doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2018.01.007

科技成果转化成熟度评价指标体系研究
——以结构方程模型为例

邢晓昭 李善青

中国科学技术信息研究所 北京 100038

摘 要 科技成果转化是使科技创新服务经济社会发展主战场的有力措施，而科技成果转化成熟度评价是科技成果转化的关键一环。本文从科技成果转化过程入手，梳理科技成果转化成功的主要影响因素，初步建立指标体系；此后采用结构方程模型中的验证性因子分析对指标体系进行检验和修正；并提出科技成果转化成熟度的计算方法；最后利用该指标体系对国家科技成果转化项目库中的成果进行评价。

关键词： 科技成果转化成熟度评价；结构方程模型；验证性因子分析；实证研究；科技评价

中图分类号： G35

开放科学（资源服务）标识码（OSID）

Research on Evaluation Index System of Scientific and Technological (S&T) Achievements Transfer Readiness——Taking the Structural Equation Model as An Example

XING Xiaozhao LI Shanqing

Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038, China

Abstract The transformation from S&T achievements to actual productive forces is an effective means to make science and technology innovation serve the main battlefield of economic and social development And the assessment of transfer readiness of S&T achievements is a key section in the transformation process. Firstly, the influence factors of S&T achievements transfer were summarized and an initial evaluation index system was established. Secondly, the method of confirmatory factor analysis was

基金项目： 中国科学技术信息研究所创新研究基金青年项目“科技成果转化成熟度评价指标体系研究”（QN2017-03）；国家自然科学基金青年项目“大数据挖掘在科技项目查重中的应用研究”（71303223G030702）。

作者简介： 邢晓昭（1988-），通讯作者，助理研究员，研究方向：科技成果转化、专利分析，Email：xingxz@istic.ac.cn；李善青(1981-)，助理研究员，研究方向：科技资源管理和数据挖掘。

adopted to verify and modify the index system. Then, this paper put forward the calculating formula of S&T achievements transfer readiness. Last but not least, an empirical research on the awarded achievements from Nation Science and Technology Achievement Database(NSTAD) was conducted.

Keywords：S&T achievements transfer readiness assessment; structural equation model; confirmative factor analysis; empirical research; sci-tech evaluation

0 引言

发挥科技进步和创新对加快转变经济发展方式的支撑作用，必须大力促进科技成果向现实生产力转化，显著提升经济社会发展的科技含量[1]。十八届三中全会以来，国家出台了一系列关于科技计划、科技成果和科研人员管理的文件，为科技成果转化松绑解缚，鼓励科技成果走向市场，引导民间资本接手科技成果转化。与政府财政投入不同，民间资本往往更加关注投资回报周期、投资回报率等问题。然而，科技成果在诞生初期，大多是具有一定先进指标的样品，既不是产品，更不是商品。如果民间资本过早介入成果转化，往往风险高且回报遥遥无期，一旦转化遭遇不顺，不但严重挫伤民间资本的积极性，也会对科技人员的信誉和口碑产生负面影响[2]。在这种情况下，判断科技成果是否适合转化成为一个值得关切的重要问题。本文提出一种科技成果转化成熟度评价指标体系，用于判断科技成果转化成熟度，为供需双方在对拟转化成果的认识上提供一个标准，识别并规避风险，对于促进科技成果转化具有重要意义。

结构方程模型（Structural Equation Models，SEM）可以验证模型是否合理，并给出优化建议。该方法主要对整个模型与样本数据间的拟合程度进行估计，从整体上判断哪个模型更为符合数据所呈现的复杂关系。拟合的核心思想就是尽量缩小样本协方差矩阵与由模型估计出的协方差矩阵之间的差异，因此结构方程模型也被称为协方差结构模型（Covariance Structural Modilling）[3]。韩国学者 Sohn 和 So 最先通过结构方程模型来捕捉商业化成功影响因素间的结构关系[4]。之后他们又提出了包括商业化成功、技术提供者研发能力、技术接受者管理能力在内的 9 个潜变量，利用结构方程模型来研究商业化成功受以上因素的影响程度，以及这些因素间的相互作用[5]。Yan Lou 等人建立了包括技术要素、经济要素、条件要素、一致性要素和社会要素 5 个一级指标，23 个二级指标在内的新兴技术商业化潜力评价指标体系；经专家打分后，利用结构方程模型修订和优化指标体系[6]。我国学者王冀运用结构方程模型，从波特五力模型出发对影响新兴技术商业化的各种内部环境因素进行实证分析[7]。李自玲采用结构方程模型来预测技术商业化成功指数，她给出 PLS 的最佳迭代初值，保证了迭代的收敛性，提高了收敛速度。同时提出更为稳健和全面的 TCSI 计算公式[8]。

总结现有的利用结构方程模型来研究科技

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2018.01.007

成果转化的论文，可以发现以下问题：1. 研究内容集中于探测影响因素间的路径关系，而实际开展评价应用较少；2. 指标体系不可扩展。即根据专家意见对指标体系进行修正时，只能在原有指标体系上进行删减，而不能增加。如果想增加指标，必须重新征询所有专家意见；3. 利用指标体系进行实证研究时，指标值只能通过专家打分获得而非基于事实型数据。本文从科技成果的转化过程出发，提出了基于事实型数据的科技成果转化成熟度评价指标体系。采用李克特 5 级量表法设计调查问卷对各指标重要性进行征询，采用验证性因子分析方法考察指标体系的结构效度，并根据修正指数对模型进行优化。基于此提出科技成果转化成熟度的计算公式并开展实证研究。在模型拟合时对最初未列在问卷中，由答题专家进行增补的“其他”问项进行了考虑。

1 科技成果转化成熟度评价指标体系

1.1 科技成果转化过程中的影响因素分析

与“科技成果转化”类似[9]，“科技成果转化成熟度”也是一个具有中国特色的科技管理称谓。在国外，与此较为贴近的概念有 Technology Commercialization Success Index 和 Commercialization Potential of Emerging Technologies。1999 年，我国学者王品端等人首次提出科技成果成熟度的概念。他指出，成熟度不高是阻碍高校科技成果转化的主要障碍，而科技投入体制、高校科研管理体制下的科技人员观念和高校现有条件是造成科技成果成熟度低的主要原因[10]。顾宏指出科技成果成熟度从本质上说就是反映科技成果适于市场转化的程度[11]，吴维娜认为科技成果成熟度是指从初步科学研究开始到最终研究结果进行规模化生产的所有阶段能够达到一般性可用程度[12]。2016 年发布的《科技成果转化成熟度评价规范》[13] 中采用科技成果转化成熟度来衡量一项科技成果是否具备成熟的市场转化条件。从指标的内涵和应用目的来看，“科技成果转化成熟度”与之前相关研究中提到的“科技成果成熟度”概念基本等同，可以相互替代。本文采用“科技成果转化成熟度”这一表述，因为它更为具体，并且明确指出该指标是为科技成果转化服务[14]。

科技成果转化成熟度受到多方面因素的影响。Astebro 分析了技术性企业研发项目的成功因素[15]，Chang Y. C. 研究了学术研究成果商业化表现的决定因素[16]。刘希宋等人从技术要素、效益要素、需求要求、保障要素四个方面提出了国防工业科技成果价值评估的三级体系，旨在对其转化前景进行客观预期[17]。王嘉、曹代勇建立了包括技术水平、产业化基础、投资分析、市场情况和风险分析等 10 个一级指标，以及 22 个二级指标在内的农业产业化科技成果评价指标体系[18]。

科技成果转化是为提高生产力水平而对科技成果所进行的后续试验、开发、应用、推广直至形成新技术、新工艺、新材料、新产品、发展新产业等活动。这里面提到了两个实体和一个过程（如图 1 所示）。第一个实体是科研人员经过课题立项、实施、结题而产出的科技成果（这里主要指应用技术成果），它通常是在实验室条件下产生的、具有一定先进性指标

的样品。这时的科技成果是研发团队思想的独立体现，其价值主要表现为知识价值，而知识价值又通过科技成果的技术属性表达，因此技术要素是科技成果转化成熟度的重要影响因素。第二个实体是经过改良后可以或已经投放市场的新技术、新工艺、新材料、新产品等，一般具有商业价值或经济社会效益。这时候新产品与市场需求的契合度和市场的接收能力等表征市场条件的市场要素也是科技成果转化成熟度的重要影响因素。一项科技成果必须经过一个面向应用的适应性开发阶段才能完成从实验室样品向对市场有吸引力的商品的蜕变。从技术发展角度来说，这个过程包括小试、中试和市场验证等环节，从参与主体角度来说，这一过程可以由技术研发方独立完成、技术需求方独立完成、委托第三方机构完成或合作完成，但是无论哪种方式，技术的改进过程一定是在研发者思想的基础上越来越多的融入需求者思想和对于市场的考虑。从价值的角度来说，应该是由知识价值向生产力的一个转化。技术所处的研究开发阶段，技术改进过程中的知识产权保护、归属情况都会对科技成果转化过程起到支持和催化作用。此外，科技成果在转化后的应用情况对于科技成果转化成熟度来说也具有一定的反馈影响效果。这些要素统称为转化支撑要素。因此本文从技术要素、市场要素、转化支撑要素三个方面建立科技成果转化成熟度指标体系（见表 1）。

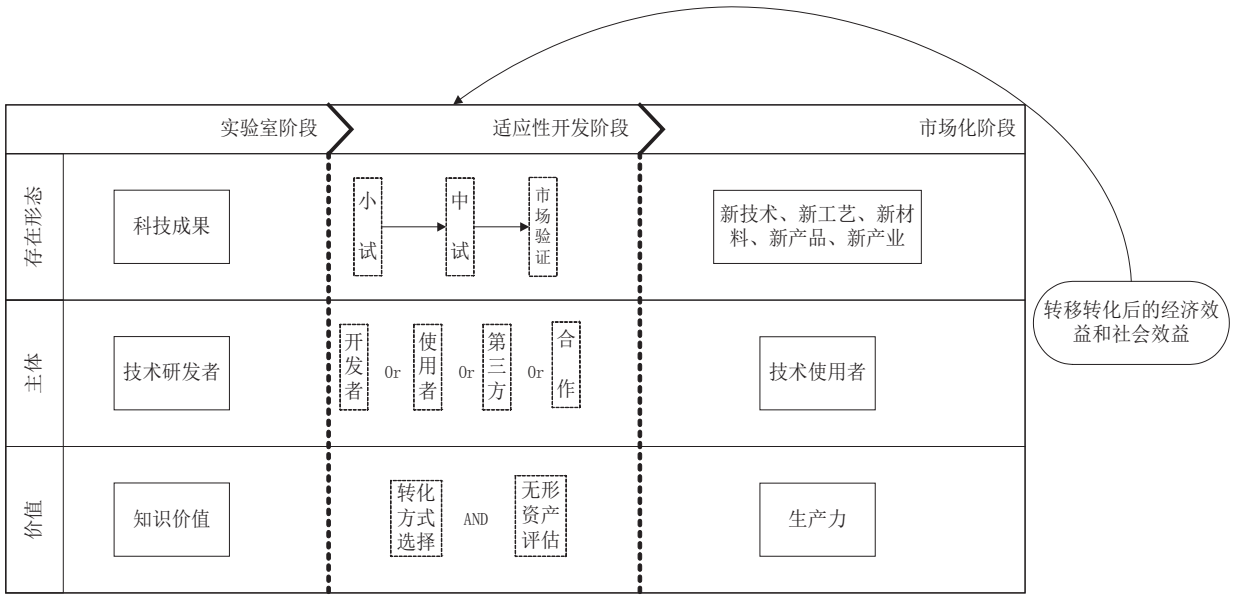

图1 科技成果转化过程

1.2 指标体系初设

1.2.1 技术要素

科技成果是科学技术的载体，技术内容通过成果的具体形式得以表达，同时又是成果的核心价值所在。科技成果的技术属性是研发团队知识积累和创新水平的集中体现，技术要素从源头上决定了科技成果转化的市场价值。技术要素包括技术先进性、技术资料产出、技术

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2018.01.007

辐射能力和团队实力 4 个指标。

表1 科技成果转化成熟度初始评价体系

目标层	要素层	指标层
科技成果转化成熟度	技术要素 (TECH)	技术先进性 (y1)
		技术资料产出 (y2)
		技术辐射能力 (y3)
		团队实力 (y4)
	市场要素 (MARKET)	转化需求 (y5)
		融资需求 (y6)
		市场需求 (y7)
		市场周期 (y8)
		政策影响 (y9)
	转化支撑要素 (TRANSSUP)	技术成熟度 (y10)
		专利保护强度 (y11)
		独立支配权利 (y12)
		企业参与度 (y13)
		应用情况 (y14)
		经济和社会效益 (y15)

（1）技术先进性

指与此前同类技术相比是否具有突出的特点和明显的进步。技术进步，如新技术的出现、技术难关的攻克，或现有技术的改良等是一项新成果研发的初衷和应用优势所在。它直接决定了成果转化之后的赢利点，也是技术最吸引投资人眼球的地方。

（2）技术资料产出

指围绕该项技术所形成的专利、论文、标准、集成电路布图、新药、新品种等科技文献。这些科技文献一般都经过专业部门的鉴定，是对于技术最清晰、详实、可靠的表达载体。一般认为，技术资料的产出数量越大，质量越高，科技成果的创造性越强。

（3）技术辐射能力

一方面指技术应用的行业宽度和领域广度，是适用于单一产品、某一领域内所有产品，还是跨技术领域产品；另一方面指技术的市场可达性 [19]。

（4）团队实力

研发团队是一项科技成果的缔造集体，其科研技术能力直接影响成果生产过程中的知识、智力和劳动力积累水平。一般认为，科研技术能力越强，科技成果的技术性能越完善 [20]。

1.2.2 市场要素

市场是买卖双方进行商品交换的场所，从某种程度上说是科技成果转化的一个终点。市场环境对于商品的销量、价格和利润都有重要的影响，而明确市场发展对于制定竞争策略具有指导意义。转化需求和融资需求体现的是技术与市场的对接，虽然是技术持有者在适应性开发阶段和市场化阶段均需考虑的问题，但是受市场环境影响很大，并且随着转化过程的推进，这种影响将加剧，因此将转化需求和融资需求归为市场要素中。市场要素包括转化需求、融资需求、市场需求、市场周期和政策影响 5 个指标。

（1）转化需求

成果持有者是成果转化后的直接受益者，其转化需求的迫切性是促进一项科技成果顺利实现转化的原动力。而其对于成果转化过程中一些关键要素的限制条件意向越明确，与合作方的对接成功率越高。

（2）融资需求

股权融资和债权融资成果转化方式当中的两种。一般选择这两种方式的成果持有者主要是出于产品改进和扩大生产规模等目的。

（3）市场需求

市场需求是指一定时间内和一定价格条件下，消费者对某种商品或服务愿意而且能够购

买的数量。需求强度决定成果转化后的价值实现程度，需求方向决定了科技成果改进的方向。市场需求受人口、购买力和购买欲望的影响。

（4）市场周期

指科技成果转化后拟投放的目标市场所处的生命周期阶段。该指标反映技术产品进入市场后面临的竞争态势、未来的发展潜力，以及当前市场对其的接受能力。

（5）政策影响

各级政策对于成果转化的支持，会提高投融资机构和成果需求方的兴趣，降低成果转化的成本，同时加速成果转化进程，反之亦然。

1.2.3 转化支撑要素

如前所述，科技成果由样品变为商品需要经历一个适应性开发阶段。随着开发的不断深入，科技成果在技术上越来越成熟，在应用上也越来越贴近需求。在技术的不断改进过程中，对于新成果的知识产权保护以及合作方之间的技术确权都可以为转化打下良好基础。此外，科技成果的已转化情况会对整个转化过程产生正向反馈效应。我们认为，社会心理学中的“马太效应”在此同样适用。技术需求者和投融资机构普遍更关注之前进行过转化的成果。已转化情况一方面体现了他人对于该成果应用价值或商业价值的肯定，另一方面表示持有机构具有一定的成果转化经验[21]。转化支撑要素包括技术成熟度、专利保护强度、独立支配能力、企业参与度、应用情况、经济和社会效益 6 个指标。

（1）技术成熟度

指科技成果在生产制造方面的准备程度。一般认为，随着技术成熟度的逐级提升，科技成果的转化周期变短，转化风险降低。包括实验室、小试、中试产品和市场化产品四个阶段。

（2）专利保护强度

指专利在时间上、地域上以及技术细节上受法律保护的范围和程度。该指标体现了专利权人的知识产权管理能力和对于成果潜在商业价值的估计。

（3）独立支配权利

指的是被调查机构是否具有以实施、许可、转让等方式独立转化该成果的权利，以及本成果在实施过程中是否对其他技术具有依赖性，以至于需要对相关的技术持有者予以补偿。一般认为，成果的独立支配权利越大，其转化成本和风险越低。

（4）企业参与度

新修订的《中华人民共和国促进科技成果转化法》中指出要强化企业在科技成果转化中的主体地位[22]。从价值链的角度来看，科技成果转化过程是一个“技术——经济”价值链，而企业是实现科技和经济紧密结合的重要力量。不同于高校、科研院所等创新主体的技术追求导向，它以满足市场需求为基本出发点，强化企业在研发和转化中的主体地位是实现创新市场导向的前提和基础。一般认为企业参与度越高，科技成果转化成熟度越高。

（5）应用情况

指科技成果的推广程度或产业化程度，它反映该成果在先期转化中的实施和被接纳情况。一般认为，应用范围越广，科技成果转化成熟度越高。

（6）经济和社会效益

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2018.01.007

指科技成果在先期转化应用后所获得的直接经济性收益和其他对社会生活有益的效果（如增加就业、保护环境等）。该指标从效果角度反映了本技术的优越性和进步性。

2 指标体系的验证分析与结果

结构方程模型包括测量模型和结构模型。测量模型的基本目的是描述观察标识变量是否适合作为潜变量或因子的测试手段，而结构模型用于评估潜变量之间的相互关系。本文中提出的科技成果转化成熟度评价指标体系属于测量模型。当对观察变量维度或因子结构不确定时通常采用探索性因子分析（EFA）来探索性的检验测量模型的因子结构，而当对研究变量的维度在理论和实践上都有一定了解的情况下一般采用验证性因子分析（CFA）来评估测量模型[23]。本章采用 Mplus7.4 软件对上文建立的科技成果转化成熟度评价指标体系进行验证性因子分析，考察评估模型的结构效度。实验数据来源于问卷调查，调查对象为科技成果转化过程主要参与者，主要来自北京、上海、广东、江苏、湖北等省（直辖市），经筛选后获得符合条件的问卷 109 份，有效回收率 91%。满足实际问卷的有效数量与题项比大于 5：1，且样本量超过调查总体的 50%，具有较大代表性。其中技术供给方占 59%，技术需求方 15%，投融资机构 10%，科技中介 26%，科技管理机构 32%，其他 7%。从事科技成果转化相关工作 0 ~ 2 年的人数占 21%，2 ~ 5 年 25%，5 ~ 10 年 27%，10 年以上 26%。

2.1 正态分布检验

对数据正态性的检验有助于选择最佳模型估计方法。本研究采用卡方检验和单样本 K-S 检验对每个题项的正态性进行检验。两种方法的检验结果同时显示，总量表中各个题项的显著性均为 0（$P<0.05$）。由此可知，单个题项不服从一元正太分布，因而总量表也不服从多元正态分布[24]。稳健估计法可以使模型估计避免非正态数据的影响。Mplus 提供的稳健估计法包括：稳健最大似然估计法（MLR）、均属调整最大似然估计法（MLM）、加权最小二乘法（WLS）等，MLR 一般被推荐用于小样本和中等量的样本[12]，因此本文采用 MLR 进行验证性因子分析。

2.2 模型拟合与修正

根据第 2 章提出的科技成果转化成熟度指标体系，建立二阶验证性因子分析模型。将科技成果转化成熟度和 3 个影响因素设置为潜变量，其中科技成果转化成熟度为二阶因子，用 M1 表示；技术要素、市场要素、转化支撑要素为一阶因子，分别用 TECH、MARKET、TRANSSUP 表示。将技术先进性等 15 个指标设置为观测变量，用 y1-y15 表示。

2.2.1 信度检验

信度是指测验的可靠程度，反映测验结果受到随机误差的影响程度。对量表数据进行效度分析前，首先要考虑所测量的数值是否可靠，只有信度被接受时，量表的数据分析才是有用的。Cronbach α 系数是目前采用比较广泛的信度检验方法，α 系数越高表示该组变量间越有系统性。但是，Cronbach α 系数只有在测量误差不

相关，且测量模型为τ等价测量的假设下才是量表可靠性的准确估计，组合信度（composite reliability，CR）可以克服这一缺陷[25]，本文采用 Cronbach α 和组合信度两种方法进行信度检验。

信度分析结果如表 2 所示。Cronbach α 值大于 0.6 表明该合成测量可接受。初始模型中 MARKET 和 M1 两个潜变量的信度通过检验，而 TECH 和 TRANSSUP 未通过检验。专利保护强度 (y11) 在 M1 中校正的项总计相关性为 0.204（<0.3），删除该观测变量后 TRANSSUP 和 M1 的信度值均有所提高，其中 TRANSSUP 的信度达到可接受标准。

表2 原始模型的信度

潜变量	观测变量个数	Cronbach α	组合信度 CR	观测变量个数	Cronbach α	组合信度 CR
TECH	4	0.545	0.545	4	0.545	0.545
MARKET	5	0.676	0.675	5	0.676	0.675
TRANSSUP	6	0.556	0.599	5	0.614	0.632
M1	15	0.810	0.813	14	0.817	0.815

2.2.2 初始模型拟合

模型的卡方检验 $\chi2=137$，$df=87(p<0.05)$，统计显著，因而拒绝模型拟合良好的零假设。比较拟合指数 CFI=0.794，Tucker-Lewis 系数 TLI=0.752，均低于 0.9 的接受标准。近似误差均方根 RMSEA=0.073，小于模型拟合良好的截断值 0.08，但其 90% 的置信区间 (0.049,0.095) 上限超出了拟合良好的范围（>0.08）。删除 y11 后，各指标均有所改善，但模型仍不是很理想。

2.2.3 模型修正

模型修正指数（Modification Indices,MI）如表 3 所示。可以看出，政策影响 y9 对于转化支撑要素 TRANSSUP 有较高的从属度，技术成熟度 y10 对于技术要素 TECH 有较高的从属度，而应用情况 y14 与经济和社会效益 y15 相关性较高。

十八届三中全会以来，国家和各地各部门发布了许多促进科技成果转化的政策，这些政策涉及从科研立项、经费管理、成果信息公开与共享，到科技成果使用处置、转化机制建设，再到市场对接和收益分配等各个方面。在调查对象的认知中，政策影响不仅仅作用于市场环境，而是贯穿科技成果转化全过程。因此 y9 归属于 TRANSSUP 可以解释。

表3 模型修正指数

修正项	修正指数
BY Statements	
TRANSSUP BY Y9	12.206
TECHBY Y10	7.581
WITH Statements	
Y15WITH Y14	5.747

技术成熟度虽然并非科技成果的固有技术属性，它可以在不改变原始创新基因的前提下通过对生产制造过程的改良而获得提升。但技术成熟度的提高要求生产制造过程最大程度适应技术原理，符合技术规律。此外，技术成熟度也需要通过技术指标来综合测量。因此将观

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2018.01.007

测变量 y10 归属于 TECH 具有理论依据。

应用情况与经济和社会效益二者相辅相成。一项科技成果只有获得应用，才有可能产生效益，而产生的效益会形成口碑效应，反过来促进应用。因此 y14 和 y15 相关是合理的。

根据初始模型拟合结果、修正指数，及上述对于调整建议的分析，将 y9 调整为 TRANSSUP 的观测变量，y10 调整为 TECH 的观测变量，设置 y15 与 y14 相关。再次运行 Mplus 程序，拟合结果（见表 4）显示：卡方检验统计不再显著，CFI 和 TLI 值均大于 0.9，RMSEA 值小于 0.05 的理想标准且置信区间在 (0.000,0.080) 的范围内。此外，修正后 4 个潜变量的信度（见表 5）均通过检验。该模型拟合效果优秀，因此将其作为最终模型。

科技成果转化成熟度评价体系的二阶验证性因子分析最终模型如图 2 所示，单项箭头上的数字是标准化因子载荷（括号里为标准误差）。可以看到，所有标识的因子载荷都大于 0.40，满足传统的因子载荷截断值（0.4），且因子载荷均统计显著。y14 与 y15 间的双向箭头表示二者相关。

表4 模型修正前后拟合指数对比

指数名称	P	c^2/df	CFI	TLI	RMSEA（90% CI）
建议值	>0.05	[1,3]	>0.9	>0.9	<0.08(0.000,0.080)
初始模型	0.0005	1.58	0.794	0.752	0.073(0.049,0.095)
去掉与 y11	0.02	1.36	0.876	0.848	0.058(0.024,0.084)
最终模型	0.30	1.08	0.973	0.967	0.027(0.000,0.063)

表5 最终模型的信度

潜变量	观测变量个数	Cronbachα	组合信度 CR
TECH	5	0.607	0.607
MARKET	4	0.649	0.654
TRANSSUP	5	0.720	0.715
M1	14	0.817	0.815

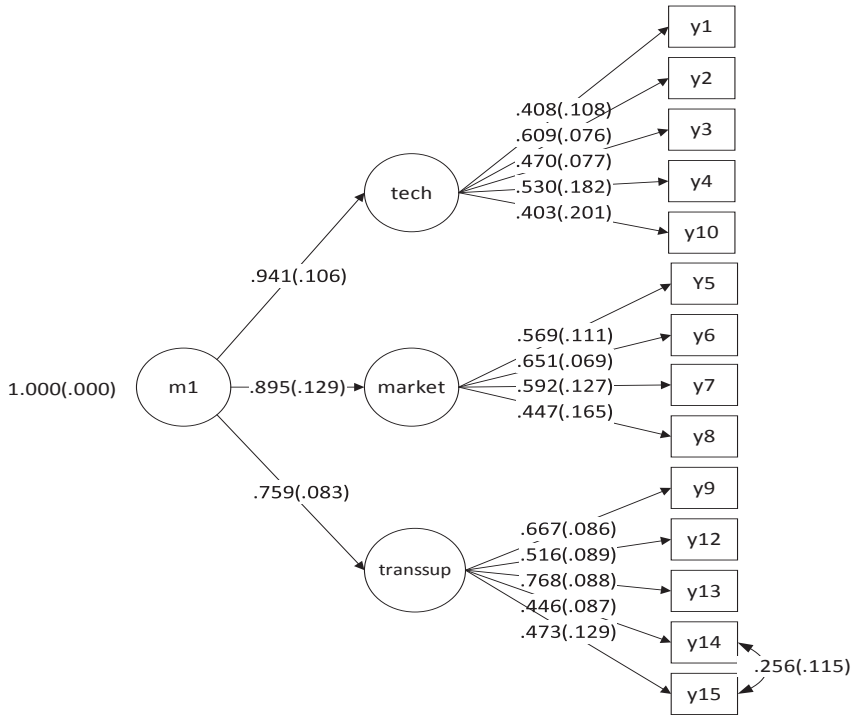

图2 二阶验证性因子分析模型

2.3 扩展指标体系的模型拟合

在对指标体系开展问卷调查之前，研究者一般会根据自己的经验积累或通过对相关文献的梳理建立一个指标集。这个指标集的考虑并不一定全面，在问卷调查过程中，可以利用专家智慧对该指标集进行有效补充。然而纵观现有基于调查问卷数据的指标体系研究，基本都是在预先设定的指标集基础上进行删减和重新组织。这是因为每个专家提出的新指标共性较低，而我们不方便就这些新指标对以前调查过的专家进行再次征询，所以即使我们在问卷中记录了这些新指标及其重要性打分，数据删失率也很高。Mplus7.4 提供采用全信息最大似然法（Full Information Maximum Likelihood, FIML）进行模型估计的功能。FIML 优于传统缺失值删除法的地方在于，它将数据中包含的所有信息用于分析。更重要的是，FIML 不但允许数据完全随机缺失假设，且允许限制较宽松的随机确实假设。后者允许数据缺失是观察测量的函数。

本研究在问卷最后设置了一道开放性题目："除上述因素外，您认为还有哪些因素与成果转化关系密切，应该被纳入到科技成果转化成熟度的影响因子体系当中，请列出并请对其打分，分数在 1 ~ 5 分之间？"。共有 50 人对该题目进行作答，所列因素可归纳为：成果形成时间、可执行度、与相关领域的国际 / 国家 / 行业标准的相关程度、成果持有人的信用、持续更新成果能力、技术设备满足程度、转化机制通畅程度、转化中介服务、产品稳定性、通过第三方检测和认证、销售渠道、商业模式、市场竞争风险。我们将这一指标命名为"其他"，并纳入到扩展后的科技成果转化成熟度评价指标体系中。如果一张问卷只列出一个"其他"因素，则指标值为其打分值；如果一张问卷列出 2 个及以上"其他"因素，则指标值为各因素得分的平均值，未对该项作答的问卷用 -9 填充。"其他"指标用 y16 表示。在建模时，分别将 y16 分配给 TECH、MARKET、TRANSSUP 进行试验，当 y16 归属于 TECH 时拟合效果最好，说明技术要素对于"其他"指标的解释度最高。MI 指示 y16 与 y12，y16 与 y3 相关性高，修正后的拟合指数很理想（见表 6），而标准化因子载荷中（见图 3）只有 y1 低于 0.4 的截断值，说明它是潜变量 TECH 的弱标识，但由于其统计显著，我们在模型中仍保留该标识。

表6 考虑"其他"指标的拟合指数

P	c^2/df	CFI	TLI	RMSEA（90% CI）
0.24	1.11	0.964	0.955	0.031（0.000，0.063）

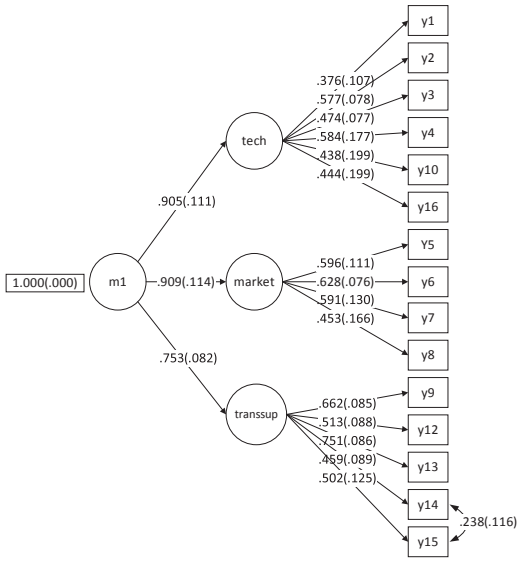

图3 考虑"其他"指标的二阶验证性因子分析模型

3 科技成果转化成熟度评估

科技成果转化成熟度的二阶 CFA 模型中，

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2018.01.007

观测变量的因子载荷表示其在潜变量上的负荷，它反映了观测变量对潜变量的相对重要性，统计学术语称作权。本文可以通过模型的标准化因子载荷归一化来计算各指标的权重[26]。公式1用于计算指标相对权重，公式2用于计算指标绝对权重。Bij 表示第 j 个指标对第 i 个要素的相对权重，λij 表示第 j 个观测变量在第 i 个潜变量上的标准化因子载荷，$\sum_1^n \lambda ik$ 表示第 i 个潜变量下所有观测变量的标准化因子载荷之和，准则层 3 个要素的相对权重（A1,A2,A3）同理计算，表示第 k 个指标的绝对权重。扩展前后的两个指标体系中各指标的权重如表 7、表 8 所示。赋权完成后对各指标进行量化和标准化处理。得到各指标的具体数值（C_k）后即可计算科技成果转化成熟度分数（M），具体计算公式见公式 3。

$$Bij = \frac{\lambda ij}{\sum_1^n \lambda ik} \quad \text{（公式 1）}$$

$$Wk=Bij*A_i(k=1,2,\ldots,13|i=1,2,3) \quad \text{（公式 2）}$$

$$M = \sum_{k=1}^{14} C_k * W_k \quad \text{（公式 3）}$$

表7 科技成果转化成熟度常规评价体系指标权重

目标层	准则层 A	相对权重	指标层 B	相对权重	绝对权重
科技成果转化成熟度（M）	技术要素	0.363	技术先进性 (C1)	0.169	0.061
			技术资料产出 (C2)	0.252	0.091
			技术辐射能力 (C3)	0.194	0.070
			团队实力 (C4)	0.219	0.079
			技术成熟度 (C5)	0.167	0.061
	市场要素	0.345	转化需求 (C6)	0.252	0.087
			融资需求 (C7)	0.289	0.100
			市场需求 (C8)	0.262	0.090
			市场周期 (C9)	0.198	0.068
	转化要素	0.292	政策影响 (C10)	0.232	0.068
			独立支配权利 (C11)	0.180	0.053
			企业参与度 (C12)	0.268	0.078
			应用情况 (C13)	0.155	0.045
			经济和社会效益 (C14)	0.165	0.048

表8 科技成果转化成熟度扩展评价体系指标权重

目标层	准则层	权重	指标层	相对权重	绝对权重
科技成果转化成熟度（M）	技术要素	0.353	技术先进性 (E1)	0.130	0.046
			技术资料产出 (E2)	0.199	0.070
			技术辐射能力 (E3)	0.164	0.058
			团队实力 (E4)	0.202	0.071
			技术成熟度 (E5)	0.151	0.053
			其他 (E6)	0.153	0.054
	市场要素	0.354	转化需求 (E7)	0.263	0.093
			融资需求 (E8)	0.277	0.098
			市场需求 (E9)	0.261	0.092
			市场周期 (E10)	0.200	0.071
	转化要素	0.293	政策影响 (E11)	0.229	0.067
			独立支配权利 (E12)	0.178	0.052
			企业参与度 (E13)	0.260	0.076
			应用情况 (E14)	0.159	0.047
			经济和社会效益 (E15)	0.174	0.051

得到科技成果转化成熟度分数后，需要对其进行度量评估，本文采用分数分段方法进行预警评估[27]，如表 9 所示。

表9 科技成果转化成熟度评估标准

分数值	评估结果
m≤2	很低
2≤m < 4	低
4≤m < 6	一般
6≤m < 8	高
8≤m≤10	很高

4 实证研究

本章以上文确定的科技成果转化成熟度常规评价指标体系为例，对国家科技成果转化项目库（简称转化项目库）— 奖励成果分库中的 2478 条成果进行评价。这些成果获得的奖励级别以国家、省部和地市级奖励为主，此外还包括少量的学协会和集团内部奖励。包括：自然科学奖、科技进步奖、技术发明奖、成果转化奖和优秀成果奖等奖项。奖励成果分库中掌握成果的基本信息表、团队成员信息表、知识产权信息表、承担部门信息表、和投融资需求表。

4.1 指标量化

指标的量化方法如表 10 所示。对所有待评价成果的评价指标值进行计算，14 个指标的平均数据完整率为 74.2%，除市场需求、政策影响、经济和社会效益 3 个指标外，其余指标的数据完整率均在 60% 以上，空缺的指标值用 0 填充。为保证指标间可比、可加，并且作用力一致，需要对指标值进行标准化处理。除 C9 外的 13 个指标皆为正向指标，通过公式 2 进行无量纲处理，将其缩小至 0 ~ 1 之间。指标 C9 为非单调指标，对于成果转移转化数据的分析发现，成果转化率随其年龄增长经历一个先升高后降低的过程，成果完成后第 4 年转化的概率最大（见图 4）。本文通过公式 3 将该指标转化为一个反向指标，再通过公式 4 进行标准化。

$$C_{ij}=\frac{\log_{10}(X_{ij}+1)}{\log_{10}(\max_{i\in N}X_{ij}+1)}\quad (j\in\{1,2,\ldots\ldots,14\}|j\neq 9)$$

（公式 4）

式中 X_{ij} 和 C_{ij} 分别表示第 i 项成果第 j 个指标标准化前后的值，N 表示成果总数。

$$Y_{i9}=\begin{cases}4-X_{i9}, X_{i9}\leq 4\\ X_{i9}-4, X_{i9}>4\end{cases}\quad（公式 5）$$

$$C_{i9}=1-\frac{\log_{10}(Y_{i9}+1)}{\log_{10}(\max_{i\in N}Y_{i9}+1)}\quad（公式 6）$$

X_{i9} 表示第 i 项成果完成时间距今的年数，Y_{i9} 表示这个年数与 4 的距离，C_{i9} 表示市场周期指标标准化后的数值。

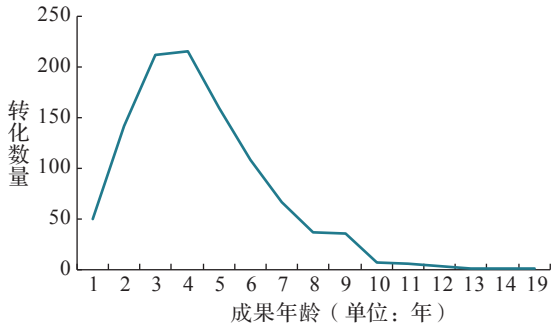

图4 成果转化市场周期

4.2 科技成果转化成熟度计算及分析

对于每一条成果，将标准化后的各指标数据带入公式 1，即可求得其科技成果转化成熟度分值，为便于评估，将该分值映射到 [0,10] 的区间上。2478 条成果的成熟度平均分值为 5.39，其中得分最低的是编号为 20143869 的成

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2018.01.007

果，其成熟度分值为 0.70，未发生过转化行为。该成果成熟度评分低的主要原因是由于其团队成员、投融资需求、知识产权等多项信息缺失，一项成果在转化项目库中填写的完整度会影响其成熟度评分。得分最高的是 20141663 号成果，其成熟度分值为 10，该成果中有三件专利被转让。对成果成熟度评估结果的总体分析发现，成熟度很低和很高的成果都不多，大部分成果集中在中间三个区段，其中成熟度一般和高的成果总数接近 70%（如图 5）。并且成果的转化率会随着成熟度的提高而升高，成熟度很低的成果不会发生转化，而成熟度低的成果其转化的概率也非常低。由此可见，本文所建立的科技成果转化成熟度评价指标体系具有良好的适用性和可操作性，并且对于指导科技成果转化具有参考价值。

表10 科技成果转化成熟度评价指标量化标准

指标类型	指标名称	量化标准描述
技术要素	技术先进性 (C1)	从专家鉴定意见中提取，包括国际领先、国际先进、国内空白、国内领先和一般水平 5 个级别。
	技术资料产出 (C2)	一项科技成果产出的所有已认定技术资料（包括专利、论文、标准、专著、软著、新品种、新药、新产品等）的数量。
	技术辐射能力 (C3)	专利的篇均 IPC 分类号数。
	团队实力 (C4)	根据职称 / 职务级别对所有团队成员打分再加总。
	技术成熟度 (C5)	成果基本信息表中的技术成熟度字段，包括实验室、小试、中试产品、市场化产品 4 个阶段。
市场要素	转化需求 (C6)	根据是否具有转化需求和对于转化项目摘要、潜在对象和限制条件描述的详细程度打分。
	融资需求 (C7)	融资需求金额。
	市场需求 (C8)	三个月内成果的网站点击量。
	市场周期 (C9)	根据成果的完成时间计算。
	政策影响 (C10)	成果受到区域、领域等政策的支持数量。
转化要素	独立支配权利（C11）	成果形成之初的知识产权权属，包括独占、共有和不占有 3 种类型。
	企业参与度 (C12)	企业成员数占团队成员总数的比例。
	应用情况 (C13)	成果应用的企业（项目）数、省市数及面积等。
	经济和社会效益 (C14)	成果产生的利润、经济效益、产值、销售额、税收等。

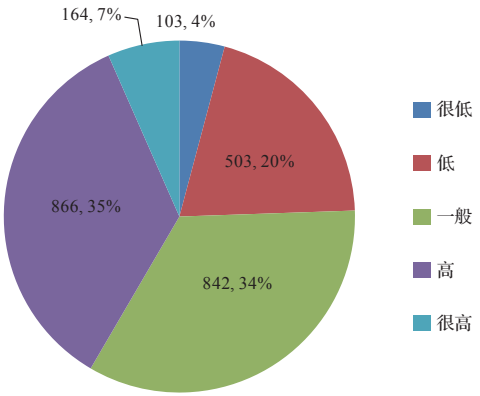

图5 成果数按评估结果分布

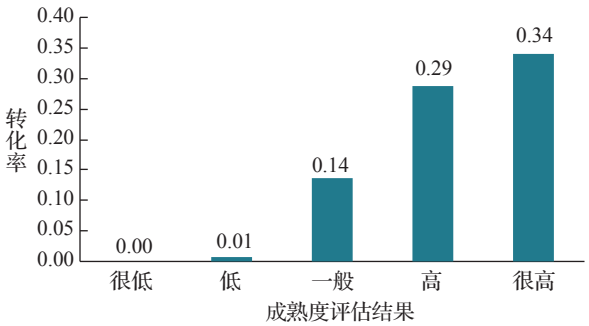

图6 各成熟度区间的成果转化率

5 结语

本研究在国内外科技成果转化成熟度评价相关研究的基础上，依据科技成果转化过程及所涉及实体的特点，初步构建了包括技术要素、市场要素和转化支撑要素 3 个维度，15 个指标的科技成果转化成熟度评价指标体系。此后运用结构方程模型中的验证性因子分析方法，对所提出的指标体系进行检验和修正，对指标体系进行部分调整后，最终确定了包括 3 个维度，14 个指标的常规评价指标体系以及包括 3 个维度，15 个指标的扩展评价指标体系。在此基础上，提出科技成果转化成熟度评估方法。并以常规评价指标体系为例，运用本文提出的评估方法，对转化项目库 — 奖励成果库中 2478 条科技成果的转化成熟度进行评估。评估结果与成果实际转化情况的关系表明，本方法可用于指导转化实践。

本研究所采用的方法与之前研究相比一是可以对初设的指标体系进行检验和修正，使其更加符合问卷数据，二是可以在不重复问卷调查过程的前提下对指标体系中的指标进行增补，三是指标的量化方法主要基于事实型数据、使得科技成果的转化成熟度得分更加客观，易于批量计算，并且便于动态跟踪。但由于数据获取存在困难，本研究只对常规指标体系进行了实证，后续研究将对扩展评价指标体系开展实证，对二者进行对比。并且就各指标的计量方法开展进一步研究。

参考文献

[1] 万钢. 加快推进科技成果向现实生产力转化[J]. 求是, 2011(13):18-21.

[2] 人民政协报.建立对科技成果成熟度的科学评价标准[EB/OL].[2015-30-25]. http://m2.people.cn/r/MV8xXzI2NzQ0MjY1XzM0OTQ4XzE0MjcyMTgxNzg=,2015-03-25/2015-06-10

[3] 田飞. 用结构方程模型建构指标体系[J]. 安徽大学学报(哲学社会科学版), 2007, 31(6):92-95.

[4] Sohn S Y, So H K. Effective Commercialization Strategies for the R&D in the Area of Information and Communication Technology[J].Journal of Korean Institute of Industrial Engineers, 2002, 28(2):201-215

[5] Sohn S Y, Moon T H. Structural Equation Model for Predicting Technology Commercialization Success Index (TCSI)[J]. Technological Forecasting & Social Change, 2003, 70(9):885-899.

[6] Lou Y, Fu X, Huang L. Evaluation on the Commercialization Potential of Emerging Technologies Based on Structural Equation Model[C]. International Conference on Computer Modelling and Simulation. IEEE, 2010:329-333.

[7] 王冀. 基于结构方程模型的新兴技术商业化成功性实证研究[J]. 改革与战略, 2012, 28(10):43-47.

[8] 李自玲. 预测技术商业化成功指数的一种改进方法[J]. 当代经济, 2016(32):132-133.

[9] 贺德方. 对科技成果及科技成果转化若干基本概念的辨析与思考[J]. 中国软科学, 2011(11):1-7.

[10] 王品端，王伟国．产学结合是提高高校科技成果成熟度的主要途径[J]．天津理工大学学报，1999(s1):126-128.

[11] 顾宏，张贤明. 科技成果成熟度及其影响因素[J]. 科技进步与对策, 2005, 22(4):84-85.

[12] 吴维娜. 科技成果成熟度评估模型研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2012.

[13] 北京市科学技术协会，中国标准化研究院，中关村天合科技成果转化促进中心. T/BTSA 001-2016, 科技成果转化成熟度评价规范[S]. 中国质检出版社, 2016.

[14] 孙庆文，李建革，朱希铎,等. 科技成果转化的一种新模式-基于中关村天合科技成果转化促进中心的案例研究[J]. 情报工程, 2016, 2(3):91-98.

[15] Stebro T. Key Success Factors for Technological

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2018.01.007

Entrepreneurs' R&D Projects[J]. Engineering Management IEEE Transactions on, 2010, 51(3):314-321.

[16] Chang Y C, Yang P Y, Chen M H. The Determinants of Academic Research Commercial Performance: Towards an Organizational Ambidexterity Perspective[J]. Research Policy, 2009, 38(6):936-946.

[17] 刘希宋, 李玥, 喻登科. 基于多视角的国防工业科技成果价值评估研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2007, 28(10):31-35.

[18] 王嘉, 曹代勇. 农业产业化科技成果评估指标的实证研究[J]. 农机化研究, 2010, 32(6):54-58.

[19] 韩红旗, 付媛, 朱礼军. 基于专利IPC分类号的技术竞争对象的群组分析方法[J]. 情报工程, 2015, 1(4):77-87.

[20] 严素梅, 陈荣, 吉久明,等. 团队创新能力评价的多维复合模型[J]. 情报学报, 2016, 35(10): 1072-1080.

[21] Kirchberger M A, Pohl L. Technology Commercialization: A Literature Review of Success Factors and Antecedents Across Different Contexts[J]. Journal of Technology Transfer, 2016, 41(5):1-36.

[22] 第十二届全国人民代表大会常务委员会第十六次会议.中华人民共和国促进科技成果转化法[Z]. 2015-08-29

[23] 王济川, 王小倩, 姜宝法.结构方程模型: 方法与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2015.

[24] 韩毅, 周畅. 学术团队合作信息查寻与检索行为的影响因素实证研究[J]. 情报学报, 2015(4): 432-448.

[25] 方敏. 结构方程模型下的信度检验[J]. 中国卫生统计, 2009, 29(5):524-526.

[26] 杨瑞琦, 彭洁, 赵辉. 科技成果价值评估体系实证研究--基于验证性因子分析检验[J]. 情报杂志, 2015(11):44-49.

[27] 郭顺利, 张向先, 李中梅. 高校图书馆微信公众平台传播影响力评价体系研究[J]. 图书情报工作, 2016, 60(4):29-36.