

解读绿色建筑、节能建筑和低碳建筑 ——西方建筑可持续发展启示

A General Understanding of Green Building, Energy Efficiency and Low Carbon Building: Reviewing the Development of the Western World's Sustainable Built Environment

撰文 刘昕晔 中国中元国际工程公司数值化建筑节能与环境设计中心

在第四次技术革命——能源革命的大环境下，可持续发展成为了社会、经济转型的标准，“节能”、“低碳”、“绿色”这三个词随处可见，许多国家和地区已经开始大手笔地将建筑行业向着这些新概念转型。一时间，似乎言必称绿色、低碳已成为一种时尚。然而究竟什么是绿色、低碳、节能建筑？它们之间有什么关联和区别？怎样才能使新要求下的建筑可持续发展切合我国的实际利益与国际责任？本文以在绿色、节能、低碳建筑发展方面走在最前沿的英美为参照，通过比较发达国家走过的道路与遇到的问题，阐述建筑可持续发展理念与本国国情和当前需要相结合的发展思路。

1 定义与区别

绿色建筑、节能建筑和低碳建筑概念的提出都源于对能源危机与全球温室现象加剧问题的日渐重视^[1]，其中的根本区别在于它们的涵盖范围与侧重点的不同。在这里必须要先引入一个当前国际上对可持续发展的主导思想：总寿命周期概念。以建筑行业来说，即视建筑为一个生命体，根据其孕育、诞生、活动乃至死亡的总寿命周期分为几个阶段，如图1所示（不包含建筑拆除阶段，所以是三大阶段）。在研究建筑的节能、低碳与绿色时，既要根据其寿命周期中的各阶段分别评价，更要着眼建筑整个寿命周期来综合判断其总性能。

1.1 绿色建筑=可持续发展建筑

绿色建筑（Green Building也作Green Construction）又叫做可持续发展建筑（Sustainable Building或High Performance Building），是绿色、节能与低碳建筑三大概念中涵盖范围最广的一个。美国环保局对绿色建筑的定义为“纵览建筑总寿命周期的综合规划与分析，在各阶段合理地创造和使用一切可行的、有

利于保护环境和高效利用资源的手段所产生的建筑。这种手段将经典建筑设计的涵盖面拓展至节约、公益、耐用与舒适度这些新方面。”不难发现，这个定义和我国提倡的两型社会定义——环境友好型与资源节约型十分相似。

相比之下，节能建筑与低碳建筑其实都是绿色建筑的某种体现。简单来说，节能建筑专注于资源节约中的能源消耗方面，而低碳建筑则在某种程度上兼顾能耗与环境的一些方面——但并非全部。碳排放量与能耗有着密不可分的关系。

1.2 节能建筑

节能建筑关注的是建筑能耗（单位为kW·h/annual，千瓦·小时/年），是“绿色”这个概念中有利环境与有效利用资源方面中后者的一个方面。

节能（Efficient Energy Use，或简称Energy Efficiency）主要包括了两个方面的的工作：一个是单纯的以降低能量供应的质量为代价来降低能耗，这个一般是靠调整使用习惯达到，比如通过调整供暖、供冷的温度与时长，调整照明的时间与亮度等。另一个方面是使用较少的能源产生较多的冷/热量等等。应该注意的是节能的确切定义在世界上并不很统一，其他一些定义中对“提高



图1

能效”与“牺牲供应质量”之间的区别比较笼统，特别是在针对如何降低对石化能源的消耗中^[2]。

由于20世纪70年代能源所引发的关注仅着眼于不可再生能源——如石化能源，而对于可再生能源，则被各国鼓励使用以替代对不可再生能源的依赖。因此西方国家在过去的几十年摸索中，主要走的是一条高科技道路，即着重使用高技术手段来发展超高能效比设备，以及运用其科技力量研究开发可再生能源的利用。美国能源部明确地把其能源政策分为提高能效与应用可再生能源（Energy Efficiency& Renewable Energy）两大方面，而这两个方面正是当前西方可持续发展能源政策的两大支柱^[3]。

1.3 低碳建筑

与节能仅限于对能源危机的关注不同，低碳建筑（Low Carbon Building）的概念则更为综合：因为碳排放量既反映了人类活动对全球气候温室现象急剧加剧的影响，又可以被直接用来量化能源，特别是石化能源的消耗量。

低碳建筑指的是被设计和建造来的在其总寿命周期中释放很少温室气体或无温室气体的建筑。二氧化碳对全球温度的影响在各项温室气体中位居第二，仅次于水蒸气，因此往往以二氧化碳的排放量来衡量建筑的温室气体排放多少。

以建筑总生命周期来看，绝对的零碳建筑是没有的，现在所说的达到零碳排放的建筑是针对建筑运行阶段对大气总二氧化碳量的影响性而言的。而在建筑的建造过程中，是不可能做到零能耗和零碳排放。那么究竟一个建筑的单位时间二氧化碳排放量在多少才能被定义为低碳或零碳建筑呢？根据Nicholas Stern爵士2006年为英国政府做的报告^[4]，一个低碳建筑至少需要达到比传统建筑少80%的温室气体排放量。普遍来讲，一个标准建筑在它的整个生命中会产生大约5 000kg/m²的二氧化碳（根据建筑类型、所在地区气候、供能类型、建筑标准等的区别，这个参照值会有很大变化）。

低碳建筑与建筑能耗之间的关系应如何表达呢？低碳建筑中“碳”为建筑活动产生的二氧化碳排放量，在建筑运行阶段这个量可以从建筑的能耗量及能源形式中通过计算得出具体数值（一般使用单位kgCO₂/annual；千克二氧化碳/年）。对于各主要形式能源的单位能耗与二氧化碳排放量的计算关系，如下面公式所示：

$$q_{CO_2}=(C_i / h_i) \times (C_{CO_2}/C_m)$$

其中：q_{CO₂}为单位二氧化碳排放量(CO₂/kWh)；C_i为该能源的单位碳含量(kg_C/kg_{fuel})；h_i为该能源的单位能含量(kWh/kg_{fuel})；C_m为碳元素的摩尔密度/单位摩尔质量(kg/mol Carbon)；C_{CO₂}为二氧化碳的摩尔密度/单位摩尔质量(kg/mol CO₂)。因此可以得到各类能源的碳排放量如表1所示。

表 1 主要形式能源的质量，单位能耗与二氧化碳排放量的关系^[5]

能源	单位含碳量 (kg 碳/ kg 能源)	单位含能量 (kWh / kg _{fuel})	单位能耗二氧化碳产生量 (kgCO ₂ / kWh)
煤 (沥青/无烟)	0.75	7.5	0.37
汽油	0.9	12.5	0.27
轻油	0.7	11.7	0.26
柴油	0.86	11.8	0.24
液化石油气 (LPG)	0.82	12.3	0.24
天然气/甲烷	0.75	12	0.23
原油			0.26
煤油			0.26
木材 ¹⁾			0.39
泥炭 ¹⁾			0.38
褐煤 (焦煤)			0.36
生物能源	0	-	0 ²⁾

注：1）一般被视为生物燃料；2）生物能是从快速可再生的植物或动物产品加工得到的燃料，包括：专用于供燃料使用的玉米秆和树木、农作物、农作物废料（如稻子、玉米秆、叶等）、食物废料、水生植物、动物粪便、城市垃圾和其他废料。

根据国际上普遍的可再生能源政策，在消耗的生物能源不超过其再生速度的情况下，使用生物能源在理论上不被计入产生碳排放的能耗活动中（燃烧草木类所产生的实际碳排放量约为0.18kg/kW·h）。由表1中数据可知，像生物能一类的能源虽然属于理论上的“零碳”能源，但是使用生物能的发电设备和供热锅炉等却并不一定具有高能效，而且往往比普通燃烧天然气、燃油等传统设备低很多，因此可以说，低碳建筑不一定是节能的，更不一定是绿色、可持续的；但是绿色、可持续建筑一定是相对节能的，也是相对低碳的。

通过近40年的研究与实践，计算与统计建筑运行阶段的二氧化碳排放量是目前一个可以比较综合的、数值化的表达建筑对资源与环境两方面影响的方法，这也就是为什么对建筑可持续发展研究起步最早、投入工作最大的英国正在全面实现新建建筑“零碳”化。英国在对其国内新建、改建建筑的设计与运行的可持续发展方面的法定强制手段——“建筑能效标识贴牌”Energy Performance Certificate（EPC）和 Display Energy Certificate（DEC）工作中均使用其年二氧化碳排放量的计算值为评分依据。应该说，正是由于低碳在一定程度上代表了绿色可持续发展的方面中的数项，并且可以用数值化的方式表达才使得“低碳建筑”乃至“零碳建筑”一时似乎成了可持续发展的代称。但不能忽视的事实是，降低二氧化碳排放量实质上仅是实现可持续发展手段中的一部分，如果将其作为建筑可持续发展的唯一评价依据是不合适的。

首先，由于各类能源品质的不同，其单位质量含能量相差很大，单位能耗二氧化碳排放量同样相差很大。而各项设备的能效

比同样相差很大,能效比高的设备,比如当今的高效能空调系统的制冷机,其消耗 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 的电量可以产生 $4\text{kW}\cdot\text{h}$ 以上的冷量,在作为热泵使用时还可以产生更高的热量;作为比较能耗来说,要远远超过靠消耗天然气或燃油锅炉供热的传统热源(英标规定燃气燃油锅炉能效比不可低于0.89,而即使是世界最好的燃气锅炉其能效比也很难达到0.95)。但是不能忘记,如果按照可持续发展的理念,将目光从仅仅注重输送能源扩大到能量生产-传递-消耗总周期来看:电能作为一种高品质能源,在其生产过程每产生 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 电要消耗约3倍的标准煤产热量,如果是公网供电,在输送过程中还会有大量损耗。而天然气作为一种低品质能源,尽管设备能效比低,却未必在总体能耗方面低于能效比不是非常好的用电设备。因此在英国EPC检验中,本是高能耗设计的建筑,由于应用了大量的低碳新技术和新能源,如风能/太阳能发电、热电三联供等,达到了很好的评估得分,但实际上在日后使用DEC测量实际年能耗时,却暴露出其低能效的本质。

更大的漏洞是,当前所谈的所有数值化的建筑能耗与二氧化碳排放量都指的是建筑在运行阶段的能耗与碳排放量,如英国零碳排放的定义没有包含建筑建造、翻新改造、维修和拆除中的能耗等,尽管研究表明这些加在一起很可能比建筑运行的能耗还多很多^[6]。因此,英国皇家建造师学会CIOB等众多学术研究单位呼吁政府重新给出“零碳建筑”的定义,建议对建筑总寿命周期的碳排放量计算应包括建筑在翻新改造和维护中的能耗量,以及在建筑现场发电耗能(比如使用热电三联供),还应加入建材加工以及建筑垃圾处理中导致的能耗,这些对建筑总寿命周期能耗的影响也非常大。经过一年准备,在2009年12月,CIOB针对可持续发展住宅的新“零碳排放”定义的草案出炉,目前正在审批中。

CIOB针对各建筑业专家人士的访谈总结出一个真正的可持续发展建筑最重要的一点:“在建筑被设计的时候,对它的期望目标应该是一个长寿的、耐久的并且有未来改造潜力的建筑”。在考虑何种思想应成为降低建筑能耗与碳排放量的首选时,接受英国皇家屋宇设备工程师学会(CIBSE)杂志采访的多位英国业内专家一致表示,在当前的英国在绿色、节能、低碳建筑方面已经走上了“唯可再生能源论”、“唯高技术论”的弯路,必须定下心来,重新回到以设计低能耗需求的建筑这条基准线上来,才能走上真正的可持续发展之路^[7]。

2 可持续发展要求下的建筑发展之路——设计与检验的空前紧密结合

要保证建筑的绿色可持续性,需要政府机构、各专业设计和运行管理人员、投资商以及建筑最终用户在政策法规、标准规范、教育导向、经济效益以及监督检验等方面的综合合作,特别需要在总寿命周期各重要阶段不断地以先进的检验手段来指导设计、建设、运行工作的进行,下面主要以英国为例

进行简析。

2.1 政策法规

英国在实施绿色建筑方面算得上是推广力度最大的国家之一。英国政府已经立法要求在2050年,全国的二氧化碳排放量相对1990年要减少80%,而其中很重要的一项是解决建筑的采暖、供冷和电能。因为英国政府统计显示,在英国由人类活动造成额外碳排放中,27%来源于住宅消耗,17%来源于非居住建筑^[8]。针对这些统计,英国政府要求要在2016年达到所有英格兰境内的新建住宅零碳排放,在2019年全国所有的新建非居住建筑都必须达到零碳排放标准,其中学校在2016年要率先达到零排放,公共建筑要在2018年达到零排放。为此英国政府从2008年10月1日起,以约每6个月为进度逐渐严格建筑能效与碳排放检测检验的执行,最终要求全国一切新建、改建乃至新出租的公共、商业建筑必须由投资方或业主向政府和租客提供其建筑能效标牌(Energy Performance Certificate)——此评估基于年能耗与碳排放估算;又规定一切现存的公共建筑必须提供显示能效标牌(Display Energy Certificate)——此评估基于年实际能耗与碳排放量数据。

在根据自己的雄心出台了一系列的法规的同时,英政府针对投资商、施工方、业主制定了一整套在使用可再生能源及其设备方面的优惠措施;建立了一批对达到高性能、低排放建筑业主的奖励政策和专项基金;大力开展并鼓励第三方对公众的可持续发展教育,扶植了数个如Carbon Trust Home这样的非营利机构,鼓励帮助每一个企业和家庭达到低能耗低排放标准,在力图使人们意识到绿色建筑贡献社会的同时,还给每一个企业、家庭带来实质上的经济效益。这一切都鼓励了公众自觉自愿地投资绿色建筑,而非停留在应付国家强制性的法规上。

2.2 标准规范

英国经过建筑规划行业内上百年的发展与积累,建立起了一套完善的、与时俱进的标准体系,并授权各专业学会、研究单位出台多种针对各类标准的使用指南,将规划、建筑和环境三类归入一个总纲,专门针对建筑行业的可持续发展转型问题。当现有的国家标准无法满足国家绿色建筑的目标时,就必须尽快出台补充政策,并且在下一版的国标规范中修改限值,使之达到要求。比如2006年版的英国建筑标准Part L 2006,经检验无法达到期待的新建建筑年碳排放量比参照建筑(即使用建筑标准限值的建筑)低80%这一要求。因此英国政府提出了如下要求:各工程设计公司保证其新建建筑的碳排放量比现有的建筑标准(2006年版)所设限值得到的综合排放量再高一定的百分点(根据建筑类型和地理的不同,从25%~45%不等)作为设计限制。而新制定的Part L 2010也已经完成,即将应用。当然,还需要新一轮的实践来检验新标准的效果。由于篇幅的原因,本文不在这里对具体标准规范的不断变更调整做太多叙述。

2.3 设计与检验

当前的绿色建筑设计工作被总结划分为两个方面：主动式设计（active design）和被动式/诱导式设计（passive design）。主动式设计是以建筑设备为主，依靠先进的科技，以发展超高能效比的设备来降低建筑能耗，以开发使用可再生能源等技术来替代石化能源。被动式（又称诱导式）设计着眼于建筑本身，通过对建筑外保温、体形、方位、窗墙比、外遮阳、气密性、内部分区等的合理安排，以及对未来建筑运行管理的积极考虑，使建筑的外围护与内部各区域面对自然气象条件达到最佳的反应效果。然而，无论是主动式还是被动式设计，都不可避免地需要投入更大的初始投资来实现，比如被动式设计要求的建筑外围护的高保温性、高气密性、高智能控制系统；主动式设计要求购买的超高能效比设备、使用高技术手段与新能源技术等。在建筑设计中，这两种设计理论应该根据项目的具体情况相辅相成地使用，并且必须与检验同步进行，以保证绿色建筑设计的效果^[9]。

但是即使有足够的投资经费，建成后的绿色建筑的使用效果也有可能与设计时形成很大的误差。有时是因为设计手段的失误，有时则是由于被绿色建筑评估系统中的漏洞所误导——比如包括BREEAM在内的很多评估系统给新能源（比如风能/太阳能发电）、低碳技术（比如热电三联供）打过高的分值，导致在综合方面降低了建筑本体性能。这样高投入、低收效的例子数不胜数，为了避免不幸做出这种“伪绿色建筑”，必须有一个与设计同步的评估检验手段，不断地通过各步骤的评估结果来指导和调整建筑的设计。同理，这个手段也可以用来指导建成后的建筑运行。设计效果的同步评估应该从方案建立与可行性研究中开始，贯穿整个建筑设计阶段，并且在建筑运行中继续担当重要作用。在30多年的探索中，西方对新概念建筑已发展出一个基本完整的绿色建筑保障体系，涵盖了推动政策导向、开展广泛的教育指

导、设立细致严格的标准规范以及完善监督检验系统等方面。

检验一个建筑究竟是否达到绿色或者低碳、节能的要求，到底达到了什么程度，是一个需要综合入手分析计算的工作。谈到检验，首先要有标准来参照。在当前，共有包括我国大陆、香港和台湾在内的22个国家和地区先后出台了自己的绿色建筑或建筑节能标准，其中最受公认的是英国的BREEAM评估体系（BRE Environmental Assessment Method）和美国的LEED评估体系（Leadership in Energy and Environmental Design），其他大多数相关标准都是借鉴二者建立的：比如台湾的绿建筑标章，加拿大的LEED Canada等均基于LEED；香港的HK BRAM则源于BREEAM。可以说，通过对BREEAM与LEED两大体系的对比分析（表2），就可以知道当今建筑在可持续发展大方向上的发展道路。

由表2可见，两个体系都将目光延伸至建筑的整体寿命周期上，例如在BREEAM与LEED都提出的“材料的有效利用”中，双方均考虑了在建设过程中如何高效、就近使用材料与资源；在LEED提出的“场地选择”与“当地优先性”中，考虑了建设前用地环境与建后的生态环境差距对当地生态体系造成的影响并要求尽量将这个影响（如果是不利的）降至最低。而两大体系也同样在对环境资源的影响方面不只局限于建筑用地之中，而是将影响面拓展到周边地区：两大体系都提出了社区开发/邻里开发；还有BREEAM提出的“交通运输”就涵盖了建筑本身功能所导致的在交通工具方面对环境资源的影响（比如往来于建筑的人、货物对交通的要求等）。

尽管BREEAM和LEED体系相对发展得比较完整（其中BREEAM已经被应用到数十万个英国建筑的绿色评估中），但它们仍然有着很明显的不足之处^[12]。发展更早的BREEAM坚持在绿色建筑的中建立详细数值化的能耗与碳排放参照建筑模型，并

表 2 BREEAM 与 LEED 体系的涵盖面与特点^[10-11]

	BREEAM（1990 年问世）	LEED（1998 年问世）
适用范围	办公建筑、商场、工业建筑、教育建筑、教育建筑（高等教育）、居住建筑、医疗建筑、特殊建筑 ¹⁾ 、合居建筑、国际建筑 ²⁾ 、政府机关、社区开发、监狱	新建建筑、现存建筑：运行维护、商业建筑、室内装潢设计、建筑外壳与核心 ³⁾ 、学校、商场、医疗建筑、住宅、邻里开发 ⁴⁾
评价考虑方面	建筑管理、健康与舒适、能源利用效率、交通运输、水资源利用、材料的有效利用、垃圾减排与处理、土地利用与生态污染防治	场地选址、水资源利用效率、能源利用效率及大气环境保护、材料及资源的有效利用、室内环境质量、设计创新、当地优先性 ⁵⁾
分级标准	通过、较好、良好、优秀、特优	认证级、银级、金级、白金级
审查方法	BREEAM 认证评估员	直接交与美国绿色建筑委员会

注：1）针对当前建筑标准无法直接匹配的建筑；2）针对英国之外，不适用英国标准的建筑；3）针对仅有建筑的外表面、结构与建筑设备系统基本资料的建筑；4）针对用作对整个小区开发进行绿色评估；5）针对建筑在生态与环保方面的设计是否优先考虑了当地环境、生态特性。

支持多种选择之间的效果数值比较；BREEAM拥有独立的监督系统以保障评估的质量；同时尽管基于英国条件，BREEAM拥有调整以支持其他标准体系与气象条件的潜力；如果遇到不能符合当前任何标准的特殊情况，其评估员可以通过“前设计期版本”（BREEAM Bespoke version）与BRE沟通合作，专门有针对性地开发一个用于此建筑的评估方法，所以理论上说BREEAM可以支持对任何建筑类型的评估。但是BREEAM对于评估的要求设置得未免过于详尽，而且其数值化计算系统需要大量的数值采集和输入，评估结果附加的建筑改进建议比较僵化，过于强调以高投资的方式来解决。而LEED开发集团对比BRE有出色许多的市场战略；LEED评价所需求的资料公开化程度很高，便于客户准备；LEED没有专门训练过的持证评估员，所以客户不需要像BREEAM体系那样专门雇佣评估员，但弊病也随之而来——还是有很多客户无法理解如何通过评估，不得不寻求中介的帮助；同时LEED体系仅适用于美国国家标准和美国的气象条件，用于其他国家和地区是否合适，值得推敲。倒是有许多国家在发展自己的LEED，比如加拿大和印度；而LEED评估标准本身带有很浓的美国国情的思维方式，比如它在对于给予大量停车空间的建筑

会额外大量加分，而BREEAM则尽力避免被这类因素影响。并且LEED在为资源特别是能源的使用打分上牢牢地与美元挂钩，这意味着如果某一时刻美元对石油汇率不佳，那么被评分的建筑就会在能源项得到比较低的分数。同时LEED评估对建筑设计资料的要求十分复杂，并且缺乏独立的监督机构来审查LEED的评估；而且目前LEED尚未解决其在多用途、多功能建筑评估时的应用问题。

3 结论

从上面的比较可以看出，即使是世界上目前最先进的绿色建筑评估标准也还是有其很明显的局限性，距离真正的全寿命周期内的可持续发展还颇有差距，因此尚无法在技术上形成优势垄断。我国在2006年也出台了首个绿色建筑评价标准GB50378—2006。我们一方面要充分借鉴和利用国际先进的技术和标准，同时又要清楚地看到，无论是英、美还是任何发达国家，其评估体系、标准都是建立在当地气候和地理环境，基于自己的各项标准规范系统和符合本国国情的基础上的。因此我们绝不能完全套用国外的体系，更不应直接使用国外的评估体系来检测自己的建筑，而是应该基于本国情况，走自己的绿色可持续发展之路。 

参考文献

- [1] Oct 2009, Green Building Basic Information, US Environmental Protection Agency. www.epa.gov/greenbuilding/pubs/about.htm.
- [2] Diesendorf Mark, 2007, Greenhouse Solution with Sustainable Energy, UNSW Press, P86–87.
- [3] Bill Prindle and Maggie Eldridge, American Council for an Energy–Efficient Economy; Mike Eckhardt and Alyssa Frederick, American Council on Renewable Energy; The Twin Pillars of Sustainable Energy: Synergies between Energy Efficiency and Renewable Energy Technology and Policy.
- [4] Sir Nicholas Stern, 2006, Stern Review on the Economics of Climate Change, Final Report, Chapter 8.
- [5] <http://www.engineeringtoolbox.com/>.
- [6] CIOB, Aug, 2008, Policy Statement.
- [7] Bling Generation, CIBSE Journal, Jan, 2010, p42–46.
- [8] www.communities.gov.uk.
- [9] <http://www.level.org.nz/passive-design/principles-of-passive-design/>.
- [10] <http://www.breeam.org>.
- [11] www.usgbc.org/LEED.
- [12] <http://www.bsria.co.uk>.



作者简介

刘昕晔，英国Heriot Watt大学建筑环境学硕士。英国皇家工程师学会（ECUK）会员，英国皇家公用设备工程师协会（CIBSE）特选代表。现在中国中元国际工程公司数值化建筑节能与环境设计中心从事数字化节能设计工作。