

技术测试中的认识困境

——以美国航天飞机项目为例

黄 嘉

(国防科学技术大学 人文与社会科学学院, 湖南 长沙 410074)

摘 要: 技术测试是技术事实建构的核心环节,往往也被视为平息技术争论的可靠基础。然而,技术测试过程受各种社会心理因素影响,其本身可能会成为被质疑的对象,并引发一系列认识困境。结合美国航天飞机项目技术测试的案例,具体分析了技术测试中的三类困境,它们分别由技术测试所承担的探索与说服的双重职能,测试与应用条件相似性判断中的复杂性以及测试标准与操作中的不确定性所导致。适当利用这些困境可能为实现技术民主提供途径。

关 键 词: 技术测试; 认识论; 航天飞机

中图分类号: N 031

文献标志码: A

文章编号: 1008-3758(2014)01-0007-05

2011年7月21日,“阿特兰蒂斯”号航天飞机执行完最后一次任务后顺利返航,为历时39年的航天飞机项目正式画上了句号。在航天飞机项目的整个历史阶段都伴随着各种类型的技术争论。除了是否应该把发展载人航天的钱先用于改善民生等价值问题上的常见争论外,人们往往还会在事实问题上发生争议:零部件是否合格,甚至系统是否在工作都会成为争论的话题。

科学实验是科学认识的基础,长期以来也被当成是接受或拒斥科学假说的依据,波普尔的证伪主义理论大厦正是建筑在判决性实验的基石之上。技术领域同样也有类似的情形:当人们在技术问题上发生争议时,常常会指望技术测试能发挥“判决性”的作用,提供一条通往纯技术世界的路径,通过它可以避免政治立场、组织利益、个人情感偏向等各种社会因素的干扰,为解决分歧提供一个各方公认的坚实基础。然而,人们越是深究,越是可以发现,技术测试不仅无法为我们提供这样一条通路,甚至本身都可能成为争论的对象。波普尔之后的科学哲学研究表明,实验对理论的决定作用并不充分,其判决能力是有限的。不过,技术测试领域的类似情形却尚未得到科技哲学界的应有重视。

技术测试是确定技术系统及其各个组成部分的性能、状态的基本依据,也是技术事实建构的核心环节。技术测试本身的特点决定了一系列社会心理因素会介入技术测试过程,影响技术事实的建构,既为参与技术争论的各方留下了挑战、质疑技术测试结果的缺口,也引发了一系列认识困境,下面结合美国航天飞机项目的案例进行具体分析。

一、探索与说服的双重职能冲突

技术测试与科学实验有许多共同点,区别在于科学实验主要服从于探索目标,说服对象是科学共同体内的同行,与科学共同体外的现实社会利益通常并无显著纠葛;技术测试则兼具探索与说服双重目标和属性,两者是并重的,说服对象除了工程技术共同体内的同行外,主要针对的是政府监管、金融投资、潜在用户等外界人士,技术演示测试尤为如此。由于技术测试结果直接影响到工程进展甚至存废,产品是否合格、能否销售等现实利益问题,出现争议的可能性、争议波及的范围以及争议的复杂性、激烈性都会比科学实验强。

产品研发中的技术测试过程既是技术事实确立的过程,也是人们对技术系统信心的建立过程。

收稿日期: 2013-05-28

基金项目: 湖南省哲学社会科学基金资助项目(13YBB027)。

作者简介: 黄 嘉(1981-),男(土家族),湖南慈利人,国防科学技术大学讲师,哲学博士,主要从事军事技术哲学、军事技术伦理学研究。

于是,技术测试往往同时承担起探索未知技术世界与说服怀疑者的双重职能,兼具探索性与说服力,甚至以后者为主。出于探索目的,测试条件应尽可能严苛,考验受测物件在比实际使用条件更为恶劣的极端环境下的性能,甚至特意进行破坏性测试;出于说服的目的,各项测试安排就应尽可能使用成熟系统,减少不确定因素,从而在探索性上打折扣。此外,受测系统通常也会得到比实用系统更周密细致的检查。这都会使质疑者有理由怀疑测试者动机和测试结果的可信性与代表性。

技术测试探索与说服双重属性引发的社会争议和认识困境突出体现在技术演示论证测试上。这类测试是在被外界关注的情况下进行的,可能的关注者包括潜在用户、政府监管官员、证券市场上的投资者、银行与保险机构以及竞争对手等,测试的结果将直接影响到技术项目和工程的后续进展甚至存废。人们对测试结果的预期会体现到测试过程中,从而影响测试结果;测试结果攸关各方利益,会给怀疑、批评者以充足的动机挑战测试结论。围绕2009年10月28日NASA(美国航空航天管理局)的“战神”I-X火箭测试的“成功”结果的争议为上述分析提供了较新的实例。

截至2010年1月底,“战神”I火箭和“猎户座”飞船一直都被视为航天飞机的官方替代者,而“战神”I-X火箭测试则是“战神”I火箭设计工作的一个重要组成部分。在测试前,NASA将此次测试宣传为“新时代的首次飞行”^[1],在测试中除了降落伞故障外,其他方面均表现正常。2009年11月,《时代》杂志将其评为年度50项最佳创新之一,引起了美国航天界批评者的非议。批评者们认为,“战神”I-X火箭与真正的“战神”I火箭完全是两回事,它是NASA出于政治目的拼凑的仿造品。阿波罗11号宇航员、航天工程博士奥尔德林的批评意见比较有代表性。2009年11月9日,他在报纸上撰文指出,矗立在39B发射台上的火箭只是外表上像“战神”I火箭。它的固体助推器直接是从航天飞机项目中获得的,由于为“战神”I火箭设计的五段式助推器尚未就绪,他们就在四段式发动机上加了一个仿冒的罐子使它看起来像真的;由于真正的上面级火箭发动机J-2X也未就绪,他们就安了一个上面级模型;“猎户座”飞船和逃逸火箭均未就绪,他们就用逼真的模型代替;“战神”的制导系统也未到位,他们就从“宇宙神”火箭项目那里买了一套代用。用于回收助推

器的降落伞是真的,三个中间就有一个失效。奥尔德林认为,NASA花近5亿美元造这样一枚测试火箭是出于政治目的;NASA遭遇到了技术难题,需要时间和资金去解决。为了回避批评,三年前“星座”计划的设计者们就想到用“战神”I-X火箭测试来让人们看到一些进展。一次成功可能会为“战神”火箭项目争取到解决问题所需的时间^[2]。

二、测试与应用条件相似性判断中的复杂性

任何技术测试都需要假定受测物件在某些关键方面与实际运行的物件是相同或相似的,否则测试就失去了代表性,其可信度也会大打折扣。测试结果的相似性判断中通常会涉及到两方面的问题。

一是部件在测试时表现出来的属性能否代表实际工作状态下的属性。像航天飞机那样复杂的技术系统是由大量分系统及其零部件构成的。在组合成整体之前,这些部件当然会经受各种测试,测试通过之后才会用于其上一级分系统。然而,任何分系统或部件单独拿出来测试时表现出来的性能状态与其在技术系统整体中实际运行时的性能状态未必是一致的:不同分系统、部件组合到一起后可能会互相干扰,产生共振、耦合等效应。正因为如此,在航天工程实践中往往需要逐级测试逐级合成,最后进行星(船)箭一体飞行测试,验证技术系统整体的可靠性。迄今为止的所有载人飞船以及前苏联的“暴风雪”号航天飞机在首次载人飞行之前都要进行无人飞行测试。然而,美国航天飞机的设计决定了它无法在无人操纵的状态下自动或遥控着陆,首次轨道飞行测试就必须载人,并且还没有实用的逃逸救生系统。上述情况造成1981年“哥伦比亚”号的首次太空之旅前争议繁多,最终使NASA决定采取保守测试:仅搭载最低限度的2名宇航员,主发动机等关键系统均在额定负荷之下运转等。

二是从技术测试结果向实际应用的外推涉及到相似性判断,往往没有可靠的经验基础和逻辑上必然的通路。以飞行器空气动力学性能测试为例,从计算机仿真模拟、小比例模型测试结果到实际飞行情况的外推需要假定测试状态与实际飞行状态的各种条件在各个关键方面必须相似。通过

不断用实际飞行测试数据修正理论模型和计算机仿真模型,当代飞行器设计中计算机模型已经能很好地模拟出航空器的实际飞行情形。但航天飞机设计时工程师们却没有可靠的数据和理论模型用于计算机建模;在航天飞机项目启动时,高超声速空气动力学诞生也才十年左右的时间,并且先前的研究主要也是针对外形简单的钝锥体的飞船和洲际导弹弹头。简化计算机模型,减少其中的不确定性的考虑正是 NASA 在航天飞机设计后期采用空军坚持的三角翼设计的主要技术原因之一。计算机模型不论多么精致,总是高度简化的,其结果需要用风洞测试检验。由于经济技术条件的限制,人们往往无法造出大到能容纳整个飞行器的风洞,此时就只能用小比例的模型进行测试,将小比例模型上的结果外推至实际尺寸。这又涉及到从小比例风洞模型向全尺寸飞行器外推的问题。其中的一个重大难题是与粘滞性有关的“比例效应”,它使得从相对较低速度下的小模型上获得的结果无法直接可靠地外推到以实际速度飞行的全尺寸飞行器上^[3]。与普通飞机相比,航天飞机的风洞测试结果外推时又有其特殊的困难:风洞测试无法同时模拟出高马赫数、低雷诺数和真实气体效应,需要在不同的风洞中分别进行,对于不同因素相互耦合后的次级效应难以准确预见。正是由于从测试结果向实际飞行情况外推中的种种不确定性,质疑者们完全可以合理地怀疑通过不完备的测试和不可靠的外推得出的技术事实。

三、测试标准与操作中的不确定性

技术测试会受到测试条件和辅助性假说的支配,技术测试者的能力和资质会影响到人们对技术测试结果的信念,从而给技术测试标准和操作程序引入大量的不确定性。与科学实验类似,技术测试同样面临着经典的“杜恒-奎因论题”(Duhem-Quine thesis)的困难:经验检验适用的对象是整个理论体系,而不是其中的单个陈述,预测出问题时,我们可以通过修正背景知识以保留相关假设。在科学和技术中都会出现这样的情形:成功的实验取决于一系列的程序和 능력。每一个程序都可能受到质疑:程序本身是否正确?实验者是否具备相应的资质和能力?操作是否正确?等等。

在技术测试中,“杜恒-奎因论题”具体体现为

两类困境。

第一类困境是测试操作中的“实验者回归”。由于科技活动并不能被化约成可以机械套用的规则体系,往往会涉及到意会技能,了解一项实验是否由称职的人开展的唯一方法是看它是否产生了正确的结果。然而,当正确的结果上出现争议时,设备及其元件的正常运行和实验者的正确工作方式又是通过其参与产生正确实验结果的能力来定义的。科学知识社会学家柯林斯将这一循环称为“实验者回归”(experimenter's regress)^[4]。当实验发现“应该”是什么出现争议时,就会出现“实验者回归”。例如,一个有争议现象的相信者们会将没能探测到该现象的实验贬为能力不足而不予考虑,而不相信该现象存在的人们则对那些确实探测到该现象的实验不予考虑^[5]。这就使科学实验的可重复性原则面临挑战。

在航天飞机项目日常运行过程中,NASA 对承包商的技术与合同监管实践中就出现过“实验者回归”的情形。下面以固体火箭助推器的测试为例进行分析。

固体火箭助推器项目合同将作为政府机构的马歇尔航天中心与作为承包商的锡奥科尔公司绑定到了一起。该合同会明确产品规格、验收标准等问题,但具体的测试方法和手段却是由承包商和马歇尔航天中心各自把握的。马歇尔航天中心工程师的角色是对锡奥科尔公司实施监管:找出缺陷和错误,确保承包商遵守合同,为此,马歇尔航天中心发展了自己的测试设备和实验室。然而,马歇尔航天中心的职责是实施政府监管和控制,而不是复现承包商的测试结果,因此,马歇尔航天中心的测试方法和测试设备与锡奥科尔公司的并不完全相同。

不同的测试方法、设备与测试器材产生了两组不同的信息与工程解释,不出意料,确证的仅是“实验者回归”。20 世纪 70 年代中期至 1985 年,马歇尔航天中心与锡奥科尔公司的工程师们就固体火箭助推器点火后连接部的动态运动问题一直存在着分歧。双方的设备产生了相互冲突的结果:看上去极小的差异导致工程问题上的重大分歧,体现在非正式的会谈和正式的会议中。双方在测量装置的适当性与校准以及数据的解释上都有分歧。马歇尔航天中心的工程师们认为他们的设备更高级,而锡奥科尔公司的工程师们则对自己的设备和分析满怀信心,并倾向于为自己的设

计辩护。双方机构所信奉的工程哲学思想则为争论火上浇油。双方的代表都认为自己的工程哲学更恰当,而对对方的不切实际;在锡奥科尔公司的工程师们看来,马歇尔航天中心的工程活动遵循一种过于保守的哲学,像“恐龙”一样行动;而在马歇尔航天中心的工程师们看来,锡奥科尔公司的工程哲学在工程标准上妥协,几乎是在冒险^[6]。

第二类困境是测试操作程序所依据的标准。在科技工作日常实践中,实验者回归是通过找到一种独立于实验输出的标准作为检验实验质量的标准来避免的,比如对仪器进行校准,考察实验者完成其他实验的能力等。不过,怀疑者完全可以对标准本身提出质疑,在科学技术发展的前沿,这种情况并不罕见。公元2世纪的怀疑论者塞克斯都·恩皮里柯(Sextus Empiricus)指出:“为了解决关于标准问题的争论,人们必须拥有一个得到公认的判定标准;为了拥有获得公认的标准,关于标准的争论必须已获解决”。柯林斯将这一论述称为“塞克斯都论题”。他认为,“实验者回归”要揭示的是在人们普遍认为科学已经解决了标准问题的情况下如何应用“塞克斯都论题”^[7]。换言之,“实验者回归”是一种比“塞克斯都论题”强的论断:即便存在标准,“得到正确的结果是什么意思”仍然是可以争论的。

“塞克斯都论题”的困境在航天飞机项目的研究设计中有明显而典型的体现。当项目运行遭遇技术和财政问题,尤其是出现重大灾难时,国会介入调查,此时人们对技术人员和项目管理人员的能力、测试对象和测试设备是否运转正常都会产生怀疑,而许多测试设备往往应用范围狭窄,甚至是专用于该项目的,要就测试的标准达成一致相当困难。20世纪70年代末国会对航天飞机主发动机研制工作中出现的问题的调查就出现了这种情况。

为了调查航天飞机主发动机研制中的一系列预算和技术困难,回应各方面的批评,美国国家研究委员会于1978年1月成立了以麻省理工学院的科弗特(Eugene Covert)教授为首的“航天飞机主发动机项目评估特设委员会”(以下简称科弗特委员会),向参议院科学技术与航天分委会报告。当时一些国会议员已对NASA失去信心,科弗特委员会的职责就是明确判定主发动机测试中的技术故障是在“正常发展曲线”之内还是“拙劣判断”的结果。在调查中,委员会成员与NASA在一些

关键术语的定义、技术标准的把握上出现了重大的分歧。

在科弗特委员会展开调查的时候,NASA并没有适用于测试主发动机高压涡轮泵的测试设备。发展一套能完全了解高压涡轮泵工作机理的复杂测试设备所需的时间可能会长达数年,难度并不比发展发动机本身低,NASA局长弗罗施(Robert A. Frosch)据此认为发展用于部件测试的测试平台并不合算,决定启用现有的发动机整机测试平台,通过对发动机系统进行整体测试来测试作为其组成部分的高压涡轮泵。换言之,NASA打算用发动机本身作为涡轮泵的测试平台。科弗特委员会则坚持发展部件测试平台,进行部件测试。然而,不同机构对于“部件测试”的定义和标准却是不同的。从复杂性的角度看,有待测试的部件的大小会随着正在发展中的具体系统及其发展机构的不同而不同。此外,不同组织对于通过测试应产生哪些相关数据也有不同的判断。以涡轮叶片“故障”为例,美国联邦航空管理局会将涡轮叶片裂纹认定为故障,并不考虑裂纹增大到完全断裂所需的额外时间;包括NASA在内的其他机构在计算安全指数时却会算进这一时间^[8]。

四、技术测试中认识困境的社会意义

流行观念认为,科学家与工程师们知道真理,至少在他们的专业领域是如此。假如两位科技专家围绕技术事实问题发生冲突,按照逻辑上的排中律,他们中必有一人在撒谎或犯了错误。然而,通观许多技术争议的全过程,争议双方的技术专家们在公众看来往往是同样称职而正直的,导致他们分歧的原因不在于个人专业能力和品行操守。为了在查明真相的基础上作出明智决策,公众及其政治代表会觉得有必要打开技术的“黑箱”,考察技术事实产生的过程。

技术测试是技术事实建构的核心环节,打开技术的“黑箱”势必要求对技术测试过程的细节一探究竟。然而,技术测试过程往往需要运用极为深奥的专业知识,用到极为复杂昂贵的设备,外行公众及其政治代表由于不具备与技术专家相当的知识与手段,往往无法在技术事实问题上发表令人信服的意见,最终往往只能依赖由另一批专家

组成的“中立”调查委员会。可是，来自不同机构的专家委员之间往往仍会发生争执，争论的最终平息往往仍需要启动民主表决的程序。

技术测试中的认识困境为向外行公众及其政治代表打开技术“黑箱”、突破与技术相关的公共问题上的技术专家话语霸权提供了契机，揭示出技术民主化的前景。技术测试中探索与说服的双重职能冲突意味着技术事实并不那么“纯”，往往掺杂着机构和个人的利益，对这类争议的深入分析有助于揭示出“事实”之争背后的社会利益之争，而在利益之争的问题上，公众显然是有发言权乃至决定权的。测试与应用条件相似性判断以及测试标准与操作中的复杂性和不确定性也不只是纯客观、纯技术性的事务，其中同样暗含着价值判断。科弗特委员会与 NASA 围绕测试标准和方法之争的背后暗含着宇航员生命与航天系统成本之间的权衡。从技术性争议中发现这一暗含的价值判断问题后，外行公众完全可以绕过芜杂的技术细节作出明智的决定。一旦国会经由民主程序作出了决定，愿意为安全付出更多的成本，NASA 显然乐意接受科弗特委员会的立场。总体而言，这些困境意味着技术“事实”往往并不像外行公众初看起来那样“硬”，质疑者只要有充分的资源和耐心，总是可以找到办法去挑战技术测试结论，找到颠覆技术事实的缺口。

技术测试，乃至更一般的科学技术活动中，技术问题与社会问题之间并没有截然的界限，只要有充分的资源、时间和坚定的决心，人们原则上可以把任何技术问题都发展成社会问题。一旦发展

成公共领域的社会问题，不同领域的技术、法律专家、政治人物、媒体和社会普通公众原则上都有有权参与讨论乃至决策。在此情况下，保障公众参与和知情权既是维护社会民主的基本要求，也是暴露各种问题、矛盾和隐藏议程，制定更加科学合理公正的科技政策的可靠保障。美国两次航天飞机事故后的国会调查及随后的一系列载人航天政策调整的事实充分说明了这一点。

参考文献：

- [1] NASA. Constellation Program: Ares I-X Flight Test Vehicle——The First Flight of a New Era, NASA Facts, FS-2008-04-142-LaRC[EB/OL]. [2013-09-28]. http://www.nasa.gov/pdf/257539main_aresIx_fs_070808.pdf.
- [2] Aldrin B. Why We Need Better Rockets[N]. Huffington Post, 2009-11-09.
- [3] Vincenti W. What Engineers Know and How They Know It: Analytical Studies from Aeronautical History[M]. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1990:25.
- [4] 柯林斯 H. 改变秩序：科学实践中的复制与归纳[M]. 成素梅，张帆，译. 上海：上海科技教育出版社，2007：64-71.
- [5] MacKenzie D. Inventing Accuracy: A Historical Sociology of Nuclear Missile Guidance[M]. Cambridge: The MIT Press, 1990:353.
- [6] Vaughan D. The Role of the Organization in the Production of Techno-scientific Knowledge [J]. Social Studies of Science, 1999,29(6):920-921.
- [7] Collins H. The Experimenter's Regress as Philosophical Sociology [J]. Studies in History and Philosophy of Science, 2002,33:154.
- [8] Pinkus R, Lynn B. Engineering Ethics: Balancing Cost, Schedule, and Risk-lessons Learned from the Space Shuttle [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997: 200-201.

Cognitive Dilemmas in Technological Tests

——A Case Study of America's Space Shuttle Program

HUANG Jia

(School of Humanities and Social Sciences, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Technological test is a core section in the construction of technological facts, which is believed to provide a solid foundation for solving technological disputes. However, the process of a technological test is affected by various social and psychological factors and may lay itself open to suspicion, thus leading to a series of cognitive dilemmas. Based on a case study of technological tests in America's space shuttle program, this paper analyzes three types of dilemmas, which are caused by the dual function of exploring and persuading assumed by technological tests, the complexity of similarity judgments between test and application contexts, and the uncertainties in test standards and procedures. An appropriate use of these dilemmas may provide a path towards technological democracy.

Key words: technological test; epistemology; space shuttle

(责任编辑：李新根)