

滑坡深部位移曲线特征及稳定性判识

靳晓光¹, 李晓红¹, 王兰生², 王小群²

(1. 重庆大学建筑工程学院, 重庆 400044; 2. 成都理工学院工程地质研究所, 四川 成都 610059)

摘 要: 结合川藏公路二郎山隧道西引道榛子林复活深层滑坡、和平沟浅表层滑坡, 深部位移监测, 总结归纳了滑坡深部累积位移曲线“V”型、“B”型、“r”型、“钟摆”型及“复合”型等几种, 常见的特征类型的研究其意义, 提出了依据滑坡深部位移监测资料判别滑坡稳定性的判识方法。

关键词: 滑坡; 深部位移; 稳定性判识

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

滑坡是山坡变形中规模较大、数量多、危害严重、性质复杂, 而且具有一定规律的一种不良地质现象。为了发现隐患, 消除危害, 有效而经济地采取滑坡整治措施, 就必须对各种山体滑坡进行监测。滑坡变形是滑坡地质结构及内、外影响因素的综合反映, 滑坡变形监测是分析滑坡地质结构、变形动态特征的依据, 是滑坡整治工程信息化设计及灾害预测、预报的可靠技术保障。其中滑坡深部位移监测是滑坡变形监测的重要内容, 对准确确定滑面位置, 研究滑坡目前性状及其发展趋势, 以及整治工程设计提供重要的信息。

1 深部位移曲线的种类

1.1 钻孔测斜仪的基本原理

钻孔测斜仪是一种在钻孔中能来回移动, 以测量不同深度水平位移(即挠度)的仪器。其工作原理是测量仪器轴线与原准线之间夹角的变化量, 进而计算出岩、土体不同高程处的水平位移。在岩土体干钻孔(一般终孔孔径不少于 $\varnothing 110$ mm)内埋设一垂直并有四个导向槽的测斜管, 当测斜管受力发生变形时, 测斜仪便能逐段(一般为0.5 m)显示变形后测斜管的轴线与原准线(铅垂线)的夹角, 进而计算出不同高程处的水平位移。

深部位移的量测, 一般取钻孔测斜管底端为基准点向上逐段累加。初始值一般取钻孔回填灌浆后28 d的读数。

1.2 深部位移曲线的种类

结合工程实践研究发现, 对研究滑坡变形有意义的曲线主要有以下几种:

1. 累积位移—深度曲线, 即累积位移随深度的变化;
2. 相对位移—深度曲线, 即相对位移随深度的变化;
3. 位移—时间曲线, 即位移过程曲线, 又可分为累计位移或相对位移过程曲线;
4. 位移矢量—深度曲线, 即同一时刻不同深度的位移矢量变化;
5. 位移矢量—时间曲线, 即同一测点在不同时刻的位移矢量变化。

收稿日期: 2000-05-26; 改回日期: 2000-07-08.

作者简介: 靳晓光(1968-), 男(汉族), 山东宁津人, 博士。现在重庆大学建筑工程学院进行博士后研究工作, 主研工程地质和岩土工程。主要从事地下工程、地质灾害防治及环境保护等方面的科研与生产工作。

2 滑坡累积位移—深度曲线的特征类型及其意义

川藏公路二郎山隧道西引道榛子林复活深层滑坡、和平沟浅表层滑坡深部位移监测成果显示, 累积位移—深度曲线主要有“V”型、“D”型、“B”型、“r”型、“钟摆”型及“复合”型几种特征类型, 每种曲线类型代表着不同的滑坡变形特征。

(1) “V”型: 曲线特点表现为, 底部位移很小, 而上部位移较大, 中间没有较明显的波峰和波谷(滑动面)。如榛子林滑坡主滑剖面中上部 ZK16 测斜孔位移变化特征(图 1), 其 X、Y 合位移方向 SSE, 与滑坡主轴向近于一致, 表明滑坡该部位还没有形成明显的滑动面, 处于剪切蠕变阶段, 但随着时间的推移, 有可能在最薄弱的地方形成滑动面。

(2) “D”型: 曲线只有一个较明显的滑面, 且滑面位置较深, 滑面以上滑体呈整体运动。如榛子林滑坡前缘 ZK19 测斜孔累积位移—深度曲线(图 2)所示, 在 19 m 处形成了明显的滑动面, 位移几乎完全是由 21 m ~ 16 m 孔段产生 > 21 m 与 < 16 m 孔段, 位移曲线较平滑, 滑面以上滑体呈整体运动, 滑坡处于滑移失稳阶段。

(3) “B”型: 曲线有几个较明显的滑面, 但以其中一个滑面相对运动为主, 表明滑坡沿岩土体多层滑面(或结构面)滑动, 但各滑块的运动速率不一致, 滑坡处于蠕变—滑移阶段。如榛子林滑坡扰动变形区 ZK55 测斜孔 X 方向累积位移曲线(图 3)所示, 在 33.5 m、29.5 m 和 23.5 m 处, 形成了较明显的滑动面, 且以 33.5 m 处的最深部滑面运动为主。表面滑坡在沿多滑面滑动的同时, 且有以 33.5 m 处最深层滑面呈整体破坏的趋势。

(4) “r”型: 曲线显示在滑坡较浅部已形成明显的滑动面, 且位移相对较大, 而下部位移较小。表明滑坡在监测时段内以浅层整体滑移为主。

这类曲线如和平沟滑坡前缘 ZK55 测斜孔位移曲线(图 4)所示, 在地面以下 6 m 处形成了较明显的滑动

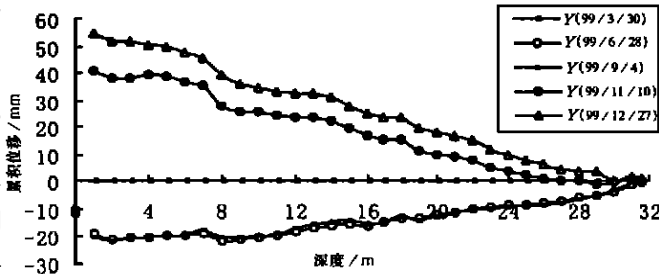


图 1 榛子林滑坡 ZK16 测斜孔 Y 方向累积位移—深度曲线
Fig. 1 Curve of Y direction acumulative displacement - depth of ZK16 tilt hole in Zhenzilin landslide

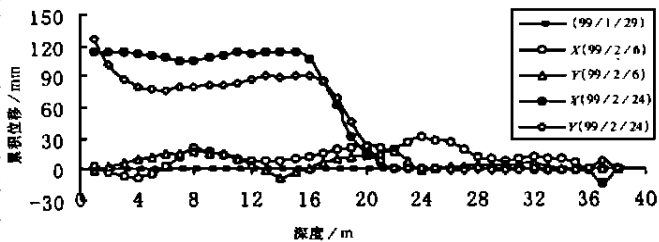


图 2 榛子林滑坡 ZK19 测斜孔 X、Y 方向累积位移—深度曲线
Fig. 2 Curve of X、Y direction acumulative displacement - depth of ZK19 tilt hole in Zhenzilin landslide

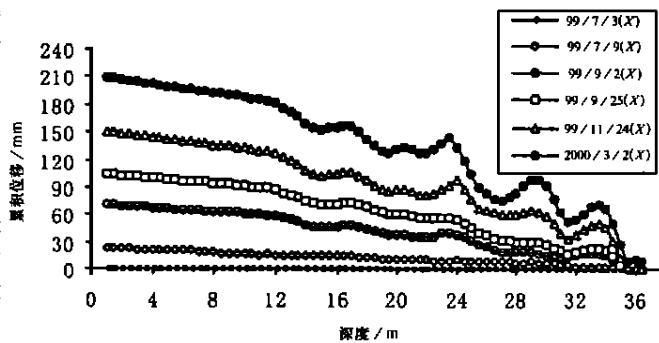


图 3 榛子林滑坡 ZK55 测斜孔 X 方向累积位移—深度曲线
Fig. 3 Curve of X direction acumulative displacement - depth of ZK25 tilt hole in Zhenzilin landslide

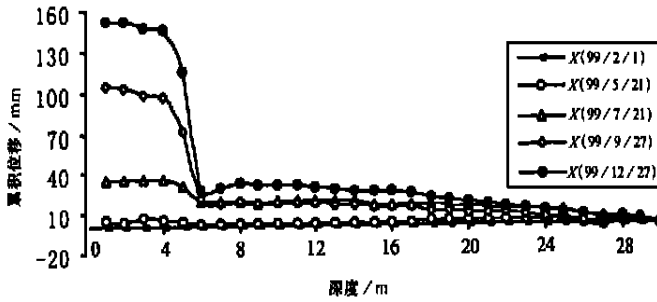


图 4 和平沟滑坡 ZK25 测斜孔 X、Y 方向累积位移—深度曲线

Fig. 4 Curve of X、Y direction acumulative displacement - depth of ZK25 tilt hole in Hepinggou landslide

面, 滑动面以上位移较大, 而下部位移较小。

(5) “钟摆”型: 不同时刻的位移—深度曲线在初测值两侧作小幅度摆动, 摆动幅度一般 $<10\text{ mm}$, 在量测综合误差影响范围之内。表明监测孔附近滑体处于相对稳定状态, 如和平沟滑坡侧边界前缘 ZK50 测斜孔位移变化特征(图 5)所示。

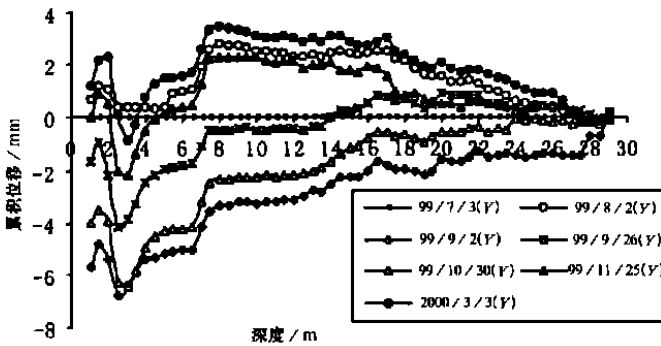


图 5 和平沟滑坡 ZK50 测斜孔 Y 方向累积位移—深度曲线

Fig. 5 Curve of Y direction acumulative displacement - depth of ZK50 tilt hole in Hepinggou landslide

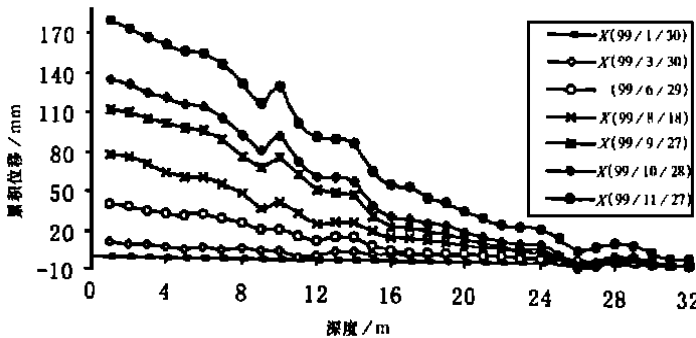


图 6 榛子林滑坡 ZK17 测斜孔 X 方向累积位移—深度曲线

Fig. 6 Curve of X direction acumulative displacement - depth of ZK17 tilt hole in Zhenzilin landslide

(6) “复合”型: 曲线变化在 X 方向呈现一种形态, 在 Y 方向又呈现另一种形态或滑坡变形位移前一阶段显示某种曲线特征, 而后一阶段又显示另一种曲线特征。如榛子林滑坡 ZK17 测斜孔 X 方向累积位移前期曲线形态呈“V”型, 而后期在 15 m 及 10 m 处有向“r”型发展的趋势(图 6)。

3 滑坡稳定性的判识

滑坡稳定性的判识是一个十分复杂的问题, 它涉及多方面的因素, 诸如滑坡的地形、工程地质及水文地质特征; 天然和人为活动的影响等。稳定性分析的方法也包括地质分析、模型试验、数值计算等多种方法。这里主要根据现场深部位移监测资料对滑坡的稳定性进行判识, 以供同行讨论。

3.1 相对稳定状态判识

当累积位移—深度曲线呈如图 5 所示的曲线特征时, 表明滑坡(或局部)处于相对稳定状态。随着时间的推移, 滑坡有向剪切蠕变发展的趋势。

3.2 潜在滑动破坏判识

当滑坡累积位移—深度曲线

呈如图 1、图 3、图 6 所示的曲线特征时, 表明滑坡还没有形成很明显的滑动面, 或虽已形成明显的滑动面, 但变形仍处于蠕滑阶段, 存在潜在滑动破坏失稳的可能性。

3.3 滑坡失稳破坏判识

当滑坡深部位移曲线呈如图 2、图 4 所示的曲线特征时, 滑坡已在滑动面处于失稳破坏。通过对榛子林滑坡、和平沟滑坡几个测斜孔滑斜管被剪断前的位移速率分析发现, 当 $X、Y$ 方向合位移速率达 $2.35\text{ mm/d} \sim 7.4\text{ mm/d}$ 时, 滑坡已出现失稳迹象。因此, 可根据该失稳速率, 结合地质分析确定滑坡失稳临界位移速率。当然, 由于各测斜孔所在的滑坡上的位置不同, 其失稳破坏速率也不一致。

3.4 滑坡滑动性质判识

根据监测资料和钻探成果可以对滑动面的分布情况、滑动机制作出某种程度的判断。

榛子林滑坡主滑纵剖面上的 ZK16、ZK17 测斜孔前期位移都较小, 没有形成贯通性滑动面的迹象。但近来监测资料成果显示, 已有沿 ZK16 测斜孔 24 m 处、ZK17 测斜孔 10 m 处形成潜在贯通性滑动面的迹象。这与 ZK17 测斜孔附近中部隆起带的剧烈变形是一致的, 这也是后缘堆渣加载(隧道弃渣及路堤填渣)积累到一定程度(有可能发生质变)的反映。

和平沟滑坡主滑纵剖面上的 ZK28、ZK25 测斜孔(图 7)在 1999—07 以前, 位移都较小, 但自 7 月份起, 滑坡变形突然加剧。到 9 月底, ZK28 测斜孔于 19 m 处测斜管被剪断, 同时滑坡前缘的 ZK25 测斜孔在 6 m~4 m 段发生了近 130 mm 的位移, 该孔前面的片上挡墙在 3 m 左右(自上而下)出现明显的剪出峰, 挡墙外倾明显加剧, 进一步分析发现, ZK28 测斜孔 19 m 处、ZK25 测斜孔 4 m 处的合位移方向一致, 且位移速率也差不多, 滑坡失稳已趋必然。可见地表地下水是和平沟滑坡变形发展的主要原因。

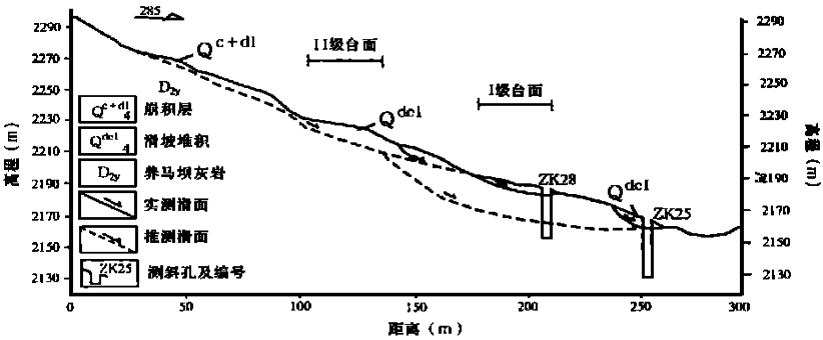


图 7 和平沟滑坡主滑纵剖面图

Fig. 7 Main slide Longitudinal section figure in Hepinggou landslide

4 结论

根据上述分析, 可以得到以下几点结论:

- 1. 滑坡深部位移监测是研究滑坡深部位移特征行之有效的手段, 它不仅能及时发现滑动面的发生、发展及其位置, 而且可反映滑坡的变形机制及发展趋势。
- 2. 滑坡深部位移变形有“V”型、“D”型、“B”型、“r”型、“钟摆”型及“复合”型等几种曲线形态, 每种曲线形态可反映滑动面(或潜在滑动面)的位置和滑坡变形发展过程, 同时可反映滑坡的滑动性质。当累积位移曲线形态呈“钟摆”型时, 滑坡处于相对稳定阶段; 呈“V”型、“B”型时, 滑坡处于潜在滑动阶段; 呈“D”型、“r”型, 且位移速率较大时, 滑坡处于失稳破坏阶段。
- 3. 根据滑坡深部位移监测资料, 可研究滑坡的稳定性判识, 确定滑坡临界失稳速率, 对防灾预报和整治工程设计提供信息。

参考文献:

- [1] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理(第二版)[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [2] 马永潮. 滑坡整治及防治工程养护[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996.
- [3] 靳晓光. 山区公路建设中的岩土工程监测与信息化控制[D]. 成都理工学院博士论文, 2000.
- [4] 吕建红, 袁宝远. 边坡监测与快速反馈分析[J]. 河海大学学报, 1999, 27(6).
- [5] 孙福, 魏道琛. 岩土工程勘察设计与施工[M]. 北京: 地质出版社, 1998.

CHARACTERISTICS OF LANDSLIDE DEEP DISPLACEMENT CURVE AND STABILITY DISCRIMINANT

JIN Xiao-guang¹, LI Xiao-hong¹, WANG Lan-sheng²

(1. *Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, PRC;*

2. Institute of Engineering Geology, Chengdu University of Technology, Gengdu 610059)

Abstract: Landslide displacement monitoring was an effective method in studying landslide deformation dynamic characters. This paper summed up Landslide deep accumulative displacement curve V, D, B, r model, “bell pendulum” model and “composite” model etc. several characteristic types which combined with Zhenzilin recover deep slide and Hepinggou shallow slide deep displacement monitoring in Sichuan-Tibet highway Er-Lang mountain tunnel west approach road. The slide stability discriminant method was put forward based on landslide deep displacement monitoring research. Landslide was relatively stable stage when landslide deep accumulative displacement curve in bell pendulum model, and it was potential slide stage when curve in V and B model and it was failure stage when landslide deep accumulative displacement curve in D and r model and displacement rate of speed in relative high.

Key words: landslide; deep displacement; stability discriminant