

的线性尺寸之比,测量值比理论计算值小,可能是由于机械加工的原因,实际声笔的指数与计算值有差异所致。节点处仍有一定的振幅,这可能是由于支撑圆片太厚的关系,已超出了真正节点的位置,因而受到纵向振动的影响。用相同方法测量靠近笔尖 3mm 以内任一点,得出横向振动的信号仅为纵振动的 1/10,可见横向

振动对纵振动的影响不大。

参 考 文 献

- [1] B. A. Auld, Acoustic Fields and Waves in Solids, John Wiley & Sons, 1973.
- [2] B. J. Martin and J. S. Suanl, The Ultrasonic, Fuel Injector, Inf. Conf. Automotive Electronics, London, Nov. 1979, (I.E.E.).

中国最大地震的地声研究

高 建 国

(中国科学院北京天文台)

1984年8月9日收到, 1986年5月12日收到修改稿

本文根据 1668 年郟城—莒县 8 $\frac{1}{2}$ 级地震 126 个县地声记录,分析震前地声、模拟声响、历时和走向,发现震中区西部存在一条北东向地声异常带。参考水文地质图和石油构造分布图,将地声异常带与地质结构之间的联系做了可能解释。

一、前 言

地声是一种自然声源。地震发声,古称“地震有声”,是地声中的一种。1668年7月25日,山东郟城—莒县间(35.3°N, 118.6°E)发生了8 $\frac{1}{2}$ 级特大地震,为我国境内有史以来最大地震之一。伴随发生的大量地声信息,均被记录在地方志内。

这次地震发生在清初康熙七年,正值经济上升时间。自战国时期兴起的方志,清代达到全盛时期。康熙十一年(1672年),各地设局修志,并有专人检查志书质量^[1]。我国现存地方志 8264 种,大部分是清代撰修的^[2]。各种灾祥大事被记载保存下来,成为我国具有特色的史料来源。1956 年出版的《中国地震资料年表》,1983 年以后陆续出版的《中国地震历史资料汇编》和各省地震历史汇编,大量资料取自地方志。李善邦指出:“公元 1668 年山东郟城大地震,影响及于山东、山西、河南、河北、湖北、安徽、江西、江苏、浙江等省,有记载者共 410 个县,其中记有破坏情况的 150 个县。这是我国

历史记载最丰富的一次地震”^[3]。此次地震地声资料之丰富也是罕见的。

二、地声史料的价值和内容

1. 1668 年郟城—莒县地声史料的丰富性

附录中共搜集了七省二市的 126 个县的 159 条地声记录,占有记录县数的 30.7%。所记地声全凭人耳所闻,行文简洁,没有细节描述。即便如此,但仍能提取一些模拟声响、地声走向、历经时间和震前地声方面的信息供研究。这样大的一次自然声源恐怕在相当长的时间里是很难模拟的。8 $\frac{1}{2}$ 级地震相当释放 3.55×10^{24} erg (3.55×10^{17} J) 能量,即使只有一小部分能量转变成声能,也是可观的。图 1 是这次地震的等震线图,图 2 是地声分布图。震中至最北、最南距离分别为 630km 和 828km,至最东和最西为 423km 和 648km。图 2 与图 1 的等震线图一样,呈北东向。地声记录点数与震中距离有关。以震中为圆心,分别以 100、200、……900km 为半径作同心圆来计数(图 2),但考虑

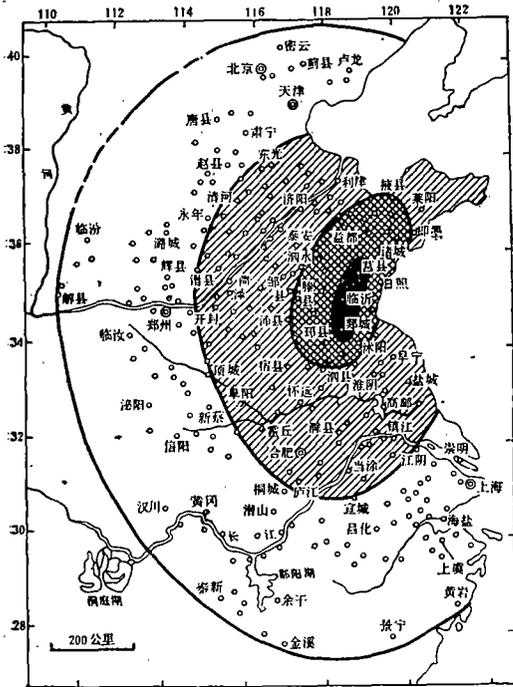


图 8-3 1668 年山东郯城大地震

图 1 1668 年山东郯城—莒县 8^{1/2} 级地震等震线图

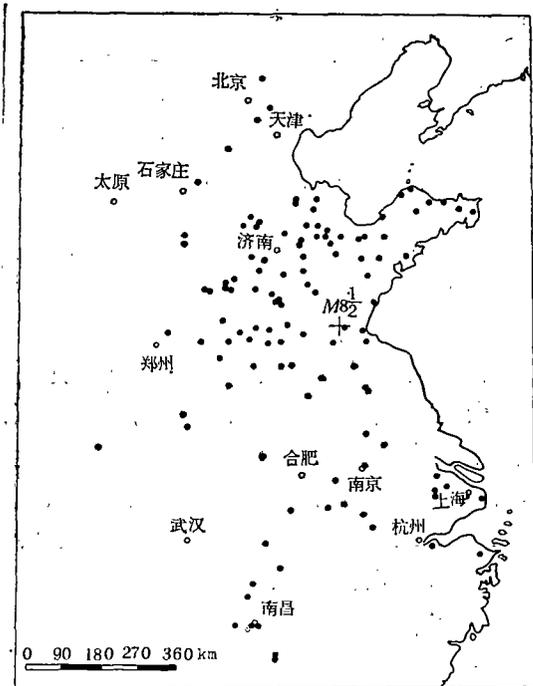


图 2 1668 年山东郯城—莒县 8^{1/2} 级地震地声分布图
●地震有声之县，+震中。

到每个同心圆所包含面积不等，需引入半径 R 和 $R + 100$ 之间的准面积因子 P_R 为

应用声学

$$P_R = \pi[(R + 100)^2 - R^2] / \pi[R^2 - (R - 100)^2] = (R + 50) / (R - 50) \quad (1)$$

若 $P_{900} = 1$ ，则 $P_{800} = 1.133$ ， $P_{700}^* = P_{800} \times P_{700} = (850/750) \times (750/650) = 1.308$ ， $P_{600}^* = P_{800} \times P_{700} \times P_{600} = 1.545, \dots, P_{100}^* = P_{900} \times P_{700} \times \dots \times P_{100} = 17$ 。其中 P_R^* 为面积因子， $P_{900}^* = P_{900}$ ， $P_{800}^* = P_{800}$ 。相应的地震有声县数 N ，可变换成“等面积”时的等效地声县数 N^* ， $N^* = P_R N$ 。用最小二乘法求得 $\log N^*$ 和 R 之间的关系式为

$$\log N^* = 2.6890 - 0.002584R \quad (2)$$

相关系数 $r = -0.9907$ ， $n = 9$ 。查表^[4]，自由度 $f = n - 2 = 7$ ， $r_\alpha = 0.8982$ ， $\alpha = 0.001$ 。| r | > r_α ，显然 (2) 式在显著性水平 0.001 时成立(图 3)。如果扣除掉海洋部分的面积，效果会更好。这说明地震有声的出现不是随机性的，是有统计规律的，见表 1。

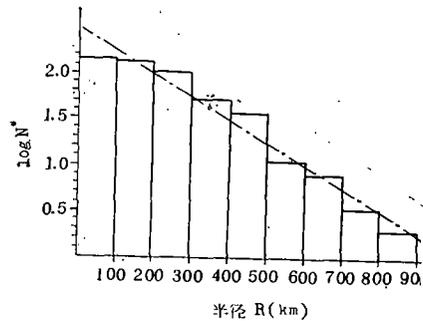


图 3 郯城—莒县地震有声县数随半径衰减图

2. 震前地声

由史料确定，26 个县震前有地声，其中山东 19、江苏 5，浙江和江西各 1 个县。其分布特征(图 4)有两点：其一是大部分呈现出北东分布，与震源机制一致；其二，除少数几个县外，大多分布在椭圆型重破坏区的边缘，令人奇怪的是椭圆中却无震前地声记录县份。迄今为止的历史地震图上，我们尚无找到第二个例子。这可能体现出特大地震孕震体的整体性。

3. 模拟声响

史料中对地声用已知声响比拟大体分为五种，即雷、鼓、炮、兵器和钟声。具体描述时，有的采用夸张手法，有的是形像的比喻。如对雷声的描述就有轰雷、奔雷、迅雷、殷雷、雷轰、雷

表1 等效地震有声县数随震中距衰减表

震中距半径 (km)	100	200	300	400	500	600	700	800	900
地震有声县数 N	11	26	30	21	18	8	7	3	2
面积因子 P_A^*	17	5.667	3.4	2.429	1.889	1.545	1.308	1.133	1
等效地声县数 N^*	187	147.33	102.00	51.01	34.00	12.36	9.16	3.4	2
$\log N^*$	2.2718	2.1683	2.0086	1.7707	1.5315	1.0920	0.9619	0.5315	0.3010
经验 $\log N^*$	2.4306	2.1722	1.9138	1.6554	1.3970	1.1386	0.8802	0.6218	0.3634
$\Delta \log N^*$	-0.1388	-0.0039	0.0948	0.1153	0.1345	-0.0466	0.0817	-0.0903	-0.0624

吼等等。

地震发生在戌时,相当于19—21时。当日(7月25日)日落较晚,有的称“月方出东方”、“月

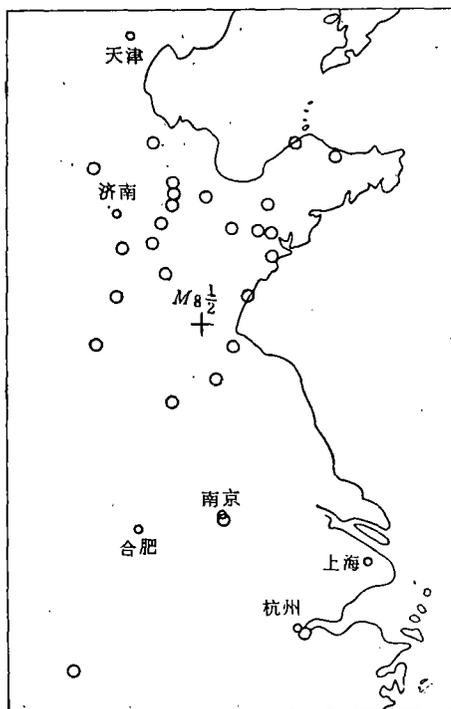


图4 郟城—莒县地震前地声分布图

明如昼”;有的称二更时刻,屋内点烛;有的刚入睡,故将发震时刻定为20时左右可能符合实际。此时野外噪声低,人们听到的地声较为真切,所记较可靠。

从声音频率区分,雷、鼓、炮等较低频音可归一类(图5黑圆点)。频率较高的兵器和钟声归一类(图5黑三角点)。10个高频音点呈现北东向带状分布,位置在震中西部,点子分布均匀。

4. 地声时间

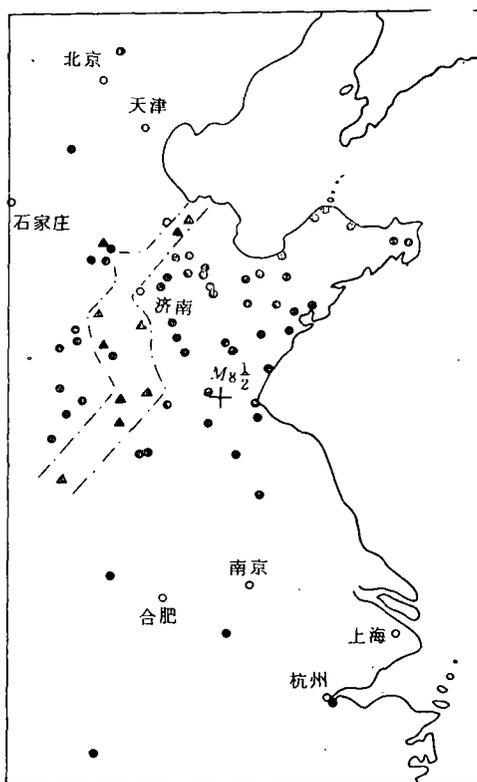


图5 郟城—莒县地震时模拟声响图

有10个县地声资料可估计发声历时:“食时为止”(泰安)、“移时乃止”(金乡)、“移时止”(邓县)、“约一刻止”(川沙)约为2小时,“逾时不止”(汝南、上蔡)为3小时,“至子时止”(兖州、邹县、泗水)为4小时,“声响不绝”(鱼台)估计1小时(图6)。除川沙外,其余9点呈北东向,与图5高频声带相合。

5. 地声走向

史料中有42个县志记录地声走向,其中33个县声响自西向北,占78.6%;其它声响走向仅有9个县。而在上面提到的那条北东带上占了6个县,其中3个县记有声“自东北而来”

(图7).

三、地声异常带及其可能成因

以上识别出郯城—莒县 $M_{8\frac{1}{2}}$ 级地震四种特性：震前地声椭圆状分布，地声频率， Q 值和走向。其中第一种特性可以认为是孕震体的整体性体现。

国内外许多文献证实，震前岩石将发生微裂现象。这预示着岩石忍受到了最大破裂的极限，进而以声发射的方式释放能量。有趣的是声发射点往往不在震中部位，而是在与震中有联系的其它抗御能力最为薄弱的岩石部位。椭圆状长轴 $L = 360\text{km}$ ，代入孕震区长轴与震级公式^[6]得

$$M = 3.3 + 2.1 \log L = 8.67 \quad (3)$$

与实际 8.5 级十分接近。这就是声发射孕震体的证据。

异常带的位置处于第四纪现代砂砾层和亚砂土及亚粘土层^[6]，且图 5 异常带间断与存在奥陶系和寒武系的间断关系密切。水文地质图也表明该异常带处于松散岩类含水岩系组合体部位，含水量中等，矿化度较高。这不仅与图 4 椭圆长轴方向一致，且部分与椭圆西北边缘重合，说明声学异常带为孕震体的一部分。更为重要的是异常带走向与渤海盆地—华北盆地石油构造分布图走向极为重合^[7]。这表明深部中、新生界沉积岩含油构造与声学异常带的密切关系，而且部位正是济南东北的黄河两岸。在其它非声学异常带恰恰不具备这种构造。

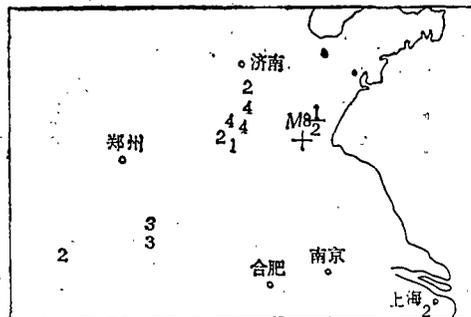


图6 郯城—莒县地震时地声历时分布图

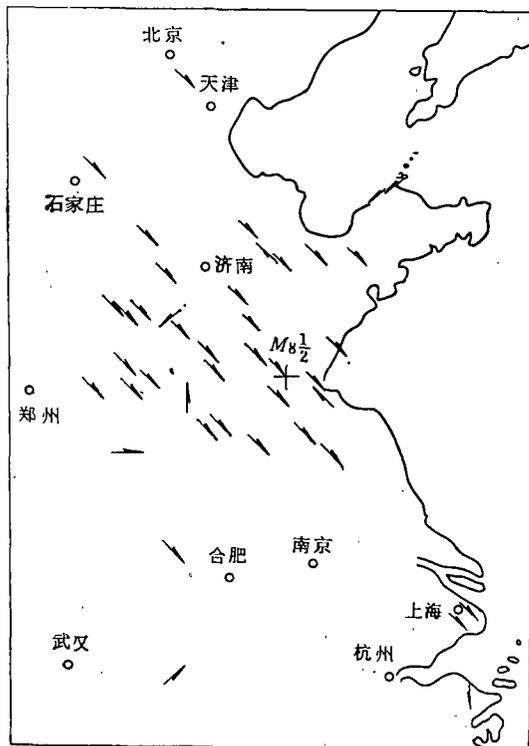


图7 郯城—莒县地震时地声走向图

附 录

1668年郯城—莒县地震有声摘记(加△者为可能震前地声)

山东省 郯城 1.地震,声若轰雷; 2.戌时地震,有声自西北来。莒县 1.地震如雷; 2.沿河地中作声。临沂 戌时地震有声,自西北来,响若雷。沂水地大震,有声如雷。枣庄(峄县)地震,黑气如云,大吼如雷。章丘 戌时地震,有声如雷。泗水 戌时,地震有声,至子时止。桓台(新城)△。戌时有声如雷,地大震。邹平

(齐东)地震,声如雷。济南 地震有声。济阳 地震有声。陵县 地震,薄暮,地中有声如雷。泰安 1.戌时忽有白气冲起,天鼓忽鸣,城随大震,声如雷鸣,音如风吼,隐隐有戈甲之声; 2.戌时白气冲天,天鼓忽鸣,地随大震,声响如雷,食时方止; 3.地震有声; 如兵车铁马。新泰 地震如雷。莱芜 1.地大震数次,声响如雷;

应用声学:

2. 戌时有声如雷,自西北来,地遂大震。德州 1. 戌时地震,有声如雷; 2. 太岁在戊甲,月六日十七。酷暑方挥汗,于时应己戌。空际有奇声,金戈兼咤叱。屋瓦欹动摇,不寒而战慄。平原 戌时地震,有声如雷。信阳 戌时地震有声。无棣 戌时地震作声,其响如雷,烟气弥布,旋复地震。沾化 地震,声响异常,钟鼓皆鸣。滨县(滨州) 地震,屋上如万马奔驰,地中如金鼓声。兖州 1. 戌时,地震有声,至子时止; 2. 地震,如兵车铁马之音。曲阜 戌时,地震有声。宁阳 戌时地震有声。邹县 1. 戌时地震,有声至子时止; 2. 戌时西北有声,遍地大动。滕县 1. 戌时地大震,有声自西北来,如奔雷,又如兵车铁马之音; 2. 戌时地忽震动,声如雷吼……漕艘适泊滕县韩庄,月明如昼,水底大声如雷,如龙风。枣庄 地震,黑气如云,大吼如雷。金乡 地震有声,移时乃止。鱼台 1. 戌时地大震,如兵车铁马声; 2. 地震如雷,声响不绝。单县地震有声。成武 戌时地大震,自西北来,声如轰雷。东平 1. 地震有声,如兵车铁马; 2. 夜戌时地震,自东北向西南,其声如雷。汶上 戌时地震,自西北至东南,有声如雷。东阿 戌时地震,如兵车铁马之声。平阴 地震有声。阳谷 地大震有声。菏泽 地震,有声如雷,自西北起。曹县 戌时地大震,自西北来,声如轰雷。费县 1. 戌时地震,山摇水沸,声如雷; 2. 地震,声如雷,自西北而东南。茌平 地大震,声自西北来。武城 戌时地大震,自西北而东南,声如雷。范县 戌时地震,自西北而东南,其声如雷。朝城 戌时地大震,其声如雷。益都 1. 地大震,有声如雷; 2. 地大震,自西北起,地内如雷鸣,地上若万马奔腾声。博山 二鼓地雷。黑气从乾地涌来,有风雨声。俄而城垣楼榭摇落。临淄 戌时地大震,余适客稷下,方与表兄李筠之对烛饮,忽闻有声如雷,自东南来,向西北去,众骇异,不解其故。俄而几案摆簸,酒杯倾覆,屋梁椽柱错折有声,相顾失声,久之,方知地震。博兴 戌时天气晴朗,满天星斗,并无布云,忽然降雨,天鼓响亮,地震良久。高青(高苑) 戌时地震,黑气从西北来,声如雷。广饶 地震,有声如雷。寿光 未震前一日,耳中闻河水汹汹之声,遣仆子探视,亦无所见。临朐 地震有声如雷。安丘 1. 戌时,空中有声,辘轳若雷,又若万马奔腾屋上,须臾墙垣乱堕; 2. 戌时大雨,天色阴惨,有声如吼,地下声若巨雷,空中如奔万马,地动如簸如颠。诸城 1. 地震,声如迅雷; 2. 地震,山崩,声如雷。蒙阴 1. 戌时大震,声响西北而来; 2. 其夕雨霁凉浸,卧内寝则魂梦交矣。忽觉砰訇之音,奇为壮猛,一床摇撼……一派砰訇起,惊我雨霁眠……雷声势东走,呼噪聒天,须臾城雉塌,沿街宅舍残。日照 1. 地震,声如雷; 2. 酉时哄声西北而来,平地反仄。掖县 1. 戌时地震,荡如漂舟,声如股雷; 2. 地大震,如漂舟动荡,声如雷。平度 1. 戌时西北起声,响如雷,东南而去,摧塌民房无数; 2. 地震,声

如雷。潍县 地大震,有声自西北而东南,如雷如鼓,如漂舟,如车驾屋脊,如万马奔腾。昌邑 1. 地大震,如漂舟动荡,有声如雷如鼓,如万马奔腾; 2. 二更地大震,有声如雷。高密 1. 戌时地大震,有声如雷; 2. 亥时地鸣有声,雷震兼作,大震二次。即墨 地震,荡如漂舟,声如股雷。蓬莱 1. 地大震有声; 2. 亥时地震,声如雷; 3. 戌时地震,有声如雷,自东北而来。胶县(胶州) 戌时地震,雷雨飘飏,电霆闪烁,屋宇倾动。黄县 1. 午后四时风雨大作,有巨雷自东北来,地震甚剧; 2. 戌时地震,有声如雷,自东北而来。胶南(灵山卫) 戌时天降大雨,雷电不止,地动颠倒。福山 1. 六月兜余村西井水上涌,有声如雷,十七日亥时地震,声如雷; 2. 亥时,地震,有声如雷。栖霞 夜,地震有声。牟平(宁海州) 地大震,有声。文登 戌时,地大震者三,声如雷。荣城 戌时地大震者三,声如雷。

河北省 沙河 六月地震有声。邢台 1. 秋(?)大水,地震有声; 2. 六月十九,地震有声。无极 六月十八日,香河无极南乐地震,自西北起,瑟瑟有声,房屋动摇。香河 地震从西北起,瑟瑟有声,房屋动摇。新安 七月(?)地震,其鸣如雷。

北京市 密云 戌时地震如雷。

河南省 南乐 1. 戌时,地震有声; 2. 戌刻,地震有声; 3. 地震,自西北起,瑟瑟有声,房屋动摇。兰考 地震,自西北来,声如奔马。鹿邑 地震,有声如雷,自西而东,金铁皆鸣。范县 戌时,地震,自西北而东南,其声如雷。宁陵 地震如雷。夏邑 地震有声。清丰 戌时,地震有声。原阳 地震有声。汝南 地震有声,逾时不止。上蔡 地震有声,逾时不止。邓县 戌刻,地震有声,河水沸腾,移时止。

安徽省 桐城 六月十七日夜,地震有声。太湖 夏六月,地震有声,自西南来。无为 1. 七年(?)夏,无为地震有声; 2. 六月十七日,地震有声。萧县 戌时,地震,有声自西北来如雷。灵璧 六月地大震有声。霍丘 戌时,地震,自西北来,有声如雷。宁国 六月甲申黄昏后,地震有声。宣城 六月甲申黄昏后,地震有声。含山,夏,地震有声。天长 六月十七日,地动有声。芜湖 戊申六月十有六,老夫篝灯初就宿; 梦里掀翻起披衣,轰声飒飒撼茅屋; 非雷非霆动不已,鳌极奋鳞鹏展翮。

江西省 南昌 地震有声。奉新 地震有声。九江 1. 夜,地震有声,五邑皆同; 2. 先是地震之晨,有过江上者,望楼址矶岸,殷殷有声如雷。彭泽 夜地震有声。庐山 夜地震有声,五邑皆同。抚州 地震有声。临川 地震有声。

江苏省 沛县 地震有声。徐州 1. 戌时,地大震,回复时多自西北,如万戟声; 2. 戌时,地震有声,自西北来。丰县 酉时,有声如雷,自西北来,地震。赣

榆方震声发西北,雷轰电迅,地闪忽跳纵,疑火疑潮,而震声、坼裂声、覆屋宇声、崩梁摧壁声、折树声、水声、风声、鸡犬声、吠声、牛畜吼声、人号哭声、父子夫妇呼急救声,千百齐发,远近如沸。连云港[△] 戌时,有声从东南来,如雷,地大震。淮安 1.戌时,淮安同日地震,声若雷吼; 2.戌时,地震,如雷声,从西北至。淮阴地震,初起如连炮声,移顷始定。睢宁[△] 1.戌刻,月方出东方,有声自西北来,霎时地大震; 2.戌时,地震有声,自西北来。沐阳[△] 岁在戊申月在六,十七戌时当暑溽。人方缓筵坐微风,开襟看月倚修竹。歎听西北来奇声,电掣雷轰奔轳辘。几上盃瓿狼藉颠,咤叱风云移耳目。扬州 戌时,地震有声。江宁[△] 早寝,初觉床帐飒飒有声,犹疑猫搜鼠,鼠奔窜者。少顷大动。苏州 戌时,地震有声。吴江 戌时,地震有声。常熟 地震有声。昆山 戌时,地震有声。

上海市 上海 1.戌时,地震,自西北至东南,隆隆有声; 2.地震有声,浦水腾跃。川沙 地震有声。自西北至东南,约一刻止。

浙江省 鄞县 十七日初昏星辰灿烂,狂风又作,地忽震动,自北而南。凡门户、炉、榻、床、卓、椅、凳之属,俱能响动;人在途中,不能行止。须臾向南响去,其色渐远,杳不知其所终云。肖山[△] 六月甲申夜人定时,地有声如沸万斛之米于鼎,如潮转于溢窍口而吸,已而大震,食顷乃止。

参 考 文 献

- [1] 林衍经,方志史话,河南人民出版社,1983,49.
- [2] 中国科学院北京天文台主编,中国地方志联合目录,中华书局,1985年.
- [3] 李善邦,中国地震,地震出版社,1981,186—187.
- [4] 中国科学院数学研究所概率统计室,常用数理统计表,科学出版社,1974,124.
- [5] 郭增建、秦保燕,震源物理,地震出版社,1979,127.
- [6] 中国地质科学院主编,中华人民共和国地质图集,1973.
- [7] 甘克文等,世界含油气盆地图集,石油工业出版社,1982,图6.

声波在油管中的传播特性

马玉龙 房福全 汤承启 章庆生 王忠原 刘忠岳 叶辉

(中国科学院声学研究所)

(吉林油田钻采工艺研究所)

1984年11月6日收到

随钻测井是七十年代末发展起来的新技术。由于它可以随时监测钻压、扭矩、泵压、井温、井压、泥浆性能、含油、气、水情况,使钻井人员能够及时而准确地了解井下参数,对钻井如何进行做出正确判断和决策。因此,随钻测井具有很大的经济效益,受到许多国家的重视。

随钻测井的关键问题是信号通道。与其它方法相比,声波随钻测井具有设备简单、费用低的优点,但低频干扰、传播距离等一些技术问题尚待解决。所以,该方法仍处于研究和试验阶段之中。

本文给出了声波在油管中传播时,油管的长度、接头、油管所在介质及发射频率对接收信号不同影响的测量结果。

一、工作原理及实验框图

用压电换能器做声源,在油管一端发射声波信号,而在另一端用另一个换能器接收声波信号。改变油管长度及组合,测量发射信号与接收信号的幅度大小,以此来考察声波在油管中的传播特性。

实验的框图如图1,图中用作发射与接收的换能器及其参数见表1。

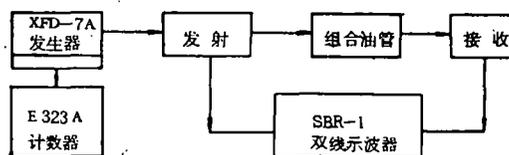


图1 实验框图

在图1中,由发射换能器I经组合管到接收换能器II,它们之间相互连接的一例示于图2,图中部分元件的尺寸(mm)示于图3。