

尹海权,徐玉健,徐东卓,等.跨断层形变监测场地布设研究[J].地震工程学报,2018,40(增刊):35-39.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.035

YIN Haiquan, XU Yujian, XU Dongzhuo, et al. Site Layout of the Across-fault Deformation Measurement[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(Supp): 35-39. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.035

跨断层形变监测场地布设研究

尹海权, 徐玉健, 徐东卓, 王生文, 王 宁, 张振伟, 王世进

(中国地震局第一监测中心, 天津 300180)

摘要: 从我国地震预报的紧迫性和跨断层形变监测短临预报的优势出发,发现目前跨断层监测网络布局的多个问题,并通过“面-线-点”的思路,对优化跨断层监测网络布局提出意见和思路,即以区域地震活动背景研究和活动断裂体系研究为基础,对相关断裂进行详细的分段性研究和活动性分析,然后结合现有观测场地的监测效能评估结果进行活动断裂调查,最终得出跨断层监测场地优化方案。

关键词: 跨断层形变; 监测网络布局; 方法研究

中图分类号: P315.72

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)增刊-0035-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.035

Site Layout of the Across-fault Deformation Measurement

YIN Haiquan, XU Yujian, XU Dongzhuo, WANG Shengwen,

WANG Ning, ZHANG Zhenwei, WANG Shijin

(First Crust Monitoring and Application Center, China Earthquake Agency, Tianjin 300180, China)

Abstract: According to the urgency of earthquake forecasting in our country and the superiority of cross-fault deformation monitoring in short-term prediction, the shortcomings of the monitoring network layouts of current cross-fault deformations were found. Through surface-line-point method, a method for optimizing the cross-fault monitoring network layout is presented in this paper. Based on the background research of regional seismic activity and active fault systems, detailed segmentation and activity analysis of the relevant faults are carried out. By assessing the results from the effective monitoring of existing observation sites and active fault investigation, an optimization scheme for cross-fault monitoring site is finally obtained.

Keywords: cross-fault deformation; monitoring network layout; method study

0 引言

跨断层流动形变监测是根据大地形变测量原理,直接在断层两盘上进行断层垂直、水平形变监测的技术,是获取地表形变场尤其是断层近场运动的重要手段,在地震监测预报中发挥着积极作用,因此

长期以来受到广泛重视^[1-5]。多年实践证明,跨断层测量手段在多数强震发生前可出现不同程度的断层形变异常^[6-10]。跨断层监测对我国西部6级左右及以上、东部5级以上地震,包括唐山、丽江、芦山等7级以上大震显示出较好的中短期-短临预测效能,做

收稿日期:2017-09-11

基金项目:中国地震局第一监测中心科技创新主任基金项目(FMC2017009);中国地震局“三结合”课题(CEA-JC/3JH-163712)

第一作者简介:尹海权(1990-),男,黑龙江大庆人,博士,工程师,从事沉积大地构造和地震预测预报研究。

E-mail:742946697@qq.com。

出过为地震学界所公认的实际贡献;而区域性群体异常及其时空演化特征还为 $M7$ 、重点防御区项目等长时间尺度地震大形势与危险区预测研究提供了重要依据。

1 现状

1.1 跨断层监测发展史

我国跨断层监测始于 1962 年广东新丰江 6.1 级地震后。到 20 世纪 80 年代中后期,全国已发展到具有水准测量、基线测量、短程测距、短边三角测量及连续自动记录的断层形变测量等多种手段。到 20 世纪 90 年代,由国家地震局、省级地震局(地震局直属单位)及专业测量队(监测中心、工程院、勘测

院、监测队等)共同组成了全国统一的三级跨断层测量管理网络。

我国跨断层监测以流动形变测量为主,定点连续观测台站仅在华北和西南地区有少量布设。跨断层场地主要依据全国主要断裂带的展布特征而布设,主要分布在南北地震带、天山地震带、华北地震区、郯庐地震带及东南沿海地区(图 1)。几十年来,全国跨断层流动测量总体上没有中断,但由于各种工程建设、环境破坏、人为破坏等多种原因,导致完整可用的跨断层流动监测场地越来越少。据 2015 年统计,全国现运行的跨断层流动监测场地(后简称流动场地)已由当初的 400 余处减少至目前的 248 处。

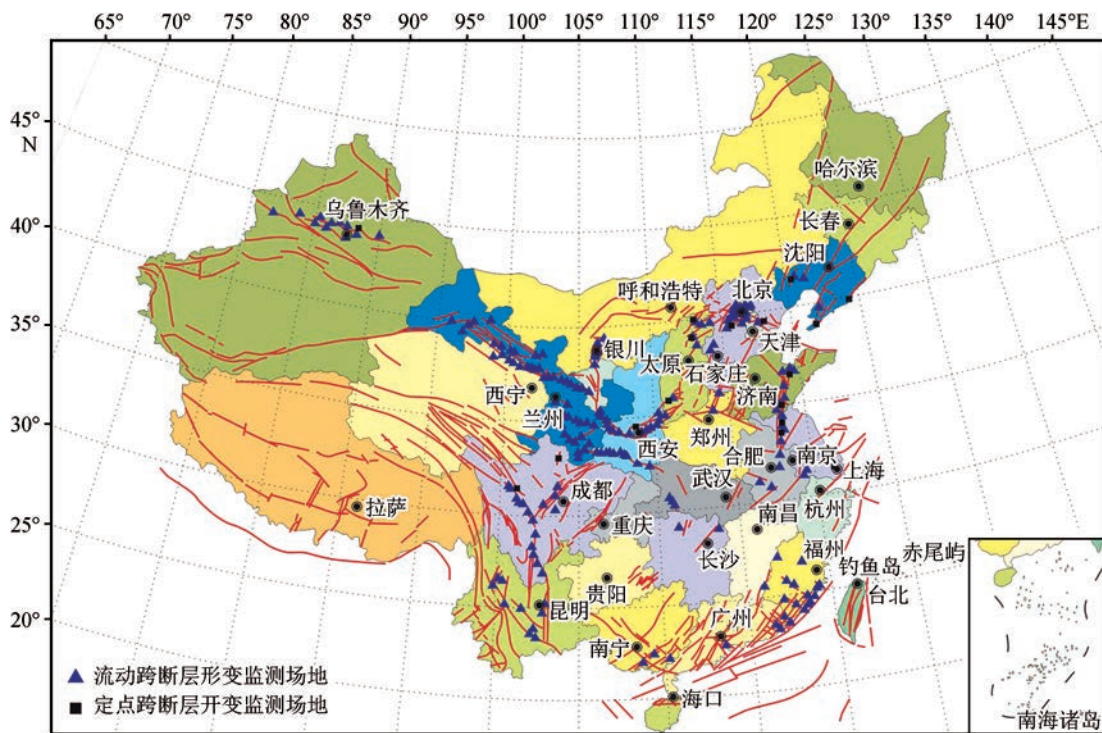


图 1 全国跨断层形变监测场地分布图

1.2 存在的问题

跨断层形变测量作为地震前兆观测的一种重要手段,多年来在我国地震监测预报方面发挥着重要的作用。跨断层形变监测不仅是监测断层活动最直接的方法,而且可以敏感地反映地壳形变特征,有效获取地震前兆信息。随着地质科学、探测技术以及相关地震知识的发展和进步,原有的跨断层监测网路布局已经难以满足现今地震预测预报的需求,需要对跨断层形变监测场地布设进行优化,因此对跨断层监测场地布设方法的研究显得极为重要。总结起来,跨断层形变监测网络布局在发展中主要存在

以下几个方面的问题:

- (1) 跨断层场地相对稀疏,短临预测优势难以发挥;
- (2) 跨断层场地未完全覆盖中国大陆主要活动断层;
- (3) 部分强震危险区或潜在强震危险构造区跨断层监测匮乏。

2 讨论

跨断层监测网络的布局不仅要考虑地震危险区、地震空段等因素,还要对活动断层进行详细研

究,包括断层的活动性、分段性以及相同断层不同段之间的活动关系。另外,更重要的是要对断层体系进行研究(包括正断层体系、逆冲断层体系以及走滑断层体系),因为在不同的断层体系中,主要的活动断层分布是不同的,并具有一定的规律,相关的研究能够帮助我们识别出断层体系中主要的活动断层,并为活动断层的监控布局提供方向。

本文拟通过面-线-点的思路(图 2),进行跨断层监测网络布局研究,即以区域地震活动背景研究(面)和活动断裂体系、分段性研究(线)为基础,通过对地区内现有观测场地的效能进行评估(点),最终确定新建场地位置。

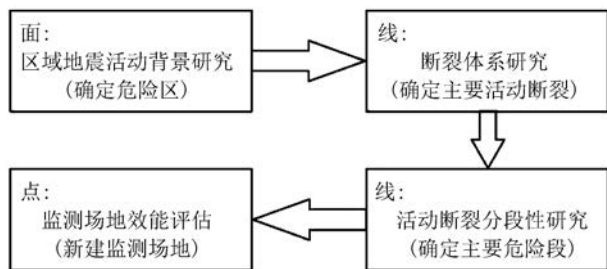


图 2 新建跨断层形变监测场地工作思路

2.1 地震危险性研究

跨断层形变监测是在活动断裂两盘直接进行观测的手段,其目标是断裂本身,其目的是地震预测预报,因此在选址工作中应首先考虑地震危险区。确定危险区后,再针对断裂进行详细的研究工作。

以晋冀蒙地区为例,该地区多年来一直存在着各种形变、地震参数的异常,并被长期划定为地震危险区。诸多学者利用多种手段对晋冀蒙地区进行了地震危险性评价,均认为该地区处于应力积累状态,具有强震危险性^[11-19]。M7 工作组^[19]对晋冀蒙地区做了详实的地震目录、地震特征参数、GPS、重力等研究,发现该区位于华北第 4 强震活跃期主体活动区/带中的大地震空缺段,对该区进行断裂体系研究不仅具有科学意义,而且符合地震预测预报的紧迫性^[19]。因此从区域地震危险特征方面为跨断层监测网络布局和目标断裂的选择提供了方向。

2.2 断裂体系研究

不同断裂体系(走滑断裂、正断裂、逆断裂)具有不同的形变和应力变化特征,即在不同的断裂体系内具有不同的主要发震断裂和发震特征^[20-21],因此对断裂体系的研究有助于发现重点发震断裂,便于跨断层场地选址工作。

对于正断裂体系,大地震往往发生于正断裂体系中的主断裂上,少数发生在比较大型的反向调节断裂上。较典型的震例有,闻学泽^[22]通过石油物探、地震精定位、烈度分布和震源机制解等信息,得出内蒙古 1979 年五原 6.0 级地震的发震断裂为色尔腾山山前断裂(正断裂体系中的主断裂)。另外,如 1679 年三河—平谷 8 级地震发生于夏垫断裂(北京地区较大的正断裂),1303 年山西洪洞 8 级地震发生于霍山山前断裂(可能是规模较大的方向调节断裂),1556 年的陕西华县 8 级地震发生于华山山前断裂,1739 年宁夏平罗 8 级地震发生于贺兰山东麓断裂,1920 年宁夏海原 8.6 级地震发生于海原断裂。上述地震的发震断裂均是正断裂体系中的主断裂或大型反向调节断裂,在地貌上均表现为控盆断裂^[20]。

对于逆断裂体系,大地震往往发生于断裂的前缘,向着逆断裂推覆的方向的前锋易产生新的断裂,大地震也易发生在这些较新的断裂上,而逆断裂体系的后缘部位,由于构造变形作用的累积,具有较强吸能作用,一般不具备较强的发震能力。龙门山推覆构造是典型的逆断裂体系,在该处发生过 2008 年汶川 8.0 级、2013 芦山 7.0 级等大地震。杜方等^[23]、徐锡伟等^[24]、李传友等^[25]对两次地震的发震构造进行了较为详细的研究,均认为其发震位置位于逆断裂体系的前缘地区。

走滑断裂并不是简单延伸的断裂,它常具有复杂的结构,由多条不连续次级断裂作羽列或雁列排列,它们之间构成不连续的阶区,连续的地段可称为走滑段。阶区是构造作用相对复杂的位置,不同的断裂组合形式可以形成隆起区和拉分区^[26]。在地震方面,阶区在一定程度上可以阻止小地震发生时造成走滑段的连续破裂。但由于其构造性质、力学性质极为复杂,因此笔者认为在阶区段并不适宜展开跨断层短水准和短基线形变监测工作,而走滑断裂的走滑段,其形变和监测意义相对明确,比较适合开展跨断层监测工作。

2.3 活动断裂分段性研究

活动断裂运动的最基本单元是活动断裂段,不同的活动断裂段一般具有不同的活动特点,具有一定的独立性,往往只有在大地震发生时才会出现多个断裂段同时活动或破裂的情况^[27-28]。因此跨断层场地应以断裂基本单元——活动断裂段为目标进行监测点位布局,而不是简单地考虑场地点位的距离和密度分布。以六棱山北麓断裂为例,前人通过地貌学等研究方法,认为此断裂在活动性上可以划分

为 6 段,并具有不同步的活动性质^[29],那么在此断裂上就可以布设 6 个场地;再以恒山北麓断裂为例,前人通过古地震研究发现长达 120 km 的断裂具有一致的活动性^[30],因此在理论上可以考虑只需要一个场地进行监测。

2.4 监测场地效能评估

为充分考虑已有跨断层场地的作用,以中条山断裂和恒山北麓断裂两处较为典型的断裂为例,讲述如何对已有跨断层场地进行考量。中条山断裂可以划分为北、中、南段三段,北段由南山底场地监控,南段由风伯峪场地监控。但根据资料显示,此断裂的中段活动性最强^[31-32],更重要的是上述两个场地的监测效能较低,存在有震无异常和有异常无震的情况^[31],因此建议在中条山北麓断裂中段新建场地,以便于监控此断裂的最强活动段,并通过新建场地,提高其监测效能。而恒山断裂根据前人古地震研究结果,在长达 120 km 以上的断裂带上并不存在不同期次的破裂分段,断裂各个部位古地震资料显示存在相同时间和相同规模的地震位移和运动速率^[30],因此此断裂具有地震的一致性,理论上仅需要一个场地进行监测就能达到监测效果,另外此断裂已由应县大石口场地监测,且监测效能较高^[31],故理论上不需要新建场地。

因此总结如下:对于具有监控场地的活动断裂,考虑其场地是否监控了活动性最强的段落,且是否具有较好的监测效能,若不能满足这两个条件,则需要在合适的位置新建跨断层监测场地。

另外,在野外选址的过程中应充分利用前人的研究成果,如探槽资料、古地震资料等,这样不仅可以高效地进行选址工作,而且方便未来的地震预测预报和震情分析等工作。

3 结论

通过上述分析,本文为优化跨断层监测网络布局提供一点建议和思路。主要是从面到线最终到点的过程,以地震活动分析为背景,活动断裂为目标,在充分了解和研究现有跨断层监测场地资料的基础上,利用前人资料,进行详细的活动断裂体系和分段性研究,得出跨断层监测网络布局方案,为地震预测预报提供监测基础。并得到以下两点认识:

(1) 跨断层监测场地应布设在断裂体系中的主要活动断裂上;

(2) 跨断层监测点位的布局不能简单的以点位间距和密度进行布设,应该充分考虑活动断层的分

段性和活动性。

参考文献

- [1] 曹建玲,贾晓东,李腊月,等.华北地区跨断层前兆异常特征综述[J].地震,2016,36(4):61-75.
- [2] 周海涛,薄万举.利用跨断层形变资料求解断层运动及断裂带应变方法研究[J].大地测量与地球动力学,2013,33(6):31-35.
- [3] 李杰,刘文义,楼关寿,等.跨断层形变观测显示的断裂活动特征分析研究[J].中国地震,2010,26(1):46-59.
- [4] 苏琴,向和平,邱桂兰,等.跨断层水准与汶川 8.0 级地震强余震监视[J].地震研究,2010,33(4):269-273.
- [5] 陆明勇,刘天海,黄宝森,等.跨断层流动形变监测环境及监测技术探讨[J].大地测量与地球动力学,2011,31(5):141-145.
- [6] 李忠华,苏有锦,刘祖荫.丽江 7.0 级地震滇西实验场区跨断层短基线短水准测量的变化特征[J].中国地震,1998,14(2):140-149.
- [7] 车兆宏,谢觉民,张晶,等.张北 6.2 级地震地形变前兆演化特征[J].地震,1999,19(4):315-322.
- [8] 张希,崔笃信,张四新,等.地形变观测揭示的汶川 $M_s 8.0$ 级地震同震响应与影响[J].武汉大学学报(信息科学版),2009,34(10):1204-1209.
- [9] 张希,唐红涛,李瑞莎,等.芦山地震前断层形变的中短期异常及同震影响[J].大地测量与地球动力学,2014,34(2):1-5.
- [10] 徐东卓,李胜周,周海涛,等.川滇地块南部主要断裂现今形变特征及危险性分析[J].震灾防御技术,2017,12(3):539-546.
- [11] 武烈.山西地震带的北西向和东西向地震活动带[J].地震研究,1986,9(6):675-684.
- [12] 吸永清,徐浩,焦改香.晋冀内蒙交界区的地震活动及强化监测区预测[J].山西地震,1999(3-4):70-77.
- [13] 陈绍绪,张跃刚,乔子云,等.晋冀蒙交界地区主要断裂的现今活动[J].华北地震科学,2003,21(2):16-22.
- [14] 王化宇,殷志刚,金文臣.晋冀蒙交界区 6 级地震前晋北区中小地震活动研究[J].地震地磁观测与研究,2006,27(6):18-26.
- [15] 韩月萍,杨国华,塔拉,等.首都圈及晋冀蒙交界地区地壳垂直形变及地震危险性分析[J].山西地震,2007(3):7-10.
- [16] 祝意青,闻学泽,张晶,等.华北中部重力场的动态变化及其强震危险含义[J].地球物理学报,2013,56(2):531-541.
- [17] 张希,郝明,贾鹏,等.全国主要构造区 GPS 水平运动负位错反演与应变积累特性[J].地震研究,2013,36(1):1-8.
- [18] 武敏捷,朱红彬,林向东,等.由多地震活动参数分析晋冀蒙交界地区长期地震危险性[J].地震地磁观测与研究,2014,35(3/4):57-62.
- [19] M7 专项工作组.中国大陆大地震中-长期危险性研究[M].北京:地震出版社,2012.
- [20] 邓起东,张培震,冉勇康,等.中国活动构造与地震活动[J].地质前缘,2003,10(特刊):66-73.
- [21] 邓起东,闻学泽.活动构造研究——历史、进展与建议[J].地震地质,2008,30(1):1-30.
- [22] 闻学泽.内蒙古 1979 年五原 6.0 级和 1996 年包头 6.4 级地震的震源区构造[J].地震地质,2014,36(3):576-597.
- [23] 杜方,龙锋,阮祥,等.四川芦山 7.0 级地震及其与汶川 8.0 级

地震的关系[J].地球物理学报,2013,56(5):1772-1783.

[24] 徐锡伟,闻学泽,韩竹军,等.四川芦山 7.0 级强震:一次典型的盲逆断层型地震[J].科学通报,2013,58(20):1887-1893.

[25] 李传友,徐锡伟,甘卫军,等.四川芦山 $M_s7.0$ 地震发震构造分析[J].地震地质,2013,35(3):671-683.

[26] 邓起东,朱艾斓,高翔.再议走滑断裂与地震孕育和发生条件[J].地震地质,2014,36(3):562-573.

[27] 白玉柱,徐锡伟,徐杰.断裂分段之间不同相互作用对断裂运动的影响[J].华北地震科学,2012,30(2):33-38.

[28] 楚全芝,汪良谋.活断层分段及其地震危险性评价[J].东北地震研究,1995,11(2):54-61.

[29] 徐锡伟,米仓伸之,铃木康弘,等.山西六棱山北麓晚第四纪不规则断裂作用的地貌学研究[J].地震地质,1996,18(2):169-181.

[30] 江娃利,谢新生,王焕贞,等.山西大同盆地恒山北缘断裂全新世古地震活动[J].中国地震,2003,19(1):8-19.

[31] 陆明勇.华北地区跨断层流动形变监测场地与监测网优化研究[R]//地震科技星火计划项目研究报告.2014:1-128.

[32] 程绍平,杨桂枝.山西中条山断裂带的晚第四纪分段模型[J].地震地质,2002,24(3):289-302.

(上接第 21 页)

参考文献

[1] 尹祥础,尹灿.非线性系统的失稳前兆与地震预报——响应比理论及其应用[J].中国科学(B辑),1991(5):512-518.

[2] 曾小平,续春荣,赵明,等.地球磁场对太阳风的加卸载响应与地震[J].地震地磁观测与研究,1996,17(1):49-53.

[3] 宋治平,尹祥础,陈学中.加卸载响应比的时空演变特征及其对地震三要素的预测意义[J].地震学报,1996,18(2):179-186.

[4] 丁鉴海,卢振业,黄雪香.地震地磁学[M].北京:地震出版社,1994:237-245.

[5] 张建国,曹轶,闫俊岗,等.地磁 Z 分量日变幅逐日比法在河北省的应用研究[J].华北地震科学,2008,26(1):1-7.

[6] 朱燕,史勇军,巴克,等.新疆地区地磁加卸载响应比方法应用研究[J].中国地震,2002,18(4):409-416.

[7] 冯志生,林云芳,王建宇,等.江苏地磁加卸载响应比的异常标志体系[J].地震,2000,20(2):61-68.

[8] 冯志生,王建宇,蒋延林,等.地磁垂直分量日变幅逐日比及其与地震关系的探讨[J].华南地震,2001,21(2):20-27.

[9] 郑在壮.琼中台地磁加卸载响应比与地震[J].地震地磁观测与研究,2001,22(1):44-46.