

彭丽娟, 陆明勇, 李文超, 等. 跨断层形变监测标石地岩土分类探讨[J]. 地震工程学报, 2019, 41(5): 1266-1273. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.05.1266

PENG Lijuan, LU Mingyong, LI Wenchao, et al. Discussion of Rock Soil Classification of Monitoring Indicator Sites on Cross-fault Deformation[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41(5): 1266-1273. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.05.1266

## 跨断层形变监测标石地岩土分类探讨

彭丽娟<sup>1</sup>, 陆明勇<sup>2</sup>, 李文超<sup>1</sup>, 刘 亢<sup>2</sup>, 白伟利<sup>1</sup>, 于海生<sup>2</sup>

(1. 山西省大同中心地震台, 山西 大同 037000; 2. 中国地震应急搜救中心, 北京 100049)

**摘要:** 分析了跨断层形变监测标石地岩土分类、地表岩土分类、影响监测场地标石稳定因素以及不同监测标石地监测实例变化等。结果表明: 现有监测标石地岩土分类需要完善; 重新分类了监测标石地岩土并给出了监测标石命名方法, 以期促进跨断层形变监测工作进一步发展。

**关键词:** 跨断层形变监测; 岩土; 标石地; 分类

中图分类号: P315

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)05-1266-08

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.05.1266

## Discussion of Rock Soil Classification of Monitoring Indicator Sites on Cross-fault Deformation

PENG Lijuan<sup>1</sup>, LU Mingyong<sup>2</sup>, LI Wenchao<sup>1</sup>, LIU Kang<sup>2</sup>, BAI Weili<sup>1</sup>, YU Haisheng<sup>2</sup>

(1. Datong Central Seismic Station, Datong 037000, Shanxi, China;

2. National Earthquake Response Support Service, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Cross-fault deformation monitoring is an observational technique for the vertical and horizontal monitoring of faults. In this paper, we analyzed rock soil classification of monitoring indicator sites on cross-fault deformation, the classification of surface rock soil, influencing factors on the stability of monitoring indicators, and examples of monitoring indicator sites. Results showed that rock soil classification of monitoring indicator sites needs improvement. Rock soil at monitoring indicator sites was reclassified, and a naming method for monitoring indicators was provided, with the aim of promoting the further development of cross-fault deformation monitoring.

**Keywords:** cross-fault deformation; rock soil; indicator site; classification

### 0 引言

跨断层形变监测是根据大地形变测量原理, 在断层上进行断层垂直、水平监测的直接观测技术, 是地壳形变监测的重要手段之一, 观测是断层两侧的相对位移量, 其物理意义明确、观测信息直观、观

测手段成熟。全国已有 20 多个省市先后建立数百处跨断层流动形变监测场地, 包括水准、基线、测距等, 覆盖了主要断裂活动带。在 50 多年的跨断层形变监测历史中, 已积累了一批连续可靠、高精度、高价值的监测资料, 在地震预测研究、地质探测、地球运动学和地球动力学研究中发挥了作用<sup>①</sup>。如, 在

收稿日期: 2018-06-25

基金项目: 中国地震局项目(JC 1704021026)

第一作者简介: 彭丽娟(1976-), 女, 工程师, 主要从事地震前兆、震情监测、地震活动性等研究工作。E-mail: plj0424@163.com。

① 形变测量技术管理部. 全国跨断层形变场地监测网 2006 年度运行报告. 2007 年 5 月。

1989 年大同 6.1 级地震中短期形变前兆总数为 18 项,其中跨断层流动形变占 14 项<sup>[1]</sup>;1998 年张北 6.2 级地震中短期形变前兆总数为 30 项,其中跨断层流动形变占了 15 项<sup>[2]</sup>;在唐山、大同、张北等地震前存在显著的断层异常活动<sup>[3-6]</sup>;2008 年汶川 8.0 级地震前出项了一批跨断层形变趋势异常<sup>[7]</sup>;2013 年芦山 7.0 级地震<sup>②</sup>和 2017 年九寨沟 7.0 级地震<sup>③</sup>前跨断层形变监测都出现了多项前兆异常,并据此在年度危险区预测中发挥了较好作用。这些研究结果表明跨断层形变监测成果对地震特别是强地震有较好的映震效果。

为了有效监测地震前兆异常信息,保证监测资料的可靠性和完整性,更好地服务于地震监测预报工作,中国地震局先后制定了一系列跨断层形变测量监测规范、标准<sup>[8-10]</sup>,规定了跨断层形变测量布设要求、观测场地条件、标石和标志规格及埋设、仪器使用要求、观测方法、测量精度、成果整理及资料归档等。但实践表明,规范、标准中仍然存在一些值得探讨的问题,如跨断层形变监测规范、标准注重监测标石及标志本身材料的要求,未注意监测标石地岩土分类情况及说明。标石地是指监测标石最下部与岩土接触之处的岩土,该处岩土性质与监测标石稳定存在着直接的关系并影响真实可靠获取断层活动信息。因此,本文探讨监测标石地岩土分类,期望对完善监测规范、标准等有关内容有所裨益。

## 1 监测标石地岩土分类情况

1991 年《跨断层测量规范》将监测标石分为基岩点位标石、土层点位标石,进一步可以分为:水准与基线、测距、三角点同桩体标志,基线、测距、三角点标志,水准端点标志,过渡点标志,套管基岩水准标志等<sup>[8]</sup>。1988 年、1995 年全国跨断层测量情况调查,将监测标石分为基岩端点、土层端点、基岩过渡桩、土层过渡桩、基岩钢管桩、土层钢管桩等<sup>④⑤⑥⑦</sup>。2002—2008 年中国地震局组织各单位编写的地震监测志,监测标石笼统分为基岩标石、土层标石<sup>[11-14]</sup>。2012 年《跨断层位移测量》将监测标石分为基岩综合观测标石、土层综合观测标石以及深层基岩水准标石、浅层基岩水准标石、岩层基本水准标石、混凝土桩基本水准标石、基岩过渡水准标石、基岩过渡水准标石等<sup>[9]</sup>。

2015 年在各种水准测量规范存在的基础上,结合新的观测技术统一制定了《地震水准测量规范》。该规范详细地将地震水准点进行了分类,即分为基

岩水准点、综合观测点、基本水准点、普通水准点及过渡水准点等五种类型,其中:基岩水准点包括深层基岩水准点标石和浅层基岩水准点标石,综合观测点包括基岩综合观测标石和土层综合观测标石,基本水准点分为岩层基本水准标石、混凝土柱基本水准标石、混凝土基本水准标石、钢管基本水准标石、永冻地区钢管基本水准标石、沙漠地区混凝土柱基本水准标石,普通水准点包括岩层基本水准标石、混凝土柱普通水准标石、混凝土普通水准标石、钢管普通水准标石、永冻地区钢管普通水准标石、沙漠地区混凝土柱普通水准标石,过渡水准点包括道路水准标石、墙脚水准标石、基岩过渡水准标石、土层过渡水准标石<sup>[10]</sup>。

可以看出,在 2012 年以前的监测规范对涉及监测标石地岩土笼统地分为基岩和土层<sup>[8]</sup>,2012 年监测标准进一步对监测地基岩分为深层基岩水准标石、浅层基岩水准标石<sup>[9]</sup>,2015 年监测规范对监测标石地岩土性质进行细分<sup>[10]</sup>,如基岩、土层、沙漠等。但这些规范、标准以及调查表等对监测标石地岩土分类仍显凌乱、笼统,仅注重监测标石本身材质要求和监测标石本身作用,如基本、综合、过渡等。而真正体现监测标石地岩土性质和稳定性不够,影响了监测资料作用的发挥。

## 2 监测标石地岩土分类分析

跨断层形变测量是高精度测量,对监测标石稳定性要求高,标石是埋在地表里一定深度。为了更好地分析研究监测标石地岩土分类,首先根据不同标准对地表岩土进行分类分析。

根据地表岩土材质,可以将地表岩土分类为岩石地表,如石漠、戈壁;沙质地表,如沙漠、沙滩;泥质地表,如泥漠;土壤地表,如森林土地表、草原土地表、黄土地表、耕地地表等;水体底土表面,如湖底土、河底土、海底土<sup>[15]</sup>。

② 四川省地震局测绘工程院.2014 年度四川省跨断层形变地震趋势研究.2013-10.

③ 中国地震局第二监测中心.2018 年度西部地区跨断层形变地震趋势研究.2017-10.

④ 四川省地震局测量队.跨断层测量情况调查表(二).1988.

⑤ 国家地震局第二测量大队.跨断层测量情况调查表(二).1988.

⑥ 国家地震局第二测量大队.跨断层测量情况调查表(二).1995.

⑦ 国家地震局综合观测队.跨断层测量情况调查表(二).1995.

根据岩土开挖难易程度不同,将地表岩土分为8类<sup>[16]</sup>。即,(1)松软土,主要包括砂土、粉土、冲积砂土层、疏松种植土、淤泥(泥炭)等,采用锹、锄头挖掘,少许用脚踏。(2)普通土,主要有粉质黏土,潮湿的黄土,夹有碎石、卵石的砂,粉土混卵(碎)石,种植土、填土等,用锹、锄头挖掘,少许用镐翻松。(3)坚土,即软及中等密实黏土,重粉质黏土、砾石土,干黄土、含有碎石卵石的黄土、粉质黏土,压实的填土等,主要用镐,少许用锹、锄头挖掘,部分用撬棍。(4)砂砾坚土,如坚硬密实的黏性土或黄土,含碎石、卵石的中等密实的黏性土或黄土,粗卵石,天然级配砂石,软泥灰岩等,先用镐、撬棍,后用锹挖掘,部分使用楔子及大锤。(5)软石,主要包括硬质黏土,中密的页岩、泥灰岩、白垩土,胶结不紧的砾岩,软石灰及贝壳石灰石等,用镐或撬棍、大锤挖掘,部分使用爆破方法。(6)次坚石,主要包括泥岩、砂岩、砾岩,坚实的页岩、泥灰岩,密实的石灰岩,风化花岗岩、片麻岩及正长岩等,用爆破方法开挖,部分用风镐。(7)坚石,如大理石,辉绿岩,玢岩,粗、中粒花岗岩,坚实的白云石、砂岩、砾岩、片麻岩、石灰岩,微风化安山岩,玄武岩等,用爆破方法开挖。(8)特坚石,主要包括安山岩,玄武岩,花岗片麻岩,坚实的细粒花岗岩、闪长岩、石英岩、辉长岩、辉绿岩、玢岩、角闪岩等,用爆破方法开挖。

因此,不同地表岩土稳定性差别很大,有些十分软、吸水性强,有些十分硬、吸水性差、稳定性强。可以看出,根据地表岩土开挖难易程度不同进行分类与其稳定性有关,即岩土稳定好、开挖难,如特坚石需要用爆破方法开挖,但稳定性极好。

### 3 不同地表监测标石地岩土实例分析

跨断层形变测量是监测地震孕育、发展、发生时断层的构造活动,从而预测地震。下面从最常见的地表岩土即土层、干黄土、沉积砾石、基岩等监测标石地的监测实例分析不同监测标石地岩土的稳定性和可靠性。

#### 3.1 土层监测标石地

土层监测标石地是指在松软土、普通土等处建立监测标石。如,南孟跨断层流动水准位于河北霸县南孟镇,跨牛驼镇凸起南断裂,该场地位于华北冲积平原北部,地表为冲积物壤质潮土,适合农作物种植,厚度达百米以上,监测场地标石为埋设1.5 m深的标石<sup>[13]</sup>。图1为南孟跨断层水准43曲线图,曲线变化呈现年变变化,表明土层受季节性变化影响。

2016年3月至7月呈快速下降,变化幅度达6.84 mm,6月3日异常核实表明该加速下降(压性变化)与4号测点附近的大型楼盘建设有关<sup>⑧</sup>。因此,土层监测标石地土质松软、渗透性强、容易压缩,随季节性变化而呈现年变变化,在其上建立的监测标石稳定性差。

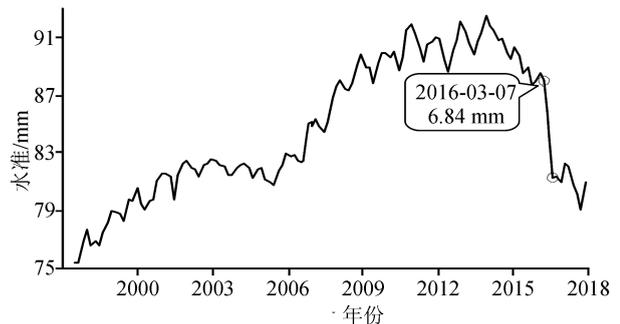


图1 河北南孟跨断层流动水准43曲线图

Fig.1 Curve of Nanmeng cross-fault mobile level 43 in Hebei province

#### 3.2 干黄土监测标石地

黄土是指在地质时代中的第四纪期间,以风力搬运的黄色粉土沉积物。干黄土是指降雨极少地区的黄土或斜坡处的黄土,不易变形特别是在斜坡处显示稳定性好,主要分布在昆仑山、秦岭、泰山、鲁山连线以北的干旱、半干旱地区。由于地形因素山西地区跨断层形变监测场地属于盆山构造,即绝大部分监测场地一个测点在山上的基岩上,一个测点在半山腰的黄土坡上,黄土坡上监测标石地岩土为土层<sup>⑨[8-10]</sup>。图2为山西地区部分跨断层流动形变曲线,由图可见,1998年张北6.2级地震前出现了同步大幅度异常变化,当时认为可能是1997夏季降雨造成的影响。但从整个曲线看,该地区的观测曲线没有明显的年变特征,在每年的雨季也未出现类似的一致性大幅度异常变化,即不受季节性变化影响。震后反思认为,震前出现的一致性大幅度异常是地震前兆异常,其原因是山西地区是黄土,虽然降雨,但黄土坡不易积水、渗水,降雨对跨断层水准监测标石地的干黄土影响很小或不受影响。因此,将该类监测标石地的干黄土归为土层是不妥的。

#### 3.3 沉积砾石监测标石地

监测标石地的沉积砾石表面上看是基岩,但大范围看是沉积堆积形成的,有泥、砂岩、砾岩等,该岩

⑧ 陆明勇,张平法,于海生,等.异常核实:2016年6月3日搜救中心南孟跨断层流动水准.2016-06-08.

⑨ 山西省地震局.跨断层测量情况调查表(二).1995.

土胶结差、透水性强,在降雨多的情况下如测点标石又在低洼处,稳定性极差。南口跨断层流动水准场地基础信息显示监测标石均为基岩标石<sup>[13]</sup>,由图 3 可见,南口跨断层流动水准 48 观测曲线与周围德胜口跨断层流动形变、百善跨断层流动水准 43 测线的观测曲线变化特征不一样,只有南口跨断层流动水

准 48 测线在雨季出现多次大幅度突降变化,现场勘察分析认为是 4 号测点标石位于冲积物形成的堆积物上,其水准标石岩土受降雨渗透膨胀影响导致高差变小,随着降雨停止,岩土中含水量减小,两端高差变大,逐渐恢复到正常变化水平。该现象说明沉积砾石岩土受降雨干扰影响很大<sup>[17]</sup>。

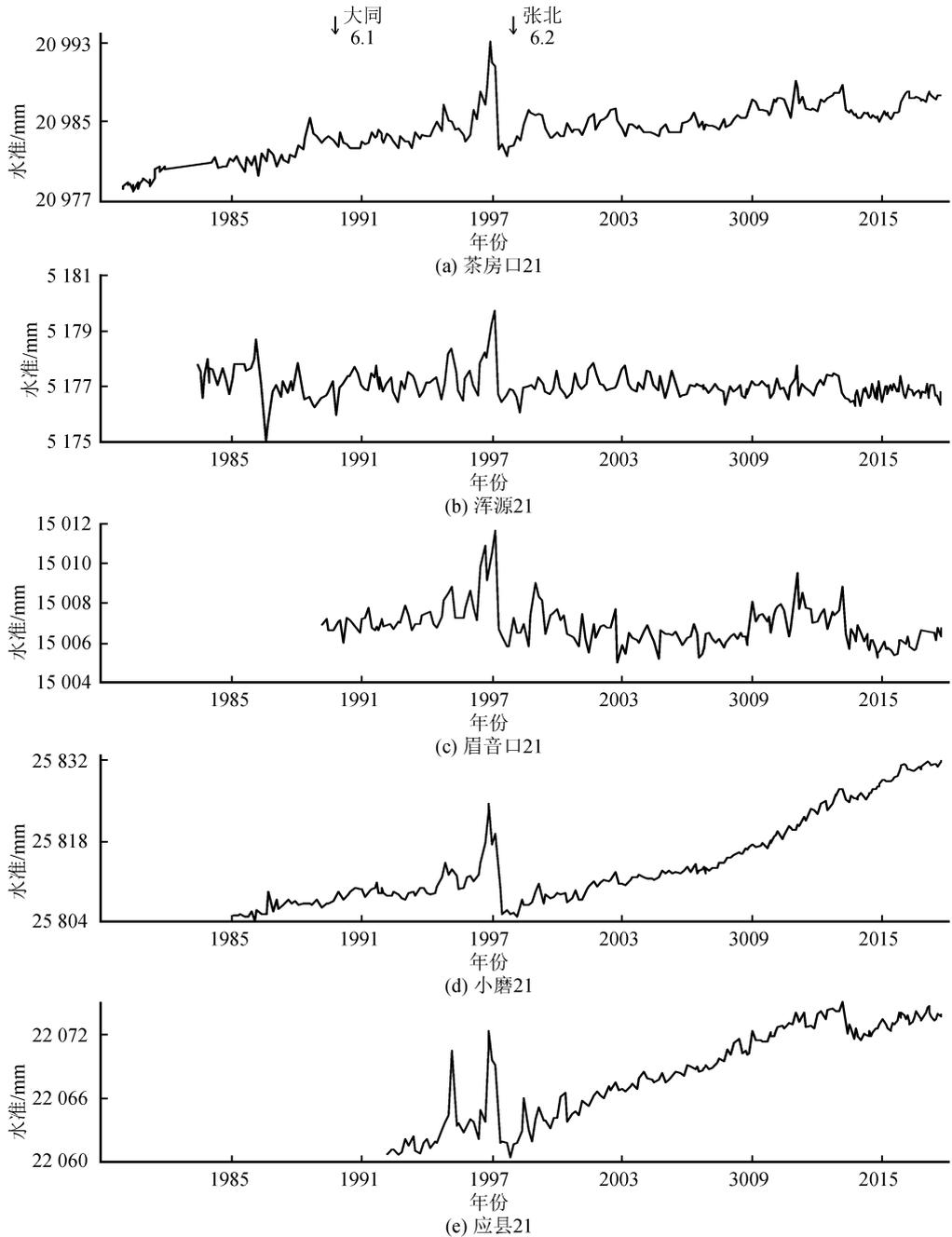


图 2 山西地区部分跨断层流动水准曲线图

Fig.2 Curves of some cross-fault mobile levels in Shanxi province

### 3.4 基岩监测标石地

基岩是指陆地表层中的坚硬岩层,一般多被土层覆盖,埋藏深度不一,少则数米到数十米,多则数

百米,由沉积岩、变质岩、岩浆岩中的一种或数种岩类组成,可作大型建筑工程的地基<sup>[18]</sup>。基岩监测标石地不受降雨、霜冻等因素影响,坚固性、稳定性极

好,是建跨断层形变监测标石的理想之地。小水峪跨断层形变监测场地位于首都圈地区断层流动形变监测网最西北部,地处河北省怀来县头二营乡小水峪村西北方向的半山腰的一空旷处,植被少、岩石完整和裸露,很少有人光顾该场地,场地控制安营堡断

裂,上盘、下盘均为前震旦系片麻岩,标石为埋深0.4~0.7 m的基岩标石<sup>[11]</sup>。图4为小水峪跨断层流动水准曲线变化,由图可以看出该场地年变规律不强,表明该场地不受季节性等因素影响,说明该场地标石坚固、稳定,即该场地标石所建之处岩石完整稳定。

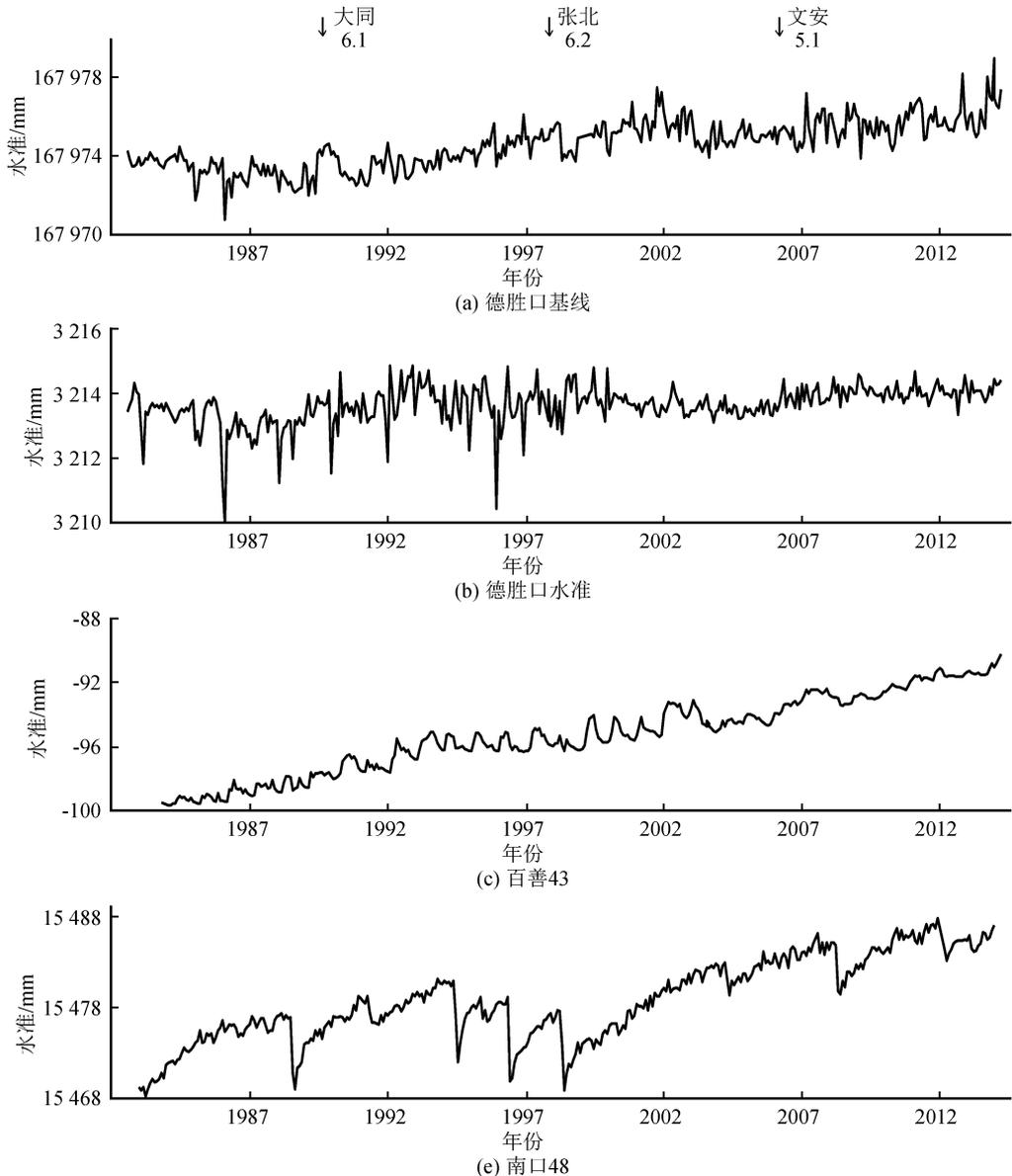


图3 北京南口跨断层流动水准48测线与周围监测场地测线图

Fig.3 Survey lines of cross-fault mobile level 48 in Nankou, Beijing and its surrounding area

## 4 监测标石地岩分类

综上所述,监测标石地岩土性质及影响因素,严重影响监测标石稳定,对其分类有利于资料使用人员特别是地震预测人员了解监测标石的稳定状况。

### 4.1 影响地表岩土稳定因素

影响地表稳定因素是指造成地表岩土发生位移

变化的因素,可以分为构造因素和非构造因素。构造因素是指造成地质构造发生变化的因素,如天然地震,该因素是指地壳在构造应力的连续作用下,应力-应变不断积累过程中所发生的突然失稳、破裂,跨断层形变测量主要目的就是基于该原理监测地震孕育、发展、发生等。非构造因素包括降雨、霜冻、人为因素等,降雨影响主要是指岩土吸水、渗水等造成位移变

化,如松软土、普通土、砾石堆积等;霜冻因素影响地表稳定主要是指岩土受霜冻影响造成地表不稳定,岩

土中吸水和存水越多、稳定性越差;人为因素是人为造成地表岩土不稳定,如破坏地表岩土、人工地震等。

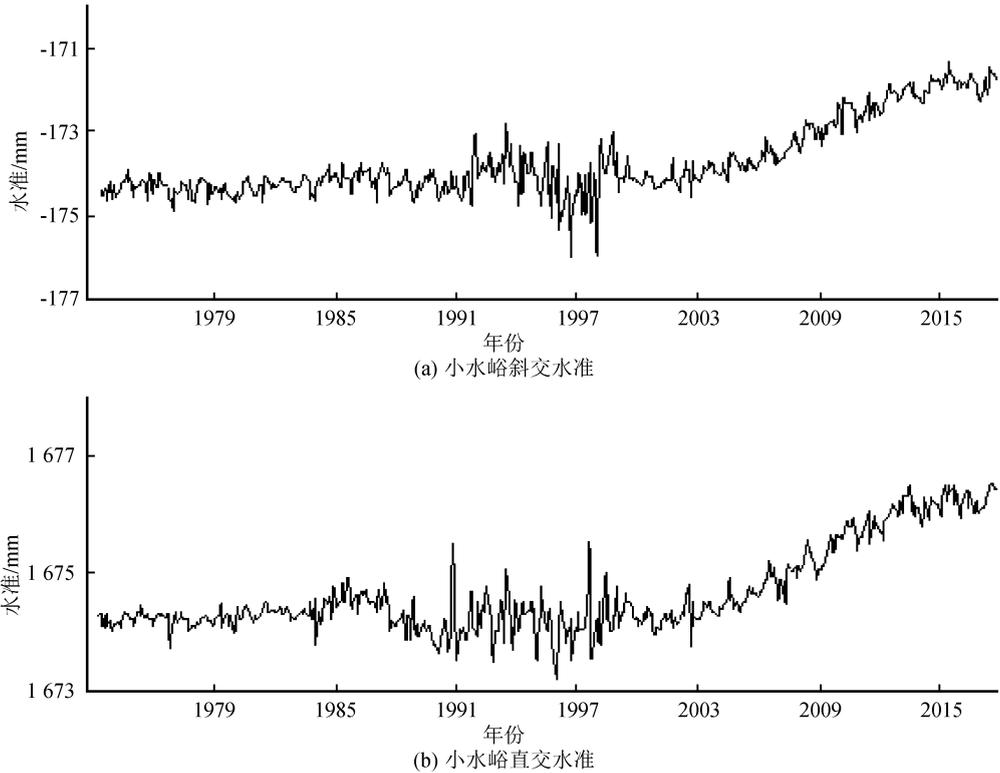


图 4 河北小水峪跨断层流动水准曲线图

Fig.4 Curves of Xiaoshuiyu cross-fault mobile level in Hebei province

跨断层形变测量的目的是监测断层孕育地震时构造活动信息,要求监测标石尽量建在受非构造因素影响小、稳定的岩土上。从地表岩土分类可以看出,不同地表岩土性质不同,受非构造因素影响极大,如降雨对砾石堆积地表影响极大,其原因是岩土渗水性强。

4.2 形变监测场地标石地岩土分类

从地表岩土分类、影响地表岩土稳定因素、监测实例分析等来看,目前跨断层形变测量规范、标准以

及基础信息调查表、监测志等文献或监测工作对跨断层形变测量标石进行分类对监测标石稳定性关注不够、不细,无法有效体现监测标石地岩土稳定性。为此,结合监测标石地岩土性质以及非构造影响因素等,建议将监测标石地岩土分为软土、坚土、软岩、基岩等并给出其稳定性如表 1。监测标石命名为:“标石地岩土”+“标石本身所用材料”+“标石用处”+标石等组成,如软土混凝土柱普通水准标石,监测标石名称可以根据上面的建议进行不同的组合。

表 1 跨断层形变监测场地标石地岩土分类表

Table 1 Rock soil classification for cross-fault deformation monitoring site

序号	标石地岩土分类	标石地岩土	非构造影响因素	稳定性
1	软土	松软土、普通土等,主要包括砂土、粉土、冲积砂土层、疏松的种植土、淤泥(泥炭)等	人为因素、降雨、霜冻	差
2	坚土	黏土、重粉质黏土、砾石土,干黄土、含有碎石卵石的黄土、粉质黏土、压实的填土、粗卵石、天然级配砂石、软泥灰岩等	人为因素,降雨、霜冻	较差(随监测标石地地形构造环境和降雨量等因素变化)
3	软岩	硬质黏土,中密的页岩、泥灰岩、白垩土,胶结不紧的砾岩,沉积砾石,软石灰及贝壳石灰石,泥岩、砂岩、砾岩,坚实的页岩、泥灰岩,密实的石灰岩,风化花岗岩、片麻岩及正长岩等	人为因素,降雨、霜冻	较差(随监测标石地地形构造环境和降雨量等因素变化)
4	基岩	地表层中的坚硬岩层,主要包括沉积岩、变质岩、岩浆岩中的一种或数种崩类组成	人为因素	好

## 5 结语

本文分析了不同时期的监测规范、标准及基础信息调查表、监测志等文献,研究了监测工作、地表岩土分类、影响地表岩土稳定因素、不同监测标石地监测实例,给出了监测标石地岩土分类以及监测标石命名建议:

(1) 现有各种文献或监测工作对监测标石分类注重监测工作本身,关注资料使用人员需要获得的监测标石稳定性信息不够;监测场地标石地岩土分类笼统,无法快速清晰刻画监测标石地岩石特性、稳定性。

(2) 影响地表岩土稳定因素分为构造因素和非构造因素,不同地表岩土性质不同,受非构造因素影响差别极大特别是降雨因素。

(3) 监测标石地岩土可以分为软土、坚土、软岩、基岩等,监测标石命名为:“标石地岩土”+“标石本身所用材料”+“标石用处”+标石等组成。

上述这些工作,有利于根据标石名称初步判断标石的稳定性和资料的可靠性,促使跨断层形变监测工作在监测预测工作中发挥应有的价值。

## 参考文献(References)

[1] 张国民,马丽,高旭,等.大同-阳高地震研究[M].北京:地震出版社,1993:142-167.  
ZHANG Guomin, MA Li, GAO Xu, et al. A Study of Datong-Yanggao Earthquake[M]. Beijing: Seismological Press, 1999: 143-167.

[2] 张国民,陈建民,李志雄,等.一九九八年张北地震[M].北京:地震出版社,1999:62-98.  
ZHANG Guomin, CHEN Jianmin, LI Zhixiong, et al. Zhang Bei Earthquake in 1998[M]. Beijing: Seismological Press, 1999, 62-98.

[3] 车兆宏.首都圈断层活动性研究[J].华北地震科学,1993,11(2):23-34.  
CHE Zhaohong. A Study of the Fault Activity in the Capital Circle[J]. North China Earthquake Sciences, 1993, 11(2): 23-34.

[4] 车兆宏,范燕,马牧军.华北地区震前断层异常活动方式[J].地震,2004,24(2):109-118.  
CHE Zhaohong, FAN Yan, MA Mujun. Pattern of the Fault Movement Before Earthquakes in North China Region[J]. Earthquake, 2004, 24(2): 109-118.

[5] 彭丽娟,陆明勇,王秀文.张北6.2级地震前断层活动特征研究[J].华北地震科学,2012,30(1):54-58.  
PENG Lijuan, LU Mingyong, WANG Xiwen. Study on Fault Activity before Zhangbei  $M_s$ 6.2 Earthquake Using Shanxi Mo-

bile Cross-fault Short-level Data[J]. North China Earthquake Sciences, 2012, 30(1): 54-58.

[6] 薄万举.形变异常与干扰关系的再认识[J].大地测量与地球动力学,2010,30(1):5-8,26.  
BO Wanju. Study on Relation between Crust Deformation Anomaly and Disturbances[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010, 30(1): 5-8, 26.

[7] 陆明勇,房宗维,赵丽葵.汶川8.0级地震前地下流体长趋势变化特征讨论[J].地震,2010,30(1):61-72.  
LU Mingyong, FANG Zongfei, ZHAO Likui. Discussion on the Long-time Trend Change Characteristics of Subsurface Fluid before the Wenchuan  $M_s$ 8.0 Earthquake[J]. Earthquake, 2010, 30(1): 61-72.

[8] 国家地震局.跨断层测量规范[S].北京:地震出版社,1991.  
State Seismological Bureau. Cross-Fault Measurement Standard [S]. Beijing: Seismological Press, 1991.

[9] 中国地震局.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)[S].北京:地震出版社,2012.  
China Earthquake Administration. The Seismic Industry Standard for the Method of Earthquake Related Crust Monitoring of Crossing-Fault Displacement Measurement (DB/T47-2012) in People's Republic of China [S]. Beijing: Seismological Press, 2012.

[10] 中国地震局.中华人民共和国地震行业标准地震水准测量规范(DB/T5-2015)[S].北京:地震出版社,2015.  
China Earthquake Administration. The Seismic Industry Standard for the Seismic leveling Specification (DB/T5-2015) [S]. Beijing: Seismological Press, 2015.

[11] 中国地震局地壳应力研究所.中国地震局地壳应力研究所地震监测志[M].北京:地震出版社,2005.  
Institute of Crustal Dynamics, CEA. Seismic Monitoring Annals of Institute of Crustal Dynamics, CEA [M]. Beijing: Seismological Press, 2005.

[12] 云南省地震局.云南省地震监测志(下)[M].北京:地震出版社,2005.  
Earthquake Administration of Yunnan Province. Seismic Monitoring Annals of Earthquake Administration of Yunnan Province [M]. Beijing: Seismological Press, 2005.

[13] 中国地震局综合观测中心.中国地震局综合观测中心地震监测志[M].北京:地震出版社,2007.  
Center for Analysis and Prediction, CEA. Seismic Monitoring Annals of Center for Analysis and Prediction, CEA [M]. Beijing: Seismological Press, 2007.

[14] 山东省地震局.山东省地震局地震监测志[M].北京:地震出版社,2008.  
Earthquake Administration of Shandong Province. Seismic Monitoring Annals of Earthquake Administration of Shandong Province [M]. Beijing: Seismological Press, 2008.

[15] 张根寿.现代地貌学[M].北京:科学出版社,2005.

