

文章编号:1004-4116(2021)04-0001-15

演绎、归纳、证伪和大数据:科学研究的方法论

张旗

(中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029)

摘要:通常认为,人们认识世界,进行科学研究有两种方法,即归纳法和演绎法。实际上应当有4种方法,另外两种是最近才崭露头角的,一种是证伪法(不到100年的历史),另一种是大数据法(几十年的历史)。归纳是从特殊到一般,演绎是从一般到特殊,证伪是批判,大数据是第四科学范式。休谟和波普尔都对归纳法提出质疑,指出归纳法不可能从特殊到一般。为此,波普尔提出证伪的方法和知识增长的四段图式,波普尔认为,证伪是知识增长的核心,没有经过证伪的理论只是猜测,只有经过证伪的检验,猜测才可能具有理论的属性。归纳法有问题,但是,人们又须臾离不开它。波普尔否定了归纳法,但是,没有给出解决的方案。本文经过思考认为,采用“归纳+大数据”的方法可以解决这个问题。既然特殊不可能达到一般,那就想办法使特殊变为一般。方法是加上大数据:“归纳+大数据”,可能就解决了归纳法的天然不足,挽救了归纳法,使归纳法焕发出青春。

科学研究遇到的瓶颈告诉我们,大数据不是可有可无的。采用“归纳+大数据”方法,即可使归纳法的“特殊性”加上大数据方法的“全局性”从而达到一般。用这种互证互补的效应既避免了归纳法的局限性,又可以加速科学研究进程。本文指出,我们现在的科学研究方法基本上采用的是实证主义的方法,这种状况急需改变。在当今的量子时代、现代科学阶段,大数据方法已经应用于很多领域,本文提出在科学研究中强调采用证伪的方法,增加大数据(尤其全数据)方法,是新的科学研究思路,也是科学探索道路上新的尝试。

关键词:演绎;归纳;证伪;大数据;科学研究;方法论

中图分类号:N 02;N 03 **文献标志码:**A

如果问一位科研人员,科学研究的方法有哪些?一般回答大概是演绎法和归纳法吧。最近,大数据开始深入人心,于是知道大数据也是一种科学研究的方法。但是,大多数科研人员目前还不会使用大数据方法去做自己的研究,因为,一般的研究也不需要采用大数据方法。除了上述3种方法外,还有一个证伪的方法,这个方法绝大多数科研人员可能不知道。证伪就是批判,批评,反驳,试错,就是否定之否定。如果从这个角度讲,大家都明白。批判,批评,辩论,谁都明白,但是,把证伪作为一种独立的方法提出来,与归纳、演绎并列,却是只有不到100年的时间,这是英国哲学家波普尔的贡献(波普尔,1963)。波普尔(1902—1994)的证伪思想是1981年介绍到国内的,许多哲学家对其进行了讨论,迄今为止,发表的相关的中文文献有500多篇。但是,自然科学的科学

家却知之甚少(孙昌璞,2021),笔者愚昧,是在今年才知道这个方法的(张旗,2021 a)。

于是,人类认识世界,进行科学研究应当有4种方法,即:演绎、归纳、证伪和大数据。演绎是从一般到特殊,归纳是从特殊到一般,证伪是试错,大数据是数据驱动模式。上述4种方法中,最常用的是归纳法。这不奇怪,我们人类从呱呱坠地开始接触大自然,开始认识世界即采用的是归纳法。演绎是从一般到特殊,但是,这个“一般”是否正确,演绎法本身是不知道的。证伪则是科学研究中最重要方法,是一个多快好省的方法,是对归纳和演绎的检验,是逼近真理的最佳方法。而大数据则是采用数据来驱动科学研究,是新的、第四科学范式,是用计算机去代替人去思考的方法(张旗和周永章,2017,2018)。

归纳法是人类认识世界的基本方法,但是,归纳

收稿日期:2021-09-05

基金项目:中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室项目《镁铁—超镁铁岩大数据研究》(81300001)资助的研究

作者简介:张旗(1937~),男,研究员,岩石学和地球化学专业。E-mail:zq1937@126.com

法有天然的缺陷:因为归纳不可能从特殊到一般,因而遭到波普尔强烈的批判,甚至扬言要把归纳法踢出科学界(波普尔,1963)。但是,人们认识世界离不开归纳,没有归纳人们将无所适从。如何解决这个问题,本文提出用大数据方法来补充,即“归纳+大数据”的方法。归纳是从特殊到一般,所以具有局限性,大数据则采用全数据模式(或全样本模式),弥补了归纳法的不足,使归纳法“从特殊到一般”的概念转换为“从一般到一般”的概念,从而解决了归纳法的危机,提升了归纳法的哲学含义,使归纳法得以重新焕发青春。

下面讨论上述 4 种方法并举例说明之。

1 演绎法

1.1 什么是演绎法?

演绎法是由亚里士多德(Aristotle, 公元前 384—前 322)提出来的。演绎法是从一般原理推导出个别结论的方法。演绎推理是一种逻辑推理,主要表现为大前提、小前提、结论的三段论模式:即从两个反映客观世界对象的联系和关系的判断中得出新的判断的推理形式。如:“自然界一切物质都是可分的,基本粒子是自然界的物质,因此,基本粒子是可分的。”

三段论法是逻辑学一个著名的法则,逻辑学是科学的先导,古希腊时期,是先有逻辑学才有数学才有科学的。可惜中国的学校不教授逻辑学,逻辑学是规范人的思维的必修课,我们有些科研工作做得不好,论文写得不好,一部分可能就与逻辑不严密,论证不到位,思路不清晰有关。

三段论法指的是大前提、小前提和结论,遵循的原则是:如果大前提正确,小前提也正确且与大前提一致,则结论正确。如果大前提错了,小前提无论对错,结论必错。如果大前提正确而小前提错了,结论也错。三者缺一不可,遵循的是因果关系。三段论属于简单推理,是根据一般情况推导出特殊情况的必然性推理,因此,三段论法也是一种演绎推理。它通过一个共同概念把两个性质判断联系起来,从而推出一个新的性质判断的推理。按照三段论推理,推理过程正确,则结论必然正确。例如金属导电(大前提),铜是金属(小前提),所以铜导电(结论)。

关于三段论法还有一个故事,说的是在第一次世界大战期间德军向法军进攻,法军为了避开德军的锐气,积蓄力量,巧施隐身术躲藏了起来,德军一

时失去了攻击的目标,于是德军指挥官下令侦察敌情。一天,德军一名军官在用望远镜搜索法军阵地时,发现前方阵地上爬出一只名贵的波斯猫懒洋洋地躺在那里晒太阳。于是德军军官根据波斯猫的出入判断前方阵地必有法军指挥所并立即向上报告。德军指挥官得到情报,命令炮火集中轰炸波斯猫晒太阳的地方,成功摧毁了法军一个旅指挥所。法军指挥所被毁完全是一只波斯猫惹的祸,这应归功于德军那位军官缜密的逻辑思维。他成功地运用了三段论法进行推理,其思路是:凡有名贵波斯猫出没的地方就有法军高级指挥官(大前提),前方阵地有名贵的波斯猫(小前提),所以,前方阵地有法军高级指挥官(结论)。

演绎推理有两个基本的要求:一是大、小前提的判断必须是真实的;二是推理过程必须符合正确的逻辑形式和规则。演绎法具有局限性,主要取决于大前提是否正确,而大前提是否正确在演绎范围内是无法解决的。由于演绎不当造成的错误的实例也不少,下面举一个花岗岩的实例予以说明。

1.2 演绎错误举例:花岗岩结晶分离概念的由来

花岗岩能够分异演化是目前学术界的主流见解,是花岗岩理论的核心部分(Bowen, 1928; Cobbing, 2000)。这个理论是怎么来的?据本文作者研究,花岗岩的这个理论是仿效了玄武岩的理论而得来的,是按照演绎法的三段论法推导出来的。玄武岩岩浆是可以分异演化的,但是,花岗岩岩浆不能,为什么?主要障碍是岩浆的粘性不同。由于三段论法没有说明白这个问题,所以导致了错误的结论。

花岗岩研究中关于岩浆分异和演化的认识,即是仿效玄武岩的研究用三段论法演绎的。例如,对玄武岩来说:

岩浆能够发生分异和演化,玄武岩是岩浆,所以玄武岩能够分异和演化(三段论 1)

这里“岩浆能够发生分异和演化”是大前提,大前提正确;“玄武岩是岩浆”是小前提,小前提正确且与大前提一致;于是,“玄武岩能够分异和演化”的结论正确。

对于玄武岩我们就是这样认识的,于是人们继续演绎:

岩浆能够发生分异和演化,花岗岩是岩浆,所以花岗岩能够分异和演化(三段论 2)

这里“岩浆能够发生分异和演化”是大前提,大前提正确;“花岗岩是岩浆”是小前提,小前提正确且

与大前提一致;于是,“花岗岩能够分异和演化”的结论正确。

对于花岗岩的分异和演化问题我们就是这样认识的。这个认识持续了上百年,很少有人持异议。因为,从三段论法上说,它合乎逻辑,没有任何错误。

一般认为,到此,问题解决了,研究结束了,花岗岩可以分异演化了。因为,这是从一般到个别演绎出来的,“一般”是正确的,“个别”是“一般”的一部分,所以“个别”正确。而实际上,三段论法只是一个认识事物的方法,它不能解决大前提是否正确的命题。也就是说,大前提是否正确,依靠三段论法本身是解决不了的。大前提是否正确依靠科学研究得出的一般性规律或一般性理论。这个理论是否合理,是否接近真理?依靠证伪的方法而不是依靠三段论法。

经过证实和证伪两方面的研究,玄武岩能够分异演化的结论被证明是正确的。因为,随着玄武岩岩浆温度的降低,岩浆发生了演化,矿物发生了结晶分离,依次结晶出橄榄石,辉石和长石等,上述矿物由于密度大,可以克服岩浆粘性的限制下沉到岩浆房的底部,堆积起来形成堆晶岩,从下向上依次出现堆晶橄榄岩、堆晶辉石岩、堆晶辉长岩等。而矿物晶出下沉后留下的岩浆(残余岩浆)也依次逐渐演化,岩浆越来越富铁。玄武岩分离结晶前的是原始岩浆,分离结晶以后是演化的岩浆,原始岩浆富镁,演化的岩浆富铁。于是,随着玄武岩岩浆分离结晶,玄武岩化学成分发生了一系列的变化,经过了大量实践的检验,于是,玄武岩岩浆演化的理论成为一个比较完美的理论,是逼真度很高的一个理论。

那么,花岗岩呢?按照玄武岩岩浆的理论,花岗岩岩浆随温度降低如果能够发生分离结晶的话,最先结晶出的应当是角闪石,然后是黑云母,斜长石。角闪石首先从岩浆中结晶分离出来,克服了花岗岩岩浆的粘性而下沉到岩浆房的底部,堆积起来形成角闪石堆晶岩。可是,迄今为止,有谁观察到花岗岩岩体底部有角闪石堆晶岩或黑云母堆晶岩或角闪石—黑云母堆晶岩出现呢?就如 Pitcher (1997)所说:“除少数含 B、F 或 H₂O 的岩浆体系外,我本人从来就没有看到过花岗岩岩浆发生晶体沉淀的确凿野外证据”。Pitcher 的上述说法是对的,一个花岗岩岩体,底部在哪里?花岗岩由于富硅,其岩浆的粘性比玄武岩大了很多(玄武岩的粘度为 1×10^3 (η 泊),黑曜岩为 1×10^{12} (η 泊),据岩石学教科书)。粘性

低,矿物重,分离结晶出来的矿物才能克服岩浆粘性的阻力而下沉。花岗岩由于粘性大,虽然角闪石的密度大,但是,也很难克服岩浆的粘性而下沉,只能漂浮在岩浆中,野外和镜下也见不到角闪石堆晶岩的现象,更何况黑云母堆晶岩了。玄武岩有原始岩浆,花岗岩的原始岩浆是什么?玄武岩能够分离结晶的最主要的证据是有与玄武岩匹配的堆晶岩,而且是有比较规律的层序的。与花岗岩有关的堆晶岩在哪里呢?有人最近提出有“层状花岗岩(Layer granite)”或“堆晶花岗岩”(Cumulate granite)的说法(Castro, 2013; Clemens, 2003; Mc -Carthy and Groves, 1979; Weinberg, 2006),根据笔者的认识,那不是堆晶的,而是花岗岩岩浆流动分异造成的。八达岭岩体的碓臼峪花岗岩就有流动分异导致角闪石呈条带状分布的现象(宽度约 10 几厘米,张旗等,未刊),那不是堆晶结构。花岗岩是岩浆,这一点与玄武岩一致,玄武岩岩浆与花岗岩岩浆不同之处主要体现在岩浆的粘性方面。粘性低,岩浆能够演化;粘性高,岩浆不能演化。流动分异不是结晶分离,是两个不同的概念。

野外实践表明,玄武岩岩浆确实能够分异和演化,因为有玄武岩分离结晶出来的基性和超基性的堆晶岩。而在花岗岩中却见不到与其相应的堆晶岩(如角闪石岩、角闪石黑云母岩等),此其一。其二,镜下堆晶辉长岩显示明显的堆晶结构(正堆晶结构,补堆晶结构等),而在花岗岩中主要是共结结构,见不到上述堆晶结构。于是,经过实践的检验和证伪表明:在上述三段论中,三段论 1 正确,三段论 2 不正确。

三段论法适合玄武岩,不适合花岗岩,原因在于大前提概念不清。玄武岩能够发生分异和演化是客观的事实,是真理,虽然这个真理是相对的,是有条件的,条件就是岩浆的黏度不能太大。玄武岩和花岗岩都是有黏性的,只不过黏性大小不同而已。于是,上述三段论应当进行修改,如何修改?将原来的三段论 1 修改为三段论 3:

黏性低的岩浆能够分异和演化,玄武岩是黏性低的岩浆,所以玄武岩能够分异和演化(三段论 3)

玄武岩符合上述大前提的条件:玄武岩是黏性低的岩浆,所以结论正确。

对于花岗岩来说,应将原来的三段论 2 修改为三段论 4:

黏性低的岩浆能够分异和演化,花岗岩不是黏性低的岩浆,所以花岗岩不能够分异和演化(三段论

4)

或修改为三段论 5:

黏性低的岩浆能够分异和演化,花岗岩是黏性高的岩浆,所以花岗岩不能够分异和演化(三段论 5)

在三段论 4 和 5 中,花岗岩这个小前提(黏性高)不符合上述大前提(黏性低)的条件,因此,“花岗岩不能够分异和演化”的结论正确,而花岗岩“能够分异和演化”的结论则不正确。

在这里,关键不是三段论法有什么对或错,而是由三段论法得出的结论还需要经由实践的检验来判明。

但是,三段论 2“岩浆能够分异和演化,花岗岩是岩浆,所以花岗岩能够分异和演化”的结论已经深入人心,许多人信服这个推理,想不到这个结论还需要经由实践来检验,想不到花岗岩的分异还与岩浆的粘性有关,想不到花岗岩分离结晶还需要有相应的堆晶岩。因此,花岗岩能够结晶分离的概念还十分流行,虽然实践已经证明上述三段论 2 应当予以修正了。

上述实例说明,演绎法是否正确,主要取决于大前提,大前提如果错了,结论必错。花岗岩理论的错误,看来,是与没有正确使用演绎法有关。

2 归纳法

2.1 什么是归纳法?

归纳法是培根(Francis Bacon 1561—1626)提出来的。培根认为,知识的增长是建立在归纳的基础上的,归纳感性的经验,并将其由特殊上升到一般的科学理论。休谟(David Hume, 1711—1776)不同意培根的见解,休谟认为,归纳在逻辑上是不能成立的,此即著名的“休谟问题”。归纳法的不完全性,是因为人们的经验总是未完成的,而且永远没有完成的那一天。归纳法是从个别事实概括出一般原理的思维方式,以因果关系作为推理的依据。归纳的前提和结论之间的联系不是必然的,由于归纳不可能穷尽所有的个别,因此,结论未必正确。

培根创建了归纳法,却强烈反对演绎法,认为演绎法不可能带来知识的创新。休谟和波普尔都强烈反对归纳法,认为归纳法不科学,为此,波普尔提出了与归纳主义相反的证伪主义方法作为知识增长的新模式。

波普尔对归纳法持否定的态度,他认为归纳是

以过去的事情来证明未来,但是,过去不能证明未来。例如学术界经常提到的白天鹅问题,不论我们观察到多少只白天鹅,成千上万都行,但是,却不能够据此得出结论:所有的天鹅都是白的。因为,如果我们只要发现了一只黑天鹅,就可以否定“凡是天鹅都是白的”命题。而这个方法是地质研究中经常采用的方法,大家可以回忆一下,我们的许多研究是否都是在做这件事情,根据几个地方的研究结果,就推导出一般性的结论,这是典型的归纳的方法,殊不知这是波普尔所反对的,是极不靠谱的,是违反逻辑的。

2.2 地质研究中的归纳法

地质研究基本上采用的是归纳法,如 Pearce 等提出的玄武岩构造环境判别图(Pearce and Cann, 1973; Pearce and Norry, 1979; Pearce et al. 1984 a, b; Wood, 1980; Shervais, 1982)。他们根据对若干地区的详细研究,对部分元素之间因果关系的推演,采用经过挑选的数据,用统计学方法归纳得出的数据分布范围,构建了若干玄武岩构造环境判别图。这个结果属于归纳法中的“简单枚举法”,其结果只能说明这个结论在 Pearce 等采用的数据产地范围内是可靠的,有效的。它只能说明过去,不能预测未来。但是, Pearce 等的研究结果(几百个数据或几千个数据)却被作为判别图来使用,将其应用于世界其他地区,使其具有全称命题的作用。不仅如此,还将其应用于远古时代,从逻辑上更是不合理。因为,从空间上讲,你无法穷尽所有的玄武岩;从时间上讲,更不能穷尽将来要出现的玄武岩。因此,从若干地区归纳的结果不可能解释全球范围内出现的数据,局部不可能包括全局。而应用于古代依据的是“将今论古”的原则,这个原则其实也是没有经过证伪的,仍然属于猜测或猜想。将今论古可以论到多远?可以论到元古宙、太古宙吗?没有人能够说得清楚。其实 Pearce 等的原始的判别图也没有经过证伪,其本身仍然属于猜测,还算不上是理论。归纳是从个别到一般,个别没有经过证伪,本身就不一定正确,一般就更说不清了。因此,采用判别图判别未知,出现越来越多的矛盾就不足为奇了,判别图被冷落也是理所当然的。但是,由于没有开发出更好的方法,判别图仍然在被广泛使用,如此研究,以讹传讹,导致更多的错误结果也是必然的。

MORB 也一样,学术界根据对全球许多地方的大洋中脊深海钻探采样分析结果归纳出来的 MORB

标志 (Pearce et al., 1984 a; Saunders et al., 1988; Workman and Hart, 2005), 是许多观察积累的结果, 然而再多的积累也不可能归纳出全称理论, 即具有全球性意义的、全局性的理论。正如波普尔说的:“从逻辑的观点来看, 无论从多少个别的陈述中都不能推导出一般陈述来, 因为这种方法得出的结论总有可能是错误的”。什么是 MORB? MORB 有两个显著的特征: (1) Th 和 Ta 的含量接近, Th/Ta 比值接近 1; (2) REE 具平坦型分布。在人们的概念里, 一提到 MORB, 就是洋中脊玄武岩, 就是蛇绿岩, 这几乎成为不需要思考的联想了。MORB 是在什么条件下形成的呢? 按照学术界的认识, 源岩是原始的或略亏损的地幔橄榄岩, 在较低的压力下, 中等至高的部分熔融程度的条件下所形成的玄武岩就是 MORB。洋中脊扩张中心具备这个条件, 于是洋脊玄武岩绝大多数是 MORB, 包括 N-MORB 和 E-MORB。但是, N-MORB 并不仅限于洋中脊, 在大火成岩省也可以出现, 在洋底高原也可以出现。例如世界上最大的 Ontong Java 大火成岩省 (洋底高原) 就有许多 N-MORB, 与造山橄榄岩伴生的 MORB (N-MORB、P-MORB、E-MORB) 则更是常见。地幔橄榄岩的成分是比较一致的, 虽然也有变化。因此, 不论什么成分的地幔岩, 无论什么地方的地幔岩, 部分熔融形成的玄武岩主要只有 MORB 和 OIB 两类。地幔浅部, 亏损地幔或弱亏损地幔, 部分熔融程度中等至较高的情况下, 形成的是 MORB; 深部地幔, 富集地幔或部分熔融程度很低, 形成 OIB。洋壳下是这样, 陆壳下也是这样。因此, MORB 并非洋中脊的专属岩石, 不是见到 MORB 就是洋中脊, 就是蛇绿岩 (张旗, 2021 b)。可见, 人们当初按照归纳法得出的 MORB 来自大洋中脊的认识是对的, 但是, 这个正确是有条件的, 即有限的, 需要证伪的, 是猜测而不是理论。经过反反复复的证伪、反驳、批判、试错之后, 结果表明: (1) 来自大洋中脊的玄武岩成分更多样, 并不统统是 MORB; (2) MORB 可以出现在各种各样的构造背景, 不限于大洋中脊。因此, MORB 的理论就需要修改了, 早先的猜测就错了。按照证伪之后的认识, MORB 没有任何构造环境指示的含义, 不能见到 MORB 就认为是大洋中脊, 是蛇绿岩了。早先认为 MORB 产于大洋中脊, 为蛇绿岩的标志, 这是观察的结果, 没有错误, 错误在于把有限当成了无限, 把局部推广到全局。现在, 经过证伪之后, 认为 MORB 没有指示大洋中脊的见解才是可靠的理论, 是更加逼近真理的理论 (张旗, 2021 a)。

3 证伪法

3.1 什么是证伪法?

在波普尔的知识增长理论中, 证伪具有极其重要的地位, 而我们的科学研究却喜欢证实, 很少运用证伪。按照波普尔的理论, 科学研究不经过证伪这一环节, 理论永远达不到理论的高度 (波普尔, 1959)。

证伪和证实本质上是不同的。证实是建立在归纳法基础上的, 它通过大量的事实来归纳证明一个理论的正确性。在实证主义看来, 科学知识的客观性是建立在科学知识的可证实性的基础上的。对科学知识的客观性追求首先要保证科学知识是可证实的, 不可证实的知识不是科学的知识。实证主义所说的证实是经验的证实, 实证主义认为, 自然科学从可确认的经验出发, 通过中立的没有偏见的观察、实验, 并经过逻辑推导, 排除了任何人为的主观因素, 由此获得的知识是与自然本来面目一致的, 是客观真实的。由于经验的可检验性和可靠性保证了科学命题的真理性, 而逻辑推理则保证了思维的真理性, 而来源于单纯的无偏见的观察以及建立在清楚明确证据之上的知识, 是对外部现实精确的反映, 被认为理所应当是客观的 (波普尔, 1959)。

波普尔认为, 理论的真正检验不在于证实它, 而在于证伪 (证伪) 它。波普尔认为, 从逻辑学角度看, 不可能证明从单称陈述 (不管它们有多少) 中推论出全称 (全局、全部、所有) 陈述是正确的。例如不管我们观察到多少只白天鹅也不能证明所有的天鹅都是白的。从经验出发得出的理论不能称为理论, 这在逻辑上是不可能。理论在经验上是不可证实的, 因为, 我们只要找到一个相反的事实, 就可以证伪一个全称的命题。例如我们只要发现了一只黑天鹅, 就可以证伪“凡是天鹅都是白的”命题。由此, 波普尔提出应当用证伪来作为科学的判据。他指出: 一个命题, 一个理论, 如果可以被证伪, 那么它就是科学命题或理论, 相反, 如果不可能被证伪, 它就不是科学 (波普尔, 1963; 舒炜光, 1981; 郭婉绯, 2008)。波普尔强调, 任何一种科学理论都只不过是某种猜想或假设, 其中必然潜伏着错误, 即使它能够暂时逃脱实验的检验, 但终有一天会暴露出来, 从而遭到实验的反驳或“证伪”。科学就是在这样一个不断地提出猜想、发现错误而遭到证伪、再提出新的猜想的循环往复的过程中向前发展的。科学不是没有错误的理论, 科学也包含错误, 要经受经验和实践的检验。这不是科学的缺

点,而恰恰是它的优点,它的力量之所在。或者说,“可证伪性”正是科学之所以为科学的标志。宗教、神学和一切形而上学都不具备这一优点。这就是“证伪主义”的实质和原则(波普尔,1972)。

波普尔认为:“衡量一种理论的科学性就在于他的可证伪性,或可反驳性,或可检验性。”波普尔(1972)指出,一个科学理论内容越丰富,它被证实的概率就越小,被证伪的可能性就越大,接受的检验就越严峻,对世界的说明就越深刻越全面,因此就越接近真理。因此,应当以可证伪性程度作为评估科学理论的标准,即科学与非科学的界限在于他们是否具有可证伪性,而不是正确理论与错误理论之间的界限。一个命题理论具有被证伪的可能性就是科学的,反之,不具有被证伪的可能性的就是非科学的。波普尔由此对实证主义进行了尖锐的批评。

证伪主义至少有两个优点:一,科学理论的表达一般为全称判断,而经验的对象是个别的。所以,经验如果用来证实理论,那么它将是无法穷尽一般的理论的。例如,再多的白羊也不能证明所有的羊都是白的,而只要有一只黑羊就能证明所有的羊都是白的这个理论是错误的。所以,经验的真正意义在于可以证伪科学理论。二,证伪主义可以避免对错误理论的辩护和教条。如果坚持实证主义,那么一旦出现与理论相悖的经验,人们便会做出特殊的设定或限制以使得理论能满足经验。但实际上这样的设定往往是极不科学的(波普尔,1972)。证伪主义使人们相信所有的科学都只是一种猜测和假说,它们不会被最终证实,但却会被随时证伪。证伪主义采用试错法,这是指人们应该大胆地提出假说和猜测,然后去寻找和这一假说不符合的事例。根据事例对假说进行修正,不断重复这一过程,乃至将最初的假说全盘否定。试错法对理论的修改和完善是没有止境的,试错法的结果只能是一个较好的假说,但不是最好的假说。最好的假说是终极真理的代名词,和科学精神是相悖的。波普尔科学哲学核心在于,一切理论和原则都可以被证伪,而经验虽然不是知识的来源和基础,却是检验知识的标准(波普尔,1972)。

波普尔相信,科学在本质上是批判的,科学允许大胆的猜测。科学的批判性源于科学方法的批判性,科学的方法就是批判的方法。而否定性是科学方法的实质,科学方法理论的核心在于证据的否定说,即证伪说。所谓证据的否定说,表明证据不是用来支持一种假设的,而只是用来反驳一种假设的。这是证伪比证实无比深刻的哲学表现(波普尔,1972)。

科学需要证实,但不是依靠归纳而是依靠证伪。通过证伪,通过否定达到肯定,通过证伪来实现“证实”。通过对科学理论中虚假性内容的证伪获得了对真理性内容的“证实”。例如关于北方造山带的研究,已经取得了许多成果。就北方造山带演化来说,主要存在两种学术观点:一种是主张古亚洲洋是早石炭世以前闭合的,另一种主张洋盆闭合在早二叠世以后。双方争论不休,谁也不服谁。按照科学研究的规律,持第一种见解的人应当全力以赴地去否定自己的主张,多方寻找对自己不利的证据,一个一个证伪这些所谓的证据,这样,第一种见解才能立起来。同样,持后一种见解的人也不能千方百计地去维护自己的见解,而是要千方百计地去否定自己的见解,去一个一个驳斥对方的见解,这样,后一种见解才能成为理论,才能尽可能的接近真理,接近实际。早二叠世北方造山带最后闭合的理论实际上遭遇过不少反驳,如果上述反驳统统失败了,则古亚洲洋在早二叠世时闭合才是合适的、接近真实的理论。同样,早石炭世洋盆闭合也遭遇过不少反驳,只有所有的反驳统统失败了,早石炭世洋盆闭合的理论才可信。没有经历过反驳的理论是经不起推敲的,只是猜测,猜想。因此,关键的问题是证伪和反驳。不如此,科学谈不上进步。科学研究中不可否认是有许多虚假性内容的。

3.2 量子纠缠理论是证伪的结果

量子纠缠理论很难理解,玻尔和爱因斯坦为此争论了几十年,直到两位大师逝去仍然各持己见。量子纠缠理论是必须用实验来验证的,这就是为什么诸如玻尔、爱因斯坦等这些伟大的理论物理学家都非常热衷于提出一个又一个思想实验的原因。量子纠缠态近年来宏图大展,也是以实验中的不断突破为基础。这个突破起始于英国物理学家约翰·斯图尔特·贝尔(John Stewart Bell,1928—1990),他用著名的“贝尔不等式”将EPR佯谬中的思想实验推进到一个切实可行的物理实验中去,才使得争论了几十年的量子理论尘埃落定(张天蓉,2014 a,b,c;2015)。殊不知这个实验其实是一个采用证伪的方法提出来的,量子纠缠也因为这个实验而一举成为物理学界最著名、最完美的理论。

贝尔是研究与加速器设计工程有关的工作的,他的专业离理论物理,特别是量子论的理论基础研究相距甚远。虽然他有兴趣于理论物理学,但也只能利用业余时间来做研究,而正是由于这一业余研究

使贝尔青史留名。贝尔在感情上更偏向爱因斯坦,他相信爱因斯坦的观点是对的。因此,贝尔下决心要用实际行动来支持伟人爱因斯坦,要研究量子理论中潜藏着的隐变量问题。他在研究中发现了前人在隐变量计算方面的一个错误,从而创新了量子纠缠的理论,希望以此来支持他的偶像爱因斯坦,企图将量子物理的图像搬回到经典理论的大厦中去,不过,他万万没料到,他最终是帮了爱因斯坦的倒忙,反过来证明了量子力学的正确性(张天蓉,2015)。

贝尔考察了量子力学能否用局域的隐变量理论来解释的问题并最终提出了贝尔不等式:

$$|P_{xz}-P_{zy}| \leq 1 + P_{xy}$$

上述不等式是贝尔应用经典概率的思维方法得出来的,这个不等式就为判定 EPR 和量子力学谁对谁错提供了一个实验验证的方法。实验的结果可能存在两种情形:遵循贝尔不等式或不遵循贝尔不等式。如果遵循贝尔不等式的话,那就万事大吉了!爱因斯坦的预言就实现了。另一种情况,量子现象不遵循贝尔不等式,也就是说,不能简单地用隐变量的理论来解释量子现象。贝尔定理和贝尔不等式被誉为“物理学中最重要的进展”之一。

其后,有一位年轻人克劳泽(John Clauser),他决定用实验来测试贝尔不等式和 EPR 佯谬,克劳泽及其合作者成为贝尔不等式实验验证的第一人。克劳泽也是爱因斯坦的崇拜者,他希望用他的实验来支持他心目中伟大的导师,可是,他的实验结果却打破了他的幻想,他不甘心,反复实验,却每一次结果都事与愿违,证明爱因斯坦错了,玻尔对了。克劳泽的实验成功了,对量子理论做出了不可磨灭的贡献,可是他却高兴不起来,他写道:他“试图推翻量子力学的妄想被实验数据击得粉碎”。他的实验证实了量子理论对贝尔不等式不成立的预言,在他的实验中,量子理论经受住了最严峻的挑战(罗森布鲁姆和库特纳,2013)。十年后,法国的阿兰·阿斯帕克特(Alan Aspect)升级了克劳泽对贝尔不等式的检验,弥补了克劳泽实验的漏洞。至此,量子力学大获全胜,量子力学经历了千千万万次实验的检验,其实就是证伪,且没有一次失败的经历。量子力学获得了惊人的成功,量子力学的理论预言没有一项是错的(罗森布鲁姆和库特纳,2013)。

量子纠缠的上述曲折的历程告诉我们:1,量子纠缠理论的确伟大,因为它经历了千千万万次证伪的检验却没有一次失手,说明证伪是使科学研究立

于不败之地的最好方法;2,爱因斯坦的失败是他坚持决定论的结果,而决定论与量子纠缠是不相干的。在这个世界上,不确定性才是科学的本质,量子纠缠是不确定性的最好体现。3,虽然爱因斯坦在量子纠缠上马失前蹄,但是,爱因斯坦仍然是国际上最伟大的科学家,没有之一。

4 大数据法

4.1 什么是大数据法?

什么是大数据?这是个并不复杂的问题,而对于地质来说却是一个至关重要的问题。因为有些人认为,大数据就是数据量大,地质没有那么多数据,地质很难开展大数据研究,因而大数据研究在地质领域步履蹒跚。按照笔者的理解,大数据应有广义与狭义之分:狭义的大数据通常用来描述数据集足够大,足够复杂,以致很难用传统的方式来处理。狭义的大数据以 4V 特点为标志。4V 一是数据量大(Volume),二是数据类型多(Variety),三是价值密度低(Value),四是速度快时效高(Velocity)。数据量大,需要云计算,一般计算机做不了。4V 的门槛很高,按照 4V 标准,地质、岩石、地球化学、矿床很难入大数据的法眼。因为全球几十年积累的数据充其量仅几十万,几百万个级别,而大数据的门槛是 TB 级(1 TB = 1 024 GB = 1 024 × 1 024 MB = 1 024 × 1 024 × 1 024 KB = 1 024 × 1 024 × 1 024 × 1 024 Bit,相当于万万亿个数据量),地质数据差之何止千万里。

什么是广义的大数据?符合大数据 3 个技术取向的、采用全数据模式的、从数据出发的研究是大数据研究。大数据的 3 个技术取向是:重全体不重抽样,重效率不重精确,重关联不重因果。按照上述标准,地质是能够运用大数据方法进行研究的。

路来君教授指出,大数据是人类测量的符号表达,是人类在现有技术条件下描述一切目标属性的集合,是对复杂系统全部观测的符号集合。也就是说,一个复杂系统包括了各种子系统或者要素,大数据涵盖了这些子系统或要素观测的各种符号,诸如,长度,面积,重量,颜色,导电性,磁性,味道,声音等。这些刻画符号的全体集合称为大数据,大数据一定对应着复杂系统(路来君,私人通讯)。

4.2 全数据模式

全数据也称全样本。舍恩伯格在《大数据时代》

一书中指出,大数据获取的不是随机样本,而是所有数据,即“全数据”。何谓“全数据”?“全数据”指可显现且能被数据化的“事物”。“事物”是纷繁复杂各不相同的万事万物的总名,它既包括实体性的物,也包括具有关联性、时间性的事。因此,大数据不等于“全数据”(杰夫,2013)。例如对一个斑岩铜矿,我们可以收集这个斑岩铜矿所有的资料,包括地质、物化探、遥感、钻探、勘探以及采选冶等数据进行大数据研究,必然可以对该斑岩铜矿得出一个全新的认识。但是,结论仅限于该斑岩铜矿,不可能推及其他斑岩铜矿。而只有对全球所有斑岩铜矿进行了研究,才能称得上是全数据。因此,大数据与全数据是两个不同的概念。

2013年谷歌根据大数据方法预测了当年流感类疾病的故事大家都熟悉。2014年,Laser等人在《科学》杂志上发表了一篇评论文章,指出谷歌流感趋势预测失真,引起了学术界的思考与警惕。Laser等人在分析了造成谷歌流感趋势预测失真的原因后指出,鉴于大数据所面临的各种危机和挑战,在当下我们应该聚焦于“全数据革命”而不是“大数据革命”。全数据革命的核心思想是:创新性地分析从所有传统和新媒介获取的数据,以更为深入透彻地理解世界。而“全数据革命”的核心在于以巨延性的“大认知”代替“大数据思维”。广义上,“大认知”指的是一种大大超越人类认知极限的、以理解世界整体为最终目的的巨延性概念化活动。狭义上,其指的是一种大大超越人类认知极限的、以理解某个特定区域(如国家或者地区)或者领域(如某一行业或者某一专业领域)之方方面面为最终目的的巨延性概念化活动(王馥芳,2015)。Laser指出,“大数据思维”本质上是“技术性思维”的互联网化,主要试图利用机器的无限运算以及多元回归能力完成数据的模式化分析。但此概念的认知陷阱在于:错把技术性思维当成思维的全部(王馥芳,2015)。或许正是在此意义上,全球数据库技术专家宝立明(Stephen Brobst)在2018年发表的演讲“数据分析的未来”中指出,应以全数据思维取代大数据思维,因为“未来,大数据这个词或许会消失,取而代之的是数据或所有数据(全量数据),但数据分析会一直存在”(杰夫,2013)。

全数据并不神秘,舍恩伯格指出,全数据模式即“样本=总体”。因此,所谓“全数据模式”即是将与该问题相关的数据一网打尽的方法。全数据模式可以把问题刻画得更精细、更全面,不需要以点带面,

以典型带一般,也不需要以局部代全部,而是系统、全面、整体地刻画和解决问题。因此,这是一种真正的整体论,是一种数据化的整体论,这种整体论是可操作、可计算、可建模的,符合现代科学范式,可称为大数据整体论(黄欣荣,2016)。

人们认识事物都是从具体事物开始的,但是,大数据不是。大数据是从数据开始的,如果采用全数据模式,则是从全体数据而不是从具体数据(抽样数据)开始的。例如玄武岩研究被捧为经典的玄武岩构造环境判别图理论就是从抽样数据开始的,经过Pearce等许多学者的努力,采用上个世纪晚期的许多典型地区的若干数据,给以一定的理论解释,因果关系的解释,就被全球大多数科学家接受了。但是,当我们把几十年来积累的全球全部数据投进上述判别图时,上述判别图无一例外地崩溃了,失效了,说明抽样研究的结果经不起大量数据的检验的(张旗等,2020)。于是我们采用全数据模式,尽可能地一网打尽全球MORB(大洋中脊玄武岩)、IAB(岛弧玄武岩)、OIB(洋岛玄武岩)数据(注:严格说,仅相当于接近全数据模式),采用大数据统计方法,从几十万对关系中提炼出几对、十几对、几十对关系,构建了新的玄武岩构造环境判别图,取得了很好的结果(王金荣等,2017;张旗等,2020)。Zhang et al. (2021)等通过对全球碱性岩的数据分析发现,太古宙、古生代、中生代碱性岩分布很少,元古宙有一些,新生代最多。上述结果如果是采用抽样的方法是很难发现的,这就是全数据模式的优势。

上述实例说明,地质缺乏基本的数学基础是要犯大错误的。其次,抽样数据在大多数情况下是不足取的。地质需要大数据,尤其全数据。典型研究在许多情况下固然很好,但是,这是归纳的方法,其结论有局限性。而全数据模式的方法虽然很难达到真正的全数据,但是,全数据也并非抽样意义上的相对真理。全数据模式模糊了相对真理与绝对真理的概念,是科学哲学观一个显著的进步(张旗和周永章,2017,2018)。

4.3 大数据模糊了相对真理与绝对真理的关系

相对真理与绝对真理的关系哲学界讨论了上千年了。波普尔不赞成绝对真理的说法,按照不确定理论,绝对真理是不可能达到的。波普尔甚至认为,“达到”不可能,“接近”也不行,只能“逼近”(波普尔,1963,1987)。人们只能尽可能地逼近真理,还不是逼近绝对真理。此外,他还提出了一个“逼近度”的概

念,即在追求逼近真理的过程中,不同的认识,不同的争论只是逼近真理的程度不同而已。

波普尔对绝对真理和相对真理的见解带给哲学界一股春风,而真正解决这个问题的是大数据,是全数据模式。如前所述,相对真理之所以是相对真理,是因为人们的认识是有局限性的,是因为人们只能采用小数据,只能采用抽样数据进行分析,这样得到的真理只可能是相对真理。而大数据,则是在全数

据、全样本的基础上进行分析的,得到的结果自然是高度逼近真理的。在全数据模式下没有相对真理这个概念,也不可能达到绝对真理,没有了相对真理,绝对真理也就不存在了,因为没有了立面。因此,大数据颠覆了绝对真理与相对真理的概念,是哲学理论的极大的进步。

例如玄武岩判别图,图 1 是文献中经常采用的判别图 (Mullen, 1983;Pearce, 1982;Shervais, 1982;

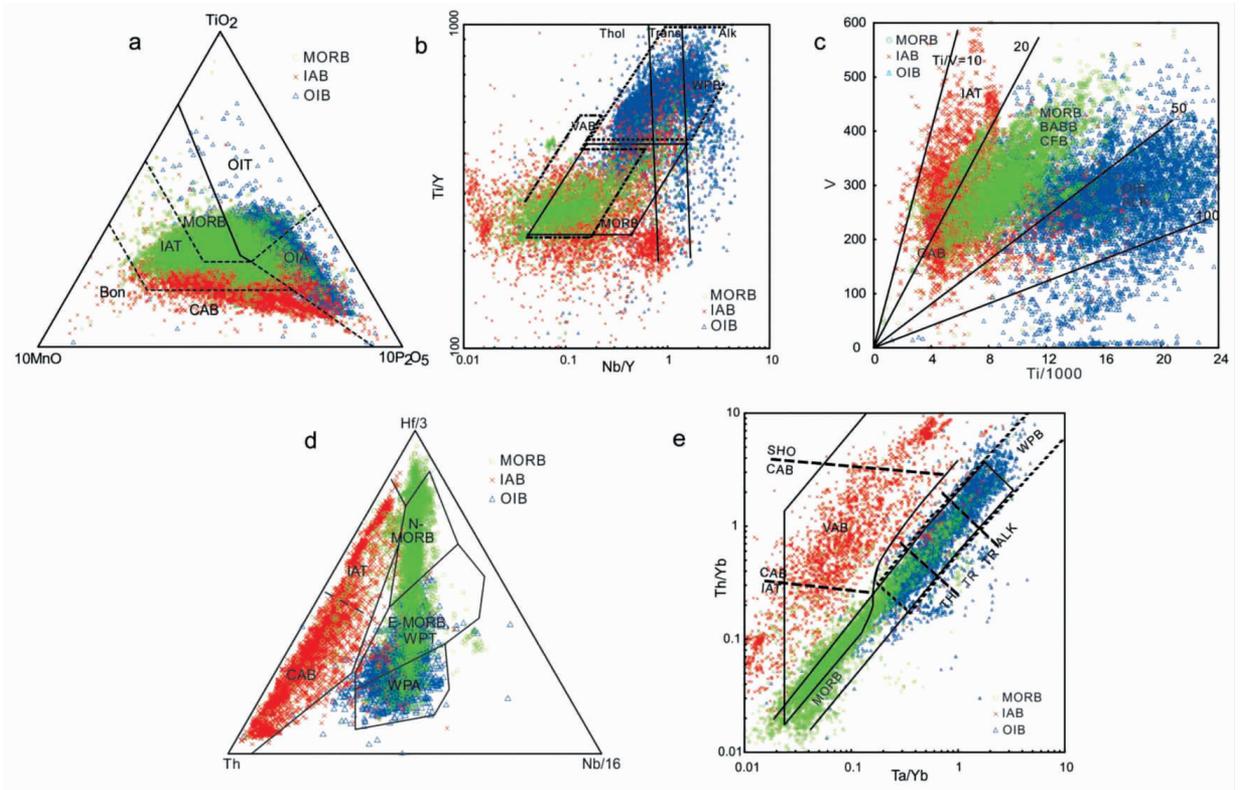


图 1 文献中常用的若干玄武岩构造环境判别图

Fig. 1 Some discrimination diagrams which were usually adopted in geological literature for tectonic environment of basalt A-TiO₂-MnO-P₂O₅图(Mullen, 1983);B-Ti/Y-Nb/Y图(Pearce, 1982);C-V-Ti图(Shervais, 1982); D-Ta-Th-Nb(Ta)图(Wood, 1980);E-Th/Yb-Ta/Yb图(Pearce, 1982)

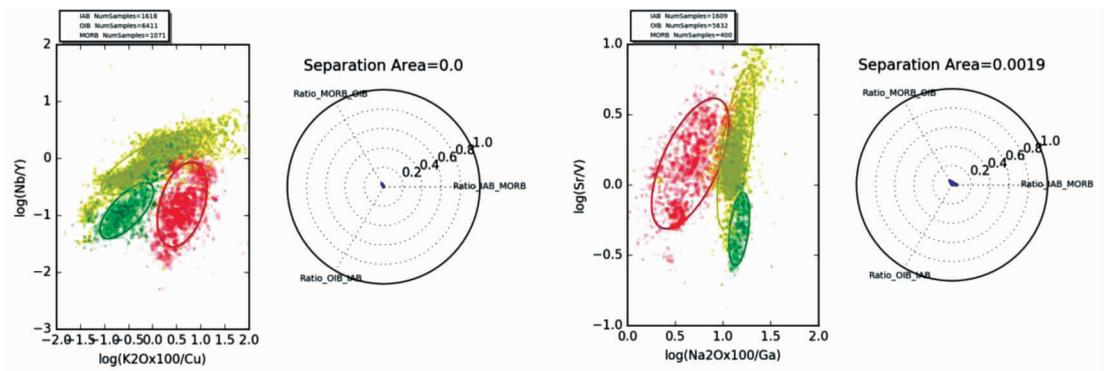


图 2 玄武岩构造环境判别图 (张旗和周永章,2017)

Fig. 2 Discrimination diagrams for tectonic environment of basalt Nb/Yb-K₂O/Cu(左图)和Sr/V-Na₂O/Ga(右图)图

Wood, 1980),图2是大数据方法得出来的(张旗和周永章,2017)。

对比图1和图2可以看出:

(1)图1是根据抽样数据得出来的,属于相对真理的范畴;图2是按照全数据模式得出来的结果,具有全称陈述的含义,图1逼近真理的程度显然不如图2。

(2)图1的Nb/Y、Ti/V、Ti/Y、Th/Ta、Ta/Yb、Th/Nb、Ti-Mn-P是根据因果关系得出来的(Mullen, 1983; Pearce, 1982; Perace et al., 1984; Shervais, 1982; Wood, 1980; Rollison, 1993)。图2给出的是K/Cu、Na/Ga、Nb/Y、Nb/Y之间的关系,其中Nb/Y是因果关系;Sr/V也可能有因果关系,但是,尚未得到证明。其余K/Cu和Na/Ga为相关关系,尤其K/Cu,一个是主元素,一个是亲铜元素,二者之间不可能存在因果关系。

(3)图1来自抽样数据,基于因果关系,得到的结果效果较差;图2来自全球数据,挖掘的是相关关系,效果很好。

由于因果关系已经深入人心,学术界基本上认可因果关系而不认可相关关系。认为因果关系比相关关系好。但是,从实际效果上说,相关关系不一定比因果关系差,甚至比因果关系效果还要好,如图1与图2的对比。

4.4 从因果关系的中桎梏中解脱出来

我们做研究,喜欢追求因果关系,这是归纳法的特征,是近代科学的思维定式。本文上面讨论的演绎法和归纳法都是以因果关系作为准则的。地质学对因果关系的追求俨然已经成为一个永恒的主题了。如构造成因、玄武岩成因、花岗岩成因、地幔成因、变质岩成因、沉积成因、风成成因、水成成因、矿床成因、地球化学成因等等(张旗等,2018)。但是,在地球科学领域追求因果关系却格外困难,这基于下面几个原因:

(1)地质现象揭示的不完整。地质是一个巨复杂系统,是一个三维时空演变的综合体,而一般情况下我们只能看见它出露于地表的平面二维表象,依靠地球物理探测和钻探才能略微了解一些立体的三维的状态。况且地质还有一个随时间演化的问题,这就是四维了。对于四维,学术界有一个将今论古的原则,但是,这个原则可以应用到什么时候也是一个没有解决的问题。因此,雷援朝(1988)在讨论地质思维及其特点时提出了一个“黑箱”理论。他认为,地质思

维是人脑与地质体相互作用的过程中对客观地质现象概括的、间接的反映,这是一个“黑箱”问题。地质学是研究地质历史的一门科学,地质历史本身也是一个“黑箱”,而作为具体研究对象的任何一个地质历史时期中的地质现象或地质事件同样也是一个黑箱(雷援朝,1988)。看来,地质研究就是黑箱对黑箱,这是地质具有不确定性的根本原因。

(2)因果关系是有严格界定的,因果关系也不一定是一对一的关系,一个原因对一个结果,在许多情况下可以是一因多果,也可以是一果多因。

例如一个矿床,它的成因就非常复杂,矿床形成本身就是一个四维时空的问题,许多地下深部的情况都不清楚,含矿热液是怎么演化的也知之甚少。矿床形成还与构造、岩浆、流体、地层、围岩、温度、压力、氧逸度、氧化还原条件以及地下水等有关,成为一个实实在在的、多维的、不确定的复杂体系。在这种情况下得出的矿床成因、成矿模式很多是猜测。

又如在地球化学研究中对于Th、Ta两个元素行为已经做了详细的研究,根据岛弧玄武岩 $Th > Ta$ 的特征,认为其原因是与板块俯冲有关:板块俯冲带来水,水带来了LILE, Th是LILE,故Th增加了;而岛弧与洋中脊玄武岩的对比发现Ta是亏损的,于是岛弧环境的玄武岩就产生了 $Th > Ta$ 这个结果。于是 $Th > Ta$ 的因果关系就确定了,许多学者就利用这个关系厘定了许多玄武岩构造环境判别图,其判断构造环境的理论依据就有了(Pearce, 1982; Perace et al., 1984; Wood, 1980)。实际上, $Th > Ta$ 的原因不止板块俯冲一个原因,还有很多原因可以造成 $Th > Ta$ 的结果,如源区背景、岩浆演化、混合、混染、交代以及不同温压条件下含ThTa矿物分配系数的变化等,都可能造成Th、Ta含量的变化。不考虑其他原因,单独强调某一个原因,会导致结论错误的。在这里, $Th > Ta$ 是果,这个果是多因的,是典型的一果多因。

(3)过分追求因果关系是科学研究的一个陷阱。现代科学的发端之一是逻辑学,逻辑学的基础就是因果关系。有因必有果,有果必有因;离开了因果关系,人们似乎就无所适从了,这就导致人们在科学实验中过分追求因果关系的倾向(张旗等,2018)。例如在花岗岩研究中,人们发现具有侵入特征的若干淡色花岗岩与高级变质(麻粒岩相或榴辉岩相)的围岩具有相似的同位素特征,即推测围岩麻粒岩或榴辉岩与淡色花岗岩具有因果关系,围岩是花岗岩的源岩,这是根本不可能的。早先的玄武岩构造环境判别

图几乎都是按照因果关系的思路设计的,虽然取得了一定的效果但并不完善(张旗和周永章,2017,2018;张旗等,2018,2020)。

(4)大数据提升了相关关系在科学研究中的价值和地位。按照逻辑思维的观点,人们追求因果关系是正确的。大数据发现相关关系也非常重要,我们可以不知道因果关系,知道相关关系就可以产生价值。大数据放弃了对因果关系的追求,是对因果关系的真正超越(江大白和徐飞,2016;黄欣荣,2016)。在大数据时代,我们不必强调现象背后的原因,知道是什么就可以了,没必要知道为什么(黄欣荣,2016)。在大数据以前,人们认识世界主要依靠经验和实验,大数据提供了一个认识世界的新途径:数据。大数据是让数据发声,大数据最重要的特征是挖掘数据之间的相关关系,不再一开始就把关注点放在因果关系上(江大白和徐飞,2016;黄欣荣,2016)。从哲学层面上分析,大数据方法的本质即是用海量数据代替少量样本,用混杂数据代替精确数据,用相关关系代替因果关系。由此引发的宏观性和直接性是传统的认识方法所难以完全替代的(江大白和徐飞,2016)。

例如太阳出来了,鸟儿出窝了。太阳出来在前,鸟儿出窝在后。但是,太阳出来与鸟儿出窝之间不存在因果关系而是相关关系。例如大数据初期耳熟能详的“啤酒与尿布”的故事。啤酒与尿布没有任何因果关系,但是,它们在一定条件下存在相关关系,利用这个相关关系,可以产生经济效益,这就足够了。

矿床研究也如此,矿床学的核心是找矿,不是成因。矿床来自含矿热液,因此,成矿主要与流体有关,例如钨矿一般来源于含钨的热液(可能有一部分来源于围岩等),这个可能是因果关系,其他构造、岩浆、围岩、地下水等等可能都是相关关系。查明上述关系对找矿是有用的,这是矿床学研究的重点。其次,地下矿床在哪里?如何发现矿床的迹象?从这个角度,找矿就是一个信息问题。信息找矿说白了就是寻找和识别由不同的矿床发出来的各种信息,发现信息与矿床之间的相关关系。为此,发展深部探测技术是关键,物化探、遥感是大家熟悉的,目前需要大力开发的是量子精密测量技术与大数据找矿技术。笔者重视量子技术,目的也是想将量子技术应用于找矿(包括纳米技术找矿、量子纠缠找矿、量子信息找矿等),寻找矿床中可能显示的量子纠缠信息,发现并识别二者之间可能存在的相关关系。虽然目前还很困难,甚至是否可行都不清楚,但都值得研究和探索。

5 讨论

5.1 归纳法问题

归纳法存在不足是显而易见的,但是,如前所述,人们认识世界,从事科学研究离不开归纳。因为,人们的认识是从身边开始的。一个婴儿刚刚出世,他依靠什么认识世界,靠他的感官。他看见许多人在他眼前晃来晃去,又看见小猫小狗跳来跳去,于是在他的小脑袋中就有了一些印象,例如人,不论男人女人大人小人,统统有两条腿,而小猫小狗都是四条腿的。这是最初步、最朴素的归纳。这个归纳是对早先认识的一个最初的抽象。但是,后来观察的动物多了,发现鸟、鸡、鸭、鹅也是动物,也是两条腿的,而鱼、蛇却没有腿,此外还有更多腿的虾、蟹、蜈蚣、蜘蛛、蟑螂等,于是,用腿来区分人和动物就不行了。后来发现人可以说话,有语言可以交流,动物不会说话,似乎这个归纳可靠,殊不知鹦鹉也会说话,动物之间也可以有语言的交流……因此,无论怎样归纳,都不能达到一般的陈述。

我们研究矿床,你考察过100个,200个矿床,你也不能说你明白矿床是怎么一回事了。玄武岩和花岗岩构造环境判别图虽然是许多地区许多数据研究的归纳,但是,它远远不具有全称陈述的含义,是不足以作为判别图来去界定未知的数据的。我们从身边的研究一点一点地开始,即使你研究了一辈子,也不可能达到科学研究的真知。你看见了千千万万只白天鹅,也不能得出天鹅统统是白的结论。由于人的认识的局限性,导致人们对认识的归纳的不足。采用抽样数据永远不可能得到全称陈述的一般概念。因此,休谟和波普尔对归纳法的批评是对的,归纳具有天然的缺陷。

归纳既然具有天然的不足,然而人们又离不开它,怎么办呢?解决的办法有两条:

(1)承认归纳法的不足,把“从特殊到一般”修改为“从特殊到特殊”。例如,按照抽样数据得出的结果,不把它当成一般的结论,缩小它的哲学含义,认为仍然属于特殊的、局部意义上的结论。这相当于原地踏步,很难满足人们追求真理的意愿。

(2)另一种方法则是“从一般到一般”。前面的“一般”是指全数据,后面的“一般”是指具有全称陈述含义的结论。如何使前面的特殊变为一般呢?采用全数据模式是一个方法,即在开始研究一个问题时,不只关注自己所拥有的数据,而是在研究自有的数

据时加进同一领域同一类型的全部数据,相当于“特殊 + 全数据”的方式,把自己的数据融入到全数据中,作为全数据的一部分。从这样的起点开始的研究就不是从“特殊”开始,而是从“一般”开始了。由这样的“一般”开始的研究,归纳得到的“一般”,即具有全称陈述的含义。抽样数据的归纳达不到一般,而全样本数据,全数据的归纳即可达到一般。

“归纳 + 大数据”讲的是方法论,具体实施是“特殊 + 全数据”。因此,全数据模式即是这个方法的核心。

5.2 证伪比证实重要

(1)知识增长的四段图式。几百年来,学术界采用的认识世界的方法基本上是“实践-认识-实践”的理论。波普尔则提出了知识增长的另一个模式,即他发明的四段图式: $P1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P2$ 。其中 $P1$ 代表问题, TT 表示试探性理论, EE 表示试探性排除错误, $P2$ 代表新的问题(波普尔,1963)。按照波普尔的思想,知识增长是按照上述四段图式演进的,在上述图式中,证伪(EE)是知识增长过程的核心。 $P1$ 提出了问题,经过一段研究,归纳和演绎得出的认识是试探性理论(TT),但这仅仅是一个猜想(波普尔,1963;张鑫,2010)。为了证实这个理论(TT),我们不仅要正面去找证据,去证实这个猜想,更重要的是去证伪,去否定,去反驳这个猜想,从各个方面寻找不利于这个观点的证据,去一个一个否定这些证据,最后,这个猜测才能成为可信的理论($P2$)。如果不能否定对这个理论不利的证据,则这个猜测(TT)将被修改甚至被淘汰出局,让位于能够接近最可能被证伪的理论。这个理论被学术界广泛接受以后,又会提出新的问题, $P3, P4 \dots$ 从而引起新一轮的研究。

证伪比证实重要。例如你即使见到过千千万万只白天鹅,你也不可能得出天鹅都是白的结论。因为,一只黑天鹅即可推翻这个结论。因此,你如果费心尽力地去找白天鹅,还不如用这个力气去找黑天鹅,因为,再多的白天鹅都没用,而一个黑天鹅即足以说明问题。我们做科学研究,需要寻找证据,但是,如果只顾埋头寻找正面的证据,而没有从反面去反驳它,去找不利于这个理论的证据,再多的证据也不能得出具有理论价值的结论。

(2)中国科学需要证伪主义

从证伪主义方法论出发,波普尔提倡三种科学精神:敢于犯错误的精神,批判的精神和革命的精神

(波普尔,1963;郭婉绯,2008)。他认为,否定旧理论是产生和发展新理论的前提,科学家们应有敢于否定别人的理论的精神和勇于否定自己的理论的精神。

笔者认为,在科学研究中提倡批评精神是绝对必要的。科学研究是探索,探索必定会失败,世界上没有常胜将军,只有常败将军,经历过无数次的失败,总结失败的教训,才能最终取胜。猜测就允许失败,科学就是从不断地试错中发展的,证伪和试错才是彻底的无畏的批评精神,是一个杰出科学家必备的精神,最重要的品质。而中国传统文化则喜欢报喜不报忧,我们比较习惯于逻辑性思维而不习惯批判性思维。我们在研究中也很少采用证伪的方法,殊不知证实是不能解决问题的,科学是在证伪中前进的。

哲学不同于其他科学,哲学首先是批判的。哲学始于逻辑学,逻辑学始于辩论,辩论就是寻找对方的错误,就是尖刻的批判。无怪乎马克思说,他最喜欢的格言是“怀疑一切”了。因为,马克思真正明白了哲学的真谛。而中国人特别好面子,自己提出的见解和理论,深怕别人否定,认为批评就是让自己下不来台。因此,中国学术界很少批评,而是你好我好大家好,皆大欢喜。皆大欢喜做到了,可是,创新却没有。

按照笔者的理解,波普尔的全部科学哲学思想,波普尔一生对科学哲学最大的贡献,是推出了证伪主义的思想,将证伪提高到认识论的高度。证伪、批评、批判、否定、反驳、试错,是大家早已熟悉的,学术界经常采用的,否定之否定还是辩证法的三大规律之一,马克思甚至说过,要“怀疑一切”。哲学是从古希腊开始的,苏格拉底是哲学的鼻祖,苏格拉底最喜欢的就是上街找人辩论,辩论即批评、批判、反驳,是彻底的批评精神的体现。但是,把证伪提高到认识论的高度,提出证伪主义,则是波普尔的贡献。他无情地批判了归纳的错误,指出科学的本质就在于永无止境的探索,探索就需要证伪。科学犹如一个“探照灯”,它总是把探索的光柱投向遥远的未知国土(波普尔,1987)。科学,它总是在追求着,尝试着,寻觅着。科学从来不是、也永远不可能是完备的知识系统,它总是有待于改进、有待于完善的活的机体。探索的道路漫长而崎岖,人类的理性不可能保证每一次认识都正确可靠的。“科学是人类心灵的壮丽的探险。”(波普尔,1987)。在波普尔看来,科学本质上是革命的、批判的,任何形式的权威主义、教条主义不可调和的敌人。波普尔所描绘的这幅科学进化的

图景,一扫几十年来实证主义所散布的逻辑迷雾,使整个科学哲学呈现出一片生机,显示出人类理性的新的觉醒(纪树立,1981)。

5.3 人人需要大数据

波普尔的研究表明,归纳是存在问题的,任何归纳推理都必定是无效的。任何此类推理甚至连近似或部分有效都算不上,无论观察实例的数量多么巨大,因为,我们无法有效地从已知推理到未知,或从曾经推理到未经(波普尔,1983)。休谟发现了归纳法的错误,波普尔肯定了休谟的认识,批判了归纳法,波普尔是对的。问题是,波普尔否定了归纳法,但是,他并没有给出丢掉了归纳法之后人们如何认识世界的问题。如前所述,人们的认识离不开归纳,但是,归纳确实存在问题,那么,人们将何去何从呢?

解决归纳法的钥匙在哪里呢?笔者认为,大数据可以解决这个问题。可惜,波普尔没有活到大数据方法出现以后,波普尔于1994年去世,而“大数据”(big data)的概念最早出现于1998年(《科学》杂志刊载的《大数据的处理程序》一文)。大数据不同于早先的一切知识,大数据是一个新的科学范式,是科学研究从传统科学向数据密集型科学范式的转变,这个转变是科学发展史上巨大的质变和跃进。因此,大数据对哲学思想的冲击是石破天惊的,当然,也不可避免地冲击到波普尔的哲学思想。大数据的这个冲击,幸运的是没有对波普尔的哲学思想造成巨大的伤害,波普尔的理论仍然占据着科学哲学的制高点。大数据对波普尔哲学思想的冲击主要体现在两个方面:一是补充了波普尔理论的不足与困惑,解决了波普尔理论没有解决的问题;另一个是修正了波普尔理论的错误,这对被波普尔强烈批评的传统哲学是一个福音,在一定程度上对传统哲学是有益的,例如对归纳法的重新认识。因此,大数据这个新的科学范式不但将哲学研究提高到一个新的层次,补充、完善了波普尔哲学,也给传统哲学一个机会,给归纳法一个生机,使归纳法在一定程度上可以焕发出新的生命。

归纳法虽然很好,人们离不开归纳法,但是,归纳法有一个死结,即特殊不可能达到一般,就像白天鹅的实例。波普尔批评了归纳法,但是,没有给出解决问题的方法,而大数据解决了这个问题,方法就是:“归纳+大数据”。“归纳+大数据”的关键是解决了归纳法的“特殊”的问题,让特殊与全数据结合在一起,使特殊升华为一般。从特殊到一般不可能,

而从一般到一般是没有问题的。于是,“归纳+大数据”方法回避了归纳法的缺陷,提升了归纳法的哲学含义,无疑是哲学理论和方法论一个巨大的进步。

大数据由于数据量的巨大和算法的复杂被许多人视为畏途。其实,我们研究自然科学,只要明白大数据的基本方法,在研究过程中注意采用大数据思维,注意全数据模式的应用,即可将大数据方法初步应用于自己的研究。在大数据研究中,笔者认为,数据驱动模式和全数据模式是最重要的,应用上述方法,即可减少对因果关系的过度追求,将相关关系也列入研究的过程,对开拓思想,创新理论也会有巨大的作用。关键是,采用“归纳+大数据”的方法,可以使科学研究走在正确的道路上,而且可以加快科学研究的进程,达到多快好省进行科学研究的目的。

在量子时代,在现代科学时代,在第四科学范式时代,科学研究离开大数据是不可想象的。大数据不是可有可无,而是须臾不可或缺的。大数据不是大数据专家的事情,而是科学研究人员必须具备的知识,必须掌握的方法(例如 Matlab、Python 和机器学习等入门的知识)。

归纳和演绎是研究过程中常用的,证伪是必须学习的,大数据是必须掌握的。在今天,人人需要大数据。

6 结论

(1)归纳和演绎,是人们认识世界,进行科学研究最常用的两种方法。此外,还有两种方法,即证伪法和大数据法。后两种方法应当更重要,这是现代科学阶段人们认识提高的表现。归纳是从特殊到一般,演绎是从一般到特殊。问题是:特殊不可能达到一般,局部也不可能达到全局。休谟指出了归纳的问题,波普尔批判了归纳的错误,休谟和波普尔是对的。

(2)波普尔提出的知识增长路径是具有划时代意义的,知识增长的核心是证伪,没有经过证伪的理论、思想、认识,统统属于猜测或假说,不具有理论的属性。而只有经过证伪的猜测才能变成为理论,才具有全称陈述的含义。问题是,学术界不熟悉证伪,我们现在基本上采用的是实证主义的研究方法,这种状况急需改变。笔者认为,在科学研究中采用证伪的方法是学术界当前的重要任务,否则难以承担历史赋予中国科学家的冲破西方限制中国发展的重任。

(3)波普尔否定了归纳法,但是,没有给出解决

的方案。本文提出采用“归纳 + 大数据”的方法可以解决这个问题。特殊不可能达到一般,那就退而求其次,一是从特殊到特殊,缩小归纳的哲学含义。二是想办法使特殊变为一般,从这个一般开始,达到另一个一般,就符合哲学理论了。如何使特殊变为一般?加上大数据,关键是全数据,全部数据,全部样本,以此为起点进行归纳,得出的结论必然具有一般的属性。就解决了归纳法的不足,使归纳法提升一步,推进了科学研究方法论的进步。

(4)科学研究遇到的瓶颈告诉我们,大数据不是可有可无的,科研人员必须人人掌握初步的大数据研究方法,才能适应科学研究的需要。“归纳 + 大数据”方法应运而生不是偶然的,科研人员必须尽快补上这一课。归纳和演绎需要证伪,才能使归纳和演绎的结果(猜测)变为理论。如果你采用“归纳 + 大数据”方法得到的“一般”,就具有全称陈述的含义了,则证伪这个环节的重要性就大大降低了。按理,全数据已经包含了全部,没有证伪的余地了。实际上全数据从理论上说是很难达到的,因为世界是不确定的,全数据只是在一定条件下的全部,并不是绝对意义上的全部。因此,仍然有证伪的空间,且随着研究的深入,发现的不确定因素更多,证伪的空间越大。

感谢:研究中得到路来君教授的帮助,焦守涛博士阅读了全文并翻译摘要,特此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Bowen NL. 1928. *The Evolution of Igneous Rocks*. Princeton Univ. Press. 322
- [2] Castro A. 2013. Tonalite-granodiorite suites as cotectic systems: A review of experimental studies with applications to granitoid petrogenesis. *Earth-Sci Rev*, 124:68-95
- [3] Clemens JD. 2003. S-type granitic magmas—Petrogenetic issues, models and evidence. *Earth-Sci Rev*, 61:1-18
- [4] Cobbing J. 2000. *The geology and mapping of granite batholiths*. Springer, 141
- [5] McCarthy T S, Groves D I. 1979. The blue tier batholith, Northeastern Tasmania. *Contrib Mineral Petrol*, 71:193-209
- [6] Pearce J A and Cann J R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, 19(2):290-300
- [7] Pearce J A and Norry M J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69(1):33-47
- [8] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984a. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4):956-983
- [9] Pearce J A, Lippard S J and Roberts S. 1984b. Characteristics

- and tectonic significance of super-subduction zone ophiolites. *Geological Society London Special Publications*, 16(1):77-94
- [10] Pitcher W S. 1997. *The Nature and Origin of Granite*. 2nd ed. Boca Raton: Chapman & Hall. 387
- [11] Saunders AD, Norry MJ, Tarney J. 1988. Origin of MORB and chemically-depleted mantle reservoirs: Trace element constraints. *Journal of Petrology*(1):415-445
- [12] Shervais JW. 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth & Planetary Science Letters*, 59:101-118
- [13] Weinberg R F. 2006. Melt segregation structures in granitic plutons. *Geology*, 34:305-308
- [14] Wood D A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth & Planetary Science Letters*. 50(1):11-30
- [15] Workman R K, Hart S R. 2005. Major and trace element composition of the depleted MORB mantle (DMM). *Earth & Planetary Science Letters*. 231(1):53-72
- [16] Zhang MM, Wang CB, Zhang Q, et al. 2021. Temporal-spatial analysis of alkaline rocks based on GEOROC. *Applied Geochemistry*, 124:104853
- [17] 波普尔. 1959. 科学发现的逻辑[M]. 杭州:中国美术学院出版社, 查汝强等译, 2008
- [18] 波普尔. 1963. 猜想与反驳:科学知识的增长[M]. 杭州:中国美术学院出版社, 傅季重等翻译
- [19] 波普尔. 1972. 客观的知识:一个进化论的研究[M]. 杭州:中国美术学院出版社, 舒炜光等译, 2003
- [20] 波普尔. 1982. 科学发现的逻辑后记[M]. 杭州:中国美术学院出版社, 李本正, 刘国柱译, 2014
- [21] 波普尔. 1983. 实在论与科学的目标——科学发现的逻辑后记 I [M]. 杭州:中国美术学院出版社, 刘国柱译, 2008
- [22] 波普尔. 科学知识进化论. 见:波普尔科学哲学选集(纪树立编译)[M]. 北京:三联书店, 1987
- [23] 波普尔. 1989. 通过知识获得解放:关于哲学、历史与艺术的演讲和论文 [M]. 杭州:中国美术学院出版社, 范景中等翻译, 2014
- [24] 布鲁斯 罗森布鲁姆, 弗雷德 库特纳. 量子之谜——物理学遇到意识[M]. 长沙:湖南科学技术出版社(向真译), 2013
- [25] 郭婉维. 论波普尔的科学进步理论——从比较学角度看波普尔对逻辑实证主义的继承和超越 [J]. 芜湖职业技术学院学报, 2008, 10(1):23-25
- [26] 纪树立. 科学探索的逻辑——波普尔科学哲学述评[M]. 自然辩证法通讯, 1981(2):7-15
- [27] 亨利 N 波拉克. 不确定的科学与不确定的世界 [M]. 上海:上海科技教育出版社, 李萍萍译, 2005
- [28] 杰夫. 全数据模式将彻底改变世人理解社会的方法——评《大数据时代:生活、工作与思维的大变革》[N]. 上海证券报, 2013, 1月19日第7版
- [29] 孙昌璞. 量子力学诠释与波普尔哲学的“三个世界”[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(3):296-307

- [30] 王馥芳. 从大数据危机到全数据革命 [N]. 中国社会科学报, 2015-3-23(B1 版)
- [31] 王金荣, 陈万峰, 张旗, 等. MORB 数据挖掘: 玄武岩判别图反思[J]. 大地构造与成矿学, 2017, 41(2): 420-431
- [32] 维克托—迈尔—舍恩伯格, 肯尼思—库克耶. 大数据时代: 生活、工作与思维的大革命[M]. 盛杨燕, 周涛, 译. 杭州: 浙江人民出版社, 2013: 1-261
- [33] 张旗, 李明超, 陈万峰, 等. 岩石大地构造学说的兴起、没落与新生[J]. 大地构造与成矿学, 2020, 44(2): 289-296
- [34] 张旗, 周永章. 大数据正在引发地球科学领域一场深刻的革命[J]. 地质科学, 2017, 52(3): 637-648
- [35] 张旗, 周永章. 大数据助地质腾飞[J]. 岩石学报, 2018, 34(11): 3167-3172
- [36] 张旗. 波普尔科学哲学理论简介. 甘肃地质, 2021, 30(2): 1-13
- [37] 张旗. 蛇绿岩研究之检讨与反思: 以“双沟蛇绿岩”为例[J]. 岩石学报, 2021, 37(4): 957-973
- [38] 张天蓉. 走近量子纠缠系列之三: 量子纠缠态[J]. 物理, 2014a, 43(9): 627-630
- [39] 张天蓉. 走近量子纠缠系列之四: 帮倒忙的贝尔[J]. 物理, 2014b, 43(11): 764-766
- [40] 张天蓉. 走近量子纠缠系列之五: 贝尔不等式[J]. 物理, 2014c, 44(1): 44-46
- [41] 张天蓉. 走近量子纠缠系列之六: 纠缠态及实验[J]. 物理, 2015, 44(3): 189-191
- [42] 张鑫. 波普尔知识增长四段图式理论的思考[J]. 广西民族师范学院学报, 2010, 27(6): 88-91

DEDUCTION, INDUCTION, FALSIFICATION AND BIG DATA METHOD: METHODOLOGY OF SCIENTIFIC RESEARCH

ZHANG Qi

(*Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*)

Abstract: It is generally believed that there are two methods for people to understand the world and conduct scientific research, namely, induction and deduction. In fact, there should be four methods, the other two are only recently emerging, one is the falsification method (less than 100 years of history), and the other is the big data method (decades of history). Induction is from special to general, and deduction is from general to special. Falsification is criticism, and big data is the fourth scientific paradigm. Both Hume and Popper questioned the inductive method, pointing out that the inductive method cannot be from special to general. For this reason, Popper proposed the method of falsification and the four-stage schema of knowledge growth. Popper believes that falsification is the core of knowledge growth. Theories that have not been falsified are only guesses. Only after the test of falsification can have the attribute of theory. There is a problem with induction, but people cannot live without it. Popper rejected the inductive method, but did not give a solution. This article argues that this problem can be solved by adopting the method of “induction + big data”. It is impossible for the special to reach the general, so try to make the special become the general. The method is to add big data. “Induction + big data” may solve the natural shortcomings of induction, save induction, and make induction change its youth.

The bottleneck encountered in scientific research tells us that big data is not dispensable. In quantum age, in the modern science stage, researchers must master preliminary big data research methods in order to meet the needs of scientific research. Big data is not mysterious, nor so inscrutable. Adopting the “induction + big data” method can not only avoid errors in scientific research conclusions, but also speed up the process of scientific research, which is a fast, better, and more economical research method. This article emphasizes the application of the full data model, but in theory, full data is difficult to achieve, because the world is uncertain, and full data is all under certain conditions, not all in an absolute sense. This article points out that what we are currently adopting is basically a positivist research method, and this situation needs to be changed urgently. The use of falsification methods in scientific research and the addition of big data (especially full data) methods are the current important tasks of the academic community, otherwise it will be difficult to undertake the tasks given to Chinese scientists by history.

Key words: deduction method; induction method; falsification method; big data method; scientific research; methodology