

地动仪是世界上最早准确检验出地震的科学仪器，多年以来，它和它的发明者张衡一直是中国古代科技文明的象征。早在1800年前，地动仪就可以成功检验出几百公里以外的地震活动。可谁都没有想到，今天，我们引以为豪的地动仪却从没有像史书中记载的那样，在地震发生时指示方向、吐出铜丸，只能成为供人欣赏的展览品。地动仪神奇的验震功能凭空消失了——

## 错从何来

1976年，河北唐山发生了里氏7.8级的强烈地震，举世震惊。当时距离唐山175公里的北京也有强烈震感，很多建筑物出现裂缝。然而，存放在历史博物馆中的地动仪却没有任何反应，这让当时在历史博物馆工作的李先登研究员疑惑不解，还没等他明白其中原因，又发生了另一件让人哭笑不得的事。1988年，中国历史博物馆应邀在日本奈良举办了中国古代科学技术展览。开幕式那一天，因为工作人员实在想不出办法通过震动让地动仪龙口内的铜丸掉落在蟾蜍的口里，就专门让一名工作人员用木棍将龙口内的铜丸拨出进行展示。一时间，质疑声四起，象征着中国古代先进科技的地动仪成为了众人调侃的对象。

关于地动仪的记载，最为人熟知的就是南北朝时范晔在《后汉书·张衡传》里的描述，地动仪“形似酒尊，中有都柱”，因曾经成功验证了一场人类没有感觉的陇西地震而声名远扬。不仅如此，现代地震学之父约翰·米尔恩在他的第一本地震学专著中，肯定了自己发明的地震仪的设计思想来自于中国张衡地动仪的启发。

在很多反映中国古代文明的影视作品当中，司南、地动仪等形象经常出现在观众的面前，这就使人们产生了一种地动仪是出土文物的错觉。然而或许很多人并不知道，真正由张衡制造的地动仪，早在1800年前就已经失传了，地动仪发明于公元132年，东汉末年到西晋时期，战火连绵，公元190年，董卓一把大火烧毁了洛阳，地动仪失传。现在我们看到的所有地动仪，都是根据史料记载复原的模型，尽管张衡制造的地动仪在1800年前已毁于战火，但史料中生动的描述却让后世子孙对它心驰神往。近代地震研究开始以来，许多国家的研究者都曾设计过地动仪的复原模型，但最常见的就是现在被人所熟知的、有点像啤酒桶形状的地动仪。1951年，国家历史博物馆的王振铎研究员完成了对地动仪的复原工作。1952年，这尊模型地动仪进入人们的视野，随即被编入全国中小学教科书，这就是至今仍被很多人误认为是出土文物的地动仪。

据了解，全世界共有13种张衡地动仪，分别来自不同的国家和不同的设计者，不同的理解使设计者设计出的地动仪原理不同、造型各异。在中国，由王振铎复原的地动仪模型深入人心，然而2002年，地震学家冯锐因为地震科普的需要，第一次接触到了地动仪的内部结构。他吃惊地发现，这个大家都引以为豪的地动仪，竟然存在着原理性错误。地动仪模型的都柱是一根直立的细杆，了解现代地震学知识的人都知道，地动仪能够检验出地震，必须对地震波带来的水平晃动产生反应，又不怕地面的上下震动，而一根直立的都柱即使是地动仪旁边有所震动，也会倒下，这种结构根本无法准确区分出地震和其他震动。冯锐无法理解，曾经成功检验出陇西地震的张衡地动仪怎么可能存在这样的失误。

## 寻找依据

1951年复原模型的错误，让张衡和他的地动仪受到普遍质疑，这种质疑甚至激烈到对中国古代科技思想的整体否定。奥地利学者雷利柏很尖锐地提出，张衡地动仪不是一个科学仪器，中国的张衡和他的

地动仪根本没有对地震学的发展起过任何作用。这对从事地震研究40多年的冯锐来说，无论如何也接受不了。如果是复原模型错了，那么真正的张衡地动仪会是什么样，在各个国家设计的地动仪模型中，一种与直立棍不同的思路引起了冯锐的注意。

“地震没地震，抬头看吊灯”，就是因为高高悬垂的吊灯对地面的水平运动非常敏感，会因为惯性不停摇摆，而这种地面水平运动正是地震波的特征性标志。19世纪，英国人米尔恩把“中有都柱”的中文直接译成“中间有一根柱子，这根柱子是悬挂起来的”。于是，米尔恩首先把悬挂物的这种属性运用到地震监测研究中，悬垂摆原理成为现代地震学的基础理论，米尔恩也因此成为现代地震学的鼻祖。

但有人指出，米尔恩在19世纪近代科技发展的基础上才确定了这样的理论，在1800年前的东汉，张衡怎么可能想到利用悬垂摆的原理来发明地动仪呢？原来，从考古发现中可以看出，汉代就已经有吊灯的存在，追溯到更早的商周时期，编钟等乐器都是悬挂起来的乐器。作为测震仪器，悬挂物有四个优点：第一，地震时才动；第二，十分灵敏；第三，频繁晃动，很容易被人发现；第四，《后汉书》中记载，“地动摇尊”，然后“尊则震，龙机发，吐丸，蟾蜍张口衔之”，说明悬挂物观测的是水平运动。正是由于以上四个原因，才使得张衡有了以悬挂物作为地动仪工作原理的理论依据。

冯锐花了两年多的时间，论证了张衡地动仪的工作原理应该是悬垂摆，悬垂摆的地动仪完全有可能在京师洛阳测到几百公里外陇西发生的地震，可是由于长期的误会，复原模型仍然被当作真正的张衡地动仪出现在学校教学和各项展览中，由此可见重新复原地动仪迫在眉睫。但是距今1800年的张衡地动仪早已毁于战乱，目前所有对地动仪的记载仅仅只是《后汉书》中的196个字，它们就像密码一样，把张衡和他的地动仪锁在尘封的历史中。

## 古书谜局

2004年，河南博物院和中国地震台网中心成立了重新复原张衡地动仪的课题组，打破了以前考古学家不懂地震、地震学家不熟史料的局限，对地动仪开展科学复原工作。新复原的地动仪，不仅要符合史书记载，能够检验出地震，还要符合东汉时期所能达到的技术水平。据《后汉书·张衡传》记载，张衡地动仪外形似汉代酒樽，但是我国出土的大量汉代酒樽多为直壁，中间鼓肚的却一件也没有。

考古学家对地动仪外形的质疑引起了地震学家冯锐的注意，他虽然花了两年时间得出张衡地动仪内部的都柱应该是一个悬垂摆的结论，可是都柱的悬垂摆动需要的空间是旧模型无法提供的。既然仪器的外形是由原理决定的，随着原理的彻底改变，必然迫使冯锐要思考张衡

## 《百科探秘》栏目带您

# 破译张衡地动仪密码



地动仪的外形究竟是什么样的。

我国出土的汉代酒樽，直径与高的比例接近黄金分割，地动仪外形大小可以因此确定下来。再根据“形似酒尊，其盖穹隆”的描写，圆底直壁的汉代酒樽，正好符合悬挂物摆动需要的空间，史料记载和科学原理相符。然而酒樽的形状确定后，还需要考虑蟾蜍摆放的位置问题。

2003年，李先登和冯锐等人一起到洛阳的汉代灵台遗址考察，仅仅凭范晔在《后汉书》中记载的“下有蟾蜍张口衔之”无法确定蟾蜍究竟是依托樽体还是散放在四周的。在历史学家和考古学家的帮助下，冯锐发现记载张衡地动仪并非

只有《后汉书》一家之言，更早的《后汉记》和《续汉书》中也对地动仪有所描述。寻找蟾蜍的位置，竟意外发现了更多的史料记载，对比这些比范晔的《后汉书》早约150年的记载，问题豁然开朗。范晔的“下有蟾蜍张口受丸”很明确地表达出蟾蜍既是樽体的器足，又能张口受丸。《续汉书》两次写到蟾蜍，两次作用并不相同，符合古人惜墨如金的风格，显然更加可靠、合理。

## 巧设“机关”

根据新发现的史料，地动仪的新外形基本可以确定下来，最艰难的内部结构设计随即开始。如果说外形还有文字描述，制作内部结构的科学数据该到哪里寻找又成了困扰工作人员的问题。要想科学地复原地动仪，必须以地动仪测出的陇西地震为标准，推算出设计仪器需要的定量参数。以往地动仪复原的最大困难是考古学者不了解地震仪器参数，地震学者不熟悉史料记载。这一次，冯锐必需站在两个学科的交叉点上，一点一点地打通古文记载和科学参数之间的神秘关联。

从《后汉书》关于陇西地震的记载中，地震学家推算出了都柱摆动的固定周期、地面水平位移量、震中距、京师洛阳的地震烈度等复原地动仪所必需的定量参数。然而有了这些定量数据，才只是从理论上证明张衡地动仪有可能被科学复原，在真正的结构设计中，难题很快出现。地动仪最重要的内部结构就是都柱，史书记载，都柱感受到地震波后发生共振，引发地震方向的龙头吐丸，其余7个龙头并不动。可是远隔几百公里，人都没有感觉到微弱地震波，地动仪是怎样感受到的呢？

史料中关于地动仪如何工作的描述只有“施关发机”4个字，根据这句话，冯锐在都柱下设计了8个方向的凸起，直接接触龙头吐丸，可是远隔几百公里传来的微弱地震波，动量太小，无法让都柱摆动。就算都柱能动，8个触点相隔45度，都柱运动的惯性也无法做到“一龙发机七首不动”。“施关发机”不能解决，地动仪动不起来，意味着这一次的复原失败了。忙了这么久，还是不能解答外界的质疑，复原工作遭遇到了前所未有的压力。

“施关发机”这4个字隐藏着什么样的秘密，参与复原地动仪工作的人员百思不得其解。冯锐几乎绝望，他只好撤掉图纸，工程暂告一段落。为了能够尽快复原张衡地动仪，冯锐决定重读古书，他慢慢发现对于古书中关于地动仪的文字记载，现代人还没有完全理解，要想成功复原地动仪，就必须先了解张衡的设计思想。

就在冯锐埋头苦读的过程中，几个关键字引起了他的注意，“施关发机，机关巧制，皆隐在尊中”。史料中记载的“机关”究竟是什么东西，冯锐做了大量的研究，机关就是结构，但在后来的研究中，冯锐发现“施关发机”中“施”为动词，“关”是名词，“发”是动词，“机”又是名词，也就是说，“机”和“关”是两个物体，这一点从后面的“皆隐在尊中”的“皆”字也可以得到证实，说明前面的名词为复数。

“机”很容易理解，“关”究竟是什么东西，冯锐做了大量的研究工作，最终了解“关”就是古代的门闩。古人为了解决物体运动的动量不足问题，常常采用小的触发机构来放大动量，这个触发机构就

叫做关。同时，冯锐又从古汉语专家那里得知，关还有大路交会处的意思。

原来，地动仪能够准确验震的最大秘密就在于这个灵敏的触发机构“关”，它处在都柱下方一个极小的锥形小台上，地震方向微弱的地震波传来，都柱和樽体发生相对位移，小球便会脱离都柱，滚落道中。道的尽头，正是连接龙头的杠杆结构“机”，小球触碰到机，龙口吐丸，这样的设计思想精密科学、简单有效，完全可以在东汉时期实现。

## 重现人间

然而就在冯锐等人研究出了地动仪的工作原理，拿出了全新的结构图之后，外界的质疑声依然不绝于耳，质疑的关键点就在于史书上说的陇西地震。《后汉书》中记载的陇西地震，在京师洛阳，人们并没有感觉到。而长期以来大家认为张衡地动仪测出的公元138年地震，在史书记载中却是“京都有感”，与描述不符，这一发现，对复原工作无异于灭顶之灾。要证明张衡地动仪的科学性，就必须以那次“地不觉动”的陇西地震来检验。陇西地震究竟发生在什么时间、地点，再一次困扰了复原工作人员。

在对史料的深入研究后，冯锐发现范晔的《后汉书》中有4次对地震的描述与地动仪测量的时间十分接近，其中公元134年的地震以及这次地震后引起的官员撤职引起了人们的注意，也恰恰是在此之后，张衡为官的道路走向了没落。在张衡那个年代，地震被认为是因为用人不当上天的惩戒。每次发生地震后，都会有高官被撤职。在范晔的《后汉书》中，详细记录了公元134年地震后，朝廷高官被罢免的事件，这与记载中地动仪起作用的时间也最为接近。冯锐由此推断，发生在公元134年的地震才是那场令地动仪声名远扬的陇西地震。

发生在公元134年的陇西地震，震中位于现在甘肃天水附近，距离京师洛阳600公里，洛阳地震烈度为3度到4度……在如此精确的数据下，复原后的地动仪在地震波的方向上吐丸正确，复原工作获得了成功。在此之后，研究人员又多次在真实的地震中检验了复原后的地动仪并取得成功。冯锐向世人证明了这个世界上最早的验震器绝非神话，它真的存在过、工作过。

令人费解的是，地动仪像流星一样，只留下了短暂的光辉后便悄无声息了。冯锐解释，公元132年张衡发明地动仪后，接连发生了几次地震，举朝震惊。公元134年的陇西地震，是张衡生平的辉煌顶峰，也是他悲剧的开始。当自然现象和政权斗争结合在一起，就算是天才的张衡也无法解释，频频发生地震究竟是谁的错。根据现有史料，公元132年地动仪问世，在公元133年和公元134年成功测震之后，便退出了历史舞台，没有人希望看到地动仪再测出地震，这个科学仪器已经成为那个时代的不祥之物。公元139年，张衡郁郁而终后，地动仪也毁于战火之中。

尽管张衡的地动仪没有流传下来，但《后汉书·张衡传》记载了地动仪的基本原理，这一原理是现代地震仪器的鼻祖，后人在张衡思想和他的地动仪的影响启发之下，才研究出近现代监测地震的仪器。毫不夸张地说，张衡地动仪正是现代地震学得以发展的基础，重新复原地动仪，不仅回答了国内外的质疑，也重新连接起这些失落的环节，让张衡和他的地动仪获得新的生命。目前，工作人员正在对重新复原的地动仪进行外部造型的艺术处理，新复原的地动仪预计2008年在新落成的中国科技馆向公众展出。

本文素材由央视《百科探秘》栏目提供