
引言

由于地壳的相对运动，位于地壳边缘、交界处的地区总是多发地震，如串联起印度洋板块、亚欧板块和美洲板块的环太平洋地震带；在大陆内部，由于地壳深处能量的积累，地震亦时有发生，如我国 2008 年发生的汶川大地震。地震带来的对人身财产安全和地质安全的威胁不可避免，1997 年，我国颁布《中华人民共和国防震减灾法》，确立了“防震减灾工作，实行预防为主、防御与救助相结合”的工作方针^[1]。在 2008 年汶川大地震后，中国政府和学界对地震预报技术的关注也逐渐升温，相关的预报技术也逐渐出现，地震预报逐渐走入中国普通大众的生活中。仅借此文探讨地震预报技术的发展及其与社会生活的关系，并向为此领域做出贡献的前辈致敬。

关键词：地震预报 综述 地应力

Introduction

Because of the relative movement of the earth's crust, the areas at the edge and junction of the earth's crust are always prone to earthquakes, such as the circum Pacific seismic belt connecting the Indian Ocean plate, Eurasian plate and American plate; in the interior of the continent, due to the accumulation of energy in the deep crust, such as the Wenchuan earthquake in 2008. In 1997, China promulgated the law of the people's Republic of China on earthquake prevention and disaster reduction, which established the working principle of "putting prevention first, combining defense with rescue" in the work of earthquake prevention and disaster reduction. After the 2008 Wenchuan earthquake, the Chinese government and academic circles have paid more and more attention to the earthquake prediction technology, and the related prediction technology has gradually emerged. This paper only discusses the development of earthquake prediction technology and its relationship with social life, and pays tribute to the predecessors who have made contributions to this field.

Key words: earthquake prediction, review, in-situ stress

目 录

引言	II
目录	III
1.地震预报之必要性	1
1.1 地震之危害性	1
1.2 地震的可预见性	1
2.地震预报的学术沿革	3
2.1 地震预报领域的关键技术	3
2.1.1 地应力及地应力在地震预报领域的应用	3
2.1.2 异常前兆与地震预报	5
2.2 地震预报的国外经验	5
2.2.1 困难重重的地震预报	5
2.2.2 科拉利托斯异常 (Corralitos anomaly)	6
2.2.3 地应力测量的国际经验	6
2.3 地震预报之前沿突破	6
3. 地震预报相关案例	7
3.1 邢台地震	7
3.2 成功预报辽宁海城地震	7
3.3 唐山地震与汶川地震	8
4.地震预报的发展前景	8
4.1 建设、完善地应力、前兆观测等观测台网	8
4.2 卫星技术的应用	9
4.3 更科学地分析“短临异常”	9
4.4 健全会商讨论机制	9
5.地震预报与社会生活	10
5.3.1 公众对地震预报的信任	10
5.3.2 政府对社会稳定的考量	10
5.3.3 以“ICL 预警系统”为主的地震预警系统的可靠运用	11
6. 结语	11

1.地震预报之必要性

1.1 地震之危害性

地震因其破坏性的灾害机制，对人类社会的安​​全带来极大威胁。仅在我国，2008年发生的汶川大地震共计造成69227人遇难，受灾总人口达4625.6万人。截至2008年9月，5·12汶川地震造成直接经济损失8451.4亿元^[2]。全球范围内的地震灾害及其次生灾害也给各国人民带来了巨大的物质和心理创伤，2004年发生在印尼苏门答腊岛北部的大地震和其直接引发的海啸等次生灾害造成了22.6万人的死亡。

根据2019年国家统计局的数据显示，我国城镇化率突破60%，城镇人口达84843万。随着生产资料和人口的不断集中，地震尤其是发生在城市地区的地震危害更为严重，相同级别的地震会带来更大的伤亡和财产损失^{[3][4]}；除了物质损失之外，地震及其次生灾害带来的心理、家庭和社会创伤，也是难以估量的损失。通过预测与预报，提前准备和应对地震，对国民人身安全和经济发展有重要意义。

表1 历史上数次大地震的统计数据

地震案例	里氏震级	死亡人数	经济损失	次生灾害
1920 宁夏海原地震 ^[5]	8.5 级	27 万	暂无	堰塞湖、黄土流 ^[6]
1923 日本关东地震 ^[7]	8.3 级	14.3 万	115.2 亿	火灾
1976 唐山地震 ^[8]	7.8 级	24.3 万	30 亿	暂无
2004 印尼苏门答腊地震 ^[9]	9.1 级	29.2 万	暂无	海啸
2008 汶川地震 ^[2]	8.0 级	6.9 万	8451.4 亿	堰塞湖
2011 日本福岛地震	9.0 级	1.6 万 ^[10]	暂无	海啸、核泄漏

1.2 地震的可预见性

广义的地震预报（Earthquake prediction）包含地震预测（Forecast）与预报（Prediction）两个方面^[11]。前者是针对构造带和断裂带进行的趋势研究，而后

者是具体的对某一次地震震级和发震地点的预报。在预报之中延伸出了前兆性预报和统计预报，两种方式都广泛地应用于当今的地震预报中，再结合其他观测数据和分析方法，从而得出地震的综合预报结果。由于科技发展水平和社会影响的限制，我国乃至世界的地震预报更多的是地震预测。

在我国地震预报的实际应用中，其有地震预报与地震预警之分。地震预报有中长期预报和临震预报之分，中长期预报尚且有迹可寻，但临震预报由于变量复杂、研究水平尚不足，目前没有国家能够准确预测；地震预警系统则是在某地地震发生后，利用 P 波与 S 波速度不一致的特性，抢先通过互联网向未发震地区预警、提醒民众避难的预警系统。目前国内由王墩博士创建的成都高新减灾研究所开发的“ICL 地震预警系统”已经走在了世界前列，并伴随着智能硬件的普及和软件系统的开发而走入普通大众的生活中。

从我国的古文献记载与当今世界的观测记录中，人类在微观和宏观角度记录下许多地震前兆。从微观角度的地磁地电、地下水物理化学和地应力等方向，再到出现在古人记载中的“天生异象”、现代人的“地震云”，其可靠性与真实性仍然有待研究，但是种种因素表明：地震并不是不可预测的。人类需要不断地进行深入研究，在科学层面实现地震的合理预测。

表 2 地震的主要前兆类型及标志^[1]

类型	微 观 前 兆	宏 观 前 兆
主 要 前 兆 标 志	1) 地震活动性 2) 大地形变(水平及垂直形变、GPS、INSAR、水准、跨断层伸缩仪、倾斜仪等观测) 3) 地球物理(重磁电等) 4) 地球化学(地下水化学等) 5) 地下水位 6) 地应力与地应变 7) 地震波速 8) 低温与远红外图像 9) 地脉动 10) 震源机制 11) 地震波形、高频地震、S 波分裂、尾波衰减等	1) 动物行为异常 2) 植物(如异常季节的发芽、开花、结果或大面积枯萎与异常繁茂等) 3) 气象(主要有震前闷热，人焦灼烦躁，久旱不雨或阴雨绵绵，黄雾四散，日光晦暗，怪风狂起，六月冰雹(飞雪)等，还有射线云与地震云等) 4) 声光电(地声、地光和电磁异常) 5) 地气或地雾 6) 水(包括井水、泉水等，主要异常有发浑、冒泡、翻花、升温、变色、变味、突升、突降、泉源突然枯竭或涌出等)

2.地震预报的学术沿革

2.1 地震预报领域的关键技术

通过不同的角度来预报地震，其中的关键技术亦有不同。中国地震局地壳应力研究所的谢富仁研究员认为，在地应力角度的地震预测，关键是监测地球介质的形变应变和应力、观测地球介质之应力应变状态的动态变化，进而研究其与地体构造环境、地震孕育到发生的关系^[12]。除此之外，李德威教授认为地震的形成是一个动态的四维结构，会经历“孕育期”和“分娩期”，在这之间通过深部地球物理方法监测大陆下地壳活动，来为中长期地震预报打下基础；而在短临预报中，则更多地依靠多节点测量的温度异常、水文异常和大气异常。

2.1.1 地应力及地应力在地震预报领域的应用

应力是一种抵消外部作用力产生的形变、并试图恢复原有形状的力。地应力主要是地壳在地质年代，因地质构造和自重积累形成的一种综合应力，除此之外还有因地热等其他外部原因形成的多种应力场。在前人的讨论中，自重应力中的言行、构造运动中产生的断层和地表侵蚀及其温度被认定为影响地应力最主要的因素。我国地应力测量的创始人李四光教授便认为“地壳内的应力活动是以往和现今使地壳克服阻力，不断运动发展的原因”，而剧烈的地应力活动则是导致地震的原因之一。通过测量地应力，一定程度上能够预测中期的地震活动^[12]。

地应力的测量法多种多样，其中尤以声发射法（acoustic emission method）、钻孔崩落法（borehole breakout method）水压致裂法（hydraulic fracturing method）、应力解除法（stress relief method）和应变恢复法（strain recovery method）最为常见^[13]。不同的分类标准对地应力测量法的分类亦有不同。在地应力测量方面，下文将介绍从上世纪七十年代李四光教授引入的电感法地应力测量，到近期梁晨提出的基于水压致裂法测量地应力和空心包体应变计测量地应力（应力解除法中的一种）的新方法。

每一种涉及钻岩的操作中，对于地应力测量点的选取也有如下要求：

- 1) 远离断层，避开岩石断裂带和断层发育带

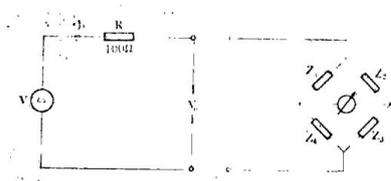
- 2) 远离或尽量远离较大开挖区
- 3) 避开应力集中区^①，保证应力测点必须位于原岩应力区^②
- 4) 钻孔至少应有 3~5°的仰角，以便排水

电感法地应力测量即压磁电感法地应力测量，是一种钻孔套芯法。钻孔套芯法本质上来讲属于应力解除法的外延，而电感是其测量方式^[14]。应力解除法是一种以“待测岩体为均匀连续且各向同性的弹性体”的假设为前提的测量地应力的方法。通过切割或钻孔等方式，人为地破坏岩体原有结构，通过这样的方式“解除其应力”。在前文的解释中我们提到了应力的性质，那么在将小块岩体分离之后，其一定会产生弹性恢复，通过测量仪器测得其回复的形变，在电信号传导至仪器后，应用理论及定理或通过相关软件便可计算出地应力。

由于电感法地应力测量的年代相对久远、技术不断更新迭代，其原始原理并没有以文献的形式流传下来。不过通过解读赵淑平研究员在有关压磁电感法元件工作的最佳电压的文章中提到的，LQJ-2 型仪器的工作原理（图 1），我对电感法之原理有了如下认知：

- 1) LQJ-2 型左半边主要为压敏电阻区，测量时将电感元件放入钻孔中，在钻孔周边打孔、释放应力后，压力向该电阻传导，致使电路中电压发生改变；
- 2) LQJ-2 型右半边主要为“交流电桥法测电感”组件，测量电路中的电感量并输出电信号/数据。

图 1 LQJ-2 型原理图



梁晨在其硕士论文中创新性地吸取水压致裂法和应力解除法，在其基础上创

^① 巷道和采场的弯、拐、叉、顶部等

^② 受人工干涉少的地方

新出新的测量方法。应力解除法之原理前文已做简述，接下来对水压致裂法进行介绍。在人为封堵的钻孔中，通过测量高压流体注入时待测钻孔中孔壁胀裂的程度来确定地应力。水压致裂法十分适用测量深部地应力，但不能满足假设条件时，其准确性难以保障。应力解除法同样有其局限性，在梁晨的硕士论文中，其对两种方法进行了整合升级。

梁晨认为，观测钻孔侧壁面钻进深度与钻孔侧壁面上的应变的变化关系，结合岩体本构方程等理论公式，最后通过钻孔坐标系与大地坐标系之间的变换关系求解出钻孔在大地坐标系下的三个主应力的量值和方向可以规避水压致裂法前提的限制和断芯问题，同时通过填充与黏贴的方式亦可以减小误差。

2.1.2 异常前兆与地震预报

在前文的表 2 中，我引用了吴中海研究员在地震前兆方面归纳出的成果，其总结了地震发生前的异常前兆类型。地震前兆具有普遍性和多样性，一般情况下震级与前兆的种类呈正比；在宏观和微观两个层面，地震前兆覆盖与地震相关的多个学科。在海城地震预报和唐山地震等国内地震的预警中，异常前兆作为一种标志，对提高地震预报敏感度有很强的导向作用。

2.2 地震预报的国外经验

2.2.1 困难重重的地震预报

除了我国，世界上没有其他国家成功预报过地震。我国曾成功预报 1975 年辽宁海城地震，但由于其多种偶然性的叠加、以及这种偶然性带来的“奇迹一般”的预报结果，导致并不是所有人都认可这一预报的科学价值。欧洲地球科学联盟（EGU）在其网站中的“Can we predict earthquakes?”中否认当下阶段短临预报的可能性，转而介绍长期地震预报模型对城市规划和民众生活的指导。

美国地质勘探局（USGS）在其网站中贴文“Can you predict earthquakes?”，在文中通过 1) 地震预报的证据可能或完全不严谨；2) 地震预报中不能完全指出地震三要素；3) 地震预报的时间可能或十分笼统，不具有或很少有现实指导

意义。三个原因否定了地震预报的可能性。

2.2.2 科拉利托斯异常（Corralitos anomaly）

1989年 Ms7.1 洛马普列塔地震后，A. C. Fraser-Smith 等学者在分析震前数据时，发现了在地震发生前被仪器捕捉到的低频地磁场异常现象。使用斯坦福大学中的 ELF（Extremely low frequency, 超低频）/VLF（Very low frequency, 低频）电磁辐射监测系统。ELF/VLF 系统通过交叉环天线（Crossed-loop antennas）来测量辐射的磁分量(magnetic component of the noise)。该系统记录模拟和数字数据，并计算各种统计量，定义 ELF/VLF 辐射的特性，并可进一步处理，以提供“额外的辐射统计度量”。^[15]

因为该研究是在地震发生后的前兆研究，所以本节作为“国际使用地震前兆研究发震”的实证。由于在后续的地震中其他科学家并没有发现类似的规律，所以科拉利托斯异常也被认为是“有争议的前兆研究”和“仪器的失误”。

2.2.3 地应力测量的国际经验

2018年，澳大利亚新南威尔士大学的 Huasheng Lin 等研究者在煤炭经营者大会（Coal Operators' conference）的报告中提到了对钻孔类法测量地应力的新思路——引入 CT。即在对原岩应力进行探测后，再次对其进行 CT 扫描，进而研究钻孔孔径大小、深度与测量实验结果之间的关系^[16]。

2.3 地震预报之前沿突破

在本年度的全国地震趋势会商会中，陈颀院士做了绿色人工震源和光纤地震学的相关报告。陈院士致力于“给地球做 B 超”，在陈院士所做的学术报告中提到，通过人工可控震源引发地震波、开展地下介质地震波速度变化主动探测实验研究^[17]。

陈颀院士的相关研究尚未刊文，通过加州理工学院詹忠文教授有关 DAS（分布式），我能获知大致原理：首先是大规模铺设研究光缆，在通过发射激光脉冲，收集并测量反射的“回声”。光纤收到地震波的影响时，DAS 通过收集相关数据

为地震学家提供研究参考。陈院士的具体方案不得而知，但 DAS 系统的缺点就在造价上，过于昂贵。

3. 地震预报相关案例

3.1 邢台地震

在上世纪我国地震预报初起步的阶段，隆尧地应力观测台的前辈们曾两次成功预报未来地震。1966 年 3 月，河北邢台专区发生多次地震，从 3 月 6 号^③到月底，该地共发生 M_s5 以上大地震六次，其中 M_s6 以上的地震五次，还有一次地震达 $M_s7.2$ ；林邦慧在其回忆中提到^[18]，在通过对地震现象的总结，研究人员发现了邢台地震中“密集——平静——大震”的发震规律，并在不断召开地震趋势会商会的反复研究中，成功预报 3 月 26 日晚的 $M_s6.2$ 地震。但由于正式预报时间较晚，该预报并没有帮助到震区避害工作。

3.2 成功预报辽宁海城地震^[19]

最令我国地震预报研究者兴奋的，当属成功预报 2·4 辽宁海城地震。海城地震是人类史上首次通过技术手段预报、并减少灾害损失的地震，其强度高达 $M_w7.0$ 。海城地震预报的成功，离不开在邢台地震后一直进行地震预报研究和地球数据观测的学者。在观测的基础上，研究人员发现华北北部的几次地震的震源有向东北方向移动的倾向，对地震的警觉推动了相关观测工作的跟进。从 1974 年开始，辽宁省地震活动增多，并接连发现水准观测异常、地磁异常、渤海气象异常和海面异常上升等微观现象。1974 年 6 月召开的“华北及渤海地区地震趋势会商会”上，正式提出了对渤海北部地区的中期地震预报，相关报告在 6 月 29 号被国务院批转。

1974 年年底，动物异常等宏观异常现象更为突出；12 月，辽阳蓼窝水库出现了多次不同于水库地址的百余次小震；1975 年年初，更多的宏观现象开始出现，仅 2 月 1 日到 4 日，海城地区就出现超过 500 次小震。面对这些突发情况，

^③ 相关地震情况引自采访回忆录

辽宁省政府公开发布了对辽南地区的临震警报，政府开始号召、强迫民众撤离房屋。2月4日晚，地震发生。尽管地震对建筑物造成了巨大的损失，但是人员伤亡水平却在预报的帮助下控制的很好。

3.3 唐山地震与汶川地震

成功预报海城地震给相关的研究者极大的信心，这种信心却在后来的唐山大地震中被抹掉，尽管检测手段与海城地震前后区别不大，但地震预报并没有给出准确的预报结果。根据我查阅到的文献，对唐山地区的地震，亦有相关预报。但是由于发震时间和地点预测的偏差，对唐山地震的预报并不如海城预报一般有效。

首先，唐山地震前期是有诸多现象指向了可能发生的大地震。但先由于对异常现象的轻视、错误归因，又是在普遍的平均复发周期观念的影响下，认为1976年4月先后在内蒙古和林格尔和河北大城两地发生的地震已经释放了地壳能量，进而在全国地震趋势会商会中没有就夏季河北地区可能出现的地震作出判断；本要留到秋季的会商会中讨论的大地震，没等到会议召开便已降临。尽管没有全国性的统一指导，但是在1976年5月开始，京津唐渤等地区的地震台站和群众测量点捕捉到了异常的地震前兆，地震发生前已有多个地震专业单位和群众测量点向国家地震局提交了预报^[20]，其中就有谢富仁研究员提到的减少了唐山市青龙县伤亡的预报。

5·12汶川地震前的地震趋势会商会上，龙门山断裂带被列为重点监测区，但因注意力集中在鲜水河断裂带，而放弃了对汶川地区的监测；2007年出现的前兆现象也没有得到国家地震局的重视；汶川地区本地的前兆观测台站却因其120天一次的观测习惯，错失观测到地震的机会^[21]。这都是需要改进的地方。

4.地震预报的发展前景

4.1 建设、完善地应力、前兆观测等观测台网

我国的地应力观测最早由李四光院士牵头指导，通过应力解除法等方法来测量，但是由于地壳的“不可入性”和技术的局限性，地应力观测在上世纪90年

代一度迎来低谷，到 2006 年我国仅保留了 5 个地应力观测站。谢富仁研究员在其对地应力观测的展望中曾经提到过“重点地区构建地应力监测台网”和“多学科联合攻关”的观点。通过密集地、科学地排列监测台网，结合在地应力方向的可靠学说，综合各学科、各类的预报方法得出综合预报。结合汶川地震中“120 天观测一次错过地震发震期”的情况，更应该将前兆观测站的监测常态化。

4.2 卫星技术的应用

卫星技术在地震预报中的应用主要是基于前苏联科学家威尔古洛尼（В. И. Г О Р Н Ы Й）有关地震前卫星热红外异常的研究。而卫星既能克服在地应力观测中遇到的“地壳不可入性”的问题，也可以便捷地观测到无人区/落后地区的热红外异常。研究者钟美娇指出，我国研究人员已经发现了岩石红外辐射能量和微波辐射能量随岩石的应力状态而变化的物理现象，从而证实了将卫星热红外观测和微波观测结合起来应用于地震研究的可能性与必要性。

卫星热红外遥感主要采用夜间 AVHRR 数据，通过 Becker 和 Li 地表温度计算公式来处理数据，实现地表温度反演，得到温度时序图；在微波遥感方面，根据瑞利—金斯定理^④，借微波观测图像中亮度的变化来研究地壳温度的变化。通过 ASMU-A 第 3 通道的亮温来研究地表温度的变化规律。

4.3 更科学地分析“短临异常”

尽管当前的前兆预报极易被社会误读，进而引发恐慌。但是我相信，在统计学和地质学基础上，经过研究后得出的预报是可以预测地震的。亦有学者在此提出将震源过程、前兆和外因有机结合起来的调制模式。即当我们发现明显的外因（地球深部探测等结果）与短临异常日期同步时，要加强观测的预报思路，这个观点在文献[17]中也得到了其他学者的肯定。

4.4 健全会商讨论机制

科学不应该回避质疑与争论，地震趋势会商会作为地震预报领域学者交流的

^④ 在微波遥感测量地表温度时,微波辐射计观测到的亮温近似地与地表温度成线性关系

重要场合,应该不断完善相关举办机制。天气预报与地震预报既有相似也有不同,地方的地震专业单位应该将月会商会常态化并定期向社会公布“有震”或“无震”之结果。在遇到类似文献[17]中李思宇、吴忠良等学者描述的“外因与短临异常日期同步时”的情况,应该适时召开临时会商会进行短期、短临预报,尽力保障人民生产生活安全。

5.地震预报与社会生活

5.3.1 公众对地震预报的信任

公众对天气预报的态度很值得地震预报参考,人们总会抱怨天气预报“报晴不报雨”,但这并不影响大家认可天气预报对生产生活的指导意义。天气预报可以给我们的衣着以参考,亦可以指导农事生产,这是频度很大的一件事。相比之下地震预报的频度和对生活的印象显得“缓慢”,中长期的地震预报能为某地应急抢险措施和建筑物的选材提供一定的参考。

问题和难点在于民众接收到的地震“预报”信息可能并不建立在科学之上,野史中对地震的“预言”和夜观天象得出的“天机”,民众选择相信并因此产生一定的恐慌。但所幸,类似的恐慌只在一些特定的时间段会出现,且民众多数只是在微信群中转发相关信息,因其后避灾的巨大成本,很少做出实际行动。随着我国对谣言管控的加强,此类消息也将逐步退出历史舞台。

5.3.2 政府对社会稳定的考量

不管是科学或不科学预报,政府或机构在面对地震预报时会把社会稳定作为参考的因素之一。EGU 和 USGS 在地震预报方面的“畏手畏脚”,恰是将社会稳定作为了重要考量之一。意大利国家地球物理和火山学研究所首席科学家华纳·马尔佐奇(Warner Marzocchi)便认为“决策者必须认真对待减少民众抱怨和维持信誉两件事”。我国地震预报和任一专业门槛较高的学术领域没什么不同,如果没有专业背景则很难获取最新的专业信息。2020年12月初的2021年全国地震趋势会商会的新闻通稿中,行政话语明显多于主题内容,会议具体内容则没有一并提及。

在我国社会主义制度的组织关系下,我认为我们可以向社会公开中长期预报结果以便于高危区政府和民众进行常备化的避灾准备和避灾训练,以期减少损失。

5.3.3 以“ICL 预警系统”为主的地震预警系统的可靠运用

5·12 汶川大地震后,王墩博士回国创建成都高新减灾研究所,并一手研制推广 ICL 地震预警系统,利用横纵波速度不同的原理,在震源发震后向周边地区广播地震预警。目前来看该系统与国内手机、电视终端厂商和合作让系统得以推广开来,预警结果也多次得到民众肯定,是当今环境下十分可靠的、实用的预警系统。

6. 结语

本文从地震预报出发,介绍了地震预报领域的技术、发展沿革和发展现状,回顾了共和国地震预报史上的骄傲与悲伤,尽管我本人在了解了相关的技术后产生了对地球物理等的恐惧,但我仍然为地震预报领域的技术进步感到欢欣鼓舞,希望我有一天能为地震预报事业的进步作出一定的贡献,希望只是在普及方面。

在本文写作中,感谢赵占仑博士在地应力测量方面提供的帮助,赵博士是一位耐心的导师,利用自己的经验帮助我具象化地应力测量这一过程;同时也感谢林尔诺师兄在 LQJ-2 型仪器的电路解析和测量原理方面提供的帮助;最后,感谢白旻博士在期末作业中选择的综述,让我能有动机去了解地震预报这一原本陌生的领域,并在自己的奇思妙想之下综合了国内外众多学者的观点。

在本文中仍存有一些不足之处,我认为我的文章可能有些过于笼统,所涉方面过多以至于并没有深入地讲清具体的原理,可能不具备论文的某些条件,因此,我最多只是写了一篇大作文。希望我在未来的学习中能够更深的了解专业领域,在未来的实践中写出具有科学价值的论文。

^[1] 全国人民代表大会.中华人民共和国防震减灾法[EB/OL].duliaofa.baidu.com/detail?cid=7b3a147d415d983469509d355198a405_law,2008-12-27.

-
- [2] 汶川特大地震四川抗震救灾志编纂委员会.汶川特大地震四川抗震救灾志·总述大事记[M].四川人民出版社:成都,2017:6-35.
- [3] Xu Z, Lu X, Guan H, et al. Seismic damage simulation in urban areas based on a high-fidelity structural model and a physics engine [J]. Natural Hazards, 2014,71(3):1679-1693.
- [4] Ara S. Analyzing population distribution and its effect on earthquake loss estimation in Sylhet, Bangladesh[D].Netherlands: University of Twente, 2013.
- [5] 张思源.1920年海原大地震死亡人数考析[J].西夏研究,2013,(第1期):119
- [6] 王长征,彭秀良.民国前期地震灾害救助研究——以1920年宁夏海原地震为中心[J].历史教学(高校版),2008,24:18-22.
- [7] 池子华,代华.1923年日本关东大地震及其援救——以《申报》报道的内容为主要依据[J].安徽师范大学学报(人文社会科学版),2011,39(4):476-481.
- [8] 新华网.唐山大地震记忆:242769人遇难 164851人重伤(快照)[EB/OL].<http://www.sohu.com/6p2vDM>,2010-07-28.
- [9] 中国地震信息网.印尼苏门答腊地震(2004.12.26)[EB/OL].https://www.ceac.gov.cn/manage/html/4028861611c5c2ba0111c5c558b00001/_history/ynd/yndnews/yn04122601.htm,2007-11-05.
- [10] 警察庁.平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震について 被害状況と警察措置[EB/OL].<https://web.archive.org/web/20170106143349/http://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/higaijokyo.pdf>,2016-12-09.
- [11] 吴中海,赵根模.地震预报现状及相关问题综述[J].地质通报,2013,32(10):1493-1512.
- [12] 谢富仁,邱泽华,王勇,等.我国地应力观测与地震预报[J].国际地震动态,2005,317(5):54-59.
- [13] 梁晨.一种新的地应力测量方法理论及数值分析[D].湖北:湖北工业大学,2020.
- [14] 王建军.压磁套芯解除法地应力测量技术研究进展[J].岩土工程学报,1999,21

(3):3-5.

[15] Fraser-Smith, A. C.; Bernardi, A.; McGill, P. R. et al. Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta Earthquake. [J] Geophysical Research Letters, Volume 17, Issue 9, p. 1465-1468

[16] H Lin, J Oh, H Masoumi, et al. A Review of In Situ Stress Measurement Techniques. [C]. UOW: Coal Operators' Conference. 2018.

[17] 中科院地壳所. 陈颙院士来所进行学术交流[N]. 地壳构造与地壳应力, 2015(01).

[18] 林邦慧. 1966年邢台地震考察队分析组现场地震监测预报回忆[J]. 国际地震动态, 2017, 38(5): 38-41.

[19] 李思宇, 吴忠良. 海城地震预报作为一个科学史事件[J]. 自然辩证法通讯 2019, 41(10), 64-68

[20] 罗灼礼, 王伟君. 地震前兆的复杂性及地震预报、预警、预防综合决策问题的讨论——浅释唐山、海城、松潘、丽江等大地震的经验教训[J]. 地震, 2008, 28(1): 19-32.

[21] 赵文津. 就汶川地震失报探讨地震预报的科学思路——再论李四光地震预报思想[J]. 中国工程科学, 2009, 11(06), 4-15.