

# 温室气体排放评价指标及其定量分析

张志强<sup>1</sup>, 曲建升<sup>1,2</sup>, 曾静静<sup>1</sup>

(1. 中国科学院国家科学图书馆兰州分馆, 中国科学院资源环境科学信息中心, 兰州 730000;

2. 兰州大学教育部西部环境重点实验室, 兰州 730000)

**摘要:** 温室气体排放的科学定量评价是建立国际温室气体减排框架、确定各国合理的减排责任、部署国际减排行动的基础。通过系统阐述目前国际上通行的温室气体排放的主要评价指标(国别排放指标、人均排放指标、GDP 排放指标和国际贸易排放指标等), 并通过定量评价剖析这些评价指标的优缺点及其局限性。讨论了发展科学、公平和易于广泛接受的新评价指标的可能性。基于可持续发展的公平性原则, 提出了“工业化累积人均排放量”的新指标, 以客观定量评价世界各国工业化以来温室气体历史累积排放量的当代人均量。新指标的结果显示, 英美等老牌工业化国家的工业化累积人均排放量远高于全球平均水平和发展中国家的水平。还提出并讨论了人均单位 GDP 排放量、消费排放量、生存排放量等潜在的评价指标。

**关键词:** 全球变暖; 温室气体排放; 工业化累积人均排放量; 人均 GDP 排放量

全球气候系统正在发生重要的变化, 尤其是百年尺度上的气候变化, 已有大量的观测记录为证据。根据政府间气候变化专门委员会(IPCC) 2007 年最新发布的第四次评估报告<sup>[1]</sup>, 过去 100 年(1906-2005 年)中, 地表平均温度已经升高了 0.74 °C。国际科学界认为目前所观测到的全球变暖现象, 90%以上的可能性是来自于温室气体排放的贡献<sup>[1]</sup>。

温室气体(GHG)包括二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)、氢氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、六氟化硫(SF<sub>6</sub>)、氯氟烃类化合物(CFCs)、氢代氯氟烃类化合物(HCFCs)、臭氧(O<sub>3</sub>)、水汽(H<sub>2</sub>O)等。其中, CO<sub>2</sub>对全球变暖的贡献最大。自工业化革命以来由于人类活动的增强(如化石燃料的大量使用、土地利用与土地覆盖的改变、水泥生产等), 导致全球大气温室气体浓度大幅升高。以 CO<sub>2</sub>为例, 工业化革命前大气中的 CO<sub>2</sub>浓度为 280 ppm, 到 2005 年, 其浓度已经达到 379 ppm, 远远超过了过去 65 万年来自然因素引起的变化范围<sup>[1]</sup>。

遏制全球变暖必须减少人为温室气体的排放已成为国际社会的共识。温室气体排放的科学评价是国际温室气体减排行动框架制定的基础, 是确定各国减排责任的依据, 因而也成为各国特别是发达国家和发展中国家之间温室气体减排斗争的焦点。根据目前温室气体排放监测的成果, 来自化石燃料燃烧排放的温室气体是易于统计、结果可信度高、具有代表性的、最主要的大气温室气体来源, 是目前全球进行温室气体排放评估的主要对象。

本文主要围绕化石燃料来源的温室气体(主要是 CO<sub>2</sub>)进行分析研究, 旨在分析全球温室气体排放现状; 系统总结、论述和分析国际上温室气体排放评价的各种现有的指标, 通过定量评价来剖析各种指标的优缺点; 并从新的角度探讨建立能够体现温室气体排放的代内和代际公平性的、新的集成性评价指标和方法, 为科学认识全球温室气体排放状

收稿日期: 2007-12-20; 修订日期: 2008-03-06

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-YW-501); 国家科技支撑计划项目(2007BAC03A11-05)

资助 [Foundation: the Key Project for Knowledge Innovation Program of CAS, No. KZCX2-YW-501; National S&T Pillar Program, No.007BAC03A11-05]

作者简介: 张志强(1964-), 男, 甘肃定西人, 中科院国家科学图书馆兰州分馆馆长, 研究员, 博士生导师, 主要从事生态经济学与区域可持续发展、地球科学发展战略研究。E-mail: zhangzq@lzb.ac.cn

况、科学合理评价各国温室气体排放状况提供依据。

本文基于世界资源研究所 (WRI)、美国能源部能源信息署 (EIA) 等机构的温室气体排放数据, 选取美国、加拿大、日本、英国、德国、法国、意大利、俄罗斯等世界主要工业化国家 (G8 国家), 以及中国、巴西、印度、南非、墨西哥等 5 个主要的发展中大国 (合称 G8+5 国家) 作为分析对象进行定量评价。因为这些国家的温室气体排放是国际关注的焦点, 而且其当前和未来的减排政策将影响国际温室气体减排目标的实现。以这些国家作为研究对象来分析当前温室气体排放评价指标具有重要现实意义。

### 1 全球温室气体排放增加趋势

自 18 世纪后半叶以来, 人类社会开始进入大量使用化石燃料的工业化发展时代。特别是自 1850 年以来, 人类使用化石燃料的规模迅速扩大, 化石燃料燃烧排放的温室气体急剧增加。

综合美国橡树岭国家实验室 CO<sub>2</sub> 信息分析中心 (CDIAC)、世界资源研究所 (WRI) 和美国能源部能源信息署 (EIA) 的数据<sup>[2-4]</sup>, 自 1751 年第一次工业革命以来, 全球累积排放了 1.16 万亿吨 CO<sub>2</sub> (截止 2004 年), 其中绝大多数的温室气体是在 19 世纪中叶开始的第二次工业革命后排放的, 这一时期开始 (1850 年以来) 的累积排放量占 1751 年以来累积排放量的 99.6%。1950 年以后全球进入第三次技术革命时期, 温室气体排放量进入了一个更为快速增长期, 这一期间的温室气体累积排放量占 1751 年以来累积排放量的 80.75% (图 1)。

温室气体的排放量与工业化程度密切相关, 发达国家对全球温室气体浓度升高做出了更大的贡献 (图 2)。自 1850-2004 年, 发达国家排放的温室气体总量是发展中国家的 3.95 倍, 占全球总排放量的 79.3%。自 20 世纪中期的第三次技术革命开始, 随着发展中国家经济的起步发展, 这一差别有所减小。在 1900 年, 发达国家的温室气体排放量是发展中国家的 96.3 倍, 1950 年降为 13.7 倍, 到了 20 世纪 80 年代, 发达国家的排放量基本为发展中国家排放量的 3 倍, 进入 20 世纪 90 年代后, 这一差别基本稳定在 1.6 倍左右。因此, 发达国家是全球温室气体排放的主要贡献者, 对工业化以来绝大部分的温室气体排放量负有历史责任。

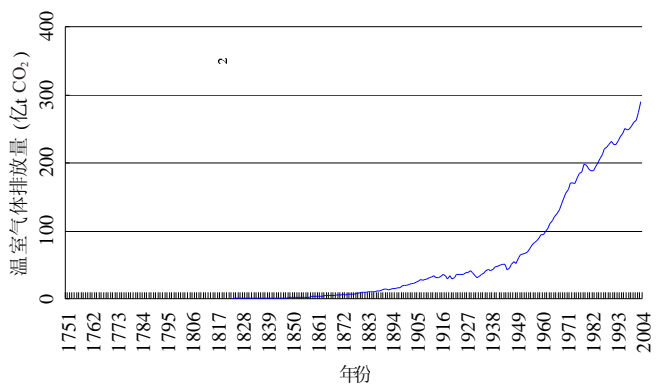


图 1 1751-2004 年全球温室气体排放量增加趋势  
Fig. 1 GHG emission trend of the world in 1751-2004

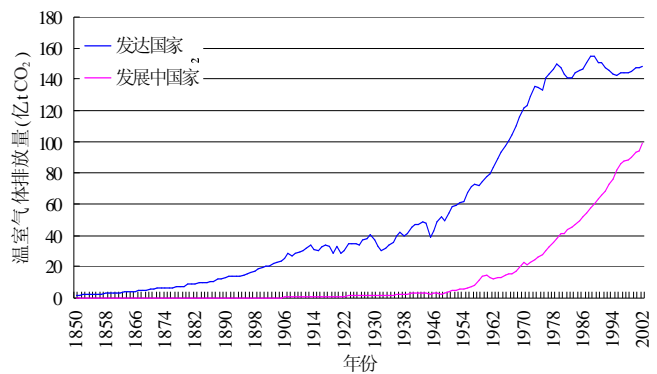


图 2 1850-2002 年发达国家与发展中国家温室气体排放量趋势  
Fig. 2 GHG emission trend of developed and developing countries in 1850-2002

## 2 国际温室气体排放评价指标及结果分析

温室气体排放评价指标的产生源于对计算各国温室气体减排义务的需求, 最初的评价见于《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 下各国温室气体排放量的计算。在温室气体排放评价中, 国际上逐步形成了国别排放指标、人均排放指标、单位 GDP 排放指标、国际贸易排放指标等, 形成了从多个角度评价各国温室气体排放状况的指标体系。

### 2.1 国别排放指标

国别排放指标以国家为单元进行排放量计算, 这是最早应用的指标, 尤其在温室气体问题及减排讨论刚刚兴起的 20 世纪后期, 基于国家和地区的温室气体排放指标及评价结果一度为全球气候政策的确立和义务的分配起到了关键作用。目前所执行的《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 及其《京都议定书》<sup>[9]</sup> 的基础即是 1990 年全球各国温室气体排放量的评价<sup>[4]</sup>。由于对发展中国家历史上温室气体累积排放量少的共识, 依据“共同但有区别”的原则, 发展中国家暂不承担量化的减排义务。

按照时间尺度的不同, 国别排放指标可以区分为某年温室气体排放指标、某时段温室气体排放指标。如果突破国家边界的约束, 国别排放指标可以继续发展为区域性排放指标(如欧洲)和地方性排放指标(如加利福尼亚州)。

**2.1.1 主要国家温室气体排放量分析** 利用 WRI 和 EIA 的数据资料, 分别计算了主要国家 1850-2004 年历年温室气体排放量(图 3)、1850-2004 年各国累积排放量占全球累积排放量百分比(图 4)。分析表明, 发达国家是主要的温室气体排放国家, 1850 年以来, 全球 29% 的温室气体由美国排放, 61% 由 G8 国家排放, 5 大发展中国家排放总量不足 13%。

**2.1.2 国别排放指标的优缺点** 国别排放指标在确定《京都议定书》第一承诺期(2008-2012 年)的减排义务中发挥了重要作用, 该指标首次从国家(或地区)的角度评价了温室气体的排放量, 尤其在温室气体减排以国家为主体承担的情况下, 国别指标无疑是最具说服力的。

国别指标重点着眼于当前各国的年度排放评价, 忽略了各国历史累积排放的巨大差别情况。而且, 从排放空间是一种全人类的共同资源这一角度出发分析, 国别排放指标不能反映全球排放权的代内公平性问题。全球的共同资源应该以人口为基数进行分配, 而各国间人口数量差别较大, 因此国别排放指标在反应排放权(体现的是发展权)方面存在明显不足。尤其对大多数的发展中国家而言, 工业化进程始于 20 世纪 50 年代甚至 80 年代以后, 其历史排放量少, 发展需求迫切, 但排放空间开始减小, 如果排放活动受到约

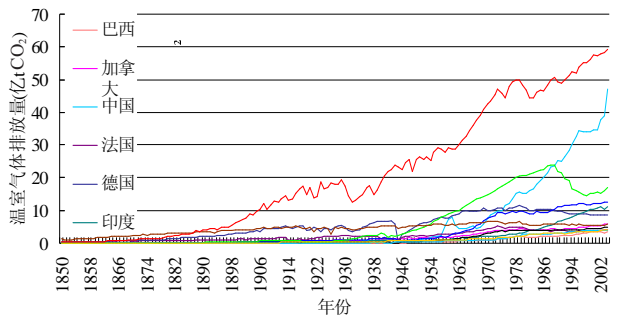


图 3 1850-2004 年 G8+5 国家温室气体排放量变化趋势

Fig.3 GHG emission trends of G8+5 countries in 1850-2004

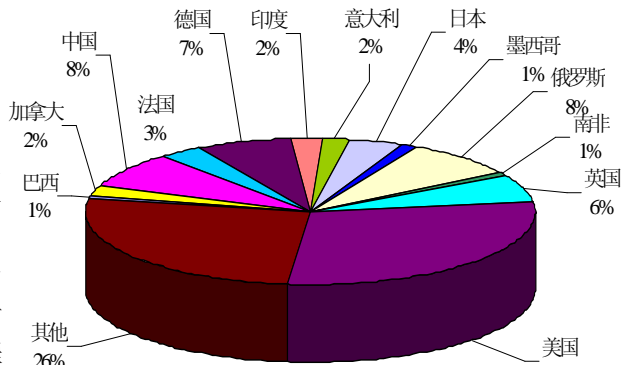


图 4 1850-2004 年 G8+5 国家累积排放量占全球的百分比

Fig. 4 Percentages of accumulative GHG emission of G8+5 countries to the global emission in 1850-2004

束, 发展机会将受到严重影响。因此, 国别评价指标难以被发展中的新兴工业化国家所接受。

### 2.2 人均排放指标

人均排放指标是以人为单元进行排放量计算。温室气体排放主要源于化石燃料的使用, 是工业化进程中的必然产物。现代工业是建立在对包括能源在内的大量资源利用的基础上的, 现代社会生活无处不体现了对资源的占有和消耗。从社会的发展最终是为了人的发展这一角度考虑, 人均排放指标就是一项非常有意义的指标。在目前低碳经济格局尚未建立的情况下, 人均排放量的高低直接反映人民生活水平的高低, 反映不同地区的人口对有限排放空间的占有程度。如果能够按照人均排放指标建立新的减排格局, 将在最大程度上体现所有人对地球公共资源利用、生存和发展所享有的平等权利, 有助于保障低人均排放的发展中国家人口的发展权益。

**2.2.1 主要国家人均排放量分析** 发达国家的人均温室气体排放量总体上要高于发展中国家(图5), 而且如果考虑到发展中国家高碳成本产品的出口因素, 则发展中国家的人均排放量要更低。如2004年美国人均CO<sub>2</sub>排放量为20.18 t, 世界人均CO<sub>2</sub>排放量为4.24 t, 中国仅为3.62 t, 2004年美国人均排放量是中国的5.6倍。2004年G8国家的人均排放量均高于世界人均值(图6), 5大发展中国家的人均排放量除南非外均低于世界人均值。

**2.2.2 人均排放指标的优缺点** 人均排放指标关注的是以人为核心的排放量评价, 反映的是人均占有全球共同资源的情况, 可以说是基于公平发展机会的温室气体排放评价。尤其对新兴的发展中国家而言, 其人均排放量较低, 因而人均排放指标可以为发展中国家提供争取发展空间的有利评价。另外, 人均排放指标也可对不同区域和国家的居民提供其生活的碳成本信息, 这将有利于减排行动的科学宣传与推动。

发达国家一般人口总量少、经济总量大, 因而具有较高的人均排放量, 如果将各国的减排义务与人均排放指标相结合, 显然发达国家不愿接受。部分发达国家的政治家和学者认为, 各国不同的发展程度

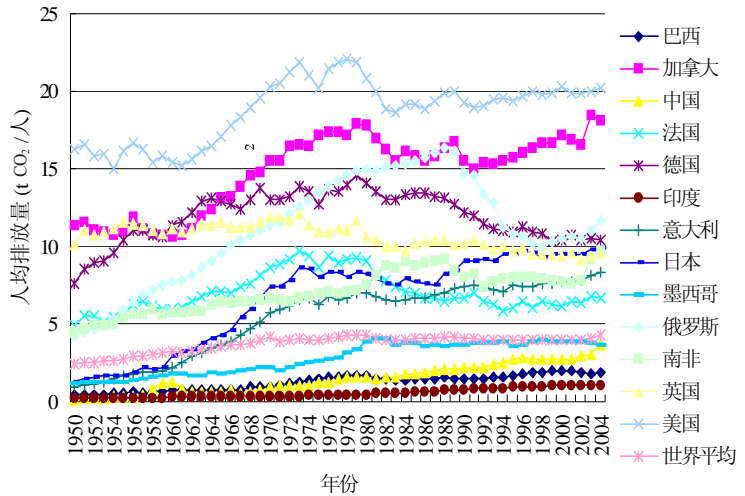


图5 G8+5国家1950-2004年人均温室气体排放量趋势  
Fig. 5 Trends of GHG emission per capita of G8+5 countries in 1950-2004

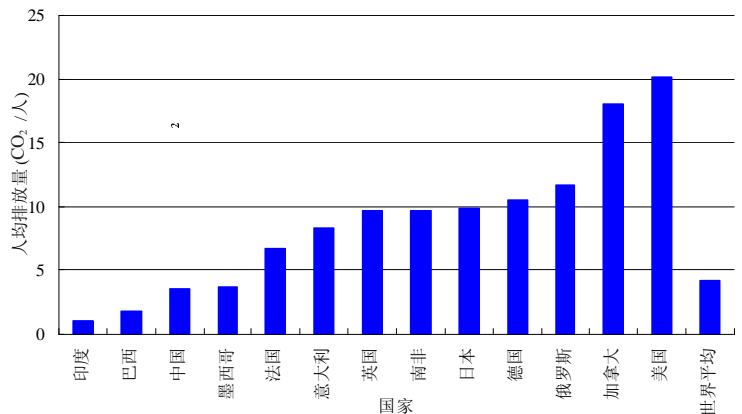


图6 G8+5国家2004年人均温室气体排放量  
Fig. 6 GHG emission per capita of G8+5 countries in 2004

是历史造成的, 不能让当代人承担本应由其祖先和前人承担的义务; 对现代人而言, 大家所应承担义务的目标应是一致的。这条理由从保护地球环境人人有责的角度而言似有道理, 但在全球统一的温室气体减排与援助框架未建立的情况下, 让全球超过 80% 的发展中国家人口<sup>[7]</sup>简单地减少排放、放缓发展的步伐, 而没有发达国家的先进技术和资金援助, 是不可能走出一条可持续的低碳经济道路的。

### 2.3 单位 GDP 排放指标

单位 GDP 的排放量是经济

增长的温室气体排放强度的衡量指标。将减排活动与经济的发展相结合, 是美国在 2001 年退出《京都议定书》后所提出的名为《晴朗天空与全球气候变化行动》的所谓《京都议定书》替代方案的核心思想, 即在不损伤经济增长能力的情况下, 降低单位 GDP 温室气体排放强度<sup>[6]</sup>。其目标是在 2002-2012 年间将温室气体排放强度降低 18%, 即由 2002 年的 0.671 kgCO<sub>2</sub>/美元 GDP, 降低至 2012 年的 0.554 kgCO<sub>2</sub>/美元 (由于来源不同, 此处的数据与文献 3 的美国数据有出入)。对基于自愿性质的减排而言, 逐步削减单位 GDP 的排放量, 是一种对经济影响较小、相对缓和的减排模式。我国所制定的在“十一五”期间削减单位 GDP 能耗 20% 的目标, 从发展中国家的角度实施如此大幅度的自愿减排行动, 无疑是目前削减单位 GDP 排放量最为积极的方案。

**2.3.1 主要国家单位 GDP 排放量分析** 根据对各国单位 GDP 排放量的评估, 可以获得各国工业化程度和能源效率的一般信息。G8+5 国家 1980-2004 年单位 GDP 的 CO<sub>2</sub> 排放量变化趋势 (图 7) 反映出各国的差别较大。以发达国家最低, 如美国 2004 年单位 GDP 的 CO<sub>2</sub> 排放量为 0.55 kg/美元 GDP, 日本为 0.36 kg/美元 GDP, 而中国为 0.72 kg/美元 GDP (美元以购买力平价折算)<sup>[3,9]</sup>。发达国家总体上单位 GDP 的 CO<sub>2</sub> 排放量较低, 而发展中国家排放量较高, 这种现象可能来自于发展中国家相对发达国家存在较多的高能耗产业和较低水平的生产工艺等因素。俄罗斯和南非的单位 GDP 的 CO<sub>2</sub> 排放量最高, 中国单位 GDP 的 CO<sub>2</sub> 排放量下降趋势最为明显。

**2.3.2 单位 GDP 排放指标的优缺点** 单位 GDP 排放指标反映的是能源利用效率, 可以很好地引导各国经济提高能源利用效率、向低碳经济转型。在未来国际碳税机制确立后, 单位 GDP 低排放的国家可以为本国的产品创造更有利的竞争环境。

用单位 GDP 排放指标衡量各国的经济发展及其排放权利, 可以限制单位 GDP 高排放国家的排放活动。但由于发达国家和发展中国家的经济发展阶段不一、经济技术水平存在显著差距, 单位 GDP 高排放的国家多为发展中国家。在当前国家间竞争情况下, 单位 GDP 排放指标的应用实质上是限制发展中国家的发展, 而发达国家的经济发展所带来的巨大社会福利并不会为发展中国家服务。因此, 以单位 GDP 排放指标限制发展中国家的发展显然背离公平性原则, 单位 GDP 排放指标也不能用于合理确定各国的减排责任。

### 2.4 国际贸易排放指标

温室气体的排放行为最终是服务于人类的社会经济活动, 人类各种活动所产生的温室气体的评价应归因于各种相应的产品和服务上。在产品和服务的流通过程中, 相应的

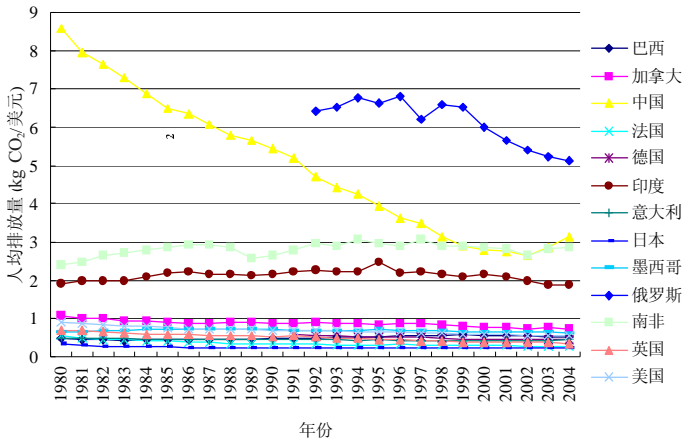


图 7 1980-2004 年 G8+5 国家单位 GDP 的 CO<sub>2</sub> 排放量趋势

Fig. 7 CO<sub>2</sub> emission per unit GDP of G8+5 countries in 1980-2004

碳排放也随之转移。在产品和服务的国际贸易中,碳排放随着产品的流通而发生了转移。碳排放应该计算在产品和服务的最终消费者身上。因此,国际贸易产品和服务在生产中的温室气体排放量就成为温室气体排放评价的一项重要指标。

**2.4.1 国际贸易中温室气体排放的转移** 图 8 显示了各国在国际贸易中的温室气体排放转移情况<sup>[10]</sup>。消费和生产排放差为正值说明该国从国外进口的产品的碳排放要大于其出口的碳排放,即该国所消费的产品累计碳排放要高于其所生产的产品碳排放,其多消费的碳排放来自于产品出口国。如美国在 1995-1999 年的 5 年间,分别从中国进口了赋含 96.5、109.0、127.5、156.4、168.3 Mt CO<sub>2</sub>e 碳排放的产品,这意味着美国所消费的这些产品的生产过程在中国产生了数百万吨的 CO<sub>2</sub> 排放。

英国廷德尔气候变化研究中心于 2007 年 10 月发布的报告《谁应对中国的碳排放负责》<sup>[11]</sup>,以 2004 年的数据计算了国际贸易导致的碳排放量的差异。该报告指出中国在 2004 年净出口的产品在生产过程中直接排放的温室气体总量为 1109 Mt CO<sub>2</sub>e,占中国当年排放总量的 23%,这相当于同年日本的排放量或英国排放量的 2 倍。如果将生产这些产品的间接排放(包括原材料生产和人工、流通等服务环节的排放)计算在内,中国为产品消费国家替代排放的温室气体量将更为巨大。

**2.4.2 国际贸易排放指标的优缺点** 对国际贸易的产品和服务的碳排放的关注,有利于准确确定各国最终消费的产品和服务的碳排放,有利于为公正衡量各国的碳足迹提供准确数据,最终有利于科学合理地确定碳排放的责任者。但由于国际贸易产品和服务涉及的种类众多,而且不同贸易产品和服务的碳排放强度数据很难获得,因此,很难全面和准确地计算各种类型贸易产品和服务的碳排放量。所以目前的评价会存在较大的误差。

### 3 发展新的科学、公正和易于广泛接受的评价指标

现有的温室气体排放评价的各种指标均有其不同特点和应用角度,不同国家特别是发达国家和发展中国家对不同的指标有着不同的态度。从公平衡量各国温室气体排放量、推动建立更合理的国际温室气体减排框架的角度看,需要构建能够反映各国温室气体排放历史、现状、贡献和成本的,更科学合理、更易于为各方所接受的新的指标体系。国际上普遍接受的评价指标和结果是建立国际减排框架和行动新格局的科学基础。基于此,本文提出“工业化累积人均排放量指标”、“人均单位 GDP 排放量指标”等新的指标。

#### 3.1 工业化累积人均排放量指标

一些学者曾从不同角度、不同程度地阐述了过去某一时期的温室气体人均累积排放问题<sup>[12-16]</sup>,这些研究为评估温室气体排放提供了思路。基于人为源的 CO<sub>2</sub> 排放主要始于工业革命以来的人类活动,为比较各国当前人口所承担的工业革命至今的累积排放量,本

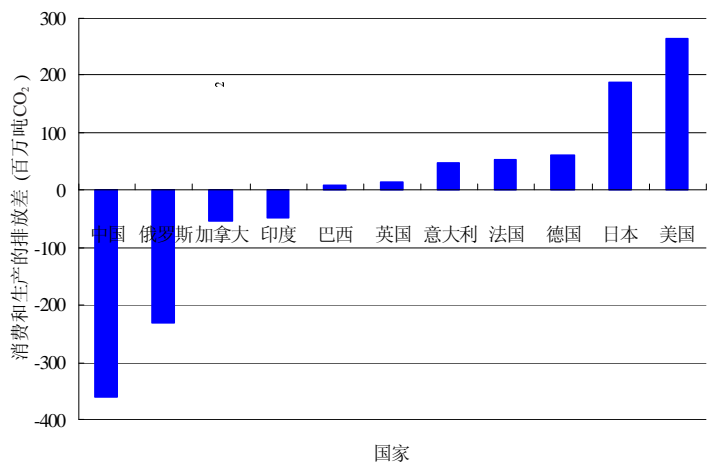


图 8 1993-1998 年 G8+5 国家国际贸易温室气体排放差  
Fig. 8 GHG emission difference of G8+5 countries in international trade, 1993-1998

文提出“工业化累积人均排放量”新指标，以反映各国工业化进程的温室气体累积排放的当代人均量。该指标可以全面、公正地反映不同国家工业化累积排放给当代人造成的环境负担成本的真实情况，刻划工业发展历史上排放量多而现在经济状况好的发达国家经济奇迹的环境成本，从而有利于确定面向所有人公平发展的排放空间分配格局。

由于工业化国家和发展中国家工业化的历史阶段不一、工业化各阶段各国的排放强度不一，工业化累积人均排放量也可以分析不同工业化发展阶段至今的累积人均排放量。本报告重点对 1751 年以来至今重要工业发展阶段 (1751-2004 年、1850-2004 年、1900-2004 年和 1950-2004 年) 的历史累积人均排放量进行核算。

工业化累积人均排放量 ( $E_c$ ) 的计算方法为：选取 1751-2004 年 (2004 年为有完整数据的最新年代) 间的历年排放量  $E_i$ ，计算各国或全球累积排放量，然后计算 2004 年最新人口 ( $P_{2004}$ ) 的人均排放量即：

$$E_c = (E_{1751} + E_{1752} + \dots + E_{2004}) / P_{2004} \quad (1)$$

计算所采用的温室气体数据来自美国 CO<sub>2</sub> 信息分析中心 (CDIAC) 和美国能源部能源信息署 (EIA)，世界和各国人口数据来自美国人口普查局。计算结果显示，全球工业化累积人均排放量为 181.4 t CO<sub>2</sub>/人，英国为 1182.8 t CO<sub>2</sub>/人，美国为 1094.8 t CO<sub>2</sub>/人，中国为 66.8 t CO<sub>2</sub>/人，印度为 25.0 t CO<sub>2</sub>/人。英美等老牌工业化国家自 1751 年以来的工业化累积人均排放量远远高于全球平均水平和发展中国家的水平。英美两国的工业化累积人均排放量分别是中国的 17.7 倍和 16.4 倍，是印度的 47.2 倍和 43.7 倍。从 4 个时期的工业化累积人均排放量情况 (图 9) 可以看出，英美两国在 1751-2004 年和 1850-2004 年两个时段内的工业化累积人均排放量居于高位，但随着时间向近现代的推移，俄罗斯、德国、加拿大的工业化累积人均排放量逐步加大，在 1950-2004 年间，俄罗斯的工业化累积人均排放量成为全球第一，美国紧随其后。印度、南非、中国和墨西哥等发展中国家的工业化累积人均排放量在各个时期都低于全球平均水平和发达国家的水平，但在 1950-2004 年间，发展中国家与发达国家的工业化累积人均排放量的差距已经明显减小。

### 3.2 人均单位 GDP 排放量指标

单位 GDP 排放量指标反映的是经济增长的碳排放强度，人均排放量指标反映的是人均拥有的排放量情况。两者反映的是温室气体排放的两个重要方面，即经济增长和人类生存与发展。为了综合集成的评价各国的经济增长和人的生存发展的温室气体排放情况，本文提出“人均单位 GDP 排放量”新指标，以将温室气体排放量、经济总量、人口数量纳入一个评价体系来评价人均 GDP 增长的温室气体排放情况。该指标的计算公式如下：

$$E_c = E_i / (G_i \times P_i) \quad (2)$$

式中， $E_c$  为某国某年度人均单位 GDP 排放量，单位：kgCO<sub>2</sub>/亿美元·人； $E_i$  为某年的温室气体排放量， $G_i$  为该年度的 GDP，单位：亿美元； $P_i$  为该年度的人口总量，单位：人。

从 G8+5 国家在 1980 年、1990 年、2000 年和 2004 年的人均单位 GDP 排放量 (缺俄

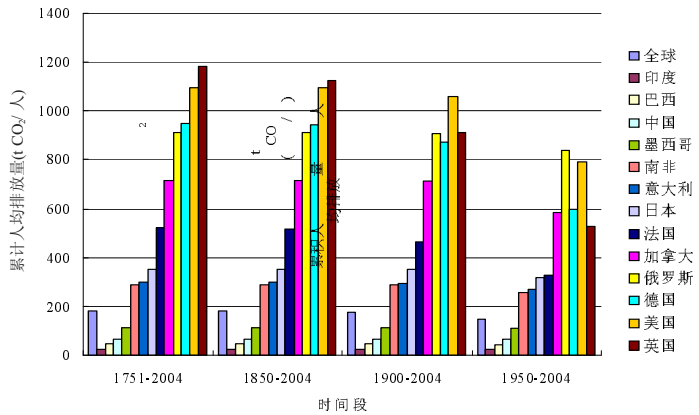


图 9 G8+5 国家不同工业化时段的工业化累积人均排放量比较  
Fig. 9 Industrialized accumulative GHG emissions per capita of G8+5 countries in several industrialized phases

罗斯和德国 1980 和 1990 年数据)可以看出(图 10), 人均单位 GDP 排放指标的图像与人均指标和单位 GDP 指标的图像表现出明显的不同。G8+5 国家 1980 年、1990 年、2000 年和 2004 年人均单位 GDP 排放量最大的依次是南非、俄罗斯和加拿大, 其余国家的人均单位 GDP 排放量均较低。总体而言, 各国的人均单位 GDP 排放量呈现逐年递减的趋势。从人均单位 GDP 排放量来看, 中国并不是排放量最大的国家。

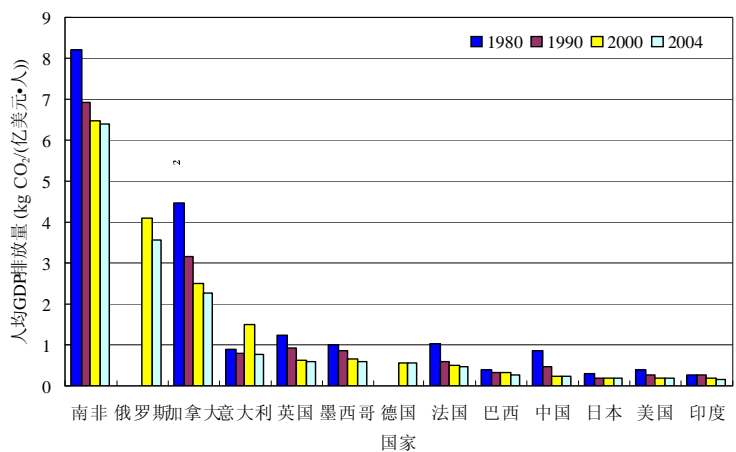


图 10 特定年份 G8+5 国家人均单位 GDP 排放量

Fig.10 GHG emission per capita per unit GDP of G8+5 countries in specific years

各国的人均单位 GDP 排放量受各国的温室气体排放量、人口数量和 GDP 3 个参数的综合影响。一般而言, 在同样排放量的情况下, GDP 越高、人口越多, 则人均单位 GDP 排放量越低。但由于本项指标未考虑国际贸易碳排放的转移, 因此, 不排除某一国家的排放量中有一部分是为非本国的人口提供服务的情况, 这可以使该国的人均单位 GDP 排放量比实际值高。另外, 低的人均单位 GDP 排放量也不代表该国的能源利用效率高(如低人均 GDP 排放的发展中国家)或更少排放温室气体(如拥有较高 GDP 或较多人口的排放大国), 而是说明该国的温室气体排放为更多的人口或更高的 GDP 提供了服务。

### 3.3 消费排放量指标

20 世纪 60 年代以来的国际产业结构调整使经济全球化程度增强、国际产业分工不断深化、国际贸易更趋活跃。这对温室气体的排放格局带来了重要的影响: 一是由于高能耗、高排放产业布局的重新调整, 一些国家和地区逐步成为世界原材料基地或世界工厂, 局限性的温室气体排放量快速增加; 另一方面, 生产资料和消费品的国际贸易程度极大加强, 更多的产品从生产地输送到全球, 温室气体的最终消费者也由本地扩展到全球。

从公平性的角度来说, 商品生产地不应承担由于国际分工差别所带来的高温室气体排放责任, 这部分输出的商品所赋含的温室气体排放应该归于商品的最终消费者。国际贸易指标在一定程度上反映了温室气体在国际贸易中的转移问题, 但这一指标还不足以全面衡量某个国家或地区所消费的所有产品和服务的温室气体排放。基于消费温室气体排放评价指标—消费排放量可以相对公平地衡量全球温室气体的排放责任。

消费排放量指标首先需要建立一个包含所有生产和生活中的产品和服务的温室气体排放系数; 其次, 需要量化某个地区在某年内所消费的所有产品和服务; 第三, 需要将所有消费乘以各自的温室气体排放系数求得各项消费温室气体排放量, 最后将所有消费排放量累加即可获得总的消费排放量。

构建基于消费温室气体排放评价指标, 对于从温室气体的末端消费量衡量、确定排放责任和减排义务具有重要意义。但目前全面评估消费排放量还面临方法上的困难, 主要是难以建立所有产品和服务的温室气体排放标准系数。但建立这样的标准体系是非常有必要的, 它可以为评价温室气体排放责任服务, 并为将来的碳税机制建立和低碳经济模式的确立提供重要的支撑。

### 3.4 生存排放量指标



温室气体排放是涉及环境和发展的问題, 环境的保护最终仍是发展问題。发展中国家人均排放量平均约为发达国家人均排放量的 17.8%, 美国的人均排放量是人均排放量较低的卢旺达的 285 倍、尼泊尔的 181 倍。这些悬殊的差别背后是生存质量的巨大差别。

构建一个基于人文发展权利、可以满足所有国家人口生存与发展基本需求的“生存排放量”, 乃至一个符合地球资源供应和环境承载力可持续维持的、可以为全球各国接受的“可持续人均排放量”指标, 可以推动温室气体的理性排放, 并将减排行动纳入人的发展、公平发展和有限发展的框架中来, 最终确立全球一致的、最佳的减排目标。

生存排放量指标的建立需要确定全球人口的基本生存与发展所需的温室气体排放量, 但要建立这一指标可能面临较大的难度: 来自发达国家的反对; 指标确立的科学性与公平性; 排放目标实现的约束力等。基于这一减排目标的减排部署无疑可能是最为激进的减排方案, 在实践上可能较难实现, 但从理念的角度, 公众和政府应该知道最低的生存排放量需要多少, 在未来的多少年, 生存排放量可能会有多少。

## 4 结语与讨论

本文基于国际上的主要温室气体数据集, 定量给出了全球温室气体排放状况的历史序列。以美国、加拿大、日本、英国、德国、法国、意大利、俄罗斯等主要工业化国家 (G8 国家) 和中国、巴西、印度、南非、墨西哥等 5 个主要发展中国家 (G8+5 国家) 为对象, 分析了国际温室气体排放评价的国别指标、人均指标、单位 GDP 指标、国际贸易指标等各种现有指标在评价各国温室气体排放方面的优势和局限性。探讨了建立更科学、合理、公正的评价指标体系的问题, 提出工业化累积人均排放量、人均单位 GDP 排放量等新指标, 并讨论了建立消费排放量、生存排放量等指标的重要意义。

各种不同的评价指标及其结果在支持国际社会建立新一轮减缓全球气候变暖的合作框架时会有不同的效果。但在采用目前任何温室气体评价结果时必需了解以下事实:

(1) 全球气候系统变暖是事实, 温室气体减排行动是当前最重要的气候变暖减缓举措, 但也要注意温室气体排放是否产生重要作用以及产生多大的作用等问题在科学上仍然存在一定的争议。

(2) 温室气体的排放数据统计目前仍以化石燃料产生的 CO<sub>2</sub> 数据为主, 对其他来源的温室气体的统计难度较大, 所以当前的温室气体排放数据总体上是不全面和有误差的, 因此, 目前的评价结果总体上都是保守的, 实际的排放情况要大于目前的评估。

(3) 温室气体减排涉及多方利益, 发达国家对工业化以来人类温室气体排放的绝大部分负有历史责任, 发达国家正享受着长期工业化所带来的现代化生活, 而更多的发展中国家人口仍处于贫困之中, 因此发达国家应承担更多的减排义务。

(4) 发展中国家较低的工业化发展阶段和技术水平是制约发展中国家提高能源效率、降低排放的关键因素之一, 而技术的引进又是减排见效较快的途径之一, 应将技术合作切实纳入国际合作框架, 在技术合作领域采取灵活、有效的知识产权和技术转移模式。

致谢: 本文的写作中得到了李静海院士的多次悉心指导, 谨致谢忱!

## 参考文献 (References)

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. IPCC Secretariat, 2007.
- [2] Carbon Dioxide Information Analysis Center. Global, regional, and national fossil fuel CO<sub>2</sub> emissions. <http://cdiac.ornl.gov/>
- [3] World Resource Institute. CO<sub>2</sub> emissions series data. <http://www.wri.org>
- [4] US Energy Information Administration. International Energy Annual 2004. 2006.

- [5] UNFCCC. Kyoto Protocol. [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)
- [6] US Census Bureau. IDB-Rank Countries by Population. <http://www.census.gov/ipc/www/idbrank.html>
- [7] United Nations Population Fund. State of World Population 2007. UNFPA, 2007.
- [8] US Government. Clear Skies & Global Climate Change Initiatives. <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2002/02/20020214-5.html>
- [9] World Bank. DDP data. <http://ddp-ext.worldbank.org> Ahmad Nadim. A Framework For Estimating Carbon Dioxide Emissions Embodied in International Trade of Goods. OECD, Paris. 2003.
- [10] Tyndall Center for Climate Change Research. Who owns China's carbon emissions? Tyndall Briefing Note No.23, October 2007.
- [11] Ren Guoyu, Xu Ying. The status and history of CO<sub>2</sub> emission from world countries. *Meteorological Science and Technology*, 2002, 30(3): 129-134. [任国玉, 徐影. 世界各国 CO<sub>2</sub> 排放历史和现状. *气象科技*, 2002, 30(3): 129-134.]
- [12] Wang Weizhong, Chen Bin, Lu Chuanyi et al. The Kyoto Protocol and allocation of carbon emission permits. *Journal of Tsinghua University (Philosophy and Social Sciences)*, 2002, 17(6): 81-85. [王伟中, 陈滨, 鲁传一等. 《京都议定书》和碳排放权分配问题. *清华大学学报(哲学社会科学版)*, 2002, 17(6): 81-85.]
- [13] Zhu Xingshan. The fairness and efficiency problem of action to address climate change. *Environmental and Sustainable Development*, 1998, (3): 6-11. [朱兴珊. 应付气候变化行动中的公平和效率问题. *环境科学动态*, 1998, (3): 6-11.]
- [14] Ruddiman W, Thomson J. The case for human causes of increased atmospheric CH<sub>4</sub> over the last 5000 years. *Quaternary Science Reviews*, 2001, 20: 1769-1777.
- [15] W Ruddiman. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climate Change*, 2003, 61: 261-293.

## A Quantitative Comparison and Analytical Study on the Assessment Indicators of Greenhouse Gases Emissions

ZHANG Zhiqiang<sup>1</sup>, QU Jiansheng<sup>1,2</sup>, ZENG Jingjing<sup>1</sup>

(1. Lanzhou Branch Library of National Science Library, Scientific Information Center for Resources and Environment, CAS, Lanzhou 730000, China;

2. MOE Key Laboratory of Western Environmental Systems, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Currently the main assessment indicators for GHG emissions include national indicator, per capita indicator, per GDP indicator, and international trade indicator. Based on the GHG emission data from World Resource Institute (WRI), US Energy Information Administration (EIA), and Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), the results of each indicator are calculated for the world and especially for the eight main industrialized countries of US, UK, Canada, Japan, Germany, France, Italy and Russia (G8 Nations), and the five major developing countries of China, Brazil, India, South Africa and Mexico, and their merits and demerits are analyzed. It points out that all these indicators have some limitations. The indicator of Industrialized Accumulative Emission per Capita (IAEC) is identified to evaluate the industrialized historical accumulative emission per capita of every country. IAEC indicator is an equitable indicator for GHG emission assessment, which reflects the economic achievement of GHG emission enjoyed by the current generations in every country and their commitments. The analysis of IAEC indicates that the historical accumulative emissions per capita in industrialized countries such as UK and USA were typically higher than those in the world average level and the developing countries. Emission indicator per capita per unit GDP, consumptive emission indicator and survival emission indicator are also put forward and discussed in the paper.

**Key words:** global warming; greenhouse gases emission; industrialized accumulative emission per capita; emission per capita per unit GDP