
地区电力行业碳排放水平测算及其特点分析

刘红琴¹, 王高天,¹ 陈品文², 杨红娟¹

(1. 昆明理工大学管理与经济学院, 云南昆明 650093;

2. 云南电网有限责任公司带电作业分公司, 云南昆明 650000)

【摘要】地区碳排放核算是开展碳排放控制, 进行碳排放责任划分的基础。电力行业作为碳排放的主要来源, 在地区碳排放核算中起着重要作用, 因此, 进行地区电力行业碳排放测算和碳排放特点分析十分必要。文章在对电力碳排放核算范围和核算方法界定的基础上, 以云南省为例, 根据 2005—2014 年云南省电力数据进行云南省电力消费碳排放测算及碳排放特点分析, 以期对地区电力行业碳排放核算方法、电力行业碳排放特点进行探索性研究。

【关键词】电力行业; 能源消费; 碳排放

【中图分类号】F062.2 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1671-4407(2018)04-034-06

1 引言

随着极端气候事件频发, 全球气候变暖已经严重威胁到人类可持续发展, 成为当前国际社会高度关注的全球问题。在全球积极应对气候变化的进程中, 除了采用宏观政策对碳排放总量进行控制外, 引入市场机制进行低碳转型路径引导的必要性也越来越凸显^[1]。第一次《京都议定书》签订以来, 欧盟、美国均不同程度地开展了碳排放交易工作, 而碳排放配额的核算是开展交易的基础。

中国作为发展中国家, 在碳减排方面做出了积极的努力。2009 年中国向世界承诺到 2020 年碳强度比 2005 年下降 40%~45%;2015 年再次做出承诺, 到 2030 年中国碳强度下降 60%~65%。在将市场机制引入碳排放控制方面, 2013 年中国国家发改委启动了全国碳排放交易市场的建设工作;2015 年 9 月, 习近平主席在访美期间更是向世界宣布中国将于 2017 年正式启动全国性的碳交易市场。

基金项目: 国家自然科学基金项目“云南少数民族贫困地区生态文明建设的关键因素和有效路径研究”(71463034);云南省人才培养项目“中国能源消费与经济发展脱钩的时空分析及驱动力影响因素研究”(KKS201408044);云南省省院省校合作项目“碳排放交易市场机制下云南企业碳减排效率研究”(SYSX201702);管理与经济学院热点(前沿)项目“云南省碳排放峰值预测研究”(QY2015044)

第一作者简介: 刘红琴(1987—), 女, 云南大理人, 讲师, 硕导, 研究方向为低碳经济。

通讯作者简介: 杨红娟(1966—), 女(白族), 云南大理人, 教授, 博导, 研究方向为可持续发展。E-mail:939738277@qq.com

电力生产是碳排放的主要来源^[2-3]，根据中国 2016 年出台的《关于切实做好全国碳排放权交易市场启动重点工作的通知》，电力行业被列为全国碳排放权交易市场第一阶段所涵盖的八大行业之一，各地区电力行业的碳排放水平将直接影响碳排放交易中碳排放配额的分配^[4-5]，电力行业碳排放既是各地区碳排放核算的重要组成部分，又是开展碳排放交易的重要基础。

近几年，电力碳排放相关研究逐步得到重视，但已有的电力碳排放研究主要是从全国、全局的角度开展。任玉珑等^[6]指出，电力行业作为二氧化碳减排的主力军，面临巨大减排任务的同时又具备显著的减排空间；金艳鸣^[7]利用联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC)《国家温室气体清单指南》中提供的方法，测算分析了 2006—2008 年各省份火电行业的碳排放量和碳排放强度；米国芳和赵涛^[8]对中国经济增长、电力消费与碳排放量的长期均衡关系和短期动态变化进行了分析；宋旭东等^[9]指出电力行业碳排放权分配的重要性，并对各区域发展的不平衡性以及发电资源分布的不均衡性进行了研究；付坤和齐绍洲^[10]在对省级碳排放核算的基础上进行电力碳排放责任的研究；王喜平和刘兴会^[11]对我国 30 个省份 2003—2012 年电力行业碳排放绩效进行测算，指出电力效率较低的省区主要集中于经济欠发达地区。王常凯和谢宏佐^[12]基于我国 1991—2012 年电力相关数据，分析了电力碳排放的动态特征，进行中国电力碳排放增长因素分解研究。石建屏等^[13]采用 IPCC 碳排放数学模型测算 2001—2010 年中国电力能源生产与消费环节碳排放量，研究电能碳排放强度的时空演变特点；李新等^[14]对 2001—2010 年中国及各省电力能源消费碳排放进行分析，从省级层面对比了不同区域电力碳排放的特点；陈勇^[15]考虑了电力行业的特征以及我国行政区域的特点，建立合理的电力碳排放权区域分配指标系统，将电力碳排放权初始分配给全国的各个行政区域。李嘉龙等^[16]指出可再生能源的接入和碳排放交易制度的建立将对电力市场的运行产生显著影响；程路和邢璐^[17]从全局的角度提出电力行业在控制碳排放方面有着积极的优势。孟陵龙^[18]通过构建基于脱钩理论的 Tapio 脱钩分析模型，研究了我国 1985—2014 年电力生产碳排放与经济增长的脱钩关系及程度。总的来说，对于地区电力碳排放的相关研究较少。张丽和牛鸿蕾^[19]对徐州市产业结构调整与电力消耗碳排放的关系进行了研究；徐杰^[20]对低碳试点市区保定市 2008—2010 年电力行业的碳排放进行测算，并对 2011—2020 年保定电力行业碳排放进行了回归预测；田中华等^[21]对低碳试点的广东省电力行业碳排放和减排效果进行了研究。唐葆君和李茹^[22]利用 2000—2012 年北京市电力生产和消费数据，从电力生产和消费角度建立电力部门碳排放影响因素分解模型，并利用对数平均迪氏指数分解分析方法测算这些因素对碳排放影响的方向和程度。

在全国统一开展碳排放交易的背景下，同样作为低碳试点省份之一的云南省，进行电力行业碳排放测算及碳排放特点分析显得十分必要。本研究从《中国统计年鉴》中摘录 2005—2014 年云南省能源平衡表中火力发电对各类化石能源消耗情况，结合各化石能源碳排放系数，计算云南省火力发电碳排放量，并对云南省电力行业碳排放特点进行分析，以期摸清云南省电力行业碳排放现状。在对云南省电力行业碳排放特点进行研究的基础上，增强云南省在电力行业碳排放责任分摊时的话语权。

2 电力碳排放核算基础

消费电力不会直接产生碳排放，但是在电力生产过程中，有一部分电力是由火力发电产生，在火力发电过程中会消耗化石能源产生二氧化碳，所以，使用电力会产生间接碳排放。开展电力碳排放核算首先需要确定核算范围和核算方法。

2.1 电力碳排放核算范围界定

终端能源消费的电力主要来自于水力发电、火力发电和新能源发电。火力发电的过程中产生碳排放，水力发电是可再生能源的重要组成部分，通常认为水力发电过程中不会产生碳排放。根据中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会与国际环保组织绿色和平发布的报告，光伏和风电等技术的能耗与碳排放仅发生在部署时组件和风机生产环节。因此，本次研究中电力碳排放仅考虑火力发电碳排放部分，不考虑水力发电和其他新能源发电过程中引致的碳排放。

2.2 电力消费碳排放核算方法

能源消费碳排放研究中最常用的方法是碳排放系数法，即用能源消费量乘以单位能源消费碳排放系数获得相应的能源消费

碳排放量。电力作为终端能源消费类型中的一种，进行电力碳排放量核算时亦可采用碳排放系数法。开展电力消费碳排放核算的核心是确定电力消费碳排放系数，电力碳排放系数的计算，主要依据生产电力时所消耗化石能源的碳排放量和电力总消耗量，计算公式如下。

$$F_{el} = \frac{C_{el}}{E_l} \quad (1)$$

其中： F_{el} 为电力消费碳排放系数； C_{el} 为生产电力的化石能源消费带来的碳排放量（采用 IPCC 方法二计算）； E_l 为总电量。

由于各地区电力生产过程中火力发电占比结构有差异，不同年份的火力发电占比也各有不同。因此本次研究中根据研究对象各年份火力发电化石能源使用情况和各年份电力消费情况，分别计算 2005—2014 年的电力消费碳排放系数。其中，生产电力消耗各类化石能源带来的碳排放量采用 IPCC 的计算方法。《1996 年 IPCC 指南》和《IPCC 优良作法指南》指出单位活动碳排放量的计算基本方程式为：

$$C = AD \times EF \quad (2)$$

其中： C 为化石能源消费二氧化碳排放量； AD 为化石能源消费活动水平（化石能源消费量）； EF 为单位化石能源消费二氧化碳排放系数，简称碳排放系数。

其中各类化石能源碳排放系数（ EF ）采用中国《省级温室气体清单编制指南》中给出的系数，各种能源类型碳排放系数见表 1。

表 1 各种能源碳排放参考系数

能源名称	平均低位发热量 /(kJ/kg 或 kJ/m ³)	折标准煤系数 /(kgce/kg 或 kgce/m ³)	单位热值含碳量 /(tC/TJ)	碳氧化率	二氧化碳排放系数 /(kgCO ₂ /kg 或 kgCO ₂ /m ³)
原煤	20908	0.7143	26.37	0.94	1.9003
焦炭	28435	0.9714	29.5	0.93	2.8604
原油	41816	1.4286	20.1	0.98	3.0202
燃料油	41816	1.4286	21.1	0.98	3.1705
汽油	43070	1.4714	18.9	0.98	2.9251
煤油	43070	1.4714	19.5	0.98	3.0179
柴油	42652	1.4571	20.2	0.98	3.0959
液化石油气	50179	1.7143	17.2	0.98	3.1013
炼厂干气	46055	1.5714	18.2	0.98	3.0119
油田天然气	38931	1.3300	15.3	0.99	2.1622

数据来源：《综合能耗计算通则》（GB/T2589—2008），《省级温室气体清单编制指南》（发改办气候〔2011〕1041 号）。

3 云南省电力生产及消费情况分析

根据云南省电力统计年鉴数据,云南省电力生产及消费情况如表2所示。2005—2014年云南省发电总量增长较快,10年内从2005年的605亿千瓦时增长到了2014年的2549.91亿千瓦时,增长了3.2倍;云南省发电量增长主要以水力发电增长作为支撑,从2005年的332亿千瓦时增加到了2014年的2087.58亿千瓦时,增长了5.3倍。水力发电的迅速发展离不开云南省丰富的水力资源优势,同时也是党和国家对水力发电大力支持的结果。除了水电外,随着国家对新能源发电的重视,2005—2014年云南省新能源发电量也增长迅猛。在研究期内,云南省火力发电量增幅较小,且存在一定波动,呈先增长后下降的趋势,2014年火力发电量已经回落到2006年的水平。

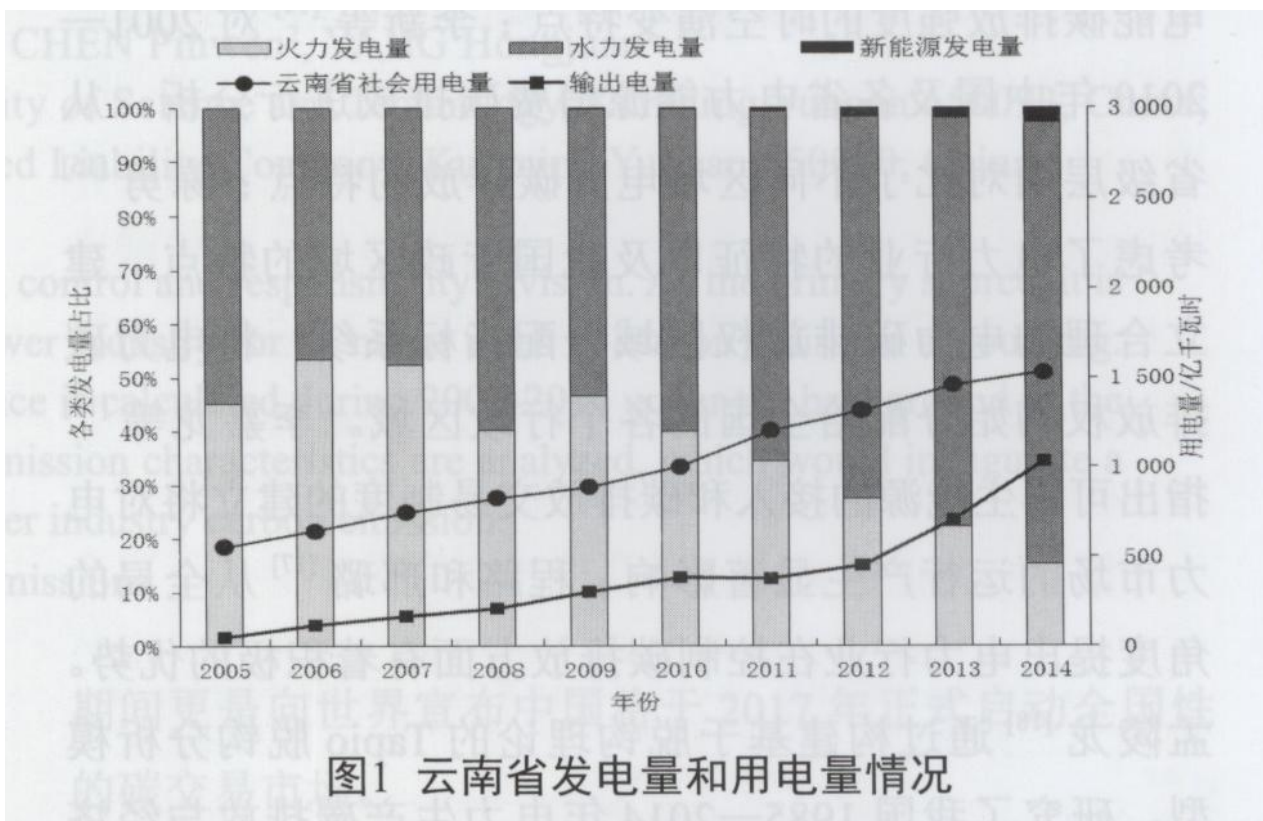
表2 2005—2014年云南省电力生产及消费情况

单位:亿千瓦时

年份	云南省总发电量	火力发电量	水力发电量	新能源发电量	云南省社会用电量	电力输出量
2005	605	273	332	—	557	48
2006	757	405	352	—	646	111
2007	905	474	431	—	746	159
2008	1040	418	622	0.31	829	211
2009	1174	548	624	2.1	891	283
2010	1365	546	814	4	1004	361
2011	1555	536	1009	10.3	1204	351
2012	1748	480	1240	28.3	1316	432
2013	2148	479	1631	39.1	1460	688
2014	2549.91	391.41	2087.58	70.92	1529.38	1020.53

注:本表数据来源于《中国电力年鉴》,“—”表示当年无数据。

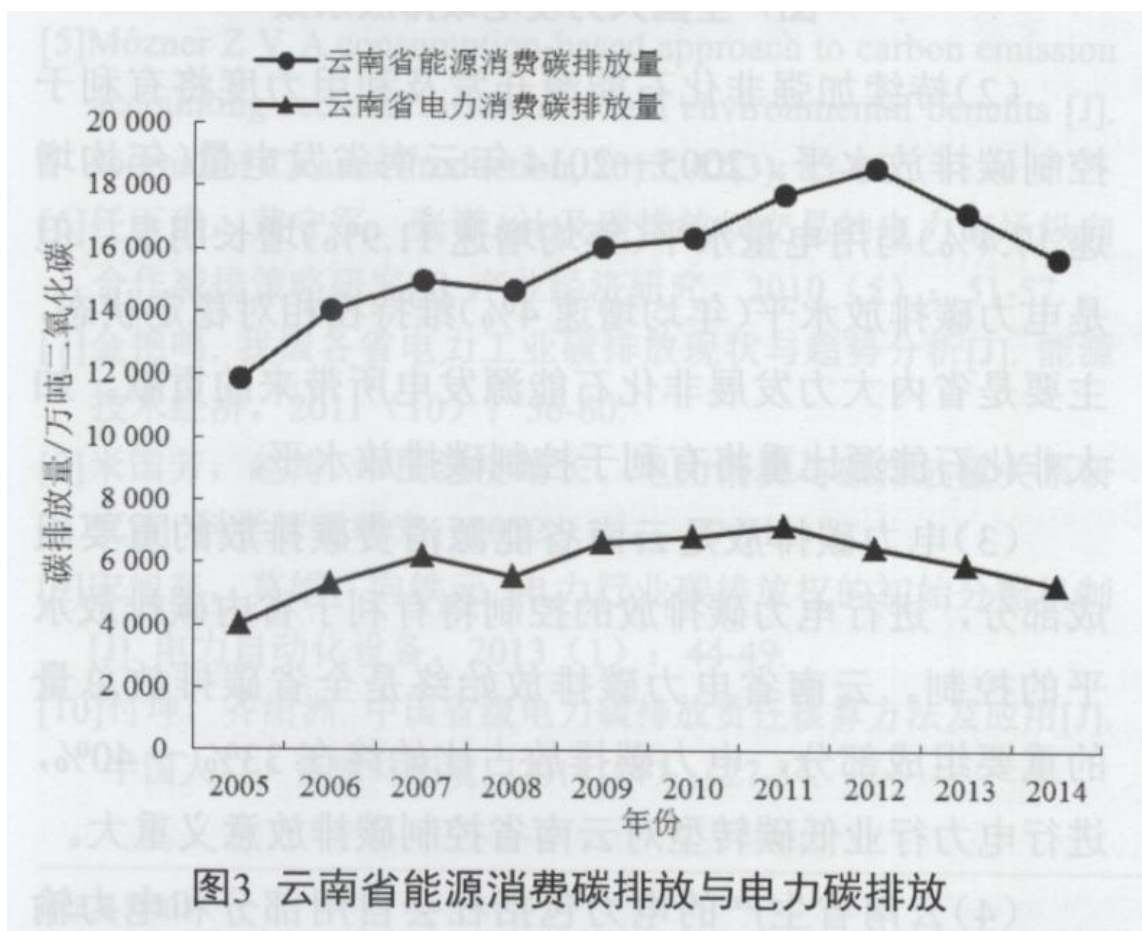
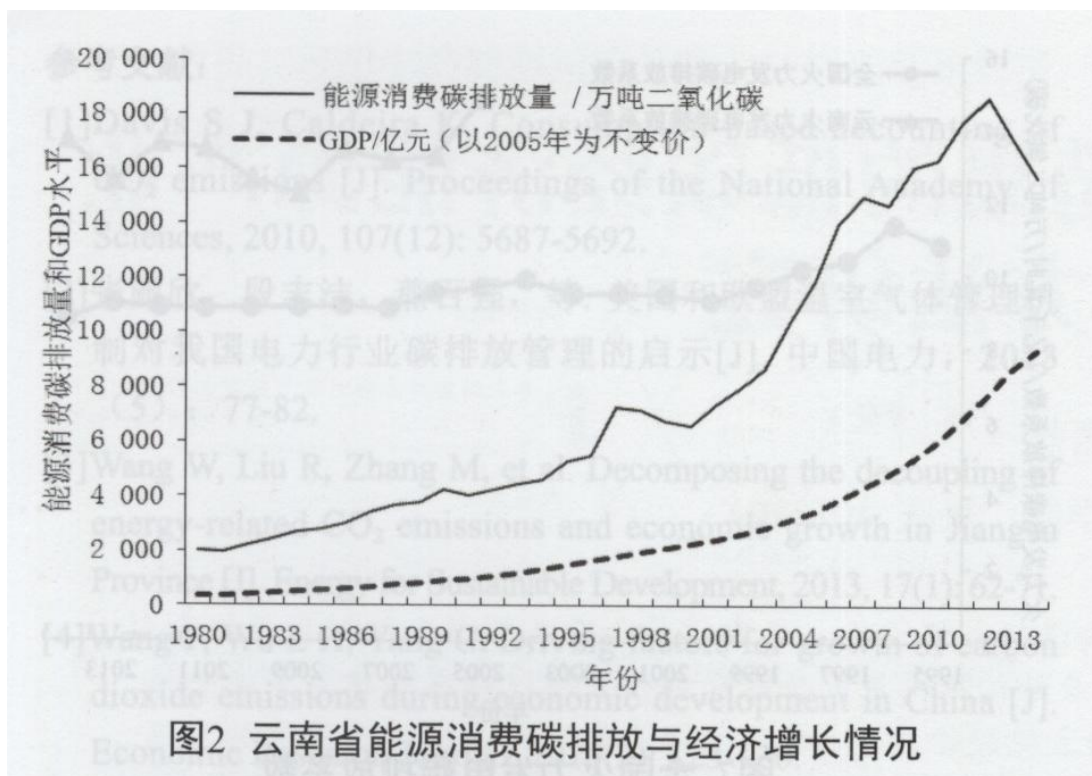
云南省发电量除了供给省内自用外,还有部分电力输出。2005—2014年,云南省社会用电量从557亿千瓦时增加到了1529.38亿千瓦时,年均增速为11.9%;电力输出量也从2005年的48亿千瓦时增加到了2014年的1020.53亿千瓦时,增加了19.8倍。从云南省发电量构成看(图1),水力发电和火力发电始终是云南电力的重要组成部分,新能源发电量实现了从无到有,并有良好的增长势头。2005—2009年云南省火力发电占比在40%~50%之间波动,2009年以后随着水力发电的迅猛发展,火力发电占比呈现明显下降趋势,到2014年火力发电占比仅为15.3%,而水力发电成了云南省发电的主导地位,达到了81.9%。从用电量情况看,云南省生产的电力包括自用电(云南省社会用电)和输出电两部分,2005—2014年云南省自用电量呈现逐年增长趋势,与此同时省内电力输出量也呈现迅速增长的势头,到2014年云南省电力输出量已经接近云南省社会用电量。



4 云南省电力碳排放现状

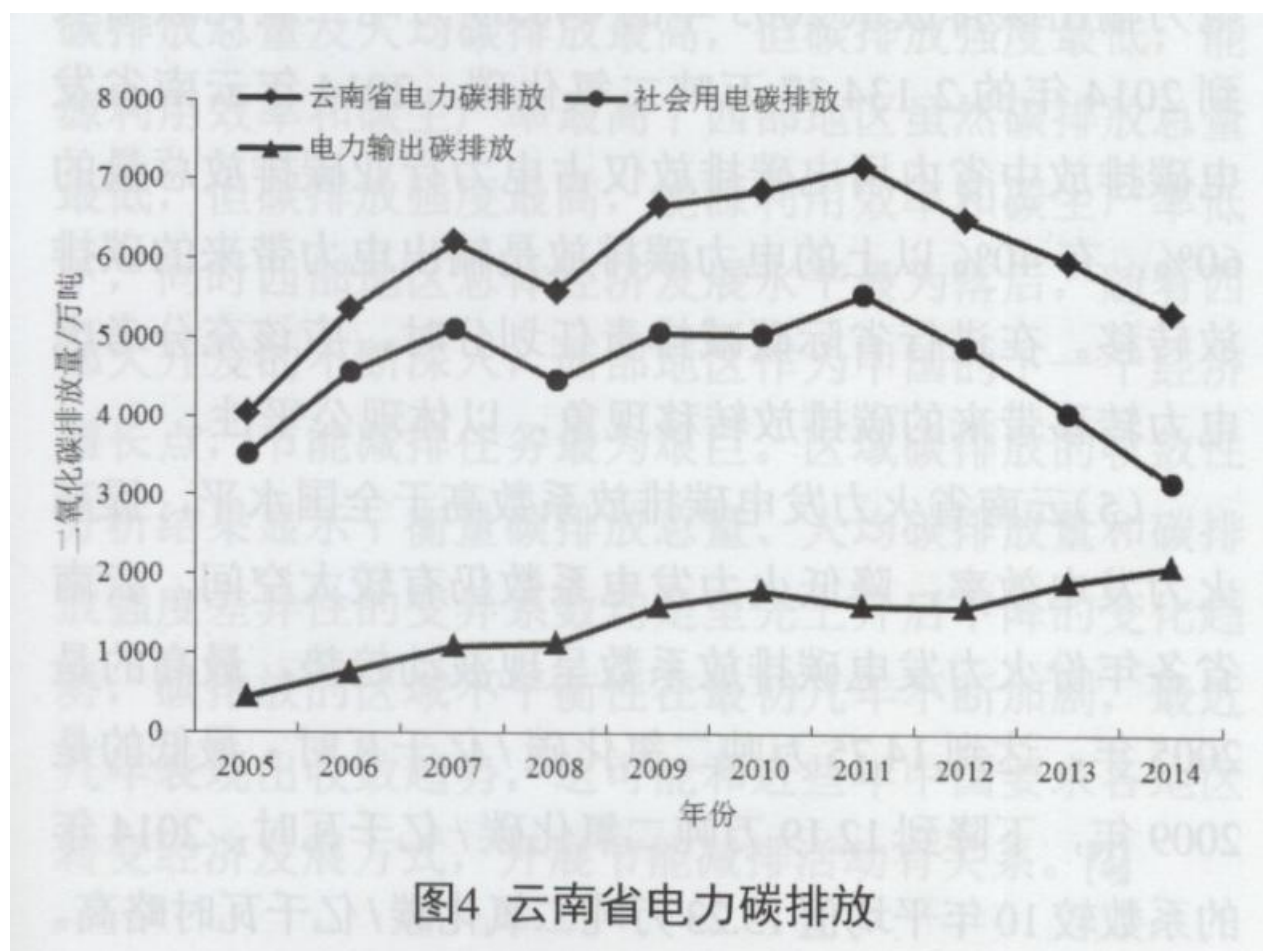
4.1 云南省电力碳排放对碳排放总量的贡献情况分析

根据 IPCC 碳排放系数法结合《云南省统计年鉴》中云南省能源消费情况可以计算云南省能源消费碳排放量，1980—2014 年云南省碳排放量及经济发展情况如图 2 所示。从图 2 可以看出，1980—2014 年云南省经济呈持续增长态势，能源消费碳排放则在 2012 年达到了临时峰值，云南省在节能减排、碳强度控制方面取得了阶段性成效。从图 3 可以看出，云南省电力碳排放始终是全省碳排放总量的重要组成部分，电力碳排放占比始终在 33%~40%之间，进行电力行业低碳转型对云南省控制碳排放意义重大。



4.2 云南省电力消费碳排放结构分析

云南省作为电力输出大省，发电量除了供省内使用外，还有大量的电力进行省外输送，因此，云南省电力碳排放可以分为省内社会用电碳排放和电力输出碳排放两个部分。2005—2014 年云南省电力碳排放及碳排放输出情况如图 4 所示，在研究期的 10 年内云南省电力行业碳排放主要是由本省用电消费所致，但是，随着电力输出的不断增加，云南省电力行业碳排放中的一部分碳排放量是为输出省份所服务的。2005—2014 年云南省电力输出碳排放增长明显，2014 年电力输出碳排放接近于云南省社会用电碳排放。



云南省电力行业碳排放中有碳排放输出现象且该现象明显，在进行省域碳减排责任划分时，应该考虑电力转移带来的碳排放转移现象。将云南省 2005—2014 年各用电部门用电量情况以及电力消费碳排放情况汇总于图 5。2005—2014 年云南省用电量呈现明显增长趋势，其中以第二产业用电量增长最明显，其次为城乡居民生活用电和第三产业用电，第一产业用电量始终保持较少。从全省用电碳排放情况看，2005—2014 年云南省全省用电碳排放呈现波浪下降趋势。第一个阶段：2005 年云南省全省用电碳排放从 3516.6 万吨二氧化碳增长到了 2007 年的 5113.8 万吨二氧化碳，而后下降到了 2008 年的 4458.9 万吨二氧化碳；第二个阶段：从 2008 年的 4458.9 万吨二氧化碳增长到了 2011 年的 5563.6 万吨二氧化碳；第三个阶段：从 2011 年的 5563.6 万吨二氧化碳下降到了 2014 年的 3198.6 万吨二氧化碳。在全省用电量持续增长的情况下，云南省用电碳排放呈现波浪式下降趋势，主要是由于云南省发电结构不断优化带来了电力碳排放系数下降。

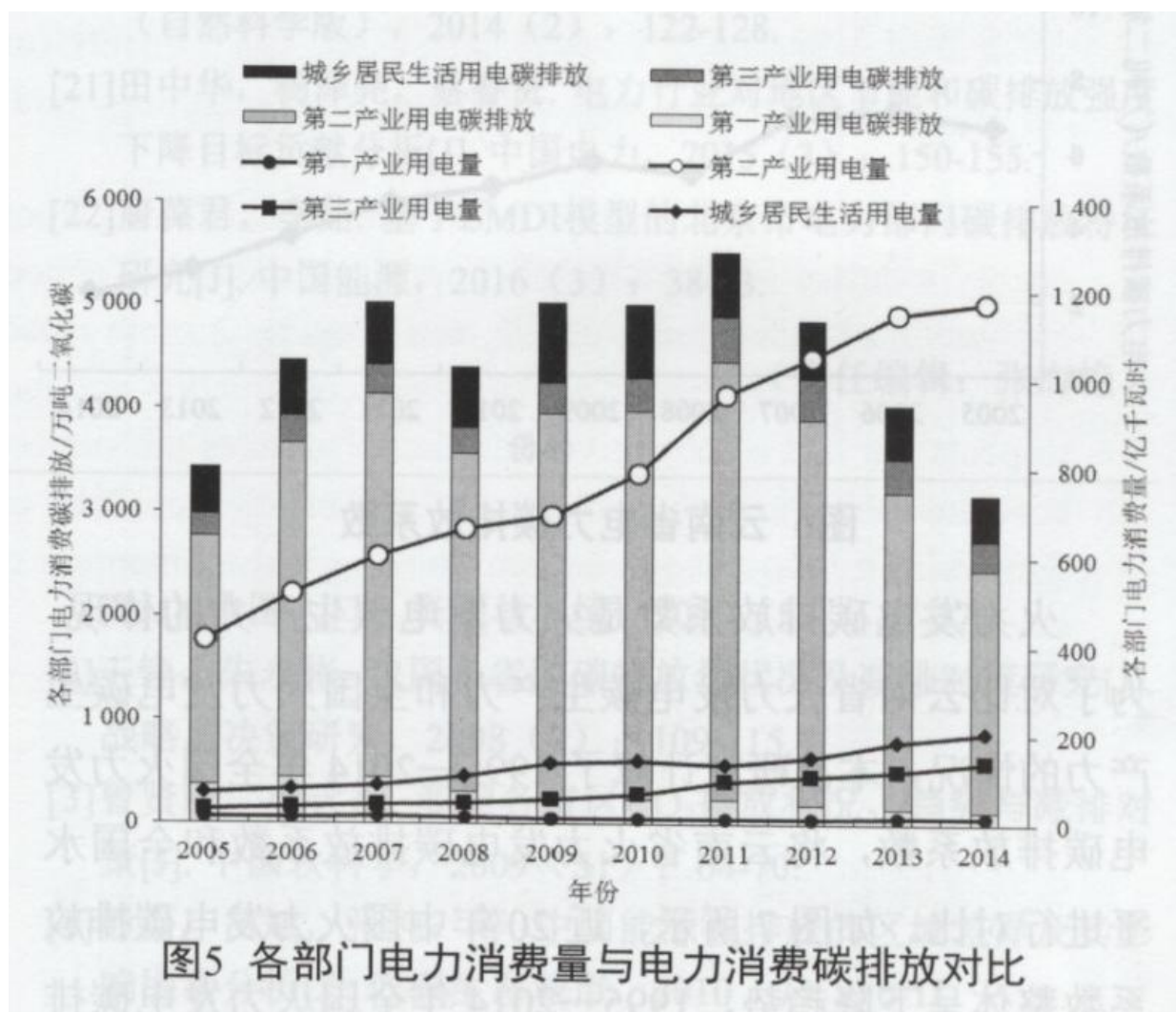


图5 各部门电力消费量与电力消费碳排放对比

从各部门用电碳排放情况看，第二产业是云南省用电量最大的部门，同时也是各用电部门中电力消费碳排放量最大的部门，远超过其他部门。其次分别为城乡居民生活用电碳排放和第三产业用电碳排放。第二产业作为云南省电力消费和电力消费碳排放的主要部门，降低碳排放系数所带来的第二产业碳减排效应也最为明显。

4.3 发电碳排放系数分析

发电碳排放系数包括总发电碳排放系数和火力发电碳排放系数，火力发电碳排放系数体现了火力发电效率，总发电碳排放系数体现发电结构和发电效率。总发电碳排放系数和火力发电碳排放系数的计算公式如下：

$$\begin{aligned}
 \text{总发电碳排放系数} &= \frac{\text{全社会发电碳排放系数}}{\text{全社会发电总量}} \\
 &= \frac{\text{火力发电碳排放量}}{\text{火力发电量} + \text{非火力发电量}} \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$\text{火力发电碳排放系数} = \frac{\text{火力发电碳排放量}}{\text{火力发电量}} \quad (4)$$

结合云南省发电碳排放量以及发电总量可以计算得到云南省总发电碳排放系数，根据云南省火力发电碳排放量及火力发电量则可以计算得到火力发电碳排放系数。从图 6 可以看出，2005—2014 年云南省火力发电碳排放系数呈现波动式发展状态，而云南省总发电碳排放系数呈现明显下降趋势。由于非火力发电量占比的增加，云南省总发电碳排放系数明显下降，从 2005 年的 6.66 万吨二氧化碳/亿千瓦时下降到了 2.09 万吨二氧化碳/亿千瓦时，年均下降率为 45.63%。云南省非化石能源发电对降低电力碳排放系数作用明显。



图6 云南省电力碳排放系数

火力发电碳排放系数是火力发电碳生产力的体现，为了对比云南省火力发电碳生产力和全国火力发电碳生产力的情况，本次研究计算了 1995—2014 年全国火力发电碳排放系数，将云南省火力发电碳排放系数和全国水平进行对比。如图 7 所示，近 20 年中国火力发电碳排放系数整体呈下降趋势，1995—2014 年全国火力发电碳排放系数下降了 18.9%。全国火力发电碳排放系数最大值为 11.35 万吨二氧化碳/亿千瓦时，出现在 1996 年；火力发电碳排放系数最小值为 8.77 万吨二氧化碳/亿千瓦时，出现在 2014 年；均值为 9.57 万吨二氧化碳/亿千瓦时。2005—2014 年云南省火力发电碳排放系数远大于全国水平，云南省火力发电碳排放系数水平与全国水平差距较大，云南省提高火力发电效率方面仍有提升空间。

5 结论及建议

(1) 基于丰富的水力资源优势 and 云南省做出的努力, 2005—2014 年云南省电力结构得到了较好的优化。2008 年开始云南省水力发电量已经超过火力发电量成为云南省发电的重要组成部分, 到 2014 年云南省水力发电量占总发电量的比重已经达到了 81.9%。



(2) 持续加强非化石能源开发及利用力度将有利于控制碳排放水平。2005—2014 年云南省发电量(年均增速 17.4%)与用电量水平(年均增速 11.9%)增长明显, 但是电力碳排放水平(年均增速 4%)维持在相对稳定状态, 主要是省内大力发展非化石能源发电所带来的贡献。加大非化石能源比重将有利于控制碳排放水平。

(3) 电力碳排放是云南省能源消费碳排放的重要组成部分, 进行电力碳排放的控制将有利于省内碳排放水平的控制。云南省电力碳排放始终是全球碳排放总量的重要组成部分, 电力碳排放占比始终在 33%~40%, 进行电力行业低碳转型对云南省控制碳排放意义重大。

(4) 云南省生产的电力包括社会自用部分和电力输出部分, 随着电力输出量的不断增长, 电力碳排放转移明显(生产电力产生碳排放的地区为云南, 而所输出的电力是为电力输入地的发展做贡献)。2005—2014 年云南省自用电量缓慢增长, 但是电力输出量增长迅猛, 到 2014 年云南省电力输出量已经接近云南省社会用电量。2005—2014 年云南省电力输出碳排放呈增长趋势, 电力输出碳排放从 2005 年的 448.89 万吨二氧化碳增长到 2014 年的 2134.37 万吨二氧化碳, 2014 年云南省发电碳排放中省内用电碳排放仅占电力行业碳排放总量的 60%, 有 40%以上的电力碳排放是输出电力带来的碳排放转移。在进行省际碳减排责任划分时, 应该充分考虑电力转移带来的碳排放转移现象, 以体现公平性。

(5) 云南省火力发电碳排放系数高于全国水平,提高火力发电效率,降低火力发电系数仍有较大空间。云南省各年份火力发电碳排放系数呈现波动趋势,最高的是2005年,达到14.75万吨二氧化碳/亿千瓦时;最低的是2009年,下降到12.19万吨二氧化碳/亿千瓦时,2014年的系数较10年平均值13.23万吨二氧化碳/亿千瓦时略高。2005—2014年云南火力发电碳排放系数均高于全国近20年的水平,云南省火力发电节能降耗还有较大空间。

参考文献:

- [1] Davis S J, Caldeira K. Consumption-based accounting of CO₂ emissions [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2010, 107(12): 5687-5692.
- [2] 张丽欣,段志洁,燕百强,等.美国和欧盟温室气体管理机制对我国电力行业碳排放管理的启示[J].中国电力,2013(5): 77-82.
- [3] Wang W, Liu R, Zhang M, et al. Decomposing the decoupling of energy-related CO₂ emissions and economic growth in Jiangsu Province [J]. Energy for Sustainable Development, 2013, 17(1): 62-71.
- [4] Wang F, Wu L H, Yang C. Driving factors for growth of carbon dioxide emissions during economic development in China [J]. Economic Research Journal, 2010(2): 123-136.
- [5] Mozner Z V. A consumption-based approach to carbon emission accounting-sectoral differences and environmental benefits [J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 42(3): 83-95.
- [6] 任玉珑,黄守军,张谦.计及碳排放权交易的电力市场纵向合作减排策略研究[J].产业经济研究,2010(5):51-57.
- [7] 金艳鸣.我国各省电力工业碳排放现状与趋势分析[J].能源技术经济,2011(10):56-60.
- [8] 米国芳,赵涛.中国经济增长、电力消费与碳排放量关系研究[J]•科学管理研究,2012(1):89-91.
- [9] 宋旭东,莫娟,向铁元.电力行业碳排放权的初始分配机制[J].电力自动化设备,2013(1):44-49.
- [10] 付坤,齐绍洲.中国省级电力碳排放责任核算方法及应用[J].中国人口•资源与环境,2014(4):27-34.
- [11] 王喜平,刘兴会.电力行业碳排放绩效地区差异及空间相关性分析[J].工业技术经济,2014(11):129-135.
- [12] 王常凯,谢宏佐.中国电力碳排放动态特征及影响因素研究[J].中国人口•资源与环境,2015(4):21-27.
- [13] 石建屏,徐黎黎,王忠祥.我国电力能源生产与消费过程碳强度时空特征[J].环境影响评价,2015(2):74-78.
- [14] 李新,王海滨,陈朝镇,等.中国电力能源碳排放强度的时空演变及省际间差异性[J].干旱区资源与环境,2015(1):43-47.
- [15] 陈勇.电力碳排放权区域分配指标体系研究[J].江苏电机工程,2015(5):4-8.

-
- [16] 李嘉龙, 陈雨果, 刘思捷, 等. 考虑碳排放成本的电力市场均衡分析[J]. 电网技术, 2016(5):1558-1563.
- [17] 程路, 邢璐. 2030 年碳排放达到峰值对电力发展的要求及影响分析[J]. 中国电力, 2016(1):174-177.
- [18] 孟陵龙. 中国电力生产碳排放与经济增长脱钩分析[J]. 山东工业技术, 2017(5):179-180.
- [19] 张丽, 牛鸿蕾. 徐州产业结构调整与电力消耗碳排放的关系分析[J]. 经营管理者, 2014(2X):143.
- [20] 徐杰. 保定市电力行业碳排放计量与预测[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2014(2):122-128.
- [21] 田中华, 杨泽亮, 蔡睿贤. 电力行业对地区节能和碳排放强度下降目标贡献分析[J]. 中国电力, 2015(3):150-155.
- [22] 唐葆君, 李茹. 基于 LMDI 模型的北京市电力部门碳排放特征研究[J]. 中国能源, 2016(3):38-43.