利亚的实例进行了分析。二个附录中分别介绍了澳大利亚建筑环境政策和建筑物构件的含能计算方法。

纵观全书,有以下几个特点:(1)将生态可持续发展的思想贯穿于建筑活动的始终,并通过一组指标,定性的评价建材、建筑构件和整个建筑物对生态环境的影响;(2)通过含能的概念,定量地计算了建材提取、加工、建筑结构以及整个建筑物消耗的能量大小,并以此作为衡量建筑活动对生态影响的定量化指标;(3)强调了建筑设计对减轻建筑活动生态影响的重要性,指出了实行生态可持续设计的关键在于提高广大建筑设计师的生态环境意识,加强他们的相关业务知识培训,并制定相应的政策和法规;(4)强调了建筑生命周期环境评价的重要性。在考虑建筑活动的环境影响时,不仅要注重设计、材料提取、加工、建筑结构和建筑物的使用与维护等环节,更要考虑建筑物拆毁时的环境影响和有关材料再生和重复利用的可能性。

生态建筑的思想是当前建筑业中最活跃的思想之一。推广能耗低、环境影响小、材料可再生回用的新型建筑是今后建筑业发展的方向。本书在这方面进行了大胆的尝试,提供了很多有价值的经验和资料,值得广大中国建筑师、设计师以及其他建筑工作者借鉴。

译者长期以来从事环境保护教学与科研工作,对建筑知识知之甚少,加之英语能力有限,因此翻译中,不妥甚至错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

译者

1999 年 11 月

牛犊小路

一天，穿过一片原始森林，
一头牛向家走去；
它留下了一串串蜿蜒曲折的足迹，
这些足迹和所有牛留下的一样，并无特别。

此后，三百年过去了，
我猜想，这头牛早已死去。
但是它留下的足迹，
却演绎了一系列动人的故事。

第二天，一条孤独的狗顺着这些足迹走过；
紧接着，伴随着铃声，一群山羊也随之而过，
沿着高山溪谷中的这些足迹，
羊群伴着铃声不断地跑过。

此后，在那个高山林地之中，
经过那片原始森林，就有了一条小径；
人们或随路而行，或绕路而行，
随路也罢，绕路也罢，
人们心目中确信这是一条小径。
人们依然要走过这条小径，请不要嘲笑，
那头牛正是这条小径的开拓者，
它似乎依然在这条小径上前行，
一步一步摇晃着。

终于，这条森林小径变成了一条羊肠小道，
弯弯曲曲；
而后再变成了一条小路，
多少匹骏马奔跑在这条路上，
马尾映照着骄阳，

沿着一个半世纪前，
那头牛留下的足迹。

时光如梭，
这条小路变成了一个乡村的街道；
人们还不曾留意，
乡村又变成了一个拥挤的城市；
而这条街道就是城市的中心，
城市又发展成了一个大都市；
而人们脚下的
依然是二个半世纪前，
那头牛的足迹。

每天有无数条路，
与这条曾经的牛犊之路相连；
这条路现在甚至出现交通阻塞。
无数的人依然走过，
这条由三百年前一头牛开拓的路，
人们依然在这条路上前行，
日复一日，年复一年；
无限的敬畏应给予
那位开路的先驱。

这是一个令人深思的故事，
我反复地讲述；
人们往往忽视
心中的牛犊小路，
日起日落
人们重复着别人做过的事。
在充满荆棘的道路上重复，
或进或出，或前或后，
依然追随着那条曲折的路，
永远保留着那条别人留下的路。

但聪明的木神在大笑，

谁会记得那头最老的牛，
啊！这个传说留下的思考太多，
但我不愿再去讲述。

山姆·霍尔特·福斯

(来源：Felleman, H. 1965, 永存的诗, Doubleday, 纽约)

作者申明

作者虽已尽力做到本书提供的数据和资料真实、可靠，但作者、出版社以及本书出版的资助商不能承诺承担使用本书的数据和资料的各种责任，包括法律责任。

本书中错误和遗漏在所难免，作者将在再版和今后的版本中予以改正。

本书版权属于作者。作者在本书的合法版权期内将中文版版权免费赠给中国环境科学出版社所有。未经书面许可，本书或本书的任何部分均不得以任何形式（电子的、机械的、微缩的、复制的以及其他方式）再版或引用。有疑问可向中国环境科学出版社咨询。

中国环境科学出版社感谢支持本书中文版出版的澳大利亚环境、体育与国土局，澳大利亚新南威尔士大学及其建筑环境系，天津大学建筑学院等。

目 录

牛犊小路	I
第一章 综述	1
第二章 生态可持续发展	11
第三章 有机建筑材料：制造过程及环境影响	20
第四章 陶瓷材料：制造过程及环境影响	39
第五章 金属建筑材料：制造过程及环境影响	60
第六章 建筑构件及结构体系：含能	71
第七章 生命周期评价（LCA）	77
第八章 生态建筑案例研究	86
附录 A 澳大利亚皇家建筑研究所（RAIA）环境政策	147
附录 B 含能表	152
结束语	169
参考文献	170

第一章 综 述

牛犊小路这首小诗可能并不算是一个文学价值很高的作品，但却运用了生动的想像来传达一些信息，这些信息可以从不同角度来解释一些与城市发展及其环境效应相关的问题，并创造性地提出了解决这些问题的原则。

这首诗以“远古时代的森林”——环境论者的天堂谈起，描述了各种动物包括人类的发展对他们所赖以生存的环境的影响，尽管在很多情况下他们可能会走过同一个地方，但都会留下他们特有的标记和足迹。

建筑行话里用术语“足迹”来描述一幢建筑与基地的关系，这种关系可以解释为不仅包括地理位置，而且还包括建筑物对基地的影响。也许在开始阶段，认为像建筑这样一个不可移动的物体可以留下足迹是一个看似愚蠢的想法。然而，对这些足迹以及它们的环境效应的想象，对于考虑建筑对环境的影响似乎是一个很有用的方法。

简 介

著名的美国建筑学家巴克明斯特·福勒曾说过：如果你建造了一幢建筑，你便掠夺了土地。这句话戏剧性地、负面地表达了保罗·里特，——富有创新精神的柏斯城的规划师及建筑师们对我们这一时代的理解：“我们是这一星球上生命系统中的一个组成部分，我们的每一举动都可能增强或降低我们和谐地与其它生物及我们赖以生存的周围物质环境共存的能力”。

人之所以与其它生物不同，是由于他们具有事先制定计划并设计未来的能力。而事先制定计划的关键环节在于设计。接下来是那些不同的设计专业——城镇设计，景观建筑学，工业设计及各种工程学以及艺术学的分支——它们在塑造未来的过程中都扮演着重要的角色，无论将来是好是坏，是穷是富，但程序的第一步是意识到现状，从过去的错误中学习经验，并充满信心地前进，以便在未来做得更好。

设计师常被认为是一些自私的、不善合作的人。然而，当今世界的许多事情复杂，规模大，往往不能有一个人或一个学科来解决。集体攻关和联合行动已经成为了成功的关键。中国现在也正在讨论有关建筑学的综合性问题。

自 20 世纪 50 年代以来，由于政治原因，东西方在建筑学方面的交流不多。建筑学家吴良镛在清华大学建筑学院建院 50 周年等一些活动的讲话和一些文章中指出，在建筑思想，包括建筑对环境的影响方面，中国的建筑师们对海外的发展关注的不够。但是，中国的很多建筑师代表自 50 年代中期以来，也确实参加了国际建筑师联盟（UIA）召开的一系列国际会议。无论政治如何，东西方的绝大多数建筑师在设计中都应针对环境影响采取预防措施。忽略环境影响何时都是不可接受的。

因此，设计师应该很好地总结过去所犯的错误，并对未来充满信心。

设计者常被认为是一些敏感的人——然而对什么敏感，以什么方式敏感？现时，我

们对环境的感知似乎并没有以一种很平衡的方式来得到发展，各种艺术及科学仍在继续各行其道地施加着各自狭隘的影响，而现在所需要的却是一个更为有机的、整体性的设计之路。

我们嘲笑一个关于城市小孩的故事，这孩子以为牛奶总是存在牛奶盒里，他并不知道奶牛及农场在我们日常生活中的作用。然而究竟有多少设计师意识到他们所选用的建材的资源问题，制造这些建材所需的能量，或甚至于这些能量本身的资源问题？并且他们对自己的决定所将产生的远期环境影响又有多大程度的了解？更进一步地来说，他们是否意识到了他们将其思想付诸实践时所需的资料及知识，而这种知识和资料常常很缺乏或是根本就不存在。

上述需要便是写这本书的最初动机，因为对于设计并建造新的未来，时间已经不算充裕了，对我们来讲，必须从现在就行动起来。

背景情况分析

从 20 世纪 60 年代起，或是更早一些，在西方国家和西方社会的某些部门中，现代社会工业化及技术发展所导致的环境质量下降，已经越来越引起人们的关注。

常常伴随着发展带来的深刻的社会及政治变革，连同着环境质量下降，都曾一度被默许为进步的代价。在东方，如中国和东南亚国家，在经济发展中往往忽视了环境的破坏。在过去的 30 年或更长的时间里，由于无限制的发展所带来的后果越来越多地冲击着生活的质量。对环境问题的认识及关注得到了极大的增强，甚至达到对发展的真实代价提出尖锐疑问的程度。而建筑业作为社会的一部分，以及发展进程中的一个关键角色，也无法避免现时发展的变革。

制造业、能量与环境

70 年代，原油生产国家的政治策略引起能源危机，注意力第一次被猛然集中到全球有限的能源储备问题上。作为一个社会，我们对这一危机的最初反应是一种关注。而那些最受能源短缺及燃料费用上升影响的工业则开始首次严肃地制定他们的生产耗能决算。这些措施确认了一些减少废料、提高效率及降低运作费用的方法。

同时，一些有远见的人也开始研究可更新的能源以替代有限的矿物燃料。这项研究一直延续到现在，只是强度不同而已。后来由于种种原因，对可更新能源的研究也被搁浅了。

最初是能量费用的增长以及激烈的市场竞争激发了制造工业在运作上的变革。以这种行动所获得的好处及明显的经济收益使能量效率问题成为了大多数工业的一个重要的改革措施。

近三十年之后，我们可以从澳大利亚及海外的制造业的发展中清楚地辨认出能量效率的改进。对于很多工业组织，只要他们对全新的工厂及设备投入辛苦的劳动及大量的原料，便可得到收益。有些工业在实践中采用现代技术而取得的能量效率几乎与理论上的十分接近。

最近几年，能量效率不仅成为衡量生产的一项指标，而且成为衡量产品本身的一项指标。随着能量费用上升及整个社会越来越重视这一问题，消费者也越来越重视能量效

率高的产品。

在东方,一些国家,如原苏联和中国,他们和西方的发展道路不同。这些国家矿产资源和其他资源很丰富,但缺乏高效发展的技术和资金。农业和工业发展中一直引人关注的一个问题就是效率问题。由于不合适的产品和技术原因,人们有时强调产量而忽视了质量。

20世纪60年代中期,中国开始偿还原苏联的债务,并开始和西方国家在谷物和工业设备方面开展贸易活动。然而,工业发展一直规模小,农业技术含量低、且分散。60年代中期到70年代中期,是中国动荡的10年。这个时期,产业分散、规模小、工业效率低,建材工业的效率也很低。

除了一些农业计划外,那时,中国的发展意识中几乎不存在考虑环境影响。例如,大跃进时代,木材一直过量开采。分散的、小规模工业污染使污染问题遍地开花。分散的工农业无疑也增加了就业,那时,人们根据国家的需要调动工作。

1976年以后,经济发展成了中国政治的中心,当然也包括人口问题。此后,中国的经济管理逐渐朝私有化和资本化方向发展,当然也出现了一些问题。

在过去的10年,各种环境灾害,如洪水、干旱一直困扰着中国。这些灾害很可能是人类活动引起的。为了减少污染,北京已控制燃煤。近来,根据新华社的消息,长江流域已关闭了一些排放有毒废物的造纸厂、皮革厂和排放放射性废物的工厂。世界上最大的水利工程,三峡工程也还存在一些问题,值得讨论。目前,人们已将环境与经济结合起来考虑。亚洲一些政党也开始了在预防空气污染和保护海洋环境方面的国际合作。

西方的公司又开始了与中国在十分广泛领域的贸易活动。私有化成了人们日常生活的口头语。在建筑上,中国也缩短了与西方的差距。目前的一些现代商业中心的商业建筑已很难找到中国式的传统色彩,而成为了国际型建筑。

目前,在西方,节能不仅成为了生产的关键,而且也成为了产品本身的关键。随着能量费用的上升,社会越来越关注能量问题。广大消费者也尽力购买能量效率高的产品。在中国,能量效率还没有成为消费者关心的主要因素。但是,在北京禁止燃烧高硫煤($>0.5\%$)以及机动车严格的尾气排放标准等无疑会大大提高人们关注能量消费和环境影响的意识。

那些迎合市场及消费者需求的公司获益匪浅,而那些死守旧技术的公司在生意场上则经受了戏剧性滑坡。美国汽车工业因长期拒绝从生产耗油的大型汽车转变成生产节油的小型汽车而几乎走入死谷。

与此同时,人们对工业制造业中设计这一角色有了更深刻的了解,从而获得了显著的发展。人们不只是关注一个产品的外观或是功能特性,也不只是单单关注制造工艺的简单化或市场的需求,而是关注一个产品的整体性能以及其他一些因素,如安全性和社会和环境效应,包括能耗。

今天,设计在工业中被看成是一个必不可少的因素,它是一种市场竞争及产生经济效益的手段,同时也可以满足几项重要的社会功能,包括生态平衡的持续性。

建筑师、能量与环境问题

相比之下,在同一时期内,很多建筑师和另外那些参与建筑设计和建设的人们,则

仍站在远处或只是在他们的设计决定中稍稍考虑一点耗能及环境影响的问题。有一种危险存在着，即由于他们所受的训练及特权，建筑师可能会认为自己是天生的环境感知能力。而一般来说，那些积极地寻求低耗能技术的人，尽管已有了一些引人注目的成就，然而，在传奇式的专业人士中，建筑工业的保守主义（建筑专业人士的一分子）仍力图抵制变革并维持传统的建筑方法。

除了有限的矿物能源的储备及费用上涨问题外，20 世纪 80 年代，一个新的关于能源损耗过多引起不良后果的观点出现在大众的意识中，即环境效应。那时，就看似无休止的飞速发展而论，环境问题主要被理解为挽救森林、河流和其它自然地形或是我们城市聚居地内的历史建筑。对很多人来说，他们对环境是由什么组成的这一要点的理解受到了上述问题形成的影响。



图 1.1 1982 年，塔斯马尼拉群众集会，抗议福朗克林和哥登河下游的建坝工程
(澳大利亚保护基金会 Geoffrey 摄)

现在人们已经意识到，浪费性地耗用矿物燃料以及掠夺性地耗尽我们的自然资源储备可能会导致严重的后果及地区性的生态环境危机。

与不断增大的温室效应相关联的海平面上升，以及由于大气层的臭氧耗损而引起的皮肤癌患病率增加如同建筑业电锯和推土机一样生动，因此，在 20 世纪 90 年代，公众环境论坛迅猛扩展，并扩展到生态意义更大的方面，例如空气与水的质量，土地质量衰退，全球大气变化和资源有限性等。

建筑师、工程师和其它参与建筑建设的人士，一直倾向于逃避这些更广、更深的环境影响，他们总是将建筑的影响范围局限于城镇设计及传统问题和一些新的建筑技术的开发。

政府部门制订的法规及限制因素可能与建筑师和其它设计专业人员在积极面对环境

挑战方面的麻木及无能有不小关系。然而，从另外一方面来说，如果当地政府和工业部门保持主动权，并继续采取行动来领导建筑业的变革（有时可能会导向错误的方向），那么建筑师在决定我们的城市的形状及特点上的作用将会被进一步减弱。

建筑物在它们的设计、建造、运转及最终的拆毁过程中耗用大量的材料、能量及其它资源。在每一阶段，这些资源的耗用都可能在全球、本地区以及个人的范围内产生重大的环境效应。通过确保尽量减少任何不良的效应和尽量增大益处，建筑师和其他设计专业人士能够在能量保护和资源使用上扮演主要的角色。

直到近期，对建筑物耗能的研究几乎全都集中在建筑物使用过程中的能量的分析上，主要包括日用的供热、致冷及照明所需能量。

最近的研究，包括澳大利亚境内的及其它地区的研究显示出建筑物本身所体现的含能也十分重要，尤其在大型的商业建筑中，可能比建筑使用寿命期限中所有的运作能量需要还要大。这种含能包括提取及加工原材料制成建筑物构件和成品所需的能量和建造建筑时所使用的能量。

由于运作耗能近年来已得到改善，相比之下，含能这一新概念便变得更加重要起来。将来，每一个参与建筑及建设的人都将掌握能量保护和生态可持续性设计的技术规则。设计专业将要义不容辞的继续履行对社会及环境的义务。国际建筑师协会和很多国家的建筑师学会都已经表示保证将生态可持续性作为专业实践的一个关键原理。而我们面临的挑战则是把这一美好的意愿付诸于每天的行动中。

本书的意图

本书的意图主要有两个方面。首先，在于提高建筑师及其它建筑专业人士对一些在工作中主要的，然而常常被忽视的环境问题的认识及理解。

第二，试图提供实用的信息来帮助开发和实施建筑设计及建造的生态可持续性方法论。

为达到这些目标，本书采用了适用于执业建筑师的方式来描述制造过程及它们的环境效应，并提供典型的澳大利亚建筑材料与构件的含能额定等级。

这些数据与现在的制造技术及实践相关，并反映自 70 年代以来在能量利用率方面不断取得的实质性改善。

而对现有建筑的实例研究，提供了所使用的建材的例子以及它们的选用对自然环境的正反面影响，并建议了一个方法来评估建筑材料的相对含能，这些建材结合了当代澳大利亚的建筑实践，是建筑机能整体性评价发展的一部分。

每个案例的最后还提供了环境影响评价。这些评价不仅考虑了能量问题，而且考虑了建筑物其他方面的环境影响。

方法及设想

建筑物可以被想象为生物实体，对于建筑师来说，谈论他们的建筑物的结构骨架或是保护外皮并不是件新鲜的事。在前面提到的建筑物被认为是他们的足迹，并且，它们也可被分析为具有能量或其他方面能量输出及输入的系统。因此，已经存在了一个初步的，被接受了生态基础，在此基础之上可以更进一步检验建筑物对它们所处环境的影

响。

当评估耗能的时候，很重要的一点是要以一个科学的角度去辨别初期的能量、供货和购置能量。例如，燃煤发电的效率为 30%，即意味着煤中所含的能量只有 30% 最终作为电能被利用，在一个制造工艺中可能高效地使用电能，然而如果也考虑到从煤到电的转换，这一工艺的效率便大大降低了。大多数的制造工艺同时使用多种能源，初期耗能的运算成为一种费时且对公司没有太大直接利益的过程。本书中的含能数据均被转化为普通计量单位——焦耳，并给出了制造工艺中几个主要部分的耗能。这是一种并不精确的资料，当进行定性的耗能数据分析时，它是可接受的。

一个建材的含能是衡量它的环境效应的一个尺度，假设对生态造成影响的能量来自矿物燃料，考虑到不同燃料的生态效应会有所不同（见表 1.1）。一种材料在它的获取过程中耗用能量强度越大，它的采用便对生态不利，例如，含能与一些像二氧化碳（CO₂）这样的温室气体的产生有关。

表 1.1 不同燃料的二氧化碳排放量

燃料	二氧化碳排放量 kg/G J
天然氮	55.0
石油产品	77.0
黑煤	91.7
棕煤	95.3
电（燃煤产生）	286.0

(Source: Ecologically sustainable development working Groups 1991, p168)

在澳大利亚和中国，绝大多数能量是以燃烧矿物或固体燃料获取的，所以这种耗能强度与 CO₂ 排放的关系密切。一些 CO₂ 排放也来自制造工艺中的化学反应（见表 4.1）。水力发电对这一标准是一个例外，尤其当它用于耗能强度大的材料（如铝）的制造中时，能量强度可能与 CO₂ 的排放并无密切关联，当然，水力发电厂建设也会产生生态影响，如筑坝，但这些不在本书的讨论范围。

总能量需要（GER）

对一种材料，一个组成部件或整个建筑含能的评定，并不像它开始出现时那样直接。而总能量需要（GER）是衡量以下能量输入的尺度：

- 提取、加工及运输建材及构件的最初原材料所需的耗能；
- 建筑构件的制造能量输入；
- 配套服务设施及到建筑工地的运输所需能量输入；
- 建筑建造的能量输入，包括工人、设备及材料的运输；
- 用于建造提取及加工原材料的工矿物质所需能量；
- 由于构件制造过程引起的损坏修理所需耗能。

然而，把 GER 作为含能的尺度也有一些困难。首先，基本设施很难被精确地评定并分摊到各种工业上，同时也很难分摊到制造的材料上，而用于把材料、设备及劳动力运输到建筑现场的能量，对于不同项目会有很大差异，这并不是说这样的因素不重要，但它们不能够作为一个通用性的，有意义的数值。不同方式的运输之间的能量效率是很

不同的，一些关于公路、铁路及海运的象征性的数据如表 1.2。

最近加拿大的一个研究项目显示，在与不同材料和建造方式有关的建造能量的计算中，将劳动力及设备送到及送出建筑工地的运输能量是很显著的。

另外，建造能量（用于建筑工地的能量）也是一个建筑含能的有效成份，然而只是一个相对小，且变化不大的 GER 的组成部分，约占 10% ~ 15%（现在的建筑能量所占含能比例比早期研究中的数值高）。

表 1.2 运输能耗

种类	耗能 (MJ/t·km)		
	加拿大	英国	美国
公路	1.18	4.50	2.13
铁路	0.49	0.60	0.25
轮船	0.12	0.25	0.12
空运 *	18, 750		37, 500

* 第一个数据是指长距离国际运输，如悉尼到洛杉矶。第二个数据指美国国内城市间运输。

(资料来源: Forintek Canada and Trusty 1993, p. A29; West et al. 1994, p.2.; Malin, N. 1996, p.15; Ewald, C. (ed) 1995, p.3.)

表 1.3 不同条件下公路运输能耗

运输地区类型	能耗 (MJ/t·km)
城市	10.6
郊区	8.0
地区	5.0
跨地区	0.6

(资料来源: Hirose, M. 1995)

制造过程能量需求 (PER)

对于材料比较，更易评定的并提供可靠基础的是制造过程能量需求 (PER)，GER 中直接与建材或构件制造相关的部分。PER 通常占 GER 的 50% ~ 80% (Brian et al. 1984, p.32)。表 1.3 列出了一些最常用的建材的 PER 值。现在研究单个材料的计算便基于此。总的来说，它们由典型统计得出的数值组成，这些数值包括取得及加工原材料，各制造工艺之间的传输以及实际制造过程中所需的耗能。如上所述，到建筑工地的运输或基本设施的提供及保养，或建筑工地中所用的能量都在考虑之中。

这些数字最初大多来源于 70 年代或 80 年代早期本地及国外出版的数据。由于过去的 15 年来，在制造业中能量效率已得到改进，这些数据已经过时了。这种从建材中获取能量强度的输入输出方法过去仅被作为一种参考，它建立在总工业能量花费统计的基础上，用每年工业总耗能（源自经济数据）除以每年总量，便可得出用“千兆焦耳/吨” (GJ/t) 或“兆焦/公斤” (MJ/kg) 表示的含能值。在最近的一项研究中 (Tucker

Treioar, 1994, P.2) 有一个简短的描写是关于各种评定含能的方法。总的来说, 所有数据表示出现代的、管理良好的技术使用, 它并不一定适用所有公司的情况。在没有澳大利亚数据的地方, 使用了一些最近的海外数据 (尤其是那些关于木材、水泥、钢及相关的产品的弗林特克加拿大股份有限公司做的系列报告), 目的在于提供可靠的相关数据, 而不是绝对确实的含能数据。间接的耗能值, 如管理及照明, 常常无法获得并被忽略。

制造商一般采用现成的 PER 数据。也许令人吃惊的是人们发现对生产的能量及环境因素兴趣的迅速发展已成为一个令人关注的领域。一些澳大利亚公司正开始对他们的生产工艺实施详细的生命周期分析 (ICA), 但从这些研究中得出的数据并未发表。

建筑构件被作为比较的基本单位, 由于它们同时又由几种不同建材组成, 一些误差有可能相互抵消。假设误差发生的机率在各方向都均等, 经过四舍五入得出的值将使细小误差的影响最小化。

尽管实际上完整的含能数值将与本书用的数值有所不同, 但不同结构系统的含能之间的相对关系是显而易见的。这些数值表示出建筑材料及构件的相对能量强度, 为具有较高环境意识的设计者提供了一个有用的设计工具。

本书还从一个均衡的角度作了一种尝试, 即对一种特定的材料的优缺点进行分解, 在七个指标的基础上提供了总的环境效应评定结果。其中三个指标, 原材料可获得性, 最小环境效应及含能耗效率, 主要与材料或产品的获取有关。另外四个: 产品寿命, 维护性, 产品回收利用及材料再生的潜力, 与建筑的使用有关。对这些指标所用的评分标准是从优秀到差的五分制, 根据一些有环境意识的设计专业人员的一致意见而制定。

如何使用本书

本书的大部分内容在于拓宽建筑师在建材和环境问题上的知识面。它提供了大量信息与描述, 但同时意欲提出一些问题和引起一定的思考及争论。在阅读本书时应该抱着与其它人共同讨论这些问题的打算, 这些人包括甲方、同事、与建筑业有关的人及其它如建材供应商、制造商、政府官员和社会团体等。

表 1.4 普通建筑材料制造过程能量需求 (PER)

材料	含能(MJ/kg) 澳大利亚	含能(MJ/kg) 中国预测值	含能(MJ/kg) 未来预测值
有机材料			
烘干软锯木	8.0(23.0*)		
烘干硬锯木	2.0(19.0)		
风干软锯木		3.5(18.5)	
风干硬锯木	0.5(22.0)		
人工木产品: 如 LVL, 胶合板, 中密度纤维板(MDF)	11.0(26.0)		