

基于居民合理生活消费的人均碳排放计算

顾 鹏^{1,2*}, 马晓明¹ (1. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871; 2. 国电科技环保集团股份有限公司, 北京 100039)

摘要: 分析了我国居民消费直接与间接碳排放的变化及现状, 并通过居民消费的微观角度, 分析计算基于居民合理生活消费人均碳排放。试图通过居民消费的角度建立人均碳排放的核算方法, 给出建议数据。根据国内当前主要消费环节的碳排放水平, 对比国际先进水平和国内碳减排升级潜力, 计算了满足居民正常小康生活水平条件下的人均碳排放, 年人均排放约 2203kg~2333kg 碳。居民基本生活的碳排放主要集中在供暖制冷、住宅使用、污染治理和基础设施建设分摊等方面, 而衣物与食品消耗、生活物质材料等方面的碳排放量所占比重相对较低。

关键词: 居民; 消费; 碳排放; 公平

中图分类号: X196 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2013)08-1509-09

Calculation of carbon emissions per capita based on residents' rational consumption. GU Peng^{1,2*}, MA Xiao-ming¹ (1. College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Guodian Technology and Environment Group Corporation Limited, Beijing 100039, China). *China Environmental Science*, 2013, 33(8): 1509~1517

Abstract: The trends and current situations of direct and indirect carbon emissions from Chinese residents' consumptions were studied. From the micro perspective of people's consumption, the carbon emissions per capita based on rational level were analyzed and calculated. The article tried to establish a method for accounting consumption-based carbon emissions per capita. According to the emission rate of different consumption behavior, the carbon emissions per capita for people to have comfortable living conditions were calculated, which were 2203 to 2333 kg. Carbon emissions of consumption were mainly from heating and cooling, household usage, pollution control and infrastructure allocation, while the share of clothing and food consumption, life necessities and others was relatively low.

Key words: residents; consume; carbon emissions per capita; justice

国际气候谈判的焦点问题之一就是如何确定各国的减排责任。国际上大致有 2 种碳排放权的分配原则: 一是国际公平原则; 二是人际公平原则。国际公平原则是以国家排放总量作为测算依据, 而人际公平原则强调人均排放, 二者的差异在于碳排放责任的承担主体, 前者强调国家责任, 后者重视个体权益。显然只有将责任落实在个体身上, 才符合真正的公平含义, 符合人人生而平等的天赋人权。一方面, 碳排放归根到底来源于人的消费需求; 另一方面, 地球上的每个人都有权利公平地享有全球性的公共资源、获得平等的碳排放空间。但是由于各国发展历史和当前发展阶段的迥然差异, 各国所需承担的减排责任和压力差异巨大。发达国家对碳排放的需求增量较为有限, 应当切实履行减排责任; 发展中国家仍需要更多的排

放空间, 来实现其现代化发展, 实现社会进步与人文发展。

基于满足各国社会人文发展的需要, 发展中国家的学者从人际公平的角度提出了人均排放和人均累积排放的概念, 强调在减排责任中必须综合考虑各国的历史责任、现实发展阶段和未来发展需求。通过概念界定、理论阐述和量化测算, 根据人均排放和人均累积排放明确国际气候制度中减排责任分担, 是一种公平有效的方式^[1]。

本研究采用 IPCC 提供的碳排放系数法和 ECO-LCA 方法, 研究了我国居民直接能源消费碳排放与消费需求间接碳排放的变化趋势和现状, 并根据碳排放系数法计算居民合理消费的人

收稿日期: 2012-12-16

* 责任作者, 博士, gupeng@pku.edu.cn

均碳排放量,旨在获取满足我国居民良好生活水平下的合理排放水平和碳排放空间.

1 研究方法

现阶段各国的人均碳排放量的数据,并不能反映碳排放的微观结构.各国在居民生活水平、经济与制度结构、产业发展阶段、社会基础设施等诸多方面存在着显著的差异,单一的人均碳排放数据达到某一水平有时并不能反映出各国平等的排放权.潘家华等^[2]指出,发展中国家与发达国家对碳排放空间需求存在很大的差别,发达国家经济与制度结构完善、社会建设与维护的体系完备、污染得到基本控制,而发展中国家尚停留在满足基本生存的阶段.从经济学角度看,消费与生产是紧密联系的,消费者作为经济活动的重要组成部分,是生产的主要驱动因素.商品对资源和能源的消耗不仅包括直接的物质投入,还包括生产中各个环节的资源和能源的投入.因而从居民消费的角度分析和研究碳排放很有必要.

表 1 2008 年世界主要国家的人均碳排放量^[3]
Table 1 Carbon emissions per capita of main countries in the world in 2008

国家	碳排放量(tC/a)
美国	4.89
加拿大	4.45
俄罗斯	3.28
韩国	2.86
德国	2.61
日本	2.58
南非	2.44
英国	2.32
欧盟	2.14
意大利	2.03
法国	1.60
中国	1.45
巴西	0.56
印度	0.42
世界平均	1.31

由于各国之间国情差异很大,人均碳排放现状数据呈现巨大差别.国内学者研究认为,当前技术经济水平下,人均 1.6t 碳排放能够满足基本需要,人均 2.2t 则可以满足较为体面生活^[2].如表 1

所示的部分国家人均碳排放数据,以美国为代表的部分发达国家的人均数据远远超出世界平均水平,第一的美国已达到末位印度的 11.7 倍,是世界平均水平的 3.7 倍.欧盟数据虽仅为美国的一半,但仍较世界均值要高.中国的人均碳排放已略高于世界平均水平,而如巴西、印度等发展中国家代表仍低于世界平均水平.

近年来发达国家的统计数据表明,居民生活消费的直接与间接能耗已超过产业部门,成为碳排放的主要增长点^[4].研究表明,整个欧洲直接家庭能源消费仅占家庭能源需求的 15%~20%,而其间接能源消耗占 80%以上^[5].国内居民直接碳排放研究显示,我国居民人均生活用能碳排放量从 1980 年的 68kgC,增长到 2007 年的 125kgC,增幅为 83.70%^[6].从居民间接碳排放的角度,根据居民消费品载能碳排放占国家排放总量的对比分析,1997 年美国达到 79.88%的比重,而中国在 2007 年仅能达到 26.13%.从居民消费品载能的碳排放量角度,2007 年我国人均排放量仅为 306kg,而美国人均排放量在 1997 年就高达 4470kg^[7];即使与欧美发达国家十多年前的水平相比,我国居民 2007 年的水平差距依然巨大.魏一鸣等^[8]研究表明,每年有 30%的碳排放是直接由居民的消费行为产生,居民的间接能源消费量是其直接能源消费的 2.44 倍.近 30 年来我国能源消费及相应的碳排放的增长主要来自产业部门,相对而言居民生活的直接能源消费与间接排放仍处于较低水平.

1.1 居民直接碳排放和间接碳排放的核算方法
采用 IPCC 提供的碳排放系数法^[9-10],核算我国居民的直接碳排放,分析直接能源消费碳排放的变化趋势和现状.主要的数据来源于《中国统计年鉴》的历年能源消费数据,以及《中国能源统计年鉴 2011》中的中国能源平衡表(实物量),碳排放因子来自《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》^[10]以及部分文献^[6].

居民的消费品(不包括生活用能)在其原料、生产、运输、销售等环节中,都会承载相应的能源消耗,进而带来碳排放.因而居民消费品的碳排放核算会涉及消费品生命周期的各个环节及国

民经济的各个部门,反映各部门各环节的能源消耗所产生的碳排放的总和。

居民消费需求间接碳排放的核算依赖于大量的社会经济基础数据,本研究采用 EIO-LCA 方法进行核算.经济投入产出生命周期评价(EIO-LCA)方法由 Hendrickson 等^[11-12]提出,用于分析产品或服务生产链中的环境影响.关于 EIO-LCA 法的优缺点及适用范围的详细讨论见文献[12].已有学者利用该方法分析了包括温室气体排放问题^[13].计军平等^[14]已应用此方法研究了中国的部门温室气体排放结构.与传统的环境投入产出法不同,EIO-LCA 的污染物排放系数为对角矩阵,这样可以将最终需求引起的环境影响分解到生产链的各个部门.EIO-LCA 模型以及^[12]计算方法^[11,15]、投入产出表数据^[16]以及部门分类^[14]请参考前述文献,本文不再赘述。

1.2 居民合理消费的人均碳排放的核算方法

专家学者建议应当鼓励并保证基本生存的碳排放,满足普通人在现代社会中的基本生活水准,但同时也应当遏制奢侈性的碳排放.然而,对于何为基本生存、何为奢侈性排放,则仍缺少一个合理的评价标准.由于各国社会经济发展水平各异,所处的地理位置不同,所在的气候条件存在差异,所需的能源消耗与人均碳排放可能存在不同.那么这就需要以一个动态的、合理的、符合具体生活生产实际的评价体系,建立地区或国家的人均碳排放标准核算方法,并给出推荐的合理排放数据。

参考文献[17-18],从能源使用与碳排放的角度,本研究定义直接排放是指家庭直接消耗能源载体(供暖、空调设备、用水加热、制冷设备、照明与其他电器、炊事、电力)与私人交通(利用各种交通工具进行的长短途旅行)所产生的碳排放;间接排放则是指衣、食、住、行中的非能源商品和服务消费(食品、衣物、家具、家电;休闲娱乐、医疗、教育、商业、通讯等)所产生的碳排放。

基本碳排放,即在当前社会经济条件下,个人(家庭)为了满足自身基本生存发展需求而产生的温室气体排放.家庭及其成员是社会构成的基本单元,所以将家庭碳排放作为人口碳排放的评估对象.生存碳排放与社会经济水平有着密

切联系,并且受到家庭规模、收入水平、消费结构以及气候条件等因素的影响^[19]。

绝对保障最低生活条件,满足大部分民众或者中间阶级的正常生活,并能提供优良生活质量的碳排放水平.由于地理位置的差异,各个国家或者地区在气候条件上存在差异,这也就决定了在冬季取暖季和夏季制冷季的时间跨度会很不同.热带、亚热带地区冬季基本很少需要取暖,而夏季需要制冷的时间跨度大;寒带、亚寒带地区的取暖时间长,而制冷季时间跨度相对较小,因此需要注意衡量不同国家、不同城市或地区的因地理位置差异而带来的碳排放量差异性。

本研究的计算中所采纳的数据,根据国家统计局数据与发达国家统计数据、相关文献的测算数据,并假定能源结构和技术水平不变.由于部分数据难于获取,污染治理与基础设施建设仅以污水、固废、钢铁和水泥为例进行计算;住宅、汽车等大件消费品全生命周期的间接碳排放没有进行核算。

2 结果与讨论

2.1 居民生活用能的直接碳排放

根据 1983~2009 年的中国统计年鉴的历年数据,可以计算出中国居民生活用能的直接碳排放的变化,如图 1 和表 2 所示。

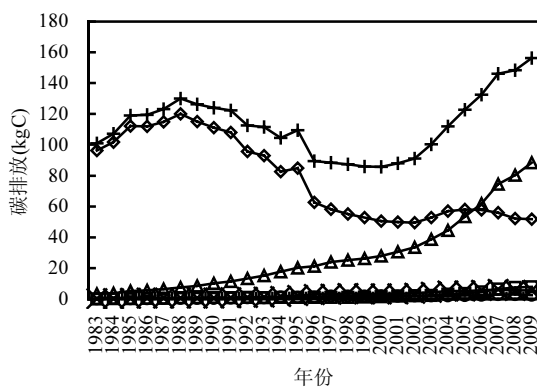


图 1 中国居民生活用能碳排放变化(1983~2009 年)

Fig.1 Carbon emissions from household energy consumption in China (1983~2009)

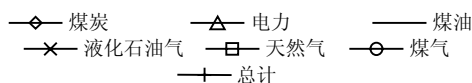


表 2 中国居民生活用能源的碳排放测算结果(1983~2009 年)
Table 2 Carbon emissions from household energy consumption in China (1983~2009)

年份	人均碳排放 (kgC)	煤炭 (kgC)	电力 (kgC)	煤油 (kgC)	液化石油气 (kgC)	天然气 (kgC)	煤气 (kgC)	单位能耗碳排 放(tC/tce)
1983	101.02	96.41	3.25	0.69	0.30	0.08	0.30	0.947
1984	107.23	101.84	3.71	0.80	0.30	0.26	0.32	0.945
1985	119.00	112.26	5.12	0.69	0.43	0.24	0.26	0.939
1986	119.53	112.00	5.62	0.75	0.54	0.36	0.26	0.939
1987	123.24	114.85	6.39	0.69	0.58	0.42	0.32	0.933
1988	130.04	120.14	7.54	0.63	0.60	0.82	0.32	0.922
1989	126.30	115.05	8.54	0.63	0.69	0.88	0.49	0.907
1990	124.03	111.09	10.24	0.52	0.70	0.97	0.51	0.891
1991	122.30	107.96	11.43	0.46	0.89	0.93	0.64	0.880
1992	112.52	95.81	13.29	0.40	1.03	1.09	0.90	0.838
1993	111.56	93.01	15.13	0.34	1.28	0.86	0.93	0.836
1994	104.50	82.67	17.60	0.34	1.63	0.98	1.29	0.808
1995	109.41	84.80	20.19	0.29	2.23	0.95	0.95	0.837
1996	89.40	62.65	21.22	0.29	2.95	1.00	1.29	0.742
1997	88.40	58.31	23.85	0.29	3.12	1.02	1.81	0.741
1998	87.37	55.22	25.21	0.34	3.48	1.14	1.97	0.734
1999	85.92	52.80	26.27	0.34	3.41	1.21	1.88	0.705
2000	85.70	50.58	27.81	0.34	3.42	1.51	2.03	0.693
2001	88.12	49.94	30.60	0.34	3.39	1.95	1.90	0.693
2002	91.18	49.62	33.46	0.17	3.81	2.12	1.99	0.680
2003	100.37	52.78	38.64	0.17	4.35	2.37	2.06	0.654
2004	111.99	56.91	44.50	0.11	5.25	3.06	2.16	0.637
2005	122.76	58.15	53.52	0.11	5.13	3.59	2.25	0.632
2006	132.52	57.81	61.83	0.10	5.59	4.61	2.57	0.626
2007	146.10	55.93	74.56	0.08	6.26	6.41	2.85	0.625
2008	148.39	52.15	80.27	0.06	5.54	7.57	2.81	0.616
2009	156.34	51.74	88.51	0.08	5.64	7.83	2.53	0.615

表 3 中国居民生活用能源人均碳排放的测算结果
(1996~2010 年)(kgC/人)

Table 3 Carbon emissions per capita from household energy consumption in China (1996~2010)

年份	全国	城镇	农村
1996	107.8	194.5	69.8
1997	105.6	185.5	70.5
1998	103.8	167.2	72.0
1999	104.0	161.7	73.2
2000	104.6	157.3	74.7
2001	107.2	154.5	78.6
2002	112.6	157.0	84.1
2003	129.1	177.7	96.0
2004	144.9	193.5	110.0
2005	161.3	213.4	122.0
2006	175.7	227.2	134.7
2007	190.2	237.9	149.7
2008	193.6	235.8	156.1
2009	204.9	241.3	171.0
2010	212.0	240.5	183.6

注:根据《中国能源统计年鉴》中《中国能源平衡表(实物量)》
表中数据整理计算

由计算结果可以看出,在近 30 年时间里,居民人均碳排放出现一定的波动.20 世纪 80 年代保持增长趋势,90 年代一度出现下降,并在中期保持了相对稳定,进入本世纪来则处于稳步增长中.而在碳排放的结构上,煤炭所占比重持续下降,电力所占比重快速增加,同时直接能源业呈现多元化,天然气、液化石油气和煤气所占比重均在增加.值得一提的是,单位能源消耗的碳排放持续降低,2009 年比 1983 年降低了 35.1%,这表明了能源利用效率的提升.

由于统计口径不同,根据《中国能源统计年鉴》中《中国能源平衡表(实物量)》表的数据整理计算,如表 3~表 6 所示.能源平衡表中统计的能源种类更为具体,并且分别统计了城镇和农村的能源数据,因此结果更具参考意义.由于存在统计口径的差异,能源平衡表增加了汽油、柴油等燃料的核算,因此所得的直接用能碳排放数据高于前述结果.

通过 15 年间的数据分析可知,全国人均碳排放增长了 96.7%,其中农村居民的人均碳排放显著增长了 163.1%,而同时期城镇居民仅增长了 23.7%.虽然农村居民人均水平仍低于城镇,但差距已经显著缩小,2010 年农村居民用能碳排放为城镇居民的 76.3%.在未来一段时间内,农村居民用能碳排放水平应当将逐步接近城镇水平.

表 4 全国居民直接能源消费的碳排放结构(1996~2010 年)(kgC/人)^[20]
Table 4 Carbon emissions structures from household energy consumption in China (1996~2010)

年份	煤	焦炭	焦炉煤气	其他煤气	汽油	煤油	柴油	液化石油气	天然气	热力	电力
1996	62.327	0.902	0.429	0.221	0.820	0.303	0.527	2.935	0.997	6.038	32.277
1997	58.020	0.945	0.704	0.286	0.878	0.291	0.570	3.104	1.011	5.633	33.072
1998	54.966	1.028	0.639	0.341	0.928	0.336	0.691	3.467	1.139	6.076	34.149
1999	52.582	0.972	0.605	0.328	0.983	0.323	0.788	3.396	1.204	7.588	35.217
2000	50.389	0.925	0.633	0.358	1.004	0.327	0.832	3.409	1.502	8.866	36.404
2001	49.763	0.899	0.601	0.332	1.071	0.337	0.923	3.377	1.944	8.619	39.290
2002	49.457	0.766	0.612	0.353	1.192	0.182	0.985	3.798	2.117	9.084	44.045
2003	52.621	0.744	0.657	0.361	1.465	0.162	1.134	4.335	2.365	12.677	52.581
2004	56.748	0.691	0.687	0.378	1.964	0.121	1.700	5.230	3.046	15.189	59.099
2005	57.979	0.590	0.733	0.390	2.240	0.112	1.838	5.116	3.578	18.615	70.087
2006	57.659	0.588	0.756	0.465	2.619	0.099	2.112	5.577	4.598	20.226	81.051
2007	55.786	0.527	0.677	0.553	3.294	0.085	2.440	6.241	6.392	20.387	93.774
2008	52.017	0.418	0.680	0.543	3.600	0.055	2.636	5.523	7.546	21.757	98.820
2009	51.619	0.313	0.635	0.483	4.185	0.082	2.893	5.642	7.842	22.859	108.384
2010	51.582	0.277	0.862	0.429	5.060	0.083	3.398	5.470	9.968	22.064	112.824

表 5 全国城镇居民直接能源消费的碳排放结构(1996~2010 年)(kgC/人)
Table 5 Carbon emissions structures from urban household energy consumption in China (1996~2010)

年份	煤	焦炭	焦炉煤气	其他煤气	汽油	煤油	柴油	液化石油气	天然气	热力	电力
1996	80.405	1.489	1.406	0.701	2.280	0.100	1.305	8.664	3.272	19.810	75.018
1997	68.071	1.454	2.205	0.885	2.297	0.073	1.295	8.723	3.169	17.653	69.572
1998	59.211	1.512	1.915	1.013	2.312	0.148	1.484	9.394	3.415	18.218	68.541
1999	54.009	1.368	1.739	0.934	2.310	0.082	1.625	8.757	3.463	21.818	65.604
2000	48.126	1.258	1.747	0.979	2.255	0.081	1.659	8.430	4.147	24.479	64.168
2001	46.009	1.214	1.597	0.873	2.325	0.084	1.736	8.041	5.161	22.887	64.583
2002	41.959	1.009	1.565	0.893	2.448	0.072	1.878	8.587	5.415	23.240	69.901
2003	42.362	0.934	1.621	0.880	2.817	0.066	2.070	9.316	5.836	31.278	80.521
2004	42.648	0.860	1.646	0.894	3.542	0.022	2.981	10.450	7.262	36.372	86.850
2005	40.454	0.759	1.706	0.896	3.875	0.019	3.160	9.548	8.292	43.300	101.410
2006	39.425	0.746	1.705	1.037	4.225	0.015	3.561	10.085	10.334	45.612	110.467
2007	36.187	0.689	1.475	1.195	5.077	0.016	3.921	10.715	13.886	44.427	120.307
2008	29.463	0.580	1.448	1.143	5.453	0.016	4.163	8.940	16.002	46.301	122.336
2009	25.242	0.393	1.314	0.988	6.100	0.015	4.502	8.922	16.168	47.287	130.321
2010	21.452	0.303	1.725	0.856	7.050	0.014	5.062	8.250	19.895	44.172	131.703

表 6 全国农村居民直接能源消费的碳排放结构(1996~2010 年)(kgC/人)
Table 6 Carbon emissions structures from rural household energy consumption in China (1996~2010)

年份	煤	焦炭	焦炉煤气	其他煤气	汽油	煤油	柴油	液化石油气	天然气	热力	电力
1996	54.401	0.645	0.000	0.011	0.179	0.392	0.186	0.423	0.000	0.000	13.538
1997	53.310	0.707	0.000	0.005	0.214	0.393	0.230	0.470	0.000	0.000	15.967
1998	52.843	0.786	0.000	0.005	0.235	0.430	0.295	0.502	0.000	0.000	16.940
1999	51.821	0.761	0.000	0.005	0.275	0.451	0.342	0.537	0.000	0.000	19.012
2000	51.673	0.736	0.000	0.005	0.293	0.466	0.362	0.558	0.000	0.000	20.638
2001	52.031	0.708	0.000	0.005	0.314	0.490	0.431	0.559	0.000	0.000	24.011
2002	54.270	0.610	0.000	0.007	0.385	0.252	0.411	0.724	0.000	0.000	27.451
2003	59.612	0.615	0.000	0.007	0.545	0.227	0.497	0.940	0.000	0.000	33.539
2004	66.859	0.570	0.000	0.008	0.832	0.192	0.781	1.488	0.023	0.000	39.201
2005	71.194	0.463	0.000	0.008	1.007	0.182	0.840	1.774	0.024	0.000	46.467
2006	72.186	0.463	0.000	0.009	1.339	0.167	0.958	1.985	0.029	0.000	57.614
2007	72.406	0.389	0.000	0.009	1.781	0.143	1.185	2.446	0.037	0.000	71.272
2008	72.009	0.274	0.000	0.010	1.958	0.089	1.283	2.495	0.050	0.000	77.975
2009	76.303	0.238	0.000	0.011	2.394	0.146	1.387	2.573	0.052	0.000	87.855
2010	81.651	0.252	0.000	0.003	3.074	0.151	1.738	2.696	0.060	0.000	93.983

2.2 居民消费需求的间接碳排放

如表 7 所示,2007 年中国各部门生产排放 770342.69 万 tCO₂-eq,即 210093.46 万 t 碳当量.根据 2007 年的人口数据,折合人均排放 1590kg 碳当量.此结果不包含居民直接能源消费的温室气体排放.2007 年居民生活能源直接碳排放量为 146.10kg/人,以我国 CO₂ 排放量在温室气体排放量中的比例^[21],由此可得居民生活能源直接碳排放占总排放量的 9.86%.

前 10 位的部门的碳排放总量占全部门的 82.53%.这些部门均与居民的日常生活密切相关.从城乡差别看,除了在农、林、牧、渔、水利业,农村居民比较接近城镇居民,其他部门城镇居民碳排放水平平均远超农村居民,为 2.55~4.66 倍.

表 7 2007 年农村与城镇居民消费的间接碳排放的主要部门
Table 7 Main sectors of indirect carbon emissions from Chinese urban and rural residents' consumption in 2007

部门 (部门代码)	农村居民消费 (万 t)	城镇居民消费 (万 t)	总计 (万 t)	占总排放量 (%)	农村居民人均 排放(kg)	城镇居民人均 排放(kg)	全国人均排放 量(kg)
电力、热力的生产和供应业(37)	2212.31	8045.38	10257.69	18.79	30.94	132.69	77.63
其他(包含仓储及邮电通讯业)(43)	1864.62	6987.38	8852.00	16.22	26.08	115.24	67.00
农、林、牧、渔、水利业(1)	3708.01	4309.81	8017.82	14.69	51.86	71.08	60.68
农副食品加工业(7)	1203.46	3181.11	4384.58	8.03	16.83	52.47	33.18
批发和零售贸易业、餐饮业(42)	1090.89	3280.67	4371.56	8.01	15.26	54.11	33.09
食品制造业(8)	700.38	2528.41	3228.79	5.92	9.80	41.70	24.44
纺织服装、鞋、帽制造业(12)	375.69	1483.68	1859.36	3.41	5.25	24.47	14.07
交通运输(41)	375.96	1204.22	1580.17	2.90	5.26	19.86	11.96
交通运输设备制造业(31)	290.75	1115.94	1406.69	2.58	4.07	18.40	10.65
饮料制造业(9)	342.76	740.41	1083.17	1.98	4.79	12.21	8.20
总计	14030.72	40547.43	54578.15	100.00	196.24	668.74	413.07

2.3 基本人均碳排放

2.3.1 直接能源消费的碳排放 (1)采暖制冷: 以当地夏季长度的天数为制冷时间.可以按照公式(1)计算:

采暖与制冷时间基于气候统计数

$$C_{dl} = A \cdot E \cdot e \cdot t \tag{1}$$

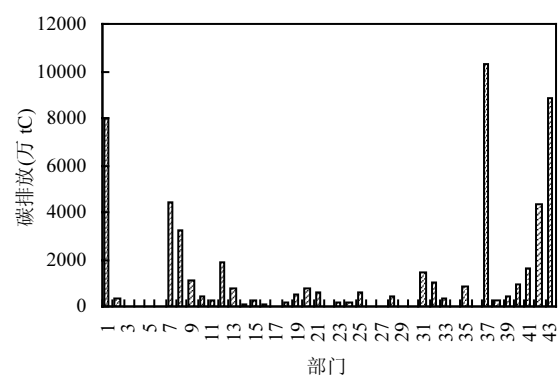


图2 居民最终消费需求的间接碳排放的部门分解
Fig.2 Sector compositions of indirect carbon emissions from Chinese residents in 2007

式中： C_{d1} 表示采暖制冷的碳排放量； A 为人均居住面积， m^2 ； E 为单位能耗， tce/m^2 ； e 为碳排放系数， kgC/tce ； d 为年度采暖/制冷时间， d 。

本研究以北京和深圳两地为例，进行采暖和

制冷的测算，其中北京冬季以集中供暖或空调采暖、夏季以空调制冷进行测算，深圳按空调制冷与采暖进行测算。

(2) 住宅日常使用：包括居民居住生活中除了采暖制冷以外的照明、家电、炊事以及生活热水等方面能源消耗而产生的碳排放量。

(3) 交通出行：居民日常使用小汽车或乘坐公共交通工具出行而产生的碳排放量，可分别按照公式(2)计算：

$$C_{d2} = \sum S_i \cdot F_i \cdot e_i \tag{2}$$

式中： C_{d2} 表示交通出行的碳排放量； S_i 为居民年人均出行里程(km, 私家车或公交)； F_i 单位里程油耗(L/km)； e_i 为单位油耗碳排放系数(kgC/L)。

其中，私家车的人均出行里程，可以按照如下方法进行计算：百户私人汽车的拥有量·年均行驶里程(km)/户均人数。

计算结果如表 8 所示。

表 8 基于基本生活的居民直接碳排放
Table 8 Direct carbon emissions from residents'normal consumption

类别	项目	现状值	目标值	人均碳排放(kgC)	
				北京	深圳
居住	全国户均人数(人/户)	3.15	3.15		
	人均居住面积(m^2)	城镇 31.6 农村 34.1	35		
	集中供暖能耗[$kg/(m^2 \cdot a)$]	20 ^[22]	15	367.98	
	户均使用空调(kWh/d)		36		
	采暖季天数(使用空调)(d)	北京 深圳 ^[23]	157 22	433.99*	60.81
	制冷季天数(使用空调)(d)	北京 深圳	103 191	284.72	527.97
	其他住宅能耗(照明、炊事、生活热水、家电) kWh/($m^2 \cdot a$)	10~30 ^[24]	30	253.97	253.97
出行	百户汽车拥有量	13.07	30		
	汽车年使用里程(km/a)	50000(2002 年) ^{[25]**}	15000		
	百公里油耗(L/100km)	10 ^[26]	8		
	汽车人均碳排放			51.11	51.11
	公共交通				
	市民平均日出行里程(km)	9.3(2005 年) ^{***}	10		
	公交汽车油耗[L/(千人·km)]		10 ^[27]		
公共交通出行碳排放				16.32	16.32
总计				974.10 1040.11*	910.19

注：* 采用空调进行采暖的碳排放，与集中供暖方式互斥；** 文献[25]报道我国汽车保有量很低，汽车年均行驶里程很高。据北京公路部门统计，轿车、轻型车为5万km，德国轿车年均行驶里程为1.26万km；*** 《北京市第三次交通综合调查报告》中数据

2.3.2 生活消费品的间接碳排放 包括衣物、 可按照公式(3)进行计算：
饮食、生活日用品等日常消费品所带来的碳排放。

$$C_{e1} = \sum m_i \cdot e_i \tag{3}$$

式中: C_{e1} 为日用消费品的碳排放量, m_i 为食品或日用品 i 的人年均消费量(kg,或以件数计), e_i 为食品或日用品 i 碳排放系数(kgC/kg,或 kgC/件)。

2.3.3 社会发展与基础设施建设、生态环境保护与污染治理的碳排放 本部分主要考虑与居民生活密切相关基础设施建设相关工业产品分摊量,以及相关污染物如污水与生活垃圾处理过程中的碳排放.基础设施是针对社会基础建设的人均分摊,污染治理主要是面向生存活动末端的间接碳排放.可按照公式(4)计算:

$$C_{e2} = \sum n_i \cdot e_i \tag{4}$$

式中: C_{e2} 表示基础设施建设与生态环境保护的人均分摊碳排放量; n_i 为主要工业品或污染物 i 的人年均分摊量或产生量(kg); e_i 为主要工业品或污染物 i 的碳排放系数(kgC/kg)。

计算结果如表 9 所示.根据上述结果可以看出,满足人们基本良好而非奢侈的生活水平,同时满足处于工业化阶段的社会基础设施建设分摊的人均碳排放量,应当为 2203~2333kg,基本与英国的人均碳排放现状值相当,仍低于其他发达国家,远低于美国的人均碳排放水平.虽然不同气候带的居民因采暖和制冷时间的差异,人均碳排放量存在一定的差异,但差值并不显著.以人均碳排放量推算中国的碳排放总量,应当可以达到 29.54~31.29 亿 t 碳当量,即 108.33~114.72 亿 t 二氧化碳排放量.比较之下,2008 年中国二氧化碳排放量为 70.32 亿 t,中国仍应当享有合理合法的碳排放空间.除了消费以外,发展中国家很大份额的排放在基础设施建设、改善社会经济结构和治理环境污染等方面,因此应当允许发展中国家的自我改善型碳排放,保障人民基本生活的碳排放。

从人均碳排放的结构看,直接碳排放包括制冷采暖和住宅其他能源消耗的碳排放所占比例最大,为 39.99%,交通出行仅占 2.97%,与已有文献中关于居住和交通的研究相比^[33],这两项数据较为接近,本研究居住碳排放要略高,而交通碳排放则略低;在间接碳排放中,污染治理(28.87%)和基础设施分摊(13.21%)也占较大比重.人均日常消费间接碳排放虽然各项比重均不大,饮食为 7.27%,日用品为 7.69%,但随着生活水平提高和

消费多样性的增强,间接碳排放仍将有丰富和增加的需求.低碳消费的生活模式需要在居民日常生活中加以宣传和引导。

表 9 居民消费的间接碳排放及污染治理与基础设施建设分摊碳排放*

Table 9 Indirect carbon emissions from consumption and pollution controls as well as infrastructure constructions

类别	项目	单位碳排放(kgC)	人均年使用量/分摊量(kg,有注明的除外)	人均碳排放(kgC)
饮食	粮食(稻)	0.26	400** ^[28]	102.55
	肉类	0.38	45**	17.30
	净水(含洗浴)	0.00020	182500	35.59
	啤酒	0.11	60	6.48
	白酒	0.56	5	2.81
日用	棉布	0.16	10	1.63
	纸和纸板	0.90	36.5	32.85
	再生纸	0.63	36.5	22.90
	日用玻璃	0.36	36.5	13.04
	洗衣粉	0.20	3.65	0.72
	1m ³ 木材	175.36	0.5m ³	87.68
	1m ² 建筑陶瓷	4.20	3.5m ²	14.70
污染治理	1 件卫生陶瓷	8.40	0.1 件	0.84
	生活污水	0.00025 ^[29]	146000	37.06
基础设施	生活垃圾	1.30 ^[30]	475*** ^[31]	617.50
	钢铁	0.52	500	259.09
基础设施	水泥	0.10 ^[32]	400 ^[32]	40.42
总计				1293.16

注:* 除了注明以外,碳排放系数引自参考文献[6];**参考文献[28],2010年中国粮食与肉类的人均占有量,粮食408.66kg,猪牛羊肉45.79kg;***参考文献[31],2010年北京生活垃圾产生量931.5万t,当年常住人口1961.9万推算

本研究旨在从人均消费的角度,自下而上地核算出在满足合理生活水平下的碳排放量,但由于消费的多样性而无法面面俱到,仅在主要的消费方面进行测算;同时仍缺少不同气候不同地貌条件下的碳排放核算,此外伴随技术条件和能源结构的变化,各种消费环节和消费品的碳排放系数也会随之变动,需要动态地核算不同阶段的人均碳排放量,因此可在今后的进一步研究中进行补充完善。

3 结论

3.1 在 1983~2009 年间,全国人均碳排放增长了 96.7%,其中农村居民的人均碳排放显著增长 163.1%,而同时期城镇居民仅增长了 23.7%。

3.2 居民消费需求的间接碳排放量,2007 年为人均排放 1590kg 碳当量.排放结构中,前 10 位的部门的碳排放总量占全部部门的 82.53%.

3.3 在满足中国居民合理消费水平的生活条件下,满足人们基本良好而非奢侈的生活水平,同时满足处于工业化阶段的社会基础设施建设分摊,中国的人均碳排放量在 2203~2333kg 之间.

3.4 人均碳排放结构中,制冷采暖和住宅其他能源消耗的碳排放所占比例为 39.99%,污染治理 28.87%,基础设施分摊 13.21%,日用品为 7.69%,饮食为 7.27%,交通出行仅占 2.97%.

参考文献:

- [1] 潘家华.人文发展分析的概念构架与经验数据一以对碳排放空间的需要为例 [J]. 中国社会科学, 2002(6):35-48.
- [2] 潘家华,郑 艳.基于人际公平的碳排放概念及其理论含义 [J]. 世界经济与政治, 2009(12):6-16.
- [3] <http://databank.worldbank.org>, <http://data.worldbank.org/indicator>.
- [4] 陆莹莹,赵 旭.家庭能源消费研究述评 [J]. 水电能源科学, 2008,26(1):187-191.
- [5] Biesiot W, Noorman K J. Energy requirements of household consumption: A case study of the Netherlands [J]. Ecological Economics, 1999,28:367-383.
- [6] 葛全胜,方修琦.中国碳排放的历史与现状 [M]. 北京:气象出版社, 2011,95.
- [7] 朱 勤.中国人口、消费与碳排放研究 [M]. 上海:复旦大学出版社, 2011.
- [8] Wei YiMing, Liu LanCui, Fan Ying, et al. The impact of lifestyle on energy use and CO₂ emission: An empirical analysis of China's residents [J]. Energy Policy, 2007,35:247-257.
- [9] IPCC.2006IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [EB/OL]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>. 2008-07-12.
- [10] 谢士晨,陈长虹,李 莉,等.上海市能源消费 CO₂ 排放清单与碳流通图 [J]. 中国环境科学, 2009,29(11):1215-1220.
- [11] Hendrickson C, Horvath A. Economic input-output models for environmental life-cycle assessment [J]. Environmental Science and Technology, 1998,32(7):184A-191A.
- [12] Hendrickson C T, Lave L B, Matthews H S. Environmental life cycle assessment of goods and services: an input-output approach [M]. Washington, DC: Resources for the Future Press, 2006.
- [13] Norman J, Charpentier A D, Maclean H L. Economic input-output life-cycle assessment of trade between Canada and the United States [J]. Environmental Science and Technology, 2007,41(5):1523-1532.
- [14] 计军平,刘 磊,马晓明.基于 EIO-LCA 模型的中国部门温室气体排放结构研究 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2011, 47(4):741-749.
- [15] Lave L B. Using input-output analysis to estimate economy-wide discharges [J]. Environmental Science and Technology, 1995, 29(9):420A-426A.
- [16] 国家统计局国民经济核算司.中国投入产出表 2007 [M]. 北京:中国统计出版社, 2009.
- [17] 曾静静,张志强,曲建升,等.家庭碳排放计算方法分析评价 [J]. 地理科学进展, 2012,31(10):1341-1352.
- [18] 冯 玲,吝 涛,赵千钧.城镇居民生活能耗与碳排放动态特征分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011,21(5):93-100.
- [19] 王 琴,曲建升,曾静静.生存碳排放评估方法与指标体系研究 [J]. 开发研究, 2010,(1):17-21.
- [20] 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴 2011 [M]. 北京:中国统计出版社, 2011.
- [21] 国家发展和改革委员会.中国应对气候变化国家方案 [M]. 北京:国家发展和改革委员会, 2007.
- [22] 温 丽.对推进我国供热系统节能的看法和建议 [J]. 暖通空调, 1999,28(1):1-7.
- [23] <http://www.bjclimate.com/Article/ViewArticle.aspx?id=74>; <http://www.szmb.gov.cn/article/ZhuanTi/dy/cpxl/2009/04/03/4dcb9fcad c0c7.html>
- [24] 江 亿.我国建筑耗能状况及有效的节能途径 [J]. 暖通空调, 2005,35(5):30-40.
- [25] 胡斌祥,朱 华,覃维献.我国汽车技术发展模式的排放清单 [J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2002,(02):99-102.
- [26] 葛运溥.道路运输节能需把握三个关键 [N]. 中国交通报, 2004-10-26.
- [27] 张卫华,陆化普,刘 强.公交优先通行措施的评价指标体系探讨 [J]. 交通标准化, 2004,(11):85-89.
- [28] 中华人民共和国国家统计局 编.中国统计年鉴 2011 年 [M]. 北京:中国统计出版社, 2012.
- [29] 张 成.重庆市城镇污水处理系统碳排放研究 [D]. 重庆:重庆大学, 2012.
- [30] 张 涛,乐 云,黄有亮,等.城市垃圾处理的碳排放核算与分析——以苏州市为例 [J]. 环境污染与防治, 2012,34(9):102-110.
- [31] 北京市统计局,国家统计局北京调查总队.北京统计年鉴 2011 [J]. 北京:中国统计出版社, 2012.
- [32] 刘 猛,李百战,姚润明.水泥生产能源消耗内含碳排放量分析 [J]. 重庆大学学报, 2011,34(3):116-120.
- [33] 冯 蕊,朱 坦,陈胜男,等.天津市居民生活消费 CO₂ 排放估算分析 [J]. 中国环境科学, 2011,31(1):163-169.

作者简介: 顾 鹏(1985-),男,江苏南通人,博士,主要研究方向环境规划与管理.发表论文 4 篇.