

四川省能源消费二氧化碳排放及低碳能源发展研究

冯晞雨, 刘伟, 桓汉青, 曾征
(成都信息工程大学资源环境学院, 四川 成都 610225)

摘要:中国的能源消耗以煤炭等化石能源为主,2009年中国二氧化碳排放量超过美国,成为全球二氧化碳排放量最大的国家,因此大力发展低碳能源、进行二氧化碳削减具有非常重要的现实意义。通过四川省2005~2011年间的能源消耗特点和趋势。研究表明,虽然碳排放强度逐年下降,由2005年的0.202 kg/元下降到2011年的0.109 kg/元,年均递减率为9.55%,但是碳排放总量仍然呈现出持续上升的趋势,其年均增长率为7.31%。通过利用Kaya恒等式对碳排放驱动因素进行分析,经济增长对碳排放量的贡献率最大。虽然能源强度有所下降,但并没有抵消经济增长的贡献率。结合四川省资源优势及相关政策与规划,对四川省低碳能源发展进行了SWOT分析,在此基础上提出四川省低碳能源的发展模式与发展路径。

关键词:环境科学;环境保护;低碳能源;碳排放;能源消费;四川省

0 引言

随着全球人口数量和经济规模的不断增长,能源大量消耗,大气中二氧化碳浓度持续升高导致全球温室效应不断加剧,全球性灾害频发^[1-2],2009年中国二氧化碳排放量已超过美国,成为全球二氧化碳排放量最大的国家,中国以煤炭等化石能源消耗为主的消费模式为其主要原因。经济的快速发展,带动能源需求和消费的不断增长,不仅对区域能源安全造成了威胁,也对碳排放引起的种种气候变化提出了新的课题^[3]。2009年,温家宝总理提出,到2020年,中国二氧化碳排放强度较2005年降低40%~45%。因此,如何控制和减少碳排放,制定低碳能源发展战略就显得尤为迫切。

为应对全球气候变化,国内外学者分别采用了Divisia指数分解^[4]、Kaya恒等式^[5]、环境库兹涅茨曲线(EKC)模型^[6]、LMDI^[7]、因素分解^[8-9]等方法对CO₂排放的影响因素进行研究解析。研究表明,一个国家或地区的碳排放量的增长受到能源消费结构、能源强度、经济、人口、技术水平、等因素共同决定的。基于此,文中着眼于四川省能源消费,分析能源碳排放特征和趋势,分析碳排放的主要驱动因子,并对四川省低碳能源发展进行SWOT分析,在此基础上提出低碳能源

的发展战略,以期优化区域能源消耗结构,推动低碳经济发展等提供对策与建议。

1 分析方法

1.1 数据资料的获取

数据资料的获取主要通过以下3个途径:四川省统计年鉴、能源统计年鉴以及网络数据库等;正式出版的专著或研究报告,如IPCC报告、专著中的碳排放系数和标准煤折算系数等;学术界公认的研究成果,如文献资料里的一些研究方法或结果等。

1.2 研究方法

1.2.1 能源消耗二氧化碳核算方法

根据IPCC缺省系数法^[10],能源消费的二氧化碳排放量核算公式为

$$C = \sum_{i=1}^4 C_i = \sum_{i=1}^4 E_i F_i M_i \theta \quad (1)$$

$$S = C/Y \quad (2)$$

式中, C 为能源消费的二氧化碳排放总量,单位:万吨; C_i 为煤炭、石油、天然气、水电的二氧化碳排放量,单位:万吨; E_i 为煤炭、石油、天然气、水电能源消费的实物量(煤炭、石油,单位:万吨;天然气,单位:亿立方米;水电,单位:亿千瓦时); F_i 为*i*种能源的标准煤折算系数(根据国家发展和改革委员会能源研究所公布的数值煤炭为0.7143 kg标准煤/kg;石油为

1.4286 kg标准煤/kg;天然气为1.33 kg标准煤/立方米;水电为0.1229 kg标准煤/千瓦时); M_i 为3类化石能源的碳排放系数,其中煤炭为0.7476 t(c)/tce、石油为0.5825 (c)/tce、天然气为0.4435(c)/tce,水电为0; θ 为碳完全燃烧转化为二氧化碳的系数,为2.667; S 为 CO_2 排放强度,单位:kg/元; Y 为国民生产总值,单位:亿元。

1.2.2 SWOT 分析法

SWOT 分析法是一种能够较客观准确地分析和研究一个单位现实情况的方法,又称态势分析法。SWOT 分析是把组织内外环境所形成的机遇(opportunities)、挑战(threats)、优势(strengths)、劣势(weaknesses)4个方面的情况结合起来进行分析,以寻找制定适合本组织实际情况的经营战略和策略的方法^[11],SWOT 分析框架见图1。

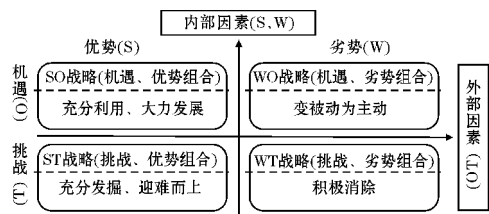


图1 SWOT 分析框架图

1.2.3 碳排放驱动因子分析法

Kaya 恒等式是由日本学者于1996年提出,是目前分析碳排放驱动因子的主流分析方法。该模型能够将一个国家或地区的碳排放总量分解为人均GDP、能源强度、碳强度、人口规模等驱动因子^[12]。公式为

$$CO_2 = \frac{CO_2}{E} \times \frac{E}{GDP} \times \frac{GDP}{POP} \times POP \quad (3)$$

式中: CO_2 、 E 、 GDP 、 POP 分别表示 CO_2 排放量、一次能源消耗量、国内生产总值、人口总量。 CO_2/E (CI)代表单位能源的碳强度; E/GDP (EI)代表单位GDP能源强度; GDP/POP (YI)代表人均GDP; POP (PI)代表人口规模。根据kaya恒等式,碳排放量的变化可以分解为: $\Delta CO_2 = CO_2(t) - CO_2(0) = \Delta CI + \Delta EI + \Delta YI + \Delta PI$ 。其中, ΔCO_2 表示基于0年起始年至 t 年 CO_2 排放量的变化值。为了解各因子对碳排放量的贡献率,采用LMDI法对 CO_2 排放量进行因素分解研究。根据Ang B. W.提出的LMDI因子分解法具体步骤^[13],得到如下结果:

$$A = \sum \frac{CO_2(t) - CO_2(0)}{\ln CO_2(t) - \ln CO_2(0)} \quad (4)$$

$$\Delta CI = A \times \ln \frac{CI(t)}{CI(0)} \quad (5)$$

$$\Delta EI = A \times \ln \frac{EI(t)}{EI(0)} \quad (6)$$

$$\Delta YI = A \times \ln \frac{YI(t)}{YI(0)} \quad (7)$$

$$\Delta PI = A \times \ln \frac{PI(t)}{PI(0)} \quad (8)$$

则各影响因子对四川省2005~2011年碳排放量变动的影响贡献率为 $\frac{\Delta CI}{\Delta CO_2}$ 、 $\frac{\Delta EI}{\Delta CO_2}$ 、 $\frac{\Delta YI}{\Delta CO_2}$ 、 $\frac{\Delta PI}{\Delta CO_2}$ 。

2 四川省能源消耗与碳排放分析

2.1 四川省能源消耗状况分析

根据四川省统计年鉴2006~2012,四川省2005~2011年能源消耗变化见图2。由图可知,2005~2011年期间,四川省能源消费总量逐年增长,年平均增长率为8.49%,化石能源在能源消费总量中占主导地位,其中,煤炭消费比重最高,虽然其比重呈现出逐年下降的趋势,但降幅很小,2011年其消费比例为53.56%;石油消费近年来呈平稳上升的趋势,其比重在2011年超过了天然气与水电,位居第二;天然气消费量增幅最小,其比重基本保持不变,约为12%;水电所占比例呈现出先下降后上升的趋势,2011年其所占比例为15.79%。通过以上分析,可以看出四川省能源消耗结构仍是以化石能源为主,其中煤炭与石油占据着主导地位,而低碳能源仅占总能源消耗比例的12.03%~15.79%;同时四川省的能源消费结构正趋向于合理化,但高碳能源所占比重仍然很大,需要进一步调整四川省能源消费结构,提高低碳能源消耗比重。

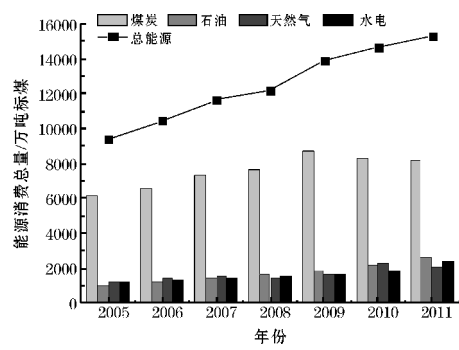


图2 四川省2005~2011年主要能源消费量

2.2 四川省能源消耗二氧化碳排放量分析

根据四川省统计年鉴 2006 ~ 2012 与计算公式 (1) ~ (2), 计算出四川省 2005 ~ 2011 年能源消费碳排放总量, 在此基础上, 分析四川省碳排放强度与人均碳排放量的特征和变化趋势。四川省 2005 ~ 2011 年的二氧化碳量呈现出持续上升的趋势, 其中碳排放大多数是由于煤炭消费引起的, 2011 年其 CO₂ 排放量所占比例为 71.49 %; 石油与天然气的 CO₂ 排放量所占比例较低, 2011 年其所占比例为 28.51 %; 人均二氧化碳排放量增长了 1 t/人, 年均增速为 7.78 %; 碳排放强度总体上则呈现出下降的趋势, 排放量减少了 0.093 kg/元, 年均下降 9.55 %。何建坤等^[14]认为, 碳排放强度 (单位 GDP 二氧化碳排放) 下降率要大于 GDP 增长率时才能实现二氧化碳的绝对减排。比较发现, 四川省 2005 ~ 2011 年间碳排放强度年均下降率小于 GDP 的年均增长率 (GDP 年均增长率为 19.1 %), 所以还不能实现二氧化碳的绝对减排。

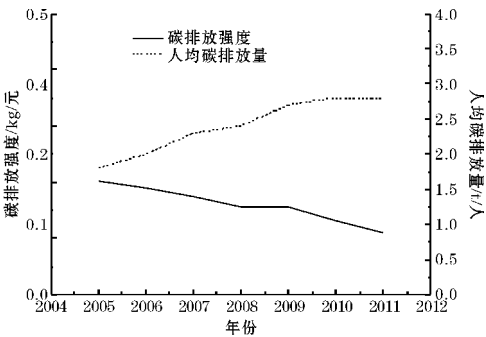


图 3 四川省 2005 ~ 2011 年碳排放强度和人均碳排放量变化趋势

2.3 四川省碳排放驱动因子分析

表 1 各驱动因子对四川省 2005 ~ 2011 年 CO₂ 排放量变动的贡献

年份	能源结构 碳强度效 应/%	能源强度 效应/%	人均 GDP 效应/%	人口规模 效应/%
2005 ~ 2006	-0.88	-6.02	16.61	-0.55
2006 ~ 2007	0.15	-9.45	21.11	-0.54
2007 ~ 2008	0.54	-12.84	18.36	0.14
2008 ~ 2009	0.01	1.41	12.00	0.61
2009 ~ 2010	-3.62	-14.65	23.42	-1.77
2010 ~ 2011	-3.07	-15.79	17.88	0.10
2005 ~ 2011	-16.3	-134.33	250.63	-4.77

(3) ~ (8) 式对四川省 2005 ~ 2011 年碳排放驱动因子进行分析, 以每两个相邻年份为样本区间, 计算得出四川省 2005 ~ 2011 年驱动因子对碳排放的贡献, 见

表 1。四川省 2005 ~ 2011 年以来, 能源结构碳强度、能源强度、人均 GDP、人口规模对碳排放量增长的贡献率分别为 -16.3 %、-134.33 %、250.63 %、-4.77 %。四川省的碳排放增长主要以人均 GDP 驱动为主, 也就是经济发展对碳排放起着主导作用, 这是由于经济的迅速发展需要以能源的大量消耗为基础, 从而直接导致了碳排放量的迅速增加。虽然能源强度不断下降, 其贡献率为负值, 对碳排放总量起到一定的削减作用, 但在人均 GDP 的强势驱动下, 碳排放总量仍然呈现出持续上升的趋势。能源结构碳强度对碳排放量也具有微小的抑制作用, 但由于目前四川省能源消耗结构仍然是以煤炭为主, 所以一次能源中煤炭的减少不足以抑制碳排放量的增加。可以看出, 四川省应该通过积极发展能源技术水平, 全面推动能源技术创新以及减排技术的应用, 同时还应调整能源结构, 提高低碳能源利用比例, 从而减缓碳排放增长的趋势。

3 四川省低碳能源发展研究

随着全球气候变化, 低碳生活的重要性得到越来越多的重视。发展低碳能源、应用低碳技术已经成为不可阻挡的潮流。目前四川省能源消耗结构仍是以化石能源为主, 丰富的生物质能、水能、太阳能等清洁能源并没有得到充分而有效的利用。2011 年, 四川省低碳能源仅占总能源消耗比例的 15.79 %。通过碳排放强度与人均碳排放量比较分析, 四川省还没有实现二氧化碳的绝对减排。根据 Kaya 恒等式 LMDI 分析结果, 可以从能源结构碳强度与能源强度两方面来改变碳排放增长的趋势, 也就是要着重从调整能源消耗结构与创新低碳能源技术两方面降低碳排放增加的速率。要改变经济增长与碳排放之间的关系, 也就是要减少经济增长对化石能源的依赖。低碳经济转型的实质其实就是经济增长与碳排放之间不断脱钩的过程。

3.1 四川省低碳能源发展 SWOT 矩阵构建

低碳能源发展是当今世界不可阻挡的潮流, 根据相关资料^[15-19], 对目前四川省低碳能源发展中的优势 (S)、劣势 (W)、机遇 (O) 和挑战 (T) 进行归纳与分析, 四川省低碳能源发展 SWOT 矩阵详见表 2。

由 SWOT 分析矩阵可以看出, 四川省低碳能源发展战略的设计关键点主要有: 明确四川省低碳能源发

展模式;找准四川省低碳能源实现途径。

3.2 四川省低碳能源发展构思

3.2.1 四川省低碳能源发展模式

低碳能源的发展是一个持续的、动态的、整体的过程,是若干子系统共同作用的综合体现(图4)。要促进四川省低碳能源的加快发展,需要政府、企业、市场、

公民4方面的协作与配合,即需要政府发挥主导作用,采用经济手段与法律手段推动低碳技术的发展;需要企业作为研发低碳技术的重要载体,积极研发低碳技术,进行推广应用;需要市场采取调控手段,发挥市场机制,完善碳金融体制,保证低碳能源的合理消费;需要公民参与,全程配合政府、企业,积极参与与低碳能源的市场消费,积极响应政府号召。

表2 四川省低碳能源发展SWOT矩阵

	S 优势	W 劣势
内部	<ul style="list-style-type: none">· 政府政策与资金的大力支持· 清洁能源、可再生能源储量丰富· 低碳能源技术的蓬勃发展	<ul style="list-style-type: none">· 能源消耗结构不合理,化石能源所占比例较高· 低碳能源技术创新能力较低
外部	<ul style="list-style-type: none">· 能源消耗量、二氧化碳排放量全球第一· 产业结构不合理,能源高消耗、二氧化碳高排放产业所占比重较大	
O 机遇	SO 战略	WO 战略
<ul style="list-style-type: none">· 能源低碳化是全球发展的趋势· 市场需求巨大· 国内政府、社会以及行业的支持· 国际社会对发展中国家的政策与技术支持	<ul style="list-style-type: none">· 大力投入资金于低碳技术的研发· 全面挖掘可开发、可利用低碳能源,减少对化石能源的依赖· 逐步扩大低碳能源应用比例,降低二氧化碳排放,从而改善环境· 深入发展国际合作,互信互利,加强低碳能源技术的交流· 完善碳金融市场机制	<ul style="list-style-type: none">· 大力发展低碳能源,提高低碳能源企业规模,优化产业结构· 引进国外先进低碳能源技术,从而促进低碳能源的应用· 正确制定切实可行的政策,鼓励低碳能源技术的推广· 优化能源消费结构,提高低碳能源在总能源消费中的比重
T 挑战	ST 战略	WT 战略
<ul style="list-style-type: none">· 化石能源的储量逐渐减少,能源使用成本增加· 能源消费结构模式亟待转变· 产业结构调整缓慢· 公民对于低碳的认识还不够· 中国面临温室气体减排的压力· 中国能源消耗和二氧化碳排放的持续增长· 中国未来相当长的一段时间内煤炭仍是主要的一次能源	<ul style="list-style-type: none">· 政府主导,大力宣扬低碳理念,让低碳意识贯穿整个社会· 努力改变生活方式,倡导低碳生活· 运用行政、经济、法律等各种手段,激励企业采用低碳能源	<ul style="list-style-type: none">· 大力发展分布式与集约式能源系统· 构建系统的低碳能源发展理论与方法· 加快产业升级,推动产业低碳化发展· 加强对建筑、交通两大领域低碳能源的利用

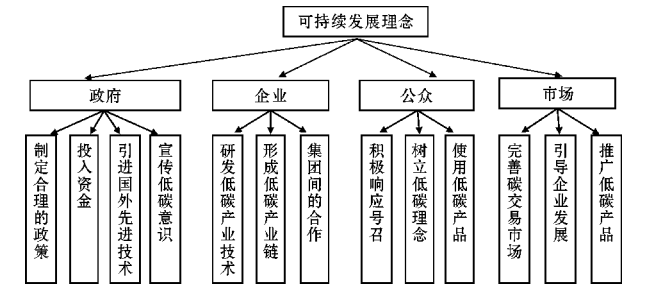


图4 低碳能源发展模式

3.2.2 四川省低碳能源发展路径

(1)调整能源结构,提高低碳能源消费比例,降低单位能源碳排放。

四川省具有丰富的可再生资源,能够为四川省实行低碳能源战略提供较为有力的物质基础。四川省具有全国20 % 以上的水力资源,其丰富的储量几乎是全国第一。2011 年,四川省水能发电量为 1468. 29 亿 kwh,却只占全国发电量的3.1 % ,这表明四川省水力

资源的开发还具有非常巨大的潜力。同时四川省地区人口稠密,气候温和,雨量丰富,植物茂盛等特点导致生物质资源非常丰富。2011 年,四川省秸秆产量约 6114 万吨,薪柴产量约 1068 万吨、人畜粪便约 4008 万吨,折合标准煤约 5591 万吨。四川省天然气资源也非常丰富,累计探明地质储量 2. 01 万亿 m³,可开采量为 1. 21 万亿 m³,开采潜力非常巨大^[20]。四川省西部地区的太阳能资源也较为丰富,年辐射总量可达 6000 MJ/m² 以上,年日照时数在 2400 ~ 2600 小时^[21]。

(2) 增加政府对低碳能源技术的补贴和减免税费,加大对科技研发的投入力度。

低碳能源技术在中国还处于起步阶段,在发展的初期阶段,必然会面对关键技术未突破,生产成本低,市场化不足等问题,因而需要政府加大投入力度,比如为投资的企业进行贷款,提供优惠率等。同时政府还可以通过补贴和减免税费等措施扶持低碳能源的开发

和利用,构建政府主导、企业带动、社会参与的低碳能源产业链,拓宽低碳能源开发利用的融资渠道。

(3)通过制度创新和价格杠杆,促进可再生能源市场化的可持续发展。

可再生能源的发电成本要高于常规能源发电成本,是由于目前电价核算机制并未考虑能源对环境造成的影响,直接从价格上削弱了可再生能源的市场竞争力。从国外的发展经验上看,可再生能源市场仍需要政府来引导。可再生能源市场的发展需要一个长期、稳定、健康的激励政策,可以通过采取多种补贴形式、合理的可再生能源成本分摊机制、完善碳排放权交易制度来引导,参与市场竞争。

低碳经济不但是未来世界经济发展结构的大方向,更是实现经济发展与环境保护双赢的必然选择,也是我国占据世界经济竞争制高点的关键。四川省利用低碳经济发展的契机,在城市化的进程中,通过政策创新和制度创新,加强低碳城市的建设。

4 结论

(1)四川省能源消费结构不合理。2005~2011年来,以化石能源为主的消费结构没有得到根本性的改变,水力资源储量丰富却并未得到充分而有效的开发,其他低碳能源的发展还尚处于起步阶段。

(2)人均GDP效应与能源强度效应是影响碳排放量的主导因素。能源结构碳强度、能源强度、人均GDP、人口规模对碳排放量增长的贡献率分别为-16.3%、-134.33%、250.63%、-4.77%。人均GDP的持续上升也就意味着经济的迅速发展,经济的高速发展需要以能源的大量消耗为基础,这也是造成碳排放量持续攀升的主要原因。能源强度则是抑制碳排放量增加的主要因素,对整个碳排放量变化的贡献率为-134.33%。能源强度是由技术水平所决定的,因此要达到碳减排的效果,必须全面地推进低碳能源技术创新以及减排技术的应用。

(3)通过对四川省能源消费以及碳排放驱动因子分析,进一步证实了SWOT模型的构建,能够有效地根据所处实际情况,制定适合本身的全面、系统、准确的策略。

(4)四川省低碳能源发展的潜力与空间还大,今后的发展重点主要集中在以下几个方面:积极调整能

源消费结构,因地制宜地开发、利用可再生能源;重视低碳能源技术的创新,降低单位能源的碳排放;从政府、企业、公民、市场四个角度全方位的构建适合低碳能源发展的环境,提高公众对低碳生活的。

参考文献:

- [1] 刘嘉,陈文颖,刘德顺.基于中国TIMES模型体系的低碳能源发展战略[J].清华大学学报,2011,51(4):19-21.
- [2] 陈柳钦.低碳能源:中国能源可持续发展的必由之路[J].中国市场,2011,(33):31-38.
- [3] 肖黎姗,王润,刘健,等.福建省能源消费碳排放和低碳能源发展研究[J].环境科学与技术,2011,34(11):200-201.
- [4] 徐国泉,刘则渊,姜照华.中国碳排放的因素分解模型及实证分析:1995-2004[J].中国人口·资源与环境,2006,16(6):156-159.
- [5] 刑璐,单葆国.基于kaya公式的中国CO₂排放影响因素分解[J].能源技术与经济,2011,23(10):46-49.
- [6] 戴星翼.走向绿色的发展[M].上海:复旦大学出版社,1998.
- [7] 唐建荣,张白羽,王育红.基于LMDI的中国碳排放驱动因素研究[J].统计与信息论坛,2011,26(11):19-24.
- [8] Ratnakar Pani, Ujjaini Mukhopadhyay. Identifying the major players behind increasing global carbon dioxide emissions: a decomposition analysis[J]. The environmentalist, 2010, 30(2):183-205.
- [9] Torvanger A. Manufacturing Sector Carbon Dioxide Emissions in Nine OECD Countries,1973-1987: a division index decomposition to changes in fuel mix, emission coefficients, industry structure, energy intensities and international structure[J]. Energy Economics, 1991, 13(3):168-184.
- [10] 王靖,马光文,胡延龙,等.四川省能源消费碳排放趋势及影响因素研究[J].水电能源科学,2011,29(7):185-186.
- [11] 江宏飞,周伟.新时期我国纺织机械产业的SWOT分析及对策[J].纺织器材,2007,34:

64-72.

- [12] 袁路,潘家华. kaya 恒等式的碳排放驱动因素分解及其政策含义的局限性[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(3):210-215.
- [13] 赵奥,武春友. 中国 CO₂排放量变化的影响因素分解研究——基于改进的 kaya 等式与 LMDI 分解法[J]. 软科学, 2010, 24(12):55-58.
- [14] 何建坤,刘滨. 作为温室气体排放衡量指标的碳排放强度分析[J]. 清华大学学报, 2004, 44(6):740-743.
- [15] 孟祥林. 四川能源现状及其能源结构发展选择[J]. 西华大学学报, 2006, (5):47-48.
- [16] 项新耀. 发展低碳能源与创新低碳技术[J]. 石油石化节能, 2011, (1):37-38.
- [17] 鲍健强,施祺方,陈锋,等. 低碳能源技术发展战略与路径选择[J]. 未来与发展, 2011, (5):18-21.
- [18] 武正弯. 欧盟低碳能源发展战略及其启示[J]. 国际石油经济, 2012, (11):17-20.
- [19] 郭磊,马莉. 英国低碳能源战略白皮书及对我国的启示[J]. 电力技术经济, 2009, 21(6):13-17.
- [20] 乔建勇,熊丙祥. 四川能源系统的现状与特征[J]. 资源开发与市场, 2005, (1):38-39.
- [21] 杨淑群,詹兆渝,范雄. 四川省太阳能资源分布特征及其开发利用建议[J]. 四川气象, 2007, (2):15-18.