

科研成果创新力指标 S 指数的设计与实证*

■ 宋歌^{1,2}

¹ 东南大学图书馆 南京 210096 ² 东南大学情报科学技术研究所 南京 210096

摘要: [目的/意义] 探讨成果创新力指标设计原则、原理,提出相应指数并进行实证研究,为科研评价体系中创新力评价维度的确立提供理论与指标参考。[方法/过程] 首先,结合经典指标的设计经验、科研评价领域的最新进展以及库恩范式转换理论,明确成果创新力指标的设计原则。其次,通过对科学发展过程、科研创新产生与扩散机制等的研究,说明成果创新力指标的设计原理。在此基础上,提出 S 指数及累加 S 指数的计算公式。最后,进行指数计算、与影响力指数的对比分析、不同扩散阶段的精细评价及成果创新力分区等实证分析。[结果/结论] 讨论 S 指数可靠性,总结指数特性、用途和使用注意事项,并对其在创新扩散现象与规律研究、促进学术规范、确立科研评价体系创新维度中能够起到的作用做出展望。

关键词: 科研评价指标 科研成果评价 S 指数 创新产生机制 创新扩散机制

分类号: G350

DOI: 10.13266/j.issn.0252-3116.2016.05.012

1 绪论

准确测度、评价科研成果的创新力,是激发我国科研领域原始创新的关键问题之一。当前,科研成果创新力评价在研究与实践两个方面存在以下问题:①使用替代指标。期刊影响因子被频繁用作比较成果、个人和机构科研产出的基本参数。然而,无论是 JCR 的 IF 还是 GSM 的 h5,都是对期刊被引用和受关注情况的测度,并不能反映其中单篇论文的质量。再好的期刊计量指标,若将其直接用于论文评价也是不合适的。②同行评议的局限。由于科研创新一般都超出通常的学科范式和学术视野,因此同行评议存在对创新做出不公正评价的可能。提供给评议专家用于辅助判断的成果发表和获奖情况对于评议结果也有循环论证、增强马太效应之嫌。③以影响力指标测度创新力。在以影响力测度为主导的评价体系中,评价客体的创新力不仅难以被充分体现,而且还可能被埋没或压制。鉴于以上情况,有必要在科研评价体系中确立可与影响力评价相参照的创新力评价维度,并在该维度下设置若干针对成果评价的创新力指标,避免使用替代指标。如此,成果创新力指标将偕同影响力指标,配合同行评议制度,共同为促进科研创新和优化科研管理服务。

本文即希望通过对成果创新力指标设计原则、原理的探讨,以及相应指数的提出与实证,为科研评价体系中创新力评价维度的确立提供理论与指标参考。

2 相关研究述评

近年的科研成果评价指标研究,仍以测度成果影响力为主导。通过这些指标能够筛选、衡量已经展现出影响力的那些成果,而这些成果对于揭示新近发表的创新成果以及被埋没的“睡美人”文献的作用甚微。在成果创新力评价的专门研究中,一方面存在将创新力和影响力混为一谈,用影响力指标,如被引量等来说明成果创新力的问题;另一方面存在将成果新颖性等同于创新力的情况。在此,有必要明确成果影响力与创新力,以及新颖性与创新力之间的关系。首先,科研成果影响力与创新力的区别体现在:有影响力的成果,其创新力不一定高;同样,创新力高的成果,在一定时期内,其影响力也不一定高。成果创新力与影响力的联系体现在:创新力虽然从成果完成之时就完整地蕴含在成果之中,但是创新力的彰显是随着成果被理解,继而被传播、被利用而逐渐展开的。因此,一方面,影响力不能代表创新力,但是可以用影响力指数的增长情况,表达成果创新力被认可的情况;另一方面,成果

* 本文系国家自然科学基金项目“学术创新扩散过程及创新力测度研究”(项目编号:15CTQ027)研究成果之一。

作者简介:宋歌(ORCID:0000-0001-8064-4583) 副研究馆员,博士,E-mail:songge.2000@163.com。

收稿日期:2016-01-13 修回日期:2016-02-25 本文起止页码:77-86,124 本文责任编辑:杜杏叶

创新力不能决定其影响力指数最终的大小,因为影响力不完全是由成果的创新力引起的,还受到作者声誉、发表平台、成果内容属性等其他因素的影响。其次,新颖性或者更绝对的唯一性,或曰独创性是成果具备创新力的必备条件,但并非充分条件。新的不一定就是好的,有些新颖的“高见”或概念不一定具有理论或实践上的价值。因此,具有新颖性的成果是否拥有创新力,还需进一步判别。关于新颖性的识别,有些学者提出可将“新颖性检索”(novelty track)或科技查新的结果作为重要依据^[1-2]。然而,这种通过检索得出成果的重复率或新颖性的方法,要求检索人员具有领域专家级别的水平,且不同检索人员的检索水平还应具有一致性。因此,该方法可行性较低,结果的可靠性亦较低,但执行成本较高。

杨家栋、秦兴方^[3]在讨论测度社会科学研究成果创新力度时提出了“互引比率”。该指数是成果中引证其他成果的次数与本成果的被引次数的比率。互引比率越小,说明引证他人成果少,而自己的成果被别人引用多,创新力度强。实际上,在同行评议和编辑的严格把关下,作者所列的参考文献里应该囊括所有与其研究直接相关的重要文献。因此,随着学术写作规范、学术文献出版规范的日臻完善,从参考文献列表考察成果的新颖性是适当和可行的。需要注意的是,鉴于引证类型的多样性,某成果所列的参考文献虽然一定与该成果的内容有关,但不一定与其创新点直接相关。因此,若将其所有参考文献考虑在内就失去了考察成果新颖性的意义,应该只考虑与该文研究主题直接相关的参考文献。另一个不能将所有参考文献数量计算在内的重要原因,是参考文献的数量与作者写作习惯有关,而且很易被作者操控。M. Kosmulski^[4]提出的界定“成功论文”(successful paper)的方式受到质疑,这与其在公式中采用了不可靠的文后参考文献总量有很大关系。因此,在利用参考文献考察成果新颖性时,只应考虑那些与成果研究主题直接相关的部分。如此,只要是通过了较为严格的同行评议的成果,其参考文献列表中对主题起到重要作用的前期成果就不易被遗漏,因而这部分参考文献的数量就较为可靠。

3 成果创新力指标设计原则

3.1 从科学发展过程考虑

设计科研成果创新力评价指标应回到关照科学发展这个根本问题上。只有对科学发展过程有本质上的理解,才能生成较为合理的科研评价指标。从根本上

讲,科学发展过程是由科研创新和扩散相继发生共同推动的。科研创新扩散即科学领域新知识的扩散,其过程表现为“创新-扩散-再创新-再扩散”的循环往复与交叉重叠。因此,科研成果创新力评价指标应是对某一科研成果所蕴含的新知识在多大程度上推动科学发展的一个测度。

3.2 单一的测量维度

2014年,“爱思唯尔宣言”^[5-6]关于评价指标的原则中明确提出应避免采用复合指标,同时提出,多种指标的结合能提供最可靠的量化信息。以上两条评价指标的设计原则是相辅相成的。一方面,复合指标由于失去了指标的原始性、基础性,加之复合过程中不可避免的人为干预,往往导致指标在适应科研评价复杂性的同时,与其设计的初衷渐行渐远,并且在应用中损失了灵活性,对测度结果的解释力降低。另一方面,由于科研评价的复杂性,评价应具有多个维度,没有一个指标能单独提供关于科研评价的权威评估,需多种指标结合使用。而具有单一测量维度的指标更利于与其他指标相互参照,结合使用,便于形成对科研成果的多维测度,达成较为客观的评价结果。

3.3 具备简单性

无论是影响因子IF还是h指数,凡是能够被普遍认可、得到广泛应用的评价指标都遵循简单性原则。人们偏好简单的东西,而简单并不意味着落后。构造简单的指标,易于理解,能够直观反映其表征的维度,其测度结果也往往让人有一目了然的感觉,能使评价主体迅速掌握评价客体某方面的特征,并留有深刻印象。况且,在任何评价方法与指标对评价客体的测度都无法完全准确的前提下,简单而合理的设计能使指标最为高效,避免由于无限提高指标精度而导致方法上的复杂性和运用时的高成本。

3.4 基于结构属性

根据库恩的科学范式转换理论^[7],对于革命性的科学进展,是可以通过观察它们对现有知识结构的改变而识别和检测出来的。以被引量、转载量、下载量等数量为基础的指标无法准确反映成果的创新力。比如成果类型因素就会对被引量产生较大影响。O. Lowry于1951年发表的一篇方法类论文,截至1990年,已获得205 000次引用。这种“洛瑞现象”^[8]反映方法类论文往往会获得高被引。而综述类论文也比一般的研究论文更容易获得引用。再如内容因素,较早介绍国外某概念或某研究的论文容易被国内同行大量引用,但是这类论文并不具有创新力。开拓新的研究领域,能

够引领科学发展路径发生变迁与转移的成果才是真正具有创新力的成果。相应地,创新力较低的成果在科学发展的知识变革中起到的作用也较小。因此,成果创新力指标应能捕捉到由于各个成果节点的加入所导致的知识网络结构变化,并基于结构属性而非累积数量衡量成果的创新力。从更广阔的意义讲,科研评价指标的设计正面临从基于数量到基于网络结构的跃升。

3.5 内含时间属性

蕴含在成果之中的创新力会随着创新成果的扩散而逐渐彰显。换言之,能够被观测到的成果创新力,大多都需要一定的时间才能较为充分地表达。而所需时间有长有短,有的一经发表即引起轰动,成为关注焦点;有的则需要经过几年的渗透与扩散,逐渐成为热点;还有的发表后就成为“睡美人”,静静等待“王子”^[9]的出现。鉴于此种情况,兼顾科研评价的时效性,创新力指标最好能够在第一时间就识别出具有创新力的科研成果,如若遇到识别力不足的情况,则应能够在时间进程中即时自我修正,使测度结果趋于客观值。

4 成果创新力指标设计原理

4.1 科学发展过程在成果中的映射

从科学发展过程的视角入手设计科研成果创新力评价指标,其问题就归结于如何设计,才能使该指标能够测度某一科研成果所蕴含的新知识对科学发展的推动程度。而新知识对科学的推动体现在创新的产生和扩散过程中。创新的产生需要考察的是该新知识建立在哪些以往的研究之上,其变异程度如何;创新的扩散需要考察的是该新知识产生以后对科学发展的影响。以上两个方面的信息均蕴含在引文网络之中。引文网络承载着科学发展的轨迹,是分析科研成果创新力的绝佳载体。原始的引文网络是时序网络,一个节点即是一个科研成果,由于只能是后发表的文献引用先发表的文献,因此该网络为单向非循环网络。每个科研成果的研究基础和后继影响都记录在该网络及网络结构的变化之中,而变异程度也可用与该成果直接相关的前期研究成果的数量来表达。

4.2 科研创新的产生机制

对于科研创新的产生机制,以往研究已有揭示。格式塔心理学家指出^[10],当问题求解者换一个角度看问题的时候,新的见解就会出现。克兰发现^[11],对独创性的渴望,促使科学家愿意与其他领域的科学家保

持联系,了解其他领域的工作,激发新的思路。陈超美认为^[12]洞察力、创造性思维和革命性的科学发现都源于中介构建及领域交叉的研究机制。这些研究有一个共同的指向:跨越不同的知识领域边界更有可能产生新的想法。基于这种对科研创新产生机制的认识,一些测度科研创新潜力的指标被提出,主要有陈超美提出的变革性潜能指标^[13]和宋歌提出的创新潜力指标^[14]。利用这些指标可以在大量科研成果中筛选出具有创新潜力的成果。而在这些成果中,真正具有创新力的部分将发展出一个个新的研究领域,引领科学发展路径的变迁与转移。

一个研究领域中最重要的成果是原始创新成果。原始创新成果的首要特征是原创性,表现为首次提出某一新理论、新发现、新方法等,是史无前例的变革性研究。但是原始创新并非真的是无中生有,而是将一些风马牛不相及的知识领域联系在一起形成的独创性研究。反映在引文网络中,原始创新成果会引用多个研究领域的文献,但是如果利用原始创新成果提出的新主题限定其参考文献,则没有与该主题直接相关的参考文献。因此,在不同的研究领域之间形成结构洞是识别成果具有创新潜力的引文网络结构属性;而与其主题直接相关的引用弧为0,则是识别原始创新成果的引文网络结构属性。对于非原始创新成果而言,它们对一个创新领域所做的贡献大小不一。非原始创新成果是对已有创新的发展。体现在引文网络中,它们会引用该主题领域中对其具有参考价值的前期研究。因此,与成果主题直接相关的引用弧数量是考察其创新力高低的结构属性。

4.3 科研创新的扩散机制

“科学的突破点往往发生在社会需要和科学内在逻辑的交叉点上。”^[15]因此,如果一项创新有利于解决当前社会面临的紧要问题,则更容易被发现,被发展,从而快速地传播、扩散,衍生一系列相关的创新性成果,逐渐或迅速地形成研究热点。“信息觅食理论”^[16]可以很好地解释这一现象。在科学发现中找出具有创新性的想法就像是觅食,科学家们会对多个主题、领域的成果进行评估,判断哪一项研究更值得关注,并决定探索该领域所应投入的时间。这一决策过程是根据预期的收益和成本做出的。那些具有现实意义的创新成果无疑大大增加了预期收益,同时,由于原始创新成果为将以前不相干的知识领域进行连接提供了成功案例,因此沿着该研究路径采取行动的风险成本得以降低。而科学家们普遍采取收益最优化决策就会带来引

文网络中相应结构的变化,即有选择地触发创新的扩散。一项将不同研究领域联系起来的原始创新研究,被大量前来觅食的科学家选定;从该原始创新成果发出的弧越来越多,产生的相关研究成果越来越多;相关创新成果的不断加入及其出度的不断膨胀逐渐汇集成网络中新的密集知识流,从而在宏观上显现出网络结构的变化,即知识领域的扩张或新的知识领域的诞生,并伴随核心研究领域的迁移。

从扩散过程可知,创新扩散在宏观层面的涌现,是由引文网络中创新节点的加入及其出度的增加实现的。因此在设计能够测度每个成果创新力的指标时,不仅要考虑创新成果产生时入度的情况,同时也要考虑创新成果扩散时出度的表现。成果的出度是科学家们信息觅食的轨迹,代表他们对创新成果价值的肯定。但是由于科学家自身知识结构的局限造成的信息不对称,发表平台、语种等信息壁垒以及作者学术地位等影响因素,一些对社会发展有着重大意义的创新成果仍然有可能被埋没,造成“迟滞承认”^[17]。例如青蒿素的发现,从其研究成果的首发到被国际学术界认可就历经了几十年的时间,而“睡美人”现象在其他诺贝尔奖获得者的重要成果中也时有出现。因此,成果出度不能作为评价成果创新力的决定性因素,但是由于其在时间维度上的变化反映了成果产生以后对研究领域的后继影响,即创新力彰显的情况,因此可以利用它实时修正成果创新力的数值表达。如此,一方面,能够弥补成果入度在揭示创新力时可能产生的偏差,另一方面,能够凸显科学家信息觅食的结果,使应运而生的创新成果更具显示力。然而最终,创新力指标内含的时间属性将促使成果创新力指数不断趋近客观值。

4.4 参照客体的确立

“参照客体”^[18]是可以用来比较价值客体在同类客体中地位的客体。成果创新力评价的参照客体是该成果所属的研究主题或领域中的其他成果。研究主题或领域是科学发展的基本单元。多个研究主题构成一个研究领域,而研究领域不但有大有小,而且也有层次区分。随着时间的推移,主题、领域及主题与领域之间又有融合、转移和突变。因此,只有根据科学发展状况和评价目的灵活地限定研究主题与领域,科研成果的创新力评价才能获得一个适当的参照客体,评价指标才能适应知识版图复杂的结构层次和随时间变化的属性。也正因如此,同一个成果在不同的参照客体中,其创新力指数是不同的。例如,提出了“结构洞”概念的成果,在结构洞理论的研究中属于原始创新,而在社会

网络分析的研究领域中并非原始创新。通过确立参照客体,创新力指标能够明确每个成果在科学发展过程中贡献的创新力,同时又使得创新力指标可以根据不同的评价目的进行不同评价视域下的创新力测度。

5 S指数的内涵及计算公式

依托原始引文网络,根据成果创新力指标设计原则和原理,本文提出“S指数”作为评价科研成果创新力的一项指标。该指数的设计基于原始引文网络中成果节点最基础、最直接的结构属性,即节点的点度,因此是一种“点度创新力指数”。在有向网络中,点度是一个节点所拥有的孤的总数,包括出度和入度。入度是节点接收的孤的数量;出度是节点发出的孤的数量。S指数所规定的出度和入度是基于参照客体的,是从原始引文网络中截取的关于某一研究主题或领域的引文网络而言的。如此,成果入度,即与该成果主题直接相关的参考文献数;成果出度,即该成果在其主题领域中的被引量。

5.1 S指数计算公式

S指数的计算公式如下:

$$S_y = \frac{D_{in}}{D_{in} + D_{out}} \quad (1)$$

S_y 为某成果在 y 年的S指数, D_{in} 和 D_{out} 是成果节点在参照客体构成的引文网络中的入度和出度。其中, D_{in} 为与该成果主题直接相关的参考文献数, D_{out} 为该成果在该主题领域中从发表年至 y 年的总被引次数。由公式可以推知,S指数的取值范围是 $[0, 1]$, S_y 为0时,成果创新力最高,为原始创新成果,为1时,创新力最低。

从引文网络结构来看, D_{in} 代表成果创新的变异程度,值越小,其变异程度越高; D_{out} 代表新知识产生以后对科学发展的影响,值越大,影响力越大。由于 S_y 与 D_{in} 成正比,与 D_{out} 成反比,因此 S_y 越小表示成果的创新力越高。然而, S_y 为何不是入度与出度的商,而是入度与点度的商。如此设计,是从指标含义和使用性来考虑的。除了没有确立参照客体,“互引比率”的计算公式与 S_y 很接近,就是 D_{in} 与 D_{out} 的商。该指数在实际应用中存在很大局限性。首先,由于 D_{out} 的滞后性,刚发表的成果很可能没有被引用,在计算其互引比率时就会经常遇到分母为零的情况。其次,互引比率取值范围的最大值不确定,不便于与其他指数结合使用或进行加权等数值运算。而在 S_y 的计算公式中, D_{in} 不仅构成了分子,而且也是分母中的一部分。如此,不仅体

现了设计原理中以知识变异程度作为主导因素、以后继影响力作为辅助因素来衡量成果创新力的思想,也避免了绝大多数成果在发表时指数计算公式分母为零的情况,而且将 S 指数的取值范围限定在了 [0, 1], 非常便于指数的应用、比较与运算。S_y 的计算公式, 仅在原始创新成果还未被引用时会出现分母为零的情况。此种情况可在利用网络分析软件进行指数计算时通过简单的设置来解决。具体见实证部分。

5.2 累加 S 指数计算公式

在 S 指数的基础上, 提出“累加 S 指数”。该指数可用于创新成果分区。具有创新力的成果与具有影响力的成果一样, 在分布上呈现幂率分布。对于一项科研创新, 做出杰出贡献的成果总是很少, 做出一定贡献的成果会相对多一些, 而大部分成果贡献甚微。在科研评价与管理中, 需要将这些科研成果按照创新力的大小进行分区, 此时就可以利用累加 S 指数来完成。其计算公式见公式(2)。其中, r 为一组创新成果按照 S 指数升序排列的名次。

$$\sum_{r=1}^n S_r = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n \quad (2)$$

6 实证及结果

6.1 数据来源

为进一步阐明 S 指数的性质, 以结构洞理论的创新扩散为例进行实证。结构洞理论是一项重要的科研创新。根据创新扩散理论^[19], 其扩散曲线已在 2010 年达到成功扩散的临界点, 可以预知该项创新将完成整个 S 形扩散过程。以该项典型的科研创新为例, 可以较好地考察 S 指数的实际应用效果。选择的数据源包括提出了结构洞概念的《结构洞: 竞争的社会结构》一书, 以及《社会科学引文索引》(Social Science Citation Index, SSCI) 中有关结构洞理论的研究成果。在 WOS 平台检索 SSCI 数据库, “Topic” 字段执行短语检索 “structur* hole*” 以保证检全率和检准率, 文献类型设定为 “ARTICLE”, 时间跨度为 1992 - 2014, 命中文献数为 468 篇。参照客体共为 469 篇论著, 其引文网络包含 2 737 条边和 11 个孤立点。考察孤立点文献, 结构洞理论在其中均为次要主题。这些成果与结构洞理论的发展脉络没有关联。因此仅提取由 458 个成果节点构成的连通网络进行实证。

6.2 计算 S 指数

完整的 S 形曲线包括起步阶段、起飞阶段、成熟阶段和衰退阶段^[20]。结构洞理论的发展处于起飞阶段, 见

图 1。为便于对网络结构的细节进行观察, 将结构洞理论引文时序网络中的主要脉络提取出来, 得到图 2。

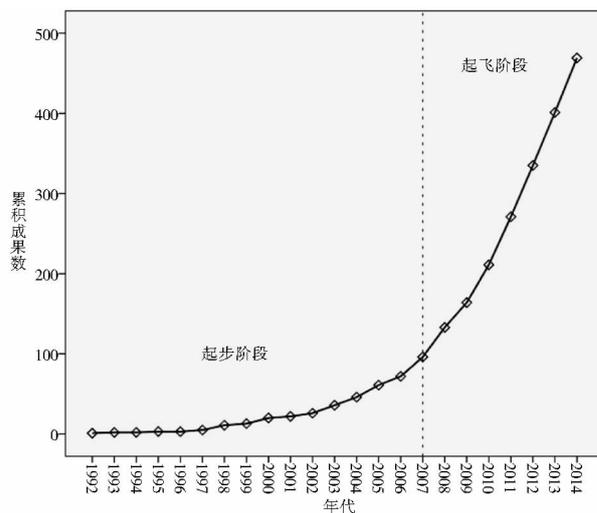


图 1 结构洞理论扩散曲线

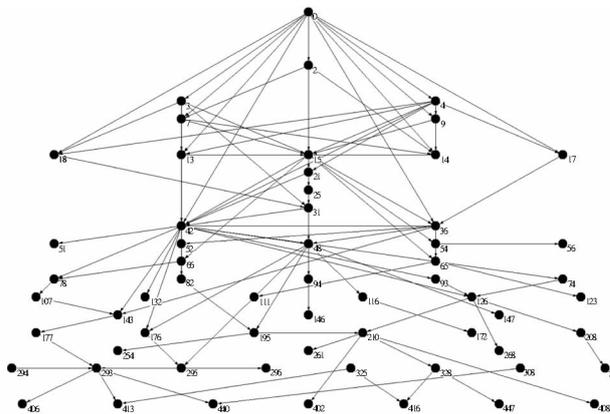


图 2 结构洞理论扩散主路径

根据公式, 利用 Pajek 计算 458 篇成果的历年 S 指数, 结果见表 1。计算前, 须将 Options 菜单下 Read-Write 中 0/0 栏目的取值设置为 0。如此, 当分母 D_{in} + D_{out} 为 0 时, S_y 为 0。每个节点在创新扩散网络中, 既可以是创新的采纳者, 也可以是创新的发布者, S 指数计算公式对每个节点的这两种关系角色进行计量, 同时, 每个节点关系结构的变化, 也被 S_y 记录下来。以下结合表 1 和图 2, 说明 S 指数的性质。

(1) 成果 0 是 R. Burt 于 1992 年发表的《结构洞: 竞争的社会结构》。该成果作为结构洞理论的开山之作, D_{in} 为 0, 即成果 0 在发表时 S₁₉₉₂ = 0, 此后虽然 D_{out} 不断膨胀, 但 S_y 不变。因此, 对于原始创新成果, S 指数能够在第一时间确认其创新力。

(2) 1997 年 G. Walker 发表的成果 3 是将结构洞理论引入到商业与经济学领域的重要文献, 为结构洞

表1 结构洞理论成果历年S指数

文献编号	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
0	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000
1	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.500 000	0.500 000	0.500 000	0.500 000	0.500 000	0.500 000
2	1.000 000	0.500 000	0.500 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000
3	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.200 000	0.166 667	0.142 857	0.090 909	0.071 429	0.052 632	0.047 619	0.031 250	0.020 833	0.017 544	0.012 821	0.010 753	0.009 009	0.008 197	0.007 519	0.007 519
4	1.000 000	0.333 333	0.333 333	0.100 000	0.090 909	0.076 923	0.066 667	0.052 632	0.041 667	0.040 000	0.033 333	0.026 316	0.022 727	0.017 544	0.015 152	0.013 514	0.011 905	0.010 526	0.010 526
5	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.142 857	0.090 909	0.071 429	0.062 500	0.052 632	0.052 632
6	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000
7	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.500 000	0.400 000	0.333 333	0.333 333	0.333 333	0.285 714	0.250 000	0.250 000	0.166 667	0.133 333	0.105 263	0.095 238	0.071 429	0.058 824	0.047 619	0.047 619
8	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.500 000	0.333 333	0.333 333	0.333 333	0.333 333	0.333 333	0.333 333	0.333 333	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000
9	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.500 000	0.500 000	0.500 000	0.400 000	0.400 000	0.400 000	0.333 333	0.285 714	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.250 000	0.222 222	0.222 222	0.222 222
10	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000
11	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000
13	0.750 000	0.750 000	0.750 000	0.750 000	0.750 000	0.750 000	0.750 000	0.750 000	0.750 000	0.750 000	0.750 000	0.600 000	0.600 000	0.600 000	0.600 000	0.500 000	0.500 000	0.428 571	0.428 571
14	0.833 333	0.833 333	0.833 333	0.833 333	0.833 333	0.833 333	0.833 333	0.714 286	0.714 286	0.625 000	0.625 000	0.500 000	0.416 667	0.416 667	0.312 500	0.294 118	0.263 158	0.238 095	0.238 095
15	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.888 889	0.888 889	0.666 667	0.571 429	0.444 444	0.400 000	0.320 000	0.258 065	0.195 122	0.166 667	0.140 351	0.129 032	0.112 676	0.112 676
16	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.750 000	0.750 000	0.500 000	0.333 333	0.250 000	0.150 000	0.100 000	0.076 923	0.058 824	0.044 118	0.038 961	0.032 967	0.029 703	0.029 703
17	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.666 667	0.666 667	0.500 000	0.500 000	0.500 000	0.400 000	0.400 000	0.333 333	0.222 222	0.200 000	0.200 000	0.200 000
18	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.750 000	0.333 333	0.272 727	0.166 667	0.142 857	0.083 333	0.052 632	0.041 667	0.030 612	0.024 590	0.020 000	0.016 854	0.014 151	0.014 151
19	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.400 000	0.285 714	0.181 818	0.166 667	0.153 846	0.125 000	0.095 238	0.095 238
20	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.750 000	0.750 000	0.750 000	0.750 000	0.600 000	0.500 000	0.375 000	0.272 727	0.214 286	0.200 000	0.187 500	0.166 667	0.166 667
21	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.500 000	0.500 000	0.400 000	0.400 000	0.333 333	0.166 667	0.125 000	0.095 238	0.080 000	0.066 667	0.057 143	0.046 512	0.046 512
22	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.666 667	0.400 000	0.400 000	0.400 000	0.400 000	0.400 000	0.400 000	0.333 333	0.333 333
23	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000
24	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000

理论开启了广阔的发展空间。其发表年的 S 指数为 1，在发表后的第 3 年，指数陡然下降至 0.2，此后持续下降， S_{2014} 为 0.007519。实际上，在发表年，除了原始创新成果以外，其他成果的 S 指数大多为 1，不具有区分度。但是由于该类成果 D_{in} 很小，一旦有个别引用， D_{out} 非 0 则 S 指数就能迅速凸显。此外，指数公式中的 D_{in} 能够在发表时就发挥识别创新成果的作用。即对于并非原始创新的重要创新成果，可以在第一时间根据极小的 D_{in} 进行识别，并通过专家判断确认其创新性。该例中， D_{in} 为 1。

(3) 对于 D_{in} 不是很低，但是具备一定创新力的成果，可以通过迅速增加的 D_{out} 修正 S 指数。这一过程不会十分低效，因为这类成果往往出现在创新扩散的起步阶段之后，在该项创新已被大多同行知晓的情况下，很难出现“睡美人”现象，其内在价值会被较快认可。一旦被引量达到峰值（一般在发表后 2-5 年），S 指数就能很好地对该类成果的创新力做出区分。例如，在起飞阶段发表的 123、132、143、147、176 等成果。

(4) 成果 6、10、11 虽然都发表在起步阶段， D_{in} 均很小，但是由于他们对该理论的发展没有发生作用， S_y 始终为 1。说明 S 指数对于新的不一定是有价值的这一实际情况有所反映。

6.3 与影响力指数的对比分析

为直观展现作为创新力指标的 S 指数与现行科研成果评价中影响力指标的区别与关联，选取最常用来评价成果影响力的被引量作为对比指标，进行两个指标的相关分析。458 篇成果截止 2014 年的被引量和 S 指数的排序对比见表 2，散点图见图 3，相关分析结果见表 3。Pearson 相关分析显示，S 指数与被引量在 p 为 0.01 的水平上显著相关，相关系数为 -0.492。相关系数不高的原因在图 3 中有所揭示，即创新力高的成果，其影响力不一定高，甚至有可能很低；反之，影响力低的成果，其创新力有可能很高。

6.4 反映不同扩散阶段创新成果的效果分析

创新扩散过程中，在不同的扩散阶段会产生不同性质的创新成果。一般来说，开创性成果大部分是在起步阶段完成的；起飞阶段可能发生创新在各学科领域的大范围扩散；成熟阶段的应用创新成果较多；衰退阶段的高创新力成果往往预示新研究领域的诞生或研究范式的转变。因此，有必要结合宏观扩散过程，利用 S 指数筛选出不同扩散阶段的创新成果，避免其他阶段的重要创新被起步阶段的开创性成果所淹没。此例中，S 曲线于 2007 年达到扩散加速度的最高值，因此

表 2 S 指数与被引量排序

文献编号	S 指数	文献编号	被引量
0	0.000 000	0	341
3	0.007 519	18	209
4	0.010 526	42	158
18	0.014 151	3	132
16	0.029 703	16	98
42	0.042 424	54	95
21	0.046 512	4	94
7	0.047 619	48	72
54	0.050 000	15	63
5	0.052 632	21	41
48	0.076 923	7	40
31	0.083 333	31	33
19	0.095 238	37	33
61	0.096 774	143	30
25	0.100 000	61	28
37	0.108 108	25	27
15	0.112 676	56	23
56	0.115 385	65	23
29	0.125 000	19	19
164	0.153 846	5	18
20	0.166 667	126	17
36	0.166 667	14	16
47	0.166 667	94	16
171	0.166 667	20	15

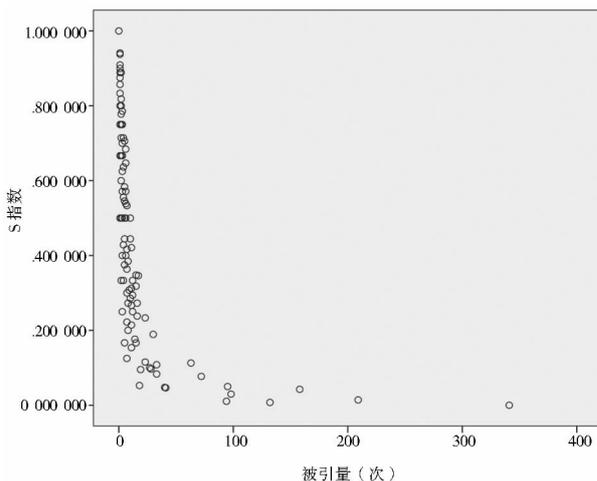


图 3 S 指数与被引量散点图

表 3 S 指数与被引量相关分析

		S 指数	被引量
S index	Pearson 相关性	1	-.492**
	显著性(双侧)		.000
	N	458	458
Citations	Pearson 相关性	-.492**	1
	显著性(双侧)	.000	
	N	458	458

** 在 .01 水平(双侧)上显著相关

1992 - 2006 年的 71 篇论著为起步阶段成果, 2007 年至今的成果属于起飞阶段成果, 这两个阶段的高创新力成果如表 4 所示:

表 4 不同扩散阶段的高创新力成果

起步阶段		起飞阶段	
文献编号	S 指数	文献编号	S 指数
0	0.000 000	164	0.153 846
3	0.007 519	171	0.166 667
4	0.010 526	93	0.176 471
18	0.014 151	143	0.189 189
16	0.029 703	127	0.266 667
42	0.042 424	94	0.272 727
21	0.046 512	158	0.272 727
7	0.047 619	95	0.285 714
54	0.050 000	120	0.294 118
5	0.052 632	78	0.300 000
48	0.076 923	109	0.312 500
31	0.083 333	146	0.312 500
19	0.095 238	176	0.318 182
61	0.096 774	92	0.333 333
25	0.100 000	123	0.333 333
37	0.108 108	132	0.333 333
15	0.112 676	126	0.346 154
56	0.115 385	111	0.347 826
29	0.125 000	86	0.363 636

6.5 成果创新力分区

具体操作步骤为: ①将成果的 S 指数按照大小升序排列。见表 2 左侧。②确定累加 S 指数增量。由于一个成果的 S 指数最大为 1, 因此可以用 1 或 1 的倍数作为累加增量, 本例中设定为 1。③对每个增量中的成果计数。根据表 5, 前 18 项成果的 S 指数累加值超过了 1, 继续累加 1 个单位, 则需要累加从排名第 19 位至排名第 24 位的 6 项成果的 S 值, 以此类推。④将成果分区。根据图 4 和表 5, 第一个增量空间的 18 项成果可作为第一区, 该区成果对结构洞理论的发展起到奠基作用, 其中成果 0 为原始创新; 增量空间 2 - 6 的 23 项成果可作为第二区, 对该项创新的发展起到重要作用; 增量空间 7 - 31 的 57 项成果可作为第三区, 对该项创新的发展起到一定作用。

7 结论

S 指数的计算公式蕴含了创新成果相对已有研究的变异程度和对科学发展的影响, 如此, 该指数能够测度一项科研成果在大多程度上推动了科学发展。不仅如此, 结合公式中的 D_{in} 和 D_{out} 还可以对成果创新力做出更加具体、及时的分析与解释。根据实证过程与结果, 得出以下结论: ①S 指数能够在第一时间识别原始创新成果, 也可以根据 D_{in} 在第一时间识别非原始创新但具有高创新力的成果, 同时, 此类成果只要 D_{out} 非 0, 就可以利用 S 指数快速识别; 对于具有一定创新力的

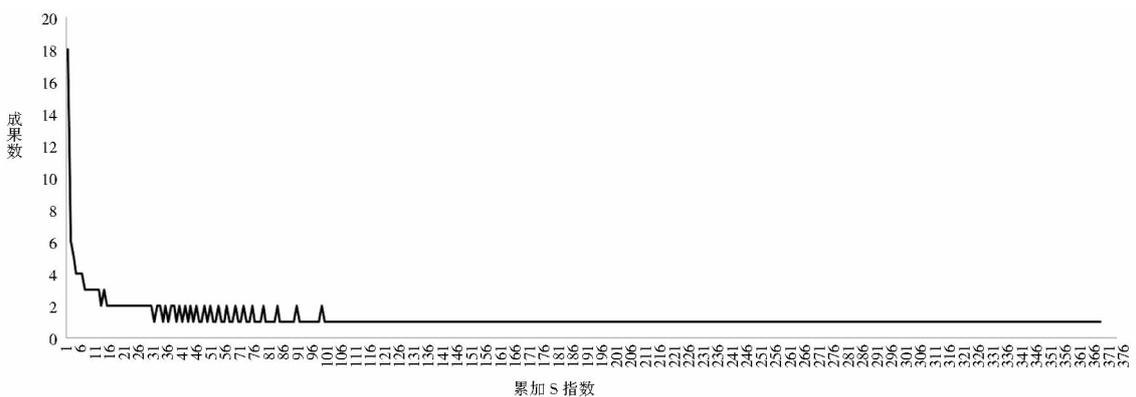


图 4 累加 S 指数单位增量对应的成果数分布图

成果, S 指数的识别速度也较快。②S 指数与创新扩散理论结合, 可以筛选研究主题或领域中不同发展阶段的创新成果, 为成果创新力的精细评价提供方法路径和理论支撑。③基于成果创新力幂率分布规律, 利用累加 S 指数对成果进行分区非常便捷, 并且可将分区结果与成果影响力分区情况进行对比。④方法类、综述类等影响力指标中容易突出的论文类型, 在利用

S 指数评价其创新力时, 由于指数公式中 D_{in} 的限制, 其创新力能够获得较为客观的评价。

对于 S 指数的理解与使用还应注意以下几点:

(1) S 指数不仅是一个创新力指标, 其计算公式也是判断成果创新力的思维公式。对于某项科研成果, 在没有计算 S 指数时, 也可以根据公式含义, 通过了解研究主题、参考文献和被引用情况, 大致判断该成果在

表 5 累加 S 指数单位增量对应的成果数分布

增量空间	累加 S 指数	成果个数
1	1.089 523	18
2	2.035 036	6
3	3.037 204	5
4	4.008 632	4
5	5.070 753	4
6	6.223 313	4
7	7.143 505	3
8	8.107 520	3
9	9.107 520	3
10	10.134 833	3
11	11.237 106	3
12	12.381 337	3
13	13.181 337	2
14	14.419 056	3
15	15.276 199	2
16	16.149 215	2
17	17.093 659	2
18	18.093 659	2
19	19.093 659	2
20	20.093 659	2
21	21.093 659	2
22	22.093 659	2
23	23.093 659	2
24	24.093 659	2
25	25.093 659	2
26	26.093 659	2
27	27.126 992	2
28	28.203 915	2
29	29.294 824	2
30	30.405 936	2
31	31.548 793	2

其研究领域中的创新价值。

(2) 对于非国内首创的科研创新,数据源须包含国外相关研究成果。科研创新不分国界。科研成果创新力评价不应仅限于国内相关成果的比较,而应将其置于科学发展的大框架下。如此,一方面可以打压对从国外引进的新概念、新事物的跟风炒作,鼓励深层次研究;另一方面可以凸显我国一些特有研究领域和关注点的创新成果,避免科学研究在与国际接轨的同时丧失差异性和活力。

(3) 应根据评价目的,同时兼顾便利性,对数据源进行合理筛选。S 指数计算的是某项科研创新中相关成果的创新力。理论上,数据源应包括所有对该项创新的发展起到作用的成果。因此,可能同时包含专著、论文等多种资源类型的成果形式。本例中,R. Burt 关

于结构洞理论的专著不止一部,但是通过预分析,在加入 R. Burt 的其他相关专著时,无论是对于该理论宏观扩散过程的描述,还是对于其他成果的创新力指数都没有明显影响,所以仅首次提出该理论的专著入选数据源。

(4) 与创新潜力指标结合使用,可在海量科研新成果中筛选出高创新力成果。首先利用创新潜力或变革性潜能指标将可能是原始创新或高创新力的成果筛选出来,确定创新领域;其次利用 S 指数计算出领域中每项成果的创新力。

(5) 利用 S 指数识别科学前沿。前沿与热点的区别在于,后者已凝聚了较大的吸引力,其优秀成果能够被迅速采纳;前者还未受到普遍关注,但是具备前瞻性和新颖性。因此,热点成果的被引量高,而前沿成果的被引量低,后者可通过 S 指数及 D_{in} 识别。

(6) 谨记任何科研评价指标只是辅助同行专家对成果价值进行判断的工具与手段。对于表征高创新力成果的 S 指数或提示可能为高创新力成果的 D_{in} ,必须结合领域专家的判断方可确认,以防数据来源不全或不当的研究领域限定等造成的误判。

8 讨论与展望

将参考文献作为科研评价指标参量具有很大风险,而引入参照客体,使得 D_{in} 仅为与研究主题直接相关的参考文献,就大大增加了 S 指数的可靠性。这是 S 指数与互引比率、判定成功论文等类似指数相区别的重要方面。而数据源须包含国际相关研究成果以及选择经过同行评议的数据源的操作方式也会增强 S 指数计算结果的客观性。2015 年 5 月 16 日发布的“关于科研评价的旧金山宣言”(DORA)^[21-22],提出让科研评价更加科学的倡议,建议“取消对于研究论文参考文献列表进行再利用的限制,按照‘创作共用公共领域使用协议’授权公开利用”以及“取消或减少对研究论文参考文献数量的限制。在任何可行情况下,要求引用原始文献而不是二手评述文献,以便把贡献归功于首次报道科研成果的团队”,预示着基于引文网络的科研创新力评价的良好前景。有关 S 指数的展望如下:

首先, S 指数可为科研创新扩散现象及规律研究提供帮助。关于零被引、低被引、“睡美人”、迟滞承认、“早起的小鸟”的研究日益为人关注,而这些研究的实质均是对创新成果的识别与发现,目的是促进科研创新和创新扩散。S 指数及公式中的 D_{in} 与 D_{out} 为在大量零被引、低被引文献中识别出“睡美人”文献提供

标识物; 它们的演变情况可为迟滞承认、首次被引的研究提供数据档案, 为“睡美人”的发现提供监测数据; 而大量样本的累积数据将为对科研创新与扩散的规律性认识提供基础素材。

其次, *S* 指数的应用对于规范学术出版与写作具有积极作用。在影响因子、被引量作为期刊和成果评价主要指标的现阶段, 过度自引、为提高指标值的非必要他引等已形成危害学术规范的暗流。而如果科研评价中采用 *S* 指数作为成果创新力评价指标, 则可在客观上对这一现象起到遏制作用。创新力指标与影响力指标配合使用, 可避免长期采用单一评价维度对学术风气的负向驱动, 有利于将各学术主体的行为导向规范。

最后, *S* 指数是测度科研成果创新力指标之一种。若要确立科研评价的创新力维度, 还需要更多的指标才能形成一类指标。只有在科研评价指标体系中确立不同的评价维度, 每个评价维度下都有丰富的评价指标可供选择, 在进行科研评价时, 才能根据不同的评价客体与目的, 选择适当的指标参与评价, 最终形成对评价客体立体、客观的评价结果。

参考文献:

- [1] 沈律. 科技创新的一般均衡理论[J]. 科学学研究, 2003(2): 205-209.
- [2] 任全娥. 基于情报学的人文社会科学研究成果创新性测评[J]. 情报资料工作, 2009(2): 20-23.
- [3] 杨家栋, 秦兴方. 社会科学研究成果的评价及其指标体系[J]. 齐鲁学刊, 2001(2): 122-128.
- [4] KOSMULSKI M. Successful papers: a new idea in evaluation of scientific output[J]. Journal of informetrics, 2011(5): 481-485.
- [5] Elsevier. Response to HEFCE's call for evidence: independent review of the role of metrics in research assessment[EB/OL]. [2015-09-11]. https://www.elsevier.com/__data/assets/pdf_file/0019/53416/Elsevier-response-HEFCE-review-role-of-metrics.pdf.
- [6] 武夷山. “爱思唯尔宣言”中关于评价指标的12条原则[EB/OL]. [2015-09-06]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-1557-845279.html>.
- [7] KUHN T S. The structure of scientific revolutions[M]. 3rd ed. Chicago: University of Chicago Press, 1996: 52.
- [8] GARFIELD E, WELLJAMSDOROF A. Of nobel class—a citation perspective on high-impact research authors[J]. Theoretical medicine, 1992, 13(2): 117-135.
- [9] van RAAN A F J. Sleeping beauties in science[J]. Scientometrics, 2004, 59(3): 467-472.
- [10] MAYER R E. The search for insight: grappling with Gestalt Psychology's unanswered questions[C]//STERMBERG R J, DAVIDSON J E. The nature of insight. Cambridge: The MIT Press, 1995: 3-32.
- [11] 克兰. 无形学院——知识在科学共同体的扩散[M]. 刘珺珺, 顾昕, 王德禄, 译. 北京: 华夏出版社, 1988: 31.
- [12] CHEB C. Turning points: the nature of creativity[M]. Beijing: Higher Education Press, 2011: 102.
- [13] CHEN C. CiteSpace II: detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(3): 359-377.
- [14] 宋歌. 网络结构视域下的创新潜力指标研究[J]. 图书情报工作, 2014(3): 64-71.
- [15] 庞景安. 科学计量研究方法[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2002: 318.
- [16] PIROLLO P. Information foraging theory: adaptive interaction with information[M]. Oxford: Oxford University Press, 2007: 14-16.
- [17] GLANZEL W, GARFIELD E. The myth of delayed recognition[J]. Scientist, 2004, 18(11): 8-9.
- [18] 冯平. 评价论[M]. 北京: 东方出版社, 1997: 109.
- [19] 罗杰斯. 创新的扩散[M]. 辛欣, 译. 北京: 中央编译出版社, 2002: 298.
- [20] 宋歌. 学术创新的扩散过程研究[J]. 中国图书馆学报, 2015(1): 62-75.
- [21] The San Francisco declaration on research assessment. Putting science into the assessment of research[EB/OL]. [2015-09-28]. <http://am.ascb.org/dora/>.
- [22] 旧金山科研评价宣言小组. 关于科研评价的旧金山宣言——让科研评价更加科学[EB/OL]. [2015-09-28]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-335532-758739.html>.

Study on Innovation Power Evaluation Index of Scientific Research Achievements: Design and Demonstration of *S* Index

Song Ge^{1, 2}

¹Library of Southeast University, Nanjing 210096

²The Institution of Information Science & Technology, Nanjing 210096

Abstract: [Purpose/significance] Through the discussion on design principle of innovation power index to achievements, and the proposing and demonstrating of corresponding index, the theory and reference for the establishment of innovation

(下转第124页)

- [6] 胡庆林,叶念渝,朱明富. 数据挖掘中聚类算法的综述[J]. 计算机与数字工程, 2007, 35(2): 17-19.
- [7] 马费成,宋恩梅. 信息管理学基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2011: 220-222.
- [8] PHAM D T, GOURASHI N S. Knowledge-based configuration design[C]//IEEE International conference on industrial informatics. Piscataway: IEEE, 2003: 248-254.
- [9] 杨炳儒,申江涛,陈泓婕. 基于知识库的知识发现(KDK)的结构模型与挖掘算法研究[J]. 中国工程科学, 2003(6): 50-53.
- [10] 吴丹,易辉. 知识库系统中语义网知识的表示[J]. 电脑与信息技术, 2004(1): 9-11.
- [11] 姜永常. 基于知识元的知识库构建[J]. 图书与情报, 2005(6): 73-74, 105.
- [12] 邱均平,陈敬全. 知识仓库及其在企业管理中的应用[J]. 情报理论与实践, 2003, 26(4): 324-326.
- [13] 张斌. 以资政理念提升档案服务能力[J]. 中国档案, 2012(4): 30-31.

作者贡献说明:

张斌: 提出论文研究思路和整体框架;

魏扣: 收集资料, 撰写论文;

郝琦: 对论文进行补充和修改。

Research on Construction of Decision-oriented Archive Knowledge Base

Zhang Bin^{1 2} Wei Kou³ Hao Qi¹

¹ School of Information Resource Management, Renmin University of China, Beijing 100872

² Key Laboratory of Data Engineering and Knowledge Engineering (Renmin University of China), MOE, Beijing 100872

³ The Office of Research Administration, Renmin University of China, Beijing 100872

Abstract: [Purpose/significance] Archives can be developed and utilized in a deep level by the construction of decision oriented archives knowledge base. The essential value of archives knowledge utility and the government consultation of archives can be developed and deepened. [Method/process] This paper analyzes the ideas, principles and objectives of the construction of archives knowledge base. The construction process of archives knowledge base is divided into four stages: the preparation of knowledge unit, the description of knowledge unit, the re organization of knowledge unit, the evaluation and storage of knowledge unit. [Result/conclusion] In the end, the system structure of the knowledge base system is put forward, and the three key components of the structure and the function modules of the knowledge base are explained in detail.

Keywords: knowledge base archives decision-making knowledge service

(上接第86页)

power evaluation dimension in scientific research evaluation system is provided. [Method/process] Firstly, combined the design experience of classical index, the latest development of research evaluation field, and the paradigm shift theory of Kuhn, the design principles of the innovation power indexes are cleared. Secondly, through the analysis on scientific development process, scientific research innovation and diffusion mechanism and other research, the design principle of the innovation power indexes is elaborated. On the basis of the above, S index and its formula of accumulated S index are put forward. Empirical research includes the calculation of the index, the correlation analysis with the impact index, the fine evaluation at different diffusion stages and the partition of research results. [Result/conclusion] The reliability of S index, the characteristics of index, the application and the use of attention are summarized. This paper proposes the research prospects of S index on studying the phenomenon and law of innovation diffusion, promoting the academic norms, and establishing the innovation dimensionality of scientific research evaluation system.

Keywords: evaluation index of scientific research evaluation of research achievements S index innovation mechanism innovation diffusion mechanism