

陆明勇、于海生、李志雄等,2018,华北地区跨断层流动形变监测场地优化初探,中国地震,34(4),837~844.

华北地区跨断层流动形变 监测场地优化初探

陆明勇¹⁾ 于海生¹⁾ 李志雄¹⁾ 李杰²⁾ 王秀文³⁾
李岩峰¹⁾ 寇建新¹⁾ 冯军¹⁾ 张平法¹⁾

1) 中国地震应急搜救中心,北京市石景山区玉泉西街 1 号 100049

2) 山东地震局,济南 250014

3) 山西地震局,太原 030021

摘要 首先分析了华北地区跨断层流动形变监测场地布测现状及监测效能,继而依据跨断层流动形变测量规范及监测的可控性、均匀性、目的性以及监测场地监测效能等,结合该区域断裂活动及地震活动性研究结果,给出华北地区跨断层流动形变监测场地拟优化布设结果。该优化布设结果消除了华北地区跨断层流动形变网监测地震活动盲区,有助于提高该区跨断层流动形变网监测地震活动能力。

关键词: 华北 跨断层流动形变监测场地 监测效能 断层活动 优化

[文章编号] 1001-4683(2018)04-0837-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

华北地区是我国地震多发地区之一,历来是防震减灾工作的重点地区,该地区自 20 世纪 60 年代末开始建立跨断层流动形变监测场地并进行地震活动监测。该区在 40 多年的跨断层流动形变监测中,积累了一批连续可靠、高精度、具有较高价值的观测资料,在地震预测研究、地质探测、地球动力学等研究中发挥了积极作用(陆明勇等,2011a)^①;与此同时,经济的快速发展致使监测环境发生了很大变化,影响了监测场地及监测资料质量,监测场地数逐年减少(车兆宏,2003);多年监测效果表明,现有监测场地并不都能较好地反映区域构造应力-应变场的变化(陆明勇等,2011b)^②。而近 20 年来,地球科学技术的快速发展特别是地质填图和地球物理探测等研究的进展,使我们对断层活动性质有了新的认识(徐锡伟等,2002;赵国敏等,2006;邓起东等,2007;张世民等,2008;陈宇坤等,2010;邵永新等,2010)。

因此,重新审视华北地区 40 多年来跨断层流动形变监测场地映震效能、选址优劣,并由

[收稿日期] 2016-06-07; [修定日期] 2018-11-14

[项目类别] 中国地震局地震科技星火计划项目(XH14057)资助

[作者简介] 陆明勇,男,1965 年生,研究员,主要从事地壳形变、地下流体、地球动力学等研究与地震监测预报工作。

E-mail: lmy9988@163.com

①大地形变测量技术管理部,2007,全国跨断层形变场地监测场地及 2006 年度运行报告

②陆明勇等,2010,首都圈地区跨断层流动形变监测场地技术评价与观测资料映震效能及监测场地优化研究

此制定出更能反映断层活动或构造应力场变化的监测场地布设结果,有利于最大限度捕获到地震活动异常信息。监测场地的布设优化需基于跨断层流动形变测量规范,统筹兼顾监测控制能力和地质构造分布,并最大限度地满足捕获到地震活动异常信息的需求。笔者曾经探讨了小区域监测场地的优化布设问题(陆明勇等,2013),但地震活动特别是强震孕育、发展、发生等过程是大范围地质事件。而探讨大范围区域的华北地区跨断层流动形变监测场地优化布设问题,可以提高其优化布设方案的可控性、有效性、合理性等,并最终提高该区跨断层流动形变监测捕获地震活动异常信息的能力。

1 断裂上的监测场地布设分析

1.1 各地质时代断裂上监测场地布设概况

华北地区包括辽宁西南部、内蒙古中南部、北京、天津、河北、山西、山东、河南、江苏及安徽等地区,位于中国大陆的东部。在构造上隶属鄂尔多斯断块东缘、太行山、华北平原、河淮平原、阴山-燕山、胶辽、苏沪-南黄海等多个断块,地质构造复杂、断裂多,断裂走向多为 NE、NNE、NW、NNW 等方向(邓起东等,2007;朱红彬等,2010)(图 1)。华北陆地区域有 318 条断裂,其中全新世活动断裂 49 条,晚更新世活动断裂 71 条,第四纪活动断裂 170 条,前第四纪活动断裂 28 条;全新世活动断裂主要分布在西北部的山西、河北及山东等地,晚更新世活动断裂主要分布在山西、安徽等地,第四纪活动断裂广泛分布于全区,前第四纪活动断裂主要分布于华北北部、河南、江苏及山东等地(图 1、表 1、表 2)。华北地区的基岩断裂主要分布在山西、河北等西北部地区,隐伏断裂主要分布在东南部平原地区(图 1)。

华北地区 74 处监测场地布设在该地区 44 条断裂(断层)上,占 13.84%。监测场地布设不同地质时期活动断裂(断层)数及占总数比分别为:全新世 11 条,占 22.45%;晚更新世 13 条,占 18.31%;早第四纪 16 条,占 9.41%;前第四纪 4 条,占 14.29%。这样,华北地区全新世、晚更新世活动断裂上布设了监测场地的有 24 条断裂,占该断裂的 20.00%。已有研究表明,第四纪以来活动过的断层,特别是晚更新世中、晚期和全新世期间曾经明显活动的断层,更容易发生地震(国家地震局,1991),而华北地区全新世、晚更新世活动断裂上布设了监测场地的有 24 条断裂,仅占该时期断裂的 20.00%,因此就华北地区跨断层流动形变监测场地的布设状况而言,其监控效能很低(图 1)。

1.2 监测场地布设区域

华北地区共有 74 处跨断层流动形变监测场地(表 1),主要分布在北京及其邻区、山西断裂带、郟庐断裂带中偏南地区、辽西地区、安徽霍山地区及其附近以及华东的茅山东侧断裂带上(图 1),其空间分布极其不均匀,存在很多监测盲区(陆明勇等,2015)。如河南省除北部 1 个小区域有 2 处跨断层监测场地外,其余地区未设监测场地。又如内蒙古中南地区属于华北地区范畴,处于晋冀蒙交界地区,晚更新世活动断裂和全新世活动断裂多,但未布设跨断层流动形变监测场地(图 1)。一些控制性大断裂亦未布设监测场地,如山西晋城-获鹿断裂(图 1)。该断裂带南起济源北,向北经晋城、高平、长治,到获鹿,总长 350km;该断裂带是山西隆起的一条重要构造,其在高平以北为晚更新世活动断裂,以南为早、中更新世断裂。沿该断裂带中强地震较活跃,历史上多次发生 5 级左右地震,现今小震亦时有发生(孙

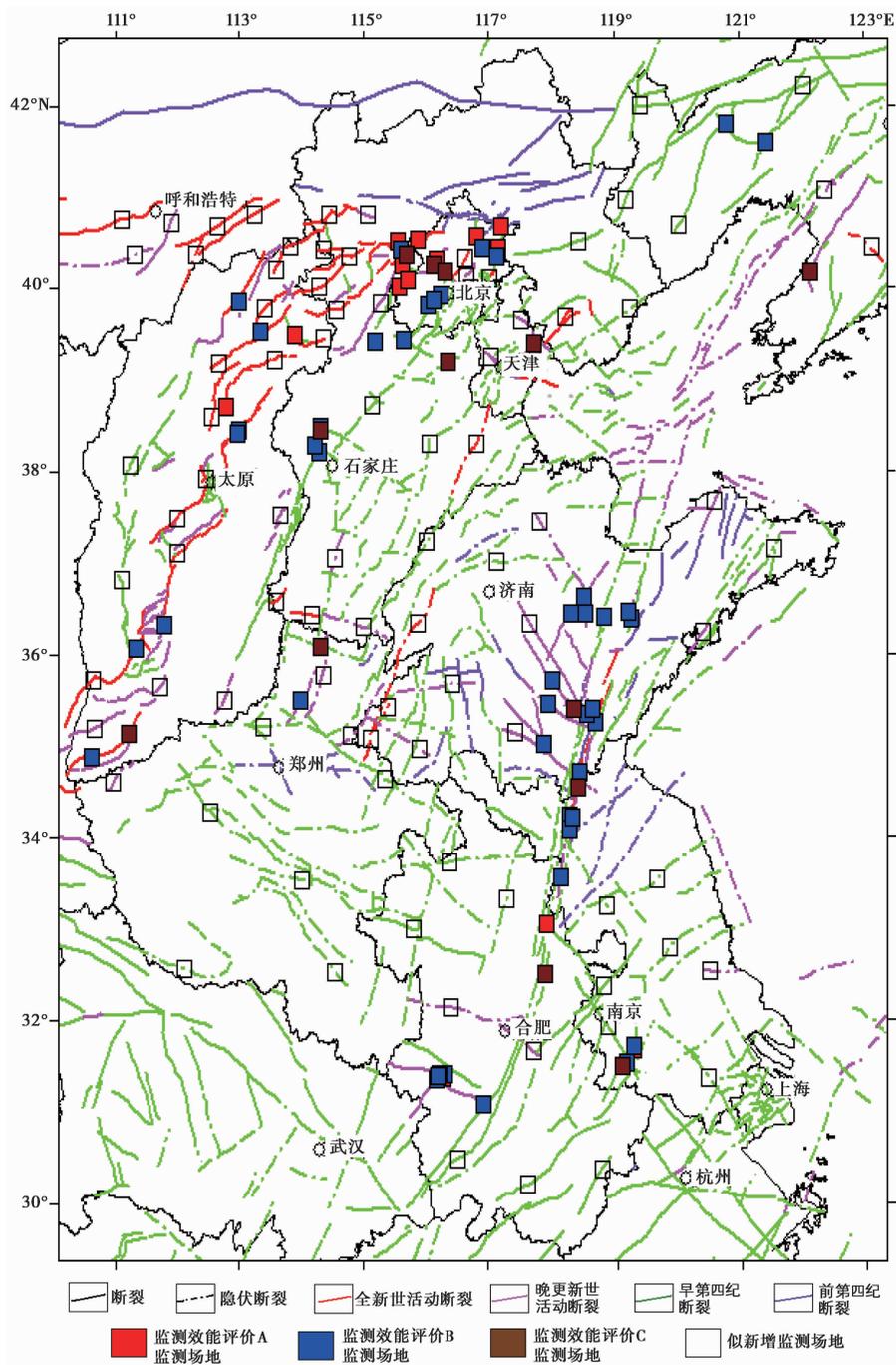


图 1 华北地区跨断层流动形变监测场地拟优化布设及断裂(断层)分布^③

③陈文彬, 2014, 华北地区断裂分布图

表 1 监测场地跨断裂状况统计

施测单位\ 监测场地数	不同地质活动年代断裂数\ 占比/%					不同走向断裂数\ 占比/%				出露、隐伏断裂数\ 占比/%	
	前 Q	Q ₁₋₂	Q ₃	Q ₄	Q ₃ +Q ₄	NE	NW	SN	EW	出露	隐伏
中国地震应急 搜救中心\24	3\12.50	14\58.33	3\12.50	4\16.67	7\29.17	15\62.50	7\29.17	1\4.17	1\4.17	21\87.50	3\12.50
山东省地震局\15	1\6.67	2\13.33	9\60.00	3\20.00	12\80.00	9\60.00	6\40.00	0\0	0\0	15\100.00	0\0
山西省地震局\10	0\0	0\0	0\0	10\100.00	10\100.00	8\80.00	1\10.00	0\0	1\10.00	10\100.00	0\0
安徽省地震局\8	0\0	4\50.00	4\50.00	0\0	4\50.00	5\62.50	3\37.50	0\0	0\0	8\100.00	0\0
江苏省地震局\8	1\12.50	2\25.00	5\62.50	0\0	5\62.50	8\100.00	0\0	0\0	0\0	8\100.00	0\0
河北省地震局\4	0\0	3\75.00	0\0	0\0	0\0	1\25.00	3\75.00	0\0	0\0	4\100.00	0\0
辽宁省地震局\3	0\0	2\66.67	1\33.33	0\0	1\33.33	3\100.00	0\0	0\0	0\0	3\100.00	0\0
河南省地震局\2	0\0	1\50.00	1\50.00	0\0	1\50.00	1\50.00	1\50.00	0\0	0\0	1\50.00	1\50.00
合计\74	5\6.76	28\37.84	23\31.08	17\22.97	40\54.05	50\67.57	21\28.38	1\1.35	2\2.70	70\94.59	4\5.41

表 2 拟优化布设前后跨断层流动形变监测场地布设统计

地区名 (断裂 总数)	拟优化 状况	跨断裂 场地数\ 未跨断裂 场地数	断裂上布设监测场地状况统计								
			前第四纪断裂		第四纪断裂		晚更新世断裂		全新世断裂		布设场地 跨断裂数\ 占比/%
			断裂数	跨断裂数\ 占比/%	断裂数	跨断裂数\ 占比/%	断裂数	跨断裂数\ 占比/%	断裂数	跨断裂数\ 占比/%	
辽宁 西南部 (23)	未优化	3\0		19	2\10.53	3	1\33.33	1		3\13.04	
	拟优化	9\0		19	5\26.32	3	2\66.67	1	1\100.00	8\34.78	
内蒙古 中南部 (8)	未优化		1	1		2		4			
	拟优化	6\0	1	1		2	2\100.00	4	4\100.00	6\75.00	
北京 (14)	未优化	16\0	3	3\100.00	5	3\60.00	3	1\33.33	3	1\33.33	8\57.14
	拟优化	20\0	3	3\100.00	5	3\60.00	3	3\100.00	3	3\100.00	12\85.71
天津地区 (10)	未优化	1\0		7	1\14.29	2		1		1\10.00	
	拟优化	3\0		7	1\14.29	2	2\100.00	1		3\30.00	
河北 (68)	未优化	11\1	5	37	6\16.22	8	1\12.50	18	2\11.11	9\13.24	
	拟优化	27\0	5	37	9\24.32	8	5\62.50	18	11\61.11	25\36.77	
山西 (60)	未优化	10\0		18	1\5.56	23		19	7\36.84	8\13.33	
	拟优化	27\0		18	2\11.11	23	4\17.39	19	15\78.95	21\35.00	
山东 (60)	未优化	15\0	12	1\8.33	25	1\4.00	20	6\30.00	3	1\33.33	9\15.00
	拟优化	28\0	12	1\8.33	25	2\8.00	20	15\75.00	3	3\100.00	21\35.00
河南地区 (35)	未优化	2\0	4	27	1\3.70	4	1\25.00			2\5.71	
	拟优化	11\0	4	27	7\18.92	4	4\100.00			11\31.43	
安徽地区 (17)	未优化	8\0		13	1\7.69	4	2\50.00			3\17.65	
	拟优化	16\0		13	7\53.85	4	4\100.00			11\64.71	
江苏地区 (23)	未优化	8\0	3	18		2	1\50.00			1\4.35	
	拟优化	15\0	3	18	5\27.78	2	2\100.00			7\30.44	
合计 (318)	未优化	73\1	28	4\14.29	170	16\9.41	71	13\18.31	49	11\22.45	44\13.84
	拟优化	162\0	28	4\14.29	170	41\24.12	71	43\60.56	49	37\75.51	125\39.31

丽娜等,2009)^④。以跨断层测量相关规范中的要求来衡量(国家地震局,1991;中国地震局,2012),很多历史上曾经发生多次地震的晚更新世或全新世活动的断裂上也未布设跨断层监测场地。如聊城-兰考断裂是一条晚更新世-全新世早期活动的断裂,该断裂是鲁西隆起与内黄凹陷的分界断裂,西南起于兰考县,向北经范县、聊城至韩屯转向北东,全长约 360km,沿断裂发生过多中强地震,如 1937 年发生过菏泽 7.0 级地震^④(图 1)。综上可知,目前华北地区跨断层流动形变监测网布设存在很多盲区,有待于进一步完善(陆明勇等,2015)。

1.3 监测场地跨断裂状况

华北地区跨断层流动形变监测场地大部分始建于 20 世纪 70、80 年代,受当时活动断层研究水平以及勘探、技术方面的限制,一些监测场地布设未能在完全查明断层活动背景的情况下实施,特别是对那些在覆盖层较厚的平原地带布设的跨断层流动形变监测场地更是缺少专门研究,有些至今尚不能确定布测的监测场地是否跨过断层。如位于石家庄西北部的灵寿县慈峪镇境内的河北卢家洼-慈峪跨断层流动水准监测场地,地处平原地区,偶见基岩出露,测线沿 S201 省道布测。其中南面的卢家洼测点西临 S201 省道,东距村民农舍围墙约 0.5m,其南约 1km 处有基岩小丘,可见一断裂,从地貌上看,北面的慈峪测点在断裂一盘,南面的卢家洼测点在断裂内^⑤。又如,北京南口水准跨断层监测场地曾被认为跨越了南口-山前断裂和南口-孙河断裂,且所有测点均为基岩点;但最新的南口地区断裂研究认为,南口-孙河断裂距今 6 万年以来的活动被南口-山前断裂阻断在南口,沿山沟向 XN 方向未见活动(张世民等,2008);考察发现,南口跨断层流动水准监测场地 4 号测点不在基岩上,而在冲积物形成的堆积物上且可能在断裂带内,大量降雨后可造成与 4 号测点有关的测线出现大幅值突变;所以,该场地事实上并不存在跨南口-孙河断裂的测线^⑤。

由监测场地跨断裂状况统计结果(表 1)可见,华北地区现有 74 处监测场地,除河北省地震局有 1 处监测场地未完全跨断裂外,其余监测场地测线均不同程度跨越断裂,占全部监测场地的 98.65%。

中国地震应急搜救中心、山东省地震局、江苏省地震局等跨断层流动形变监测场地共 5 处跨越了前第四纪活动断裂,占全部监测场地的 6.76%。除山西省地震局所监测的场地未跨越第四纪活动断裂外,其余监测单位的监测场地均有跨越第四纪活动断裂的场地,华北地区共 28 处监测场地跨越第四纪活动断裂,占比 37.84%。晚更新世活动断裂和全新世活动断裂是活动年代较新的断裂,是跨断层流动形变监测的目标断裂,除河北省地震局所辖的监测场地全部未跨越晚更新世活动断裂和全新世活动断裂外,其他监测单位的监测场地均不同程度跨越晚更新世活动断裂和全新世活动断裂;其中有 23 处监测场地跨晚更新世活动断裂,占比 31.08%,17 处跨全新世活动断裂,占比 22.97%,二者合计共 40 处,占比 54.05%。

华北地区跨断层流动形变监测场地所跨断裂主要为 NE、NW 向断裂,特别是 NE 向断裂最多(表 1、图 1)。除河南省地震局和中国地震应急搜救中心所监测的监测场地周围有未出露断裂的监测场地外,其余监测单位均没有未出露断裂的监测场地。未出露断裂的监测场

^④中国地震局地球物理勘探中心郑州基础工程勘察研究院等,2007,郑州市城市快速轨道一号线工程场地地震安全性评价

^⑤陆明勇等,2015,华北地区跨断层流动形变监测场地与监测网优化研究(地震科技星火计划项目(XH14057))

地分布在覆盖层厚的平原地区,其中地震应急搜救中心有3处,河南省地震局有1处(表1)。

1.4 监测场地类型

监测场地类型指监测内容或为水准或为基线。在华北地区74处监测场地中,每个监测场地都有水准监测,占比100%;有11处场地还进行了基线监测,占比14.86%,皆布测在首都圈地区。华北地区地壳构造活动水平方向运动速率大于垂直方向运动速率,而地震孕育、发生过程引起的构造活动是三维构造运动。因此,目前华北地区跨断层流动形变监测场地监测内容单一,无法有效完整地监测到地震活动异常信息。

2 跨断层流动形变监测场地监测效能概况

首先对华北地区现有74处监测场地逐一进行考察,然后据考察结果及监测资料、监测场地与地震的映震关系,即监测场地监测资料异常变化与地震间的关系,分析了40多年来监测场地监测效能,且对监测场地的监测效能进行分级,即监测场地监测效能好为A级,较好为B级,不佳的为C级。

在华北地区8个跨断层流动形变监测单位中,有4个单位的监测场地无A级(河南省地震局、辽宁省地震局、山东省地震局和河北省地震局),各监测单位皆有C级。从整个华北地区来看,74处跨断层流动形变监测场地具有A、B、C级监测效能的分别为15、46、13,其占比依次为20.27%、62.16%、17.57%(图1)。进一步分析B级以上的监测场地发现,除场地数最少的河南省地震局,其他7个监测单位的B级以上的监测场地占大多数,最多为山西省地震局(90.00%),最少为辽宁省地震局(66.67%),B级场地在整个华北地区占82.43%(图1),表明该区整体监测效能较好。

3 跨断层流动形变监测场地的拟优化布设

3.1 拟优化布设原则

依据《跨断层测量规范》(国家地震局,1991)、《中华人民共和国地震行业标准地震地壳形变观测方法——跨断层位移测量》(中国地震局,2012)、国外跨断层测量布设方法以及监测目标和监测场地监测效能等,对现有跨断层流动形变监测场地拟采用以下原则进行优化处理:

(1)未跨过断层的监测场地且观测环境不好、受干扰因素多、映震效能不好的(即监测效能不佳)可以考虑撤除或自然淘汰后,在其所监视的断裂上修复或异地改建,使其跨越断层并提高监测效能。

(2)跨过断层的监测场地,如果存在影响监测的干扰因素,应通过修复或异地改建,达到提高监测效能的目的。

(3)现有场地如未布设基线测量,在条件许可时,应布设基线测量且最好是水准和基线同桩布测。

图1给出了场地拟优化布设及断裂(断层)分布。其拟优化布设时在考虑了现有监测场地的基础上,基于监测的可控性、均匀性以及活动断裂容易发震状况和断裂规模等因素。因此,华北地区拟新增跨断层流动形变监测场地具体布设原则为:

(1) 平原地区监测场地拟布设场距应大于山区,地震多发地区特别是强震多发地震地区拟布设场距小于地震活动较弱的地区,尽量选取远离人员活动的基岩地区布设。

(2) 水准和基线同桩布测。

(3) 第四纪以来活动的断层特别是晚更新世中、晚期和全新世期间曾经明显活动的断裂上应尽可能布设跨断层流动形变监测场地,断裂较长的可增加监测场地数目。

(4) 晚更新世中、晚期和全新世期间曾经明显活动的历史断裂数量多、规模小且现有监测场地布距较小的,可以不增设监测场地。

(5) 控制性的早第四纪活动断裂可以适当布设跨断层流动形变监测场地。

(6) 前第四纪活动断裂上不布设跨断层流动形变监测场地。

3.2 拟优化布设结果

拟优化新增设跨断层流动形变监测场地 88 处,其中跨全新世(Q_4)活动断裂的监测场地 34 处,占拟新增监测场地的 38.64%,全部分布在华北地区的中北部(图 1);跨晚更新世(Q_3)场地 25 处,占比 28.41%,较均匀分布在每个地区;跨第四纪(Q_{1-2})场地 29 处,占比 32.95%,主要分布在华北地区的南部(18 处),占该区域拟新增布设跨断层流动形变监测场地(24 处)的 75%。总体来看,拟新增布设跨断层流动形变监测场地大部分位于跨全新世活动断裂和跨晚更新世活动断裂(共计 59 处,占拟新增监测场地的 67.05%)(图 1、表 2)。

华北地区跨断层流动形变监测场地拟优化布设后,将在 125 条断裂上布设跨断层监测场地,占该区总断裂的 39.31%。其中 37 条全新世活动断裂上拟布设监测场地,占同年代活动断裂的 75.51%;43 条晚更新世活动断裂上拟布设监测场地,占同年代活动断裂的 60.56%;41 条早第四纪活动断裂上拟布设监测场地,占同年代断裂的 24.12%;前第四纪活动断裂上的监测场地数拟不变(表 2)。因此,监测场地拟优化布设后,不仅规模较大的断裂上布设了监测场地,而且大幅度地提高了易发地震的晚更新世中、晚期和全新世期间曾经明显活动断裂的监控比例(80 条断裂,占其总断裂的 66.67%),消除了华北地区跨断层流动形变网监测盲区,提高了该区跨断层流动形变网监测能力(图 1、表 2)。

4 结语

本文基于华北地区跨断层流动形变监测场地布测现状及监测效能,对其优化布设进行了讨论并拟定了布设原则,继而给出了拟优化布设结果。华北地区跨断层流动形变拟优化布设将使该区容易发震的晚更新世中、晚期和全新世期间曾经明显活动的断裂(120 条)中,除去某些数目多、规模小的断裂外(如山西和河北地区),皆布设有跨断层监测场地。拟优化后华北地区 318 条断裂中的 125 条断裂上拟布设有跨断层监测场地,占断裂总数的 39.31%(拟优化前为 13.84%)。跨断层流动形变场地拟优化布设适当增加了对东南部地区规模较大的隐伏断裂监控,消除了华北地区跨断层流动形变网监测地震活动盲区,提高了该区跨断层流动形变网监测地震活动能力。

参考文献

- 车兆宏,2003,我国断层形变观测在地震研究中的进展及问题,国际地震动态,(11),11~14.
陈宇坤、刘芳、袁盾等,2010,天津地区隐伏断裂地震危险性定量评价,地震地质,32(1),138~149.

- 邓起东、冉勇康、杨晓平等,2007,中国活动构造图,北京:地震出版社.
- 国家地震局,1991,跨断层测量规范,北京:地震出版社.
- 陆明勇、黄宝森、刘天海等,2011a,首都圈跨断层流动形变观测资料映震能力及场地监测能力分析,地震,31(3),121~134.
- 陆明勇、李宁、于海生等,2015,华北地区跨断层流动形变布测状况分析,大地测量与地球动力学,35(6),979~983.
- 陆明勇、刘天海、黄宝森等,2011b,跨断层流动形变监测环境及监测技术探讨,大地测量与地球动力学,31(5),141~145.
- 陆明勇、牛安福、黄宝森等,2013,首都圈地区跨断层流动形变监测场地优化布设探讨,大地测量与地球动力学,33(增刊I),1~4,15.
- 邵永新、李振海、陈宇坤等,2010,天津断裂第四纪活动性研究,地震地质,32(1),80~89.
- 孙丽娜、金学申、温超等,2009,晋陕断裂带构造和地震活动特征,华北地震科学,27(4),11~15.
- 徐锡伟、吴为民、张先康等,2002,首都圈地区地壳最新构造变动与地震,北京:科学出版社.
- 张世民、王丹丹、刘旭东等,2008,北京南口-孙河断裂晚第四纪古地震事件的钻孔剖面对比与分析,中国科学: D 辑,38(7),881~895.
- 赵国敏、赵根模、陈宇坤等,2006,天津海河断裂活动性研究,北京:地震出版社.
- 中国地震局,2012,中华人民共和国地震行业标准地震地壳形变观测方法——跨断层位移测量(DB/T47-2012),北京:地震出版社.
- 朱红彬、邢成起、李红等,2010,华北构造区主要地震带分段与强震活动,地震学报,32(6),705~717.

Preliminary Investigation of Optimization Layout for Cross-fault Mobile Deformation Monitoring Site in North China

*Lu Mingyong*¹⁾ *Yu Haisheng*¹⁾ *Li Zhixiong*¹⁾ *Li Jie*²⁾ *Wang Xiuwen*³⁾
*Li Yanfeng*¹⁾ *Kou Jianxin*¹⁾ *Feng Jun*¹⁾ *Zhang Pingfa*¹⁾

1) China Center for Earthquake Disaster Emergency and SAR, Beijing 100049, China

2) Shandong Earthquake Agency, Jinan 250014, China

3) Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan 030021, China

Abstract In this paper, the layout monitoring situation and monitoring effect of cross-fault mobile deformation monitoring site in North China are analyzed. Then, on the basis of the consideration of cross-fault mobile deformation measurement criterion, monitoring requirement of controllability, uniformity, purpose and monitoring sites' monitoring effect, etc., and with the research result of local fault activity and seismic activity, the cross-fault mobile deformation monitoring site's layout optimization result is given in North China. This layout optimization result eliminates the monitoring seismic activity blind area of cross-fault flow deformation network and helps to improve the monitoring seismic ability of cross-fault flow deformation area network in North China.

Key words: North China; Cross-fault mobile deformation monitoring site; Monitoring effect; Fault activity; Optimization