

米勒体系的结构演变及其理念解析

李红林¹ 曾国屏²

(中国科普研究所, 北京 100048)¹ (清华大学科技与社会研究中心, 北京 100084)²

[摘要] 针对公民科学素质测量, 米勒体系经历了不断的发展, 从最初的三维结构, 发展为实践中的二维结构, 甚至转向对科学知识测量单一维度的倚重, 反映出米勒体系的理念内涵——传统的科学观以及基于公众缺失的公众理解科学理念。

[关键词] 米勒体系 公民科学素质测量 公众理解科学 传统科学观 缺失模型

[中图分类号] N4

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-8357(2010)02-0011-7

On the Development and Idea of Miller's System

Li Honglin¹ Zeng Guoping²

(China Research Institute for Science Popularization, Beijing 100048)¹

(Center of Science, Technology and Society, Tsinghua University, Beijing 100084)²

Abstract: With focus on the measurement of public scientific literacy, the structure of Miller's system has developed from original three-dimension to two-dimension in practice and even to single dimension of scientific knowledge, which reflected the idea of Miller's system, the traditional scientific concept and "public deficit" on public understanding of science.

Keywords: Miller's system; measurement of public scientific literacy; public understanding of science; traditional scientific concept; deficit model

CLC Numbers: N4

Document Code: A

Article ID: 1673-8357(2010)02-0011-7

在科学素质不断成为国民素质的重要组成部分而决定一国综合国力及国际竞争力的时代背景下, 针对公民科学素质的调查也成为一项基础性工作而得到了世界各国的重视, 全面了解公民的科学素质状况已成为各国检验公民科学素质建设状况和制定相关政策的基本依据。当前, 世界各国普遍采用 20 世纪 80 年代美国学者米勒 (Jon D. Miller) 依据当时的科学社会化语境, 并借鉴政治学领域的热心公众理念与公共政策制定的分层模型而构建的调查体系^[1],

包含了对于公民科学素质的测量、公民的科技信息来源渠道以及对公民科学态度或科技政策的支持和参与等等的调查^[2-3]。

本文所称的“米勒体系”意指专门针对公民的科学素质进行定量测量的体系——对于科学素质的维度界定, 以及基于这些维度所构建的测量指标、题项及分析方法等, 即关于测度的体系, 而非整个公民科学素质调查的体系。随着理论与实践的逐渐深入, 米勒体系经历了不断的发展, 从中, 我们不仅能窥见科学技术的进展及其应用

收稿日期: 2010-02-27

作者简介: 李红林, 中国科普研究所, 博士, Email: lihonglin@cast.org.cn;

曾国屏, 清华大学科技与社会研究中心教授、博士生导师, Email: sts001@tsinghua.edu.cn。

的扩展,而且能更深层次地理解米勒体系所隐含的基本理念,这对于我们全面理解和合理借鉴米勒体系,以更好地开展我国的公民科学素质测量与调查工作将具有积极的现实意义。

1 米勒体系的结构演变^[2-4]

1.1 最初的三维结构及其发展

在米勒看来,科学素质是一个多维概念,包含三个相关的维度——(公众)对基本科学术语和概念的理解、对科学探究的过程和本质的理解、对科学技术对个人和社会的影响的理解。在公民科学素质的测量中,每一个维度都有独立的指标和判断标准,只有同时在三个维度都达到了最低素养标准的公众,才被认为是具备了基本的科学素质。

1.1.1 对基本科学术语和概念的理解

最初,米勒设计了三个知识题项——放射性、GNP以及DNA,它们被认为是代表了基础科学和社会科学的术语。这一测量通过两个步骤进行:首先,被访者通过自评的方式判断自己对术语的了解程度,分为清楚理解、大致理解和不太理解三个层次;第二步,认为自己有清楚理解和大致了解的被访者进一步被要求对该术语的意义进行说明或解释,他们的回答都被调查员记录下来。为了提供这一维度的独立测量,一个概括的指标被构建出来:一个被访者如果表示至少清晰地理解三个概念中的一个,或者大致了解两个概念以上就被认为是对基本的科学概念达到了理解的程度。

米勒指出,这种自评的方式由于依赖公众的主观判断,比起直接的实质性探究来说缺乏精确度,因而存在内在的局限性,一方面公众可能高估自己的理解程度,另一方面公众在大致理解和不太理解之间存在一定的模糊性。如果应用其他的探测,一些被认为对科学术语和概念具有较高理解程度的被访者可能会被归到较低水平上。因此,这里的评估应该被作为公众真实值的上限(upper limits)。

从一开始,米勒就认为对公众理解基本科学术语和概念的测量不够充分,因而在1988年的美英合作调查中,对科学技术知识题项进行了扩展,米勒认为这次扩展是这一维度上的一次实质

性的进步。1988年的测量中包括了15~20个科学技术知识题项,确定了对其中10个能表征足够的多样性来构建指标的问题进行调查,被访者每答对一个问题得1分,分数从0分到满分10分。这一维度上科学素质的标准为得7分(即总正确数的2/3以上)及以上的被访者被认为达到了理解科学术语和概念的足够水平。

1988年的这一套题项,对公众的理解进行直接的实质性探究,问题由封闭式的对错选择和开放式的问答相结合,从而建立了一套核心的知识项,稳定地在各国之后的调查中得到了应用(在具体的测量中,对这些知识项稍有扩充或删减)。

对于科学概念这一维度的测量,米勒认为,虽然在不同的调查中确切的问题都有所不同,但是核心点在于,每一个题项组都可以被看作是,对于公民科学素养来说极其重要的几百个概念领域中的一个样本。2061计划提出的概念范围就提供了一个有用的近似,它可能组成科学素质相关概念的领域^[4-5]。在新近的研究中,米勒还指出:在很大程度上,这些核心题项提供了测量科学术语词汇的永久的集合,但是,不断地丰富这一集合以反映科学技术的发展也是非常重要的。譬如,米勒在2003、2004以及2005年对美国公众的研究中就包括了新的对于细胞、纳米技术、神经元、基因组以及神经科学和新的关于动植物转基因和纳米技术、生态学、传染病等的封闭性知识题项^[6]。

1.1.2 对科学探究的过程和本质的理解

这一维度上的测量,通过两个步骤进行:首先,采用被访者自评的方式,将自己对于“科学研究的含义”的理解程度进行了三个层面的划分——清楚理解、大致理解和不太理解;其次,用自己的话来解释科学研究的意义,他们的回答被进行文字编码。此外,米勒依据多重测量原则(multiple measurement principle),引入了一小组关于占星术的封闭式题项进行进一步的验证,内容包括:他们阅读占星术报道的频率为多少,他们认为占星术非常科学、部分科学还是根本不具科学性。

在这一维度上,最终的测量标准为:对科学研究表示理解并能提供一个令人满意的开放性解

释(如,涉及“实验”,后来扩展为涉及“理论检验”或者严格的、系统的比较等也可),并且能认定占星术不是科学的,即被认为达到了理解的程度。即,对于“科学研究”的含义既有理论上的模糊认识,也能有实例的确切认识。

1988年的测量方式与之前相类似,但在编码技术上有了较大提升。采用联合编码训练论证了双盲、开放性编码的可行性,使得再现系数达到了0.9的范围内,从而使得跨国比较的可行性更高。

1995年美国的调查以及1992年欧盟的调查,使得这一维度得到了进一步的扩展。首先,关于科学研究的意义的开放式问题,被认为正确的一个普遍标准是,科学研究要做“试验”。进而,为了深入测量对实验意义的理解,1993年在对生物医药素养的研究中,米勒设计了一个对照组(control group)实验的封闭性问题。所有的被访者都被继续追问选择的原因,即是否理解对照组的原理。那些选择了对照组且能说出其基本原理以及知道其基本原理但因为伦理等考虑而没有选择的公众,都被认为是理解了这一部分。此外,还包括第三部分,一个关于概率的封闭式问题。问题假定了这一情况。

1995年对科学探究本质有最低理解水平的判断标准为:首先,必须能够把科学研究的目的描述为建立理论和进行验证,或能够表明对试验设计或程序有正确理解,以此来证明自己理解了科学探究的本质;其次,必须表现出对概率的正确理解。这一标准自此稳定下来,得到应用。

1.1.3 对科学技术对个人和社会的影响的理解

这一维度上,最初米勒将其具体界定为公众对科学政策问题的理解。因而1979年的调查包括了关于3个争论(食品中化学添加剂的使用、核能、空间开发)的独立题项组,对每一个争论,被访者都被要求列出两个潜在的利益和两个潜在的危害。被访者能至少列出12个可

能的潜在利益和危害中的6个就被认为是具备了这一维度上的基本素养。

而在1988年的美英合作调查中,米勒对这一维度进行了较大的调整。他认为,这一维度应考察个体作为消费者、父母以及公民,对科学技术对社会以及对日常生活的广泛影响的理解,主要涉及技术素养(technological literacy)。他认为,理解一些有关电脑或抗生素、放射性等知识比知道电子的大小等科学知识更能帮助公众应对他们可能遇到的技术及公共政策问题,因而设计了5个题项来测量技术素养的社会影响维度,被访者每答对一个问题得1分,分数从0分到满分5分。这一维度上素质标准为,得3分及以上的被访者被认为足够理解科学对社会的影响,或达到了足够的技术素养水平。米勒自己对这一维度的测量并不满意,但是他认为较之以前的测量,这是最好的一个评估变量了,并期待在后续的测量中进行改进,这些题项后来被米勒整合到科学素质的其他两个维度上。

1998年,米勒发现,在跨国比较研究中,第三维度的测量在不同国家之间,内容上有实质性差异,于是逐渐将这一维度从科学素质测量结构中剥离出来,仅用前两个维度进行科学素质的测量,称之为二维结构。而公众对科学技术对社会的影响的理解,通常以“公众对占星术或伪科学的看法”作为量度,且作为公众对科学技术态度调查的重要内容之一。

1.2 从三维结构到二维结构的实践

如前所述,基于第三个维度测度和国际比较的难度,很长一段时间,米勒体系对公民科学素质进行测量都表现为一种二维结构:公众对基本科学术语和概念的理解、公众对科学探究的过程和本质的理解。

并且,米勒通过验证性因素分析(confirmatory factor analysis)^①方法,以1995年美国公民科学素质测量的指标体系为例,对这个二维结

①验证性因素分析是一项用来验证一组题项间关系的假设的技术。在这个案例中,假设公民科学素质可以分为两个维度,概念理解和过程理解。这一技术检验所有题项间的联系并确定两组题项(因素)在每个维度上的题项间有极高的相关度,而与另一个维度的题项则不必具有较高相关度。本案例中,验证性因素分析发现两个因素是积极相关的。一般来说,因素负载(factor loading)在0.7以上比较好,值越高表明指标越能测量所属因子;而值在0.4以下的指标即被认为不能很好地测量所属因子,应该被剔除。

构以及这两个维度上指标设计的合理性进行了确证。对第一个维度进行确证性分析发现,各个问项的因素负载(factor loading)都达到了0.4以上,对DNA和分子的开放性问题的因素负载甚至达到了0.77以上,从而表明这些问项能作为概念词汇维度的测量指标。同时,这些题项反映了一个从基本原子结构到基本生物概念再到地球科学的广泛知识范围,虽然这不是一个穷尽的组项,但是从广泛的科学学科系谱中开发出了基本的科学概念。对第二个维度的确证性分析发现,因素负载也都在0.6以上。

米勒体系在这个二维结构上的具体设计为两个方面。(1)对基本科学术语和概念的理解。如米勒指出的,在具体各年的调查中内容会有稍许变化,但总体变化不大。对于科学术语,通常使用2~3个基本科学概念,如DNA、分子、原子、放射性、酸雨、电脑软件等基本概念。2001年的调查中即使用了DNA和分子两个基本术语。对于科学观点,大致采用1988年所确立的核心题项,稍有添加或删减。以2001年美国的调查来看,题项包括16个(其中13个是非题,3个选择题)。而判定是否具备这一维度的标准与此前相类似,即对科学术语达到完全正确或有些了解,科学观点题项能正确回答10个及以上(总题数的2/3以上)即可。(2)科学探究的过程和本质的理解。这一维度上,基本自1995年之后趋向稳定,即包括一个对“科学研究”含义的理解的开放性问题,以及对“双组试验”和“概率”问题的选择题。判定标准也保持不变。

1.3 从二维结构向单一维度的转变

在更近期的研究中,米勒指出,在整个1980年代和1990年代,对用来测量公民科学素质的术语和概念的验证性因素分析显示了一个双因素结构(two-factor structure),并且这两个因素的相关度高达0.8以上。在一定意义上,这一模式已经足够证明一个单一因素方案的合

理性了。但是,出于同时要求公众理解科学概念(并掌握一定词汇量)和科学探究过程的逻辑性需要,才继续沿用之前的二维模型。

并且,到了2003和2004年,两个因素的相关度达到了0.94甚至更高,从而高度有效地排除了继续保持二维独立评估的任何看似合理的依据或理由。对2005年美国的调查题项的因素负载验证进一步表明科学素质概念的单一维度特性^[7]。这一验证性因素分析显示,所有的30多个题项都反映了一个共同的因素。这些较高的负载也指出,很多这些题项都是可替换的,并且可能作为测量公民科学素质的一个子集。并且,我们注意到,生物学题项和物理学题项都散落在因素负载中,而2004年另一个成人样本的测量题项中,对物理概念、生物概念和科学探究过程进行单独的负载分析发现,三者的相关度高达0.94以上。因此,可以认为,概念词汇和过程理解的这一集合同样适用于物理学和生物学概念。

在整个负载分布中,存在一个术语词汇(constructs vocabulary)问题和过程导向(process-oriented)问题的混合集,以及开放性问题和封闭式问题的混合集。这种科学素质单一维度的方式,提供了测量被访者知识或理解的最优方案。

至此,米勒体系从包含了科学知识、科学过程以及科学与社会的三维结构,转向了重点关注科学知识的一维结构。并且,针对科学素质测量的这一单一维度方式,对个体公众的度量将充分使用项目反应理论(Item Response Theory)^①的赋值程序,并为了描述的方便,将平均值调整至50、标准差为20,使得所有个体公众的科学素质指数将落在0至100的范围内。分值达到70以上的公众,则被认为具备了基本的科学素质水平。

2 米勒体系的理念分析

同“观察渗透理论”一样,任何的测度体

①项目反应理论是一种能将不同难度和不同组的测试项目放置在同一刻度上进行衡量的理论和方法。它通过对项目参数和各个国家的潜在分布进行评估,并使用最大边际相似法(Maximum boundary likelihood similarity)进行分析,依据IRT参数——难度参数、倾斜参数(也称区分度参数)、猜测参数消除各国在设计题项上存在的难度差异等问题,使得跨国比较更加可行且科学。

系都会有其理论预设、目标导向等基本假定。就公民科学素质的测量而言,测度者的“科学观”以及对于“公众理解科学”的基本理念影响其对科学素质概念的界定以及测度指标等等的设计。同样,以“理论指导实践”的观念来看,公民科学素质测量的测度体系中指标的设计以及测度的内容,同时也具有价值导向作用,影响着人们对于科学的认识以及对于公民科学素质建设的理念和制度设计。任何建立在一定价值判断上的科学测量,都会形成一个对于科学和科学活动的图景,这种意象会塑造公众的科学观和利用科学的方式,从而影响公众对科学的理解。

在此意义上,深入地探究米勒体系所隐含的基本科学观和公众理解科学的理念,才能实现我国的公民科学素质测量与我国当前的科学发展阶段、公民科学素质建设理念以及国家社会经济文化发展导向的有效结合和匹配。基于以上对于米勒体系结构演变分析,不难发现,其表现出以下两个方面的基本理念。

2.1 传统的科学观

科学观反映的是人们对科学的整体的、基本的看法与认识,简言之,即为对科学的一般看法。从米勒体系对科学素质维度的设计、判定的标准、采用的方法及其表现出的倾向都体现出他对于科学认知的一种传统观念。

2.1.1 首先,体现在米勒对于科学素质的界定及其测度的设计上

通常,传统科学观主要是指实证主义的科学观,概括说来,这种科学观的基本要点有:科学是客观的、理性的事业,其合理性在于它与自然界客观事实的符合性,并与社会因素无涉;科学的目标和动力是追求知识和真理;实验方法是获得科学知识的正确途径,实验产生的事实是对自然界的反映;科学争论是关于客观事实的争论,在争论中符合客观事实的一方将取得胜利;科学知识是与客观事实相符合的真理,其基础是直接的经验,拒斥对权威的信任;科学是不断累积发展而来的,等等^[8]。这种传统的科学观自17世纪至20世纪中期,一直居于主导地位,其中的很多方面在米勒体系关于科学素质的维度设计上得到了体现。

在米勒看来,“知识”形式是科学内涵的最突出特征,尤其从最初的三维结构转向二维结构,乃至新近的一维结构,均直接将其称为科学知识测量。米勒认为,对于公民科学素质来说,掌握基本的科学术语和概念知识首先是第一维度的。即意味着,他认为,追求知识是科学的首要方面。并且,他认为,在浩如烟海的科学知识体系中,存在对公民科学素质来说极其重要的核心概念,它们是正确的、稳定的、具有持久的可测量性,并且集中于正式的教育体系之中,历经时间考验仍能保持真理性。这一维度的具体题项,基本为物理学、生物学、化学、天文学、地理、数学等方面的基础性知识。可见,“自然科学”被米勒体系赋予了等同于科学的地位,自然科学之外的知识或内容,在此难寻踪迹。

而对于科学探究和本质的理解维度的设计和判定标准,所反映的对于科学研究的认识表明,米勒深受经验主义和波普尔科学哲学观念的影响。他认为,公众应起码理解科学是建立在经验的基础之上的,理想的状态是将科学理解为对理论的构建和检验,最低限度要能将科学理解为对命题的经验检验(即,通过经验对假说进行检验),而科学观念也需要经受经验的检验,并且具有被证伪的可能性^[9]。同时,米勒体系要求公众将“占星术”认定为不科学或者伪科学。可见,在米勒看来,科学的这一特性是其区别于“伪科学”或其他知识形态(如哲学、宗教等)的基本特征。

此外,科学素质的具备,需要起码能理解在科学研究中数学的重要性,尤其以概率为例。在科学哲学发展进程中,对于数学的认识经历了不断的演变,如将其作为经验的(亚里士多德)、先验的(康德),或者排除在经验学科之外(逻辑实证主义者和波普尔),或者认为数学是作为最后手段的一种自然科学(莫斯托夫斯基),甚至拉卡托斯独创性地将数学作了拟经验的理论的认定,赋予了数学基础的研究以方法论的意义^[9]。无论这种认识和讨论将走向何处,至少可以认定的一点是,数学作为一种方法或者学科,在自然科学的发展中扮演着极其重要的作用,不可或缺。

从以上几个方面来看, 米勒体系至少包含了传统科学观对于科学知识的倚重, 包括认为科学知识是有效的、科学知识的证据来自观察、科学知识的有效性可以通过实验进行检验、科学知识的特殊的认识论地位、科学知识作为不断增加的事实资源, 等等。

2.1.2 其次, 体现为米勒体系所秉承的类“科学学”的思维方式

爱丁堡学派的创立者之一、《科学的社会研究》的常务编辑大卫·艾杰(D. Edge)在分析STS的线索时指出, 在“科学作为一种社会传统”这一线索下, 其中一种研究进路为“科学学”(Science of science)——由普赖斯的《小科学、大科学》所引发的、争论焦点之一为“是否应该制订一项‘削减’科学开支的计划”的、对科学进行研究的学科。这一进路体现了人们持有的一种关怀, 即如何为科学与技术投资的理性决策, 为训练合适的人来监督此项活动寻找“可靠的”的基础。“科学学”的目标试图为科学与技术投资的决策提供“客观的”、“价值中立的”基础, 从而赋予它们以科学的可信性。虽然这一特定的视角这些年来已经淡出, 但它毕竟留下了不少宝贵的遗产: STS研究的定量方法, 引证和互引的分析方法, 以及来自于政策科学的不少有益的分析。“科学学”进路实质上体现了一种理性主义的、无批判性的传统科学观念^[10]。

结合此前对米勒体系的分析来看, 我们会发现, 米勒体系秉承了一种类似于“科学学”的传统。首先, 米勒体系的研究较多地体现为一种政府立场, 为其科学决策提供依据和参考。米勒体系产生的社会背景之一即为科学社会化过程中与政府、政治的密切关联, 而其目标指向即为民主政治中公众参与科学决策^[11]。并且, 我们注意到, 对米勒体系缘起的探究和其所依托的公众理解科学技术的调查中, 一直保留着公众对政府投资科学技术领域的偏好和意向的调查。这些都试图为政府的决策提供基础。其次, 米勒体系对公民科学素质的测量, 体现为

“科学学”推崇的定量传统, “充分运用观察、估算、试验以及运筹学等手段”^[12], 以“客观的”数据调查结果, 为决策提供“价值中立的”基础。

2.2 基于“缺失模型”的公众理解科学理念

米勒体系对于公民科学素质的测量, 关注的对象为公众的科学素质水平, 即公众的客观科学知识的绝对水平, 在科学与公众的界面上, 科学知识成为焦点。同时, 米勒体系通过社会调查获取数据, 以一种规范性的判定标准来界定科学素质的绝对水平, 这一判定标准由科学家确定。

对于科学素质的重要性, 米勒认为, 在当代美国的科学技术社会中, 科学技术的影响从个人层面扩展到国家政治的各个领域, 公众只有掌握更多的知识, 才能提高科学素质水平, 才能更积极有效地参与科学政策决策过程, 公众的科学素质水平是其参与民主政治的重要前提。而调查结果显示, 大部分的公众是缺乏科学素质的, 因而对科学政策相关问题缺乏关注; 因此有必要加强对公众科学素质的建设^[13]。

米勒的思维模式表现为: 更多的知识会增加对公民参与的理解和机会。按照这种观念, 公众对科学技术事务采取的任何消极立场都当然地被解释为缺乏科学知识的表现, 科学知识因而被不加批判地赋予了积极的或正面的价值。

从以上内容来看, 米勒体系对于科学与公众之间的关系认识, 表现出一种从科学家(科学知识)到公众的自上而下的线性观念。这种观念被称为公众理解科学的“缺失模型”^①, 它至少存在以下几个方面的预设。

(1) 在科学与公众的关系中, 公众是存在缺失的一方, 他们缺乏科学知识, 因而也缺乏科学素质, 很难具备参与科学技术决策的能力。具备科学素质, 更直接地说, 掌握足够的科学知识与方法, 被认为是更好地参与科学技术决策的必要条件, 而(至少是大部分的)公众在这一点上, 是缺乏的。

①关于“缺失模型”较早的探讨源自 Ziman J. 所著 Public Understanding of Science, 发表于 Science, Technology & Human Values, 1991 年第 16 卷第 1 期 99-105 页。之后不断有学者对此进行批判和反思, 如英国学者 Durant、Wynne 等等。

(2) 科学一方的代表——科学家，被置于优于公众的地位，在整个公民科学素质测量过程中，专家始终以一种权威存在。从题项的设计和遴选、各维度素质水平的判定标准，甚至最后对于公众缺乏科学素质的解决方式——向公众灌输更多的科学知识，都由科学家起决定性作用。

(3) 公众具备科学素质（或称公众理解科学技术）无疑是一件好的事情。在米勒看来，科学素质是工业化世界中长期的经济增长和有效的公民权的重要组成部分，而科学素质的测量提供了一个基本的准绳来测量一个社会中拥有足够的技能和知识，以行使其公民权和消费者角色职能的成年人的比例。即，具备了科学素质，才能有效地行使其公民权和作为消费者的角色职能^[13]。

(4) 在以上的意义上，公民科学素质建设的当务之急在于解决公众知识的缺乏。而解决这一问题的关键路径在于，需要面向公众进行科学知识的传播，以正规的学校科学教育为主，以对成年公众的继续教育和媒体新闻报道、博物馆科技馆等非正规活动为辅。科学共同体和政府在这个过程中被置于一种自上而下的线性路径的上游，而公众则居于接受方的下游。

对于米勒体系蕴含的这一基本理念，不少学者提出了批判意见和不同的理念，“民主模型”、“内省模型”、“语境模型”、“外行知识模型”和“公民认识论”等的提出，都反映着研究者们对于公众理解科学的深刻反思，并且这种反思和探讨仍在继续进行^[14]。

而对于实践而言，尤其是我国，米勒体系所基于的这些理念预设在我国公民科学素质测量和建设过程中仍有着深深的烙印，如何将理论领域的探讨和成果吸收到我国的具体实践之中，形成符合国情、“与时俱进”的价值导向，仍是需要我们深入思考并付诸实践的课题。

参考文献

- [1] 李红林. 科学社会化语境中的米勒体系及其理论借鉴、目标指向 [J]. 自然辩证法研究, 2009, 25 (5): 80-84
- [2] Miller J D, Prewitt K. The Measurement of the Attitudes of the U.S. Public toward Organized Science. Report to the National Science Foundation under Contract SRS78-16839 [R]. Chicago: National Opinion Research Center, University of Chicago, 1979
- [3] Miller J D. Scientific Literacy: A Conceptual and Empirical Review [J]. Daedalus, 1983 (112): 29-48
- [4] Miller J D. The Measurement of Civic Scientific Literacy [J]. Public Understanding of Science, 1998 (7) : 203-223
- [5] Miller J D, et al. Public Perception of Science and Technology: a Comparative Study of the European Union, the United States, Japan and Canada [M] // Dierkes M, Cluadia V G. Between Understanding and Trust. Harwood Academic Publishers, 2000
- [6] Miller J D. The Public Understanding of Science in Europe and the United States[EB/OL]. [2009-04-05]. http://ucll.msu.edu/files_ucll.msu.edu/docs/miller-science-europe.doc
- [7] Miller J D. Civic Scientific Literacy in Europe and the United States [EB/OL]. [2009-04-05]. <http://www.arcs-foundation.org/Pittsburgh/JMiller.pdf>
- [8] 刘海霞. 夏平对传统科学观的反思 [J]. 科学技术与辩证法, 2007, 24 (2) : 50-53
- [9] 舒炜光, 邱仁宗. 当代西方科学哲学述评 [M]. 第二版. 北京: 中国人民大学出版社, 2007: 115-117
- [10] Edge D. Reinventing the Wheel [M] // Jasanoff Sheila, et al. Handbook of Science and Technology Studies. Thousand Oaks: Sage Publications, 1995: 3-23
- [11] 贝尔纳. 科学的社会功能 [M]. 陈体芳, 译. 桂林: 广西师范大学出版社, 2003: 14
- [12] Miller J D. The American People and Science Policy [M]. Elmsford, NY: Pergamon, 1983
- [13] Miller J D. Scientific literacy [R]. The Annual Meeting of the American Association for the Advancement of Science, San Francisco, CA, 1989
- [14] 李红林. 公众理解科学的理论演进——以米勒体系为线索 [J]. 自然辩证法研究, 2010, 26 (2): 70-75