

中国科学技术史

第五卷 地学

第二分册

[英] 李约瑟 著

科学出版社

第二十四章 地震学

一、地震记载和地震理论

中国境内虽然并没有活火山，但是中国自古以来就一直是世界上最大的地震区之一。因此，中国人自然会保存有大量的地震记载，而这些记载现在确实已成为世界各地地震记录中最悠久、最完整的记录^①。中国史书中所载的早期地震资料，在黄伯禄和某佚名作者的书中[见 Huang (2) 和佚名(8)]已全部收录在内，但是查阅某些原始资料仍然是有好处的。例如，在《图书集成》中就用了六卷的篇幅为历代史书中的地震记载作了摘录^②。

① 任何一个有中国朋友的人都有可能听到关于地震的亲身经历。我的一个最好的朋友，就是由于1930年左右在河南发生地震时所住窑洞塌陷、全家遭难而成为孤儿的。

② 《图书集成·庶征典》卷一一五至卷一二一。《新唐书》卷三十四至卷三十六、卷八十八和卷八十九中关于地震的记载也是值得一读的，此书有德译本，见 Pfizmaier (67)。

我们从大森(Omori)的研究中得知,到1644年为止,见于记载的地震就有908次,而且都有可靠的数据。其中最早的一次是《史记》所载发生于公元前780年的地震^①,在这次地震中,有三条河道被阻断。南京从公元345年起到414年止,一共发生过三十次地震,从1372年到1644年,则不下110次。但主要震区都位于长江以北和西部各省。根据记载,从宋末到清初共出现了十二次地震频率高峰,并且表现出一种为期32年的周期性。地震有时会影响好几个省,但是一般说来,不会在几个地区同时发生,而且在中国和日本的地震之间似乎并没有时间上的相关性。公元1303年9月25日在山西发生的地震,是一次破坏性很大的地震,而1556年2月2日的那次地震据说曾在山西、陕西和河南三省造成八十万人的死亡。公元1128年的一次著名的围攻西安的战役,就是以一次地震而告结束的¹⁾。

① 《史记》卷四第二十四页反面。参看 Huang (2), vol. 2, p. 45。

1) 据《宋史·五行志》记载：“地震，金将娄宿围城弥旬，无外援，乘地震而入，城遂陷。”——译者

古代和中古代的中国并没有在 earthquake 理论方面取得很大的进展,但即便在欧洲,也的确要等到文艺复兴以后基本上搞清楚地壳的性质的时候,才取得一定的进展。但是,在与上面提到的那次发生于公元前八世纪的地震有关的文字记载中,我们就已经能够找到关于地震的早期观点了。《史记》中是这样写的:

在周幽王二年,西部的三条河的河床都因为地震而上升了。伯阳甫说:“周朝就要灭亡了。天、地的气的次序本来是不应当错乱的,其所以会发生错乱^①,是因为百姓之间出现了动乱。当阳遭到掩蔽而显露不出来,或者当阴挡住阳的道路而使阳升不起来的时候,就会发生地震。现在我们看到三条河都由于地震而干涸了,这是因为阳离开了它原来的位置,阴把阳镇住了。当阳离开了它原来的位置而让自己从属于阴时,河源就会堵塞。一旦发生这种情况,国家就必然会灭亡。当水流畅通,土地得到滋润的时候,老百姓就

^① 参看本书第二卷第十三章第五节和第十八章第四节所引赫拉克利特(Heraclitus)论太阳“不踰其度”的话。

丰衣足食；而当水、土失调时，老百姓就会贫困，这样，国家怎么会不亡呢?!从前，当伊、洛两河干涸时，夏朝就亡了；当大河干涸时，商朝就亡了。现在周朝的道德，同夏、商两朝当时的情况一样，正处在衰落状态，……因此，周朝不出十年必定会灭亡；这是天数所规定的（数之纪^①也）。”^②

〈幽王二年，西周三川皆震。伯阳甫曰：“周将亡矣。夫天地之气不失其序，若过其序，民乱之也。阳伏而不能出，阴迫而不能蒸，于是有地震。今三川突震，是阳失其所而填阴也。阳失而在阴，源必塞；源塞，国必亡。夫水土演而民用足也。土无所演，民乏财用，不亡何待！昔伊、洛竭而夏亡，河竭而商亡，今周德若二代之季矣。……若国亡不过十年，数之纪也。〉

在伯阳甫这段话中，除了关于国家兴亡^③的一般

① 参看本书第四卷第552页，“纪”是太岁纪年的术语，伯阳甫在这里所说的“纪”，很可能就是指太岁纪年的一纪。

② 参看 Chavannes (1), vol. 1, p. 279. 由作者译成英文。相似的记载见《国语·周语》卷一第二十页正面那一节；《前汉书》卷二十七下第五页反面。

③ 参阅《开元占经》卷四第三页正面。

说法以外，值得注意的是他所说的有关阴阳的看法^①。我们从《吕氏春秋》^②和《论衡》^③中可以看到，这类思想曾盛行于秦、汉两代^④，并且当时人们还认为地震可以通过天象而进行预测。在《易经》第五十一卦中包括有阳为阴所镇的说法，《易经》第五十一卦中所说的震，既可以指雷震，也可以指地震；在宋代的书籍中，例如在王恽的《玉堂嘉话》^⑤（1288年）中，仍然可以找到这种说法。

我们不要以为这种说法比古代地中海各国关于地震的说法更为原始。洛内斯（Lones）曾对亚里士多德时代及其以前有关地震的各种想法进行了综述。在《气象学》^⑥（*Meteorologica*）一书中扼

① 从我们在第二卷中所作论述来看（本书第二卷第十三章第三、五两节），在公元前八世纪时，似乎并不是人人都如此明确地采用阴阳学说，但司马迁在此处指为伯阳甫所说的这段话，却很带有邹衍时代（或比邹衍更早的时代）的特色。

② 见《吕氏春秋》卷二十九，西译文见 R. Wilhelm (3), p. 74。

③ 见《论衡》卷十七、四十二、四十三和五十八；西译文见 Forke (4), vol. 1, pp. 112, 127; vol. 2, pp. 160, 211。

④ 《开元占经》（公元718年）卷二第三页正面引了《星经》中的一段话，说地震是由于阴气过盛所致，并对诸侯不利。

⑤ 见《玉堂嘉话》卷二第二页正面。

⑥ 参看 *Meteorologica*, II, vii, viii (365a 14ff.)。

要地介绍了前人的各种解释,例如,阿那克萨哥拉(Anaxagoras)认为地震是由于过量的水从高处涌入低处和洞穴而引起的;德谟克利特(Democritus)认为当大地被水所饱和的时候,就会发生地震,而阿那克西米尼(Anaximenes)则认为地震是由于土块在干燥过程中堕入洞穴而引起的。亚里士多德本人在公元前四世纪时认为,地震之所以会发生,是因为太阳晒到潮湿的土地所产生的水蒸气在逸出时受到了阻碍^①。这种看法同中国人的“阳气伏而不出”的说法颇为相似。后面我们还要谈到,亚里士多德对岩石、矿物成因问题的看法同中国人对此问题的看法更为相似,两者都使用“气”这一名词来加以解释。直到进入近代以前,无论在欧洲或在中国,都没有在地震理论上取得什么进展。

但是这种“气”的理论无论在欧洲或在中国都占有重要的地位,这是十分明显的。在张衡诞生之前十年,塞尼卡(Seneca)曾经写道:

地震的主要原因是气,它是一种能够从一处迅速流到另一处的东西。如果不加扰

^① 莎士比亚在《亨利第四》这个剧本中(第一本第三场第一幕)曾对这种理论作了生动的叙述。

动,让它停留在空旷的地方,它会一动也不动地留在那里,不会对周围的东西发生什么影响。但是,如果有任何外来的因素激动它、压迫它,并且把它驱逐进一个狭窄的空间,……而它逃逸的道路又完全被封锁住的话,它就会“以雷霆万钧之势,绕着障碍而狂鸣”,在和这种束缚进行长期的斗争以后,它就会冲破障碍而上升。与它相斗争的障碍物越坚强,它就会变得越凶猛。^①

我们读这段文字的时候,简直就像是在读京房或汉代其他变化论者的文章。

二、地震仪的鼻祖

中国在地震理论方面虽然并没有占领先的位置,但是地震仪的鼻祖则是出在中国,这一点是无可置疑的。这是卓越的数学家兼天文学家、地理学家张衡(公元78—139年)的贡献,关于张衡,

^① 出自 *Quaestiones Naturales*, tr. Clarke & Geikie (1), p. 247。这段话引自 Virgil, *Aeneid*, 1, 55—6。

我们在上面已多次提到^①。不少现代的西方地震学家，如米尔恩 (Milne)^②、西伯格 (Sieberg) 和贝尔拉格 (Berlage) 等，都曾坦率地承认^③张衡在这一方面的巨大功绩^④。现代的亚洲学者，如李善邦和今村明恒 (这两个人本身也是地球物理学家)，都曾经研究过张衡的这项工作，另外一些亚

① 参看本书第十九章第八节第(4)小节，第四卷第409，451页，以及本卷第106页。

② 在米尔恩著作的较晚版本中已删去了关于张衡的地动仪的叙述，因此读者需参阅1886年版。

③ 但戴维森论述地震仪奠基者的著作竟未提到张衡；更为奇怪的是，诺特 (Knott) 的著作也没有提到张衡，因为诺特的书（也和米尔恩的书一样）是在日本写出的。

④ 有一件奇怪的事有必要在这里谈一谈。萨顿 [Sarton (1)] 在他的《科学史引论》中竟把地动仪的发明者说成是晁错；晁错是公元前二世纪的人。萨顿的唯一根据是西伯格谈到张衡的地动仪的一段话 (Sieberg, p. 211)，在这段话中，他把地动仪的发明年代公元132年误作公元前136年，同时只给了地动仪的发明者一个日本读音“Chiocho”（更确切地说，是给了一个错误的日本读音）。因此，米尔恩和萧 (Shaw) 只说是“Choko”所发明，而《自然》(Nature) 杂志1939年的一位作者只知道地动仪的发明者是“Tyoko”（这是根据今村明恒的日本译音）。按《前汉书·晁错传》（见《前汉书》卷四十九），并未提到地动仪或与地动仪有关的任何情节。因此，我们相信，萨顿在这个问题上肯定是搞错了，希望他在此书再版时将此条全部删去。

洲学者还为张衡写了详细的传记^①。

在《后汉书·张衡传》^②中载有关于张衡所发明的地动仪的原始材料，而且叙述得颇为详尽。这段原文已不止一次被译成西文或者用西文作了注释^③。我们曾根据原文对这些译文作了对比，下面的译文是我们吸收了各种译文的优点改译而成的：

阳嘉元年（即公元 132 年），张衡又发明了“候风地动仪”^④（即地震仪）^⑤。

① 参看孙文青 (2, 3, 4); 张荫麟 (4); 张钰哲 (1, 2)。

② 《后汉书》卷八十九第九页反面；又见《太平御览》卷七五二第一页反面。

③ 参看 Pelliot & Moule (1); Imamura (1); Forke (6); H. A. Giles (5); Waley (11); Milne (1)。

④ 伯希和曾因此处提到风而感到费解，他以为风一定和地震有关，但是问题是十分清楚的；因为张衡的地动仪能确定震中的方向，就和候风鸟能确定风的方向一样。竺可桢 (2) 曾坚决认为这里所指的是两种仪器，一种是候风仪（他把候风仪解释为一种风速计），另一种是地震仪。竺可桢在给作者的一封私人通信中说，他的论证是以《三辅黄图》中谈到候风鸟的一段话作为依据的，但是我们未能在这本晋代的古书中找到任何与地震仪有关的资料（关于《三辅黄图》这本书，我们在前面已经谈到，见本书第四卷第 741 页）。

⑤ 有人为了慎重起见，曾把这种仪器译为验震器，而不译为地震仪，但是我们认为根据后面的论述，使用地震仪这一名称是合理的。

这个地动仪是用精铜铸成的，形状象一个酒尊，直径为八尺^①。

仪器上有一个隆起的顶盖，仪器的外部刻有篆文以及山、龟、鸟兽等图形。

仪器的内部有一根中心柱，这根柱能够沿导轨向八个方向侧移，并以此操纵一个启（发）、闭（关）的开关^②。

它的外部，有八个龙头，每一个龙头的口中都衔有一颗铜丸，在底座周围则有八只张着口的蟾蜍和龙头相对，以便随时承受从龙口中落下的铜丸。

地动仪的牙机^③製得非常精巧，全部装在仪器的内部，盖子盖得非常严实，连一点缝

① 后汉时期的一尺正好相当于现在的九寸，因此，这个仪器的直径正好是六尺。

② 这句话非常关键。我们曾假定“关”与“发”是反语，但发机则是当时的弩机开关的术语，它是一种非常精致的黄铜机件（见后面第三十章）。如取此义，则王振铎的解释，就会得到强有力的支持。

③ 牙机不一定就是指齿轮。下面我们将会看到，王振铎和今村明恒两人都认为，这种地动仪必须要有齿，否则就一定要有栓。

隙也没有。

一旦发生了地震,地动仪就会受到振动,结果就会有一个龙嘴吐出铜丸,让它下面的蟾蜍把铜丸衔住。这时,地动仪就会发出响亮的声音,从而引起看守人员的注意。

尽管有一条龙的机关受到触发,但其余七条龙则会保持不动,因此,只要知道哪一条龙受到触发,就可以知道地震来自什么方向。根据所发生的地震的事实来加以验证,地动仪所指出的地震方向和地震实际发生的方向几乎一点不差。

以前,自从有了《书经》的最早记载以来,从来还没有听说过这样的仪器。

有一次,从龙口中掉下了一颗铜丸,但人们却都没有地震的感觉。京都的学者们都因为没有地震的证据而感到奇怪。可是过了几天,有信使从陇西来,带来了陇西发生地震的消息^①,于是,大家都承认这个仪器非常神妙。

① 陇西在长安西北,两地相距约 400 哩。翁文灏曾对甘肃省的历次地震进行了研究,并已将史书所载的地震列成了一张表(从公元前 780 年直到公元 1909 年)〔见翁文灏(2)〕。

从此以后，才开始命令史官记下地震来自什么方向。^①

〈阳嘉元年复造“候风地动仪”。

以精铜铸成，员径八尺。

合盖隆起，形似酒尊，饰以篆文、山、龟、鸟、兽之形。

中有都柱，傍行八道，施关发机。

外有八龙，首衔铜丸，下有蟾蜍，张口承之。

其牙机巧制，皆隐在尊中，覆盖周密无际。

如有地动，尊则振，龙机发，吐丸，而蟾蜍衔之，振声激扬，伺者因此觉知。

虽一龙发机，而七首不动。寻其方向，乃知震之所在。验之以事，合契若神。

自《书》典所记，未之有也。

尝一龙机发，而地不觉动。京师学者咸怪其无征。后数日驿至，果地震陇西，于是皆服其妙。自此以后，乃令史官记地动所从方起。〉

我想大家都会同意，这段话是具有重大的意义的。现在让我们先来看看，有什么办法可以把张衡的

① 由作者译成英文，借助于 Pelliot & Moule (1); Imamura (1); Forke (6), p. 19; Pfizmaier (92), p. 148; H. A. Giles (5), p. 277。

这个地动仪加以复原。王振铎曾在这方面作了有益的尝试 [见王振铎 (1)], 但是在这方面的过程当中, 特别使我们感兴趣的, 则是那些本身就是这一领域的专家的人对此仪器所进行的研究, 在这里我们具体指的是米尔恩和今村明恒。

首先, 米尔恩曾经正确地看到, “都柱”(即中柱) 实质上是一个摆。他和王振铎都认为它是一个悬摆, 而今村明恒则认为它必定是一个倒立的摆。所有地震学家都承认, 要制成一台在地震时只有一个铜丸会落下来(从而能“作出”地震记录)的这种地震仪, 在技术上并不是那么容易的, 因为地震时, 除了主震波(即纵波)以外, 常常还会有别的震波随之而来, 而且它们大部分是横向的, 有一些横波的力量可能很强。因此, 仪器中必须要有某种装置来使该仪器在作出第一次反应以后立即受到制动。

图 267 是李善邦对张衡的地动仪所作外形复原图。而图 268 则是王振铎所作内部构造复原图。根据王振铎的意见, 图中那个又重又粗的悬摆带动八条向八个方位伸出去的臂。每一条臂的末端有一直立的销钉, 此销钉活销在曲柄一端的



图 267 张衡公元 132 年所造世界上第一架地震仪的外形（由李善邦复原）

长孔内。曲柄的另一端安装有一根枢轴，因此，当悬摆向这一方向摆动时，龙的上颚就会抬高，于是龙口内的铜丸就从龙口中掉落下来，与此同时，曲柄上的钩就会钩住安装在器壁内部的掣爪，从而使整个装置受到制动。在王振铎的文章中，用很大一部分篇幅来说明东汉时代的人已经能够制作这样的装置，并以当时在弩机触发装置中所用杠杆和曲柄来证明他的论点。我们认为，他的意见

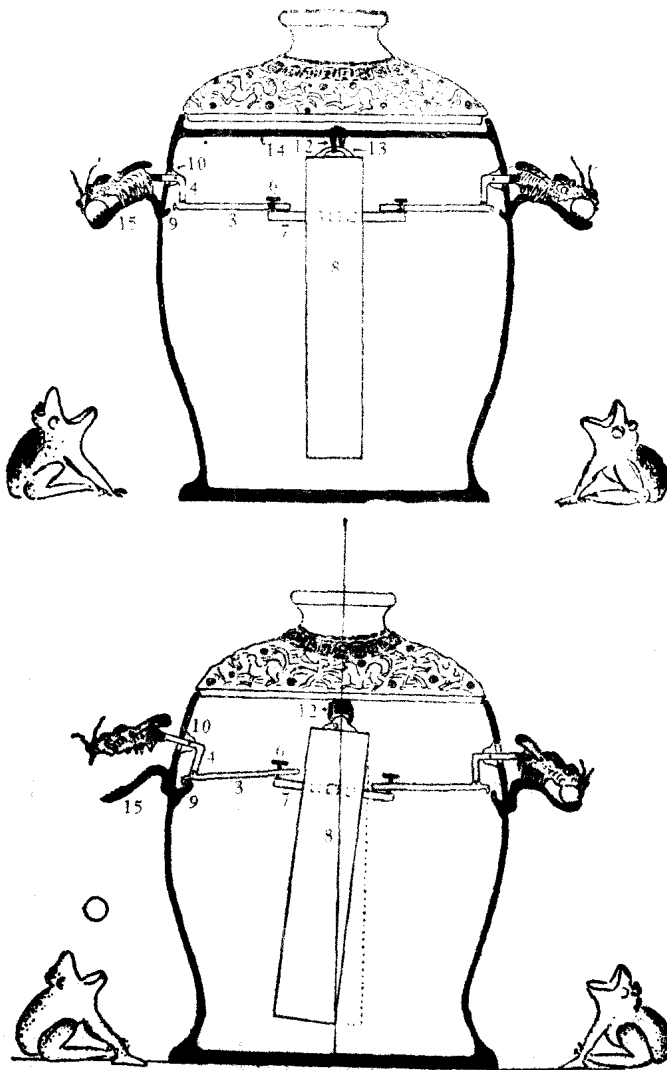


图 268 王振铎为张衡的地动仪所作的内部构造复原图 [见王振铎(1)]。地动仪内的悬摆带动着八条伸向八个方位的活动臂,每条臂的末端都和一个曲柄相连;曲柄末端有一个钩,可与器壁上的掣爪彼此挂钩。每一曲柄可使一个龙头抬起,从而使龙口内的铜丸落下,同时钩住器壁上的掣爪,使仪器受到制动。3——曲柄;4——能使龙头抬起的直角杠杆;6——穿过曲柄上一个孔的直立销钉;7——悬摆上的臂;8——悬摆;9——掣爪;10——突出杆上的枢轴;12——悬吊悬摆的绳子;13——吊环;14——支持悬摆的横梁;15——用来衔住铜丸的龙下颚

是正确的。

然而，今村明恒曾对王振铎的论点提出了异议，他认为王振铎所说的这种制动装置并不足以制止后到的横震波所引起的进一步运动。他认为该地动仪中的摆很可能是一个倒立的摆（见图269）^①。今村明恒认为，这个截面为圆形并附有一个重锤的摆是安装在一个底座上，它的直径为3厘米，其重心的高度为17厘米；使它发生倾侧所需要的最小加速度为8.7伽^②。重锤以上的部分做成针状（可能就是原文中所说的“牙”），针尖部分穿过两层隔板的中央孔洞，这两层隔板横着固定在容器上。每一层隔板上都有八条槽沟或者说八条导轨（它们很可能就是原文中所说的“八道”），重要之处在于针尖一旦由于最初的震动而进入其中任何一条槽沟，就不能再对后来的震波作出反应，从而也就不能再把别的铜丸撞落下来。在这种情形下，只要在下层隔板上装上滑块，就可以把

① 从王振铎后来所设计的复原模型（见图270）可以看出，他后来也采用了倒立摆的假设〔见王振铎（6）〕。

② $1 \text{ 伽} = \frac{1}{1000} g$ （这里 g 是重力加速度——译者）。