



陆地交通气象灾害防治技术国家工程实验室

新型柔性测斜装置 深部位移监测工程 实例详解

李果 著

XINXING ROUXING CEXIE ZHUANGZHI
SHENBU WEIYI JIANCE GONGCHENG SHILI XIANGJIE

中国地质大学出版社



陆地交通气象灾害防治技术国家工程实验室

新型柔性测斜装置 深部位移监测工程 实例详解

李 果 ○ 著

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

新型柔性测斜装置深部位移监测工程实例详解 / 李果著. —成都: 西南交通大学出版社, 2016.8
ISBN 978-7-5643-5011-6

I. ①新… II. ①李… III. ①测斜仪 - 应用 - 滑坡 - 监测预报 - 预警系统 - 手册 IV. ①P642.22-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 215048 号

新型柔性测斜装置深部位移监测工程实例详解

李 果 著

责任编辑 柳堰龙
封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话 028-87600564 028-87600533
邮政编码 610031
网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 四川煤田地质制图印刷厂
成 品 尺 寸 185 mm × 260 mm
印 张 11.25
字 数 227 千
版 次 2016 年 8 月第 1 版
印 次 2016 年 8 月第 1 次
书 号 ISBN 978-7-5643-5011-6
定 价 49.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

滑坡地质灾害一直是我国乃至世界工程地质领域的研究热点和重点。由于我国是一个多山国家,山地、高原、丘陵面积约占国土面积的 70%,这一地质灾害类型在我国中西部山区极为常见,所造成的灾害往往后果严重。据统计,我国每年由地质灾害造成的经济损失达 200 亿元。在中西部地区,由于地质构造复杂,加之自然地理因素和人类工程活动的影响,每年都发生大量的滑坡灾害。2003 年 7 月 13 日发生在湖北省秭归县千将坪的滑坡体积达 $2.4 \times 10^7 \text{m}^3$,滑坡体突然下滑堵塞了青干河,形成了 300 m 的滑坡坝,掀起了 20 余米高的涌浪,打翻船只 20 余艘,致使 24 人死亡,19 人受伤;2009 年 S305 省道河南省安阳市林州段发生山体滑坡,使该路段双向交通封闭 25 天;2011 年河南和山西交界处长济高速发生严重的山体滑坡;2008 年汶川地震在龙门山地区诱发了数以万计的崩滑灾害,并在随后的几年产生了大量的次生地质灾害,其影响可达数年至数十年。近年来,随着人类工程活动的不断推进,大量的地质灾害非“安全岛”地区被人类的工程活动占据,导致地质灾害有明显逐年递增的趋势。一些地区的地质灾害已成为危害地方社会发展的重要因素,使这些地区的经济可持续发展受到严重影响。

实际上,国内外学术界针对滑坡的研究已有数十年的历史了,在滑坡的评估、治理领域均有诸多的研究成果。为了减少地质灾害造成的经济损失,各部门针对我国的国情和地方特色开展了广泛研究,在地质灾害勘察、评估、监测预报及地质灾害整治等方面,取得了一定的研究成果。但由于滑坡的防治往往成本高昂,在很多领域,采用适宜的监测预警手段,是解决成本-效果矛盾的最为合理的选择。

随着电子技术与计算机技术的发展,不同的监测方法及其所采用的仪器设备正在不断发展和完善,监测内容更加丰富。监测技术已由过去的人工皮尺监测过渡到仪器监测,正在向自动化、高精度的遥测系统发展。监测仪器也正在向精度高、性能佳、适应范围广、监测内容丰富、自动化程度高的方向发展。滑坡的监测仪器设备类型众多,其应用领域也各有不同。通常按照所用传感器采集的物理量来区分,如应力传感器、位移传感器、加速度传感器、雨量传感器、温度传感器等。对滑坡预警工作来说,位移量监测是其中最为直观,也最为有效的手段。

滑坡位移监测宏观上可分为表面变形观测和深部变形观测两类。表面变形观测安装简便,成本低廉,通常应用于需要快速安装的应用场景,多采用多个或多组监

测点分布式部署的方式。深部变形观测通常采用钻孔安装的方式，通过布设于钻孔中的监测元器件测量滑坡的变形量值。这种监测方式能够更好地从空间上反映滑坡的变形特点，因而得到了极为广泛的应用。

近两年，以 SAA 为代表的新型柔性测斜装置在岩土工程监测领域开展了广泛的应用，此设备具有高精度、大量程、可重复使用等突出优点。但由于此类设备造价较昂贵，目前仅在某些影响较大的岩土工程项目中得以应用，尚未得到全面的推广。而这类设备由于出现时间较短，其操作和使用均较复杂，对技术人员的要求较高，因此目前此设备仅在高校和科研院所的探索性工作中进行应用。由于设备的主要用户群体多为岩土工程相关专业，对设备安装所需的其他知识领域并不熟悉，成为制约这一优秀产品推广的主要因素。本书结合典型的深部位移监测工程实例，以监测方案的选型设计为起点，深入浅出地对此类设备的硬件安装使用及软件操作流程进行全面的讲解，以期用户能够快速掌握应用此类设备进行监测工作的工作流程。

作者

2016 年 8 月

目 录

第 1 章 常见的深部位移监测装置	1
1.1 测斜仪的测量原理	1
1.2 便携式滑动式测斜仪	2
1.3 固定式测斜仪	6
1.4 时域反射法 (TDR)	7
1.5 拉线式钻孔位移测量仪	8
1.6 多点位移计	9
1.7 其他装置	11
第 2 章 基于 MEMS 技术的柔性测斜装置	13
2.1 基于 SAA 的位移监测系统概览	15
2.2 SAAF 与 SAAS	16
2.3 SAA232 转换模块	17
2.4 数据采集器	19
2.5 其他 SAA 相关设备	21
第 3 章 SAA 的硬件的安装流程	23
3.1 安装前的准备工作	23
3.2 SAA 的硬件知识	23
3.2.1 MEMS 传感器	24
3.2.2 串口和总线	24
3.2.3 其他应了解的硬件知识	26

3.3	SAA 穿管	26
3.4	设备投放	28
3.5	填孔	28
3.6	连接测试	29
第 4 章	深部位移监测实例之方案设计	30
4.1	工点概况	31
4.2	边坡的变形情况	33
4.3	边坡的工程地质条件	35
4.4	依托工点监测方案设计	38
4.4.1	监测依据	38
4.4.2	监测内容及方法	39
第 5 章	深部位移监测实例之软件准备	42
5.1	知识准备——软件篇	42
5.1.1	串口的设置与端口号的修改	42
5.1.2	网络状态查看与端口状态	44
5.1.3	串口及网络端口的连接状态测试方法	48
5.1.4	其他需掌握的软件应用	50
5.2	SAASuite 套件简介	50
5.3	安装前的软件准备工作——SAASuite	54
5.3.1	使用 SAASuiteRecorder 检查设备状态	54
5.3.2	使用 SAASuite_FileGenerator 生成采集程序	65
5.4	安装前的软件准备工作——Loggernet	67
5.4.1	Loggernet 软件简介	67
5.4.2	用 Setup 程序设置采集器并测试连接	67
5.4.3	使用 Connect 程序上传采集程序	74

5.4.4	使用 Status Monitors 程序监控采集器连线状态	83
第 6 章	深部位移监测应用实例之硬件安装	84
6.1	常规深部位移监测实施过程	84
6.2	SAA 现场安装实施过程	86
第 7 章	深部位移监测应用实例之数据采集	89
7.1	DTU 功能及其使用	89
7.1.1	虚拟串口类	90
7.1.2	网络转发类	98
7.2	用 DTU 实现远程数据自动化传输	108
7.3	使用 SAACR_raw2data 进行数据转换	113
7.4	使用 Task Master 实现数据批量自动处理	117
第 8 章	深部位移监测应用实例之数据查看	121
8.1	滤波数据查看 View Filtered	122
8.2	方位角修正 AzimuthSAA	125
8.3	报警阈值设置 AlarmSet	125
8.4	三维视图 QuickView	127
第 9 章	典型工点测量结果分析	128
9.1	JC-1 测孔监测成果分析	128
9.2	JC-2 测孔 SAA 监测成果	129
9.3	JC-3 测孔 SAA 监测成果	131
9.4	JC-2 测孔第二阶段监测成果分析	132
9.5	小结	133
第 10 章	结论与展望	134
附 录		135
附录 A	隧道深部位移监测设计案例	135

附录 B 相关数据文件格式说明 138

附录 C PEX Tool Kit 使用说明 150

附录 D 关于磁表的说明 152

附录 E 升级 CR800 系统固件 153

附录 F 多个采集数据文件冲突的处理 156

附录 G 隧道变形测量的处理方法 158

附录 H 关于安装工艺及底部移动问题的讨论 162

参考文献 168

第1章 常见的深部位移监测装置

滑坡深部位移测量,均采用钻孔测斜仪或与其测量原理类似的测量装置,测斜仪于20世纪50年代问世,在钻孔、土石坝体、基坑、墙体等工程构筑物的变形监测领域得以广泛应用。我国在20世纪80年代开始引入此类装置,并在岩土相关领域开展了广泛的应用,取得了良好的效果。国内的监测仪器厂商,也自行研发并制作了各类不同测量原理的测斜仪器。近年来,测斜仪已广泛应用于水利水电、交通、矿产及房建领域,在灾害预警、工程治理效果评价领域得到了极其广泛的应用。

1.1 测斜仪的测量原理

市面上主流的钻孔测斜仪,即使用倾角传感器的测斜仪,其测量原理基本一致,即通过测量钻孔轴线与铅垂方向的夹角变化,来计算出各个测点的水平位移与倾斜曲线。

钻孔测斜仪的计算及测量原理如图1-1所示,设备以钻孔轴线的坐标测量为基准。当岩土体发生变形,钻孔轴线位置也随之发生变化,将钻孔轴线变化,简化为多个固定长度分段的变化,通过使用各类传感器逐节测量钻孔内各段(通常固定为 $L=50\text{ mm}$ 一段)的角度变化 ϕ ,则有此节的位移 $d=L\tan\phi$ 。如钻孔总长为 nL ,则有钻孔孔口处累积得到的总变形为各段倾角变化之和:

$$D = \sum_{k=0}^n l^k \phi^k \quad (1-1)$$

由于这一测量过程计算的是孔底到孔口的累积变形量,因此默认钻孔底部的变形量为零,即要求钻孔钻进至岩土体非变形区域(如滑坡的滑动面以下)后再进行

监测设备的安装与测量。



图 1-1 测斜仪的测量原理

目前岩土体变形测量常用的钻孔测斜仪包括便携式滑动测斜仪、固定式测斜仪、多点位移计以及基于时域反射法、拉线式的位移测量装置及其他使用多种测量技术的变形测量装置。这些仪器部分使用了上述原理进行测量，也有对钻孔轴线方向进行测量的，分述如下。

1.2 便携式滑动式测斜仪

便携式滑动式测斜仪是一种常用的滑坡位移测量设备，由于该设备操作简单，成本低廉，是岩土领域使用率最高也是最为成熟的深部位移监测装置。目前市场上的便携式滑动测斜仪通常使用测斜管、倾角传感探头、导线和采集器的组合完成测量工作。

1. 测斜管

测斜管是一种用于承载测斜仪的中空具导轨滑槽的专用测量管，安装于钻孔中作为斜坡变形的测量参照，其材质有金属和塑料两类。近年来随着 PVC 材料工艺的逐渐成熟，高强度 PVC 套管以其机械强度高、耐腐蚀、寿命长、运输及安装简便的突出优点，已基本取代了钢材、铝合金等金属材料，成为制作测斜管的首选材料。测斜管截面有方形和圆形两种，其中圆形测斜管更为常见。测斜管的截面直径为 50~70 mm（市售的测斜仪多可适应 50 mm 以上的不同管径），单节长度一般为

4~8 m, 节与节之间可通过螺纹套管续接。

衡量测斜管的性能指标主要来自其强度及滑轨加工精度。高强度测斜管不易因变形或破裂而影响监测精度, 滑轨槽道加工精度高的测斜管对监测精度的影响更小。滑轨槽道在测斜管内壁十字形布置。安装时应使其中一个槽道指向待测岩土体变形的方向(如图 1-2 中 X 方向)。

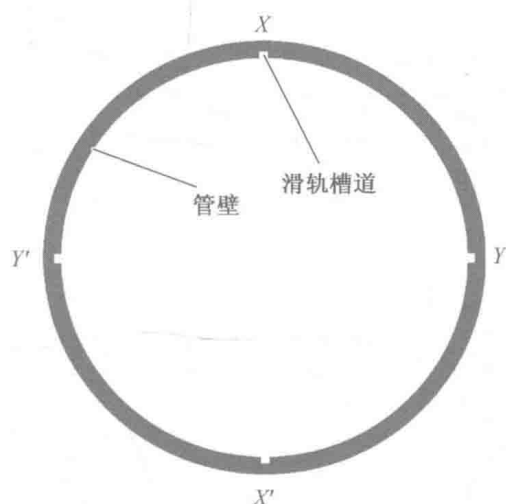


图 1-2 测斜管截面

测斜管通常选择比钻孔孔径略小的管径进行安装(图 1-3), 测斜管通常都需要使用套管进行续接, 如选用 70 mm 测斜管, 由于用于续接的接头套管具有更大的外径, 因此钻孔应至少有 $\phi 110$ mm 直径。安装时, 测斜管底部、接头处均应封堵以防止泥沙进入。安装后, 管壁和孔壁之间应用细沙或水泥浆充填密实, 以确保孔壁的变形能够准确地传导至测斜管。



图 1-3 测斜管安装示意图

2. 倾角传感探头

测斜仪的测量探头依照其测量元件类型有伺服加速度计式、电阻式等多种形式，目前市面上主流的测斜仪均使用精度较高的前者，多使用微电子系统（MEMS: Micro-Electro-Mechanical System）加速度传感器进行倾角测量，典型的测量探头如图 1-4 所示。加速度传感器通常内置于金属探头中，探头具有上下两组滑轮，两组滑轮间距通常为 50 mm，使用时将滑轮卡入测斜管滑轨槽道中（图 1-5，首先将低位滑轮卡入一侧）来确保测斜仪探头在测量方位确定时平稳地在孔内不同位置移动。值得说明的是，某些测斜仪需要进行两次测量以消除误差，即测量完 $X-X'$ 方向后，将探头反转 180 度测量 $X'-X$ 以进行误差校正，精度较高的测斜仪无需此项操作。

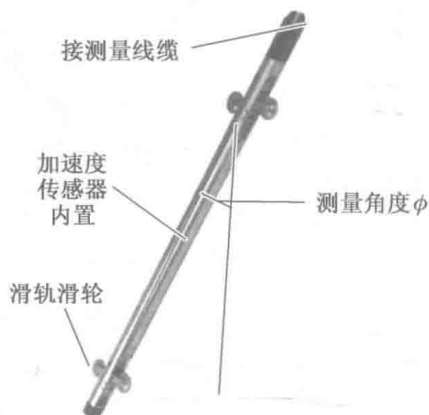


图 1-4 传感器探头结构示意图



图 1-5 探头卡入滑轨槽道

3. 导线

便携式滑动测斜仪探头和导线（图 1-6）直接相连，导线通常为 30~50 m 甚至更长，带有半米刻度。导线一方面为传感器探头供电和进行通信，另一方面也作为测量孔口距离的标尺（图 1-7）。一般在操作过程中，通过导线将探头放至孔底后再缓慢提起，一般每提起一段（0.5 m）进行一次测量。

4. 数据采集器/软件

数据采集器用于通过导线连接传感器探头采集倾角数据，采集器一般与导线直接相连，且具有内置电源。新型测斜仪的采集器多使用智能手持终端，使用无线方式进行连接，极大提高了操作的便利性，如图 1-8 所示。



图 1-6 测斜仪导线

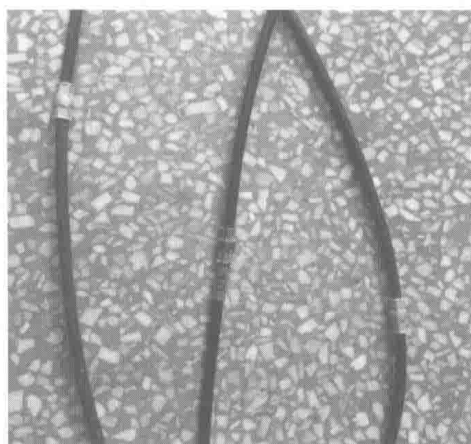


图 1-7 测斜仪导线标尺

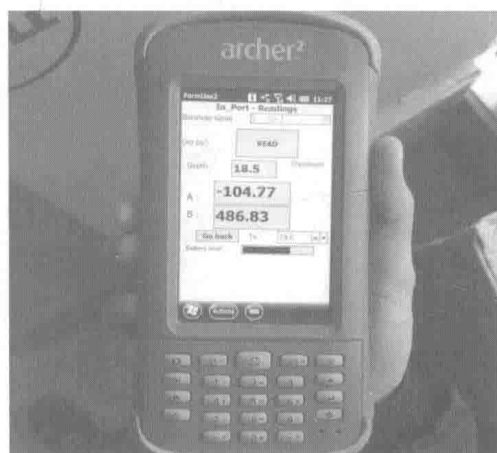


图 1-8 测斜仪手持数据采集终端

便携式滑动测斜仪由于其造价低廉、操作简便和可重复使用（测斜管耗材价格几十至数百元一米不等）的优点，在岩土工程位移监测领域得到了广泛应用。测斜仪由于探头广泛使用高精度的 MEMS 传感器等其他先进的传感元件，其设备理论精度往往较高。但实际上，由于使用了导轨、滑轮组等机械部件，其精度往往在长期使用后由于导轨滑轮的磨损而性能衰减十分明显。且测斜管本身采用中空结构，在实际监测工作中，除了测量结果受测斜管本身径向压缩变形影响外，在中大型滑坡的监测预警工作中，钻孔内有水位导致安装困难、测斜管本身损坏（岩质斜坡错动变形直接剪断、土质斜坡累积位移过大导致管壁破裂等）导致监测失败的案例十分常见。从目前的测量结果看，大部分监测中其有效测量量程往往仅有数厘米，使得应用此设备开展中、大型滑坡的监测预警工作的受到了极大的限制。

1.3 固定式测斜仪

由于滑动式测斜仪需要人工操作仪器进行测量，其测量频率、测量速度都受到极大限制。特别是在环境条件发生变化时（水位升降、暴雨），往往难以及时获取待测工点的监测数据。在此需求下发展起来的一种自动化测量设备（也可进行人工测量，图 1-9），其原理与滑动式测斜仪一致，区别在于：

- （1）增加了多组探头，对孔内进行分段测量。
- （2）使用机械组件控制探头上下滑动。
- （3）在现场固定安装了数据采集模块和数据发射模块。

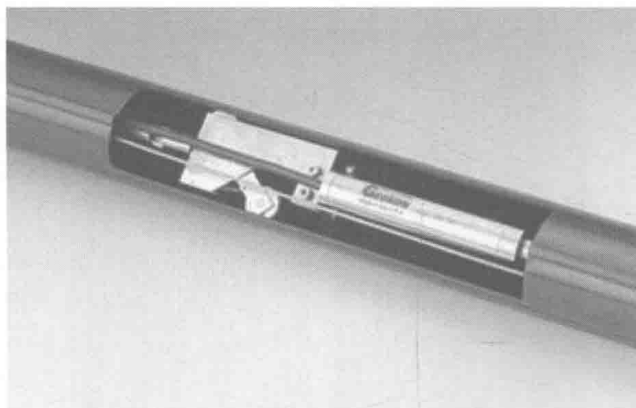


图 1-9 固定式测斜仪传感器（基康）

与传统的便携式滑动测斜仪相比，固定式测斜仪通过集成多个滑动式测斜仪探头

并增加牵引组件和采集器的方式（图 1-10），解决了无人值守测量的问题，但由于其依然使用测斜管作为斜坡变形的测量参照，因测斜管造成的相关问题依然存在。另外由于此类设备使用了更多的机械组件，因而其因机械故障导致的监测失败的状况也比较常见。

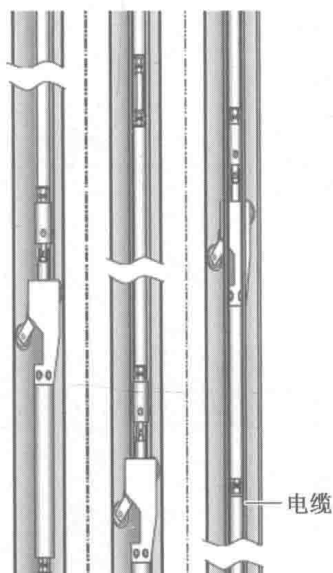


图 1-10 固定式测斜仪滑轮组

1.4 时域反射法（TDR）

时域反射法（Time Domain Reflectometry, TDR）是一类新型的监测技术，其核心在于通过电缆的阻抗特性，观察反射信号的波形变化来实现对周围环境变化的测量。即通过对埋设于钻孔内同轴电缆变形状态的监测，来实现对滑坡钻孔变形进行测量的目的。这一技术在早期主要用于通信电缆状态的检查，后期经过改善，广泛用于水文地质、环境、土壤、农业等多个领域的研究应用中。

TDR 系统（图 1-11）具有测量快速的突出优点，安装后数秒即可获得整个钻孔的变形状况，其作为耗材的电缆成本十分低廉，且对滑面位置精度也较高。但此类设备也有其突出的缺点：（1）TDR 技术仅能测得钻孔内产生变形的部位，但无法准确测量其变形量（小位移情况由于电缆变形较小，难以得到准确结果，大位移情况下可能导致电缆破坏）及变形速率；（2）脉冲信号在传播过程中，极易受到干扰导致数据存在误差。虽然存在上述缺点，但 TDR 系统也不失为一种有效的滑坡变形预警工具。

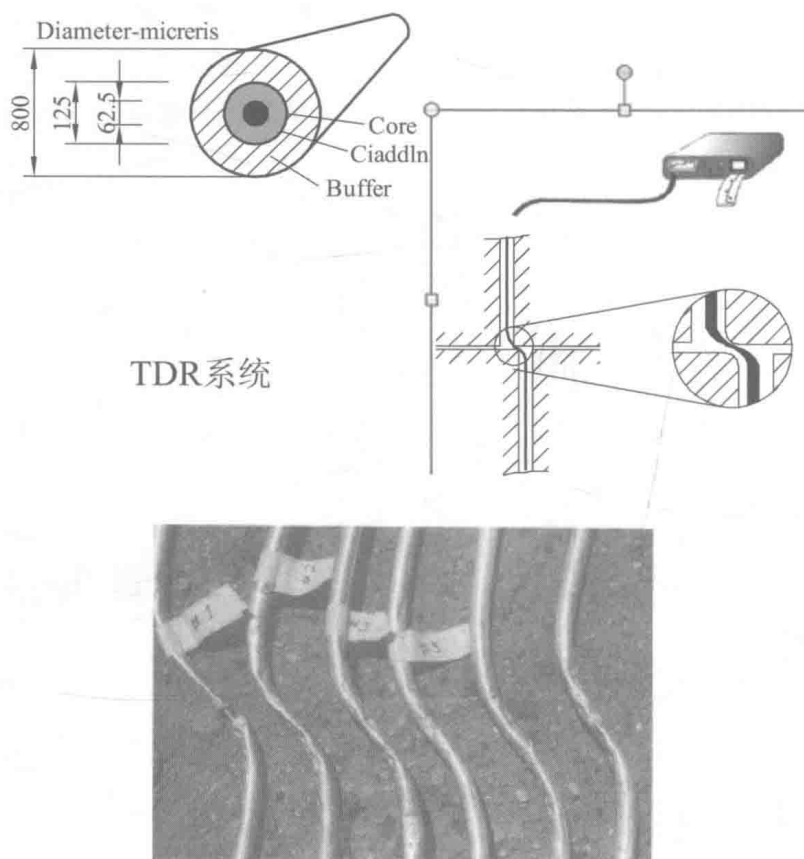


图 1-11 TDR 监测系统

1.5 拉线式钻孔位移测量仪

除了使用倾角传感器外,也有以拉线形式进行滑坡位移测量的装置。通过在不同层位安装数根柔性钢丝,并将其分段固定在地质钻孔内部以形成测点,将测点钢丝绳与上端位移传感器相连,采用分段测量的方法,对深部钻孔内各个层位的变形进行测定。

其设备安装工作流程为:(1)钻孔,将不设导向槽的 PVC 管垂直预埋地下。(2)在位于滑带下方的 PVC 管壁处设置固定点,并与柔性钢绞线连接。钢绞线沿 PVC 管壁延伸至地表,绕过安装于孔外的定滑轮,与重锤相连。(3)当滑带盘上下盘土层发生剪切错动时,带动柔性钢绞线一起错动,引起重锤上升。(4)将角位移传感器与定滑轮连接,利用角位移传感器测量滑带错动所引起的重锤上升量。