

西安骊山滑坡区三维变形监测^{*}

祝意青^{1,2}, 梁伟锋², 徐云马², 刘 练²

(1. 中国科学院动力大地测量学重点实验室, 湖北 武汉 430077; 2. 中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054)

摘 要: 介绍了骊山滑坡的现状及其监测目的, 论述了地壳变形三维监测方案, 分析了骊山滑坡监测中必须要考虑的一些特殊技术问题, 简要叙述了三维变形监测的应用情况及良好效果。

关键词: 骊山滑坡; 变形; 构造活动; 监测

中图分类号: P642.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)02-0029-05

0 引言

骊山是陕西古今驰名的风景游览胜地, 它和古华清宫遗址、秦始皇陵、兵马俑一起, 构成了我国一个闻名世界的旅游热点。1985年8月, 西安地质学院(现长安大学)在进行滑坡普查时, 提出华清池—老君殿一段可能存在着一个古滑坡, 并指出该滑坡体存在着蠕动现象。1985年冬季前后, 在以华清池为中心的骊山山前一带, 接连出现一些地物变形现象, 包括建筑物的倾斜、裂缝, 沿山前地面开裂、地下管道变形、防空洞蠕变隆起等灾害变形, 这引起了政府有关部门的关注。1986年, 西安市防治骊山滑坡办公室多次组织专家考察, 中国地震局从地质灾害的角度出发, 对此表示十分关心, 决定由中国地震局第二监测中心承担“陕西省骊山风景区滑坡监测研究”任务, 并作为一个重点监测研究项目。20多年来, 我们与西安市防治骊山滑坡办公室协作, 一直进行骊山滑坡的变形监测工作, 为骊山滑坡灾害分析和工程治理提供了高质量的变形监测资料及分析研究成果。

1 骊山滑坡

1.1 骊山滑坡动态监测的目的

滑坡变形监测, 主要就是斜坡的位移观测, 它包括地表位移观测和地下位移观测两个方面。前者是滑坡研究中经常采用的方法, 后者则是前

者的补充, 目的在于确定滑坡各层之间位移的差异。滑坡位移观测的目的, 在于确定滑体的周界、位移的方向、速率及各层间速率的差异, 确定滑面, 从而确定滑坡的运动状态, 研究滑坡机理, 预测其发展趋势, 给滑坡的治理提供可靠的依据, 继而研究治理的效果^[1-3]。这些毫无疑问是骊山滑坡监测研究的内容。

但是, 由于骊山滑坡的特殊性, 在其监测研究当中, 还要解决以下几方面的问题:

(1) 确定坡体的滑动性 骊山滑坡问题一经提出, 即争论不休。从灾害的意义上讲, 我们关心的是坡体现今是否滑动的问题。老鸭沟西侧, 考察认识上一致, 确定有滑坡存在。但其现今运动状态需监测来回答。老鸭沟—兵谏亭一段, 是否存在滑坡问题, 认识上存在着明显的分歧。一种观点认为: 根据地貌显示, 晚照亭之下存在着古滑坡, 三元洞之下, 发育大量蠕动现象。此滑坡的滑动, 将直接威胁着华清池的安全。另一种观点认为, 此处的地貌并非滑坡地貌, 而是一种断裂地貌。认为这一段的问题不是滑坡, 顶多是坡积物和黄土崖的局部崩塌。这是两个对立的观点。此处是否存在着运动着的滑坡, 是否存在着坡积层的蠕动, 仍然要由监测结果给以明确的回答。这对于今后是否需要治理、治理的范围, 采取什么措施是至关重要的。

(2) 确定滑坡体的周界、运动速率等参数的特殊性 骊山滑坡问题的争论, 已表明了问题的复杂性。可以预料, 即使存在着滑坡, 也绝不是一个简单的滑体, 而可能是由几个滑体所组成的滑

* 收稿日期: 2007-09-05

基金项目: 中国地震局合同制项目“骊山滑坡监测研究”

作者简介: 祝意青(1962-), 男, 湖北浠水人, 研究员, 主要从事地壳形变与地质灾害研究. E-mail: zhuyiqing@163.com

坡群。也可能是由大小不一滑坡所组成的复式滑坡。因此,要分别确定每一个滑体的滑动参数,这给滑坡监测工作提出了更高的要求,使监测网的布设增加了难度。从地貌上来看,骊山斜坡即使存在滑坡体也是处在蠕滑阶段,其速率较小,需要高精度仪器来观测。此外,由于骊山兼具风景区与文物区两种特性,在滑坡的治理过程中,不允许采取大规模的削山、切坡等工程措施,只能因势利导,要把骊山风景区的治理与保护、开发建设这一旅游资源地结合起来。这就要求形变监测网建设得精确而有效。

(3)研究滑坡活动与区域构造活动的关系 地形变资料表明^[4],骊山是一个不断上升的山体,临潼是西安凹陷的一角,临潼—西安又是渭河沉降带中一个现今特殊区^[5-7]。华清池一带每年下沉速率达5~10 mm。这种形变背景给人以提示,区域构造形变也有可能成为骊山滑坡发生发展的重要因素。骊山又是突起于渭河新生代盆地中的一个古老断块,其周边发育着几条活动性很强的断裂。骊山山前断裂就沿华清池一带通过,这些断裂的活动,可能会成为骊山滑坡活动的一个动力条件。

考古资料表明,唐华清池遗址就深埋于现今地面之下2~3 m,其下还有秦汉华清遗址。它们的覆灭有着历史的原因,但是,层层复盖,深埋地下,显然是地壳变动的因素。上述说明,要搞好骊山滑坡的监测,很有必要把滑坡监测与构造监测结合起来,才能更有效地预测滑坡的活动,解决滑坡活动的机制。

1.2 骊山滑坡动态监测的难度

除前已提到的滑坡的地质情况不清外,骊山地区还有若干特殊问题,给监测工作增加了难度。

(1)坡陡 骊山地区山坡坡度平均在20°~40°,局部可达40°以上。道路多是石级斜径,要在这样的地形条件下进行形变测量,特别是水准测量,其困难之大是可以想像的。

(2)林密 骊山风景区已建成国家级森林公园,林木茂盛,这给形变监测的通视造成很大困难。

(3)观测精度 骊山滑坡所以争论很大与它的滑动速率很小(或无)有关。要想测出其活动速率,要求有很高的观测精度。

(4)测网布设 对滑坡的水平形变监测只能在山前平地上对山坡进行交会辐射测量。而平地又是一闹市区,建筑物高耸,使测网布设困难,尤

其山前平地是一下沉区,不宜作监测的参考点。

(5)选点 骊山是一风景区,埋设测量标志要慎重,即要美观大方,无损于风景区的美化;又要稳固可靠,便于保存。这给造标设点工作提出了新的要求。

(6)游人多 许多测线要通过游客必到的咽喉要道,施测起来困难很多。

2 地壳变形的三维监测

2.1 监测方案的基本思路

临潼骊山滑坡的形成,既有斜坡受重力作用的因素,又有构造活动的因素。监测方案必需同时兼顾二者,因地制宜地布设观测网点,按照斜坡实际变形需要,有计划有步骤地逐步完善观测手段。

2.1.1 临潼地区构造背景及现今形变

关中盆地是新生代断陷盆地,骊山断块位于盆地南缘,它和盆地之间有强烈的差异运动。临潼正位于所谓的“西安凹陷”的东北角上,它的北面是渭河,渭河大断裂从这里通过。它的南边是骊山山前断裂,北东向的临潼—长安大断裂也在此处斜穿而过。就是这几条大断裂控制着这一地区的地壳运动。从地貌上看,一边是巍巍高耸的骊山,另一边是不断下沉的西安三角凹陷。从该区现今形变资料来看,凡水准测线跨越断裂之处,大都表现有明显的形变陡坎。例如:①牡丹沟高差比较大基准测线在麻街附近跨越临潼—长安断裂,资料分析表明^[8],该处有一组断裂面通过,垂直形变呈迭瓦式错动。最大年变率为10~12 mm。②兵谏亭支线跨越骊山山前断裂,华清池院内的水准点相对兵谏亭水准点一直在下沉,其年变率为5 mm。③临潼水准支线横跨渭河断裂,资料表明,在1970~1980年之间,南盘相对北盘的下沉年速率为4 mm。这些形变陡坎表明,临潼是一强烈的下沉区。上述三条断裂具有明显的控制作用,并成为下沉区的边界。临潼地区的下沉还可从唐华清遗址埋深得到佐证,据此推算该区的下沉和现今形变表现的下沉速率大致吻合,渭河在临潼附近流向的曲折情况也表明临潼地区在近代一直处于下沉状态。

2.1.2 滑坡监测与构造活动监测相结合

骊山断块和渭河盆地之间存在强烈的垂直差异运动,在骊山山前断裂上形成明显的形变陡坎,从长期累积观点来看,它足以造成边坡失稳,使

坡体产生滑动或崩塌。这可能是骊山滑坡比较发育的一个重要原因。关中历史上曾发生过几次大震^[9], 它和强烈的区域性地壳运动有着密切的关系, 一旦地壳运动的速度有了显著的变化, 就可能是地震发生的前兆, 同时也可能诱发滑坡或崩塌。因此, 有必要把滑坡监测和构造活动、地震活动监测结合起来, 把地震和滑坡两种自然灾害的预测、预报研究结合起来。

2.1.3 进行综合监测

就整体监测方案而言, 毫无疑问应以综合监测为上。所谓综合监测, 就是不局限于传统的大地形变手段, 还应考虑其它形变观测手段, 如蠕变仪等; 不仅是地表形变观测, 还要考虑地下各层的倾斜位移观测; 不仅是几何量的观测, 还应考虑物理量的观测, 如重力、地下水等。我们以地表形变观测为主, 也要兼搞其它方法的观测。随着综合监测工作陆续实施, 临潼地区将建成为多学科、多手段的观测体系, 成为滑坡监测和构造活动监测与研究的试验场地。

各种监测手段决不能一拥而上, 而应当有计划、有步骤地进行。首先应以地表形变监测和地倾斜观测为先导, 确定滑体的基本滑动参数, 如确系有危险性, 再在局部危险区增上其它监测手段。如果形变监测结果认为没有滑动迹象, 则以后的监测应从构造运动的角度去考虑, 有些手段可以作罢。

2.1.4 因地制宜地布设地表形变监测网

因地貌、地物、植被等因素, 对地表监测网布设和观测造成一定的困难, 而且风景区不允许破坏自然风貌, 不宜进行砍伐树木和开挖工程。因此, 滑坡监测中较理想的格网式位移观测方法在此不具备条件。形变监测网只能按照现有的自然环境条件因地制宜地布设。例如, 水准网只能在陡峭的山坡上, 沿游人漫步的石级斜径布设。对路径以外的危险地段, 采用支线监测。水平形变网要求达到两个目的, 一是由山前平地对滑坡进行正面交会辐射观测, 二是测量骊山断块和关中盆地的相对水平运动。由于盆地内部下沉量大、干扰因素多, 故参考点拟选在骊山山体滑坡后壁的基岩上, 将形变网倒挂起来。这样便于研究滑坡滑动和地壳运动。

监测网布设分两步走。第一步, 建立水平与垂直控制网, 以确定滑坡的主要参数, 同时形成研究该地区构造的基本格局; 第二步, 如坡体确有滑动, 需要治理, 则应进一步加密测点, 缩短

复测周期。可根据需要分层次地建网, 使整体与局部有机地结合起来。如无滑动时, 则应延长复测周期, 且以构造监测为主要目标。

2.2 地面监测方案内容

(1) 建立滑坡区水平形变网 此网由 23 个墩标和 45 条测边构成, 控制面积约 3 km², 该网由基本控制网和交会辐射网两个层次组成。基本控制网的参考点选在山梁上, 而山前平面上的控制点是交会辐射网的基础, 每年观测 1~2 次(图 1)。

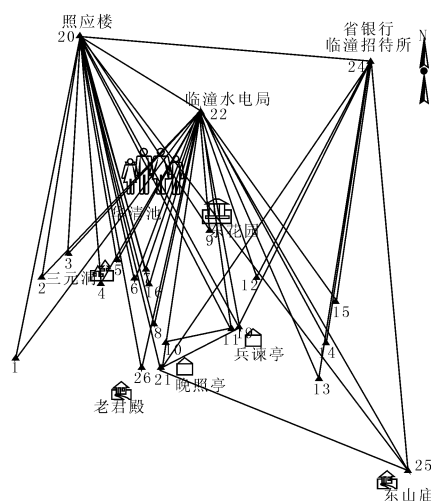


图1 骊山滑坡水平形变监测网

(2) 建立滑坡区垂直形变网 在重点监视区内建立两条近于正交的测线。一为南北线, 从华山池经晚照亭至老君殿, 全长 4 km, 有水准点 18 个。另一为东西线, 从兵谏亭至三元洞西, 全长 2 km, 有水准点 8 个。参考点均为山梁上的基岩点, 每月观测 1 次。

(3) 骊山风景区区域垂直形变背景观测 这是较大范围的形变观测。垂直形变网主要利用原有骊山水准环, 部分西郑水准路线水准点。在骊山与渭河间再补埋少量水准点和临延水准支线一起构成跨渭河测线, 测线长约 150 km。一年复测一次^[4]。

(4) 建立形变监测站 主要目的是长期监测局部危险地段, 建筑物变形和山前断裂活动(跨断层测量)。每季度观测一次。

以上监测手段的复测周期, 在监测过程中应按实际情况予以调整。

3 几个主要技术问题

骊山滑坡区山势陡峭、森林密布、滑坡边界不清, 在构造上断裂比较活动, 断块和平原之间

存在着强烈的垂直差异运动。因此,在形变监测网的布设上有一定的困难,必须要考虑一些特殊的技术问题。

3.1 参考点的选择

如果滑坡体的边界是清楚的,则可以减少形变监测网的控制面积。除在滑坡体内布设适当数量的标志外,在滑坡体外只需布设少量的参考点即可。但是,由于骊山滑坡体的边界极不清楚,在何处选择参考点是建网时必须认真考虑的问题。以往地壳形变分析中都是在平原区选参考点^[7],显然这种方法不适宜于滑坡研究。尤其是在特殊的地貌条件下,大部分测点布设在山坡上,少量的点布设在山脚下的平地上。平地在下沉,滑坡在移动,二者都在运动。因此,监测网的参考点只能选择在距滑体较远的山梁上,以稳定的骊山基岩上的点作参考点,将形变网倒挂起来。这种布网思路对研究滑坡位移和平原下沉都是适宜的。

水平测距网分为两个层次,一为基本控制网点,一为辐射交会网点。由于地形条件限制,位于山坡上的稳定点和滑体内的监视点不能直接通视,滑体内的点只能由地面上的测点进行测边交会。因此,在基本控制网中,由参考点(起算点)计算控制点的水平坐标,而地面上的控制点又是辐射交会的基础,由此计算坡体上被监视点的坐标。也就是说,位于坡体上被监视点的坐标以及其水平形变量是以山梁上稳固的基岩点(参考点)为依据的;对滑坡监测而言,地面上的控制点只是一个过渡性测点。

水准网的参考点分为两级,一级设在距滑坡较远的骆驼岭上,二级设在距滑坡较近的晚照亭和兵谏亭旁的基岩上。在选择参考点时,充分考虑了旧测线上水准点的垂直变形情况,原高差比较基准测线的形变分析表明,位于断裂南侧骆驼岭上的水准点相对稳定,而北侧的水准点依山势依次跌落;位于山脚下的1号点每年以10 mm的速率在下沉^①。但是,骆驼岭离滑坡区较远,每次都从这里联测极不方便,因此又选取了二级参考点。从地貌上看,骆驼岭、晚照亭和兵谏亭之间均为断层所分割,晚照亭水准点很可能位于滑坡后壁,或断裂下盘。兵谏亭上的测点是原有水准支线的测点。

3.2 测量标志的稳固性

测量标志的稳固性是形变资料真实可信的基

本因素。在滑坡监测中,滑坡体外的点应当相对稳定。滑坡体上的监视点应当同滑坡同步滑动。对水准点而言,滑坡体外的点应当尽量选埋在基岩上,滑坡体上的点应避免松散的坡积物。而对水平形变网的墩标来说,仅此而已是不够的,应当提出一些特别的技术要求。观测墩标一般高出地面1.4 m以上,自身重量大,重心高,埋在地下的深度有一定的比例要求。埋在陡峭山坡上的墩标与一般地面上的墩标还有不同之处,在坡体向下滑动中容易产生倾斜。因此,在结构和造埋上要求上部重量轻,下部扎根深,而且能方便地测量其倾斜量。在实际施工中我们采用钢管结构,减轻上部重量;在墩标底部再扎下三根1.5 m以上的钢筋;墩标基座表面面积应有1 m²,上面埋设三个水准标志,用以监测墩标的倾斜。在楼房顶上的墩标设置在梁柱交汇的部位上。

水平形变测量中都采用三心一致的墩标,以减少仪器置中误差。

3.3 楼房的下沉与倾斜监测

因地形条件限制,只有在山前平地楼房的顶上建控制点,才能有良好的通视条件对滑坡体进行交会测量。显然,楼房的下沉与倾斜会使顶部的墩标产生垂直和水平位移。由于水平形变网的起算点选建在骊山山梁的基岩上,楼房顶观测点的变形并不影响对滑坡的位移观测。但是,由于下面两个原因,对楼房的下沉和倾斜仍然要进行监测。①平地上测量标志的位移要用来研究骊山断块与盆地之间的水平相对运动;②山前平地每年以10 mm左右的速率在下沉,由于山上与平地高差大,其高程的变化会影响水平测量归算的结果。

3.4 尺长改正数 F 值的影响

骊山监测区水准点比高很大,位于平原地区的水准点和骆驼岭上的点相差约600 m,与晚照亭的点也相差200 m。因此, F 值的影响很大。为了削弱标尺改正数 F 值的影响,建议作业中水准标尺每季度检定一次。

4 结语

临潼骊山由于其地理位置的特殊性,骊山滑坡问题一直受到国内外地学界和地方政府部门的特别关注。地震、地质等部门和单位分别从本学科出发,对滑坡的分布、形态特征、运动特点、

① 国家地震局第二测量大队. 骊山滑坡及该区地壳运动监测方案论证, 1988.

成因机制、滑坡对华清池及临潼区建设的危害评估及防治对策等等方面开展了大量研究工作, 并且取得了可喜的进展和很有意义的成果。20 年来的监测分析研究表明^①, 骊山滑坡的三维变形监测能有效地监视骊山滑坡的变形分布、动态变化特征及运动规律, 其观测成果为 2000 年骊山滑坡 I 区的工程治理提供了决策依据^②。目前, 我们仍在监视该区滑坡的工程治理效果及其它(II、III、IV、V)区的三维变形。

参考文献:

- [1] 刘红帅, 薄景山, 穆浴波, 等. 滑坡位移动态预测—以中里滑坡为例[J]. 灾害学, 2002, 17(4): 38-41.
- [2] 田斌, 童富果, 徐瑞春. 鄂西清江古树包滑坡灾害形成机理探讨[J]. 灾害学, 2003, 18(2): 48-52.
- [3] 刘宪周. 陕西彬县百子沟滑坡预报的尝试[J]. 灾害学, 1998, 13(1): 53-56.
- [4] 赵振才, 郭逢英, 祝意青. 骊山地区近期垂直形变特征[J]. 大地形变测量通讯, 1987, (4): 1-8.
- [5] 李永善, 耿大玉, 李金正, 等. 西安地裂及渭河盆地活断层研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992: 96-121.
- [6] 祝意青, 程宏宾, 江在森. 临潼—长安断裂带构造变形及分段特征[J]. 高原地震, 2005, 17(3): 18-26.
- [7] 胡斌, 祝意青, 江在森. 关中地区垂直形变场及其动态演化特征[J]. 地震研究, 2006, 29(2): 151-156.
- [8] 巩守文, 唐传芬. 论高差比较基准—骊山高差比较基准分析[J]. 地壳形变与地震, 1988, 8(2): 145-154.
- [9] 彭建兵. 渭河断裂带的构造演化与地震活动[J]. 地震地质, 1992, 14(2): 113-119.

Three Dimension Deformation Monitoring in Lishan Landslide Area

Zhu Yiqing^{1,2}, Liang Weifeng², Xu Yunma² and Liu Lian²

(1. Key Laboratory of Dynamic Geodesy, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China;

2. Second Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, China)

Abstract: The present situation of Lishan landslide and monitoring purpose are introduced. The three dimensional crustal deformation monitoring program is discussed and some special technological problems that must be considered in Lishan landslide monitoring are analyzed. The application and good results of the three dimensional deformation monitoring are described.

Key words: Lishan landslides; deformation; tectonic movement; monitoring

① 中国地震局第二监测中心. 骊山滑坡水平形变监测成果及分析, 2006.

② 巩守文, 王庆良, 祝意青. 骊山北坡坡体变形分析, 临潼骊山三元洞上下斜坡治理工程可行性研究报告附件之一, 1995.