

关于中国远期运输需求和交通业能源消费的思考

Analysis of Transportation Demand and Energy Consumption of the Transport Sector in Future China

信璞投资研究员 杨冠淳

2013 年 3 月¹

目录

摘要.....	3
前言.....	4
第一部分：中国远期交通运输需求测算的方法论.....	5
第二部分：中国交通运输发展的背景.....	6
第三部分：美国，日本和德国的交通运输模式.....	13
第四部分：中国远期国内交通运输需求量的测算.....	19
第五部分：中国远期国内交通运输能源消费的测算.....	24
第六部分：启示和建议.....	30
参考文献.....	32

相关表格和图表

表格 1：日本 2007 年各种运输方式的终端能源强度比较.....	7
表格 2：中美部分大宗商品产量比较.....	8
表格 3：国家和地区的人口地理交通数据比较.....	9
表格 5：我国交通运输业发展主要指标.....	10
表格 6：高速公路路网密度.....	11
表格 7：铁路运输基础设施和路网密度比较.....	11
表格 8：2010 年全国铁路运输主要品类.....	11
表格 9：中国人口预测（单位：亿人）.....	19
表格 10：美国 NHTS 调查数据.....	20
表格 11：德国居民出行统计.....	20
表格 12：国内城市出行统计数据.....	21
表格 13：客运周转量测算结果.....	21
表格 14：客运周转量结果敏感性分析.....	21

¹ 该文初稿完成于 2012 年 5 月份，2013 年 3 月做了最终修改。

表格 15: 货运周转量测算假设和结果.....	22
表格 16: 货运周转量测算结果的敏感性分析.....	22
表格 17: 美国和日本工业化期间的客货运周转量增速 (单位: %)	23
表格 18: 中国货运周转量峰值时间测算.....	23
表格 19: 中国交通耗能估算 (亿吨标油), 直接类比.....	24
表格 20: 2007 年美国各类交通运输方式能耗强度.....	25
表格 21: 2007 年日本各类交通方式能耗强度.....	25
表格 22: 中国远期交通运输能耗测算表.....	26
表格 23: 中国铁路里程测算.....	28
图表 1: 中国交通运输数据结构.....	6
图表 2: 中国经济区域划分.....	7
图表 3: 美国 1960-2009 国内旅客出行结构 (单位: 十亿人公里)	13
图表 4: 日本 1950-2009 年国内旅客周转量结构 (单位: 十亿人公里)	13
图表 5: 中国 1952-2010 的城际客运结构演化 (单位: 十亿人公里)	14
图表 6: 美国 1920-2001 城际货运周转结构 (单位: 十亿吨公里)	15
图表 7: 美国 1980-2007 年货运周转量结构 (单位: 十亿吨公里)	15
图表 8: 日本 1950-2009 年国内货物周转量 (单位: 十亿吨公里)	15
图表 9: 中国 1952-2010 年城际货运结构演化 (单位: 十亿吨公里)	16
图表 10: 美国交通运输结构和能耗结构.....	17
图表 11: 美国石油供需.....	17
图表 12: 日本交通运输结构和能耗结构.....	18
图表 13: 德国交通运输和能耗结构.....	18
图表 14: 参照国家人口数据比较.....	19
图表 15: 美国, 日本, 德国按交通方式加总合计的人均年周转量 (单位: 客公里/年)	20
图表 16: 日本, 德国和美国的人均年货物运输量 (单位: 吨)	22
图表 17: 美国铁路运输负荷 1890-2009 (单位: 万换算吨公里每正线延展里程)	27
图表 18: 美国人均机动车保有量图 1.....	28
图表 19: 美国人均机动车保有量图 2.....	28
图表 20: 中国石油产量和消费量.....	29

摘要

本文采用类比法，以人口、地理和经济发展模式等与中国存在一定可比性的美国，日本和德国作为参照系，以这些国家后工业阶段的较为稳定的交通流量数据和能耗数据为基础，测算出中国远期的客货运周转量将分别可达到 21 万亿人公里和 24.5 万亿吨公里，其中货运周转量相当于中国 2010 年货运周转量的 2.6 倍。进一步分析表明即便在强节能的情景下，中国远期交通业的一次能源消耗总量可以达到 14 亿吨标油，其中石油占 7.9 亿吨，中国优化交通业耗能的任务十分紧迫。文末据此给出了建议，包括发展大都市圈和立体化城市，大力发展客货运铁路和城市轨道交通，推动电动车技术，发展管道、水运和集装箱运输，推动电气化技术等。

关键词：运输结构 运输需求 能源消耗 国际比较 铁路运输

Abstract

Given the similarities in demography, geography as well as economic development mode among future China, USA, Japan and Germany, this article adopts an analogy methodology and use the post-industrial stabilized data in the transport sector of these three developed countries as basis to predict the passenger-kilometers and ton-kilometers of freight in future China, which could amount to 21 trillion PKms and 24.5 trillion TKms respectively. The freight volume in future China is expected to be about 2.6 times of that in year 2010. Further analysis suggests that even under the scenario of strong energy saving, the total primary energy consumption in the transport sector in future China may reach to 13.7 trillion TOEs, 7.6 of which is petroleum. This result highlights the urgency and importance of optimizing the transport sector. Policy recommendations are proposed based on the above analysis, including planning of metropolitan cities and three dimensional cities, development of passenger and freight railways along with urban metro systems and accelerating the growth of the electromobile industries.

Key words: transportation structure, transportation demand, energy consumption, international comparison, railway transportation

前言

交通运输业对国民经济和社会的意义犹如血脉相对于人体，它支撑着经济体中人流和物流等要素的位移，是整个经济运行和社会发展的基础。在改革开放 30 多年里，同步于中国经济奇迹的创造，中国的交通运输业也取得了长足的发展。截止到 2010 年，中国交通运输业完成的城际客货运周转量已经分别达到 27894 亿人公里，95838 亿吨公里（扣除远洋运输），完成的客货运量分别达到 326.95 亿人次，318.3753 亿吨，折合人均年周转量为 2080 公里，人均年货物运输量 24 吨。展望未来，我国经济发展的两大驱动力，即工业化和城市化，仍将在相当长的时间里保持较高的增速；经济发展，居民收入提高，都将带来进一步的客货运需求。从国际对比的角度，发达国家的人均年周转里程处在 10000-30000 公里的区间，人均货物运输量在 40-70 吨。显然，我国的交通运输行业还有巨大的发展空间。若以客货运周转量来衡量，这个发展空间会有多大呢？这是我们在本文中试图回答的第一个问题。

另一方面，交通运输的发展对我国的能源供应，环境保护以及土地资源利用等构成了巨大的挑战，其中又以能源供应问题最为严峻。我国的基本国情是：富煤、贫油、少气，人均资源拥有量十分有限，石油资源的瓶颈尤为明显。2010 年我国共消耗石油 4.286 亿吨，占全球石油消费量已经从 2000 年的 6.27% 上升到 2010 年的 10.64%，这还是在同期我国原煤产量从 13.84 亿吨上升到 32.4 亿吨的背景下实现的。按照（消费-生产）/消费的口径，我国 2010 年的石油依赖度已经达到了 52.64%，再创历史新高。而交通运输板块，恰恰是石油消费最为密集的领域。以美国为例，每年石油消费量中大约有 70% 来自交通运输板块。我们在对统计局的数据按国际可比口径调整后发现，2009 年我国交通运输消费的石油占总石油消费量的 55% 左右，消费的能源占终端能源消费的 15.5%。我国交通运输业的发展对能源消耗，特别是石油消耗会带来什么样的影响呢？这是我们试图回答的第二个问题。大概率上，能源供应是我国交通运输业发展的最大制约因素。

在本文中，我们对中国交通运输业发展的背景，包括人口，地理和能源消费，交通运输发展历程等进行了讨论和国际比较。接着，我们分析了发达国家交通运输业的演化情况。在此基础上，通过类比法，我们测算了中国远期的交通运输需求。进一步的，以满足交通运输业的需求为目标，我们讨论了中国的能源消费结构和供给问题。文末给出了有关优化发展交通运输业的建议。全文结构如下：

- 第一部分：中国远期交通运输需求测算的方法论
- 第二部分：中国交通运输发展的背景
- 第三部分：美国、日本和德国的交通运输模式
- 第四部分：中国远期国内交通运输需求量的测算
- 第五部分：中国远期国内交通运输能源消费的测算
- 第六部分：启示和建议

第一部分：中国远期交通运输需求测算的方法论

由于影响交通流量的因素十分之多，判断全社会的交通流量的变化是一个非常困难的课题。例如，人口数量及其分布，经济活动量和活动的特点，人口迁移的历史及文化习惯，资源分布的情况，能源的构成和消耗，农产品的产地和消费地等等。对这些因素的分析需要大量可靠的数据作为研究基础。而现实情况是，我们目前可以获得的历史统计数据 and 各个地方资料又相当匮乏。从这点考虑的话，这几乎是一个不可能完成的任务。

然而，这又是思考当前中国的经济发展不可能回避的问题。学者们在这个问题上已经做了不少尝试和努力。他们采取的预测方法包括但不限于以下：

- 1) 传统的计量经济模型，其中最为常见的包括时间序列模型和回归模型等。时间序列模型主要根据的是历史客货运周转量的发展趋势进行线性外推，回归模型则是通过考察历史交通需求和主要驱动因子（如人均 GDP 等）的相关关系，然后通过预测未来驱动因子的数值来间接获得交通运输需求
- 2) 弹性系数分析法。这可看成是特殊的单因素计量模型。其研究方式是考察发达国家在不同阶段的交通需求增速和人均 GDP 增速的关系（用弹性系数量化），从而定性的判断中国未来不同发展阶段的弹性系数，进而得到交通需求

我们借鉴了这些研究方法，但选择了更为简单和直观的类比法来进行测算。具体做法是：结合中国地理，资源禀赋，经济和社会条件，选择可比的发达国家作为参照系，以他们后工业化阶段的交通流量数据为基础做定性调整，最终匡算出中国可能的交通运输流量。可以说，这样的测算方式相对简单，结果未必非常严谨。但好处也很明显，即结果直观，且可帮助我们在现有条件下，来预估我国交通流量的上下限，不至于在数量级上产生误判，以至于在投资和建设中产生重大的方向性错误。

这种测算方式有两个前提条件需要满足。第一，交通流量发展是否存在极限。从发达国家的数据可以看到，在工业化后期人均水平的交通流量和能源消费量将稳定在某一水平，这其实可以用资源的约束来解释，特别是时间的约束（假设交通运输技术不发生革命性的变化）。第二个条件则是参照体的相似度。考虑到这点，我们选择的参照国家是美国，日本和德国，这主要因为：

- 1) 这三个国家经济高度发达，交通运输发展先行，人均旅客周转量和货物需求量已趋于稳定
- 2) 美国地域广阔，在国土面积上与中国接近，在客货运需求，特别是货运方面较有参考意义。其代表了粗放型的能源消耗和交通运输模式，在测算中我们将其视为交通运输需求的上限值
- 3) 日本人口密度方面与中国人口聚集区域接近，且代表了相对节约型经济发展方式。德国同样选择了节约型经济发展方式，其人口密度与中国人口聚集区相比略低，但与中国同属于大陆国家，因而有一定的参考意义

第二部分：中国交通运输发展的背景

作为后续分析和讨论的背景，本节中我们将对一些基本概念进行解释，并对中国的人口，地理，能源供需情况和中国交通业的发展情况做介绍。同时我们也进行了适当的国际比较。

1) 有关交通运输的基本概念

交通运输可以定义为实现人和物位置变化的活动和相应的基础设施。中国的国内交通运输，按照运输对象，运输载体以及运输活动的位置，结合数据的可获得性，可以划分为以下结构：

图表 1：中国交通运输数据结构

数据来源：信璞投资

数据口径说明：客货城际运输的数据来自国家统计局，其中公路仅涉及营运性汽车，私人轿车等则不包括在内。2009 年统计局开始发布城市客运数据，内容涉及公共交通和出租车等，不包括私人汽车。涉及国内私人汽车和其他机动车的运输量为估算值。

这里也涉及到交通运输结构的概念。通常来说，交通运输结构的内涵有两层：一层是方式内的概念，即单一运输方式内的结构，如公路运输中，客货运输的占比，各类机动车占比等等；另一层含义是基于方式间，狭义上包括铁路，公路，水运，民航和管道的传统五大类别，广义上还应该包括输电，输送高载能物品等方式。各种运输方式有各自的突出特点：

- 铁路运输的突出特点是运力大，经济性高，能耗低，适合中长距离的大宗商品运输以及大流量的旅客运输
- 公路运输的突出特点是通达性好，能解决最后一公里的问题，可发挥交通体系中毛细血管的作用，连接其他各种交通方式；缺点是消耗石油且单位周转量能耗较高
- 内河和沿海航运的突出优势是运力大，经济性最高，但受制于航道
- 民航突出特点是速度快和舒适性高，适合远距离的客运和高附加值的货物运输，但单位能耗最高
- 管道运输可以理解为不间断的铁路运输，运量大，经济性好，但只适用于流体

从下表日本的数据可清晰看到铁路在能耗上要远低于公路和航空，优势巨大。从节能角度考虑，单一运输方式的能效提高所产生的节能减排效应，有时要远远低于优化不同交通方式构成的交通结构的影响。需要说明的是，此处船舶的数值参考意义不大，客运方面估计是

游轮为主，难以满足大量的旅客出行需求；货运的数值也偏高。我们进一步对上市公司中航运和中远发展的能耗进行了估算，结果处在 120~145Btu/吨公里的水平。查阅相关文献可知，目前国际上的先进水平的水路货运吨公里能源消费在 150-200Btu 之间（载重量高的大船可以控制在 100BTU/吨公里以内）。水运相比铁路仍存在竞争力，但发展受制于航道等级等天然条件。

表格 1：日本 2007 年各种运输方式的终端能源强度比较

	公路	铁路	船舶	航空
客运强度 (Btu/人公里)	1,981	168	15,208*	1,541
货运强度 (Btu/吨公里)	3,545	186	541*	20,572

数据来源：日本统计局

* 船舶运输的能耗强度数据是根据日本统计局的数据直接计算得出。在这个结果中，船舶的货运能耗强度比经验的数据要高。我们根据有关航运公司的年报计算出的船舶的货运能耗强度是略低于铁路的。

2) 中国的人口和地理要素

人口和地理是影响交通运输的基础要素之一。我国地域辽阔，各个地区由于人口，自然资源，地理环境，制度，经济发展以及历史的差异，在其发展中形成了特定的经济圈。对此，国家统计局于 2011 年 6 月发布了划分办法，依照不同地区的社会经济发展情况，将我国的经济区域划分为东部、中部、西部和东北四大地区。如下图：

图表 2：中国经济区域划分



数据来源：中国国家统计局

就我们的研究目的而言，我们把全国分为两大区域，人口聚集区和非聚集区。人口聚集区定义为：交通便利，地形平坦，且水资源和其他自然资源相对充足的人口较稠密区域。这个区域包括以下省和地区：北京，天津，河北，山西，辽宁，上海，江苏，浙江，安徽，福建，江西，山东，河南，湖北，湖南，广东，重庆，四川，陕西，共计 19 个省和直辖市。地理分布上，大致是京广线以东的省份和地区，加上四川盆地，东北的辽宁，以及历史因素下的人口聚集区陕西和山西。我们认为这些地区将是中国未来主要交通流量的聚集区域，特别是旅客交通方面。非聚集区则是余下的区域。

将我国的人口地理数据与美国，日本和德国相比较可以有更直观的理解。从表格 3 可以看到，我国的区域间的人口经济特征有巨大差异。就我们定义的人口聚集区而言，其土地面积仅占中国面积的 30%左右，人口和经济总量却分别占到了 78%和 85%，客运量和货运量都

占到 80%以上。该地区的人口密度为 367 人/平方公里，与日本的水平相近，较德国高。人口密度的相近是我们选择日本和德国作为参照系的重要原因之一。而选择美国作为参照系的一个重要考虑就是两国国土面积相近，在大宗商品的需求和运输方面，以及货运结构上具备一定可比性，可见表格 2。

表格 2：中美部分大宗商品产量比较

	单位	中国 2010	美国 2007
粗钢产量	万吨	68326.5	9810.2
水泥产量	万吨	186795.7	9546.4
粮食产量	万吨	54647.7	109055.4
原油产量	万吨	20300	33910
煤炭产量	万吨	324000	104021

数据来源：中国、美国统计局

表格 3：国家和地区的人口地理交通数据比较

项目	单位	全国	聚集区	非聚集区	东部	中部	西部	东北	美国	日本	德国
国土面积	万平方公里	960	285	675	93	103	684	80	915	37	35
人口	万人	134,091	104,532	29,559	50,665	35,696	36,070	10,955	30,977	12,806	8,178
人口密度	人/平方公里	140	367	44	546	347	52	136	34	343	235
GDP	亿美元	63,732	53,922	9,810	33,836	12,557	11,871	5,467	145,265	59,901	32,805
人均 GDP	美元/人	4,753	5,158	3,319	6,678	3,518	3,291	4,991	46,894	46,777	40,115
能源消费总量	万吨标煤	306,647	241,273	65,374	132,817	66,160	75,672	31,998	343,698	77,075	48,399
人均能源消费总量	吨标煤/人	2.29	2.31	2.21	2.62	1.85	2.10	2.92	11.10	6.02	5.92
客运量	亿人次	327	279	48	155	71	80	21		899	
客运周转量	亿人公里	27,894	23,392	4,503	10,894	8,198	6,599	2,203	90,868	14,130	10,353
货运量	亿吨公里	324	259	65	126	92	80	26	114	54	37
货运周转量	亿吨公里	141,837	112,415	29,422	78,415	28,191	22,041	13,191	67,291	5,820	5,398
铁路里程	公里	91,178	53,732	37,446	20,349	20,774	35,964	14,088	300,493	27,338	33,708
公路里程	万公里	401	271	130	100	110	157	34	652	121	64
高速公路里程	公里	85,351	61,803	23,548	28,012	22,490	25,488	9,361	92,341	8,730	12,819
铁路路网密度	公里/万平方公里	95	189	55	219	202	52	175	328	732	967
公路路网密度	公里/万平方公里	4,175	9,509	1,927	10,727	10,704	2,277	4,278	7,127	32,417	18,488
高速公路路网密度	公里/万平方公里	89	217	35	302	219	37	116	101	234	368

数据来源：各国统计局，EIA 和世界银行

数据说明：

中国的能源消费总量数据和人均能源消费总量数据为 2009 年数据，高速公路数据为 2011 年数据，其余数据为 2010 年数据，汇率按 6.3RMB=1USD

美国的交通运输量和周转量为 2007 年数据，高速公路里程为 2006 年数据，其余为 2010 年数据

日本的交通运输量和周转量为 2007 年数据，其余为 2010 年数据，汇率按 80JPY=1USD

德国的交通运输量和周转量为 2007 年数据，其余为 2010 年数据，汇率按 1.32EUR=1USD

建国以来，中国的交通运输业取得了长足的发展。从运输结构来看，在改革开放以前，铁路是交通运输的重中之重，这与当时国家以工业化为发展重心的策略相符。改革开放以后，公路，港口交通等陆续成为交通运输的投资重点，尤其是最近十年，高速公路里程，民航运输，以及港口吞吐量都出现爆炸性的增长。相对其他交通方式的迅猛发展，由于种种原因，铁路基础设施建设明显滞后于经济发展的需要。

表格 4：我国交通运输业发展主要指标

指标	单位	1952	1978	2000	2010
铁路营业里程	公里	21,800	51,700	68,700	91,178
复线里程占比	%		16	37	45
电气化里程占比	%		2	25	49
公路里程	万公里	13	89	140	401
等级公路里程占比	%		58	87	82
高速公路	公里			16,300	74,100
民航营运里程	万公里		15	150	277
管道输油（气）里程	公里		8,300	24,700	78,497
内河航道里程	公里	73,600	136,000	119,325	124,242
等级航道里程占比	%		53	51	50
民用汽车保有量	万辆		136	1,609	7,802
沿海规模以上港口货物吞吐量	万吨	1,440	19,834	125,603	548,358
城际客运量	亿人次	2	25	148	327
城际客运周转量	亿人公里	248	1,743	12,261	27,894
城际客运平均运距	公里	101	69	83	85
城际货运量（不含远洋）	亿吨	3	25	134	318
城际货运周转量（不含远洋）	亿吨公里	762	7,342	27,248	95,838
城际货运平均运距（不含远洋）	公里	242	299	204	301
城市客运量	亿人次				1,074
私人机动车周转量	亿车公里				10,050

数据来源：国家统计局。其中铁路营业里程和内河航道里程的 1952 年栏的数据为 1949 年数，其他机动车周转量 2010 年数据为测算数。城际客货运量中，水路数据不包括远洋数据，民航数据包含了国内航空公司的国际航线数据。

我们把中国当前运输基础设施和路网密度与一些发达国家进行了比较。数据表明，中国交通运输业的发展已经进入从补缺口向调结构转换的阶段，交通运输的发展存在严重的结构性的不均衡。以高速公路为例，其在过去三十年实现了从零到世界领先的大跃进。按照目前许多省市和地区的规划，十二五末各地的高速公路密度将接近或超过世界上高速公路网络最发达的国家之一——德国。2010 年我们国家千人汽车保有量仍不到 60，而德国的千人汽车保有量已经接近 600。我国的多个省市的高速公路网都有过度发展的可能。

表格 5：高速公路路网密度

	面积	2015规划里程（公里）	路网密度（公里/万平方公里）
湖南省	211,829	7,273	343
河北省	190,000	6,762	356
湖北省	187,400	6,500	347
广东省	184,800	6,500	352
河南省	167,000	6,600	395
山西省	156,000	6,300	404
山东省	157,126	6,000	382
辽宁省	148,000	5,000	338
福建省	139,427	4,200	416
浙江省	104,141	4,200	403
江苏省	102,600	5,200	507
	面积	现有里程	路网密度（公里/万平方公里）
德国	348,610	12,819	368
日本	373,341	8,730	234

数据来源：发改委，德国、日本统计局

表格 6：铁路运输基础设施和路网密度比较

铁路路网密度比较	国土面积 (万平方公里)	铁路营业里程 (公里)	路网密度 (公里/万平方公里)
中国（2010）	960	91,178	95
中国东部（2010）	93	20,349	219
中国中部（2010）	103	20,774	202
中国西部（2010）	684	35,964	52
中国东北（2010）	80	14,088	175
美国（一级铁路，2009）	915	185,234	328
德国（2010）	35	33,708	967
日本（2010）	37	27,338	732
法国（2008）	54(本土)	29,901	571

数据来源：各国统计局和统计年鉴。中国东部，中部，西部和东北的定义参照统计局 2011 年 6 月出台的划分方法。

表格 7：2010 年全国铁路运输主要品类

指标	单位	2010 年完成	比上年±%	“十一五”完成	比“十五”±%
煤	万吨	200043	14.3	836499	61.4
冶炼物资	万吨	85500	10.1	372789	48.1
粮食	万吨	10109	-0.3	54737	8.4
石油	万吨	13834	4.5	72619	10.3
化肥农药	万吨	8618	3.1	42352	29.6
集装箱	万吨	8612	20.1	37146	33.9

数据来源：铁道部 2010 年铁道统计公报

铁路方面。截止到 2010 年底，我国铁路路网密度仅有 95 公里/万平方公里，东部和中部相对较高，分别达到 219 和 202 公里/万平方公里，但相比美国，日本和德国的水平而言，

我国的铁路网密度还远远不够。若进一步考虑旅客的出行，按照公里/万人的口径计算路网密度的话，我国的东部和中部的铁路网密度更是远远落后于美国日本德国，中东部地区的路网密度分别为日本的 1/5 和德国的 1/10。铁道部称 2007 年其旅客周转量，货物发送量，换算周转量，运输密度均达到世界第一，以占世界铁路约 6% 的营业里程，完成了世界 24% 的工作量。这种高运输效率的背后其实是铁路运力和运能短缺，而这并非单体现在旅客运输上。以煤炭运输为例，2010 年我国的原煤产量 32.4 亿吨，铁路运输仅能完成 20 亿吨。扣除坑口消费外，其中还有相当部分需要通过公路运输，比如山西省 2010 年的公路煤炭运输量达到 3.3 亿吨，内蒙 2010 年公路外运出区的煤炭量达到 1 亿吨。我国大量的煤炭运输由于铁路运力的不足，需要选择公路运输来实现，其单位运价为铁路的 4 倍。从能耗强度的角度看，公路货运的能耗强度是铁路的 19 倍（参加前文日本能耗数据）。单纯煤炭运输就造成巨额直接浪费。我们可以简单铁路运力不足而增加的煤炭运输成本做个测算。保守假设 2010 年公路外运 3 亿吨，平均运距 500 公里，按照吨公里 0.33 元的差额计算（货车 0.45 元/吨公里减去铁路 0.12 元/吨公里），2010 年的直接损失就高达 500 亿。第二，由于煤炭供需的边际价格是由公路运输决定的，公路的高运价导致铁路运输中产生了巨大的寻租空间。各种标准运价之外的灰色费用通过寻租进入相关利益体的腰包。这些额外的成本却加在终端的煤炭价格上，由最终的消费者承担。第三，由于铁路运力紧缺，国家优先保障大宗商品如煤炭等的运输，导致大量的白货无法通过铁路运输实现，大量的长途运输需要通过公路来承担，这也是中国公路超载问题产生的根源之一。

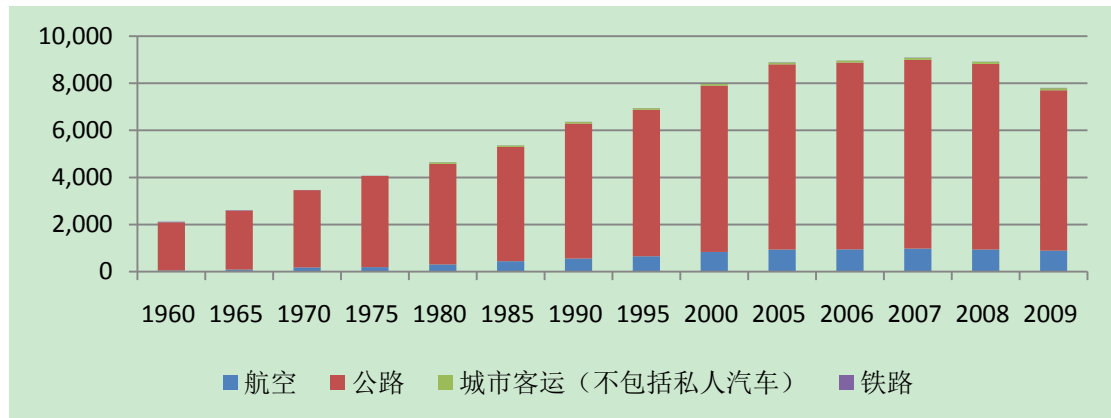
第三部分：美国，日本和德国的交通运输模式

在这一部分中，我们对发达国家的客运和货运结构变化进行讨论，然后再分别就美日德的运输结构做出分析。

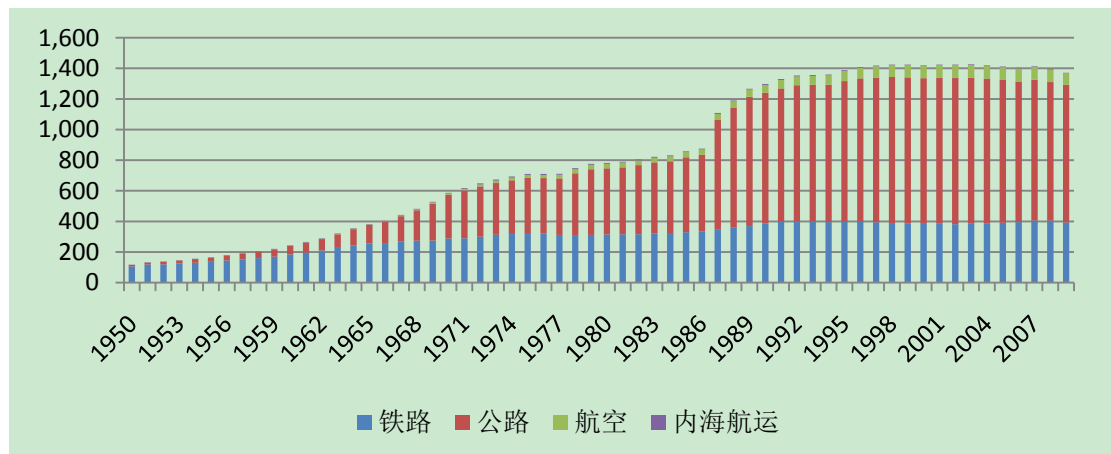
1) 发达国家客货运结构的历史演进

让我们先看客运方面。从以下的数据可以看出，随着经济发展，作为交通新技术的出现的公路交通和民航，凭借着其相对于其他交通工具舒适，便捷和效率的优势，在旅客出行中所占份额不断提升。在这点上，美国是一个极端。早在 20 世纪 50-60 年代，其国内的客运交通便主要依赖汽车。随着经济发展，道路交通市场份额并没有发生大的变动。与此同时，航空客运也快速发展起来，其他方式如铁路客运等的市场份额则不断降低。到 2009 年，美国国内公路客运周转量占了 88%左右，国内航空客运周转量接近 11%，航空加道路这两类高能耗的交通方式几乎占据了整个客运市场份额，城市公共交通和铁路客运方面几乎可以忽略。

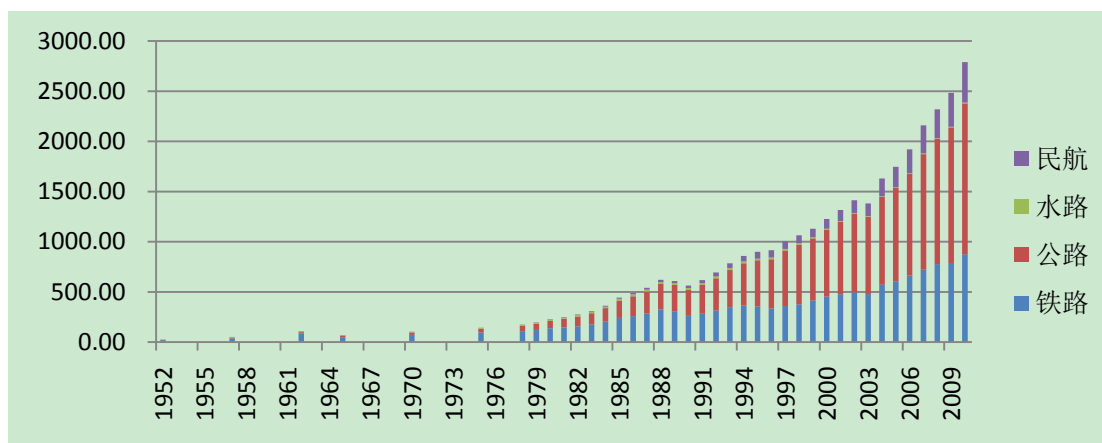
图表 3：美国 1960-2009 国内旅客出行结构（单位：十亿人公里）



图表 4：日本 1950-2009 年国内旅客周转量结构（单位：十亿人公里）



图表 5：中国 1952-2010 的城际客运结构演化（单位：十亿人公里）



数据来源：各国统计局和统计年鉴。中国的客运周转量数据仅包括了城际客运部分，不包括城市客运和私人汽车等非营运汽车的道路出行，航空部分包括了国内航空公司的国际客运部分；美国和日本数据则包含了国内的城际和城市客运部分。

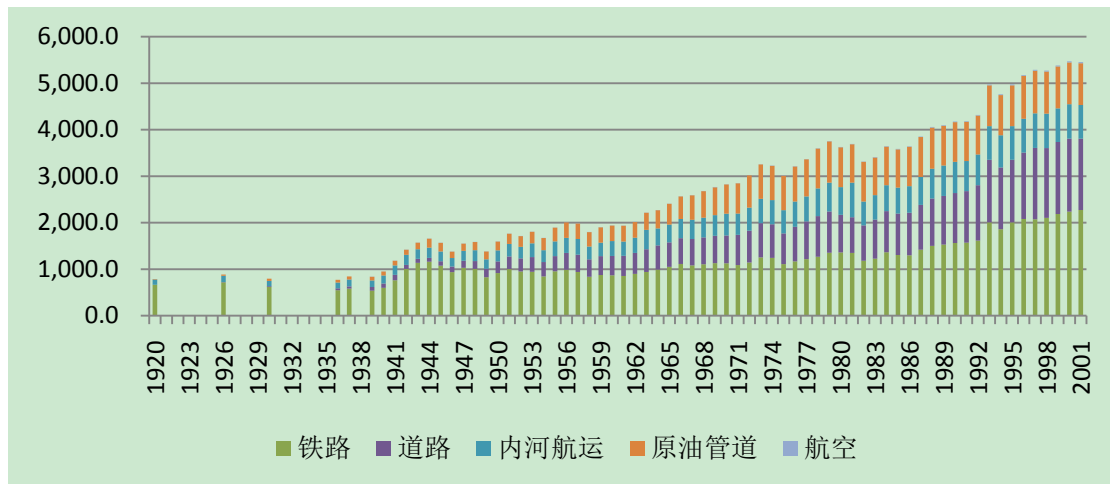
日本的经济崛起历史与中国有一定相似性，在过程中同样采用了出口和投资的方式来发展经济，以第二产业占比来衡量的工业化进程在 1971 年达到顶峰，达到 46%，GDP 增长则一直持续到 80 年代末期。交通运输方面，突出特点是轨道交通（包括城际铁路和城市地铁，轻轨等）在战后六十年的发展中稳步上升到 4000 亿人公里，而客运量的主要增量部分则被道路交通和航空占据。2007 年，铁路，道路，航空的客运周转量占比分别是 29%，65%，6%。

德国的早期交通运输数据由于东西德合并的影响导致可比性不是很大，但当前的客货运输结构仍然具备参考意义。2007 年，德国国内的客运周转量达到 10353 十亿人公里，其中铁路，公路，航空的占比分别是 7.64%，86.68%，5.68%，相比日本来说铁路发挥的作用有限，这应该与德国的人口密度较低，可利用土地资源较为丰富的有较大关系。

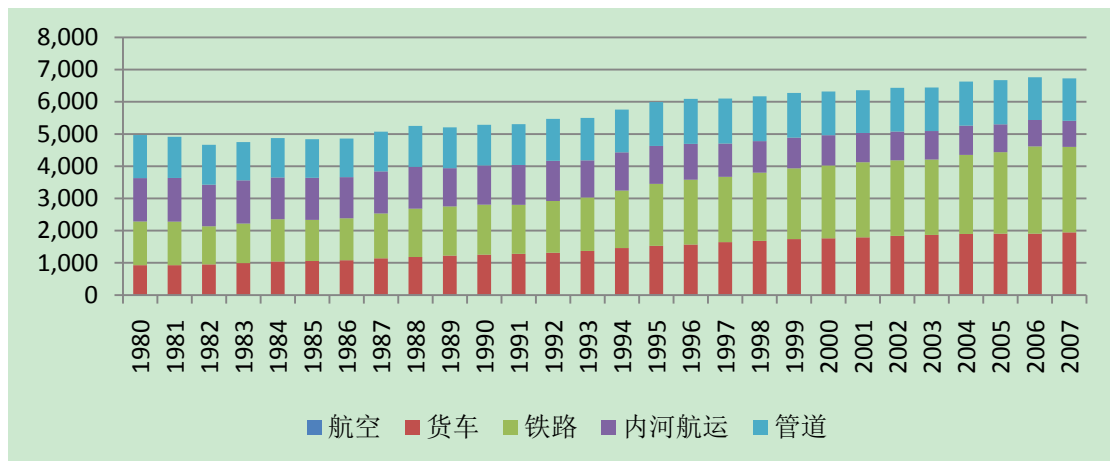
对比而言，中国的旅客出行结构基本沿着发达国家的路径演化。扣除航空的国际客运部分后，城际客运周转量中铁路，公路和民航占比达到 33.1%，56.8%以及 9.8%。铁路客运仍然占据重要比例，但市场份额已经从改革开放初期的 2/3 下降到 1/3。道路交通取代铁路成为最重要的出行方式，人均汽车保有量在飞速增长，2010 年达到 58 辆/千人。然而，若以全球比较的角度看，许多发达国家的千人汽车保有量都达到 400 以上，中国的人均汽车保有量还有很大的上升空间。这里的核心问题是，发达国家的路径是否可行，这点我们在后面会做详细的论证。

上述国家货运结构的演化趋势也与客运相近，道路运输在各国的货物运输结构最终都占据了较高的份额。美国方面，1920 年铁路运输占总的货物周转量约 84.3%，汽车运输为零，其他货物运输集中在内河航运和管道。一直到 70 年代末，美国铁路货物周转量的绝对额仍没有太大的变化，道路和管道贡献了货物周转量的增量部分，那时公路，铁路，内河水运，管道和航空分别占比 18.5%，27.4%，27.1%，26.9%和 0.1%。1980 年以 Staggers Rail Act 的出现为标志，美国进行了铁路体制改革，铁路运输重新焕发活力，其运力和经济性的优势再度凸显。2007 年，道路，铁路，内河水运，管道和航空占总的货物周转量比例分别为 28.6%，39.5%，12%，19.6%和 0.3%。

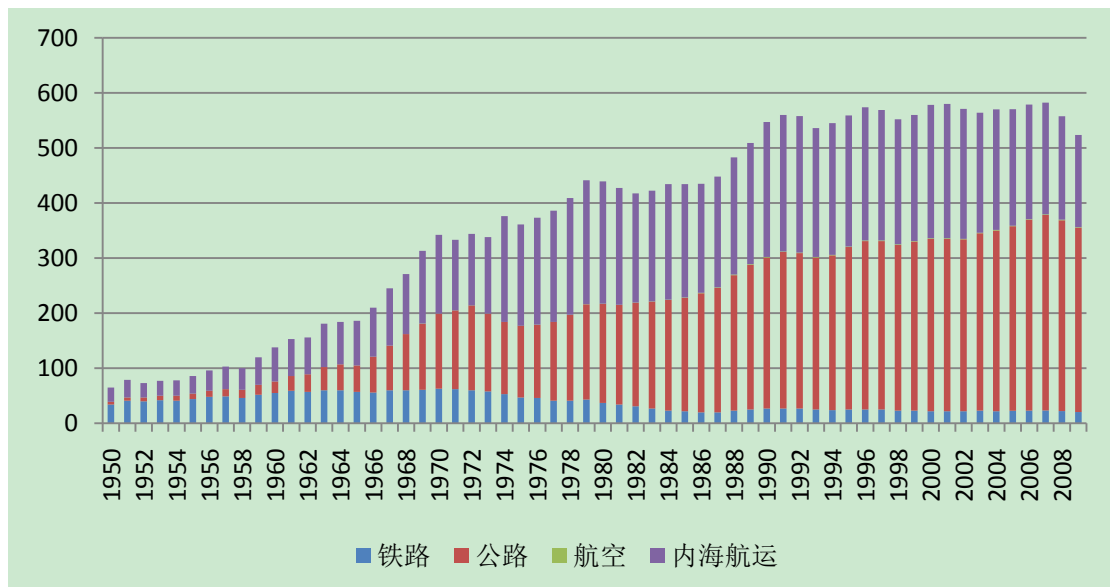
图表 6：美国 1920-2001 城际货运周转结构（单位：十亿吨公里）



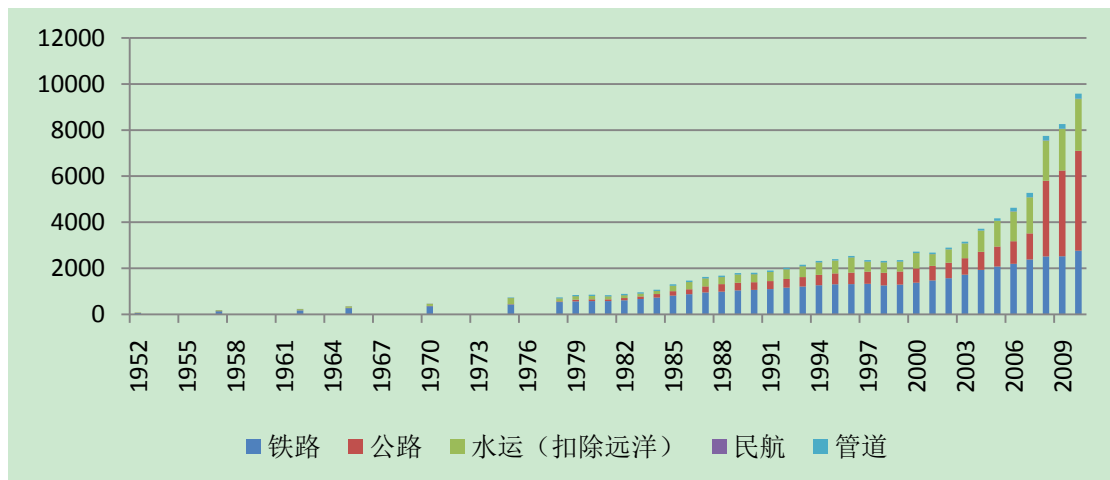
图表 7：美国 1980-2007 年货运周转量结构（单位：十亿吨公里）



图表 8：日本 1950-2009 年国内货物周转量（单位：十亿吨公里）



图表 9：中国 1952-2010 年城际货运结构演化（单位：十亿吨公里）



数据来源：中国数据来自国家统计局。1978 年以后的水运数据剔除了远洋运输部分，民航包括了国内航空公司的国际客货业务量。2008 年公路口径有所变化。美国数据来自 NTS 2011，包括 1920-2001 的城际货运数据，以及 1980-2007 的经过 BTS 调整过的货运数据，两者的统计口径存在差异。日本数据来自国土交通省统计年报。

日本的货运周转量的变化则相对特殊，体现出两个特点：第一，由于日本是岛国而不是大陆国家，相对海运而言铁路的长距离运输的优势难以发挥，占比一直在下降，而内海航运在货物周转量中占据显著比重，取代铁路成为中远距离货物运输的最重要方式；第二，道路货物交通的发展非常显著，即使在 90 年代左右经济增长陷入停滞，道路货物周转量份额仍在上升。2007 年，日本的货物运输周转量构成为：铁路 4%，公路 61%，内海航运 35%，航空接近 0%。

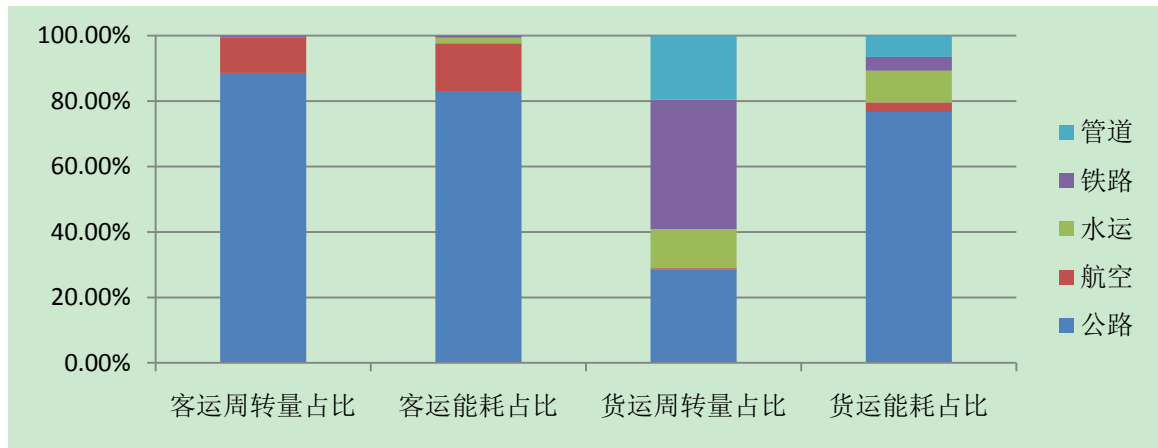
德国方面，从 90 年代初东西德合并一直到 2010 年，铁路和公路的周转量占比都在提升。2010 年，德国的货运周转量构成为：铁路 21.44%，公路 62.55%，内河航运 12.44%，管道 3.25%，余下为航空。

改革开放三十多年来，中国货物运输结构中最显著的特点是公路和水运占比的大幅提升，特别是公路和高速公路建设跨越式的发展，而铁路运输的瓶颈却持续存在，导致铁路货运占比的持续下降。2010 年，中国的货物运输结构为铁路 29%，公路 45%，水运 23%，管道 2%，航空 1%。现有铁路的货物运输密度基本已到达极限，货运周转量的增长有赖于新建线路的投产，余下的货运需求则将由公路和水运满足。

2) 美国，日本和德国的交通运输模式

美国的交通运输模式为：客运方面为小汽车加飞机，货运方面多管齐下，道路货运交通也占据相当比例，是典型的石油消费密集型的交通运输方式。2007 年美国的交通运输客货运结构和能源消耗结构如下：

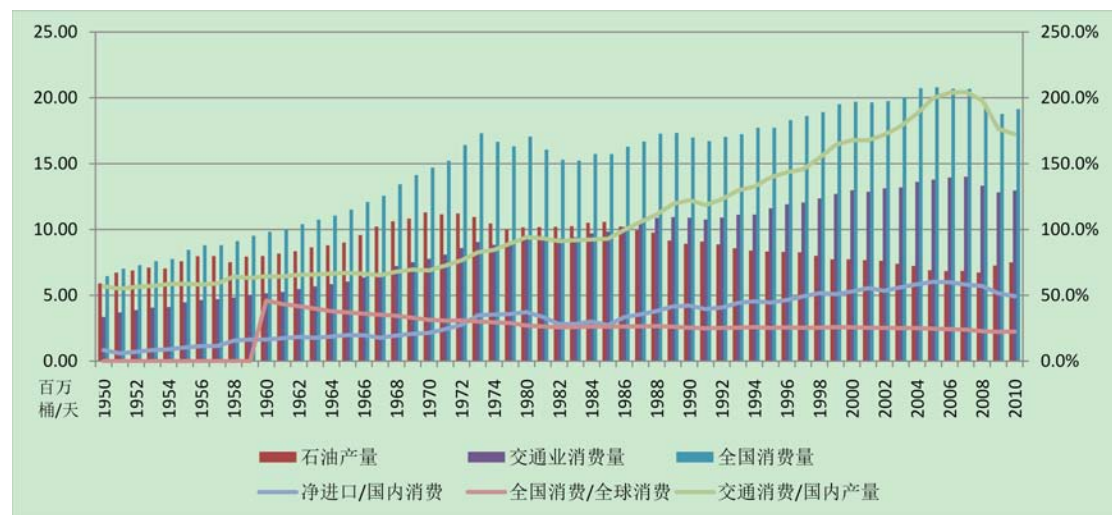
图表 10：美国交通运输结构和能耗结构



数据来源：美国 BTS

2007 年,美国国内的交通运输行业共消费一次能源 29.33quad Btu, 折合标油 7.39 亿吨。其中直接的石油消耗约 1400 万桶每天, 占交通业一次能源消耗的 95%左右, 占美国石油消费总量的 70%左右。从 1950 年以来, 美国国内交通业的石油消费占其国内石油产量比例不断上升, 在 2007 年达到高点 204.4%, 进口依赖度也在 2005 年达到 60%的历史高点。我们根据美国交通能源数据年鉴的数据拆分了 2007 年的交通运输能源消耗, 其中客运大致占 51.6%, 货运大致占 48.4%, 即分别为标油 3.62 亿吨和 3.4 亿吨, 分别对应着客运周转量 9.087 万亿人公里, 货运周转量 6.73 万亿吨公里。

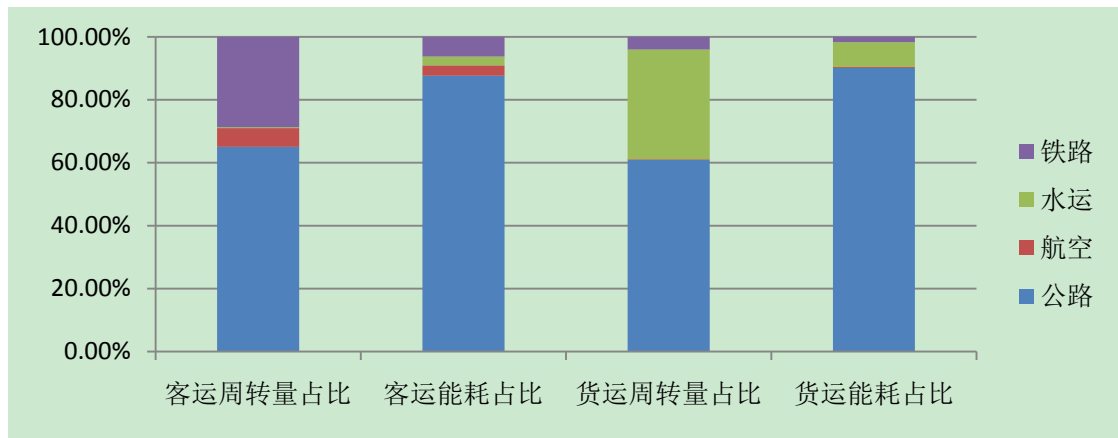
图表 11：美国石油供需



数据来源：美国 BTS

日本模式。日本在客运方面主要通过道路和轨道交通解决, 航空发挥辅助作用, 在货运方面则充分利用其岛国优势, 主要通过道路和水运完成, 铁路也起一定作用。2007 年其国内交通行业的周转量结构和能源结构如下:

图表 12：日本交通运输结构和能耗结构

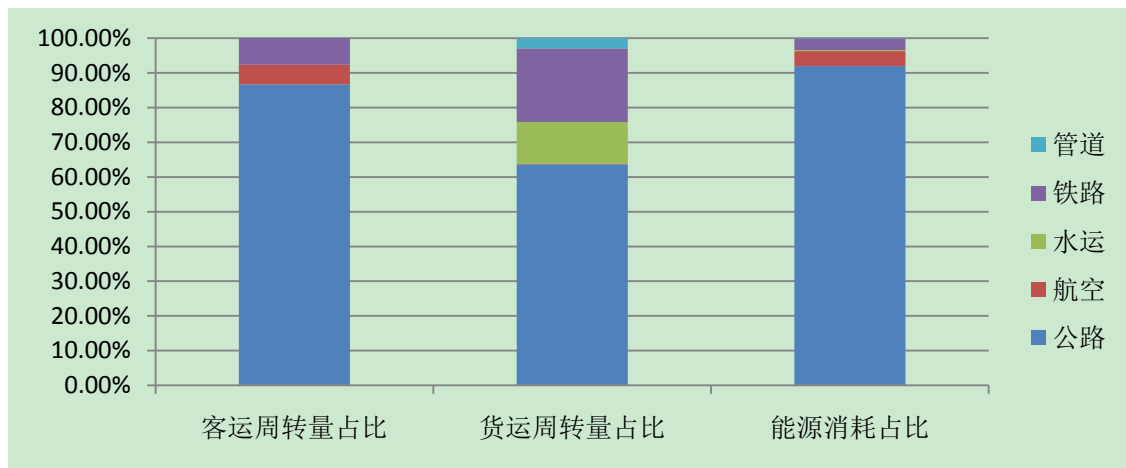


数据来源：日本统计局

根据 IEA 数据，2007 年日本的一次能源消费总量约为 5.153 亿吨标油，其中国内交通业的一次能源消费量约为 1.023 亿吨标油，其中 95% 以上的部分为石油消费。2007 年日本全国石油消费量为 2.297 亿吨，国内交通运输原油消费占到其石油消费的 42.7%。我们将日本的交通运输业能耗拆分为客运和货运，这两者分别占总能耗的 59.8% 和 40.2%，折合标油则为 0.612 亿吨标油和 0.411 亿吨标油，这分别对应日本国内客运周转量 1.413 万亿人公里和货运周转量 0.582 万亿吨公里。

德国模式。可以看到，由于国土面积较小，适合长距离的运输方式如铁路等发挥的作用较为有限，德国对公路运输的依赖比起美国而言有过之而无不及。2007 年德国客货运的周转量结构和能源消耗结构如下：

图表 13：德国交通运输和能耗结构



数据来源：德国统计局

2007 年德国一次能源消耗总量为 3.329 亿吨标油，交通运输行业约占 21%，即 0.7 亿吨标油。原油消耗量 1.125 亿吨，交通业的原油消耗约占 54%。从交通行业的耗能分来源来看，德国交通业的一次能源消耗中石油消耗为 85% 左右，较日本和美国低，主要原因是德国鼓励生物柴油的发展。若把生物柴油计入油品消耗，德国交通运输业的油品消耗仍将占到总的交通能耗的 90% 以上。

第四部分：中国远期国内交通运输需求量的测算

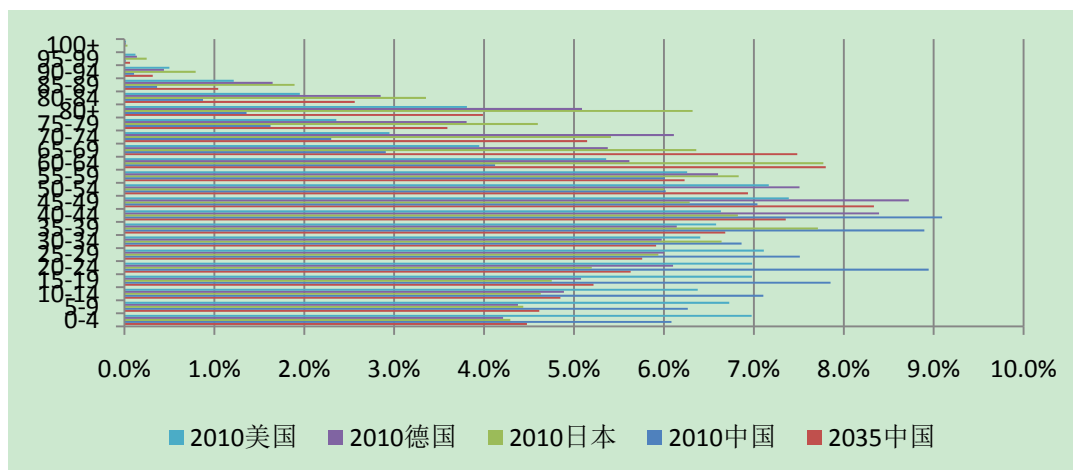
在这一部分中，我们将分客运和货运对中国的远期交通运输需求进行测算。在测算结果的基础上，我们根据同期美国和日本的增速倒推这一需求峰值出现的时间点。

人口总量是运输需求预测的基础。本文中我们采用了 2011 年联合国经济及社会部人口司发布的《世界人口展望：2010 修改版》的中国人口预测数据，其中中性方案假设生育率将从 2005-2010 的 1.64 持续下降到 2015-2020 的 1.51，然后回升到 2095-2100 的 2.01。人口预测结果如下：

表格 8：中国人口预测（单位：亿人）

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
中国人口	13.40	13.70	13.88	13.95	13.93	13.82	13.61	13.32	12.96

图表 14：参照国家人口数据比较



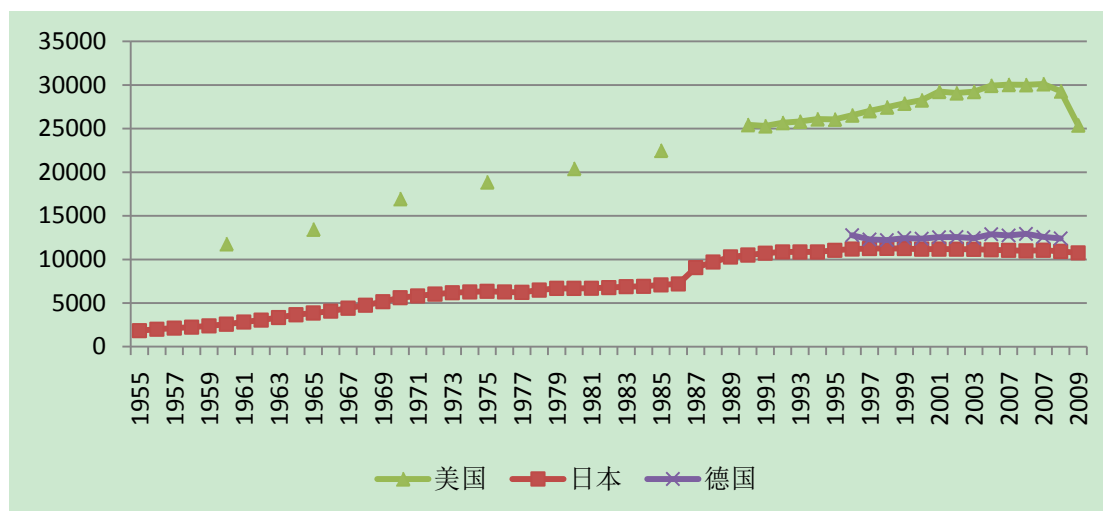
数据来源：联合国。其中中国人口数不包含港澳台地区。

按照上述数据，我国将在 2025 年前后迎来人口的绝对高峰 13.95 亿，然后缓慢下滑。影响这一预测的最主要因素是我国对于计划生育人口政策的态度（若提前放开，中国妇女的生育率将有可能迅速上升，这样，人口高峰出现时间则将进一步延后）。我们的测算基于现有的中性方案，测算的人口数采用联合国预测的峰值 14 亿。

1) 客运

居民出行总量的数据大体可分为两类，一类是通过直接调查和推算各种交通方式的旅客出行量和周转量后加总所得，另一类则是以家庭为单位进行调查得到的出行数据。由于调查的口径不完全一致（比如是否包括航空出行，是否包含工作岗位上的客流量等），这两者的结果存在一定的差异。但无论哪一类口径，我们在对美国，日本和德国的总旅客周转量数据分析后都发现，旅客的人均年周转量指标在工业化完成后的阶段都趋于稳定。

图表 15： 美国，日本，德国按交通方式加总合计的人均年周转量（单位：客公里/年）



表格 9： 美国 NHTS 调查数据

	单位	1983	1990	1995	2001	2009
人口数	百万人	229	239	260	258	283
出行量	十亿次	224	304	379	384	392
周转量	十亿人英里	1,947	2,830	3,411	3,784	3,733
人均出行次数/每年	次	978	1,272	1,457	1,493	1,385
人均出行次数/每天	次	2.68	3.48	3.99	4.09	3.79
平均出行距离/每人每年	公里	13,654	19,023	21,115	23,642	21,223
平均出行距离/每人每天	公里	37.41	52.12	57.85	64.77	58.15
每次出行距离	公里	13.96	14.96	14.49	15.84	15.32

表格 10： 德国居民出行统计

	单位	2002	2008
德国人口	百万	82.49	82.11
出行总次数/每天	亿次	2.72	2.81
居民平均出行次数	次	3.3	3.4
客运周转量/每天	亿人公里	30.44	32.14
每人每天出行花费时间	分钟	80	79
每次出行距离	公里	11.2	11.5
每人每天出行距离	公里	37	39

数据来源：美国、日本、德国的交通部和统计局，Eurostat，其中日本在 1987 年的变更了统计统计口径。

我们认为，居民的出行量由供需决定。供给方面的限制因素包括收入水平，时间，能源，技术和交通基础设施等，而影响需求方面的因素包括收入水平，年龄，家庭大小，性别，气温，交通基础设施，城市布局等等。从整体的角度看，随着经济的发展，许多供给面的限制不再存在，但每个人所拥有的时间都是有限的。由于人每天用于交通的时间是相对一致的，进而引申到在特定的空间布局和交通工具技术条件下，出游的距离也相对一致。这种稳定性正是我们估算的基础。

我国统计局目前仅对城际旅客交通和城市公共交通进行了统计。2010 年国内旅客城际客运周转量为 2.648 万亿人公里，折合人均仅有 2080 公里。要得到中国国内旅客的出行量，需要对城市客运做进一步测算。我们搜集整理了国内外部分城市和国家的出行调查数据，如下：

表格 11: 国内城市出行统计数据

国家或城市	调查年份	每天人均出行次数	国家或城市	调查年份	每天人均出行次数
珠海	1998	3.04	天津	2000	2.16
丹东	2000	2.25	天津	2006	2.20
杭州	2000	2.07	天津	2011	2.81
福州	2000	2.72	北京	1986	1.61
邯郸	2001	2.70	北京	2000	2.77
常德	2001	2.27	北京	2005	2.64
合肥	2002	2.58	上海	1999	1.95
重庆	2002	2.05	上海	2004	2.21
广州	2003	1.86	上海	2009	2.26
佛山	2003	2.45	全美国	1983	2.68
长春	2003	2.54	全美国	1990	3.48
太原	2004	2.18	全美国	1995	3.99
武汉	1998	1.98	全美国	2001	4.09
武汉	2008	2.41	全美国	2009	3.79
青岛	2010	2.13	全德国	2002	3.30
宁波	2011	2.34	全德国	2008	3.40

数据来源：美国统计局。各个地方统计局新闻，网络整理。

从上表中可以看出，目前我国居民出行次数方面仍显著低于美国和德国居民。根据国内某些城市（上海，北京）最新公布的居民调查结果，居民每次出行距离在 10 公里左右，要低于德国 11.5 公里，以及美国 15.3 公里的水平。

考虑到数据可得性，我们参考美日德的出行量，直接对远期中国居民年出行总量做出假设，假设人口聚集区的人均年周转量为 15000 公里/年，这主要基于以下考虑：

- 人口聚集区的人口密度与日本和德国类似
- 我国的资源禀赋决定我国未来采用类似于日本的城市化的密集布局是比较可能的
- 我国幅员辽阔，人均国内客运周转量应该会高于日本和德国，但由于能源条件和城市布局等的差异，应该小于美国。

此外，我们从美国以及德国的数据中发现，居民周转量并不因为城市的大小而存在显著区别，因此我们假设远期中国人口聚集区和人口非聚集区的人均年周转量相等。按照以上假设，可以得到我国远期旅客周转总量大致在 21 万亿人公里。

表格 12: 客运周转量测算结果

	单位	美国	日本	德国	人口聚集区	非聚集区	中国
人均年周转量	公里	30,000	11,000	12,500	15,000	15,000	15,000
人口总数	万人	30,977	12,806	8,178	109,200	30,800	140,000
旅客年周转量	亿公里	92,931	14,087	10,223	163,800	46,200	210,000

说明：人口聚集区和人口非聚集区的定义参见第二部分，其中人口聚集区的比例占全国人口比例约 78%。

我们假设这一比例维持不变，按照峰值 14 亿的人口分摊到两个地区。

表格 13: 客运周转量结果敏感性分析

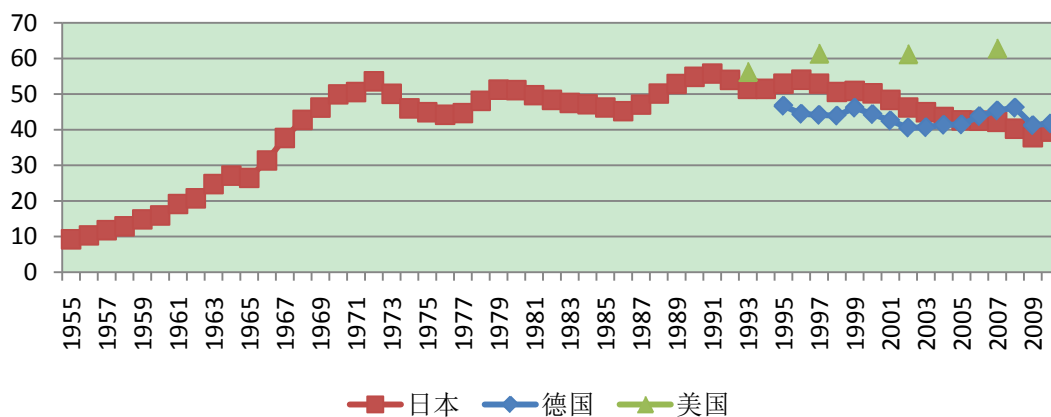
	单位	低出行情景	中性假设	高出行情景
人均年周转量	公里	11,000	15,000	19,000
旅客年周转量	亿公里	154,000	210,000	266,000

2) 货运

与客运相似，发达国家的人均货物运输量在工业化后期也是趋于稳定。不同国家货物周

转量的差别主要由于国土不同,资源结构以及产业结构等不同所带来的货物消费量和运距差异。特别的,从日本的数据可看出,当工业化完成后,人均货物运输量有下降的趋势。我们认为这可能与日本的进出口货物结构变化有关,特别是矿物燃料如煤炭等货品的进口增加;此外,日本的部分制造业外迁也有一定关系。

图表 16: 日本,德国和美国的人均年货物运输量(单位:吨)



数据来源: 日本和德国统计局, Eurostat, 美国数据来自 CFS 商品流动调查数据调整

鉴于此,按照类比法的思路,我们做出以下假设并测算:

- 中性假设中国的人均货物运输将达到 50 吨,达到日本工业化顶峰时期的水平。考虑到我国经济的巨大体量,预计在工业化完成阶段后资源和原材料的进口数量占消费总量比重仍将相对有限。
- 人口按照联合国人口预测方案的峰值 14 亿计
- 2010 年中国国内货物运输在扣除远洋部分后的平均运距为 300 公里左右。我们认为中国以制造业立国的战略并不会转变,而随着经济发展,资源地将进一步西移,而加工制造业中心除了传统的珠三角,长三角和环渤海外,中部地区将作为新的制造业基地出现,全国跨区域的物资流动将增加,平均运距可能会进一步上升。我们假设平均运距上升到 350 公里,与美国持平

表格 14: 货运周转量测算假设和结果

	单位	美国	日本	德国	中国
人均货物运输量	吨	63	44	45	50
人口	万人	30,977	12,806	8,178	140,000
平均运距	公里	356	105	150	350
货运周转量	亿吨公里	69,475	5,916	5,520	245,000

表格 15: 货运周转量测算结果的敏感性分析

人均货物运输量(吨)	平均运距(公里)		
	250	350	450
40	140000	196000	252000
50	175000	245000	315000
60	210000	294000	378000

3) 增长停滞的时间点测算

我们参考了美国和日本在工业化期间客货运周转量的增速情况，可以看到，客货运周转量的增速大概在 2 到 5%之间。

表格 16：美国和日本工业化期间的客货运周转量增速（单位：%）

美国			
期间	实际GDP增速	客运周转量增速	货运周转量增速
1950-1975	3.85	4.06	3.20
1976-1991	3.18	3.01	2.15
1950-1991	3.51	3.52	2.66
日本			
期间	实际GDP增速	客运周转量增速	货运周转量增速
1950-1974	9.02	7.7	7.86
1975-1993	3.62	2.49	1.95
1950-1993	5.08	3.97	3.77

数据来源：美国和日本统计局

据此，我们以 2010 年末中国的城际货运周转量 9.58 万亿吨公里为基准（官方仅披露国内城际客运周转量，而占比巨大的城市客运周转量（特别是私家车的客运周转量）却不予披露，因此我们不以客运周转量作为测算基准），以远期周转量 24.5 万亿吨公里为目标，结果如下：

表格 17：中国货运周转量峰值时间测算

	情景1	情景2	情景3
货运周转量假设	2.50%	3.50%	4.50%
所需增长年限	38	27	21
峰值时间	2048	2037	2031

我们认为中国未来相当一段时间保持 3.5%的复合增速的可能性较大，按照情景 2，中国货运量周转量将在 2037 年见顶。这说明了我国的交通运输业在相当长一段时间内的发展压力仍然巨大，相关交通设施的建设刻不容缓。

第五部分：中国远期国内交通运输能源消费的测算

在第二部分中我们对中美日德的能源消费结构进行了比较，基本结论是交通运输行业的能耗可占到一个国家国内一次能源消费的 30%，并且其燃料以石油为主，而石油正是我国的能源供应的瓶颈之一。为了衡量交通运输业的能耗，我们根据前文的物理量估计，对中国远期交通运输领域在不同假设情境下的耗能总量和石油消耗量进行了测算，并据此讨论了我国能源供给和能源安全问题。

1) 交通领域的能源消耗测算

作为研究的出发点，我们可以假设中国未来交通运输模式有三种发展路径：即分别走美国，日本或者德国的模式，并按照中国与参照国家客运和货运周转量的比值来作为乘数来测算中国远期国内交通能耗总量的大致区间，同时按参照国家的交通耗能中的石油占比来估计交通业的石油消耗量，结果如下表：

表格 18：中国交通耗能估算（亿吨标油），直接类比

	交通一次能耗总量	交通石油消耗
美国模式	20.74	19.7
日本模式*	15.2	14.44
德国模式*	14.2	12.8

注：日本和德国模式的一次能耗总量乘数为客运周转量的比值，可能存在一定的低估。

由于上述分析较为简单笼统，为了进一步分析影响交通运输行业能耗的驱动力，我们将交通运输能源消费分解为三个因素，即客货运输需求（由经济总量，产业结构，区域布局，人均收入，能源资源禀赋等因素决定），运输结构（单一运输方式内的优化以及多种运输方式的组合）和各类交通运输方式的能源消费强度，通过估计这几个变量来测算中国远期国内交通行业的能源消耗。具体地，我们采用了情景分析方法对能源消费进行三因素分解，其中客货运周转总量来自我们前文的测算；客货运耗能强度来自日本和美国当前的各种交通方式能耗强度的最低水平，并对可能的技术进步的影响做了估计；运输结构上则主要考虑在各个情景下低能耗的铁路占比。然而，需注意的是，考虑到交通运输中各种方式的结合是个有机体，这种分析有可能脱离实际情况。

主要假设包括：

- 客运和货运周转量按照前文的基准假设
- 一次能源消费口径的客运能耗强度：当前情景下公路的能耗强度使用目前日本数据，节能情景为当前情景的能效提高 15%，强节能情景则是提高 30%；假设铁路，水运，航空的能耗强度在各个情景中保持不变；
- 一次能源消费口径的货运能耗强度：我们假设各类运输方式的能耗水平不变，并分别采用日本或美国的该类交通方式中的较低值；水运货运的能耗按照当前国际水运能耗的先进水平假设；
- 客运结构：当前情景中，铁路的占比达到总客运周转量 30%，与目前的日本一致，节能情景和强节能情景中铁路的份额分别是 40%和 50%；航空占比 6%，这是按照日本旅客出行周转量结构中航空占比来假设的，对中国来说，假设 1300 公里平均运距，21 万亿人公里，以及 14 亿人来测算的话，这个比例对应每年每人搭乘航班 0.7 次；公路运输为余项

表格 19：2007 年美国各类交通运输方式能耗强度

		能耗强度		交通方式	交通运输终端能源消费分燃料占比		
		终端能源消费口径	一次能源消费口径		石油制品和天然气	电力	合计
客运				客运			
公路-私人汽车	Btu/客公里	2,182.26	2,315.29	公路	100%	0%	100%
铁路-amtrak	Btu/客公里	1,563.37	2,185.93	铁路	22%	78%	100%
水运	Btu/客公里	n/a		水运	100%	0%	100%
航空-营运航空(不含通用航空)	Btu/客公里	1,959.18	2,078.58	航空	100%	0%	100%
货运				货运			
公路-中型和重型卡车	Btu/吨公里	3,636.65	3,858.28	公路	100%	0%	100%
铁路-一级铁路	Btu/吨公里	219.18	232.54	铁路	100%	0%	100%
水运-	Btu/吨公里	1,624.22	1,723.21	水运	100%	0%	100%
航空-	Btu/吨公里	15,052.09	15,969.41	航空	100%	0%	100%
管道	Btu/吨公里	669.33	789.01	管道	73%	27%	100%

数据来源：美国 BTS

表格 20：2007 年日本各类交通方式能耗强度

		能耗强度		交通方式	交通运输终端能源消费分燃料占比		
		终端能源消费口径	一次能源消费口径		石油制品	电力	合计
客运		1,486.39	1,616.36		97%	3%	100%
公路	Btu/客公里	1,981.18	2,055.92		100%	0%	100%
铁路	Btu/客公里	168.45	432.21		11%	89%	100%
水运	Btu/客公里	15,207.87	15,781.64		100%	0%	100%
航空	Btu/客公里	1,541.42	1,599.57		100%	0%	100%
货运		2,286.04	2,381.79		100%	0%	100%
公路	Btu/吨公里	3,545.00	3,678.75		100%	0%	100%
铁路	Btu/吨公里	185.85	429.84		25%	75%	100%
水运	Btu/吨公里	541.08	561.50		100%	0%	100%
航空	Btu/吨公里	20,572.46	21,348.63		100%	0%	100%

数据来源：日本统计局

表格 21：中国远期交通运输能耗测算表

	单位	当前情景	节能情景	强节能情景
客运周转量	万亿人公里	21	21	21
货运周转量	万亿吨公里	24.5	24.5	24.5
客运能耗强度				
公路	Btu/人公里	2055	1746.75	1438.5
铁路	Btu/人公里	432	432	432
水运	Btu/人公里	15000	15000	15000
航空	Btu/人公里	1600	1550	1550
货运能耗强度				
公路	Btu/吨公里	3680	3680	3680
铁路	Btu/吨公里	235	235	235
水运	Btu/吨公里	190	190	190
航空	Btu/吨公里	21500	21500	21500
管道	Btu/吨公里	800	800	800
客运结构				
公路	%	63.9%	53.9%	43.9%
铁路	%	30.0%	40.0%	50.0%
水运	%	0.1%	0.1%	0.1%
航空	%	6.0%	6.0%	6.0%
货运结构				
公路	%	52%	42%	32%
铁路	%	30%	40%	50%
水运	%	13%	13%	13%
航空	%	0.20%	0.20%	0.20%
管道	%	5%	5%	5%
客运燃油比率假设				
公路		95%	60%	30%
铁路		50%	40%	30%
水运		100%	100%	100%
航空		100%	100%	100%
货运燃油比率假设				
公路		100%	85%	70%
铁路		50%	40%	30%
水运		100%	100%	100%
航空		100%	100%	100%
管道		0%	0%	0%
客运能耗总量	10 ¹⁵ Btu	32.63	25.67	20.07
货运能耗总量	10 ¹⁵ Btu	51.07	42.63	34.19
客运能耗总量	mtoe	822.24	646.84	505.65
其中燃油消耗	mtoe	753.20	392.68	191.70
货运能耗总量	mtoe	1,286.93	1,074.24	861.54
其中燃油消耗	mtoe	1,240.47	872.27	569.32
交通能耗总量	mtoe	2,109.18	1,721.08	1,367.20
其中燃油消耗	mtoe	1,993.68	1,264.94	761.02

- 货运结构：假设当前情景、节能情景和强节能情景中，铁路货运的占比分别是 30%，40%，50%。值得参考的数据是，美国和中国目前的铁路货运周转量占总货运周转量的比例都在 30%左右；目前我国国内水运货运周转量占到国内货运周转量的 23%，为 2.24 万亿吨公里，我们认为未来增长的空间相对有限，假设占比可达到 13%，按照 24.5 万亿吨的总货物周转量的假设，约 3.2 万亿吨公里；中国目前管道的货运周转量占到总货运周转量的 2.3%，美国则是接近 20%。我们认为随着未来内陆油气勘

探，特别是天然气勘探的发展，中国的这一比例有望提升。但总体而言，中国以煤炭为主的能源结构决定了这个比重不会太高；公路运输为剩余项

- 客运燃油比率假设：在不同情境中，公路客运燃油比例的降低主要反映混合动力技术和纯电动车技术的发展，同时我们认为铁路电气化比例仍有提升空间
- 货运燃油比率：不同情境中公路运输燃油比例的差别主要反映了 LNG 发动机对柴油发动机的替代程度

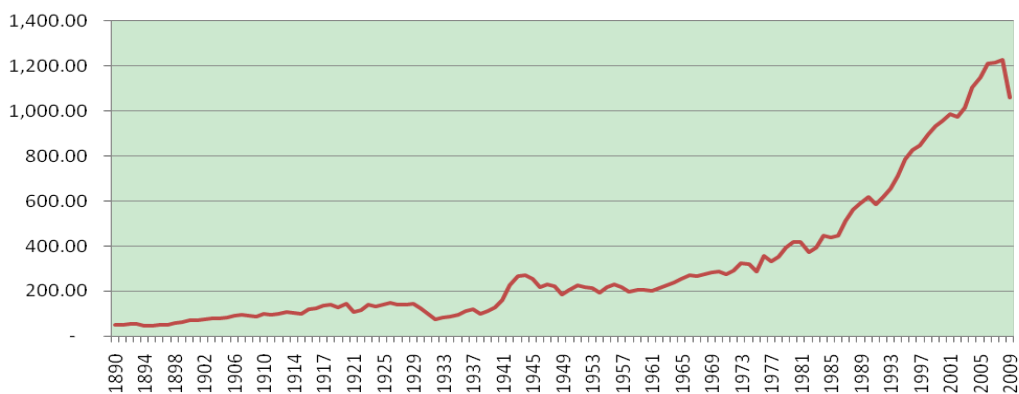
结果表明，运输结构对总能源消耗的影响巨大，在当前情景，节能情景和强节能情境中，交通运输总能耗分别是 21.1，17.2 和 13.7 亿吨标油，石油消耗量分别是 19.9，12.6 和 7.6 亿吨。从当前情景转向节能和强节能情景的转变中，主要驱动因素是公路客运节能技术的发展，非燃油技术的应用，以及铁路运输占比的提高。然而，即使采取这些措施，在强节能情景下，我国交通运输的燃油消耗量仍然可能达到 7.6 亿吨，是我国当前原油产量 2.04 亿吨的将近 4 倍，这一能耗总量已让我国乃至全球难以承受，供需形势非常严峻。

2) 铁路里程测算

考虑到铁路运输在满足大宗运输，旅客运输以及节能减排的重要作用，我们在这里对中国未来所需铁路里程做简单测算。2010 年，我国铁路的货运周转量占到总货运周转量的 29%，考虑到铁路的节能潜力，我们认为这一比例无论如何应该进一步增加。

2010 年我国铁路运输负荷达到 4000 万换算吨公里每公里铁路营业里程，按照正线延展里程的口径计算则为 2830 万换算吨公里每公里，是全球负荷最高的铁路系统（2007 年美国的一二级铁路运输负荷仅有 1400 万换算吨公里每铁路营业里程，折算 1215 万换算吨公里每公里正线延展里程）。我们预计未来随着新线路开通中国铁路的运输负荷会下降，但即使按照这一负荷测算，按照铁路占比 30%以及 80%的复线率（美国目前仅有 15%的水平）的保守估计，中国未来仍需修建 18 万公里以上的铁路，接近 2010 年末中国铁路营业里程的 2 倍。按照前边我们中性假设中国货运周转量达到 24.5 亿吨公里的时间可能是会在 2037 年，这意味着每年需要建设并投产 6600 公里左右的铁路。

图表 17：美国铁路运输负荷 1890-2009（单位：万换算吨公里每正线延展里程）



数据来源：美国 ICC 年报，BTS 报告，AAR 报告。其中正线里程按照 total track miles 扣除 yard tracks and sidings 得到。1991-2009 年的复线数据缺失，我们假设保持 1990 年的 15%的复线率水平来推算铁路正线延展里程。

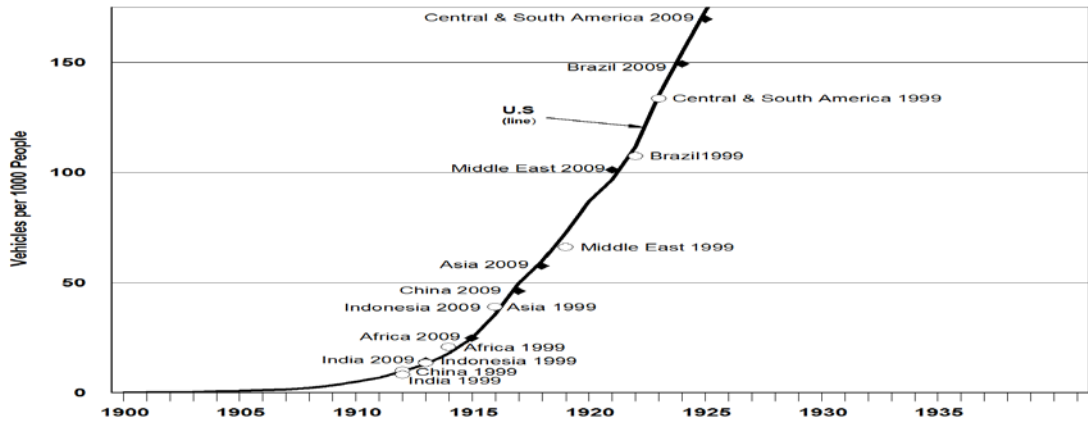
表格 22：中国铁路里程测算

	单位	当前情景	节能情景	强节能情景
客运周转量	万亿人公里	21	21	21
货运周转量	万亿吨公里	24.5	24.5	24.5
铁路承担的客货运比例	%	30%	40%	50%
承担的周转量	万亿换算吨公里	13.65	18.2	22.75
运输负荷	亿换算吨公里/正线延展公里	0.28	0.28	0.28
所需铁路正线长度	公里	487,500	650,000	812,500
铁路复线率	%	80%	80%	80%
所需铁路营业里程	公里	270,833	361,111	451,389
2010年铁路里程	公里	91,178	91,178	91,178
需修建铁路里程	公里	179,655	269,933	360,211

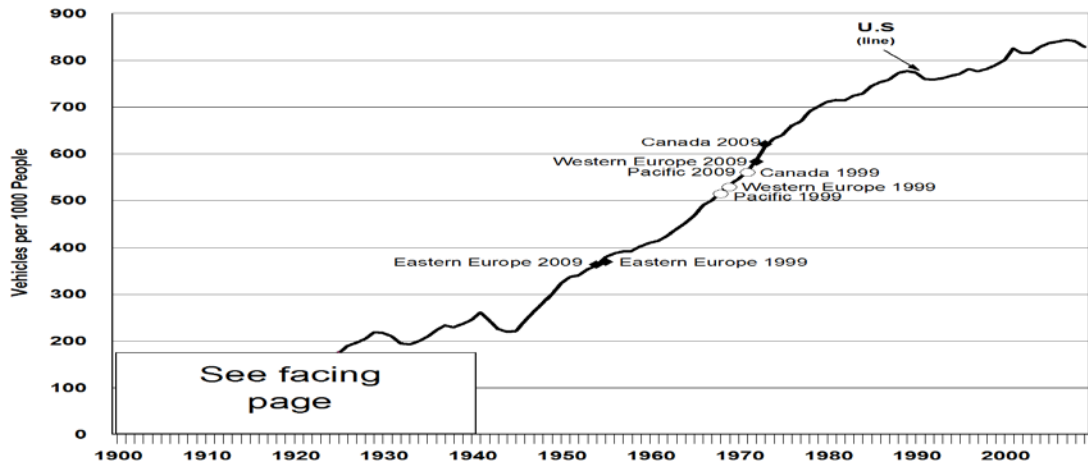
3) 交通业耗能测算的结果讨论

在前文的测算中，我们参考了美国，日本和德国的运输模式，根据我国远期的交通运输量初步测算了我国远期国内交通的能源消耗量，结果分别为 20.74、15.2 和 14.2 亿吨标油，其中石油消耗分别为 19.7 亿吨，14.44 亿吨和 12.8 亿吨，分别相当于 2010 年全球石油产量的 50.5%、37.02% 以及 32.82%。这三个数字没有一个是全球可以承受。我们还通过三因素分拆来测算我国交通业的耗能。结果显示，即便在强节能情景下，我国的交通运输业的石油消耗也将达到 7.6 亿吨。

图表 18：美国人均机动车保有量图 1



图表 19：美国人均机动车保有量图 2



数据来源：美国 NTS 2011。上图中实线对应的是美国各个时期千人机动车保有量数据，各个点则对应着某个国家特定时期的千人机动车保有量。显然，我们人均汽车保有量还有非常大的增长空间。

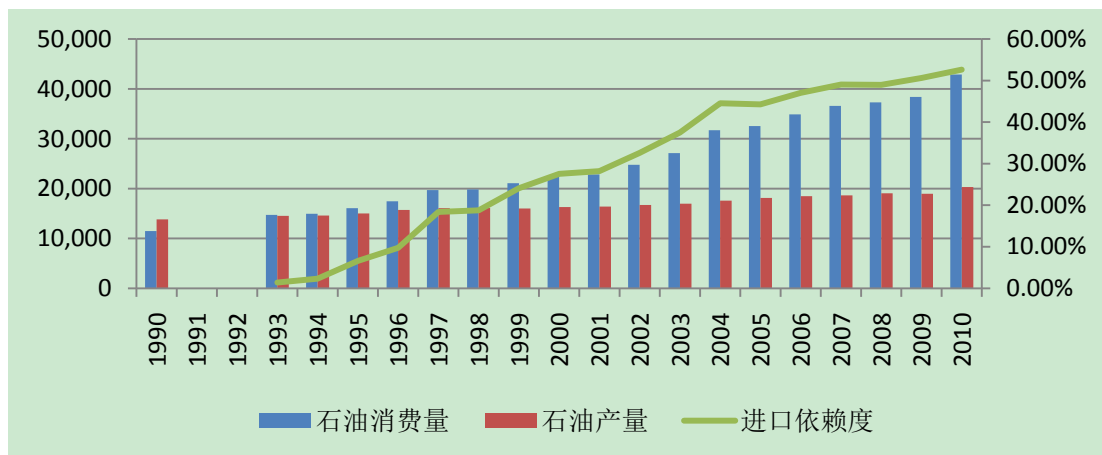
事实上，若考虑我国总的石油消耗量，还应包括几点：

- 工业的石油消耗。以美国为例，尽管其工业产值占 GDP 比重在发达国家中是较低的，其工业的石油消费量仍占到全美石油消费量的 23-24%。考虑中国未来的体量和产业结构，这部分工业消费的比例仍会非常高
- 交通业里国际航班以及远洋运输的油品消耗
- 其他民用和商业的油品需求

另一方面，国际上许多发展中国家，包括印度在内，正准备走中国的道路。这还将带来进一步的石油消耗。

我国过去 20 年中，石油消费量年化增速在 6.8%，同期石油产量的增速则仅有 1.94%。随着经济的发展，石油消费量迅速提高。按照（消费-生产）/消费的口径计算，2010 年我国石油的进口依赖度首次超过 50%，再创历史新高。从石油供给的角度考虑，当前的经济增速和能耗增速显然是不可持续的。因此，中国必须采用一切可行的方式来控制石油消费。而其中最为关键的是控制交通运输业的能耗和石油消耗，这是关乎着我国经济可持续发展的战略举措。

图表 20：中国石油产量和消费量



数据来源：国家统计局

第六部分：启示和建议

从发达国家的发展历史看，经济增长是能源消费增长的最大驱动力，尽管其增长曲线是类 S 型的增长，存在上限。假设中国经济持续发展，实现工业化和城市化后的客货运需求量将达到非常惊人的水平。若我们简单遵循当前发达国家的交通运输发展路径，中国国内交通领域的石油消费规模将让全球无法承受。因此，经济发展与交通运输对我国能源安全形成非常严峻的挑战，我们必须采取一切可能的方式来应对。这里我们提出了六条主要建议，如下：

第一，城市化和立体化发展，降低居民出行的需求。这一点可以效仿日本，发展超大城市和卫星城，形成规模效应，系统地降低居民出行需求。美国典型的摊大饼式的横向城市发展模式则是反面例子，导致了居民出行距离过长。由于集约化的城市公交模式的发展基础是高人口密度，美国城市的普遍低密度使得建设城市公交的成本过高，私人汽车成为私人出行几乎唯一的选择，而这又造成能源特别是石油资源的过量消耗。此外，城市化还有助于大幅降低其他领域的能源消费。

第二，坚定不移的发展铁路运输以满足城际客货运和城市客运的需要。运输方式能效的提高固然很关键。然而，考虑到不同的运输方式的能耗强度差别远远大于单一运输方式的效率改进空间，从实现节约能耗的角度看，调整交通运输结构要比降低单一运输方式的能源强度重要得多。无论是城市客运或城际货运，铁路运输的单位能耗水平都属于最低的方式之一，并且铁路运输能够通过电气化以电代油，降低石油消耗。在这个意义上，铁路交通是满足中长距离的城际客货运需求和人口密度的城市客运需求，改善我国交通系统结构的重要方式。截止到 2010 年底，我国铁路里程为 91178 公里，对应的路网密度仍远远小于发达国家。十二五规划 2015 年末铁路里程达到 12 万公里，其中西部地区铁路 5 万公里左右，基本建成规模超 4 万公里的快速铁路（时速 160 公里以上）网，复线率和电化率分别达到 50% 和 60% 左右。这目标是可以达到的，也是应该达到的。放到更长远的周期上看，经过测算，我们认为中国未来 30 年至少应该修建 18 万公里以上铁路（含城市轨道交通），铁路建设的任务非常重大而紧迫。

在客货铁路的选择上，考虑到目前我国多个路段铁路货运仍然是卡脖子工程，且货运盈利能力高，我们认为应该优先发展货运，优化发展客运。当前铁道部仍然是铁路投资的主体，而铁道部资产负债率在 2011 年底已经超过 60%，现金流上已经严重依赖于债务融资，恶化的资产负债表严重制约了铁路投资能力。若要实现十二五的既定投资目标，国家注资可能是不可避免的。从长远发展的角度，铁路系统改革特别是运价改革，输配和调度权改革，民营资本引进等都是非常有必要的。

第三，优化发展道路交通运输。显然，从能源消费和石油消耗的角度看，汽车出行是最应该限制发展的方式。但是，由于汽车出行具备其他交通方式所不具备的通达性，随着经济的发展和人均收入的提高，汽车出行的比例必然大幅提高。各种手段很可能只会减缓私人汽车拥有量的增加，但不能从根本上抑制这一趋势，这一点可以从发达国家的交通运输发展历史得到验证。在货运方面，公路在满足门对门需求，发挥交通系统中毛细血管的作用也是其他运输方式无法替代的。因此，即便我们采取足够措施，我国的机动车拥有量曲线有可能变得不如美国陡峭，上限也将较低，但保有量估计最终仍会达到相当高的水平。在这方面，我们的建议是：

- 适当发挥价格杠杆，提高机动车保有成本，减缓机动车保有量的增长。我国当前的汽油和柴油价格在全球整体来看属于中等，略高于美国，但明显低于大部分的 OECD 国家。考虑到石油的战略意义和我国的资源禀赋，我国有必要通过税收等手段进一步抬高终端的燃油价格，以反映实际的成本，在一定程度上减缓汽车保有量的增长。

- 推动电动汽车技术发展和其他替代燃油技术。电动汽车技术的应用是帮助我国控制交通用燃油消耗的最重要的途径之一，具备国家战略意义，必须坚定不移的推进，在产业政策和财政政策上予以大力支持。
- 货运方面，LNG 发动机技术等是替代柴油消费的较为成熟的技术之一。若我国未来能通过页岩气勘探来充分保障国内需求，鼓励大规模应用 LNG 发动机技术同样是非常必要

第四，发展水运，管道和集装箱运输。除了前文提到的铁路和公路运输外，也应重视其他的交通方式的发展，如水运和管道运输。因为水路和管道运输同样是能耗最低的交通方式之一，应该充分利用我国的地理条件，大力发展。另一点则是需要不断优化现有交通运输方式的组织和运行，改善节能技术，提高能源利用效率。这方面的突出例子是集装箱运输和多式联运，通过多种运输方式的有机结合，改善运输的经济性和可靠性，这可以向发达国家如美国学习。

第五，大力发展电力工业和电气化，提高能源输送效率。我国富煤，贫油，少气的资源禀赋决定了我国的能源供给必须从能源大盘子的角度考虑，走以煤炭为主，多种能源综合发展的模式，通过二次能源即电力的转换来保证能源供给和能源安全。我国需要积极发展水电，核电，风电和太阳能发电，因地制宜发展天然气发电和抽水蓄能机组，有序和适度超前发展煤电，优化输电和输煤方式。

第六，积极开发油气资源，战略培育相关制油技术和煤制化工产品技术。包括但不限于：

- 深海石油勘探
- 鼓励和开发页岩油和页岩气
- 研究和开发煤制油技术，新型煤化工技术

交通运输业的一个典型特征是：作为基础性的行业，前期基础设施建设成本巨大，人和货物交通模式一旦形成和固化，除非重大新技术的突破（如交通运输历史上火车和汽车的发明），改变会是艰难而缓慢的。在这方面，日本和德国都是典型的例子。虽然他们同属于全球 GDP 能耗最低的国家之一，但他们的运输需求模式实际上仍较为粗放。这点可以参考这两个国家的交通运输结构，能耗较高且严重依赖石油的公路运输仍然占了客货运相当高的比例。尽管政府实施各种手段来鼓励节能型的交通运输手段的发展（包括实行较高的油价），总体的运输结构仍然没有明细改善。

幸运的是，就以千人汽车拥有量衡量的机动化程度而言，我国仍处在机动化阶段的早期。截止到 2011 年底，我国的千人机动车保有量仅有 76 辆，仍然远低于发达国家 400 辆/千人以上的水平。若能按照上述建议多管齐下，那么，我们将有更大的余地来面对能源短缺的挑战，确保我国经济实现可持续发展。

参考文献

- [1]国际能源署, Eurostat. 能源统计手册[M]. 巴黎: 2007
- [2]德国交通, 建筑和城市发展部. 德国流动性调查, 2003 版, 2008 版[M].
- [3]傅志寰, 胡思继, 姜秀山等. 中国交通运输中长期节能问题研究[Z]. 人民交通出版社, 2011 年 4 月
- [4]贺玉龙, 杨立中. 铁路在综合交通运输体系中的比较优势[J]. 铁道运输与经济, 2007, 29(12):12-14.
- [5]贾顺平, 彭宏勤, 刘爽, 张笑杰. 交通运输与能源消耗相关研究综述[J]. 交通运输系统工程与信息, 2009, 9(3):6-16.
- [6]贾顺平, 毛保华, 刘爽, 孙启鹏. 中国交通运输能源消耗水平测算与分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10(1):22-27.
- [7]刘嘉, 陈文颖, 刘德顺. 中国 ESDPM 模型及其在交通需求预测中的应用[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(3):71-75.
- [8]李连成. 运输需求发展趋势的分析方法[J]. 综合运输, 2011, (12):14-18.
- [9]李连成, 吴文化. 我国交通运输业能源利用效率及发展趋势[J]. 综合运输, 2008, (3):16-20.
- [10]美国交通部交通统计局. 美国全国交通统计年鉴 (NTS) 2011 版[M].
- [11]美国交通部交通统计局. 美国家庭长距离出行调查, 2001 版[M].
- [12]美国交通部. 美国全国家庭出行调查 NHTS, 2001 版, 2009 版[M].
- [13]美国交通部. 美国全国个人出行调查 NPTS, 1969 版, 1977 版, 1983 版, 1990 版, 1995 版[M].
- [14]美国交通部交通统计局和美国商务部统计局. 美国商品流动调查 CFS, 1993 版, 1997 版, 2002 版, 2007 版[M].
- [15]美国能源部能源效率和可再生能源办公室汽车技术项目. 美国交通能源数据集, 第 30 版 [M].
- [16]日本国土交通省. 东京都市圈交通调查, 2005 版[M].
- [17]日本国土交通省. 日本大都市交通情况调查概要, 2005 版, 2010 版[M].
- [18]日本国土交通省. 日本干线客流调查 1990 版, 1995 版, 2000 版, 2005 版[M].
- [19]日本国土交通省. 日本货物流动调查 2005 版, 2010 版[M].
- [20]荣朝和. 运输发展理论的近期进展[J]. 中国铁道科学, 2001, 3(6):1-8.
- [21]余巧凤. 铁路网规模比较研究[J]. 铁道经济研究, 2007, (2):32-37.
- [22]吴文化. 我国交通运输行业能源消费和排放与典型国家的比较[J]. 中国能源, 2007, 29(10):19-23.
- [23]吴文化, 樊桦, 李连成, 杨洪年. 交通运输领域能源利用效率、节能潜力与对策分析[J]. 宏观经济研究, 2008, (6):28-33.
- [24]吴文化等. 关于能源消耗强度和运输结构优化的分析[Z].
- [25]王庆一. 按国际准则计算的中国终端用能和能源效率[J]. 中国能源, 2006, 28(12):5-9.
- [26]王庆一. 国民经济电气化初探[J]. 电力技术经济, 2008, 20(3):12-17.
- [27]王庆云. 中国交通发展的演进过程及问题思考[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(1):1-11.
- [28]徐铭辰, 王安建, 陈其慎, 杜雪明. 中国能源消费强度趋势分析[J]. 地球学报, 2010, 31(5):720-726.
- [29]杨洪年. 我国交通运输能源消耗及节约潜力分析[J]. 能源政策研究, 2007, (5):51-55.

-
- [30]姚胜永, 潘海啸. 基于交通能耗的城市空间和交通模式宏观分析及对我国城市发展的启示[J]. 城市规划学刊, 2009, (3):46-52.
- [31]赵坚, 陈宇. 运输需求理论与运输需求增长趋势[J]. 综合运输, 2005, (11):11-16.
- [32]张康敏, 刘晓青. 综合运输需求预测方法的概述[J]. 综合运输, 2006, (4):20-21
- [33]张树伟, 姜克隽, 刘德顺. 中国交通发展的能源消费与对策研究[J]. 中国软科学, 2006, (5):58-62.
- [34]张周堂. 旅客运输体系的演变分析[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(3):85-89.
- [35]朱松丽. 交通需求和交通能源需求预测方法[J]. 数量经济技术经济研究, 2004, (5):100-108.
- [36]周新军. 我国铁路能源消耗和节能现状[J]. 中外能源, 2009, 14(3):87-92.