

应同等重视建筑建造过程和运行过程的节能减排

——基于中国建筑业资源环境负荷现状数据的分析

贺静¹, 王明铭², 张忠伦², 李敏³, 时红霞⁴

1. 中国建筑标准设计研究院有限公司, 北京 100048
2. 中国建筑材料科学研究总院有限公司, 北京 100024
3. 北京清华同衡规划设计研究院有限公司, 北京 100084
4. 北京凯盛建材工程有限公司, 北京 100024

摘要 以2015中国建筑业原材料消耗、能源消耗、CO₂排放为主要指标,分析了中国建筑业建筑建造和运行过程的主要资源环境负荷情况,并与国外相关数据对比,探讨了社会建筑活动与资源环境负荷之间的量化关系,提出了应同等重视建筑建造和运行过程中节能、减排的建议。

关键词 建筑业广义资源环境负荷; 建筑业广义矿产资源消耗量; 建筑业广义能源消耗量; 建筑业广义CO₂排放量

进入21世纪,中国成为世界上既有建筑和每年新建建筑量最大的国家,2015年全国建筑面积总量达到613亿m²^[1](此数据不包含中国台湾、香港、澳门地区,以下均同),城镇化率达到56.1%^[2]。建筑业的大发展解决了几亿人的基本居住问题,促进了城市化进程和经济高速发展。同时,建筑的建造、使用、改造、拆解等过程也带来大量资源环境负荷。

在目前中国资源约束趋紧、生态环境恶化趋势尚未得到根本扭转^[3]的形势下,需要从宏观上研究建筑业整体资源环境负荷现状,建立社会建筑活动与资源环境负荷之间的量化关系,为建筑业资源利用方式的转

变和提升提供理论依据和数据基础。本文以2015年数据为例,通过对建筑业建筑建造过程和运行过程的矿产资源消耗、能源消耗、CO₂排放等数据的统计、对比,分析目前中国建筑业主要资源环境负荷的水平 and 构成特点。

1 主要基础统计数据

1.1 建筑建造过程

目前,中国建筑建造过程中的土建、装修及改造方式仍主要依赖对水泥、钢、玻璃、陶瓷、铝等不可再生建

收稿日期:2017-12-23;修回日期:2018-02-07

作者简介:贺静,高级建筑师,研究方向为绿色建筑基础理论、标准和设计技术,电子信箱:hej@cbs.com.cn

引用格式:贺静,王明铭,张忠伦,等. 应同等重视建筑建造过程和运行过程的节能减排——基于中国建筑业资源环境负荷现状数据的分析[J]. 科技导报, 2018, 36(5): 8-13; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.05.001

材的消耗。本文以这5种主要建材生产过程的原材料消耗量、能源消耗量、CO₂排放量为典型指标进行统计,代表建筑业建造过程的主要资源环境负荷量。施工、运输等过程的能耗和排放,因占比较低暂未计入。鉴于建材产能过剩部分在其生产过程已造成资源环境负荷,故计算中未考虑建材产能过剩比率。

根据国家统计局公布数据,2015年全国水泥产量约为23.59亿t,钢材年产量约为11.23亿t,平板玻璃年产量约为7.87亿重量箱,卫生陶瓷总产量为219百万件、陶瓷砖年产量为101.80亿m²,电解铝年产量为0.314亿t、氧化铝年产量约为0.590亿t、铝材年产量约为0.524亿t。若以建筑业消耗水泥占比为70%、消耗钢铁占比为25%、消耗玻璃占比为70%、消耗铝占比为35%计算,则2015年全国建筑业5种主要建材生产过程的原材料消耗总量约33.74亿t,能源消耗总量约5.26亿t标准煤当量(tce),CO₂排放总量约22.35亿t,具体数据如表1所示。

表1 2015年中国建筑业主要建材生产过程的主要资源环境负荷数据

Tale 1 Basic data of resource and environment load in production of main building materials in 2015

建筑材料	原材料/亿t	能源消耗/亿t	CO ₂ 排放/亿t
水泥	26.42	2.26	13.21
钢	5.06	1.81	5.62
玻璃	0.39	0.10	0.39
陶瓷	1.30	0.35	1.40
铝	0.58	0.75	1.74
合计	33.74	5.27	22.35

对比5种主要建材生产过程的原材料消耗量、能源消耗量、CO₂排放量数据,可以看出:在能源消耗总量中,水泥和钢较为突出;在CO₂排放总量中,水泥和钢的占比更高,尤其是水泥,其排放量超过总量的1/2。

1.2 建筑运行过程

《中国建筑节能年度发展研究报告(2017)》数据显示^[4],2015年全国建筑运行的总商品能耗约为8.64亿tce,约占全国能源消费总量的20%,其中包括城镇住宅用能(不含北方地区供暖)1.99亿tce、农村住宅用能2.13亿tce、公共建筑用能(不含北方地区供暖)2.60亿tce、北方城镇供暖用能1.91亿tce;2015年全国建筑运行的CO₂排放总量为22.2亿t。

2 资源环境负荷总量分析

以建筑建造过程和运行过程的资源环境负荷之和,描述建筑业广义资源环境负荷总量,其中包括广义矿产资源消耗量、广义能源消耗量、广义CO₂排放量3个主要指标。建筑建造过程的主要指标以5种主要建材生产过程数据代表。

1) 广义矿产消耗总量。

2015年中国建筑业广义矿产资源消耗总量为5种主要建材生产过程的原材料消耗总量和能源消耗总量、建筑运行的总商品能耗之和,约为47.64亿t。

2) 广义能源消耗总量。

2015年中国建筑业广义能源消耗总量为5种主要建材生产过程的能耗和建筑运行的总商品能耗之和,约为13.90亿tce,约占全国能源消费总量的32%。其中,5种主要建材生产过程的能耗和建筑运行总商品能耗分别占建筑业广义能源消耗总量的38%和62%。

3) 广义CO₂排放总量。

2015年中国建筑业广义CO₂排放总量为5种主要建材生产过程的CO₂排放总量与建筑运行过程CO₂排放总量之和,约为44.55亿t,约占全社会总量的43%。其中,5种主要建材生产过程的CO₂排放总量和建筑运行CO₂排放总量均占建筑业广义CO₂排放总量的50%。

由以上数据分析表明:

1) 建筑业的蓬勃发展建立在对不可再生矿产资源大量开采的基础上,是全社会经济活动中对自然资源占有和影响最为突出的行业之一。因此,需要转变和提升建筑建造和运行过程各阶段的资源利用方式,降低建筑活动对这些不可再生矿产资源的消耗,即降低它们被生产成建材和被作为燃料的概率。

2) 建筑业广义CO₂排放总量在全社会总量中占有很大比重,且高于广义能源消耗总量的全社会占比,而现行绿色建筑等相关标准多以节能指标作为目标导向,对CO₂排放量尚无明确定量约束。在全社会碳减排总体要求和发展趋势下,建筑业作为碳排放“大户”,应建立CO₂排放量总量和强度双控标准及指标体系。

3) 建筑建造过程和运行过程的能源消耗及CO₂排放在全社会总量中占有同等重要的比重。因此,建筑业的节能和减碳不仅要关注建筑运行过程,还应将“节”和“减”贯穿于建筑全生命期中可能消耗水泥、钢、铝、陶瓷等高资源密度建材的各个建设阶段。目前中国绿

色建筑、建筑节能等标准和技术研究偏重于运行过程,对建造过程的节能和减碳关注较少,应拓展绿色节能的外延,如研究建筑全生命期中高资源密度建材的消耗减量、循环利用等方法。

3 资源环境负荷分项对比

3.1 能源消耗量分项对比

将建材生产过程和建筑运行过程的能耗进行横向对比,可以得出:2015年中国建筑业建材生产过程能耗中的水泥、钢、铝、陶瓷分项,与建筑运行过程能耗中的公共建筑、农村住宅、城镇住宅、北方采暖分项属于同一数量级。其中,水泥能耗约为2.26亿tce,仅次于公共建筑分项;钢材能耗约为1.81亿tce,接近北方采暖、城镇住宅分项(图1)。

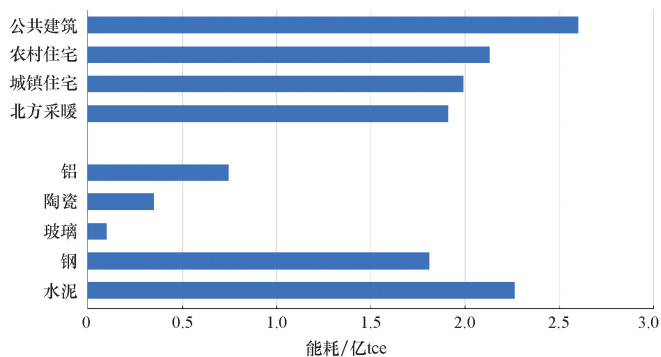


图1 2015年中国建筑业建筑运行过程和主要建材生产过程的分项能耗的分项

Fig. 1 Itemized comparison of energy consumption in building operation and in production of main building materials in 2015

3.2 CO₂排放量分项对比

将建材生产过程和建筑运行过程的CO₂排放量进行横向对比,可以得出:2015年中国建筑业建材生产过程CO₂排放量中的水泥、钢、铝、陶瓷分项,与建筑运行过程CO₂排放量中的公共建筑、农村住宅、城镇住宅、北方采暖分项属于同一数量级。其中,水泥CO₂排放量约为13.21亿t,远高于其他分项,接近公共建筑分项的2倍,超过农村住宅和城镇住宅分项之和;钢CO₂排放量约为5.62亿t,接近北方采暖、城镇住宅、农村住宅分项(图2)。

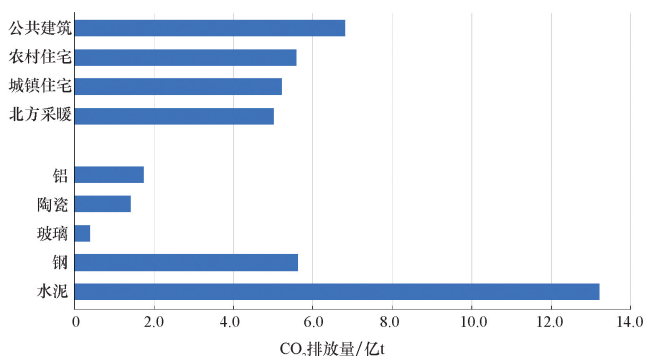


图2 2015年中国建筑业建筑运行过程和主要建材生产过程的CO₂排放量对比

Fig. 2 Itemized comparison of CO₂ emissions in building operation and production of main building materials in 2015

由以上数据分析表明:

1) 水泥和钢是目前中国建筑业能耗和CO₂排放的重要来源。特别是水泥,其生产过程的燃料燃烧和生产工艺同时产生CO₂,是现阶段建筑业最大的CO₂排放来源。在主体结构建材替代仍未突破的情况下,应重点研究延长水泥和钢的使用时间、提高建材利用效率的方法和技术,降低环境负荷。

2) 用于建筑室内外装修的铝和陶瓷,其能耗和CO₂排放也较为突出,加之水泥和钢部分用于装修,因此,研究装修过程资源利用方式的转变和提升,也是目前中国建筑业节能减排的途径之一。

4 国外相关数据比较

4.1 建筑运行能耗

根据美国能源署(U.S. Energy Information Administration, EIA)能源消费领域统计数据^[5],2015年美国全国能源消费总量为97533 Trillion Btu,折算成标准煤约为35.09亿tce,其中建筑运行过程的能耗(包括住宅和商业)约为13.91亿tce,占全国总量的40%,该比例约为中国的2倍。计算可得2015年美国建筑运行过程的年人均能耗为4.33 tce,是中国的6.9倍;人均CO₂排放量为6.12 t,是中国的3.8倍。

根据《德国联邦经济及能源部能效数据》(《Bundesministerium für wirtschaft und energie energieeffizienz in zahlen》)数据^[6],2015年德国全国能源消费总量为8877 Petajoule,折算成标准煤约为3.03亿tce,其中建筑运行过程的能耗约1.05亿tce,占全国总量的35%,该比例约

为中国的1.8倍。计算可得,2015年德国建筑运行过程的年人均能耗为1.93 tce,是中国的3.1倍;年人均CO₂排放量为2.56 t,是中国的1.6倍。

表2显示了2015年中国、美国、德国相关能耗和CO₂排放数据的比较情况。

表2 2015年中国、美国、德国相关能耗和CO₂排放数据比较
Table 2 Comparison of related data on energy consumption and CO₂ emissions between China, US and Germany in 2015

国家	全国能源消费总量/亿tce	总人口/亿人	建筑运行过程的能耗总量/亿tce	建筑运行过程的人均能耗/tce	建筑运行过程的CO ₂ 排放总量/亿t	建筑运行过程的人均CO ₂ 排放量/亿t
中国	43.60	13.75	8.64	0.63	22.20	1.61
德国	3.03	0.81	1.05	1.29	2.08	2.56
美国	35.09	3.21	13.91	4.33	19.67	6.12

4.2 建材生产能耗、CO₂排放

参考EIA数据,2015年美国水泥产业能耗总量为343.8 trillion Btu(折算为标准煤约为0.12亿tce)^[7],约占美国全国能源消费总量的0.3%;而中国2015年水泥产业能耗总量为3.23亿tce,约占全国能源消费总量的7.4%。2015年美国水泥产业CO₂排放总量为0.25亿t^[8],中国为18.87亿t。计算到人均,2015年中国人均水泥产业能耗为0.23 tce,是美国的5.8倍(表3)。

表3 2015年中国、美国水泥产业相关能耗、CO₂排放量数量对比
Table 3 Comparison of per capita production, energy consumption and CO₂ emissions in cement production between China and US in 2015

国家	能耗总量/亿tce	人均能耗/tce	CO ₂ 排放总量/亿t	人均CO ₂ 排放量/tCO ₂
中国	3.23	0.23	18.87	1.37
美国	0.12	0.04	0.25	0.08

参考EIA数据,2015年美国钢铁产业能耗总量为1263.9 Trillion Btu(折算为标准煤约为0.45亿tce)^[8],占美国全国能源消费总量的1.3%;而中国2015年钢铁产业能耗总量为7.24亿tce,约占全国能源消费总量的16.6%。2015年美国钢铁产业CO₂排放总量约1.14亿t,中国则为22.47亿t。计算到人均,2015年中国人均钢铁产业能耗为0.53 tce,是美国的3.7倍(表4)。

综合以上数据可见,目前中国建筑业广义能耗和CO₂排放的构成与美国、德国不同。从占比看,美国水泥和钢铁产业能耗之和约占总量的1.6%,其中用于建筑业的比例还将低于这个数据,而中国仅建筑业的水

表4 2015年中国、美国钢铁产业相关能耗、CO₂排放数据对比

Table 4 Comparison of per capita production, energy consumption and CO₂ emissions in steel production between China and US in 2015

国家	能耗总量/亿tce	人均能耗/亿tce	CO ₂ 排放总量/亿t	人均CO ₂ 排放量/t
中国	7.24	0.53	22.47	1.63
美国	0.45	0.14	1.14	0.35

泥和钢铁能耗之和占总量的9.33%,可以说,建造过程能耗是中国建筑业广义能耗中非常重要的组成部分,与运行过程能耗占比相当,而美国建筑业广义能耗则以建筑运行过程能耗为主;从人均量看,中国建筑运行过程的人均能耗和CO₂排放量远低于美国、德国,而建造过程的人均能耗和CO₂排放量则高于美国。

资源环境负荷构成和重点不同,决定中国建筑业资源利用方式转变的逻辑和路径也应区别于欧美国家。一方面,欧美国家已进入建筑维护时代,新建建筑量远小于中国,其建筑业资源环境负荷以建筑运行过程为主;而中国正处于城市化发展阶段,以大量新建、改造建设为主,建筑建造过程和运行过程的负荷比重相当。因此,解决中国建筑业资源环境负荷问题,不能简单照搬欧美标准和技术,而应厘清问题、对症下药,研究适合中国国情的理论和方法。另一方面,中国建筑运行过程的单位能耗和CO₂排放量远低于欧美国家。这是中国长期以来坚持自然通风、天然采光等绿色行为方式的优势体现,在目前建筑用能总量已接近上限的情况下,应进一步发挥和提升已有优势,坚持“空间节能优先”的绿色建筑设计方法,引导绿色生活方式。

5 结论与建议

研究建筑业资源环境负荷问题应同等重视建筑的建造过程和运行过程,在建筑全生命期各阶段注重提升资源利用水平、提高资源利用效率,积极促进建筑业资源利用方式的转变。具体建议如下:

1) 在数据研究层面,开展“建筑业广义资源环境负荷”和“典型建筑单体全生命期资源环境负荷”数据研究工作,在宏观和微观数据分析基础上,建立中国建筑业建设活动与资源环境负荷之间的量化关系,寻找出现阶段中国常见建设方式中矿产资源消耗、CO₂排放、垃圾排放等负荷较突出的典型性阶段问题,即找到“痛点”。

2) 在标准制定层面,扩展目前绿色建筑、建筑节能等标准的指标范围,将以“节能”为核心,转变为建立“降低建筑全生命期资源环境负荷”指标评价体系,针对建筑全生命期中的原材料消耗、能源消耗、CO₂排放、水资源消耗、建筑垃圾排放等关键指标进行目标限值和重点引导,以实现建筑业在全社会自然环境承载力上位要求中的指标分解和紧密对接。

3) 在技术拓展层面,改变传统建筑业粗放型、“一次性”的建设模式,提高建筑使用寿命、提高资源循环利用效率,从总体上延长资源利用时间。一是,提高建筑和社区适应更长时期的社会功能改变、全球气候变化、灾难等变化的弹性能力,尽量延长整体功能系统的服务时间;二是,延长建筑主体结构等不可更换部件的使用寿命,降低反复建造的频率;三是,提高装修建材、围护结构等可更换、需更换部件的工业化水平和部品化率,通过促进建材部品的市场流通和循环再使用,提高资源的利用效率。

4) 在科技创新层面,促进开展多学科交叉融合和重点研发,以基础科学前沿研究为新动能,支撑建筑业资源利用方式的转变。例如结合材料科学研究,寻找研发可以作为主体结构和主要围护结构使用的可再生、可速生建材;结合人工智能和物联网技术,研发建材资源全生命期溯源和跟踪技术,推动建材部品的社会流通和资源共享,促进资源循环利用;结合建筑机器人技术,帮助解决智能建造和拆解、建筑垃圾资源化利用等难点问题。

参考文献 (References)

- [1] 中国建筑节能协会. 中国建筑能耗研究报告(2017)[R]. 北京: 中国建筑节能协会, 2017.
China Building Energy Conservation Association. China building energy consumption research report (2017) [R]. Beijing: China Architectural Energy Conservation Association, 2017.
- [2] 国家统计局. 就业保持基本稳定 结构出现较大调整——十八大以来我国就业状况[A/OL]. [2016-03-08]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201710/t20171010_1540653.html.
The National Bureau of statistics. The structure of the basic stability of employment has been adjusted greatly: The employment situation in China since the eighteen major [A/OL]. [2016-03-08]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201710/t20171010_154065-3.html.
- [3] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要[A/OL]. [2017-12-31]. http://www.xinhuanet.com/politics/2016-03/17/c_1118366322.htm.
The thirteenth five year plan for the development of People's Republic of China's national economy and social development [A/OL]. [2017-12-31]. http://www.xinhuanet.com/politics/2016-03/17/c_1118366322.htm.
- [4] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告(2017)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
Tsinghua University Building Energy Conservation Research Center. China's annual development research on building energy conservation (2017) [M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2017.
- [5] U. S. Energy Information Administration. Energy consumption by sector[EB/OL]. [2017-12-31]. https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec2_3.pdf.
- [6] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie[EB/OL]. [2017-12-31]. <http://www.bmwi.de/Navigation/DE/Home/home.html>.
- [7] U. S. Energy Information Administration. Cement and lime industry energy consumption: Annual Energy Outlook 2017[EB/OL]. [2017-12-31]. <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=40-AEO2017®ion=0-0&cases=ref2017&start=2015&end=2016&f=A&linechart=ref2017-d120816a.2-40-AEO2017&sourcekey=0>, 2017.
- [8] U. S. Energy Information Administration. Iron and steel industry energy consumption: Annual energy outlook 2017[EB/OL]. [2017-12-31]. <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=41-AEO2017®ion=0-0&cases=ref2017&start=2015&end=2016&f=A&linechart=ref2017-d120816a.2-41-AEO2017&sourcekey=0>.
- [9] 林立身, 江亿, 燕达, 等. 我国建筑业广义建造能耗及 CO₂ 排放分析[J]. 中国能源, 2015, 37(3): 5-10.
Lin Lishen, Jiang Yi, Yan Da, et al. Analysis of energy consumption in building construction and CO₂ emission[J]. Energy of China, 2015, 37(3): 5-10.
- [10] 彭琛, 江亿, 姜克隽, 等. 中国建筑能耗总量上限的确定[J]. 建设科技, 2015(14): 27-35.
Peng Chen, Jiang Yi, Jiang Kejun, et al. To determine the Chinese building energy consumption limit[J]. Construction Science and Technology, 2015(14): 27-35.

Equal attention should be paid to both construction and operation of buildings for energy efficiency and emission reduction: Findings from current data on resource and environment loads in China's building industry

HE Jing¹, WANG Mingming², ZHANG Zhonglun², LI Min³, SHI Hongxia⁴

1. China Institute of Buildings Standard Design & Research, Beijing 100048, China

2. China Building Materials Academy Co., Ltd., Beijing 100024, China

3. Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning and Design Institute, Beijing 100084, China

4. Beijing Triumph International Engineering Co., Ltd., Beijing 100024, China

Abstract Using the 2015 data as an example, and taking raw material consumption, energy consumption and CO₂ emission as the key indicators, this study conducts an analysis on the main situation of resource and environment load in building construction and operation process of China building industry, compares the statistics with relevant foreign data, and reveals the quantitative relation between social building activities and resource and environment load. The findings can provide a theoretical basis and data foundation for transformation of resource utilization modes of the building industry and raise suggestions in terms of standard compilation, technical research and innovation.

Keywords broad-sense resource and environment load of building industry; broad-sense mineral resource consumption of building industry; broad-sense energy consumption of building industry; broad-sense CO₂ emissions of building industry ●



(责任编辑 刘志远)