

禀赋结构匹配的技术调整：

技术可转换性、人力资本与结构转型

陈方豪 樊仲琛*

摘 要 本文研究在我国全面工业化进程中，人力资本禀赋结构的变化及其影响结构转型的机制。本文基于人口普查数据，建立如下特征事实：1982-2005年间，（1）我国低学历有效劳动力相对增多；（2）技术可转换性越高的产业，高学历密集度降低越多，相对就业规模增加越多。由此，本文通过一个新结构经济学模型，提出“禀赋结构匹配的技术调整”：技术可转换性高的产业朝禀赋结构变化的方向降低高学历密集度，增加使用丰裕的低学历劳动力，从而扩大规模。

关键词 禀赋结构匹配的技术调整，人力资本，技术可转换性

Endowment-Congruent Technological Change: Technological Adaptability and Structural Change of Human Capital

Abstract: We study the changes of human capital structure and its effects on structural changes during China's comprehensive industrialization periods. Based on population censuses data, we show that during 1982-2005: (1) the supply of efficient low-educated labor increased relatively to high-educated; (2) the more technological adaptable an industry is, by larger scale its high-educated intensity decreased and its relative employment scale its increased. We build a New Structural Economics model and interpret the findings as “Endowment-Congruent Technological Change”: Industries with high technological adaptability can reduce high-educated intensity to be congruent with endowment structure, use more low-educated labors, and expand its scale.

Keywords : Endowment-Congruent Technological Change; Human Capital; Technological Adaptability

JEL Code: O11, O14, J24

* 陈方豪，北京大学国家发展研究院；樊仲琛，北京大学国家发展研究院。通信作者及地址：樊仲琛，北京市海淀区颐和园路5号北京大学国家发展研究院，100871；E-mail: zcfan2017@nsd.pku.edu.cn。作者感谢北京大学新结构经济学研究院内部讨论会、新疆财经大学新结构经济学前沿研究讨论会、西安交通大学新结构经济学学术研讨会、中国人民大学“中国发展理论”国际年会、2020年北大汇丰商学院承办的中国经济学年会、2020年中山大学承办的中国青年经济学者论坛各位老师同学的意见和建议，特别感谢林毅夫教授和伍晓鹰教授的建议；感谢国家社会科学基金重点项目“新形势下我国制造业转型升级路径与对策研究”（20AJL017）的资助。文责自负。

一、引言

发达国家的产业发展往往是朝着技术密集的方向演进，而我国全面工业化进程中，一些工序较为简易、直接、程序化程度较高的产业，技术变迁却体现为对计划经济时期复杂的生产技术进行拆解改造，使之适应当时相对丰富的低学历劳动力禀赋。例如，在改革开放后的江浙和广东，大量以劳动密集、分工外包、广泛吸收低学历劳动力为主要特征的产业集群蓬勃发展（Vogel, 1989；张晓波和阮建青，2011）。

这引发了一系列疑问：我国工业化进程中为什么会出现与发达国家不同的、偏向低学历劳动力的人力资本浅化^①现象？为什么看似人力资本浅化的技术降级为我国的产业带来高速发展？什么因素决定了人力资本浅化中产业的异质性？

建国初期大力发展重工业（林毅夫等，1994），物质资本和人力资本十分密集，但当时高学历劳动力供给匮乏，实际生产效率低下。局部产业物质和人力资本双深化造成低学历劳动力未充分利用，存在技术调整的巨大空间。改革开放后，计划向市场转轨，行业准入与人口流动放松，企业自主选择技术，从而要素投入密集度逐步与禀赋结构匹配。同时，普及基础教育提升了低学历劳动力的效率。经济体低学历有效劳动力的相对供给增加，使低学历密集的生产方式符合比较优势。看似产业降级，实则技术朝着与禀赋结构匹配的方向进行调整或改造。本文基于中国改革开放后制造业发展的事实，根据新结构经济学的框架，提出“禀赋结构匹配的技术调整”，以人力资本禀赋结构的视角研究我国制造业内部进行的技术变迁。

与本文相关的文献包括以下三支：

第一，新结构经济学发展理论。早期的发展理论 Rosentein-Rodan（1943）认为，经济发展在初始阶段普遍面临瓶颈，有必要对其做一次“大推动”。然而据此制定重工业赶超战略的国家普遍遭受发展困境。新结构经济学认为，经济体禀赋结构决定了比较优势，是产业结构转型的根本推动力（林毅夫，2010），违背禀赋结构的产业无法获得市场竞争力（林毅夫和刘培林，2001）。随着经济体的要素禀赋结构中资本相对丰富，资本密集型产业才逐渐替代劳动密集型产业（Ju et al., 2015）。人力资本是经济体禀赋的重要一环，然而很多非洲国家在教育上大量投入，却没有取得快速增长（Easterly, 2002），原因在于其人力结构并不与其发展阶段的产业结构相匹配（林毅夫，2017）。Wang and Tang（2019）研究了人力资本结构和产业升级的关系，但实证使用高低学历劳动力人数之比代表人力资本结构，忽略了高低组内劳动力质量的提升。目前这支文献主要研究产业如何向资本密集型升级，尚未解释人力资本浅化现象。随着我国向高质量发展迈进，人力资本愈发重要，与产业发展的关系亟待深入研究。

第二，人力资本与经济增长。发达国家的产业转型呈现技能偏向的技术进步，对高学历劳动力的需求不断提高（Katz and Murphy, 1992；Berman et al., 1994；Acemoglu, 2002；Buera et al., 2015）。随着生产中自动化机器逐渐替代例行程度(routine)较高的工作(Acemoglu and Restrepo, 2018)，发达国家各学历之间出现“极化”现象（Autor et al., 2003；Autor and Dorn, 2013）。另一方面，低学历劳动力主要从事生产，高学历劳动力主要从事技术引进和创新（黄燕萍等，2013）。发展初期低学历劳动力具有比较优势，长期高学历劳动力越发重要（张川川，2015；Li et al., 2019）。研究外国的文献多以发达国家作为蓝本，不能解释我国改革开放早期制造业出现的人力资本浅化现象；研究中国的文献则多从经济增长总体出发，未解释不同产业高学历劳动力密集度变化的异质性。

第三，适宜技术引进和本地化。发达国家的技术进步是适合自身禀赋结构的，往往体现为高技能劳动力更加密集，所以直接引进发展中国家会存在技术对要素的需求和禀赋结构不

^①人力资本浅化指生产过程中高低学历有效劳动力人数之比下降。

匹配的问题 (Acemoglu and Zilibotti, 2001; Basu and Weil, 1998; Wang et al., 2018)。但是, 如果发展中国家在引进技术的时候选择技术前沿内符合自身比较优势的技术, 则可以缓解这样的不匹配问题, 实现经济快速增长 (林毅夫和张鹏飞, 2006; 黄茂兴和李军军, 2009)。这类文献以单一产业分析为主, 技术可以根据禀赋结构随时调整, 尚未讨论不同产业的技术可调整程度及其如何影响结构转型。

本文主要工作包括以下四个方面:

第一, 基于我国 1982、1990、2000 和 2005 年的人口普查数据, 发现高低学历劳动力人数之比提高, 理应产业会使用更多高学历劳动力, 但是规模扩张的行业内部的高学历劳动力密集度下降。我们参考 Chinloy (1980) 和 Jones (2014), 将相对工资作为权重, 把高中及以上学历换算为等值的高中学历劳动力 (H^*), 将初中及以下学历换算为等值的文盲劳动力 (L^*), 然后使用 H^*/L^* 作为经济体人力资本禀赋结构。在样本区间内, 随着初中学历劳动力较快扩张, 虽然 H/L 上升, 但 H^*/L^* 呈下降趋势, 反映基础教育迅速提高了低学历劳动力的效率 (Heckman and Yi, 2014; 白惠天和周黎安, 2020)。

第二, 将人口普查的 3 位数职业代码统一匹配到 Dorn (2009) 的 occ1990dd Occupation System, 得到职业的例行程度 (routine) 和抽象程度 (abstract) 特征。其中, 例行程度反映职业的任务能被明确表达为既定规则的程度, 抽象程度则反映在工作中进行主观能动性活动的程度。例行程度越高, 越能减少对高学历劳动力的使用; 抽象程度越高, 高学历劳动力越不可替代。根据 Autor and Dorn (2013), 在职业层面构建技术可转换性, 并对从业人员取算术平均作为产业层面的指标, 反映生产函数的可调整程度, 即使用低学历劳动力替换高学历劳动力。

第三, 实证分析得出定量事实: (1) 更高学历的人倾向于从事技术可转换性较低的职业; (2) 技术可转换性越高的产业和职业内部的 H/L 和 H^*/L^* 下降幅度越大; (3) 技术可转换性越高的产业在结构转型中规模扩张越多。上述事实控制初始产业物质资本密集度和非国有部门就业占比后依然成立。此外, 非国有部门就业占比增长越快的地区产业 H^*/L^* 下降幅度越大。因为随着低学历有效劳动力相对增多, 低学历密集的生产方式符合比较优势, 技术可转换性越高的产业越能用低学历替换高学历, H^*/L^* 下降幅度更大。这一过程受到从计划向市场转轨的影响, 计划经济控制越低的地区越能灵活调整技术。

第四, 基于定量事实, 本文通过新结构经济学理论模型解释内在逻辑机制。经济体中存在两类产业, 一类产业技术可转换性较高, 另一类产业技术可转换性低。当经济体 H^*/L^* 下降, 低学历劳动力成本相对降低, 所以低学历密集的产业处于扩张阶段。如果 H^*/L^* 低于一个门槛, 产业进行技术调整, 进一步提高低学历密集度, 更加符合比较优势。其中技术可转换性较高的产业更能灵活地朝着与禀赋结构匹配的方向调整技术, 从而在结构转型中规模相对扩大。

本文的主要贡献是: 第一, 在新结构框架下首次提出“禀赋结构匹配的技术调整”, 并通过定量事实说明 1982-2005 年期间产业间劳动力规模的相对变化和产业内人力资本浅化现象与人力资本禀赋变化一致。第二, 测算了我国制造业经效率调整后的人力资本结构, 为新结构经济学的禀赋结构测度方法做出了重要补充; 发现了我国 1982-2005 年以来低学历有效劳动力相对增多的定量事实, 强调了我国基础教育的普及推广对于制造业发展的重要作用。第三, 借鉴 Autor & Dorn (2013) 构建了我国产业层面的技术可转换性指标, 反映不同产业所使用技术中包含的隐性知识的高低。1982-2005 年期间, 技术可转换性越高的产业, 产业内高学历劳动力密集度降低得越多, 对该时期人力资本禀赋的变动有更强的反应。

本文剩余部分安排如下: 第二部分介绍本文使用的数据和实证方法, 第三部分归纳定量事实, 第四部分建立理论模型解释定量事实, 第五节总结全文并讨论政策启示。

二、数据和实证方法

（一）数据介绍

1. 全国人口普查数据

本文主要使用 1982、1990、2000 和 2005 年全国人口普查数据。其中，1982、1990 和 2000 年为全国 1%人口的随机样本，2005 年为全国 1%人口的随机再抽样样本，占全国人口 0.2%。个人层面信息包括所在地区、学历、职业、产业、和年龄籍贯等人口统计学特征，并提供高精度的人口就业信息。

不同年份的产业分类标准^②有差异，我们将产业统一调整到 GBT4754-2002 的 2 位数代码。本文主要集中在生产制造领域，故研究范围限定在制造业子产业（GBT4754-2002 的 2 位数产业代码 13 至 43，共 30 个产业）。职业信息方面，我们将各年的 3 位数职业分类标准代码（GBM）统一与我国 2000 年的职业标准代码匹配。

2. 中国居民收入调查数据（CHIP）

全国人口普查数据只有 2005 年汇报了个人收入数据。本文借助中国居民收入调查数据（CHIP）对其他年份反推。参考 Wu et al. (2015)，分别以 1987、1995 和 2000 年的 CHIP 数据估计相同形式的明塞尔方程（见附录表 A.3），并根据所得参数对 1982、1990、2000 年个人劳动收入进行插值。这是因为：（1）我国 2000 年之前缺乏高精度的个人层面收入数据，而 CHIP 是早期为数不多汇报个人收入的全国代表性数据库；（2）CHIP 覆盖了性别、年龄、教育程度等人口统计学信息，可以支撑明塞尔方程估计，使插值尽量与真实收入接近；（3）CHIP 数据中个人的产业信息仅精确到制造业大类，故不使用行业层面收入均值插值。

3. 职业特征数据

Dorn（2009）基于美国劳工部 1977 年发布的职业任务数据库（DOT），整理了 330 个美国自 1970 年以来可长期一致追踪的职位，建立 occ1990dd Occupation System 职业代码分类系统，并提供了职业特征指标^③——包括例行程度（routine）、抽象程度（abstract）。其中，例行程度表示任务能被明确表达为既定规则的程度。例如，菜谱里“盐 3 克，酱油 10 克”相比“盐少许，酱油少许”的例行程度更高。抽象程度表示该职位在工作中进行指挥、管理、协调，以及使用数理知识等主观能动性活动的程度^④。

此外，我们还使用部分文献或官方发布的加总数据。其中，年份-产业层面的资本/劳动比率来自陈诗一（2011），省级-年份层面非国有部门就业比重来自历年《中国劳动统计年鉴》。

（二）技术可转换性

文献经常使用熟练劳动力（skilled labor）和非熟练劳动力（unskilled labor）来界定人力资本。前者往往对应高学历，后者则是低学历。然而，低学历者不乏能工巧匠，高学历者也未必总是对应高效率。这样的定义不能说明不同教育程度劳动力从事职业内涵的区别，以及决定工资差异的本质因素。

Autor et al. (2003) 提出任务模型，将生产制造的过程抽象为一系列任务，解释机械自动化逐步完成对人力替代。隐性知识越少，生产任务的例行程度越高，就越容易通过标准化让机械代替人工。

本文拓展了对隐性知识的理解。不仅机械替代人工，低学历和高学历之间也相互替代，

^② 1982、1990、2000 年汇报 3 位数细分行业，前两年标准为 GBT4754-1984，后两年为 GBT4754-1994；2005 年汇报 2 位数细分行业，标准为 GBT4754-2002。

^③ 详见 <https://www.ddorn.net/data.htm>。

^④ Dorn（2009）使用美国劳工调查中受访者对职业使用各种技能强度的平均数来构造指数。例行程度使用“遵从工作设定的要求，标准”“手指灵活度”和“手眼脚配合”；抽象程度使用“指挥、管理、计划”和“数字推理能力”。

可替代性依赖隐性知识多寡。隐性知识越少，任务就越可以被转化为一系列具体指令，劳动者只需基本的理解能力。如同亚当·斯密所描述的扣针工人通过劳动分工与重复训练完善工艺技巧，受正规教育的影响甚微（Smith，2010）。但随着隐性知识增加，任务中“只可意会，不可言传”的内容越来越多，劳动分工的程度受到限制。裁缝虽能按照图案缝制衣物，但设计花纹图案却有赖于设计师的学识、品位和市场嗅觉。本文的核心假设是，高学历劳动者的不可替代性来源于对隐性知识的掌握，对于隐性知识较少的任务，高低学历劳动者的区别并不明显，可以将原本抽象的工作给低学历劳动者。

更一般地，隐性知识越少，不同生产要素的可替代性越强，生产技术可供调整的方向就更灵活。生产者可以根据自己的实际条件因势利导：在发达国家体现为机械自动化代替人工，在我国改革开放初期则体现为以低学历替代高学历的人力资本浅化，其实本质上都是技术与经济体的禀赋结构相匹配。

借鉴 Autor and Dorn（2013），我们构造职业层面的“技术可转换性”指标来反映各职业之间的隐性知识差异。首先，将各年人口普查的职业代码与我国 2000 年的职业代码标准匹配；其次，将我国 2000 年的职业代码标准与 Dorn（2009）的 occ1990dd Occupation System 匹配^⑤；第三，将职业特征指标，包括例行程度（routine）、抽象程度（abstract），按照数值大小线性映射到[0,1]之后与各职业匹配；最后，计算技术可转换性 = $\ln(\text{例行程度}) - \ln(\text{抽象程度})$ 。

随后我们将个人层面的职业特征在 2 位数制造业行业层面取平均值，取期初 1982 年的数值作为各产业的技术可转换性^⑥。表 1 展示产业层面各项特征的相关性。技能密集度和资本密集度高度正相关，而技术可转换性与技能密集度和资本密集度都有很高的负相关性。本文并不否认资本密集度变化带动人力资本结构的可能性，出于稳健性考虑后续回归皆对此予以控制。

综上所述，技术可转换性衡量了一个产业的生产函数非刚性，数值越大，生产中涉及的直白的程序性活动越多，主观能动性活动越少，越能根据实际情况灵活调整生产要素结构，从而适应禀赋结构的变化。

表 1 产业层面特征相关系数

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	抽象程度	例行程度	技术可转 换性	H/L	生产端 H/L	资本/劳动
抽象程度	1					
例行程度	-0.145	1				
技术可转换性	-0.871***	0.234	1			
H/L	0.630***	-0.224	-0.327	1		
生产端 H/L	0.506***	-0.149	-0.221	0.972***	1	
资本/劳动	0.537***	-0.432**	-0.420**	0.487***	0.354*	1

注：*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ ；样本为 1982 年人口普查中的所有制造业产业，统一到 GBT4754-2002 的 2 位码。第（1）-（3）列对 1982 年产业的从业人员职业特征取算术平

^⑤ 这里一个隐含的假设是在 3 位数的职业分类上，我国和 Dorn（2009）中美国的相同职业的工作内容没有系统性的差异。该假设的合理性是：第一，如附录表 A.1 所示，3 位数的职业分类足够详细，技术可转换性最高和最低的十组职业与 Autor et al.（2003）的高低例行程度的典型职业有很高重合；第二，Dorn（2009）使用 1977 年美国劳工部调查数据，远远早于本文样本区间。

^⑥ 附录 3 显示技术可转换性在样本期间变化不大。

均；高中（或同等学历）以上为高学历劳动力（H），其余为低学历劳动力（L）；第（6）列数据来自陈诗一（2011）。

三、人力资本禀赋测算

本文实证的首要任务是测算人力资本禀赋结构。

我们将各普查年份 15-65 岁的劳动年龄人口按照学历加总，计算各自占比并展示于图 2。自 1982 至 2005 年，虽然高中和大学比例只略有增加，但文盲的比例由将近 30% 缩减到不到 10%，初中学历则由 25% 扩张到 40% 以上，说明改革开放以来义务教育推广提高了劳动者，特别是较低学历劳动人口的文化素质，影响了我国劳动力市场的禀赋结构。

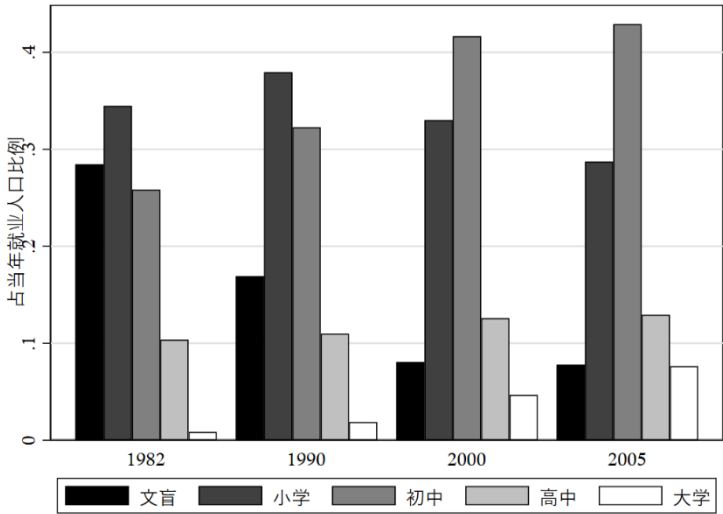


图 2 全体劳动年龄人口受教育程度分布

注：劳动年龄人口指 15-65 岁的人群。1982、1990、2000 年的人数按 1% 抽样标准进行等比例放大；2005 年的人数按照国家统计局提供的抽样权重加总后按 0.2% 抽样标准等比例放大。

我们采用与文献一致的做法，以高低学历从业者人数之比刻画人力资本禀赋或投入结构。与文献一般使用大学及以上作为高学历不同的是，本文根据制造业的特点和当时的国情，将高中及以上作为高学历劳动力（H），初中及以下作为低学历劳动力（L）^⑦。彼时大学扩招尚未施行。制造业中掌握复杂机械操作知识、精通生产技术的人群主要毕业于培养技术蓝领的职业高中，根据官方统计标准被归类为高中同等学历。

为了反映低学历劳动力内部的效率提升，我们参考 Chinloy（1980）和 Jones（2014）的方法，将相对工资作为权重，把高中及以上学历换算为同质的高中学历劳动力人数（H*），将初中及以下学历换算为同质的文盲劳动力人数（L*），理论依据如下：假设高低学历劳动力群体内部不同学历劳动力能够相互替代，将高学历群体中高中学历劳动力的效率标准化为 1，将低学历群体中文盲劳动力的效率标准化为 1。

$$H^* = H_1 + e_2^H H_2 + \dots + e_n^H H_n$$

^⑦本文在附录 4 中提供了该二分法合理性的实证支持。具体而言，如附录图 A.3 所示，高中以上与高中以下学历的劳动力从事的职业性质具有明显的界限差异；高中以下相对同质化，主要从事手工劳动以及机器操作等生产性工作，高中以上则更多从事管理与研发设计非生产性工作，且这一分工随着时间推移愈发明显。

$$L^* = L_1 + e_2^l L_2 + \cdots + e_m^l L_m$$

假设生产函数形式是 $Y = F(K, H, L)$ ，求一阶条件得到：

$$\frac{\partial F / \partial H_i}{\partial F / \partial H_j} = \frac{e_i^h}{e_j^h} = \frac{w_i^h}{w_j^h}$$

$$\frac{\partial F / \partial L_i}{\partial F / \partial L_j} = \frac{e_i^l}{e_j^l} = \frac{w_i^l}{w_j^l}$$

即以工资为权重，得到效率调整后的高低学历劳动力人数之比 H^*/L^* 。

我们参考 Wu et al. (2015) 的处理，分别以 1987、1995 和 2000 年的 CHIP 数据估计相同形式的明塞尔方程，并根据所得参数依次对 1982、1990、2000 年个人层面劳动收入进行插值预测，明塞尔方程的估计结果见附录表 A.3。

图 3 显示出生产率调整对于精确测算人力资本禀赋的必要性^⑧。右图中生产率调整后的 H^*/L^* 呈现单调下降的趋势，即低学历有效劳动力相对上升。这与左图中 H/L 上升趋势相反，体现我国基础教育对提升低学历劳动力质量的重要作用，我们将其归纳为定量事实 0。

定量事实 0：1982-2005 年，我国的人力资本禀赋结构特征为低学历有效劳动力相对增加。

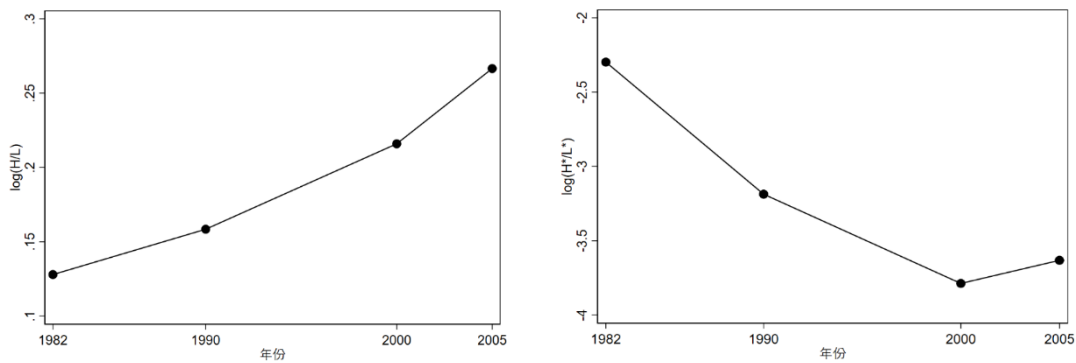


图 3 以全体劳动年龄人口测算人力资本禀赋：生产率调整前后

注：劳动年龄人口指调查年份时刻为 15 岁至 65 岁的人群。H：高中及同等学历以上人数；L：初中及同等学历以下人数。H*：高中及同等学历以上人数（生产率调整后）；L*：初中及同等学历以下人数（生产率调整后）。

四、定量事实

这部分介绍基于上述数据处理之后建立起的三组定量事实，阐释其背后的逻辑与意义，启发理论模型的构建。

（一）教育程度与职业选择

高学历劳动者的不可替代性来源于对于隐性知识的掌握与运用，我们对此进行检验。选用的三组指标是抽象程度、例行程度、和技术可转换性。四次全国人口普查全体制造业人员为样本的个人层面职业相关系数展示于表 2，抽象程度和例行程度呈稍弱的负相关性（系数为-0.109），说明二者刻画了不同维度的特征。

^⑧ 附录 5 更为具体地探讨了使用传统人力资本禀赋测度会出现矛盾现象。

表 2 个人层面职业特征相关系数

	(1)	(2)	(3)
	抽象程度	例行程度	技术可转换性
抽象程度	1		
例行程度	-0.109***	1	
技术可转换性	-0.639***	0.510***	1

注：*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ ；观测值的单位为个人，样本为四次人口普查（1982、1990、2000、2005）中的所有制造业从业人员。

我们将这三组指标对文盲、小学、初中、高中、大学的哑变量进行回归，以初中作为参照组，控制了城市、产业、年份固定效应和个人层面的年龄、年龄平方、户主身份和婚姻状况，结果见表 3（1）-（6）列。所有回归结果说明，教育程度越高，越有可能从事低例行程度、高抽象程度，即低技术可转换性的职位。其中，以例行程度和技术可转换性为被解释变量，在是否加入产业固定效应的估计中差异显著，说明教育程度通过对产业特征影响职业选择，佐证了技术可转换性指标的合理性。由此得到定量事实 1。

定量事实 1：拥有更高学历的人倾向于从事技术可转换性较低（例行程度低、抽象程度高）的职业。

在表（7）-（8）列，基于职位特征构造哑变量“生产性职位”，表示个人直接参与产品的生产制造流程。非生产性的职位涉及更多非例行的任务，需要从业者主观发挥创造。和技术可转换性的结果一致，教育程度越高，个人越有可能从事非生产性的职业。因而，我们观察的产业内 H^*/L^* 比例下降可能并没有生产技术上的调整，而只是生产部门在外部需求下扩张快于非生产部门。所以，后续讨论产业内人力资本结构时都区分全行业和生产制造部门。

表 3 教育程度与职业特征：个人层面回归

	抽象程度		例行程度		技术可转换性		生产性职位	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
文盲	-0.146*** (0.001)	-0.138*** (0.001)	0.014*** (0.001)	0.031*** (0.001)	0.468*** (0.004)	0.496*** (0.004)	0.163*** (0.001)	0.160*** (0.001)
小学	-0.064*** (0.000)	-0.060*** (0.000)	0.009*** (0.000)	0.016*** (0.000)	0.203*** (0.002)	0.216*** (0.002)	0.083*** (0.001)	0.081*** (0.001)
高中	0.086*** (0.000)	0.081*** (0.000)	-0.021*** (0.000)	-0.013*** (0.000)	-0.305*** (0.002)	-0.281*** (0.002)	-0.134*** (0.001)	-0.127*** (0.001)
大学及以上	0.350*** (0.001)	0.334*** (0.001)	-0.061*** (0.001)	-0.049*** (0.001)	-1.086*** (0.003)	-1.000*** (0.003)	-0.581*** (0.001)	-0.566*** (0.001)
观测数	2241041	2241041	2241041	2241041	2241041	2241041	2217165	2217165
R ²	0.157	0.213	0.087	0.184	0.164	0.296	0.169	0.175
个人层面控制变量	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
年份 FE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
城市 FE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

产业 FE	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y
注：括号内为稳健标准误，*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ ；样本为四次人口普查中的所有制造业从业人员；解释变量为教育程度哑变量，以初中作为参照组。个人层面控制变量包括性别、年龄、年龄平方、户主、婚姻状况。								

（二）职业内和产业内的人力资本结构动态

本节讨论不同技术可转换性的职业和产业内人力资本结构变化的异质性。改革开放以来，我国逐渐从计划经济的重工业赶超转轨到市场经济。根据定量事实 0，义务教育的普及使得从 1982-2005 年，我国的制造业人力资本禀赋结构特征为低学历有效劳动力相对增加，故预期制造业各职业、产业的 H/L 应该趋于下降。因为产业的技术可转换性不同，我们还预期 H/L 的动态具有职业和产业的异质性。

为了检验猜想，首先考虑职业内部的人力资本结构动态。被解释变量为制造业范围内的职业层面 H/L 和生产率调整后的 H^*/L^* ，解释变量为职业的技术可转换性和人口普查年份哑变量的交叉项。我们关注该四个交叉项系数的相对变化。表 4 的结果显示无论是生产率调整前后，除了改革开放伊始的 1982 年，交叉项系数都显著地由正转负，或保持显著为负，且绝对值随时间不断扩大。这意味着技术可转性越高的职业使用了更多低学历劳动力，且对于全体制造业职业和生产性职业都成立。

表 4 职业内人力资本结构动态：H/L

	全体从业人员		生产制造人员	
	生产率调整后		生产率调整后	
	ln (H/L)	ln (H*/L*)	ln (H/L)	ln (H*/L*)
	(1)	(2)	(3)	(4)
技术可转换性（1982）与年份哑变量交叉项：				
1982	-0.331*** (0.096)	0.044 (0.158)	-0.047 (0.066)	0.150** (0.061)
1990	-0.520*** (0.106)	-0.257* (0.150)	-0.161*** (0.059)	-0.062 (0.057)
2000	-0.671*** (0.088)	-0.612*** (0.099)	-0.071 (0.068)	-0.145* (0.076)
2005	-0.620*** (0.184)	-0.770*** (0.044)	-0.135 (0.107)	-0.256** (0.121)
观测数	449	416	173	173
R ²	0.216	0.159	0.025	0.401

注：括号内为稳健标准误，*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ ；观测值的单位为职业-年份；样本为所有制造业职业；（1）-（2）列使用全体从业人员构造技术可转换性，以及生产率调整前后的 H/L 比率，（3）-（4）列只使用从事生产性职业的人员构造指数。

产业层面的结果和职业层面类似，展示于表 5。被解释变量是产业层面 H/L 和效率调整后的 H^*/L^* ，解释变量为产业的技术可转换性和人口普查年份哑变量的交叉项。表 5 的（1）-（4）列显示全体从业人员构造的 H/L 和 H^*/L^* 得出的结果。其中，（2）和（4）列中增加 ln（资本/劳动）与年份哑变量的交叉项，控制资本-技能互补性。1982-2005 年期间，技能密集度（无论是生产率调整前后）与年份交叉项的系数由正转负，且绝对值不断扩大，即随着时

间推移，技术可转换性强的产业内人力资本浅化越来越多。控制 $\ln(\text{资本/劳动})$ 与年份哑变量交叉项之后，结果稳健。第（4）列结果显示，使用生产率调整后的 H^*/L^* 作为被解释变量同时对两组解释变量回归， $\ln(\text{资本/劳动})$ 与年份哑变量交叉项的系数不再显著，即相对资本-技能互补性，技术可转换性对于人力资本结构动态的解释力更强。（5）-（8）列使用制造业人员中从事生产制造的子样本构造生产端的 H/L 和 H^*/L^* 得到了类似的结果，说明生产制造环节内部，技术可转换性更高的行业也发生了人力资本浅化现象。

表 5 产业内人力资本结构动态：H/L

	全体从业人员				生产制造人员			
	生产率调整后				生产率调整后			
	$\ln(H/L)$		$\ln(H^*/L^*)$		生产端 $\ln(H/L)$		生产端 $\ln(H^*/L^*)$	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
技术可转换性（1982）与年份哑变量交叉项：								
1982	-0.679*** (0.224)	-0.246 (0.149)	0.157 (0.131)	1.252*** (0.272)	-0.435** (0.209)	0.029 (0.126)	1.477*** (0.242)	1.662*** (0.332)
1990	-0.478** (0.184)	-0.104 (0.107)	-0.147 (0.112)	0.022 (0.168)	-0.451** (0.180)	-0.034 (0.100)	-0.081 (0.165)	0.091 (0.229)
2000	-0.354* (0.204)	-0.400*** (0.119)	-0.545** (0.210)	-0.938*** (0.214)	-0.386* (0.197)	-0.370*** (0.112)	-1.022*** (0.263)	-1.031*** (0.279)
2005	-0.373* (0.204)	-0.563*** (0.134)	-0.562*** (0.150)	-0.951*** (0.217)	-0.438** (0.186)	-0.548*** (0.132)	-1.083*** (0.234)	-1.017*** (0.270)
各年 $\ln(\text{资本/劳动力})$ （产业层面）与年份哑变量交叉项：								
1982		0.266*** (0.079)		0.136 (0.148)		0.232*** (0.071)		0.124 (0.160)
1990		0.312*** (0.043)		0.059 (0.066)		0.282*** (0.043)		-0.000 (0.084)
2000		0.485*** (0.044)		0.166 (0.106)		0.464*** (0.040)		0.170 (0.119)
2005		0.470*** (0.066)		0.077 (0.103)		0.442*** (0.055)		0.071 (0.103)
观测数	118	116	118	116	118	116	118	116
R ²	0.120	0.611	0.695	0.767	0.088	0.584	0.705	0.730

注：括号内为稳健标准误，*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ ；观测值的单位为产业-年份；样本为所有制造业产业；（1）-（4）列使用全体从业人员，（5）-（7）列只使用从事生产性职业的人员；（1）（2）（5）（6）列，被解释变量为本行业高低学历劳动力人数比率的自然对数；（3）（4）（7）（8）列按照生产率调整过后的本行业高低学历劳动力人数比率的自然对数；产业层面的资本/劳动比率来自陈诗一（2011）。

上述结果归纳为定量事实 2：

定量事实 2：1982-2005 年期间，技术可转换性越高的职业和产业，技能密集度（ H/L 和 H^*/L^* ）下降得越多。

我国改革开放初期的制造业结构转型方向与发达国家不断提高的物质资本密集度、技能密集度恰好相反。究其原因，发达国家资本丰富，劳动力价格昂贵，所以资本深化的技术进

步与禀赋结构匹配。而我国制造业发展的起点是重工业赶超战略，技术的物质资本和人力资本密集度均远高于禀赋结构。从计划到市场的制度转轨使企业自主选择技术。同时期义务教育的普及提高了低学历劳动力效率，也促使制造业的人力资本使用趋于浅化。两个技术进步的方向看似不同，实则都是向着与禀赋结构匹配的方向对技术进行调整，即禀赋结构匹配的技术调整。对于很多尚未工业化的发展中国家，可以根据其禀赋结构从发达国家引进符合其比较优势的产业，也可以选择对技术可转换性较高的产业的生产技术进行改造，以适应本国的禀赋结构。

（三）产业间劳动力份额动态

本节讨论不同技术可转换性产业的劳动力份额相对变化。被解释变量方面，表 6 的（1）-（2）列为产业占制造业的劳动力份额，（3）-（4）列为产业的高学历劳动力份额，（5）-（6）列为产业的低学历劳动力份额。解释变量为产业的技术可转换性与年份哑变量的交叉项；产业层面各年增加值和劳动力之比的自然对数 $\ln(Y/L)$ 与年份哑变量的交叉项，用来控制生产率对结构转型的影响；以及产业层面各年的资本和劳动力之比的自然对数 $\ln(K/L)$ 与年份哑变量的交叉项。

第（1）（2）列说明，未控制资本/劳动比率时，技术可转换性与年份哑变量交叉项的系数都在 5% 水平上显著，但是系数大小相对变化并无明显规律；控制后，1982、1990 年变得不显著，但 2000、2005 年逐渐变为显著为正，且其绝对值呈现递增的趋势，体现技术可转换性高的产业适应禀赋结构之后，产业规模逐渐扩大，符合假说。回归结果的敏感性反映了资本密集度和技术可转换性一定程度共线，但加强了技术可转换性是产业技术调整更本质因素的猜想。第（3）-（6）列分别以本产业高低学历劳动力份额作为被解释变量。显然，技术可转换性只对本产业低学历劳动力份额具有解释力。第（6）列控制资本/劳动比率后，技术可转换性与年份哑变量的交叉项系数单调递增，除了 1990 年皆在 10% 水平显著，体现高技术可转换性产业的劳动规模扩张主要是由低学历份额上升拉动。

表 6 产业间劳动力份额动态

	劳动力 份额（%）		高学历劳动力（H） 份额（%）		低学历劳动力（L） 份额（%）	
	（1）	（2）	（3）	（4）	（5）	（6）
技术可转换性（1982）与年份哑变量交叉项：						
1982	1.615 (1.482)	1.697 (1.537)	1.426 (2.044)	1.852 (2.051)	1.703 (1.342)	1.655 (1.416)
1990	1.821 (2.156)	1.771 (2.278)	1.335 (2.216)	1.372 (2.247)	2.003 (2.154)	1.929 (2.303)
2000	2.653** (1.055)	2.761** (1.062)	1.125 (1.152)	1.664 (1.044)	3.279*** (1.081)	3.232*** (1.116)
2005	2.331** 1.615	2.252** 1.697	0.354 1.426	0.605 1.852	3.117*** 1.703	2.921*** 1.655
各年 $\ln(Y/L)$ （产业层面）与年份哑变量交叉项：						
1982	-0.817* (0.486)	-0.928 (0.612)	-0.470 (0.659)	-0.953 (0.736)	-0.918** (0.457)	-0.922 (0.600)
1990	-1.135* (0.683)	-1.464 (0.894)	-0.778 (0.667)	-1.866** (0.889)	-1.266* (0.724)	-1.318 (0.929)
2000	-0.787	-0.946	0.073	-0.829	-1.152**	-0.992

	(0.495)	(0.739)	(0.660)	(0.962)	(0.519)	(0.764)
2005	-0.278	0.463	0.489	1.197	-0.588	0.173
	(0.443)	(0.684)	(0.650)	(1.136)	(0.416)	(0.589)
各年 $\ln(K/L)$ (产业层面) 与年份哑变量交叉项:						
1982		0.223		0.963		0.012
		(0.725)		(0.814)		(0.716)
1990		0.339		1.137*		0.047
		(0.602)		(0.640)		(0.610)
2000		0.179		0.979		-0.154
		(0.659)		(0.679)		(0.703)
2005		-0.736		-0.541		-0.813
		(0.650)		(0.749)		(0.685)
观测数	116	116	116	116	116	116
R ²	0.172	0.182	0.056	0.109	0.223	0.232

注：括号内为稳健标准误，*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ ；观测值的单位为产业-年份；样本为所有制造业产业；产业层面的资本/劳动比率、增加值/劳动比率来自陈诗一（2011）。

综上所述，我们得到如下的定量事实 3：

定量事实 3：从 1982 年至 2005 年期间，技术可转换性越高的行业，其劳动力份额占比上升越多。

定量事实 2 和定量事实 3 实质上一体两面^⑨：低学历有效劳动力供给增加使得低学历密集的生产方式符合比较优势，其中技术可转换性高的产业能灵活地对禀赋结构的变化做出调整，使用低学历替换高学历，因此在结构转型中规模扩大，技能密集度下降幅度也更大。

（四）稳健性探讨

两类主要的竞争性假说——贸易开放、市场化进程——对该时期各产业技术调整和结构转型的影响，与本文所强调的技术可转换性更接近互补而非替代的关系，详见附录 8 的探讨。

五、理论模型

本小结构建了一个可以解释本文所有定量事实的新结构经济学理论模型，并阐述禀赋结构匹配的技术调整的机制。

（一）模型设定

1. 经济环境

经济体中有高学历（h）和低学历（l）两类家户，数量分别为 H 和 N，均拥有固定不变的 1 单位劳动力。 e_i 是劳动力类型 i ($i \in \{h, l\}$) 的效率。效用函数和生产函数形式设定均满足一阶齐次性，所以可以将高学历劳动力的效率 e_h 标准化为 1，记低学历劳动力的效率 $e_l = e$ 。高学历和低学历每单位有效劳动力的工资收入分别为 w_h 和 w_l ，用于购买消费品 1 和 2。两种消费品分别由产业 1 和 2 进行生产，产业内均有一单位连续的同质企业，且市场结构均完全竞争。每个产业可以选择高学历和低学历劳动力密集的技术。产业 1 选择低学历劳动力

^⑨ 定量事实 2 和定量事实 3 在使用其他口径的资本/劳动比率作为控制变量的情形下依然保持稳健，详见附录表 A.4。

密集的技术需要每单位产品付出 c_1 单位的额外成本，可以理解为对低学历劳动力的培训；产业 2 选择低学历劳动力密集技术的额外成本为 c_2 。假设产业 1 的技术可转换性程度较高，技术调整的成本更低，即 $c_1 < c_2$ 。

为了避免可能存在的结论依赖设定问题，我们采取另一种方法做稳健性讨论。具体地，两个产业的生产函数均不变，区别在于技术可转换性更高的产业替代弹性更大。我们将这种设定下的模型详细写于附录 9，结论与此处的模型相同。

2. 家户

对于家户 i , $i \in \{h, l\}$, 效用函数是两种商品 c_1 和 c_2 按照 CES 形式进行加总，两种商品之间的替代弹性 $\rho > 1$ (Chang et al., 2016; Atkeson & Burstein, 2008; Bai et al., 2020)。家户 i 的总收入是 w_i ，全部用于消费。将每单位低学历有效劳动 L 的收入标准化为 1，即 $w_l = 1$ 。家户效用最大化问题如 (1) 式。

$$U_i = \left(c_{1i}^{\frac{\rho-1}{\rho}} + c_{2i}^{\frac{\rho-1}{\rho}} \right)^{\frac{\rho}{\rho-1}}, \quad \rho > 1 \quad (1)$$

$$s.t. \quad p_1 c_{1i} + p_2 c_{2i} = e_i w_i$$

3. 技术

记低学历有效劳动力单位数为 $L = eN$ 。产业 j ($j \in \{1, 2\}$) 使用高学历有效劳动力 H 和低学历有效劳动力 L 进行生产，生产函数形式为 CES，两种劳动力之间的替代弹性 $\sigma > 1$ ，如 (2) 式。当 α_j 越大，技术越高学历劳动力密集。 $\alpha_j \in \{\alpha_{jh}, \alpha_{jl}\}$ ，且 $\alpha_{jh} > \alpha_{jl}$ ，两个产业根据生产成本在各自的两个不同高学历劳动力密集度的技术中进行选择。

$$Y_j = \left(\alpha_j H_j^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1 - \alpha_j) L_j^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}, \quad \sigma > 1 \quad (2)$$

(二) 均衡求解

1. 家户

记效用函数的价格指数为 $P = (p_1^{1-\rho} + p_2^{1-\rho})^{\frac{1}{1-\rho}}$ 。求得给定价格 p_1 和 p_2 时，每个家户的消费量分别如 (3) (4) 式：

$$c_{1i} = \left(\frac{p_1}{P} \right)^{-\rho} \frac{e_i w_i}{P} \quad (3)$$

$$c_{2i} = \left(\frac{p_2}{P} \right)^{-\rho} \frac{e_i w_i}{P} \quad (4)$$

根据 (3) (4) 式，加总所有家户对每件商品的消费量，得到每个产品的需求函数，如 (5) (6) 式：

$$Y_1 = H c_{1H} + L c_{1L} = \left(\frac{p_1}{P} \right)^{-\rho} \frac{w_h H + L}{P} \quad (5)$$

$$Y_2 = H c_{2H} + L c_{2L} = \left(\frac{p_2}{P} \right)^{-\rho} \frac{w_h H + L}{P} \quad (6)$$

给定需求函数，此处暂不考虑技术调整，分别求解每个产业 j 的利润最大化问题，如 (7) 式。

$$\max_{H_j, L_j} p_j \left(\alpha_j H_j^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1 - \alpha_j) L_j^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} - w_h H_j - L_j \quad (7)$$

通过一阶条件得到高低学历有效劳动力人数之比和工资的关系：

$$\frac{H_j}{L_j} = \left(\frac{1 - \alpha_j}{\alpha_j} w_h \right)^{-\sigma}$$

如果 α_j 恒定， $\ln\left(\frac{H_j}{L_j}\right) = -\sigma \left(\ln\left(\frac{1 - \alpha_j}{\alpha_j}\right) + \ln(w_h) \right)$ 。显然，

$$\Delta \ln\left(\frac{H_1}{L_1}\right) = \Delta \ln\left(\frac{H_2}{L_2}\right) = -\sigma \Delta \ln(w_h)$$

得到两类产业的 $\ln\left(\frac{H_j}{L_j}\right)$ 下降的幅度相同，与前文技术可转换性较高的产业 $\ln\left(\frac{H}{L}\right)$ 下降幅度更大的事实不符。后文通过高学历劳动力密集度可进行调整的设定来解释该事实。

进一步得到商品价格和劳动力工资的关系，如（8）式：

$$p_j = (\alpha_j^\sigma w_h^{1-\sigma} + (1 - \alpha_j)^\sigma)^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (8)$$

给定 w_h ，根据（8）式求出两个商品的价格之比，如（9）式所示：

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{(\alpha_1^\sigma w_h^{1-\sigma} + (1 - \alpha_1)^\sigma)^{\frac{1}{1-\sigma}}}{(\alpha_2^\sigma w_h^{1-\sigma} + (1 - \alpha_2)^\sigma)^{\frac{1}{1-\sigma}}} \quad (9)$$

当 $\alpha_1 > \alpha_2$ 时，得到 $\frac{p_1}{p_2}$ 随 w_h 递增。根据 $\frac{Y_1}{Y_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{-\rho}$ ，所以 $\frac{Y_1}{Y_2}$ 随 w_h 递减。

由（7）式推出产业 j 使用的高低学历有效劳动力人数分别如（10）（11）式所示：

$$H_j = \left(\frac{\alpha_j p_j}{w_h} \right)^\sigma Y_j \quad (10)$$

$$L_j = \left((1 - \alpha_j) p_j \right)^\sigma Y_j \quad (11)$$

由市场出清条件（12）（13）式，结合（5）（6）（9）（10）（11）式，求得 w_h 、 H_1 、 H_2 、 L_1 、 L_2 。其中， $\rho > \sigma$ 是 w_h 随 $\frac{H}{L}$ 递减的一个充分条件（证明见附录1）。由此我们得到引理1。

$$H_1 + H_2 = H \quad (12)$$

$$L_1 + L_2 = L \quad (13)$$

引理1（禀赋结构与产业间结构转型）：当经济体内高低学历有效劳动力人数之比 $\frac{H}{L}$ 下降时，低学历劳动力更密集的产业在结构转型中规模扩大。

当产业没有进行技术调整时，随着经济体禀赋结构高低学历有效劳动力人数之比下降，高学历劳动力变得相对更加稀缺，相对价格提高，使得密集使用高学历劳动力的产业成本上升。两个产业所生产的商品呈相互替代关系，所以呈现为低学历劳动力密集的产业规模扩大。

根据每个产业所用的高低学历有效劳动力数量和价格的关系，得到：

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\sigma - \rho} \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^\sigma$$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\sigma - \rho} \left(\frac{1 - \alpha_1}{1 - \alpha_2} \right)^\sigma$$

与定量事实3技术可转换性高的产业劳动力份额提高一致。

（三）技术调整

以产业1为例。产业1内的单个企业不能影响要素市场价格，所以均根据当前 w_h 选择

高学历劳动力密集度为 α_1 还是 α'_1 ， $\alpha_1 > \alpha'_1$ 。调整之后的价格和原价格之比，如（14）式：

$$\frac{p_1}{p'_1} = \frac{(\alpha_1^\sigma w_h^{1-\sigma} + (1-\alpha_1)^\sigma)^{\frac{1}{1-\sigma}}}{(\alpha_1'^\sigma w_h^{1-\sigma} + (1-\alpha_1')^\sigma)^{\frac{1}{1-\sigma}}} (1 - c_1) \quad (14)$$

当 $w_h \rightarrow +\infty$ ， $\frac{p_1}{p'_1} \rightarrow \left(\frac{1-\alpha_1}{1-\alpha_1'}\right)^{\sigma(1-\sigma)} (1 - c_1)$ ；当 $w_h \rightarrow 0$ ， $\frac{p_1}{p'_1} \rightarrow \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_1'}\right)^{\sigma(1-\sigma)} (1 - c_1) < 1$ 。所以当 $\frac{H}{L}$ 较高， w_h 较低时，产业 1 的企业均选择保持高学历劳动力密集度为 α_1 的生产技术，没有企业有激励偏离至 α'_1 ；当 $\frac{H}{L}$ 较低， w_h 较高，且技术调整成本 $c_1 < 1 - \left(\frac{1-\alpha_1}{1-\alpha_1'}\right)^{\sigma(\sigma-1)}$ 时，产业 1 选择较低的高学历劳动力密集度 α'_1 ，没有企业有激励偏离至 α_1 。图 7 对该结果进行描述。根据对（14）式的讨论，我们得到引理 2。

引理 2（禀赋结构与技术调整）：当低学历有效劳动力人数相对高学历足够丰裕时，技术可转换性较高的产业会调整为使用更加低学历劳动力密集型的生产技术。

当低学历有效劳动力相对高学历足够多，相对成本足够便宜时，产业 1 选择更密集地使用低学历劳动力，比原技术更加符合比较优势。值得注意的是，本文的技术调整由调整成本和禀赋结构决定的要素相对价格共同决定。即使技术调整成本很低，禀赋结构中低学历有效劳动力不够丰富，企业也不会做技术调整。

结合引理 1 和引理 2，我们得到定理 1。

定理 1（技术调整与结构转型）：当低学历有效劳动力人数相对高学历足够丰裕时，技术可转换性较高的产业在结构转型中规模扩大。

随着禀赋结构变化，技术可转换性更高的产业能够更灵活地对生产技术进行调整，使得自身生产要素结构与经济体地禀赋结构保持一致，降低生产成本，从而在结构转型中规模扩大，与定量事实 3 一致。

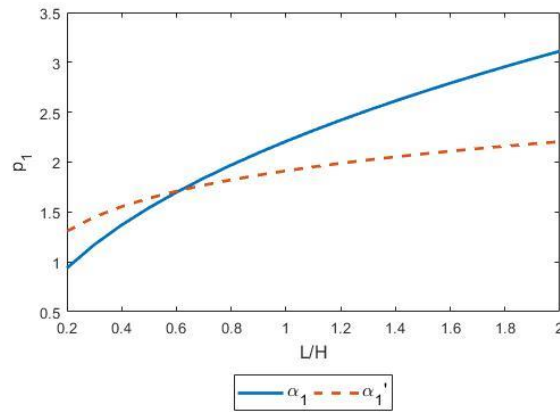


图 7 H/L 和产品 1 的价格关系

当产业 1 降低高学历劳动力密集度，且产业 2 由于技术调整成本 c_2 过高而无法降低高学历密集度时，得到（15）式：

$$\left| \Delta \ln \left(\frac{H_1}{L_1} \right) \right| - \left| \Delta \ln \left(\frac{H_2}{L_2} \right) \right| = \left| \sigma \Delta \ln \left(\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1} \right) \right| > 0 \quad (15)$$

其中 $\Delta \ln \left(\frac{H_i}{L_i} \right)$ 代表每个点上 $\ln \left(\frac{H_i}{L_i} \right)$ 相对各自起始点的差。（15）式与定量事实 2 一致。如图 8

所示，在经济体 H/L 下降到一定程度时，产业 1 下调高学历密集度。与此同时，由于产业 1 对高学历劳动力需求下降带来的一般均衡效应，产业 2 的 H/L 有所提高。然后随着经济体 H/L 进一步下降，两个产业内部的 H/L 继续降低。到终点时，产业 1 的 $\Delta \ln\left(\frac{H_1}{L_1}\right)$ 比产业 2 下降更多。

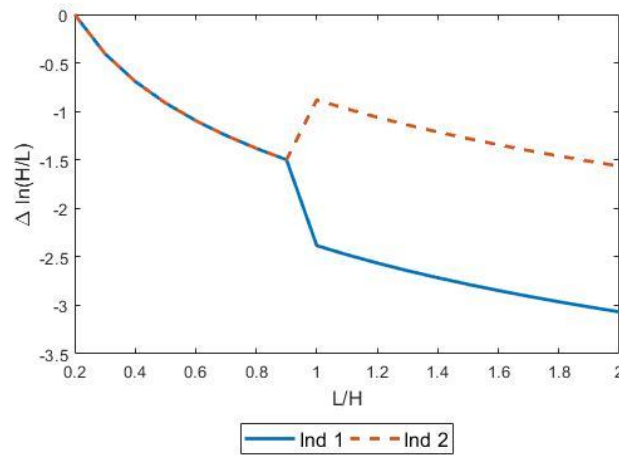


图 8 L/H 和 $\ln\left(\frac{H_i}{L_i}\right)$

为了更好地说明技术可转换性不同对产业内部要素密集度的影响，本文假设产业 1 和产业 2 的高低学历密集的技术 α 相同，仅在技术调整成本 c_i 上存在差异。如下是一个数值模拟，参数选取如表 8，结果如图 9 所示。随着低学历有效劳动力相对增多，产业 1 由于技术调整成本较低，比产业 2 先降低高学历劳动力密集度，所以在产业 2 进行技术调整之前， $\left|\Delta \ln\left(\frac{H_1}{L_1}\right)\right| - \left|\Delta \ln\left(\frac{H_2}{L_2}\right)\right| > 0$ 。当低学历有效劳动力进一步增加，产业 2 也进行了技术调整，

此时两个产业的高学历劳动力密集度再次相同， $\left|\Delta \ln\left(\frac{H_1}{L_1}\right)\right| = \left|\Delta \ln\left(\frac{H_2}{L_2}\right)\right|$ 。

表 8 数值模拟参数选取

参数	数值
α_1 、 α_2	0.5
α'_1 、 α'_2	0.3
c_1	0.05
c_2	0.2
σ	1.2
ρ	1.5

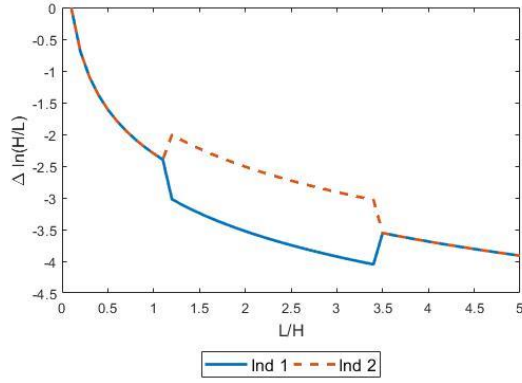


图 9 两个产业均可调整技术

当存在重工业赶超战略时，向着低学历劳动力密集的方向调整技术的过程存在摩擦。本文设定，产业 1 要降低高学历劳动力密集度，需要每单位收入再付出 τ 单位的制度成本， $0 < \tau < 1$ 。

$$p'_1 = \frac{1}{1 - \tau - c_1} (\alpha_1^\sigma w_h^{1-\sigma} + (1 - \alpha_1)^\sigma)^{\frac{1}{1-\sigma}}$$

$$\frac{p_1}{p'_1} = \frac{(\alpha_1^\sigma w_h^{1-\sigma} + (1 - \alpha_1)^\sigma)^{\frac{1}{1-\sigma}}}{\left((\alpha'_1)^\sigma w_h^{1-\sigma} + (1 - \alpha'_1)^\sigma \right)^{\frac{1}{1-\sigma}}} (1 - \tau - c_1)$$

若 $\left(\frac{1-\alpha_1}{1-\alpha'_1}\right)^{\sigma(1-\sigma)} < \frac{1}{1-\tau-c_1}$ ， $\frac{p_1}{p'_1}$ 恒小于 1，所以产业 1 永远不会降低高学历劳动力密集度。若 $\left(\frac{1-\alpha_1}{1-\alpha'_1}\right)^{\sigma(1-\sigma)} > \frac{1}{1-\tau-c_1}$ ，当 $\frac{H}{L}$ 足够小时，产业 1 会降低高学历劳动力密集度，但相比没有制度成本时的门槛 $\frac{H^*}{L^*}$ 更小。

在从计划经济向市场经济的转轨过程中，制度成本不断降低，使得产业可以向着低学历劳动力密集的方向进行技术调整，进而能够比调整之前更符合比较优势。在此过程中，技术可转换性更高，技术调整成本更低的产业能够更快地降低生产成本，从而在结构转型中规模扩大。由此，我们解释了定量事实 4。

六、结论

本文以我国制造业的人力资本结构变迁为视角，首次提出禀赋结构匹配的技术调整，通过实证说明 1982-2005 年产业间劳动力规模的相对变化和产业内人力资本浅化现象与人力资本禀赋变化一致。基于 Autor and Dorn (2013)，我们构建了产业层面的技术可转换性指标，发现 1982-2005 年技术可转换性越高的产业，产业内高学历劳动力密集度降低越多。最后通过一个两部门在生产函数可调整程度上存在异质性的模型解释现象。由于效率调整后的高学历有效劳动力变得相对稀缺，生产中使用更低学历劳动力密集技术的产业更节约成本，所以技术可转换性更高的产业更灵活地将技术朝着与禀赋结构匹配调整，从而符合比较优势。

本文的发现对于发展中国家具有深刻启示。首先，本文拓展了新结构经济学“因势利导发展产业”相关建议的内涵。经济体不仅可以按照其禀赋结构挑选产业，还可以对高技术可转换性的产业进行技术改造来适应其禀赋结构。这是发展中国家固有的后发优势的体现。

其次，本文回应了世界银行（2020）对于发达国家的生产自动化削弱了世界范围内向发展中国家产业转移动机的担忧。对于发展中国家而言，技术选择的方向并不必然与更大型的机器设备和更先进的科技联系在一起。按照本土的禀赋结构来调整承接发达国家的技术，发展中国家才可以获得比较优势。

最后，本文还对教育与产业政策有所启发。发展早期阶段往往对应劳动密集型部门，这生产工序通常例行程度较高，能以标准化工序乃至去机械化的方式改造从发达国家引进的技术。随着义务教育普及，国民收入提高，具有比较优势的部门向高技能劳动力密集倾斜。这一类行业抽象程度较高，例行程度较低，通过技术调整来降低高学历密集度相对困难，需要升级人力资本结构助推产业升级。我国在 1998 年之后才开始进行大学扩招。反之，在高学历密集型产业未具有比较优势的阶段贸然投资高等教育，学历只会成为昂贵的信号，而高等教育的成本只会成为无谓的社会浪费（Easterly, 2002）。关于不同发展阶段的最优教育和产业政策搭配，产业内技术调整的微观机制等都是值得思考的课题，留待后续深入。

参考文献

- [1] Acemoglu, D., and F. Zilibotti, “Productivity Differences”, *The Quarterly Journal of Economics*, 2001, 116(2), 563-606.
- [2] Acemoglu, D., 2002, “Directed Technical Change”, *The Review of Economic Studies*, 69(4), 781-809.
- [3] Acemoglu, D., and P. Restrepo, “The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment”, *American Economic Review*, 2018, 108, 1488-1542.
- [4] Atkeson, A., and A. Burstein, “Pricing-to-market, Trade Costs, and International Relative Prices”, *American Economic Review*, 2008, 98(5): 1998-2031.
- [5] Autor, D., F. Levy, and R. Murnane, “The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration”, *The Quarterly Journal of Economics*, 2003, 118(4), 1279-1333.
- [6] Autor, D., and D. Dorn, “The Growth of Low-skill Service Jobs and the Polarization of the US Labor Market”, *American Economic Review*, 2013, 103(5), 1553-97.
- [7] 白惠天、周黎安, “地方分权与教育医疗的大规模普及:基于中国计划经济时期的实证研究”, 《经济学报》, 2020 年第 7 卷第 1 期, 第 1-37 页。
- [8] Basu, S., and D. Weil, “Appropriate Technology and Growth”, *The Quarterly Journal of Economics*, 1998, 113(4), 1025-1054.
- [9] Bai, C., Q. Liu, and W. Yao, “Earnings Inequality and China’s Preferential Lending Policy”, *Journal of Development Economics*, 2020, 145: 102477.
- [10] Berman, E., J. Bound, and Z. Griliches, “Changes in the Demand for Skilled Labor within US Manufacturing: Evidence from the Annual Survey of Manufactures”, *The Quarterly Journal of Economics*, 1994, 109(2), 367-397.
- [11] Buera, F., J. Kaboski, and R. Rogerson, “Skill Biased Structural Change”, NBER Working Paper, 2015.
- [12] Chang, Chun, K. Chen, D. Waggoner, and T. Zha, “Trends and Cycles in China’s Macroeconomy”, *NBER Macroeconomics Annual*, 2016, 30(1): 1-84.
- [13] 陈诗一, “中国工业分行业统计数据估算:1980—2008”, 《经济学（季刊）》, 2011 年第 10 卷第 3 期, 第 735-776 页。
- [14] Chinloy, P., “Sources of Quality Change in Labor Input”, *America Economic Review*, 1980,

- 70(1), 108-19.
- [15] 戴觅、余淼杰、Madhura Maitra, “中国出口企业生产率之谜:加工贸易的作用”, 《经济学 (季刊)》, 2014 年第 13 卷第 2 期, 第 675-698 页。
- [16] Dorn, D., “Essays on Inequality, Spatial Interaction, and the Demand for Skills”, Verlag Nicht Ermittlbar, 2009.
- [17] Easterly, W., *The Elusive Quest for Growth: Economists’ Adventures and Misadventures in the Tropics*, Cambridge: MIT Press, 2002.
- [18] Heckman J, Yi J., “Human capital, Economic Growth, and Inequality in China”, *The Oxford Companion to the Economics of China on Human Capital*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2014, 459-464.
- [19] 黄燕萍、刘榆、吴一群、李文溥, “中国地区经济增长差异:基于分级教育的效应”, 《经济研究》, 2013 年第 4 期, 第 94-105 页。
- [20] 黄茂兴、李军军, “技术选择、产业结构升级与经济增长”, 《经济研究》, 2009 年第 7 期, 第 143-151 页。
- [21] Jones, B. F., “The Human Capital Stock: A Generalized Approach”, *American Economic Review*, 2014, 104(11), 3752–3777.
- [22] Ju, J., J. Lin, and Y. Wang, “Endowment Structures, Industrial Dynamics, and Economic Growth”, *Journal of Monetary Economics*, 2015, 76, 244-263.
- [23] Katz, L., and K. Murphy, “Changes in Relative Wages, 1963–1987: Supply and Demand Factors”, *The Quarterly Journal of Economics*, 1992, 107(1): 35-78.
- [24] Li, B., “Export Expansion, Skill Acquisition and Industry Specialization: Evidence from China”, *Journal of International Economics*, 2018, 114, 346-361.
- [25] Li, J., Y. Lu, H. Song, and H. Xie, “Long-term Impact of Trade Liberalization on Human Capital Formation”, *Journal of Comparative Economics*, 2019, 47(4): 946-961.
- [26] Li, B., L. Brandt, P. Morrow, “Is Processing Good? Theory and Evidence from China”, Working Paper, 2019.
- [27] 林毅夫, “新结构经济学——重构发展经济学的框架”, 《经济学 (季刊)》, 2010 年第 10 卷第 1 期, 第 1-32 页。
- [28] 林毅夫, “新结构经济学、自生能力与新的理论见解”, 《武汉大学学报 (哲学社会科学版)》2017 年第 70 卷第 6 期, 第 5-15 页。
- [29] 林毅夫、蔡昉、李周, “中国的奇迹:发展战略与经济改革”, 上海: 上海三联书店, 1994 年。
- [30] 林毅夫、刘培林, “自生能力和国企改革”, 《经济研究》, 2001 年第 9 期, 第 60-70 页。
- [31] 林毅夫、张鹏飞, “适宜技术、技术选择和发展中国家的经济增长”, 《经济学 (季刊)》, 2006 年第 5 卷第 4 期, 第 985-1006 页。
- [32] Rosenstein-Rodan, P. N., “Problems of Industrialisation of Eastern and South-Eastern Europe”, *Economic Journal*, 1943, 53, 204-207
- [33] Smith, A., “The Wealth of Nations: An inquiry into the nature and causes of the Wealth of Nations”, Harriman House Limited, 2010. [1776]
- [34] Vogel, E., *One Step Ahead in China*, Cambridge: Harvard University Press, 1989.
- [35] Wang, P., T. Wong, and C. Yip, “Mismatch and Assimilation”, NBER Working Paper, 2018.
- [36] Wang, Y., and X. Tang, “Human Capital, Industrial Dynamics and Skill Premium”, INSE Working Paper, 2019.

- [37] Wu, H., X. Yue, and G. Zhang, “Constructing Annual Employment and Compensation Matrices and Measuring Labor Input in China”, RIETI Discussion Papers, 2015.
- [38] World Bank, “World Development Report: Trading for Development in the Age of Global Value Chains”, 2020.
- [39] 余永泽、刘凤娟、张少辉, “中国工业分行业资本存量测算: 1985-2014”, 《产业经济评论》, 2017 年第 6 期。
- [40] 张晓波、阮建青, “中国产业集群的演化与发展”, 浙江: 浙江大学出版社, 2011 年。
- [41] 张川川, ““中等教育陷阱”?——出口扩张、就业增长与个体教育决策”, 《经济研究》, 2015 年第 12 期, 第 115-127 页。

附录

1.证明： $\rho > \sigma$ 是 w_h 随 $\frac{H}{L}$ 递减的一个充分条件。

$$\frac{H}{L} = \frac{H_1 + H_2}{L_1 + L_2} = \frac{\left(\frac{\alpha_1 p_1}{w_h}\right)^\sigma Y_1 + \left(\frac{\alpha_2 p_2}{w_h}\right)^\sigma Y_2}{((1 - \alpha_1)p_1)^\sigma Y_1 + ((1 - \alpha_2)p_2)^\sigma Y_2}$$

分数线上下同时除以 $p_1^\sigma Y_1$ ，得到

$$\frac{H}{L} = w_h^{-\sigma} \left(\frac{\alpha_2^\sigma}{(1 - \alpha_2)^\sigma} + \frac{\alpha_1^\sigma - \left(\frac{1 - \alpha_1}{1 - \alpha_2}\right)^\sigma \alpha_2^\sigma}{(1 - \alpha_1)^\sigma + (1 - \alpha_2)^\sigma \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\rho - \sigma}} \right)$$

$\alpha_1^\sigma - \left(\frac{1 - \alpha_1}{1 - \alpha_2}\right)^\sigma \alpha_2^\sigma > 0$ ， $\frac{p_1}{p_2}$ 随 w_h 递增，所以当 $\rho > \sigma$ 时括号内随 w_h 递减，因此 $\frac{H}{L}$ 也随 w_h 递减。

2.典型产业的技术可转换性与其他特征

表 A.1 技术可转换性最高与最低的职业

技术可转换性最高的职业			技术可转换性最低的职业		
排序	职业描述	技术可转换性	排序	职业描述	技术可转换性
1	针织人员	4.321	1	殡葬服务人员	-3.807
2	纺纱人员	3.274	2	文艺创作和评论人员	-3.624
3	纤维预处理人员	3.274	3	宗教职业者	-2.877
4	起重装卸机械操作及有关人员	3.244	4	人民警察	-2.647
5	其他纺织、针织、印染人员	2.929	5	小学教师	-2.511
6	织造人员	2.929	6	邮政业务人员	-2.303
7	包装人员	2.783	7	其他运输设备操作人员及有关人员	-2.303
8	洗染织补人员	2.325	8	高等教育教师	-2.296
9	机械设备装配人员	2.164	9	公共卫生医师	-2.275
10	电子设备装配、调试人员	2.164	10	历史学研究人员	-2.270

注：职业层面的技术可转换性指标构造依照如下四个步骤进行。首先，将各年人口普查的职业代码与我国 2000 年的职业代码标准进行调整匹配；其次，将我国 2000 年的职业代码标准与 Dorn（2009）提供的 330 个 occ1990dd Occupation System 进行匹配；第三，将 Dorn 在其个人主页（<https://www.ddorn.net/data.htm>）提供的职业特征指标——包括例行程度（routine）、抽象程度（abstract）与各职业进行匹配；最后，依照如下公式计算技术可转换性：技术可转换性= \ln （例行程度）- \ln （抽象程度）。

表 A.2 1982 年典型产业特征

技术可转换性最高的产业			技术可转换性最低产业		
排序	产业名称	技术可转换性	排序	产业名称	技术可转换性
1	纺织业	2.129	1	有色金属冶炼和压延加工业	0.389
2	家具制造业	1.641	2	通用设备制造业	0.422
3	文教、工美、体育和娱乐用品制造业	1.191	3	仪器仪表及文化、办公机械用品制造业	0.424
4	木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	1.191	4	专用设备制造业	0.429
5	工艺美术品及其他制造业	1.187	5	黑色金属冶炼与加工业	0.453
H/L 最高的产业			H/L 最低产业		
排序	产业名称	H/L	排序	产业名称	H/L
1	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	0.600	1	工艺美术品及其他制造业	0.123
2	化学纤维制造业	0.597	2	文教、工美、体育和娱乐用品制造业	0.150
3	仪器仪表及文化、办公机械用品制造业	0.537	3	家具制造业	0.166
4	烟草制造业	0.484	4	非金属矿物制品业	0.179
5	医药制造业	0.476	5	农副产品制造业	0.202
资本/劳动最高的产业			资本/劳动最低产业		
排序	产业名称	H/L	排序	产业名称	H/L
1	有色金属冶炼和压延加工业	3.814	1	纺织服装、鞋帽制造业	0.183
2	化学纤维制造业	3.483	2	文教、工美、体育和娱乐用品制造业	0.340
3	黑色金属冶炼与加工	3.468	3	皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	0.425
4	石油加工、炼焦及核燃料加工业	3.000	4	塑料制品业	0.463
5	化学原料和化学制品制造业	2.896	5	印刷和记录媒介复制业	0.478

注：样本为 1982 年人口普查中的所有制造业产业，统一映射到 GBT4754-2002 的 2 位码。产业层面的技术可转换性对 1982 年人口普查所有本产业的从业人员职业特征取算术平均；高中（或同等学历）以上被定义为高学历劳动力（H），其余被定义为低学历劳动力（L）；资本/劳动的数据来自陈诗一（2011）。

3. 产业层面技术可转性变化：1982 年至 2005 年

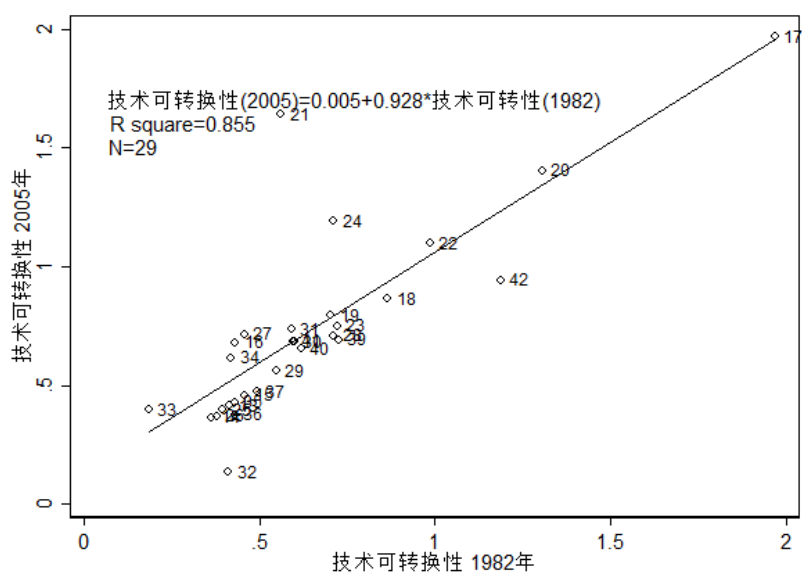


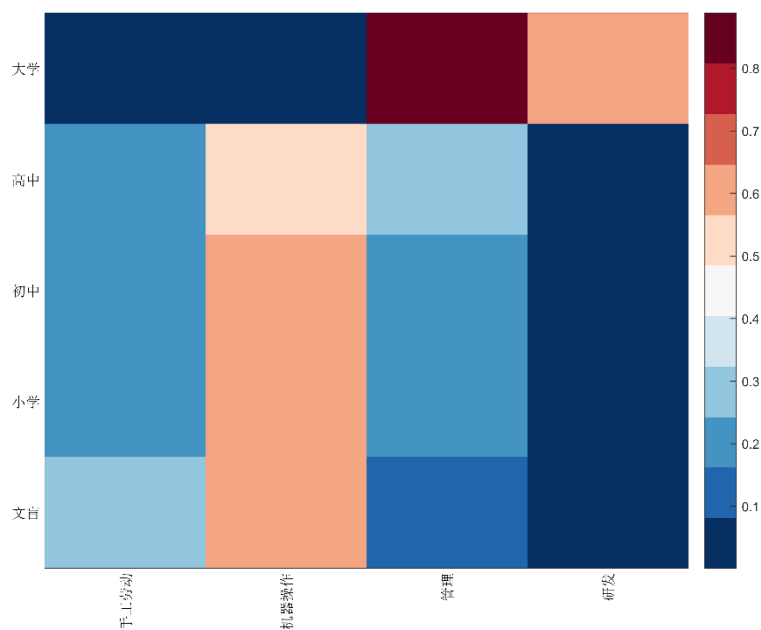
图 A.1 产业层面技术可转性变化：1982 年至 2005 年

注： 本图显示 2005 年产业层面的技术可转换性对 1982 年的拟合图。散点为经过统一调整过后的 GBT4754-2002 的 2 位数行业代码。

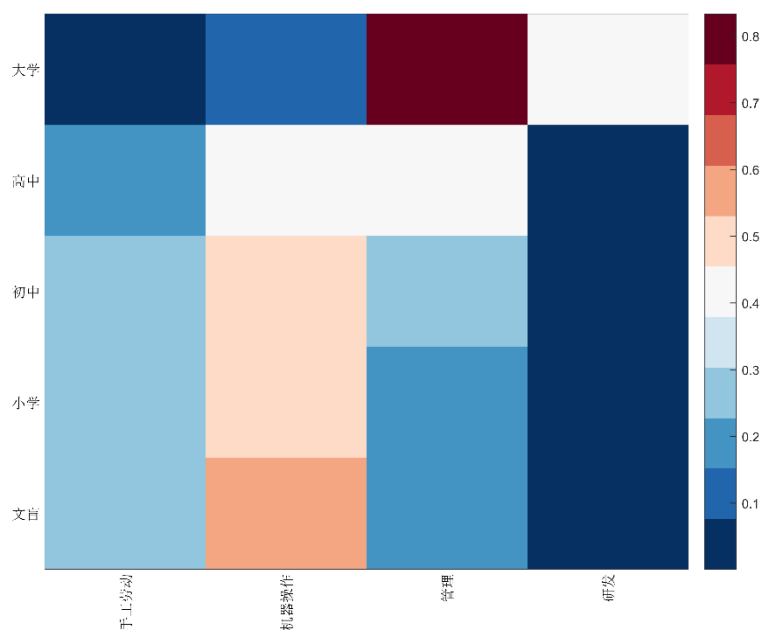
图 A.1 显示，2005 年产业层面技术可转换性指数对 1982 年的回归系数高达 0.928, R^2 为 0.855，即产业的技术可转换性样本期间变化不大，说明刻画了不随时间变化的特征，故在正文中国我们使用期初 1982 年人口普查所有 2 位数制造业行业的人员职业特征，取算术平均作为产业层面的技术可转换性。

4.制造业高学历劳动力（H）和低学历劳动力（L）的任务分工变迁

示意图的横轴是根据个人汇报的职业类别归类的任务类型，分为手工劳动、机械操作、管理和研发；纵轴是学历类型，分为文盲、小学、初中、高中和大学。中间色块表示每个学历从事各个任务类型的人数份额，每行之和为 1。颜色与份额的对应关系如图的右侧所示。



1982 年



1990 年

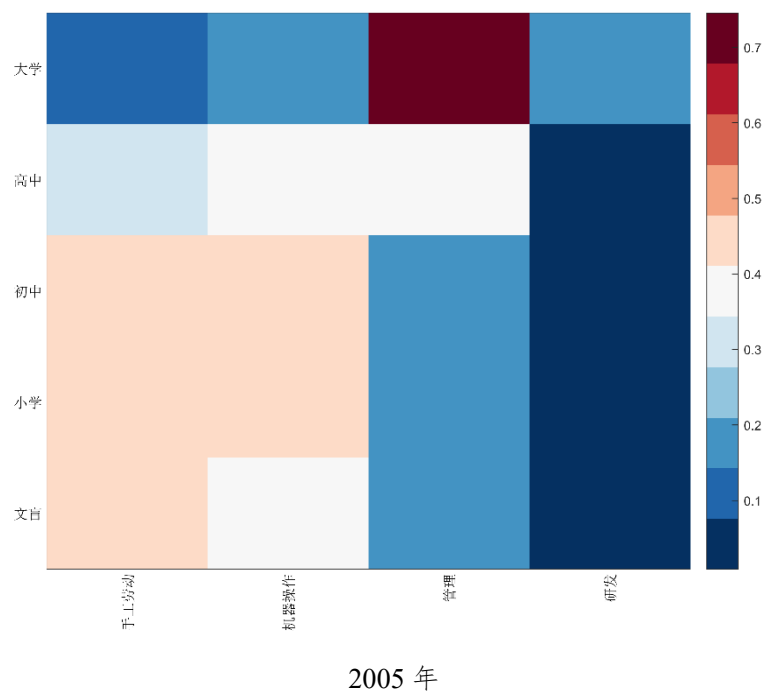
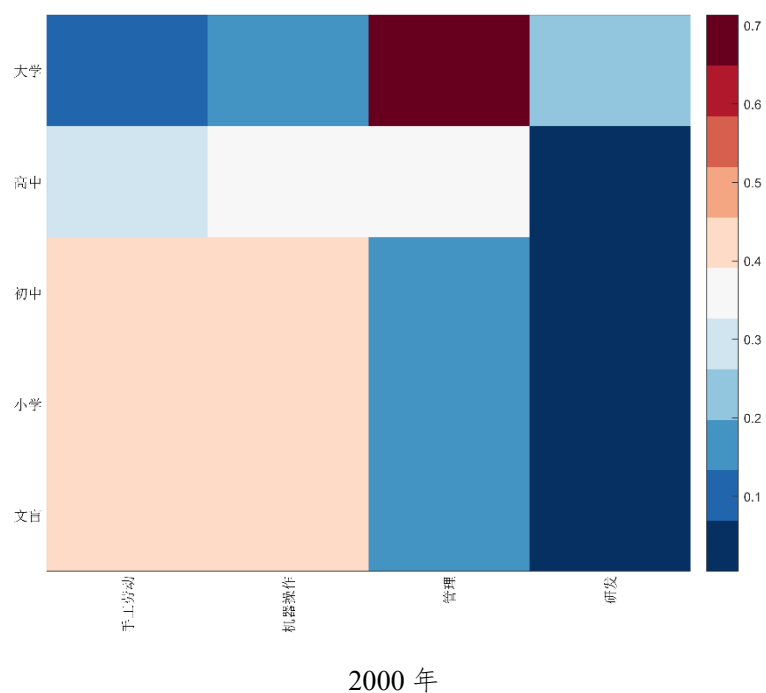


图 A.2 全体制造业人力资本结构

注：样本为四次人口普查（1982，1990，2000，2005）中的所有制造业从业人员。对于每类受教育程度人群，我们根据其职位特征划分为以下四个类别：“手工劳动”、“机器操作”、“管理”、“研发”。矩阵中的数值为该教育程度人群中从事上述四个类别职位占全体该教育程度人群的比例，数值越大，颜色越暖，反之则越冷。

5. 对人力资本禀赋测度时进行效率调整的必要性

图 A.3 和图 A.4 说明使用传统人力资本禀赋测度会出现矛盾。图 A.3 显示，我国高学历劳动力人数相对低学历整体上升，1982 年高低学历劳动力人数之比 (H/L) 较小的产业劳动力规模扩张更快。但是图 A.4 产业内部的 H/L 变化趋势发现，规模扩张较快的纺织品、衣服鞋帽等产业内部的 H/L 下降，与经济体禀赋结构变化方向相反；增长较慢的医药、交通设备等产业内部的 H/L 上升，与禀赋结构变化方向一致。这样的现象看似和新结构经济学禀赋结构决定产业结构相矛盾。然而，简单的数量之比会不合理地假设高低学历各自组内不同学历的劳动力效率相同。

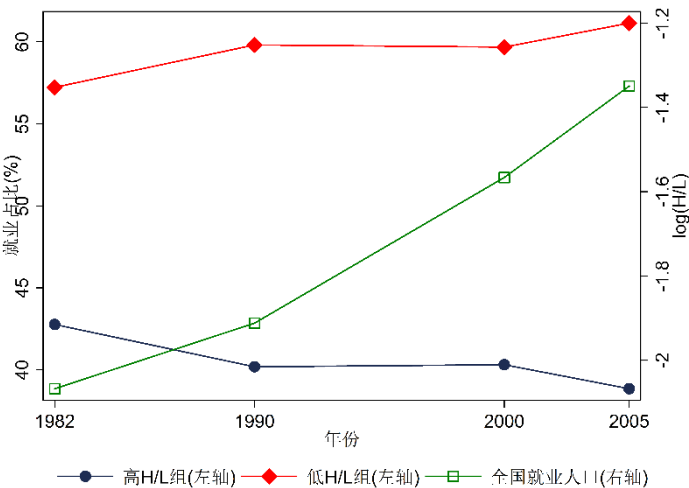


图 A.3 按期初高学历密集度划分的产业 H/L 变化

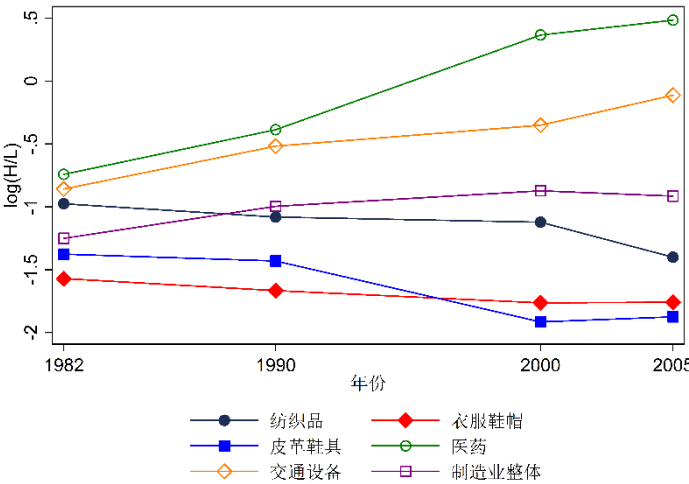


图 A.4 典型行业内部高学历密集度变化

6. 劳动力工资估算

表 A.3 明塞尔方程估计结果

数据来源	被解释变量: \ln (月均收入)		
	CHIP 1987	CHIP 1995	CHIP 2000
	(1)	(2)	(3)
女性	-0.101*** (0.007)	-0.153*** (0.008)	-0.179*** (0.016)
20岁-24岁	0.051** (0.022)	-0.160*** (0.029)	-0.188** (0.074)
25岁-29岁	0.246*** (0.021)	0.032 (0.029)	-0.013 (0.072)
30岁-39岁	0.484*** (0.020)	0.336*** (0.027)	0.196*** (0.069)
40岁-49岁	0.605*** (0.020)	0.528*** (0.027)	0.342*** (0.068)
50岁-59岁	0.574*** (0.022)	0.477*** (0.026)	0.334*** (0.066)
54岁以上	0.525*** (0.024)	0.530*** (0.026)	0.363*** (0.065)
小学	0.198*** (0.047)	0.174*** (0.056)	0.367** (0.176)
初中	0.332*** (0.046)	0.359*** (0.054)	0.611*** (0.168)
高中	0.384*** (0.046)	0.520*** (0.054)	0.807*** (0.168)
大学	0.492*** (0.046)	0.696*** (0.054)	1.104*** (0.168)
截距项	4.103*** (0.048)	5.359*** (0.059)	5.478*** (0.179)
观测数	20016	24440	5749
R ²	0.206	0.181	0.171

注：括号内为稳健标准误，*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ ；观测值的单位为个人；（2）和（3）列使用了受访时有工作且汇报收入不为 0 的子样本，方程设定与 Wu et al. (2015) 保持一致；本文估计的 Mincer 方程结果被用于分别对 1982（CHIP 1987），1990（CHIP 1995），2000（CHIP 2000）三年的个人收入进行预测插值，从而对于 H/L 比率进行生产率调整。

7. 稳健性检验：使用其他口径的产业层面资本-劳动比例作为控制变量

表 A.4 使用其他口径的产业层面资本-劳动比例作为控制变量

	产业内			产业间		
	ln (H/L)	ln (H*/L*)	生产端ln (H*/L*)	劳动力份 额 (%)	高学历 (H) 劳 动力份额 (%)	低学历 (L) 劳 动力份额 (%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
技术可转换性 (1982年省份-产业层面) 与年份哑变量交叉项:						
1990	-0.202 (0.121)	0.534* (0.276)	-0.092 (0.117)	2.959 (2.037)	1.994 (2.190)	0.044* (0.025)
2000	-0.678*** (0.146)	-0.669*** (0.209)	-0.633*** (0.139)	3.142*** (0.995)	1.057 (1.169)	0.004 (0.011)
2005	-0.781*** (0.142)	-0.708*** (0.207)	-0.740*** (0.142)	3.080*** (1.012)	0.908 (0.981)	0.003 (0.010)
各年产业层面ln (资本/劳动力) (余永泽等, 2017) 与年份哑变量交叉项:						
1990	0.347*** (0.079)	0.175 (0.122)	0.334*** (0.077)	-0.067 (0.700)	0.499 (0.806)	0.010 (0.011)
2000	0.513*** (0.055)	0.266** (0.117)	0.526*** (0.052)	-0.461 (0.460)	0.308 (0.554)	0.000 (0.005)
2005	0.504*** (0.063)	0.209* (0.110)	0.510*** (0.059)	-0.464 (0.462)	0.256 (0.512)	0.001 (0.005)
观测数	87	87	87	87	87	87
R ²	0.659	0.502	0.678	0.237	0.042	0.282

注：括号内为稳健标准误，*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ ；观测值的单位为产业-年份；样本为所有制造业产业；产业层面的资本/劳动比率来自余永泽等（2017），因余永泽等（2017）仅测算了从 1985 年至 2014 年的产业层面资本存量，故本表将年份限定为 1990 年，2000 年和 2005 年；高中（或同等学历）以上被定义为高学历劳动力，其余被定义为低学历劳动力；关注的解释变量为产业层面的技术可转换性（1982 年从事本产业的相关人员职位的技术可转换性的算术平均）、产业层面的资本/劳动比率的自然对数与年份哑变量的交叉项。

8. 竞争性假说的辨析

本附录对两类主要的竞争性假说——贸易开放与市场化改革进行辨析与探讨。

（1）贸易开放

第一类假说认为技术调整是由贸易开放带来的。改革开放以来，我国采取渐进的贸易开放政策，使具有比较优势的低学历劳动密集型产业迅速扩张。一些实证研究发现，在贸易开放的冲击之下，低学历密集产业的扩张使个人教育投资意愿下降，甚至出现了“去技能化”的倾向（张川川，2015；Li，2018；Li et al.，2019）。

对此本文有两点回应：第一，根据新结构经济学的观点，禀赋结构决定了比较优势，是产业结构转型的基础。中国在加入 WTO 之前的贸易开放政策偏向加工贸易产业，而这类产业往往对应当时具有竞争力的劳动密集型部门，例如纺织业、玩具制造业、家具制造业等（戴觅等，2014；Li，2019）。贸易政策内生于比较优势。这类产业的生产工序往往最具可转换性，能以标准化工序改造生产技术。所以去技能化实质上和制造业的低学历有效劳动力相对增加一致。开放贸易使中国可以更好地利用了当时低学历劳动力较为丰富的比较优势。禀赋优势和开放政策之间是互补关系，而非替代，并不影响本文的主要结论。

第二，贸易开放虽然可以解释产业间规模变化，但无法解释产业内的技术调整。一个证据是虽然表 6 中的技术可转换性系数在加入 WTO 前后的 2000 年和 2005 年才具有显著性，但是在表 5 中于 1990 年便已具备显著性，说明技术调整的进程在中国全面开放之前便已经开始了。文献表明，贸易开放影响了劳动力供给方的人力资本投资，但依然无法解释劳动力需求方为何愿意使用更多的低学历劳动者进行生产。本文的贡献在于解释了影响产业技能密度变化差异的根本因素在于其技术可转换性的高低。

（2）市场化改革

第二类假说针对我国计划到市场的制度转轨。改革开放前，我国采取重工业赶超战略，技术使用的物质资本和人力资本密集度均远高于禀赋结构，违背了比较优势（林毅夫等，1994）。改革开放后，从计划经济到市场经济的制度转轨使企业能以市场化的方式来安排要素投入密集度，从而使用与禀赋结构更匹配的生产技术，对产业资本密集度的矫正会通过资本-技能互补性对技能密集度产生影响。

本文做了三方面的稳健性处理。

第一，在实证分析决定产业层面人力资本结构变化的影响因素时，我们同时考虑产业技术可转换性和资本密集度。结果如表 7 所示，相对于 $\ln(\text{资本/劳动})$ ，技术可转换性对于人力资本浅化现象有更强的解释力。

第二，利用市场化改革的进度差异，在省份-产业层面进行检验。省份层面，我们选择 1990、2000、2005 年各省份非国有部门就业比例作为市场化改革的进程的代理变量^⑩。然后，对 1982 年从业人员的职业特征取算术平均得到省份-产业的技术可转换性。在对人力资本结构的回归中控制市场化进程和年份哑变量的交叉项。结果如表 A.5 所示，两组解释变量都具有显著的解釋力，但在经济显著性上，随时间推移，技术可转换性的系数绝对值不断增大，而市场化进程的系数绝对值不断减少。市场化进程确实影响产业的人力资本结构，但随改革铺开，影响越来越弱。技术可转换性作为产业层面指标，体现了技术的本质特征，其影响越来越强，和人力资本禀赋结构变化一致。因而，人力资本结构变化更可能是对禀赋结构变

^⑩ 省级层面的非国有部门就业比重数据来自《中国劳动统计年鉴》，因数据可得性将年份限定在 1990、2000、2005 年。省份-产业层面的资本/劳动缺失，无法作为额外的控制变量加入。我们使用工业企业数据库构造 2000、2005 年产业层面的非国有部门就业比例作为市场化改革的进程的代理变量。

化的反应，而限于是一种对于计划经济时期赶超战略的转轨。对劳动力份额的回归解读和前文保持一致，不再赘述。

表 A.5 赶超战略转轨假说检验：地区层面

	产业内			产业间		
	ln (H/L)	ln (H*/L*)	生产端ln (H*/L*)	劳动力份 额 (%)	高学历 (H) 劳 动力份额 (%)	低学历 (L) 劳 动力份额 (%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
技术可转换性 (1982年省份-产业层面) 与年份哑变量交叉项：						
1990	-0.388*** (0.050)	-0.188** (0.078)	-0.144 (0.091)	0.065*** (0.022)	0.036* (0.020)	0.077*** (0.023)
2000	-0.560*** (0.051)	-0.412*** (0.092)	-0.406*** (0.100)	0.058*** (0.014)	0.019* (0.011)	0.073*** (0.016)
2005	-0.683*** (0.058)	-0.586*** (0.147)	-0.433*** (0.155)	0.016 (0.013)	-0.024** (0.010)	0.032** (0.015)
各年非国有部门就业比重 (省份层面) 与年份哑变量交叉项：						
1990	-0.024*** (0.002)	-0.023*** (0.004)	-0.025*** (0.005)	0.010*** (0.001)	0.008*** (0.001)	0.011*** (0.001)
2000	-0.009*** (0.002)	-0.029*** (0.003)	-0.032*** (0.004)	0.008*** (0.001)	0.007*** (0.001)	0.009*** (0.001)
2005	-0.001*** (0.000)	-0.002*** (0.000)	-0.003*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)
观测数	2561	1836	1728	2644	2644	2644
R ²	0.143	0.084	0.086	0.162	0.106	0.167

注：括号内为稳健标准误，*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ ；观测值的单位为省份-产业-年份；样本为所有制造业产业；非国有部门就业比重作为各省份从赶超战略中转轨程度的代理变量；本表关注的解释变量为省份层面的非国有部门就业比重、省份-产业层面 1982 年的技术可转换性与年份哑变量的交叉项。

第三，市场化改革进程如果更多偏向于低学历密集型、劳动密集型行业的话，其也可能对本文的发现有影响。表 A.6 通过在回归中加入产业层面非国有部门就业比重与年份哑变量交叉项，对这一假说进行稳健性检验。技术可转换性和产业层面非国有就业比重都具有统计上显著的解释力，但在经济显著性上，随着时间推移，技术可转换性的系数绝对值不断增大，而市场化进程的系数绝对值不断减少。这说明，市场化进程作为一个区域层面指标，确实影响了各地区各产业人力资本的结构，但随着改革推进铺开影响越来越弱。但是技术可转换性作为一个产业层面指标，体现了产业技术的本质特征，其影响越来越强，和人力资本禀赋结构变化的趋势相一致。因而，我们观察到的人力资本结构变化更有可能是对禀赋结构变化的反应，而限于是一种对于计划经济时期赶超战略的转轨。

表 A.6 赶超战略转轨假说检验：产业层面

	产业内			产业间		
	ln	ln	生产端ln	劳动力份	高学历 (H) 劳	低学历 (L) 劳
	(H/L)	(H*/L*)	(H*/L*)	额 (%)	动力份额 (%)	动力份额 (%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
技术可转换性 (1982年产业层面) 与年份哑变量交叉项:						
2000	-0.433*	-0.585**	-0.381	2.583***	1.011	3.238***
	(0.257)	(0.287)	(0.237)	(1.190)	(1.307)	(1.198)
2005	-0.903***	-0.597**	-0.780***	1.467	-1.073**	2.483**
	(0.310)	(0.250)	(0.290)	(1.159)	(0.010)	(1.096)
各年非国有部门就业比重 (产业层面) 与年份哑变量交叉项:						
2000	-2.472***	-1.101***	-2.653***	1.973	-1.251	3.303*
	(0.470)	(0.530)	(0.439)	(1.553)	(1.960)	(1.679)
2005	-1.510***	-0.901**	-1.732***	2.560	0.990	3.235**
	(0.397)	(0.374)	(0.373)	(1.579)	(2.139)	(1.587)
观测数	58	58	58	58	58	58
R ²	0.520	0.310	0.559	0.164	0.032	0.242

注：括号内为稳健标准误，*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ ；观测值的单位为省份-产业-年份；样本为所有制造业产业；本表因数据可得性（年份-产业层面的非国有部门就业比重）将年份限定为 2000 年和 2005 年；高中（或同等学历）以上被定义为高学历劳动力，其余被定义为低学历劳动力；本表以非国有部门就业比重作为各产业从赶超战略中转轨程度的代理变量；本表关注的解释变量为产业层面的非国有部门就业比重（数据由 2000 年和 2005 年的工业企业数据库按照各所有制股份比例加总得出）、省份产业层面的技术可转换性（1982 年本省从事本产业的相关人员职位的技术可转换性的算术平均）与年份哑变量的交叉项。

9. 模型的稳健性讨论

为了更好地体现出产业内部高低学历劳动力可替代程度不同,我们在原文基础上另构造了一个模型,对本文机制进行补充解释。

家户的需求设定与正文的模型完全相同,所以两个产业的需求函数也如正文中的(5)(6)式。

生产部分,两个产业均采用 CES 生产函数,差别在于高低学历劳动力替代弹性不同。正文中的模型是,两个产业均可以在高低学历劳动力密集的两种技术中进行选择,区别是技术可转换性较高的产业调整技术的成本更低。此处的模型设定为,两个产业的生产函数固定不变,技术可转换性较高的产业更能够使用低学历劳动力替代高学历劳动力,体现为 CES 函数的替代弹性更高。具体如下:

$$Y_i = \left(H_i^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} + L_i^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} \right)^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i-1}}$$

设定产业 1 的高低学历劳动力的替代弹性大于产业 2 ($\sigma_1 > \sigma_2$),即产业 1 更能够使用低学历劳动力替代高学历劳动,对应实证部分的技术可转换性更强。

将低学历有效劳动力工资标准化为 1,由 CES 函数的性质得到两个产业所生产的消费品的价格之比为:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{(w_h^{1-\sigma_1} + 1)^{\frac{1}{1-\sigma_1}}}{(w_h^{1-\sigma_2} + 1)^{\frac{1}{1-\sigma_2}}}$$

进而,我们可以得到 $\frac{p_1}{p_2}$ 随 w_h 递减。

证明:

$$\left(\frac{p_1}{p_2} \right)' = \frac{1}{(p_2)^2} p_1^{\sigma_1} p_2 w_h^{-\sigma_1} \left(1 - \frac{w_h^{1-\sigma_2} + w_h^{\sigma_1-\sigma_2}}{w_h^{1-\sigma_2} + 1} \right)$$

当 $w_h > 1$ 时, $\left(\frac{p_1}{p_2} \right)' < 0$ 。证毕。

产业的利润最大化问题是:

$$\max_{H_i, L_i} p_i \left(H_i^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} + L_i^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} \right)^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i-1}} - w_h H_i - L_i$$

由此推出,产业 i 所使用的高低学历有效劳动力人数如下:

$$H_i = \left(\frac{p_i}{w_h} \right)^{\sigma_i} Y_i$$

$$L_i = p_i^{\sigma_i} Y_i$$

根据市场出清条件,得到 w_h 随着 $\frac{H}{L}$ 递减。

证明:

$$\frac{H}{L} = \frac{H_1 + H_2}{L_1 + L_2} = \frac{\left(\frac{p_1}{w_h} \right)^{\sigma_1} Y_1 + \left(\frac{p_2}{w_h} \right)^{\sigma_2} Y_2}{p_1^{\sigma_1} Y_1 + p_2^{\sigma_2} Y_2}$$

根据 $\frac{Y_1}{Y_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{-\rho}$, 将上式整理为

$$\frac{H}{L} = w_h^{-\sigma_2} \frac{p_1^{\sigma_1-\rho} w_h^{\sigma_2-\sigma_1} + p_2^{\sigma_2-\rho}}{p_1^{\sigma_1-\rho} + p_2^{\sigma_2-\rho}}$$

记 $p_1^{\sigma_1-\rho} \equiv A$, $p_2^{\sigma_2-\rho} \equiv B$, $g(w_h) = \frac{p_1^{\sigma_1-\rho} w_h^{\sigma_2-\sigma_1} + p_2^{\sigma_2-\rho}}{p_1^{\sigma_1-\rho} + p_2^{\sigma_2-\rho}} \equiv \frac{A w_h^{\sigma_2-\sigma_1} + B}{A+B}$ 。

$$g(w_h)' = \frac{1}{(A+B)^2} [(\sigma_2 - \sigma_1) w_h^{\sigma_2-\sigma_1-1} A(A+B) + (1 - w_h^{\sigma_2-\sigma_1})(AB' - A'B)]$$

$$\frac{AB'}{A'B} = \frac{\sigma_1 - \rho}{\sigma_2 - \rho} \frac{p_1^{\sigma_1-1}}{p_2^{\sigma_2-1}} \frac{w_h^{-\sigma_1}}{w_h^{-\sigma_2}} = \frac{\sigma_1 - \rho}{\sigma_2 - \rho} \frac{w_h + w_h^{\sigma_2}}{w_h + w_h^{\sigma_1}}$$

由 $w_h > 1$, 得到 $\rho > \sigma_1 > \sigma_2 > 1$ 是 $\frac{AB'}{A'B} < 1$ 的一个充分条件, 此时 $g(w_h)' < 0$ 。由此推出 w_h 随

着 $\frac{H}{L}$ 递减。证毕。

综上, 当 $\frac{H}{L}$ 下降时, w_h 上升, $\frac{p_1}{p_2}$ 下降, $\frac{Y_1}{Y_2}$ 增加。这就是原文中的定理 1: 当低学历有效劳动力人数相对高学历足够丰裕时, 技术可转换性较高的产业在结构转型中规模扩大。