

文章编号:1671-5942(2013) Supp. (I) -0001-05

首都圈地区跨断层流动形变监测场地优化布设探讨^{* 1}

陆明勇¹⁾ 牛安福²⁾ 黄宝森¹⁾ 刘天海¹⁾ 马牧军¹⁾ 寇建新¹⁾
于海生¹⁾ 李 宁¹⁾ 张金城¹⁾
(¹⁾中国地震应急搜救中心,北京 100049
(²⁾中国地震台网中心,北京 100045)

摘 要 依据跨断层流动形变测量规范,兼顾监测场地的可控性和均匀性、监测服务目的以及活动断裂的地震易发性等,探讨了首都圈地区跨断层流动形变监测场地的优化布设。
关键词 首都圈地区;跨断层流动形变监测场地;映震效能;断层活动;优化布设
中图分类号:P315. 72+5 **中图分类号**:A

OPTIMIZATION LAYOUT FOR CROSS-FAULT MOBILE DEFORMATION MONITORING SITE IN CAPITAL CIRCLE AREA OF CHINA

Lu Mingyong¹⁾, Niu Anfu²⁾, Huang Baosen¹⁾, Liu Tianhai¹⁾, Ma Mujun¹⁾,
Kou Jianxin¹⁾, Yu Haisheng¹⁾, Li Ning¹⁾ and Zhang Jincheng¹⁾
(¹⁾China Center for Earthquake Disaster Emergency and SAR, Beijing 100049
(²⁾China Earthquake Networks Center, CEA, Beijing 100045)

Abstract On the basis of the criterion, controllability, uniformity of cross-fault flow deformation measurement, and monitoring service purposes and principles of active faults prone to earthquakes, etc. , the optimization layout of cross-fault flow deformation monitoring site is discussed in the capital circle area of China.
Key words: capital circle area of China; cross-fault mobile deformation monitoring site; earthquake reflecting ability; fault activity; optimization layout

1 引言

首都圈地区的跨断层流动形变监测始于 20 世纪 60 年代末,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作用^①。但随着我国经济建设快速发展,监测环境遭到破坏,致使监测场地数不断减少^[1]、监测资料质量受到影响。多年的监测结果表

明,现有一些监测场地已不能较好地反映区域构造应力-应变场的变化^{[2]②}。
为此,本文将在对首都圈地区跨断层流动形变监测场地监测环境考察、监测资料及监测场地映震效能分析以及该地区断层活动研究的基础上,综合分析现有首都圈地区跨断层流动形变监测场地的监测情况,并依据跨断层流动形变测量规范,顾及监测场地的可控性和均匀性、监测服务目的以及活动断裂的地震易发性等,探讨首都圈地区跨断层流动形

* 收稿日期:2012-07-20
基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAK19B02-02);中国地震局地震行业专项(201108009);中国地震局地震行业专项(201008012);中国地震局监测预报司项目
作者简介:陆明勇,男,1965 年生,研究员,主要研究方向为地壳形变、地下流体、地球动力学与地震预测等. E-mail:lm9988@163.com
① ①大地形变测量技术管理部. 全国跨断层形变场地监测网及 2006 年度运行报告[R]. 2007.
② ②陆明勇,等. 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网优化研究[R]. 2010.

变监测场地的优化布设。

2 首都圈地区主要断层分布情况

首都圈地区位于华北亚板块北部,是燕山断块、华北平原断块和太行断块交界地域^[3,4]。该区域地质构造复杂、断裂分布多,断裂主要分布在北北东-北东向和北西西向的断裂带上,一共有 59 条活动断裂,其中基岩断裂 32 条,主要分布在西北部山区(图 1)。在首都圈范围内基岩断裂最长为 120 km 的蔚广盆地南缘断裂和紫荆关断裂,最短为 9 km 的新开口断裂。隐伏断裂 27 条,除左所堡-松枝口断裂和壶流河断裂外,其余断裂全分布在东南部平原地区,其中最长为 130 km 的黄庄-高丽营断裂,最短为 20 km 的长山断裂。从活动断裂活动时间来看,首都圈地区活动断裂有全新世活动断裂、晚更新世活动断裂、早第四纪活动断裂和前第四纪活动断裂等^{③④},其中全新世活动断裂有 15 条、占 25.42%,除宁河-昌黎断裂外主要分布在西北部地区;晚更新世活动断裂 12 条、占 20.34%,主要分布在西北部地区和天津及宁河附近地区;早第四纪活动断裂有 27 条、占 45.76%,除左所堡-松枝口断裂外主要分布在平原地区以及平原与山区过渡地区;前第四纪活动断裂有 5 条,全部分布在东北角附近地区(图 1)。从断层力学性质来看,首都圈地区正断层为 55 条、占 93.22%,其中带走滑性质的有 4 条断裂;逆断层为 4 条。所以,首都圈地区活动断裂绝大部分为正断层,分布方向主要为北北东-北东向和北西西向^[3]。首都圈地区西北部山区主要为全新世活动断裂和晚更新世活动断裂,大部分为基岩断裂;东南部平原地区全部为隐伏断裂,主要活动断裂为早第四纪活动断裂;东北角附近地区活动断裂为前第四纪活动断裂,全为基岩断裂^{[3]③④}。

3 首都圈地区跨断层流动形变监测场地跨断层情况分析

研究表明:第四纪以来活动的断层特别是晚更

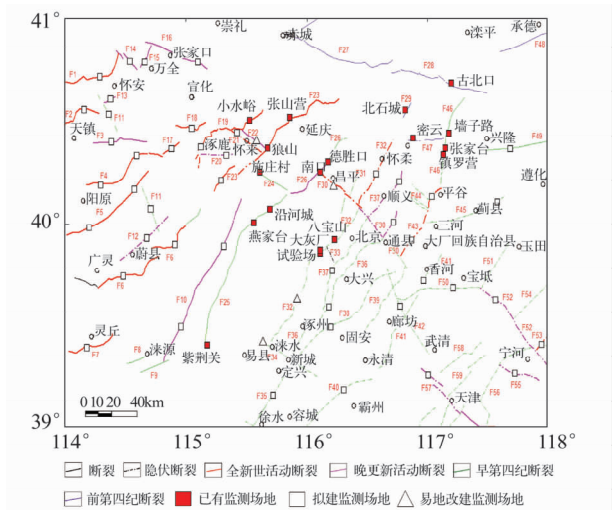


图 1 首都圈地区跨断层流动形变监测场地优化布设^①
Fig. 1 Optimization layout of cross-fault mobile deformation monitoring site in the capital circle area of China^①

新世中、晚期和全新世期间曾经明显活动的历史断层,更容易发生地震^[5]。在首都圈地区 24 处监测场地(表 1)均不同程度地跨过断层、占 91.67%,其中跨基岩断裂 15 处、占 62.50%,跨隐伏断裂 7 处、占 29.17%。从表 1 还可以看出:5 处监测场地跨 Q₄ 断裂、占 20.83%,3 处场地所跨断裂为基岩断裂,2 处场地所跨断裂为隐伏断裂;监测场地跨 Q₃ 断裂 2 处、占 8.33%,场地所跨断裂全为基岩断裂;12 处监测场地跨 Q₁₋₂ 断裂、占 50.00%,7 处场地所跨断裂为基岩断裂、5 处场地所跨断裂为隐伏断裂;3 处监测场地跨前 Q 断裂、占 12.50%,所跨断裂均为基岩断裂。因此,首都圈地区目前在 22 处跨断层监测场地中,跨第四纪以来活动的断裂特别是晚更新世中、晚期(Q₃)和全新世(Q₄)期间曾经明显活动的历史断裂只有 7 处,占整个 24 处跨断层监测场地的 29.17%,所跨断裂大多数为基岩断裂;其余大部分场地所跨断裂为早第四纪活动断裂(Q₁₋₂)和前第四纪活动断裂(前 Q)。

表 1 跨断层流动形变监测场地跨断裂情况

Tab. 1 Cross-fault mobile deformation monitoring sites across the fracture

| 断裂活动年代 | 监测场地/比例(%) | 断裂类型 | 备注 |
|------------------|------------|----------------------------|--|
| Q ₄ | 5/20.83 | 3 个场地为基岩断裂,2 个场地为隐伏断裂 | |
| Q ₃ | 2/8.33 | 2 个场地为基岩断裂 | 南口场地既跨南口山前断裂(Q ₃)又跨南口-孙河断裂(Q ₄),统计分析时归于跨南口-孙河断裂(Q ₄) |
| Q ₁₋₂ | 12/50.00 | 7 个场地为基岩断裂,5 个场地为隐伏断裂 | |
| 前 Q | 3/12.50 | 3 个场地为基岩断裂 | |
| 合计 | 22/91.67 | 基岩断裂:15/62.50;隐伏断裂:7/29.17 | |

③ ③陈文彬. 首都圈地区断裂分布图. 2010.
④ ④陆明勇,等. 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网优化研究[R]. 2010.

表 2 活动断裂与监测场地情况
Tab.2 Active faults and monitoring sites

| 断裂活动类型/数量(条) | 布设监测场地断裂 | |
|--------------------------------|----------|-------------------------|
| | 数量/比例(%) | 主要分布区域 |
| 全新世活动断裂(Q ₄)/15 | 3/20.00 | 西北部地区的狼山及其附近以及百善、南口附近地区 |
| 晚更新世活动断(Q ₃)/12 | 2/16.67 | 西北部地区的土木和德胜口附近地区 |
| 早第四纪活动断裂(Q ₁₋₂)/27 | 5/18.52 | 首都圈地区的中部偏西以及东北部的张家台附近地区 |
| 前第四纪活动断裂(前Q)/5 | 3/60.00 | 首都圈地区的东北角附近地区 |
| 合计 | 13/22.03 | |

进一步分析活动断裂与现有监测场地布设情况发现(图1):首都圈地区目前三条全新世活动断裂上布设有跨断层流动形变监测场地、占20.00%,主要分布区域在西北部地区的狼山及其附近以及百善、南口附近较小地区;2条晚更新世活动断裂上布设有跨断层流动形变监测场地、占16.67%,主要分布区域在西北部地区的土木和德胜口等2个很小地区;早第四纪活动断裂只有5条断裂上布设有跨断层流动形变监测场地、占18.52%,主要分布区域在首都圈地区的中部偏西以及东北部的张家台附近地区;前第四纪活动断裂只有3条断裂上布设有跨断层流动形变监测场地、占60.00%,主要分布在东北角附近较小地区(图1、表2)。所以,首都圈地区跨断层流动形变监测场所控制的断裂少,且分布不合理:西北部大部地区的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历史断层跨断层未布设跨断层监测场地,造成监测盲区,不利于最大限度地获取首都圈及其周围地区断裂活动信息,应对首都圈地区现有跨断层流动形变监测场地进行优化。

4 跨断层流动形变监测场地及映震效果分析

根据文献[2,6]^⑤的研究结果,首都圈地区跨断层流动形变监测场地跨断层情况、监测场地观测环境类型以及监测场地映震效果如表3所示:

- 1)监测场地跨过断层、观测环境好或可以(A或B)、地震映震好或较好(A或B)的场地有17处、占70.83%,如紫荆关、张家台等;
- 2)监测场地跨过断层、观测环境可以(B)、地震映震小效果差(C)的有2处、占8.33%,如上万监测场地;
- 3)监测场地跨过断层、观测环境不好(C)、地震映震还可以(B)的有1个,即狼山监测场地(占4.17%);
- 4)监测场地跨过断层、观测环境不好(C)、地震

映震效果差(C)的有2处,占8.33%,如涑水监测场地;

5)南孟、宁河等监测场地可能未跨过断层、地震映震效果不好,且在平原地区、观测环境不好、受干扰因素多,占8.33%。

因此,首都圈地区目前已有的跨断层流动形变监测场地大部分观测环境还可以,监测资料能够较好地反映区域构造应力-应变场的变化^[2]。

表 3 监测场地跨断层情况、监测场地观测环境及映震情况
Tab.3 Summary table of monitoring sites across the fault situation, observational environment and reflecting earthquake of the monitoring sites

| 监测场地 | 跨断层情况 | 监测场地环境类型 | 监测场地映震类型 |
|------|-------|----------|----------|
| 涑水 | 是 | C | C |
| 紫荆关 | 是 | B | B |
| 南孟 | 否 | C | C |
| 宁河 | 否 | C | C |
| 密云 | 是 | A | A |
| 施庄村 | 是 | A | A |
| 小水峪 | 是 | B | B |
| 北石城 | 是 | A | A |
| 古北口 | 是 | A | B |
| 张山营 | 是 | A | B |
| 墙子路 | 是 | A | B |
| 张家台 | 是 | A | A |
| 镇罗营 | 是 | B | B |
| 狼山 | 是 | C | B |
| 德胜口 | 是 | A | B |
| 百善 | 是 | C | C |
| 燕家台 | 是 | A | B |
| 上万 | 是 | B | C |
| 实验场 | 是 | B | B |
| 土木 | 是 | B | C |
| 八宝山 | 是 | B | B |
| 大灰厂 | 是 | A | B |
| 沿河城 | 是 | A | B |
| 南口 | 是 | B | B |

⑤ ⑤陆明勇,等.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网优化研究[R].2010.

5 跨断层流动形变监测场地优化布设原则

依据跨断层流动形变测量规范、监测预报目的并综合考虑首都圈地区跨断层流动形变监测场地跨断层情况、监测场地观测环境类型以及监测场地映震效果等,跨断层流动形变监测场地优化布设原则为:

- 1)对有可能未跨过断层、观测环境不好、受干扰因素多以及映震效果不好的监测场地,如南孟、宁河、涞水、百善、土木、上万等跨断层监测场地予以撤除;
- 2)增加平原地区的布设密度,但要尽量选取远离人群活动的基岩场地;
- 3)增强对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层的监测,断裂较长的可以布设两处以上。

6 跨断层流动形变监测场地优化布设结果分析

优化后,首都圈地区跨断层流动形变监测场地44处,其中跨全新世活动断裂(Q_4)的18处,占40.91%,跨晚更新世活动断裂(Q_3)的14处,占31.82%;跨早第四纪活动断裂(Q_1-2)的12处,占27.27%(表4)。

进一步分析显示:在优化布设前,现有22处监测场地跨过断层、占总监测场地24处的91.67%(表1),优化结果后的66处监测场地全部跨断层、占100%(表4);现有24处监测场地中,优化前监测场地映震效果不好(C)的监测场地为6处、占

25.00%,优化结果后现有18处监测场地全部跨断层且监测环境和监测场地映震效果均为较好以上、占100%。其次,从断裂上布设监测场地方面看,在优化布局前,只有3个全新世活动断裂上布设有跨断层监测场地、占20.00%,2个晚更新世活动断裂上布设有跨断层监测场地、占16.67%,5个早第四纪活动断裂上布设有跨断层监测场地、占18.52%,3个前第四纪活动断裂上布设有跨断层监测场地、占60.00%,即13个断裂上布设有跨断层监测场地、平均占22.03%(表2),所以监控能力很低;而优化布设后,15个全新世活动断裂、12个晚更新世活动断裂上全布设有跨断层监测场地,16个早第四纪活动断裂上布设有跨断层监测场地、占59.62%,3个前第四纪活动断裂上布设有跨断层监测场地、占60.00%,即46个活动断裂上布设有跨断层监测场地、平均占77.97%(表4),所以监控能力将大大提高,对于容易发生地震的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历史断层全部布设了跨断层监测场地。最后,首都圈地区西北部地区主要分布为基岩断裂,东南部地区主要分布隐伏断裂,在优化布设前24处监测场地中,除宁河和南孟两个监测场地可能不跨断层外,其余15处场地布设在基岩断裂上、占62.50%以及7处布设在隐伏断裂上、占29.17%(表1),即监测场地布设范围小(特别是隐伏断裂多的东南部平原地区);优化后,在增加西北部的基岩断裂的基础上,适当增加对东北部地区隐伏断裂的监控,66处监测场地中,37处布设在基岩断裂上、占56.06%,29在隐伏断裂上、占43.94%(表4)。

表 4 跨断层流动形变监测场地优化布设结果统计
Tab. 4 Statistics of optimization layout results of cross-fault mobile deformation monitoring sites

| 内容 | | 优化后结果(处)/比例(%) | 备注 |
|---------------|---------------|----------------|--------------------------------------|
| 场地跨断 裂类型 | 跨基岩断裂 | 37/56.06 | 已有监测场地24处,其中22处跨断层,优化布设后跨断层场地66处全跨断层 |
| | 跨隐伏断裂 | 29/43.94 | |
| | 总计 | 66/100.00 | |
| 场地跨断层 活动时代 | 全新世活动断裂(15条) | 15/100.00 | |
| | 晚更新世活动断裂(12条) | 12/100.00 | |
| | 早第四纪活动断裂(27条) | 16/59.62 | |
| | 前第四纪活动断裂(5条) | 3/60.00 | |
| 总计 | | 46/77.97 | |

7 结语

本文以首都圈地区跨断层流动形变监测场地优化布设为例,探讨了监测场地如何优化改造才能即符合监测规范又能发挥预测对监测工作的指导作用。

1)在监测过程中,预测人员应该参与监测工作如

方案制定、选点等,并提出合理化建议;在优化方案的制定工作中,应该对现有监测场地进行系统的评价,特别是地震预测效能评估、监测场地的取舍,对于一些监测环境不好、映震效果差的场地不能保留。

2)优化布设后的首都圈地区跨断层流动形变

(下转第15页)