

87% with an average value of 2.17%. The content of organic matters (OM), illite and pyrite and pore volume shows positive correlation. It is believed that the diameters and abundance of micro-pores will increase with the increasing content of the three minerals mentioned above; but the content of chlorite in clay minerals and quartz, calcite and anorthose in non-clay minerals and pore volume shows negative correlations. The data shows that the diameters and abundance of micro-pores decrease with these three minerals' contents. The content of kaolinite and pore volume show a negative correlation, it means that the micro-pore in source rocks may be not affected by kaolinite. In addition, the development and distribution of micro pores in source rocks are also affected by the types, abundance, thermal evolution degree of organic matters, arrangement of clay minerals, secondary change of non-clay minerals.

Key words: gas adsorption; mercury injection; pore distribution; source rocks

地震预测方法评论和建议

孙建中¹⁾, 李慧琴²⁾, 马媛¹⁾

1) 长安大学, 西安, 710054; 2) 甘肃土木工程科学研究院, 兰州, 730020

1 地震是有前兆的, 地震是可以预测的

1966年3月8日河北邢台发生了7.2级大地震, 给人民带来了巨大的灾难。周恩来总理立刻亲临灾区, 领导了抗震救灾工作。周总理是一个彻底的唯物主义者, 他相信群众、相信科学。在听取了大量关于地震前兆的反映和一次小震预报成功的基础上, 他得出结论: “地震是有前兆的, 地震是可以预报的, 必须加强地震预报的研究”。并勉励中国科技大学的学生说, “希望你们这一代能解决地震预报问题”。周总理当即指派时任地质部长的李四光教授主持攻破地震预报这个世界性科学难题。

李四光临危受命, 当即积极地开展了地震预报的研究, 他也认为“地震是有前兆的, 地震是可以预报的, 地震是地质现象。”

但是, 有人说“地震是物理现象”, 言下之意是“干你地质什么事?” 其实李四光教授原来是学造船的, 具有深厚的力学造诣。李四光改学地质后, 就将地质学与力学结合起来, 创立了一门新的学科“地质力学”。

李四光说“地震是地质现象”, 它是发生在地球表层大约60 km以内, 不及地球半径百分之一的地壳内的现象。它不是一个孤立的现象。它是作为弹性物体的岩石, 受力后内部产生应力, 岩石持续受力, 应力不断累积和集中, 当应力达到岩石的极限强度时, 就会破裂, 产生(或复活)断层, 释放能量, 爆发地震。地震是岩体受力→应力集中→产生断裂→爆发地震这个地质过程链条中的一个环节。人们常常提到“地震机制”或“地震形成机制”, 这就是地震形成机制的模型。要预报地震就要了解发生在地震之前的事件, 应力集中就是发生在地震之前的现象, 也就是地震的前兆, 而且是最根本的前兆。其他前兆, 如: 地形变(地倾斜)、地下水位、地磁、地电、地热、地气(氡)、地声(次声)、地电磁波、地光、地震云以及动植物及其他自然异常现象, 都是它派生出来的。地应力是一

个单纯的力学过程, 它基本不受或很少受其他因素的影响。

李四光广泛参考了国外的经验, 如, 美国从钻孔中测量地形的变的方法, 日本测量地倾斜的方法。然后以他深厚的力学功底, 深刻地揭示, 地应力才是最主要的地震前兆。因此首倡用地应力预测地震的方法。而且在仪器研制、进行试验等方面作了大量奠基性的工作。我们把周总理和李四光教授制定的地震预报路线叫做“周恩来—李四光路线”, 把李四光制定的以应力测量为主的地震预测方法叫做“李四光地震预测法”。

可惜的是, 周总理和李四光教授不久都永远地离开了我们。他们所开创的地震预报事业没有得到应有的快速发展。

邢台地震之后, 国务院根据全国地震的趋势, 把地震预报的主战场指向辽东地区, 打了一场地震预报的人民战争, 主要采用“群测群防”的办法成功地预报了海城1975年2月4日19时45分的7.3级大地震。该地震虽然造成了1328人的遇难, 但因为有了预报, 估计至少挽救了10余万人的生命, 避免了数十亿元的经济损失。

海城地震预报成功是人类历史上的一大创举, 是科学发展史上的一大丰碑。1976年美国“赴海城地震考察组”负责人雷利教授在地震现场说: “中国在地震预报方面是第一流的, 海城地震预报是十几年来世界重大科学成就之一。”联合国教科文组织认为: “中国作为唯一对地震作出成功短、临预报的国家被载入史册。”

据统计, 1975~2001年间我国地震部门至少曾成功地预报了25次破坏性地震(岳明生, 2005; 仇勇海等, 2010)。此后, 2003年还成功地预报了新疆巴楚—伽师6.8级, 云南大姚6.1级, 甘肃山丹—民乐6.1级三次地震(刘桂萍, 2004)。2007年成功地预报了云南宁洱6.4级地震。再加上已有较准确预测但没有预报的1976年唐山地震, 截止2007年至少已成功预报了30次地震(表1)。这些事实充分地说明了地震是可以预报的。

但是,无可讳言,在现阶段,地震预报的成功率还不是很高的(6级以上大地震的预报成功率约占30%~40%),地震预报的方法还不是很成熟的,还不是很完善的。它需要在实践中,不断探索,不断前进,不断完善。

然而,有些人为了掩饰他们在地震预报中的失败,刻意贬低海城地震预报的功绩,说海城地震预报是“偶然的”,是“碰了运气”,是“瞎猫碰上了死耗子”。然而,海城地震预报是

有计划、有目的、有组织的一次大规模的政府行为,其偶然中包含着必然。

当然,海城地震预报的方法,受历史条件的限制,当时我国的经济实力还很薄弱,科技力量有限,用的很多都是‘土办法’,如,‘土地磁’、‘土地电’、‘土地倾斜’等等。“群测群防”的群众运动的社会成本和经济成本也是很高的,那么多的人都忙于地震预报,人心惶惶,自然生产和工作都要受到影响。

表1 1975~2007年我国成功预测的地震名单

序号	名称	发震时间	震级	预测依据	预测预报情况
1	辽宁海城	1975-02-04	7.3	前震、变形、流体	准确预测,发布预报,减轻损失
2	河北唐山	1976-07-28	7.8	地磁、地电、地应力、井水位、水氡	准确预测,未发预报,损失惨重
3	云南龙陵	1976-05-26	7.3,7.4	前震、流体、地应力、地形变、地磁	准确预测,发布预报,减轻损失
4	四川松潘—平武	1976-08-16	7.2	前震、宏观、流体、形变、电磁	准确预测,发布预报,减轻损失
5	四川盐源	1976-11-07	6.7	前震、流体、形变、宏观、重力	准确预测,发布预报,减轻损失
6	四川甘孜	1982-06-12	6.0	前震、电磁、流体	准确预测,发布预报、减少损失
7	新疆乌恰	1985-09-12	6.8		
8	四川巴塘	1989-05-01 1989-05-03	5.4,6.4, 6.3		
9	北京昌平	1990-09-20	4.0	前震、流体、电磁、形变	准确预测为稳定社会起了重作用
10	青海共和	1994-02-16	5.8	前震、流体、电磁、地温、应力	准确预测,政府通报,取得一定社会经济效益
11	云南孟连	1995-07-10, 1995-07-12	6.2, 7.3	前震、流体、形变、电磁	
12	四川白玉—巴塘	1996-12-21	5.5	水温、(N ₂)、CO ₂ 压容压力、地磁、地电、地倾斜	准确预报,受到国家地震局通报表彰
13	云南景洪 云南江城	1997-01-25 1997-01-30	5.1 5.5	前震、地震窗、波速比、水氡、水温、水位	准确预测,向省政府报告
14	新疆伽师	1997-02-21 1997-04-06 1997-04-13 1997-04-16	5.0 6.3 6.4 5.5,6.3	地震序列参数(h、b值)小震平静、地倾斜、应变、地磁、加卸载响应比	准确预测,政府预报。受到国家地震局和自治区人民政府的表彰和奖励
15	河北宣化—张家口	1997-05-25	4.2	前震、水氡、水位、水汞、形变、电磁辐射、地电、体应变	较好预测,向中办和国办反映情况
16	福建连城—永安	1997-05-31	5.2	前兆震群	3个星期前向当地政府报告
17	西藏巴宿	1997-08-09	5.2	前兆震群	1个月前向自治区和地区政府报告
18	西藏申扎—谢通门	1998-08-25	6.0	地质构造,历史地震、地震序列	1个月前做出短期预测,通报当地政府,取得减灾效应
19	云南宁蒗	1998-10-02	5.3	地震序列、地下水、水温、形变、地磁	半月前预测,向政府通报,取得显著减灾实效
20	辽宁岫岩—海城间	1999-11-29	5.4	地震序列	震前2日向省政府通报,减灾实效显著,受到国家地震局和省政府的表彰
21	云南姚安	2000-01-15	6.5	地震活动、宏观、形变、电磁	3个月前预测并向政府通报
22	云南丘北—弥勒间	2000-10-07	5.5	地震序列、水位、水氡、电磁	震前提出准确预测
23	甘肃景泰—白银间	2000-06-06	5.6	形变、重力、地震活动	2月前提出预测
24	青海兴海—玛多间	2000-09-12	6.6	地震活动、形变、电磁	震前向当地政府通报中短期预测意见
25	云南施甸	2001-04-10 2001-04-12	5.2 5.9	地震活动、序列、流体	准确预测,政府及时预报,取得重大社会效益
26	云南永胜	2001-10-27	6.0	地震活动、序列、流体	准确预测,政府安排,减少损失
27	新疆巴楚—伽师	2003	6.8		
28	云南大姚	2003	6.1		
29	甘肃山丹—民乐	2003	6.1		
30	云南宁洱	2007	6.4		

注:1和3~26据仇勇海(2010);27~30据刘桂萍(2004);2号是本文作者添加的。

现在情况已大不相同了,完全有力量把那些“土”的东西现代化。使它们成为自动化、数字化、无线电传输或网络传输、无人值守的自动监测站,由专业人员遥控。不过,宏观的动、植物异常,自然现象异常,地光,地声,地震云等现象还是必须依靠群众,这些异常对短、临预报是十分重要的。过去的“群测群防”的办法还是很有有效的,但是群众所提供的资料是有水分、有杂质的,需要专家下功夫去伪存真、去粗取精。

唐山1976年7月28日3时42分53秒的7.8级大地震是中国地震预报事业的转折点。地震之前是有大量前兆的,也做了一系列的预测;然而,令人万分遗憾的是,唐山大地震却没有发布预报,人民的生命财产受到了重大损失。从此,地震预报事业转向了低潮。

早在1967年10月20日(距唐山地震9年),李四光在国家科委地震办公室会议上曾说:应向滦县、迁安做一些观测,如果这些地方活动的话,那就很难排除大地震的发生。国家各级地震部门都作了大量的预测工作,都作了预报。综合仇勇海等(2010)和陈一文(2010)的资料,我们将唐山地震前的预报列举如下:

(1) 耿国庆,1972年11月,在全国地震中期预报工作会议上说:河北、山西、辽宁和内蒙四省旱区范围内将发生7.5级大地震。

(2) 河北省地震地质大队1975年12月提出1976年地震趋势意见:河北乐亭至辽宁敖汉旗—锦州一带及其东南渤海海域可能发生大于6级的地震。

(3) 杨友宸(唐山地震办公室)1976年初在唐山地震工作会议上指出:唐山市方圆50千米内1976年7、8月份或下半年其他月份将有5~7级强震发生。

(4) 杨友宸1976年5月在国家地震局济南工作会议上书面报告:7月23日前后我区西南方向将有5级以上破坏性地震发生。

(5) 马希融(开滦马家沟矿地震台)1976年7月6日向国家地震局河北省地震局作了短期将发生强震的紧急报告。

(6) 山海关一中地震科研小组1976年7月7日向河北省、天津市和唐山地震部门发出了书面预测:7月中旬渤海及其沿岸陆地有6级地震。

(7) 田金武(唐山二中)1976年7月14日郑重发出地震警报:1976年7月底8月初我区将发生7级以上地震,有可能达到8级。

(8) 乐亭县红卫中学1976年7月16日向唐山地震监测中心台.书面报告:7月23日前后我区附近西南方向将有大于5级的破坏性地震发生。

(9) 山海关一中地震科研小组1976年7月22日,再次向河北省天津市和唐山地震部门书面报告:7月中一下旬,渤海及其沿岸陆地有6级左右地震。

(10) 侯世钧(乐亭县红卫中学)1976年7月23日向唐山地震监测中心台反映,这个大地震最低为6.7级最高可达7.7级。

(11) 廖官成(通县西集地震台)1976年7月24日报告:1976年7月27日以前,北京附近200 km范围内要发生5级以上地震。

(12) 北京市地震队1976年7月26日向国家地震局汪成

民一行十五人汇报七大异常。

(13) 汪成民1976年7月27日10时(距唐山地震17小时)向国家地震局副局长查志远汇报,查志远让汪成民第二天去廊坊落实水氛。

(14) 赵声、王守信(吕家坨地震办公室)1976年7月27日16时(距唐山地震11小时),向开滦矿务局地震办公室紧急电告:第二个峰还在上升、上升。

(15) 马希融(马家沟矿地震台)1976年7月27日18时(距唐山地震9小时),向开滦矿务局地震办做强震临震报告:地电阻率急剧变化,反映了地壳介质变异,由微破裂转为大破裂,比海城7.3级还要大的地震将随时可能发生。

但是,上述预报没有被采信,没有发布地震预报。终于在9个多小时后于1976年7月28日3时42分53.8秒,爆发了唐山7.8级大地震。

一霎时,城市变成了废墟!据统计,这次地震死亡人数达24.2万,成为世界近90年来死人最多,最为惨烈的一次地震。唐山地震成了一次已经预测而没有发布预报的地震。唐山地震使中国蒙羞!

同样处在唐山地震区的青龙县,县委书记冉广岐,在听取了县地震办的同志从国家地震局开会回来的汇报后,召开了全县电话会议部署了防震工作。结果,震后全县倒塌了7300多间房屋,但仅有一人遇难。这件事被誉为“青龙奇迹”。由此也充分说明,有预报和没有预报是大不一样的。1996年7月唐山大地震20周年纪念会时,联合国代表科尔向冉广岐颁发了纪念章,表彰了他的功绩。

唐山地震漏报的原因,除了个人因素外,有两个客观因素:(1)当时正是四人帮抢班夺权闹得热火朝天之时,怕地震搅了局,不敢报;(2)错报了,要对扰乱社会治安负责;而漏报了却可以借口地震预报方法不成熟,或根本不能预报,从而免责。所以,人们宁愿选择漏报。这就需要国家制定合适的政策,解除人们的顾虑。

唐山地震之所以伤亡惨重,还有一个重要的原因,那就是几乎所有的民居房屋都没有设防,没有抗震结构。一砖到顶的楼房(一般是6、7层)砖垒的墙,勉强的支撑着预制板。一地震,预制板压下来,谁也逃不了。这就需要尽早对该区的防震措施提出要求。

上述大量事实充分说明,地震是有前兆的,地震是可以预测的。

周恩来总理深爱人民,他要尽最大努力地减轻地震对人民的伤害。他又是彻底的唯物主义者,坚信地震这种自然现象是有其客观规律的,得出了结论:“地震是有前兆的、地震是可以预测的”。李四光是伟大的爱国科学家,他毅然地向世界科学难题发起了冲锋,探索出了以监测地应力为主的地震预测方法。周恩来—李四光的地震预测路线和方法是以辩证唯物主义为基础的。唯物主义认为地震是自然现象,它有着自己发展运动的规律;辩证法认为各种自然现象都是互相联系的,都是在永恒地按照一定的规律发展着、变化着、运动着的。而这种规律是可以被人类认识和利用的。

然而,世界上还存在着“地震不可预测论”。笔者认为,它是以唯心主义和不可知论为基础的!他们或视而不见,或有意隐瞒客观事实,硬说地震是不可预测的,散布不可知论。其

代表文章为 Geller R J (1997) 发表于《科学》杂志上的“地震不可预测”。可以说,该文作者是一个失意的意志薄弱的“科学家”,在 20 世纪中一后期日、美等国地震研究工作受挫后,他后悔过去在地震预测方面的投入太“不合算”;显然这篇文章是不符合辩证唯物主义的。

中国国内一些人由此捞到了一根救命的稻草,齐声合唱:

- 海城地震预报是碰运气;
 - 海城地震是小震闹大震到,唐山小震未闹大震也到;
 - 地震有不同的类型,不好报,不能报;
 - 群众所报的地震前兆大多是不可靠的
- 等等,不一而足。

其实,不客气地说,有些人就是要以此作为挡箭牌,无所作为,白吃人民的俸禄,轻易地逃避错报和漏报的责任。可以说,他们对人民没有丝毫的感情!

还有一种说法,加强建筑物抗震能力,不必预测预报,就像日本那样。但是加强抗震能力是要加大建筑成本的;而且即使在日本,2011 年 3 月 11 日的福岛 9 级大地震引发了海啸,改变了破坏方式,还是酿成大灾难,造成了核泄露。地震预测预报和加强建筑抗震能力是同等重要的两个方面。

我们要相信科学,坚持辩证唯物主义,相信事实,认识到地震是可以预测的;要加强地震预测预报,我们再也不能忍受地震恃无忌惮地摧残人民。

2 现今已有地震预测方法的评论

在我国已经涌现了多种地震预测方法,这些方法大致可分为三类:

第一类是基于已发生过的地震或其他有关现象的统计规律外推未来可能发生的地震。例如:翁文波的方法。翁文波是和李四光一起在邢台地震后被周总理请去进行地震预测研究的。受命后潜心研究 28 年,直到生命的最后一刻。他创建了一门新的独立学科——《预测学》(石油工业出版社,1996)。最初,在预测旱涝灾害方面取得了一系列成就。1989 年 10 月 4 日他向美国预告旧金山—奥克兰地区将发生强地震。果然,三天后该区发生了 6.9 级地震。1992 年 1 月 7 日他预告在旧金山大区内,在 6 月 19 日前后将发生 6.9 级地震。果然,6 月 28 日拂晓该区发生了 7.4 级大地震。美国地球物理学会盛赞翁文波的成就,认为这是远程地震预测的重大突破。1993 年他把对北海道和关东地震的预测结果通知日本,但未被重视。结果,地震果然发生了,两次预测与地震发生时间,只差 10 天左右。可惜,翁文波的工作后继无人。这种方法需要继续发展提高其成功率。这种方法不需要大规模的设备和组织工作只要给出政策就可。所以我们下边就主要讨论第二类方法。

第二类方法是基于某种地震前兆而发展成的方法。例如:

(1) 张铁铮的“磁暴二倍法”就是以地磁的前兆变化为基础的方法。张铁铮是我国第一个成功预报地震的人。他用“磁暴二倍法”预报了 1969 年渤海地震。时间地点都很正确。1969 年又预报了 1970 年 1 月 5 日云南通海 7.8 级大地震,推算的日期比实际发震的日期提前半天。他对 1975 年海城地震和 1976 年唐山地震都作了成功的预报。

(2) 陈一文先生倡导的用“电磁波 MDCB 地震监测网”预测地震的方法,宣称,“地震不仅能够预测,而且现在就能够相

当可靠地准确预测”,但未知详情。李泉溪等(2010)提出的低频电磁波与地倾斜相结合的方法或许可以与陈一文的方法归于一类。

(3) 曾飞雄最近提出了《地震结构爆炸动力学理论》(刘炳胜等,2010)。发现有一种地震包体(主要是水汽)和爆炸“烟囱”存在。汶川的地震包体约 6000 万 m^3 ,压力达 2.5 GPa,温度达 600 $^{\circ}C$,储存的能量相当于 15 颗百万吨级 TNT 当量的原子弹。地震包体有固定的频率,当局部达到发震条件时,发生破裂,产生射流和破裂波,引起围岩性质发生变化,引发共振。然后,用 PS-100 地电仪,并在 CDMA 技术的抗干扰能力支持下,定量地给出震级、震中和发震时间(发震前数小时、数天)。该法已经获得多次强震震例的证实,其中包括汶川和玉树地震。

(4) 据国土资源报 2005 年 5 月 7 日报道,地下流体能指示构造活动的强度和应力状况还能带来深部地温、地球化学和极端微生物的信息,很可能成为地震预测的重要指标。

(5) 强祖基等(1989)提出了利用卫星热红外异常预报地震的方法并申请了专利,还提出了建立地震短临预报小卫星系统的建议。吴立新等(2008)通过分析对比卫星热红外图像和电视云图发现汶川地震前 20~8 日,青藏高原东缘紧邻汶川出现了近 3000 km 长的北东向条带状高温异常;震前 5~1 h,电视云图上在龙门山断裂带上方出现了线性云。马未宇(2008)利用美国国家环境中心的数据,获取了汶川地震前后(2008 年 5 月 4—13 日)的增温异常图像。增温异常的过程为:起始增温→加强增温→高峰增温→增温→发震→再增温→余震。

第三类方法,是集合数种地震前兆联合预测的方法。

孙威的方法,自 1975 年以来自己研制 6 种仪器:地应力仪、地倾斜仪、重力仪、地磁仪、地电仪和谐振仪。经科学院权威研究所试验两年证明:灵敏度极高、性能优异、记录的地震前兆真实、确定性好、可重复、可自组织恢复原始状态、能连续自动记录。预测地震要先研究前兆的异常规律,一旦各种周期性的峰值出现同步叠加,且具有收敛性,其收敛点即为地震发生点。

但是,所有的方法都是有时预测得准,有时预测得不准,有时成功,有时不成功。

综观上述各种方法,其中第一类方法,翁文波法,主要是统计历史时期某一地区发生过的地震在时间坐标上的分布,模拟出一条曲线,建立回归方程。然后用此方程外推未来可能发震的时间和强度。但是,影响地震发生的因素是很复杂的,有比较规则的周期性的因素,如地球旋转、潮汐变化;也有周期性不太强的因素,如火山爆发、太阳黑子等;还有一些非周期性的因素,如人类抽取地下水和石油,水库蓄水等等。地震爆发是这些因素的综合表现周期性较强因素的曲线受周期性差的因素的干扰就会变形,根据变形后的曲线模拟出的方程就会走样,据此预测的结果就会不准。

第二类方法主要是根据某一类地震前兆要素的活动趋势来预测地震的。地震的前兆指标是很多的:地应力(应变)、地形变(地倾斜)、地下水位(水温,水化学,微生物)、重力、地热、地磁、地电、地电磁波、地气(氡)、地声(次声)、地震包体等。这些因素中有许多都容易受外界因素的影响而变化。例如,

地磁,容易受磁铁矿和岩石磁性的干扰,地电、地电磁波、地气(放射性)也同理。地下水也要受地面水文气象因素的影响。所以,上述以这些指标为基础的方法都是有时成功,有时不成功。

上述各种方法本身可能都存在这样那样的技术问题,但这些都是可以经过努力加以克服改进的,但是其所依据的客观自然作用则是无法改变的。我们必须另寻出路。

3 建议

3.1 以地应力为主,各种地震前兆指标

一齐抓的综合性方法

上述方法中,孙威的方法就是综合了其中几种指标的方法。但我们在此必须指出,在这些要素中,地应力是最主要的,第一位的。他是最原始的,其他都是它派生出来的。地应力是一个常在的,一直坚持到地震以前的作用,他是一个单纯的力学过程,很少受其他物理化学因素的影响。相对来说,地应力就是一个比较稳定的要素,可以作为最主要的监测对象。但如果只用一种指标,往往孤掌难鸣,难以判断为地震前兆。如果几种指标都同时显示类似的趋势,就容易作出正确的判断。所以我们提倡,以地应力为主,配以其他多种地震前兆指标联合运用的综合性方法。这样才能确保较高的成功率。

关于地应力,最近的研究发现,位于唐山大地震震中区的赵各庄和陡河两个压磁地应力观测点,在1978年大地震前200多天就有异常跳动,特别是向上的跳动(表示受拉张)越临近地震跳动得越厉害。新疆喀什土层应力仪,距1985年8月23日乌恰7.1级地震震中30~40 km。1985年6月份前的观测记录,曲线还相当光滑。7月份的曲线却出现了向下的受压变化及很多毛刺,地震前毛刺变为剧烈的波动(池顺良,2010)。还有,2008年8月12日汶川大地震前站哨形变台的面应变小时增量震前两小时向上突跳成为明显的地震前兆(周硕愚,2008,邱泽华2008,2010)。

这样,我们就有了4个地应力观测点,记录了三次大地震的前兆,李四光教授40年前提出的用地应力变化预测地震的设想,终于得到了证实。

然而,问题可不那么简单,玉树地震前,钻孔应变仪在半年内就没有明显的变化。该钻孔距断裂带只有2 km(牛安福等,2011)。说明应力的变化可能是很复杂的。地层受力后有的地方产生压应力,有的地方产生张应力,还有的地方是中立带。这说明我们对地质构造和应力状态还需要加强研究。不过,相对来说,地应力还不失为一个最稳定的因素。所以,我们要以它为主。

3.2 地震前兆监测站的建立

既然要以监测地应力为主,而地应力是要从地下岩石中测得的,所以就打钻。所以地震前兆站就要以一个地应力钻孔为骨干,配以其他各种项目,如:地形变、地下水位、地热、地磁、地电、地气(氡)等等。由监测这些项目的仪器构成一个地震监测的基本单元——地震前兆监测站(可简称前兆站)。以上项目中有几个项目的仪器可以集成为一台多功能仪器。而各功能的探头和传感器可置于钻孔内外的不同位置。这种监测站就不需要有人值守,可以广泛实现自动化,其成果可由网络传输直达指挥中心。其他不适于和钻孔放在一起的方法

则可各择其所,如遥感法和翁文波法等,与指挥中心直接联系。

有人说:地震发生在地下几十千米处,人类现在打钻才能打十千米多,所以不能预测地震;要靠打钻预测地震不仅是深度达不到,而且不知从何处下钻为好;如果知道了震中和钻位还用得着预报吗?

事实上,监测地震前兆指标根本用不着打很深,因为孕震断层大多数都是直通地面的,其周围的应力场及相关的地热场、地磁场、地电场、地电磁波等,也都直通地面。一般估计钻孔打几百米,个别的一两千米就可以了,其目的主要是避开地面风化作用及其他作用的干扰,达到坚固岩石。

地应力及相关的其他前兆指标和地震波根本不同,地震波可以传播到千里之外,而地震前兆指标只能达到距断层数百米至数千米,最远也许能达到一百千米。汶川附近一个钻孔中的地应力与柴达木盆地一个钻孔中的地应力根本不是同一应力场的产物,不可能相互联系对比。只有同一个应力场内的各个钻孔中的应力数值才能对比联系看出动态和趋势。正因为地震波可以传播很远,所以地震台(测震台)可以大致等距离地相距数十至数百千米一个,甚至可按行政单位布置。而监测地震前兆指标的钻孔却必须集中在断层附近,断层应力分布范围之内,数百至数千米之内,估计最远也许可达一百余千米。

3.3 地震前兆监测网的建立

地震(注:地震一般分为构造地震,火山地震和陷落地震三种。此处只指构造地震而言)大多数是断层形成的,是断层活动的结果。监测地震就是要监测断层的活动。所以,监测地震前兆的钻孔就要布置在活动断层周围。

断层及其周围受力作用地带的岩体可以被看作一个矿体。这样我们就可以借用矿床勘探的方法,在断层周围布置钻孔。首先横跨断层布置一个断面,断层线两侧至少各布一个钻孔,距断层线约1~2 km。如果有数条断层组成的断裂带则两条断层线之间至少要加一个钻孔。这样就构成了一条

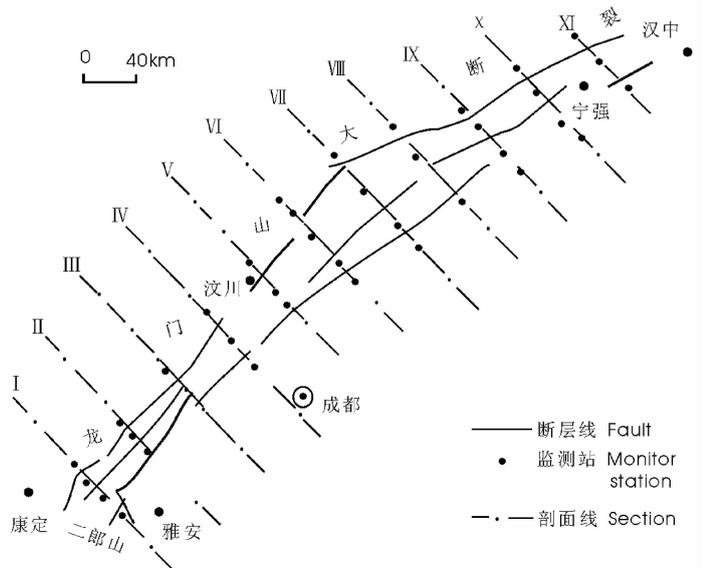


图1 地震前兆监测站网布置示意图

“勘探线”，一条剖面。隔一定距离，再布置若干条剖面。由这些钻孔剖面组成一个对该断裂带的地震前兆监测网。各剖面的间距视具体情况而定。假定，以汶川地震所在的龙门山大断裂为例，该断裂长约500 km，由三条断层组成，断裂带宽约30~80 km。假定地应力分布范围在100 km之内，可以考虑剖面间距采用50 km。这样，就需要布置11条剖面。各剖面上每条断层的两边至少要各有1个钻孔距断层线1~2 km(图1)。因此，这个网就需要60~70个钻孔。每个钻孔深度按500m估计，整个网就需要35000 m钻探工作量，也许会达到50000 m。这个工作量约相当于一个中型固体矿床的初勘阶段的工作量。当然，这个方案最初不得不具有很大的主观想象成分，它需要在实践中不断修改补充。例如，发现剖面一端的钻孔中应力仍很大可向剖面延伸线上补钻直到找到应力边界线为止。两个钻孔中应力相差太大可在两孔之间加钻。

有了这个网，我们就可将某一地震前兆指标的数据投放到剖面上或水平切面上，画出等值线图。不同时段图的对比就可看出发展动态和趋势。这种图对地震预测的作用就好像卫星云图对气象预报的作用一样。

3.4 全国地震监测网的布置

我国地域辽阔，如果每条断裂带上都布置这样一个网，其总工作量就太大了，这当然也是不必要的。可以按断裂的活动情况及所在地区的重要性加以区分。例如，可按断层的活动性及可能地震的时间，把断裂带进行分级：1级，5年内可能发震；2级，5~10年内可能发震；3级，10~20年内可能发震；4级，20年以后可能发震。按重要性可分为人口稠密的，重要的政治、军事、经济大、中城市地区和偏远的人口稀少地区。处在大、中城市附近且5年内可能发震的活动断裂，应按上述网布置，估计这样的网在全国会有3~5个；分布在人口较密的，10年内可能发震的活动断裂可按上述网，但钻孔数目减半。可能发震时间更长，人口愈少的地区钻孔数目甚至剖面数目都可依次再减。最偏远的地区，活动性又较小的断裂上仅布置数个钻孔即可。

一个极其困扰的问题就是，地震发生的周期往往很长。你给它布置了一个网，他可能几十年也不震，科学家却已经老了，看不到结果。所以，我们这项实验空间规模极大，时间跨度极长。他不像科学家个人在实验室内的实验，可以马上看到结果，可以随时调整方案。所以，地震预测这项实验只能是国家的实验，而且是像我们这样的大国的实验。由国家领导组织来实施。

由上述可知，这是一项十分庞杂的工作，需要有一个强有力的领导机构。从探索实验的性质来看，它应该是一种研究机构，而不是行政执行机构。从行业的性质来看，它具有地质—地震跨行业的性质。但从工作的内容和特点来看应属地质工作的范畴，应该由地质部门领导。

从地震预测科学发展的情况来看，尚处于探索的初级阶段，宜贯彻百花齐放、百家争鸣的方针，放手发动群众，集思广益。

致谢：为了更好地读懂盖勒的文章，王文颖教授帮忙将该文译成了中文；老同学张人权教授提供了大力的支持，在此一并表示衷心的感谢！

参 考 文 献 / References

鲍志恒. 2010. 坚信地震能够预报[N]. 东方早报, 2010-05-12第

A19版.

- 陈棋福, 王克林. 2010. 2008年汶川地震与中国的地震预报. 世界地震译丛, (5): 34~54.
- 陈一文. 2010. 从“预测到小时”到“不能预测”, 中国地震预报40年怪现象. 文史参考, (10): 43~46.
- 车用太, 刘成龙, 鱼金子, 等. 2008. 汶川Ms8.0地震的地下流体与宏观异常及地震预测问题的思考. 地震地质, 30(4): 829~838.
- 车用太, 鱼金子, 刘成龙. 2009. 汶川地震的异常及地震预测问题. 防灾科技学院学报, 11(1): 1~4.
- 池顺良, 池毅, 邓涛, 等. 2009. 从5·12汶川地震前后分量应变仪观察到的应变异常看建设密集应变观测网络的必要性. 国际地震动态, (1)(总361): 1~13.
- 池顺良. 2010. 从汶川地震应变前兆看大地震预测审慎乐观前景[N]. 科学时报, 2010-03-23.
- 韩育平, 杨勤普. 2010. CZB-2型竖直摆钻孔倾斜仪用于地震预报的检测能力分析——以淮南台为例. 防灾科技学院学报, 12(1): 50~57.
- 李拦生. 2010. 人类为何无法预报地震[N]. 晋中日报, 2010-05-07, 第003版.
- 李泉溪. 银兵, 吴用玖. 2010. 低频电磁波与地倾斜传感器对地震预报分析与研究. 四川地质学报, 30(3): 372~375.
- 李四光. 1977. 论地震. 北京: 地质出版社.
- 刘炳胜, 刘伟. 2011. 中国科学家揭开地震奥秘——珠联璧合人类将进入地震预报新时代. 广东科技, (3): 74~75.
- 刘桂萍. 2004. 谈2003年几次成功的短期地震预报. 国际地震动态(2)(总302): 19~20.
- 牛安福, 张凌空, 同伟, 等. 2011. 中国钻孔应变观察能力及在地震预报中的应用. 大地测量与地球动力学, 31(2): 48~51.
- 仇勇海, 刘继顺, 柳建新, 等. 2010. 地震预测与预警. 中南大学出版社.
- 邱泽华, 唐磊, 阙宝祥, 等. 2008. 钻孔应变台网记录的汶川地震前异常变化. 国际地震动态, (11): 10.
- 邱泽华, 张宝红, 池顺良, 等. 2010. 汶川地震前姑咱台观察的应变变化. 中国科学(D辑), 40(8): 1031~1039.
- 邱泽华. 2010. 中国分量钻孔地应力应变观测发展重要事件回顾. 大地测量与地球动力学, 30(5): 40~47.
- 孙建中. 2009. 地震预报的关键在于监测断层. 土工基础, 23(1): 94~95.
- 孙建中. 2010. 再论“地震预报的关键在于监测断层”地质论评, 56(6): 838~840.
- 谭翊飞. 2010. 在法定职责为地震预报的同时, 坚称地震无法预报, 地震局在做什么[N]? 南方周末, 2010-05-13, 第B11版.
- 唐学鹏. 2010. 重点是防御而非预报地震, 不要将注意力和资源过渡放在地震预报上[N]. 21世纪经济报道, 2010-05-14, 第002版.
- 张一方. 2010. 地震预报和某些新的理论探索. 吉首大学学报(自然科学版), 31(2): 48~54.
- 张志呈. 2010. 论自然地震预测预报的可能性——写在5·12汶川地震2周年之际. 西南科技大学学报(哲学社会科学版), 27(2): 1~6.
- 中国科学技术协会. 2001. 中国科学技术专家传略, 理学编, 地学卷2, 翁文波, 1~244.
- 周硕愚, 施顺英, 吴云, 等. 2008. 汶川地震的断层变形异常及其与其他大地震的比较. 国际地震动态(11): 200.
- Geller R J, Jackson D D, Kagan Y Y, Mulargia F. 1997. Earthquakes cannot be predicted. Science, 275(14): 1616.