

地动仪的历史真实和科学价值

冯 锐

(中国地震局地球物理所, 北京 100081)

近期, 社会上出现了一种彻底否定张衡地动仪的极端观点。认为地动仪不过是个“无用的摆设”戏称“礼器”, 史书中的陇西地震是“编造的故事”, 100 多年来各国科学家的所有复原模型也都“不过是艺术品摆设。”引起了公众认知的混乱。

这种否定观是如此的离谱, 无据无理, 为质疑而质疑。把地动仪与中医一起作为“伪科学”来鞭挞, 质疑“张衡地动仪是真的吗?”, 视复原研究为“地动仪的历史泡沫”, 把严肃的学术研究搞成闹剧。如果地动仪的这个 ABC 始终在国内处于迷茫态, 科学的辉煌被浮躁的嘈杂玷污, 还岂谈世界的公认。纵观历史, 首先肯定地动仪价值的本就源自海外: 1875 年, 日本人, 首届日本地震学会会长服部一三; 1883 年, 现代地震学之父——英国人约翰·米尔恩第一个向世界介绍了地动仪: “人类第一架地震仪器是中国人张衡发明的”, 特别对陇西地震的成功测震予以翻译介绍。他深入研究了地动仪, 并为这类特殊的仪器起了个英文名词——Seismoscope(验震器), 在张衡科学实践的启迪下发明了现代地震仪。就这样, 张衡地动仪在随后的 100 多年一直被西方学界作为“中国验震器”加以研究和推崇, 它的复原模型和美国探月的岩样作为人类文明进步的标志, 并列摆放在世界知识产权组织总部供人们景仰。

地动仪的真实性和科学地位本是早有定论、毋庸置疑的。为解决目前的迷茫认识, 看来有必要走向历史, 补上该补的课。

本文从下述 6 个方面说明其历史的真实: 1 史料记载不是孤证, 2 考古结果有旁证, 3 地动仪的发明旨在检测地震, 4 古籍文字是科学实践的经验总结, 5 陇西地震及其观测是确切的, 6 失传存在社会背景。最后, 简谈地动仪的科学价值和发挥的历史作用。

地动仪的历史真实性

1 史料记载不是孤证

范曄从南北朝宋文帝元嘉九年(公元 432 年)开始撰《后汉书》, 历时 13 年完成, 其中的《张衡传》196 个字一直是介绍地动仪的经典依据。不过对于重大事件的认定, 学界有“孤证不立”的约定俗成。新的研究中, 在发掘和扩展历史典籍上取得了一些进展: 从东汉末年至范书之前的 320 余年间, 东汉史书共有 13 部, 迄今有幸留下的完整或不完整的史书共 9 部, 其中另外记有地动仪文字的是西晋司马彪公元 306 年的《续汉书》, 东晋袁宏 376 年的《后汉纪》以及范曄《后汉书·顺帝纪》。与范书相比, 《续汉书》的时间提早了 140 年, 文字量增加到 238 个字。相比之下, 技术内容更加准确和丰富的是《后汉纪》, 还不是大家常引用的《后汉书·张衡传》。这些文字分布在国家图书馆的最早的 7 份善本里(图 1)。后来, 又在南北朝(陈)虞荔(-561 年)的《鼎录》中发现了有关地动仪的 16 个字。上述共 254

个汉字，是祖先留下的珍宝，也是新版地动仪复原研究的史料依据。

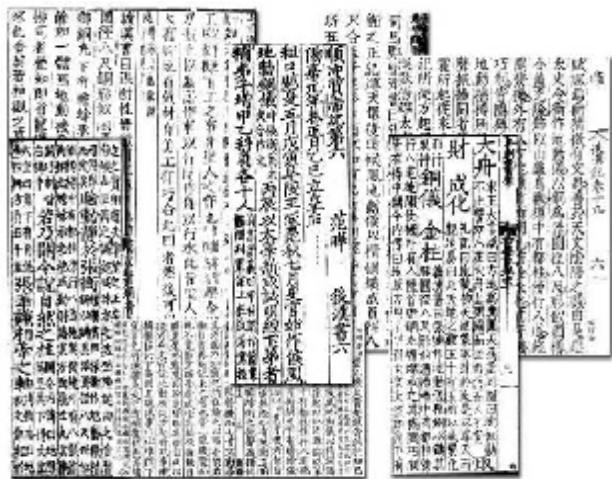


图 1 新发掘出来的 7 种有关地动仪的史料记载

由此，地动仪史料的“孤证之虑”可以排除。如无充分证据，切不可轻易地否定它的真实性和可靠性，这是个原则问题。文字不丰富，是历史研究的普遍特点。历史越久远，文字越稀少。但是稀少不能成为否定论的依据，不能用近代史和现代史的标准来要求古代史。恰恰在这点上，所有的否定论者都没有利用和研究新资料，都在史料面前发生动摇而止步不前。

2 考古结果有旁证

张衡地动仪置于京师洛阳城南 2 里的灵台进行观测。中国社会科学院考古所于 1975 年对灵台地基进行了考古发掘，我们又对测震的地质条件做了 3 次现场踏勘。地动仪置放在灵台西侧的第二层平台的两间观测室的北间，室内长 10m 宽 2.2m，高出地面 2m，该房间的地面处理很特殊，是灵台唯一的铺设了两层 2x2 汉尺大方砖的地面，属稳定承载地动仪所需（图 2）。高台状的地基对地震波有结构性放大作用，加速度可能接近 1gal，对测震十分有利；房间宽度不到九汉尺，仅容“圆径八尺”的地动仪，故蟾蜍只能为器足；根据对台基土样的分析，可推算出地动仪的总重仅为几吨重。此外，史书还清楚地记载下来，灵台的编制共 42 人，实施 6 项观测：“十四人候星，二人候日，三人候风，十二人候气……”。不知道“候风地动仪”的项目是否属于三位“候风”者之责，抑或兼顾的任务。

史载仪器“形似酒尊，其盖穹隆，饰以篆文、山龟鸟兽之形……，下有蟾蜍承之。”我国自 1962 年后出土了几十件汉代酒尊，有的还镌刻着“酒尊”二字的铭文，故其基本形制在 1991 年以后已经定论。共分三种类型，其中的温酒樽 11 件恰恰都具有穹隆状顶盖、下有器足承托、表面有山龟鸟兽的纹饰，几乎活脱脱地展现出了史书对张衡地动仪的描述。从物理学上看，这种造型上小下大，无需任何改动就已经非常适合于悬垂摆工作了，稳定性也十分好。这说明，史料记载得到了考古发掘和出土文物的支持。

《鼎录》中有一段信息令人关注：“张衡制地动图，记之于鼎，沉于西鄂水中。”汉代的西鄂就是张衡的故里（今河南省南阳市卧龙区石桥镇）。铜鼎是否还在，有待今后证实。

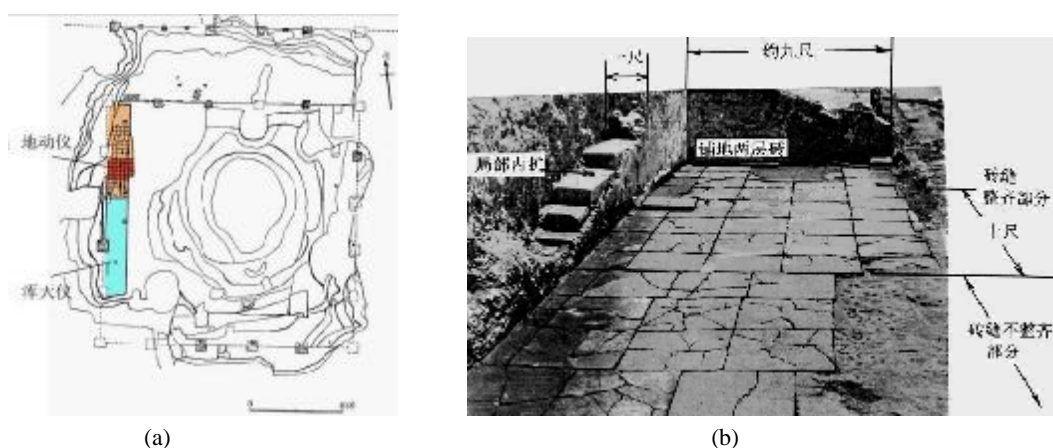


图 2. 1975 年灵台考古发掘 (a)灵台遗迹的平面图；(b)所发现的安放地动仪的房间

3 地动仪的发明旨在检测地震

汉代，地震被认为是苍天对皇帝失当的惩戒和警示。因此地震的发生紧紧地把百姓的安危和政权的稳定连在一起。社会需要一种仪器，能对天地合一的灾异实现神圣的知晓、明示和解脱，为国事占卜凶吉，即所谓“观祲象、察妖祥”——观测自然、辨明凶吉。地动仪的发明究竟是为检测地震还是作为祭神礼器之用，并不难判明。

地震与非地震运动的关键性差异：非地震运动以微弱的垂直向“颤抖、颤动为主”，地震波却以强烈的水平向“摇动、晃荡为主”。迄今，人类只发现了两种天然结构可用于验震——悬挂物和液体表面——“不是地震它不动，只有地震它才晃”，灵敏度远远高于人。研究表明，张衡地动仪正是采取了悬挂“都柱”的办法，利用物体惯性去测震。我们从史料对地震的描述“地摇京师”、地动仪的“柱关道机丸”结构、以及“地动摇尊，尊则振，龙机发，吐丸”的反应次序等等，可以判定地动仪确实是为检测地震而设计的仪器，结构简单合理。一旦发生地震，会像所有的悬挂物一样自然地摇晃，只是更加灵敏和稳定。从现代科学来看，它并不神秘和不可知，只是有个逐渐深化的研究过程，不要把前人复原模型的某些不足混同于历史原件。

地动仪验震思想的出现并非空穴来风，是对客观现象的质朴模仿。东汉时代，人们日常生活中存在大量的悬挂物，如吊锤、编磬、编钟、吊篮和悬挂的字画等，举不胜举；那时的社会还有好居高楼的遗风余韵，三、四层楼房很普遍。于是地震时高层建筑的结构放大响应会使所有悬挂物的摇晃、摆动、震荡更加明显和持久，从而被人们注意到它们与地震之间的稳定对应关系，成为诞生科学思想的物质基础。“地震没地震，抬头看吊灯”，今天的人们难道不是采取同样的办法来检验地震吗。

4 古籍文字是科学实践的经验总结

地动仪是地震学的一个专业仪器，仅对史料作文字解读（即训诂）远远不够，必须完成地震学的专业解读才能理解深层的技术内涵。新的研究中有个自律原则：严谨地对比不同古

籍文字，对技术部分（包括对陇西地震的反应）的每一个字和每个字的排列顺序都不能动。

专业解读的结果是，其中的 5 条内容具有明确的地震学意义，并可以推算出 3 个限制性参数。这些内容涉及到地动仪的几何尺寸、内部结构的（柱、关、道、机、丸）五部分、对地震波的水平响应和机械牵动次序、与地震的关系、实际测震的反应效果。所推算出的 3 个限制性参数分别是：仪器外径和通高分别为 2-3 米；地面位移量 2-4 毫米；陇西地震 6.5-7.0 级，震中距 500—700km，洛阳的烈度为 III+—IV，加速度约 1gal。这些内容已经涉及到了测震学上的特殊细节，多项参数彼此吻合，能够与现代地震学的理论与观测事实符合。这说明，史料文字客观地、准确地记载了仪器的内部结构，如实地写清了所发生的现象。尽管，张衡本人并不会也不可能理解其中的物理机制和参数关系。

这些文字确实曾令国内外很多的地震学家震惊和折服，至少在 300 年前还在全球找不到一篇能与之媲美的，以至于在 19 世纪末现代地震学起步的时候，还只能先从分析张衡地动仪开始，并惊叹张衡已经取得了检测远震的成功经验。这是中国的第一篇含有大量明确信息的科学论文。其内容大大地超出了一般人的知识水平，没有想象的空间，不是文学家和史学家可以杜撰编写的东西，是非经实践绝写不出的、即真知来源于实践的产物。说实话，如果不作科普宣传和解释，今天的 500 个人中几乎碰不到一位能用正确的文字把现代地震仪的内部结构、动作次序、对地震的反应特点、运动方向与震中的关系写出来的高手。而我们面前的 200 余字的史料却做到了。

当然，它是古文，实践的次数毕竟有限。最常见的误解有二：“哪地震往哪掉球”，“能测震中”。正确的解读应该是：小球掉落在地震的方位上（即，在震中距很大的前提下，可以指向地震，但也有背向的情况），史料文字正是“寻其方面”并没有说“寻其方向”。此外，震中位置也不是一台仪器能解决的，需要靠台网的交切来确定。细读史料后有理由相信，张衡本人同样也是只知道地震而不知道震中的，也是在被“京师学者咸怪其无征”的“数日”责问后才从驿报中得知发生于陇西的。事情看似不尽完美，其实非常合理。正是因为史料中含有这些连现代单台地震仪也确定不下来的问题，反倒证明了史料记载是客观而准确的，描述了地动仪的真实工作过程，反倒说明了古人在陇西地震中确实取得了与今日完全相同的体验，所以仪器的真实性才能够被国际地震学界接受和承认。

5 陇西地震及其观测是确切的

早期误传的地动仪检测到 138 年陇西地震，已经被改正为 134 年 12 月 13 日的陇西地震。后一事件早于 1983 年便收入到我国地震学的权威目录《中国地震历史资料汇编》中，兰州地震研究所的历史地震专家又于 1989 年分析过它与地动仪的关系，新的研究进一步从更大的范围即不同史料的记载差异、对陇西地震的描写、历史背景、张衡的生平、张衡的诗文、汉代地名考、地震烈度衰减等等作了深入，支持前人的推断。为慎重起见，对地震事件还进行了严格的“实证后验”，即根据地震影响场可以重复的特点，对以后的类似事件进行了验证对比。

其一，对比了清朝的有过极其详细记载的 5 次陇西地震。结果表明：这些地震的震级在

7.0 ~7.5，都在洛阳产生了相似的结果——人员无感或者刚刚有感觉。震级范围和烈度衰减都在合理区间。其二，复核了近年洛阳地震台对几次陇西地震的现代纪录图，证实了洛阳的震相确实为地震面波，以近东西方向的晃动为主，围绕在震中的方位上，符合史料叙述的特点。其三，又根据洛阳台对 3 次现代陇西地震的纪录数据，计算出了理论的“134 年陇西地震的复原地震图”，其位移和最大加速度的数量级符合史料现象。其四，在实验室利用振动台控制技术“复现”了前述灵台地面运动和其他的地震记录，进而对新的 1:1 的地动仪复原模型作实际检测，均获良好成功。这就证实了一件事，如果按照史料的结构进行测震，陇西地震现象能够得到重现。

面对这些结果，不难承认：古代仪器的历史真实与科学性是统一的。

早在 30 余年前，中国地震学的奠基人李善邦先生就讲过，史料所述的地动仪“验之以事，合契若神”虽有夸张但不无道理，暗示地动仪的测震不只陇西一次。因为测震仪器对于突发性地震的瞬间反应非常短暂，一般也就几秒钟，很难被观测者现场抓到。但是，史料文字却对仪器反应过程的记述非常准确到位，故仅有陇西的一次地震实践那是说不通的。李先生曾估计至少对 133 年的京师地震也有过反应，当地人都有感，也许没有“地不觉动”的陇西地震那么精彩而不为史载罢了。

6 仪器的失传存在社会背景

怀疑地动仪真实性的另一个误区，以“失传”来认定它是“无用的摆设”，混淆了仪器自身的科学性与应用中的社会问题。

张衡的科学实践超越了时代，但思想认识顺从了迷信。他试图借地震之机，改善朝纲。133 年的地震后他曾上书：“妖星见于上，震裂着于下，天诚详矣，可为寒心。今既见矣，修政恐惧，则转祸为福。”从此，开始了中国因地震而查处高官的历史先河，且愈演愈烈，直到东汉灭亡。显而易见，地动仪的出现及特有的验震功能，对高官们造成了严重威胁，蕴含凶兆。当 134 年成功测到陇西地震、且又有高官“以地震免”之后，刚升迁为侍中的张衡也就变成了满朝文武的诅咒对象，视他“终为其患，遂共谗之”。至此，张衡的人生道路逆转。在 136 年地震的次日顺帝再下“罪己诏”后，即被排挤出京师，直到 139 年降职为尚书回京，数月后长逝。逝前的 136 年 2 月、137 年 5—12 月、138 年 2—6 月和 139 年 4 月虽然多次地震，且强度很大，史料却再无地动仪的只言片语。随着张衡政治地位的一落千丈，地动仪的冷落和湮灭是必然的，最后失传于东汉末年战乱中。

不难看出，地动仪的短暂工作和失传存在着深刻的社会背景。当然，世界看重的毕竟是张衡迈出的地震科学的第一步——突破性的学术思想和发明，决不是具体地测到了几个东汉的地震。张衡与伽利略、哥伯尼等世界巨人一样，在他们辉煌成就之后都于凄风苦雨中结束了人生。

地动仪的科学价值和历史作用

如果把张衡的伟大贡献狭义地理解成作了一个地动仪，那无论如何是低估到底线了。他的伟大在于：在人类面对地震灾害只能被动挨打之时，他第一个站出来采取科学仪器的办法实施观测和研究，从此人类手中才第一次有了工具，能够站立在灾害面前，第一次认识到脚下的地动和地震的源发地是有一定距离、并与晃动方向有某种关系的。隐喻了“震中、震中距、波动偏振面”的原始概念。第二，也是最重要的，他开创了一个“如何在运动系统当中测量自身运动”的科学途径——利用惯性，以及实现这种测量所需的触发机构——“施关发机”。虽然他同所有的伟大创新者一样，并不会在一开始就完全理解其中的机理，但是他实践了，成功了。他的科学实践，实际上是在对波动过程进行着动力学的观测，因此其科学水平就远远超过了同时代的所有的以静态测量为基准的仪器（比如表、浑天仪、漏壶等），以至于到了 18 世纪、19 世纪上半叶，在全世界还找不到任何一台测震仪器（包括水银验震器）能够与之相比，人们欲继续前进，必须也只能先向张衡学习。

受到历史和科学发展的局限，中国的先人们一直到了 19 世纪末仍然没有意识到张衡发明的深刻意义，从南宋的周密、清朝的何琬到 1833 年的阮元，“余终不信有其事”的痼疾就像吸了鸦片一般摆脱不掉。读一读史，便会看到有多少个“NO”传染到今天。就在国人愚钝的同时，处于工业化革命的海外学者却在努力地研究着张衡：1875 年日本人服部一三按照《后汉书》196 个汉字首先绘制了复原图；同在日本的英国人米尔恩又把这些汉字逐一地翻译成英文去理解；米尔恩在 1880-1883 年间对地动仪的潜心研究，使他确信张衡利用了悬垂摆原理，指出：“张衡地动仪的价值决不仅仅在于它是一个古老的发明，更重要的在于，它竟以极其相近的思路留给了现今时代的科学仪器以许多有意义的启迪。”在历经 52 种模拟试验后，米尔恩将张衡的惯性测量思想从悬垂摆结构逐渐演绎、转化、发展成水平摆，终于 1894 年发明了现代地震仪，随后便布设全球地震台网，实现了现代地震学的飞跃。他于 1897 年在台湾台北架设了日本本土外的第一台仪器，至今还珍贵保存于台湾国立自然博物馆。全球现代地震学的历史也就从 1900 年算起。看看今天所有的天然测震、工业测振、月球和海底测震，甚至于老人身上携带的“计步器”，无一例外的全部是张衡科学发明的后续衍生而已。

国人的历史课终于在 1917 年补上，中山陵的设计者吕彦直绘制了张衡地动仪外观图。1931 年 9 月为纪念我国自行建设的第一个地震台——北京鹫峰地震台的建立，地质调查所所长翁文灏先生题诗“地动陇西起，长安觉已先”，李善邦有“东汉张衡作地震仪，开科学之先河，绘其图，呈请翁文灏先生题句，置之鹫峰，以誌景仰”悬挂在地震台内（图 3）。11 年后，李善邦研制出了中国第一台地震仪。1936 年，王振铎按照悬垂摆原理绘制了他的地动仪复原模型。中国的地震科研工作之急步地追赶国际先进水平。



图3 1931年李善邦请翁文灏先生题诗的地动仪图画悬挂在鹭峰地震台

100 多年来，为什么张衡地动仪会被国内外如此关注不断研究呢？

复原地动仪并不是要替代现代地震仪和监测台网。说到底，只是为了从科学上研究一下，按照史料记载做出一个古代地动仪，结构简朴，原理明晰，试一试，看一看，能不能够实现高精度验震。让我们走进地震发展史的长河里，尽可能地靠近源头，和先哲进行超越时空的思维对话！使公众对张衡的科学实践有更加具体而深刻的认识，由此会得到无穷的思想启迪，我们的公众和孩子们能够从中学到许多地震科学的基础知识，感到由衷的亲切和光荣，激发自己像张衡那样为人类的进步做出自己的新贡献。

张衡已经远去，但他的探索自然规律勇于创新的精神将永不泯灭。百年来的复原研究就像奔流的河水一般，接替了前一波的浪花后，又愉悦地推涌着下一波。就这样，人们从历史走来，向未来走去，留下一片永恒的欢乐。