

This is an Open Access document downloaded from ORCA, Cardiff University's institutional repository:<https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/74939/>

This is the author's version of a work that was submitted to / accepted for publication.

Citation for final published version:

Hou, Shan , Thomas, Andy and Jones, Phillip John 2015. A detailed review of the development of building regulations in relation to energy efficiency and carbon reduction in the UK. *Urban Flux* , pp. 9-21.

Publishers page:

Please note:

Changes made as a result of publishing processes such as copy-editing, formatting and page numbers may not be reflected in this version. For the definitive version of this publication, please refer to the published source. You are advised to consult the publisher's version if you wish to cite this paper.

This version is being made available in accordance with publisher policies. See <http://orca.cf.ac.uk/policies.html> for usage policies. Copyright and moral rights for publications made available in ORCA are retained by the copyright holders.



英国建筑节能减排规范发展回顾

侯珊珊 博士(卡迪夫大学建筑学院)

安迪 托马斯 经理 (Butler and Young 建筑质量控制公司)

菲利普 琼斯 教授 (卡迪夫大学建筑学院)

摘要:

全球的建筑行业是能源消耗和二氧化碳排放的大户。在世界范围内，建筑使用约 40% 的全球能源，并产生近 30% 的温室气体总排放量 (World Green Building Council 2010)。在英国，温室气体总排放量的 50% 来自建筑物的运营能耗，而其中 30% 的排放量可以用低成本、简单的措施降低；并且英国碳排放总量的 10% 与生产建筑材料相关 (UK-GBC 2009)。自从 1965 年英国第一套国家建筑节能规范出台，英国建筑业便开始了其向低能耗建筑的逐步过渡 (GOV.UK 2013)。2002 年，英国政府对建筑节能减排规范全面加强，并随着欧盟建筑性能法案 (EPBD) 的推出，确定每四年对建筑节能减排规范升级。本文将回顾英国建筑规范在节能减排方面的发展，以响应国际上要求显著减少碳排放和能源消耗的号召。本文将重点介绍英国建筑节能减排规范新建非居住建筑部分 (Part L2A 2013 英格兰)，并详细解释规范中的标准和用于验证满足规范的国家计算方法 (简化建筑能耗模型)。最后，归纳总结英国建筑节能减排规范发展的经验。

1. 背景:

全球范围的建筑业消耗大量能源，同时产生大量二氧化碳。欧洲的气候变暖项目的启动便是为了促进欧盟各成员国减排政策的实施。2002 年，欧盟发布的建筑能源性能法案便是促进建筑节能减排的第一步。欧盟的各成员国都要执行该法案。目前，各个成员国根据各国不同的财政潜力和市场情况，以不同形式、应用范围贯彻欧盟的建筑性能法案 (Annunziata et al. 2013)。

在英国，建筑运行所产生的温室气体占到总排放量的 50%，其中 30% 的减排可以通过低成本、简单方式实现 (UK Green Building Council 2009)。为了响应欧盟的建筑能源性能条例，英国政府发表了能源白皮书，并启动了英国气候变化项目。在 2008 年，英国气候变化的法案通过议会成为法律，承诺英国将在 2050 年实现较 1990 年的降低温室气体排放量减少 80%。根据英国能源和气候变化部发布的数据 (2012)，英国 2010 年的二氧化碳排放量较 1990 年降低了 16 个百分点。

中国是世界上最大的能源消耗和二氧化碳排放国，承受着降低二氧化碳排放量以及缓解相关环境问题的压力。2015 年 2 月播放的记录片‘穹顶之下’便是一个对广大群众进行关于空气污染和环境问题科普教育的努力。我国政府已提出了一个可持续发展战略，优先解决能源节约，高效利用初级能源和发展可再生能源。我国政府通过立法促进能源节约、提高使用效率、发展可再生能源技术，致力于减少与能源消耗相关的环境影响。我国致力于在 2006-2010 期间降低 20% 的能源消耗 (较 2005 年)，在 2020 减少二氧化碳排放量/国内生产总值的比率达到 40-45%，并于 2050 年实现零碳目标。

2. 建筑规范

2.1. 英国建筑规范的发展

英国建筑规范有着悠久的历史，可以追溯到由 1666 年伦敦大火引发的 1667 年伦敦建筑法案 (Killip 2005)。1965 年的建筑规范是英国第一套对建筑外围护结构的保温隔热性能提出要求的国家建筑标准 (GOV. UK 2013)。这套规范是在公众健康法案下颁布的，其对暴露的墙体和屋顶的保温性能的要求是为了避免产生冷凝导致房屋内部发霉，并非基于节能的考虑。

建筑规范所涵盖的内容逐渐扩大，远远超出了最初对建筑结构的安全以及防火的考虑 (Killip 2005)。目前，英国建筑规范由 14 部分（从 A 到 P 部分），其中 L 部分：能源节约是英格兰和威尔士规定节能减排的主要文件。L 部分涵盖居住建筑和非居住建筑，直到 2002 年被分为两个文件，L1 部分和 L2 部分。到 2006 年，进一步分为四个文件：L1A 新建住宅，L1B 既有住宅，L2A 新建非住宅和 L2B 既有住宅。

上世纪 70 年代石油价格的高涨促使各国政府寻求可靠能源并降低对进口能源的依靠。这也影响了当时的建筑设计。为了应对当时的情况，各国出台建筑规范 (Pere-Lombard et al. 2011)。在英国，建筑规范列出了对降低能源消耗的要求。国家资助了一系列研究项目来探索不同节能设计手法的有效程度。常见的设计手法包括提高外围护结构的保温隔热性能，降低窗墙比，和增强围护结构的气密性。例如，环境部住宅发展署于 1978 到 1984 年资助的 Abertridwr 高保温住宅项目，系统研究了提高建筑外维护结构保温性能和降低采暖设备功率所带来的节能效益 (Jones 2005)。与此同时，英国建筑规范从开始防范住宅内部发生冷凝，延伸至居住建筑的节能设计，并进一步关注非居住建筑的节能设计 (Davies 2013)。

1985 年的英国建筑规范是在 1984 建筑法案下提出的，也是第一次引入现代的建筑质量控制系统 (Killip 2005)。1985 年规范要求居住建筑和非居住建筑（包括商店、办公和工业建筑）降低通过外围护结构的热量散失。同时，1985 年的规范采用规定性方式检查对规范要求的满足。这种检验方式简单、准确、可测量、便于实施，适合于新兴规范系统。相对其缺乏灵活性的缺陷，其优点大于缺点。规范对建筑外围护结构的要求包括裸露构件的保温隔热性能的最低标准和窗墙比。如果建筑满足了这些要求，规范就认定通过建筑外围护结构的热量损失在规定范围之内从而满足规范要求。在非住宅类建筑里，热水管道和热风道也需要有相应的保温处理 (HM Government 1985)。随着建筑业的发展，英国建筑规范逐渐探索除规定性方式之外的的遵守方式。这是从原始规定性方式强制满足所有最低标准朝更先进系统的发展。

1995 年的建筑节能减排规范增加了新的要求，包括降低开口部分的热桥和提高建筑外围护结构的气密性。同时，对建筑外围护结构的保温隔热性能的要求也提高了，例如对外窗的要求是基于双层玻璃的。再有，规范要求所有的新建和改建住宅都要用标准评估程序 (SAP) 进行能量等级计算 (HM Government 1995)。此阶段的规范关注的重点是建筑节能。

2002 年的建筑节能减排规范的升级对英国建筑业来说是一次变革。规范对建筑外围护结构的保温隔热性能的要求进一步提高，同时，实测建成建筑的气密性成为一个新的规范规定参数 (Waters 2003)。其他新的规范要求包括：控制太阳辐射得热，控制采暖制冷通风系统和照明系统的功率，以及给建筑的使用者提供充足的建筑及其设备系统高效使用和维护的信息。同时，该规范介绍了三种遵守方式：1) 规定性方式：满足规范列出的对个部分的具体要求（包括各构件的保温隔热性能，热桥，窗墙比和采暖制冷通风和照明系统的功率），2) 目标保温隔热性能方式：计算所有建筑维护结构的平均保温隔热性能，保证其不大于目标值，3) 碳值计算（代替 SAP）。从 2002 年起，英国建筑规范的关注重点从建筑节能转向降低二氧化碳排放量。

随着全球气候变暖和能源贫困的加剧，以及 2002 年欧洲建筑性能法案的颁布，英国 2006 年的建筑节能减排规范进一步升级以执行该法案。欧洲建筑性能法案对英国建筑规范的影响包括：1) 采取建筑能源表现计算方式，2) 确保最低能源表现需求基于该计算方式，3) 确保所有新建建筑满足最低能源表现要求(Hernandez and Kenny, 2010)。在 2006 年规范中，英国政府推出了性能性检验方式，正式废除了之前的规定性检验方式(Hamza and Greenwood 2009)。对于非居住建筑，其能源表现由简化建筑能耗模型 (SBEM) 计算。SBEM 计算参考建筑的目标二氧化碳排放率 (TER) 和实际建筑的二氧化碳排放率 (BER)。参考建筑是和实际建筑有着同样使用类型、大小和形状。参考建筑的目标排放率是实际建筑排放率的最高限制。对于居住建筑，标准评估程序 (SAP) 用来计算居住建筑的实际排放率 (DER) 和目标排放率 (TER)。如要满足规范，建筑的实际排放率不能大于目标排放率。这种性能性检验方式的优点在于克服了规定性检验方式的刻板，并且鼓励设计创新。

2010 年的建筑节能减排规范进一步提高要求，规定居住和非居住建筑的实际排放率较 2006 的规范标准降低 25%。该目标是在 2016 年实现所有居住建筑和在 2019 年实现所有非居住建筑达到零碳总体目标的关键一步。

2010 年再颁布的欧洲建筑性能法案进一步影响了英国 2013 年的建筑规范。英国社区和当地政府部 (DCLG) 发行了对节能规范的修改文件，包括强制实施建筑能耗性能证书和对高效其他系统的分析 (HM Government 2013b)。同时，在 2011 年 12 月 31 日，建筑规范的立法权力下放到威尔士政府以根据当地情况制定相应要求。威尔士 2014 建筑规范也同样反映欧洲建筑性能法案 (The Welsh Government 2014)。英格兰 2013 建筑规范要求新建居住建筑较 2010 年的二氧化碳排放量降低 6%，非居住建筑降低 9%。威尔士 2014 建筑规范要求新建居住建筑较 2010 年的二氧化碳排放量降低 8%，非居住建筑降低 20%。同时，威尔士建筑规范增加了一个新的强制指标：一次能源消耗。规范要求实际建筑的一次能源消耗不能大于参考建筑的一次能源消耗，以实现较 2010 年规范标准节省 10% 的一次能源消耗。

表 1 总结了英国各版本建筑规范中对建筑维护结构的要求。

年份	建筑类型	屋顶	墙体	地板	窗	隔墙	气密性	遵守方式
1965	居住建筑	1.40	1.70	NA	NA	NA	NA	规定性
1976	居住建筑	0.60	1.00	1.00	NA	NA	NA	规定性
1985	居住建筑	0.35	0.60	0.60	5.7	NA	NA	规定性
	非居住建筑	0.6/0.7	0.6/0.7	0.6/0.7	5.7	NA	NA	
1990	居住建筑	0.25	0.45	0.45	5.7	NA	NA	规定性
	非居住建筑	0.45	0.45	0.45	5.7	NA	NA	
1995	居住建筑	0.20/0.25	0.45	0.35/0.45	3.0/3.3	NA	NA	规定性
	非居住建筑	0.25	0.45	0.45	3.3	NA	NA	
2002	居住建筑	0.16-0.25	0.35	0.25	2.2/2.0	NA	10	规定性
	非居住建筑	0.16-0.25	0.35	0.25	2.2/2.0	NA	NA	
2006	新建居住建筑	0.25	0.35	0.25	2.2	NA	10	性能性
	既有居住建筑	0.25	0.35	0.25	2.2	NA	NA	
	新建非居住建筑	0.25	0.35	0.25	2.2	NA	NA	
	既有非居住建筑	0.25	0.35	0.25	2.2	NA	NA	
2010	新建居住建筑	0.20	0.30	0.25	2.0	0.20	10	性能性
	既有居住建筑	0.16/0.18	0.28	0.22	1.6	NA	NA	
	新建非居住建筑	0.25	0.35	0.25	2.2	NA	10	
	既有非居住建筑	0.16/0.18	0.28	0.22	1.8	NA	NA	
2013 英格兰	新建居住建筑	0.20	0.30	0.25	2.0	0.20	10	性能性
	既有居住建筑	0.16/0.18	0.28	0.22	1.6	NA	NA	
	新建非居住建筑	0.25	0.35	0.25	2.2	NA	10	
	既有非居住建筑	0.16/0.18	0.28	0.22	1.8	NA	NA	
2014 威尔士	新建居住建筑	0.15	0.21	0.18	1.6	0.20	10	性能性
	既有居住建筑	0.15	0.21	0.18	1.6	NA	NA	
	新建非居住建筑	0.25	0.35	0.25	2.2	NA	10	
	既有非居住建筑	0.15	0.21	0.18	1.6/1.8	NA	NA	

注:

1. U 值是在稳定传热条件下, 单位面积的建筑截面材料, 两表面在单位空气温差和单位时间内直接传导的热量, 单位是瓦/(平方米·开尔文)。
2. 表中所列的既有建筑的 U 值是对新建构件的要求, 与之相比, 规范对既有构件的要求相对要低。
3. 气密性的单位为在压强为 50 帕斯卡时, 立方米/(小时·平方米)。

2.2 当前英国建筑节能减排规范（部分 L2A）

本节重点介绍英国在 2013 年更新的建筑节能减排规范：新建非居住建筑部分的各个标准，并介绍证明其满足该规范要求标准的方式。此规范有五个标准，每一条都要被遵守（HM 政府 2013a）。

标准 1：实现实际建筑的碳排放量不得超过参考建筑的碳排放量

建筑节能减排规范规定：凡建成建筑，实际建筑的碳排放量（BER）不得超过参考建筑的碳排放量（TER）。建筑团队必须在不迟于施工工作开始一天之前计算实际设计建筑的碳排放量，证明其不大于参考建筑的碳排放量；同时在建造完成后计算实际建成建筑的碳排放量，证明它不大于参考建成建筑的碳排放量（HM 政府 2013 年）。计算碳排放量可使用简化建筑能耗模型（SBEM），或使用认证的动态模拟软件，如 IES, ENERGYPLUS 等。SBEM 计算的详细情况将在下一节介绍。

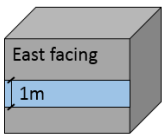
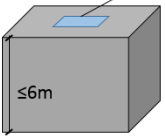
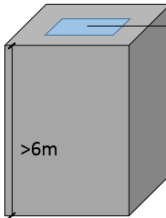
标准 2：对设计灵活性的限制

建筑节能减排规范要求：限制通过建筑维护结构的得热和失热，并使用高效的建筑设备系统。证明满足规范的方式是保证建筑维护结构的热工性能参数和建筑设备系统的效率达到最低规定标准。该规范给出建筑维护结构的最大允许 U 值。对于建筑设备系统，其效率必须高于‘非住宅建筑设备系统指南’中针对各类型设备的最低效率值。需要提及的是，在实际设计中选用高于最低标准的建筑维护结构和设备系统是必要的，以满足 BER 不大于 TER。其原因是参考建筑用于计算 TER 的默认维护结构的热工性能和设备系统的效率要高于设计灵活性限制的最低标准。

标准 3：限制夏季太阳得热

该标准的意图是要限制在夏季室内太阳得热以减少对空调系统的需求或降低制冷量。该标准是针对建筑设计而非系统设计限制。为了证明满足该规范要求，设计团队需要计算建筑各个空间从四月到九月（含）的室内太阳得热。并与参考透光维护结构的太阳得热比较，确保实际太阳得热不大于透过参考透光维护结构入射的太阳能。表 2 介绍该规范规定的三种参考透光维护结构。

表 2：参考透光维护结构

建筑类型	侧采光	顶采光 (区域高度 ≤ 6.0m)	顶采光 (区域高度 > 6.0m)
	 东立面，窗高 1 米，窗宽等于墙面宽度	 水平天窗，面积等于 10% 屋面面积	 水平天窗，面积等于 20% 屋面面积
窗框系数	0.10	0.25	0.15
G 值	0.68	0.68	0.46

标准 4：建成建筑性能与设计建筑性能一致

建筑节能减排规范规定：建筑建造完成后该建筑物的性能应该与其设计性能一致。该标准主要关注建成建筑维护结构的质量（保温材料的连续性和气密性），以及实际管道泄漏率和风机效率。建筑建造完成后，建筑团队需要计算建成建筑碳排放量，确保其不大于建成参考建筑的碳排放量，提交给质量控制机构。建成建筑碳排放量计算要在设计阶段所计算的碳排放量的基础上考虑，1) 在施工

过程中对设计进行的会影响能效性能的改动，2) 实际测得的气密性，管道泄漏率和风机效率（而非设计阶段使用的经验值）。

标准 5：建筑节能运行的规定

建筑节能减排规范规定：设计团队需要向业主提充足的的信息，包括建筑维护结构、设备系统的高效运行操作及维护要求，从而确保该建筑可以在合理的情况下运行。相关信息应在建筑建成 5 天内提供。证明满足规范的方式是按照 CIBSE 工具包的指导，准备建造日志。

3. 简化建筑能耗模型 (SBEM) 和建筑能耗性能证书 (EPCs)

英国社区和地方政府部根据欧洲建筑性能法案定义了英国国家计算方法 (NCM)。这套国家计算方法介绍了证明满足建筑规范碳排放的要求和步骤，并提供计算实际建筑和参考建筑年度能耗和碳排放量的基础方法和标准数据库。国家计算方法是随着建筑节能减排规范的更新而更新。简化建筑能耗模型是由英国建筑研究机构 (BRE) 为社区和地方政府部开发的，用于计算非居住建筑能源性能以证明符合建筑节能减排规范要求并生成建筑能耗性能证书 (EPCs)。SBEM 有一个基本的用户界面 iSBEM。于 2014 年 7 月 30 日发布的 iSBEM_5.2.d 是最新版本，用于验证位于英格兰，威尔士和泽西岛的非居住建筑是否满足规范要求，并生成建筑能耗性能证书。SBEM 计算以及生成建筑能耗性能证书要由有专业认证的能源评估师完成。同时，所有项目要进行两次 SBEM 计算，包括设计建筑碳排放量以及设计阶段建筑能耗性能证书，和建成建筑碳排放量以及建成建筑能耗性能证书。能源评估师要签发最终的建成建筑能耗性能证书并上传数据库。

3.1 简化的建筑能耗模型 (SBEM)

当计算建筑物的能耗以检验其是否满足规范标准一 ($BER < TER$)，要用到实际建筑和参考建筑的概念。计算可以使用 SBEM 或是被认可的动态能量模拟软件。值得注意的是，同一座建筑的实际建筑排放量 (BER) 和参考建筑排放量 (TER) 要使用同一种模拟工具计算。

SBEM 计算是一套计算建筑在标准使用情况下能耗的模拟方法。它考虑建筑物的地理位置 (气候) 和朝向，空间大小，建筑结构，使用情况，照明系统，采暖通风和空调系统 (HVAC) 和生活热水系统 (DHW)，以及可再生能源和热电联产系统 (CHP) 的使用。

输入实际建筑的设计参数后，SBEM 根据所选设备的形式、效率以及控制系统，计算在满足热舒适性需求情况下，暖通空调，照明和热水系统的每月能源需求量。最后，乘以碳排放系数和一次能源消耗系数，将能耗转换为碳排放量 BER 和一次能源消耗量 BPEC。最新的碳排放系数和一次能源消耗系数可以在‘英国政府住宅能源评级标准评估方法 2012’中查到 (碳排放系数：电为 0.517 千克 CO_2 /千瓦时，天然气为 0.216 千克 CO_2 /千瓦时；一次能源消耗系数：电为 3.07，天然气为 1.22) (SAP 2012)。与此同时，模型将自动生成参考建筑。参考建筑有着与实际建筑相同的大小，形状，朝向，气候数据，分区以及相同的使用情况。但是，参考建筑的建筑维护结构，气密性，照明水平，采暖通风制冷效率，风机功率和热交换率使用默认值。从而可以得出参考建筑的碳排放量 TER 和一次能源消耗量 TPEC。BER 和 TER 的单位为千克 CO_2 /平方米/年。

BER 和 TER 的计算是基于暖通空调，生活热水和照明系统所消耗能量。电器的插头负载是不被包括在计算中作为强制限制能量的。在现阶段，限制能源消费总量便需要建筑使用情况的具体信息，会大大提高计算的复杂和困难程度。值得注意的是，如果实际建筑只使用建筑规范中对维护结构热工性能和设备系统效率的最低要求，该建筑的实际碳排放量是会增加参考建筑的碳排放量。其原因是用于参考建筑物的默认值高于强制设计的最低能效标准。在目前的条件下，高效节能的系统设计是通过 SBEM 计算满足规范标准 2 要求 ($BER < TER$) 的关键。同时，由于不同的燃料有不同的 CO_2 排放系数，

燃料的选择对实际建筑的碳排放量有显著影响。建筑维护结构的热工性能对碳排放量的影响相对不大，其原因是英国建筑维护结构已达到较高标准。

当 2013 年英国节能减排规范升级进一步降低建筑的碳排放量，SBEM 计算也进行了相应的更新以降低参考建筑的碳排放量，包括提高参考建筑物的能源效率和增加实际建筑的碳排放系数。较 2010 年非居住建筑节能减排规范，2013 年版本对参考建筑的更新包括：1) 侧采光区被进一步细分为有和没有制冷设备的区，以扩大考虑自然采光情况时区的类别；2) 气密性要求进一步根据空间尺度的不同细化，同时气密性从 5 个换气量降到 3 个换气量；3) 天窗的 G 值从 43% 增加为 55%，同时可见光透射率从 67% 降低至 60%；4) 灯具的照明效果从 55 流明/电路瓦提高到 60 流明/电路瓦；5) 提高采暖和热水系统的能效 (SCOP)；6) 改变参考建筑物的形状和尺寸 (NCM 2014)。同时，碳排放系数由 0.198 千克 CO₂/千瓦时 (天然气) 和 0.517 千克 CO₂/千瓦时 (电)，提升为 0.216 千克 CO₂/千瓦时 (天然气) 和 0.519 千克 CO₂/千瓦时 (电)。

需要提及的是，SBEM 计算不能反映建筑物的实际运行的能耗和碳排放量情况。其原因是，SBEM 计算只能从一个锁定的数据库来选择气候数据和使用情况信息，该数据库不能按照建筑物的实际运行情况来编辑。数据库中目前有 14 个英国城市的气象数据，进行 SBEM 计算时应选择与实际建筑基地最为接近的城市的气象信息。使用情况信息数据库提供标准的建筑使用密度和使用者新陈代谢速率，温度设定，室外空气供给率，照明和热水需求，以及相应的使用频率。因此，相同使用情况的建筑的能耗和碳排放量的差别仅取决于建筑的大小，维护结构的热工性能，设备系统的能效和地理位置 (NCM 2014)。

3. 2 建筑能耗性能证书 (EPCs)

建筑能耗性能证书 (EPCs) 是为了向市场表明实际建筑与相同使用方式的典型建筑比较的相对性能表现。当新建新建筑，或出售和出租既有建筑，都要提供建筑能耗性能证书。建筑能耗性能证书 10 年有效。当提及建筑能耗性能证书，要用到实际建筑和典型建筑的概念。典型建筑是在英格兰和威尔士评定建筑能耗等级的基础。不论实际建筑的差别，比如是自然通风还是机械通风，或是选用不同的燃料，确保同一类型建筑有统一的典型建筑是至关重要的。典型建筑外维护结构和采暖通风制冷系统的参数等同于建筑规范中定义的参考建筑默认值。典型建筑的二氧化碳排放量被定为典型排放量 (RER)。典型建筑的碳排放量乘以调整系数 (1-23.5%)，得到现存标准建筑的二氧化碳排放量 (SER) (NCM 2014)。在设计阶段，能量评估师可以生成设计建筑能耗性能证书，已确保设计可以达到相应要求。当建筑建造完成，能量评估师要根据最终建造的维护结构、设备系统等情况生成并签发最终的建成建筑能耗性能证书。

性能评级 (AR) 是实际建筑的二氧化碳排放量与现存标准建筑的排放量的比。‘A’ (最节能) 到 ‘G’ (最不节能) 等级是一个基于两个关键点线性等级。关键点的定义为：1) 0 刻度代表实际建筑年碳排放量 (BER) 为 0；2) B 等级和 C 等级之间的刻度是 50，代表现存标准建筑的碳排放量 (SER)；3) ‘D’ 等级和 ‘E’ 等级之间的刻度是 100 (NCM 2014)。建筑能耗性能证书上还标有参考建筑的碳排放量 (TER) 和基于 1995 年规范标准的典型现存建筑性能指标 (NCM 2014)。因此，性能评级反映了建筑物与同一类型的建筑物相比较的能源表现。图 1 为一建筑能耗性能证书实例。



图 1：建筑能耗性能证书实例

4 讨论和建议

我国建筑业的年建造量和相应的能源消耗位居世界第一。我国政府已经认识到控制二氧化碳排放量的重要性，计划降低对煤为主要燃料的依赖，并设置碳排放量限制 (Vaughan and Branigan 2014)。建设部非常重视碳减排问题，制定了推动可持续发展和绿色建筑设计的战略 (China Green Buildings 2009)。2006 年，我国推出了绿色建筑评价体系以进一步推动建筑业的可持续发展。回顾完英国节能建筑规范的发展，分享几点心得。

首先，总的来说，英国建筑业的节能减排是一个循序渐进的过程，并非一朝一夕的成果。在其规范系统发展成熟后，加上环球气候变暖和能源贫困的加剧，英国政府在 2002 年对建筑规范进行了大尺度的更新，加大了推动向零碳建筑转变的力度。同时，政府提出每 4 年建筑节能减排规范将更新，指引发展方向，也使建筑业界提前准备。英国节能减排规范作为推动建筑业界二氧化碳减排的主要措施，定期朝着最终的零碳目标升级 (Hernandez 2010)。

同时，在建筑节能减排规范中设置强制的低碳目标是十分重要的。在全球范围内，各国往往采用建筑规范和标准作为节能减排的利器 (Pan and Garmston 2012a)。英国建筑规范的 L 部分：建筑中的能源节约是英国政府节能减排的核心部分 (Waters 2003)。一系列在英国的研究均表明大部分的开发商只求满足强制规范要求，并不求实现非强制的、更高的节能减排标准，如美国的 LEED 和英国的 BREEAM。一个针对英国建筑师事务所关于当前节能政策和法规评估的问卷调研结果显示英国建筑规范对低碳设计有着最重要的影响 (Hamza and Greenwood 2009)。同时，另有调研表明当前英国低碳设计的阻力主要是缺乏开发商的支持和预算限制 (Hou 2014)。由诺丁汉大学主持的 EDUCATE 项目指出开发商在建筑节能减排、美观、舒适度和福祉、财政奖励以及生态和道德观等需求中，重点考虑的是降低投资成本 (EDUCATE Project Partners 2010)。因此，设置一个强制的，且可实现的节能减排目标是至关重要的。

当存在较大地区情况和气候差异时，可以采取设置统一的节能减排目标和执行方法，由各地区分设反映当地情况和气候的地区设计标准。英国卡迪夫大学开发了一个反映不同设计要素（如建筑朝向，建筑外维护结构热工性能，外窗遮阳系数和窗墙比等）对建筑能耗表现和碳排放量影响的灵敏度工具 (Jones et al. 2013)。该灵敏度工具可以识别最有效的节能减排设计手法以帮助设计初期的概念

设计。同时，此研究更进一步分析归纳了我国 5 个气候区相应的高效节能减排措施。该研究可以作为确定不同气候区设计标准控制参数的基础。

其次，在设置强制低碳建筑设计目标的同时，应建立简单直接的国家计算方法来明确指导如何执行规范并证明设计和建成建筑满足规范要求。目前来看，规定性方式和性能性方式相结合的方式是较适合的。建筑团队可以选用规定性方式，采用标准化的设计参数避免额外找咨询公司计算建筑能效表现的花费。当建筑团队寻求创新设计，探索新的设计思路时，建筑规范可以灵活允许非常规设计方案，性能性方式也更为合适。该方式的缺点是有些设计单位会利用性能性方式找到最低投资设计方案，而不追求整体式设计方式。因此，有必要在性能性方式上附加有关建筑维护结构热工性能和设备系统效率的强制性要求，以实现整体式节能减排的设计方法。这里提到的整体式设计方法是通过被动式设计减少能源需求的，安装高效的设备系统以满足需要，然后用可再生能源供给能量需求，最后考虑可再生能源储存。为配合性能性方式，需要一个简单易懂的模拟工具来计算能耗。

鉴于建成建筑的能效表现常常低于规范要求，确保满足规范要求成为英国建筑节能规范执行的关键问题 (Killip 2005)。其中一个重要原因是繁杂的执行方式。因此，相关部门应为建筑团队提供广泛的指导，演示如何符合规范要求，以最大程度地减少政策和实践之间的差距。不正确执行、计算资料不全面、错误时间提交以及缺乏适当的计算检查是英国当前常见的不满足规范的情况 (Pan and Garmston 2012b)。为了避免类似情况的发生，在国家统一的计算方法中应设置一致的能源评估检查和汇报系统。同时，应详细介绍建筑团队不明确的设计参数，包括其背景和具体实施步骤。保证建筑团队的成员深入了解规范并熟悉相应的执行程序是至关重要的。在英国，大量书籍、报告和文件作为更新规范的重要配套出版发行，详细介绍相关信息和指导。例如，Water 在 2002 年英国建筑节能减排规范生效后出版了‘建筑节能:部分 L 的指南’。这本书提供了实例应用和工作案例来帮助建筑团队中各个成员，从设计、建造、运营到管理，了解最新的建筑节能减排规范 (Waters 2003)。

此外，培训是保证建筑团队可以设计建造满足规范要求项目的重要一环。在英国，许多研究机构致力于给专业人员传授所需的知识和技能。例如，欧洲社会基金在 2012 年资助了建成环境有续培训项目。其目的是结合有关能源、废物、水资源和建成环境部门来创建一个 10 年战略和培训方针 (BEST 2012)。同时，英国政府与业界建立伙伴关系，在建筑规范更新时为建筑团队成员提供培训，帮助建筑团队实现新规范中进一步强化的减排目标。因此，为建筑团队提供培训是非常重要的；一方面可以提高建筑团队对建筑节能减排规范以及更高标准的认识，另一方面可以加强设计团队实现低碳设计标准的能力。

独立的建筑质量控制是保证建筑符合建筑规范的监护人。在英国直到 1990 年代后期，建筑质量控制系统是完全由政府主导的，因此其程序的发展是长期受到政府控制的。在之后的 40 年中，由政府批准的私营建筑质量控制公司开始出现。这些私营建筑质量控制公司最初的作用是检查政府计划，以防止利益冲突，并确保一个独立的监察制度。建立一套和建筑设计和建造过程集成的检验和认证程序，加上一个全面了解规范执行的团队对确保节能减排规范的执行有着相当重要的影响。

5 结论

英国相对完善的建筑节能减排规范系统是经过近半个世纪发展起来的。本文回顾了英国节能减排建筑规范的发展，详细介绍了最新的规范标准和国家计算方法，同时反思了英国建筑节能减排规范带来的启示。首先，要基于社会和技术背景设置一个合理的、强制的低碳设计目标。主要的挑战包括目标的可实施性、证明满足规范的方式、质量控制和建成建筑最终满足规范要求。因此，一个清晰的国家计算方法和相关质量控制程序是关键。此外，应为专业人士提供充足的指导和培训，以确保建筑团队获取相应的知识，保证建成建筑满足规范要求。总的来说，一套切实可行，并且有着严格降低能耗和碳排放量目标的建筑规范是基本。规范应针对建筑类型、新建或既有、所在地区等不同情况提出相应标准。一旦基本标准、审核和认证系统设置完成，则可以升级规范要求，逐步提高低碳标准，设置有挑战性的目标从而促进实现最终零碳目标。值得提及的是，建筑规范标准是对建筑

能效表现的最低要求。目前, 各种绿色建筑评价体系都对建筑设计提出更高的要求, 如我国的三星级绿色建筑评价标准, 英国的 BREEAM 和美国的 LEED。这些绿色建筑评价体系在鼓励建筑团队实现零碳目标和促进创新是十分重要的。

参考文献:

Adeyeye, K., Osmani, M. and Brown, C. 2007. Energy conservation and building design: the environmental legislation push and pull factors. *Structural Survey* 25, pp.375 - 390.

Annunziata, E., Frey, M. & Rizzi, F. 2013. Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe. *Energy*, 57, 125-133.

BEST. 2012. *About built environment sustainability training* [Online]. Available at: <http://www.best.cf.ac.uk> [Accessed: 06 January 2014].

China Green Buildings. 2009. *Ministry of Construction Green Building Evaluation Standard- The "Three Star" System* [Online]. Available at: <http://chinagreenbuildings.blogspot.co.uk> [Accessed 10/02 2015].

Davies, H., 2013. *Tracing the continuing development of Part L* [Online]. Available at: <http://www.modbs.co.uk> [Accessed 10/02 2015].

DECC. 2012. 2010 UK Greenhouse Gas Emissions, Final Figures.

EDUCATE Project Partners. 2010. *EDUCATE State of the Art of Environmental Sustainability in Professional Practice*. Nottingham: EDUCATE press

EEA. 2010. *Tracking progress towards Kyoto and 2020 targets in Europe*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Union

GOV.UK. 2013. *Providing effective building regulations so that new and altered buildings are safe, accessible and efficient* [Online]. London. Available at: <https://www.gov.uk/government/policies/providing-effective-building-regulations-so-that-new-and-altered-buildings-are-safe-accessible-and-efficient> [Accessed 06/01 2014].

Hamza, N. & Greenwood, D. 2009. Energy conservation regulations: Impacts on design and procurement of low energy buildings. *Building and Environment*, 44, 929-936.

Hernandez, P. & Kenny, P. 2010. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, 42, 815-821.

HM GOVERNMENT. 1985. *Building and Buildings: The Building Regulations 1985*.

HM GOVERNMENT. 1995. *Approved Documents, L1 Conservation of Fuel and Power*. London: HMSO Publication Centre.

HM GOVERNMENT. 2013a. Approved Documents, L2A Conservation of Fuel and Power in new buildings other than dwellings. London: NBS.

HM GOVERNMENT. 2013b. Amendments to the Approved Documents: The Building Regulations 2010. London: NBS.Fh

Hou, S. 2014. *An investigation into the development of low/ zero carbon design training programmes for the purpose of disseminating the knowledge and skills of low/ zero carbon design to architects in practice in England and Wales*. PhD Thesis, Cardiff University.

IPCC, 2013: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

Jones, P. J. 2005. Energy efficient housing - developments over the last three decades.

Jones, P., Lannon, S., Li, X., et al. 2013. Intensive building energy simulation at early design stage. Presented at: Building Simulation 2013 (BS2013): 13th International Conference of the International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, 25-28 August 2013.

Killip, G. 2005. Building fabric and building regulations. Oxford: Environmental Change Institute, University of Oxford.

NPT. 2014. The Building Regulations [Online]. Available at: <http://www.npt.gov.uk> [Accessed: 18 April 2014].

Pan, W. & Garmston, H. 2012a. Compliance with building energy regulations for new-build dwellings. *Energy*, 48, 11-22.

Pan, W. & Garmston, H. 2012b. Building regulations in energy efficiency: Compliance in England and Wales. *Energy Policy*, 45, 594-605.

Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Coronel, J. F. & Maestre, I. R. 2011. A review of HVAC systems requirements in building energy regulations. *Energy and Buildings*, 43, 255-268.

The Department of Energy and Climate Change. 2012. STATISTICAL RELEASE: 2010 UK GREENHOUSE GAS EMISSIONS, FINAL FIGURES

The Welsh Government. 2014. *Amendments to the Approved Documents L1A, L1B, L2A and L2B Conservation of Fuel and Power 2013 - for use in Wales* [Online]. Available at: <http://wales.gov.uk/docs/desh/publications/140116building-regs-part-1-amendment-slip-en.pdf> [Accessed: 18 April 2014].

UK-GBC. 2009. UK Green Building Council [Online]. Available at: <http://www.ukgbc.org/site/home> [Accessed 04 February 2009].

UN. 1998. *UNFCCC and the Kyoto Protocol* [Online]. Available at:
<http://www.un.org/wcm/content/site/climatechange/pages/gateway/the-negotiations/the-un-climate-change-convention-and-the-kyoto-protocol> [Accessed: 04 January 2014].

UNFCCC. 2014. The United Nations Framework Convention on Climate Change [Online]. Available at: <http://unfccc.int/2860.php> [Accessed: 04 January 2014].

Vaughan, A., Branigan, T. 2014. China to limit carbon emissions for first time, climate adviser claims [Online]. Available at:
<http://www.theguardian.com/environment/2014/jun/03/china-pledges-limit-carbon-emissions> [Accessed 10/02 2015].

Waters, J. R. 2003. *Energy conservation in buildings: a guide to Part L of the Building Regulations*, Oxford: Blackwell.

World Green Building Council. 2010. *Tackling global climate change - meeting local priorities* [Online]. Available at: <http://www.ukgbc.org/resources/publication/world-gbc-special-report-tackling-global-climate-change-meeting-local-priorities> [Accessed: 08 November 2013].

Zhang, N., Lior, N. & Jin, H. 2011. The energy situation and its sustainable development strategy in China. *Energy*, 36, 3639-3649.

作者联系方式:

侯珊珊 博士

邮箱: hous1@cardiff.ac.uk

地址: WSA, Bute Building, Cardiff University, Cardiff, UK, CF10 3NB