

中国 2050 年低碳情景和低碳发展之路

姜克隽，胡秀莲，庄幸，刘强

摘要：利用 IPAC 模型对我国未来中长期的能源与温室气体排放情景进行分析。设计了 3 个排放情景，介绍了情景的主要参数和结果，以及实现减排所需的技术，同时探讨中国实现低碳情景所需要的发展路径。作为一个经济快速增长国家，中国未来的能源需求和相应的温室气体排放将快速明显增加。中国要实现低碳发展路径，必须从现在就采取适合于低碳发展的政策，着重发展具有国际领先地位的重大清洁能源开发、转换和利用技术，大力发展可再生能源和核电技术，提高公众意识，使低碳生活方式成为普遍行为，逐步实施能源税和碳税。

关键词：排放情景；能源；气候变化；模型；低碳发展

1. 前言

随着气候变化已经越来越为大家所认识，国际社会应对气候变化的共同意愿越来越强烈，低碳未来已经成为社会经济发展的一个重要方向。所谓“低碳”可以有多种解析，如低碳经济，低碳社会，低碳发展等，均是在未来实现低碳排放的一种社会经济表达的表述。

低碳经济是指社会经济体系的构建和发展能够实现低碳排放。低碳排放可以有不同的定义，一是实现人类社会的共同愿景，即全球实现低升温目标下的排放水平。目前讨论较多的是 450mg/L，550 mg/L 浓度目标下的排放水平，最近也在讨论更低浓度目标下的排放水平，应在这种全球排放水平下实现本国或本区域的低碳排放。二是本国或者本区域在本身自然资源条件下，尽最大努力来减少温室气体排放。

最终低碳经济是指实现全球低浓度目标下的排放水平的经济体系。考虑到各个国家的发展水平不同，在解析低碳经济发展途径时，实现低碳发展的时间区间也各不相同。如伦敦的低碳经济或者低碳社会是指在 2020 年、2030 年实现大规模减排，与 1990 年相比，减排率达到 50%—80%。发达国家需要在 2020 年与 1990 年相比有明显减排，减排率达到 25%—40%。到 2050 年，平均减排 80%—90%。对于发展中国家，时间段将会明显比较长，如中国的低碳情景，要在 2050 年争取实现与 2000 年的排放持平，与 2030 年排放高峰相比减排 50%—60%。其他发展中国家也类似。

判别低碳经济的指标可以包括：温室气体排放量、实现低碳经济的投入、实现低碳经济的政策努力及公众参与度。这样可以较好地反映各个国家的努力程度。

中国作为一个经济快速增长国家，未来的能源需求和相应的温室气体排放将快速明显增加。中国要实现低碳情景，必须从现在就采取适合于低碳发展的政策。

2. 模型方法

能源所在长期的能源系统分析研究过程中，通过多种国际国内合作，开发构架了 IPAC 模型。这是一个包括多种方法论的多模型框架。其中有自顶向下型的一般均衡模型（CGE 模型），也有详细描述分部门技术的自底向上型模型，同时还有介于两者之间的部分均衡模型和动态经济学模型。

在此选择 IPAC 模型组中的 3 个模型：IPAC-CGE 模型、IPAC-AIM/技术模型和 IPAC-Emission 模型，3 个模型的关联如图 1 所示。

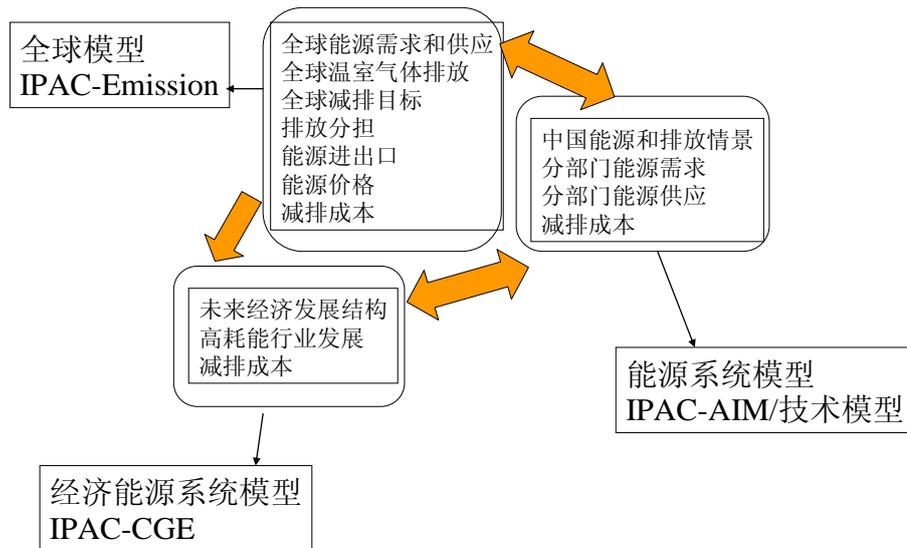


图 1 研究中各模型的关联

IPAC-AIM/技术模型是专门针对中国地区的区域模型，它包括 3 个子模型，即能源服务需求预测模型、能源效率估算模型和技术选择模型，是一个典型的自底向上型模型。能源需求部门分为工业、农业、服务业、民用和运输部门，这些部门又被分为若干子部门。能源供应部门包括电力、石油炼制、煤炭开采和洗选、炼焦、供热等。目前模型中有 42 个部门。能源需求和供应双方总共涉及到 500 多项技术，包括现有的及未来可能利用的先进技术。部门输出服务（诸如钢铁产量）是主要的驱动因素。为了提供这些输出服务，将会相应挑选一批技术，然后使用这些技术估算出能源需求。模型以寻求费用最少的混合技术为目标，满足特定的能源服务需求。模型还可以模拟分析技术选择、技术进步、能源价格等方面的政策和对策效果。这些技术用到的数据是从大量的报告、刊物、出版物和对专家的咨询采集而来，数据会随着采集来的新资料不断更新。

IPAC-Emission 模型的目标是对中国和其他地区在全球环境下，未来各种长期温室气体排放趋势下可能采取的政策措施进行评价。在这个目标下，这个模型是一个全球模型，根据国际上气候变化的主要区域，模型划分了 9 个区——美国、西欧和加拿大，其他 OECD 国家、东欧地区、中国、中东国家、其他亚洲国家、非洲、南美洲。时间区间为 1990 年—2100 年，以分析长期的变化和可能的升温。

IPAC-CGE 模型则是 IPAC 模型组中的经济模型，是一个一般均衡模型（CGE 模型），考虑各经济活动之间的影响与关联，在 IPAC 模型中主要进行各种能源环境政策对经济影响的分析，同时可以进行中长期能源与环境情景分析。IPAC-CGE 模型中划分 38 个部门，分别覆盖能源部门、高耗能工业行业部门以及主要经济部门等。

3. 中国未来社会经济发展展望

情景中对经济增长的预测主要来自于对其他经济发展研究的回顾和分析，但进行到 2050 年的中长期经济增长分析的研究还很有限，目前较多的是讨论 2020 年以及 2030 年的经济增长。最近的一些对于经济发展的研究，由于近期中国经济的快速增长而显得更加乐观。这里选择较高的经济增长情景，在这种情景下，中长期的发展目标是实现国家经济发展的三步走目标，即到 2050 年中国经济达到目前发达国家水平。在这种模式下，由于国内外市场环境的变化，中国产业结构将面临调整、重组。加入 WTO 后，中国产业更加充分地国际化。未来十几年内，中国将成为国际制造业中心，出口成为拉动经济增长的重要因素。考虑到中国经济快速发展，2030 年之后，GDP 的主要支持因素则变为以内需增长为主，国际常规制造业的竞争力因劳动力成本的快速上升而下降。通过采取一系列行之有效的措施，经济结构不断改善，产业结构逐步升级，先进产业的国际竞争力日渐增强，使中国经济仍能在不断调整中以较为正常的速度发展，估计 2000—2050 年，中国经济增长率和部门结构见表 1、表 2。

表 1 2000—2050 年中国各部门 GDP 增长率（单位：%）

部门结构	2005—2010 年	2010—2020 年	2020—2030 年	2030—2040 年	2040—2050 年
GDP	9.67	8.38	7.11	4.98	3.60
第一产业	5.15	4.23	2.37	1.66	1.16
第二产业	10.32	8.27	6.39	3.80	2.46
第三产业	10.17	9.35	8.39	6.19	4.48

表 2 不同年份各部门 GDP 构成（单位：%）

部门结构	2005 年	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
第一产业	12.4	10.1	6.8	4.3	3.1	2.5
第二产业	47.8	49.2	48.7	45.5	40.6	36.4
第三产业	39.8	40.8	44.5	50.2	56.2	61.2

人口情景主要考虑近期的几个主要规划和研究数据。政府继续对中国人口增长进行控制，农村人口生育状况也在不断改善，计划外生育有所减少，中国人口基本按照目前的构架向前发展。

尔后，随着中国经济的不断发展和人们生育观念的逐步改变，外加人口高峰到来后面面临负增长局面，政府有意识地放宽对人口增长的限制，间隔生育措施逐

步实施,使中国的人口数基本维持在一个较低水平。这里主要采用了计生委的人口发展情景,并利用 IPAC-人口模型进行了分析。在这种情景下,2030—2040年之间中国人口达到高峰,为 14.7 亿左右,2050 年下降到 14.6 亿。各时期的人口情况见表 3。

表 3 2000—2050 年中国人口情景

人口构架	2005 年	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
总人口/百万人	1307	1360	1440	1470	1470	1460
城市化率/%	43	49	63	70	74	79
城市人口/百万人	562	666	907	1029	1088	1138
城市每户人口/人	2.96	2.88	2.80	2.75	2.70	2.65
城市户数/百万	190	222	288	337	365	380
农村人口/百万人	745	694	533	441	382	302
农村每户人口/人	4.08	3.80	3.50	3.40	3.20	3.00
农村户数/百万	183	190	181	160	152	144

4. 中国未来能源和排放情景

4.1 情景设计

为了能比较全面反映我国未来温室气体可能的排放途径,依据 IPAC 模型组以前的 2050 情景研究,根据与未来排放密切相关的几个主要因素设计了三个排放情景。

第一个是不采取气候变化对策的情景(Business as Usual, BaU, 即基准情景)。以各种可能的发展模式设计了一个情景,主要的驱动因素是经济发展。根据以往情景分析研究的结论,基本反映目前所能回顾评述到的有关中国未来 50 年的经济发展途径。人口发展模式按国家人口规划,即在 2030—2040 年间达到人口高峰 14.7 亿。

第二个情景是低碳情景(Low Carbon Scenario, LC),考虑我国在国家能源安全、国内环境、低碳之路因素下,通过国家政策所能够实现的低碳排放情景。这个情景中主要考虑国内社会经济、环境发展需求,在强化技术进步、改变经济发展模式,改变消费方式,实现低能耗、低温室气体排放因素下,依据国内自身努力所能够实现的能源与排放情景。

第三个是强化低碳情景(Enhanced Low Carbon Scenario, ELC),主要考虑在全球共同一致减缓气候变化的共同愿景下,中国可以进行的进一步贡献。考虑在全球共同努力情况下,进一步强化技术进步,重大技术成本下降更快,发达国家的政策会逐渐扩展到发展中国家;2030 年之后中国经济规模已经是世界最大,可以进一步加大对低碳经济的投入,更好地利用低碳经济提供的机会促进经济发展;同时中国在一些领域的技术开发以居于世界领先地位,如清洁煤技术和二氧化碳捕获与封存技术(CCS),CCS 在中国得到大规模应用。

4.2 情景分析

利用前述 3 个模型，根据一些模型的详细参数设计（限于篇幅，在此不对详细参数进行介绍，另见相关研究报告），得到 2050 年中国的能源和 CO₂ 排放情景。3 个情景的一次能源需求量见表 4-6。

表 4 一次能源需求量，百万吨标煤，基准情景

年份	煤	油	天然气	水电	核电	风电/ 太阳能	生物质 能电	醇类 汽油	生物 柴油	合计
2000	944	278	30	85	6	0.4	1.0	0.0	0.0	1346
2005	1536	435	60	131	20	0.8	1.9	1.8	0.6	2189
2010	2424	628	109	217	28	7	16	10	0.6	3438
2020	2991	1096	271	294	90	20	30	22	3.1	4817
2030	2932	1708	460	358	181	54	44	33	7.9	5526
2040	3001	1710	532	380	380	84	71	36	8.5	6202
2050	2925	1836	668	397	595	103	86	39	9.2	6657

表 5 一次能源需求量，百万吨标煤，低碳情景

年份	煤	油	天然 气	水电	核电	风电	太阳能 发电	生物质 能电	醇类 汽油	生物 柴油	合计
2000	944	278	30	85	6	0	0	1	0	0	1346
2005	1536	435	60	131	20	1	0	2	2	1	2189
2010	2173	528	109	207	46	12	0	9	2	1	3087
2020	2195	843	349	375	136	51	1	32	8	6	3996
2030	2091	964	529	401	301	92	4	52	28	12	4474
2040	2063	1010	628	424	471	118	9	61	36	13	4833
2050	1984	1025	745	422	760	169	20	68	44	14	5250

表 6 一次能源需求量，百万吨标煤，强化低碳情景

年份	煤	油	天然 气	水电	核电	风电	太阳能 发电	生物质 能电	醇类 汽油	生物 柴油	合计
2000	944	278	30	85	6	0	0	1	0	0	1346
2005	1536	448	60	131	20	1	0	3	1	0	2203
2010	2083	532	107	180	40	18	0	8	2	1	2971
2020	2144	838	330	354	145	66	1	31	8	6	3921
2030	1903	943	491	395	301	156	5	49	20	12	4275
2040	1814	993	604	429	497	214	16	59	22	13	4660
2050	1715	1032	710	420	761	239	37	63	23	14	5014

2050 年基准情景一次能源需求量由 2005 年的 21.89 亿吨标准煤增加到 66.57 亿吨标准煤，其中煤炭占 44%，石油占 27.6%，天然气占 10%，核能发电占 9%，水力发电占 6%，风电、生物质能发电等新能源和可再生能源占 3.4%。

2050 年低碳情景一次能源需求量由 2005 年的 21.89 亿吨标准煤增加到 52.50

亿吨标准煤，其中煤炭占 37.8%，石油占 19.5%，天然气占 14.2%，核能发电占 14.52%，水力发电占 8.0%，风电、生物质能发电等新能源和可再生能源占 6.0%。根据化石能源消费量，可以计算出 CO₂ 排放量，见表 7。

表 7 化石燃料燃烧 CO₂ 排放量， 10⁶ 吨

年份	基准情景	低碳情景	强化低碳情景
2000	867.2	867.2	867.2
2005	1409.3	1409.3	1409.3
2010	2134	1943	1943
2020	2779	2262	2194
2030	3179	2345	2228
2040	3525	2398	2014
2050	3465	2406	1395

强化低碳情景的 CO₂ 排放量与低碳情景相比 2030 年之后开始有明显下降，2050 年和低碳情景相比下降了 42%。与低碳情景相比，在进一步强化节能的基础上，一次能源需求量下降 4.5%，可再生能源发电、核电等发电量占总发电量的 58%，增加了 7%。同时燃煤电站在 2020 年之后大规模普及煤气化联合循环发电技术（IGCC），同时配备 CCS。钢铁、水泥、电解铝、合成氨、炼油、乙烯等高耗能工业普遍使用 CCS。建筑普遍使用可再生能源技术，如采用先进太阳能热水器供热水和采暖，同时户用风电和光伏技术在适合的建筑及地区得到普遍使用。

5. 实现低碳情景的发展之路

5.1 我国未来能源需求和温室气体排放趋势

未来能源与排放情景研究显示，我国能源需求量呈持续增长趋势。从目前到本世纪中叶，随着我国社会经济持续稳定地增长，能源需求量增长明显。若要实现较低的能源需求（如达到政策情景和强化低碳情景的能源需求量），需要付出相当大的努力，包括优化经济结构和能源结构、建立和完善能源市场、通过技术进步实现 50 年年均 2.95% 的较高节能率等。这些情景的结论表明，我国未来能源增长速度为经济增长速度的 40%—65%（即能源弹性为 0.4—0.65），与发达国家在经济起飞阶段的历程相比，这是相当低的。

未来 50 年，随着能源消费量的增长，我国能源活动所引发的温室气体排放量同样处于上升趋势。2050 年基准情景 CO₂ 排放量最高会接近 34.60 亿吨碳，而低碳情景中则有可能将 CO₂ 排放量降低 31%。

5.2 实现低能源需求和低碳经济的途径

实现低能源需求和低碳经济的途径包括：调整经济到一个低能耗高效的产业结构；全面实现用能技术的先进化，通过多种政策措施大范围普及先进高效技术；全面合理发展可再生能源和核电，使它们在一次能源中的比重占据重要位置；全民参与，改变生活方式，寻求低碳排放的消费行为。发展低碳农业，增加森林覆盖面积并加强管理等。

这些对于中国来讲，就是要优化产业结构，控制高耗能工业发展，减少和控制高耗能产品出口；争取在 2025 年左右使中国工业的能源技术效率达到当时世

界先进水平；大力发展使用可再生能源技术，如风力发电、水电要进一步大规模普及，光热发电、光伏发电技术要进行接近商业利用的示范；全面大力发展核电，特别是着重发展第三代、第四代先进核电技术；大范围提高公众意识，使低碳生活方式成为普遍行为。

可以看出，目前中国正在进行的节能减排努力方向与对未来的能源需求和低碳经济的要求是很一致的。因此低碳经济并非是一个全新的、额外的努力，而是要在现在的国家能源、环境对策和可持续发展政策上进一步的扩展。

中国需要推行一揽子政策，相信中国的能源政策和节能政策在今后完全整合起来。中国有自己的节能政策，从全球的角度来看实际上也就是中国的减排政策，中国在这方面做了很多工作。

5.3 实现低碳情景的措施

能源转换、使用和供应技术的发展对未来能源需求和温室气体排放趋势有着相当重要的影响。经济发展、人口变化和收入以及使用技术的变化是影响能源消费数量及其质量的主要因素，而资源和转换技术则是保障能源供应数量和质量驱动力，技术进步特别是先进技术将使大量潜在的常规油气、非常规油气以及其他清洁能源资源的开发、利用具有经济性、较高的利用效率和较好的环境效益。因此，应将技术发展政策的制定过程与经济发展和应对气候变化对策结合起来，利用我国自然资源条件，着重发展一些具有国际领先地位的重大清洁能源开发、转换和利用技术，使之既有利于能源环境发展，同时也有利于经济发展。

2006年中国确立了可再生能源未来规划目标，今后新能源在能源消费结构中所占比例可能会翻番。还有就是混合动力汽车，氢燃料和纯电力汽车今后很快会投入到中国市场，而且价格并不昂贵。这会比当前在中国市场上销售的丰田混和动力汽车便宜很多，目前混和动力汽车过高的价格会让中国人无法承担。

根据情景分析，混和动力汽车价格的降低会让更多的汽车厂商把低价节能汽车投入中国市场。据预测，2030年中国汽车保有量有可能会达到4亿辆，但是考虑到小汽车效率提高，以及公共交通大力发展，非机动车出行增加，有可能在每增加1亿辆小汽车的情况下，石油消费仅增长3000万吨—4000万吨。在考虑排放问题的情况下，政府需要提高公共交通水平并制定相关法规控制机动车尾气排放，还需看到，生物燃料正在中国快速发展，中国已经开始开发第二代生物燃料生产技术。

根据本文对未来的预测，在2030年之前，即使是最低的能源发展情景，中国仍然会排放一定数量的温室气体。这个问题十分值得关注，因为这对各个行业都提出了更高的要求。不同的政策和不同的技术组合对减排效果的影响是相当大的。中国可以用来发展超临界技术的时间不多，因为需要尽快进入下一代先进发电技术，即IGCC技术，以为普及CCS打下基础。中国电站设备制造企业对于IGCC的技术非常重视，已经开始投入大量自有资金用于这项技术的开发，这是多方合作的结果。

对于碳税的设计，不同的研究结果也不尽相同。但是对于中国来说，最好是先实行燃料税，之后是能源税，再逐渐过渡到碳税。这里面最重要的是中国必须要利用目前这个机会，更好地支持中国有关的工业进行碳减排。

5.4 实现低碳情景的投资与成本

中国发展低碳经济的基于在于成本优势，与日本、美国、欧美相比，中国可

以以较低的成本来发展低碳经济。从燃料角度来说，在中国采用超临界机组的成本可能会比普通的火力发电更低一些，虽然超临界初步投资非常高，但是因为中国存在投资过热现象，所以发展低碳技术的资金问题不是很大。

为了实现低碳经济，需要加大投入。在这里的情景研究中，分析了各种投资和成本。

图 2 给出了能源工业的投资。有两个因素，一是低碳情景中由于节能导致能源需求明显小于基准情景，因此从能源工业的规模上看，低碳情景的投资小于基准情景。二是低碳情景中的技术成本要高于基准情景，导致对能源工业的投资增加。这两个因素结合起来考虑，可以从图中看出，低碳情景中能源工业的投资略小于基准情景。

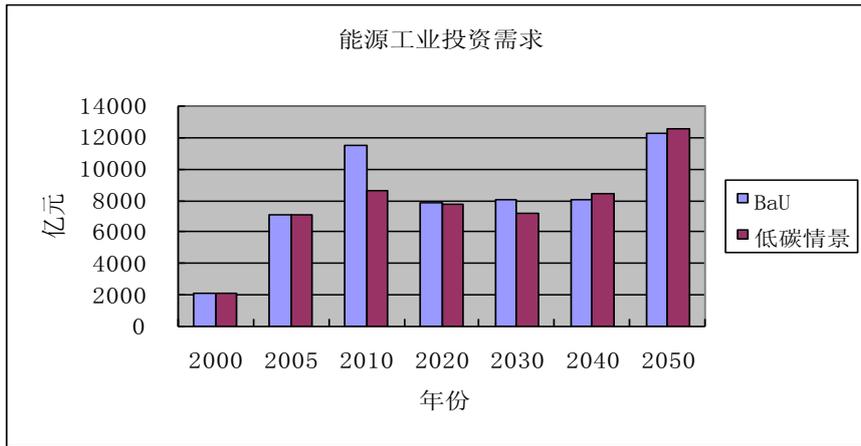


图 2 能源工业投资需求

全国的能源花费是另一个衡量国家投入的指标。全国能源花费是指终端能源量乘以能源价格。一方面，由于节能，低碳情景中终端能源需求量下降，花费减小；同时又由于增加能源税和碳税后，能源价格上升导致花费增加。从图 3 中可以看出，总体上看，低碳情景的能源花费要低于基准情景。如果不考虑能源税和碳税，低碳情景中的能源价格与基准情景相比是下降的。

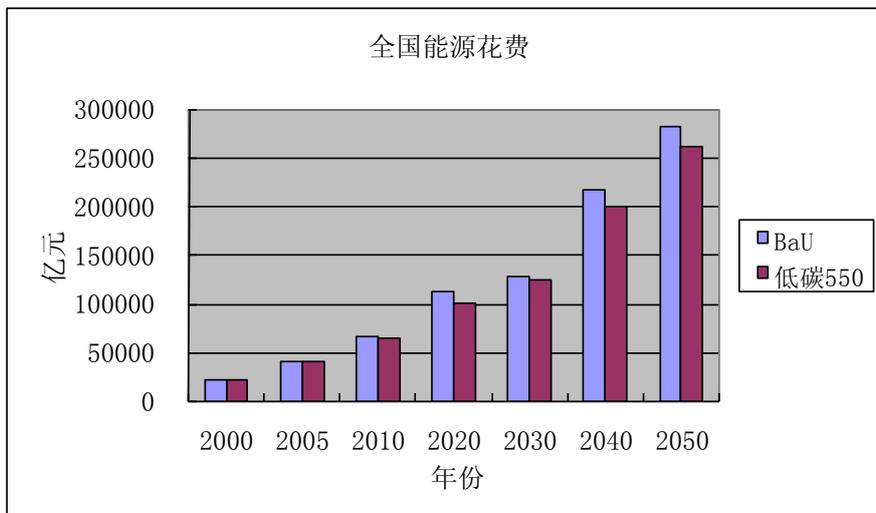


图 3 能源花费

在情景分析中也给出了实现低碳情景的终端部门的额外投资。这里比较难以界定，为了便于计算，考虑了模型中主要用能技术的投资差别，同时也包括了对公共交通（包括地铁）的投入（见图4）。

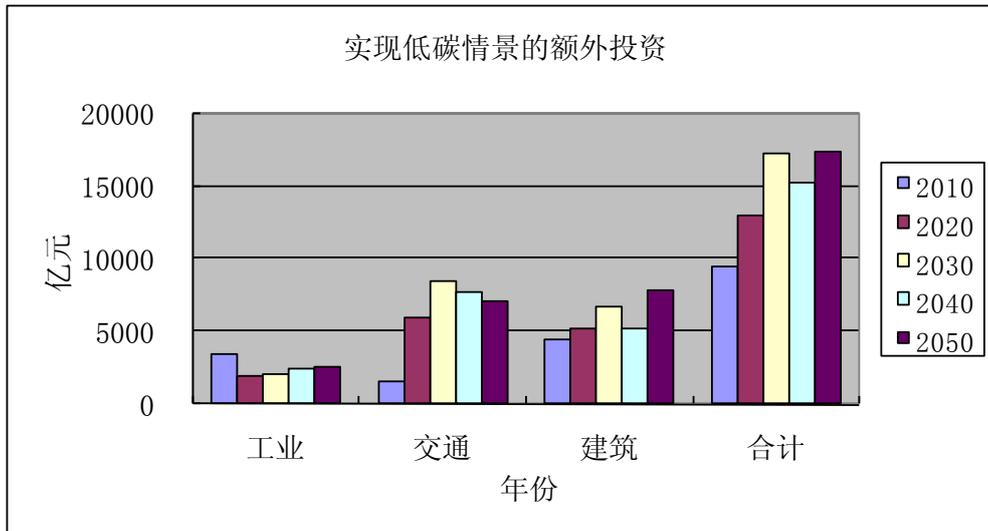


图4 实现低碳情景的额外投资

6、结语

中国作为一个经济快速增长国家，未来的能源需求和相应的温室气体排放将快速明显增加，到2030年将比2005年增加1倍以上。但中国也存在很大的机会在2020年之后将CO₂排放控制住，可以基本稳定下来，不再出现明显增长。中国要实现低碳发展路径，必须从现在就采取合适于低碳发展的政策，否则由于技术锁定效果，实现低碳发展的机会会越来越小。

此文章发表于2009年第六期《中外能源》