

第五章

从国际比较的视角看中国的人均钢铁消费及其预测

Huw McKay 盛 誉 宋立刚

引 言

本章有两个目的。一是从理论角度重新讨论经济发展与钢铁消费的关系，二是通过研究其他国家在工业化进程中的经历来阐明中国未来的钢铁需求。

在过去 10 年中，有关大宗商品需求的预测一直是国际社会所关心的一个重要的问题：如粮农组织（FAO，2002，2006）针对食品需求的预测，McKibbin（2006）对能源需求的讨论，Garnaut 等（2008）及联合国开发计划署（UNDP，2010）在碳排放领域的研究，国际货币基金组织（IMF，2005）对汽车的分析等。但长期以来，对钢铁需求预测却经常被忽视。这种忽略令人感到惊讶，因为自 2003 年以来，钢铁的价格无论是名义上还是实际上都出现了急剧的上涨。20 世纪 70 年代的大宗商品价格上涨使得资源安全问题变得愈发突出，从而也催生了对钢铁需求的长期预测。作出开拓性工作的是国际钢铁协会（1972）和 Malenbaum（1973，1975），他们引入并推广使用了包括强度曲线在内的一系列方法。此后，大量的研究开始探索对长期的钢铁需求预测。其中最著名的两项研究分别由 Leontief 等（1983）^①及 Malenbaum（1978）作出。

① Leontief 的其中一个合著者 Ira Sohn 后来又写了一篇论文（Sohn，2006：表 9），仔细审查了前文已公布的对 2000 年的预测，发现所有的预测都存在显著的高估。

在本研究中，我们首次使用了跨国比较的宏观经济数据进行回归分析并借此给出了一个针对 2030 年中国的钢铁需求的预测。

作为我们讨论的起点，发展模式与钢铁需求关系很大。这里的发展模式指的是不同的工业结构、家庭消费模式、城市化、对外贸易和投资的开放程度等。在或长或短的时间内（这反映比较优势或政治战略差异），各国通过以上这些因素的不同组合实现了经济的发展，因此实证研究所发现的人均国内生产总值（GDP）与钢铁消费量之间的关系的跨国差异恰恰反映了这些不同。我们认为，钢铁使用与标准的宏观经济指标之间的关系是复杂而特殊的。有鉴于此，本研究通过考虑不同国家间的差异来分析这一关系，并以此作为我们对这方面研究的一个贡献。此外，如果我们想通过此研究的发现而得到一些普遍性的结论的话，我们将面临如何运用这一分析方法来解释中国的情况的检验。毕竟过去的相关研究都与发生在中国的现实情况不符（例如 IMF，2005b）。

我们首先总结了有关经济发展水平与钢铁人均消耗量之间联系的现有文献，并解释了我们的方法与这些文献所采用的方法的不同之处。运用钢铁使用强度的分析框架，采用投入产出表的自下而上的方法，以及使用我们引入的“钢铁库兹涅茨曲线”（即 KCS 曲线，一种倒“U”形的反映人均钢铁使用和人均收入之间关系的曲线），都不会自动转化成一个整齐的预测框架。一个好的钢铁需求模型，无论其关注的是人均钢铁需求量还是人均经济产出的钢铁需求量，都必须同时兼顾其流量、存量、周期性以及发展与结构变化的影响。将这些变量都纳入同一个模型是一项艰巨的工作，但通过这样的尝试会增加我们对于钢铁需求和经济发展之间关系的理解。

接着本章专门讨论中国对钢铁的需求。人们以前已经注意到，1978 年之后中国钢铁使用的历史与韩国的经历有许多相似之处（Garnaut 和 Song，2006；McKay，2008；McKay 和 Song，2009）。中国是否将继续循着与韩国相同的道路走下去，即国家经济活动的人均钢铁消耗量在一段时期内持续地保持在一个较高的水平？还是会像目前的欧洲各国一样，仅仅当中国成为一个中等收入国家时钢铁强度的增长才会保持在高位？中国最终会否和日本类似，成为人均钢铁消耗量较高的高收入国家？这些问题的答案对于中国的长期经济战略和业绩是至关重要的。

本章的基本结论是，一旦中国成为中等收入国家，接下来它是不会走一条与韩国相类似的路径的。因为我们认为中国将改变其经济增长的方式。如

果中国打算成功地驾驭其下一阶段的发展，那它必须改变目前对于重工业、投资（相比于消费）以及高度的出口导向的依赖（McKay 和 Song，2009）。因此，中国的最终钢铁消费路径可能会仿效北美、独立国家联合体（CIS）、西欧、日本和亚洲新兴国家的某些方面的经验，而不仅仅是沿着某一个特定国家或地区的历程而发展。

KCS 曲线和相关理论

现存的理论及我们对它的扩展

在 1993 年以前，关于钢铁使用的文献分为截然不同的两个派别：开创钢铁使用强度（IU）分析的消费者偏好派和技术升级派。消费者偏好派认为，在低收入经济体中，随着对耐用商品需求的增加，衍生出对钢铁需求的增加，从而使钢的使用强度（定义为单位产出的钢铁消费量）随之增加（国际钢铁协会，1972；Malenbaum，1973）。从这个角度来看，由于经济推动向工业化过渡，因此消费也逐步从消耗钢铁的耐用品市场向诸如保健、教育和娱乐等服务转变。因此，消费者的喜好随着收入增长的变化便创造出了一个对钢铁需求的，有着确定转折点的倒“U”形的曲线。

技术升级派则认为，随着时间的推移，低收入经济体可以具备跨代发展技术的能力，会给钢铁使用强度（IU）带来向下的偏差（Hwang 和 Tilton，1990）。实际上，技术升级派指出，在一个假想的 IU 曲线上，低收入经济体利用可以引进技术的能力将自己移植到一个与发达经济体相同点上，或者，它们可以达到一个比前几代工业国家在同等收入水平时所处 IU 曲线更低的 IU 曲线上。这意味着一个低收入经济体在其向中等收入状态移动时有可能看到其 IU 的下降，而不是看到消费者偏好派所认为的上升。

通过图 5-1 可以清楚地看到两派之间的差别。技术升级派认为由于引进了更多的先进技术，低收入经济体的基本趋势是向更低的 IU 移动（从 IU2 的 A 点向 IU3 上的 B 点移动）或超出 IU 曲线上的转折点，而在这个转折点之后这一抛物线是向下倾斜的。而该理论的反对者则认为，由于人们不断地消费更先进的商品和服务，因此低收入国家的基本趋势是沿着单一抛物线的上行部分移动，或在极端情况下移动到更高的 IU 曲线上（从 IU2 的 A 点向 IU1 上的 C 点移动）。

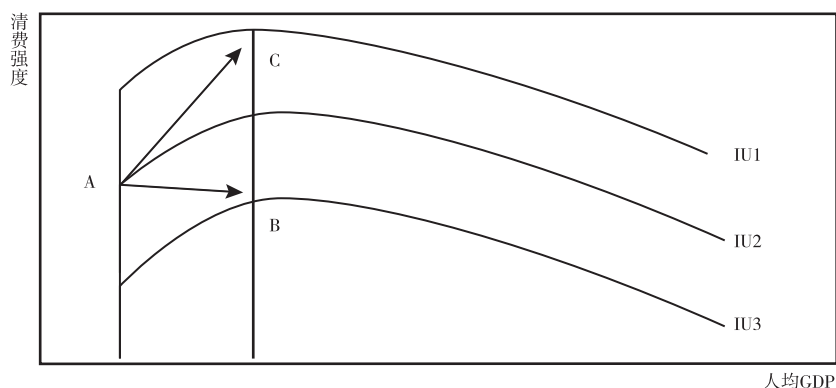


图 5-1 关于钢铁消费强度的理论比较

资料来源：作者更改自 Hwang, K. H. 和 Tilton, J. E. (1990), ‘Leapfrogging, consumer preferences, international trade and the intensity of metal use in less developed countries’, *Resources Policy*, 1990 年 9 月, p. 211 图 1。

Lohani 和 Tilton (1993) 对此进行了整合。他们认为，双方的学说中各有正确的部分，可以通过一个相对简单的实证将二者综合成统一的理论。在 Hwang 和 Tilton (1990) 的基础之上，Lohani 和 Tilton 研究了 1977 ~ 1988 年间低收入经济体的钢铁使用强度 (IU) 的变化，以检验已知理论并探讨综合理论的可行性。^①

他们的假设是，在低收入经济体的钢铁使用强度 (IU) 与人均收入 (因购买力和消费模式而改变) 以及时间 (反映技术前沿变化) 线性相关。如果技术升级派的极端版本是正确的，他们从横截面回归得到的针对人均收入的系数应该为零，并与其在时间趋势上的位置呈现负相关。如果消费者偏好派的极端版本是正确的，时间趋势的系数应该是零，并与人均收入正相关。因此，按照综合的统一的理论，估算的人均收入的系数应为正数，关于时间趋势的系数为负数。

检验结果证明，综合的统一的理论是成立的，具体地说，要想保持 IU 稳定，从而抵消技术升级所产生的使 IU 向下的作用力，这就需要达到大约

① Lohani 和 Tilton 为他们的测试假设了一个线性关系，因为他们的样本仅包括那些校准后落在 IU 曲线的向上倾斜部分的国家。请注意，他们不是测试 IU 曲线本身的鲁棒性，因为它肯定是非线性的。因此，他们没有给出 IU 曲线转折点的任何信息，而这正是本章要考虑的一个重要内容。

每年 1% 的真实收入增长率。因此，经济增长强劲的低收入国家的 IU 会上升，但那些经济停滞不前的低收入国家会因为技术变化或其他随时间趋势变化的因素，而看到其 IU 值的下降。^①

以上这些研究结果调和了两个对立观点之间的争论。但是作者指出，在他们的检验中所使用的样本中的 IU 变化情况尚有一半无法从该检验中得到解释。本文将从多方面扩展上面的分析，并在此基础上为对中国的钢铁需求长期预测提供参考。

首先，我们实证检验的不是 IU 本身，而是用人口调整后的库兹涅茨钢铁曲线（KCS）。IU 是在不同人均收入水平下衡量单位产出的钢铁消费量；而库兹涅茨钢铁曲线是由人口规模调整后的人均钢铁消费量来衡量的。我们决定放弃 IU 框架的原因是，我们发现与 KCS 并列的其他现存的绝对和相对指标无一例外地都按人均来表达，而 KCS 是一个概括性的指标。以人口作为分母，以钢材消费作为分子还有一个好处，即使 KCS 成为了一个需求方的概念，而 IU 框架是供应方的产物。

除了证实 KCS 的存在，我们还用人均收入的形式估计其转折点。其次，我们不仅分析当前的低收入经济体的情况，还对目前中等收入和高收入经济体的早期和中期工业化阶段也做了分析。我们使用的数据是时间间隔为 5 年的较长时间序列的数据，而不是同一时代处于不同发展水平的多个经济体的数据。因此我们避免了横断面分析所固有的问题，特别是有数据限制的情形（McKay, 2008）^②。最后，我们扩大了实证分析，加入了宏观经济变量，如投资倾向、城市化率、贸易开放度和汽车普及率。我们

① 考虑到技术升级现象严重依赖外国资本流动，而且无法吸引外国投资者注意的经济往往增长缓慢，因此在经济表现欠佳地区，技术升级是否会对 IU 值产生一个极其强大的下拉之力尚不确定。事实上，资金短缺将限制投资在这些经济体的 GDP 中的份额，如果投资效率低（没有外国投资者将证明事前和事后），那么人均收入的增加会很缓慢。相反，一个能够吸引大量外国投资的经济体所受到的来自越级现象的拉动力会大大高于平均拉动力。随着技术的进步，在投资基金，随之上升的投资比例以及增高的投资效率之间的良性关系会取代旧的预测，但是，人均收入迅速上升并抵消了技术升级之后，仍会对 IU 产生拉力。韩国就是一个典型的例子（Hwang 和 Tilton, 1993）。

② 虽然有许多国家近年来各种各样工业战略相应的横断面钢铁消耗强度数据，但仅利用这些数据却有可能被误导。对于可比较的时间序列数据的重视对于定义 A 点（入口）到 B 点（峰值）至 C 点（完成）这样的路径十分重要。横断面分析虽然对此有所帮助，但它更可能带来误导。困难在于，横断面可以确定 A 和 C 点的性质状态，但这两个状态间的路径则可能被掩盖了，而如果样本不完善的话，B 的确定也会出错。不要将本说明与图 5-1 中的文字相混淆。

在一个联立方程系统中使用了这个增强的数据集，目的是为了找到这些关键变量对总需求的影响。这让我们能够明确检验经济发展和 IU 之间关系变化的综合的理论能否经受时间的考验，并且能否适用于不同国家和地区。

在对该实证方法和数据进行讨论之前，将 IU 框架看成是一组方程和恒等式是非常有用的。根据 Etheridge (1981)、Hwang 和 Tilton (1990)，我们得到方程 5.1，其中 m = 钢铁消费水平， IU = 单位产出的钢铁消费， Y = 国内生产总值 (GDP)， N = 人口， S_i = 部门 i 在 Y 中的份额， i_i = 在部门 i 的产出中使用的钢铁量。

$$m \equiv IU \times \frac{Y}{N} \times N \quad \text{方程 5.1}$$

上式两边同时除以 N 得到人均表达式见方程 5.2。

$$\frac{m}{n} \equiv IU \times \frac{Y}{N} \quad \text{方程 5.2}$$

继续变换，我们可以得到方程 5.3 和 5.4。

$$IU = \frac{m}{Y} \quad \text{方程 5.3}$$

$$\frac{m}{Y} = \sum \left(\frac{S_i}{Y} \times \frac{i_i}{S_i} \right) \quad \text{方程 5.4}$$

可见，我们关注的 $\frac{m}{N}$ 的大小取决于人均收入和 IU ，而 IU 值又是与钢铁相关的经济活动部门构成的函数。

扩展到一个开放经济，考虑到技术的变革，将 Y 分解为其组成部分，得到方程 5.5。

$$IU = f(DD_w, EXP_w, IMP_w, t) \quad \text{方程 5.5}$$

在方程 5.5 中， DD 是国内需求， EXP 和 IMP 分别是出口和进口， t 是目前的技术状态^①。

因此，人均收入的变化，由产业结构调整（跨部门和/或部门内部）引发的国内需求的变化，一个国家的国际贸易性质的变化都可以导致钢铁需求的改变。在不经历经济结构的改变或没有因技术变革的机制而使人均收入增

① 在这里忽略了存货，因为在这里假定存货对经济结构是中性的。

长的情况下， IU 仍然有可能变化。^① 根据技术升级派的理论，我们假设 t 与 IU 是负相关。^②

“库兹涅茨曲线”指标和一些方法上的考虑

“库兹涅茨曲线”是一条倒 U 形的曲线，它将收入分配和人均收入联系起来，该曲线最早由库兹涅茨（1955）提出。这个原始库兹涅茨曲线的实证证据最早是来自于一些工业化国家（美国、英国和德国普鲁士/萨克森州）的时间序列和对拉丁美洲和南亚地区一些低收入水平国家的观察。^③ 时间序列数据和横截面数据的混合形成了这一倒 U 形状。在假设的曲线上，低收入经济体是曲线的隆起，“证实”了零碎的时间序列证据。

后来东亚在第二次世界大战后 1/4 个世纪内减少了低收入和中等收入发展阶段的不平等的发展轨迹经验表明，由库兹涅茨观察到的拉美和南亚的发展路径具有独特性，并不是普遍的情况。遵循发展模式的两个地区鼓励寻租精英的超常规发展，和可预见的收入分配方面的结果。因此，原来意义上的库兹涅茨曲线对于在横截面数据中寻找可预测关系的发展学者而言仅是一个具有告诫意义的故事。

在钢铁领域，可以很容易地收集到处于同一时代但收入水平不同的多个国家的横截面数据，来反映出一个明显的库兹涅茨型关系。在反映人均钢材需求与人均收入关系的曲线隆起部分，由两个中等大小的中上收入水平的北亚经济体（韩国和中国台湾）提供顶点。他们都是在过去的半个世纪中才进入工业化的国家和经济体。这些经济体在钢铁需求上所呈现出的路径是典型的还是非典型的？这一判断可能会决定以横截面数据作为代表数据是否有效，因为我们没有其他现成的中等收入经济体来替代它们。

由 McKay（2008）做的初步调查中记载了一个较长时间序列中美国人均钢铁使用量中存在一个 KCS 关系。美国长期人均钢铁需求是对库兹涅茨

① 相对价格的变化也可以导致 IU 的变化。在一个发展型国家如果重工业是一个战略部门，那么很可能国家为了支持该部门而打压生产要素的价格（如土地、劳动力、能源、资本）。移除这种打压将明显影响到 IU 。这对于中国的情况尤为重要（Huang 和 Tao，2010）。

② 此框架明显适合于输入—输出（IO）分析，其中钢铁使用系数可以估算和应用。这项技巧非常适用于有着相对稳定的经济结构的工业化经济体。由于公布详细的投入产出表的固有延迟，再加上 5 年的间隔周期，因此要想找到一个精确的“起跳点”来评估像中国这样快速发展的国家的 IU 状况不大可能。

③ 库兹涅茨用的数据来自印度（1949 ~ 1950），锡兰（今斯里兰卡，1950）和波多黎各（1948）。

关系的强有力的实证证据支持。我们发现，美国在 20 世纪的人均钢铁用量在一个散点图中呈现出一个倒 U 形曲线，这一发现，“证实”了横截面“证据”，表明库兹涅茨框架可以应用于整个钢铁需求领域。然而，经济发展是一个复杂的过程，其中涉及城市化进程、投资方式和部门转变 [在中国是指所有制变革（Garnaut 等，2006）和资源市场不完善]、不同的国际贸易方式、外国投资、金融体制、机构改革，等等。因此，将一个经济体的发展过程简化为一个工业化初始阶段所带来的高增长阶段，接下来，当从生产力水平趋同过程中受益的能力由于靠近生产力边界而降低时，就进入了一个减速阶段。这样的简化可能会产生误导。相反，由于对外围国家在其增长路径上所观察到的不均一性（Haggard，1990），有必要建立一个可以综合考虑这些差异的分析系统。

总之，对一个狭窄的可能没有代表性的样本进行概括虽然有着诱惑力，但并不恰当。我们所需要的方法应该允许在一个一致的总框架内存在相对于平均路径的偏差。因此我们的方法要估计总的 KCS 关系，以及在同步进程中掌握它的基本决定因素。

模型说明及估计策略

模型说明

为了考察长期人均钢铁需求和经济发展之间可能存在的“库兹涅茨”关系，我们依照 McKay（2008）的做法，假设人均钢铁需求是人均收入，人均收入的平方项和其他影响因素的函数（如方程 5.6 所示）。

$$\ln steel_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln gdp_{it} + \beta_2 \ln gdp_{it}^2 + \gamma z_{it} + \varepsilon_{it} \quad \text{方程 5.6}$$

方程 5.6 中， $\ln steel_{it}$ 表示人均钢铁消费量的对数， $\ln gdp_{it}$ 和 $\ln gdp_{it}^2$ 分别是国家 i 在时间 t 的人均 GDP 及其平方项的对数。 $Z_{it} = (\ln car_{it}^1, t)$ 是其他可控因素，代表汽车普及度（定义为每 1000 人中乘用车数目的对数）及其对技术进步（定义为时间趋势）的影响。因此，如果库兹涅茨关系成立将意味着，在人均 GDP 的对数前的估计系数应该是正数，而人均 GDP 的平方项的对数前的估计系数应该是负数。此外，时间趋势的系数显著为负是对技术升级理论的支持。汽车普及度是消费者偏好理论的代理变量，因此其系数预期为正。

我们的实证形式是对 Lohani 和 Tilton (1993) 的工作的发展。按照这种方式来分析, 我们的检验可以全面地更新和延伸关于经济发展和 IU 之间关系的整合理论的观点。此外, 这种方法可以推断出 KCS 的转折点, 而这是单一的线性方程系统无法做到的。另外它还可以作为一个预测模型, 用于预测中国未来钢铁需求。

方程 5.6 可以运用各种方法直接进行估计, 但得到的结果孤立起来看可能不具有经济学上的意义。这是因为一个单独的方程式可能会违反如下一个经验现实: 在确定长期人均钢材需求所遵循的路径时, 工业化进程的性质和发展水平一样重要。为了控制这个因素, 我们选择对三个方程 (方程 5.6, 5.7 和 5.8) 联立后估算, 三个方程分别含人均钢铁用量、人均 GDP 及其平方项作为因变量。估计采用 5 年的平均数据 (基本上平滑的长期时间序列) 作为全球经济的一个代表性的样本。这些数据来自 14 个国家和地区, 时间范围从 1890 年至 2008 年。

由于进入工业化发展各阶段的条件不同 (包括不同国家的不同技术起点, 比较优势的不同, 以及实现经济发展目标的机构性手段的多样性等), 具有相似的人均收入水平的国家可能产生不同的人均钢铁需求。因此, 在 KCS 分析中, 人均国内生产总值似乎可以视为一个中间变量, 它由代表一个国家发展模式的一些因素所确定。这些因素包括城市化进程、投资倾向、工业化和贸易的开放程度。虽然这些因素是所选择的经济发展模式所内生的因素, 但从计量经济学上来看, 在我们的模型中它们是人均国内生产总值的外生决定因素。

方程 5.7 和 5.8 完成了检验所需要的联立模型系统。

$$\ln cgd p_{it} = \delta_0 + \delta_1 \ln cinv_{it} + \delta_2 ur_ratio_{it} + \delta_3 op_ratio_{it} + \delta_4 t + u_{it} \quad \text{方程 5.7}$$

$$\ln cgd p_sq_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 \ln cinv_{it} + \varphi_2 ur_ratio_{it} + \varphi_3 op_ratio_{it} + \varphi_4 t + v_{it} \quad \text{方程 5.8}$$

两个方程中, $\ln cinv_{it}$ 是人均总投资额^①的对数, ur_ratio_{it} 是城市化率 (定义为城市人口占总人口的比例), op_ratio_{it} 是贸易开放指数 (定义为出口加进口总额在 GDP 中的比重)。方程 5.6 ~ 5.8 使用联立方程法进行估

① 我们使用人均投资额而不是更常见的投资占 GDP 份额。这样做是因为, 一个发展中的经济体其投资所占份额可能比较高, 相比起它的劳动力而言, 它不大可能有较大的资本存量。这使我们能够看到一个持续时间较长的资本深化过程, 这个过程在采用投资份额 (尤其是在投资效率随着时间推移而提高的情况中) 的案例中不一定会看到。另外我们也能看到折旧支出在更高水平的发展中的重要性。

计。在得到一个正确的估算值之前有两个经济计量问题需要解决。

首先，由于我们在估计中使用的是面板数据，因此各个国家的特定因素的影响需要加以排除。如果有不随时间改变的国家的特定不可观测的因素影响了因变量（即人均钢材需求），而且还与独立变量有关（即人均国内生产总值）的话，那么估算系数可能会被高估或低估。为了解决这个问题，我们对所有变量取一阶差分，从而得到方程 5.6'，5.7'，5.8'。

$$d\ln csteel_{it} = \gamma_0 + \beta_1 d\ln cgd p_{it} + \beta_2 d\ln cgd p_sq_{it} + \gamma_1 d\ln ccar_{it} + d\varepsilon_{it} \quad \text{方程 5.6'}$$

$$d\ln cgd p_{it} = \delta_4 + \delta_1 d\ln cinv_{it} + \delta_2 dur_ratio_{it} + \delta_3 dop_ratio_{it} + du_{it} \quad \text{方程 5.7'}$$

$$d\ln cgd p_sq_{it} = \varphi_4 + \varphi_1 d\ln cinv_{it} + \varphi_2 dur_ratio_{it} + \varphi_3 dop_ratio_{it} + dv_{it} \quad \text{方程 5.8'}$$

三个方程中， $d(\cdot)$ 代表一阶微分。

其次，当选用联立方程回归技术时，方程间剩余误差的可能关联并导致估算系数的有效性出现问题（Zellner, 1962）。换句话说，如果我们假定 $d\varepsilon_{it}$ ， du_{it} 和 dv_{it} 是各自独立且相同分布的（就如统计学中通常假设的一样），则所有系数估算的标准误差会有系统性误差，因为 $d\varepsilon_{it}$ ， du_{it} 和 dv_{it} 会通过不同方程的那些非独立变量联系起来。于是，回归技巧的统计学意义被贴上了问号。为了解决这个问题，我们使用似乎非相关回归技术（SUR）来调整我们的估算。

为了测试我们检验结果的稳定性，我们进行了两个显著性检查。一方面，我们用其他发展指标代替原来的因变量（如耗电量、铁路货运、航运船只，所有项都取人均值和对数值），发现结果并没有很大的差别。我们还采用了多种经济计量方法。^① 我们再次发现，估算系数的预期符号和统计学意义仍然没有改变。

数据描述

该研究中使用的样本涉及 14 个国家和地区从 1890 年至 2008 年的数据。样本包括加拿大、美国、拉丁美洲、非洲、经济合作与发展组织（OECD）的欧洲成员，独联体国家（1990 年后为俄罗斯联邦）、中东、印度、中国、东南亚、大洋洲、日本、韩国和中国台湾。为了减少年与年之

① 替代变量为用电量，铁路货运和航运船只（所有项都采用人均值和对数值）。可选择方法一个是动态固定样本回归（指定人均国内生产总值为内生变量），另一个是四回归法（模型说明不同）。

间的波动，我们使用 5 年平均数据。研究采用与国际钢铁协会一致的对区域的定义。

我们使用的宏观经济变量为钢材用量、国内生产总值、投资额、用电量、私人汽车拥有量（全部按人口调整）、贸易开放度（按国内生产总值的比例）和城市化率。在不同国家和不同时间段对各变量都采用同样的度量。钢材用量定义为总的粗钢消费量。国内生产总值按 1990 年不变价国际美元计算。投资额是指固定资本形成总额。城市化率是指城镇居民占总人口的百分比。贸易开放度是指出口加进口占国内生产总值的比重。

这些数据主要有三个来源。粗钢产量和消费量来自国际钢铁统计数据；人口数据来自麦迪森（2003，2010）；从宾夕法尼亚世界表（国际比较中心）获得了国民经济核算变量和城市化率；美国国家经济研究局（NBER）的 CHIPS 数据库提供了每 1000 人中的私家车拥有量，人均电力消费量和其他一些国家特定变量。美国从 20 世纪 30 年代中期到朝鲜战争结束期间人均钢铁产量增长模式与加拿大、欧洲和独联体从 20 世纪 50 年代到 70 年代的情形有着明显的相似之处。日本从 20 世纪 50 年代初到 70 年代和韩国从 20 世纪 70 年代初期到今天，以及中国自 2000 年以来的情形也非常类似（图 5 - 2）。但是美国和加拿大的人均钢产量水平在到达顶峰之后就开始稳步下降（形成一个倒 U 形曲线），而欧洲和独联体国家却在较低的峰值水平上维持了更长的时间。

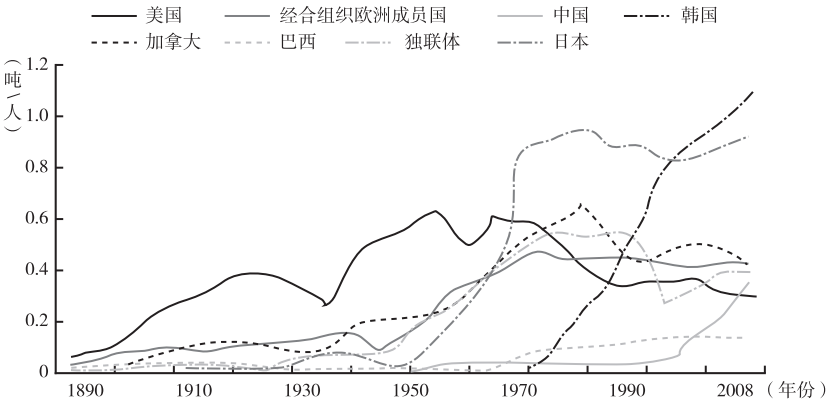


图 5 - 2 各经济体人均粗钢产量

资料来源：数据来自世界钢铁统计年鉴，国际钢铁协会。

日本人均钢铁用量在到达峰值后的几十年内保持稳定,而韩国的人均钢铁用量还没有达到峰值,但进入 20 世纪 90 年代以后增幅开始减缓。日本和韩国的人均钢铁产量水平远远高于其他工业化国家。这么高的水平在西方工业化历史上是前所未有的。图 5-2 也显示,在日本的案例中,加速期持续了约 20 年(1950~1970),而韩国更甚,其加速期持续了近 40 年而且还在继续。这说明先前提到的韩国独特的钢铁消费之路。中国的人均钢产量还将增长多大幅度,这个加速过程还将持续多久,都将是重大的、有待解决的问题。

图 5-3 说明了从 1890 年至 2008 年较长时间内主要国家和地区的人均钢铁产量和人均收入的关系。这个图有三个特点:首先,某些国家(特别是东亚国家)的轨迹似乎符合消费者偏好理论的观点,即钢铁需求随着人均收入的增加而持续上升。这个过程甚至延伸超过了其他工业化国家达到的钢铁使用强度的峰值点。其次,西方经济体已经证明其钢铁使用强度的改变模式更符合技术升级理论的观点,即当人均收入达到 10000 至 15000 美元后钢铁使用强度达到峰值并开始下降。钢铁用量于是稳定在约人均 20000 美元的水平上,约为峰值的 0.5~0.75,此后遵循周期性变化规律。

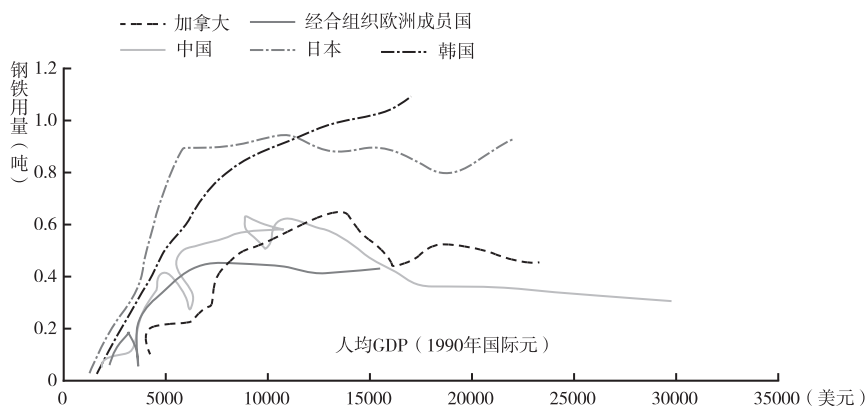


图 5-3 粗钢产量与国内生产总值(按人口规模)(1890~2008 年)

资料来源:数据来自世界钢铁统计年鉴,各种发行刊物,国际钢铁协会。

这些基础数据为正式的计量经济模型提供因变量。在第 3 节和第 4 节我们将详细介绍计量模型,并用其检验不同的理论及其综合的理论是否有效。这也是预测中国未来人均钢铁需求轨迹的背景。

建模任务的艰巨性可以通过一个解释性变量展现出来:城市化率(图 5-4)。根据著名的刘易斯部门转移说,城市化进程往往伴随着人均钢材需

求的上升，因为它将直接促进 GDP 的增长。城市化进程还通常伴随着住宅和基础设施建设的扩大，以适应人口的迁移。人口聚集带动了服务行业的发展，促进了专业化，由此也提高了生产效率。这些因素都会带来收入的增长，从而推动了有效需求的增加，等等。正如这个简短描述所指出的，城市化进程对于消费者偏好论的支持者而言是一个很有吸引力的变量。但是，城市化和钢铁用量之间并没有固定的关系。例如，巴西的城市化比率接近 80%，但巴西的钢铁使用强度（以及人均收入水平）仍较低。巴西还拥有储量丰富的黑色金属资源。韩国与美国城市化水平相近，但韩国的钢铁使用强度比后者高。中国的城市化水平要远低于美国和巴西，但中国的钢铁使用强度已经超过了这两个国家。中国的钢铁用量正在向独联体靠拢，而后者明显有着更高的城市化水平。就日本而言，它的城市化水平比美国低，钢铁使用强度远高于美国，尽管其人口密度较大且资源匮乏（McKay，2008）。无论从理论还是直观的角度来看，在实证检验中包含城市化率指标都是合理的。然而，对国家层面数据的快速审查突出了样本中各个国家之间的差别。

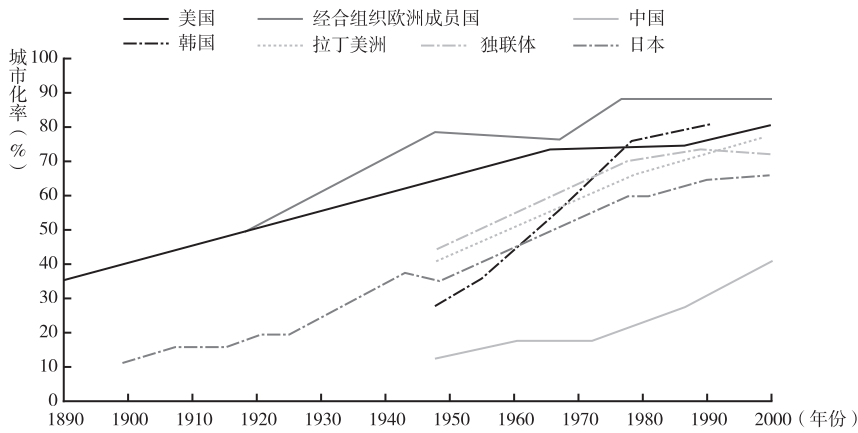


图 5-4 不同经济体的城市化比例

资料来源：费城宾夕法尼亚大学的宾夕法尼亚大学世界表，国际比较中心（出版日期不详）。

估算结果与预测

利用上面给出的模型得到的估算结果获得了人均钢材消费量和人均国内生产总值之间的互动关系，以及它们的共同决定因素，表 5-1 给出估算结果。

表 5-1 联立方程检验的主要结果 (1890 ~ 2008 年)

因变量:钢铁需求量的对数		因变量:GDP 的对数		因变量:GDP 平方的对数	
GDP 的对数	6.299 *** (1.325)	新投资额的对数	0.418 *** (0.056)	新投资额的对数	6.664 *** (0.959)
GDP 平方的对数	-0.313 *** (0.078)	城市化比例	0.018 *** (0.006)	城市化比例	0.233 ** (-0.097)
私家车数目的对数	0.118 * (0.057)	开放比例	-0.001 (0.003)	开放比例	0.001 (0.049)
时间趋势	-0.028 *** (0.011)	时间趋势	0.009 * (0.005)	时间趋势	0.145 * (0.083)
时间趋势的平方	—	时间趋势的平方	—	时间趋势的平方	—
- 常数	0.495 ** (0.208)	- 常数	-0.128 (0.095)	- 常数	-1.853 (1.609)
调整后的 R 平方	0.48	调整后的 R 平方	0.56	调整后的 R 平方	0.52
观测数目	72	观测数目	72	观测数目	72

注: - 表示零, *** 表示 $p < 0.01$, ** 表示 $p < 0.05$, * 表示 $p < 0.1$ 。简单起见, 我们没有列出方程 5.8 的估算结果, 如有需要请向作者索取。括号内的数字代表标准误差。

资料来源: 作者估算。

首先, 计算结果所显示 KCS 确实存在。方程 5.6' 估算结果与我们的预期十分吻合。如表 5-1 所示, 人均国内生产总值 (人均 GDP) 的估算系数为正, 人均 GDP 平方项的估算系数为负, 并且二者都在 1% 的水平上有显著统计意义。此外, 汽车普及率这一变量也正如预期所料, 每 1000 人所拥有汽车数量的估算系数统计学显著为正。这证明随着时间的推移, 消费者的喜好对于决定钢铁消费量起到了重要作用。一般来说, 普及程度越高, 人均钢铁需求量很可能越大。时间趋势及其平方项的估算系数在 1% 的水平上分别显著为正和显著为负, 恰好证明技术升级理论的正确。由此, 消费者偏好理论和技术升级理论同时得到证明, 因此对二者进行综合的观点是正确的 (Lohani 和 Tilton, 1993)。作为一个新的概念, KCS (McKay, 2008) 也在对综合观点的拓展中被更严格地确定下来。

其次, 虽然这些结果是对钢铁需求领域以前工作的一个重大的升级和延伸, 但只有这些还无法使我们直接从方程 5.6' 进展到对中国钢铁需求的预测。不仅是因为中国的实际钢铁需求常常挫败学者们用跨国数据集对它进行解释的尝试 (例如, 国际货币基金组织, 2005b), 而且事实已经证明在所有国家, 人均国内生产总值充其量只是人均钢铁消费的弱预测因素。长远来

看，我们也必须明白，与工业化类型相关的许多共同因素都能同时推动 IU 和人均国内生产总值的变化。

这些共同的因素全部被包括在方程 5.7' 和 5.8' 中，其中根据人均投资额、城市化率和贸易开放程度对人均 GDP 及其平方项进行了回归计算。这些因素都可能影响人均收入和人均钢铁消费量。正是这些因素综合起来产生了明显的 KCS。在我们的估算结果中，不仅人均投资和城市化都对人均国内生产总值有正面贡献（1% 的显著水平），而且它们还解释了人均国内生产总值的平方项（正相关且在 1% 水平上有统计显著意义）^①。因此，当我们把方程 5.7' 和方程 5.8' 代入方程 5.6' 中可以看到，除了消费者偏好和技术进步两个变量之外，以上三个因素也驱动了钢铁消费量的增长。

预测实例：中国的钢铁需求和经济发展

我们的模型在不牺牲国家的多样性特征的前提下可以对中国的钢铁需求进行预测。把上面介绍的数据结合经济计量学结果，再加上经济史方面的知识，可以得出结论：虽然与发展相关的宏观变量之间确实存在一个普遍的关系，但是由于各个国家的发展路线普遍存在巨大差异而使得在一个给定的人均收入水平上允许有多个可能的人均钢铁需求程度。虽然 KCS 是一个好的讨论出发点，但它并不是最终目的。在对体制随时间演变的影响因素进行分析时，我们还必须考虑其他潜藏在宏观经济动力学下面的因素。

中国已经确定了自己的轨道，走出了一条独特的经济发展之路，它的未来也将与众不同。关于中国未来对钢铁的需求将带有如韩国、日本、美国、独联体和西欧的特点，但产出将反映出中国的特色。

表 5-2 总结了 1980 ~ 2008 年中国主要的经济发展指标，这些数据反映了中国人均收入的迅速增长。在过去 30 年中，投资、资源需求和贸易开放程度都在迅速膨胀。城市化率也在不断增加，但速度较慢，反映了政策实施的制度约束。所有这些因素将影响到人均收入的未来走向，并随着技术的进步和不断变化的消费偏好相结合，将决定未来一定期间内的钢铁人均消费量的走向。

① 尽管贸易开放程度在我们的模型中并不重要，我们仍把它放在回归计算中，因为我们认为从概念的角度看它是一个重要的控制变量。

表 5-2 中国的经济和人均钢铁需求（1980~2008 年）

年 份	人均钢铁 需 求 (吨)	人均 GDP (以 1990 年国 际元计)	投资所占 份 额 (%)	贸易开放度 指数 (%)	城市化 率(%)	人均电力 (TWh)	每千人的 乘用车 数 量
1980	0.0435	809	25.1	31.5	19.6	307	—
1985	0.0555	985	34.3	32.2	23	374	0.3
1990	0.0644	1400	40.8	25.4	27.4	565	0.7
1995	0.0789	1754	43.6	32.2	31.4	842	2.1
2000	0.1002	2718	37.1	41.9	35.8	1046	4.9
2005	0.2716	3297	51.7	67.3	40.4	1131	14.1
2008	0.3752	5449	54.4	69.0	44.9	2452	21.6
复合年增长速度 (从 1980 年起)	8.0%	7.0%	2.8%	2.8%	3.0%	7.7%	
复合年增长速度 (从 1990 年起)	10.3%	7.8%	1.6%	5.7%	2.8%	8.5%	20.8%

资料来源：国家统计局（NBS）各年度的《中国统计年鉴》，投资份额资料来自美国华盛顿特区世界银行在线数据库的“世界发展指标”。

首先，我们提出一个情景，即目前的趋势在观测期内继续成立。利用目前的人均投资增长率、城市化指标增长率以及贸易开放指标增长率（过于简单的基线），我们推算了中国在一段时间内的人均收入与钢铁使用强度之间的关系（如图 5-5 所示），置信区间由国家的具体特点共同确定，结果采用标准偏差衡量。预测所采用的方法不是根据预定的 KCS 关系，而是基于我们的三个核心发展因素分别对人均国内生产总值和钢铁消费量的贡献。

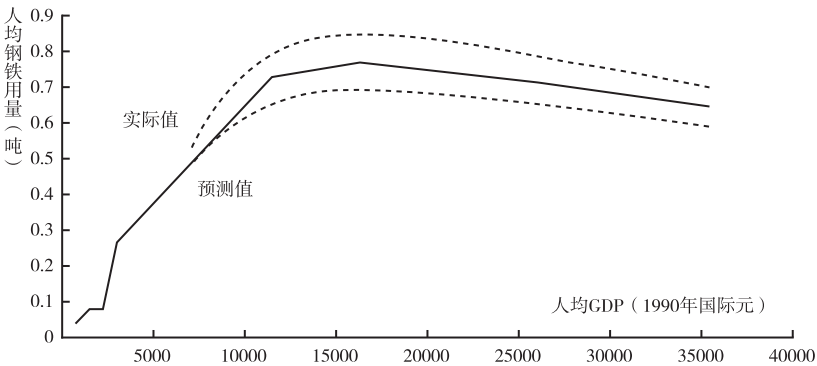


图 5-5 目前趋势的外推预测人均钢铁需求

资料来源：作者推算。

以 2008 年的升级点为基础，我们假设所有三个因素都对人均 GDP 和钢材消费量产生一个固定的边际影响（从我们的联立方程回归得到）。然后用所得到的所有结果生成人均 GDP 和钢铁消费量的前进轨迹。

在此基础上，我们关于人均 GDP 水平的估算与中国自己的 KCS 转折点保持了一致，为 15449 美元。鉴于中国在 2008 年的人均收入水平为 5449 美元（见表 5 - 2），因此在钢铁使用强度达到峰值之前人均收入要增加近两倍。从 1980 年到 2008 年，中国人均 GDP 的复合增长率为 7%。如果该增长率能够持续下去，中国的钢铁使用强度将在 2024 年达到峰值。如果采用 1990 年以后更快的增长率 7.8%（该速率意味着人均 GDP 每 10 年增加一倍以上），则转折点将提前 3 年实现。该预测的中心趋势表明，在该人均收入水平的情况下，钢铁需求峰值将出现在位于上半部分的人均 700 ~ 800 公斤的范围内。在中国的这一钢铁需求峰值水平将超过美国在 20 世纪 50 年代达到的峰值水平，也超过欧洲、加拿大和独联体在 20 世纪 70 年代达到的峰值水平。但是该水平低于日本 20 世纪 80 年代和由韩国与中国台湾在目前所达到的最高水平。通常的警告适用于这一预测，即预测结果受外生变量所选择的时间路径影响。

对预测的讨论

图 5 - 5 所示的预测是基于目前的趋势会持续到未来这一简单假设。经济史告诉我们，在中国目前的发展阶段，停滞是最不可能发生的结果。表 5 - 3 是最近一份联合国关于未来中国经济的报告（UNDP，2010）中的一个设想。联合国方的要点是：人均 GDP 增长速度放缓，城市化率持续上升，汽车普及率的增速将随着其接近高收入经济体而逐步减速，第二次产业占总体经济活动的比重仍然很高，但在逐渐减少，人均钢铁需求在 2030 年达到约 630 公斤的峰值。

将他们的假设在我们的系统上运行后，我们发现，联合国对人均钢铁产量峰值的估计可能过低，但关于中国将在其峰值水平附近持续相当长一段时间的说法（即从 2020 ~ 2040 年至少人均 590 公斤）似乎是合理的。此外，鉴于中国的 KCS 转折点预计将在人均 GDP 为 15449 美元水平时出现，由此我们可以推导出联合国认为预计在 2032 年中国到达 KCS 转折点，这与他们假设的人均钢铁需求到达峰值的时间差不多。总之，联合国的钢铁预测在整体形状和时间方面看起来十分理性，但根据他们所做的其他宏观经济假设，我们认为中国未来将达到的钢铁需求峰值会更高一些。

表 5-3 联合国对未来中国经济发展的预测

年 份	2005	2010	2020	2030	2040	2050
城市化率(%)	43	48	56	62	66	70
GDP 中第二产业的份额(%)	48	49	48	46	42	38
每 1000 人的汽车数量(辆)	24	70	190	300	356	400
人均 GDP(换算成 1990 年的国际元)*	3297	4990	8868	14450	22151	32079
GDP 增长速率(10 年平均,%)	—	9.5	6.6	5.5	4.5	3.5
人口(百万)	1308	1360	1450	1520	1540	1500
人均 GDP 增长速率(10 年平均,%)*	—	8.7	6.0	5.0	4.4	3.8
发电量(TWh,一切如常)	2494	3830	6603	8880	10937	12360
钢铁产量(亿吨)	3.5	5.6	8.6	9.6	9.1	8
隐含人均钢铁产量(吨/人)	0.27	0.41	0.59	0.63	0.59	0.53

* 由作者从现有资料计算得来。

资料来源：联合国发展计划署（UNDP，2010），《中国人类发展报告 2009/10. 中国可持续发展：迈向低碳经济和社会》，中国翻译出版公司，pp. 107 - 108，3.1 的附录 3.1，3.2，3.3 和 3.4；p. 52 的表 3.1。

中国已经在许多方面确定了自己的道路，走出了一条独特的经济发展之路。在技术升级理论和消费者偏好理论方面，它仍然有可能突破常规。在确定中国能否在我们预测的时间框架内达到其人均钢铁需求峰值水平时，在确定哪个较高或较低的置信区间给出了来自中心趋势的误差的最可能方向时，或中国在长期钢铁需求方面是否会沿着与韩国一样的路径时，我们必须撇开经验而相信判断。问题在于中国的钢铁消费量将更多受到消费者偏好派理论影响，还是更接近于技术升级观点的预测。这是一个合理的问题，因为我们的模型估算结果证明这些观点相互包容。

例如，如果消费者偏好方面的作用远大于技术升级的影响，那么中国很可能会延长其到达峰值的时间，或者它会向较高的置信区间增加人均钢铁需求的绝对峰值水平。以上任一个或所有两个可能性都会提高中国走韩国式钢铁强度路径的机会。另一方面，如果技术升级现象非常明显，抵消了更多的消费者偏好的影响，那么有很大可能中国会缩短到达 KCS 转折点的时间，或者向较低的置信区间降低其钢铁使用强度的峰值水平。

根据其目前的人均收入水平，中国仍处于工业化的中期。这一阶段的特征是制造业在经济总量中比例相对较高，而且重工业占工业总产值的份额也较高（Chenery，1986）。这一工业化阶段的主要特点是粗放型增长模式，这种模式中要素投入发挥着重要作用，尤其是有形资本投入。因此，钢铁消费

量增长迅猛（见图 5-6）。中国还远远没有达到耐用商品的消费饱和点，比如其汽车普及率较低，仅为美国的 5%。如果考虑到中国庞大而尚未开发的农村消费市场的话，以上结论更是显而易见。这表明中国的耐用品消费增长空间巨大，对钢铁的需求也将相应增加。基于这样的根据，我们可以有把握地认为，消费者偏好将在中国未来几十年内发挥强有力的作用。

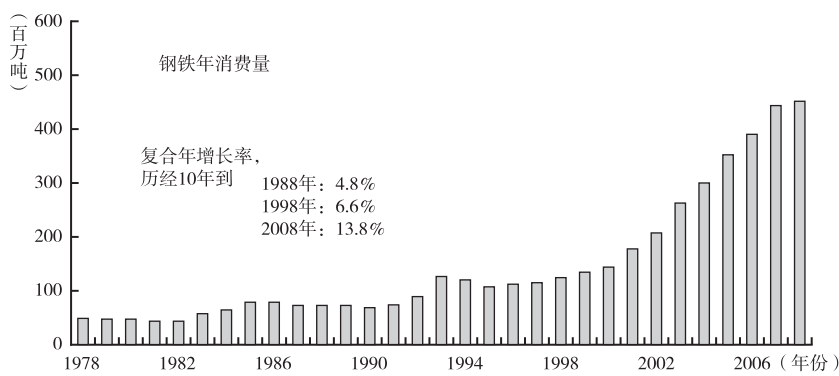


图 5-6 中国的粗钢消费量

资料来源：国家统计局（NBS），《中国统计年鉴 2009》，中国统计出版社；作者计算。

另一方面，越过目前的水平来看，中国正在接近长期的粗放式增长期的尽头，它将更加依赖于技术变革和生产力来扩大经济活动（Wang，2007；He 等，2007）。中国正在进入一个新时期，它的增长模式不再仅仅由在过去几十年中发挥作用的基本力量所主导。为了面对全球经济失衡、气候变化和老龄化社会的挑战，中国被迫在这一关键时刻采取新的发展战略。

考虑到中国比较优势的变化和常规发展给生态圈带来的巨大压力，因此这些战略的核心是期望改变工业化的模式。激励措施的变化有助于结构改革的进行，如对金融体系的改革、对资源和其他生产要素定价制度的改革（Huang 和 Tao，2010）。这些新战略的实施将加快中国技术跨越或升级的步伐，减缓未来其人均钢铁消费量的增长。

在中国和其他地方一样，对舒适环境的向往与人均收入之间存在着如“库兹涅茨”型的关系（Grossman 和 Krueger，1995；Bao 和 Peng，2006），但是，从来没有哪个富裕国家在其过去的发展进程中需要面对如目前一样严峻的全球环境问题。这意味着，比起我们的历史样本中其他经济体而言，中国未来必须更加追求资源节约型的技术革新。

这个简短的讨论只是强调，消费者偏好与技术升级的动态变化都将在中国

今后几十年间发挥作用。而现在，我们无法判断哪一个因素会起到更大的作用。

最后，关于预测我们再提及一点说明。这项研究的目标是为中国钢铁需求确定一个可能的结果范围，而不是为了得到一个精确的预测。我们相信，我们的置信区间是对中国中心 KCS 趋势可能的上行和下行风险的合理近似。显然，如果产生中心趋势的基本假设被高估或低估，该预测的准确性则会受到影响。

结 论

本章有两个目的：一是通过建立一个新的分析框架，在有关经济发展和钢铁消费之间关系上发展一个新的估计方法。二是利用上面的分析框架来阐明中国未来钢铁需求之路。结果如下：首先，我们正式定义了一个新概念——库兹涅茨钢铁曲线；其次，针对我们采用的人均框架，验证并更新了以往人们对钢铁使用强度（IU）的综合观点——既看到技术升级或跨越的作用，也考虑不断发展的消费者偏好的影响。为了验证这种方法，我们采用了比以往的研究更广泛的数据集和更先进的计量经济技巧，考虑了钢铁需求和人均收入的内生性以及各经济体历史的不同特征；再次，针对中国钢铁消费的预测，我们发现中国自身的 KCS 的转折点大约会出现在人均 GDP 达到 15449 美元的时候。如果中国将 1980 年以后的 7% 的复合增长率保持下去的话，这个转折点会在 2024 年出现。到那时，中国的人均钢铁需求将介于 700 ~ 800 公斤，而且更接近后者。该水平要高于在美国、独联体和欧洲国家所达到的峰值水平，但比在日本、韩国及中国台湾出现的峰值低。这个预测的准确性最终将取决于很多因素，其中最主要的是全球技术变革步伐的快慢和中国消费者偏好的变化。

鸣 谢

作者感谢周依晓在模型数据的收集方面所提供的帮助。

（樊腾飞 译）

参考文献

1. Bao, Q. and Peng, S. 2006, 'Economic growth and environmental pollution in

- China: a simultaneous estimation', *Journal of World Economy*, vol. 11, pp. 48 – 59.
2. Bruinsma, J. 2009, The resource outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? Paper presented to the Expert Meeting on How to Feed the World in 2050, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 24 – 26 June, Rome, < <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/ak971e/ak971e00.pdf> >
 3. Center for International Comparisons n. d., *The Penn World Table*, University of Pennsylvania, Philadelphia.
 4. Chenery, H., Robinson, S. and Syrquin, M. 1986, *Industrialisation and Growth: A comparative study*, Oxford University Press for The World Bank, New York.
 5. Etheridge, W. S. 1981, 'Demand for metals', *Materials in Engineering*, vol. 2 (March), pp. 131 – 40.
 6. Food and Agriculture Organization (FAO) 2002, *World Agriculture: Towards 2015/2030 – summary report*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
 7. Food and Agriculture Organization (FAO) 2006, *World Agriculture: Towards 2030/2050—interim report*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
 8. Garnaut, R., Howes, S., Jotzo, F. and Sheehan, P. 2008, *Emissions in the Platinum Age: the implications of rapid development for climate change mitigation*, Garnaut Review Working Paper revised draft, 2 May 2008, HYPERLINK <http://www.garnautreview.org.au> < www.garnautreview.org.au >
 9. Garnaut, R., and Song, L. 2006, 'China's resources demand at the turning point,' (with Ross Garnaut), Chapter 14 in R. Garnaut and L. Song (eds), *The Turning Point in China's Economic Development*, Asia Pacific Press: Canberra, pp. 276 – 293.
 10. Garnaut, R., Song, L. and Yao, Y. 2006, 'Impact and significance of SOE restructuring in China', *The China Journal*, no. 55 (January), pp. 35 – 66.
 11. Grossman, G. and Krueger, A. 1995, 'Economic growth and environment', *Quarterly Journal of Economics*, vol. 110, no. 2, pp. 353 – 77.
 12. Haggard, S. 1990, *Pathways from the Periphery: The politics of growth in the newly industrialising economies*, Cornell University Press, Ithaca, NY.
 13. He, J., Li, S. and Polaski, S. 2007, 'China's economic prospects 2006 – 2020', *Carnegie Papers*, no. 83 (April).
 14. Huang, Y. and Tao, K. 2010, *Causes and remedies of China's external imbalances*, China Center for Economic Research Working Paper No. E2010002, 25 February 2010, Peking University, Beijing.
 15. Hwang, K. H. and Tilton, J. E. 1990, 'Leapfrogging, consumer preferences, international trade and the intensity of metal use in less developed countries', *Resources Policy*, September, pp. 210 – 24.
 16. International Iron and Steel Institute 1972, *Projection 85: World steel demand*, International Iron and Steel Institute, Brussels.
 17. International Monetary Fund (IMF) 2005a, 'Will the oil market continue to be tight?', *World Economic Outlook*, April, International Monetary Fund, Washington,

DC.

18. International Monetary Fund (IMF) 2005b, 'Global imbalances: a savings and investment perspective', *World Economic Outlook*, September, International Monetary Fund, Washington, DC.
19. Kuznets, S., 1955, 'Economic growth and income inequality', *American Economic Review*, vol. 45, no. 1, pp. 1 – 28.
20. Leontief, W., Koo, J., Nasar, S. and Sohn, I. 1983, *The Future of Non – Fuel Minerals in the US and World Economy*, Lexington Books, Lexington, Mass.
21. Lohani, P. R. and Tilton, J. E. 1993, 'A cross – section analysis of metal intensity of use in the less developed countries', *Resources Policy*, June, pp. 145 – 54.
22. McKay, H. 2008, *Metal intensity in comparative historical perspective: China, North Asia, the United States & Kuznets curve*, Global Dynamic Systems Centre Working Paper 006, The Australian National University, Canberra.
23. McKay, H. and Song, L. 2009, 'Global implications of China as the manufacturing powerhouse', in R. Garnaut, L. Song and W. T. Woo (eds), *China's New Place in the World in Crisis: Economic, geopolitical and environmental dimensions*, ANU E Press and The Brookings Institution Press, Canberra and Washington, DC, pp. 261 – 302.
24. McKibbin, W. 2006, 'Global energy and environmental impacts of an expanding China' *China and the World Economy* vol. 14, no. 4, pp. 38 – 56.
25. Maddison, A. 2003, *The World Economy: Historical statistics*, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris.
26. Maddison, A. 2010, Statistics on world population, GDP and per capita GDP, 1 – 2008AD, Internet file, HYPERLINK [http://www. ggdc. net/maddison/articles/ruggles](http://www.ggdc.net/maddison/articles/ruggles) <<http://www. ggdc. net/maddison/articles/ruggles. pdf>>
27. Malenbaum, W. 1973, *Material Requirements in the United States and Abroad in the Year 2000*, University of Pennsylvania Press, Philadelphia.
28. Malenbaum, W. 1975, 'Law of demand for minerals', *Proceedings of the Council of Economics*, 104th Annual Meeting of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, pp. 145 – 55.
29. Malenbaum, W. 1978, *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*, McGraw – Hill, New York.
30. National Bureau of Statistics (NBS) various years, *China Statistical Yearbook*, China Statistics Press, Beijing.
31. Sohn, I. 2006, 'Long – term projections of non – fuel minerals: we were wrong, but why?', *Resources Policy*, vol. 30, pp. 259 – 84.
32. United Nations Development Programme (UNDP) 2010, *China Human Development Report 2009/10. China and a sustainable future: towards a low carbon economy and society*, China Translation and Publishing Corporation, Beijing.
33. Wang, X. 2007, Pattern and sustainability of China's economic growth towards 2020, Presented at the ACESA 2007 Conference: China's Conformity to the WTO: Progress

and Challenges.

34. World Bank n. d. , *World Development Indicators*, Online database, The World Bank, Washington, DC.
35. World Metal Statistics Yearbook, various issues, International Steel Association, Brussels, Belgium.
36. Zellner, A. 1962, ‘ An efficient method of estimating seemingly unrelated regressions and tests for aggregation bias’ , *Journal of the American Statistical Association*, vol. 57, pp. 348 – 68.