

一种有苗头的临震前兆

—对水平摆地倾仪波动异常的探索

程 式 许崇熔

(四川省地震局) (西昌地震中心站)

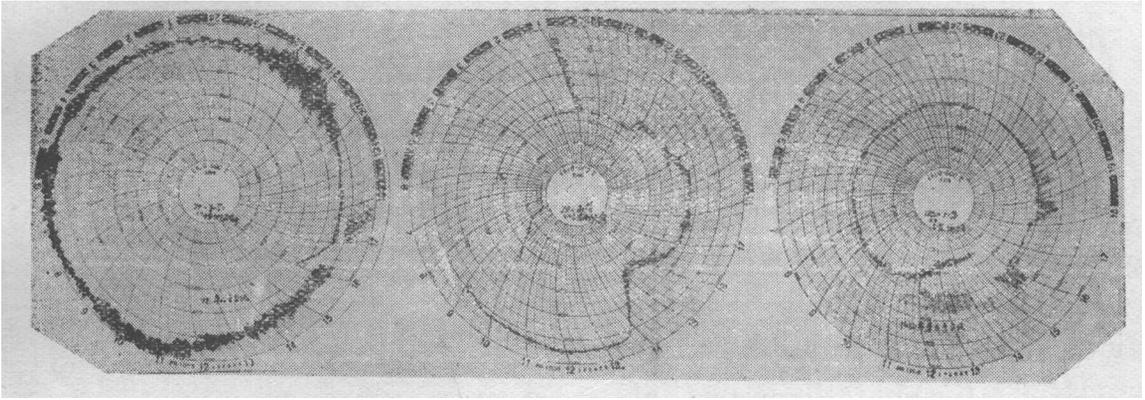
摘 要

六年来,我们用无阻尼水平摆地倾仪,在1.7秒—5秒的周期范围内,在一系列的强震发生前,分别记录到了一种明显的波动异常。并用它对不少的强震,诸如1976年8月16日松潘7.2级地震、1976年11月7日盐源6.9级地震,作了比较好的临震预报。实践证明这是一种有苗头的临震前兆。

本文是对六年来探索工作的一个总结,并对其成因机制作了初步的探讨。

国内外的地震学者都在努力地探索地震前兆,特别是短临前兆更引起各方面的关注,因为它是突破临震预报的关键。国家地震局新疆地震预报试验场的工作中,曾提出过形变波的传播问题。指出:“震源区就如一个波源,……产生一系列从高频到极低频的形变波。”〔1〕众所周知,水平摆地倾仪是一种拾震器。但是通常地震台所安装的带阻尼的周期调为大于10秒的水平摆地倾仪却从未记录到过这种形变波。1976年初,西昌有人打破框框,去掉阻尼,把周期调为5秒,终于在强震前记录到了一种明显的波动异常〔2〕。在异常出现后3—5天内往往有较大地震发生。从1976年5月起正式投入地震预报,曾对1976年8月16日松潘7.2级、1976年11月7日盐源6.9级等不少强震作了较好的临震预报〔3—4〕。后来,在位于龙门山断裂带的大邑有人也记录到了这种波动异常(水平摆,无阻尼,周期为9秒)(见照片)。看来这类波动异常是不受地区和地质构造条件限制,频带较宽的广为传播的一种临震前兆。只要去掉阻尼,当仪器的频率与波动异常中某一频道吻合时,就能产生共振,经记录器放大后即能记到这种波动异常。

• 水平摆技术指标,折合摆长—20.9;光杠杆长—1米;周期—5秒;阻尼—无;光记录—20°DIN示波仪记录纸,仪器置于地下室。

水平摆 ($T = 9$ 秒) 的记录图象

左：79年第8号台风干扰 右：80年第6号台风干扰 中：79年8月25日01时五原6级地震前的波动异常

The record of horizontal pendulum.

L typhoon interferece (N. 8, 1979) R typhoon interferece (N. 6, 1980)

M abnormal wave before earthquake (M = 6, Aug. 25, 1979) in Wuyuan

然而，正如照片所示，某些波动异常中夹杂有台风的干扰，且往往强台风登陆后有地震发生。有人认为这种波动异常是台风的效应，用它预报地震只是一种巧合。究竟是异常还是干扰？用它预报准了地震究竟是偶然巧合还是有其必然的内在联系？为此，从1980年起，我们对它作了新的探系。

历史资料的回顾

首先我们把西昌地区的水平摆记录资料进行系统整理，把波动异常出现时间、异常幅度与假设对应地震和台风干扰进行对比（所谓假设对应地震，并非指在地震目录上任意找一个地震，而是指在波动异常过程中或波动异常结束后48小时内照相纸上有清晰的震相记录者）。以1976年为例，共出现波动异常39次，其间全球共发生24次台风，对我国有影响的11次。其中台风引起水平摆出现波动干扰并触发地震者约占90%，没有触发地震者占10%尚有15次在没有台风干扰的情况下水平摆出现了波动异常，而且对应了地震。

典型的地震前兆波动异常振幅多为4—6毫米，波形包络线浑圆。几乎所有的台风干扰讯号都出现在台风登陆前后，振幅较大，一般在10—20毫米，包络线呈锯齿状（见照片）。

通过上述分析，使我们坚信在某一类地震发生前的确存在着波动异常，也的确面临着台风干扰，而且台风干扰讯号比地震前兆讯号更为强烈。虽然两者可以在波形上进行区别，但对此干扰必须予以排除。根据资料〔5〕“台风可以产生一种传播很远的次声波，它是一种周期在4—8秒左右，近似正弦的振动。在一、二千公里远处，它的声压一般有几微巴数量级”。5秒周期的水平摆正好处在台风所产生的次声波的卓越周期上，故必须避开这一周期。同时，我们选调不同周期进行试验，发现本地区地脉动的卓越周期在4秒左右。对地脉动的干扰也必须避开。为此，我们设计了新的试验方案，从1980年元月起，在西昌地震中心站前兆新方法试验组正式投入记录观测。

试验装置及结果

水平摆记录原理如图1所示。摆房为半地下室，深挖3米。水平摆放置在有隔离缝隙的水泥墩上，墩高1.5米。按正南北、东西向放置，周期分别调为2.5秒和3秒。光杠杆长度分别为0.30米与0.40米。计算格值为3.2角秒与1.67角秒。用放大倍数大于一万倍的XWC型自动平衡记录仪记录。记录纸上的相对格值分别有0.13角秒与0.07角秒。摆房日温差小于1℃。记录仪器室距摆房约5米。传输线外露部份均用铁管屏蔽后接入仪器室。仪器维护较好，资料连续完整。

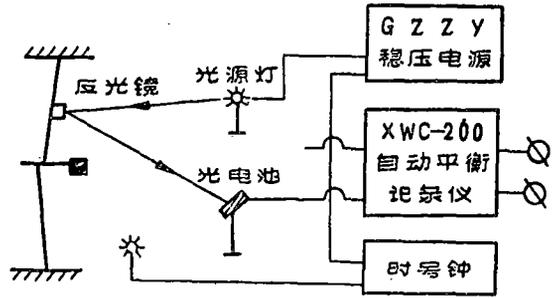


图1 水平摆记录原理图

Fig.1 The Principle scheme of horizontal pendulum record.

经过两年多时间的观测，发现用周期为2.5—3秒的无阻尼水平摆，在较大地震发生前也能记录到波动异常。这段时间内西昌附近共发生三次大于5.0级地震，分别是1980年2月2日木里5.4级（ $\Delta L \approx 100$ 公里），1981年元月24日道孚6.9级（ $\Delta L \approx 380$ 公里），1981年5月22日盐源5.0级（ $\Delta L \approx 150$ 公里）。在这些地震发生前10—15天便有断断续续的波动异常出现（图2—4）。对某些远强震也有前兆反应，特别是1981年6月10日06时青海乌兰乌拉湖6.8级强震（ $\Delta L \approx 1400$ 公里）发生前，5月30日出现波动异常，根据异常的逐步加剧，我们预感到地震即将来临，就于6月8日21时有意的加快了记录仪的走纸速度（从300毫米/小时加快到1200毫米/小时），终于记录到了临震前完整的波动异常和记录震相的可贵资料。如图5所示，清晰可见所谓的波动异常是一个接一个近似正弦的脉冲波组成，其振幅小者3—4毫米，大者6—7毫米，初动可辩。可能这次地震前产生的波动异常中有一组的优势周期在3秒左右，所以在周期调为3秒的东西道上引起了共振，记录到清晰的波动异常，而周期为2.5秒的南北道只出现微弱的脉冲，记录曲线平直。

经过两年多时间的观测，发现用周期为2.5—3秒的无阻尼水平摆，在较大地震发生前也能记录到波动异常。这段时间内西昌附近共发生三次大于5.0级地震，分别是1980年2月2日木里5.4级（ $\Delta L \approx 100$ 公里），1981年元月24日道孚6.9级（ $\Delta L \approx 380$ 公里），1981年5月22日盐源5.0级（ $\Delta L \approx 150$ 公里）。在这些地震发生前10—15天便有断断续续的波动异常出现（图2—4）。对某些远强震也有前兆反应，特别是1981年6月10日06时青海乌兰乌拉湖6.8级强震（ $\Delta L \approx 1400$ 公里）发生前，5月30日出现波动异常，根据异常的逐步加剧，我们预感到地震即将来临，就于6月8日21时有意的加快了记录仪的走纸速度（从300毫米/小时加快到1200毫米/小时），终于记录到了临震前完整的波动异常和记录震相的可贵资料。如图5所示，清晰可见所谓的波动异常是一个接一个近似正弦的脉冲波组成，其振幅小者3—4毫米，大者6—7毫米，初动可辩。可能这次地震前产生的波动异常中有一组的优势周期在3秒左右，所以在周期调为3秒的东西道上引起了共振，记录到清晰的波动异常，而周期为2.5秒的南北道只出现微弱的脉冲，记录曲线平直。



图2 木里5.4级地震前的波动异常

Fig.2 The abnormal wave before earthquake (M=5.4) in Muli

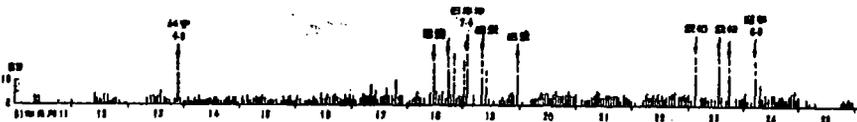


图3 道孚6.9级地震前的波动异常

Fig.3 The abnormal wave before earthquake (M=6.9) in Daofo.

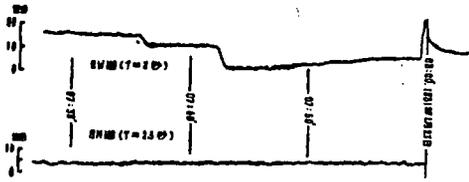


图 4—a 道孚地震前形变波

Fig. 4—a Deformation wave before the earthquake in Daofu.

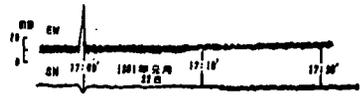


图 4—b 道孚地震前波动异常

Fig. 4—b Abnormal wave before the earthquake in Daofu.

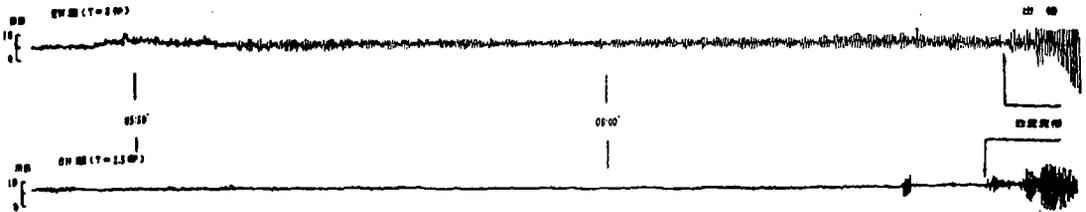


图 5 青海6.8级强震前的波动异常

Fig. 5 The abnormal wave before the great earthquake (M=6.8) in Qinghai.

值得指出的是，1981年元月24日道孚6.9级地震前正好叠加有台风。在T=5秒的水平摆记录到了明显的台风干扰，然而在这套新装置上却没有任何反应，达到了原先设计时排除台风干扰的目的。此外，图4—a EW道还记录到二个不规则的超长周期形变波，这可能是近强震的另一类临震前兆。因资料单一，尚待进一步的观测证实。

经过二年多来新的试验，排除了台风和地脉动的干扰，摄取了临震前的可贵的前兆讯息资料，证明了波动异常是某类地震发生前真实的前兆异常。

成因机制的初步探讨

由于模拟实验条件的限制，目前要深入的研究波动异常的成因机制是困难的，我们只能对这个问题进行一些初步的探讨。

(一) 钻孔水声同步观察试验：西昌地震中心站打有一个深74米的钻孔。我们用压电水听器置于此孔之中以接收岩石声发射，与水平摆同步观察，进行对比试验。该方法工作原理如下：前兆声脉冲讯号经压电水听器接收后，输入67—1型微震仪放大器放大，一部分经衰减器进入自动平衡记录仪再次放大并还原为声脉冲，一部份经衰减器输入至磁带录音机制，以备回放了解声脉冲特性。此压电水听器为西北工业大学赠送，其电压灵敏度估计可达每巴数十毫伏，仪器部份电压放大倍数大于 10^6 ，故可以较好地记录强震前的极微震活动以及震前岩石发生微破裂而辐射弹性波脉冲。

该方法于1980年元月14日投入试验。因停电、施工等原因，很可惜漏掉了81年元月24日道孚6.9级地震的前兆讯号。但对80年2月2日木里5.4级和81年5月22日盐源5.0级地震记录到了水声前兆讯号(图6)。震前十余天水声脉冲讯号间或出现，记录噪声幅值也明显增

大。如图7所示,声脉冲讯号伴随在记录噪声之中间断持续到地震发生,脉冲次数每小时十几次,多则数百次。5.4级地震发生之后不久讯号便消失。

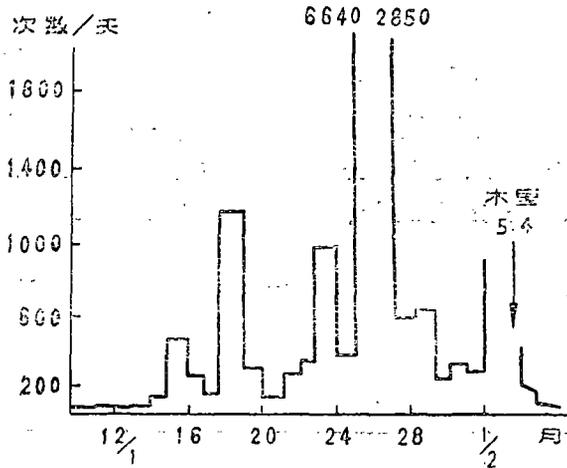


图6 木里5.4级地震前钻孔水声脉冲频度图

Fig.6 The water sound and pulse frequency in drill before earthquake(M=5.4).

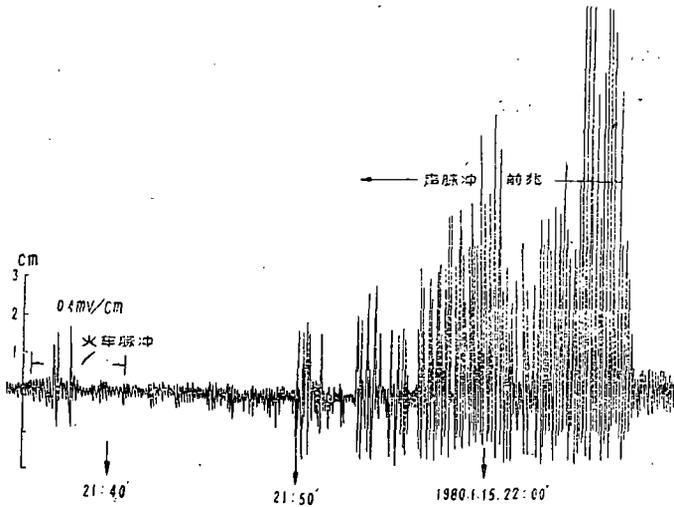


图7 74米钻孔水声记录之声脉冲前兆

Fig.7 Precursor of sound pulse.

二者同步观察的结果,发现声脉冲与水平摆波动异常在前兆出现的时间上和前兆特征及发展的趋势上有某些相似之处。故可以推测二者可能为同源的产物。

(二) 缝块模型变形与破坏实验:王宝生^[6]用胶结的软弱物质模拟断层带,以软弱物质两侧的岩石代表断层两侧围岩,对在不同的几何因素、不同的压力环境及不同的物性等条件下断层带的破裂过程、声发射特点作了模拟实验。发现各种情况下在峰值应力之前都出现一些小应力降事件(一般为几巴),它是夹层破坏的反映。称为碎裂滑动。碎裂滑动的机制是夹层介质的脆性破裂和摩擦滑动,伴随着它有声发射出现和波速的变化。

(三) F·Rummel等人〔7〕使用快速反应的伺服加载系统,并配以高分辨率的计算机记录系统,首次对实验室摩擦试验中的非稳定滑动事件得出一种更符合实际的图象。结果表明,非稳定滑动之前,应力有延续约1毫秒的高频小波动(不稳定性开始时,轴向应力和位移出现频率约10千赫的高频振荡,延续时间约1毫秒)。接着,在3毫秒时间内发生主要的应力降,幅度约2.9千巴(岩样长6厘米,直径3厘米)。

上述国内外模拟实验的新成果和我们的野外场地深井声脉冲观察,揭示了在某一类地震发生之前,断层两盘要发生前兆摩擦滑动和脆性破裂,它伴生有声发射,可以出现应力脉冲波。当然,由于实验室条件诸如样品的尺度和时间的尺度等等限制,不能直接与野外的天然地震进行简单的对比。

结 束 语

上述看法仅仅是我们的初步认识。对波动异常的成因机制及传播途径(是与地震波一样在地球内部以纵波、横波的形式或在地表以面波的形式传播;还是以次声波的形式先进入大气,通过波导层,然后返回地面而记到它),等问题尚待进一步研究。本文目的在于抛砖引玉,引起地震学界兴趣,大家共同努力,把这项研究引向深入。然而六年来的实践使我们坚信波动异常是一种有苗头的临震前兆。如果能与其它手段配合,这对进一步搞好临震预报可能有所帮助。

本文编写过程中得到了国家地震局地质研究所徐煜坚、马瑾两位导师的指导。马瑾为本文审阅了初稿。张含三、买家风、赵佩玉、王宝生等同志提供了前兆资料和实验成果。西昌地震中心站赵宗弟同志一起参加了试验。在此一并致以深切的谢意!

(本文1982年4月26日收到)

参 考 文 献

- 〔1〕朱令人,震源模式、断层蠕滑和形变波的传播—源和场的初步探讨,西北地震学报,1卷1期,1979。
- 〔2〕西昌地区地震办公室,地震前的应力脉冲波,地震战线,5期,1977。
- 〔3〕西昌地区地震办公室,盐源地震预报记,地震战线,5期1977。
- 〔4〕西昌地区地震办公室,盐源地震资料汇编,1977。
- 〔5〕屠焰等,奇异的次声,科学出版社,1979。
- 〔6〕王宝生,缝块模型变形与破坏的实验研究,国家地震局地质研究所研究生毕业论文集,1981。
- 〔7〕F·Rummel,H·J.Alheid,C·Frohn, Paper Presented at the IASPEI/IAVCEI Assembly, Durham, Symposium on Physics of Earthquake Sources. 1977。

A POSSIBLE EARTHQUAKE PRECURSOR
—the wave anomaly detected by horizontal
pendulum tiltmeter

Cheng Shi

(*Sichuan Province Seismological Bureau*)

Xu Chongrōng

(*Xichang Seismological Station*)

Abstract

Since 1976, by using the non-damping horizontal pendulum tiltmeter at the range of 1.7"—5" period, we have recorded one wave anomaly signal before a series of strong earthquakes respectively. And by means of it we predicted some strong earthquakes, such as Song pan earthquake (8.16.1976, $M_s = 7.2$) and Yanyuan earthquake (11.7.1976, $M_s = 6.9$). The practice of seismic prediction has proved that the wave anomaly is a possible earthquake precursor.

This paper is a conclusion of our detection during 1976—1982, and a preliminary discussion on the genetic mechanism of the wave anomaly.