

用电阻应变测管监测和预报滑坡

王化卿 刘励忠 唐波涌 迟 渤

(铁道部科学院西北研究所 甘肃省地质矿产局)

从1984年6月开始,我们用电阻应变测管对甘肃省东乡县洒勒山附近的石拉子山黄土大滑坡群进行监测和预报。今年7月27日下了一场大雨,电阻应变测管应变值出现了异常变化,技术人员赶到现场观察,发现后缘裂缝从50—80厘米扩展到5米,情况在恶化,立即向省人民政府告急。省人民政府采取果断措施,陈光毅省长当即决定拨款30万元,敦促两个村庄居民、乡政府和卫生院及时搬迁、转移。即使发生了特大滑坡,使两个村庄1,000余人免遭伤亡和损失。现介绍这个电阻应变测管的制作、埋设及其在滑坡监测和预报上的应用。

一、电阻应变测管的构造及材料选择

电阻应变测管(杆),一般都由具有弹性的管材或杆材、电阻应变片和引线、防水层及平衡重等组成(见图1)。对弹性材料的选择,要根据滑坡所处的滑动阶段而定。如果滑坡正处在大滑阶段,滑坡推力很大,则弹性材料要选用强度高的钢材或合金铝材料;如果滑坡处在蠕动阶段,滑坡推力小,可以采用聚氯乙烯塑料做弹性材料。这种材料的特点是强度小,滑坡小的位移能获得大的应变值。另外,塑料管本身是绝缘材料,电阻应变片与塑料管之间的绝缘度高。

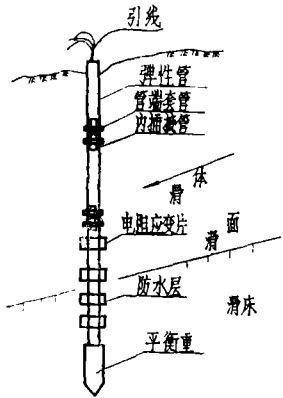


图1 电阻应变测管结构及埋设

选择的弹性材料可以是管状的,亦可以是槽钢或工字钢。从贴片、引线的处理上考虑,管材要优于一般的型钢。管材可以根据技术条件和使用情况采用内贴片和外贴片两种方式,引出导线可以在管内得以保护,便于防水防潮及防电磁场干扰。采用管材做弹性材料时,要注意贴片方位,沉管时要做方位标线,而一般型钢就比管材容易掌握贴片方向。

如果滑坡小、滑体薄时,可以采用单根弹性材料,管(杆)身均匀贴片;如果滑坡大、滑体厚时,就需要将多根管(杆)件连结起来,

在滑带可能的范围内分段贴片。

管(杆)件连接的形式很多,但要满足以下三个要求:

1、接头部位要有一定的强度(最好接近于原材料),其刚度亦不能过大,否则会影响杆件的变形规律,在分析应变值时发生麻烦;

2、接头部位要有严密的防水性能,保证引线(内贴片时更为重要)有良好的工作条件;

3、接头结构要简单,施工工艺要方便,机具设备要少。

上述三个条件，往往会使测管接头方案的设计发生困难。

根据弹性材料加工的难易和现场的施工条件，若选用的是钢材或者合金铝材料，最好采用丝扣接头或插销接头，在旋接时，要涂抹防水性能好的704或774胶水。在不得已时，才采用焊接接头，因为焊时的余热常常对导线和应变片造成威胁。如果选用的是聚氯乙烯塑料管，最好选用塑料焊接头而不采用其他形式的接头。根据我们在洒勒山制做、埋设测管的经验，采用这种接头，施工速度快，防水性能好，强度有保证，设备机具少，是适合于现场的接头方式的（图2）。

把选好的塑料管放在车床上加工，两端切成两个垂直平面，然后再以45°的角度切口，定出管壁0°及180°的对称线。对贴片的管段，要根据贴片距离，打好引线孔。

为了减少现场的接管时间，将加工好的塑料管、内插管和外套箍先组装为一体。为了密贴和防水，在接触处要涂防水胶。

平衡重的设置主要是克服应变管下沉时的地下水浮力。一般钻孔下管时，都会遇到地下水或者护壁泥浆。这些地下水又不能随意抽出，因为打孔的地方多在滑过或者正在滑动的滑体上，孔壁松软，抽水往往造成坍孔；若钻孔内保留水位，沉管时就会产生浮力。如我们下洒勒山三号管，孔深78米，水深65米，若不设置平衡重，测管就无法下到设计标高。

有些时候测管过长，除了考虑沉管时的浮力外，尚要考虑下管时上节管受下部管节的拉力。如我们下东乡苹果园三号管时，管长140米，又是两节贴片，引线为32根，考虑减小浮力，将水位抽至76米，但管节下至68米时，管接头处超过抗拉强度，不得已采用电缆助拉将管下到设计标高。

平衡重的计算，要考虑浮力产生极值的情况，如果总浮力为F，测管总重为W（包括管重、引线、接头套管等）则

$$\text{平衡重 } Q = F - W$$

在设计平衡重时，应设在测管端部。为了便于沉管，底端设计成60°的锥形，在平衡重与测管的连接部分，要用丝扣连接，套丝长度不应小于10厘米。在组装时，要用704胶现场充填，这样处理是防止水从接缝处进入管内。

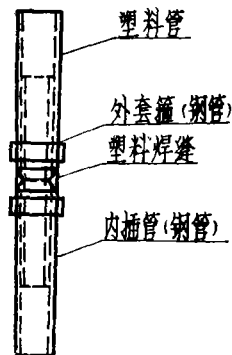


图2 测管接头结构示意图

二、贴片工艺和防水措施

1、**电阻应变片的选择**。选用电阻应变片的规格型号，要根据测试元件所处的工作环境、应变性质（即受力状态）和测试精度要求等因素决定。

温度是影响电阻应变片性能的重要因素，虽然桥路设计时考虑了消除温度影响措施，但在选择应变片时，仍尽可能选用在试验温度范围内能正常工作的应变片。

应变片的防潮防水，主要靠防水处理。但在选择应变片时，应选择防水性能好的胶膜应变片，如酚醛一缩醛聚脂、聚酰亚胺胶膜等应变片。有些应变片虽然性能不错，但在存放时容易吸潮，会改变原来的标准电阻值，贴片后会使得粘贴强度降低，影响绝缘度，应变片与试件之间的电阻容易发生变化，会造成测量时产生的漂移，降低灵敏度。

电磁场对电子测量有不可忽视的干扰作用，测试时，尽量避开强电磁场的存在，引出线尽可能采用防电磁干扰的屏蔽线。选用应变片时，要考虑敏感栅极对磁场的敏感性。如恒弹性合金、康铜合金等，在磁场中有强烈的伸缩效应，这样就会使标准电阻变得不固定，影响测量精度。

电阻应变片敏感栅的材料，可以分成丝式和箔式，丝式应变片是用电阻丝绕制而成，其两端弯曲部分有横向应变。测量精度要求高时，要进行修正。这种型号的应变片，在粘贴时与元件的接触面积小，不易粘牢。箔式应变片是用金属箔片采用腐蚀方法制成的，它克服了丝式应变片的一些缺点，具有蠕变小、疲劳寿命长、散热性能好等优点。一般应变测量中，尽可能采用箔式应变片。

应变片的基底材料可分纸基、胶基和金属基三种。纸基应变片比较容易选择粘合剂，价格便宜；胶基应变片绝缘度高，防水性能好。在地下工程测量时，最好选用胶基应变片。

应变片有不同的标距和标准电阻，要根据不同的测试用途选择。在受力情况复杂、测试元件面积大时，尽量采用大标距的应变片，这样在应变片同试件共同变形时，能充分体现试件的变形受力特性；在受力简单、试件小时，可选用小标距的应变片，这样便于布置贴片和防水处理。

电阻应变片的标准电阻有 120Ω 和 60Ω 两种型号。由于多数测量仪器配备的是 120Ω 标准电阻，选用时要和测试仪器相适应。

2、贴片方法。应变管的贴片对数和方位，曾有人建议采用 60° 或 120° 的方位贴片，这样可以保障在滑坡主滑方向不确切时，应变管都能有最佳的受力状态。但这样做大大增加了贴片数量，增加了工程投资。而实际的滑坡方向，在滑坡周界出现之前是很难确定的；当滑坡出现后缘裂缝之后，滑坡的滑动方向又比较容易确定。因此应变管的对数没有必要按 60° 或 120° 贴片，而采用 180° 对称贴片，甚至可以采用单贴片。这样可以大大减少贴片数量，减少引线，降低成本。

为测出应变管某一部位的拉、压应变，测量采用半桥量测，即一个工作片，一个补偿片。每个断面分两组4片，用两根3芯屏蔽线引出地面（图3）。

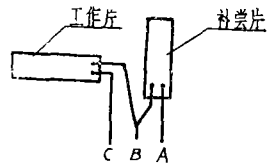


图3 半桥桥路测量图

粘贴剂的选用是贴片技术的关键之一，选择不当会造成应变滞后、读数漂移和应变片滑脱等现象。

标定应变管是在自制的标定架上进行的。标定时用螺旋千斤顶加荷，用测力计计荷载的吨位，用YJ—5电阻应变仪记录应变变量（图4）。

3、防水处理。防水材料和防水工艺，是电测成败的关键。到目前为止，国内尚未有完全可靠的防水材料和防水工艺措施。这一方面由于地下水的情况复杂所造成（如含矿物成份、高压、地热等）；另一方面各种防水材料的老化和受力杆件变形所产生的裂缝透汽渗水，也是重要原因。

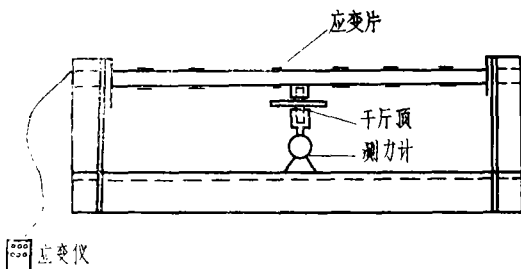


图4 用YJ—5电阻应变仪记录应变量

国内多数采用环氧配方防水剂，这种防水剂都发现有防水性能随时间而降低的现象。分析原因，可能是防水层老化变硬变脆，杆件受力变形中出现贯通裂缝，水或水汽侵入的结果。

这次防水措施，总结了以前的经验教训，共研制了五种环氧配方，对每种环氧胶都进行了时

间效应、硬度变化和强度试验。选用粘度好、塑性大的10号胶放在内侧，硬度大起立模作用的15号胶放在最外侧，这样杆件变形就不易产生贯通裂缝。为了加强防水性能，内部还用了704胶、774胶等，这种防水措施通过对1984年埋设的3根应变管考验，应变片完好率仍有95%以上，估计这样处理的防水层，能在水中保持良好防水性达3—5年（图5）。

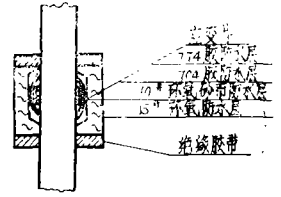


图5 防水层示意图

对于需要长期观测的滑坡，防水层需要有更强的防水性能。在不老化的环氧材料研制出来之前，我们采用了内贴片的方法。材料的老化，实际上是有有机物与空气和水中的其他活泼元素缓慢作用的结果。如果想办法使环氧防水层与空气和水隔开，那老化自然延长时间，内贴片就可以达到这个目的。

三、电阻应变测管与滑坡面和纵断面的关系

1、孔径比的选择。做好的应变管要沉埋在钻孔之中，究竟多大的钻孔直径，多大的测管直径配合最好呢？没有人从理论上研究过这个问题。根据应变管受力的机理，钻孔直径与测管直径的孔径比越小越好，因为在沉管之后，要在管和孔之间的空隙中回填筛分砂。这种回填料的密实度难以达到和原状土一样密实。因此在滑坡滑动时，首先压密回填层，然后才能把力传到应变管上。这样，对监测蠕变阶段的滑坡时就相当不利。孔径比太小，将会发生沉管困难，因为钻孔不可能是垂直的；如果是外贴片防水层，钻孔过小，将会损伤防水层和应变片。

根据国内外的工程实例，采用孔径比为2较适宜。在洒勒山埋设的7根应变管，钻孔直径为 $\phi 150$ ，测管直径为 $\phi 75$ ，沉管比较顺利。回填料根据计算，基本密实。

由于作用在应变测管上的力是滑体上传来的，就要求回填料尽可能密实。若钻孔太深无法捣固时，回填料要缓慢下填，填时还可轻摇应变管，不要使填料卡住。根据传力的关键部位，在测管嵌固端的底部和滑体握裹运动的上部，要尽可能的回填密实。这样可使测管和滑体共同变形。

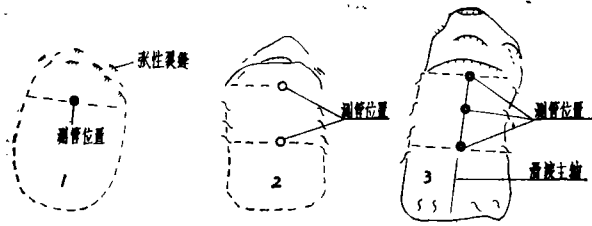
2、测管与滑坡的纵断面关系。要想使测管测出滑坡的主要运动特征，就要使贴片管段通过滑坡的滑带，测管下端嵌固在滑床上，上部被滑体带着一齐滑动，测管在滑带附近出现“S”形的变形。然后可根据应变值变化规律，分析活动面的位置和滑坡的发育阶段，计算滑坡位移量和滑坡推力。

在设计应变管之前，要充分利用钻孔岩心资料及其他手段，大致确定滑动面的范围。这样可以缩短贴片长度，降低成本。若从岩心判断，滑坡有两个滑动面，应变管分两段贴片。在分析资料时，按两组电测值考虑。

在设计测管的长度时，要尽可能的把测管下到滑床上，而且还要嵌入滑床一定深度。该深度除与测管的直径大小有关外，还和滑床的岩性有关，岩石类嵌入深度为1米，非岩石类嵌入深度1.5米左右。

测管设计时，要能够根据钻孔岩心随意调换贴片管段的高度，这样能保证测管的效能。最佳情况是贴片段在滑动面上，下部有足够的嵌固深度，上部又有弯曲长度。这样测管会发生有规律的变化，从分析、标定、计算等方法中，得到滑坡的滑带位置、发育阶段、位移量和滑坡推力值。

3、测管埋设点与滑坡平面的关系。滑坡的发展过程，一般都要经过蠕变、徐滑、剧滑、稳定



1—蠕动阶段； 2—徐滑阶段； 3—剧滑阶段。

图6 测管埋设点与滑坡平面的关系

后缘弧形弦线的中心上。如果滑坡处在徐滑阶段，张拉性的弧形裂缝已经贯通，滑坡两侧已出现不连续的剪切裂缝，此时滑坡的周界已初步形成。此阶段对滑坡监测可埋设两根测管，一根在弧形裂缝的弦线中心上，另一根在有剪切裂缝的末端连线中心上。如果滑坡处在剧滑阶段，滑坡前缘已有鼓胀裂缝，滑坡的滑面、规模和性状已完全形成，此时对滑坡的监测，可在滑坡的主轴线上布置3—4根应变测管，但测管不要布置在位移量很小的抗滑段。

四、利用应变测管确定滑动面

1、通过应变测管的应变值变化确定滑动面。只要测管埋设得当，通过应变量的变化，就能准确的定出滑面的位置。当测管贴片段出现“S”形状的变形时，在滑体受力背向测管出现最大的拉应变，在滑床部分受力面出现最大的拉应变。这些应变值越靠近滑动面处越大，远离滑动面的应变管的应变值很小或者没有变化，最大拉应变连线的中线，就是滑动面的位置（图7）。

2、滑动面位置的计算。应变测管在滑坡上的受力状态，和桩的受力机理近似。只要知道围岩抗力系数 k ，根据桩轴的挠曲方程，即可计算出变形数 β ，滑动面的准确位置就计算出来了。

3、利用应变测管的 $\mu\varepsilon \sim t$ 关系曲线确定滑坡发育阶段。埋设后的应变测管与滑体视为一体，滑坡滑动时，带动应变管上部一齐移动。由于下部嵌固在不动体上，滑面处的应变测管将受剪变形，而电阻片的应变值将同位移值按比例增加。将定期观测的应变值 $\mu\varepsilon$ （若观测次数多，为消除误差，可取平均值），同时间的关系点在坐标轴上，纵轴为 $\mu\varepsilon$ ，横轴为时间 t ，即得出 $\mu\varepsilon \sim t$ 关系曲线。根据对 $\mu\varepsilon \sim t$ 关系曲线的分析，依据曲线斜率判断滑坡的发育阶段，从而达到预报滑坡的目的。

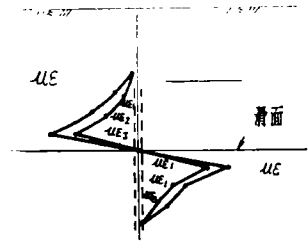


图7 利用应变管确定滑动面

4、利用应变测管计算滑坡位移量和滑坡推力。

5、利用标定曲线求滑坡位移量和滑坡推力。利用公式计算滑坡位移量和滑坡推力，都要先测定准确的计算参数，计算值才能是精确的，否则，计算结果会有相当的误差。为了解决计算参数的问题，可用标定法。

五、结论

1、电阻应变测管在有可靠的防水措施的情况下，可以广泛地应用在滑坡监测和预报方面，它结构简单，安装方便，用途广泛，性能可靠，是一种先进的电子测试技术；

溃坝泥石流灾害与水土流失

杨其文 李德基

(四川省丰都县水电局 中国科学院成都地理研究所)

一、引言

为了充分开发利用水资源和水能,发展灌溉、发电、防洪、供水、航运和水产养殖等目的而筑坝蓄水,全国修建了许多水库。通常,只要设计无误,严格按规范要求要求进行施工并实行科学的管理,这些水库是能够保证安全运用的。但是,在一些难以预料的自然或人为的偶然因素作用下,如战争破坏,强烈地震,库区内发生大规模山崩、滑坡,或遭遇超过设计标准的特大暴雨洪水的袭击等等,以致大坝失事,则溃坝洪水将以超过设计标准数倍、十多倍甚至几十倍的大流量和高流速下泄,吞没下游两岸的土地、房舍、田园、道路、桥梁、建筑物等生产与生活设施,造成人民生命和财产的巨大损失。一些建在流域上游的山区中小型水库,由于水源充足,沟床比降很陡,流水的动能很大,沟床及两岸山坡有大量松散固体物质补给,溃坝洪水将演变为泥石流或高含沙水流,造成爆发性水土流失灾害,淤塞沟道,污染环境,影响流域及邻近下游地区的生态平衡。由之而引起的继发性水土流失问题将持续相当长的一段时间,对遭受破坏的生态环境的恢复极为不利。1974年四川丰都县八一水库溃坝失事就是一例。该坝溃决失事导致严重的爆发性水土流失,大量泥沙、石块被输送到龙河并进入长江。其后,坝下游沿河两岸崩塌、滑坡及沟床冲刷作用比以往急剧增加,造成长时期的继发性水土流失。

二、八一水库溃坝失事前

八一水库位于四川省丰都县丛实区龙河乡境内。水库建在长江南岸龙河流域暨龙河的高桥

2、不论对于需要治理的滑坡或是需要监测的滑坡,都可埋设电阻应变测管,能够得到预报和设计的重要参数,通过实测得到的滑动面准确性高,实测的滑坡推力比估算的滑坡推力精确可靠;

3、采用新的环氧防水层配方,外贴片有效期在3—5年,内贴片有效期在7—10年左右,对滑坡的长期观测是适用的;

4、这种新技术应用时间不太长,有关应变测管同滑坡共同变形机理,防水层的老化问题,贴片长度和贴片距离,都要进一步实践和研究,希望有关科研单位和生产单位共同努力,使这一新技术得到发展和完善。