

科学理论的检验

The Verification of Scientific Theory

林定夷

(中山大学哲学系, 副教授)

提要 文章讨论科学理论的检验活动中一个相对简单的认识论问题, 即检验活动中理论与经验事实间的逻辑关系。一种流传甚广的观点认为, 理论的预言与实验观察结果相一致就证实了理论; 不一致或者相悖就否证了理论。这种观点是过于简单化的, 因而实质上是错误的, 是十分有害的。文章从逻辑学分析了实验观察结果与理论预言相矛盾时可以作的四个方面的考虑。1. 怀疑实验观测结果的正确性; 2. 指责所预设的初始条件和边界条件的集合有问题; 3. 通过修改辅助假说来维护受检理论; 4. 受检理论被观察结果所证伪了。

科学理论的检验涉及到非常复杂的认识论问题。比如仪器和测量仪器中的认识论问题。由于仪器和测量仪器都是依据一定的假说或理论设计制造的, 而且对仪器的操作和对仪器所提供信息的判读也还要依据一定的理论。因此, 当我们在实验和观测中相信某种仪器所提供的信息时, 实际上就意味着我们相信了这种仪器和它背后所隐含的假说或理论。而众所周知, 假说和理论都是“第二性的”, 因而是可错的, 都是需要继续接受经验的检验的。但是, 在科学理论的检验活动中, 我们却又是依据于实验和观测中仪器所提供的信息来检验理论的。特别是在有些场合下, 被检验的理论本身就已经被包含在检验该理论的测量仪器之中。例如, 在科学史上, 用著名的阿特伍德机检验牛顿第二定律就是如此。现代科学中, 此类情况并未减少, 而是更多。进一步说, 即使不使用仪器, 观察也是依赖于理论的, 观察是渗透着理论的。因此, 正如同理论是易谬的一样, 观察也同样是易谬的, 即使具有可重复性的观察也难于逃脱同样的命运。科学史上, 此类实例比比皆是, 无需赘述。这个问题使科学理论检验活动中所涉及到的认识论问题更加复杂。至少, 它的一个直接的结果就是彻底摧毁了传统认识论所描绘的那种漫画式的场景: 当理论与实验观察 (或曰实践) 相矛盾的时候, 实验观

察既是“原告”, 又是“法官”, 因为理论的正确与否正是由它来裁定的。

本文仅就科学理论检验活动中的一个相对简单的认识论问题, 即检验活动中理论与经验事实之间的逻辑关系展开讨论。

—

对于科学理论检验活动中的理论与经验事实之间的逻辑关系, 曾经有一种观点认为: 理论的预言与实验观察结果相一致, 就证实了理论; 理论的预言与实验观察结果不一致, 或者相悖, 就否证了理论。这种观点流传甚广, 并以通俗化的形式向大众作了广泛的宣传, 因此, 它特别地使那些科学圈子以外的其他阶层的群众都深信或误以为这种认识论乃是一种与科学相一致的, 正确的认识论; 即使在科学界, 由于科学家们常常自己并不研究哲学, 而只是被动地接受外界传输给他的哲学, 因而难免在矛盾的心理下因缺乏深入的哲学思考而接受这种认识论。这种哲学就其源泉来说, 是受到了西方的古典实证论的影响, 其中包括马赫主义的影响。马赫主义曾通过不同的渠道, 特别是通过科学作品和科普作品对当时乃至后来的各种哲学派别产生了强大的、无处不在的影响。甚至那些反对

马赫主义,对它进行了批判的哲学学派,实际上也从马赫主义那里吸取了不少思想营养。爱因斯坦曾不无感叹地说:“我甚至相信,那些自命为马赫的反对派的人,可以说几乎不知道他们曾经如同吮吸他们的母亲的奶汁那样吮吸了多少马赫的思考方式”(《爱因斯坦文集》第一卷,商务印书馆1976年1月第1版第84页)。但是,马赫主义关于观察经验具有独立于理论的“中性”性质,以及实验观察经验对于检验理论的真伪可以具有“公正法官”的判决作用的观点,恰恰是过于简单化的,因而实质上是错误的,在今天的科学技术背景之下,就培养科学思维能力来说,用这样一种狭隘经验论的观点灌输给科技工作者或青年学生,是十分有害的。

理论的预言与实验观察结果相一致,能够由此得出结论说“实验观察的结果证实了理论”吗?不能!因为科学中的理论或原理都是一些严格的全称陈述,它们的潜在检验对象是无限的,而我们在有限时间里所可能作出的实验观察总是有限的。实验观察结果都是一些单称陈述,我们不可能通过有限的单称陈述证实一个涉及无限对象的普遍命题。我们只能说,已有的实验观察结果支持了某个理论或确认(认可)了某个理论。从这个意义上,一个理论即使经受住了迄今为止的一切检验,那也只是表明迄今为止的一切检验支持了这个理论,暂时没有证据表明这个理论是错的。从这个意义上也可以说,那些支持了这个理论的经验事实确证或确认(corroborate)了它,因而有助于我们接受这个假说。但这种“确证”或“确认”,只是说明了直到目前为止的检验结果,并不能表明这个理论一定是真的。往后的检验仍将可能表明这个理论是与许多实验观察事实相冲突的。

理论的预言与实验观察结果不一致,甚至相悖,是否就一定否证了理论呢?同样也不能作如此简单的结论。为什么呢?这就得从科学理论的检验结构谈起。为了讨论的方便,我们不妨结合科学史上的某些典型实例进行分析。

在科学史上,当1781年英国著名天文学家赫歇尔发现天王星以后,科学家们通过进一步的观测和计算,却发现天王星的实测轨道与按牛顿力学所计算的理论轨道之间有重大的系统的偏离。如果我们暂时撇开本文篇首所曾讨论过的观察依赖于理论和观察之易谬性等复杂问题,而是毫不怀疑地承认了那些观测数据的正确性和可信性,那么,它是否就会在逻辑上造成对牛顿理论的证伪,从而应当使我们否定或放弃牛顿理论呢?不,不会的。正如历史本身所实际表明的那样,我们并不能作此简单而草率的结论。原因就在于,那个理论上的预言(如天王星的理论轨道)并不是可以单纯地从牛顿理论中直接导出的。这就涉及到需要

对科学理论的一般检验结构进行深入的分析。

在科学中,为了检验某种科学理论,就必须从中导出种种可与观察经验相比较的预言(用科学方法论的专门术语来说,称作“检验蕴涵”),然后,拿这种预言与实验观察结果相比较,看它们是否相一致,由此才对某种理论作出经验的检验(实验观察的检验)。但是,在通常的情况下,我们实际上并不能单纯地从“受检理论”中直接导出那种可与观察经验相比较的检验蕴涵;相反,我们总是必须从受检理论、一组相关的辅助假说和一定的初始条件和边界条件的“合取”中,才能导出某种检验蕴涵。如果我们以符号“T”表示当下准备接受检验的理论(简称“受检理论”),以符号“H”表示一组相关的辅助假说的集合,以符号“C”表示所设定的一组初始条件和边界条件的集合,以符号“P”表示检验蕴涵,即从理论前提中导出的可与观察经验相比较的预言,以符号“ $\wedge$ ”表示逻辑合取,意即“而且”(或“和”),以符号“ $\rightarrow$ ”表示蕴涵,意即“如果……,那么……”,在此用以表示逻辑上的前提与结论的关系。那么,我们就可以把科学理论检验活动中导出检验蕴涵的逻辑结构简要地表示为如下公式:

$$T \wedge H \wedge C \rightarrow P$$

此式的意思是,如果T而且H而且C都是真的,那么P就是真的。在实际的检验活动中,科学家们通过设计巧妙的实验而从中得出某种观察陈述S₀,而这种观察陈述(或通常所说的观察结果)将肯定P或否定P。据此,我们就可以通过两个逻辑公式来讨论科学理论的检验问题,即:

$$(1) (T \wedge C \wedge H \rightarrow P) \wedge P \rightarrow (T \wedge C \wedge H) \vee (T \wedge C \wedge H)$$

$$(2) (T \wedge C \wedge H \rightarrow P) \wedge \bar{P} \rightarrow \overline{T \wedge C \wedge H}$$

其中,符号“ $\bar{}$ ”读作“非”,表示对相关陈述的否定,例如“ $\bar{P}$ ”就读作“非P”,表示对理论上所导出的那个预言P的否定;而 $\overline{T \wedge C \wedge H}$ 则表示对合取陈述 $T \wedge C \wedge H$ 的否定,它在逻辑上等值于 $\bar{T} \vee \bar{C} \vee \bar{H}$,其中符号“ $\vee$ ”表示“析取”,意为可兼容的“或”。 $\bar{T} \vee \bar{C} \vee \bar{H}$ 读作“非T或非C或非H”,意即或T、或C、或H,其中至少有一个是错的。上述两个逻辑式表明:(1)当理论上的预言P被实验确认为真时,由此并不能表明该预言由之导出的那组前提 $T \wedge C \wedge H$ 必是真的,它也可能是假的。其实,这个道理,即使在直观上也是易于明白的,我们并不能从预言的真就推及它的前提必是真的。例如,假定我断言说:“广州每逢星期四下雨”,“今天是星期四”,由此我作出预言:“广州今天下雨”。检验结果,广州今天真的下雨了。但是,由此能推及“广州每逢星期四下雨”是真的吗?显然不能!从逻辑上说,这里的P可以是复合命题

$P = P_1 \wedge P_2 \wedge \dots \wedge P_n$ 。因此,即使有许许多多预言(n 个预言)都为真,也不能由此证明其前提 $T \wedge C \wedge H$ 必是真的。(2)如果实验观测检验的结果表明 P 是假的,那么我们就能够由此作出断言:作为 P 之前提的 $T \wedge H \wedge C$ 必是假的,即 T 、 H 、 C 不可能都是真的。这就是逻辑上所说的否定后件的假言推理。但是,从 $T \wedge H \wedge C$ 的假,我们并不能推出受检理论 T 必定是假的,因为也可能是 H 或者 C 是假的,即可能是辅助假设集 H 或条件集 C 中有错。由此可见,当实验观察的结果与理论上的预言不一致,甚至相悖时,我们并不能由此作出结论说必定是那个受检理论错了。

试以天王星的实测轨道与按牛顿力学理论计算的轨道不符这个历史疑难为例,假定当年所作的观测数据是正确的,由此我们能断言:牛顿理论已被这些观测事实所证伪,因此应当予以抛弃吗?不能!因为事实上,我们并不能仅仅从牛顿力学本身中简单地导出所需要的检验蕴涵。为了在理论上预言天王星的轨道,不但要依据牛顿力学,而且还要对一系列初始条件和边界条件作出某种预设或估计,其中包括对天王星在某一给定时刻的速度,天王星和太阳的质量、相互间的距离,其它行星对天王星的摄动,因而又包括对其它行星的质量以及它们与天王星的距离等等的估计。而为了要进一步作出可与观察经验相比较的预言(检验蕴涵),例如要能预言某年某月某日某时,天王星应在天区的某一位置上,则还要引进光学理论,其中包括由于大气折射所引起的光线偏转(蒙气差)以及对大气折射率及其随大气密度而变化的定量关系的估计,等等。实际上,只要对上述诸种因素中的任何一种因素作出不同的考虑或估计,理论上所导出的检验蕴涵就将发生变化。上述实例所表明的正是科学检验过程中所发生的一般情况,即我们前述的关于科学理论的检验结构的一般公式所表明的情况。

二

上述关于科学理论检验结构的一般公式向我们表明,当实验观察结果与理论上的预言相矛盾时,我们实际上可以作如下四个方面的不同考虑。

第一,我们甚至可以首先怀疑实验观测结果的正确性。因为观察中渗透着理论,观察同样是易谬的。实验观察的合适性本身需要理论来解释。因此,在科学理论的检验过程中,我们绝没有理由可以独断地、盲目地相信实验观察结果。举例说,考夫曼于1906年用高速电子实验“证明”了在他的实验中,“量度结果同洛伦兹—爱因斯坦的假定不相容”,并且爱因斯坦自己也承认,在考夫曼的实

验中“出现的偏离是系统的而且显然超过考夫曼的试验误差的界限。而且考夫曼先生的计算是没有错误的,因为普朗克先生利用另一种计算方法所得结果同考夫曼先生的结果完全一致”。但是,爱因斯坦却没有因此承认他的相对论已经被证伪,而是把怀疑指向该实验中可能还有“没有考察到的误差”,直到十年以后,居耶和拉旺希从理论上分析了考夫曼的实验并且指出了考夫曼的实验装置是有毛病的。而居耶和拉旺希的这种解释获得了科学界的普遍接受。

第二,即使承认观察结果,我们也还可以指责所预设的初始条件和边界条件的集合有问题,或者说对它们的估计不切实际,从而就可以维护那个受检理论使其免遭证伪。正如当天王星的实测轨道与根据牛顿理论所计算的轨道不符时,我们完全可以说,这种计算中所假设的那些条件是不合实际的,因此不是牛顿理论错了,而是所假设的条件有错;因为在这个计算中只考虑了二体问题,即只考虑了太阳与天王星之间的引力作用,而没有考虑到其它行星对它的摄动,如果一旦考虑到其它行星的摄动,理论值与实测值就可能符合得很好。于是,人们被迫去重新进行计算,计算中要求考虑到当时所知道的所有行星对天王星轨道可能发生的影响(摄动),但是这在数学上却存在着巨大的困难。因此,直到18世纪末以前,所谓天王星实测轨道与理论上计算出来的轨道不符,根本未曾构成对牛顿理论的任何威胁。科学界普遍认为,这种“不符合”只是表面的,困难只在于我们未能把边界条件所造成的效应真正地从数学上计算出来。所以,不是牛顿理论错了,而是我们在数学上无能,未能把真正精确的理论轨道计算出来。

天王星的实测轨道与理论轨道不符,真正在某种程度上构成了对牛顿理论的威胁,那是19世纪以后的事。1799年至1825年间,拉普拉斯出版了他的五卷本的经典巨著《天体力学》。在那里,他计算出了天王星、木星、土星相互间的引力关系(而火星以内的行星对天王星摄动的影响就很小了,可以忽略)。据此,阿力克赛·布伐于1821年绘制出了这三颗行星的运行图表。实测的结果表明,木星与土星的“实际轨道”与理论所计算的图表相符,而天王星的则不符。这才构成了问题。然而,这是否就一定证明牛顿理论错了呢?实际上,我们仍然可以指责说,在这个计算中,只考虑了已知行星对天王星的摄动,但没有考虑到太阳系中还可能存在别的未知的行星,它可能对天王星的轨道发生影响。因而这个理论轨道与实测轨道的不符,仍然不能证明正好是牛顿理论错了,因为很可能是计算中对初始条件和边界条件考虑不周。实际上,正如大家所知,勒味烈和亚当斯正是根据

了这个思路,从维护牛顿理论的角度上反推说:如果假定天王星的外侧有一颗行星(并计算了它的质量和轨道),那末牛顿理论就将与实测数据符合得很好了。这样,他们通过对“条件集”中的未知因素的假定,就把牛顿理论所面临的困难转嫁到新的观测任务上去了。可以设想,如果这颗新的行星暂时没有被观测到,它也并不造成对牛顿理论的证伪,因为可以归咎于观测上的诸多原因,如观测手段落后等等。而如果一旦观测到了所预言的新的行星,这个事实马上就会成为牛顿理论的伟大胜利,正如伽勒于1846年终于发现了海王星这个事件所表明的那样。但是,这个胜利是否就决定性地证实了牛顿理论呢?当然没有。因为如前所述,一个理论的预言被证实,并不等于理论被证实。更何况当进一步测算了海王星的轨道和质量以后,就发现它与勒味烈当初所推算的值并不符合。而这个“不符合”又可以被说成是对牛顿理论的“证伪”。但是,能否简单地说这些实测值又证伪了牛顿理论呢?还是不行。因为仍然可以假定诸如海王星的外侧还有一颗未知的行星影响了海王星的轨道等等。当1930年美国天文学家汤博终于又发现了冥王星时,这个事实又成了牛顿理论的伟大胜利。但是同样的事情又发生了,因为关于冥王星的实测轨道同样与理论的预言不符,其实测轨道与理论轨道相差6度,这在太阳系天文学上是一种大得惊人的偏离。所以当代天文学家又假定在冥王星的外侧可能还有一颗未发现的行星(太阳系的第十颗行星),并苦心地搜索着它的踪迹。以上分析,就已经初步地表明了科学理论检验中的复杂性。当然还不仅如此。

第三,实际上,我们还可以通过修改辅助假说H的办法来维护某一个受检理论,使之免遭证伪。只要这个经过修改或补充的辅助假说能够获得实验观察的进一步支持和确证,那么它就会被认为是科学中的一个胜利,甚至是重大的胜利。例如,在30年代初,当能量守恒定律与当时的 β 衰变实验的结果不相符时,泡利实际上就通过设定一个辅助性的假说(中微子假说),而维护了能量守恒定律。虽然中微子经过20多年以后,直到本世纪50年代中期才被“发现”,但能量守恒定律在此以前的20余年间却一直依靠着这个中微子假说而得到维护,并没有因 β 衰变的实验结果与它“相冲突”而被抛弃。而一旦“发现”了中微子,则又成了科学中的一个重大成果,而能量守恒定律也似乎由此而获得了更可靠的基础。

第四,当然,当理论上所导出的检验蕴涵与实验观察结果不相容时,我们也可以指责受检理论T,说这个受检理论被实验观察结果所证伪了。这是科学工作者通常所持的见解。于是,遇到这种情

况的时候,科学家们就采取行动,抛弃这个理论或修改这个理论。而这正是科学研究工作中通常发生的情况,历史上的例证不胜枚举。但是,必须指出,当理论上的预言与实验观察的结果相矛盾时,我们指责受检理论因此“被证伪”,那是始终不可能有充分理由的。因为十分明显,在这种情况下,我们只有预先断言实验观察的结果、所设的条件集合和所引进的其它辅助假说都准确无误的时候,我们才有充分的理由断言,那一定是这个受检理论错了,即它被证伪了。然而,这是不可能的。因为当我们断言那些前提的时候,其背后始终都包含着某种直觉上的决定(决断)。尽管这种决定决不是任意的武断,而常常是如爱因斯坦所说的“以对经验的共鸣的理解为依据的直觉”的决定。但这种决定毕竟不是逻辑上有充分理由的决定。进一步说,当理论上的预言与实验观察相冲突的时候,即使我们认定某个受检理论因此被“证伪”了,如波普尔的证伪主义公式 $(T \rightarrow P) \wedge \bar{P} \rightarrow \bar{T}$ 所试图得出的结论那样。但由于这个受检理论T通常并不是孤立的单个的命题,而往往是一个有结构的命题系统,所以,所谓实验证伪一个理论,也只是表明导出该检验蕴涵的受检理论有错,并不表明作为前提的该理论全错。至于在组成该理论的命题系统中,究竟是其中的哪一个或哪一些命题错了,仅凭所导出的检验蕴涵与实验观察结果相矛盾,是不可能指明的。

正是由于科学理论在检验过程中的这种复杂性,因此,从严格的意义上说,我们企图通过有限数目的观察和实验(而科学中的观察和实验的数目总是有限的),想要证实某种科学理论或普遍原理固然不可能,而要明确地证伪它同样是不可能的。因为始终存在着可以通过指责诸如实验结果、所预设的条件或其它辅助性假说的办法来保护某一受检理论,使其免遭证伪的可能性。正是看到了科学检验中的这种复杂情况,深思熟虑的科学家爱因斯坦早在1946年就深刻地指出:“理论不应当同经验事实相矛盾,这个要求初看起来似乎很明显,但应用起来却非常伤脑筋。因为人们常常,甚至总是可以用人为的补充假设来使理论同事实相适应,从而坚持一种普遍的理论基础”。也就是说,他实际上已经指出了一种理论总是有可能通过种种补充假说来调节它与事实之间的矛盾,从而避免被证伪的。

三

以上关于科学理论检验结构的逻辑分析表明,当实验观察结果与理论的预言相冲突时,我们应当从四个可能的方面作出不同的考虑,但并没

有必然的理由可以向我们指明,只有哪一种考虑才是唯一合理的,而其它方向上的考虑必然是会导致失败的。科学探索的过程毕竟是一种“猜测—试错”的过程。在这种探索的过程中,思维必须活跃,同时训练我们进行严格的理性思考的本领。但某种广为流行的观念,却往往片面强调科学需要理性思考并把这种理性思考与“猜测—试错”对立起来。例如,我们常常在科普作品中,甚至在某些著名科学家的讲演中,看到这样的说法:勒味烈和亚当斯当年仅仅是根据了牛顿理论而预言了海王星的存在并计算出了它的轨道和质量。甚至说海王星存在的事实也是科学家笔头下算出来的。这些说法实在是过于简单化了,因而实质上是错误的。因为实际情况可以说恰恰与此相反,勒味烈要作出他的那种预言,实际上还是必须猜测在先。他首先得猜测,天王星的实测轨道与理论值不符,正是由于边界条件的假定上出了问题,然后运用反推的方法,假定有一颗未知的行星,它具有多大的质量,并且在什么轨道上运行,那么按这种经过修改的边界条件,所计算出来的理论值就会与实测值符合得很好了。这里又存在着一个严格的理性思考的过程。而勒味烈关于存在海王星的假定竟然获得了实际观测很好的确认。正是在这里,表现出了科学预言的伟大力量。但是,我们必须对科学预言的结构和检验的结构有一个清晰的理解,以免使科学发现成为一种神奇莫测、不可理解的事情。事实上,象勒味烈的这类预言始终是要以某种猜测性的假定为前提的,因而并不总是可靠的。例如,当他想以预言海王星的同样方式解释水星轨道与理论值的偏离,并预言有“火王星”存在时,并未获得任何成功。如同对于海王星的发现一样,我们也应以同样的态度来评价冥王星的发现。

以上关于科学理论的检验结构的逻辑分析还告诉我们,除了在一个理论体系内部包含着相互矛盾的命题(即理论本身不自洽),因而我们能从分析的意义判定它为假以外,对于任何一个科学理论,我们企图通过经验的检验,是既不可能证实,也不可能证伪它们的。所以,从严格的意义上说,我们把科学理论诉诸经验的检验,实际上并非为了判定其真假(尽管人们常常习惯地抱有这种未经认真审察的成见),而仅仅是为了对理论作出比较和评价,比较和评价理论的优劣,以便选择或创造出更优的理论。正是从这个意义上,科学理论的检验活动在科学进步的过程中起着无比巨大的作用。当科学理论的预言与实验观测的结果相矛盾时,我们尽管有可能从四个方面作不同的考虑,来解决理论与观测不一致的问题。但究竟何种方案才是更优的,这里仍然有一个比较和评价的问题。至于如何来评价科学理论的优劣,这里又会涉

及到许多进一步的逻辑的和方法论的问题。限于篇幅,本文中对此恕不赘述。

(责任编辑 孙立明)

(上接第30页)

下泥石流运动的粘塑性模式相继提出。但这类模式都不足以反映泥石流内部的微观运动特性和泥石流中大石块与泥浆间的相互作用。在这种状况下,固液两相流模式的引入似乎是必然的了。这里“两相流”中的“液相”已非河流动力学中的清澈水体,而被定义为“小于某临界粒径的细砂与水 and 粘土组成的不分离的浆体”;两相流中的“固相”则被定义为“大于某临界粒径的与浆体存在相互作用的固体颗粒”。两相流模式的引入不仅合理地考虑了“固相”与“液相”间的相互作用,可对不同类型的泥石流作统一考虑,更重要的是可直接应用近十年来颗粒流研究的最新成果。而后者由于从80年代引入“运动理论”(kinetic theory)同样导致了颗粒流理论的突破性进展。与拜格诺的初期理论相比,现代颗粒流理论具有明显的优点,甚至可以说颗粒流运动的许多方面用拜格诺的早期理论根本无法解释。正因为如此,合理的泥石流模型中应该采用的是颗粒流及两相流的最新成果,而不是早期粗糙的成果。对于从事应用研究的科学工作者来说,要想使应用研究处于领先地位,至少需要对相邻学科的最新研究成果进行紧密跟踪。

泥石流研究在各个阶段的进展表明,每次较大的进展都与先进的测试手段和研究方法的引入直接相关。先进的测试手段为获取泥石流运动的宏观和微观信息提供了可能;而先进的研究方法则导致了对泥石流进行理论描述的科学体系之创立。结合我国的实际情况,今后的泥石流研究似应在以下诸方面再作努力:

1. 利用我国泥石流分布广、种类多、频率高的特点,吸引更多发达国家的同行学者来原型观测站进行合作研究。这样一方面可以部分地弥补目前研究经费之不足,另一方面亦可利用他们的先进测量仪器获得关于泥石流运动特性的第一手资料。

2. 扩大对外交流,及时获取国际上泥石流研究的最新信息,使我国的同类研究与国际先进水平保持同一水平线上。

3. 注意到泥石流的多学科综合性,必须紧密跟踪相邻学科研究的最新成果,以提高泥石流应用研究的水平。

4. 发挥多学科综合的优势,在分散研究的基础上,开展对泥石流从产生、搬运到沉积的整体系统研究,以便制定泥石流防止、疏导及治理的一系列完整措施。

(责任编辑 蔡 今)